وزارت کشور
سازمان شهرداری‌ها و دهیاری‌های کشور
انتشارات

سری منابع آموزشی شهرداری‌ها
۹۳

زیرسازی و روسازی راه

تهیه و تنظیم:
معاونت آموزشی
پژوهشکده مدیریت شهری و روستایی
سازمان شهرداری‌ها و دهیاری‌های کشور

بسم الله الرحمن الرحيم

زیر سازی و روسازی راه

نویسنده:

دکتر علی اکبر حیدری

(عضو هیئت علمی دانشگاه هنر تهران)

وزارت کشور
سازمان شهرداری‌ها و دهیاری‌های کشور
پژوهشکده مدیریت شهری و روستایی

جمهوری اسلامی ایران
وزارت کشور
استانداری خراسان جنوبی

شهرداری بیرجند

سری منابع آموزشی شهرداری‌ها

سرشناسه: حیدری، علی‌اکبر، ۱۳۳۴ -
عنوان و نام پدیدآور: زیرسازی و روسازی راه/ مولف علی‌اکبر حیدری؛ تهیه و تنظیم معاونت آموزشی پژوهشکده مدیریت شهری و روستایی سازمان شهرداریها و دهیاریهای کشور؛ مجری استانداری خراسان جنوبی، شهرداری کرمان، پژوهشکده فرهنگ، هنر و معماری جهاد دانشگاهی
مشخصات نشر: تهران: راه دان، ۱۳۹۰
مشخصات ظاهری: ق۳۰۰ ص.: مصور، جدول، نمودار
فروست: سری مجموعه منابع آموزشی شهرداری‌ها
شابک: ۷-۸۴-۵۹۵۰-۶۰۰-۹۷۸ وضعیت فهرست نویسی: فیپا
یادداشت: کتابنامه: ص. ۲۷۵ موضوع: راهسازی
شناسه افزوده: سازمان شهرداریها و دهیاریهای کشور. پژوهشکده مدیریت شهری و روستایی. معاونت آموزشی
شناسه افزوده: استانداری خراسان جنوبی شناسه افزوده: شهرداری کرمان
شناسه افزوده: جهاد دانشگاهی، پژوهشکده فرهنگ، هنر و معماری
رده بندی کنگره: ۱۳۹۰ ۹ز۹ح/TE۲۱۰ رده بندی دیویی: ۶۲۵/۷۳۳
شماره کتابشناسی ملی: ۲۷۰۸۹۳۰

عنوان : زیرسازی و روسازی راه
ناشر: راه دان، انتشارات سازمان شهرداریها و دهیاریهای کشور
تهیه و تنظیم: معاونت آموزشی پژوهشکده مدیریت شهری و روستایی
مجری: دفتر امور شهری وشوراهای استانداری خراسان جنوبی، پژوهشکده فرهنگ، هنر و معماری جهاد دانشگاهی، شهرداری کرمان، شهرداری بیرجند
مدیر پروژه: حسین رجب صلاحی، سیدکاظم اولیایی، عبدالحسین شهابی، جواد وحدتی فرد
ناظر پروژه: جواد نیکنام، علیرضا صفری
نویسنده: دکتر علی اکبر حیدری (عضو هیئت علمی دانشگاه هنر تهران)
ویراستار: تهمینه فتح الهی **صفحه‌آرا:** فاطمه سادات شاکری
شمارگان: ۳۰۰۰ نسخه **نوبت چاپ:** اول
تاریخ چاپ: بهار ۱۳۹۱ **قیمت:**
شابک: ۷-۸۴-۵۹۵۰-۶۰۰-۹۷۸ **نظارت چاپ:** عقیق ۴-۸۸۹۳۲۴۰۳

حق چاپ و نشر برای انتشارات سازمان شهرداری‌ها و دهیاری‌های کشور محفوظ است

پیشگفتار

گسترش شهرنشینی و مسائل و مشکلات خاص زندگی شهری، بیش از پیش ضرورت توجه همه جانبه به راهبردهای سودمند برای بهینه سازی زندگی ساکنان شهرها را لازم ساخته است . در میان عوامل تاثیرگذار در شهرها مانند محیط زیست شهری، حمل و نقل شهری، ایمنی شهری و برنامه ریزی شهری، یک عامل بسیار مهم‌که تاثیر فزاینده و تعیین‌کننده‌ای بر دیگر عوامل سازنده زندگی شهری دارد، مدیریت شهری است . هر فعالیت اجتماعی بدون وجود مدیریت سازمان یافته که اهداف و ابزارهای رسیدن به آنها را مشخص کند و فعالیت‌ها را هماهنگ سازد - از هم می‌پاشد و به بی نظمی می‌گراید . شهرها نیزکه پیچیده‌ترین و متنوع‌ترین جلوه‌های زندگی اجتماعی بشری را در خود دارند بدون وجود نظام مدیریت شهری‌که ضمن انجام برنامه ریزی‌های لازم برای رشد و توسعه آینده شهر به مقابله با مسائل و مشکلات کنونی آنها بپردازد بی سامان می‌گردند .

در نظریه‌های جدید مدیریت، به بالاترین سازمان از نظر کیفیت، سازمان متعالی می‌گویند . یک سازمان زمانی متعالی است‌که تمام اعضا به ماهیت ذاتی و درونی روابط خود اهمیت دهند، بدین معناکه هر فردی برای کارآیی بیشتر از هیچ‌کوششی دریغ نورزد . بر خلاف یک رابطه متقابل خشک و رسمی‌که در آن طرفین به چگونگی تقسیم منافع علاقمندی نشان می‌دهند، اعضاء یک سازمان متعالی و برتر بیشتر مایل اند بدانند چگونه هر یک از آنان می‌توانند نفع بیشتری به سازمان ارائه دهند، افزون بر این، تمامی اعضا سازمان به این موضوع علاقمندندکه چگونه می‌توانند برای افراد خارج از سازمان نیز مثمر ثمر باشند .

نظام مدیریت شهری نیز می‌باید به جایگاه متعالی خود برای خدمات رسانی بهتر به منظور رضایتمندی هر چه بیشتر شهروندان کشور دست یابد . مهمترین راه برای رسیدن به این هدف برای نظام مدیریت شهری دست یابی به جریان دانش و اطلاعات بهتر در جهت اخذ تصمیم مناسب وکاهش خطاها در تصمیم گیری و اجرا می‌باشد . داشتن دانش و اطلاعات از عدم قطعیت در روند تصمیم گیری‌ها می‌کاهد . مهمترین ابزار دست یابی به اطلاعات در جهان امروز متون نوشتاری یا الکترونیک می‌باشدکه اگر

حاصل تلفیق علم وعمل باشند تاثیرگذاری آن به مراتب بر مخاطبین بیشتر خواهد بود . به منظور انتشار دست آوردهای جدید علمی و عملی در زمینه‌های مختلف مدیریت شهری پژوهشکده مدیریت شهری و روستایی سازمان شهرداری‌ها و دهیاری‌های کشور با همکاری دفتر امور شهری و شوراهای استانداری خراسان جنوبی اقدام به انتشارکتب آموزشی ای با عناوین زیر نموده است تاگامی‌هر چندکوچک در ارتقاءسطح علمی شهرداری‌هاکشور برداشته شده باشد .

۱ حفاری و خاکبرداری شهری .

۲ زیر سازی و روسازی راه .

۳ راهسازی و ماشین آلات ساختمانی .

کتاب حاضر با عنوان زیر سازی و روسازی راه در هشت فصل تهیه شده است . فصول این کتاب عبارتند از: فصل اول: زیر سازی؛ روسازی و مصالح سنگی، فصل دوم: عملیات خاکی وکنترل کیفیت، فصل سوم: زیر اساس و اساس در راه سازی، فصل چهارم: قیر، فصل پنجم: آسفالت، فصل ششم: آزمایش‌های قیر؛ مصالح سنگی و آسفالت، فصل هفتم: بازیافت آسفالت و فصل هشتم: ماشین آلات .

در پایان از همکاری صمیمانه آقایان سیدکاظم اولیائی معاون امور عمرانی استانداری خراسان جنوبی، حسین رجب صلاحی معاون آموزشی پژوهشکده مدیریت شهری و روستایی سازمان شهرداری‌ها و دهیاری‌کشور، عبدالحسین خان شهابی مدیرکل دفتر امور شهری و شوراهای استانداری خراسان جنوبی، شهرداری کرمان و پژوهشکده فرهنگ، هنر و معماری جهاد دانشگاهی که در تهیه، تدوین و نشر این کتاب تلاش فراوانی نمودند نهایت تقدیر و تشکر به عمل می‌آید .

محمد رضا بمانیان
رئیس پژوهشکده مدیریت شهری و روستایی
سازمان شهرداری‌ها و دهیاری‌های کشور

قهرمان رشید
استاندار خراسان جنوبی

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

پیشگفتار ..... أ

فصل اول: زیرسازی، روسازی و مصالح سنگی ۱

اهداف ۲

۱-۱. بستر روسازی راه (نشریه ۱۰۱، ۱۳۸۹، صفحات ۳۲ الی ۳۸) ۳

۱-۱-۱. بستر روسازی در برش خاکی ۳

۱-۱-۲. بستر روسازی در برش سنگی ۴

۱-۱-۳. بستر روسازی در خاکریزی ۴

۱-۱-۴. بستر روسازی در سطح راه موجود ۴

۱-۱-۵. بستر روسازی در سطح زمین طبیعی ۵

۱-۲. راه‌های انحرافی و راه‌های اتصالی ۵

۱-۳. کنترل سطح تمام شده ۵

۱-۴. حفاظت کارهای انجام شده ۶

۱-۵ .آزمایش‌های کنترل ۶

۱-۵-۱. زمین طبیعی ۷

۱-۵-۲. خاک‌ریزی معمولی ۷

۱-۵-۳. سنگ‌ریزی ۸

۱-۵-۴. بستر روسازی در خاک‌ریزی ۸

۱-۵-۵. بستر روسازی در خاک‌برداری ۸

۱-۵-۶. بستر روسازی در زمین طبیعی ۹

۱-۵-۷. آزمایش سی‌بی‌آر (CBR) ۹

۱-۵-۸. اندازه‌گیری ضخامت لایه‌های خاکریز ۱۰

۱-۶. روسازی راه (نشریه ۲۳۴، ۱۳۸۱، صفحات ۱-۱ و ۱-۲) ۱۰

۱-۷. هدف از روسازی ۱۰

۱-۸. عملکرد روسازی ۱۱
۱-۸-۱. مقاومت در مقابل تنش ۱۲
۱-۸-۲. کاهش تنش برای لایه‌های زیرین ۱۲
۱-۹. لایه‌های روسازی و خواص کلی آن‌ها ۱۳
۱-۱۰. مصالح سنگی (محمد سرائی‌پور، ۱۳۷۷، صفحات ۱۱۹ الی ۱۲۸) ۱۵
۱-۱۰-۱. رده‌بندی سنگ‌ها از نقطه نظر راه‌سازی ۱۵
۱-۱۰-۱-۱. سنگ‌های آذرین ۱۵
۱-۱۰-۱-۲. سنگ‌های رسوبی ۱۶
۱-۱۰-۳. سنگ‌های متامورفیک یا دگرگونی ۱۷
۱-۱۰-۲. تهیه مصالح سنگی ۲۲
۱-۱۰-۳. نمونه‌برداری از مصالح ۲۶
خلاصه ۲۷
آزمون ۲۹
فصل دوم: عملیات خاکی و کنترل کیفیت ۲۹
اهداف ۳۰
۲-۱. عملیات خاکی (نشریه ۱۰۱، ۱۳۸۹، صفحات ۱۱ الی ۳۸) ۳۳
۲-۲. پاک کردن و ریشه‌کنی بستر و حریم راه ۳۳
۲-۲-۱. حفظ و حراست اقلام خاص ۳۳
۲-۲-۲. روش‌های اجرایی ۳۴
۲-۳. خاک‌برداری و خاک‌ریزی ۳۶
۲-۴. مواد سوزا در برش‌های سنگی ۳۸
۲-۵.خاک‌های لغزشی و ریزشی ۴۰
۲-۶. خاک‌برداری قرضه ۴۰
۲-۶-۱. انواع قرضه ۴۱
۲-۶-۲. دامنه کاربرد قرضه‌ها ۴۱
۲-۷. مصالح مناسب ۴۲

۲-۸. اجرای عملیات خاک‌ریزی ۴۳
۲-۸-۱. آماده‌سازی بستر اولیه خاک‌ریز ۴۳
۲-۸-۲. ضخامت لایه‌های خاک‌ریز ۴۴
۲-۸-۲-۱. خاک‌ریز معمولی ۴۵
۲-۸-۲-۲. سنگ‌ریزی ۴۶
۲-۸-۲-۳. خاک‌های ناهمگون ۴۷
۲-۹. کوبیدن و میزان تراکم نسبی ۴۸
۲-۱۰. خاک‌ریزی روی ابنیه فنی ۵۲
۲-۱۱. خاک‌ریزی پشت پل‌ها ۵۳
۲-۱۲. خاک‌ریزی در زمین‌های شیب‌دار ۵۳
۲-۱۳. مصالح حساس در مقابل یخبندان ۵۳
۲-۱۴. پر کردن اطراف ابنیه فنی ۵۵
۲-۱۵. شیب شیروانی‌ها در خاک‌ریزی و خاک‌برداری ۵۵
۲-۱۶. تسطیح و تنظیم ۵۶
۲-۱۷. زهکشی ۵۶
۲-۱۸. کنترل فرسایش خاک (نشریه ۱۰۱، ۱۳۸۹، صفحات ۲۵۱ الی ۲۵۸) ۵۶
۲-۱۹. دیوارهای خشکه‌چین ۵۷
۲-۲۰. سنگچین‌ها ۵۷
۲-۲۱. بلوکاژ ۵۷
۲-۲۲. حفاظت شیروانی‌ها ۵۸
۲-۲۲-۱. پوشش ساده ۵۸
۲-۲۲-۲. پوشش مختلط ۵۸
۲-۲۲-۳. پوشش با بلوک‌های بتنی ۵۹
۲-۲۲-۴. پوشش با خاک نباتی ۵۹
۲-۲۲-۵. پوشش گیاهی ۵۹
۲-۲۲-۶. روش استفاده از الیاف مصنوعی ۶۰

۲-۲۳. تسطیح و روانه‌کاری شیروانی‌های خاکریزهای سنگی ۶۰
۲-۲۴. کارهای حفاظتی با سازه‌های توری سنگی (گابیونی) ۶۱
۲-۲۴-۱. مشخصات اجزای تشکیل‌دهنده توری سنگ‌ها ۶۱
۲-۲۴-۱-۱. تور سیمی بافته شده ۶۱
۲-۲۴-۱-۲. مصالح سنگی ۶۲
۲-۲۴-۲. انواع توری سنگ‌ها ۶۲
۲-۲۴-۲-۱. توری سنگ جعبه‌ای ۶۲
۲-۲۴-۲-۲. توری سنگ تشکی ۶۲
۲-۲۴-۲-۳. توری سنگ کیسه‌ای ۶۳
۲-۲۴-۳. کاربرد توری سنگ ۶۳
۲-۲۵. زهکشی و تخلیه آب‌های میانه راه (نشریه ۱۰۱، ۱۳۸۹، ص ۲۸۰) ۶۴
۲-۲۶. تخلیه آب‌های سطحی در خاکریزهای بلند ۶۴
۲-۲۷. زهکشی عمیق و زیرزمینی (نشریه ۱۰۱، ۱۳۸۹، ص۲۸۵) ۶۵
۲-۲۸. کنترل و تخلیه آب‌های تراوشی (نشریه ۱۰۱، ۱۳۸۹، ص۲۸۷) ۶۵
۲-۲۹. استانداردهای خاک و تثبیت خاک (نشریه ۱۰۱، ۱۳۸۹، صفحات ۶۶۷ تا ۶۷۰) ۶۶
خلاصه ۶۹
آزمون ۷۰
فصل سوم: زیر اساس و اساس در راه‌سازی ۶۷
اهداف ۶۸
۳-۱. زیراساس (نشریه ۱۰۱، ۱۳۸۹، صفحات ۳۱۱ الی ۳۲۹) ۷۴
۳-۲. انواع قشر زیراساس ۷۴
۳-۲-۱. زیراساس شنی و یا سنگی ۷۵
۳-۲-۱-۱. مشخصات فنی مصالح ۷۵
۳-۲-۱-۲. تهیه مصالح ۷۷
۳-۲-۱-۳. آماده نمودن بستر روسازی ۷۸
۳-۲-۱-۴. پخش مصالح و آب‌پاشی ۷۸

۳-۲-۱-۵. کوبیدن لایه زیراساس ۷۹
۳-۲-۱-۶. تراکم نسبی ۸۰
۳-۲-۱-۷. کنترل سطح تمام شده ۸۰
۳-۲-۱-۸. حفاظت سطح راه به هنگام اجرای عملیات ۸۱
۳-۲-۱-۹. آزمایش‌های کنترل کیفیت ۸۱
۳-۲-۲. زیراساس آهکی ۸۲
۳-۲-۲-۱. ویژگی‌های خاک تثبیت‌شده با آهک ۸۳
۳-۲-۲-۲. مصالح ۸۴
۳-۲-۲-۳. آهک ۸۵
۳-۲-۲-۴. طرح اختلاط آهک با مصالح ۸۶
۳-۲-۲-۵. اجرای زیر اساس آهکی ۸۹
۳-۲-۲-۶. کنترل سطح تمام شده ۹۶
۳-۲-۲-۷. حفاظت و عمل‌آوری ۹۷
۳-۲-۲-۸. آزمایش‌های کنترل کیفیت ۹۷
۳-۳. اساس (نشریه ۱۰۱، ۱۳۸۹، ص ۳۳۳) ۹۹
۳-۴. عملکرد اساس در روسازی (نشریه ۲۳۴، ۱۳۸۱، ص ۴-۱) ۹۹
۳-۴-۱. تحمل بارهای وارده ۹۹
۳-۴-۲. خاصیت تراوایی ۱۰۰
۳-۵. انواع قشر اساس (نشریه ۱۰۱، ۱۳۸۹، صفحات ۳۳۳ الی ۳۳۸) ۱۰۰
۳-۵-۱. اساس شنی و یا سنگی ۱۰۰
۳-۵-۱-۱. مصالح ۱۰۱
۳-۵-۱-۲. تهیه مصالح ۱۰۲
۳-۵-۱-۳. آماده کردن قشر زیرین ۱۰۳
۳-۵-۱-۴. پخش مصالح و آب‌پاشی ۱۰۳
۳-۵-۱-۵. کوبیدن ۱۰۴
۳-۵-۱-۶. تراکم نسبی ۱۰۵

۳-۵-۱-۷. کنترل سطح تمام شده ۱۰۵
۳-۵-۱-۸. حفاظت کار انجام شده ۱۰۶
۳-۵-۱-۹. آزمایش‌های کنترل کیفیت ۱۰۶
خلاصه ۱۰۷
آزمون ۱۰۸
فصل چهارم: قیر ۱۰۳
اهداف ۱۰۴
۴-۱. قیر (منصور فخری، ۱۳۸۵، صفحات ۱ و ۲) ۱۱۲
۴-۲. انواع قیر (نشریه ۲۳۴، ۱۳۸۱، صفحات ۵-۱ الی ۵-۸) ۱۱۳
۴-۲-۱. قیرهای طبیعی ۱۱۴
۴-۲-۱-۱. قیرسنگ‌ها ۱۱۴
۴-۲-۱-۲. قیرهای دریاچه‌ای ۱۱۴
۴-۲-۲. قیرهای نفتی ۱۱۴
۴-۲-۲-۱. قیرهای خالص ۱۱۵
۴-۲-۲-۲. قیرهای دمیده ۱۱۵
۴-۲-۲-۳. قیرهای محلول ۱۱۶
۴-۲-۲-۳-۱. قیرهای زودگیر ۱۱۶
۴-۲-۲-۳-۲. قیرهای کندگیر ۱۱۷
۴-۲-۲-۳-۳. قیرهای دیرگیر ۱۱۷
۴-۲-۲-۴. قیرآبه‌ها (امولسیون‌های قیر) ۱۱۷
۴-۲-۲-۴-۱. قیرآبه‌های آنیونیک ۱۱۸
۴-۲-۲-۴-۲. قیرآبه‌های کاتیونیک ۱۱۸
۴-۳. افزودنی‌های قیر (نشریه ۲۳۴، ۱۳۸۱، صفحات ۵-۱۳ الی ۵-۱۴) ۱۱۹
۴-۴. ساختار شیمیایی قیرهای نفتی (نشریه ۲۳۴، ۱۳۸۱، صفحات ۵-۲ و ۵-۳) ۱۲۰
خلاصه ۱۲۵
آزمون ۱۲۶

فصل پنجم: آسفالت ۱۱۹
اهداف ۱۲۰
۵-۱. آسفالت‌های گرم و انواع آن (محمد سرائی‌پور، ۱۳۷۷، صفحات ۱۸۸ و ۱۸۹) ۱۲۹
۵-۲. آسفالت ماستیک ۱۲۹
۵-۳. تعریف بتن آسفالتی (نشریه ۲۳۴، ۱۳۸۱ صفحه ۹-۱) ۱۳۰
۵-۳-۱. قشر رویه (توپکا) (نشریه ۱۰۱، ۱۳۸۹، صفحات ۴۷۹ الی ۴۸۱) ۱۳۰
۵-۳-۲. قشر آستر (بیندر) ۱۳۰
۴-۳-۳. اساس قیری ۱۳۱
۵-۳-۴. ماسه آسفالت ۱۳۱
۵-۴. انواع آسفالت سرد (نشریه ۲۳۴، ۱۳۸۱، صفحه ۸-۱) ۱۳۱
۵-۴-۱. آسفالت سرد کارخانه‌ای ۱۳۱
۵-۴-۲. آسفالت سرد مخلوط در محل ۱۳۲
۵-۵. آسفالت حفاظتی ۱۳۲
۵-۶. انواع آسفالت‌های حفاظتی (نشریه ۲۳۴، ۱۳۸۱، صفحه ۷-۲) ۱۳۲
۵-۶-۱. آسفالت‌های سطحی یک یا چندلایه‌ای (نشریه ۲۳۴، ۱۳۸۱، صفحه ۷-۲) ۱۳۳
۵-۶-۲. اندود آب‌بند (نشریه ۱۰۱، ۱۳۸۹، صفحات ۴۱۲ الی ۴۱۴) ۱۳۴
۵-۶-۲-۱. انواع اندودهای آب‌بند ۱۳۴
۵-۶-۲-۱-۱. اندود آب‌بند سنگدانه‌ای ۱۳۴
۵-۶-۲-۱-۲. اندود آب‌بند ماسه‌ای ۱۳۵
۵-۶-۲-۱-۳. اندودهای آب‌بند قیری بدون سنگ‌دانه ۱۳۶
۵-۶-۲-۱-۴. مخلوط‌های رویه نازک قیرآبه‌ای یا اسلاری سیل ۱۳۶
۵-۶-۳. آسفالت متخلخل (نشریه ۱۰۱، ۱۳۸۹، صفحه ۴۱۸) ۱۳۷
۵-۶-۴. غبارنشانی و روغن‌پاشی (نشریه ۱۰۱، ۱۳۸۹، صفحه ۴۲۰) ۱۳۷
۵-۷. آسفالت ماکادام نفوذی (نشریه ۱۰۱، ۱۳۸۹، صفحات ۴۶۵ الی ۴۷۵) ۱۳۸
۵-۸. انواع آسفالت ماکادام نفوذی ۱۴۰
۵-۸-۱. آسفالت ماکادام با قیرهای خالص و قیرهای محلول سنگین ۱۴۰

۵-۸-۱-۱. مصالح سنگی ۱۴۰
۵-۸-۱-۲. مواد قیری ۱۴۱
۵-۸-۲. آسفالت ماکادام نفوذی با قیرهای محلول سبک و قیرآبه‌ها ۱۴۲
۵-۸-۲-۱. مصالح سنگی ۱۴۲
۵-۸-۲-۲. مواد قیری ۱۴۲
۵-۹. اجرای عملیات آسفالت ماکادام ۱۴۳
۵-۹-۱. آماده نمودن سطح راه ۱۴۳
۵-۹-۲. پخش و کوبیدن مصالح سنگی درشت ۱۴۳
۵-۹-۳. پخش قیر ۱۴۴
۵-۹-۴. پخش و کوبیدن مصالح سنگی متوسط (پرکننده) ۱۴۴
۵-۹-۵. غلتک‌زنی تکمیلی ۱۴۵
۵-۱۰. پوشش نهایی آسفالت ماکادام نفوذی ۱۴۵
۵-۱۱. وسایل اجرای کار ۱۴۶
۵-۱۲. حفاظت سطح راه به هنگام اجرای عملیات ۱۴۶
۵-۱۳. آزمایش‌های کنترل کیفیت آسفالت ماکادام ۱۴۷
۵-۱۳-۱. قیر ۱۴۷
۵-۱۳-۲. قیرپاشی ۱۴۷
۵-۱۳-۳. مصالح سنگی ۱۴۷
۵-۱۴. کنترل کیفیت آسفالت گرم (نشریه ۱۰۱، ۱۳۸۹، صفحات ۵۳۱ و ۵۳۲) ۱۴۸
۵-۱۴-۱. تراکم قشرهای آسفالتی ۱۴۸
۵-۱۴-۲. کنترل سطح آسفالت ۱۴۹
۵-۱۴-۲-۱. نیمرخ عرضی قشر آسفالتی ۱۴۹
۵-۱۴-۲-۲. یکنواختی سطح آسفالت ۱۴۹
۵-۱۴-۲-۳. سطح ناهمواری‌ها ۱۵۰
۵-۱۵. کنترل کیفیت آسفالت سرد (نشریه ۱۰۱، ۱۳۸۹ صفحات ۴۶۰ الی ۴۶۲) ۱۵۰
۵-۱۵-۱. کنترل سطح آسفالت ۱۵۰

۵-۱۵-۲. نیمرخ‌های عرضی ۱۵۰
۵-۱۵-۳. یکنواختی سطح ۱۵۱
۵-۱۵-۴. آزمایش‌های کنترل کیفیت ۱۵۱
۵-۱۵-۴-۱. مواد قیری ۱۵۱
۵-۱۵-۴-۲. مصالح سنگی ۱۵۲
۵-۱۵-۴-۳. مخلوط آسفالت سرد ۱۵۲
۵-۱۵-۴-۴. وزن مخصوص آسفالت کوبیده شده ۱۵۴
۵-۱۶. آزمایش‌های کنترل کیفیت آسفالت حفاظتی (نشریه ۱۰۱، ۱۳۸۹، صفحات ۴۳۱ الی ۴۳۳) ۱۵۴
۵-۱۶-۱. قیر ۱۵۴
۵-۱۶-۲. قیرپاشی ۱۵۵
۵-۱۶-۳. مصالح سنگی ۱۵۵
۵-۱۶-۴. آسفالت اسلاری سیل و متخلخل ۱۵۶
۵-۱۷. بررسی آیین‌نامه‌های روسازی در ایران (نشریه ۲۳۴، ۱۳۸۱، صفحات ۱-۱۱ الی ۱-۱۳) ۱۵۶
۵-۱۷-۱. ابلاغیه‌های فنی ۱۵۷
۵-۱۷-۱-۱. ابلاغیه فنی شماره ۱ (سال ۱۳۳۴ ه.ش.) ۱۵۷
۵-۱۷-۱-۲. ابلاغیه فنی شماره ۶ (سال ۱۳۳۴ ه.ش.) ۱۵۷
۵-۱۷-۱-۳. ابلاغیه فنی شماره ۷ و ضمایم آن (سال ۱۳۳۵ ه.ش.) ۱۵۷
۵-۱۷-۱-۴. ابلاغیه فنی شماره ۹ (سال ۱۳۳۶ ه.ش.) ۱۵۸
۵-۱۷-۲. نشریات سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور ۱۵۸
۵-۱۷-۲-۱. مشخصات فنی عمومی‌راه‌های اصلی ۱۵۸
۵-۱۷-۲-۲. مشخصات فنی عمومی‌راه‌های فرعی درجه یک و دو ۱۵۸
۵-۱۷-۲-۳. مشخصات فنی عمومی‌راه ۱۵۸
۵-۱۷-۳. آیین‌نامه‌های طرح روسازی ۱۵۸
۵-۱۷-۳-۱. نشریه MS-1 انستیتو آسفالت ۱۵۹
۵-۱۷-۳-۲. نشریه MS-17 انستیتو آسفالت ۱۵۹

۵-۱۷-۳-۳. آیین‌نامه‌های موقت روسازی آسفالت AASHTO ۱۵۹
۵-۱۷-۳-۴. نشریات شماره ۲۹ و ۳۱ آزمایشگاه تحقیقات راه ۱۶۰
۵-۱۷-۳-۵. آیین‌نامه کالیفرنیا ۱۶۰
۵-۱۸. معیارهای طرح روسازی ۱۶۰
۵-۱۸-۱. معیارهای اجباری ۱۶۰
۵-۱۸-۲. معیارهای توصیه شده ۱۶۰
۵-۱۹. اختصارها ۱۶۰
خلاصه ۱۶۲
آزمون ۱۶۳
فصل ششم: آزمایش‌های قیر، مصالح سنگی و آسفالت ۱۵۵
اهداف ۱۵۶
۶-۱. آزمایش‌های قیر ۱۶۸
۶-۱-۱. تعیین وزن مخصوص قیر (محمد سرائی‌پور، ۱۳۷۷، صفحات ۹۵ و ۹۶) ۱۶۸
۶-۱-۲. سنجش خواص روانی قیر (محمد سرائی‌پور، ۱۳۷۷، صفحه ۹۷ و ۹۸) ۱۶۹
۶-۱-۳. آزمایش قابلیت نفوذ (محمد سرائی‌پور، ۱۳۷۷، صفحه ۹۹) ۱۶۹
۶-۱-۴. ویسکومتر سیبولت- فورل (محمد سرائی‌پور، ۱۳۷۷، صفحه ۱۰۰) ۱۶۹
۶-۱-۵. استاندارد تار ویسکومتر (محمد سرائی‌پور، ۱۳۷۷، صفحه ۱۰۲) ۱۷۰
۶-۱-۶. ویسکومتر رد وود (محمد سرائی‌پور، ۱۳۷۷، صفحه ۱۰۴) ۱۷۰
۶-۱-۷. آزمایش تعیین نقطه نرمی (محمد سرائی‌پور، ۱۳۷۷، صفحه ۱۰۵) ۱۷۱
۶-۱-۸. آزمایش تعیین خاصیت انگمی (محمد سرائی‌پور، ۱۳۷۷، صفحه ۱۰۷) ۱۷۱
۶-۱-۹. تقطیر قیر و اجزای متشکله آن (محمد سرائی‌پور، ۱۳۷۷، صفحه ۱۰۹) ۱۷۱
۶-۱-۱۰. آزمایش تعیین افت وزن در مقابل حرارت (محمد سرائی‌پور، ۱۳۷۷، صفحه ۱۱۰) ۱۷۲
۶-۱-۱۱. شکنندگی در قیرهای راه‌سازی (محمد سرائی‌پور، ۱۳۷۷، صفحه ۱۱۱) ۱۷۲
۶-۱-۱۲. آزمایش تعیین مقدار آب (محمد سرائی‌پور، ۱۳۷۷، صفحه ۱۱۲) ۱۷۲
۶-۱-۱۳. تعیین مقدار خاکستر (محمد سرائی‌پور، ۱۳۷۷، صفحه ۱۱۳) ۱۷۲
۶-۱-۱۴. تعیین حلالیت قیرها (محمد سرائی‌پور، ۱۳۷۷، صفحه ۱۱۴) ۱۷۳

۶-۱-۱۵. آزمایش تعیین نقطه اشتعال و سوختن (محمد سرائی‌پور، ۱۳۷۷، صفحه ۱۱۴)..... ۱۷۳
۶-۱-۱۶. آزمایش غوطه‌وری استاتیک (محمد سرائی‌پور، ۱۳۷۷، صفحه ۶۲) ۱۷۳
۶-۱-۱۷. استانداردهای قیرهای راه‌سازی (نشریه ۱۰۱، ۱۳۸۹، صفحات ۶۹۲ الی ۶۹۵) ۱۷۴
۶-۲. آزمایش‌های مصالح سنگی..... ۱۷۷
۶-۲-۱. آزمایش دانه‌بندی (محمد سرائی‌پور، ۱۳۷۷، صفحه ۱۲۹) ۱۷۷
۶-۲-۲. آزمایش تعیین ضریب تورق و ضریب تطویل (محمد سرائی‌پور، ۱۳۷۷، صفحه ۱۳۴)... ۱۷۷
۶-۲-۳. حدود آتربرگ (محمد سرائی‌پور، ۱۳۷۷، صفحه ۱۳۷)..... ۱۷۷
۶-۲-۳-۱. آزمایش تعیین حد روانی (محمد سرائی‌پور، ۱۳۷۷، صفحه ۱۳۸) ۱۷۸
۶-۲-۳-۲. آزمایش تعیین حد خمیری (محمد سرائی‌پور، ۱۳۷۷، صفحه ۱۴۰) ۱۷۸
۶-۲-۳-۳. تعیین گام خمیری (محمد سرائی‌پور، ۱۳۷۷، صفحه ۱۴۳)..... ۱۷۸
۶-۲-۴ آزمایش تعیین افت وزن در مقابل عوامل جوی (محمد سرائی‌پور، ۱۳۷۷، صفحه ۱۴۶) ۱۷۹
۶-۲-۵ آزمایش یخبندان (محمد سرائی‌پور، ۱۳۷۷، صفحه ۱۵۰) ۱۷۹
۶-۲-۶ آزمایش تعیین وزن مخصوص و درصد جذب آب مصالح ریزدانه (محمد سرائی‌پور، ۱۳۷۷، صفحه ۱۵۵) ۱۷۹
۶-۲-۷ آزمایش تعیین درصد جذب آب و وزن مخصوص مصالح درشت‌دانه (محمد سرائی‌پور، ۱۳۷۷، صفحه ۱۵۹) ۱۸۰
۶-۲-۸ آزمایش مقاومت در مقابل خرد شدن (محمد سرائی‌پور، ۱۳۷۷، صفحه ۱۶۱) ۱۸۰
۶-۲-۹ آزمایش مقاومت در مقابل ضربه (محمد سرائی‌پور، ۱۳۷۷، صفحه ۱۶۱) ۱۸۰
۶-۲-۱۰ آزمایش تعیین درصد ساییدگی (محمد سرائی‌پور، ۱۳۷۷، صفحه ۱۶۱)..... ۱۸۱
۶-۲-۱۱ تعیین وزن واحد حجم مصالح سنگی (محمد سرائی‌پور، ۱۳۷۷، صفحه ۱۶۴)..... ۱۸۱
۶-۲-۱۲ استانداردهای مصالح سنگی (نشریه ۱۰۱، ۱۳۸۹، صفحات ۶۷۳ تا ۶۷۵)..... ۱۸۱
۶-۲-۱۳ استانداردهای بتن (بخش سنگدانه‌ها) (نشریه ۱۰۱، ۱۳۸۹، صفحات ۶۷۹ تا ۶۸۱)..... ۱۸۳
۶-۳. انواع آزمایش‌های آسفالت..... ۱۸۶
۶-۳-۱. روش مارشال (محمد سرائی‌پور، ۱۳۷۷، صفحه ۱۹۲) ۱۸۶
۶-۳-۲. وزن مخصوص آسفالت (محمد سرائی‌پور، ۱۳۷۷، صفحه ۱۹۵)..... ۱۸۷

۶-۳-۳. روش‌های تعیین مقاومت بستر روسازی راه (محمد سرائی‌پور، ۱۳۷۷، صفحات ۳۶۵ الی ۳۷۲) ۱۸۷
۶-۳-۳-۱. نحوه تعیین CBR مسیر راه ۱۸۹
۶-۳-۳-۲. نحوه محاسبه CBR طرح ۱۹۰
۶-۳-۴ تعیین ضخامت روسازی راه ۱۹۲
۶-۴. استانداردهای مخلوط‌های آسفالتی (نشریه ۱۰۱، ۱۳۸۹، صفحات ۶۹۶ الی ۶۹۹) ۱۹۶
خلاصه ۱۹۸
آزمون ۲۰۰
فصل هفتم: بازیافت آسفالت ۱۸۹
اهداف ۱۹۰
۷-۱ کلیات ۲۰۴
۷-۲. روش‌های بازیافت آسفالت (سید مسعود نصر آزادانی و فریدون رضایی،۱۳۸۸، صفحات ۱۲ الی۱۴) ۲۰۴
۷-۲-۱. بازیافت گرم درجا ۲۰۵
۷-۲-۲. بازیافت سرد ۲۰۵
۷-۲-۳. بازیافت عمیق و تثبیت ۲۰۵
۷-۳. بازیافت گرم (سید مسعود نصر آزادانی و فریدون رضایی، ۱۳۸۸، صفحات ۱۷ و ۱۹) ۲۰۶
۷-۳-۱. بازیافت گرم درجا (HIR) (سید مسعود نصر آزادانی و فریدون رضایی، ۱۳۸۸، صفحات ۲۰ و ۲۱) ۲۰۷
۷-۴. طرح اختلاط روش بازیافت گرم درجا (سید مسعود نصر آزادانی و فریدون رضایی، ۱۳۸۸، صفحه ۱۱۴) ۲۰۷
۷-۴-۱. جوان‌سازی قیر (سید مسعود نصر آزادانی و فریدون رضایی، ۱۳۸۸، صفحات ۱۱۶ الی ۱۱۸) ۲۰۸
۷-۴-۲. پروسه طرح اختلاط (سید مسعود نصر آزادانی و فریدون رضایی، ۱۳۸۸، صفحه ۱۲۰) ۲۱۰
۷-۵. اجرای بازیافت گرم درجا ۲۱۱

۷-۵-۱. بازیافت سطحی (سید مسعود نصر آزادانی و فریدون رضایی، ۱۳۸۸، صفحات ۱۴۳ الی ۱۵۳) ۲۱۱
۷-۵-۱-۱. گرما دادن و خشک کردن لایه‌های فوقانی روسازی موجود ۲۱۲
۷-۵-۱-۲. شخم زدن و شکاف دادن روسازی حرارت داده و نرم شده ۲۱۳
۷-۵-۱-۳. استفاده از افزودنی‌های بازیافت ۲۱۵
۷-۵-۱-۴. اختلاط ۲۱۶
۷-۵-۱-۵. پخش کردن مخلوط با فینیشر ۲۱۷
۷-۵-۱-۶. تراکم روسازی به وسیله غلتک‌زنی ۲۱۷
۷-۵-۱-۷. سایر نکات بازیافت سطحی ۲۱۸
۷-۵-۲. بازیافت به همراه مواد افزودنی (سید مسعود نصر آزادانی و فریدون رضایی، ۱۳۸۸، صفحات ۱۵۴ و ۱۵۵) ۲۱۹
۷-۵-۳. بازیافت به همراه روکش (سید مسعود نصر آزادانی و فریدون رضایی، ۱۳۸۸، صفحات ۱۶۳ الی ۱۶۵) ۲۲۰
۷-۶. بازیافت سرد (نشریه ۳۳۹، ۱۳۸۵، صفحات ۱ و ۲) ۲۲۲
۷-۷. امتیازات بازیافت سرد ۲۲۲
۷-۸. انواع بازیافت سرد ۲۲۴
۷-۸-۱. بازیافت درجا ۲۲۴
۷-۸-۲. بازیافت کارخانه‌ای ۲۲۴
۷-۹. اجرای عملیات و ماشین‌آلات بازیافت سرد درجا (نشریه ۳۳۹، ۱۳۸۵، صفحات ۵۳ الی ۶۷) ۲۲۵
۷-۱۰. برنامه‌ریزی قبل از شروع عملیات اجرایی ۲۲۵
۷-۱۰-۱. مقررات ترافیکی ۲۲۶
۷-۱۰-۲. نقشه‌برداری ۲۲۶
۷-۱۰-۳. آسفالت‌تراشی اولیه ۲۲۶
۷-۱۰-۴. مشخصات روسازی متفاوت در مقاطع عرضی ۲۲۷
۷-۱۰-۵ . افزودن مصالح سنگی جدید ۲۲۷

۷-۱۰-۶. برآورد عملکرد روزانه و مواد مورد نیاز ۲۲۷
۷-۱۰-۷. خردکردن اولیه مصالح ۲۲۷
۷-۱۰-۸. شیب راه ۲۲۸
۷-۱۰-۹. تعیین عرض خطوط بازیافت ۲۲۹
۷-۱۱. ماشین‌آلات بازیافت ۲۳۰
۷-۱۱-۱. دستگاه‌های یک بخشی ۲۳۰
۷-۱۱-۲. دستگاه‌های دو بخشی ۲۳۱
۷-۱۱-۳. دستگاه‌های چند بخشی ۲۳۳
۷-۱۲. پخش و کوبیدن ۲۳۴
۷-۱۳. سایر عوامل و کنترل‌های اجرایی ۲۳۹
۷-۱۳-۱. عوامل اجرایی ۲۳۹
۷-۱۳-۲. دوبندی‌های طولی ۲۳۹
۷-۱۳-۳. کنترل ضخامت ۲۴۰
۷-۱۳-۴. سرعت دستگاه ۲۴۰
۷-۱۳-۵. درصد رطوبت ۲۴۰
۷-۱۳-۶. اندود سطحی قشر کوبیده شده بازیافت ۲۴۱
۷-۱۳-۷. درصد مواد افزودنی ۲۴۱
۷-۱۳-۸. محدودیت دمای محیط ۲۴۲
۷-۱۳-۹. محدودیت زمانی برای پخش و کوبیدن مخلوط ۲۴۲
۷-۱۳-۱۰. روکش آسفالتی ۲۴۳
۷-۱۳-۱۱. ترافیک ۲۴۳
۷-۱۳-۱۲. کنترل یکنواختی سطح تمام شده ۲۴۴
۷-۱۴. اجرای عملیات و ماشین‌آلات بازیافت سرد کارخانه‌ای ۲۴۴
۷-۱۵. مصالح بازیابی شده ۲۴۵
۷-۱۶. کارخانه آسفالت ۲۴۵
۷-۱۷. تهیه مخلوط آسفالت سرد ۲۴۶

۷-۱۷-۱. تولید آسفالت با امولسیون قیر ۲۴۷
۷-۱۷-۲. تولید آسفالت با کف قیر ۲۴۸
۷-۱۸. پخش و تراکم مخلوط‌های امولسیونی ۲۵۰
۷-۱۹. پخش و تراکم مخلوط‌های با کف قیر ۲۵۲
خلاصه ۲۵۳
آزمون ۲۵۵
فصل هشتم: ماشین آلات ۲۴۱
اهداف ۲۴۲
۸-۱. ماشین‌آلات راه‌سازی و آسفالت ۲۵۹
۸-۱-۱. لودر (نشریه۴۴۶، ۱۳۸۸، صفحه ۱۱) ۲۶۰
۸-۱-۲ بولدوزر (نشریه۴۴۶، ۱۳۸۸، صفحه ۱۸) ۲۶۱
۸-۱-۳ ریپر (نشریه۴۴۶، ۱۳۸۸، صفحات ۲۴ و ۲۵) ۲۶۴
۸-۱-۴. غلتک‌ها (نشریه۴۴۶، ۱۳۸۸، صفحات ۲۸ و ۲۹) ۲۶۵
۸-۱-۴-۱. غلتک‌های پاچه‌بزی (نشریه۴۴۶، ۱۳۸۸، صفحات ۳۰ الی ۳۷) ۲۶۸
۸-۱-۴-۲. غلتک‌های شبکه‌ای ۲۶۹
۸-۱-۴-۳. غلتک‌های ارتعاشی (لرزنده) ۲۷۰
۸-۱-۴-۴ غلتک‌های با چرخ فولادی صاف ۲۷۲
۸-۱-۴-۵.غلتک‌های پنوماتیک (چرخ لاستیکی) ۲۷۳
۸-۱-۴-۷ متراکم‌کننده‌های شبه بولدوزر ۲۷۶
۸-۱-۵. گریدر (نشریه۴۴۶، ۱۳۸۸، صفحات ۴۱ و ۴۲) ۲۷۶
۸-۱-۶. اسکریپرها (نشریه۴۴۶، ۱۳۸۸، صفحات ۴۲ و ۵۹) ۲۷۸
۸-۱-۷. کامیون (نشریه۴۴۶، ۱۳۸۸، صفحات ۵۶، ۵۷ و ۵۹) ۲۷۹
۸-۱-۸. ماشین آسفالت تراش (نشریه۴۴۶، ۱۳۸۸، صفحات ۹۶، ۹۷ و ۹۸) ۲۸۱
۸-۱-۹. باب‌کت آسفالت (نشریه۴۴۶، ۱۳۸۸، صفحات ۱۰۳ و ۱۰۴) ۲۸۴
۸-۱-۱۰. ماشین برش آسفالت (نشریه۴۴۶، ۱۳۸۸، صفحات ۱۱۴ و ۱۱۶) ۲۸۶
۸-۱-۱۱. تریمر آسفالتی (نشریه۴۴۶، ۱۳۸۸، صفحات ۱۲۳ و ۱۲۶) ۲۸۷

۸-۱-۱۲ ماشین فینیشر آسفالت (نشریه۴۴۶، ۱۳۸۸، صفحات ۱۲۸ و ۱۲۹) ۲۸۹
۸-۱-۱۳. ماشین قیرپاش (نشریه۴۴۶، ۱۳۸۸، صفحات ۱۳۷ و ۱۴۰) ۲۹۰
خلاصه ۲۹۲
آزمون ۲۹۴
فهرست منابع و مراجع ۲۹۵

فهرست جداول و اشکال

عنوان **صفحه**

شکل شماره ۱-۱: توزیع بار چرخ در لایه‌های روسازی ۱۲

شکل شماره ۱-۲: نیمرخ عرضی یک نمونه روسازی آسفالتی..... ۱۵

جدول شماره ۱-۱: مشخصات مصالح سنگی..... ۲۴

جدول شماره ۲-۱: طبقه‌بندی خاک‌های منبسط شونده..... ۴۹

جدول شماره ۲-۲: میزان درصد تراکم برای راه‌های مختلف ۵۱

جدول شماره ۲-۳: خصوصیات خاک‌های حساس در برابر یخبندان..... ۵۴

جدول شماره ۲-۴: شماره‌ها عناوین استانداردهای خاک و تثبیت خاک..... ۶۶

جدول شماره ۳-۱: دانه‌بندی مصالح زیراساس شنی و یا سنگی..... ۷۵

جدول شماره ۳-۲: مشخصات فنی آهک (AASHTO M216)..... ۸۵

شکل شماره ۳-۱: تعیین درصد آهک بهینه بر حسب نوع خاک..... ۸۷

جدول شماره ۳-۳: دانه‌بندی مصالح اساس ۱۰۲

جدول شماره ۴-۱: تجزیه گروه‌های شیمیایی دونمونه قیر پالایشگاه‌های تهران و تبریز با روش ASTM D4124..... ۱۲۳

جدول شماره ۴-۲: دانه‌بندی و درصد قیر (تقریبی) انواع آسفالت‌های گرم (محمد سرائی‌پور،۱۳۷۷، ص۶۴۴)..... ۱۲۳

جدول شماره ۴-۳: انواع آسفالت‌های گرم و روش طرح آن‌ها (محمد سرائی‌پور،۱۳۷۷، ص۶۴۵) ۱۲۳

جدول شماره ۴-۴: معیارهای پیشنهادی جهت طرح آسفالت‌های گرم (محمد سرائی‌پور،۱۳۷۷، ص۶۴۶)..... ۱۲۴

جدول شماره ۵-۱: مشخصات انواع آسفالت گرم..... ۱۲۹

جدول شماره ۵-۲: قیرهای مورد استفاده در آسفالت‌های سطحی یک یا چندلایه‌ای..... ۱۳۳

جدول شماره ۵-۳ :دانه‌بندی ماسه برای اندود ماسه‌ای ۱۳۶

جدول شماره ۵-۴: دانه‌بندی مصالح برای آسفالت ماکادام نفوذی..... ۱۳۹

جدول شماره ۵-۵: دانه‌بندی مصالح ۱۴۰
جدول شماره ۵-۶: مشخصات فنی مصالح درشت‌دانه و متوسط ۱۴۱
جدول شماره ۵-۷: قیرهای خالص و قیرهای محلول سنگین ۱۴۱
جدول شماره ۵-۸: دانه‌بندی مصالح قشر اصلی و مصالح پرکننده ۱۴۲
جدول شماره ۵-۹: قیرآبه‌ها و قیر محلول سبک ۱۴۲
جدول شماره ۵-۱۰: مشخصات فنی آسفالت سرد برای قیرهای محلول با روش مارشال ۱۵۳
جدول شماره ۵-۱۱: مشخصات فنی آسفالت سرد تهیه شده با قیرآبه‌ها با روش ویم ۱۵۳
جدول شماره ۵-۱۲: مشخصات فنی آسفالت سرد حاوی قیرآبه‌ها بر اساس روش اصلاح شده مارشال ۱۵۴
جدول شماره ۶-۱: شماره‌ها و عناوین استانداردهای قیرهای راه‌سازی ۱۷۴
جدول شماره ۶-۲: شماره‌ها و عناوین استانداردهای مصالح سنگی ۱۸۱
جدول شماره ۶-۳: شماره‌ها و عناوین استانداردهای بتن- بخش سنگدانه‌ها ۱۸۳
شکل شماره ۶-۱: تعیین ضخامت روسازی راه با CBR ۱۸۸
شکل شماره ۶-۲ : تعیین عدد CBR طرح ۱۹۰
جدول شماره ۶-۴: تنظیم CBRهای طول مشخصی از راه برای تعیین عدد CBR طرح ۱۹۲
شکل شماره ۶-۳: نمودار تعیین ضخامت روسازی با استفاده از CBR ۱۹۳
شکل شماره ۶-۴: نمودار تعیین ضخامت روسازی با استفاده از R-Value ۱۹۴
جدول شماره ۶-۵: حداقل ضخامت قشر آسفالت بر حسب ترافیک ۱۹۵
جدول شماره ۶-۶: شماره و عناوین استاندارد مخلوط‌های آسفالتی ۱۹۶
جدول شماره ۷-۱: انواع غلتک‌های مناسب جهت مراحل مختلف تراکم مخلوط‌های آسفالت بازیافت سرد ۲۳۹
شکل شماره ۸-۱: لودر چرخ زنجیری ۲۴۱
شکل شماره ۸-۲: لودر چرخ لاستیکی ۲۶۱
شکل شماره ۸-۳: بولدوزر در حین عملیات خاکی ۲۶۳
شکل شماره ۸-۴: ریپر متصل شده به بولدوزر ۲۶۵
شکل شماره ۸-۵: نوعی از غلتک پاچه‌بزی ۲۶۹

شکل شماره ۸-۶: استوانه‌ای شبکه‌ای که با استفاده از تراکتور عمل تراکم خاک را انجام می‌دهد. ۲۷۰
شکل شماره ۸-۷: نمونه‌ای از تخماق دستی شکل شماره ۸-۸: نمونه‌ای از ویبراتور صفحه‌ای... ۲۷۱
شکل شماره ۸-۹: غلتک ویبره دستی ۲۷۱
شکل شماره ۸-۱۰: غلتک چرخ لاستیکی ارتعاشی شکل شماره ۸-۱۱: غلتک چرخ‌آهنی صاف ارتعاشی ۲۷۲
شکل شماره ۸-۱۲: غلتک چرخ آهنی صاف ۲۷۳
شکل شماره ۸-۱۴: انواع متراکم‌کننده‌های شبه بولدوزر ۲۷۶
شکل شماره ۸-۱۵: یک نمای کلی از گریدر موتوردار ۲۷۷
شکل شماره ۸-۱۶: کامیون غیرجاده‌ای کمرشکن ۲۸۰
شکل شماره ۸-۱۷: نوع حمل شونده توسط یدک‌کش (تریلی) ۲۸۳
شکل شماره ۸-۱۸: نوع متصل شونده به کامیون ۲۸۴
شکل شماره ۸-۱۹: باب‌کت تجهیز شده برای تراش آسفالت ۲۸۵
شکل شماره ۸-۲۰: باب‌کت تجهیز شده برای برش آسفالت ۲۸۵
شکل شماره ۸-۲۱: ماشین برش آسفالت ۲۸۷
شکل شماره ۸-۲۲: ایجاد شانه راه توسط تریمر آسفالتی ۲۸۹
شکل شماره ۸-۲۳: فینیشر چرخ لاستیکی و چرخ زنجیری (رولیک) ۲۹۰
شکل شماره ۸-۲۴: نمایی از ماشین قیرپاش ۲۹۲

فصل اول

زیرســـازی، روســـازی و مصالح سنگی

اهداف

هدف از مطالعه این فصل، آشنایی با مطالب زیر می‌باشد:

۱. بستر روسازی راه و انواع آن

۲. هدف از انجام بستر روسازی در برش سنگی

۳. عوامل مؤثر در تعیین ضخامت و کیفیت مصالح لایه‌های روسازی

۴. نیمرخ کلی یک روسازی آسفالتی و اجزای تشکیل‌دهنده

۵. انواع سنگ‌های رسوبی و اهمیت سنگ‌های گروه گابرو در راه‌سازی

۶. تأثیر ارتعاش و شیب سرند در دانه‌بندی مصالح

۱-۱. بستر روسازی[1] راه

بستر روسازی، سطح آخرین لایه متراکم شده در خاکریزها، کف برش‌های خاکی و سنگی، زمین طبیعی اولیه بعد از برداشت خاک سطحی و نباتی و یا راه شنی موجود است که اولین لایه روسازی راه (قشر زیراساس) روی آن قرار می‌گیرد. عرض این بستر در کلیه موارد فوق برابر عرض تراز نهایی خاکریزها و کف برش‌های خاکی و سنگی است.

بستر روسازی بر حسب این‌که در برش خاکی و یا سنگی، خاکریز، مسیر موجود و یا سطح زمین طبیعی واقع شود، باید به شرح زیر آماده شده و در موارد لازم با مصالح مناسب تقویت گردد (نشریه ۱۰۱، ۱۳۸۹، صفحات ۳۲ الی ۳۸).

۱-۱-۱. بستر روسازی در برش خاکی

نوع مصالح در عمق ۳۰ سانتی‌متر زیر بستر و میزان درصد تراکم نسبی در کل این ضخامت، باید طبق مشخصات مشروحه این فصل باشد، در غیر این صورت اقدامات زیر باید انجام گردد.

الف) چنانچه نوع خاک موجود در ضخامت ۳۰ سانتی‌متر زیر کف ترانشه با خاک‌های A1 تا A7 آشتو و به شرح بند ۲-۷ و یا نوع خاک تعیین شده در مشخصات فنی خصوصی برای پروژه مورد نظر منطبق نباشد، باید اصلاح یا تعویض و یا کاربرد افزودنی‌ها از جمله آهک تقویت گردد.

---

[1] Sub-grade

ب) مصالح اصلاح شده به شرح بند الف، باید در دو لایه، هر لایه به ضخامت ۱۵ سانتی‌متر کوبیده شود تا به درصد تراکم مشخصه در جدول ۲-۲ برسد و تراز و رقوم مورد نظر تأمین گردد.

۱-۱-۲. بستر روسازی در برش سنگی

در برش‌های سنگی، معمولاً کف برش مقاومت لازم را دارا می‌باشد، لیکن به دلیل ناهمواری حاصل از حفاری، کف برش را حداکثر ۱۵ سانتی‌متر پایین‌تر از رقوم بستر روسازی حفاری و سپس آن را با مصالح مرغوب و قابل قبول جایگزین نموده و به درصد تراکم مشخصه می‌رسانند. در ترانشه‌های سنگی از نوع مارن یا گچ، باید حداقل ۳۰ سانتی‌متر از کف برش با دو لایه مصالح مرغوب تعویض و هر لایه جداگانه تا حد مشخصات متراکم گردد.

۱-۱-۳. بستر روسازی در خاک‌ریزی

پسی سانتی‌متر از خاک بستر روسازی باید از نوع خاک‌های مناسب به شرح مشخصات این فصل و مشخصات فنی خصوصی بوده و در دو لایه جداگانه، هر یک به ضخامت ۱۵ سانتی‌متر اجرا گردد تا حصول تراکم نسبی مشخصه متراکم شود. چنانچه در ضخامت فوق از خاک‌های مناسب استفاده نشده و مشخصات لازم تأمین نشده باشد، باید نسبت به اصلاح عملیات خارج از مشخصات اقدام گردد.

۱-۱-۴. بستر روسازی در سطح راه موجود

مصالح این بستر تا عمق ۳۰ سانتی‌متر و نیز میزان درصد تراکم آن در این عمق باید مطابق مشخصات بند ۱-۱-۳ باشد و در غیر این صورت اصلاحات لازم باید به مورد اجـرا گذاشـته شود. در شرایطی که این بستر هم‌تراز رویه آسفالتی راه موجود باشد، چگونگی آماده کـردن بستر روسازی باید در مشخصات فنی خصوصی قید گردد.

۱-۱-۵. بستر روسازی در سطح زمین طبیعی

چنانچه بستر روسازی در سطح زمین طبیعی (بعد از برداشت خاک سطحی و نبـاتی) قـرار گیرد، باید حـداقل ۳۰ سـانتی‌متـر زیـر تـراز بسـتر روسـازی، دارای کیفیـت مشـروحه در مشخصات این فصل بوده و در غیر این صورت اصلاحات لازم بـه شـرح بنـد ۱-۱-۳ انجـام گیرد.

۱-۲. راه‌های انحرافی و راه‌های اتصالی

ساختمان راه‌های انحرافی طبق دستور دستگاه نظارت انجـام خواهـد گرفـت و خـاک‌هـای اضافی این نوع کارها طبق تصمیم دستگاه نظارت به مصرف خواهد رسید.

پیمانکار موظف است طبق دستور دستگاه نظارت و به هزینه خـود علائـم و چـراغ‌هـای چشمک‌زن را به منظور راهنمایی و تأمین ایمنی راه در محل‌های مناسب نصب نماید.

۱-۳. کنترل سطح تمام شده

رقوم بستر روسازی باید قبل از اجرای اولین لایه روسـازی از نظـر یکنـواختی سـطح و نیـز انطباق با نیمرخ‌های طولی و عرضی کنترل‌شده و اختلاف آن با رقوم نظیر در نقشه‌ها از ۲۵

میلی‌متر تجاوز ننماید، ضمن آن که شیب‌های طولی و عرضی نیز باید با نقشه‌های اجرایی مطابقت داشته باشد.

ناهمواری سطح تمام شده بستر روسازی با استفاده از شمشه چهار متری در جهات عمود بر محور و موازی با محور نباید از ۲۰ ± میلی‌متر تجاوز کند. سطح خارج از رواداری باید به هزینه پیمانکار اصلاح شود.

۱-۴. حفاظت کارهای انجام شده

بستر روسازی تا قبل از اجرای اولین قشر روسازی باید محافظت شود تا تغییری در وضعیت شیب‌های طولی، عرضی، یکنواختی سطح و تراکم مشخصه آن در مقایسه با مشخصات و نقشه‌های اجرایی به وجود نیاید. بدیهی است که نواقص به وجود آمده ناشی از عدم محافظت پیمانکار از عملیات انجام شده، باید قبل از پوشش با قشر روسازی به هزینه پیمانکار اصلاح گردد.

۱-۵ .آزمایش‌های کنترل

برای کنترل کیفیت مصالح و کارهای انجام شده در این فصل بایستی از مصالح مصرفی در عملیات خاک‌ریزی، مصالح حاصل از برش‌ها و نیز اندازه‌گیری تراکم کلیه لایه‌ها از زمین طبیعی موجود تا بستر روسازی، در حین اجرای کار و متناسب با پیشرفت آن آزمایش‌های لازم به عمل آید.

نوع و تعداد آزمایش‌های مورد نیاز برای این فصل به شرح زیر تعیین شده است.

۱-۵-۱. زمین طبیعی

الف) آزمایش تعیین وزن مخصوص محلی در زمین طبیعی بستر راه در فواصل حداکثر هر ۱۰۰ متر طول راه به ترتیب در وسط، چپ و راست انجام می‌شود.

ب) در آزادراه‌ها و بزرگراه‌ها و یا در صورت ارتفاع زیاد خاکریز که بستر راه عریض می‌شود، به ازای هر ۱۵۰۰ متر مربع یک آزمایش وزن مخصوص انجام می‌گردد.

پ) برای تعیین تراکم آزمایشگاهی خاک در صورت یکنواخت بودن نوع خاک بستر، هر ۵۰۰ متر طول یک آزمایش و در صورت تغییر نوع خاک، تعداد آزمایش بیشتری انجام می‌شود.

ت) برای تعیین نوع خاک زمین طبیعی بستر راه که متناسب با آن درصد تراکم نسبی مشخصه انتخاب می‌شود، به ازای هر ۵۰۰ متر طول یک آزمایش دانه‌بندی و حد روانی و خمیری و در صورت تغییر نوع خاک، آزمایش بیشتری انجام می‌گیرد.

۱-۵-۲. خاک‌ریزی معمولی

الف) یک آزمایش تعیین وزن وزن مخصوص محلی در هر لایه به ازای هر ۵۰ متر طول راه به ترتیب در وسط، چپ و راست و در آزادراه‌ها و بزرگراه‌ها به ازای هر ۷۵۰ متر مربع در هر باند.

ب) در خاک‌ریز پشت پل‌ها و دیوارها از هر لایه خاک‌ریز در هر طرف دو تا چهار آزمایش وزن مخصوص انجام می‌شود.

پ) در صورتی که ارتفاع خاک‌ریز زیاد باشد، از جمله در دره‌های عمیق، هر ۷۵۰ متر مربع یک آزمایش وزن مخصوص به عمل می‌آید.

ت) یک آزمایش تراکم آزمایشگاهی برای خاک مصرفی در خاک‌ریز به ازای هر ۵۰۰ متر طول و چنانچه مصالح خاک‌ریز متغیر باشد، آزمایش بیشتری به عمل می‌آید.

ث) برای تعیین نوع خاک درشت‌دانه یا ریزدانه مصرفی که متناسب با آن درصد تراکم مشخصه انتخاب می‌شود، به ازای هر ۵۰۰ متر طول، یک آزمایش دانه‌بندی و در صورتی که مصالح متغیر باشد، آزمایش بیشتری به عمل می‌آید.

