جمهوری اسلامی ایران

سازمان برنامه و بودجه کشور

آیین نامه راه‌های ایران (آرا)

مشخصات فنی عمومی راه

ضابطه شماره ۱۰۱–۸۰۰

(تجدید نظر سوم)

آخرین ویرایش : ۲۲–۰۱–۱۴۰۵

معاونت فنی، زیربنایی و تولیدی

امور نظام فنی و اجرایی

Nezamfanni.ir

۱۴۰۵

ریاست جمهوری
سازمان برنامه و بودجه کشور
رئیس سازمان

باسمه تعالی

بخشنامه به دستگاه‌های اجرایی، مهندسان مشاور و پیمانکاران	**شماره :** **۱۴۰۴/۳۴۸۷۰۱**
	تاریخ : **۱۴۰۴/۰۷/۱۳**

به استناد ماده(۳۴) قانون احکام دائمی برنامه‌های توسعه کشور و تبصره ذیل بند(۳-۱) ماده(۴) «سند نظام فنی‌واجرایی یکپارچه کشور»، موضوع تصویب‌نامه شماره ۴۰۵۴۴/ت۶۳۷۱۹ه مورخ ۱۴۰۴/۰۳/۰۶ هیئت وزیران؛ ضابطه پیوست با مشخصات زیر ابلاغ و در«سامانه نظام فنی‌واجرایی کشور» به نشانی Nezamfanni.ir منتشر می‌شود:

عنوان:	**آیین‌نامه راه‌های ایران (آرا) – مشخصات فنی عمومی راه (تجدیدنظر سوم)**
شماره ضابطه:	**۸۰۰–۱۰۱**
نوع ابلاغ:	لازم الاجرا
حوزه شمُول:	در همه قراردادهای جدیدی که از محل وجُوه عمومی ویا به صورت مشارکت عمومی-خصوصی منعقد می‌شوند، این بخشنامه از تاریخ اجرا جایگزین بخشنامه شماره ۹۲/۴۱۲۰۳ مورخ ۱۳۹۲/۰۵/۱۳ می‌شود.
تاریخ اجرا:	۱۴۰۵/۰۱/۰۱
متولی تهیه، اخذ بازخورد و اصلاح:	دبیرخانه «**آیین‌نامه راه‌های ایران – آرا**» مستقر در امور نظام فنی‌واجرایی سازمان برنامه‌وبودجه کشور
مرجع اعلام اصلاحات:	امور نظام فنی‌واجرایی سازمان برنامه‌وبودجه کشور

در صورت توافق طرفین پیمان، مفاد این ضابطه برای قراردادهایی که قبل از تاریخ اجرایی شدن این بخشنامه منعقد شده‌اند نیز قابل استفاده است. در صورت مغایرت مفاد این ضابطه با بخشنامه شماره ۱۰۰/۲۸۱۴۲ مورخ ۱۳۹۰/۰۴/۱۱، مفاد این ضابطه از زمان اجرایی شدن بخشنامه ملاک عمل قرار می‌گیرد.

سیدحمید پورمحمدی

ریاست جمهوری
سازمان برنامه و بودجه کشور

شماره نامه: ۶۸۲۰۳
تاریخ نامه: ۱۴۰۵/۰۲/۲۱
پیوست: ندارد

بسمه تعالی

دستگاه‌های اجرایی
مهندسان مشاور
شرکت‌های پیمانکار

موضوع: ویرایش مورخ ۱۴۰۵/۰۱/۲۲ آیین‌نامه راه‌های ایران (آرا) آیین‌نامه مشخصات فنی عمومی راه

باسلام و احترام؛

پیرو ابلاغ ضابطه شماره ۱۰۱-۸۰۰ با عنوان «آیین‌نامه راه‌های ایران (آرا) - مشخصات فنی عمومی راه» طی بخشنامه شماره ۱۴۰۴/۳۴۸۷۰۱ مورخ ۱۴۰۴/۰۷/۱۳؛ ویرایش مورخ ۱۴۰۵/۰۱/۲۲ این ضابطه که شامل تغییرات و اصلاحات موردی در صفحات با شماره ۲۵، ۳۴، ۳۶، ۵۴، ۲۲۱، ۲۲۳، ۲۳۳، ۲۴۲، ۲۵۴، ۲۸۶، ۵۰۱، ۵۰۵، ۵۰۷، ۵۰۹، ۵۱۳، ۵۱۹، ۵۲۷، ۵۳۵، ۵۵۵، ۵۶۳، ۵۶۵، ۵۷۸، ۵۸۱، ۵۸۷ و ۵۸۹ بوده و در متن مشخص شده است، برای بهره‌برداری و رعایت به صورت لازم‌الاجرا منتشر می‌شود.

سعید وکیلی
رییس امور نظام فنی‌واجرایی

رونوشت:
معاونت حقوقی ریاست جمهوری- سامانه ملی قوانین و مقررات جمهوری اسلامی ایران
امورحقوقی قوانین و مقررات
دبیرخانه مرکزی سازمان

اصلاح مدارک فنی

خواننده گرامی:

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

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

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

۲- ایراد مورد نظر را به صورت خلاصه بیان دارید.

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

کارشناسان این امور نظرهای دریافتی را به دقت مطالعه نموده و اقدام مقتضی را معمول خواهند داشت.

پیشاپیش از همکاری و دقت نظر جنابعالی قدردانی می‌شود.

نشانی برای مکاتبه: تهران، میدان بهارستان، خیابان صفی علی‌شاه – مرکز تلفن ۳۳۲۷۱

سازمان برنامه و بودجه کشور، امور نظام فنی و اجرایی

Email: nezamfanni@chmail.ir **web: nezamfanni.ir**

باسمه‌تعالی

پیشگفتار اصلاحیه مورخ ۱۴۰۵/۰۱/۲۲

پس از ابلاغ ضابطه شماره ۱۰۱-۸۰۰ آیین‌نامه راه‌های ایران (آرا) – مشخصات فنی عمومی راه در تاریخ ۱۳ مهر سال ۱۴۰۴ و لزوم اجرای آن در تاریخ ۱۴۰۵/۰۱/۰۱، امور نظام فنی‌واجرایی نسبت به اخذ بازخورد از جامعه مهندسی کشور و کاربران مجموعه اقدام و پس از برگزاری جلسات تخصصی کمیته بازنگری نسبت به اعمال برخی اصلاحات در قالب ویرایش حاضر اقدام نمود.

در این ویرایش، ضمن اعمال اصلاحات فنی، فهرست اصلاحات به‌عمل‌آمده در متن ضابطه در جدول مربوطه ارائه شده است. تمامی تغییرات در متن با درج تاریخ اعمال اصلاحات مشخص شده است. اگرچه در تهیه این مجموعه، نهایت دقت، نظم، وقت‌گذاری کارشناسی و استفاده از مراجع معتبر منظور شده است، با این حال مصون از اشکال و ابهام نبوده و در راستای تکمیل، به‌روزرسانی و ارتقای کیفیت ضابطه، از کلیه کاربران محترم، مهندسان مشاور، پیمانکاران، دستگاه‌های اجرایی و جامعه مهندسی کشور، درخواست می‌شود پیشنهادها، اصلاحات و نظرات کارشناسی خود را به دبیرخانه آیین‌نامه راه‌های ایران (آرا) مستقر در امور نظام فنی و اجرایی سازمان برنامه و بودجه کشور ارسال نمایند. پیشنهادهای دریافتی پس از بررسی کارشناسی و در صورت نیاز با هماهنگی نمایندگان جامعه مهندسی کشور و متخصصان، در فرآیند بازنگری‌های آتی مورد استفاده قرار گرفته و نتایج آن از طریق پایگاه اطلاع‌رسانی رسمی نظام فنی و اجرایی کشور (Nezamfanni.ir) جهت بهره‌برداری عمومی اعلام خواهد شد. برای تسهیل در ردیابی آخرین اصلاحات معتبر، تاریخ تدوین مطالب در بالای صفحات درج شده است و در صورت هرگونه تغییر در محتوای هر صفحه، تاریخ مربوطه نیز به‌روزرسانی خواهد شد؛ از این‌رو همواره آخرین نسخه دارای تاریخ جدید، نسخه معتبر و قابل استناد خواهد بود.

فهرست اصلاحات فنی اعمال شده در ویرایش ۱۴۰۵/۰۱/۲۲

ردیف	شماره فصل	شماره صفحه	شرح تغییرات
۱	۲	۲۵	بند ۲-۹-۵ اگر مقدار مصالح مانده روی الک ۱۹ میلی متر بیش از ۵ درصد و تا حداکثر ۳۰ درصد باشد
۲		۳۴	بند ۲-۲۲ کنترل کیفیت و پذیرش افزودن متن در خصوص تراکم نسبی کلیه لایه های متراکم شده به نحوی که باید همواره حداقل مشخصات را برآورده سازد.
۳		۳۶	بند ۲-۲۲-۸ افزودن متن زیر: ضخامت لایه های کوبیده شده در خاکریز معمولی نباید از ۱/۱ ضخامت ابلاغی بیشتر و از ۱۰ سانتی‌متر کمتر باشد.
۴	۵	۵۴	بند ۵-۲-۲ تغییر مقاومت پارگی به مقاومت شکست
۵	۱۲	۲۳۳	بند ۱۲-۲-۲-۹ ردیف ح -یک آزمایش سی بی آر آزمایشگاهی روی خاک تثبیت شده (قبل از افزودن آب اختلاط) در فواصل ...
۶	۱۲	۲۲۱	جدول ۱۲-۵ ردیف الک های ۳۷/۵ ، ۲۵ و ۱۹ میلی متر حذف گردید.
۷	۱۲	۲۲۳	جدول ۱۲-۶ درصد وزنی مانده روی الک به ۰٫۰۷۵ تغییر یافته است.
۸	۱۳	۲۴۲	جدول ۱۳-۲ محدوده دانه بندی های مصالح اساس – اندازه الک ها اصلاح گردید.
۹		۲۵۴	جدول ۱۳-۵ ردیف الک های ۳۷/۵ ، ۲۵ و ۱۹ میلی متر حذف گردید.
۱۰	۱۴	۲۸۶	بند ۱۴-۵ آخرین پاراگراف حذف گردید.
۱۱	۲۰	۵۰۱	بند ۲۰-۲-۱-۳ انتخاب قیر اضافه گردید
۱۲		۵۰۵	بند ۲۰-۲-۱-۳-۱ ردیف ث- دوام مخلوط های آسفالتی در برابر آب، ج- نسبت درصد وزنی فیلر به درصد قیر موثر
۱۳		۵۰۷	بند ۲۰-۲-۱-۴-۲ متنی در خصوص آزمایش داوم مخلوط های آسفالتی در برابر آب به استناد استاندارد ASTM D4867 برای برخی از مناطق کشور از جمله استان های جنوبی و حاشیه خلیج فارس و دریا عمان افزوده شد.

ردیف	شماره فصل	شماره صفحه	شرح تغییرات
۱۴		۵۰۹	جدول ۲۰-۸ مشخصات فنی ماسه آسفالت در تراز بیش از ده سانتی متر نسبت به سطح رویه نهایی اصلاح گردید.
۱۵		۵۱۳	بند ۲۰-۲-۲-۳ مشخصات قیر افزوده شد.
۱۶		۵۱۹	بند ۲۰-۲-۳-۳ متن «استفاده از قیر های اصلاح شده، مشروط بر اینکه رده قیر انتخاب شده دارای محدوده دمایی PG بیش از ۹۲ باشد مجاز است.» افزوده شده است.
۱۷		۵۲۷	بند ۲۰-۳-۴-۳ ردیف الف: سطر آخر بتن آسفالتی داغ از الک شماره ۸ به پایین حتی الامکان به موازات دو حد بالا و پایین دانه بندی انتخابی باشد. اصلاح گردید.
۱۸		۵۳۵	بند ۲۰-۳-۵-۱-۱ ت: واحد خشک کننده توضیحات بیشتری در خصوص عملکرد واحد خشک کننده افزوده شده است.
۱۹		۵۵۵	بند ۲۰-۳-۶ حمل و توزین مخلوط آسفالتی توضیح کاملی در خصوص پیشگیری از پدیده جداشدگی مخلوط آسفالتی افزوده شده است.
۲۰		۵۶۳	بند ۲۰-۳-۷-۵ درجه حرات پخش توضیح کاملی در خصوص دمای تولید و پخش مخلوط آسفالتی که بر سهولت تراکم و مدت زمان لازم برای دستیابی به تراکم تاثیر گذار است، افزوده شده است.
۲۱		۵۶۵	بند ۲۰-۳-۸ کوبیدن مخلوط آسفالتی متن کاملی در خصوص تراکم روسازی آسفالتی که مطابق طراحی و مشخصات تولید شده است افزوده شده است تا ویژگی های عملکردی مورد انتظار برآورده شود.
۲۲		۵۷۸	جدول ۲۰-۲۴ کنترل کیفیت آسفالت تولیدی اصلاح شده است.
۲۳		۵۸۱	بند ۲۰-۴-۴ کنترل کیفیت عملیات اجرایی متن کاملی در خصوص استفاده از نمودارهای ترسیم شده بر اساس تحلیل های آماری انجام شده افزوده شده است. تا با توجه به تعداد زیاد مشخصه‌های کیفی در تولید و اجرای مخلوط آسفالتی نمودارهایی برای برخی از مشخصه‌ها از جمله مقدار قیر

ردیف	شماره فصل	شماره صفحه	شرح تغییرات
			مصرفی، درصد فضای خالی، درصد مصالح عبوری از الک شماره ۲۰۰، دانه بندی سنگدانه‌ها ... ترسیم و مورد استفاده قرار گیرد.
۲۴		۵۸۷	در بند ۲۰-۵ زیربند با موضوعات تعاریف و نحوه انجام آزمایش حذف شده است.
۲۵		۵۸۹	جدول ۲۰-۲۷ محدوده مشخصه های عملیات آسفالتی داغ برای ارزیابی آماری و تعیین ضریب پرداخت اصلاح شده است.
۲۶			اصلاحات متعدد ویرایشی در متن فصول انجام شده است. با توجه به تعداد زیاد و پراکندگی در متن فصول از بیان خودداری شده است.

باسمه‌تعالی

پیشگفتار تجدید نظر سوم ۱۴۰۴

سازمان برنامه و بودجه کشور به عنوان متولی توسعه پایدار کشور و نظام فنی و اجرایی یکپارچه، به استناد ماده (۲۳) قانون برنامه و بودجه و ماده (۳۴) قانون احکام دائمی برنامه‌های توسعه و آیین‌نامه و سند اجرایی آن، با کمک دستگاه‌های اجرایی و توان متخصصان دانشگاهی و حرفه‌ای کشور، به تهیه و ابلاغ ضوابط و مقررات و مستندات لازم در این حوزه می‌پردازد.

استفاده از ضوابط و معیارها در مراحل پیدایش، مطالعه (مطالعات امکانسنجی)، طراحی (پایه و تفصیلی)، اجرا، راه‌اندازی و تحویل و بهره‌برداری طرح‌های عمرانی به لحاظ فنی و اقتصادی، کیفیت طراحی و اجرا (عمر مفید) و هزینه‌های بهره‌برداری از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. تدوین این ضوابط و معیارها مستلزم انجام پژوهش‌های علمی و تخصصی به دست نیروی انسانی متخصص و کارآمد و در راستای سیاست‌ها و برنامه‌های بالا دستی و اولویت‌دار است. البته این نکته نیز حائز اهمیت است که نتایج حاصل از پژوهش‌های علمی و تخصصی باید بلند مدت و فراگیر باشد تا امکان انتقال و کسب تجربه فراهم و موجب تقویت و تعالی شاخص‌های توسعه گردد. آیین‌نامه راه‌های ایران (آرا) به منظور تکمیل و یکپارچه سازی ضوابط فنی حوزه راه، مشتمل بر تدوین و بازنگری تمام ضوابط مورد نیاز مطالعات توجیهی، تهیه طرح، احداث، بهره‌برداری و نگهداری و بهسازی، با همکاری جامعه فنی و مهندسی کشور در دست تهیه بوده و به مرور نهایی و ابلاغ می‌شود.

مجموعه حاضر تجدید نظر سوم ضابطه مشخصات فنی عمومی راه است که تحت عنوان «آیین‌نامه راه‌های ایران (آرا) آیین‌نامه مشخصات فنی عمومی راه» و شماره ضابطه ۱۰۱-۸۰۰ در قالب ۲۵ فصل تدوین شده که اهم تغییرات در فصول به شرح جدول زیر است.

اصلاح نگارشی و ویرایشی	اصلاح فنی و محتوایی	ارجاع حداکثری در متن جدید به ضوابط مرجع قبلی
فصول: **اول** (تعاریف، به‌روزآوری متاثر از تغییرات سایر فصول)، **سوم** (پی‌کنی ابنیه فنی)، **پنجم** (کارهای بنایی)، **هشتم** (کنترل فرسایش خاک)، **نهم** (قنات‌ها)، **دهم** (کارهای فلزی- جان پناه – عایقبندی و اندودها)، **یازدهم** (زهکشی و تخلیه آبها)، **نوزدهم** (آسفالت ماکادم نفوذی) **بیست و یکم** (رویه‌های شنی و شانه رویه‌های آسفالتی و بتنی) **بیست و چهارم**(دستورالعمل های ایمنی و بهداشت حرفه‌ای در کارهای راه‌سازی)، **بیست و پنجم** (استانداردهای‌مشخصات و آزمایش‌ها، به‌روزآوری متاثر از تغییرات سایر فصول)	**فصول:** **دوم** (عملیات خاکی)، **دوازدهم** (قشر زیراساس)، **سیزدهم**(اساس)، **چهاردهم** (قیر در راه‌سازی)، **پانزدهم** (اندود نفوذی (پریم کت)، **شانزدهم** (اندود سطحی (تک کت)، **هفدهم**(آسفالت‌های حفاظتی)، **هیجدهم** (آسفالت سرد)، **بیستم** (آسفالت گرم و بتن آسفالتی)، **بیست و دوم** (ژئوسنتتیک‌ها در راه‌سازی)	**فصول:** **چهارم** (بتن و بتن مسلح) **ششم** (شمع‌کوبی، شمع ریزی و سپرکوبی) **هفتم** (ضوابط قالب‌بندی، لوله‌ها و مجراهای مدفون در بتن و درزهای اجرایی) **بیست و سوم** (تونل)

با وجود تلاش، دقت و وقت فراوانی که برای تهیه این آیین‌نامه صرف شده است، این مجموعه مصون از وجود اشکال و ابهام نیست. بنابراین در راستای تکمیل و پربار شدن این آیین‌نامه، از کارشناسان محترم درخواست می‌شود موارد اصلاحی را به امور نظام فنی و

اجرایی سازمان ارسال کنند. پیشنهادهای دریافت شده را بررسی و در صورت نیاز، با همفکری نمایندگان جامعه فنی کشور و کارشناسان مجرب این حوزه، نسبت به تهیه متن اصلاحی، اقدام و از طریق پایگاه اطلاع رسانی نظام فنی و اجرایی کشور به نشانی**Nezamfanni.ir** برای بهره‌برداری عموم، اعلام خواهد شد. به همین منظور و برای تسهیل در پیدا کردن آخرین ضوابط ابلاغی معتبر، در بالای صفحات، تاریخ تدوین مطالب آن صفحه درج شده‌است که در صورت هرگونه تغییر در مطالب هر یک از صفحات، تاریخ آن نیز اصلاح خواهد شد. از این‌رو همواره مطالب صفحات دارای تاریخ جدیدتر معتبر خواهد بود.

حمید امانی همدانی

معاون فنی، زیربنائی و تولیدی

تابستان ۱۴۰۴

تهیه و کنترل «آیین‌نامه مشخصات فنی عمومی راه»

[ضابطه شماره ۱۰۱-۸۰۰]- تجدید نظر سوم

مدیر طرح : مهندسین مشاور راه‌یاب ملل

برهان رستمی	مهندس عمران (مدیر طرح)
مظفر بیگلر	مهندس عمران
ربابه قدیری	مهندس عمران
محسن مقدسین	مهندس عمران
علیرضا محمدی‌راد	کارشناسی ارشد عمران
محمدرضا فرزین پور	کارشناسی ارشد عمران
لقمان رستمی	کارشناسی ارشد عمران

مجری طرح: مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی (اسامی نفرات به ترتیب حروف الفبا)

نام	نام خانوادگی	محل اشتغال	تحصیلات
محسن	اسماعیلی طاهری	مهندسین مشاور راه‌یاب ملل	کارشناسی ارشد
علی محمد	اسمعیلی	آزمایشگاه فنی و مکانیک خاک	کارشناسی ارشد
پویان	ایار	دانشگاه علم و صنعت ایران	دکتری
محمد	جعفری	دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل	دکتری
کریم	جلالیان	شرکت ساخت و توسعه زیربناهای حمل و نقل کشور	کارشناسی ارشد
محمد صادق	جودی	مهندسین مشاور برآیند	کارشناسی ارشد
حامد	خانی	دانشگاه یزد	دکتری
علیرضا	خاوندی خیاوی	دانشگاه زنجان	دکتری
مهدی	خوش‌کردار	مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی	دکتری
برهان	رستمی	مهندسین مشاور راه‌یاب ملل	کارشناسی

نام	نام خانوادگی	محل اشتغال	تحصیلات
شهروز	زمانی	سازمان برنامه و بودجه کشور	دکتری
سمیه	ستاری	شرکت ساختمانی کندوان پارس	کارشناسی ارشد
محمد	شکرچی زاده	مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی	دکتری
حمیدرضا	صاحب الزمانی	شرکت ساختمانی کندوان پارس	دکتری
بهرام	طالبی	جامعه مهندسین مشاور ایران	کارشناسی ارشد
نادر	طباطبایی	دانشگاه صنعتی شریف	دکتری
محمود	عامری	دانشگاه علم و صنعت ایران	دکتری
طاهر	فتح‌اللهی مرنی	سازمان برنامه و بودجه کشور	کارشناسی ارشد
اصغر	فتوت فرد	شرکت چاوش راه بنا	کارشناسی
اورنگ	فرزانه	مهندسین مشاور سیویار	دکتری
علیرضا	فرد علیرضایی	صنایع شنی آکام	کارشناسی ارشد
عقیل	قدیم	مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی	کارشناسی ارشد
قدرت ا...	قمصری	بازنشسته آزمایشگاه فنی و مکانیک خاک	کارشناسی
فیروز	قیاسی	سازمان راهداری و حمل و نقل جاده‌ای	کارشناسی ارشد
امیر	کاووسی	دانشگاه تربیت مدرس	دکتری
احمد	گلی	دانشگاه اصفهان	دکتری
نادر	محمودی نیا	شرکت ساختمانی کندوان پارس	کارشناسی ارشد
فریدون	مقدس نژاد	دانشگاه صنعتی امیر کبیر	دکتری
احمد	منصوریان	مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی	دکتری
علی	منیری	مهندسین مشاور راهبرد تردد پارس	دکتری
جواد	نظری افشار	هیأت علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد شهر قدس	دکتری

کمیته بررسی و تایید: (اسامی نفرات به ترتیب حروف الفبا)

نام	نام خانوادگی	تحصیلات
محسن	اسماعیلی طاهری	کارشناسی ارشد
علی محمد	اسمعیلی	کارشناسی ارشد
کریم	جلالیان	کارشناسی ارشد
مهدی	خوش‌کردار	دکتری
سمیه	ستاری	کارشناسی ارشد
بهرام	طالبی	کارشناسی ارشد
طاهر	فتح‌اللهی مرنی	کارشناسی ارشد
اصغر	فتوت فرد	کارشناسی
عقیل	قدیم	کارشناسی ارشد
قدرت ا...	قمصری	کارشناسی
فریدون	مقدس نژاد	دکتری
احمد	منصوریان	دکتری

اعضای گروه هدایت و راهبری (سازمان برنامه و بودجه کشور):

علیرضا توتونچی	معاون امور نظام فنی و اجرایی سازمان برنامه و بودجه کشور
طاهرفتح‌اللهی مرنی	رئیس گروه امور نظام فنی و اجرایی سازمان برنامه و بودجه کشور
سجاد حیدری حسنکلو	کارشناس امور نظام فنی و اجرایی سازمان برنامه و بودجه کشور

بسمه تعالی

پیشگفتار سال ۱۳۹۲

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

بهنگام و روزآمد نمودن نشریات و استاندارهای فنی با توجه به فناوریهای جدید و نوآوریهای صنعتی در مقاطع زمانی مختلف، امری ضروری و اجتناب‌ناپذیر است. معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی نیز در راستای وظایف و مسئولیتهای قانونی و به منظور هماهنگی و همگامی با فناوریهای جدید و تکمیل این مجموعه، تا کنون در دو نوبت اقدام به بازنگری و تجدید نظر در نشریه شماره ۱۰۱ با عنوان «مشخصات فنی عمومی راه» کرده است.

نشریه ۱۰۱ با عنوان «مشخصات فنی عمومی راه» به منظور ایجاد هماهنگی و یکنواختی در طرح و اجرای پروژه‌های راه‌سازی کشور و همچنین رعایت اصول، روشها و فنون اجرایی متناسب با امکانات موجود و سازگار با شرایط و مقتضیات اقلیمی کشور، در سال ۱۳۶۴ توسط وزارت برنامه و بودجه وقت ابلاغ شد. مجموعه اولیه با همکاری آقایان کامران باغگلی، محمد سرائی‌پور، محمدمهدی مزینی، اسماعیل اسماعیل‌پور، منصور چوبینه، محمدرضا فرخو، هرمز فامیلی، هژیر حائری، منوچهر احتشامی،کامبیز بهنیا، و مرتضی قاسم‌زاده، و در مدت سه سال تهیه شد.

تجدید نظر اول این نشریه در سال ۱۳۸۲ با کسب بازخوردهای اجرایی سالهای گذشته و تغییرات ایجاد شده در مراجع فنی بین‌المللی و داخلی با همکاری و مشارکت آقایان علی اصغر اردکانیان ، اسماعیل اسماعیل‌پور، عیرضا توتونچی، رامین زارع، میرمحمود ظفری، طاهر فتح‌اللهی، محمدرضا فرخو، اصغر نادری، سیداکبر هاشمی و خانم بهناز پورسید تهیه و ابلاغ شد.

پیرو ابلاغ برخی از نشریات از جمله تجدید نظر اول آیین نامه روسازی آسفالتی راه‌های ایران (نشریه شماره ۲۳۴) از سال ۱۳۸۲ تاکنون، کار تجدید نظر دوم این نشریه به منظور یکسان سازی ضوابط فنی در نشریات ابلاغی معاونت در دستور کار قرار گرفت. همچنین به لحاظ استفاده گسترده از ژئوسنتتیک‌ها در کارهای راه‌سازی، ضوابط فنی اجرایی استفاده از این مصالح در فصل بیست و دوم این نشریه اضافه شده است. در تهیه متن تجدید نظر دوم این نشریه نیز آقایان بهزاد حیدری و طاهر فتح‌اللهی و همچنین آقای دکتر جواد نظری افشار در مورد مباحث ژئوسنتتیک‌ها با مدیریت آقای مهندس غلامحسین حمزه مصطفوی رئیس محترم امور نظام فنی مشارکت داشته‌اند که بدین وسیله از حسن همکاری و تلاش و جدیت ایشان تشکر و قدردانی می‌نماید.

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

معاون نظارت راهبردی

تابستان ۱۳۹۲

بسمه تعالی

پیشگفتار **سال ۱۳۸۲**

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

بهنگام و روزآمد نمودن نشریات و استانداردهای فنی با توجه به فناوریهای جدید و نوآوریهای صنعتی در مقاطع زمانی مختلف، امری ضروری و اجتناب‌ناپذیر است. سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور نیز در راستای وظایف و مسئولیتهای قانونی و به منظور هماهنگی و همگامی با فناوریهای جدید و تکمیل این مجموعه، اقدام به بازنگری و تجدید نظر در نشریه شماره ۱۰۱ با عنوان «مشخصات فنی عمومی راه» نموده است. این مشخصات فنی و عمومی به منظور ایجاد هماهنگی و یکنواختی در طرح و اجرای پروژه‌های راهسازی کشور و همچنین رعایت اصول، روشها و فنون اجرایی متناسب با امکانات موجود و سازگار با شرایط و مقتضیات اقلیمی کشور، تهیه و تدوین شده است.

در تجدید نظر این نشریه سعی شده است تا علاوه بر تجربیات سالهای گذشته در بخش حمل و نقل، از استانداردها و آیین‌نامه‌های جدید داخلی کشور استفاده شود. در صورت عدم وجود ضوابط و معیارهای داخلی مرتبط، به استانداردها و ضوابط معتبر بین‌المللی استناد گردیده است. همچنین به منظور کاربردی‌تر نمودن نشریه و استفاده سریع و آسان از مطالب مندرج در

آن، دفتر تدوین ضوابط و معیارهای فنی، نسخه الکترونیکی این مجموعه را در قالب لوح فشرده تهیه نموده است.

در پایان از تلاش و جدیت مرکز تحقیقات و آموزش وزارت راه و ترابری و مهندسان مشاور ایران استن و کارشناسان مشروح زیر که در تدوین تجدید نظر اول این نشریه، شامل اصلاح، بازنگری اساسی و تکمیل آن همکاری داشته‌اند تشکر و قدردانی می‌نماید.

آقای دکتر علی‌اصغر اردکانیان	آقای مهندس میرمحمود ظفری
آقای مهندس اسماعیل اسماعیل‌پور	آقای مهندس طاهر فتح‌اللهی
خانم مهندس بهناز پورسید	آقای مهندس محمدرضا فرخو
آقای مهندس علیرضا توتونچی	آقای مهندس اصغر نادری
آقای مهندس رامین زارع	آقای مهندس سید اکبر هاشمی

معاونت امور فنی توفیق روزافزون این کارشناسان را در خدمت به جامعه مهندسی کشور از درگاه خداوند متعال مسئلت دارد.

معاون امور فنی
زمستان ۱۳۸۲

فهرست کلی مطالب

عنوان | صفحه

فصل اول ـ تعریف‌ها ۱

فصل دوم ـ عملیات خاکی ۱۱

فصل سوم ـ پی‌کنی ابنیه فنی ۳۹

فصل چهارم ـ بتن و بتن مسلح ۴۷

فصل پنجم ـ کارهای بنایی ۵۱

فصل ششم ـ شمع‌کوبی، شمع‌ریزی و سپرکوبی ۸۱

فصل هفتم ـ ضوابط قالب‌بندی، لوله‌ها و مجراهای مدفون در بتن و درزهای اجرایی ۱۱۷

فصل هشتم ـ کنترل فرسایش خاک ۱۳۷

فصل نهم ـ قنات‌ها ۱۴۵

فصل دهم ـ کارهای فلزی، جان پناه، عایق‌بندی و اندود ۱۵۱

فصل یازدهم ـ زهکشی و تخلیه آب‌ها ۱۷۵

فصل دوازدهم ـ زیراساس ۲۰۵

فصل سیزدهم ـ اساس ۲۳۵

فصل چهاردهم ـ قیر در راه‌سازی ۲۶۳

فصل پانزدهم ـ اندود نفوذی (پریم‌کت) ۲۹۵

فصل شانزدهم ـ اندود سطحی (تک‌کت) ۳۱۳

فصل هفدهم ـ آسفالت‌های حفاظتی، نگهداری پیشگیرانه، ترمیمی و اضطراری روسازی ۳۲۵

فصل هجدهم ـ آسفالت سرد ۴۳۷

فصل نوزدهم ـ آسفالت ماکادم نفوذی ۴۸۵

فصل بیستم ـ آسفالت داغ ۴۹۷

فصل بیست و یکم ـ رویه‌های شنی و شانه رویه‌های آسفالتی و بتنی ۵۹۳

فصل بیست و دوم ـ ژئوسنتتیک‌ها در راه‌سازی ۶۰۳

فصل بیست و سوم ـ تونل ۶۸۹

فصل بیست و چهارم ـ دستورالعمل‌های ایمنی و بهداشت حرفه‌ای در کارهای راه‌سازی ۶۹۳

فصل بیست و پنجم ـ استاندارد مشخصات و آزمایش‌ها ۷۴۳

فهرست تفصیلی مطالب

عنوان	صفحه
تعریف‌ها	**۱**
۱-۱ آبرو	**۳**
۱-۲ آسفالت حفاظتی	**۳**
۱-۳ آسفالت سرد	**۳**
۱-٤ آسفالت متخلخل	**۳**
۱-٥ اساس	**۳**
۱-٦ اساس دانه‌ای	**۳**
۱-۷ اساس قیری	**٤**
۱-۸ اساس ماکادامی	**٤**
۱-۹ انحراف معیار	**٤**
۱-۱۰ اندود سطحی (تک‌کت)	**٤**
۱-۱۱ اندود نفوذی (پریم‌کت)	**٤**
۱-۱۲ اندودهای آب‌بند (سیل‌کت)	**٥**
۱-۱۳ بازیابی روسازی آسفالتی	**٥**
۱-۱٤ مخلوط آسفالتی با دانه‌بندی باز	**٥**
۱-۱٥ مخلوط آسفالتی با دانه‌بندی پیوسته	**٥**
۱-۱٦ بستر روسازی راه	**٥**
۱-۱۷ بهسازی و روکش آسفالتی	**٥**
۱-۱۸ پل	**٦**
۱-۱۹ پی‌کنی ابنیه فنی	**٦**

۱-۲۰ تخلیه آب‌های سطحی ٦
۱-۲۱ خاک مسلح ٦
۱-۲۲ داربست ٦
۱-۲۳ راه انحرافی ٦
۱-۲٤ رواداری ۷
۱-۲۵ روسازی ۷
۱-۲٦ زهکشی ۷
۱-۲۷ زیراساس ۷
۱-۲۸ زیراساس دانه‌ای ۷
۱-۲۹ سنگ پشت کار ۸
۱-۳۰ سنگ توکار ۸
۱-۳۱ سنگ دوکله و یا سرتاسری ۸
۱-۳۲ سنگ راسته ۸
۱-۳۳ سنگ کله ۸
۱-۳٤ سنگ نبش ۸
۱-۳۵ سنگ نما ۸
۱-۳٦ شانه راه ۸
۱-۳۷ شیب عرضی سواره رو ۹
۱-۳۸ طاق‌های با دور تمام ۹
۱-۳۹ طاق‌های نیم‌خیز ۹
۱-٤۰ عملیات خاکی ۹
۱-٤۱ قالب ۹
۱-٤۲ قرضه جانبی ۹
۱-٤۳ قرضه موضعی ۹
۱-٤٤ قرضه منتخب ۱۰
۱-٤۵ کنترل فرسایش ۱۰
۱-٤٦ مدیریت روسازی راه ۱۰

۱-٤۷ مجموعه قالب‌بندی ۱۰
۱-٤۸ میانه راه ۱۰

عملیات خاکی ۱۱

۲-۱ کلیات ۱۳
۲-۲ پاک کردن و ریشه‌کنی بستر و حریم راه ۱۳
۲-۲-۱ حفظ و حراست اقلامی که باید نگهداری شوند ۱۳
۲-۲-۲ روش‌های اجرایی ۱۳
۲-۳ خاکبرداری و خاکریزی ۱۵
۲-٤ مواد سوزا در برش‌های سنگی ۱۷
۲-۵ خاک‌های لغزشی و ریزشی ۱۸
۲-٦ خاکبرداری قرضه ۱۸
۲-۶-۱ انواع قرضه ۱۸
۲-۶-۲ دامنه کاربرد قرضه‌ها ۱۹
۲-۷ مصالح مناسب ۱۹
۲-۸ اجرای عملیات خاکریزی ۲۰
۲-۸-۱ آماده‌سازی بستر اولیه خاکریز ۲۰
۲-۸-۲ ضخامت لایه‌های خاکریز ۲۱
۲-۹ کوبیدن و میزان تراکم نسبی ۲۳
۲-۹-۱ غلتک‌های مکانیکی و کوبنده‌های مکانیکی دستی ۲۳
۲-۹-۲ میزان رطوبت برای تامین تراکم یکنواخت ۲۳
۲-۹-۳ کیفیت خاک‌های منبسط شونده ۲٤
۲-۹-۴ کنترل درصد رطوبت و توزیع یکنواخت آن ۲٤
۲-۹-۵ درصد رطوبت بهینه و حداکثر دانسیته خشک ۲٤
۲-۹-۶ دانسیته خاک در محل ۲۵
۲-۹-۷ تقسیم‌بندی مصالح خاکی ۲۵
۲-۹-۸ حداقل درصد تراکم ۲٦
۲-۹-۹ تراکم لایه‌های سنگریزی ۲٦

۲-۹-۱۰ جایگزینی مصالح نامناسب با مصالح قابل قبول ۲۷
۲-۹-۱۱ تراکم لایه‌های خاکریز، کف ترانشه‌ها و بستر زمین طبیعی ۲۷
۲-۱۰خاکریزی روی ابنیه فنی ۲۷
۲-۱۱ خاکریزی پشت پل‌ها ۲۸
۲-۱۲ خاکریزی در زمین‌های شیبدار ۲۸
۲-۱۳ مصالح حساس در مقابل یخبندان ۲۸
۲-۱٤ پر کردن اطراف ابنیه فنی ۲۹
۲-۱۴-۱ تراکم لایه‌ها ۲۹
۲-۱۴-۲ درصد رطوبت ۳۰
۲-۱۴-۳ محدوده اجرا ۳۰
۲-۱۴-۴ دانه‌بندی و مشخصات مصالح معین ۳۰
۲-۱۵ شیب شیروانی‌ها در خاکریزی و خاکبرداری ۳۰
۲-۱٦ تسطیح و تنظیم ۳۰
۲-۱۷ زهکشی ۳۱
۲-۱۸ بستر روسازی ۳۱
۲-۱۸-۱ بستر روسازی در خاکریزی‌ها ۳۱
۲-۱۸-۲ بستر روسازی در خاکبرداری‌ها ۳۱
۲-۱۸-۳ بستر روسازی در سطح راه‌های موجود ۳۲
۲-۱۸-۴ بستر روسازی در سطح زمین طبیعی ۳۳
۲-۱۹ راه‌های انحرافی و راه‌های اتصالی ۳۳
۲-۲۰ کنترل سطح تمام شده ۳۳
۲-۲۱ حفاظت کارهای انجام شده ۳۳
۲-۲۲ کنترل کیفیت و پذیرش ۳٤
۲-۲۲-۱ زمین طبیعی ۳٤
۲-۲۲-۲ خاکریزی معمولی ۳٤
۲-۲۲-۳ سنگریزی ۳۵
۲-۲۲-۴ بستر روسازی در خاکریزی ۳۵
۲-۲۲-۵ بستر روسازی در خاکبرداری ۳٦

۲-۲۲-۶ بستر روسازی در زمین طبیعی ۳٦
۲-۲۲-۷ سی بی آر ۳٦
۲-۲۲-۸ اندازه‌گیری ضخامت لایه‌های خاکریز ۳٦

پی‌کنی ابنیه فنی ۳۹

۳-۱ کلیات ٤۱
۳-۲ پی‌کنی اضافی ٤۱
۳-۲-۱ پی کنی بیش از ابعاد افقی و عمودی تعیین شده ٤۱
۳-۲-۲ پی کنی اضافی تا رسیدن به بستر مقاوم و قابل قبول ٤۱
۳-۲-۳ ضرورت تغییر نقشه ٤۱
۳-۲-۴ تغییر ابعاد و عمق پی ٤۱
۳-۲-۵ پی کنی افزون بر دستورکار ٤۲
۳-۳ پی در زمین خاکی یا سنگی ٤۲
۳-۳-۱ پی کنی در برش خاکی ٤۲
۳-۳-۲ پی کنی در زمین‌های ریزشی ٤۲
۳-۳-۳ پی روی بستر سنگی ٤۲
۳-۳-۴ پی کنی در زمین‌های سخت ٤۳
۳-۳-۵ افزایش ابعاد پی ناشی از عملیات انفجار ٤۳
۳-٤ حفاظت پی در برابر آب ٤۳
۳-۴-۱ جلوگیری از نفوذ آب ٤۳
۳-۴-۲ تخلیه آب از محل پی کنی ٤۳
۳-۴-۳ تخلیه آب جاری از محل پی کنی ٤۳
۳-۴-۴ اضافه پی کنی در زمین‌های آب‌دار ٤٤
۳-۴-۵ تخلیه آب در زمین‌های سنگی ٤٤
۳-۵ پشت‌بندها و حایل‌ها ٤٤
۳-۵-۱ حفاظت جدار پی کنی ٤٤
۳-۵-۲ برداشتن کادرها، پشت بندها و حائل‌های نگهدارنده ٤٤
۳-٦ مصالح پی‌کنی ٤٤

۳-۷ پر کردن اطراف پی ٤٥
۳-۸ بازرسی پی‌کنی ٤٥
بتن و بتن مسلح ٤٧
٤-۱ کلیات ٤٩
کارهای بنایی ٥١
٥-۱ کلیات ٥٣
٥-۲ مصالح ٥٣
٥-۲-۱ سنگ ٥٣
٥-۲-۲ آجر ٥٤
٥-۲-۳ بلوک سیمانی ٥٥
٥-۲-۴ ماسه ٥٦
٥-۲-۵ سیمان ٥٨
٥-۲-۶ آهک ٥٨
٥-۳ ملات مورد مصرف در کارهای بنایی ٥٩
٥-۳-۱ملات ماسه سیمان ٥٩
٥-۳-۲ ملات حرامزاده ٦٠
٥-۳-۳ انتخاب ملات ٦١
٥-٤ عملیات بنایی با سنگ ٦١
٥-۴-۱ انواع سنگ ٦١
٥-۴-۲ کلیات ٦١
٥-۴-۳ انواع بنایی با سنگ ٦٣
٥-٥ طاق‌های سنگی ٧٠
٥-٥-۱ کلیات ٧٠
٥-٥-۲ اجرای بنایی طاق‌ها ٧١
٥-٥-۳ بستن طاق ٧٢
٥-٦ بندکشی ٧٣
٥-٧ بنایی با بلوک سیمانی ٧٣

۵-۸ بنایی با آجر ۷۵

شمع‌کوبی، شمع‌ریزی و سپرکوبی ۸۱

٦-۱ کلیات ۸۳

٦-۲ انواع مختلف شمع ۸۳

۶-۲-۱ قرار گرفتن شمع در زمین با جابجایی زیاد در خاک مجاور ۸۴

۶-۲-۲ قرار گرفتن شمع در زمین با جابجایی کم در خاک مجاور ۸۴

۶-۲-۳ قرار گرفتن شمع در زمین بدون جابجایی در خاک مجاور ۸۴

٦-۳ شمع چوبی ۸٤

۶-۳-۱ مشخصات شمع ۸۴

۶-۳-۲ اصلاح و تقویت شمع چوبی ۸۵

۶-۳-۳ کوبیدن شمع چوبی ۸۶

۶-۳-۴ حفاظت سر شمع‌ها ۸۶

٦-٤ شمع بتنی پیش‌ساخته ۸۷

۶-۴-۱ ساختن شمع ۸۷

۶-۴-۲ حمل و کوبیدن شمع‌ها ۹۰

۶-۴-۳ ارزش باربری و نفوذ ۹۲

۶-۴-۴ بریدن سر شمع ۹۳

۶-۴-۵ تطویل شمع ۹۳

۶-۴-۶ بارگذاری شمع‌ها ۹۴

٦-۵ شمع فلزی ۹٤

۶-۵-۱ کلیات ۹۵

۶-۵-۲ اتصالات ۹۵

٦-٦ شمع بتنی ریخته در محل ۹۵

۶-۶-۱ انواع مختلف ۹۵

۶-۶-۲ حفاری ۹۶

۶-۶-۳ بتن‌ریزی شمع ۹۷

۶-۶-۴ مشخصات لوله‌های فولادی ۹۸

۶-۶-۵ شرایط کوبیدن لوله‌های فولادی ۹۹
۶-۶-۶ آرماتور ۹۹
۶-۶-۷ بارگذاری شمع‌ها ۹۹
۶-۷ شمع‌های آزمایشی و آزمایش‌های بارگذاری ۱۰۰
۶-۸ مشخصات و آزمایش‌ها ۱۰۱
۶-۸-۱ مشخصات بتن، قالب، آرماتور و لوله های فولادی ۱۰۱
۶-۸-۲ آزمایش‌های مصالح مصرفی ۱۰۱
۶-۹ سپرها و مهارها ۱۰۱
۶-۹-۱ مقدمه ۱۰۱
۶-۹-۲ سپرهای چوبی ۱۰۲
۶-۹-۳ سپرهای فلزی ۱۰۳
۶-۹-۴ سپرهای مرکب از فولاد و چوب ۱۰۳
۶-۹-۵ سپرهای بتن فولادی ۱۰۴
۶-۹-۶ سپرهای مرکب از تیر فولادی و بتن ۱۰۵
۶-۹-۷ سپر مرکب از یک ردیف شمع ۱۰۵
۶-۹-۸ سپر به طریقه دیوار شیاری ۱۰۷
۶-۹-۹ محاسبه سپرها ۱۰۸
۶-۹-۱۰ تکیه‌گاه سپرها ۱۱۳
۶-۹-۱۱ مهار ۱۱۴
۶-۹-۱۲ کوبیدن سپرها ۱۱۵
۶-۱۰ آزمایش‌های کنترل کیفیت ۱۱۶

ضوابط قالب‌بندی، لوله‌ها و مجراهای مدفون در بتن و درزهای اجرایی ۱۱۷

۷-۱ کلیات ۱۱۹
۷-۱-۱ عملکردهای قالب ۱۱۹
۷-۱-۲ نقشه‌ها و مشخصات ۱۲۰
۷-۱-۳ رواداری‌ها ۱۲۰
۷-۲ مصالح ۱۲۰

۷-۳ ضوابط طراحی **۱۲۰**
۷-۳-۱ طراحی قالب ۱۲۰
۷-۳-۲ بارهای وارد بر قالب ۱۲۱
۷-٤ اجرا **۱۲٤**
۷-۴-۱ کلیات ۱۲۴
۷-۴-۲ تنظیم مجموعه قالب‌بندی ۱۲۵
۷-۴-۳ قالب‌برداری ۱۲۶
۷-۵ قالب‌بندی و قالب‌برداری سازه‌های ویژه **۱۲۸**
۷-٦ قالب‌بندی و قالب‌برداری برای روش‌های ویژه ساختمانی **۱۲۸**
۷-۶-۱ قالب‌های بتن پیش‌آکنده ۱۲۸
۷-۶-۲ قالب‌های لغزان ۱۲۸
۷-۶-۳ قالب‌های ماندگار ۱۲۹
۷-۶-۴ قالب‌بندی بتن پیش‌تنیده ۱۲۹
۷-۶-۵ قالب برای قطعات بتنی پیش‌ساخته ۱۳۰
۷-۶-۶ قالب برای بتن‌ریزی زیر آب ۱۳۱
۷-۷ لوله‌ها و مجراهای مدفون در بتن **۱۳۲**
۷-۷-۱ مدفون کردن لوله‌ها و مجراهای آب ۱۳۲
۷-۷-۲ محاسبه فضای اشغال شده با ناودان ۱۳۲
۷-۷-۳ عبور لوله و مجرا از داخل فضاهای خالی ۱۳۲
۷-۷-۴ دفن کردن لوله‌ها و مجراهای تاسیساتی و برقی ۱۳۳
۷-۷-۵ لوله‌ها و مجراهای آلومینیومی ۱۳۳
۷-۷-۶ سوراخ کردن دال یا دیوار ۱۳۳
۷-۷-۷ قرار دادن لوله‌های پلاستیکی داخل ستون‌ها و دیوارها ۱۳۳
۷-۷-۸ بست لوله‌ها و مجراها ۱۳۳
۷-۷-۹ الزامات لوله‌ها و مجراهای مدفون ۱۳۴
۷-۸ درزهای اجرایی **۱۳٤**
۷-۸-۱ تعداد درزهای اجرایی ۱۳۴
۷-۸-۲ تعیین موقعیت درزهای اجرایی ۱۳۴
۷-۸-۳ پاک سازی سطح بتن در درزهای اجرایی ۱۳۴

۷-۸-۴ انتقال نیروهای برشی ۱۳۴
۷-۸-۵ تامین پیوستگی بتن در محل درزهای اجرایی ۱۳۵
۷-۸-۶ آماده سازی سطوح بتن ریزی به صورت اشباع با سطح خشک ۱۳۵
۷-۸-۷ شکل درزهای اجرایی ۱۳۵
۷-۸-۸ درزهای اجرایی قائم ۱۳۵
۷-۸-۹ درزهای اجرایی کف ۱۳۵
۷-۸-۱۰ تیرها یا دال‌های متکی بر ستون‌ها یا دیوارها ۱۳۵
۷-۸-۱۱ بتن تیرها و سرستون‌ها ۱۳۵

کنترل فرسایش خاک ۱۳۷

۸-۱ کلیات ۱۳۹
۸-۲ دیوارهای خشکه‌چین ۱۳۹
۸-۳ سنگچین‌ها ۱۳۹
۸-٤ بلوکاژ ۱۳۹
۸-۵ حفاظت شیروانی‌ها ۱٤۰
۸-۵-۱ پوشش ساده ۱۴۰
۸-۵-۲ پوشش مختلط ۱۴۰
۸-۵-۳ پوشش با بلوک‌های بتنی ۱۴۰
۸-۵-۴ پوشش با خاک نباتی ۱۴۰
۸-۵-۵ پوشش گیاهی ۱۴۱
۸-۵-۶ روش استفاده از الیاف مصنوعی ۱۴۱
۸-٦ تسطیح و روانه‌کاری شیروانی خاکریزهای سنگی ۱٤۱
۸-۷ کارهای حفاظتی با سازه‌های توری سنگی (گابیونی) ۱٤۲
۸-۷-۱ مشخصات اجزاء تشکیل‌دهنده توری سنگ‌ها ۱۴۲
۸-۷-۲ انواع توری سنگ‌ها ۱۴۲
۸-۷-۳ کاربرد توری سنگ ۱۴۳

قنات‌ها **۱٤٥**

۹-۱ کلیات **۱٤۷**

۹-۲ انواع قنات **۱٤۷**

۹-۲-۱ قنات‌های دائر ۱۴۷

۹-۲-۲ قنات‌های متروکه زیر بستر راه ۱۴۸

۹-۳ چاه قنات **۱٤۸**

۹-٤ چاه‌های آزمایش و کنترل **۱٤۸**

۹-٥ قنات‌های موجود مجاور راه‌های در دست اقدام **۱٤۹**

کارهای فلزی، جان پناه، عایق‌بندی و اندود **۱٥۱**

۱۰-۱ کلیات **۱٥۳**

۱۰-۲ کارهای فلزی **۱٥۳**

۱۰-۲-۱ فولاد ساختمانی ۱۵۳

۱۰-۲-۲ فولاد سخت – چدن ۱۵۶

۱۰-۲-۳ مشخصات مکانیکی مصالح پیچ، پرچ و گل میخ ۱۵۶

۱۰-۲-۴ ساخت و نصب قطعات سازه فولادی ۱۵۸

۱۰-۲-۵ آماده‌کردن سطوح فولادی و رنگ‌آمیزی ۱۶۵

۱۰-۲-۶ آزمایش‌های کنترل کیفیت ۱۶۹

۱۰-۳ جان‌پناه **۱۷۲**

۱۰-٤ عایق‌کاری **۱۷۳**

۱۰-٥ اندودکاری **۱۷۳**

زهکشی و تخلیه آب‌ها **۱۷٥**

۱۱-۱ کلیات **۱۷۷**

۱۱-۲ انواع زهکشی و تخلیه آب‌ها **۱۷۷**

۱۱-۲-۱ تخلیه آب‌های سطحی ۱۷۷
۱۱-۲-۲ زهکشی آب‌های زیرزمینی ۱۷۷
۱۱-۳ مراحل عملیات تخلیه آب‌های سطحی ۱۷۸
۱۱-۳-۱ کلیات ۱۷۸
۱۱-۳-۲ آبروهای جانبی ۱۷۹
۱۱-۳-۳ زهکشی و تخلیه آب‌های میانه راه ۱۸۰
۱۱-۳-۴ تخلیه آب‌های سطحی در خاکریزهای بلند ۱۸۰
۱۱-۳-۵ جمع‌آوری آب‌ها ۱۸۰
۱۱-۳-۶ رودخانه‌ها و آبروها ۱۸۰
۱۱-۳-۷ آبروهای لوله‌ای بتنی پیش‌ساخته ۱۸۱
۱۱-۳-۸ آبروهای تاوه‌ای ۱۸۱
۱۱-۳-۹ آبروهای بتنی غیر مدور و آبروهای فلزی ۱۸۲
۱۱-۳-۱۰ پی‌کنی آبروها و لوله‌ها ۱۸۲
۱۱-۳-۱۱ نصب لوله‌ها ۱۸۳
۱۱-۳-۱۲ خاکریزی فضای خالی اطراف لوله‌ها و آبروها ۱۸۳
۱۱-۳-۱۳ آزمایش لوله‌ها ۱۸۴
۱۱-٤ زهکشی عمیق و زیرزمینی ۱۸٤
۱۱-۴-۱ کنترل و تخلیه آب‌های سطحی ۱۸۴
۱۱-۴-۲ کنترل و پایین آوردن تراز آب زیرزمینی ۱۸۵
۱۱-۴-۳ کنترل و تخلیه آب‌های تراوشی ۱۸۵
۱۱-۵ مصالح زهکشی عمیق ۱۸٤
۱۱-۵-۱ مصالح دانه‌ای ۱۸۸
۱۱-۵-۲ زمین‌پارچه‌ها (ژئوتکستایل‌ها) ۱۸۸
۱۱-۵-۳ لوله‌های زهکشی زیرزمینی ۱۸۹
۱۱-٦ معیارهای پایداری سیستم زهکشی عمیق ۱۹۰
۱۱-۶-۱ کنترل فشار و عملکرد فیلتر ۱۹۰
۱۱-۶-۲ کنترل حرکت، جابه‌جایی و فرار ذرات خاک پایه ۱۹۱
۱۱-۶-۳ خاک‌های پایه با ضریب یکنواختی زیاد ۱۹۱
۱۱-۶-۴ خاک پایه با دانه‌بندی گسترده ۱۹۱

۱۱-۶-۵ جلوگیری از حرکت و فرار دانه‌های فیلتر ۱۹۱
۱۱-۶-۶ جلوگیری از تفکیک و جدا شدن سنگدانه‌های فیلتر ۱۹۲
۱۱-۶-۷ جلوگیری از جابه‌جایی و حرکت داخلی ذرات ریزدانه ۱۹۲
۱۱-۶-۸ معیارها در صورت مصرف لوله‌های زهکشی دارای شکاف ۱۹۲
۱۱-۶-۹ استفاده از زمین‌پارچه‌ها و کاهش تعداد لایه‌ها با مصالح دانه‌ای متفاوت ۱۹۲
۱۱-۶-۱۰ انتخاب مصالح زهکش ۱۹۳
۱۱-۶-۱۱ کنترل دانه‌بندی و نفوذ پذیری مصالح کوبیده شده ۱۹۳
۱۱-۷ نصب لوله‌های زهکشی عمیق ۱۹۳
۱۱-۷-۱ قرار دادن لوله در کف کانال ۱۹۴
۱۱-۷-۲ شیب بستر لوله گذاری ۱۹۴
۱۱-۷-۳ تراکم و یکنواختی بستر لوله گذاری ۱۹۴
۱۱-۷-۴ جایگزینی خاک نامناسب بستر لوله گذاری ۱۹۴
۱۱-۷-۵ مدفون شدن لوله در کف ترانشه ۱۹۴
۱۱-۷-۶ مصرف خاک رس یا بتن برای اطراف لوله ۱۹۵
۱۱-۷-۷ کنترل راستا و شیب طولی لوله‌ها ۱۹۵
۱۱-۷-۸ روش اتصال لوله‌ها به یکدیگر ۱۹۵
۱۱-۷-۹ کنترل جابجایی و آسیب لوله‌ها ۱۹۵
۱۱-۸ پر کردن اطراف لوله‌ها ۱۹۵
۱۱-۸-۱ پر کردن اطراف لوله‌ها با مصالح زهکش ۱۹۵
۱۱-۸-۲ کنترل دانه‌بندی خاک مجاور لوله ۱۹۶
۱۱-۸-۳ کنترل جابجایی و آسیب لوله‌ها ۱۹۶
۱۱-۸-۴ آب‌بندی برای جلوگیری از نفوذ آب‌های سطحی ۱۹۶
۱۱-۹ اتصال لوله‌های موجود و لوله‌های جدید ۱۹۷
۱۱-۱۰ اتمام کارهای تخلیه آب‌ها و زهکشی ۱۹۷
۱۱-۱۱ نگهداری ابنیه زهکشی ۱۹۷
۱۱-۱۲ نقشه‌های تیپ راهنما برای زهکشی زیرزمینی ۱۹۷

زیراساس **۲۰۵**

۱۲-۱ کلیات **۲۰۷**

۱۲-۲ انواع قشر زیراساس **۲۰۷**

۱۲-۲-۱ زیراساس دانه‌ای ۲۰۸

۱۲-۲-۲ زیراساس آهکی ۲۲۱

اساس **۲۳۵**

۱۳-۱ کلیات **۲۳۷**

۱۳-۲ انواع قشر اساس **۲۳۷**

۱۳-۲-۱ اساس دانه‌ای **۲۳۷**

۱۳-۲-۲ اساس ماکادامی **۲۵۵**

قیر در راه‌سازی **۲۶۳**

۱۴-۱ کلیات **۲۶۵**

۱۴-۲ انواع قیر **۲۶۵**

۱۴-۳ قیرهای نفتی **۲۶۶**

۱۴-۳-۱ قیرهای خالص ۲۶۶

۱۴-۳-۲ فرآیند تولید قیر ۲۶۶

۱۴-۳-۳ قیرهای رده‌بندی شده با درجه نفوذ ۲۶۷

۱۴-۳-۴ قیرهای رده‌بندی شده بر اساس عملکرد ۲۶۹

۱۴-۳-۵ قیرهای محلول ۲۷۶

۱۴-۳-۶ قیرآبه‌ها (امولسیون‌های قیر) ۲۸۱

۱۴-۴ کاربرد قیر در راه‌سازی **۲۸۶**

۱۴-۵ گرم کردن قیر **۲۹۶**

۱۴-۶ اصلاح‌کننده‌های قیر و آسفالت و افزودنی‌های آسفالت **۲۹۷**

۱۴-۷ آزمایش‌های کنترل و تضمین کیفیت قیر دریافتی **۲۹۲**

اندود نفوذی (پریم‌کت) **۲۹۵**

۱۵-۱ کلیات **۲۹۷**

۱۵-۲ قیرپاشی روی سطح آماده **۲۹۸**

۱۵-۳ مواد قیری **۲۹۸**

۱۵-٤ انتخاب قیر مناسب **۲۹۹**

۱۵-۵ اجرای اندود نفوذی **۳۰۰**

۱۵-۵-۱ وسایل و ماشین‌آلات ۳۰۰

۱۵-۵-۲ آماده‌کردن سطح راه ۳۰۳

۱۵-۵-۳ پخش قیر ۳۰۳

۱۵-۵-۴ دمای قیر هنگام پخش ۳۰۴

۱۵-۵-۵ پخش ماسه ۳۰۶

۱۵-۵-۶ محدودیت‌های فصلی ۳۰۶

۱۵-۵-۷ کنترل عبور وسایل نقلیه ۳۰۶

۱۵-٦ کنترل کیفیت و پذیرش **۳۰۷**

۱۵-۶-۱ نمونه‌برداری و آزمایش ۳۰۷

۱۵-۶-۲ کنترل کیفیت ۳۰۸

۱۵-۶-۳ پذیرش ۳۰۸

۱۵-۷ اندازه‌گیری **۳۰۸**

۱۵-۸ چک‌لیست نظارت بر عملیات اجرا **۳۱۰**

اندود سطحی (تک‌کت) **۳۱۳**

۱٦-۱ کلیات **۳۱۵**

۱٦-۲ مواد قیری **۳۱٦**

۱۶-۲-۱ قیرابه دیرشکن ۳۱۶

۱۶-۲-۲ قیرابه سریع‌شکن و کندشکن ۳۱۶

۱۶-۲-۳ قیرابه زودشکن ۳۱۷
۱۶-۲-۴ انتخاب قیر مناسب ۳۱۷
۱۶-۳ میزان پخش مواد قیری ۳۱۸
۱۶-٤ اجرای اندود سطحی ۳۱۹
۱۶-۴-۱ وسایل و ماشین‌آلات ۳۱۹
۱۶-۴-۲ آماده‌کردن سطح راه ۳۱۹
۱۶-۴-۳ پخش قیر ۳۲۰
۱۶-۴-۴ دمای قیر هنگام پخش ۳۲۰
۱۶-۴-۵ محدودیت‌های فصلی ۳۲۰
۱۶-۴-۶ کنترل عبور وسایل نقلیه ۳۲۱
۱۶-۵ کنترل کیفیت و پذیرش ۳۲۱
۱۶-۵-۱ نمونه‌برداری و آزمایش ۳۲۱
۱۶-۵-۲ کنترل کیفیت ۳۲۲
۱۶-۵-۳ پذیرش ۳۲۲
۱۶-٦ اندازه‌گیری ۳۲۳
۱۶-۷ چک‌لیست نظارت بر عملیات اجرا ۳۲۳
آسفالت‌های حفاظتی، نگهداری پیشگیرانه، ترمیمی و اضطراری روسازی ۳۲۵
۱۷-۱ مقدمه ۳۲۵
۱۷-۲ انواع روش‌های نگهداری ۳۲۵
۱۷-۳ اندود آب‌بندی (فاگ‌سیل) ۳۲۸
۱۷-۳-۱ مواد و مصالح ۳۲۹
۱۷-۳-۲ میزان قیرابه ۳۳۰
۱۷-۳-۳ تجهیزات و ماشین‌آلات ۳۳۱
۱۷-۳-۴ اجرا ۳۳۱
۱۷-۳-۵ محدودیت دمایی ۳۳۱
۱۷-۳-۶ اندازه‌گیری احجام پخش ۳۳۱
۱۷-٤ اندود آب‌بندی جاروب‌کشی شده (اسکراب‌سیل) ۳۳۲
۱۷-۴-۱ اندازه‌گیری احجام پخش ۳۳۲

۱۷-۵ دوغاب آب‌بندی قیری (اسلاری‌سیل) **۳۳۲**
۱۷-۵-۱ مواد و مصالح ۳۳۳
۱۷-۵-۲ طرح اختلاط ۳۳۵
۱۷-۵-۳ تجهیزات و ماشین‌آلات ۳۳۷
۱۷-۵-۴ کالیبراسیون دستگاه ۳۳۷
۱۷-۵-۵ آماده‌سازی سطح راه قبل از اجرا ۳۳۸
۱۷-۵-۶ تولید و اجرا ۳۳۸
۱۷-۵-۷ کنترل ترافیک ۳۴۰
۱۷-۵-۸ محدودیت آب‌وهوایی ۳۴۰
۱۷-۵-۹ کنترل کیفیت ۳۴۱
۱۷-۵-۱۰ اندازه‌گیری مساحت کار انجام شده ۳۴۲
۱۷-٦ آسفالت نازک قیرایه‌ای (میکروسرفیسینگ) **۳٤۲**
۱۷-۶-۱ مواد و مصالح ۳۴۳
۱۷-۶-۲ طرح اختلاط ۳۴۶
۱۷-۶-۳ تجهیزات و ماشین‌آلات ۳۴۷
۱۷-۶-۴ کالیبراسیون دستگاه ۳۴۸
۱۷-۶-۵ آماده‌سازی سطح قبل از اجرا ۳۴۸
۱۷-۶-۶ تولید و اجرا ۳۴۸
۱۷-۶-۷ کنترل ترافیک ۳۴۸
۱۷-۶-۸ محدودیت آب‌وهوایی هنگام عملیات اجرایی ۳۴۸
۱۷-۶-۹ کنترل کیفیت ۳۴۹
۱۷-۶-۱۰ اندازه‌گیری ۳۴۹
۱۷-۷ آسفالت سطحی (چیپ‌سیل) **۳٤۹**
۱۷-۷-۱ کلیات ۳۴۹
۱۷-۷-۲ مواد قیری ۳۵۰
۱۷-۷-۳ سنگدانه‌ها ۳۵۳
۱۷-۷-۴ انتخاب نوع قیر ۳۵۶
۱۷-۷-۵ طراحی آسفالت سطحی ۳۵۷
۱۷-۷-۶ محاسبه مقادیر پخش قیر و مصالح ۳۵۸

۱۷-۷-۷ تجهیزات و ماشین‌آلات ۳۶۶
۱۷-۷-۸ روش‌های اجرایی ۳۷۰
۱۷-۷-۹ روش‌های کنترل کیفیت ۳۷۸
۱۷-۷-۱۰ اندازه‌گیری کل ماده قیری و مصالح ۳۷۹
۱۷-۸ آسفالت حفاظتی ترکیبی (کیپ‌سیل) ۳۷۹
۱۷-۹ آسفالت داغ لایه‌نازک (TLA) ۳۸۰
۱۷-۹-۱ تعریف و تشریح ۳۸۰
۱۷-۹-۲ مواد و مصالح ۳۸۰
۱۷-۹-۳ طرح اختلاط و ویژگی‌های آسفالت لایه‌نازک ۳۸۵
۱۷-۹-۴ تجهیزات و ماشین‌آلات ۳۹۳
۱۷-۹-۵ ساخت و اجرا ۳۹۴
۱۷-۹-۶ کنترل کیفیت ۳۹۶
۱۷-۹-۷ اندازه‌گیری سطح و ضخامت ۳۹۷
۱۷-۱۰ آسفالت داغ فوق نازک (UTBWC) ۳۹۸
۱۷-۱۰-۱ تعریف و تشریح ۳۹۸
۱۷-۱۰-۲ مواد و مصالح ۳۹۹
۱۷-۱۰-۳ طرح اختلاط و ویژگی‌های آسفالت ۴۰۳
۱۷-۱۰-۴ تجهیزات و ماشین‌آلات ۴۱۰
۱۷-۱۰-۵ ساخت و اجرا ۴۱۱
۱۷-۱۰-۶ کنترل کیفیت ۴۱۴
۱۷-۱۰-۷ اندازه‌گیری وزن آسفالت ۴۱۵
۱۷-۱۱ درزگیری روسازی‌ها ٤١٥
۱۷-۱۱-۱ کلیات ۴۱۵
۱۷-۱۱-۲ مواد درزگیر ۴۱۷
۱۷-۱۱-۳ تجهیزات و ماشین‌آلات ۴۲۰
۱۷-۱۱-۴ زمان اجرا و شرایط آب و هوایی ۴۲۲
۱۷-۱۱-۵ ایمنی و کنترل ترافیک ۴۲۳
۱۷-۱۱-۶ روش‌های اجرای درزگیری ۴۲۴
۱۷-۱۱-۷ اندازه‌گیری مصالح، برشکاری، پاکسازی و تزریق ۴۳۰

۱۷-۱۲ آسفالت سرد بسته‌بندی شده **۴۳۰**
۱۷-۱۲-۱ تعریف و محدوده کاربرد ۴۳۰
۱۷-۱۲-۲ مواد و مصالح ۴۳۱
۱۷-۱۲-۳ طراحی ۴۳۲
۱۷-۱۲-۴ روش اجرا ۴۳۲
۱۷-۱۲-۵ بسته‌بندی، انبار کردن و تاریخ مصرف ۴۳۳
۱۷-۱۲-۶ کنترل کیفیت ۴۳۳
۱۷-۱۲-۷ اندازه‌گیری وزن مواد تحویلی ۴۳۵

آسفالت سرد **۴۳۷**

۱۸-۱ کلیات **۴۳۹**
۱۸-۲ مزایای آسفالت سرد **۴۳۹**
۱۸-۳ موارد کاربرد آسفالت سرد **۴۳۹**
۱۸-۴ انواع آسفالت سرد **۴۴۰**
۱۸-۴-۱ آسفالت سرد کارخانه‌ای ۴۴۰
۱۸-۴-۲ آسفالت سرد مخلوط در محل ۴۴۰
۱۸-۴-۳ انتخاب روش تولید مخلوط آسفالت سرد ۴۴۰
۱۸-۵ مشخصات فنی مصالح سنگی آسفالت سرد **۴۴۱**
۱۸-۵-۱ کلیات ۴۴۱
۱۸-۵-۲ دانه‌بندی مصالح سنگی ۴۴۳
۱۸-۶ انتخاب قیر **۴۴۷**
۱۸-۶-۱ خواص قیر باقیمانده ۴۴۹
۱۸-۶-۲ بار ذره‌ای قیرابه‌ای ۴۴۹
۱۸-۶-۳ مصالح سنگی آب‌دوست ۴۴۹
۱۸-۶-۴ کندروانی قیر ۴۵۰
۱۸-۶-۵ گیرش قیر ۴۵۰
۱۸-۶-۶ درجه حرارت قیر ۴۵۲
۱۸-۷ انتخاب فرمول کارگاهی طرح اختلاط **۴۵۳**

۱۸-۸ طرح اختلاط آسفالت سرد ٤٥٤
۱۸-۹ مشخصات فنی آسفالت سرد ٤٥٤
۱۸-۱۰ ماشین‌آلات آسفالت سرد ٤٥٦
۱۸-۱۰-۱ ماشین‌آلات آسفالت سرد کارخانه‌ای ۴۵۶
۱۸-۱۰-۲ ماشین‌آلات آسفالت سرد مخلوط در محل ۴۶۱
۱۸-۱۱ مراحل اجرای آسفالت سرد ٤٦٥
۱۸-۱۱-۱ آماده کردن سطح راه ۴۶۵
۱۸-۱۱-۲ تولید مخلوط آسفالت سرد ۴۶۸
۱۸-۱۱-۳ هوادهی مخلوط آسفالت سرد ۴۷۵
۱۸-۱۱-۴ پخش و تراکم مخلوط آسفالت سرد ۴۷۷
۱۸-۱۲ ملاحظات اجرایی آسفالت سرد ٤٨٠
۱۸-۱۳ کنترل کیفیت ٤٨٢
۱۸-۱۳-۱ کنترل تراکم قشرهای آسفالت سرد ۴۸۲
۱۸-۱۳-۲ کنترل سطح آسفالت ۴۸۲
۱۸-۱۳-۳ آزمایش‌های کنترل کیفیت ۴۸۳

آسفالت ماکادم نفوذی ٤٨٥

۱۹-۱ کلیات ٤٨٧
۱۹-۲ انواع آسفالت ماکادام نفوذی ٤٨٧
۱۹-۲-۱ آسفالت ماکادام با قیرهای خالص و قیرهای محلول سنگین ۴۹۰
۱۹-۲-۲ آسفالت ماکادام نفوذی با قیرهای محلول سبک و قیرآبه‌ها ۴۹۱
۱۹-۳ اجرای عملیات ٤٩٢
۱۹-۳-۱ آماده نمودن سطح راه ۴۹۲
۱۹-۳-۲ پخش و کوبیدن مصالح سنگی درشت ۴۹۳
۱۹-۳-۳ پخش قیر ۴۹۳
۱۹-۳-۴ پخش و کوبیدن مصالح سنگی متوسط (پرکننده) ۴۹۳
۱۹-۳-۵ غلتک‌زنی تکمیلی ۴۹۴

۱۹-٤ پوشش نهایی آسفالت ماکادام نفوذی **٤٩٤**
۱۹-٥ وسایل اجرای کار **٤٩٤**
۱۹-٦ حفاظت سطح راه به هنگام اجرای عملیات **٤٩٥**
۱۹-۷ آزمایش‌های کنترل کیفیت **٤٩٥**
۱۹-۷-۱ قیر ۴۹۵
۱۹-۷-۲ قیرپاشی ۴۹۵
۱۹-۷-۳ مصالح سنگی ۴۹۵

آسفالت داغ **٤٩٧**

۲۰-۱ کلیات **٤٩٩**
۲۰-۲ انواع مخلوط‌های آسفالتی داغ **٤٩٩**
۲۰-۲-۱ بتن آسفالتی ۴۹۹
۲۰-۲-۲ آسفالت ماستیک سنگدانه‌ای ۵۱۰
۲۰-۲-۳ آسفالت متخلخل ۵۱۵
۲۰-۳ اجرای انواع مخلوط‌های آسفالتی **٥٢٠**
۲۰-۳-۱ اهداف طراحی مخلوط‌های آسفالتی ۵۲۰
۲۰-۳-۲ انطباق و تأیید قیر و افزودنی‌های مورد استفاده در پروژه ۵۲۱
۲۰-۳-۳ انطباق و تأیید معادن تولید مصالح سنگدانه‌ای ۵۲۲
۲۰-۳-۴ تولید، نگهداری و مصرف مصالح سنگدانه‌ای ۵۲۳
۲۰-۳-۵ تولید مخلوط آسفالتی ۵۳۳
۲۰-۳-۶ حمل و توزین مخلوط آسفالتی ۵۵۴
۲۰-۳-۷ پخش مخلوط آسفالتی ۵۵۶
۲۰-۳-۸ کوبیدن مخلوط آسفالتی ۵۶۵
۲۰-٤ کنترل کیفیت مصالح سنگی و قیر **٥٧٦**
۲۰-۴-۱ کنترل کیفیت مصالح سنگی و قیر ۵۷۶
۲۰-۴-۲ کنترل کیفیت مخلوط آسفالتی ۵۷۷
۲۰-۴-۳ کنترل تراکم و ضخامت لایه‌های آسفالتی ۵۸۰
۲۰-۴-۴ کنترل کیفیت عملیات اجرایی ۵۸۱

۲۰-۴-۵ کنترل سطح آسفالت ۵۸۵
۲۰-۴-۶ کنترل تردد وسایل نقلیه ۵۸۶
۲۰-۵ پذیرش ۵۸۷
۲۰-۵-۱ محدوده پذیرش ۵۸۷
۲۰-۵-۲ حل اختلاف ۵۹۰
۲۰-۵-۳ نحوه پذیرش آزمایش‌های پیمانکار ۵۹۱

رویه‌های شنی و شانه رویه‌های آسفالتی و بتنی ۵۹۳

۲۱-۱ کلیات ۵۹۵
۲۱-۲ تهیه مصالح ۵۹۵
۲۱-۳ مشخصات فنی مصالح ۵۹۶
۲۱-۳-۱ دانه بندی مصالح مصرفی ۵۹۶
۲۱-۳-۲ سایر مشخصات مصالح مصرفی ۵۹۶
۲۱-۳-۳ مشخصات مصالح برای شانه ۵۹۶
۲۱-٤ ابعاد قشر رویه‌های شنی ۵۹۷
۲۱-۵ آماده نمودن بستر ۵۹۸
۲۱-٦ پخش مصالح و آبپاشی ۵۹۸
۲۱-۷ کوبیدن رویه‌های شنی و شانه‌ها ۵۹۹
۲۱-۸ کنترل سطح تمام شده ٦۰۰
۲۱-۹ نگهداری سطح رویه‌های شنی ٦۰۰
۲۱-۱۰ آزمایش‌های کنترل کیفیت ٦۰۱
۲۱-۱۰-۱ آزمایش دانه بندی، دامنه خمیری و ارزش ماسه‌ای ۶۰۲
۲۱-۱۰-۲ آزمایش تعیین وزن مخصوص ۶۰۲
۲۱-۱۰-۳ تعیین ضخامت لایه ۶۰۲
۲۱-۱۰-۴ آزمایش تراکم آزمایشگاهی ۶۰۲
۲۱-۱۰-۵ آزمایش سی بی آر ۶۰۲

۲۲-۱ کلیات ۶۰۵
۲۲-۱-۱ تعریف ۶۰۵
۲۲-۱-۲ مواد تشکیل دهنده ۶۰۵
۲۲-۱-۳ انواع عمده ژئوسنتتیک‌ها ۶۰۵
۲۲-۱-۴ مشخصه‌های عمومی معرفی ژئوسنتتیک‌ها ۶۰۵
۲۲-۱-۵ کاربرد و عملکرد ۶۰۶
۲۲-۱-۶ معیارها ۶۰۷
۲۲-۲- ملاحظات کلی در ژئوسنتتیک‌ها ۶۰۸
۲۲-۲-۱ گواهینامه تایید محصول ۶۰۸
۲۲-۲-۲ نمونه برداری، آزمایش و تایید ۶۰۸
۲۲-۲-۳ حمل و انبار ۶۰۸
۲۲-۲-۴ ارزیابی مشخصات ۶۰۹
۲۲-۲-۵ درزها ۶۱۱
۲۲-۳- مشخصات ژئوتکستایل‌ها در راه‌سازی ۶۱۴
۲۲-۴ فیلتراسیون و زهکشی ۶۱۵
۲۲-۴-۱ انتخاب ژئوتکستایل ۶۱۶
۲۲-۴-۲ نحوه اجرا ۶۱۶
۲۲-۴-۳ ژئوکمپوزیت‌ها ۶۲۰
۲۲-۵ کنترل فرسایش ۶۲۱
۲۲-۵-۱ انتخاب ژئوتکستایل ۶۲۲
۲۲-۵-۲ نحوه اجرا ۶۲۳
۲۲-۶ جداسازی و تثبیت در بستر راه ۶۲۷
۲۲-۶-۱ انتخاب ژئوسنتتیک ۶۲۹
۲۲-۶-۲ نحوه اجرا ۶۳۱
۲۲-۶-۳ درزها ۶۳۵
۲۲-۷ روکش ۶۳۵

۲۲-۷-۱ دامنه کاربرد ۶۳۶
۲۲-۷-۲ انتخاب ژئوتکستایل ۶۳۷
۲۲-۷-۳ مصالح آب‌بند ۶۳۹
۲۲-۷-۴ نحوه اجرا ۶۳۹
۲۲-۸ شیب‌های خاکی مسلح ٦٤٣
۲۲-۸-۱ مشخصات مصالح ۶۴۴
۲۲-۸-۲ مصالح درشت دانه سنگی (راکفیل) ۶۴۸
۲۲-۸-۳ نحوه اجرا ۶۴۹
۲۲-۹ دیوارهای خاک مسلح ٦٥٣
۲۲-۹-۱ مشخصات مصالح ۶۵۵
۲۲-۹-۲ نحوه اجرا ۶۶۱
۲۲-۹-۳ دیوارهای خاک مسلح با مسلح کننده‌های فلزی ۶۶۷
۲۲-۱۰ آب بندها ٦٧٤
۲۲-۱۰-۱ ژئوممبرین‌ها ۶۷۴
۲۲-۱۰-۲ ژئوکمپوزیت‌ها ۶۷۵
۲۲-۱۰-۳ ژئوکمپوزیت‌های رسی ۶۷۹
۲۲-۱۰-۴ ملاحظات اجرا ۶۸۷

تونل ٦٨٩

۲۳-۱ کلیات ٦٩١

دستورالعمل‌های ایمنی و بهداشت حرفه‌ای در کارهای راه‌سازی ٦٩٣

۲۴-۱ کلیات ٦٩٥
۲۴-۲ هدف و دامنه کاربرد ٦٩٥
۲۴-۲-۱ تامین سلامت جسم و روان ۶۹۵
۲۴-۲-۲ پیشگیری از بیماری و حوادث ۶۹۵

۲۴-۲-۳ سازگاری کار با انسان ۶۹۵

۲۴-۳ عوامل زیان‌آور محیط کار و علل وقوع حوادث ناشی از کار ۶۹۶

۲۴-۳-۱ عوامل زیان‌آور محیط کار ۶۹۶

۲۴-۳-۲ علل وقوع حوادث ناشی از کار ۶۹۶

۲۴-۴ مقررات عمومی ۶۹۷

۲۴-۴-۱ برنامه ایمنی و بهداشت حرفه‌ای ۶۹۷

۲۴-۴-۲ حمایت مدیریت ۶۹۸

۲۴-۴-۳ شرایط انجام کار ۶۹۸

۲۴-۴-۴ آموزش کارکنان ۶۹۸

۲۴-۴-۵ بازرسی ۶۹۹

۲۴-۴-۶ ثبت حوادث ۶۹۹

۲۴-۴-۷ مقررات و استانداردها ۶۹۹

۲۴-۴-۸ وظایف مهندس مشاور ۶۹۹

۲۴-۵ تسهیلات و خدمات بهداشتی و رفاهی ۷۰۰

۲۴-۵-۱ کلیات ۷۰۰

۲۴-۵-۲ آب آشامیدنی ۷۰۰

۲۴-۵-۳ سرویس‌های بهداشتی ۷۰۰

۲۴-۵-۴ برنامه غذایی ۷۰۱

۲۴-۵-۵ محل خواب و استراحت ۷۰۱

۲۴-۶ وسایل حفاظت فردی ۷۰۱

۲۴-۶-۱ کلیات ۷۰۱

۲۴-۶-۲ حفاظت سر ۷۰۲

۲۴-۶-۳ حفاظت چشم و صورت ۷۰۳

۲۴-۶-۴ حفاظت سیستم شنوایی ۷۰۳

۲۴-۶-۵ حفاظت سیستم تنفسی ۷۰۳

۲۴-۶-۶ حفاظت دست و بازو ۷۰۳

۲۴-۶-۷ حفاظت پا ۷۰۴

۲۴-۶-۸ لباس کار ۷۰۴

۲۴-۶-۹ کمربند ایمنی و طناب نجات ۷۰۵

۲۴-۶-۱۰ تورهای ایمنی ۷۰۵
۲۴-۶-۱۱ حفاظت در برابر غرق شدن ۷۰۶
۲۴-۷ کمک‌های اولیه ۷۰۶
۲۴-۸ عوامل آسیب‌رسان و بیماری‌زای محیط کار و بهداشت حرفه‌ای ۷۰۷
۲۴-۸-۱ صدا ۷۰۷
۲۴-۸-۲ گازها، بخارات، دود و گرد و غبار ۷۰۸
۲۴-۸-۳ پرتوهای یونساز و غیر یونساز ۷۰۹
۲۴-۸-۴ تنش گرمایی ۷۱۰
۲۴-۸-۵ سایر عوامل ۷۱۱
۲۴-۹ ایمنی در حین کار با ابزار، وسایل و ماشین‌آلات ۷۱۱
۲۴-۹-۱ کلیات ۷۱۱
۲۴-۹-۲ ابزار دستی و وسایل برقی ۷۱۳
۲۴-۹-۳ ماشین‌آلات راه‌سازی و ساختمانی ۷۱۴
۲۴-۹-۴ ماشین‌آلات ارتعاشی ۷۱۷
۲۴-۹-۵ واحد سنگ‌شکن و کارخانه آسفالت ۷۱۷
۲۴-۱۰ ایمنی در حین اجرای عملیات ۷۲۰
۲۴-۱۰-۱ کلیات ۷۲۰
۲۴-۱۰-۲ سازه‌های موقت ۷۲۰
۲۴-۱۰-۳ تونلسازی ۷۲۰
۲۴-۱۰-۴ عملیات خاکی ۷۲۲
۲۴-۱۰-۵ کارهای بتنی ۷۲۳
۲۴-۱۰-۶ کارهای فلزی ۷۲۴
۲۴-۱۰-۷ کارهای آسفالتی ۷۲۵
۲۴-۱۱ انبار کردن و حمل ایمن مواد و مصالح ۷۲۶
۲۴-۱۱-۱ انبار کردن مصالح ۷۲۶
۲۴-۱۱-۲ بارگیری، حمل و تخلیه ۷۲۶
۲۴-۱۱-۳ بلند کردن و جابه‌جایی دستی بار ۷۲۷
۲۴-۱۲ پیشگیری و حفاظت در برابر آتش‌سوزی ۷۲۸
۲۴-۱۳ کاربرد مواد ناریه در کارهای راه‌سازی ۷۳۱

۲۴-۱۳-۱ کلیات ۷۳۱
۲۴-۱۳-۲ مقررات ایمنی حمل، نگهداری و کاربرد مواد ناریه ۷۳۱
۲۴-۱۴ ایمنی و بهداشت در فرآیند جوشکاری ۷۳۳
۲۴-۱۴-۱ کلیات ۷۳۳
۲۴-۱۴-۲ آموزش ۷۳۳
۲۴-۱۴-۳ وسایل حفاظت فردی ۷۳۴
۲۴-۱۴-۴ تهویه ۷۳۵
۲۴-۱۴-۵ دستگاه‌های جوشکاری ۷۳۵
۲۴-۱۴-۶ نظم و ترتیب ۷۳۵
۲۴-۱۴-۷ جوشکاری در فضای محصور ۷۳۶
۲۴-۱۴-۸ حریق و جوشکاری ۷۳۶
۲۴-۱۴-۹ جوشکاری و برش اکسی استیلن ۷۳۶
۲۴-۱۵ علائم و تجهیزات هشدار دهنده و اطلاع‌رسانی ۷۳۸
۲۴-۱۵-۱ کلیات ۷۳۸
۲۴-۱۵-۲ ارتباط با راننده ۷۳۹
۲۴-۱۵-۳ علائم و برچسب‌های ایمنی ۷۳۹
۲۴-۱۵-۴ کنترل ترافیک در عملیات راه‌سازی ۷۳۹
۲۴-۱۶ استانداردها ۷۴۱

استاندارد مشخصات و آزمایش‌ها ۷۴۳

۲۵-۱ کلیات ۷۴۵
۲۵-۲ شماره استانداردهای مرتبط با این مشخصات ۷۴۵
۲۵-۳ فهرست مؤسسه‌های بین‌المللی استاندارد ۷۴۶

فهرست شکل‌ها

عنوان | صفحه

شکل ۵–۱ بنایی با سنگ قواره *Uncoursed Rubble Masonry (UR) Moellon Brut* ۷۶
شکل ۵–۲ بنایی با سنگ تمام تراش *Fine Ashlar Masonry (FA) Moellon Dappareil* ۷۶
شکل ۵–۳ بنایی با سنگ بادبر *Coursed Rubble Masonry* ۷۷
شکل ۵–۴ سنگ عمقی سرتاسری *Through Stone Parpaing* ۷۷
شکل ۵–۵ بنایی با سنگ رگه کلنگی یا سرتراش *Ashlar Block in Course Moellon* ۷۸
شکل ۵–۶ بنایی با سنگ نیم سرتراش *Moellon Pique* ۷۹
شکل ۶–۱ سپرهای بتن فولادی ۱۰۵
شکل ۶–۲ یک سری شمع در کنار یکدیگر ۱۰۶
شکل ۶–۳ فاصله بین شمع‌ها ۰/۷۵ قطر شمع‌ها ۱۰۶
شکل ۶–۴ شمع‌ها به فاصله یک متر الی ۱/۵ متر از یکدیگر ۱۰۷
شکل ۶–۵ سپر به طریقه دیوار شیاری ۱۰۸
شکل ۶–۶ سیستم استاتیکی یک سپر برای مراحل مختلف گودبرداری ۱۱۰
شکل ۶–۷ سپر دارای یک تکیه‌گاه یا یک مهار ۱۱۱
شکل ۶–۸ سپر دارای دو تکیه‌گاه یا دو مهار ۱۱۲
شکل ۶–۹ سپر دارای سه یا تعداد بیشتر تکیه‌گاه یا مهار ۱۱۲
شکل ۱۱–۱ منابع آب‌های نفوذی به لایه‌های زیرسازی و روسازی راه ۱۹۸
شکل ۱۱–۲ محدوده دانه‌بندی مصالح فیلتر برای انواع خاک پایه با ***D60*** از ۰/۰۲ تا ۱ میلی‌متر ۱۹۹
شکل ۱۱–۳ اجزای تشکیل دهنده سیستم زهکشی راه ۲۰۰
شکل ۱۱–۴ کاربرد زمین‌پارچه برای زهکشی زیرزمینی لایه‌های روسازی ۲۰۱
شکل ۱۱–۵ طرح‌های مختلف تیپ زهکشی با اساس دارای دانه‌بندی باز و لوله خروجی ۲۰۲
شکل ۱۱–۶ طرح زهکشی با اساس دارای دانه‌بندی باز و زمین‌پارچه ۲۰۳
شکل ۱۱–۷ طرح زهکشی با اساس آسفالتی متخلخل و استفاده از زمین‌پارچه ۲۰۴
شکل ۱۲–۱ تعیین درصد آهک بهینه بر حسب نوع خاک ۲۲۵
شکل ۱۷–۱ موقعیت سنگدانه‌ها در بستر قیری راه، قبل و پس از غلتک‌زنی و عبور ترافیک ۳۵۰
شکل ۱۷–۲ نمونه‌ای از نمودار تعدیل مقدار قیر برای زمان اجرای آسفالت سطحی ۳۶۴

شکل ۱۷–۳ ابعاد شیار برش‌خورده و مواد درزگیری برای عملیات آب‌بندی در روسازی بتن ۴۲۵
شکل ۱۷–۴ ابعاد شیار برش‌خورده و مواد درزگیری برای عملیات پرکردن در روسازی بتن ۴۲۵
شکل ۱۸–۱ حداقل درصد فضای خالی مصالح سنگی در مخلوط آسفالت سرد دارای دانه‌بندی پیوسته حاوی قیر محلول ۴۵۵
شکل ۱۸–۲ ابعاد ریسه ۴۷۲
شکل ۲۰–۱– چرخه تولید آسفالت آزمایشی ۵۵۲
شکل ۲۰–۲– نمونه پیشنهادی از الگوی غلتک‌زنی با استفاده از غلتک‌های فولادی استاتیکی ۵۷۴
شکل ۲۰–۳– نمودار کنترلی درصد قیر آسفالت داغ ۵۸۳
شکل ۲۰–۴– نمودار کنترلی درصد قیر آسفالت داغ ۵۸۴
شکل ۲۰–۵– سطح کیفی قابل قبول ***(AQL)*** ۵۸۸
شکل ۲۲–۱ دو نوع کوک‌زنی (تکی و دوبل) ۶۱۲
شکل ۲۲–۲ سه نوع متداول درز ۶۱۲
شکل ۲۲–۳ حداقل فاصله افقی درزهای عرضی نسبت به هم ۶۱۳
شکل ۲۲–۴ پیوستگی دو قطعه ژئوسنتتیک مجاور با بست‌های فلزی ۶۱۳
شکل ۲۲–۵ اتصال با تسمه یا میله فلزی گالوانیزه یا پلیمری در ژئوگرید ۶۱۴
شکل ۲۲–۶ نمونه‌ای از عملکرد فیلتراسیون و زهکشی ژئوسنتتیک‌ها ۶۱۶
شکل ۲۲–۷ مراحل اجرای یک کانال زهکشی با استفاده از ژئوتکستایل ۶۲۰
شکل ۲۲–۸ نمونه‌ای از کاربرد ژئوتکستایل در کنترل فرسایش ۶۲۲
شکل ۲۲–۹ سیستم کنترل فرسایش با ترانشه‌های مهاری ۶۲۶
شکل ۲۲–۱۰ نمونه طرح حفاظت جسم راه در مجاورت رودخانه ۶۲۷
شکل ۲۲–۱۱ مفهوم عملکرد جداسازی توسط ژئوتکستایل در بستر راه ۶۲۸
شکل ۲۲–۱۲– الف نصب ژئوسنتتیک در قوس از طریق تاخوردگی ۶۳۳
شکل ۲۲–۱۲– ب نصب ژئوسنتتیک در قوس از طریق ایجاد برش ۶۳۳
شکل ۲۲–۱۳ شیب خاکی مسلح ۶۴۴
شکل ۲۲–۱۴ خاکریزی و پخش مصالح خاکی بر روی لایه ژئوسنتتیک ۶۵۱
شکل ۲۲–۱۵ استفاده از ژئوتکستایل یا توری برای جلوگیری از ریزش مصالح خاکی ۶۵۲
شکل ۲۲–۱۶ دیوار خاک مسلح ۶۵۴
شکل ۲۲–۱۷ برخی از انواع نماهای معمول در دیوارهای خاک مسلح ۶۵۷
شکل ۲۲–۱۸ بلوک بتنی مدولار با کلید برشی ۶۵۸

شکل ۲۲-۱۹ برخی از انواع قطعات بتنی مدولار ۶۵۹
شکل ۲۲-۲۰ نمونه‌ای از نصب ژئوسنتتیک در دیوار با نمای قوسی ۶۶۵
شکل ۲۲-۲۱ مراحل اجرای دیوار خاک مسلح بدون نما ۶۶۷
شکل ۲۲-۲۲ نحوه ذخیره‌سازی طاقه‌ها به صورت طبقاتی ۶۸۰
شکل ۲۲-۲۳ اجرای جی سی ال در کف ۶۸۳
شکل ۲۲-۲۴ اجرای جی سی ال در اطراف فونداسیون ۶۸۴
شکل ۲۲-۲۵ جزئیات آماده‌سازی سر نیل‌ها برای نصب جی سی ال در دیواره ۶۸۵
شکل ۲۲-۲۶ نحوه اجرای جی سی ال در اطراف سر شمع و دیواره گود و محل اتصال ۶۸۶
شکل ۲۲-۲۷ نحوه تعمیر حفره های ایجاد شده در محصول در اثر عملیات اجرایی ۶۸۷

فهرست جدول‌ها

عنوان | صفحه

جدول ۲-۱ طبقه‌بندی خاک‌های منبسط شونده ۲۴
جدول ۲-۲ حداقل درصد تراکم مشخصه خاکریزها و بستر روسازی در راه‌های مختلف ۲۶
جدول ۲-۳ خصوصیات خاک‌های حساس در برابر یخبندان ۲۹
جدول ۵-۱ مشخصات فنی آجر ۵۵
جدول ۵-۲ دانه‌بندی ماسه ملات ۵۷
جدول ۵-۳ دانه‌بندی ماسه ملات (درز اجرایی بیش از ۱۳ میلی‌متر) ۵۷
جدول ۵-۴ سایر مشخصه‌های ماسه ملات ۵۸
جدول ۵-۵ طرح تقریبی اختلاط ماسه، سیمان و آب ۶۰
جدول ۵-۶ انواع بنایی با سنگ و کاربرد آنها در بنا ۶۵
جدول ۶-۱ حداقل ضخامت پوشش روی آرماتور بر حسب میلی‌متر ۸۸
جدول ۷-۱ رواداری سازه‌های بتنی متعارف ۱۲۲
جدول ۷-۲ حداقل زمان لازم برای قالب‌برداری ۱۲۷
جدول ۱۰-۱ مشخصات مکانیکی فولاد- مشخصات تنشی ۱۵۴
جدول ۱۰-۲ مشخصات مکانیکی فولاد- مشخصات حداقل تغییر طول نسبی (درصد) ۱۵۵
جدول ۱۰-۳ مشخصات مکانیکی پیچ‌ها و پرچ‌ها ۱۵۷
جدول ۱۰-۴ مشخصات مکانیکی گل‌میخ‌ها ۱۵۷
جدول ۱۰-۵ حداکثر انحراف مجاز در ساخت قطعات فولادی ۱۶۲
جدول ۱۰-۵ (ادامه) حداکثر انحراف مجاز در ساخت تیر ورق‌های فولادی ۱۶۳
جدول ۱۰-۶ چرخش اضافی لازم برای پیش تنیده کردن پیچ‌ها ۱۶۴
جدول ۱۰-۷ حداقل ضخامت رنگ آمیزی قطعات فولادی در شرایط محیطی مختلف ۱۶۸
جدول ۱۰-۸ انرژی حداقل در آزمایش ضربه ۱۷۰
جدول ۱۰-۹ مقادیر حدی میزان ترکیبات شیمیایی فولاد ۱۷۱
جدول ۱۰-۱۰ مقادیر حدی کربن معادل ۱۷۱

جدول ۱۰–۱۱ میزان آزمایش‌های غیرمخرب جوش حین ساخت قطعات ۱۷۲
جدول ۱۱–۱ دانه‌بندی باز مخلوط‌های آسفالتی مصرفی برای زهکشی زیرزمینی ۱۸۷
جدول ۱۱–۲ انتخاب معیار ***A*** بر حسب وضعیت یکنواختی خاک پایه و فیلتر ۱۹۲
جدول ۱۲–۱ راهنمای انتخاب نوع مصالح دانه‌ای لایه زیراساس ۲۰۸
جدول ۱۲–۲ محدوده دانه‌بندی‌های مصالح زیراساس ۲۱۰
جدول ۱۲–۳ محدوده مشخصات ویژگی‌های مصالح دانه‌ای زیراساس ۲۱۰
جدول ۱۲–۴ نمونه‌برداری و آزمایش‌های پذیرش عملیات زیراساس دانه‌ای ۲۱۶
جدول ۱۲–۵ محدوده مشخصه‌های عملیات زیراساس دانه‌ای برای پذیرش و تعیین ضریب پرداخت ۲۲۱
جدول ۱۲–۶ مشخصات فنی آهک (***AASHTO M216***) ۲۲۳
جدول ۱۳–۱ راهنمای انتخاب نوع مصالح دانه‌ای لایه اساس ۲۳۸
جدول ۱۳–۲ محدوده دانه‌بندی‌های مصالح اساس ۲۴۲
جدول ۱۳–۳ محدوده مشخصات ویژگی‌های مصالح دانه‌ای لایه اساس ۲۴۲
جدول ۱۳–۴ نمونه‌برداری و آزمایش‌های پذیرش عملیات اساس دانه‌ای ۲۴۹
جدول ۱۳–۵ محدوده مشخصه‌های عملیات اساس دانه‌ای برای پذیرش و تعیین ضریب پرداخت ۲۵۴
جدول ۱۳–۶ دانه‌بندی اساس ماکادمی ۲۵۵
جدول ۱۳–۷ دانه‌بندی مصالح ریزدانه ۲۵۷
جدول ۱۴–۱ مشخصات قیرهای خالص براساس رده‌بندی درجه نفوذ ۲۶۸
جدول ۱۴–۲ افزایش رده عملکردی قیر به علت ترافیک زیاد یا سرعت بارگذاری کم ۲۷۱
جدول ۱۴–۳ مشخصات قیر بر اساس عملکرد ***(AASHTO M320)*** ۲۷۲
جدول ۱۴–۴ مشخصات قیرهای محلول زودگیر ***(AASHTO M81)*** ۲۷۸
جدول ۱۴–۵ مشخصات قیرهای محلول کندگیر ***(AASHTO M82)*** ۲۷۹
جدول ۱۴–۶ مشخصات قیرهای محلول دیرگیر ***(ASTM D2026)*** ۲۸۰
جدول ۱۴–۷ مشخصات قیرابه‌های آنیونیک ***(ASTM D977)*** ۲۸۲
جدول ۱۴–۸ قیرابه‌های کاتیونیک ***(ASTM D2397)*** ۲۸۵
جدول ۱۴–۹ دسته‌بندی انواع افزودنی‌ها و اصلاح‌کننده‌های قیر و مثال هر یک ۲۹۰
جدول ۱۵–۱ مواد قیری مصرفی در اندود نفوذی به روش قیرپاشی روی سطح آماده ۲۹۹
جدول ۱۵–۲ محدوده دمای مناسب قیرهای محلول در هنگام پخش ۳۰۵
جدول ۱۵–۳ چک‌لیست اجرای اندود نفوذی ۳۱۰
جدول ۱۶–۱ محدوده میزان پخش قیرابه اندود سطحی ۳۱۸

جدول ۱۶-۲ محدوده دمای مناسب قیرابه‌ها در هنگام پخش ۳۲۰
جدول ۱۶-۳ چک‌لیست اجرای اندود سطحی ۳۲۴
جدول ۱۷-۱ مشخصات مصالح سنگی دوغاب آب‌بندی قیری ۳۳۳
جدول ۱۷-۲ محدوده دانه‌بندی دوغاب آب‌بندی قیری و رواداری‌های مجاز ۳۳۵
جدول ۱۷-۳ آزمایش‌های طرح اختلاط و مشخصات مورد نیاز دوغاب آب‌بندی قیری ۳۳۶
جدول ۱۷-۴ مشخصات قیرابه پلیمری میکروسرفیسینگ ۳۴۴
جدول ۱۷-۵ مشخصات مصالح سنگی مورد استفاده در میکروسرفیسینگ ۳۴۴
جدول ۱۷-۶ محدوده‌های دانه‌بندی مصالح سنگی مخلوط میکروسرفیسینگ و رواداری‌های مجاز ۳۴۵
جدول ۱۷-۷ آزمایش‌های طرح اختلاط و مشخصات مورد نیاز میکروسرفیسینگ ۳۴۷
جدول ۱۷-۸ قیرهای مورد استفاده در آسفالت سطحی ۳۵۲
جدول ۱۷-۹ مشخصات قیرابه‌های پلیمری مورد استفاده در آسفالت سطحی ۳۵۲
جدول ۱۷-۱۰ مشخصات فیزیکی سنگدانه‌های آسفالت سطحی ۳۵۳
جدول ۱۷-۱۱ دانه‌بندی‌های یک‌اندازه مصالح سنگی آسفالت سطحی (چیپ‌سیل) ۳۵۴
جدول ۱۷-۱۲ دانه‌بندی‌های باز مصالح سنگی آسفالت سطحی (چیپ‌سیل) ۳۵۵
جدول ۱۷-۱۳ ترتیب انتخاب دانه‌بندی‌ها برای آسفالت سطحی یک تا سه لایه ۳۵۵
جدول ۱۷-۱۴ قیرهای مناسب برای سنگدانه‌های با دانه‌بندی باز ۳۵۷
جدول ۱۷-۱۵ ضریب اصلاح ترافیک برای محاسبه مقدار قیر ۳۶۱
جدول ۱۷-۱۶ مقدار اصلاح قیر برای وضعیت سطح موجود ۳۶۱
جدول ۱۷-۱۷ درصد قیر باقیمانده برای قیرابه‌ها ۳۶۱
جدول ۱۷-۱۸ ضرایب اصلاح حجم قیرابه‌ها از دماهای مختلف به دمای ۱۵ درجه سلسیوس ۳۶۲
جدول ۱۷-۱۹ حدود رواداری مقدار پاشش مواد قیری ۳۷۸
جدول ۱۷-۲۰ راهنمای انتخاب قیر برای آسفالت داغ لایه نازک ۳۸۱
جدول ۱۷-۲۱ معیارهای تکمیلی قیرهای پلیمری با رده‌بندی عملکردی ۳۸۳
جدول ۱۷-۲۲ مشخصات قیرهای پلیمری رده‌بندی شده بر اساس درجه نفوذ و نقطه نرمی ۳۸۳
جدول ۱۷-۲۳ مشخصات مصالح سنگی درشت‌دانه آسفالت داغ لایه‌نازک ۳۸۴
جدول ۱۷-۲۴ حداقل شکستگی مصالح سنگی درشت‌دانه آسفالت داغ لایه نازک ۳۸۴
جدول ۱۷-۲۵ مشخصات مصالح سنگی ریزدانه آسفالت داغ لایه نازک ۳۸۵
جدول ۱۷-۲۶ دانه‌بندی فیلر اضافی مورد استفاده در آسفالت داغ لایه‌نازک ۳۸۵
جدول ۱۷-۲۷ دانه‌بندی‌ها آسفالت داغ لایه نازک ۳۸۷

جدول ۱۷–۲۸ حداقل درصد قیر آسفالت داغ لایه نازک برای مصالح با وزن مخصوص
ظاهری ۲٫۶۵۰ ۳۸۷
جدول ۱۷–۲۹ ضخامت طرح اسفالت داغ لایه نازک ۳۹۸
جدول ۱۷–۳۰ روش تراکم آزمایشگاهی آسفالت داغ لایه نازک ۳۸۹
جدول ۱۷–۳۱ روش تعیین وزن مخصوص حقیقی نمونه‌های متراکم آسفالت داغ لایه‌نازک ۳۸۹
جدول ۱۷–۳۲ رده‌های مختلف فضای خالی آسفالت داغ لایه‌نازک ۳۸۹
جدول ۱۷–۳۳ شرایط آزمایش شیارافتادگی چرخ بارگذاری آسفالت داغ لایه نازک ۳۹۱
جدول ۱۷–۳۴ معیارهای عمق شیارافتادگی آسفالت داغ لایه‌نازک ۳۹۱
جدول ۱۷–۳۵ ویژگی‌ها و فرمول پیشنهادی برای آسفالت داغ لایه‌نازک ۳۹۳
جدول ۱۷–۳۶ حداکثر دمای آسفالت داغ لایه نازک با قیر خالص ۳۹۶
جدول ۱۷–۳۷ حدود رواداری دانه‌بندی و درصد قیر آسفالت داغ لایه‌نازک ۳۹۷
جدول ۱۷–۳۸ مشخصات قیرابه‌های پلیمری مورد استفاده در اجرای آسفالت داغ فوق نازک ۴۰۰
جدول ۱۷–۳۹ مشخصات مصالح سنگی درشت‌دانه آسفالت داغ فوق نازک ۴۰۲
جدول ۱۷–۴۰ مشخصات مصالح سنگی ریزدانه آسفالت داغ فوق نازک ۴۰۲
جدول ۱۷–۴۱ دانه‌بندی فیلر اضافی مورد استفاده در آسفالت داغ فوق نازک ۴۰۵
جدول ۱۷–۴۲ دانه‌بندی‌های آسفالت داغ فوق نازک ۴۰۵
جدول ۱۷–۴۳ محدوده درصد قیر آسفالت داغ فوق نازک برای دانه‌بندی‌های مختلف ۴۰۵
جدول ۱۷–۴۴ ضرایب سطح ویژه مصالح سنگی با اندازه‌های مختلف ۴۰۷
جدول ۱۷–۴۵ مقدار پخش و حداقل ضخامت لایه آسفالت فوق نازک برای دانه‌بندی‌های مختلف ۴۰۸
جدول ۱۷–۴۶ روش‌های تعیین وزن مخصوص حقیقی نمونه‌های متراکم آسفالت داغ فوق نازک ۴۰۹
جدول ۱۷–۴۷ میزان پاشش قیرابه پلیمری و مقادیر اصلاح برای شرایط متفاوت سطح موجود راه ۴۱۳
جدول ۱۷–۴۸ حدود رواداری دانه‌بندی و درصد قیر آسفالت داغ فوق نازک ۴۱۵
جدول ۱۷–۴۹ راهنمای تعیین ضریب شکل (نسبت عرض به عمق ترک) ۴۲۴
جدول ۱۸–۱ مشخصات مصالح سنگی مخلوط آسفالت سرد ۴۴۲
جدول ۱۸–۲ دانه‌بندی آسفالت سرد لکه‌گیری برای مصارف غیر فوری ۴۴۴
جدول ۱۸–۳ دانه‌بندی پیوسته مخلوط آسفالت سرد قیرابه‌ای ۴۴۵
جدول ۱۸–۴ دانه‌بندی باز مخلوط آسفالت سرد قیرابه‌ای ۴۴۶
جدول ۱۸–۵ دانه‌بندی ماسه‌ای مخلوط آسفالت سرد قیرابه‌ای ۴۴۷
جدول ۱۸–۶ قیرهای مناسب آسفالت سرد ۴۴۸

جدول ۱۸–۷ درجه حرارت قیرهای مصرفی برای تهیه آسفالت سرد ۴۵۳
جدول ۱۸–۸ رواداری‌های فرمول کارگاهی آسفالت سرد برای دانه‌بندی و درصد قیر ۴۵۴
جدول ۱۸–۹ مشخصات فنی آسفالت سرد دارای دانه‌بندی پیوسته حاوی قیرابه ۴۵۴
جدول ۱۸–۱۰ مشخصات فنی آسفالت سرد دارای دانه‌بندی پیوسته حاوی قیرمحلول ۴۵۵
جدول ۱۸–۱۱ مشخصات فنی آسفالت سرد دارای دانه‌بندی باز حاوی قیرابه ۴۵۶
جدول ۱۸–۱۲ کنترل کیفیت آسفالت تولیدی ۴۸۴
جدول ۱۹–۱ دانه‌بندی مصالح برای آسفالت ماکادام نفوذی ۴۸۸
جدول ۱۹–۲ مشخصات فنی مصالح سنگی درشت و متوسط ۴۹۱
جدول ۱۹–۳ قیرهای خالص و قیرهای محلول سنگین ۴۹۱
جدول ۱۹–۴ قیرآبه‌ها و قیر محلول سبک ۴۹۲
جدول ۲۰–۱ انواع دانه‌بندی پیوسته مخلوط‌های آسفالتی ۵۰۲
جدول ۲۰–۲ مشخصات سنگدانه‌های بتن آسفالتی ۵۰۳
جدول ۲۰–۳ مشخصات شکستگی مصالح سنگی درشت‌دانه ۵۰۴
جدول ۲۰–۴ مشخصات گوشه‌داری مصالح سنگی ریزدانه (رد شده از الک ۲٫۳۶ میلیمتر) ۵۰۴
جدول ۲۰–۵ معیارهای طراحی مخلوط‌های آسفالتی داغ به روش مارشال ***(AASHTO T245)*** ۵۰۶
جدول ۲۰–۶ معیارهای طراحی مخلوط‌های آسفالتی داغ به روش مارشال اصلاح شده ***(ASTM D5581)*** ۵۰۶
جدول ۲۰–۷ حداقل درصد فضای خالی بین سنگدانه‌ها ۵۰۷
جدول ۲۰–۸ مشخصات فنی ماسه آسفالت در تراز بیش از ۱۰ سانتی متر نسبت به سطح رویه نهایی ۵۰۹
جدول ۲۰–۹ دانه‌بندی آسفالت ماستیک سنگدانه‌ای ۵۱۱
جدول ۲۰–۱۰ مشخصات سنگدانه‌های آسفالت ماستیک سنگدانه‌ای ۵۱۲
جدول ۲۰–۱۱ معیارهای طرح مخلوط‌های آسفالتی ***SMA*** ۵۱۴
جدول ۲۰–۱۲ دانه‌بندی اساس قیری با دانه‌بندی باز ۵۱۷
جدول ۲۰–۱۳ دانه‌بندی مخلوط آسفالتی متخلخل در لایه رویه ۵۱۷
جدول ۲۰–۱۴ مشخصات سنگدانه‌های مصرفی در اساس قیری نفوذناپذیر ۵۱۸
جدول ۲۰–۱۵ مشخصات سنگدانه‌های مصرفی در مخلوط‌های اسفالت متخلخل در لایه رویه ۵۱۸
جدول ۲۰–۱۶ معیارهای فنی طرح مخلوط آسفالت متخلخل در لایه رویه ۵۲۰
جدول ۲۰–۱۷ تهیه مصالح سنگی برای تولید دانه‌بندی پیوسته مخلوط‌های آسفالتی داغ ۵۲۵
جدول ۲۰–۱۸ دانه‌بندی فیلر ۵۲۷
جدول ۲۰–۱۹ حداقل وزن نمونه پیشنهادی براساس حداکثر اندازه اسمی سنگدانه ۵۳۰

جدول ۲۰-۲۰ مراحل آماده‌کردن کارخانه آسفالت ۵۵۰
جدول ۲۰-۲۱ حداقل دمای مخلوط بتن آسفالتی داغ در هنگام پخش ۵۶۳
جدول ۲۰-۲۲ راهنمای تعیین تعداد غلتک ۵۶۶
جدول ۲۰-۲۳ کنترل کیفیت قیر و مصالح سنگی در کارخانه آسفالت (نمونه‌گیری و آزمایش) ۵۷۷
جدول ۲۰-۲۴ کنترل کیفیت آسفالت تولیدی ۵۷۸
جدول ۲۰-۲۵ حدود رواداری دانه‌بندی و درصد قیر فرمول کارگاهی آسفالت داغ (پوش کنترل کیفیت)۵۷۹
جدول ۲۰-۲۶ حدود رواداری فضای خالی آسفالت، فضای خالی سنگدانه، فضای خالی سنگدانه پر شده با قیر و ***TSR*** (به منظور کنترل کیفیت) ۵۷۹
جدول ۲۰-۲۷ محدوده مشخصه‌های عملیات آسفالتی داغ برای ارزیابی آماری و تعیین ضریب پرداخت ۵۸۹
جدول ۲۱-۱ دانه‌بندی مصالح رویه‌های شنی و شانه راههای آسفالتی و بتنی ۵۹۷
جدول ۲۱-۲ مشخصات مصالح رویه‌های شنی و شانه‌های راههای آسفالتی و بتنی ۵۹۸
جدول ۲۲-۱ عملکرد انواع ژئوسنتتیک‌ها ۶۰۶
جدول ۲۲-۲ معیارها و مشخصات اصلی ارزیابی ژئوسنتتیک‌ها ۶۱۰
جدول ۲۲-۳ طبقه‌بندی ژئوتکستایل‌ها براساس قابلیتهای مورد نیاز در حین اجرا (*AASHTO M288*) ۶۱۵
جدول ۲۲-۴ مشخصات ژئوتکستایل در عملکرد فیلتراسیون ۶۱۸
جدول ۲۲-۵ عملکرد ژئوتکستایل در شرایط مختلف خاک بستر ۶۲۸
جدول ۲۲-۶ انتخاب رده ژئوتکستایل براساس شرایط اجرا در عملکرد جداسازی و تثبیت بستر ۶۳۰
جدول ۲۲-۷ مشخصات زهکشی و فیلتراسیون ژئوتکستایل در عملکرد جداسازی و تثبیت بستر ۶۳۰
جدول ۲۲-۸ مقادیر حداقل مشخصات ژئوگرید دو سویه برای عملکرد تثبیت بستر ۶۳۱
جدول ۲۲-۹ مقادیر حداقل همپوشانی ۶۳۲
جدول ۲۲-۱۰ حداقل مشخصات مورد نیاز برای ژئوتکستایل آسفالتی ۶۳۸
جدول ۲۲-۱۱ راهنمای انتخاب ژئوتکستایل آسفالتی ۶۳۸
جدول ۲۲-۱۲ جدول مشخصات ژئوسنتتیک در اندرکنش با خاک‌های مختلف ۶۴۶
جدول ۲۲-۱۳ راهنمای انتخاب مصالح خاکریزی در شیب‌های خاکی مسلح ۶۴۸
جدول ۲۲-۱۴ مشخصات مصالح خاکریزی در بدنه دیوارهای خاک مسلح ۶۵۶
جدول ۲۲-۱۵ میزان رواداری مجاز نصب قطعات نما ۶۶۳
جدول ۲۲-۱۶ میزان مجاز تغییر مکان جانبی نما ۶۶۶
جدول ۲۲-۱۷ مشخصات فنی ژئوممبران و آزمایش‌های مربوط ۶۷۵
جدول ۲۴-۱ مقادیر قابل قبول حداکثر تماس شغلی با صدا ۷۰۸

جدول ۲۴-۲ حد تماس شغلی با صدای ضرب‌های یا کوبه‌ای ۷۰۸
جدول ۲۵-۱ شماره‌ها و عناوین استانداردهای خاک و تثبیت خاک ۷۴۷
جدول ۲۵-۲ شماره‌ها و عناوین استانداردهای مصالح سنگی ۷۵۱
جدول ۲۵-۳ شماره‌ها و عناوین استانداردهای بتن - بخش سیمان و ملات ۷۵۳
جدول ۲۵-۴ شماره‌ها و عناوین استانداردهای بتن - بخش سنگدانه‌ها ۷۵۶
جدول ۲۵-۵ شماره‌ها و عناوین استانداردهای بتن - بخش آب ۷۵۹
جدول ۲۵-۶ شماره‌ها و عناوین استانداردهای بتن - بخش افزودنی‌های شیمیایی و معدنی ۷۶۰
جدول ۲۵-۷ شماره‌ها و عناوین استانداردهای بتن - بخش فولاد ۷۶۲
جدول ۲۵-۸ شماره‌ها و عناوین استانداردهای بتن - بخش بتن تازه ۷۶۳
جدول ۲۵-۹ شماره‌ها و عناوین استانداردهای بتن - بخش بتن سخت شده ۷۶۵
جدول ۲۵-۱۰ شماره‌ها و عناوین استانداردهای قیرهای راه‌سازی ۷۶۸
جدول ۲۵-۱۱ شماره‌ها و عناوین استانداردهای مخلوط‌های آسفالتی ۷۷۱
جدول ۲۵-۱۲ شماره‌ها و عناوین استانداردهای ژئوسنتتیک‌ها ۷۷۴
جدول ۲۵-۱۳ شماره‌ها و عناوین استانداردهای دستورالعمل‌های ایمنی و بهداشت حرفه‌ای در کارهای راه‌سازی ۷۷۸

۱

تعریف‌ها

بخشی از واژه‌های مهم به شرح زیر تعریف شده است.

۱-۱ آبرو

هر سازه‌ای، غیر از پل، که برای تخلیه آب از زیر راه ساخته می‌شود.

۱-۲ آسفالت حفاظتی

پخش قیر در راه‌های خاکی شنی، آسفالتی و بتنی و بلافاصله پخش سنگدانه بر روی آن (آسفالت سطحی)، اندودهای سنگدانه‌ای یا ماسه‌ای، قیرپاشی بدون سنگدانه، پخش آسفالت اسلاری سیل و میکروسرفیسینگ، آسفالت حفاظتی نامیده می‌شود.

۱-۳ آسفالت سرد

آسفالت سرد حاصل از اختلاط مصالح سنگی با قیرهای محلول، قیرآبه‌ها یا قطران بوده که در دمای محیط تهیه و در همین دما پخش و متراکم می‌شود.

۱-٤ آسفالت متخلخل

آسفالت متخلخل از اختلاط قیر با سنگدانه‌های شکسته دارای دانه‌بندی باز، در کارخانه آسفالت تهیه می‌شود.

۱-۵ اساس

قشری از مصالح سنگی با مشخصات فنی و به ضخامت معین که بر روی بستر آماده شده راه یا لایه زیراساس، برای تحمل بارهای وارده از لایه‌های بالاتر روسازی قرار می‌گیرد، قشر اساس نامیده می‌شود.

۱-٦ اساس دانه‌ای

عبارت است از مصالح شکسته شن و ماسه‌ی رودخانه‌ای یا سنگ‌های معادن کوهی با مشخصات فنی معین که به ابعاد هندسی مورد نظر بر روی قشر زیراساس و یا بستر روسازی قرار می‌گیرد.

۱-۷ اساس قیری

مخلوطی از مصالح سنگی و قیر با مشخصات فنی و به ضخامت معین که بر روی بستر آماده شده راه یا لایه زیراساس، برای تحمل بارهای وارده از لایه‌های بالاتر روسازی قرار می‌گیرد، قشر اساس قیری نامیده می‌شود.

۱-۸ اساس ماکادامی

مخلوطی از سنگ کوهی یا سنگ‌های رودخانه‌ای شکسته به اندازه‌های مشخص و پخش آن بر روی قشر آماده شده سطح راه برابر ابعاد، اندازه‌ها و ضخامت‌های مشخص شده در نقشه‌ها.

۱-۹ اندود سطحی (تک‌کت)

پخش یک لایه بسیار نازک قیر محلول یا قیرآبه روی سطح آسفالتی یا بتنی برای آغشته کردن سطوح یاد شده و ایجاد چسبندگی با قشر آسفالتی که به زودی روی آن پخش می‌شود، اندود سطحی یا تک‌کت نامیده می‌شود.

۱-۱۰ اندود نفوذی (پریم‌کت)

پخش یک لایه مواد قیری با کندروانی (ویسکوزیته) کم یا متوسط در سطح شنی راه (بستر روسازی راه یا زیراساس و یا اساس)، اندود نفوذی (پریم‌کت) نامیده می‌شود.

۱-۱۱ اندودهای آب‌بند (سیل‌کت)

اجرای آسفالت‌های حفاظتی بر روی انواع رویه‌های آسفالتی و یا بتنی موجود، برای آب‌بندی، افزایش خاصیت نفوذناپذیری، اصلاح آسیب‌دیدگی‌های سطحی، بهسازی موقت و افزایش عمر بهره‌برداری، اندود آب‌بند یا سیل‌کت نامیده می‌شود.

۱-۱۲ بازیابی روسازی آسفالتی

بازیابی روسازی آسفالتی، استفاده مجدد از آسفالت‌های قدیمی است که قبلا کاربرد اولیه خود را به انجام رسانده است. این عمل معمولا پس از انجام پاره‌ای فعل و انفعال بر روی آسفالت‌های قدیمی صورت می‌گیرد.

۱-۱۳ مخلوط آسفالتی با دانه‌بندی باز

عبارت است از مخلوط قیر و مصالح سنگی با دانه‌بندی باز که مناسب برای افزایش اصطکاک روسازی مرطوب می‌باشد.

۱-۱٤ مخلوط آسفالتی با دانه‌بندی پیوسته

عبارت است از مخلوط قیر و مصالح سنگی با دانه‌بندی پیوسته که مناسب برای شرایط محلی با کاهش فضای خالی و افزایش مقاومت و عمر بیشتر می‌باشد.

۱-۱۵ بستر روسازی راه

سطح تمام شده خاکی راه که مصالح لایه‌های روسازی بر روی آن قرار می‌گیرند.

۱-۱٦ بهسازی و روکش آسفالتی

مرمت و اصلاح انواع آسیب‌دیدگی‌های سطحی و سازه‌ای روسازی‌های آسفالتی، شامل: تعمیرات سطحی، اجرای روکش‌های تقویتی، بازیافت و یا ترکیبی از این عملیات بهسازی نامیده می‌شود.

۱-۱۷ پل

سازه فلزی یا با مصالح ساختمانی برای عبور راه، راه آهن و یا عابر پیاده از روی آب یا مسیر راهی دیگر.

۱-۱۸ پی‌کنی ابنیه فنی

پی‌کنی ابنیه فنی عبارت است از کندن محل پی پایه‌ها، دیوارها، زهکش‌ها، با دست و یا بیل مکانیکی (یا وسایل مشابه) طبق رقوم مندرج در نقشه‌های اجرایی و به دستور مهندس مشاور.

۱-۱۹ تخلیه آب‌های سطحی

عبارت است از احداث نهرها، آبروهای باز و یا بسته، لوله‌گذاری‌های سطحی، انحراف و تنظیم و کنترل جریان آب انهار و رودخانه‌ها و اجرای سایر کارهای تکمیلی، طبق نقشه‌های اجرایی و دستورات مهندس مشاور.

۱-۲۰ خاک مسلح

خاک مسلح عبارت است از مجموعه خاک و مسلح‌کننده‌ها که به صورت نوارهای افقی در خاک قرار می‌گیرند و پوسته (در صورت وجود) که بتنی، فلزی یا از مصالح دیگر است و نمای خاک مسلح را تشکیل می‌دهد.

۱-۲۱ داربست

سازه‌ای موقت است که برای نگهداری قالب‌بندی، سکوهای کار و تحمل بارهای حین اجرا برپا می‌شود. مشتمل بر شمع‌بندی، پایه‌های قائم، صفحات افقی، بادبندها، زیرسری‌ها و نظایر آن.

۱-۲۲ راه انحرافی

راهی موقت برای عبور ترافیک در زمان قطع عبور از بخشی از راه.

۱-۲۳ روسازی

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

۱-۲۴ زهکشی

زهکشی عبارت است از لوله‌گذاری‌های سطحی و زیرزمینی، مصرف زه‌های سنگی یا خرده‌سنگی، انحراف و تنظیم و اجرای سایر کارهای تکمیلی، طبق نقشه‌های اجرایی و دستورات مهندس مشاور.

۱-۲۵ زیراساس

قشری از مصالح سنگی (یا مخلوطی از مصالح سنگی و مواد افزودنی) با مشخصات فنی معین و به ضخامت مشخص که بر روی بستر راه (سابگرید) برای تحمل بارهای وارده از قشرهای بالای روسازی قشر اساس قرار می‌گیرد، قشر زیراساس نامیده می‌شود. زیراساس معمولا اولین لایه از ساختمان روسازی راه را تشکیل می‌دهد.

۱-۲۶ زیراساس دانه‌ای

مصالح شنی رودخانه‌ای یا سنگ‌های شکسته شده در سنگ شکن که با مشخصات فنی معین تهیه و بر روی بستر روسازی راه حمل و به ضخامت مورد نظر پخش و سپس طبق شرایط فنی آبپاشی و کوبیده می‌گردد. قشر حاصله، زیراساس دانه‌ای نامیده می‌شود.

۱-۲۷ سنگ پشت کار

قطعه سنگی است که در پشت نما به کار می‌رود و مستقیما در برابر عوامل جوی قرار ندارد.

۱-۲۸ سنگ توکار

قطعه سنگی است که در داخل بنا به کار برده می‌شود.

۱-۲۹ سنگ دوکله و یا سرتاسری

قطعه سنگی است که تمام ضخامت بنا را در بر می‌گیرد.

۱-۳۰ سنگ راسته

قطعه سنگی است که طول اصلی آن در امتداد نمای بنا قرار می‌گیرد.

۱-۳۱ سنگ کله

قطعه سنگی است که طول اصلی آن در داخل بنا قرار می‌گیرد.

۱-۳۲ سنگ نبش

قطعه سنگی است که در گوشه بنا به کار برده می‌شود.

۱-۳۳ سنگ نما

قطعه سنگی است که در نمای بنا به کار برده می‌شود. این قطعه باید دارای ریشه کافی بوده تا در ضمن مقاومت در برابر عوامل جوی، استحکام بنا را هم تامین نماید.

۱-۳٤ شانه راه

آن قسمت از کف راه که برای توقف اضطراری وسایل نقلیه اختصاص داده شده است.

۱-۳۵ شیب عرضی سواره رو

شیب عرضی برای تخلیه و هدایت آب از سطح رویه به خارج از مسیر است. شیب عرضی برای رویه‌های آسفالتی و بتنی و روکش‌ها، ۱/۵ تا ۲ درصد و برای رویه‌های شنی ۲ تا ۶ درصد است.

۱-۳۶ طاق‌های با دور تمام

طاق‌هایی که انتهای قوس طاق به حالت عمودی روی پایه‌ها قرار گرفته باشند.

۱-۳۷ طاق‌های نیم‌خیز

طاق‌هایی که با طاق به حالت مایل و با شیب ۱و ۲ روی پایه قرار گرفته باشند.

۱-۳۸ عملیات خاکی

عبارت است از 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 در منطقه عملیات طرح، طبق نقشه‌های اجرایی و یا برابر دستورات مهندس مشاور.

۱-۳۹ قالب

سازه‌ای موقت برای در بر گرفتن بتن قبل از سخت شدن و کسب مقاومت کافی برای تحمل بار بتن.

۱-۴۰ قرضه جانبی

قرضه‌ای است موجود در حریم قانونی راه و در صورت بلامانع بودن در نزدیکی و مجاورت حریم راه.

۱-۴۱ قرضه موضعی

قرضه‌ای است که از منابع مناسب موجود در طول راه و با رعایت حداقل فاصله حمل تعیین می‌شود.

۱-۴۲ قرضه منتخب

قرضه‌ای است متشکل از مصالح رودخانه‌ای و یا کوهی و یا مصالحی با مشخصات معین که از منابع خاص تأمین می‌شود.

۱-۴۳ کنترل فرسایش

عبارت است از ایجاد فضای سبز و یا تثبیت خاک با قیرآبه یا پوشش با بتن پاشیده و شیب‌بندی برای کاهش از دست رفتن خاک در اثر آب یا باد.

۱-۴۴ مدیریت روسازی راه

عبارت است از تمامی فعالیت‌های مربوط به طراحی، ساخت، نگهداری، ارزیابی مداوم، ترمیم، بهسازی یا بازسازی روسازی شبکه راه‌ها. مدیریت روسازی راه مجموعه‌ای است از ابزار و روش‌ها که علاوه بر سازماندهی به شبکه روسازی‌ها به تصمیم‌گیری برای دست یافتن به برنامه‌های دراز مدت مؤثر و اقتصادی برای نگهداری روسازی‌ها در سطحی قابل قبول، کمک می‌کند.

۱-۴۵ مجموعه قالب‌بندی

مجموعه‌ای که برای نگهداری بتن در شکل مورد نظر به کار می‌رود، مشتمل بر رویه قالب، بدنه قالب، پشت‌بندها، کلاف‌ها، چپ و راست‌ها و نظایر آن.

۱-۴۶ میانه راه

آن قسمت از عرض راه که در حد فاصل (بین) مسیر رفت و برگشت قرار گرفته و مسیرهای رفت و برگشت را از هم جدا می‌کند.

۲

عملیات خاکی

۲-۱ کلیات

عملیات خاکی شامل کلیه کارهای لازم برای تمیز کردن بستر و حریم راه، خاکبرداری و خاکریزی خاک، سنگ یا سایر مصالح، از و یا در مسیر یا محدوده راه در منطقه عملیات طرح، طبق نقشه‌های اجرایی یا برابر دستورات مهندس مشاور 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 یا خاکریزی شروع شده و پایان یابد.

۲-۲-۱ حفظ و حراست اقلامی که باید نگهداری شوند

باید دقت کافی و مراقبت لازم به عمل آید که تأسیسات و ابنیه فنی مفید 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 یا مجاورت آن قرار گرفته حفظ و حراست و نگهداری شده و هیچ گونه آسیب و صدمه‌ای از عملیات پیمانکار به آنها وارد نگردد. در مورد درختان و اشجار، فقط درختانی که روی نقشه‌ها نشان داده شده یا طی صورتجلسه مصوب مشخص شده باشند باید در صورت 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 یا صدمه‌ای که به درختان و اشجار و سایر تأسیسات و ابنیه در اثر اجرای عملیات وارد شود به عهده پیمانکار بوده و می‌بایستی به هزینه خود ترمیم یا مشکلات حقوقی ناشی از آن را رفع نماید.

۲-۲-۲ روش‌های اجرایی

سطوح و مناطقی که در نقشه‌های اجرایی یا دستور کارها به عنوان پاک کردن و ریشه‌کنی مسیر و حریم راه تعیین شده، باید توسط مهندس مشاور 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 مهندس مشاور یا کارفرما وجود آن برای پی‌ها 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 بدست می‌آید پس از دور کردن از بستر و حریم راه باید طبق تشریفات قانونی تحویل صاحبان آن گردد.

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

پ: سطوح طبیعی که پایین‌تر از بستر روسازی[1] قرار گرفته‌اند طبق نظر مهندس مشاور 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 منحصرا با کندن آنها مؤثر نبوده و نیاز به مصرف 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 یا قطع و ریشه‌کنی شده و مسیر پاک گردد. قطع و ریشه‌کنی درختان باید به صورتی انجام گیرد که باعث خرابی ساختمان‌های مجاز یا صدمه و لطمه زدن به درختانی که باید حفظ شوند نگردد.

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

---

1. Subgrade

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 مهندس مشاور قرار گیرد، پوشیده شود.

ج: چنانچه در حریم راه تأسیساتی مانند تیرهای تلفن، تلگراف یا برق، لوله‌کشی آب، فاضلاب، نفت، گاز، لوله‌های سیمانی یا سایر تأسیسات مشابه وجود داشته باشد که باید از مسیر برداشته شود یا تغییر مکان داده شوند، پیمانکار باید مراتب را به موقع به کارفرما و مهندس مشاور 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 مهندس مشاور ارسال نماید.

پرکردن میله چاه‌های متروکه باید با مصالح قابل قبول بر اساس فصل نهم 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 خاکی 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، قلوه‌سنگی 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 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 نبوده و در فصل سوم این مشخصات ذکر شده است.

احداث خاکریز یا بالا آوردن بستر راه با خاک و سنگ حاصله از برش‌ها یا با مصالح قرضه موضعی، جانبی یا منتخب، آماده‌سازی بستر زمین طبیعی برای ریختن، 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 یا دستورات مهندس مشاور انجام شود. در حین عملیات خاکبرداری و خاکریزی باید مراقبت کامل به عمل آید تا هیچ گونه آسیبی به تأسیسات، تجهیزات، مستحدثات، ابنیه فنی، علائم و نقاط ثابت نقشه‌برداری، و اموال بخش دولتی و خصوصی وارد نیاید.

عملیات خاکی باید همواره با زهکشی تواماً انجام گیرد و مهندس مشاور در هنگام نیاز 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 مهندس مشاور مصرف این خاک‌ها را برای خاکریزی نامناسب و غیر قابل قبول دانسته یا اضافه بر مصرف تشخیص دهد. عدم مصرف خاک‌های حاصل از خاکبرداری به هر دلیل که باشد، باید قبلاً به تأیید مهندس مشاور و کارفرما برسد.

خاک‌های غیر قابل مصرف و نیز خاک‌های مناسب اضافه بر مصرف باید در محلی که توسط مهندس مشاور تعیین می‌گردد، ذخیره شود. از انبار کردن این مصالح در اراضی زیر کشت، محوطه ترانشه‌ها، بستر رودخانه‌ها و نهرها و حریم راه باید خودداری شود. مصالح مرطوب یا یخ زده که در صورت خشک شدن به صورت مصالح مناسب در می‌آیند باید خشک شده و سپس در عملیات خاکریزی به کار برده شوند.

به منظور استفاده مصالح حاصل از خاکبرداری در کارهای بنایی و ابنیه فنی، مهندس مشاور 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.

۲-٤ 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 مهندس مشاور 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 غیر مجاز و نادرست مواد منفجره بوده و باید برای استفاده از این مواد، افراد کاملاً باتجربه، 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 هیچ گونه ادعایی نسبت به احجام اضافی حاصله در مقایسه با مقاطع مصوب یا تجدید نظر شده را نخواهد داشت. پیمانکار باید نهایت مراقبت را در حین عملیات انفجار رعایت نماید تا هیچ گونه آسیبی به افراد یا به اموال و 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 کاملا 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 مهندس مشاور دستور دهد 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 مهندس مشاور تعیین می‌کند. در صورتی که بنا به تشخیص مهندس مشاور روش اجرای انفجار، ساکنین و

ابنیه واقع در محدوده عملیات را در معرض مخاطره قرار دهد یا کارهای انفجار بدون رعایت احتیاط و شرایط استحفاظی لازم انجام گیرد، می‌تواند عملیات را متوقف و دستورات کوه‌کنی را با وسائل و امکانات دیگری صادر نماید.

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

۲-۵ خاک‌های لغزشی و ریزشی

مصالح و مواد خاکی و سنگی که ضمن کوه‌بری داخل صخره‌ها یا کمرهای سنگی یا ترانشه‌های خاکی، احتمال ریزش و لغزش داشته باشد، طبق دستور کتبی مهندس مشاور 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.

۲-٦ خاکبرداری قرضه

قرضه به منابعی اطلاق می‌گردد که کسری خاک مورد نیاز برای ساخت خاکریز راه (پس از مصرف خاک‌های مناسب حاصل از خاکبرداری‌ها و پی‌کنی‌ها) از آن‌ها تأمین می‌شود. محل قرضه و نوع آن باید در مشخصات فنی خصوصی پروژه قید شود.

۲-٦-۱ انواع قرضه

قرضه بر سه نوع و به شرح زیر است.

الف – قرضه جانبی

ب – قرضه موضعی

پ – قرضه منتخب

یادآوری: برای تعریف نوع قرضه به فصل اول مراجعه شود.

۲-۶-۲ دامنه کاربرد قرضه‌ها

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

ب: در صورت استفاده از قرضه جانبی، مقطع محل‌های قرضه باید به شکل نقشه‌های تیپ که توسط مهندس مشاور 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 پایین‌دست 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 محل را بعد از خاتمه کار تسطیح و تنظیم نماید. ضمنا 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 گروه هفتگانه A1 تا A7 مشخصات AASHTO M145 قرار می‌گیرند، به طور کلی و اعم مصالح مناسب و قابل قبول هستند که می‌توان از آن‌ها در کارهای مختلف خاکی استفاده کرد. در مواردی که گروه خاک‌های A2-6، A2-7، A4، A5، A6 و A7 با توجه به شرایط آب و هوایی و نوع آمد و شد محل اجرای طرح، توسط مهندس مشاور نامناسب تشخیص داده شود، پیش‌بینی‌های لازم اجرایی باید در مشخصات فنی خصوصی نسبت به این موارد درج 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 خودداری شود عبارت‌اند از:

– خاک‌هایی که میزان مواد آلی آن‌ها مطابق AASHTO T267 از ده درصد تجاوز کند نباید مصرف شوند.

– خاک‌های نمکی و گچی که میزان نمک (کلرید سدیم – NaCl) 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 دانسیته 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 مهندس مشاور 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 دستورات مهندس مشاور 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: در صورت 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 از نوع خاک‌های ریزدانه A4 تا A7 بوده و احتمال بالا آمدن آب زیرزمینی در اثر خاصیت موئینه 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 مهندس مشاور 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 لایه‌لایه 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 یا جایگزینی خاک آن تا عمق لازم اقدام تا بعد از کوبیدن، تراکم نسبی مشخصه آن تأمین گردد.

ج: در صورتی که مسیر الزاما از مناطق مردابی، باتلاقی، لجنی، نمکی، با آب ساکن یا روان، 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 یا مصرف مصالح و مواد ویژه، باید در مشخصات فنی 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 با نظر مهندس مشاور انجام شود.

شیب طولی و عرضی راه باید با لایه‌های خاکریز تأمین گردد تا در مراحل اجرای لایه‌های روسازی، نیازی به کاربرد مصالح زیراساس یا اساس جهت ترمیم شیب نباشد. هرگاه شیب عرضی راه با توجه به نقشه‌های اجرایی در حین عملیات خاکریزی تأمین نشده باشد، فقط با موافقت مهندس مشاور 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 بزرگترین بعد سنگدانه آن کوچکتر از ۷/۵ سانتی‌متر باشد.

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 دانسیته محلی، 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 ۱۵سانتی‌متر باشد.

ت: در مواقعی که امکان استفاده از غلتک‌های مکانیکی به دلیل محدودیت مانور آنها وجود ندارد، خاکریزها باید در قشرهای موازی با خط پروژه که ضخامت کوبیده آن‌ها از ده سانتی‌متر تجاوز نکند، اجرا گردد.

---

1. Earth Fills

این خاکریزها باید با کوبنده‌های مکانیکی – ارتعاشی دستی متراکم شود. در هر حال درصد تراکم مطلوب بایستی حاصل شود.

۲-۸-۲-۲ سنگریزی[1]

این مصالح که از برش‌ها و پی‌کنی‌های سنگی به دست می‌آید نباید تجزیه‌پذیر بوده و به مرور زمان به مصالح ریزدانه تبدیل شوند. سنگ‌های گچی، گل‌سنگ‌ها[2]، شیست و شیل که تدریجا تجزیه و خرد می‌شوند برای سنگریزی مناسب نیستند.

سنگریزی فقط با تصویب مهندس مشاور انجام می‌گیرد. مصالح مناسب برای این عملیات باید از برش‌های سنگی تأمین شود. چنانچه پیمانکار پیش‌بینی‌های لازم را در این 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 ضخامت‌های معین احداث شده و حداکثر به ترازی خاتمه یابد که تا رقوم نهایی خاکریز (بستر روسازی راه) ۶۰ سانتی‌متر یا بیشتر فاصله داشته باشد. به عبارت دیگر چنانچه ارتفاع خاکریز حدود ۶۰ سانتی‌متر یا کمتر 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 اندازه بزرگترین بعد سنگدانه آن به شرح زیر است.

الف: چنانچه اندازه بزرگترین بعد سنگدانه ۱۵ سانتی‌متر باشد ضخامت لایه نکوبیده آن، حداکثر معادل دو برابر بزرگترین بعد قطعات تشکیل دهنده مصالح خاکریز سنگی و برابر ۳۰ سانتی‌متر خواهد بود.

ب: چنانچه اندازه بزرگترین بعد سنگدانه ۳۰ سانتی‌متر باشد ضخامت لایه نکوبیده آن، حداکثر معادل دو برابر بزرگترین بعد قطعات تشکیل دهنده مصالح خاکریز سنگی و برابر ۶۰ سانتی متر خواهد بود.

پ: چنانچه اندازه بزرگترین بعد سنگدانه ۴۰ سانتی‌متر باشد ضخامت لایه نکوبیده آن، حداکثر معادل دو برابر بزرگترین بعد قطعات تشکیل دهنده مصالح خاکریز سنگی و برابر ۸۰ سانتی‌متر خواهد بود.

ضخامت لایه نکوبیده مصالح خاکریز سنگی حداکثر می‌تواند برابر ۸۰ سانتی‌متر باشد.

---

1. Rock Fills
2. Marl

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 پر کردن فضای بین قطعات می‌توان اقدام به کوبیدن و تراکم آن لایه نمود، تا احتمال هیچ گونه نشست وجود نداشته باشد.

۲-۸-۲-۳ خاک‌های ناهمگون

وقتی که مصالح مصرفی در خاکریزی از منابع مختلف تأمین می‌شود هریک از آن‌ها، حتی‌الامکان باید در لایه‌ها و در طول معینی مورد استفاده قرار گیرد تا در تعیین حداکثر دانسیته 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 پایینی و خاک‌های مرغوب‌تر در لایه‌های بالایی خاکریز استفاده شود.

۲-۹ کوبیدن و میزان تراکم نسبی

۲-۹-۱ غلتک‌های مکانیکی و کوبنده‌های مکانیکی دستی

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 مهندس مشاور 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 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 مهندس مشاور 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.

۲-۹-۲ میزان رطوبت برای تامین تراکم یکنواخت

برای تأمین تراکم یکنواخت در تمامی لایه‌ها، عمل مرطوب کردن و اختلاط خاک‌ها را باید در زمان مناسب و کافی و قبل از غلتک‌زنی، با وسایل مکانیکی انجام داد 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.

۲-۹-۳ کیفیت خاک‌های منبسط شونده

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

جدول ۲-۱ طبقه‌بندی خاک‌های منبسط شونده

میزان تورم	حد روانی ٪	دامنه خمیری ٪	مکش خاک*[3] (کیلوگرم بر سانتی متر مربع)
زیاد	بیشتر از ۶۰	بیشتر از ۳۵	بیشتر از ۴
متوسط	۶۰ - ۵۰	۳۵ – ۲۵	۴ - ۱٫۵
کم	کمتر از ۵۰	کمتر از ۲۵	کمتر از ۱٫۵
* میزان مکش خاک طبق آشتو AASHTO T273 آزمایش می‌شود.			

