

جمهوری اسلامی ایران

نشریه شماره ۳۴۱

وزارت راه و ترابری
معاونت آموزش، تحقیقات و فناوری

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
رئیس سازمان

شماره:	۱۰۰/۶۴۲۲۷
تاریخ:	۱۳۸۵/۴/۲۰

بخشنامه به دستگاه‌های اجرایی، مهندسان مشاور و پیمانکاران

موضوع:

مشخصات فنی اجرایی بازیافت گرم 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 ۲۴۵۲۵/ت/۱۴۸۹۸ هـ مورخ ۱۳۷۵/۴/۴ هیات محترم وزیران، به پیوست نشریه شماره ۳۴۱ دفتر امور فنی، تدوین معیارها و کاهش خطرپذیری ناشی از زلزله این سازمان، با عنوان «مشخصات فنی اجرایی بازیافت گرم آسفالت» از نوع گروه اول، ابلاغ می‌شود؛ تا از تاریخ ۱۳۸۵/۸/۱ 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 دو ساله تا ۱۳۸۷/۸/۱، استفاده از دیگر آیین‌نامه‌های معتبر نیز مجاز خواهد بود.

فرهاد رهبر
معاون رئیس جمهور و رئیس 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 این‌رو، 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 شیخ بهائی، بالاتر از ملاصدرا، کوچه لادن، شماره ۲۴، سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، دفتر امور فنی، تدوین معیارها و کاهش خطرپذیری ناشی از زلزله صندوق 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 اسماعیل پور
آقای مهندس علی محمد اسماعیلی
آقای مهندس منوچهر احتشامی
خانم مهندس بهناز پورسید
آقای مهندس علی تبار
آقای مهندس محمد توسلی
آقای مهندس حسین حاجی غفوری
آقای مهندس علیرضا خاوندی

آقای مهندس شهرام سندیانی
آقای مهندس احمد شمس‌الکتابی
آقای مهندس میرمحمد ظفری
آقای دکتر محمود عامری
آقای مهندس طاهر فتح‌اللهی
آقای مهندس اصغر نادری
آقای مهندس سیدجواد میرمحمدصادقی

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

حبیب امین فر
معاون امور فنی
۱۳۸۵

فهرست مطالب

عنوان

صفحه

فصل اول - بازیافت آسفالت گرم

۱-۱- کلیات	۱
۲-۱- اصطلاحات و واژه‌های بازیافت گرم	۱
۳-۱- دامنه کاربرد بازیافت گرم	۲
۴-۱- امتیازات بازیافت گرم	۳
۵-۱- انواع بازیافت گرم	۳
۱-۵-۱- روش کارخانه‌ای	۳
۲-۵-۱- روش درجا	۴

فصل دوم - ارزیابی کیفیت مصالح بازیافت

۱-۲- کلیات	۵
۲-۲- بررسی وضعیت روسازی	۵
۳-۲- نمونه‌برداری	۵
۴-۲- آزمایش مصالح خرده آسفالت RAP	۵
۱-۴-۲- ارزیابی مصالح سنگی	۶
۲-۴-۲- تعیین درصد قیر RAP	۶
۳-۴-۲- آزمایش‌های قیر بازیافتی	۶
۵-۲- قیر خالص جدید	۷
۶-۲- جوان‌کننده‌ها	۷
۷-۲- مصالح سنگی RAM	۸
۸-۲- مخلوط مصالح RAP و مصالح سنگی جدید	۸
۹-۲- آزمایش‌های مصالح و آسفالت جدید	۸

فصل سوم - طرح اختلاط بازیافت گرم

۱-۳- کلیات	۱۱
۲-۳- مراحل طرح اختلاط	۱۱
۳-۳- تهیه طرح اختلاط	۱۲

- ۱۲-۳-۳-۱- ارزیابی مصالح بازیافت..... ۱۲
- ۱۲-۳-۳-۲- مصالح سنگی جدید..... ۱۲
- ۱۲-۳-۳-۳- تعیین درصد وزنی مصالح سنگی..... ۱۲
- ۱۳-۳-۳-۴- برآورد درصد قیر مخلوط بازیافت..... ۱۳
- ۱۴-۳-۳-۵- محاسبه درصد قیر جدید برای مخلوط بازیافت..... ۱۴
- ۱۴-۳-۳-۶- انتخاب قیر جدید..... ۱۴
- ۱۶-۳-۳-۷- تعیین اجزاء متشکله مخلوط بازیافت..... ۱۶
- ۱۶-۳-۳-۸- طرح اختلاط و تعیین دانه‌بندی کارگاهی..... ۱۶
- ۲۰-۳-۴- انتخاب نوع قیر..... ۲۰
- ۲۶-۳-۵- انتخاب نهایی فرمول کارگاهی..... ۲۶

فصل چهارم - طرح ضخامت روسازی

فصل پنجم - بازیافت گرم کارخانه‌ای

- ۲۹-۵-۱- کلیات..... ۲۹
- ۲۹-۵-۲- مصالح خردۀ آسفالت (RAP)..... ۲۹
- ۲۹-۵-۳- مصالح سنگی (RAM)..... ۲۹
- ۳۰-۵-۴- کاهش ابعاد مصالح..... ۳۰
- ۳۰-۵-۵- انبار کردن مصالح..... ۳۰
- ۳۰-۵-۶- روش‌های تولید کارخانه‌ای..... ۳۰
- ۳۱-۵-۶-۱- کارخانه‌ی مخلوط‌کن استوانه‌ای..... ۳۱
- ۳۴-۵-۶-۲- کارخانه‌ی آسفالت مرحله‌ای..... ۳۴
- ۳۸-۵-۷- ظرفیت تولید آسفالت گرم..... ۳۸
- ۳۸-۵-۸- ذخیره کردن مخلوط گرم بازیافتی..... ۳۸
- ۳۸-۵-۹- پخش و تراکم..... ۳۸
- ۳۸-۵-۱۰- مالکیت مصالح بازیافت..... ۳۸
- ۳۹-۵-۱۱- آزمایش‌های کنترل کیفیت..... ۳۹

فصل ششم - بازیافت گرم درجا

- ۴۱-۶-۱- کلیات..... ۴۱
- ۴۱-۶-۲- انواع بازیافت گرم درجا..... ۴۱

- ۴۱ ۱-۲-۶- بازیافت سطحی
- ۴۲ ۲-۲-۶- روش احیای مجدد
- ۴۲ ۳-۲-۶- روش اختلاط مجدد
- ۴۳ ۳-۶- راهنمای عملیات بازیافت گرم درجا
- ۴۶ ۴-۶- تجهیزات و ماشین آلات بازیافت گرم درجا
- ۴۶ ۱-۴-۶- سیستم‌های گرمایشی
- ۴۷ ۲-۴-۶- دستگاه تراش و گرم‌کننده
- ۴۷ ۳-۴-۶- سیستم افزودن جوان‌ساز
- ۴۸ ۴-۴-۶- مخلوط‌کننده
- ۴۸ ۵-۴-۶- فینیشر
- ۴۸ ۶-۴-۶- غلتک‌ها
- ۴۹ ۵-۶- اجرای عملیات
- ۴۹ ۱-۵-۶- پاک‌سازی سطح روسازی
- ۴۹ ۲-۵-۶- قطعه آزمایشی
- ۴۹ ۳-۵-۶- گرم کردن و شخم‌زدن
- ۴۹ ۴-۵-۶- مخلوط کردن و پخش آسفالت
- ۴۹ ۵-۵-۶- کوبیدن

فصل هفتم - مشخصات و آزمایش‌های کنترل کیفیت بازیافت گرم

- ۵۳ ۱-۷- کلیات
- ۵۳ ۲-۷- مواد قیری و جوان‌سازها
- ۵۳ ۳-۷- مصالح سنگی
- ۵۳ ۴-۷- مخلوط بازیافتی آسفالت
- ۵۴ ۵-۷- سایر آزمایش‌ها

فهرست جدول‌ها

عنوان	صفحه
جدول ۱-۳- مراحل طرح اختلاط	۱۲
جدول ۲-۳- روابط تعیین نسبت مصالح و قیر مخلوط بازیافت گرم	۱۳
جدول ۳-۳- دانه‌بندی مصالح سنگی مصرفی در پروژه	۱۸
جدول ۴-۳- دانه‌بندی مخلوط مصالح سنگی بازیافت	۱۸
جدول ۵-۳- مقایسه دانه‌بندی مخلوط با دانه‌بندی شماره ۳ جدول ۹-۱ آئین‌نامه روسازی راه	۱۹
جدول ۶-۳- مقادیر اجزاء متشکله مخلوط مورد طراحی برای مثال شماره ۱	۲۲
جدول ۷-۳- مقادیر اجزاء متشکله مخلوط مورد طراحی برای مثال شماره ۲	۲۵
جدول ۱-۵- راهنمای تنظیم درجه حرارت آسفالت	۳۷
جدول ۲-۵- میزان بخار آب منتشر شده از مخلوط کن کارخانه آسفالت	۳۸
جدول ۱-۶- مراحل اجرایی پروژه‌های بازیافت گرم درجا	۴۳
جدول ۲-۶- اطلاعات مورد نیاز از اطلاعات مقدماتی ارزیابی توان سازه‌ای روسازی	۴۴
جدول ۳-۶- اهمیت اطلاعات حاصل از ارزیابی تکمیلی - تفضیلی رویه آسفالتی موجود	۴۵
جدول ۴-۶- عملیات آسفالت بازیافت گرم درجا	۴۵
جدول ۵-۶- راهنمای انتخاب روش بازیافت گرم درجا	۴۶
جدول ۱-۷- مشخصات و آزمایش‌های کنترل کیفیت مواد قیری و جوان سازه‌های مصرفی در بازیافت گرم	۵۵
جدول ۲-۷- مشخصات و آزمایش‌های کنترل کیفیت مصالح سنگی مصرفی در آسفالت گرم	۵۶
جدول ۳-۷- مشخصات و آزمایش‌های کنترل کیفیت مخلوط‌های آسفالتی گرم	۵۷

فهرست شکل‌ها

صفحه	عنوان
۱۷	شکل ۱-۳- نمودار انتخاب قیر جدید بر حسب کندروانی
۲۱	شکل ۲-۳- نمودار انتخاب قیر جدید بر حسب کندروانی
۲۴	شکل ۳-۳- نمودار انتخاب قیر و جوان کننده بر حسب کندروانی
۳۲	شکل ۱-۵- تولید بازیافت گرم در کارخانه آسفالت استوانه‌ای
۳۳	شکل ۲-۵- کارخانه استوانه‌ای با سیستم تغذیه منفک
۳۳	شکل ۳-۵- کارخانه آسفالت استوانه‌ای سیستم استوانه‌ای مضاعف
۳۵	شکل ۴-۵- کارخانه استوانه‌ای سیستم جابجایی با حرارت پایین
۳۶	شکل ۵-۵- تولید بازیافت گرم با کارخانه آسفالت مرحله‌ای
۵۰	شکل ۱-۶- فرآیند کلی بازیافت سطحی با روش گرمایش - تراشیدن
۵۰	شکل ۲-۶- فرآیند کلی روش احیاء مجدد
۵۱	شکل ۳-۶- فرآیند احیاء مجدد (یک مرحله‌ای)
۵۱	شکل ۴-۶- فرآیند احیاء مجدد (چند مرحله‌ای)
۵۲	شکل ۵-۶- فرآیند کلی اختلاط مجدد
۵۲	شکل ۶-۶- فرآیند اختلاط مجدد یک مرحله‌ای

فصل اول

بازیافت آسفالت گرم^۱

۱-۱- کلیات

بازیافت آسفالت گرم شامل عملیاتی است که طی آن آسفالت برداشت شده از روسازی موجود با یا بدون مصالح غیر آسفالتی، به شرح ضخامت تعیین شده در نقشه‌های اجرائی و مطابق دستورات دستگاه نظارت، بعد از شکستن و خردشدن و دانه‌بندی، و اختلاط با مواد قیری و یا ترکیبات جوان‌کننده^۲ با یا بدون مصالح سنگی جدید و یا آسفالت گرم جدید^۳، در یک کارخانه مرکزی آسفالت^۴ و یا در محل^۵ به طریق گرم و مطابق مشخصات آسفالت گرم و بتن آسفالتی تولید و در سطح راه پخش و کوبیده می‌شود. کلیه مصالح مصرفی در این عملیات و روش‌های طرح، ساخت و اجراء و کیفیت مخلوط آسفالت نهائی تهیه شده باید با مشخصات این دستورالعمل و معیارهای فصول مربوطه در نشریه شماره ۱۰۱ و آئین‌نامه روسازی راه، نشریه شماره ۲۳۴، مطابقت داشته باشد.

۱-۲- اصطلاحات و واژه‌های بازیافت گرم

عملیات بازیافت گرم شامل واژه‌ها و تعاریف زیر است:

الف - بازیافت

استفاده مجدد از مصالح روسازی موجود برای تهیه آسفالت جدید و بهسازی روسازی کهنه و قدیمی.

ب - بازیافت کارخانه‌ای

مصالح بازیابی شده از روسازی موجود، به کارخانه آسفالت مرکزی حمل و در صورت لزوم با مصالح سنگی جدید و مواد قیری جدید مخلوط شده و به آسفالت گرم تبدیل می‌شود. این آسفالت مجدداً به محل مصرف حمل و پس از پخش در سطح راه متراکم می‌گردد.

پ - بازیافت درجا

در این روش کلیه عملیات بازیابی گرم به صورت درجا (در محل مصرف) انجام و در سطح راه پخش و متراکم می‌شود.

ت - آسفالت بازیافتی^۶

مصالح بدست آمده از آسفالت موجود است که شامل قیر و مصالح سنگی است که با روش‌های گوناگون، با و یا بدون حرارت دادن سطح روسازی، برداشت می‌شود.

ث - مصالح سنگی بازیافتی^۷

شامل مصالح سنگی بدست آمده از روسازی موجود است که فاقد قیر غیر قابل استفاده می‌باشد.

- 1- Hot Mix Asphalt Recycling
- 2- Recycling Agent , RA
- 3- New or Virgin Aggregate and / or New Hot Mix
- 4- Asphalt Plant
- 5- Hot in – Place Recycling
- 6- Reclaimed Asphalt Pavement , RAP
- 7- Reclaimed Aggregate Material , RAM

ج - قیر جدا شده^۱

شامل قیری است که از مصالح RAP یا خرده آسفالت حاصل از بازیافت بدست می آید.

چ - مصالح سنگی جدا شده^۲

شامل مصالح سنگی بدست آمده از مصالح RAP میباشد که بعد از جداسازی قیر حاصل می شود.

ح - مصالح سنگی جدید

شامل مصالح سنگی جدید با دانه بندی و کیفیت معین و منطبق با مشخصات است که برای اختلاط با آسفالت گرم مورد

بازیافت و به نسبت تعیین شده در طرح اختلاط مصرف می شود.

خ - ماده جوان کننده قیر^۳

ماده جوان کننده و یا احیاء کننده با مشخصات معین که به منظور اصلاح خصوصیات قیر سخت شده موجود در مصالح

بازیافت مصرف می شود.

د - مخلوط آسفالت گرم بازیافتی^۴

مخلوط آسفالت گرم نهائی از عملیات بازیافت که از اختلاط مصالح روسازی قدیمی و مصالح سنگی جدید، و یا آسفالت

گرم جدید، و در صورت لزوم قیر جدید و یا ماده جوان کننده، تهیه می شود. این مخلوط برای استفاده در هر یک از

لایه های روسازی باید مشخصات تعیین شده برای لایه مورد نظر را داشته باشد.

۳-۱- دامنه کاربرد بازیافت گرم

بطور کلی بازیافت روسازی های آسفالتی با استفاده از روش های مختلف، از جمله روش بازیافت گرم کارخانه ای یا درجا، یکی از

گزینه هایی است که معمولاً برای ترمیم، بهسازی و یا بازسازی روسازی بکار می رود. این گزینه ها عبارتند از :

- + بازیافت گرم
- + بازیافت سطحی
- + بازیافت سرد
- + بازسازی با مصالح کاملاً جدید سنگی و مواد قیری
- + مرمت و اجرای روکش های تقویتی ضخیم
- + مرمت و اجرای روکش های تقویتی با ضخامت کم
- + مرمت بدون روکش و یا روکش با ضخامت حداکثر ۲۵ میلیمتر
- + مرمت با روکش آسفالت سطحی
- + مرمت معمولی به عنوان نگهداری دوره ای
- + سایر روش ها

-
- 1- Extracted Asphalt From a RAP Sample
 - 2- Extracted Aggregate From a RAP Sample
 - 3- Rejuvenator
 - 4- The Finished Hot Asphalt Recycled Mixture

بدیهی است که قبل از انتخاب بازیافت گرم جهت بهسازی برای هر پروژه، کلیه گزینه‌های فوق باید از نظر ملاحظات فنی و اقتصادی مورد ارزیابی قرار گیرد.

۴-۱- امتیازات بازیافت گرم

حفظ منابع طبیعی ناشی از مصرف بخش عمده‌ای از مصالح سنگی و مواد قیری روسازی قدیمی در بازیافت گرم کارخانه‌ای و یا کلیه این مصالح در بازیافت گرم درجا از مهمترین امتیاز این فرآیند محسوب می‌شود که سایر امتیازات زیر را نیز باید به آن افزود.

- افزایش مقاومت روسازی بدون تغییر و یا تغییر جزئی در ضخامت روسازی.
 - اصلاح آسیب‌دیدگی‌های سطحی شامل قیرزدگی، پدیده جدا شدن سنگ دانه‌ها از رویه آسفالتی، شیار افتادگی، ناهمواری‌ها و تغییر شکل‌ها.
 - افزایش تاب لغزشی
 - اصلاح خواص فیزیکی و شیمیایی قیر سخت شده موجود روسازی با جوان‌سازها و انطباق آن با مشخصات قیر خالص و در نتیجه افزایش دوام رویه آسفالتی و بهبود تاب خستگی آن.
 - ثابت نگه‌داشتن رقوم سطح راه و یا تغییر جزئی این رقوم و در نتیجه سازگاری با شرایط هندسی راه.
 - کاهش آلودگی زیست محیطی.
 - کاهش تولید ضایعات و مواد زائد و عدم نیاز به محل تخلیه برای این مواد.
 - صرفه جویی در هزینه و انرژی و افزایش سرعت اجرای عملیات.
- در مقابل امتیازات فوق باید آلودگی زیست محیطی بازیافت گرم کارخانه‌ای ناشی از مصرف مصالح بازیابی شده و گرم کردن و تبدیل آن به آسفالت گرم و نیز اختلال جزئی در جریان ترافیک عمومی را از کارخانه به محل مصرف و بالعکس یادآور شد.

۵-۱- انواع بازیافت گرم

عملیات بازیافت گرم طی دو روش متفاوت زیر به مورد اجراء گذاشته می‌شود:

۱-۵-۱- روش کارخانه‌ای

در این روش که از پیشینه بیشتری برخوردار است، مصالح خرده آسفالتی یا RAP را به یک کارخانه مرکزی آسفالت گرم حمل و آن را با قیر خالص جدید و یا مواد جوان‌کننده و در صورت لزوم با مصالح سنگی جدید مخلوط می‌کنند که نهایتاً آسفالت گرمی تولید می‌شود که بخشی از آن را مصالح RAP تشکیل می‌دهد. درصد مصالح RAP مصرفی در این روش برحسب اینکه کارخانه از نوع مرحله‌ای^۱ یا استوانه‌ای^۲ باشد از ۲۰ تا ۷۰ درصد متغیر است که با استفاده از تکنولوژی‌های پیشرفته این رقم می‌تواند به ۹۰ تا ۱۰۰ درصد افزایش یابد.

در این روش ضخامت روسازی مورد بازیافت از ضخامت بازیافت درجا بیشتر است که در نتیجه مرمت خرابی‌های زیر را نیز امکان پذیر سازد:

- + افزایش توان سازه‌ای راه
 - + کاهش حساسیت ناشی از یخبندان لایه‌های غیر آسفالتی روسازی
 - + مرمت ترک‌های انعکاسی و انقباضی با شدت متوسط
 - + مرمت ترک‌های طولی و عرضی ناشی از بارگذاری با شدت کم
 - + مرمت و اصلاح معایب و آسیب دیدگی‌های سطحی
- شرح کامل این روش شامل مراحل اجرا، ساخت و ماشین آلات مربوطه در فصل پنجم توضیح داده شده است.

۱-۵-۲- روش درجا

استفاده از روش درجا محدود به آن است که روسازی از توان باربری لازم و کافی برخوردار باشد تا اصلاح و ترمیم خرابی‌های سطحی مشروحه زیر با حداکثر ضخامت بازیابی، حدود ۵ سانتیمتر، امکان پذیر گردد.

- اصلاح تغییر شکل‌های طولی و عرضی شامل شیارافتادگی و موج‌های ایجاد شده در جهت حرکت وسایل نقلیه، اصلاح شیب عرضی و زهکشی سطحی.
- حذف موقت ترک‌های انعکاسی
- مرمت ترک‌های ناشی از بارگذاری و ترک‌های حرارتی با شدت خیلی کم
- احیاء قیر اکسیده شده آسفالت موجود با مصرف جوان‌سازها بدون افزایش قیر آسفالت
- مرمت ترک‌های لغزشی^۱
- اصلاح تاب لغزشی و قیرزدگی
- اصلاح دانه‌بندی و افزایش کیفیت آسفالت

در این روش ابتدا سطح آسفالت موجود حرارت داده می‌شود و آسفالت نرم شده توسط حرارت با شخم‌زن‌های دوار برداشته شده و به داخل دستگاه مخلوط کننده آسفالت و در صورت لزوم ضمن اختلاط با مصالح جدید سنگی، قیر و یا ماده جوان‌ساز، مخلوط آسفالت گرم حاصل روی سطح راه پخش و متراکم می‌شود، که معمولاً یک لایه آسفالت گرم جدید نیز روی این لایه اجرا می‌گردد. تمام این عملیات بصورت درجا و طی یک یا دوبار عبور انجام می‌گردد. حداکثر عمق بازیافت در روش درجا گاهی تا ۷۵ میلیمتر نیز قابل افزایش است. شرح کامل این روش در فصل ششم ارائه می‌شود.