۱-۵-۳. سنگ‌ریزی

برای تعیین ضریب تغییر شکل لایه‌های خاک‌ریز سنگی به طریق بارگذاری با صفحه یا VSS در فواصل هر ۵۰۰ تا ۱۰۰۰ متر طول، یک آزمایش در هر لایه به عمل می‌آید.

۱-۵-۴. بستر روسازی در خاکریزی

الف) در راه‌های اصلی به ازای ۱۰۰ متر طول، و در بزرگ راه‌ها و آزادراه‌ها هر ۱۲۰۰ متر مربع در هر باند، حداقل یک آزمایش تعیین وزن مخصوص محلی انجام می‌شود.

ب) یک آزمایش تراکم آزمایشگاهی برای مصالح مصرفی به ازای هر ۵۰۰ متر طول و در صورتی که کیفیت خاک متغیر باشد، آزمایش بیشتری به عمل می‌آید.

پ) برای تعیین نوع خاک درشت‌دانه و یا ریزدانه که متناسب با آن درصد تراکم مشخصه انتخاب می‌شود، به ازای هر ۵۰۰ متر طول یک آزمایش دانه‌بندی و در صورتی که خاک مصرفی متغیر باشد، آزمایش بیشتری به عمل می‌آید.

۱-۵-۵. بستر روسازی در خاک‌برداری

الف) در راه‌های اصلی در فواصل ۵۰ متر به ترتیب در وسط، چپ و راست و در آزادراه‌ها و بزرگراه‌ها، در ۱۲۰۰ متر مربع در هر باند، حداقل یک آزمایش تعیین وزن مخصوص محلی انجام می‌شود. در صورتی که طول ترانشه کمتر از ۵۰ متر باشد، برای هر ترانشه یک آزمایش انجام می‌گردد.

ب) یک آزمایش تراکم آزمایشگاهی خاک برای هر ترانشه و در صورتی که جنس خاک تغییر کند و یا طول ترانشه زیاد باشد، آزمایش بیشتری به عمل می‌آید.

پ) یک آزمایش تعیین طبقه‌بندی خاک برای هر ترانشه و در صورتی که جنس خاک متغیر بوده و یا طول ترانشه، زیاد باشد، آزمایش بیشتری به عمل می‌آید.

۱-۵-۶. بستر روسازی در زمین طبیعی

وقتی که بستر روسازی در زمین طبیعی (بعد از برداشت خاک‌های سطحی و نباتی) قرار گیرد، آزمایش‌های تعیین وزن مخصوص محلی، تراکم آزمایشگاهی و طبقه‌بندی خاک باید بر اساس بند ۱-۵-۴ انجام شود.

۱-۵-۷. آزمایش سی‌بی‌آر (CBR)[1]

در صورتی که دستگاه نظارت لازم بداند به ازای هر ۵۰۰ متر تا ۱۰۰۰ متر از طول راه در راه‌های اصلی و یا در هر باند آزادراه‌ها و بزرگراه‌ها، یک آزمایش CBR آزمایشگاهی به عمل می‌آید. نمونه آزمایشی باید معرف ضخامتی حداقل حدود ۶۰ سانتی‌متر لایه خاک موردنظر و یا مطابق دستور دستگاه نظارت باشد.

---

1. Californian Bearing Ratio

۱-۵-۸. اندازه‌گیری ضخامت لایه‌های خاکریز

ضخامت لایه‌های خاک‌ریز حین آزمایش تعیین وزن مخصوص محلی باید اندازه‌گیری و در برگ گزارش تراکم نسبی قید می‌گردد. با استفاده از نیمرخ طولی و یا نیمرخ عرضی موجود، باید تعداد لایه‌ها، مشخص و در گزارش تعیین شود که آزمایش وزن مخصوص روی کدام لایه از لایه‌های خاک‌ریز انجام شده است.

۱-۶. روسازی راه

روسازی راه، سازه‌ای است که بر روی آخرین لایه متراکم شده خاک زمین طبیعی موجود یا اصلاح شده، خاکریزی‌ها، یا کف برش‌های خاکی و یا سنگی که به طور کلی بستر روسازی نامیده می‌شود، قرار می‌گیرد.

روسازی معمولاً متشکل از قشرهای مختلف نظیر زیراساس، اساس و لایه‌های آسفالتی یا بتنی و یا ترکیبی از آن‌هاست که هر یک تابع مشخصات فنی و دارای ضخامت معینی است (نشریه ۲۳۴، ۱۳۸۱، صص۱-۱ و ۱-۲).

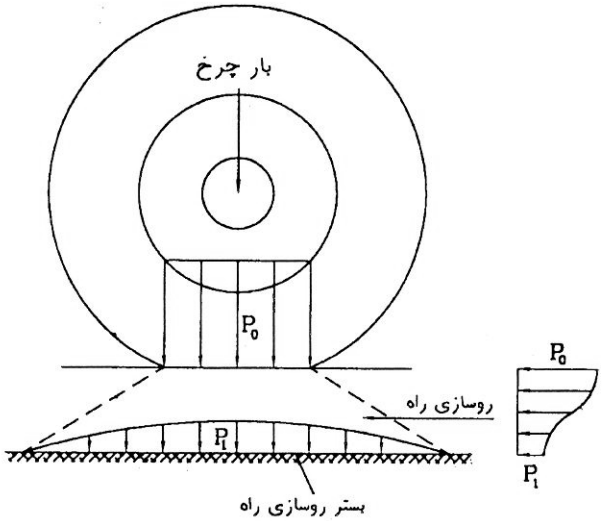
۱-۷. هدف از روسازی

زمین طبیعی، بستر خاکریزی‌های آماده شده راه، کف برش‌های خاکی یا سنگی، حتی در شرایط کاملاً متراکم و خوب دانه‌بندی شده، مقاومت کافی برای تحمل بارهای وارده از چرخ خودرو را در شرایط متغیر جوی ندارد. بارگذاری این گونه خاک‌ها موجب شکست برشی و ایجاد تغییر شکل‌های دایم بیش از اندازه برای آن‌ها می‌شود.

روسازی، از بروز و ظهور آسیب‌دیدگی‌های فوق جلوگیری نموده و عبور و مرور راحت، سریع، مطمئن، ایمن و بدون گرد و غبار را در یک سطح هموار فراهم می‌کند.

۱-۸. عملکرد روسازی

نحوه کلی عملکرد و توزیع بار در شکل شماره ۱-۱ نشان داده شده است. در این شکل، بار وسیله نقلیه، توسط چرخ، در تماس تقریباً دایره‌ای شکل، به سطح روسازی وارد می‌شود. شدت تنش وارده در نقاط واقع در سطح زیر بار حداکثر بوده و با ازدیاد فاصله از این سطح، تقلیل می‌یابد. اگر فشار قائم در سطح تماس با راه P_0 باشد، ضخامت لایه‌های روسازی و کیفیت مقاومتی آن طوری انتخاب می‌شود که بار چرخ هر چه بیشتر توزیع و گسترده شده تا این که حداکثر شدت تنش در بستر روسازی به مقدار P_1 که خاک بستر بتواند با تغییر شکل مجاز، آن را تحمل کند، کاهش یابد. عملکرد سیستم روسازی و کیفیت هر یک از لایه‌های آن به شرح زیر می‌باشد.



شکل شماره ۱-۱: توزیع بار چرخ در لایه‌های روسازی

۱-۸-۱. مقاومت در مقابل تنش

هر یک از لایه‌ها باید در برابر تنش‌های وارده، بی‌آن‌که تغییر شکل بیش از اندازه در آن به وجود آید، مقاومت کند.

۱-۸-۲. کاهش تنش برای لایه‌های زیرین

هر یک از لایه‌ها باید قادر باشد که شدت تنش‌ها را تا میزان قابل تحمل برای لایه‌ای که در زیر آن قرار گرفته، کاهش دهد.

با توجه به شکل ۱-۱ و بر اساس عملکرد و رفتار سازه روسازی، می‌توان روسازی راه را از چندین لایه با مقاومت و مرغوبیت متفاوت مطرح کرد، به نحوی که از مصالح مقاوم‌تر و با

کیفیت بهتر در لایه‌های بالاتر و مصالح با مرغوبیت و مقاومت کمتر در لایه‌های پایین‌تر، که میزان تنش در آن‌ها کمتر است، استفاده شود.

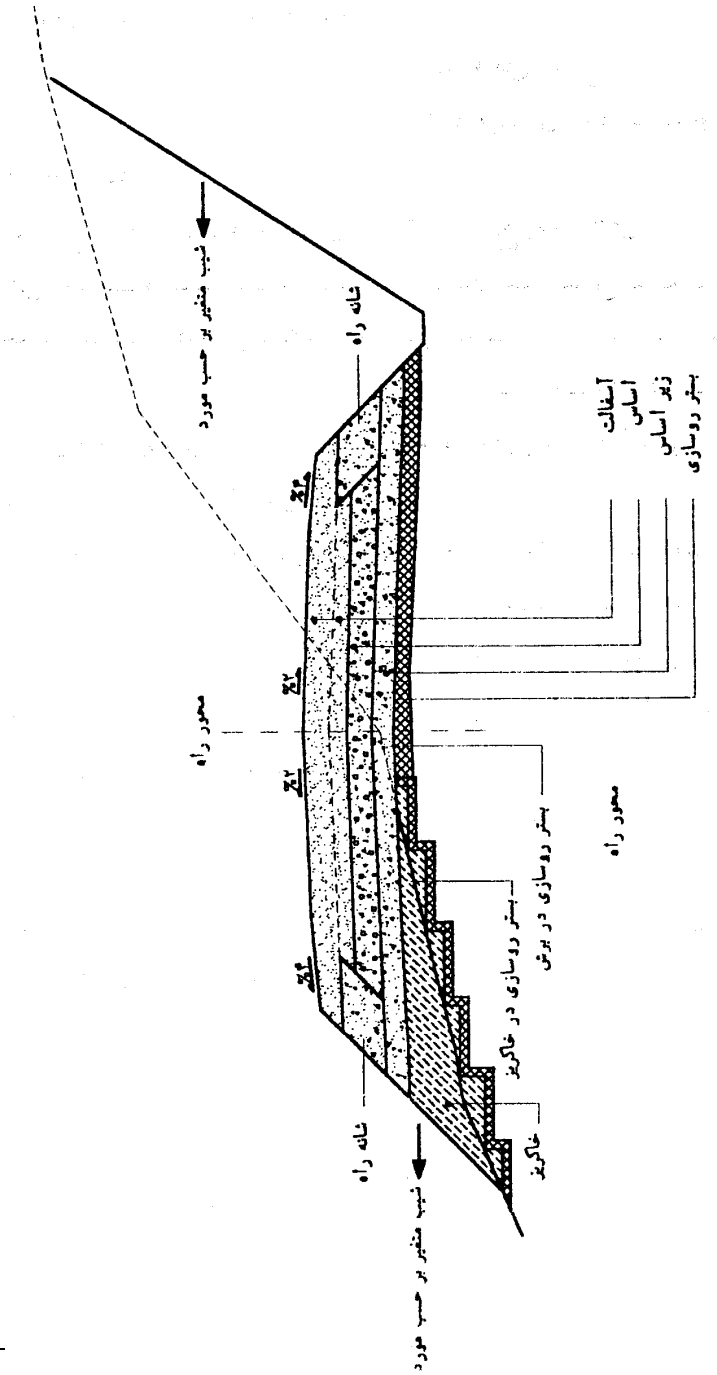
۱-۹. لایه‌های روسازی و خواص کلی آن‌ها

ضخامت و کیفیت مصالح لایه‌های روسازی، به نوع و درجه‌بندی راه، مقاومت خاک بستر، میزان ترافیک، شرایط جوی، نوع مصالح قابل دسترسی و عوامل اقتصادی بستگی دارد.

کیفیت خاک بستر، میزان تحمل باربری، حساسیت و آسیب‌پذیری آن در برابر عوامل جوی، در انتخاب لایه‌های روسازی نقش تعیین‌کننده دارد. به طور کلی تمام خاک‌هایی که در طبقه‌بندی آشتو از A1 تا A4 تقسیم‌بندی شده‌اند، می‌توانند بستر مناسبی برای روسازی راه باشند. با وجود آن که خاک‌های گروه A5 تا A7، در شرایط خشک از مقاومت کافی برخوردارند، ولی در مناطق پر بارش و شرایط اشباع و یخبندان، به ویژه برای ترافیک سنگین، مناسب نبوده و بهتر است با استفاده از مواد تثبیت کننده نظیر آهک، این مصالح را اصلاح و تقویت کرد.

شیب‌های طولی و عرضی جاده که در طرح راه تعیین شده است، باید در سطح بستر روسازی تأمین گردند تا لایه‌های روسازی با ضخامت‌های طراحی اجرا شوند.

خصوصیات و ویژگی‌های کلی بستر و هر یک از لایه‌های تشکیل‌دهنده روسازی، در فصول آتی آمده است. نیمرخ کلی یک روسازی آسفالتی و اجزای تشکیل‌دهنده آن در شکل ۱-۲ نشان داده شده است.


شیب متغیر بر حسب مورد
شانه راه
آسفالت
اساس
زیر اساس
بستر روسازی
محور راه
بستر روسازی در برش
بستر روسازی در خاکریز
خاکریز
شانه راه
شیب متغیر بر حسب مورد
محور راه

شکل شماره ۱-۲: نیمرخ عرضی یک نمونه روسازی آسفالتی

۱-۱۰. مصالح سنگی

۱-۱۰-۱. رده‌بندی سنگ‌ها از نقطه نظر راه‌سازی

قسمت اعظم مصالح سنگی که در ساختمان راه به کار می‌رود، از شن و ماسه رودخانه‌ها، معادن سنگ و گاهی نیز از سربارهای کوره بلند ذوب آهن به دست می‌آید. صخره‌های طبیعی که به صورت توده‌های عظیم در طبیعت وجود دارند، در اثر تحول تدریجی (تأثیر عوامل جوی) به قلوه سنگ و شن و ماسه تبدیل می‌شوند.

زمین‌شناسان، صخره‌های طبیعی را به سه طبقه آذرین، رسوبی و متامورفیک (دگرگونی) تقسیم کرده‌اند (محمد سرائی‌پور، ۱۳۷۷، صص۱۱۹ الی ۱۲۸).

۱-۱۰-۱-۱. سنگ‌های آذرین

این طبقه سنگ‌ها حالت کریستالی داشته و از سرد شدن توده مذاب خارج شده از دهانه آتشفشان (ماگما) به وجود آمده‌اند و از نظر ترکیب شیمیایی به سه گروه زیر تقسیم می‌شوند:

الف) سنگ‌های آذرین اسیدی

سنگ‌های آذرین اسیدی معمولاً رنگ روشن داشته و وزن مخصوص آن‌ها کمتر از ۲/۷۵ بوده و محتوی کوارتز آزاد می‌باشند و در ترکیب شیمیایی آن‌ها بیش از ۶۶ درصد سیلیس ملاحظه می‌شود.

ب) سنگ‌های آذرین نیمه اسیدی

در ترکیب شیمیایی این گروه ۶۶-۵۵ درصد سیلیس ملاحظه می‌شود.

پ) سنگ‌های آذرین بازیک

سنگ‌های آذرین بازیک معمولاً رنگ تیره داشته و وزن مخصوص آن‌ها بیش از ۲/۷۵ می‌باشد و در ساختمان آن‌ها کوارتز آزاد مشاهده نمی‌شود و کمتر از ۵۵ درصد سیلیس دارند.

۱-۱۰-۱-۲. سنگ‌های رسوبی

سنگ‌های رسوبی از نشست ذرات حاصل از تجزیه صخره‌ها (موجود در دریاها و اقیانوس‌ها) و یا باقی‌مانده معدنی موجودات دریایی که به مقادیر زیاد در بستر دریاها و اقیانوس‌ها رسوب می‌نمایند، تشکیل می‌شود. گاهی اوقات مواد معدنی محلول در آب نیز کریستاله شده و تشکیل سنگ‌های رسوبی را می‌دهند.

سنگ‌های رسوبی با توجه به ماده معدنی اولیه که در تشکیل آن مؤثر بوده است، به سه گروه طبقه‌بندی شده‌اند که عبارتند از:

۱. سنگ‌های آهکی

مانند گچ، سنگ آهک، دلمیت، و غیره.

۲. سنگ‌های سیلیسی

مانند سنداستون[1]، سنگ چخماق[2] و غیره.

۳. سنگ‌های رسی

1. Sandstone
2. Flint

مانند سنگ‌های رس و شل[1].

ناگفته نماند که مخلوط دو و یا همه انواع فوق بسیار دیده می‌شود به عنوان مثال از سنگ آهک ماسه‌ای[2] نام می‌بریم.

۱-۱۰-۳. سنگ‌های متامورفیک یا دگرگونی

این قبیل سنگ‌ها از دگرگونی سنگ‌های آذرین یا رسوبی تحت تأثیر حرارت‌های زیاد و یا اثر توأم فشار و حرارت تشکیل شده‌اند، به طوری که سنگ‌های دگرگونی از نظر بافت با سنگ اصلی (رسوبی یا آذرین) متفاوت می‌باشد. سنگ‌های دگرگونی معمولاً ساختمان کریستالی دارند.

در مورد سربارها (به آلمانی آن را شلاکه می‌نامند) که امروزه به میزان وسیع در اکثر کشورهای اروپایی به عنوان مصالح راه‌سازی مورد استفاده قرار می‌گیرد، باید متذکر شد که از مواد معدنی مشابه سنگ‌های آذرین تشکیل شده‌اند ولی بافت آن‌ها از حالت شیشه‌ای تا لانه‌زنبوری متفاوت است. سربار حاصل از کوره بلند ذوب آهن در مقایسه با سربارهای دیگر محکم‌تر و به همین جهت برای راه‌سازی مناسب‌تر است، ولی از سربارهای حاصل از ذوب مس و قلع نیز می‌توان در عملیات راه‌سازی استفاده نمود.

در راه‌سازی دانستن دقیق نوع سنگ از نقطه نظر زمین‌شناسی لازم نیست و همان‌قدر که معلوم شود سنگ مورد استفاده به چه طبقه‌ای از سنگ‌های راه‌سازی تعلق دارد، کافی

---

1. Shale
2. Sandy Limestone

است. به عنوان مثال، در استاندارد .B.S، سنگ‌ها از نظر راه‌سازی به ۱۱ گروه که ذیلاً تشریح می‌گردد، تقسیم‌بندی شده‌اند.

۱. سنگ‌های مصنوعی

این دسته همان سربارهای حاصل از ذوب فلزات مختلف می‌باشند که به میزان وسیع در راه‌سازی مصرف می‌شوند و مشابه سنگ‌های آذرین می‌باشند.

۲. گروه بازالت

بازالت از جمله سنگ‌های آذرین بیرونی است و نوع بازیک آن که دانه ریز می‌باشد، جزو این دسته محسوب می‌شود. غیر از بازالت، سنگ دلوریت نیز در این گروه قرار دارد.

۳. گروه فلینت[۱]

از جمله سنگ‌های رسوبی به شمار می‌رود و رنگ آن از سفید تا سیاه متغیر است، وزن مخصوص این سنگ‌ها کم و به صورت شن زیاد ملاحظه می‌گردد، سنگ چخماق از این گروه محسوب می‌شود.

۴. گروه گابرو[۲]

سنگ‌های آذرین بازیک درشت‌دانه جزو این دسته بوده و مهم‌ترین اجزای متشکله آن‌ها فلدسپات می‌باشد. رنگ این سنگ‌ها معمولاً تیره بوده و وزن مخصوص آن‌ها به خاطر وجود

3. Flint
4. Gabbro

مواد فرو- منگنز نسبتاً بالا می‌باشد و یکی از مهم‌ترین مصالح راه‌سازی می‌باشد، از انواع این سنگ‌ها می‌توان از گابرو، دلوریت بازیک را نام برد.

جالب‌ترین نمونه گابرو در ایران، گابرو مبارک‌آباد پلور است، گابرو مزبور دارای الیوین و میکای سیاه فراوان (گابرو میکاسه) می‌باشد. قسمت مهمی از توده آذرین بنیان سد کرج نیز گابرویی است. گابرو سد کرج پیروکسن‌دار است و در مقایسه با گابرو مبارک‌آباد کمتر بازیک می‌باشد و در ناحیه الوند همدان نیز گابرو وجود دارد.

۵. گروه گرانیت

سنگ‌های آذرین اسیدی و نیمه اسیدی که دانه درشت باشند و مشابه متامورفیک آن‌ها جزو این دسته می‌باشند. مهم‌ترین جزء متشکله این دسته کوارتز است ولی گاهی میکا، پیروکسن یا آمفیبول نیز در ساختمان آن‌ها دیده می‌شوند. این سنگ‌ها دارای رنگی روشن بوده و وزن مخصوص آن‌ها کمتر از ۲/۸۰ می‌باشد و در عملیات راه‌سازی خیلی زیاد استفاده می‌شود. از جمله این سنگ‌ها بایستی گرانیت، کوارتز، دیوریت و سینیت[1] را نام برد.

چنان‌که می‌دانیم گرانیت از جمله سنگ‌های آذرین درونی است و در ایران برخلاف سنگ‌های بازیک که نقاط پراکنده‌ای را در کشور تشکیل می‌دهند، گرانیت توده عظیمی را در زمین‌شناسی ایران تشکیل داده است.

[1]. Syenite

بر طبق گزارش شماره یک سازمان زمین‌شناسی کشور در حوالی زنجان دو نوع گرانیت تشخیص داده شده است که عبارتند از گرانیت دوران که در آبادی دوران واقع در جنوب زنجان قرار دارد و گرانیت خرم‌دره که دارای میکای سیاه و آمفیبول فراوان است.

۶. گروه گریت استون[1]

سنگ‌های رسوبی سیلیسی که درشت‌دانه یا متوسط‌دانه باشند جزو این دسته طبقه‌بندی شده‌اند که اغلب این سنگ‌ها به کمک مواد ریزدانه از جنس سیلیس، آهک و یا رس سمنته شده و توده متراکمی را به وجود آورده‌اند. گاهی نیز مقادیر زیادی فلدسپات، میکا و یا سایر سنگ‌های آذرین در آن‌ها مشاهده می‌شود. رنگ این سنگ‌ها روشن و یا کمی تیره بوده و وزن مخصوص آن‌ها کمتر از ۲/۸۰ می‌باشد، از این سنگ‌ها نیز در راه‌سازی استفاده می‌شود. سنداستون از جمله این سنگ‌ها به شمار می‌رود.

۷. گروه هورن فلس[2]

از جمله سنگ‌های دگرگونی حرارتی است که متوسط دانه بودن و رنگ آن تیره است و وزن مخصوص این سنگ‌ها نسبتاً بالا و متراکم می‌باشد، این نوع سنگ به ندرت یافت می‌شود و برای راه‌سازی مناسب می‌باشد.

۸. گروه سنگ آهک

---

1. Gritstone
2. Hornfels

سنگ‌های رسوبی آهکی مانند سنگ آهک، دلمیت، سنگ مرمر که جزء اصلی تشکیل‌دهنده آن کربنات منیزیم می‌باشد. رنگ این سنگ‌ها معمولاً روشن و دانه ریز یا دانه متوسط می‌باشند. وزن مخصوص این سنگ‌ها در حد متوسط قرار دارند و به میزان وسیع در راه‌سازی مورد استفاده قرار می‌گیرند.

۹. گروه پروفیر[1]

از جمله سنگ‌های آذرین بیرونی کوارتزدار و با ویژگی‌های آتشفشانی قدیمی می‌باشد و به عبارت بهتر جزو سنگ‌های اسیدی و نیمه اسیدی آذرین که دانه ریز باشد به حساب می‌آید و شباهتی به گروه گرانیت دارد. وزن مخصوص این دسته از سنگ‌ها متوسط و رنگ آن نسبتاً روشن می‌باشد. سنگ‌هایی نظیر فلینت، گرانوفیر، میکروگرانیت و پروفیر جزو این طبقه سنگ‌ها بوده و برای راه‌سازی مناسب می‌باشند.

۱۰. گروه کوارتزیت

از جمله سنگ‌های سیلیسی رسوبی یا دگرگونی که تقریباً از کوارتز تشکیل شده‌اند، می‌باشند. این سنگ‌ها دانه ریز یا متوسط می‌باشند و وزن مخصوص آن‌ها متوسط و به رنگ روشن یافت می‌شوند. سنگ‌های کوارتز و سنداستون از جمله این سنگ‌ها محسوب می‌شوند و در راه‌سازی کاربرد دارند.

۱۱. گروه شیست

سنگ‌های متورق مانند شیست، و اسلیت از جمله این گروه بوده که در راه‌سازی نباید مصرف شوند.

[1] Porphyry

۱-۱۰-۲. تهیه مصالح سنگی

مرغوبیت مصالح و نیز مقاومت آن در مقابل ساییدگی و صیقلی شدن تا اندازه زیادی بستگی به خواص سنگ معدن مورد استفاده در تهیه مصالح شکسته دارد، از طرف دیگر روش تهیه مصالح سنگی در مرغوبیت آن مؤثرند.

در اکثر معادن سنگ معدن یک لایه سنگ سست و نامرغوب وجود دارد و چون فصل مشترک این لایه و سنگ معدن مورد نظر غالباً مشخص و معلوم نیست لذا بایستی تا حد امکان سعی نمود که لایه نامرغوب از روی سنگ معدن حذف گردد و یا حتی بعد از انفجار نیز به طریق دستی تکه‌های نامرغوب را از بقیه سنگ معدن جدا نمود. معهذا ممکن است سنگ نامرغوب و سست به همراه سایر مصالح به سنگ‌شکن ریخته شود که در این حالت به راحتی می‌توان آن را از سنگ معدن اصلی شکسته شده جدا نمود. معمولاً برای این کار، بعد از اولین مرحله شکستن، مواد ریزدانه را با عبور از روی سرندهای معین حذف می‌کنند (چنانچه مقدار رس مصالح زیاد باشد عمل شستن در این مرحله ضروریست). ناگفته نماند که اندازه دقیق سوراخ‌های سرند بستگی به جنس لایه سست داشته و معمولاً در هر مورد متفاوت می‌باشد.

مصالح شکسته شده نه تنها از نقطه نظر استحکام مورد توجه می‌باشند بلکه شکل دانه‌های مصالح نیز در خواص مکانیکی آسفالت تهیه شده بی‌اندازه اهمیت دارند. مصالحی که شکل نامناسب دارند مانند مصالح متورق و یا مطول به هیچ‌وجه نباید در تهیه آسفالت به کار روند زیرا تحت تأثیر فشار وارده خرد شده و سبب تضعیف خواص مکانیکی مخلوط آسفالتی می‌شوند.

مطالعات انجام شده در این مورد نشان می‌دهد که شکل مصالح شکسته شده تا اندازه زیادی بستگی به جنس سنگ معدن و نیز نوع سنگ‌شکن مورد استفاده در تهیه مصالح شکسته دارد. از طرف دیگر نسبت کاهش اندازه دانه‌ها در آخرین مرحله شکستن نیز در شکل مصالح تهیه شده تأثیر دارد.

چنانچه نسبت کاهش اندازه دانه‌ها در آخرین مرحله شکستن بیشتر از ۴ : ۱ نباشد، جنس سنگ معدن و یا نوع سنگ‌شکن هرچه باشد، معمولاً شکل مصالح شکسته شده با مشخصات موجود وفق می‌دهد.

نتیجه این بحث این است که در بدترین شرایط برای تهیه مصالح شکسته یک اندازه $\frac{3}{4}$ اینچ[1] ماکزیمم اندازه دانه‌های سنگ که در سنگ‌شکن ریخته می‌شود نباید از ۳ اینچ بیشتر باشد و نیز برای تهیه مصالح $\frac{3}{8}$ اینچ ماکزیمم اندازه دانه‌هایی که در سنگ‌شکن ریخته می‌شود نباید از $1\frac{1}{2}$ اینچ بیشتر باشد، تا به آخر. تذکر این نکته ضروری است که «نسبت کاهش» را می‌توان در مورد بعضی معادن سنگ و یا سنگ‌شکن کمی افزایش داد که این مسئله مستلزم مطالعه و بررسی کافی می‌باشد.

نحوه دانه‌بندی مصالح شکسته شده معمولاً بستگی به کاربرد مصالح شکسته دارد. در عمل ابتدا مصالح شکسته را به طور جداگانه کپه می‌نمایند، به عنوان مثال مصالح شکسته شده را که از زیر سرند خارج می‌شود ابتدا به تفکیک در اندازه‌های $1-1\frac{1}{2}$ ، $\frac{3}{4}-1$ ، $\frac{3}{8}-\frac{1}{2}$ اینچ جمع‌آوری و کپه می‌نمایند و سپس با توجه به دانه‌بندی مورد لزوم دوباره با

[1]. Chipping

نسبت‌های مشخص مخلوط کرده و یا همان مصالح یک اندازه را در تهیه آسفالت‌های حفاظتی مورد استفاده قرار می‌دهند.

گاهی در عمل با نصب ۲ یا ۳ سرند در سنگ‌شکن مصالح ریزدانه، متوسط‌دانه و یا درشت‌دانه را به طور جداگانه کپه نموده و سپس با نسبت‌های مشخص مخلوط کرده و دانه‌بندی مورد لزوم را به دست می‌آورند.

به عنوان مثال، چنانچه بخواهند مصالح شکسته‌ای با دانه‌بندی وسط حدود مشخصات که در جدول ۱-۱ ملاحظه می‌شود، تهیه می‌کنند:

جدول شماره ۱-۱: مشخصات مصالح سنگی

اندازه الک	۱ اینچ	¾ اینچ	⅜ اینچ	# ۴	# ۸	# ۳۰	# ۵۰	# ۱۰۰	# ۲۰۰
درصد ردشده	۱۰۰	۸۰-۱۰۰	۶۰-۸۰	۴۸-۶۵	-۵۰ ۳۵	-۳۰ ۱۹	-۲۳ ۱۳	۷-۱۵	۰ -۸

سرند بالایی سنگ‌شکن باید ۲۶ میلیمتر و سرند وسط ۱۶ میلیمتر و سرند زیرین باید ۸ میلیمتر باشد.

به این ترتیب مصالح با سه اندازه مختلف از سنگ‌شکن خارج می‌شوند که عبارتند از: مصالح ریزدانه ۸-۰ میلیمتر، مصالح متوسط‌دانه ۱۶-۸ میلیمتر و مصالح درشت‌دانه ۲۶-۱۶ میلیمتر، چنانچه این مصالح را در کارخانه آسفالت بریزند، بایستی اندازه سرندهای کارخانه‌ای از بالا به پایین به ترتیب ۲۷، ۱۶ و ۸ میلیمتر باشند. البته با توجه به شرایط کار می‌توان اندازه سرند میانی و زیرین را تغییر داد.

چنانچه دانه‌بندی وسط حدود مشخصات فوق را بخواهند به کار برند، عملاً تهیه صددرصد دقیق دانه‌بندی فوق در حجم زیاد مقدور نیست؛ لذا حدود ۵- ۰ درصد تجاوز از

دانه‌بندی پیشنهادی مجاز شناخته شده است. به عنوان مثال در مورد دانه‌بندی فوق‌الذکر برای الک‌های $\frac{3}{8}$ اینچ و بیشتر ۵ ± درصد، از الک $\frac{3}{8}$ اینچ تا شماره ۲۰۰، ۴ ± درصد و رد شده از الک شماره ۲۰۰، ۱ ± درصد مجاز است.

عملاً چنانچه اندازه سوراخ سرند و نیز سطح سرندها مناسب انتخاب شوند، دانه‌بندی مورد نظر به دست می‌آید ولی چنانچه یکی از موارد ذیل رعایت نشود تهیه مصالح با اشکال صورت می‌گیرد.

۱. چنانچه سرند فوقانی پاره شود در مصالح شکسته دانه‌های با اندازه بزرگ‌تر وارد می‌شود که این دانه‌ها را اصطلاحاً بزرگ‌تر از اندازه[1] می‌نامند.

۲. چنانچه سنگ معدن آلوده به گل و لای و یا قشرهای سست باشند ریزدانه‌ها بیش از حد لزوم در مخلوط وارد می‌شود که باعث به هم خوردن دانه‌بندی می‌شود.

۳. چنانچه ارتعاش سرند یا شیب آن نامناسب باشد، مصالح بدون اینکه فرصت عبور از سوراخ سرند را داشته باشند از روی سرند خارج می‌شوند، در این مورد سه حالت زیر اتفاق می‌افتد:

الف) در صورتی که حالت ۳ مربوط به سرند فوقانی باشد، قسمت اعظم مصالح شکسته به عنوان بزرگ‌تر از اندازه هدر می‌رود و یا بایستی دوباره بدون اینکه لازم باشد به سنگ‌شکن ریخته شود.

ب) چنانچه حالت فوق مربوط به سرندهای میانی باشد مقدار زیادی دانه‌های ریز وارد مخزن مصالح متوسط‌دانه می‌شود که این کار خود سبب به هم زدن دانه‌بندی مصالح مخلوط شده می‌شود.

---

[1]. Oversize

پ) چنانچه حالت سه مربوط به سرند زیرین باشد، مصالح روی هم جمع شده در نتیجه مخزن ریز نمی‌تواند جواب‌گوی عملکرد کارخانه باشد و مرتب بایستی صبر نمود تا مخزن ریزدانه پر شود.

۴. چنانچه روی سرندها اصولاً بیش از مقدار مورد لزوم مصالح ریخته شود عمل سرند کردن با اشکال مواجه شده در این حالت در تمام مخازن مصالح ریزتر از اندازه مورد نظر که اصطلاحاً زیراندازه[1] نامیده می‌شود، وارد می‌گردد.

۱-۱۰-۳. نمونه‌برداری از مصالح

بی‌تردید نمونه‌برداری از مصالح سنگی حساس‌ترین و مهم‌ترین قسمت انجام آزمایش‌های روی مصالح می‌باشد. به همین جهت چنانچه نمونه برداشته شده نماینده توده عظیم مصالح مورد آزمایش نباشد، هرقدر روی انجام آزمایش‌ها دقت شود، نتایج حاصله بی‌ارزش می‌باشند.

چنانچه نمونه‌برداری بایستی از معادن و یا از کپه‌های مصالح به عمل آید، باید کوشش شود در چند نقطه چاله‌هایی نسبتاً عمیق حفر نموده و سپس نمونه‌های حاصل را خوب مخلوط کرده و به کمک یک سفره برزنتی بزرگ نمونه را به چهار قسمت تقسیم نموده و دو قسمت روبروی یکدیگر را دوباره مخلوط و بقیه را دور بریزند.

سپس در همان سفره دو قسمت باقیمانده را خوب مخلوط کرده و باز چهار قسمت می‌کنند و باز دو قسمت متقابل را نگه داشته و الباقی را به دور می‌ریزند. این عمل را آن‌قدر ادامه می‌دهند تا وزن نمونه تقسیم شده حاصل برای انجام آزمایش‌های مورد نظر کافی

[1]. Undersize

باشد. در آزمایشگاه برای تقسیم نمونه به نمونه‌های با وزن کمتر از دستگاهی به نام کوارتر[1] استفاده می‌شود. این دستگاه که در اندازه‌های مختلف وجود دارد دارای سوراخ‌های متقابل می‌باشد و هر نمونه را به دو قسمت مساوی تقسیم می‌کند.

خلاصه

بستر روسازی، سطح آخرین لایه متراکم شده در خاکریزها، کف برش‌های خاکی و سنگی، زمین طبیعی اولیه بعد از برداشت خاک سطحی و نباتی و یا راه شنی موجود است که اولین لایه روسازی راه (قشر زیراساس) روی آن قرار می‌گیرد. عرض این بستر در کلیه موارد فوق برابر عرض تراز نهایی خاکریزها و کف برش‌های خاکی و سنگی است.

بستر روسازی بر حسب این‌که در برش خاکی و یا سنگی، خاک‌ریز، مسیر موجود و یا سطح زمین طبیعی واقع شود باید به شرح زیر آماده شده و در موارد لازم با مصالح مناسب تقویت گردد.

بستر روسازی تا قبل از اجرای اولین قشر روسازی باید محافظت شود تا تغییری در وضعیت شیب‌های طولی، عرضی، یکنواختی سطح و تراکم مشخصه آن در مقایسه با مشخصات و نقشه‌های اجرایی به وجود نیاید. بدیهی است که نواقص به وجود آمده ناشی از عدم محافظت پیمانکار از عملیات انجام شده باید قبل از پوشش با قشر روسازی به هزینه پیمانکار اصلاح شود.

[1]. Quarter

روسازی راه، سازه‌ای است که بر روی آخرین لایه متراکم شده خاک زمین طبیعی موجود یا اصلاح شده، خاکریزی‌ها، یا کف برش‌های خاکی و یا سنگی که به طور کلی بستر روسازی نامیده می‌شود، قرار می‌گیرد.

روسازی معمولاً متشکل از قشرهای مختلف نظیر زیراساس، اساس و لایه‌های آسفالتی یا بتنی و یا ترکیبی از آن‌هاست که هر یک تابع مشخصات فنی و دارای ضخامت معینی است.

زمین طبیعی، بستر خاکریزی‌های آماده شده راه، کف برش‌های خاکی یا سنگی، حتی در شرایط کاملاً متراکم و خوب دانه‌بندی شده، مقاومت کافی برای تحمل بارهای وارده از چرخ خودرو را در شرایط متغیر جوی ندارد. بارگذاری این گونه خاک‌ها موجب شکست برشی و ایجاد تغییر شکل‌های دائم بیش از اندازه برای آن‌ها می‌شود.

ضخامت و کیفیت مصالح لایه‌های روسازی، به نوع و درجه‌بندی راه، مقاومت خاک بستر، میزان ترافیک، شرایط جوی، نوع مصالح قابل دسترسی و عوامل اقتصادی بستگی دارد.

مرغوبیت مصالح و نیز مقاومت آن در مقابل ساییدگی و صیقلی شدن تا اندازه زیادی بستگی به خواص سنگ معدن مورد استفاده در تهیه مصالح شکسته دارد، از طرف دیگر روش تهیه مصالح سنگی در مرغوبیت آن مؤثرند.

آزمون

۱. بستر روسازی راه را تعریف کنید؟

۲. انواع بسترهای روسازی در راه را نام ببرید؟

۳. هدف از انجام بستر روسازی در برش سنگی چیست؟

۴. روسازی راه را تعریف کنید؟

۵. هدف از روسازی راه چیست؟

۶. ضخامت و کیفیت مصالح لایه‌های روسازی به چه عواملی بستگی دارد؟

۷. نیمرخ کلی یک روسازی آسفالتی و اجزای تشکیل‌دهنده آن را ترسیم نمایید؟

۸. انواع سنگ‌های رسوبی را نام ببرید؟

۹. اهمیت سنگ‌های گروه گابرو در راه‌سازی چیست؟

۱۰. آیا ارتعاش و شیب سرند در دانه‌بندی مصالح تأثیر دارد؟ علـل آن را مختصـراً توضـیح دهید؟

فصل دوم

عملیـــات خـــاکی و کنتـــرل کیفیت

(خاک‌ریزها و خاک‌برداری‌ها)

اهداف

هدف از مطالعه این فصل، آشنایی با مطالب زیر می‌باشد:

۱. ملیات خاکی

۲. خاکبرداری و خاکریزی

۳. قرضه و انواع آن

۴. خاک‌های مناسب برای راه‌سازی

۵. ضخامت لایه‌های خاک‌ریز با توجه به نوع مصالح مصرفی و موقعیت اجرای لایه‌ها

۶. کوبیدن مورد نیاز و میزان تراکم نسبی در خاک‌ریزها و بستر زمین طبیعی

۷. چگونگی اجرای خاک‌ریزی روی ابنیه فنی

۸. عوامل ایجاد پدیده تورم و انبساط ناشی از یخبندان در روسازی

۹. کاربرد سازه‌های توری سنگی (گابیونی)

۲-۱. عملیات خاکی (نشریه ۱۰۱، ۱۳۸۹، صص۱۱ الی ۳۸)

عملیات خاکی شامل کلیه کارهای لازم برای تمیز کردن بستر و حریم راه، خاک‌برداری و خاک‌ریزی خاک، سنگ و یا سایر مصالح، از و یا در مسیر و یا محدوده راه منطقه عملیات طرح، طبق نقشه‌های اجرایی و یا برابر دستورات دستگاه نظارت می‌باشد.

۲-۲. پاک کردن و ریشه‌کنی بستر و حریم راه

عملیات پاک کردن و ریشه‌کنی بستر حریم راه، شامل برداشتن و به دور ریختن هرگونه مواد و مصالح زائد، نباتات و اشجار، ساختمان و ابنیه و هرگونه مانعی در تمامی حریم راه، مسیر کانال‌ها و آبروها، محل احداث پل و ابنیه فنی و هر ناحیه و منطقه دیگری که در نقشه‌های اجرایی مشخص شده است، می‌باشد. پاک کردن و ریشه‌کنی بستر و حریم راه باید قبل از هرگونه خاکبرداری و یا خاکریزی شروع شده و پایان یابد.

۲-۲-۱. حفظ و حراست اقلام خاص

باید دقت کافی و مراقبت لازم به عمل آید که تأسیسات و ابنیه فنی مفید و یا جدیدالاحداث راه و نیز تأسیسات و تجهیزات دیگر مانند لوله‌های آب، گاز، نفت، کابل برق، تلفن، تأسیسات نظامی و غیره که در مسیر راه و یا مجاورت آن قرار گرفته حفظ و حراست و نگهداری شده و هیچ‌گونه آسیب و صدمه‌ای از عملیات پیمانکار به آن‌ها وارد نگردد. در مورد درختان و اشجار، فقط درختانی که روی نقشه‌های نشان داده شده و یا طی صورت‌جلسه مصوب مشخص شده باشند باید در صورن امکان جابه‌جا و در غیر این صورت

قطع و ریشه‌کنی و از مسیر راه دور شوند. پیمانکار باید دقت نماید که در اثر اجرای عملیات به سایر درختان صدمه و آسیبی وارد نشود.

مسئولیت هرگونه لطمه و یا صدمه‌ای که به درختان و اشجار و سایر تأسیسات و ابنیه در اثر اجرای عملیات وارد شود به عهده پیمانکار بوده و باید به هزینه خود ترمیم و یا رفع مشکلات حقوقی ناشی از آن را بنماید.

۲-۲-۲. روش‌های اجرایی

سطوح و مناطقی که در نقشه‌های اجرایی و یا دستور کارها به عنوان پاک کردن و ریشه‌کنی مسیر و حریم راه تعیین شده، باید توسط دستگاه نظارت و یا دستگاه اجرایی قبل از شروع عملیات پاک کردن و ریشه‌کنی، میخکوبی و مشخص گردد. عمل پاک کردن و ریشه‌کنی باید در تمام طول مسیر طبق نقشه‌های اجرایی به صورت مشروحه زیر انجام شود.

الف) پاک کردن مسیر و حریم راه شامل تمیز کردن، برداشتن خاک‌های نباتی و جابه‌جایی یا قطع و ریشه‌کنی کامل درختان، بیرون آوردن ریشه‌های خشکیده و بدون تنه و هرگونه درختچه، نهال، بوته، علف، چپر، حصار، چینه، زباله و آشغال، ابنیه، موانع و سایر مواردی که به نظر دستگاه نظارت و یا کارفرما وجود آن برای پی‌ها و یا زیرسازی و روسازی راه نامناسب تشخیص داده شود از حریم راه و راه‌های ورودی و خروجی، راه‌های دستیابی، مسیر کانال‌ها و آبروها و محل احداث ابنیه فنی، می‌باشد.

هرگونه مصالح ساختمانی که از تخریب ابنیه به دست می‌آید پس از دور کردن از بستر و حریم راه باید طبق تشریفات قانونی تحویل صاحبان آن گردد.

ب) خاک‌های نباتی که غیرقابل مصرف در خاکریزی است باید از بستر و حریم راه برداشته شده و در محل‌هایی که دستگاه نظارت مشخص می‌کند ذخیره شود. بدیهی است چنانچه طبق نقشه‌ها و یا تشخیص دستگاه نظارت این خاک‌ها قابل مصرف برای پوشش نباتی شیروانی‌های خاکی نباشد، می‌تواند مورد استفاده زارعین قرار گیرد.

پ) سطوح طبیعی که پایین‌تر از بستر روسازی قرار گرفته‌اند طبق نظر دستگاه نظارت باید ریشه‌کنی کامل تا عمق لازم انجام شده و بقایای ریشه‌ها، علف‌ها، رستنی‌ها، و هرگونه مواد و مصالح نامناسب دیگر نیز از زمین کنده و به دور ریخته شود تا احتمال مدفون شدن زیر خاکریز و حریم راه را نداشته باشد.

قطع کامل ریشه برخی بوته‌ها، خارها و رستنی‌ها منحصراً با کندن آن‌ها مؤثر نبوده و نیاز به سموم ویژه دارد. محدوده چنین عملیاتی باید در مشخصات فنی خصوصی قید شود.

ت) چنانچه مسیر راه از داخل باغ، قلمستان یا منطقه جنگلی عبور نماید، کلیه درختان، نهال‌ها و هرگونه رستنی باید در تمامی حریم و بستر راه جابه‌جا و یا قطع و ریشه‌کنی شده و مسیر پاک گردد. قطع و ریشه‌کنی درختان باید به صورتی انجام گیرد که باعث خرابی ساختمان‌های مجاز و یا صدمه و لطمه زدن به درختانی که باید حفظ شوند، نگردد.

درختان باید طوری قطع شوند که در موقع سقوط به طرف و یا در جهت محور راه بیفتد. از سوزاندن تنه درختان و اشجار جنگلی در محدوده راه باید خودداری شود.

ث) چنانچه شاخه درختانی که در مجاورت مسیر قرار گرفته یا شاخه درختانی که دستور حفظ و حراست آن‌ها داده شده حدود پنج متر داخل حریم راه شده باشند باید از نزدیک تنه درخت قطع شوند. قطع این شاخه‌ها باید به روش حرفه‌ای و صحیح انجام شود و محل قطع هر شاخه باید با یک پوشش ضخیم رنگ مخصوص درختان که مورد تصویب دستگاه نظارت قرار گیرد، پوشیده شود.

ج) چنانچه در حریم راه تأسیساتی مانند تیرهای تلفن، تلگراف و یا برق، لوله کشی آب، فاضلاب، نفت، گاز، لوله‌های سیمانی و یا سایر تأسیسات مشابه وجود داشته باشد که باید از مسیر برداشته شود و یا تغییر مکان داده شوند، پیمانکار باید مراتب را به موقع به کارفرما و دستگاه نظارت جهت هرگونه اقدام مقتضی کتباً اطلاع دهد.

چ) چنانچه در حریم راه، قنات یا چاه‌های آب دایر وجود داشته باشد، پیمانکار باید برای تغییر محل چاه آب و تغییر مسیر قنات، با در نظر گرفتن آن‌که آب چاه یا قنات از بین نرود اقدام، و برای چاه‌های خشک و قنات‌های متروکه با توجه به جهات ایمنی پیشنهادی تهیه و برای اظهار نظر کارفرما و دستگاه نظارت ارسال نماید.

پرکردن میله چاه‌های متروکه باید با مصالح قابل قبول انجام و اجرا گردد.

ح) چاله‌هایی که در اثر ریشه‌کنی درختان به وجود می‌آیند باید با مصالح مناسب به صورت لایه لایه پر شده و برابر مندرجات این فصل متراکم گردد.

خ) تمام منطقه عملیات با حریم مقرر باید از هر حیث تمیز بوده و زیبایی دید راه بعد از خاتمه عملیات حفظ گردد.

۲-۳. خاک‌برداری و خاک‌ریزی

برداشت هرگونه مصالح و مواد خاکی، شن و ماسه‌ای، قلوه سنگی و سنگی، ریزشی و لغزشی، صرف نظر از جنس و کیفیت آن‌ها از مسیر راه، به منظور تسطیح، شیب‌بندی و آماده کردن مسیر اصلی راه و یا راه‌های ورودی و خروجی و جاده‌های ارتباطی، موضوع عملیات خاک‌برداری است.

خاک‌برداری و گودبرداری جهت احداث پایه پل‌ها، لوله‌ها، آبروها، دیوارها و سایر ابنیه فنی مشمول عملیات مندرج در این فصل نمی‌باشد.

احداث خاک‌ریز و یا بالا آوردن بستر راه با خاک و سنگ حاصله از برش‌ها، و یا با مصالح قرضه موضعی و یا جانبی و یا قرضه منتخب، آماده‌سازی بستر زمین طبیعی برای ریختن و پخش و کوبیدن مصالح بر روی آن، و نیز خاک‌ریزی پشت پی‌ها و شالوده‌ها، اطراف ابنیه فنی و مستحدثات، پرکردن اطراف لوله‌ها، چاه‌ها، چاهک‌ها و گودال‌های موضعی مشمول عملیات خاکریزی است.

کلیه عملیات خاک‌برداری و خاک‌ریزی باید بر اساس نقشه‌های اجرایی و برابر با ابعاد و اندازه‌های مشخص شده در نقشه‌ها و یا دستورات دستگاه نظارت انجام شود. در حین عملیات خاک‌برداری و فنی، علائم و نقاط ثابت نقشه‌برداری، و اموال بخش دولتی و خصوصی خسارت وارد نیاید.

عملیات خاکی باید همواره با زهکشی توأماً انجام گیرد و دستگاه نظارت عنداللزوم می‌تواند در مواقع بارندگی‌های شدید، به منظور حفاظت عملیات انجام شده، کارهای خاکی را متوقف سازد.

کلیه خاک‌های حاصل از خاک‌برداری باید در خاک‌ریزها، راه‌های ارتباطی، پشت پل‌ها و پی‌ها مصرف شود مگر در مواردی که دستگاه نظارت مصرف این خاک‌ها را برای خاکریزی نامناسب و غیرقابل قبول دانسته و یا زائد بر مصرف تشخیص دهد. عدم مصرف خاک‌های حاصل از خاک‌برداری به هر دلیل که باشد باید قبلاً به تأیید دستگاه نظارت و کارفرما برسد.

خاک‌های غیرقابل مصرف و نیز خاک‌های مناسب زائد بر مصرف باید در محلی که توسط دستگاه نظارت تعیین می‌گردد، ذخیره شود. از انبار کردن این مصالح در اراضی

زیرکشت، محوطه ترانشه‌ها، بستر رودخانه‌ها و نهرها و حریم راه باید خودداری شود. مصالح مرطوب و یا یخزده که در صورت خشک شدن به صورت مصالح مناسب در می‌آیند باید خشک شده و سپس در عملیات خاک‌ریزی به کاربرده شوند.

به منظور استفاده مصالح حاصل از خاک‌برداری در کارهای بنایی و ابنیه فنی، دستگاه نظارت می‌تواند دستور نگهداری و انبار کردن مصالح از قبیل سنگ، شن و ماسه و غیره را که از برش‌ها به دست می‌آید، صادر نماید.

خاک‌هایی که در خاک‌ریزی مصرف می‌شود باید در لایه‌های یکنواخت و با ضخامت ثابت در عرض خاک‌ریزها ریخته شود.

ضخامت لایه‌های خاک‌ریز معمولی نباید بعد از کوبیدن، بیش از ۲۰ سانتیمتر باشد مگر در خاک‌ریزهای سنگی و یا خاک‌ریزهایی که در آن از مخلوط مصالح سنگی و خاک استفاده می‌شود که در این موارد، ضخامت‌ها با توجه به نوع مصالح و حداکثر درشتی قطعات سنگی و با نظر دستگاه نظارت تعیین می‌گردد.

۲-۴. مواد سوزا در برش‌های سنگی

حمل و مصرف مواد سوزا که برای عملیات خاک‌برداری و کوه‌بری به کار می‌رود باید کاملاً طبق قوانین و مقررات جاری اجرا و زیر نظر افرادی که دارای گواهی انجام کار از مقامات ذی‌صلاح دولتی می‌باشند، انجام گیرد.

پیمانکار در صورت نیاز به مصرف مواد منفجره موظف است ساختمان‌ها و انبارهایی برای نگهداری مواد منفجره در نقاط مناسب با ظرفیت کافی و لازم، بر طبق قوانین جاری و تأیید دستگاه نظارت احداث کند. این انبارها باید با علایم خطر مشخص و مناسب

علامت‌گذاری گردند و دارای درب ورود با قفل مطمئن و وسایل تهویه جهت نگهداشتن حرارت پایین و یکنواخت داخل انبار باشد.

به مجرد اینکه مواد منفجره به این انبارها حمل شد، ورود آن باید توسط پیمانکار به مقامات مسئول محلی اطلاع داده شود تا مقدار دقیق این مواد محاسبه و مورد تصدیق و گواهی مقامات فوق قرار گیرد. پیمانکار در موقع مصرف مواد منفجره باید مقامات مسئول محلی را از جریان مطلع نماید تا مقدار مصرف شده مورد تأیید آن‌ها واقع شود.

پیمانکار مسئول جلوگیری از مصرف غیرمجاز و نادرست مواد منفجره بوده و باید برای استفاده از این مواد، افراد کاملاً با تجربه، باصلاحیت و کاردان را طبق مقررات موضوعه جاری استخدام نماید.

کلیه عملیات مته‌زنی و انفجار باید به نحوی انجام گیرد که خاک‌برداری حاصله بر طبق خطوط شیب‌های مشخص شده در نقشه‌ها بوده و حداقل خرابی به قسمت‌های باقی‌مانده ترانشه‌های سنگی وارد آید. عملیات انفجار به مسئولیت کامل پیمانکار انجام می‌گیرد و پیمانکار حق هیچگونه ادعایی نسبت به احجام اضافی حاصله در مقایسه با مقاطع مصوب و یا تجدید نظر شده را نخواهد داشت. پیمانکار باید نهایت مراقبت را در حین عملیات انفجار رعایت نماید تا هیچ‌گونه آسیبی به افراد و یا به اموال و یا کارهای تکمیل شده وارد نشود. قبل از هر انفجار تعداد کافی محافظ و علایم باید در نقاط مختلف مستقر گردد تا از هرگونه حادثه احتمالی جلوگیری شود. عملیات استحفاظی تا زمانی که تمام خرج‌های مواد سوزا کاملاً منفجر نشده باشد باید کماکان ادامه یابد. خرج‌ها باید به طور صحیح پوشیده و بسته شده و همیشه مقدار معینی مواد سوزا در هر سوراخ به مصرف برسد. در محل‌هایی که دستگاه نظارت دستوردهد پیمانکار باید حائلی از توری‌های محکم و مقاوم برای حفاظت

افراد و اموال و کارهای تکمیل شده نصب و به کار گیرد. عملیات انفجار باید فقط در ساعاتی انجام شود که دستگاه نظارت تعیین می‌کند.

در صورتی که بنا به تشخیص دستگاه نظارت، روش اجرای انفجار، ساکنین و ابنیه واقع در محدوده عملیات را در معرض مخاطره قرار دهد و یا کارهای انفجار بدون رعایت احتیاط و شرایط استحفاظی لازم انجام گیرد، می‌تواند عملیات را متوقف و دستورات کوه‌کنی را با وسایل و امکانات دیگری صادر نماید.

در صورتی که بر اثر عملیات انفجار، رفت و آمد وسایل نقلیه عمومی باید متوقف گردد، پیمانکار موظف است اجازه این توقف‌های موقت را از مقامات مربوطه کسب و نتیجه را به اطلاع دستگاه نظارت برساند.

۲-۵.خاک‌های لغزشی و ریزشی

مصالح و مواد خاکی و سنگی که ضمن کوه‌بری داخل صخره‌ها و یا کمرهای سنگی و یا ترانشه‌های خاکی، احتمال ریزش داشته باشد، طبق دستور کتبی دستگاه نظارت باید از شیروانی‌ها برداشته شود. جمع‌آوری و برداشت و حمل مصالح ریزشی از شیروانی ترانشه‌ها و خاکریزها که ناشی از عدم رعایت شیب‌های مشخص شده در نقشه‌های اجرایی باشد، کلاً به هزینه پیمانکار بوده و به آن پرداختی تعلق نمی‌گیرد.

۲-۶. خاک‌برداری قرضه

قرضه به منابعی اطلاق می‌گردد که کسری خاک مورد نیاز جهت ساختمان خاک‌ریز راه (پس از مصرف خاک‌های مناسب حاصل از خاک‌برداری‌ها و پی‌کنی‌ها) از آن‌ها تأمین می‌شود. انتخاب محل قرضه و نوع قرضه باید طبق دستور دستگاه نظارت باشد.

۲-۶-۱. انواع قرضه

قرضه بر سه نوع و به شرح زیر است.

الف) قرضه جانبی: قرضه‌ای است موجود در حریم قانونی راه و در صورت بلامانع بودن در نزدیکی و مجاورت حریم راه.

ب) قرضه موضعی: قرضه‌ای است که از منابع مناسب موجود در طول راه و با رعایت حداقل فاصله حمل تعیین می شود.

پ) قرضه منتخب: قرضه‌ای است متشکل از مصالح رودخانه‌ای و یا کوهی و یا مصالحی با مشخصات معین که از منابع خاص تأمین می‌شود.

۲-۶-۲. دامنه کاربرد قرضه‌ها

الف) فقط با ارائه دلایل توجیهی و تصویب کارفرما می‌توان از مصالح قرضه جانبی، قرضه موضعی و یا قرضه منتخب در عملیات مصرف نمود.

ب) در صورت استفاده از قرضه جانبی، مقطع محل‌های قرضه باید به شکل نقشه‌های تیپ که توسط دستگاه نظارت ابلاغ می‌شود تنظیم گردد به نحوی که از آب‌شستگی احتمالی خاک‌ریز و همچنین نفوذ آب به بدنه راه خودداری گردد، ضمن آن‌که حتی‌الامکان از مصالح پایین دست راه مصرف شود.

پ) در موارد استفاده از قرضه‌های موضعی و منتخب، پیمانکار موظف است موافقت مالک محل قرضه‌ها را در قبال حفاری و برداشت مصالح جلب نموده و عنداللزوم محل را بعد از خاتمه کار تسطیح و تنظیم نماید. ضمناً حین بهره‌برداری از قرضه‌ها، شیروانی و کف محل‌های قرضه باید طوری آرایش شود که از ایستابی جلوگیری شده و عمل زهکشی مستمر به طور مؤثری در آن‌ها انجام گیرد.

۲-۷. مصالح مناسب

الف) کلیه خاک‌هایی که در گروه‌های هفتگانه A-1 تا A-7 مطابق مشخصات AASHTO M-145 قرار می‌گیرند، به طور کلی و اعم، مصالح مناسب و قابل قبولی هستند که می‌توان از آن‌ها در کارهای مختلف خاکی استفاده کرد. در مواردی که کاربرد بعضی از گروه‌های خاک‌های مناسب فوق مانند A5، A6 و A7 با توجه به شرایط اقلیمی- جوی و نوع آمدوشد محل اجرای طرح، توسط دستگاه نظارت مناسب تشخیص داده نشود پیش‌بینی‌های لازم اجرایی باید در مشخصات فنی خصوصی نسبت به این موارد قید شود.

ب) کلیه خاک‌های گچی، نمکی، نباتی، زراعتی، لجنی و غیره و مصالح دارای مواد آلی و رستنی‌ها در شمار مصالح نامناسب قرار می‌گیرند. به طور کلی معیار کمی تشخیص مصالح نامناسب که باید از مصرف آن‌ها جلوگیری شود عبارت‌اند از:

- خاک‌هایی که میزان مواد آلی آن‌ها مطابق مشخصات AASHTO T267 از ده درصد تجاوز کند، نباید مصرف شوند.
- خاک‌های نمکی و گچی که میزان نمک (کلرید سدیم – NaCl) و یا گچ ($CaSO_4$) محلول در آب آن‌ها به ترتیب بیش از ۵ و ۱۰ درصد وزنی باشد قابل مصرف نیستند.

- از مصرف خاک‌های مارنی و رسی که دامنه خمیری آن‌ها بیش از ۵۰ درصد باشد باید خودداری شود.
- کلیه خاک‌هایی که حداکثر وزن مخصوص خشک آن‌ها با روش AASHTO T180 طریقه D کمتر از ۱/۵۵ تن در متر مکعب باشد، نباید مصرف شوند.

پ) به طور کلی تشخیص نامناسب بودن مصالح خاکی با دستگاه نظارت و تصویب کارفرماست.

۲-۸. اجرای عملیات خاک‌ریزی

۲-۸-۱. آماده‌سازی بستر اولیه خاک‌ریز

الف) قبل از شروع عملیات خاک‌ریزی، سطوح و مقاطعی که در نقشه‌های اجرایی و دستورهای دستگاه نظارت برای این عملیات مشخص و ابلاغ گردیده باید از مصالح نامناسب شامل خاک‌های سطحی، نباتی، گیاهی و کلیه موانع اجرای طرح تمیز و پاکسازی شود.

ب) درصورت وجود آب ساکن، چشمه، و آب‌های تراوشی از منابع زیرزمینی، باید نسبت به زهکشی سطحی یا عمقی و خشک کردن بستر اولیه قبل از اجرای هرگونه خاک‌ریزی اقدام شود.

پ) چنانچه زمین بستر اولیه خاک‌ریز از نوع خاک‌های ریزدانه A5 تا A7 بوده و احتمال بالا آمدن آب زیرزمینی در اثر خاصیت مویینه خاک وجود داشته باشد، باید از مصالح زهکشی در اولین لایه خاک‌ریزی استفاده شود. این مصالح از حرکت ذرات آب به طرف بالا و به جسم خاکریز جلوگیری نموده و مانع افزایش رطوبت و کاهش مقاومت آن می‌گردد. ضخامت و نوع مصالح زهکش توسط دستگاه نظارت تعیین می‌شود.

ت) کلیه گودال‌ها، چاله‌ها و حفره‌های باقی‌مانده از عملیات ریشه‌کنی مسیر در بستر اولیه، باید قبل از اجرای اولین قشر خاک‌ریزی، با مصالح مناسب لایه لایه پر شده و مطابق مشخصات متراکم گردد.

ث) زمین بستر اولیه باید به درصد تراکم نسبی مشخصه برسد، در غیر این صورت باید نسبت به شخم زدن بستر، یا اصلاح و یا جایگزینی خاک تا عمق لازم اقدام، تا بعد از کوبیدن، تراکم نسبی مشخصه آن تأمین گردد.