۲-۹-٤ کنترل درصد رطوبت و توزیع یکنواخت آن

مهندس مشاور 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.

۲-۹-۵ درصد رطوبت بهینه و حداکثر دانسیته خشک

مصالح مصرفی در عملیات خاکی باید به روش AASHTO T180 (اصلاح شده)، طریقه D، در آزمایشگاه مورد آزمایش قرار گیرد تا درصد رطوبت بهینه و حداکثر دانسیته خشک آن‌ها اندازه‌گیری شود. چنانچه به دلایلی، روش دیگری جز روش AASHTO T180 (اصلاح شده) و طریقه D مورد نظر باشد، باید در مشخصات خصوصی قید شود.

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

اگر مقدار مصالح مانده روی الک ۱۹ میلی‌متر بیش از ۵ درصد و حداکثر ۳۰ درصد باشد، باید نسبت به اصلاح حداکثر دانسیته خشک و درصد رطوبت بهینه مصالح مصرفی مطابق پیوست A1 استاندارد AASHTO T180 اقدام کرد. اصلاح دانسیته به دو روش، تصحیح حداکثر دانسیته خشک آزمایشگاهی و مقایسه با دانسیته خشک محلی و یا تصحیح دانسیته خشک محلی و مقایسه با حداکثر دانسیته خشک آزمایشگاهی، قابل انجام است.

چنانچه مصالح مانده روی الک ۱۹ میلی‌متر بیشتر از ۳۰ درصد باشد با انجام آزمایش بارگذاری به روش DIN18134 با صفحه به قطر مناسب (قطر صفحه بارگذاری باید حداقل ۴ برابر اندازه بزرگترین سنگدانه باشد) و مقادیر EV_1 و EV_2 (برحسب کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع)، باید شرایط زیر را برآورده کنند:

- خاکریزی با تراکم ۱۰۰ درصد _ $EV_2 \geq 800, EV_2/EV_1 \leq 2.2$
- خاکریزی با تراکم ۹۵ درصد _ $EV_2 \geq 600, EV_2/EV_1 \leq 2.2$
- خاکریزی با تراکم ۹۰ درصد _ $EV_2 \geq 400, EV_2/EV_1 \leq 2.2$

۲-۹-۶ دانسیته خاک در محل

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

۲-۹-۷ تقسیم بندی مصالح خاکی

مصالح خاکی مصرفی در کلیه خاکریزی‌ها، یا موجود در کف ترانشه‌ها و بستر زمین طبیعی یا راه‌های موجود از نظر میزان تراکم مورد نیاز در مشخصات برای آزادراه، بزرگراه، راه شریانی درجه ۱، راه شریانی درجه ۲، راه جمع کننده و توزیع کننده و راه محلی و روستایی به دو دسته اصلی ریزدانه و درشت‌دانه تقسیم می‌شوند.

الف: خاک درشت‌دانه شامل گروه‌های A1، A2، A3، با درصد عبوری از الک ۲۰۰ کمتر از ۳۵ درصد مطابق AASHTO M145

ب: خاک ریزدانه شامل گروه‌های A4، A5، A6، A7، با درصد عبوری از الک ۲۰۰ بیشتر از ۳۵ درصد مطابق AASHTO M145

۲-۹-۸ حداقل درصد تراکم

حداقل درصد تراکم برای کلیه خاکریزها، بستر روسازی، بسترهای زمین طبیعی و کف ترانشه‌های خاکی، در آزادراه، بزرگراه، راه شریانی درجه ۱، راه شریانی درجه ۲، راه جمع کننده و توزیع کننده و راه محلی و روستایی نسبت به حداکثر دانسیته خشک خاک موقعی که طبق روش AASHTO T180، طریقه D، در آزمایشگاه متراکم می‌شود باید به شرح جدول شماره 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 شود. بدون انجام این آزمایش‌ها نمی‌توان درصد تراکم مشخصه مورد نظر و در نتیجه تطابق آن را با مشخصات جدول ۲-۲ برای لایه‌های آزمایشی، معین کرد.

جدول ۲-۲ حداقل درصد تراکم مشخصه خاکریزها و بستر روسازی در 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 شریانی درجه ۱	۱۰۰ درصد	–	۹۵ درصد	–
راه شریانی درجه ۲ -راه جمع کننده و توزیع کننده	۱۰۰ درصد	۹۵ درصد	۹۵ درصد	۹۰ درصد
راه محلی و روستایی	۹۵ درصد	۹۰ درصد	۹۲ درصد	۸۷ درصد

۲-۹-۹ تراکم لایه‌های سنگریزی

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

برای ارزیابی خصوصیات تغییر شکل پذیری و اطمینان از تراکم کافی این لایه‌ها، باید نسبت به تعیین ضریب تغییرشکل پذیری ثانویه (EV_2) با انجام آزمایش بارگذاری صفحه‌ای مطابق استاندارد DIN 18314 با صفحه به قطر مناسب اقدام کرد. قطر صفحه بارگذاری باید حداقل چهار برابر اندازه بزرگترین سنگدانه باشد.

حداقل ضریب تغییرشکل پذیری ثانویه (EV_2) باید ۱۵۰۰ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع بوده و الزاما شرط $EV_2/EV_1 \leq 2.2$ نیز برقرار باشد.

چنانچه اندازه‌گیری تراکم این لایه‌ها با روش دیگری مورد نظر باشد، روش اجرای کار باید مشروحاً، در مشخصات فنی خصوصی قید شود.

همچنین لازم است پس از انجام هر لایه سنگریزی مهندس مشاور لایه انجام شده را با مشخصات بیان شده تحویل بگیرد.

۲-۹-۱۰ جایگزینی مصالح نامناسب با مصالح قابل قبول

علی‌رغم حصول تراکم مشخصه به شرح جدول ۲-۲، چنانچه در هر لایه‌ای از عملیات خاکریزی یا بسترهای موجود زمین طبیعی یا کف ترانشه‌های خاکی بعد از تراکم، حالت خمیری ظاهر شود، پیمانکار باید طبق نظر مهندس مشاور 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 هیچ گونه پرداخت اضافی به پیمانکار تعلق نمی‌گیرد.

۲-۹-۱۱ تراکم لایه‌های خاکریز، کف ترانشه‌ها و بستر زمین طبیعی

عملیات پخش و تراکم لایه‌های خاکریز، کف ترانشه‌ها و بستر زمین طبیعی باید به ترتیبی برنامه‌ریزی و اجرا شوند که هر لایه یا سطح متراکم شده در حداقل زمان ممکن با لایه بعدی پوشیده شود تا همواره لایه‌ها 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 مجددا 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 مستقیما روی ابنیه فنی مانند پل‌ها، آبروها و پل‌های طاقی اجرا کرد، مگر آنکه قبلا 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 دستورات مهندس مشاور باشد، عملیات خاکریزی لایه به لایه تا تأمین 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. همچنین از مخلوط خاک سیمان نیز می‌توان برای پر کردن پشت پل‌ها استفاده کرد، که مشخصات و نحوه اجرا و پذیرش آن باید در مشخصات فنی خصوصی قید شود.

۲-۱۲ خاکریزی در زمین‌های شیبدار

در محل‌هایی که خاکریزی روی سراشیبی تند یا خاکریز موجود صورت گیرد، طبق دستور مهندس مشاور پله‌هایی 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 وزنی بحرانی ذرات کوچکتر از ۲۰ میکرون (با انجام آزمایش هیدرومتری)، و به تناسب ضریب یکنواختی[1] آن‌ها در جدول ۲-۳ نشان داده شده است. این ضریب از رابطه زیر به دست می‌آید:

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

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 داشته باشند.

جدول ۲-۳ خصوصیات خاک‌های حساس در برابر یخبندان

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

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

تعویض مصالح حساس در برابر یخبندان در عملیات خاکریزی بستر روسازی یا در کف ترانشه‌ها و جایگزینی آن با مصالح غیر حساس باید با توجه به شرایط محیطی پروژه، انجام شود. به عنوان مثال چنانچه یکی از دو عامل دمای زیر صفر یا حضور آب در عمق نفوذ یخبندان در منطقه طرح وجود نداشته باشد، مصرف خاک حساس در عملیات خاکی بلامانع 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 یا لوله‌ها فضای خالی ایجاد شود، این فضای خالی باید با مصالح مورد تصویب مهندس مشاور و پس از بازدید مهندس مشاور و گذشت ۲۸ روز از تاریخ ساخت ابنیه فنی پر شده و به روش زیر متراکم گردد.

۲-۱۴-۱ تراکم لایه‌ها

لایه‌ها را باید به ضخامت‌های حداکثر تا بیست سانتی‌متر ریخته و با وسایل مکانیکی و در صورت تصویب مهندس مشاور 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.

1. Coefficient of Uniformity, Cu

۲-۱۴-۲ درصد رطوبت

درصد رطوبت لایه‌ها باید طبق دستورکار مهندس مشاور تنظیم شود تا تراکم به میزان درصد تعیین شده در بند ۲-۱۴-۱ بدست آید.

۲-۱۴-۳ محدوده اجرا

وسعت عمل پرکردن پشت ابنیه برابر نقشه‌ها یا طبق دستورکار مهندس مشاور خواهد بود.

۲-۱۴-۴ دانه‌بندی و مشخصات مصالح معین

هرگاه در نقشه‌ها پیش‌بینی شده باشد، پر کردن پشت ابنیه فنی باید با مصالح معینی که دانه‌بندی و مشخصات آن توسط مهندس مشاور تعیین می‌گردد، اجرا شود.

۲-۱۵ شیب شیروانی‌ها در خاکریزی و خاکبرداری

شیب شیروانی‌های خاکبرداری و خاکریزی و همچنین ترانشه‌های سنگی در هر مورد مطابق با نقشه‌های مصوب یا بر اساس دستورکار مهندس مشاور و مطابق معیارهای آیین‌نامه طرح هندسی راه (ضابطه شماره ۱-۸۰۰) و آیین‌نامه ایمنی راه‌ها (نشریه شماره ۲۶۷) برای آزادراه، بزرگراه، راه شریانی درجه ۱، راه شریانی درجه ۲، راه جمع کننده و توزیع کننده و راه محلی و روستایی تعیین می‌گردد. بدیهی است در مواردی که ارتفاع خاکبرداری و خاکریزی قابل توجه باشد، انتخاب شیب مناسب باید با در نظر گرفتن نوع مصالح، مشخصات زمین‌شناسی، ژئوتکنیکی، هیدرولوژیکی و هیدروژئولوژیکی طرح و شرایط 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 نقشه اجرا شود، ضمن آنکه در شیروانی‌ها و شانه‌ها، در برش‌ها و خاکریزی‌ها، تسطیح لازم انجام گیرد به گونه‌ای که آثار غیر منظم 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 رسیده و هرگونه احتمال مرطوب شدن بدنه خاکریزی رفع شده باشد.

۲-۱۸ بستر روسازی

بستر روسازی راه، سطح آخرین لایه متراکم شده خاکریزها، خاکبرداری‌ها یا زمین طبیعی موجود و یا اصلاح شده است. این بستر طبق مشخصات و شرایط زیر آماده شده و اولین قشر روسازی راه روی آن قرار می‌گیرد. بستر روسازی که نهایتا پی روسازی راه محسوب می‌شود، کلیه بارهای وارده ناشی از جسم روسازی و وسایل نقلیه روی آن را تحمل می‌کند.

۲-۱۸-۱ بستر روسازی در خاکریزی‌ها

برای آماده‌سازی بستر روسازی راه در خاکریزی، دو قشر نهایی خاکریز با ضخامت حداقل ۳۰ سانتی‌متر از خاک‌های A1، A2-4 یا A2-5 که در طبقه‌بندی آشتو قرار گرفته‌اند انتخاب و در تمام عرض راه پخش می‌شود و پس از آب‌پاشی و شیب‌بندی طبق مشخصات این فصل،کوبیده و آماده می‌گردد. در محل‌هایی که خاک مناسب به شرح مشخصات این فصل یا مشخصات فنی خصوصی جهت مصرف در دو قشر نهایی خاکریز، برای آماده نمودن بستر روسازی راه در دسترس نبوده یا حمل آن مقرون به صرفه نباشد، می‌توان از تثبیت خاک با آهک یا مواد و ترکیبات شیمیایی دیگر استفاده کرد.

برای راه‌های با ترافیک سنگین ($ESAL > ۱۰^{۷}$) سه قشر نهایی با ضخامت حداقل ۴۵ سانتی‌متر از نوع خاک‌های A1، A2–4 یا A2–5 انتخاب می‌شود یا اینکه مصالح موجود با استفاده از مواد تثبیت کننده نظیر آهک، سیمان یا قیر، حداقل در دو لایه به ضخامت ۳۰ سانتی‌متر تقویت می‌شود.

۲-۱۸-۲ بستر روسازی در خاکبرداری‌ها

سطح کف خاکبرداری‌ها که براساس نیمرخ‌های عرضی برداشت می‌شود ممکن است در یکی از دو حالت زیر باشد:

۲-۱۸-۲-۱ برش‌های خاکی

در این گونه خاکبرداری‌ها، بستر روسازی راه در شرایط ترافیک سبک و متوسط با رعایت بند (۲-۱۸-۱) برای دو قشر و در شرایط ترافیک سنگین برای دو یا سه قشر زیرین آماده می‌شود و در صورتی‌که لازم باشد اقدام به تعویض مصالح دو قشر زیر کف خاکبرداری با استفاده از مصالح مرغوب می‌گردد، به طوری که هر یک از این قشرها دارای کیفیت، مقاومت و تراکم لازم طبق مشخصات شود.

۲-۱۸-۲-۲ برش‌های سنگی

در برش‌های سنگی معمولا کف برش‌ها دارای مقاومت کافی می‌باشد، لیکن به دلیل ناهمواری حاصل و غیر قابل نفوذ بودن سنگ، بستر راه با انجام یک قشر خاکریز از مصالح منتخب (خاک‌های A1، A2 به جز A2-6 و A2-7) به ضخامت ۱۵ سانتی‌متر و در برش‌های سنگی نامرغوب، مانند مارن یا گچ حداقل با دو لایه خاکریز به ضخامت هر لایه ۱۵ سانتی‌متر (خاک‌های A1، A2 به جز A2-6 و A2-7) سطح بستر روسازی راه آماده می‌شود. بنابراین در برش‌های سنگی مرغوب و مقاوم، کف برش حداقل به میزان ۱۵ سانتی‌متر اضافه بر رقوم تعیین شده برای پی روسازی، برداشته و با مصالح منتخب خاکریزی، آب پاشی و کوبیده می‌شود تا همواری و مقاومت لازم برای سطح بستر روسازی حاصل گردد.

۲-۱۸-۳ بستر روسازی در سطح راه‌های موجود

در صورتی که روسازی راه جدید بر روی سطح روسازی راه موجود قرار گیرد، به شرح زیر عمل می‌شود:

چنانچه سطح راه موجود شنی یا خاکی باشد این سطح تا عمق ۱۵ سانتی‌متر شخم زده می‌شود. اگر این مصالح مرغوب باشد، آب‌پاشی و شیب‌بندی و مجدداً طبق مشخصات کوبیده می‌شود تا مقاومت لازم حاصل گردد. اگر مصالح راه موجود مرغوب نباشد، مصالح منتخب به تشخیص مهندس مشاور و به میزان کافی روی سطح شخم زده شده اضافه شده و با مصالح موجود مخلوط و سپس آب پاشی، شیب بندی و کوبیده می‌شود تا سطح مورد نظر با مقاومت کافی حاصل گردد.

برای راه‌های آسفالتی چنانچه بررسی‌های انجام شده نشان دهد که روسازی موجود قابل استفاده نیست، باید لایه‌های روسازی برداشته شده و سطح زیرین راه مانند قسمت بالا آماده گردد یا اینکه با استفاده از روش‌های بازیافت (مطابق نشریه‌های شماره ۳۳۹ و ۳۴۱)، روسازی بازیافت گردد.

۲-۱۸-٤ بستر روسازی در سطح زمین طبیعی

چنانچه بستر روسازی در سطح زمین طبیعی (بعد از برداشت خاک سطحی و نباتی) قرار گیرد باید حداقل ۳۰ سانتی‌متر زیر تراز بستر روسازی، دارای کیفیت مشروحه در مشخصات این فصل بوده و در غیر این صورت اصلاحات لازم به شرح بند ۲-۱۸-۱ انجام گیرد.

۲-۱۹ راه‌های انحرافی و راه‌های اتصالی

ساخت راه‌های انحرافی طبق دستورکار مهندس مشاور انجام خواهد گرفت و خاک‌های اضافی این نوع کارها طبق تصمیم مهندس مشاور به مصرف خواهد رسید.

پیمانکار موظف است طبق دستورکار مهندس مشاور و به هزینه خود علائم و چراغ‌های چشمک‌زن را برای راهنمایی و تأمین ایمنی راه در محل‌های مناسب نصب کند.

۲-۲۰ کنترل سطح تمام شده

رقوم بستر روسازی باید قبل از اجرای اولین لایه روسازی از نظر یکنواختی سطح و نیز انطباق با نیمرخ‌های طولی و عرضی کنترل شده و اختلاف آن با رقوم نظیر در نقشه‌ها از ۲۵ میلی‌متر تجاوز نکند، ضمن آنکه 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. سطوح خارج از رواداری باید به هزینه پیمانکار اصلاح شود.

۲-۲۱ 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 شود.

۲-۲۲ کنترل کیفیت و پذیرش

برای کنترل کیفیت مصالح و کارهای انجام شده در این فصل باید 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.

تراکم نسبی کلیه لایه‌های متراکم شده باید همواره حداقل مشخصات را برآورده سازد. در غیر اینصورت، باید اقدام لازم طبق نظر مهندس مشاور صورت گیرد و تراکم لازم تامین گردد. اگر تراکم نسبی به دست آمده کمتر از حداقل مشخص شده باشد، باید لایه متراکم شده ابتدا شخم زنی و سپس همراه با آب پاشی، مجددا به قدری غلتک زنی شود که تراکم نسبی لازم تامین گردد.

۲-۲۲-۱ زمین طبیعی

الف: آزمایش تعیین دانسیته 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 یا در صورت ارتفاع زیاد خاکریز که بستر راه عریض می‌شود به ازای هر ۱۵۰۰ متر مربع یک آزمایش دانسیته انجام می‌شود.

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.

۲-۲۲-۲ خاکریزی معمولی

الف: یک آزمایش تعیین دانسیته 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 دانسیته انجام می‌شود.

پ: در صورتی که ارتفاع خاکریز زیاد باشد، از جمله در دره‌های عمیق، هر ۷۵۰ متر مربع یک آزمایش دانسیته به عمل آید.

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 آید.

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 به تشخیص مهندس مشاور تعداد آزمایش دانه بندی بیشتری به عمل آید.

ج: چنانچه مصالح مانده روی الک ۱۹ میلی‌متر بیشتر از ۳۰ درصد باشد در هر ۵۰۰ تا ۱۰۰۰ متر طول، آزمایش بارگذاری با صفحه مناسب به روش DIN18134 انجام شود.

۲-۲۲-۳ سنگریزی

برای تعیین ضریب تغییرشکل لایه‌های خاکریز سنگی به طریق بارگذاری با صفحه در فواصل هر ۵۰۰ تا ۱۰۰۰ متر طول یک آزمایش در لایه نهایی.

۲-۲۲-٤ بستر روسازی در خاکریزی

الف: در راه‌های شریانی به ازای ۱۰۰ متر طول و در بزرگراه‌ها و آزادراه‌ها هر ۱۲۰۰ متر مربع در هر باند حداقل یک آزمایش تعیین دانسیته محلی انجام شود.

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 آید. در صورتی مصالح بستر روسازی بیش از ۳۰ درصد مانده روی الک ۱۹ میلی‌متر داشته باشد باید آزمایش بارگذاری با صفحه قطر مناسب برای تعیین ضریب تغییر شکل ثانویه به روش DIN18134 انجام شود.

پ: برای تعیین نوع خاک درشت‌دانه 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 آید.

۲-۲۲-۵ بستر روسازی در خاکبرداری

الف: در راه‌های شریانی در فواصل حداکثر ۵۰ متر به ترتیب در وسط، چپ، راست و در آزادراه‌ها و بزرگراه‌ها هر ۱۲۰۰ متر مربع در هر باند حداقل یک آزمایش تعیین دانسیته محلی انجام می‌شود. در صورتی که طول ترانشه کمتر از ۵۰ متر باشد برای هر ترانشه یک آزمایش انجام شود.

ب: یک آزمایش تراکم آزمایشگاهی خاک برای هر ترانشه و در صورتی که جنس خاک تغییر کند یا طول ترانشه زیاد باشد آزمایش بیشتری به عمل آید. در صورتی مصالح بستر روسازی بیش از ۳۰ درصد مانده روی الک ۱۹ میلی‌متر داشته باشد باید آزمایش بارگذاری با صفحه قطر مناسب برای تعیین ضریب شکل ثانویه به روش DIN18134 انجام شود.

پ: یک آزمایش دانه بندی برای تعیین خاک درشت دانه و ریزدانه در هر ترانشه و در صورتی که جنس خاک متغیر بوده یا طول ترانشه زیاد باشد، به تشخیص مهندس مشاور آزمایش بیشتری به عمل آید.

۲-۲۲-۶ بستر روسازی در زمین طبیعی

وقتی که بستر روسازی در زمین طبیعی (بعد از برداشت خاک‌های سطحی و نباتی) قرار گیرد، آزمایش‌های تعیین دانسیته محلی، تراکم آزمایشگاهی و طبقه‌بندی خاک باید بر اساس بند ۲-۲۲-۴ انجام شود.

۲-۲۲-۷ سی بی آر

در صورتی که مهندس مشاور لازم بداند به ازای هر ۵۰۰ متر تا ۲۰۰۰ متر از طول راه در راه‌های اصلی یا در هر باند آزادراه‌ها و بزرگراه‌ها، یک آزمایش سی بی آر آزمایشگاهی بر روی نمونه‌های مصالح بستر روسازی به عمل می‌آید. در شرایط استثنایی، فواصل نمونه‌گیری می‌تواند از ارقام مذکور کمتر یا بیشتر باشد. نمونه آزمایشی باید معرف ضخامتی حداقل حدود ۶۰ سانتی‌متر لایه خاک مورد نظر یا مطابق دستورکار مهندس مشاور باشد.

۲-۲۲-۸ اندازه‌گیری ضخامت لایه‌های خاکریز

ضخامت لایه‌های خاکریز حین آزمایش تعیین دانسیته محلی باید اندازه‌گیری و در برگه گزارش تراکم نسبی قید گردد. ضخامت لایه‌های کوبیده در خاکریز معمولی نباید از ۱/۱ ضخامت ابلاغی بیشتر و از ۱۰ سانتی‌متر کمتر باشد. با استفاده از نیمرخ طولی یا نیمرخ عرضی تهیه و ارایه شده توسط مهندس مشاور باید

تعداد لایه‌ها مشخص و در گزارش تعیین شود که آزمایش دانسیته روی کدام لایه از لایه‌های خاکریز انجام شده است.

۳

پی‌کنی ابنیه فنی

۳-۱ کلیات

پی‌کنی ابنیه فنی شامل کندن محل پی پایه‌ها، دیوارها، زهکشی‌ها، با دست یا بیل مکانیکی (یا وسایل مشابه) طبق رقوم مندرج در نقشه‌های اجرایی و به دستورکار مهندس مشاور می‌باشد.

پی‌کنی‌ها در سطوح قائم محدود به فضای پیرامون خارجی پی‌ها و در سطوح افقی محدود بین رقوم زیرین بستر پی و رقوم زمین طبیعی یا زمین تسطیح شده نهایی می‌باشد.

۳-۲ پی‌کنی اضافی

۳-۲-۱ پی‌کنی بیش از ابعاد افقی و عمودی تعیین شده

پی‌کنی بیش از ابعاد افقی و عمودی تعیین شده در نقشه‌ها نباید اجرا شود. در صورتی که قالب‌بندی و یا سپرکوبی (پشت‌بند) برای اجرای پی اجتناب‌ناپذیر باشد، با توجه به ابعاد پی از هر طرف به طول و عرض آن طبق دستورکار مهندس مشاور اضافه خواهد شد.

۳-۲-۲ پی‌کنی اضافی تا رسیدن به بستر مقاوم و قابل قبول

چنانچه بستر زیرین پی به شرح رقوم مندرج در نقشه‌ها و به تشخیص مهندس مشاور و با انجام آزمایش‌های محلی، تاب بارپذیری کافی نداشته باشد پی‌کنی اضافی تا رسیدن به بستر مقاوم و قابل قبول باید انجام شود.

۳-۲-۳ ضرورت تغییر نقشه

در صورتی که ضخامت لایه خاک نامناسب زیاد باشد و لزوم تجدید نظر در ابعاد پی و تغییر نقشه ضرورت داشته باشد مراتب از طریق مهندس مشاور ابلاغ خواهد شد.

۳-۲-٤ تغییر ابعاد و عمق پی

در صورتی که پیمانکار به تشخیص خود ابعاد و عمق پی را کافی نداند، قبل از اجرا باید دلایل مربوطه را به همراه پیشنهادات لازم ارایه کند تا مورد بررسی مهندس مشاور قرار گیرد.

۳-۲-۵ پی‌کنی افزون بر دستورکار

پی‌کنی افزون بر رقوم مندرج در نقشه‌ها، بدون دستورکار مهندس مشاور باید به هزینه پیمانکار و با بتن کم سیمان[1] یا بنایی پر شود.

۳-۳ پی در زمین خاکی یا سنگی

۳-۳-۱ پی‌کنی در برش خاکی

پی‌کنی باید به ترتیبی انجام شود که بستر زیرین پی همیشه روی لایه دست نخورده[2] و طبیعی قرار گیرد. چنانچه پی‌کنی در برش خاکی سبب شود که استحکام و مقاومت طبیعی بستر زیرین به علت به‌هم‌خوردگی تقلیل یابد، لایه دست خورده خاکی باید تا رقوم مندرج در نقشه با بتن کم سیمان و به هزینه پیمانکار تعویض گردد.

۳-۳-۲ پی‌کنی در زمین‌های ریزشی

پی‌کنی در زمین‌های ریزشی و یا پی‌کنی‌های عمیق که احتمال ریزش وجود دارد باید با استفاده از سطوح جانبی شیبدار و یا چوب بست انجام گیرد. انتخاب هریک از این دو روش و یا روش‌های قابل قبول دیگر منوط به تصویب مهندس مشاور است.

۳-۳-۳ پی روی بستر سنگی

چنانچه پی روی بستر سنگی قرار گیرد، این بستر باید عاری از مصالح سست و جدا شده بوده و به تشخیص مهندس مشاور مسطح یا پله‌ای و یا ناهموار شکل داده شود. کلیه رگه‌ها و شکاف‌های بستر پی باید نخست تمیز و سپس با بتن یا ملات پر شود.

---

1. Low Cement Concrete بتن مگر با مقاومت کمتر از ۱۶ مگاپاسکال
2. Undisturbed

۳-۳-٤ پی‌کنی در زمین‌های سخت

در صورتی که به دلیل مقاوم بودن جنس زمین، پی‌کنی تا رقوم مندرج در نقشه‌های ابلاغی امکانپذیر نباشد و تغییر در ابعاد پی ضروری باشد مراتب از طریق مهندس مشاور ابلاغ خواهد شد.

۳-۳-۵ افزایش ابعاد پی ناشی از عملیات انفجار

چنانچه به دلیل نیاز به انجام عملیات انفجار، ابعاد اضافه بر نقشه‌های ابلاغی در پی‌کنی ایجاد شود، فضای اضافی حاصله باید به هزینه پیمانکار و با بتن ضعیف و یا مصالح سنگی مناسب مورد قبول مهندس مشاور پر شود.

۳-٤ حفاظت پی در برابر آب

۳-٤-۱ جلوگیری از نفوذ آب

محل‌های پی‌کنی شده باید از نفوذ آب، برف، یخ و یا پر شدن با هرگونه مصالح و ضایعات مصون بماند. در صورت لزوم برای جلوگیری از نفوذ آب، باید اقدام به سپرکوبی و حائل‌بندی کرد.

۳-٤-۲ تخلیه آب از محل پی‌کنی

تخلیه آب با تلمبه موتوری از داخل محل پی‌کنی شده مجاز نخواهد بود. در صورتی که تخلیه آب لازم باشد، بهتر است از چاهک مخصوص که منحصراً برای این کار تعبیه می‌شود، اقدام به آبکشی کرد تا از ریزش خاک، کاهش مقاومت بستر پی، و افزایش فضای خالی خاک پی، جلوگیری به عمل آید.

چاهکی که در آن عملیات آبکشی انجام می‌شود، باید حداقل دو متر دورتر از هر نوع پی‌کنی مشخص شده در نقشه‌ها باشد. ابعاد چاهک برای آبکشی باید توسط مهندس مشاور تعیین شود.

۳-٤-۳ تخلیه آب جاری از محل پی‌کنی

در پی‌هایی که آب جریان دارد، باید قبلاً آب‌ها را از طریق زهکشی یا حفر چاهک‌های مجاز منحرف کرد تا عملیات پی‌کنی بدون مانع و ریزش‌های جانبی انجام گیرد.

۳-٤-٤ اضافه پی‌کنی در زمین‌های آب‌دار

در زمین‌های آب‌دار با خاک ریزدانه که کف پی حالت خمیری دارد، باید به عمق ۱۰ سانتی‌متر پی‌کنی اضافی انجام شده و سپس با ماسه تمیز بتنی جایگزین گردد تا بتن‌ریزی بدون اختلاط با خاک و گل اجرا شود.

۳-٤-۵ تخلیه آب در زمین‌های سنگی

کندن چاهک جهت آبکشی از داخل پی در زمین‌های سنگی ضرورت ندارد و می‌توان مستقیماً از تلمبه موتوری برای آبکشی استفاده نمود.

۳-۵ پشت‌بندها و حائل‌ها

۳-۵-۱حفاظت جدار پی‌کنی‌ها

در صورت لزوم و بنا به تشخیص مهندس مشاور، برای حفاظت جدار پی‌کنی‌ها از ریزش باید از الوارهای چوبی، سپرهای فولادی و یا خرپا استفاده کرد که جزئیات نقشه اجرایی آن باید قبلاً به تصویب مهندس مشاور برسد.

۳-۵-۲ برداشتن کادرها، پشت‌بندها و حائل‌های نگهدارنده

زمان و روش برداشتن کادرها، پشت‌بندها و حائل‌های نگهدارنده چوب‌بست جدار پی باید با تأیید مهندس مشاور انجام شود. کادرها و حائل‌های جایگزین برای نگهداری چوب‌بست باید قبل از برداشتن کادرهای اصلی مستقر گردد و فقط در صورت تصویب مهندس مشاور می‌توان از قسمت‌های ساخته شده پی به عنوان تکیه‌گاه و حائل‌های موقت استفاده کرد.

۳-٦ مصالح پی‌کنی

کلیه مصالح حاصل از پی‌کنی باید حتی‌الامکان در عملیات خاکریزی و یا کارهای مشابه مورد استفاده قرار گیرد. مصالحی که به تشخیص مهندس مشاور نامناسب اعلام شده و قابل مصرف در عملیات نباشد و همچنین مصالح اضافی و زاید بر مصرف باید در محل یا محل‌هایی که توسط مهندس مشاور تعیین می‌شود، انبار گردد. این مصالح نباید در مسیل ریخته شود.

۳-۷ پر کردن اطراف پی

هرگاه بعد از اجرای پی‌سازی، فاصله‌ای بین پی و جدار محل پی ایجاد شود، باید آنرا با خاک مناسب و یا مصالح دانه‌بندی شده پر و متراکم نمود. خاکریزی در فضای خالی پیرامون پی باید با استفاده از مصالح پی‌کنی، و طبق الزمات تعیین شده در فصل دوم (عملیات خاکی)، اجرا شود.

۳-۸ بازرسی پی‌کنی

انطباق عملیات پی‌کنی با نقشه‌های اجرایی و مشخصات این فصل و دستوارت ابلاغ شده، باید توسط مهندس مشاور مورد کنترل قرار گرفته و صورتجلسه شود.

۴

بتن
و بتن مسلح

۴-۱ کلیات

برای طراحی و اجرای بتن‌های سازه‌ای (مسلح و غیر مسلح)، لازم است به آیین‌نامه بتن ایران (آبا)، ضابطه شماره ۱۲۰، ضابطه شماره ۳۸۶ "مشخصات فنی عمومی اجرای شمع (کوبشی و درجاریز)" مراجعه شود. همچنین دستورالعمل‌های مربوط به طراحی، اجرا و نگهداری روسازی‌های بتنی راه‌ها، بر اساس ضابطه شماره ۷۳۱ با عنوان "دستورالعمل طراحی، اجرا و نگهداری روسازی‌های بتنی راه‌ها" یا مشخصات فنی خصوصی پیمان، به‌عنوان مراجع اصلی مورد استناد قرار می‌گیرند. رعایت آخرین ویرایش این ضوابط و مقررات، متناسب با موضوع کار، الزامی است.

۵

کارهای بنایی

۵-۱ کلیات

این عملیات شامل تهیه سنگ، آجر، بلوک سیمانی، ماسه، سیمان، آهک، انواع ملات و اجرای کارهای بنایی است که باید مطابق مشخصات این فصل و نقشه‌های اجرایی باشد.

۵-۲ مصالح

۵-۲-۱ سنگ

سنگ مصرفی از هر گونه که باشد باید تمیز، محکم، بادوام، متجانس و بدون رگه بوده و عاری از مواد آلی باشد. سنگ باید از معدن سنگ و از بهترین برش‌ها به دست آمده باشد. سنگ مورد مصرف باید دور از حد فاصل دورگه معدن استخراج شده و از حیث ترکیب، طبیعی و یکنواخت و بدون شکاف و رگه‌های خارجی و یا خاکی باشد. سنگ‌های سست، متخلخل، مطبق و غیر مقاوم در برابر یخ زدن یا سنگ‌های خارج از اندازه‌های قید شده در مشخصات نباید مصرف شوند.

قبل از استخراج، از سنگ‌های مورد مصرف طبق روش استاندارد AASHTO T2 باید نمونه‌برداری کرده و نمونه‌های تهیه شده باید تحت آزمایش‌های به شرح زیر قرار گیرند:

الف: مقاومت در مقابل سایش که با آزمایش لوس آنجلس (AASHTO T96) اندازه‌گیری می‌شود نباید از ۵۰ درصد تجاوز کند.

ب: افت وزنی که با آزمایش یخ زدن و ذوب شدن[1] مطابق استاندارد AASHTO T103 انجام می‌شود نباید از ۱۰ درصد تجاوز کند.

پ: اندازه‌گیری مقاومت فشاری سنگ باید با روش استاندارد ASTM C17 انجام گیرد. مقاومت حاصله از آزمایش نباید از ۵۰۰ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع کمتر باشد.

پس از انجام آزمایش‌های فوق‌الذکر و حصول اطمینان از کیفیت سنگ، باید اقدام به استخراج و تهیه قطعات سنگ مورد لزوم نمود. سنگ‌های مورد مصرف باید به ابعاد و اشکالی تهیه گردد که پس از مصرف در ساختمان یک استخوان‌بندی منسجمی را تشکیل دهد که در مقابل بارهای وارده مقاومت کافی داشته باشد.

1. Freezing and Thawing

بنابراین دقت در انتخاب سنگ مصرفی ممکن است سبب کاهش فضای خالی بین قطعات سنگ و در نتیجه موجب صرفه‌جویی در ملات گردد.

۵-۲-۲ آجر

آجر مورد مصرف در بنا از نوع توپر و یا مجوف می‌باشد که در هر مورد نوع آجر باید در دفترچه مشخصات فنی خصوصی قید گردد. آجر مصرفی باید محکم، با دوام و دارای شکل هندسی منظم بوده و در مقابل یخبندان مقاوم بوده و ترد و ترک‌دار نباشد. آجر باید دارای ترکیب یکنواخت و عاری از دانه‌های آهکی و گچی باشد. در صورت ضربه دو آجر به یکدیگر، صدای حاصله باید طنین زنگ داشته باشد. مصرف آجرهایی که بر اثر نفوذ آب ترکیده و یا آلوئک زده و یا خرد و از ترکیب خارج شده باشند، مجاز نخواهد بود. مصرف آجرهای قرمز و سیاه رنگ که کاملا پخته نباشد مجاز نیست.

آجرهایی که در بنا به کار برده می‌شوند باید از بین منظم‌ترین آجرها و با کمترین خلل و فرج انتخاب گردند. در صورتی که آجر مجوف به کار برده شود، مساحت مقطع خالص، که بار تحمل می‌نماید باید حداقل برابر ۷۵ درصد مساحت مقطع کل بوده و محیط هیچ سوراخی نباید کمتر از ۱۹ میلی‌متر از زیر آجر فاصله داشته باشد. از به کار بردن آجرهایی که بین دو سوراخ آن فاصله جداری موجود نباشد باید خودداری نمود. قبل از حمل آجر به پای کار، از آجرهای مصرفی باید نمونه‌برداری کرده و مشخصات فیزیکی و مکانیکی نمونه‌های اخذ شده با روش سانتی‌متر AASHTO T32، تحت آزمایش‌های زیر قرار گیرد:

- مقاومت شکست
- مقاومت فشاری
- جذب آب پس از ۲۴ ساعت نگهداری در آب سرد
- جذب آب پس از ۵ ساعت نگهداری در آب جوش
- ضریب اشباع
- مقاومت در مقابل یخبندان
- جذب آب اولیه
- شوره
- اندازه‌گیری ابعاد
- اندازه‌گیری تاب‌خوردگی

نتایج حاصله از آزمایش‌های بالا باید با مندرجات جدول شماره ۵-۱ مطابقت داشته باشد:

جدول ۵-۱ مشخصات فنی آجر

مشخصات	هریک از آجرها	متوسط پنج آجر
حداقل مقاومت فشاری (کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع)	۱۵۵	۱۷۵
حداکثر جذب آب پس از ۵ ساعت در آب جوش (درصد)	۲۵	۲۲
حداکثر ضریب اشباع	۰/۹	۰/۸۸

$$\text{ضریب اشباع} = \frac{\text{جذب آب پس از ۲۴ ساعت نگهداری در آب سرد}}{\text{جذب آب پس از ۵ ساعت نگهداری در آب جوش}}$$

آجرهای حمل شده به پای کار باید عینا مانند نمونه‌هایی باشد که قبلا مورد تأیید و تصویب مهندس مشاور قرار گرفته است.

۵-۲-۳ بلوک سیمانی

بلوک‌های سیمانی باید به شکل مکعب مستطیل و کاملا سالم و بدون عیب بوده و سطح آن طوری باشد که در صورت اندودکاری چسبندگی کافی با اندود ایجاد نماید. اگر a و b به ترتیب ابعاد سوراخ‌ها و A و B ابعاد بلوک سیمانی باشد، رابطه زیر باید بین ابعاد سوراخ‌ها و ابعاد بلوک سیمانی برقرار باشد:

$$0.65A \geq \sum a \qquad\qquad 0.65B \geq \sum b$$

بلوک‌های سیمانی نما باید علاوه بر شرایط فوق، دارای سطح نمای صاف و یا نقش و فرم مورد نظر باشد.

ابعاد بلوک سیمانی باید مطابق یکی از اندازه‌های ۱۹×۳۰×۳۹ یا ۱۹×۲۰×۳۹ یا ۱۹×۱۰×۳۹ که به ترتیب به بلوک‌های ۳۰، ۲۰ و ۱۰ سانتی‌متری معروف‌اند باشد ضخامت جداره‌های داخلی و خارجی در بلوک‌های ۳۰ و ۲۰ سانتی‌متری نباید کمتر از ۴ سانتی‌متر و در بلوک‌های ۱۰ سانتی‌متری کمتر از ۳ سانتی‌متر باشد. رواداری اندازه‌های فوق حداکثر برای ارتفاع و عرض، برابر ۱/۵± میلی‌متر و برای طول، برابر ۳± میلی‌متر می‌باشد.

برای ساخت بلوک‌های سیمانی باید از ملات ماسه سیمان ۱:۴، پنجاه کیلوگرم سیمان و ۰/۱۷ متر مکعب ماسه صفر تا ۱۰ میلی‌متر، استفاده کرد. مقدار آب مصرفی برای ساخت بلوک‌های سیمانی با توجه به میزان

رطوبت ماسه و روش ساخت بلوک‌ها (به روش ماشینی و یا دستی) تعیین می‌شود. در صورتی که ساخت بلوک با دست انجام گیرد مخلوط باید در قشرهای ۵ تا ۷/۵ سانتی‌متر به دفعات در قالب ریخته شده و هر قشر جداگانه کوبیده و سفت شود تا تمام قالب پر گردد. ملات ریخته شده باید با ماسه صاف و هم سطح لبه قالب شود. در صورتی که ساختن بلوک با وسایل مکانیکی صورت گیرد قالب باید تا ارتفاع معین بالاتر از سطح آن کاملاً پر شده و با ویبراتور لرزانده شده و سپس با وسایل مکانیکی کوبیده و صاف گردد.

بلوک‌ها را به فاصله بعد از قالب زدن باید از قالب جدا نموده و روی صفحات چوبی در انبار سرپوشیده دور از آفتاب و باد شدید قرار داد و در موقع جابه‌جا کردن آنها دقت و مراقبت کافی به عمل آورد تا لبه‌های آن شکسته نگردد. در هر حال مدت نگهداری در انبار نباید از ۱۲ ساعت کمتر باشد. بلوک‌های تهیه شده را پس از سخت شدن باید از روی صفحات چوبی برداشته و مدت ۲۱ روز در داخل حوضچه‌های آب قرار دهند به طوری که تمام بلوک‌ها در آب غوطه‌ور باشند. برای آب دادن بلوک‌ها به جای استفاده از حوضچه‌های آب می‌توان بلوک‌ها را در محوطه فرش شده‌ای که با زهکشی‌های کم عمق به سکوهای ۴ تا ۵ متر مربع تقسیم شده باشد، قرار داد و با لوله‌هایی که اطراف آن سوراخ شده است آب را با فشار کم دائماً روی بلوک‌ها پاشید و برای مدت ۲۱ روز آن را کاملا مرطوب نگه داشت. پس از آنکه بلوک‌ها مدت ۲۱ روز در آب ماند، باید مدت ۲۸ روز به تدریج آب خود را پس داده و بعد مصرف شوند.

مقاومت فشاری بلوک‌های سیمانی غیر باربر، که مطابق استاندارد ملی ایران شماره ۷۰ اندازه‌گیری می‌شود، هنگام به کار بردن (با احتساب سطح سوراخ‌ها) نباید از ۴۰ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع کمتر باشد و برای بلوک‌های باربر نباید این مقدار از ۶۰ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع کمتر باشد.

۵-۲-٤ ماسه

ماسه مورد استفاده در ملات از ماسه شسته طبیعی و یا ماسه شکسته به دست می‌آید. ماسه مصرفی باید تمیز و عاری از هرگونه مواد آلی و رس باشد. جنس ماسه باید از سنگ‌های خوب نظیر گرانیت و سیلیس و نظایر آن باشد. مصرف ماسه شیستی یا آهکی سست، جز در موارد استثنایی و با تصویب مهندس مشاور، ممنوع است. از ماسه مصرفی باید نمونه‌گیری و آن را مورد آزمایش‌های زیر قرارداد.

الف: دانه‌بندی ماسه مصرفی باید مطابق جدول شماره ۵-۲ باشد.

جدول ۵-۲ دانه‌بندی ماسه ملات

شماره الک	درصد وزنی رد شده از الک
۴/۷۵ میلی‌متر (شماره ۴)	۱۰۰
۲/۳۶ میلی‌متر (شماره ۸)	۹۵ – ۱۰۰
۰/۱۵ میلی‌متر (شماره ۱۰۰)	حداکثر ۲۵
۰/۰۷۵ میلی‌متر (شماره ۲۰۰)	حداکثر ۱۰

در مورد بناهایی که درزهای بین قطعه سنگ، آجر و یا بلوک بیش از ۱۳ میلی‌متر باشد، دانه‌بندی جدول شماره ۵-۳ را می‌توان به کار برد.

چنانچه دانه‌بندی ماسه با مشخصات جدول ۵-۳ مطابقت داشته باشد مصرف آن مشروط بر آنکه ملات تهیه شده با این ماسه با جدول‌های ۵-۵ و ۵-۶ برابری داشته باشد، مجاز خواهد بود.

ب: سایر مشخصات

سایر مشخصه‌های ماسه ملات باید با جدول ۵-۴ مطابقت داشته باشد.

جدول ۵-۳ دانه‌بندی ماسه ملات (درز اجرایی بیش از ۱۳ میلی‌متر)

شماره الک	درصد وزنی رد شده از الک	
	ماسه طبیعی	ماسه شکسته
۴/۷۵ میلی‌متر (شماره ۴)	۱۰۰	۱۰۰
۲/۳۶ میلی‌متر (شماره ۸)	۹۵ – ۱۰۰	۹۵ – ۱۰۰
۱/۱۸ میلی‌متر (شماره ۱۶)	۷۰ – ۱۰۰	۷۰ – ۱۰۰
۰/۶ میلی‌متر (شماره ۳۰)	۴۰ – ۷۵	۴۰ – ۷۵
۰/۳ میلی‌متر (شماره ۵۰)	۱۰ – ۳۵	۲۰ – ۴۰
۰/۱۵ میلی‌متر (شماره ۱۰۰)	۲ – ۱۵	۱۰ – ۲۵
۰/۰۷۵ میلی‌متر (شماره ۲۰)	--	۰ – ۱۰

جدول ۵-٤ سایر مشخصه‌های ماسه ملات

نوع آزمایش	روش آزمایش	مشخصات
کلوخه‌های رسی و ذرات شکننده	AASHTO T113	حداکثر ۱ درصد
دانه‌های سبک وزن	AASHTO T113	حداکثر ۰/۵ درصد
مواد آلی	AASHTO T21	کم‌رنگ‌تر از مایع استاندارد
آزمایش با سولفات سدیم در پنج سیکل	AASHTO T104	حداکثر ۱۰ درصد
ارزش ماسه‌ای	AASHTO T176	حداقل ۶۰ درصد
ضریب نرمی[1]	AASHTO M6	۲ - ۱/۶
میزان نگهداری آب ماسه[2]	ASTM C91	حداقل ۶۵ درصد

وقتی که رنگ حاصله از آزمایش AASHTO T21 به شرح جدول ۵-۴ تیره‌تر از رنگ استاندارد باشد ماسه غیر قابل مصرف است مگر آنکه مقاومت ۷ روزه ملات تهیه شده با آن با روشAASHTO T71 کمتر از ۹۵ درصد نباشد.

۵-۲-۵ سیمان

سیمان قبل از مصرف باید طبق روش AASHTO T20 نمونه‌گیری شده و سپس مورد آزمایش‌های فیزیکی و شیمیایی قرار گیرد. نتایج حاصله از آزمایش‌ها، باید با مشخصات فنی سیمان مصرفی به شرح فصل چهارم مطابقت نماید. در صورت مصرف سیمان بنایی، این سیمان باید با مشخصات ASTM C91 منطبق باشد.

برای جلوگیری از صدمات ناشی از عوامل جوی، سیمان تا قبل از مصرف باید در انبارهای سرپوشیده و کاملا عاری از رطوبت نگهداری شود. سیمان‌های خراب و فاسد را نباید به هیچ عنوان در تهیه ملات مصرف کرد.

۵-۲-٦ آهک

آهک با پختن سنگ آهک (CO_3Ca) در حرارتی معادل هزار درجه سانتی‌گراد به دست می‌آید. این محصول سفید رنگ است و خاصیت قلیایی دارد. میل ترکیبی آن با آب زیاد است که در موقع شکفته شدن

1. Finess Modulus
2. Water Retention

مقدار زیادی حرارت ایجاد می‌کند. آهکی که با آب ترکیب شده باشد، به صورت $CaO(OH)_2$ به نام آهک شکفته یا هیدراته موسوم است. برای تهیه گرد آهک شکفته، آهک زنده را باید به مقدار کافی آبپاشی نمود و رطوبت حاصل از این آبپاشی باید برای تمام مدتی که آهک زنده عمل شکفته شدن را انجام می‌دهد، حفظ گردد. آهک آبدیده، قبل از مصرف، باید ده روز تمام برای شکفته شدن کامل در انبار بماند. آهک آبدیده را باید طوری نگهداری نمود که در معرض آفتاب و خشکیدن قرار نگیرد، در غیر این صورت با جذب انیدرید کربنیک (CO_2) از هوا، تبدیل به سنگ آهک می‌شود.

برای تهیه خمیر آهک، آهک پس از شکفته شدن، در حوضچه‌های مخصوص با مقدار آب کافی مخلوط می‌شود. پس از آنکه مخلوط آب و آهک در حوضچه‌ها به صورت خمیر در آمد، خمیر آهک باید با سرپوش مناسب، از حرارت آفتاب حفظ گردد. خمیر آهک حداقل تا ۲ هفته در حوضچه‌ها باید نگهداری شود. تا زمانی که ترک‌هایی در سطح خمیر آهک پیدا نشود و تا هنگامی که چسبندگی آن به درجه مطلوب نرسیده باشد، خمیر آهک را نباید برای ساختن ملات به مصرف رساند. قبل از ساختن ملات از گرد آهک مورد مصرف باید طبق روش AASHTO T218 نمونه‌گیری شده و ترکیبات شیمیایی و دانه‌بندی نمونه‌های اخذ شده با روش AASHTO T210 مورد آزمایش قرار گیرد. نتایج حاصله از آزمایش با مشخصات فنی به شرح AASHTO M216 مطابقت داشته باشد.

۵-۳ ملات مورد مصرف در کارهای بنایی

۵-۳-۱ ملات ماسه سیمان

ملات مورد مصرف در کارهای بنایی از اختلاط نسبت‌های معین ماسه، سیمان پرتلند و آب به دست می‌آید. جدول شماره ۵-۵ مقادیر ماسه ، سیمان و آب را برای ساختن یک متر مکعب انواع مختلف ملات حداقل مقاومت فشاری ۲۸ روزه آن را نشان می‌دهد. نسبت‌های مندرج در جدول جنبه راهنمایی داشته و در هر مورد با منظور نمودن مقاومت فشاری مجاز ملات، نسبت‌های دقیق ماسه، سیمان و آب را باید به روش آزمایش AASHTO T106 که بر روی نمونه‌های مکعبی شکل به ابعاد ۵ سانتی‌متر انجام می‌شود، به دست آورد.

جدول ۵-۵ طرح تقریبی اختلاط ماسه، سیمان و آب

نوع	نسبت اختلاط سیمان به ماسه	سیمان کیلوگرم	ماسه متر مکعب	آب لیتر	حداقل مقاومت فشاری ۲۸ روزه Kg/cm^2
I	۱ به ۳	۳۶۰	۰٫۹۴	۲۵۸	۲۲۰
II	۱ به ۴	۲۸۵	۰٫۹۹	۲۶۰	۱۳۵
III	۱ به ۵	۲۲۵	۱٫۰۰	۲۶۲	۷۵
IV	۱ به ۶	۲۰۰	۱٫۰۳۳	۲۶۵	۴۰

ملات ماسه سیمان باید با مخلوط کننده‌های مکانیکی ساخته شود. در صورت ضرورت و با تأیید مهندس مشاور می‌توان ملات را با دست نیز تهیه نمود. در این صورت باید ماسه و سیمان را در داخل کلاف‌های چوبی ریخت و به طور خشک کاملا مخلوط نمود تا یکرنگ به نظر آید و سپس به تدریج آب به آن اضافه نمود و مخلوط را به هم آمیخت.

در فاصله یک ساعت، از زمان اضافه نمودن آب به مخلوط ماسه و سیمان، تمام ملات ساخته شده باید به مصرف برسد. از ساختن ملاتی که نتوان آن را در فاصله یک ساعت به مصرف رساند باید جدا خودداری کرد. در صورت گرفتن ملات قبل از مصرف، اضافه نمودن مجدد آب به ملات و مصرف آن در کارهای بنایی به هیچ وجه مجاز نخواهد بود.

۵-۳-۲ ملات حرامزاده[1]

در صورتی که سیمان و آهک توأما در ساخت ملات به کار برده شود، ملات حاصله ملات حرامزاده یا باتارد نامیده می‌شود. ملات حرامزاده معمولا از یک متر مکعب ماسه، ۳۰۰ کیلوگرم گرد آهک و ۱۰۰ کیلوگرم سیمان که با هم کاملا مخلوط شده باشد تشکیل می‌شود. انتخاب نسبت‌های دیگر مصالح که در جهت تأمین مقاومت مشخصه ملات و یا صرفه‌جویی اقتصادی باشد باید مطابق با جدول ۵-۶ بوده و به تصویب مهندس مشاور برسد.

1. Bastard Mortar

۵-۳-۳ انتخاب ملات

در هر مورد و برای هر پروژه نوع ملات اعم از ملات ماسه سیمانی پرتلند، ملات با سیمان‌های آمیخته پوزولانی یا روباره‌ای، سیمان بنایی، ملات حرامزاده باید با جدول‌های مربوط به این فصل مطابقت داشته باشند. جدول ۵-۵ مشخصات مقاومتی ملات ماسه سیمان پرتلند را نشان می‌دهد.

۵-٤ عملیات بنایی با سنگ

۵-٤-۱ انواع سنگ

قطعات سنگ، بر حسب مورد مصرف و نقش آنها در استحکام بنا، به اشکال و ابعادی تهیه می‌گردند که نوع و نام آنها به شرح زیر است و تعریف هریک در فصل اول ارایه شده است.

_سنگ کله[1]

_سنگ راسته[2]

_سنگ دو کله و یا سرتاسری[3]

_سنگ پشت‌کار

_سنگ توکار

_سنگ نبشی[4]

۵-٤-۲ کلیات

برای تقلیل درزهای ساختمانی[5] قبل از اجرای عملیات، تمام مصالح و تجهیزات مورد لزوم باید به پای کار حمل گردد تا اجرای عملیات به طور یکنواخت پیش رفته و وقفه‌ای در آن حاصل نگردد. از آنجایی که بنای ساخته شده با مصالح بنایی از خاصیت ارتجاعی برخوردار نمی‌باشد و نمی‌تواند خود را با نشست‌های موضعی

1. Header
2. Stretcher
3. Throught
4. Quoin
5. Constraction

پی انطباق دهد، پی‌سازی باید محکم بوده و این استحکام در تمام سطح یکنواخت باشد. در صورت لزوم می‌توان با ریختن یک قشر بتن با سیمان کم، یکنواختی پی را تأمین کرد.

مصالح حمل شده به پای کار باید از جهت رنگ، جنس و مشخصات فنی با نمونه‌های آزمایش شده و مصوب کاملا مطابقت کند. مصرف مصالحی که در مقابل عوامل جوی مشخصات خود را از دست داده باشد مجاز نخواهد بود، حتی اگر نتایج تمام آزمایش‌های مشروح در بند ۵-۲-۱ در محدوده‌های قید شده باشد.

مهندس مشاور می‌تواند دستور دهد تا از مصالح حمل شده به پای کار نمونه‌برداری شده و مورد آزمایش‌های مندرج در بند ۵-۲-۱ قرار گیرد تا مشخصات فنی آنها با نمونه‌هایی که قبلا آزمایش شده و به تصویب رسیده تطبیق داده شود. در هر صورت تمام مصالح مصرفی در بنا باید با مشخصات فنی مشروح در این فصل مطابقت کند.

حتی‌الامکان باید سعی کرد که عملیات ساختمانی در پایان هر روز در محل درزهای ساختمانی به پایان برسد. هر بار که کارهای بنایی مجددا شروع می‌شود، بنای قبلی باید آبپاشی گردد. در فاصله توقف و شروع مجدد، سطح بنایی باید کاملا پوشیده و محفوظ باشد. در صورت یخبندان، تمام عملیات انجام شده باید به طور مطلوب نگهداری گردد.

در صورتی که در مجاورت محل بنا، عملیات انفجار باید صورت گیرد این انفجار قبل از اینکه عملیات اجرایی شروع گردد باید انجام شود. قبل از اجرای عملیات، قطعات سنگ باید مرطوب شده باشد. این قطعات موقعی بر روی ملات کاملا تثبیت می‌شود که قسمتی از ملات از اطراف قطعات خارج شود. برای حفظ تعادل، هر قطعه سنگ را باید فقط از قسمت مسطح آن بر روی قشر ملات قرار داد. تمام قطعات باید کاملا در داخل ملات قرار گیرند. وجود فضای خالی در هیچ قسمت از کارهای بنایی مجاز نخواهد بود. عملیات، باید به نحوی اجرا شود که پشت کار حاصله مسطح باشد.

انجام هرگونه بنایی با سنگ در مواقعی که برودت هوای محل کار و یا درجه حرارت مصالح مصرفی از ۵ درجه سانتی‌گراد کمتر است مجاز نمی‌باشد مگر اینکه وسایل کافی برای گرم نگه داشتن محل، یا مصالح مصرفی پیش‌بینی شده تا درجه حرارت از مقدار مشخص شده بالا کمتر نشود.

سنگ چینی باید کاملا منطبق بر ترازها و ابعاد مندرج در نقشه‌های اجرایی بوده و روش کارگذاری، قفل و بست و ضخامت لایه ملات در بندهای افقی و قائم نیز باید بر اساس نقشه‌ها و مشخصات باشد.

هنگام اجرای عملیات، نباید سنگ بر روی ابنیه در حال ساختمان پرتاب و یا کشیده شود، بلکه باید با دقت در محل مربوطه نصب گردد، تا سنگ‌های کار گذاشته شده جابه‌جا نشود. سنگ چینی باید به طور یکنواخت انجام شود به نحوی که در هر زمان هیچ قسمت بنا بیش از یک رج از قسمت‌های دیگر آن بالاتر نباشد.

در مواقع لازم باید میله مهار و یا سایر وسیله مهار که مورد قبول مهندس مشاور باشد به اندازه‌های مشخص شده در نقشه‌ها در داخل سنگ چینی کارگذاری شده و در محل تثبیت گردد. سوراخ‌های لازم برای قرار دادن مهارها، قبل از نصب سنگ باید به نحوی تعبیه گردد که سوراخ‌ها، پس از قرار دادن سنگ‌ها بر روی هم، در یک امتداد قرار گیرد.

۵-٤-۳ انواع بنایی با سنگ

عملیات بنایی با سنگ بر حسب نماسازی آنها به پنج گروه به شرح زیر طبقه‌بندی می‌شود:

۱- بنایی با سنگ قواره و نماسازی غیرمنظم

۲- بنایی با سنگ قواره‌ای بادبر و نماسازی منظم

۳- بنایی با سنگ قواره‌ای سرتراش و نماسازی منظم

۴- بنایی با سنگ قواره‌ای نیم‌تراش و نماسازی منظم

۵- بنایی با سنگ قواره‌ای تمام‌تراش

در جدول شماره ۵-۶ کاربرد هریک از انواع بنایی‌های مذکور بر حسب نوع ابنیه و نوع راه مشخص شده است، تعریف و نحوه اجرای هریک نیز جداگانه در زیر شرح داده شده است.

۵-٤-۳-۱ بنایی با سنگ قواره و نماسازی غیر منظم[1]

در این نوع بنایی، سنگ‌ها بعد از شکستن گوشه‌های تیز آن‌ها، بدون تیشه‌داری، به مصرف می‌رسند، مشروط بر اینکه اشکال و ابعاد آنها با اشکال و ابعاد قید شده در این بند مطابقت داشته باشد. سنگ‌های مصرفی باید سخت، با دوام و بدون رگه بوده و در مقابل یخبندان مقاومت کافی داشته و دارای هیچ نوع مواد خاکی و ناخالصی نباشد.

حداقل ارتفاع سنگ قواره در نما ۱۵ سانتی‌متر است. ارتفاع سنگ‌ها در نما نباید از عرض و ریشه آن بیشتر باشد. حداقل طول ریشه سنگ‌ها، برای سنگ‌های کله ۴۰ سانتی‌متر، برای سنگ‌های راسته برابر ارتفاع سنگ

1. Uncoursedl Rubble Masonary

و برای سنگ‌های دو کله یا سرتاسری، در صورتی که عرض بنا کافی باشد، ۵۰ سانتی‌متر می‌باشد. وزن و حجم سنگ مورد مصرف به ترتیب نباید از ۱۵ کیلوگرم و ۰/۰۰۶ مترمکعب کمتر باشد.

در ساختمان پی، بزرگترین قطعات سنگ در کف قرار می‌گیرند. سنگ‌های ردیف اول روی یک قشر ملات، که کف گود را پوشانیده، قرار می‌گیرند و فواصل بین سنگ‌ها با ملات پر می‌شود به نحوی که هیچ گونه فضای خالی پیرامون سنگ‌ها وجود نداشته باشد. کلیه ردیف‌ها باید افقی ساخته شود. قبل از اینکه ردیف بعدی چیده شود، سطح ردیف زیرین باید کاملاً تمیز و در صورت لزوم مختصری آب روی آن پاشیده شود. آب‌هایی را که در حین ساختمان پی در کف گود جمع می‌شوند باید با مجرا به سمت چاله‌ای که برای این کار تهیه شده هدایت نموده و از آنجا به خارج تخلیه کرد.

سنگ‌های قواره‌ای که در نمای ساختمان به مصرف می‌رسد باید کاملا ریشه‌دار بوده و به ازای هر متر مربع نما، یک سنگ سرتاسری باید به کار رود. چنانچه عرض بنا از ۵۰ سانتی‌متر بیشتر باشد، به جای سنگ دو کله می‌توان از دو سنگ کله مقابل هم استفاده نمود به نحوی که حداقل ۱۵ سانتی‌متر همدیگر را بپوشانند. از به کاربردن سنگ‌های کوچک در نما باید جدا خودداری نمود. سنگ‌ها باید طوری کارگذارده شوند که بند عمودی رج‌های متوالی در یک امتداد قرار نگیرند. سنگ‌های نبشی باید به طور کله و راسته متوالیا روی هم در گوشه بنا قرار گیرند. در بنایی با قواره غیرمنظم، کف هر قطعه سنگ باید به شکل افقی و طرفین قطعه تقریبا قائم باشد و دقت شود که کلیه سنگ‌ها تقریبا به وضعی که در معدن قرار داشته‌اند روی یکدیگر قرار گیرند. بنای در حال ساختمان را همواره باید مرطوب نگهداشت و در مواقعی که هوا گرم است باید روی آن را آبپاشی نمود. در هوای خیلی گرم پس از تعطیل کار، روی بنایی را باید پوشاند. در زمستان هنگامی که خطر یخبندان در پیش است، این قبیل بنایی را باید به طور مناسب محافظت و نگهداری نمود.

در این نوع بنایی، ضخامت درزها را معمولا ۲/۵ سانتی‌متر انتخاب می‌نمایند. در موارد استثنایی این ضخامت تا ۴ سانتی‌متر قابل افزایش خواهد بود. به کار بردن خرده‌سنگ در داخل درزها مجاز نخواهد بود.

جدول ۵-۶ انواع بنایی با سنگ و کاربرد آن‌ها در بنا

ردیف	نوع بنا		نوع راه	پشت و توکار با سنگ	نما با سنگ		
				قواره (UR)	قواره‌ای بادبر (CR)	قواره‌ای سرتراش ABF (MTT)	قواره‌ای نیم‌تراش (M.PI)	قواره‌ای تمام‌تراش FA (M.AP)
۱	آبروهای با دهانه ۲ متر و کمتر	--	روستایی – فرعی – اصلی، آزادراه، بزرگراه، راه آهن	√	√			
۲	آبروهای با دهانه بیش از ۲ متر	از دهانه ۲ متر به بالا	اصلی – آزادراه – بزرگراه – راه آهن	√		√		
		تا دهانه ۶ متر	روستایی	√	√			
		بیش از دهانه ۶ متر	فرعی درجه ۱ و ۲	√		√		
۳	پل‌های طاقی، پل‌های دره‌ای، تونل‌ها	طاق پل‌ها* و داخل تونل‌ها	روستایی – فرعی – اصلی آزادراه – بزرگراه – راه آهن	√		√		
		جلوی طاق پل‌های طاقی		√			√	
		سردر تونل‌ها		√				√

* در زاویه ۱۲۰ درجه وسط آن

ادامه جدول ۵-۶ انواع بنایی با سنگ و کاربرد آن‌ها در بنا

ردیف	نوع بنا		نوع راه	پشت و توکار با سنگ	نما با سنگ			
				قواره (UR)	قواره‌ای بادبر (CR)	قواره‌ای سرتراش ABF (MTT)	قواره‌ای نیم‌تراش (M.PI)	قواره‌ای تمام‌تراش FA (M.AP)
۴	دیوار	– حائل (پای ترانشه) – ورودی تونل‌ها	اصلی – آزادراه – بزرگراه – راه آهن	√		√		
		– ضامن (پای خاکریز) – هدایت آب – داخل تونل‌ها**		√	√			
		– حائل – ضامن – هدایت آب – داخل تونل‌ها**	روستایی فرعی درجه ۱ و ۲	√	√			
۵	آب نما	--	روستایی	√	√			

** غیر از طاق در زاویه ۱۲۰ درجه وسط

۵-٤-۳-۲ بنایی با سنگ قواره‌ای بادبر و نماسازی منظم[1]

در این نوع بنایی، سنگ‌ها در ردیف‌های افقی بر روی هم قرار گرفته و در نما دارای درزهای افقی و قائم می‌باشند. سنگی که در نما به کار برده می‌شود باید با چکش‌های بزرگ نوک تیز با ابعاد تقریبا مربع مستطیل در آمده و سطحی که در نما قرار می‌گیرد باید به طور ناهموار با چکش، تیشه‌داری شده که اصطلاحاً بادبر نامیده می‌شود. ناهمواری‌های سطح بادبر (بارسنگ)، نسبت به لبه قطعه سنگ نباید از ۴ سانتی‌متر تجاوز نماید. در این نوع بنایی، در حالی که سنگ‌های نما باید تیشه‌داری شوند، سنگ‌های مصرفی در پشت و توی کار منحصرا به صورت قواره نامنظم به شرح بند ۵-۴-۳-۱ به کار برده می‌شوند.

سنگ‌های نما با سنگ‌های پشت و توی کار باید قفل و بست شود. این قفل و بست با به کار بردن سنگ‌های کله، راسته و دو کله و یا سرتاسری تأمین می‌گردد. سنگ‌هایی که در گوشه‌های بنا به کار برده می‌شوند باید کاملا در دو سطح، تیشه‌داری شده و به طور کله و راسته متوالیا در گوشه بنا روی یکدیگر قرار گیرند.

حداقل ۲۰ درصد سطح نمای ساختمان باید شامل کله‌هایی بوده که دارای ریشه در داخل بنا باشند. طول این ریشه ۲ برابر ضخامت هر قطعه سنگ کله می‌باشد. حداقل طول و عرض هر سنگ کله به ترتیب برابر ۴۰ و ۲۰ سانتی‌متر و حداقل طول و عرض هر سنگ راسته برابر ۲۰ سانتی‌متر و حداقل طول هر سنگ دو کله، در صورت عرض کافی بنا، برابر با ۵۰ سانتی‌متر است. به کار بردن خرده‌سنگ در نما مجاز نخواهد بود.

کارهای بنایی با سنگ بادبر باید با ردیف‌های افقی و با ارتفاع مساوی در یک ردیف و یا ممکن است با ارتفاع مساوی در تمام ردیف انجام شود.

در هر ردیف به ازای هر سنگ کله یک سنگ دو کله به کار برده می‌شود. در صورتی که عرض بنا از ۵۰ سانتی‌متر تجاوز نماید، به جای سنگ سرتاسری، می‌توان از ۲ سنگ کله مقابل هم که حداقل ۱۵ سانتی‌متر همدیگر را بپوشانند، استفاده نمود. این دو سنگ یکی در نما و دیگری در پشت‌کار نصب می‌گردد.

نما و پشت‌کار در هر ردیف باید توأما در یک سطح ساخته شوند. بنابراین ارتفاعات سنگ‌های مصرفی در نما و پشت‌کار در هر ردیف باید برابر و هم سطح باشند.

---

1. Coursed Rubble Masonry

درزهای بین سنگ‌های نما، افقی و قائم بوده و نباید کمتر از یک سانتی‌متر و بیش از ۲ سانتی‌متر باشد. لبه درزها محسوسا باید مستقیم و گونیا باشد. درزهای قائم در ردیف‌های متوالی باید در وسط سنگ‌های ردیف زیرین قرار گیرند. فاصله افقی دو درز قائم در دو ردیف متوالی حداقل باید برابر با ۱۰ سانتی‌متر باشد.

قطعات سنگ موقعی در جای خود کاملا قرار می‌گیرند که قسمتی از ملات از لابه‌لای سنگ‌ها رو بزند. سنگ‌هایی که تقریباً به شکل مربع مستطیل در آمده است باید در گوشه‌ها و در انتهای بنا قرار گیرند و فضای خالی در این نوع بنایی مجاز نخواهد بود.

قطعات سنگ قبل از مصرف باید کاملا مرطوب باشند. قبل از اینکه هر ردیف روی ردیف زیرین قرار گیرد، ردیف زیرین باید تمیز و در صورت لزوم مرطوب گردد.

۵-٤-۳-۳ بنایی با سنگ قواره‌ای سرتراش و نماسازی منظم[1]

در این نوع بنایی، سنگ‌ها طبق اندازه و ابعاد مندرج در نقشه‌های اجرایی و مشروح در این فصل تقریبا به شکل مکعب مستطیل، که در نما به شکل مربع و یا مستطیل نمودار گردد، تهیه می‌شوند. قسمتی از سطوح جانبی هر قطعه که توی کار قرار می‌گیرد با چکش تراش داده می‌شود[2] حداقل عمق این تراش باید در سطوح فوقانی و تحتانی ۱۵ سانتی‌متر و در سطوح طرفین ۸ سانتی‌متر باشد. سنگ‌های نما به وسیله چکش صاف و منظم خواهد شد و برجستگی سطح نمای سنگ‌ها نباید از ۱۵ میلی‌متر تجاوز نماید. این سنگ‌ها دارای قلم درز به عرض ۱۵ میلی‌متر خواهد بود.

در این نوع بنایی، سنگ‌های مصرفی در پشت و توکار منحصرا به صورت قواره غیرمنظم به شرح مندرج در بند ۵-۴-۳-۱ می‌باشد.

سنگ‌ها در ردیف‌های افقی بر روی هم قرار می‌گیرند. در حالی که ارتفاع سنگ‌ها در هر ردیف باید برابر باشند، ارتفاع سنگ‌ها در ردیف‌های مختلف را می‌توان نابرابر انتخاب نمود. حداقل ارتفاع هر ردیف ۱۸ سانتی‌متر و لازم نیست ارتفاع تمام ردیف‌ها مساوی باشد، ولی اختلاف ارتفاع سنگ‌های دو ردیف متوالی نباید از یک پنجم ارتفاع متوسط ردیف‌ها تجاوز کند.

درزهای بین سنگ‌ها در نما، باید افقی و قائم بوده و عرض این درزها نباید کمتر از یک سانتی‌متر و بیشتر از ۱/۵ سانتی‌متر باشد. درزهای قائم یکی در میان قرار خواهند گرفت به این معنی که سنگ‌های یک ردیف،

1. Ashlar Block in Course Facing (M.TT)
2. Hammer Dressed

درزهای ردیف بالایی را می‌پوشاند و فاصله بین درزهای قائم یک ردیف با درزهای قائم ردیف زیرین باید حداقل ۱۵ سانتی‌متر باشد.

سایر مشخصات فنی مربوطه که در این بند شرح داده نشده است عینا مانند مشخصات فنی بند ۵-۴-۳-۲ خواهد بود.

۵-٤-۳-٤ بنایی با سنگ قواره‌ای نیم‌تراش[1] و نماسازی منظم

در این نوع بنایی سنگ‌ها در تمام نما تراشیده شده و برگشت گونیا در ریشه سنگ باید حداقل ۱۵ سانتی‌متر باشد. برآمدگی نمای سنگ نباید از ۱۰ میلی‌متر تجاوز نماید. این سنگ‌ها دارای قلم درز به عرض ۲ سانتی‌متر خواهد بود. ضخامت درزهای سنگ‌ها در نما نباید از ۱۲ میلی‌متر تجاوز کند.

در این نوع بنایی، سنگ‌های مصرفی درشت و توکار منحصرا به صورت قواره غیرمنظم به شرح مندرج در ۵-۴-۳-۱ می‌باشد.

بنایی با سنگ نیم‌تراش با ردیف‌های افقی و ارتفاعات مساوی انجام می‌گردد. اختلاف ارتفاع بین دو ردیف نباید از ۲ سانتی‌متر تجاوز کند. درزهای عمودی در نما یک در میان طوری باید تعبیه شوند که فاصله دو درز قائم در دو ردیف متوالی از یک سوم طول سنگ کمتر نباشد.

۵-٤-۳-۵ بنایی با سنگ قواره‌ای تمام‌تراش [1]

در این نوع بنایی، که اکثرا در قوس‌ها، ورودی تونل‌ها، گالری‌ها، دره‌ها، بالای آبروها و پل‌ها انجام می‌شود، سنگ‌ها از بهترین طبقه معدن تهیه شده و باید یکنواخت و عاری از هرگونه عیب و نقص و منفذ باشد.

در این نوع بنایی، کلیه سطوح هر قطعه سنگ باید با قلم حجاری و صاف و تیشه‌داری گردد. اطراف سنگ‌ها مسطح و بدون اعوجاج تهیه خواهد شد. سنگ‌های تمام‌تراش باید طبق اندازه‌های مندرج در نقشه‌های اجرایی تراشیده شود. لبه سنگ‌ها باید سخت و برنده بوده و در آن‌ها آثار شکستگی و شکاف دیده نشود. خطوط مرئی و نبش سنگ‌ها نباید لب پریده باشد. مهندس مشاور می‌تواند دستور دهد که در دور سطح مرئی هر قطعه سنگ، حاشیه‌ای به عرض ۲ یا ۳ سانتی‌متر با قلم حجاری شود.

درزهای سنگ‌ها در نما بر یکدیگر عمود و عرض هر درز نباید از ۱۰ میلی‌متر متجاوز باشد.

---

1. Moellon Pique Masonry, M.PI

۵-۵ طاق‌های سنگی

۵-۵-۱ کلیات

طاق‌های سنگی معمولا به یکی از دو صورت زیر ساخته می‌شوند:

الف: طاق‌های با دور تمام (طاق‌هایی که انتهای قوس طاق به حالت عمودی روی پایه‌ها قرار گرفته باشند).

ب: طاق‌های نیم‌خیز (طاق‌هایی که پاطاق به حالت مایل و با شیب ۱ به ۲ روی پایه قرار گرفته باشند).

و در هر صورت دیواره‌های زیر کتیبه (تمپان) امکان دارد پر و یا مشبک باشد.

نماسازی طاق‌های سنگی متناسب با نوع بنا و نوع راه در جدول شماره ۵-۶ ارایه شده است. ریشه سنگ‌های مصرفی باید به شکل مخصوص طاق بوده و برگشت گونیا در ریشه سنگ باید حداقل ۱۰ سانتی‌متر و این سنگ‌ها باید از بین ریشه‌دارترین سنگ‌ها انتخاب گردد. حداقل عمق ریشه سنگ برابر ۲۰ سانتی‌متر می‌باشد. درز سنگ‌ها باید عمود بر خط فشار قرار گیرد.

بنایی طاق باید به طور قرینه از پاطاق‌ها[1] همزمان شروع شود. سنگ‌ها به طور منظم و ریشه آن‌ها باید در امتداد عمود بر انحنای طاق قرار گیرد. ناهمواری‌های پشت طاق باید طوری باشد که شاپ و یا تمپان خوب به پشت طاق بچسبد. اندود شاپ بعد از قالب‌برداری انجام خواهد شد.

برای بستن کلید هر طاق (سنگ وسط طاق) از نظر حفظ تعادل، باید دو ثلث ساختمان طاق مجاور (دهنه جلو) و یک ثلث طاق بعدی (دهنه بعد) ساخته شده باشد. سنگ کلید طاق دقیقا باید به ابعاد مندرج در نقشه‌های اجرایی تراشیده شود.

ضخامت ملات طاق نباید از ۲۰ میلی‌متر تجاوز کند. ضخامت درز سنگ‌های چیده شده نیز نباید از ۲۰ میلی‌متر متجاوز باشد.

قالب‌بندی طاق باید طوری اجرا گردد که به هیچ وجه امکان تغییر شکل و نشست قالب در حین اجرای عملیات وجود نداشته باشد. قالب‌ها باید طبق نظر مهندس مشاور و در موارد مخصوص نقشه‌های اجرایی آن توسط مهندس مشاور تهیه گردد. قالب‌ها باید طوری طرح و اجرا گردد که در مقابل بارهای وارده و عوامل جوی مقاوم باشد. میزان نشست مجاز قالب را باید در ارتفاع آن منظور نمود. وضعیت قالب‌ها باید طوری باشد که پیاده کردن آن در کمال سهولت و بدون هیچ خطری صورت گیرد.

1. Fine Ashlar Masonry, (M.AP)

برداشتن قالب قبل از ۳۰ روز از تاریخ اتمام عملیات مجاز نخواهد بود. در صورتی که درجه حرارت پایین‌تر از ۵ درجه سانتی‌گراد باشد، این مدت با نظر مهندس مشاور افزایش می‌یابد. برای آنکه تمام قسمت‌های طاق در یک موقع به طور مساوی تحت فشار درآیند، قالب‌ها را باید تدریجا برداشت. برداشتن قالب منحصراً با اجازه مهندس مشاور می‌باشد. در بنایی طاق‌های با دور تمام قسمتی از طاق که بالاتر از شعاع با شیب ۱ به ۲ قرار گرفته جزء طاق محسوب می‌شود. در طاق‌های نیم‌خیز تمام قوس جزء طاق محسوب می‌شود.

تبصره: بنایی از پاطاق تا شعاع با شیب ۱ به ۲ از نوع بنایی پایه مربوطه است.

۵-۵-۲ اجرای بنایی طاق‌ها

بنایی طاق‌ها قطعه قطعه انجام می‌شود. مثلا اگر طاقی به هشت قسمت تقریبا مساوی تقسیم و قسمت‌ها به ترتیب از ۱ تا ۸ شماره‌گذاری گردد، اجرای بنایی از قطعات ۱ و ۸، محل پاطاق، شروع می‌شود و بعد قطعات ۴ و ۵، طرفین کلید، سپس قطعات وسطی ۲ و ۷ و بالاخره قطعات باقیمانده ۳ و ۶ انجام می‌گیرد و در خاتمه کلید طاق کار گذارده می‌شود.

ساختمان طاق باید دقیقا طبق نقشه‌های تفصیلی و به قسمی که سنگ‌ها در پاطاق و نقاط معین شده و مجزا پیاده شود، انجام پذیرد. در صورتی که حین اجرا، خطر سر خوردن قطعات سنگ روی قالب وجود داشته باشد، در این صورت این قطعات را باید با پشت‌بندهایی، ثابت کرد.

درزهای بندکشی را در پاطاق در نقاط مشخص قالب باید پیش‌بینی کرد. در موقع بنایی طاق، درزهای توخالی را باید با قراردادن گوه چوبی ثابت کرد تا بتوان بعد از اتمام طاق گوه‌های چوبی را از درزها در آورد و با ملات کاملا پر کرد. در صورتی که این عمل خوب انجام شود، گوه‌ها به راحتی از درزها خارج خواهند شد.

چنانچه ضخامت طاق را بخواهند در ۲ و یا ۳ حلقه بسازند، ریشه‌های سنگ‌های هر حلقه باید تشکیل دندانه برای حلقه بعدی بدهد تا سنگ‌های دو حلقه با هم قفل و بست شوند. حلقه‌های مختلف را باید به طور مستقل ساخت و قبل از شروع اجرای عملیات حلقه رویی، حلقه زیرین باید بسته شده باشد، اجرای عملیات حلقه‌های رویی نیز مانند حلقه زیرین قطعه قطعه خواهد بود.

1. Abutments

۵-۵-۳ بستن طاق

اول درزهای قطعات ۴ و ۵ طرفین کلید بسته شده و سپس تدریجا تمام درزهای قطعات ۱ و ۸ پاطاق و ۳-۶ و ۲-۷ کمرگاه از طرفین بسته می‌شود. در کلید می‌توان قطعات چوبی را در آورده و عمل پرکردن را انجام داد ولی در کمرگاه به تدریج که درزها پر می‌شود قطعات چوبی را از درزها در می‌آورند.

درزها را با ملات سیمانی بسیار خشک پر کرده و آنقدر ملات را داخل درز می‌کوبند تا سفتی ملات دست را عقب بزند. منظور حالت سفتی است که ملات به خود می‌گیرد و ضربه انسداد دیگر تأثیری در فشردن ملات ندارد. برای انسداد درزها (ماتاژ) ملات معمولی مصرف نمی‌کنند بلکه ملات مصرف ماتاژ باید بسیار کم و مانند ماسه مرطوب باشد و در کف دست به شکل گلوله باقی بماند. به هر حال ملات ماتاژ مقدار کافی آب می‌خواهد تا سیمان خود را بگیرد.

برای اینکه اطمینان حاصل کنیم که عمل ماتاژ خوب انجام گرفته ملات باید پس از کوبیده شدن داخل درز عرق کند (آب روی سطح آن نمایان شود) و در این صورت می‌توان گفت که ملات آب کافی دارد. برای کوبیدن، از آهن تخت استفاده می‌کنند. برای طاق‌هایی که از سنگ تمام تراش و چهارگوش ساخته شده باشد آهن‌های تخت نازک ۵ الی ۲۵ میلی‌متر ضخامت به کار می‌رود. ضخامت درز برای طاق‌های بزرگ حداقل ۲۰ میلی‌متر خواهد بود.

قبل از اینکه ملات را وارد درزها کنید باید درزها را خوب پاک کرده و آبپاشی کرده و ملات را داخل درزها از ارتفاع بسیار کم وارد نموده و بعد با ماله روی ملات را صاف کرد، ملات را باید با وارد کردن ضربه روی آهن تخت با ضربات محکم پتک کوبید و پس از هر ضربه نوک آهن تخت را باید به اندازه نصف عرض آن جابه‌جا نمود. برای عملیات ماتاژ همیشه دو دسته کار می‌کنند و هر دسته کار را از هر یک طرف پاطاق گرفته به سمت کلید طاق می‌روند تا به یکدیگر ملحق شوند. به محض اینکه ملات شروع به عرق کردن (آب پس دادن) نمود عمل ماتاژ را برای آن حلقه باید متوقف ساخت. همین که عمل ماتاژ به اتمام رسید روی درزها را با ماسه یا گونی خیس کرده می‌پوشانند. طاقی که به نحو احسن ماتاژ شده باشد باید مثل فولاد صدا دهد. مهندس مشار موظف است شخصا حین اجرای ماتاژ حضور داشته و اطمینان حاصل کند که عملیات انجام شده مطابق مشخصات باشد.

۵-٦ بندکشی[1]

تمام سطوح روکار بنا، اعم از قسمت‌های مرئی و یا قسمت‌هایی که در زیر خاکریز قرار می‌گیرد، باید بندکشی گردد. بندکشی درزهای سنگ باید متناسب با رنگ سنگ باشد. در نماسازی کارهای بنایی عادی، بندکشی مخصوص انجام نمی‌شود، فقط درزها را با ملات پر کرده و صافکاری می‌کنند.

یک تا ۴ روز پس از اتمام هر قسمت از بنا، درزهای بنایی با سنگ باید بندکشی گردد. سطح مورد بندکشی باید از ریخت و پاش ملات و غیره تمیز گشته و درزها و بندها باید به عمق حداقل ۱/۵ سانتی‌متر خالی گردد. درزهای خالی شده را باید مرطوب کرده و با ملات مورد نظر بندکشی کرده و سپس با قلم بندکشی صیقل داد.

عیار ملات بندکشی باید از نوع ملاتی باشد که در ساختمان بنایی سنگی به کار رفته ولی ماسه آن باید ریزتر از ملات بنایی باشد، بندکشی حتی‌الامکان باید سریع انجام شود. دست زدن به ملات بندکشی شده، به هنگامی که ملات در حال گرفتن می‌باشد، مجاز نخواهد بود.

با تأیید مهندس مشاور، درزهای بندکشی شده را که در معرض دید می‌باشد، می‌توان با میلگرد به قطر ۱۰ میلی‌متر صیقلی و صاف نمود. ضمن اجرای بندکشی، سطح بنا باید مرطوب باشد. پس از اتمام بندکشی، سطوح بندکشی شده باید به مدت حداقل ۵ روز متوالی مرطوب نگه داشته شود.

۵-۷ بنایی با بلوک سیمانی

کلیه سطوح زیرین که کارهای بنایی بر روی آن آغاز می‌شود باید کاملا تمیز شده و قبل از شروع کار مرطوب گردد. بلوک‌ها باید قبل از نصب تمیز شده و کاملاً در آب خیسانده شوند و در حین اجرای عملیات، مرطوب نگهداشته شوند.

ملات مصرفی باید ملات ماسه سیمان بوده و کاملا در سطح جامد بستر زیرین و همچنین روی جدارهای قائم بلوک پخش گردد. ملات را نباید بیش از اندازه لازم جلوتر از محل کار گذاشتن بلوک‌ها، پخش نمود تا قبل از قراردادن بلوک‌های سیمانی، ملات سفت نگردد. ملات سخت شده که از روی داربست، کف و یا از محل‌های دیگر برداشته شده باشد نباید مورد استفاده قرار گیرد.

1. Pointing

بجز در مواردی که ضخامت دیوار برای بلوک‌چینی به ترتیب کله و راسته کافی است، بلوک‌چینی باید با بلوک‌هایی صورت گیرد که عرض آن مساوی ضخامت دیوار باشد. بلوک باید کاملاً تراز چیده شود، به طوری که مقدار بلوک و فضای خالی آن قائم باشد و درز عمودی رج‌های متوالی یک در میان در یک امتداد قرار گیرد. کار حاصله باید کاملا شاقول و مطابق با ابعاد، جهت و محورهای نشان داده شده در نقشه‌ها باشد. انتها و گوشه دیوار را باید قبل از قسمت‌های میانی چید به طوری که پیوسته ۴ یا ۵ رج بالاتر از رج‌های میانی باشند. بلوک چینی باید به طور یکنواخت انجام شود به طوری که در هر زمان هیچ قسمت از یک دیوار بیش از یک متر از قسمت‌های دیگر آن بالاتر نباشد. بلوک نصب شده نباید پس از سخت شدن و یا حتی خودگیری اولیه ملات در جای خود حرکت داده شود. جایگزینی نهایی بلوک باید در زمانی صورت گیرد که ملات هنوز کاملا شل است. بلوک‌چینی نیمه تمام باید در حالتی قطع شود که ایجاد قفل و بست با بلوک چینی بعدی ممکن باشد. قبل از آن که بلوک‌چینی بعدی شروع گردد باید کلیه ملات اضافی سست برداشته شود و بندهای سطحی باید کاملا با آب خیس گردند.

کلیه درزهای قائم باید کاملا با ملات پر شود. درزهای بین بلوک‌های نما که به هنگام بلوک‌چینی بندکشی نشده باشند باید کاملاً پاک و سپس با ملات پر گردند. ملات باید کاملاً داخل درزها رفته و هنگامی که ملات هنوز خمیری است با وسایل مورد قبول به طور مقعر بندکشی شود. داخل کلیه دیوارها که بعدا پوشیده و یا نماسازی می‌شوند باید به عمق کافی از ملات خالی و تمیز گردد.

در صورت لزوم و با استفاده از ورق‌های نایلونی و یا پوشش‌های قابل قبول دیگر بنایی با بلوک سیمانی باید در مقابل برف، سرما و هرگونه شرایط جوی دیگر محافظت گردد. در هوای سرد که امکان یخبندان می‌رود کارهای بلوک سیمانی باید با پوشاندن و گرم کردن در مقابل سرما محافظت شوند، به طوری که دمای حداقل ۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۷۲ ساعت پس از بلوک‌چینی تأمین گردد. در هوای گرم کارهای بلوک سیمانی باید به مدت کافی مرتباً مرطوب نگاه داشته شود. انجام هرگونه بنایی با بلوک سیمانی در مواقعی که گرمای هوای محل کار و یا درجه حرارت هریک از مواد مصرفی از ۵ درجه سانتی‌گراد کمتر است مجاز نمی‌باشد، مگر اینکه وسایل کافی و مجاز برای گرم کردن یا پوشاندن محل و یا مواد مصرفی به کار رود به طوری که دما از مقدار مشخص شده در بالا کاهش نیابد.

۵-۸ بنایی با آجر

آجر مصرفی در بنا از نوع توپر و یا مجوف می‌باشد. نوع توپر ممکن است فشاری و یا ماشینی باشد. نوع ملات مصرفی برای آجر فشاری باتارد و یا ماسه سیمان و برای آجر ماشینی منحصراً ماسه سیمان خواهد بود. در هر مورد، نوع آجر و ملات مصرفی باید در دفترچه مشخصات فنی خصوصی قید گردد.

قبل از اجرای آجرچینی، در صورت لزوم آجرها باید به مدت ۶۰ دقیقه درآب خیسانده شده و بلافاصله به کار رود. ریختن آب روی آجر مجاز نخواهد بود. آجرچینی باید طبق اصول پیوند آجر و با توجه به درزها، بندها و قفل و بست به طور کله راسته انجام گردد. در دورگ متوالی، درزها نباید مقابل هم قرار گیرند. حالت خمیری ملات باید طوری باشد که آجر کاملا روی ملات بنشیند. پخش ملات باید به کمک شمشه ملات صورت گیرد. پس از قراردادن آجر بر روی ملات، باید با چکش بنایی آجر را به حدی روی ملات کوبید تا فاصله درزها مطابق مشخصات درآید. درزهای عمودی آجرها قبل از چیدن رج بعدی باید با ملات پر گردد.

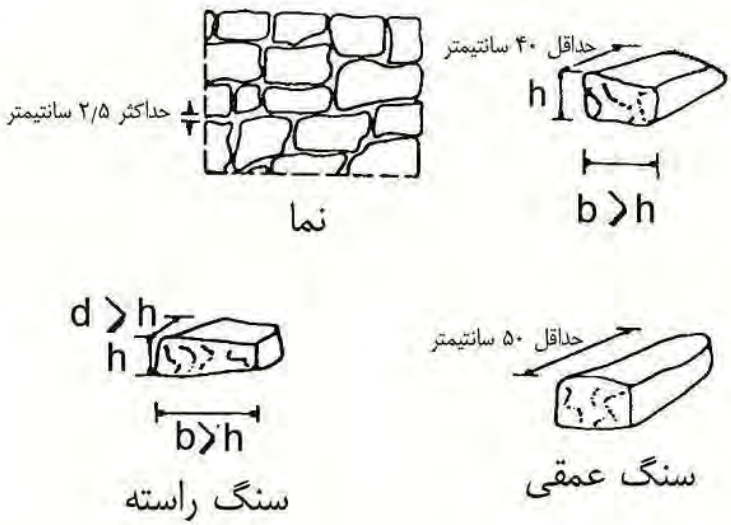
در قسمت‌های مختلف بنا، ارتفاع آجرکاری نباید بیش از یک متر از سایر قسمت‌ها تجاوز کند. در محل نبش‌ها یک در میان باید قفل و بست کامل ایجاد و به شکل لاریز (نه هشت و گیر) اجرا کرد. در صورتی که بنای آجری در مجاورت بنای بتونی و یا سنگی قرار گیرد، اتصال آنها به یکدیگر ضروری می‌باشد. در هر متر ارتفاع، حداقل باید یک قفل و بست بین این دو نوع مصالح بنایی ایجاد گردد.

آن قسمت از دیوار آجری که با خاک تماس مستقیم و دائم دارد، باید با آجری ساخته شود که خاصیت جذب آب آن خیلی کم باشد، لذا در این موارد می‌توان از آجرهای توپر ماشینی استفاده کرد.

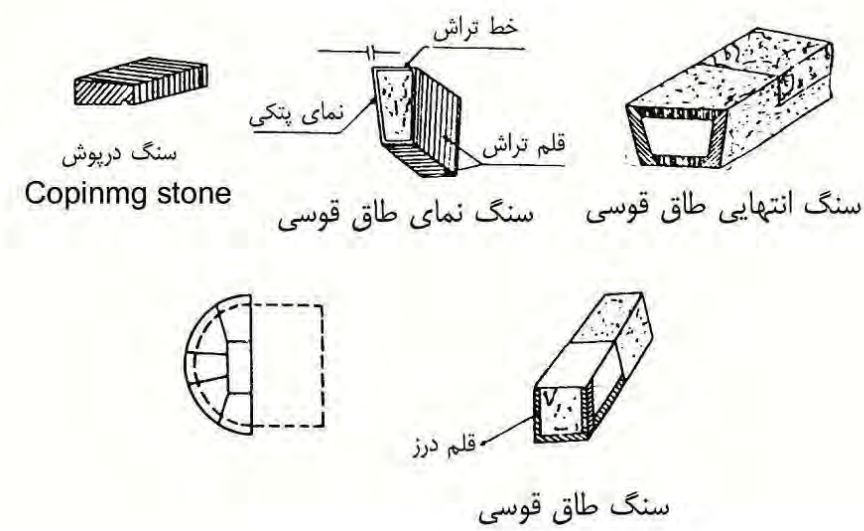
پس از گرفتن ملات آجر کاری، حداقل به مدت ۳ روز بنای ساخته شده باید مرطوب نگهداشته شود. در صورتی که درجه حرارت محل کار کمتر از ۵ درجه سانتی‌گراد باشد، اجرای عملیات بنایی با آجر مجاز نخواهد بود. در مواقعی که احتمال یخبندان می‌رود، آجرکاری مجاز نمی‌باشد. در صورت لزوم بنای تازه ساخته شده باید با پوشاندن و گرم کردن در مقابل سرما محافظت گردد.

در صورتی که سطوح آجرکاری اندود نگردد، نمای بنای آجری باید بندکشی گردد. پس از تمیز کردن درزها از گرد و غبار و ملات‌هایی که به آسانی کنده می‌شوند، ملات را با ابزار بندکشی به داخل درزها می‌کشند. ضخامت درزها معمولا ۱۰ میلی‌متر و در هر حال نباید از ۱۲ میلی‌متر تجاوز کند.

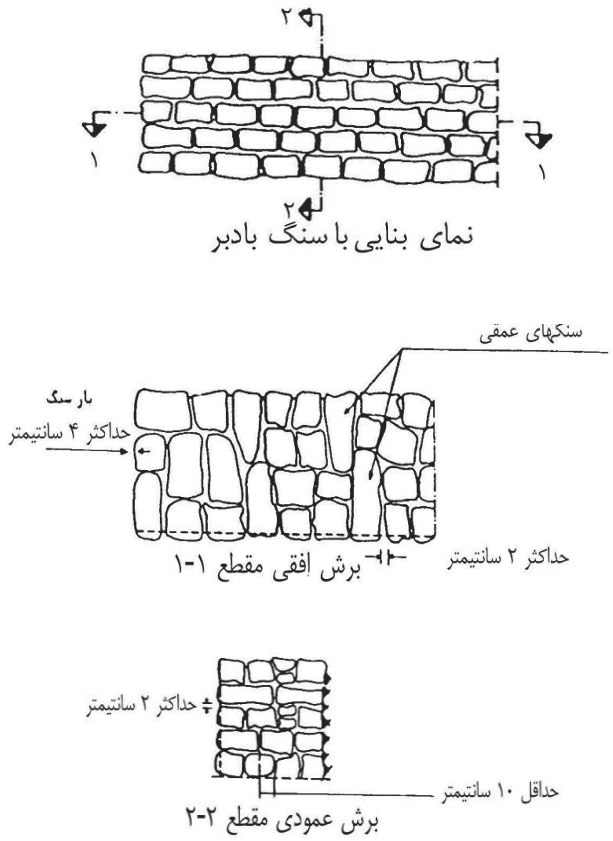
نماهای بنایی با آجر فشاری بهتر است توپر بندکشی شود. نوع ملات و همچنین نوع بندکشی، اعم از توپر، توخالی و یا برجسته، باید در دفترچه مشخصات فنی خصوصی قید گردد.



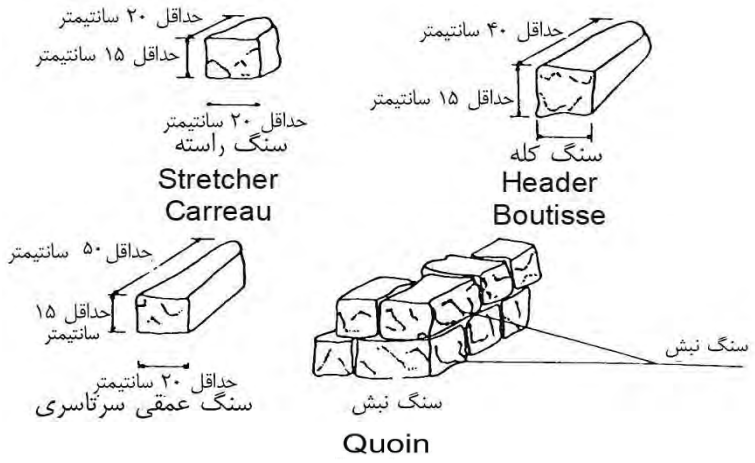
شکل ۵-۱ بنایی با سنگ قواره Uncoursed Rubble Masonry (UR) Moellon Brut



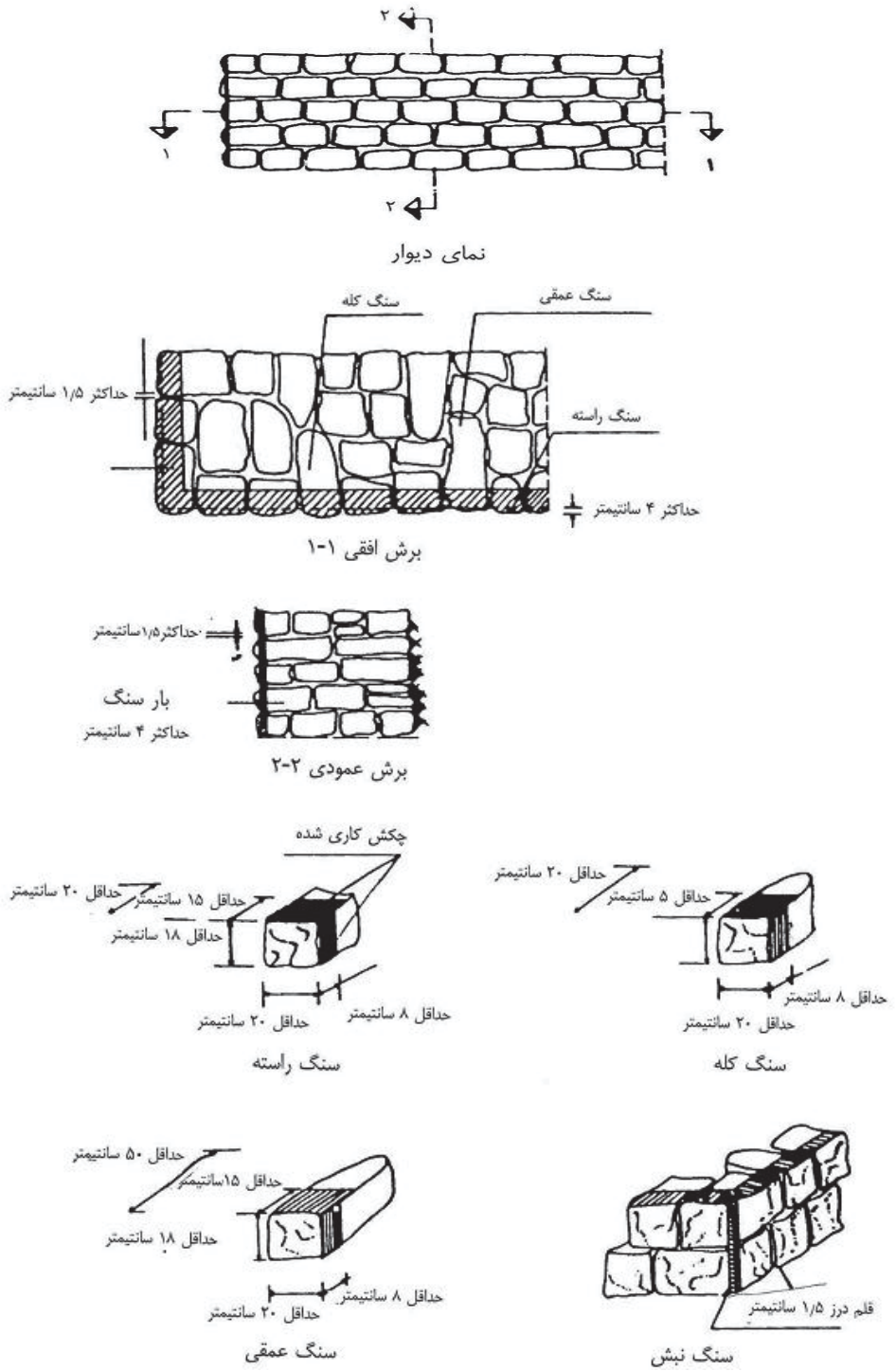
شکل ۵-۲ بنایی با سنگ تمام تراش Fine Ashlar Masonry (FA) Moellon Dappareil



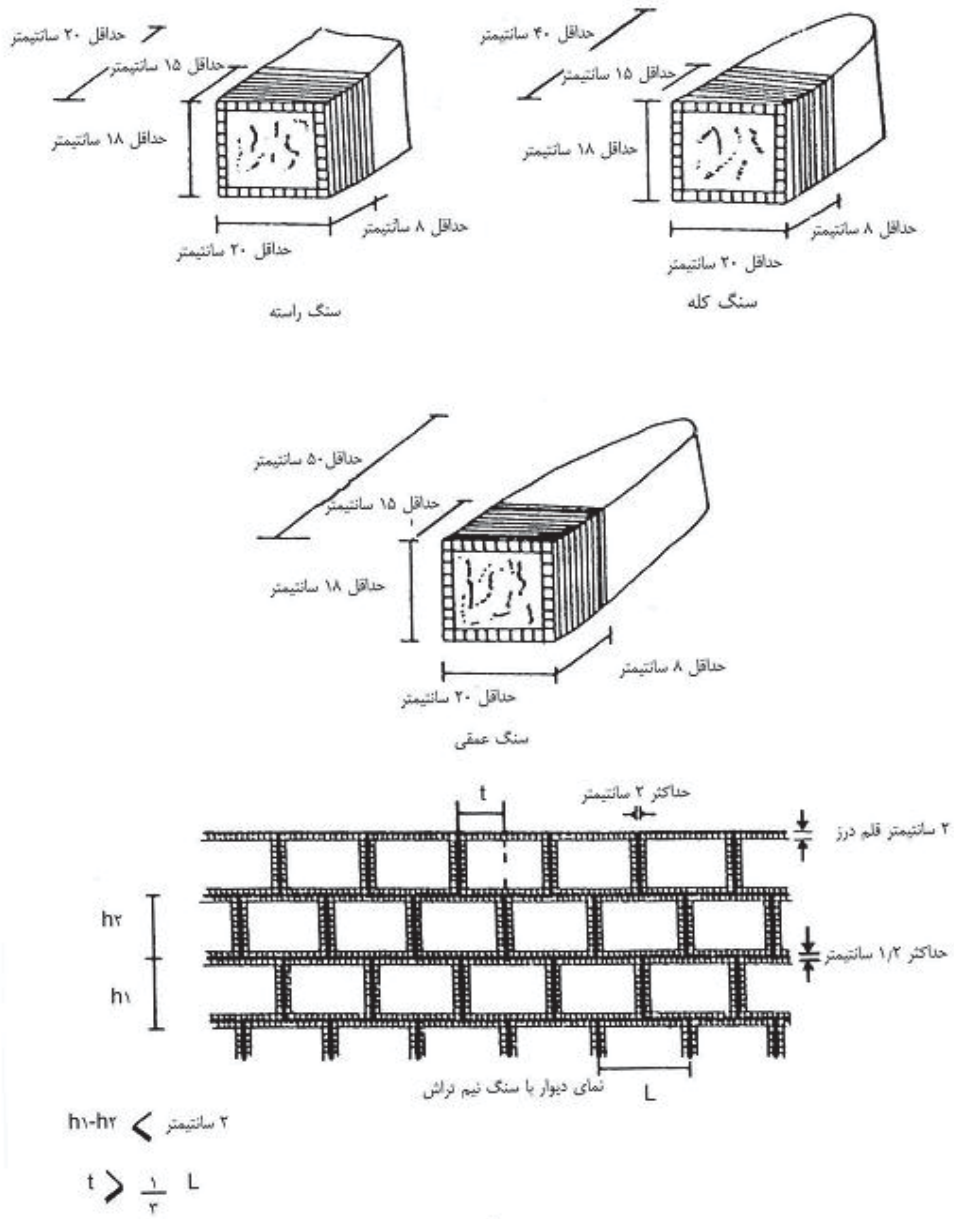
شکل ۵-۳ بنایی با سنگ بادبر Coursed Rubble Masonry



شکل ۵-٤ سنگ عمقی سرتاسری Through Stone Parpaing



شکل ۵-۵ بنایی با سنگ رگه کلنگی یا سرتراش Ashlar Block in Course Moellon



شکل ۵-٦ بنایی با سنگ نیم سرتراش Moellon Pique

۶

شمع کوبی،
شمع ریزی
و سپر کوبی

۶-۱ کلیات

با عنایت به اینکه در ضابطه شماره ۳۸۶ «مشخصات فنی عمومی اجرایی شمع (کوبشی درجاریز)» مشخصات فنی و الزامات مربوط به نحوه ساخت، حمل و نصب شمع های کوبشی فولادی، بتنی پیش ساخته، بتنی پیش‌تنیده و شمع‌های بتنی درجاریز بیان شده است، رعایت آن الزامی بوده و چنانچه تناقضی با مشخصات فنی و الزامات ارایه شده در این فصل وجود داشته باشد، مفاد ضابطه شماره ۳۸۶ لازم الاجرا است.

وقتی که زمین در اعماق معمولی نتواند بارهای وارده را تحمل نماید، از شمع استفاده می‌شود. قبل از اتخاذ تصمیم در خصوص انتخاب نوع شمع، اطلاعات کافی ژئوتکنیکی از طریق گمانه‌های آزمایشی باید تهیه شود. مؤسسات و عواملی که مسئول اجرای پی‌های شمعی هستند، باید دارای افراد متخصص و تجربه لازم مورد قبول مهندس مشاور باشند.

عملیات شمع‌سازی، شمع‌کوبی و حفاری محل شمع باید با حضور نماینده متخصص پیمانکار و مهندس مشاور انجام گیرد و برای هر شمع صورت جلسه‌ای که حاوی مشخصات کامل شمع، و در مورد حفاری حاوی اطلاعات لازم راجع به نوع خاک در لایه‌های مختلف زمین باشد، تهیه گردد. در صورتی که نوع خاک در لایه‌های مختلف در زمان حفاری، با نوع خاک نشان داده در نتایج آزمایش اولیه متفاوت باشد، باید نتایج حاصله، جهت بررسی و تجدید نظر احتمالی در طرح شمع به اطلاع مهندسان مشاور برسد.

۶-۲ انواع مختلف شمع

۶-۲-۱ قرار گرفتن شمع در زمین با جابجایی زیاد در خاک مجاور

شمع‌هایی که قرار گرفتن آن در زمین همراه با جابه‌جایی زیاد در خاک مجاور است، شامل انواع زیر می‌باشند:

الف: شمع‌چوبی

ب: شمع بتن مسلح پیش‌ساخته یا پیش‌فشرده

پ: شمع بتن مسلح ریخته شده در محل

ت: شمع لوله بتنی که با ته بسته در زمین کوبیده شده و داخل آن بعدا بتن‌ریزی شود

ث: شمع لوله فلزی که با ته بسته در زمین کوبیده شده و داخل آن بعداً بتن‌ریزی شود اعم از آنکه لوله در جا بماند یا بعداً بیرون کشیده شود

٦-۲-۲ قرار گرفتن شمع در زمین با جابجایی کم در خاک مجاور

شمع‌هایی که قرار گرفتن آن در زمین همراه با جابه‌جایی کم خاک است و از آن جمله‌اند:

الف: شمع‌های فلزی با مقطع H یا I

ب: شمع فلزی با مقطع دایره که با ته باز در زمین کوبیده شود و داخل آن بعدا خالی شده بتن‌ریزی گردد و یا اینکه اصولا بتن‌ریزی هم نشود.

٦-۲-۳ قرار گرفتن شمع در زمین بدون جابجایی در خاک مجاور

شمع‌هایی که قرار گرفتن آن‌ها در زمین همراه با جابه‌جایی خاک مجاور نیست، به قرار زیر است:

الف: انواع شمع بتن مسلح با مقطع دایره یا غیر دایره که پس از حفاری در محل بتن‌ریزی می‌شود.

ب: انواع شمع‌های فلزی با مقاطع دایره و غیر دایره که قبل از کوبیده شدن در زمین، محل قرارگرفتن آن‌ها حفاری می‌شود.

ذیلا مشخصات فنی و اجرایی که در مورد هریک از شمع‌های نامبرده باید رعایت گردد، شرح داده می‌شود:

٦-۳ شمع چوبی

شمع‌های چوبی معمولا در نقاطی که چوب مناسب، فراوان و ارزان باشد، در ساختمان‌های موقتی و یا اگر سطح فوقانی شمع چوبی در زیر تراز آب ساکن دائمی باشد، در ساختمان‌های دائمی مصرف می‌شود.

٦-۳-۱ مشخصات شمع

کلیه مشخصات شمع‌های چوبی باید با مشخصات ASTM D25 تطبیق نماید، مگر ابعاد آن‌ها که معمولا به شرح زیر می‌باشد:

طول – متر	قطر کلی شمع — سانتی‌متر	قطر قسمت انتهایی شمع — سانتی‌متر
تا ۱۲	۳۰ تا ۵۰	۲۰
۱۲ تا ۱۶/۵	۳۰ تا ۵۰	۱۸
۱۷ تا ۲۲/۵	۳۳ تا ۵۰	۱۸
۲۳ تا ۲۷/۵	۳۳ تا ۵۰	۱۵
بیشتر از ۲۷/۵	۳۳ تا ۵۰	۱۳

قطر قسمت انتهایی شمع، در فاصله یک متری از انتهای شمع اندازه‌گیری می‌شود. چنانچه به هر علت پیمانکار نتواند چوب مورد نیاز شمع‌ها را طبق مشخصاتی که در طرح تعیین شده تهیه نماید، تغییر نوع و مشخصات چوب، منوط به موافقت مهندس مشاور و کارفرما خواهد بود و در هرحال پیشنهاد پیمانکار باید با یکی از استانداردهای مورد قبول کارفرما و مهندس مشاور منطبق و مناسب طرح مورد نظر باشد.

عرض ترک، در شمع‌های چوبی خام و شمع‌های چوبی اصلاح شده نباید قبل از کوبیدن به ترتیب از ۱ سانتی‌متر و ۱/۲۵ سانتی‌متر تجاوز کند.

کجی چوب در یک قطعه ۲ متری از شمع چوبی، می‌تواند حداکثر معادل ۱٪ طول آن باشد.

٦-۳-۲ اصلاح و تقویت شمع چوبی

شمع‌های چوبی باید سالم و پوست کنده باشد. رطوبت طبیعی شمع‌های چوبی خام که به کارگاه وارد می‌شود نباید کمتر از ۱۸ درصد در عمق ۵ سانتی‌متری از سطح شمع باشد. شمع‌های چوبی باید پس از اصلاح حداکثر ظرف مدت ۶ ماه کوبیده شوند.

رطوبت طبیعی شمع‌های چوبی اصلاح شده نیز نباید کمتر از ۱۸ درصد، در عمق ۵ سانتی‌متری چوب، قبل از عملیات حفاظتی باشد.

شمع‌های چوبی باید با نوار فلزی در فاصله حداقل هر ۳ متر طول شمع، تقویت شوند. علاوه بر آن، شمع‌های چوبی با ۳ نوار فلزی دیگر که به ترتیب در فاصله ۷/۵ و ۱۵ و ۳۰ سانتی‌متری سر شمع و ۲ نوار فلزی که در فاصله ۶۰ سانتی‌متری انتهای شمع قرار می‌گیرند، تقویت شوند. نوارهای فلزی باید حداقل به عرض ۳/۲ سانتی‌متر و ضخامت ۰/۸ میلی‌متر و از فولاد سخت ساخته شوند. نوارها باید در مقابل ۲۳۰۰ کیلوگرم کشش مقاوم باشند. نوارهای فلزی باید با گیره‌های مخصوص فولادی به طول ۶ سانتی‌متر و ضخامت ۰/۹ میلی‌متر روی شمع مهار شوند. مقاومت کششی گیره‌ها باید حداقل معادل ۷۵٪ مقاومت کششی

نوارها باشد. نوارهای فلزی باید یک بار به دور شمع پیچیده و با دستگاه‌های ماشینی و یا دستی تا حد امکان کشیده و مهار شوند.

کلیه بریدگی‌ها و سوراخ‌های شمع‌های چوبی باید با دو بار اضافه کردن مواد مخصوص حفاظت چوب از قبیل کرندت، گودرون، قیر مذاب و مواد مشابه که مورد تأیید مهندس مشاور باشد، اصلاح شوند.

چنانچه شمع چوبی یکپارچه نبوده و اتصال قطعات آن به هم لازم باشد، جزئیات طرز اتصال باید طبق نقشه و یا با تصویب مهندس مشاور انجام گیرد. محل اتصال نباید در وسط طول شمع واقع شود.

از نگاهداری شمع چوبی در محل‌هایی که در معرض عوامل فساد چوب است باید جدا خودداری شود و محل انبار کردن و نگاهداری شمع‌ها باید مورد تأیید مهندس مشاور قرار گیرد.

٦-۳-۳ کوبیدن شمع چوبی

برای کوبیدن شمع چوبی، از چکش‌هایی به وزن $\frac{1}{2}$ تا یک برابر وزن شمع استفاده می‌شود. ارتفاع سقوط در موارد معمولی حداکثر معادل ۲ متر و در موارد استثنائی حداکثر معادل ۲/۵ متر خواهد بود.

از کوبیدن شمع چوبی در لایه‌های خیلی سخت و یا در اعماق خیلی زیاد که توأم با سختکوبی باشد باید احتراز نمود.

در مواردی که شمع چوبی از لایه‌های نسبتاً سخت می‌گذرد باید در نوک آن کلاهک مناسب قرار داده شود. اندازه و ابعاد این کلاهک‌ها باید طبق نقشه و با تصویب مهندس مشاور باشد.

٦-۳-٤ حفاظت سر شمع‌ها

پس از کوبیدن و قطع شمع‌ها تا ارتفاع مورد نیاز، سر کلیه آنها باید بریده و به یکی از روش‌های زیر اصلاح شود:

الف: یک لایه مواد حفاظتی چوب به سر شمع مالیده شود و سپس کلاهک حفاظتی از قشرهای قیر و گونی به آن اضافه گردد، به طوری که سه قشر قیر و دو لایه گونی به کار برده شود. گونی باید از هر طرف سر شمع معادل ۱۵ سانتی‌متر بلندتر بوده و بر روی شمع تا شود، سپس با سیم شماره ۱۰ گالوانیزه که دو بار بر روی آن پیچیده می‌شود به شمع متصل گردد. قشر نهایی قیر بعد از عمل مهار کردن گونی بر روی آن کشیده می‌شود. بنابراین پوشش قیر، بر روی سیم نیز قرار می‌گیرد.

ب: محل بریده شده سر شمع، سه بار با مخلوط گرم کروئوزوت معادل ۶۰٪ و قیر معادل ۴۰٪، پوشیده شود و یا سه بار با کروئوزوت گرم برس زده شود و با قیر پوشیده شود و سپس یک ورق گالوانیزه روی این پوشش قرار داده و اطراف آن را خم کنند تا آب به سر شمع برخورد نکند.

پیمانکار می‌تواند هر یک از دو روش فوق را جهت حفاظت سر شمع‌ها انتخاب کند، مگر آنکه در نقشه‌ها یا مشخصات فنی اختصاصی پیش‌بینی دیگری شده باشد. عملیات حفاظتی برای شمع‌هایی که در بتن قرار می‌گیرند ضروری می‌باشد.

٦-٤ شمع بتنی پیش‌ساخته

شمع‌های بتنی پیش‌ساخته در ساختمان‌های دائمی و در زمین‌هایی که کوبیدن شمع بتنی پیش‌ساخته از نظر سختی زمین میسر باشد، مورد استفاده قرار می‌گیرد.

٦-٤-١ ساختن شمع

شمع‌های بتنی پیش‌ساخته باید بر روی یک سکوی محکم و هموار ساخته شوند. بتن شمع‌های پیش‌ساخته باید در قالب‌های صاف و بدون عیب و درز ریخته شود. قالب‌ها باید به نحوی باشد که هیچ گونه نشست یا تغییرشکل در آن‌ها به وجود نیاید. بتن شمع‌ها باید صاف، بدون عیب، کرم‌خوردگی و فضای خالی باشد. ابعاد آن باید طوری باشد تا چنانچه یک خط مستقیم از نوک شمع تا انتهای آن در طول شمع کشیده شود، اختلاف فاصله این خط از لبه شمع از ۲/۵ سانتی‌متر تجاوز نکند.

مقاومت فشاری بتن شمع‌های بتنی پیش‌ساخته حداقل مساوی ۲۵۰ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع است. مهندس مشاور در موارد لازم می‌تواند استفاده از بتن‌های با مقاومت بیشتر را توصیه نماید.

حداقل ضخامت پوشش بتن روی آرماتور بر حسب میلی‌متر، در شمع بتن مسلح پیش‌ساخته طبق جدول ۶-۱ می‌باشد:

جدول ٦-١ حداقل ضخامت پوشش روی آرماتور بر حسب میلی‌متر

شرایطی که شمع در آن قرار می‌گیرد	مقاومت فشاری بتن شمع بر حسب کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع			
	۲۵۰	۳۰۰	۳۵۰	٤۰۰
شمع در زیر زمین قرارگرفته باشد	۴۰	۳۰	۲۵	۲۰
بتن شمع متناوباً تر و خشک شود	۵۰	۴۰	۳۰	۲۰
شمع در معرض آب دریا باشد	--	--	۶۰	۵۰

در زمان ساخت شمع باید دقت مخصوص به عمل آید که حداقل پوشش روی آرماتور، مطابق اندازه‌های تعیین شده در نقشه‌ها، تأمین گردد.

آرماتورهای طولی در شمع‌ها نباید از طریق روی هم قرار گرفتن به هم وصل شوند، بلکه اتصالات احتمالی باید با جوش برقی لب‌به‌لب صورت گیرد. این قبیل اتصالات باید حداقل معادل ۶۰ برابر قطر آرماتورها از هم فاصله داشته باشد، به طوری که در هر ضلع شمع و در هر مقطع عرضی آن، بیش از یک وصله وجود نداشته باشد. چنانچه امکان جوش دادن به صورت لب‌به‌لب نباشد جوشکاری باید به روش دیگری که مورد تأیید مهندس مشاور باشد انجام گیرد. کلیه جوشکاری‌ها باید با مشخصات DIN 4100 و یا آیین‌نامه‌های نظیر مطابقت کند. آرماتورهای جوش شده نباید قبل از تایید جوشکاری توسط مهندس مشاور، به کار برده شود.

شمع‌هایی که از سیمان با آلومینیوم زیاد ساخته می‌شوند نباید در ساختمان‌های دائمی مصرف شوند. احتیاط‌های لازم برای رفع چسبندگی بین شمع‌ها و سکوی بتن‌ریزی به منظور جلوگیری از فشارهای آسیب رسان در موقع بلند کردن شمع‌ها باید به عمل آید.

بتن‌ریزی هر شمع باید از سر شمع به طرف پاشنه شمع و به طور مداوم انجام گیرد. بتن شمع‌ها باید کاملاً متراکم شود. قالب اطراف شمع‌ها را می‌توان پس از ۲۴ ساعت باز کرد.

شمع‌ها باید حداقل به مدت ۷ روز، تا موقعی که بتن حداقل $\frac{۲}{۳}$ مقاومت مشخصه ۲۸ روزه را کسب نماید در روی سکوی بتن‌ریزی باقی بمانند. در صورتی که برای عمل‌آوری بتن شمع‌ها، از حمام بخار استفاده شود، با تصویب مهندس مشاور می‌توان شمع‌ها را بعد از ۲۴ ساعت از محل ساخت جابجا کرد.

عمل‌آوردن بتن شمع‌ها بر طبق مندرجات فصل بتن خواهد بود.

شمع‌های بتن مسلح پس از ساخته شدن و قبل از جابجا کردن باید به دقت شماره گذاری شده و طول و تاریخ ساخت به وضوح روی آنها نوشته شود. همچنین هر شمع باید با علامت محو نشدنی در هر یک متر فاصله در نیمه تحتانی و در هر ۲۰ سانتی‌متر در نیمه فوقانی علامت‌گذاری شود.

شمع‌ها باید طوری روی هم چیده و انبار شوند که عبور هوا از بین آنها ممکن باشد. محل انبار کردن شمع بتن مسلح باید طوری انتخاب شود که کف محل انبار مقاومت کافی داشته باشد. قرار دادن شمع‌ها روی هم بدون آنکه قطعه تخته‌ای در دو طرف شمع بین آنها قرارداده شود ممنوع است. محل مجاز برای قرار گرفتن تخته‌ها حدود محلی است که قلاب بلند کردن در آن حدود قرار داده شده است. این قطعات چوبی باید در جهت محور عمود بر کف انبار کاملا روی هم واقع باشد و خستگی اضافی در اثر انبار کردن به شمع تحمیل نشود.

در حین عمل‌آوری شمع‌ها در محوطه انبار، باید مرتبا آن‌ها را آبپاشی و مرطوب نگه داشته و با پوشاندن آن‌ها از خشک شدنشان، جلوگیری کرد. شمع‌ها نباید زودتر از ۲۸ روز از تاریخ بتن‌ریزی کوبیده شوند.

چنانچه شمع بتن مسلح پیش‌ساخته روی لایه سخت ولی شیبدار کوبیده می‌شود و یا آنکه از لایه‌ها دارای قطعات سنگ و قلوه سنگ‌های بزرگ می‌گذرد، خطر انحراف شمع در زمین و در نتیجه شکستن شمع در زیر زمین وجود دارد. برای کنترل صحت عملیات با تصویب کارفرما، در تعدادی از شمع‌های آزمایشی و تعدادی از شمع‌های کار قبل از بتن‌ریزی، لوله‌های فولادی به قطر داخلی ۴۲ میلی‌متر و ضخامت دیواره ۱/۵ میلی‌متر در مرکز و در امتداد محور طولی شمع قرار داده شود.

قبل از کوبیدن شمع، محل قرار گرفتن لوله فوق‌الذکر در یک قطعه ۵ متری از شمع بتنی، نباید بیش از ۵ میلی‌متر از خط مستقیم انحراف داشته باشد. چنانچه شمع از قطعات به هم متصل شده تشکیل می‌شود، انحراف لوله بالا در طول اتصال نباید بیش از ۱ میلی‌متر باشد.

پس از اتمام عملیات کوبیدن، یک لوله به قطر خارجی ۳۶ میلی‌متر با ضخامت بدنه ۸ میلی‌متر که طول آن ۱/۸ متر است در داخل سوراخ ۴۲ میلی‌متری فرو می‌برند. چنانچه لوله به انتهای تحتانی شمع با وزن خود فرو رود، شمع سالم است و انحراف ندارد. در غیر این صورت باید با دستگاه سنجش، میزان انحراف را اندازه‌گیری کرد تا بتوان نسبت به قبول یا رد شمع تصمیم‌گیری نمود.

٦-٤-٢ حمل و کوبیدن شمع‌ها

شمع‌ها باید هنگام حمل و نقل در نقاطی که در نقشه‌ها نشان داده شده است تکیه نمایند و هنگام جابه‌جا کردن‌ها، حمل و نقل بین سکوی بتن‌ریزی، انبار، دسته‌بندی و تجهیزات شمع‌کوبی، از یک قلاب یا وسیله مصوب دیگری استفاده شود. همچنین در موقع بلند کردن شمع‌ها در محل شمع‌کوبی، باید از نوار سیمی، قلاب یا وسیله مصوب دیگر استفاده کرد.

دستگاه‌های شمع‌کوب باید مورد تأیید مهندس مشاور باشد. دستگاه‌های شمع‌کوب باید به چکش با ظرفیت کوبندگی لازم برای شمع‌ها مجهز بوده و باید چرخ‌های کشش جداگانه برای بلند کردن چکش و شمع‌ها به طور مستقل از هم داشته باشد. حداقل وزن چکش شمع‌کوب ۱۳۶۰ کیلوگرم (۳۰۰۰ پوند) است و ارتفاع افتادن چکش باید کمتر از ۳ متر باشد. وزن چکش با نیروی وارده به شمع باید طوری باشد که شمع در هر ضربه حداقل ۳ میلی‌متر در زمین فرو رود. جرثقیلی که دستگاه شمع‌کوب روی آن نصب شده باید قادر باشد در حالی که چکش و شمع هر دو به طور معلق از آن آویزان است تغییر مکان داده و مضافا بتواند در حال آویزان بودن چکش و شمع دور خود بچرخد. شمع‌کوب باید مجهز به یک هادی محکم که به طور استوار بر جای خود تکیه کند، جهت هدایت شمع‌های عمودی و همچنین شمع‌های مورب، باشد.

وزن مناسب برای دستگاه شمع‌کوب معادل حدود وزن شمع می‌باشد و می‌تواند حداکثر تا دو برابر وزن شمع افزایش یابد. در زمین‌های سست از کوبیدن شمع با چکش‌های زیاد سبک باید خودداری شود، زیرا باعث آسیب رسیدن به شمع می‌شود و در زمین‌های سخت نیز به کار بردن چکش‌های زیاد سنگین به شمع آسیب می‌رساند.

در صورت لزوم شمع‌کوب باید قادر به کوبیدن شمع‌هایی باشد که طول آنها ۲ متر بیشتر از طول نشان داده شده در نقشه‌ها باشند.

هنگام کوبیدن شمع‌ها باید کلاهک یا هر وسیله مناسب دیگری که مورد تأیید مهندس مشاور قرار گیرد، برای نگه داشتن سر شمع در وضع صحیح و مستقیم به کار برده شود. ضربات چکش شمع‌کوب باید از طریق یک قطعه چوب که الیاف آن در موازات محور شمع باشد، منتقل شود. انواع دیگری از کلاهک شمع‌کوبی با همان قدرت و خصوصیات انتقالی قطعه چوب در صورت تأیید مهندس مشاور می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد.

شمع‌ها باید در موقع قرار گرفتن و کوبیده شدن به نحوی هدایت شوند که دقیقا شاقول و یا با زاویه مورب مقرر کوبیده شوند و از وضع صحیح شمع‌ها اطمینان حاصل گردد. شمع‌هایی که با دقت مقرر کوبیده نشده

باشند، باید بیرون کشیده شده و مجدداً کوبیده شوند و یا اینکه شمع جدیدی در مجاورت آن کوبیده شود. این گونه عملیات اضافی کلا به هزینه پیمانکار خواهد بود.

هر شمع باید حتی‌الامکان به صورت مداوم تا عمق مقرر در نقشه‌ها و یا طبق دستور مهندس مشاور کوبیده شود. چنانچه تامین ظرفیت تحمل رضایتبخش بدون ازدیاد طول شمع میسر نگردد، پیمانکار باید طبق دستورات مهندس مشاور، یا طول شمع را زیاد کند یا یک شمع اضافی با طول کافی بکوبد.

شمع‌های ناقص و آسیب دیده که نتوان تا حد مورد قبول مهندس مشاور آن‌ها را تعمیر کرد، مردود شناخته خواهند شد. شمع‌هایی که ضمن شمع‌کوبی تا حد غیر قابل تعمیر آسیب دیده باشند باید بیرون آورده و تعویض شوند.

از آب یا هوای تحت فشار برای کوبیدن شمع‌ها، تنها در صورت تصویب مهندس مشاور می‌توان استفاده کرد. پیمانکار موظف است در هنگام اجرای کار و برای پیش‌گیری از خطرات، کلیه پیش‌بینی‌های لازم را بنماید.

پیمانکار باید اطلاعات لازم را در مورد شمع‌کوب‌ها و چکش‌هایی که به کار خواهد برد ارایه دهد و همچنین نقشه‌های تفصیلی دایر بر ترتیب شمع‌کوبی، وضع کلاهک شمع و روش جابه‌جایی و حمل و نقل شمع‌ها را جهت تصویب، تحویل مهندس مشاور نماید.

هنگام یا پس از کوبیدن شمع‌ها، باید دقت زیادی شود تا در آن‌ها خستگی خمشی ایجاد نشود.

پیمانکار باید برای قرار دادن صحیح شمع‌ها روش مناسبی اتخاذ و اجرا نماید. جزئیات این روش همراه با برنامه پیمانکار برای ترتیبی که یک یک شمع‌ها کوبیده خواهند شد باید جهت تصویب تحویل مهندس مشاور گردد.

چنانچه کوبیدن شمع‌ها باعث جابه‌جایی و تورم زیاد خاک و احیانا وارد آوردن خسارت به ساختمان‌های مجاور باشد، باید فورا با اطلاع کارفرما عملیات را متوقف کرده و در صورت لزوم و تصویب مهندس مشاور، پیش‌حفاری کرد.

در بعضی مواقع کوبیدن یک شمع ممکن است باعث بالا آمدن یک یا یک گروه از شمع‌های مجاور که قبلاً کوبیده شده‌اند گردد. این احتمال در مورد شمع چوبی بیشتر است. با اتخاذ تدابیر مناسب از جمله پیش‌حفاری از وقوع چنین اتفاقی باید جلوگیری نمود.

پیمانکار باید برای هر شمع شناسنامه‌ای دایر بر تاریخ شمع‌کوبی، شماره شمع، محل شمع، طول کل شمع، میزان نفوذ در زیر وزن چکش، طول کلی عمق نفوذ، سطح نهایی پنجه و نوع و اندازه چکش شمع‌کوب مورد استفاده، تهیه نماید. علاوه بر آن مقدار نفوذ هر شمع طبق دستور مهندس مشاور باید درج شود و تعداد ضربات حداقل در ۳ مرحله ۲۰ سانتی‌متری آخر باید ثبت شود.

٦-٤-٣ ارزش باربری و نفوذ[1]

شمع‌های کوبیدنی (به جز آن دسته از شمع‌هایی که تحت آزمایش بارگذاری قرار می‌گیرند) باید تا رسیدن به میزان باربری معینی که در نقشه‌ها یا مشخصات فنی خصوصی ارایه شده است، کوبیده شوند. همچنین این شمع‌ها باید حداقل تا ۳٫۶ متر (۱۲ فوت) در داخل زمین طبیعی نفوذ کنند و در صورتی که برای نوک شمع تراز معینی تعیین شده باشد، باید حداقل به آن تراز برسند مگر آنکه مهندس مشاور دستورکار دیگری در این مورد ابلاغ نماید. شمع‌هایی که تحت آزمایش بارگذاری قرار می‌گیرند باید تا تراز تعیین شده کوبیده شوند.

سطح زمین طبیعی در مناطقی که خاکریزی شده است عبارت است از سطح زیر خاکریزی یا سطح زیر سر شمع، هرکدام که پایین‌تر است. در صورتی که بار طراحی شمع در نقشه‌ها یا مشخصات فنی خصوصی ارایه نشده باشد، باید شمع‌ها را تا رسیدن به میزان باربری برابر ۴۵ تن کوبید.

میزان باربری شمع‌های کوبیدنی از روابط زیر تعیین می‌شود:

۱- برای شمع‌هایی که با سقوط چکش کوبیده می‌شوند.

$$P = \frac{ZWL}{S+1}$$

۲- برای شمع‌هایی که با چکش تکی یا دوتایی یا چکش‌های دیزلی کوبیده می‌شوند.

$$P = \frac{ZE}{S+0.1}$$

که در آنها:

P = بار ایمنی با ضریب اطمینان کافی بر حسب پوند.

W = وزن چکش بر حسب پوند

L = ارتفاع سقوط چکش بر حسب فوت

1. Bearing Value and Penetration

S = میزان نفوذ در هر ضربه بر حسب اینچ که از میانگین مقادیر چند ضربه آخر به دست می‌آید. میزان نفوذ باید در شرایطی که چکش برجهندگی[1] قابل توجهی نداشته باشد و ضربه آخر بر روی یک شمع با سر سالم و یا روی بلوک مخصوص کوبیدن[2] وارد می‌شود، اندازه‌گیری شود.

E = میزان انرژی حاصل از چکش که بر حسب فوت – پوند می‌باشد و توسط سازنده ارایه می‌شود.

٦-٤-٤ بریدن سر شمع

آرماتورهای موجود در شمع‌ها باید طبق اندازه‌هایی که در نقشه‌ها نشان داده شده در بتن قرار گیرد. آرماتورهای سر شمع‌ها باید با ابزارآلات دستی یا مکانیکی بریده شود. تخریب سر شمع‌ها جز با تصویب مهندس مشاور مجاز نخواهد بود. سر شمع‌ها باید در ارتفاعی بین کف ابنیه فوقانی و پایین‌ترین لایه آرماتور فولادی آن ابنیه قطع شود. هرگاه بتن سر شمع‌ها تا میزانی پایین‌تر از ارتفاع فوق آسیب ببیند، پیمانکار باید به هزینه خود سر شمع را مرمت نماید. مهندس مشاور ممکن است در چنین مواردی برای پوشش آرماتورها ضخامت تعیین نماید.

٦-٤-٥ تطویل شمع

در صورتی که طول یک قطعه شمع بتنی برای تحمل بارهای در نظر گرفته شده کافی نبوده و احتیاج به تطویل داشته باشد، معمولا یکی از روش‌های زیر باید انجام گیرد:

الف: تطویل شمع به روش بتن‌ریزی درمحل

در این صورت میلگردهای موجود در سرشمع‌ها باید تقریبا در طولی معادل ۵۰ برابر قطر میلگردها لخت شوند. آرماتورهای جدید به مقدار و طول تعیین شده توسط مهندس مشاور اضافه گردد و میلگردها باید حداقل در طولی معادل ۴۵ برابر حداکثر قطر میلگردها روی هم قرار بگیرند و یا در صورت تصویب مهندس مشاور در تمام طول با آرماتورهای بیرون آمده جوش شوند.

قالب‌بندی باید با دقت زیاد انجام گیرد تا طول اضافی شمع در امتداد مستقیم شمعی که قبلا کوبیده شده است قرار گیرد. بتن مصرفی باید از نوعی باشد که برای شمع‌های بتن مسلح تعیین شده است و از طریق لرزاندن متراکم و یکپارچه گردد. قسمت فوقانی شمع باید طبق نقشه‌های تفصیلی ساخته شود.

---

1. Rebound
2. Driving Block

قسمت تطویلی باید مرتباً در حین عمل آمدن بتن، پوشیده و مرطوب نگه داشته شود. کوبیدن مجدد شمع نباید قبل از ۲۸ روز پس از بتن‌ریزی انجام شود.

جهت تطویل شمع‌ها، با تصویب مهندس مشاور می‌توان از سیمان زودگیر استفاده نمود. چنانچه شمع بعد از تطویل کوبیده نمی‌شود، سر شمع باید با مقدار لازم آرماتورهایی که از بتن سر شمع خارج می‌شوند، ریخته شود.

ب: به کاربردن اتصالات مخصوص

طول شمع بتنی را می‌توان با تعبیه اتصالات مخصوصی که به صورت نر و ماده در دو سر شمع قرار گرفته و سر یک قطعه شمع را به قطعه دیگر متصل می‌نماید زیاد کرد. در چنین حالتی اتصالات مصرف شده باید مورد تصویب مهندس مشاور باشد.

مقاومت اتصالات در برابر کشش، خمش و فشار، حداقل باید برابر مقاومت مقطع بتنی شمع باشد.

در صورتی که وضع شمع طوری است که اتصالات در خارج از زمین واقع می‌شود، به منظور جلوگیری از زنگ‌زدگی باید روی اتصالات با رنگ مورد تصویب مهندس مشاور پوشانیده شود.

٦-٤-٦ بارگذاری شمع‌ها

پیمانکار موظف است درصورت لزوم و تشخیص مهندس مشاور، کلیه وسایل لازم جهت بارگذاری شمع‌ها را فراهم کرده و آن‌ها را طبق نظر مهندس مشاور آزمایش نماید.

٦-٥ شمع فلزی

در مواردی که طول شمع و یا سختی زمین به کار بردن شمع فلزی را از نظر فنی و اقتصادی توجیه نماید، از شمع فلزی استفاده می‌شود.

٦-٥-١ کلیات

شمع فلزی باید بر اساس مقاطع نشان داده شده در نقشه‌ها تهیه شود. این نوع شمع می‌تواند به صورت مقاطع H یا لوله یا قوطی یا مقاطع مرکب که از جوش کردن ورق‌ها و یا سپرهای فلزی حاصل می‌شود باشد. باید دقت شود که شمع فلزی مخصوصا با مقطع H هنگام عبور از لایه‌های سخت یا نسبتا سخت، کج یا منحنی نگردد.

چنانچه شعاع انحنای شمع H بعد از کوبیدن کمتر از ۳۶۶ متر باشد، آن شمع قابل بارگذاری نیست. برای اندازه‌گیری شعاع انحنای شمع H، یک نبشی در گوشه یا یک ناودانی در میان شمع، با انتهای بسته، جوش می‌نمایند و از داخل این قسمت می‌توان ابزار اندازه‌گیری انحراف را پایین داد و میزان انحراف شمع را اندازه گرفت. نوع فولاد شمع‌های فلزی باید مطابق مشخصات ASTM A36 یا مراجع مشابه که مورد تأیید مهندس مشاور است باشد.

در مورد شمع‌های فلزی خطر زنگ زدن مطرح است، بنابراین در محل‌هایی که خطر زنگ زدن شمع‌ها موجود است باید آنها را حفاظت نمود.

٦-٥-٢ اتصالات

شمع‌های فلزی از قطعات با مقطع مساوی تشکیل یافته و اتصال این قطعات می‌تواند قبل ازکوبیدن شمع و یا در حین کار انجام گیرد. سطوحی که به هم جوش می‌شوند باید صاف، یکنواخت، تمیز و بدون چربی باشند. قطعاتی که به هم جوش می‌شوند باید تا پایان عمل جوشکاری به وسیله پیچ، گیره و یا خال جوش به یکدیگر مهار شوند.

جوش‌های انجام شده که به وسیله جوشکاران ماهر و با تجربه انجام خواهد گرفت، باید در بررسی عینی، سالم، بدون ترک و به هم پیوسته باشند. همچنین جوش‌ها باید طبق نقشه و مشخصات بوده و در داخل آن‌ها فضای خالی وجود نداشته باشد.

٦-٦ شمع بتنی ریخته در محل

در مواردی که نوع زمین از قبیل آسان بودن حفاری، ایستا بودن نسبی دیواره محل حفاری شده و یا لزوم استفاده از قطرهای زیاد به کار بردن انواعی از شمع بتنی ریخته در محل را ایجاب نماید، از این نوع شمع استفاده می‌شود.

٦-٦-١ انواع مختلف

شمع بتنی ریخته در محل شامل یکی از انواع زیر است.

الف: حفاری که محل آن با بتن پر شود.

ب: لوله فولادی یا بتنی که تا عمق مطلوب کوبیده شده و سپس داخل لوله با بتن پر شود.

٦-٦-٢ حفاری

حفاری شمع‌های ریخته در محل، با دستگاه‌های مخصوص و به قطرهای مختلف انجام می‌گیرد، در صورتی که امکان ریزش دیواره‌های محل حفاری شده شمع، در اثر فشار خاک و یا آب وجود داشته باشد، باید با تصویب مهندس مشاور، به یکی از روش‌های زیر از ریزش جداره جلوگیری کرد:

الف: به کار بردن مخلوط آب و بنتونیت یا مواد مشابه.

ب: به کار بردن لوله فلزی در سرتاسر چاه.

پ: به کار بردن لوله فلزی در قسمت‌های اولیه چاه و مخلوط آب و بنتونیت و یا مواد مشابه، در سایر قسمت‌ها.

ت: به کار بردن لوله بتنی که در محل باقی می‌ماند.

در مواقعی که برای نگاهداری جداره چاه حفاری از بنتونیت یا مواد مشابه استفاده می‌شود، میزان مصرف و غلظت بنتونیت بر حسب جنس آن و وضعیت زمین می‌باشد. معمولاً این مقدار برابر ۷۰ تا ۱۰۰ گرم بنتونیت در یک لیتر آب است. محلول بنتونیت باید در حوضچه‌های مخصوص قبلا آماده شود. برای جلوگیری از تشکیل کلوخه باید پودر بنتونیت به آب افزوده و مرتب به هم زده شود. آماده مصرف شدن محلول بنتونیت نیاز به زمان دارد که با گرم کردن آب زمان آن کوتاه می‌گردد. بنتونیت مصرف شده را می‌توان به حوضچه مخصوص وارد و پس از صاف شدن مجددا مصرف نمود.

تحت هیچ شرایطی نباید مواد اضافی دیگر مانند خاک رس و غیره به داخل چاه حفاری شده ریخته شود. استفاده از سیمان و دیگر مواد مشابه در صورت تأیید مهندس مشاور برای حالت‌های خاص اجرایی بلامانع است.