فصل دوم

ارزیابی کیفیت مصالح بازیافت

۱-۲- کلیات

مخلوط حاصل از عملیات بازیافت گرم، اختلاطی از مصالح بازیابی شده شامل RAP با یا بدون RAM و مصالح جدید سنگی و قیر و جوان‌کننده است که باید با مشخصات فنی آسفالت گرم و بتن آسفالتی مطابقت داشته باشد. لذا کلیه مصالح مصرفی در این عملیات باید برابر روش‌های استاندارد نمونه‌گیری و مورد آزمایش قرار گیرد، و نهایتاً نتایج آنها با مشخصات فنی ارائه شده در این فصل و مشخصات فنی خصوصی پروژه مقایسه و ارزیابی شود.

۲-۲- بررسی وضعیت روسازی

به منظور شناخت نوع و ضخامت لایه‌های روسازی آسفالتی موجود، ضمن نمونه‌گیری باید مدارک فنی طراحی اولیه روسازی و سوابق دوره ساخت، بهره‌برداری و نگهداری آن نیز بررسی تا در جریان طراحی و ساخت بازیافت گرم مورد استفاده قرار گیرد.

نمونه‌گیری از لایه روسازی را میتوان بازای هر ۲۵۰ تا ۵۰۰ متر طول در هر خط عبور و با حفر گمانه آزمایشی در ابعاد ۵۰ × ۵۰ سانتیمتر انجام داد که طی آن ضخامت لایه‌های آسفالتی و مصالح غیر آسفالتی زیر آن اندازه‌گیری شود. برای تعیین عمق ترک‌های طولی و عرضی و ترک‌های ناشی از خستگی باید از طریق مغزه‌گیری اقدام نمود. قسمت‌هایی از مسیر که تفاوت و تغییرات مصالح متشکله آن زیاد باشد باید بطور جداگانه نمونه‌گیری و طراحی شود، ضمن آنکه لازم است نوع خرابی‌ها و دلایل آنها نیز مشخص گردد.

۳-۲- نمونه‌برداری

روش‌های نمونه‌گیری از آسفالت و مصالح سنگی مورد بازیافت و یا نمونه‌گیری از مصالح RAP درجا و یا حمل شده به کارخانه مرکزی بعد از شکستن و انبار کردن بطریق زیر انجام می‌شود:

- + نمونه‌گیری مخلوط‌های آسفالتی ASTM – D۹۷۹ (آشتو T۱۶۸)
- + نمونه‌گیری مصالح سنگی ASTM – D۷۵
- + نمونه‌گیری قیر ASTM – D۱۴۰
- + نمونه‌گیری از خرده آسفالت RAP، در کارخانه آسفالت و یا در محل ASTM – D۹۷۹

۴-۲- آزمایش مصالح خرده آسفالت RAP

این مصالح باید مورد آزمایش‌های ذیل قرار گیرد:

- + دانه‌بندی مصالح RAP
- + درصد رطوبت مصالح RAP
- + درصد قیر موجود در RAP
- + کند روانی قیر برحسب پوآز و سانتی استکس
- + درجه نفوذ قیر در ۲۵ درجه سانتیگراد
- + نقطه نرمی قیر

نتایج آزمایش‌های فوق برای محاسبه مقدار قیر خالص جدید مصرفی و مقدار مصالح سنگی جدید مورد نیاز است. ضمناً مصالح سنگی RAP و قیر آن باید با آزمایش‌های زیر بررسی شود.

۲-۴-۱- ارزیابی مصالح سنگی

مصالح سنگی RAP بعد از آزمایش جداسازی قیر باید با آزمایش‌های زیر ارزیابی شود، ضمن آنکه قبل از این آزمایشات درصد رطوبت مصالح نیز با روش آشتو T ۱۱۰ اندازه‌گیری شود.

- + دانه‌بندی (آشتو T_{۳۰} یا ASTM – D_{۵۴۴۴})
- + تشریح نظری مصالح سنگی از نظر سنگ‌شناسی و کانی‌های متشکله
- + درصد سایش (لوس آنجلس) (آشتو T_{۹۶} یا ASTM – C_{۱۳۱})
- + استحکام (آشتو T_{۱۰۴})
- + درصد شکستگی مصالح مانده روی الک ۴
- + درصد سنگدانه‌های سوزنی و پولکی (BS – ۸۱۲)
- + چسبندگی با قیر (آشتو T_{۱۸۲})
- + وزن مخصوص و جذب آب (آشتو T_{۸۴,۸۵})

۲-۴-۲- تعیین درصد قیر RAP

برای تعیین درصد قیر RAP و نهایتاً محاسبه درصد قیر جدید مصرفی برای بازیافت گرم انجام آزمایش جداسازی قیر مطابق ASTM – D_{۲۱۷۲} و یا ASTM – D_{۶۳۰۷} (روش سوزاندن مخلوط آسفالتی) روی مصالح RAP انجام می‌شود.

۲-۴-۳- آزمایش‌های قیر بازیافتی^۱

قیر حاصل از آزمایش جداسازی باید با روش ASTM – D_{۱۸۵۶} یا ASTM – D_{۵۴۰۴} بازیابی شده و روی آن آزمایش‌های زیر انجام شود:

- + درجه نفوذ ASTM – D_۵ (آشتو T_{۴۹})
- + نقطه نرمی ASTM – D_{۳۶} (آشتو T_{۵۳})

+ کندروانی برحسب پواز در ۶۰ درجه سانتیگراد ASTM – D۲۱۷۱
 + کندروانی برحسب سانتی استکس در ۱۳۵ درجه سانتیگراد ASTM – D۲۱۷۰
 آزمایش جداسازی مواد متشکله قیر ASTM – D۴۱۲۴ جهت تعیین درصد آسفالتین^۱، مواد معطره قطبی^۲، مواد معطره نفتینیک^۳ و مواد اشباع^۴، در صورت لزوم.

۲-۵- قیر خالص جدید

قیر خالص جدید با کندروانی کم و یا درجه نفوذ بالا که به مخلوط RAP و مصالح سنگی برای تهیه آسفالت گرم جدید افزوده می‌شود دو هدف را تأمین می‌کند. نخست اینکه مقدار قیر مورد نیاز در آسفالت را برای انطباق با الزامات طرح اختلاط افزایش می‌دهد، ثانیاً ضمن اختلاط با قیر سخت شده موجود در RAP نوع و خواص قیر مورد نظر پروژه را که به شرایط محیطی و نوع ترافیک بستگی دارد، تأمین می‌نماید.

بطور کلی قیرهای با درجه نفوذ بالا مانند ۸۵-۱۰۰، ۲۰۰-۱۵۰، یا ۳۰۰-۲۰۰ مطابق مشخصات ASTM – D۹۴۶ (آشتو M۲۰)، یا قیرهای با کندروانی کمتر مانند AC۲/۵ و AC۵ و یا AC۱۰ بترتیب با کندروانی ۲۵۰±۵۰، ۵۰۰±۱۰۰، ۱۰۰۰±۲۰۰ پواز منطبق با مشخصات ASTM – D۳۳۸۱ (مطابق آشتو M۲۲۶)، برای اختلاط با قیر سخت شده موجود جهت اصلاح کندروانی و یا درجه نفوذ آن که باید منطبق با مشخصات قیر پروژه باشد، انتخاب می‌شوند.

۲-۶- جوان‌کننده‌ها

جوان‌کننده‌ها از مشتقات نفتی تشکیل شده‌اند که برای اصلاح کندروانی و یا درجه نفوذ قیر موجود در مصالح روسازی مصرف می‌شوند. این مواد ضمن آنکه خواص قیر را دارند، می‌توانند به جای قیر اضافی مورد نیاز نیز عمل کنند. عامل اصلی در انتخاب نوع جوان‌کننده‌ها، خصوصیات کندروانی (برحسب پواز) و یا درجه نفوذ (برحسب $\frac{1}{10}$ میلیمتر) قیر سخت شده موجود و کیفیت قیر حاصل از اختلاط قیر سخت شده با این ترکیبات است. این ترکیبات باید با مشخصات ASTM – D۴۵۵۲ ویژه مصرف در عملیات بازیافت گرم، و یا ASTM – D۵۵۰۵ که شامل مواد امولسیون‌ی است و در عین حال نیز خاصیت قیری دارد و برای بازیافت گرم و سرد مصرف می‌شوند، انطباق داشته باشند.

انتخاب نوع جوان‌کننده‌های منطبق با مشخصات ASTM – D۴۵۵۲ به درصد RAP مصرفی در بازیافت گرم بستگی دارد. برای مثال چنانچه مصرف بیش از ۳۰ درصد باشد باید از انواع رقیق آن شامل RA۱، RA۵، RA۲۵ و RA۷۵ و برای کمتر از ۳۰ درصد از انواع غلیظ آن یعنی RA۲۵۰ و RA۵۰۰ استفاده شود.

جوان‌کننده‌های منطبق با مشخصات ASTM – D۵۵۰۵ در سه گروه ER-1، ER-2 و ER-3 با کندروانی سی بولت فورل ASTM – D۸۸ و برحسب ثانیه در ۵۰ درجه سانتیگراد تقسیم‌بندی شده‌اند. نوع ER-1 آن به عنوان جوان‌کننده قیر سخت شده

و ER-3 و ER-2 همزمان، عملکرد جوان کننده‌ها و قیر اضافی را هم دارند. اختلاط جوان کننده‌ها با قیر سخت شده به نسبت‌های تعیین شده در مرحله طراحی و تأثیر آن در اصلاح کندروانی قیر موجود باید عملاً براساس آزمایشی که روی قیر حاصل از اختلاط جوان کننده و قیر سخت شده انجام می‌شود به اثبات برسد.

۷-۲- مصالح سنگی RAM

در بسیاری از حالات در جریان بازیافت گرم، به منظور اصلاح دانه‌بندی و انطباق آن با مشخصات و یا افزایش مقاومت مخلوط نهایی بازیافت، استفاده از مصالح سنگی RAM که در جریان بازیافت مصالح روسازی بدست آمده ضروری است. مصرف این مصالح برای استفاده نیاز به آزمایش‌هایی دارد که در بند ۲-۴-۱ برای مصالح RAP توضیح داده شد.

در انتخاب این مصالح و درصد وزنی آنها برای اختلاط با RAP برای تولید انواع مخلوط آسفالتی شامل اساس قیری یا بیندر و یا توپکا، معیارهای فنی مربوطه از جمله خصوصیات سازه‌ای و ضریب لایه آنها باید مدنظر قرار گیرد.

۸-۲- مخلوط مصالح RAP و مصالح سنگی جدید

در صورت مصرف مخلوطی از مصالح RAP, RAM و مصالح سنگی جدید برای تهیه آسفالت گرم مورد بازیافت، رعایت کلیه مشخصات مندرج در آئین‌نامه روسازی راه، فصل نهم، موضوع آسفالت گرم و مصالح سنگی مصرفی الزامی است.

۹-۲- آزمایش‌های مصالح و آسفالت جدید

در صورتیکه استفاده از آسفالت گرم جدید و اختلاط آن به نسبت تعیین شده با آسفالت RAP در طرح پیش‌بینی شده باشد، آزمایش‌های جداگانه مصالح سنگی و قیر آسفالت گرم جدید، و مخلوط نهایی آسفالت گرم جدید با RAP بشرح زیر باید انجام شود و نتایج برای هر یک از این مصالح و مواد با مشخصات مندرج در آئین‌نامه روسازی راه (نشریه ۲۳۴) و مشخصات فنی عمومی راه (نشریه ۱۰۱) مطابقت داشته باشد.

- آزمایش‌های بند ۲-۴-۱ برای مصالح سنگی
- آزمایش‌های بند ۲-۴-۳ برای قیر مصرفی در آسفالت گرم جدید و قیر بازیافتی از مخلوط RAP و قیر بازیافتی از مخلوط نهایی آسفالت گرم جدید و RAP.
- آزمایش‌های مشروحه زیر روی آسفالت گرم جدید و مخلوط نهایی آسفالت جدید با آسفالت RAP :
 - آزمایش‌های مارشال مطابق ASTM – D1559 یا ASTM – D5881 و تعیین مشخصات آسفالت
 - آزمایش مارشال در شرایط خشک و اشباع و محاسبه ضریب دوام مطابق نشریه ۱۰۱ و آئین‌نامه روسازی راه (نشریه ۲۳۴).
 - آزمایش T283 آستو بشرح آئین‌نامه روسازی راه، فصل نهم، برای تعیین حساسیت مخلوط در مقابل آب و رطوبت و محاسبه نسبت مقاومت کششی غیرمستقیم اشباع به مقاومت خنک.
 - آزمایش دانه‌بندی، درصد شکستگی و درصد قیر.

نتایج حاصل از آزمایش‌ها برای قیر، مصالح سنگی و مخلوط آسفالتی باید با مشخصات مندرج در آئین‌نامه روسازی راه (نشریه ۳۳۴)، مطابقت داشته باشد.

فصل سوم

طرح اختلاط بازیافت گرم

۳-۱- کلیات

این فصل مراحل مربوط به تعیین نسبت مصالح خردده آسفالت، مصالح سنگی جدید، انتخاب نوع و مقدار قیر خالص جدید (و در صورت لزوم مواد جوان کننده)، برای تهیه طرح اختلاط آسفالت بازیافت گرم را که باید با خواص آسفالت گرم و بتن آسفالتی و مشخصات فنی آن برابری داشته باشد، ارائه می نماید.

مبانی این طراحی را روش مارشال منطبق با ASTM-D1559 و یا روش اصلاح شده مارشال مطابق ASTM-D5881 تشکیل می دهد. چنانچه مهندس مشاور پروژه، روش و دستورالعمل دیگری را برای طرح اختلاط مدنظر داشته باشد استفاده از آن با حفظ کامل مسئولیت مشاور و تصویب کارفرما به مورد اجراء گذاشته می شود، ضمن اینکه جزئیات این روش باید در مشخصات فنی خصوصی پروژه قید شود.

۳-۲- مراحل طرح اختلاط

طرح اختلاط بازیافت گرم براساس اطلاعاتی که از نمونه گیری و ارزیابی مصالح سنگی و قیر روسازی آسفالتی مورد بازیافت بشرح فصل دوم بدست آمده تهیه می گردد. جزئیات مراحل طراحی در جدول شماره ۳-۱ نشان داده شده که خلاصه آن بشرح زیر است:

۳-۲-۱- تعیین مقدار و درصد وزنی مخلوط بازیافتی یا RAP و مصالح سنگی جدید

۳-۲-۲- محاسبه میزان قیر تقریبی مورد نیاز با توجه به دانه بندی طرح اختلاط

۳-۲-۳- تعیین درصد قیر جدید و یا ماده جوان کننده برای مخلوط مورد طراحی

۳-۲-۴- تعیین نوع قیر جدید و یا ماده جوان کننده منطبق با مشخصات فنی طرح

۳-۲-۵- آزمایش های تعیین درصد قیر بهینه مخلوط بازیافت مورد طراحی با استفاده از روش مارشال مطابق با ASTM-D1559.

جدول ۱-۳ مراحل طرح اختلاط

۱	کلیه آزمایش‌های بند ۲-۴ و زیربندهای آن مشروحه در فصل دوم برای مصالح RAP و قیر آن
۲	کلیه آزمایش‌های بند ۲-۷ مشروحه در فصل دوم برای مصالح سنگی RAM و مصالح سنگی جدید در صورتیکه در طراحی مورد استفاده قرار گیرند
۳	تعیین درصد وزنی هر یک از مصالح RAP, RAM و مصالح سنگی جدید اضافی در مخلوط بازیافت مورد طراحی براساس دانه‌بندی طرح اختلاط
۴	برآورد تقریبی درصد کل قیر مورد نیاز برای مخلوط بازیافت براساس دانه‌بندی طرح اختلاط
۵	تعیین درصد قیر جدید و یا ماده جوان‌کننده برای مخلوط بازیافت
۶	انتخاب نوع قیر جدید و یا ماده جوان‌کننده برحسب کندروانی و یا درجه نفوذ بشرح بندهای ۲-۵ و ۲-۶ فصل دوم
۷	آزمایش‌های طرح اختلاط با روش مارشال و محاسبات مربوطه
۸	بهینه‌سازی طرح و انتخاب فرمول کارگاهی

۳-۳- تهیه طرح اختلاط

طرح اختلاط مطابق جدول شماره ۱-۳ و بشرح جزئیات زیر تهیه می‌شود:

۳-۳-۱- ارزیابی مصالح بازیافت

نتایج آزمایش‌های انجام شده از مصالح RAP به شرح بند ۲-۴ و زیربندهای آن بشرح فصل دوم در این مرحله مورد استفاده قرار می‌گیرد.

۳-۳-۲- مصالح سنگی جدید

در صورت استفاده از مصالح RAM و مصالح سنگی جدید جهت اصلاح کمی و کیفی مخلوط بازیافت نتایج آزمایش‌های انجام شده روی آنها بشرح بند ۲-۷ فصل دوم در این مرحله مورد استفاده قرار می‌گیرد.

۳-۳-۳- تعیین درصد وزنی مصالح سنگی

۳-۳-۳-۱- درصد وزنی ترکیب RAP, RAM و مصالح سنگی جدید (در صورت لزوم) با توجه به دانه‌بندی طرح اختلاط در این مرحله تعیین می‌شود.

بعنوان مثال چنانچه برای انطباق با دانه‌بندی طرح اختلاط و شرایط پروژه نسبت‌های زیر انتخاب شود:

مصالح RAP	۲۵ درصد
مصالح سنگی RAM	۶۰ درصد
مصالح سنگی جدید	۱۵ درصد
جمع کل	۱۰۰ درصد

جمع درصدهای وزنی مصالح سنگی جدید و مصالح RAM با علامت r نشان داده می‌شود که در این مثال $r = 75$ درصد

می‌باشد.

جدول شماره ۳-۲-۳ روش محاسبه قیر و هر یک از انواع مصالح شامل RAP, RAM و مصالح سنگی جدید را بر حسب وزن مصالح سنگی یا وزن کل مخلوط بازیافتی نشان می‌دهد.

جدول ۳-۲ روابط تعیین نسبت مصالح و قیر مخلوط بازیافت گرم

اجزاء تشکیل دهنده مخلوط	برحسب وزن مخلوط بازیافت	برحسب وزن مصالح سنگی
P_{nb} - درصد قیر جدید	$\frac{(100^2 - rP_{sb})P_b}{100(100 - P_{sb})} - \frac{(100 - r)P_{sb}}{100 - P_{sb}}$	$P_b - \frac{(100 - r)P_{sb}}{100}$
P_{sm} - درصد RAP	$\frac{100(100 - r)}{100 - P_{sb}} - \frac{(100 - r)P_b}{100 - P_{sb}}$	$\frac{(100 + P_{sb})(100 - r)}{100}$
P_{ns} - درصد مصالح سنگی جدید و یا RAM	$r - \frac{rP_b}{100}$	r
جمع کل قیر و مصالح سنگی در مخلوط بازیافت	100	$100 + P_b$
R - درصد قیر جدید نسبت به مقدار کل قیر	$\frac{100P_{nb}}{P_b}$	$\frac{100P_{nb}}{P_b}$

که در آن :

$$P_{sm} = \text{درصد RAP در مخلوط بازیافت.}$$

$$P_b = \text{درصد قیر برآورد شده برای مخلوط بازیافت.}$$

$$P_{sb} = \text{درصد قیر موجود در RAP}$$

$$P_{nb} = \text{درصد قیر اضافی یا مواد جوان کننده (در صورت نیاز) برای مخلوط بازیافت.}$$

$$P_{ns} = \text{درصد مصالح سنگی اضافی (مصالح جدید سنگی و یا RAM)}$$

$$r = \text{جمع درصد مصالح سنگی جدید و RAM نسبت به کل مصالح سنگی مخلوط بازیافت}$$

$$R = \text{درصد قیر جدید یا مواد جوان کننده (در صورت نیاز) نسبت به کل قیر برحسب مخلوط بازیافت یا مصالح سنگی مخلوط}$$

۳-۳-۴ - برآورد درصد قیر مخلوط بازیافت

میزان قیر خالص مورد نیاز در مخلوط بازیافت را می‌توان با آزمایش CKE (ASTM-D ۵۱۴۸) تعیین نمود و یا با فرمول تجربی

زیر برآورد کرد :

$$P = 0.35a + 0.45b + Kc + F$$

که در آن :

$$P = \text{درصد قیر بر حسب مخلوط آسفالتی}$$

a = درصد مصالح سنگی مانده روی الک نمبر ۸ (۲/۳۶ میلیمتر) که از دانه‌بندی طرح اختلاط بدست می‌آید. (برحسب عدد کامل بیان می‌شود).

b = درصد مصالح رد شده از الک نمبر ۸ و مانده روی الک نمبر ۲۰۰ (برحسب عدد کامل)

c = درصد رد شده از الک نمبر ۲۰۰ (برحسب عدد کامل)

$K = 0.15$ برای درصد رد شده از الک نمبر ۲۰۰ از ۱۱ تا ۱۵ درصد

0.18 برای درصد رد شده از الک نمبر ۲۰۰ از ۶ تا ۱۰ درصد

0.20 برای درصد رد شده از الک نمبر ۲۰۰ معادل ۵ درصد یا کمتر

F = از صفر تا ۲ برحسب اینکه میزان جذب قیر مصالح کم یا زیاد باشد. در صورتیکه نتایج و اطلاعاتی در دست نباشد از رقم ۰/۷ می‌توان استفاده کرد.

۳-۳-۵ - محاسبه درصد قیر جدید برای مخلوط بازیافت

درصد قیر جدید و یا ماده جوان‌کننده، که به مخلوط بازیافت اضافه می‌شود بر حسب وزن مخلوط بازیافت، از رابطه زیر که در جدول ۳-۲ نشان داده شده است تعیین می‌گردد:

$$P_{nb} = \frac{(100^2 - rP_{sb})P_b}{100(100 - P_{sb})} - \frac{(100 - r)P_{sb}}{100 - P_{sb}}$$

چنانچه P_{sb} یا درصد قیر موجود در RAP، در مرحله ارزیابی مخلوط بازیافت بعنوان مثال ۴/۷ درصد، و $r = 75$ فرض شود، درصد قیر جدید (یا جوان‌کننده) که باید به مخلوط اضافه شود با استفاده از رابطه بالا برابر است با:

$$P_{nb} = \frac{(100^2 - 75 \times 4/7)P_b}{100(100 - 4/7)} - \frac{(100 - 75)4/7}{100 - 4/7} = 1/01P_b - 1/23$$

این مقدار قیر برحسب درصد نسبت به وزن کل مخلوط بازیافت محاسبه شده است.