ج) در صورتی که مسیر الزاماً از مناطق مردابی، باتلاقی، لجنی، نمکی، با آب ساکن یا روان، و یا متأثر از جذر و مد عبور کند جزئیات روش‌های اصلاحی آن شامل تعویض، تثبیت و تحکیم با افزودنی‌ها نظیر آهک، سیمان و یا پوزولان‌ها و یا مصرف مصالح و مواد ویژه، باید در مشخصات خصوصی قید شود.

۲-۸-۲. ضخامت لایه‌های خاک‌ریز

عملیات خاک‌ریزی باید از مصالح تصویب شده و در قشرهای موازی خط پروژه، با ضخامت یکنواخت مطابق شیب‌ها، رقوم و اندازه‌های مندرج در نقشه‌های اجرایی و یا نظر دستگاه نظارت انجام شود.

شیب طولی و عرضی راه باید به وسیله لایه‌های خاک‌ریز تأمین گردد تا در مراحل اجرای لایه‌های روسازی، نیازی به کاربرد مصالح زیراساس و یا اساس جهت ترمیم شیب

نباشد. هرگاه شیب عرضی راه باتوجه به نقشه‌های اجرایی در حین عملیات خاکریزی تأمین نشده باشد، فقط با موافقت دستگاه نظارت می‌توان لایه نهایی خاکریز را با مصالح روسازی ترمیم نمود. بدیهی است بابت این ترمیم، پرداختی به پیمانکار صورت نخواهد گرفت.

ضخامت لایه‌های خاکریز با توجه به نوع مصالح مصرفی و موقعیت اجرای لایه‌ها به شرح زیر باید اجرا شود.

۲-۸-۲-۱. خاک‌ریز معمولی[1]

الف) خاکریز معمولی به مصرف مصالحی اطلاق می‌شود که کمتر از ۱۵ درصد حجم آن را قطعات و سنگ‌دانه‌های بزرگ‌تر از ۱۵ سانتیمتر تشکیل می‌دهد.

ب) ضخامت لایه‌های کوبیده در خاک‌ریز معمولی نباید به طور کلی از ۲۰ سانتی‌متر تجاوز نماید. استفاده از ضخامت بیشتر مشروط به استفاده از مصالح مناسب درشت‌دانه، انجام قطعات آزمایشی با مصالح مورد نظر و با غلتک‌های مناسب، دستیابی به درصد تراکم مشخصه، و امکان انجام آزمایش‌های استاندارد برای اندازه‌گیری این تراکم در کل ضخامت لایه اجرا شده می‌باشد، که به هر حال نباید از ۳۰ سانتی‌متر تجاوز نماید.

پ) در شرایطی که انجام آزمایش در کل ضخامت لایه با یک آزمایش تعیین وزن مخصوص محلی، و یا دو بار آزمایش هر بار در $\frac{1}{2}$ ضخامت لایه، فراهم نباشد، ضخامت لایه کوبیده شده نباید از ۲۰ سانتیمتر تجاوز کند که در این حالت نیز عمق گمانه آزمایش محلی نباید کمتر از ۱۵ سانتیمتر باشد.

[1]. Earth Fills

ت) در مواقعی که امکان استفاده از غلتک‌های مکانیکی بـه دلیـل محـدودیت مـانور آن‌هـا وجود ندارد، خاک‌ریزها باید در قشرهای موازی با خط پروژه که ضخامت کوبیده آن‌ها از ده سانتیمتر تجاوز نکند، اجرا گردد. این خاک‌ریزها باید با کوبنـده‌هـای مکـانیکی - ارتعاشـی دستی متراکم شود. در هر حال درصد تراکم مطلوب باید حاصل شود.

۲-۸-۲-۲. سنگ‌ریزی[1]

سنگ‌ریزی شامل مصـرف مصـالحی اسـت کـه بـیش از ۱۵ درصـد حجـم آن را قطعـات و سنگ‌دانه‌های بزرگ‌تر از ۱۵ سانتی‌متـر تشـکیل مـی‌دهـد. ایـن مصـالح کـه از بـرش‌هـا و پی‌کنی‌های سنگی به دست می‌آید نباید تجزیه‌پذیر بوده و به مرور زمان به مصالح ریزدانـه تبدیل شوند. سنگ‌های گچی، گل‌سنگ‌هـا[2]، شیسـت و شـیل کـه تـدریجاً تجزیـه و خـرد می‌شوند برای سنگ‌ریزی مناسب نیستند.

سنگ‌ریزی فقط با تصویب دستگاه نظارت انجام می‌گیـرد. مصـالح مناسـب جهـت ایـن عملیات باید از برش‌های سنگی تأمین شود. چنانچه پیمانکار پیش‌بینی‌های لازم را در ایـن مورد ننماید و در نتیجه برای ساختمان خاک‌ریزی استفاده از مصالح قرضه لازم شود، هزینه تأمین و تهیه مصالح قرضه به عهده پیمانکار می‌باشد.

سنگریزی باید در لایه‌های موازی خط پروژه و با ضـخامت‌هـای معـین احـداث شـده و حداکثر به ترازی خاتمه یابد که تا رقوم نهایی خاک‌ریز (بستر روسـازی راه) یـک متـر و یـا بیشتر فاصله داشته باشد. به عبارت دیگر چنانچه ارتفاع خاک‌ریز حدود یک متر و یا کـم‌تـر

---

[1]. Rock Fills
[2]. Marl

باشد نمی‌توان از سنگ‌ریزی استفاده کرد و باید عملیات خاک‌ریزی را به طریق معمولی، مطابق بند ۲-۸-۲-۱ انجام داد.

ضخامت لایه‌های خاک‌ریز سنگی بر اساس حجم تشکیل‌دهنده قطعات بزرگتر از ۱۵ سانتیمتر به شرح زیر است.

الف) چنانچه حجم قطعات سنگی که بزرگ‌ترین اندازه آن بیشتر از ۱۵ سانتیمتر است متجاوز از ۵۰ درصد حجم مصالح خاک‌ریز را تشکیل دهد ضخامت لایه نکوبیده آن، حداکثر معادل بزرگ‌ترین بعد قطعات تشکیل‌دهنده مصالح خاکریز سنگی خواهد بود.

ب) چنانچه حجم قطعات سنگی که بزرگ‌ترین آن بیشتر از ۱۵ سانتیمتر است بین ۲۵ تا ۵۰ درصد حجم کل مصالح را تشکیل دهد، ضخامت لایه نکوبیده آن نباید از ۶۰ سانتیمتر تجاوز نماید، ضمن اینکه ضخامت این لایه نیز نباید بیش از بزرگ‌ترین قطعات سنگی تشکیل‌دهنده مصالح باشد. از دو معیار ذکر شده، هر کدام ضخامت کمتری را به دست دهد باید آن را به کار بست.

پ) چنانچه حجم قطعات سنگی که بزرگ‌ترین اندازه آن بیشتر از ۱۵ سانتیمتر است، ۲۵ درصد و یا کمتر از حجم کل مصالح باشد ضخامت لایه نکوبیده آن نباید از ۳۰ سانتیمتر تجاوز کند.

در هر لایه خاک‌ریز سنگی صرف نظر از ضخامت لایه، و بلافاصله پس از پخش، باید فواصل بین قطعات سنگی را با مصالح خاکی ریزدانه پر کرد. تنها بعد از پرکردن فضای بین قطعات می‌توان اقدام به کوبیدن و تراکم آن لایه نمود، تا احتمال هیچ‌گونه نشست وجود نداشته باشد.

۲-۸-۲-۳. خاک‌های ناهمگون

وقتی که مصالح مصرفی در خاک‌ریزی از منابع مختلف تأمین می‌شود هر یک از آن‌ها، حتی‌الامکان باید در لایه‌ها و در طول معینی مورد استفاده قرار گیرد تا در تعیین حداکثر وزن مخصوص خشک مصالح در آزمایشگاه و در نهایت کاربرد آن‌ها برای محاسبه درصد تراکم موجب خطا و ابهام نشود. علاوه بر آن در این موارد باید از خاک‌های با کیفیت ضعیف‌تر در لایه‌های تحتانی و خاک‌های مرغوب‌تر در لایه‌های فوقانی خاک‌ریز استفاده شود.

۲-۹. کوبیدن و میزان تراکم نسبی

تمام خاک‌ریزها و همچنین کف ترانشه‌های خاکی و بستر زمین طبیعی باید با غلتک‌های مکانیکی متراکم شود در مواردی که امکان استفاده از این نوع غلتک‌ها مقدور نباشد، با تصویب دستگاه نظارت می‌توان کوبنده‌های مکانیکی دستی را به کار گرفت. برای کوبیدن، با توجه به نوع مصالح مصرفی و شرایط اجرای کار، باید از غلتک‌های مختلف استوانه‌ای، فلزی، پاچه‌بزی، لاستیکی، لرزشی و یا دیگر انواع کوبنده‌ها استفاده نمود. نوع وسایلی که پیمانکار در نظر دارد به کار گیرد، باید مناسب جنس و نوع خاک بوده و در هر حال قبلاً به تأیید دستگاه نظارت برسد. چنانچه در حین اجرای کار و با کاربرد وسایل انتخابی، نتایج رضایت‌بخش نباشد، پیمانکار باید نسبت به جایگزینی آن با وسیله مناسب دیگر اقدام نماید.

برای تأمین تراکم یکنواخت در تمامی‌لایه‌ها، عمل مرطوب کردن و اختلاط خاک‌ها باید در زمان مناسب و کافی و قبل از غلتک‌زنی، با وسایل مکانیکی انجام گیرد تا فرصت توزیع

یکسان رطوبت در تمام خاک وجود داشته باشد. میزان رطوبت مصالح خاکی چسبنده[1] برای حصول تراکم مطلوب باید در محدوده یک تا دو درصد کمتر از رطوبت مناسب، و برای خاک‌هایی که به تورم و انبساط[2] گرایش زیادتری دارند، یک تا دو درصد بیشتر از رطوبت مناسب انتخاب شود.

کیفیت خاک‌های منبسط شونده و خاک‌هایی که به این خصوصیات گرایش دارند در جدول ۲-۱ نشان داده شده است.

جدول شماره ۲-۱: طبقه‌بندی خاک‌های منبسط شونده

میزان تورم	حد روانی ٪	دامنه خمیری ٪	مکش خاک[3] *
زیاد	بیشتر از ۶۰	بیشتر از ۳۵	بیشتر از ۴
متوسط	۵۰-۶۰	۲۵-۳۵	۱/۵-۴
کم	کمتر از ۵۰	کمتر از ۲۵	کمتر از ۱/۵

* میزان مکش خاک طبق AASHTO T273 آزمایش می‌شود.

دستگاه نظارت می‌تواند برای کنترل درصد رطوبت و توزیع یکنواخت آن در خاک دستوراتی جهت نمونه‌گیری صادر نماید و چنانچه نتایج حاصله خارج از رواداری‌های فوق باشد، عملیات تراکم را تا اصلاح رطوبت خاک متوقف سازد.

مصالح مصرفی در عملیات خاکی باید به روش AASHTO T180 (آشتو اصلاح شده)، طریقه D، در آزمایشگاه مورد آزمایش قرار گیرد تا درصد رطوبت بهینه و حداکثر وزن

1. Cohesive Soil
2. Expansive Soil
3. Soil Suction

مخصوص خشک آن‌ها اندازه‌گیری شود. چنانچه به دلایلی، روش دیگری جز روش آشتو اصلاح شده و طریقه D مورد نظر باشد، باید آن را در مشخصات خصوصی قید نمود.

در شرایطی که مصالح مانده روی الک ۴/۷۵ میلیمتر یا شماره ۴، تا چهل درصد، و یا روی الک ۱۹ میلی‌متر ($\frac{3}{4}$ اینچ) تا ۳۰ درصد برسد، برای اصلاح وزن مخصوص و میزان آب مصالح مصرفی می‌توان از روش ASTM D4718 استفاده کرد. چنانچه مصالح مانده روی الک شماره ۴ حداکثر ۵۰ درصد باشد، می‌توان از روش AASHTO T224 نیز برای اصلاح وزن مخصوص آن‌ها استفاده نمود.

برای اندازه‌گیری وزن مخصوص خاک در محل، باید از روش مخروط ماسه AASHTO T191 استفاده کرد و چنانچه طریق دیگری مورد نظر باشد در مشخصات خصوصی قید شود.

مصالح خاکی مصرفی در کلیه خاکریزی‌ها، و یا موجود در کف ترانشه‌ها، و بستر زمین طبیعی و یا راه‌های موجود از نظر میزان تراکم مورد نیاز در مشخصات برای آزادراه‌ها، بزرگراه‌ها و راه‌های اصلی و فرعی درجه ۱ و ۲ به دو دسته اصلی ریزدانه و درشت‌دانه تقسیم می‌شوند.

الف) خاک درشت‌دانه شامل گروه‌های A1، A2، A3 مطابق AASHTO T145

ب) خاک ریزدانه شامل گروه‌های A4، A5، A6، A7 مطابق AASHTO T145

حداقل درصد تراکم برای کلیه خاکریزی‌ها، بستر روسازی، بسترهای زمین طبیعی و کف ترانشه‌های خاکی، در آزادراه‌ها، بزرگراه‌ها، راه‌های اصلی، فرعی درجه یک و دو و راه‌های روستایی نسبت به حداکثر وزن مخصوص خشک خاک موقعی که طبق روش

AASHTO T180، طریقه D، در آزمایشگاه متراکم می‌شود باید به شرح جدول ۲-۲ باشد.

انتخاب درصد تراکم مشخصه برای هر لایه به نوع خاک (درشت‌دانه یا ریزدانه) موجود یا مصرفی در آن لایه بستگی دارد که باید با آزمایش‌های دانه‌بندی و حد روانی و خمیری تعیین گردد. بدون انجام این آزمایش‌ها نمی‌توان درصد تراکم را مشخصه مورد نظر و در نتیجه تطابق آن را با مشخصات جدول شماره ۲-۲ برای لایه‌های آزمایشی، معین کرد.

جدول شماره ۲-۲: میزان درصد تراکم برای راه‌های مختلف

نوع راه	تراکم نسبی قشرهای بین ۳۰ سانتیمتر تا بستر روسازی		تراکم نسبی کلیه قشرهای پایین‌تر از ۳۰ سانتیمتر بستر روسازی	
	با خاک درشت‌دانه	با خاک ریزدانه	با خاک درشت‌دانه	با خاک ریزدانه
آزادراه- بزرگراه- راه اصلی و راه فرعی درجه یک	۱۰۰ درصد	۹۵ درصد	۹۵ درصد	۹۰ درصد
راه فرعی درجه دو و راه‌های روستایی	۹۵ درصد	۹۰ درصد	۹۲ درصد	۸۷ درصد

عمل تراکم و کوبیدن لایه‌های سنگ‌ریزی باید آن‌قدر ادامه یابد تا احتمال هیچ‌گونه نشست، تقلیل حجم، جابه‌جایی و یا کاهش ضخامت قشرهای کوبیده شده وجود نداشته باشد.

برای اطمینان از تراکم کافی این لایه‌ها، باید ضریب تغییر شکل هر لایه یا EV_2 با آزمایش AASHTO T221 یا AASHTO T222 از طریق بارگذاری با صفحه و با قطر مناسب اندازه‌گیری شود. حداقل ضریب تغییر شکل باید ۱۵۰۰ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع باشد.

چنانچه اندازه‌گیری تراکم این لایه‌ها با روش دیگری از جمله VSS مورد نظر باشد، روش اجرای کار باید به طور مفصل در مشخصات فنی خصوصی قید شود.

علی‌رغم حصول تراکم مشخصه به شرح جدول ۲-۲، چنانچه در هر لایه‌ای از عملیات خاکریزی و یا بسترهای موجود زمین طبیعی و یا کف ترانشه‌های خاکی بعد از تراکم، حالت خمیری ظاهر شود، پیمانکار باید طبق نظر دستگاه نظارت مصالح نامناسب و خمیری را تا عمق لازم برداشته و ضمن جایگزین کردن آن با مصالح قابل قبول، مجدداً لایه را متراکم نماید. بدیهی است که بابت چنین عملیاتی هیچ‌گونه پرداخت اضافی به پیمانکار تعلق نمی‌گیرد.

عملیات پخش و تراکم لایه‌های خاکریز، کف ترانشه‌ها و بستر زمین طبیعی باید به ترتیبی برنامه‌ریزی و اجرا شوند که هر لایه و یا سطح متراکم شده در حداقل زمان ممکن با لایه بعدی پوشیده شود تا همواره لایه‌ها و یا سطوح متراکم شده مشخصات و میزان تراکم مورد نظر را حفظ نمایند.

چنانچه لایه یا سطحی که متراکم گردیده است قبل از پخش لایه جدید و به هر دلیلی مشخصات و تراکم مورد نظر را از دست داده باشد پیمانکار موظف است به هزینه خود مجدداً آن لایه یا سطح متراکم شده را به مشخصات و تراکم لازم برساند.

۲-۱۰. خاک‌ریزی روی ابنیه فنی

عملیات خاک‌ریزی، به طریق سنگ‌ریزی را نمی‌توان مستقیماً روی ابنیه فنی مانند پل‌ها، آبروها و پل‌های طاقی اجرا کرد، مگر آن‌که قبلاً ضخامتی معادل حداقل ۶۰ سانتیمتر روی این سازه‌ها خاک‌ریزی معمولی انجام شده و به درصد تراکم مشخصه رسیده باشد.

۲-۱۱. خاک‌ریزی پشت پل‌ها

بعد از اجرای لایه‌های زهکشی پشت کوله‌ها و دیوارهای برگشتی پل‌ها که باید مطابق نقشه‌ها و دستورهای دستگاه نظارت باشد، عملیات خاک‌ریزی لایه به لایه تا تأمین نسبی درصد تراکم مشخصه باید به مورد اجرا گذاشته شود. نتایج آزمایش‌های تراکم خاک‌ریزی پشت پل‌ها، با توجه به تعداد لایه‌ها، نوع خاک مصرفی، ضخامت هر لایه، ارتفاع کل خاک‌ریز که باید متناسب با تعداد لایه‌ها باشد در هر قطعه راه جداگانه نگهداری می‌شود تا جهت ارزیابی کیفیت کار به سهولت قابل دسترسی و کنترل باشد.

۲-۱۲. خاک‌ریزی در زمین‌های شیب‌دار

در محل‌هایی که خاک‌ریزی روی سراشیبی تند و یا خاکریز موجود صورت می‌گیرد، طبق دستور دستگاه نظارت پله‌های به ارتفاع ضخامت لایه خاک‌ریز یا سنگ‌ریزی روی شیب مزبور تعبیه خواهد شد تا از لغزش احتمالی خاک‌ریز جدید روی بدنه شیب جلوگیری به عمل آید و در نتیجه خاک‌ریز جدید و قدیم خوب با هم قفل و بست شوند.

۲-۱۳. مصالح حساس در مقابل یخبندان

خصوصیات خاک‌های حساس در مقابل یخبندان که مصرف آن‌ها در خاکریزی و بستر روسازی موجب تورم و گسیختگی سیستم روسازی می‌شود بر حسب درصد وزن بحرانی

ذرات کوچکتر از ۲۰ میکرون، و به تناسب ضریب یکنواختی[1] آن‌ها در جدول ۲-۳ نشان داده شده است. این ضریب از رابطه زیر به دست می‌آید.

$$Cu = \frac{d_{60}}{d_{10}}$$

که در آن d_{60} و d_{10} ابعاد دانه‌هایی هستند که به ترتیب ۶۰ درصد و ۱۰ درصد مواد رد شده در آزمایش دانه‌بندی را داشته باشند.

جدول شماره ۲-۳: خصوصیات خاک‌های حساس در برابر یخبندان

ضریب یکنواختی Cu	درصد وزن بحرانی ذرات کوچکتر از ۲۰ میکرون
۵	۱۰
۱۵	۳

چنانچه ضریب یکنواختی خاک بین ۵ و ۱۵ باشد، درصد وزن بحرانی ذرات کوچکتر از ۲۰ میکرون با درون‌یابی خطی محاسبه می‌شود.

تعویض مصالح حساس در برابر یخبندان در عملیات خاکریزی بستر روسازی و یا در کف ترانشه‌ها، و جایگزینی آن با مصالح غیرحساس باید با توجه به شرایط محیطی پروژه، انجام شود. به عنوان مثال چنانچه یکی از دو عامل زیر صفر، و یا حضور آب در عمق نفوذ یخبندان در منطقه طرح وجود نداشته باشد مصرف خاک حساس در عملیات خاکی بلامانع

[1]. Coefficient of Uniformity, Cu

است زیرا پدیده تورم و انبساط ناشی از یخبندان در روسازی، با حذف یکی از سه عامل یعنی خاک حساس، دمای زیر صفر، و وجود آب در عمق یخبندان، ایجاد نمی‌شود.

۲-۱۴. پر کردن اطراف ابنیه فنی

در محل‌هایی که در اثر گودبرداری جهت احداث ابنیه فنی، پی‌ها، آبروها، دیوارها و یا لوله‌ها فضای خالی ایجاد شود، این فضای خالی باید با مصالح مورد تصویب دستگاه نظارت و پس از بازدید مهندس مقیم و گذشت ۲۸ روز از تاریخ ساخت ابنیه فنی پر شده و به طریق زیر متراکم گردد.

لایه‌ها را باید به ضخامت‌های حداکثر تا ۲۰ سانتیمتر ریخته و با وسایل مکانیکی و در صورت تصویب دستگاه نظارت با وسایل دستی در جهت عمود بر محور راه تا حصول درصد تراکم ۹۵٪ کوبید این عملیات نباید موجب صدمه زدن به سازه ابنیه فنی گردد.

درصد رطوبت لایه‌ها باید طبق دستور دستگاه نظارت تنظیم شود تا تراکم به میزان درصد تعیین شده در جدول ۲-۲ به دست آید.

وسعت عمل پرکردن پشت ابنیه برابر نقشه‌ها و یا طبق دستور مهندس دستگاه نظارت خواهد بود.

هرگاه در نقشه‌ها پیش‌بینی شده باشد، پرکردن پشت ابنیه فنی باید با مصالح معینی که دانه‌بندی و مشخصات آن به وسیله دستگاه نظارت تعیین می‌گردد، اجرا گردد.

۲-۱۵. شیب شیروانی‌ها در خاک‌ریزی و خاک‌برداری

شیب شیروانی‌های خاک‌برداری و خاک‌ریزی و همچنین ترانشه‌های سنگی در هر مورد بر اساس دستورهای دستگاه نظارت و مطابق معیارهای آیین‌نامه طرح هندسی راه (نشریه

شماره ۱۶۱) برای آزادراه‌ها، بزرگراه‌ها و راه‌های اصلی و فرعی، و یا معیارهای آیین‌نامه طرح هندسی راه‌های روستایی (نشریه ۱۹۶) تعیین می‌گردد. بدیهی است در مواردی کـه ارتفـاع خاک‌برداری و خاک‌ریزی قابل توجه باشد، انتخاب شیب مناسب باید با در نظر گرفتن نـوع مصالح، مشخصات زمین‌شناسی ژئوتکنیکی، هیدرولوژی و هیدروژئولوژیکی طـرح و شـرایط محیطی- اقلیمی آن، از طریق محاسبات پایداری شیب‌ها کنترل شود.

۲-۱۶. تسطیح و تنظیم

مقاطع عرضی و طولی باید دقیقاً طبق قواره‌های لازم و منطبق با نقشـه اجـرا شـود، ضـمن آن‌که در شیروانی‌ها و شانه‌ها، در برش‌ها و خاک‌ریزها تسطیح لازم انجام گیرد بـه گونـه‌ای که آثار غیرمنظم ناشی از عملیات خاکی مشاهده نشود.

۲-۱۷. زهکشی

قبل از شروع عملیات لازم جهت به دست آوردن مشخصات مورد نظر در زمین پی باید کلیه ابنیه فنی و زهکشی‌ها به اتمام رسـیده و هرگونـه احتمـال خـیس و مرطـوب شـدن بدنـه خاک‌ریزی رفع شده باشد.

۲-۱۸. کنترل فرسایش خاک

کنترل فرسایش خاک برای پایدارسازی و تثبیت شیروانی خـاک‌ریزهـا و خـاک‌بـرداری‌هـا، تنظیم و کنترل جریان آب رودخانه‌ها، حفاظـت پایـه‌هـای پـل‌هـا، جلـوگیری از فرسـایش سطحی کانال‌های خاکی، شامل موارد زیر است ولی به آن‌ها محدود نمی‌شود. این عملیـات

باید با مشخصات این فصل مطابقت داشته و جزئیات اجرایی و اندازه‌دهی آن‌ها بر حسب مورد در مشخصات فنی خصوصی هر طرح قید شود (نشریه ۱۰۱، ۱۳۸۹، صص۲۵۱ الی ۲۵۸).

۲-۱۹. دیوارهای خشکه‌چین

دیوارهای خشکه‌چین با رج‌های منظم با همان روش و دقت و نظمی‌که در مورد کارهای بنایی ذکر شده ساخته خواهد شد و یا ممکن است بنایی خشکه‌چین را به روش موزاییک عمل کرد. قفل و بست سنگ‌های نما با هم و یا پشت کار باید کامل باشد. درز و بند سنگ‌ها را با چکش درست می‌کنند.

۲-۲۰. سنگ‌چین‌ها

سنگ‌های مورد احتیاج برای سنگچین‌ها در آب را از سنگ‌های قواره نامنظم با ابعاد بزرگ (حجم هر سنگ نباید کمتر از ۰/۵ متر مکعب باشد) انتخاب می‌کنند. در موقع ساختمان، سنگ‌های بزرگ‌تر باید در پی و سنگ‌های کوچک‌تر باید در پشت کار به مصرف برسد.

سنگ‌ها را خارج از آب و تا عمق ۴۰ سانتیمتر داخل آب با دست طوری می‌چینند که فضای خالی بین آن‌ها حداقل باشد. سنگ‌چین‌هایی که نمای خارجی دارد و یا تکیه‌گاه بلوکاژ و دیوارهای خشکه‌چین را تشکیل می‌دهند باید با دست دقیقاً مرتب شوند به طوری که یک جسم توپر و به هم پیوسته را تشکیل دهد.

۲-۲۱. بلوکاژ

سنگ‌هایی که برای بلوکاژ مصرف خواهد شد باید به طور متوسط ۰/۰۲۵ متر مکعب حجم داشته باشد. سنگ‌ها را طوری دست‌چین می‌کنند که حداقل فضای خالی را داشته باشد. در نما، درز سنگ‌ها باید منظم باشد و از محکم‌ترین و بزرگ‌ترین آن که چکش‌کاری شده به کار برده شود. البته قفل و بست نما با پشت کار نیز باید تأمین گردد.

۲-۲۲. حفاظت شیروانی‌ها

شیروانی خاک‌ریزها و خاک‌برداری‌ها و کف دیوارهای کانال‌ها طبق نقشه‌ها و دستور دستگاه نظارت حفاظت خواهد شد.

حفاظت شیروانی‌ها با روش‌های زیر تأمین می‌شود:

۲-۲۲-۱. پوشش ساده

تأمین پوشش با خشکه‌چینی به وسیله سنگ انجام می‌شود. برای اینکه پیوستگی کامل به دست آید سنگ‌ها را روی شیروانی که با خرده سنگ معدن و یا ماسه درشت پوشانده شده قرار می‌دهند و هر قطعه سنگ را با پتک می‌کوبند تا خوب روی قشر زیر فرو نشیند. سطح بستر زیرین سنگ‌ها باید مسطح و صاف بوده و قشرهای سنگچین نیز باید با هم موازی و عمود به شیروانی قرار گرفته باشد.

پوشش سنگی را می‌توان روی یک دیوار کوچکی که داخل زمین می‌سازند تکیه داد.

۲-۲۲-۲. پوشش مختلط

این نوع پوشش را با طاق‌های قوسی بنایی روی شیروانی خاکبرداری‌ها ساخته و بین آن‌ها بلوکاژ می‌کنند.

۲-۲۲-۳. پوشش با بلوک‌های بتنی

این نوع پوشش را می‌توان با دال‌های بتنی به ضخامت ۱۵ سانتیمتر از نوع بتن طبقه ۴ بر روی قشر خرده سنگ متراکم طبق دستور دستگاه نظارت و نقشه‌ها انجام داد.

۲-۲۲-۴. پوشش با خاک نباتی

این نوع پوشش را می‌توان با مصرف خاک نباتی به ضخامت حداقل ۱۵ سانتیمتر که روی بستر شیروانی‌ها در مناطق مرطوب پخش می‌شود، تأمین نمود.

۲-۲۲-۵. پوشش گیاهی

در این روش از اثرات هیدرومکانیکی گیاه‌کاری و درخت‌نشانی برای مسلح کردن و تثبیت خاک به وسیله ریشه گیاهان استفاده می‌شود.

مسلح کردن خاک با این روش دارای امتیازات زیر است:

الف) مانع فرسایش خاک و حرکت عمیق توده خاک می‌شود.

ب) ریشه گیاه، تنش‌های برشی در خاک را به مقاومت کششی تبدیل می‌کند که موجب تسلیح مکانیکی خاک می‌گردد.

پ) ریشه‌ها به پایداری شیب کمک می‌کنند ضمن آن‌که مقدار رطوبت را کنترل و عمق یخبندان را کاهش می‌دهند.

۲-۲۲-۶. روش استفاده از الیاف مصنوعی[1]

الیاف مصنوعی محصول کارخانجات پتروشیمی می‌باشند و انواع گوناگونی دارند، که تحت نام‌های تجارتی مختلفی به بازار عرضه می‌شوند. از این الیاف برای تثبیت، تسلیح و کنترل فرسایش شیروانی‌های خاکی و بدنه خاک‌ریز راه‌هایی که در محدوده جزر و مد دریا قرار دارند، می‌توان استفاده کرد.

نوع ویژه این الیاف را که به صورت کیسه یا لحاف تهیه شده‌اند می‌توان روی دامنه شیب خاکریزهای ساحلی یا کانال‌های خاکی نصب و سپس با پمپ، بتن به داخل آن تزریق نمود.

استفاده از این الیاف باید با توجه به کیفیت آن‌ها که با آزمایش‌های استاندارد شده در آیین‌نامه ASTM قابل ارزیابی می‌باشند، انجام شود. ضوابط و معیارهای فنی این محصولات باید در مشخصات فنی خصوصی هر طرح بر حسب مورد قید شود.

۲-۲۳. تسطیح و روانه‌کاری شیروانی‌های خاکریزهای سنگی

[1] Geosynthetic

برای اینکه تعادل خاک‌ریزهای سنگی تأمین گردد پیمانکار موظف است سنگ‌های بزرگ‌تر را از خاکریز شیروانی‌ها جدا کرده و آن‌ها را با دست و یا هر وسیله مناسب دیگر روی شیروانی مرتب بچینند.

این قشر پوشش باید حداقل ۲۰ سانتیمتر ضخامت داشته و برای اینکه ابعاد و شیب شیروانی خاکریز را حفظ کند با جسم خاکریز آمیخته شود.

۲-۲۴. کارهای حفاظتی با سازه‌های توری سنگی (گابیونی)

توری سنگ‌ها از دو مصالح اصلی شامل توری‌های فلزی و قطعات سنگی ساخته شده‌اند، که به منظور تنظیم جریان آب رودخانه، حفاظت پایه پل‌ها در مقابل آب و جلوگیری از آب‌شستگی به کار می‌رود که دستگاه نظارت دستور ساختن و اجرای آن را طبق نقشه‌های تیپ خواهد داد.

۲-۲۴-۱. مشخصات اجزای تشکیل‌دهنده توری سنگ‌ها

توری سنگ‌ها از دو قسمت تشکیل شده است که هر قسمت باید با مشخصات مربوطه مطابقت داشته باشند.

۱. تور سیمی بافته شده

تور سیمی باید از آهن گالوانیزه بوده و با مشخصات BS443 و یا مشخصات نظیر مطابقت داشته باشد. کمترین قطر سیم‌ها ۳ میلیمتر و اندازه چشمه شش ضلعی تور سیمی باید ۱۰۰×۸۰ و یا ۱۲۰×۱۰۰ میلیمتر باشد. تور سیمی باید از یک قطعه تشکیل گردد.

۲. مصالح سنگی

مصالح سنگی مصرفی در توری سنگ‌ها باید در مقابل یخزدگی مقاوم بوده و عاری از مواد آلی و خاک باشد. اندازه سنگ‌ها حداقل باید کمی بزرگ‌تر از چشمه‌های تور سیمی انتخاب شود.

۳. انواع توری سنگ‌ها

توری سنگ‌ها بر حسب شکل ظاهری به انواع زیر تقسیم می‌شوند.

۴. توری سنگ جعبه‌ای

سبدی به شکل مکعب مستطیل است که از شبکه توری شش وجهی بافته شده با سیم‌های گالوانیزه، تشکیل یافته است.

۵.. توری سنگ تشکی

این نوع توری سنگ از چند کندو که توسط دیافراگم‌های عرضی از یکدیگر جدا شده‌اند تشکیل یافته و از شبکه‌های سیمی شش ضلعی ساخته شده است. عمق این توری سنگ‌ها نسبت به طول و عرض کوچک می‌باشد.

۶. توری سنگ کیسه‌ای

از شبکه تک لایه‌ای که به صورت استوانه سرباز که به شکل کیسه می‌باشد ساخته شده است.

۲-۲۴-۲. کاربرد توری سنگ

عملیاتی که می‌توان با سازه‌های توری سنگی انجام داد به شرح زیر است ولی به آن‌ها محدود نمی‌شود:

الف) سدهای عمودی موقت در مقابل جریان آب

ب) سدهای طولی برای حفاظت ابنیه و راه در مقابل طغیان آب

پ) اتصال سدهای طولی به کناره‌ها

ت) موج شکن‌ها برای انحراف مسیر رودخانه

ث) پوشش دامنه خاکریز و نظایر آن

ج) بستر پی در زمین‌های مردابی و لجنی

دستگاه نظارت برای هر یک از حالات فوق نقشه جداگانه تهیه و برای اجرا به پیمانکار ابلاغ می‌کند.

چنانچه بر اثر نقص کار خسارتی به گابیون‌ها برسد هزینه تعمیر و تجدید آن‌ها به عهده پیمانکار خواهد بود. تعمیر و نگهداری گابیون‌ها تا تحویل قطعی نیز به عهده پیمانکار است.

۲-۲۵. زهکشی و تخلیه آب‌های میانه راه[1]

در آزادراه‌ها و راه‌های با چند خط عبور، با جزیره میانی (میانه) و بدون پوشش آسفالتی یا بتنی، بایستی با مناسب‌ترین روش آب‌های نفوذی ناشی از نزولات جوی در میانه راه و در طول آن را جمع‌آوری و از طریق آب‌روها و پل‌های موجود و یا احداث آب‌رو طولی که تراز کف آن به اندازه کافی پایین‌تر از بستر روسازی باشد و یا روش‌های دیگر از جسم راه و روسازی دور کرد. در صورتی که احداث جزیره بالاتر از سطح بستر روسازی راه اجتناب‌ناپذیر باشد بر حسب مورد باید برای تخلیه آب راه حل مناسب انتخاب گردد. در موارد تعریض راه موجود با احداث جزیره میانی، مناسب‌تر آن است که آب‌های سطحی جمع شده در میانه راه، از بخش تعریض شده به خارج تخلیه گردد تا نیازی به تخریب و حفاری راه موجود برای ساخت کانال‌های طولی و عرضی زهکشی نباشد (نشریه ۱۰۱، ۱۳۸۹، ص ۲۸۰).

۲-۲۶. تخلیه آب‌های سطحی در خاک‌ریزهای بلند

در مناطقی که شدت بارندگی زیاد یا نوع خاک مصرفی در خاکریز از چسبندگی کم برخوردار است و یا در مناطق فاقد پوشش گیاهی، برای جلوگیری از آب‌شستگی و ایجاد شیار در شیروانی راه باید نسبت به اجرای جدول در کنار شانه آسفالتی و در حاشیه راه و نیز آب‌رو بتنی عرضی روی شیروانی راه و در فواصل معین، متناسب با سرعت و مقدار آب، اقدام شود.

---

[1]. Median

۲-۲۷. زهکشی عمیق و زیرزمینی

در زهکشی عمیق، تخلیه آب‌های نفوذی به ساختمان راه از طریق احداث زهکشی‌های باز و یا بسته با لوله و یا بدون لوله‌های زهکشی (سفال- سیمانی و سوراخ‌دار) و با یا بدون زمین‌پارچه‌ها[1] در محل‌هایی که در نقشه‌های اجرایی نشان داده شد و یا در مواردی که دستگاه نظارت تعیین می‌کند، انجام می‌گیرد.

کنترل سه منبع اصلی آب‌های نفوذی شامل آب‌های سطحی ناشی از نزولات جوی، آب‌های زیرزمینی و آب‌های تراوشی، هدف عمده زهکشی عمیق است (نشریه ۱۰۱، ۱۳۸۹، ص۲۸۵).

۲-۲۸. کنترل و تخلیه آب‌های تراوشی

کنترل و تخلیه آب‌های تراوشی به ساختمان راه به روش‌های زیر انجام می‌گیرد:

الف) اگر افق تراوش کم عمق بوده و در فاصله نیم تا یک متری رویه نهایی راه قرار گرفته باشد، روش کار این است که در جهت جریان آب‌های تراوشی و در کنار راه و متصل به آن باید یک نهر عمودی حایل برای زهکشی و تخلیه آب‌ها[2] تا بستر لایه غیرقابل نفوذ حفر کرد و در کف آن لوله‌های زهکشی را قرار داد و روی آن را تا ارتفاع معین با مصالح زهکشی پر نمود.

---

1. Geotexitile
2. Interception Drain

ب) چنانچه افق تراوش گسترده و عمیق بوده و فاصله رویه نهایی راه تا لایه غیرقابل نفوذ زیاد باشد، زهکش حایل را تا عمقی باید حفر کرد که بعد از تخلیه آب‌های تراوشی، سطح ایستابی در فاصله حداقل ۱/۲ متری رویه نهایی راه و یا بیشتر از آن تثبیت و نگهداری شود.
پ) چنانچه فشار جریان آب‌های تراوشی (یا زیرزمینی و یا هر دو) از پایین به بالا زیاد باشد و برای تخلیه این آب‌ها، از مصالح زیراساس و یا اساس با ضریب آب‌گذرانی مناسب استفاده نشده باشد، می‌توان بستر روسازی را در تمام عرض راه توسط یک لایه زهکش به ضخامت حداقل ۱۰ سانتیمتر (در صورت لزوم با دو لایه) ضمن احداث نهر طولی که لوله‌های زهکشی هم در آن نصب شده باشد، از لایه‌های روسازی جدا کرد (نشریه ۱۰۱، ۱۳۸۹، ص۲۸۷).

۲-۲۹. استانداردهای خاک و تثبیت خاک

جدول شماره ۲-۴: شماره‌ها عناوین استانداردهای خاک و تثبیت خاک

ردیف	مشخصات- آزمایش	عنوان	ASTM	AASHTO
۱	مشخصات	مصالح برای خاک‌ریز و بستر روسازی		M57
۲	"	طبقه‌بندی خاک‌ها و مخلوط‌های خاک و سنگ‌دانه برای مصارف راه‌سازی	D3282	M145
۳	"	مخلوط خاک – سنگ‌دانه برای زیراساس، اساس و رویه شنی	D1241*	M147
۴	"	مشخصات مصالح دانه‌ای کنترل‌کننده مکش برای مصرف در لایه زیرین روسازی‌های بتنی		M155
۵	"	آهک برای تثبیت خاک	C977	M216
۶	"	طبقه‌بندی خاک به روش «متحده»[1]	D2487	

[1] Unified System

ردیف	مشخصات- آزمایش	عنوان	ASTM	AASHTO
۷	آزمایش	آماده کردن نمونه‌های خاک و مخلوط خاک و سنگ خشک برای آزمایش	D421	T87
۸	"	تجزیه ذرات خاک (آزمایش هیدرومتری)	D422	T88
۹	"	تعیین حد روانی خاک	D4318*	T89
۱۰	"	تعیین حد خمیری و نشانه خمیری خاک	D4318*	T90
۱۱	"	تعیین ضریب انقباض خاک	D427*	T92
۱۲	"	تراکم آزمایشگاهی خاک با استفاده از چکش ۲/۵ کیلوگرمی (۵/۵ پوند) (آشتو استاندارد)	D698*	T99
۱۳	"	وزن مخصوص خاک	D854	T100
۱۴	"	تراکم آزمایشگاهی مخلوط خاک و سیمان		T134
۱۵	"	مرطوب کردن و خشک کردن مخلوط خاک و سیمان متراکم شده در آزمایشگاه	D559	
۱۶	"	یخ زدن و ذوب شدن مخلوط خاک و سیمان متراکم شده در آزمایشگاه	D560*	T136
۱۷	"	تعیین مقدار سیمان در مخلوط خاک و سیمان	D806	T144
۱۸	"	تهیه نمونه مرطوب خاک دست‌خورده برای آزمایش		T146
۱۹	"	آزمایش هم ارز ماسه‌ای	D2419*	T176
۲۰	"	تراکم آزمایشگاهی خاک با استفاده از چکش ۴/۵ کیلوگرمی (۱۰پوند) (آشتو اصلاح شده)	D1557*	T180
۲۱	"	تعیین ضریب مقاومت R[1] و فشار ناشی از انبساط خاک‌های متراکم شده	D2844	T190
۲۲	"	تعیین تراکم درجا به روش مخروط ماسه‌ای	D1556	T191
۲۳	"	تعیین CBR خاک در آزمایشگاه		T193
۲۴	"	تعیین مقدار مواد آلی در خاک به روش سوزاندن		T194
۲۵	"	شناسایی خاک توسط مته نمونه‌گیری	D1452	T203
۲۶	"	تعیین تراکم خاک در محل به روش فرو کردن استوانه	D293*	T204
۲۷	"	تعیین تراکم خاک در محل به روش بادکنک لاستیکی	D2167	T205

[1] Resistant

ردیف	مشخصات- آزمایش	عنوان	ASTM	AASHTO
۲۸	"	تعیین مقدار سیمان در سنگدانه‌های تثبیت شده با سیمان به روش تعیین عیار		T211
۲۹	"	نفوذپذیری خاک‌های دانه‌ای (در ارتفاع ثابت)	D2434	T215
۳۰	"	نمونه برداری از آهک شکفته		T218
۳۱	"	آزمایش دانه‌بندی و شیمیایی آهک		T219
۳۲	"	تعیین مقاومت فشاری مخلوط خاک و آهک با روش تک‌محوری	D5102*	T220
۳۳	"	تعیین CBR از مخلوط خاک و آهک در آزمایشگاه	D3668	
۳۴	"	آزمایش بارگذاری با صفحه به روش تکراری	D1195	T221
۳۵	"	آزمایش بارگذاری با صفحه به روش غیرتکراری	D1196*	T222
۳۶	"	تصحیح تراکم آزمایشگاهی خاک حاوی ذرات درشت‌دانه		T224
۳۷	"	تعیین مقدار آهک در خاک‌های اصلاح شده با آهک به روش تعیین عیار	D3155*	T232
۳۸	"	تعیین جرم حجمی خاک در محل به روش قطعه مکعبی یا استوانه‌ای		T233
۳۹	"	شناسایی خاک‌های منبسط‌شونده		T258
۴۰	"	تعیین مقدار رطوبت خاک در آزمایشگاه	D2216	T265
۴۱	"	تعیین مقدار مواد آلی خاک به روش افت وزنی در اثر حرارت		T267
۴۲	"	آزمایش مکش خاک		T273
۴۳	"	تعیین مقدار مواد ریزتر از الک شماره ۲۰۰ در خاک‌ها	D1140	
۴۴	"	تعیین مقاومت فشاری نمونه های استوانه ای مخلوط خاک و سیمان	D1633	
۴۵	"	تعیین CBR خاک آزمایشگاهی خاک	D1883	
۴۶	"	تعیین درصد سیمان مخلوط خاک و سیمان تازه	D2901	
۴۷	"	نگهداری و حمل و نقل نمونه‌های خاک	D4220	
۴۸	"	تعیین CBR صحرایی خاک	D4429	
۴۹	"	تصحیح حداکثر وزن مخصوص خشک	D4718	

ردیف	مشخصات- آزمایش	عنوان	ASTM	AASHTO
		آزمایشگاهی و وزن مخصوص گمانه آزمایشی در محل برای خاک‌های دارای مواد درشت‌دانه بیش از اندازه معین		
۵۰	"	تعیین ضریب انبساط خاک	D4829	
۵۱	"	تعیین ضریب انقباض خاک با روش استفاده از موم	D4943	

* روش‌های آزمایشی AASHTO و ASTM کاملاً مشابه نیستند. (نشریه ۱۰۱، ۱۳۸۹، صص۶۶۷ تا ۶۷۰)

خلاصه

عملیات خاکی شامل کلیه کارهای لازم برای تمیز کردن بستر و حریم راه، خاک‌برداری و خاک‌ریزی خاک، سنگ و یا سایر مصالح، از و یا در مسیر و یا محدوده راه منطقه عملیات طرح، طبق نقشه‌های اجرایی و یا برابر دستورات دستگاه نظارت می‌باشد.

برداشت هرگونه مصالح و مواد خاکی، شن و ماسه‌ای، قلوه سنگی و سنگی، ریزشی و لغزشی، صرف نظر از جنس و کیفیت آن‌ها از مسیر راه، به منظور تسطیح، شیب‌بندی و آماده کردن مسیر اصلی راه و یا راه‌های ورودی و خروجی و جاده‌های ارتباطی، موضوع عملیات خاک‌برداری است.

عملیات خاکریزی باید از مصالح تصویب شده و در قشرهای موازی خط پروژه، با ضخامت یکنواخت مطابق شیب‌ها، رقوم و اندازه‌های مندرج در نقشه‌های اجرایی و یا نظر دستگاه نظارت انجام شود.

شیب طولی و عرضی راه باید به وسیله لایه‌های خاک‌ریز تأمین گردد تا در مراحل اجرای لایه‌های روسازی، نیازی به کاربرد مصالح زیراساس و یا اساس جهت ترمیم شیب

نباشد. هرگاه شیب عرضی راه باتوجه به نقشه‌های اجرایی در حین عملیات خاکریزی تأمین نشده باشد، فقط با موافقت دستگاه نظارت می‌توان لایه نهایی خاک‌ریز را با مصالح روسازی ترمیم نمود.

تمام خاک‌ریزها و همچنین کف ترانشه‌های خاکی و بستر زمین طبیعی باید با غلتک‌های مکانیکی متراکم شود. در مواردی که امکان استفاده از این نوع غلتک‌ها مقدور نباشد، با تصویب دستگاه نظارت می‌توان کوبنده‌های مکانیکی دستی را به کار گرفت. برای کوبیدن، با توجه به نوع مصالح مصرفی و شرایط اجرای کار، باید از غلتک‌های مختلف استوانه‌ای، فلزی، پاچه‌بزی، لاستیکی، لرزشی و یا دیگر انواع کوبنده‌ها استفاده نمود. نوع وسایلی که پیمانکار در نظر دارد به کار گیرد، باید مناسب جنس و نوع خاک بوده و در هر حال قبلاً به تأیید دستگاه نظارت برسد. چنانچه در حین اجرای کار و با کاربرد وسایل انتخابی، نتایج رضایت‌بخش نباشد، پیمانکار باید نسبت به جایگزینی آن با وسیله مناسب دیگر اقدام نماید.

کنترل فرسایش خاک برای پایدارسازی و تثبیت شیروانی خاک‌ریزها و خاک‌برداری‌ها، تنظیم و کنترل جریان آب رودخانه‌ها، حفاظت پایه‌های پل‌ها، جلوگیری از فرسایش سطحی کانال‌های خاکی صورت می‌گیرد.

آزمون

۱. عملیات خاکی را تعریف نمایید؟
۲. خاک‌برداری و خاک‌ریزی را تعریف کنید؟
۳. قرضه را تعریف نموده و انواع آن را نام ببرید؟

۴. خاک‌های مناسب برای راه‌سازی کدامند؟

۵. ضخامت لایه‌های خاک‌ریز با توجه به نوع مصالح مصرفی و موقعیت اجرای لایه‌ها چقدر است؟

۶. کوبیدن مورد نیاز و میزان تراکم نسبی در خاکریزها و بستر زمین طبیعی چگونه است؟

۷. آیا خاک‌ریزی روی ابنیه فنی مورد نیاز می‌باشد؟ در صورت نیاز چگونگی اجرای آن را شرح دهید؟

۸. عوامل ایجاد پدیده تورم و انبساط ناشی از یخبندان در روسازی را نام ببرید؟

۹. کاربرد سازه‌های توری سنگی (گابیونی) را نام ببرید؟

فصل سوم

زیراســـاس و اســـاس در راه‌سازی

اهداف

هدف از مطالعه این فصل، آشنایی با مطالب زیر می باشد:

۱. قشر زیراساس

۲. قشر زیراساس آهکی

۳. ویژگی‌های خاک تثبیت شده با آهک

۴. چگونگی حفاظت و عمل‌آوری سطح نهایی قشر زیراساس آهکی

۵. انواع قشر اساس و نحوه کوبیدن آن

۳-۱. زیراساس

مصالح شنی و یا سنگی مطابق با مشخصات فنی این فصل تهیه و بر روی بستر روسازی راه حمل و به اندازه و ضخامت نشان داده شده در نقشه‌ها پخش و سپس طبق شرایط موردنظر آب‌پاشی و کوبیده می‌شود. قشر حاصله زیراساس شنی و یا سنگی نامیده می‌شود (نشریه ۱۰۱، ۱۳۸۹، صص۱۱ الی ۳۲۹).

۳-۲. انواع قشر زیراساس

با در نظر گرفتن شرایط جوی، نوع زمین طبیعی، مصالح موجود در محل، تعداد ترافیک و وضع اقتصادی می‌توان یکی از انواع زیراساس مندرج در ذیل را انتخاب نمود:

زیراساس شنی و یا سنگی[1]

زیراساس آهکی[2]

در صورتی که شن و ماسه و یا سنگ کوهی در محل انجام پروژه طبق مشخصات فنی داده شده به سهولت قابل تهیه باشد، زیر اساس شنی و یا سنگی انتخاب می‌گردد.

در بعضی موارد به دلیل عدم وجود معادن شن و ماسه و یا سنگ کوهی و یا بعد مسافت از محل معدن تا پای کار، مشکلاتی از نظر اقتصادی و فنی برای تهیه مصالح زیراساس شنی و سنگی ایجاد می‌گردد. در این موارد می‌توان از مصالح موجود در محل، که مصرف آن به

---

1. Granular Subbase
2. Lime Treated Soil

عنوان قشر زیراساس به تنهایی مناسب نمی‌باشد و مخلوط نمودن آن با درصدی از مواد افزودنی و تثبیت‌کننده، نظیر آهک استفاده نمود،که در این صورت مخلوط حاصله زیراساس آهکی نامیده می‌شود.

با توجه به عوامل مشروحه در بالا و بر حسب مورد برای هر پروژه نوع قشر زیراساس باید تعیین و در مشخصات فنی خصوصی قید گردد. مشخصات فنی مصالح، تهیه و طریقه اجرای زیراساس شنی و یا سنگی، و زیراساس آهکی به شرح زیر می‌باشد.

۳-۲-۱. زیراساس شنی و یا سنگی

۱. مشخصات فنی مصالح

مصالح مصرفی برای زیراساس شنی و یا سنگی از بستر رودخانه و یا معدن شن و ماسه و یا سنگ کوهی شکسته تهیه شده که باید دارای مشخصات فنی زیر باشد:

الف) دانه‌بندی مصالح مصرفی که با روش AASHTO T27 تعیین می‌گردد باید در محدوده یکی از دانه‌بندی‌های داده شده در جدول شماره ۳-۱ باشد، به علاوه اینکه درصد عبوری از الک ۰/۰۷۵ میلیمتر (شماره ۲۰۰) بیشتر از $\frac{2}{3}$ درصد عبوری از الک ۰/۴۲۵ میلیمتر (شماره ۴۰) باشد.

جدول شماره ۳-۱: دانه‌بندی مصالح زیراساس شنی و یا سنگی

نوع دانه‌بندی	درصد وزنی رد شده از الک				
اندازه الک	I	II	III	IV	V
۵۰ میلیمتر (۲ اینچ)	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	--	--
۳۷/۵ میلیمتر (۱/۵ اینچ)	--	۱۰۰	--	۱۰۰	--

نوع دانه‌بندی	درصد وزنی رد شده از الک				
۲۵ میلیمتر (۱ اینچ)	--	۷۵-۹۰	۷۵-۹۰	۹۰-۱۰۰	۱۰۰
۹/۵ میلیمتر ($\frac{3}{8}$ اینچ)	۳۰-۶۵	۴۰-۷۰	۴۰-۷۵	۵۵-۸۰	۸۵- ۵۰
۴/۷۵ میلیمتر (شماره ۴)	۲۵-۵۵	۳۰-۶۰	۳۰-۶۰	۴۰-۶۰	۶۵- ۳۵
۲ میلیمتر (شماره ۱۰)	۱۵-۴۰	۲۰-۵۰	۲۰-۴۵	۲۸-۴۸	۵۰- ۲۵
۰/۴۲۵ میلیمتر (شماره ۴۰)	۸-۲۰	۱۰-۳۰	۱۵-۳۰	۱۴-۲۸	۳۰- ۱۵
۰/۰۷۵ میلیمتر (شماره ۲۰۰)*	۲-۸	۰-۱۲	۵-۱۲	۵-۱۲	۵-۱۲

* برای کاهش حساسیت مصالح زیراساس در مقابل یخبندان، می‌توان به تشخیص دستگاه نظارت، درصد مواد رد شده از الک ۲۰۰ را کاهش داد و برای اطمینان بیشتر لازم است درصد مواد ریزتر از ۲۰ میکرون نیز از ۳ درصد تجاوز نکند.

ب) حد روانی و دامنه خمیری مطابق آزمایش‌های AASHTO T89 و AASHTO T90، نباید به ترتیب از ۲۵ درصد و ۶ درصد تجاوز نماید.

پ) ارزش ماسه‌ای که مطابق آزمایش AASHTO T176 نباید از ۳۰ کمتر باشد.

ت) درصد سایش با روش لس‌آنجلس طبق آزمایش AASHTO T96 نباید از ۵۰ تجاوز نماید.

ث) تحمل باربری مصالح[1] که با روش ASTM D 1883 در آزمایشگاه بر روی نمونه‌هایی که با تراکم ۱۰۰ درصد و به روش AASHTO T180 طریقه D انجام می‌شود، نباید از ۲۵ درصد کمتر باشد.

تبصره ۱: در هر مورد و برای هر پروژه، نوع مصالح (رودخانه‌ای و یا کوهی و یا مخلوطی از این دو) و همچنین نوع دانه‌بندی انتخاب شده از جدول شماره ۳-۱، در دفترچه مشخصات فنی خصوصی باید قید گردد.

تبصره ۲: برای کاهش حساسیت مصالح زیراساس در مقابل یخبندان می‌توان به تشخیص دستگاه نظارت درصد رد شده ار الک ۰/۰۷۵ میلیمتر (شماره ۲۰۰) را تقلیل داد، به نحوی که درصد مواد ریزتر از ۲۰ میکرون نیز از ۳ درصد تجاوز نکند.

۲. تهیه مصالح

شن و ماسه و یا سنگ کوهی معادن با ذکر مقدار تقریبی مصالحی که از آن‌ها باید استفاده شود، روی نقشه‌ها و در دفترچه مشخصات فنی خصوصی به عنوان راهنما نشان داده می‌شود. در مواردی که حجم مصالح معادن به هنگام اجرای عملیات، به میزان پیش‌بینی شده نباشد و یا مصالح حاصله با مشخصات داده شده تطبیق ننماید، باید از معدن و یا معادن جدید که مصالح آن منطبق با مشخصات باشد استفاده نمود. در صورتی که مصالح موجود در معدن دانه‌های بزرگ‌تر از اندازه مورد نظر داشته باشد، باید آن‌ها را از سنگ‌شکن و یا سرند رد نموده تا مصالح به دست آمده با مشخصات تطبیق نماید. قبل از بهره‌برداری از

[1]. CBR

معادن بایستی لایه‌های خاک نباتی و یا لای و لجن و یا مواد نامناسب دیگر را از روی سطح معادن پاک نمود و پس از اتمام بهره‌برداری محل معدن را به شکل مناسب درآورد.

قبل از باز کردن کامل معدن جهت بهره‌برداری، باید اطمینان حاصل نمود که مصالح مورد نیاز با مشخصات مورد نظر، به حد کافی در معدن وجود داشته تا حتی‌المقدور احتیاج به تغییر معدن نباشد. قبل از اینکه مصالح قشر زیراساس به پای کار حمل گردد، از مصالح مصرفی باید طبق روش AASHTO T2 نمونه‌برداری کرده و مورد آزمایش‌های مندرج در بند ۱ قرار گیرد. نتایج حاصله نباید خارج از محدوده داده شده در همان بند باشد. به هنگام حمل، مصالح باید رطوبت کافی داشته باشد تا در جریان حمل دانه‌ها از یکدیگر جدا نشوند.

۳. آماده نمودن بستر روسازی

قبل از اجرای عملیات، بستر روسازی راه باید عاری از هرگونه مواد زائد و اضافی بوده و طبق پروفیل‌های طولی و عرضی آماده شده باشد. ناهمواری این بستر با استفاده از شمشه کنترل می‌گردد. در صورتی که شمشه ۴ متری در جهات مختلف بر روی بستر قرار گیرد، ناهمواری‌های آن در زیر شمشه نباید از ۲۰ میلیمتر تجاوز نماید.

۴. پخش مصالح و آب‌پاشی

مصالحی که طبق مشخصات فنی تهیه گردیده است، به پای کار حمل و بر روی بستر روسازی راه به فواصل مساوی و یکنواخت تخلیه و سپس پخش می‌گردد. دانه‌بندی مصالح می‌باید قبل از حمل تنظیم شده باشد. دانه‌های درشت‌تر از اندازه‌های مجاز مندرج در جدول ۳-۱ بایستی از سطح راه برداشته و به خارج از حریم راه حمل گردد. به هنگام پخش

مصالح، نباید دانه‌های درشت و ریز از هم جدا شوند. به وسیله گریدر و یا هر وسیله دیگر، مصالح باید آن‌چنان پخش شود که پس از آب‌پاشی و کوبیدن ابعاد آن برابر با رقوم، اندازه‌ها و شیب‌ها در نقشه‌های اجرایی باشد.

پس از پخش، تسطیح و تنظیم نمودن مصالح، آب‌پاشی به وسیله ماشین آب‌پاش با فشار یکنواخت آغاز می‌گردد. آب‌پاشی طوری بایستی انجام شود که تمام دانه‌های مصالح به طور یکنواخت مرطوب گردد. توقف آب‌پاش به هنگام آب‌پاشی روی لایه زیر اساس مجاز نمی‌باشد. آب‌پاشی نباید به نحوی انجام شود که موجب صدماتی به بدنه خاکی راه گردد.

مقدار آب لازم برای آب‌پاشی بر مبنای درصد رطوبت که با روش AASHTO T180 در آزمایشگاه به دست آمده است، می‌باشد. تفاوت مجاز آب مصرفی ۱/۵± درصد نسبت به رطوبت بهینه می‌باشد.

۵. کوبیدن لایه زیراساس

پس از آب‌پاشی بلافاصله کوبیدن با غلتک ۱۰ تا ۱۲ تنی استوانه‌ای فلزی و یا غلتک‌های چرخ لاستیکی آغاز می‌گردد. علاوه بر این غلتک‌ها می‌توان از غلتک‌های لرزشی نیز استفاده نمود، ولی کوبیدن مصالح باید قبلاً با غلتک‌های استاتیک انجام شود. نوع و وزن دقیق غلتک‌ها باید متناسب با نوع مصالح مصرفی بوده تا موجب خرد شدن دانه‌های مصالح نگردد.

عملیات تراکم از کناره‌های راه شروع و به محور آن ختم می‌گردد. به استثنای قوس‌ها که از داخل و از پایین‌ترین نقطه، شروع شده و به بلندترین رقوم در خارج قوس ختم می‌گردد.

غلتک‌زنی (و در صورت لزوم توأم با آب‌پاشی)، باید آن‌قدر ادامه یابد تا اینکه لایه کوبیده شده و منسجمی مطابق ابعاد و شیب داده شده در نقشه‌ها به دست آید.

سطوحی را که کوبیدن آن‌ها با غلتک‌های خودرو امکان‌پذیر نباشد، می‌توان از وسایل کوبنده موتوری کوچک استفاده نمود، مشروط بر اینکه تراکم مورد نظر تأمین گردد.

قبل از اتمام عملیات تراکم، سطح زیراساس مجدداً کنترل می‌شود تا انطباق رقوم اجرا شده با رقوم پروژه محرز گردد.

در صورت لزوم با برداشتن قسمتی از مصالح در نقاط مرتفع و اضافه نمودن آن در سطوحی که کمبود مصالح دارد ناهمواری‌ها باید اصلاح گردد و سپس کوبیدگی تا حصول نتیجه ادامه یابد. حداکثر ضخامت هر لایه کوبیده شده از قشر زیراساس ۲۰ سانتیمتر می‌باشد. در صورتی که ضخامت کل محاسبه شده قشر زیراساس از ۲۰ سانتیمتر تجاوز نماید، مصالح در دو یا چند لایه پخش و کوبیده خواهد شد.

۶. تراکم نسبی

تراکم نسبی لایه زیراساس با آزمایش AASHTO T191 باید برابر صد درصد حداکثر وزن مخصوص خشک مصالحی باشد که در آزمایشگاه با روش AASHTO T180 طریقه D به دست می‌آید. در مواردی که ضخامت لایه ۲۰ سانتیمتر است این تراکم باید در تمام ضخامت لایه تأمین شده و کنترل شود.

۷. کنترل سطح تمام شده

رقوم سطح تمام شده هر لایه از قشر زیراساس و قبل از پوشش با لایه بعدی با توجه به نیمرخ‌های طولی و عرضی اندازه‌گیری می‌شود. در هر نقطه، اختلاف بین رقوم نقشه‌ها و آن‌چه ساخته شده نباید از ۲ سانتیمتر تجاوز نماید (اختلاف در یک جهت پذیرفته نیست). شیب‌های طولی و عرضی باید با نقشه‌ها مطابقت داشته باشد. ناهمواری سطح تمام شده قشر زیراساس با استفاده از شمشه کنترل می‌گردد. در صورتی که شمشه ۴ متری در جهات مختلف بر روی سطح زیراساس قرار گیرد، ناهمواری‌های آن نباید از ۱/۵ سانتیمتر تجاوز نماید.