در صورتی که امکان ریزش دیواره‌های محل حفاری شمع در اثر فشار خاک و یا جریان شدید آب در قسمتی و یا تمام چاه وجود داشته باشد می‌توان با توجه به جنس جداره چاه حفاری و با تصویب مهندس مشاور، در قسمت‌های اولیه و یا تمام طول چاه حفاری، از لوله فلزی استفاده کرد. در پایان حفاری و قبل از بتن‌ریزی، باید کلیه مواد موجود در محل حفاری شده شمع، بیرون آورده شود. مواد حاصله از حفاری، باید طبق نظر مهندس مشاور به خارج از محل کار حمل، انبار و تسطیح شوند.

حفاری شمع‌های بتنی، باید تا عمق نشان داده شده در نقشه‌ها و یا طبق نظر مهندس مشاور انجام گیرد و کلیه مواد حاصله از حفاری که نشان دهنده نوع خاک لایه‌های مختلف می‌باشد، جهت بررسی مهندس مشاور و مقایسه آنها با نتایج آزمایش‌های اولیه، به وسیله پیمانکار جمع‌آوری گردد.

با توجه به فصول مختلف سال و یا جنس بستر رودخانه و موقعیت آن ممکن است برای حفاری محل شمع، احتیاج به ایجاد سکوی حفاری باشد که در این صورت طبق دستور کتبی مهندس مشاور باید پیمانکار نسبت به ایجاد آن اقدام کند. در عملیات حفاری محل شمع، زمین‌های سنگی به زمین‌هایی اطلاق می‌گردد که حفاری در آنها طبق تشخیص مهندس مشاور، بدون استفاده از ترپان یا وسایل مشابه، میسر نباشد. استفاده از ترپان به هیچ وجه نباید موجب ریزش و یا عدم پیوستگی خاک جداره چاه گردد. پس از حفاری، بتن‌ریزی باید بلافاصله شروع گردد.

٦-٦-٣ بتن‌ریزی شمع

بتن‌ریزی در محل حفاری شده شمع، با لوله مخصوص (ترمی) انجام می‌گیرد و باید به صورتی باشد که بتن، حفره‌های جداره و انبار انتهای شمع را کاملاً پر نماید. به این منظور در مدتی که بتن‌ریزی ادامه دارد، باید توجه کرد که انتهای آن همیشه تا ۲ متر در بتن باشد.

چنانچه جریان بتن در شمع، کوتاه کردن طول لوله ترمی را ایجاب نماید، باید به طوری کوتاه شود که انتهای آن همواره در بتن باقی بماند. در صورت استفاده از لوله فلزی جهت حفاری و در حالتی که مقرر است لوله فلزی بیرون کشیده شود، این لوله باید بلافاصله بعد از اتمام بتن‌ریزی و قبل از گیرش بتن بیرون کشیده شود. بتن شمع‌های ریخته در محل باید از نوع بتن ۴۰۰ کیلوگرم سیمان باشد و با سیمان پرتلند ساخته شود مگر آنکه نوع دیگری از بتن در نقشه‌ها و یا در دفترچه مشخصات فنی خصوصی ذکر شده باشد.

بتن مصرف شده در شمع باید حدود ۱۵۰ میلی‌متر روانی[1] داشته باشد. میزان روانی بتن شمع باید در نقشه‌ها و مشخصات فنی خصوصی قید شود. با تصویب مهندس مشاور می‌توان از مواد روان کننده در بتن استفاده نمود. بتن شمع احتیاج به ویبره کردن ندارد.

در مواردی که قطر شمع زیاد بوده و مدت بتن‌ریزی به علت زیاد بودن حجم بتن طولانی می‌شود، می‌توان در صورت تصویب مهندس مشاور از مواد کندگیر کننده استفاده نمود، به شرطی که این نوع مواد، مقاومت بتن

1. Slump

را تقلیل ندهد. بتن‌ریزی شمع باید به صورت پیوسته انجام گیرد، لذا باید یک دستگاه بتونیر اضافی در کارگاه آماده باشد تا در صورت لزوم بلافاصله برای ادامه کار مورد استفاده قرار گیرد.

زمان خاتمه حفاری تا شروع بتن‌ریزی، نباید بیش از ۶ ساعت به طول انجامد. در صورتی که این مدت به دلایل غیر قابل پیش‌بینی بیشتر شد، رسوب مواد معلق و یا ریزش جداره، ممکن است موادی را در ته چاه جمع نماید که باید قبل از شروع بتن‌ریزی با وسایل مناسب تمیز گردند. آب‌های سطحی نباید به محل حفاری راه یابد.

بتن‌ریزی باید تا بالاتر از سطح نهایی بتن شمع ادامه یابد. ارتفاع بتن‌ریزی اضافی، در صورتی که بتن‌ریزی در زیر سطح آب انجام شود، معادل ۱/۵ متر تا ۳ متر و در صورتی که بتن‌ریزی در محل خشک انجام شود، معادل ۷/۵ سانتی‌متر تا ۳۰ سانتی‌متر خواهد بود. ارتفاع بتن‌ریزی اضافی باید در نقشه‌ها و مشخصات فنی خصوصی تعیین گردد.

ارتفاع بتن‌ریزی اضافی، با توجه به موقعیت محل و در صورتی که در نقشه‌های مصوب مشخص نشده باشد، از سوی مهندس مشاور تعیین و ابلاغ خواهد شد.

پس از اتمام عملیات بتن‌ریزی شمع، روی شمع‌ها باید برای مدت ۷ روز، خیس نگهداری شود و سپس سر کلیه شمع‌ها به اندازه مورد لزوم بریده شود و برای ساختمان پایه‌ها آماده گردد. تحت هیچ شرایطی نباید بتن اضافی روی شمع قبل از ۷ روز بریده شود.

٦-٦-٤ مشخصات لوله‌های فولادی

لوله‌های فولادی باید دارای مقاومت لازم و مطابق ASTM A36 باشند، به طوری که قبل از پر شدن با بتن در اثر فشار خاک و یا کوبیدن شمع‌های مجاور تغییری در شکل آنها پدید نیاید. این لوله‌ها باید آب‌بند باشند، تا قبل از بتن‌ریزی آب به داخل شمع‌ها نفوذ ننماید.

لوله‌ها ممکن است استوانه‌ای شکل و یا دارای مقطع دایره کوچک در نوک و مقطع دایره بزرگتر در انتها[1] باشند.

1. Tapered

لوله‌هایی که بدون میله وسط[1] کوبیده می‌شوند و ضربه مستقیماً به لوله وارد می‌شود، باید به نوک‌های مقاوم فولادی برای کوبیدن مجهز باشند و تمام اتصالات لوله فولادی باید به صورت یکسره طبق معیارهای D 1.1 از AWS جوش شود تا مقاومت کامل در مقطع آن حفظ گردد.

٦-٦-٥ شرایط کوبیدن لوله‌های فولادی

پس از کوبیدن لوله‌ها و قبل از جاگذاری و ریختن بتن، لوله فولادی باید مورد بررسی قرار گیرد تا اطمینان حاصل شود که شکسته نشده و یا از قطر آن در هیچ نقطه از طول کاسته نشده باشد.

لوله‌ای که بر اساس نقشه کوبیده نشده و یا شکسته شده، و یا قسمتی از آن تضعیف شده باشد، به طوری که نتواند بار مجاز را منتقل نماید، مورد قبول قرار نخواهد بود. این گونه لوله‌ها باید از زمین بیرون آورده شده و لوله جدیدی جایگزین آن گردد و یا لوله جدیدی در کنار آن کوبیده شود. لوله‌هایی که از طرف مهندس مشاور رد شود ولی امکان بیرون آوردن آن موجود نباشد باید به هزینه پیمانکار با بتن مگر (C16)، پر شود و سپس لوله جدیدی در مجاورت آن کوبیده شود. در این صورت هزینه ازدیاد ابعاد پی که از طرف مهندس مشاور به پیمانکار ابلاغ می‌گردد، به عهده پیمانکار خواهد بود.

داخل لوله‌های کوبیده شده باید قبل از جاگذاری آرماتور و بتن‌ریزی از مواد خاکی تمیز گردند.

٦-٦-٦ آرماتور

آرماتورهای شمع باید قبلا تهیه و بسته شده باشد و پس از بازدید و تأیید مهندس مشاور و قبل از شروع بتن‌ریزی، در داخل محل حفاری شده جاگذاری و از بالا مهار شود، به طوری که فاصله آن از دیواره چاه حفظ شود. این آرماتورها بعدا طبق نقشه به آرماتورهای سر شمع متصل خواهند شد.

٦-٦-٧ بارگذاری شمع‌ها

پیمانکار موظف است در صورت لزوم و تشخیص مهندس مشاور، کلیه وسایل لازم جهت بارگذاری شمع‌ها را فراهم کرده و آن‌ها را طبق نظر مهندس مشاور آزمایش نماید.

---

1. Mandrel

٦-۷ شمع‌های آزمایشی و آزمایش‌های بارگذاری

شمع‌های آزمایشی باید در نقاطی که در نقشه‌ها نشان داده شده یا توسط مهندس مشاور تعیین می‌شود، کوبیده شوند.

شمع‌های آزمایشی باید به همان ترتیب شمع‌های دائمی اطراف کوبیده شوند و یک پرونده جامعی در این خصوص، طبق نظر مهندس مشاور تهیه شود.

پیمانکار باید قبل از شروع عملیات شمع‌کوبی آزمایشی، نقشه‌های جزئیات، شرح و محاسبات و نحوه ترتیب آزمایش بارگذاری را جهت تصویب به مهندس مشاور ارایه دهد.

بار باید تدریجا با جک‌های هیدرولیک مجهز به فشارسنج که بار را بر حسب تن نشان می‌دهد، به شمع آزمایشی وارد گردد. یک نمودار منحنی تنظیم جهت فشارسنج مورد استفاده باید به مهندس مشاور تسلیم گردد. میزان نشست شمع آزمایشی در زیر بار باید با دو دستگاه میکرومتر با دقت اندازه‌گیری ۰/۰۱ میلی‌متر و برد حداقل ۳ سانتی‌متر اندازه‌گیری شود. میکرومترها باید روی یک پل اندازه‌گیری ثابت به نحوی نصب شوند که هیچ گونه انقباض، سنگینی یا مسائل دیگری روی قرائت‌ها تأثیر نگذارد. مجموعه کامل آزمایشی باید در مقابل باران و تابش آفتاب پوشیده شود.

آزمایش بارگذاری باید حداقل سه هفته بعد یا طبق دستور مهندس مشاور بعد از کوبیدن کامل شمع آزمایشی و استقرار سربار مناسب شمع‌های مهاری، انجام شود. آزمایش مورد نظر باید در مراحل بارگذاری متوالی هریک به مدت ۱۵ دقیقه و با افزایش ۵ تن بار یا طبق نظر مهندس مشاور انجام شود. در هر مرحله بارگذاری، فشار جک‌ها باید ثابت نگهداری شود و میزان نشست‌ها بعد از ۲، ۴، ۸ و ۱۵ دقیقه قرائت گردد. پس از رسیدن به حداکثر بار آزمایشی تعیین شده توسط مهندس مشاور، یا گسیختگی زمین، یعنی زمانی که بار فقط با پمپ کردن یکنواخت و ثابت قابل نگهداری می‌باشد، پمپ‌کردن باید متوقف شود. مقدار نشست‌های کلی، بار و سایر اطلاعات مربوطه باید بلافاصله بعد از قطع پمپ کردن و مجددا در فواصل زمانی فوق‌الذکر مجموعا به مدت ۱۵ دقیقه ثبت گردد. سپس کلیه بارها تدریجا برداشته شود و قطعه مورد نظر به حال خود گذارده شود. نشست‌های کلی باید بلافاصله پس از برداشتن کلیه بارها در فواصل ۰/۵، ۱، ۲، ۴، ۸، ۱۵ و ۳۰ دقیقه و یا بعد از آن در هر ۳۰ دقیقه ثبت شود. جهش نهایی نشست، ۲۴ ساعت بعد از برداشت بار باید ثبت شود.

در طی تمام مدت آزمایش بارگذاری، باید گزارش زمانی آزمایش ثبت شده و یک نسخه از آن بلافاصله بعد از تکمیل آزمایش به مهندس مشاور ارایه شود. این گزارش باید شامل مقدار بارگذاری، قرائت‌های فشارسنج و قرائت‌های میکرومترها برای زمان سپری شده از لحظه بارگذاری، تاریخ و ساعت شروع و تکمیل آزمایش، زمان‌های وقفه پیش‌بینی نشده و غیره باشد. همچنین باید یک نمودار که نشان دهنده نشست‌های نهایی بر حسب میلی‌متر برای هر مرحله بارگذاری بر حسب تن می‌باشد به گزارش فوق ضمیمه شود. بارگذاری آزمایشی باید فقط در شرایطی که هوا آرام است انجام گیرد.

تفسیر نتایج آزمایش و تعیین ضوابط شمع‌کوبی، توسط مهندس مشاور تعیین خواهد شد.

٦-٨ مشخصات و آزمایش‌ها

٦-٨-١ مشخصات بتن، قالب، آرماتور و لوله‌های فولادی

مشخصات بتن، قالب، آرماتور و لوله‌های فولادی مصرف شده در انواع مختلف شمع‌ها باید با مشخصات مربوطه، مندرج در سایر فصول مشخصات فنی و عمومی مطابقت داشته باشد.

٦-٨-٢ آزمایش‌های مصالح مصرفی

آزمایش‌های مصالح مصرف شده در انواع مختلف شمع‌ها بر اساس آزمایش‌های مربوطه که در سایر فصول مشخصات فنی عمومی مندرج است انجام می‌گیرد.

٦-٩ سپرها و مهارها

٦-٩-١ مقدمه

سپرها اجزاء ساختمانی هستند که باید هر قسمت از آن به تنهایی قادر باشد نیروهای وارده به آن قسمت را که شامل رانش خاک و فشار آب است، تحمل نماید و در موارد استثنائی حتی نیروهای قائم را هم باید بتوانند به زمین منتقل کنند.

موارد مصرف عمده سپرها عبارتند از:

٦-۹-۱-۱ حفاظت گودبرداری‌ها

برای حفاظت در مورد گودبرداری‌ها با دیواره قائم جهت جلوگیری از ریزش خاک و ورود آب به داخل گودال و همچنین جهت حفاظت خاکریزهای با دیواره قائم (سدهای انحرافی) و بالاخره در مورد پی‌سازی با هوای متراکم و غیره.

٦-۹-۱-۲ قسمتی از ساختمان

به صورت قسمتی از ساختمان که در زمین باقی می‌ماند جهت تحمل رانش خاک و فشار آب و یا جلوگیری از شسته شدن زیر پی‌ها و غیره.

مصالح ساختمانی سپرها عبارتند از فولاد، بتن فولادی، بتن پیش‌تنیده و چوب.

٦-۹-۲ سپرهای چوبی

سپرهای چوبی باید در زمین‌هایی به کار برده شود که کوبیدن آنها در اثر تراکم و سختی زمین به مشکلی برخورد ننماید. در صورتی که سپر برای مدت طولانی و یا برای همیشه در زمین باقی بماند باید خطر فاسد شدن چوب، و همچنین آفات چوب در زمین، موجود نباشد. عرض سپرهای چوبی معمولا حدود ۲۵ سانتی‌متر و طول آنها حداکثر ۱۵ متر است.

ضخامت سپرها را می‌توان از روی فرمول تجربی زیر به دست آورد:

$$d = 2L$$

که در آن d بر حسب سانتی‌متر و L طول سپر بر حسب متر است.

مثلا برای طول سپر برابر ۱۰ متر، ضخامت آن برابر با ۲۰=۱۰×۲ سانتی‌متر است. در صورتی که در پشت سپرها آب موجود باشد باید برای جلوگیری از خروج آب و ورود آب به داخل گودال سپرها را به صورت نر و ماده به هم وصل کرد.

لبه پایین سپر باید هر قدر زمین سست‌تر باشد تیزتر انتخاب شود. در صورتی که زمین خیلی سخت باشد باید لبه پایین سپر با یک ورقه فلزی به ضخامت حدود ۳ میلی‌متر حفاظت شود. سر سپرها با یک حلقه از ورقه فلزی به ضخامت ۲ سانتی‌متر و به ارتفاع حدود ۱۰ سانتی‌متر باید حفاظت شود که در موقع کوبیدن از شکاف خوردن جلوگیری شود. در صورتی که آب موجود نباشد و سپر فقط برای جلوگیری از ریزش خاک باشد می‌توان سپرها را بدون نر و ماده در کنار یکدیگر در زمین کوبید و به تدریج با فرو رفتن سپرها گودبرداری

نمود. سپرها به قاب‌های افقی کمربندی که از داخل نیز با تعداد لازم تیر افقی تقویت می‌شوند، تکیه می‌کنند و تیرهای افقی کمربندی هم با پشت‌بندها به یکدیگر و یا به زمین تکیه می‌کنند. سپرها و تیرهای کمربندی و پشت‌بندها باید برای رانش خاک و فشار آب و احیانا نیروی قائم وارده محاسبه شوند.

٦-٩-٣ سپرهای فلزی

سپرهای فلزی از مهمترین نوع سپرها بوده و بیش از انواع سپرهای دیگر مصرف می‌شود که در تمام موارد می‌توان به کار برد به استثنای مواقعی که مواد مضره برای فولاد در خاک و یا آب محل سپرکوبی موجود باشد. در صورتی که عمق گودبرداری زیاد نباشد و ضمناً خطر ورود آب به داخل محل گودبرداری هم موجود نباشد می‌توان سپرهای فلزی را بدون قفل (نر و ماده) به کار برد.

در صورتی که در پشت سپر فشار آب موجود باشد باید سپرها را با قفل (نر و ماده) به کار برد.

در مواردی که عمق گودبرداری زیاد نباشد و در نتیجه سپر بتواند به تنهایی فشار خاک و آب را تحمل کند می‌توان سپر را بدون تکیه‌گاه در زمین کوبید. در کلیه موارد دیگر باید سپرها را به تیرهای کمربندی تکیه داد که این تیرهای کمربندی هم به نوبه خود بار وارده را با پشت‌بندها به زمین و یا به سمت مقابل منتقل می‌نمایند. این پشت‌بندها را بر حسب مقدار نیروی وارده از چوب و یا فلز می‌توان انتخاب کرد. سپر و این تیرها باید برای رانش خاک و فشار آب و احیاناً نیروهای قائم وارده محاسبه شوند.

در صورتی که پشت‌بندها در داخل محل گودبرداری مزاحم و مانع عملیات ساختمانی شود باید سپرها را به سمت خارج در خاک مهار کرد.

٦-٩-٤ سپرهای مرکب از فولاد و چوب

در این روش تیر آهن به فواصل ۱/۵ تا ۲/۵ متر در زمین کوبیده می‌شود و سپس با پیشرفت گودبرداری در بین تیر آهن‌ها تخته‌هایی به طور افقی نصب می‌کنند و تیرهای فولادی را با تیرهای افقی در جلو به یکدیگر تکیه داده و یا از عقب در خاک مهار می‌کنند.

تیرهای فولادی بستگی به مقدار رانش خاک در پشت آن‌ها دارد و معمولاً بین I14 تا I40 می‌باشد. این تیرها باید حداقل تا حدود ۳ متر در زیر کف گودبرداری کوبیده شود. تخته‌هایی که به طور افقی بین تیرهای فولادی نصب می‌شوند دارای ضخامت ۵ تا ۱۰ سانتی‌متر می‌باشد. استفاده از این تخته‌ها برای قالب خارجی بتن مجاز است. این تخته‌ها می‌تواند در زمین باقی بماند و یا با پیشرفت ساختمان آن‌ها را از زمین خارج کرد.

تیرهای فولادی معمولا با پشت‌بندهای چوبی یا فلزی به یکدیگر تکیه می‌کنند. این تیرهای چوبی و یا فلزی باید برای نیروی وارده از رانش خاک به دقت محاسبه شوند و به خصوص کمانش این تیرها نیز به دقت مورد بررسی قرار گیرد. در صورتی که فاصله بین تیرهای فولادی در دو طرف گودبرداری خیلی زیاد باشد باید از لحاظ اقتصادی در وسط محل گودبرداری هم پایه‌هایی جهت تکیه‌گاه پشت‌بند ساخته شود.

٦-۹-۵ سپرهای بتن فولادی

سپرهای بتن فولادی باید از بتن نسبتا محکم تهیه شود. مقاومت فشاری بتن سپر در موقع کوبیدن نباید از ۴۵۰ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع کمتر باشد.

ضخامت سپرها بستگی دارد به احتیاجات ساختمانی و استاتیکی و شرایط کوبیدن سپر، ولی حداقل ضخامت باید از ۱۲ سانتی‌متر کمتر نباشد. ضمناً برای اینکه وزن سپر هم زیاده از حد سنگین نشود حداکثر ضخامت معمولا نباید از ۴۰ سانتی‌متر زیادتر باشد.

عرض سپرها معمولا ۵۰ سانتی‌متر و طول آنها ۱۵ متر و در موارد استثنائی تا ۲۰ متر انتخاب می‌شود.

این سپرها باید برای بارهای وارده در موارد زیر محاسبه شوند:

الف: در موقع انبار کردن و روی هم چیدن

ب: در موقع حمل و نقل از محل انبار یا کارگاه به محل کوبیدن

پ: در موقع بلند کردن در محل سپرکوبی

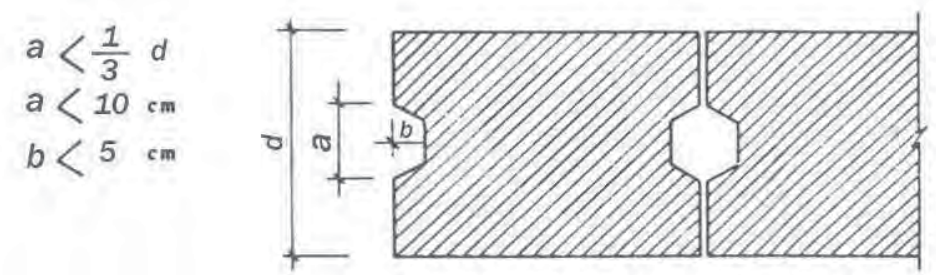
ت: برای بار وارده در حین سپرکوبی

ث: برای نیروهای وارده در اثر رانش خاک و فشار آب و احیانا بار قائم

اتصال دو سپر کنار هم در قسمت پایین سپر تا ارتفاع ۱/۵ متر می‌تواند به صورت کام و زبانه انجام گیرد ولی در قسمت بالایی سپرها باید در هر دو یک شیار وجود داشته باشد که پس از کوبیدن کامل دو سپر این حفره با بتن یا یک ماده عایق کننده دیگر پر می‌شود. عرض این شیارها نباید از یک سوم ضخامت سپر بیشتر شود، ضمن آنکه باید از ۱۰ سانتی‌متر هم کمتر باشد. عمق این شیارها هم نباید از ۵ سانتی‌متر بیشتر باشد تا مزاحمتی جهت فولاد تنگ‌های سپر ایجاد نکنند (شکل ۶-۱).

سپرها دارای فولاد طولی می‌باشند که باید برای نیروهای وارده محاسبه شوند. تنگ‌های سپر معمولا از فولاد گرد با قطر ۵ میلی‌متر می‌باشد به فاصله ۱۵ سانتی‌متر که در دو انتهای سپر در طول معینی این فاصله به ۵ سانتی‌متر تقلیل داده می‌شود.

سپرهای بتن فولادی فقط باید در مواردی به کار رود که بتوان آنها را بدون آنکه صدمه‌ای ببینند کاملاً غیر قابل نفوذ کنار یکدیگر کوبید.



شکل ٦-١ سپرهای بتن فولادی

٦-٩-٦ سپرهای مرکب از تیر فولادی و بتن

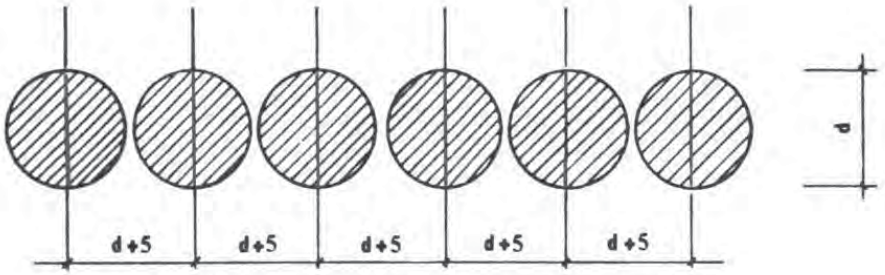
در این روش ابتدا ریل‌های راه آهن و یا تیرهای فولادی به فواصل حدود یک تا دو متر در زمین کوبیده و سپس حدود یک متر تا ۱/۵ متر به طور قائم بین ریل‌ها و یا تیرهای فولادی گودبرداری شده و قالب‌بندی انجام و بتن‌ریزی می‌شود و در صورت لزوم در بتن هم فولاد گذاشته می‌شود و سپس گودبرداری را ادامه داده و مجددا بتن‌ریزی شده و به همین ترتیب تا عمق لازم جهت گودبرداری عمل را ادامه می‌دهند. ضمنا در ارتفاعات لازم تیرهای کمربندی نصب و با پشت‌بندهایی از تیرهای چوب گرد و یا تیرهای فولادی آن‌ها را به یکدیگر و یا به زمین تکیه می‌دهند.

٦-٩-٧ سپر مرکب از یک ردیف شمع

این نوع سپرها معمولا به سه طریق اجرا می‌شوند:

٦-٩-٧-١ یک سری شمع در کنار یکدیگر و در یک خط

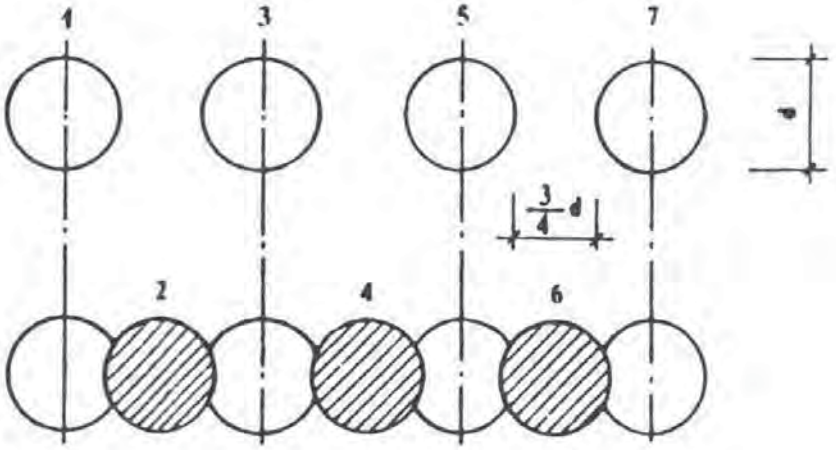
یک سری شمع در کنار یکدیگر در یک خط ساخته می‌شود. فاصله بین این شمع‌ها حدود ۵ سانتی‌متر است (شکل ۶-۲). این نوع سپرها فقط برای رانش خاک مناسب بوده و در صورتی که آب موجود باشد باید قبلاً آب را از حدود گودال به خارج هدایت نمود.



شکل ٦-۲ یک سری شمع در کنار یکدیگر

٦-۹-۷-۲ اجرای شمع به صورت زوج و فرد و با همپوشانی

ابتدا شمع‌های ۱ و ۳ و ۵ و ... ساخته می‌شود که فاصله بین آنها حدود $\frac{۳}{٤}$ قطر شمع می‌باشد. این شمع‌ها معمولا از بتن بدون فولاد ساخته می‌شوند. سپس در بین این شمع‌ها سری شمع‌های ۲ و ۴ و ۶ و ... از بتن مسلح ساخته می‌شوند (شکل ۶-۳).



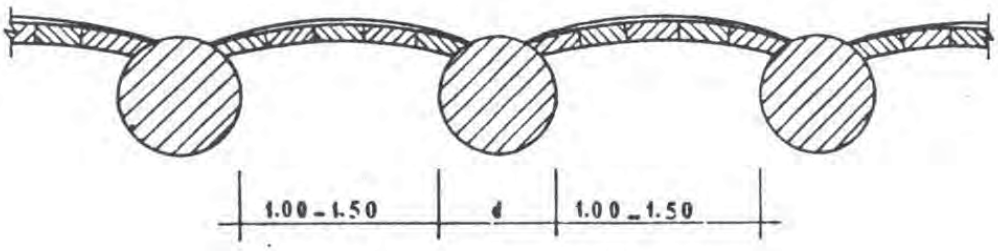
شکل ٦-۳ فاصله بین شمع‌ها، ۰/۷۵ قطر شمع‌ها

در این حالت ابتدا شمع‌ها با شماره ردیف فرد اجرا شده و سپس شمع‌ها با شماره ردیف زوج بین آنها اجرا می‌شود.

به این ترتیب شمع‌ها یکدیگر را قطع کرده و یک دیوار ممتد به وجود می‌آورند. این نوع سپرها نه تنها رانش خاک را تحمل می‌کنند، بلکه در مقابل فشار آب هم عایق می‌باشند و در صورتی که در بعضی قسمت‌ها آب نفود کند می‌توان با تزریق عایق کرد.

٦-٩-٧-٣ اجرای شمع با فاصله همراه با قوس افقی از سنگ‌های فیلتر

شمع‌ها به فاصله یک متر الی ۱/۵ متر از یکدیگر ساخته می‌شوند و در بین این شمع‌ها همراه با گودبرداری قوس‌های افقی از سنگ‌های فیلتر ساخته می‌شود (شکل۶-۴).



شکل ٦-٤ شمع‌ها به فاصله یک متر الی ۱/۵ متر از یکدیگر

٦-٩-٨ سپر به طریقه دیوار شیاری

ابتدا در طولی که سپر باید ساخته شود شیاری در زمین به عرض حدود یک متر و به عمق ۱/۵ متر گودبرداری می‌شود و دو طرف این شیار را با یک قشر بتن مسلح به ضخامت ۱۵ الی ۲۰ سانتی‌متر می‌پوشانند سپس این گودال را از یک مایع محافظ[1] پر کرده و بقیه گودبرداری را تا عمق لازم انجام می‌دهند. این مایع که از ریزش بدنه گودبرداری جلوگیری می‌کند باید دائماً در گودال ریخته شود که پر باشد. پس از آنکه گودبرداری تمام شد این شیار موجود را با لوله‌هایی که در فواصل معینی در شیار قرار داده می‌شود باید به چندین قسمت تقسیم کرد. عرض هر قسمت حدود ۲/۵ الی ۶ متر می‌شود. بعداً در یک قسمت آرماتور گذاشته و بتن‌ریزی می‌شود. پس از سخت شدن بتن این قسمت، لوله موجود بین این قسمت و قسمت مجاور کشیده

1. Thixotrope

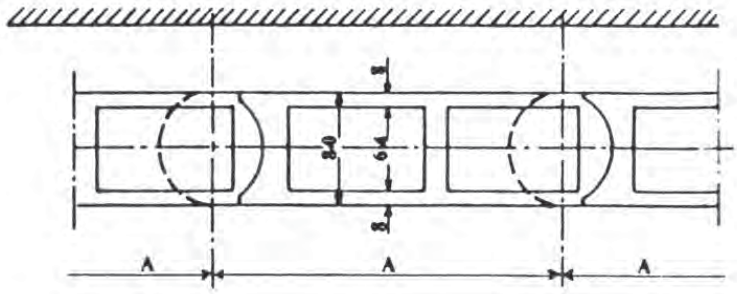
شده و قسمت دوم بتن‌ریزی می‌شود. به این ترتیب اتصال قسمت‌های مختلف با یکدیگر به صورت مفصلی می‌باشد.

بتن مصرفی باید دارای مقاومت فشاری ۳۰۰ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع و مقدار سیمان آن ۳۵۰ کیلوگرم در متر مکعب باشد.

بتن‌ریزی باید با لوله انجام شود. در حین بتن‌ریزی مایع محافظ موجود در گودال به سمت بالا رانده می‌شود که یا به قسمت‌های دیگر دیوار منتقل می‌شود و یا با یک پمپ از گودال خارج و برای تصفیه و مصرف مجدد به یک مخزن ریخته می‌شود. دیواری که بتن‌ریزی می‌شود می‌تواند توپر و یا توخالی باشد. در صورتی که عمق این دیوارها خیلی زیاد باشد ممکن است لازم شود هنگام گودبرداری در محل ساختمان اصلی که این دیوار سپر آن را تشکیل می‌دهد در عمق‌های لازم با تیرهایی به دیوار تکیه داده شده و یا از خارج مهار شود. ولی در اغلب موارد خود دیوار طوری محاسبه می‌شود که رانش خاک و فشار آب موجود در پشت آن را به تنهایی تحمل کند.

پوشش بتنی روی آرماتورها در صورتی که دیوار به صورت سپر موقتی ساخته شود ۵ سانتی‌متر و در صورتی که به صورت قسمتی از ساختمان برای همیشه باقی بماند ۱۰ سانتی‌متر باید باشد.

شالوده[1]



شکل ٦-٥ سپر به طریقه دیوار شیاری

٦-٩-٩ محاسبه سپرها

سپرها در اغلب موارد به علت اینکه ساختمان موقت بوده و بخشی از ساختمان اصلی نیستند در محاسبه آن‌ها دقت کافی به عمل نمی‌آید و ابعاد آنها به طور تقریبی و نظری تعیین می‌شود. این عمل در بعضی موارد

1. Foundation

سبب سانحه‌هایی در محل گودبرداری می‌شود که خسارات مالی و جانی در بر دارد. سپرها و تیرهای کمربندی و پشت‌بندها و یا مهارهای آن‌ها باید توسط مهندس محاسب با تجربه برای کلیه نیروهای وارده به دقت محاسبه و ابعاد آن‌ها در روی نقشه گودبرداری ارایه شود.

٦-۹-۹-۱ مقدار رانش خاک

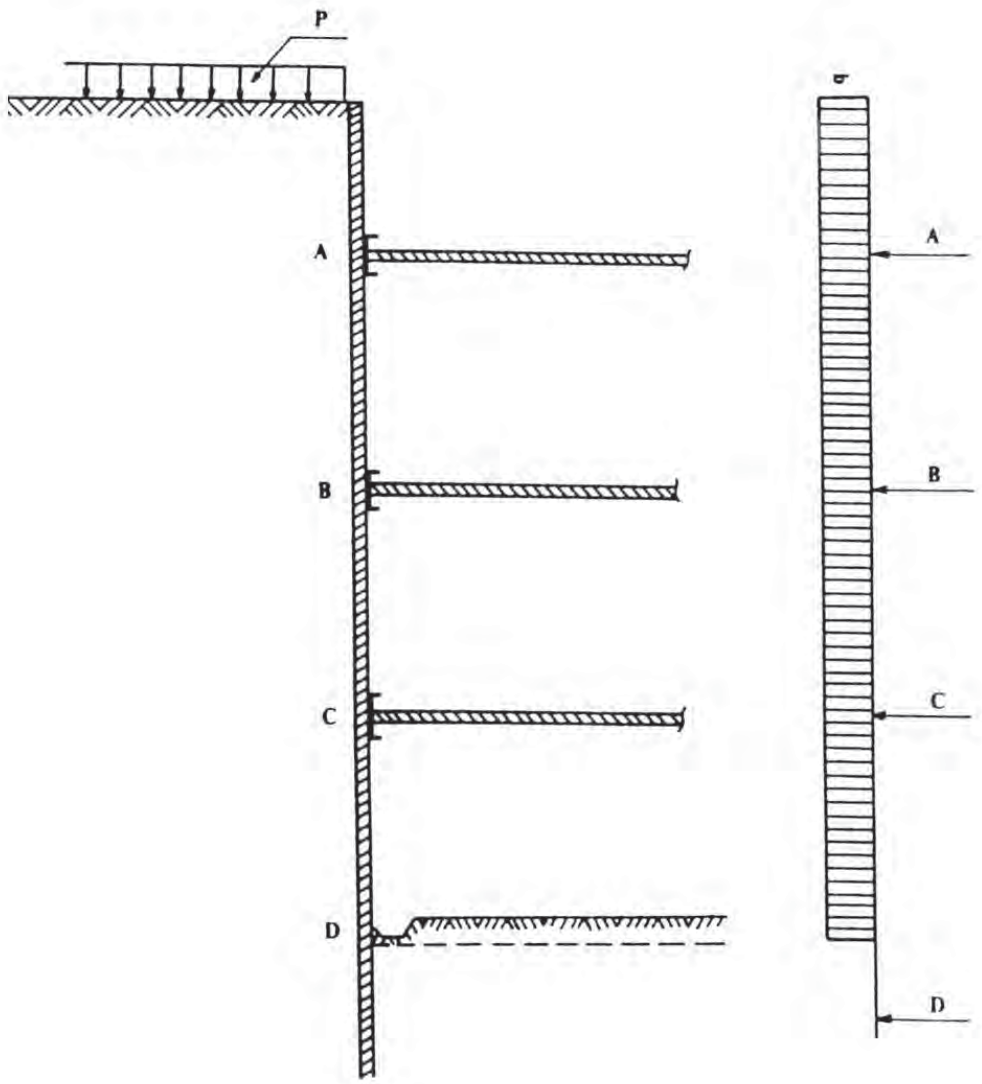
ارقام و ضرایبی که از روی آنها مقدار رانش خاک در پشت سپرها تعیین می‌شود باید با آزمایش نمونه خاک موجود، در آزمایشگاه تعیین شده باشد.

٦-۹-۹-۲ تصحیح مقدار رانش خاک

رانش خاک باید برای وزن خاک موجود و سربار آن که مرکب از وسائط نقلیه و غیره می‌باشد در محاسبه به طور صحیح و کامل منظور شود.

٦-۹-۹-۳ محاسبه سیستم استاتیکی یک سپر

سیستم استاتیکی یک سپر باید برای مراحل مختلف گودبرداری تعیین و محاسبه شود. با مراجعه به شکل ۶-۶ دیده می‌شود که سپر در ابتدای گودبرداری و قبل از نصب تیر و تکیه‌گاه A یک کنسول گیردار در زمین می‌باشد و پس از گودبرداری مجدد تا نقطه B و قبل از نصب تیر و تکیه‌گاه B سیستم ایزواستاتیک به صورت تیر روی دو تکیه‌گاه بوده و در مراحل بعد که گودبرداری به نقطه C یا D می‌رسد سپر به صورت تیر یکسره دو دهنه و یا سه دهنه محاسبه می‌شوند. ابعاد سپر باید برای مرحله‌ای که بزرگترین نیرو به سپر وارد می‌شود محاسبه شود.



شکل ٦-٦ سیستم استاتیکی یک سپر برای مراحل مختلف گودبرداری

٦-٩-٩-٤ محاسبه سپرها و تیرهای تکیه‌گاه و مهارها در مقابل رانش خاک

مقدار و تقسیم رانش خاک در ارتفاع سپر، بستگی به تغییر شکل سپر دارد. طبق آزمایش‌های و اندازه‌گیری‌هایی که در سپرها با مهار و یا تکیه‌گاه انجام گرفته، روش زیر برای محاسبه سپرها و تیرهای تکیه‌گاه و مهارها در مقابل رانش خاک توصیه می‌شود.

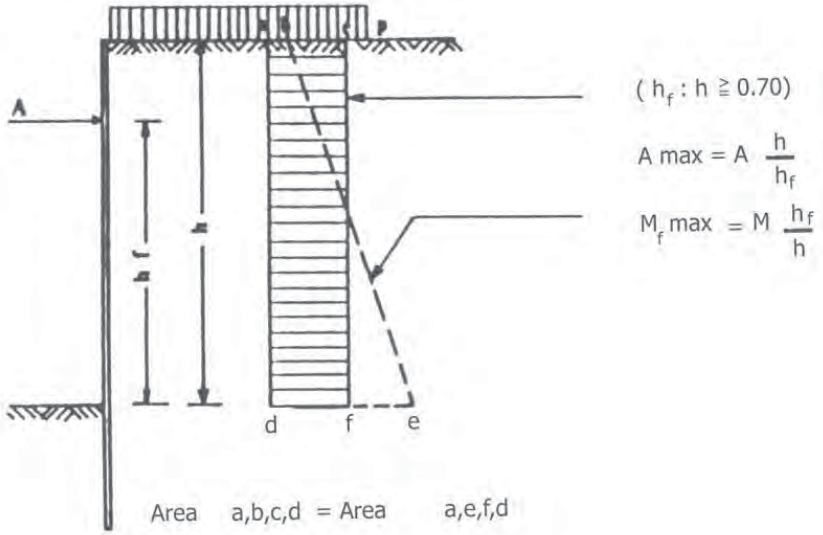
رانش خاک به صورت یک بار یکنواخت منظور می‌شود که مقدار کل آن در تمام ارتفاع سپر معادل رانش خاک طبق تئوری‌های رانش خاک می‌باشد (شکل ۶-۷).

ضمناً تصحیحاتی به صورت زیر در مقدار نیروها انجام می‌گیرد.

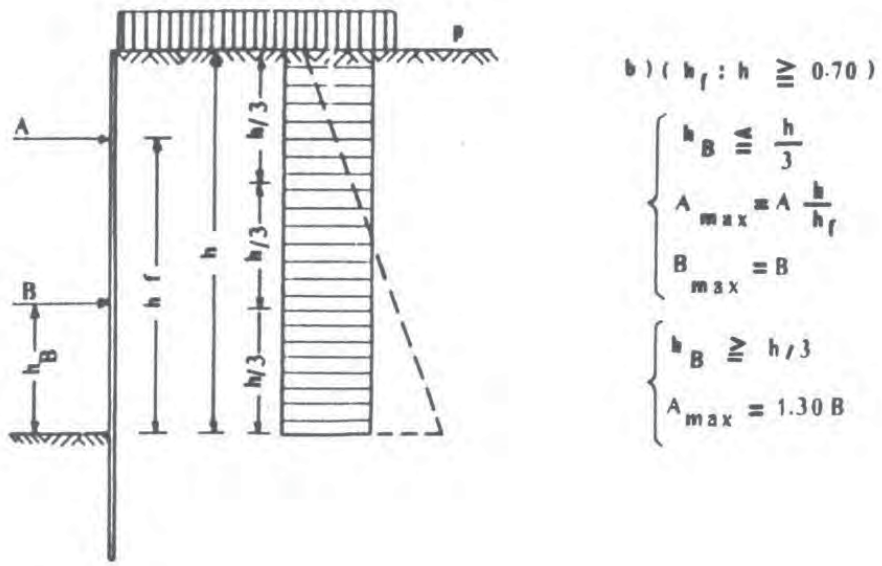
الف: در صورتی که سپر فقط دارای یک تکیه‌گاه و یا یک مهار باشد و رانش خاک به صورت بار یکنواخت محاسبه شود، باید عکس‌العمل تکیه‌گاه و یا نیروی مهار را به نسبت ارتفاع مسیر از کف گودبرداری (h) به ارتفاع تکیه‌گاه از کف گودبرداری (hf) زیاد کرد و ممان مثبت سپر را به نسبت hf:h کم کرد (شکل ۶-۷). در این شکل hf عبارت است از فاصله محل تکیه‌گاه یا مهار از کف گودبرداری و h عبارت است از فاصله بالای سپر از کف گودبرداری.

ب: در صورتی که سپر دارای دو تکیه‌گاه و یا مهار باشد و رانش خاک به صورت بار یکنواخت منظور شود عکس‌العمل تکیه‌گاه و یا نیروی مهار بالایی را باید به نسبت h:hf زیاد کرد. تقلیل مقدار ممان در این حالت مجاز نیست (شکل ۶-۸).

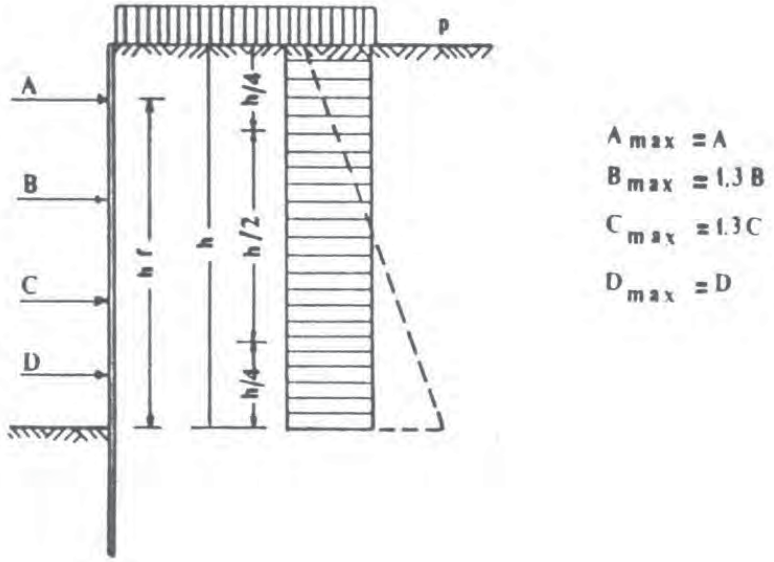
A، B، C، D و M عبارتند از مقادیر محاسبه شده با رانش خاک به صورت بار یکنواخت.



شکل ٦-۷ سپر دارای یک تکیه‌گاه یا یک مهار



شکل ٦-٨ سپر دارای دو تکیه‌گاه یا دو مهار



شکل ٦-٩ سپر دارای سه یا تعداد بیشتری تکیه‌گاه یا مهار باشد

پ: در صورتی که سپر دارای سه تکیه‌گاه و یا مهار و یا تعداد بیشتری باشد و رانش خاک به صورت بار یکنواخت منظور شود باید عکس‌العمل تکیه‌گاه و یا نیروهای مهاری را که در منطقه وسط سپر قرار دارند، ۳۰ درصد زیاد کرد (شکل ۶-۹).

٦-۹-۹-۵ خستگی

خستگی‌های موجود در سپر و تیرهای کمربندی و پشت‌بندها و مهارها در اثر کل بارهای موجود نباید از خستگی مجاز برای مصالح ساختمانی مربوطه تجاوز کند.

٦-۹-۹-٦ کنترل کمانش

کلیه قطعاتی که به فشار کار می‌کنند باید برای کمانش کنترل و در صورت لزوم محاسبه شوند.

٦-۹-۱۰ تکیه‌گاه سپرها

تیرهای کمربندی که به طور افقی در ارتفاعات لازم در روی سپرها نصب می‌شود باید به طور ممتد و یکسره باشد و هیچ نوع تقاطعی در آنها بوجود نیاید. برای این تیرهای کمربندی معمولا پروفیل فلزی به کار می‌رود.

این تیرهای کمربندی و یا خود سپر مستقیماً به تیرهای پشت‌بند تکیه می‌کنند که بین دو سپر مقابل یکدیگر نصب می‌شوند. این تیرها باید طوری به سپر و یا تیرهای کمربندی متصل شوند که چرخش و تغییر محل آنها ممکن نباشد.

در مواردی که عرض گودبرداری (یعنی فاصله بین دو سر) بین ۵ تا ۱۰ متر باشد این پشت‌بندها می‌تواند، چوب گرد باشند.

در صورتی که عرض گودبرداری بین ۱۰ تا ۲۰ متر باشد جنس این پشت‌بندها پروفیل فلزی و بالاخره در صورتی که عرض گودبرداری بیش از ۲۰ متر باشد خرپاهای چوبی و یا فلزی به کار برده می‌شود.

در مواردی که عرض گودبرداری خیلی زیاد باشد می‌توان سپر را با تیرهای پشت‌بند به کف گودبرداری تکیه داد که در این حالت در کف گود یک بلوک بتنی و یا پی ساختمان ساخته می‌شود که تیر به آن تکیه کند. این روش فقط در مواردی قابل اجرا است که این تیرهای مایل مزاحم کار ساختمانی نشوند.

٦-۹-۱۱ مهار

مهارها عبارتند از میله‌های گرد و یا کابل‌های فولادی که در سوراخ‌هایی که قبلا در زمین تعبیه شده جای می‌دهند و سپس با تزریق ملات سیمان در طول معینی در زمین گیردار می‌کنند و سر دیگر مهار را به سپر و یا تیر کمربندی که در روی سپر نصب شده وصل می‌کنند. این مهارها را می‌توان قبل از اتصال به سپر تحت کشش قرار داده و سپس به سپر متصل کرد که از حرکت بعدی در اثر نیروهای وارده بهتر جلوگیری کنند.

٦-۹-۱۱-۱ فولاد مهار

فولاد مهار باید فولاد ۵۲ و یا فولادهای مقاوم‌تر (که برای بتن پیش‌تنیده به کار می‌رود) باشد. حداقل مقطع فولاد یک مهار باید حدود ۲۲۰ میلی‌متر مربع و هر میله مهار باید حداقل به قطر ۱۰ میلی‌متر باشد. در صورتی که در خاک مواد زیان‌آور برای فولاد موجود باشد باید این حداقل مقاطع حدود ۲ درصد افزایش یابد.

٦-۹-۱۱-۲ مصالح تزریق

مصالح تزریق معمولا مخلوط سیمان و آب با نسبت آب به سیمان حدود ۰/۴ تا ۰/۶ می‌باشد. در صورتی که زمین زیاد متخلخل باشد می‌توان از ملات ماسه سیمان استفاده کرد. با این کار در مصرف سیمان می‌توان صرفه‌جویی کرد. ولی استفاده از سیمان به تنهایی به علت چسبندگی و اصطکاک بیشتر با خاک ارجحیت دارد.

٦-۹-۱۱-۳ انتقال بار از مهار به زمین

بار از فولاد مهار به سه طریق به مصالح تزریق شده منتقل می‌شود:

الف: اصطکاک بین فولاد و مصالح تزریق.

ب: با یک صفحه یا جسم دیگر در انتهای فولاد مهار که بر مصالح تزریق تکیه می‌کند.

پ: با یک لوله که به فولاد مهار وصل است و این لوله با اصطکاک نیروی خود را به مصالح تزریق منتقل می‌کند.

مصالح تزریق نیز به نوبه خود با اصطکاک نیروها را به خاک منتقل می‌کند. طولی از مهار که جهت انتقال نیرو به زمین لازم است ترزیق شود معمولا از روی تجربه برای هر نیرو به دست می‌آید. بنابراین اگر برای زمینی این مقدار تجربی در دست نیست باید یک و یا چند مهار آزمایشی کشیده شود و از روی بار بحرانی آن‌ها با در نظر گرفتن ضریب اطمینان مقدار مجاز بار هر مهار را پیدا کرد. طولی از فولاد مهار که از مصالح

تزریق پوشیده نمی‌شود باید در مقابل زنگ زدن حفاظت شود. برای حفاظت می‌توان در روی فولاد لوله‌های پلاستیکی کشید و یا با نوار مخصوصی باندپیچی کرد.

٦-٩-١١-٤ محاسبه مهار

خستگی فولاد مهار برای بارهایی که از سپر به آن منتقل می‌شود نباید از حد مجاز تجاوز کند. نیروهایی که از فولاد به زمین تزریق شده منتقل می‌شود باید در حدودی باشد که با در نظر گرفتن ضریب اطمینان کافی به گیرداری مهار در زمین صدمه‌ای وارد نیاورد.

پایداری مجموعه سیستم سپر و مهار در مقابل سُر خوردن توده خاک پشت سپر باید بررسی شود.

٦-٩-١١-٥ طرز ساختمان مهار

ابتدا سوراخ‌هایی به قطر ۷۰ الی ۱۴۰ میلی‌متر با عمق لازم حفاری می‌شود. حفاری را به دو روش می‌توان انجام داد. روش اول به کمک کوبیدن یک لوله در محل مهار انجام می‌گیرد و با کمک تزریق آب مواد حفاری شده در انتهای لوله از داخل و یا از روی بدنه خارج لوله به خارج شسته می‌شود.

در روش دوم حفاری بدون کمک لوله انجام می‌شود و برای اینکه بدنه سوراخ حفر شده ریزش نکند باید مایعی مانند بنتونیت در داخل سوراخ ریخته شود. پس از آنکه حفاری به پایان رسید باید وسایل حفاری را از داخل سوراخ خارج نمود و فولاد مهار در آن کار گذاشته شود. سپس درب سوراخ یا لوله‌ای را که در سوراخ کوبیده شده با یک درپوش می‌بندند و سیمان در سوراخ تزریق می‌کنند و در حین تزریق به تدریج لوله را به خارج می‌کشند. فشار تزریق سیمان بر حسب نوع زمین باید بین ۵ تا ۲۰ اتمسفر باشد. پس از آنکه سیمان تزریق شده به اندازه کافی سخت شد مهار را باید آزمایش کرد. معمولا با نیروی حدود ۱/۲ برابر نیرویی که بعدا در اثر بارهای وارده به مهار وارد می‌شوند مهار را می‌کشند. پس از آزمایش می‌توان مهار را به سپرها و یا تیرهای کمربندی آنها وصل کرد.

٦-٩-١٢ کوبیدن سپرها

حداقل عمقی که یک سپر باید کوبیده شود باید برای گیرداری سپر در زمین از لحاظ استاتیکی کافی بوده و به علاوه خطر شکسته شدن پای سپر هم در آن عمق موجود نباشد.

سپرها مانند شمع‌ها کوبیده می‌شود و نحوه کوبیدن آنها در بند ۶-۴-۲ توضیح داده شده است.

٦-۱۰ آزمایش‌های کنترل کیفیت

آزمایش‌های کنترل کیفیت این فصل عمدتا به نمونه‌گیری از بتن و تعیین مقاومت فشاری و اندازه‌گیری روانی آن و نیز آزمایش آرماتورها مربوط می‌شود که مطابق آیین نامه بتن ایران (ضابطه شماره ۱۲۰)، عمل خواهد شد.

۷

ضوابط قالب‌بندی، لوله‌ها و مجراهای مدفون در بتن و درزهای اجرایی

۷-۱ کلیات

با عنایت به اینکه در فصل نهم «قالب‌بندی» و فصل دهم «درزهای سازه‌های بتنی» آیین‌نامه بتن ایران – جلد دوم: مصالح و اجرا، ضوابط و الزامات لازم برای طراحی، اجرای قالب، قالب‌بندی، قالب‌برداری، لوله‌ها و مجراهای جاگذاری شده در بتن و پیش‌بینی و تعبیه درزهای سازه‌های بتنی، تعیین شده است، رعایت آن الزامی بوده و چنانچه تناقضی با مشخصات فنی و الزامات ارایه شده در این فصل وجود داشته باشد، مفاد آیین‌نامه بتن ایران (ضابطه شماره ۱۲۰) لازم الاجرا می‌باشد.

مطالعه و طرح قالب‌ها، داربست‌ها و مجموعه قالب‌بندی، شامل محاسبات و نقشه‌ها به عهده پیمانکار است که باید قبل از شروع کار به تأیید مهندس مشاور برسد. چنانچه برخی از قسمت‌های ساخته شده بنا به عنوان تکیه‌گاه قالب‌ها و داربست‌ها استفاده شود، پیمانکار موظف است این قسمت‌ها را مورد بررسی قرار داده و از مقاومت آنها اطمینان حاصل کند و چنانچه بدین منظور تقویت‌هایی لازم باشد، آن‌ها را انجام دهد.

قالب‌ها باید طوری طراحی شوند که ریختن و لرزاندن بتن امکانپذیر باشد. قالب‌ها نباید جلوی انقباض بتن را بگیرند و باعث بروز ترک در سطوح بتن شوند.

۷-۱-۱ عملکردهای قالب

۷-۱-۱-۱ حفظ شکل مورد نظر

قالب باید بتن را در شکل مورد نظر و در محدوده رواداری‌های مجاز نگاه دارد، به سطح آن نمای دلخواه بدهد، و وزن بتن را تا زمان سخت شدن و کسب مقاومت کافی تحمل کند.

۷-۱-۱-۲ حفظ بتن در برابر صدمات مکانیکی

قالب باید بتن را در برابر صدمات مکانیکی حفظ کند، از کم شدن رطوبت بتن و نشت شیره آن جلوگیری نماید، عایقی مناسب در برابر سرما و گرمای محیط باشد، میلگردها و سایر اجزا و قطعه‌هایی را که داخل بتن قرار می‌گیرند در محل مورد نظر نگاه دارد، در برابر نیروهای ناشی از لرزاندن و مرتعش ساختن مقاومت کرده و بدون آسیب رساندن به بتن از آن جدا شود.

۷-۱-۲ نقشه‌ها و مشخصات

نقشه‌های قالب و داربست باید برای سازه‌های خاص و پیچیده یا هر مورد ضروری دیگر، با مراعات تمامی جوانب از قبیل رواداری‌های مجاز، ضوابط طراحی قالب و تنظیم مجموعه قالب‌بندی، به ترتیب مطابق بند ۷-۱-۳، ۷-۳ و ۷-۴-۲ تهیه شوند.

۷-۱-۳ رواداری‌ها

رواداری‌ها را باید تا حد امکان و تا جایی که اهداف پیش‌بینی شده برای کل سازه یا هر قسمت از آن در حدی غیر قابل قبول مخدوش نشود، بزرگ اختیار کرد.

مبنای سنجش خطاهای احتمالی (رواداری‌ها) نقاط و خطوطی است که در شروع کار ایجاد و تا پایان کار به نحوی مقتضی حفظ می‌شوند. چنانچه رواداری‌ها توسط طراح تعیین نشده باشد، انحراف ابعاد و موقعیت قالب‌ها نباید از حدود معین تجاوز کند. حدود رواداری‌های قالب‌ها برای ساختمان‌ها و قطعه‌های متداول بتن‌آرمه در جدول ۷-۱ ارایه شده است.

در مورد سازه‌های خاص باید رواداری‌ها در دفترچه مشخصات فنی خصوصی درج شوند.

۷-۲ مصالح

مصالح مناسب برای قالب را باید با توجه به ملاحظات اقتصادی، ایمنی و سطح تمام شده مورد نظر از تخته‌ها یا صفحه‌های چوبی، تخته‌های رنده شده یا صفحه‌های فلزی انتخاب کرد. مشخصه‌های فیزیکی و مکانیکی مصالح باید در ساخت قسمت‌های مختلف مانند بدنه، رویه، ملحقات، اجزای نگهدارنده قالب و نظایر آن مورد توجه قرار گیرد.

۷-۳ ضوابط طراحی

۷-۳-۱ طراحی قالب

پیمانکار باید قالب را طوری طراحی کند که بتواند بارهای وارده را قبل از این که سازه بتنی مقاومت کافی کسب کند با ایمنی مناسبی تحمل نماید.

۷-۳-۲ بارهای وارد بر قالب

۷-۳-۲-۱ بارهای قائم

مهم‌ترین بارهای قائم زنده و مرده وارد بر قالب عبارتند از:

الف: وزن قالب‌ها و پشت‌بندها

ب: وزن بتن تازه

پ: وزن آرماتورها و سایر اقلام کار گذاشته شده در بتن

ت: وزن افراد، وسایل کار، گذرگاه‌ها و سکوهای کار

ث: بارهای موقت حاصل از انبار کردن مصالح

ج: فشار رو به بالای باد

چ: عکس‌العمل تکیه‌گاهی در بتن‌های پیش‌تنیده

۷-۳-۲-۲ بارهای جانبی

مهم‌ترین بارهای جانبی وارد بر قالب عبارتند از:

الف: رانش بتن تازه

ب: فشار و مکش باد

پ: بارهای ناشی از تغییرات دما

جدول ۷-۱ رواداری سازه‌های بتنی متعارف

ردیف			شرح	رواداری
۱	انحراف از امتداد قائم	الف	دو لبه و سطح ستون‌ها، پایه، دیوارها، نبش‌ها و کنج‌ها	۶ میلی‌متر در هر ۳ متر طول
				حداکثر ۷/۵ میلی‌متر در کل طول
		ب	برای گوشه نمایان ستون‌ها، درزهای کنترل، شیارها و دیگر خطوط برجسته، نمایان و مهم	۶ میلی‌متر در هر ۶ متر طول
				حداکثر ۱۲ میلی‌متر در کل طول
۲	انحراف از سطوح یا ترازهای مشخص شده در نقشه‌ها	الف	در سطح زیرین دال‌ها، سقف‌ها، سطح زیرین تیرها، نبش‌ها و کنج‌ها قبل از برچیدن حایل‌ها	۶ میلی‌متر در هر ۳ متر طول
				۹ میلی‌متر در هر چشمه یا هر متر طول
				حداکثر ۱۹ میلیمتر در کل طول
		ب	در نعل درگاه‌ها، زیرسری‌ها، جان‌پناه‌های نمایان شیارهای افقی و دیگر خطوط برجسته، نمایان و مهم	۶ میلی‌متر در هر ۶ متر طول
				حداکثر ۱۲ میلی‌متر در کل طول
۳	انحراف ستون‌ها، دیوارها و تیغه‌های جدا کننده از موقعیت مشخص شده در پلان ساختمان		در هر چشمه	۱۲ میلی‌متر
			در هر شش متر طول	۱۲ میلی‌متر
			حداکثر در کل طول	۲۵ میلی‌متر
٤	انحراف از اندازه و موقعیت بازشوهای واقع در کف و دیوار و غلاف‌ها			۶± میلی‌متر
۵	اختلاف در ابعاد مقطع عرضی ستون‌ها و تیرها و ضخامت دال‌ها و دیوارها	الف	در جهت نقصانی	۶ میلی‌متر
		ب	در جهت اضافی	۱۲ میلی‌متر

ادامه جدول ۷-۱ رواداری سازه‌های بتنی متعارف

ردیف				شرح	رواداری
٦	شالوده‌ها	الف	اختلاف اندازه‌ها	نقصانی	۱۲ میلی‌متر
			در پلان	اضافی	۵۰ میلی‌متر
		ب	جابه‌جایی یا خروج از مرکز		دو درصد عرض شالوده در امتداد طول مورد نظر مشروط بر آنکه بیش از ۵۰ میلی‌متر نباشد
		پ	ضخامت	کاهش ضخامت نسبت به آنچه تعیین شده	۵ درصد
				افزایش ضخامت نسبت به آنچه تعیین شده	محدودیتی ندارد
۷	پله‌ها	الف	در تعداد معدودی پله	ارتفاع پله	±۳ میلی‌متر
				کف پله	±۶ میلی‌متر
		ب	در پله‌های متوالی	ارتفاع پله	±۱/۵ میلی‌متر
				کف پله	±۳ میلی‌متر

۷-۳-۲-۳ بارهای ویژه

مهم‌ترین بارهای ویژه عبارتند از:

الف: بار ناشی از بتن‌ریزی نامتقارن

ب: ضربه حاصل از ماشین‌آلات و پمپ بتن

پ: نیروهای رو به بالا در قالب‌ها و اقلام کار گذاشته در بتن

ت: اثرهای دینامیکی نظیر اثر تخلیه بتن از جام حمل بتن

ث: بارهای حاصل از نشست نامتقارن تکیه‌گاه‌های قالب

ج: بارهای ناشی از لرزاندن و متراکم کردن بتن

چ: فشار دوغاب تزریقی در بتن پیش‌آکنده

۷-٤ اجرا

۷-٤-۱ کلیات

۷-٤-۱-۱ شیب قالب

توصیه می‌شود سطوح فوقانی با شیب بیشتر از ۳:۲ (۲ قائم به ۳ افقی) قالب‌بندی شوند. به هر حال تعبیه قالب برای سطح فوقانی با شیب بیشتر از ۱:۱ الزامی است.

۷-٤-۱-۲ روغن قالب

قبل از جاگذاری آرماتورها باید حتی‌المقدور رویه قالب را نصب کرده و مواد رهاساز (روغن مخصوص قالب) را روی قالب مالید. قالب باید از هر گونه آلودگی، ملات‌ها، مواد خارجی و نظایر این‌ها پاک شده باشد و قبل از هر بار مصرف با مواد رهاساز پوشانده شود. این مواد را باید چنان به کار برد که بدون آلوده شدن آرماتورها، روی سطوح قالب لایه‌ای یکنواخت و نازک به وجود آید.

۷-٤-۱-۳ شیره بتن

قطعات رویه قالب باید در کنار هم طوری قرار گیرند (چفت و بست) که هدر رفتن شیره بتن ممکن نباشد.

۷-٤-۱-٤ تعبیه دریچه‌های بازدید

در مواردی که دسترسی به کف قالب‌ها دشوار یا غیرممکن باشد، باید با تعبیه دریچه‌های بازدید و کفپوش‌های قالب، امکان تمیز کردن قالب قبل از بتن‌ریزی را فراهم کرد.

۷-٤-۱-۵ کیفیت سطح تمام شده

در صورتی که کیفیت سطح تمام شده اهمیتی خاص داشته باشد، نباید از قطعات قالب‌های صدمه دیده در مراحل قبلی استفاده کرد.

۷-٤-۱-٦ پایه‌های اطمینان

هنگام برداشتن قالب سطوح زیرین قطعات بتن‌آرمه باید با رعایت الزامات این بند پایه‌هایی به عنوان پایه‌های اطمینان در زیر سطوح باقی گذاشت، تا از بروز تغییر شکل‌های تابع زمان جلوگیری شود.

پیش‌بینی پایه‌های اطمینان برای تیرهای با دهانه بزرگتر از پنج متر، تیرهای کنسول به طول بیشتر از دو و نیم متر، دال‌های با دهانه بزرگتر از سه متر و دال‌های کنسول به طول بیشتر از یک و نیم متر اجباری است. تعداد پایه‌های اطمینان باید طوری باشد که فاصله آن‌ها به هر حال از سه متر تجاوز نکند.

۷-٤-۱-۷ خیز معکوس

چنانچه مهندس مشاور لازم بداند، پیمانکار موظف است خیز معکوس لازم برای قالب‌ها و داربست‌ها را قبل از شروع عملیات محاسبه و به تأیید برساند.

۷-٤-۲ تنظیم مجموعه قالب‌بندی

مجموعه قالب‌بندی در تمامی مراحل قبل از بتن‌ریزی، ضمن و بعد از آن باید مطابق نظر مهندس مشاور باشد و به منظور حفظ مجموعه در محدوده رواداری‌های تعیین شده تنظیم شود.

۷-٤-۳ قالب‌برداری

۷-٤-۳-۱ کلیات

الف: قالب باید موقعی برداشته شود که بتن بتواند تنش‌های مؤثر را تحمل کند و تغییر شکل آن از تغییر شکل‌های پیش‌بینی شده تجاوز نکند.

ب: پایه‌ها و قالب‌های باربر نباید قبل از آنکه اعضا و قطعات بتنی مقاومت کافی را برای تحمل وزن خود و بارهای وارد کسب کنند، برچیده شوند.

پ: عملیات قالب‌برداری و برچیدن پایه‌ها باید گام‌به‌گام، بدون اعمال نیرو و ضربه، طوری صورت گیرد که اعضا و قطعات بتنی تحت اثر بارهای ناگهانی قرار نگیرند، بتن صدمه نبیند و ایمنی و قابلیت بهره‌برداری قطعات مخدوش نشود.

ت: در صورتی که قالب‌برداری قبل از پایان دوره مراقبت انجام پذیرد، باید تدابیری برای مراقبت بتن پس از قالب‌برداری اتخاذ کرد.

۷-٤-۳-۲ زمان قالب‌برداری

الف: در صورتی که زمان قالب‌برداری در طرح تعیین و تصریح نشده باشد باید زمان‌های داده شده در جدول ۷-۲ را به عنوان حداقل زمان لازم برای برچیدن قالب‌ها و پایه‌ها ملاک قرار داد.

ب: برچیدن قالب‌ها و پایه‌ها در مدتی کمتر از زمان‌های داده شده در جدول ۷-۲ فقط به شرط آزمایش قبلی و تأیید مهندس مشاور میسر است.

در صورتی که آزمایش نمونه‌های آگاهی (نگهداری شده در کارگاه) حاکی از رسیدن مقاومت بتن به حداقل هفتاد درصد مقاومت بیست و هشت روزه مورد نظر باشد، می‌توان قالب‌های سطوح زیرین را برداشت ولی برچیدن پایه‌های اطمینان فقط در صورتی مجاز است که علاوه بر مراعات تمامی محدودیت‌ها، به مقاومت بیست و هشت روزه مورد نظر رسیده باشد.

جدول ۷-۲ حداقل زمان لازم برای قالب‌برداری*

شرح / نوع قالب‌بندی		دمای محیط مجاور سطح بتن (درجه سانتی‌گراد)			
		۲۴ و بیشتر	۱۶	۸	۰
قالب‌های قائم (ساعت)		۹	۱۲	۱۸	۳۰
دال‌ها	قالب زیرین (شبانه روز)	۳	۴	۶	۱۰
	پایه‌های اطمینان (شبانه روز)	۷	۱۰	۱۵	۲۵
تیرها	قالب زیرین (شبانه روز)	۷	۱۰	۱۵	۲۵
	پایه‌های اطمینان (شبانه روز)	۱۰	۱۴	۲۱	۳۶

* زمان‌های داده شده با رعایت نکات مشروح زیر معتبرند:

– بتن با سیمان پرتلند معمولی نوع یک یا دو یا سایر سیمان‌هایی که روند کسب مقاومت مشابه دارند، ساخته شده باشند.

– در صورتی که در ضمن سخت شدن بتن دمای محیط به کمتر از صفر درجه سلسیوس تنزل کند زمان‌های داده شده را باید با نظر مهندس مشاور اصلاح کرد.

– در صورت استفاده از سیمان پرتلند نوع سه یا مواد تسریع کننده می‌توان با نظر مهندس مشاور زمان‌های داده شده را کاهش داد.

– در صورت استفاده از مواد کندگیر کننده، سیمان پرتلند نوع پنج یا سیمان‌هایی که روند کسب مقاومت مشابه دارند باید زمان‌های داده شده را با نظر مهندس مشاور افزایش داد.

– در صورتی که ملاحظات خاصی برای جلوگیری از ترک‌ها (به خصوص در اعضا و قطعات با ضخامت‌هایی متفاوت یا رویارو با دماهای مختلف)، یا تقلیل تغییر شکل‌های ناشی از وارفتگی مورد نظر باشد، باید زمان‌های داده شده را با تأیید مهندس مشاور افزایش داد.

– در صورتی که عمل آوردن تسریع شده یا قالب‌بندی خاصی مورد نظر باشد تقلیل زمان‌های داده شده با تأیید مهندس مشاور امکانپذیر است.

۷-٤-۳-۳ برداشتن پایه‌های اطمینان

الف: برای تیرهای با دهانه تا هفت متر برداشتن کل قالب و داربست و زدن پایه‌های اطمینان مجاز است ولی برای دهانه‌های بزرگتر از هفت متر، تنظیم قالب و داربست باید طوری باشد که برداشتن قالب بدون جابه‌جایی پایه‌های اطمینان میسر باشد.

ب: برای سازه‌های متشکل از دیوارها و دال‌های بتن‌آرمه، نظیر سازه‌هایی که با قالب‌های تونلی یا قالب‌واره‌های به ابعاد بزرگ ساخته شوند، می‌توان برچیدن پایه‌های اطمینان و برپایی مجدد آن‌ها را در دهانه‌های تا ده متر مجاز دانست مشروط بر آنکه زدن پایه‌های اطمینان بلافاصله پس از برداشتن قالب باشد و در عمل اطمینان حاصل شود که هیچ نوع ترک یا تغییر شکل نامطلوب بروز نخواهد کرد.

پ: به طور کلی در صورتی که قطعه مورد نظر جزئی از سیستمی پیوسته باشد، موقعی می‌توان پایه‌های اطمینان را برداشت که تمامی قطعات مجاور آن هم بتن‌ریزی شده باشند.

در صورتی که تیر یا دال یکسره طراحی شده باشد، نمی‌توان پایه‌های اطمینان دهانه‌ای را برچید مگر آنکه دهانه‌های طرفین آن بتن‌ریزی شده باشند و بتن آن نیز مقاومت لازم را کسب کرده باشد.

ت: در صورت تکیه کردن مجموعه قالب‌بندی طبقه فوقانی روی طبقه تحتانی، فقط وقتی می‌توان پایه‌های اطمینان طبقه زیرین را برچید که بتن طبقه بالا مقاومت لازم را کسب کرده باشد. توصیه می‌شود پایه‌های اطمینان همیشه در دو طبقه متوالی وجود داشته باشند و تا حد امکان هر دو پایه اطمینان نظیر در دو طبقه، روی هم و در امتدادی واحد قرار گیرند.

ث: برداشتن پایه‌های اطمینان باید بدون اعمال فشار و ضربه و طوری باشد که بار به تدریج از روی آنها حذف شود، (در دهانه‌های بزرگ از وسط دهانه به سمت تکیه‌گاه‌ها و در کنسول‌ها از لبه به طرف تکیه‌گاه). برداشتن بار از روی پایه‌های اطمینان در دهانه‌های بزرگ و قطعاتی که نقش سازه‌ای حساسی دارند باید با وسایل قابل کنترل انجام پذیرد، طوری که در صورت لزوم در هر لحظه بتوان باربرداری از روی پایه‌ها را متوقف کرد.

۷-۵ قالب‌بندی و قالب‌برداری سازه‌های ویژه

برای این منظور باید تدابیری خاص اتخاذ شده و روش‌های مربوط در مشخصات فنی خصوصی قید شوند.

۷-٦ قالب‌بندی و قالب‌برداری برای روش‌های ویژه ساختمانی

در قالب‌بندی و قالب‌برداری برای روش‌های ویژه ساختمانی باید علاوه بر رعایت ضوابط کلی زیر، ضوابط ویژه مربوط که در مشخصات فنی خصوصی به تفصیل درج می‌شوند نیز رعایت شوند.

۷-٦-۱ قالب‌های بتن پیش‌آکنده

قالب‌ها در این روش باید به نحوی قرار گیرند که فشار دوغاب تزریقی را تحمل کرده، مانع از هدر رفتن ملات شده و امکان تخلیه هوا را نیز فراهم سازند زیرا در بتن پیش‌آکنده دوغاب باید هوای اطراف مصالح سنگی درشت‌دانه را بیرون رانده و خود جای آن را بگیرد. فشار جانبی مضاعف در این روش، بهره‌گیری از

نیروی انسانی ماهرتر، جزئیات اجرایی دقیق‌تر و کاربرد مصالح مرغوب‌تر در مقایسه با قالب‌بندی بتن‌های متعارف را، اجتناب‌ناپذیر می‌سازد.

۷-٦-۲ قالب‌های لغزان

قالب‌های لغزان به طور کلی به دو نوع قائم و افقی تقسیم می‌شوند. قالب‌های لغزان قائم برای سازه‌های قائمی نظیر سیلوها، تأسیسات ذخیره‌سازی مواد و مصالح، هسته‌های مقاوم و دیوارهای برشی ساختمان‌ها، پایه‌های دودکش‌ها، برج‌های مخابراتی، مراقبت و دیده‌بانی، دیوارهای محافظتی در تأسیسات هسته‌ای و اتمی و سازه‌های مشابه به کار می‌رود. قالب‌های لغزان افقی در کارهایی نظیر پوشش تونل‌ها، لوله‌های آب، کانال‌های زهکشی، اعضا و قطعات پیش‌ساخته، روکش کانال‌ها، جدول‌های بتنی نیوجرسی و موارد مشابه به کار می‌رود. قالب‌های لغزان باید ابتدا طراحی و سپس اجرا شوند. عملیات لغزاندن قالب‌ها باید زیر نظر مستقیم فرد یا افراد مجرب دارای تجربه کار با این نوع قالب‌ها صورت پذیرد.

رواداری‌های لازم برای اجرای کار با استفاده از قالب‌های لغزان باید در مشخصات فنی خصوصی قید شود.

۷-٦-۳ قالب‌های ماندگار

قالب‌های ماندگار قالب‌هایی هستند که در جای خود باقی می‌مانند و ممکن است جزئی از سازه ساختمان نیز به حساب آیند. این قالب‌ها می‌توانند از نوع صلب، نظیر عرشه‌های فلزی (ورق‌های ذوزنقه‌ای یا موجدار)، بتن پیش‌ساخته، چوب، انواع پلاستیک و گونه‌های مختلف تخته‌های ساخته شده از الیاف یا نوع انعطاف‌پذیر مانند کاغذ موجدار مسلح ضد آب یا توری سیمی پشت‌کاغذی ضد آب باشند.

باید دقت لازم به عمل آید تا این نوع قالب‌ها تحت تأثیر بارهای زمان اجرا دچار اعوجاج، افتادگی و تغییر شکل‌های خارج از حدود رواداری‌ها نگردند. در صورت استفاده از قالب‌های صلب باید ضمن محاسبات سازه‌ای، به بارهای متمرکز زنده و مرده‌ای که به ویژه در زمان اجرا به اعضا و قطعات واقع بر حد فاصل عناصر تکیه‌گاهی وارد می‌شود، توجه گردد.

۷-٦-٤ قالب‌بندی بتن پیش‌تنیده

ضوابط قالب‌بندی بتن پیش‌تنیده باید در مشخصات فنی خصوصی درج شوند.

۷-٦-۵ قالب برای قطعات بتنی پیش‌ساخته

۷-٦-۵-۱ مقدمه

این نوع قالب‌ها برای ساخت اعضا و قطعات بتنی پیش‌ساخته باربر و غیر باربر به کار می‌روند.

۷-٦-۵-۲ ملزومات

در این قالب‌ها استفاده از ملزومات و ادواتی که از صلبیت و کیفیت مطلوب برخوردار بوده و میلگردها را در محل و موقعیت صحیح نگهدارند، اهمیتی به سزایی دارد. تمامی بازشوها، خم‌ها، قطعات جاگذاری شده، قلاب‌های مخصوص حمل و نقل و ادوات مورد نیاز برای اتصال قطعات بتنی که قرار است در بتن جا داده شوند باید به دقت در موقعیت‌های تعیین شده استقرار یافته و به نحوی مطمئن به قالب متصل گردند.

کیفیت و مقاومت ملزومات مورد بحث باید مطابق نقشه‌ها و مشخصات فنی باشد.

۷-٦-۵-۳ رواداری‌ها

رواداری‌های لازم برای اعضا و قطعات بتنی پیش‌ساخته در جدول ۷-۱ آمده است.

۷-٦-۵-٤ باز کردن قالب‌ها

اعضا و قطعات بتنی پیش‌ساخته باید هنگامی از قالب جدا شوند که بتن مقاومت مشخصه را کسب کرده باشد. زمان باز کردن قالب‌ها به کمک اندازه‌گیری مقاومت نمونه‌های استوانه‌ای که در شرایط کارگاهی به عمل آمده باشند، تعیین می‌شود.

روش‌های حمل و جدا کردن اعضا و قطعات پیش‌ساخته از قالب، باید به تایید مهندس مشاور برسد.

۷-٦-۵-۵ استفاده از بتن پیش‌ساخته به عنوان قالب

صفحات یا قطعات بتنی پیش‌ساخته به عنوان قالب برای بتن‌ریزی درجا و ساخت اعضا و قطعات بتنی پیش‌ساخته، هم به عنوان قالب ماندگار و هم به عنوان قالبی که خود جزئی از بتن اصلی محسوب می‌شود مورد استفاده قرار می‌گیرند. قطعات بتن پیش‌ساخته به عنوان قالب ممکن است از بتن بدون آرماتور، بتن‌آرمه و بتن پیش‌تنیده در کارخانه و یا در کارگاه ساخته شوند. متداول‌ترین قالب‌های بتنی پیش‌ساخته، دال‌های بتنی

هستند که پس از استقرار در محل به عنوان قالب و ریختن بتن تکمیلی روی آنها به صورت مقاطع مرکب عمل می‌کنند.

۷-۶-۵-۶ ملاحظات طراحی

جایی که قرار است قالب بتنی پیش‌ساخته با بتن سازه‌ای به شکل مقطع مرکب عمل کند، باید صفحات قالب با توجه به جزئیات مربوطه طرح و محاسبه شوند. برای قالب‌های ماندگاری که قرار است به منظور حصول نمای مطلوب به کار روند باید ویژگی‌های سطوح تمام شده و حداقل ضخامت مطلوب مصالح نما مشخص شود.

جزئیات اتصالات باید چنان باشد که از گیر کردن قطعات پیش‌ساخته به یکدیگر و نیز به قطعات ریخته شده موجود در جا جلوگیری به عمل آید.

پیوستگی مؤثر بین قطعه قالب پیش‌ساخته و بتن سازه‌ای ضروری است.

قلاب‌های مخصوص حمل و نقل قالب‌های بتنی را می‌توان چنان طراحی و اجرا کرد که به عنوان قلاب مهاری یا برش‌گیر عمل کنند.

قالب‌های بتنی پیش‌ساخته که قرار است با بتن در جا به صورت مرکب عمل کنند باید بر اساس ضوابط و الزامات آیین‌نامه بتن ایران (ضابطه شماره ۱۲۰) طرح و محاسبه شوند.

۷-۶-۶ قالب برای بتن‌ریزی زیر آب

قالب برای بتن‌ریزی زیر آب، با توجه به ملاحظاتی که در مورد دیگر انواع قالب آمده است، طرح و محاسبه می‌شود با این تفاوت که جرم بتن در زیر آب در اثر نیروی ارشمیدس به اندازه جرم آب جابه‌جا شده کاهش می‌یابد.

در ناحیه جزر و مد، قالب‌ها باید برای پایین‌ترین تراز آب طرح و محاسبه شوند. تغییرات در برنامه‌های اجرایی ممکن است بتن‌ریزی را که برای حالت غوطه‌وری برنامه‌ریزی شده با تغییر شرایط مواجه سازد و به این ترتیب فشار آب را از دایره عمل خارج نماید.

قالب‌های زیر آبی را باید تا جایی که ممکن است در قطعات بزرگ و در بالای سطح آب ساخت و سپس در محل خود در زیر آب مستقر کرد.

باید از به کار بردن کش‌های درونی در قالب که می‌تواند در کار بتن‌ریزی اختلال ایجاد کند تا حد امکان پرهیز شود.

قالب‌ها باید به دقت به یکدیگر متصل شده و به ترتیبی در کنار مصالح و یا قسمت‌های ساخته شده قبلی قرار گیرند که دوغاب و ملات تحت تأثیر فشار از درزها خارج نشود. چنانچه قالب در معرض عبور جریان آب قرار می‌گیرد باید از وجود منافذ کوچک در قالب که امکان شسته شدن ذرات بتن تازه را فراهم می‌سازد، پرهیز گردد.

۷-۷ لوله‌ها و مجراهای مدفون در بتن

۷-۷-۱ مدفون کردن لوله‌ها و مجراهای آب

مدفون کردن لوله‌ها و مجراهای آب، فاضلاب، بخار و گاز در بتن تیرها و ستون‌ها و در امتداد محور آنها یا در بتن قطعات صفحه‌ای و به موازات میان صفحه آن‌ها جز در موارد مندرج در بند ۷-۷-۲ ممنوع است.

از عبور دادن لوله‌ها و مجراهای مذکور عمود بر امتدادهای ذکر شده هم باید تا حد امکان پرهیز کرد. در صورت ضرورت باید اطراف لوله‌ها و مجراها به نحو مناسب تقویت شود.

۷-۷-۲ محاسبه فضای اشغال شده با ناودان

در مناطقی که بارندگی مستمر ندارند، می‌توان برای ساختمان‌های تا سه طبقه، ناودان را در داخل بتن ستون دفن کرد، مشروط بر این که در انجام محاسبات سازه فضای اشغال شده توسط ناودان، خالی در نظر گرفته شود.

۷-۷-۳ عبور لوله و مجرا از داخل فضاهای خالی

عبور دادن لوله‌ها و مجراها از داخل فضای خالی تیرها و ستون‌های با مقطع مجوف، مشروط بر این که قابل بازدید و قابل تعویض باشند، بلامانع است.

۷-۷-٤ دفن کردن لوله‌ها و مجراهای تأسیساتی و برقی

دفن کردن لوله‌ها و مجراهای تأسیساتی و برقی جز در موارد مندرج در بند ۷-۷-۱ مجاز است، مشروط بر این که سایر ضوابط بند ۷-۷ رعایت شود.

۷-۷-۵ لوله‌ها و مجراهای آلومینیومی

لوله‌ها و مجراهای آلومینیومی نباید در قطعات بتنی دفن شوند مگر آن که به طرزی مؤثر روکش شده باشند طوری که ترکیب شیمیایی میان بتن و آلومینیوم و نیز فعل و انفعال الکتروشیمیایی بین آلومینیوم و فولاد امکانپذیر نباشد.

۷-۷-٦ سوراخ کردن دال یا دیوار

در قالب‌بندی پوشش‌های طبقات و نیز دیوارهای باربر باید عبور لوله‌ها و مجراهای مورد نیاز تأسیسات مکانیکی و برقی مطابق نقشه‌های مربوط پیش‌بینی شود، تا تخریب بتن پس از اتمام بتن‌ریزی لازم نشود. در موارد اضطراری که تعبیه سوراخ‌ها در زمان قالب‌بندی و بتن‌ریزی پیش‌بینی نشده باشد، سوراخ کردن دال یا دیوار فقط با ابزار مناسب و مورد تأیید مهندس مشاور مجاز است.

۷-۷-۷ قرار دادن لوله‌های پلاستیکی داخل ستون‌ها و دیوارها

قرار دادن لوله‌های پلاستیکی داخل ستون‌ها و دیوارها برای عبور میل مهارهای قالب به شرط پر کردن آن‌ها با ملات ماسه سیمان پس از قالب‌برداری، مجاز است. در صورتی که تعداد و قطر این لوله‌ها در حدی باشد که هیچ یک از مقاطع بتن بیشتر از ۳ درصد کاهش نیابد، می‌توان از پر کردن داخل آن‌ها صرف‌نظر کرد.

۷-۷-۸ بست لوله‌ها و مجراها

سطح اشغال شده توسط لوله‌ها و مجراهایی که همراه بست‌های خود در بتن ستون دفن می‌شوند نباید بیشتر از ۳ درصد سطح مقطعی را که محاسبه مقاومت قطعه بر آن اساس بوده یا برای مقابله با اثر آتش‌سوزی مورد نیاز است باشد. به علاوه این گونه لوله‌ها و مجراها باید در حوالی محور طولی ستون قرار گیرند.

به هر حال نباید عملکرد قطعه با خدشه قابل ملاحظه‌ای مواجه شود. در صورت برآورده نشدن شروط فوق باید اثر مجراها در مقاومت ستون‌ها منظور شود.

۷-۷-۹ الزامات لوله‌ها و مجراهای مدفون

لوله‌ها و مجراهای مدفون در بتن دال‌ها، تیرها و دیوارها جز در مواردی که نقشه‌های آن‌ها به تصویب مهندس طراح رسیده باشند باید با ضوابط زیر مطابقت داشته باشند.

۷-۷-۹-۱ ابعاد بیرونی

ابعاد بیرونی آن‌ها نباید از $\frac{1}{3}$ ضخامت کل قطعه مورد نیاز بیشتر باشد.

۷-۷-۹-۲ فاصله مرکز تا مرکز لوله‌ها

فاصله مرکز تا مرکز هر دو لوله یا مجرای مجاور هم نباید از ۳ برابر قطر یا عرض آن‌ها کمتر باشد.

۷-۸ درزهای اجرایی

۷-۸-۱ تعداد درزهای اجرایی

تعداد درزهای اجرایی باید در کمترین حد لازم برای انجام کار انتخاب شود.

۷-۸-۲ تعیین موقعیت درزهای اجرایی

در تعیین موقعیت درزهای اجرایی باید دقت کافی به عمل آورد. تیپ درزهای اجرایی و موقعیت آن‌ها بسته به اهمیت کار باید در نقشه‌ها منعکس یا در کارگاه توسط مهندس مشاور تعیین شود. در هر حال تعیین موقعیت درزهای اجرایی را نباید به محل یا زمانی دلخواه از قبیل پایان روز کاری موکول کرد.

۷-۸-۳ پاک سازی سطح بتن در درزهای اجرایی

در درزهای اجرایی باید سطح بتن را تمیز کرد و دوغاب خشک شده را از روی آن پاک کرد.

۷-۸-٤ انتقال نیروهای برشی

درزهای اجرایی را باید در مقاطعی پیش‌بینی کرد که در آن‌ها تلاش‌ها و به ویژه نیروهای برشی کمترین مقدار را دارند. در صورت لزوم برای انتقال نیروهای برشی و سایر تلاش‌ها در محل درزهای اجرایی باید پیش‌بینی‌های لازم به عمل آید.

۷-۸-۵ تأمین پیوستگی بتن در محل درزهای اجرایی

برای تأمین پیوستگی بتن در محل درزهای اجرایی باید سطح بتن قبلی را خشن ساخت و سپس لایه بعد را ریخت.

۷-۸-٦ آماده سازی سطوح بتن ریزی به صورت اشباع با سطح خشک

تمامی سطوح درزهای اجرایی را قبل از بتن‌ریزی جدید باید به صورت اشباع با سطح خشک آماده کرد.

۷-۸-۷ شکل درزهای اجرایی

درزهای اجرایی نباید بدون شکل باشد بلکه باید امتدادی عمود بر امتداد تنش‌های عمودی داشته باشد. از ایجاد درزهای بزرگ اجرایی باید خودداری کرد و درزهای لازم را به صورت پلکانی با سطوح شکسته در نظر گرفت.

۷-۸-۸ درزهای اجرایی قائم

ایجاد درزهای اجرایی قائم باید با قالب‌های مناسب انجام شود.

۷-۸-۹ درزهای اجرایی کف

ایجاد درزهای اجرایی کف باید در ثلث میانی دهانه دال‌ها و تیرهای اصلی و فرعی قرار گیرند. در تیرهای اصلی فاصله هر درز اجرایی تا تیر فرعی متقاطع با آن‌ها نباید از دو برابر عرض تیر فرعی کمتر باشد. در صورت تعارض مفاد بند ۷-۸-۴ اولویت دارد.

۷-۸-۱۰ تیرها یا دال‌های متکی بر ستون‌ها یا دیوارها

تیرها یا دال‌های متکی بر ستون‌ها یا دیوارها را تا زمانی که این اعضای قائم حالت خمیری دارند نباید بتن‌ریزی کرد.

۷-۸-۱۱ بتن تیرها و سر ستون‌ها

بتن تیرها و سر ستون‌ها را باید به صورت یکپارچه با بتن دال ریخت، مگر آن که خلاف آن در نقشه‌ها یا دفترچه مشخصات فنی تصریح شده باشد.

۸

کنترل فرسایش خاک

۸-۱ کلیات

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، شامل موارد زیر است ولی به آنها محدود نمی‌شود. این عملیات باید با مشخصات این فصل مطابقت داشته و جزئیات اجرایی و اندازه‌دهی آنها بر حسب مورد در مشخصات فنی خصوصی هر طرح قید شود.

۸-۲ دیوارهای خشکه‌چین

دیوارهای خشکه‌چین با رج‌های منظم با همان روش و دقت و نظمی که در مورد کارهای بنایی (فصل پنجم) 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.

۸-۳ 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 در پشت کار به مصرف شوند.

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.

۸-٤ 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 باشند. 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.

۸-۵ حفاظت شیروانی‌ها

شیروانی خاکریزها و خاکبرداری‌ها و کف دیوارهای کانال‌ها طبق نقشه‌ها و دستورکار مهندس مشاور حفاظت خواهد شد.

حفاظت شیروانی‌ها با روش‌های زیر تأمین می‌شود:

۸-۵-۱ پوشش ساده

تأمین پوشش با خشکه‌چینی سنگ انجام می‌شود. برای اینکه پیوستگی کامل به دست آید سنگ‌ها را روی شیروانی که با خرده‌سنگ معدن 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 لایه‌های 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.

۸-۵-۲ پوشش مختلط

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

۸-۵-۳ پوشش با بلوک‌های بتنی

این نوع پوشش را می‌توان با دال‌های بتنی به ضخامت ۱۵ سانتی‌متر از نوع بتن C25 بر روی قشر خرده‌سنگ متراکم طبق دستورکار مهندس مشاور و نقشه‌ها انجام داد.

۸-۵-٤ 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 کرد.

۸-۵-۵ پوشش گیاهی

در این روش از اثرات هیدرومکانیکی کاشت گیاه و درختکاری برای مسلح کردن و تثبیت خاک با ریشه گیاهان استفاده می‌شود.

مسلح کردن خاک با این روش دارای امتیازهای 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.

۸-۵-٦ 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.

کیفیت الیاف استفاده شده باید با توجه به مشخصات و روش‌های آزمایش استاندارد تعیین شده در ASTM، انجام شود. ضوابط و معیارهای فنی این محصولات باید در مشخصات فنی خصوصی هر طرح بر حسب مورد قید شود.

۸-٦ تسطیح و روانه‌کاری شیروانی خاکریزهای سنگی

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.

1. Geosynthetic

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.

۸-۷ 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 آب شستگی به کار می‌رود که مهندس مشاور دستورکار ساختن و اجرای آن را طبق نقشه‌های تیپ خواهد داد.

۸-۷-۱ مشخصات اجزاء تشکیل دهنده توری سنگ‌ها

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

۸-۷-۱-۱ تور سیمی بافته شده

تور سیمی باید از آهن گالوانیزه بوده و با مشخصات استاندارد BS443 و یا مشخصات نظیر (از جمله مشخصات استاندارد برای رشته سیم فولادی با روکش فلزی ASTM A475) مطابقت داشته باشد. کمترین قطر سیم‌ها ۳ میلی‌متر و اندازه چشمه شش ضلعی تور سیمی باید ۱۰۰×۸۰ یا ۱۲۰×۱۰۰ میلی‌متر باشد. تور سیمی باید از یک قطعه تشکیل گردد.

۸-۷-۱-۲ 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.

۸-۷-۲ انواع توری سنگ‌ها

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

۸-۷-۲-۱ توری سنگ جعبه‌ای

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

۸-۷-۲-۲ 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.

۸-۷-۲-۳ توری سنگ کیسه‌ای

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

۸-۷-۳ 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: موج‌شکن‌ها برای انحراف مسیر رودخانه

ث: پوشش دامنه خاکریز و نظایر آن

ج: بستر پی در زمین‌های مردابی و لجنی

مهندس مشاور برای هریک 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.

۹

قنات‌ها

۹-۱ کلیات

قنات‌های دائر و یا متروکه‌ای که در مسیر و یا داخل حریم راه واقع می‌شوند باید مطابق مشخصات این فصل، نقشه‌های اجرایی و دستورکارهای مهندس مشاور، حفاظت، تقویت و یا تغییر مسیر داده شده و در صورت لزوم با خاکریزی پر شوند.

۹-۲ انواع قنات

قنات‌ها به دو دسته دائر و متروکه تقسیم شده و بر حسب موقعیتی که نسبت به مسیر راه دارند، باید در طولی که تحت تأثیر عملیات اجرایی قرار می‌گیرند، شرایط زیر در مورد آن‌ها رعایت شود.

۹-۲-۱ قنات‌های دائر

الف: وقتی مسیر راه یک رشته قنات دائر را به طور مایل قطع می‌کند، مهندس مشاور می‌تواند دستور دهد تا امتداد قنات عمود بر راه منحرف شود مشروط بر آنکه مشکلی برای جریان طبیعی آب قنات به وجود نیاید.

ب: قنات منحرف شده جدید در صورتی که مهندس مشاور تشخیص دهد باید با پوشش حفاظت و تقویت شود.

پ: آن بخش از قنات قدیمی که به شرح بند الف به صورت مایل در زیر راه بدون استفاده قرار می‌گیرد باید مطابق دستورکارهای مهندس مشاور پر شود.

ت: چنانچه قنات در عمق کمتر از پنج متر از سطح زمین طبیعی قرار گرفته باشد باید با لوله‌های بتن مسلح به قطر حداقل ۸۰ سانتی‌متر پوشش و تقویت شود.

ث: برای عمق‌های بین پنج تا ده متر قنات باید با قطعات بتن مسلح پوشش گردد.

ج: چنانچه عمق قنات نسبت به سطح زمین طبیعی بیش از ده متر باشد می‌توان آن را با تأیید مهندس مشاور بدون عملیات حفاظتی باقی گذاشت و یا در صورت لزوم با قطعات بتن مسلح پوشش و تقویت کرد.

چ: برای حفاظت قنات‌های دائر که در خاکبرداری قرار می‌گیرند باید طبق دستورکارهای مهندس مشاور عمل شود.

ح: برای پوشش، حفاظت و تقویت قنات‌ها باید مطابق نقشه‌های اجرایی و مشخصات فنی عمل شود.

۹-۲-۲ قنات‌های متروکه زیر بستر راه

در حالتی که مسیر راه قنات‌های قدیمی و متروکه را قطع می‌کند و عمق قنات کمتر از ۱۰ متر است، باید قنات مزبور را همان طوری که در بالا گفته شد پر کرد. در صورتی که عمق قنات بیشتر از ۱۰ متر باشد مطابق دستورکارهای مهندس مشاور عمل خواهد شد. معمولا در این حالت‌ها ته هر چاه باید نخست تا حداقل به ارتفاع ۱٫۵ متر قلوه سنگ و یا شن درشت و بقیه با شفته آهک پر شود.

۹-۳ چاه قنات

چنانچه چاه‌های بازدید قنات (میله قنات) موجود در مسیر راه و یا داخل حریم آن قرار گیرد، این نوع چاه‌ها را باید برابر دستورکارهای مهندس مشاور ضمن حفظ عبور آب قنات، چاه قنات را کور کرد.

چنانچه بر اثر کور نمودن چاه‌ها فاصله دو چاه مجاور نسبت به هم از حد لازم تجاوز کند. در این صورت پیمانکار طبق دستورکار مهندس مشاور یک یا چند حلقه چاه قنات در خارج از حریم راه طبق نقشه مصوبه احداث خواهد کرد.

۹-٤ چاه‌های آزمایش و کنترل

در صورتی که برای پیدا کردن مسیر قنات‌های قدیمی نیاز به حفر چاه‌های آزمایشی باشد، چاه‌های حفر شده پس از انجام آزمایش و بازرسی باید کاملا پر و مطابق مشخصات کوبیده شود. بهتر است این چاه‌ها در دو طرف مسیر حفر گردیده و روی آن‌ها با کپه‌های خاک علامت‌گذاری شود. در این عملیات اگر به قنات‌های قدیمی دایر صدمه‌ای وارد شود، پیمانکار باید به هزینه خود آنها را تعمیر و مرمت کند.

۹-۵ قنات‌های موجود مجاور راه‌های در دست اقدام

از دست زدن و برداشتن خاک‌های اطراف میله‌های قنات که خارج از حریم راه قرار گرفته‌اند باید خودداری گردد. هرگونه خسارتی که به قنات‌های موجود دایر برسد پیمانکار باید فورا آن را به هزینه خود تعمیر کند.

۱۰

کارهای فلزی،
جان‌پناه،
عایق‌بندی و اندود

۱۰-۱ کلیات

کارهای فلزی، جان‌پناه، عایق‌بندی سطوح بتنی و بنایی و اندودکاری پشت طاق پل‌ها با ملات‌های سیمانی باید مطابق مشخصات این فصل انجام شود.

۱۰-۲ کارهای فلزی

۱۰-۲-۱ فولاد ساختمانی[1]

فولاد مصرفی به صورت ورق یا مقاطع نورد شده باید با استانداردهای ملی ایران مطابقت داشته باشد. در صورتی که برای بعضی از مصالح مورد نظر، استاندارد داخلی موجود نباشد باید یکی از استانداردهای معتبر بین‌المللی (مانند استاندارد ISO، DIN، ASTM یا AASHTO) مورد استفاده قرار گیرد. مشخصات مکانیکی فولاد مصرفی باید با جداول ۱۰-۱ و ۱۰-۲ مطابقت داشته باشد.

ورق‌های فولادی از نظر مشخصات هندسی باید مطابق استاندارد ملی ایران شماره ۳۶۹۴ و مقاطع پروفیل‌های نورد شده مطابق استانداردهای ملی ایران شماره (۳۲۷۷، ۱۷۹۱، ۱۳۷۷۹، ۱۳۷۸۱، ۱۳۹۶۸ قسمت ۱و۲ و ۴۴۷۷ قسمت ۱و۲) یا سایر استانداردهای معتبر بین‌المللی باشند.

قطعات فولادی باید بدون معایبی که به مقاومت و شکل ظاهری آن‌ها صدمه می‌زند، باشند. این قطعات باید یکپارچه بوده و از وصله کردن قطعات کوتاه خودداری شود. مگر آنکه محل وصله در نقشه‌های اجرایی مشخص شده یا به تأیید مهندس مشاور رسیده باشد.

1. Steel Structures

جدول ۱۰-۱ مشخصات مکانیکی فولاد - مشخصات تنشی

نشانه شناسایی فولاد			حداقل تنش تسلیم (Fy) به N/mm² (ضخامت اسمی به mm)								مقاومت کششی (Fu) به N/mm² (ضخامت اسمی به mm)			
INSO 3694	EN10027-1	DIN17100	≤16	>16 ≤40	>40 ≤63	>63 ≤80	>80 ≤100	>100 ≤150	>150 ≤200	>200 ≤250	<3	>3 ≤100	>100 ≤150	>150 ≤250
HR 235	S235JR	St 37-2	235	225	-	-	-	-	-	-	360-510	340-470	-	-
	S235J0	St 37-3U	235	225	215	215	215	195	185	175	360-510	340-470	340-470	340-470
	S235G3	St 37-3N	235	225	215	215	215	195	185	175	360-510	340-510	340-470	320-470
HR 275	S275JR S275J0 S275J2G3	St 44-2 St 44-3U St 44-3N	275	265	255	245	235	225	215	205	430-580	410-560	400-540	380-540
HR 355	S355J0	St 52-3U	355	345	335	325	315	295	285	275	510-680	490-630	470-630	450-630

جدول ۱۰-۲ مشخصات مکانیکی فولاد - مشخصات حداقل تغییر طول نسبی (درصد)

نشانه شناسایی فولاد			حداقل تغییر طول نسبی L_0=80mm (ضخامت اسمی به mm)					
INSO 3694	EN10027-1	DIN17100	وضعیت نمونه	>3 ≤40	>40 ≤63	>63 ≤100	>100 ≤150	>150 ≤250
HR 235	S235JR	St 37-2	طولی	۲۶	۲۵	۲۴	۲۲	۲۱
	S235J0	St 37-3U						
	S235G3	St 37-3N	عرضی	۲۴	۲۳	۲۲	۲۲	۲۱
HR 275	S275JR	St 44-2	طولی	۲۲	۲۱	۲۰	۱۸	۱۷
	S275J0	St 44-3U						
	S275J2G3	St 44-3N	عرضی	۲۰	۱۹	۱۸	۱۸	۱۷
HR 355	S355J0	St 52-3U	طولی	۲۲	۲۱	۲۰	۱۸	۱۷
	S355J2G3	St 52-3N	عرضی	۲۰	۱۹	۱۸	۱۸	۱۷

۱۰-۲-۲ فولاد سخت - چدن[1]

فولاد ریختگی مصرفی باید با استاندارد DIN 1681 و یا آیین‌نامه‌های نظیر مطابقت داشته باشد.

۱۰-۲-۳ مشخصات مکانیکی مصالح پیچ، پرچ و گل‌میخ

اتصال قطعات فولادی ساخته شده بعد از حمل به محل نصب، توسط پرچ یا پیچ صورت می‌گیرد. در اتصال قطعات سازه پل‌های فولادی باید از پیچ‌های پرمقاومت استفاده گردد. استفاده از پیچ‌های معمولی در ساختمان سازی سبک، اعضای مهاربندها و اعضای درجه دوم، و کلیه اعضایی که بار وارد بر آن‌ها سبک و استاتیکی می‌باشند، مجاز است. از پیچ‌های معمولی به عنوان پیچ مونتاژ در اتصالاتی که وسایل اصلی اتصال آن‌ها پیچ‌های پرمقاومت یا جوش است نیز می توان استفاده کرد.

مشخصات مکانیکی پرچ‌ها و پیچ‌ها باید با جدول ۱۰-۳ و مشخصات مکانیکی گل‌میخ‌های مصرفی باید با جدول ۱۰-۴ مطابقت داشته باشد.

1. Hard Steel - Cast Iron

جدول ۱۰-۳ مشخصات مکانیکی پیچ‌ها و پرچ‌ها

توضیح	نام تجاری پیچ یا پرچ		تنش تسلیم	تنش نهایی
	DIN	ASTM	Fy(N/mm²)	Fu(N/mm²)
پرچ	UST36		۲۰۵	۳۳۰
	UST38		۲۲۵	۳۷۰
		A502 , Gr1	۱۹۰	
		A502 , Gr1	۲۶۰	
پیچ معمولی	۴/۶		۲۴۰	۴۰۰
	۵/۶		۳۰۰	۵۰۰
		A307		۴۲۰
پیچ پرمقاومت	۸/۸		۶۴۰	۸۰۰
	۱۰/۹		۹۰۰	۱۰۰۰
		A325	*۵۹۰ – +۶۴۰	(d≤25mm) , ۸۲۵
			*۵۱۰ – +۵۶۰	(d<25mm) , ۷۲۵
		A490	*۸۲۵ – +۹۰۰	۱۰۰۰

+ نظیر کرنش ۰/۵۰ درصد * روش تصویر

جدول ۱۰-٤ مشخصات مکانیکی گل‌میخ‌ها

ردیف	رده	تنش تسلیم Fy(N/mm²)	تنش نهایی Fu(N/mm²)
۱	DIN 32 500 Part 1, رده 4.8	۳۲۰	۴۰۰
۲	DIN 32 500 Part 3, ST37-3	۳۵۰	۴۵۰
۳	DIN 17 100 (ST37-2,3) d<40	۲۴۰	۳۶۰
	40<d<80	۲۱۵	
۴	DIN 17 100 (ST52-3) d<40	۳۶۰	۵۱۰
	40<d<80	۳۲۵	

۱۰-۲-٤ ساخت و نصب قطعات سازه فولادی

۱۰-۲-٤-۱ نقشه‌های کارگاهی[1]

پیمانکار موظف است قبل از شروع عملیات ساخت قطعات، نقشه های کارگاهی را بر اساس نقشه‌های اجرایی، تهیه و به تایید مهندس مشاور برساند. نقشه‌های کارگاهی باید تمام اطلاعات و جزئیات لازم برای ساخت قطعات اعم از ابعاد و اندازه‌های ورق‌ها و پروفیل‌های مورد استفاده در هر قطعه، آماده‌سازی لبه‌ها برای جوشکاری، جزئیات جوشکاری، جزئیات سوراخکاری، اندازه پیچ‌ها و نحوه اعمال خیز منفی تیرها را شامل شود.

قبل از شروع به ساختن و نصب قطعات باید اندازه‌های مندرج در نقشه‌ها به منظور تطبیق کامل و جلوگیری از بروز هر گونه اشکال در موقع ساخت و نصب به دقت کنترل گردد.

هر قطعه پس از آنکه به اندازه و شکل مشخص شده در نقشه‌ها ساخته شد، باید شماره و علامت گذاری شود. مونتاژ، جوشکاری و متصل کردن قطعات به یکدیگر باید در کارگاه سرپوشیده و مجهز ساخت سازه‌های فولادی و توسط استادکاران و کارگران ماهر انجام گردد.

۱۰-۲-٤-۲ بریدن و سوراخ کردن

قطعات باید به ابعاد و اشکال لازم به دقت بریده شده و در محل‌های لازم سوراخ شوند. برش ورق‌هایی که در ساخت قطعات فولادی مصرف می‌شود باید توسط دستگاه برش شعله ریلی انجام گیرد. برش نیمرخ‌های فولادی که برای ساخت مهارها، نرده‌ها و اتصال آنها صورت می‌گیرد در صورت تأیید مهندس مشاور می‌تواند با اره آهن‌بر مکانیکی یا دستی انجام شود. در هر صورت کلیه ناصافی هایی که بر اثر برش بوجود می آید باید با سنگ زدن برطرف شود. سوراخ‌های نهایی ورق‌ها با مته دوار انجام پذیرد. قطعاتی که با پیچ به هم متصل می‌شوند در صورت امکان باید همه به هم خال‌جوش شده و با هم سوراخکاری شوند.

۱۰-۲-٤-۳ خیز و خم و راست کردن قطعات

بکارگیری روش‌های گرم کردن موضعی و یا تغییر شکل مکانیکی برای ایجاد انحنا یا راست کردن قطعات باید با تأیید مهندس مشاور باشد. دمای موضع گرم شده نباید از ۶۵۰ درجه سانتی‌گراد تجاوز نماید. این دما

1. Workshop Drawings

باید توسط گچ‌های رنگی مخصوص که در درجه حرارت حدود ۶۰۰ درجه سانتی‌گراد تغییر رنگ می‌دهند، کنترل شود.

۱۰-۲-٤-٤ ساخت و آماده کردن قطعات قبل از نصب

قطعات فولادی باید طوری ساخته شوند که هیچ نوع تغییر شکلی غیر از آنچه در نقشه‌ها مشخص شده در آن‌ها به وجود نیاید. انحناء و تغییرشکل‌هایی که طبق نقشه یا دستورکار مهندس مشاور لازم باشد هنگام ساختن قطعات ایجاد می‌شود. قطعاتی که در نقشه یک تکه نشان داده شده نباید از اتصال دو یا چند قطعه، ساخته شوند مگر آنکه مهندس مشاور آن را تأیید کرده و نقشه مربوطه را به پیمانکار ابلاغ کند. پخ‌زنی و آماده‌سازی لبه قطعات برای جوشکاری با برش، باید با زاویه دادن یا با سنگ‌زنی‌های بعدی انجام پذیرد. پخ زدن از طریق ضربه مجاز نمی‌باشد. آماده کردن لبه قطعات و پخ‌زنی برای جوشکاری باید مطابق مقررات جزئیات اجرایی جوش باشد، که طبق بند (۱۰-۲-۴-۵) قبلا تهیه و به تایید مهندس مشاور رسیده است.

۱۰-۲-٤-٥ اتصال با جوش

برای اتصال قطعات با جوش رعایت مشخصات مربوط به فرایند جوشکاری مطابق با مقررات و آیین‌نامه‌های زیر الزامی است:

الف: نشریه‌های شماره ۲۰ تا ۲۴ و ۲۲۸ و ۲۶۴ سازمان برنامه و بودجه کشور

ب: آیین‌نامه انجمن جوش آمریکا[1] برای آزمایش‌های غیر مخرب[2] به شرح جزئیات زیر:

- بازرسی عینی و مشاهده‌ای مطابق AWS B1.11
- آزمایش‌های غیرمخرب با مایع نافذ[3] ذرات مغناطیسی[4]، آزمون فراصوتی[5] و پرتونگاری[6] برابر با AWS D1.1 و آیین‌نامه‌های مرتبط
- آزمایش مربوط به جوشکاری پل‌های فلزی AWS D1.5

1. American Welding Society, AWS
2. Nondestructive Testing
3. Liquid Penetrant
4. Magnetic Particles
5. Ultrasonic
6. Radiographic

پ: آیین‌نامه‌های ASTM جلد ۰۳-۰۳[1] استانداردهایی در مورد آزمایش‌های غیرمخرب مواد مهندسی، سازه‌ها و مجموعه‌ها برای تشخیص و توصیف خواص مواد به شرح فوق ارایه می‌دهد.

ت: مقررات جوشکاری مطابق مبحث طرح و اجرای ساختمان‌های فولادی، از مقررات ملی ساختمانی ایران

موارد زیر جهت تکمیل و تأیید بعضی مفاد نشریه‌های فوق عنوان می‌گردند:

۱ – پیمانکار باید برای یکایک جوش‌ها قبل از شروع جوشکاری نوع الکترود مصرفی و قطر آن، شدت جریان و ولتاژ، تعداد پاس‌ها، نحوه آماده سازی لبه‌ها و تمام اطلاعات اجرایی دیگر را توسط مهندس یا کاردان ارشد جوشکاری بر روی برگه‌های "دستورالعمل جوشکاری" ثبت کرده و در تمام مدت جوشکاری در اختیار جوشکار، سرپرست کارگاه جوشکاری و مهندس مشاور قرار دهد.

برگه‌های دستورالعمل جوشکاری باید قبلا به تایید مهندس مشاور رسیده باشد.

۲– جوشکاری باید طبق نقشه و مطابق با ابعاد مشخص شده طراح، توسط جوشکاران ماهر (ارزیابی شده) انجام گردد و چنانچه مهندس مشاور لازم بداند باید جوشکاران دارای گواهینامه جوشکاری از وزارت کار و رفاه اجتماعی یا مراجع ذیصلاح دیگر بوده و یا قبل از شروع کار توسط مهندس مشاور ارزیابی لازم از آن‌ها انجام شده باشد.

۳ – قبل از جوشکاری باید سطوح مورد نظر از مواد زاید (گرد و خاک، زنگ زدگی، رنگ وغیره) کاملا پاک شود.

۴ – جوشکاری بطورکلی در درجه حرارت زیرصفر درجه سانتی‌گراد خصوصا درجریان باد ممنوع است، در صورتی که جریان هوا یکنواخت و ثابت بوده و بتوان سطوح مجاور محل جوشکاری را به شعاع حداقل ۱۰ سانتی‌متر با وسائل مناسب بنحوی گرم کرد که با دست کاملا محسوس باشد و این درجه حرارت در تمام مدت جوشکاری حفظ شود، می‌توان در هوای تا ۵ درجه زیر صفر جوشکاری کرد.

۵ – جوشکاری نباید بیش از آنچه در نقشه ذکرشده یا مهندس مشاور دستورکار داده است، انجام شود.

۶ – شدت جریان و نوع الکترودها باید طوری انتخاب شوند که جوش کامل و دارای نفوذ کافی بوده و قطعات مورد اتصال بقدر کافی ذوب شوند. سطح جوش باید عاری از شیار، قسمت‌های برآمده، سوختگی و گودی درز باشد.

---

1 ASTM Volume 03.03: Nondestructive Testing

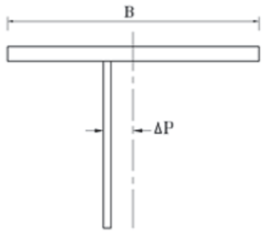
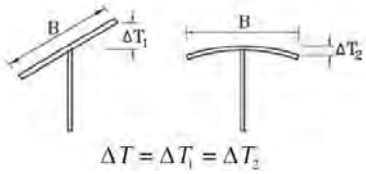
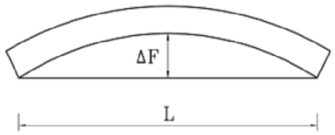
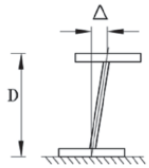
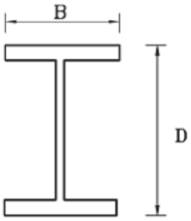
۷ – چنانچه جوشکاری در بیش از یک پاس انجام شود قبل از برداشتن پوسته پاس قبلی و پاک کردن آن با برسی سیمی، نباید پاس بعد شروع شود.

۸ – بین قطعاتی که مستقیماً به روش جوش گوشه بهم جوش می‌شوند نباید درزی بیش از ۲ میلی‌متر موجود باشد.

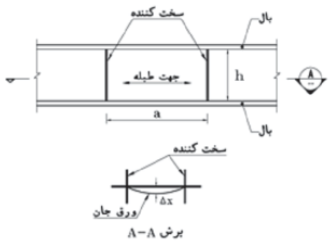
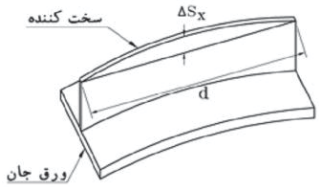
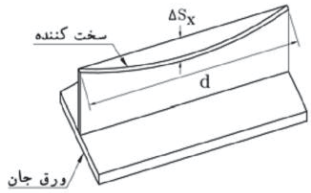
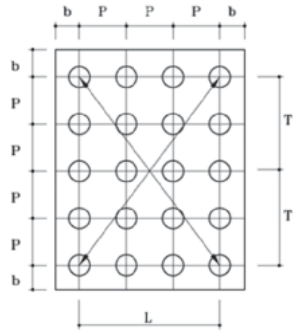
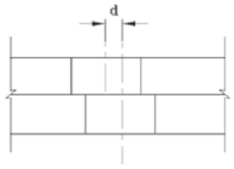
۹ – جوشکاری باید بنحوی انجام شود که قطعات مربوطه از شکل اصلی خارج نشده و از تاب برداشتن و اعوجاج بیشتر از حد رواداری‌های جدول (۱۰–۵) جلوگیری شود.

۱۰– روش اجرا باید طوری ترتیب داده شود که مقدار جوش‌های کارگاهی لازم به حداقل برسد. به طوری که ساخت قطعات با جوش در کارخانه انجام شده و اتصال در کارگاه توسط پیچ پرمقاومت برقرار شود.

جدول ۱۰-۵ حداکثر انحراف مجاز در ساخت قطعات فولادی

شرح انحراف	رواداری	مثال
جابجایی مرکز بال نسبت به جان	$\Delta p = \frac{B}{100} < ٦\text{mm}$	
کجی یا تحدب بال	$\Delta T = \frac{B}{100}$ یا ۳ mm هرکدام که بزرگترند	
ریسمانی بودن بال یا جان در طول قطعه	$\Delta F = \frac{L}{1000}$ یا ۳ mm هرکدام که بزرگترند L = طول قطعه ای از تیریاتمام طول تیر	
انحراف نسبی یک بال نسبت به بال دیگر	$\Delta = \frac{D}{300}$ یا ۳ mm هرکدام که بزرگترند	
رواداری ابعادی اجزای مقطع	±٤ mm	

ادامه جدول ۱۰-۵ حداکثر انحراف مجاز در ساخت تیر ورق‌های فولادی

شرح انحراف	رواداری	مثال
طبله ورق جان عمود بر صفحه که به موازات ضلع بزرگتر اندازه گیری شده است.	$\Delta x = \frac{G}{100}$ یا ۳ mm هرکدام که بزرگترند G = بعد حداقل چشمه G=min(a یا h)	
تاب برداشتن سخت کننده در جهت عمود بر ورق سخت شده	$\Delta S_x = \frac{d}{500}$ یا ۳ mm هرکدام که بزرگترند	
تاب برداشتن سخت کننده به موازات ورق سخت شده	$\Delta S_y = \frac{d}{250}$ یا ۳ mm هرکدام که بزرگترند	
رواداری سورخ پیچ‌ها	$\Delta P = \pm ۲$ $\Delta b = \pm ۳$ $\Delta L = \pm ۳$ $\Delta T = \pm ۳$ $\lvert a - b \rvert \leq ۳\text{mm}$	
جابجایی سوراخ	d< ۲mm	

۱۰-۲-٤-٦ اتصال با پیچ‌های پرمقاومت و نحوه بستن و محکم کردن پیچ‌ها

قطعات فولادی که برای نصب به محل حمل می‌شوند، بعد از اصلاحات لازم و رفع معایب باید پیچ‌های اتصال نهایی آن‌ها بسته شود. قبل از بستن صفحات اتصال باید سطوح اتصال کاملا از زنگ، گرد و غبار، مواد چربی و روغن با استفاده از برس سیمی، حلال‌های شیمیایی یا شعله پاک شوند.

پیچ‌های اصلی برای اتصال قطعات به یکدیگر باید از نوع پیچ‌های با مقاومت زیاد مطابق جدول (۱۰-۳) باشند. علامت مشخص کننده رده پیچ باید روی کله تمام پیچ‌ها ثبت شده باشد. محکم کردن پیچ‌های اصلی هر اتصال در دو مرحله انجام می‌شود. در مرحله اول تعدادی از پیچ‌ها تا حد سفتی کامل محکم می‌شوند تا اطمینان حاصل شود که سطوح تماس کاملاً به هم چسبیده‌اند. سپس تمام پیچ‌ها در سوراخ قرار گرفته و کاملاً سفت می‌شوند. در مرحله دوم با چرخاندن اضافی مهره، پیچ‌ها پیش‌تنیده می‌شوند.

در هر یک از مراحل محکم کردن پیچ‌ها باید از قسمتی که اتصال صلب‌تر است و صفحات تغییر شکل کمتری می‌دهند شروع به بستن پیچ‌ها کرد .در وصله‌ها، قسمت صلب اتصال، وسط صفحه اتصال می‌باشند. بعد از محکم کردن پیچ‌های وسط با حفظ تقارن و ترتیب، پیچ‌های کناری تا لبه آزاد ورق اتصال محکم می‌شوند.

اگر برای سفت کردن مهره‌ها از روش دستی استفاده می‌شود، محکم کردن اولیه وقتی است که یک کارگر قدرت‌مند با یک آچار معمولی بدون آنکه با وزن خود به آچار ضربه وارد کند نتواند پیچ را از آن محکمتر نماید. و اگر برای سفت کردن مهره‌ها از روش ماشینی (آچار بادی و کمپرسور) استفاده می‌شود، محکم کردن اولیه پس از وارد شدن چند ضربه توسط دستگاه ایجاد می‌شود. برای پیش تنیده کردن چنین پیچی (بعد از محکم کردن اولیه) باید مهره آن را به اندازه مقداری که در جدول (۱۰-۷) معین شده است اضافه چرخاند. این چرخش اضافی با استفاده از آچار دسته بلند، یا استفاده از دو کارگر و در روش ماشینی با افزایش فشار باد کمپرسور امکان‌پذیر می‌باشد.

جدول ۱۰-٦ چرخش اضافی لازم برای پیش تنیده کردن پیچ‌ها

طول پیچ (L)	تعداد دور اضافه برای پیش تنیده کردن پیچ‌ها
$L \leq 4D$	$\frac{1}{3}$ دور
$4D < L \leq 8D$	$\frac{1}{2}$ دور
$8D < L \leq 12D$	$\frac{2}{3}$ دور

D= قطر پیچ

تنظیم باد کمپرسور تضمین کننده استفاده از آچار مدرج (تورک متر) و آزمون و خطای متوالی می‌باشد. باید در انتخاب فشار باد دقت کامل بعمل آید. باز کردن و استفاده مجدد از پیچی که تا حد پیش‌تنیدگی سفت شده است، مجاز نمی‌باشد.

۱۰-۲-٤-۷ کنترل پیش تنیدگی پیچ‌ها

پیمانکار موظف است کنترل کیفیت دقیقی برعملیات بستن پیچ و مهره‌ها در کارگاه نصب اعمال داشته، گزارش‌های مربوط به این کنترل‌ها را جهت بررسی و تأیید به مهندس مشاور اعلام کند.

مهندس مشاور می‌تواند رأسا یا از طریق آزمایشگاه با صلاحیت، مستقلا پیش تنیدگی پیچ‌ها را کنترل کند. در هر صورت تصمیم مهندس مشاور در مورد کفایت پیش تنیدگی پیچ‌ها، قطعی خواهد بود. برای کنترل پیش تنیدگی پیچ‌ها باید از تورک متر مناسب که قبلاً در یک آزمایشگاه مورد قبول مهندس مشاور کالیبره شده است، استفاده کرد.

مقدار لنگر تورک متر (پیش‌تنیدگی) برای انواع مختلف پیچ‌ها، مطابق نشریه ۲۶۴ قابل محاسبه می‌باشد.

۱۰-۲-٤-۸ پیش مونتاژ

در صورتی که مهندس مشاور لازم بداند، پیمانکار موظف است تیرها و ستون‌های فولادی را در محل کارگاه ساخت، پیش مونتاژ کند. هدف از پیش مونتاژ تیرها و ستون‌ها حصول اطمینان از دقت ساخت و کیفیت جفت و جور شدن قطعات در هنگام نصب می‌باشد. همچنین در هنگام پیش مونتاژ، خیز شاه‌تیر تحت وزن خود اندازه‌گیری شده و با خیز تئوریک مقایسه خواهد شد، جفت و جور شدن قطعات بادبندها با بستن تعدادی از آن‌ها مورد کنترل قرار خواهد گرفت.

هنگام پیش مونتاژ باید حداقل ۵۰ درصد از پیچ‌های هر اتصال بسته شوند. پیچ‌های پیش مونتاژ می‌تواند از نوع پیچ‌های معمولی انتخاب گردد. از این پیچ‌ها بعدا به عنوان پیچ‌های اصلی نباید استفاده نمود.

قطعات پیش مونتاژ شده بعد از علامت گذاری باز شده به همراه صفحات اتصال برای حمل به کارگاه نصب، انبار خواهند شد.

۱۰-۲-۵ آماده کردن سطوح فولادی و رنگ‌آمیزی

آماده کردن سطوح و رنگ‌آمیزی قطعات فولادی پل‌ها باید مطابق با شرایط زیر باشد:

۱۰-۲-۵-۱ زنگ‌زدایی سطوح فولادی

این عملیات شامل مراحل زیر است:

الف: آماده نمودن سطوح فولادی شامل تمیز کردن روغن و سایر مواد ناخالصی‌ها می‌باشد.

ب: زنگ و پوسته‌های کارخانه باید با ماسه‌پاشی[1] تمیز شوند.

پ: در موقع ماسه‌پاشی باید هوا و سطوح فولادی کاملا خشک باشد.

ت: ماسه‌پاشی یا با ماسه کوارتزی و یا با ماسه فولادی انجام می‌گیرد.

ث: بزرگترین قطر دانه‌های ماسه کوارتزی نباید از ۱/۵ میلی‌متر تجاوز کند.

ج: ماسه فولادی حداکثر به قطر ۰/۸ میلی‌متر باشد. مقاومت نهایی آن‌ها باید بتن ۱۸۰۰۰ - ۱۶۰۰۰ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع باشد از دانه‌های ساچمه‌یی نباید استفاده شود.

چ: مصالح ماسه‌پاشی نباید حاوی کلراید قابل حل در آب بوده و عاری از رس، گچ و سایر مواد خارجی باشد.

ح: هوای فشرده مصرفی برای ماسه‌پاشی باید عاری از هرگونه مواد زائد نظیر روغن و آب بوده و دستگاه آن باید به جدا کننده و صافی مجهز باشد.

خ: میزان ناهمواری سطوح پس از ماسه‌پاشی باید در حدودی باشد که زیانی به رنگ‌آمیزی بعدی وارد نسازد.

د: سطح نهایی آماده شده بعد از ماسه‌پاشی و تمیزکردن نهایی باید به تأیید مهندس مشاور برسد.

۱۰-۲-۵-۲ رنگ‌آمیزی سطوح فولادی

کلیه سطوحی که رنگ‌آمیزی می‌شوند باید خشک و عاری از رطوبت، باشند. رنگ باید با رعایت و دستورالعمل‌های سازنده مصرف شده و با مشخصات SSPC[2] انطباق داشته باشد، ضمن آنکه موارد زیر نیز باید رعایت شود:

الف: تمام سطوح قطعات فولادی مصرفی در سازه، به غیر از سطوحی که برای حفظ زبری و اصطکاک باید بدون پوشش باقی بماند، باید با دو لایه آستر و دو لایه رویه رنگ‌آمیزی شوند.

ب: در صورت رنگ‌آمیزی با پیستوله، روی کلیه جوش‌ها و لبه پروفیل‌ها قبلا با قلم، رنگ شود.

---

1. Sand Blast
2. Structural Steel Painting Council

پ: رنگ هر لایه آستر باید به سهولت قابل تشخیص باشد. رنگ آستر نهایی باید تفاوت ناچیزی با رنگ نهایی رویه داشته باشد.

ت: رنگ قشر نهایی توسط مهندس مشاور تعیین خواهد شد.

ث: قبل از رنگ نهایی، تیرها باید با برس نرم و آب شیرین تمیز، شسته شوند.

ج: عملیات رنگ آمیزی باید در محیط سربسته با رطوبت و دمای مناسب انجام گردد.

ح: در سطوح و لبه هایی از قطعات فلزی که پس از رنگ آمیزی جوش خواهند شد، باید رنگ آمیزی تا فاصله ۵ سانتی‌متری از لبه متوقف شود.

خ: در تمام سطوحی که طبله کردن، وجود ترک و پوسته شدن رنگ و سایر علائم نشان دهنده عدم چسبندگی و عدم اتصال رنگ به سطح فلزی می‌باشد، باید عملیات ترمیم انجام شود. عملیات ترمیم شامل برداشتن رنگ قسمت معیوب به کمک ماسه پاشی و آماده سازی و رنگ آمیزی مجدد سطح فلزی می‌باشد.

د: مقادیر حداقل ضخامت رنگ آمیزی قطعات فولادی در شرایط محیطی مختلف باید مطابق جدول (۱۰-۸) باشد.

ر: صفحاتی که قرار است در اتصال اصطکاکی روی هم قرار گیرند، نباید رنگ شوند، فقط به لایه‌ای در حد ۲۰ میکرون بعنوان رنگ انبارداری نیاز می باشد.

ز: جزئیات لایه‌های آستر و رویه، ضخامت لایه‌ها، نوع و مشخصات رنگ باید در مشخصات فنی خصوصی قید شود.

جدول ۱۰-۷ حداقل ضخامت رنگ آمیزی قطعات فولادی در شرایط محیطی مختلف

شرایط محیطی	آماده سازی سطح فولاد	نوع و ضخامت رنگ		
		قطعه فولاد در داخل دیوار و نازک کاری	قطعه فولادی بصورت روباز لیکن در درون محیط بسته	قطعه فولادی در معرض شرایط جوی
معتدل	Sa 2	۴۰ میکرون ضدزنگ (رنگ الکیدی غنی از روی)	۴۰ میکرون آستر الکیدی غنی از روی ۴۰ میکرون رویه الکیدی	۴۰ میکرون آستر اپوکسی غنی از روی ۴۰ میکرون لایه میانی اپوکسی ۴۰ میکرون رویه الکیدی
سخت	Sa 2.5	۴۰ میکرون آستر اپوکسی غنی از روی	۴۰ میکرون آستر اپوکسی غنی از روی ۴۰ میکرون لایه میانی اپوکسی ۴۰ میکرون رویه اپوکسی	۶۰ میکرون آستر اپوکسی غنی از روی ۶۰ میکرون لایه میانی اپوکسی ۶۰ میکرون رویه اپوکسی پلی یورتان
بسیار سخت و ساحلی	Sa 3	۴۰ میکرون آستر اپوکسی غنی از روی ۴۰ میکرون رویه اپوکسی	۶۰ میکرون آستر اپوکسی غنی از روی ۶۰ میکرون لایه میانی اپوکسی ۶۰ میکرون رویه اپوکسی پلی یورتان	مثل ناحیه جزر و مدی که نیاز به مطالعه خاص دارد

توضیح:

۱) شرایط معتدل، شرایط آب و هوایی با رطوبت نسبی متوسط کمتر از ۵۰٪ (همانند شهر تهران)

۲) شرایط سخت، شرایط آب و هوایی با رطوبت نسبی بیش از ۸۰٪ (همانند شهر رشت)

۳) شرایط بسیار سخت، شرایط آب و هوایی با رطوبت نسبی متوسط بیش از ۸۰٪ همراه با بخار کلر یا نظایر آن (همانند شهر بندرعباس)

۴) در صورتی که دستورالعمل رنگ آمیزی توسط کارشناس ذیصلاح تهیه شود، می‌توان از شرایط جدول فوق عدول کرد.

۵) آماده سازی سطح فولاد Sa2: تمیز کردن به صورت ماسه پاشی عمیق، سطح فولاد پس از ماسه پاشی بدون استفاده از ذره‌بین باید عاری از روغن، چربی و کثیفی باشد و نیز بیشترین مقدار لایه اکسید حاصل از نورد، زنگ و پوشش‌های رنگی و مواد خارجی از روی سطح زدوده شده باشد. و هرگونه مواد آلاینده باقیمانده به سختی به سطح چسبیده باشد.

۶) آماده سازی سطح فولاد Sa2.5: تمیز کردن به صورت ماسه پاشی عمیق‌تر، سطح فولاد پس از ماسه پاشی بدون استفاده از ذره‌بین باید عاری از روغن، چربی و کثیفی باشد و نیز بیشترین مقدار لایه اکسید حاصل از نورد، زنگ و پوشش‌های رنگی و مواد خارجی از روی سطح زدوده شده باشد. و هرگونه اثر بجا مانده از مواد آلاینده فقط به صورت لکه‌های جزئی به شکل خال‌ها و نوارها به نظر خواهد آمد.

۷) آماده سازی سطح فولاد Sa3: تمیز کردن به صورت ماسه پاشی تا درجه‌ای که تمیزی فولاد با چشم دیده شود و سطح فولاد نقره‌ای گردد.

۱۰-۲-۶ آزمایش‌های کنترل کیفیت

نوع و تعداد آزمایش‌های زیر برای کنترل کیفیت مصالح در حین اجرای کار منظور شده‌اند.

۱۰-۲-۶-۱ آزمایش‌های فولاد

از هر ۱۰ تن قطعات فولادی وارد به کارگاه، حداقل تعداد ۳ نمونه اتفاقی[1] انتخاب و آزمایش‌های زیر به عمل می‌آید.

الف: مقاومت کششی و تنش تسلیم حاصل از آزمون کشش نمونه‌ها باید با جدول شماره (۱۰-۱) و درصد ازدیاد طول نسبی نمونه‌ها با جدول (۱۰-۲) مطابقت داشته باشد. آزمون کشش و تغییر طول نسبی باید مطابق استاندارد ASTM A370 انجام گیرد.

ب: آزمایش خمش سرد تحت زاویه ۱۸۰ درجه با قطر فک 2a برای فولاد St 37 و قطر فک 3a برای فولاد St 52 , St 44، (a ضخامت نمونه خمشی می‌باشد) برای هر نمونه و مطابق با استاندارد ملی ایران شماره ۱۰۱۶ انجام گردد. هیچ گونه آثار ترک در محل خم نباید مشاهده گردد. ترک‌های ریز روی لبه آزمونه و ترک‌هایی که با چشم غیرمسلح دیده نمی‌شوند قابل صرف نظر کردن می‌باشند.

پ: آزمایش خمش با ضربه بر روی هر نمونه تهیه شده انجام و نتایج مقادیر انرژی (با واحد ژول) باید با جدول (۱۰-۸) مطابقت داشته باشد.

ت: آزمایش کریستالوگرافی و تعیین ترکیبات شیمیایی فولاد بر روی هر نمونه تهیه شده انجام و مقادیر حدی ترکیبات شیمیایی و میزان کربن معادل باید به ترتیب با جداول (۱۰-۹) و (۱۰-۱۰) مطابقت داشته باشد.

---

1. Random Sampling

جدول ۱۰-۸ انرژی حداقل در آزمایش ضربه

شناسه فولاد	وضعیت مرغوبیت	دمای محیط	ضخامت اسمی (میلی‌متر)			
			>10 ≤16	>16 ≤63	>63 ≤100	>100
St 37- 2,3	U,N	+20	۲۷	–	–	بر اساس توافق
	U,N	+20	۲۷	–	–	
	U,N	+20	۲۷	۲۷	–	
	U	0	۲۷	۲۷	۲۳	
	N	-20	۲۷	۲۷	۲۳	
St 44- 2,3	U,N	+20	۲۷	۲۸	–	بر اساس توافق
	U	0	۲۷	۲۷	۲۳	
	N	-20	۲۷	۲۷	۲۳	
St 52-3	U	0	۲۷	۲۷	۲۳	بر اساس توافق
	N	-20	۲۷	۲۷	۲۳	

توضیح:

U= به صورت گرم شکل داده شده است. N= نرمالیزه شده است.

جدول ۱۰-۹ مقادیر حدی میزان ترکیبات شیمیایی فولاد

شناسه فولاد	حداکثر مقدار کربن به درصد ضخامت اسمی به میلی‌متر			درصد حداکثر منگنز	درصد حداکثر سیلیس	درصد حداکثر فسفر	درصد حداکثر گوگرد	درصد حداکثر نیتروژن (۱و۲)
	≤16	>16 ≤40	>40 (3)					
St 37- 2	0.21	0.25	–	1.50	–	0.055	0.055	0.011
St 37- 3U	0.19	0.19	0.19	1.50	–	0.050	0.050	0.011
St 37- 3N	0.19	0.19	0.19	1.50	–	0.045	0.045	–
St 44- 2	0.24	0.24	0.25	1.60	–	0.055	0.055	0.011
St 44- 3U	0.21	0.21	0.21(4)	1.60	–	0.050	0.050	0.011
St 44- 3N	0.21	0.21	0.21(4)	1.60	–	0.045	0.045	–
St 52-3U	0.23	0.23	0.24 (5)	1.70	0.60	0.050	0.050	0.011
St 52-3N	0.23	0.23	0.24(5)	1.70	0.60	0.045	0.045	–

۱- حداکثر مقدار نیتروژن می‌تواند از مقدار مزبور تجاوز کند مشروط بر آنکه به ازای هر ۰/۰۰۱ درصد افزایش نیتروژن مقدار فسفر ۰/۰۰۵ درصد کاهش یابد. مقدار نیتروژن در هر حال نباید از ۰/۰۱۲ درصد بیشتر باشد.

۲- چنانچه میزان کل آلومنیوم در ترکیب شیمیایی از ۰/۰۲ درصد تجاوز کند و یا سایر عناصر محصور کننده نیتروژن به مقدار کافی موجود باشد، حداکثر مقدار نیتروژن اعمال نمی‌شود.

۳- برای مقاطع با ضخامت اسمی بیش از ۱۰۰ میلی‌متر، میزان کربن بصورت توافقی تعیین می‌شود.

۴- برای ضخامت اسمی بیش از ۱۵۰ میلی‌متر مقدار کربن حداکثر ۰/۲ درصد می باشد.

۵- برای ضخامت اسمی بیش از ۳۰ میلی‌متر و برای درجه‌های مناسب برای غلتک سرد، مقدار فولاد ۰/۲۲ درصد می‌باشد.

جدول ۱۰-۱۰ مقادیر حدی کربن معادل

شناسه فولاد	(ضخامت اسمی به میلی‌متر)		
	≤40	>40 ≤150	>150 ≤250
St 37- 2	0.35	-	–
St 37- 3U	0.35	0.38	0.40
St 37- 3N	0.35	0.38	0.40
St 44- 2	0.40	0.42	0.44
St 44- 3U	0.40	0.42	0.44
St 44- 3N	0.40	0.42	0.44
St 52-3U	0.45	0.47	0.49
St 52-3N	0.45	0.47	0.49

۱۰-۲-۶-۲ آزمایش‌های جوش

بعد از جوشکاری کنترل کیفیت در دو مرحله انجام می‌شود:

الف: کنترل‌های چشمی آزمایش‌ها از طریق بازرسی و مشاهدات عینی بر روی ۱۰۰ درصد جوش‌های اجرا شده

ب: کنترل با آزمایش‌های غیرمخرب مناسب

نوع و میزان آزمایش‌های غیر مخرب جوش باید مطابق جدول (۱۰-۱۱) تعیین و انجام گردد.

مهندس مشاور می‌تواند مستقیما آزمایش‌های کنترل کیفیت بر روی قطعات انجام داده یا دستور تکرار و تجدید آزمایش‌های لازم را بنماید.

جدول ۱۰-۱۱ میزان آزمایش‌های غیرمخرب جوش حین ساخت قطعات

درصد و نوع جوش مورد آزمایش	نوع آزمایش
۱۰۰ درصد تمامی انواع جوش‌ها	بازرسی چشمی
۱۰۰ درصد جوش‌های لب به لب عرضی بال‌های کششی، اعضای کششی خرپاها، $\frac{۱}{۶}$ عمق جان تیرها در مجاورت بال کششی	پرتونگاری یا فراصوت
۵۰ درصد جوش‌های لب به لب عرضی بال‌های فشاری، جوش‌های لب به لب طولی بال‌های کششی و فشاری و جان تیرها	پرتونگاری یا فراصوت
۲۰ درصد جوش‌های گوشه	ذرات مغناطیسی یا رنگ نافذ

۱۰-۳ جان‌پناه

جان‌پناه پل‌ها و سایر ابنیه طبق نقشه‌ها، مشخصات و دستورکار مهندس مشاور ساخته خواهد شد. قسمت‌های مختلف جان‌پناه که از انواع مختلف آهن‌آلات ساخته و سوار می‌شود باید خوب به یکدیگر جفت شود. دستک‌ها باید کاملا عمودی بوده و نسبت به هم فاصله ثابت داشته و در یک سطح قرار گیرد. آهن‌های افقی لبه‌های جان‌پناه باید کاملا موازی و در یک خط مستقیم قرار گیرد. به طور کلی جان‌پناه باید یک‌شکل و یکنواخت و بدون عیب و نقص ساخته و نصب شود.

۱۰-٤ عایقکاری

عایقکاری سطوح بتنی و بنایی طبق نقشه‌ها و دستورکار مهندس مشاور انجام می‌شود. سطوح عایقکاری باید دقیقاً بررسی و خلل و فرج‌ها را با ملات پر کرده و تقاطع سطوح را مدور نمود. از مالیدن قشر نازک ملات روی جدارها که بعداً از دیوار جدا می‌شود باید خودداری شود. مواد مصرفی برای عایق‌کاری از نوع قیر دمیده (R 90/15 و R 85/25) یا مخلوط قیر دمیده و قیر ۷۰-۶۰ و یا انواع دیگر عایق‌های پیش‌ساخته خواهد بود. مواد قیری مصرفی باید تا هنگامی که گرم و به صورت مایع روان است به کار برده شود. عایق‌کاری پل‌های طاقی پس از قالب‌برداری و نشست کامل آن انجام خواهد شد.

روی عایقکاری نباید رفت و آمد کرد تا موجب زخمی شدن سطوح آن نشود. بعد از عایقکاری روی دال‌ها و یا طاق‌ها در صورتی که در نقشه‌ها منعکس باشد یک اندود حفاظتی کشیده می‌شود. اطراف پی‌هایی که عایقکاری شده است طبق دستورالعمل‌های اختصاصی پر خواهد شد. عایقکاری نباید به هیچ وجه روی سطوح مرطوب و هنگام بارندگی انجام شود. هر قشر عایقکاری پس از اتمام و قبل از شروع قشر بعدی باید به تأیید مهندس مشاور برسد. عایقکاری نباید در حرارت کمتر از ۱۰ درجه سانتی‌گراد انجام شود.