۳-۳-۶ - انتخاب قیر جدید

۳-۳-۶-۱ - هدف از انتخاب قیر جدید (یا مواد جوان‌کننده) قیری است که کندروانی و یا درجه نفوذ حاصل از اختلاط آن با قیر موجود در RAP با کندروانی و یا درجه نفوذ قیر هدف که در مشخصات تعیین شده است، انطباق داشته باشد. کندروانی و یا درجه نفوذ قیر هدف به شرایط جوی - اقلیمی و نوع ترافیک محور (سبک، متوسط و سنگین) ارتباط دارد و باید در مشخصات فنی خصوصی پروژه قید شود.

قیلهایی که براساس کندروانی و یا درجه نفوذ درجه‌بندی می‌شوند باید به ترتیب با مشخصات ASTM – D۳۳۸۱ و ASTM – D۹۴۶ برابری داشته باشند.

۳-۳-۶-۲- جوان‌کننده‌های مصرفی برای اصلاح کندروانی (و یا درجه نفوذ) قیر موجود در RAP باید با مشخصات ASTM – D۴۵۵۲ ویژه بازیافت گرم و یا ASTM – D۵۵۰۵ که شامل جوان‌کننده‌های امولسیون است و در عین حال نیز خاصیت قیری دارد و می‌تواند به جای قیر اضافی مورد نیاز عمل کند، منطبق باشند. شرح این مشخصات در بندهای ۲-۵ و ۲-۶ فصل دوم ارائه شده است.

این جوان‌کننده‌ها از مشتقات نفتی تشکیل شده‌اند که به طور کلی با قیر موجود در مخلوط بازیافت سازگاری دارند.

۳-۳-۶-۳- اگر کندروانی برای قیر مخلوط بازیافت مورد طرح، ۲۰۰۰ پوآز انتخاب شود که معادل کندروانی متوسط قیر AC – ۲۰ (نظیر قیر ۴۰ تا ۶۰ برحسب درجه نفوذ) می‌باشد، می‌توان با استفاده از جدول شماره ۳-۲ و شکل شماره ۳-۱ مقدار و نوع آن را به شرح مراحل زیر تعیین کرد:

الف - درصد این قیر اضافی یا R طبق جدول ۳-۲ و برحسب وزن مخلوط بازیافت معادل است با :

$$R = \frac{100 \cdot P_{nb}}{P_b}$$

ب - چنانچه P_b یا قیر برآورد شده مطابق بند ۳-۳-۴، معادل ۶/۲ درصد فرض شود لذا درصد R بشرح نتیجه بند ۳-۳-۵ مساوی است :

$$P_{nb} = 1/0.1 P_b - 1/23$$

$$P_b = 6/2$$

$$P_{nb} = 1/0.1 \times 6/2 - 1/23 = 5$$

$$R = \frac{100 \cdot P_{nb}}{P_b} = \frac{100 \times 5}{6/2} = 81$$

ج - برای انتخاب نوع قیر جدید به طریق زیر عمل می‌شود:

اگر کندروانی قیر موجود در RAP برحسب پوآز در ۶۰ درجه سانتیگراد ۷۵۰۰ پوآز (یعنی $7/5 \times 10^4$) فرض شود این رقم را در محور عمودی سمت چپ شکل شماره ۳-۱ با نقطه A مشخص می‌کنیم. در محور افقی این شکل که معرف درصد وزنی قیر جدید است یعنی از نقطه ۸۱ درصد خطی عمودی رسم می‌کنیم تا خط افقی معرف ۲۰۰۰ پوآز را در نقطه B قطع کند. با ترسیم خط مستقیم AB و تلاقی آن با محور عمودی سمت راست شکل ۳-۱ نقطه C بدست می‌آید. نقطه C معرف نوع قیر جدیدی است که کندروانی آن مطابق محور عمودی سمت راست حدود 8×10^2 یعنی ۸۰۰ پوآز می‌باشد که با قیر AC – ۱۰ مشخصات ASTM – D۳۳۸۱ هماهنگی دارد زیرا کندروانی این قیر طبق مشخصات یاد شده 1000 ± 200 پوآز می‌باشد.

با انتخاب این قیر جدید و اختلاط آن با مصالح RAP که کندروانی قیر آن ۷۵۰۰ پوآز اندازه‌گیری شده قیری بدست

می‌آید که کندروانی آن طبق مشخصات مبنا در محدوده ۲۰۰۰ پوآز با رواداری ± ۴۰۰ قرار می‌گیرد. بدیهی است که این نتیجه‌گیری باید در آزمایشگاه قبل از آنکه طرح اختلاط آزمایشی به مورد اجرا گذاشته شود به اثبات برسد.

۳-۳-۴- بطور کلی مصرف ۲۰-۱۵ درصد از مصالح RAP و یا کمتر، نیاز به قیر جدید برای اصلاح خواص قیر سخت شده ندارد. برای بیش از ۲۰ درصد، تغییر نوع قیر بیش از یک درجه و درجهت کاهش کندروانی آن، جایز نیست. به عنوان مثال چنانچه قیر موجود در RAP دارای کندروانی حدود ۴۰۰۰ پوآز باشد (یعنی قیر ۴۰- AC طبق مشخصات ASTM - D۳۳۸۱) قیر جدید معمولاً باید از نوع ۲۰- AC یعنی با کندروانی ± ۴۰۰ انتخاب شود. بدیهی است در مواردی که درصد RAP مصرفی خیلی زیادتر از ۲۰ درصد باشد بررسی لازم برای تعیین نوع دقیق قیر جدید الزامی است.

۳-۳-۷- تعیین اجزاء متشکله مخلوط بازیافت

فرمول‌هایی که برای تعیین نسبت اجزاء متشکله مخلوط بازیافت، شامل درصد قیر جدید یا P_{nb} ، درصد مصالح RAP، RAM و مصالح سنگی جدید، یعنی P_{sm} و P_{ns} ، و درصد قیر جدید نسبت به مقدار کل قیر یا R در جدول ۳-۱ نشان داده شده که در این مرحله باید مورد استفاده قرار گیرد تا اجزاء مخلوط براساس آنها محاسبه و طرح اختلاط آزمایشگاهی تهیه شود.

چنانچه مصالح سنگی از دو منبع RAM و مصالح جدید تأمین شود درصد هر یک از آنها به نحوی که مجموع آن با P_{ns} جدول ۳-۱ تطبیق نماید باید محاسبه گردد. بعنوان مثال اگر:

$$RAM = ۶۰\%$$

$$\text{مصالح سنگی جدید} = ۱۵\%$$

$$RAP = ۲۵\%$$

$$r = ۷۵ = ۶۰ + ۱۵ = RAM + \text{درصد مصالح سنگی جدید}$$

اگر $P_{ns} = ۶۱/۴$ (درصد مصالح سنگی برحسب وزن کل آسفالت) فرض شود، درصد هریک از مصالح RAM و مصالح سنگی جدید نسبت به وزن کل مخلوط بازیافت نیز بشرح زیر محاسبه می‌شوند:

$$RAM = ۶۱/۴ \times (۶۰ \div ۷۵) = ۴۹/۱$$

$$\text{مصالح سنگی جدید} = ۶۱/۴ \times (۱۵ \div ۷۵) = ۱۲/۳$$

$$P_{ns} = ۴۹/۱ + ۱۲/۳ = ۶۱/۴$$

۳-۳-۸- طرح اختلاط و تعیین دانه‌بندی کارگاهی

برای تعیین طرح اختلاط آزمایشگاهی و فرمول کارگاهی به ذکر دو مثال زیر بسنده می‌شود:

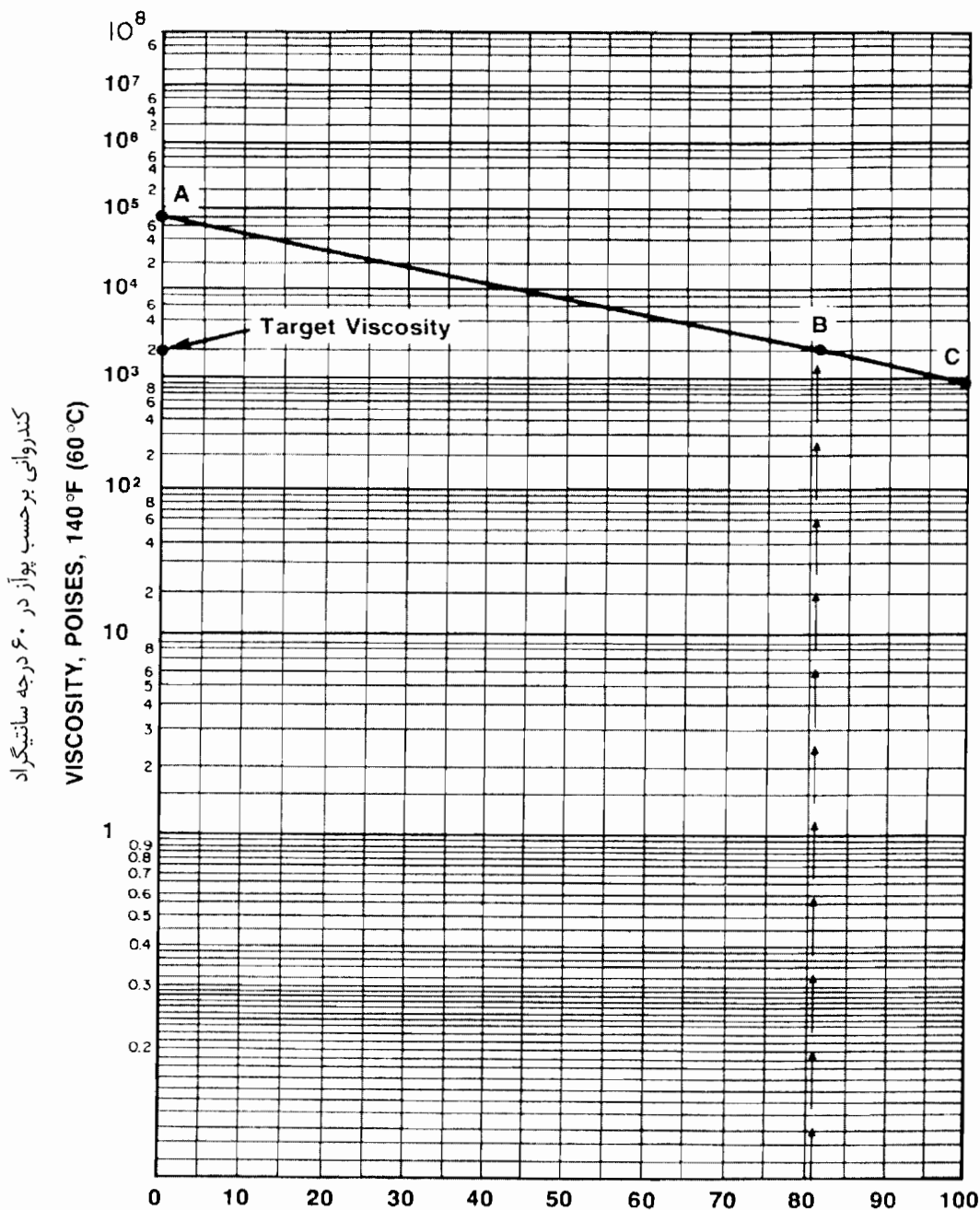
۳-۳-۸-۱- مثال اول

الف - داده‌ها شامل موارد زیر است:

۱ - درصد قیر RAP دریک پروژه بازیافت ۵/۴ و کندروانی این قیر در ۶۰ درجه سانتیگراد معادل ۴۶۰۰۰ پوآز است. نوع قیر

خالص با توجه به شرایط پروژه نوع ۲۰-AC انتخاب شده است که کندروانی آن طبق مشخصات ASTM-D3381 برابر 2000 ± 400 پواز است.

۲- در طرح نسبت وزنی مصالح RAP و RAM و مصالح سنگی جدید به ترتیب ۳۰ و ۶۰ و ۱۰ درصد انتخاب شده که دانه‌بندی هر یک از آنها در جدول شماره ۳-۳ و دانه‌بندی حاصل از اختلاط آنها در جدول ۳-۴ نشان داده است.



درصد وزنی قیر جدید (یا ماده جوان‌کننده قیر) در مخلوط بازیافت برحسب مقدار کل قیر، R

شکل ۳-۱ نمودار انتخاب قیر جدید برحسب کندروانی

جدول ۳-۳- دانه‌بندی مصالح سنگی مصرفی در پروژه

الک ها	RAP درصد رد شده	RAM درصد رد شده	مصالح جدید درصد رد شده
۲۵ میلیمتر (یک اینچ)	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰
۱۹ میلیمتر ($\frac{3}{4}$ اینچ)	۹۸	۹۲	۱۰۰
۹/۵ میلیمتر ($\frac{3}{8}$ اینچ)	۸۵	۴۵	۱۰۰
۴/۷۵ میلیمتر (شماره ۴)	۶۵	۱۹	۹۴
۲/۳۶ میلیمتر (شماره ۸)	۵۲	۵	۸۵
۰/۳ میلیمتر (شماره ۵۰)	۲۲	۱	۲۶
۰/۰۷۵ میلیمتر (شماره ۲۰۰)	۸	۰	۶

جدول شماره ۳-۴- دانه‌بندی مخلوط مصالح سنگی بازیافت

الک ها	RAP درصد رده شده	RAM درصد رده شده	مصالح جدید درصد رده شده	دانه بندی مخلوط درصد رده شده
۲۵ میلیمتر (یک اینچ)	$۱۰۰ \times ۰/۳ = ۳۰$	$۱۰۰ \times ۰/۶ = ۶۰$	$۱۰۰ \times ۰/۱ = ۱۰$	۱۰۰
۱۹ میلیمتر ($\frac{3}{4}$ اینچ)	$۹۸ \times ۰/۳ = ۲۹/۴$	$۹۲ \times ۰/۶ = ۵۵/۲$	$۱۰۰ \times ۰/۱ = ۱۰$	۹۴/۶
۹/۵ میلیمتر ($\frac{3}{8}$ اینچ)	$۸۵ \times ۰/۳ = ۲۵/۵$	$۴۵ \times ۰/۶ = ۲۲$	$۱۰۰ \times ۰/۱ = ۱۰$	۶۲/۵
۴/۷۵ میلیمتر (شماره ۴)	$۶۵ \times ۰/۳ = ۱۹/۵$	$۱۹ \times ۰/۶ = ۱۱/۴$	$۹۴ \times ۰/۱ = ۹/۴$	۴۰/۳
۲/۳۶ میلیمتر (شماره ۸)	$۵۲ \times ۰/۳ = ۱۵/۶$	$۵ \times ۰/۶ = ۳$	$۸۵ \times ۰/۱ = ۸/۵$	۲۷/۱
۰/۳ میلیمتر (شماره ۵۰)	$۲۲ \times ۰/۳ = ۶/۶$	$۱ \times ۰/۶ = ۰/۶$	$۲۶ \times ۰/۱ = ۲/۶$	۹/۸
۰/۰۷۵ میلیمتر (شماره ۲۰۰)	$۸ \times ۰/۳ = ۲/۴$	$۰ \times ۰/۶ = ۰$	$۶ \times ۰/۱ = ۰/۶$	۳

۳- چنانچه دانه‌بندی مخلوط بازیافت از نوع بیندر و مطابق دانه‌بندی شماره ۳ جدول شماره ۹-۱ آئین‌نامه روسازی نشریه شماره ۲۳۴ انتخاب شده باشد، مقایسه آن با دانه‌بندی حاصل از اختلاط ۳۰ درصد RAP، ۶۰ درصد RAM و ۱۰ درصد مصالح جدید بشرح جدول شماره ۳-۴ موید انطباق دانه‌بندی مخلوط با مشخصات است. این مقایسه در جدول ۳-۵ نشان داده شده است.

جدول ۳-۵- مقایسه دانه‌بندی مخلوط با دانه‌بندی شماره ۳ جدول ۱-۹ آئین‌نامه روسازی راه

دانه بندی مشخصات درصد رد شده	دانه بندی مخلوط بازیافت درصد رده شده	الک ها
۱۰۰	۱۰۰	۲۵ میلیمتر (یک اینچ)
۹۵-۱۰۰	۹۴/۶	۱۹ میلیمتر (۳/۴ اینچ)
۵۶-۸۰	۶۲/۵	۹/۵ میلیمتر (۳/۸ اینچ)
۳۵-۶۵	۴۰/۳	۴/۷۵ میلیمتر (شماره ۴)
۲۳-۴۹	۲۷/۱	۲/۳۶ میلیمتر (شماره ۸)
۵-۱۹	۹/۸	۰/۳ میلیمتر (شماره ۵۰)
۲-۸	۳	۰/۰۷۵ میلیمتر (شماره ۲۰۰)

ب - ستاده ها

۱- برآورد درصد قیر مورد نیاز

درصد قیر مورد نیاز مطابق بند ۳-۳-۴ و با توجه به دانه‌بندی ستون شماره ۲ جدول ۳-۵ معادل است با :

$$P = 0.35a + 0.45b + KC + F$$

$$a = 100 - 27/1 = 72/9$$

$$b = 27/1 - 3 = 24/1$$

$$F = 1$$

$$K = 0.2$$

$$C = 3$$

لذا خواهیم داشت :

$$P = (0.35 \times 72/9) + (0.45 \times 24/1) + (0.2 \times 3) + 1 = 5/2 = P_b$$

۲- برآورد درصد قیر جدید

درصد قیر جدید با توجه به فرمول جدول شماره ۳-۱ شرح زیر محاسبه می‌شود:

$$P_{nb} = \frac{(100^2 - rP_{sb})P_b}{100(100 - P_{sb})} - \frac{(100 - r)P_{sb}}{100 - P_{sb}}$$

داده ها از زیر بند الف از بند ۳-۳-۸-۱ :

$$P_{sb} = 5/4$$

r = % RAM + % مصالح سنگی جدید

$$r = 60 + 10 = 70$$

از روابط فوق خواهیم داشت:

$$P_{nb} = 1/2 P_b - 1/71$$

$$P_{nb} = 1/2 \times 5/2 - 1/71 = 3/6$$

درصد قیر جدید یا R برحسب کل قیر مخلوط بازیافت از رابطه مربوطه در جدول ۱-۳ و بشرح زیر محاسبه می‌شود:

درصد

$$R = \frac{100 \times P_{nb}}{P_b} = \frac{100 \times 3/6}{5/2} = 69$$

۴-۳- انتخاب نوع قیر

با استفاده از شکل ۲-۳ و تعیین نقطه A به عنوان معرف قیر موجود در RAP با کندروانی در ۶۰ درجه سانتیگراد معادل ۴۶۰۰۰ پواز ($4/6 \times 10^6$) و قیر مبنا با کندروانی 2000 ± 400 (قیر ۲۰-AC) و انتخاب $R = 69$ روی محور افقی و ترسیم خط عمود از این نقطه و تقاطع آن با محور افقی معرف کندروانی ۲۰۰۰ پواز در نقطه B و ترسیم خط مستقیم ABC، نوع قیر جدید یا جوان کننده با کندروانی نظیر نقطه C انتخاب می‌شود. کندروانی قیر جدید مطابق شکل حدود $700 = 7 \times 10^2$ پواز است (حدود قیر ۱۰-AC کندروانی 1000 ± 200) که اختلاط آن با قیر RAP و با نسبت‌های محاسبه شده، قیری بدست می‌آید که کندروانی آن با قیر مبنا یعنی ۲۰-AC دارای کندروانی 2000 ± 400 مطابقت دارد. این انطباق باید با آزمایش روی قیر بازیافتی از RAP و اختلاط آن به نسبت ۶۹ درصد با قیر جدید که از نوع ۱۰-AC می‌باشد به اثبات برسد.

ج - طرح اختلاط مثال شماره یک

با مصرف ۶۰ درصد RAM، ۱۰ درصد مصالح سنگی جدید و ۳۰ درصد RAP تهیه طرح اختلاط با درصدهای مختلف قیر و با تفاوت ± 0.5 درصد، قابل اجرا است و لذا باید با استفاده از فرمول‌های جدول شماره ۱-۳ مقادیر مربوط به کلیه اجزاء تشکیل دهنده مخلوط بازیافت را بشرح زیر مورد محاسبه قرار داد.

- از زیر بند الف، بند ۳-۳-۸ درصد قیر RAP: $P_{sb} = 5/4$

- از زیر بند ب، بند ۳-۳-۸ درصد قیر مورد نیاز برای دانه بندی طرح اختلاط: $P_b = 5/2$

- از ردیف ۲ زیربند ب، بند ۳-۳-۸: $P_{nb} = 1/0.2 P_b - 1/71$

- و برای سایر اجزاء نظیر P_{sm} و P_{ns} بشرح جدول ۱-۳ خواهیم داشت:

$$P_{sm} = \frac{100(100-r)}{100-P_{sb}} - \frac{(100-r)P_b}{100-P_{sb}}$$

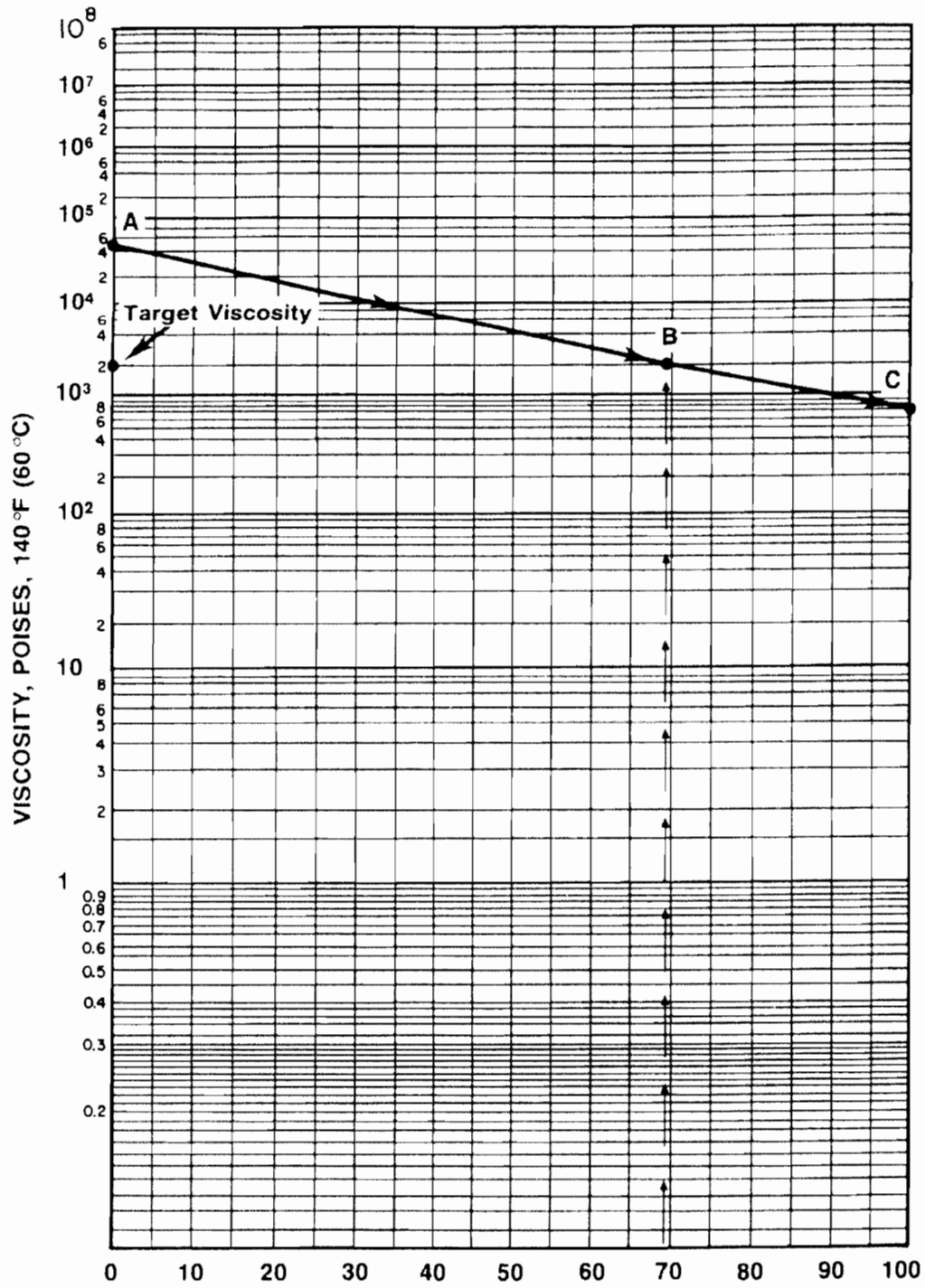
$$P_{sm} = \frac{100(100-70)}{100-5/4} - \frac{(100-70)P_b}{100-5/4} = 31/71 - 0/32 P_b$$

$$P_{ns} = r - \frac{rP_b}{100}$$

با نتایج فوق مقادیر اجزاء متشکله طرح اختلاط با داده‌ها و ستاده‌های فوق از جدول شماره ۳-۶ بدست می‌آید، و نهایتاً طرح

اختلاط آزمایشگاهی، با ارقام ارائه شده در جدول تهیه می‌شود.