۸. حفاظت سطح راه به هنگام اجرای عملیات

به منظور حفاظت مشخصات قشر زیراساس، پیمانکار باید برنامه اجرایی عملیات را طوری تنظیم کند که پس از پخش و کوبیدن قشر زیراساس و حصول اطمینان از دارا بودن مشخصات مورد نظر، روی آن با مصالح قشر بعدی پوشیده شود، در غیر این صورت از عبور و مرور وسایل نقلیه و ماشین‌آلات راه‌سازی از روی آن باید خودداری نمود.

۹. آزمایش‌های کنترل کیفیت

برای کنترل کیفیت مصالح و کارهای انجام شده بایستی از مصالح تهیه شده قبل و بعد از مصرف و نیز حین اجرای کار و متناسب با پیشرفت آن‌ها آزمایش‌های لازم به عمل آید. تعداد و نوع این آزمایش‌ها به شرح زیر است:

الف) به ازای هر ۵۰ متر از طول راه یک آزمایش تعیین وزن مخصوص محلی انجام می‌شود، و در صورتی که عرض راه زیاد باشد یک آزمایش برای هر ۱۰۰ مترمکعب مصالح به عمل می‌آید. ضخامت لایه زیر اساس در هر آزمایش اندازه‌گیری و گزارش می‌شود.

ب) آزمایش تراکم آزمایشگاهی به ازای هر ۵۰۰ متر مکعب مصالح یک بار صورت می‌گیرد و در صورتی که جنس مصالح تغییر کند، آزمایش بیشتری به عمل می‌آید.

پ) از مصالحی که روی راه پخش می‌شود از هر ۱۰۰۰ متر مکعب یک بار آزمایش دانه‌بندی، حد روانی و دامنه خمیری و ارزش ماسه‌ای انجام می‌شود.

ت) در صورتی که دستگاه نظارت لازم تشخیص دهد، برای کنترل CBR آزمایشگاهی مصالح زیراساس در فواصل ۵۰۰ تا ۱۰۰۰ متر، و یا سایر آزمایش‌های مورد نیاز اقدام می‌شود.

۳-۲-۲. زیراساس آهکی

مصالح موجود در محل به روش مندرج در این فصل در روی بستر روسازی راه یا در کارخانه با آهک مخلوط و در ابعاد و ضخامت‌های نشان داده شده در نقشه‌ها پخش، آب‌پاشی و کوبیده می‌شود. قشر حاصله را زیراساس آهکی می‌نامند.

تأثیر آهک در اختلاط با مصالح در دو مرحله صورت می‌گیرد. در مرحله اول یون‌های کلسیم آهک توسط کانی‌های رسی خاک جذب شده و در نتیجه غشای آب موجود در

سطح ذرات کاهش می‌یابد. سپس این ذرات با هم جمع شده و به اندازه‌های درشت تبدیل می‌گردد. مرحله دوم فرآیند سیمانی شدن مخلوط یا واکنش پوزولانی است که بین آهک و آب از یک طرف، و سیلیس و آلومین موجود در خاک از سوی دیگر، انجام می‌شود که محصول آن آلومینات و سیلیکات کلسیم هیدراته می‌باشد که از مقاومت و دوام قابل ملاحظه‌ای نسبت به خاک معمولی و تثبیت نشده برخوردار است. واکنش پوزولانی عمدتاً تابع زمان، درجه حرارت، نوع خاک و رطوبت می‌باشد که به کندی صورت گرفته و به طول می‌انجامد. معمولاً درجه حرارت بالا (بیشتر از ۱۶ درجه سانتیگراد) به فرآیند سیمانی شدن خاک تثبیت شده با آهک سرعت می‌بخشد و به همین دلیل اختلاط مصالح با آهک معمولاً در مناطق گرم به کار گرفته می‌شود.

۱. ویژگی‌های خاک تثبیت‌شده با آهک

به طور کلی مصالح ریزدانه با دامنه خمیری متوسط تا زیاد پس از تثبیت با آهک تغییر خاصیت می‌دهند، ضمن آن‌که افزودن آهک به هر نوع خاکی ممکن است سبب افزایش قابل ملاحظه مقاومت آن، برای مصرف به عنوان زیراساس آهکی شود. این تغییرات عبارتند از:

الف) حداکثر وزن مخصوص خشک خاک تثبیت شده با آهک نسبت به خاک تثبیت نشده کمتر ولی درصد رطوبت بهینه آن بیشتر است، ضمن آن‌که با گذشت زمان و افزایش مواد سیمانی شده، این تغییرات بیشتر ادامه می‌یابد.

ب) دامنه خمیری خاک تثبیت شده با آهک کاهش یافته و در برخی موارد کاملاً غیرخمیری می‌شود.

پ) قابلیت تورم به دلیل گرایش کمتر دانه‌های رس به جذب آب به مقدار قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌یابد.

ت) مقاومت خاک‌های تثبیت شده با آهک، بر حسب CBR، مقاومت تک محوری و سه محوری و کشش غیرمستقیم به مقدار قابل ملاحظه‌ای افزایش می‌یابد که میزان آن تابعی از مقدار آهک مصرفی، نوع خاک، دمای محیط آزمایش، و زمان است.

ث) دوام خاک‌های تثبیت شده، بر حسب مقاومت آن‌ها در آزمایش تکرار یخبندان - ذوب تعریف می‌شود. معمولاً خاک‌هایی که دارای واکنش خوبی با آهک می‌باشند دوام آن‌ها زیادتر است. عامل دوم در طرح تثبیت خاک با آهک نقش تعیین‌کننده‌ای دارد.

۲. مصالح

مصالح مصرفی برای زیراساس آهکی از خاک‌های موجود در محل و یا خاک‌های تأمین شده از محل قرضه و یا خاک بستر راه موجود بعد از شخم زدن و کندن، و یا مخلوطی از آن‌ها تهیه می‌گردد.

مصالح مصرفی باید عاری از هرگونه مواد آلی و نباتی بوده و دانه‌های بزرگ‌تر از ۶۳ میلیمتر (۲/۵ اینچ) نداشته باشد. از خاک‌های مورد مصرف باید طبق روش AASHTO T87 نمونه‌برداری کرده و نمونه‌های حاصله تحت آزمایش‌های هیدرومتری (AASHTO T88)، و تعیین حد روانی و خمیری (AASHTO T89 , T90) قرار گیرد.

مصالح تهیه شده باید با آهک واکنش‌زا بوده؛ به طوری که پس از تثبیت، مقاومت فشاری تک محوری آن که با روش AASHTO T220 اندازه‌گیری می‌شود، ۳/۵ کیلوگرم

بر سانتیمتر مربع بیش از مقاومت فشاری خاک تثبیت‌نشده (خاک معمولی و بدون آهک) باشد.

۳. آهک

آهک به طور زنده تهیه و به صورت پودر به مصرف می‌رسد. از آهک مورد مصرف طبق روش AASHTO T218 نمونه‌گیری کرده و سپس نمونه‌های حاصله باید با روش AASHTO T219 تحت آزمایش‌های دانه‌بندی و ترکیبات شیمیایی قرار گیرد. نتایج حاصله از آزمایش باید با مشخصات جدول شماره ۳-۲ مطابقت نماید.

جدول شماره ۳-۲: مشخصات فنی آهک (AASHTO M216)

نوع آهک	الف	ب	ج
حداقل درصد وزنی هیدروکسید کلسیم $Ca(OH)_2$	۹۰	۸۵	۷۵
حداکثر درصد وزنی آهک آزاد CaO	۷	۸	۹
حداکثر درصد وزنی آب آزاد H_2O	۳	۳	۲
حداکثر درصد وزنی مانده روی الک ۰/۶ میلیمتر (شماره ۳۰)	۲	۳	۴
حداکثر درصد وزنی مانده روی الک ۷۵۰ میکرون (شماره ۲۰۰)	۱۲	۱۴	۱۸

در هر مورد و برای هر پروژه نوع آهک (الف، ب و یا ج)، منبع و یا منابع آن باید در دفترچه مشخصات فنی خصوصی قید گردد. مصرف یک نوع آهک از معادن مختلف برای یک پروژه مجاز ولی اختلاط انواع مختلف آهک با هم مجاز نخواهد بود. برای جلوگیری از صدمات ناشی از عوامل جوی، آهک تا قبل از مصرف باید در انبارهای سرپوشیده و کاملاً عاری از رطوبت نگهداری شود. مدت نگهداری آهک در انبار نباید از ۱۰ روز تجاوز نماید تا از خطر تبدیل آن به آهک شکفته قبل از اختلاط با مصالح جلوگیری شود.

استفاده از آهک زنده مستلزم رعایت مسائل ایمنی است که باید انجام شود. از جمله، لزوم حمل آهک توسط کارگران آزموده و مجرب، اجتناب از آلوده شدن منطقه کارگاه به وسیله آهک که برای این منظور باید در مواقع وزش باد از پخش آهک امتناع نمود. کارگران باید از دستکش و ماسک و وسایل ایمنی استفاده کنند.

۴. طرح اختلاط آهک با مصالح

منظور از طرح اختلاط مصالح با آهک، تعیین میزان مناسب آهک برای خاک با مشخصات معین که در پروژه باید مصرف شود، می‌باشد. بدیهی است که مصالح باید به نحوی طراحی شود که عملکرد مناسبی به عنوان خاک مصرفی در روسازی داشته باشد. انتخاب روش طراحی با شرح کامل آزمایش‌های مربوطه با توجه به شرایط ویژه هر پروژه باید در مشخصات فنی خصوصی قید شود. معمولاً می‌توان از یکی از روش‌های زیر برای اختلاط استفاده کرد:

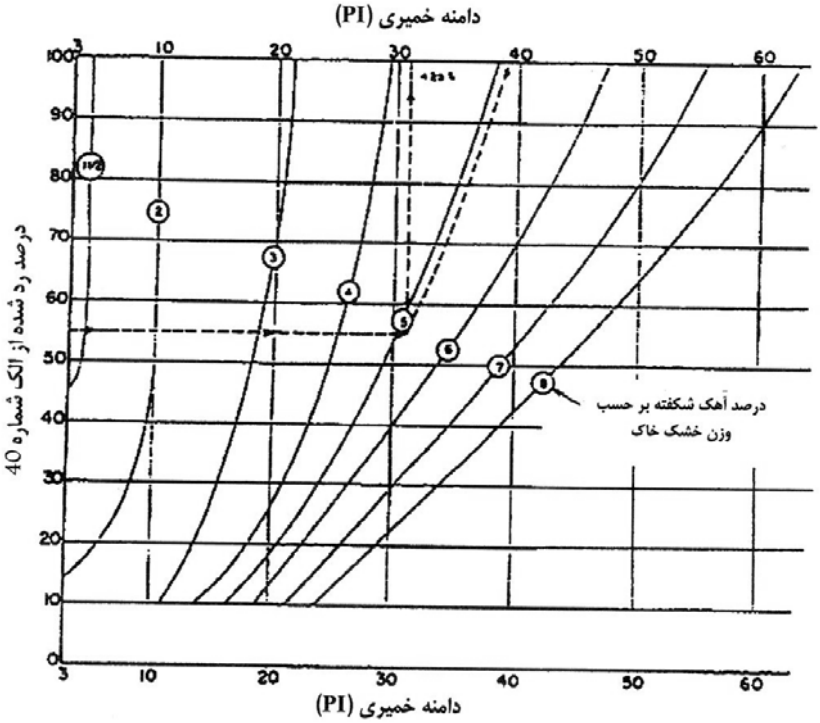
الف) روش AASHTO T220

در این روش خاک آماده شده برای اختلاط را دانه‌بندی نموده و دامنه خمیری آن را تعیین می‌کنند، سپس با توجه به درصد مصالح رد شده از الک شماره ۴۰ و میزان دامنه خمیری به دست آمده، درصد آهک نسبت به وزن خشک مصالح از شکل ۳-۱ تعیین می‌شود.

مثال:

اگر درصد مصالح رد شده از الک شماره ۴۰ برابر ۵۵ درصد و نشانه خمیری ۴۰ باشد از نقطه مربوط به ۵۵ درصد خطی افقی ترسیم می‌کنند تا منحنی ترسیم شده برای دامنه

خمیری ۴۰ درصد را در نقطه A قطع کند. از نقطه A خط قائم V را رسم نموده و سپس درصد آهک را در حدفاصل منحنی‌های ۴ و ۵ حدود ۴/۲۵ درصد تعیین می‌کنیم.



شکل شماره ۳-۱: تعیین درصد آهک بهینه بر حسب نوع خاک

ب) استفاده از آزمایش CBR

در این روش، ابتدا خاک را با آهک خوب مخلوط کرده طوری که رنگ آن یکنواخت شود. سپس به مقدار مناسب، آب اضافه نموده و خوب مخلوط می‌کنند. مخلوط حاصل را تحت

آزمایش CBR قرار می‌دهند. این عمل با درصدهای مختلف آهک تکرار شده و منحنی تغییر CBR را بر حسب درصد آهک تنظیم می‌کنند.

از روی منحنی به دست آمده، درصد آهک مناسب در میزان رطوبت مورد نظر (معمولاً رطوبت بهینه) که CBR مشخصات را تأمین کند، انتخاب می‌شود. حداقل CBR قابل قبول برای قشر خاک تثبیت‌شده با آهک برای زیراساس آهکی، ۲۵ درصد می‌باشد.

پ) استفاده از آزمایش مقاومت فشاری

در این روش خاک را با آهک خوب مخلوط می‌کنند. سپس مقدار مناسب آب را که بر اساس آزمایش AASHTO T180 تعیین می‌شود به آن افزوده و نمونه‌هایی استوانه‌ای با روش AASHTO T180 در آزمایشگاه تهیه می‌شود.

این نمونه‌ها را با درصدهای مختلف آهک آماده نموده و تحت آزمایش فشاری تک‌محوری قرار می‌دهند. پس از به دست آوردن نتایج آزمایش، منحنی تغییرات مقاومت فشاری بر حسب تغییرات درصد آهک ترسیم می‌گردد. از منحنی حاصل میزان درصد آهک برای مقاومت مشخصه مورد نظر به دست می‌آید. مقاومت فشاری زیراساس تثبیت‌شده با آهک به ضخامت کل لایه‌های روسازی آسفالتی که روی لایه زیراساس قرار می‌گیرد، بستگی دارد و باید با توجه به شرایط هر پروژه در مشخصات فنی خصوصی قید شود.

ت) استفاده از روش دامنه خمیری

در این روش خاک با آهک و آب خوب مخلوط می‌شود، به طوری که مخلوط رنگ یکنواختی پیدا کند. سپس حد روانی و دامنه خمیری مخلوط تعیین شده و این آزمایش با

درصدهای مختلف آهک تکرار می‌گردد. سپس منحنی تغییرات حد روانی و دامنه خمیری بر حسب درصدهای مختلف آهک از نتایج آزمایشگاهی رسم شده و درصد آهک بهینه روی منحنی‌های مذکور، نسبت به وزن مصالح خشک برای دامنه خمیری یا حد روانی مورد نظر به دست می‌آید. بدیهی است که خاک تثبیت‌شده در درصد بهینه آهک تعیین شده به شرح فوق باید دارای حداقل CBR اشباع معادل ۲۵ درصد نیز باشد.

۵. اجرای زیر اساس آهکی

اجرای زیراساس آهکی شامل مراحل زیر است:

الف) کنترل بستر روسازی

سطح بستر روسازی قبل از اجرای زیراساس آهکی باید از نظر انطباق پروفیل‌های طولی و عرضی و همچنین ناهمواری آن مطابق ۳-۲-۱-۳ همین فصل بوده، ضمن آن‌که میزان کوبیدگی آن نیز با مشخصات برابری داشته باشد. کلیه مشخصات بستر روسازی باید به تأیید دستگاه نظارت برسد.

ب) آماده کردن خاک

مصالح مصرفی که برای تثبیت با آهک به شرح بند ۳-۲-۲-۲ این فصل مورد آزمایش قرار گرفته و نتایج آن برای عملیات تثبیت به تأیید دستگاه نظارت رسیده است بر روی بستر روسازی راه حمل و به ضخامت معین، ریسه شده و روی آن شیارهایی به منظور پخش آهک ایجاد می‌گردد. از این روش برای اختلاط در محل استفاده می‌شود. گاهی اوقات خاک مورد نظر به یک کارخانه مرکزی تهیه خاک تثبیت شده با آهک حمل شده و در این

کارخانه خاک با آهک و آب به طور کاملاً یکنواخت مخلوط گردیده و سپس به محل مصرف حمل می‌شود.

پ) پخش آهک

آهک را می‌توان به دو روش خشک و یا تر، روی خاک ریسه شده بستر راه پخش کرد.

۱. روش خشک

در این روش، آهک شکفته و یا آهک زنده توسط کامیون‌های کمپرسی و یا ماشین‌های مخصوص پخش آهک انجام می‌شود. میزان آهک پخش شده را می‌توان با تنظیم دریچه عقب اطاقک کامیون و سرعت حرکت آن کنترل نمود.

ماشین‌های مخصوص پخش آهک دارای مخزن بزرگ استوانه‌ای برای حمل آهک است که عمل پخش با آن‌ها توسط قسمت پخش‌کننده که به عقب و زیر مخزن قرار دارد، انجام می‌گیرد. این پخش‌کننده می‌تواند به طور مکانیکی و یا با استفاده از هوای فشرده مقدار آهک لازم را با تنظیم سرعت حرکت ماشین، سرعت دوران محور پخش‌کن و تنظیم دریچه خروجی، در عرض راه پخش نماید. در مواردی که پخش‌کننده‌ها با هوای فشرده کار می‌کنند مقدار آهک پخش شده در سطح راه با تنظیم سرعت ماشین و فشار هوا قابل کنترل است.

به طور کلی عملیات پخش باید به گونه‌ای انجام شود که میزان آهک پخش شده در سطح راه یکنواخت و همگن بوده و هیچ‌گاه از ۵ ± درصد نسبت به مقدار تعیین شده در طرح اختلاط تجاوز ننماید. برای اطمینان می‌توان از وزن دقیق مقدار آهک مصرف شده توسط کامیون و طول و عرض آن قسمت از راه که این آهک پخش شده است، مقدار آهک

پخش شده در واحد سطح راه را محاسبه نمود. میزان آهک پخش شده در سطح راه را با آزمایش سینی باید اندازه‌گیری نمود. برای تعیین دقیق آهک مصرف شده و مقایسه آن با مقدار آهک بهینه طرح اختلاط از روش AASHTO T232 باید استفاده شود.

در مورد استفاده از آهک زنده باید تدابیر ایمنی لازم برای جلوگیری از سوختگی با آهک که ناشی از ترکیب آب و آهک و ایجاد حرارت زیاد می‌باشد، اتخاذ شود. از پخش آهک خشک موقعی که باد می‌وزد باید خودداری نمود زیرا علاوه بر اینکه مقداری از آهک از بین می‌رود موجب خسارت به اراضی کشاورزی و تهدید سلامتی کارگران می‌گردد.

۲. روش تر

در این روش از دوغاب آهک استفاده می‌شود. دوغاب از اختلاط آهک شکفته و آب تهیه می‌شود. نسبت درصد آهک که در تهیه دوغاب به کار می‌رود بستگی به درصد آهک، جنس خاک و رطوبت طبیعی آن دارد. در مواردی که درصد آهک نسبتاً کمی لازم باشد، دوغاب از اختلاط ۳۰۰ تا ۳۵۰ کیلوگرم آهک شکفته در هر متر مکعب آب تهیه می‌شود و در مواردی که درصد رطوبت طبیعی خاک در حدود درصد رطوبت بهینه باشد غلظت دوغاب باید بیشتر باشد. به طور کلی میزان اختلاط آهک و آب به رطوبت بهینه خاک مصرفی، رطوبت واقعی خاک در موقع پخش دوغاب، و درصد آهک مورد نیاز در طرح بستگی داشته و به طور کلی بین حدود ۵۰۰-۳۳۰ کیلوگرم آهک شکفته در هر متر مکعب آب خواهد بود که نمونه متعارف آن یک تن آهک با ۲۲۰۰ لیتر آب (حدود ۳۱ درصد آهک) می‌باشد.

برای جلوگیری از ته‌نشین شدن آهک در دوغاب، باید دوغاب مرتباً در مخزن به‌هم زده شود. موقعی که هوا سرد است باید مراقبت شود تا دوغاب آهک بیش از اندازه تعیین شده

پخش نشود زیرا موجب افزایش رطوبت خاک می‌گردد که کاهش آن تا رطوبت بهینه بسیار تدریجی و کند خواهد بود. آهک زنده را نباید به شکل دوغاب مصرف نمود.

ت) محدودیت‌های پخش آهک

رعایت موارد زیر برای پخش آهک الزامی است.

۱. آهک نباید به مقداری پخش شود که نتوان آن را در همان روز با مصالح مخلوط کرد و یا اینکه فاصله بین پخش و عمل اختلاط بیش از حدود شش ساعت تجاوز نماید، لذا ایجاد هماهنگی کامل در این مورد الزامی است. علاوه بر آن به منظور جلوگیری از کاهش مقدار آهک پخش شده ناشی از وزش باد، احتمال نزول باران، و همچنین پیشگیری از کاهش اثربخشی آهکی که در معرض مستقیم هوا و رطوبت محیط قرار می‌گیرد، باید تدابیر لازم اتخاذ شود.

وقتی که پخش آهک با شروع مرحله اختلاط و سایر مراحل عملیاتی مربوطه به طول بیانجامد، روش‌های کنترل رطوبت مخلوط و وزن مخصوص لایه کوبیده شده به دلیل تغییر تدریجی خواص فیزیکی مخلوط تثبیت شده با آهک پیچیده و مشکل خواهد بود.

۲. عبور و مرور وسایل نقلیه، به جز دستگاه‌های مخلوط‌کننده و یا آب‌پاش از روی آهک پخش شده مجاز نخواهد بود.

۳. هنگام پخش آهک خشک یا دوغاب، و نیز در طول مدت اختلاط خاک و آهک درجه حرارت هوا نباید از ۵ درجه سانتیگراد کمتر باشد. پخش آهک در هوای بارانی و یا روی سطح یخزده مصالح مجاز نیست.

ث) اختلاط آهک با مصالح

اختلاط باید بلافاصله پس از ریختن آهک صورت گیرد. فاصله این دو عمل تابع شرایط جوی است. مصالح مصرفی و آهک باید به وسیله مخلوط‌کن‌های دوار، تیغه گریدر، ارابه دیسک‌دار و یا هر وسیله مناسب دیگر (متناسب با جنس مصالح مورد اختلاط) مخلوط گردد. چون کیفیت اختلاط بستگی به وسایل مورد استفاده و عملکرد آن‌ها و همچنین به چگونگی مصالح دارد، لذا انتخاب نوع مخلوط‌کننده باید به تأیید دستگاه نظارت برسد. عمل خرد و نرم کردن خاک و اختلاط آن با آهک باید آن‌قدر ادامه یابد تا مخلوط یکنواخت و همگن تولید شود. معمولاً عمل اختلاط می‌تواند یک یا دو مرحله‌ای باشد.

۱. اختلاط یک مرحله‌ای

اختلاط آهک با مصالح شنی معمولاً یک مرحله‌ای است. عمل اختلاط را می‌توان با گریدر یا مخلوط‌کننده‌های دوار انجام داد، ضمن آن‌که استفاده از این مخلوط‌کن‌ها که عمل خرد و نرم کردن خاک را بهتر و سریع‌تر انجام داده و در نتیجه مصالح تثبیت‌شده از کیفیت مطلوب‌تری برخوردارند، همواره بهره‌دهی بیشتری داشته است. برای تثبیت خاک‌های رس بهتر است از مخلوط‌کننده‌های دوار استفاده شود.

۲. اختلاط دو مرحله‌ای

این روش شامل اختلاط اولیه خاک و آهک، عمل آوردن مخلوط به مدت ۲۴ تا ۴۸ ساعت (یا بیشتر) و سپس اختلاط نهایی است. در این روش می‌توان برای مرحله اول از وسایل متداول شخم‌زنی دیسک‌دار، یا شخم زدن با گریدر، و برای مرحله دوم از مخلوط‌کننده‌های

دوار استفاده شود. معمولاً استفاده از گریدر برای تثبیت خاک‌های رسی با دامنه خمیری زیاد مناسب نیست.

در مواردی که خاک رسی بوده و دامنه خمیری آن بیشتر از ۵۰ درصد باشد، عمل اضافه کردن آهک و اختلاط را باید در دو مرحله انجام داد تا نتیجه تثبیت خاک کامل باشد. در چنین حالتی ابتدا ۲ تا ۳ درصد آهک به خاک افزوده شده و پس از مخلوط کردن آن را به مدت تقریباً یک هفته به حال خود رها می‌کنند تا مخلوط عمل بیاید و نرم شدن خاک و تثبیت آن را تسهیل نماید. در مرحله دوم بقیه آهک به مخلوط اضافه شده و عمل اختلاط آن‌قدر ادامه می‌یابد تا تثبیت نهایی خاک و اصلاح خواص آن تأمین شود.

ج) آب‌پاشی

مخلوط حاصله از عمل اختلاط خاک و آهک باید به وسیله آب‌پاش مرطوب شود. رطوبت مخلوط باید تقریباً سه درصد بیش از رطوبت بهینه‌ای باشد که در آزمایشگاه با روش AASHTO T180 اندازه‌گیری شده است. بعد از آب‌پاشی، عمل اختلاط باید تا حصول مخلوطی که به طور یکنواخت و همگن مرطوب شده باشد، ادامه یابد. در این مرحله نمونه‌ای از مخلوط خاک و آهک حاصله را برای تعیین نشانه‌ای از کیفیت خرد و نرم شدن آن پس از خشک کردن مورد آزمایش دانه‌بندی قرار می‌دهند. درصد وزنی مواد رد شده از الک ۵۰ میلیمتر در این آزمایش با رعایت ۱۰- درصد رواداری ۱۰۰-۹۰ درصد و برای الک ۴/۷۵ میلیمتری (شماره ۴) ۶۰ درصد باشد.

چ) کوبیدن مخلوط

مخلوط مرطوب تثبیت شده با آهک به وسیله غلتک‌های مناسب، که به تأیید دستگاه نظارت رسیده است، باید متراکم گردد. کوبیدگی اولیه به وسیله غلتک‌های پاچه‌بزی و یا غلتک‌های فلزی دیگر و کوبیدگی نهایی به‌وسیله غلتک‌های چرخ لاستیکی و یا چرخ فلزی صورت می‌گیرد. عملیات کوبیدگی نهایی از پایان اختلاط مصالح با آهک، حداکثر تا ۱۲ ساعت باید به پایان برسد. در مواردی که عملیات تراکم مصالح تثبیت‌شده در مدت مذکور امکان‌پذیر نبوده و به طول بینجامد، برای جبران آهکی که در اثر کربناته شدن کاهش می‌یابد، مقدار آهک مصرفی اولیه باید به میزان ۰/۵ درصد افزایش داده شود. در نقاط غیرقابل دسترسی برای غلتک‌های نامبرده می‌توان از غلتک‌های کوچک موتوری نیز استفاده نمود، مشروط بر اینکه لایه کوبیده شده به تراکم مورد نظر برسد. غلتک‌زنی از کناره‌های راه شروع و به محور آن ختم می‌گردد به استثنای قوس‌ها که غلتک‌زنی از داخل شروع و در خارج قوس ختم می‌گردد. عملیات غلتک‌زنی آن قدر ادامه می‌یابد تا اینکه لایه کوبیده شده و منسجمی به ابعاد و شیب داده شده در نقشه‌های تیپ عرضی به دست آید.

حداکثر ضخامت هر لایه کوبیده شده از قشر زیراساس آهکی برابر با ۲۰ سانتیمتر می‌باشد. در صورتی که ضخامت کل محاسبه شده قشر زیراساس از ۲۰ سانتیمتر تجاوز نماید، مصالح باید در دو یا چند لایه پخش و کوبیده گردد. ضخامت نهایی قشر کوبیده شده زیراساس آهکی باید حدود یک سانتیمتر بیش از ضخامت تعیین شده باشد که بعداً این ضخامت اضافی که محدود به لایه سطحی است و معمولاً به دلیل آن‌که در معرض مستقیم هوا و رطوبت قرار دارد، مشخصات خود را از دست می‌دهد و باید با تیغه گریدر تراشیده شود.

ح) تراکم نسبی

میزان کوبیدگی برای قشر زیراساس آهکی با روش AASHTO T191 باید حداقل ۱۰۰ درصد وزن مخصوص تعیین شده با روش AASHTO T180 باشد. در راه‌های فرعی و روستایی با ترافیک کم با تأیید دستگاه نظارت می‌توان حداقل تراکم نسبی مشخصه را براساس ۹۵ درصد وزن مخصوص تعیین شده با روش AASHTO T99 منظور نمود.

در صورتی که تراکم نسبی به دست آمده کمتر از حد مجاز باشد، لایه کوبیده شده باید شخم زده و در صورت لزوم آب‌پاشی و سپس با غلتک‌زنی مجدد عملیات تراکم آن‌قدر ادامه یابد تا تراکم نسبی مشخصه تأمین شود.

۶. کنترل سطح تمام شده

رقوم سطح تمام شده هر لایه از قشر زیر اساس آهکی قبل از پوشش لایه بعدی با توجه به نیمرخ‌های طولی و عرضی باید کنترل گردد. در هر نقطه اختلاف بین رقوم خط پروژه و آن‌چه ساخته شده نباید از ۲ ± سانتیمتر تجاوز نماید. شیب‌های طولی و عرضی باید با نقشه‌ها مطابقت داشته باشد. ناهمواری سطح تمام شده قشر زیراساس آهکی با استفاده از شمشه کنترل می‌گردد. در صورتی که شمشه ۴ متری در جهات مختلف بر روی سطح زیراساس قرار گیرد، ناهمواری‌های آن نباید از ۱/۵ سانتیمتر تجاوز نماید.

چنانچه رقوم شیب‌های طولی و عرضی و ناهمواری‌های سطح تمام شده با مشخصات نقشه‌ها و رواداری‌های مربوطه انطباق نداشته و اصلاح آن‌ها نیاز به شخم زدن و شیب‌بندی مجدد لایه تثبیت‌شده داشته باشد، حدود ۱-۰/۵ درصد آهک اضافی برای این کارهای ترمیمی باید مصرف شود. هزینه کلیه عملیات اصلاحی به عهده پیمانکار است و بابت آن وجهی پرداخت نخواهد شد.

۷. حفاظت و عمل‌آوری

سطح نهایی قشر زیراساس آهکی تا قبل از اجرای قشر اساس باید حداقل تا هفت روز برای عمل آمدن مرطوب نگه داشته شود تا از خشک شدن آن و ظهور ترک‌های مویی و نیز پوسته شدن سطح لایه تثبیت‌شده جلوگیری به عمل آید. تردد از روی این قشر به هیچ وجه مجاز نیست. به جای آب‌پاشی می‌توان با اجرای یک قشر اندود قیری، با استفاده از قیرهای محلول و یا قیرآبه‌های کندشکن و یا دیرشکن از قشر تثبیت‌شده حفاظت کرد. مقدار قیر پخش شده باید حدود ۱-۰/۷ کیلوگرم بر متر مربع باشد تا یک غشای قیری کامل و پیوسته در سطح راه ایجاد کند. از تردد وسایل نقلیه عمومی و یا ماشین‌آلات ساختمانی پیمانکار بلافاصله بعد از تکمیل عملیات تراکم و پرداخت نهایی بستر و یا بعد از اندود قیری تا اجرای قشر بعدی، از روی قشر زیراساس آهکی باید به شدت جلوگیری شود.

۸. آزمایش‌های کنترل کیفیت

کنترل کیفیت در مراحل مختلف عملیات تثبیت خاک با آهک از حیث نوع و تعداد آزمایش‌ها شامل موارد زیر است:

الف) یک آزمایش تعیین خاصیت واکنش‌زایی خاک با آهک از طریق کنترل مقاومت فشاری تک محوری خاک قبل و بعد از تثبیت، به شرح بند ۳-۲-۲-۲ در شروع عملیات و سپس تکرار آن در جریان اجرای کار و با تشخیص دستگاه نظارت.

ب) یک آزمایش دانه‌بندی به منظور تعیین نشانه‌ای از کیفیت خرد و نرم شدن مصالح پس از اختلاط کامل خاک و آهک و قبل از کوبیدگی، و بعد از خشک کردن نمونه در گرم‌خانه به ازای هر ۱۰۰۰ متر مکعب خاک تثبیت شده و مقایسه نتایج آن با مشخصات (به زیربند ج از بند ۳-۲-۲-۵ مراجعه شود).

پ) یک آزمایش سینی برای تعیین مقدار آهک پخش شده در سطح راه در مواردی که آهک به صورت خشک روی خاک پخش می‌شود، به ازای هر ۱۰۰ متر طول راه، و اگر عرض راه زیاد باشد برای هر ۱۰۰۰ مترمربع یک آزمایش به عمل می‌آید.

ت) چنانچه از دوغاب آهک برای تثبیت استفاده می‌شود، یک آزمایش تعیین مقدار آهک روی نمونه «ب» ردیف بالا با روش AASHTO T232 به عمل می‌آید.

ث) نمونه‌گیری از آهک برای تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آن به ازای هر ۲۵۰ تن آهک وارده به کارگاه.

ج) یک آزمایش تعیین وزن مخصوص محلی با روش AASHTO T191 به ازای هر ۵۰ متر طول راه و در صورتی که عرض راه زیاد باشد، یک آزمایش برای هر ۱۰۰ متر مکعب مصالح تثبیت‌شده و کوبیده شده در سطح راه.

چ) یک آزمایش تراکم آزمایشگاهی با روش AASHTO T180 به ازای هر ۵۰۰ متر مکعب مصالح.

ح) یک آزمایش CBR آزمایشگاهی روی خاک تثبیت شده در فواصل ۵۰۰ تا ۱۰۰۰ متر طول راه در صورت لزوم با تأیید دستگاه نظارت، به عمل می‌آید.

خ) در صورتی که دستگاه نظارت تشخیص دهد می‌توان نسبت به تغییر تعداد و نوع آزمایش‌های فوق یا انجام آزمایش‌های اضافی مورد نیاز دیگر، اقدام نمود.

۳-۳. اساس

مصالح شنی و یا سنگی شکسته با مشخصات معین که به ابعاد هندسی مورد نظر و به شرح نقشه‌های اجرایی بر روی قشر زیراساس و یا بستر روسازی راه پخش شده و طبق شرایط فنی این فصل با رطوبت مناسب کوبیده شود، قشر اساس نامیده می‌شود (نشریه ۱۰۱، ۱۳۸۹، ص ۳۳۳).

۳-۴. عملکرد اساس در روسازی

عملکرد قشر اساس در روسازی به شرح زیر می باشد (نشریه ۲۳۴، ۱۳۸۱، ص ۴-۱):

۳-۴-۱. تحمل بارهای وارده

بارهای وارده از قشرهای بالاتر روسازی به وسیله این قشر تعدیل و به قشر زیر اساس وارد می گردد به طوری که تنش مجاز وارده، سبب نشست و یا تغییر شکل غیرمجاز آن نشود.

۳-۴-۲. خاصیت تراوایی

قشر اساس که با مشخصات فنی معین تهیه و پخش می شود دارای خاصیت تراوایی بیشتری نسبت به قشر زیراساس می باشد.

۳-۵. انواع قشر اساس

با توجه به زمین و شرایط جوی و مصالح موجود در محل و میزان بار وارده و تعداد آمد و شد و همچنین وضع اقتصادی از انواع اساس به شرح زیر می‌توان استفاده نمود:

- اساس شنی و یا سنگی
- اساس ماکادامی
- اساس قیری

برای هر پروژه نوع اساس باید در دفترچه مشخصات خصوصی قید شود (نشریه ۱۰۱، ۱۳۸۹، صفحات ۳۳۳ الی ۳۳۸).

مشخصات فنی، نحوه تهیه مصالح و اجرای عملیات اساس شنی - سنگی به شرح زیر می‌باشد:

۳-۵-۱. اساس شنی و یا سنگی

۱. مصالح

مصالح تهیه شده باید بدون مواد آلی و گیاهی بوده و از سنگ‌دانه‌های سخت و مقاوم تشکیل شده باشد. مشخصات فنی این مصالح به شرح زیر است:

الف) دانه‌بندی مصالح مصرفی باید با یکی از دانه‌بندی‌های مندرج در جدول ۳-۳ مطابقت نموده و پیوسته و یکنواخت باشد.

ب) حد روانی مصالح بر اساس آزمایش AASHTO T89 و AASHTO T90 ، نباید از ۲۵ درصد تجاوز نموده و نشانه خمیری از ۴ درصد تجاوز نماید.

پ) ارزش ماسه‌ای بر اساس آزمایش AASHTO T176 نباید از ۴۰ درصد کمتر باشد.

ت) حداقل ۷۵ درصد مصالح مانده روی الک ۴/۷۵ میلی‌متر (شماره ۴) باید در دو جبهه شکسته شده باشد (شکستگی طبیعی ملاک عمل نمی‌باشد).

ث) درصد سایش مصالح به روش لس‌آنجلس AASHTO T96 نباید از ۴۵ درصد تجاوز نماید.

ج) درصد افت وزنی مصالح با آزمایش AASHTO T104 و با سولفات سدیم در پنج نوبت نباید از ۱۲ درصد تجاوز نماید.

چ) تحمل باربری مصالح (CBR) که با روش ASTM D1883 و با تراکم آزمایشگاهی AASHTO T180 اندازه‌گیری می‌شود نباید از ۸۰ درصد کمتر باشد.

ح) حداکثر ضریب تورق مصالح با روش BS812 نباید از ۳۵ درصد تجاوز نماید.

تبصره: برای کاهش حساسیت مصالح در مقابل یخبندان می‌توان به تشخیص دستگاه نظارت درصد رد شده از الک ۰/۰۷۵ میلی‌متر (شماره ۲۰۰) برای هر یک از دانه‌بندی‌های

جدول ۳-۳ را تقلیل داد، به نحوی که درصد مواد ریزتر از ۲۰ میکرون نیز از ۳ درصد تجاوز نکند.

جدول شماره ۳-۳: دانه‌بندی مصالح اساس

نوع دانه‌بندی	درصد وزنی رد شده از هر الک				
شماره الک	I	II	III	IV	V
۵۰ میلی‌متر (۲ اینچ)	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	--	--
۳۷/۵ میلی متر ($1\frac{1}{2}$ اینچ)	۹۵-۱۰۰	--	--	۱۰۰	--
۲۵ میلی‌متر (۱ اینچ)	--	--	۷۵-۹۵	۷۰-۱۰۰	۱۰۰
۱۹ میلی‌متر ($\frac{3}{4}$ اینچ)	۷۰-۹۲	--	--	۶۰-۹۰	--
۹/۵ میلی‌متر ($\frac{3}{8}$ اینچ)	۵۰-۷۰	۳۰-۶۵	۴۰-۷۵	۴۵-۷۵	۵۰-۸۵
۴/۷۵ میلی‌متر (شماره ۴)	۳۵-۵۵	۲۵-۵۵	۳۰-۶۰	۳۰-۶۰	۳۵-۶۵
۲ میلی‌متر (شماره ۱۰)	--	۱۵-۴۰	۲۰-۴۵	۲۰-۵۰	۲۵-۵۰
۰/۶ میلی‌متر (شماره ۳۰)	۱۲-۲۵	--	--	--	--
۰/۴۲۵ میلی‌متر (شماره ۴۰)	--	۸-۲۰	۱۵-۳۰	۱۰-۳۰	۱۵-۳۰
۰/۰۷۵ (شماره ۲۰۰)*	۰-۸	۲-۸	۲-۸	۲-۸	۲-۸

* مقدار وزنی موارد رد شده از الک ۲۰۰ نباید از $\frac{2}{3}$ مقدار وزنی رد شده از الک شماره ۴۰ بیشتر باشد.

۲. تهیه مصالح

باید از معادنی که توسط دستگاه نظارت تعیین و به تصویب رسیده است، استفاده شود. در مواردی که حجم مصالح مورد نیاز بیش از میزان پیش‌بینی شده در معادن باشد، باید معدن جدیدی تعیین و مورد بهره‌برداری قرار گرفته و کلیه آزمایشات مورد لزوم در مورد معدن جدید به عمل آید. در این مورد باید توجه کرد که ذخیره معدن به حد کافی باشد. قبل از آنکه مصالح تهیه شده به پای کار حمل شود و مورد مصرف قرار گیرد، باید طبق روش

AASHTO T2 حداقل مقدار ۲۵ کیلوگرم از مصالح برداشته شود و طبق مندرجات زیربند ۳-۵-۱-۱ مورد آزمایش قرار گیرد. نتایج آزمایشات باید در حد مشخصات مندرج در همان بند باشد.

۳. آماده کردن قشر زیرین

قشری که مصالح اساس روی آن پخش می‌شود، باید قبلاً کاملاً کوبیده شده و رقوم آن در حد رواداری‌ها منطبق با مشخصات باشد. در صورتی که اختلاف رقوم سطح آماده شده راه نسبت به رقوم نقشه‌های اجرایی از ۲ ± سانتی‌متر تجاوز نماید، باید نسبت به اصلاح آن بر اساس دستورات دستگاه نظارت اقدام شود.

۴. پخش مصالح و آب‌پاشی

مصالح اساس باید به صورت یک مخلوط همگن در بستر راه پخش شود. از تفکیک سنگدانه‌های درشت و ریز مصالح اساس باید جلوگیری نمود. مصالح باید به صورتی پخش گردد که پس از کوبیدن احتیاج به کسر یا اضافه کردن نداشته باشد. در مواردی که ضخامت اساس ۱۵ سانتی‌متر یا کمتر باشد، مصالح باید در یک لایه پخش و کوبیده شود و در حالتی که ضخامت اساس بیش از ۱۵ سانتی‌متر باشد، باید ضخامت کل را به لایه‌های مساوی تقسیم نمود. ولی در هیچ حالتی نباید ضخامت هر لایه کوبیده از ۱۵ سانتی‌متر بیشتر باشد. مصالحی که مطابق با مشخصات تهیه گردیده است باید به سطح راه حمل شده و در فواصل مساوی و یکنواخت تخلیه و سپس پخش و کوبیده شود.

در محل‌های غیرقابل دسترسی برای ماشین‌آلات می‌توان مصالح را در قشرهای ۱۵ سانتی‌متری با دست پخش نمود. مصالح در موقع پخش باید دارای رطوبت کافی برای تأمین تراکم مشخصه باشد. چنین رطوبتی باید به صورت همگن در تمام مصالح موجود بوده و در صورت لزوم پس از پخش، تسطیح و تنظیم مصالح، آب‌پاشی به وسیله تانکر و با فشار یکنواخت انجام شود. آب‌پاشی باید به طریقی انجام پذیرد که آب موجود در مصالح بیش از ۱/۵ ± درصد رطوبت بهینه نباشد. توقف تانکر به هنگام آب‌پاشی روی مصالح مجاز نمی‌باشد. آب‌پاشی نباید به میزانی باشد که به قشرهای زیرین صدماتی وارد آورد.

۵. کوبیدن

کوبیدن مصالح اساس پس از اطمینان از انطباق رقوم نهایی با نقشه‌ها باید با غلتک‌های استاتیک آغاز و سپس با لرزشی ادامه یابد. نوع و وزن غلتک‌ها متناسب با نوع مصالح مصرفی بوده و در هر مورد برای هر پروژه باید مشخصات آن‌ها در دفترچه مشخصات فنی خصوصی قید شود. به هر حال وزن غلتک مورد استفاده باید آن‌چنان باشد که سبب خرد شدن مصالح سنگی نگردد.

عملیات کوبیدن از کناره‌های راه شروع شده و به محور راه می‌انجامد. به استثنای قوس‌ها که غلتک‌زنی باید از داخل قوس و پایین‌ترین رقوم راه شروع شده و به بلندترین آن در خارج از قوس ختم شود.

در صورتی که دانه‌های درشت و ریز مصالح پخش شده از هم جدا شده باشد، باید قبل از کوبیدن برای اصلاح آن اقدام شود.

غلتک‌زنی و در صورت لزوم نیاز توأم با آب‌پاشی باید آن‌قدر ادامه داشته باشد تا یک لایه کوبیده و منسجمی مطابق ابعاد و شیب داده شده در نقشه‌ها به دست آید.

۶. تراکم نسبی

تراکم نسبی لایه اساس با آزمایش AASHTO T191، باید حداقل صد درصد حداکثر وزن مخصوص خشک مصالحی باشد که در آزمایشگاه با روش AASHTO T180 طریقه D به دست آید.

در صورتی که تراکم نسبی به دست آمده کمتر از میزان مشخصه باشد، باید لایه کوبیده شده شخم‌زنی و سپس با آب‌پاشی و غلتک‌زنی مجدد آن‌قدر کوبیده شود تا تراکم نسبی قید شده تأمین گردد.

ضخامت هر لایه، نباید از دو برابر اندازه ماکزیمم دانه‌های مصالح مصرفی کمتر باشد.

۷. کنترل سطح تمام شده

پس از اتمام کوبیدگی هر لایه، رقوم سطح تمام شده قشر اساس نباید بیش از ۱/۵ ± سانتی‌متر با آن‌چه در نقشه‌ها تعیین شده، تفاوت داشته باشد (اختلاف در یک جهت پذیرفته نیست). شیب‌های طولی و عرضی اساس کوبیده شده باید با نقشه‌ها مطابقت کامل داشته باشد. ناهمواری‌های سطح تمام شده باید با شمشه چهار متری که در جهات مختلف

بر روی سطح راه قرار می‌گیرد، کنترل شود. میزان ناهمواری‌ها نباید از ۱/۵ سانتی‌متر تجاوز نماید.

۸. حفاظت کار انجام شده

از عبور و مرور وسایل نقلیه پس از اتمام عملیات بر روی قشر اساس باید به شدت جلوگیری شود.

۹. آزمایش‌های کنترل کیفیت

برای کنترل کیفیت مصالح و کارهای انجام شده بایستی از مصالح تهیه شده قبل و بعد از مصرف و نیز حین اجرای کار و متناسب با پیشرفت آن‌ها آزمایش‌های زیر به عمل آید:

الف) از مصالح تهیه شده در پای کار نمونه‌برداری شده و آزمایش‌های بند ۳-۵-۱-۱ این فصل انجام شود تا در صورتی که مصالح طبق مشخصات نباشد اصلاح گردد.

ب) از مصالحی که بر روی راه حمل شده از هر ۵۰۰ متر مکعب یک بار آزمایش‌های دانه‌بندی، درصد شکستگی، حد روانی و دامنه خمیری، و ارزش ماسه‌ای به عمل آید.

پ) آزمایش تعیین وزن مخصوص محلی در هر ۵۰ متر طول راه به ترتیب در وسط، چپ و راست انجام شود و در صورتی که عرض راه زیادتر باشد (آزادراه و بزرگراه)، آزمایش به ازای هر ۷۵ متر مکعب مصالح به عمل می‌آید. ضخامت لایه اساس در هر مورد که آزمایش وزن مخصوص انجام می‌شود اندازه‌گیری شده و در برگ آزمایش ارایه گردد.

ت) آزمایش تراکم آزمایشگاهی باید در هر ۵۰۰ متر طول راه یک بار انجام شود و در صورت لزوم آزمایش بیشتری به عمل آید.

ث) در صورتی که دستگاه نظارت لازم تشخیص دهد، باید نسبت به آزمایش CBR آزمایشگاهی مصالح در فواصل ۳۰۰ تا ۵۰۰ متر، و سایر آزمایش‌های مورد نیاز، اقدام شود.

خلاصه

مصالح شنی و یا سنگی بر اساس مشخصات فنی این فصل تهیه و بر روی بستر روسازی راه حمل و به اندازه و ضخامت نشان داده شده در نقشه‌ها پخش و سپس طبق شرایط مورد نظر آب‌پاشی و کوبیده می‌شود و قشر حاصله زیراساس شنی و یا سنگی نامیده می‌شود.

با در نظر گرفتن شرایط جوی، نوع زمین طبیعی، مصالح موجود در محل، تعداد ترافیک و وضع اقتصادی می‌توان یکی از انواع زیراساس شنی (و یا سنگی) و یا آهکی را انتخاب نمود.

مصالح موجود در محل به روش مندرج در این فصل در روی بستر روسازی راه یا در کارخانه با آهک مخلوط و در ابعاد و ضخامت‌های نشان داده شده در نقشه‌ها پخش، آب‌پاشی و کوبیده می‌شود. قشر حاصله را زیر اساس آهکی می‌نامند. شن و ماسه و یا سنگ کوهی در محل انجام پروژه طبق مشخصات فنی داده شده بر روی بستر روسازی راه پخش می‌گردد، قشر حاصله زیراساس شنی و یا سنگی نامیده می‌شود. مصالح شنی و یا سنگی شکسته با مشخصات معین که به ابعاد هندسی مورد نظر و به شرح نقشه‌های اجرایی بر روی قشر زیراساس و یا بستر روسازی راه پخش شده و طبق شرایط فنی این فصل با رطوبت مناسب کوبیده شود، قشر اساس نامیده می‌شود. بارهای وارده از قشرهای بالاتر روسازی به وسیله این قشر تعدیل و به قشر زیر اساس وارد می‌گردد به طوری که تنش مجاز وارده، سبب نشست و یا تغییر شکل غیرمجاز آن نشود. قشر اساس که با مشخصات

فنی معین تهیه و پخش می‌شود دارای خاصیت تراوایی بیشتری نسبت بـه قشـر زیراسـاس می‌باشد.

با توجه به زمین و شرایط جوی و مصالح موجود در محل و میزان بار وارده و تعداد آمـد و شد و هم‌چنین وضع اقتصادی می‌توان از اسـاس شـنی و یـا سـنگی، اسـاس ماکـادامی و اساس قیری استفاده نمود.

آزمون

۱. قشر زیراساس را تعریف نموده و انواع آن را نام ببرید؟
۲. قشر زیراساس آهکی را تعریف نمایید؟
۳. چرا قشر زیراساس آهکی معمولاً در مناطق گرم به کار گرفته می‌شود؟
۴. ویژگی‌های خاک تثبیت شده با آهک را توضیح دهید؟
۵. چگونگی حفاظت و عمل‌آوری سطح نهایی قشر زیراساس آهکی را شرح دهید.
۶. قشر اساس را تعریف کنید. عملکرد آن در روسازی راه چگونه می‌باشد؟
۷. انواع قشر اساس را نام ببرید؟
۸. نحوه کوبیدن قشر اساس چگونه است؟

فصل چهارم

قیر

اهداف

هدف از مطالعه این فصل آشنایی با مطالب زیر می باشد:

۱. انواع قیر

۲. چگونگی تولید قیرآبه‌ها

۳. موارد کاربرد قیرآبه‌ها

۴. کاربرد افزودنی‌های قیر

۵. گروه‌بندی قیرهای اصلاح شده بر حسب نوع افزودنی‌های مصرفی

۴-۱. قیر

قیـر، مـاده‌ای اسـت هیـدروکربوری کـه بـا دارا بـودن دو خاصـیت اصـلی چسـبانندگی و نفوذناپذیری در صنعت راه‌سازی جهت اندود کـردن مصـالح سـنگی و چسـباندن آن‌هـا بـه یکدیگر و نیز غیرقابل نفوذ کردن روسازی آسفالتی مورد استفاده قرار می‌گیـرد. قیـر بـه دو صورت قیر طبیعی و از پالایش نفـت خـام بـه دسـت مـی‌آیـد. قیـر طبیعـی نتیجـه تغییـر هیدروکربورهای سبک نفت خام است که از منابع زیرزمینی به طرف بالا و سطح زمین نفوذ کرده و در دراز مدت شکل می‌گیرد.

عمده قیری که در راه‌سازی مورد استفاده قرار می‌گیرد، قیر نفتی و یا بـه عبـارت دیگـر قیری است که از پالایش نفت خام به دست می‌آید. این قیر پس‌مانده حاصل از تقطیر نفـت خام در ستون‌های تقطیر پالایشگاه می‌باشد. در عمل تقطیر ابتدا هیدروکربورهای سـبک‌تـر در دماهای پایین تبخیر شده، سپس با ازدیاد دما و فشار هیدروکربورهای سـنگین‌تـر جـدا می‌شوند. آن‌چه در انتهای این ستون‌های تقطیر باقی می‌ماند قیـر خـالص اسـت. بـا تغییـر درجه حرارت و فشار، قیرهای با سفتی مختلف به دست می‌آید.

با توجه به اینکه از نظر کمی قیر سهم ناچیزی در مخلوط‌های آسفالتی دارد شاید چنین تصور شود که نقش قیر در رفتار، دوام و ثبات لایه‌های آسفالتی روسازی، چندان با اهمیت و قابل ملاحظه نمی‌باشد، لیکن حقیقت این است که قیر و خواص فیزیکـی و شـیمیایی آن تأثیر عمده‌ای در عملکرد مطلوب، دوام و پایداری مخلوط‌های آسفالتی دارد. مطالعه عملکرد و رفتار پایداری مخلوط‌های آسفالتی بدون توجه به رفتار و خواص قیر امکـان‌پـذیر نیسـت.

برای عملکرد مناسب و پایداری روسازی آسفالتی، قیر مصرفی باید ضمن دارا بودن دوام از رفتار و عملکرد مناسبی نیز برخوردار باشد.

قیر در روسازی می‌تواند ماده بی‌دوام و آسیب‌پذیری باشد. از نخستین مراحل تهیه آسفالت که الزاماً قیر بایستی گرم گردد و در حین مراحل اجرا و متعاقباً در طول بهره‌برداری که رویه آسفالتی در معرض عوامل طبیعی مانند نور، گرما، سرما، یخبندان، رطوبت و سایر اثرات مکانیکی و فیزیکی قرار می‌گیرد، از مرغوبیت آن به عنوان یک ماده چسباننده مناسب و عامل دوام مخلوط‌های آسفالتی کاسته می‌شود. در نتیجه، انواع متفاوت خرابی‌ها به مرور زمان در لایه‌های آسفالتی روسازی پدید می‌آید. از تغییرات و آسیب‌پذیری‌های قیر در اثر عوامل مختلف نمی‌توان به طور کامل جلوگیری کرد، لیکن می‌توان آن‌ها را به تأخیر انداخت و یا کاهش داد و در نهایت محدود نمود. ثبات، نحوه رفتار و عملکرد قیر به عنوان یک ماده آلی به ساختار شیمیایی و اجزای متشکله و تکنیک فرآیندهای تولید آن از نفت خام بستگی دارد (منصور فخری، ۱۳۸۵، صفحات ۱ و ۲).

۴-۲. انواع قیر

قیرهای مصرفی در راه‌سازی عمدتاً دو نوع است. اگر از معدن به دست آید قیر طبیعی[1] یا معدنی و هرگاه از پالایش نفت خام حاصل شود قیر نفتی[2] نام دارد. در راه‌سازی باید از قیرهای نفتی استفاده شود، چنانچه مصرف قیر معدنی در پروژه‌ای مورد نظر باشد، نسبت اختلاط قیر نفتی یا قیر معدنی باید در مشخصات فنی خصوصی قید شود (نشریه ۲۳۴، ۱۳۸۱، صفحات ۵-۱ الی ۵-۸).

[1]. Natural Asphalt
[2]. Petroleum Asphalt

۴-۲-۱. قیرهای طبیعی

وقتی که مواد فرار نفت خام موجود در اعماق زمین، به مرور زمان و در برابر عوامل جوی تبخیر شود، ماده سیاهی از آن بر جای می‌ماند که قیر طبیعی نام دارد. قیرهای طبیعی شامل قیرسنگ‌ها و قیرهای دریاچه‌ای به شرح زیر می‌باشد:

۱. قیرسنگ‌ها

قیرسنگ‌ها، به طور عمده سنگ‌های آهکی و ماسه‌ای هستند که نفت خام در آن‌ها نفوذ کرده و با گذشت زمان، مواد فرار آن تبخیر شده و قیر در این سنگ‌ها باقی مانده است. قیرسنگ‌ها را پس از خرد و نرم کردن، حرارت داده و در سطح راه پخش می‌کنند. مقدار قیر موجود در قیرسنگ‌ها از ۷ تا حدود ۸۰ درصد تغییر می‌کند. قیرسنگ‌های موجود در لرستان ایران حدود ۸۰-۷۰ درصد قیر دارند.

۲. قیرهای دریاچه‌ای

وقتی که نفت خام به طور طبیعی از بین لایه‌های شکست‌خورده زمین به سطح زمین صعود می‌کند و مواد فرار آن تبخیر می‌شود، قیرهای طبیعی به صورت دریاچه در روی زمین ظاهر می‌شوند.

۴-۲-۲. قیرهای نفتی

قیرهای حاصل از پالایش نفت خام، با توجه به نوع و شرایط مصرف آن در راه‌سازی و سایر مصارف صنعتی به شرح زیر است:

۱. قیرهای خالص[1]

قیرهایی که مستقیماً در برج تقطیر در خلاء پالایشگاه به دست می‌آیند و یا مختصری در جریان فرآیند هوادهی قرار می‌گیرند قیر خالص نامیده می‌شوند. این قیرها باید همگن و فاقد آب بوده و در حرارت ۱۷۶ درجه سانتیگراد کف نکند.

قیرهای خالص در اثر فشار و حرارت به صورت مایع غلیظ و آب‌گون تغییرشکل می‌دهد و در حرارت کم، حالت الاستیک و فنری دارد.

۲. قیرهای دمیده[2]

قیرهای خالص را تحت فشار و در حرارت ۲۰۰ تا ۳۰۰ درجه سانتیگراد هوا می‌دهند تا اتم‌های هیدروژن موجود در مولکول‌های قیر با اکسیژن هوا ترکیب شود و با ایجاد واکنش‌های پلیمریزاسیون، هیدروکربورهای سنگین‌تری به دست آید که درجه نفوذ کمتر و نقطه نرمی بیشتری نسبت به قیر خالص اولیه داشته باشد.

اختلاف نقطه نرمی و درجه شکستن[3] قیرهای دمیده، که با آزمایش DIN 52012 تعیین می‌شود به ۱۰۰ درجه می‌رسد. از این رو این قیرها در مقایسه با قیرهای خالص اولیه حساسیت کمتری در برابر حرارت دارد و درجه نفوذ آن‌ها از قیر خالص کمتر است.

---

1. Asphalt Cement
2. Blown Asphalt
3. Frass Breaking Test

قیرهای دمیده، مصرف زیادی در راه‌سازی ندارد. این قیرها برای پر کردن ترک‌های روسازی‌های بتنی و پر کردن درزهای رویه‌های بتنی استفاده می‌شود.

۳. قیرهای محلول[۱]

قیرهای محلول یا قیرهای پس برگشته، از حل کردن قیرهای خالص در حلال‌ها و یا روغن‌های نفتی به دست می‌آیند.

نوع و کیفیت قیرهای محلول به کیفیت قیرهای خالص اصلی، نوع و مقدار حلال بستگی دارد. هر اندازه مقدار حلال‌های نفتی در قیر محلول زیادتر باشد، روانی آن بیشتر است. معمولاً درصد حلال مصرفی در قیرهای محلول ایران از ۱۰ تا ۵۰ درصد تغییر می‌کند. قیرهای محلول در راه‌سازی برای اندودهای سطحی، نفوذی، آسفالت سطحی، آسفالت سرد کارخانه‌ای و یا آسفالت مخلوط در محل، مصرف می‌شوند. قیرهای محلول بر حسب سرعت‌گیرش و نوع حلال به سه گروه زیر تقسیم می‌شوند:

- قیرهای زودگیر[۲]

اگر از بنزین برای حل کردن قیر خالص استفاده شود قیر محلول را زودگیر می‌نامند زیرا حلال موجود در قیر در مدت کمی بعد از مصرف قیر محلول تبخیر شده و قیر اصلی بر جای می‌ماند.

---

4. Liquid Asphalt
1. Rapid Curing

- قیرهای کندگیر[1]

قیرهای کندگیر از حل کردن قیر خالص در نفت سفید (یا موادی کـه خصوصـیاتی در حـد نفت سفید دارند) تهیه می‌شود که سرعت تبخیر نفت از بنزین کندتر و طولانی‌تر است.

- قیرهای دیرگیر[2]

قیرهای محلول دیرگیر را علاوه بر حل کردن قیر خالص در روغن‌ها و حـلال‌هـای دیرگیـر نفتی، مانند گازوئیل یا نفت سیاه، می‌توان مانند قیرهای خـالص، مسـتقیماً از تقطیـر نفـت خام به دست آورد. در حالت اخیر، قیرهای دیرگیر را روغن راه[3] می نامند. گیرش کامل این قیرها بعد از مصرف، مدت زمان زیادی طول می‌کشد. در واقع قیرهای دیرگیر در شرایط آب و هوای عادی تبخیر نمی‌شوند، بلکه تغییر شکل مولکولی در آن‌ها به وجود می‌آید که نسبتاً تدریجی و طولانی است.

۴. قیرآبه‌ها (امولسیون‌های قیر)[4]

از مخلوط کردن قیر و آب با یک ماده قیرآبه‌ساز[5]، قیرآبه به دست می‌آید. در ایـن مخلـوط، قیر با ابعاد از یک تا ۱۰ میکرون، در آب شناور است. آب، فـاز پیوسـته و قیـر فـاز معلـق و ناپیوسته این مخلوط را تشکیل می‌دهد. قیرآبه‌سـازها موجـب ایجـاد بـار الکتریکـی همنـام

---

2. Asphalt Cement
3. Medium Curing
4. Road Oil
5. Emulsified Asphalt
6. Emulsifier

(مثبت یا منفی) در سطح دانه‌های قیر می‌شوند. نیروی دافعه ناشی از این بار مانع به هم پیوستن ذرات قیر در قیرآبه می‌شود.

مقدار قیر در قیرآبه‌ها از ۵۵ تا ۶۵ درصد، میزان آب از ۳۵ تا ۴۵ درصد و قیرآبه‌سازها حداکثر ۰/۵ درصد وزنی قیرآبه را تشکیل می‌دهد.

از قیرآبه‌ها برای تهیه انواع مخلوط‌های آسفالت سرد کارخانه‌ای و یا مخلوط در محل، آسفالت سطحی، اندودهای قیری، درزگیری و لکه‌گیری رویه‌های آسفالتی، تثبیت خاک و ماسه و غبارنشانی می‌توان استفاده کرد. برای مصرف قیرآبه‌ها معمولاً نیازی به حرارت دادن آن‌ها نیست لذا از نظر اقتصادی و ایمنی بر انواع دیگر قیرها برتری دارند. اختلاط قیرآبه‌ها با سنگ‌دانه‌های مرطوب و یا پخش قیرآبه روی بستر مرطوب شنی و یا آسفالتی راه در عملکرد قیرآبه‌ها تأثیر منفی ندارد.