۱۰-۵ اندودکاری

کارهای اندود باید کاملا صاف و طبق نقشه‌ها انجام گیرد. اندود سیمانی پشت طاق پل‌ها به هر ضخامت که باشد باید در یک قشر اجرا شود. در محل‌هایی که اندود از جدار جدا شود پیمانکار با هزینه خود محل‌های مزبور را مجددا اندود خواهد کرد. مشخصات اندودهای با ملات سیمان باید با فصل پنجم مطابقت داشته باشد.

۱۱

زهکشی و تخلیه آب‌ها

۱۱-۱ کلیات

زهکشی[1] و تخلیه آب شامل احداث نهرها، آبروهای باز و یا بسته، لوله‌گذاری‌های سطحی و زیرزمینی، مصرف زه‌های سنگی و یا خرده‌سنگی، انحراف، تنظیم و کنترل جریان آب انهار و رودخانه‌ها و اجرای سایر کارهای تکمیلی، طبق نقشه‌های اجرایی و دستورکارهای مهندس مشاور می‌باشد.

۱۱-۲ انواع زهکشی و تخلیه آب‌ها

بطور کلی زهکشی و تخلیه آب‌ها به دو طریق زیر انجام می‌شود:

۱۱-۲-۱ تخلیه آب‌های سطحی[2]

این عملیات شامل انتقال، هدایت و تخلیه آب‌های سطحی ناشی از بارندگی، از پوشش نهایی راه و یا آب‌های آزاد جاری از زمین‌های بالادست و مرتفع پیرامون راه می‌باشد. در این سیستم، آب‌های سطحی را باید به سرعت به خارج از جسم راه هدایت کرد، به طوری که از ماندن آب روی سطح راه پیش‌گیری شده و قبل از نفوذ به لایه‌های زیرسازی و روسازی تخلیه شود. تخلیه آب‌های سطحی عموماً توسط شیب طولی و عرضی مناسب راه همراه با احداث کانال‌های روباز تأمین می‌شود.

۱۱-۲-۲ زهکشی آب‌های زیرزمینی[3]

زهکشی عمیق آب‌های زیرزمینی شامل تخلیه آب‌های نفوذی به لایه‌های زیرسازی و روسازی راه است که سه منبع اصلی زیر به شرح شکل شماره ۱۱-۱ عامل عمده آن به شمار می‌روند:

الف: نزولات جوی

ب: آب‌های زیرزمینی اعم از سطح ایستابی یا سطح آزاد آب جاری

ج: آب‌های ناشی از حضور چشمه‌های فعال و سطوح تراوش[4]، در زمین‌های بالادست، مجاور و زیرین بدنه راه.

---

1. Drainage
2. Surface Drainage
3. Subsurface Drainage
4. Seepage Surface

۱۱-۳ مراحل عملیات تخلیه آب‌های سطحی

۱۱-۳-۱ کلیات

الف: عملیات تخلیه آب‌های سطحی باید طبق برنامه آماده و به مورد اجرا گذاشته شود و مراقبت‌های مستمر و کافی برای انحراف جریان آب‌های ناشی از بارندگی، سیل، ذوب یخ و برف جهت حفاظت عملیات ساختمانی در حین اجرا کار و همچنین پس از پایان قطعی کارها به عمل آید.

ب: برای آنکه تخلیه آب‌ها رضایتبخش باشد، باید با شیب‌بندی و تسطیح از تجمع آب باران یا آب‌های جاری در منطقه مورد عملیات جلوگیری به عمل آید. در اراضی شیب‌دار باید قبل از شروع عملیات خاکی برای پیشگیری از فرسایش، تخریب و آسیب دیدگی ابنیه فنی راه، خاکریزی‌ها و شیب شیروانی‌ها تخلیه و انحراف آب‌ها انجام شود.

پ: در حین اجرای عملیات ساختمانی، باید همواره مراقبت خاص به عمل آید تا به کانال‌ها و آبروهای موجود هیچ گونه آسیبی وارد نشود. آبروها و نهرها و سایر ابنیه زهکشی و تخلیه آب‌ها که حین یا بعد از اتمام عملیات ساختمانی به عنوان کانال‌های تخلیه آب مورد استفاده واقع خواهند شد، باید همواره پاک و تمیز نگه داشته شوند تا مانع عبور جریان آب نباشند و قبل از احداث این گونه آبروها و نهرها نیز باید تسهیلات کافی جهت ورود و خروج آزاد آب تأمین گردد.

ت: برای حفاظت کارهای تکمیل شده و جلوگیری از خسارت ناشی از آب باید همواره وسایل و امکانات کافی برای تخلیه آب‌ها و یا انحراف جریان انهار را پیش‌بینی و در موقع مناسب سریعاً آن‌ها را مورد استفاده قرار داد. برای این کار ممکن است نهرهای تخلیه موقتی، سدها و یا کانال‌های انحرافی و یا آبروهای موقت جانبی به موازات مسیر به روشی که مهندس مشاور تعیین می‌کند، احداث گردد. چنانچه انحراف موقت کانال‌های آبیاری زراعی، به تشخیص مهندس مشاور لازم باشد، نحوه اجرا و جزئیات آن باید قبلا پیش‌بینی و همچنین رضایت زارعین فراهم شود.

ث: خسارات وارده به کارها در اثر نفوذ آب و به دلیل عدم انجام عملیات کافی برای تخلیه آب‌های سطحی، باید به هزینه پیمانکار اصلاح شود.

۱۱-۳-۲ آبروهای جانبی

الف: آبروهای جانبی راه برای جمع‌آوری و تخلیه آب‌های سطحی (و زهکشی‌های عمیق) باید طبق نقشه‌های اجرایی ساخته شود. برای افزایش ظرفیت تخلیه این آبروها باید کف آبرو را عریض‌تر انتخاب کرد. تراز کف آبروها باید از تراز بستر روسازی راه پایین‌تر باشد تا آب‌های نفوذی به لایه‌های روسازی به آبرو تخلیه شود. برای اطمینان از جریان مطمئن و مستمر آب، شیب طولی آبروهای بدون پوشش (بتن، سنگی، آسفالتی) باید حداقل ۰/۳۵ درصد و با پوشش ۰/۲ درصد باشد.

ب: وقتی که شیب زمین‌های اطراف به طرف بدنه خاکریز راه باشد، آبروهای جانبی باید در پای خاکریز احداث شود. اگر ارتفاع خاکریز کمتر از ۳ متر باشد، آبرو را می‌توان در مجاورت پای خاکریز و کمی دورتر از آن و به عمق حداقل ۳۰ سانتی‌متر تعبیه کرد. در خاکریزهای به ارتفاع بیشتر از ۳ متر و جریان شدید آب، آبرو باید از پای خاکریز حداقل ۳ متر فاصله داشته باشد.

پ: در حالتی که شیب زمین‌های اطراف به طرف بدنه خاکریز راه بوده ولی شیب طولی راه برای تخلیه آب توسط آبروها کافی نباشد، در بالادست راه کانال‌هایی با زاویه مناسب نسبت به محور راه باید احداث شود به نحوی که شیب لازم برای جریان طبیعی آب را تأمین نماید. این کانال‌ها در بالادست با اتصال به یکدیگر رأس مثلثی را تشکیل داده و در انتها آب را به داخل پل‌ها و آبروهای ساخته شده در خاکریز هدایت می‌نماید.

خاک حاصل از خاکبرداری این کانال‌ها در پایین‌دست و در امتداد و مجاورت کانال به صورت دیواره‌ای برای بهره‌وری بیشتر از کانال‌های مزبور ریسه می‌گردد.

ت: در صورتی که آبروهای کوهی[1] به تشخیص مهندس مشاور ضروری باشد این قبیل آبروها باید در بالادست راه طبق نقشه ساخته شود. اگر راه از مقاطعی که دارای شیب عرضی زیاد است عبور کند، آبروهای مزبور باید قبل از عملیات خاکی و برای اجتناب از تجمع آب در زیر بدنه راه و جلوگیری از لغزش، احداث شود و خاکبرداری حاصله از آبرو در پایین‌دست آن به قسمی ریسه شود تا سکویی به فاصله ۵۰ سانتی‌متر از لبه کانال تا پای ریسه ایجاد گردد. بدیهی است که قبل از شروع عملیات خاکی باید ترتیب تخلیه آب از این آبروها فراهم گردد.

---

1 shoot

۱۱-۳-۳ 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، باید 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.

۱۱-۳-٤ 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.

۱۱-۳-۵ جمع‌آوری آب‌ها

آب‌های جاری در آبروهای جانبی راه و سایر انهار فرعی و اصلی را باید مستقیماً به آبروهای طبیعی و یا رودخانه‌ها تخلیه کرد و یا آبروهای اختصاصی برای آنها احداث نمود تا آب‌ها را به خارج از حریم راه منتقل نماید.

۱۱-۳-٦ رودخانه‌ها و آبروها

پاک کردن، حفاری و کلیه عملیات لازم برای تنظیم یا انحراف مسیر آبروها و رودخانه‌ها باید طبق دستورکار مهندس مشاور انجام گیرد. در محل‌هایی که مهندس مشاور تعیین می‌کند، باید از تغییر مسیر یا

1. Median

انحراف کانال‌های موجود آب یا رودخانه‌ها مقاطع عرضی تهیه شود و سپس روی این مقاطع جزئیات عملیات خاکبرداری برای تغییر جریان آب ترسیم گردد. انجام این گونه کارها قبل از تایید مهندس مشاور مجاز نیست.

۱۱-۳-۷ آبروهای لوله‌ای بتنی پیش‌ساخته

لوله‌های بتنی ساده و یا مسلح مورد مصرف در آبروها را می‌توان در کارخانه و یا در محل با وسایل ماشینی مخصوص این کار به طور پیش‌ساخته تهیه نمود.

لوله‌ها باید با جزئیات مندرج در نقشه‌ها و یا مشخصات AASHTO از جمله AASHTO M170 (لوله‌های بتنی مسلح) و AASHTO M86 (لوله‌های بتنی غیر مسلح) برای اندازه و نوع انتخاب شده انطباق داشته باشند. به طور کلی لوله‌های با قطر کمتر از ۶۰ سانتی‌متر غیر مسلح و لوله‌های با قطر بیشتر از ۶۰ سانتی‌متر از بتن مسلح ساخته می‌شوند.

سطح درونی لوله‌ها باید کاملاً مستقیم و اختلاف مجاز آن با ابعاد واقعی از ۱/۵ درصد بیشتر نباشد. حد رواداری در قطر لوله یک سانتی‌متر است. جدار لوله از اندازه پیش‌بینی شده در نقشه‌ها می‌تواند ضخیم‌تر باشد ولی این ضخامت نباید بیشتر از پنج درصد از ضخامت مشخص شده در طرح کمتر باشد. لوله‌ها ممکن است از نوع نر و ماده و یا انواع زبانه و شیار باشند ولی به هر حال باید با نوع مشخص شده در نقشه‌ها برابری کنند. بتن لوله‌ها باید از رده C25 تهیه شود و عیار سیمان لوله‌های بتنی مسلح و غیرمسلح هیچ گاه نباید کمتر از ۳۵۰ کیلوگرم در متر مکعب بتن باشد. نوع سیمان، شن، ماسه، نسبت آب به سیمان و همچنین کلیه عملیات مربوط به تهیه، اختلاط، حمل، ریختن بتن، ارتعاش و نگهداری باید منطبق با مندرجات فصل چهارم باشد. نوع دیوارهای انتهایی و نوع بتن آنها باید با توجه به شرایط محلی در مشخصات فنی خصوصی قید شود. لوله‌های بتنی ساده و یا مسلح نباید قبل از کسب مقاومت ۲۸ روزه و یا زودتر از ۲۸ روز حمل و مصرف شوند.

۱۱-۳-۸ آبروهای تاوه‌ای

آبروهای تاوه‌ای شامل تاوه‌های پیش‌ساخته مسلح و یا ریخته شده در محل (درجا) می‌باشد. اندازه این نوع آبروها باید با اندازه‌های مشخص شده در نقشه‌ها برابری نماید. بتن مصرفی در دال‌های درجا از رده C25 و دال‌های پیش ساخته از رده C30 ولی نوع بتن دیوارها باید در مشخصات خصوصی تصریح گردد. سایر عملیات بتنی و بنایی باید با مندرجات فصل‌های چهارم و پنجم تطبیق داشته باشد.

۱۱-۳-۹ آبروهای بتنی غیر مدور و آبروهای فلزی

علاوه بر لوله‌های مدور بتنی و آبروهای تاوه‌ای که شرح داده شده انواع متفاوت لوله‌های فلزی و بتنی دیگر را با مشخصات زیر می‌توان تهیه و مورد استفاده قرار داد:

الف: لوله‌های قوسی از بتن مسلح AASHTO M206

ب: لوله‌های بیضی شکل از بتن مسلح AASHTOM M207

پ: لوله‌های آهنی یا فولادی گالوانیزه موجدار[1] AASHTO M218

انتخاب هریک از لوله‌های فوق و یا انواع دیگر مندرج در مشخصات آشتو در هر پروژه باید با شرح کامل عملیات آماده کردن محل آبرو، نصب، خاکریزی در مشخصات فنی خصوصی قید شود.

۱۱-۳-۱۰ پی‌کنی آبروها و لوله‌ها

الف: پی‌کنی آبروها و لوله‌ها باید طبق اندازه‌های تعیین شده در نقشه‌ها و برابر دستورکار مهندس مشاور انجام گیرد. پی‌کنی‌ها باید به عرضی باشد که سهولت کار را فراهم و از لحاظ عملیات ساختمانی مقرون به صرفه باشد. پی‌کنی در بستر زیرین آبروها و لوله‌ها باید با دقت کامل و منطبق با تراز مشخص شده در نقشه و در خاک بکر و دست نخورده در سراسر طول آبرو، انجام گیرد. در صورتی که تراز قسمت زیرین پایین‌تر از حدود مورد نظر بوده و یا بستر با شیب صحیح شکل نگرفته باشد، باید آن را مصالح بنایی و یا بتن ضعیف اصلاح نمود.

ب: چنانچه بستر زیرین لوله از خاک نامناسب و سست تشکیل شده باشد تعویض آن با مصالح قابل قبول تا عمق لازم فقط به دستورکار مهندس مشاور باید انجام گیرد. مصالح جایگزین شده باید تا حصول تراکم نسبی ۹۸ درصد به روش AASHTO T180 طریقه D کوبیده شود.

پ: در برش‌های سنگی یا دجی برای لوله‌گذاری باید کف بستر تا ۱۵ سانتی‌متر پایین‌تر از قسمت تحتانی لوله کنده شده و سپس با ماسه و یا شن (نوع مصالح مصرفی در بتن) پر و متراکم گردد.

ت: در پی‌کنی آبروها و لوله‌ها هرگاه لازم باشد و مهندس مشاور تشخیص دهد، باید اقدام به سپرکوبی، حائل‌بندی و تلمبه‌زنی کرد و پس از خاتمه کار این حائل‌ها و پشت‌بندها را از محل کار خارج کرد. بدون موافقت مهندس مشاور این حائل‌ها و پشت‌بندها نباید بعد از پی‌ریزی در پی‌ها باقی بماند.

---

1. Corrugated

۱۱-۳-۱۱ نصب لوله‌ها

الف: لوله‌های بتنی باید در راستا و شیب صحیح مندرج در نقشه در روی کف آماده شده و بستر هموار و مستحکم، نصب شود. زبانه هر لوله باید در شیار لوله مجاور قرار گیرد و کلیه لوله‌های نصب شده در تمام طول آبرو باید دقیقا متحدالمرکز باشند. درز بین دو لوله[1] به منظور هدایت آب به داخل لوله باید با مصالح فیلتر روی آن، پر گردد. در صورتی که از لوله‌های مشبک استفاده شود و یا آب‌های جمع‌آوری شده از طریق داکت‌ها در لوله باید هدایت و دفع شود، درز لوله‌ها را باید با ملات مسدود کرد و سپس اطراف لوله را با مصالح زهکشی پر نمود.

ب: چاهک و چاه‌های بازدید باید طبق دستورکارهای مهندس مشاور و نقشه‌های اجرایی با بتن درجا در محل ساخته شوند و انتهای کلیه لوله‌ها باید براساس نقشه در بتن قرار داده شود و با ملات سیمانی نوع یک اندود گردد.

پ: در محل‌هایی که روی نقشه‌های اجرایی نشان داده شده و یا نقاطی که مهندس مشاور تعیین می‌کند، لوله‌ها باید برابر ابعاد و اندازه‌هایی که مشخص شده با بتن محصور گردد. در اجرای این کارها باید دقت کافی انجام شود که بتن در زیر و اطراف لوله‌ها پر شده و بستری مسطح و مستحکم به وجود آید. بتن را باید با احتیاط کامل روی لوله‌ها ریخت. سطح فوقانی بتن باید با شمشه تسطیح و پرداخت گردد.

۱۱-۳-۱۲ خاکریزی فضای خالی اطراف لوله‌ها و آبروها

پر کردن فضای خالی اطراف لوله‌ها و یا دیوارهای آبروها باید بعد از پاک کردن کامل درون لوله‌ها و آبروها و طرفین دیوارها از مصالح اضافی و بازدید و تأیید مهندس مشاور انجام گردد. این فضای خالی باید در لایه‌هایی به ضخامت حداکثر ۱۵ سانتی‌متر با مصالح مناسب یا مصالح منتخب و یا مصالح ویژه از نوع زه‌های سنگی یا خرده‌سنگی (مصالح زهکش) که دانه‌بندی آن‌ها در نقشه‌های اجرایی و مشخصات فنی خصوصی تعیین شده است، پر شود. لایه‌های خاکریز اولیه روی لوله‌ها باید عاری از سنگ و کلوخه بوده و مصالح روی لوله‌ها پرتاب نشود.

تراکم نسبی خاکریزی‌ها باید طبق روش آشتو AASHTO T180 طریقه D حداقل ۹۵ درصد باشد مگر آنکه در مشخصات فنی خصوصی مقدار دیگری برای آن تعیین شده باشد.

---

1. Open Joint

عملیات خاکریزی و کوبیدن باید به روشی صورت گیرد که تراز طرفین آبروها و لوله‌ها در هر لحظه یکسان بوده و به لوله‌ها و دیوارها در حین انجام کارها آسیبی وارد نشود. قطعات سپرها و حائل‌ها نباید در محل کار باقی بماند ولی برای پر کردن محل‌هایی که در آن سپرکوبی و حائل‌بندی به کار رفته باید طوری ترتیب داده شود تا در حین کوبیدن مصالح، از ریزش کناره‌ها جلوگیری به عمل آید.

۱۱-۳-۱۳ آزمایش لوله‌ها

لوله‌های زهکشی و سیفون‌های متصل شده با ملات باید قطعه به قطعه بین چاهک‌های بازدید آزمایش شود. این آزمایش از طریق آب تحت فشار در لوله که فشار آن کمتر از یک و بیش از یک و نیم آتمسفر نباشد، باید انجام شود. لوله‌هایی که از آن‌ها آب نشت کند قابل قبول نخواهد بود. ضمن آزمایش، آب باید در لوله‌ها باقی بماند تا حداقل پنجاه سانتی‌متر خاک روی لوله‌ها ریخته و کوبیده شود. لوله‌هایی که در این آزمایش معیوب تشخیص داده شوند باید به هزینه پیمانکار جمع‌آوری و با لوله‌های سالم تعویض شوند.

۱۱-٤ زهکشی عمیق و زیرزمینی

در زهکشی عمیق، تخلیه آب‌های نفوذی به ساختمان راه از طریق احداث زهکشی‌های باز یا بسته با لوله یا بدون لوله‌های زهکشی (سفال ـ سیمانی و سوراخ‌دار) و با یا بدون زمین‌پارچه‌ها[1] در محل‌هایی که در نقشه‌های اجرایی نشان داده شده یا در مواردی که مهندس مشاور 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.

۱۱-٤-۱ کنترل و تخلیه آب‌های سطحی

الف: آب‌های سطحی نفوذی به لایه‌های زیرسازی، معمولا با مصالح زیراساس با خاصیت زهکشی مناسب و در صورت لزوم با دانه‌بندی باز باید مهار شده و به آبروهای جانبی راه تخلیه شود.

ب: برای تسریع عمل تخلیه و جلوگیری از ایستابی، بستر روسازی راه باید کاملا هموار و بدون نقاط پستی و بلندی و منطبق با شیب عرضی نقشه‌های اجرایی ساخته شده و شکل یافته باشد.

1. Geotextile

گاهی اوقات با افزودن به شیب عرضی راه نیز می‌توان ظرفیت تخلیه آب را بالا برد.

پ: برای آنکه آب‌های نفوذی قبل از رسیدن به خاک لایه‌های زیرسازی به آبروهای جانبی تخلیه شود و یا میزان جذب آن‌ها در این لایه‌ها به حداقل کاهش یابد، بستر روسازی راه را در صورت لزوم با پوششی از زیراساس سیمانی و یا آسفالتی، آسفالت سطحی، نوارهای عریض پیش‌ساخته قیری، اندود قیری و یا مصالح قابل قبول دیگر غیر قابل نفوذ می‌کنند. مشروط بر آنکه برای تخلیه و خروج سریع آب از این بستر تمهیدات کافی فراهم شده باشد. در صورت استفاده از این روش، نوع پوشش مصرفی در هر پروژه و نحوه اجرای عملیات باید در مشخصات فنی خصوصی قید شود.

۱۱-٤-۲ کنترل و پایین آوردن تراز آب زیرزمینی

الف: تراز آب زیرزمینی نباید از بستر روسازی راه کمتر از ۱/۲ متر فاصله داشته باشد و در غیر این صورت باید سطح ایستابی را با حفر کانال‌های عمیق و نصب لوله‌های زهکشی و پر کردن روی آن با مصالح زهکش[1] پایین آورد. عمق حفاری به نوع خاک و سطح ایستابی بستگی دارد، که در نقشه‌های اجرایی باید مشخص شود.

ب: وقتی راه از مسیری می‌گذرد که سطح ایستابی بالا است، به جای استفاده از سیستم زهکشی عمیق، ممکن است اقتصادی‌تر این باشد که خط پروژه را با خاکریزی و مصرف مصالح منتخب که خاصیت زهکشی هم داشته باشد بالا آورد.

پ: گاهی اوقات وجود یک لایه غیر قابل نفوذ افقی در زیر بستر راه که روی یک لایه زهکش قرار گرفته، سبب می‌شود که آب‌های حبس شده[2] روی لایه غیر قابل نفوذ جمع شده و ایستابی در زیر بستر راه به وجود آید. در این صورت با حفر چاه‌های عمودی تا لایه خاک زهکش و پر کردن آن‌ها با مصالح زهکش باید سطح ایستابی را پایین آورد. ابعاد و عمق این چاه‌ها و فاصله آنها نسبت به یکدیگر باید در نقشه‌های اجرایی مشخص گردد.

۱۱-٤-۳ کنترل و تخلیه آب‌های تراوشی

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

---

1. Drain Material
2. Perch Water

الف: اگر سطح 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 کانال عمودی حائل برای زهکشی و تخلیه آب‌ها[1] تا بستر لایه غیر قابل نفوذ حفر کرد و در کف آن لوله‌های زهکشی را قرار داد و روی آن را تا ارتفاع معین با مصالح زهکشی پر کرد.

ب: چنانچه افق تراوش گسترده و عمیق بوده و فاصله رویه نهایی راه تا لایه غیر قابل نفوذ زیاد باشد، زهکش حائل 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.

در روش یک لایه‌ای، مشخصات مصالح زهکشی باید با مندرجات بند ۱۱-۵ این فصل منطبق باشد ولی در سیستم دولایه‌ای باید از زه‌های سنگی[2] با ضریب نفوذپذیری مناسب با کمترین ضخامت ممکن که بر روی مصالح لایه اول قرار می‌گیرد، استفاده نمود. چون کوبیدن کامل زه‌های سنگی که معمولا دارای دانه‌های با ابعاد یکسان و یک اندازه[3] هستند، امکانپذیر نبوده و بر همین اساس نمی‌توان مصالح سایر لایه‌های روسازی را روی آن پخش و متراکم کرد، لذا در عمل یک نوع مخلوط آسفالتی با دانه‌بندی باز با حدود ۲ درصد قیر و به ضخامت حداقل ۷/۵ سانتی‌متر را جایگزین زه سنگی می‌کنند. دانه‌بندی‌های این نوع مخلوط آسفالتی و ضریب نفوذپذیری آن‌ها در جدول ۱۱-۱ نشان داده شده است.

ت: زهکش‌های حایل به شکل انهار باز و بدون لوله‌گذاری نیز در مهار کردن آب‌های تراوشی و تخلیه آن مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این حالت بهتر آن است که این انهار حتی‌الامکان تا لایه غیر قابل نفوذ ادامه یابد. سطح ایستابی در انهار زهکش باید در حدی باشد که مانعی برای تخلیه زهکش‌های لوله‌ای در نهر ایجاد نکند. معمولا این سطح باید ۳۰ الی ۴۰ سانتی‌متر پایین‌تر از کف لوله‌های زهکش باشد.

---

1. Interception Drain
2. Drain Rock
3. One – Size Grade

ث: وقتی که راه از محل‌هایی که شیب عرضی دارد عبور می‌کند، احداث زهکش‌های حائل باز و یا بسته به تنهایی ممکن است نتواند آب‌های تراوشی بالادست راه را جمع‌آوری و تخلیه کند. در این حالت باید با نصب لوله‌های زهکش زیرزمینی در امتداد عرض راه و طبق نقشه آب را مهار و تخلیه کرد.

جدول ۱۱-۱ دانه‌بندی باز مخلوط‌های آسفالتی مصرفی برای زهکشی زیرزمینی

الک‌ها	درصد رد شدن از الک‌ها			
	شماره ۱	شماره ۲	شماره ۳	شماره ٤
۱۹ میلی‌متر – $\frac{3}{4}$ اینچ	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	--
۱۲٫۵ میلی‌متر – $\frac{1}{2}$ اینچ	۴۵	۶۰	۶۵	۱۰۰
۹٫۵ میلی‌متر – $\frac{3}{8}$ اینچ	--	--	--	--
۴٫۷۵ میلی‌متر – شماره ۴	۵	۱۰	۱۵	۵۰
۱٫۱۸ میلی‌متر – شماره ۱۶	۰	۰	۰	۰
درصد قیر نسبت به مخلوط آسفالتی	۲	۲	۲	۲
ضریب آبگذرانی بر حسب متر/ روز	۲۰۰۰ – ۲۴۷۰	۹۷۵ – ۱۲۵۰	۱۱۰۰ – ۱۳۱۰	۷۹۰ – ۱۰۷۰
توضیح: نمونه‌های مارشال ساخته شده برای مخلوط‌های آسفالتی مندرج در جدول با ۳۵ ضربه در هر طرف نمونه‌ها، در آزمایشگاه متراکم شده‌اند.				

۱۱-۵ مصالح زهکشی عمیق

کیفیت مصالح مصرفی در زهکشی عمیق و زیرزمینی، نقش اساسی در بهره‌دهی دراز مدت تأسیسات زهکشی ایفاد می‌کند و به طور کلی باید دارای ویژگی‌های زیر باشند:

الف: از نظر شیمیایی و فیزیکی، در شرایط محیطی پروژه مقاوم و با دوام باشند.

ب: مقاومت کافی سازه‌ای در برابر بارهای وارده و تغییر شکل‌های ناشی از آن را داشته باشند.

پ: با آیین‌نامه‌های مندرج در این فصل انطباق داشته باشند.

ت: در ابعاد و اندازه‌هایی طراحی شوند تا بتوانند حجم آب مورد نظر و محاسبه شده در طرح را جمع‌آوری و تخلیه کند.

مصالح اصلی که در سیستم زهکشی مورد استفاده قرار می‌گیرند عبارتند از:

- مصالح دانه‌ای[1]
- زمین‌پارچه‌ها[2]
- لوله‌های زهکشی زیر زمینی و جمع کننده‌ها[3]

به طور کلی جنس و مشخصات مصالح باید در مشخصات فنی خصوصی قید شود.

۱۱-۵-۱ مصالح دانه‌ای

عملکرد مصالح دانه‌ای در سیستم زهکشی زیرزمینی شامل موارد زیر است:

الف: جمع‌آوری آبی که از سیستم عبور می‌کند و ذخیره کردن موقت آن در داخل لایه‌های روسازی

ب: جلوگیری از فرار و انتقال مواد ریزدانه خاک پایه[4] (خاکی که باید زهکشی شود)، از جمله بستر روسازی، زیراساس و اساس به داخل مصالح زهکش

پ: تخلیه و خارج کردن آب به عنوان یکی از عملکردهای اصلی فرایند زهکشی

برای اینکه الزامات فوق قابل اجرا باشد مصالح دانه‌ای باید تابع معیارهای معینی از نظر دانه‌بندی، تراوایی، مقاومت در برابر دوره‌های متناوب یخبندان - ذوب و واکنش‌های زیان‌آور شیمیایی بوده و از سنگدانه‌های سخت، بادوام و مستحکم تشکیل شده باشند. از مصرف ماسه حاصل از سنگ شکسته کربناتی که به تدریج در آب حل می‌شود، باید خودداری کرد.

۱۱-۵-۲ زمین‌پارچه‌ها (ژئوتکستایل‌ها)

زمین‌پارچه‌ها به عنوان یک پوشش درونی یا بیرونی در سیستم چند لایه‌ای مصالح دانه‌ای در سیستم زهکشی و همچنین وقتی که فقط استفاده از یک نوع مصالح سنگی دانه‌بندی شده نمی‌تواند الزامات طراح را به طور مؤثری در فرآیند زهکشی دراز مدت تأمین کند، به عنوان فیلتر یا صافی که از حرکت ذرات معلق خاک پایه جلوگیری می‌کند، مصرف می‌شوند.

---

1. Aggregates
2. Geotextiles
3. Underdrain – Pipes and Collectors

۴ منظور از خاک پایه (**Base Soil**) خاکی که باید زهکشی شده و در تماس با لایه فیلتر می‌باشد.

زمین‌پارچه‌ها باید الیاف مقاوم و بادوام پلیمری مانند پلی‌استر، پلی‌پروپیلن به شکل بافته یا نبافته تهیه شده و کلا فاقد هر نوع روکش یا اندودی که موجب تغییر خواص فیزیکی و عملکرد مناسب تراوایی آن‌ها می‌شود، باشد.

زمین‌پارچه‌ها باید از استحکام کافی برخوردار بوده و دستورالعمل‌های سازنده آن‌ها به منظور حفاظت و جلوگیری از آسیب‌دیدگی‌های وارده به آن‌ها در جریان جابه‌جایی و نقل و انتقال، رعایت شود.

قطر سوراخ‌های زمین‌پارچه باید به اندازه‌ای باشد تا از حرکت ذرات ریز و معلق خاک پایه و در نتیجه فرسایش آن جلوگیری کرده و در عین حال مساحت سطوح باز یا سوراخ‌های آن‌ها برای عبور مقدار آب پیش‌بینی شده در طرح به قدر کافی باشد تا به عنوان سد یا حائلی عمل نکند که خاصیت تراوایی زمین‌پارچه از تراوایی خاک پایه کمتر شود.

زمین‌پارچه باید از نظر شیمیایی کیفیتی داشته باشد که در تمام دوره بهره‌برداری و عملکرد خود به عنوان یکی از اجزاء تشکیل دهنده زهکشی، بادوام و مقاوم باقی بماند. سوراخ‌ها و منافذ زمین‌پارچه می‌تواند یکنواخت یا غیر یکنواخت باشد ولی ابعاد آن نباید در برابر فشارهای عمودی وارده به سطح زمین‌پارچه تغییر کند. در برخی از شرایط، لازم است زمین‌پارچه خاصیت شکل‌پذیری و الاستیک داشته باشد تا بتواند در مقابل تنش‌های موضعی قابل ملاحظه و پیش‌بینی نشده، مقاومت کند. زمین‌پارچه‌ها باید با توجه به شرایط عمومی و اختصاصی هر پروژه و شناخت و برآورد عوامل و مشکلات اجرایی پیش‌بینی نشده، انتخاب شود.

حداقل معیارهای لازم برای انتخاب زمین‌پارچه‌ها جهت مصرف در سیستم‌های زهکشی و به عنوان صافی در بخش ۲۲-۴ ارایه شده است.

۱۱-۵-۳ لوله‌های زهکشی زیرزمینی

این لوله‌ها به عنوان عامل انتقال دهنده و خارج کننده آب از سیستم عمل می‌کنند و در انواع مختلف سفالی، فلزی، پلاستیکی، سیمانی و به اشکال مشبک متخلخل، موجدار و ساده ساخته می‌شوند. لوله‌ها باید دارای مقاومت کافی بوده و در شرایط محیطی و شیمیایی محل پروژه از جمله در برابر املاح موجود در خاک و آب، خورندگی و یخبندان از دوام کافی برخوردار باشند. قطر لوله‌ها، ابعاد و اندازه سوراخ‌ها و نیز عرض شکاف و درز اتصال آن‌ها باید به گونه‌ای باشد که میزان آبی که باید از آن‌ها عبور کند متناسب بوده و علاوه بر آن سنگدانه‌های فیلتر روی لوله‌ها به داخل سوراخ‌ها منتقل نشوند. داکت‌ها نیز که برای حفاظت محل خروجی آب در مقابل خسارات احتمالی وارده عمل می‌کنند باید در برابر کلیه شرایط و تأثیرات محیطی و نیز بار وارده به

آن‌ها در دوره نگهداری محافظت شده و مقاومت لازم را داشته باشند. وقتی که از لوله‌های پلاستیک برای داکت‌ها استفاده می‌شود باید از تأثیر مستقیم تابش آفتاب و اشعه ماوراء بنفش، کاملا حفاظت شوند.

لوله‌های مصرفی در زهکشی عمیق باید با یکی از استانداردهای مشروحه زیر منطبق باشند:

لوله‌های فلزی آهنی یا فولادی موجدار	AASHTO M 36
لوله‌های سفالی با مقاومت زیاد	AASHTO M 65
لوله‌های مشبک بتنی	AASHTO M175
لوله‌های متخلخل سیمانی	AASHTO M176
لوله‌های بتنی	AASHTO M178
لوله‌های سفالی	AASHTO M179
لوله‌های موجدار آلومینیومی	AASHTO M196
لوله‌های آلومینیومی	AASHTO M197
لوله‌های ترموپلاستیک و پلی‌اتیلن موجدار	AASHTO M252

نوع لوله‌های مصرفی در هر پروژه باید در مشخصات فنی خصوصی قید شود.

۱۱-٦ معیارهای پایداری سیستم زهکشی عمیق

برای آنکه سیستم زهکشی بتواند در دراز مدت با بهره‌دهی موثر و مفید عمل کند، باید به گونه‌ای طراحی شود که جریان جمع‌آوری و تخلیه آب بدون انتقال و فرار و جابه‌جایی ذرات ریزدانه از خاک پایه و یا مصالح سنگدانه‌ای، به داخل هر یک از مواد و مصالح زهشکی و بدون افت مجاز بار آبی، ادامه یابد. برای تأمین این هدف معیارهای زیر باید در طراحی رعایت شود. در کلیه روابطی که ذیلا ارایه می‌گردد، F معرف مصالح فیلتر، B معرف خاک پایه و D_{10}، D_{15}، D_{50}، D_{60}، D_{85} نشانه اندازه دانه‌ای است که روی نمودار دانه‌بندی به ترتیب از ۱۰ تا ۸۵ درصد مواد رد شده را مشخص می‌کند.

۱۱-٦-۱ کنترل فشار و عملکرد فیلتر

برای جلوگیری از نیروهای تراوشی و فشارهای هیدرواستاتیکی بزرگ در فیلترها نسبت $\frac{D_{15}F}{D_{15}B} > 4$ رعایت شده و ضریب نفوذپذیری فیلتر به اندازه کافی باشد.

۱۱-٦-۲ کنترل حرکت، جابه‌جایی و فرار ذرات خاک پایه

برای جلوگیری از حرکت، جابه‌جایی و فرار ذرات خاک پایه، روابط زیر برقرار باشد:

$$\frac{D_{15}F}{D_{85}B} \le 5$$

$$\frac{D_{50}F}{D_{50}B} \le 25$$

$$\frac{D_{15}F}{D_{15}B} \le 20$$

۱۱-٦-۳ خاک‌های پایه با دانه بندی یکنواخت

برای خاک‌های پایه با دانه بندی یکنواخت و ضریب یکنواختی $C_U = \frac{D_{60}}{D_{10}} < 1.5$[1]، نسبت $\frac{D_{15}F}{D_{85}B}$ در زیر بند۱۱-۶-۲ را می‌توان تا ۶ افزایش داد.

۱۱-٦-٤ خاک پایه با دانه‌بندی گسترده

برای خاک پایه با دانه‌بندی گسترده یعنی $C_U = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 4$، نسبت $\frac{D_{15}F}{D_{15}B}$ ردیف‌های ۱۱-۶-۲ و ۱۱-۶-۳ را می‌توان تا ۴۰ افزایش داد.

۱۱-٦-٥ جلوگیری از حرکت و فرار دانه‌های فیلتر

برای جلوگیری از حرکت و فرار دانه‌های فیلتر به لوله‌های زهکشی روابط زیر برقرار باشد:

$$\frac{D_{۸۵}F}{\text{عرض شکاف لوله زهکش}} \ge \text{بزرگتر از ۱.۲ تا ۱.۴}$$

$$\frac{D_{۸۵}F}{\text{قطر سوراخ‌های لوله زهکش}} \ge \text{بزرگتر از ۱.۰ تا ۱.۲}$$

1. Coefficient of Uniformity

۱۱-۶-۶ جلوگیری از تفکیک و جدا شدن سنگدانه‌های فیلتر

برای جلوگیری از تفکیک و جدا شدن سنگدانه‌های فیلتر از یکدیگر[1] ابعاد مصالح باید کوچکتر از ۷۵ میلی‌متر باشد.

۱۱-۶-۷ جلوگیری از جابه‌جایی و حرکت داخلی ذرات ریزدانه

برای جلوگیری از جابه‌جایی و حرکت داخلی ذرات ریزدانه، مصالح فیلتر نباید بیش از ۵ درصد مواد رد شده از الک شماره ۲۰۰ داشته باشد.

۱۱-۶-۸ معیارها در صورت مصرف لوله‌های زهکشی دارای شکاف

در صورت مصرف لوله‌های زهکشی دارای شکاف می‌توان از معیارهای زیر، به جای ضوابط ردیف ۱۱-۶-۵ بالا استفاده کرد:

الف: $F = \frac{1}{3} D_{85}$ عرض شکاف لوله زهکشی

ب: نسبت $A = \frac{D_{50}F}{D_{50}B}$ با توجه به وضعیت یکنواختی یا غیر یکنواختی هریک از دو مصالح (خاک پایه و مصالح فیلتر) با جدول ۱۱-۲ منطبق باشد.

جدول شماره ۱۱-۲ انتخاب معیار A بر حسب وضعیت یکنواختی خاک پایه و فیلتر

خاک پایه	فیلتر	حداکثر A
یکنواخت	یکنواخت	۹٫۵
یکنواخت	غیر یکنواخت	۱۳٫۵
غیر یکنواخت	یکنواخت	۱۳٫۵
غیر یکنواخت	غیر یکنواخت	۱۹٫۵

۱۱-۶-۹ استفاده از زمین‌پارچه‌ها و کاهش تعداد لایه‌ها با مصالح دانه‌ای متفاوت

برای انطباق با معیارهای مشروحه بندهای ۱۱-۶-۱ الی ۱۱-۶-۸ فوق، معمولا نمی‌توان به انتخاب یک نوع مصالح دانه‌ای برای فیلتر بسنده کرد. از آنجا که مصرف مصالح دانه‌ای متفاوت برای هر لایه در سیستم

1. Segregation

چند لایه‌ای، معمولا با مشکلات اجرایی زیادی همراه خواهد بود. می‌توان با مصرف زمین‌پارچه‌ها، استفاده از یک نوع مصالح فیلتر را جایگزین مصالح دانه‌ای مختلف کرد.

۱۱-٦-۱۰ انتخاب مصالح زهکش

برای انتخاب مصالح زهکش با دانه‌بندی از نوع ماسه و یا سنگدانه‌ای که ضریب انحنای[1] نمودار دانه‌بندی آنها، یعنی $C_C = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ در محدوده ۱ تا ۳ قرار گیرد و ضریب یکنواختی یا C_u آن‌ها نیز برای ماسه و یا سنگدانه به ترتیب بیشتر از ۶ و ۴ باشد، دانه‌بندی‌هایی تعیین شده که می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. انتخاب این دانه‌بندی‌ها که در شکل شماره ۱۱-۲ نشان داده شده است بر حسب مقدار D_{60} خاک پایه انجام می‌گیرد، ضمن اینکه رعایت این معیار، عمدتا با معیارهای ردیف‌های ۱۱-۶-۱ تا ۱۱-۶-۸ نیز انطباق دارد.

به عنوان مثال چنانچه D_{60} خاک پایه براساس منحنی آزمایش دانه‌بندی مساوی ۰/۰۶ میلی‌متر باشد. دانه‌بندی مصالح فیلتر باید در داخل محدوده دانه‌بندی‌های شماره ۲ یعنی معادل ۰/۱ الی ۰/۰۵ میلی‌متر قرار گیرد. بدیهی است علاوه بر آن، ضریب انحنا و ضریب یکنواختی مصالح بر حسب اینکه ماسه‌ای یا دانه‌ای باشد، باید با معیارهای مشروحه در همین بند مطابقت داشته باشد.

۱۱-٦-۱۱ کنترل دانه‌بندی و نفوذپذیری مصالح کوبیده شده

باید توجه داشت که نفوذپذیری مصالح زهکش در طول زمان، به علت نفوذ مواد ریزدانه و تغییر دانه‌بندی آن، حتی تا بیش از ۱۰ برابر کاهش می‌یابد و لذا در انتخاب آن علاوه بر رعایت معیارهای یاد شده باید دقت فراوان به کار برد. نمونه‌گیری از این مصالح برای کنترل دانه‌بندی آن باید بعد از مصرف و کوبیده شدن آن در انهار زهکشی نیز انجام گیرد.

۱۱-۷ نصب لوله‌های زهکشی عمیق

برای آنکه سیستم زهکشی عمیق با لوله‌گذاری، عملکرد مؤثر و مداوم و پیش‌بینی شده را داشته باشد، شرایط زیر برای نصب این لوله‌ها باید دقیقا به مورد اجرا گذاشته شود.

1. Coefficient of Curvature

۱۱-۷-۱ قرار دادن لوله در کف کانال

کانال‌هایی که لوله در کف آن قرار داده می‌شود باید منطبق با ابعاد و اندازه‌های مشخص شده در نقشه ساخته شود و عرض کف کانال نیز حداقل ۱۵ سانتی‌متر بیش از قطر خارجی لوله باشد.

۱۱-۷-۲ شیب بستر لوله گذاری

شیب بستری که لوله روی آن قرار می‌گیرد باید در تمام طول لوله‌گذاری منطبق با شیب نقشه‌های اجرایی بوده و کنترل شود. در صورتی که شیب طولی کمتر از ۲ درصد باشد به ازای هر پنج متر برم‌گذاری و در صورتی که شیب طولی بیشتر از ۲ درصد باشد باید به ازای هر ۵ تا ۱۰ متر برم‌گذاری شود.

۱۱-۷-۳ تراکم و یکنواختی بستر لوله گذاری

بستری که لوله روی آن قرار می‌گیرد باید تراکم کافی و یکنواخت داشته باشد. لوله نباید روی زمین یخ‌زده و یا زمین پوشیده از گیاه و یا لجن و یا ضایعات دیگر قرار گیرد. چون زمین بستر در طول لوله‌گذاری معمولا از کیفیت‌های مختلفی برخوردار است عملی‌تر آن است که حداقل تا ۱۰ سانتی‌متر زیر تراز مشخص شده خاکبرداری اضافی انجام گرفته و سپس آنرا با ماسه پر کرد به نحوی که بعد از کوبیدن به تراز بستر زیر لوله برسد و این روش در برش‌های سنگی یا زمین‌های سخت دجی نیز به مورد اجرا گذاشته شود.

۱۱-۷-٤ جایگزینی خاک نامناسب بستر لوله گذاری

اگر بستر زیرین لوله از خاک نامناسب تشکیل شده باشد تعویض آن با مصالح قابل قبول تا عمق لازم باید با تأیید مهندس مشاور انجام گردد. مصالح جایگزین شده باید تا حصول ۹۸ درصد وزن مخصوص خشک خاک که به روش آشتو AASHTO T180 طریقه D در آزمایشگاه تعیین می‌شود، متراکم و سپس تراز و شیب طولی آن کنترل شود.

۱۱-۷-۵ مدفون شدن لوله در کف ترانشه

لوله را باید در کف ترانشه فرو برد. طول وتری که لوله در داخل آن قرار می‌گیرد نباید از نصف قطر خارجی لوله کمتر باشد.

۱۱-۷-۶ مصرف خاک رس یا بتن برای اطراف لوله

چنانچه خاک بستر لوله غیر قابل نفوذ باشد باید برای جلوگیری از افت تراکم و استحکام آن در برابر نفوذ آب، دو طرف لوله را تا $\frac{1}{4}$ قطر داخلی لوله با خاک رس پر و کاملاً متراکم نمود و یا آنکه لوله را در بتن ضعیف قرار داد به نحوی که ضخامت بتن از کف ترانشه تا زیر لوله به اندازه $\frac{1}{4}$ قطر داخلی لوله بوده و دو طرف لوله نیز به همین ارتفاع از بتن پر شود. در صورتی که خاک بستر قابل نفوذ بوده و زهکشی برای پایین آوردن سطح آب زیرزمینی انجام می‌گیرد، مصرف خاک رس و یا بتن برای اطراف لوله ضرورت ندارد.

۱۱-۷-۷ کنترل راستا و شیب طولی لوله‌ها

لوله‌ها بعد از نصب باید کاملاً در یک راستا قرار گرفته متحدالمرکز باشند و شیب طولی و تراز روی آن‌ها با نقشه‌های اجرایی تطبیق نماید. لوله انتهایی باید به نحوی نصب شده باشد که آب داخل لوله بدون مانع به نهر اصلی تخلیه سرریز شود.

۱۱-۷-۸ روش اتصال لوله‌ها به یکدیگر

روش اتصال لوله‌ها به یکدیگر با توجه به نوع لوله و مقاطع دو سر آن باید با مشخصات فنی و نقشه‌های اجرایی و دستورالعمل کارخانه سازنده لوله برابری داشته باشد.

۱۱-۷-۹ کنترل جابجایی و آسیب لوله‌ها

وقتی که لوله‌ها در موقعیت مشخص شده و طبق نقشه قرار داده شدند باید مراقب بود تا جابه‌جا نشده و آسیب نبینند.

۱۱-۸ پر کردن اطراف لوله‌ها

۱۱-۸-۱ پر کردن اطراف لوله‌ها با مصالح زهکش

بعد از قرار گرفتن لوله‌ها در کف کانال، اطراف و روی آن‌ها باید بلافاصله با مصالح زهکشی که دانه‌بندی آن‌ها با توجه به نوع خاک مجاور لوله در مشخصات فنی خصوصی تعیین شده است پر شود. مصالح را باید با دقت نخست در دو طرف لوله‌ها ریخته و با تخماق دستی کوبید. آنگاه باید روی لوله‌ها را تا ارتفاع ۱۰

سانتی‌متر با مصالح زهکش پر کرد و مجدداً با تخماق دستی متراکم کرد. بقیه فضای خالی روی لوله‌ها باید با قشرهای ۲۰ سانتی‌متری پر و با کوبنده‌ها یا غلتک‌های کوچک مکانیکی کوبیده شود. میزان تراکم لایه‌های روی لوله باید با توجه به فاصله آن‌ها تا بستر روسازی راه مطابق مندرجات فصل دوم باشد.

۱۱-۸-۲ کنترل دانه‌بندی خاک مجاور لوله

اگر دانه‌بندی خاک مجاور لوله و شکاف بین لوله‌ها در صورت مصرف لوله‌های با مفاصل باز و یا ابعاد سوراخ لوله‌های مشبک به نحوی باشد که نتوان از یک نوع مواد زهکش استفاده کرد باید دو نوع مصالح یکی درشت که مستقیماً روی لوله و اطراف آن‌ها را بپوشاند و دیگری ریز که روی مصالح درشت قرار می‌گیرد و یا از زمین‌پارچه‌ها استفاده شود.

۱۱-۸-۳ کنترل جابجایی و آسیب لوله‌ها

هنگام ریختن مصالح روی لوله‌ها باید دقت کافی به عمل آید تا لوله‌ها جابه‌جا نشده و آسیب نبینند.

۱۱-۸-٤ آب‌بندی برای جلوگیری از نفوذ آب‌های سطحی

برای جلوگیری از نفوذ آب‌های سطحی به کانال‌ها و انهار زهکشی عمیق باید قشر نهایی آن را با یک لایه خاک رس غیر قابل نفوذ که ضخامت آن بعد از کوبیدن حداقل ۱۵ سانتی‌متر باشد، آب‌بندی کرد.

۱۱-۹ اتصال لوله‌های موجود و لوله‌های جدید

در محل‌هایی که در نقشه‌های اجرایی نشان داده شده و یا مهندس مشاور تعیین می‌کند، لوله‌های موجود و لوله‌های زهکشی باید ادامه یافته و به لوله‌کشی جدید، آبروها، زهکشی‌ها و سایر انهار اصلی و فرعی متصل گردند. کلیه این گونه اتصالات باید در حین اجرای ساختمان لوله اصلی، زهکش‌ها و یا سایر کارها انجام گرفته و اطلاعات کاملی از محل و موقعیت آن برای استفاده و یا مراجعه بعدی نگهداری شود. در محل‌هایی که اتصال لوله‌ها با زهکش آجری، آبروی بتنی، کانال‌های ساخته شده سنگی یا پوشیده شده انجام می‌شود، لوله‌ها باید در بتن یا آجر و یا بنایی سنگی به نحوی کار گذارده شود که تخلیه با زاویه حداکثر ۶۰ درجه نسبت به جهت آب کانال یا لوله زهکشی اصلی انجام گیرد.

۱۱-۱۰ اتمام کارهای تخلیه آب‌ها و زهکشی

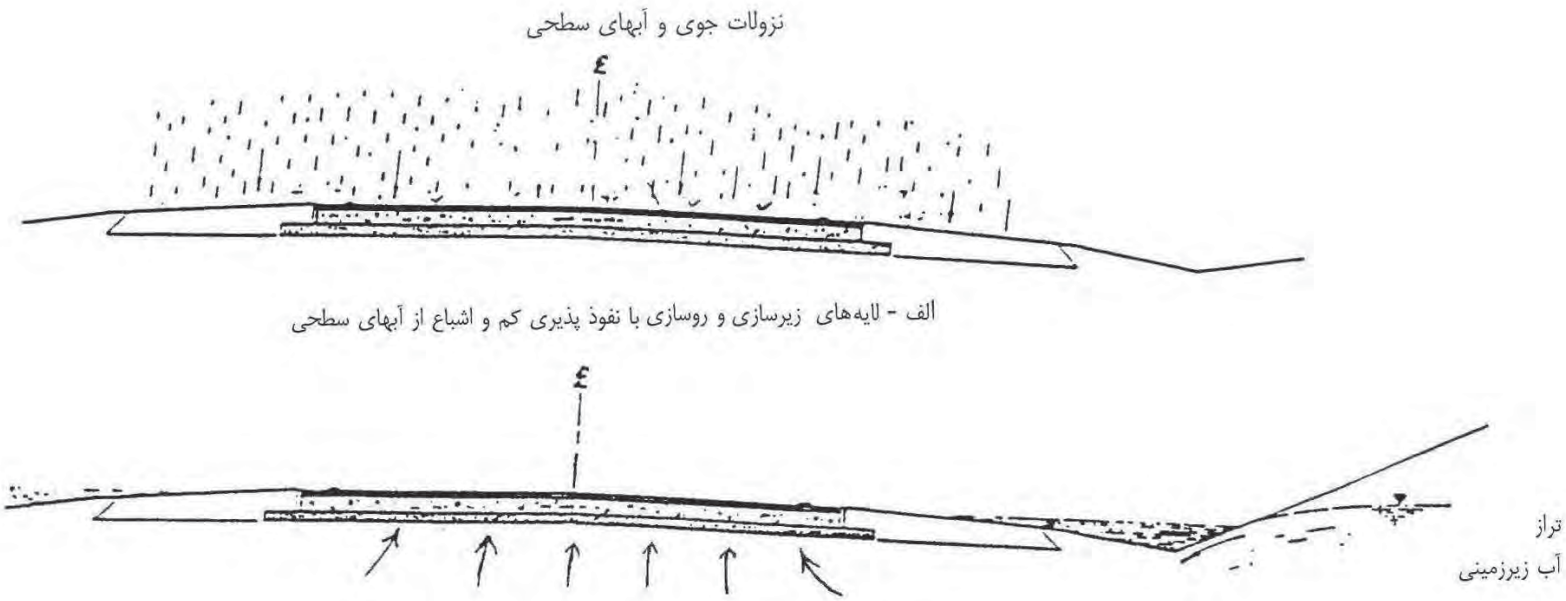
تمام کارهای مربوط به تخلیه آب‌های سطحی و زهکشی عمقی باید حتی‌المقدور قبل از شروع عملیات خاکی انجام گیرد و چنانچه حین انجام کارهای خاکی و غلتک‌زنی و یا به دلایل دیگر خسارتی به لوله‌ها وارده شود، پیمانکار باید به هزینه خود نسبت به تعویض یا تعمیر لوله‌های مزبور اقدام کند.

۱۱-۱۱ نگهداری ابنیه زهکشی

بازدید مستمر و تمیز نگهداشتن لوله‌ها، کانال‌های آب، چاه‌ها و انهار باز و بسته و کلیه ابنیه زهکشی تا تحویل موقت به عهده و به هزینه پیمانکار است.

۱۱-۱۲ نقشه‌های تیپ راهنما برای زهکشی زیرزمینی

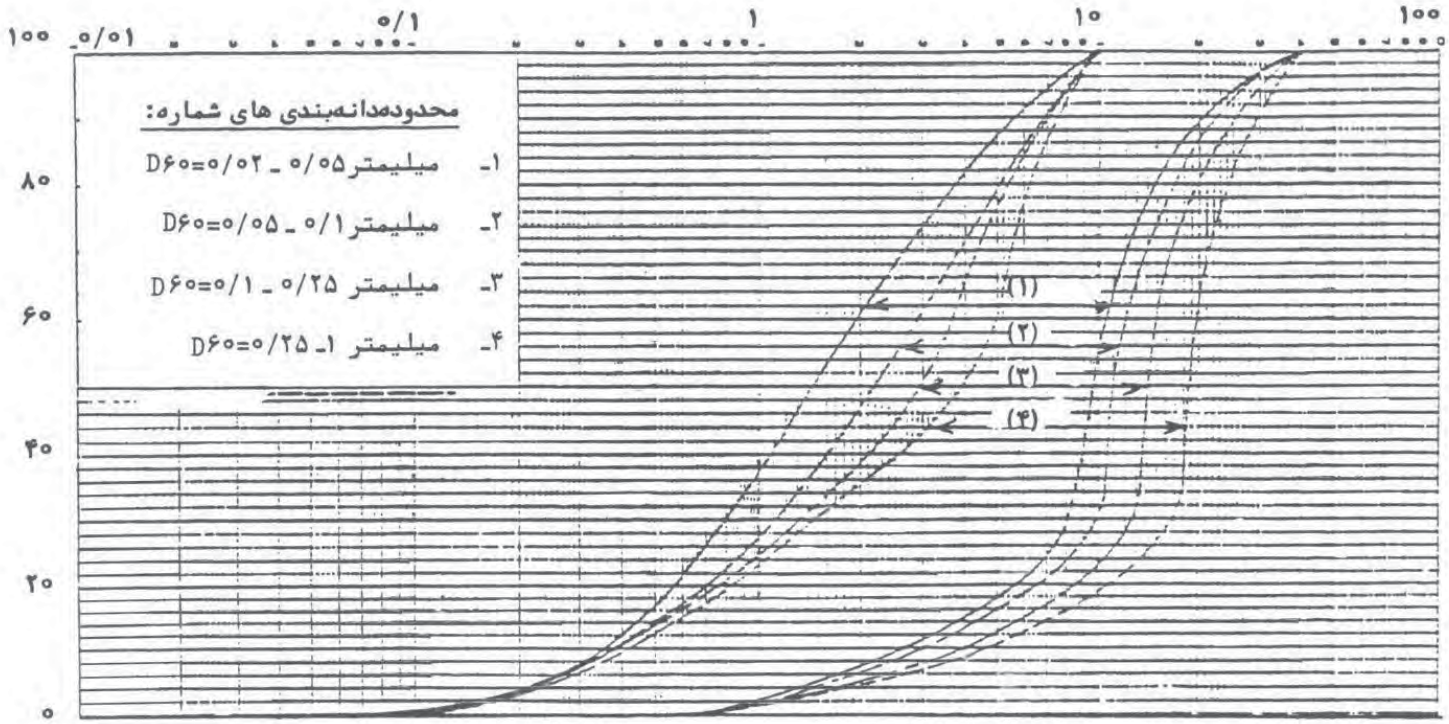
نقشه‌های راهنما برای زهکشی زیرزمینی با یا بدون زمین‌پارچه طی شکل‌های شماره ۱۱-۳ الی ۱۱-۷ نشان داده شده است. نقشه‌های اجرایی و جزئیات مربوطه برای موارد مختلف در هر پروژه‌ای باید در مشخصات فنی خصوصی تهیه شود.



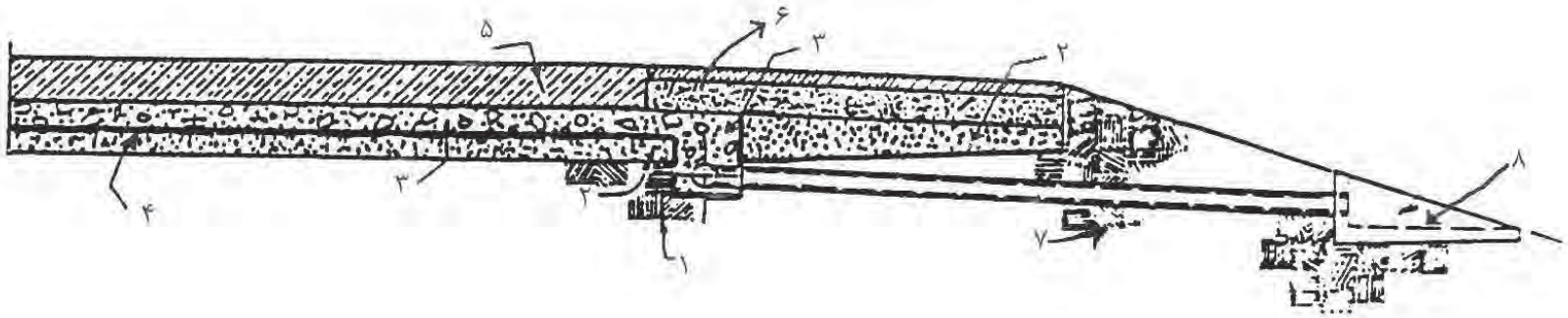
الف - لایه‌های زیرسازی و روسازی با نفوذ پذیری کم و اشباع از آبهای سطحی

ب - تراز بالای آب زیرزمینی و تراوش آن به لایه‌های زیرسازی و روسازی راه

شکل ۱۱-۱ منابع آب‌های نفوذی به لایه‌های زیرسازی و روسازی راه



شکل ۱۱-۲ محدوده دانه‌بندی مصالح فیلتر برای انواع خاک پایه با D_{60} از ۰/۰۲ تا ۱ میلی‌متر



۱- بستر روسازی (لایه‌های زیرسازی)

۲- زیراساس و یا اساس

۳- اساس با دانه‌بندی باز

۴- پوشش بستر روسازی با زمین‌پارچه

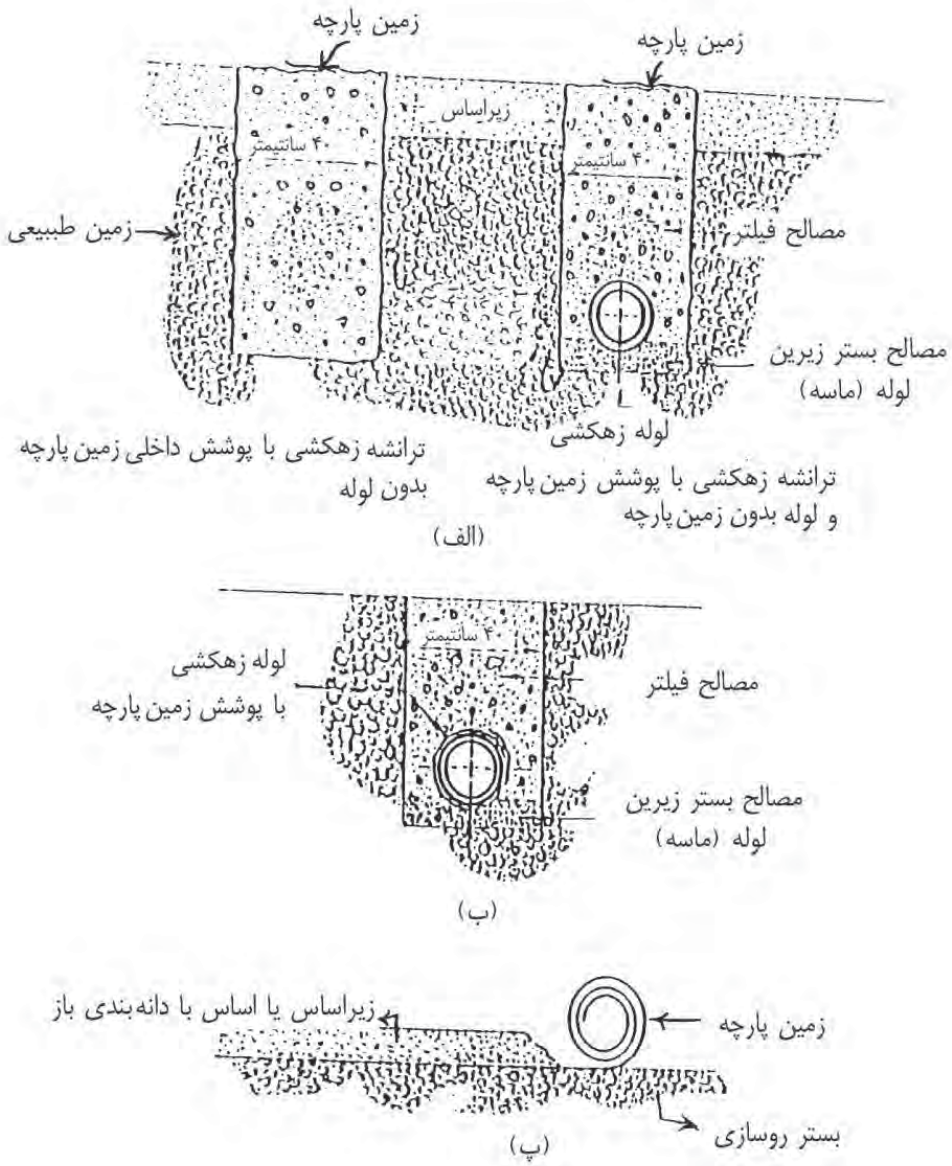
۵- آسفالت

۶- شانه راه

۷- لوله خروجی

۸- سازه بتنی - محل خروج آب

شکل ۱۱-۳ اجزای تشکیل دهنده سیستم زهکشی راه

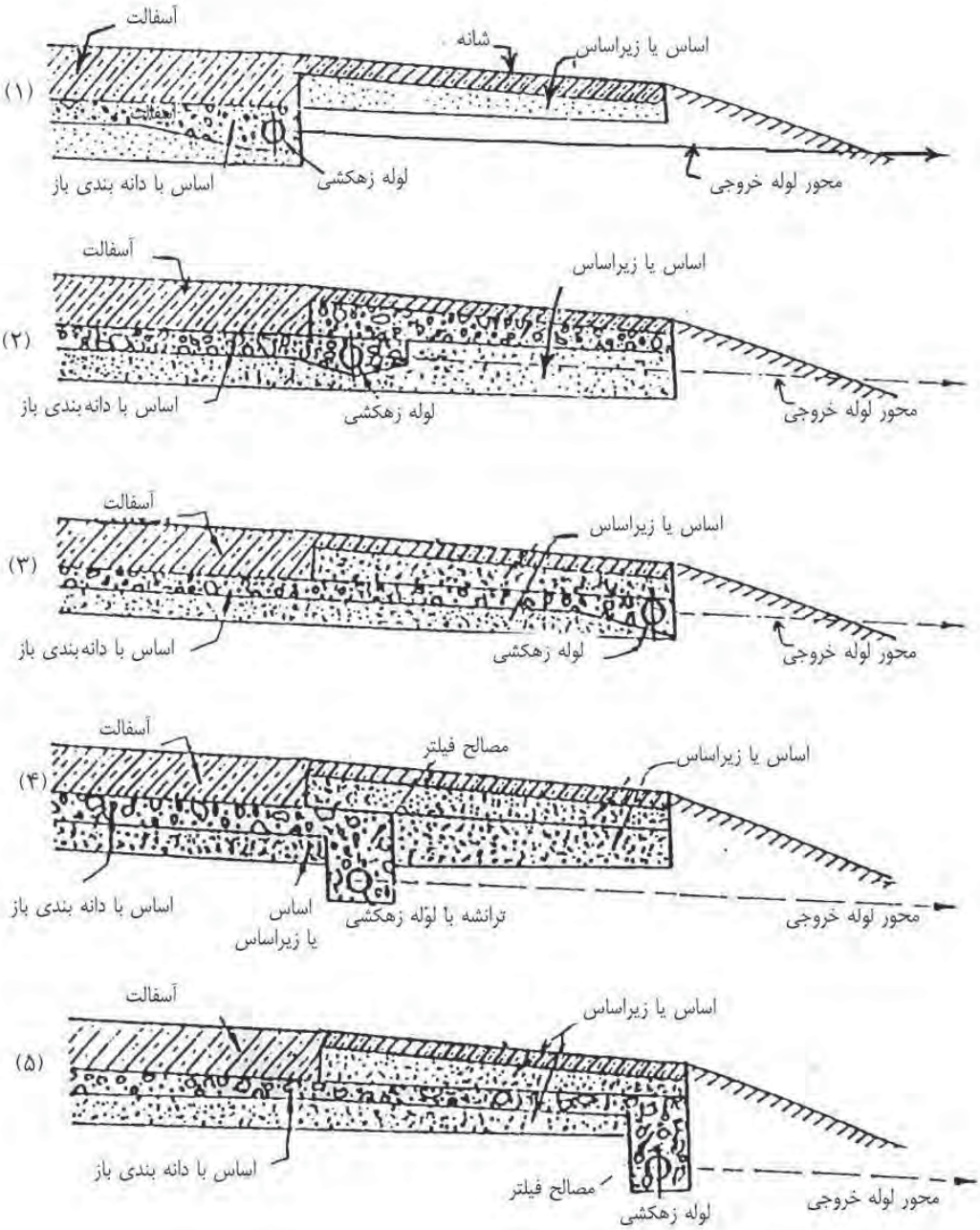


الف- زمین‌پارچه برای پوشش داخلی ترانشه زهکشی

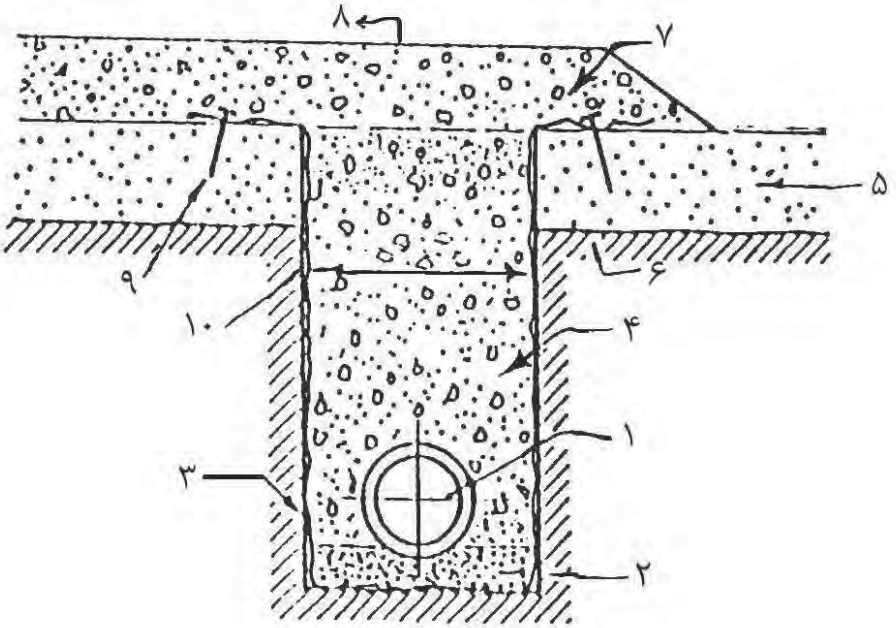
ب- زمین‌پارچه برای پوشش لوله زهکشی

پ- زمین‌پارچه برای پوشش بستر روسازی (زیرلایه زیراساس یا اساس با دانه‌بندی باز)

شکل ۱۱-٤ کاربرد زمین‌پارچه برای زهکشی زیرزمینی لایه‌های روسازی

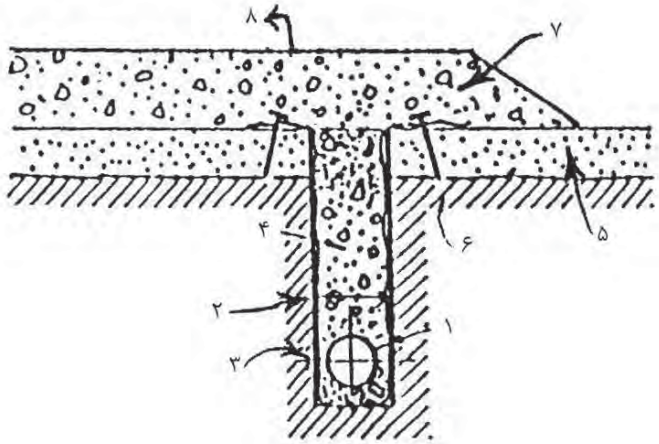


شکل ۱۱-۵ طرح‌های مختلف تیپ زهکشی با اساس دارای دانه‌بندی باز و لوله خروجی



۱- لوله مشبک یا شکافدار به قطر ۱۵ تا ۳۰ سانتی‌متر
۲- مصالح بستر زیرین لوله
۳- پوشش داخلی ترانشه زهکشی با زمین‌پارچه
۴- مصالح فیلتر با نفوذپذیری زیاد
۵- زیراساس یا مصالح فیلتر
۶- بستر روسازی
۷- اساس با دانه‌بندی باز
۸- بقیه لایه‌های روسازی
۹- میخ برای مهار کردن زمین‌پارچه
۱۰- عرض تراشه زهکشی ۲۰ سانتی‌متر بیشتر از قطر خارجی لوله

شکل ۱۱-٦ طرح زهکشی با اساس دارای دانه‌بندی باز و زمین‌پارچه



۱- لوله شکافدار پلاستیکی با قطر ۱۰ تا ۱۵ سانتی‌متر
۲- عرض ترانشه معادل ۲۰ سانتی‌متر بیشتر از قطر خارجی لوله
۳- پوشش داخلی ترانشه زهکشی با عمق ۷۵-۶۰ سانتی‌متر با زمین‌پارچه
۴- مصالح فیلتر یک اندازه ۱۲/۵ میلی‌متری ($\frac{1}{2}$ اینچ)
۵- زیراساس یا فیلتر ماسه‌ای
۶- بستر روسازی
۷- اساس آسفالتی متخلخل با حداکثر اندازه ۳۰-۲۵ میلی‌متر
۸- بقیه لایه‌های روسازی

شکل ۱۱-۷ طرح زهکشی با اساس آسفالتی متخلخل و استفاده از زمین‌پارچه

۱۲

زیراساس

۱۲-۱ کلیات

مصالح شنی یا سنگی مطابق با مشخصات فنی این فصل تهیه و بر روی بستر روسازی راه حمل و به ضخامت تعیین شده در نقشه‌ها و در تمام عرض بستر روسازی، پخش و سپس طبق شرایط مورد نظر آبپاشی و کوبیده می‌شود.

۱۲-۲ انواع قشر زیراساس

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

زیراساس دانه‌ای

زیراساس تثبیت شده

در صورتی که شن و ماسه، قلوه سنگ یا سنگ کوهی در محل انجام پروژه طبق مشخصات فنی تعیین شده به سهولت قابل تهیه باشد، زیراساس دانه‌ای انتخاب می‌گردد.

در بعضی موارد به دلیل عدم وجود معادن شن و ماسه، قلوه سنگ یا سنگ کوهی یا بعد مسافت از محل معدن تا پای کار، مشکلاتی از نظر اقتصادی و فنی برای تهیه مصالح زیراساس دانه‌ای ایجاد می‌گردد. در این موارد می‌توان از مصالح موجود در محل، که مصرف آن به عنوان قشر زیراساس به تنهایی مناسب نمی‌باشد و مخلوط کردن آن با درصدی از مواد افزودنی و تثبیت کننده، نظیر سیمان، آهک یا قیر استفاده نمود، که در این صورت مخلوط حاصله زیراساس تثبیت شده 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 دانه‌ای و زیراساس تثبیت شده با آهک (زیراساس آهکی[1]) به شرح زیر می‌باشد.

1. Lime Treated Soil

۱۲-۲-۱ زیراساس دانه‌ای

عملیات اجرای زیراساس دانه‌ای شامل تهیه، آماده‌سازی و یا مخلوط کردن مصالح دانه‌ای با مشخصات معین است که در ابعاد هندسی مندرج در نقشه‌های اجرایی پروژه بر روی بستر روسازی[2] و در تمام عرض آن پخش شده و با رطوبت مناسب کوبیده می‌شود.

۱۲-۲-۱-۱ مصالح زیراساس دانه‌ای

مصالح دانه‌ای مصرفی در لایه زیراساس باید با مشخصات این بند مطابقت داشته باشد. نوع مصالح دانه‌ای مناسب برای اجرای زیراساس در هر پروژه با توجه به میزان ترافیک راه باید مطابق با جدول ۱۲- ۱ انتخاب شود.

جدول ۱۲- ۱ راهنمای انتخاب نوع مصالح دانه‌ای لایه زیراساس

سطح ترافیک	تعداد بار محور هم‌ارز منفرد در دوره ۲۰ ساله	نوع مصالح *
سطح ۱ (سنگین)	$۱۰^{۷} \leq ESAL$	نوع ۱
سطح ۲ (متوسط)	$۳\times۱۰^{۶} \leq ESAL < ۱۰^{۷}$	نوع ۲
سطح ۳ (سبک)	$ESAL < ۳\times۱۰^{۶}$	نوع ۳
* در ساخت روسازی آزادراه‌ها، صرف‌نظر از میزان ترافیک باید از مصالح نوع ۱ در زیراساس استفاده شود.		

مصالح درشت‌دانه (مانده روی الک شماره ۴) برای استفاده در مصالح دانه‌ای زیراساس باید از دانه‌های سخت، مقاوم و بادوام تشکیل شده باشد که می‌تواند بدون خردایش، از شن و سنگدانه‌های قرضه‌های آبرفتی و تپه‌های شنی و سرباره کوره‌های آهن‌گدازی حاصل گردد.

مصالح ریزدانه (ردشده از الک شماره ۴) نیز برای استفاده در مصالح دانه‌ای زیراساس می‌تواند از ماسه طبیعی، ماسه شکسته، ذرات ردشده از الک شماره ۲۰۰ (۰/۰۷۵ میلی‌متر) تشکیل شده باشد که باید همگن باشد. همچنین درصد وزنی مصالح ردشده از الک شماره ۲۰۰ نباید از $\frac{۲}{۳}$ درصد وزنی رد شده از الک شماره ۴۰ بیشتر باشد. سایر ویژگی‌های مصالح دانه‌ای زیراساس نیز باید در محدوده مشخصات ارایه شده در جدول ۱۲-۳ باشد.

در صورت استفاده از مصالح سرباره کوره آهن‌گدازی به عنوان یک بخش یا کل مصالح ریزدانه یا درشت‌دانه لازم است که انبساط آنها در اثر واکنش هیدراسیون مورد بررسی قرار گیرد و از منابعی استفاده شود که به منظور

2 Subgrade

کاهش انبساط مصالح، به مدت طولانی در شرایط مطلوب عمل‌آوری شده باشد، به نحوی‌که انبساط مصالح سرباره در مدت هفت روز در آزمایش به روش استاندارد ASTM D4792 کمتر از ۰/۵ درصد باشد.

مخلوط مصالح زیراساس باید بدون مواد آلی و گیاهی و کلوخه‌های رسی بوده و دانه‌بندی آن در محل پروژه باید در محدوده یکی از دانه‌بندی‌های مشخص‌شده در جدول ۱۲-۲ قرار گیرد. محدوده دانه‌بندی مصالح زیراساس باید پیش از آغاز عملیات اجرایی، از میان یکی از دانه‌بندی‌های مشخص‌شده در جدول ۱۲-۲ انتخاب و به تأیید مهندس مشاور برسد. دانه‌بندی انتخابی نباید در زمان پیشرفت عملیات اجرایی، بدون تأیید مهندس مشاور تغییر داده شود.

برای پیش‌گیری خرابی‌های ناشی از یخبندان (تشکیل عدسی‌های یخی)، در پروژه‌هایی که وقوع این خرابی‌ها با توجه به شرایط محیطی (دمای زیر صفر و آب آزاد در دسترس)، پیش‌بینی می‌شود، لازم است درصد رد شده الک شماره ۲۰۰ نزدیک به حد پایین محدوده تعیین شده در جدول ۱۲-۲ باشد تا با اطمینان بیشتری مقدار ذرات ریزتر از ۲۰ میکرون، کمتر از ۳ درصد باشد.

ظرفیت باربری کالیفرنیا (CBR) در حالت غرقاب برای مصالح زیراساس که با مشخصات این بند مطابقت داشته باشد، به عنوان فرض اولیه در محاسبات طراحی روسازی باید برابر ۴۰ درصد در نظر گرفته شود. در حین ساخت زیراساس دانه‌ای همواره لازم است که نمونه‌برداری از منبع مصالح انجام پذیرد و مقدار CBR به روش استاندارد AASHTO T193 تعیین شود. در صورتی که مقدار CBR در حین اجرا در دو نوبت متوالی کمتر از ۳۰ درصد تعیین گردد، پیمانکار باید دانه‌بندی یا منبع مصالح را با تأیید مهندس مشاور تغییر دهد تا الزام فوق برآورده گردد. بازنگری طرح روسازی بر اساس مقدار واقعی حاصل از آزمایش می‌تواند به تشخیص مهندس مشاور انجام پذیرد.

جدول ۱۲- ۲ محدوده دانه‌بندی‌های مصالح زیراساس دانه‌ای

اندازه الک، میلیمتر	درصد رد شده از هر الک			
	دانه‌بندی شماره ۱	دانه‌بندی شماره ۲	دانه‌بندی شماره ۳	دانه‌بندی شماره ٤
۵۰ (۲٫۰ اینچ)	۱۰۰	۱۰۰		
۲۵ (۱٫۰ اینچ)	—	۷۵–۹۵	۱۰۰	۱۰۰
۹٫۵ ($\frac{۳}{۸}$ اینچ)	۳۰–۶۵	۴۰–۷۵	۵۰–۸۵	۶۰–۱۰۰
۴٫۷۵ (شماره ۴)	۲۵–۵۵	۳۰–۶۰	۳۵–۶۵	۵۰–۸۵
۲٫۳۶ (شماره ۸)	۱۵–۴۰	۲۰–۴۵	۲۵–۵۰	۴۰–۷۰
۰٫۴۲۵ (شماره ۴۰)	۸–۲۰	۱۵–۳۰	۱۵–۳۰	۲۵–۴۵
۰٫۰۷۵ (شماره ۲۰۰)	۲–۸	۵–۱۵	۵–۱۵	۵–۱۵

۱- برای پیش‌گیری خرابی‌های ناشی از یخبندان (تشکیل عدسی‌های یخی)، در پروژه‌هایی که وقوع این خرابی‌ها با توجه به شرایط محیطی (دمای زیر صفر و آب آزاد در دسترس)، پیش‌بینی می‌شود، لازم است درصد رد شده الک شماره ۲۰۰ نزدیک به حد پایین محدوده تعیین شده در جدول بالا باشد تا با اطمینان بیشتری مقدار ذرات ریزتر از ۲۰ میکرون، کمتر از ۳ درصد باشد.

۲- درصد وزنی مصالح ردشده از الک شماره ۲۰۰ نباید از $\frac{۲}{۳}$ درصد وزنی رد شده از الک شماره ۴۰ بیشتر باشد.

جدول ۱۲- ۳ محدوده مشخصات ویژگی‌های مصالح دانه‌ای زیراساس

ویژگی	روش استاندارد آزمایش		حدود مشخصات		
	AASHTO	ASTM	مصالح نوع ۱	مصالح نوع ۲	مصالح نوع ۳
حداکثر سایش به روش لس‌آنجلس، مصالح مانده روی الک ۴، درصد	T96	C131	۵۰	۵۰	۵۰
حداکثر افت وزنی با سولفات سدیم، ۵ سیکل، درصد	T104	C88	۱۲	۱۲	۱۵
حداقل ارزش ماسه‌ای، مصالح ردشده الک ۴، درصد	T176	D2419	۳۰	۲۵	۲۵
حداکثر حد روانی، مصالح ردشده الک ۴۰، درصد	T89	D4318	۲۵	۲۵	۳۰
حداکثر دامنه خمیری، مصالح ردشده الک ۴۰، درصد	T90	D4318	۶	۶	۸

۱۲-۲-۱-۲ ساخت و اجرا

۱۲-۲-۱-۲-۱ آماده‌سازی بستر روسازی

در شروع عملیات ساخت زیراساس، بستر روسازی و یا سطح موجود راه باید عاری از هرگونه مواد زائد و نخاله بوده و طبق پروفیل‌های طولی و عرضی آماده شده باشد. بستر روسازی که مصالح زیراساس روی آن پخش می‌شود، باید از پیش به‌طور کامل کوبیده شود و رقوم آن در حد رواداری‌ها منطبق با مشخصات باشد. در صورتی‌که اختلاف رقوم سطح بستر آماده‌شده نسبت به رقوم نقشه‌های اجرایی از ۲۰± میلی‌متر تجاوز کند، باید نسبت به اصلاح آن طبق دستورکار مهندس مشاور اقدام شود. همچنین ناهمواری بستر متراکم‌شده باید با استفاده از یک شمشه ۴ متری کنترل گردد. اگر شمشه ۴ متری در جهات مختلف روی بستر قرار گیرد، ناهمواری در زیر شمشه نباید از ۲۵ میلی‌متر بیشتر باشد.

۱۲-۲-۱-۲-۲ پخش مصالح و آب‌پاشی

مصالح زیراساس نباید زمانی پخش شود که دمای هوا پایین‌تر از ۲ درجه سانتی‌گراد بوده و یا بستر موجود یخ‌زده باشد. همچنین اگر مصالح زیراساس یخ‌زده باشد، عملیات پخش نباید صورت گیرد. مصالح زیراساس باید به صورت یک مخلوط همگن روی بستر آماده‌شده پخش شود. از جداشدگی سنگدانه‌های درشت و ریز مصالح زیراساس باید جلوگیری گردد. مصالح زیراساس باید به ضخامتی پخش گردد که پس از کوبیدن، ابعاد آن مطابق با رقوم، اندازه‌ها و شیب‌ها در نقشه‌های اجرایی بوده و نیازی به کسر یا اضافه کردن مصالح نباشد. با توجه به کاهش حجم در اثر تراکم، مصالح دانه‌ای باید به ضخامتی پخش گردد که در حدود ۲۵ تا ۳۰ درصد از ضخامت طرح بیشتر باشد.

الف) اختلاط مصالح برداشته‌شده از منابع یا دپوهای مختلف و اضافه کردن آب[۳] به منظور حصول رطوبت بهینه را می‌توان به دو روش زیر انجام داد:

الف-۱) در روش اول، مصالح دپوهای با اندازه‌های متفاوت و یا دپوهای حاصل از منابع مختلف، برای تأمین دانه‌بندی مورد نظر با استفاده از دستگاه‌های ثابت یا ماشین‌های میکسر سیار مخلوط می‌شوند. مصالح مخلوط‌شده

---

۳. آب مصرفی باید عاری از مواد و نمک‌های محلول زیان‌آور (تبلور نمک و تورم خاک، خورندگی و زنگ زدگی ماشین‌الات راهسازی) برای آن پروژه باشد. مهندس مشاور با بررسی مشخصات و تاثیرات عملکردی آب مصرفی باید اطمینان حاصل کند که در درازمدت آب مصرفی موجب خرابی لایه‌های روسازی راه نشود.

به این روش را می‌توان برای حمل در آینده در یک محوطه دپو کرد و یا می‌توان همزمان با اختلاط مصالح، آب مورد نیاز را به مخلوط‌کن اضافه کرد و بلافاصله پس از اختلاط، برای حمل به سطح راه بارگیری کرد.

الف–۲) در روش دوم، مصالح پس از حمل به محل پروژه، روی سطح آماده‌شده راه و در فواصل مناسب انباشته شده و سپس با گریدر مخلوط می‌گردد. در این روش بهتر است که آب‌دهی مصالح خارج از سطح راه انجام شود و سپس مصالح به سطح راه حمل گردد.

ب) پخش مصالح دانه‌ای زیراساس روی سطح آماده‌شده راه را می‌توان به دو روش زیر انجام داد:

ب–۱) در روش اول، با استفاده از ماشین پخش یا فینیشر که مجهز به جعبه پخش و اطو است، مصالح روی سطح آماده‌شده راه پخش می‌شود. در این روش، عملیات پخش لایه‌ها باید با یک گذر یا عبور انجام شده و لایه پخش‌شده در یک مرحله برای غلتک‌زنی آماده گردد. جعبه پخش و اطوی ماشین باید قابل تنظیم باشد و مصالح زیراساس را با شیب عرضی موردنظر، عرض حداقل ۳٫۶ متر و بافت سطحی یکنواخت پخش کند.

ب–۲) در روش دوم، مصالح دانه‌ای با گریدر روی سطح آماده‌شده راه پخش می‌شود.

اگر مهندس مشاور تشخیص دهد که میزان رطوبت بستر موجود راه به حدی زیاد است که احتمال نشست، تغییرشکل یا شیارافتادگی آن وجود دارد، لازم است که دستور توقف عملیات را صادر کند و شروع مجدد عملیات حمل به زمانی دیگر و پس از تأیید مهندس مشاور موکول شود.

در مواردی که ضخامت لایه زیراساس متراکم‌شده برابر ۲۰ سانتی‌متر یا کمتر باشد، مصالح باید در یک لایه پخش گردیده و متراکم شود و در مواردی که ضخامت لایه زیراساس بیشتر از ۲۰ سانتی‌متر باشد، باید کل لایه زیراساس به لایه‌های به ضخامت برابر و حداکثر ۲۰ سانتی‌متر تقسیم گردد. در این صورت، هر لایه باید پیش از پخش لایه بعدی، مطابق مشخصات متراکم گردد. همچنین در صورتی‌که با بهره‌برداری از غلتک‌های مناسب و انجام آزمایش‌های تعیین تراکم درجا مشخص گردد که حداقل معیار تراکم در ضخامت‌های بیشتر قابل حصول است، با تأیید مهندس مشاور می‌توان ضخامت هر لایه زیراساس کوبیده‌شده را تا ۳۰ سانتی‌متر افزایش داد. ضخامت هر لایه کوبیده‌شده نباید از دو برابر حداکثر اندازه سنگدانه‌ای مصالح و ۱۰ سانتی‌متر کمتر باشد.

مصالحی که مطابق با مشخصات تهیه گردیده و ویژگی‌های آن پس از نمونه‌برداری و انجام آزمایش‌های جدول **۱۲- ۳** به تأیید مهندس مشاور رسیده باشد، می‌تواند به سطح راه حمل گردیده و سپس پخش و متراکم شود. در محل‌هایی که قابل دسترسی برای ماشین‌آلات حمل و پخش نباشد، می‌توان مصالح را به صورت دستی

پخش نمود. ماشین‌آلات حمل باید به گونه‌ای هدایت شده و مسیر آنها مشخص گردد که کل عرض راه به‌طور یکنواخت تحت بار تردد آن ماشین‌آلات قرار گیرد تا تراکم غیریکنواخت در مسیر حمل به حداقل برسد.

مصالح زیراساس در زمان پخش باید دارای رطوبت مناسب برای تأمین تراکم مشخصه باشد. رطوبت بهینه باید با انجام آزمایش طبق استاندارد AASHTO T180 به روش D تعیین شود. رطوبت مورد نظر باید به‌طور همگن در تمام مصالح موجود باشد و در صورت لزوم، پس از پخش و تسطیح مصالح، آب‌پاشی با فشار یکنواخت با تانکر برای حفظ رطوبت بهینه انجام شود. آب‌پاشی روی مصالح پخش‌شده فقط باید با تأیید مهندس مشاور انجام شود. آب‌پاشی باید به نحوی باشد که مقدار رطوبت مصالح در زمان غلتک‌زنی به میزان درصد رطوبت بهینه یا حداکثر ۱/۵ درصد کمتر از آن باشد. توقف تانکر روی مصالح پخش‌شده در هنگام آب‌پاشی مجاز نیست.

۱۲-۲-۱-۲-۳ تراکم

پس از اطمینان از انطباق رقوم نهایی با نقشه‌های اجرایی، تراکم مصالح زیراساس باید با غلتک‌های فولادی استاتیکی یا لرزشی در حالت بدون لرزش آغاز شود و سپس با غلتک‌های لرزشی ادامه یابد. تعداد، نوع و وزن غلتک‌ها متناسب با نوع مصالح و ضخامت پخش، به منظور دستیابی به دانسیته لازم انتخاب می‌شود و برای هر پروژه باید در زمان شروع عملیات طبق نظر مهندس مشاور تعیین گردد. در هر صورت، وزن غلتک‌های مورد استفاده نباید به حدی زیاد باشد که سبب خردشدن سنگدانه‌ها گردد. الگوی غلتک‌زنی تأییدشده توسط مهندس مشاور باید در حین غلتک‌زنی به‌طور مداوم پایش شود، به نحوی‌که از حصول نتایج مطلوب اطمینان حاصل گردد.

برای متراکم‌کردن مصالح زیراساس در لایه‌های به ضخامت بیشتر از ۲۰ سانتی‌متر لازم است غلتک‌های لرزشی با وزن متوسط تا زیاد که نیروی استاتیکی وارد بر واحد طول استوانه غلتک بیشتر از ۳۰ کیلوگرم بر سانتی‌متر باشد، به کار برده شود.

در صورتی که مصالح پخش‌شده در سطوح بزرگ دچار جداشدگی مشهود گردیده و سنگدانه‌های درشت و ریز مصالح به نحوی از هم جدا شده باشند که در بازدید میدانی، مهندس مشاور بر آن صحه گذارد، باید پیش از غلتک‌زنی برای اصلاح آن اقدام شود.

غلتک‌زنی باید از کناره‌های راه شروع شده و به سمت محور راه، موازی با آن ادامه یابد، به استثنای محل قوس‌ها که غلتک‌زنی باید از داخل قوس و رقوم پایین‌تر شروع شده و به رقوم بالاتر در خارج از قوس ختم شود.

در امتداد و حاشیه جداول و دیوارها و محل‌هایی که غلتک‌های معمول به آنها دسترسی ندارند، می‌توان از کوبنده صفحه‌ای یا سایر غلتک‌های مورد تأیید مهندس مشاور استفاده کرد.

در حین غلتک‌زنی لازم است علاوه بر کنترل مشخصه تراکم نسبی و درصد رطوبت مصالح کنترل روش غلتک‌زنی نیز در مشخصات فنی خصوصی پروژه‌ها در نظر گرفته شود. این کنترل‌ها بر اساس بازدهی اسمی و نوع غلتک‌های پیش‌بینی‌شده، با شمارش تعداد عبور غلتک‌ها، پایش سرعت حرکت غلتک‌ها و نوع کارکرد لرزشی یا استاتیکی غلتک‌ها توسط مهندسان ناظر و یا تجهیزات تعبیه‌شده در اتاقک غلتک‌ها قابل انجام است. در شروع غلتک‌زنی و برای هر نوع مصالح مشخص‌شده در مشخصات فنی لازم است که تعداد عبور هر نوع غلتک، برای حصول تراکم نسبی حداقل ۹۸ درصد، با اجرای نوار آزمایشی به طول حداقل ۳۰ متر تعیین شود. دستورالعمل اجرای قطعه آزمایشی نیز توسط مهندس مشاور ارایه می‌گردد.

۱۲-۲-۱-۲-٤ حفاظت کار انجام‌شده

پس از اتمام عملیات ساخت زیراساس، عبور و مرور وسائل نقلیه روی آن مجاز نیست. برای حفاظت از لایه زیراساس، پیمانکار باید عملیات اجرایی را به نحوی برنامه‌ریزی کند که پس از پخش و غلتک‌زنی لایه و حصول اطمینان از مطابقت با مشخصات فنی، روی آن با مصالح لایه بعدی پوشیده شود. در غیر این‌صورت باید از تردد وسائل نقلیه و ماشین‌آلات راهسازی روی زیراساس متراکم‌شده جلوگیری شود.

۱۲-۲-۱-۳ کنترل کیفیت و پذیرش

همه مصالح مصرف‌شده در پروژه و کار انجام‌شده باید با الزامات آئین‌نامه و نقشه‌های اجرایی انطباق داشته باشد. تولید مصالح و عملکرد لایه اجرا شده باید به گونه‌ای کنترل گردد که آن مصالح و لایه در حال ساخت دارای ویژگی‌ها یا اندازه‌های مرزی (نزدیک به حدود بالا و پایین مشخصات) نباشد. اگر کیفیت مرزی مصالح یا لایه در حال ساخت تداوم یابد، مهندس مشاور می‌تواند عملیات اجرایی را با اخطار قبلی متوقف کند تا اصلاح لازم صورت گیرد.

به‌طور کلی، بررسی انطباق و پذیرش عملیات ساخت زیراساس با انجام آزمایش برای تعیین ویژگی‌های مشخص‌شده در این بخش انجام می‌شود. به این منظور، ویژگی‌های دانه‌بندی، هم‌ارز ماسه‌ای، سایش لس‌آنجلس، دوام در برابر سولفات سدیم، حدود اتربرگ، تراکم نسبی، ضخامت لایه، ناهمواری و شیب باید به‌طور کامل با مشخصات فنی و شرایط قرارداد انطباق داشته باشند.

۱۲-۲-۱-۳-۱ نمونه‌برداری و آزمایش

پیمانکار موظف است در حین پیشرفت عملیات اجرا، حجم کافی از مصالح تأمین‌شده را در موعد مناسب به مهندس مشاور ارایه کند، به‌گونه‌ای که نمونه‌برداری، انجام آزمایش‌ها و ارزیابی نتایج برای تأیید و صدور مجوز حمل آن مصالح به سطح راه، منجر به تأخیر در کارها نگردد. به این منظور پیمانکار لازم است پس از تولید و یا تهیه حجم مشخصی از مصالح مورد نیاز پروژه به میزان حداکثر ۵۰۰۰ مترمکعب، مراتب را به مهندس مشاور اطلاع دهد تا اقدام لازم برای نمونه‌برداری از آن مصالح و انجام آزمایش‌ها صورت گیرد.

نمونه‌برداری و آزمایش برای کنترل ویژگی‌ها و پذیرش مصالح مورد استفاده باید پیش از مصرف آن‌ها در عملیات اجرا انجام پذیرد. اما نمونه‌برداری و آزمایش برای کنترل و پذیرش لایه زیراساس ساخته‌شده، در حین پیشرفت عملیات اجرا انجام می‌شود. نمونه‌برداری و انجام آزمایش‌های مصالح زیراساس، قبل و بعد از حمل به سطح راه باید مطابق جدول ۱۲- ۴ انجام شود.

قبل از آنکه مصالح تهیه‌شده برای ساخت زیراساس به سطح آماده‌شده راه حمل شود و مورد مصرف قرار گیرد، باید نمونه‌برداری از مصالح طبق روش‌های استاندارد AASHTO T2 یا AASHTO R90 و به مقدار حداقل مشخص‌شده در استانداردها به شرح جدول ۱۲- ٤ صورت گیرد و آزمایش‌های لازم انجام شود. نمونه‌برداری از مصالح موجود پیمانکار به میزان حداکثر ۵۰۰۰ مترمکعب باید به گونه‌ای انجام شود که نمونه برداشته شده معرف کل حجم مصالح مورد نظر باشد.

پس از حمل مصالح زیراساس به روی بستر آماده‌شده راه و بلافاصله پیش از غلتک‌زنی باید نمونه‌برداری از مصالح پخش‌شده روی بستر مطابق با روش‌های استاندارد AASHTO T2 یا AASHTO R90 و به مقدار حداقل مشخص‌شده در استاندارد به شرح جدول ۱۲- ۴ صورت گیرد و آزمایش‌های لازم انجام شود. گزارش نتایج آزمایش‌های این مرحله باید پیش از شروع شیفت کاری روز بعد به مهندس مشاور تحویل گردد تا در صورت نیاز، اقدام لازم به عمل آید.

آزمایش تعیین دانسیته خشک درجا باید به ازای هر ۱۰۰ مترمکعب زیراساس ساخته‌شده و روزانه حداقل یک‌بار انجام شود و درصد رطوبت مصالح در زمان تراکم نیز تعیین شود. هر آزمایش دانسیته که انجام شود، ضخامت لایه نیز باید اندازه‌گیری شود و به همراه نتیجه آزمایش دانسیته ارایه گردد. در هر قسمت از طول راه که ۱۰۰ مترمکعب زیراساس ساخته‌شده را در بر می‌گیرد، محل آزمایش دانسیته درجا در امتداد طول و عرض

مسیر به صورت تصادفی طبق استاندارد ASTM D3665 تعیین می‌شود. گزارش نتایج آزمایش‌ها باید پیش از شروع شیفت کاری روز بعد به مهندس مشاور تحویل گردد تا در صورت نیاز، اقدام لازم به عمل آید.

جدول ۱۲- ٤ نمونه‌برداری و آزمایش‌های پذیرش عملیات زیراساس دانه‌ای

محل نمونه‌برداری [1]	ویژگی/ آزمایش	توالی نمونه‌برداری
منبع مصالح [2] (پیش از حمل بر روی سطح راه)	دانه‌بندی	یک نمونه در مرحله تحویل مصالح به مهندس مشاور به ازای حداکثر هر ۵۰۰۰ مترمکعب مصالح
	سایش با دستگاه لس‌آنجلس	
	افت وزنی مصالح با سولفات سدیم	
	ارزش ماسه‌ای	
	حد روانی	
	دامنه خمیری	
	ظرفیت باربری کالیفرنیا (CBR)	
مصالح حمل‌شده روی سطح راه، قبل از پخش	حداکثر دانسیته خشک آزمایشگاهی	به ازای حداکثر هر ۱۵۰۰ مترمکعب زیراساس ساخته‌شده یا هرگاه منبع تغییر کند.
مصالح پخش‌شده روی سطح راه [3]	دانه‌بندی	به ازای هر ۵۰۰ مترمکعب زیراساس ساخته‌شده
	ارزش ماسه‌ای	
مصالح متراکم‌شده در سطح راه	دانسیته خشک درجا	روزانه حداقل یک‌بار و به ازای هر ۱۰۰ مترمکعب زیراساس ساخته‌شده، نمونه‌برداری به صورت تصادفی در امتداد طول و عرض راه
	درصد رطوبت	
	ضخامت لایه	
سطح لایه متراکم‌شده پیش از پخش لایه بالا	ناهمواری و شیب	به تشخیص مهندس مشاور

۱) برای انتخاب معدن یا منبع مناسب از میان چندین معدن و پیشنهاد به مهندس مشاور، آزمایش‌های سایش لس‌آنجلس، دوام در برابر سولفات سدیم و حد روانی می‌تواند روی مخلوط‌های حاصل از خردایش آزمایشگاهی یا نمونه‌های برداشته‌شده از منابع طبیعی انجام پذیرفته و نتایج آنها به عنوان راهنما استفاده شود.

۲) منظور از منبع، مصالح تأمین‌شده از سوی پیمانکار است که پیش از حمل به روی سطح راه، در محل کارگاه و یا هر محل دیگری انباشته شده است.

۳) نمونه‌برداری باید از مصالح پخش‌شده روی سطح راه پس از تراز کردن آن و بلافاصله پیش از شروع غلتک‌زنی انجام شود. علاوه بر این، به تشخیص مهندس مشاور می‌توان از مصالح متراکم شده در سطح راه نمونه‌برداری، آزمایش دانه‌بندی و آزمایش ارزش ماسه‌ای انجام و از نتایج آن در قضاوت‌های مهندسی استفاده کرد.

برای تعیین حداکثر دانسیته خشک آزمایشگاهی مصالح حمل‌شده روی سطح راه باید سه نمونه قبل از پخش مصالح از نقاط مختلف برداشته شود و پس از مخلوط کردن آنها با یکدیگر، آزمایش طبق استاندارد AASHTO T180 به روش D انجام شود. حداکثر ظرف مدت ۲۴ ساعت پس از نمونه‌برداری باید گزارش نتایج آزمایش تراکم آزمایشگاهی به مهندس مشاور تحویل گردد.

طبق استاندارد AASHTO T180، حداکثر دانسیته خشک آزمایشگاهی برای مصالح ردشده از الک ۱۹ میلی‌متر تعیین می‌شود. لذا اگر مقدار دانه‌های بزرگتر از ۱۹ میلی‌متر در مصالح زیراساس بیش از ۵ درصد و حداکثر تا ۳۰ درصد باشد، لازم است که مقدار دانسیته درجا حاصل از آزمایش به گونه‌ای طبق روش استاندارد AASHTO T224 اصلاح گردد که دانسیته اصلاح‌شده درجا برای مصالح ردشده از الک ۱۹ میلی‌متر به دست آید.

۱۲-۲-۱-۳-۲ کنترل کیفیت حین اجرا

نمونه‌برداری و انجام آزمایش‌ها برای کنترل کیفیت عملیات زیراساس توسط آزمایشگاه کنترل کیفیت به شرح جدول ۱۲-۴ انجام می‌شود. برای کنترل کیفیت مصالح، نمونه‌برداری و آزمایش‌های لازم طبق جدول ۱۲-۴ باید پیش از تحویل منبع مصالح به مهندس مشاور به ازای حداکثر هر ۵۰۰۰ مترمکعب مصالح انجام شده و نتایج جهت بررسی و اعلام نظر به مهندس مشاور ارایه گردد.

دانه‌بندی مصالح زیراساس پیش از حمل به سطح راه که با آزمایش طبق استاندارد AASHTO T27 یا ASTM D136 تعیین می‌شود، باید در داخل محدوده مشخصات یکی از دانه‌بندی‌های مندرج در جدول ۱۲-۲ باشد. نتایج سایر آزمایش‌ها نیز باید در محدوده مشخصات جدول **۱۲- ۳** باشد. در صورتی‌که هر یک از ویژگی‌های مصالح پیش از حمل به سطح راه، با انجام آزمایش‌های کنترل کیفیت خارج از محدوده مشخصات باشد، پیمانکار باید اصلاح لازم را انجام دهد و یا منبع دیگری را برای تأمین مصالح به مهندس مشاور معرفی کند.

همچنین پس از حمل مصالح زیراساس به بستر آماده‌شده راه و پیش از غلتک‌زنی باید از مصالح پخش‌شده روی بستر راه طبق روش‌های استاندارد AASHTO T2 یا AASHTO R90 و به مقدار حداقل مشخص‌شده در استاندارد نمونه‌برداری و آزمایش‌های ارزش ماسه‌ای و دانه‌بندی انجام شود. گزارش نتایج این آزمایش‌ها باید پیش از شروع شیفت کاری روز بعد به مهندس مشاور تحویل گردد تا در صورت نیاز، اقدام لازم به عمل آید. نتایج آزمایش‌های این مرحله نیز باید در محدوده مشخصات باشد؛ در غیر این‌صورت، پیمانکار موظف است اقدام اصلاحی لازم به منظور رفع نقص را طبق نظر مهندس مشاور برای ادامه عملیات انجام دهد.

در حین غلتک‌زنی نیز باید آزمایش تعیین دانسیته درجا و تراکم نسبی روی مصالح پخش‌شده و متراکم‌شده انجام گردیده و ضخامت لایه نیز اندازه‌گیری شود. گزارش نتایج آزمایش‌ها باید پیش از شروع شیفت کاری روز بعد جهت بررسی و اقدام لازم به مهندس مشاور تحویل گردد. نتایج آزمایش‌های این مرحله نیز باید در محدوده

مشخصات باشد؛ در غیر این‌صورت، پیمانکار موظف است اقدام اصلاحی لازم به منظور رفع نقص را طبق نظر مهندس مشاور برای ادامه عملیات انجام دهد.

۱۲-۲-۱-۳-۳ معیارهای پذیرش و محدوده مشخصات

نمونه‌برداری و انجام آزمایش‌ها برای پذیرش عملیات زیراساس دانه‌ای توسط آزمایشگاه کارفرما و آزمایشگاه پیمانکار (در صورت استقرار توسط پیمانکار) به شرح جدول ۱۲- ۴ انجام می‌شود. نمونه‌برداری باید با نظر مهندس مشاور و با تواتر تعیین‌شده در اسناد و مدارک پیمان باشد. آزمایشگاه کارفرما و آزمایشگاه پیمانکار باید پنج شرط زیر را داشته باشند تا در محاسبه ضریب پرداخت، نتایج آزمایش‌های آن آزمایشگاه‌ها مورد استفاده قرار گیرد:

۱- هر دو آزمایشگاه از نظر تجهیزات (کامل و کالیبره بودن)، نصب، پلان جانمایی و عوامل انسانی (تعداد، تخصص و تجربه) به تأیید مهندس مشاور رسیده باشند.

۲- مهندس مشاور امکان نظارت مستمر و مؤثر بر عملکرد هر دو آزمایشگاه کارفرما و پیمانکار را داشته باشد.

۳- نمونه‌برداری برای انجام آزمایش توسط آزمایشگاه‌ها باید زیر نظر مهندس مشاور انجام شده باشد.

۴- آزمایشگاه کارفرما و پیمانکار باید به‌صورت مداوم (به ترتیبی که مهندس مشاور اعلام می‌کند) برگه نتایج آزمایش‌های آزمایشگاهی را (حداقل در ۴ نسخه) به مهندس مشاور تحویل دهند و مهندس مشاور پس از اظهار نظر، آنها را مهر و امضاء کرده و به کارفرما، مدیر طرح، پیمانکار و آزمایشگاه‌ها ارسال کند.

۵- نتایج آزمایش‌های انجام‌شده توسط آزمایشگاه کارفرما و آزمایشگاه پیمانکار با هم مقایسه شده و هم‌سنگی آنها تأیید شده باشد.

برای مقایسه دو مجموعه از نتایج آزمایش‌های انجام‌شده توسط آزمایشگاه‌های کارفرما و پیمانکار، روش‌های آماری F-test و T-test به کار گرفته می‌شود. روش آماری F-test، انحراف‌معیار داده‌های دو مجموعه و روش آماری T-test، میانگین داده‌های دو مجموعه را مقایسه می‌کند. روش محاسبه T-test با توجه به نهایی شدن F-test تعیین می‌شود. در صورتیکه شرط T-test برای یک مشخصه برآورده شود، می‌توان نتیجه گرفت که مجموع داده‌های به دست آمده از هر دو آزمایشگاه برای آن مشخصه از یک جامعه آماری و با دقت مشابه بوده‌اند.

۱۲-۲-۱-۳-٤ ویژگی‌های مصالح پیش از حمل

قبل از آنکه مصالح پیشنهادی پیمانکار برای ساخت لایه زیراساس به سطح آماده‌شده راه حمل شده و مصرف شود، باید نمونه‌برداری توسط آزمایشگاه کارفرما به منظور پذیرش ویژگی‌های مصالح صورت گیرد و آزمایش‌های لازم انجام شود. دانه‌بندی مصالح زیراساس پیش از حمل به سطح راه باید در داخل یکی از محدوده‌های دانه‌بندی جدول ۱۲-۲ باشد. نتایج سایر آزمایش‌ها نیز باید در محدوده مشخصات جدول **۱۲- ۳** باشد. در صورتی‌که هر یک از ویژگی‌های مصالح پیش از حمل، خارج از مشخصات باشد، باید اصلاح لازم صورت گیرد و یا منبع دیگری به مهندس مشاور معرفی شود. در غیر این‌صورت، ویژگی‌های مصالح توسط مهندس مشاور پذیرش گردیده و اجازه اختلاط و حمل به مصالح محل پروژه داده می‌شود.

مصالحی که پیش از حمل به سطح راه، توسط آزمایشگاه کارفرما آزمایش نشود و ویژگی‌های آن بر اساس نتایج آزمایش‌های پیش از حمل، توسط مهندس مشاور تأیید نگردد، مورد پذیرش قرار نمی‌گیرد و پرداخت در قبال آن مصالح انجام نمی‌شود.

۱۲-۲-۱-۳-۵ ارزش ماسه‌ای و دانه‌بندی پس از پخش

آزمایشگاه کارفرما از مصالح حمل‌شده به سطح آماده‌شده راه و پیش از غلتک‌زنی، به ازای حداکثر هر ۵۰۰ مترمکعب زیراساس ساخته‌شده، نمونه‌برداری کرده و آزمایش‌های ارزش ماسه‌ای و دانه‌بندی را انجام می‌دهد.

چنانچه مقدار هم‌ارز ماسه‌ای مصالح زیراساس در هر بار آزمایش خارج از محدوده پذیرش طبق جدول ۱۲-۵ باشد، باید اصلاح لازم برای رفع نقص توسط پیمانکار صورت گیرد و مراتب اقدام اصلاحی و نتایج آن به مهندس مشاور اطلاع‌رسانی گردد. همچنین چنانچه ضمن انجام اقدام اصلاحی، مقدار هم‌ارز ماسه‌ای در سه آزمایش متوالی خارج از محدوده پذیرش مندرج در جدول ۱۲- ۵ باشد، باید مصالح آن بخش از عملیات زیراساس که مربوط به آن سه آزمایش بوده است، برداشته شود و با مصالح مناسب جایگزین گردد.

چنانچه درصد عبوری از هر الک (به استثنای الک شماره ۲۰۰) در دانه‌بندی مصالح در هر بار آزمایش، به مقدار بیش از ۲ درصد از حدود پذیرش مندرج در جدول ۱۲- ۵ تجاوز کند و یا برای الک ۲۰۰ از حدود پذیرش جدول ۱۲- ۵ تجاوز کند، باید اصلاح لازم برای رفع نقص توسط پیمانکار صورت گیرد و مراتب اقدام اصلاحی و نتایج آن به مهندس مشاور اطلاع‌رسانی گردد. همچنین چنانچه ضمن انجام اقدام اصلاحی، مقدار درصد عبوری از هر الک در سه آزمایش متوالی از مقادیر فوق تجاوز کند، باید مصالح آن بخش از عملیات زیراساس که مربوط به آن سه آزمایش بوده است، برداشته شود و با مصالح مناسب جایگزین گردد.

۱۲-۲-۱-۳-۶ تراکم نسبی زیراساس متراکم‌شده

مقدار دانسیته درجا و تراکم نسبی لایه و همچنین درصد رطوبت مصالح زیراساس در حین غلتک‌زنی تعیین می‌شود. ضخامت لایه متراکم‌شده نیز هم‌زمان با تعیین دانسیته درجا اندازه‌گیری می‌شود.

تراکم نسبی زیراساس که با تعیین دانسیته درجا به روش آزمایش استاندارد AASHTO T191 و تعیین حداکثر دانسیته خشک مصالح طبق استاندارد AASHTO T180 به روش D محاسبه شده باشد، باید حداقل ۹۷ درصد باشد. تراکم نسبی زیراساس برای ضخامت‌های کوبیده‌شده بیش از ۲۰ سانتی‌متر باید حداقل ۹۸ درصد باشد.

تراکم نسبی زیراساس متراکم‌شده باید همواره حداقل مشخصات را برآورده سازد. در غیر اینصورت، باید اقدام لازم طبق نظر مهندس مشاور صورت گیرد و تراکم لازم تأمین گردد. اگر تراکم نسبی به‌دست آمده کمتر از حداقل مشخص‌شده باشد، باید لایه متراکم‌شده ابتدا شخم‌زنی گردد و سپس همراه با آب‌پاشی، مجدداً به قدری غلتک‌زنی شود که تراکم نسبی لازم تأمین گردد.

۱۲-۲-۱-۳-۷ کنترل سطح تمام‌شده زیراساس

پس از اتمام غلتک‌زنی، رقوم سطح تمام‌شده لایه زیراساس نباید بیش از ۲۰± میلی‌متر با آنچه در نقشه‌ها تعیین شده است، تفاوت داشته باشد (اختلاف در یک جهت پذیرفته نیست). شیب‌های طولی و عرضی زیراساس متراکم‌شده نیز باید با نقشه‌ها مطابقت کامل داشته باشد. توالی و تکرار اندازه‌گیری‌های شیب و ناهمواری سطح لایه‌های کوبیده‌شده باید توسط مهندس مشاور در پروژه مشخص گردد و پیش از پخش لایه بعدی انجام پذیرد. ناهمواری سطح تمام‌شده زیراساس باید با یک شمشه ۴ متری که در جهات مختلف روی سطح راه قرار داده می‌شود، کنترل شود و اگر بیش از حد مجاز باشد، باید اصلاح لازم به تشخیص مهندس مشاور صورت گیرد. میزان ناهمواری‌های زیراساس نباید از ۱۵ میلی‌متر بیشتر باشد. اگر میزان انحراف سطح زیراساس در طول شمشه چهار متری، مابین هر دو نقطه تماس شمشه با سطح زیراساس بیشتر از ۱۵ میلی‌متر باشد، به عنوان ناحیه با ناهمواری زیاد و غیر قابل پذیرش شناخته می‌شود.

مشخصه‌های فنی برای پذیرش و تعیین ضریب پرداخت کار انجام‌شده و همچنین محدوده‌های آن‌ها شامل حد بالای پذیرش و حد پایین پذیرش (USL و LSL) در جدول ۱۲- ۵ مشخص شده است. پذیرش، عدم پذیرش و ضریب پرداخت با استفاده از محدوده‌های مندرج در این جدول تعیین می‌شود.

۱۲-۲-۱-٤ اندازه‌گیری و پرداخت

مقدار کار انجام‌شده برای عملیات زیراساس دانه‌ای بر اساس نقشه‌های ابلاغی و مقدار زیراساس تاییدشده از لایه زیراساس ساخته‌شده در سطح راه بر اساس بهای واحد قرارداد و با محاسبه ضریب پرداخت عملیات زیراساس به ازای هر مترمکعب پرداخت می‌شود.

جدول ۱۲- ۵ محدوده مشخصه‌های عملیات زیراساس دانه‌ای برای پذیرش و تعیین ضریب پرداخت

مشخصه	محدوده پذیرش		
	مصالح نوع ۱	مصالح نوع ۲	مصالح نوع ۳
دانه‌بندی، درصد ردشده از الک‌های زیر:	حدود یکی از دانه‌بندی‌های ۱ تا ۴ در جدول ۱۲- ۲	حدود یکی از دانه‌بندی‌های ۱ تا ۴ در جدول ۱۲- ۲	حدود یکی از دانه‌بندی‌های ۱ تا ۴ در جدول ۱۲- ۲
۵۰ میلی‌متر (۲/۰ اینچ)			
۹٫۵ میلی‌متر ($\frac{3}{8}$ اینچ)			
۴٫۷۵ میلی‌متر (شماره ۴)			
۲٫۳۶ میلی‌متر (شماره ۸)			
۰٫۴۲۵ میلی‌متر (شماره ۴۰)			
۰٫۰۷۵ میلی‌متر (شماره ۲۰۰)			
هم‌ارز ماسه‌ای (درصد)	حداقل ۲۵	حداقل ۲۰	حداقل ۲۰
تراکم نسبی (درصد): (الف)			
برای ضخامت اجرایی ۲۰ سانتی‌متر و کمتر	حداقل ۹۷	حداقل ۹۷	حداقل ۹۷
برای ضخامت اجرایی بیش از ۲۰ سانتی‌متر*	حداقل ۹۸	حداقل ۹۸	حداقل ۹۸
* برای متراکم کردن مصالح زیر اساس در لایه‌های به ضخامت بیشتر از ۲۰ سانتی‌متر لازم است نوار آزمایشی اجرا و تعداد عبور غلتک برای حصول حداقل تراکم نسبی ۹۸ درصد تعیین گردد.			

۱۲-۲-۲ زیراساس آهکی

۱۲-۲-۲-۱ کلیات

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، وکوبیده 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 غشاء آب موجود در سطح ذرات کاهش می‌یابد. سپس این ذرات

باهم 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 آلومینیات 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.

۱۲-۲-۲-۲ ویژگی‌های خاک پس از تثبیت 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 غیر خمیری 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 سی بی آر، مقاومت تک‌محوری و سه‌محوری و کشش غیر مستقیم 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 دوام در طرح تثبیت خاک با آهک نقش تعیین کننده‌ای دارد.

۱۲-۲-۲-۳ مصالح خاکی

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، لجنی 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 (T90 و T89 AASHTO) قرار گیرد.

مصالح تهیه شده باید با آهک واکنش‌زا بوده به طوری که پس از تثبیت، مقاومت فشاری تک‌محوری آن که با روش آشتو T220 اندازه‌گیری می‌شود ۳٫۵ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع بیش از مقاومت فشاری خاک تثبیت نشده (خاک معمولی و بدون آهک) باشد.

۱۲-۲-۲-٤ آهک

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 قرارگیرد. نتایج حاصله از آزمایش باید با مشخصات جدول شماره ۱۲-۶ مطابقت داشته باشد.

جدول ۱۲-٦ مشخصات فنی آهک (AASHTO M216)

نوع آهک	الف	ب	ج
حداقل درصد وزنی هیدروکسیدکلسیم $Ca(OH)_2$	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 ۰٫۰۷۵ میلی‌متر (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 کاملا عاری از رطوبت نگهداری شود.

آهک می‌تواند به صورت آهک شکفته، آهک زنده و دوغاب مورد مصرف قرار گیرد. مدت نگهداری آهک زنده در انبار نباید از ۱۰ روز تجاوز کند تا از 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 با آهک که برای این منظور باید در مواقع وزش باد از پخش آهک امتناع کرد. کارگران باید از دستکش و ماسک و وسایل ایمنی استفاده کنند.

۱۲-۲-۲-۵ طرح اختلاط آهک با مصالح

هدف 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 طرح اختلاط استفاده کرد.

الف: روش AASHTO T220

دراین روش خاک آماده شده برای اختلاط را دانه‌بندی کرده 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 ۱۲-۱ تعیین می‌شود.

مثال:

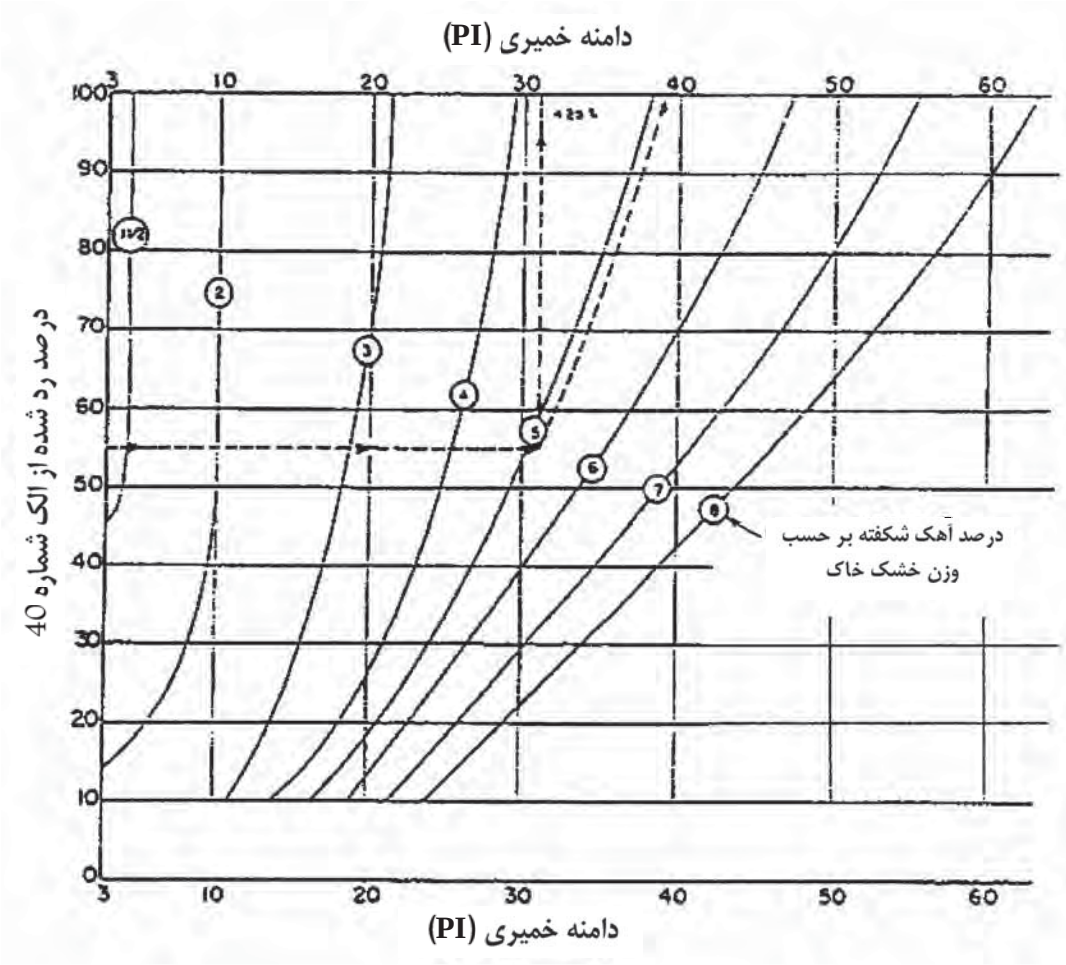
اگر درصد مصالح رد شده از الک شماره ۴۰ برابر ۵۵ درصد و نشانهٔ خمیری ۴۰ باشد ازنقطه مربوط به ۵۵٪ خطی افقی ترسیم می‌کنند تا منحنی ترسیم شده برای دامنه خمیری ۴۰ درصد را در نقطه A قطع کند. از نقطه A خط قائم V را رسم کرده و سپس درصد آهک را در حد فاصل منحنی‌های ۴ و ۵ حدود ۴/۲۵ درصد تعیین می‌کنیم.

ب: استفاده از آزمایش سی بی آر

دراین روش ابتدا خاک را با آهک خوب مخلوط کرده طوری که رنگ آن یکنواخت شود. سپس به مقدار مناسب، آب اضافه کرده و خوب مخلوط می‌کنند. مخلوط حاصل را تحت آزمایش سی بی آر قرار می‌دهند.

این عمل با درصدهای مختلف آهک تکرار شده و منحنی تغییر سی بی آر را بر حسب درصد آهک ترسیم می‌کنند.

از روی منحنی به دست آمده درصد آهک مناسب در میزان رطوبت مورد نظر (معمولا رطوبت بهینه) که سی بی آر مشخصات را تأمین کند انتخاب می‌شود. حداقل سی بی آر قابل قبول برای قشر خاک تثبیت شده با آهک برای زیراساس آهکی ۳۰ درصد می‌باشد.



شکل ۱۲-۱ تعیین درصد آهک بهینه بر حسب نوع خاک

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 قرارمی‌دهند. 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 و مورد نظر به دست می‌آید. مقاومت فشاری برای قشر زیراساس تثبیت شده 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

دراین 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 می‌شود. 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 از روی منحنی‌های مذکور، نسبت به وزن مصالح خشک برای دامنه خمیری یا حد روانی مورد نظر بدست می‌آید.

۱۲-۲-۲-۶ اجرای زیراساس 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 بند ۱۲-۲-۱-۳ همین فصل بوده، ضمن آنکه میزان کوبیدگی آن نیز با مشخصات برابری داشته باشد. کلیه مشخصات بستر روسازی باید به تأیید مهندس مشاور برسد.

ب: آماده کردن خاک

مصالح مصرفی که برای تثبیت با آهک به شرح بند ۱۲-۲-۲-۳ این فصل مورد آزمایش قرار گرفته و نتایج آن برای عملیات تثبیت به تأیید مهندس مشاور 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 پخش‌کرد.

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 کرد.

ماشین‌های مخصوص پخش آهک دارای مخزن بزرگ استوانه‌ای برای حمل آهک است که عمل پخش با آن‌ها توسط قسمت پخش کننده که به عقب و زیر مخزن قرار دارد، انجام می‌گیرد. این پخش کننده می‌تواند به طور مکانیکی 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 کند. در مواردی که پخش کننده‌ها با هوای فشرده کار می‌کنند مقدار آهک پخش شده در سطح راه با تنظیم سرعت ماشین و فشار هوا قابل کنترل است.

به طورکلی عملیات پخش باید به گونه‌ای انجام شود که میزان آهک پخش شده در سطح راه یکنواخت و همگن بوده و هیچ گاه از ۵± درصد نسبت به مقدار تعیین شده در طرح اختلاط تجاوز نکند. برای اطمینان می‌توان از وزن دقیق مقدار آهک مصرف شده توسط کامیون و طول وعرض آن قسمت از راه که این آهک روی آن پخش شده است، مقدار آهک پخش شده در واحد سطح راه را محاسبه کرد. میزان آهک پخش شده در سطح راه را با آزمایش سینی باید اندازه‌گیری کرد. برای تعیین دقیق آهک مصرف شده و مقایسه آن با مقدار آهک بهینه طرح اختلاط از روش T232 AASHTO باید استفاده شود.

هنگام 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 کرد. زیرا علاوه بر اینکه مقداری از آهک هدر می‌رود سبب خسارت به اراضی کشاورزی و تهدید سلامتی ساکنان اطراف و کارگران می‌گردد.

۲- روش تر

در این روش از دوغاب آهک استفاده می‌شود. دوغاب از اختلاط آهک شکفته و آب تهیه می‌شود. میزان اختلاط آهک و آب به مقدار درصد آهک مورد نیاز در طرح، جنس و رطوبت طبیعی و بهینه خاک و میزان رطوبت هوا بستگی داشته و به طور کلی حدود ۳۰۰ تا ۵۰۰ 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. در مواردی که درصد نسبتا کمی آهک 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.

برای جلوگیری از ته‌نشین شدن آهک در دوغاب، باید دوغاب مرتباً در مخزن به هم 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 کرد.

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 برای جلوگیری از کاهش مقدار آهک پخش شده ناشی از وزش باد، احتمال بارش 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 بینجامد، 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 مخلوط کننده 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 با مخلوط‌کن‌های دوّار، 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 مخلوط کننده باید به تأیید مهندس مشاور برسد. عمل خرد و نرم کردن خاک و اختلاط آن با آهک باید آن قدر ادامه یابد تا مخلوط یکنواخت و همگن تولید شود.

معمولا عمل اختلاط می‌تواند یک یا دو مرحله‌ای باشد.

۱- اختلاط یک مرحله‌ای

اختلاط آهک با مصالح شنی معمولا یک مرحله‌ای است. عمل اختلاط را می‌توان با گریدر یا مخلوط کننده‌های دوّار 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 تثبیت شده از کیفیت مطلوب‌تری برخوردار بوده و همواره بهره‌دهی بیشتری دارند. برای تثبیت خاک‌های رسی بهتر است از مخلوط کننده‌های دوّار 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 نظیر شخم‌زن دیسک‌دار، یا شخم زدن با گریدر، و برای مرحله دوم از مخلوط کننده‌های دوّار 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 آن قدر ادامه می‌یابد تا تثبیت نهایی خاک و اصلاح خواص آن تأمین شود.

ج: آبپاشی

مخلوط حاصله از عمل اختلاط خاک و آهک باید با آبپاش مرطوب شود. رطوبت مخلوط در فصول غیر زمستان باید تقریباً سه درصد بیش از رطوبت بهینه‌ای باشد که در آزمایشگاه با روشAASHTO 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 باید ۱۰۰–۹۰ درصد و برای الک ۴/۷۵ میلی‌متری (شماره ۴) ۶۰ درصد باشد.

چ: کوبیدن مخلوط

مخلوط مرطوب تثبیت شده با آهک با غلتک‌های مناسب، که به تأیید مهندس مشاور رسیده است، باید متراکم گردد. کوبیدگی اولیه با غلتک‌های پاچه‌بزی و یا غلتک‌های مشابه فلزی دیگر و کوبیدگی نهایی با غلتک‌های چرخ‌لاستیکی یا چرخ‌فلزی 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 تثبیت شده 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 غیر قابل دسترسی برای غلتک‌های نامبرده می‌توان ازغلتک‌های کوچک موتوری نیز استفاده کرد، 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 قوس 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 کند، مصالح باید در دو یا چند لایه پخش و متراکم 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 مهندس مشاور می‌توان حداقل تراکم نسبی مشخصه را بر اساس ۹۵ درصد وزن مخصوص تعیین شده با روش AASHTO T99 (آشتو استاندارد) منظور کرد.

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 آن قدر ادامه یابد تا تراکم نسبی مشخصه تأمین شود.

۱۲-۲-۲-۷ کنترل سطح تمام شده

رقوم سطح تمام شده هر لایه از قشر زیراساس 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 ۲۰± میلی‌متر تجاوز کند. 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 قرارگیرد، ناهمواری‌های آن نباید از ۱۵ میلی‌متر تجاوز کند.

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 تثبیت شده داشته باشد، حدود ۰/۵ تا ۱ 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.

۱۲-۲-۲-۸ حفاظت و عمل‌آوری

سطح نهایی قشر زیراساس آهکی تا قبل از اجرای قشر اساس باید حداقل تا هفت روز برای عمل آمدن مرطوب نگهداشته شود تا از خشک شدن آن و ظهور ترک‌های مویی و نیز پوسته شدن سطح لایه تثبیت شده 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 تثبیت شده حفاظت کرد. مقدار قیر پخش شده باید حدود ۰/۷ تا ۱ کیلوگرم بر متر مربع باشد تا یک غشاء قیری کامل و پیوسته در سطح راه ایجاد کند. تردد وسایل نقلیه عمومی یا ماشین‌آلات ساختمانی پیمانکار از روی قشر زیراساس آهکی بلافاصله بعد از تکمیل عملیات تراکم و پرداخت نهایی بستر یا بعد از اندود قیری تا اجرای قشر بعدی، به هیچ وجه مجاز نیست.

۱۲-۲-۲-۹ 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 تک‌محوری خاک قبل و بعد از تثبیت، به شرح بند ۱۲-۲-۲-۳ در شروع عملیات و سپس تکرار آن در جریان اجرای کار و با تشخیص مهندس مشاور.

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 ۱۲-۲-۲-۶ 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 متر مربع 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 تثبیت شده 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 سی بی آر آزمایشگاهی روی خاک تثبیت شده (قبل از افزودن آب اختلاط) در فواصل ۵۰۰ تا ۱۰۰۰ متر طول راه در صورت لزوم با تأیید مهندس مشاور، به عمل می‌آید.

خ: در صورتی که مهندس مشاور تشخیص دهد می‌توان نسبت به تغییر تعداد و نوع آزمایش‌های فوق و یا انجام آزمایش‌های اضافی مورد نیاز دیگر، اقدام کرد.

۱۳

اساس

۱۳-۱ کلیات

مصالح شنی یا سنگی شکسته با مشخصات معین که به ابعاد هندسی مورد نظر و به شرح نقشه‌های اجرایی بر روی قشر زیراساس یا بستر روسازی راه و در تمام عرض آن پخش شده و طبق شرایط فنی این فصل با رطوبت مناسب کوبیده شود، قشر اساس نامیده می‌شود.

۱۳-۲ انواع قشر اساس

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

- اساس شن و ماسه‌ای شکسته (اساس شنی)
- اساس سنگ کوهی شکسته یا قلوه سنگ شکسته (اساس سنگی)
- اساس ماکادامی
- اساس قیری (بر حسب مورد به فصل‌های هفدهم و هیجدهم و بیستم مراجعه شود)

برای هر پروژه نوع اساس باید در دفترچه مشخصات فنی خصوصی قید شود.

مشخصات فنی، نحوه تهیه مصالح و اجرای عملیات اساس دانه‌ای و ماکادامی به شرح زیر می‌باشد:

۱۳-۲-۱ اساس دانه‌ای

۱۳-۲-۱-۱ تعریف

عملیات اجرای اساس دانه‌ای شامل تهیه، آماده‌سازی یا مخلوط کردن مصالح دانه‌ای با مشخصات معین است که در ابعاد هندسی مندرج در نقشه‌های اجرایی پروژه بر روی لایه زیراساس یا بستر روسازی و در تمام عرض آن پخش شده و با رطوبت مناسب کوبیده می‌شود. ساخت و اجرای لایه اساس دانه‌ای روی بستر روسازی باید در شرایطی برنامه‌ریزی شود که ویژگی‌های بستر آماده‌شده برای قرارگیری اساس دانه‌ای مناسب بوده و نفوذ ریزدانه‌های بستر موجود به لایه اساس محدود باشد.

۱۳-۲-۱-۲ مصالح اساس

مصالح دانه‌ای مصرفی در لایه اساس باید با مشخصات بند ۱۳-۲-۱ برای مصالح نوع ۱ و نوع ۲ یا مشخصات بند ۱۳-۲-۲ برای مصالح نوع ۳ مطابقت داشته باشد. نوع مصالح دانه‌ای مناسب برای اجرای اساس در هر پروژه با توجه به میزان ترافیک راه باید مطابق با جدول ۱۳-۱ انتخاب شود.

جدول ۱۳-۱ راهنمای انتخاب نوع مصالح دانه‌ای لایه اساس

سطح ترافیک	تعداد بار محور هم‌ارز منفرد در دوره ۲۰ ساله	نوع مصالح الف و ب
سطح ۱ (سنگین)	$۱۰^{۷} \leq ESAL$	نوع ۱
سطح ۲ (متوسط)	$۳\times۱۰^{۶} \leq ESAL < ۱۰^{۷}$	نوع ۲
سطح ۳ (سبک)	$ESAL < ۳\times۱۰^{۶}$	نوع ۳
الف) در ساخت روسازی آزادراه‌ها، صرف‌نظر از میزان ترافیک باید از مصالح نوع ۱ در اساس دانه‌ای استفاده شود. ب) در مواردی که با توجه به میزان ترافیک، استفاده از مصالح نوع ۲ یا نوع ۳ در این جدول مشخص شده است، به پیشنهاد مهندس مشاور و تأیید کارفرما می‌توان به ترتیب، از مصالح مرغوب‌تر نوع ۱ یا نوع ۲ استفاده کرد.		

در صورت استفاده از مصالح سرباره کوره آهن‌گدازی به عنوان یک بخش یا کل مصالح ریزدانه یا درشت‌دانه لازم است که انبساط آنها در اثر واکنش هیدراسیون مورد بررسی قرار گیرد و از منابعی استفاده شود که به منظور کاهش انبساط مصالح، به مدت طولانی در شرایط مطلوب عمل‌آوری شده باشد، به نحوی‌که انبساط مصالح سرباره در مدت هفت روز در آزمایش به روش استاندارد ASTM D4792 کمتر از ۰/۵ درصد باشد.

۱۳-۲-۱-۲-۱ مصالح اساس دانه‌ای نوع ۱ و ۲

مصالح اساس دانه‌ای نوع ۱ و نوع ۲ شامل مصالح تولیدشده با کیفیت بالا است که اگر بر روی یک بستر آماده‌شده پخش شده و تا رسیدن به دانسیته هدف متراکم شود، پایداری و استحکام بالایی دارد و ظرفیت باربری کافی را در راه‌های با ترافیک سنگین تأمین می‌کند.

مصالح درشت‌دانه (مانده روی الک شماره ۴) برای مصالح دانه‌ای نوع ۱ و نوع ۲ باید از دانه‌های سخت، مقاوم و بادوام تشکیل شده و از خردایش شن و قلوه‌سنگ‌های قرضه‌های آبرفتی یا سنگ‌های استخراج‌شده از قرضه‌های کوهی و یا از سرباره کوره‌های آهن‌گدازی حاصل گردد. مصالح ریزدانه (ردشده از الک شماره ۴) نیز برای مصالح اساس نوع ۱ و نوع ۲ می‌تواند از ماسه طبیعی، ماسه شکسته، و یا ذرات ردشده از الک شماره ۲۰۰ (۰٫۰۷۵ میلی‌متر) تشکیل شده باشد. همچنین درصد وزنی مصالح ردشده از الک شماره ۲۰۰ نباید از $\frac{۲}{۳}$ درصد وزنی رد شده از الک شماره ۴۰ بیشتر باشد. سایر ویژگی‌های مصالح دانه‌ای نوع ۱ و نوع ۲ نیز باید در محدوده مشخصات ارایه شده در جدول ۱۳-۲ برای این نوع مصالح باشد.

دانه‌بندی مصالح اساس نوع ۱ در محل پروژه باید در محدوده حاصل از اعمال رواداری‌ها به دانه‌بندی کارگاهی قرار گیرد. دانه‌بندی کارگاهی دانه‌بندی مناسبی است که باید مورد تأیید مهندس مشاور بوده و در محدوده یکی از دانه‌بندی‌های مندرج در جدول ۱۳-۲ باشد. محدوده حاصل از اعمال رواداری‌ها به دانه‌بندی کارگاهی باید در محدوده دانه‌بندی‌های جدول ۱۳-۲ قرار گیرد.

منحنی دانه‌بندی کارگاهی در بخش ریزدانه (ردشده از الک شماره ۴) باید تا حد ممکن به موازات نزدیک‌ترین منحنی مرزی حدود دانه‌بندی باشد. دانه‌بندی کارگاهی مصالح نوع ۱ باید پیش از آغاز عملیات اجرایی، مطابق با نقطه‌نظرات و با تأیید مهندس مشاور تعیین شود و در زمان پیشرفت عملیات اجرایی، نباید بدون تأیید مهندس مشاور تغییر داده شود.

دانه‌بندی مصالح اساس نوع ۲ نیز در محل پروژه باید در محدوده یکی از دانه‌بندی‌های مشخص‌شده در جدول ۱۳-۲ قرار گیرد. محدوده دانه‌بندی مصالح اساس نوع ۲ باید پیش از آغاز عملیات اجرایی، از میان یکی از دانه‌بندی‌های مشخص‌شده در جدول ۱۳-۲ انتخاب گردیده و به تأیید مهندس مشاور برسد. دانه‌بندی انتخابی نباید در زمان پیشرفت عملیات اجرایی، بدون تأیید مهندس مشاور تغییر داده شود.

برای پیشگیری خرابی‌های ناشی از یخبندان (تشکیل عدسی‌های یخی) در پروژه‌هایی که وقوع این خرابی‌ها با توجه به شرایط محیطی (دمای زیر صفر و آب آزاد در دسترس) پیش‌بینی می‌شود، لازم است درصد رد شده الک شماره ۲۰۰ نزدیک به حد پایین محدوده تعیین شده در جدول ۱۳-۲ باشد تا با اطمینان بیشتری مقدار ذرات ریزتر از ۲۰ میکرون، کمتر از ۳ درصد باشد.

ظرفیت باربری کالیفرنیا (CBR) برای مصالح اساس نوع ۱ و نوع ۲ که با مشخصات این بند مطابقت داشته باشد، به عنوان فرض اولیه در محاسبات طراحی روسازی باید برابر ۸۰ درصد در نظر گرفته شود. در حین ساخت اساس دانه‌ای همواره لازم است که نمونه‌برداری از منبع مصالح انجام پذیرد و مقدار CBR به روش استاندارد AASHTO T193 در حالت غرقاب تعیین شود. در صورتی که مقدار CBR در حین اجرا در دو نوبت متوالی کمتر از ۸۰ درصد تعیین گردد، پیمانکار باید دانه‌بندی یا منبع مصالح را با تأیید مهندس مشاور تغییر دهد تا الزام فوق برآورده گردد. بازنگری طرح روسازی بر اساس مقدار واقعی حاصل از آزمایش می‌تواند به تشخیص مهندس مشاور انجام پذیرد.

۱۳-۲-۱-۲-۲ مصالح اساس دانه‌ای نوع ۳

مصالح درشت‌دانه (مانده روی الک شماره ۴) برای استفاده در مصالح دانه‌ای نوع ۳ باید از دانه‌های سخت، مقاوم و بادوام تشکیل شده باشد که می‌تواند بدون خردایش، از شن و سنگدانه‌های قرضه‌های آبرفتی و تپه‌های شنی و سرباره کوره‌های آهن‌گدازی حاصل گردد.

مصالح ریزدانه (ردشده از الک شماره ۴) نیز برای استفاده در مصالح دانه‌ای نوع ۳ می‌تواند از ماسه طبیعی، ماسه شکسته یا ذرات ردشده از الک شماره ۲۰۰ (۰٫۰۷۵ میلی‌متر) تشکیل شده باشد که باید همگن بوده و انسجام (چسبندگی)، مطلوبی داشته باشد. همچنین درصد وزنی مصالح ردشده از الک شماره ۲۰۰ نباید از $\frac{۲}{۳}$ درصد وزنی رد شده از الک شماره ۴۰ بیشتر باشد. سایر ویژگی‌های مصالح دانه‌ای نوع ۳ نیز باید در محدوده مشخصات ارایه شده در جدول ۱۳-۲ برای این نوع مصالح باشد.