کنندروانی برحسب پوز در ۶۰ درجه سانتیگراد



درصد وزنی قیر جدید (یا ماده جوان کننده) برحسب مقدار کل قیر یا R

شکل ۲-۳ نمودار انتخاب قیر جدید برحسب کندروانی (مثال شماره ۱ زیربند ۳-۳-۱-۸)

جدول ۳-۶ مقادیر اجزاء متشکله مخلوط مورد طراحی برای مثال شماره ۱

۴/۵	۵	۵/۵	۶	۶/۵	درصد مقدار قیر P_b ▲
۲/۹	۳/۴	۳/۹	۴/۴	۴/۹	$P_{nb} = 1/0.2 P_b - 1/71$ درصد قیر جدید
۳۰/۳	۳۰/۱	۲۹/۹	۲۹/۸	۲۹/۶	$P_{sm} = 31/71 - 0.32 P_b$ درصد RAP
۶۶/۸	۶۶/۵	۶۶/۲	۶۵/۸	۶۵/۵	$P_{ns} = 70 - 0.17 P_b$ درصد مصالح سنگی
۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	جمع
۷۵/۳	۵۷	۵۶/۷	۵۶/۴	۵۶/۱	$\%RAM = P_{ns} \times \frac{60}{70} (\times \times)$
۹/۵	۹/۵	۹/۵	۹/۴	۹/۴	$\% \text{ مصالح سنگی جدید} = P_{ns} \times \frac{10}{70} (\times \times)$

توضیحات:

▲ P_b برآورد اولیه قیر است که با توجه به دانه بندی طرح اختلاط (جدول ۳-۵ ستون دوم عمودی) و محاسبه ردیف (ب) از زیربند ۳-۳-۱-۸ مثال اول ۵/۲ درصد محاسبه شده است که با ۵ نقطه قیری هر یک با تفاوت ۰/۵ درصد نسبت به دیگری از ۴/۵ درصد شروع و تا ۶/۵ درصد ادامه می‌یابد و نمونه‌های مارشال با این مقادیر تهیه و مورد آزمایش قرار می‌گیرد.

($\times \times$) درصد RAM و درصد مصالح جدید در مخلوط بازیافت باید برحسب P_{ns} نظیر محاسبه شوند.

لذا برای ۶۰ درصد RAM و ۱۰ درصد مصالح جدید سنگی یعنی $r = 70$ در مثال شماره ۱، بترتیب معادل $P_{ns} \times \frac{60}{70}$ و $P_{ns} \times \frac{10}{70}$ محاسبه می‌شوند که عیناً در جدول ۳-۶ عمل شده است.

۳-۳-۱-۸-۲- مثال دوم

الف - داده ها

مقدار قیر RAP یا P_b در یک پروژه بازیافت ۶ درصد و کندروانی قیر آن در ۶۰ درجه سانتیگراد ۱۰۰/۰۰۰ پوآز است. نسبت‌های وزنی مصرفی RAM و RAP و مصالح سنگی جدید مانند مثال شماره یک بترتیب معادل ۳۰، ۶۰، ۱۰ درصد و در نتیجه $r = 70$ درصد است. دانه بندی مصالح سنگی نیز مشابه مثال شماره یک و لذا برآورد درصد قیر مورد نیاز مخلوط بازیافت یعنی P_b همان ۵/۲ درصد منظور می‌شود.

ب - ستاده ها

۱- درصد قیر جدید

درصد قیر جدید برحسب مخلوط بازیافت از رابطه P_{nb} جدول شماره ۳-۱ بشرح زیر محاسبه می‌شود:

$$P_{nb} = \frac{(100^2 - 70 \times 6) P_b}{100(100 - 6)} - \frac{(100 - 70) 6}{100 - 6} = 1/0.2 P_b - 1/91$$

$$P_b = 5/2$$

$$P_{nb} = 1/0.2 \times 5/2 - 1/91 = 3/4$$

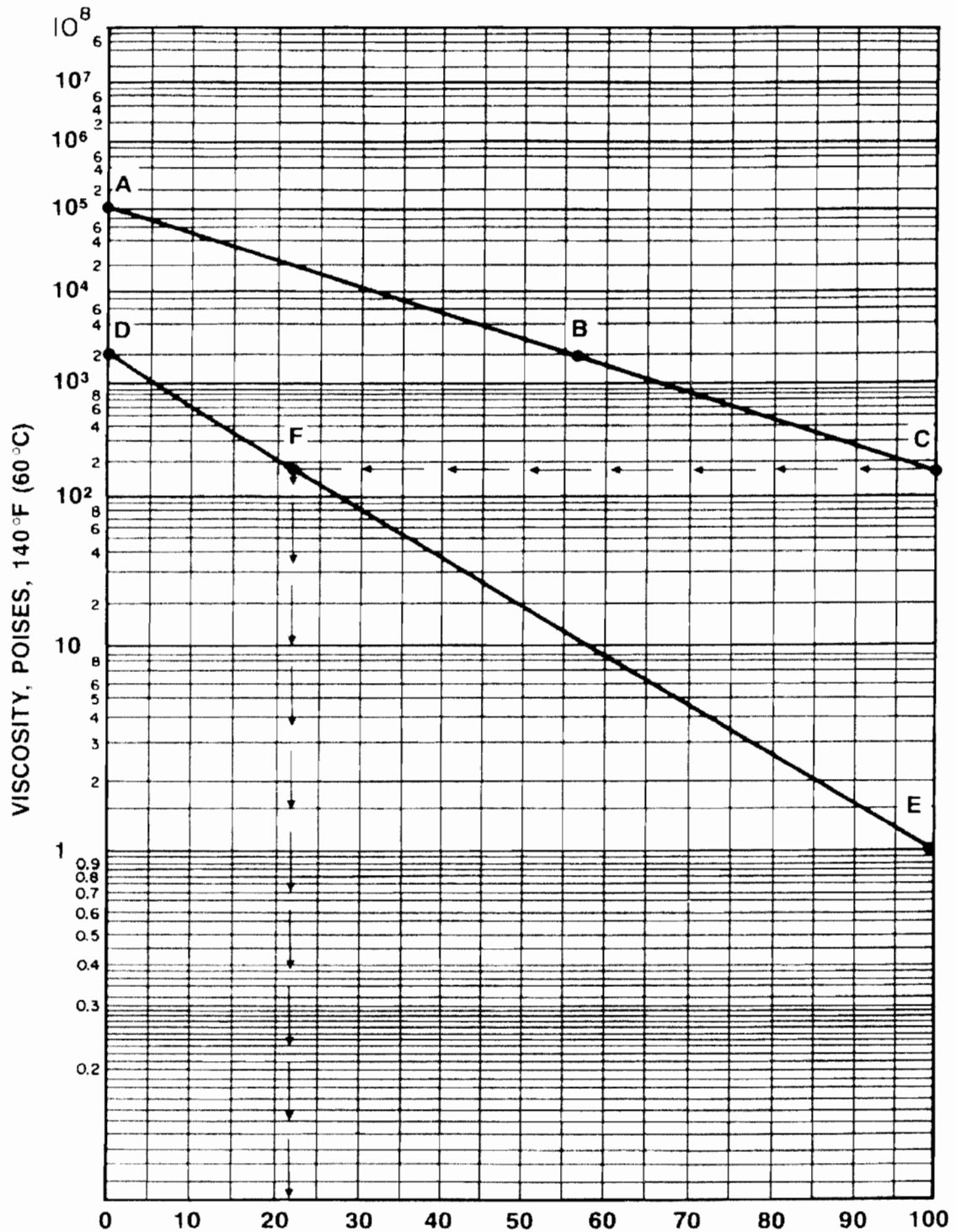
$$R = 100 \times P_{nb} / P_b = 100 \times (3/4 \div 6) = 57\%$$

۲- نوع قیر جدید

با استفاده از شکل شماره ۳-۳ و تعیین نقطه A به عنوان معرف قیر RAP با کندروانی ۱۰۰/۰۰۰ پوآز و قیر مینا با کندروانی ۲۰۰۰ پوآز و $R = 57\%$ درصد که روی محور افقی تعیین می‌شود و ترسیم خط عمود از این نقطه و تقاطع آن با خط افقی معرف کندروانی ۲۰۰۰ به عنوان کندروانی مینا در نقطه B و ترسیم خط ABC، قیر جدید با کندروانی نظیر در نقطه C بدست می‌آید.

کندروانی این قیر مطابق شکل فوق حدود $1/8 \times 10^2$ یا ۱۸۰ پوآز است، یعنی قیر خیلی رقیق می‌باشد. مهندس طراح برای این پروژه به علت شرایط سنگین ترافیک و ایجاد شیار و تغییر شکل ایجاد شده در سطح آسفالت، قیر ۲۰-AC را برای مخلوط بازیافت مورد طراحی انتخاب کرده است که کندروانی آن حدود 400 ± 2000 پوآز است. با انتخاب نقطه D در محور عمودی سمت چپ شکل ۳-۳ که معرف کندروانی ۲۰۰۰ است و استفاده از افزودنی جوان‌کننده‌ای که کندروانی آن ۱ پوآز است و با نقطه E در محور عمودی سمت راست شکل نشان داده شده است خط مستقیم DE را رسم می‌کنیم. برای تعیین درصد مقدار جوان‌کننده مصرفی که می‌تواند ضمن اختلاط با قیر ۲۰-AC کندروانی معادل ۱۸۰ پوآز را تأمین کند، خطی از نقطه C (معرف قیر با کندروانی ۱۸۰ پوآز) به موازات محور افقی رسم می‌کنیم تا خط DE را در نقطه F قطع نماید.

سپس با رسم خط عمود از F و تقاطع آن با محور افقی شکل ۳-۳، R معادل ۲۲ درصد تعیین می‌شود. حال، چنانچه به مخزنی از قیر ۲۰-AC (قیر مینا با کندروانی 400 ± 2000) به نسبت ۲۲ درصد وزنی از ماده جوان‌کننده انتخاب شده با کندروانی ۱ پوآز (معرف نقطه E) مخلوط شود کندروانی قیر حاصل از این اختلاط حدود ۱۸۰ پوآز خواهد شد. اگر این ترکیب به مخلوط بازیافت مورد طراحی که محتوی قیر بسیار سخت و شکننده‌ای با کندروانی ۱۰۰۰۰۰ پوآز است اضافه شود، کندروانی قیر مخلوط بازیافت باید در محدوده 400 ± 2000 پوآز یعنی کندروانی هدف یا قیر AC-20 قرار گیرد که این نتیجه‌گیری باید در آزمایشگاه با آزمایش کندروانی مطابق ASTM D2171 نیز به اثبات برسد.



درصد وزنی قیر جدید و ماده جوان کننده در مخلوط بازیافت، R

شکل ۳-۳ نمودار انتخاب قیر و جوان کننده برحسب کنتروانی (مثال شماره ۲ زیر بند ۳-۳-۸-۲)

ج - طرح اختلاط مثال شماره ۲

با استفاده از داده‌های این مثال بشرح ۳۰ درصد RAP، ۶۰ درصد RAM و ۱۰ درصد مصالح سنگی و $P_{nb} = ۶$ درصد، طرح اختلاط با روش مارشال در محدوده ۴ تا ۶ درصد و مطابق نسبت‌های محاسبه شده بشرح زیر و جدول شماره ۳-۷ در آزمایشگاه تهیه می‌شود.

$$P_{sm} = \frac{100(100-r)}{100-P_{sb}} - \frac{(100-r)P_b}{100-P_{sb}}$$

$$= \frac{100(100-70)}{100-6} - \frac{(100-70)P_b}{100-6}$$

$$= 31/91 - 0/32 P_b$$

$$P_{ns} = r - \frac{rP_b}{100}$$

$$= 70 - \frac{70P_b}{100} = 70 - 0/7 P_b$$

جدول شماره ۳-۷ مقادیر اجزاء متشکله مخلوط مورد طراحی در مثال شماره ۲

۶	۵/۵	۵	۴/۵	۴	درصد مقدار قیر P_b
۴/۲	۳/۷	۳/۲	۳/۴	۲/۲	P_{nb} درصد قیر جدید $= 1/0.2 P_b - 1/91$
۳۰/۰	۳۰/۱	۳۰/۳	۳۰/۱	۳۰/۶	P_{sm} درصد RAP $= 31/91 - 0/32 P_b$
۶۵/۸	۶۶/۲	۶۶/۵	۶۶/۸	۶۷/۲	P_{ns} درصد مصالح سنگی $= 70 - 0/7 P_b$
۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	جمع
۵۶/۴	۵۶/۷	۵۷	۵۷/۳	۵۷/۶	$\%RAM = P_{ns} \times \frac{60}{70} (\times \times)$
۹/۴	۹/۴	۹/۵	۹/۵	۹/۶	$\% مصالح جدید = P_{nb} \times \frac{10}{70} (\times \times)$

(۱) P_b برآورد اولیه قیر است که با توجه به دانه‌بندی طرح اختلاط (جدول ۳-۵ ستون دوم عمودی) و محاسبه ردیف (ب) از زیربند ۳-۳-۸-۱ مثال اول ۵/۲ درصد محاسبه شده است که با پنج نقطه قیری هر یک با تفاوت ۰/۵ درصد به دیگری، از ۴ شروع و تا ۶ درصد منظور گردید که نمونه‌های مارشال با این مقادیر تهیه و مورد آزمایش قرار می‌گیرد.

(۲) وقتی که نمونه‌های مارشال در آزمایشگاه تهیه می‌شود موارد زیر باید رعایت شود.

- مخلوط RAP تا دمای اختلاط طرح، حرارت داده شود.
- درجه حرارت مصالح سنگی جدید ۳۰ درجه بیشتر از دمای اختلاط طرح در آزمایشگاه باشد.
- قبل از افزودن قیر به مخلوط مصالح، اختلاط خشک RAP, RAM و مصالح سنگی جدید، باید انجام شود.
- درجه حرارت RAP باید در حداقل نگهداری شود در غیر اینصورت از روش‌های معمول طرح اختلاط (از نظر درجه حرارت) باید استفاده شود.

۳-۵- انتخاب نهایی فرمول کارگاهی

با استفاده از طرح مارشال و رعایت ضوابط مربوطه، نسبت به انتخاب نهایی فرمول کارگاهی و درصد قیر مطابق روش‌های

فصل چهارم

طرح ضخامت روسازی

طرح روسازی پروژه‌هایی که برای آن بخشی از ضخامت روسازی موجود بطریق بازیافت گرم جایگزین می‌شود، تفاوتی با روش طراحی در نوسازی‌ها و استفاده از مصالح جدید برای کلیه لایه‌های روسازی ندارد و لذا آئین‌نامه روسازی راه، نشریه ۲۳۴ را می‌توان برای محاسبه ضخامت روکش آسفالتی در پروژه‌های بازیافت گرم مورد استفاده قرار داد.

بدیهی است قبل از رعایت ضوابط آئین‌نامه فوق برای طراحی باید اطلاعات بهنگام در مورد ترافیک، مقاومت بستر روسازی و خصوصیات لایه‌های غیر آسفالتی شامل زیراساس و اساس، لایه‌های آسفالتی باقیمانده و لایه بازیافت گرم جدید اجرا شده و شرایط جوی - اقلیمی پروژه تهیه شود.

علاوه بر آن ضروری است مسایل مربوط به زهکشی و نواقص آن مورد توجه قرار گرفته و قبل از اجرای روکش جدید تقویتی، در صورت لزوم نسبت به اصلاح و رفع معایب آن اقدام شود. چنانچه لایه‌های زیراساس و اساس روسازی قدیم در جریان بازیافت دست‌نخورده باقی می‌ماند، انتخاب ضرایب لایه‌ای یا α_i آنها باید از طریق نمونه‌گیری و آزمایش مورد ارزیابی قرار گیرد و چنانچه این ضرایب نیز براساس نتایج حاصل از ارزیابی نیاز به بازنگری و اصلاح داشته باشد اقدام لازم انجام شود.

در مورد ضریب لایه آسفالت گرم حاصل از عملیات بازیافت یا α_i صرفنظر از آزمایش‌های معمولی کنترل کیفیت آسفالت در جریان کار، بشرح مندرج در مشخصات فنی عمومی راه و آئین‌نامه روسازی، انجام آزمایش تعیین ضریب برجهندگی^۱ آسفالت با روش ASTM - D4123 و در دمای ۲۰ درجه سانتیگراد در حین اجرای عملیات ضروری است. نتایج این آزمایش‌ها و مقایسه آنها با ضریب مربوطه در آئین‌نامه روسازی می‌تواند مبنای انتخاب ضریب واقعی در محاسبات روکش تقویتی قرار گیرد.

در نهایت با استفاده از ضوابط مربوط برای بهسازی و روکش بشرح فصل دوازدهم آئین‌نامه روسازی و انتخاب یکی از دو گزینه اصلی شامل روش مستقیم و یا غیر مستقیم، ضخامت روکش محاسبه و اجراء شود.

چنانچه مهندس مشاور پروژه روش دیگری را از جمله FWD (ASTM - D4694) برای طراحی سیستم روسازی انتخاب کند استفاده از آن باید با حفظ کامل مسئولیت مشاور در صحت مطالعات و محاسبات و رعایت دستورالعمل‌های فنی و بکاربردن استانداردهای متداول و تصویب کارفرما باشد. بدیهی است جزئیات این روش باید در مشخصات فنی خصوصی پروژه قید شود.

فصل پنجم

بازیافت گرم کارخانه‌ای

۵-۱- کلیات

بازیافت گرم کارخانه‌ای روشی است که طی آن آسفالت برداشت شده از روسازی موجود به کارخانه آسفالت مرکزی حمل شده، و پس از خرد کردن و دانه‌بندی و اعمال سایر اصلاحات لازم روی آن و تغذیه به کارخانه آسفالت، و اختلاط با قیر و یا جوان‌کننده و در صورت لزوم با مصالح سنگی جدید و یا آسفالت گرم جدید، به آسفالت گرمی تبدیل می‌شود که بخشی از آنرا مصالح خرده آسفالتی یا RAP تشکیل می‌دهد. صرفنظر از روشی که برای کندن و برداشت آسفالت و لایه‌های روسازی انتخاب می‌شود، مصالح خرده آسفالت، مصالح سنگی و مصالح مخلوط و آمیخته (خرده‌آسفالت با مصالح سنگی) باید در کارگاه مرکزی جداگانه انبار و نگهداری شوند.

۵-۲- مصالح خرده آسفالت (RAP)

قبل از هرگونه عملیات برداشت، سطح موجود روسازی باید با جاروهای مکانیکی و یا با فشار آب و یا روش‌های دیگر از هرگونه گرد و خاک، روغن و مواد اضافی پاک شود.

در عملیات شکستن و خرد کردن و تخریب مصالح روسازی آسفالتی از ماشین آلات مخصوص شامل شخم‌زن‌ها، شکافنده‌ها، مجهز به کنترل شیب و غلتک‌های مخصوص استفاده می‌شود. مصالح برداشت شده سپس برای حمل به سنگ‌شکن و دستگاه‌های سرنده‌کننده موجود در کارگاه مرکزی بارگیری می‌شوند. گزینه دیگر برای تخریب و خرد کردن آسفالت استفاده از آسیاب‌های چکشی یا عبور مکرر غلتک‌های شبکه‌ای^۲ و یا غلتک‌های V-Cleated می‌باشد که این عملیات در روی محور راه و در محل برداشت مصالح انجام می‌گیرد.

اندازه و ابعاد مصالح کنده شده و خرد شده به عمق بازیافت و سرعت حرکت ماشین آسفالت تراش بستگی دارد ولی بطور کلی باید این ابعاد تا حداکثر اندازه ممکن و با توجه به مشخصات فنی طرح تقلیل یافته و اصلاح شود.

۵-۳- مصالح سنگی (RAM)

بعد از برداشت لایه‌های آسفالتی سیستم روسازی، مصالح سنگی لایه‌های زیرین آن نیز که عمدتاً بعنوان یکی از مواد متشکله آسفالت گرم بازیافتی با مصالح RAP مخلوط می‌شوند، باید با لودر^۳ یا دیگر تجهیزات معمولی برداشت و به کارگاه مرکزی حمل شوند.