- قیرآبه‌های آنیونیک[1]

با استفاده از قیرآبه‌سازهای نوع املاح قلیایی اسیدهای آلی، سطح دانه‌های قیر، دارای بار منفی می‌شود. این قیرآبه‌ها را آنیونیک می‌نامند که خود به سه نوع زودشکن، کندشکن و دیرشکن تقسیم می‌شوند.

- قیرآبه‌های کاتیونیک[2]

[1]. Anionic Emulsions
[2]. Cationic Emulsions

با استفاده از قیرآبه‌سازهای از نوع ترکیبات آلی نمک‌های آمونیوم و یا آمین‌ها، سطح دانه‌های قیر دارای بار مثبت می‌شود. این قیرآبه‌ها را قیرآبه‌های کاتیونیک می‌نامند و به سه نوع زودشکن، کندشکن و دیرشکن تقسیم می شوند.

۴-۳. افزودنی‌های قیر[1]

امروزه علاوه بر قیر و مصالح متداول تشکیل‌دهنده مخلوط‌های آسفالتی از مواد دیگری به نام افزودنی‌ها و یا اصلاح‌کننده‌های قیر[2] استفاده می‌شود. این ترکیبات که طیف وسیعی از مواد معدنی، آلی، طبیعی و صنعتی را در بر می‌گیرد به منظور اصلاح و بهبود برخی از خواص قیر و در نتیجه مخلوط‌های آسفالتی به شرح موارد زیر کاربرد دارند:

الف) جلوگیری از عریان شدن سنگدانه‌های مخلوط‌های آسفالتی

ب) جلوگیری از ایجاد ترک‌های حرارتی و انقباضی

پ) کاهش پدیده‌های تغییر شکل و قیرزدگی رویه‌های آسفالتی

ت) جلوگیری از رو آمدن ترک‌های آسفالتی

ث) کاهش پدیده سخت شدن و کهنه شدن قیر

ج) افزایش تاب خستگی آسفالت

قیرهای اصلاح شده بر اساس استانداردهای ASTM و بر حسب نوع افزودنی‌های مصرفی، به شش گروه تقسیم می‌شوند که برای هر یک مشخصات فنی معینی طراحی شده است. این مشخصات قیرهای اصلاح‌شده‌ای را شامل می‌شود که حاصل اختلاط فقط قیرهای

[3]. Asphalt Additives
[4]. Modifier

خالص، با پلیمرها، کوپلیمرها، مواد شیمیایی تثبیت‌کننده و پودر لاستیک‌های بازیافتی باشند.

۱. قیرهای اصلاح شده با پلیمر نوع I

۲. قیرهای اصلاح شده با پلیمر نوع II

۳. قیرهای اصلاح شده با پلیمر نوع III

۴. قیرهای اصلاح شده با پلیمر نوع IV

۵. قیرهای اصلاح شده با پودر لاستیک[1]

۶. قیرهای اصلاح شده با مواد شیمیایی تثبیت‌کننده (نشریه ۲۳۴، ۱۳۸۱، صفحات ۵-۱۳ الی ۵-۱۴)

برای مطالعه بیشتر در زمینه قیرها و خواص و کاربر آن‌ها به کتاب *آسفالت گرم و سرد* مراجعه نمایید.

۴-۴. ساختار شیمیایی قیرهای نفتی

قیر، ساختمان شیمیایی پیچیده‌ای دارد که تابع نوع ترکیباتی است که در نفت خام یافت می‌شود. قیرهای نفتی از تعداد زیادی هیدروکربورهای مختلف که به صورت کلوییدی در یکدیگر معلق و شناور است، تشکیل شده است. کربن و هیدروژن دو عنصر اصلی قیر به شمار می‌رود که درصد وزنی آن‌ها در مولکول‌های قیر به ترتیب ۸۷-۷۰ و ۱۵-۱۰ درصد است.

[1]. Asphalt Rubber Binders

علاوه بر کربن و هیدروژن، عناصر دیگری نظیر ازت (کمتر از یک درصد)، گوگرد (تا ۱/۵ درصد)، اکسیژن (حدود ۲ درصد)، فسفر وهالوژن‌ها و مقادیر بسیار ناچیزی از فلزات مانند نیکل، آهن، کبالت و وانادیم در قیر یافت می‌شود.

هیدروکربورهای تشکیل‌دهنده قیرها را معمولاً به آسفالتین، و مالتین که خود به دو جزء رزین و روغن تفکیک می‌شود تقسیم می‌کنند. هر یک از این اجزا نقش جداگانه‌ای در خصوصیات قیر ایفا کرده و عامل تعیین‌کننده خواص فیزیکی و شیمیایی قیر محسوب می‌شود.

آسفالتین‌ها از مواد قطبی و پیچیده آروماتیکی تشکیل می‌شوند که دارای وزن مولکولی زیاد بوده و ماده اصلی قیر را تشکیل می‌دهد. نسبت تعداد اتم‌های کربن به هیدروژن (یا $\frac{C}{H}$) این مواد بیش از ۰/۸ است.

رزین‌ها، هیدروکربورهایی است که نقش چسبندگی قیر را دارد و نسبت $\frac{C}{H}$ آن‌ها بین ۰/۸-۰/۶ است. روغن‌ها، که تفاوت بین آن‌ها و رزین‌ها تا حدی مشکل است بر کندروانی قیر اثر می‌گذارد و نسبت $\frac{C}{H}$ آن‌ها کمتر از ۰/۶ است.

علاوه بر روش تفکیک قیر به آسفالتین و مالتین، روش دیگری برای تعیین نوع و درصد هیدروکربورهای تشکیل دهنده قیر به شرح استاندارد ASTM D4124 وجود دارد که با این روش، قیر را به چهار گروه هیدروکربور شامل هیدروکربورهای اشباع شده، ترکیبات معطره نفتنیک، ترکیبات معطره قطبی و آسفالتین‌ها تقسیم می‌کند که درصد وزنی آن‌ها می‌تواند در تجزیه و تحلیل خصوصیات فیزیکی و شیمیایی به عنوان راهنما مورد استفاده قرار گیرد. تجزیه شیمیایی دو نمونه قیر ۶۰/۷۰ و ۸۵/۱۰۰ پالایشگاه‌های تهران و تبریز در

جدول ۴-۱ نشان داده شده است. به طور کلی، خصوصات قیرهای نفتی تابع نوع و جنس نفت خام، کمیت و کیفیت هیدروکربورهای تشکیل‌دهنده آن و روش تقطیر است.

در عمل، نفت خام معادن مختلف را می‌توان به یکی از انواع آسفالتینیک، پارافینیک و آسفالتینیک- پارافینیک (مختلط) تقسیم کرد. قیری که از نفت خام آسفالتینیک به دست می‌آید، مرغوب‌ترین قیر برای راه‌سازی است. باید توجه کرد که پارافین خاصیت انگمی و چسبندگی قیر را کم می‌کند. لذا باید از استفاده از قیرهای حاوی پارافین زیاد (بیش از ۲٪) خودداری کرد. منابع نفت خام ایران اغلب از نوع آسفالتینیک- پارافینیک است. قیرهای نفتی مصرفی در راه‌سازی، خواص ممتاز قیرهای معدنی را ندارد (نشریه ۲۳۴، ۱۳۸۱، صص۵-۲ و ۵-۳).

جدول شماره ۴-۱: تجزیه گروه‌های شیمیایی دونمونه قیر پالایشگاه‌های تهران و تبریز با روش D4124 ASTM

نوع قیر پالایشگاه	اشباع‌شده‌ها درصد وزنی	معطره نفتینیک درصد وزنی	معطره قطبی درصد وزنی	آسفالتین درصد وزنی
قیر ۶۰/۷۰ پالایشگاه تهران	۱۳/۰۵	۳۹/۳	۳۵/۲۳	۱۱/۰۷
قیر ۸۵/۱۰۰ پالایشگاه تبریز	۷/۹۲	۲۵/۳۳	۳۳/۹۳	۱۳/۹۴

جدول شماره ۴-۲: دانه‌بندی و درصد قیر (تقریبی) انواع آسفالت‌های گرم (محمد سرائی‌پور،۱۳۷۷، ص۶۴۴)

Mix[1] Type	2½ in.	1½ in.	1 in.	¾ in.	½ in.	⅜ in.	#4	#8	#16	#30	#50	#100	#200	Percent[2] Asphalt
I a	100	35-70		0-15				0-5					0-3	3.0-4.5
II a						100	40-85	5-20					0-4	4.0-5.0
II b					100	70-100	20-40	5-20					0-4	4.0-5.0
II c				100	70-100	45-75	20-40	5-20					0-4	3.0-6.0
II d			100	70-100		35-60	15-35	5-20					0-4	3.0-6.0
II e		100	70-100	50-80		25-60	10-30	5-20					0-4	3.0-6.0
III a					100	75-100	35-55	20-35		10-22	6-16	4-12	2-8	3.0-6.0
III b				100	75-100	60-85	35-55	20-35		10-22	6-16	4-12	2-8	3.0-6.0
III c				100	75-100	60-85	30-50	20-35		5-20	3-12	2-8	0-4	3.0-6.0
III d			100	75-100		45-70	30-50	20-35		5-20	3-12	2-8	0-4	3.0-6.0
III e		100	75-100	60-85		40-65	30-50	20-35		5-20	3-12	2-8	0-4	3.0-6.0
IV a					100	80-100	55-75	35-50		18-29	13-23	8-16	4-10	3.5-7.0
IV b				100	80-100	70-90	50-70	35-50		18-29	13-23	8-16	4-10	3.5-7.0
IV c			100	80-100		60-80	48-65	35-50		19-30	13-23	7-15	0-8	3.5-7.0
IV d		100	80-100	70-90		55-75	45-62	35-50		19-30	13-23	7-15	0-8	3.5-7.0
V a					100	85-100	65-80	50-65	37-52	25-40	18-30	10-20	3-10	4.0-7.5
V b				100	85-100		65-80	50-65	37-52	25-40	18-30	10-20	3-10	4.0-7.5
VI a					100	85-100		65-78	50-70	35-60	25-48	15-30	6-12	4.5-8.5
VI b				100		85-100		65-80	47-68	30-55	20-40	10-25	3-8	4.5-8.5
VII a						100	85-100	80-95	70-89	55-80	30-60	10-35	4-14	7.0-11.0
VIII a							100	95-100	85-98	70-95	40-75	20-40	8-16	7.5-12.0

جدول شماره ۴-۳: انواع آسفالت‌های گرم و روش طرح آن‌ها (محمد سرائی‌پور،۱۳۷۷، ص۶۴۵)

روش آزمایش و طرح / شرح انواع آسفالت‌های گرم	هابردفیلد	مارشال	ویم
I آسفالت با دانه‌بندی باز	X	X	X
II آسفالت با دانه‌بندی باز	X	X	D
III آسفالت درشت دانه	X	D	A
IV آسفالت با دانه‌بندی پیوسته	X	A	A
V آسفالت ریزدانه	X	A	A
VI شیت آسفالت درشت دانه	A	A	A
VII شیت آسفالت متوسط دانه	A	A	A
VIII شیت آسفالت ریزدانه	A	A	A

A = مناسب

D = نسبتاً مناسب

X = نامناسب

توجه: برای توضیح بیشتر دانه‌بندی آسفالت‌های فوق در جدول شماره ۴-۲ ملاحظه شود.

جدول شماره ۴-۴: معیارهای پیشنهادی جهت طرح آسفالت‌های گرم (محمد سرائی‌پور،۱۳۷۷، ص۶۴۶)

نوع ترافیک / روش طرح آسفالت	ترافیک سنگین		ترافیک متوسط		ترافیک سبک	
	حداقل	حداکثر	حداقل	حداکثر	حداقل	حداکثر
روش مارشال						
تعداد ضربات در هر طرف نمونه آسفالت	۷۵		۵۰		۳۵	
تاب فشاری بر حسب پوند	۷۵۰	--	۵۰۰	--	۵۰۰	--
تغییر شکل نسبی بر حسب یک‌صدم اینچ	۸	۱۶	۸	۱۸	۸	۲۰
درصد فضای خالی آسفالت در قشر رویه	۳	۵	۳	۵	۳	۵
درصد فضای خالی شیت آسفالت درشت‌دانه	۳	۵	۳	۵	۳	۵
درصد فضای خالی در اساس آسفالتی	۳	۸	۳	۸	۳	۸
روش‌هابردفیلد						
تاب فشاری بر حسب پوند	۲۰۰۰	--	۱۲۰۰	۲۰۰۰	۱۲۰۰	۲۰۰۰
درصد فضای خالی آسفالت	۲	۵	۲	۵	۲	۵
روش ویم						
عدد دستگاه تاب فشاری ویم	۳۷	--	۳۵	--	۳۰	--
Cohesimetre عدد دستگاه	۵۰	--	۵۰	--	۵۰	--
تورم بر حسب اینچ	--	۰/۰۳	--	۰/۰۳	--	۰/۰۳
درصد فضای خالی آسفالت	۴	--	۴	--	۴	--

خلاصه

قیرهای مصرفی در راه‌سازی عمدتاً دو نوع است. اگر از معدن به دست آید قیر طبیعی یا معدنی و هرگاه از پالایش نفت خام حاصل شود قیر نفتی نام دارد. در راه‌سازی باید از قیرهای نفتی استفاده شود، چنانچه مصرف قیر معدنی در پروژه‌ای مورد نظر باشد، نسبت اختلاط قیر نفتی با قیر معدنی باید در مشخصات فنی خصوصی قید شود.

وقتی که مواد فرار نفت خام موجود در اعماق زمین، به مرور زمان و در برابر عوامل جوی تبخیر شود، ماده سیاهی از آن بر جای می‌ماند که قیر طبیعی نام دارد. قیرهای طبیعی شامل قیرسنگ‌ها و قیرهای دریاچه‌ای می‌باشد.

قیرهای حاصل از پالایش نفت خام قیرهای نفتی نامیده می‌شوند که با توجه به نوع و شرایط مصرف آن در راه‌سازی و سایر مصارف صنعتی، قیرهای خالص، قیرهای دمیده و قیرهای محلول و ... نامگذاری می‌شوند.

از مخلوط کردن قیر و آب با یک ماده قیرآبه‌ساز، قیرآبه به دست می‌آید. در این مخلوط، قیر با ابعاد از یک تا ۱۰ میکرون، در آب شناور است. آب، فاز پیوسته و قیر ناپیوسته این مخلوط را تشکیل می‌دهد. قیرآبه‌سازها موجب ایجاد بار الکتریکی مثبت یا منفی (همنام) در سطح دانه‌های قیر می‌شوند. نیروی دافعه ناشی از این بار مانع به هم پیوستن ذرات قیر در قیرآبه می‌شود.

از قیرآبه‌ها برای تهیه انواع مخلوط‌های آسفالت سرد کارخانه‌ای و یا مخلوط در محل، آسفالت سطحی، اندودهای قیری، درزگیری و لکه‌گیری رویه‌های آسفالتی، تثبیت خاک و ماسه و غبارنشانی می‌توان استفاده کرد. برای مصرف قیرآبه‌ها معمولاً نیازی به حرارت دادن آن‌ها نیست لذا از نظر اقتصادی و ایمنی بر انواع دیگر قیرها برتری دارند. اختلاط قیرآبه‌ها با

سنگ‌دانه‌های مرطوب و یا پخش قیرآبه روی بستر مرطوب شنی و یا آسفالتی راه در عملکرد قیرآبه‌ها تأثیر منفی ندارد.

امروزه علاوه بر قیر و مصالح سنگی تشکیل‌دهنده مخلوط‌های آسفالتی از مواد دیگری به نام افزودنی‌ها و یا اصلاح‌کننده‌های قیر استفاده می‌شود. این ترکیبات که طیف وسیعی از مواد معدنی، آلی، طبیعی و صنعتی را در بر می‌گیرد به منظور اصلاح و بهبود برخی از خواص قیر و در نتیجه مخلوط‌های آسفالتی به مانند جلوگیری از عریان شدن سنگ‌دانه‌های مخلوط‌های آسفالتی، جلوگیری از ایجاد ترک‌های حرارتی و انقباضی، کاهش پدیده‌های تغییر شکل و قیرزدگی رویه‌های آسفالتی، جلوگیری از رو آمدن ترک‌های آسفالتی، کاهش پدیده سخت شدن و کهنه شدن قیر و افزایش تاب خستگی آسفالت کاربرد دارند.

آزمون

۱. انواع قیر را نام ببرید؟

۲. قیرهای نفتی را نام ببرید؟

۳. قیرآبه چگونه تشکیل می‌شود؟

۴. موارد استفاده قیرآبه‌ها را شرح دهید؟

۵. موارد کاربرد افزودنی‌های قیر چیست؟

۶. قیرهای اصلاح شده بر حسب نوع افزودنی‌های مصرفی به چند گروه تقسیم می‌شوند؟ هر یک را نام ببرید؟

فصل پنجم

آسفالت

اهداف

هدف **از** مطالعه این فصل، آشنایی با مطالب زیر می باشد:

۱. آسفالت گرم

۲. کاربرد آسفالت ماستیک و آسفالت رویه (توپکا)

۳. انواع آسفالت سرد و حفاظتی

۴. انواع اندودهای آب‌بند و آسفالت متخلخل

۵. کاربردهای آسفالت ماکادام نفوذی وانواع آن

۶. آیین‌نامه‌های روسازی در ایران و انجمن‌های بین‌المللی راه‌سازی

۵-۱. آسفالت‌های گرم و انواع آن

لفظ آسفالت گرم، معمولاً به آن دسته از آسفالت‌ها اطلاق می‌گردد که در آن‌ها قیر و مصالح سنگی در گرما مخلوط شده و همان‌طور گرماگرم نیز پخش می‌شوند. آسفالت گرم انواع مختلف داشته و اختلاف آن‌ها در نوع قیر، درصد فضای خالی و دانه‌بندی مصالح سنگی می‌باشد.

در تهیهٔ آسفالت گرم، منحصراً از قیرهای خالص استفاده می‌شود، در جدول ۵-۱ مشخصات انواع آسفالت‌های گرم ملاحظه می‌شود(محمد سرائی‌پور، ۱۳۷۷، صفحات ۱۸۸ و ۱۸۹).

جدول شماره ۵-۱: مشخصات انواع آسفالت گرم

انواع آسفالت‌های گرم	درجه نفوذ قیر در ۲۵ درجه سانتیگراد	درصد قیر آسفالت	درصد فیلر آسفالت
آسفالت ماستیک	۲۰-۳۰	۱۱-۱۷	۳۰-۵۰
بتن آسفالتی	۶۰-۱۰۰	۴-۸	۴-۱۰
رلد آسفالت	۴۰-۷۰	۵-۱۴	۷-۱۴
اتوبان گوس آسفالت	۴۰-۷۰	۸	۲۰
برلین گوس آسفالت	۳۰-۴۰	۱۰	۲۵

۵-۲. آسفالت ماستیک[1]

[1]. Mastic Asphalt

آسفالت ماستیک بیشتر در مواردی به کار می‌رود که بارگذاری به صورت استاتیک مطرح باشد (مانند ایستگاه اتوبوس) و به همین دلیل آسفالت پخش شده باید در مقابل بارگذاری سنگین استاتیک مقاومت کافی داشته و تغییر شکل ندهد.

یکی از مشخصات بارز آسفالت ماستیک، عدم وجود فضای خالی در آن می‌باشد و آن هم به خاطر وجود ۱۷-۱۱ درصد قیر و حدود ۵۰ درصد فیلر می‌باشد، درجه نفوذ قیر خالص مورد استفاده در این نوع آسفالت ۳۰-۲۰ می‌باشد و ملاحظه می‌شود که مقاومت مکانیکی آسفالت ماستیک بستگی تام به مقاومت مکانیکی قیر مصرف شده دارد.

۵-۳. تعریف بتن آسفالتی

بتن آسفالتی گرم مخلوطی است از سنگدانه‌های شکسته و دانه‌بندی شده و فیلر که در کارخانه‌های آسفالت حرارت داده شده و با قیر گرم در درجه حرارت‌های معین مخلوط و به همان صورت گرم برای مصرف در راه، حمل، پخش و کوبیده می‌شود. انواع آسفالت گرم مصرفی در قشرهای روسازی راه به شرح زیر می‌باشد (نشریه ۲۳۴، ۱۳۸۱ صفحه ۹-۱):

۵-۳-۱. قشر رویه (توپکا)

آسفالت رویه، آخرین قشر آسفالتی است که در تماس مستقیم با بارهای وارده از ترافیک و عوامل جوی محیط قرار می‌گیرد، و لذا باید طوری طرح و اجرا شود که در مقابل اثرات سوء آب، یخبندان، و تغییرات دما از پایایی و مقاومت لازم برخوردار باشد.

۵-۳-۲. قشر آستر (بیندر)

این قشر بین رویه و قشرهای آسفالتی زیر آن و یا بین رویه و قشر اساس شکسته قرار می‌گیرد(نشریه ۱۰۱، ۱۳۸۹، صفحات ۴۷۹ الی ۴۸۱)

.

۴-۳-۳. اساس قیری

این قشر می‌تواند به عنوان اولین قشر روسازی آسفالتی مستقیماً روی بستر روسازی آماده شده راه و یا قشر اساس شکسته قرار گیرد.

۴-۳-۵. ماسه آسفالت

ماسه آسفالت از اختلاط ماسه طبیعی، و یا ماسه شکسته، و یا اختلاطی از این دو با قیر خالص تهیه می‌شود. این مخلوط آسفالتی را می‌توان در قشرهای به ضخامت حداقل ۱۵ میلی‌متر اجرا کرد، و یا از آن به عنوان قشر تسطیح در رویه‌های قدیمی و قبل از روکش استفاده نمود.

۴-۵. انواع آسفالت سرد

آسفالت سرد را بر حسب روش تهیه و اجرا می‌توان به دو نوع آسفالت سرد کارخانه‌ای[1] و آسفالت سرد مخلوط در محل[2] تقسیم کرد (نشریه ۲۳۴، ۱۳۸۱، صفحه ۸-۱).

۴-۵-۱. آسفالت سرد کارخانه‌ای

[1]. Central Plant Mix
[2]. Mixed-in-Place (Road Mix)

آسفالت سرد کارخانه‌ای درکارخانه‌های ثابت و مرکزی آسفالت تهیه می‌شود و سپس برای پخش به محل مصرف حمل می‌گردد.

۵-۴-۲. آسفالت سرد مخلوط در محل

آسفالت سرد مخلوط در محل به دو روش زیر تهیه می‌شود:

الف) نوع مخلوط در محل که سنگدانه‌ها در کنار و امتداد راه ریسه شده و روی آن قیرپاشی می‌شود و سپس عمل اختلاط و پخش با گریدر یا وسایل نظیر آن انجام می‌گیرد.

ب) نوع مخلوط در کارگاه که عمل اختلاط قیر و سنگ‌دانه‌ها در کارگاه‌های ثابت یا موقت انجام و مخلوط تهیه شده برای پخش به محل مصرف حمل می‌شود.

۵-۵. آسفالت حفاظتی

آسفالت‌های حفاظتی[1] نوعی از رویه‌سازی آسفالتی است که در سطح راه‌های شنی و یا آسفالتی اجرا می‌شود. ضخامت این آسفالت کمتر از ۲۵ میلیمتر است و لذا جزو لایه باربر روسازی راه محسوب نمی‌شود و عملکرد سازه‌ای ندارد.

۵-۶. انواع آسفالت‌های حفاظتی

[1]. Surface Treatment

آسفالت‌های حفاظتی به شرح زیر تقسیم‌بندی می‌شود و هر یک به منظور خاصی مورد استفاده قرار می‌گیرد:

- آسفالت‌های سطحی یک یا چندلایه ای
- سیل‌کت‌ها یا اندودهای آب‌بند[1]
- مخلوط‌های آسفالتی قیرآبه‌ای یا دوغاب قیری (اسلاری سیل)
- مخلوط‌های آسفالت متخلخل[2]
- غبارنشانی[3] و روغن‌پاشی راه[4] (جهت جلوگیری از گرد و غبار و تثبیت راه‌های خاکی) (نشریه ۲۳۴، ۱۳۸۱، ص ۷-۲)

۵-۶-۱. آسفالت‌های سطحی یک یا چندلایه‌ای

پخش قیر روی سطح آماده شده شنی راه که بلافاصله روی آن سنگدانه‌های شکسته و تمیز و با دانه‌بندی معین پخش گردد، آسفالت سطحی یک لایه‌ای و چنانچه دو یا سه بار اجرا شود، دو یا سه لایه‌ای نامیده می‌شود (نشریه ۲۳۴، ۱۳۸۱، ص۷-۲).

جدول شماره ۵-۲: قیرهای مورد استفاده در آسفالت‌های سطحی یک یا چندلایه‌ای

انواع قیر			
قیرهای خالص	قیرهای محلول	قیرآبه ها	
		کاتیونیک	آنیونیک
۱۲۰-۱۵۰	قیرهای زودگیر	CRS-1	RS-1
۲۰۰-۳۰۰ *	RC-250	CRS-2	RS-2
	RC-800		HFRS-2
	RC-3000		MS-1
	قیرهای کندگیر		

[2]. Seal Coats
[3]. Porous Mixtures
[4]. Dust Laying
[5]. Road Oiling

HFMS-1 HFMS-2h		MC-800 MC-3000	

* مصرف قیر ۳۰۰-۲۰۰ در مناطق گرم باید با توجه به سابقه عملکرد آن در شرایط مشابه جوی صورت گیرد.

۵-۶-۲. اندود آب‌بند

اندودهای آب‌بند اجرای آسفالت‌های حفاظتی بر روی انواع رویه‌های آسفالتی و یا بتنی موجود، به منظور آب‌بندی، افزایش خاصیت نفوذناپذیری، اصلاح آسیب‌دیدگی‌های سطحی، بهسازی موقت و افزایش طول عمر بهره‌برداری آن‌ها را شامل می‌شود.

۱. انواع اندودهای آب‌بند

اندودهای آب‌بند به شرح زیر تقسیم‌بندی می‌شوند:

- اندود سنگ‌دانه‌ای
- اندود ماسه‌ای
- اندود قیری[1] بدون سنگ‌دانه
- اسلاری سیل یا دوغاب قیری۲ (نشریه ۱۰۱، ۱۳۸۹، صص۴۱۲ الی ۴۱۴)

- اندود آب‌بند سنگ‌دانه‌ای

اجرای آسفالت سطحی یک یا چندلایه‌ای بر روی انواع رویه‌های آسفالتی و یا بتنی اندود آب‌بند سنگ‌دانه‌ای نام دارد.

[1]. Fog Coat
[2]. Slurry Seal

- اندود آب‌بند ماسه‌ای

اندود ماسه‌ای مشابه آسفالت سطحی یک لایه‌ای با قیرهای جدول ۵-۲ و مصالح ماسه‌ای منطبق با دانه‌بندی جدول ۵-۳ اجرا می‌گردد. ارزش ماسه‌ای مصالح مصرفی نباید کمتر از ۷۵ درصد باشد.

جدول شماره ۵-۳ :دانه‌بندی ماسه برای اندود ماسه‌ای

اندازه الک‌ها	درصد مواد رد شده
الک ۹/۵ میلی‌متر (⅜ اینچ)	۱۰۰
الک ۴/۷۵ میلی‌متر (شماره ۴)	۹۵-۱۰۰
الک ۱/۱۸ میلی‌متر (شماره ۱۶)	۴۵-۸۰
الک ۰/۳ میلی‌متر (شماره ۵۰)	۱۰-۳۰
الک ۰/۱۵ میلی‌متر (شماره ۱۰۰)	۲-۱۰
الک ۰/۰۷۵ میلی‌متر (شماره ۲۰۰)	۰-۳

مقادیر قیر و ماسه برای اندود آب‌بندی ماسه‌ای به شرح زیر است:

ماسه: ۸-۵ کیلوگرم در متر مربع

قیرهای محلول: ۷۰۰-۴۰۰ گرم در متر مربع

قیرآبه‌ها: ۹۰۰-۶۰۰ گرم در متر مربع

- اندودهای آب‌بند قیری بدون سنگ‌دانه

اندودهای قیر یا پخش قیر بر روی بستر آسفالتی و با بتنی موجود، بدون مصرف سنگ‌دانه‌ها و نظیر اندودهای سطحی اجرا می‌شود. اندود قیری برای پر کردن فضاهای خالی و ترک‌ها و خلل و فرج‌های سطحی رویه آسفالتی و احیای مواد قیری آن به کار می‌رود.

- مخلوط‌های رویه نازک قیرآبه‌ای یا اسلاری سیل

مخلوط‌های آسفالتی رویه نازک قیرآبه‌ای از مصالح ریزدانه و قیرآبه (یا بدون مواد افزودنی) تهیه و به عنوان قشر حفاظتی روی سطح راه‌های آسفالتی موجود پخش می‌شوند. ضخامت آن وقتی که در یک لایه اجرا می‌شود حدود ۳ تا ۱۰ میلی‌متر است.

استفاده از این مخلوط‌ها برای راه‌هایی توصیه می‌شود که زیرسازی آن‌ها کاملاً سالم بوده و خرابی‌ها محدود به خرابی‌های سطحی باشد. در صورت وجود ترک‌ها و نواقص زیاد ابتدا باید آن را تعمیر و لکه‌گیری و سپس اقدام به روکش با این مخلوط قیرآبه‌ای نمود.

۵-۶-۳. آسفالت متخلخل

این نوع آسفالت از اختلاط قیر با سنگدانه‌های شکسته دارای دانه بندی باز، در کارخانه آسفالت تهیه می‌شود و سپس با ضخامت کم (حدود ۲۰ میلیمتر) در سطح راه پخش می‌گردد.

فضای خالی این آسفالت تقریباً ۲۰ درصد است که موجب می‌شود آب‌های سطحی از طریق آن سریعاً تخلیه شده و به خارج از عرض سواره رو راه هدایت گردد و نهایتاً مانع جمع شدن آب در سطح راه می‌شود.

آسفالت متخلخل، مخلوطی است که در کارخانه آسفالت، به طریق سرد و یا گرم تهیه می‌شود (نشریه ۱۰۱، ۱۳۸۹، صفحه ۴۱۸).

۵-۶-۴. غبارنشانی و روغن‌پاشی

پخش قیر در سطح راه‌های شنی و خاکی از ایجاد گرد و غبار جلوگیری کرده و در عین حال به عنوان یک پوشش حفاظتی و سطحی موجب تثبیت و تحکیم بستر راه و کاهش نفوذپذیری آن در برابر نزولات جوی می‌شود (نشریه ۱۰۱، ۱۳۸۹، صفحه ۴۲۰).

۵-۷. آسفالت ماکادام نفوذی

آسفالت ماکادم نفوذی[1] نوعی از روسازی راه است که از مصالح سنگی شکسته درشت‌دانه با دانه‌بندی یکنواخت و یا باز تشکیل شده و به وسیله غلتک کوبیده و در هم قفل و بست گردیده و سپس فضای خالی بین آن‌ها ابتدا با قیر تحت فشار و بلافاصله با مصالح سنگی متوسط پر شده باشد. مصالح سنگی درشت‌دانه از شکستن سنگ کوهی و یا رودخانه‌ای به دست می‌آید. آسفالت ماکادم نفوذی معمولاً در مناطقی به کار برده می‌شود که مصالح سنگی رودخانه‌ای با دانه‌بندی پیوسته یافت نشود. آسفالت ماکادام نفوذی را می‌توان به عنوان قشراساس و یا قشر رویه به کار برد. خاصیت نفوذپذیری قشرآسفالت ماکادام نفوذی در مقابل عوامل جوی و آسیب‌پذیری آن در مقابل رفت و آمد ترافیک ایجاب می‌نماید که سطح حاصله با نوعی رویه پوشش گردد. نوع پوشش متناسب با حجم ترافیک می‌باشد. معمولاً برای ترافیک کم و متوسط از آسفالت سطحی، و ترافیک سنگین و خیلی سنگین از بتن آسفالتی گرم استفاده می‌شود. ضخامت لایه آسفالت ماکادام نفوذی معادل ضخامت متوسط یک سنگ‌دانه[2] است که بر حسب نوع دانه‌بندی انتخابی تعیین می‌شود و میانگین آن حدود ۷۵ میلیمتر است. دانه‌بندی مصالح برای آسفالت ماکادام نفوذی در جدول شماره ۵-۴ آمده است (نشریه ۱۰۱، ۱۳۸۹، صص۴۶۵ الی ۴۷۵).

---

1. Asphalt Penetration Macadam
2. One-Stone Layer Thick

جدول شماره ۵-۴: دانه‌بندی مصالح برای آسفالت ماکادام نفوذی

اندازه اسمی- میلی‌متر	۱۰۰	۷۵	۶۳	۳۷/۵	۳۷/۵	۳۷/۵	۲۵	۲۵	۲۵	۱۹	۱۹	۱۲/۵	۹/۵
شماره دانه‌بندی	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳
اندازه الک‌ها	درصد وزنی رد شده از الک‌ها												
۱۰۰ میلی‌متر (۴ اینچ)	۱۰۰												
۹۰ میلی‌متر (۳/۵ اینچ)	۱۰۰ ۹۰-												
۷۵ میلی‌متر (۳ اینچ)		۱۰۰											
۶۳ میلی‌متر (۲/۵ اینچ)	۶۰- ۲۵	۱۰۰ ۹۰-	۱۰۰										
۵۰ میلی‌متر (۲ اینچ)	--	۷۰- ۳۵	۱۰۰ ۹۰-										
۳۷/۵ میلی‌متر (۱/۵ اینچ)	۱۵- ۰	۱۵- ۰	۷۰- ۳۵	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰							
۲۵ میلی‌متر (۱ اینچ)	--	--	۱۵- ۰	۱۰۰- ۹۰	۱۰۰- ۹۰	۱۰۰- ۹۰	۱۰ ۰	۱۰ ۰	۱۰۰	۰			
۱۹ میلی‌متر (۰/۷۵ اینچ)	۰-۵	۰-۵	--	۵۵- ۲۰	۴۰-۸۵	--	۱۰ ۰- ۹۰	۱۰ ۰- ۹۰	۱۰۰- ۹۰	۱۰۰	۱۰۰		
۱۲/۵ میلی‌متر (۰/۵اینچ)			۰-۵	۰-۱۰	۱۰-۴۰	۶۰- ۲۵	۵۵ - ۲۰	--	--	۱۰۰- ۹۰	۱۰۰- ۹۰	۱۰۰	
۹/۵ میلی‌متر (۰/۳۷۵ اینچ)			۰-۵	۰-۱۵	۰-۱۵	۰-۱۵	۱۵ ۰-	۵۵- ۲۰	۶۵- ۳۰	۷۰- ۴۰	۷۵- ۴۰	۱۰۰- ۸۵	۱۰۰
۴/۷۵ میلی‌متر (شماره ۴)				۰-۵	۰-۵	۰-۵	۵- ۰	۱۰- ۰	۵-۲۵	۰-۱۵	۵-۲۵	۰-۳۰	۱۰۰- ۸۵
۲/۳۶ میلی‌متر (شماره۸)								۰-۵	۰-۱۰	۰-۵	۰-۱۰	۰-۱۰	۴۰- ۱۰
۱/۱۸ میلی‌متر (شماره ۱۶)									۰-۵		۰-۵	۰-۵	۰-۱۰
۰/۳میلی‌متر (شماره ۵۰)													۰-۵

۵-۸. انواع آسفالت ماکادام نفوذی

با توجه به سهولت تهیه مصالح، عوامل جوی و جغرافیایی و سایر شرایط، آسفالت ماکادام نفوذی را می‌توان با قیرهای خالص، قیرهای محلول و یا قیرآبه اجرا نمود. بنابراین، آسفالت ماکادام نفوذی در دو گروه جداگانه به شرح زیر طبقه‌بندی می‌گردد:

۵-۸-۱. آسفالت ماکادام با قیرهای خالص و قیرهای محلول سنگین

۱. مصالح سنگی

الف) دانه‌بندی

با توجه به ضخامت قشر آسفالت ماکادام، جنس و نوع مصالح سنگی، دانه‌بندی مصالح درشت (قشر اصلی) و متوسط برای پر کردن فضای خالی این قشر در جدول شماره ۵-۴ نشان داده شده است. دانه‌بندی‌های شماره ۱، ۲ و ۳ بر حسب مورد برای قشر اصلی، و دانه‌بندی‌های شماره ۴، ۵، ۶، ۷ و ۱۰ به عنوان مصالح پرکننده مصرف می‌شود. رابطه انتخاب دانه‌بندی مصالح درشت (قشر اصلی) و دانه‌بندی مصالح متوسط (پرکننده) به شرح جدول ۵-۵ می‌باشد:

جدول شماره ۵-۵: دانه‌بندی مصالح

شماره دانه‌بندی قشر اصلی ماکادام	شماره دانه‌بندی مصالح پرکننده
مصالح درشت‌دانه (جدول ۵-۴)	مصالح متوسط (جدول ۵-۴)
۱	۴ یا ۵ یا ۶
۲	۴ یا ۵ یا ۶ و یا ۷
۳	۶ یا ۷ و یا ۱۰

ب) سایر مشخصات

مصالح باید تمیز و فاقد اندودهای خاکی و رسی بوده و مشخصات آن با جدول ۵-۶ تطبیق نماید.

جدول شماره ۵-۶: مشخصات فنی مصالح درشت‌دانه و متوسط

ردیف	شرح	مشخصات	روش آزمایش	
			AASHTO	ASTM
۱	درصد شکستگی در دو جبهه مانده روی الک شماره۴	حداقل ۷۵	--	--
۲	درصد سایش با آزمایش لس‌آنجلس	حداکثر ۴۰	T96	C131
۳	درصد افت وزنی با سولفات سدیم	حداکثر ۲۰	T104	C88
۴	درصد دانه‌های سوزنی و پولکی*	حداکثر ۱۵	--	D4791

* سنگ‌دانه‌های سوزنی و پولکی به دانه‌هایی اطلاق می‌شود که نسبت حداکثر طول به حداقل ضخامت آن‌ها بیشتر از پنج باشد.

۲. مواد قیری

با در نظر گرفتن دمای محیط و دانه‌بندی مصالح درشت‌دانه و متوسط یکی از قیرهای جدول ۵-۷ را می‌توان انتخاب کرد. در هوای گرم قیر خالص ۸۵/۱۰۰ و یا قیر محلول MC-3000 و برای هوای سرد قیر ۱۲۰/۱۵۰ و یا قیر محلول MC-800 مصرف می‌شود.

جدول شماره ۵-۷: قیرهای خالص و قیرهای محلول سنگین

نوع قیر	قیر خالص		قیرهای محلول کندگیر	
درجه حرارت	۸۵/۱۰۰*	۱۲۰/۱۵۰*	RC-3000**	RC-800**
درجه حرارت پخش (سانتیگراد)	حداقل ۱۴۰	حداقل ۱۳۰	حداقل ۹۵	حداقل ۱۱۰
حداقل درجه اشتعال (سانتیگراد)	--	--	حداقل ۲۷	حداقل ۲۷

* قیر نباید در دمایی گرم شود که از آن بخار آبی متصاعد گردد.

** در صورت انتخاب قیرهای محلول نظر به اینکه درجه حرارت پخش این قیرها بالاتر از حداقل درجه اشتعال آن‌ها می‌باشد رعایت کامل موارد احتیاطی و ایمنی کامل ضروری است تا از آتش‌سوزی جلوگیری شود.

۵-۸-۲. آسفالت ماکادام نفوذی با قیرهای محلول سبک و قیرآبه‌ها

۱. مصالح سنگی

دانه‌بندی و مشخصات مصالح سنگی مصرفی باید با زیربندهای الف و ب، بند ۵-۸-۱-۱ مطابقت داشته باشد، به استثنای نوع دانه‌بندی مصالح متوسط پرکننده که باید به شرح جدول ۵-۸ انتخاب شود.

جدول شماره ۵-۸: دانه‌بندی مصالح قشر اصلی و مصالح پرکننده

شماره دانه بندی قشر اصلی ماکادام	شماره دانه‌بندی مصالح پرکننده
مصالح درشت دانه (جدول ۵-۴)	مصالح متوسط (جدول ۵-۴)
۱	۸ یا ۹
۲	۸ یا ۹ یا ۱۱
۳	۹ یا ۱۱ یا ۱۲

۲. مواد قیری

قیر مصرفی را می‌توان از نوع قیرآبه و یا قیر محلول به شرح جدول ۵-۹ انتخاب نمود.

جدول شماره ۵-۹: قیرآبه‌ها و قیر محلول سبک

نوع قیر / درجه حرارت	قیرآبه ها				قیر محلول
	آنیونیک		کاتیونیک		
	RS-1	RS-2	CRS-1	CRS-2	RC-250*

درجه حرارت پخش (سانتیگراد)	۲۰-۶۰	۵۰-۸۵	۵۰-۸۵	۵۰-۸۵	حداقل ۷۵
درجه اشتعال (سانتیگراد)	--	--	--	--	حداقل ۲۷

* در صورت مصرف قیر محلول RC-250 رعایت موارد احتیاطی و ایمنی برای جلوگیری از آتش‌سوزی الزامی است (به زیرنویس جدول۵-۶ مراجعه شود).

۵-۹. اجرای عملیات آسفالت ماکادام

۵-۹-۱. آماده نمودن سطح راه

قبل از اجرای عملیات، سطح راه باید طبق پروفیل‌های طولی و عرضی آماده و سپس به وسیله جاروی مکانیکی و یا هوای فشرده از هر گونه مواد خارجی پاک و تمیز گردد. در صورتی که یک شمشه ۴ متری در امتداد محور راه بر روی سطح به دست آمده قرار گیرد، ناهمواری‌های سطح راه نباید از ۲ سانتیمتر تجاوز نماید.

۵-۹-۲. پخش و کوبیدن مصالح سنگی درشت

مصالح سنگی درشت‌دانه به وسیله پخش‌کن‌های خودرو و به طور یکنواخت بر روی سطح آماده راه، پخش و بلافاصله عمل غلتک‌زنی توسط یک یا چند غلتک سه چرخ فلزی مورد تأیید دستگاه نظارت آغاز می‌گردد. عبور غلتک در امتداد محور راه انجام و از منتهی‌الیه کنار خارجی شروع و به طور یکنواخت به طرف محور ادامه می‌یابد. چرخ جلوی غلتک در هر عبور باید عبور قبلی را به اندازه‌ای در حدود نصف عرض این چرخ در بر بگیرد. عملیات تراکم آن قدر ادامه می‌یابد تا اینکه قشر کوبیده و منسجمی‌مطابق پروفیل‌های طولی و عرضی به دست آمده و سطح حاصله مشخصات لازم برای نفوذ مواد قیری را داشته باشد. عملیات غلتک‌زنی نباید بیش از اندازه لازم ادامه پیدا کند، در غیر این صورت دانه‌های

مصالح سنگی، خرد شده و در یکدیگر قفل و بست نخواهند شد. هر نوع ناهمواری که به هنگام و یا بعد از غلتک‌زنی ظاهر شود با برداشتن قسمتی از مصالح (در نقاط مرتفع) و یا اضافه نمودن مصالح (در نقاط پست) اصلاح خواهد شد.

۵-۹-۳. پخش قیر

مواد قیری به وسیله قیرپاش و به طور یکنواخت بر روی قشر مصالح سنگی کوبیده شده پخش می‌گردد. پخش قیر هنگامی صورت می‌گیرد که درجه حرارت سطح راه برای قیرهای خالص و قیرهای محلول سنگین از ۱۵ درجه و برای قیرهای محلول سبک و قیرآبه از ۱۰ درجه سانتی‌گراد کمتر نبوده و سطح جانبی مصالح در صورت مصرف قیرهای خالص و محلول خشک باشد. در صورتی که نقاطی از سطح راه را نتوان به وسیله قیرپاش کاملاً اندود نمود، می‌توان از قیر پخش‌کن‌های دستی استفاده کرد.

چون مقدار قیر مصرفی به مراتب زیادتر از مقدار قیری است که در آسفالت‌های سطحی پخش می‌شود لذا باید سرعت قیرپاش را کاهش داد تا قیر به اندازه مورد نظر پخش شود.

۵-۹-۴. پخش و کوبیدن مصالح سنگی متوسط (پرکننده)

مصالح سنگی تمیز و خشک با دانه‌بندی متوسط به وسیله پخش‌کن‌های خودرو و به طور یکنواخت، بلافاصله بر روی سطح قیرپاشی شده پخش و عمل غلتک زنی به وسیله غلتک‌های چرخ فلزی و لاستیکی آغاز می‌گردد. حین عملیات کوبیدن و در صورت لزوم،

باید در سطوحی که به مصالح بیشتری نیاز دارند نسبت به پخش مصالح اقدام شود، ضمن آنکه پس از عبور غلتک از روی آن، مقدار اضافی مصالح باید جمع‌آوری گردد. عملیات غلتک‌زنی آن قدر ادامه می‌یابد تا اینکه فضای خالی بین مصالح سنگی درشت‌دانه به وسیله مصالح سنگی با دانه‌بندی متوسط پر شده (بدون اینکه مصالح پخش شده، روی مصالح سنگی درشت‌دانه را کاملاً بپوشاند) و سطح به دست آمده صاف بوده و هیچ‌گونه جابجایی دانه‌ها، زیر غلتک مشاهده نشود. در صورتی که شمشه ۴ متری در امتداد محور راه بر روی سطح آسفالت ماکادام نفوذی قرار گیرد، ناهمواری‌های آن نباید از ۱۵ میلی‌متر تجاوز نماید.

۵-۹-۵. غلتک‌زنی تکمیلی

در فاصله ۴۸ ساعت از پایان اجرای عملیات، سطح تمام شده آسفالت ماکادام با غلتک‌های چرخ لاستیکی باید مجدداً کوبیده شود. وزن غلتک و تعداد عبور آن در هر مورد توسط دستگاه نظارت تعیین می‌گردد.

۵-۱۰. پوشش نهایی آسفالت ماکادام نفوذی

اگر آسفالت ماکادام نفوذی اجرا شده به شرح بالا به عنوان قشر اساس عمل می‌کند، باید نسبت به اجرای رویه‌سازی نهایی آن، با توجه به حجم ترافیک در آینده، با یکی از رویه‌های آسفالت سطحی و یا بتن آسفالتی بر حسب مورد، اقدام نمود. چنانچه آسفالت ماکادام نفوذی باید عملکرد یک رویه سیاه را داشته باشد، اجرای آسفالت سطحی، یک یا دو لایه‌ای بلافاصله بر روی آن ضروری است. برای هر یک از لایه‌های عملیات آسفالت سطحی مقدار قیر و مصالح سنگی مصرفی در واحد سطح باید محاسبه شود. اندازه مصالح سنگی برای

رویه‌سازی با آسفالت به تناسب بافت سطح نهایی مورد نظر می‌تواند بر حسب مورد مطابق یکی از دانه‌بندی‌های شماره ۱۰ تا ۱۳ جدول ۵-۴ باشد.

۵-۱۱. وسایل اجرای کار

وسایلی که برای اجرای عملیات آسفالت ماکادام نفوذی مورد نیاز می‌باشند عبارتند از:

الف) جاروی مکانیکی و یا هوای فشرده و در صورت لزوم ماشین آب‌پاش.

ب) غلتک فلزی سه چرخ- حداقل وزن غلتک ۶۰ کیلوگرم برای هر سانتیمتر عرض چرخ جلو.

پ) غلتک چرخ لاستیکی- عرض چرخ‌های لاستیکی نباید از ۱۵۰ سانتی‌متر کمتر بوده و وزن آن قابل تغییر باشد، فشار سطح تماس آن نیز حداقل برابر ۲/۸ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع باشد.

ت) دستگاه پخش‌کن خودرو برای مصالح سنگی.

ث) قیرپاش.

علاوه بر وسایل فوق‌الذکر (یا جایگزین آن‌ها)، در هر مورد می‌توان وسایل مناسب دیگری را نیز با نظر دستگاه نظارت مورد استفاده قرار داد.

۵-۱۲. حفاظت سطح راه به هنگام اجرای عملیات

در تمام مدت اجرای عملیات ساختمانی، و تا بعد از تکمیل قشر آسفالت ماکادام نفوذی از تردد وسایل نقلیه روی سطح راه، باید جلوگیری شود.

۵-۱۳. آزمایش‌های کنترل کیفیت آسفالت ماکادام

برای کنترل کیفیت مصالح و کارهای انجام شده باید از مواد قیری و مصالح سنگی قبل از مصرف و حین انجام عملیات متناسب با پیشرفت کار آزمایش‌های لازم به شرح زیر به عمل آید:

۵-۱۳-۱. قیر

روی قیر مصرفی قبل از شروع کار باید آزمایش‌های لازم صورت گیرد تا انطباق آن با مشخصات کنترل شود.

۵-۱۳-۲. قیرپاشی

برای تعیین مقدار قیر پخش شده به ازای هر ۱۰۰ متر طول راه اصلی و برای هر لایه یک آزمایش سینی انجام می‌شود. در صورتی که عرض راه زیاد باشد حداقل به ازای هر ۱۰۰۰ متر مربع یک آزمایش انجام شود.

۵-۱۳-۳. مصالح سنگی

الف) مصالح سنگی باید در جریان تولید هفته‌ای یک بار برای تعیین دانه‌بندی، درصد شکستگی و تعیین درصد سنگدانه‌های پولکی و سوزنی مورد آزمایش قرار گیرد.

ب) از هر ۱۰۰۰ متر مکعب ماکادام مصرف شده در سطح راه باید یک آزمایش دانه‌بندی، درصد شکستگی و تعیین درصد سنگ‌دانه‌های پولکی و سوزنی به عمل آید و ضخامت لایه ماکادام نیز اندازه‌گیری و گزارش شود.

پ) برای تعیین مقدار مصالح سنگی متوسط (مصالح پرکننده) پخش شده و نیز مصالح سنگی مصرفی برای آسفالت سطحی، در هر لایه و از هر ۱۰۰ متر طول در راه اصلی یک آزمایش سینی به عمل آید. در صورتی که عرض راه زیاد باشد، یک آزمایش در هر ۱۰۰۰ متر مربع انجام می‌شود.

ت) در هر ۵۰۰ متر طول راه‌های اصلی، و در صورتی که عرض راه زیاد باشد، در هر ۵۰۰۰ متر مربع، آزمایش ردیف الف بالا روی مصالح سنگی متوسط (پرکننده) و مصالح سنگی مصرفی برای آسفالت سطحی به عمل می‌آید.

ث) در صورتی که رویه‌سازی با آسفالت سرد یا بتن آسفالتی انجام گیرد تعداد نمونه‌ها و نوع آزمایش‌ها باید به ترتیب مطابق بند مربوط به آزمایش‌های کنترل کیفیت فصل دوم باشد.

ج) در صورتی که دستگاه نظارت لازم تشخیص دهد علاوه بر آزمایش‌های فوق، نسبت به انجام آزمایش‌های دیگر نیز باید اقدام شود.

۵-۱۴. کنترل کیفیت آسفالت گرم

۵-۱۴-۱. تراکم قشرهای آسفالتی

قشرهای آسفالتی شامل اساس آسفالتی، آستر و رویه در هر آزمایش کنترل باید به تراکمی که کمتر از ۹۷ درصد وزن مخصوص نمونه‌های آزمایشگاهی مارشال نباشد، کوبیده شود. وزن مخصوص نمونه مارشال به طریق AASHTO T166 و تراکم نسبی قشرهای آسفالتی به روش AASHTO T230 اندازه‌گیری و محاسبه می‌شود (نشریه ۱۰۱، ۱۳۸۹، صفحات ۵۳۱ و ۵۳۲).

۵-۱۴-۲. کنترل سطح آسفالت

هر یک از قشرهای آسفالتی از نظر انطباق با رقوم و شیب‌های طولی و عرضی مندرج در نقشه‌های اجرایی و نیز یکنواختی سطح تمام شده آن باید کنترل شود. اختلاف رقوم اندازه‌گیری شده با رقوم نقشه‌ها در هر مورد باید در مشخصات خصوصی تصریح گردد ولی به هر حال نباید خارج از محدوده مندرج در زیر باشد:

۱. نیمرخ عرضی قشر آسفالتی

رقوم اندازه‌گیری شده در محور و طرفین آسفالت در محل نیمرخ‌های عرضی راه با رقوم مندرج در نقشه‌ها، در مورد قشر اساس آسفالتی نباید بیشتر از ۱۰ ± میلی‌متر و در مورد قشر آستر ۸ ± میلی‌متر و رویه ۴ ± میلی‌متر باشد. ضمناً شیب طولی و عرضی راه باید با نقشه‌ها مطابقت داشته باشد.

۲. یکنواختی سطح آسفالت

کنترل یکنواختی سطح تمام شده هر یک از قشرهای اساس آسفالتی، آستر و رویه به وسیله شمشه فلزی سه متری که بر روی سطح راه در امتداد طولی و عرضی برای اساس آسفالتی

نباید از ۷ میلی‌متر و قشر آستر ۶ میلی‌متر و رویه پنج میلی‌متر بیشتر باشد. در هر صد متر راه حداقل باید ۲۵ آزمایش طولی و ۲۵ آزمایش عرضی انجام شود تا کنترل کامل سطح راه از نظر یکنواختی تأمین گردد.

۳. سطح ناهمواری‌ها

هرگونه ناهمواری و اندازه‌گیری‌های خارج از حدود فوق و نیز نواقصی از قبیل قیرزدگی، فتیله شدن، موج و یا سایر معایب موجود در سطح آسفالت باید به هزینه پیمانکار و طبق نظر دستگاه نظارت اصلاح شود.

۵-۱۵. کنترل کیفیت آسفالت سرد (نشریه ۱۰۱، ۱۳۸۹ صفحات ۴۶۰ الی ۴۶۲)

۵-۱۵-۱. کنترل سطح آسفالت

رقوم و شیب‌های طولی و عرضی هر یک از قشرهای آسفالتی طبق نقشه‌ها انجام و اختلاف آن‌ها باید در حد رواداری زیر باشد:

۵-۱۵-۲. نیمرخ‌های عرضی

رقوم اندازه‌گیری شده در محور و طرفین آسفالت سرد، نسبت به رقوم مندرج در نیمرخ عرضی، برای قشرهای زیرین نباید از ۱۰ ± میلی‌متر و برای رویه نهایی نباید از ۵± میلی‌متر تجاوز کند.

۵-۱۵-۳. یکنواختی سطح

یکنواختی سطح آسفالت وقتی که با شمشه سه متری به موازات محور و یا عمود بر محور اندازه‌گیری شود به ترتیب نباید بیش از ۵ ± و ۸ ± میلی‌متر باشد.

برای تعیین میزان یکنواختی سطح بهتر است از دستگاه‌های متحرک دستی که دارای تعداد زیادی چرخ نزدیک به هم بوده و ضمن حرکت با سرعت قدم زدن انسان میزان ناهمواری و پله‌های احتمالی ناشی از محل اتصال دو لایه کنار هم را نشان می‌دهد، استفاده شود.

۵-۱۵-۴. آزمایش‌های کنترل کیفیت

نوع و روش این آزمایش‌ها برای هر یک از مواد سنگی و قیر و مخلوط‌های آسفالتی برحسب مورد صورت می‌گیرد. حداقل تعداد آزمایش‌هایی که باید انجام شود به شرح زیر است و در صورتی که دستگاه نظارت لازم بداند می‌توان نسبت به انجام آزمایش‌های اضافی نیز اقدام نمود.

۱. مواد قیری

آزمایش قیرهای مصرفی، حداقل یک‌بار در ابتدای شروع عملیات آسفالتی، و در جریان پیشرفت کار هر وقت که دستگاه نظارت لازم بداند، تکرار می‌شود.

برای تعیین مقدار قیر پخش شده در روی راه جهت اندودهای سطحی و نفوذی به ازای هر ۱۰۰ متر طول راه و برای هر لایه جداگانه یک آزمایش سینی انجام می‌شود و در

صورتی که عرض راه زیاد باشد حداقل برای هر ۱۰۰۰ مترمربع، یک آزمـایش اجـرا خواهـد شد.

۲. مصالح سنگی

کیفیت مصالح سنگی شامل دانه‌بندی، درصد شکستگی و درصد سـنگ‌دانـه‌هـای پـولکی و سوزنی و ارزش ماسه‌ای، به تناوب هفته‌ای یک بار روی تولیدات سنگ‌شکن، و هفته‌ای یـک بار از سیلوهای گرم کارخانه آسفالت، انجام می‌شود. از مصالح ریسه شده در طول راه، بعد از اختلاط کامل و قبل از پخش قیر، به ازای هر ۵۰۰ مترمکعب، یک آزمایش انجام تا چنانچه مصالح طبق مشخصات نباشد، اصلاح گردد.

۳. مخلوط آسفالت سرد

از آسفالت سرد تولید شده توسط کارخانه، یا مخلوط آسفالت سرد تولید در محـل، بـه ازای هر ۵۰۰ تن یک آزمایش انجام و ضمن آن درصد قیر، دانه‌بندی مخلوط، درصد شکستگی و سایر مشخصات آسفالت بر حسب مورد و مطـابق جـدول‌هـای ۵-۱۰ یـا ۵-۱۱ و یـا ۵-۱۲ مشخص می‌گردد.

در صورتی که آسفالت کمتر از ۵۰۰ تن در روز تولید و پخش شود باید حداقل یـک بـار آزمایش‌های فوق انجام گیرد. دانه‌بندی‌ها باید با توجه به فرمول کارگاهی مخلـوط و حـدود رواداری‌های مربوطه کنترل شود.

جدول شماره ۵-۱۰: مشخصات فنی آسفالت سرد برای قیرهای محلول با روش مارشال

مشخصه	حدود
درصد تصعید مواد حلال قبل از متراکم کردن در سطح راه برای:	--
- آسفالت سرد مورد استفاده در تعمیرات	۲۵ درصد
- آسفالت سرد مورد استفاده در نوسازی‌ها و روکش	۵۰ درصد
تعداد ضربه برای کوبیدن نمونه مارشال:	
- ترافیک سنگین، متوسط، سبک	۷۵ ضربه
مقاومت مارشال در ۲۵ درجه سانتیگراد:	
- آسفالت سرد برای تعمیرات	حداقل ۲۳۰ کیلوگرم
- آسفالت سرد برای نوسازی‌ها و روکش	حداقل ۳۴۰ کیلوگرم
فضای خالی	۵-۳ درصد
روانی	۴-۲ میلیمتر
فضای خالی مصالح سنگی	به جدول مربوطه مراجعه شود.
درصد ماند مقاومت مارشال بعد از چهار روز نگهداری در آب $25^{\circ}C$	حداقل ۷۵ درصد

جدول شماره ۵-۱۱: مشخصات فنی آسفالت سرد تهیه شده با قیرآبه‌ها با روش ویم

مشخصه	قشر اساس	قشر آستر و رویه
الف) تاب‌آوری مخلوط در ۳±۲۳ درجه سانتیگراد:		
- عمل آمدن ناقص*	حداقل ۷۰	-***
- عمل آمدن کامل**	حداقل ۷۸***	-***
ب) مقاومت مخلوط در ۳±۶۰ درجه سانتیگراد	-***	حداقل ۳۰
پ) چسبندگی مخلوط در ۳±۲۳ درجه سانتیگراد:		
- عمل آمدن ناقص*	حداقل ۵۰	-***
- عمل آمدن کامل**	حداقل ۱۰۰***	-***
ت) چسبندگی مخلوط در ۳±۶۰ درجه سانتیگراد	-***	حداقل ۱۰۰
ث) درصد پوشش قیری سنگ‌دانه‌ها	حداقل ۵۰	حداقل ۷۵

* عمل آمدن نمونه در داخل قالب: ۲۴ ساعت در ۳±۲۳ درجه سانتی‌گراد

** عمل آمدن نمونه در داخل قالب: ۷۲ ساعت در ۳±۲۳ درجه سانتی‌گراد، سپس نگهداری نمونه به مدت چهار روز در خلاء و بعد قراردادن آن به مدت یک ساعت در شرایط خلاء و یک ساعت بدون خلاء

*** مشخصات تعیین نشده است.

جدول شماره ۵-۱۲: مشخصات فنی آسفالت سرد حاوی قیرآبه‌ها بر اساس روش اصلاح شده مارشال

مشخصه	حدود	
	حداقل	حداکثر
مقاومت مارشال با ۵۰ ضربه در ۲۲ درجه سانتیگراد	۲۲۵ کیلوگرم	-
افت مقاومت مارشال بعد از نگهداری نمونه در خلاء در شرایط اشباع	-	۵۰ درصد
پوشش قیری سنگ‌دانه‌ها	۵۰ درصد	-

۴. وزن مخصوص آسفالت کوبیده شده

از آسفالت پخش و کوبیده شده در روی راه از هر ۲۰۰ متر هر خط عبور فینیشر نمونه‌برداری شده، و وزن مخصوص و تراکم نسبی و ضخامت لایه تعیین می‌شود.

۵-۱۶. آزمایش‌های کنترل کیفیت آسفالت حفاظتی

برای کنترل کیفیت مصالح و کارهای انجام شده باید از مصالح سنگی و مواد قیری، و مخلوط‌های آسفالتی قبل از مصرف و همچنین حین انجام عملیات و متناسب با پیشرفت کار آزمایش‌های لازم به عمل آید. نوع و روش این آزمایش‌ها برای هر یک از انواع آسفالت‌های حفاظتی که بر حسب مورد طی مخلوط‌های آسفالتی باید انجام شود، به شرح زیر می‌باشد. در صورتی که دستگاه نظارت تشخیص دهد می‌توان نسبت به انجام آزمایش‌های اضافی نیز اقدام نمود (نشریه ۱۰۱، ۱۳۸۹، صص۴۳۱ الی ۴۳۳)

۵-۱۶-۱. قیر

در صورتی که دستگاه نظارت لازم بداند روی قیرهای مصرفی برای عملیات آسفالت حفاظتی قبل از شروع و حین اجرای کار آزمایش‌های لازم صورت می‌گیرد تا انطباق آن با مشخصات ارزیابی شود.