مخلوط مصالح اساس دانه‌ای نوع ۳ باید بدون مواد آلی و گیاهی و کلوخه‌های رسی بوده و دانه‌بندی آن در محل پروژه باید در محدوده یکی از دانه‌بندی‌های مشخص‌شده در جدول ۱۳-۲ قرار گیرد. محدوده دانه‌بندی مصالح نوع ۳ باید پیش از آغاز عملیات اجرایی، از میان یکی از دانه‌بندی‌های مشخص‌شده در

جدول ۱۳–۲ انتخاب گردیده و به تأیید مهندس مشاور برسد. دانه‌بندی انتخابی نباید در زمان پیشرفت عملیات اجرایی، بدون تأیید مهندس مشاور تغییر داده شود.

برای پیشگیری خرابی‌های ناشی از یخبندان (تشکیل عدسی‌های یخی) در پروژه‌هایی که وقوع این خرابی‌ها با توجه به شرایط محیطی (دمای زیر صفر و آب آزاد در دسترس) پیش‌بینی می‌شود، لازم است درصد رد شده الک شماره ۲۰۰ نزدیک به حد پایین محدوده تعیین شده در جدول ۱۳–۲ باشد تا با اطمینان بیشتری مقدار ذرات ریزتر از ۲۰ میکرون، کمتر از ۳ درصد باشد.

ظرفیت باربری کالیفرنیا (CBR) برای مصالح اساس نوع ۳ که با مشخصات این بند مطابقت داشته باشد، به عنوان فرض اولیه در محاسبات طراحی روسازی باید برابر ۴۰ درصد در نظر گرفته شود. در حین ساخت اساس دانه‌ای همواره لازم است که نمونه‌برداری از منبع مصالح انجام پذیرد و مقدار CBR به روش استاندارد AASHTO T193 در حالت غرقاب تعیین شود. در صورتی که مقدار CBR در حین اجرا در دو نوبت متوالی کمتر از ۳۰ درصد تعیین گردد، پیمانکار باید دانه‌بندی یا منبع مصالح را با تأیید مهندس مشاور تغییر دهد تا الزام فوق برآورده گردد. بازنگری طرح روسازی بر اساس مقدار واقعی حاصل از آزمایش می‌تواند به تشخیص مهندس مشاور انجام پذیرد.

جدول ۱۳- ۲ محدوده دانه‌بندی‌های مصالح اساس

اندازه الک، میلی‌متر	درصد رد شده از هر الک				
	دانه‌بندی شماره ۱	دانه‌بندی شماره ۲	دانه‌بندی شماره ۳	دانه‌بندی شماره ٤	رواداری کارگاهی (فقط برای مصالح نوع ۱)
۵۰ (۲/۰ اینچ)	۱۰۰	۱۰۰			
۲۵ (۱/۰ اینچ)	—	۷۵–۹۵	۱۰۰	۱۰۰	±۸
۹/۵ ($\frac{۳}{۸}$ اینچ)	۳۰–۶۵	۴۰–۷۵	۵۰–۸۵	۶۰–۱۰۰	±۸
۴/۷۵ (شماره ۴)	۲۵–۵۵	۳۰–۶۰	۳۵–۶۵	۵۰–۸۵	±۸
۲/۳۶ (شماره ۸)	۱۵–۴۰	۲۰–۴۵	۲۵–۵۰	۴۰–۷۰	±۸
۰/۴۲۵ (شماره ۴۰)	۸–۲۰	۱۵–۳۰	۱۵–۳۰	۲۵–۴۵	±۵
۰/۰۷۵ (شماره ۲۰۰)	۲–۸	۳–۱۲	۵–۱۵	۵–۱۵	±۳

جدول ۱۳- ۳ محدوده مشخصات ویژگی‌های مصالح دانه‌ای لایه اساس

ویژگی	روش استاندارد آزمایش		حدود مشخصات		
	AASHTO	ASTM	مصالح نوع ۱	مصالح نوع ۲	مصالح نوع ۳
حداکثر سایش به روش لس‌آنجلس، مصالح مانده روی الک ۴، درصد	T 96	C131	۴۵	۵۰	۵۰
حداقل شکستگی در دو جبهه، مصالح مانده روی الک ۴، درصد	—	D5821	۷۵	۵۰	—
حداکثر سنگدانه‌های پهن و دراز، نسبت ۵ به ۱، درصد	—	D4791	۱۰	۱۵	—
حداکثر افت وزنی با سولفات سدیم، ۵ سیکل، درصد	T 104	C88	۱۲	۱۲	۱۲
حداقل ارزش ماسه‌ای، مصالح ردشده الک ۴، درصد	T 176	D2419	۴۰	۳۵	۳۰
حداکثر حد روانی، مصالح ردشده الک ۴۰، درصد	T 89	D4318	۲۵	۲۵	۲۵
حداکثر دامنه خمیری، مصالح ردشده الک ۴۰، درصد	T 90	D4318	۴	۶	۶

۱۳-۲-۱-۳ ساخت و اجرا

۱۳-۲-۱-۳-۱ آماده‌سازی لایه زیرین

لایه‌ای که مصالح اساس روی آن پخش می‌شود، باید از پیش به‌طور کامل کوبیده شود و رقوم آن در حد رواداری‌ها منطبق با مشخصات باشد. در صورتی‌که اختلاف رقوم سطح آماده‌شده راه نسبت به نقشه‌های اجرایی از ۲۰ ± میلی‌متر تجاوز نماید، باید نسبت به اصلاح آن طبق دستور مهندس مشاور اقدام شود.

۱۳-۲-۱-۳-۲ پخش مصالح و آب‌پاشی

مصالح اساس نباید زمانی پخش شود که دمای هوا پایین‌تر از ۲ درجه سانتی‌گراد بوده یا مصالح بستر موجود یخ‌زده باشد. همچنین اگر مصالح اساس یخ‌زده باشد، عملیات پخش نباید انجام شود.

مصالح اساس باید به صورت یک مخلوط همگن روی سطح آماده‌شده راه پخش شود. از جداشدگی سنگدانه‌های درشت و ریز مصالح اساس باید جلوگیری گردد. مصالح اساس باید به ضخامتی پخش گردد که پس از کوبیدن آن نیازی به کسر یا اضافه کردن نباشد.

الف) اختلاط مصالح برداشته‌شده از منابع یا دپوهای مختلف و اضافه کردن آب[1] برای حصول رطوبت بهینه را می‌توان به دو روش زیر انجام داد:

الف-۱) در روش اول، مصالح دپوهای با اندازه‌های متفاوت و یا دپوهای حاصل از منابع مختلف، برای تأمین دانه‌بندی مورد نظر با استفاده از دستگاه‌های ثابت یا ماشین‌های میکسر سیار مخلوط می‌شوند. مصالح مخلوط شده با این روش را می‌توان برای حمل در آینده در یک محوطه دپو کرد و یا می‌توان همزمان با اختلاط مصالح، آب مورد نیاز را به مخلوط‌کن اضافه کرده و بلافاصله پس از اختلاط، برای حمل به سطح راه بارگیری کرد. استفاده از این روش برای آماده‌سازی مصالح دانه‌ای نوع ۱ و افزودن آب

---

[1] آب مصرفی باید عاری از مواد و نمک‌های محلول زیان‌آور (تبلور نمک و تورم خاک، خورندگی و زنگ زدگی ماشین‌الات راهسازی) برای آن پروژه باشد. مهندس مشاور با بررسی مشخصات و تاثیرات عملکردی آب مصرفی باید اطمینان حاصل کند که در درازمدت آب مصرفی موجب خرابی لایه‌های روسازی راه نشود.

در زمان اختلاط برای حصول رطوبت بهینه برای ساخت اساس در آزادراه‌ها و راه‌های با ترافیک سنگین توصیه می‌شود.

الف-۲) در روش دوم، مصالح پس از حمل به محل پروژه، روی سطح آماده شده راه و در فواصل مناسب انباشته شده و سپس با گریدر مخلوط می‌گردد. در این روش بهتر است که آب‌دهی مصالح خارج از سطح راه انجام شود و سپس مصالح به سطح راه حمل گردد.

ب) پخش مصالح اساس روی سطح آماده شده راه را می‌توان به دو روش زیر انجام داد:

ب-۱) در روش اول، با استفاده از ماشین پخش یا فینیشر که مجهز به جعبه پخش و اطو است، مصالح روی سطح آماده شده راه پخش می‌شود. در این روش، عملیات پخش لایه‌ها باید با یک گذر یا عبور انجام شده و لایه پخش‌شده در یک مرحله برای غلتک‌زنی آماده گردد. جعبه پخش و اطوی ماشین باید قابل تنظیم باشد و مصالح اساس را با شیب عرضی مورد نظر، عرض حداقل ۳/۶ متر و بافت سطحی یکنواخت پخش نماید. در آزادراه‌ها و راه‌های با ترافیک سنگین که مصالح دانه‌ای با مشخصات نوع ۱ مصرف می‌شود، استفاده از ماشین پخش یا فینیشر توصیه می‌شود.

ب-۲) در روش دوم، مصالح دانه‌ای با گریدر روی سطح آماده‌شده راه پخش می‌شود.

اگر مهندس مشاور تشخیص دهد که میزان رطوبت بستر موجود به حدی زیاد است که احتمال نشست، تغییرشکل یا شیارافتادگی آن وجود دارد، لازم است که دستور توقف عملیات را صادر کند و شروع مجدد عملیات حمل به زمانی دیگر و پس از تأیید مهندس مشاور موکول شود.

در مواردی که ضخامت لایه اساس متراکم‌شده برابر ۲۰ سانتی‌متر یا کمتر باشد، مصالح باید در یک لایه پخش شده و متراکم شود و در مواردی که ضخامت لایه اساس بیشتر از ۲۰ سانتی‌متر باشد، باید کل لایه اساس به لایه‌های به ضخامت برابر و حداکثر ۲۰ سانتی‌متر تقسیم گردد. در این صورت، هر لایه باید پیش از پخش لایه بعدی، مطابق مشخصات متراکم گردد. همچنین ضخامت هر لایه نباید از دو برابر حداکثر اندازه سنگدانه‌ای مصالح و ۱۰ سانتی‌متر کمتر باشد.

مصالحی که مطابق با مشخصات تهیه گردیده و ویژگی‌های آن پس از نمونه‌برداری و انجام آزمایش‌های جدول ۱۳-۳ به تأیید مهندس مشاور رسیده باشد، می‌تواند به سطح راه حمل گردیده و سپس

پخش و متراکم شود. در محل‌هایی که قابل دسترسی برای ماشین‌آلات حمل و پخش نباشد، می‌توان مصالح را به صورت دستی پخش کرد. ماشین‌آلات حمل باید به گونه‌ای هدایت شده و مسیر آن‌ها مشخص گردد که کل عرض راه به‌طور یکنواخت تحت بار تردد آن ماشین‌آلات قرار گیرد تا میزان شیارافتادگی و تراکم غیریکنواخت در مسیر حمل به حداقل برسد.

مصالح اساس در زمان پخش آن باید داری رطوبت مناسب برای تأمین تراکم مشخصه باشد. رطوبت بهینه تراکم باید با انجام آزمایش طبق استاندارد AASHTO T180 به روش D تعیین شود. رطوبت مورد نظر باید به‌طور همگن در تمام مصالح موجود باشد و در صورت لزوم، پس از پخش و تسطیح مصالح، آب‌پاشی با فشار یکنواخت با تانکر برای حفظ رطوبت بهینه انجام شود. آب‌پاشی روی مصالح پخش‌شده فقط باید با تأیید مهندس مشاور انجام پذیرد. آب‌پاشی باید به نحوی باشد که مقدار رطوبت مصالح در زمان غلتک‌زنی به میزان درصد رطوبت بهینه یا حداکثر ۱/۵ درصد کمتر از آن باشد. توقف تانکر روی مصالح پخش‌شده در هنگام آب‌پاشی مجاز نیست.

۱۳-۲-۱-۳-۳ تراکم

پس از اطمینان از انطباق رقوم نهایی با نقشه‌های اجرایی، تراکم مصالح اساس باید با غلتک‌های فولادی استاتیکی یا لرزشی در حالت بدون لرزش آغاز شود و سپس با غلتک‌های لرزشی ادامه یابد. تعداد، نوع و وزن غلتک‌ها متناسب با نوع مصالح و ضخامت پخش، به منظور دستیابی به دانسیته لازم انتخاب می‌شود و برای هر پروژه باید در زمان شروع عملیات اجرا طبق نظر مهندس مشاور تعیین گردد. در هر صورت، وزن غلتک‌های مورد استفاده نباید به حدی زیاد باشد که سبب خردشدن سنگدانه‌ها گردد. الگوی غلتک‌زنی تأییدشده توسط مهندس مشاور باید در حین غلتک‌زنی به‌طور مداوم پایش شود، به نحوی‌که از حصول نتایج مطلوب اطمینان حاصل گردد.

در صورتی که مصالح پخش‌شده در سطوح بزرگ دچار جداشدگی مشهود گردیده و سنگدانه‌های درشت و ریز به نحوی از هم جدا شده باشند که در بازدید میدانی، مهندس مشاور بر آن صحه گذارد، باید پیش از غلتک‌زنی برای اصلاح آن اقدام شود.

غلتک‌زنی باید از کناره‌های راه شروع شده و به سمت محور راه، موازی با آن ادامه یابد، به استثنای

محل قوس‌ها که غلتک‌زنی باید از داخل قوس و رقوم پایین‌تر شروع شده و به رقوم بالاتر در خارج از قوس ختم شود. در امتداد و حاشیه جداول و دیوارها و محل‌هایی که غلتک‌های معمول به آنها دسترسی ندارند، می‌توان از کوبنده صفحه‌ای یا سایر غلتک‌های مورد تأیید مهندس مشاور استفاده کرد.

در حین غلتک‌زنی لازم است علاوه بر کنترل مشخصه تراکم نسبی و درصد رطوبت، کنترل روش غلتک‌زنی نیز در مشخصات فنی خصوصی پروژه‌ها در نظر گرفته شود. این کنترل‌ها بر اساس بازدهی اسمی و نوع غلتک‌های پیش‌بینی‌شده، در شمارش تعداد عبور غلتک‌ها، پایش سرعت حرکت غلتک‌ها و نوع کارکرد لرزشی یا استاتیکی غلتک‌ها توسط مهندسان مشاور و یا تجهیزات تعبیه‌شده در اتاقک غلتک‌ها قابل انجام است. در شروع غلتک‌زنی و برای هر نوع مصالح مشخص‌شده در مشخصات فنی لازم است که تعداد عبور برای هر نوع غلتک برای حصول دانسیته لازم، با اجرای نوار آزمایشی به طول حداقل ۳۰ متر تعیین شود. دستورالعمل اجرای قطعه آزمایشی نیز توسط مهندس مشاور ارایه می‌گردد.

۱۳-۲-۱-۳-٤ حفاظت کار انجام‌شده

پس از اتمام عملیات اجرای اساس، عبور و مرور وسائل نقلیه روی آن به هیچ وجه مجاز نیست. پیش از اجرای لایه آسفالتی باید فرصت کافی داده شود تا اندود نفوذی به‌طور کامل عمل آمده و گیرش آن کامل شود. قیرابه‌ها عموماً در مقایسه با قیرهای محلول به زمان کمتری برای عمل‌آمدن نیاز دارند.

در مواردی که ساخت لایه آسفالتی روی اساس با وقفه طولانی (عموماً بیش از ۷ روز) همراه باشد یا احتمال بارندگی قریب‌الوقوع پس از اجرای لایه اساس وجود داشته باشد، برای محافظت از اساس متراکم‌شده لازم است پس از اتمام عملیات اجرای آخرین لایه اساس، بلافاصله اندود نفوذی روی آن اجرا شود. در این صورت، بلافاصله پیش از ساخت روسازی آسفالتی و به تشخیص مهندس مشاور لازم است اندود سطحی (تک‌کت) بین لایه اساس و لایه آسفالتی، مطابق با مشخصات فصل شانزدهم این نشریه و با میزان پخش نزدیک به حد پایین محدوده‌های مشخص‌شده در آن فصل اجرا شود.

۱۳-۲-۱-٤ کنترل کیفیت و پذیرش

همه مصالح مصرف‌شده در پروژه و کار انجام‌شده باید با الزامات آئین‌نامه و نقشه‌های اجرایی انطباق

داشته باشد. در مورد دانه‌بندی که رواداری‌های کارگاهی برای آن مشخص شده است، محدوده‌های کنترلی توسط رواداری‌ها تعیین می‌شود. ابعاد و اندازه‌های مندرج در نقشه‌های اجرایی و مقادیر مشخص‌شده در آئین‌نامه‌ها و شرایط خصوصی پروژه‌ها همگی مقادیر هدف هستند که باید به آنها دست یافت. مقصود آئین‌نامه‌ها این است که همه مصالح و روش‌های اجرایی یکنواخت باشد و تا حد امکان، بر مقادیر هدف کارگاهی یا میانه محدوده رواداری‌ها منطبق گردد.

تولید مصالح و عملکرد لایه ساخته‌شده باید به گونه‌ای کنترل شود که آن مصالح و لایه در حال ساخت دارای ویژگی‌ها یا اندازه‌های مرزی (نزدیک به حدود بالا و پایین مشخصات) نباشد. اگر کیفیت مرزی مصالح یا لایه در حال ساخت تداوم یابد، مهندس مشاور می‌تواند عملیات اجرایی را با اخطار قبلی متوقف کند تا اصلاح لازم صورت گیرد.

به‌طور کلی، بررسی انطباق و پذیرش عملیات اجرای اساس با انجام آزمایش‌های تعیین ویژگی‌های مشخص‌شده در این بخش انجام می‌شود. به این منظور، ویژگی‌های دانه‌بندی، هم‌ارز ماسه‌ای، سایش لس‌آنجلس، شکستگی، دوام در برابر سولفات سدیم، حدود اتربرگ، تراکم نسبی، ضخامت لایه، ناهمواری و شیب باید به‌طور کامل با مشخصات فنی و شرایط قرارداد انطباق داشته باشند.

۱۳-۲-۱-۴-۱ نمونه‌برداری و آزمایش

پیمانکار موظف است در حین پیشرفت عملیات اجرا، حجم کافی از مصالح تأمین‌شده را در موعد مناسب به مهندس مشاور ارایه نماید، به‌گونه‌ای که نمونه‌برداری، انجام آزمایش‌ها و ارزیابی نتایج برای تأیید و صدور مجوز حمل آن مصالح به سطح راه، منجر به تأخیر در کارها نگردد. به این منظور پیمانکار لازم است پس از تولید و یا تهیه حجم مشخصی از مصالح مورد نیاز پروژه به میزان حداکثر ۵۰۰۰ مترمکعب، مراتب را به مهندس مشاور اطلاع دهد تا اقدام لازم برای نمونه‌برداری از آن مصالح و انجام آزمایش‌ها صورت گیرد. همچنین برای مصالح نوع ۱ لازم است که دانه‌بندی کارگاهی مربوط به آن حجم از مصالح، با نظر و تأیید مهندس مشاور در این مرحله مشخص شده باشد.

نمونه‌برداری و آزمایش برای کنترل ویژگی‌ها و پذیرش مصالح مورد استفاده باید پیش از مصرف آن‌ها در عملیات اجرا انجام پذیرد. اما نمونه‌برداری و آزمایش برای کنترل و پذیرش لایه اساس ساخته‌شده، در

حین پیشرفت عملیات اجرا انجام می‌شود. نمونه‌برداری و انجام آزمایش‌های مصالح اساس، قبل و بعد از حمل به سطح راه، باید مطابق جدول ۱۳-۴ انجام شود.

قبل از آنکه مصالح تهیه شده برای ساخته لایه اساس به سطح راه حمل شود و مورد مصرف قرار گیرد، باید نمونه‌برداری از مصالح طبق روش‌های استاندارد AASHTO T2 یا AASHTO R90 و به مقدار حداقل مشخص شده در استانداردها به شرح جدول ۱۳- ۴ صورت گیرد و آزمایش‌های لازم انجام شود. نمونه‌برداری از مصالح موجود پیمانکار به میزان حداکثر ۵۰۰۰ مترمکعب باید به گونه‌ای انجام شود که نمونه برداشته شده معرف کل حجم مصالح مورد نظر باشد.

پس از حمل مصالح اساس به سطح آماده شده راه و پیش از غلتک‌زنی نیز باید نمونه‌برداری از مصالح پخش‌شده روی سطح راه طبق روش‌های استاندارد AASHTO T2 یا AASHTO R90 و به مقدار حداقل مشخص‌شده در استاندارد به شرح جدول ۱۳-۴ صورت گیرد و آزمایش‌های لازم انجام شود. گزارش نتایج آزمایش‌های این مرحله باید پیش از شروع شیفت کاری روز بعد به مهندس مشاور تحویل گردد تا در صورت نیاز، اقدام لازم به عمل آید.

آزمایش تعیین دانسیته خشک درجا باید به ازای هر ۱۰۰ مترمکعب اساس ساخته‌شده و همچنین روزانه حداقل یک‌بار انجام شود و درصد رطوبت مصالح در زمان تراکم نیز تعیین شود. هر مورد آزمایش دانسیته درجا که انجام شود، ضخامت لایه نیز باید اندازه‌گیری شود و به همراه نتیجه آزمایش دانسیته ارایه گردد. در هر قسمت از طول راه که ۱۰۰ مترمکعب اساس ساخته‌شده را در بر می‌گیرد، محل آزمایش دانسیته درجا در امتداد طول و عرض مسیر به صورت تصادفی طبق استاندارد ASTM D3665 تعیین می‌شود. گزارش نتایج آزمایش‌ها باید پیش از شروع شیفت کاری روز بعد به مهندس مشاور تحویل گردد تا در صورت نیاز، اقدام لازم به عمل آید.

برای تعیین حداکثر دانسیته خشک آزمایشگاهی مصالح حمل‌شده روی سطح راه باید سه نمونه قبل از پخش مصالح از نقاط مختلف برداشته شود و پس از مخلوط کردن آنها با یکدیگر، آزمایش طبق استاندارد AASHTO T180 به روش D انجام شود. حداکثر ظرف مدت ۲۴ ساعت پس از نمونه‌برداری باید گزارش نتایج آزمایش تراکم آزمایشگاهی به مهندس مشاور تحویل گردد.

طبق استاندارد AASHTO T180، حداکثر دانسیته خشک آزمایشگاهی برای مصالح ردشده از الک

۱۹ میلی‌متر تعیین می‌شود. لذا اگر مقدار دانه‌های بزرگتر از ۱۹ میلی‌متر در مصالح اساس بیش از ۵ درصد و حداکثر تا ۳۰ درصد باشد، لازم است که مقدار دانسیته درجا حاصل از آزمایش مطابق پیوست A1 استاندارد AASHTO T180 اصلاح گردد که دانسیته اصلاح‌شده درجا برای مصالح ردشده از الک ۱۹ میلی‌متر به دست آید.

جدول ۱۳- ٤ نمونه‌برداری و آزمایش‌های پذیرش عملیات اساس دانه‌ای

محل نمونه‌برداری [۱]	ویژگی/ آزمایش	توالی نمونه‌برداری
منبع مصالح [۲] (پیش از حمل بر روی سطح راه)	دانه‌بندی	یک نمونه در هر مرحله تحویل مصالح به مهندس مشاور به ازای حداکثر هر ۵۰۰۰ مترمکعب مصالح
	سایش به روش لس‌آنجلس	
	شکستگی (مصالح نوع ۱ و ۲)	
	سنگدانه‌های پهن و دراز (نوع ۱ و ۲)	
	افت وزنی مصالح با سولفات سدیم	
	ارزش ماسه‌ای	
	حد روانی	
	دامنه خمیری	
	ظرفیت باربری کالیفرنیا (CBR)	
مصالح حمل‌شده روی سطح راه، قبل از پخش	حداکثر دانسیته خشک آزمایشگاهی	به ازای حداکثر هر ۱۵۰۰ مترمکعب اساس ساخته‌شده یا هرگاه منبع تغییر کند.
مصالح پخش‌شده روی سطح راه [۳]	دانه‌بندی	به ازای هر ۵۰۰ مترمکعب اساس ساخته‌شده
	ارزش ماسه‌ای	
مصالح متراکم‌شده در سطح راه	دانسیته خشک درجا	روزانه حداقل یک‌بار و به ازای هر ۱۰۰ مترمکعب اساس ساخته‌شده، نمونه‌برداری به صورت تصادفی در امتداد طول و عرض راه
	درصد رطوبت	
	ضخامت لایه	
سطح لایه متراکم‌شده پیش از پخش لایه بالا	ناهمواری و شیب	به تشخیص مهندس مشاور

۱) برای انتخاب معدن یا منبع مناسب از میان چندین معدن و پیشنهاد به مهندس مشاور، آزمایش‌های سایش لس‌آنجلس، دوام در برابر سولفات سدیم و حد روانی می‌تواند روی مخلوط‌های حاصل از خردایش آزمایشگاهی یا نمونه‌های برداشته‌شده از منابع طبیعی انجام پذیرفته و نتایج آنها به عنوان راهنما استفاده شود.

۲) منظور از منبع، مصالح تأمین‌شده از سوی پیمانکار است که پیش از حمل به روی سطح راه، در محل کارگاه یا سنگ‌شکن و یا هر محل دیگری انباشته شده است. دانه‌بندی کارگاهی برای مصالح نوع ۱ باید مورد تأیید مهندس مشاور باشد و آزمایش‌های منبع روی نمونه‌های آماده‌سازی شده در آزمایشگاه با دانه‌بندی هدف کارگاهی انجام شوند.

۳) نمونه‌برداری باید از مصالح پخش‌شده روی سطح راه پس از تراز کردن آن و بلافاصله پیش از شروع غلتک‌زنی انجام شود. علاوه بر این، به تشخیص مهندس مشاور می‌توان از مصالح متراکم شده در سطح راه نمونه‌برداری، آزمایش دانه‌بندی و آزمایش ارزش ماسه‌ای انجام و از نتایج آن در قضاوت‌های مهندسی استفاده کرد.

۱۳-۲-۱-٤-۲ کنترل کیفیت حین اجرا

نمونه‌برداری و انجام آزمایش‌ها برای کنترل کیفیت عملیات اساس توسط آزمایشگاه کنترل کیفیت به شرح جدول ۱۳- ۴ انجام می‌شود. برای کنترل کیفیت مصالح مورد استفاده در ساخت اساس، نمونه‌برداری و آزمایش‌های لازم طبق جدول ۱۳-۴ باید پیش از تحویل منبع مصالح به مهندس مشاور به ازای حداکثر هر ۵۰۰۰ مترمکعب مصالح انجام شده و نتایج برای بررسی و اعلام نظر به مهندس مشاور ارایه گردد.

دانه‌بندی مصالح اساس پیش از حمل به سطح راه که با انجام آزمایش طبق استانداردAASHTO T27 یا ASTM D136 تعیین می‌شود، برای مصالح نوع ۱ باید در محدوده رواداری کارگاهی طبق جدول ۱۳- ۲ و برای مصالح نوع ۲ و نوع ۳ باید در داخل محدوده مشخصات یکی از دانه‌بندی‌های جدول ۱۳-۲ باشد.

نتایج سایر آزمایش‌ها نیز باید در محدوده مشخصات جدول ۱۳-۳ باشد. آزمایش تعیین ویژگی‌های مندرج در جدول ۱۳-۳ برای مصالح نوع ۱ باید روی نمونه‌های آماده‌شده در آزمایشگاه با دانه‌بندی کارگاهی انجام شود. در صورتی‌که هر یک از ویژگی‌های مصالح پیش از حمل به سطح راه، خارج از محدوده مشخصات باشد، پیمانکار باید اصلاح لازم را انجام دهد و یا منبع دیگری را برای تأمین مصالح به مهندس مشاور معرفی کند.

همچنین پس از حمل مصالح اساس دانه‌ای به سطح آماده‌شده راه و پیش از غلتک‌زنی باید از مصالح پخش‌شده روی سطح راه طبق روش‌های استاندارد AASHTO T2 یا AASHTO R90 و به مقدار حداقل مشخص‌شده در استاندارد نمونه‌برداری شده و آزمایش‌های ارزش ماسه‌ای و دانه‌بندی انجام شود. گزارش نتایج این آزمایش‌ها باید پیش از شروع شیفت کاری روز بعد به مهندس مشاور تحویل گردد تا در صورت نیاز، اقدام لازم به عمل آید. نتایج آزمایش‌های این مرحله باید در محدوده‌های پذیرش باشد. در غیر این‌صورت، پیمانکار موظف است اقدام اصلاحی لازم به منظور رفع نقص را طبق نظر مهندس مشاور برای ادامه عملیات انجام دهد.

در حین عملیات غلتک‌زنی نیز باید آزمایش تعیین دانسیته درجا و تراکم نسبی روی مصالح پخش‌شده و متراکم‌شده انجام شده و ضخامت لایه نیز اندازه‌گیری شود. گزارش نتایج آزمایش‌ها باید پیش از شروع شیفت کاری روز بعد جهت بررسی و اقدام لازم به مهندس مشاور تحویل گردد. نتایج آزمایش باید در

محدوده مشخصات باشد. در غیر این‌صورت، پیمانکار موظف است اقدام اصلاحی لازم به منظور رفع نقص را طبق نظر مهندس مشاور برای ادامه عملیات انجام دهد.

۱۳-۲-۱-٤-۳ معیارهای پذیرش و محدوده مشخصات

نمونه‌برداری و انجام آزمایش‌ها برای پذیرش عملیات اساس دانه‌ای توسط آزمایشگاه کارفرما و آزمایشگاه پیمانکار (در صورت استقرار توسط پیمانکار) به شرح جدول ۱۳-۵ انجام می‌شود. نمونه‌برداری به این منظور باید با نظر مهندس مشاور و با تواتر تعیین‌شده در اسناد و مدارک پیمان باشد. آزمایشگاه کارفرما و آزمایشگاه پیمانکار باید پنج شرط زیر را داشته باشند تا در محاسبه ضریب پرداخت، نتایج آزمایش‌های آن آزمایشگاه‌ها مورد استفاده قرار گیرد:

۱- هر دو آزمایشگاه از نظر تجهیزات (کامل و کالیبره بودن)، نصب، پلان جانمایی و عوامل انسانی (تعداد، تخصص و تجربه) به تأیید مهندس مشاور رسیده باشند.

۲- مهندس مشاور امکان نظارت مستمر و مؤثر بر عملکرد هر دو آزمایشگاه کارفرما و پیمانکار را داشته باشد.

۳- نمونه‌برداری برای انجام آزمایش توسط آزمایشگاه‌ها باید زیر نظر مهندس مشاور انجام شده باشد.

۴- آزمایشگاه کارفرما و آزمایشگاه پیمانکار باید به‌صورت مداوم (به ترتیبی که مهندس مشاور اعلام می‌کند) برگه نتایج آزمایش‌های آزمایشگاهی را (حداقل در ۴ نسخه) به مهندس مشاور تحویل دهند و مهندس مشاور پس از اظهارنظر، آنها را مهر و امضاء کرده و به کارفرما، پیمانکار و آزمایشگاه‌ها ارسال کند.

۵- نتایج آزمایش‌های انجام‌شده توسط آزمایشگاه کارفرما و آزمایشگاه پیمانکار با هم مقایسه شده و هم‌سنگی آنها تأیید شده باشد.

برای مقایسه دو مجموعه از نتایج آزمایش‌های انجام‌شده توسط آزمایشگاه‌های کارفرما و پیمانکار، روش‌های آماری F-test و t-test به کار گرفته می‌شود. روش آماری F-test، انحراف معیار داده‌های دو مجموعه و روش آماری t-test، میانگین داده‌های دو مجموعه را مقایسه می‌کند. روش محاسبه t-test با توجه به نهایی شدن F-test تعیین می‌شود. در صورتیکه شرط t-test برای یک مشخصه برآورده شود

(معنادار نبوده و فرض صفر رد نشود)، می‌توان نتیجه گرفت که مجموع داده‌های به دست آمده از هر دو آزمایشگاه برای آن مشخصه دارای میانگین مشابهی هستند. روش‌های آماری F-test و t-test در صورت برآورده شدن شرط t-test برای آن مشخصه، مجموع داده‌های کنترل کیفیت و پذیرش (برگه‌های آزمایش‌های کارفرما و پیمانکار) هم‌سنگ بوده و می‌توان برای محاسبه ضریب پرداخت استفاده کرد.

۱۳-۲-۱-٤-٤ ویژگی‌های مصالح پیش از حمل

قبل از آنکه مصالح پیشنهادی پیمانکار برای ساخت لایه اساس به سطح آماده‌شده راه حمل شده و مصرف شود، باید نمونه‌برداری توسط آزمایشگاه کارفرما به منظور پذیرش ویژگی‌های مصالح صورت گیرد و آزمایش‌های لازم انجام شود. دانه‌بندی مصالح اساس پیش از حمل به سطح راه، برای مصالح نوع ۱ تا ۳ باید در محدوده پذیرش مندرج در جدول ۱۳-۵ باشد. نتایج سایر آزمایش‌ها نیز باید در محدوده مشخصات جدول ۱۳-۳ باشد. در صورتی‌که هر یک از ویژگی‌های مصالح پیش از حمل، خارج از محدوده مشخصات باشد، باید اصلاح لازم صورت گیرد و یا منبع دیگری به مهندس مشاور معرفی شود. در غیر این‌صورت ویژگی‌های مصالح توسط مهندس مشاور پذیرش گردیده و اجازه اختلاط و حمل به مصالح محل پروژه داده می‌شود.

مصالحی که پیش از حمل به سطح راه، توسط آزمایشگاه کارفرما آزمایش نشود و ویژگی‌های آن بر اساس نتایج آزمایش‌های پیش از حمل، توسط مهندس مشاور تأیید نگردد، مورد پذیرش قرار نمی‌گیرد و پرداخت در قبال آن مصالح انجام نمی‌شود.

۱۳-۲-۱-٤-۵ ارزش ماسه‌ای و دانه‌بندی پس از پخش

آزمایشگاه کارفرما از مصالح حمل‌شده به سطح آماده‌شده راه و پیش از غلتک‌زنی، به ازای حداکثر هر ۵۰۰ مترمکعب اساس ساخته‌شده، نمونه‌برداری نموده و آزمایش‌های ارزش ماسه‌ای و دانه‌بندی را انجام می‌دهد.

چنانچه مقدار هم‌ارز ماسه‌ای مصالح اساس در هر بار آزمایش خارج از محدوده پذیرش طبق جدول ۱۳- ۵ باشد، باید اصلاح لازم برای رفع نقص توسط پیمانکار صورت گیرد و مراتب اقدام اصلاحی و نتایج آن به مهندس مشاور اطلاع‌رسانی گردد. همچنین چنانچه ضمن انجام اقدام اصلاحی، مقدار هم‌ارز ماسه‌ای در سه آزمایش متوالی خارج از محدوده پذیرش مندرج در جدول ۱۳-۵ باشد، باید مصالح آن بخش از

عملیات اساس که مربوط به آن سه آزمایش بوده است، برداشته شود و با مصالح مناسب جایگزین گردد.

چنانچه درصد عبوری از هر الک (به استثنای الک شماره ۲۰۰) در دانه‌بندی مصالح در هر بار آزمایش، به مقدار بیش از ۲ درصد از حدود پذیرش مندرج در جدول ۱۳-۵ تجاوز نماید و یا برای الک ۲۰۰ از حدود پذیرش تجاوز نماید، باید اصلاح لازم برای رفع نقص توسط پیمانکار صورت گیرد و مراتب اقدام اصلاحی و نتایج آن به مهندس مشاور اطلاع‌رسانی گردد. همچنین چنانچه ضمن انجام اقدام اصلاحی، مقدار درصد عبوری از هر الک در سه آزمایش متوالی از مقادیر فوق تجاوز نماید، باید مصالح آن بخش از عملیات اساس که مربوط به آن سه آزمایش بوده است، برداشته شود و با مصالح مناسب جایگزین گردد.

۱۳-۲-۱-٤-٦ تراکم نسبی اساس متراکم‌شده

مقدار دانسیته درجا و تراکم نسبی لایه و همچنین درصد رطوبت مصالح اساس در حین غلتک‌زنی تعیین می‌شود. ضخامت لایه متراکم‌شده نیز هم‌زمان با تعیین دانسیته درجا اندازه‌گیری می‌شود.

تراکم نسبی لایه اساس که با تعیین دانسیته درجا به روش آزمایش استاندارد AASHTO T191 و تعیین حداکثر دانسیته خشک مصالح طبق استاندارد AASHTO T180 به روش D محاسبه شده باشد، باید حداقل ۹۷ درصد باشد.

تراکم نسبی لایه اساس متراکم‌شده باید همواره حداقل مشخصات را برآورده سازد. در غیر این صورت، باید اقدام لازم طبق نظر مهندس مشاور صورت گیرد و تراکم لازم تأمین گردد. اگر تراکم نسبی به‌دست آمده کمتر از حداقل مشخص‌شده باشد، باید لایه متراکم‌شده ابتدا شخم‌زنی گردد و سپس همراه با آب‌پاشی، مجدداً به قدری غلتک‌زنی شود که تراکم نسبی لازم تأمین گردد.

۱۳-۲-۱-٤-۷ کنترل سطح تمام‌شده اساس

پس از اتمام غلتک‌زنی، رقوم سطح تمام‌شده لایه اساس نباید بیش از ۲۰± میلی‌متر با آنچه در نقشه‌ها تعیین شده است، تفاوت داشته باشد (اختلاف در یک جهت پذیرفته نیست). شیب‌های طولی و عرضی لایه اساس متراکم‌شده نیز باید با نقشه‌ها مطابقت کامل داشته باشد. توالی و تکرار اندازه‌گیری‌های شیب و ناهمواری سطح لایه‌های کوبیده‌شده باید توسط مهندس مشاور در پروژه مشخص گردد و پیش از پخش لایه بعدی انجام پذیرد. ناهمواری سطح تمام‌شده لایه اساس باید با یک شمشه ۴ متری که در جهات مختلف روی سطح راه قرار داده می‌شود، کنترل شود و اگر بیش از حد مجاز باشد، باید اصلاح لازم به

تشخیص مهندس مشاور صورت گیرد. میزان ناهمواری‌های لایه اساس نباید از ۱۵ میلی‌متر بیشتر باشد. اگر انحراف سطح لایه اساس در طول شمشه چهار متری، مابین هر دو نقطه تماس شمشه با سطح اساس بیشتر از ۱۵ میلی‌متر باشد، به عنوان ناحیه با ناهمواری زیاد و غیر قابل پذیرش شناخته می‌شود.

مشخصه‌های فنی برای پذیرش و تعیین ضریب پرداخت کار انجام‌شده و همچنین محدوده‌های آن‌ها شامل حد بالای پذیرش و حد پایین پذیرش (USL و LSL) در جدول ۱۳- ۵ مشخص شده است. پذیرش، عدم پذیرش و ضریب پرداخت با استفاده از محدوده‌های مندرج در این جدول تعیین می‌شود.

۱۳-۲-۱-۵ اندازه‌گیری و پرداخت

مقدار کار انجام‌شده برای عملیات اساس دانه‌ای بر اساس نقشه‌های ابلاغی و مقدار اساس تاییدشده از لایه اساس ساخته‌شده در سطح راه بر اساس بهای واحد قرارداد و با محاسبه ضریب پرداخت عملیات اساس به ازای هر مترمکعب پرداخت می‌شود.

جدول ۱۳- ۵ محدوده مشخصه‌های عملیات اساس دانه‌ای برای پذیرش و تعیین ضریب پرداخت

مشخصه	محدوده پذیرش		
	مصالح نوع ۱	مصالح نوع ۲	مصالح نوع ۳
دانه‌بندی، درصد ردشده از الک‌های زیر:		حدود یکی از دانه‌بندی‌های شماره ۳ تا ۴ جدول ۱۳-۲ بازنگری طرح روسازی بر اساس مقدار واقعی حاصل از آزمایش می‌تواند به تشخیص مهندس مشاور انجام پذیرد.	حدود یکی از دانه‌بندی‌های شماره ۳ تا ۴ جدول ۱۳-۲ بازنگری طرح روسازی بر اساس مقدار واقعی حاصل از آزمایش می‌تواند به تشخیص مهندس مشاور انجام پذیرد.
۵۰ میلی‌متر (۲/۰ اینچ)			
۹/۵ میلی‌متر ($\frac{۳}{۸}$ اینچ)	±۸ مقدار هدف		
۴/۷۵ میلی‌متر (شماره ۴)	±۸ مقدار هدف		
۲/۳۶ میلی‌متر (شماره ۸)			
۰/۴۲۵ میلی‌متر (شماره ۴۰)	±۵ مقدار هدف		
۰/۰۷۵ میلی‌متر (شماره ۲۰۰)	±۳ مقدار هدف		
هم‌ارز ماسه‌ای (درصد)	حداقل ۳۵	حداقل ۳۰	حداقل ۲۵
تراکم نسبی (درصد)	حداقل ۹۷	حداقل ۹۷	حداقل ۹۷

۱۳-۲-۲ اساس ماکادمی

۱۳-۲-۲-۱ کلیات

عملیات این قسمت شامل تهیه اساس ماکادامی از سنگ کوهی یا سنگ‌های رودخانه‌ای شکسته و پخش آن بر روی قشر آماده شده سطح راه برابر ابعاد، اندازه‌ها و ضخامت‌های تعیین شده در نقشه‌ها و سپس پخش مصالح ریزدانه و بالاخره کوبیدن آن به روش خشک یا تر می‌باشد.

۱۳-۲-۲-۱-۱ مصالح

مصالح مصرفی برای قشر اساس ماکادامی شامل دو بخش و با مشخصات فنی زیر می‌باشد:

الف: مصالح درشت‌دانه

مصالح درشت‌دانه سنگی (ماکادام) که از شکستن سنگ کوهی یا قلوه سنگهای بزرگ‌اندازه رودخانه‌ای تهیه می‌شود، باید کاملاً سخت، محکم، بادوام و عاری از هرگونه لای و رس و یا مواد زیانبخش دیگر بوده و با مشخصات زیر برابری داشته باشد:

۱- دانه‌بندی مصالح درشت‌دانه مصرفی که با روش AASHTO T27 تعیین می‌گردد باید با یکی از دانه‌بندی‌های جدول ۱۳-۶ منطبق باشد.

دانه بندی مورد مصرف در هر پروژه باید در مشخصات فنی خصوصی تصریح شود.

جدول ۱۳-۶ دانه‌بندی اساس ماکادامی

اندازه الک‌ها (AASHTO M92)	درصد وزنی رد شده از الک	
	I	II
الک ۷۵ میلی‌متر (۳ اینچ)	۱۰۰	--
الک ۶۳ میلی‌متر (۲/۵ اینچ)	۹۰ – ۱۰۰	۱۰۰
الک ۵۰ میلی‌متر (۲ اینچ)	۳۵ – ۷۰	۹۰ – ۱۰۰
الک ۳۸ میلی‌متر (۱/۵ اینچ)	۰ – ۱۵	۳۵ – ۷۰
الک ۲۵ میلی‌متر (۱ اینچ)	--	۰ – ۱۵
الک ۱۹ میلی‌متر ($\frac{۳}{۴}$ اینچ)	۰ – ۵	--
الک ۱۲/۵ میلی‌متر ($\frac{۱}{۲}$ اینچ)	--	۰ – ۵

۲- درصد سایش مصالح با آزمایش لوس آنجلس به روش ASTM C535 از ۴۵ درصد تجاوز نکند.

۳- درصد افت وزنی مصالح به روش AASHTO T104 بعد از پنج نوبت آزمایش با سولفات سدیم نباید از ۱۲ درصد تجاوز کند.

۴- درصد دانه‌های، پهن و دراز موجود در مصالح درشت‌دانه نباید مجموعاً از ۱۵ درصد تجاوز کند. دانه‌های پهن و دراز به سنگدانه‌هایی با ابعاد بیشتر از ۹٫۵ میلی‌متر ($\frac{۳}{۸}$اینچ) اطلاق می‌شود که نسبت درازا به متوسط ضخامت سنگدانه از ۵ تجاوز کند.

۵- چنانچه مصالح درشت‌دانه از شکستن سنگ‌های رودخانه‌ای تهیه شود، حداقل ۷۵ درصد وزنی مصالح مانده روی الک ۴٫۷۵ میلی‌متر (الک شماره ۴) باید در دو جبهه یا بیشتر شکسته شده باشد (به غیر از شکستگی طبیعی)

۶- مصالح درشت‌دانه باید در مرحله نهایی با سنگ‌شکن‌های چکشی یا مخروطی تهیه شود. کاربرد مصالحی که فقط توسط سنگ‌شکن‌های فکی شکسته می‌شود، به هیچ وجه مجاز نیست.

ب: مصالح ریزدانه

مصالح ریزدانه که برای پر کردن فضای خالی قشر اساس ماکادامی بعد از پخش و کوبیدن مصرف می‌شود، شامل ماسه شسته طبیعی یا ماسه شکسته و یا مخلوطی از آن‌ها است که باید با مشخصات زیر مطابقت نماید:

۱- دانه‌بندی این مصالح که به روش AASHTO T27 تعیین می‌شود باید با دانه‌بندی جدول ۱۳-۶ منطبق باشد.

۲- حد روانی و دامنه خمیری مصالح به روش AASHTO T89 و AASHTO T90، نباید به ترتیب از ۳۰ درصد و ۶ درصد تجاوز کرده و ارزش ماسه‌ای آن نیز (AASHTO T176) حداقل ۳۰ درصد باشد.

جدول ۱۳-۷ دانه‌بندی مصالح ریزدانه

اندازه الکها (AASHTO M92)	درصد وزنی رد شده از الک
الک ۹٫۵ میلی‌متر ($\frac{3}{8}$ اینچ)	۱۰۰
الک ۴٫۷۵ میلی‌متر (شماره ۴)	۸۵ – ۱۰۰
الک ۰٫۱۵۰ میلی‌متر (شماره ۱۰۰)	۱۰ – ۳۰

۱۳-۲-۲-۱-۲ آماده نمودن سطح راه

رقوم بسترهای زیرین قشر اساس ماکادامی، قبل از پخش مصالح باید منطبق با نیمرخ‌های عرضی و طولی ارایه شده در نقشه‌ها بوده و ناهمواری سطح آنها نیز در جهات مختلف که با شمشه اندازه‌گیری می‌شود، در حد رواداری‌های مندرج در مشخصات و نقشه‌ها باشد. چنانچه عبور وسائط نقلیه یا بارندگی یا عدم زهکشی مناسب و یا هر علت دیگری خصوصیات و مشخصات لازم بسترهای زیرین را از بین برده باشد، اصلاح آنها قبل از پخش اساس ماکادامی به نحوی که مورد تأیید مهندس مشاور باشد ضروری است.

۱۳-۲-۲-۱-۳ قشر جدا کننده

اجرای قشر اساس ماکادامی به یک لایه جدا کننده شامل ماسه که بلافاصله در زیر لایه اساس ماکادامی قرار می‌گیرد، نیاز دارد. پخش این مصالح ماسه‌ای باید با گریدر یا پخش کننده مکانیکی صورت گیرد.

ضخامت قشر ماسه و آرایش سطح تمام شده آن بعد از آبپاشی و کوبیدن باید با ابعاد و اندازه‌های تعیین شده در نقشه‌ها منطبق باشد.

دانه‌بندی این مصالح باید با جدول شماره ۱۳-۷ مطابقت داشته و افزون بر آن درصد گذشته از الک ۰٫۰۷۵ میلی‌متر (شماره ۲۰۰) آن حداقل ۵ و حداکثر ۱۰ درصد باشد.

۱۳-۲-۲-۱-٤ پخش ماکادام

پخش ماکادام بر روی سطح آماده شده راه باید با پخش کننده مکانیکی یا وسیله مناسب دیگری که مورد تأیید مهندس مشاور باشد انجام گیرد. پخش کننده باید مصالح سنگی را به طور یکنواخت و منظم و بدون جدا شدن دانه‌های درشت از ریز در ضخامت و اندازه‌های مورد نظر به نحوی که به حداقل ترمیم مجدد نیاز داشته باشد، پخش کند.

سطح قشر ماکادام بلافاصله بعد از پخش و عبور ۳ تا ۴ گذر اولیه غلتک باید کاملاً یکنواخت و مسطح بوده و نقاط فرود و فراز آن با افزودن و یا برداشت مصالح اصلاح شود به نحوی که سطح نهایی قابل قبول مهندس مشاور باشد. مصالح اساس باید به نحوی پخش شود که ضخامت کوبیده شده هر لایه کمتر از $1\frac{1}{4}$ برابر و یا بزرگتر از ۲ برابر حداکثر درشتی مصالح نباشد. در صورت استفاده از غلتک لرزشی، ضخامت لایه متراکم شده را تا ۲/۵ برابر حداکثر اندازه دانه‌ها می‌توان افزایش داد.

دانه‌بندی ماکادام بعد از پخش باید منطبق با دانه‌بندی مورد نظر بوده و سطح راه فاقد آرایشی باشد که دانه‌های ریز و درشت آن از یکدیگر جدا شده و یا بافت فقط درشت و یا ریز داشته باشد. این چنین مصالح را باید از تمام ضخامت لایه جمع‌آوری و با مصالح قابل قبول تعویض و ترمیم نمود. انبار کردن یا ریسه نمودن مصالح روی سطح راه مجاز نیست.

پخش مصالح سنگی، جز با دستور مهندس مشاور نباید با عملیات ماسه‌پاشی و غلتک‌زنی بیشتر از ۲۰۰ متر طول فاصله داشته باشد.

۱۳-۲-۲-۱-۵ کوبیدن قشر ماکادام

عملیات کوبیدن، بر حسب اینکه غلتک‌های استاتیک و یا لرزشی مورد استفاده قرار گیرد، باید به شرح زیر اجرا شود:

الف: در صورتی که فقط غلتک‌های استاتیک مورد استفاده قرار گیرد، بلافاصله بعد از پخش مصالح و اطمینان از انطباق سطوح نهایی آن با اندازه‌ها و ضخامت‌ها و رواداری‌های مورد نظر، قشر ماکادام باید با غلتک‌هایی که وزن آنها حداقل ۱۰ تن باشد کوبیده شود. عملیات غلتک‌زنی باید از کناره راه

شروع و به محور آن ختم شود مگر در قوس‌ها که از داخل قوس یا پایین‌ترین نقطه شروع و به بلندترین نقطه ختم می‌گردد.

هر گذر غلتک باید نیمی از عرض گذر قبلی را بپوشاند.

عملیات تراکم باید آنقدر ادامه یابد تا برای تمام سطح قشر ماکادام کوبیده شده و افزون بر آن شرایط سه‌گانه زیر تامین گردد:

۱- دانه‌های سنگی کاملاً در یکدیگر قفل و بست شوند.

۲- فضای خالی قشر ماکادام به حداقل تقلیل یابد.

۳- هیچ خزش و یا حرکتی در حین غلتک‌زنی در قشر ماکادام مشاهده نشود.

چنانچه قشر زیرین ماکادام، سست بوده و تاب وزن غلتک را نداشته باشد و یا وقتی که غلتک‌زنی حرکت موجی در لایه ایجاد کند یا ناهمواری‌هایی در سطح اساس ایجاد کند که اندازه‌گیری آن‌ها با شمشه ۴ متری بیش از ۱۵ میلی‌متر را نشان دهد، عملیات باید تا ترمیم کلیه معایب قشر اساس و احتمالاً قشر زیرین آن و رفع علل آنها متوقف شود.

ب: در صورت کاربرد غلتک‌های لرزشی در عملیات تراکم، قشر ماکادام را باید بلافاصله بعد از پخش و اطمینان از انطباق آرایش سطح نهایی آن با اندازه‌ها و ضخامت‌های مورد نظر غلتک‌زنی کرد و آن را آنقدر ادامه داد که دانه‌های سنگی در یکدیگر به قدر کافی قفل و بست شده و قشر حاصله بدون جابه‌جایی دانه‌های مصالح، برای کوبیدن با غلتک سه‌چرخ استاتیک به وزن حداقل ده تن، آماده باشد. سپس تراکم کامل قشر، با غلتک سه‌چرخ تا حصول نتایج سه‌گانه بالا و رعایت سایر مندرجات بند الف ادامه خواهد یافت. سطوحی از قشر ماکادام که کوبیدن آن‌ها با غلتک‌های استاتیک و یا لرزشی مقدور نباشد، باید با غلتک‌های کوچک لرزشی متراکم شود.

۱۳-۲-۲-۱-۶ پخش مصالح ریزدانه و کوبیدن نهایی

برای پر کردن فضای خالی بین دانه‌های ماکادام باید بعد از تکمیل عملیات کوبیدن از مصالح ریزدانه استفاده شود. دانه‌بندی و سایر خصوصیات این مصالح باید با جدول ۱۳-۷ منطبق بوده و قبلاً در طول شانه راه متناسب با مصرف ریسه شده باشد. از انبار کردن ماسه بر روی قشر ماکادام باید خودداری کرد.

پخش مصالح با توجه به نوع غلتک‌های مورد کاربرد در عملیات (استاتیک یا لرزشی) باید به شرح زیر اجرا شود:

الف: بعد از کوبیدن کامل قشر ماکادام و تحکیم آن، مصالح ریزدانه را با پخش کننده مکانیکی در لایه‌های نازک روی سطح راه پخش نموده و همزمان، غلتک‌زنی با غلتک استاتیک را باید آنقدر ادامه داد تا تمام فضای خالی بین دانه‌های ماکادام تحت تأثیر حرکت غلتک توسط ماسه پر شود. پخش ماسه باید تدریجی و یکنواخت انجام گیرد. برای توزیع و گستردن یکنواخت ماسه در سطح ماکادام و اطمینان از پر شدن کامل فضای خالی بین دانه‌ها می‌توان از جاروهای دستی مکانیکی استفاده کرد. عملیات پخش ماسه به همراه غلتک‌زنی باید آن قدر ادامه یابد که فضای بین دانه‌ها کاملاً پر شود و دیگر محلی برای نفوذ ماسه وجود نداشته و قشر اساس ماکادامی تحکیم و تثبیت شده باشد.

ب: در صورت کاربرد غلتک‌های لرزشی، عملیات پخش ماسه باید بدین ترتیب اجرا شود که ۵۰ درصد ماسه مورد نیاز برای پر کردن فضای خالی بین دانه‌ها توسط پخش کننده مکانیکی بر روی سطح ماکادام به طور یکنواخت پخش گردد. سپس غلتک لرزشی فقط یکبار از روی سطحی که ماسه روی آن پخش شده است عبور نماید تا ماسه‌ها به درون فضای خالی بین دانه‌های سنگی نفوذ کند. این عمل مجدداً برای ۵۰ درصد ماسه باقیمانده در دو بار و هر نوبت با ۲۵ درصد ماسه تکرار می‌شود. جهت سهولت نفوذ ماسه به فضای خالی بین دانه‌ها در حین عملیات غلتک‌زنی، جارو زدن دستی یا مکانیکی ضروری است. بعد از این مرحله، عملیات تراکم باید فقط با غلتک استاتیک و مصرف ماسه اضافی و در صورت لزوم جارو کردن ماسه به داخل فضای خالی سنگ‌ها تا حصول لایه‌ای کاملاً متراکم ادامه یابد.

۱۳-۲-۲-۱-۷ آبپاشی

مراحل کوبیدن و پخش ماسه به شرح فوق مربوط به شرایطی است که عملیات با دستورکارهای مهندس مشاور به طریق خشک اجرا و تکمیل می‌گردد. چنانچه کوبیدن با آبپاشی مشخص شده باشد، بلافاصله بعد از پر شدن کامل فضای بین دانه‌های سنگی توسط ماسه، قشر ماکادام آبپاشی شده و به همراه آبپاشی غلتک‌زنی ادامه می‌یابد. حین غلتک‌زنی چنانچه لازم باشد مجدداً از ماسه برای پر شدن

کامل فضای خالی و در صورت لزوم از جاروی دستی برای پخش مؤثر و یکنواخت ماسه نیز استفاده می‌شود. آبپاشی و غلتک‌زنی باید آنقدر ادامه یابد تا یک قشر متراکم و تحکیم شده به وجود آید. مصرف آب بیش از اندازه مجاز نبوده و مقدار آن باید کنترل شود.

۱۳-۲-۲-۱-۸ قشر ماکادام چند لایه‌ای

چنانچه قشر ماکادام طبق نقشه‌های اجرایی باید در دو لایه یا بیشتر اجرا شود، هریک از لایه‌ها باید به شرح موصوف در فوق اجرا و تکمیل گردد.

۱۳-۲-۲-۱-۹ آزمایش تراکم

تراکم قشر ماکادام با تعیین ضریب تغییر شکل پذیری از طریق انجام آزمایش بارگذاری صفحه‌ای مطابق با استاندارد DIN18134 با صفحه با قطر مناسب کنترل می‌شود. حداقل ضریب تغییر شکل پذیری ثانویه (EV_2)، باید ۲۵۰۰ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع باشد و رعایت برقراری رابطه $EV_2/EV_1 \leq 2.2$، الزامی است.

۱۳-۲-۲-۱-۱۰ کنترل سطح تمام شده

رقوم سطح تمام شده قشر ماکادام قبل از پوشش با لایه بعدی باید از نظر هموار بودن و یکنواختی سطح و نیز انطباق با نیمرخ‌های طولی و عرضی کنترل شود.

در هر نقطه اختلاف بین رقوم مندرج در نقشه‌ها نباید از ۱۵± میلی‌متر تجاوز نموده و شیب‌های طولی و عرضی با نقشه‌ها مطابقت داشته باشد. ناهمواری سطح تمام شده قشر ماکادام با استفاده از شمشه ۴ متری در جهات عمود بر محور و به موازات محور نباید از ۱۵± میلی‌متر بیشتر باشد. سطوح خارج از رواداری فوق باید اصلاح گردد.

۱۳-۲-۲-۱-۱۱ حفاظت کار انجام شده

عبور و مرور وسائط نقلیه و هرگونه ماشین‌آلات راهسازی از روی قشر ماکادام درتمام مراحل اجرای کار و بعد از تکمیل شدن آن به هیچ وجه مجاز نیست.

۱۳-۲-۲-۱-۱۲ آزمایش‌های کنترل کیفیت

برای کنترل کیفیت مصالح و کارهای انجام شده باید از مصالح شامل ماکادام، ماسه مصرفی برای قشر جدا کننده، و نیز ماسه‌ای که برای پر کردن فضای خالی قشر ماکادام به کار گرفته می‌شود آزمایش‌های زیر انجام شود:

الف: به ازای هر ۵۰۰ متر مکعب ماکادام پخش شده در سطح راه یک بار آزمایش دانه‌بندی، درصد شکستگی و درصد سنگدانه‌های پولکی و سوزنی انجام شود.

ب: به ازای هر ۲۰۰۰ متر مربع سطح تمام شده ماکادام، یک آزمایش بارگذاری صفحه‌ای طبق بند ۱۳-۲-۲-۱-۹ برای تعیین حداقل ضریب تغییر شکل پذیری (EV_2)، انجام شود.

پ: به ازای هر ۱۰۰۰ متر مکعب مصالح ریزدانه مصرفی یکبار آزمایش دانه‌بندی، حدود روانی و خمیری و ارزش ماسه‌ای انجام شود.

۱۴

قیر در راه‌سازی

۱۴-۱ کلیات

چسباننده‌های[1] سیاه مصرفی در راه‌سازی، شامل مواد قیری و قطرانی، دارای این خاصیت اصلی است که دانه‌های سنگی را به یکدیگر چسبانده و به جسم یکپارچه تبدیل می‌کند. قیر جسمی است به رنگ سیاه که از شمار زیادی هیدروکربن‌های مختلف ساخته شده است.

قیر خالص در دمای محیط جامد یا نیمه جامد است و بر اثر حرارت روان می‌شود. قیر در روغن‌های معدنی و حلال‌هایی نظیر سولفید کربن، تتراکلرید کربن[2]، تری‌کلرو اتیلن[3] و نرمال پروپیل بروماید[4] کاملاً حل می‌شود. قبل از استفاده از هر یک از حلال‌های ذکر شده، اطلاعات مندرج در برگ‌های اطلاعات ایمنی مواد [5](SDS) باید دقیقاً مطالعه و در صورت ضرورتِ استفاده، حتماً در زیر هود شیمیایی، همراه با تهویه مناسب هوای محوطه آزمایشگاه، و رعایت اصول ایمنی محیطی و فردی (روپوش، دستکش، عینک و ماسک شیمیایی مناسب) توأم با ملاحظات خاص مندرج در SDS آن ماده مورد استفاده قرار گیرد.

قطران[6] نیز که رنگی سیاه ولی متمایل به قهوه‌ای دارد از تقطیر گازهای حاصل از حرارت دادن زغال سنگ، چوب و سنگ‌های شیستی به دست می‌آید. این ماده قطران خام نامیده می‌شود و از تصفیه آن قطران راه‌سازی حاصل می‌گردد. استفاده از قطران در عملیات ساخت روسازی مجاز نیست.

۱۴-۲ انواع قیر

قیرهای مصرفی در راه‌سازی عمدتاً دو نوع است. اگر از معدن به‌دست آید قیر طبیعی[7] یا معدنی و هرگاه از پالایش نفت خام حاصل شود قیر نفتی[8] یا پالایشگاهی یا فرآوری شده نام دارد. در راه‌سازی باید از قیرهای نفتی استفاده شود، چنانچه مصرف قیر معدنی در پروژه‌ای مورد نظر باشد، باید نسبت اختلاط قیر نفتی با معدنی و مشخصات قیر معدنی در مشخصات فنی خصوصی پروژه قید شود.

---

1. Binder
2. Carbon tetrachloride
3. Trichloroethylene (TCE)
4. n-Propylebromide (nPB)
5 Safety Data Sheet or Material Safety Data Sheet (MSDS)
6. Tar
7. Natural asphalt
8. Petroleum asphalt

قیرهای فرآوری شده طی فرآیند تقطیر نفت خام در پالایشگاه، واحدهای جانبی و یا کارخانه‌های تولید قیر حاصل می‌شود. تولید قیر با هدف برآوردن مشخصات لازم با توجه به کاربرد مورد نظر است. ویژگی‌های اصلی قیرهای راه‌سازی شامل چسبندگی[1]، مقاومت در برابر آب، رفتار ترموپلاستیک[2]، دوام، قابلیت اصلاح[3] و قابلیت بازیافت[4] است. لازم به ذکر است که انواع مواد قیری مورد استفاده در عملیات راه‌سازی باید توسط واحدهای صنعتی دارای گواهینامه فنی معتبر از مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی تولید شده باشد.

۱٤-۳ قیرهای نفتی

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

۱٤-۳-۱ قیرهای خالص[5]

قیرهایی که مستقیماً در برج تقطیر در خلاء پالایشگاه به‌دست می‌آید و یا مختصری در جریان فرآیند هوادهی قرار می‌گیرد، قیرهای خالص نامیده می‌شود. این قیرها باید همگن و فاقد آب بوده و در دمای ۱۷۶ درجه سلسیوس کف نکند.

قیرهای خالص در دمای بالا و یا تحت بارهای ایستا مانند مایعات کندروان رفتار کرده و در دمای پایین یا تحت بارگذاری سریع مانند مواد جامد کشسان (الاستیک)، رفتار می‌کند.

۱٤-۳-۲ فرآیند تولید قیر

قیر راه‌سازی[6] ، به‌طور متداول، به یکی از سه روش: خروج مستقیم[7] از برج تقطیر[8]، هوادهی[9] (نیمه هوادهی)، و اختلاط قیر نرم و سفت تولید می شود. از این میان روش هوادهی با استفاده از

---

1. Adhesion

۲. ماده ترموپلاستیک یا گرمانرم، با افزایش دما نرم و شکل‌پذیر می‌شود و با افت دما سفت شده و حالت شکل‌پذیری را از دست می‌دهد، و این رفتار با تکرار روند گرمایش و سرمایش تکرار می‌شود.

3. Modifiable
4. Recyclablity
5. Asphalt cement (neat asphalt)
6. Paving grade bitumen
7. Straight-run (SR)
8. Vacuum distillation
9. Air blowing or semi-blowing (SB)

راکتورهای اکسیدایزر[1] روش غالب در واحدهای تولیدی قیر در ایران است. در فرآیند هوادهی، مشخصات مخزن راکتور و ظرفیت آن، نرخ ورود خوراک قیر[2]، فشار و دمای راکتور و نسبت هوا به خوراک (میزان هوادهی) از عوامل کنترلی مهم و تأثیرگذار بر مشخصات محصول نهایی است.

قیرهای خالص در راه‌سازی در کشور به دو روش درجه نفوذ[3] یا عملکردی[4] رده‌بندی می‌شوند که مشخصات آن‌ها به‌ترتیب باید با جدول‌های (۱۴-۱) و (۱۴-۲) مطابقت داشته باشد. مشخصات قیر برای هر پروژه بر حسب این‌که طبق رده‌بندی درجه نفوذ یا عملکردی باشد، باید در مشخصات فنی خصوصی آن قید شود.

۱۴-۳-۳ قیرهای رده‌بندی شده با درجه نفوذ

مشخصات فنی این قیرها در جدول شماره (۱۴-۱) نشان داده شده است. نمونه‌برداری قیر باید بر اساس روش‌های ASTM D140 یا AASHTO T40 انجام گیرد.

1. Oxidizer units or Bitumen blowing unit (BBU)
2. Vacuum bottom (VB)
3. Penteration grade
4. Performance Graded(PG)

جدول ۱۴-۱ مشخصات قیرهای خالص براساس رده‌بندی درجه نفوذ

حالت قیر مورد آزمایش	نوع آزمایش	روش آزمایش	درجه نفوذ (dmm)									
			۵۰-۴۰		۷۰-۶۰		۱۰۰-۸۵		۱۵۰-۱۲۰		۳۰۰-۲۰۰	
		ASTM	حداقل	حداکثر	حداقل	حداکثر	حداقل	حداکثر	حداقل	حداکثر	حداقل	حداکثر
قیر اولیه	درجه نفوذ (dmm)	D5	۴۰	۵۰	۶۰	۷۰	۸۵	۱۰۰	۱۲۰	۱۵۰	۲۰۰	۳۰۰
	درجه اشتعال (°C)	D92	۲۳۰		۲۳۰		۲۳۰		۲۲۰		۱۷۵	
	کشش‌پذیری در ۲۵ درجه سلسیوس (سانتی متر) [1]	D113	۱۰۰		۱۰۰		۱۰۰		۱۰۰		۱۰۰[1]	
	درجه خلوص (٪) (با تری‌کلروراتیلن یا نرمال پروپیل بروماید)	D2042 D7553	۹۹/۰		۹۹/۰		۹۹/۰		۹۹/۰		۹۹/۰	
	نقطه نرمی قیر (درجه سلسیوس)	D36	۴۹		۴۶		۴۲		۳۸		۳۲	
قیر باقی مانده از لعاب نازک	تغییر جرم (٪) (نسبت به قیر اولیه)	D1754		۰/۸		۰/۸		۱		۱/۳		۱/۵
	نسبت درجه نفوذ (٪) (نسبت به درجه نفوذ قیر اولیه)	D5	۵۵+		۵۲+		۴۷+		۴۲+		۳۷+	
	کشش‌پذیری (سانتی‌متر)	D113			۵۰		۷۵		۱۰۰		*۱۰۰	
قیر اولیه	آزمون لکه[2] • آزمون استاندارد با نفتا • حلال نفتا-زایلین • حلال هپتین-زایلین	AASHTO T102	منفی برای همه رده‌ها									

۱- چنانچه مقدار کشش‌پذیری در ۲۵ درجه سلسیوس کمتر از ۱۰۰ سانتی‌متر، ولی در ۱۵ درجه سلسیوس بیشتر از ۱۰۰ سانتی‌متر باشد، قیر قابل قبول است.

۲- در انجام آزمون لکه باید نوع حلال (نفتای استاندارد، نفتا- زایلین، هپتین– زایلین) مشخص گردد. در صورت استفاده از حلال‌های حاوی زایلین، باید درصد زایلین در آن قید شود. با توجه به خطرناک بودن استشمام زایلین، انجام این آزمایش باید با رعایت موازین ایمنی فردی و محیطی و توسط تکنسین مجرب انجام شود.

۱۴-۳-۴ قیرهای رده‌بندی شده براساس عملکرد

الف: کلیات

رده‌بندی عملکردی برای انتخاب قیر مبتنی بر شناخت رفتار قیر و خصوصیات عملکردی آن در مخلوط آسفالتی متراکم در شرایط جاده‌ای است. از این‌رو، رفتار قیر بر اساس سه ویژگی عملکردی مخلوط، با توجه به محدوده آب و هوایی که مخلوط در آنجا خدمت‌دهی می‌کند و محدوده ترافیکی (تعداد محور معادل ۸٫۲ تنی و سرعت بارگذاری سریع، کند یا ایستا ترافیک)، رده‌بندی می‌شود. سه ویژگی عملکردی مهم عبارتند از: مقاومت مخلوط ساخته شده در برابر تغییر شکل در دماهای بالا، ترک‌خوردگی ناشی از خستگی (تکرار بارگذاری) در دماهای میانی و ترک‌خوردگی برودتی (در دماهای پایین). از سوی دیگر برای بررسی عملکرد قیر در شرایط مختلف پیرشدگی (سخت شدگی) دو فرآیند وجود دارد؛ یکی شبیه‌سازی آزمایشگاهی پیرشدگی کوتاه مدت قیر[1] (سخت شدن قیر در دمای بالا هنگام تهیه مخلوط آسفالتی در کارخانه آسفالت، پخش و تراکم) و دیگری پیرشدگی بلند مدت قیر[2] (سخت شدن قیر در اثر مرور زمان در دوره بهره‌برداری). مجموعه آزمایش‌های تعیین شده در (استاندارد) مشخصات قیرهای عملکردی با توجه به نوع عملکرد مورد نظر (مقاومت مخلوط ساخته شده در برابر تغییر شکل، ترک‌خوردگی ناشی از سرما، و ترک‌خوردگی ناشی از خستگی)، مورد ارزیابی قرار گرفته و قیر مناسب با توجه به دمای محل اجرای پروژه، میزان آمد و شد ترافیک سنگین (برحسب معادل بارمحوری ساده ۸٫۲ تنی)، سرعت بارگذاری و موقعیت جغرافیایی انتخاب می‌شود.

ب: تعیین دمای طرح روسازی

رده عملکردی قیر (PG) برای هر پروژه باید توسط مهندس مشاور متناسب با میانگین بیشترین دمای هفت روز متوالی روسازی یا دمای بالای عملکردی روسازی[3] و دمای پایین عملکردی روسازی[4]، سطح سرعت ترافیک عبوری و تعداد عبور بار معادل محور ساده ۸٫۲ تنی در۲۰ سال تعیین و در مشخصات فنی خصوصی پروژه قید شود. به‌عنوان راهنما در این ارتباط می‌توان از نرم‌افزار تدوین شده که در آدرس http://pgi.bhrc.ac.ir ارایه شده است، استفاده کرد.

---

1. Short-term binder aging
2. Long-term binder aging

3. این دما، میانگین بیشترین دمای هفت روز متوالی روسازی است.
4. این دما، پایین‌ترین دمای روسازی است.

حداکثر دمای طرح روسازی در عمق ۲۰ میلی‌متر زیر سطح روسازی آسفالتی و دمای پایین طرح روسازی در سطح روسازی تعیین می‌گردد. رابطه شماره (۱۴-۱) برای تعیین حداکثر دمای طرح روسازی در عمق ۲۰ میلی‌متری ارایه شده است.

$$T_{20mm} = (T_{air} - 0.00618Lat^2 + 0.2289Lat + 42.2)(0.9545) - 17.78 \qquad (۱-۱۴)$$

در این رابطه:

T_{20mm} = دمای بالای عملکردی روسازی در عمق ۲۰ میلی‌متری برحسب درجه سلسیوس

T_{air} = میانگین بیشترین دمای هفت روز متوالی در سال‌های مختلف برحسب درجه سلسیوس

Lat = عرض جغرافیایی محل پروژه بر حسب درجه

دمای پایین عملکردی روسازی در سطح روسازی به عنوان تابعی از کمترین دمای هوا و براساس رابطه شماره (۱۴-۲) تعیین می‌شود:

$$T_{\text{سطح}} = 0.859\ T_{air} + 1.7 \qquad (۲-۱۴)$$

T_{air} = حداقل دمای هوا برحسب درجه سلسیوس

ت: نوع قیر و شرایط ترافیک

شرایط آمد و شد شامل نوع و میزان آمد و شد سنگین، چگونگی بارگذاری (سریع، آهسته یا ایستا) و تعداد کل محورهای هم ارز ۸/۲ تنی آمد و شد در انتخاب نوع قیر در هر پروژه مؤثر هستند. افزایش رده عملکردی قیر براساس میزان ترافیک و سرعت بارگذاری از جدول (۱۴-۲) به‌دست می‌آید. به عنوان مثال اگر برای شرایط عادی (استاندارد)، برای پروژه‌ای قیر PG64-22 لازم باشد، در شرایطی که ایجاب کند دمای بالای عملکردی قیر مصرفی به میزان یک رده افزایش یابد، باید از قیر PG70-22 استفاده شود.

جدول ۱۴-۲ افزایش رده عملکردی قیر به علت ترافیک زیاد یا سرعت بارگذاری کم

تعداد محور هم‌ارز (ESAL) ۸/۲ تنی در طول عمر ۲۰ سال در خط طرح (میلیون)	سرعت متوسط ترافیک		
	ایستا (سرعت کمتر از ۲۰ کیلومتر در ساعت)	**کند (سرعت بین ۲۰ تا ۷۰ کیلومتر در ساعت)**	**استاندارد (سرعت بیش از ۷۰ کیلومتر در ساعت)**
۰/۳>	*		
۰/۳ تا ۳	۲	۱	
۳ تا ۱۰	۲	۱	
۱۰ تا ۳۰	۲	۱	*
≥۳۰	۲	۱	۱

* افزایش دمای بالای عملکردی قیر به میزان یک رده بررسی شود.

ث: رده‌بندی قیرهای عملکردی

قیرهای رده‌بندی شده بر مبنای عملکردی با توجه به میانگین هفت روز متوالی بیشترین دمای روسازی، به هفت رده اصلی PG46، PG52، PG58، PG64، PG70، PG76، PG82 رده‌بندی و هر یک از آن‌ها نیز با توجه به پایین‌ترین دمای روسازی، به گروه‌های فرعی دیگر تقسیم‌بندی می‌شوند. در نهایت، هر نوع قیر با یک عدد مثبت و یک منفی مشخص می‌شود، که عدد مثبت، برابر میانگین هفت روز متوالی بیشترین دمای روسازی و عدد منفی، برابر حداقل دمای روسازی برحسب درجه سلسیوس است. به‌طور مثال، قیر با رده عملکردی PG58-34 تأمین کننده خواص فیزیکی و عملکرد مطلوب با سطح اطمینان مشخص (غالباً ۹۸ درصد)، دمای بالای سطح روسازی تا ۵۸ درجه سلسیوس و دمای پایین تا ۳۴- درجه سلسیوس است.

ج: مشخصات فنی و آزمایش‌های قیر

مشخصات قیرهای رده‌بندی شده براساس عملکرد، نوع آزمایش‌های مربوط و هدف از انجام آن‌ها در جدول (۱۴-۳) ارایه شده است.

جدول ۱۴-۳ مشخصات قیر براساس عملکرد (AASHTO M320)

ردەبندی عملکردی	PG46			PG52					
	۳۴	۴۰	۴۶	۱۰	۱۶	۲۲	۲۸	۳۴	۴۰	۴۶
میانگین ۷ روزه حداکثر دمای طرح روسازی ، (درجه سلسیوس)	< ۴۶			< ۵۲						
حداقل دمای طرح روسازی، (درجه سلسیوس)	>-۳۴	>-۴۰	>-۴۶	>-۱۰	>-۱۶	>-۲۲	>-۲۸	>-۳۴	>-۴۰	>-۴۶
قیر اولیه										
دمای نقطه اشتعال مطابق AASHTO T48، حداقل (درجه سلسیوس)	۲۳۰									
گرانروی چرخشی[1] مطابق AASHTO T316، حداکثر Pa.s ۳، دمای آزمایش (درجه سلسیوس)	۱۳۵									
برش دینامیکی[2] مطابق AASHTO T315، حداقل G*/sinδ برابر ۷۰۰kPa دمای آزمایش در ۱۰ rad/s، (درجه سلسیوس)	۴۶			۵۲						
باقی‌مانده از آزمایش لعاب نازک چرخشی (AASHTO T240)										
تغییر جرم[3]، حداکثر، (٪)	۱/۰۰									
برش دینامیکی[4] مطابق AASHTO T315، حداقل G*/sinδ برابر ۲/۲۰ kPa دمای آزمایش در ۱۰ rad/s(درجه سلسیوس)	۴۶			۵۲						
باقی‌مانده از محفظه تسریع پیری (AASHTO R28)										
دمای پیرشدگی[5]PAV، (درجه سلسیوس)	۹۰ (۱۰۰، ۱۱۰)			۹۰ (۱۰۰، ۱۱۰)						
برش دینامیکی مطابق AASHTO T315، حداکثر G*.sinδ برابر ۶۰۰۰kPa، و حداقل زاویه δ برابر ۴۲ درجه[6]، دمای آزمایش در ۱۰ rad/s، (درجه سلسیوس)	۱۰	۷	۴	۲۵	۲۲	۱۹	۱۶	۱۳	۱۰	۷
سختی خزشی[7] مطابق AASHTO T313 ، حداکثر مقدار S برابر ۳۰۰ MPa حداقل مقدار m برابر ۰/۳۰۰، دمای آزمایش (درجه سلسیوس)	-۲۴	-۳۰	-۳۶	۰	-۶	-۱۲	-۱۸	-۲۴	-۳۰	-۳۶
کشش مستقیم[7] مطابق AASHTO T314، حداقل کرنش شکست برابر ۱/۰ درصد (۱/۰ mm/ min)، دمای آزمایش (درجه سلسیوس)	-۲۴	-۳۰	-۳۶	۰	-۶	-۱۲	-۱۸	-۲۴	-۳۰	-۳۶

ادامه جدول ۱۴-۳ مشخصات قیر براساس عملکرد (AASHTO M320)

ردەبندی عملکردی	PG58					PG64				
	۱۶	۲۲	۲۸	۳۴	۴۰	۱۰	۱۶	۲۲	۲۸	۳۴	۴۰
میانگین ۷ روزه حداکثر دمای طرح روسازی، (درجه سلسیوس)	< ۵۸					< ۶۴					
حداقل دمای طرح روسازی، (درجه سلسیوس)	>-۱۶	>-۲۲	>-۲۸	>-۳۴	>-۴۰	>-۱۰	>-۱۶	>-۲۲	>-۲۸	>-۳۴	>-۴۰
قیر اولیه											
دمای نقطه اشتعال مطابق AASHTO T48، حداقل (درجه سلسیوس)	۲۳۰										
گرانروی چرخشی[1] مطابق AASHTO T316، حداکثر Pa.s ۳، دمای آزمایش (درجه سلسیوس)	۱۳۵										
برش دینامیکی[2] مطابق AASHTO T315، حداقل G*/sinδ برابر ۷۰۰kPa دمای آزمایش در ۱۰ rad/s، (درجه سلسیوس)	۵۸					۶۴					
باقی‌مانده از آزمایش لعاب نازک چرخشی (AASHTO T240)											
تغییر جرم[3]، حداکثر، (٪)	۱/۰۰										
برش دینامیکی[4] مطابق AASHTO T315، حداقل G*/sinδ برابر ۲/۲۰ kPa دمای آزمایش در ۱۰ rad/s(درجه سلسیوس)	۵۸					۶۴					
باقی‌مانده از محفظه تسریع پیری (AASHTO R28)											
دمای پیرشدگی[5] PAV، (درجه سلسیوس)	۱۰۰ (۱۱۰)					۱۰۰ (۱۱۰)					
برش دینامیکی مطابق AASHTO T315، حداکثر G*.sinδ برابر ۶۰۰۰kPa، و حداقل زاویه δ برابر ۴۲ درجه[6]، دمای آزمایش در ۱۰ rad/s، (درجه سلسیوس)	۲۵	۲۲	۱۹	۱۶	۱۳	۳۱	۲۸	۲۵	۲۲	۱۹	۱۶
سختی خزشی[7] مطابق AASHTO T313 ، حداکثر مقدار S برابر ۳۰۰ MPa حداقل مقدار m برابر ۰/۳۰۰، دمای آزمایش (درجه سلسیوس)	-۶	-۱۲	-۱۸	-۲۴	-۳۰	۰	-۶	-۱۲	-۱۸	-۲۴	-۳۰
کشش مستقیم[7] مطابق AASHTO T314، حداقل کرنش شکست برابر ۱/۰ درصد (۱/۰ mm/ min)، دمای آزمایش (درجه سلسیوس)	-۶	-۱۲	-۱۸	-۲۴	-۳۰	۰	-۶	-۱۲	-۱۸	-۲۴	-۳۰

ادامه جدول ۱٤-۳- مشخصات قیر براساس عملکرد (AASHTO M320)

ردەبندی عملکردی	PG70						PG76				
	۱۰	۱۶	۲۲	۲۸	۳۴	۴۰	۱۰	۱۶	۲۲	۲۸	۳۴
میانگین ۷ روزه حداکثر دمای طرح روسازی، (درجه سلسیوس)	< ۷۰						< ۷۶				
حداقل دمای طرح روسازی، (درجه سلسیوس)	>-۱۰	>-۱۶	>-۲۲	>-۲۸	>-۳۴	>-۴۰	>-۱۰	>-۱۶	>-۲۲	>-۲۸	>-۳۴
قیر اولیه											
دمای نقطه اشتعال مطابق AASHTO T48، حداقل (درجه سلسیوس)	۲۳۰										
گرانروی چرخشی[1] مطابق AASHTO T316، حداکثر Pa.s ۳، دمای آزمایش (درجه سلسیوس)	۱۳۵										
برش دینامیکی[2] مطابق AASHTO T315، حداقل G*/sinδ برابر ۷۰۰kPa دمای آزمایش در ۱۰ rad/s، (درجه سلسیوس)	۷۰						۷۶				
باقی‌مانده از آزمایش لعاب نازک چرخشی (AASHTO T240)											
تغییر جرم[3]، حداکثر، (٪)	۱/۰۰										
برش دینامیکی[4] مطابق AASHTO T315، حداقل G*/sinδ برابر ۲/۲۰ kPa دمای آزمایش در ۱۰ rad/s(درجه سلسیوس)	۷۰						۷۶				
باقی‌مانده از محفظه تسریع پیری (AASHTO R28)											
دمای پیرشدگی[5]PAV، (درجه سلسیوس)	۱۰۰ (۱۱۰)						۱۰۰ (۱۱۰)				
برش دینامیکی مطابق AASHTO T315، حداکثر G*.sinδ برابر ۶۰۰۰kPa[6]، و حداقل زاویه δ برابر ۴۲ درجه[6]، دمای آزمایش در ۱۰ rad/s، (درجه سلسیوس)	34	31	28	25	22	19	37	34	31	28	28
سختی خزشی[7] مطابق AASHTO T313 ، حداکثر مقدار S برابر ۳۰۰ MPa حداقل مقدار m برابر ۰/۳۰۰، دمای آزمایش (درجه سلسیوس)	0	-6	-12	-18	-24	-30		0	-6	-12	-18
کشش مستقیم[7] مطابق AASHTO T314، حداقل کرنش شکست برابر ۱/۰ درصد (۱/۰ mm/ min)، دمای آزمایش (درجه سلسیوس)	0	-6	-12	-18	-24	-30		0	-6	-12	-18

ادامه جدول ۱۴-۳ مشخصات قیر براساس عملکرد (AASHTO M320)

ردەبندی عملکردی	PG82				
	۱۰	۱۶	۲۲	۲۸	۳۴
میانگین ۷ روزه حداکثر دمای طرح روسازی[1]، (°C)	< ۸۲				
حداقل دمای طرح روسازی، (°C)	>-۱۰	>-۱۶	>-۲۲	>-۲۸	>-۳۴
قیر اولیه					
دمای نقطه اشتعال مطابق AASHTO T48، حداقل، (درجه سلسیوس)	۲۳۰				
گرانروی چرخشی[1] مطابق AASHTO T316، حداکثر Pa.s ۳، دمای آزمایش (درجه سلسیوس)	۱۳۵				
برش دینامیکی[2] مطابق AASHTO T315، حداقل G*/sinδ برابر ۱/۰۰kPa دمای آزمایش در ۱۰ rad/s، (درجه سلسیوس)	۸۲				
باقی‌مانده از آزمایش لعاب نازک چرخشی (AASHTO T240)					
تغییر جرم[3]، حداکثر، (٪)	۱/۰۰				
برش دینامیکی[4] مطابق AASHTO T315، حداقل G*/sinδ برابر ۲/۲۰ kPa، دمای آزمایش در ۱۰ rad/s (درجه سلسیوس)	۸۲				
باقی‌مانده از محفظه تسریع پیری (AASHTO R28)					
دمای پیرشدگی[5] PAV، (درجه سلسیوس)	۱۱۰ (۱۰۰)				
برش دینامیکی مطابق AASHTO T315، حداکثر G*.sinδ برابر ۶۰۰۰kPa، و حداقل زاویه δ برابر ۴۲ درجه[6]، دمای آزمایش در ۱۰ rad/s، (درجه سلسیوس)	۴۰	۳۷	۳۴	۳۱	۲۸
سختی خزشی[7] مطابق AASHTO T313، حداکثر مقدار S برابر ۳۰۰ MPa حداقل مقدار m برابر ۰/۳۰۰، دمای آزمایش (درجه سلسیوس)	۰	-۶	-۱۲	-۱۸	-۲۴
کشش مستقیم[7] مطابق AASHTO T314، حداقل کرنش شکست برابر ۱/۰ درصد (۱/۰ mm/ min)، دمای آزمایش (درجه سلسیوس)	۰	-۶	-۱۲	-۱۸	-۲۴

۱- اگر تأمین‌کننده تضمین کند که قیر قابلیت پمپ شدن و اختلاط در دماهای منطبق با استانداردهای ایمنی را دارد، در این صورت عدم رعایت این معیار در آیین‌نامه مشخصات قابل چشم‌پوشی است.

۲- براساس AASHTO M320 برای کنترل کیفیت قیر اصلاح نشده می‌توان اندازه‌گیری گرانروی قیر اصلی را جایگزین اندازه‌گیری برش دینامیکی G*/sinδ نمود، به‌شرط آن‌که قیر در دمای آزمایش، حالت سیال نیوتنی داشته باشد.

۳- تغییر جرم قیر باید کمتر از ۱/۰۰ درصد برای تغییرات مثبت (افزایش جرم) یا تغییرات منفی (کاهش جرم) باشد.

۴- پارامتر G*/sinδ سختی قیر در دمای بالا و G*.sinδ سختی قیر در دمای میانی (متوسط) است.

۵- دمای پیرشدگی با دستگاه PAV بر مبنای شرایط آب و هوایی شبیه‌سازی شده است، که شامل یکی از سه دمای ۹۰، ۱۰۰ و ۱۱۰ درجه سلسیوس است. برای قیرهای با رده PG58-xx و بالاتر، دمای پیرشدگی PAV ۱۰۰ درجه سلسیوس است؛ ولی در شرایط آب و هوای بیابانی، برای قیرهای با رده PG76-xx و بالاتر، دمای پیرشدگی PAV ممکن است برابر ۱۱۰ درجه سلسیوس انتخاب گردد.

۶- اگر مقدار سختی دمای میانی، G*.sinδ، کمتر از ۵۰۰۰ kPa باشد، رعایت حداقل زاویه تأخیر فاز (δ) برابر ۴۲ درجه الزامی نیست. تنها اگر مقدار سختی دمای میانی، G*.sinδ، بین ۵۰۰۰ kPa تا ۶۰۰۰ kPa باشد، رعایت حداقل زاویه تأخیر فاز (δ) برابر ۴۲ درجه الزامی است.

۷- اگر سختی خزشی کمتر از ۳۰۰ مگاپاسکال باشد، آزمایش کشش مستقیم مورد نیاز نیست، ولی اگر سختی خزشی بین ۳۰۰ تا ۶۰۰ مگاپاسکال باشد، در تعیین رده دمای پایین عملکردی آن قیر، آزمایش کشش مستقیم مورد استفاده قرار می‌گیرد. در هر دو حالت الزام m باید برآورده شود.

۱۴-۳-۵ قیرهای محلول[1]

قیرهای موسوم به قیر محلول، نوعی قیر مایع بوده که از رقیق کردن قیرهای خالص با مواد نفتی به دست می‌آید. نوع و کیفیت قیرهای محلول به کیفیت قیرهای خالص پایه، نوع و مقدار روان‌کننده (رقیق‌کننده) نفتی بستگی دارد. هر اندازه مقدار این مواد در قیر محلول زیادتر باشد، روانی آن بیشتر است. معمولاً مقدار این مواد در قیرهای محلول، از ۲۰٪ تا ۵۰٪ تغییر می‌کند. در چند دهه اخیر، به‌دلیل ایجاد آلودگی زیست‌محیطی، کاربردهای قیرهای محلول در جهان روند کاهشی داشته و با قیرآبه جایگزین شده است. در ایران نیز سیاست کلی مبنی بر عدم استفاده از آن است. قیرهای محلول بر حسب سرعت گیرش (عمل‌آوری) و نوع روان‌کننده به سه گروه زیر تقسیم می‌شوند.

۱۴-۳-۵-۱ قیرهای محلول زودگیر (RC)[2]

اگر از هیدروکربن‌های سبک مانند بنزین و نفتا برای رقیق کردن قیر خالص استفاده شود قیر محلول را زودگیر می‌نامند. زیرا بنزین موجود در قیر در مدت کمی بعد از مصرف قیر محلول تبخیر شده و قیر اصلی بر جای می‌ماند. قیرهای زودگیر بر حسب گرانروی، در چهار رده RC-۷۰، RC-۲۵۰، RC-۸۰۰ و RC-۳۰۰۰ قرار می‌گیرند که اعداد پسوند معرف گرانروی قیر، بر حسب سانتی‌استوکس است. مشخصات قیرهای زودگیر برای مصرف در راه‌سازی باید با جدول (۱۴-۴) انطباق داشته باشند.

۱۴-۳-۵-۲ قیرهای محلول کندگیر (MC)[3]

قیرهای کندگیر از رقیق کردن قیر خالص با هیدروکربن‌های متوسط مانند نفت سفید تهیه می‌شود که سرعت تبخیر نفت از بنزین، کندتر و عمل‌آوری آن نیازمند زمان طولانی‌تری است. قیرهای کندگیر در پنج رده قرار می‌گیرند که در دمای ۶۰ درجه سلسیوس گرانروی آنها از حداقل ۳۰ تا حداکثر ۶۰۰۰ سانتی‌استوکس تغییر می‌کند. مشخصات قیرهای کندگیر باید با مندرجات جدول (۱۴-۵) مطابقت داشته باشد.

1. Cutback asphalt
2. Rapid Curing
3. Medium Curing

۱۴-۳-۵-۳ قیرهای محلول دیرگیر (SC)[1]

قیرهای محلول دیرگیر را، علاوه بر رقیق کردن قیر خالص با هیدروکربن‌های سنگین مانند گازوئیل یا نفت سیاه، می‌توان مانند قیرهای خالص، مستقیماً از تقطیر نفت خام به‌دست آورد. در حالت اخیر، هنوز روغن‌های سبک (رقیق‌کننده) از آن جدا نشده است. گیرش کامل این قیرها بعد از اجرا مدت زمان زیادی به‌طول می‌انجامد. در واقع قیرهای دیرگیر در شرایط آب و هوای عادی تبخیر نمی‌شوند، بلکه تغییر شکل مولکولی در آن‌ها به‌وجود می‌آید که نسبتاً تدریجی و طولانی است. مشخصات قیرهای دیرگیر باید با جدول (۶-۱۴) مطابقت داشته باشد.

1. Slow Curing

جدول ۱۴-۴ مشخصات قیرهای محلول زودگیر AASHTO M81

آزمایش		روش آزمایش	رده قیر زودگیر							
		AASHTO	RC-۷۰		RC-۲۵۰		RC-۸۰۰		RC-۳۰۰۰	
			حداقل	حداکثر	حداقل	حداکثر	حداقل	حداکثر	حداقل	حداکثر
گرانروی کینماتیک[1] در ۶۰ درجه سلسیوس، سانتی‌استوکس (mm^2/s)		T201	۷۰	۱۴۰	۲۵۰	۵۰۰	۸۰۰	۱۶۰۰	۳۰۰۰	۶۰۰۰
نقطه اشتعال (ظرف روباز)(درجه سلسیوس)		T79	--	--	۲۷	--	۲۷	-	۲۷	--
مقدار آب (٪)		ASTM D95	--	۰/۲	--	۰/۲	--	۰/۲	--	۰/۲
درصد حجم مایع حاصل از تقطیر در دمای قید شده به حجم تقطیر در دمای ۳۶۰ درجه سلسیوس	۱۹۰(درجه سلسیوس)	T78	۱۰	--	--	--	--	--	--	--
	۲۲۵ (درجه سلسیوس)		۵۰	--	۳۵	--	۱۵	--	--	--
	۲۶۰(درجه سلسیوس)		۷۰	--	۶۰	--	۴۵	--	۲۵	--
	۳۱۵(درجه سلسیوس)		۸۵	--	۸۰	--	۷۵	--	۷۰	--
درصد حجمی قیر باقی‌مانده ازتقطیر در دمای ۳۶۰ درجه سلسیوس			۵۵	--	۶۵	--	۷۵	--	۸۰	--
آزمایش روی قیر باقی‌مانده از تقطیر	گرانروی مطلق برحسب (Pa.s) در ۶۰ درجه سلسیوس	T202	۶۰	۲۴۰	۶۰	۲۴۰	۶۰	۲۴۰	۶۰	۲۴۰
	کشش‌پذیری (سانتی‌متر) در ۲۵ [3] درجه سلسیوس	T51	۱۰۰	--	۱۰۰	--	۱۰۰	--	۱۰۰	--
	حلالیت در تری‌کلرو اتیلن (٪)	T44	۹۹/۰	--	۹۹/۰	--	۹۹/۰	--	۹۹/۰	--
آزمون لکه [4] • آزمون استاندارد با نفتا • حلال نفتا- زایلین، درصد، زایلین • حلال هپتین- زایلین، درصد، زایلین		T102	منفی برای همه رده‌ها منفی برای همه رده‌ها منفی برای همه رده‌ها							

توضیح: نمونه‌گیری قیر با روش AASHTO R66 انجام می‌شود.

[1] بجای گرانروی کینماتیک، می‌توان از گرانروی سیبولت-فیورل به شرح زیر استفاده کرد:

گرانروی سی‌بولت فیورل در دمای ۵۰ درجه سلسیوس برای رده RC-70 برابر با ۶۰ تا ۱۲۰ ثانیه

گرانروی سی‌بولت فیورل در دمای ۶۰ درجه سلسیوس برای رده RC-250 برابر با ۱۲۵ تا ۲۵۰ ثانیه

گرانروی سی‌بولت فیورل در دمای ۸۲/۲ درجه سلسیوس برای رده RC-800 برابر با ۱۰۰ تا ۲۰۰ ثانیه

گرانروی سی‌بولت فیورل در دمای ۸۲/۲ درجه سلسیوس برای رده RC-3000 برابر با ۳۰۰ تا ۶۰۰ ثانیه

[2] بجای آزمایش گرانروی قیر باقی‌مانده، می‌توان از آزمایش درجه نفوذ قیر باقی‌مانده که برای کلیه قیرهای زودگیر باید حداقل ۸۰ و حداکثر ۱۲۰ باشد، استفاده کرد. انجام هر دو آزمایش در هیچ شرایطی ضرورت ندارد.

[3] اگر کشش‌پذیری در ۲۵ درجه سلسیوس کمتر از ۱۰۰ سانتی‌متر باشد، در صورتی‌که کشش‌پذیری در ۱۵ درجه سلسیوس بیشتر از ۱۰۰ سانتی‌متر باشد، قیر قابل قبول است.

[4] انجام آزمون لکه باید نوع حلال (نفتای استاندارد، نفتا- زایلین، هپتین- زایلین) مشخص گردد. در صورت استفاده از حلال‌های حاوی زایلین، باید درصد زایلین در آن قید شود. با توجه به خطرناک بودن استشمام زایلین، انجام این آزمایش باید با رعایت موازین ایمنی فردی و محیطی و توسط تکنسینِ مجرب انجام شود.

جدول ۱۴-۵ مشخصات قیرهای محلول کندگیر AASHTO M82

آزمایش		روش آزمایش	رده قیر کندگیر											
		AASHTO	MC-۳۰		MC-۷۰		MC-۲۵۰		MC-۸۰۰		MC-۳۰۰۰			
			حداقل	حداکثر	حداقل	حداکثر	حداقل	حداکثر	حداقل	حداکثر	حداقل	حداکثر		
گرانروی کینماتیک[1] در ۶۰ درجه سلسیوس، سانتی‌استوکس (mm^2/s)		T201	۳۰	۶۰	۷۰	۱۴۰	۲۵۰	۵۰۰	۸۰۰	۱۶۰۰	۳۰۰۰	۶۰۰۰		
نقطه اشتعال (ظرف روباز) (درجه سلسیوس)		T79	۳۸	--	۳۸	--	۶۶	--	۶۶	--	۶۶	--		
مقدارآب (٪)		ASTM D95	--	۰/۲	--	۰/۲	--	۰/۲	--	۰/۲	--	۰/۲		
درصد حجم مایع حاصل از تقطیر در دمای قید شده به حجم تقطیر در دمای ۳۶۰ درجه سلسیوس	۲۲۵ (درجه سلسیوس)	T78	--	۲۵	۰	۲۰	۰	۱۰	--	--	--	--		
	۲۶۰ (درجه سلسیوس)		۴۰	۷۰	۲۰	۶۰	۱۵	۵۵	۰	۳۵	۰	۱۵		
	۳۱۵ (درجه سلسیوس)		۷۵	۹۳	۶۵	۹۰	۶۰	۸۷	۴۵	۸۰	۱۵	۷۵		
درصد حجمی قیر باقی‌مانده از تقطیر در دمای $۳۶۰^{\circ}C$			۵۰	--	۵۵	--	۶۷	--	۷۵	--	۸۰	--		
آزمایش روی قیر باقی‌مانده از تقطیر	گرانروی برحسب (Pa.s) در ۶۰[2] درجه سلسیوس	T202	۳۰	۱۲۰	۳۰	۱۲۰	۳۰	۱۲۰	۳۰	۱۲۰	۳۰	۱۲۰		
	کشش‌پذیری (cm)[†]	T51	۱۰۰	--	۱۰۰	--	۱۰۰	--	۱۰۰	--	۱۰۰	--		
	حلالیت در تری‌کلرو اتیلن (٪)	T44	۹۹/۰	--	۹۹/۰	--	۹۹/۰	--	۹۹/۰	--	۹۹/۰	--		
آزمون لکه[3]: • آزمون استاندارد با نفتا • حلال نفتا- زایلین، درصد، زایلین • حلال هپتین- زایلین، درصد، زایلین		T102	منفی برای همه رده‌ها منفی برای همه رده‌ها منفی برای همه رده‌ها											

توضیح: نمونه‌گیری قیر با روش AASHTO R66 انجام می‌شود.

[1] بجای گرانروی کینماتیک، می‌توان از گرانروی سیبولت-فیورل به شرح زیر استفاده کرد:

گرانروی سی‌بولت فیورل در دمای ۲۵ درجه سلسیوس برای رده MC-30 برابر با ۷۵ تا ۱۵۰ ثانیه

گرانروی سی‌بولت فیورل در دمای ۵۰ درجه سلسیوس برای رده MC-70 برابر با ۶۰ تا ۱۲۰ ثانیه

گرانروی سی‌بولت فیورل در دمای ۶۰ درجه سلسیوس برای رده MC-250 برابر با ۱۲۵ تا ۲۵۰ ثانیه

گرانروی سی‌بولت فیورل در دمای ۸۲/۲ درجه سلسیوس برای رده MC-800 برابر با ۱۰۰ تا ۲۰۰ ثانیه

گرانروی سی‌بولت فیورل در دمای ۸۲/۲ درجه سلسیوس برای رده MC-3000 برابر با ۳۰۰ تا ۶۰۰ ثانیه

[2] بجای آزمایش گرانروی قیر باقی‌مانده، می‌توان از آزمایش درجه نفوذ قیر باقی‌مانده که برای کلیه قیرهای کندگیر باید حداقل ۱۲۰ و حداکثر ۲۵۰ باشد، استفاده کرد. انجام هر دو آزمایش در هیچ شرایطی ضرورت ندارد.

[3] اگر کشش‌پذیری در ۲۵ درجه سلسیوس کمتر از ۱۰۰ سانتی‌متر باشد، در صورتی‌که کشش‌پذیری در ۱۵ درجه سلسیوس بیشتر از ۱۰۰ سانتی‌متر باشد، قیر قابل قبول است.

** انجام آزمون لکه باید نوع حلال (نفتای استاندارد، نفتا- زایلین، هپتین- زایلین) مشخص گردد. در صورت استفاده از حلال‌های حاوی زایلین، باید درصد زایلین در آن قید شود. با توجه به خطرناک بودن استشمام زایلین، انجام این آزمایش باید با رعایت موازین ایمنی فردی و محیطی و توسط تکنسینِ مجرب انجام شود.

جدول ۱۴-۶ مشخصات قیرهای محلول دیرگیر ASTM D2026

آزمایش	روش آزمایش	رده قیر دیرگیر							
	ASTM	SC-۷۰		SC-۲۵۰		SC-۸۰۰		SC-۳۰۰۰	
		حداقل	حداکثر	حداقل	حداکثر	حداقل	حداکثر	حداقل	حداکثر
گرانروی کینماتیک در ۶۰ (درجه سلسیوس)، سانتی‌استوکس (mm^2/s)	D2170	۷۰	۱۴۰	۲۵۰	۵۰۰	۸۰۰	۱۶۰۰	۳۰۰۰	۶۰۰۰
نقطه اشتعال (ظرف روباز) (درجه سلسیوس)	D92	۶۶	--	۷۹	--	۹۳	--	۱۰۷	--
مقدار آب (٪)	D95	--	۰/۵	--	۰/۵	--	۰/۵	--	۰/۵
درصد حجمی مایع حاصل از تقطیر در دمای ۳۶۰ (درجه سلسیوس)	D402	۱۰	۳۰	۴	۲۰	۲	۱۲	--	۵
گرانروی کینماتیک قیر باقی‌مانده از تقطیر در ۶۰ (درجه سلسیوس)mm^2/s	D2170	۴۰۰	۷۰۰۰	۸۰۰	۱۰۰۰۰	۲۰۰۰	۱۶۰۰۰	۴۰۰۰	۳۵۰۰۰
درصد قیر باقی‌مانده در تقطیر با درجه نفوذ ۱۰۰	D243	۵۰	--	۶۰	--	۷۰	--	۸۰	--
کشش‌پذیری قیر باقی‌مانده از تقطیر با درجه نفوذ ۱۰۰ در ۲۵ درجه سلسیوس[1]	D113	۱۰۰	--	۱۰۰	--	۱۰۰	--	۱۰۰	--
حلالیت (٪) (در تری‌کلرو اتیلن، یا پروپیل بروماید نرمال)	D2042/D7553	۹۹/۰	--	۹۹/۰	--	۹۹/۰	--	۹۹/۰	--

توضیح: نمونه‌گیری قیر با روش ASTM D140 انجام می‌شود.

[1] اگر کشش‌پذیری در ۲۵ درجه سلسیوس کمتر از ۱۰۰ سانتی‌متر باشد، در صورتی‌که کشش‌پذیری در ۱۵ درجه سلسیوس بیشتر از ۱۰۰ سانتی‌متر باشد، قیر قابل قبول است.

۱۴-۳-۶ قیرآبه‌ها (امولسیون‌های قیر)[1]

به‌طور کلی، قیرآبه‌ها از مخلوط کردن قیر و آب با یک ماده قیرآبه‌ساز[2] به دست می‌آید. در این مخلوط، ذرات قیر با ابعاد از یک تا ۱۰ میکرون، در آب شناور است. آب، فاز پیوسته و قیر، فاز معلق و ناپیوسته این مخلوط را تشکیل می‌دهد. قیرآبه‌سازها سبب ایجاد بار الکتریکی مثبت یا منفی در سطح ذرات قیر می‌شوند. نیروی دافعه ناشی از این بار مانع به هم پیوستن ذرات قیر در قیرآبه می‌شود. قیرآبه‌ها بر اساس بار ذره‌ای ایجاد شده در سطح ذرات شناور قیر، به دو گروه اصلی آنیونیک و کاتیونیک و زیرگروه‌های فرعی دیگر تقسیم می‌شوند.

۱۴-۳-۶-۱ قیرآبه‌های آنیونیک[3]

با استفاده از قیرآبه‌سازهایی از نوع املاح قلیایی اسیدهای آلی، سطح ذرات قیر، دارای بار منفی می‌شود. این قیرآبه‌ها را آنیونیک می‌نامند که مطابق استانداردهای ASTM D977 و AASHTO M140 خود بر اساس سرعت شکستن به ۴ نوع سریع‌شکن، زودشکن، کندشکن و دیرشکن تقسیم می‌شود. جدول (۱۴-۷) رده‌های مختلف قیرآبه‌های آنیونیک موجود مطابق استاندارد ASTM را نشان می‌دهد. پیشوندها و پسوندهای ذکرشده در این جدول دارای معانی زیر است:

الف: پیشوند HF[4] معرف ایجاد پوشش قیر با ضخامت بیشتر روی سنگدانه‌هاست.

ب: پسوندهای ۱ و ۲ به ترتیب معرف درصد قیر خالص کمتر و بیشتر در قیرآبه است.

پ: پسوند h معرف کاربرد قیرخالص سفت‌تر (درجه نفوذ کمتر) در قیرآبه است.

ت: پسوند s نشانه کاربرد قیر خالص نرم‌تر در قیرآبه است.

ث: QS -۱h ویژه مصرف در دوغاب قیری (اسلاری سیل) منطبق با مشخصات ASTM D3910 است.

مشخصات قیرآبه‌های آنیونیک مصرفی در راه‌سازی، باید با جدول (۱۴-۷) مطابقت داشته باشد.

1.Emulsified asphalt
2.Emulsifier
3. Anionic emulsions
4. High Float

جدول ۱۴-۷ مشخصات قیرآبه‌های آنیونیک ASTM D977

آزمایش*		سریع‌شکن		زودشکن						کندشکن												دیرشکن			
		QS-۱h		RS-۱		RS-۲		HFRS-۲		MS-۱		MS-۲		MS-۲h		HFMS-۱		HFMS-۲		HFMS-۲h		HFMS-۲s		SS-۱		SS-۱h	
		حداقل	حداکثر	حداقل	حداکثر	حداقل	حداکثر	حداقل	حداکثر	حداقل	حداکثر	حداقل	حداکثر	حداقل	حداکثر	حداقل	حداکثر	حداقل	حداکثر	حداقل	حداکثر	حداقل	حداکثر	حداقل	حداکثر	حداقل	حداکثر
کندروانی سی بولت فورل در $25\ ^{\circ}C$ (ثانیه)		۲۰	۱۰۰	۲۰	۱۰۰	–	–	–	–	۲۰	۱۰۰	۱۰۰	–	۱۰۰	–	۲۰	۱۰۰	۱۰۰	–	۱۰۰	–	۵۰	–	۲۰	۱۰۰	۲۰	۱۰۰
کندروانی سی بولت فورل در $50\ ^{\circ}C$ (ثانیه)		–	–	–	–	۷۵	۴۰۰	۷۵	۴۰۰	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
پایداری در ذخیره‌سازی بعد از ۲۴ ساعت نگهداری در انبار† ٪		–	–	–	۱	–	۱	–	۱	–	۱	–	۱	–	۱	–	۱	–	۱	–	۱	–	۱	–	۱	–	۱
سرعت شکست با کلرور کلسیم (٪)		–	–	۶۰	–	۶۰	–	۶۰	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
قابلیت	اندود سنگدانه‌های خشک	–		–		–		–		خوب		خوب		خوب		خوب		خوب		خوب		خوب		–		–	
مقاومت اندود قیری در برابر آب	اندود سنگدانه‌های خشک بعد از پاشش آب	–		–		–		–		متوسط		متوسط		متوسط		متوسط		متوسط		متوسط		متوسط		–		–	
	اندود سنگدانه‌های مرطوب	–		–		–		–		متوسط		متوسط		متوسط		متوسط		متوسط		متوسط		متوسط		–		–	
	اندود سنگدانه‌های مرطوب بعد از پاشش آب	–		–		–		–		متوسط		متوسط		متوسط		متوسط		متوسط		متوسط		متوسط		–		–	
درصد قیر شکسته شده در آزمایش اختلاط با سیمان		–	N/A	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	۲	–	۲
درصد دانه‌های درشت قیر در آزمایش دانه‌بندی† (٪)		–	۰/۱	–	۰/۱	–	۰/۱	–	۰/۱	–	۰/۱	–	۰/۱	–	۰/۱	–	۰/۱	–	۰/۱	–	۰/۱	–	۰/۱	–	۰/۱	–	۰/۱
قیر باقیمانده در آزمایش تقطیر (٪)		۵۷	–	۵۵	–	۶۳	–	۶۳	–	۵۵	–	۶۵	–	۶۵	–	۵۵	–	۶۵	–	۶۵	–	۶۵	–	۵۷	–	۵۷	–
مقدار روغن نسبت به حجم امولسیون در آزمایش تقطیر (٪)		–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	۱	۷	–	–	–	–
آزمایش روی قیر باقیمانده از تقطیر	درجه نفوذ (یک دهم میلی‌متر)	۴۰	۹۰	۱۰۰	۲۰۰	۱۰۰	۲۰۰	۱۰۰	۲۰۰	۱۰۰	۲۰۰	۱۰۰	۲۰۰	۴۰	۹۰	۱۰۰	۲۰۰	۱۰۰	۲۰۰	۴۰	۹۰	۲۰۰	–	۱۰۰	۲۰۰	۴۰	۹۰
	خاصیت انگمی (سانتی‌متر)	۴۰	–	۴۰	–	۴۰	–	۴۰	–	۴۰	–	۴۰	–	۴۰	–	۴۰	–	۴۰	–	۴۰	–	۴۰	–	۴۰	–	۴۰	–
	حلالیت در تری‌کلرور اتیلن (٪)	۹۷/۵	–	۹۷/۵	–	۹۷/۵	–	۹۷/۵	–	۹۷/۵	–	۹۷/۵	–	۹۷/۵	–	۹۷/۵	–	۹۷/۵	–	۹۷/۵	–	۹۷/۵	–	۹۷/۵	–	۹۷/۵	–
	آزمایش پیاله شناور ‡ (ثانیه)	–	–	–	–	–	–	۱۲۰۰	–	–	–	–	–	–	–	–	–	۱۲۰۰	–	۱۲۰۰	–	۱۲۰۰	–	–	–	–	–

* نمونه‌گیری‌ها نیز با روش ASTM D140 انجام می‌شود. کلیات آزمایش‌های مورد نیاز برای قیرآبه‌ها مطابق با ASTM D244 انجام می‌گیرد . استاندارد مربوط به نحوه انجام هر آزمایش با شماره ردیف در ادامه پاورقی آمده است.

[۱] – D7496 ، [۲] – D7226 ، [۳] – D6930 ، [۴] – D6936 ، [۵] – D6998 ، [۶] – D6935 ، [۷] – D6933 ، [۸] – D6934 ، [۹] – D6997 ،

[۱۰] – D5 ، [۱۱] – D113 ، [۱۲] – D2042 یا D7553 ، [۱۳] – D139 ، [۱۴] – D8078 .

** انجام یکی از دو روش سنجش گرانروی قیرآبه‌ها در دماهای قید شده کافی است.

† در صورتی که نتایج استفاده از قیرآبه مورد آزمایش در عملیات اجرایی قابل قبول باشد ضرورت انجام آزمایش دانه‌بندی مرتفع می‌شود.

۱۴-۳-۶-۲ قیرآبه‌های کاتیونیک[1]

با استفاده از قیرآبه‌سازهای حاوی ترکیبات آلی، مانند نمک‌های آمونیوم و یا آمین‌ها، سطح دانه‌های قیر دارای بار مثبت می‌شود. این قیرآبه‌ها را قیرآبه‌های کاتیونیک می‌نامند. قیرآبه‌های کاتیونیک بر اساس سرعت شکستن به چهار نوع سریع‌شکن، زودشکن، کندشکن و دیرشکن تقسیم می‌شود. پیشوند C نشانه قیرآبه کاتیونیک است و معانی پسوندها مشابه قیرآبه‌های آنیونیک است. مشخصات قیرآبه‌های کاتیونیک باید بر اساس استاندارد ASTM D2397 با مندرجات جدول (۱۴-۸) انطباق داشته باشد.

۱۴-۳-۶-۳ قیرآبه‌های اصلاح‌شده با پلیمر

این قیرآبه‌ها با مصرف پلیمرهای جامد[2] یا مایع[3] تولید می‌شود. نظر به تغییر و تحول نسبتاً سریع در این زمینه، استناد به آخرین نسخه استاندارد AASHTO M316 ضروری است. در حال حاضر، مشخصات ۱۱ رده از انواع قیرآبه‌های پلیمری در استاندارد AASHTO M316 وجود دارد. قیرآبه‌های پلیمری با پسوند P پس از حروف اختصاری نام‌گذاری قیرآبه‌ها مشخص می‌شوند. از این میان، چهار رده برای قیرآبه پلیمری کاتیونیک از نوع CRS، و دو رده برای آنیونیک از نوع MS است که عمدتاً برای کاربرد چیپ‌سیل استفاده می‌شود و حداقل پلیمر در قیر باقی‌مانده باید ۲٫۵ درصد باشد. همچنین دو رده از قیرآبه پلیمری کاتیونیک (CQS-1hP وCQS-1P) وجود دارد که عمدتاً برای کاربرد میکروسرفسینگ بوده و حداقل پلیمر در قیر باقی‌مانده آن باید ۳ درصد باشد.

۱۴-۳-۶-۴ نمونه‌برداری از قیرآبه‌ها

نمونه‌برداری قیرابه‌ها طبق استانداردهای ASTM D140 و AASHTO R66، که مربوط به انواع مواد قیری است، انجام می‌شود. از روش مندرج در استاندارد ASTM D6930 نیز برای سنجش میزان پایداری و ته‌نشینی قیرآبه‌ها استفاده می‌شود.

آزمایش‌های مربوط به قیرآبه باید طی ۱۴ روز و آزمایش‌های مربوط به قیر باقی‌مانده باید طی ۳۰ روز از زمان نمونه‌برداری پایان پذیرد. نمونه‌برداری از قیرآبه‌ها با زمان انبارداری طولانی (به‌ویژه رده RS) منجر به

1. Cationic emulsions
2. Solid polymer
3. Latex polymer

اخذ نمونه غیرنماینده می‌شود. نتایج آزمایش قیرآبه‌هایی که دچار غیریکنواختی شده یا در معرض سیکل ذوب و یخبندان قرار گرفته‌اند می‌تواند متأثر از آن شرایط شود. بنابراین، در صورت بروز این شرایط و نبـود امکـان نمونه‌برداری مجدد، عملکرد واقعی مخلوط آسفالتی ساخته‌شده با قیرآبه مبنای ارزیابی قرار می‌گیرد.

جدول ۱۴-۸ قیرآبه‌های کاتیونیک ASTM D2397

آزمایش*		سریع‌شکن		زودشکن				کندشکن				دیرشکن			
		CQS-۱h		CRS-۱		CRS-۲		CMS-۲		CMS-۲h		CSS-۱		CSS-۱h	
		حداقل	حداکثر	حداقل	حداکثر	حداقل	حداکثر	حداقل	حداکثر	حداقل	حداکثر	حداقل	حداکثر	حداقل	حداکثر
کندروانی سی بولت فورل در ۲۵ °C (ثانیه)		۲۰	۱۰۰	–	–	–	–	–	–	–	–	۲۰	۱۰۰	۲۰	۱۰۰
کندروانی سی بولت فورل در ۵۰ °C (ثانیه)		–	–	۲۰	۱۰۰	۱۰۰	۴۰۰	۵۰	۴۵۰	۵۰	۴۵۰	–	–	–	–
پایداری در ذخیره‌سازی بعد از ۲۴ ساعت نگهداری در انبار† (٪)		–	–	–	۱	–	۱	–	۱	–	۱	–	۱	–	۱
شکست با محلول دی‌اکتیل سولفوساکسینات سدیم ۰/۸ درصد				۴۰	–	۴۰	–	–		–		–		–	
قابلیت مقاومت اندود قیری در برابر آب	اندود سنگدانه‌های خشک	–	–	–	–	–	–	خوب		خوب		–	–	–	–
	اندود سنگدانه‌های خشک بعد از پاشش آب	–	–	–	–	–	–	متوسط		متوسط		–	–	–	–
	اندود سنگدانه‌های مرطوب	–	–	–	–	–	–	متوسط		متوسط		–	–	–	–
	اندود سنگدانه‌های مرطوب بعد از پاشش آب	–	–	–	–	–	–	متوسط		متوسط		–	–	–	–
بار ذره‌ای دانه‌های قیر		مثبت		مثبت		مثبت		مثبت		مثبت		مثبت		مثبت	
آزمایش دانه‌بندی† (٪)– (دانه‌های درشت قیر)		–	۰/۱	–	۰/۱	–	۰/۱	–	۰/۱	–	۰/۱	–	۰/۱	–	۰/۱
درصد قیر شکسته شده در آزمایش اختلاط با سیمان		–	N/A	–	–	–	–	––	–	–	–	–	۲	–	۲
درصد حجمی روغن امولسیون در آزمایش تقطیر (٪)		–	–	–	۳	–	۳	–	۱۲	–	۱۲	–	–	–	–
درصد وزنی قیر در آزمایش تقطیر		۵۷	–	۶۰	–	۶۵	–	۶۵	–	۶۵	–	۵۷	–	۵۷	–
آزمایشات روی قیر باقیمانده از تقطیر	درجه نفوذ (یک دهم میلی‌متر)	۴۰	۹۰	۱۰۰	۲۵۰	۱۰۰	۲۵۰	۱۰۰	۲۵۰	۴۰	۹۰	۱۰۰	۲۵۰	۴۰	۹۰
	خاصیت انگمی (سانتی‌متر)	۴۰	–	۴۰	–	۴۰	–	۴۰	–	۴۰	–	۴۰	–	۴۰	–
	حلالیت در تری‌کلرور اتیلن(٪)	۹۷/۵	–	۹۷/۵	–	۹۷/۵	–	۹۷/۵	–	۹۷/۵	–	۹۷/۵	–	۹۷/۵	–

* نمونه‌گیری‌ها نیز با روش ASTM D140 انجام می‌شود. کلیات آزمایش‌های مورد نیاز برای قیرآبه‌ها مطابق با ASTM D244 انجام می‌گیرد . استاندارد مربوط به نحوه انجام هر آزمایش با شماره ردیف در ادامه آمده است.

[۱] – D7496 ، [۲] – D7226 ، [۳] – D6930 ، [۴] – D6936 ، [۵] – D6998 ،، [۶] – D7402 ، [۷] – D6933 ، [۸] – D6935 ، [۹] – D6997 ، [۱۰] – D6934 ، [۱۱] – D5 ، [۱۲] – D113 ، [۱۳] – D139 ، [۱۴] – D2042 یا D7553.

** در صورتی که نتایج استفاده از قیرآبه مورد آزمایش در عملیات اجرایی قابل قبول باشد ضرورت انجام آزمایش دانه‌بندی مرتفع می‌شود.

*** انجام یکی از دو روش سنجش گرانروی قیرآبه‌ها در دماهای قید شده کافی است.

۱۴-۴ کاربرد قیر در راه‌سازی

مصرف قیر در راه‌سازی متنوع و متفاوت است. انتخاب قیر مناسب برای شرایط گوناگون اجرایی و مصارف مختلف به کیفیت مصالح، شرایط جوی – جغرافیایی، وسایل اجرای کار، نوع و میزان ترافیک بستگی دارد که در مشخصات فنی خصوصی هر پروژه تعیین می‌شود.

برای هر پروژه نوع قیر باید در مشخصات فنی خصوصی تعیین شود. برای اطلاعات بیش‌تر در خصوص نحوه انتخاب و موارد کاربرد قیرآبه‌ها، استفاده از روش استاندارد AASHTO R5 توصیه می‌شود.

۱۴-۵ گرم کردن قیر

انتخاب دمای صحیح برای گرم کردن انواع قیر در شرایط مختلف اجرا و مصارف گوناگون با کیفیت و مرغوبیت کار و نکات ایمنی ارتباط مستقیم دارد. برای حفظ کیفیت قیر خالص و اجتناب از گرمایش مجدد آن در زمان تخلیه از تانکرهای حمل قیر به مخازن نگهداری در کارگاه‌های آسفالتی، قیر باید توسط تانکرهای ویژه حمل قیر به کارگاه وارد شود. این تانکرها باید علاوه بر مخزن عایق‌بندی شده، مجهز به سیستم گرمایش یکپارچه از طریق لوله‌های روغن یا بخار یا گرم‌کننده الکتریکی باشند. استفاده از شعله مستقیم برای تخلیه قیر به هیچ‌وجه مجاز نبوده و مهندس مشاور موظف است از تخلیه قیر تانکرهایی که از شعله مستقیم آتش برای گرم کردن استفاده می‌کنند، جلوگیری کند. پیمانکار نیز باید از تخلیه قیر چنین تانکرهایی جداً خودداری کند.

در مناطق گرم‌سیر و در فصول گرما (بهار و تابستان) یا در صورت کوتاه بودن مسافت حمل، منوط به آن‌که نیازی به گرم کردن قیر در زمان تخلیه نباشد، می‌توان از تانکرهای معمولی برای حمل قیر استفاده کرد. در این موارد نیز استفاده از تانکرهای عایق‌بندی شده برای تخلیه بهتر، آسان‌تر قیر و حفظ کیفیت آن در هنگام جابجایی، توصیه می‌شود.

تانکرهای ویژه حمل قیر باید با آخرین معیارهای منتشر شده از سوی مراکز تحقیقاتی رسمی کشور از جمله مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی انطباق داشته باشند. ضمن آنکه برای عایق‌بندی تانکرها رعایت موارد زیر، لازم است:

با توجه به دمای بالا، عایق‌های از جنس پشم شیشه و پلیمر برای عایق‌بندی تانکرهای حمل قیر، مناسب نیست؛ بنابراین استفاده از پشم معدنی دارای انعطاف (پشم سنگ، سرباره)، ضروری است. عایق‌های پشم معدنی علاوه بر عایق بودن در مقابل حرارت، عایق صوتی و ضد آتش نیز بوده و دارای مقاومت فشاری مناسب هستند.

مصرف آزبست به دلیل مشکلات زیست محیطی، مجاز نیست.

به علت محدودیت بار ترافیکی، وزن تانکرهای حمل قیر پس از دوجداره کردن نباید از ۲ تن بیشتر شود.

کلیه محصولات عایق مصرفی در تانکرهای حمل قیر اعم از تولیدات داخلی یا خارجی، باید دارای گواهینامه فنی از مراکز تحقیقات رسمی کشور از جمله مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی باشند.

برای گرم کردن قیر به‌منظور انتقال از مخازن ذخیره به کارخانه آسفالت نیز باید از لوله‌های روغن یا بخار، دستگاه‌های الکتریکی یا وسایل مناسب و قابل قبول دیگر استفاده شود. کاربرد شعله مستقیم آتش که با بدنه مخازن قیر در تماس باشد، موجب سوخته شدن موضعی قیر و در نتیجه کاهش خواص چسبندگی آن شده و مجاز نیست. در صورت لزوم برای اعمال شعله باید بین شعله و جدار مخازن، کوره‌هایی از نوع آجر نسوز حایل باشد.

دمای قیرهای خالص در مخازن و لوله‌ها و هنگام اختلاط با سنگدانه‌ها در مخلوط‌کن کارخانه آسفالت، باید بگونه‌ای تنظیم شود که دمای آسفالت با دانه‌بندی پیوسته که از کارخانه به کامیون تخلیه می‌شود هیچ‌گاه از ۱۶۳ درجه سلسیوس تجاوز ننماید. در عین حال درجه دمای قیر نیز در تمام مراحل تخلیه، ذخیره، انتقال و اختلاط حداکثر ۱۷۶ درجه سلسیوس باشد و هنگام گرم کردن، دود نکند.

تانکرهای حمل قیر و همچنین مخازن قیرکارگاه باید مجهز به دماسنج باشد. یک دماسنج در قسمت تحتانی تانکر و دیگری در قسمت فوقانی نصب می‌شود. در کارخانه آسفالت نیز باید دماسنج برای قیر نصب شده باشد به طوری که در هر زمان بتوان دمای قیر را کنترل کرد.

۱۴-۶ اصلاح‌کننده‌های قیر و آسفالت و افزودنی‌های آسفالت

در مورد مخلوط‌های آسفالتی که تحت شرایط آب و هوایی دشوار و ترافیکی سنگین خدمت‌دهی می‌کنند، علاوه بر انتخاب مناسب رده قیر و مشخصات مصالح سنگی، انتخاب و استفاده مواد دیگری مانند

اصلاح‌کننده‌های[1] قیر و مخلوط آسفالتی، و افزودنی‌های آسفالت[2] نیز می‌توانـد در بهبـود عملکـرد آن‌هـا مـؤثر باشد. این مواد که معمولاً در مقادیر محدود استفاده می‌شوند، طیف وسیعی از مواد معدنی، آلی، طبیعی، صنعتی و یا ترکیبات خاصی از آن‌ها را در بر می‌گیرد. اصلاح کننده‌ها از طریق تغییر ساختار شیمیایی قیـر یـا افـزایش پلیمریزاسیون منجر به بهبود خصوصیات قیر و در نتیجه مخلوط آسفالتی می‌شوند؛ ولی افزودنی‌ها، مانند برخی الیاف، عمدتاً از طریق افزایش مقاومت فیزیکی ناشی از اتصال و ارتباط سـنگ‌دانه‌ها به‌یکـدیگر ایفـای نقـش می‌کنند. برخی از اهداف بهبود خواص قیر و یا مخلوط‌های آسفالتی بسته به نوع اصـلاح‌کننده بـه شـرح زیـر است:

الف: کاهش تغییر شکل دائمی (شیارشدگی) و پیش‌گیری از قیرزدگی رویه‌های آسفالتی

ب: جلوگیری از وقوع انواع ترک‌خوردگی در مخلوط‌های آسفالتی شامل ترک‌های دمای پـایین (ترک‌هـای عرضی و ترک‌های بلوکی)، ترک‌های خستگی ناشی از تکرار بارگذاری (ترک پوست سوسـماری) و ترک‌هـای انعکاسی از لایه‌های زیرین به رویه

پ: جلوگیری از عریان‌شدگی سنگدانه‌های مخلوط آسفالتی و خرابی‌های وابسته به رطوبت

ت: افزایش کارایی[3] مخلوط‌های آسفالتی و کاهش دمای تراکم مخلوط‌ها

ث: حجم‌دهنده‌ها[4] / نرم‌کننده‌ها[5]

ج: کاهش نرخ پیرشدگی و میزان سخت‌شدگی قیرها در اثر زمان

تأثیر اصلاح‌کننده‌ها عمدتاً بر رفتار ترموپلاستیک و حساسیت دمایی قیـر و در مـواردی افـزایش مقاومـت کشسانی، بهبود کارآیی و اختلاط‌پذیری و بازیافت‌پذیری قیر و مخلوط‌های آسفالتی است.

علاوه بر این‌که در ارزیابی قیرهای اصلاح شده باید حتمـاً از آزمایش‌هـای منـدرج عملکـردی قیـر (PG) استفاده کرد، آزمون‌هایی که در عنوان کلی +PG یا PG-Plus تعریف شده‌اند نیز باید ارزیابی و بررسی شـوند. از جمله متداول‌ترین آنها آزمـون MSCR[6] اسـت، کـه روش آزمـون آن در AASHTO T350[7] و ASTM [8]

1. Modifiers
2. Additives
3. Workability
4. Extender
5. Softener
6. Multiple Stress Creep Recovery
7. Standard Method of Test for Multiple Stress Creep Recovery (MSCR) Test of Asphalt Binder Using a Dynamic Shear Rheometer (DSR)
8. Standard Specification for Performance-Graded Asphalt Binder Using Multiple Stress Creep Recovery (MSCR) Test

D7405، و مشخصات استاندارد آن در ASSHTO M332[1] و ASTM D8239[2] ارایه شده است. مطالب این بخش جنبه راهنمایی داشته و در پروژه‌ها باید توسط مشاور ذیصلاح در حوزه تکنولوژی قیر بررسی و اظهار نظر شود.

به‌طور کلی استفاده از افزودنی‌ها باید در دو فاز مجزا صورت پذیرد. در فاز اول، افزودنی‌ها باید با قیرهای خالص یا قیرآبه‌های انتخاب شده، سازگاری داشته و منجر به بهبود خصوصیات قیر اصلاح‌شده نسبت به قیر پایه (نمونه کنترلی) شود و تطابق آن با مشخصات ذکرشده در نشریه بررسی شود. بدین ترتیب چنانچه در فاز نخست بهبود مطلوبی از اصلاح‌کننده مشاهده نشود، با غربال‌گری به موقع از مرحله دوم حذف می‌شود. در غیر این صورت، خصوصیات اصلاح‌کننده (افزودنی) باید در فاز دوم در راستای بهبود عملکرد مخلوط‌های آسفالتی و تأثیر آن در هنگام اختلاط قیر و سنگدانه‌ها مورد بررسی قرار گیرد.

در هنگام استفاده از اصلاح‌کننده‌ها باید نکات ایمنی مربوط به استفاده از آن‌ها بر اساس توصیه‌های تولیدکننده‌ها، و بازیافت‌پذیری آن‌ها بر اساس منابع علمی و اطلاعاتی مورد توجه قرار گیرد. برای پیشگیری از دو فازی شدن قیرهای اصلاح‌شده، باید نسبت به پایداری در ذخیره‌سازی و همگن‌سازی احتمالی آن‌ها پیش از مصرف، و همچنین ملاحظات لازم هر نوع خاص از نظر کارایی در حین اختلاط، پخش و تراکم دقت شود.

برای دسته‌بندی اصلاح‌کننده‌های قیر روش‌های متنوعی بر حسب مکانیزم هدف در قیر، نوع ماده افزودنی و تأثیر آن ماده بر عملکرد مخلوط‌های آسفالتی در مراجع و منابع علمی ارایه شده است. جدول (۱۴-۹) یکی از اقسام ساده و در عین حال مفید این دسته‌بندی هاست.

برای استفاده از اصلاح‌کننده یا افزودنی ابتدا باید ارزیابی فنی- اقتصادی برای پروژه منتخب صورت گیرد. ارجحیت استفاده از این مواد عمدتاً در تحلیل چرخه عمر روسازی مشخص می‌شود. ضمن این‌که افزایش عمر خدمت‌دهی روسازی در صورت احراز توجیه فنی-اقتصادی در چرخه عمر عملاً باعث کاهش مصرف منابع تجدید ناپذیر و هم‌سو با مبانی توسعه پایدار خواهد بود.

لازم به ذکر است که انواع قیرهای اصلاح شده مورد استفاده در عملیات راه‌سازی باید دارای گواهینامه فنی معتبر از مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی باشند.

---

1. Standard Test Method for Multiple Stress Creep and Recovery (MSCR) of Asphalt Binder Using a Dynamic Shear Rheometer
2. Standard Specification for Performance-Graded Asphalt Binder Using the Multiple Stress Creep and Recovery (MSCR) Test

جدول ۱۴-۹ دسته‌بندی انواع افزودنی‌ها و اصلاح‌کننده‌های قیر و مثال هر یک

نوع اصلاح‌کننده	مثال
فیلرها	فیلرهای معدنی: ریزدانه‌های دستگاه سنگ‌شکن، آهک، سیمان پرتلند، خاکستر بادی • کربن سیاه
حجم دهنده‌ها (اصلاح کننده شیمیایی)	• ترکیبات ارگانیک فلزی • گوگرد • لیگنین • پلیمرها
لاستیک‌ها (الاستومرهای ترمو پلاستیک (گرمانرم))	• لاستیک طبیعی • Styrene butadiene rubber (SBR) • Polychloroprene latex • Styrene butadiene styrene (SBS) • Styrene isoprene styrene (SIS) • پودر لاستیک
پلاستیک‌ها (پلیمرهای ترموپلاستیک)	• پلی‌اتیلن (PE) / پلی‌پروپیلن (PP) • کوپیلمر اتیلین اکریلات • اتیل وینیل استات (EVA) • پلی وینیل کلراید(PVC) • اتیلن پروپیلن یا EPDM • پلی آلفین‌ها
مواد الیافی	• طبیعی: آزبست پشم سنگ • مصنوعی: پلی‌پروپیلن، پلی‌استر، الیاف شیشه، آلیاف معدنی، الیاف سلولزی
اکسیدان‌ها	• نمک‌های منگنز
آنتی‌اکسیدان‌ها (افزودنی‌های ضد پیرشدگی)	• ترکیبات سرب • کربن • نمک‌های کلسیم • آمین‌ها
هیدروکربن‌ها	• افزودنی‌های روان‌ساز و جوان‌سازها • قیرهای طبیعی و سخت (نظیر گیلسونایت)
افزودنی‌های ضدعریان‌شدگی	• آمیدها • آهک
بهبود دهنده‌های کارایی	• افزودنی‌های مخلوط گرم آسفالتی (WMA) • ایجادکننده‌های کف (Foaming agents)
افزودنی‌های شیمیایی	• پلی‌فسفریک اسید (PPA)

ادامه جدول ۱۴-۹ دسته‌بندی انواع افزودنی‌ها و اصلاح‌کننده‌های قیر و مثال هر یک

نوع اصلاح کننده	مثال
مواد بازیافتی	• پوشش‌های بام‌ها (Roofing shingles) • لاستیک‌های بازیافتی • شیشه
سایر افزودنی‌ها	• سیلیکون‌ها • کلسیم‌کلراید برای یخ‌زدایی

در صورت احراز توجیه فنی- اقتصادی برای پروژه، مراحل کلی زیر برای انتخاب فناوری و ماده مناسب باید اقدام کرد:

۱- ارزیابی اولیه توجیه فنی- اقتصادی با توجه به اطلاعات کلی و اولیه پروژه؛

۲- بررسی دقیق اهداف و اهمیت پروژه؛

۳- شرایط آب و هوایی پروژه؛

۴- شناسایی فناوری‌ها / مواد (اصلاح‌کننده یا افزودنی‌های) موجود در کشور با سابقه عملکردی قابل قبول؛

۵- شناسایی پیمانکاران با توانمندی و دانش مهندسی کافی و مهندس مشاور با دانش کافی برای انجام این دست پروژه‌ها؛

۶- مشخصات و در دسترس بودن قیر و مصالح مناسب برای فناوری/ مواد منتخب؛

۷- انجام بررسی‌ها و آزمایش‌های لازم جهت سنجش سازگاری اجزای مخلوط با یکدیگر؛

۸- تهیه طرح اختلاط برای فناوری / ماده منتخب؛

۹- انجام آزمایش‌های عملکردی بر روی قیر و یا مخلوط‌های ساخته شده متناسب با فناوری / ماده منتخب؛

۱۰- تدوین فرآیند کنترل کیفیت (QC) و تضمین کیفیت (QA) و در زنجیره تأمین اصلاح‌کننده، سایر مواد و مشخصات محصول نهایی[1]؛

۱۱- تدوین مشخصات فنی خصوصی مبتنی بر آخرین ابلاغیه‌های مرتبط توسط وزارت راه و شهرسازی.

[1] Results Specification

۱۴-۷ آزمایش‌های کنترل و تضمین کیفیت قیر دریافتی

به‌طور کلی، کنترل کیفیت توسط تولیدکننده و تضمین کیفیت توسط خریدار صورت می‌گیرد. فرآیند کنترل کیفیت قیر توسط تولیدکننده قیر باید منجر به خروجی‌هایی برای ارایه بـه خریـدار، بازرسـی / یـا ممیزی‌هـای دوره‌ای شود.

واحدهای تولیدی قیرکه خوراک (VB) را خریداری می‌کنند باید ابتدا فرآیند تضمین کیفیت را در خصوص خوراک (و سایر مواد اولیه) فرآیند تولید انجام دهند. بنابراین زنجیره تولید عملیات به شرح زیر است:

الف- تضمین کیفیت خوراک دریافتی توسط واحد تولید قیر

خلاصه اقدامات لازم به‌شرح زیر است:

۱- دریافت مستندات حمل از پیمانکار و مشخصات محموله از پیمانکار (عامل) حمل؛

۲- تهیه سه نمونه از هر تانکر (ابتدا، وسط و اواخر محموله در حال تخلیه) یا هر ۱۰ تن (یـا متـر مکعـب) از خط لوله خوراک، ثبت زمان تهیه و دمای هر نمونه بلافاصله پس از نمونه‌برداری؛

۳- انجام آزمایش‌های جرم‌مخصوص و گرانروی بر روی هر نمونه خوراک و مطابقت با مشخصات خرید.

ب- کنترل کیفیت محصول توسط واحد تولید قیر

خلاصه اقدامات شامل فعالیت‌هایی مانند اقدامات زیر است:

۱- ثبت تاریخ و زمان تولید، نام کارشناس نظارت بر تولید، شـرایط محیطـی در واحـد، مشخصـات خـوراک مصرفی، رده اسمی قیر هدف، اکسیدایزر و دیگر تجهیزات تأثیرگذار بر محصول تولیدی؛

۲- نمونه‌برداری از قیر تولیدی از هنگام شروع تولید و در فواصل زمانی سه ساعت با درج تنظیمات کنترلـی (مانند دبی و دمای خوراک ورودی، فشار و دمای و ارتفاع (حجم) خوراک در اکسیدایزر)؛

۳- انجام آزمایش‌های لازم از جمله درجه نفوذ و نقطه نرمی بـر روی نمونـه‌های گرفتـه شـده در هـر سـه ساعت؛

۴- مطابقت با مشخصات قیر هدف، و ذکر اقدامات لازم برای تنظیم تولید؛

۵- انجام آزمایش‌های جرم‌مخصوص و گرانروی بر روی نمونه‌ها در فواصل زمانی نه سـاعت و مطابقـت بـا فرمول‌ها و روابط توسعه داده شده برای آن واحد تولیدی خاص و اقدامات اصلاحی انجام شده در صورت عدم مطابقت و نتیجه آن‌ها. باید توجه داشت که مطابقت با فرمول‌ها و روابـط توسـعه داده شـده صـرفاً

برای کنترل کیفیت درون واحدی است و از نظر تضمین کیفیت قابل استناد نبوده و باید آزمایش‌های استاندارد قید شده در جدول (۱۴-۳) انجام و مطابقت داده شود.

سوابق و نتایج آزمایش‌ها و نمونه‌ها باید توسط واحد تولیدی به نحو قابل ارایه برای بازرسی و ممیزی‌های دوره‌ای یا موردی برای مدت سه ماه بایگانی شود.

پ- مستندات لازم قیر تولیدی جهت ارایه به خریدار هنگام تحویل

خلاصه موارد به‌شرح زیر است:

۱- تنظیم مشخصات دقیق محصول ارسالی بر اساس نتایج تک تک آزمایش‌های صورت گرفته در بند ب، و اعلام رسمی رده قیر تولیدی شامل ارائه نتایج و گواهی مربوط توسط تولیدکننده قیر؛

۲- طی صحیح مراحل بارگیری، حمل توسط تانکرهای دوجداره پلمپ شده توسط تولید کننده (یا تأمین کننده در صورت وجود) و ارایه تضامین مربوط به مطابقت مشخصات محموله با مشخصات خرید؛

۳- ارایه مستندات مبنی بر سلامت حمل (عدم تخلیه یا بارگیری در مسیر).

ت- آزمایش‌های اولیه تضمین کیفیت توسط خریدار هنگام تحویل

در صورت وجود و ارایه مستندات مثبته توسط پیمانکار حمل به خریدار، اقدامات لازم برای انجام آزمایش‌های اولیه تضمین کیفیت به‌شرح زیر است:

۱- انجام آزمایش‌های پذیرش اولیه (از جمله مطابقت درجه نفوذ، نقطه نرمی، آزمایش لکه [1] و در صورت امکان آزمایش گرانروی چرخشی [2])؛

۲- درصورت قابل قبول بودن نتایج آزمایش‌های پذیرش اولیه، تهیه سه سری نمونه به مقدار کافی (حداقل یک کیلوگرم برای هر سری)، و پلمپ آن‌ها به‌صورت مشترک توسط پیمانکار و خریدار؛

۳- صدور اجازه تخلیه تانکر، و تخلیه قیر در مخازن بدون استفاده از شعله مستقیم؛

۴- انجام آزمایش‌های تطابق رده قیر عملکردی بر روی یک سری نمونه، یا ارسال به آزمایشگاه معتبر؛

۵- بایگانی نمونه‌های پلمپ‌شده توسط خریدار، برای انجام آزمایش در آزمایشگاه ثالث هنگام بروز تناقض بین نتایج آزمایش تطابق مشخصات خریداری شده و محصول دریافتی؛

---

1. Spot Test of Asphalt Materials,AASHTO T102
2. Rotational Viscosity, AASHTO T316 or ASTM D4402

۶- استفاده از قیر دریافتی در رده اسمی خریداری شده در صورت تطابق مشخصات آزمایش‌ها.