بعد از برداشت کامل مصالح شامل RAP , RAM از سطح راه باید نواقصی که ممکن است در سیستم زهکشی روسازی وجود داشته باشد، اصلاح شده و سپس لایه زیر اساس و یا بستر روسازی که بلافاصله در زیر مصالح RAM قرار دارد بعد از تسطیح و پروفیل شدن مطابق مقطع عرضی تعیین شده در نقشه‌های اجرایی، متراکم گردد.

۴-۵- کاهش ابعاد مصالح

مصالح بازیافتی RAP یا RAM، بعد از جداسازی باید فرآوری شده و ابعاد آنها با توجه به الزامات پروژه و مشخصات طرح اختلاط آسفالت کاهش یابد. این عمل از طریق شکستن مصالح توسط سنگ‌شکن‌ها انجام می‌گیرد. مصالح ریزدانه حاصل از شکستن RAP حاوی مقدار زیادی از قیر سخت شده قابل بازیافت می‌باشند باید نگهداری شده و در مراحل تهیه آسفالت بازیافت مورد استفاده قرار گیرند.

۵-۵- انبار کردن مصالح

مصالح RAP قبل از مصرف در تهیه آسفالت گرم باید مورد بررسی و آزمایش قرار گیرند تا اطمینان حاصل شود که حتی‌الامکان از نظر مواد متشکله کیفیت یکنواخت و مشابهی دارند. روسازی‌های آسفالتی که سطح تعمیر شده و لکه‌گیری شده آنها، قبل از برداشت و تخریب روسازی، وسیع و گسترده باشد در واقع عامل اصلی تغییر کیفیت بین مصالح اولیه روسازی با مصالح مصرفی در عملیات ترمیم و تعمیر می‌باشند. بنابراین چنین مصالحی باید جداگانه انبار و ذخیره شوند تا در جریان مصرف برای تهیه آسفالت گرم بازیافتی با نسبت‌های معین و از پیش تعیین شده که مستند به آزمایش‌های آزمایشگاهی باشد، مورد استفاده قرار گیرند. در شرایطی که روسازی آسفالتی در دو مرحله و در هر مرحله با ضخامت معینی کنده می‌شود. مصالح لایه اول نیز ممکن است با ویژگی‌های مصالح لایه دوم برداشت تفاوت زیادی داشته باشد که لازم است مورد توجه قرار گیرد. انبار کردن جداگانه مصالح متفاوت لایه اساس شکسته و لایه زیراساس، نیز باید رعایت شود. ارتفاع مصالح انبار شده RAP در کارگاه باید حداکثر به ۳ متر محدود شود تا از چسبیدن سنگدانه‌های شکسته RAP به یکدیگر بعلت وزن ناشی از بار مرده و دمای زیاد محیط جلوگیری شود، ضمن اینکه به همین دلیل لودرها، بولدوزرها و کامیون‌ها نیز مجاز به تردد روی چنین مصالحی نیستند.

مصالح خرده آسفالتی برای اینکه حتی‌الامکان خشک باقی بماند باید در مقابل رطوبت محافظت شوند. روش به حداقل رساندن چسبندگی بین سنگدانه‌های RAP از طرفی و کاهش رطوبت ناشی از بارش از طرف دیگر، ایجاد هماهنگی بین عملیات شکستن مصالح RAP و تهیه آسفالت بازیافت با این مصالح بطور همزمان می‌باشد تا مانع انبار شدن آنها با حجم زیاد و در نتیجه کاهش چسبندگی سنگدانه‌های آن به یکدیگر شود.

۶-۵- روش‌های تولید کارخانه‌ای

زمانی که از مصالح خرده آسفالتی برای تولید آسفالت گرم استفاده می‌شود، انجام تغییراتی در روال عادی کارخانه الزامی است. روش‌های مختلفی برای گرم کردن و خشک کردن مصالح خرده آسفالتی وجود دارد که طی آن مصالح RAP بدون قرار گرفتن مستقیم در معرض شعله و حرارت بالا و گاز احتراقی درون خشک‌کننده کارخانه گرم می‌شوند. بدون اعمال این تغییرات تولید مخلوط‌های بازیافتی گرم از نظر اقتصادی مقرون به صرفه نیست، ضمن آنکه تولید گازهای آلوده‌کننده توسط کارخانه نیز موجب

آلودگی محیط زیست می‌شوند. تغییرات اعمال شده باید به گونه‌ای باشد که به قیر موجود در مصالح خرده آسفالتی آسیب نرسد و منجر به سخت‌شدگی بیشتر آن نشود. کارخانه‌های آسفالت مرحله‌ای و نیز کارخانه آسفالت استوانه‌ای^۱ برای تولید رضایت‌بخش مخلوط‌های بازیافتی گرم بترتیب برای مصرف ۵۰ و ۷۰ درصد وزنی خرده آسفالت قابل اصلاح و تنظیم می‌باشند که ذیلاً روش کار برای هر یک از آنها جداگانه توضیح داده شده است.

۵-۶-۱- کارخانه مخلوط‌کن استوانه‌ای

برای تولید مخلوط بازیافتی با این کارخانه، مصالح سنگی جدید از بالای استوانه، یعنی نزدیک شعله، افزوده می‌شوند و مصالح سنگی بیشتر گرمازا از شعله جذب می‌کنند و مانند یک سپر از مصالح بازیافتی روسازی، قیر جدید و ماده جوان‌ساز محافظت می‌نمایند. مصالح بازیافتی روسازی از نزدیکی نقطه مرکزی به استوانه افزوده می‌شود. شکل ۵-۱ مراحل بازیافت را نشان می‌دهد.

سپرها در داخل درام باید در وضعیتی باشند که مصالح خرده آسفالتی را در مقابل صدمات گرما محافظت کنند. مخلوط بازیافت شده نهایی معمولاً بین ۱۳۰ تا ۱۵۰ درجه سانتیگراد گرما داده می‌شوند تا بتواند متراکم شده و تراکم نسبی مورد نیاز را تأمین کنند.

در کارخانه‌های اولیه، مصالح بازیافتی در معرض شعله کوره و گازهای احتراقی فوق‌العاده داغ قرار می‌گرفتند که سبب ایجاد دود آبی خیلی زیادی می‌شد. طرح و برنامه‌های متعددی برای تنظیم و اصلاح آنها بشرح زیر مورد استفاده قرار گرفته‌اند تا به مشکلات آلودگی هوا فائق آیند.

الف - تغذیه جداگانه^۲:

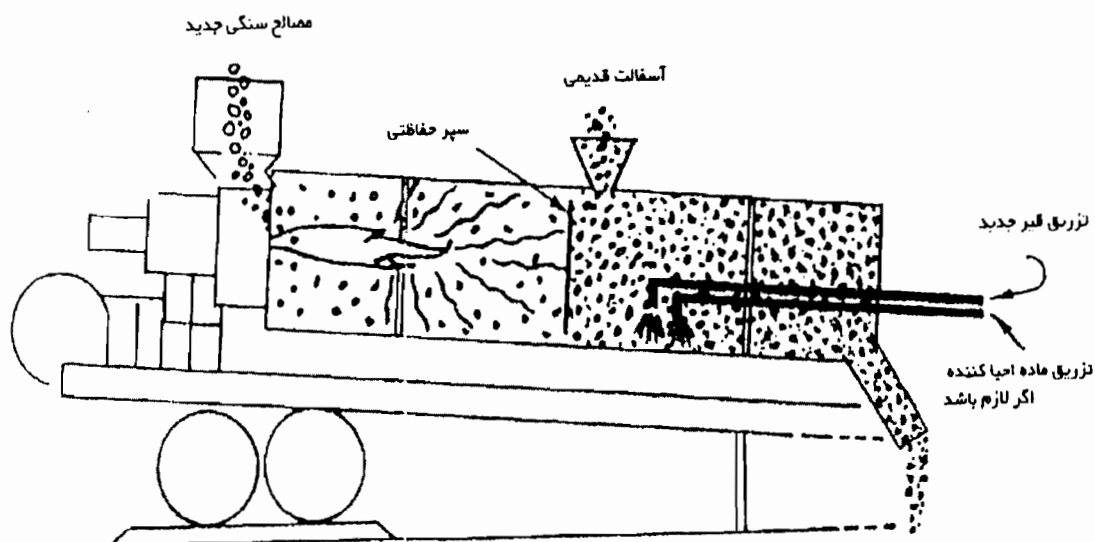
در این نوع کارخانه‌ها، مصالح سنگی از انتهای مشعل استوانه وارد مخلوط‌کن می‌شوند. مصالح خشک‌شده و حرارت بسیار^۳ زیادی می‌بینند. سپس در نقطه‌ای کاملاً پایین‌تر از مشعل یا کوره به مصالح بازیافتی اضافه می‌شوند تا از شعله و گازهای داغ احتراقی دور باشند. برحسب وضعیت کارخانه، مصالح بازیافتی از میان دریچه‌های پوسته یا از قسمت عقب استوانه و تقریباً نزدیک به مرکز آن وارد استوانه می‌شود. قیر جدید یا ماده جوان‌کننده به آن افزوده شده و اختلاط در نیمه پایین‌تر استوانه انجام می‌گیرد. (شکل ۵-۲)

ب - استوانه های مضاعف^۴:

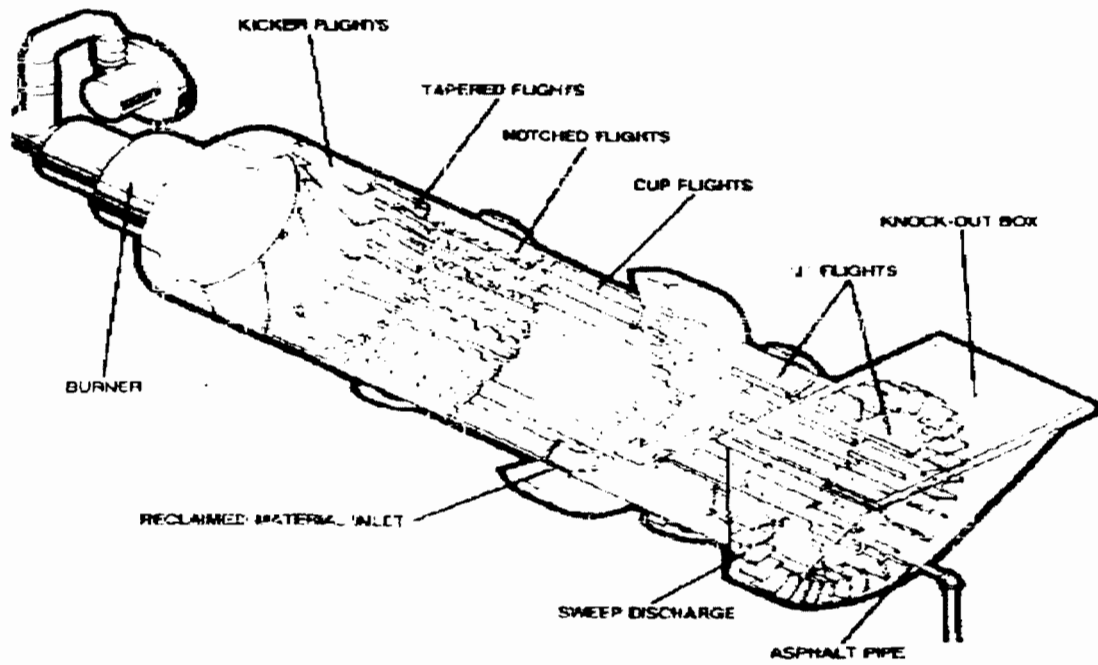
یک استوانه کوچک‌تر، هم از نظر قطر و هم از نظر طول، داخل استوانه اصلی قرار می‌گیرد. مشعل، حرارت لازم را برای گرم کردن استوانه کوچک‌تر تولید می‌کند. مصالح سنگی بازیافتی RAM یا مصالح سنگی جدید و یا هر دوی آنها وارد استوانه داخلی در انتهای مشعل می‌شوند. مصالح خرده آسفالتی نیز وارد استوانه اصلی و در انتهای مشعل، اما نه میان شعله مشعل، که فقط در استوانه داخلی گرم می‌شود. مصالح خرده آسفالتی، توسط جابجایی گازهای داغ، فلز داغ استوانه داخلی و انتقال حرارت از مصالح سنگی گرم‌شده حرارت داده می‌شوند که نهایتاً به پایین‌ترین قسمت انتهایی درام داخلی منتقل می‌شود. در نزدیکی این قسمت قیر جدید و یا ماده جوان‌ساز افزوده شده و اختلاط قیر و مصالح در قسمت بقیه استوانه اصلی ادامه می‌یابد. (شکل ۵-۳)

ج - جابجایی با درجه حرارت پایین^۱:

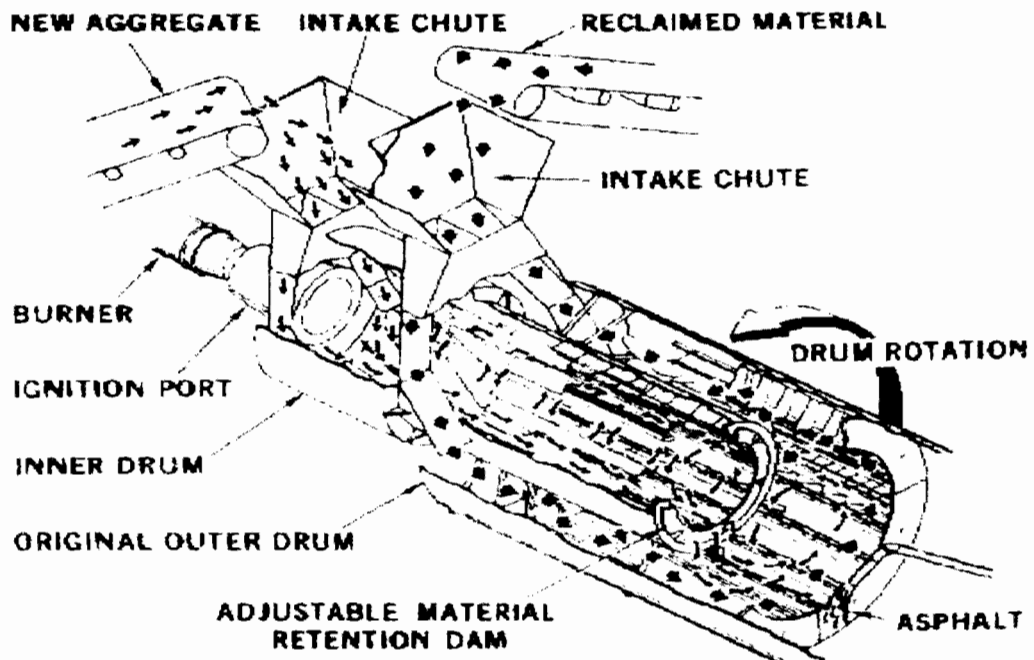
یک محفظه احتراق با یک سپر گرمایی مخروطی میان کوره و استوانه جای داده می‌شود. مصالح خرد آسفالتی به تنهایی و یا همراه مصالح سنگی بازیافتی یا مصالح سنگی جدید یا هر دو وارد انتهای کوره استوانه می‌شود. می‌توان به مصالح یا مصالح ترکیب شده قبل از آنکه وارد استوانه شوند، آب اضافه نمود. قیر جدید یا ماده جوان‌ساز در طول فرآیند مرحله خشک‌کردن به مصالح گرم‌شده، افزوده می‌شوند. مخلوط در قسمت پایین‌تر استوانه تخلیه می‌شود. (شکل ۵-۴)



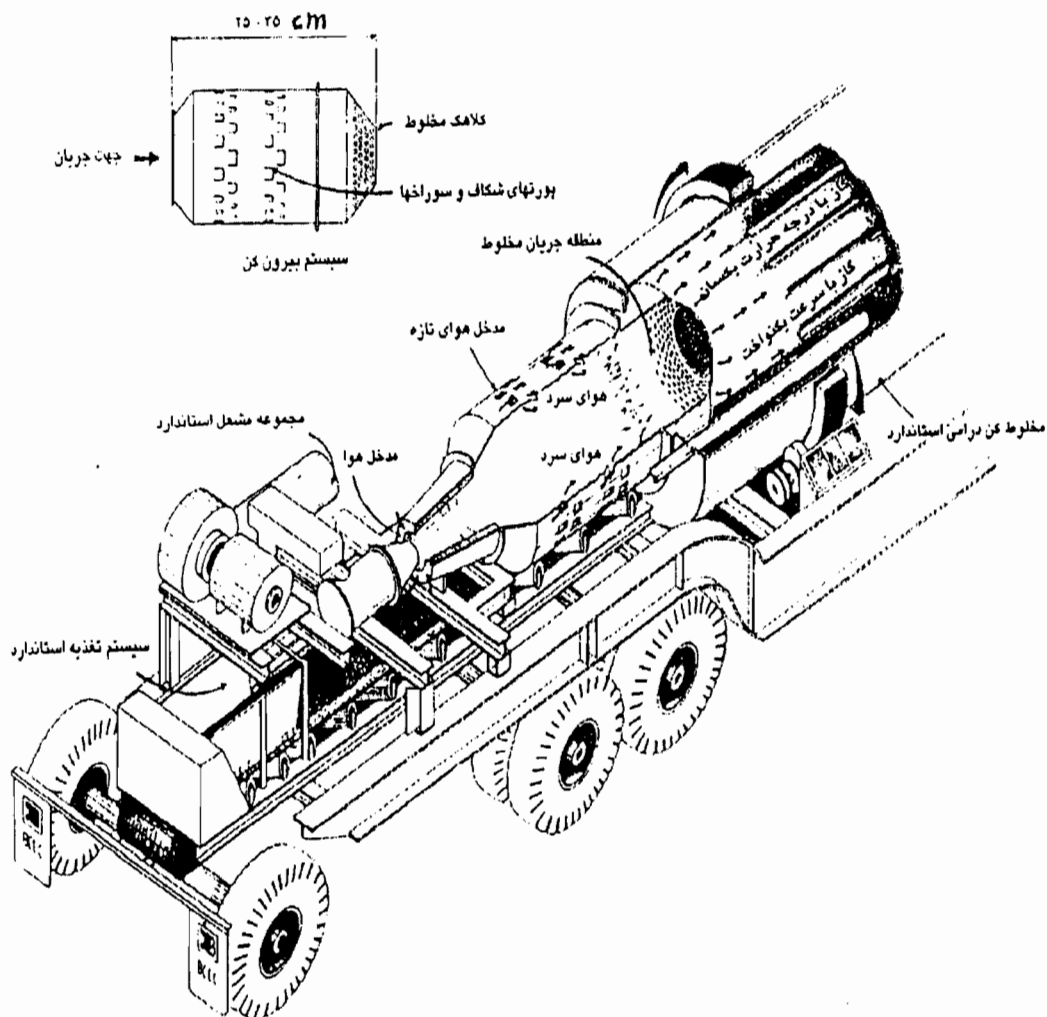
شکل ۵-۱- تولید بازیافت گرم در کارخانه آسفالت استوانه‌ای



۲-۵- کارخانه استوانه‌ای با سیستم تغذیه منفک



شکل ۳-۵- کارخانه آسفالت استوانه‌ای. سیستم استوانه‌های مضاعف



شکل ۴-۵- کارخانه استوانه‌ای سیستم جابجایی با حرارت پایین

۵-۶-۲- کارخانه آسفالت مرحله‌ای^۱

برای بهره‌گیری از کارخانه آسفالت مرحله‌ای در بازیابی آسفالتی گرم، از روش انتقال حرارت استفاده می‌شود. این کارخانه‌ها طوری تغییر یافته‌اند تا بتوانند مخلوط‌های بازیافتی گرم تولید کنند. این تغییرات شامل افزودن یک تغذیه‌کننده و تسمه نقاله برای حمل مستقیم مصالح بازیافتی روسازی به پیماننه وزنی^۲ می‌شود. در این روش مصالح سنگی جدید از سیلوهای سرد، به کارخانه تغذیه و سپس در یک خشک‌کن متداول مصالح سنگی، گرم می‌شوند. (شکل ۵-۵) و از آنجا به سیلوی ذخیره گرم به روش مرسوم منتقل می‌گردند. مصالح خرده آسفالتی، بدون حرارت دادن یا خشک کردن از دیو به سیلوی ذخیره سرد، حمل می‌شود. یک سیلوی تغذیه سرد مجزا با شیب خیلی زیاد ضروری می‌باشد. مصالح بازیافتی پس از آن به قیف توزین منتقل می‌شوند. در آنجا مصالح خرده

آسفالتی به مصالح سنگی فوق گرم شده^۱ اضافه می‌شوند. وقتی که مواد یا مصالح با نسبت‌های معین درون مخلوط‌کن ریخته شدند، انتقال حرارت بین مصالح خرده‌آسفالتی و مصالح سنگی گرم شده انجام می‌گیرد.

تعادل حرارتی کامل در مخلوط بازیافتی گرم، معمولاً مدتی پس از این که مخلوط از مخلوط‌کن خارج می‌شود، بدست می‌آید. استفاده از سیلوهای ذخیره آسفالت گرم تولیدی برای این انتقال حرارت بسیار مؤثر است.

دمای مصالح سنگی جدید باید به اندازه‌ای باشد که دمای حاصله برای اختلاط و تهیه مخلوط نهائی برای تراکم مناسب باشد. جدول شماره ۵-۱ دمای مورد نظر را برحسب درصد RAP مصرفی و رطوبت آن نشان می‌دهد.

این روش انتقال حرارت در کارخانه آسفالت مرحله‌ای مقدار آلودگی هوا را کاهش می‌دهد، مشکل گرفتگی و انسداد الک‌ها را از میان می‌برد و از چسبیدن و جمع شدن مصالح خرده آسفالتی بر روی بالابرهای مصالح سنگی داغ جلوگیری می‌کند. در هر حال، در بعضی مواقع ابری از بخار آب تولید می‌شود که با درجه‌دار کردن و ایجاد جریان هوا^۲ در این موارد می‌تواند مؤثر باشد. (جدول ۵-۲) باید توجه داشت که: در کارخانه‌های تجهیز شده به غبارگیرهای^۳ کیسه‌ای، درجه حرارت‌های خیلی بالا به کیسه‌های غبارگیر ضرر می‌رساند. خطر تخریب فرسودگی کیسه‌ها در گازهای خروجی با درجه حرارت بیشتر از $230^{\circ}C$ خیلی زیاد است.