۵-۱۶-۲. قیرپاشی

برای تعیین مقدار قیر پخش شده در روی راه، جهت اندودهای سطحی و نفوذی و سایر قیرپاشی‌های مربوط به آسفالت‌های حفاظتی به ازای هر ۱۰۰ متر طول راه و برای هر لایه جداگانه یک آزمایش سینی، انجام می‌شود. در صورتی که عرض راه زیاد باشد حداقل برای هر ۱۰۰۰ مترمربع یک آزمایش اجرا خواهد شد. آزمایش باید مطابق با روش ASTM D2995 انجام شود.

۵-۱۶-۳. مصالح سنگی

الف) مصالح سنگی مصرفی در عملیات آسفالت حفاظتی شامل آسفالت سطحی، اندود آب‌بندی، اسلاری سیل و آسفالت متخلخل که از سنگ‌شکن حاصل می‌شود باید در جریان تولید و قبل از مصرف، هفته‌ای یک بار نمونه‌برداری و برای تعیین دانه‌بندی، درصد شکستگی، ارزش ماسه‌ای، سنگدانه‌های پولکی و سوزنی مورد آزمایش قرار گیرد تا انطباق آن‌ها با مشخصات این فصل ارزیابی شود.

ب) برای تعیین مقدار مصالح سنگی پخش شده در سطح راه، در هر لایه، به ازای هر ۱۰۰ متر طول راه یک آزمایش سینی انجام می‌گیرد و در صورتی که عرض راه زیاد باشد برای حداقل هر ۱۰۰۰ مترمربع یک آزمایش به عمل می‌آید.

پ) آزمایش دانه‌بندی، درصد شکستگی، ضریب تورق، و تمیزی مصالح سنگی مصرفی در آسفالت‌های سطحی یک و یا چندلایه‌ای و یا اندودهای آب‌بندی ماسه‌ای را باید روی نمونه ردیف «ب» فوق انجام داد تا انطباق کیفیت مصالح مصرف شده و پخش شده در سطح راه با مشخصات فنی ارزیابی شود.

۵-۱۶-۴. آسفالت اسلاری سیل و متخلخل

مخلوط آسفالتی اسلاری سیل و آسفالت متخلخل پخش شده در سطح راه به ازای هر پانصد متر طول راه و برای هر لایه، نمونه‌برداری و آزمایش می‌شود تا درصد قیر، دانه‌بندی، درصد شکستگی، ضخامت لایه و سایر مشخصه‌های آن تعیین شود.

۵-۱۷. بررسی آیین‌نامه‌های روسازی در ایران

استفاده از مقررات، معیارها و ضوابط فنی در طرح و اجرای روسازی راه در ایران، از برنامه اول راه‌سازی کشور و از سال‌های میانی دهه ۴۰-۱۳۳۰ ه.ش. آغاز می‌شود که طراحی و نظارت بر اجرای پروژه‌های راه‌سازی برای نخستین بار به مشاورین خارجی واگذار گردید (مهندسین مشاور جان مولم انگلیسی، مهندسین مشاور ککس آلمانی، امان اندویتنی آمریکایی، کامپساکس دانمارکی، ژیکف فرانسوی و ...). علاوه بر آیین‌نامه‌ها و مقررات کاملاً متفاوتی که هریک از مشاورین خارجی در قالب مشخصات فنی عمومی‌و خصوصی، در محورهای مورد قرارداد خود، وضع و اجرا می‌کردند، اسناد و مدارک دیگری که معرف

رعایت استانداردها و معیارهای معینی در طرح، اجرا و انتخاب مصالح در پروژه‌های راه‌سازی از دهه ۴۰-۱۳۳۰ ه.ش. تا کنون می‌باشد، وجود دارد. این آیین‌نامه‌ها شامل موردهـای زیـر است:

۵-۱۷-۱. ابلاغیه‌های فنی

ابلاغیه‌های فنی مشترک وزارت راه و ترابری و سازمان برنامه و بودجه وقت در مورد طرح و اجرای روسازی راه در دهـه ۴۰-۱۳۳۰ ه.ش. بـه شـرح زیـر مـی‌باشـد(نشـریه ۲۳۴، ۱۳۸۱، صفحات ۱-۱۱ الی ۱-۱۳):

۱. ابلاغیه فنی شماره ۱ (سال ۱۳۳۴ ه.ش.)

مربوط به دوره طرح روسازی راه و برآورد وسایل نقلیه سنگین و سبک در محاسبات طرح

۲. ابلاغیه فنی شماره ۶ (سال ۱۳۳۴ ه.ش.)

موضوع وزن وسایل نقلیه و وزن محور منفرد

۳. ابلاغیه فنی شماره ۷ و ضمایم آن (سال ۱۳۳۵ ه.ش.)

موضوع تعیین ضخامت روسازی راه با روش CBR، بارگذاری با صفحه، روش نفوذ مخروط و شرح چگونگی انجام این آزمایش‌ها

۴. ابلاغیه فنی شماره ۹ (سال ۱۳۳۶ ه.ش.)

موضوع ضخامت روسازی بر حسب تغییرات CBR خاک بستر روسازی، نوع مصالح مصرفی و روش اجرای عملیات

۵-۱۷-۲. نشریات سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور

معیارهای مصالح مصرفی در زیرسازی و روسازی راه و آزمایش‌های کنترل کیفیت آن‌ها در روش اجرای عملیات، در قالب مشخصات فنی عمومی راه که عمدتاً با استفاده از آیین‌نامه‌های AASHTO، ATSM، .B.S و انستیتو آسفالت، تهیه شده بودند به شرح زیر می‌توان نام برد:

۱. مشخصات فنی عمومی‌راه‌های اصلی

نشریه شماره ۳۳ سال ۱۳۵۳ ه.ش. ، (تجدیدنظر در نخستین مشخصات فنی عمومی‌که تاریخ انتشار دقیق آن معلوم نیست).

۲. مشخصات فنی عمومی‌راه‌های فرعی درجه یک و دو

نشریه شماره ۴۸، سال ۱۳۵۴ ه.ش.

۳. مشخصات فنی عمومی‌راه

نشریه شماره ۱۰۱ سال ۱۳۶۴ ه.ش. ، چاپ آخر سال ۱۳۸۹ ه.ش.

۵-۱۷-۳. آیین‌نامه‌های طرح روسازی

از آیین‌نامه‌های روسازی راه که توسط مشاورین خارجی، یا مشارکت ایرانی- خارجی در پروژه‌های راه‌سازی استفاده شده، سابقه و نشانه‌ای وجود ندارد اما آیین‌نامه‌ها و استانداردهای معتبری را که همواره مرجع و مأخذ اصلی وزارت راه و ترابری و یا مهندسان مشاور ایرانی در طرح سازه روسازی و محاسبه ضخامت لایه‌ها و یا روکش‌های تقویتی آسفالتی پروژه‌ها بوده‌اند، به شرح زیر می‌توان نام برد:

استفاده از این آیین‌نامه‌ها در طرح سازه روسازی، معمولاً نتایج متفاوتی را از نظر ضخامت کل روسازی نشان می‌دهد، ضمن آن که ضخامت لایه‌های آسفالتی محاسبه شده بر اساس معیارهای انستیتو آسفالت، همواره بیشتر از سایر آیین‌نامه‌ها است.

۱. نشریه MS-1 انستیتو آسفالت

از چاپ سال‌های ۱۹۶۴ م. الی ۱۹۹۱ م. موضوع طرح روسازی آسفالتی راه‌ها و خیابان‌ها

۲. نشریه MS-17 انستیتو آسفالت

از نخستین چاپ سال ۱۹۶۹ م. تا آخرین چاپ سال ۱۹۹۶ م. موضوع روکش آسفالتی و بهسازی

۳. آیین‌نامه‌های موقت روسازی آسفالت AASHTO

چاپ دوره ای، از سال ۱۹۶۱ م. تا قبل از ۱۹۸۶ م. ، در یک جلد و آیین‌نامه نهایی، چاپ سال ۱۹۸۶ م. تا ۱۹۹۳ م. برای راه‌های جدید و روکش‌های تقویتی طی دو جلد که جلد اول آن مربوط به عوامل و عناصر طرح و جلد دوم، تفسیر فصل‌ها و بخش‌های جلد اول را در بر می‌گیرد.

۴. نشریات شماره ۲۹ و ۳۱ آزمایشگاه تحقیقات راه

استاندارد .B.S برای راه‌های جدید، چاپ دوره ای ۱۹۶۰ م. تاکنون

۵. آیین‌نامه کالیفرنیا

آیین‌نامه کالیفرنیا با روش ضریب ترافیک که آخرین آن مربوط به چاپ ۱۹۹۵ م. بوده و مورد استفاده قرار گرفته است.

۵-۱۸. معیارهای طرح روسازی

معیارهای طرح روسازی در این آیین‌نامه به شرح زیر طبقه‌بندی شده‌اند:

۵-۱۸-۱. معیارهای اجباری

معیارهایی است که برای تأمین هدف‌های اصلی طراحی از اولویت خاص برخوردارند و نباید از آن‌ها عدول کرد. این معیارها مانند این بند با حروف درشت‌تر از معمول در متن چاپ شده و در آن‌ها معمولاً از واژه «باید»، «نباید»، «بایستی» یا «نبایستی» استفاده شده است.

۵-۱۸-۲. معیارهای توصیه شده

معیارهایی است که مانند این بند با حروف معمولی چاپ شده و در آن‌ها معمولاً از واژه «بهتر است» و یا «می‌توان» استفاده شده است. برای عدول از این معیارها تأیید مرجع تصویب‌کننده طرح لازم می‌باشد.

۵-۱۹. اختصارها

اختصارهای مربوط به مراجع استاندارد که در این آیین‌نامه به آن اشاره شده است، به شـرح زیر می‌باشد:

AASHTO

انجمن آمریکایی مسئولین ادارات راه و ترابری ایالتی

American Association of State Highway and Transportation Officials

ACI

انستیتو بتن آمریکا

American Concrete Institute

ASTM

جامعه آمریکایی آزمایش‌ها و مصالح

American Society of Testing and Materials

انستیتوی آسفالت آمریکا

Asphalt Institute

BCEOM

دفتر مرکز مطالعات برای تجهیزات عمرانی برون مرزی

Le Bureau Central d'Etudes Pour Les Equipments d'Outre Mer

BSI

انستیتو استاندارد بریتانیا

British Standard Institute

CBR

نسبت باربری کالیفرنیا

California Bearing Ratio

DIN

Deutsches Institute für Normung
ISSA

انجمن بین المللی رویه‌های اسلاری سیل (دوغاب قیری)

International Slurry Surfacing Association

NCSA

انجمن آمریکایی مصالح سنگی شکسته

National Crushed Stone Association

PCA

انجمن سیمان پرتلند

Portland Cement Association
SHRP

برنامه تحقیقات استراتژیک راه‌ها

Strategic Highway Research Program

خلاصه

لفظ آسفالت گرم، معمولاً به آن دسته از آسفالت‌ها اطلاق می‌گردد که در آن‌ها قیر و مصالح سنگی در گرما مخلوط شده و همان‌طور گرماگرم نیز پخش می‌شوند. آسفالت گرم انواع

مختلف داشته و اختلاف آن‌ها در نوع قیر، درصد فضای خالی و دانه‌بندی مصالح سنگی می‌باشد.

آسفالت سرد را بر حسب روش تهیه و اجرا می‌توان به دو نوع آسفالت سرد کارخانه‌ای و آسفالت سرد مخلوط در محل تقسیم کرد.

آسفالت‌های حفاظتی نوعی از رویه‌سازی آسفالتی است که در سطح راه‌های شنی و یا آسفالتی اجرا می‌شود. ضخامت این آسفالت کمتر از ۲۵ میلیمتر است و لذا جزو لایه باربر روسازی راه محسوب نمی‌شود و عملکرد سازه‌ای ندارد.

آسفالت ماکادم نفوذی نوعی از روسازی راه است که از مصالح سنگی شکسته درشت‌دانه با دانه‌بندی یکنواخت و یا باز تشکیل شده و به وسیله غلتک کوبیده و در هم قفل و بست گردیده و سپس فضای خالی بین آن‌ها ابتدا با قیر تحت فشار و بلافاصله با مصالح سنگی متوسط پر شده باشد.

استفاده از مقررات، معیارها و ضوابط فنی در طرح و اجرای روسازی راه در ایران، از برنامه اول راه‌سازی کشور و از سال‌های میانی دهه ۴۰-۱۳۳۰ ه.ش. آغاز شده است که طراحی و نظارت بر اجرای پروژه‌های راه‌سازی برای نخستین بار به مشاورین خارجی واگذار گردید و از مراجع استاندارد داخلی و خارجی نظیر AASHTO، ACI، ASTM، DIN و ... استفاده شده است.

آزمون

۱. آسفالت گرم را تعریف نمایید؟

۲. موارد کاربرد آسفالت ماستیک کدامند؟

۳. موارد استفاده آسفالت رویه (توپکا) را بیان کنید؟

۴. انواع آسفالت سرد را نام ببرید؟

۵. آسفالت حفاظتی را تعریف نموده و انواع آن را نام ببرید؟

۶. انواع اندودهای آب‌بند را نام ببرید؟

۷. آسفالت متخلخل را تعریف نمایید؟

۸. موارد کاربرد آسفالت ماکادام نفوذی را توضیح دهید؟

۹. انواع آسفالت ماکادام نفوذی را نام ببرید؟

۱۰. برخی از آیین‌نامه‌های روسازی در ایران را نام ببرید؟

۱۱. تعدادی از انجمن‌های بین‌المللی در ارتباط با راه‌سازی کدامند؟

فصل ششم

آزمایش‌های قیر، مصـــالح سنگی و آسفالت

اهداف

هدف ازمطالعه این فصل، آشنایی با مطالب زیر می باشد:

۱. آزمایش‌های قیر

۲. خاصیت انگمی قیر

۳. آزمایش‌های مصالح سنگی و دانه‌بندی مصالح سنگی

۴. انواع آزمایش‌های آسفالت

۵. روش مارشال و روش‌های تعیین مقاومت بستر روسازی راه

۶. آزمایش سی‌بی‌آر (CBR)

۶-۱. آزمایش‌های قیر

۶-۱-۱. تعیین وزن مخصوص قیر

وزن مخصوص قیر (بعضی از نویسندگان آن را چگالی نیز می‌نامند) عبارت است از نسبت وزن حجم معینی از قیر به وزن آب هم حجم آن در درجه حرارت معین.

دانستن وزن مخصوص قیر از دو جهت حائز اهمیت است:

اول اینکه دانستن رابطه بین وزن و حجم ضروری است و چنان که می‌دانیم در مشخصات هرجا که صحبت از مقدار قیر در آسفالت به میان می‌آید، آن را به صورت درصد وزنی بیان می‌کنند، در صورتی که قیر عملاً به صورت حجمی اندازه‌گیری می‌شود، و از طرفی چون قیر را معمولاً گرم می‌کنند لذا دانستن ضریب انبساط حرارتی قیر نیز ضروری است تا بتوان وزن مخصوص آن را در هر درجه حرارتی محاسبه نمود.

دوم اینکه وزن مخصوص وسیله مناسبی جهت مشخص نمودن منبع قیرها می‌باشد. وزن مخصوص قیرهای نفت حدود ۱/۰ و وزن مخصوص قیرهای قطران با توجه به طرز تهیه آن‌ها از ۱/۱۰ تا ۱/۲۵ متغیر است. از طرف دیگر وزن مخصوص قیر قطران به ویسکوزیته آن بستگی دارد. به عبارت دیگر هر قدر «درجه حرارت ویسکوزی» قیر قطران یک منبع بالاتر باشد، وزن مخصوص آن نیز بیشتر خواهد بود (محمد سرائی‌پور، ۱۳۷۷، صص۹۵ و ۹۶).

۶-۱-۲. سنجش خواص روانی قیر (محمد سرائی‌پور، ۱۳۷۷، صفحه ۹۷ و ۹۸)

ویسکوزیته قیر کمیتی است که خواص روانی آن را مشخص می‌کند و چنان که می‌دانیم ویسکوزیته قیر در عملکرد آسفالتی که به کمک آن تهیه می‌شود نیز مؤثر است. به همین دلیل ویسکوزیته مهم‌ترین خاصیت قیر محسوب می‌شود.

۶-۱-۳. آزمایش قابلیت نفوذ (محمد سرائی‌پور، ۱۳۷۷، ص ۹۹)

بر حسب تعریف قابلیت نفوذ قیر عبارتست از طول مسافتی (بر حسب دهم میلیمتر) که یک سوزن استاندارد تحت اثر باری معادل ۱۰۰/۰ گرم در مدت ۵ ثانیه در قیر ۲۵ درجه سانتیگراد نفوذ می‌نماید. در شرایط خاص می‌توان میزان بار، زمان بارگذاری و درجه حرارت را تغییر داد.

۶-۱-۴. ویسکومتر سیبولت- فورل

ویسکومتر سیبولت فورل برای تعیین ویسکوزیته قیرهای مخلوط به کار می‌رود و از نظر کلی این ویسکومتر مشابه ویسکومتر اس‌تی‌وی۱ بوده و نوع اصلاح شده ویسکومتر رد وود۲ تلقی می‌شود. و چون قطر سوراخ ویسکومتر سیبولت فورل کوچکتر از قطر ویسکومتر

[1]. STV
[2]. Redwood

اس‌تی‌وی می‌باشد در نتیجه درجه حرارت آزمایش در این ویسکومتر بالاتر می‌باشد (محمد سرائی‌پور، ۱۳۷۷، ص ۱۰۰)

.

۶-۱-۵. استاندارد تار ویسکومتر[1]

این ویسکومتر که اصطلاحاً آن را ویسکومتر اس‌تی‌وی می‌نامند برای اندازه‌گیری ویسکوزیته قیرهای مخلوط و نیز قیرهای قطران به کار می‌رود. این ویسکومتر مشابه ویسکومتر رد وود بوده که در آن حجم معینی قیر از درون سوراخی با قطر مشخص در درجه حرارت معلوم عبور می‌نماید و زمان عبور (بر حسب ثانیه) آن را به عنوان ویسکوزیته قیر مورد آزمایش گزارش می‌کنند (محمد سرائی‌پور، ۱۳۷۷، ص ۱۰۲).

۶-۱-۶. ویسکومتر رد وود[2]

از ویسکومتر رد وود به خاطر کوچک بودن قطر سوراخ دستگاه در اندازه‌گیری ویسکوزیته قیرهای خالص و حتی قیرهای مخلوط استفاده نمی شود زیرا زمان عبور قیر بسیار طولانی خواهد شد مگر اینکه درجه حرارت را افزایش دهند.

از این ویسکومتر در اندازه‌گیری ویسکوزیته حلال‌هایی نظیر کروزین، گازوئیل و گازولین که در تهیه قیرهای مخلوط به کار می‌روند، استفاده می‌شود (محمد سرائی‌پور، ۱۳۷۷، ص۱۰۴).

---

[1]. Standard Tar Viscometer
[2] Redwood Viscometer

۶-۱-۷. آزمایش تعیین نقطه نرمی[1]

بر حسب تعریف، نقطه نرمی قیر به روش ساچمه- حلقه عبارت است از درجه حرارتی که در آن قیر موجود در حلقه نرم شده و اجازه می‌دهد که ساچمه موجود در سطح قیر از درون حلقه عبور نماید (محمد سرائی‌پور، ۱۳۷۷، ص۱۰۵).

۶-۱-۸. آزمایش تعیین خاصیت انگمی

خاصیت انگمی بر حسب سانتی‌متر بیان شده و آن به طول حاصله از یک نمونه قیر، به شکل استاندارد که به تدریج کشیده و طویل شده تا به نقطه انقطاع برسد اطلاق می‌شود. طول نمونه قیر درست قبل از پاره شدن (بر حسب سانتیمتر) به خاصیت انگمی قیر[2] معروف است (محمد سرائی‌پور، ۱۳۷۷، ص۱۰۷).

۶-۱-۹. تقطیر قیر و اجزای متشکله آن

به کمک تقطیر قیرهای مخلوط می‌توان اجزای متشکله به‌خصوص نوع حلال و نوع قیر مورد استفاده در تهیه آن‌ها را تعیین نمود (محمد سرائی‌پور، ۱۳۷۷، ص۱۰۹).

---

[1] Softening Point
[2] Ductility of Bitumen

۶-۱-۱۰. آزمایش تعیین افت وزن در مقابل حرارت

آزمایش افت حرارتی در واقع یک نوع تقطیر قیر محسوب می‌شود و نتیجه این آزمایش معیاری است، که فراریت نسبی حلال‌های قیر را در ۱۶۳ درجه سانتیگراد (درجه حرارت اختلاط قیر و مصالح سنگی برای تهیه آسفالت) نشان می‌دهد و بر حسب تعریف، افت حرارتی قیرها عبارت است از درصد افت وزنی نمونه قیر که به مدت ۵ ساعت در حرارت ۱۶۳ درجه سانتیگراد (در دستگاه مجهز به تهویه) قرار گیرد (محمد سرائی‌پور، ۱۳۷۷، ص۱۱۰).

۶-۱-۱۱. شکنندگی در قیرهای راه‌سازی

قیر و آسفالت تحت تأثیر سرماهای شدید، ترک خورده و به تدریج از بین می‌روند. در مورد آسفالت نه تنها شکنندگی قیر مورد استعمال بلکه دانه‌بندی و نحوه کوبیدن قشر آسفالت نیز در ترک خوردن آن مؤثر است (محمد سرائی‌پور، ۱۳۷۷، ص۱۱۱).

۶-۱-۱۲. آزمایش تعیین مقدار آب

گاهی برای اطلاع از آلودگی قیرهای خالص و نیز به منظور جلوگیری از کف کردن قیر مذاب درون مخازن، دانستن درصد مقدار آب قیر اهمیت زیادی دارد برای تعیین مقدار آب قیر از روش تقطیر Dean and Stark استفاده می‌شود (محمد سرائی‌پور، ۱۳۷۷، ص ۱۱۲).

۶-۱-۱۳. تعیین مقدار خاکستر

درصد مقدار خاکستر در قیرهای نفت خیلی جزئی (گاهی صفر) ولی در قیرهای طبیعی زیاد می‌باشد. منظور از خاکستر در این آزمایش مواد معدنی موجود در قیرها هستند که بعد از تکلیس در کوره مشخص و اندازه‌گیری می‌شوند (محمد سرائی‌پور، ۱۳۷۷، ص ۱۱۳).

۶-۱-۱۴. تعیین حلالیت قیرها

به کمک حلالیت قیر در حلال‌های مختلف می‌توان مقدار درصد قیر خالص نمونه مورد آزمایش را به دست آورد. از آنجایی که حلالیت قیرها در سولفور کربن و تترا کلرور کربن تقریباً به یک اندازه می‌باشد و چون تترا کلرور کربن آتشگیر نمی باشد، لذا برای جلوگیری از پیشامدهای احتمالی معمولاً از تتراکلرور کربن در آزمایش تعیین حلالیت قیرها استفاده می‌شود (محمد سرائی‌پور، ۱۳۷۷، ص ۱۱۴).

۶-۱-۱۵. آزمایش تعیین نقطه اشتعال و سوختن

از آنجایی که قیرهای خالص و قیرهای قطران و بخصوص قیرهای مخلوط مواد آتشگیر می‌باشند، کارکردن با آن‌ها در درجات حرارت بالا خالی از خطر نبوده و احتمال آتش‌گیری وجود دارد، این آزمایش انجام می‌پذیرد (محمد سرائی‌پور، ۱۳۷۷، ص۱۱۴).

۶-۱-۱۶. آزمایش غوطه‌وری استاتیک

در این روش مصالحی را که قبلاً با قیر مخلوط شده است در آب غوطـه ور نمـوده و بعـد از مدتی درصد سطح عریان شده را تخمین می‌زنند (محمد سرائی‌پور، ۱۳۷۷، ص۶۲).

۶-۱-۱۷. استانداردهای قیرهای راه‌سازی

جدول شماره ۶-۱: شماره‌ها و عناوین استانداردهای قیرهای راه‌سازی

ردیف	مشخصات- آزمایش	عنوان	ATSM	AASHTO
۱	مشخصات	قیرهای خالص رده‌بندی شده با درجه نفوذ	D946	M20
۲	"	قیرهای محلول زودگیر	D2028	M81
۳	"	قیرهای محلول کندگیر	D2027	M82
۴	"	قیرهای محلول دیرگیر	D2026	
۵	"	قیرآبه‌های آنیونیک	D977	M140
۶	"	قیرآبه‌های کاتیونیک	D2397	M208
۷	"	قیرهای خالص رده‌بندی شده با آزمایش کندروانی	D3381	M226
۸	"	قیرهای نفتی اکسید شده[1] برای پوشش کانال‌ها، آبروهـا و استخر	D2521	M239
۹	"	راهنمای انتخاب قیرآبه‌ها	D3628	R5-89
۱۰	"	راهنمای انتخاب قیرهای محلول	D2399	
۱۱	"	مشخصات قیرهای طبیعی تری‌تیداد	D5710	

[1] Oxidized Petroleum Asphalt

ردیف	مشخصات- آزمایش	عنوان	ATSM	AASHTO
۱۲	"	قیرهای خالص اصلاح شده با پلیمرهای نوع I برای مصرف در عملیات آسفالتی	D5976	
۱۳	"	قیرهای خالص اصلاح شده با پلیمرهای نوع II برای مصرف در عملیات آسفالتی	D5840	
۱۴	"	قیرهای خالص اصلاح شده با پلیمرهای نوع III برای مصرف در عملیات آسفالتی	D5841	
۱۵	"	قیرهای خالص اصلاح شده با پلیمرهای نوع IV برای مصرف در عملیات آسفالتی	D5892	
۱۶	"	قیرهای اصلاح شده با پودر لاستیک همراه با افزودنی‌های دیگر برای مصرف در عملیات آسفالتی	D6114	
۱۷	"	قیرهای اصلاح شده با مواد شیمیایی برای مصرف در عملیات آسفالتی	D6154	
۱۸	آزمایش	نمونه‌گیری از مواد قیری	D140	T40
۱۹	"	قابلیت حلالیت قیرها در تری‌کلرور اتیلن	D2042	T44
۲۰	"	افت وزنی ترکیبات قیری و روغنی با حرارت	D6	T47
۲۱	"	نقطه اشتعال و سوختن با ظرف روباز کلیولند	D92	T48
۲۲	"	درجه نفوذ مواد قیری	D5	T49
۲۳	"	آزمایش شناور شدن مواد قیری[1]	D139	T50
۲۴	"	خاصیت انگمی مواد قیری	D113	T51
۲۵	"	نقطه نرمی قیر و قطران (روش حلقه و گلوله) با اتیلن گلیکول	D2398	T53
۲۶	"	مقدار آب در محصولات نفتی و مواد قیری از طریق تقطیر	D95	T55
۲۷	"	آزمایش قیرآبه‌ها	D244	T59
۲۸	"	غلظت با روش سی بولت[2]	D88	T72
۲۹	"	نقطه اشتعال قیر با روش ظرف سربسته	D93	T73
۳۰	"	تقطیر قیرهای محلول	D402	T78
۳۱	"	نقطه اشتعال قیرهای دارای نقطه اشتعال کمتر از ۹۳ سانتیگراد (۲۰۰ فارنهایت)	D1310	T79

[1]. Float Test
[2]. Saybolt

ردیف	مشخصات- آزمایش	عنوان	ATSM	AASHTO
۳۲	"	آزمایش لکه[1] مواد قیری		T102
۳۳	"	مواد معدنی (غیرآلی) یا خاکستر موجود در مواد قیری		T111
۳۴	"	تقطیر محصولات نفتی	D86	T115
۳۵	"	بازیافت قیر از مخلوط‌های آسفالتی با روش آبسون[2]	D1856	T170
۳۶	"	اثر حرارت و هوا روی مواد قیری با روش فیلم نازک قیر	D1754	T179
۳۷	"	اثر حرارت و هوا روی مواد قیری با روش فیلم نازک قیری دوار[3]	D2872	T240
۳۸	"	کندروانی کینماتیک مواد قیری	D2170	T201
۳۹	"	کندروانی با روش (واکیوم کاپیلاری)[4]	D2171	T202
۴۰	"	وزن مخصوص قیرهای نیمه سخت (قیرهای خالص)	D70	T228
۴۱	"	تشخیص قیرآبه‌های کندشکن کاتیونیک	D5545	
۴۲	"	اندازه‌گیری قیر پخش شده با قیرپاش	D2995	
۴۳	"	بازیافت الاستیک مواد قیری با استفاده از خاصیت انگمی	D6084	
۴۴	"	نقطه اشتعال قیرهای محلول	D3143	
۴۵	"	تعیین موا غیرقابل حل (آسفالتین‌ها) با حلال هپتان نرمال	D3297	
۴۶	"	تعیین کندروانی مواد قیری در بازیافت گرم مخلوط‌های آسفالتی	D4887	
۴۷	"	جداکردن مواد چهاگانه قیر	D4124	
۴۸	"	قابلیت حلالیت قیرهای اصلاح شده با پلیمر تری‌کلرور اتان ۱-۱-۱[5]	D5546	
۴۹	"	تعیین وزن واحد حجم قیرهای محلول با روش هیدرومتری	D3142	
۵۰	"	کندروانی قیر با غلظت سنج صفحه‌ای - مخروطی[6]	D3205	

1. Spot Test
2. Abson
3. Rolling Thin Film of Asphalt
4. Vacum Capillary Viscometer
5. 1,1,1- Trichloro Ethane
6. Cone and Plate Viscometer

(نشریه ۱۰۱، ۱۳۸۹، صص۶۹۲ الی ۶۹۵)

۶-۲. آزمایش‌های مصالح سنگی

۶-۲-۱. آزمایش دانه‌بندی

بر حسب تعریف، آزمایش دانه‌بندی مصالح سنگی عبارت از تعیین درصد وزنی دانه‌های یک اندازه در مخلوط مورد آزمایش است و نتایج حاصله از آن به میزان وسیع در راه‌سازی مورد استفاده قرار می‌گیرد (محمد سرائی‌پور، ۱۳۷۷، ص۱۲۹).

۶-۲-۲. آزمایش تعیین ضریب تورق و ضریب تطویل

شکل دانه‌های مصالح در خواص مکانیکی مخلوط بی اندازه مؤثر بوده و بخصوص از مصرف دانه‌های متورق یا مطول در قشرهای اساس و قشرهای آسفالتی که تحت اثر بار وارده توسط چرخ‌ها خرد می‌شوند باید جداً خودداری به عمل آورد (محمد سرائی‌پور، ۱۳۷۷، ص۱۳۴).

۶-۲-۳. حدود آتربرگ[1]

[1]. Atterberg Limits

حد روانی، حد خمیری و نیز گام خمیری که حدود آتربرگ نامیده می‌شوند برای تعیین مرغوبیت مصالح راه‌سازی به کار گرفته می‌شوند. در موردی که مصالح آلوده و کثیف باشند با تعیین حدود آتربرگ می‌توان به نوع مواد ریزدانه موجود در مصالح پی برد (محمد سرائی‌پور، ۱۳۷۷، ص۱۳۷).

۱. آزمایش تعیین حد روانی[1]

این آزمایش بیشتر روی خاک‌ها انجام می‌شود ولی در مواردی که مصالح کثیف باشند، ابتدا مصالح کثیف را روی الک شماره ۲۰۰ شستشو داده و ریزدانه‌های رد شده از الک شماره ۲۰۰ را خشک و سپس بر طبق روش استاندارد مربوطه آزمایش می‌نمایند(محمد سرائی‌پور، ۱۳۷۷، ص۱۳۸).

۲. آزمایش تعیین حد خمیری[2]

حد خمیری یک خاک کمترین درصد آبی است که آن خاک را به حالت خمیری نگه می‌دارد و به عبارت دیگر حد خمیری مابین حالت خمیری و حالت نیمه جامد می‌باشد (محمد سرائی‌پور، ۱۳۷۷، صفحه ۱۴۰).

۳. تعیین گام خمیری[1]

[1]. Liquid Limit (LL)
[2]. Plastic Limit (PL)

اختلاف ریاضی بین حد روانی و حد خمیری را گام خمیری می‌گویند. چنـان کـه ملاحظـه می‌شود گام خمیری مقدار درصد رطوبتی است که خاک در آن فاصله حالـت خمیـری دارد (محمد سرائی‌پور، ۱۳۷۷، صفحه ۱۴۳).

۶-۲-۴ آزمایش تعیین افت وزن در مقابل عوامل جوی[۲]

مصالحی که در معرض عوامل جوی از قبیل باد، باران، حرارت و یخبندان قـرار دارنـد بایـد مقاومت کافی داشته باشند و چون همه مصالح به یک اندازه در مقابل عوامل جوی مقاومـت ندارند و از طرفی مصالحی که در قشر آسفالت مورد استفاده قرار می‌گیرند در معرض عوامل جوی قرار دارند، لذا انجام این آزمایش روی مصالحی که در قشر آسفالت به کـار مـی‌رونـد، ضروری است (محمد سرائی‌پور، ۱۳۷۷، صفحه ۱۴۶).

۶-۲-۵ آزمایش یخبندان[۳]

مقاومت در مقابل یخبندان مصالحی را که در معرض سرمایش شدید قرار دارند و مـی‌تـوان توسط این آزمایش مشخص نمود (محمد سرائی‌پور، ۱۳۷۷، صفحه ۱۵۰).

۶-۲-۶ آزمایش تعیین وزن مخصوص و درصد جذب آب مصالح ریزدانه

---

1. Plasticity Index (PI)
2. Soundness of Aggregate by Use of Sodium Sulfate
3. Freezing and Thawing Test

در این طریقه علاوه بر وزن مخصوص ظاهری و وزن مخصوص واقعی درصد جذب آب مصالح ریزدانه (مصالح رد شده از الک شماره ۴) تعیین می‌شود (محمد سرائی‌پور، ۱۳۷۷، صفحه ۱۵۵).

۶-۲-۷ آزمایش تعیین درصد جذب آب و وزن مخصوص مصالح درشت‌دانه

این آزمایش برای تعیین وزن مخصوص مصالح درشت‌دانه یعنی مصالحی که روی الک شماره ۴ باقی می‌مانند، به کار می‌رود(محمد سرائی‌پور، ۱۳۷۷، صفحه ۱۵۹).

۶-۲-۸ آزمایش مقاومت در مقابل خرد شدن[1]

ضریب خردشدن درواقع معیاری از استحکام مصالح سنگی به شمار می رود (محمد سرائی‌پور، ۱۳۷۷، صفحه ۱۶۱).

۶-۲-۹ آزمایش مقاومت در مقابل ضربه[2]

ضریب مقاومت در مقابل ضربه یک سنگ از نظر عددی تقریباً معادل ضریب خرد شدن همان سنگ می‌باشد. مصالحی که ضریب مقاومت در مقابل ضربه آن‌ها بیش از ۳۵ درصد

[1]. Aggregate Crushing Test
[2]. Aggregate Impact Test

باشد سست و کم دوام بوده، لذا کاربرد آن‌ها در آسفالت‌های حفاظتی توصیه نمی‌شود (محمد سرائی‌پور، ۱۳۷۷، صفحه ۱۶۱).

۶-۲-۱۰ آزمایش تعیین درصد ساییدگی

در این آزمایش، نمونه مصالح درشت‌دانه مورد آزمایش را در یک استوانه فلزی دوار که محتوی تعدادی گلوله فلزی است ریخته، پس از ۵۰۰ دور چرخش، افت وزن نمونه را تعیین می‌کنند. نتایج این آزمایش معیاری از استحکام مصالح مورد آزمایش به دست می‌دهد (محمد سرائی‌پور، ۱۳۷۷، صفحه ۱۶۱).

۶-۲-۱۱ تعیین وزن واحد حجم مصالح سنگی

این آزمایش به منظور تعیین وزن واحد حجم مصالح سنگی[1] که بیشتر در محاسبات مربوط به تبدیل حجم به وزن و یا وزن حجم مصالح مختلف مانند ماسه، شن شکسته و مخلوط به کار می‌رود(محمد سرائی‌پور، ۱۳۷۷، صفحه ۱۶۴).

۶-۲-۱۲. استانداردهای مصالح سنگی

جدول شماره ۶-۲: شماره‌ها و عناوین استانداردهای مصالح سنگی[2]

[1] Unit Weight of Aggregate
[2] Aggregate

ردیف	مشخصات- آزمایش	عنوان	ASTM	AASHTO
۱	مشخصات	تعاریف و اصطلاحات مصالح راه‌سازی	D8	
۲	"	طبقه بندی مصالح سنگی مصرفی در راه و پل	D448	M43
۳	"	مصالح سنگی مصرفی در آسفالت‌های سطحی	D1139	
۴	"	مصالح سنگی درشت‌دانه برای مخلوط‌های آسفالتی	D692	M283
۵	"	مصالح سنگی شکسته برای اساس ماکادامی	D693	
۶	"	مصالح سنگی ریزدانه برای مخلوط‌های آسفالتی	D1073	M29
۷	"	مصالح سنگی دانه‌بندی شده برای زیراساس و اساس راه‌های اصلی و فرودگاه‌ها	D2940	
۸	"	فیلر مصرفی در مخلوط‌های آسفالتی	D242	M17
۹	آزمایش	نمونه گیری از مصالح	D75	T2
۱۰	"	اندازه‌گیری دانه‌های ریزتر از الک شماره ۲۰۰ با روش شستن	C117	T11
۱۱	"	وزن واحد حجم و فضای خالی مصالح سنگی	C29	T19
۱۲	"	دانه‌بندی مصالح ریزدانه و درشت‌دانه	C136	T27
۱۳	"	دانه‌بندی مصالح سنگی حاصل از جدا کردن قیر از مخلوط‌های آسفالتی		T30
۱۴	"	دانه‌بندی فیلر	D546	T37
۱۵	"	وزن مخصوص و جذب آب مصالح ریزدانه	C128	T87
۱۶	"	وزن مخصوص و جذب آب مصالح درشت‌دانه	C127	T85
۱۷	"	مقاومت در مقابل سایش با آزمایش لس‌آنجلس در ۵۰۰ دور	C131	T96
۱۸	"	مقاومت در مقابل سایش با آزمایش لس‌آنجلس در ۱۰۰۰ دور	C535	
۱۹	"	استحکام در برابر آزمایش یخ زدن – ذوب شدن		T103
۲۰	"	استحکام در برابر سولفات سدیم و یا سولفات منیزیم	C88	T104
۲۱	"	سنگ‌دانه‌های سبک‌وزن	C123	T113
۲۲	"	رطوبت سطحی مصالح ریزدانه	C70	T142
۲۳	"	ارزش ماسه‌ای مصالح	D2419	T176
۲۴	"	ضریب دوام و پایداری مصالح	D3744	T210

ردیف	مشخصات- آزمایش	عنوان	ASTM	AASHTO
۲۵	"	کاهش وزن نمونه‌ها برای آزمایش آزمایشگاهی	C702	T248
۲۶	"	اندازه‌گیری رطوبت کل مصالح با روش خشک کردن	C566	T255
۲۷	"	آزمایش صیقلی شدن تسریع شده با روش انگلیسی[1]	D3319	T279
۲۸	"	تعیین ضریب شکل و بافت سنگدانه‌ها	D3398	
۲۹	"	اندازه‌گیری درصد سنگ‌دانه‌های سوزنی و پولکی	D4791	
۳۰	"	تعیین درصد شکستگی سنگ‌دانه	D5821	

(نشریه ۱۰۱، ۱۳۸۹، صفحات ۶۷۳ تا ۶۷۵)

۶-۲-۱۳ استانداردهای بتن (بخش سنگ‌دانه‌ها)

جدول شماره ۶-۳: شماره‌ها و عناوین استانداردهای بتن- بخش سنگ‌دانه‌ها

ردیف	مشخصات- آزمایش	عنوان	ASTM	AASHTO	BSI	ISO	استاندارد ایران
۱	مشخصات	سنگ‌دانه‌های ریز و درشت بتن	C33	M-58 M-6	BS882 BS1201		300 302
۲	"	سنگ‌دانه‌ها برای بتن حفاظت‌کننده در برابر تشعشع	C637		BS4619		
۳	"	سنگ‌دانه‌های سبک برای بتن سازه‌ای	C330	M195	BS3797 BS877 BS1165		
۴	آزمایش	نمونه‌برداری از سنگ‌دانه‌ها	D75	T2	BS812 Part1 BS3681		
۵	"	آزماش	C295				

[1] British Wheel

ردیف	مشخصات- آزمایش	عنوان	ASTM	AASHTO	BSI	ISO	استاندارد ایران
		سنگ‌شناسی					
۶	"	دانه‌بندی با الک	C136	T27	BS812 Part1		447
۷	"	مقدار کل رطوبت	C566	T255	BS812 Part2		
۸	"	رطوبت سطحی سنگ‌دانه‌های ریز	C70	T142			
۹	"	جرم مخصوص (وزن واحد حجم)[1]	C29	T19	BS812 Part2		
۱۰	"	چگالی و جذب آب سنگ‌دانه‌های درشت	C127	T85	BS812 Part2		611 578
۱۱	"	چگالی و جذب آب سنگ‌دانه‌های ریز	C128	T84	BS812 Part2		1086
۱۲	"	سلامت سنگ‌دانه‌ها	C88	T104			449
۱۳	"	ارزیابی مقاومت سنگ‌دانه‌های درشت در برابر یخبندان در بتن با حباب هوا	C682				578
۱۴	"	ضربه و خرد شدن[2]			BS812 Part3		669
۱۵	"	ناخالصی‌های آلی	C40	T21			
۱۶	"	اثر ناخالصی‌های آلی سنگ‌دانه‌های ریز روی مقاومت	C87	T71			

[1] Unit Weight
[2] Impact Crushing

ردیف	مشخصات- آزمایش	عنوان	ASTM	AASHTO	BSI	ISO	استاندارد ایران
		ملات					
۱۷	"	مصالح ریزتر از الک شماره ۲۰۰ (۷۵ میکرون)	C117	T11	BS812 Part3		446
۱۸	"	سنگ‌دانه‌های سبک‌وزن	C123	T113			
۱۹	"	سنگ‌دانه‌های پولکی و سوزنی			BS812 Part3		
۲۰	"	کلوخه های رسی و دانه‌های سست	C142	T112			
۲۱	"	سنگ‌دانه برای ملات بنایی	C144				299
۲۲	"	دانه‌های نرم[1]	C235				
۲۳	"	قابلیت واکنش قلیایی مخلوط‌های سیمان و سنگ‌دانه (روش منشور ملات)	C227				
۲۴	"	واکنش قلیایی سنگ‌دانه (منشورهای بتنی)	C1260				
۲۵	"	قابلیت واکنش‌زایی سنگ‌دانه (روش شیمیایی)	C289				
۲۶	"	واکنش قلیایی بالقوه سنگ‌های	C586				

[1] Soft Particles

ردیف	مشخصات- آزمایش	عنوان	ASTM	AASHTO	BSI	ISO	استاندارد ایران
		کربناتی					
۲۷	"	قابلیت تغییرات حجمی مخلوط‌های سیمان و سنگ‌دانه‌ها	C342				
۲۸	"	مقدار کل یا مقدار یون سولفات قابل حل در آب			BS1377 Part9		
۲۹	"	مقدار کلرید سنگ‌دانه		T260	BS812 Part4 BS1881 Part6		

(نشریه ۱۰۱، ۱۳۸۹، صفحات ۶۷۹ تا ۶۸۱)

۶-۳. انواع آزمایش‌های آسفالت

۶-۳-۱. روش مارشال

روش مارشال در طرح بتن آسفالتی نخستین بار توسط مهندسی به نام بروس مارشال[1] ابداع شده است و بعدها تغییرات زیادی در آن داده شد و اصلاحاتی در آن وارد گردید. هم اکنون روش مارشال در طرح بتن آسفالتی به صورت استاندارد تدوین گردیده که به طور مفصل در ASTM Designation D1559 آمده است (محمد سرائی‌پور، ۱۳۷۷، صفحه ۱۹۲).

[1]. Bruce Marshall

۶-۳-۲. وزن مخصوص آسفالت

در طرح مارشال، وزن مخصوص واقعی آسفالت[1] به کار می‌رود و برحسب تعریف وزن مخصوص واقعی آسفالت عبارت است از نسبت وزن آسفالت مورد آزمایش در هوا به حجم واقعی آن. حجم واقعی عبارت است از حجم نمونه به همان صورت که ملاحظه می‌شود شامل فضاهای خالی قابل نفوذ و غیرقابل نفوذ می‌باشد (محمد سرائی‌پور، ۱۳۷۷، صفحه ۱۹۵).

۶-۳-۳. روش‌های تعیین مقاومت بستر روسازی راه

برای تعیین ضخامت روسازی راه باید مقاومت بستر روسازی راه با یکی از روش‌های استاندارد زیر تعیین شود.

۱. روش CBR یا California Bearing Ratio
۲. روش Resistance (R) Value
۳. روش Bearing Value (Plate Bearing Test)

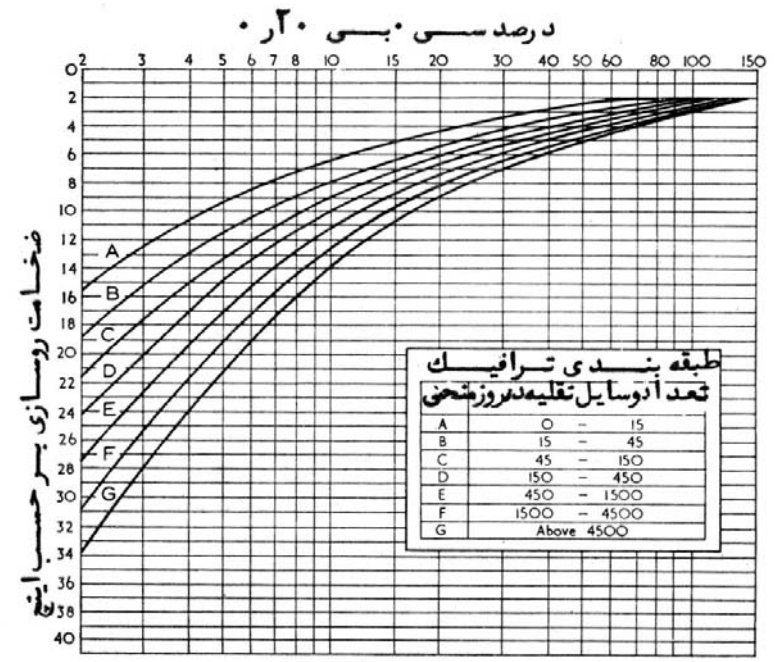
نظر به اینکه روش CBR از جمله متداول ترین روش‌ها در کشور ما است، مختصری از این روش ذیلاً آورده می‌شود:

آزمایش CBR با وجود خطاهای زیادی که در آن وارد می‌شود و تغییراتی که در آن داده شده است، بهترین روش برای طرح ساختمان راه‌ها می‌باشد. این روش، اولین بار در

[1]. Bulk Specific Gravity

سال ۱۹۳۰ توسط دپارتمان راه‌سازی ایالت کالیفرنیای آمریکا ابداع شده و هم اکنون بسیاری از ایالات آمریکا و بسیاری از کشورهای دیگر آن را پذیرفته و جنبه جهانی پیدا کرده و در سال ۱۹۶۱ به صورت استاندارد ASTM D1883 تدوین گردیده است.

آزمایش CBR در واقع یک کمیت مقایسه ای نسبت به مقاومت برشی خاک است و در هر صورت نتیجه آزمایش CBR به کمک منحنی‌های تجربی به میزان وسیع در طرح روسازی راه‌ها به کار می‌رود. (شکل ۶-۱)



شکل شماره ۶-۱: تعیین ضخامت روسازی راه با CBR

لازم به تذکر است که در نمودار شکل ۶-۱ کلیه عناصر دخیل در طرح راه یعنی ترافیک دوره طرح بار محوری آن چنان که لازمه بررسی آن‌ها است، به کار گرفته نشده است و نتایج به دست آمده از آن، جنبه تقریبی دارد. در هر حال آزمایش CBR عبارت است از

تعیین مقدار باری که باید روی یک استوانه فلزی به اندازه استاندارد وارد نمود تا این استوانه به اندازه مشخص (معمولاً از ۰/۱ تا ۰/۲ اینچ) در نمونه مورد آزمایش نفوذ نماید. رقم CBR نمونه مورد آزمایش عبارت است از مقدار بار بر حسب پوند بر اینچ مربع برای اینکه پیستون تا عمق مشخص درون نمونه خاک (با تراکم مشخص) فرو رود که معمولاً بر حسب درصد نسبت به بار لازم جهت فرو بردن همان پیستون درون یک نمونه استاندارد و به همان عمق بیان می‌شود. معمولاً CBR برای عمق‌های ۱۰ اینچ و ۰/۲ اینچ به کار می‌رود ولی در صورت تمایل می‌توان از عمق‌های ۰/۳ و ۰/۴ و ۰/۵ اینچ نیز استفاده شود (محمد سرائی‌پور، ۱۳۷۷، صفحات ۳۶۵ الی ۳۷۲).

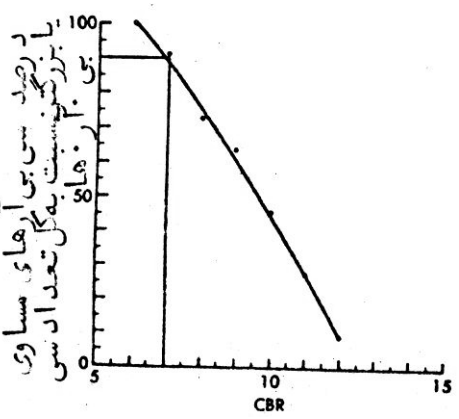
۱. نحوه تعیین CBR مسیر راه

برای تعیین CBR مسیر راه باید در هر ۵۰۰ متر یک نمونه از خاک مورد استفاده از لایه خاک‌ریز (در عمق ۱۰۰-۰ سانتیمتری سطح نهایی سابگرید) نمونه‌گیری شود، روی نمونه‌ها آزمایش CBR انجام گردد و نتایج آزمایش به صورت گزارش که به ترتیب طول‌های راه می‌باشد، منظم شود. بدیهی است که CBR طول‌های مختلف با یکدیگر متفاوت است. برای این منظور یک ارزیابی کلی باید روی نتایج به دست آمده انجام گردد و برای هر طول از راه (حدود ۱۰ کیلومتر) یک CBR مشخص که Design CBR و یا CBR طرح که در محاسبات تعیین ضخامت روسازی به کار گرفته می‌شود، تعیین کرد. به این ترتیب چنانچه جنس زمین یا به عبارت دیگر جنس مصالح مورد استفاده در لایه‌های خاک‌ریز برای طول‌های مختلف متفاوت باشد روسازی این طول‌های راه نیز متفاوت خواهد بود.

۲. نحوه محاسبه CBR طرح

پس از ارزیابی طول‌های مختلف راه از نظر میزان CBR آن‌ها و اتخاذ تصمیم برای کاربرد نتایج حاصله که در نهایت ضخامت‌های روسازی در آن طول‌ها مختلف خواهد بود باید ارقام CBR این طول‌ها به ترتیبی صعودی منظم شود و سپس درصد نسبی تعداد CBR ها برای هر مقدار CBR به شرح جدول شماره ۶-۴ مشخص می‌شود.

با استفاده از ارقام جدول شماره ۶-۴ منحنی نمایش تغییرات CBR نسبت به درصد تعداد CBRهای مساوی یا بزرگتر از کل ترسیم گردد (شکل ۶-۲).



شکل شماره ۶-۲ : تعیین عدد CBR طرح

با استفاده از منحنی فوق می‌توان عدد CBR طرح یعنی عددی که برای تعیین ضخامت روسازی مورد استفاده قرار می‌گیرد، تعیین نمود. منظور از عدد CBR طرح آن است که مساوی یا بزرگتر از ۹۰ درصد تمام CBRهای تعیین شده در یک طول مشخص راه می‌باشد که در حالت فوق نتیجه به دست آمده به شرح زیر گزارش می‌شود:

۷ = عدد CBR طرح برای قشر سابگرید

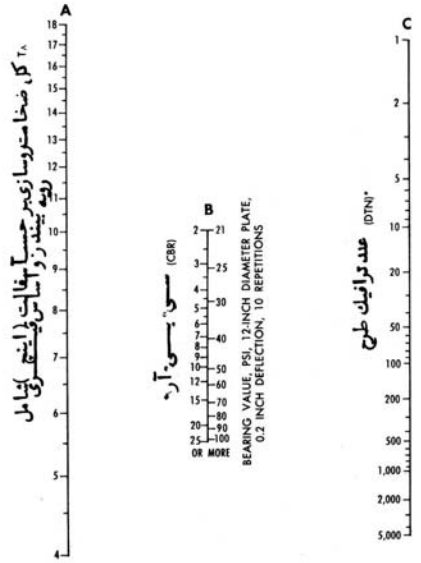
که عدد ۷ در محاسبات تعیین ضخامت روسازی به کار برده می‌شود.

جدول شماره ۶-۴: تنظیم CBRهای طول مشخصی از راه برای تعیین عدد CBR طرح

CBR	تعداد CBR های مساوی یا بزرگتر از کل آزمایش‌ها	درصد تعداد CBR های مساوی یا بزرگتر نسبت به کل CBR ها
۶	۱۱	$\frac{11}{11}\times 100 = 100$
۷	۱۰	$\frac{10}{11}\times 100 = 90.9$
۸	۸	$\frac{8}{11}\times 100 = 72.7$
۹	۷	$\frac{7}{11}\times 100 = 73.6$
۱۰	۵	$\frac{5}{11}\times 100 = 45.4$
۱۱	۳	$\frac{3}{11}\times 100 = 27.3$
۱۲	۱	$\frac{1}{11}\times 100 = 9.1$

۶-۳-۴. تعیین ضخامت روسازی راه

برای تعیین ضخامت روسازی با استفاده از دو عامل زیر و با استفاده از شکل‌های ۶-۳ ضخامت روسازی راه (از سطح نهایی سابگرید) بر حسب اینچ تعیین می‌شود.

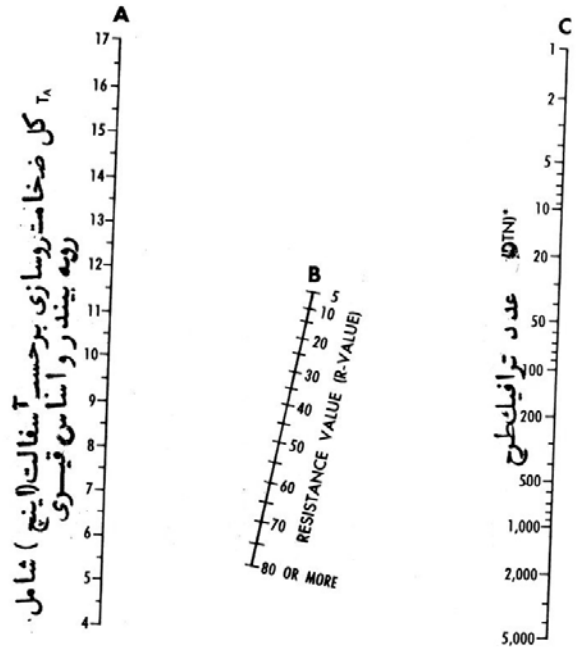


شکل شماره ۶-۳: نمودار تعیین ضخامت روسازی با استفاده از CBR

۱. عدد ترافیک طرح (DTN)

۲. عدد CBR طرح

چنان‌چه به جای آزمایش CBR آزمایش Resistance Value انجام شده است باید از نمودار شکل ۶-۴ برای تعیین ضخامت روسازی استفاده شود.



شکل شماره ۶-۴: نمودار تعیین ضخامت روسازی با استفاده از R-Value

ضخامت‌هایی که به شرح فوق به دست می‌آید عبارت است از کل ضخامت روسازی برحسب آسفالت که قابل تبدیل به قشرهای زیراساس و اساس نیز می‌باشد؛ به شرطی که حداقل ضخامت‌های آسفالت که در جدول ۶-۵ آمده است، رعایت شود.

جدول شماره ۶-۵: حداقل ضخامت قشر آسفالت بر حسب ترافیک

عدد ترافیک طرح (DTN)	حداقل ضخامت قشر آسفالت
کمتر از ۱۰	۴ اینچ یا ۱۰ سانتیمتر
۱۰۰- ۱۰	۵ اینچ یا ۱۲/۵ سانتیمتر
۱۰۰۰- ۱۰۰	۶ اینچ یا ۱۵/۰ سانتیمتر
بیشتر از ۱۰۰۰	۷ اینچ یا ۱۷/۵ سانتیمتر

باید توجه داشت که کل ضخامت آسفالت شامل قشرهای مختلف است که اصطلاحاً بیندر و توپکا و یا اساس قیری نامیده می‌شود و نباید تمام ضخامت مشخص شده را یکباره پخش نمود. علی ایحال بین ضخامت و حداکثر اندازه دانه‌های آسفالت رابطه زیر برقرار است.

(اندازه ماکزیمم دانه‌های آسفالت) × ۱/۲۵ = حداقل ضخامت قشر آسفالت

(اندازه ماکزیمم دانه‌های آسفالت) × ۳ = حداکثر ضخامت قشر آسفالت

چنانچه قشر آسفالت با ضخامت کمتر از حد نصاب مشخص شده فوق پخش شود دانه‌های آسفالت زیر اتوی فینیشر کشیده شده و قشر پخش شده فاقد مشخصات لازم خواهد بود و چنانچه قشر آسفالت با ضخامت بیشتر از حد نصاب فوق پخش شده، زیر ترافیک تدریجاً موج برداشته و خیلی زود پروفیل خود را از دست می‌دهد.

۶-۴. استانداردهای مخلوط‌های آسفالتی

جدول شماره ۶-۶: شماره و عناوین استاندارد مخلوط‌های آسفالتی

ردیف	مشخصات- آزمایش	عنوان	ATSM	AASHTO
۱	مشخصات	مشخصات کارخانه آسفالت برای تولید آسفالت گرم	D995	M156
۲	"	آهک برای مخلوط‌های آسفالتی	C1097	M303
۳	"	طرح و اجرای دوغاب قیری[1]	D3910	
۴	"	طبقه‌بندی مواد احیاکننده قیر مخلوط‌های آسفالتی در بازیافت گرم	D4552	R-14
۵	"	مشخصات مخلوط‌های آسفالت گرم	D3515	
۶	"	مشخصات مخلوط‌های آسفالت سرد	D4215	
۷	"	راهنمای طرح و اجرای آسفالت سطحی	D5360	
۸	"	طبقه‌بندی مواد امولسیونی برای بازیافت آسفالت	D5505	
۹	آزمایش	نمونه‌گیری مخلوط‌های آسفالتی	D979	T168
۱۰	"	نمونه‌گیری مخلوط‌های آسفالتی کوبیده شده برای آزمایش‌های آزمایشگاهی	D5361	
۱۱	"	اندازه‌گیری آب یا مواد فرار موجود در مخلوط‌های آسفالتی	D1461	T110
۱۲	"	آزمایش جدا کردن قیر از مخلوط‌های آسفالتی[2]	D2172	T164
۱۳	"	اثر آب روی چسبندگی مخلوط‌های آسفالتی	D1075	T165
۱۴	"	تعیین وزن مخصوص مخلوط‌های آسفالتی متراکم از طریق نمونه‌های اشباع شده با سطح خشک		T166
۱۵	"	مقاومت فشاری مخلوط‌های آسفالتی	D1074	T167
۱۶	"	بازرسی کارخانه آسفالت	D290	T172
۱۷	"	اندازه‌گیری درصد اندود شدن سنگدانه‌ها در	D2489	T195

[1]. Slurry Seal
[2] Extraction

ردیف	مشخصات- آزمایش	عنوان	ATSM	AASHTO
		مخلوط‌های آسفالتی		
۱۸	"	حداکثر وزن مخصوص نظری مخلوط آسفالتی با روش رایس[1]	D2041	T209
۱۹	"	درصد کوبیدگی مخلوط‌های آسفالتی		T230
۲۰	"	آزمایش مارشال مخلوط‌های آسفالتی با قالب‌های استوانه‌ای کوچک	D1559	T245
۲۱	"	آزمایش ویم[2] مخلوط‌های آسفالتی	D1560	T246
۲۲	"	آزمایش مارشال اصلاح شده با قالب‌های استوانه‌ای بزرگ	D5581	
۲۳	"	تهیه نمونه آزمایشگاهی مخلوط‌های آسفالتی با روش کالیفرنیا	D1561	T247
۲۴	"	تعیین درصد فضای خالی مخلوط‌های آسفالتی متراکم با دانه‌بندی پیوسته[3] و باز[4]	D3203	T269
۲۵	"	تعیین درصد قیر مصالح با روش سانتریفیوژ[5]	D5148	T270
۲۶	"	وزن مخصوص حقیقی مخلوط‌های آسفالتی متراکم با روش نمونه‌های ساخته شده با اندود پارافین	D1188	T275
۲۷	"	اثر آب روی مقاومت کششی مخلوط‌های آسفالتی با دانه‌بندی پیوسته	D4867	T283
۲۸	"	تعیین وزن مخصوص ظاهری و وزن واحد حجم مخلوط‌های آسفالتی فاقد خاصیت جذب	D2726	
۲۹	"	محاسبه درصد قیر جذب شده توسط سنگ‌دانه‌ها در مخلوط‌های آسفالتی	D4469	
۳۰	"	خواص برشی و کوبیدگی مخلوط‌های آسفالتی	D3387	

[1] Rice Method
[2] Hveem
[3] Dense Grade
[4] Open Grade
[5]. Centrifuge Keroseen Equiualent

ردیف	مشخصات- آزمایش	عنوان	ATSM	AASHTO
		با ماشین دوار[1]		
۳۱	"	روش تهیه مخلوط بتن آسفالتی برای آزمایش تعیین مدول دینامیکی	D3496	
۳۲	"	تعیین مدول دینامیکی مخلوط بتن آسفالتی با دانه‌بندی پیوسته (حداکثر اندازه سنگدانه ۲۵ میلی‌متر)	D3497	
۳۳	"	اندازه‌گیری مدول بر جهندگی مخلوط آسفالتی[2]	D4123	
۳۴	"	اندازه‌گیری نفوذپذیری مخلوط آسفالتی	D3637	
۳۵	"	بازیافت قیر در حلال با روش تبخیر چرخشی[3]	D5404	
۳۶	"	تهیه تیر آسفالتی با روش کالیفرنیا	D3202	
۳۷	"	تعیین مقدار مصالح سنگی پخش شده در سطح راه در آسفالت‌های سطحی	D5624	
۳۸	"	اثر آب روی مخلوط‌های آسفالتی نکوبیده	D3625	
۳۹	"	دستورالعمل کندروانی قیر در بازیافت گرم مخلوط‌های آسفالتی	D4887	

(نشریه ۱۰۱، ۱۳۸۹، صفحات ۶۹۶ الی ۶۹۹)

خلاصه

دانستن وزن مخصوص قیر از دو جهت حایز اهمیت است:

اول اینکه دانستن رابطه بین وزن و حجم ضروری است و چنان که می‌دانیم در مشخصات هرجا که صحبت از مقدار قیر در آسفالت به میان می‌آید، آن را به صورت درصد

[1]. Gyratory Testing Machin
[2]. Resilient Modulous
[3]. Rotary Evaporator

وزنی بیان می‌کنند، در صورتی که قیر عملاً به صورت حجمی اندازه‌گیری می‌شود، و از طرفی چون قیر را معمولاً گرم می‌کنند لذا دانستن ضریب انبساط حرارتی قیر نیز ضروری است تا بتوان وزن مخصوص آن را در هر درجه حرارتی محاسبه نمود.