برای کنترل کیفیت قیرهای خالص و تأثیر پیرشدگی ناشی از زمان ماند در مخازن باید حداقل یکبار در مرحله شروع عملیات آسفالت و همچنین در حین اجرای کار و متناسب با پیشرفت عملیات، هر وقت که مهندس مشاور لازم بداند آزمایش‌های مشروحه در این فصل روی قیرهای مصرفی، انجام شود.

در مورد قیرهای محلول و به‌خصوص قیرآبه‌ها، تأثیر زمان ماند بیشتر از ۱۴ روز در مخازن بر کیفیت، سلامت و قابلیت استفاده آنها بسیار حائز اهمیت بوده و به عوامل متعددی از جمله نوع قیرآبه‌ساز بستگی داشته و نیازمند جمع‌آوری اطلاعات ریزتری است.

مطالب ذکر شده در این بند (۱۴-۷)، بیشتر جنبه توصیه داشته و آخرین بخشنامه‌های وزارت راه و شهرسازی ملاک عمل در فرآیند کنترل کیفیت/تضمین کیفیت است.

۱۵

اندود نفوذی (پریم‌کت)

۱۵-۱ کلیات

اندود نفوذی[1] شامل پاشش مواد قیری با کندروانی کم روی سطح اساس دانه‌ای آماده‌شده است که باید مدتی پس از پاشش مواد قیری، در لایه اساس نفوذ کند.

بطور کلی، اندود نفوذی برای محافظت از سطح اساس دانه‌ای در شرایط جوی نامساعد و بارندگی‌ها و همچنین آماده‌کردن سطح اساس دانه‌ای برای پخش اولین لایه آسفالتی اعم از آسفالت داغ، آسفالت نازک قیرآبه‌ای[2] (میکروسرفیسینگ)، دوغاب آب‌بندی قیری[3] (اسلاری‌سیل) و آسفالت سرد اجرا می‌شود. اجرای اندود نفوذی روی اساس دانه‌ای تثبیت‌شده با مواد چسباننده سیمانی یا قیری ضرورت ندارد. اندود نفوذی چند نقش مهم را در سازه روسازی ایفا می‌کند:

- محافظت از لایه‌ی اساس در شرایطی که اجرای لایه آسفالتی روی آن با تأخیر صورت پذیرد
- پوشش و تثبیت سنگدانه‌های سطح اساس
- آب‌بند کردن سطح اساس دانه‌ای
- افزایش چسبندگی بین لایه اساس و لایه آسفالتی

در مواردی که اجرای لایه آسفالتی روی اساس دانه‌ای با وقفه طولانی (عموماً بیش از ۷ روز) همراه باشد یا احتمال بارندگی قریب‌الوقوع پس از اجرای لایه اساس دانه‌ای وجود داشته باشد، به‌منظور محافظت از سطح اساس متراکم‌شده، لازم است پس از اجرای آخرین لایه اساس دانه‌ای، با رعایت بند (۱۵-۴)، بلافاصله اندود نفوذی روی آن اجرا شود.

در مواردی که اجرای لایه آسفالتی روی اساس دانه‌ای بدون وقفه انجام می‌شود و احتمال بارندگی تا زمان اجرای لایه آسفالتی وجود ندارد، اگر ضخامت روسازی آسفالتی (یا ضخامت مجموع لایه‌های آسفالتی) روی لایه اساس دانه‌ای برابر یا بیشتر از ۱۰ سانتی‌متر باشد و همه لایه‌های آسفالتی پیش از بازگشایی مسیر برای تردد ترافیک، ساخته شوند، با تشخیص مهندس مشاور می‌توان از اجرای اندود نفوذی (پریم‌کت) روی لایه اساس صرف‌نظر کرد.

در شرایطی که از زمان اجرای اندود نفوذی روی لایه‌ی اساس، مدت زمان قابل توجهی گذشته باشد و

1. Prime Coat
2. Microsurfacing
3. Slurry Seal

سطح اندود نفوذی به واسطه آلوده شدن یا از بین رفتن، دارای چسبندگی کافی نباشد؛ پیش از اجرای لایه آسفالتی و به تشخیص مهندس مشاور باید اقداماتی از جمله بادگیری، جاروکشی و درصورت لزوم، اجرای اندود سطحی مدنظر قرار گیرد.

۱۵-۲ قیرپاشی روی سطح آماده‌شده[1]

ماده قیری روی سطح اساس آماده‌شده پخش، فرصت داده می‌شود تا در سطح لایه اساس نفوذ کرده و گیرش آن انجام شود.

۱۵-۳ مواد قیری

از انواع قیرابه و قیر محلول مشخص‌شده در جدول (۱۵-۱) می‌توان برای اجرای اندود نفوذی استفاده کرد. مصرف قیرابه‌ها در اندود نفوذی با توجه به مزایای فنی، زیست‌محیطی و ایمنی آن‌ها نسبت به قیرهای محلول اولویت دارد.

به طور کلی، ویژگی‌های قیرابه‌ها و قیرهای محلول باید با مشخصات استاندارد مربوطه به شرح فصل چهاردهم این نشریه مطابقت داشته باشد مگر اینکه به تشخیص مهندس مشاور و در شرایطی که از قبل در مشخصات فنی خصوصی آمده باشد، برخی از محدوده‌های مشخصات تغییر یابد.

برای قیرپاشی روی سطح اساس بهتر است از قیرابه‌های SS-1 و CSS-1 استفاده شود. پیش از اجرای اندود نفوذی، سطح آماده شده را با آب مرطوب کرده و قیرابه که باید به نسبت دو سهم قیرابه و یک سهم آب رقیق شده است را روی سطح آماده شده پاشیده می‌شود. در هر صورت، مقدار قیر باقیمانده قیرابه رقیق‌شده نباید کمتر از ۳۸ درصد باشد. قابلیت امتزاج قیرابه‌ها با آب اید در آزمایشگاه بررسی گردد.

در این روش اجرایی می‌توان از قیرابه‌های ویژه نفوذی[2] نیز استفاده کرد که محدوده ویژگی‌های آن‌ها باید در مشخصات فنی خصوصی پروژه درج گردد. در تولید این قیرابه‌ها از مقدار بیشتر حلال برای افزایش قابلیت نفوذ استفاده می‌شود.

1. Topical Prime
2. Asphalt Emulsion Prime

جدول ۱۵-۱ مواد قیری مصرفی در اندود نفوذی به روش قیرپاشی روی سطح آماده شده

نوع و درجه قیر	ملاحظات انتخاب مواد قیری
قیرابه کاتیونیک **دیرشکن CSS-1,CSS-1h** **قیرابه آنیونیک** **دیرشکن SS-1, SS-1h**	سطح اساس دانه‌ای باید نفوذپذیری مناسب و حفرات سطحی کافی داشته باشد. در صورت لزوم، قیرابه دیرشکن در حین اجرا با آب رقیق شود.
قیر محلول **زودگیر RC-70** **کندگیر MC-30, MC-70**	مصرف قیر محلول کندگیر با کندروانی کمتر (MC-30) در هوای سرد و قیر محلول کندگیر با کندروانی بیشتر (MC-70) در هوای معتدل و گرم مناسب است. استفاده از قیر با کندروانی کمتر برای بافت سطحی ریزدانه و متراکم، و قیر با کندروانی بیشتر برای بافت درشت‌دانه و باز مناسب است. قیر محلول زودگیر (RC-70) در مواردی استفاده می‌شود که بافت سطحی اساس به صورت درشت‌دانه و باز با نفوذپذیری بسیار زیاد باشد و یا دمای هوا و سطح اساس در زمان اجرا پایین باشد.
نفوذ قیر در سطح دانه‌ای اساس به کندروانی آن پس از پخش بستگی دارد. لذا انتخاب نوع و رده‌بندی قیر مناسب تابع عواملی نظیر دمای هوا و دمای سطح راه، رطوبت هوا، سرعت باد، بافت دانه‌ای سطح راه و مدت‌زمان گیرش قیر است.	

اگر در زمان اجرای اندود نفوذی، دمای هوا و سطح اساس پایین و نزدیک به مقادیر حداقل مشخصات باشد و مهندس مشاور تشخیص دهد که اجرای لایه آسفالتی روی اندود نفوذی که گیرش و عمل‌آوری آن کامل نشده است، زیان‌های زیادی را به همراه خواهد داشت، توصیه می‌شود از مواد قیری با گیرش سریع‌تر از جمله قیرابه زودشکن یا قیر محلول زودگیر استفاده شود. در این موارد، نفوذ قیر در سطح لایه اساس کاهش می‌یابد و لذا می‌توان از مشخصات فصل شانزدهم این نشریه برای اجرای اندود سطحی (تک‌کت) روی لایه اساس با میزان پخش نزدیک به حد بالای محدوده‌های مشخص‌شده در آن فصل، به عنوان جایگزین اندود نفوذی (پریم‌کت) استفاده کرد.

۱۵-٤ انتخاب قیر مناسب

مناسب‌ترین میزان پخش مواد قیری برای اجرای اندود نفوذی مقداری است که پس از انقضای مدت‌زمان مورد نظر که برای قیرابه‌ها و قیرهای محلول، به ترتیب، حداقل ۲۴ ساعت و ۴۸ ساعت است، ماده قیری به‌طور کامل در سطح اساس جذب شده و گیرش آن کامل شده باشد. در مواردی که روی لایه اساس از مواد قیری با گیرش سریع از جمله قیرابه زودشکن یا قیر محلول زودگیر استفاده می‌شود، مدت‌زمان لازم برای

گیرش اندود اجراشده باید توسط مهندس مشاور تعیین گردد.

میزان پخش مواد قیری باید به شرح زیر باشد:

در صورت استفاده از قیرآبه در اجرای اندود نفوذی، میزان پخش برای قیرابه رقیق‌نشده باید در محدوده ۰/۷ تا ۲/۲ لیتر بر مترمربع باشد. میزان پخش برای قیرابه دیرشکن رقیق‌شده به نسبت دو سهم قیرابه و یک سهم آب با مقدار حداقل ۳۸ درصد قیر باقیمانده، در محدوده ۱/۰ تا ۳/۳ لیتر بر مترمربع است. برای سطوح با حفرات سطحی بزرگ و تخلخل زیاد، مقادیر نزدیک به حد بالای محدوده‌های مشخص‌شده مناسب است.

در صورت استفاده از قیر محلول در اجرای اندود نفوذی، میزان پخش قیر محلول باید در محدوده ۱/۰ تا ۲/۰ کیلوگرم بر مترمربع باشد. برای اساس دانه‌ای که سطح آن بافت ریزدانه و پیوسته داشته باشد، مقادیر نزدیک به حد پایین و برای بافت سطحی درشت‌دانه با تخلخل زیاد، مقادیر نزدیک به حد بالای محدوده مشخص‌شده مناسب است.

مقادیر دقیق میزان پخش قیر باید از طریق ارزیابی کارگاهی و با توجه به نوع و رده‌بندی قیر مصرفی، توسط مهندس مشاور تعیین و ابلاغ می‌شود.

۱۵-۵ اجرای اندود نفوذی

۱۵-۵-۱ وسایل و ماشین‌آلات

۱۵-۵-۱-۱ جاروی مکانیکی

جاروی مکانیکی که برای پاک‌سازی و زدودن ذرات گرد و غبار و مانند آن از سطح اساس دانه‌ای استفاده می‌شود، باید خودرو بوده و ترجیحاً از نوع جاروی قائم با فشار قابل تنظیم و دارای قابلیت مکش و انبارش ذرات زدوده شده باشد.

۱۵-۵-۱-۲ کمپرسور هوا

دستگاه کمپرسور هوا برای پاک‌سازی و زدودن ذرات گرد و غبار و مانند آن از سطح اساس دانه‌ای و آماده کردن سطح اساس برای پخش مواد قیری به کار گرفته می‌شود. کمپرسور هوا مجهز به فیلتر روغن و رطوبت،

تأمین‌کننده فشار حداقل ۶۹۰ کیلوپاسکال و جریان هوای حداقل ۴ مترمکعب بر دقیقه با یک نازل دستی برای اجرای اندود نفوذی مناسب است. کمپرسور هوا باید بتواند هوای عاری از روغن را فراهم کند و فشار هوای آن باید به حدی باشد که بتواند ذرات ریزدانه و خاک‌ها را از سطح اساس دانه‌ای جدا و از سطح راه دور کند.

۱۵-۵-۱-۳ ماشین آب‌پاش

یک ماشین آب‌پاش که بتواند آب را به صورت یکنواخت در عرض لوله نازل‌ها پخش کرده و با سرعت ثابت در طول مسیر حرکت کند، به منظور مرطوب کردن سطح اساس دانه‌ای پیش از پخش قیرابه‌ها مورد نیاز است.

۱۵-۵-۱-٤ قیرپاش

قیرابه‌ها و قیرهای محلول باید با قیرپاش فشاری پخش شوند. این قیرپاش باید مشخصات زیر را داشته باشد:

الف) دستگاه قیرپاش باید روی شاسی با چرخ‌های لاستیکی نصب شده باشد، به گونه‌ای که فشار وارده از چرخ‌ها به سطح راه کمتر از ۶ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع باشد. این امر می‌تواند با اندازه‌گیری در محل کنترل شود و در صورت لزوم می‌توان با تعدیل فشار باد چرخ‌ها، فشار وارده را تنظیم نمود.

ب) مخزن قیرپاش باید به یک ابزار و سیستم گرمایش مجهز باشد و بتواند قیر را تا دمای لازم برای پخش گرم کند. قیر هنگام گرم کردن باید در گردش باشد و توسط ابزاری هم زده شود. برای پخش قیرابه، سیستم گردش قیر باید آن را در لوله پخش نیز به گردش در آورد تا احتمال شکستن قیرآبه و انسداد لوله‌ها کاهش یابد.

پ) برای کنترل دائم دمای قیر، باید دماسنجی روی مخزن نصب شده باشد. دماسنج باید به نحوی قرار گیرد که همواره در معرض دید باشد و حداکثر دمای قیر را نشان دهد.

ت) مخزن قیر باید از طریق لوله مخصوصی که در آن تعبیه می‌شود، بارگیری گردد و این لوله به یک صافی مجهز باشد. نصب صافی باید به نحوی باشد که تغییر و تعویض آن به سهولت انجام گیرد.

ث) دستگاه قیرپاش باید برای پخش قیر به یک پمپ مجهز باشد. مقدار قیری که پخش می‌شود، بر حسب لیتر در دقیقه با سرعت قیرپاش هماهنگ و کنترل می‌گردد.

ج) ماشین قیرپاش باید به یک سرعت‌سنج برای سنجش و تعیین سرعت حرکت مجهز باشد. سرعت‌سنج

باید در محلی نصب شده باشد که همواره در معرض دید راننده باشد.

چ) طول لوله قیرپاش به طور عادی چهار متر است، ولی باید برای عرض‌های کمتر یا بیشتر قابل تنظیم باشد.

ح) ارتفاع لوله پخش قیر از زمین و نیز زاویه نازل‌ها نسبت به محور لوله پخش باید به گونه‌ای تنظیم گردد که قیر به‌طور یکنواخت روی سطح راه پخش شود. ارتفاع لوله پخش از زمین در میزان همپوشانی پخش قیر از نازل‌های مجاور تعیین کننده است و همپوشانی دوگانه یا سه‌گانه نازل‌ها برای پخش مواد قیری توصیه می‌شود. بهترین شرایط برای زاویه نازل‌ها نسبت به محور لوله پخش، زاویه بین ۱۵ تا ۳۰ درجه و مناسب‌ترین فاصله بین نازل‌ها برابر ۱۰ سانتی‌متر است.

خ) قیرپاش باید دارای لوله پخش یا نازل دستی نیز باشد، تا بتوان سطوح دور از دسترس و یا قسمت‌هایی را که پخش قیر با قیرپاش میسر نباشد، قیرپاشی کرد.

د) برای پخش قیرآبه، قیرپاش نیاز به مراقبت و نگهداری دوره‌ای مناسب و توجه به سیستم گرمایش قیر، کارایی پمپ‌ها، نحوه تخلیه و تمیز کردن و پر کردن مخزن دارد.

ذ) برای پخش قیرآبه، قیرپاش باید هر روز پس از پایان کار با نفت سفید یا حلال مشابه شستشو شود. همچنین مخزن قیرپاش باید در مقابل سرما محافظت شود تا قیرآبه درون آن یخ نزند و نشکند.

ر) پخش قیر باید به حدی دقیق باشد که انحراف آن از مقدار موردنظر یا تعیین‌شده در مشخصات خصوصی پروژه کمتر از ۱۰ درصد باشد. به این منظور باید سرعت دستگاه و مقدار قیری که از نازل‌ها خارج می‌شود، یکنواخت و ثابت باشد. سرعت قیرپاش باید با رابطه (۱۵-۱) تعیین گردد.

$$V = \frac{MQ}{WA}$$ رابطه (۱۵-۱)

که در آن:

V: سرعت حرکت ماشین بر حسب متر در دقیقه،

Q: مقدار قیر قابل تخلیه از لوله قیرپاش بر حسب لیتر در دقیقه،

M: ضریب اصلاح حجم قیر نسبت به دمای پخش،

W: عرض لوله قیرپاش بر حسب متر و

A: مقدار پخش قیر بر حسب لیتر در مترمربع است.

ز) توصیه می‌شود قیرپاش مجهز به سیستم سنسور سرعت و تغییر اتوماتیک دبی خروجی قیرآبه یا قیر محلول باشد، تا میزان پخش با کاهش یا افزایش سرعت حرکت قیرپاش تغییر نکند.

۱۵-۵-۲ آماده کردن سطح راه

برای آنکه اندود نفوذی بتواند نقش خود را به درستی ایفا کند، ماده قیری باید بتواند در سطح اساس دانه‌ای نفوذ کند. مقدار و اندازه حفرات سطح اساس دانه‌ای در نفوذ قیر اثرگذار است و برای قیرابه‌ها، میزان رطوبت مصالح اساس نیز اهمیت زیادی دارد. اگر مقدار ذرات ریزدانه (عموماً ردشده از الک شماره ۲۰۰) در سطح اساس دانه‌ای زیاد باشد، سطح موجود به صورت فیلتر عمل کرده و مانع نفوذ قیرابه می‌شود. در این موارد، مرطوب کردن سطح اساس می‌تواند به افزایش نفوذپذیری کمک کند. در اغلب این موارد، پاک‌سازی سطح اساس و یا تیغه‌زنی و تراش سطحی آن به منظور نفوذ قیرابه اجتناب‌ناپذیر خواهد بود.

پیش از پخش قیر، باید سطح اساس دانه‌ای با استفاده از جاروی مکانیکی و هوای فشرده از ذرات ریزدانه و گرد و غبار پاک‌سازی شود. پاک‌سازی سطح اساس باید به‌گونه‌ای انجام شود که سطح دانه‌های مصالح کاملاً مشخص شود و همه ذرات گرد و غبار و مانند آن از سطح دانه‌ها پاک شود.

در صورت استفاده از قیرابه و هنگامی که هوا گرم باشد، می‌توان سطح اساس را قبل از پخش قیر با استفاده از آب‌پاش مرطوب کرد تا شکست قیرابه طولانی شود و فرصتی برای نفوذ آن در حفرات سطح اساس ایجاد شود.

به علاوه، سطح لایه اساس دانه‌ای باید پیش از اجرای اندود نفوذی، از نظر نیمرخ‌های طولی و عرضی و رواداری مربوطه نسبت به نقشه‌های اجرایی کنترل گردد.

۱۵-۵-۳ پخش قیر

قیر باید با قیرپاش و به‌طور یکنواخت و مداوم در سطح راه پاشیده شود، به‌نحوی‌که سطوح کم‌قیر یا سطوح پر قیر روی لایه اساس به وجود نیاید. در نواحی دور از دسترس یا آن نواحی که با دستگاه قیرپاش نمی‌توان قیرپاشی کرد، باید قیرپاشی را با استفاده از نازل پخش‌کن دستی انجام داد. نازل‌ها باید همواره تمیز باشند و اگر یکی از نازل‌ها مسدود شد، عملیات قیرپاشی باید بلافاصله متوقف گردد و پیش از ادامه عملیات، به‌طور کامل تمیز شود.

قیرپاشی در کل عرض لایه اساس باید ترجیحاً با یک بار عبور قیرپاش انجام شود. درصورتی‌که پخش قیر

در سطح لایه اساس در دو خط عبوری یا بیشتر صورت می‌گیرد، باید لبه طولی خطوط در تمام طول با یکدیگر به اندازه ۷/۵ تا ۱۰ سانتی‌متر همپوشانی داشته باشند. به این منظور، نوار کناری در عرض قیرپاشی باید به اندازه ۷/۵ تا ۱۰ سانتی‌متر با نصف مقدار قیر مشخص‌شده قیرپاشی شود و سپس در گذر مجاور ماشین قیرپاش، این عرض با نصف دیگر مقدار قیر مشخص‌شده قیرپاشی گردد.

در نقاط شروع و پایان قیرپاشی باید برای یکنواختی پخش قیر روی لایه اساس، ورق یا نوار پهن کاغذی در عرض مسیر و عمود بر امتداد حرکت قیرپاش، روی سطح راه و بلافاصله قبل از نقطه پایان قیرپاشی قرار داده شود. برای شروع قیرپاشی باید لوله پخش ماشین قیرپاش روی ورق کاغذی مستقر شود و قیرپاشی از آنجا اجرا گردد. ورق کاغذی باید بلافاصله پس از شروع قیرپاشی از سطح راه برداشته شود.

در حین قیرپاشی باید درخت‌ها و ابنیه مجاور از آغشته‌شدن به قیر محفوظ نگه‌داشته شوند و از پخش قیر به داخل آبروها و روی شیروانی‌ها و محل قرضه و مصالح جلوگیری به عمل آید.

در روش اجرایی اندود نفوذی مخلوط‌شده باید سطح اساس دانه‌ای متراکم‌شده تا عمق معادل ۵۰ تا ۷۵ میلی‌متر از سطح اساس تیغه‌زنی شود و قیرابه دیرشکن به مقدار رقیق‌نشده معادل ۱/۱ لیتر بر مترمربع روی اساس تراش‌خورده پخش گردد. سپس بلافاصله باید مصالح اساس تا عمق تراش‌خورده با قیر مخلوط گردد و پس از تسطیح، با دو عبور یک غلتک فولادی متراکم شود. در صورت نیاز، قیرابه دیرشکن باید به منظور حصول پوشش کافی سنگدانه‌های اساس، در محل کارگاه به نسبت یک سهم قیرابه و حداکثر یک سهم آب رقیق شود.

سطح لایه اساس پس از قیرپاشی با قیرابه‌ها باید به مدت حداقل ۲۴ ساعت نگهداری و محافظت شود تا عمل‌آوری گردیده و گیرش آن کامل شود. در صورتی‌که اندود نفوذی اساس دانه‌ای با استفاده از قیرهای محلول اجرا شود، باید ۴۸ ساعت فرصت داده شود تا گیرش آن کامل شود و سپس لایه آسفالتی روی آن اجرا شود. اگر روی لایه اساس از مواد قیری با گیرش سریع از جمله قیرابه زودشکن یا قیر محلول زودگیر استفاده شود، مدت‌زمان لازم برای گیرش اندود اجراشده باید توسط مهندس مشاور تعیین گردد.

۱۵-۵-٤ دمای قیر هنگام پخش

دمای مناسب قیرابه‌های دیرشکن برای پخش در محدوده ۲۱ تا ۶۰ درجه سلسیوس است که با توجه به دمای هوا، دمای سطح راه، رطوبت هوا، سرعت باد، بافت سطح راه و سایر عوامل مؤثر، باید در سطح پروژه توسط مهندس مشاور تعیین گردد. برای قیرابه‌های زودشکن، حداقل دمای پخش عموماً بیشتر در نظر گرفته

می‌شود.

دمای مناسب برای پخش قیرهای محلول دمایی است که کندروانی قیر محلول در آن دما در محدوده ۲۰ تا ۱۲۰ سانتی‌استوکس باشد. محدوده دمای مناسب برای قیرهای محلول با رده‌بندی‌های مختلف در جدول (۱۵-۲) مشخص شده است.

برای قیرهای محلول مختلف می‌توان حدود دمای پخش را با ترسیم نمودار تغییرات کندروانی قیر محلول بر حسب دما به‌طور دقیق‌تر تعیین کرد. به منظور ترسیم نمودار تغییرات کندروانی یک قیر محلول، ابتدا باید با تعیین کندروانی قیر خالص مورد استفاده در تولید قیر محلول در دو دمای مختلف، خط تغییرات کندروانی قیر خالص را ترسیم نمود. سپس با تعیین کندروانی قیر محلول در دمای ۶۰ درجه سلسیوس و درج نقطه مربوط به آن در نمودار، خط تغییرات کندروانی قیر محلول با گذر از نقطه مذکور با شیبی برابر با شیب تغییرات کندروانی قیر خالص ترسیم می‌شود. توجه گردد که دمای قیر محلول در هنگام پخش نباید از بالاترین دمایی که بخار آبی رنگ از قیر متصاعد می‌شود، بیشتر باشد.

جدول ۱۵-۲ محدوده دمای مناسب قیرهای محلول در هنگام پخش

نوع و رده قیر محلول	دمای پخش قیر محلول (درجه سلسیوس)
RC-70	۲۷ تا ۶۶
MC-30	۲۷ تا ۶۶
MC-70	۴۸ تا ۸۲

نقطه اشتعال برای قیر زودگیر RC-70 حداقل ۲۷ درجه سلسیوس و برای قیرهای کندگیر MC-30 و MC-70 حداقل ۳۸ درجه سلسیوس است. نظر به اینکه در جدول (۱۵-۲)، دمای پخش برای این قیرها بالاتر از حداقل نقطه اشتعال آنها مشخص شده است، کنترل دمای پخش در هنگام مصرف این قیرها اهمیت ویژه‌ای دارد و رعایت نکات احتیاطی زیر ضروری است:

الف) شعله آتش نباید به هیچ وجه به این قیرها نزدیک شود. همچنین برای گرمایش قیر باید از وسایل قابل کنترل و مورد تأیید مهندس مشاور استفاده شود.

ب) برای کنترل و بازرسی مخازن قیرهای محلول نباید از آتش مشتعل یا چراغ‌های شعله‌ای یا کبریت استفاده کرد.

پ) ماشین قیرپاش برای پخش قیرهای محلول باید بدون استثنا به کپسول‌های آتش‌نشانی و وسایل

ضدحریق مجهز باشد.

۱۵-۵-۵ پخش ماسه

چنانچه به هر دلیل اندود نفوذی پس از گذشت ۲۴ ساعت برای قیرابه‌ها و ۴۸ ساعت برای قیرهای محلول جذب نشود، باید فرصت داده شود تا قیر در سطح اساس نفود کند. در شرایط اضطراری و پیش از جذب کامل قیر می‌توان با تائید مهندس مشاور با پخش ماسه تمیز بر روی اندود نفوذی به مقدار ۲ تا ۳ کیلوگرم بر مترمربع، قیر اضافی را جذب کرد. ماسه مصرفی باید ریزتر از ۵ میلی‌متر باشد و درصد ردشده از الک شماره ۲۰۰ آن کمتر از ۱۰ درصد باشد. پس از جذب شدن مواد قیری باید مصالح ماسه اضافی از روی سطح جمع‌آوری شود.

۱۵-۵-۶ محدودیت‌های فصلی

اندود نفوذی باید هنگامی اجرا شود که هوا بارانی و یا مه‌آلود نباشد. در صورت استفاده از قیرهای محلول، سطح راه باید خشک باشد، اما در صورت استفاده از قیرآبه، بهتر است سطح راه مرطوب باشد.

در هنگام اجرای اندود نفوذی، اگر دمای هوا در حال افزایش باشد، باید بیشتر از ۱۰ درجه سلسیوس و اگر دمای هوا در حال کاهش باشد، باید بیشتر از ۱۵ درجه سلسیوس باشد. همچنین اگر دمای سطح لایه اساس در سایه در حال افزایش باشد، باید بیشتر از ۱۰ درجه سلسیوس باشد.

در مواقعی که دمای محیط با شرایط فوق مطابقت نداشته و اجرای اندود نفوذی نیز ضروری باشد، پخش قیر باید با موافقت مهندس مشاور و فراهم‌کردن تمهیدات لازم صورت گیرد.

۱۵-۵-۷ کنترل عبور وسایل نقلیه

هرگاه ضروری باشد که قیرپاشی همراه با تردد وسایل نقلیه از روی راه اجرا شود، همواره باید نصف عرض مسیر برای تردد آزاد نگه‌داشته شود تا وسایل نقلیه از روی سطح قیراندود شده عبور نکنند. در این صورت، اجرای اندود نفوذی روی نیمه دوم از عرض مسیر باید تا زمان گیرش کامل اندود نفوذی اجراشده در نیمه اول از عرض مسیر (سپری شدن حداقل ۲۴ ساعت) شروع نشود تا ماده قیری در تماس با چرخ وسایل نقلیه بلند نشود. نصب علائم کافی و چراغ‌های هشداردهنده و گماردن مأموران راهنما برای تأمین ایمنی تردد در حین قیرپاشی الزامی است.

به طور کلی ساخت راه باید طوری برنامه‌ریزی شود که پس از انجام اندود نفوذی و سپری شدن زمان لازم و کافی، آسفالت روی آن پخش گردد تا اندود نفوذی در تماس با وسایل نقلیه قرار نگیرد. هرگاه عبور وسایل نقلیه از روی مسیری که اندود نفوذی آن اجرا شده است، ضروری باشد، قیر باید پیش از آن به‌طور کامل به جسم اساس نفوذ کرده و خشک شده باشد تا به چرخ وسایل نقلیه نچسبد. اگر پیش از نفوذ و گیرش کامل قیر، تردد وسایل نقلیه ضرورت یابد، ابتدا باید ماسه‌پاشی بر روی سطح قیرپاشی‌شده طبق نظر مهندس مشاور انجام شود و سپس اجازه تردد داده شود.

۱۵-۶ کنترل کیفیت و پذیرش

۱۵-۶-۱ نمونه‌برداری و آزمایش

نمونه‌برداری از مواد قیری مورد استفاده در اجرای اندود نفوذی از محل‌های مختلف باید طبق روش‌های استاندارد AASHTO T40 یا ASTM D140 و به مقدار مشخص‌شده در استاندارد انجام شود. مقدار نمونه برداشته‌شده باید ضمن مطابقت با مفاد استاندارد نمونه‌برداری، برای انجام همه آزمایش‌های تطبیق ویژگی‌های قیر با مشخصات فنی کافی باشد.

نمونه‌برداری از مواد قیری به منظور کنترل کیفیت پیمانکار باید از مخازن ذخیره پیمانکار در کارگاه و یا مخازن ذخیره کارخانه تولید قیر و پیش از حمل به محل پروژه انجام شود. همچنین نمونه‌برداری از مواد قیری به منظور پذیرش عملیات اجرای اندود نفوذی باید در حین اجرا از مخزن یا نازل‌های ماشین قیرپاش به مقدار لازم انجام شود.

مقدار قیر پخش‌شده روی سطح راه باید با انجام آزمایش میزان پخش قیر (آزمایش سینی) طبق روش استاندارد ASTM D2995 تعیین شود. برای پذیرش عملیات اجرای اندود نفوذی، انجام آزمایش سینی، باید به ازای حداکثر هر ۱۵۰۰ متر مربع از سطح راه باشد.

میزان پخش قیر در عرض لوله نازل‌ها نیز باید یکنواخت باشد و توسط مهندس مشاور ارزیابی گردد. برای کنترل یکنواختی پخش نازل‌ها باید چندین ورق یا سینی در عرض مسیر قرار داده شود تا یکنواختی عرضی پخش قیر نیز بررسی شود. اندازه‌گیری میزان پخش قیر در عرض مسیر و کنترل یکنواختی پخش ماشین قیرپاش باید به ازای حداقل هر ۱۵۰۰ مترمربع و لااقل یک‌بار آزمایش در هر روز قیرپاشی انجام شود.

۱۵-۶-۲ کنترل کیفیت

نمونه مواد قیری برداشته‌شده از مخازن ذخیره باید برای بررسی انطباق ویژگی‌های آن‌ها با مشخصات استاندارد مندرج در فصل چهاردهم این نشریه یا حدود مندرج در مشخصات فنی خصوصی مورد آزمایش قرار گیرد. همه ویژگی‌های مواد قیری در مرحله کنترل کیفیت باید با مشخصات مندرج در فصل چهاردهم یا مشخصات فنی خصوصی انطباق داشته باشد.

مقدار هدف پخش قیر روی سطح اساس باید توسط مهندس مشاور و پیش از شروع عملیات اندود نفوذی، از طریق اجرای نوار آزمایشی به طول حداقل ۲۰ متر و در محدوده مشخصات این فصل تعیین گردد. برای کنترل کیفیت میزان پخش قیر توسط قیرپاش باید میزان پخش قیر از طریق اندازه‌گیری مستقیم مقدار خروجی نازل‌ها در واحد زمان تعیین شود. در ادامه باید با مشخص‌کردن میزان هم‌پوشانی خروجی نازل‌ها (که ارتفاع لوله پخش از سطح راه را مشخص می‌کند) و تنظیم زاویه نازل‌ها نسبت به محور لوله پخش، سرعت حرکت قیرپاش به منظور حصول مقدار هدف برای پخش قیر محاسبه گردد. در زمان اجرای نوار آزمایشی، میزان پخش قیر روی سطح اساس باید در محدوده ۱۰± درصد از مقدار آزمایشی مشخص‌شده توسط مهندس مشاور باشد.

۱۵-۶-۳ پذیرش

نمونه مواد قیری برداشته‌شده از ماشین قیرپاش باید برای بررسی انطباق ویژگی‌های آن‌ها با مشخصات استاندارد مندرج در فصل چهاردهم این نشریه یا مشخصات فنی خصوصی پیمان مورد آزمایش قرار گیرد.

رواداری کارگاهی میزان پخش مواد قیری روی سطح اساس برای پذیرش عملیات اجرای اندود نفوذی، برابر ۱۵± درصد از مقدار هدف مشخص‌شده توسط مهندس مشاور است. چنانچه مقدار پخش خارج از محدوده فوق باشد و یا یکنواختی مقدار قیر پخش‌شده در عرض مسیر غیر قابل قبول باشد، باید اصلاح لازم طبق نظر مهندس مشاور صورت گیرد و کار انجام‌شده به تأیید برسد.

۱۵-۷ اندازه‌گیری

عملیات اندود نفوذی بر اساس وزن ماده قیری مصرف‌شده بر حسب تن و یا حجم آن بر حسب مترمکعب اندازه‌گیری می‌شود. مقدار مواد قیری مصرفی باید درون ماشین‌های حمل و یا قیرپاش اندازه‌گیری شود. در

صورت اندازه‌گیری مقدار مواد قیری درون ماشین‌های قیرپاش، مقدار آب مصرفی برای رقیق‌سازی قیرابه باید از مقدار قیرابه رقیق‌شده و مصرف‌شده در عملیات کاسته شود.

قابل ذکر است بهای واحد عملیات اندود نفوذی به ازای مقدار قیر مصرف‌شده باید همه اقدامات و عملیات تشریح‌شده در این فصل شامل آماده‌سازی سطح اساس، تهیه، حمل و پخش قیر، کنترل ترافیک و ایمنی تردد وسایل نقلیه و ماسه‌پاشی روی اندود نفوذی (در صورت نیاز) را شامل شود.

در صورتی که مشخصات فنی ماده‌ی قیری استفاده شده در اندود نفوذی (به غیر از درصد قیر)، مطابق با مندرجات فصل چهاردهم نشریه یا مشخصات فنی خصوصی پیمان نباشد، ولی عملکرد مورد انتظار و مناسب اندود نفوذی حاصل شده باشد، مهندس مشاور می‌تواند نسبت به دستور اصلاح یا قبول وضعیت موجود اقدام کند.

۱۵-۸ چک‌لیست نظارت بر عملیات اجرا

چک‌لیست کنترل و نظارت بر عملیات اجرای اندود نفوذی در جدول (۱۵-۳) برای بهره‌برداری مهندس مشاور ارایه شده است.

۱۵-۳ چک لیست اجرای اندود نفوذی

ردیف	موضوع	نتیجه		توضیحات
		بله	خیر	
	کنترل قیر			
۱	آیا ویژگی‌های قیر مورد استفاده برای اندود نفوذی با الزامات نشریه ۱۰۱ مطابقت دارد؟			
۲	آیا نوع قیر با شرایط سطح اساس مطابقت دارد؟			
۳	آیا تولیدکننده قیر از مراکز ذی‌صلاح گواهینامه فنی دارد؟			
	کنترل سطح لایه اساس			
۴	آیا سطح اساس برای اجرای اندود نفوذی آماده شده است؟			
۵	آیا سطح اساس با استفاده از جاروی مکانیکی و هوای فشرده از ذرات ریزدانه و مواد زائد پاک شده است؟			
۶	آیا قبل از اجرای اندود نفوذی، نیمرخ‌های طولی و عرضی و نیز رواداری‌ها نسبت به نقشه‌های اجرایی کنترل شده‌اند؟			
۷	آیا همواری سطح کنترل شده است؟			
	کنترل ماشین قیرپاش			
۸	آیا قیرپاش از نظر کارایی، نوع و فشار چرخ‌ها مناسب است؟			
۹	آیا گرم‌کن قیرپاش جهت گرم کردن قیر تا دمای لازم مناسب است؟			
۱۰	آیا در مخزن قیرپاش همزن مناسب تعبیه شده است؟			
۱۱	آیا مخزن قیرپاش به دماسنج مجهز شده است؟			
۱۲	آیا لوله بارگیری به صافی مجهز شده است؟			
۱۳	آیا دستگاه قیرپاش برای پخش قیر به پمپ مجهز است؟			
۱۴	آیا ماشین قیرپاش دارای سرعت‌سنج هست؟			
۱۵	آیا لوله قیرپاش قابلیت تغییر طول دارد؟			
۱۶	آیا قیرپاش به نازل پخش‌کننده دستی مجهز است؟			

ردیف	موضوع	نتیجه		توضیحات
		بله	خیر	
۱۷	آیا تعمیرات و نگهداری دوره‌ای قیرپاش انجام می‌شود؟			
۱۸	آیا قیرپاش به کپسول آتش‌نشانی مجهز است؟			
۱۹	آیا راننده قیرپاش مهارت کافی برای اجرای عملیات دارد؟			
۲۰	آیا وضعیت نازل‌های قیرپاش از نظر عدم گرفتگی و هم‌پوشانی مناسب است؟			
	کنترل شرایط جوی			
۲۱	با توجه به این شرایط جوی، آیا امکان اجرای اندود نفوذی وجود دارد؟ وضعیت جوی روز اجرا: □ آفتابی □ مه‌آلود □ بارانی وضعیت سطح راه: □ خشک □ مرطوب حداقل دمای هوا در روز اجرا: °C ..... حداقل دمای هوا در ۲۴ ساعت آینده: °C.....			
	کنترل عملیات اجرایی			
۲۲	آیا دمای قیر برای پخش اندود نفوذی مناسب است؟			
۲۳	آیا نکات ایمنی برای مصرف قیر محلول رعایت می‌شود؟			
۲۴	آیا همپوشانی بین خطوط عبور اعمال می‌شود؟			
۲۵	آیا تمهیدات ویژه برای نقاط ابتدا و انتهای قیرپاشی اعمال می‌گردد؟			
۲۶	آیا پس از اجرای اندود نفوذی، محدویت‌های تردد اعمال شده است؟			
۲۷	آیا پخش اندود نفوذی به صورت یکنواخت است؟			
۲۸	آیا میزان نفوذ اندود مناسب است؟			
۲۹	آیا سطوح با پوشش قیر زیاد مشاهده می‌گردد؟			
۳۰	آیا سطوح فاقد پوشش مشاهده می‌گردد؟			

۱۶

اندود سطحی (تک کت)

۱۶-۱ کلیات

اندود سطحی برای آغشته کردن سطح آسفالتی یا بتنی موجود راه‌ها و یا سطح لایه اساس دانه‌ای به مواد قیری با کندروانی کم با هدف افزایش چسبندگی و پیوستگی بین سطح موجود و لایه آسفالتی جدید که روی آن‌ها ساخته خواهد شد، اجرا می‌شود.

اجرای اندود سطحی عموماً برای ساخت همه روکش‌های آسفالتی، برای افزایش چسبندگی بین لایه آسفالتی یا بتنی موجود و لایه آسفالتی که بعداً اجرا خواهد شد، الزامی است و فقط با تایید کتبی مهندس مشاور می‌توان از اجرای آن صرف‌نظر کرد. مهندس مشاور می‌تواند از اجرای اندود سطحی بین دو لایه آسفالتی که در یک شیفت کاری از عملیات اجرایی ساخته می‌شوند، صرف نظر نماید، به شرطی که هیچ‌گونه گرد و خاک، آلودگی و نخاله روی سطح لایه اجرا شده وجود نداشته باشد و پیش از اجرای لایه بعدی، دمای سطح لایه اجرا شده بیش از ۶۰ درجه سلسیوس باشد.

در مواردی نیز اجرای اندود سطحی روی لایه اساس دانه‌ای توصیه شده است که به شرط تشخیص مهندس مشاور و تایید کارفرما، اجرا می‌شود:

الف- در مواردی که اجرای لایه آسفالتی روی لایه اساس دانه‌ای با وقفه طولانی همراه باشد (عموماً بیش از ۷ روز) یا احتمال بارندگی قریب‌الوقوع پس از اجرای لایه اساس دانه‌ای وجود داشته باشد، برای محافظت از لایه اساس لازم است پس از اتمام عملیات اجرای اساس، بلافاصله اندود نفوذی روی آن اجرا شود و پیش از اجرای لایه آسفالتی، اندود سطحی مطابق مشخصات این فصل و با میزان پخش نزدیک به حد پایین محدوده‌های مشخص‌شده، بین لایه اساس و لایه آسفالتی اجرا گردد.

ب- در مواردی که اجرای لایه آسفالتی روی لایه اساس دانه‌ای بدون وقفه انجام می‌شود (عموماً ظرف مدت یک هفته) و احتمال بارندگی نیز در این یک هفته وجود ندارد (که باید به تأیید مهندس مشاور برسد)، اجرای اندود سطحی روی اساس دانه‌ای با هدف افزایش چسبندگی بین لایه اساس و لایه آسفالتی مناسب‌تر و اقتصادی است و می‌توان از اجرای اندود نفوذی صرف‌نظر کرد. در این موارد، اندود سطحی روی لایه اساس باید مطابق مشخصات این فصل و با میزان پخش نزدیک به حد بالای محدوده‌های مشخص‌شده اجرا گردد.

پ- اگر در زمان اجرای اندود نفوذی روی اساس دانه‌ای، دمای هوا و سطح اساس پایین بوده و نزدیک به مقادیر حداقل مشخصات باشد و مهندس مشاور تشخیص دهد که اجرای لایه آسفالتی روی اندود نفوذی که گیرش و عمل‌آوری آن کامل نشده است، زیان‌های زیادی را به همراه خواهد داشت، توصیه می‌شود از مواد قیری با گیرش

سریع‌تر از جمله قیرابه زودشکن یا قیر محلول زودگیر استفاده شود. در این موارد، نفوذ مواد قیری در سطح لایه اساس کاهش می‌یابد و لذا می‌توان از مشخصات این فصل برای اجرای اندود سطحی (تک‌کت) روی لایه اساس با میزان پخش نزدیک به حد بالای محدوده‌های مشخص‌شده در این فصل، به عنوان جایگزین اندود نفوذی (پریم‌کت) استفاده کرد.

۱۶-۲ مواد قیری

۱۶-۲-۱ قیرابه دیرشکن

انواع قیرابه دیرشکن با رده‌بندی SS-1 ، SS-1h ، CSS-1 و CSS-1h را می‌توان برای اجرای اندود سطحی استفاده کرد. ویژگی‌های این قیرابه‌های دیرشکن باید با مشخصات استاندارد مربوطه به شرح فصل چهاردهم این نشریه یا مشخصات مندرج در مشخصات فنی خصوصی مطابقت داشته باشد. مطابق مشخصات، قیرابه‌های دیرشکن باید حداقل ۵۷ درصد قیر داشته باشند. قیرابه‌های دیرشکن را می‌توان با رعایت موارد احتیاط با افزودن آب اضافی به نسبت دو سهم امولسیون با حداکثر یک سهم آب (۱:۲) در کارگاه رقیق کرد تا از یکنواختی پخش و سهولت اجرای اندود سطحی اطمینان حاصل گردد. قابلیت امتزاج این قیرابه‌ها باید در آزمایشگاه بررسی گردیده و به تأیید مهندس مشاور برسد. در صورت مصرف قیرابه‌های دیرشکن دقت شود که پیش از اجرای روکش آسفالتی، فرصت کافی برای شکست و گیرش قیرابه داده شود.

در شرایطی که انواع قیرابه مشخص‌شده در این فصل در دسترس باشد، اولویت مصرف با قیرابه‌های دیرشکن است؛ ولی در مواردی که ملاحظات اقتصادی یا شرایط پروژه ایجاب نماید، طبق نظر مهندس مشاور می‌توان از سایر انواع قیرابه به جای قیرابه دیرشکن استفاده کرد.

۱۶-۲-۲ قیرابه سریع‌شکن و کندشکن

انواع قیرابه سریع‌شکن و کندشکن با زمان شکست سریع‌تر نسبت به قیرابه‌های دیرشکن با رده‌بندی CQS-1، CQS-1h، CMS-1، CMS-2h، MS-1 و HFMS-1 را می‌توان برای اجرای اندود سطحی مصرف کرد. ویژگی‌های قیرابه‌های سریع‌شکن و کندشکن باید با مشخصات استاندارد مربوطه به شرح فصل چهاردهم این نشریه یا مشخصات مندرج در مشخصات فنی خصوصی مطابقت داشته باشد. قیرابه‌های سریع‌شکن و کندشکن را نیز می‌توان با رعایت موارد احتیاط با افزودن آب اضافی به نسبت دو سهم امولسیون با حداکثر یک سهم آب (۱:۲) در

کارگاه رقیق کرد تا از یکنواختی پخش و سهولت اجرای اندود سطحی اطمینان حاصل گردد. قابلیت امتزاج این قیرابه‌ها باید در آزمایشگاه بررسی شده و به تأیید مهندس مشاور برسد.

۱۶-۲-۳ قیرابه زودشکن

انواع قیرابه زودشکن با رده‌بندی RS-1 ، RS-2 ، CRS-1 و CRS-2 را می‌توان برای اجرای اندود سطحی استفاده کرد. این قیرابه‌ها باید با مشخصات استاندارد مربوطه به شرح فصل چهاردهم این نشریه یا حدود مندرج در مشخصات فنی خصوصی مطابقت داشته باشد. قیرابه‌های زودشکن در حین مصرف نباید با افزودن آب اضافی رقیق شوند.

۱۶-۲-۴ انتخاب قیر مناسب

به‌طور معمول، از انواع قیرابه مشخص‌شده در این بخش برای اجرای اندود سطحی استفاده می‌گردد. انتخاب نوع ماده قیری برای اجرای اندود سطحی از میان انواع قیرابه اصولاً بر اساس تجربیات پیمانکار، سهولت انجام کار و یا قضاوت‌های عملکردی صورت می‌گیرد. لذا انتخاب قیرابه مناسب در یک پروژه از میان انواع قیرابه مشخص‌شده در این بخش باید بر اساس ترکیبی از عوامل مختلف از جمله ویژگی‌های قیر، سهولت اجرا، تجربیات پیمانکار و در دسترس بودن قیرها باشد. تجربیات پیمانکار در مصرف یک نوع قیرابه و در دسترس بودن یک قیرابه مشخص مواردی هستند که در انتخاب نهایی نوع قیرابه از میان انواع مشخص‌شده در این بخش بیشترین تأثیر را دارند.

سرعت شکست و گیرش قیرابه‌ها به عنوان اندود سطحی بستگی به نوع قیرابه، میزان آب افزوده‌شده برای رقیق‌سازی و شرایط آب و هوایی در زمان اجرا دارد. هیچگاه نباید قیرابه کاتیونی و آنیونی همزمان در یک پروژه برای اجرای اندود سطحی مصرف شوند. در نواحی با روسازی مرطوب اغلب از قیرابه‌های کاتیونی استفاده می‌شود، زیرا حساسیت رطوبتی و دمایی آنها کمتر است. عملکرد قیرابه‌ها به عنوان اندود سطحی در صورتی تضمین می‌شود که قیر باقیمانده آنها کیفیت مناسبی داشته باشد و پیش از ساخت لایه آسفالتی جدید، فرصت کافی برای شکست و گیرش قیرابه داده شود. اگر گیرش قیرابه کامل نشده باشد، چسبیدن و جابجایی مواد قیری توسط ماشین‌آلات اجرا روی خواهد داد. هر چه قیر باقیمانده و یا قیر پایه مورد استفاده برای تولید قیرابه سفت‌تر باشد، چسبندگی اندود سطحی به ماشین‌آلات اجرا کمتر خواهد بود.

۱۶-۳ میزان پخش مواد قیری

طراحی عملیات اندود سطحی شامل ارزیابی وضعیت سطح موجود راه، انتخاب ماده قیری مناسب و انتخاب مقدار مناسب قیر باقیمانده روی سطح راه پس از اجرای اندود سطحی است.

برای ارزیابی وضعیت سطح موجود باید عمر لایه سطحی راه (روسازی قدیمی یا لایه جدید روسازی)، تراش یا عدم تراش روسازی قدیمی، میزان شن‌زدگی یا هوازدگی روسازی قدیمی و به‌طور کلی، میزان زبری و بافت سطحی رویه موجود مشخص گردد. هرچه میزان زبری و عمق بافت سطحی راه بیشتر باشد، مقدار قیر لازم برای چسبندگی مناسب با لایه آسفالتی جدید بیشتر خواهد شد.

مناسب‌ترین میزان پخش قیرابه در اجرای اندود سطحی معادل حداقل مقدار قیر باقیمانده روی سطح است که بتوان آن مقدار را به‌طور یکنواخت روی سطح پخش کرد و از سوی دیگر، فرصت کافی برای گیرش کامل آن مقدار قیرابه، پیش از اجرای لایه آسفالتی جدید وجود داشته باشد. هرچه میزان پخش قیرابه بیشتر باشد، مدت زمان گیرش آن افزایش می‌یابد. همچنین قیرابه رقیق‌شده به دلیل مقدار آب بیشتر نسبت به قیرابه رقیق‌نشده به مدت بیشتری برای شکست و گیرش نیاز دارد.

کیفیت پوشش یکنواخت قیرابه روی سطح موجود و در نتیجه، میزان پخش اندود سطحی باید در زمان اجرا از طریق بازرسی و مشاهده چشمی به تأیید مهندس مشاور برسد. به عبارت دیگر، مقدار دقیق پخش قیرابه باید از طریق ارزیابی کارگاهی و با توجه به نوع قیرابه مصرفی و شرایط زمان اجرا، توسط مهندس مشاور تعیین و ابلاغ شود. محدوده مناسب میزان پخش برای انواع قیرابه مصرفی در اجرای اندود سطحی در جدول (۱۶-۱) مشخص شده است.

جدول ۱۶-۱- محدوده میزان پخش قیرابه اندود سطحی

وضعیت سطح موجود	مقدار قیر باقیمانده[1] (لیتر بر مترمربع)	مقدار قیرابه (لیتر بر مترمربع)	
		قیرابه رقیق‌نشده[2]	قیرابه رقیق‌شده[3]
لایه آسفالتی جدید	۰/۱۱ – ۰/۲۰	۰/۱۸ – ۰/۳۲	۰/۲۷ – ۰/۴۸
رویه آسفالتی قدیمی یا روسازی بتنی	۰/۱۷ – ۰/۲۸	۰/۲۷ – ۰/۴۵	۰/۴۹ – ۰/۶۸
رویه آسفالتی یا بتنی تراش‌خورده	۰/۱۷ – ۰/۳۴	۰/۲۷ – ۰/۵۴	۰/۴۹ – ۰/۸۱

۱) مقدار قیری است که پس از شکست قیرابه و گیرش آن، روی سطح موجود باقی می‌ماند. به‌طور کلی، میزان پخش قیرابه با هدف تأمین محدوده‌های مشخص‌شده برای مقدار قیر باقیمانده آنها روی سطح موجود تعیین شده است.

۲) مقدار تقریبی پخش قیرابه‌های رقیق‌نشده با فرض ۶۳ درصد قیر باقیمانده برای آن‌ها محاسبه شده است.

۳) مقدار قیرابه رقیق‌شده به نسبت دو سهم قیرابه و یک سهم آب (۱:۲) با حداقل ۴۰ درصد قیر باقیمانده برای قیرابه رقیق‌شده محاسبه شده و به عنوان راهنما آورده شده است.

۱۶-۴ اجرای اندود سطحی

۱۶-۴-۱ وسایل و ماشین‌آلات

وسایل و ماشین‌آلات اجرای اندود سطحی، از جمله ماشین قیرپاش و آب‌پاش و ماشین‌آلات آماده‌سازی سطح موجود باید با الزامات مشخص‌شده در فصل پانزدهم این نشریه برای اجرای اندود نفوذی، به‌طور کامل انطباق داشته باشد.

۱۶-۴-۲ آماده کردن سطح راه

آماده‌سازی سطح موجود مرحله مهم اجرای اندود سطحی است که بیشترین تأثیر را بر چسبندگی لایه‌ها دارد. رعایت الزامات فصل پانزدهم این نشریه بر حسب مورد، برای آماده‌کردن سطح راه به‌منظور اجرای اندود سطحی الزامی است.

پیش از پخش قیر و در صورت نیاز، سطح موجود باید با استفاده از جاروی مکانیکی یا هوای فشرده پاک‌سازی شود. پاک‌سازی سطح موجود باید به‌گونه‌ای باشد که همه ناهمواری‌ها و ذرات سست از سطح موجود برداشته شود. در صورت لزوم، رویه موجود باید شسته شده و از آلودگی‌ها پاک شود.

پیش از اجرای اندود سطحی روی لایه آسفالتی یا بتنی تازه احداث‌شده، سطح موجود باید از نظر نیمرخ‌های طولی و عرضی و رواداری مربوطه نسبت به نقشه‌های اجرایی کنترل گردد. پیش از پخش مواد قیری اندود سطحی، همه ترمیم‌های موردنظر از جمله لکه‌گیری چاله‌ها و محل‌های خرابی و همچنین درزگیری و پرکردن ترک‌ها و درزها باید انجام شده باشد و مواد درزگیری اضافی از روی سطح موجود برداشته شود.

به‌طور کلی، اجرای اندود سطحی روی سطوح تمیز و جاروب‌شده مجاز است؛ ولی با توجه به استفاده از قیرابه، سطح راه می‌تواند مرطوب باشد. برای جلوگیری از اثرات منفی رطوبت بر چسبندگی قیر به سطح موجود بهتر است که سطح اجرای اندود سطحی خشک باشد.

رطوبت زیاد سطح موجود برای پخش قیرابه اندود سطحی باعث کندشدن سرعت شکست و تأخیر در گیرش قیر می‌شود. همچنین اشباع بودن سطح موجود و یا وجود آب روی سطحی که برای پخش قیرابه آماده می‌شود، باعث کاهش شدید چسبندگی اندود سطحی خواهد شد.

در روسازی‌های موجود، می‌توان سطح روسازی را تراش ریز داد که مزایای متعددی به همراه دارد. در صورت تراش سطح روسازی موجود راه، بخش بالایی رویه موجود که ویژگی‌های آن در اثر سایش ترافیک و هوازدگی

تضعیف شده است، برداشته شده و همه ناهمواری‌های سطحی روسازی اصلاح می‌شود. همچنین تراش سطحی باعث افزایش چسبندگی روکش آسفالتی به روسازی موجود می‌شود. در مقابل، عملیات تراش سطحی، برداشتن مصالح تراشه، پاک‌سازی سطح تراش‌خورده و همچنین افزایش مقدار پخش قیر، هزینه بیشتری به پروژه تحمیل می‌کند.

برای آماده‌سازی سطح راه به منظور اجرای اندود سطحی روی لایه آسفالتی یا روسازی بتنی جدیدالاحداث فقط به عملیات جاروب‌کشی نیاز است.

۱۶-۴-۳ پخش قیر

عملیات پخش قیرابه روی سطح موجود و آماده‌شده باید با رعایت الزامات مشخص‌شده در فصل پانزدهم این نشریه برای اجرای اندود نفوذی انجام شود. به‌طور کلی، قیرابه باید با قیرپاش و به‌طور یکنواخت و مداوم روی سطح راه پاشیده شود، به‌نحوی‌که سطوح کم‌قیر یا سطوح پر قیر به وجود نیاید. آن نواحی از سطح راه که اندود سطحی روی آنها اجرا شده است، حتی الامکان باید در همان روز با لایه آسفالتی پوشیده شود.

۱۶-۴-۴ دمای قیر هنگام پخش

محدوده دمای مناسب برای پخش قیرابه‌ها در جدول (۱۶-۲) مشخص شده است که با توجه به دمای هوا، دمای سطح راه، رطوبت هوا، سرعت باد، بافت سطح راه و سایر عوامل مؤثر، باید در سطح پروژه توسط مهندس مشاور تعیین گردد. برای قیرابه‌های زودشکن، حداقل دمای پخش عموماً بیشتر از قیرابه‌های دیرشکن و سریع‌شکن در نظر گرفته می‌شود.

جدول ۱۶-۲ محدوده دمای مناسب قیرابه‌ها در هنگام پخش

نوع و رده‌بندی قیرابه	دمای پخش (درجه سلسیوس)
SS-1 ، SS-1h ، CSS-1 ، CSS-1h RS-1 ، CRS-1 ، CQS-1 ، CQS-1h	۲۱ تا ۶۰
RS-2 ، CRS-2	۴۳ تا ۷۰

۱۶-۴-۵ محدودیت‌های فصلی

در هنگام اجرای اندود سطحی، اگر دمای هوا در حال افزایش باشد، باید بیشتر از ۱۰ درجه سانتی‌گراد و اگر دمای هوا در حال کاهش باشد، باید بیشتر از ۱۵ درجه سانتی‌گراد باشد. در مواقعی که شرایط دمایی فوق فراهم نباشد و اجرای اندود سطحی نیز ضروری باشد، پخش قیرابه باید با موافقت مهندس مشاور و فراهم‌کردن تمهیدات

لازم صورت گیرد.

اندود سطحی باید هنگامی اجرا شود که هوا بارانی و یا مه‌آلود نباشد. همچنین در مواقعی که احتمال بارندگی وجود داشته باشد، پخش قیرابه مجاز نیست.

۱۶-۴-۶ کنترل عبور وسایل نقلیه

تردد وسایل نقلیه از روی سطوح قیرپاشی‌شده مجاز نیست. هرگاه ضروری باشد که قیرپاشی همراه با تردد وسایل نقلیه از روی راه اجرا شود، همواره باید نصف عرض مسیر برای تردد آزاد نگه‌داشته شود تا وسایل نقلیه از روی سطح قیراندود عبور نکنند.

به‌طور کلی، ساخت راه باید طوری برنامه‌ریزی شود که پس از اجرای اندود سطحی و سپری شدن زمان لازم و کافی، آسفالت روی آن پخش گردد تا اندود سطحی در تماس با چرخ خودروها قرار نگیرد. به منظور تأمین ایمنی تردد خودروها و وسایل نقلیه، پیمانکار باید با نصب علایم ایمنی کافی و گماردن مأموران راهنما از تردد وسایل نقلیه روی نواحی اندودشده، به ویژه بلافاصله پس از اجرای اندود سطحی و نیز تا زمانی که با لایه آسفالتی پوشیده نشده است، جلوگیری کند.

۱۶-۵ کنترل کیفیت و پذیرش

۱۶-۵-۱ نمونه‌برداری و آزمایش

نمونه‌برداری از قیرابه مصرفی در اجرای اندود سطحی باید طبق روش‌های استاندارد AASHTO T40 یا ASTM D140 و به مقدار مشخص‌شده در استاندارد انجام شود. مقدار نمونه برداشته‌شده باید ضمن مطابقت با مفاد استاندارد نمونه‌برداری، برای انجام همه آزمایش‌های تطبیق ویژگی‌های قیر با مشخصات فنی کافی باشد.

نمونه‌برداری از قیرابه‌ها به منظور کنترل کیفیت پیمانکار باید از مخازن ذخیره پیمانکار در کارگاه و یا مخازن ذخیره کارخانه تولید قیر و پیش از حمل به محل پروژه انجام شود. همچنین نمونه‌برداری از قیرابه‌ها به منظور پذیرش عملیات اجرای اندود سطحی باید در حین اجرا از مخزن یا نازل‌های ماشین قیرپاش به مقدار لازم انجام شود.

مقدار قیر پخش‌شده روی سطح راه باید با انجام آزمایش میزان پخش قیر (آزمایش سینی) طبق روش استاندارد ASTM D2995 تعیین شود. برای پذیرش عملیات اجرای اندود سطحی، به ازای حداکثر هر ۱۵۰۰ مترمربع از

سطح راه و یا هرگاه نوع یا وضعیت سطح موجود تغییر نماید، باید یک آزمایش انجام شود.

میزان پخش قیر در عرض لوله نازل‌ها نیز باید یکنواخت باشد و توسط مهندس مشاور ارزیابی گردد. برای کنترل یکنواختی پخش نازل‌ها باید چندین ورق یا سینی در عرض مسیر قرار داده شود تا یکنواختی عرضی پخش قیر نیز بررسی شود. اندازه‌گیری میزان پخش قیر در عرض مسیر و کنترل یکنواختی پخش ماشین قیرپاش باید به ازای حداقل هر ۱۰.۰۰۰ مترمربع انجام شود.

۱۶-۵-۲ کنترل کیفیت

نمونه قیرابه برداشته‌شده از مخازن ذخیره باید برای بررسی انطباق ویژگی‌های آنها با مشخصات استاندارد مندرج در فصل چهاردهم این نشریه یا حدود مندرج در مشخصات فنی خصوصی، مورد آزمایش قرار گیرد. همه ویژگی‌های قیرابه‌ها در مرحله کنترل کیفیت باید با مشخصات استاندارد فصل چهاردهم یا حدود مندرج در مشخصات فنی خصوصی انطباق داشته باشد.

مقدار هدف پخش قیر روی سطح موجود راه باید توسط مهندس مشاور و در آغاز عملیات اندود سطحی، از طریق اجرای نوار آزمایشی به طول حداقل ۲۰ متر و در محدوده مشخصات این فصل تعیین گردد. همچنین در آغاز عملیات اجرای اندود سطحی و در محدوده ۱۵۰۰ مترمربع از شروع پروژه باید یک آزمایش برای کنترل کیفیت کار و صحت‌سنجی میزان پخش موردنظر انجام شود. هرگاه ماشین قیرپاش و یا وسایل قیرپاشی تغییر نماید و از ماشین‌آلات دیگری برای ادامه کار استفاده شود، صحت‌سنجی میزان پخش قیرابه توسط قیرپاش جدید باید تکرار شود. برای کنترل کیفیت میزان پخش قیر توسط قیرپاش می‌توان میزان پخش قیر را از طریق اندازه‌گیری مستقیم مقدار خروجی نازل‌ها در واحد زمان تعیین کرد. در ادامه نیز با مشخص‌کردن میزان هم‌پوشانی خروجی نازل‌ها (که ارتفاع لوله پخش از سطح راه را مشخص می‌کند) و تنظیم زاویه نازل‌ها نسبت به محور لوله پخش، سرعت حرکت قیرپاش به منظور حصول مقدار هدف برای پخش قیر محاسبه می‌گردد. در زمان صحت‌سنجی و کنترل کیفیت کار، میزان پخش قیر روی سطح راه باید در محدوده ۱۰± درصد از مقدار آزمایشی مشخص‌شده توسط مهندس مشاور باشد.

۱۶-۵-۳ پذیرش

نمونه قیرابه برداشته‌شده از ماشین قیرپاش باید برای بررسی انطباق ویژگی‌های آنها با مشخصات استاندارد مندرج در فصل چهاردهم این نشریه یا حدود مندرج در مشخصات فنی خصوصی، مورد آزمایش قرار گیرد. همه

ویژگی‌های مواد قیری در مرحله پذیرش باید با مشخصات استاندارد فصل چهاردهم یا حدود مندرج در مشخصات فنی خصوصی انطباق داشته باشد.

رواداری کارگاهی میزان پخش قیرابه‌ها روی سطح موجود برای پذیرش عملیات اندود سطحی، برابر ۱۵± درصد از مقدار هدف مشخص‌شده توسط مهندس مشاور است. چنانچه مقدار پخش خارج از محدوده فوق باشد و یا یکنواختی مقدار قیر پخش‌شده در عرض مسیر غیر قابل قبول باشد، باید اصلاح لازم طبق نظر مهندس مشاور صورت گیرد و کار انجام‌شده به تأیید برسد.

۱۶-۶ اندازه‌گیری

عملیات اندود سطحی بر اساس وزن قیرابه مصرف‌شده بر حسب تن و یا حجم آن بر حسب مترمکعب اندازه‌گیری می‌شود. مقدار قیرابه مصرفی باید درون ماشین‌های حمل و یا قیرپاش اندازه‌گیری شود. در صورت اندازه‌گیری مقدار قیرابه درون ماشین‌های قیرپاش، مقدار آب مصرفی برای رقیق‌سازی آن باید از مقدار قیرابه رقیق‌شده و مصرف‌شده در عملیات کاسته شود.

بهای واحد عملیات اندود سطحی به ازای مقدار قیر مصرف‌شده باید همه اقدامات و عملیات تشریح‌شده در این فصل شامل آماده‌سازی سطح موجود، تهیه، حمل و پخش قیر، کنترل ترافیک و ایمنی تردد وسایل نقلیه را شامل شود.

در صورتی که مشخصات فنی قیرابه مصرفی در اندود سطحی (به غیر از درصد قیر)، مطابق با مندرجات فصل چهاردهم نشریه یا مشخصات فنی خصوصی پیمان نباشد، ولی عملکرد مورد انتظار از اندود سطحی حاصل شده باشد، مهندس مشاور می‌تواند نسبت به دستور اصلاح و یا قبول وضعیت موجود اقدام نماید.

۱۶-۷ چک‌لیست نظارت بر عملیات اجرا

چک‌لیست کنترل و نظارت بر عملیات اجرای اندود سطحی در جدول (۱۶-۳) برای بهره‌برداری مهندس مشاور ارایه شده است.

جدول ۱٦-۳ چک لیست اجرای اندود سطحی

ردیف	موضوع	نتیجه		توضیحات
		بله	خیر	
	کنترل قیر			
۱	آیا ویژگی‌های قیر مورد استفاده برای اندود سطحی با الزامات نشریه ۱۰۱ مطابقت دارد؟			
۲	آیا تولیدکننده قیر از مراکز ذی‌صلاح گواهینامه فنی دارد؟			
	کنترل سطح موجود			
۳	آیا سطح موجود برای اجرای اندود سطحی آماده شده است؟			
٤	آیا سطح موجود از گرد و خاک و نخاله پاک شده است؟			
٥	آیا قبل از اجرای اندود سطحی، نیمرخ‌های طولی و عرضی و نیز رواداری‌ها نسبت به نقشه‌های اجرایی کنترل شده‌اند؟			
٦	آیا همواری سطح موجود کنترل شده و اقدام لازم انجام شده است؟			
	کنترل ماشین قیرپاش			
۷	آیا قیرپاش از نظر کارایی، نوع و فشار چرخ‌ها مناسب است؟			
۸	آیا گرم‌کن قیرپاش جهت گرم کردن قیر مناسب است؟			
۹	آیا در مخزن قیرپاش همزن مناسب تعبیه شده است؟			
۱۰	آیا مخزن قیرپاش به دماسنج مجهز شده است؟			
۱۱	آیا لوله بارگیری به صافی مجهز شده است؟			
۱۲	آیا دستگاه قیرپاش برای پخش قیر به پمپ مجهز است؟			
۱۳	آیا ماشین قیرپاش دارای سرعت‌سنج است؟			
۱٤	آیا لوله قیرپاش قابلیت تغییر طول دارد؟			
۱٥	آیا قیرپاش به نازل پخش‌کننده دستی مجهز است؟			
۱٦	آیا تعمیرات و نگهداری دوره‌ای قیرپاش انجام می‌شود؟			
۱۷	آیا قیرپاش به کپسول آتش‌نشانی مجهز است؟			
۱۸	آیا راننده قیرپاش مهارت کافی برای اجرای عملیات دارد؟			
۱۹	آیا وضعیت نازل‌های قیرپاش از نظر عدم گرفتگی و هم‌پوشانی مناسب است؟			
	کنترل شرایط جوی			
۲۰	با توجه به این شرایط جوی، آیا امکان اجرای اندود سطحی وجود دارد؟ وضعیت جوی روز اجرا: ° آفتابی ° مه‌آلود ° بارانی وضعیت سطح راه: ° خشک ° مرطوب حداقل دمای هوا در روز اجرا: °C ..... وضعیت جوی روز بعد از اجرا: °آفتابی °مه‌آلود °بارانی			
	کنترل عملیات اجرایی			
۲۲	آیا دمای قیر برای پخش اندود سطحی مناسب است؟			
۲۳	آیا با توجه به وضعیت سطح موجود، میزان پخش قیر مناسب است؟			
۲٤	آیا همپوشانی بین خطوط عبور اعمال می‌شود؟			
۲٥	آیا تمهیدات ویژه برای نقاط ابتدا و انتهای قیرپاشی اعمال می‌گردد؟			
۲٦	آیا پس از اجرای اندود سطحی، محدویت تردد اعمال می‌شود؟			
۲۷	آیا پخش اندود سطحی به صورت یکنواخت است؟			
۲۸	آیا سطوح با پوشش قیر زیاد مشاهده می‌گردد؟			
۲۹	آیا سطوح فاقد پوشش مشاهده می‌گردد؟			
۳۰	آیا گیرش قیر پیش از اجرای لایه آسفالتی کامل می‌شود؟			

۱۷

آسفالت‌های حفاظتی، نگهداری پیشگیرانه، ترمیمی و اضطراری روسازی

۱۷-۱ مقدمه

حفاظت و نگهداری از روسازی‌ها مجموعه عملیاتی هستند که در طول دوره عمر و بهره‌برداری از روسازی انجام می‌شوند تا سطح سرویس و ایمنی راه ارتقا یابد. انواع روش‌های نگهداری بر حسب کاربرد به سه دسته کلی نگهداری پیشگیرانه[1]، نگهداری ترمیمی[2] و نگهداری اضطراری[3] تقسیم می‌شوند.

نگهداری پیشگیرانه مجموعه عملیاتی است که به صورت دوره‌ای روی روسازی راه انجام می‌شود تا سطح خدمت‌دهی آن همواره مناسب باقی بماند و از تخریب و اضمحلال روسازی جلوگیری گردد. استراتژی نگهداری پیشگیرانه بر این اساس استوار است که با انجام هزینه در زمانی که سطح خدمت‌دهی راه همچنان خوب بوده و دچار خرابی‌های عمده نشده است، از انجام تعمیرات اساسی و پرداختن هزینه‌های بالای بهسازی کلی و یا بازسازی روسازی در آینده جلوگیری گردد. با داشتن چشم‌انداز بلندمدت برای نگهداری روسازی راه و برآورد هزینه چرخه عمر روسازی، اجرای برنامه نگهداری پیشگیرانه و ساخت رویه‌های حفاظتی در زمان‌های مقرر، باعث افزایش سطح خدمت‌دهی روسازی‌ها و صرفه‌جویی در منابع مالی و معدنی و حفظ محیط زیست خواهد شد. روش‌های حفاظتی شامل روکش‌های عمدتاً نازک هستند که به منظور حفاظت از روسازی راه‌ها، افزایش سطح خدمت‌دهی و برطرف کردن خرابی‌های سطحی و عملکردی آن‌ها اجرا می‌شوند.

به علاوه، روش‌های درزگیری، لکه‌گیری و پرکردن چاله‌ها نیز شامل روش‌های نگهداری ترمیمی و اضطراری روسازی‌ها می‌شوند.

۱۷-۲ انواع روش‌های نگهداری

روش‌های حفاظتی و نگهداری با توجه به نوع آن‌ها، قابلیت اجرا روی روسازی‌های آسفالتی، بتنی و راه‌های شنی را دارند. به طور کلی، امکان استفاده از روش‌های حفاظتی در تمام شرایط آب و هوایی، جغرافیایی و ترافیکی وجود دارد. روش حفاظتی مناسب بر اساس شرایط آب و هوایی، شرایط ترافیکی، نوع راه و روسازی آن، وضعیت هندسی و جغرافیایی مسیر، وضع موجود راه و میزان خرابی‌های روسازی با مطالعه مهندسین مشاور و بر اساس این دستورالعمل انتخاب می‌گردد.

1. Preventive Maintenance
2. Corrective Maintenance
3. Emergency Maintenance

متداول‌ترین روش‌های حفاظتی و نگهداری روسازی‌ها عبارت‌اند از:

- اندود آب‌بندی (فاگ‌سیل[1])
- اندود آب‌بندی جاروب‌کشی شده (اسکراب‌سیل[2])
- دوغاب آب‌بندی قیری (اسلاری‌سیل[3])
- آسفالت نازک قیرآبه‌ای (میکروسرفیسینگ[4])
- آسفالت سطحی (چیپ‌سیل[5])
- آسفالت حفاظتی ترکیبی (کیپ‌سیل[6])
- آسفالت داغ نازک
- آسفالت داغ فوق نازک
- درزگیری و پرکردن ترک‌ها
- چاله پرکنی با آسفالت سرد بسته‌بندی

۱۷-۳ اندود آب‌بندی (فاگ‌سیل)

اندود آب‌بندی (فاگ‌سیل)، پخش قیرآبه با کندروانی کم (معمولاً رقیق‌شده با آب) روی سطح جاده است. این اندود می‌تواند روش مناسبی برای نگهداری راه‌ها باشد، هر چند که کارآیی آن به اندازه رویه‌های حفاظتی حاوی مصالح سنگی نیست. اندود آب‌بندی برای احیای روسازی‌های پیرشده‌ای بکار می‌رود که رنگ مشکی آن‌ها تبدیل به خاکستری شده و قدری سخت و شکننده شده هستند، اما مشکل سازه‌ای نداشته باشند. هدف از اجرای آن نیز آب‌بندی ترک‌های ریز و پر کردن منافذ سطحی و جلوگیری از شن‌زدگی روسازی است. این روش نگهداری باعث افزایش عمر روسازی و به تأخیر انداختن عملیات بهسازی پرهزینه می‌گردد. اندود آب‌بندی را می‌توان روی آسفالت سطحی (چیپ‌سیل) نیز اجرا کرد تا مانع جداشدگی سنگدانه‌ها و پرتاب آن‌ها از زیر چرخ وسایل نقلیه گردد. اگر اندود آب‌بندی مطابق یک برنامه مدون و در زمان‌های معین روی راه اجرا شود، می‌تواند یک گزینه نگهداری پیشگیرانه مناسب باشد.

1. Fog Seal
2. Scrub Seal
3. Slurry Seal
4. Microsurfacing
5. Chip Seal
6. Cape Seal

توجه شود راه‌های آسفالتی که تازه روکش یا لکه‌گیری شده‌اند و یا به هر دلیلی دارای بافت سطحی نفوذناپذیر و یا مشکل لغزندگی هستند، برای اجرای اندود آب‌بندی مناسب نیستند.

به طور خلاصه، روسازی‌های با شرایط زیر برای اجرای اندود آب‌بندی مناسب هستند:

- با بافت سطحی مناسب و لغزندگی کم
- بدون خرابی قابل مشاهده
- پیرشده، قبل از اینکه بسیار شکننده شوند
- با شن‌زدگی خفیف
- با ترک‌های سطحی ریز

همچنین روسازی‌های با شرایط زیر برای اجرای اندود آب‌بندی مناسب نیستند:

- دارای خرابی‌های قابل مشاهده زیاد
- سطوح قیرزده
- حاوی ترک‌های عریض
- دارای شیارشدگی، موج‌زدگی و یا تغییرشکل‌های ماندگار
- دارای خرابی‌های سازه‌ای
- با اصطکاک سطحی کم
- روسازی‌های نفوذناپذیر

۱۷-۳-۱ مواد و مصالح

قیرآبه مورد استفاده در اندود آب‌بندی می‌تواند از انواع SS-1، SS-1h، CSS-1، CSS-1h و MS-1 باشد. قیرآبه را می‌توان به نسبت‌های مختلف، حداکثر به نسبت ۱ به ۵ (یک واحد قیرآبه و ۵ واحد آب) رقیق کرد، ولی معمولا رقیق‌سازی با نسبت یک به یک مناسب است. میزان رقیق‌سازی بسته به شرایط و وضع خرابی‌های مسیر و شرایط ترافیکی تعیین می‌شود و باید تحت نظر مهندس مشاور باشد. نوع قیرآبه مصرفی بسته به شرایط سطح روسازی و خرابی‌های آن و مدت زمان انسداد ترافیک تعیین می‌شود.

برای رقیق‌سازی قیرآبه با آب، ابتدا باید سازگاری آب مصرفی با قیرآبه کنترل شود. رقیق‌سازی در کارگاه تولید قیرآبه و با اضافه کردن آب به قیرآبه صورت می‌پذیرد (و نه بالعکس). برای جلوگیری از ته‌نشینی، قیرآبه رقیق شده باید حداکثر تا ۲۴ ساعت مصرف گردد.

در صورت نیاز می‌توان از افزودنی‌های جوانساز و یا دیگر افزودنی‌های شیمیایی که باعث بازیابی خصوصیات ویسکوالاستیک قیر سخت‌شده می‌شوند، با تأیید مهندس مشاور و پس از اطمینان از عملکرد مناسب (با انجام آزمایش‌های لازم) استفاده نمود.

۱۷-۳-۲ میزان قیرآبه

برای سطوح مختلف روسازی، میزان مناسبی از قیرآبه رقیق‌شده می‌تواند به راحتی داخل ترک‌ها و منافذ سطحی نفوذ کرده و سطح راه را کاملاً پوشش دهد. مقدار پاشش قیرآبه رقیق‌شده معمولاً در محدوده ۱۵۰ تا ۹۰۰ گرم در مترمربع سطح راه مناسب است. نسبت رقیق‌سازی و میزان پخش قیرآبه باید بر حسب شرایط راه (بافت سطحی)، میزان خشکی سطح (کم قیری یا پر قیری سطح راه)، میزان ترک‌ها و شن‌زدگی سطح روسازی انتخاب شود و به تأیید مهندس مشاور برسد. برای روسازی‌های پیرشده که دارای منافذ سطحی و ترک‌های زیاد باشند، می‌توان از مقادیر بیشتر قیرآبه استفاده نمود.

برای سطوح کاملاً صاف و صیقلی و بدون منافذ سطحی نباید از این روش حفاظتی استفاده کرد. پخش مقدار زیاد قیرآبه باعث چسبیدن قیر به چرخ وسایل نقلیه و افزایش لغزندگی می‌شود. در صورت پخش بیش از حد قیرآبه، پاشش ماسه با حداکثر اندازه شش میلی‌متر روی سطح قیرزده به مقدار ۳ تا ۶ کیلوگرم در مترمربع می‌تواند تا حدی مشکل را برطرف کند.

برای تخمین میزان پخش قیرآبه، مهندس مشاور باید ابتدا یک لیتر قیرآبه رقیق‌شده با آب به نسبت یک به یک را در یک متر مربع از سطح راه پخش کند. اگر قیرآبه پس از ۲ تا ۳ دقیقه جذب سطح روسازی نشود، باید میزان پخش قیرآبه را با رقیق‌تر کردن آن (مثلاً یک واحد قیرآبه و دو واحد آب) کاهش دهد و آزمایش را برای یک سطح جدید در یک متر مربع تکرار کند تا جایی که میزان مناسب قیرآبه تعیین شود. اگر سطح روسازی در آزمایش اول نشان دهد که قابلیت جذب مقدار بیشتری از قیرآبه را دارد، باید مقدار آن را افزایش داده و قیرآبه رقیق‌شده با نسبت جدید را روی یک سطح جدید از روسازی در یک متر مربع پخش کند تا میزان پخش مناسب قیرآبه تعیین گردد.

برای تعیین تقریبی میزان پخش قیرآبه از آزمون حلقه که در استاندارد AASHTO T363[1] تشریح شده است، استفاده می‌شود.

---

۱. روش استاندارد آزمایش برای ارزیابی توسعه تنش و پتانسیل ترک ناشی از تغییر حجم محدود با استفاده از آزمون حلقه دوتایی

۱۷-۳-۳ تجهیزات و ماشین‌آلات

برای اجرای اندود آب‌بندی به یک دستگاه قیرپاش نیاز است که امکان پاشش قیرآبه با دبی یکنواخت و قابل کنترل را داشته باشد. زاویه قرار گرفتن نازل‌ها روی لوله پخش و ارتفاع نازل‌ها از سطح زمین باید به اندازه‌ای باشد که پاشش قیرآبه به صورت یکنواخت صورت گرفته و با همپوشانی دوتایی یا سه‌تایی نازل‌ها قیرپاشی انجام شود و پوشش سطح راه کامل شود.

۱۷-۳-٤ اجرا

سطح راه باید کاملاً تمیز بوده و در صورت نیاز، بادگیری و جاروب گردد. قیرآبه رقیق‌شده باید با نرخ مشخص و به میزان دقیق و یکنواخت روی سطح راه پخش شود. قسمت ابتدا و انتهای هر قطعه از محل قیرپاشی باید توسط گونی یا نظیر آن پوشانده شود تا قیرآبه اضافی روی سطح راه جاری نگردد. اجرای اندود آب‌بندی در ابتدا ممکن است باعث کاهش اصطکاک سطحی روسازی گردد. برای مقابله با این معضل می‌توان با پاشش مقدار بسیار کمی ماسه روی سطح روسازی، اصطکاک آن را احیا کرد. اجرای نوار آزمایشی به طول ۳۰۰ متر، قبل از اجرای اصلی الزامی است.

باید از عبور ترافیک روی سطح اجرا شده بلافاصله پس از پایان عملیات، جلوگیری شود. بازگشایی ترافیک هنگامی مناسب است که قیرآبه شکسته شده و با تبخیر آب، گیرش آن کامل شده باشد و قیرآبه نیز جذب سطح روسازی شده باشد. زمان بازگشایی ترافیک در هوای گرم و خشک، حداقل یک ساعت پس از اجرا است و در هوای سرد و مرطوب ممکن است تا سه ساعت پس از اجرا باشد. زمان بازگشایی به نوع قیرآبه نیز بستگی دارد.

۱۷-۳-۵ محدودیت دمایی

اندود آب‌بندی باید در هوای خشک و زمانی اجرا شود که دمای هوا برای گیرش قیرآبه به اندازه‌ی کافی بالا باشد. در هنگام اجرا، دمای هوا باید بیش از ۱۰ درجه سلسیوس و دمای سطح راه بیش از ۱۵ درجه سلسیوس باشد. در صورت پیش‌بینی بارندگی تا ۲۴ ساعت پس از اجرا، نباید اندود آب‌بندی اجرا شود.

۱۷-۳-٦ اندازه‌گیری احجام پخش

با استفاده از آزمایش سینی در محل اجراء و توزین آن قبل و بعد از پخش اندود آب‌بندی، میزان پخش قیرآبه تعیین می‌شود. همچنین با استفاده از نمونه قیرآبه اخذ شده از مخزن قیرپاش (پس از هم‌زدن و مخلوط

کردن آن)، درصد قیر خالص باقیمانده و میزان رقیق‌شدن قیرآبه محاسبه می‌گردد. با استفاده از هر دو نتیجه، میزان قیرآبه پخش‌شده محاسبه می شود.

۱۷-٤ اندود آب‌بندی جاروب‌کشی شده (اسکراب‌سیل)

قیرآبه مورد استفاده در اندود آب‌بندی فوق می‌تواند از انواع CSS-1 و CSS-1h باشد. در مسیرهای با ترک‌های زیاد، برای هدایت قیرآبه به درون جسم روسازی و ورود آن به ترک‌ها، می‌توان از یک وسیله دارای شاسی چرخ‌دار استفاده کرد که حاوی برس‌های متعدد بوده و مجهز به سیستم قیرپاشی باشد. مشخصات، مواد و مصالح مورد کاربرد و روش اجرای اندود آب‌بندی جاروب‌کشی شده همانند فاگ‌سیل (اندود آب‌بندی) است که در بند قبل تشریح گردید. برس‌های استفاده شده در دستگاه، باید قبل از اجرا کاملاً تمیز شوند.

۱۷-٤-۱ اندازه‌گیری احجام پخش

همه قیرآبه‌های ورودی به کارگاه باید صورتجلسه شده و با تقسیم وزن قیرآبه مصرفی بر مساحت اجرا شده، میزان کارکرد اندود آب‌بندی جاروب‌کشی شده به دست آید. با تعیین درصد قیر باقیمانده قیرآبه‌های وارد شده به کارگاه، میزان رقیق‌سازی قیرآبه تعیین می‌شود.

۱۷-۵ دوغاب آب‌بندی قیری (اسلاری‌سیل)

دوغاب آب‌بندی قیری مخلوطی است از مصالح سنگی ریزدانه، قیرآبه، آب، فیلر و برخی از افزودنی‌ها که با یکدیگر مخلوط شده و روی سطح روسازی آماده‌شده پخش می‌گردد. استفاده از فیلر و افزودنی ممکن است بر حسب شرایط الزامی نباشد.

دوغاب آب‌بندی قیری در رویه‌هایی که از نظر سازه‌ای سالم هستند، برای برطرف کردن خرابی‌هایی نظیر شن‌زدگی و لغزندگی سطح، پرکردن ترک‌های ریز با هدف آب‌بندی سطح روسازی و افزایش طول عمر آن کاربرد دارد. استفاده از دوغاب آب‌بندی قیری در رویه‌های نشست کرده و یا دارای تغییرشکل و شیارشدگی مجاز نیست. دوغاب آب‌بندی قیری از نظر زمان گیرش، به دو دسته با بازگشایی سریع و بازگشایی تدریجی ترافیک تقسیم می‌شود. در شرایطی که سطح روسازی تنش‌های برشی بزرگ را تجربه خواهد کرد، استفاده از دوغاب آب‌بندی قیری توصیه نمی‌شود.

در صورت اجرای این نوع آسفالت در مسیرهای با پیچ‌های تند و راه‌هایی که خودروها در آنها توقف‌ها و حرکت مجدد مکرر داشته باشند، بازگشایی ترافیک نیاز به مدت زمان بیشتری دارد.

۱۷-۵-۱ مواد و مصالح

۱۷-۵-۱-۱ قیرآبه

قیرآبه مورد استفاده در دوغاب آب‌بندی قیری بر حسب جنس مصالح سنگی و شرایط اجرا از یکی از انواع قیرهای SS-1، SS-1h، CSS-1، CSS-1h و CQS-1h انتخاب می‌شود. ویژگی‌های قیرآبه‌های آنیونی و کاتیونی باید با مشخصات مندرج در این نشریه برای این نوع قیرها مطابقت داشته باشند. مشخصات استاندارد قیرآبه‌های آنیونی بر اساس استانداردهای AASHTO M140 یا ASTM D977 و مشخصات قیرآبه‌های کاتیونی بر اساس استانداردهای AASHTO M208 یا ASTM D2397 ارائه شده است.

استفاده از پلیمر در قیرآبه اسلاری‌سیل (دوغاب آب‌بندی قیری) اختیاری است و با نظر مهندسین مشاور صورت می‌گیرد. در صورت نیاز به تولید و اجرای اسلاری‌سیل با سیستم بازگشایی سریع ترافیک باید از قیرآبه سریع‌شکن نوع CQS-1h استفاده شود. در صورت استفاده از پلیمر در قیرآبه اسلاری‌سیل، ویژگی‌های آن باید با مشخصات ذکر شده برای قیرآبه میکروسرفیسینگ مطابقت داشته باشد.

۱۷-۵-۱-۲ مصالح سنگی

مصالح سنگی مورد استفاده در اسلاری‌سیل را می‌توان از شکستن سنگ‌های گرانیتی، آهکی، سرباره، سیلیسی و یا دیگر سنگ‌های با کیفیت تهیه کرد. برای اطمینان از شکسته بودن همه سنگدانه‌ها، باید در فرآیند خردایش مصالح سنگی، اندازه سنگ مادر تحت خردایش از بزرگترین سنگدانه استفاده شده در دانه‌بندی بزرگتر باشد. مشخصات مصالح سنگی مورد استفاده در اسلاری‌سیل به شرح جدول (۱۷-۱) است.

جدول ۱۷-۱ مشخصات مصالح سنگی دوغاب آب‌بندی قیری

مشخصه / آزمایش	روش استاندارد		حدود مشخصه
	ASTM	AASHTO	
ارزش ماسه‌ای بعد از افزودن فیلر، درصد	D2419	T176	حداقل ۴۵
افت وزنی با سولفات سدیم، درصد	C88	T104	حداکثر ۱۵
افت وزنی با سولفات منیزیم، درصد	C88	T104	حداکثر ۲۵
افت وزنی در آزمایش سایش لس‌آنجلس، درصد (۱)	C131	T96	حداکثر ۳۵

(۱) آزمایش روی سنگ مادر انجام شود.

دانه‌بندی فرمول کارگاهی اسلاری‌سیل باید در محدوده یکی از سه دانه‌بندی جدول (۱۷-۲)، باشد. پس از تعیین فرمول کارگاهی، دانه‌بندی مخلوط مصالح در کارگاه باید در محدوده رواداری‌های مجاز مندرج در ستون

آخر جدول (۱۷-۲) قرار داشته باشد. کنترل دانه‌بندی دپوی مصالح موجود در کارگاه به این صورت است که پنج نمونه مختلف از دپوی مصالح برداشته و میانگین دانه‌بندی آن‌ها تعیین می‌شود. میانگین دانه‌بندی نمونه‌ها باید در محدوده رواداری‌های مجاز نسبت به فرمول کارگاهی قرار گیرد. در صورت خروج میانگین دانه‌بندی مصالح دپو از حدود رواداری، پیمانکار باید مصالح را جایگزین و یا دانه‌بندی آن را اصلاح کند و سپس شروع به عملیات اجرایی کند. در انتخاب دانه‌بندی کارگاهی دقت شود که درصد مصالح عبوری دو الک متوالی، از انتهای محدوده الک درشت‌تر به ابتدای محدوده الک ریزتر و بالعکس تغییر نکند. در صورت مخلوط شدن مصالح با مصالح درشت‌تر، باید مصالح سرند شده و سپس وارد ماشین اسلاری‌سیل شود.

انتخاب نوع دانه‌بندی بر اساس کاربرد اسلاری‌سیل به شرح زیر صورت می‌گیرد:

نوع یک: برای پر کردن حفرات سطح روسازی و از بین بردن خرابی‌های سطحی با شدت متوسط کاربرد دارد. ریز بودن مصالح در این دانه‌بندی به نفوذ مخلوط در ترک‌ها کمک می‌کند. مقدار پخش آسفالت معمولاً بین ۳/۵ تا ۵/۵ کیلوگرم در متر مربع است.

نوع دو: برای پر کردن حفرات سطح روسازی، از بین بردن خرابی‌های سطحی با شدت بیشتر، آب‌بندی و فراهم کردن یک رویه بادوام سطحی کاربرد دارد. مقدار پخش آسفالت معمولا بین ۵/۵ تا ۸/۵ کیلوگرم در متر مربع است.

نوع سه: حداکثر اصطکاک سطحی را به همراه داشته و عملکرد لایه رویه را ارتقا می‌دهد. در صورت اجرای اسلاری‌سیل در راه‌های شریانی، توصیه می‌گردد از این نوع دانه‌بندی استفاده گردد. مقدار پخش آسفالت معمولاً حداقل ۸/۵ کیلوگرم در متر مربع است.

۱۷-۵-۱-۳ فیلر معدنی

کاربرد فیلرهای معدنی فعال یا غیرفعال برای استفاده در دوغاب آب‌بندی قیری مناسب است. استفاده از فیلر با اهداف بهبود قوام مخلوط، کنترل زمان شکست، زمان گیرش و اصلاح دانه‌بندی انجام می‌شود. از سیمان، آهک هیدراته، پودر سنگ آهک یا فیلرهای دیگری که با مشخصات استاندارد ASTM D242 مطابقت داشته باشد، می‌توان به‌عنوان فیلر استفاده کرد. فیلر مصرفی باید در فرآیند طرح اختلاط نیز استفاده شود. پس از اخذ طرح اختلاط، تعویض نوع فیلر مجاز نیست. میزان کاربرد فیلر عموما کمتر از ۳ درصد است و باید به عنوان بخشی از دانه‌بندی مصالح در نظر گرفته شود.

جدول ۱۷-۲ محدوده‌های دانه‌بندی دوغاب آب‌بندی قیری و رواداری‌های مجاز

اندازه الک	درصد ردشده از الک‌ها			
	نوع یک	نوع دو	نوع سه	رواداری مجاز
۹/۵ میلی‌متر	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	---
۴/۷۵ میلی‌متر (شماره ۴)	۱۰۰	۱۰۰-۹۰	۹۰-۷۰	±۵
۲/۳۶ میلی‌متر (شماره ۸)	۱۰۰-۹۰	۹۰-۶۵	۷۰-۴۵	±۵
۱/۱۸ میلی‌متر (شماره ۱۶)	۹۰-۶۵	۷۰-۴۵	۵۰-۲۸	±۵
۰/۶ میلی‌متر (شماره ۳۰)	۶۵-۴۰	۵۰-۳۰	۳۴-۱۹	±۵
۰/۳ میلی‌متر (شماره ۵۰)	۴۲-۲۵	۳۰-۱۸	۲۵-۱۲	±۴
۰/۱۵ میلی‌متر (شماره ۱۰۰)	۳۰-۱۵	۲۱-۱۰	۱۸-۷	±۳
۰/۰۷۵ میلی‌متر (شماره ۲۰۰)	۲۰-۱۰	۱۵-۵	۱۵-۵	±۲

۱۷-۵-۱-٤ آب

آب مصرفی باید عاری از نمک‌ها و آلودگی باشد. اگر کیفیت آب مصرفی مورد سوال باشد، باید نمونه آب نیز به همراه بقیه مواد و مصالح به آزمایشگاه ارسال گردد تا از وجود املاح مضر و ناخالصی‌های دیگر در آن اطمینان حاصل شود.

۱۷-۵-۱-۵ افزودنی

افزودنی‌هایی را می‌توان برای کنترل زمان شکست و زمان گیرش به مخلوط دوغاب آب‌بندی قیری اضافه کرد. استفاده از افزودنی و میزان کاربرد آن باید در طرح اختلاط ذکر شده باشد. افزودنی‌های دیگری مانند مواد بهبود دهنده چسبندگی، افزاینده اسیدیته قیر و غیره نیز قابل استفاده است. معمولاً این افزودنی‌ها که به قیر خالص پایه اضافه می‌شوند، با پلیمر استفاده‌شده در قیرآبه متفاوت هستند.

۱۷-۵-۲ طرح اختلاط

پس از بررسی کیفیت مواد و اجزای تشکیل دهنده دوغاب آب‌بندی قیری، باید طرح اختلاط تهیه گردد. هدف از تهیه طرح اختلاط، بررسی سازگاری اجزای تشکیل‌دهنده دوغاب آب‌بندی قیری با یکدیگر، تعیین درصد قیر بهینه، بررسی قوام مخلوط و تعیین زمان بازگشایی ترافیک است. انجام آزمایش‌های مندرج در جدول ۱۷-۳ و داشتن مشخصات ذکر شده در فرآیند طرح اختلاط الزامی است.

کاربرد آزمایش زمان اختلاط برای به دست آوردن حداکثر زمانی است که مواد و مصالح می‌توانند تا قبل از شکست قیرآبه با یکدیگر مخلوط شوند. این آزمایش می‌تواند معیاری برای سنجش سازگاری مواد و مصالح

مورد استفاده با یکدیگر باشد. در آزمایشگاه باید زمان اختلاط و زمان گیرش برای شرایط آب و هوایی مورد انتظار پروژه مشخص شود.

جدول ۱۷-۳ آزمایش‌های طرح اختلاط و مشخصات موردنیاز دوغاب آب‌بندی قیری

مشخصه / آزمایش	روش استاندارد	حدود مشخصات
زمان اختلاط در ۲۵ درجه سلسیوس	ASTM D3910 ISSA TB113	حداقل ۱۸۰ ثانیه
آزمایش قوام دوغاب آب‌بندی قیری	ASTM D3910 ISSA TB106	۲ تا ۳ سانتی‌متر
آزمایش چسبندگی پس از ۳۰ دقیقه (۱) (زمان گیرش)	ASTM D3910 ISSA TB139	حداقل ۱۲ کیلوگرم سانتی‌متر
آزمایش چسبندگی پس از ۶۰ دقیقه (۱) (زمان بازگشایی ترافیک)	ASTM D3910 ISSA TB139	حداقل ۲۰ کیلوگرم سانتی‌متر (۲)
آزمایش عریان‌شدگی در شرایط غرقاب	ASTM D3910 ISSA TB114	حداقل ۹۰ درصد
افت وزنی در آزمایش سایش شرایط مرطوب (یک ساعت غرقاب)	ASTM D3910 ISSA TB100	حداکثر ۸۰۷ گرم بر مترمربع
مقدار ماسه چسبیده در آزمایش چرخ بارگذاری (برای راه‌های با ترافیک سنگین)	ISSA TB109	حداکثر ۵۳۸ گرم بر مترمربع

(۱) فقط برای اسلاری‌سیل با الزام بازگشایی سریع ترافیک اندازه‌گیری و کنترل شود.
(۲) اگر معیار ۲۰ کیلوگرم سانتی‌متر تأمین نشود، حالت گسیختگی NS در ISSA TB139 نیز قابل قبول است.

با تعیین افت وزنی در آزمایش سایش در شرایط مرطوب، حداقل قیر مورد نیاز تعیین می‌شود. به علاوه با انجام آزمایش تعیین میزان چسبندگی ماسه توسط دستگاه چرخ بارگذاری، حداکثر قیر مجاز دوغاب آب‌بندی قیری تعیین می‌گردد. با ترسیم نتایج این دو آزمایش برای درصدهای مختلف قیرآبه در یک نمودار و تعیین محل تلاقی آن‌ها، میزان قیرآبه بهینه به دست می‌آید. به طور کلی بهتر است برای روسازی‌های با ترافیک کم، حداکثر قیرِ به‌دست آمده؛ و برای روسازی‌های با ترافیک زیاد، حداقل قیرِ به‌دست آمده به عنوان درصد قیرآبه بهینه مشخص گردد. مهندس مشاور باید با توجه به نتایج آزمایشگاهی و با توجه به شرایط آب و هوایی و ترافیکی پروژه، میزان قیر بهینه را به عنوان میزان هدف تعیین و ابلاغ نماید. میزان هدف ممکن است در حین کار و بسته به شرایط محور، به صورت روزانه بررسی و تغییر یابد.

آزمایشگاه باید میزان رطوبت مصالح سنگی ارسالی جهت طرح اختلاط را محاسبه و گزارش کند. طرح اختلاط ارایه شده باید شامل میزان دقیق درصد قیرآبه و درصد فیلر استفاده شده نسبت به وزن مصالح سنگی خشک باشد.

۱۷-۵-۳ تجهیزات و ماشین‌آلات

تمامی تجهیزات، ابزار و ماشین‌آلاتی که برای اجرای اسلاری‌سیل (دوغاب آب‌بندی قیری) استفاده می‌شوند، باید در تمام عملیات اجرایی در شرایط قابل قبول باشند. لازم است که ماشین اجرا برای اجرای اسلاری‌سیل طراحی شده باشد. از ماشین اجرای آسفالت نازک قیرآبه‌ای (میکروسرفیسینگ) می‌توان برای اجرای اسلاری‌سیل نیز استفاده کرد. مواد و مصالح باید توسط ماشین اسلاری‌سیل خودمحرکه و طی مراحل خودکار، به طور متناسب و از پیش تعیین‌شده مخلوط شوند. تغذیه ماشین اجرا می‌تواند به صورت پیوسته یا منقطع باشد. در ماشین اسلاری‌سیل باید ابزار اندازه‌گیری جداگانه‌ای جهت کنترل‌های وزنی یا حجمی اجزای مخلوط فراهم شده و به طور مناسب برچسب‌گذاری شوند. این ابزار اندازه‌گیری که باید کالیبره شده باشند، برای پایش و کنترل مقدار مواد و مصالح استفاده می‌شوند و امکان تعیین خروجی مخلوط اسلاری‌سیل در هر زمان را فراهم می‌آورند. مخلوط باید با جعبه‌پخش متصل به ماشین، به‌طور یکنواخت در سطح روسازی پخش و ماله‌کشی شود. در صورت لزوم باید تجهیزات مکانیکی به جعبه‌پخش اضافه شوند تا امکان هم زدن اجزای مخلوط و پخش یکنواخت آن درون جعبه فراهم شود. مخلوط دوغاب آب‌بندی قیری به هنگام وارد شدن به جعبه‌پخش باید از انسجام کافی برخوردار باشد. پاشیدن آب اضافی به داخل جعبه‌پخش مجاز نیست.

نوار لاستیکی نصب‌شده در جلوی جعبه‌پخش، مانع از بیرون ریختن مخلوط از اطراف جعبه‌پخش می‌شود. نوار لاستیکی پشتی که به عنوان مرز جدایی دوغاب آب‌بندی قیری از دستگاه عمل می‌کند، باید قابل تنظیم بوده و موجب ماله‌کشی مخلوط به درون حفرات سطحی گردد. جعبه‌پخش و نوار پشتی آن لازم است به گونه‌ای طراحی شده و کار کنند که انسجام و خروجی یکنواخت مخلوط در پشت جعبه حاصل شود. جعبه پخش باید قابلیت تغییر و تنظیم داشته باشد تا بتواند با تغییرات عرض روسازی منطبق شود. می‌توان با اتصال یک پارچه کنفی و یا نوار مناسب به پشت جعبه‌پخش، سطحی یکنواخت با زبری مناسب فراهم کرد. گونی یا پارچه‌ای که در اثر استفاده و تماس با دوغاب آب‌بندی قیری سفت شده باشد، ناکارآمد بوده و باید بلافاصله تعویض شود. تجهیزات مناسب برای آماده‌سازی سطح، کنترل عبور و مرور، ابزار دستی و سایر تجهیزات ایمنی و پشتیبانی لازم برای اجرای پروژه باید توسط پیمانکار فراهم شود.

۱۷-۵-۴ کالیبراسیون دستگاه

قبل از اجرای هر پروژه، سیستم‌های اندازه‌گیری مواد و مصالح مصرفی باید در اوزان مختلف و با درصد رطوبت‌های مختلف مصالح سنگی دپو کنترل و کالیبره شوند.

۱۷-۵-۵ آماده‌سازی سطح راه قبل از اجرا

قبل از اجرای عملیات دوغاب آب‌بندی قیری، سطح روسازی باید از مصالح سست، لکه‌های روغنی، گیاهان و دیگر مواد آلاینده پاک گردد. هرگونه روش تمیزکردن سطح مورد قبول است. در صورت استفاده از آب برای تمیز کردن سطح، باید منتظر ماند تا داخل ترک‌ها خشک گردد. همه آدم‌روها (منهول‌ها)، دریچه‌ها و دیگر تاسیسات موجود در سطح راه باید کاملاً پوشانده شده و پس از اجرای دوغاب آب‌بندی قیری به وضعیت اولیه بازگردانده شوند.

قبل از اجرای دوغاب آب‌بندی قیری، نشست‌ها، شیارها، خرابی‌های روسازی، قیرزدگی و خط‌کشی‌های با رنگ‌های گرم و برجسته باید مرتفع گردند و ترک‌های با بازشدگی بیشتر از شش میلی‌متر درزگیری شوند. در صورت نیاز به لکه‌گیری یا درزگیری، این عملیات باید یک تا دو ماه (بسته به شرایط دمایی و ترافیک محور و با نظر مهندس مشاور) قبل از عملیات دوغاب آب‌بندی قیری انجام شوند. لکه‌گیری و درزگیری قبل از اجرای دوغاب آب‌بندی قیری، باید کاملاً هم‌سطح رویه مجاور باشد.

معمولاً پیش از اجرای دوغاب آب‌بندی قیری نیاز به اندود سطحی (تک‌کت) نیست. استفاده از تک‌کت در شرایطی که سطح موجود به شدت پیرشده و یا شن‌زده باشد و یا در صورتی‌که دوغاب آب‌بندی قیری روی روسازی بتنی اجرا گردد، مورد نیاز است. در صورت نیاز به اجرای اندود سطحی، باید از قیرآبه‌های CSS، SS و یا همان قیرآبه دوغاب آب‌بندی قیری استفاده شود. قیرآبه اندود سطحی باید به نسبت یک سهم قیرآبه و سه سهم آب رقیق گردد. اندود رقیق‌شده باید توسط قیرپاش مناسب به میزان ۲۰۰ تا ۷۰۰ گرم بر مترمربع پخش شود. قبل از اجرای دوغاب آب‌بندی قیری، اندود سطحی اجرا شده باید به طور کامل به مرحله گیرش رسیده باشد.

۱۷-۵-۶ تولید و اجرا

در شرایط آب و هوایی گرم و خشک، لازم است در جلوی جعبه پخش ماشین اسلاری‌سیل آب پاشیده شود. میزان پاشش آب در طول روز باید با توجه به دمای محیط، بافت سطحی موجود، رطوبت و خشکی روسازی تعدیل گردد. همچنین از جمع‌شدن آب در سطح موجود باید ممانعت شود.

همچنین در شرایط آب و هوایی گرم و خشک، جهت جلوگیری از شکست زودهنگام قیرآبه در دوغاب آب‌بندی قیری، می‌توان مصالح سنگی را قبل از استفاده مرطوب کرد. میزان مرطوب کردن مصالح سنگی پیش از اجرا باید در فرآیند تهیه طرح اختلاط در آزمایشگاه به دست آید و کالیبره دستگاه با آن درصد رطوبت کنترل گردد.

مخلوط دوغاب آب‌بندی قیری هنگام خروج از جعبه‌پخش باید قوام مناسب داشته باشد (با رواداری ۰٫۵± سانتی‌متر نسبت به مقدار فرمول کارگاهی). در همه نواحی جعبه‌پخش باید مخلوط به اندازه کافی وجود داشته باشد تا در کل عرض جعبه‌پخش، مخلوط به ضخامت موردنظر پخش گردد. از پر شدن بیش از حد جعبه‌پخش نیز باید اجتناب گردد. سرعت حرکت و دبی خروجی دوغاب آب‌بندی قیری باید به نحوی تنظیم شود که مخلوط در هیچ نقطه‌ای در داخل جعبه پخش ساکن نمانده و درون آن شکسته نشود.

لازم است از عدم وجود سنگدانه‌های درشت در دپوی مصالح سنگی اطمینان حاصل شود تا از ایجاد خط‌های ناگزیر روی سطح دوغاب آب‌بندی قیری پس از اجرا جلوگیری گردد. در صورت نیاز، مصالح باید قبل از بارگیری مجدداً سرند شوند. برای اجرای یک مخلوط دوغاب آب‌بندی قیری با قوام مناسب، باید تا حد ممکن از حداقل مقدار آب استفاده شود.

در صورتی که قیرآبه به تازگی تولید شده باشد، باید دمای آن به پایین‌تر از ۴۵ درجه سلسیوس رسیده و سپس عملیات اجرایی دوغاب آب‌بندی قیری آغاز گردد. به منظور خنک کردن فوری قیرآبه تولید شده می‌توان از مبدل حرارتی در کارخانه تولید قیرآبه استفاده کرد.

در صورتی که مصالح سنگی به تازگی در سنگ‌شکن تولید شده باشند، ممکن است به دلیل داشتن بار الکترواستاتیک، باعث شکست زودهنگام مخلوط دوغاب آب‌بندی قیری گردند. به همین دلیل بهتر است تولید مصالح سنگی حداقل چند هفته قبل از اجرا صورت پذیرد.

میزان پخش مخلوط دوغاب آب‌بندی قیری بسته به وزن مخصوص مصالح سنگی، دانه‌بندی و میزان مورد نیاز برای برطرف کردن خرابی‌های سطح موجود متغیر است. در صورتی که از دوغاب آب‌بندی قیری به منظور پر کردن ترک‌ها و خرابی‌های سطحی استفاده شود، میزان پخش مخلوط دوغاب آب‌بندی قیری زیاد خواهد بود.

اجرا باید به صورتی باشد که تا حد ممکن از به وجود آمدن درزهای طولی جلوگیری شود. در صورت به وجود آمدن درزهای طولی، این درزها نباید در محل عبور چرخ‌ها باشد و ترجیحاً زیر خط‌کشی‌ها قرار گیرند. برای اجرای درز طولی باید همپوشانی دو قسمت اجرا شده به میزان حداکثر ۱۵ سانتی‌متر باشد.

در هنگام شروع اجرا، باید مخلوط اضافی را با پهن کردن گونی یا پارچه ضخیم یا مشابه آن جمع‌آوری کرد تا در محل درزهای عرضی، اختلاف ارتفاع ایجاد نگردد.

معمولاً غلتک‌زنی برای اجرای دوغاب آب‌بندی قیری ضرورت ندارد. برای اجرای دوغاب آب‌بندی قیری در پارکینگ‌ها و باند فرودگاه‌ها و روسازی‌هایی که در معرض نیروهای برشی بزرگ هستند، می‌توان از غلتک

چرخ لاستیکی با وزن حداکثر ۱۰ تن استفاده کرد که باید مجهز به آب‌پاش نیز باشد. غلتک‌زنی باید پس از گیرش کافی دوغاب آب‌بندی قیری اجرا شده آغاز گردد و هر قطعه، دو بار عبور غلتک را تجربه کند.

در شرایطی که سطح موجود دارای شیارافتادگی، ناهمواری و یا خرابی‌های دیگر باشد، باید اجرا در چند لایه صورت پذیرد تا در نهایت روسازی هموار و با بافت سطحی یکنواخت و مناسب به دست آید. اجرای چند لایه برای نواحی با ترافیک سنگین نیز توصیه می‌گردد که باید با تأیید مهندس مشاور باشد.

در صورت اجرای عملیات دوغاب آب‌بندی قیری در چند لایه، توصیه می‌گردد که لایه‌های بالایی حداکثر اندازه مصالح سنگی کوچکتری داشته باشند.

به دلیل سیال بودن مخلوط دوغاب آب‌بندی و امکان جداشدگی مخلوط، اجرای آن در مسیرهای با شیب طولی زیاد (مانند نواحی کوهستانی، گردنه‌ها و ...) توصیه نمی‌شود.

در صورتی که از دوغاب آب‌بندی قیری برای پر کردن ترک‌ها و خرابی‌ها استفاده شود، باید در مدت زمان کوتاهی روی آن روکش آسفالت داغ اجرا گردد تا ترک‌های موجود به سطح راه منعکس نشوند.

۱۷-۵-۷ کنترل ترافیک

بازگشایی ترافیک تا زمان گیرش نهایی نباید صورت پذیرد. امکان بازگشایی ترافیک برای راه‌های با ترافیک روان و مسیرهای مستقیم سریع‌تر فراهم می‌شود. در مواردی که مسیر دارای پیچ تند باشد و یا وسایل نقلیه ترمزگیری و شتاب‌گیری دارند (نظیر میادین، تقاطع‌ها، پیچ‌های تند، پارکینگ‌ها، رمپ‌های ورودی و خروجی)، زمان بازگشایی بیشتری برای ترافیک در نظر گرفته می‌شود تا گیرش بیشتری در مخلوط حاصل گردد. در این نواحی ممکن است جای چرخ ماشین روی سطح روسازی باقی بماند که معمولاً در اثر عبور ترافیک از بین می‌رود.

۱۷-۵-۸ محدودیت آب و هوایی

دوغاب آب‌بندی قیری نباید در شرایطی اجرا گردد که دمای هوا و یا دمای روسازی کمتر از ۱۰ درجه سلسیوس بوده و رو به کاهش باشد. ولی اگر هر دو دمای هوا و دمای روسازی آسفالتی بیش از ۷ درجه سلسیوس بوده و رو به افزایش باشند، امکان اجرا وجود دارد. در شرایطی که بروز یخبندان و یا هوای طوفانی در مدت ۲۴ ساعت پس از اجرا پیش‌بینی شود، عملیات اجرا باید متوقف گردد.

۱۷-۵-۹ کنترل کیفیت

پس از اخذ طرح اختلاط، کنترل کیفیت مواد و مصالح مورد استفاده و کنترل سازگاری آن‌ها نسبت به یکدیگر، عملیات اجرایی دوغاب آب‌بندی قیری آغاز می‌گردد. قبل از اجرای عملیات اصلی باید نوار آزمایشی توسط پیمانکار (در محور اصلی پروژه) اجرا شود تا شرایط محیطی نسبت به شرایط آزمایشگاهی سنجیده شود. میزان آب و فیلر تعیین‌شده در طرح اختلاط و فرمول کارگاهی می‌تواند در حین اجرا تغییر یابد تا با توجه به شرایط جوی، زمان بازگشایی ترافیک نیز تنظیم گردد. در هر صورت پس از اصلاح و تعدیل لازم با توجه به شرایط میدانی، مقدار قوام مخلوط دوغاب آب‌بندی قیری طبق روش آزمایش ISSA TB106 یا ASTM D3910 نباید نسبت به مقدار آن در فرمول کارگاهی بیش از ۰±۰/۵ سانتی‌متر تغییر یابد. در صورت نیاز به تعیین مقدار قوام مخلوط دوغاب آب‌بندی قیری، آزمایش باید بلافاصله پس از برداشتن نمونه از جعبه‌پخش انجام شود.

در حین اجرای عملیات باید به ازای هر ۶۰۰۰ مترمربع و حداقل یک بار در هر روز، برگه آزمایشگاهی تهیه گردد. برگه آزمایشگاهی باید شامل دانه‌بندی مصالح سنگی و درصد قیر باقیمانده نسبت به وزن مصالح سنگی خشک باشد. برای به دست آوردن هر برگه آزمایشگاهی باید پنج نمونه از پشت جعبه‌پخش (قبل از ورود مخلوط به جعبه پخش) و پنج نمونه از دپوی مصالح که با لودر هم خورده باشد، اخذ گردد. برای تعیین دانه‌بندی، باید نمونه‌های اخذ شده از دپوی مصالح سنگی را با یکدیگر مخلوط کرده و سپس آزمایش دانه‌بندی را انجام داد.

درصد قیر باقیمانده در مخلوط دوغاب آب‌بندی قیری را می‌توان با انجام آزمایش اکسترکشن به روش ASTM D2172 یا AASHTO T164 تعیین کرد. برای حصول نتیجه دقیق (به دلیل وجود لاتکس و امولسیفایر) باید از حلال‌های N-Propyl bromide و Trichloroethylene (و یا هر حلال دیگری که تولید کننده قیرآبه پیشنهاد کند) به جای بنزین استفاده شود. درصد قیر باقیمانده باید نسبت به وزن مصالح سنگی (و نه نسبت به وزن کل مخلوط دوغاب آب‌بندی قیری) محاسبه گردد. برای حصول درصد قیر باقیمانده، باید پنج نمونه از خروجی نهایی ماشین دوغاب آب‌بندی قیری (قبل از ریختن درون جعبه‌پخش) برداشته شده و پس از مخلوط کردن آن‌ها با یکدیگر و همگن کردن و خشک کردن کامل در آزمایشگاه، انجام آزمایش اکسترکشن صورت گیرد.

برای خشک‌کردن نمونه دوغاب آب‌بندی قیری قبل از انجام آزمایش، نمونه باید همگن شده و به ضخامت کمتر از ۳۸ میلی‌متر، درون سینی فلزی ریخته شود. سپس باید حداقل چهار نوبت و در هر نوبت یک ساعت

درون گرمخانه با دمای ۱۰۰ درجه سلسیوس حرارت داده شود. هر بار بعد از یک ساعت، نمونه باید از گرمخانه خارج شده و یک دقیقه کاملا هم زده شود و سپس توزین گردد. پس از نوبت چهارم، در صورت ثابت ماندن وزن مخلوط در توزین‌های متوالی و اطمینان از خشک‌شدن کامل آن، نمونه باید در دمای محیط خنک شده و سپس آزمایش اکسترکشن انجام شود. در صورت عدم ثبات وزن مخلوط خشک شده، فرآیند خشک کردن تا رسیدن به وزن ثابت ادامه می‌یابد.

رواداری‌های مجاز مقدار عبوری از هر الک نسبت به فرمول کارگاهی تعیین‌شده از طرح اختلاط، در جدول (۱۷-۲) آورده شده است. رواداری مجاز مقدار قیر مصرفی، برابر ۱± درصد نسبت به میزان هدف برای قیر خالص باقیمانده نسبت به وزن مصالح سنگی خشک است.

۱۷-۵-۱۰ اندازه‌گیری مساحت کار انجام شده

پس از اجرای عملیات دوغاب آب‌بندی قیری در هر لایه، مساحت کار انجام‌شده اندازه‌گیری می‌شود. در ضمن باید قیرآبه مصرفی در پروژه (ورودی به کارگاه اجرایی) در حین کار صورتجلسه گردد.

۱۷-٦ آسفالت نازک قیرآبه‌ای (میکروسرفیسینگ)

آسفالت میکروسرفیسینگ متشکل از مخلوط قیرآبه اصلاح‌شده، مصالح سنگی، آب، فیلر و افزودنی (در صورت نیاز) است که به طور متناسب با یکدیگر مخلوط شده و به منظور حفاظت و برطرف کردن خرابی‌های عملکردی روسازی‌ها، به‌طور یکنواخت روی سطح جاده‌های روسازی‌شده پخش می‌شود. با توجه به امکان طراحی اجزای مختلف و امکان استفاده از انواع افزودنی‌های متفاوت، به طور کلی استفاده از میکروسرفیسینگ در تمام شرایط ترافیکی مجاز است.

میکروسرفیسینگ در رویه‌هایی که از نظر سازه‌ای سالم هستند، برای برطرف کردن خرابی‌هایی نظیر شن‌زدگی و لغزندگی سطح و پرکردن ترک‌های ریز با هدف آب‌بندی سطح و افزایش طول عمر روسازی کاربرد دارد. میکروسرفیسینگ باید قابلیت اجرا با ضخامت متغیر را داشته و بتواند روی راه‌های دارای شیار و خراش و یا راه‌های تراش‌خورده اجرا گردد. مخلوط میکروسرفیسینگ نباید بعد از گیرش و تحکیم پس از ترافیک اولیه دچار تغییر شکل گردد. میکروسرفیسینگ باید دارای بافت سطحی مناسب جهت تامین اصطکاک باشد.

میکروسرفیسینگ باید دارای ویژگی بازگشایی سریع ترافیک باشد که بتوان در مدت زمان کوتاهی پس از اجرا، ترافیک را روی آن عبور داد. معمولاً در شرایط آب و هوایی متوسط (دمای حدود ۲۵ درجه سلسیوس و درصد رطوبت حداکثر ۵۰ درصد) باید بتوان ترافیک را روی مخلوط میکروسرفیسینگ پس از یک ساعت بازگشایی کرد. استفاده از میکروسرفیسینگ برای شرایطی که سطح روسازی تنش‌های برشی بسیار زیادی را تجربه می‌کند، توصیه نمی‌شود. به هر حال، در صورت اجرای این نوع آسفالت حفاظتی در شرایطی که ترافیک دارای توقف و حرکت مجدد و یا پیچ‌های تند است، بازگشایی ترافیک نیازمند زمان بیشتری است.

۱۷-۶-۱ مواد و مصالح

۱۷-۶-۱-۱ قیرآبه

قیرآبه مورد استفاده در آسفالت میکروسرفیسنگ باید از نوع کاتیونیک سریع‌شکن (CQS-1h) و اصلاح‌شده با پلیمر باشد. ویژگی‌های قیرآبه مورد استفاده باید با مشخصات ذکر شده در جدول (۱۷-۴) مطابقت داشته باشند. مواد پلیمری باید قبل از فرآیند تولید قیرآبه، با قیر خالص آسیاب شود و یا در فاز آبی مخلوط شود. عموماً حداقل ۳ درصد پلیمر جامد نسبت به وزن قیر خالص باقیمانده قیرآبه نیاز است. در صورت تأیید مهندس مشاور و با شرط براورده ساختن تمامی مشخصات ذکر شده در جداول (۱۷-۴) و (۱۷-۷) امکان استفاده از قیرآبه CSS-1h پلیمری نیز وجود دارد.

۱۷-۶-۱-۲ مصالح سنگی

مصالح سنگی میکروسرفیسینگ را باید از شکستن سنگ‌های گرانیتی، آهکی، سرباره، سیلیسی و یا دیگر سنگ‌های با کیفیت تهیه نمود. برای اطمینان از شکسته بودن همه سنگدانه‌ها، باید در فرآیند خردایش مصالح سنگی، اندازه سنگ مادر تحت خردایش از بزرگترین سنگدانه استفاده شده در دانه‌بندی بزرگتر باشد. حداقل مشخصات مصالح سنگی مورد استفاده در میکروسرفیسینگ به شرح جدول (۱۷-۵) می‌باشد.

دانه‌بندی مصالح سنگی میکروسرفیسینگ باید در محدوده یکی از دو دانه‌بندی جدول (۱۷-۶) انتخاب گردد. پس از انتخاب دانه‌بندی، فرمول کارگاهی باید در محدوده رواداری‌های مجاز دانه‌بندی برای هر الک، مطابق ستون آخر جدول (۱۷-۶) رعایت شود. کنترل دانه‌بندی دپو به این صورت است که پنج نمونه مختلف از دپوی مصالح سنگی اخذ و میانگین دانه‌بندی آن‌ها تعیین می‌شود. این مقادیر باید در محدوده رواداری‌های مجاز قرار گیرند. در صورت خروج از حدود رواداری، پیمانکار باید مصالح دپو را جایگزین و یا دانه‌بندی را

اصلاح کرده و سپس اقدام به انجام عملیات اجرایی نماید. در انتخاب دانه‌بندی کارگاهی دقت گردد که درصد مصالح عبوری دو الک متوالی، از انتهای محدوده الک درشت‌تر به ابتدای محدوده الک ریزتر و یا بالعکس تغییر نکند. در صورت مخلوط شدن مصالح سنگی با مصالح درشت‌تر، باید مصالح سرند شود و سپس وارد ماشین مخصوص اجرا شوند.

جدول ۱۷-٤ مشخصات قیرآبه پلیمری میکروسرفیسینگ

مشخصه/ آزمایش	روش آزمایش		حدود مشخصات
	AASHTO	ASTM	
آزمایش‌های قیرآبه			
بار ذره‌ای	T59	D7402	مثبت
ویسکوزیته سیبولت فیورل در ۲۵ درجه سلسیوس (ثانیه)	T59	D7496	۲۰ – ۱۰۰
ته‌نشینی و قابلیت انبارش در ۲۴ ساعت (درصد)	T59	D6930	حداکثر ۱/۰
آزمایش الک، تعیین مقدار ذرات درشت (درصد)	T59	D6933	حداکثر ۰/۱
مقدار قیر باقیمانده از تقطیر(۱) (درصد)	T59	D6997	حداقل ۶۲
آزمایش‌های قیر باقیمانده از قیرآبه			
نقطه نرمی (درجه سلسیوس)	T53	D36	حداقل ۵۷
درجه نفوذ در ۲۵ درجه سلسیوس (۰/۱ میلی‌متر)	T49	D5	۴۰ – ۹۰ (۲)
کشش‌پذیری در ۲۵ درجه سلسیوس (سانتی‌متر)	T51	D113	حداقل ۴۰
حلالیت در تری کلرواتیلن(۳) (درصد)	T44	D2042	حداقل ۹۷/۵

(۱) برای به دست آوردن باقیمانده‌ی تقطیر و انجام آزمایش‌ها روی آن و برای جلوگیری از تخریب پلیمر موجود در قیر باقیمانده، باید دمای آزمایش تقطیر به مدت ۲۰ دقیقه در ۱۷۷ درجه سلسیوس نگاه داشته شود و یا از روش تبخیر تدریجی در گرمخانه مطابق ASTM D7497 استفاده گردد. به هر حال، روش به دست آوردن قیر باقیمانده از قیرآبه پلیمری باید به پیشنهاد تولید کننده پلیمر و قیرآبه باشد.

(۲) باید متناسب با شرایط آب و هوایی منطقه اجرای پروژه باشد. (شرایط آب و هوایی گرم، درجه نفوذ پایینتر و شرایط آب و هوایی سرد، درجه نفوذ بالاتر انتخاب گردد)

(۳) آزمایش حلالیت روی قیر خالص پایه اولیه انجام گردد.

جدول ۱۷-۵ مشخصات مصالح سنگی مورد استفاده در میکروسرفیسینگ

مشخصه / آزمایش	روش استاندارد		حدود مشخصات
	ASTM	AASHTO	
ارزش ماسه‌ای بعد از افزودن فیلر (درصد)	D2419	T176	حداقل ۶۵
افت وزنی با سولفات سدیم (درصد)	C88	T104	حداکثر ۱۵
افت وزنی با سولفات منیزیم (درصد)	C88	T104	حداکثر ۲۵
افت وزنی در آزمایش سایش لس‌آنجلس (درصد) *	C131	T96	حداکثر ۳۰

* آزمایش روی سنگ مادر انجام می‌پذیرد.

انتخاب نوع دانه‌بندی بر اساس کاربرد میکروسرفیسینگ به شرح زیر صورت می‌گیرد:

نوع دو: برای پر کردن حفرات سطح روسازی، از بین بردن خرابی‌های سطحی، آب‌بندی و فراهم کردن یک رویه بادوام سطحی کاربرد دارد.

نوع سه: حداکثر اصطکاک سطحی را به همراه دارد و عملکرد لایه رویه را ارتقاء می‌دهد. این دانه‌بندی میکروسرفیسینگ برای روسازی‌های با ترافیک زیاد و پر کردن شیارهای روسازی موجود مناسب است. در صورت اجرای میکروسرفیسینگ در راه‌های شریانی، توصیه می‌گردد از این نوع دانه‌بندی استفاده گردد.

جدول ۱۷-۶ محدوده‌های دانه‌بندی مصالح سنگی مخلوط میکروسرفیسینگ و رواداری‌های مجاز

اندازه الک	درصد ردشده از الک‌ها		
	نوع دو	نوع سه	رواداری مجاز
۹/۵ میلی‌متر	۱۰۰	۱۰۰	---
۴/۷۵ میلی‌متر (شماره ۴)	۱۰۰-۹۰	۹۰-۷۰	±۵
۲/۳۶ میلی‌متر (شماره ۸)	۹۰-۶۵	۷۰-۴۵	±۵
۱/۱۸ میلی‌متر (شماره ۱۶)	۷۰-۴۵	۵۰-۲۸	±۵
۰/۶ میلی‌متر (شماره ۳۰)	۵۰-۳۰	۳۴-۱۹	±۵
۰/۳ میلی‌متر (شماره ۵۰)	۳۰-۱۸	۲۵-۱۲	±۴
۰/۱۵ میلی‌متر (شماره ۱۰۰)	۲۱-۱۰	۱۸-۷	±۳
۰/۰۷۵ میلی‌متر (شماره ۲۰۰)	۱۵-۵	۱۵-۵	±۲

۱۷-۶-۱-۳ فیلر معدنی

فیلرهای معدنی که از نظر شیمیایی فعال یا غیرفعال باشند، برای استفاده در میکروسرفیسینگ مناسب است. استفاده از فیلر با اهداف بهبود قوام مخلوط، کنترل زمان شکست، زمان گیرش و اصلاح دانه‌بندی صورت می‌گیرد. از سیمان، آهک هیدراته، پودر سنگ آهک یا فیلرهای دیگر که با مشخصات استاندارد ASTM D242 مطابق باشند، می‌توان به عنوان فیلر استفاده کرد. فیلر مصرفی باید در فرآیند طرح اختلاط نیز استفاده شود. پس از تهیه طرح اختلاط، تعویض نوع فیلر مجاز نیست. میزان کاربرد فیلر عموماً کمتر از ۳ درصد است و باید به عنوان بخشی از دانه‌بندی مصالح در نظر گرفته شود.

۱۷-۶-۱-۴ آب

آب مصرفی باید عاری از نمک‌ها و آلودگی باشد. اگر کیفیت آب مصرفی مورد سوال باشد، باید نمونه آب نیز به همراه بقیه مواد و مصالح به آزمایشگاه ارسال گردد تا از وجود املاح مضر و ناخالصی‌های دیگر در آن اطمینان حاصل شود.

۱۷-٦-۱-۵ افزودنی

افزودنی‌هایی را می‌توان برای کنترل زمان شکست و زمان گیرش به مخلوط میکروسرفیسینگ اضافه کرد. استفاده از افزودنی و مقدار مصرف آن باید در طرح اختلاط ذکر شده باشد. همچنین انواع مواد افزودنی دیگر مانند مواد افزاینده چسبندگی و اسیدیته قیر و غیره نیز قابل استفاده هستند. معمولاً این نوع افزودنی‌ها به قیر خالص پایه اضافه می‌شوند و با پلیمر استفاده‌شده در قیرآبه متفاوت هستند.

۱۷-٦-۲ طرح اختلاط

مطالب ذکر شده برای طرح اختلاط اسلاری‌سیل (دوغاب آب‌بندی قیری) در بند (۱۷-۵-۲) برای میکروسرفیسینگ نیز برقرار است، با این تفاوت که به جای آزمایش‌ها و مشخصات ذکر شده در جدول (۱۷-۳)، حدود ذکر شده در جدول (۱۷-۷) در طرح اختلاط میکروسرفیسینگ الزامی است.

جدول ۱۷-۷ آزمایش‌های طرح اختلاط و مشخصات مورد نیاز میکروسرفیسینگ

مشخصه / آزمایش	روش استاندارد	حدود مشخصات
زمان اختلاط در ۲۵ درجه سلسیوس	ASTM D6372 ISSA TB 113	حداقل ۱۲۰ ثانیه
آزمایش چسبندگی پس از ۳۰ دقیقه (زمان گیرش)	ASTM D6372 ISSA TB 139	حداقل ۱۲ کیلوگرم سانتی‌متر
آزمایش چسبندگی پس از ۶۰ دقیقه * (زمان بازگشایی ترافیک)	ASTM D6372 ISSA TB 139	حداقل ۲۰ کیلوگرم سانتی‌متر
آزمایش عریان‌شدگی در شرایط غرقاب	ASTM D6372 ISSA TB 114	حداقل ۹۰ درصد
افت وزنی در آزمایش سایش شرایط مرطوب (یک ساعت غرقاب) (شش روز غرقاب)	ASTM D6372 ISSA TB 100	حداکثر ۵۳۸ گرم بر مترمربع حداکثر ۸۰۷ گرم بر مترمربع
جابجایی عرضی در آزمایش چرخ بارگذاری	ISSA TB 147	حداکثر ۵ درصد
وزن مخصوص پس از ۱۰۰۰ سیکل بارگذاری	ISSA TB 147	حداکثر ۲/۱
مقدار ماسه چسبیده در آزمایش چرخ بارگذاری (برای راه‌های با ترافیک سنگین)	ISSA TB 109	حداکثر ۵۳۸ گرم بر مترمربع
طبقه‌بندی سازگاری (با دستگاه شولتزبرر)	ISSA TB 144	حداقل ۱۱ امتیاز
* اگر معیار ۲۰ کیلوگرم سانتیمتر تأمین نشود، حالت گسیختگی NS در ISSA TB139 نیز قابل قبول است.		

۱۷-۶-۳ تجهیزات و ماشین‌آلات

موارد ذکر شده برای تجهیزات و ماشین‌آلات اسلاری‌سیل (دوغاب آب‌بندی قیری) در بند (۱۷-۵-۳)، برای مخلوط میکروسرفیسینگ نیز برقرار است. علاوه بر موارد مذکور، نکات زیر نیز برای تجهیزات اجرای میکروسرفیسینگ نیز الزامی است:

- مخلوط‌کن ماشین میکروسرفیسینگ باید دارای تعداد کافی پره در دو محور کنار هم باشد.
- جعبه پخش ماشین میکروسرفیسینگ باید دارای دو محور پره‌دار یا دو حلزونی مارپیچ باشد.
- ماشین میکروسرفیسینگ باید دارای نوار لاستیکی دوم (در انتهای جعبه‌پخش) باشد تا با تنظیم زاویه و فشار آن بتوان میزان یا عمق بافت سطح نهایی را تعیین کرد.
- جعبه‌پخش مخصوص شیارشدگی نواری (کانالیزه): با توجه به نیاز پروژه، می‌توان از میکروسرفیسینگ برای پر کردن شیارهای کانالیزه، نوارهای حفاری و فرورفتگی موضعی در روسازی موجود استفاده کرد. برای انجام این کار باید از جعبه‌پخش مخصوص پرکننده شیار استفاده شود. شیارهای کانالیزه با عمق ۱۲/۷ میلی‌متر یا بیشتر، باید توسط جعبه پرکننده شیار با عرض ۱/۵ تا ۱/۸ متر پر شوند. در شیارهای به عمق بیشتر از ۳۸ میلی‌متر، لازم است در چند مرحله از جعبه پرکننده شیار برای اصلاح مقطع

عرضی استفاده شود (اجرا در چند لایه). اگر عمق شیار یا تغییرشکل کمتر از ۱۲٫۷ میلی‌متر باشد، می‌توان یک لایه تمام عرض توسط جعبه پخش معمولی ماشین میکروسرفیسینگ با کشیدن نوار فلزی یا لاستیکی سخت روی سطح موجود اجرا کرد تا فقط محل شیارها و تغییرشکل‌ها پر شوند. در این صورت باید اجرا در چند لایه صورت پذیرد تا در نهایت یک سطح هموار با بافت یکنواخت و مطلوب ایجاد شود. همه مخلوط مصرف‌شده برای پرکردن شیارها باید قبل از اجرای لایه جدید، حداقل به مدت ۲۴ ساعت تحت ترافیک قرار گرفته و عمل‌آوری شوند.

۱۷-٦-٤ کالیبراسیون دستگاه

موارد و الزامات مندرج برای کالیبراسیون ماشین‌آلات دوغاب آب‌بندی قیری در بند (۱۷-۵-۴)، برای میکروسرفیسینگ نیز برقرار است.

۱۷-٦-٥ آماده‌سازی سطح راه قبل از اجرا

موارد مذکور برای آماده‌سازی سطح راه پیش از اجرای دوغاب آب‌بندی قیری در بند (۱۷-۵-۵)، برای میکروسرفیسینگ نیز برقرار است.

۱۷-٦-٦ تولید و اجرا

موارد مذکور برای تولید و اجرای دوغاب آب‌بندی قیری در بند (۱۷-۵-۶)، برای میکروسرفیسینگ نیز برقرار است. به استثنای اینکه همپوشانی دو قسمت اجرا شده در میکروسرفیسینگ، حداکثر ۷۶٫۲ میلی‌متر است.

۱۷-٦-۷ کنترل ترافیک

موارد ذکر شده برای کنترل ترافیک هنگام اجرای دوغاب آب‌بندی قیری در بند (۱۷-۵-۷)، برای میکروسرفیسینگ نیز برقرار است.

۱۷-٦-۸ محدودیت آب و هوایی هنگام عملیات اجرایی

موارد ذکر شده برای محدودیت آب و هوایی هنگام اجرای دوغاب آب‌بندی قیری در بند (۱۷-۵-۸)، برای میکروسرفیسینگ نیز برقرار است. به علاوه، میکروسرفیسینگ نباید در شرایطی اجرا شود که مدت زمان مورد نیاز برای بستن ترافیک، بیش از حد معقول مشخص‌شده برای اجرای پروژه باشد.

۱۷-۶-۹ کنترل کیفیت

موارد ذکر شده در بند (۱۷-۵-۹) برای کنترل کیفیت دوغاب آب‌بندی قیری، به استثنای معیار مربوط به قوام مخلوط، برای میکروسرفیسینگ نیز برقرار است.

۱۷-۶-۱۰ اندازه‌گیری

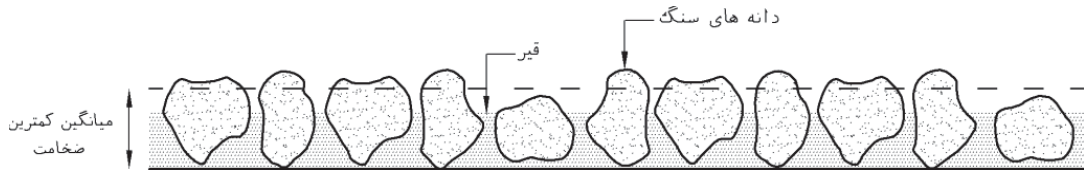
موارد بند (۱۷-۵-۱۰) برای اندازه‌گیری دوغاب آب‌بندی قیری ، برای میکروسرفیسینگ نیز برقرار است.

۱۷-۷ آسفالت سطحی (چیپ‌سیل)

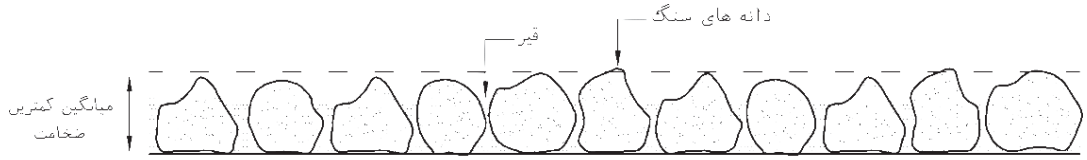
۱۷-۷-۱ کلیات

پخش قیر روی سطح آماده شده شنی، اساس تثبیت‌شده، آسفالتی و بتنی که بلافاصله روی آن سنگدانه‌های شکسته و تمیز با دانه‌بندی معین پخش شود، آسفالت سطحی یک لایه‌ای است و اگر در دو یا سه لایه اجرا شود، آسفالت سطحی دولایه‌ای یا سه‌لایه‌ای است. به عبارتی، آسفالت سطحی شامل پاشش یکنواخت قیر و سپس پخش یکنواخت مصالح سنگی دانه‌بندی‌شده روی سطح آماده شده راه است که توسط غلتک‌های لاستیکی غلتک‌زنی می‌شود. از آسفالت سطحی جهت نگهداری پیشگیرانه و آب‌بندی محورهای با ترافیک کم تا متوسط و با حداکثر سرعت مجاز پایین استفاده می‌شود. همچنین از این رویه می‌توان برای بهبود خواص سطحی و عملکردی راه‌هایی که خرابی سازه‌ای ندارند، استفاده کرد. ضخامت آسفالت سطحی یک‌لایه‌ای، آنگونه که در شکل (۱۷-۱) نشان داده شده است، معادل میانگین کمترین بعد سنگدانه‌های[1] مصرفی است. اندازه اسمی سنگدانه‌ها در هر لایه از آسفالت سطحی چندلایه، باید نصف اندازه اسمی سنگدانه‌های لایه قبل باشد.

1. Average Least Dimension



الف) موقعیت ناپایدار و نامنظم سنگدانه‌ها بلافاصله پس از پخش روی لایه قیری و قبل از غلتک‌زنی



ب) موقعیت پایدار و تثبیت‌شده سنگدانه‌ها پس از بهره‌برداری نسبتاً طولانی‌مدت که روی جبهه‌های پهن خود در لایه قیری فرو نشسته‌اند

شکل ۱۷-۱ موقعیت سنگدانه‌ها در بستر قیری راه، قبل و پس از غلتک‌زنی و عبور ترافیک

۱۷-۷-۲ مواد قیری

در آسفالت‌های سطحی می‌توان از قیرآبه‌های یا قیرهای خالص نفتی در دو حالت، بدون افزودنی یا با افزودنی پلیمری، استفاده کرد. قیرهای مورد استفاده در ساخت و اجرای آسفالت سطحی عموماً از انواع مختلف قیرآبه‌های آنیونی یا کاتیونی تندشکن هستند. اگر قیرآبه مورد استفاده از نوع پلیمری باشد، بهتر است که حاوی ۳ درصد مقدار جامد پلیمر نسبت به وزن قیر موجود در قیرآبه باشد. قیرآبه‌های پلیمری معمولاً برای آسفالت سطحی در راه‌های با حجم ترافیک زیاد استفاده می‌شوند. این قیرآبه‌ها منجر به افزایش خاصیت برجهندگی رویه حفاظتی شده و از کنده‌شدن سنگدانه‌ها تحت بارهای ترافیکی در شرایط بد آب و هوایی پیشگیری می‌کنند. همچنین در فرآیند تولید قیرآبه می‌توان از افزودنی‌های دیگری به منظور بهبود چسبندگی، افزایش اسیدیته و غیره استفاده کرد.

در موارد خاص، بسته به شرایط اجرایی و وضعیت سنگدانه‌ها در آسفالت سطحی می‌توان از قیرآبه‌های کندشکن با ویژگی شناوری زیاد (HFMS-2) نیز استفاده کرد. معمولاً زمانی که دانه‌بندی مصالح سنگی از نوع دانه‌بندی باز بوده و حاوی مقدار قابل‌توجه ذرات ریزتر از الک شماره ۲۰۰ باشد، استفاده از این نوع قیرآبه توصیه می‌شود.

قیرهای خالص می‌توانند به صورت اصلاح‌نشده یا اصلاح‌شده (با پلیمر، پودر لاستیک و یا افزودنی‌های دیگر) باشند. این قیرها باید تا دمایی گرم شوند که قابل پمپ شدن گردیده و برای پخش توسط ماشین قیرپاش مناسب باشند. قیر مورد استفاده برای شرایط متفاوت جوی و ترافیکی و با توجه به نوع مصالح سنگی، بهتر است ویژگی‌های کلی زیر را داشته باشد:

الف) به اندازه کافی روان باشد تا پس از پخش بتواند پوششی یکنواخت و همگن در سطح راه ایجاد کند. به علاوه کندروانی آن به اندازه کافی باشد تا ضخامت این پوشش ثابت مانده و به تناسب شیب‌های عرضی و طولی مسیر در سطح راه جاری نشود.