مقدار مصالح بازیافتی RAP را که می‌توان در مخلوط آسفالت گرم بازیافت شده نهائی بکار برد به موارد زیر بستگی دارد:

۱- مقدار رطوبت و درجه حرارت مصالح بازیافتی انبار شده در کارگاه

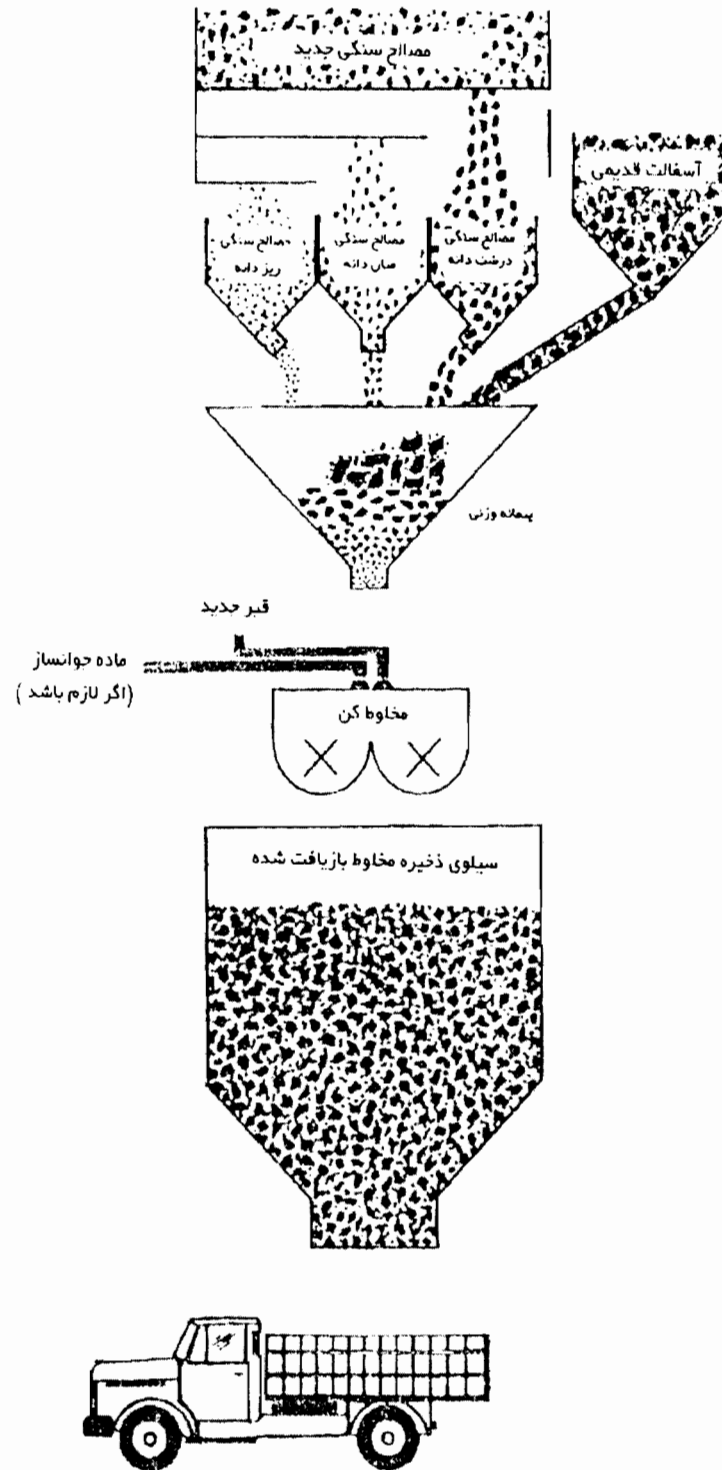
۲- درجه حرارت مورد نیاز مخلوط بازیافت شده

۳- درجه حرارت مصالح سنگی فوق گرم شده

اگر مقدار رطوبت مصالح بازیافتی در کمترین یا نزدیک به کمترین حد و درجه حرارت نیز نزدیک به درجه حرارت محیط باشد، درصد مصالح بازیافتی مصرفی می‌تواند ۵۰ درصد باشد.

افزایش مقدار مصالح بازیافتی در آسفالت گرم تولیدی نیاز به افزایش دمای مصالح سنگی جدید دارد ضمن اینکه رطوبت اضافی در انبارهای مصالح سنگی جدید و RAP نیز عامل افزایش حرارت می‌باشند، بنابراین برای ذخیره انرژی باید مصالح ذخیره شده در انبارها تا حد امکان خشک نگهداری شوند.

یکی از محدودیت‌های کارخانه مرحله‌ای در مصرف مصالح RAP این است که نسبت مصالح بازیافتی به مصالح سنگی جدید نمی‌تواند بیش از ۵۰ درصد باشند، زیرا در غیر این صورت انتقال حرارت به خوبی انجام نخواهد گرفت.



شکل ۵-۵- تولید بازیافت گرم با کارخانه آسفالت مرحله‌ای

جدول ۵-۱- راهنمای تنظیم درجه حرارت آسفالت

- نسبت : ۱۰٪ RAP - ۹۰٪ مصالح سنگی جدید				درصد رطوبت مصالح بازیافتی RAP
درجه حرارت تخلیه مخلوط آسفالت گرم بازیافت شده				
۱۳۸ °C	۱۲۷ °C	۱۱۶ °C	۱۰۴ °C	
۱۶۳	۱۵۲	۱۳۸	۱۲۱	۰
۱۶۸	۱۵۴	۱۴۳	۱۲۷	۱
۱۷۱	۱۵۷	۱۴۶	۱۳۲	۲
۱۷۴	۱۶۳	۱۴۹	۱۳۸	۳
۱۷۷	۱۶۶	۱۵۲	۱۴۱	۴
۱۸۲	۱۶۸	۱۵۷	۱۴۳	۵
- نسبت : ۲۰٪ RAP - ۸۰٪ مصالح سنگی جدید				
۱۸۲	۱۶۸	۱۵۴	۱۳۸	۰
۱۹۱	۱۷۷	۱۶۰	۱۴۶	۱
۱۹۶	۱۸۲	۱۶۸	۱۵۴	۲
۲۰۴	۱۹۱	۱۷۷	۱۶۳	۳
۲۱۳	۱۹۹	۱۸۵	۱۷۱	۴
۲۲۱	۲۰۷	۱۹۳	۱۷۹	۵
- نسبت : ۳۰٪ RAP - ۷۰٪ مصالح سنگی جدید				
۲۰۷	۱۹۱	۱۷۴	۱۵۷	۰
۲۱۸	۲۰۲	۱۸۵	۱۶۸	۱
۲۳۲	۲۱۶	۱۹۹	۱۸۲	۲
۲۴۶	۲۲۹	۲۱۳	۱۹۶	۳
۲۶۰	۲۴۳	۲۲۷	۲۱۰	۴
۲۷۴	۲۵۷	۲۴۱	۲۲۴	۵
- نسبت : ۴۰٪ RAP - ۶۰٪ مصالح سنگی جدید				
۲۳۸	۲۱۸	۱۱۹	۱۷۹	۰
۲۵۷	۲۳۸	۲۱۸	۱۹۹	۱
۲۷۷	۲۵۷	۲۳۸	۲۱۸	۲
۲۹۹	۲۷۹	۲۶۰	۲۴۳	۳
۳۳۱	۲۹۹	۲۷۹	۲۶۰	۴
۳۴۱	۳۲۱	۳۰۲	۲۸۵	۵
- نسبت : ۵۰٪ RAP - ۵۰٪ مصالح سنگی جدید				
۲۸۲	۲۵۷	۲۳۵	۲۱۰	۰
۳۱۰	۲۸۸	۲۶۸	۲۴۱	۱
۳۴۳	۳۱۸	۲۹۳	۲۷۱	۲
۳۷۴	۳۴۹	۳۲۷	۳۰۲	۳
۴۰۴	۳۷۹	۳۶۰	۳۳۸	۴
۴۳۸	۴۱۳	۳۹۱	۳۶۶	۵

جدول ۵-۲- میزان بخار آب منتشر شده از مخلوط کن کارخانه آسفالت

درصد رطوبت مصالح RAP					مقدار مصالح بازیافتی در هر پیمانه
۵	۴	۳	۲	۱	کیلوگرم
m^3 / min	m^3 / min	m^3 / min	m^3 / min	m^3 / min	
۲۴۱	۱۹۰	۱۴۲	۹۳	۴۵	۴۵۴
۴۷۹	۳۷۹	۲۸۰	۱۸۷	۹۱	۹۰۷
۷۱۹	۵۶۹	۴۲۲	۲۷۸	۱۳۹	۱،۳۶۱
۹۶۰	۷۵۹	۵۶۴	۳۷۱	۱۸۴	۱،۸۱۴
۱،۱۹۸	۹۴۹	۷۰۵	۴۶۴	۲۲۹	۲،۲۶۸
۱،۴۳۸	۱،۱۳۸	۸۴۴	۵۵۸	۲۷۵	۲،۷۳۲

۵-۷- ظرفیت تولید آسفالت گرم

تولید آسفالت برای کارخانه‌های مرحله‌ای و استوانه‌ای، با کاهش درصد مصرف مصالح بازیافتی افزایش می‌یابند. برای طراحی روسازی‌های تمام آسفالت استفاده از این مخلوط بازیافت گرم بعنوان قشر اساس قیری می‌تواند مقرون به صرفه باشد. در تولید آسفالت گرم بازیافتی، گرم کردن مصالح با روش انتقال حرارت انجام می‌گیرد لذا لازم است رطوبت در انبار مصالح بازیافتی و مصالح سنگی بازیافتی در حداقل ممکن نگهداری شود. رطوبت زیاد، دستیابی به درجه حرارت لازم برای مصالح سنگی را جهت انتقال مؤثر حرارت مشکل می‌سازد که در بسیاری از موارد نمونه آن به شکل سنگدانه‌های پوشش نشده توسط قیر ظاهر می‌شود.

۵-۸- ذخیره کردن مخلوط گرم بازیافتی

بین انبار کردن مخلوط گرم بازیافتی با انبار کردن آسفالت گرم معمولی در سیلوی ذخیره گرم تفاوتی وجود ندارد. مخلوط بازیافت شده ممکن است کمی روغنی باشد که احتمالاً به دلیل ماده افزودنی جوان‌ساز می‌باشد که این شرایط کاملاً عادی است. استفاده از سیلوی ذخیره برای بازیافت گرم، انتقال حرارت بین اجزاء متشکله و تأمین حرارت یکنواخت برای مخلوط آسفالت نهائی بسیار مؤثر است.

۵-۹- پخش و تراکم

برای پخش و تراکم آسفالت گرم بازیافتی تولیدی با روش کارخانه‌ای بشرح فوق، از تجهیزات و روش‌های متداول استفاده می‌شود که باید با مشخصات مندرج در آئین‌نامه روسازی راه (نشریه ۲۳۴) و مشخصات فنی عمومی راه برای آسفالت گرم و بتن آسفالتی مطابقت داشته باشد.

۵-۱۰- مالکیت مصالح بازیافت

همه مصالح بازیافتی روسازی باید انبار شده تا در پروژه‌های دیگر از آنها استفاده شود. اگر مالکیت مصالح بازیافتی روسازی به پیمانکار داده شود باید بهای آن به دولت پرداخت شود.

۵-۱۱- آزمایش‌های کنترل کیفیت

در جریان تولید آسفالت گرم با استفاده از مصالح خرده آسفالتی، کلیه آزمایش‌های لازم برای ارزیابی کیفیت آن باید انجام شود تا علاوه بر کنترل ویژگی‌های متداول آسفالت با روش مارشال و تعیین درجه حرارت مخلوط آسفالتی تغذیه شده به سیلوی ذخیره یا کامیون، درجه نفوذ و یا کندروانی قیر بازیافتی از این مخلوط‌ها نیز جهت کنترل انطباق آن با مشخصات قیر تعیین شده در پروژه مورد آزمایش قرار گیرد و این آزمایش بطریق دوره‌ای نیز تکرار شود.

فصل ششم

بازیافت گرم درجا

۱-۶- کلیات

بازیافت گرم درجا می‌تواند فقط آسیب‌دیدگی‌های سطحی را اصلاح کند، لذا اجرای این عملیات محدود به شرایطی است که سیستم روسازی از مقاومت و قدرت سازه‌ای کافی برخوردار باشد. ضخامت لایه آسفالتی مورد بازیافت در این روش معمولاً بین ۵۰-۲۵ میلیمتر است که در مواردی ممکن است به ۷۵ میلیمتر برسد. محورهای آسفالتی که از روش درجا استفاده می‌کنند باید ضخامت آسفالت گرم آنها حداقل ۷۵ میلیمتر باشد زیرا ضخامت کمتر از آن موجب می‌شود تا در جریان شخم‌زدن رویه آسفالتی موجود لایه غیرآسفالتی اساس یا زیراساس که بلافاصله در زیر آن وجود دارد، از عمق کنده شده و از لایه مربوطه جدا شود.

۲-۶- انواع بازیافت گرم درجا

بازیافت گرم درجا به سه روش زیر اجراء می‌شود:

۱-۲-۶- بازیافت سطحی^۱

بازیافت سطحی یا روش گرمایش - تراشیدن^۲ شامل مراحل زیر است:

- حرارت دادن سطح مورد بازیافت با دستگاه‌های گرم‌کننده مخصوص با دمای ۱۵۰-۱۱۰ درجه سانتیگراد.
 - شخم‌زدن آسفالت گرم شده و نرم شده.
 - افزودن ماده جوان‌ساز به مصالح شخم‌زده برای اصلاح قیر موجود و انطباق آن با مشخصات قیر تعیین شده در پروژه.
 - اختلاط کامل مخلوط بازیافتی با ماده جوان‌ساز.
 - پخش مخلوط بعد از اختلاط در تراز و شیب کنترل شده.
 - متراکم کردن مخلوط با غلتک‌های معمولی مورد استفاده در عملیات آسفالت گرم.
- عمق بازیافت سطحی بین ۲۵-۲۰ میلیمتر است که می‌تواند به ۵۰ میلیمتر نیز افزایش یابد. در جریان اجرای مراحل بالا با توجه به تفاوتی که ممکن است در سختی و شکنندگی موضعی رویه آسفالتی وجود داشته باشد، گاهی اوقات شخم‌زدن موجب ناهمگنی و تغییر تراز سطح شخم‌زده نسبت به تراز اولیه می‌شود.

این روش اگر با اجرای یک لایه نازک از بتن آسفالتی جدید بعنوان روکش همراه باشد بازیافت سطحی چند عبوره^۳ نام دارد. معمولاً بین تکمیل بازیافت سطحی و پخش لایه جدید باید وقفه‌ای وجود داشته باشد.

شکل شماره ۱-۶ فرآیند کلی این روش را نشان می‌دهد.

۶-۲-۲- روش احیای مجدد^۱

این روش شامل اجرای مراحل زیر است :

- گرم کردن رویه آسفالتی
- شخم زدن سطح گرم و نرم شده رویه آسفالتی در عمق حداکثر ۵۰ میلیمتر
- افزودن مواد جوان ساز به مخلوط بازیافتی با مقدار پیش تعیین شده برحسب درصد وزنی RAP و با توجه به کنترل سرعت ماشین.
- اختلاط کامل مصالح بازیافتی با مواد جوان ساز.
- پخش مصالح بازیافت بعنوان لایه تسطیح کننده.
- پخش یک لایه مخلوط آسفالت گرم جدید روی این لایه.
- کوبیدن همزمان دو لایه با غلتک‌های معمولی مورد استفاده برای متراکم کردن آسفالت گرم.

از این روش موقعی استفاده می‌شود که روش گرمایش - تراشیدن نتواند پروفیل رویه و یا تاب لغزشی راه، و یکنواختی سطح را اصلاح کند ضمن اینکه اجرای روکش‌های معمولی تقویتی با ضخامت متوسط یا زیاد نیز برای رویه موجود مورد نیاز نبوده و مقرون به صرفه نباشد. در واقع تفاوت این روش با روش گرم کردن - تراشیدن فقط در اجرای یک لایه آسفالت گرم جدید با ضخامت حدود ۱۵ میلیمتر است که قبل از کوبیدن لایه اصلی بازیافت روی آن پخش شده و همزمان دو لایه با یکدیگر متراکم می‌شوند.

این روش ممکن است یک عبوره و یا چند عبوره باشد.

در روش یک عبوره آخرین دستگاه در زنجیره بازیافت گرم یک لایه روکش آسفالت گرم جدید است که روی مخلوط بازیافتی متراکم نشده پخش و سپس دو لایه همزمان متراکم می‌شوند.

در روش چند عبوره آخرین دستگاه در فرآیند بازیافت گرم مخلوط بازیافتی را پخش می‌کند. سپس یک پخش کننده بلافاصله پشت سر آن حرکت می‌کند و آسفالت گرم جدید و مخلوط بازیافتی را با هم به عنوان یک لایه متراکم می‌نماید.

شکل‌های شماره ۶-۲، ۶-۳ و ۶-۴ فرآیند کلی اجرای یک مرحله‌ای و چند مرحله‌ای این روش را نشان می‌دهد.

۶-۲-۳- روش اختلاط مجدد^۲

این روش موقعی مورد استفاده قرار می‌گیرد که روش احیای مجدد نتواند خواص مخلوط آسفالتی مورد بازیافت را بهبود بخشد و در نتیجه مصرف مصالح سنگی جدید و یا آسفالت گرم جدید برای افزایش مقاومت و دوام رویه آسفالتی مورد نیاز است. مقدار آسفالت جدید مصرفی در این روش که با مصالح بازیافت مخلوط شده و سپس پخش و متراکم می‌گردد از ۳۰-۱۶ کیلوگرم در متر مربع برحسب خصوصیات آسفالت موجود متغیر است. این روش شامل مراحل زیر است :

- خشک کردن و گرم کردن لایه فوقانی روسازی موجود.
- شخم زدن روسازی که معمولاً ۵۰ میلیمتر است ولی ممکن است تا ۷۵ میلیمتر افزایش یابد.

- افزودن ماده جوان ساز، مصالح سنگی جدید و یا آسفالت گرم جدید، هر کدام که در طرح پیش بینی شده باشد.
- اختلاط کامل مخلوط بازیافتی با مصالح جدید.
- پخش آسفالت.
- متراکم کردن آسفالت.

شکل شماره ۶-۵ فرآیند کلی این روش و شکل ۶-۶ فرآیند یک مرحله‌ای آن را نشان می‌دهد.

۶-۳- راهنمای عملیات بازیافت گرم درجا

راهنمای عملیاتی بازیافت گرم درجا شامل ارزیابی مقدماتی، ارزیابی تکمیلی، بررسی قابلیت اجرا و انتخاب گزینه‌های متفاوت بازیافت و نهایتاً چگونگی اصلاح نواقص و معایب سطحی آسفالت با استفاده از روش‌های سه‌گانه بازیافت گرم درجا بترتیب طی جداول ۶-۱ تا ۶-۵ نشان داده شده است.

جدول شماره ۶-۱ مراحل اجرایی پروژه‌های بازیافت گرم درجا

ردیف	شرح کلی عملیات	شرح تفصیلی عملیات	هدف
۱	ارزیابی مقدماتی وضعیت روسازی	به جدول ۶-۲ مراجعه شود	تعیین کفایت توان سازه‌ای روسازی
۲	قابلیت اجرای بازیافت گرم درجا	به جدول ۶-۲ مراجعه شود	انتخاب گزینه بهسازی، یا بازسازی، چنانچه بازیافت گرم درجا قابل اجرا نباشد
۳	ارزیابی تکمیلی و تفصیلی وضعیت روسازی	به جدول ۶-۳ مراجعه شود	تعیین کیفیت و ویژگی‌های رویه آسفالتی (۱) موجود
۴	انتخاب گزینه بازیافت گرم درجا	به جداول ۶-۴ و ۶-۵ مراجعه شود	انتخاب روش مناسب از روش‌های سه‌گانه بازیافت گرم (بند ۶-۲)

1) Quality & Properties of existing surface course .

جدول شماره ۶-۲ اطلاعات مورد نیاز از مطالعات مقدماتی ارزیابی توان سازه‌ای روسازی

ردیف	شرح کلی موارد	شرح جزئیات	هدف
۱	اطلاعات مربوط به روسازی	- طبقه‌بندی روسازی - جزئیات مربوط به سیستم روسازی و وضعیت روسازی ^(۱) - عمر روسازی، سابقه و تاریخچه آن - وضعیت ترافیک	- تهیه برنامه عملیاتی و اجرایی - بررسی قابلیت اجرای بازیافت گرم درجا - تهیه اطلاعات تکمیلی
۲	وضعیت سازه‌ای روسازی	- معایب و نواقص سازه‌ای (نوع و شدت آنها) ^(۱) - آسیب‌دیدگی‌های غیر سازه‌ای (نوع و شدت آنها) - نواقص و معایب موضعی سازه‌ای	- بررسی قابلیت اجرای بازیافت گرم درجا - انتخاب بازیافت گرم درجا بعنوان یکی از گزینه‌ها - نیازهای مربوط به تعمیرات موضعی
۳	پیش‌نیازها	- عملیاتی که قبل از اجرای بازیافت باید با توجه به وضعیت روسازی انجام شود، از جمله کندن، تراشیدن و جمع‌آوری: - آسفالت سطحی موجود - مخلوط آسفالتی با خرده لاستیک موجود - رنگ‌های و مواد مصرفی برای خط‌کشی راه و پارکینگ‌ها و استفاده از اپوکسی و ترکیبات صنعتی برای تعمیرات و لکه‌گیری	- برنامه‌ریزی برای خراشیدن و کندن و جمع‌آوری، قبل از بازیافت چنانچه امکان پذیر باشد.
۴	وضعیت هندسی و پروفیل روسازی	عرض راه، پروفیل طولی راه، شیب‌ها، پروفیل سطح راه (شیار افتادگی و سایش) ^(۳)	- بررسی قابلیت اجرای بازیافت گرم درجا - برنامه‌ریزی برای انجام اقدامات لازم قبل از بازیافت، از جمله شخم‌زدن و تراشیدن سطحی
۵	سایر موارد	- منهول‌ها و درپوش‌های تاسیساتی آب و برق، گاز، تلفن - وجود اشجار، درخت، فضای سبز و یا مواد قابل اشتعال	تهیه برنامه زمان‌بندی برای اجرای اقدامات لازم و عملیات حفاظتی مورد نیاز

توضیحات جدول ۶-۲:

- (۱) بطور کلی روسازی‌های دارای نواقص سازه‌ای عمده (عدم کفایت ظرفیت باربری، ضخامت غیرکافی لایه اساس، علاوه بر معایب موضعی که قابل اصلاح می‌باشد) برای اجرای بازیافت گرم درجا مناسب و مطلوب نیست. پارامترها و آسیب دیدگی‌های غیر سازه‌ای سطحی مانند شیار افتادگی، سخت شدن قیر رویه، سایش، ترک خوردگی‌های کم و متوسط، و فقدان تاب لغزشی کافی برای اجرای بازیافت گرم درجا مطلوب و مناسب می‌باشند.
- (۲) الزامات مربوط به تعریض و اصلاح مسیر و شیب‌های طولی و یا شیار افتادگی و سایش بیشتر از ۵۰ میلیمتر برای بازیافت گرم درجا مطلوب و مناسب نمی‌باشند.