دوم اینکه وزن مخصوص وسیله مناسبی جهت مشخص نمودن منبع قیرها می‌باشد.

بر حسب تعریف، آزمایش دانه‌بندی مصالح سنگی عبارت از تعیین درصد وزنی دانه‌های یک اندازه در مخلوط مورد آزمایش است و نتایج حاصله از آن به میزان وسیع در راه‌سازی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

به منظور تهیه مخلوط مناسب جهت تولید مصالح مصرفی در زیرسازی و روسازی عملیات راه‌سازی نیاز به انجام آزمایش‌های لازم می‌باشد که حتی باید در مواردی برای ساخت بستر راه‌سازی راه نیز از آن‌ها استفاده کرد.

تعدادی از آزمایش‌های قیر چون تعیین وزن مخصوص قیر، سنجش خواص روانی قیر، آزمایش تعیین نقطه نرمی، آزمایش تعیین خاصیت انگمی، آزمایش تعیین افت وزن در مقابل حرارت، آزمایش تعیین نقطه اشتعال و سوختن که به طور مختصر شرح داده شده است.

پاره‌ای از آزمایش‌های مصالح سنگی که عبارتند از آزمایش دانه‌بندی، آزمایش تعیین ضریب تورق و ضریب تطویل، آزمایش حدود آتربرگ، آزمایش افت وزن در مقابل عوامل جوی، آزمایش یخبندان، آزمایش در مقابل خرد شدن، آزمایش مقاومت در مقابل ضربه، آزمایش تعیین درصد ساییدگی که به اختصار توضیح داده شده است و همچنین تعدادی از استانداردهای مصالح سنگی مورد استفاده در راه‌سازی نیز در این فصل آورده شده است.

برخی از آزمایش‌های آسفالت چون روش مارشال، وزن مخصوص آسفالت، روش‌های تعیین مقاومت بستر روسازی راه (آزمایش CBR) و تعدادی از نمودارهای طراحی و استانداردهای مخلوط‌های آسفالتی در این فصل ارائه شده است.

برای تعیین ضخامت روسازی راه باید مقاومت بستر روسازی راه با یکی از روش‌های استاندارد زیر تعیین شود.

۱. روش CBR یا California Bearing Ratio
۲. روش Resistance (R) Value
۳. روش Bearing Value (Plate Bearing Test)

آزمون

۱. انواع آزمایش‌های قیر را نام ببرید؟
۲. اهمیت آزمایش وزن مخصوص قیر چیست؟
۳. خاصیت انگمی قیر را تعریف نمایید؟
۴. آزمایش‌های مصالح سنگی را نام ببرید.
۵. آزمایش دانه‌بندی مصالح سنگی را شرح دهید.
۶. انواع آزمایش‌های آسفالت را نام ببرید.
۷. روش مارشال را بیان کنید.
۸. روش‌های تعیین مقاومت بستر روسازی راه چیست؟
۹. آزمایش (سی‌بی‌آر) CBR را مختصراً شرح دهید.

فصل هفتم

بازیافت آسفالت

اهداف

هدف از مطالعه این فصل، آشنایی با مطالب زیر می باشد:

۱. روش‌های مختلف بازیافت آسفالت

۲. بازیافت گرم و روش‌های مختلف بازیافت گرم درجا

۳. مراحل مختلف بازیافت سطحی، به عنوان یکی از روش های بازیافت گرم درجا

۴. موارد استفاده روش بازیافت به همراه روکش

۵. انواع دستگاه‌ها و ماشین‌آلات بازیافت سرد درجا

۶. مزایا و معایب دستگاه‌های دو بخشی در بازیافت سرد درجا

۷. محدودیت‌های دمای محیط در اجرای عملیات بازیافت سرد

۸. کاربردهای بازیافت سرد کارخانه‌ای

۷-۱ کلیات

افزایش تقاضا برای حمل و نقل در دو دهه اخیر، در کنار محدودیت سرمایه و بودجه و نیاز به سیستمی برای راه‌ها که ایمن، کارآمد و اقتصادی باشد، منجر به افزایش نیاز به بهسازی رویه راه‌های موجود شده است. در کنار این مسئله، طی ۲۵ سال اخیر، رشد شگرفی در بازیافت و بهسازی آسفالت، که از لحاظ تکنیکی و محیطی روش مفیدی برای بازسازی رویه راه‌های موجود می‌باشد، رخ داده است.

بازیافت و بهسازی رویه‌های آسفالتی نه تنها تمامی اهداف مورد نظر از جمله داشتن راه‌های ایمن و کارآمد را تأمین می‌کند، کاهش چشم‌گیری نیز در تأثیرات سوء زیست محیطی و مصرف انرژی (نفت) در مقایسه با روش‌های رایج و قبلی بازسازی رویه‌ها دارد.

۷-۲. روش‌های بازیافت آسفالت

برای توصیف روش‌های گوناگون بازیافت آسفالت، ۵ روش زیر توسط انجمن مشارکت مدیران بازیافت و بهسازی آسفالت معرفی گردیده است:

- تراش سرد آسفالت (CP)
- بازیافت گرم
- بازیافت گرم درجا
- بازیافت سرد (CR)
- بازیافت عمیق و تثبیت (سید مسعود نصر آزادانی و فریدون رضایی،۱۳۸۸، صفحات ۱۲ الی۱۴)

در این ۵ روش بازیافت آسفالت، تعدادی زیر گروه هم برای توضیح هر کدام از آن‌ها، معرفی شده است:

۷-۲-۱. بازیافت گرم درجا

- بازیافت سطحی
- بازیافت به همراه افزودنی
- بازیافت به همراه روکش

۷-۲-۲. بازیافت سرد

- بازیافت سرد درجا (CIR)
- بازیافت سرد در کارگاه مرکزی

۷-۲-۳. بازیافت عمیق و تثبیت

- تراش و اختلاط
- تثبیت مکانیکی
- تثبیت با قیر
- تثبیت شیمیایی

روش‌های بازیافت آسفالت می‌توانند به صورت تلفیقی با هم در پروژه‌ها مورد استفاده قرار گیرند. به عنوان مثال در یک راه می‌توان قسمت فوقانی رویه را با روش تراش سرد آسفالت برداشته و نهایتاً تراشه آسفالت تولید شده در کارخانه تولید آسفالت را مورد

استفاده قرار داد. رویه‌ای که تراش سرد داده شده، می‌تواند با لایه‌ای از مخلوط آسفالت گرم پوشانده شود که در تولید آن از تراشه آسفالت نیز استفاده شده است. هم‌چنین می‌توان پیش از پخش مخلوط بازیافت شده روی سطحی که به روش تراش سرد آسفالت، تراش داده شده است، رویه باقی‌مانده با یکی از روش‌های بازیافت گرم درجا، بازیافت سرد درجا یا بازیافت عمیق و تثبیت (جهت حذف یا کاهش اثرات ترک‌های انعکاسی)، بازیافت شود.

۷-۳. بازیافت گرم

بازیافت گرم، پروسه‌ای است حاصل از ترکیب تراشه آسفالت با مصالح سنگی جدید، قیر جدید و افزودنی‌های بازیافتی که در یک کارخانه مرکزی، تولید می‌شود. در بازیافت گرم، از روش انتقال گرما برای نرم کردن آسفالت استفاده می‌شود تا امکان اختلاط تراشه آسفالت‌ها با مصالح سنگی دست‌نخورده و قیر و افزودنی‌های بازیافت، حاصل شود. جهت انجام بازیافت گرم کارخانه‌ای، کارخانه‌های آسفالت گسسته یا پیوسته مخصوص این کار ساخته شده‌اند. هم اکنون روش بازیافت گرم از رایج‌ترین روش‌های بازیافت در سرتاسر دنیا می‌باشد. در آمریکا هر ساله تقریباً ۵۰ میلیون تن تراشه آسفالت توسط آژانس‌های بزرگراه‌های ایالتی تولید می‌شود که به طور تقریبی ۳۴ درصد از آن بازیافت گرم، ۴۷ درصد آن در دیگر روش‌های بازیافت یا استفاده مجدد و کمتر از ۲۰ درصد آن دور انداخته می‌شود.

تهیه و تولید تراشه آسفالت برای بازیافت گرم، توسط عملیات تراش سرد و یا شخم زدن، کندن و خرد کردن رویه راه‌های موجود، انجام می‌گیرد که از بین آن‌ها روش تراش سرد آسفالت ترجیح داده می‌شود (سید مسعود نصر آزادانی و فریدون رضایی، ۱۳۸۸، صفحات ۱۷ و ۱۹).

۷-۳-۱. بازیافت گرم درجا (HIR)

با روش بازیافت گرم درجا، بازیافت رویه آسفالتی موجود ۱۰۰ درصد در محل انجام می‌شود. عمق عملیات بازیافت با این روش عموماً در دامنه ۲۰ تا ۲۵ میلیمتر بوده که در بعضی مواقع تا عمق ۷۵ میلیمتر نیز انجام می‌شود. این روش شامل گرمادهی و نرم کردن رویه آسفالتی موجود و سپس تراشیدن آن تا عمق مشخص می‌باشد. آسفالتی که شخم زده و نرم شده است به صورت درجا مخلوط و پخش می‌گردد و سپس با تجهیزات سنتی آسفالت گرم، متراکم می‌شود. در صورت نیاز، مصالح سنگی جدید، قیر جدید، افزودنی‌های بازیافت و یا آسفالت گرم جدید می‌توانند به مخلوط اضافه شوند. نسبت مصالح سنگی جدید یا آسفالت گرمی که به مخلوط اضافه می‌شود با توجه به محدودیت‌های دستگاه‌ها و تجهیزات باید حداکثر تا ۳۰ درصد وزن مخلوط بازیافتی نهایی باشد. همچنین نسبت افزودنی‌های دیگر را می‌توان از طریق آنالیز و تحلیل خصوصیات رویه آسفالتی موجود و طرح اختلاط در آزمایشگاه برای رسیدن به خصوصیات مورد نیاز در مخلوط جدید به دست آورد. بازیافت گرم درجا به سه صورت قابل انجام است که عبارتند از: بازیافت سطحی، بازیافت به همراه افزودنی و بازیافت به همراه روکش (سید مسعود نصر آزادانی و فریدون رضایی، ۱۳۸۸، صفحات ۲۰ و ۲۱).

۷-۴. طرح اختلاط روش بازیافت گرم درجا

در روش بازیافت گرم درجا مثل دو روش بازیافت سرد و بازیافت عمیق، روش استانداردی برای طرح اختلاط‌های مختلفی که توسط سازمان‌هایی که عملیات بازیافت گرم درجا جزو عملیات بهسازی آن‌ها می‌باشد، به کار گرفته می‌شوند. برخی از این روش‌های طرح اختلاط به ثبت رسیده‌اند. فلسفه این طرح اختلاط‌ها، احیای خواص روسازی آسفالتی موجود و رساندن یا حداقل نزدیک کردن آن به خواص مخلوط آسفالت گرم جدید می‌باشد. رسیدن به این هدف، زمانی میسر است که تغییرات مخلوط آسفالت گرم در طول زمان، تحت ترافیک و همچنین در طی عملیات بازیافت گرم درجا، در نظر گرفته شود. برای مثال ممکن است در هنگام پخش روکش با مخلوط آسفالتی گرم، قیر سخت شده و یا وزن مخصوص آن کاهش یابد. همچنین ممکن است در پروسه بازیافت گرم درجا، قبل از اینکه افزودنی‌های لازم اضافه شوند، قیر دچار سخت‌شدگی شود (سید مسعود نصر آزادانی و فریدون رضایی، ۱۳۸۸، صفحه ۱۱۴).

۷-۴-۱. جوان‌سازی قیر

در چارچوب پروسه طرح اختلاط بازیافت گرم درجا، تعیین مکانیسم مؤثر بر روی عملکرد مخلوط اصلی، و تلاش برای اصلاح عیوب و نواقص در مخلوط بازیافت باید صورت گیرد. یکی از راه‌حل‌های کلیدی، استفاده از جوان‌سازهای قیر روسازی موجود می‌باشد که برای آن روش‌های مختلفی به صورت زیر ارایه شده است.

- استفاده از فقط یک افزودنی جوان‌ساز در جهت جوان‌سازی و احیای خواص قیر روسازی موجود، در این روش فرض بر این است که ترکیب افزودنی جوان‌ساز با قیر موجود در آسفالت قدیمی در طول پروسه بازیافت گرم درجا، بسیار تأثیرگذار است.

- در این روش، استفاده از یک قیر جدید و نرم به استفاده از افزودنی جوان‌ساز ترجیح داده می‌شود. فرض بر این است که افزودنی جوان‌ساز به صورت کامل با قیر کهنه موجود ترکیب نمی‌شود بلکه قیر جدید و نرم با قیر اصلی به خوبی ترکیب شده و یک قیر عادی با شرایط مطلوب را حاصل می‌نماید.
- استفاده هم‌زمان از افزودنی جوان‌ساز و قیر نرم و جدید به همراه مصالح سنگی جدید به منظور جوان‌سازی قیر.
- استفاده از خواص مخلوط بازیافت از قبیل ضریب برجهندگی و پایداری به جای استفاده از خواص قیر، برای تعیین طرح نهایی مخلوط. فرض بر این است که عدم قطعیت‌ها و خطاهایی که در به دست آوردن خواص قیر در آزمایشگاه و رفتار کلی مخلوط بازیافت وجود دارد، در پدیده جوان‌سازی قیر تأثیر بسزایی داشته و دریافتن چگونگی عمل جوان‌سازی قیر موجود برای رسیدن به یک طرح اختلاط معقول، لازم است.

اگر یک ارزیابی و بررسی دقیق در قسمتی از مخلوط آسفالت گرم موجود انجام گیرد، مقطع عرضی به دست آمده می‌تواند نشانگر ذرات مصالح سنگی که با قیر پیر پوشانده شده‌اند و یا میزان خلل و فرج بین مصالح سنگی باشد. در پروسه بازیافت درجا، مخلوط گرما داده شده، گرم و شل می‌شود تا افزودنی جوان‌ساز به آن اضافه شود. افزودنی جوان‌ساز در این مرحله، سطح قیر پیر موجود را می‌پوشاند، جوان‌ساز هم‌چنین به داخل قیر نفوذ نموده و میزان این نفوذ بستگی به خواص قیر پیر موجود و خود جوان‌ساز دارد.

اگر افزودنی جوان‌ساز بلافاصله در قیر نفوذ ننموده و با قیر کهنه ترکیب نشود، تشکیل یک سطح لغزنده را داده و سبب ناپایداری مخلوط بازیافت می‌شود. وقتی این پدیده در زمان اجرای بازیافت گرم درجا اتفاق بیفتد، سبب می‌شود که مخلوط بازیافت یک مخلوط

با درصد قیر بیش از حد یا با درصد جوان‌ساز بسیار زیاد، به نظر برسد. این مسئله نتیجه این فرض است که قیر کهنه و جوان‌ساز با هم سازگار نبوده و در طی زمان عملیات بازیافت گرم درجا، به طور کامل با هم مخلوط نمی‌شوند.

اگر شرایط مساعد بوده و افزودنی جوان‌ساز با قیر پیر کاملاً سازگار باشند، آن گاه جوان‌ساز در قیر پخش شده و تولید یک ساختار جدید می‌نماید که مانند یک ماده نرم‌تر عمل می‌کند. مخلوط بازیافت نتیجه شده همانند مخلوط آسفالت گرم جدید به نظر می‌رسیده و عملکرد آن‌ها مشابه خواهد بود(سید مسعود نصر آزادانی و فریدون رضایی، ۱۳۸۸، صفحات ۱۱۶ الی ۱۱۸).

۷-۴-۲. پروسه طرح اختلاط

مراحل پروسه طرح اختلاط برای مدت زیادی در سازمان‌های مختلف ثابت باقی مانده است. البته در این اواخر با برنامه تحقیقاتی استراتژیک راه‌ها و توسعه سیستم روسازی ممتاز، توسعه و پیشرفت‌هایی در طرح اختلاط بازیافت گرم درجا روی داده است. تمامی این طرح اختلاط‌ها، چه برای روسازی سنتی و چه روسازی ممتاز، شامل مراحل زیر می‌باشد:

- ارزیابی و بررسی مخلوط آسفالت گرم موجود که شامل قیر، مصالح سنگی و خواص مخلوط می‌شود.
- تشخیص نیاز یا عدم نیاز قیر موجود به جوان‌سازی
- انتخاب نوع و میزان افزودنی‌های جوان‌ساز
- تعیین مقدار لازم افزودنی‌ها که شامل دانه‌بندی مصالح سنگی، نوع و میزان قیر جدید و نرم می‌باشد.

- تهیه و آزمایش قیر و نمونه‌های گرفته شده از مخلوط در آزمایشگاه
- بررسی نتایج آزمایشات و تعیین ترکیب بهینه افزودنی‌ها و سایر اجزای بازیافتی

بدون توجه به روش طرح اختلاط به کار گرفته شده، در هر صورت در نمونه‌گیری و آزمایش‌ها باید از روش‌های استانداردی مثل AASHTO و ASTM استفاده نمود(سید مسعود نصر آزادانی و فریدون رضایی، ۱۳۸۸، صفحه ۱۲۰).

۷-۵. اجرای بازیافت گرم درجا

۷-۵-۱. بازیافت سطحی

عملیات بازیافت سطحی که از اواسط دهه ۱۹۶۰ م. مورد استفاده قرار گرفته، به نام‌های دیگری مثل (گرم کردن- شخم زدن)، بهسازی و اصلاح[1]، بازسازی رویه[2] و تراش گرم[3] هم شناخته می‌شود. در مقایسه با روش‌های دیگر بازیافت گرم درجا، عملیات بازیافت سطحی یک روش اصولی با کمترین پیچیدگی تکنولوژیکی می‌باشد. این عملیات در درجه اول شامل مراحل زیر می‌باشد:

۱. گرما دادن و خشک کردن لایه‌های فوقانی روسازی موجود
۲. شخم زدن و شکاف دادن روسازی حرارت داده و نرم شده
۳. استفاده از افزودنی‌های بازیافت در صورت نیاز
۴. اختلاط، مخلوط بازیافت سست و غیرمتراکم

[1]. Reforming
[2]. Resurfacing
[3]. Heater-Planning

۵. ریختن و پخش کردن مخلوط با اتوی فینیشر

۶. متراکم کردن مخلوط بازیافت با استفاده از روش غلتک‌های سنتی مخلوط آسفالتی گرم

در طول عملیات بازیافت سطحی، از مصالح سنگی جدید و یا مخلوط آسفالت گرم جدید استفاده نشده و عملیات اصلاح روسازی موجود تنها به پدیده جوان‌سازی قیر کهنه محدود می‌شود. نرخ تولید در عملیات بازیافت سطحی بستگی به موارد زیر دارد:

- درجه حرارت محیط و شرایط باد در محیط
- خصوصیات و مشخصات روسازی که تحت عملیات قرار می‌گیرد.
- درصد رطوبت روسازی موجود
- تعداد تجهیزات و ماشین‌آلات

نرخ تولید سطحی می‌تواند حداقل ۱/۵ و حداکثر ۱۵ متر در هر دقیقه باشد(سید مسعود نصر آزادانی و فریدون رضایی، ۱۳۸۸، صفحات ۱۴۳ الی ۱۵۳).

۱. گرما دادن و خشک کردن لایه‌های فوقانی روسازی موجود

حرارت دادن، خشک و نرم کردن روسازی موجود به وسیله یک یا تعدادی واحد حرارت‌دهنده انجام می‌شود. در ابتدا برای حرارت دادن به روسازی موجود از واحدهای پیش‌گرم‌کننده با شعله مستقیم استفاده می‌شد ولی امروزه این روش با تابش غیرمستقیم و یا حرارت دادن با استفاده از اشعه مادون قرمز، جایگزین شده است. استفاده از تابش غیرمستقیم یا استفاده از اشعه مادون قرمز به منظور کاهش متصاعد شدن گازهای نامطلوب و خسارت و خرابی روسازی، انجام می‌گیرد. سوخت اکثر این گرم‌کننده‌ها، گاز پروپان یا گازهای مشابه بوده و هم‌چنین سوخت گرم‌کننده‌هایی که در هوای گرم و از اشعه مادون

قرمز برای گرما دادان استفاده می‌کنند، سوخت دیزلی مـی‌باشـد. سـه عامـل مختلـف روی انتقال گرما به روسازی اثرگذارند که عبارتند از:

۱. بیشترین دمای منبع حرارتی
۲. دمای خود روسازی و شرایط محیطی
۳. مدت زمانی که سطح روسازی در معرض حرارت قرار داده می‌شود

برای اینکه در طول حرارت‌دهی روسازی، خسارتی به قیر موجود وارد نشود باید از درجه حرارت کمتر و از مدت زمان حرارت‌دهی طولانی‌تر استفاده نمود. از آن‌جا که برای رسـیدن به این هدف، نیاز به کاهش سرعت حرکت دستگاه‌های حرارت‌دهنده روی روسازی می‌باشد، ممکن است افزایش تعداد حرارت‌دهنده‌ها ضرورت یابد. کاهش نرخ و سرعت حـرارت‌دهـی، باعث کاهش میزان تولید و بهره‌وری شده و به تبع هزینه‌های را افزایش می‌دهد. به همـین علت در بعضی پروژه‌ها، پیمانکاران برای بهینه کردن میـزان تولیـد، از پـیش‌گـرم‌کننـده‌هـا استفاده می‌کنند.

تعداد واحدهای پیش‌گرم‌کننده نسبت به طول ناحیه‌ای کـه هـر واحـد گرمـا مـی‌دهـد، اهمیت چندانی ندارد. به عنوان مثال دو دستگاه پیش‌گرم‌کننده با قابلیت گرمادهی ۸ متـر، زمان گرمادهی طولانی‌تری نسبت به ۳ دستگاه پیش گرم‌کننده با قابلیت گرمـادهی ۵ متـر دارند. دستگاه‌های پیش‌گرم‌کننده باید قابلیت حرارت‌دهی به ناحیه مورد نظر را بـه صـورت یک‌پارچه و بدون به وجود آورن لکه‌های حرارتی یا سوزاندن روسازی موجود، داشته باشند.

۲. شخم زدن و شکاف دادن روسازی حرارت داده و نرم شده

درجه حرارت مواد شخم زده و کنده شده، پس از مخلوط شدن، باید حداقل $110^{o}C$ و حداکثر $150^{o}C$ باشد. در پشت دستگاه‌های پیش‌گرم‌کننده، بلافاصله واحدهای حرارت‌دهنده و دستگاه شخم‌زن آسفالت (جمع کننده آسفالت) قرار دارد.

به وسیله این دستگاه‌ها، روسازی موجود حرارت‌دهی نهایی شده و شخم زده می‌شود. این دستگاه‌ها روسازی حرارت داده و نرم شده را به وسیله یک یا دو ردیف شن‌کش و چنگک‌های شخم‌زنی، شخم می‌زنند.

در برخی شخم‌زن‌های آسفالت، چنگک‌های شخم‌زنی با فشار هوا یا به صورت هیدرولیکی کار می‌کنند تا شکست و ترک‌خوردگی‌های لایه‌های زیرین روسازی را که سرد هستند به حداقل برسانند. همچنین برخی از آن‌ها این توانایی را دارند که از روی مانع‌هایی مثل درپوش دریچه‌های تأسیساتی و یا سازه‌های بتنی بلند شده، عبور نمایند. عمق عملیات شخم‌زنی در بازیافت سطحی معمولاً بین ۲۰ تا ۴۰ میلی‌متر بوده و متداول‌ترین عمق آن ۲۵ میلی‌متر می‌باشد. برای تضمین یک‌پارچه بودن سطح نهایی پس از شخم زدن، می‌بایست در آخر کار دندانه‌های شخم‌زن آسفالت در حالت تراز با روسازی قرار گیرند. توجه به این مسئله ضروری است که به علت وجود سختی‌ها و عمق‌های متفاوت نفوذ گرما در نواحی و بخش‌های مختلف روسازی، عمق عملیات شخم‌زنی ممکن است در برخی قسمت‌ها با هم متفاوت باشد.

عمق شخم‌زنی را می‌توان با تغییر دادن و تنظیم نیروی کشش چنگک‌های شخم‌زنی، تنظیم فشار هوا یا فشار هیدرولیکی روی آن‌ها و تغییر سرعت حرکت ماشین شخم‌زن کنترل نمود. اگر عملکرد پیش‌گرم‌کننده‌ها، گرم‌کننده‌ها و شخم‌زن آسفالت، بهینه باشد، کمترین تغییرات در عمق عملیات شخم‌زنی (معمولاً ۵ میلیمتر) نتیجه خواهد شد. در

بعضی شخم‌زن‌های آسفالت علاوه بر چنگک‌های شخم‌زنی، یک سری درام‌های تراش گرم در ابعاد کوچک هم وجود دارند که با ابزار و دندانه‌های تراش قابل تعویض از جنس کاربید تنگستن مجهز شده‌اند.

ممکن است برای شخم زدن و تراشیدن تمامی عرض راه، به چندین درام احتیاج باشد که هر کدام مستقل از دیگری عمل می‌کنند. این گونه شخم‌زن‌ها نیز می‌توانند از روی موانع راه مانند دریچه‌ها و درپوش‌ها بلند شده و عبور نمایند.

۳. استفاده از افزودنی‌های بازیافت

تجربیات نشان می‌دهند که پدیده اکسید شدن و سخت‌شدگی قیر در لایه‌های بالایی روسازی نسبت به لایه‌های زیرین با سرعت بیشتری، رخ می‌دهد. در بازیافت سطحی استفاده از افزودنی‌های بازیافت و جوان‌سازها در صورت نیاز و برای رسیدن روسازی به عملکردی بهینه، مجاز می‌باشد.

افزودنی‌های بازیافت (در صورت نیاز) به روسازی آسفالتی سست اضافه شده و البته میزان آن‌ها به وسیله یک سیستم کنترل کامپیوتری که روی تجهیزات قرار دارد، کنترل می‌شود. یک سوپاپ و فنر برای کنترل ریختن افزودنی‌ها روی روسازی وجود دارد که با شروع به حرکت ماشین باز شده و با توقف آن بسته می‌شود. نرخ و میزان استفاده از افزودنی‌های بازیافت، بسته به وضعیت قیر کهنه، نوع افزودنی‌های بازیافت و ملزومات طرح اختلاط، متفاوت می‌باشد. تغییرات نرخ و میزان استفاده از این افزودنی‌ها در محدوده بین ۰ تا ۲ لیتر در هر متر مربع می‌باشد. در بعضی مواقع، افزودنی‌های بازیافت به وسیله واحد

حرارت‌دهنده و شخم‌زن آسفالت به روسازی اضافه می‌شوند در حالی که در بقیه موارد به وسیله یک واحد مجزا این افزودنی‌ها به روسازی اضافه می‌شوند.

ماشین افزودنی‌های بازیافت شامل یک تانکر می‌باشد. معمولاً افزودنی‌های بازیافتی که در این تانکر حمل می‌شوند به منظور افزایش توزیع و پخش افزودنی‌ها در مصالح نرم و شخم زده شده، تا بیشترین درجه حرارت مجازی که تولیدکننده افزودنی‌ها تعیین کرده، گرم می‌شوند. اگر افزودنی بازیافت قیر امولسیون باشد، مقداری از انرژی گرمایی مصالح شخم زده شده را برای تبخیر رطوبت و آب موجود در امولسیون جذب می‌کند. ممکن است در مواقعی که از قیر امولسیون به عنوان افزودنی بازیافت استفاده می‌شود، نیاز به افزایش دمای مواد شخم زده شده تا چندین درجه باشد. در بعضی مواقع، اتلاف آن قسمت از انرژی گرمایی که برای تبخیر رطوبت قیر امولسیون مصرف می‌شود نیز در نظر گرفته می‌شود.

۴. اختلاط

پس از اینکه افزودنی‌های بازیافت به مصالح شخم زده شده و کنده شده، اضافه شدند به خوبی با هم مخلوط می‌شوند تا یک ترکیب همگن به وجود آورند. مخلوط کردن آن‌ها به وسیله تعدادی حلزونی[1] استاندارد انجام می‌شود.

در بعضی مواقع، افزودنی‌های بازیافت قبل از شخم زدن روسازی اضافه می‌شوند و این در مواردی است که دستگاه شخم‌زن دندانه‌هایی دارد که نه تنها روسازی را شخم می‌زنند

[1]. Avger

بلکه قابلیت مخلوط کردن روسازی شخم زده شده و مواد افزودنی را نیـز دارنـد. در بعضـی موارد نادر، افزودنی‌های بازیافت به صورت اندود قیری بـدون مصـالح سـنگی روی روسـازی شخم زده شده ریخته و پخش می‌شوند و در نهایت تراکم صورت می‌پذیرد.

۵. پخش کردن مخلوط با فینیشر

عملیات بازیافت سطحی به منظور رفع ناهمواری‌ها و ترک‌ها و هم‌چنین احیای تـراز سـطح راه و مقطع عرضی آن انجام می‌شود پخش و هموار کردن مخلوط بازیافت بـه وسـیله اتـوی فینیشر صورت می‌گیرد.

با استفاده از حلزونی که در جلوی اتوی فینیشر قرار دارد، مصالح بـه نقـاط گـود و کـم عمق روسازی منتقل شده و سپس تسطیح اولیه بخش‌های بازیافتی توسـط اتـوی فینیشـر صورت می‌پذیرد. در بعضی پروژه‌ها برای پخش و تسطیح نمودن مخلوط بازیافت از فینیشـر سنتی و در برخی دیگر از پروژه‌ها از اتوی فینیشر که به واحد گرم‌کننده و دستگاه شخم‌زن آسفالت متصل است، استفاده می‌شود.

اتوی فینیشر را باید همواره به صورت دستی کنترل نموده تا اطمینان حاصل شـود کـه همواره مصالح کافی در جلوی اتوی فینیشر موجود باشد. اتوی فینیشر معمولاً مقداری گرما به روسازی داده و همچنین به منظور انجام تراکم اولیه مخلوط، به ویبره مجهز است.

۶. تراکم روسازی به وسیله غلتک‌زنی

پس از پخش مصالح به وسیله اتوی فینیشر و تسطیح و تراکم اولیه آن، تراکم به وسیله غلتک‌های سنتی صورت می‌پذیرد. از غلتک‌های چرخ لاستیکی برای غلتک‌زنی اولیه[1] و از غلتک‌های ویبره‌ای فولادی تاندم برای تراکم و غلتک‌زنی نهایی استفاده می‌شود.

از آن‌جا که مخلوط بازیافت هنوز گرم است، این گرما یک چسبندگی و پیوند حرارتی بین رویه زیرین و مخلوط را تأمین می‌نماید. تا زمانی که غلتک‌ها تراکم کافی را انجام دهند، روسازی هنوز سرد نشده است. بعد از تکمیل عملیات تراکم و سرد شدن روسازی، پروسه بازیافت سطحی اتمام یافته و راه می‌تواند مورد بهره‌برداری قرار گیرد.

۷. سایر نکات بازیافت سطحی

در راه‌هایی با حجم ترافیک پایین، مخلوط بازیافت می‌تواند به عنوان لایه سطحی باقی بماند. البته معمولاً روی آن را با یک روکش سطحی و یا یک لایه نازک مخلوط آسفالت گرم می‌پوشانند. روکش با لایه نازک مخلوط آسفالت گرم در صورتی امکان‌پذیر است که سطح روسازی تراز، مسطح، جوان شده و بدون هرگونه ترک باشد.

در صورتی که یک لایه دیگر روی سطح مخلوط بازیافت قرار گیرد، در این صورت عملیات بازیافت، عملیات بازیافت سطحی چند عبوره نامیده می‌شود. اگر روکش فوراً روی مخلوط بازیافت پخش شود باید گروه تسطیح کار همزمان با گروه عملیات بازیافت کار کنند و این مسئله هزینه‌ها را افزایش می‌دهد.

---

[1]. Breakdown

۷-۵-۲. بازیافت به همراه مواد افزودنی

عملیات بازیافت به همراه مواد افزودنی وقتی به کار گرفته می‌شود که:

- خواص فیزیکی روسازی موجود به منظور رفع خرابی‌های آن نیاز به اصلاحات عمده‌ای داشته باشد. تغییرات در دانه‌بندی مصالح سنگی، میزان سایش مصالح سنگی، ضریب اصطکاک، درصد قیر، خواص ژئولوژیک قیر، پایداری و مقاومت مخلوط و خواص مربوط به فضای خالی و پوکی مخلوط را می‌توان با انتخاب مجموعه مناسبی از افزودنی‌های بازیافت و جوان‌سازها صورت داد.
- احتمال استفاده از مخلوط بازیافت به عنوان رویه سطحی در راه‌هایی با حجم ترافیک بالا وجود داشته باشد.
- به منظور تقویت و مقاوم‌سازی، روسازی به یک ضخامت متعادل کمتر از ۳۰ میلی‌متر نیاز داشته باشد.

عملیات بازیافت به همراه مواد افزودنی به دو روش تک مرحله‌ای و چندمرحله‌ای تقسیم می‌شود. در روش یک مرحله‌ای، روسازی موجود در یک مدت زمان مشخص به ترتیب حرارت داده شده، نرم و سست می‌شود و سپس تمامی عمق مورد نظر بازیافت در یک مرحله در یک مرحله شخم زده می‌شود. اگرچه حرارت دادن اضافی مصالح شخم زده و کنده شده، به وسیله بعضی تجهیزات اضافی انجام می‌شود ولی هیچ‌گونه شخم زدن اضافی روی روسازی موجود انجام نمی‌گیرد.

عمق عملیات بازیافت در روش تک مرحله‌ای عموماً بین ۲۵ تا ۵۰ میلی‌متر و رایج‌ترین آن ۴۰ میلی‌متر می‌باشد. در روش چندمرحله‌ای، روسازی موجود به ترتیب حرارت داده شده، نرم و سست می‌شود و سپس روسازی در چند لایه (معمولاً ۲ تا ۴ لایه) شخم زده می‌شود.

مصالح شخم و کنده شده ردیف اول در یک ریسه قرار می‌گیرند تا به لایه‌های زیرین اجازه گرم شدن داده شود(سید مسعود نصر آزادانی و فریدون رضایی، ۱۳۸۸، صفحات ۱۵۴ و ۱۵۵).

۷-۵-۳. بازیافت به همراه روکش

روش بازیافت به همراه روکش در موارد زیر مورد استفاده قرار می‌گیرد.

- وقتی که با روش بازیافت سطحی و یا بازیافت به همراه مواد افزودنی نتوان پروفیل روسازی یا ملزومات مشخصات سطحی مثل ضریب اصطکاک را احیا کرد.
- وقتی که به کارگیری روش مخلوط آسفالت گرم سنتی عملی نباشد.
- وقتی که به یک روکش نازک از مخلوط آسفالت گرم و یا مخلوط‌های خاص برای لایه سطحی نیاز باشد.
- وقتی که لایه‌ای ضخیم حدود ۵۰ میلی‌متر یا کمتر برای تقویت روسازی مورد نیاز باشد.
- ایجاد یک روکش نازک از مخلوط گرم آسفالتی به ضخامت ۱۲/۵ میلی‌متر با روش بازیافت به همراه روکش ممکن باشد. در حالی که به وسیله تجهیزات سنتی، حداقل ضخامتی که می‌توان برای روکش ایجاد نمود ۲۵ تا ۴۰ میلی‌متر می‌باشد. همچنین وقتی که به یک لایه خیلی نازک برای روکش نیاز باشد، استفاده از مخلوط‌های خاص و یا مخلوط آسفالت گرم می‌تواند از لحاظ اقتصادی به‌صرفه‌تر باشد.

مخلوط‌های خاص مثل لایه‌های اصطکاکی با دانه‌بندی باز و یا مخلوط‌های اصلاح شده با پلیمر نیز می‌توانند استفاده شوند. عملیات بازیافت به همراه روکش به دو روش تک مرحله‌ای و چندین مرحله‌ای تقسیم می‌شود. در روش تک مرحله‌ای، روسازی موجود

بازیافت شده و سپس روکش یک‌پارچه‌ای از مخلوط گرم آسفالتی جدید و یا مخلوط‌های خاص به وسیله آخرین واحد در قطار بهسازی روی مخلوط بازیافت غیرمتراکم (که روی سطح روسازی در مراحل قبلی ریخته شده) پخش می‌شود. سپس هر دوی این لایه‌ها همزمان با هم متراکم می‌شوند.

در روش چندین مرحله‌ای، مخلوط بازیافت به وسیله آخرین واحد در قطار بازیافت گرم درجا روی روسازی ریخته و پخش می‌شود و سپس یک فینیشر که به صورت جداگانه پشت قطار در حرکت است، مخلوط خاص و یا مخلوط آسفالت گرم سنتی را روی مخلوط بازیافتی غیرمتراکم ریخته و پخش می‌کند. سپس هر دوی لایه‌ها یعنی مخلوط بازیافت و روکش جدید بعدی با هم به صورت یک لایه ضخیم متراکم می‌شوند.

عمق عملیات بازیافت بسته به این که کدام روش به کار می‌رود، متفاوت بوده و معمولاً بین ۲۵ تا ۵۰ میلی‌متر می‌باشد. عمق عملیات بازیافت هم‌چنین به ضخامت روکش گرم آسفالتی مکمل و یا مخلوط خاصی که روی مخلوط بازیافت زیرین ریخته شده نیز بستگی دارد. البته چنانچه مجموع ضخامت روکش مکمل و مخلوط بازیافتی زیرین، از ۷۵ تا ۱۰۰ میلی‌متر بیشتر شود، ممکن است مشکلاتی در رابطه با نرمی راه، متراکم، پخش و تسطیح کردن روسازی به وجود آید. معمولاً بین ۲۵ تا ۳۰ میلی‌متر ضخامت برای مخلوط بازیافتی زیرین و ۲۵ تا ۳۰ میلی‌متر برای روکش مکمل مناسب می‌باشد. روش بازیافت تک مرحله‌ای از اواخر ۱۹۵۰ م. تا اوایل ۱۹۶۰ م. در آمریکای شمالی توسعه پیدا کرد و پس از آن تجهیزات بازیافت به همراه روکش مورد پیشرفت واقع شد(سید مسعود نصر آزادانی و فریدون رضایی، ۱۳۸۸، صفحات ۱۶۳ الی ۱۶۵).

۷-۶. بازیافت سرد

بازیافت سرد آسفالت[1] 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 اجرایی نشان داده شده است. این مصالح بعد از فرآوری مجدد در محل پروژه و در سطح راه[2] و یا در یک کارخانه آسفالت مرکزی[3]، و اختلاط با مواد قیری نظیر امولسیون قیر و یا کف قیر با یا بدون مواردی مانند سیمان، آهک و یا خاکستربادی[4] و در صورت لزوم مصالح سنگی جدید[5]، 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(نشریه ۳۳۹، ۱۳۸۵، صفحات ۱ و ۲).

۷-۷. 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 صرفه‌جویی عمده در

---

1. Cold Mix Recycling
2. Cold-in-Place Recycling
3. Central Plant Cold Recycling
4. Fly Ash
5. New or Virgin Aggregate

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 زیست محیطی.
- صرفه‌جویی در مصرف انرژی (بنزین، گازوییل، 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 به ویژه 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.
- تأمین اهداف بهسازی.

- کاهش مخارج بهره‌برداری و نگهداری راه.
- سرعت اجرای طرح.

۷-۸. انواع بازیافت سرد

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

۷-۸-۱. بازیافت درجا

در این روش، کلیه عملیات بازیابی به صورت 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 اجرایی 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 به طور 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 ادامه این فصل ارائه شده است.

۷-۸-۲. 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 سنگ‌شکن، 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 شیمیایی، 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.

۷-۹. اجرای عملیات و ماشین‌آلات بازیافت سرد درجا

در این بخش شرح عملیات اجرایی 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(نشریه ۳۳۹، ۱۳۸۵، صفحات ۵۳ الی ۶۷).

۷-۱۰. برنامه‌ریزی قبل از شروع عملیات اجرایی

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

۷-۱۰-۱. 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 هشداردهنده ترافیکی، چراغ‌های چشمک‌زن و سایر کنترل‌های ترافیکی لازم براساس آیین‌نامه‌های 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.

۷-۱۰-۲. نقشه‌برداری

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.

۷-۱۰-۳. آسفالت‌تراشی اولیه

اغلب قبل از شروع عملیات بازیافت نیاز به برداشتن و آسفالت‌تراشی 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، پیاده‌روها، 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.

۷-۱۰-۴. مشخصات روسازی متفاوت در مقاطع عرضی

در بسیاری از موارد، مشخصات روسازی موجود به جهت برخی ملاحظات در طراحی 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.

۷-۱۰-۵ . افزودن مصالح سنگی جدید

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

۷-۱۰-۶. برآورد 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.

۷-۱۰-۷. خردکردن اولیه مصالح

به هنگام عملیات اجرایی روش بازیافت سرد درجا، خرد کردن اولیه مصالح تنها زمانی مورد نیاز است که راه موجود حایز 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 به قدری ضخیم است که انرژی زیادی برای خردکردن 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 با تثبیت‌کننده‌هایی نظیر سیمان تثبیت شده باشند.

پ) 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.

ت) زمانی که بخشی از مصالح آسفالتی موجود به کمک دستگاه آسفالت تراش، جهت تأمین شرایط فوق‌الذکر برای خردکنندگی 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).

۷-۱۰-۸. 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 بر عهده دارد. اغلب دستگاه‌های

بازیافت چرخ لاستیکی‌اند کـه در آن‌هـا نیـروی محرکـه هـر چـرخ بـه کمـک یـک موتـور هیدرولیکی تأمین می‌شود که همواره چرخ‌های محور عقب دستگاه بر روی مصالح بازیـافتی متراکم نشده حرکت می‌کنند. وقتی که شیب طولی راه زیاد باشد و جهت حرکـت دسـتگاه بازیافت رو به بالای شیب قرار داشته باشد نیروی کششی زیاد بـین چـرخ‌هـای لاسـتیکی و سطح قشر بازیافتی ایجاد می‌شود. این امر باعث می‌شـود تـا هنگـامی‌کـه چـرخ‌هـای جلـو دستگاه بازیافت بر روی مصالح متراکم نشده مـی‌لغـزد، درصـد قیـر و آب تزریـق شـده بـه مخلوط بازیافتی بیشتر از مقادیر لازم باشد. در چنین مناطقی باید عمل بازیافـت در جهـت سرازیری و رو به پایین شیب انجام شود و عمل تزریق قیر و آب از تـانکرهـای مربوطـه بـه کمک پمپ‌های مناسب انجام شود.

۷-۱۰-۹. تعیین عرض خطوط بازیافت

با توجه به مسیر حرکت ترافیک بر روی خطوط عبور مختلـف و محـل قـرار گـرفتن چـرخ وسایل نقلیه عبوری از روی محور و نیز محل استقرار نازل‌های پخـش کـف قیـر و سـیمان، یکی از مهم‌ترین مسایلی که در روش بازیافت سرد درجا به کمـک کـف قیـر اهمیـت دارد، محل قرار گرفتن چرخ‌های بیرونی دستگاه بازیافت و در نتیجه دوبندی‌های طـولی موجـود بین خطوط عبور است. روش استاندارد جهت کاستن از نقطـه ضـعف دوبنـدی‌هـای طـولی انتخاب صحیح عرض‌های بازیافت و میزان هم‌پوشانی دو خط مجـاور یکـدیگر و نیـز بسـتن نازل‌هایی است که دو خط کنار هم باعث می‌شود تا به یک محدوده دو بار قیر و آب تزریـق شود. لذا حداقل عرض هم‌پوشانی باید ۱۵ سانتیمتر باشد و تنها در یک بار عبور دستگاه در خط مجاور، نازل‌های مربوط به این منطقه باز باشد و برای بار دوم باید کلیـه ایـن نـازل‌هـا

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.

۷-۱۱. ماشین‌آلات بازیافت

ماشین‌آلات بازیافت سرد درجا و غلتک‌هایی که جهت متراکم کردن لایه‌های ضخیم بازیافت سرد درجا (۳۰-۲۵ سانتیمتر) به کار 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 افزونی‌ها به کار می‌روند در شمار وسایل معمول در پروژه‌های راه‌سازی قرار نمی‌گیرند. به طور 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.

۷-۱۱-۱. دستگاه‌های یک بخشی[1]

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

[1]. Single Unit

نتیجه انتخاب دستگاه‌های مناسب با توجه به حجم پروژه و ویژگی‌های آن مزایا و معایب دستگاه‌های یک بخشی را می‌توان به شرح 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 سرمایه‌گذاری اولیه کمتر.

ب) معایب:

- زمان اختلاط به سرعت دستگاه بستگی دارد و قابل کنترل نمی‌باشد.
- درصد مواد مضاف به صورت حجمی‌اندازه‌گیری 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.

۷-۱۱-۲. دستگاه‌های دو بخشی[1]

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 به علت این‌که سرعت دستگاه باید به طریقی تنظیم گردد که سنگ‌دانه‌ها خرد نشود و زیاد درشت هم نباشد زمان اختلاط غیرقابل تنظیم است زیرا قسمتی که کار اختلاط را انجام می‌دهد استوانه

[1]. Twin Unit

دستگاه است که کار خرد کردن را نیز باید انجام دهد در حالی که در وسایل اختلاط مصالح سنگی سعی بر این است که قسمت اختلاط دستگاه حداقل توانایی خرد کردن و تنظیم دانه‌بندی را داشته باشد.

به علاوه 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 به علت 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 به دلیل مصالح درشت ایجاد شده پس از تراشیدن توصیه نمی‌شود. این نوع دستگاه‌ها نیز دارای معایب و مزایای خاصی هستند که به شرح زیر می‌باشد:

الف) 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 به طریق وزنی به مصالح اضافه می‌شوند.

ب) معایب:

- به علت عدم وجود سنگ‌شکن و سرند، اندازه اصلی و یا اسمی دانه‌ها قابل کنترل نیست.

- کنترل اجرایی به دقت دستگاه‌های چندبخشی 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.

۷-۱۱-۳. دستگاه‌های چند بخشی

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 خردکننده، مخلوط‌کننده‌های مناسب، تسمه نقاله‌ها و سایر ادوات مورد نیاز می‌باشند. همچنین در این دستگاه‌ها ممکن است یک ترن کامل که خود نیروی کششی اجزا را تأمین می‌کند به صورت مجزا از قسمت خردکننده و آسفالت‌تراش 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 سنگ‌شکن (خردکننده) و سرندها را شامل می‌شود.
- یک دستگاه کشنده که بخش‌های اختلاط مصالح را شامل می‌شود.

حداکثر اندازه مصالح خرده آسفالتی در قسمت خردکننده و سرندها کنترل می‌شود و بخش مخلوط‌کن که آخرین قطعه دستگاه مرکب است کار کنترل میزان افزودنی‌های مایع از جمله آب را به کمک نرم‌افزارها و سخت‌افزارهای 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 امکان‌پذیر است.

یکی از معایب این دستگاه، طول زیاد ماشین‌آلات آن است که باید به صورت زنجیره‌ای کار کند که موجب اختلال در امر ترافیک و عدم استفاده از آن‌ها در قوس‌های با شعاع کم می‌گردد.

۷-۱۲. پخش و کوبیدن

عموماً وسایل و دستگاه‌هایی که جهت پخش و کوبیدن آسفالت بازیافت سرد درجا و آسفالت بازیافت سرد کارخانه‌ای به کار 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 (عموما 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 این کار ممکن است پس از اتمام کار بازیافت به کمک دستگاه‌های مناسب نظیر گریدرهای پیشرفته انجام گیرد تا رقوم نهایی زمین با تراز پروفیل‌های طولی و عرضی منطبق گردد. در راه‌های با اهمیت نظیر بزرگراه‌ها و راه‌های شریانی اجرای آسفالت بازیافت سرد و عمل تسطیح آن به طریقه کاملاً ماشینی و اتوماتیک انجام می‌شود. مراحل کاری بدین صورت است که گریدرهایی که کار تسطیح نهایی مخلوط را بر عهده دارند مجهز به ترازیاب‌های لیزری هستند که به کلیه ادوات گریدر از جمله تیغه آن متصل است. این ترازیاب‌ها به طور پیوسته سطح مورد نیاز برای هر نقطه را با ارسال پالس‌هایی به منشورهای مستقر در کنار راه که از قبل بر اساس 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 فینیشرهای 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 غلتک‌زنی به نوع قیر و افزودنی‌ها و سرعت تبخیر آب و شرایط آب و هوایی محیط بستگی دارد. چنانچه عمل غلتک‌زنی، 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. غلتک‌زنی باعث افزایش تراکم و کاهش فضای خالی مخلوط می‌شود. در مورد مخلوط‌های بازیافت سرد حاوی امولسیون قیر معمولاً غلتک‌زنی باید موقعی شروع شود که رنگ امولسیون از قهوه‌ای به سیاه تغییر یابد که معرف مراحل آغازین شکست 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. وقتی که در مخلوط‌های بازیافت سرد از سیمان و خاکستر بادی به عنوان 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.

در خصوص 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 به کار 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 پاچه‌فیلی 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 این کار باید دارای چرخ‌هایی کاملاً صاف و صیقلی باشد.

عرض غلتک‌های ارتعاشی که برای عملیات تراکم مخلوط‌های آسفالتی بازیافت سرد به کار می‌رود باید اصولاً بین ۱/۲ تا ۲/۴ متر و قطر آن‌ها بین ۰/۹ تا ۱/۵ متر باشد. زمانی که 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 غلتک‌زنی 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 گریدرهای مربوطه تقریباً زیاد است، عبور چرخ‌های لاستیکی این دستگاه‌ها باعث تراکم اولیه نسبتاً بالای مخلوط می‌گردد. از این رو باید در زمان غلتک‌زنی و نیز اعمال نیروی مناسب تراکمی در فواصل بین چرخ‌های دستگاه بازیافت و گریدرها دقت شود تا از ظهور پدیده شیارافتادگی[1] در مسیر عبور این چرخ‌ها جلوگیری شود. تقدم و تأخر استفاده از انواع غلتک‌های چرخ لاستیکی، استاتیکی، ارتعاشی، چرخ فلزی و پاچه‌فیلی به عوامل متعددی نظیر عمق و ضخامت لایه بازیافتی، دانه‌بندی مصالح و نوع مواد افزودنی بستگی دارد که

[1] Rutting

باید در هر پروژه مورد توجه قرار گرفته ضمن این‌که از جدول شماره ۷-۱ 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 صورتی که مخلوط آسفالت بازیافت سرد دارای سفتی[1] 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 حالی که برای مخلوط‌های بازیافتی دارای افزودنی سیمان یا خاکستر بادی، استفاده از غلتک فلزی ارتعاشی مناسب‌تر است.

[1] Stiffness

جدول شماره ۷-۱: انواع غلتک‌های مناسب جهت مراحل مختلف تراکم مخلوط‌های آسفالت بازیافت سرد

۱. نوع مصالح بازیافت سرد	۲. مراحل تراکم		
	۳. تراکم اولیه	۴. تراکم میانی	۵. تراکم نهایی
۶. مخلوط‌های با دانه‌بندی توپر	۷. غلتک‌های فلزی ۸. غلتک‌های چرخ لاستیکی ۹. غلتک ارتعاشی ۱۰. غلتک پاچه‌بزی	۱۱.غلتک‌های فلزی ۱۲.غلتک چرخ لاستیکی ۱۳. غلتک ارتعاشی	۱۴. غلتک‌های فلزی
۱۵. مخلوط‌های با دانه‌بندی باز	۱۶. غلتک‌های فلزی	۱۷. غلتک‌های فلزی ۱۸. غلتک‌های چرخ لاستیکی ۱۹. غلتک ارتعاشی	۲۰. غلتک فلزی

۷-۱۳. سایر عوامل و کنترل‌های اجرایی

۷-۱۳-۱. 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 مسایل فنی رعایت نکات ایمنی از دیگر فاکتورهای مهم در زمان کارکردن با قیر داغ و کف قیر است.

۷-۱۳-۲. دوبندی‌های طولی

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

۷-۱۳-۳. کنترل ضخامت

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

۷-۱۳-۴. سرعت دستگاه

اگرچه 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.

۷-۱۳-۵. 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 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 به طور پیوسته کنترل و آزمایش شود.

۷-۱۳-۶. اندود سطحی قشر کوبیده شده بازیافت

اگرچه مخلوط بازیافت بلافاصله پس از اجـرا دارای پایـداری مناسـب بـوده و قابلیـت عبـور ترافیک را دارد اما عبور ترافیک موجب جدا شدن ریزدانـه‌هـا از روی سـطح و بـاقی مانـدن مصالح درشت‌دانه و شن‌زدگی سطح خواهد شد. برای جلوگیری از جداشدن سنگ‌دانه‌هـا و نیز جلوگیری از نفوذ آب‌های سطحی به داخل قشر بازیافتی توصـیه مـی‌شـود تـا در زمـان مناسب نسبت به اندود کردن سطح به کمک اندود سطحی با قیر امولسـیون SS-1 کـه بـه نسبت ۵۰/۵۰ با آب رقیق شده باشد و به مقدار ۰/۴ تا ۰/۶ لیتر در متر مربـع اقـدام شـود. اندود کردن سطح باید زمانی انجام شود که رطوبت بهینه مصالح سنگی در ۱۰۰ میلـی‌متـر رویه قشر ۵۰ درصد تقلیل یافته باشد. مدت زمان مورد نیاز برای این کـار بـه شـرایط آب و هوایی بستگی دارد، اما عموماً باید حداقل یک هفته به سطح مخلوط کوبیـده شـده فرصـت داد تا قبل از اجرای اندود قیری فرصت دفع رطوبت اضافی را داشته باشد.

۷-۱۳-۷. درصد مواد افزودنی

درصدهای کف قیر یا سیمان به کمک طرح اختلاط مشخص می‌شود اما رواداری مواد قیری نباید بیش از ۰/۵ ± درصد باشد. سیستمی‌که عمل تزریق قیر و سایر افزودنی‌ها را به مصالح خرده آسفالتی بر عهده دارد مهم‌ترین بخش از فرآیند بازیافت جهت دسـتیابی بـه کیفیـت مطلوب و مشخصه مخلوط بازیافتی را تشکیل می‌دهد. از این رو سیستم افزودن کف قیر یـا امولسیون قیر باید مورد بازبینی و کنترل دایم و دقیق قـرار گیـرد تـا از گرفتگـی و انسـداد سیستم جلوگیری شود باید از به کار بردن وسایل غیر استاندارد در تهیـه کـف قیـر پرهیـز

شود و دستگاه کف قیر مجهز به سیستمی باشد که در مورد انسداد هر یک از نـازل‌هـا و یـا سیستم مربوطه به اپراتور مربوطه هشدار دهد.

۷-۱۳-۸. محدودیت دمای محیط

عملیات بازیافت سرد نباید در شرایط مرطوب و یا بارانی اجرا شود و چنانچـه احتمـال داده شود که قبل از تکمیل عملیات این وضعیت ادامه دارد می‌باید از شروع کار خودداری شـود. از سوی دیگر چنانچه دمای محیط برای مخلوط‌های حـاوی کـف قیـر کمتـر از ۱۰ درجـه سانتیگراد و برای مخلوط‌های حاوی امولسیون قیر کمتر از ۵ درجه سـانتیگراد باشـد نبایـد 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 پایین باشد، کف قیر به طور کامـل در میان مخلوط توزیع نمی‌شود. از این رو باید از اجرای روش بازیافت سرد درجا به کمک کف قیر در دماهای پایین (بخصوص دماهای پـایین‌تـر از ده درجـه سـانتیگراد) اجتنـاب شـود. همچنین اگر در طول اجرا، دمای محیط برای مخلوط‌های حاوی کف قیـر و امولسـیونی بـه ترتیب کمتر از ۱۲ و ۷ درجه سانتیگراد رسید جز رگلاژ و تراکم، سایر فعالیت‌هـای اجرایـی باید متوقف گردد. وقتی که سرعت باد بیش از ۳۰ کیلـومتر در سـاعت باشـد پخـش مـواد افزودنی در سطح راه مجاز نمی‌باشد.

۷-۱۳-۹. 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 صورتی که سطح راه مرطوب نگه داشته شود.

امولسیون قیر: قبل از شکستن امولسیون

کف قیر: ۷ روز در صورتی که سطح راه مرطوب نگه داشته شود.

۷-۱۳-۱۰. روکش آسفالتی

قبل از اجرای روکش آسفالتی روی لایه بازیافت، نواقص موجود باید اصلاح و اندود سطحی به مورد اجرا گذاشته شود.

در مواردی که 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 بر حسب این‌که پیوسته یا باز باشد، فصل اجرای عملیات بازیافت و ضخامت لایه کوبیده شده بستگی دارد.

۷-۱۳-۱۱. 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.

۷-۱۳-۱۲. کنترل یکنواختی سطح تمام شده

سطح نهایی بازیافت سرد درجا از نظر انطباق با رقوم مندرج در نقشه‌های اجرایی نباید بیش از ۱۲ ± میلیمتر و یکنواختی آن وقتی که با شمشه‌های ۳ متری در امتداد 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.

۷-۱۴. اجرای عملیات و ماشین‌آلات بازیافت سرد کارخانه‌ای

بازیافت سرد کارخانه‌ای یکی از گزینه‌هایی است که نمی‌توان آن را در فرآیند کلی بازیافت نادیده گرفت، به ویژه در شرایطی که تولید بیشتر، کنترل و ارزیابی دقیق‌تر مصالح خرده آسفالتی و کیفیت مخلوط سرد نهایی 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 بر حسب نیاز از آن استفاده نمود، اما در مورد آسفالت سرد کارخانه‌ای تهیه شده با امولسیون قیر ذخیره‌سازی امکان‌پذیر نیست.

۷-۱۵. 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 سنگ‌شکن 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 بر حسب اینکه شامل خرده آسفالتی و یا سنگ‌دانه‌ای می‌باشند 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 آن که ماشین‌آلات راه‌سازی نیز نباید روی مصالح انبار شده 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 فرآوری 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 ذخیره‌سازی آن‌ها در کارگاه جلوگیری شود.

۷-۱۶. کارخانه آسفالت

کارخانه‌های آسفالت مرکزی در عملیات بازیافت سرد می‌تواند از نوع مرحله‌ای[1]، استوانه‌ای[2]، و یا پیوسته[3]، 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 مخلوط‌کننده[4] باشد. بدیهی است که پمپ‌های قیر و آب باید کاملاً با جریان تغذیه مصالح به مخلوط‌کن مرتبط باشند تا مخلوط یکنواخت و همگنی تولید شود.

۱۷-۷. 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 بر اساس طرح اختلاط آزمایشگاهی، قبل از تغذیه به واحد مخلوط‌کننده، توزین می‌شوند و پس از اختلاط کامل و قبل از آن‌که پیمانه دیگری تولید شود به کامیون‌های حمل‌کننده آسفالت و یا سیلوهای ذخیره تخلیه می‌گردد. در کارخانه‌های آسفالت پیوسته، دستگاه‌های تغذیه‌کننده به طور خودکار نسبت‌های از پیش تعیین شده را برای هر یک از اجزای مصالح خرده آسفالت و سنگدانه‌ای، قیر، آب و مواد مضاف، به طریق حجمی اندازه‌گیری می‌کنند که در نهایت به تولید مخلوطی می‌انجامد که طی یک جریان پیوسته و مداوم به کامیون

---

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

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.

بر حسب اینکه قیر مصرفی در آسفالت سرد از نوع امولسیون یا کف قیر باشد باید برای کارخانه‌های آسفالت مورد نظر شرایطی فراهم شود تا تولید نهایی از کیفیت مشخصاتی لازم برخوردار باشد.

۷-۱۷-۱. 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 آن را غیرقابل 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 مخلوط‌کننده کارخانه آسفالت اصلاحاتی انجام گیرد، تا امولسیون قیری به طور یکنواخت در مخلوط پراکنده شود.

در کارخانه‌های آسفالت پیوسته، با تغییر نحوه قرارگیری بازوهای[1] واحد مخلوط‌کننـده، تغییر محل لوله پخش قیر به داخل این واحد و یا تغییر ارتفاع دریچه انتهایی مخلوط‌کـن و به همین ترتیب در کارخانه آسفالت استوانه‌ای با تغییر شیب استوانه[2] و یا جابه‌جایی محـل 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 باشد تا امولسیون قیر به طور یکنواخت در این مخلوط پراکنده و توزیع شود، و کـارآیی مناسـب را تـأمین نمایـد، ضمن آن‌که مصرف بیش از اندازه آب نیز موجب تأخیر در شروع عملیات تراکم و عمل‌آوری می‌گردد. مقدار آب بهینه مخلوط در جریان طرح اختلاط تعیین می‌شود.

قابل یادآوری است که در مخلوط‌های امولسیونی بدون توجه بـه روش اخـتلاط و مـدت زمان آن، اندود شدن کامل سنگدانه به ویژه درشت‌دانه‌ها، امکان‌پذیر نبوده ضـمن آن‌کـه از نظر فنی مقاومتی نیز پوشش قیری صـد درصـد الزامـی نیسـت. در ایـن مخلـوط‌هـا انـدود کانی‌های سنگ یعنی قلیایی[3] و یا اسیدی[4] بودن و بر حسب اینکه درصد SiO_2 یا سـیلیس آن چه اندازه می‌باشد مربوط می‌شود که باید ایـن ارزیـابی‌هـا و مطالعـات در مرحلـه طـرح اختلاط انجام گیرد.