ب) پس از پخش بتواند کندروانی کافی را برای اندود یکنواخت سنگدانه‌هایی که روی آن پخش می‌شوند، تأمین کند.

پ) در صورت استفاده از قیرآبه‌ها، لازم است آب موجود در قیرآبه در فرصت مناسب تبخیر شود تا چسبندگی لازم بین سنگدانه‌ها و قیر پخش‌شده تأمین گردد.

ت) پس از تبخیر آب و تکمیل عملیات تراکم، سنگدانه‌ها را در بستر خود فرو نشاند و از حرکت و جابجایی آنها در اثر ترافیک جلوگیری کند.

ث) اگر به مقدار پیش‌بینی شده پخش شود، در برابر تغییرات دمای محیط و شرایط ترافیکی محور، قیرزده نشود و در سطح راه تغییرشکل به وجود نیاید.

انواع قیرها که عموماً در آسفالت سطحی استفاده می‌شوند، در جدول (۱۷–۸) معرفی شده‌اند. این قیرها بر حسب اینکه اصلاح‌نشده یا اصلاح‌شده باشند، باید با مشخصات ارایه شده در این نشریه مطابقت داشته باشند. همچنین قیرآبه‌های پلیمری باید با مشخصات جدول (۱۷–۹)، مطابقت داشته باشد. استفاده از قیرهای محلول در آسفالت سطحی در گذشته مرسوم و نتیجه‌بخش بوده است، اما با توجه به ملاحظات زیست محیطی، ایمنی و اقتصادی، مصرف آن‌ها مجاز نیست.

جدول ۱۷-۸ قیرهای مورد استفاده در آسفالت سطحی

قیرهای نیمه‌جامد نفتی (رده‌بندی درجه نفوذی یا عملکردی)	قیرآبه‌ها
۶۰-۷۰ ، ۸۵-۱۰۰	RS-1, RS-2, RS-2h,
۱۲۰-۱۵۰ ، ۲۰۰-۳۰۰ (۱)	CRS-1, CRS-2, CRS-2h,
PG 46-34 (1), PG 52-28, PG 58-28,	RS-1P, CRS-1P, CRS-2P,
PG 58-22, PG 64-22, PG 70-22	CMS-1, CMS-2, HFRS-2
	HFRS-2h, HFMS-1, HFMS-2

(۱) مصرف قیرهای با سفتی کم در مناطق با آب و هوای گرم باید با توجه به سابقه عملکرد آنها در شرایط جوی مشابه صورت گیرد.

جدول ۱۷-۹ مشخصات قیرآبه‌های پلیمری مورد استفاده در آسفالت سطحی

مشخصه / آزمایش	روش استاندارد		محدوده مشخصات			
			CRS-1P, RS-1P		CRS-2P	
	ASTM	AASHTO	حداقل	حداکثر	حداقل	حداکثر
قیرآبه						
بار ذرات	D7402	T59	–		مثبت	
کندروانی سیبولت فیورل در ۵۰ درجه سلسیوس (ثانیه)	D7496	T59	۲۰	۱۰۰	۱۰۰	۴۰۰
آزمون الک، مقدار ذرات فرا اندازه (۱) (درصد)	D6933	T59		۰/۱		۰/۱
پایداری در انبارش، ۲۴ ساعت (۲) (درصد)	D6930	T59		۱/۰		۱/۰
شکست شیمیایی (درصد)	D6936	T59	۴۰		۴۰	
مقدار باقیمانده از تقطیر در دمای پایین (۳) (درصد)	D6997	T59	۶۳		۶۵	
مقدار مواد نفتی تقطیرشده (درصد)	D6997	T59		۲/۰		۲/۰
قیر باقیمانده از تقطیر دمای پایین یا باقیمانده از تبخیر (۴)						
درجه نفوذ در ۲۵ درجه سلسیوس (یک‌دهم میلی‌متر)	D5	T49	۶۰	۱۵۰	۱۰۰	۱۷۵
کشش‌پذیری در ۲۵ درجه سلسیوس (سانتی‌متر)	D113	T51	۴۰		۴۰	
بازگشت الاستیک در ۲۵ درجه سلسیوس (درصد)	D6084	T301	۵۰		۵۰	
حلالیت در تری کلرواتیلن (۵) (درصد)	D2042	T44	۹۷/۵		۹۷/۵	

(۱) در عملیات شستشو و مرطوب کردن الک‌ها به جای محلول اولئات سدیم ترجیحاً از آب مقطر استفاده شود. همچنین اگر در زمان اجرا بتوان قیرآبه را بدون اشکال مصرف کرد، می‌توان از انجام آزمایش الک صرف‌نظر کرد و الزام مربوط به آن را نادیده گرفت.

(۲) پس از ۲۴ ساعت قرارگیری نمونه در حالت سکون، باید سطح آن همگن و یکنواخت باشد.

(۳) دمای نهایی آزمایش تقطیر برای قیرآبه‌های تولید شده با قیر پلیمری برابر ۲۰۵ درجه سلسیوس و برای قیرآبه‌های تولید شده با لاتکس پلیمری برابر ۱۷۷ درجه سلسیوس اعمال شود و نمونه به مدت ۱۵ دقیقه در این دما نگه‌داشته شود.

(۴) برای قیرآبه CRS-2P لزوما باقیمانده فرآیند تبخیر مطابق استاندارد ASTM D7497 مورد آزمایش قرار گیرد. برای سایر قیرآبه‌ها، آزمایش روی باقیمانده تقطیر در دمای پایین یا باقیمانده تبخیر به تشخیص مهندس مشاور انجام شود.

(۵) اگر مقدار حلالیت باقیمانده قیرآبه کمتر از ۹۷/۵ درصد باشد، آنگاه باید قیر پایه مورد استفاده برای تولید قیرآبه آزمایش شود و مقدار حلالیت آن بیش از ۹۹ درصد باشد.

۱۷-۷-۳ سنگدانه‌ها

سنگدانه‌های مورد استفاده در آسفالت سطحی می‌تواند از سنگ کوهی و سنگ‌های رودخانه‌ای شکسته و یا سرباره کوره‌های آهن‌گدازی تهیه شود. بطور کلی، ویژگی‌های دانه‌بندی، سختی، شکل دانه‌ها و فضای خالی در حالت غیرمتراکم برای سنگدانه‌های مورد استفاده در آسفالت سطحی حائز اهمیت هستند. این مصالح باید مقاوم، سخت و مکعبی بوده و فاقد دانه‌های سست، شکننده و کلوخه‌های خاکی باشد. چسبندگی مناسب بین سنگدانه‌ها و قیر آسفالت سطحی برای عملکرد رضایت‌بخش آن حیاتی است. از این رو، تمیز بودن مصالح سنگی بسیار تعیین‌کننده است. سنگدانه‌ها نباید آغشته به لای، رس و گرد سنگ باشند. مصالح سنگی کمی مرطوب چسبندگی بهتری با قیرآبه‌ها دارد. همچنین می‌توان در صورت تأیید مهندس مشاور، مصالح سنگی را پیش از استفاده برای اجرای آسفالت سطحی با قیر آغشته کرد (به خصوص برای مسیرهای با ترافیک سنگین).

۱۷-۷-۳-۱ خواص فیزیکی و مقاومتی

سنگدانه‌ها از نظر مقاومت سایشی و مکانیکی، دوام در برابر شرایط جوی، شکل دانه‌ها و نیز مقدار مواد مضر موجود در آنها باید دارای شرایط مندرج در جدول (۱۷-۱۰) باشند.

جدول ۱۷-۱۰ مشخصات فیزیکی سنگدانه‌های آسفالت سطحی

مشخصه / آزمایش (۱)	روش استاندارد آزمایش		مقدار مشخصات
	AASHTO	ASTM	
حداکثر افت وزنی در سایش لس‌آنجلس (۲) (درصد)	T 96	C 131	۴۰
حداکثر افت وزنی با سولفات سدیم (درصد)	T 104	C 88	۱۲
حداکثر افت وزنی با سولفات منیزیم (درصد)	T 104	C 88	۱۸
حداقل شکستگی سنگدانه‌های درشت در دو جبهه (درصد)	---	D 5821	۶۰
حداکثر سنگدانه‌های پهن و دراز با نسبت ۳ به ۱ (درصد)	---	D4791	۱۲
حداکثر کلوخه‌های رسی و سنگدانه‌های سست (درصد)	T 112	C 142	۳
حداکثر مقدار مواد سبک با وزن مخصوص کمتر از ۲ (درصد)	T 113	C 123	۱

(۱) چنانچه از مصالح سرباره کوره استفاده شود، وزن واحد حجم مصالح طبق روش استاندارد ASTM C29 یا AASHTO T19 باید حداقل ۱۱۲۰ کیلوگرم بر مترمکعب باشد.

(۲) برای راه‌های با ترافیک سنگین توصیه می‌شود مصالح با افت وزنی کمتر از ۲۵ درصد در آزمایش سایش لس آنجلس استفاده شود.

۱۷-۷-۳-۲ دانه‌بندی

دانه‌بندی سنگدانه‌های آسفالت سطحی یک یا چندلایه می‌تواند یکی از دو نوع دانه‌بندی زیر باشد:

الف) دانه‌بندی یک‌اندازه که اندازه بزرگترین سنگدانه آن بیشتر از دو برابر اندازه کوچکترین سنگدانه نباشد. نمونه‌هایی از این نوع دانه‌بندی در جدول (۱۷-۱۱) ارائه شده است.

ب) دانه‌بندی باز که محدوده آن برای مصالح با حداکثر اندازه اسمی مختلف در جدول (۱۷-۱۲) نشان داده شده است.

انتخاب دانه‌بندی یک‌اندازه یا باز به شرایط اجرایی پروژه و نوع مصالح سنگی تهیه‌شده بستگی دارد، ولی در صورت امکان بهتر است که از دانه‌بندی یک‌اندازه استفاده شود. استفاده از دانه‌بندی‌های باز که نسبت به مصالح سنگی با دانه‌بندی یک‌اندازه هزینه کمتری دارند، برای راه‌های با حجم ترافیک کم توصیه می‌شود.

چنانچه از دانه‌بندی‌های باز مندرج در جدول (۱۷-۱۲) استفاده شود، ترتیب انتخاب نوع دانه‌بندی در هر یک از لایه‌های آسفالت سطحی یک یا دو یا سه‌لایه‌ای به شرح جدول (۱۷-۱۳) است.

جدول ۱۷-۱۱ دانه‌بندی‌های یک‌اندازه مصالح سنگی آسفالت سطحی (چیپ‌سیل)

اندازه الک	درصد عبوری از الک		
	دانه‌بندی نوع یک	دانه‌بندی نوع دو	دانه‌بندی نوع سه
۱۹ میلی‌متر			۱۰۰
۱۲٫۵ میلی‌متر		۱۰۰	۹۵-۱۰۰
۹٫۵ میلی‌متر	۱۰۰	۹۵-۱۰۰	۰-۱۵
۶٫۴ میلی‌متر	۹۵-۱۰۰	۰-۳۵	۰-۱۰
۲٫۳۶ میلی‌متر (شماره ۸)	۰-۳	۰-۳	۰-۳
۰٫۰۷۵ میلی‌متر (شماره ۲۰۰)	۰-۱	۰-۱	۰-۱

جدول ۱۷-۱۲ دانه‌بندی‌های باز مصالح سنگی آسفالت سطحی (چیپ‌سیل)

حداکثر اندازه اسمی، میلیمتر	۲۵	۱۹	۱۲/۵	۹/۵	۴/۷۵
شماره دانه‌بندی	۱	۲	۳	۴	۵
اندازه الک	درصد عبوری از الک				
۳۷/۵ میلی‌متر	۱۰۰				
۲۵ میلی‌متر	۹۰–۱۰۰	۱۰۰			
۱۹ میلی‌متر	۲۰–۵۵	۹۰–۱۰۰	۱۰۰		
۱۲/۵ میلی‌متر	۰–۱۰	۲۰–۵۵	۹۰–۱۰۰	۱۰۰	
۹/۵ میلی‌متر	۰–۵	۰–۱۵	۴۰–۷۰	۸۵–۱۰۰	۱۰۰
۴/۷۵ میلی‌متر (شماره ۴)	–	۰–۵	۰–۱۵	۱۰–۳۰	۸۵–۱۰۰
۲/۳۶ میلی‌متر (شماره ۸)	–	–	۰–۵	۰–۱۰	۱۰–۴۰
۱/۱۸ میلی‌متر (شماره ۱۶)	–	–	–	–	۰–۱۰
۰/۳ میلی‌متر (شماره ۵۰)	–	–	–	–	۰–۵

جدول ۱۷-۱۳ ترتیب انتخاب دانه‌بندی‌ها برای آسفالت سطحی یک تا سه‌لایه

تعداد لایه	ترتیب لایه‌ها	شماره دانه‌بندی باز (جدول ۱۷-۱۲)	اندازه اسمی سنگدانه‌ها (میلی‌متر)
یک‌لایه‌ای	لایه اول	۱	۱۲/۵ – ۲۵
		۲	۹/۵ – ۱۹
		۳	۴/۷۵ – ۱۲/۵
		۴	۲/۳۶ – ۹/۵
		۵	۱/۱۸ – ۴/۷۵
دولایه‌ای	لایه اول لایه دوم	۱	۱۲/۵ – ۲۵
		۳	۴/۷۵ – ۱۲/۵
	لایه اول لایه دوم	۲	۹/۵ – ۱۹
		۴	۲/۳۶ – ۹/۵
سه‌لایه‌ای	لایه اول لایه دوم لایه سوم	۱	۱۲/۵ – ۲۵
		۳	۴/۷۵ – ۱۲/۵
		۵	۱/۱۸ – ۴/۷۵
	لایه اول لایه دوم لایه سوم	۲	۹/۵ – ۱۹
		۴	۲/۳۶ – ۹/۵
		۵	۱/۱۸ – ۴/۷۵

۱۷-۷-۳-۳ تمیزی

سنگدانه‌ها باید عاری از هرگونه آلودگی، پوشش خاکی و موادی باشند که مانع چسبیدن قیر می‌شود و در صورت لزوم، پیش از مصرف باید شسته شوند یا با هوای فشرده تمیز گردند. گرد و خاک سطح سنگدانه‌ها را پوشانده و مانع از چسبیدن آنها به ماده قیری می‌شود. اگر مصالح سنگی حاوی مقدار زیاد فیلر یا گرد و خاک باشد و یا سنگدانه‌های تمیز بدون گرد و خاک در دسترس نباشد، پیش از استفاده مصالح در آسفالت سطحی می‌توان به یکی از روش‌های زیر عمل کرد:

الف) مصالح سنگی باید روی یک سرند با اندازه مناسب شسته شود تا گرد و خاک سنگدانه‌ها جدا شود. یک نوار نقاله می‌تواند مصالح را در محلی مشخص دپو کند تا خشک شود.

ب) از قیرآبه کندشکن با ویژگی شناوری به مقدار زیاد مانند HFMS-2 استفاده شود. این نوع قیر معمولاً با مصالحی استفاده می‌شود که مقدار عبوری آن از الک شماره ۲۰۰ بیشتر از ۵ درصد باشد. ماده مرطوب‌کننده مورد استفاده در این نوع قیرها می‌تواند گرد و خاک سطح سنگدانه‌ها را بردارد تا چسبندگی آن‌ها به قیر افزایش یابد.

۱۷-۷-٤ انتخاب نوع قیر

انتخاب قیر بر حسب شرایط آب و هوایی محل پروژه و ملاحظات اجرایی صورت می‌گیرد. برای یک منطقه مشخص، معمولاً هر چه سنگدانه‌های مورد استفاده درشت‌تر باشد، از قیرهای با کندروانی بیشتر استفاده می‌شود. نوع و رده‌بندی برخی از قیرهای مناسب برای استفاده به همراه مصالح با دانه‌بندی‌های باز برای هوای سرد و هوای گرم در جدول (۱۷-۱۴) به عنوان توصیه و نه الزام آورده شده است.

جدول ۱۷-۱۴ قیرهای مناسب برای سنگدانه‌های با دانه‌بندی‌های باز

شماره دانه‌بندی باز (از جدول ۱۷-۱۲)	اندازه اسمی سنگدانه‌ها (میلی‌متر)	مواد قیری مناسب برای شرایط دمایی زیر			
		هوای سرد (۱۰ تا ۲۷ درجه سلسیوس)		هوای گرم (بیش از ۲۷ درجه سلسیوس)	
۱	۱۲٫۵ - ۲۵	CRS-2h	CRS-1,2	CRS-2h	CRS-2
		RS-2h	RS-2	RS-2h	RS-2
		۱۲۰–۱۵۰	۸۵–۱۰۰	۱۲۰–۱۵۰	۸۵–۱۰۰
		PG52-28	PG58-28	PG52-28	PG58-28
			PG58-22	PG64-22	PG58-22
۲	۹٫۵ - ۱۹	CRS-2h	CRS-1,2	CRS-2h	CRS-1,2
		RS-2h	RS-2	RS-2h	RS-2
				۱۲۰–۱۵۰	۸۵–۱۰۰
				PG52-28	PG58-28
					PG58-22
۳	۴٫۷۵ - ۱۲٫۵	CRS-2h	CRS-1,2	CRS-2h	CRS-1,2
		RS-2h	RS-2	RS-2h	RS-2
				۲۰۰–۳۰۰	PG46-34
۴	۲٫۳۶ - ۹٫۵	CRS-2	CRS-1	CRS-2h	CRS-1,2
		RS-2	RS-1	RS-2h	RS-1,2
۵	۱٫۱۸ - ۴٫۷۵	CRS-2	CRS-1	CRS-2	CRS-1
		RS-2	RS-1	RS-2	RS-1

۱۷-۷-۵ طراحی آسفالت سطحی

هدف از طراحی آسفالت سطحی، تعیین مقادیر دقیق قیر و سنگدانه‌ها برای اجرای کار است. این روش بر فرضیات زیر استوار است و برای انواع سنگدانه‌های با دانه‌بندی باز و یک‌اندازه صادق است:

الف) مقدار فضای خالی سنگدانه‌ها که توسط ماشین پخش‌کننده مصالح روی قیر پخش می‌شود، قبل از غلتک‌زنی و با توجه به آرایش نامتعادل و ناپیوسته سنگدانه‌ها، تقریبا ۵۰ درصد از حجم کل آن است.

ب) مقدار فضای خالی بعد از غلتک‌زنی و جابجا شدن سنگدانه‌ها، به ۳۰٪ کاهش می‌یابد.

پ) پس از آن که آسفالت سطحی به مدت کافی تحت ترافیک قرار گرفت، سنگدانه‌ها بر روی مسطح‌ترین وجه خود قرار می‌گیرند. در این شرایط، مقدار فضای خالی سنگدانه‌ها به حدود ۲۰٪ می‌رسد و ضخامت نهایی لایه آسفالت سطحی تقریباً با کوچکترین بعد سنگدانه‌ها برابر می‌شود.

ت) برای آنکه رویه آسفالت سطحی عملکرد مناسب داشته و بادوام باشد، ضروری است که ۶۰ تا ۸۰ درصد از فضای خالی باقیمانده (که ۲۰٪ فرض شده است) بسته به حجم ترافیک با قیر پر شود و فضای خالی نهایی آسفالت سطحی به شرح زیر گردد:

برای ترافیک ۱۰۰ تا ۵۰۰ وسیله نقلیه در روز: ٪۲۰ − (۰/۸۰ × ٪۲۰) = ٪۴

برای ترافیک ۵۰۰ تا ۱۰۰۰ وسیله نقلیه در روز: ٪۲۰ − (۰/۷۰ × ٪۲۰) = ٪۶

برای ترافیک ۱۰۰۰ تا ۲۰۰۰ وسیله نقلیه در روز: ٪۲۰ − (۰/۶۵ × ٪۲۰) = ٪۷

برای ترافیک ۲۰۰۰ تا ۴۰۰۰ وسیله نقلیه در روز: ٪۲۰ − (۰/۶۰ × ٪۲۰) = ٪۸

۱۷-۷-۶ محاسبه مقادیر پخش قیر و مصالح

با فرضیات فوق، از روابطی که در ادامه آورده شده است برای محاسبه مقادیر پخش قیر و مصالح دانه‌ای استفاده می‌شود. به طور کلی، هر چه دانه‌بندی مصالح به حد پایین محدوده مشخصات دانه‌بندی‌های ارایه شده در این بخش نزدیک‌تر باشد (به عبارت دیگر، دانه‌بندی سنگدانه‌ها درشت‌تر باشد)، مقادیر قیر و سنگدانه‌ها افزایش می‌یابد و بالعکس.

۱۷-۷-۶-۱ مقدار سنگدانه‌ها

رابطه ۱۷-۱ برای تعیین مقدار سنگدانه مورد استفاده در واحد سطح برای هر یک از لایه‌های آسفالت سطحی یک‌لایه یا چندلایه به کار می‌رود.

$$C = (1-0.4V)\ H \times G \times E \qquad (۱-۱۷)$$

که در آن:

C = وزن سنگدانه‌ها بر حسب کیلوگرم در مترمربع از سطح راه است که باید به عدد صحیح بزرگتر گرد شود.

V = فضای خالی سنگدانه‌ها در شرایط غیرمتراکم بر حسب درصد است که از رابطه ۱۷-۲ محاسبه می‌شود.

$$V=1-\frac{W}{1000G} \qquad (۲-۱۷)$$

که در آن:

W = وزن واحد حجم غیرمتراکم سنگدانه‌ها بر حسب کیلوگرم بر مترمکعب است که به روش AASHTO T19 اندازه‌گیری می‌شود.

G = وزن مخصوص حقیقی سنگدانه‌ها است.

H = میانگین کمترین بعد سنگدانه‌ها بر حسب میلی‌متر است که با استفاده از رابطه ۱۷-۳ محاسبه می‌شود.

$$H=\frac{M}{1.139285+0.011506\times FI} \qquad (۳-۱۷)$$

که در آن:

M = اندازه متوسط سنگدانه‌ها بر حسب میلی‌متر که با استفاده از نمودار دانه‌بندی مصالح تعیین می‌شود. این پارامتر برابر با اندازه سوراخ‌های الک فرضی است که نیمی از سنگدانه‌ها از آن عبور می‌کنند (مقدار عبوری مصالح از آن ۵۰ درصد است). برای تعیین اندازه متوسط سنگدانه‌ها پس از آزمایش دانه‌بندی مصالح مورد استفاده، نمودار دانه‌بندی رسم شده و قطری از سنگدانه‌ها که ۵۰ درصد مصالح از آن کوچکتر هستند، با استفاده از این نمودار تعیین می‌گردد.

FI = ضریب تورق سنگدانه‌ها بر حسب درصد است که به روش استاندارد BS 812 تعیین می‌شود.

E = ضریب هدر رفتن سنگدانه‌ها است که در بازه ۱٫۰۱ تا ۱٫۱۵ توسط مهندس طراح انتخاب می‌شود. هرچه مقدار هدررفت مصالح در حین اجرای آسفالت سطحی و پس از آن در اثر عبور ترافیک بیشتر باشد، ضریب مورد استفاده با در نظر گرفتن ۱ تا ۱۵ درصد هدر رفت سنگدانه‌ها بیشتر خواهد بود.

۱۷-۷-۶-۲ مقدار قیر

مقدار قیر لازم برای آسفالت سطحی یک‌لایه‌ای، دولایه‌ای و یا بیشتر، از رابطه ۱۷-۴ به دست می‌آید:

$$B=\frac{0.4\times HTV+S+A}{R} \qquad (۴-۱۷)$$

که در آن:

B = مقدار قیر بر حسب لیتر در متر مربع (در دمای ۱۵ درجه سلسیوس) است که با توجه بـه دمای قیر در شرایط پخش بر روی بستر راه باید تصحیح شود.

وزن مخصوص قیر مورد استفاده ابتدا در آزمایشگاه به روش ASTM D70 یا AASHTO T228 اندازه‌گیری شده و سپس ضریب اصلاح تعیین می‌گردد.

V = فضای خالی سنگدانه‌ها در شرایط غیرمتراکم بر حسب درصد است که با استفاده از رابطه ۱۷-۲ محاسبه می‌شود.

H = میانگین کمترین بعد سنگدانه‌ها بر حسب میلی‌متر است که با استفاده از رابطه ۱۷-۳ محاسبه می‌شود.

T = ضریب اصلاح ترافیک است که با توجه به حجم ترافیک روزانه و تعداد وسایل نقلیه در هر روز از

جدول (۱۷–۱۵) انتخاب می‌گردد.

S = عامل متغیر اصلاح مقدار قیر با توجه به وضعیت سطحی موجود بر حسب لیتر در متر مربع است که بسته به وضعیت رویه موجود از جدول (۱۷–۱۶) تعیین می‌گردد.

A = مقدار اصلاح مربوط به جذب مواد قیری توسط سنگدانه‌ها است که برای مصالح با تخلخل جزئی و معمول برابر صفر منظور می‌شود. در صورتی‌که استفاده از سنگدانه‌های با تخلخل زیاد و دارای منافذ و حفرات سطحی اجتناب‌ناپذیر باشد، می‌توان از قیر اضافی در محدوده ۰/۱۵– ۰/۱ لیتر در متر مربع استفاده کرد و در موارد بحرانی نیز باید مقدار دقیق جذب قیر توسط سنگدانه‌ها در آزمایشگاه تعیین شود. تجربه نشان داده است که مقدار اصلاح (A) برابر با ۰/۱ لیتر در متر مربع برای سنگدانه‌های با جذب آب در حدود ۲٪ مناسب است.

R = مقدار قیر باقیمانده از تبخیر آب در قیرآبه‌ها است که در آزمایشگاه تعیین می‌شود. برای قیرهای خالص با رده‌بندی‌های مختلف، مقدار این ضریب برابر ۱ منظور می‌گردد.

در صورتی‌که قیرآبه‌ها مورد استفاده قرار گیرد و دسترسی به نتایج حاصل از آزمایش‌های آزمایشگاهی مقدور نباشد، از داده‌های جدول (۱۷–۱۷) می‌توان به عنوان راهنمای انتخاب مقدار R استفاده کرد.

جدول ۱۷-۱۵ ضریب اصلاح ترافیک برای محاسبه مقدار قیر

ترافیک روزانه (تعداد وسیله نقلیه در روز)	ضریب ترافیک T
کمتر از ۱۰۰	۰/۸۵
۱۰۰-۵۰۰	۰/۷۵
۵۰۰-۱۰۰۰	۰/۷۰
۱۰۰۰-۲۰۰۰	۰/۶۵
بیش از ۲۰۰۰	۰/۶۰

جدول ۱۷-۱۶ مقدار اصلاح قیر برای وضعیت سطح موجود

وضعیت سطحی روسازی موجود	مقدار اصلاح برای وضعیت سطحی، S
تیره رنگ، قیرزده	-۰/۰۴ تا -۰/۲۷
بدون تخلخل و هموار	صفر
تا حدودی متخلخل و اکسیده‌شده	+۰/۱۴
تا حدودی شن‌زده، متخلخل و اکسیده‌شده	+۰/۲۷
به شدت شن‌زده، متخلخل و اکسیده‌شده	+۰/۴۰

جدول ۱۷-۱۷ درصد قیر باقیمانده برای قیرآبه‌ها

نوع قیر	ضریب R (۱)
RS-1	۰/۵۵
RS-2	۰/۶۴
MS-1	۰/۵۵
HFMS-1	۰/۵۵
CRS-1	۰/۶۰
CRS-2	۰/۶۵
(۱) برای قیرهای خالص با رده‌بندی‌های مختلف برابر ۱ منظور گردد.	

حجم قیر محاسبه‌شده به شرح فوق، مربوط به دمای ۱۵ درجه سلسیوس است که با استفاده از راهنمای استاندارد ASTM D1250 و ضرایب تبدیل حجمی مواد قیری که در جداول استاندارد ASTM D4311 ارایه شده است، به حجم قیر در شرایط دمایی زمان اجرا تبدیل می‌شود. روابط مربوط به تبدیل حجمی مواد قیری از دماهای مختلف به دمای ۱۵ درجه سلسیوس، برگرفته از استاندارد ASTM D4311 نیز می‌تواند به شرح زیر برای محاسبه ضرایب تبدیل حجم مورد استفاده قرار گیرد.

$$A = 1.0094684142 - 6.33413410744 \times 10^{-4} \times T + 1.45710416212 \times 10^{-7} \times T^2 \qquad (۵-۱۷)$$

که در آن:

A = ضریب تبدیل حجمی برای مواد قیری با وزن مخصوص ۰/۹۶۶ یا بزرگتر در ۱۵ درجه سلسیوس، و

T = دمای ماده قیری بر حسب درجه سلسیوس است.

$$B = 1.0108020095 - 7.2343515319 \times 10^{-4} \times T + 2.1996598346 \times 10^{-7} \times T^2 \qquad (۶-۱۷)$$

که در آن:

B = ضریب تبدیل حجمی برای مواد قیری با وزن مخصوص ۰/۸۵۰ تا ۰/۹۶۵ در ۱۵ درجه سلسیوس، و

T = دمای ماده قیری بر حسب درجه سلسیوس است

قابل ذکر است که روابط فوق و ضرایب مندرج در استاندارد ASTM D4311 برای قیرهای خالص کاربرد دارند. برای قیرآبه‌ها باید از ضرایب اصلاح حجم مربوط به تغییرات دمای قیرآبه استفاده شود. این ضرایب در جدول (۱۷–۱۸) ارائه شده است. ضرایب جدول (۱۷–۱۸) برای تبدیل حجم قیرآبه‌ها از دماهای مختلف به حجم آنها در دمای استاندارد ۱۵ درجه سلسیوس کاربرد دارند. برای سایر دماها نیز می‌توان از روش درون‌یابی برای تعیین مقدار ضریب استفاده کرد.

جدول ۱۷–۱۸ ضرایب اصلاح حجم قیرآبه‌ها از دماهای مختلف به دمای ۱۵ درجه سلسیوس

دما (درجه سلسیوس)	ضریب	دما (درجه سلسیوس)	ضریب
۱۰	۱/۰۰۲۵۰	۵۵	۰/۹۸۲۲۵
۱۵	۱/۰۰۰۰۰	۶۰	۰/۹۸۰۰۰
۲۰	۰/۹۹۸۰۰	۶۵	۰/۹۷۷۷۵
۲۵	۰/۹۹۵۷۵	۷۰	۰/۹۷۵۵۰
۳۰	۰/۹۹۳۵۰	۷۵	۰/۹۷۳۲۵
۳۵	۰/۹۹۱۲۵	۸۰	۰/۹۷۱۰۰
۴۰	۰/۹۸۹۰۰	۸۵	۰/۹۶۸۷۵
۴۵	۰/۹۸۶۷۵	۹۰	۰/۹۶۶۵۰
۵۰	۰/۹۸۴۵۰		

۱۷-۷-۶-۳ اصلاح مقادیر طرح

در استفاده از روابط مربوط به محاسبه میزان پخش سنگدانه‌ها و قیر، بهتر است موارد زیر رعایت شود:

الف) در مورد آسفالت سطحی یک‌لایه‌ای از روابط ۱۷–۱ تا ۱۷–۴ برای محاسبه مقادیر سنگدانه‌ها و قیر در متر مربع استفاده شود.

ب) فرض بر این است که آسفالت سطحی دو یا سه‌لایه‌ای از دو یا سه لایه آسفالت سطحی تک‌لایه‌ای تشکیل می‌شود. لذا برای محاسبه مقادیر سنگدانه و قیر برای هر یک از لایه‌ها، با توجه به کیفیت سنگدانه‌ها و مواد قیری مورد استفاده هر لایه که در آزمایشگاه ارزیابی و تعیین خواهد شد، از روابط (۱۷-۱) تا (۱۷-۴) استفاده شود.

پ) ضریب هدر رفت سنگدانه‌ها (E) برای لایه‌های دوم یا سوم آسفالت سطحی، برابر یک منظور شود.

ت) برای اجرای لایه دوم آسفالت سطحی، هیچ ضریب اصلاحی برای قیر از نظر بافت سطحی لایه اول بکار گرفته نمی‌شود و مقدار S برابر صفر منظور می‌گردد. زیرا فرض بر این است که در محاسبات مربوط به تعیین مقدار قیر لایه قبلی، کلیه عوامل برای تعیین و محاسبه مقدار بهینه قیر و پخش آن در سطح راه در محدوده رواداری‌های اجرایی منظور شده است.

ث) مقدار قیر مورد استفاده در لایه‌های اول و دوم آسفالت سطحی دولایه یا در لایه‌های اول، دوم و سوم آسفالت سطحی سه‌لایه باید به شرح زیر اصلاح شود:

۱- چنانچه زمان اجرای آسفالت سطحی از ماه‌های اردیبهشت و خرداد شروع شده و تا ماه‌های گرم تابستان ادامه یابد، مقدار قیر محاسبه‌شده برای هر لایه به شرح زیر محاسبه می‌شود:

آسفالت سطحی دو لایه‌ای: ۶۰٪ از مجموع قیر محاسبه‌شده در لایه اول و ۴۰٪ در لایه دوم منظور گردد.

آسفالت سطحی سه‌لایه‌ای: ۴۰٪ از قیر محاسباتی در لایه اول، ۴۰٪ در لایه دوم و ۲۰٪ در لایه سوم مصرف شود.

۲- چنانچه اجرای آسفالت سطحی در ماه شهریور آغاز شود، قیر محاسبه‌شده برای هر لایه به شرح زیر محاسبه می‌شود:

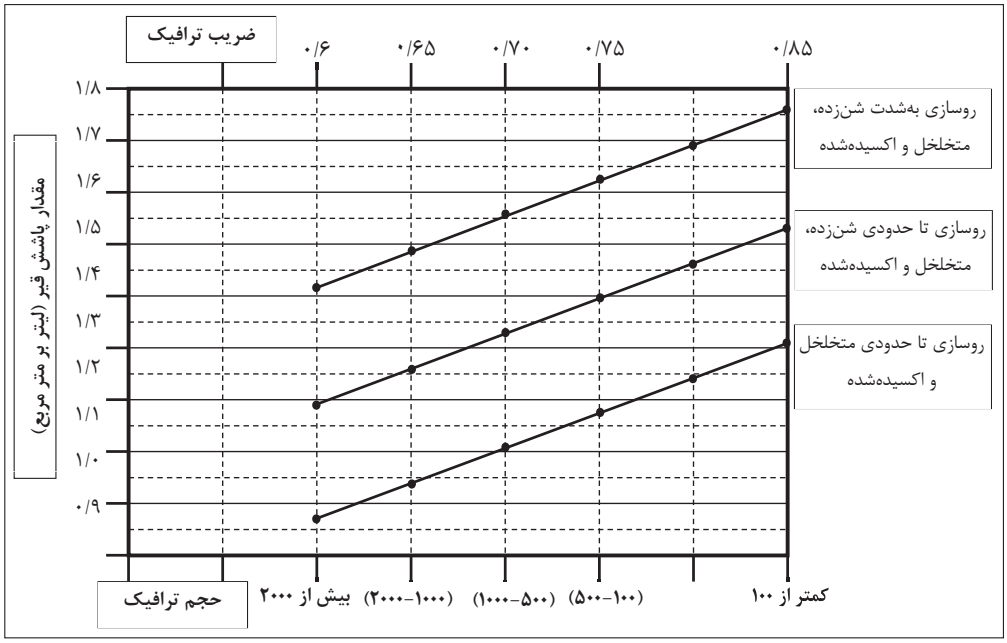
آسفالت سطحی دو لایه‌ای: ۴۰٪ از مجموع قیر محاسبه‌شده در لایه اول و ۶۰٪ در لایه دوم منظور گردد.

آسفالت سطحی سه‌لایه‌ای: ۳۰٪ از قیر محاسباتی در لایه اول، ۴۰٪ در لایه دوم و ۳۰٪ در لایه سوم مصرف شود.

ج) توصیه می‌شود که پس از محاسبه دقیق مقدار سنگدانه‌ها، مقدار به دست آمده به عدد صحیح بزرگتر گرد شود. پس از تعیین مقدار پخش سنگدانه‌ها می‌توان آن را آزمایش کرد. به این منظور، مقدار تعیین‌شده در داخل یک جعبه چوبی به مساحت یک متر مربع ریخته می‌شود. این مقدار باید در یک لایه به ضخامت معادل یک سنگدانه پخش شود. مقدار محاسباتی سنگدانه‌ها با هدف در نظر گرفتن اثر ترافیک یا وضعیت سطحی موجود، آنگونه که برای مقدار قیر ضروری است، در محل اجرا نیاز به اصلاح ندارد.

چ) مقدار قیر محاسبه‌شده با استفاده از رابطه ۱۷-۴ برای مسیر چرخ‌های وسایل نقلیه و نواحی تحت ترافیک در معابر و راه‌ها است. این مقدار قیر می‌تواند امکان قرارگیری سنگدانه‌ها روی مسطح‌ترین وجه آنها فراهم سازد. اما توصیه می‌شود که مقدار قیر برای نواحی دور از ترافیک نیز محاسبه شود و میانگین این دو مقدار قیر محاسباتی به عنوان نقطه شروع برای اجرای میدانی مورد استفاده قرار گیرد. برای محاسبه مقدار پاشش قیر برای نواحی دور از ترافیک با استفاده از رابطه ۱۷-۴، اندازه متوسط سنگدانه‌ها (M) به جای میانگین کمترین بعد سنگدانه‌ها (H) استفاده شود.

ح) تجربه نشان داده است مقدار سنگدانه‌ها که با روابط این بخش تعیین می‌شود، همواره برای اجرای میدانی در محل پروژه مناسب است. اما از آنجا که برای محاسبه مقدار پاشش قیر، فرض‌هایی برای بافت سطحی و تخلخل روسازی موجود صورت می‌گیرد، همواره نیاز است که مقدار قیر تعدیل شود. لذا یک نمودار تعدیل قیر که مقدار پاشش قیر در حالت‌های مختلف حجم ترافیک و وضعیت سطحی موجود را نشان دهد، مشابه آنچه که در شکل (۱۷-۲) ترسیم شده است، ابزاری کاربردی برای استفاده در زمان اجرا است. مهندس مشاور می‌تواند این نمودار را در زمان اجرای آسفالت سطحی بکار گیرد.



شکل ۱۷-۲ نمونه‌ای از نمودار تعدیل مقدار قیر برای زمان اجرای آسفالت سطحی

۱۷-۷-٦-٤ نمونه محاسبات

برای آشنایی با نحوه محاسبه مقادیر قیر و سنگدانه‌ها، مثال زیر برای آسفالت سطحی یک‌لایه‌ای ارایه شده است:

برای اجرای آسفالت سطحی یک‌لایه، سنگدانه‌های شکسته منطبق با دانه‌بندی شماره ۲ از جدول ۱۷-۱۲ با قیر CRS-1 انتخاب شده است. بستری که آسفالت سطحی بر روی آن اجرا می‌شود، لایه اساس شکسته است. بر اساس داده‌های طرح، مقادیر سنگدانه‌ها و قیر برای هر متر مربع از سطح راه به شرح زیر محاسبه می‌شود:

الف) با انجام آزمایش دانه‌بندی سنگدانه‌ها و ترسیم نمودار آن، قطر دانه‌هایی که ۵۰ درصد ردشده از الک را روی منحنی دانه‌بندی نشان می‌دهد، برابر ۱۰ میلی‌متر است. مقدار ضریب تورق مصالح به روش آزمایش استاندارد BS-812 برابر ۲۰ درصد تعیین شده است. میانگین کمترین بعد سنگدانه‌ها با رابطه ۱۷-۳ برابر ۷٫۳ میلی‌متر تعیین می‌شود.

$$H=\frac{10}{1.139285+0.011506\times 20}=7.3$$

ب) وزن واحد حجم غیرمتراکم مصالح (W) با انجام آزمایش در آزمایشگاه به روش AASHTO T19 برابر با ۱۵۰۸٫۳ کیلوگرم بر مترمکعب و وزن مخصوص حقیقی مصالح با انجام آزمایش به روش AASHTO T85 برابر با ۲٫۶۰۰ اندازه‌گیری شد. لذا فضای خالی سنگدانه‌ها (V) برابر است با:

$$V = 1-\frac{1508.3}{1000\times 2.600} = 0.42$$

پ) ضریب هدر رفتن سنگدانه‌ها (E) با توجه به تجربه طراح برابر با ۱٫۰۴ انتخاب گردید.

ت) تعداد ترافیک روزانه طرح معادل ۸۰۰ وسیله نقلیه است که ضریب T با توجه به جدول (۱۷-۱۵) برابر ۰٫۷ خواهد بود.

ث) از آنجا که آسفالت سطحی روی لایه اساس شکسته اجرا می‌شود، لذا ضریب بافت سطحی راه (S) از جدول ۱۷-۱۶ معادل صفر است.

ج) ضریب R با توجه به استفاده از قیرآبه CRS-1 از جدول (۱۷-۱۷) برابر ۰٫۶ انتخاب شد که در صورت لزوم در آزمایشگاه با انجام آزمایش تقطیر تعیین می‌شود.

چ) سنگدانه‌های مورد استفاده در آسفالت سطحی جذب قیر بیش از معمول ندارد، لذا ضریب A مربوط به

جذب قیر برابر صفر است.

مقدار سنگدانه‌ها

$$C = (1-0.4V)\ H \times G \times E$$
$$C = (1-0.4\times0.42)\ 7.3\times2.600\times1.04 = 16.4\ Kg/m^2$$

مقدار قیر

برای دمای ۱۵ درجه سلسیوس به شرح زیر محاسبه می‌شود.

$$B = \frac{0.4\times7.3\times0.7\times0.42+0+0}{0.6} = 1.4308\ Lit/m^2$$

قیرآبه CRS-1 در دمای محیط حدود ۳۰ درجه سلسیوس روی سطح راه پخش می‌شود و حجم قیر باقیمانده آن در این دما بیش‌تر از مقدار محاسبه‌شده برای دمای ۱۵ درجه سلسیوس خواهد بود.

ضریب تبدیل حجم قیرآبه از دمای ۳۰ به دمای ۱۵ درجه سلسیوس، در جدول ۱۷–۱۸ برابر با ۰٫۹۹۳۵۰ ارایه شده است. لذا حجم قیرآبه در دمای پخش طبق رابطه زیر برابر با ۱٫۴۴۰ لیتر بر متر مربع محاسبه می‌شود. از آنجا که ضریب فوق مربوط به تبدیل حجم از دمای ۳۰ به دمای ۱۵ درجه است، بنابراین برای تبدیل حجم قیرآبه از دمای ۱۵ به دمای ۳۰ درجه سلسیوس، مقدار محاسباتی بر ضریب تبدیل حجمی تقسیم می‌شود.

$$B = 1.4308 / 0.99350 = 1.440\ Lit/m^2$$

۱۷-۷-۷ تجهیزات و ماشین‌آلات

همه تجهیزات، ابزار و ماشین‌آلات مورد استفاده در اجرای آسفالت سطحی که در ادامه به آنها پرداخته می‌شوند، باید در شرایط کاری مطلوب باشند.

۱۷-۷-۷-۱ قیرپاش

بطور کلی، قیرپاش باید خودران و از نوع فشاری باشد و توان پاشش یکنواخت مواد قیری به مقادیر بسیار کم در حد ۰٫۲ لیتر بر متر مربع تا مقادیر زیاد در حد ۵٫۰ لیتر بر متر مربع را در عرض متغیر داشته باشد. قیرپاش باید به یک موتور برای پمپ و چرخش کامل قیر در نازل‌ها که به صورت عرضی و عمودی

قابل‌تنظیم هستند، مجهز باشد. زاویه و ارتفاع نازل باید طوری تنظیم شود که بطور کامل پوشش دوطرفه[1] را در یک مرتبه عبور فراهم کند. قیرپاش باید مجهز به ابزار کنترل کامپیوتری برای قیرپاشی، سرعت‌سنج، فشارسنج، ابزار دقیق حجم‌سنجی، مخزن کالیبره‌شده و یک دماسنج برای اندازه‌گیری دمای قیر درون مخزن باشد.

قیرپاش مورد استفاده در اجرای آسفالت سطحی باید مشخصات زیر را داشته باشد:

– دستگاه قیرپاش باید روی چرخ‌های لاستیکی به عرض و وزن خاصی نصب شود، به گونه‌ای که فشار وارده از چرخ‌ها به سطح راه بیش از ۶ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع نباشد. این فشار را می‌توان در محل اندازه‌گیری کرد و در صورت لزوم با تقلیل یا افزایش فشار باد لاستیک چرخ‌ها، فشار وارده را تنظیم گردد.

– مخزن قیرپاش باید به گرم‌کن مجهز باشد و بتواند مواد قیری را تا دمای مناسب برای پخش گرم کند. قیر هنگام حرارت دادن باید در گردش باشد و یا هم زده شود. برای قیرپاش‌های مخصوص قیرآبه، سیستم گردش قیر باید آن را درون لوله پاشش و شیرهای آن نیز به گردش درآورد، در غیر این صورت احتمال شکستن قیرآبه و انسداد لوله‌ها وجود دارد.

– به منظور کنترل دائمی دمای قیر، دماسنجی روی مخزن نصب می‌شود. دماسنج باید به نحوی قرار گیرد که حداکثر دمای قیر را نشان دهد.

– مخزن قیر باید از طریق لوله مخصوصی که در آن تعبیه می‌شود، بارگیری گردد و این لوله باید به یک صافی مجهز باشد. تعویض صافی باید به سهولت قابل انجام باشد.

– دستگاه قیرپاش باید از نوع فشاری بوده و به یک پمپ مجهز باشد. مقدار قیری که بر حسب لیتر در دقیقه پخش می‌شود، با سرعت قیرپاش هماهنگ و کنترل می‌گردد.

– ماشین قیرپاش باید به یک سرعت‌سنج برای تعیین سرعت حرکت بر حسب متر در دقیقه مجهز باشد. سرعت‌سنج در محلی نصب می‌شود که همواره در معرض دید راننده باشد.

– طول لوله قیرپاش عموماً ۴ متر است، ولی باید برای قیرپاشی در عرض‌های کمتر یا بیشتر قابل تنظیم باشد.

– ارتفاع لوله پخش قیر از زمین و نیز زاویه نازل‌ها نسبت به محور لوله قیرپاش باید به گونه‌ای تنظیم شود که پاشش یکنواخت قیر در سطح راه تأمین شود. بهترین شرایط برای زاویه نازل‌ها، در محدوده ۱۵ تا ۳۰ درجه و مناسب‌ترین فاصله بین نازل‌ها روی لوله پخش، در حدود ۱۰ سانتی‌متر است.

1. double coverage

– قیرپاش باید دارای لوله یا شلنگ پاشش دستی نیز باشد، تا بتوان قیرپاشی را در سطوح کوچک و نقاط دور از دسترس قیرپاش نیز انجام داد.

– ماشین مخصوص پاشش قیرآبه‌ها نیاز به محافظت و نگهداری و توجه خاص به مواردی همچون گرم کردن قیر، کارایی پمپ، نحوه تخلیه، بارگیری و تمیز کردن مخزن و شناسایی انواع قیرهایی دارد که ممکن است مورد استفاده قرار گیرند.

– ماشین مخصوص پاشش قیرآبه‌ها هر روز پس از اتمام کار باید با نفت سفید یا حلال مشابه شسته شود. اگر مخزن قیرپاش حاوی قیرآبه باشد، باید در مقابل سرما محافظت شود تا قیرآبه یخ نزده و نشکند.

– پاشش قیر توسط قیرپاش باید به اندازه‌ای دقیق باشد که انحراف آن از مقدار طرح در هر متر مربع از سطح راه بیشتر از ۱۰ درصد (یا ۰/۰۹ لیتر در مترمربع) نباشد. به این منظور باید سرعت حرکت ماشین و مقدار قیری که از نازل‌ها تخلیه می‌شود، یکنواخت و همگن باشد. سرعت قیرپاش که همواره پیش از شروع قیرپاشی تعیین می‌گردد، با استفاده از رابطه زیر قابل محاسبه است.

$$V=\frac{MQ}{WA} \qquad (۷-۱۷)$$

که در آن:

V = سرعت ماشین بر حسب متر در دقیقه

M = مقدار قیر قابل تخلیه از لوله قیرپاش بر حسب لیتر در دقیقه

Q = ضریب اصلاح حجم قیر نسبت به دمای پخش

W = طول لوله قیرپاش در عرض ماشین بر حسب متر

A = مقدار قیر طرح بر حسب لیتر در متر مربع

۱۷-۷-۷-۲ ماشین پخش سنگدانه‌ها

ماشین پخش سنگدانه‌ها باید به طور خاص برای پخش از انواع مختلف مصالح طراحی و ساخته شده باشد. این ماشین باید خودران باشد و حداقل چهار چرخ لاستیکی در دو محور داشته باشد و بتواند سنگدانه‌ها را در بازه ۲/۷ تا ۲۷ کیلوگرم بر متر مربع در عرض متغیر بطور یکنواخت پخش کند. این ماشین باید بتواند کامیون را که در حالت دنده خلاص به آن متصل شده است، همراه خود بکشد. ماشین پخش باید به گونه‌ای طراحی شده باشد که مصالح سنگی را از یک قیف در عقب دریافت کرده و به یک جعبه پخش در جلو منتقل کند. قیف پخش در جلوی ماشین می‌تواند با عرض ثابت یا عرض قابل تنظیم ساخته شده باشد. ماشین پخش باید

بتواند فارغ از عرض پخش، سنگدانه‌ها را در کل عرض قیف بطور یکنواخت پخش کند. نرخ پخش سنگدانه‌ها باید بدون توجه به سرعت حرکت دستگاه یا تغییر عرض پخش ثابت بماند. این کار باید توسط ابزار کنترل کامپیوتری انجام شود. این ابزار سرعت حرکت دستگاه را پایش کرده و میزان عبوری از قیف پخش را با توجه به آن سرعت تنظیم می‌کند. پیش از شروع حرکت دستگاه، مقدار پخش بر حسب کیلوگرم بر متر مربع در ابزار کنترل تنظیم می‌شود.

۱۷-۷-۷-۳ غلتک‌ها

حداقل دو دستگاه غلتک چرخ لاستیکی به وزن بیش از ۹ تن باید در یک پروژه استفاده شود. در صورت کم بودن میزان کار روزانه و تأیید مهندس مشاور می‌توان از یک غلتک نیز استفاده کرد. غلتک چرخ لاستیکی باید وزن ناخالص قابل تنظیم برای اعمال نیروی ۳۶ تا ۶۴ کیلوگرم بر سانتی‌متر در عرض غلتک داشته باشد. فشار لاستیک چرخ برای غلتک‌های چرخ لاستیکی باید مشخص شده باشد و نباید بیش از ۳۵ کیلوپاسکال تغییر کند. بسته به سرعت اجرای آسفالت سطحی و عرض اجرا ممکن است به غلتک‌های بیشتری نیاز باشد. توصیه می‌شود غلتک‌ها با سرعت بیش از ۱۵ کیلومتر در ساعت حرکت نکنند.

یک غلتک چرخ فولادی نیز برای اجرای آسفالت سطحی چندلایه‌ای نیاز است.

۱۷-۷-۷-٤ جاروی مکانیکی

ماشین جاروی دورانی مکانیکی[1] که چهار چرخه و خودران باشد و بتواند در هر دو سمت جلو و عقب کار کند، توصیه می‌شود. این ماشین باید مجهز به ابزار کنترل فشار عمودی جاروی دورانی باشد. جاروها باید بررسی شوند تا از وضعیت سالم برخوردار بوده و از مطابقت آن‌ها با استانداردهای محیط زیستی اطمینان حاصل گردد.

استفاده از جاروی دورانی برای تمیز کردن سطح موجود راه پیش از اجرای آسفالت سطحی نیاز است. معمولاً یک لایه گرد و خاک در نزدیکی لبه‌های راه جمع می‌شود که می‌تواند مانع چسبندگی مناسب بین آسفالت سطحی و سطح موجود راه باشد. به همین دلیل گرد و خاک باید با دقت توسط جاروی مکانیکی پر قدرت برداشته شود. جاروی مکانیکی برای برداشتن سنگدانه‌های مازاد از روی آسفالت سطحی با فشار و توان کم نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد.

1. Rotary Mechanical Broom

۱۷-۷-۷-۵ کامیون حمل مصالح

برای کاهش تأخیرهای عملیات اجرای آسفالت سطحی به دلیل اتمام مصالح سنگی باید کامیون‌های کمپرسی به تعداد کافی فراهم شود. کامیون‌های کمپرسی حمل مصالح سنگی باید یک قلاب مناسب برای اتصال به ماشین پخش سنگدانه جهت حرکت با آن داشته باشند تا در هنگام تخلیه مصالح به ماشین پخش، سنگدانه‌ها روی سطح راه نریزند. همچنین کامیون‌ها نباید به هیچ وجه با ماشین پخش سنگدانه تماس حاصل نمایند.

◄ ۱۷-۷-۸ روش‌های اجرایی

۱۷-۷-۸-۱ کالیبراسیون

ماشین قیرپاش و ماشین پخش سنگدانه باید کالیبره شوند تا اطمینان حاصل شود که مقدار مناسب ماده قیری و سنگدانه پخش می‌شود. کالیبراسیون باید اطمینان دهد که اجزای مکانیکی و الکترونیکی دستگاه‌ها و ماشین‌آلات به طور صحیح تنظیم شده و به درستی عمل می‌کنند. قیرپاش‌ها باید بررسی شوند تا اندازه نازل‌های آن‌ها مناسب باشد. سازندگان تجهیزات و ماشین‌آلات باید دستورالعمل کاملی از مراحل کالیبره آن‌ها ارایه دهند. ارتفاع نازل‌ها باید کالیبره شده و زاویه آن‌ها بررسی شود و سپس مقدار پاشش قیر در هر دو امتداد عرضی و طولی به روش استاندارد ASTM D2995 (INSO 12652) صحت‌سنجی شود. مقدار پخش سنگدانه نیز باید در دو امتداد عرضی و طولی صحت‌سنجی شود. برای کالیبره پخش مصالح سنگی می‌توان از برش‌های ژئوتکستایل به ابعاد ۳۰×۳۰ سانتی‌متر استفاده کرد.

۱۷-۷-۸-۲ شرایط آب و هوایی

هنگامی که روسازی موجود مرطوب بوده، و یا شرایط آب و هوایی نامناسب باشد، آسفالت سطحی نباید اجرا شود. شرایط نامناسب آب و هوایی شامل مواردی چون بارش باران، هوای سرد، روسازی مرطوب، احتمال بارش باران یا سایر عوامل محیطی است که می‌توانند بر کیفیت اجرای آسفالت سطحی اثرگذار باشند. اگر دمای روسازی یا دمای هوا کمتر از ۱۵ درجه سلسیوس باشد، آسفالت سطحی نباید اجرا شود. اما اگر دمای روسازی و دمای هوا بیش از ۱۰ درجه سلسیوس و در حال افزایش باشند، آسفالت سطحی را می‌توان اجرا کرد. همچنین برای آسفالت سطحی با قیرآبه، اگر احتمال بارش تا ۲۴ ساعت پس از آن اجرا وجود داشته باشد، عملیات اجرا شروع نمی‌شود. در مناطق سردسیر طبق نظر مهندس مشاور و با استفاده از برخی روش‌های اجرایی می‌توان محدودیت دمایی را تعدیل کرد.

۱۷-۷-۸-۳ ایمنی و کنترل ترافیک

به مالکان ساختمان‌های مسکونی و تجاری و مشاغل واقع در نزدیکی محل اجرا باید حداقل یک روز پیش از اجرای آسفالت سطحی اطلاع‌رسانی شود. اگر اجرای آسفالت سطحی در روز مشخص‌شده انجام نشود، اطلاع‌رسانی مجدد باید صورت گیرد. در صورت لزوم، تابلوهای هشدار فاصله تا محل اجرای آسفالت سطحی باید نصب شوند.

پیش از شروع اجرای پروژه باید یک طرح یا برنامه کنترل ترافیک توسط پیمانکار ارایه شده و مورد تأیید قرار گیرد. در صورت نیاز باید در فواصل حداقل ۱۲ متری، علائم برآمده موقتی در سطح روسازی نصب شوند. هزینه علائم، تابلوها و ابزار کنترل ترافیک که برای اجرای پروژه ضروری هستند، در قیمت واحد آسفالت سطحی لحاظ می‌شود.

پس از اجرای هر یک از لایه‌های آسفالت سطحی تا عمل آمدن و سفت شدن کامل مواد قیری، باید از عبور وسایل نقلیه ممانعت شود.

در صورتی‌که عبور وسایل نقلیه بلافاصله پس از اتمام غلتک‌زنی و پیش از سفت شدن قیر اضطراری باشد سرعت ترافیک باید به ۱۰ تا ۳۰ کیلومتر در ساعت محدود شود.

عملیات اجرای آسفالت سطحی در یک پروژه در هر روز باید به گونه‌ای برنامه‌ریزی و زمان‌بندی شود که در پایان روز همه خطوط عبوری راه برای تردد وسایل نقلیه قابل بهره‌برداری باشند.

چنانچه آسفالت سطحی در راهی که تحت ترافیک قرار دارد، انجام شود، باید از راه انحرافی استفاده شود و یا عملیات اجرا در نصف عرض روسازی راه انجام گیرد.

۱۷-۷-۸-٤ آماده‌سازی سطح موجود

سطح راه‌های شنی، آسفالتی و یا بتنی باید قبل از شروع عملیات اجرای آسفالت سطحی آماده‌سازی شود تا از هر حیث با مشخصات و نقشه‌های اجرایی منطبق باشد. بلافاصله پیش از اجرای آسفالت سطحی، سطح موجود باید برای از بین بردن مواد زائد، گیاهان و گرد و غبار توسط جاروی مکانیکی و هوای فشرده تمیز گردد. به این منظور هر روش پاک‌سازی استاندارد قابل قبول است. در صورت لزوم، رویه‌های آسفالتی موجود را می‌توان با شستشو تمیز کرد. در این صورت، ترک‌ها باید پیش از اجرای آسفالت سطحی کاملاً خشک شوند.

همه دریچه‌های آدم‌رو، قاب‌های شیر فلکه، ورودی‌های آب‌های سطحی و سایر ورودی‌های تسهیلات و تأسیسات شهری باید به روش مناسب از آسفالت سطحی محافظت شوند. پیش از اجرای آسفالت سطحی، مهندس مشاور باید وضعیت سطح موجود را تأیید کند.

توصیه می‌شود پیش از اجرای آسفالت سطحی، ترک‌های با عرض بیش از ۶ میلی‌متر در سطح روسازی موجود با یک ماده درزگیری مناسب ترمیم شوند. همچنین همه نقاط مضمحل روسازی موجود باید برداشته شده و لکه‌گیری شوند. محیط نواحی مضحمل روسازی باید تراش داده شود تا دیواره قائم ایجاد شود. نواحی ضعیف از خاک بستر یا لایه اساس باید با مصالح مناسب جایگزین شده و متراکم شوند. سپس مخلوط آسفالتی باید درون محل لکه‌گیری ریخته شده و متراکم شود تا سطحی صاف و بدون برآمدگی ایجاد شود.

برای اجرای آسفالت سطحی یک یا چندلایه‌ای روی راه‌های شنی، معمولاً آماده‌سازی به شرح زیر انجام می‌شود:

الف) کلیه نقاط ضعیف سطح راه‌های شنی باید پیش از اجرا ترمیم شود.

ب) عملیات اجرا باید به گونه‌ای برنامه‌ریزی شود که بلافاصله پس از آماده‌شدن سطح راه و پیش از عبور ترافیک از روی آن، آسفالت سطحی اجرا شود.

پ) در صورت عبور ترافیک از روی سطح آماده‌شده راه، لازم است این سطح مجدداً شخم زده شده و پروفیله گردد و سپس تا حد مشخصات متراکم شود.

ت) پیش از اجرای آسفالت سطحی روی سطح آماده‌شده راه‌های شنی باید مطابق دستورالعمل‌های این آئین‌نامه، اندود نفوذی اجرا شود. مدت زمان بین اجرای اندود نفوذی و اجرای آسفالت سطحی باید به اندازه‌ای باشد که گیرش و عمل‌آمدن ماده قیری اندود نفوذی کامل گردد. بسته به شرایط محلی و فصلی، این مدت برای قیرآبه‌ها ممکن است از یک روز تا دو هفته به طول انجامد. در برخی منابع پخش میزان اندک از مصالح سنگی (بدون قیرپاشی) روی لایه شنی و غلتک‌زنی آن پیش از اجرای عملیات چیپ‌سیل توصیه شده است. این روش باید با تأیید مهندس مشاور و پس از اجرای قطعه آزمایشی اجرا گردد.

ث) بلافاصله پیش از اجرای آسفالت سطحی باید سطح قیرپاشی‌شده توسط جاروی مکانیکی پاکسازی شود و لکه‌های گل و لای نیز برداشته شوند.

برای اجرای آسفالت سطحی یک یا چندلایه‌ای روی روسازی آسفالتی موجود، معمولاً آماده‌سازی به شرح زیر انجام می‌شود:

الف) قبل از اجرای آسفالت سطحی آسفالت سطحی، سطح روسازی باید تا حد ممکن یکنواخت و هموار گردد. در نتیجه، تمام وصله‌های پر قیر باید برداشته یا اصلاح شوند و همه چاله‌ها، فرورفتگی‌ها و نقاط مضمحل یا دارای خرابی باید ترمیم شوند.

ب) وصله‌هایی که به تازگی روی سطح روسازی اجرا شده‌اند، اغلب متخلخل بوده و مقداری از قیر آسفالت

سطحی را جذب می‌کنند. در فاصله دو هفته پیش از اجرای آسفالت سطحی می‌توان روی این وصله‌ها به مقدار حداکثر ۰/۴۵ لیتر در متر مربع قیرآبه SS-1h یا CSS-1h که به نسبت یک به یک با آب رقیق شده است، قیرپاشی کرد و ماسه شسته درشت به مقدار ۳/۲ تا ۵/۴ کیلوگرم در متر مربع روی آن پخش نمود تا تحت ترافیک قرار گیرد.

پ) اگر روسازی موجود بسیار متخلخل باشد، بخشی از قیرآبه مورد استفاده برای اجرای آسفالت سطحی را جذب می‌کند. در این صورت مقدار حدود ۰/۴۵ لیتر در متر مربع قیرآبه SS-1h یا CSS-1h که به نسبت یک به یک با آب رقیق شده است، روی سطح پاشیده شده و ماسه شسته درشت به مقدار ۳/۲ تا ۵/۴ کیلوگرم در متر مربع روی آن پخش می‌شود. همچنین به جای قیرپاشی و پخش ماسه می‌توان از مخلوط دوغاب آب‌بندی قیری (اسلاری‌سیل) با دانه‌بندی ریز استفاده کرد.

ت) اگر روسازی قدیمی به شدت شن‌زده بوده و حفرات سطحی زیادی در آن دیده شود، پیش از اجرای آسفالت سطحی می‌توان سطح موجود را مطابق بند قبل آماده‌سازی کرد. هدف از این اقدامات، دستیابی به سطح یکنواخت و هموار برای اجرای آسفالتی سطحی است.

ث) بلافاصله پیش از اجرای آسفالت سطحی یا هر یک از اقدامات توصیه‌شده در بندهای فوق، سطح موجود باید توسط جاروی مکانیکی دورانی کاملاً پاکسازی شود و لکه‌های گل و لای نیز برداشته شوند.

انجام عملیات آسفالت سطحی روی روسازی دارای خرابی و ترک خوردگی زیاد، باعث نفوذ ماده قیری به داخل ترک‌ها گردیده و مانع چسبندگی مصالح به سطح روسازی و کاهش ایمنی می‌گردد. لذا اجرای آسفالت سطحی روی این روسازی‌ها مجاز نیست.

۱۷-۷-۸-۵ اجرای آسفالت سطحی

الف- قیرپاشی

ماده قیری باید توسط قیرپاش تحت فشار پاشیده شود. قیرپاشی باید به صورت یکنواخت و پیوسته انجام شود و مقدار فشار باید به اندازه‌ای باشد که کل سطح روسازی را به مقدار مشخص‌شده بپوشاند. تا زمانی‌که ماشین پخش سنگدانه و کامیون‌های حمل مصالح در یک خط قرار نگرفته و برای پخش سنگدانه‌ها آماده نشده باشند و غلتک‌ها هم برای انجام عملیات مربوطه آماده نباشند، عملیات قیرپاشی نباید شروع گردد.

سرعت حرکت ماشین قیرپاش باید با سرعت ماشین پخش سنگدانه هماهنگ باشد. پیش از اینکه مخزن ماشین قیرپاش بطور کامل از قیر خالی شود، عملیات قیرپاشی باید متوقف شود. نازل‌ها باید همواره تمیز باشند و اگر یکی از نازل‌ها مسدود شود، عملیات قیرپاشی باید بلافاصله متوقف گردد و پیش از ادامه قیرپاشی بطور

کامل تمیز شود. عوامل و تنظیمات زیر به راحتی قابل کنترل هستند و به قیرپاشی مناسب کمک می‌کنند:

- جهت و آرایش نازل‌ها روی لوله پخش قیر
- یکسان بودن میزان پاشش و اندازه نازل‌ها و سالم بودن آنها (بدون تورفتگی یا شکستگی)
- تمیز بودن و عدم انسداد نازل‌ها
- ارتفاع لوله پخش از سطح روسازی
- دمای پاشش قیرهای مورد استفاده

بطور کلی، توصیه می‌شود قیرآبه مورد استفاده، قبل از پخش مقداری گرم شود.

به دلیل نشت مواد قیری، تخلیه قیر از ماشین حمل به قیرپاش باید خارج از محدوده مسیر حرکت انجام شود. پیمانکار باید برای قیرپاشی از محدوده اطراف نواحی اجرای آسفالت سطحی محافظت کند تا قیرآلود نشوند. همچنین ماشین‌های قیرپاش نباید هرگز در مسیر حرکت وسایل نقلیه و روی سطح روسازی پارک شوند.

ماده قیری نباید روی یک سطح مرطوب و یا زمانی پاشیده شود که وضعیت آب و هوایی نامناسب باشد. این شرایط مانع اجرای آسفالت سطحی با عملکرد مناسب می‌شود.

در زمان شروع هر مرحله قیرپاشی و در محل درزهای اجرایی آسفالت سطحی، برای جلوگیری از باقی ماندن سطوح بدون قیر و یا نواحی دو بار قیرپاشی شده در اثر شروع و توقف‌های عملیات اجرا توصیه می‌شود که سطح قیرپاشی شده (قبل از محل درز اجرایی) با ورق مناسبی پوشانده شود تا از پاشش قیر به مقدار تعیین‌شده روی سطح قیرپاشی نشده (پس از محل درز) اطمینان حاصل گردد.

برای اجرای آسفالت سطحی دولایه‌ای یا سه‌لایه‌ای، زمانی می‌توان اقدام به پخش قیر برای لایه دوم یا سوم کرد که ماده قیری لایه قبل کاملاً عمل آمده باشد. همچنین قیرپاشی لایه‌های دوم و سوم در خلاف جهت قیرپاشی لایه قبلی انجام می‌شود.

قیرپاشی در کل عرض لایه آسفالت سطحی باید ترجیحاً در یک بار عبور انجام شود تا نیاز به اجرای درز اجرایی طولی در خط وسط راه نباشد. اما اگر برای قیرپاشی در کل عرض راه به چندین مرتبه عبور قیرپاش نیاز باشد، می‌توان نوار کناری به عرض ۱۰–۷٫۵ سانتی‌متر و مجاور عبور دوم را با نصف مقدار طرح مشخص‌شده قیرپاشی کرد تا در عبور بعدی، مقدار قیر طرح تکمیل شود. برای آسفالت سطحی دو یا سه‌لایه‌ای، درز اجرایی طولی لایه‌های دوم و سوم باید حداقل ۱۵ سانتی‌متر از درز اجرایی طولی لایه پایین‌تر فاصله داشته باشد.

در صورتی که قیرپاشی مشابه عملیات اسکراب‌سیل (اندود آب‌بندی جاروب‌کشی شده) انجام شده و سپس روی آن مصالح سنگی پخش شود، باید موارد ذکر شده در بند ۱۷-۴ رعایت گردد که به آن اسکراب‌سیل سنگدانه‌ای اطلاق می‌شود.

ب- پخش سنگدانه

پخش مصالح سنگی باید ظرف مدت کمتر از یک دقیقه پس از قیرپاشی انجام شود. پس از شروع قیرپاشی، ماشین پخش سنگدانه باید در یک فاصله مناسب (حداکثر ۵۰ متر) به دنبال قیرپاش حرکت کند. این فاصله باید به اندازه‌ای باشد که فرصت کافی برای پخش قیر به ضخامت یکنواخت تحت وزن آن وجود داشته باشد. مقدار سنگدانه‌ها در متر مربع باید در طرح آسفالت سطحی مشخص شده و یا با مهندس مشاور توافق شود. پیمانکار باید ماشین پخش سنگدانه را پیش از شروع اجرا کالیبره کند تا به مقدار سنگدانه‌ها در طرح آسفالت سطحی دست یابد. بازشدگی دریچه خروج سنگدانه‌ها و سرعت حرکت ماشین باید تنظیم شوند. پخش سنگدانه و حرکت ماشین پخش باید به گونه‌ای انجام شود که لاستیک چرخ کامیون‌ها و ماشین پخش سنگدانه با ماده قیری در تماس قرار نگیرد. عرض جعبه پخش سنگدانه باید برابر با عرض قیرپاشی باشد، مگر در مواردی که عملیات پخش سنگدانه در چند عبور انجام شود. در آن نواحی که مقدار سنگدانه کم باشد، بلافاصله باید سنگدانه اضافی پخش شود. همچنین هر زمانی در حین اجرا که سنگدانه اضافی در آسفالت سطحی دیده شود، باید مقدار پخش سنگدانه اندازه‌گیری شده و در صورت نیاز اصلاح لازم صورت گیرد. هدف از این کار، به حداقل رساندن مقدار سنگدانه مازاد و هدررفت سنگدانه‌ها و کاهش هزینه‌های اجرایی است.

سنگدانه‌ها باید در یک مرحله عبور ماشین پخش به نحوی پخش شوند که یک نوار قیری به عرض حدود ۱۵ سانتی‌متر در امتداد درز اجرایی طولی باقی بماند تا برای قیرپاشی در خط مجاور، یک لبه قیری ایجاد شود.

در صورت استفاده از قیرآبه برای اجرای آسفالت سطحی می‌توان پیش از پخش، سنگدانه‌ها را با آب مرطوب کرد تا گرد و غبار روی آنها کاهش یابد. همانطور که اشاره شد، سنگدانه‌ها نباید رطوبت آزاد داشته باشند. اگر سنگدانه‌ها رطوبت آزاد داشته باشند، چکه‌های آب در کفی کامیون حمل مصالح دیده خواهد شد.

چنانچه در نقاطی قیرزدگی بروز یافته و ظاهر شود، باید سنگدانه روی آن پخش شود و مجدداً متراکم گردد، به طوری که سطح نهایی کاملاً یکنواخت و هموار شود.

اگر سرعت حرکت ماشین پخش زیاد باشد، دقیقاً در جلوی محل ریزش سنگدانه‌ها یک موج درون قیر ایجاد می‌شود که با کاهش سرعت حرکت می‌توان از وقوع آن پیشگیری کرد.

پ- غلتک‌زنی

غلتک‌زنی اولیه باید بلافاصله پس از پخش سنگدانه‌ها شروع شود. غلتک‌ها باید در کنار هم حرکت کنند و با همپوشانی کافی، حداقل سه عبور انجام دهند. اولین عبور غلتک‌ها باید ظرف مدت کمتر از ۲ دقیقه و آخرین عبور غلتک‌ها باید ظرف مدت ۳۰ دقیقه پس از پخش سنگدانه‌ها انجام شود.

نقش اصلی عملیات غلتک‌زنی، نشاندن سنگدانه‌ها درون قیر روی وجه مسطح و پهن آنها است. تعداد غلتک‌ها برای اجرای سریع عملیات غلتک‌زنی تعیین‌کننده است. نشاندن سنگدانه‌ها درون قیر باید پیش از عمل‌آمدن یا سفت‌شدن ماده قیری صورت گیرد. اگر برای عملیات غلتک‌زنی از سه غلتک چرخ لاستیکی استفاده شود، دو دستگاه باید در کنار هم و نزدیک به ماشین پخش سنگدانه حرکت کنند و پیش از گیرش یا سفت‌شدن ماده قیری، غلتک‌زنی را در لبه‌های لایه پخش‌شده با یک یا دو بار عبور انجام دهند. غلتک سوم نیز در نزدیکی آنها، غلتک‌زنی کل لایه آسفالت سطحی را ادامه می‌دهد. غلتک‌زنی از لبه بیرونی خط وسط راه شروع می‌شود و به گونه‌ای ادامه می‌یابد که هر عبور غلتک به اندازه نصف عرض آن با عبور قبلی همپوشانی داشته باشد.

غلتک‌زنی نباید پس از عمل‌آمدن یا گیرش ماده قیری ادامه یابد، زیرا سنگدانه‌ها در جای خود لق شده و از سطح راه کنده می‌شود. در صورتی که عملیات غلتک‌زنی به تأخیر افتاد، تا زمانی که ترتیب عملیات اجرایی و زمان‌بندی مناسب برای اجرای آسفالت سطحی حاصل نشود، قیرپاشی و پخش سنگدانه باید متوقف شود. حداکثر سرعت غلتک‌زنی باید ۱۵ کیلومتر در ساعت باشد. تا زمان پایان عملیات غلتک‌زنی و تا زمانی که گیرش مواد قیری انجام نشده است، نباید اجازه عبور ترافیک از آسفالت سطحی داده شود.

برای اجرای آسفالت سطحی دولایه یا سه‌لایه، بلافاصله پس از قیرپاشی لایه دوم یا سوم باید سنگدانه‌ها پخش شود و عملیات غلتک‌زنی شروع گردد. عملیات غلتک‌زنی با غلتک‌های چرخ لاستیکی باید آن قدر ادامه یابد تا سنگدانه‌های لایه دوم یا سوم کاملاً در قیر و فضای خالی بین سنگدانه‌های لایه قبل فرو نشیند.

برای اجرای آسفالت سطحی یک‌لایه فقط از غلتک‌های چرخ لاستیکی استفاده می‌شود. اما برای اجرای آسفالت سطحی چندلایه، با وجود اینکه بیشتر عملیات با غلتک‌های چرخ لاستیکی انجام می‌شود، ترجیحاً یک عبور غلتک چرخ فولادی روی آخرین لایه و همچنین بلافاصله پیش از اجرای لایه‌های دوم و سوم انجام می‌شود. عبور این غلتک باعث می‌شود که سنگدانه‌ها در یک سطح قرار گیرند که برای اجرای آسفالت سطحی چندلایه مطلوب است.

ت- جاروکشی

ظرف مدت ۲۴ ساعت پس از گیرش مواد قیری، سنگدانه‌های اضافی باید از سطح راه و نواحی مجاور آن برداشته شود. عملیات جاروکشی نباید باعث جابجا شدن سنگدانه‌ها گردد. این کار بهتر است در ساعات اولیه صبح انجام شود که قیر سفت بوده و سنگدانه‌ها از آن جدا نشود. پس از اینکه عملیات غلتک‌زنی تکمیل شده و مواد قیری به مدت حداقل یک ساعت یا بیشتر (طبق نظر مهندس مشاور) عمل‌آوری گردید، پیمانکار می‌تواند یک عملیات جاروکشی اولیه و سبک را به گونه‌ای انجام دهد که سنگدانه‌های اضافی را از سطح رویه اجرا شده بردارد. پس از پایان عملیات جاروکشی اولیه می‌توان اجازه تردد به وسایل نقلیه داد. بلافاصله در صبح روز پس از اجرا باید عملیات جاروکشی نهایی انجام شود تا سنگدانه‌های اضافی باقیمانده روی آسفالت سطحی برداشته شود.

برای اجرای آسفالت سطحی دولایه یا سه‌لایه، قبل از پخش ماده قیری لایه دوم یا سوم، باید سنگدانه‌های اضافی توسط جاروی مکانیکی از سطح لایه قبل برداشته شود. این کار نیز بهتر است در ساعات اولیه صبح انجام شود که قیر لایه قبل سفت باشد و سنگدانه‌ها از آن جدا نشود.

ث- اجرای فاگ‌سیل

پس از جاروکشی می‌توان روی آسفالت‌سطحی اجرا شده یک لایه اندود آب‌بندی (فاگ‌سیل) اجرا کرد. هدف از اجرای آن نیز آب‌بندی سطحی رویه حفاظتی و پیشگیری از کنده شدن سنگدانه‌ها است. اندود آب‌بندی با قیرآبه را می‌توان به نسبت ۳ واحد قیرآبه و ۲ واحد آب رقیق کرد. اگر اجرای اندود آب‌بندی قیرآبه-ای توسط مهندس پروژه و مهندس مشاور ضروری تشخیص داده شود، مقدار پخش قیرآبه رقیق‌شده باید در محدوده مقادیر مشخص‌شده در این فصل برای آن باشد.

فاگ‌سیل نباید در دماهای پایین‌تر از ۱۵ درجه سلسیوس اجرا شود. همچنین توصیه می‌گردد برای حصول نتیجه مطلوب در دمای بالای ۲۳ درجه سلسیوس اجرا شود. اگر پیش از شکست قیرآبه، بارندگی شروع شود، باعث شسته شدن قیرآبه می‌شود. در نتیجه، قیرآبه از داخل حفرات سطحی حرکت کرده و روی سطح آسفالت حفاظتی جمع می‌شود که باعث لغزندگی روسازی می‌شود.

ج- استفاده از ماشین‌های ترکیبی[1]

پیمانکار می‌تواند از ماشین‌های ترکیبی استفاده کند که قابلیت اجرای قیرپاشی و پخش مصالح سنگی را به

1. Combined chip sealer

صورت همزمان دارند. در این حالت تمامی مشخصات ذکر شده برای قیرپاشی و پخش سنگدانه باید رعایت گردد.

۱۷-۷-۹ روش‌های کنترل کیفیت

۱۷-۷-۹-۱ کنترل مواد و مصالح

نمونه‌های مصالح سنگی و مواد قیری باید در ابتدای پروژه مورد آزمایش قرار گیرند و مطابق مشخصات فنی ذکر شده در بندهای (۱۷-۷-۲) و (۱۷-۷-۳) باشند. لازم است در صورت تغییر منبع تأمین ماده قیری یا مصالح سنگی، آزمایش‌های مذکور مجدداً انجام شده و پس از تأیید نتایج، مجوز شروع به کار صادر گردد.

۱۷-۷-۹-۲ کنترل آسفالت سطحی

در حین اجرای عملیات باید به ازای هر ۶۰۰۰ مترمربع اجرا و حداقل یک بار در هر روز، برگه آزمایشگاهی تهیه گردد. برگه آزمایشگاهی باید شامل دانه‌بندی مصالح سنگی و میزان پاشش ماده قیری باشد.

میزان پاشش ماده قیری با انجام آزمایش سینی به روش استاندارد ASTM D2995 (INSO 12652) تعیین می‌شود.

برای انجام دانه‌بندی مصالح سنگی، باید نمونه‌برداری از دپوی مصالح سنگی پس از هم زدن و زیر و رو کردن توسط لودر صورت پذیرد. نمونه‌برداری از پنج نقطه متفاوت از دپو انجام شده و پس از مخلوط کردن با یکدیگر، آزمایش دانه‌بندی انجام می‌پذیرد. دانه‌بندی مصالح سنگی باید مطابق جداول (۱۷-۱۱) و (۱۷-۱۲) به علاوه رواداری ۳± درصد برای هر الک باشد، به این ترتیب که برای تعیین محدوده مجاز دانه‌بندی، مقدار ۳ درصد به حد بالای دانه‌بندی‌های جداول (۱۷-۱۱) و (۱۷-۱۲) اضافه شده و مقدار ۳ درصد از حد پایین دانه‌بندی‌ها کم می‌گردد.

محدوده رواداری‌های مربوط به مقدار پاشش مواد قیری در جدول (۱۷-۱۹) ارایه شده است که به میزان تعیین‌شده در طراحی اعمال می‌گردد.

جدول ۱۷-۱۹ حدود رواداری مقدار پاشش مواد قیری

مشخصه	رواداری
مقدار پاشش قیرآبه (لیتر بر مترمربع)	±۰/۴
مقدار پاشش قیر خالص (لیتر بر مترمربع)	±۰/۲۴

۱۷-۷-۱۰ اندازه‌گیری کل ماده قیری و مصالح

اندازه‌گیری باید شامل تعیین مقدار کل ماده قیری پاشیده شده و مصالح پخش‌شده بر حسب تن باشد. میزان ماده قیری و مصالح سنگی وارده به کارگاه که با تأیید مهندس مشاور در عملیات آسفالت سطحی استفاده شده، اندازه‌گیری می‌شود.

۱۷-۸ آسفالت حفاظتی ترکیبی (کیپ‌سیل)

آسفالت حفاظتی ترکیبی (کیپ‌سیل) شامل اجرای یک لایه آسفالت سطحی است که روی آن نیز یک لایه دوغاب آب‌بندی قیری (اسلاری‌سیل) و یا آسفالت نازک ا قیرآبه‌ای (میکروسرفیسینگ) اجرا می‌شود. در واقع، کیپ‌سیل یک رویه حفاظتی ترکیبی است که شامل یک لایه آسفالت سطحی قیرآبه‌ای و یک لایه اسلاری‌سیل یا میکروسرفیسینگ است. برای دستیابی به یک پروژه کیپ‌سیل موفق، رعایت مشخصات استاندارد و روش‌های اجرایی استاندارد آسفالت سطحی و اسلاری‌سیل یا میکروسرفیسینگ اهمیت دارد. توصیه می‌شود حداقل سه روز به عنوان زمان گیرش مابین اجرای آسفالت سطحی و اسلاری‌سیل یا میکروسرفیسینگ فاصله باشد. همچنین برای ایجاد بافت سطحی مطلوب در آسفالت حفاظتی ترکیبی، مقدار پخش دوغاب آب‌بندی قیری (اسلاری‌سیل) نباید بیش از حد لازم باشد.

آسفالت حفاظتی ترکیبی (کیپ‌سیل) با هدف برآورده ساختن موارد زیر طراحی شده است:

۱) در مواردی که ساخت مرحله‌ای روسازی راه طرح‌ریزی شده باشد، می‌تواند یک رویه آسفالتی مقرون به صرفه روی لایه اساس دانه‌ای باشد.

۲) می‌تواند یک لایه سطحی مقرون به صرفه روی لایه اساس قیرآبه‌ای یا لایه‌های بازیافت سرد باشد.

۳) می‌تواند برای آب‌بندی روسازی‌های موجود به منظور ممانعت از ورود هوا و رطوبت و ممانعت از شن‌زدگی بکار رود.

۴) در صورت استفاده از سنگدانه‌های مناسب، می‌تواند سطحی مقاوم در برابر لغزندگی فراهم کند.

۵) یک روش ترمیم سطحی بادوام برای روسازی‌های موجود است. اسلاری‌سیل و میکروسرفیسینگ باعث چسبیدن سنگدانه‌های آسفالت سطحی (چیپ‌سیل) و مانع کنده‌شدن آنها می‌شود و سنگدانه‌های آسفالت سطحی نیز از سایش و کنده‌شدن دوغاب آب‌بندی (اسلاری‌سیل یا میکروسرفیسینگ) تحت بار ترافیک جلوگیری می‌کنند.

مشخصات مواد و مصالح مصرفی برای اجرای آسفالت سطحی قیرآبه‌ای و دوغاب آب‌بندی قیری یا

آسفالت نازک قیرآبه‌ای مطابق موارد مندرج در این فصل برای رویه‌های حفاظتی مذکور است. همچنین مشخصات استاندارد، روش طراحی، شرایط آب و هوایی، کنترل کیفیت و روش‌های اجرایی رویه‌های مذکور طبق مطالب مندرج در این فصل برای آن رویه‌ها است.

در مواردی‌که آسفالت حفاظتی ترکیبی روی لایه اساس تثبیت‌نشده اجرا می‌شود، یک لایه اندود نفوذی با قیرآبه باید روی لایه اساس موجود اجرا شود.

پیش از اجرای اسلاری‌سیل یا میکروسرفیسینگ در آسفالت حفاظتی ترکیبی، اندود سطحی (تک‌کت) با قیرآبه نیز می‌تواند روی لایه چیپ‌سیل قیرآبه‌ای اجرا شود. در این صورت می‌توان قیرآبه را به نسبت برابر با آب رقیق کرده و به مقدار ۰/۵ تا ۰/۹ لیتر بر متر مربع روی چیپ‌سیل قیرآبه‌ای پخش کرد. اگر قیرآبه رقیق نشود، مقدار پخش را باید تعدیل کرد. اندود سطحی را می‌توان طبق دستورالعمل‌های این آئین‌نامه با استفاده از قیرآبه اجرا کرد. اگر سنگدانه‌های آسفالت سطحی (چیپ‌سیل) تمیز باشند، می‌توان اندود سطحی را حذف کرد.

۱۷-۹ آسفالت داغ لایه نازک (TLA)

۱۷-۹-۱ تعریف و تشریح

آسفالت داغ لایه نازک (Thin Layer Asphalt) با علامت اختصاری TLA به منظور استفاده در لایه سطحی روسازی به ضخامت ۲۰ تا ۳۰ میلی‌متر طراحی و تولید می‌شود و در راه‌ها، فرودگاه‌ها و سایر نواحی با تردد وسایل نقلیه قابل استفاده است. مشخصات و ویژگی‌های این رویه آسفالتی با علامت اختصاری BBTM در استاندارد EN13108-2 معرفی شده است. در این نوع آسفالت، مخلوط مصالح سنگی با دانه‌بندی میان‌تهی و رده‌بندی‌های اندازه‌ای مختلف برای شکل‌گیری تماس سنگدانه‌ای و همچنین فراهم شدن بافت سطحی متخلخل مصرف می‌شود.

۱۷-۹-۲ مواد و مصالح

مشخصات استاندارد مواد و مصالح تشکیل‌دهنده آسفالت داغ لایه نازک (TLA) در این بخش از آئین‌نامه ارایه شده است. همه مصالح تشکیل‌دهنده آسفالت باید بتوانند مشخصات استاندارد را برآورده سازند.

۱۷-۹-۲-۱ قیر و مواد قیری

مواد قیری مورد استفاده در تهیه آسفالت داغ لایه نازک (TLA) می‌تواند از نوع قیرهای خالص یا

اصلاح‌شده پلیمری باشد. نوع قیر مناسب پروژه را می‌توان بر اساس راهنمای جدول (۱۷–۲۰) انتخاب کرد. همچنین می‌توان از افزودنی‌های پلیمری که به صورت خشک به مخلوط آسفالتی (در فرآیند تولید آسفالت داغ) اضافه می‌شوند، به شرط برآورده کردن خصوصیات مورد نیاز عملکردی استفاده نمود.

قیرهای خالص با رده‌بندی عملکردی معرفی‌شده در جدول (۱۷–۲۰) برای استفاده در آسفالت داغ لایه نازک با توجه به سطح ترافیک مناسب هستند و رده‌بندی مورد نظر با توجه به شرایط آب و هوایی پروژه انتخاب می‌شود، اما عموماً به منظور تأمین ویژگی‌های مطلوب از قیرهای اصلاح‌شده پلیمری و یا پلیمرهای قابل افزودن به مخلوط آسفالتی استفاده می‌شود.

با توجه به عملکرد مورد انتظار از آسفالت داغ لایه نازک، قیرهای اصلاح‌شده پلیمری می‌توانند حدود مشخصات را به خوبی برآورده ساخته و دوام آسفالت را در برابر ترک‌خوردگی و تغییرشکل‌های بیش از اندازه افزایش دهند.

جدول ۱۷–۲۰ راهنمای انتخاب قیر برای آسفالت داغ لایه نازک

ترافیک طرح	نوع قیر	رده‌بندی قیر
ESAL < ۱۰×۱۰^۶	قیر خالص	PG 58-22 PG 64-16 PG 64-22 PG 70-16 PG 76-10
ESAL > ۱۰×۱۰^۶	قیر اصلاح‌شده پلیمری	PG 70-22 PG 70-28 PG 76-16 PG 76-22 PMB 25/55 PMB 45/80

در صورتی‌که از قیرهای اصلاح‌شده پلیمری با رده‌بندی عملکردی (PG)، در آسفالت داغ لایه نازک TLA استفاده شود، این قیرها باید علاوه بر مشخصات استاندارد مربوط به رده‌بندی عملکردی طبق فصل چهاردهم این نشریه، معیارهای تکمیلی مندرج در جدول (۱۷–۲۱) را نیز برآورده سازند.

در جدول (۱۷–۲۲) نیز یک نوع رده‌بندی متفاوت برای قیرهای اصلاح‌شده پلیمری بر اساس درجه نفوذ و نقطه نرمی و مشخصات استاندارد مربوط به این نوع رده‌بندی ارایه شده است که می‌تواند برای انتخاب و تعیین ویژگی‌های قیر پلیمری در آسفالت داغ لایه نازک مورد استفاده قرار گیرد. در انتخاب قیر پلیمری مناسب از میان دو رده معرفی‌شده در این جدول می‌توان از نتایج آزمایش‌های عملکردی آسفالت داغ لایه نازک استفاده کرد.

برای قیرهای پلیمری مورد استفاده در آسفالت داغ لایه نازک، محدوده دمای اختلاط و بهترین دمای تراکم آسفالت که منجر به عملکرد مناسب و دوام طولانی‌مدت روسازی آسفالتی شود، باید توسط تولیدکننده قیر پلیمری یا تأمین کننده افزودنی اعلام شود یا بر اساس نتایج آزمایش‌های قیر پلیمری، توسط مهندس مشاور مشخص گردد. تولیدکننده قیر پلیمری باید دمای مناسب ذخیره‌سازی و پمپ کردن قیر پلیمری را نیز اعلام کند. نوع و مشخصات مواد پلیمری مورد استفاده در تولید قیر پلیمری نیز باید توسط تولیدکننده آن تشریح شده و در شرایط قرارداد درج گردد. با توجه به ویژگی‌های مورد انتظار و مشخصات استاندارد مربوط به قیرهای پلیمری در این نوع آسفالت داغ، پلیمرهای استایرن بوتادین استایرن (SBS)، استایرن بوتادین رابر (SBR) و یا مواد اختصاصی و تجاری تولیدشده با این پلیمرها به خوبی می‌توانند این ویژگی‌ها و مشخصات را برآورده سازند.

جدول ۱۷-۲۱ معیارهای تکمیلی قیرهای پلیمری با رده‌بندی عملکردی

مشخصه / آزمایش	روش استاندارد		حدود مشخصه	
	ASTM	AASHTO	حداقل	حداکثر
بازگشت الاستیک در ۲۵ درجه سلسیوس (درصد)	D6084	T301	۶۰	
پایداری جداشدگی، اختلاف نقطه نرمی (درجه سلسیوس)	D7173			۵

جدول ۱۷-۲۲ مشخصات قیرهای پلیمری رده‌بندی شده بر اساس درجه نفوذ و نقطه نرمی

مشخصه / آزمایش	روش استاندارد آزمایش		حدود مشخصه			
			PMB 25/55-70		PMB 45/80-60	
	ASTM	AASHTO	حداقل	حداکثر	حداقل	حداکثر
قیر اولیه						
درجه نفوذ در ۲۵ درجه سلسیوس (یک‌دهم میلی‌متر)	D5	T49	۲۵	۵۵	۴۵	۸۰
نقطه نرمی (درجه سلسیوس)	D36	T53	۷۰		۶۰	
بازگشت الاستیک در ۲۵ درجه سلسیوس (درصد)	D6084	T301	۷۰		۵۰	
بازگشت الاستیک در ۱۰ درجه سلسیوس (درصد)	D6084	T301	۵۰		۵۰	
پایداری جداشدگی، اختلاف نقطه نرمی (درجه سلسیوس)	D7173			۵		۵
نقطه اشتعال (درجه سلسیوس)	D92	T48	۲۳۵		۲۳۵	
قیر باقیمانده فرآیند پیرشدگی لایه نازک متحرک RTFO						
تغییر جرم (درصد)	D2872	T240		۰/۵		۰/۸
نسبت درجه نفوذ به درجه نفوذ قیر اولیه (درصد)	D5	T49	۵۵		۵۰	
افزایش نقطه نرمی نسبت به قیر اولیه (درجه سلسیوس)	D36	T53		۱۰		۱۲
بازگشت الاستیک در ۲۵ درجه سلسیوس (درصد)	D6084	T301	۶۰		۵۰	

۱۷-۹-۲-۲ مصالح سنگی

مصالح سنگی درشت‌دانه و ریزدانه در آسفالت داغ لایه نازک باید معیارهای مندرج در جداول (۱۷-۲۳) الی (۱۷-۲۵) را برآورده سازند. از آنجا که ویژگی‌های مصالح سنگی نقش مهمی در مقاومت در برابر تغییرشکل‌های دائمی آسفالت ایفا می‌کنند، دو گروه از ویژگی‌های مصالح سنگی شامل ویژگی‌های کلی و ویژگی‌های مربوط به منشاء سنگدانه‌ها مورد ارزیابی قرار می‌گیرند. ترک‌های خستگی و حرارتی دمای پایین کمتر تحت تأثیر ویژگی‌های سنگدانه‌ها هستند و بسیار مهم است که اثر دانه‌بندی مخلوط مصالح سنگی بر این خرابی‌ها به‌طور کامل بررسی شود.

۱۷-۹-۲-۳ فیلر اضافی

فیلر اضافی را می‌توان از موادی مانند سیمان، آهک هیدراته و پودر سنگ آهک یا سایر سنگ‌های معدنی مناسب تهیه کرد. بر اساس تجربیات موفق گذشته و با توجه به شرایط ترافیکی و آب و هوایی می‌توان نوع و مقدار فیلر اضافی را در مستندات پروژه و شرایط خصوصی قرارداد تعریف کرد. فیلر اضافی در آسفالت داغ لایه نازک باید ویژگی‌های زیر را داشته باشد:

الف) دانه‌بندی فیلر اضافی بر اساس استانداردهای ASTM C136، AASHTO T27 با جدول (۱۷-۲۶) انطباق داشته باشد.

ب) دامنه خمیری آن که طبق استانداردهای ASTM D4318، AASHTO T90 تعیین می‌شود، کمتر از ۴ درصد باشد (در صورت استفاده از سیمان یا آهک هیدراته به عنوان فیلر، این معیار نادیده گرفته شود).

در صورت استفاده از آهک هیدراته به عنوان فیلر اضافی، ویژگی‌های آن باید با مشخصات استاندارد AASHTO M303 مطابقت داشته باشد.

جدول ۱۷-۲۳ مشخصات مصالح سنگی درشت‌دانه آسفالت داغ لایه نازک

مشخصه / آزمایش	روش استاندارد آزمایش		حدود مشخصه	
	AASHTO	ASTM	حداقل	حداکثر
افت وزنی در مقابل سایش به روش لس‌آنجلس[1] (درصد)	T96	C131		۲۵
افت وزنی در مقابل سولفات سدیم (درصد)	T104	C88		۱۰
سنگدانه‌های پهن و دراز[2] (درصد)		D4791		۲۰

۱) آزمایش سایش لس‌آنجلس را می‌توان روی مصالح مادر (سنگ معدن) انجام داد.
۲) سنگدانه‌های پهن و دراز دارای نسبت بزرگترین بعد به کوچکترین بعد بیشتر از ۳ هستند.

جدول ۱۷-۲٤ حداقل شکستگی مصالح سنگی درشت‌دانه آسفالت داغ لایه نازک

ترافیک طرح روسازی بر حسب $ESAL \times 10^6$	حداقل شکستگی (درصد)	
	یک جبهه و بیشتر	دو جبهه و بیشتر
< ۳	۷۵	–
< ۱۰	۸۵	۸۰
< ۳۰	۹۵	۹۰
> ۳۰	۱۰۰	۱۰۰

شکستگی مصالح درشت‌دانه با انجام آزمایش طبق استاندارد ASTM D5821 یا AASHTO T335 اندازه‌گیری می‌شود.

جدول ۱۷-۲۵ مشخصات مصالح سنگی ریزدانه آسفالت داغ لایه نازک

ویژگی / مشخصه	روش استاندارد آزمایش		حدود مشخصه	
	AASHTO	ASTM	حداقل	حداکثر
ارزش ماسه‌ای مصالح ریزدانه سیلوی سرد (درصد)	T176	D2419	۵۰	
افت وزنی در مقابل سولفات سدیم (درصد)	T104	C88		۱۲
گوشه‌داری، فضای خالی نامتراکم، روش A (درصد)	T304	C1252	۴۰	
دامنه خمیری (درصد)	T90	D4319		۴

جدول ۱۷-۲۶ دانه‌بندی فیلر اضافی مورد استفاده در آسفالت داغ لایه نازک

اندازه الک (میلی‌متر)	درصد وزنی رد شده از الک
۱٫۱۸ (شماره ۱۶)	۱۰۰
۰٫۶ (شماره ۳۰)	۹۷-۱۰۰
۰٫۳ (شماره ۵۰)	۹۵-۱۰۰
۰٫۰۷۵ (شماره ۲۰۰)	۷۰-۱۰۰

۱۷-۹-۲-٤ مواد افزودنی

نوع و ویژگی‌های همه مواد افزودنی مورد استفاده در آسفالت داغ لایه نازک باید مشخص شود و برای این مواد، ویژگی‌های عملکردی آسفالت باید مورد آزمایش و ارزیابی قرار گیرد. برای کاربردهای خاص و بر اساس تجربیات موفق گذشته، مقدار افزودنی باید در مستندات پروژه تعریف شود. افزودنی‌های شیمیایی و آلی را می‌توان به منظور کاهش دماهای تولید آسفالت از طریق کاهش ویسکوزیته قیر به‌کار برد که ممکن است بر سایر ویژگی‌های آسفالت نیز اثرگذار باشند.

۱۷-۹-۳ طرح اختلاط و ویژگی‌های آسفالت لایه نازک

طرح اختلاط آسفالت داغ لایه نازک (TLA) با توجه به الزامات و توصیه‌های این بخش با انجام آزمایش‌های مخلوط آسفالتی ساخته‌شده در آزمایشگاه با استفاده از مصالح سنگی و قیر و مواد افزودنی منتخب برای استفاده در پروژه تعیین می‌شود. پیش از تهیه طرح اختلاط آزمایشگاهی و تعیین فرمول کارگاهی باید مصالح سنگی ریزدانه، مصالح سنگی درشت‌دانه و قیر مورد آزمایش قرار گیرند و انطباق ویژگی‌های آنها با مشخصات استاندارد تأیید گردد. همچنین بکارگیری رضایت‌بخش انواع مواد افزودنی و فیلرهای اضافی باید پیش از تهیه طرح اختلاط آسفالت، بر اساس تجربیات موفق گذشته به تأیید برسد.

طرح اختلاط آزمایشگاهی باید توسط پیمانکار پروژه تهیه شده و حداقل یک هفته پیش از شروع پروژه به مهندس مشاور تحویل گردد.

گزارش طرح اختلاط آزمایشگاهی آسفالت داغ نازک باید موارد زیر را در بر داشته باشد:

- حداکثر اندازه اسمی مخلوط مصالح سنگی
- نسبت اختلاط و دانه‌بندی هر یک از مصالح سنگی مورد استفاده
- دانه‌بندی مخلوط مصالح سنگی حاصل از اختلاط مصالح با اندازه‌های مختلف
- وزن مخصوص حقیقی مخلوط مصالح سنگی ریزدانه و درشت‌دانه
- حداکثر وزن مخصوص تئوری آسفالت
- درصد قیر بهینه طرح
- ریزش (جاری‌شوندگی) مواد قیری
- نسبت مقاومت کششی غیر مستقیم، TSR
- دماهای اختلاط و تراکم
- نوع و مقدار افزودنی‌های مورد استفاده

یک گزارش نتایج آزمایش ویژگی‌های آسفالت و طرح اختلاط آسفالت داغ لایه نازک تا زمانی اعتبار دارد که مواد و مصالح تشکیل‌دهنده آسفالت و یا ویژگی‌های آن‌ها که بر عملکرد آسفالت اثرگذار هستند، تغییر نکنند. در غیر این‌صورت باید گزارش نتایج و طرح آسفالت بازنگری شده و یا گزارش جدید تهیه گردد.

در شرایط زیر نیاز است که آزمایش‌ها تکرار شوند و یا طرح اختلاط جدید تهیه شود:

تغییر در مصالح سنگی درشت‌دانه و یا مخلوط مصالح سنگی آسفالت شامل:

الف- تغییر ویژگی‌های ظاهری مصالح درشت‌دانه شامل درصد شکستگی یا سنگدانه‌های پهن و دراز

ب- تغییر نوع و منشأ مصالح سنگی و تأثیر آن بر مقاومت در برابر سایش

ج- تغییر وزن مخصوص حقیقی مخلوط مصالح سنگی به مقدار بیش از ۰/۰۲

د- تغییر نوع و منشأ مصالح سنگی ریزدانه و گوشه‌داری مصالح ریزدانه

ه- تغییر منشأ فیلر اضافی

و- تغییر نوع یا رده‌بندی قیر مورد استفاده

ز- تغییر نوع و یا ویژگی‌های افزودنی مورد استفاده به حدی که باعث تغییر ویژگی‌ها و عملکرد آسفالت شود.

فرمول کارگاهی آسفالت داغ با اعمال رواداری‌های مجاز به مقادیر مربوط به دانه‌بندی و درصد قیر تعیین می‌شود. حدود بالا و پایین فرمول کارگاهی با اضافه کردن مقادیر رواداری به مقادیر هدف و کم کردن مقادیر رواداری تعیین می‌شوند.

۱۷-۹-۳-۱ دانه‌بندی و درصد قیر

دانه‌بندی مخلوط مصالح سنگی برای آسفالت داغ لایه نازک (TLA) باید با یکی از محدوده‌های مشخص‌شده در جدول (۱۷-۲۷) انطباق داشته باشد.

جدول ۱۷-۲۷ دانه‌بندی‌های آسفالت داغ لایه نازک

اندازه الک، میلی‌متر	درصد وزنی رد شده از هر الک برای دانه‌بندی‌های زیر					
	TLA 9.5C	TLA 9.5B	TLA 9.5A	TLA 6.3B	TLA 6.3A	TLA 4.75
۱۲٫۵	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	–	–	–
۹٫۵	۹۰–۱۰۰	۹۰–۱۰۰	۹۰–۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	–
۶٫۳	*	*	*	۹۰–۱۰۰	۹۰–۱۰۰	۱۰۰
۴٫۷۵ (شماره ۴)	*	*	*	*	*	۹۰–۱۰۰
۲٫۳۶ (شماره ۸)	۲۵–۳۵	۱۵–۲۵	۲۵–۳۵	۱۵–۲۵	۲۵–۳۵	۲۵–۳۵
۰٫۶ (شماره ۳۰)	*	*	*	*	*	*
۰٫۳ (شماره ۵۰)	*	*	*	*	*	*
۰٫۰۷۵ (شماره ۲۰۰)	۹٫۰ – ۱۱٫۰	۴٫۰ – ۶٫۵	۶٫۶ – ۹٫۵	۴٫۰ – ۶٫۵	۶٫۶ – ۱۰٫۰	۷٫۰ – ۱۰٫۰

* درصد رد شده برای یک الک کوچکتر از الک شماره ۸ و حداکثر دو الک بزرگتر از آن باید در فرمول کارگاهی و الزامات پروژه مشخص شود.

حداقل مقدار قیر طرح آسفالت داغ لایه نازک برای مصالح سنگی با وزن مخصوص ظاهری معادل ۲٫۶۵۰ باید مطابق جدول (۱۷-۲۸) باشد. برای مصالح سنگی مختلف که وزن مخصوص ظاهری آنها متفاوت از ۲٫۶۵۰ باشد، حداقل مجاز درصد قیر باید با ضرب کردن در ضریب زیر اصلاح گردد.

$$\alpha=\frac{2.650}{G_{sa}} \qquad (۱۷-۸)$$

در رابطه بالا، G_{sa} ، وزن مخصوص ظاهری مخلوط مصالح سنگی مورد استفاده در آسفالت داغ لایه نازک است.

جدول ۱۷-۲۸ حداقل درصد قیر آسفالت داغ لایه نازک برای مصالح با وزن مخصوص ظاهری ۲٫۶۵۰

نوع دانه‌بندی	حداکثر اندازه اسمی (میلی‌متر)	حداقل درصد قیر طرح
TLA 9.5	۹٫۵	۵٫۰
TLA 6.3	۶٫۳	۵٫۱
TLA 4.75	۴٫۷۵	۵٫۲

۱۷-۹-۳-۲ ضخامت لایه

ضخامت طرح آسفالت داغ لایه نازک باید در محدوده‌های مندرج در جدول (۱۷-۲۹) باشد.

جدول ۱۷-۲۹ ضخامت طرح آسفالت داغ لایه نازک

نوع دانه‌بندی	حداکثر اندازه اسمی (میلی‌متر)	ضخامت طرح (میلی‌متر)	
		حداقل	حداکثر
TLA 9.5	۹/۵	۲۵	۳۰
TLA 6.3	۶/۳	۲۰	۳۰
TLA 4.75	۴/۷۵	۲۰	۲۵

۱۷-۹-۳-۳ ریزش مواد قیری

ریزش مواد قیری آسفالت داغ لایه نازک باید با انجام آزمایش طبق استاندارد ASTM D6390 یا AASHTO T305 تعیین شده و مقدار آن کمتر از ۰/۱ درصد باشد. آزمایش ریزش باید با درصد قیر به مقدار ۰/۵ درصد بیشتر از قیر طرح و در دمای حدود ۱۰ درجه سلسیوس بالاتر از دمای اختلاط مشخص‌شده انجام پذیرد.

۱۷-۹-۳-٤ ساخت و تراکم نمونه‌های آسفالتی

نمونه‌های متراکم آزمایشگاهی برای انجام آزمایش‌های آسفالت داغ لایه نازک بر اساس یکی از روش‌های استاندارد معرفی‌شده در جدول (۱۷-۳۰) ساخته و متراکم می‌شوند. روش‌های تراکم معرفی‌شده در این جدول زمانی باید استفاده شوند که نوع دستگاه تراکم و انرژی تراکمی آن (شامل تعداد ضربه چکش، تعداد چرخش و تعداد عبور غلتک) مشخص باشد. انتخاب روش تراکم باید بر اساس توصیه‌های صورت گرفته برای هر یک از ویژگی‌های مورد آزمایش و با توجه به روش‌های استاندارد آزمایش‌ها صورت گیرد. در هر روش تراکم، نمونه‌های آسفالتی باید در دمای تراکم مشخص‌شده بر اساس نوع و رده‌بندی قیر، طبق روش استاندارد مربوطه متراکم شوند.

۱۷-۹-۳-۵ وزن مخصوص و درصد فضای خالی

وزن مخصوص حقیقی نمونه‌های متراکم آسفالت داغ لایه نازک باید به یکی از روش‌های مندرج در جدول (۱۷-۳۱) تعیین گردد. حداکثر وزن مخصوص تئوری آسفالت نیز باید طبق استانداردهای ASTM D2041 یا AASHTO T209 اندازه‌گیری شود. درصد فضای خالی آسفالت متراکم با استفاده از روابط و توصیه‌های مندرج در استاندارد ASTM D3203 محاسبه می‌گردد.

فضای خالی آسفالت داغ لایه نازک (TLA) برای نمونه‌های ساخته‌شده طبق یکی از روش‌های تراکم زیر تعیین می‌شود:

- روش تراکم چرخشی سوپرپیو با تعداد ۲۵ چرخش
- روش تراکم مارشال با تعداد ۵۰ ضربه به هر طرف نمونه

فضای خالی آسفالت داغ لایه نازک در یکی از محدوده‌های مندرج در جدول (۱۷-۳۲) توصیه می‌شود. انتخاب رده مناسب فضای خالی با توجه به کاربرد و محل اجرای این نوع آسفالت و شرایط محیطی و ترافیک راه صورت می‌گیرد.

جدول ۱۷-۳۰ روش‌های تراکم آزمایشگاهی آسفالت داغ لایه نازک

روش تراکم	روش استاندارد	شرح آزمایش
تراکم ضربه‌ای مارشال	ASTM D6926 AASHTO T245	آماده‌سازی و ساخت نمونه‌های آسفالتی توسط دستگاه تراکم مارشال
تراکم چرخشی سوپرپیو	ASTM D6925 AASHTO T312	آماده‌سازی و ساخت نمونه‌های آسفالتی توسط دستگاه تراکم چرخشی
تراکم غلتکی	ASTM D8079	آماده‌سازی و ساخت نمونه‌های دال آسفالتی توسط دستگاه تراکم غلتکی

جدول ۱۷-۳۱ روش‌های تعیین وزن مخصوص حقیقی نمونه‌های متراکم آسفالت داغ لایه نازک

شرح آزمایش	روش استاندارد	شرط آزمایش
تعیین وزن مخصوص حقیقی آسفالت متراکم با استفاده از نمونه‌های با پوشش پارافین	ASTM D1188 AASHTO T275	فضای خالی < ۱۰٪
تعیین وزن مخصوص حقیقی آسفالت متراکم با اندازه‌گیری ابعاد نمونه	ASTM D3549 EN 12697-6/D	فضای خالی > ۱۰٪
آماده‌سازی نمونه و تعیین وزن مخصوص آسفالت متراکم توسط دستگاه تراکم چرخشی	ASTM D6925 AASHTO T312	نمونه‌های متراکم‌شده به روش تراکم چرخشی*
* وزن مخصوص نمونه‌های دستگاه تراکم چرخشی را می‌توان پس از بیرون آوردن از قالب با انجام آزمایش نیز اندازه‌گیری نمود.		

جدول ۱۷-۳۲ رده‌های مختلف فضای خالی آسفالت داغ لایه نازک

روش تراکم آزمایشگاهی	محدوده فضای خالی (درصد)	رده‌بندی فضای خالی
تراکم مارشال	۳ – ۷	V_m 3-7
	۷ – ۱۱	V_m 7-11
	۱۱ – ۱۵	V_m 11-15
تراکم چرخشی	۱۰ – ۱۸	V_g 10-18

۱۷-۹-۳-۶ حساسیت رطوبتی

حساسیت رطوبتی نمونه‌های آسفالت داغ لایه نازک بر اساس روش استاندارد AASHTO T283 با اندازه‌گیری مقاومت کششی نمونه‌های اشباع عمل‌آوری‌شده و نمونه‌های بدون عمل‌آوری در دمای آزمایش ۲۵ درجه سلسیوس تعیین می‌شود. برای آزمایش باید نمونه‌های استوانه‌ای آسفالت داغ لایه نازک با مقدار قیر بهینه در شرایط مشابه نمونه‌های مربوط به طرح اختلاط ساخته و متراکم شده و سپس به دو گروه با وزن مخصوص حقیقی یا ارتفاع برابر تقسیم شوند. فضای خالی نمونه‌های متراکم ساخته شده برای این آزمایش نباید کمتر از ۶ درصد باشد.

نسبت مقاومت کششی غیرمستقیم نمونه‌های گروه اشباع به گروه خشک (TSR) برای آسفالت داغ لایه نازک باید بیشتر از ۰٫۸۰ باشد.

۱۷-۹-۳-۷ استحکام مکانیکی (شیارافتادگی)

استحکام مکانیکی آسفالت داغ لایه نازک باید با آزمایش شیارافتادگی چرخ بارگذاری طبق استاندارد EN 12697-22 در یکی از شرایط مندرج در جدول (۱۷-۳۳) تعیین شود و عمق شیار آزمایش نباید کمتر از معیارهای جدول (۱۷-۳۴) باشد. ساخت و تراکم نمونه‌های آزمایش شیارافتادگی نیز باید به روش تراکم غلتکی طبق استاندارد ASTM D8079 انجام شود. انرژی تراکمی نمونه‌های دال آسفالتی آزمایش شیارافتادگی باید به اندازه‌ای باشد که فضای خالی نمونه آزمایش در محدوده رده‌بندی فضای خالی مشخص‌شده برای پروژه، با رواداری ±۱٫۵ درصد نسبت به فضای خالی هدف، قرار گیرد. ضخامت نمونه آزمایش شیارافتادگی با توجه به اندازه دانه‌بندی مخلوط مصالح سنگی باید ۳ یا ۵ سانتی‌متر انتخاب شود.

۱۷-۹-۳-۸ مقاومت در برابر ریزش سوخت (فقط برای کاربرد فرودگاهی)

مقاومت آسفالت داغ لایه نازک (TLA) در برابر ریزش سوخت برای کاربرد در فرودگاه‌ها باید بر اساس روش استاندارد EN 12697-43 تعیین شود. در این آزمایش، نمونه متراکم آسفالتی به مدت ۲۴ ساعت تا نیمی از ارتفاع آن درون سوخت مرجع قرار گرفته و سپس، مقدار افت وزنی آن در اثر حلالیت درون ماده سوختی تعیین می‌شود. نمونه‌های این آزمایش باید با یکی از روش‌های تراکم معرفی‌شده در بند (۱۷-۹-۳-۴) که برای مشخص کردن درصد فضای خالی آسفالت متراکم در ترکیب بهینه استفاده شده است، ساخته و متراکم شوند. مقدار انرژی تراکمی نمونه‌های آزمایش باید به اندازه‌ای باشد که فضای خالی نمونه‌ها در محدوده رده‌بندی فضای خالی مشخص‌شده برای پروژه، با رواداری ±۱٫۵ درصد نسبت به فضای خالی هدف،

قرار گیرد. افت وزنی آسفالت داغ لایه نازک در آزمایش مقاومت در برابر ریزش سوخت باید کمتر از ۶ درصد باشد.

جدول ۱۷-۳۳ شرایط آزمایش شیارافتادگی چرخ بارگذاری آسفالت داغ لایه نازک

نوع دستگاه	محیط نمونه	دمای آزمایش (درجه سلسیوس)	مدت آزمایش (سیکل)
چرخ بزرگ (لاستیک بادی، روش فرانسوی)	هوا (شرایط خشک)	۶۰	۳۰۰۰
چرخ کوچک (لاستیک سخت، روش هامبورگ)	هوا (شرایط خشک)	۶۰	۱۰۰۰
چرخ کوچک (لاستیک سخت، روش هامبورگ)	هوا (شرایط خشک)	۵۰	۱۰۰۰۰

جدول ۱۷-۳۴ معیارهای عمق شیارافتادگی آسفالت داغ لایه نازک

شرایط ترافیکی بهره‌برداری روسازی	حداکثر نسبت عمق شیار به ضخامت نمونه (درصد)
راه‌ها و محل‌های با ترافیک سبک، نواحی با تنش‌های کم	۲۰
راه‌ها و محل‌های با ترافیک متوسط تا سنگین، نواحی با تنش‌های متوسط تا بزرگ	۱۵
راه‌ها و محل‌های با ترافیک سنگین و سرعت کم، نواحی با تنش‌های بسیار بزرگ	۱۰

۱۷-۹-۳-۹ مقاومت در برابر مایعات ضدیخ (فقط برای کاربرد فرودگاهی)

مقاومت آسفالت داغ لایه نازک (TLA) در برابر مایعات ضدیخ برای کاربرد در فرودگاه‌ها باید بر اساس روش استاندارد EN 12697-41 تعیین شود. در این آزمایش، نمونه‌های آسفالتی استوانه‌ای توسط اره برقی برش داده شده و از ارتفاع به دو نیم‌دیسک تقسیم می‌شوند. نمونه‌های مذکور به دو گروه، نمونه‌های عمل‌آوری‌شده درون مایع ضدیخ و نمونه‌های عمل‌آوری‌نشده تقسیم می‌شوند. یک صفحه فولادی به قطر ۵۰ میلی‌متر به سطح برش‌خورده همه نمونه‌ها چسبانده می‌شود. نمونه‌های گروه اول در داخل مایع ضدیخ اشباع گردیده و سپس به مدت ۷۰ روز درون مایع غرقاب می‌شوند. پس از گذشت دوره عمل‌آوری، آزمایش کشش صفحه با نرخ بارگذاری ۲۰۰ نیوتن بر ثانیه روی هر دو گروه از نمونه‌ها در دمای ۲۳ درجه سلسیوس انجام شده و با اندازه‌گیری نیروی گسیختگی، مقدار تنش گسیختگی محاسبه می‌شود. نتیجه این آزمایش، نسبت تنش گسیختگی نمونه‌های عمل‌آوری‌شده به نمونه‌های عمل‌آوری‌نشده است. مقاومت باقیمانده پس از عمل‌آوری نمونه‌ها درون مایع ضدیخ (نسبت تنش گسیختگی) برای آسفالت داغ لایه نازک باید بیشتر از ۸۵ درصد مقدار آن برای نمونه‌های عمل‌آوری‌نشده باشد.

نمونه‌های مورد استفاده در این آزمایش باید با یکی از روش‌های تراکم معرفی‌شده در بند (۱۷-۹-۳-۴) که برای مشخص کردن درصد فضای خالی آسفالت متراکم در ترکیب بهینه استفاده شده است،

ساخته و متراکم شوند. مقدار انرژی تراکمی نمونه‌های آزمایش باید به اندازه‌ای باشد که فضای خالی نمونه‌ها در محدوده رده‌بندی فضای خالی مشخص‌شده برای پروژه، با رواداری ۱٫۵± درصد نسبت به فضای خالی هدف، قرار گیرد.

۱۷-۹-۳-۱۰ نام‌گذاری آسفالت داغ لایه نازک

نام‌گذاری و تعیین علامت اختصاری آسفالت داغ لایه نازک بر اساس نوع دانه‌بندی منتخب از جدول (۱۷-۲۷) و رده‌بندی و نوع قیر مورد استفاده صورت می‌گیرد. به این ترتیب که در ابتدا علامت مربوط به نوع دانه‌بندی و به دنبال آن، علامت مشخصه قیر مصرفی آورده می‌شود.

به عنوان مثال، علامت اختصاری TLA 9.5A/PG70-22 مربوط به آسفالت داغ لایه نازک تولیدشده با مصالح سنگی با حداکثر اندازه اسمی ۹٫۵ میلی‌متر و دانه‌بندی نوع A و با قیر پلیمری با رده‌بندی عملکردی PG70-22 است.

۱۷-۹-۳-۱۱ ویژگی‌ها و فرمول‌های پیشنهادی برای آسفالت داغ لایه نازک

ویژگی‌های پیشنهادی در شرایط معمول ترافیکی و آب و هوایی کشور برای آسفالت داغ لایه نازک با توجه به نوع دانه‌بندی مصالح سنگی و عملکرد مورد انتظار از آنها در جدول (۱۷-۳۵) ارایه شده است. در این جدول، انتخاب رده‌بندی یا محدوده فضای خالی آسفالت متراکم با توجه به نوع دانه‌بندی و وضعیت روسازی موجود یا لایه زیرین آسفالت داغ لایه نازک صورت می‌گیرد. به‌طور کلی، انتخاب دانه‌بندی‌های با حداکثر اندازه بزرگتر، امکان اجرای لایه آسفالتی در ضخامت‌های بیشتر تا ۳۰ میلی‌متر را فراهم می‌سازد و استحکام مکانیکی آسفالت داغ لایه نازک را افزایش خواهد داد. به‌علاوه، انتخاب فضای خالی بیشتر منجر به ارتقای عملکرد آسفالت داغ لایه نازک در برابر ترک‌خوردگی و مقاومت بیشتر آن در برابر بروز ترک‌های انعکاسی خواهد شد. از این رو، با انتخاب رده‌بندی متفاوت فضای خالی در شرایط ویژه نسبت به رده‌های پیشنهادی در جدول (۱۷-۳۵) می‌توان به عملکرد مورد انتظار از رویه آسفالتی دست یافت.

جدول ۱۷-۳۵ویژگی‌ها و فرمول‌های پیشنهادی برای آسفالت داغ لایه نازک

نوع دانه‌بندی		TLA 6.3A	TLA 6.3B	TLA 9.5A	TLA 9.5B
درصد عبوری از الک‌های روبرو	۱۲/۵ میلی‌متر	–	–	۱۰۰	۱۰۰
	۹/۵ میلی‌متر	۱۰۰	۱۰۰	۹۰–۱۰۰	۹۰–۱۰۰
	۶/۳ میلی‌متر	۹۰–۱۰۰	۹۰–۱۰۰	–	–
	۲/۳۶ میلی‌متر	۲۵–۳۵	۱۵–۲۵	۲۵–۳۵	۱۵–۲۵
	۰/۰۷۵ میلی‌متر	۶/۶ – ۱۰/۰	۴/۰ – ۶/۵	۶/۶ – ۹/۵	۴/۰ – ۶/۵
حداقل درصد قیر		۵/۱	۵/۱	۵/۰	۵/۰
درصد فضای خالی		V_m 3-7 یا V_m 7-11	V_m 7-11 یا V_g 10-18	V_i 3-7	V_i 7-11 یا V_g 10-18
حساسیت رطوبتی، حداقل نسبت مقاومت کششی (TSR)		۸۰ درصد	۸۰ درصد	۸۰ درصد	۸۰ درصد
استحکام مکانیکی، حداکثر نسبت عمق شیار به ضخامت نمونه		۱۵ درصد	۲۰ درصد	۱۰ درصد	۱۵ درصد
ضخامت لایه، میلی‌متر		۲۵	۲۰	۳۰	۲۵

۱۷-۹-٤ تجهیزات و ماشین‌آلات

پیمانکار باید همه ماشین‌آلات و تجهیزات مورد نیاز برای عملیات تولید، حمل و پخش را به منظور تولید آسفالت داغ لایه نازک تهیه و آماده کند. یک کارخانه آسفالت داغ دارای گواهی تأییدیه فنی که بتواند عملیات تولید را به صورت یکنواخت انجام دهد، باید برای تولید این آسفالت مورد استفاده قرار گیرد.

آسفالت داغ لایه نازک باید توسط ماشین‌های حمل با اتاق بار تمیز، آب‌بند و هموار به محل پخش حمل شود. اتاق بار ماشین‌های حمل باید مجهز به چادر باشد تا افت دمایی آسفالت در حین حمل کاهش یافته و از شرایط آب و هوایی نامساعد محافظت شود.

غلتک تراکم نیز باید از نوع فولادی جفت با وزن حداقل ۹ تن باشد. این غلتک باید خودرو بوده و چرخ‌های آن مجهز به لیسه برای پاک‌کردن چرخ باشند و روی چرخ‌های آن، نازل‌های آب‌پاش نصب شده باشد تا در حین عملیات تراکم، بطور مرتب با آب صابون شسته شده و از چسبیدن آسفالت به چرخ غلتک ممانعت گردد.

فینیشر مناسب برای آسفالت داغ لایه نازک باید برای اجرای این نوع رویه آسفالتی لایه نازک با ضخامت کمتر از ۳۰ میلی‌متر مناسب باشد. این نوع فینیشر باید یک قیف برای تخلیه آسفالت، سیستم تغذیه و جعبه پخش با اتوی ارتعاشی داشته باشد. این فینیشر باید بتواند پخش آسفالت داغ و تسطیح سطح لایه پخش‌شده را در یک مرحله انجام دهد. به علاوه باید بتواند تاج خط مرکزی روسازی را ایجاد کند.

۱۷-۹-۵ ساخت و اجرا

۱۷-۹-۵-۱ محدودیت‌های آب و هوایی

آسفالت داغ لایه نازک باید زمانی اجرا شود که دمای سطح راه کمتر از ۱۳ درجه سلسیوس نبوده و هوا نیز مه‌آلود یا بارانی نباشد. اگر سطح روسازی موجود مرطوب بوده ولی اشباع از آب نباشد و همچنین پیش‌بینی هوای مناسب شده باشد، مهندس مشاور می‌تواند اجازه اجرای آسفالت داغ لایه نازک را بدهد.

۱۷-۹-۵-۲ آماده‌سازی سطح موجود

پوشش گیاهی، مصالح سنگدانه‌ای شل و خاک سطح روسازی موجود باید پاک‌سازی شود. پیمانکار پروژه مسئول همه اقداماتی است که برای افزایش دوام و عمر و ضمانت آسفالت داغ لایه نازک نیاز است. همه قاب‌ها و دریچه آدم‌روها و آب‌روها باید قبل از اجرای این نوع رویه آسفالتی با ورق پلاستیکی یا عایق ساختمانی پوشیده شوند، به استثنای علائم برجسته روسازی که باید برداشته شده و پس از اجرای آسفالت، مجدداً در محل قبلی نصب شوند. محل دریچه‌ها و قاب‌ها باید قبل از اجرا مشخص شود تا پس از آن، قابل ردیابی باشند و اصلاح لازم انجام شود. علائم ترافیکی پلاستیکی و سایر علائم برجسته با ضخامت بیش از ۶ میلی‌متر نیز باید قبل از اجرا برداشته شوند.

قبل از اجرای آسفالت داغ لایه نازک، همه ترک‌های غیرفعال با عرض بیش از ۶ میلی‌متر و همه ترک‌ها و درزهای فعال باید با مواد قیری مناسب پر شده و آب‌بندی شوند. مواد آب‌بندی در محل ترک‌ها و درزها نباید نسبت به سطح روسازی موجود برآمدگی داشته باشند و روی سطح موجود جاری شوند. همچنین همه ناهمواری‌های با عمق بیش از ۲۰ میلی‌متر باید با مصالح مورد تأیید مهندس مشاور پر شده و روسازی موجود هموار گردد. قبل از پخش آسفالت داغ لایه نازک باید یک اندود سطحی با قیرآبه معمولی یا پلیمری روی سطح روسازی موجود پخش شود. میزان پخش اندود سطحی باید مطابق مقادیر مشخص شده در این آئین‌نامه برای اجرای مخلوط‌های آسفالتی گرم باشد.

ناهمواری بیش از اندازه در سطح روسازی موجود قبل از اجرای آسفالت داغ لایه نازک باید با اجرای یک لایه آسفالت رگلاژی کاهش یابد تا به کمتر از ۱۳ میلی‌متر در امتداد یک شمشه ۳ متری برسد. زمانی می‌توان آسفالت داغ لایه نازک را اجرا کرد که مقدار فرورفتگی و نشست سطح موجود در زیر یک شمشه ۳ متری، حداکثر ۱۳ میلی‌متر باشد.

۱۷-۹-۵-۳ حمل آسفالت

حمل آسفالت داغ باید به نحوی انجام شود که جداشدگی فیزیکی و دمایی آسفالت کاهش یابد که از طریق بازررسی چشمی قابل تشخیص است. اتاق کامیون‌ها باید به مواد ضد چسبندگی آغشته شود. همچنین پیش از بارگیری باید اتاق کامیون بالا برده شود تا مقدار اضافی مواد ضدچسبندگی به بیرون از آن چکه کند. برای محافظت از آسفالت و جلوگیری از افت شدید دمای آن، ماشین حمل باید به چادر مجهز باشد. حمل آسفالت به محل پروژه باید به گونه‌ای برنامه‌ریزی شود که از ایجاد وقفه در فرآیند پخش جلوگیری شود و یا زمان انتظار ماشین‌های حمل برای تخلیه به فینیشر کاهش یابد.

۱۷-۹-۵-٤ پخش آسفالت

آسفالت داغ لایه نازک باید با توجه به نوع قیر در دمای مناسب در محدوده ۱۴۰ تا ۱۶۵ درجه سلسیوس پخش شود و دمای آسفالت در جلوی اتوی فینیشر کنترل شود. این آسفالت باید توسط اتوی ارتعاشی گرم‌شده پخش گردد و در صورت شکستن سنگدانه‌ها، لرزش اتو باید خاموش شود. برای کاهش نواقص و خطوط سطحی راه باید عملیات پخش در هر شیفت کاری به صورت ممتد و با کمترین دفعات توقف انجام پذیرد.

برای جلوگیری از شکستن یا خردشدن سنگدانه‌های درشت، آسفالت داغ لایه نازک باید به مقدار توصیه‌شده در این آئین‌نامه یا تعیین‌شده توسط مهندس مشاور، پخش و اجرا شود.

۱۷-۹-۵-۵ تراکم آسفالت

بلافاصله پس از پخش آسفالت داغ لایه نازک، عملیات غلتک‌زنی باید با دو تا سه بار عبور غلتک فولادی جفت به وزن حداقل ۹ تن با اعمال حداقل نیروی تراکمی ۲۵ کیلوگرم بر سانتی‌متر در حالت استاتیکی انجام پذیرد. پیش از اینکه دمای لایه پخش‌شده به کمتر از ۹۰ درجه سلسیوس برسد، عملیات غلتک‌زنی باید تکمیل گردد. همچنین غلتک‌ها نباید روی لایه آسفالتی پخش‌شده متوقف شوند.

آب‌پاشی روی چرخ غلتک‌ها باید بطور مرتب انجام شود تا از چسبیدن آسفالت به آن‌ها ممانعت شود. اگر سیستم آب‌پاش کارساز نباشد، یک مایع مناسب ضدچسبندگی (نظیر مایعات صابونی) باید به سیستم آب‌پاشی چرخ‌ها اضافه شود تا مانع چسبیدن آسفالت به چرخ‌های فولادی گردد.

برای جلوگیری از شکستن و خردشدن سنگدانه‌ها باید از غلتک‌زنی زیاد لایه آسفالت داغ لایه نازک خودداری شود. مهندس مشاور پروژه باید حداکثر مقدار مجاز خردشدن سنگدانه‌ها در لبه لایه پخش‌شده را مشخص نماید. پس از اتمام عملیات غلتکی‌زنی، تا پیش از کاهش دمای لایه آسفالتی به پایین‌تر از ۷۰ درجه

سلسیوس، نباید اجازه عبور ترافیک داده شود. باید اطمینان حاصل شود که ضخامت لایه آسفالت داغ لایه نازک متراکم‌شده، مقدار حداقل مجاز مشخص‌شده در این آئین‌نامه برای دانه‌بندی‌های مختلف را برآورده سازد.

۱۷-۹-۵-۶ دمای آسفالت

الزامات مربوط به حداکثر دمای آسفالت به‌منظور حفظ یکپارچگی و جلوگیری از ریزش مخلوط قیر و ریزدانه آن ارایه می‌شود. این الزامات باید در همه مراحل تولید آسفالت در کارخانه رعایت شوند. در صورت استفاده از قیرهای خالص راهسازی، بیشترین دمای آسفالت نباید از مقادیر مندرج در جدول (۱۷-۳۶) تجاوز کند. در صورت استفاده از قیرهای اصلاح‌شده و یا افزودنی‌های آسفالت، نیاز به تغییر معیارهای حداکثر دمای آسفالت خواهد بود که در این‌صورت، معیارهای پیشنهادی باید در شرایط قرارداد تصریح شود. حداقل دمای آسفالت داغ لایه نازک برای قیرهای خالص هیچگاه نباید از ۱۱۵ درجه سلسیوس کمتر شود که به رده‌بندی قیر و نوع دانه‌بندی مخلوط مصالح سنگی و افزودنی‌های مورد استفاده بستگی دارد. حداقل دمای آسفالت در زمان تخلیه از ماشین حمل به فینیشر باید در شرایط خصوصی پروژه یا توسط مهندس مشاور مشخص شود.

جدول ۱۷-۳۶ حداکثر دمای آسفالت داغ لایه نازک با قیر خالص

رده‌بندی قیر	حداکثر دمای آسفالت (درجه سلسیوس)
PG76-10	۱۸۰
PG70-16	۱۷۰
PG64-22	۱۶۵

۱۷-۹-۶ کنترل کیفیت

پیمانکار باید مخلوط آسفالت داغ لایه نازک را مطابق با فرمول کارگاهی تأیید شده توسط مهندس مشاور پروژه در محدوده رواداری‌های مندرج در این بند تولید کند.

آسفالت داغ لایه نازک باید به ازای هر ۳۵۰ تن یک بار و حداقل یک بار در هر روز نمونه‌برداری و آزمایش شود. این نمونه باید قبل از شروع عملیات تولید روز بعد، برای تعیین درصد قیر و دانه‌بندی مخوط مصالح سنگی مورد آزمایش قرار گیرد. با پیشرفت پروژه، مهندس مشاور باید به شرح زیر عمل کند:

- در آغاز پروژه و پس از شروع عملیات تولید کارخانه، اولین نمونه‌برداری آسفالت را از پشت ماشین سوم تا پنجم انجام دهد. سایر نمونه‌برداری‌ها باید از پشت اتوی فینیشر انجام پذیرد.

- آزمایش‌های تعیین درصد قیر و دانه‌بندی مصالح سنگی را روی آسفالت نمونه‌برداری شده در هر روز یا هر ۳۵۰ تن انجام دهد. در صورت وجود افزودنی در مخلوط آسفالت داغ لایه نازک، نحوه انجام آزمایش اکسترکشن و انتخاب حلال باید به پیشنهاد تولیدکننده افزودنی یا قیر پلیمری و با تأیید مهندس مشاور باشد.

رواداری‌های درصد عبوری از الک‌های مختلف در دانه‌بندی مخلوط مصالح سنگی آسفالت داغ لایه نازک و درصد قیر نسبت به فرمول کارگاهی باید مطابق جدول (۱۷-۳۷) باشد.

جدول ۱۷-۳۷ حدود رواداری دانه‌بندی و درصد قیر آسفالت داغ لایه نازک

مشخصه	رواداری (درصد)
درصد عبوری از الک ۹/۵ میلی‌متر	±۶
درصد عبوری از الک ۶/۳	±۶
درصد عبوری از الک ۴/۷۵ (شماره ۴)	±۶
درصد عبوری از الک ۲/۳۶ (شماره ۸)	±۵
درصد عبوری از الک ۰/۶ (شماره ۳۰)	±۴
درصد عبوری از الک ۰/۳ (شماره ۵۰)	±۴
درصد عبوری از الک ۰/۰۷۵ (شماره ۲۰۰)	±۲
درصد قیر	±۰/۴

با توجه به محدوده ضخامت آسفالت داغ لایه نازک (۲۰ تا ۳۰ میلی‌متر)، کنترل تراکم در محل برای این نوع آسفالت از طریق مغزه‌گیری، تعیین وزن مخصوص و محاسبه درصد فضای خالی مغزه‌ها امکان‌پذیر نیست. لذا مشخصه تراکم در محل برای این نوع رویه آسفالتی تعیین نشده و در پذیرش عملیات آسفالتی نیز استفاده نمی‌شود. الگوی غلتک‌زنی نیز باید با اجرای نوار آزمایشی و بررسی کیفی لایه اجرا شده، توسط پیمانکار پیشنهاد شده و به تأیید مهندس مشاور برسد.

۱۷-۹-۷ اندازه‌گیری سطح و ضخامت

رویه حفاظتی آسفالت داغ لایه نازک با مشخصات مندرج در این فصل، شامل تهیه و پخش و تراکم آسفالت داغ با دانه‌بندی‌های مختلف با قیرهای خالص یا پلیمری در واحد متر مربع از سطح روسازی‌شده اندازه‌گیری می‌شود و ضخامت آن توسط مغزه‌گیری تعیین می‌گردد.

در صورتی که ناهمواری موجود در وضع اولیه روسازی زیاد باشد و دقت تعیین ضخامت از طریق مغزه‌گیری پایین باشد، رویه حفاظتی آسفالت داغ نازک بر اساس مقدار واقعی تناژ آسفالت تولیدشده برای اجرای روسازی اندازه‌گیری می‌شود. در این روش اندازه‌گیری، مقدار آسفالت با تعیین وزن آسفالت کامیون‌ها روی باسکول و تبدیل آن به حجم، توسط وزن مخصوص به دست آمده، تعیین می‌شود.

۱۷-۱۰ آسفالت داغ فوق نازک (UTBWC)

۱۷-۱۰-۱ تعریف و تشریح

رویه حفاظتی آسفالت داغ فوق نازک[1] با علامت اختصاری UTBWC یا BBUM یا AUTL به منظور استفاده در لایه سطحی روسازی با ویژگی‌های متناسب با موارد کاربرد آن طراحی می‌شود که با ضخامت ۱۲٫۵ تا ۲۵ میلی‌متر روی یک اندود قیرآبه پلیمری چسباننده قرار می‌گیرد و در راه‌ها، فرودگاه‌ها و سایر نواحی با تردد وسایل نقلیه قابل استفاده است. روش چسباندن و اتصال آسفالت فوق نازک به سطح زیرین آن یک مرحله از فرآیند اجرا است و رویه نهایی UTBWC، ترکیبی از دو جزء اندود قیری چسباننده و آسفالت داغ فوق نازک است. در این نوع آسفالت، مخلوط مصالح سنگی با دانه‌بندی میان‌تهی و رده‌بندی‌های اندازه‌ای مختلف برای شکل‌گیری تماس سنگدانه‌ای و همچنین فراهم شدن بافت سطحی متخلخل استفاده می‌شود. جزء مهم آسفالت داغ فوق نازک، اندود قیرآبه‌ای است که بلافاصله قبل از پخش آسفالت داغ توسط فینیشر مجهز به نازل‌های قیرپاش و یا ماشین‌های قیرپاش روی روسازی موجود پاشیده می‌شود. لایه قیرآبه پلیمری باعث آب‌بندی سطح روسازی موجود و چسبیدن لایه نازک آسفالتی به سطح موجود می‌شود. ضخامت زیاد اندود قیری این امکان را برای آن فراهم می‌سازد که پس از پخش آسفالت، به سمت بالا و به درون آن حرکت کرده و فضاهای خالی آسفالت را پر کند و یک میان‌لایه با چسبندگی و پیوستگی کافی ایجاد شود. آسفالت داغ فوق نازک را می‌توان به سرعت اجرا کرد و ظرف مدت ۱۵ دقیقه پس از اجرا و خنک شدن آسفالت به روی ترافیک باز کرد.

این نوع رویه آسفالتی در راه‌های با ترافیک سنگین اصولاً به عنوان لایه ترمیمی روی روسازی‌های بتنی و آسفالتی اجرا می‌شود. آسفالت داغ فوق نازک عموماً با ضخامت حدود ۱٫۵ برابر حداکثر اندازه اسمی مصالح سنگی آن پخش و متراکم می‌شود، اما برای برطرف کردن ناهمواری‌های جزئی می‌توان آن را در

1. Ultra-Thin Bonded Wearing Course

ضخامت‌های بیشتر تا ۲۵ میلی‌متر نیز اجرا کرد. این رویه آسفالتی یک سطح بادوام و مقاوم در برابر لغزندگی تأمین می‌کند که به مدت چندین سال از روسازی موجود محافظت کرده و مانع بسیار مناسبی برای بروز ترک‌های انعکاسی است.

۱۷-۱۰-۲ مواد و مصالح

مشخصات استاندارد مواد و مصالح تشکیل‌دهنده آسفالت داغ فوق نازک (UTBWC) در این بخش از آئین‌نامه ارایه شده است. همه مواد و مصالح تشکیل‌دهنده آسفالت باید بتوانند مشخصات استاندارد را برآورده سازند.

۱۷-۱۰-۲-۱ قیر و مواد قیری

الف- قیرآبه پلیمری

مواد قیری مصرفی در لایه اندود قیری چسباننده به عنوان لایه اتصال بین آسفالت داغ فوق نازک و سطح موجود باید از نوع قیرآبه‌های کاتیونی یا آنیونی زودشکن پلیمری و با مشخصات مندرج در جدول (۱۷-۳۸) باشد. مواد پلیمری بهتر است پیش از تولید قیرآبه به قیر پایه اضافه شود؛ ولی در صورت برآورده ساختن مشخصات استاندارد، افزودن آن در فرآیند تولید قیرآبه نیز مجاز است. به عبارتی دیگر، بهتر است برای تولید قیرآبه پلیمری از قیرهای اصلاح‌شده پلیمری استفاده شود، اما استفاده از لاتکس پلیمری و اضافه کردن آن در فرآیند تولید قیرآبه بلامانع است.

ب- قیر آسفالتی

مواد قیری مورد استفاده در تهیه آسفالت داغ فوق نازک (UTBWC) می‌تواند از نوع قیرهای خالص یا اصلاح‌شده پلیمری باشد. نوع قیر مناسب پروژه را می‌توان بر اساس راهنمای جدول (۱۷-۲۰) انتخاب کرد. همچنین می‌توان از افزودنی‌های پلیمری که به صورت خشک به مخلوط آسفالتی (در فرآیند تولید آسفالت داغ) اضافه می‌شوند، به شرط برآورده ساختن خصوصیات مورد نیاز عملکردی استفاده نمود.

قیرهای خالص با رده‌بندی‌های عملکردی معرفی‌شده در جدول (۱۷-۲۰) برای تهیه آسفالت داغ فوق نازک در پروژه‌های دارای ترافیک کم مناسب هستند. رده‌بندی قیر با توجه به شرایط آب و هوایی محل پروژه انتخاب می‌شود، اما عموماً برای تأمین ویژگی‌های مطلوب از قیرهای اصلاح‌شده پلیمری استفاده می‌شود.

با توجه به عملکرد مورد انتظار از آسفالت داغ فوق نازک، قیرهای اصلاح‌شده پلیمری می‌توانند حدود

مشخصات را به خوبی برآورده ساخته و دوام آسفالت را در برابر ترک‌خوردگی و تغییرشکل‌های بیش از اندازه افزایش دهند.