جدول شماره ۶-۳ اهمیت اطلاعات حاصل از ارزیابی تکمیلی - تفصیلی رویه آسفالتی موجود^(۱)

نواقص سطحی آسفالت				پارامترهای ارزیابی	وضعیت روسازی
تاب لغزشی سطح راه	ترک خوردگی	شیار افتادگی	سایش		
N	M	N	N	ترک‌ها (نوع و شدت)	وضعیت سطح آسفالت ^(۲)
R	N	M	M	پروفیل عرضی	
N	N	R	R	پروفیل طولی	
M	M	M	M	ضخامت	وضعیت موجود بتن آسفالتی ^(۳) که معمولاً شامل بیندر و توپکا می‌شود، ضمن اینکه حداقل باید معادل ضخامت مورد بازیافت در نقشه‌های اجرایی باشد)
M	M	M	M	درصد قیر(در ضخامت مورد بازیافت)	
M	M	M	M	دانه‌بندی(در ضخامت مورد بازیافت)	
M	M	M	M	وزن مخصوص	
M	M	M	M	فضای خالی	
N	M	R	M	درجه نفوذ، کندروانی و نقطه نرمی قیر بازیابی شده از مخلوط آسفالتی برای ضخامت مورد بازیافت	

توضیحات جدول ۶-۳:

M (Mandatory): الزامی است.

R (Recommended): مورد توصیه است.

N (Not Necessary): مورد نیاز نیست.

1) Existing Pavement Surface

- (۲) مطالعات انجام شده باید معرف واقعی وضعیت رویه آسفالتی مورد بررسی پروژه باشد. قسمت‌های دارای نواقص و معایب اختصاصی(نظیر سطوح با لکه‌گیری و تعمیرات زیاد) و آسیب دیدگی‌های موضعی سازه‌ای نیز باید مورد توجه قرار گیرد.
- (۳) این آزمایشات باید روی مغزه‌هایی که از سطح راه با ضخامت مندرج در نقشه‌های اجرایی، گرفته می‌شود، بمورد اجراء گذاشته شود.

جدول شماره ۶-۴ عملیات آسفالت بازیافت گرم درجا

ردیف	هدف ^(۱)	روش	فرآیند اجرایی
۱	- اصلاح پروفیل سطح آسفالت که به دلیل سایش و شیار افتادگی تغییر شکل یافته، ولی قیر رویه نسبتاً کهنه و سخت‌نشده و ترک‌خوردگی کم و جزئی است. ^(۲)	گرمایش - تراشیدن (بازیافت سطحی)	گرمایش، تراشیدن، افزودن جوان‌کننده (در صورت نیاز)، تسطیح، پروفیل‌سازی مجدد و تراکم ^(۳)
۲	- اصلاح پروفیل سطح راه که عوارض سایش و شیار افتادگی موجب تغییر شکل زیاد آن شده است روکش آسفالت گرم جدید در یک مرحله - اصلاح تاب لغزشی سطح راه - تقویت روسازی بمقدار جزئی و کم	احیاء مجدد (Repave)	گرمایش - تراشیدن، افزودن جوان‌کننده، تسطیح، پخش آسفالت گرم جدید ^(۴) ، پروفیل‌سازی مجدد، کوبیدن آسفالت
۳	اصلاح و بهبود کیفیت آسفالت رویه قدیمی ترک خورده و F قیر سخت شده از طریق افزودن جوان‌کننده و یا آسفالت گرم جدید ^(۳)	اختلاط مجدد (Remix)	گرمایش - تراشیدن، افزودن جوان‌کننده و اختلاط آنها و یا استفاده از آسفالت گرم جدید، اختلاط، پخش، پروفیل‌سازی و کوبیدن.

توضیحات جدول ۶-۴:

- (۱) هدفهای اولیه‌ای که با توجه به فرآیندهای اجرایی می‌توان برای اصلاح سطح آسفالت موجود در نظر گرفت.
- (۲) معمولاً قبل از روکش با آسفالت گرم جدید باید از روش گرمایش - تراشیدن استفاده نمود.
- (۳) پروفیل‌سازی باید با دقت اجرا و کنترل شود.
- (۴) نوع غلتک‌ها و روش کوبیدن باید با مشخصات فنی خصوصی پروژه مطابقت داشته باشد.

- ۵) دانه‌بندی، درصد قیر و ترکیب آسفالت جدید باید به گونه‌ای طراحی شود که موجب افزایش کیفیت و بهبود آسفالت موجود شود.
- ۶) ضخامت آسفالت گرم جدید باید اندازه‌گیری و کنترل شود.

جدول شماره ۶-۵- راهنمای انتخاب روش بازیافت گرم درجا

ردیف	هدف	نوع روش مورد استفاده
۱	اصلاح ناهمواری‌های سطح آسفالت شامل شیار افتادگی، فتیل‌شدن آسفالت و سایر تغییر شکل‌های سطحی	هر سه روش
۲	اصلاح شیب و بهبود زهکشی سطحی	هر سه روش
۳	حذف ترک‌های عرضی	هر سه روش
۴	پیش‌گیری موقت از ظهور ترک‌های انعکاسی	هر سه روش
۵	اصلاح روسازی آسفالتی بدون افزایش رقوم یا افزایش خیلی کم	هر سه روش
۶	احیاء رویه اکسید شده	روش گرم‌کردن - تراشیدن (بازیافت سطحی)
۷	اجرای یک روکش با روش یک مرحله‌ای (یک عبوره)	روش احیاء مجدد
۸	بهبود تاب لغزشی راه	روش‌های احیاء مجدد و اختلاط مجدد
۹	اصلاح دانه‌بندی یا بهبود کیفیت رویه آسفالتی	روش اختلاط مجدد
۱۰	احیاء و بهبود دوام آسفالت بدون افزایش قیر آن از طریق مصرف جوان‌سازها	روش اختلاط مجدد

۶-۴- تجهیزات و ماشین‌آلات بازیافت گرم درجا

در اجرای بازیافت گرم درجا از وسایل و ماشین‌آلات زیر استفاده می‌شود:

۶-۴-۱- سیستم‌های گرمایشی

خشک‌کردن، گرم کردن و در نتیجه نرم شدن سطح راه بوسیله یک یا چند دستگاه پیش‌حرارتی انجام می‌گیرد.

این دستگاه‌ها از اشعه غیر مستقیم و گرمایش با سیستم مادون قرمز استفاده می‌کنند که میزان گازهای منتشره و خسارات وارده به قیر را کاهش می‌دهند. بیشتر گرم‌کننده‌ها از پروپان یا گازهای مشابه آن به عنوان سوخت مصرف می‌نمایند در صورتیکه دستگاه‌های حرارتی مادون قرمز از سوخت دیزلی استفاده می‌کنند.

سه عاملی که بر انتقال گرما به روسازی آسفالت تأثیر می‌گذارند عبارتند از :

- حداکثر دمای منبع گرما
- دمای سطح روسازی / شرایط محیطی
- مدت زمانی که سطح روسازی در معرض منبع گرما قرار می‌گیرد.

برای اینکه بتوان روسازی آسفالت را بدون وارد آمدن خسارت زیاد به قیر گرم کرد باید حرارت منبع را کم و مدت زمان گرما را افزایش داد. این روند از طریق کاهش سرعت حرکت منبع حرارتی در سطح روسازی و یا از طریق افزایش تعداد منابع حرارتی به انجام می‌رسد. کند کردن سرعت منبع حرارتی بعلاوه کاهش میزان تولید، هزینه‌ها را افزایش می‌دهد. لذا در عمل با استفاده از گرم‌کننده‌های بیشتر می‌توان میزان بهره‌دهی را بالا برد.

دستگاه‌های گرم‌کننده باید دما را در سطح مورد اجرا بطور یکنواخت افزایش دهند. دمای مواد خرد شده بعد از اختلاط باید از حداقل ۱۱۰ درجه تا حداکثر ۱۵۰ درجه سانتیگراد باشد.

۶-۴-۲- دستگاه تراش و گرم‌کننده

دستگاه تراش با گرما بلافاصله پشت سر گرم‌کننده‌های اولیه حرکت می‌کند. این دستگاه حرارت نهایی را افزایش داده و سپس روسازی آسفالتی موجود نرم شده را شخم می‌زند. روسازی نرم شده بوسیله یک یا چند ردیف دندان‌های موجود در دستگاه، شخم‌زده می‌شود. دندان‌های موجود در برخی دستگاه‌ها گاهی بوسیله فشار هوا یا آب فعال می‌شوند تا از شکستگی سطح زیرین روسازی که سرد است جلوگیری کند.

عمق شخم‌زنی در روش بازیافت درجا بین ۲۰ تا ۵۰ میلیمتر می‌باشد. دندان‌های شخم‌زن معمولاً با سطح روسازی تمام شده هم سطح بوده تا عمق شخم‌زنی یکسانی ایجاد کنند. واضح است که به خاطر تفاوت در درجه سختی و عمق نفوذ گرما به لایه‌های مختلف روسازی بویژه در روسازی‌های شیاری شده تفاوت‌هایی نیز ایجاد خواهد شد.

عمق شخم‌زنی با تغییر دادن موقعیت فنرها، تنظیم فشار آب و هوا بر روی دندان‌ها یا تغییر سرعت پیش‌روندگی دستگاه قابل کنترل است. با استفاده صحیح از گرم‌کننده‌های اولیه و دستگاه شخم‌زن، تفاوت‌ها در عمق تراش بخصوص برای عمق ۵۰ میلیمتر به حداقل می‌رسد.

۶-۴-۳- سیستم افزودن جوان‌ساز

جوان‌سازها به وسیله یک سیستم کامپیوتری قابل کنترل که به سرعت حرکت پیش‌روندگی دستگاه متصل می‌باشد، به روسازی آسفالت نرم شده و یا به مصالح خرد آسفالتی افزوده می‌شود.

- خصوصیات قیر فرسوده
- نوع ماده جوان‌ساز که مورد استفاده قرار می‌گیرد.
- الزامات طرح اختلاط

در برخی موارد این ماده جوان‌ساز بوسیله دستگاه تراشیدن با گرما، و در مواردی نیز بوسیله قسمت مجزای دیگری از دستگاه اضافه می‌شود.

ماده جوان‌ساز در یک مخزن مسطح قرار دارد و به آن حرارت داده می‌شود تا بتوان از آن در دماهای خیلی زیاد استفاده کرد. این کار فرآیند پخش ماده جوان‌ساز را در کل مواد نرم شده / خرد شده افزایش می‌دهد. اگر ماده جوان‌ساز امولسیون قیر باشد در این صورت مقداری از انرژی گرمایی آسفالت خرد شده را جذب می‌کند تا آب امولسیون را گرم و تبخیر کند. بنابراین دمای مواد خرد شده باید چند درجه افزایش یابد تا گرمایی را که در طول کاهش رطوبت از دست داده بود جبران کند.

هنگامی که ماده جوان‌ساز به مصالح خرد شده افزوده شد سپس با آن مخلوط می‌شود. عمل اختلاط معمولاً توسط روش‌های استاندارد انجام می‌گیرد. برخی مواقع ماده جوان‌ساز قبل از شخم‌زدن روسازی در سطح راه پخش می‌شود، در این حالت دندان‌های

شخم‌زن نه تنها روسازی آسفالتی را شخم می‌زند بلکه آنها را نیز مخلوط می‌کنند. در برخی موارد استثنائی بعد از اینکه آسفالت روسازی شخم زده، پخش و متراکم شد ماده جوان‌ساز روی آن مانند قیرپاشی پخش می‌شود.

میزان مصرف ماده جوان‌ساز در عملیات بازیافت گرم درجا و در شرایطی که صددرصد از مصالح RAP استفاده می‌شود براساس روش ASTM - D۴۸۸۷ محاسبه و تعیین می‌گردد. بدیهی است که قبلاً باید کندروانی قیر موجود در مصالح RAP اندازه‌گیری و به تناسب اینکه ماده جوان‌ساز غلیظ و یا رقیق انتخاب شود درصد مصرف آن نسبت به قیر موجود تعیین شود. جوان‌سازها و یا قیرهای جدید مصرفی باید با مشخصات بندهای ۲-۵ و ۲-۶ فصل دوم این دستورالعمل مطابقت داشته باشند.

۶-۴-۴- مخلوط کننده

در کلیه روش‌های بازیافت گرم درجا محفظه‌ای برای اختلاط جوان‌سازها با مصالح بازیافت و یا مخلوط کردن آسفالت گرم جدید با مصالح بازیافت تعبیه شده است. ضمناً برای افزودن آسفالت گرم جدید به دستگاه نیز محل معینی در نظر گرفته شده که در شکل‌های مربوطه نشان داده شده است.

۶-۴-۵- فینیشر

فینیشر متصل به دستگاه باید شرایط زیر را داشته باشد:

- خود کششی بوده و چرخ‌های آن تماسی با مخلوط پخش شده نداشته باشد.
- به تیغه و شمشه تراز مجهز باشد تا بتواند مخلوط بازیافت را با بافتی همگن و پیوسته در عرض، ضخامت، خطوط، شیب تعیین شده پخش نماید، ضمن آنکه موجب جداشدگی مخلوط نشود و بریدگی در سطح آسفالت ایجاد ننماید.
- با یک سیستم کنترل بخش شونده مجهز باشد تا آسفالت را با شیب مورد نظر پخش نماید و شمشه تراز دستگاه را در محل صحیح نگهداری کند.

۶-۴-۶- غلتک‌ها

غلتک‌هایی که برای کوبیدن آسفالت بازیافت گرم، روکش آن با آسفالت جدید مورد استفاده قرار می‌گیرند شامل فلزی و لاستیکی و ارتعاشی باید با مشخصات مندرج در فصل آسفالت گرم و بتن آسفالتی مشخصات فنی عمومی راه نشریه ۱۰۱ انطباق داشته باشند.

۶-۵-۵- اجرای عملیات

۶-۵-۱- پاک‌سازی سطح روسازی

سطح مورد بازیافت موجود باید با جارو، فشار آب و یا روش‌های دیگر مورد تأیید دستگاه نظارت پیش از عملیات گرم کردن و خراش‌دادن از هر گونه گرد و خاک، روغن و ضایعات پاک شود.

۶-۵-۲- قطعه آزمایشی

در ابتدای عملیات بازیافت گرم، یک نوار آزمایشی برای پروژه بطول حداقل ۱۵۰ و کمتر از ۳۰۰ متر اجرا می‌شود، تا تمام تجهیزات و روش‌های مورد استفاده برای بازیابی گرم در پروژه مورد کنترل قرار گیرد. تا زمانی که قطعه آزمایشی به تأیید دستگاه نظارت نرسد از اجرای هرگونه بازیافت گرم باید خودداری شود.

۶-۵-۳- گرم کردن و شخم زدن

سطح رویه را بطور یکسان گرم نموده و شخم می‌زنند. گرما را کنترل نموده تا از گرم شدن یکدست و یکنواخت سطح مورد نظر اطمینان حاصل شود. سوزاندن قیر مجاز نیست. پیش از اختلاط دوباره و تسطیح مخلوط، ماده جوان‌ساز را بطور یکنواخت بر روی مصالح شخم‌زده پخش می‌گردد، مگر اینکه مشخصات فنی خصوصی روش دیگری را برای مصرف آن تعیین کرده باشد. مقدار و میزان کاربرد با توجه به آزمایش‌های آزمایشگاهی انجام شده بر روی نمونه‌های روسازی و دستورات دستگاه نظارت تعیین می‌شود.

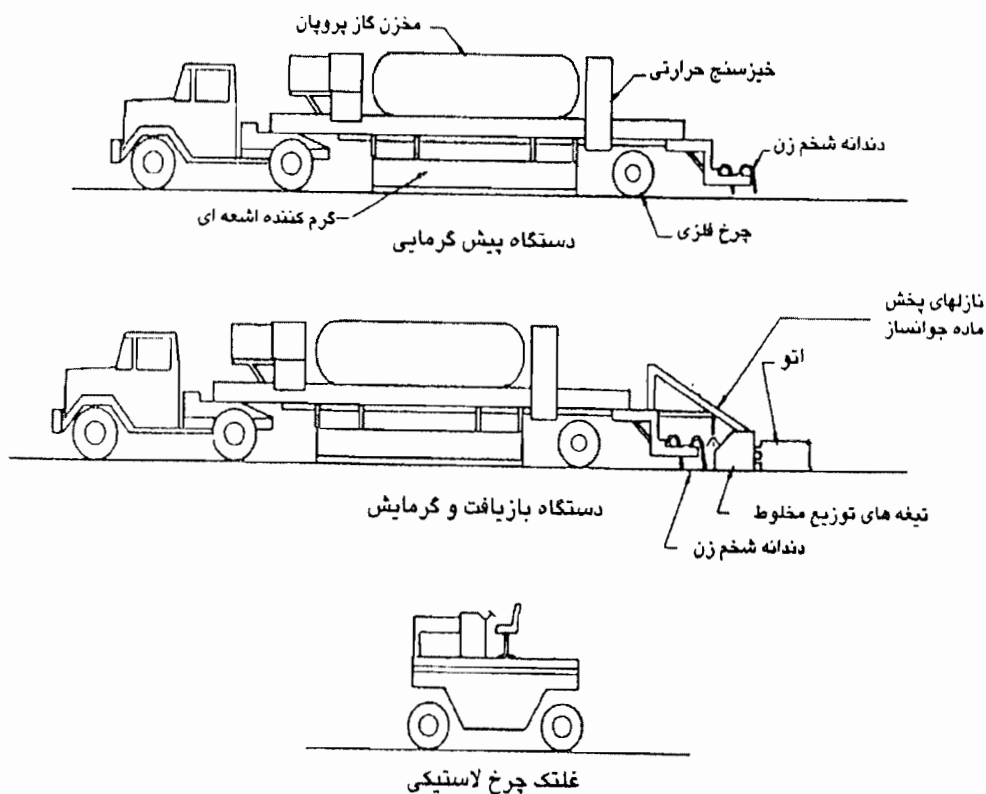
مصالح گرم شده و شخم‌زده باید درجه حرارتی بین $110^{\circ}C$ و $150^{\circ}C$ داشته باشند و این حرارت پشت سر دستگاه شخم‌زن کنترل شود به نحوی که دمای انتخاب شده بیش از $13 \pm^{\circ}C$ تغییر نیابد. در حین کار، درختچه‌ها و بوته‌ها و سایر مواد مجاور سطح روسازی و نیز محیط اطراف آن از نظر تخریب ناشی از گرما باید محافظت شود. وقتی مسیری در مجاورت مسیری دیگر ساخته می‌شود. عرض همپوشانی باید حداقل ۵۰ میلیمتر باشد. از روش‌های دیگر مورد تأیید دستگاه نظارت برای اطمینان یافتن از یک اتصال کافی و لازم نیز می‌توان استفاده کرد.

۶-۵-۴- مخلوط کردن و پخش آسفالت

دستگاه باید بطور خودکار ماده شخم‌زده شده را به یک واحد مخلوط کن، تغذیه کند. ماده جوان‌ساز و در صورت لزوم جدید را به دستگاه مخلوط‌کننده به مقدار تعیین شده اضافه می‌شود. مواد را به دقت باهم مخلوط کرده و سپس به فینیشر آسفالت انتقال می‌یابد. مخلوط را با ضخامت و شیب مشخص شده در حداقل درجه حرارت $110^{\circ}C$ پخش کنید.

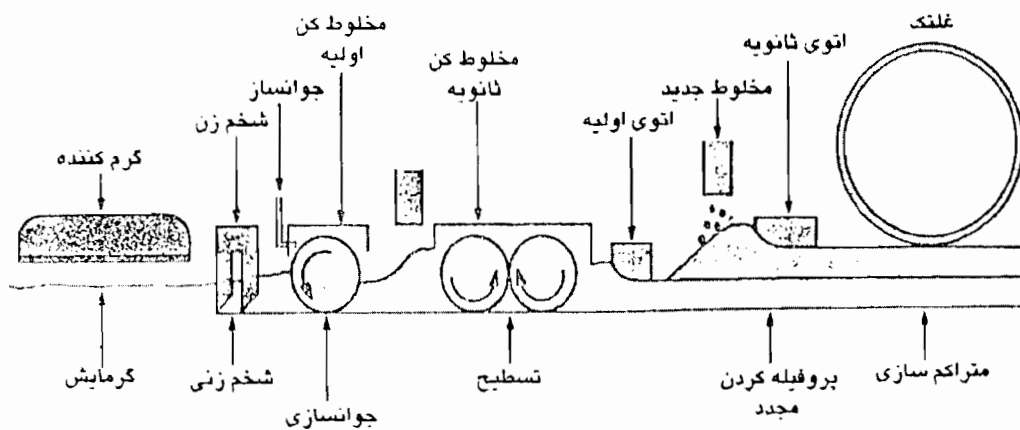
۶-۵-۵- کوبیدن

مخلوط بازیافت گرم درجا باید مطابق شرح مندرج در مشخصات فنی عمومی راه و رعایت دستورالعمل‌های مربوط متراکم شود. عملیات غلتک‌زنی قبل از آنکه درجه حرارت به ۸۰ سانتیگراد برسد باید کامل شود.