۷-۱۷-۲. تولید آسفالت با کف قیر

1. Paddles
2. Drum
3. Basic Rock
4. Acidic Rock

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 آن را مورد استفاده قرار داد. در این نوع محفظه‌ها یک نازل[1] ساده اما با کارآیی 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 به حجم حدود ۹۰ لیتر در داخل مخلوط‌کن 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[2] ثابت نگه داشته شده و آن را 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، به کار می‌رود. کف قیر به کمک لوله‌ای که در بخش مخروطی محفظه قرار دارد به سنگدانه‌ها تزریق می‌شود. چنین محفظه‌ای به عنوان 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.

---

1. Nozzle
2. Bar

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

الف) نوع قیر (در درجه‌بندی 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 مد نظر قرار گیرد.

پ) 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.

ت) زمان تزریق کف قیر به داخل مخلوط‌کن باید به اندازه کافی طولانی باشد تا از کفایت اختلاط، اطمینان حاصل شود.

ث) برای اطمینان از به‌کارگیری فشار لازم در جریان تولید مخلوط، ضروری است تا یک فشارسنج در مسیر خط تزریق، نصب شود.

ج) تزریق قیر باید تحت کنترل باشد.

چ) 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 فوق‌الذکر اعمال تغییرات دیگر در تجهیزات کارخانه مورد نیاز نیست.

۱۸-۷. پخش و تراکم مخلوط‌های امولسیونی

پخش مخلوط‌های آسفالت سرد امولسیونی 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 کارآیی کمتری دارند. در صورتی که چسبیدن مخلوط آسفالتی به اتوی ماشین پخش آسفالت، یا پاره‌شدگی در سطح اتفاق بیافتد، 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 روغن کاری آن با گازوییل آن را کاهش دهد.

این مخلوط‌ها را می‌توان در لایه‌هایی به ضخامت ۷۵ میلیمتر یا بیشتر با توجه به حداکثر درشتی سنگ‌دانه‌ها اجرا نمود، اما متراکم نمودن و عمل آمدن قشرهای به ضخامت ۵۰ تا ۷۵ میلی‌متر خیلی سریع‌تر صورت می‌گیرد. گاهی اوقات برای عمل‌آوری مخلوط‌های آسفالت سرد امولسیونی با ضخامت زیاد، مخلوط‌های آسفالتی هوا داده می‌شود. بنابراین ممکن است اجرای لایه‌های ضخیم به غیریکنواختی مخلوط اجرا شده منجر گردد. شکست امولسیون قیری مخلوط‌های آسفالتی سرد با دانه‌بندی باز معمولاً هنگامی‌که مخلوط آسفالتی پخش می‌شود، انجام می‌گیرد. برای مخلوط‌های آسفالتی سرد با دانه‌بندی پیوسته بر خلاف 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 غلتک‌زنی تا کسب پایداری کافی مخلوط آسفالتی به تأخیر می‌افتد. هرچه 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 غلتک‌زنی 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 غلتک‌زنی زیاد با غلتک‌های ارتعاشی در مخلوط‌های آسفالتی با دانه‌بندی پیوسته موجب جابه‌جایی قیر و آب در مخلوط می‌گردد. برای غلتک‌زنی مرحله دوم می‌توان از غلتک‌های چرخ لاستیکی یا چرخ فولادی استفاده نمود. معمولاً از غلتک‌های چرخ فولادی برای غلتک‌زنی مرحله پایانی استفاده می‌شود.

قبل از غلتک‌زنی 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 امولسیونی تا موقعی که 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.

۷-۱۹. 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. مخلوط‌هایی که بیش از یک درصد سیمان دارند باید هرچه زودتر

پخش و متراکم شوند. برای کمتر از یک درصد سیمان می‌توان آن را 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 ننمایند.
- ارتفاع انبار کردن مصالح فقط به اندازه‌ای باشد که برای بارگیری با لودر محدودیت ایجاد نکند.
- مقدار آب مخلوط در رطوبت بهینه باقی بماند که می‌توان آن را با پخش آب اضافی روی انبار مصالح تأمین کرد یا این‌که آن را با پوشش‌های پلاستیکی غیرقابل نفوذ به گونه‌ای 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 همین فصل توضیح داده شده است.

خلاصه

افزایش تقاضا برای حمل و نقل در دو دهه اخیر، در کنار محدودیت سرمایه و بودجه و نیاز به سیستمی برای راه‌ها که ایمن، کارآمد و اقتصادی باشد، منجر به افزایش نیاز به بهسازی رویه راه‌های موجود شده است. در کنار این مسئله، طی ۲۵ سال اخیر، رشد شگرفی در

بازیافت و بهسازی آسفالت، که از لحاظ تکنیکی و محیطی روش مفیدی برای بازسازی رویه راه‌های موجود می‌باشد، رخ داده است.

برای توصیف روش‌های گوناگون بازیافت آسفالت، روش‌های تراش سرد آسفالت (CP)، بازیافت گرم، بازیافت گرم درجا، بازیافت سرد (CR) و بازیافت عمیق و تثبیت توسط انجمن مشارکت مدیران بازیافت و بهسازی آسفالت معرفی گردیده است.

بازیافت گرم پروسه‌ای است حاصل از ترکیب تراشه آسفالت با مصالح سنگی جدید، قیر جدید و افزودنی‌های بازیافتی که در یک کارخانه مرکزی، تولید می‌شود. در بازیافت گرم، از روش انتقال گرما برای نرم کردن آسفالت استفاده می‌شود تا امکان اختلاط تراشه آسفالت‌ها با مصالح سنگی دست‌نخورده و قیر و افزودنی‌های بازیافت، حاصل شود. بازیافت گرم درجا به سه صورت بازیافت سطحی، بازیافت به همراه افزودنی و بازیافت به همراه روکش قابل انجام است. یکی دیگر از روش‌های بازیافت آسفالت، بازیافت سرد درجا می‌باشد.

به طور 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. این سه نوع شامل دستگاه‌های یک بخشی، دو بخشی و چند بخشی می‌باشد.

بازیافت سرد کارخانه‌ای یکی از گزینه‌هایی است که نمی‌توان آن را در فرآیند کلی بازیافت نادیده گرفت، به ویژه در شرایطی که تولید بیشتر، کنترل و ارزیابی دقیق‌تر مصالح خرده آسفالتی و کیفیت مخلوط سرد نهایی 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.

آزمون

۱. روش‌های گوناگون بازیافت آسفالت را نام ببرید؟

۲. بازیافت گرم را شرح دهید؟

۳. روش‌های گوناگون بازیافت گرم درجا را نام ببرید؟

۴. جوان‌سازی قیر در پروسه طرح اختلاط بازیافت گرم درجا به چه روش‌هایی صورت می‌پذیرد؟

۵. بازیافت سطحی به عنوان یکی از روش های بازیافت گرم درجا شامل چه مراحلی می‌باشد؟

۶. عملیات بازیافت به همراه مواد افزودنی چه مواقعی کاربرد دارد؟

۷. موارد استفاده روش بازیافت به همراه روکش را شرح دهید؟

۸. دستگاه‌ها و ماشین‌آلات بازیافت سرد درجا به چند نوع عمده تقسیم می‌شوند؟ آن‌ها را نام ببرید؟

۹. مزایا و معایب دستگاه‌های دو بخشی در بازیافت سرد درجا کدامند؟

۱۰. محدودیت دمای محیط بر اجرای عملیات بازیافت سرد را چیست؟ مختصراً توضیح دهید؟

۱۱. بازیافت سرد کارخانه‌ای در چه مواقعی کاربرد دارد؟

فصل هشتم

ماشین‌آلات

اهداف

هدف از مطالعه این فصل، آشنایی با مطالب زیر می باشد:

۱. ماشین‌آلات راه‌سازی در اجرای عملیات آسفالت

۲. قابلیت‌های لودر در راه‌سازی

۳. مهم‌ترین ماشین در عملیات راه‌سازی و ساختمانی

۴. نحوه شکافتن زمین‌های سخت و تراکم و تحکیم خاک

۵. ماشین‌آلات مورد نیاز برای تراکم و کاربرد ماشین آسفالت تراش

۶. اصول کلی کار انواع فینیشرها

۸-۱. ماشین‌آلات راه‌سازی و آسفالت

در سال‌های بعد از انقلاب به دلیل مسایل جنگ و کمبود ارز خارجی و نحوه خاص تخصیص ارز عموماً دولت خود واردکننده و توزیع‌کننده اصلی ماشین‌آلات در کشور بوده است و معمولاً نیاز دستگاه‌های اجرایی و پیمانکاران از طریق سهمیه یا به عنوان بخشی از مبلغ قرارداد در اختیار مصرف‌کنندگان ماشین‌آلات در کشور قرار می‌گرفت. علاوه بر این با توجه به این که در گذشته (عمدتاً قبل از سال ۱۳۷۰ ه.ش.) برخی فعالیت‌های عمرانی به صورت امانی توسط بخش دولتی انجام می‌گرفت (نظیر فعالیت‌های توسعه‌ای جهاد سازندگی یا فعالیت‌های راه‌داری وزارت راه و ترابری)، لذا بخش دولتی در زمینه تأمین و مصرف ماشین‌آلات مورد نیاز کشور و توزیع آن نقش مهمی داشته است. (نشریه۴۴۶، ۱۳۸۸، صفحه ۱)

پس از سال‌های دهه هفتاد شمسی و سیاست‌های خصوصی‌سازی و آزادسازی‌ها در قیمت ارز، ماشین‌آلات عمرانی نیز از این قاعده مستثنی نماند. به این ترتیب واردات ماشین‌آلات با شرایطی آزاد و فعالیت بخش خصوصی نیز در این زمینه آغاز گردید. همچنین با کاهش تصدی‌گری دولت در امور اجرایی، نیاز به تملک ماشین‌آلات در سطح ادارات دولتی کاهش چشم‌گیری یافت. لذا بستر فعالیت بخش خصوصی در زمینه واردات و مصرف ماشین‌آلات گسترش یافت. (نشریه۴۴۶، ۱۳۸۸، صفحه ۳)

ماشین‌آلات راه‌سازی و آسفالت به عنوان ابزار اصلی عملیات راه‌سازی می‌باشند که هر یک کارآیی و عملکرد متناسب را دارا می‌باشد و عمده‌ترین ماشین‌آلات راه‌سازی و آسفالت

عبارتند از: لودر، بولدوزر، ریپر، غلتک‌ها، گریدر، اسکریپرها، کامیون، ماشین آسفالت تراش، باب‌کت آسفالت، ماشین برش آسفالت، تریمر آسفالتی، ماشین فینیشر آسفالت، ماشین قیرپاش و ... که در زیر به طور خلاصه در مورد هرکدام توضیحی ارایه شده است.

۸-۱-۱. لودر

لودرها به طور وسیعی در کارهای ساختمانی برای حمل توده مواد (نظیر خاک و سنگ)، بارگیری کامیون‌ها، خاک‌برداری، حفاری و گاهی تسطیح (به عنوان بولدوزر) و غیره به‌کار گرفته می‌شوند بر خلاف اسکریپرها که به طور همزمان برای بارگیری و حمل استفاده می‌شوند، لودرها همواره باید به همراه ماشین‌های انتقال‌دهنده مانند کامیون‌ها به کار گرفته شوند. به طور کلی لودرها قادرند کارهای مختلفی را که در چهار دسته زیر خلاصه می‌شود، انجام دهند (نشریه۴۴۶، ۱۳۸۸، صفحه ۱۱):

الف) بارگیری ماشین‌آلات حمل مواد خاکی: با لودر می‌توان مواد خاکی نظیر شن، خاک معمولی، سنگ شکسته، پس ماند کارخانجات و واحدهای صنعتی و غیره را داخل کامیون و سایر وسایل باربر ریخته و آن‌ها را پر کرد.

ب) بلند کردن بار و انتقال آن: در کارهای ساختمانی با لودر می‌توان مصالح بنایی از قبیل آجر، بلوک بتنی پیش‌ساخته و غیره را در محوطه کارگاه حمل و جابه‌جا نمود.

پ) خاک‌برداری: این ماشین در کارهای خاکبرداری ساختمان‌ها به خصوص خاک‌برداری خاک‌های سست تا متوسط بسیار سودمند تشخیص داده شده است، زیرا کندن و جابه‌جا کردن خاک و انباشته و بارگیری کردن آن با لودر سریع‌تر از سایر ماشین‌آلات صورت می‌گیرد.

ت) تمیز کردن قشر سطحی کارگاه: در زمین‌هایی که جنس آن زیاد سخت نبوده و تا حدودی نرم باشد، از لودر برای کندن و تمیز کردن محل کار استفاده می‌کنند.

اصولاً دو نوع لودر نصب شده روی تراکتور وجود دارد:

۱. لودر چرخ زنجیری (شکل ۸-۱)

۲. لودر چرخ لاستیکی (شکل ۸-۲)

شکل شماره ۸-۱: لودر چرخ زنجیری

شکل شماره ۸-۲: لودر چرخ لاستیکی

۸-۱-۲. بولدوزر

تراکتور از مهم‌ترین ماشین‌آلات ساختمانی می‌باشد و کاربرد فراوانی دارد. بر روی تراکتور قطعات مکانیکی مختلفی از قبیل تیغه‌های بولدوزر، ریپرها و بیل‌های مکانیکی نصب شده و در کارهای ساختمانی متنوعی از آن استفاده می‌شود. به همین دلیل تراکتور به عنوان مهم‌ترین ماشین ساختمانی شناخته می‌شود. با یک تعریف دقیق‌تر می‌توان گفت تراکتوری که مجهز به یک تیغه در قسمت جلویی باشد را بولدوزر گویند. بولدوزر از دو بخش اساسی تراکتور و تیغه تشکیل شده است که تیغه توسط یک سیستم قاب متصل‌کننده به تراکتور متصل می‌شود. در عملیات خاکی، معمولاً بیشترین مسافت بهینه‌ای که خاک توسط بولدوزر حمل می‌شود حدود ۱۰۰ و کمترین مقدار آن حدود ۸ متر است. شکل ۸-۳ تصویر

دو بولدوزر را در حین عملیات خاکی صورت می‌گیرد. در انتخاب نوع تیغه باید به عوامل زیر توجه کرد:

۱. نوع عملیاتی که توسط بولدوزر صورت خواهد گرفت.

۲. نوع مصالحی که توسط بولدوزر حمل خواهد شد.

۳. محدودیت تراکتور از نظر وزن، توان موتور، مقاومت غلتش و ...

شکل شماره ۸-۳: بولدوزر در حین عملیات خاکی

بولدوزرها در بیشتر پروژه‌های ساخت (نظیر راه، سد) از مراحل اولیه تا مراحل پایانی مورد استفاده قرار می‌گیرند. برخی از کاربردهای بولدوزرها عبارتند از:

۱. انجام عملیات خاک‌برداری، گودبرداری و حفر ترانشه
۲. تسطیح و پاک‌سازی زمین از بقایای عملیات ساختمانی
۳. برداشتن لایه سطحی خاک و پاکسازی آن از بوته‌ها (دکاپاژ)
۴. ایجاد راه‌های موقتی در کوهستان و زمین‌های سنگلاخی
۵. انجام عملیات پخش خاک در خاکریزها
۶. نگهداری و ترمیم راه‌های خاکی
۷. پاک‌سازی محل گودال قرضه و گودال کف معادن
۸. پخش کردن خاک بر روی خاکریزها
۹. انجام عملیات خاکی در زمین‌های شیب‌دار
۱۰. کمک برای فشار دادن ماشین‌آلات مانند اسکریپر

۱۱. پشته کردن خاک در کنار نهرهای ایجاد شده

۱۲. جمع کردن سنگدانه‌های آتش‌باری شده

۱۳. کندن زمین و پر کردن گودال

۱۴. استفاده از آن به عنوان کاربرد ریپرها (نشریه۴۴۶، ۱۳۸۸، صفحه ۱۸)

۸-۱-۳. ریپر

ریپر یا خراشنده‌ها، قرن‌ها برای شکافتن سنگ به کار رفته‌اند. گاوآهن‌ها که در گذشته توسط کشاورزان برای شخم زدن مزارع به کار می‌رفته است از نظایر آن می‌باشد. امروزه برای عملیات حفاری در زمین‌های سخت، ابتدا به کمک ریپر زمین را سست کرده، سپس توسط بولدوزر عملیات حفاری صورت می‌گیرد. امروزه ریپرها را به تراکتور و یا بولدوزر متصل می‌کنند و بدین ترتیب با ایجاد یک نیروی فشاری قوی در زمین، عملیات سست کردن زمین‌های سخت صورت می‌گیرد. شکل ۸-۴ یک نوع ریپر متصل شده به بولدوزر را

نشان می‌دهد.

شکل شماره ۸-۴: ریپر متصل شده به بولدوزر

هنگام شکافتن زمین‌های سخت، بهتر است دستگاه در جهت سراشیبی عمل شکافتن را انجام دهد تا نیروی ثقل در جهت شیب، برای شکافتن سنگ‌ها کمک کند. همچنین در زمین‌های سخت بهتر است عملیات شکافتن در جهت‌های عمود بر هم صورت گیرد تا سنگ‌ها به اندازه کافی خرد شوند. شکافتن سنگ در یک جهت گاهی اوقات سنگ‌های را به اندازه کافی خرد نمی‌کند.

در هنگام شکافتن، فاصله رفت و آمد ریپر به سختی مواد حفاری و اندازه مورد نظر برای سنگ خرد شده بستگی دارد. در مواقعی که شرایط کار مناسب نباشد از دو ریپر در کنار هم استفاده می‌شود. در صورتی که از ریپر به طرز صحیح استفاده گردد، عملیات شکافتن سنگ توسط ریپر نسبت به روش آتش‌باری ارزان‌تر و ایمن‌تر خواهد بود.

همان‌طور که اشاره شد، ریپر از ادوات متصل شده به ماشین‌آلات دیگر است که موارد استعمال آن عبارتند از:

۱. سست کردن زمین‌های سخت و سنگی برای انجام عملیات حفاری در این زمین‌ها
۲. برای کندن سطح آسفالت‌های کهنه
۳. آماده کردن منطقه برای کار اسکریپر و گریدر
۴. برای شکستن رویه‌های بتنی و دال‌های بتنی
۵. برای پاک کردن زمین و کندن ریشه‌های درختان (نشریه۴۴۶، ۱۳۸۸، صفحات ۲۴ و ۲۵)

۸-۱-۴. غلتک‌ها

اساسی‌ترین مسئله در راه‌سازی و عملیات ساختمانی، رساندن میزان دانسیته و مقاومت لایه‌های خاک به مقدار مطلوب می‌باشد. این مقادیر باید در حدی باشد تا سطوح مختلف زمین در اثر تنش‌های وارده ناشی از عبور بار تغییر شکل نداده و بتواند تحمل جذب و انتقال بار از لایه‌های بالاتر به پایین‌تر را داشته باشند. برای این منظور باید لایه‌های مختلف خاک را تا حد قابل قبولی متراکم نمود.

تراکم عبارت است از ازدیاد دانسیته خاک از طریق نزدیک کردن ذرات و دانه‌های خاک به یکدیگر که معمولاً با خارج کردن هوا از فضاهای خالی بین ذرات خاک انجام می‌گیرد. عمل اضافه کردن دانسیته خاک در اثر تخلیه آب موجود در آن، تحکیم[1] نامیده می‌شود. تحکیم در طول ماه‌ها و سال‌ها انجام می‌شود، در صورتی که عمل تراکم را می‌توان در عرض مدت زمان کوتاهی انجام داد. خواصی از خاک که با تراکم بهبود می‌پذیرند، عبارتند از:

۱. اضافه شدن مقاومت خاک
۲. کم شدن قابلیت تغییر حجم خاک
۳. کم شدن قابلیت نفوذپذیری خاک

میزان تراکم‌پذیری خاک خود نیز بستگی به عوامل زیر دارد:

۱. دانسیته اولیه خاک (دانه‌بندی خاک)
۲. خواص شیمیایی و فیزیکی خاک (نظیر منحنی دانه‌بندی، چسبندگی و غیره)
۳. درصد رطوبت
۴. نوع و میزان نیروی متراکم‌کننده

[1]. Consolidation

عمل تراکم خاک به وسیله غلتک‌ها انجام می‌گیرد که آن‌ها با استفاده از چهار نوع نیـرو به شرح زیر، خاک را متراکم می‌کنند:

۱. وزن استاتیکی (اعمال فشار)

۲. ضربه

۳. ارتعاش

۴. عمل ورزیدن (با حرکات خاص، خاک را به اصطلاح عمل می‌آورند)

تمام ماشین‌آلات تراکم از وزنه سنگین برای ایجاد فشار بر روی خاک و متـراکم کـردن آن، استفاده می‌کنند. از آنجا که خاک در اثر نیروی تراکم، تمایل به تغییر محـل جـانبی نشـان می‌دهد، مؤثرترین روش تراکم، روشی خواهد بـود کـه چنـین تغییـر محلـی را بـه حـداقل برساند. ضربه و ارتعاش نیروهای دخیل مشابه هسـتند و فقـط تـواتر آن‌هـا فـرق مـی‌کنـد. نیروهای ضربه‌ای معمولاً دارای تواتر کمتر هستند.

غلتک‌ها بر اساس اجزای تشکیل‌دهنده آن‌ها و قابلیت‌هایشان به ۷ دسته زیر طبقه‌بندی می‌شوند:

۱. غلتک پاچه‌بزی[1]

۲. غلتک‌های شبکه‌ای[2]

۳. غلتک‌های ارتعاشی[3]

۴. غلتک‌های فولادی صاف[4]

---

[1]. Tamping foot Rollers
[2]. Grid or Mesh Rollers
[3]. Vibratory Rollers
[4]. Smooth Steel Drum Rollers

۵. غلتک‌های پنوماتیک (چرخ لاستیکی)[1]

۶. غلتک کفشک‌دار[2]

۷. متراکم‌کننده‌های شبه بولدوزر (نشریه۴۴۶، ۱۳۸۸، صفحات ۲۸ و ۲۹)

۱. غلتک‌های پاچه‌بزی

غلتک‌های پاچه‌بزی دارای استوانه‌ای مجهز به تعدادی پایه‌های متصل به آن موسوم به پاچه‌بزی می‌باشد که به عمل تراکم کمک می‌کنند. وجه تسمیه پاچه‌بزی این است که عمل کوباندن این غلتک شبیه اثری است که یک گله گوسفند یا بز بر روی زمین بر جا می‌گذارند. انواع پاچه در اندازه‌ها و اشکال مختلف وجود دارد. این غلتک عمل تراکم را با استفاده از فشار استاتیکی و همچنین عمل ورزدادن انجام می‌دهد.

در هنگام استفاده از این غلتک موارد زیر توصیه می‌شود:

- برای حصول اطمینان از متراکم شدن تمام سطح، هر عبور حدود ۳۰ سانتیمتر یکدیگر را پوشش دهند.
- برای کاهش خطر در هنگام متراکم کردن لبه‌های خاکریز عمیق، از غلتک سه محوری استفاده شود، به صورتی که با حرکت عقب غلتک، سومین محور بر روی لبه خاکریز قرار بگیرد و بیشترین وزن دور از لبه باشد.
- وقتی که مقدار هوا در خاک در حد زیاد است، بهتر است، غلتک با بیشترین سرعت مطمئنه حرکت کند، زیرا سرعت زیاد سبب خروج بهتر هوا می‌شود (نشریه۴۴۶، ۱۳۸۸، صفحات ۳۰ الی ۳۷).

---

[1]. Pneumatic Rollers
[2]. Segmented Pad Rollers

شکل شماره ۸-۵: نوعی از غلتک پاچه‌بزی

۲. غلتک‌های شبکه‌ای

این نوع غلتک‌ها معمولاً از یک استوانه شبکه‌ای که به یک تراکتور وصل است تشکیل می‌شود. البته بعضی از انواع آن نیز به صورت یک‌پارچه با موتور محرک وجود دارد. این غلتک‌ها با سرعت نسبتاً زیاد قادر به کار بوده و در حین عمل، خاک را پراکنده نمی‌کنند. این غلتک‌ها برای خرد کردن قطعات کلوخه خاک‌های چسبنده مناسب می‌باشند.

همچنین از این نوع غلتک می‌توان برای خرد کردن و متراکم نمودن سنگ‌های نرم که دارای افت ۲۰ درصد یا بیشتر در آزمایش لس‌آنجلس می‌باشد، استفاده کرد. قسمت اعظم نیروی متراکم‌کننده این نوع غلتک‌ها از نوع وزن استاتیک و ایجاد ضربه می‌باشد.

شکل شماره ۸-۶: استوانه‌ای شبکه‌ای که با استفاده از تراکتور عمل تراکم خاک را انجام می‌دهد.

۳. غلتک‌های ارتعاشی (لرزنده)

انواع معینی از خاک مانند ماسه، شن، سنگ‌های درشت عکس‌العمل بسیار خوبی در مقابل تراکم تولید شده به وسیله ترکیب فشار و ارتعاش از خود نشان می‌دهند، به این منظور برای این نوع خاک‌ها از غلتک‌های ارتعاشی استفاده می‌کنند. غلتک‌های ارتعاشی (لرزنده) در اندازه‌های مختلف از غلتک کوچک دستی با صفحه فلزی لرزان تا غلتک‌های بزرگ خودرو که دارای استوانه‌های صاف یا پاچه‌بزی و یا کفشک‌دار می‌باشند، وجود دارند. بنابراین غلتک‌های ارتعاشی را می‌توان به گروه‌های زیر تقسیم‌بندی کرد.

- غلتک‌های کوچک

۱. غلتک شامل تخماق‌های دستی (شکل ۸-۷)

۲. غلتک شامل ویبراتورهای صفحه‌ای (شکل ۸-۸)

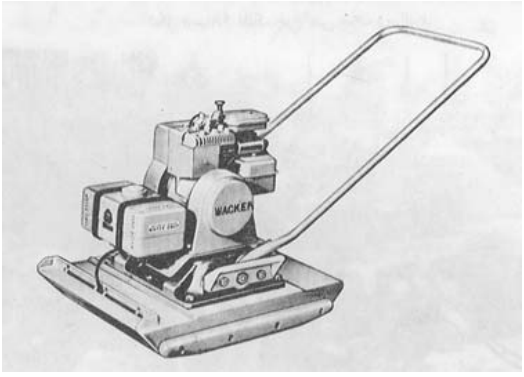
۳. غلتک شامویبراتورهای دستی (شکل ۸-۹)

شکل شماره ۸-۷: نمونه‌ای از تخماق دستی **شکل شماره ۸-۸: نمونه‌ای از ویبراتور صفحه ای**
شکل شماره ۸-۹: غلتک ویبره دستی

- غلتک‌های بزرگ

۱. غلتک چرخ لاستیکی ارتعاشی (شکل ۸-۱۰)

۲. غلتک چرخ آهنی صاف ارتعاشی (شکل ۸-۱۱)



۳. غلتک شبکه‌ای ارتعاشی

شکل شماره ۸-۱۰: غلتک چرخ لاستیکی ارتعاشی شکل شماره ۸-۱۱: غلتک چرخ آهنی صاف ارتعاشی

۴. غلتک‌های با چرخ فولادی صاف

کاربرد این غلتک‌ها در عمل تراکم اساس و سطح آسفالت راه می‌باشد. این غلتک‌ها معمولاً

برای تسطیح سطح نهایی کار مورد استفاده قرار می‌گیرند گاهی به نام غلتک اتو نامیده می‌شوند. غلتک‌های چرخ فولادی دارای انواع متفاوتی هستند که متداول‌ترین آن‌ها عبارتند از:

- غلتک سه چرخ (دو محوری)
- غلتک دو محوری تاندوم
- غلتک سه محوری تاندوم

وزن استاتیک مهم‌ترین نیروی متراکم‌کننده را تشکیل می‌دهد. غلتک سه چرخ پشت سر هم با غلتک دو چرخ پشت سر هم متفاوت است زیرا غلتک سه چرخ، دارای سه درام و سه محور می‌باشد. این دستگاه می‌تواند مؤثرتر از غلتک‌های دو چرخ پشت سر هم و سه چرخ دو محوری، در حذف و یا کاهش ناهمواری‌های عرضی سطح باشد زیرا تمرکز فشار

روی چرخ وسط هنگام عبور ماشین از روی بلندی‌ها باعث تراکم آن‌ها می‌گردد. غلتک‌های چرخ آهنی صاف ممکن است به وسیله وزن که معمولاً بر حسب تن بیان می‌گردد، طبقه‌بندی می‌شوند. چرخ‌ها به صورت استوانه‌ای می‌باشند که ممکن است با اضافه کردن آب یا ماسه وزن آن‌ها افزایش یابد.

در هنگام عملیات با این نوع غلتک‌ها موارد زیر توصیه می‌شود:

- سرعت آهسته و یکنواخت باشد و از شتاب و توقف ناگهانی اجتناب شود، زیرا سطح مصالح جابه‌جا می‌گردد.
- از چرخش تیز اجتناب شود.
- وقتی که بر روی سطح داغ و مصالح چسبنده استفاده می‌شود، از سیستم آب‌پاشی استفاده شود.
- نباید غلتک بر روی سطح آستفالت در حال سرد شدن، توقف کند، زیرا سبب فرورفتگی سطح می‌شود.

شکل شماره ۸-۱۲: غلتک چرخ آهنی صاف

۵.غلتک‌های پنوماتیک (چرخ لاستیکی)

این نوع غلتک‌ها را می‌توان در دو نوع خود متحرک و یا غلتک‌هایی که توسط ماشین‌آلات دیگر کشیده می‌شوند، تقسیم نمود. این غلتک‌ها مسطح بوده و قوانین اعمال فشار در مورد تراکم خاک‌های زیر سطح در موردشان صادق است و عمل تراکم را با استفاده از دو عمل ورز دادن و وزن استاتیک انجام می‌دهند. این نوع غلتک‌ها ممکن است دارای چرخ‌های بزرگ یا کوچک باشند. دستگاه‌های لاستیک کوچک معمولاً دارای دو محور پشت سر هم با چهار تا نه عدد چرخ در هر محور بوده و چرخ‌های عقب طوری قرار گرفته‌اند که بر روی سطح زمین بین فواصل چرخ‌های جلو به منظور پوشش کامل سطح حرکت می‌کنند. غلتک‌های چند چرخ معمولاً برای انجام کار پایانی روی خاک و سطوح آسفالتی به کار می‌روند. معمولاً وزن هر دستگاه را با اضافه کردن وزنه به منظور مناسب نمودن آن برای خاک تحت تراکم تغییر می‌دهند.

روش‌های استفاده از غلتک چرخ لاستیکی به شرح زیر توصیه می‌شود:

- برای تراکم خاک، چهار تا هشت عبور کافی است و برای آسفالت از چهار تا شش عبور توصیه می‌شود.
- ابتدا حرکت به طرف جلو و سپس به طرف عقب در طول جاده باشد و سرعت ۲۰km/h مناسب است.
- اگر برای افزایش وزن در داخل چرخ‌ها آب قرار داده شده، در هوای سرد، آب را باید تخلیه کرد و یا از ضد یخ استفاده شود.

شکل ۸-۱۳: غلتک پنوماتیک با قابلیت تغییر فشار باد لاستیک

- از چرخش بر روی سطح متراکم شده، اجتناب شود و یا چرخش به تدریج انجام شود.
- در هنگام متراکم کردن اساس و لایه‌های سطح جاده، عمل متراکم کـردن از خـارج بـه طرف محور وسط، انجام گردد.
- از افزایش وزن بیش از حد غلتک اجتناب سود، زیرا سبب کاهش عمل ورزیدن می‌شود.

۶ غلتک‌های دارای صفحات فولادی (کفشک‌دار)

این نوع غلتک‌ها شبیه غلتک‌های پاچه‌بزی بوده و فقط به جای پایه‌های پاچه‌بزی، صـفحات بزرگ فولادی بر روی استوانه غلتک سوار شده‌اند. این نوع غلتک‌هـا در حـین عمـل تـراکم اختلال کمتری در سطح خاک ایجاد می‌نمایند.

۷ متراکم‌کننده‌های شبه بولدوزر

این تراکم‌کننده‌ها دارای چرخ‌های فلزی صاف یا با زائده‌های پاچه‌بزی هستند، به طوری که می‌توانند در زمان هل دادن خاک‌های سست، خاک‌های زیرین را متراکم کنند. لازم به ذکر است که این ماشین‌ها صرفاً برای متراکم نمودن خاک به کار نمی‌روند، بلکه در مواقع خاصی مانند زمین‌های با خاک‌های سست یا در مناطق دفع زباله که هدف توده کردن و

کوبیدن است، در ضمن انجام این کار مسیر راه را باز کرده و کار راحت‌تر انجام می‌شود.

شکل شماره ۸-۱۴: انواع متراکم‌کننده‌های شبه بولدوزر

۸-۱-۵. گریدر

از گریدر برای پخش خاک، تنظیم سطح راه، شیب دادن به سطح راه، ایجاد و تنظیم شانه‌های راه، اجرای کارهای عمومی ساختمانی نظیر کانال‌سازی اعم از مقطع V یا ذوزنقه، مخلوط کردن انواع خاک با دانه‌بندی‌های مختلف، رد میکس، پخش آسفالت و برف‌روبی

استفاده می‌شود. دقت در انجام عملیات با گریدر می‌تواند تأثیر قابل توجهی در هزینه عملیات خاکی پروژه‌های مربوط داشته باشد.

موارد استعمال آن به صورت زیر است:

حمل مواد به کنار جاده

شیب‌بندی‌های دقیق

پخش کردن مواد خاکی

کندن جوی

برف روبی

تنظیم شانه‌های راه

مخلوط کردن مواد خاکی با دانه‌بندی‌های مختلف در روسازی آسفالتی راه‌های فرعی به طریق مخلوط کردن خاک و مواد قیری در محل نگهداری رویه جاده‌های شنی (نشریه۴۴۶، ۱۳۸۸، صفحات ۴۱ و ۴۲)

شکل شماره ۸-۱۵: یک نمای کلی از گریدر موتوردار

۸-۱-۶. اسکریپرها

اسکریپرها دستگاه‌هایی هستند که توسط تراکتور کشیده و یا هل داده می‌شوند و برای کندن، بارگیری، حمل، تخلیه، پخش و تراکم اولیه مواد خاکی به کار می‌روند. اسکریپر موتوردار دارای چهارچرخ است. اسکریپرها در زمین‌هایی کاربرد دارند که عاری از سنگ‌های درشت باشند. این دستگاه‌ها به عنوان یکی از بهترین ماشین‌های بارگیری و حمل شناخته شده‌اند.

اسکریپر عملیات خود را در چهار مرحله انجام می‌دهد که این مراحل در زیر آمده‌اند:

الف) بارگیری

ب) حمل بار توسط اسکریپر

پ) عملیات تخلیه

ت) بازگشت به منطقه خاک‌برداری

اسکریپرها را از جنبه‌های مختلفی از جمله موارد زیر می‌توان تقسیم‌بندی کرد:

بر اساس نوع تراکتور (اسکریپر با تراکتور چرخ زنجیری یا اسکریپر با تراکتور چرخ لاستیکی)

- بر اساس قدرت موتور (اسکریپر تک موتوره یا دو موتوره)

- بر اساس ظرفیت و یا نوع مخزن
- بر اساس حداکثر سرعت
- بر اساس حداکثر عمق حفر خاک
- بر اساس حداکثر عمق تخلیه (نشریه۴۴۶، ۱۳۸۸، صفحات ۴۲ و ۵۹)

۸-۱-۷. کامیون

اساساً کامیون به دستگاه کشنده‌ای اطلاق می‌شود که متشکل از یک شاسی و یک کشنده (موتور) باشد. بسته به اینکه بر روی شاسی چه نوع تجهیزات و یا ملحقات دیگری متصل شود، نام‌گذاری متفاوت می‌گردد. می‌توان بر روی شاسی کامیون تجهیزاتی نظیر تراک میکسر، اتاق حمل کالا، جرثقیل، کفی، پمپ بتن، تانکر حمل مایعات، آب‌پاش، قیرپاش و همچنین کمپرسی حمل مصالح قرار داد.

انتقال مصالح حاصل از حفاری یکی از مهم‌ترین مسایل عملیات خاکی است که توسط کامیون‌ها انجام می‌شود. البته انواع وسایل حمل و نقل مصالح حفاری نیز وجود دارند که شامل تسمه نقاله، واگن و موارد دیگر می‌باشند. سیستم تسمه نقاله برای حمل مواد در فواصل محدود درون کارگاه به کار می‌رود. معمولاً برای حمل در محیط کارگاه و خارج آن از کامیون‌ها استفاده می‌شود.

کامیون‌ها در انواع دیزلی، بنزینی و یا گازسوز، یک یا دو دیفرانسیلی و با دو، سه یا چهار محوره به بازار عرضه می‌شوند و تمام این انواع در جاده‌های آسفالته و غیرآسفالته یا خارج از جاده‌های عمومی حرکت می‌کنند. کامیون‌هایی که مخصوص حرکت در خارج از جاده‌ها به

ویژه معادن هستند می‌توانند در ابعاد بزرگ‌تری ساخته شوند و ظرفیتی در حدود چند صد تن داشته باشند. استفاده از این کامیون‌ها در مقادیر بزرگ جابجایی به صرفه می‌باشد.

با توجه به انواع کامیون، موارد کاربرد آن‌ها به قرار زیر است:

حمل مصالح خاکی و قطعات سنگی در تمامی شرایط محیطی

استفاده در عملیات سنگین خاکی از قبیل سدسازی، تونل‌سازی، معادن و غیره

تخلیه خاک به صورت دپو در امتداد یک مسیر

شکل شماره ۸-۱۶: کامیون غیرجاده‌ای کمرشکن

کامیون‌ها را می‌توان به طور کلی به دو نوع کامیون‌های جاده‌ای و غیرجاده‌ای تقسیم نمود. کامیون‌های جاده‌ای به لحاظ مقررات ترافیکی قادر به تردد در جاده‌ها هستند، در حالی که کامیون‌هایی که ظرفیت آن‌ها از مقادیر مجاز تجاوز نماید، صرفاً باید در کارگاه‌ها استفاده شده و برای تردد بین کارگاه‌ها باید سوار کفی یا بوژی شوند. کامیون‌های

غیرجاده‌ای به انواع دامپتراک[1] و کامیون‌های کمرشکن[2] تقسیم می‌شوند. لازم به ذکر است کامیون‌ها از نظر نوع تخلیه نیز به کامیون‌های کمپرسی و غیرکمپرسی تقسیم می‌شوند. نوع کمپرسی دارای جک هیدرولیکی به منظور عمل تخلیه می‌باشد (نشریه۴۴۶، ۱۳۸۸، صفحات ۵۶، ۵۷ و ۵۹).

۸-۱-۸. ماشین آسفالت تراش

هدف اصلی نگهداری راه‌ها فراهم آوردن شرایط مطلوب و راحت رانندگی در تمام شرایط آب و هوایی است. عملیات تراشیدن سرد آسفالت یکی از کم‌هزینه‌ترین و مؤثرترین روش‌های شناخته شده برای نگهداری راه‌ها است تراشیدن آسفالت هنگامی که قطر آسفالت بیشتر از ۱۰ سانتی‌متر است، در کاهش هزینه‌های نگهداری آسفالت شامل دیرتر خراب شدن دفعات بعدی و هزینه‌های نگهداری طولانی مدت بسیار کمک می‌کند.

عمق تراشیدن آسفالت با توجه به شرایط فعلی بستر و یکنواختی مورد نظر (بعد از بستر‌ریزی مجدد) تعیین می‌گردد. تراشیدن آسفالت باعث می‌شود که قشر بعدی ریخته شده یکنواخت‌تر (مسطح‌تر) باشد. ماشین آسفالت تراش ماشینی است که آسفالت خراب شده را می‌تراشد تا بتوانیم به جای آن آسفالت جدید بریزیم. عمل تراشیدن به وسیله

[1]. Dump Truck Off-Road
[2]. Articulated Dump Truck

یک گردنده استوانه‌ای شکل که بر روی آن چندین تیغه نصب شده است انجام می‌گیرد. استفاده از ماشین آسفالت تراش دو مزیت اساسی به شرح زیر دارد:

الف) مواد اولیه برداشته شده و مقطع جاده با مصالح جدید پوشانده می‌شود. همچنین تأسیسات کار گذاشته شده در جاده مثل دریچه فاضلاب، دریچه‌های ادارات برق و آب و ... هم سطح با جاده در کار باقی می‌مانند.

ب) مواد تراشیده شده (آسفالت‌های قدیمی) قابل بازیافت می‌باشد.

به دلیل پیشرفت‌هایی که در سیستم‌های مختلف این ماشین به وجود آمده است، به چندین روش می‌توان تقسیم‌بندی این ماشین‌آلات را انجام داد.

- تقسیم‌بندی بر اساس نوع چرخ:الف) چرخ لاستیکی ب) چرخ زنجیری
- تقسیم‌بندی بر اساس تعداد چرخ‌ها:الف) ۴ چرخ ب) ۳ چرخ
- تقسیم‌بندی بر اساس درجه حرارت آسفالتی که تراشیده می‌شود:

الف) ماشین آسفالت تراش سرد ب) ماشین آسفالت تراش پیش‌گرم‌کن

- تقسیم‌بندی بر اساس نوع تیغه و استوانه تیغه‌ها:

الف) استوانه تیغه کم تعداد ب) استوانه تیغه پر تعداد ج) تیغه‌های مخصوص (صاف)

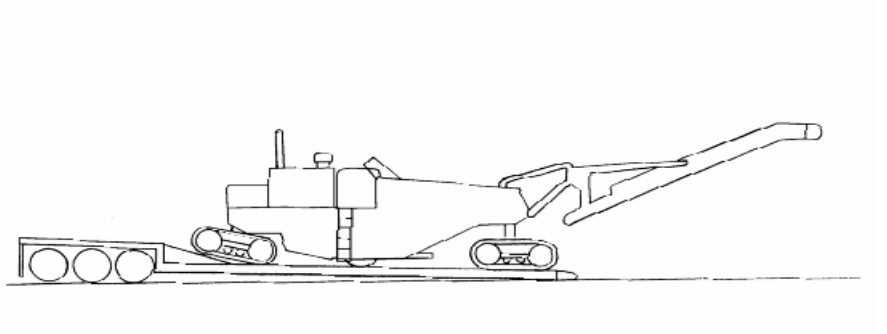
- تقسیم‌بندی بر اساس نوع و تعداد موتور متحرک: الف) یک موتور ب) دو موتور
- تقسیم‌بندی بر اساس نحوه حمل دستگاه:

الف) نوع حمل شونده توسط یدک‌کش (تریلی) (شکل ۸-۱۷)

ب) متصل شونده به کامیون کشنده (شکل ۸-۱۸)

(نشریه۴۴۶، ۱۳۸۸، صفحات ۹۶، ۹۷ و ۹۸)

شکل شماره ۸-۱۷: نوع حمل شونده توسط یدک‌کش (تریلی)



شکل شماره ۸-۱۸: نوع متصل شونده به کامیون

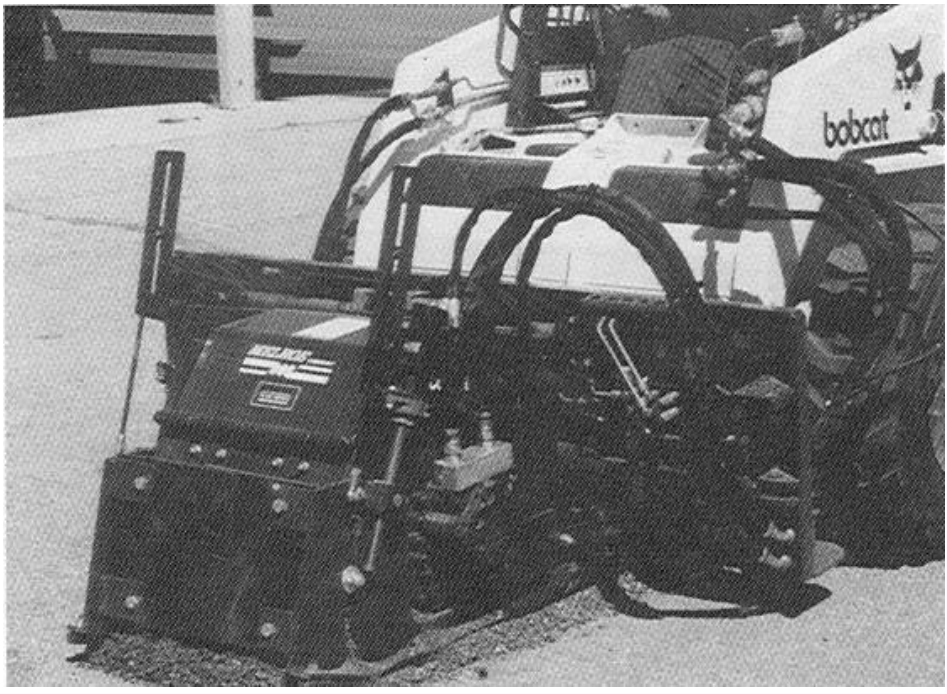
۸-۱-۹. باب‌کت آسفالت (نشریه۴۴۶، ۱۳۸۸، صفحات ۱۰۳ و ۱۰۴)

ماشین باب‌کت آسفالت در واقع همان باب‌کت است که برای تراشیدن و برش آسفالت تجهیز شده است (برای کاربردهای مختلف می‌توان به باب‌کت ضمائم مختلف نصب نمود). ماشین باب‌کت آسفالت دارای دو گونه عمده می‌باشد که با نصب دو ضمیمه مجزا به باب‌کت به وجود می‌آیند.

باب‌کت آسفالت تراش (شکل ۸-۱۹)

باب‌کت برش آسفالت (شکل ۸-۲۰)

شکل شماره ۸-۱۹: باب‌کت تجهیز شده برای تراش آسفالت



شکل شماره ۸-۲۰: باب‌کت تجهیز شده برای برش آسفالت

۸-۱-۱۰. ماشین برش آسفالت

از ماشین برش آسفالت (شکل ۸-۲۱) برای برش آسفالت خیابان‌ها، جاده‌ها و غیره به منظور انجام عملیات خاص و یا ترمیم آسفالت استفاده می‌شود. مزیت برش قبل از کندن آسفالت آن است که آسفالت سطح کناری منطقه مورد نظر دست نخورده باقی می‌ماند اما در غیر این صورت آسفالت کنار منطقه مورد نظر در حین کندن آسیب می‌بیند. به علاوه

اینکه کندن آسفالت یک تکه بسیار مشکل‌تر است و نیاز به صرف نیروی بیشتری دارد (نشریه۴۴۶، ۱۳۸۸، صفحات ۱۱۴ و ۱۱۶).

شکل شماره ۸-۲۱: ماشین برش آسفالت

ماشین برش آسفالت با توجه به اندازه آن به شرح زیر قابل تقسیم می‌باشد:

- نوع ضمیمه‌ای
- تیغه بدون نیروی محرکه
- تیغه دارای نیروی محرکه
  - نوع دستی
  - نوع ماشینی

۸-۱-۱۱. تریمر آسفالتی

امروزه ابنیه فنی مانند جاده‌ها، اتوبان‌ها، باندهای فرودگاه و پیاده‌روها و ... دارای پوشش بتنی و یا آسفالتی می‌باشند. در طی زمان این پوشش‌ها تحت اثر تغییر دما، ضربه‌های دینامیکی و خستگی و عوامل دیگر تحت فرسایش قرار می‌گیرند. در نتیجه این راه‌ها نیاز به تعمیر و نگهداری دارند. برای ترمیم پوشش آسفالتی و یا بتنی جاده‌ها و اتوبان‌ها از ماشین تریمر آسفالتی استفاده می‌شود. این دستگاه از یک تریمرهد[1] تشکیل شده که قادر است به وسیله دندانه‌های متصل به خود لایه‌های آسفالتی و یا بتنی را برداشته و توسط تسمه نقاله، آن‌ها را به درون کامیون منتقل کند.

[1]. Trimmer Head

مهم‌ترین کاربرد این دستگاه کندن لایه‌های آسفالتی و یا بتنی است. این دستگاه همچنین توانایی شیب دادن به راه جدید و تثبیت خاک را دارد. نوع خاصی از تریمرهای آسفالتی نیز قادرند پس از عملیات کندن بتن و یا آسفالت، بتن و آسفالت جدید در محل ریخته و شیب‌بندی نمایند. این ماشین همچنین قادر است پس از ترمیم کردن مسیر جلوی خود پس‌مانده‌های کنار شانه راه را جمع‌آوری و آن را شیب‌بندی کند.

با توجه به عملکرد مورد نیاز، تریمرهای آسفالتی به شرح زیر تقسیم‌بندی می‌شوند:

تریمر ساده: نوع ساده این دستگاه تنها قادر است بتن یا آسفالت را کنده و به کامیون منتقل کند (نشریه۴۴۶، ۱۳۸۸، صفحات ۱۲۳ و ۱۲۶).

تریمر با قابلیت ریختن بتن یا آسفالت و تثبیت خاک: برخی از تریمرهای آسفالتی هستند که پس از کندن بتن یا آسفالت قدیمی می‌توانند بتن یا آسفالت جدید را جایگزین

کنند و برخی از آن‌ها نیز تثبیت خاک را پس از ترمیم کردن انجام می‌دهند. این ماشین‌ها

توانایی شانه زنی را دارند و دو طرف مسیر را شیب‌بندی می‌کنند. بازوهای تلسکوپی متصل به این دستگاه دارای سنسورهایی برای ردیابی و اندازه‌گیری دقیق می‌باشد.

شکل شماره ۸-۲۲: ایجاد شانه راه توسط تریمر آسفالتی

۸-۱-۱۲. ماشین فینیشر آسفالت

از مسایلی که در آسفالت کردن معابر بسیار حائز اهمیت می‌باشد، ایجاد سطحی است که در تمامی طول مسیر یکنواخت بوده و به صورت به هم پیوسته و بدون هیچ‌گونه ترک خوردگی، فرورفتگی یا برآمدگی باشد. فینیشر آسفالت ماشینی است که برای رسیدن به این منظور مورد استفاده قرار می‌گیرد. فینیشر آسفالت ماشینی است که برای پخش مخلوط آسفالت، به صورت کاملاً صاف و یک‌دست، روی سطح زمین به کار می‌رود. به این ترتیب که مخلوط آماده شده آسفالت به آن تحویل داده می‌شود و ماشین آن را به صورت نواری با پهنا و ضخامت از قبل تعیین شده، که توسط اپراتور قابل تنظیم می‌باشد، روی سطح ریخته و مسیر را برای عبور غلتک آماده می‌کند.

موارد استعمال ماشین فینیشر در عملیات آسفالت، به صورت ساخت و یا تجدید ساخت خیابان‌ها، اتوبان‌ها، جاده‌ها، پارکینگ‌ها، باند فرودگاه و امثال آن می‌باشد. اگرچه هر یک از طراحان فینیشرها تدابیر خاصی برای انجام این وظایف توسط ماشین خود اندیشیده‌اند، اما می‌توان اصول کلی کار انواع فینیشرها را یکسان و به صورت زیر دانست:

- دریافت مخلوط آسفالت از کامیون حمل آسفالت که آسفالت داخل مخزن[1] ریخته می‌شود.
- انتقال مخلوط به قسمت انتهای دستگاه، این انتقال به وسیله پمپ هیدرولیک انجام می‌شود.

- قبل از شروع کار شمشه[2] را با کوره‌ای که در فینیشر وجود دارد گرم می‌کنند که آسفالت سرد نشود و به هیچ وجه نباید شمشه را با تماس با آسفالت گرم کرد.
- پخش آسفالت روی سطح (پخش یکدست).
- فشرده ساختن اولیه و محدود آسفالت با غلتک کوچک[3] که جزو فینیشر است.
- فینیشرها دارای انواع چرخ لاستیکی و چرخ زنجیری (رولیک) می‌باشند (نشریه۴۴۶، ۱۳۸۸، صفحات ۱۲۸ و ۱۲۹).

شکل شماره ۸-۲۳: فینیشر چرخ لاستیکی و چرخ زنجیری (رولیک)

۸-۱-۱۳. ماشین قیرپاش

[1] Hopper
[2] Screed
[3] Tamping Bar

از این وسیله برای قیرپاشی قشر نفوذی (پریمکت) و اندود سطحی (تک کت) استفاده می‌شود. این ماشین، مجهز به دستگاه تولید حرارت (با درجه حرارت قابل کنترل) برای گرم کردن قیر می‌باشد. ماشین قیرپاش دارای لوله پخش‌کن، به طول ۱/۸ الی ۹ متر است ولی به طور رایج طول آن در حدود ۴ متر می‌باشد. میزان پخش در این دستگاه بر حسب کیلوگرم بر متر مربع قابل کنترل است. همچنین این دستگاه دارای لوله جداگانه می‌باشد که می‌توان به وسیله آن مکان‌هایی را که ماشین نمی‌تواند در آن‌ها حرکت نماید، قیرپاشی نمود.

این ماشین بر روی شاسی یک کامیون یا تریلی کوچک سوار می‌شود. ماشین قیرپاش معمولاً علاوه بر راننده یک مسئول عملیات نیز دارد راننده مسئول هدایت کامیون و سرعت آن می‌باشد و مسئول عملیات، وظیفه رسیدگی به عملیات فنی مربوط به قیرپاشی سطح جاده را بر عهده دارد.

به طور معمول وظیفه ماشین قیرپاش ایجاد یک سطح مناسب قیری در جاده‌ها برای ریختن آسفالت می‌باشد. همچنین از این ماشین برای لکه‌گیری سطح و انواع دیگر مراقبت‌های نوسازی، برای شکل‌دهی و یا تقویت با خصوصیات بافتی ویژه استفاده می‌شود.

به طور کلی روکش قیری را می‌توان برای موارد متعددی از جمله بازسازی سطح خیابان‌ها، عریض کردن جاده‌ها، بازسازی شانه‌ها، لکه‌گیری و نیز ماده ضد آب استفاده نمود.

شکل شماره ۸-۲۴: نمایی از ماشین قیرپاش

با توجه به نوع استفاده از ماشین قیرپاش می‌توان آن را به دو دسته تقسیم‌بندی نمود:

- ماشین قیرپاش برای قیرپاشی سطح زیرین لایه آسفالتی
- ماشین قیرپاش لکه‌گیر
- از منظر دیگر نیز می‌توان این ماشین را به انواع زیر تقسیم‌بندی نمود:
- ماشین قیرپاش همراه کشنده (تانک ذخیره قیر بر روی کامیون سوار می‌شود)

- ماشین قیرپاش دستی(نشریه۴۴۶، ۱۳۸۸، صفحات ۱۳۷ و ۱۴۰)

خلاصه

ماشین‌آلات راه‌سازی به عنوان ابزار اصلی عملیات راه‌سازی می‌باشند که هر یک کارآیی و عملکرد متناسب را دارا می‌باشد و عمده‌ترین ماشین‌آلات راه‌سازی عبارتند از: لودر، بولدوزر، ریپر، غلتک‌ها، گریدر، اسکریپر، کامیون، ماشین آسفالت تراش، باب‌کت آسفالت، ماشین برش آسفالت، تریمر آسفالتی، ماشین فینیشر آسفالت، ماشین قیرپاش و ....

اساسی‌ترین مسئله در راه‌سازی و عملیات ساختمانی، رساندن میزان دانسیته و مقاومت لایه‌های خاک به مقدار مطلوب می‌باشد. این مقادیر باید در حدی باشد تا سطوح مختلف زمین در اثر تنش‌های وارده ناشی از عبور بار تغییر شکل نداده و بتواند تحمل جذب و انتقال بار از لایه‌های بالاتر به پایین‌تر را داشته باشند. برای این منظور باید لایه‌های مختلف خاک را تا حد قابل قبولی متراکم نمود.

تراکم عبارت است از ازدیاد دانسیته خاک از طریق نزدیک کردن ذرات و دانه‌های خاک به یکدیگر که معمولاً با خارج کردن هوا از فضاهای خالی بین ذرات خاک انجام می‌گیرد. عمل اضافه کردن دانسیته خاک در اثر تخلیه آب موجود در آن، تحکیم نامیده می‌شود. تحکیم در طول ماه‌ها و سال‌ها انجام می‌شود، در صورتی که عمل تراکم را می‌توان در عرض مدت زمان کوتاهی انجام داد. خواصی از خاک چون اضافه شدن مقاومت خاک، کم شدن قابلیت تغییر حجم خاک و کم شدن قابلیت نفوذپذیری خاک با تراکم بهبود می‌پذیرند.

مهم‌ترین ماشین‌آلات راه‌سازی و ساختمانی کامیون بوده و به دستگاه کشنده‌ای اطلاق می‌شود که متشکل از یک شاسی و یک کشنده (موتور) باشد. بسته به اینکه بر روی شاسی چه نوع تجهیزات و یا ملحقات دیگری متصل شود، نام‌گذاری، متفاوت می‌گردد. می‌توان بر روی شاسی کامیون تجهیزاتی نظیر تراک میکسر، اتاق حمل کالا، جرثقیل، کفی، پمپ بتن، تانکر حمل مایعات، آب‌پاش، قیرپاش و همچنین کمپرسی حمل مصالح قرار داد.

انتقال مصالح حاصل از حفاری یکی از مهم‌ترین مسایل عملیات خاکی است که توسط کامیون‌ها انجام می‌شود. البته انواع وسایل حمل و نقل مصالح حفاری نیز وجود دارند که شامل تسمه نقاله، واگن و موارد دیگر می‌باشند. سیستم تسمه نقاله برای حمل مواد در فواصل محدود درون کارگاه به کار می‌رود. معمولاً برای حمل در محیط کارگاه و خارج آن از کامیون‌ها استفاده می‌شود.

آزمون

۱. ماشین‌آلات راه‌سازی مورد استفاده در اجرای عملیات آسفالت را نام ببرید؟
۲. ماشین لودر قادر به انجام چه کارهایی می باشد؟
۳. مهم‌ترین ماشین ساختمانی و راه‌سازی را نام ببرید؟
۴. نحوه شکافتن زمین‌های سخت چگونه است؟
۵. تراکم و تحکیم خاک را تعریف نمایید؟
۶. تراکم چه خواصی از خاک را بهبود می‌دهد؟
۷. عمل تراکم با چه وسیله‌ای صورت می‌گیرد؟ نیروهایی که جهت تراکم خاک به کار می‌روند کدامند؟
۸. موارد استفاده از کامیون را نام ببرید؟
۹. ماشین آسفالت تراش در چه مواردی استفاده می‌شود؟
۱۰. اصول کلی کار انواع فینیشرها را تشریح نمایید؟

فهرست منابع و مراجع

۱. سرائی‌پور، محمد، *آسفالت*، چ ۴، تهران، انتشارات دهخدا، ۱۳۷۷.

۲. معاونت نظارت راهبردی دفتر نظام فنی اجرایی، *مشخصات فنی عمومی راه، نشریه شماره ۱۰۱*، چ ۶، تهران، انتشارات معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رئیس جمهور، ۱۳۸۹ .

۳. وزارت راه و ترابری مرکز تحقیقات و آموزش، *آیین‌نامه روسازی آسفالتی راه‌های ایران، نشریه شماره ۲۳۴*، چ ۱، تهران، انتشارات سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، ۱۳۸۱.

۴. وزارت راه و ترابری مرکز تحقیقات و آموزش، *مشخصات فنی اجرایی بازیافت سرد آسفالت، نشریه شماره ۳۳۹*، چ ۱، تهران، انتشارات سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، ۱۳۸۵.

۵. وزارت راه و ترابری معاونت آموزش، تحقیقات و فناوری، *کاربرد پلیمر در بهبود خواص قیرها و مخلوط‌های آسفالتی*، چ ۱، پژوهشکده حمل و نقل، ۱۳۸۵.

۶. نصر آزادانی سید مسعود، رضایی فریدون، *بازیافت درجای گرم آسفالت*، چ ۱، انتشارات به‌آوران، ۱۳۸۸ .

7. The Asphalt Institute, *The asphalt handbook*, Maryland, Forth Printing, 1968.

8. The Asphalt Institute, *Mix Design Methods for Asphalt Concrete*, Maryland, Third Printing, 1963.

9. The Asphalt Institute, *Asphalt Mix-in-place Manual*, Maryland, Second Printing, 1965.

10. Her Majesty's Stationary Office, *Design of Concrete Mixes*, London, 1969.

11. The Asphalt Institute, *Asphalt in Hydraulic Structures*, Maryland, Fifth Printing, 1965.
12. The Asphalt Institute, *Soils Manual for Design of Asphalt Pavement Structure*, Maryland, Second Printing, 1964.
13. The Asphalt Institute, *Thickness Design*, Revised Edition, Maryland, 1970.
14. The Asphalt Institute, *Asphalt Plant Manual*, Forth Edition, Maryland, 1974.
15. The American Association of state highway officials, *Methods of sampling and testing*, Washington, 1950.
16. The Asphalt Institute, *Asphalt surface treatments*, Maryland, Third Printing, 1965.
17. California Department of Transportation, *Production of asphalt concrete*, Sacramento, 1979.
18. The Asphalt Institute, *MS-14 Asphalt Cold Mix Manual,* Maryland, Third Edition, 1997.
19. The Asphalt Institute, *Sampling Asphalt Products for specifications compliance*, Maryland, First edition, 1968.
20. Department of Transport (State of California), *Standard Specifications,* Sacramento, 1981.
21. Dynapac, *Asphalt Surface Treatment*, Stockholm, 1984.
22. The Asphalt Institute, *Mix design Methods*, Forth Edition, Maryland, 1974.
23. John Wiley and Sons Inc., *Soil Mechanics*, Massachusetts Institute of Technology, New York.
24. The Asphalt Institute, *Principles of Construction of Hot Mix Asphalt Pavements, MS-22*, Maryland, 1983.

25. US Army Corps of Engineers, *Hot Mix Asphalt Paving Handbook 2000*, ISBN 0-309-07157-7, U.S.A., 2000.

وزارت کشور

سازمان شهرداری‌ها و دهیاری‌های کشور

پژوهشکده مدیریت شهری و روستایی

استانداری خراسان جنوبی

معاونت امور عمرانی

دفتر امور شهری و شوراها

پژوهشکده مدیریت شهری و روستایی
تهران ـ بلوار کشاورز
ابتدای خیابان نادری
پلاک ۱۷
تلفن : ۸۸۹۸۶۳۹۸
نمابر: ۸۸۹۷۷۹۱۸
www.imo.org.ir

ISBN:978-600-5950-84-7

قیمت : ۷۵۰۰۰ ریال