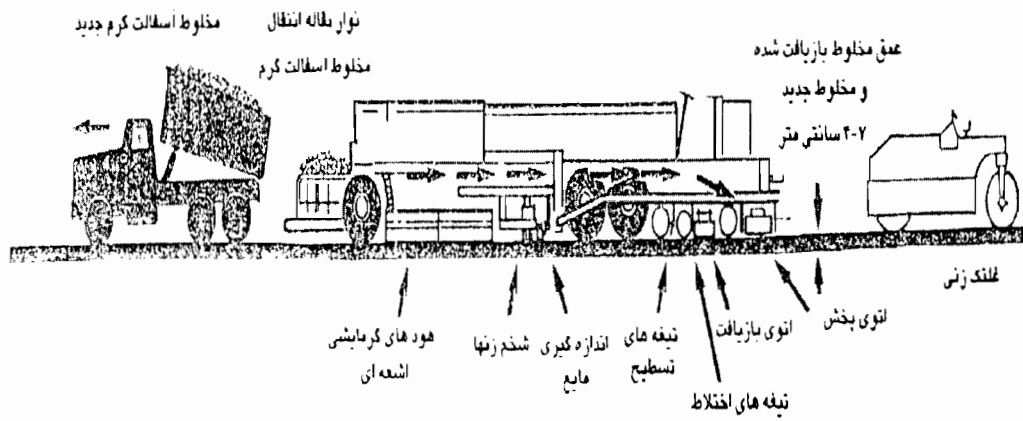
شکل ۶-۱ فرآیند کلی بازیافت سطحی یا روش گرمایش - تراشیدن

(Heating and Scarification Process)

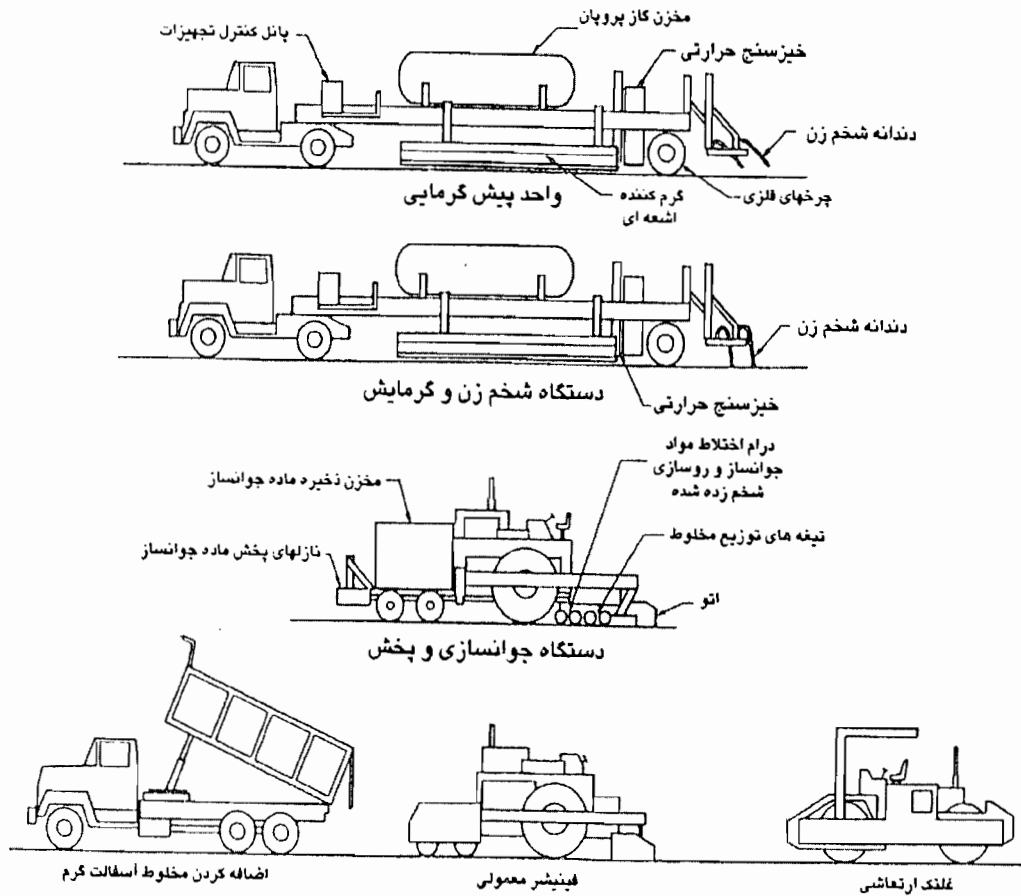


شکل ۶-۲ فرآیند کلی روش احیاء مجدد

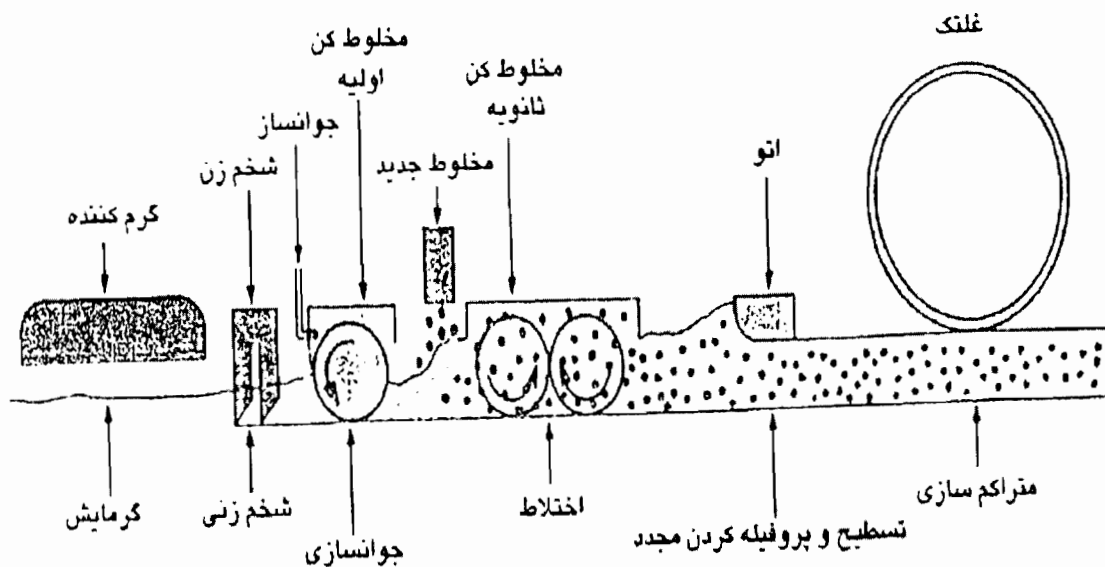
Repaving Process



شکل ۳-۶- فرآیند احیاء مجدد (یک مرحله‌ای)

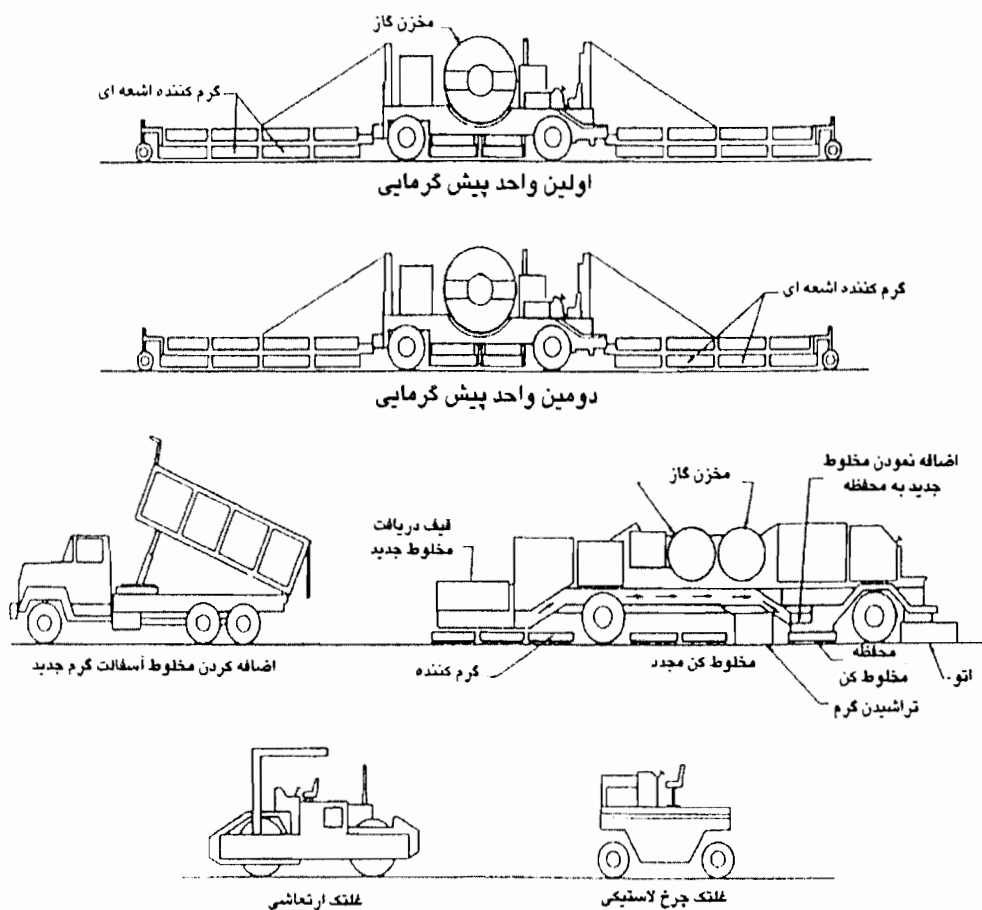


شکل ۴-۶- فرآیند احیای مجدد (چند مرحله‌ای)



شکل ۵-۶ فرآیند کلی اختلاط مجدد

(Remixing Process)



شکل ۶-۶ فرآیند اختلاط مجدد یک مرحله‌ای

فصل هفتم

مشخصات و آزمایش‌های کنترل کیفیت بازیافت گرم

۱-۷- کلیات

کیفیت کلیه مصالح مصرفی در بازیافت کارخانه‌ای و درجا، شامل مصالح خرده آسفالت، مصالح سنگی بازیافتی، مصالح سنگی جدید، مواد قیری و جوان‌سازها، آسفالت گرم نهائی حاصل از عملیات بازیافت و آسفالت گرم کاملاً جدید مصرفی در این فرآیند و در مرحله روکش و نیز تجهیزات وسایل ساخت و اجراء باید با مفاد این دستورالعمل و فصلهای ذیربط در آئین نامه روسازی راه (نشریه ۲۳۴)، مشخصات فنی عمومی راه (نشریه ۱۰۱) و مشخصات فنی خصوصی پروژه مطابقت داشته باشد.

مشخصات و آزمایش‌های کنترل کیفیت کلیه مصالح مصرفی و مواد تشکیل‌دهنده بازیافت گرم باید با مندرجات این فصل مطابقت داشته باشد.

۲-۷- مواد قیری و جوانسازها

مواد قیری و جوان‌سازهای مصرفی در بازیافت و قیر حاصل از اختلاط قیر موجود در خرده آسفالت و جوان‌سازها، و نیز آزمایش‌های کنترل کیفیت آنها باید با خصوصیات مشروحه در فصل دوم و جدول شماره ۷-۱ این فصل مطابقت داشته باشد.

۳-۷- مصالح سنگی

کیفیت مصالح سنگی خرده آسفالت RAM، RAP، و مصالح سنگی جدید و مخلوط نهائی حاصل از آنها برحسب اینکه نوع لایه آسفالتی، اساس قیری، آستر و یا رویه باشد باید با دانه‌بندی طرح اختلاط و نیز مشخصات و آزمایش‌های کنترل کیفیت آنها با جدول شماره ۷-۲ برابری داشته باشد.

۴-۷- مخلوط آسفالتی بازیافت

مشخصات و آزمایش‌های کنترل کیفی مخلوط آسفالت نهائی بازیافت گرم و آسفالت گرم جدید مصرفی در این فرآیند باید با ضوابط و معیارهای آئین نامه روسازی (نشریه ۲۳۴)، مشخصات فنی عمومی راه (نشریه ۱۰۱) و مشخصات فنی خصوصی پروژه و جدول ۷-۳ مطابقت داشته باشد.

محدودیت مصرف آسفالت گرم بازیافتی برحسب درصد خرده آسفالت مصرفی، برای قشرهای اساس قیری، آستر و رویه باید با جزئیات کامل در مشخصات فنی خصوصی پروژه قید شود.

۷-۵- سایر آزمایش‌ها

علاوه بر آزمایش‌های کنترل کیفیت مشروحه فوق چنانچه در مراحل طراحی، ساخت و اجراء انجام آزمایش‌های دیگری به تشخیص مشاور ضروری باشد، باید با توجه به حفظ کامل مسئولیت مشاور طرح در استفاده از استانداردهای ملی و بین المللی، به موارد اجرا گذاشته شود.

جدول شماره ۷-۱ مشخصات و آزمایش‌های کنترل کیفیت مواد قیری و جوان‌سازهای مصرفی در بازیافت گرم

ردیف	مشخصات و آزمایش	عنوان	ASTM	AASHTO
۱	مشخصات	قیرهای خالص رده‌بندی شده با درجه نفوذ	D۹۴۶	M۲۰
۲	مشخصات	قیرهای خالص رده‌بندی شده با آزمایش کندروانی (برحسب پوآز)	D۳۳۸۱	M۲۲۶
۳	مشخصات	مشخصات قیر در روسازی ممتاز و رده‌بندی شده براساس عملکرد	D۶۳۷۳	MP۱
۴	مشخصات	قیرهای محلول رودگیر	D۲۰۲۸	MA۱
۵	مشخصات	قیرهای محلول کندگیر	D۲۰۲۷	MA۲
۶	مشخصات	قیرآبه‌های آنیونیک	D۹۷۷	M۱۴۰
۷	مشخصات	قیرآبه‌های کاتیونیک	D۲۳۹۷	M۲۰۸
۸	مشخصات	جوان‌سازهای مصرفی برای بازیافت گرم	D۴۵۵۲	R - ۱۴
۹	مشخصات	جوان‌سازهای امولسیون‌ی برای بازیافت گرم و سرد درجا و کارخانه‌ای	D۵۵۰۵	---
۱۰	مشخصات	قیرهای خالص اصلاح شده با پلیمرهای نوع I	D۵۹۷۶	---
۱۱	مشخصات	قیرهای خالص اصلاح شده با پلیمرهای نوع II	D۵۸۴۰	---
۱۲	مشخصات	قیرهای خالص اصلاح شده با پلیمرهای نوع III	D۵۸۴۱	---
۱۳	مشخصات	قیرهای خالص اصلاح شده با پلیمرهای نوع IV	D۵۸۹۲	---
۱۴	مشخصات	قیرهای خالص اصلاح شده با پودر لاستیک	D۶۱۱۴	---
۱۵	مشخصات	قیرهای خالص اصلاح شده با مواد شیمیایی	D۶۱۵۴	---
۱۶	آزمایش	تهیه مخلوط قیر سخت شده با جوان‌سازها با کندروانی	D۴۸۸۷	---
۱۷	آزمایش	تعیین در آزمایشگاه - در بازیافت گرم آسفالت	D۴۸۸۷	---
۱۸	آزمایش	نمونه‌گیری از مواد قیری	D۱۴۰	T۴۰
۱۹	آزمایش	درجه نفوذ مواد قیری	D۵	T۴۹
۲۰	آزمایش	خاصیت انگمی مواد قیری	D۱۱۳	T۵۱
۲۱	آزمایش	نقطه نرمی قیر	D۳۶	T۵۳
۲۲	آزمایش	وزن مخصوص قیر با پیکنومتر	D۷۰	T۲۲۸
۲۳	آزمایش	آزمایش قیر آبه‌ها	D۲۴۴	T۵۹
۲۴	آزمایش	حلالیت قیرها در تری کلروراتیلن	D۲۰۴۲	T۴۴
۲۵	آزمایش	کندروانی کینماتیک	D۲۱۷۰	T۲۰۱
۲۶	آزمایش	کندروانی باروش (واکیوم کاپیلاری)، برحسب پوآز	D۲۱۷۱	T۲۰۲
۲۷	آزمایش	اثر حرارت و هوا با روش فیلم نازک قیر	D۱۷۵۴	T۱۷۰
۲۸	آزمایش	اثر حرارت و هوا با روش فیلم نازک قیری دوار	۲۸۷۲	T۲۴۰
۲۹	آزمایش	جداکردن مواد چهارگانه قیر	D۴۱۲۴	---
۳۰	آزمایش	نقطه اشتعال قیر با ظرف سربسته	D۹۲	T۷۳

جدول شماره ۷-۲ مشخصات و آزمایش‌های کنترل کیفیت مصالح سنگی مصرفی در آسفالت گرم

ردیف	مشخصات و آزمایش	عنوان	ASTM	AASHTO
۱	مشخصات	مصالح سنگی درشت‌دانه برای مخلوط‌های آسفالتی	D۶۹۲	---
۲	مشخصات	مصالح سنگی ریزدانه برای مخلوط‌های آسفالتی	D۱۰۷۳	M۲۹
۳	مشخصات	فیلر مصرفی در آسفالت گرم	D۲۴۲	M۱۷
۴	مشخصات	دانه‌بندی باز و پیوسته مخلوط‌های آسفالتی گرم و سرد	D۳۵۱۵	---
۵	آزمایش	نمونه‌گیری از مصالح	D۷۵	T۲
۶	آزمایش	دانه‌بندی فیلر	D۵۴۶	T۳۷
۷	آزمایش	تعیین درصد مواد رده‌شده از الک ۲۰۰ مصالح	C۱۱۷	T۱۱
۸	آزمایش	دانه‌بندی مصالح درشت‌دانه و ریزدانه	C۱۳۶	T۲۷
۹	آزمایش	وزن واحد حجم مصالح	C۲۹	T۱۹
۱۰	آزمایش	وزن مخصوص و جذب آب مصالح درشت‌دانه	C۱۲۷	T۸۵
۱۱	آزمایش	وزن مخصوص و جذب آب مصالح ریزدانه	C۱۲۸	T۸۴
۱۲	آزمایش	مقاومت در مقابل سایش با آزمایش لوس آنجلس	C۱۳۱	T۹۶
۱۳	آزمایش	استحکام در برابر یخ زدن - ذوب شدن	---	T۱۰۳
۱۴	آزمایش	استحکام در برابر سولفات سدیم و منیزیم	C۸۸	T۱۰۴
۱۵	آزمایش	لرزش ماسه‌ای	C۲۴۱۹	T۱۷۶
۱۶	آزمایش	درصد رطوبت مصالح	C۵۶۶	T۲۵۵
۱۷	آزمایش	کلوخه‌های رسی و ذرات شکننده	C۱۴۲	T۱۱۲
۱۸	آزمایش	سنگدانه های سبک	C۱۲۳	T۱۱۳
۱۹	آزمایش	ضریب دوام مصالح	D۳۷۴۴	T۲۱۰
۲۰	آزمایش	تعیین درصد سنگدانه‌های پولکی و سوزنی	D۴۷۹۱	---
۲۱	آزمایش	تعیین درصد شکستگی مصالح سنگی	D۵۸۲۱	---
۲۲	آزمایش	تعیین ضریب شکل و بافت سنگدانه	D۳۳۹۸	---
۲۳	آزمایش	تعیین ضریب گوشه‌داری مصالح سنگی ریزدانه	C۱۲۵۲	TP۲۳

جدول ۳-۷ مشخصات و آزمایش‌های کنترل کیفیت مخلوط‌های آسفالتی گرم

ردیف	مشخصات و آزمایش	عنوان	ASTM	AASHTO
۱	مشخصات	مشخصات کارخانه آسفالت برای تولید آسفالت گرم	D۹۹۵	M۱۵۶
۲	مشخصات	مخلوط‌های آسفالت گرم	D۳۵۱۵	---
۳	آزمایش	نمونه‌گیری مخلوط‌های آسفالتی	D۹۷۹	T۱۶۸
۴	آزمایش	جداسازی قیر از مخلوط‌های آسفالتی (تعیین درصد قیر)	D۲۱۷۳	T۱۶۴
۵	آزمایش	جداسازی قیر از مخلوط‌های آسفالتی با روش سوزاندن	D۶۳۰۷	---
۶	آزمایش	دانه‌بندی مصالح سنگی بعد از جداسازی قیر در مخلوط آسفالتی	D۵۳۴۴	T۳۰
۷	آزمایش	بازیافت قیر مخلوط‌های آسفالتی با روش Abson	D۱۸۵۶	T۱۷۰
۸	آزمایش	بازیافت قیر مخلوط‌های آسفالتی با روش Rotavapor	D۵۴۰۴	---
۹	آزمایش	تعیین درصد آب و مواد فرار مخلوط‌های آسفالتی	D۱۴۶۱	T۱۱۰
۱۰	آزمایش	اثر آب بر چسبندگی مخلوط آسفالتی متراکم	D۱۰۷۵	T۱۶۵
۱۱	آزمایش	مقاومت فشاری مخلوط آسفالتی	D۱۰۷۴	T۱۶۷
۱۲	آزمایش	مدول دینامیکی مخلوط آسفالتی	D۳۳۹۷	---
۱۳	آزمایش	اثر رطوبت بر مخلوط بتن آسفالتی	D۲۸۶۷	T۲۸۳
۱۴	آزمایش	آزمایش کششی غیر مستقیم و مدول برجهندگی مخلوط آسفالتی	D۴۱۲۳	---
۱۵	آزمایش	مقاومت مارشال با قالب‌های کوچک	D۱۵۵۹	T۲۴۵
۱۶	آزمایش	مقاومت مارشال با قالب‌های بزرگ	D۵۵۸۱	---
۱۷	آزمایش	تعیین درصد قیر مخلوط آسفالتی با روش هسته‌ای	D۴۱۲۵	T۲۸۷
۱۸	آزمایش	بازرسی کارخانه آسفالت	D۲۹۰	T۱۷۳
۱۹	آزمایش	تعیین حداکثر وزن مخصوص نظری با روش رایس	D۲۰۴۱	T۲۰۹
۲۰	آزمایش	تعیین وزن مخصوص مخلوط آسفالتی متراکم	D۲۷۲۶	T۱۶۶
۲۱	آزمایش	تعیین وزن مخصوص مخلوط آسفالتی متراکم با پوشش پارافین	D۱۱۸۸	T۲۷۵
۲۲	آزمایش	تعیین درصد کوبیدگی آسفالت	--	T۲۳۰

پایان

مؤسسه قیر و آسفالت ایران

اسفند ماه ۱۳۸۴

Islamic Republic of Iran

**Hot Mix Asphalt Recycling
General Technical Specifications**

No : 341

**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**

2006/1385

این نشریه

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

این نشریه مشتمل بر هفت فصل می‌باشد و در آن مسائل مربوط به انجام بازیافت گرم آسفالت، ارزیابی کیفیت مصالح بازیافت، طرح اختلاط بازیافت گرم، طرح ضخامت روسازی، بازیافت گرم کارخانه‌ای، بازیافت گرم درجا و همچنین مشخصات و آزمایشات کنترل کیفیت بازیافت گرم ارائه شده است.

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