جدول ۱۷-۳۸ مشخصات قیرآبه‌های پلیمری مورد استفاده در اجرای آسفالت داغ فوق نازک

ویژگی	روش استاندارد آزمایش		حدود مشخصه			
			CRS-1P, RS-1P		CRS-2P	
	ASTM	AASHTO	حداقل	حداکثر	حداقل	حداکثر
قیرآبه						
بار ذرات	D7402	T59	–		مثبت	
کندروانی سیبولت فیورل در ۵۰ درجه سلسیوس (ثانیه)	D7496	T59	۲۰	۱۰۰	۱۰۰	۴۰۰
آزمون الک، مقدار ذرات فرا اندازه (۱) (درصد)	D6933	T59		۰/۱		۰/۱
پایداری در انبارش، ۲۴ ساعت (۲) (درصد)	D6930	T59		۱/۰		۱/۰
شکست شیمیایی (درصد)	D6936	T59	۶۰		۴۰	
مقدار باقیمانده از تقطیر در دمای پایین (۳) (درصد)	D6997	T59	۶۳		۶۵	
مقدار مواد نفتی تقطیر شده (درصد)	D6997	T59		۲/۰		۲/۰
قیر باقیمانده از تقطیر دمای پایین یا باقیمانده از تبخیر (۴)						
درجه نفوذ در ۲۵ درجه سلسیوس (یک‌دهم میلی‌متر)	D5	T49	۶۰	۱۵۰	۱۰۰	۱۷۵
کشش‌پذیری در ۲۵ درجه سلسیوس (سانتی‌متر)	D113	T51	۴۰		۴۰	
بازگشت الاستیک در ۲۵ درجه سلسیوس (درصد)	D6084	T301	۵۰		۵۰	
حلالیت در تری کلرواتیلن (۵) (درصد)	D2042	T44	۹۷/۵		۹۷/۵	

(۱) در تمام عملیات شستشو و مرطوب کردن الک‌ها به جای محلول اولئات سدیم ترجیحاً از آب مقطر استفاده شود. همچنین اگر در زمان اجرا بتوان قیرآبه را بدون اشکال مصرف کرد، می‌توان از انجام آزمایش الک صرف‌نظر کرد و الزام مربوط به آن را نادیده گرفت.

(۲) پس از ۲۴ ساعت قرارگیری نمونه در حالت سکون، باید سطح آن همگن و یکنواخت باشد.

(۳) دمای نهایی آزمایش تقطیر برای قیرآبه‌های تولید شده با قیر پلیمری برابر ۲۰۵ درجه سلسیوس و برای قیرآبه‌های تولید شده با لاتکس پلیمری برابر ۱۷۷ درجه سلسیوس اعمال شود و نمونه به مدت ۱۵ دقیقه در این دما نگه‌داشته شود.

(۴) برای قیرآبه CRS-2P لزوماً باقیمانده فرآیند تبخیر مطابق استاندارد ASTM D7497 مورد آزمایش قرار گیرد. برای سایر قیرآبه‌ها، آزمایش روی باقیمانده تقطیر در دمای پایین یا باقیمانده تبخیر به تشخیص مهندسین مشاور انجام شود.

(۵) اگر مقدار حلالیت باقیمانده قیرآبه کمتر از ۹۷/۵ درصد باشد، آنگاه باید قیر پایه مورد استفاده برای تولید قیرآبه آزمایش شود و مقدار حلالیت آن بیش از ۹۹ درصد باشد.

در صورتی‌که از قیرهای اصلاح‌شده پلیمری با رده‌بندی عملکردی (PG)، در آسفالت داغ فوق نازک UTBWC استفاده شود، این قیرها باید علاوه بر مشخصات استاندارد مربوط به رده‌بندی عملکردی طبق فصل چهاردهم این نشریه، معیارهای تکمیلی مندرج در جدول (۱۷-۲۱) را نیز برآورده سازند.

از رده‌بندی ارایه‌شده در جدول (۱۷-۲۲) برای قیرهای اصلاح‌شده پلیمری بر اساس درجه نفوذ و نقطه نرمی نیز می‌توان برای انتخاب و تعیین ویژگی‌های قیر پلیمری در آسفالت داغ فوق نازک استفاده کرد. در

انتخاب قیر پلیمری مناسب از میان دو رده معرفی‌شده در جدول (۱۷-۲۲) می‌توان از نتایج آزمایش‌های عملکردی آسفالت داغ فوق نازک استفاده کرد.

برای قیرهای پلیمری مورد استفاده در آسفالت داغ فوق نازک، محدوده دمای اختلاط و بهترین دمای تراکم آسفالت که منجر به عملکرد مناسب و دوام طولانی‌مدت روسازی آسفالتی شود، باید توسط تولیدکننده قیر پلیمری یا تأمین کننده افزودنی اعلام شود و یا نظر به نتایج آزمایش‌های قیر پلیمری، توسط مهندس مشاور مشخص گردد. تولیدکننده قیر پلیمری باید دمای مناسب ذخیره‌سازی و پمپ کردن قیر پلیمری را نیز اعلام نماید. نوع و مشخصات مواد پلیمری مورد استفاده در تولید قیر پلیمری نیز باید توسط تولیدکننده آن تشریح شده و در شرایط قرارداد درج گردد. با توجه به ویژگی‌های مورد انتظار و مشخصات استاندارد مربوط به قیرهای پلیمری در این نوع آسفالت داغ، پلیمرهای استایرن بوتادین استایرن (SBS)، استایرن بوتادین رابر (SBR) و یا مواد اختصاصی و تجاری تولیدشده با این پلیمرها به خوبی می‌توانند این ویژگی‌ها و مشخصات را برآورده سازند.

۱۷-۱۰-۲-۲ مصالح سنگی

مصالح سنگی درشت‌دانه و ریزدانه در آسفالت داغ فوق نازک باید معیارهای مندرج در جداول (۱۷-۳۹) و (۱۷-۴۰) را برآورده سازند. از آنجا که ویژگی‌های مصالح سنگی نقش مهمی در مقاومت در برابر تغییرشکل‌های دائمی آسفالت ایفا می‌کنند، دو گروه از ویژگی‌های مصالح سنگی شامل ویژگی‌های کلی و ویژگی‌های مربوط به منشاء سنگدانه‌ها مورد ارزیابی قرار می‌گیرند. ترک‌های خستگی و حرارتی دمای پایین کمتر تحت تأثیر ویژگی‌های سنگدانه‌ها هستند و بسیار مهم است که اثر دانه‌بندی مخلوط مصالح سنگی بر این خرابی‌ها به‌طور کامل بررسی شود.

جدول ۱۷-۳۹ مشخصات مصالح سنگی درشت‌دانه آسفالت داغ فوق نازک

ویژگی / مشخصه	روش استاندارد آزمایش		حدود مشخصه	
	AASHTO	ASTM	حداقل	حداکثر
افت وزنی در مقابل سایش به روش لس‌آنجلس[1] (درصد)	T96	C131		۲۵
افت وزنی در مقابل سولفات سدیم (درصد)	T104	C88		۱۰
سنگدانه‌های پهن و دراز[2] (درصد)		D4791		۲۵
شکستگی، حداقل دو جبهه (درصد)	T335	D5821	۹۰	
مواد مضر (درصد)	T112	C142		۵/۰
جذب آب (درصد)	T85	C127		۳/۰

۱) آزمایش سایش لس‌آنجلس را می‌توان روی مصالح مادر (سنگ معدن) انجام داد.
۲) سنگدانه‌های پهن و دراز دارای نسبت بزرگترین بعد به کوچکترین بعد بیشتر از ۳ هستند.

جدول ۱۷-۴۰ مشخصات مصالح سنگی ریزدانه آسفالت داغ فوق نازک

ویژگی / مشخصه	روش استاندارد آزمایش		حدود مشخصه	
	AASHTO	ASTM	حداقل	حداکثر
ارزش ماسه‌ای (درصد)	T176	D2419	۵۰	
افت وزنی در مقابل سولفات سدیم (درصد)	T104	C88		۱۲
گوشه‌داری، فضای خالی نامتراکم (درصد)	T304	C1252	۴۰	
دامنه خمیری (درصد)	T90	D4319		۴
جذب آب (درصد)	T84	C128		۳/۰

۱۷-۱۰-۲-۳ فیلر اضافی

فیلر اضافی را می‌توان از سیمان، آهک هیدراته و پودر سنگ آهک یا سایر سنگ‌های معدنی مناسب تهیه کرد. بر اساس تجربیات موفق گذشته و با توجه به شرایط ترافیکی و آب و هوایی می‌توان نوع و مقدار فیلر اضافی را در مستندات پروژه و شرایط خصوصی قرارداد تعریف کرد. فیلر اضافی در آسفالت داغ فوق نازک باید ویژگی‌های زیر را داشته باشد:

الف) دانه‌بندی فیلر اضافی طبق استانداردهای ASTM C136، AASHTO T27 با جدول (۱۷-۴۱) انطباق داشته باشد.

ب) دامنه خمیری آن که طبق استانداردهای ASTM D4318، AASHTO T90 تعیین می‌شود، کمتر از ۴ درصد باشد (در صورت استفاده از سیمان یا آهک هیدراته به عنوان فیلر، این معیار نادیده گرفته شود).

در صورت استفاده از آهک هیدراته به عنوان فیلر اضافی، ویژگی‌های آن باید با مشخصات استاندارد AASHTO M303 مطابقت داشته باشد.

جدول ۱۷-۴۱ دانه‌بندی فیلر اضافی مورد استفاده در آسفالت داغ فوق نازک

اندازه الک (میلی‌متر)	درصد وزنی رد شده از الک
۱٫۱۸ (شماره ۱۶)	۱۰۰
۰٫۶ (شماره ۳۰)	۹۷–۱۰۰
۰٫۳ (شماره ۵۰)	۹۵–۱۰۰
۰٫۰۷۵ (شماره ۲۰۰)	۷۰–۱۰۰

۱۷-۱۰-۲-۴ مواد افزودنی

نوع و ویژگی‌های همه مواد افزودنی مورد استفاده در آسفالت داغ فوق نازک باید مشخص شود و برای این مواد، ویژگی‌های عملکردی آسفالت مورد آزمایش و ارزیابی قرار گیرد. برای کاربردهای خاص و بر اساس تجربیات موفق گذشته، مقدار افزودنی باید در مستندات پروژه تعریف شود. افزودنی‌های شیمیایی و آلی را می‌توان برای کاهش دماهای تولید آسفالت از طریق کاهش ویسکوزیته قیر به‌کار برد که ممکن است بر سایر ویژگی‌های آسفالت نیز اثرگذار باشند.

۱۷-۱۰-۳ طرح اختلاط و ویژگی‌های آسفالت

طرح اختلاط آسفالت داغ فوق نازک (UTBWC) با توجه به الزامات و توصیه‌های این بخش با انجام آزمایش‌های مخلوط آسفالتی ساخته‌شده در آزمایشگاه با استفاده از مصالح سنگی و قیر و مواد افزودنی منتخب برای استفاده در پروژه تعیین می‌شود. در مقدار درصد قیر بهینه، آسفالت داغ فوق نازک باید کلیه الزامات این بند از استاندارد را برآورده سازد. پیش از تهیه طرح اختلاط آزمایشگاهی و تعیین فرمول کارگاهی باید مصالح سنگی ریزدانه، مصالح سنگی درشت‌دانه و قیرهای پروژه مورد آزمایش قرار گیرند و انطباق ویژگی‌های آنها با مشخصات استاندارد تأیید گردد. همچنین بکارگیری انواع مواد افزودنی و فیلرهای اضافی باید پیش از تهیه طرح اختلاط آسفالت، به تأیید مهندسین مشاور برسد.

طرح اختلاط آزمایشگاهی باید توسط پیمانکار پروژه تهیه شده و حداقل یک هفته پیش از شروع پروژه به مهندس مشاور تحویل گردد. گزارش طرح اختلاط آزمایشگاهی آسفالت داغ فوق نازک باید موارد زیر را در بر داشته باشد:

- حداکثر اندازه اسمی مخلوط مصالح سنگی
- نسبت اختلاط و دانه‌بندی هر یک از مصالح سنگی مورد استفاده
- دانه‌بندی مخلوط مصالح سنگی حاصل از اختلاط مصالح با اندازه‌های مختلف

- وزن مخصوص حقیقی مخلوط مصالح سنگی ریزدانه و درشت‌دانه
- حداکثر وزن مخصوص تئوری آسفالت
- درصد قیر بهینه طرح
- ضخامت قشر قیری
- ریزش (جاری‌شدن) مواد قیری
- نسبت مقاومت کششی غیر مستقیم، TSR
- دماهای اختلاط و تراکم
- نوع و مقدار افزودنی‌های مورد استفاده
- مقدار پخش قیرآبه پلیمری استاندارد

گزارش نتایج آزمایش ویژگی‌های آسفالت و طرح اختلاط آسفالت داغ فوق نازک تا زمانی اعتبار دارد که مواد و مصالح تشکیل‌دهنده آسفالت و یا ویژگی‌های آنها که بر عملکرد آسفالت اثرگذار هستند، تغییر نکنند. در غیر این‌صورت باید گزارش نتایج و طرح آسفالت بازنگری شده و یا گزارش جدید تهیه گردد.

در شرایط زیر نیاز است که آزمایش‌ها تکرار شوند و یا طرح اختلاط جدید تهیه شود:

- تغییر در مصالح سنگی درشت‌دانه و یا مخلوط مصالح سنگی آسفالت شامل:

الف- تغییر ویژگی‌های ظاهری مصالح درشت‌دانه شامل درصد شکستگی یا سنگدانه‌های پهن و دراز

ب- تغییر نوع و منشأ مصالح سنگی و تأثیر آن بر مقاومت در برابر سایش

ج- تغییر وزن مخصوص حقیقی مخلوط مصالح سنگی به مقدار بیش از ۰/۰۲

- تغییر نوع و منشأ مصالح سنگی ریزدانه و گوشه‌داری مصالح ریزدانه
- تغییر منشأ فیلر اضافی
- تغییر نوع یا رده‌بندی قیر مورد استفاده
- تغییر نوع یا ویژگی‌های افزودنی مصرفی به حدی که باعث تغییر ویژگی‌ها و عملکرد آسفالت شود.

فرمول کارگاهی آسفالت داغ با اعمال رواداری‌های مجاز به مقادیر مربوط به دانه‌بندی، درصد قیر و ضخامت قشر قیری تعیین می‌شود. حدود بالا و پایین فرمول کارگاهی با اضافه کردن مقادیر رواداری به مقادیر هدف و کم کردن مقادیر رواداری تعیین می‌شوند.

۱۷-۱۰-۳-۱ دانه‌بندی و درصد قیر

دانه‌بندی مخلوط مصالح سنگی برای آسفالت داغ فوق نازک (UTBWC) باید با یکی از محدوده‌های مشخص شده در جدول (۱۷-۴۲) انطباق داشته باشد.

مقدار قیر طرح برای آسفالت داغ فوق نازک نیز در محدوده مقادیر مندرج در جدول (۱۷-۴۳) پیشنهاد می‌شود. باید توجه داشت که با توجه به مقدار جذب قیر مصالح سنگی پروژه، مقدار قیر طرح برای مصالح سنگی با درصد جذب آب کم، نزدیک به مقادیر حداقل محدوده پیشنهادی در جدول (۱۷-۴۳) و برای مصالح سنگی با درصد جذب آب زیاد تا ۳ درصد، نزدیک به مقادیر حداکثر پیشنهادی تعیین می‌گردد.

جدول ۱۷-۴۲ دانه‌بندی‌های آسفالت داغ فوق نازک

اندازه الک، میلی‌متر	درصد وزنی رد شده از الک برای دانه‌بندی‌های زیر		
	UTBWC 12.5	UTBWC 9.5	UTBWC 6.3
۱۹	۱۰۰		
۱۲/۵	۸۵-۱۰۰	۱۰۰	-
۹/۵	۵۵-۸۰	۸۵-۱۰۰	۱۰۰
۶/۳	-	-	۸۵-۱۰۰
۴/۷۵ (شماره ۴)	۲۲-۳۸	۲۲-۳۸	۴۰-۵۵
۲/۳۶ (شماره ۸)	۱۹-۳۲	۱۹-۳۲	۲۰-۳۲
۱/۱۸ (شماره ۱۶)	۱۵-۲۴	۱۵-۲۴	۱۵-۲۴
۰/۳ (شماره ۵۰)	۸-۱۴	۸-۱۴	۸-۱۴
۰/۰۷۵ (شماره ۲۰۰)	۴/۰ - ۵/۵	۴/۰ - ۵/۵	۴/۰ - ۵/۵

جدول ۱۷-۴۳ محدوده درصد قیر آسفالت داغ فوق نازک برای دانه‌بندی‌های مختلف

نوع دانه‌بندی	درصد قیر طرح
UTBWC 12.5	۴/۶-۶/۱
UTBWC 9.5	۴/۸-۶/۱
UTBWC 6.3	۵/۰-۶/۳

۱۷-۱۰-۳-۲ ضخامت قشر قیری

ضخامت قشر قیری سنگدانه‌های مخلوط آسفالت داغ فوق نازک باید حداقل ۱۰/۲ میکرون باشد. حداقل درصد قیر طرح برای این نوع آسفالت با انجام محاسبات مربوط به ضخامت قشر قیری تعیین می‌شود.

ضخامت قشر قیری با استفاده از مقادیر درصد قیر مؤثر (P_{be}) و سطح ویژه مصالح سنگی با اندازه‌های مختلف قابل محاسبه است. مقدار حداقل درصد قیر طرح برای آسفالت داغ فوق نازک با در نظر گرفتن مقدار

حداقل برای ضخامت قشر قیری (۱۰/۲ میکرون) و با توجه به درصد عبوری مصالح سنگی از الک‌های مختلف در دانه‌بندی کارگاهی و ضرایب مربوط به سطح ویژه سنگدانه‌ها (جدول (۱۷-۴۴))، با استفاده از روابط زیر محاسبه می‌شود.

$$AFT = \frac{P_{be} \times 1000}{P_s \times SA \times G_b} \qquad (۹-۱۷)$$

$$P_{be} = (P_s \times SA \times AFT \times G_b)/1000 \qquad (۱۰-۱۷)$$

$$P_b = P_{be} + (P_s \times P_{ba})/100 \qquad (۱۱-۱۷)$$

$$P_{ba} = 100 \times G_b \times (G_{se}-G_{sb})/(G_{se}\times G_{sb}) \qquad (۱۲-۱۷)$$

$$G_{se} = \frac{100 - P_b}{\frac{100}{G_{mm}} - \frac{P_b}{G_b}} \qquad (۱۳-۱۷)$$

در این روابط:

AFT : ضخامت قشر قیری سنگدانه‌های آسفالت (میکرون)

SA : سطح ویژه مخلوط مصالح سنگی (مترمربع بر کیلوگرم)

P_{be} : درصد قیر مؤثر آسفالت

P_{ba} : درصد جذب قیر مخلوط مصالح سنگی آسفالت

P_b : درصد قیر آسفالت

P_s : درصد مصالح سنگی آسفالت که برابر است با $(100-P_b)$

G_{sb} : وزن مخصوص حقیقی مخلوط مصالح سنگی

G_{se} : وزن مخصوص مؤثر مخلوط مصالح سنگی

G_b : وزن مخصوص قیر

G_{mm} : حداکثر وزن مخصوص تئوری آسفالت

حداکثر وزن مخصوص تئوری آسفالت با انجام آزمایش رایس طبق استانداردهای ASTM D2041 یا AASHTO T209 برای یک درصد قیر مشخص (P_b) اندازه‌گیری می‌شود.

برای محاسبه سطح ویژه مخلوط مصالح سنگی، درصد عبوری هر الک در ضریب سطح ویژه ضرب شده و

مقادیر مربوط به الک‌های مختلف با هم جمع می‌شود. با استفاده از ضرایب جدول (۱۷-۴۴)، سطح ویژه مخلوط مصالح سنگی آسفالت (در واحد مترمربع بر کیلوگرم) با استفاده از رابطه زیر محاسبه می‌شود. در این رابطه، a و b و c و d و e و f و g مقادیر درصد عبوری از الک‌های شماره ۴ و ۸ و ۱۶ و ۳۰ و ۵۰ و ۱۰۰ و ۲۰۰ هستند.

(۱۴-۱۷)

$$SA = (0.41\times100 + 0.41\times a + 0.82\times b + 1.64\times c + 2.87\times d + 6.14\times e + 12.29\times f + 32.77\times g)/100$$

ضرایب سطح ویژه برای مصالح سنگی با وزن مخصوص حقیقی برابر با ۲٫۶۵۰ ارائه شده است. مصالح سنگی با وزن مخصوص حقیقی بزرگتر، مقدار سطح ویژه کمتری نسبت به مصالح با وزن مخصوص کوچکتر دارند. لذا مقدار سطح ویژه باید برای مصالح سنگی (بخش عبوری از الک شماره ۴) با وزن مخصوص حقیقی بزرگتر از ۲٫۷۰۰ یا کوچکتر از ۲٫۵۸۰ با استفاده از رابطه زیر اصلاح شود.

$$SA_{adj} = SA \times (2.650 / G_{sb}) \qquad (۱۵-۱۷)$$

در این رابطه:

SA_{adj} : سطح ویژه اصلاح‌شده (متر مربع بر کیلوگرم)

G_{sb} : وزن مخصوص حقیقی مصالح سنگی ردشده از الک شماره ۴

جدول ۱۷-٤٤ ضرایب سطح ویژه مصالح سنگی با اندازه‌های مختلف

اندازه الک، میلی‌متر	ضریب سطح ویژه (متر مربع بر کیلوگرم)
۱۹	۰٫۴۱
۱۲٫۵	
۹٫۵	
۶٫۳	
۴٫۷۵ (شماره ۴)	۰٫۴۱
۲٫۳۶ (شماره ۸)	۰٫۸۲
۱٫۱۸ (شماره ۱۶)	۱٫۶۴
۰٫۶ (شماره ۳۰)	۲٫۸۷
۰٫۳ (شماره ۵۰)	۶٫۱۴
۰٫۱۵ (شماره ۱۰۰)	۱۲٫۲۹
۰٫۰۷۵ (شماره ۲۰۰)	۳۲٫۷۷

۱۷-۱۰-۳-۳ مقدار پخش آسفالت و ضخامت لایه

مقدار مناسب پخش آسفالت داغ فوق نازک برای دانه‌بندی‌های مختلف در جدول (۱۷-۴۵) توصیه شده

است. مقادیر مذکور برای آسفالت داغ با حداکثر وزن مخصوص تئوری ۲٫۵۰۰ ارائه شده است و برای آسفالت‌های با وزن مخصوص متفاوت، مقادیر پخش را می‌توان تعدیل کرد. همچنین حداقل ضخامت لایه متراکم آسفالت داغ فوق نازک برای دانه‌بندی‌های مختلف، در این جدول مشخص شده است. با توجه به اینکه امکان اندازه‌گیری دقیق ضخامت آسفالت فوق نازک در عمل وجود ندارد، این مقادیر تقریبی بوده و جنبه توصیه‌ای دارد.

جدول ۱۷-۴۵ مقدار پخش و حداقل ضخامت لایه آسفالت فوق نازک برای دانه‌بندی‌های مختلف

نوع دانه‌بندی	مقدار پخش (کیلوگرم بر متر مربع)	حداقل ضخامت لایه (میلی‌متر)
UTBWC 12.5	۴۹	۱۹
UTBWC 9.5	۴۱	۱۶
UTBWC 6.3	۳۵	۱۳

۱۷-۱۰-۳-۴ ریزش مواد قیری

ریزش مواد قیری آسفالت داغ فوق نازک باید با انجام آزمایش طبق استاندارد ASTM D6390 یا AASHTO T305 تعیین شده و مقدار آن کمتر از ۰٫۱ درصد باشد. آزمایش ریزش باید با درصد قیر به مقدار ۰٫۵ درصد بیشتر از قیر طرح و در دمای حدود ۱۰ درجه سلسیوس بالاتر از دمای اختلاط مشخص‌شده انجام پذیرد.

۱۷-۱۰-۳-۵ وزن مخصوص و درصد فضای خالی

وزن مخصوص حقیقی نمونه‌های متراکم آسفالت داغ فوق نازک با یکی از روش‌های مندرج در جدول (۱۷-۴۶) تعیین می‌شود. حداکثر وزن مخصوص تئوری آسفالت نیز باید طبق استانداردهای ASTM D2041 یا AASHTO T209 اندازه‌گیری شود. درصد فضای خالی آسفالت متراکم با استفاده از روابط و توصیه‌های مندرج در استاندارد ASTM D3203 محاسبه می‌گردد. باید توجه شود که معیار درصد فضای خالی برای این نوع آسفالت ارایه نشده است و انتخاب درصد قیر طرح بر اساس سایر الزامات ارایه‌شده در این بخش از آئین‌نامه است.

جدول ۱۷-۴۶ روش‌های تعیین وزن مخصوص حقیقی نمونه‌های متراکم آسفالت داغ فوق نازک

شرح آزمایش	روش استاندارد	شرط آزمایش
تعیین وزن مخصوص حقیقی آسفالت متراکم با استفاده از نمونه‌های با پوشش پارافین	ASTM D1188 AASHTO T275	۱۰٪ > فضای خالی
تعیین وزن مخصوص حقیقی آسفالت متراکم با اندازه‌گیری ابعاد نمونه	ASTM D3549 EN 12697-6/D	فضای خالی > ۱۰٪
آماده‌سازی نمونه و تعیین وزن مخصوص آسفالت متراکم توسط دستگاه تراکم چرخشی	ASTM D6925 AASHTO T312	نمونه‌های متراکم‌شده به روش تراکم چرخشی*
* وزن مخصوص نمونه‌های دستگاه تراکم چرخشی را می‌توان پس از بیرون آوردن از قالب با انجام آزمایش نیز اندازه‌گیری نمود.		

۱۷-۱۰-۳-۶ حساسیت رطوبتی

نسبت مقاومت کششی غیرمستقیم نمونه‌های گروه اشباع به گروه خشک (TSR) برای آسفالت داغ فوق نازک طبق روش آزمایش استاندارد AASHTO T283 باید بیشتر از ۰٫۸۰ باشد. روش آزمایش حساسیت رطوبتی برای آسفالت داغ فوق نازک اصلاحاتی به شرح زیر نسبت به استاندارد AASHTO T283 دارد.

- نمونه‌های آزمایش حساسیت رطوبتی باید توسط دستگاه تراکم چرخشی به قطر ۱۵۰ میلی‌متر و ارتفاع (۹۵٫۶±۲۵٫۳۵) میلی‌متر و با تعداد ۱۰۰ چرخش متراکم شوند.
- دمای تراکم نمونه‌های آزمایش نیز باید در محدوده (۵±۱۴۹) درجه سلسیوس باشد، مگر اینکه با توجه به نوع قیر، دمای تراکم متفاوتی توسط مشاور پروژه و یا تولیدکننده قیر توصیه شود.
- مخلوط آسفالتی قبل از تراکم باید طبق استاندارد AASHTO R30 به مدت ۲ ساعت درون گرم‌خانه در دمای تراکم عمل‌آوری شود.
- نمونه‌های متراکم باید تا حد ممکن هرچه زودتر بدون آسیب‌دیدن از قالب خارج شوند.
- درصد فضای خالی نمونه‌ها باید طبق مندرجات بند (۱۷-۱۰-۳-۵) با توجه به توصیه‌های استانداردهای ASTM D3203 یا AASHTO T269 تعیین گردد و تنها با هدف اطلاع‌رسانی بیشتر گزارش شود.
- اگر مقدار اشباع‌شدگی نمونه‌های گروه عمل‌آوری‌شده کمتر از ۵۵ درصد باشد، نیاز به تکرار ساخت و اشباع کردن نمونه‌ها نیست، مگر اینکه اختلاف مقاومت کششی مابین نمونه‌های تکراری بیش از ۱۷۰ کیلوپاسکال باشد.

۱۷-۱۰-۳-۷ نام‌گذاری آسفالت داغ فوق نازک

نام‌گذاری و تعیین علامت اختصاری آسفالت داغ فوق نازک بر اساس نوع دانه‌بندی انتخاب‌شده از جدول (۱۷-۴۲) و رده‌بندی و نوع قیر مورد استفاده صورت می‌گیرد. به این ترتیب که در ابتدا علامت مربوط به نوع دانه‌بندی و به دنبال آن، علامت مشخصه قیر آورده می‌شود.

به عنوان مثال، علامت اختصاری UTBWC 12.5/PG70-22 مربوط به آسفالت داغ فوق نازک تولید شده با مصالح سنگی با حداکثر اندازه اسمی ۱۲/۵ میلی‌متر و با قیر پلیمری با رده‌بندی عملکردی PG70-22 است.

۱۷-۱۰-۴ تجهیزات و ماشین‌آلات

پیمانکار باید همه ماشین‌آلات و تجهیزات مورد نیاز برای عملیات تولید، حمل و پخش را برای تولید آسفالت داغ فوق نازک تهیه و آماده کند. یک کارخانه آسفالت داغ دارای گواهی تأییدیه فنی که بتواند عملیات تولید را به صورت یکنواخت انجام دهد، باید برای تولید این آسفالت مورد استفاده قرار گیرد.

آسفالت داغ فوق نازک باید توسط ماشین‌های حمل با اتاق بار تمیز، آب‌بند و هموار به محل پخش حمل شود. اتاق بار ماشین‌های حمل باید مجهز به چادر باشد تا افت دمایی آسفالت در حین حمل کاهش یافته و از شرایط آب و هوایی نامساعد محافظت شود.

غلتک تراکم نیز باید از نوع فولادی جفت با وزن حداقل ۹ تن باشد. این غلتک باید خودرو بوده و چرخ‌های آن مجهز به لیسه برای پاک‌کردن چرخ باشند و روی چرخ‌های آن، نازل‌های آب‌پاش نصب شده باشد تا در حین عملیات تراکم بطور مرتب با آب صابون شسته شده و از چسبیدن آسفالت به چرخ غلتک ممانعت گردد.

فینیشر مناسب برای آسفالت داغ فوق نازک باید قابلیت قیرپاشی داشته باشد و برای اجرای این نوع رویه محافظتی فوق نازک با ضخامت کمتر از ۲۵ میلی‌متر مناسب باشد. این نوع فینیشر باید یک قیف برای تخلیه آسفالت، سیستم تغذیه، مخزن قیرآبه، سیستم اندازه‌گیری و تنظیم مقدار حجمی پاشش قیرآبه، لوله نازل‌های پاشش قیر و جعبه پخش با اتوی ارتعاشی داشته باشد. این فینیشر باید بتواند پاشش قیرآبه، پخش آسفالت داغ و تسطیح سطح لایه پخش‌شده را در یک مرحله انجام دهد.

به‌طور کلی فینیشر مناسب برای آسفالت داغ فوق نازک می‌تواند:

- پاشش قیرآبه اصلاح‌شده پلیمری را انجام دهد.
- روکش آسفالت داغ را پخش کند.

- تسطیح لایه پخش‌شده را در یک عبور انجام دهد.
- آسفالت داغ را در مدت کمتر از ۵ ثانیه پس از پاشش قیرآبه پلیمری روی سطح را پخش کند.
- رویه آسفالت داغ فوق نازک را با سرعت قابل کنترل در محدوده ۹ تا ۲۷ متر بر دقیقه اجرا کند.

۱۷-۱۰-۵ ساخت و اجرا

۱۷-۱۰-۵-۱ محدودیت‌های آب و هوایی

آسفالت داغ فوق نازک باید زمانی اجرا شود که دمای سطح راه کمتر از ۱۳ درجه سلسیوس نبوده و هوا نیز مه‌آلود یا بارانی نباشد. اگر سطح روسازی موجود مرطوب بوده ولی اشباع از آب نباشد و همچنین پیش‌بینی هوای مناسب شده باشد، مهندس مشاور می‌تواند اجازه اجرای آسفالت داغ فوق نازک را بدهد.

۱۷-۱۰-۵-۲ آماده‌سازی سطح موجود

پوشش گیاهی، مصالح سنگدانه‌ای شل و خاک سطح روسازی موجود باید پاک‌سازی شود.

قاب‌ها و دریچه آدم‌روها و آب‌روها باید قبل از اجرای این نوع رویه آسفالتی با ورق پلاستیکی یا عایق ساختمانی پوشانده شوند، به استثنای علائم برجسته روسازی که باید برداشته شده و پس از اجرای آسفالت فوق نازک، مجدداً در محل قبلی نصب شوند. محل دریچه‌ها و قاب‌ها باید قبل از اجرا مشخص شود تا پس از آن قابل ردیابی باشند و اصلاح لازم انجام شود. علائم ترافیکی پلاستیکی و سایر علائم برجسته با ضخامت بیش از ۶ میلی‌متر نیز باید قبل از اجرا برداشته شوند.

قبل از اجرای آسفالت داغ فوق نازک، همه ترک‌های غیرفعال با عرض بیش از ۶ میلی‌متر و همه ترک‌ها و درزهای فعال باید با مواد قیری مناسب پر شده و آب‌بندی شوند. مواد آب‌بندی در محل ترک‌ها و درزها نباید نسبت به سطح روسازی موجود برآمدگی داشته باشند و روی سطح موجود جاری شوند. همچنین همه ناهمواری‌های با عمق بیش از ۲۰ میلی‌متر باید با مصالح مورد تأیید مهندس مشاور پر شده و روسازی موجود هموار گردد.

ناهمواری بیش از اندازه در سطح روسازی موجود قبل از اجرای آسفالت داغ فوق نازک باید با اجرای یک لایه آسفالت رگلاژی کاهش یابد تا به کمتر از ۱۳ میلی‌متر در امتداد یک شمشه ۳ متری برسد. زمانی می‌توان آسفالت داغ فوق نازک را اجرا کرد که مقدار فرورفتگی و نشست سطح موجود در زیر یک شمشه ۳ متری، حداکثر ۱۳ میلی‌متر باشد.

۱۷-۱۰-۵-۳ حمل آسفالت

حمل آسفالت داغ باید به نحوی صورت گیرد که جداشدگی فیزیکی و دمایی آسفالت کاهش یابد که از طریق بازررسی چشمی قابل تشخیص است. اتاق کامیون‌ها باید به مواد ضد چسبندگی آغشته شود. همچنین پیش از بارگیری باید اتاق کامیون بالا برده شود تا مقدار اضافی مواد ضدچسبندگی به بیرون از آن چکه کند. برای محافظت از آسفالت و جلوگیری از افت شدید دمای آن، ماشین حمل باید به چادر مجهز باشد. حمل آسفالت به محل پروژه باید به گونه‌ای برنامه‌ریزی شود که از ایجاد وقفه در فرآیند پخش جلوگیری شود و یا زمان انتظار ماشین‌های حمل برای تخلیه به فینیشر کاهش یابد.

۱۷-۱۰-۵-۴ اندود قیرآبه پلیمری

لایه چسباننده قیرآبه باید روی سطح روسازی تمیز و خشک و عاری از هرگونه آلودگی که مانع چسبندگی گردد، پاشیده شود. هدف از پاشش قیرآبه آن است که یک اندود قیرآبه‌ای یکنواخت و ضخیم که تمام سطح روسازی موجود را پوشش دهد، شکل گیرد. قیرآبه باید با توجه به شرایط آب و هوایی محل و زمان اجرای پروژه در دمای مناسب باشد و سپس روی سطح راه پاشیده شود. قیرآبه پلیمری مورد استفاده نباید با آب رقیق شود.

میزان پخش قیرآبه بسته به وضعیت سطح روسازی موجود از نظر نوع روسازی آسفالتی یا بتنی، میزان نفوذپذیری و عمق درشت‌بافت سطحی و نیز میزان شن‌زدگی یا قیرزدگی آن متغیر است. میزان پخش قیرآبه استاندارد در محدوده ۰٫۵۰ تا ۱٫۰۰ لیتر بر متر مربع مناسب است. تعیین مقدار طرح پاشش قیرآبه با توجه به شرایط پروژه و وضعیت سطح موجود با استفاده از راهنمای جدول (۱۷-۴۷) صورت می‌گیرد. مهندس مشاور می‌تواند با توجه به وضعیت سطح روسازی موجود مقدار پاشش قیر را تعدیل نماید.

جدول ۱۷-۴۷ میزان پاشش قیرآبه پلیمری و مقادیر اصلاح برای شرایط متفاوت سطح موجود راه

نوع دانه‌بندی	UTBWC 6.3	UTBWC 9.5	UTBWC 12.5
میزان پاشش قیرآبه * (لیتر بر متر مربع)	۰/۶۴	۰/۸۱	۰/۹۱
وضعیت رویه موجود	مقدار اصلاح برای میزان پاشش (لیتر بر مترمربع)		
رویه بتنی تازه و ماله‌کشی‌شده	۰	۰	۰
رویه بتنی صاف یا صیقلی	−۰/۱۴	−۰/۱۴	−۰/۱۴
رویه آسفالتی متراکم و پیرنشده	۰	۰	۰
رویه آسفالتی کاملاً قیرزده	−۰/۱۴	−۰/۱۴	−۰/۰۹
رویه آسفالتی نفوذپذیر، پیرشده یا شن‌زده	+۰/۰۵	+۰/۰۵	+۰/۰۹
رویه آسفالتی تراش‌خورده	+۰/۰۵	+۰/۰۵	+۰/۰۹
* برای اهداف کنترل کیفیت، مقدار رواداری ۰/۰۹± لیتر بر مترمربع باید به مقدار هدف اعمال شود.			

۱۷-۱۰-۵-۵ پخش آسفالت

پس از پاشش قیرآبه پلیمری، آسفالت داغ فوق نازک باید هر چه سریعتر و در دمای مناسب در محدوده ۱۴۰ تا ۱۶۵ درجه سلسیوس (با توجه به نوع قیر) پخش شود و دمای آسفالت در جلوی اتوی فینیشر کنترل شود. این آسفالت باید توسط اتوی ارتعاشی گرم‌شده پخش گردد و در صورت شکستن سنگدانه‌ها باید لرزش اتو خاموش شود. برای کاهش نواقص و خطوط سطحی راه باید عملیات پخش در هر شیفت کاری به صورت ممتد و با کمترین دفعات توقف انجام پذیرد. لایه اندود قیرآبه پلیمری بهتر است بلافاصله قبل از پخش آسفالت و به نحوی پاشیده شود که روی سطح راه جاری نشود. قبل از پخش آسفالت داغ باید از تماس چرخ‌ها و سایر اجزای فینیشر با اندود قیرآبه پلیمری جلوگیری شود.

برای جلوگیری از شکستن یا خردشدن سنگدانه‌های درشت، آسفالت داغ فوق نازک باید به مقدار توصیه‌شده در این آئین‌نامه یا تعیین‌شده توسط مهندس مشاور، پخش و اجرا شود.

۱۷-۱۰-۵-۶ تراکم آسفالت

بلافاصله پس از پخش آسفالت داغ فوق نازک، عملیات غلتک‌زنی باید با دو تا سه بار عبور غلتک فولادی جفت به وزن حداقل ۹ تن با اعمال حداقل نیروی تراکمی ۲۵ کیلوگرم بر سانتیمتر در حالت استاتیکی انجام شود. پیش از اینکه دمای لایه پخش‌شده به کمتر از ۹۰ درجه سلسیوس برسد، عملیات غلتک‌زنی باید تکمیل گردد. غلتک‌ها نباید روی لایه آسفالتی پخش‌شده متوقف شوند.

آب‌پاشی روی چرخ غلتک‌ها باید بطور مرتب انجام شود تا از چسبیدن آسفالت به آن‌ها ممانعت شود. اگر

سیستم آب‌پاش کارساز نباشد، یک مایع مناسب ضدچسبندگی (نظیر مایعات صابونی) باید به سیستم آب‌پاشی چرخ‌ها اضافه شود تا مانع چسبیدن آسفالت به چرخ‌های فولادی گردد.

برای جلوگیری از شکستن و خردشدن سنگدانه‌ها باید از غلتک‌زنی زیاد آسفالت داغ فوق نازک خودداری شود. مهندس مشاور باید حداکثر مقدار مجاز خردشدن سنگدانه‌ها در لبه لایه پخش‌شده را مشخص نماید. پس از اتمام عملیات غلتکی‌زنی، تا پیش از کاهش دمای لایه آسفالتی به پایین‌تر از ۷۰ درجه سلسیوس، نباید اجازه عبور ترافیک داده شود. باید اطمینان حاصل شود که ضخامت لایه آسفالت داغ فوق نازک متراکم‌شده، مقدار حداقل مجاز مشخص‌شده در این آئین‌نامه برای دانه‌بندی‌های مختلف را برآورده سازد.

۱۷-۱۰-۶ کنترل کیفیت

۱۷-۱۰-۶-۱ آزمایش‌های آسفالت

پیمانکار باید مخلوط آسفالت داغ فوق نازک را مطابق با فرمول کارگاهی تعیین‌شده توسط مهندس مشاور در محدوده رواداری‌های مندرج در این بند تولید کند. همچنین قیرآبه پلیمری باید بر اساس فرمول کارگاهی تعیین‌شده پاشیده شود و مقدار آن در محدوده ۰٫۰۹± لیتر بر مترمربع نسبت به مقدار طرح باشد. مقدار پاشش اندود قیرآبه پلیمری باید با تقسیم کردن مقدار مصرف‌شده در هر روز به سطح روسازی‌شده در آن روز کنترل شود.

آسفالت داغ فوق نازک باید به ازای هر ۳۵۰ تن یک بار و حداقل یک بار در هر روز، نمونه‌برداری و آزمایش شود. این نمونه باید قبل از شروع عملیات تولید روز بعد، برای تعیین درصد قیر و دانه‌بندی مخوط مصالح سنگی مورد آزمایش قرار گیرد. با پیشرفت پروژه، مهندس مشاور باید به شرح زیر عمل کند:

- در آغاز پروژه و پس از شروع عملیات تولید کارخانه، اولین نمونه‌برداری آسفالت را از پشت ماشین سوم تا پنجم انجام دهد. سایر نمونه‌برداری‌ها باید از پشت اتوی فینیشر انجام پذیرد.
- میزان پخش روزانه قیرآبه پلیمری را با تقسیم کردن حجم قیرآبه مصرف شده در هر روز بر سطح روسازی‌شده محاسبه نماید.
- آزمایش‌های تعیین درصد قیر و دانه‌بندی مصالح سنگی را روی آسفالت نمونه‌برداری شده در هر روز یا هر ۳۵۰ تن انجام دهد. در صورت وجود افزودنی در مخلوط آسفالت داغ لایه نازک، نحوه انجام آزمایش اکسترکشن و انتخاب حلال باید به پیشنهاد تولیدکننده افزودنی یا قیر پلیمری و با تأیید مهندس مشاور باشد.

رواداری‌های درصد عبوری از الک‌های مختلف در دانه‌بندی مخلوط مصالح سنگی آسفالت داغ لایه نازک و درصد قیر نسبت به فرمول کارگاهی باید مطابق جدول (۱۷–۴۸) باشد.

با توجه به محدوده ضخامت آسفالت داغ فوق نازک، کنترل تراکم در محل برای این نوع آسفالت از طریق مغزه‌گیری، تعیین وزن مخصوص و محاسبه درصد فضای خالی مغزه‌ها امکان‌پذیر نیست. لذا مشخصه تراکم در محل برای این نوع رویه آسفالتی تعیین نشده و در پذیرش عملیات آسفالتی نیز استفاده نمی‌شود. الگوی غلتک‌زنی نیز باید با اجرای نوار آزمایشی و بررسی کیفی لایه اجرا شده، توسط پیمانکار پیشنهاد شده و به تأیید مهندس مشاور برسد.

جدول ۱۷–۴۸ حدود رواداری دانه‌بندی و درصد قیر آسفالت داغ فوق نازک

مشخصه	رواداری (درصد)
درصد عبوری از الک ۱۲/۵ میلی‌متر	±۶
درصد عبوری از الک ۹/۵ میلی‌متر	±۶
درصد عبوری از الک ۶/۳	±۶
درصد عبوری از الک ۴/۷۵ (شماره ۴)	±۵
درصد عبوری از الک ۲/۳۶ (شماره ۸)	±۴
درصد عبوری از الک ۱/۱۸ (شماره ۱۶)	±۴
درصد عبوری از الک ۰/۰۷۵ (شماره ۲۰۰)	±۲/۰
درصد قیر	±۰/۴

۱۷–۱۰–۷ اندازه‌گیری وزن آسفالت

رویه حفاظتی آسفالت داغ فوق نازک بر اساس مقدار واقعی تناژ آسفالت تولیدشده برای اجرای روسازی اندازه‌گیری می‌شود. در این روش اندازه‌گیری، مقدار آسفالت با تعیین وزن آسفالت کامیون‌ها روی باسکول تعیین می‌شود.

۱۷–۱۱ درزگیری روسازی‌ها

۱۷–۱۱–۱ کلیات

درزگیری ترک‌ها در روسازی آسفالتی یک روش نگهداری پیشگیرانه محسوب می‌شود. درزگیری به دو روش آب‌بندی ترک[1] و پرکردن ترک[1] انجام می‌شود. آب‌بندی و پرکردن ترک‌ها از عملیات ضروری و مهم

1. Crack Sealing

تعمیر و نگهداری بوده و برای کاهش نفوذ آب و ذرات خارجی به درون جسم روسازی راه و کاهش نرخ خرابی آن مورد نیاز است. برای مؤثر بودن روش درزگیری، ترک‌ها باید انشعابات کمی داشته باشند. درزگیری ترک‌هایی که انشعابات زیادی دارند، عملکرد مطلوبی به همراه نخواهد داشت.

آب‌بندی ترک، عملیات پخش و قرار دادن مواد درزگیر درون ترک‌های فعال برای جلوگیری از نفوذ آب و ذرات خارجی سخت به درون ترک است که عموماً پس از برش دادن ترک انجام می‌شود. اجرای عملیات آب‌بندی ترک برای ترمیم ترک‌های عرضی که اکثراً ترک‌های فعال هستند، رایج است. این روش درزگیری برای آماده‌سازی و آب‌بندی ترک‌های خستگی نظیر ترک‌های پوست سوسماری، ترک‌های بلوکی با شدت زیاد، ترک‌خوردگی‌های لبه و ترک‌های لغزشی روسازی آسفالتی اجرا نمی‌شود.

پرکردن ترک‌های غیرفعال به منظور کاهش نفوذ آب به جسم روسازی با پخش مواد قیری یا تزریق مواد درزگیر و معمولاً بدون برش دادن ترک‌ها انجام می‌شود. عملیات پرکردن ترک‌های طولی که اکثراً غیرفعال هستند، به‌طور رایج انجام می‌شود.

اگر تغییر عرض ترک ناشی از تغییرات دما در طول سال بیشتر از ۳ میلی‌متر باشد، ترک فعال و اگر میزان تغییر عرض ترک در طول سال کمتر از ۳ میلی‌متر باشد، ترک غیرفعال است. ترک‌های فعال معمولاً از نوع ترک‌های عرضی هستند، اما برخی ترک‌های طولی و مورب نیز ممکن است جابجایی بیش از ۳ میلی‌متر در طول سال داشته باشند. مواد درزگیری قرار گرفته درون ترک‌های فعال باید به دیوارهای ترک بچسبند و همراه با باز و بسته شدن ترک، انعطاف لازم را داشته باشند. ترک‌های غیرفعال نیز شامل ترک‌های مورب، بیشتر ترک‌های طولی، ترک‌های عرضی با فاصله کم از یکدیگر و برخی ترک‌های بلوکی می‌شوند. به دلیل فاصله نسبتاً کم بین ترک‌های غیرفعال، این ترک‌ها جابجایی کمی دارند. جابجایی کم در ترک‌های غیرفعال امکان استفاده از مواد درزگیر ارزان‌تر از نوع پرکننده را فراهم می‌سازد.

انتخاب روش درزگیری ترک‌ها در روسازی آسفالتی بر اساس عرض ترک و شدت خرابی لبه (یا دیواره) ترک، به شرح موارد زیر صورت می‌گیرد:

- برای ترمیم ترک‌های مویی (با عرض کمتر از ۶ میلی‌متر) در صورتی‌که تراکم آن‌ها در یک محدوده زیاد باشد، استفاده از آسفالت‌های حفاظتی نظیر اسکراب‌سیل یا اسلاری‌سیل توصیه می‌شود.
- درزگیری ترک‌های با عرض ۶ تا ۱۲ میلی‌متر به روش آب‌بندی مناسب‌تر است.

1. Crack Filling

- درزگیری ترک‌های با عرض ۱۲ تا ۲۰ میلی‌متر، در صورتی‌که خرابی دیواره ترک در حد کم باشد، به روش آب‌بندی مناسب است. در صورتی‌که خرابی دیواره ترک در حد متوسط تا زیاد باشد، به روش پر کردن مناسب است.
- درزگیری ترک‌های با عرض ۲۰ تا ۲۵ میلی‌متر، در صورتی‌که خرابی دیواره ترک در حد کم تا متوسط باشد، به روش پر کردن مناسب است. اگر خرابی دیواره ترک در حد زیاد باشد، استفاده از دوغاب آب‌بندی قیری (یا اسلاری‌سیل) و ماسه آسفالت مناسب است.
- در صورتی‌که عرض ترک بیشتر از ۲۵ میلی‌متر و خرابی دیواره ترک کم باشد، استفاده از دوغاب آب‌بندی قیری (اسلاری‌سیل) و مخلوط قیرآبه با ماسه ریزدانه مناسب است. اگر خرابی دیواره ترک متوسط تا شدید باشد، خرابی موجود باید به روش لکه‌گیری با آسفالت ترمیم شود.

عملیات درزگیری در روسازی‌های بتنی نیز شامل آب‌بندی یا پرکردن درزها و ترک‌ها است. عملیات آب‌بندی شامل شیارزنی و برش‌کاری، پاک‌سازی و تزریق یا نصب مواد و مصالح درزگیر درون ترک‌های فعال و درزهای عرضی و طولی روسازی‌های بتنی موجود و همچنین پاک‌سازی و تزریق یا نصب مواد و مصالح درزگیر درون درزهای انقباضی روسازی‌های بتنی تازه احداث‌شده است. عملیات پرکردن نیز شامل پاک‌سازی و تزریق مواد پرکننده درون ترک‌های روسازی‌های بتنی موجود و یا روسازی‌های بتنی در حال احداث (درزهای انبساط) است. آب‌بندی درز بتنی شامل نصب یک نوار نگهدارنده[1] درون درز و آماده‌سازی کامل یک شیار[2] است، درحالی‌که پر کردن درز اغلب پس از آماده‌سازی جزئی یک شیار برش‌خورده و با پر کردن مواد درزگیر درون آن انجام می‌شود.

۱۷-۱۱-۲ مواد درزگیر

به‌طور کلی، مواد درزگیر متشکل از مواد قیری سردریز و گرم‌ریز است. پس از ارزیابی روسازی و انتخاب روش درزگیری، باید با توجه به شرایط آب و هوایی منطقه، شرایط آب و هوایی در زمان اجرا و ویژگی‌های ترک، نوع مناسب ماده درزگیر و شکل‌بندی قرار دادن آن در محل درز و ترک انتخاب شود.

۱۷-۱۱-۲-۱ مواد آب‌بندی گرم‌ریز

این نوع مواد درزگیر برای عملیات آب‌بندی درزها و ترک‌ها در روسازی‌های آسفالتی و بتنی استفاده

1. Backer Rod
2. Reservoir

می‌شوند و ویژگی‌های آنها باید با مشخصات استاندارد ASTM D6690 مطابقت داشته باشد. این مواد آب‌بندی باید ترکیبی از مواد مختلف باشند تا یک ترکیب چسبنده با خاصیت برجهندگی زیاد حاصل شود که بتوانند درزها و ترک‌های روسازی‌های بتنی و آسفالتی را در طول دوره‌های انبساط و انقباض دمایی در برابر نفوذ رطوبت و ذرات خارجی آب‌بندی کنند. همچنین در دماهای بهره‌برداری، ماده آب‌بند نباید در بالای درز و ترک روان و جاری شود یا به لاستیک چرخ خودروها چسبیده و از درون درز یا ترک خارج شود. انواع مختلف مواد آب‌بندی مشخص‌شده در استاندارد ASTM D6690 برای استفاده در شرایط آب و هوایی متفاوت به شرح زیر مناسب هستند:

- ماده نوع یک، برای آب‌بندی درزها و ترک‌های روسازی در آب و هوای معتدل مناسب است.
- مواد نوع دو و نوع سه، برای آب‌بندی درزها و ترک‌های روسازی در اکثر شرایط آب و هوایی مناسب هستند. تفاوت این دو ماده در آن است که دوام ماده آب‌بندی نوع سه در برابر اثرات مخرب رطوبت نیز ارزیابی و مشخص می‌شود.
- ماده نوع چهار، برای آب‌بندی درزها و ترک‌های روسازی در آب و هوای بسیار سرد مناسب است.

۱۷-۱۱-۲-۲ مواد پرکننده گرم‌ریز و سردریز

مواد قیری پرکننده گرم‌ریز و سردریز شامل قیرهای اصلاح‌شده پلیمری و قیرآبه‌ها هستند و برای پر کردن ترک‌ها در روسازی‌های آسفالتی و بتنی کاربرد دارند.

مواد قیری پرکننده سردریز باید از نوع قیرآبه‌ها باشند. استفاده از قیرآبه‌های کاتیونی تندشکن با رده‌بندی CRS-2 یا CRS-2P و یا قیرآبه‌های کاتیونی دیرشکن با رده‌بندی CSS-1 یا CSS-1h برای عملیات درزگیری توصیه می‌شود. ویژگی‌های این نوع قیرها باید با مشخصات مندرج در این نشریه یا استانداردهای ASTM D2397 و AASHTO M316 مطابقت داشته باشد. استفاده از قیرآبه‌های معمولی بر اساس شرایط آب و هوایی منطقه و نوع روسازی، برای پر کردن ترک‌های با عرض کمتر از ۶ میلی‌متر مناسب‌تر است؛ ولی برای پرکردن ترک‌های عریض با عرض بیش از ۶ میلی‌متر (تا ۲۵ میلی‌متر) می‌توان دوغاب قیرآبه‌ای یا قیرآبه مخلوط با ماسه ریزدانه را برای پرکردن ترک‌ها مورد استفاده قرار داد. در این نوع کاربرد باید از قیرآبه دیرشکن استفاده شود.

قیرهای اصلاح‌شده پلیمری و حاوی مواد لاستیکی برای استفاده به‌عنوان مواد پرکننده گرم‌ریز باید با مشخصات استاندارد ASTM D5078 مطابقت داشته باشند. این مواد برای پر کردن ترک‌های با عرض بیش از ۹/۵ میلی‌متر مناسب هستند. برای پرکردن درزهای روسازی‌های بتنی استفاده از این نوع مواد پرکننده به قیرآبه‌ها ارجحیت دارد.

۱۷-۱۱-۲-۳ نوار نگهدارنده (باربر)

استفاده از نوار نگهدارنده پیش از تزریق مواد آب‌بندی، برای جلوگیری از هدر رفتن مواد درزگیر درون عمق ترک و کنترل عمق مواد درزگیر، دستیابی به ضریب شکل مطلوب و حفظ مواد آب‌بندی در برابر تورفتگی و افتادگی توصیه می‌شود. نوار نگهدارنده یک جزء مهم برای آب‌بندی با مواد گرم‌ریز در روسازی‌های بتنی است. ویژگی‌های نوار نگهدارنده باید با مشخصات استاندارد ASTM D5249 مطابقت داشته باشد. جنس نوار نگهدارنده باید غیرجاذب، انعطاف‌پذیر و سازگار با ماده درزگیر مورد استفاده بوده و در دمای اجرای درزگیری ذوب نشود. با توجه دمای بالای تزریق مواد آب‌بندی گرم‌ریز باید در انتخاب نوار نگهدارنده مناسب دقت شود.

نوار نگهدارنده از نفوذ ماده درزگیر به درون ترک اصلی در هنگام تزریق و چسبیدن ماده درزگیری به کف شیار برش‌خورده و ایجاد چسبندگی سه‌جانبه جلوگیری می‌کند. چسبیدن ماده درزگیر به کف شیار باعث تضعیف عملکرد درزگیر می‌شود. شکل ماده درزگیر، به خصوص در داخل شیار برش‌خورده، بر عملکرد آن تأثیر می‌گذارد. شکل و ابعاد درزگیر در محل شیار برش‌خورده از پارامترهای اصلی طراحی و شکل‌بندی در درزگیری است که با ضریب شکل نشان داده می‌شود. ضریب شکل، نسبت عرض به عمق ماده درزگیر در داخل درز یا ترک است.

در عملیات درزگیری بدون استفاده از نوار نگهدارنده، ضریب شکل با عملیات برش و شیارزنی کنترل می‌شود. اما در صورت استفاده از نوار نگهدارنده، ضریب شکل با عملیات برش و عمق قرارگیری نوار نگهدارنده کنترل می‌شود.

اگر عمق شیار درز یا ترک بیشتر از ۲۵ میلی‌متر باشد، در صورت اقتصادی بودن توصیه می‌شود پیش از تزریق ماده آب‌بندی، تا عمق ۲۵ میلی‌متر پایین‌تر از سطح روسازی با ماسه پر شود و یا نوار نگهدارنده در داخل درز یا ترک نصب گردد. قطر نوار نگهدارنده باید ۲۵ درصد بزرگتر از عرض ترک یا درز و تقریباً نصف عمق آن باشد. برای مثال، در ترکی به عرض ۱۲ میلی‌متر و عمق ۳۵ میلی‌متر، استفاده از نوار نگهدارنده به قطر ۱۵ میلی‌متر توصیه می‌شود.

در اکثر عملیات درزگیری روسازی‌های آسفالتی، ماده درزگیری گرم‌ریز بطور مستقیم و بدون استفاده از نوار نگهدارنده به درون شیار ترک ریخته می‌شود و در موارد محدودی به نوار نگهدارنده نیاز می‌شود.

۱۷-۱۱-۳ تجهیزات و ماشین‌آلات

۱۷-۱۱-۳-۱ اره برقی یا شیارزن

یک دستگاه شیارزن یا اره برقی که بتواند ترک‌ها و درزها را به عمق قابل تنظیم و با عرض مشخص برش دهد، مورد نیاز است. اره برقی یا شیارزن مورد استفاده در روسازی بتنی باید بتواند ترک‌های موجود را بدون خرد کردن روسازی مجاور ترک برش دهد. اره برقی مورد استفاده در روسازی بتنی با تیغه الماسه باید مجهز به سیستم آب‌پاش شامل شیلنگ‌ها و مخزن آب باشد. اره برقی با توان حداقل ۲۶ کیلووات برای برش‌کاری بتن سخت‌شده توصیه می‌شود.

شیارزن نیز یک دستگاه مکانیکی و مجهز به تیغه‌های سیاره‌ای دوار است که برای برش دادن و عریض‌تر کردن ترک‌ها به منظور ایجاد شیار (کانال) مورد استفاده قرار می‌گیرد. عموماً از دستگاه اره برقی برای ترک‌های نسبتاً مستقیم و از شیارزن برای ترک‌های با پیچ و خم بیشتر استفاده می‌شود. توصیه آن است که اره برقی با تیغه الماسه به قطر حداکثر ۲۰ سانتی‌متر استفاده شود.

۱۷-۱۱-۳-۲ کمپرسور هوا

دستگاه کمپرسور هوا، مجهز به فیلترهای روغن و رطوبت، تأمین‌کننده فشار حداقل ۶۹۰ کیلوپاسکال، جریان حداقل ۴/۲ مترمکعب بر دقیقه و سرعت هوای خروجی حداقل ۱۰۰۰ متر بر ثانیه با یک نازل به قطر حداکثر ۱۹ میلی‌متر برای اجرای عملیات درزگیری مناسب است. کمپرسور هوا باید بتواند هوای خشک بدون روغن را فراهم کند و فشار هوای آن به حدی باید باشد که بتواند ماسه‌ها و نخاله‌ها را از محل درز یا ترک خارج کرده و از سطح روسازی اطراف ترک دور کند.

۱۷-۱۱-۳-۳ لوله هوای داغ

خشک کردن ترک‌ها و درزهای روسازی‌ها از طریق وارد کردن هوای فشرده داغ با استفاده از لوله هوای داغ[1] انجام می‌شود. لوله (لنس) هوای داغ همراه با یک کمپرسور هوا کار می‌کند و باید بتواند هوای فشرده تمیز، بدون روغن و داغ را فراهم کند. لوله هوای داغ با دمای ۱۳۷۵ درجه سلسیوس و سرعت ۶۱۰ متر بر ثانیه برای استفاده در عملیات درزگیری مناسب است.

1. Hot Air Lance

۱۷-۱۱-۳-۴ نازل آب پرفشار

برای خارج کردن ماده درزگیری موجود، نخاله و خاک از داخل درز یا ترک روسازی از یک دستگاه آب پرفشار که بتواند آب را با فشار حداقل ۱۴ مگاپاسکال از نازل خارج کند، استفاده می‌شود. تجهیزات آب‌شویی شامل مخزن آب قرار گرفته روی یک یدک متصل به ماشین یدک‌کش، پمپ، شلنگ فشار بالا، دسته مجهز به ابزار کنترلی قطع جریان آب و نازل هستند.

۱۷-۱۱-۳-۵ دستگاه سندبلاست

دستگاه سندبلاست برای خارج کردن ماده درزگیری موجود، نخاله و خاک از داخل درز یا ترک روسازی و پاک‌سازی دیواره‌های قائم درز یا ترک کاربرد دارد. تجهیزات سندبلاست شامل یک کمپرسور هوا، دستگاه سندبلاست، شلنگ‌ها و نازل از نوع ونتوری[1] و تجهیزات ایمنی است. در دستگاه سندبلاست که به کمپرسور هوا با ظرفیت کافی مجهز باشد، توصیه می‌شود قطر نازل خروجی حداقل ۶ میلی‌متر و قطر لوله‌ها و اتصالات حداقل ۲۵ میلی‌متر باشد.

۱۷-۱۱-۳-۶ تجهیزات ریختن و تزریق ماده درزگیری

گرم‌کردن مواد درزگیر گرم‌ریز اصلاح‌شده پلیمری از نوع مواد آب‌بندی و پرکننده توسط ماشین مخصوص ذوب و تزریق درزگیر انجام می‌شود. استفاده از سیستم گرمایش مستقیم برای گرم‌کردن مواد قیری اصلاح‌شده توصیه نمی‌شود، زیرا باعث گرم شدن ناهمگون و موضعی قیر می‌شود، به خصوص وقتی که ابزار هم‌زدن مواد درزگیر تعبیه نشده باشد. مواد درزگیر ممکن است در اثر گرم کردن تا دماهای بسیار بالا و گرم کردن مکرر یا طولانی‌مدت آسیب ببینند. دستگاهی که برای گرم کردن و تزریق مواد درزگیری تهیه می‌شود، باید برای این منظور مناسب بوده و توسط تولیدکننده ماده درزگیر تأیید شود. مواد درزگیر گرم‌ریز اصلاح‌شده پلیمری باید درون یک دیگ یا مخزن ذوب با سیستم گرمایش غیرمستقیم گرم شوند. این مخزن به شکل دیگ بخار دوجداره ساخته شده و فضای بین جداره‌های داخلی و خارجی آن با روغن یا یک سیال انتقال حرارت پر می‌شود. مخزن ذوب باید مجهز به ابزار کنترل دمای سیال انتقال حرارت بوده و برای حفظ دمای مواد درزگیری در محدوده مشخص‌شده برای تزریق، دقت کافی داشته باشد. این مخزن باید به سیستم هم‌زن و اختلاط دائم مواد درزگیر هم مجهز باشد تا در زمان تزریق، کندروانی و دمای یکنواخت مواد فراهم گردد. در دستگاه تزریق تحت‌فشار که مخزن ذوب به نازل تزریق مواد مجهز است، باید یک پمپ گردش مجدد یا

1. Venturi Sandblasting nozzle

ابزاری برای حفظ دمای مواد درون نازل تزریق فراهم شده باشد.

برای ریختن قیرآبه به درون ترک‌ها نیز می‌توان از پاتیل‌های مخصوص[1] چرخ‌دار یا حمل دستی استفاده کرد.

۱۷-۱۱-۳-۷ ابزار شکل‌دهی ماده درزگیر

برای پرداخت و جمع‌آوری مواد درزگیری روی ترک‌ها و درزها از ابزار U شکل یا V شکل تحت عنوان اسکوئیجی[2] با جنس فلزی یا لاستیکی در کنار نازل ریختن مواد استفاده می‌شود. یک قطعه دیسک‌شکل یا بشقابی مفصلی را نیز می‌توان به نازل تزریق متصل کرده و برای ریختن مواد درزگیری با شکل‌بندی هم‌سطح استفاده کرد. ابزار اسکوئیجی را می‌توان برای اجرای شکل‌بندی‌های نواری و هم‌سطح استفاده کرد. لذا شکل‌بندی نواری معمولاً با این ابزار اجرا می‌شود.

۱۷-۱۱-۳-۸ ابزار نصب نوار نگهدارنده

برای نصب نوار نگهدارنده درون شیار درزها و ترک‌های روسازی‌های آسفالتی و بتنی از ابزار مخصوص استفاده می‌شود. این ابزار باعث می‌شود که نوار نگهدارنده تا عمق مشخص داخل درز یا ترک فرورفته و از آسیب‌دیدن آن جلوگیری شود.

۱۷-۱۱-۴ زمان اجرا و شرایط آب و هوایی

۱۷-۱۱-۴-۱ مواد درزگیری گرم‌ریز

عملیات آب‌بندی ترک‌های روسازی آسفالتی با مواد گرم‌ریز بهتر است در مدت کمی پس از تشکیل ترک‌های فعال و در زمانی از سال انجام شود که هوا نسبتاً خنک تا معتدل باشد (۴ تا ۱۸ درجه سلسیوس). فصول پاییز و بهار برای اجرای عملیات درزگیری به روش آب‌بندی توصیه می‌شود.

عملیات پرکردن ترک‌های روسازی آسفالتی با مواد گرم‌ریز را می‌توان در هر زمان از سال اجرا کرد، اما اجرای آن در هوای خنک تا معتدل مناسب‌تر است. در این شرایط دمایی، ترک‌ها بازشدگی بیشتری دارند و مواد پرکننده بیشتری می‌توان درون آنها تزریق کرد.

برای درزگیری روسازی‌های بتنی با مواد گرم‌ریز نیز توصیه می‌شود که دمای هوا و روسازی حداقل ۴

1. Pouring
2. Squeegee

درجه سلسیوس بوده و روسازی بدون یخبندان باشد. روسازی بتنی برای درزگیری با این مواد باید به مدت حداقل ۷ روز عمل‌آوری شود تا چسبندگی مطلوب حاصل گردد. درزگیرها و پرکننده‌های پیش‌ساخته را در دماهای بالاتر از ۱- درجه سلسیوس می‌توان نصب کرد و روسازی بتنی برای نصب آنها نیاز به عمل‌آوری ندارد.

۱۷-۱۱-۴-۲ مواد درزگیر سردریز

قیرآبه‌های سردریز را می‌توان در دمای محیط بکار برد و یا به اندازه کم تا رسیدن به دمای حدود ۵۰ تا ۶۵ درجه سلسیوس حرارت داد. قیرآبه‌های سردریز بهتر است زمانی استفاده شوند که دمای محیط بالاتر از ۱۰ درجه سلسیوس باشد. اگر چه بعضی از قیرآبه‌ها را می‌توان در دماهای پایین‌تر نیز درون درز و ترک ریخت، اما احتمال بارندگی بطور کلی مانع از ریختن این قیرها می‌شود.

۱۷-۱۱-۵ ایمنی و کنترل ترافیک

عملیات درزگیری ترک‌های روسازی باید در عرض یک خط عبوری از روسازی انجام شود و از انجام کار در خط مجاور ممانعت به عمل آید. در غیر اینصورت باید در خطوط مجاور نیز از یک نفر پرچم‌دار استفاده شود. بازگشایی مسیر به روی ترافیک فقط باید پس از گیرش کامل و عمل‌آمدن ماده درزگیری صورت گیرد تا چرخ وسایل نقلیه باعث کنده شدن و برجای گذاشتن رد ماده درزگیری نشود.

جنبه‌های ایمنی عملیات اجرا بر عملکرد و عمر مفید مواد درزگیری اثرگذار است. اگر اکیپ اجرا و کارگران احساس امنیت نکنند، احتمال اجرای خوب کمتر می‌شود. بنابراین، ابزار کنترل ترافیک باید بتواند ضمن حفظ ترافیک روان، محیط کاری ایمن فراهم کند. در عملیات درزگیری تقاطع‌ها، خیابان‌ها و مسیرهای پرترافیک و مقاطع خاص در راه‌ها باید دقت ویژه‌ای بکار برده شود. در این موارد به تجهیزات ایمنی و افراد پرچم‌دار بیشتری نیاز است. کارگران اکیپ اجرای درزگیری باید در برابر اشیائی که پرتاب می‌شود و همچنین خطرات مرتبط با مواد درزگیری و ماشین‌آلات محافظت شوند. برای همه پرسنل کارگاه و ناظران، استفاده از کلاه ایمنی، جلیقه شبرنگ، پیراهن آستین‌بلند، دستکش، کفش کار و عینک ایمنی باید الزامی باشد. جنبه‌های ایمنی مرتبط با آماده‌سازی و پخش مواد درزگیری نیز باید به کارکنان اکیپ اجرای درزگیری یادآوری گردد.

۱۷-۱۱-۶ روش‌های اجرای درزگیری

۱۷-۱۱-۶-۱ برش و شیارزنی

به‌طور کلی، برش ترک‌ها هنگامی انجام می‌شود که عرض آنها بیشتر از ۶ میلی‌متر باشد. ترک‌ها را باید اندکی عریض کرده و حتی‌المقدور عمق آنها را نباید بیشتر کرد. شکل‌بندی ماده درزگیر درون ترک که با ضریب شکل مشخص می‌شود، بر عملکرد آن تأثیرگذار است. ضریب شکل عبارت است از نسبت عرض به عمق ماده درزگیر که درون شیار برش‌خورده[1] ترک قرار می‌گیرد. بسته به شرایط آب و هوایی، عرض شیار ترک و در نتیجه ضریب شکل درزگیری متغیر است. توصیه می‌شود ضریب شکل برابر ۱ برای درزگیری با مواد گرم‌ریز اصلاح‌شده لاستیکی رعایت شود.

برای تعیین عرض برش شیار ترک در روسازی آسفالتی توصیه می‌شود که موارد زیر رعایت گردد:

- عملیات برش حداقل ۳ میلی‌متر از هر طرف ترک را بردارد.
- عرض برش حداقل ۱۲ و حداکثر ۳۸ میلی‌متر باشد.
- بسته به شرایط آب و هوایی، عرض و عمق شیار برش‌خورده ترک با استفاده از راهنمای جدول (۱۷-۴۹) مشخص می‌شود.

جدول ۱۷-۴۹ راهنمای تعیین ضریب شکل (نسبت عرض به عمق ترک)

شرایط آب و هوایی	عرض ترک (میلی‌متر)	عمق ترک (میلی‌متر)
آب و هوای گرم	۱۲	۱۹
آب و هوای معتدل	۱۹	۱۹
آب و هوای سرد	۳۰	۱۲
آب و هوای بسیار سرد	۳۸	۱۰

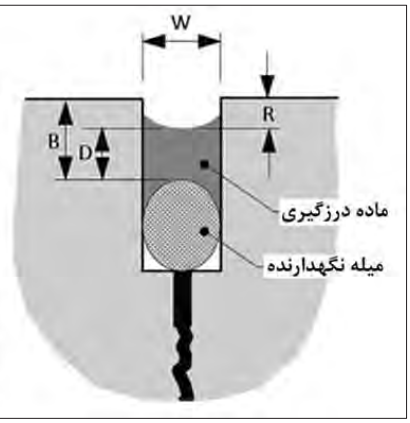
برش با اره برقی یا شیارزنی ترک‌ها برای ایجاد شیار یا کانالی یکدست با زوایای قائم و تا حد ممکن متمرکز بر روی ترک، برای جلوگیری از فروپاشی دیواره‌های ترک و پخش یا قراردادن ماده آب‌بندی انجام می‌شود. در مناطق با تغییرات زیاد سالانه دما اغلب برش ترک انجام می‌شود تا با توجه به جابجایی زیاد ترک‌ها در طول سال، ضریب شکل مناسب مواد درزگیری برای افزایش انعطاف‌پذیری حاصل گردد.

برش یا شیارزنی پیوسته و دقیق ترک‌های پر پیچ و خم دشوار است. بخش‌هایی از این ترک‌ها ممکن است برش نخورد و در نتیجه دو شیار در کنار هم ایجاد شود. در ترک‌های ثانویه که در امتداد ترک‌های اصلی

1. Reservoir

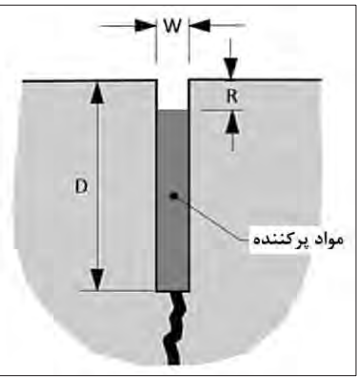
ایجاد می‌شود نیز معضل مشابه وجود دارد. اگر دو شیار برش‌خورده در نزدیکی هم قرار بگیرند، باعث کاهش انسجام روسازی می‌شوند. قاعده کلی این است که فقط ترک‌های ثانویه با فاصله بیش از ۳۰ سانتی‌متر از ترک اصلی برشکاری شوند و ترک‌های با فاصله کمتر از ۳۰ سانتی‌متر نسبت به ترک اصلی فقط پاک‌سازی شده و با مواد درزگیری پر شوند. در شکل‌های (۱۷-۳) و (۱۷-۴) اندازه و ابعاد شیار برش‌خورده و مواد درزگیری برای عملیات آب‌بندی و پرکردن درزها و ترک‌ها در روسازی بتنی توصیه شده است.

مشخصه		مواد درزگیر گرم‌ریز
R	تورفتگی ماده درزگیری	بدون تورفتگی
B	عمق تا بالای میله نگهدارنده	حداقل ۱۶ میلیمتر
D	عمق اسمی ماده درزگیری	حداقل ۱۲ میلیمتر
W	عرض شیار و ماده درزگیری	حداقل ۱۲ میلیمتر
$\frac{W}{D}$	ضریب شکل ماده درزگیری	۱



شکل ۱۷-۳ ابعاد شیار برش‌خورده و مواد درزگیری برای عملیات آب‌بندی در روسازی بتنی

مشخصه		مواد پرکننده ترک
W	عرض شیار	پاک‌سازی دیواره‌های درز برای عرض بیش از ۶ میلیمتر
D	عمق شیار برش‌خورده	برابر با عمق برش‌خورده اولیه
R	تورفتگی ماده پرکننده	۶ تا ۱۰ میلیمتر برای مواد سردریز بدون تورفتگی برای مواد گرم‌ریز



شکل ۱۷-٤ ابعاد شیار برش‌خورده و مواد درزگیری برای عملیات پرکردن در روسازی بتنی

۱۷-۱۱-٦-۲ پاک‌سازی و آماده‌سازی درز و ترک

پس از برش ترک‌های روسازی آسفالتی باید گرد و غبار و نخاله از درون ترک‌ها برداشته شده و برای ریختن مواد درزگیر آماده گردد. ترک‌ها باید با تجهیزات مناسب تمیز و خشک شوند. پاک‌سازی درز مهمترین مرحله اجرای درزگیری در روسازی‌های بتنی است. برای اطمینان از چسبندگی خوب درزگیر، دیواره‌های شیار برش‌خورده به پاک‌سازی کامل نیاز دارند. پس از پاک‌سازی نباید هیچ‌گونه گرد و غبار، آلودگی یا اثر مواد

خارجی روی دیواره‌های درز باقی بماند. در روش آب‌بندی، دیواره‌های درز یا ترک باید به‌طور کامل خشک شده و پس از پاک‌سازی ظاهر بتن تازه را داشته باشند.

بلافاصله پس از برش‌کاری می‌توان همه شیارهای برش‌خورده، ترک‌ها و سطح روسازی مجاور را با هوای فشرده یا فشار آب پاک‌سازی کرد. گرد سیمان، دوغاب برش‌کاری و نخاله‌ها به این روش برداشته شده و برطرف می‌شود. عملیات آب‌شویی بهتر است در یک جهت انجام شود تا نواحی اطراف و قسمت‌های شسته‌شده درزها کمتر آلوده شوند. استفاده از آب پرفشار برای پاک‌سازی ترک در هوای سرد مناسب نیست. در هر حالت باید اطمینان حاصل شود که پوشش گیاهی بطور کامل از بین رفته باشد. از سوی دیگر، فشار آب باید بیش از حد نبوده و محدود گردد تا دیواره‌های شیار ترک آسیب نبیند.

سندبلاست یک عملیات پرتنش است که برای خارج کردن نخاله‌ها و دوغاب برشکاری و همچنین برداشتن تکه‌های آسفالت خردشده ناشی از عملیات برش در روسازی آسفالتی بسیار مؤثر است. این عملیات باید در هوای خشک انجام شود و به دنبال آن با دمیدن هوای فشرده، ماسه‌ها از داخل شیار ترک و سطح راه خارج شود. در روسازی بتنی نیز پس از اینکه درز به اندازه کافی خشک شد، دیواره‌های درز باید تا زیر ماده آب‌بندی موجود با عملیات سندبلاست پاک شوند تا در دیواره‌های قائم یک سطح بتنی تازه، تمیز و خشک ظاهر شود. به هر یک از دیواره‌های شیار ترک و درز باید یک مرتبه عبور افشانه سندبلاست اعمال شود و جریان ماسه و هوا باید به دیواره‌ها برخورد نماید. بطور کلی، نازل سندبلاست باید در فاصله حدود ۱۰ تا ۱۵ سانتی‌متر از شیار ترک و درز نگه‌داشته شود تا بدون آسیب دیدن شیار ترک، پاک‌سازی بطور بهینه انجام پذیرد. نازل سندبلاست نباید بطور مستقیم به داخل درز هدایت شود. زاویه برخورد امتداد سندبلاست به هر دیواره قائم درز یا ترک باید تقریباً ۳۰ درجه تنظیم شود.

از آنجا که در عملیات پاک‌سازی با هوای فشرده، حرارت اعمال نمی‌شود و شیار ترک بطور کامل خشک نمی‌شود، این روش پاک‌سازی وقتی کارآیی مناسب خواهد داشت که روسازی و شیار ترک‌ها کاملاً خشک باشند و دمای محیط نیز خیلی خنک نباشد. اپراتور درزگیری در مرحله پاک‌سازی با هوای فشرده باید حداقل دو مرتبه با نازل هوای فشرده از روی ترک‌ها و درزها عبور کند. در عبور اول، آلودگی، نخاله و خرده‌های روسازی از جای خود در داخل شیار ترک کنده شده و خارج می‌شوند. در زمان اجرای این مرحله، نازل هوای فشرده باید حداقل ۵ سانتی‌متر از ترک فاصله داشته باشد. در عبور دوم نیز همه ذرات خارج شده از شیار ترک به بیرون از مسیر و شانه راه رانده می‌شود. در این مرحله، نازل هوا را می‌توان با فاصله بیشتر از سطح روسازی نگه‌داشت تا سطح برخورد و تأثیر هوای فشرده بزرگتر شود. عملیات پاک‌سازی با هوای فشرده باید بلافاصله

جلوتر از عملیات تزریق مواد درزگیر انجام شود. هرچه فاصله این دو عملیات بیشتر باشد، احتمال ورود مجدد نخاله و مواد خارجی به درون شیار ترک افزایش می‌یابد.

پیش از تزریق ماده درزگیر، می‌توان از لوله هوای داغ برای خشک و گرم کردن دیواره ترک‌ها استفاده کرد. برخلاف عملیات پاک‌سازی با هوای فشرده، دمیدن هوای داغ را می‌توان در شرایط نسبتاً نامناسب برای پاک‌سازی، خشک کردن و گرم کردن ترک‌ها به‌کار برد. اگر از ماده قیری گرم‌ریز برای پرکردن ترک‌ها و درزها استفاده شود، کاربرد لوله هوای داغ مفید است؛ ولی برای قیرآبه‌ها، استفاده از لوله هوای داغ ضرورت ندارد.

اگر یک کانال برش‌خورده یا ترک پس از پاک‌سازی در پایان یک روز کاری درزگیری نشود، در روز کاری بعد باید مجدداً پاک‌سازی شود و سپس عملیات درزگیری ادامه یابد.

۱۷-۱۱-۶-۳ آماده‌سازی و تزریق ماده درزگیر

پیش از تزریق مواد درزگیر درون شیار درزها و ترک‌ها، در صورت نیاز باید نوار نگهدارنده با ابزار مخصوص نصب شود. پیش از نصب نوار نگهدارنده و ریختن ماده درزگیر اطمینان حاصل گردد که درزها و ترک‌ها خشک بوده و داخل آنها با هوای فشرده پاک‌سازی شود. برای نصب نوار نگهدارنده باید چرخ وسط ابزار نصب تنظیم شود تا عمق قرارگیری نوار نگهدارنده مناسب باشد. عمق تنظیم‌شده باید کمی بیشتر از عمق موردنظر باشد، زیرا نوار نگهدارنده در هنگام نصب کمی فشرده می‌شود. انتهای نوار نگهدارنده باید در یک انتهای ترک و سپس در چند نقطه از طول ترک فرو برده شود، به نحوی که کمی شل بوده و کاملاً کشیده نباشد. تا حد امکان باید از کشیدن و پیچاندن نوار نگهدارنده خودداری شود.

نوار نگهدارنده باید با مواد آب‌بندی سازگار باشد و هیچ چسبندگی یا واکنشی نباید بین آن‌ها بوجود آید. نصب و قراردادن ماده آب‌بندی باید هرچه سریعتر پس از قرار دادن نوار نگهدارنده انجام شود تا اطمینان حاصل شود که درزها همچنان تمیز و خشک باشند. اگر پس از نصب نوار نگهدارنده مشاهده شود که درز یا ترک آلوده و یا مرطوب شده است، باید نوار نگهدارنده خارج شود و پس از پاک‌سازی و خشک کردن مجدد، نوار نگهدارنده جدید نصب شود.

مواد درزگیر گرم‌ریز باید ظرف مدت کمتر از ۷۲ ساعت پس از شیارزنی در داخل ترک تزریق شوند. در هنگام تزریق مواد گرم‌ریز نباید هیچگونه نشانه‌ای از رطوبت در سطح روسازی و یا داخل کانال ترک دیده شود. پیش از تزریق ماده درزگیر گرم‌ریز باید آن را درون دیگ ذوب دستگاه تزریق با سیستم گرمایش غیرمستقیم ذوب نمود. رعایت موارد زیر در هنگام گرمایش ماده درزگیر گرم‌ریز توصیه می‌شود:

- دیگ ذوب باید بسته به حجم پروژه و ساعات کاری پر شود تا از حرارت دیدن زیاد ماده درزگیری جلوگیری شود.
- ماده درزگیر باید بدون حرارت دادن بیش از حد، دائماً در دمای توصیه‌شده جهت تزریق یا نزدیک به آن درون مخزن یا دیگ ذوب نگهداری شود.
- مقدار مناسبی از مواد درزگیر گرم همواره باید درون دیگ ذوب نگه‌داشته شود.
- مواد گرم‌ریز باید در زمان ذوب و گرم شدن هم زده شده و مخلوط شوند تا دمای آنها بطور موضعی افزایش نیابد.

عملیات تزریق باید بلافاصله پس از پاک‌سازی و خشک‌کردن ترک انجام گیرد. رعایت موارد زیر برای تزریق ماده درزگیر گرم‌ریز توصیه می‌شود:

- ماده درزگیر باید به‌نحوی توسط نازل درون ترک‌ها و درزها ریخته شود که شیار از پایین به بالا پر شود و فضای خالی در زیر ماده باقی نماند.
- ماده درزگیر به مقدار کافی و مناسب درون شیار ترک یا درز تزریق شود.
- ماده درزگیر با حرکت پیوسته پخش و تزریق شود و با توجه به شکل‌بندی موردنظر، از پر شدن شیار تا سطح معین اطمینان حاصل گردد.
- در بخش‌هایی از طول ترک یا درز که سطح ماده درزگیر درون آن پایین رفته و یا مقدار کمی از ماده در عبور قبلی پخش شده باشد، مجدداً ماده درزگیر پخش گردد.
- زمانی که عملیات تزریق ماده درزگیر متوقف شده باشد، مواد درون نازل به درون مخزن ذوب بازگردانده شود.

پرکردن درزها و ترک‌های روسازی‌ها با قیرآبه‌های نسبتاً ساده است. پیش از پرکردن ترک‌ها، مواد خارجی درون آنها باید با فشار هوا خارج شوند. قیرآبه را می‌توان به روش‌های مختلف درون درز یا ترک ریخت. این قیرها را می‌توان پس از گرم‌کردن مختصر توسط ماشین قیرپاش روی ترک‌ها ریخت و یا توسط سطل (یا پاتیل) مخصوص که در کنار ترک حرکت داده می‌شود، داخل ترک ریخت. ماشین‌های قیرپاش به یک شلنگ و نازل مجهز هستند و با استفاده از نازل نیز می‌توان قیرآبه را داخل ترک ریخت.

اگر عرض ترک‌ها کمتر از ۶ میلی‌متر باشد و در سطح روسازی، ترک‌های مویی یا ترک‌های پوست سوسماری با شدت کم دیده شود، قیرآبه روی سطح محدوده خرابی ریخته شده و با ابزار مناسب به درون

ترک‌ها هدایت می‌شود. پس از پر کردن ترک‌ها با قیرآبه باید فرصت کافی داده شود تا قیرآبه به پایین ترک‌ها جاری شود و داخل آنها را کاملاً پر کند. در این صورت باید مجدداً داخل ترک‌ها را هم‌سطح با روسازی مجاور پر کرد.

اگر عرض ترک‌ها در محدوده ۶ تا ۲۵ میلی‌متر باشد، قیرآبه با استفاده از پاتیل (سطل) مخصوص و یا نازل دستگاه قیرپاش درون ترک‌ها ریخته می‌شود. نازل مورد استفاده برای ریختن قیرآبه باید به اندازه‌ای باشد که بدون آغشته کردن روسازی مجاور، قیر را هم‌سطح با روسازی به درون ترک‌ها بریزد. برای پرکردن ترک‌های به عرض بیش از ۶ میلی‌متر در روسازی آسفالتی توصیه می‌شود دوغاب قیرآبه‌ای یا قیرآبه مخلوط با ماسه درون ترک تزریق شود تا عمق ۳ تا ۶ میلی‌متر از سطح روسازی را پر کند. برای این کار باید از قیرآبه دیرشکن استفاده شود. پس از گیرش اولیه دوغاب یا مخلوط قیرآبه، عمق باقیمانده ترک‌ها را می‌توان با قیرآبه به شکل هم‌سطح با روسازی پر کرد.

پس از تزریق ماده درزگیر، شکل‌دهی آن باید طبق شکل‌بندی موردنظر انجام گیرد. تزریق و شکل‌دهی ماده درزگیر با استفاده از قطعه دیسک مفصلی که به انتهای نازل تزریق متصل می‌شود، در یک مرحله قابل انجام است. همچنین می‌توان یک اسکوئیجی لاستیکی یا فلزی را در کنار نازل تزریق و پشت آن روی ترک یا درز حرکت داد و شکل‌بندی مناسب را به صورت دو مرحله‌ای ایجاد نمود.

در عملیات پرکردن ترک با قیرآبه، بلافاصله پس از ریختن آن درون ترک‌ها می‌توان با استفاده از یک اسکوئیجی کوچک که ترجیحاً مجهز به لبه لاستیکی باشد، قیرآبه را روی ترک‌ها پرداخت کرد تا به شکل هم‌سطح با روسازی در آید. هنگام شکل‌دهی قیرآبه باید اقدام لازم برای جلوگیری از جاری شدن قیر روی سطح روسازی به عمل آید.

۱۷-۱۱-۶-۴ پوشش ماده درزگیر

برای کاهش چسبناکی ماده درزگیر نمایان در سطح روسازی که امکان چسبیدن آن به چرخ وسایل نقلیه عبوری وجود دارد و پیشگیری از به جا گذاشتن رد ترافیک عبوری، باید پس از پخش ماده درزگیر و تا زمان گیرش کامل، سطح درز با مقدار کافی مواد جاذب یا سفت‌کننده پوشش داده شود. پیش از بازگشایی مسیر به روی ترافیک، مواد اضافی باید از سطح راه پاک‌سازی گردد.

برای پوشش مواد درزگیر گرم‌ریز توصیه آن است که از پودر سنگ آهک، پودر تالک یا خاک اره چوب استفاده شود. این مواد باید بلافاصله پس از تزریق و شکل‌دهی درزگیر روی آن پخش شوند تا به خوبی به مواد درزگیر بچسبند و به عنوان یک پوشش موقتی عمل کنند. باید دقت شود که مواد پودری بیش از حد

پخش نشود. برای پخش پودر سنگ یا ماسه ریزدانه روی ماده درزگیر باید دقت شود که گیرش سطح آن به اندازه‌ای صورت گرفته باشد که مواد پوششی به داخل ماده درزگیر نفوذ نکند.

پس از ریختن قیرآبه‌ها به عنوان ماده پرکننده ترک، تا زمان عمل‌آمدن کامل باید از آن محافظت شود. عموماً از ماسه خشک و تمیز با حداکثر اندازه ۳ میلی‌متر به عنوان پوشش قیرآبه‌ای استفاده می‌شود. لایه نازکی از ماسه باید پخش شود و ماده پرکننده به‌طور کامل با آن پوشش داده شود.

۱۷-۱۱-۷ اندازه‌گیری مصالح، برشکاری، پاکسازی و تزریق

درزگیری روسازی‌های آسفالتی و بتنی با مواد و مصالح آب‌بندی و پرکننده در واحد متر طول درزگیری‌شده برای درزها و ترک‌های روسازی، یا در واحد متر مربع سطح درزگیری‌شده و یا در واحد کیلوگرم از مواد درزگیر مصرف‌شده برای درزها و ترک‌های روسازی اندازه‌گیری می‌شود که شامل مواد و مصالح درزگیری، برشکاری، پاک‌سازی درز یا ترک، عملیات سند بلاست و تزریق یا ریختن مواد درزگیر درون ترک‌ها است. نوار نگهدارنده نیز متناظر با طول درزگیری روسازی بطور جداگانه در نظر گرفته می‌شود.

۱۷-۱۲ آسفالت سرد بسته‌بندی شده

۱۷-۱۲-۱ تعریف و محدوده کاربرد

لکه‌گیری، وصله‌کاری و پر کردن چاله‌ها و خرابی‌های موضعی روسازی‌ها یکی از عملیات مهم نگهداری اضطراری برای سازمان‌های راهداری و شهرداری‌ها است، چرا که این عملیات زمان‌بر بوده و هزینه زیادی را به سازمان‌ها و ادارات تحمیل می‌کند. با توجه به اضمحلال سریعتر روسازی در فصل زمستان، عملیات وصله‌کاری چاله‌ها در مناطق با زمستان‌های سرد و مرطوب اهمیت بیشتری دارد. همچنین چاله‌ها و خرابی‌های موضعی روسازی‌ها باید هرچه سریعتر ترمیم شوند تا پیشرفت خرابی‌ها کندتر شده و احتمال آسیب وسایل نقلیه و بروز تصادفات کاهش یابد. آسفالت سرد بسته‌بندی یک نوع مخلوط آسفالتی است که در دماهای پایین‌تر نسبت به آسفالت داغ و یا در دمای محیط با استفاده از مواد قیری با کندروانی کم تولید شده و به منظور لکه‌گیری خرابی‌های موضعی روسازی‌ها و وصله‌کاری چاله‌ها، در دمای محیط مصرف می‌شود. آسفالت سرد بسته‌بندی باید شامل افزودنی‌هایی باشد که کارپذیری مناسب در مدت معین تا قبل از استفاده و چسبندگی و دوام مناسب بعد از اجرا را تأمین نماید. با توجه به اینکه غالباً در دماهای پایین فصول سرد سال و شرایط مرطوب یا بارندگی، لکه‌گیری خرابی‌های روسازی (پر کردن چاله‌ها) با استفاده از آسفالت داغ با چالش

همراه بوده وگاهی ناممکن است، آسفالت سرد بسته‌بندی راهکار مناسبی به این منظور است.

با توجه به نوع مواد و افزودنی‌های قابل مصرف و روش تولید، برخی از انواع آسفالت‌های سرد بسته‌بندی قابلیت اجرا و مصرف در شرایط خیس را دارند که استفاده از آن‌ها برای فصول سرد و نواحی مستعد بارش ارجحیت دارد.

انتظار می‌رود که آسفالت سرد بسته‌بندی عملکرد متنوعی شامل پیوستگی، کارپذیری، استحکام بعد از گیرش، دوام در برابر آب و مقاومت در برابر عریان‌شدگی داشته باشد. آسفالت سرد بسته‌بندی باید در دماهای اجرا، به‌خصوص در دماهای پایین فصل زمستان، از چسبندگی کافی و پیوستگی مناسب برخوردار باشد تا پس از قرارگیری در محل چاله، در اثر عبور چرخ وسایل نقلیه متلاشی نشده و از محل خرابی خارج نشود؛ بلکه با عبور ترافیک روی آن متراکم‌تر شود. آسفالت سرد بسته‌بندی پس از قرارگیری درون چاله و گیرش کامل، باید استحکام کافی داشته باشد تا عبور چرخ وسایل نقلیه از روی آن باعث موج‌زدگی سطح ترمیم‌شده و بیرون زدن مواد از کناره چاله نگردد. همچنین باید از کارپذیری مناسب در دماهای پایین برخوردار باشد تا امکان ریختن در محل خرابی و تراکم اولیه برای آن وجود داشته باشد. این نوع آسفالت باید درون چاله‌های خیس و محل‌های مرطوب به دیواره‌ها و کف خرابی موجود چسبیده و دچار عریان‌شدگی نشود. همچنین باید در برابر چرخه‌های ذوب و یخبندان مقاوم بوده و در اثر خرابی رطوبتی مضمحل نشود.

آسفالت سرد بسته‌بندی شده اصولاً به منظور نگهداری اضطراری راه‌ها و پر کردن چاله‌ها در زمانی که امکان اصلاح خرابی به صورت اساسی وجود ندارد، مورد استفاده قرار می‌گیرد. به همین جهت طول عمر آسفالت سرد بسته‌بندی پس از اجرا، باید به اندازه رسیدن شرایط مناسب جهت اصلاح اساسی روسازی مضمحل شده باشد.

۱۷-۱۲-۲ مواد و مصالح

آسفالت سرد بسته‌بندی از مصالح سنگی، ماده قیری و افزودنی‌های مختلف تشکیل شده است. مصالح سنگی باید مشخصات عمومی تولید آسفالت سرد را داشته باشد. ماده قیری نیز می‌تواند از انواع قیر خالص اصلاح شده و یا قیرآبه دارای افزودنی‌های خاص تشکیل شده باشد. تولید کننده آسفالت سرد کیسه‌ای باید از انواع افزودنی شیمیایی و پلیمری اصلاح‌کننده قیر و آسفالت جهت کاهش گرانروی ماده قیری، افزایش کارپذیری، بهبود چسبندگی و کاهش حساسیت رطوبتی استفاده کند. استفاده از قیر محلول، به دلیل مخاطرات زیست محیطی، ایمنی، اقتصادی و دوام پایین آن در بلندمدت مجاز نیست. در مجموع انتخاب نوع و جنس مصالح سنگی، ماده قیری و افزودنی‌های مورد نیاز بر عهده تولید کننده آسفالت سرد کیسه‌ای است، به‌طوری

که کارپذیری این محصول در زمان انبار کردن حفظ شده و چسبندگی و استحکام آن پس از اجرا و دوام آن در برابر خرابی‌های رطوبتی تضمین گردد.

۱۷-۱۲-۳ طراحی

آسفالت سرد بسته‌بندی باید به منظور دوام در برابر تغییرشکل‌های ماندگار و موجزدگی از استحکام کافی برخوردار باشد. به این منظور باید از مصالح سنگی با مقدار ریزدانه بیشتر و مقدار قیر کمتری استفاده شود. لیکن کاهش مقدار قیر مصرفی و افزایش مقدار ریزدانه‌ها منجر به کاهش کارپذیری آسفالت سرد بسته‌بندی در زمان اجرا خواهد شد. از این رو انتخاب دانه‌بندی مناسب برای مصالح سنگی و درصد قیر بهینه که بتواند همه انتظارات را برآورد سازد، اهمیت قابل توجهی دارد و بر عهده تولید کننده آسفالت سرد کیسه‌ای است.

۱۷-۱۲-۴ روش اجرا

آسفالت سرد بسته‌بندی به صورت سرد مصرف می‌گردد. برای مصرف آسفالت سرد بسته‌بندی، پس از پاکسازی محل خرابی و درون چاله‌ها و برداشتن تکه‌های سست روسازی، این آسفالت در لایه‌های معمولاً به ضخامت کمتر از ۷ سانتی‌متر در محل خرابی ریخته شده و پس از هموار کردن آن، با استفاده از کوبه صفحه‌ای، غلتک‌های صفحه‌ای لرزان و یا عبور چرخ وسایل نقلیه متراکم می‌شود. حداکثر سطح قابل اجرا برای آسفالت سرد کیسه‌ای، معادل چاله‌ای به قطر یک مترمربع است. استفاده از آسفالت سرد بسته‌بندی برای لکه‌گیری گسترده مناسب نیست، ولی می‌توان از آن برای پر کردن اطراف دریچه آدم‌روها، تاسیسات، نوارهای حفاری کم عرض و غیره استفاده کرد.

برخی از انواع آسفالت سرد کیسه‌ای، نیازمند خشک کردن سطح جاده و قیرپاشی قبل از اجرا هستند. بسته به دما و شرایط محیطی و ترافیکی، عمل‌آمدن و گیرش نهایی آسفالت سرد بسته‌بندی ممکن است تا چند روز به طول انجامد؛ ولی باید بلافاصله پس از اجرای آن قابلیت عبور ترافیک وجود داشته باشد.

چاله لکه‌گیری شده باید دارای تاجی حدود یک سانتی‌متر باشد که پس از عبور ترافیک و رسیدن به تراکم نهایی، هم سطح کناره آن گردد.

ممکن است به دلیل فشردگی ناشی از قرارگیری کیسه‌ها روی هم، آسفالت سرد داخل بسته‌بندی حالت کلوخه و متراکم داشته باشد. از این رو نیاز است که هنگام خارج کردن آن از بسته‌بندی، کلوخه‌ها را توسط فشار پا یا بیل دستی از هم باز کرد. بطور کلی، تولید کننده آسفالت سرد بسته‌بندی باید جزئیات کامل روش مصرف و اجرا را در اختیار مصرف‌کننده قرار دهد.

۱۷-۱۲-۵ بسته‌بندی، انبار کردن و تاریخ مصرف

آسفالت سرد بسته‌بندی را می‌توان در کیسه‌های پلاستیکی یا سطل‌های ۱۵ تا ۳۰ کیلوگرمی (بسته به درخواست مصرف کننده) تحویل داد. در صورت استفاده از کیسه پلاستیکی، باید ضخامت کافی جهت جلوگیری از انتقال هوا و اشعه فرابنفش داشته باشد. انبار کردن آسفالت سرد بسته‌بندی باید در محیط سرپوشیده و دارای دیوار صورت پذیرد. سرد شدن بیش از حد آسفالت سرد بسته‌بندی باعث سفت شدن آن می‌شود. در این صورت، قبل از اجرا باید آن را در محیطی گرم قرار داد. در صورت استفاده از بسته‌بندی کیسه پلاستیکی، نباید بیش از ۵ کیسه روی هم قرار داده شود تا محتویات داخل کیسه‌های پایینی تحت فشار متراکم نگردند. حداقل تاریخ مصرف آسفالت سرد کیسه‌ای در شرایط انبار کردن مناسب باید ۶ ماه از زمان تولید باشد و این تاریخ باید روی تمامی بسته‌ها درج شود. انبار کردن آسفالت سرد بسته‌بندی داخل کیسه باید روی پالت‌های چوبی باشد تا قرارگیری کیسه‌ها از سطح زمین با فاصله باشد.

۱۷-۱۲-۶ کنترل کیفیت

۱۷-۱۲-۶-۱ درصد قیر و دانه‌بندی

دانه‌بندی و درصد قیر و رواداری‌های مربوطه باید توسط تولید کننده به مصرف کننده اعلام گردد. مقدار قیر آسفالت سرد بسته‌بندی را می‌توان با انجام آزمایش تجزیه مخلوط‌های آسفالتی با حلال به روش‌های استاندارد ASTM D2172 یا AASHTO T164 تعیین کرد. همچنین دانه‌بندی مصالح سنگی حاصل از تجزیه آسفالت سرد بسته‌بندی با انجام آزمایش طبق استاندارد ASTM D5444 یا AASHTO T30 تعیین می‌شود. پیش از انجام آزمایش تجزیه، آسفالت سرد بسته‌بندی باید درون گرم‌خانه تا رسیدن به وزن ثابت گرمادهی شود.

۱۷-۱۲-۶-۲ تعیین پوشش باقیمانده مواد قیری به روش آب‌جوشان

آزمایش تعیین پوشش باقیمانده مواد قیری به روش آب‌جوشان برای ارزیابی دوام در برابر آب و عریان‌شدگی آسفالت سرد بسته‌بندی استفاده می‌شود. انجام این آزمایش روی آسفالت سرد بسته‌بندی به روش استاندارد ASTM D3625 پس از عمل‌آوری گرمایی توصیه می‌شود. روش عمل‌آوری گرمایی در آزمایشگاه باید توسط تولید کننده آسفالت سرد بسته‌بندی اعلام شود. حداقل مقدار پوشش قیری باقیمانده در آزمایش آب جوشان برابر با ۸۰ درصد است و استفاده از مواد افزودنی افزاینده چسبندگی قیر به مصالح سنگی برای مخلوط‌های با عملکرد ضعیف الزامی است.

۱۷-۱۲-۶-۳ آزمایش پیوستگی و انسجام مخلوط در سرما

پیوستگی آسفالت سرد بسته‌بندی در سرما[1] برای عملکرد مناسب این نوع آسفالت لکه‌گیری در دماهای پایین فصل‌های سرد اهمیت قابل‌توجه دارد. آزمایش پیوستگی در سرما به روش الک غلتان در دستورالعمل MTO LS-290 معرفی شده است. در این آزمایش، نمونه متراکم آسفالت سرد به روش مارشال در دمای پایین (انتخاب دما با توجه به شرایط دمایی محل مصرف است) ساخته شده و پس از قرارگیری نمونه درون الک ۱۹ میلی‌متر، مقدار افت وزنی ناشی از سایش در اثر غلتیدن الک و حرکت نمونه درون الک تعیین می‌شود. شاخص پیوستگی در سرما، نسبت وزن نمونه پس از سایش به وزن اولیه آن است و حداقل مقدارآن برابر ۶۰ درصد مشخص شده است.

خلاصه روش آزمایش

- آسفالت سرد غیرمتراکم به مقدار حدود ۱۰۰۰ گرم درون سینی فلزی پخش شده و به مدت حداقل ۱۲ ساعت درون فریزر (در دمای انتخابی با توجه به شرایط محیطی) درجه سلسیوس قرار داده می‌شود.
- قالب مارشال و چکش مارشال نیز به مدت حداقل ۲ ساعت درون فریزر قرار داده می‌شود.
- ابزار تراکم و قالب به همراه مخلوط از فریزر خارج شده و بلافاصله یک نمونه ۴ اینچی به ارتفاع حدود ۶۳ میلی‌متر با اعمال ۵ ضربه چکش تراکم مارشال به هر طرف نمونه ساخته می‌شود.
- یک الک گرد با قاب ۳۰ سانتی‌متری و اندازه الک ۱۹ میلی‌متر به همراه درپوش آن به حالت قائم درون یک سینی فلزی به طول ۵۵ و عرض ۴۵ سانتی‌متر قرار داده می‌شود.
- نمونه متراکم ساخته‌شده به روش فوق بلافاصله از قالب خارج شده و به نحوی که دو وجه موازی آن به موازات توری الک باشد، درون الک و در پایین‌ترین نقطه قرار داده شده و درپوش الک روی آن گذاشته می‌شود.
- الک به یک انتهای سینی آورده شده و در مدت ۲۰ ثانیه به تعداد ۲۰ سیکل با حرکت غلتشی به سمت جلو و عقب جابجا می‌شود.
- الک از سینی برداشته شده و به صورت افقی نگه‌داشته می‌شود تا با حرکت ملایم، خرده‌های جدا شده از نمونه به داخل سینی ریخته شود. سپس قسمت‌های مانده و جدا شده از نمونه وزن شده و مقدار شاخص پیوستگی با استفاده از رابطه (۱۷-۱۶) محاسبه می‌شود. میانگین نتیجه آزمایش روی سه نمونه به عنوان نتیجه آزمایش پیوستگی گزارش می‌گردد.

1. Cold mix cohesion

$$C.I. = \frac{R}{R+P} \times 100 \qquad (۱۶-۱۷)$$

در این رابطه:

C.I. : شاخص پیوستگی (درصد)، و

R : وزن نمونه مانده روی الک ۱۹ میلی‌متر (گرم)، و

P : وزن نمونه عبوری از الک ۱۹ میلی‌متر (گرم) است.

۱۷-۱۲-۶-۴ کارپذیری

کارپذیری[1] آسفالت سرد بسته‌بندی در سرما با انجام آزمایش به روش استاندارد ASTM D6704 تعیین می‌شود. در این استاندارد و به منظور کارپذیری مناسب آسفالت سرد بسته‌بندی در محدوده‌های دمایی مختلف، مقدار حداکثر شاخص کارپذیری توصیه شده است. برای انجام آزمایش، آسفالت سرد بسته‌بندی در دمای ۲۵ درجه سلسیوس درون قالب مکعبی ریخته شده و متراکم می‌گردد. نمونه متراکم پس از نگهداری در دمای پایین آزمایش (انتخاب دما با توجه به شرایط دمایی محل مصرف است)، در دستگاه بارگذاری مارشال قرار داده شده و حداکثر نیروی وارده بر آن برای نفوذ یک تیغه استاندارد به عنوان شاخص کارپذیری اندازه‌گیری می‌شود. با توجه به شرایط دمایی کشور، حداکثر نیروی ۲۰۰۰ نیوتن به عنوان معیار کارپذیری توصیه می‌شود.

۱۷-۱۲-۷ اندازه‌گیری وزن مواد تحویل

میزان آسفالت سرد بسته‌بندی بر اساس مجموع وزن مواد تحویل گرفته شده از تولید کننده (بر اساس اوزان باسکول) اندازه‌گیری می‌شود.

1. Workability

۱۸

آسفالت سرد

۱۸-۱ کلیات

آسفالت سرد[1] مخلوطی از مصالح سنگی و قیرهای قیرآبه یا محلول است که عمل اختلاط قیر و مصالح سنگی در دمای محیط انجام شده و در همین دما پخش و متراکم می‌گردد. به دلیل مسائل زیست محیطی، ایمنی و اقتصادی مربوط به قیرهای محلول، استفاده از این نوع قیرها به جز در مواردی که مهندس مشاور ضروری بداند، مجاز نیست.

۱۸-۲ مزایای آسفالت سرد

مزایای استفاده از آسفالت سرد عبارتند از:

- **تنوع زیاد**

برای تهیه آسفالت سرد، انواع رده‌های قیرهای محلول و قیرآبه‌ها برای انطباق با شرایط و نیازهای مربوط به آب و هوا و مصالح سنگی متفاوت، موجود است.

- **اقتصادی**

از مزایای اقتصادی استفاده از آسفالت سرد می‌توان به حجم تولید بالا با استفاده از ماشین‌آلات و سرمایه اولیه کمتر، استفاده از مصالح سنگی در محل و حذف عملیات حمل و نیز بکارگیری ماشین‌آلات نسبتا کم برای اجرای آسفالت سرد نام برد.

- **عدم آلایندگی**

با توجه به عدم نیاز به واحد خشک‌کننده برای گرم‌کردن مصالح سنگی، گازهای آلاینده ایجاد نشده و گرد و غبار بسیار کمی تولید می‌شود. همچنین هنگام استفاده از قیرآبه، بخار قیر و بوی بد به وجود نمی‌آید.

۱۸-۳ موارد کاربرد آسفالت سرد

آسفالت سرد برای لایه‌های رویه، آستر، اساس و زیر اساس کاربرد دارد. در لایه رویه برای ترافیک سبک و متوسط و در لایه‌های زیرین برای همه ترافیک‌ها مناسب است. اگرچه از مخلوط آسفالت سرد قیرآبه‌ای با دانه‌بندی باز به دلیل تجهیزات ساده کارخانه تولید آسفالت و نیز قابلیت نرخ تولید بالای مخلوط می‌توان به

1. Cold Mix Asphalt

عنوان لایه رویه در راه‌های با ترافیک سنگین استفاده کرد. همچنین آسفالت‌های سرد در تعمیرات موضعی نظیر لکه‌گیری‌ها، پرکردن چاله‌ها، پرکردن ترک‌ها و ...به کار گرفته می‌شوند.

۱۸-۴ 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.

۱۸-۴-۱ آسفالت سرد کارخانه‌ای

آسفالت سرد کارخانه‌ای در کارخانه ثابت آسفالت تهیه شده و برای پخش به محل پروژه حمل می‌شود. در کارخانه آسفالت سرد، کنترل‌های لازم جهت تنظیم دانه‌بندی، توزین سنگدانه‌ها و اختلاط با قیر، مشابه آسفالت داغ انجام می‌شود. اگر رطوبت مصالح بیش از ۳ درصد نباشد، معمولاً مراحل گرم و خشک کردن سنگدانه‌ها از عملیات تولید حذف می‌گردد.

۱۸-۴-۲ آسفالت سرد مخلوط در محل

تولید مخلوط‌های آسفالت سرد مخلوط در محل در کنار راه و با وسایلی نظیر مخلوط‌کننده چرخشی[3]، مخلوط‌کن تیغه‌ای[4] یا ماشین اختلاط سیار[5] انجام می‌گیرد. سپس عملیات پخش با استفاده از ماشین‌آلات مختلف نظیر گریدر[6] و یا وسایل نظیر آن انجام می‌شود. آسفالت سرد مخلوط در محل به روش مخلوط در کارگاه نیز تهیه می‌شود. در این روش عمل اختلاط قیر و سنگدانه در کارگاه‌های ثابت یا موقت انجام شده و مخلوط تهیه شده برای پخش به محل مصرف حمل می‌شود.

۱۸-۴-۳ انتخاب روش تولید مخلوط آسفالت سرد

در انتخاب نوع روش مناسب تولید مخلوط آسفالت سرد عوامل مختلفی نظیر محل و موقعیت پروژه، وسعت و اندازه پروژه، امکان کنترل ترافیک و یا مسدود کردن راه، لزوم استفاده از مصالح سنگی قرضه با کیفیت مناسب

1. Central Plant Mix
2. Mixed-in-Place (Road Mix)
3. Rotary Mixer
4. Blade Mixer
5. Travel Plant
6. Motor Grader

برای بهبود مشخصات مخلوط آسفالت سرد، نوع و ضخامت روسازی و شرایط آب و هوایی منطقه باید مد نظر قرار گیرد.

با توجه به ظرفیت زیاد تولید و امکان کنترل کیفیت بهتر آسفالت سرد در کارخانه، تولید کارخانه‌ای آسفالت سرد نسبت به روش‌های اجرای آسفالت سرد در محل مناسب‌تر است. امتیاز اصلی آسفالت سرد مخلوط در محل، استفاده مصالح سنگی موجود بر روی جاده و یا منابع محلی نزدیک می‌باشد.

استفاده از آسفالت سرد کارخانه‌ای حاوی قیرآبه مزایای زیر را نیز نسبت به آسفالت داغ دارد:

- اقتصادی: مصرف سوخت کمتر و هزینه اولیه کمتر برای ماشین‌آلات
- محیط زیستی: آلودگی کمتر محیط در محل کارخانه و محل پروژه به دلیل دماهای کم تولید و اجرا
- ایمنی: افزایش ایمنی کارگران در کارخانه و محل پروژه به دلیل دمای پایین قیر و مصالح

۱۸-۵ مشخصات فنی مصالح سنگی آسفالت سرد

۱۸-۵-۱ کلیات

دامنه وسیعی از مصالح سنگی شامل مصالح کوهی شکسته، مصالح رودخانه‌ای، مصالح سرباره کوره آهنگدازی/ فولاد، خاک‌های دانه‌ای تا ماسه لای دار می‌توانند برای ساخت مخلوط‌های آسفالت سرد با قیرآبه و قیر محلول مورد استفاده قرار گیرند. مصالح سنگی بکار رفته در مخلوط آسفالت سرد باید مشخصات ارایه شده در جدول (۱۸-۱) را برآورده سازند.

جدول ۱۸-۱ مشخصات مصالح سنگی مخلوط آسفالت سرد

آزمایش	مشخصات	روش آزمایش	
		ASTM	AASHTO
افت وزنی مصالح سنگی درشت‌دانه با آزمایش سایش لس‌آنجلس- حداکثر	٪۴۰	C 131	T96
افت وزنی مصالح سنگی درشت‌دانه با سولفات سدیم - حداکثر	٪۱۲	C88	T104
افت وزنی مصالح سنگی درشت‌دانه با سولفات منیزیم- حداکثر	٪۱۸	C88	T104
افت وزنی مصالح سنگی ریزدانه با سولفات سدیم- حداکثر	٪۱۵	C88	T104
افت وزنی مصالح سنگی ریزدانه با سولفات منیزیم- حداکثر	٪۲۰	C88	T104
وزن واحد حجم مصالح سنگی درشت‌دانه چنانچه از نوع سرباره باشد- حداقل	۱۱۲۰ کیلوگرم بر متر مکعب	C29	T19
ارزش ماسه‌ای برای خاک‌ها و مصالح سنگی ریزدانه برایتعیین ریزدانه‌های خمیری- حداقل	٪۳۵	D2419	T176
دامنهٔ خمیری (PI) مصالح عبوری از الک شماره ۴۰ در صورت عدم استفاده از سیمان و آهک هیدراته - حداکثر	٪۴	D4318	T90
شکستگی در حداقل یک جبههٔ سنگدانه‌ها- حداقل	٪۶۵	D5821	T335

علاوه بر مشخصات ارایه شده در جدول ۱۸-۱، خواص زیر نیز باید مد نظر قرار گیرد:

- وقتی از مصالح ریزدانه برای ساخت مخلوط آسفالت سرد استفاده می‌شود (هنگام استفاده از آسفالت سرد ماسه‌ای یا ریزدانه[1])، اختلاط و هوادهی و تراکم آسفالت سرد با مشکلاتی همراه است. برای ارزیابی مناسب‌بودن مصالح ریزدانه، حاصلضرب شاخص خمیری[2] (PI) و درصد عبوری از الک شماره ۲۰۰ کمتر از ۷۲ باشد. همچنین درصد عبوری از الک شماره ۲۰۰ کمتر از ۲۵ باشد.
- در صورت بکارگیری آسفالت سرد به عنوان لایه رویه اصطکاکی با دانه‌بندی باز[3]، باید شکستگی در حداقل یک جبهه مصالح سنگی حداقل ٪۹۰ و شکستگی در حداقل دو جبهه مصالح سنگی حداقل ٪۷۵ باشد. همچنین مصالح درشت‌دانه باید مقاومت سایشی کافی داشته باشند.

1. Sand or Soil Cold Mix
2. Plasticity Index
3. Open- Graded Friction Course

۱۸-۵-۲ دانه‌بندی مصالح سنگی

دانه‌بندی مصالح سنگی آسفالت سرد مورد استفاده در ساخت راه‌ها برحسب این که پیوسته[1] یا باز[2] انتخاب شود، باید در محدوده یکی از دانه‌بندی‌های پیوسته و یا باز ارایه شده در جدول ۱ استاندارد ASTM D3515 باشند. این دانه‌بندی‌ها با توجه به ضخامت قشر آسفالتی، ترافیک و شرایط آب و هوایی منطقه تعیین می‌شود. دانه‌بندی‌های اجزای درشت‌دانه و ریزدانه برای اختلاط و تامین دانه‌بندی مشخصات با توجه به حداکثر اندازه اسمی سنگدانه‌ها[3]، باید به ترتیب مطابق دانه‌بندی‌های مصالح درشت‌دانه بر اساس استاندارد ASTM D448 و دانه‌بندی‌های مصالح ریزدانه بر اساس استانداردASTM D1073 انتخاب شوند. انتخاب دانه‌بندی‌های درشت و ریز دیگر که بتوانند دانه‌بندی مشخصات را تأمین کند، قابل قبول خواهد بود. چنانچه برای تأمین دانه‌بندی مخلوط سنگدانه‌ها از فیلر استفاده شود، مشخصات آن باید با استاندارد ASTM D242 مطابقت داشته باشد. در صورت استفاده از آسفالت سرد برایلکه‌گیری[4]، دانه‌بندی مصالح سنگی مطابق جدول (۱۸-۲) می‌باشد.

مصالح سنگی شکسته با دانه‌بندی پیوسته دارای حداکثر اندازه[5] ۵۰ میلی‌متر (یا دو سوم ضخامت لایه، هر کدام که کمتر باشد) و حداکثر مقدار عبوری از الک شماره ۲۰۰ برابر با ۱۰٪، معمولاً عملکرد بسیار مناسبی برای لایه اساس دارند. برای اقتصادی بودن، از خروجی سنگ شکن که حاوی مصالح سنگی با حداکثر اندازه کوچکتر از ۵۰ میلی‌متر است، می‌توان برای لایه رویه استفاده کرد. مصالح سنگی شکسته و با دانه‌بندی پیوسته برای همه لایه‌های روسازی مناسب هستند، ولی مصالح با دانه‌بندی میان‌تهی[6] یا یکنواخت[7] اغلب برای لایه اساس توصیه می‌شود. چنانچه برای تهیه مخلوط‌های آسفالت سرد از قیرآبه استفاده شود می‌توان علاوه بر دانه‌بندی‌های مورد اشاره از دانه‌بندی‌های دیگری نیز استفاده کرد. مخلوط‌های آسفالت سرد قیرآبه‌ای با توجه به نوع دانه‌بندی مصالح سنگی به سه دسته مخلوط‌های با دانه‌بندی پیوسته[8]، مخلوط‌های با دانه‌بندی باز[9] و مخلوط‌های ماسه‌ای[10] طبقه‌بندی می‌شوند.

---

1. Dense Graded Aggregates
2. Open-Graded Aggregates
3. Nominal Maximum Aggregate Size
4. Patching
5. Maximum Size
6. Gap-Graded Aggregates
7. Poorly-Graded Aggregates
8. Dense-Graded Cold Mixes Using Asphalt Emulsions
9. Open-Graded Cold Mixes Using Asphalt Emulsions
10. Sand Cold Mixes Using Asphalt Emulsions

جدول ۱۸-۲ دانه‌بندی آسفالت سرد لکه‌گیری برای مصارف غیرفوری[1]

اندازه الک	درصد عبوری از الک		
	۱	۲	۳
۲۵٫۰ میلی‌متر (۱ اینچ)	۱۰۰	–	–
۱۹٫۰ میلی‌تر ($\frac{۳}{۴}$ اینچ)	۹۰–۱۰۰	۱۰۰	–
۱۲٫۵ میلی‌متر ($\frac{۱}{۲}$ اینچ)	–	۹۰–۱۰۰	۱۰۰
۹٫۵ میلی‌متر ($\frac{۳}{۸}$ اینچ)	۶۰–۸۰	–	۹۰–۱۰۰
۴٫۷۵ میلی‌متر (شماره ۴)	۳۵–۶۵	۴۵–۷۰	۶۰–۸۰
۲٫۳۶ میلی‌متر (شماره ۸)	۲۰–۵۰	۲۵–۵۵	۳۵–۶۵
۳۰۰ میکرومتر (شماره ۵۰)	۳–۲۰	۵–۲۰	۶–۲۵
۷۵ میکرومتر (شماره ۲۰۰)	۲–۸	۲–۹	۲–۱۰

۱۸-۵-۲-۱ آسفالت سرد قیرآبه‌ای با دانه‌بندی پیوسته

آسفالت سرد قیرآبه‌ای با دانه‌بندی پیوسته دامنه گسترده‌ای از دانه‌بندی‌ها را شامل می‌شود و برای لایه‌های اساس قیری، آستر و رویه کاربرد دارد. فضای خالی این آسفالت بلافاصله پس از پخش و تراکم، ۴ الی ۱۰ درصد است. دانه‌بندی‌های پیوسته آسفالت سرد قیرآبه‌ای مطابق جدول (۱۸-۳) می‌باشند.

1. Patching, Stockpile

جدول ۱۸-۳ دانه‌بندی پیوسته مخلوط آسفالت سرد قیرآبه‌ای

اندازه الک	درصد عبوری از الک				
	۱	۲	۳	۴	۵
۵۰٫۰ میلی‌متر (۲ اینچ)	۱۰۰	–	–	–	–
۳۷٫۵ میلی‌متر (۱٫۵ اینچ)	۹۰–۱۰۰	۱۰۰	–	–	–
۲۵٫۰ میلی‌متر (۱ اینچ)	–	۹۰–۱۰۰	۱۰۰	–	–
۱۹٫۰ میلی‌متر ($\frac{۳}{۴}$ اینچ)	۶۰–۸۰	–	۹۰–۱۰۰	۱۰۰	–
۱۲٫۵ میلی‌متر ($\frac{۱}{۲}$ اینچ)	–	۶۰–۸۰	–	۹۰–۱۰۰	۱۰۰
۹٫۵ میلی‌متر ($\frac{۳}{۸}$ اینچ)	–	–	۶۰–۸۰	–	۹۰–۱۰۰
۴٫۷۵ میلی‌متر (شماره ۴)	۲۰–۵۵	۲۵–۶۰	۳۵–۶۵	۴۵–۷۰	۶۰–۸۰
۲٫۳۶ میلی‌متر (شماره ۸)	۱۰–۴۰	۱۵–۴۵	۲۰–۵۰	۲۵–۵۵	۳۵–۶۵
۳۰۰ میکرومتر (شماره ۵۰)	۲–۱۶	۳–۱۸	۳–۲۰	۵–۲۰	۶–۲۵
۷۵ میکرومتر (شماره ۲۰۰)	۰–۵	۱–۷	۲–۸	۲–۹	۲–۱۰

۱۸-۵-۲-۲ آسفالت سرد قیرآبه‌ای با دانه‌بندی باز

برای تهیه آسفالت سرد قیرآبه‌ای با دانه‌بندی باز از مصالح سنگی درشت‌دانه‌تر (نسبت به آسفالت سرد قیرآبه‌ای با دانه‌بندی پیوسته) که ذرات ریزتر از الک شماره ۲۰۰ آن کمتر از ۲ درصد باشد، استفاده می‌شود. لایه‌های اساس و آستر و رویه ضخیم دارای دانه‌بندی باز در ضخامت‌های ۵۰ تا ۲۰۰ میلی‌متر پخش می‌شوند. این لایه‌ها از سنگدانه‌هایی با مقدار عبوری از الک شماره ۸ کمتر از ۱۰٪ ساخته شده و دارای ۲۰ الی ۳۰ درصد فضای خالی پس از تراکم می‌باشد. از آسفالت سرد قیرآبه‌ای با دانه‌بندی باز می‌توان به عنوان لایه رویه اصطکاکی در ضخامت‌های متراکم ۱۶ الی ۱۹ میلی‌متر استفاده نمود. بدین منظور مصالح سنگی با حداکثر اندازه ۹٫۵ میلی‌متر مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این حالت بهتر است که فضای خالی پس از تراکم ۱۵٪ باشد. دانه‌بندی‌های باز آسفالت سرد قیرآبه‌ای مطابق جدول (۱۸-۴) می‌باشند.

جدول ۱۸-۴ دانه‌بندی باز مخلوط آسفالت سرد قیرآبه‌ای

اندازه الک	درصد عبوری از الک			
	اساس و آستر و رویه ضخیم			رویه اصطکاکی
	۱	۲	۳	۴
۳۷/۵ میلی‌متر (۱/۵ اینچ)	۱۰۰	–	–	–
۲۵/۰ میلی‌متر (۱ اینچ)	۹۵–۱۰۰	۱۰۰	–	–
۱۹/۰ میلی‌متر ($\frac{۳}{۴}$ اینچ)	–	۹۰–۱۰۰	–	–
۱۲/۵ میلی‌متر ($\frac{۱}{۲}$ اینچ)	۲۵–۶۰	–	۱۰۰	–
۹/۵ میلی‌متر ($\frac{۳}{۸}$ اینچ)	–	۲۰–۵۵	۸۵–۱۰۰	۱۰۰
۴/۷۵ میلی‌متر (شماره ۴)	۰–۱۰	۰–۱۰	–	۳۰–۵۰
۲/۳۶ میلی‌متر (شماره ۸)	۰–۵	۰–۵	۰–۱۰	۵–۱۵
۱/۱۸ میلی‌متر (شماره ۱۶)	–	–	۰–۵	–
۷۵ میکرومتر (شماره ۲۰۰)	۰–۲	۰–۲	۰–۲	۰–۲

به کار بردن آسفالت (سرد یا گرم) با دانه‌بندی باز در لایه‌های روسازی افزایش انعطاف‌پذیری روسازی را در پی داشته و بدلیل استفاده از تجهیزات نسبتا ساده و داشتن نرخ تولید بالا، اقتصادی می‌باشد. همچنین استفاده از این نوع آسفالت به عنوان لایه رویه سبب بهبود مقاومت لغزشی در سرعت‌های بالا و هوای بارانی، بهبود همواری راه، انتقال سریع آب‌های سطحی و جلوگیری از پدیده هیدروپلانینگ (آب‌پیمایی)، افزایش وسعت دید رانندگان در شب و در هوای بارانی، کاهش شیارافتادگی جای چرخ و نیز کاهش تراز صدای تولید شده از سطح روسازی می‌شود.

۱۸-۵-۲-۳ آسفالت سرد قیرآبه‌ای با دانه‌بندی ماسه‌ای

آسفالت سرد قیرآبه‌ای با دانه‌بندی ماسه‌ای از اختلاط ماسه ریزدانه با دانه‌بندی‌های پیوسته (خوب دانه‌بندی شده[1]) یا یکنواخت[2] و یا ماسه لای‌دار[3] با مقدار رس کم و قیرآبه تولید می‌شود. این مخلوط‌ها می‌توانند در تمامی لایه‌های روسازی مورد استفاده قرار گیرند. دانه‌بندی‌های ماسه‌ای آسفالت سرد قیرآبه‌ای مطابق جدول (۱۸–۵) می‌باشند.

1. Well-Graded Fine Granular Sands
2. Poorly-Graded Fine granular Sands
3. Silty Sands

جدول ۱۸-۵ دانه‌بندی ماسه‌ای مخلوط آسفالت سرد قیرآبه‌ای

اندازه الک	درصد عبوری از الک		
	دانه‌بندی یکنواخت	دانه‌بندی پیوسته	ماسه لای دار
	۱	۲	۳
۱۲٫۵ میلی‌متر ($\frac{۱}{۲}$ اینچ)	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰
۴٫۷۵ میلی‌متر (شماره ۴)	۷۵-۱۰۰	۷۵-۱۰۰	۷۵-۱۰۰
۳۰۰ میکرومتر (شماره ۵۰)	-	۱۵-۳۰	-
۱۵۰ میکرومتر (شماره ۱۰۰)	-	-	۱۵-۶۵
۷۵ میکرومتر (شماره ۲۰۰)	۰-۱۲	۵-۱۲	۱۲-۲۰

۱۸-۶ انتخاب قیر

قیرهای مصرفی در آسفالت سرد با توجه به روش اختلاط مصالح سنگی و قیر (کارخانه‌ای یا مخلوط در محل)، نوع ماشین‌آلات موجود برای اختلاط و اجرای آسفالت سرد، شرایط آب و هوایی در مدت اجرای پروژه، نوع و دانه‌بندی مصالح سنگی و قابلیت دسترسی به مصالح، موقعیت پروژه، فواصل حمل و دسترسی به آب، شرایط زیست محیطی و توجه به آلودگی محیط زیست، امکان هدایت ترافیک از معابر انحرافی یا عبور ترافیک از کارگاه راهسازی، و نیز عمر طراحی و مدت زمان انبار کردن آسفالت قبل از مصرف (فوری، کوتاه‌مدت و یا میان‌مدت) تعیین می‌شوند. برای تولید آسفالت سرد فقط می‌توان از قیرآبه‌های کندشکن[1] و دیرشکن[2] استفاده کرد. استفاده از قیرهای محلول کندگیر[3] و دیرگیر[4] تنها با نظر مهندس مشاور طرح مجاز است. مشخصات قیرهای مورد استفاده باید با مشخصات مندرج در فصل ۱۴ مطابقت داشته باشد. جدول (۱۸-۶) به عنوان راهنما برای انتخاب قیر به کار گرفته می‌شود.

1. Medium-Setting
2. Slow-Setting
3. Medium-Curing
4. Slow-Curing

جدول ۱۸-۶ قیرهای مناسب آسفالت سرد

نوع اجرا و کیفیت مصالح سنگی	قیرآبه‌ها										قیرهای محلول						
	آنیونی					کاتیونی					دیرگیر (MC)			کندگیر (SC)			
	HFMS-2 MS-2	HFMS-2h MS-2h	HFMS-2s	SS-1	SS-1h	CMS-2	CMS-2h	CSS-1	CSS-1h	۷۰	۲۵۰	۸۰۰	۳۰۰۰	۲۵۰	۸۰۰	۳۰۰۰
آسفالت سرد کارخانه‌ای																
اساس و رویه روسازی																
دانه‌بندی باز	✓	✓				✓	✓									
دانه‌بندی پیوسته			✓	✓	✓			✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓
مصالح ماسه‌ای			✓	✓	✓			✓	✓	✓`	✓	✓	✓			
لکه‌گیری با مصرف فوری[1]			✓	✓				✓	✓		✓	✓			✓	
لکه‌گیری با مصرف غیر فوری[2]											✓	✓		✓	✓	
آسفالت سرد مخلوط در محل																
اساس و رویه روسازی																
دانه‌بندی باز	✓	✓				✓	✓					✓	✓		✓	✓
دانه‌بندی پیوسته			✓	✓	✓			✓	✓		✓	✓		✓	✓	
مصالح ماسه‌ای			✓	✓	✓			✓	✓	✓	✓	✓				
مصالح ماسه سیلتی			✓	✓	✓			✓	✓		✓	✓				
لکه‌گیری با مصرف فوری			✓	✓	✓			✓	✓		✓	✓			✓	
بازیافت سرد[3]																
	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓							

در انتخاب قیر علاوه بر جدول راهنما توجه به مواردی که در ادامه آمده است، ضروری است.

1. Patching, Immediate Use
2. Patching, Stockpile
3. Cold-Mix Recycling

۱۸-۶-۱ خواص قیر باقیمانده

به طور کلی هرچه قیر باقیمانده (از قیرآبه یا قیر محلول) بتواند انسجام و پیوستگی بیشتری در مخلوط آسفالت سرد ایجاد کند، مطلوب است. اما نوع مصالح سنگی در دسترس و استحکام خاک بستر نیز در این خصوص تعیین کننده است. برای افزایش پیوستگی آسفالت سرد توصیه می‌شود از سفت‌ترین قیری که بتواند با توجه به شرایط تولید و اجرا کارپذیری لازم را ایجاد کند، استفاده شود. با توجه به موارد فوق، نوع ماشین‌آلات و روش اختلاط آسفالت سرد در انتخاب رده قیر مصرفی نقش مهمی دارد.

۱۸-۶-۲ بار ذره‌ای قیرآبه

افزایش پیوستگی آسفالت سرد به بار الکتریکی سطح ذرات قیر و مصالح سنگی بستگی دارد. اگر بارهای الکتریکی همنام باشند، احتمال ایجاد پیوستگی خوب کاهش می‌یابد و بالعکس اگر بارهای الکتریکی غیر همنام باشند، احتمال ایجاد پیوستگی خوب افزایش خواهد یافت. بنابراین بار الکتریکی غالب در سطح سنگدانه‌ها تا حدود زیادی برای انتخاب نوع قیرآبه‌های آنیونی یا کاتیونی تعیین کننده است. سنگ‌های آهکی بار سطحی مثبت دارند و بنابراین با قیرآبه‌های آنیونی و سنگ‌های سیلیسی بار سطحی منفی دارند و در نتیجه با قیرآبه‌های کاتیونی سازگار هستند.

۱۸-۶-۳ مصالح سنگی آب‌دوست

برخی مصالح سنگی جاذبه بیشتری به آب نسبت به قیر دارند که به آن‌ها مصالح سنگی آب‌دوست[1] گفته می‌شود. ازآنجاکه مصالح سنگی آسفالت سرد به طور کامل خشک نمی‌شوند، بنابراین مصالح سنگی آب‌دوست قیر را دفع می‌کنند. بنابراین ایجاد پوشش قیری مناسب برای این مصالح با مشکل مواجه می‌شود. طولانی کردن زمان اختلاط برای ایجاد پوشش قیری در مصالح سنگی آب‌دوست کمکی به حل مشکل نمی‌کند و فقط باعث تبخیر آب یا حلال، سفت شدن آسفالت سرد و کاهش کارپذیری می‌شود. بهترین راه افزایش پوشش در مصالح سنگی آب‌دوست، تغییر بار یونی سطح سنگدانه‌ها یا قیر است. در صورت استفاده از قیرهای محلول یا قیرآبه‌های آنیونی، با مصرف آهک هیدراته یا مواد ضدعریان‌شدگی می‌توان کیفیت پوشش قیری را بهبود داد. در برخی مصالح با تغییر قیرآبه به کاتیونی می‌توان پوشش قیری را افزایش داد. همچنین در برخی دیگر از مصالح، با تغییر

1. Hydrophilic Aggregates

قیرآبه به آنیونی می‌توان پوشش قیری را افزایش داد. در هر حال باید آزمایش‌های مورد نیاز برای انتخاب نوع قیرآبه آنیونی و مقدار آن با هماهنگی مهندس مشاور انجام شود.

۱۸-۶-۴ کندروانی قیر

قیر مصرفی در آسفالت سرد باید در حین اجرا کارپذیری و روانی کافی داشته باشد؛ بنابراین کندروانی قیر در دمای محیط اهمیت زیادی دارد. کندروانی قیر در دمای محیط باید چنان باشد که بتوان آسفالت یکنواخت با پوشش قیری کامل برای سنگدانه‌ها تولید کرد. به عنوان مثال برای تولید آسفالت سرد کارخانه‌ای، از قیر با کندروانی بیشتر (قیر غلیظ‌تر با کارپذیری کمتر) و برای آسفالت سرد تولید شده در محل از قیر با کندروانی کمتر (قیر رقیق‌تر با کارپذیری بیشتر) استفاده می‌شود.

دانه‌بندی مصالح سنگی عامل مهمی در انتخاب اندازه کندروانی قیر مصرفی است. به طور کلی، برای دانه‌بندی باز در مقایسه با دانه‌بندی پیوسته از قیر با کندروانی بیشتر استفاده می‌شود. هنگامی‌که مصالح رد شده از الک شماره ۲۰۰ مخلوط زیاد باشد، عمل اختلاط به سختی انجام می‌گیرد. در این حالت قیر با کندروانی متوسط و یا کم مناسب‌تر خواهد بود. بالعکس در شرایطی که مصالح رد شده از الک شماره ۲۰۰ کم باشد، عمل اختلاط آسان‌تر انجام می‌گیرد و بنابراین قیر با کندروانی بیشتر مناسب‌تر خواهد بود. بعلاوه کاربرد قیر با کندروانی بیشتر، احتمال ریزش قیر[1] از سنگدانه‌های با دانه‌بندی باز را کاهش می‌دهد.

۱۸-۶-۵ گیرش قیر

بر حسب نوع قیر انتخابی، عواملی در میزان کارایی و سرعت گیرش[2] قیر حین اجرای کار مؤثر است. این عوامل برای قیرهای محلول و قیرآبه‌ها به شرح زیر است:

۱۸-۶-۵-۱ گیرش قیرآبه

گیرش قیرآبه و ایجاد پیوستگی و مقاومت در آسفالت سرد قیرآبه‌ای به تبخیر آب قیرآبه بستگی دارد. در شرایط آب و هوایی مناسب، نرخ تبخیر آب نسبتاً سریع است، ولی رطوبت زیاد و دمای پایین هوا و نیز بارندگی بلافاصله پس از اجرا، تبخیر آب را به تأخیر خواهد انداخت. تأثیر شرایط آب و هوایی بر گیرش قیرآبه، برای

1. Asphalt Drain off
2. Curing

قیرهای آنیونی در مقایسه با قیرهای کاتیونی بیشتر است، ولی قیرهای کاتیونی نیز برای رسیدن به نتایج مطلوب به شرایط آب و هوایی وابسته هستند.

با توجه به تأثیر زیاد وضعیت هوا در قیرآبه‌های، قانون کلی اینست که تا حد امکان از ماشین‌آلات با سرعت اجرایی بیشتر استفاده شود؛ بنابراین کارخانه آسفالت ثابت و سپس با اختلاف کم، کارخانه اختلاط سیار در محل ترجیح دارند. اجرای آسفالت سرد مخلوط در محل با استفاده از ماشین‌آلاتی نظیر گریدر کمترین مطلوبیت را دارد. نرخ تولید بالا در شرایط آب و هوایی مناسب به دست می‌آید. همچنین پروژه در شرایط آب و هوایی بد می‌تواند به راحتی متوقف شود. بارندگی می‌تواند رطوبت مصالح سنگی را به بالاتر از رطوبت بهینه افزایش دهد و بنابراین هوادهی[1] مخلوط ضروری است.

قیرآبه‌های کندشکن معمولاً برای اختلاط با مصالح سنگی درشت دانه با مقدار کم ریزدانه مورد استفاده قرار می‌گیرند. از آنجاکه شکست[2] این نوع قیرآبه در تماس با سنگدانه‌ها بلافاصله اتفاق نمی‌افتد، آسفالت سرد تا زمان کوتاهی کارپذیری خواهد داشت. در شرایط آب و هوایی بسیار گرم، استفاده از قیرآبه کندشکن HFMS می‌تواند پوشش قیری بهتر و بادوامی را فراهم کند. این نوع قیرآبه برای استفاده با مصالح دارای دانه‌بندی پیوسته یا مصالح درشت‌دانه مناسب است. قیرآبه‌های دیرشکن معمولاً برای اختلاط با مصالح سنگی دارای دانه‌بندی پیوسته با مقدار زیاد مصالح عبوری از الک شماره ۲۰۰ استفاده می‌شوند. تمامی رده‌های قیرآبه‌های دیرشکن کندروانی کمتری نسبت به سایر قیرآبه‌ها دارند که اختلاط با مصالح ریزدانه را تسهیل می‌کند.

در صورت استفاده از قیرهای آنیونی در آسفالت سرد (MS و SS)، استفاده از مصالح با اندکی رطوبت سبب اختلاط سریع و پوشش بهتر سنگدانه‌ها می‌شود. در صورت استفاده از قیرهای کاتیونی (CMS و CSS) بدون حلال در آسفالت سرد، رطوبت مصالح سنگی باید بهینه و یا نزدیک به بهینه باشد تا اختلاط و پوشش مطلوب حاصل گردد. قیرآبه‌های HFMS (به طور خاص HFMS-2s) و قیرآبه‌های کاتیونی CMS-2 و CMS-2h به دلیل وجود مقداری حلال نفتی در ترکیب آن‌ها با مصالح خشک بهتر مخلوط می‌شوند.

در صورت استفاده از حلال نفتی در قیرآبه برایاختلاط و پوشش بهتر سنگدانه‌ها، از آنجاکه حلال به طور مستقیم در شکست قیرآبه وارد نمی‌شود، بنابراین باید اجازه داد تا حلال موجود در آسفالت سرد تبخیر و عمل آمدن آن کامل شود.

1. Aeration
2. Breaking

۱۸-۶-۵-۲ گیرش قیر محلول

سرعت گیرش و سخت شدن[1] (پس از تبخیر حلال) قیر محلول تابع درصد قیر محلول در آسفالت سرد، نوع و رده قیر محلول، رطوبت و سرعت باد، مقدار بارندگی‌ها، محدوده دمای محیط در زمان اجرای آسفالت سرد و دمای اختلاط قیر با سنگدانه‌ها می‌باشد. هر چه حلال قیر محلول سبک‌تر باشد، زودتر تبخیر می‌شود و در نتیجه گیرش آسفالت سرد سریع‌تر صورت می‌گیرد. هر چه دمای محیط سردتر و رطوبت هوا بیشتر باشد، سرعت گیرش کندتر است.

۱۸-۶-۶ درجه حرارت قیر

محدوده‌های بالا و پائین درجه حرارت قیرآبه‌ها و قیرهای محلول مصرفی برای تهیه آسفالت سرد در جدول (۱۸-۷) ارایه شده است.

1. Hardening

جدول ۱۸-۷ درجه حرارت قیرهای مصرفی برای تهیه آسفالت سرد

نوع و رده قیر	درجه حرارت قیر برای آسفالت سرد کارخانه‌ای یا آسفالت سرد ساخته شده در کارخانه آسفالت سیار	درجه حرارت قیر برای پخش بر روی مصالح سنگی ریسه شده در راه
قیرآبه‌ها		
انواع قیرهای کندشکن و دیرشکن آنیونی و کاتیونی مورد استفاده	۷۰-۱۰ درجه سلسیوس	۷۰-۲۰ درجه سلسیوس
قیرهای محلول[1]		
MC-70	-	حداقل ۲۰ درجه سلسیوس[3]
SC-250 و MC-250	۸۰-۵۵ درجه سلسیوس[2]	حداقل ۴۰ درجه سلسیوس[3]
SC-800 و MC-800	۱۰۰-۷۵ درجه سلسیوس[2]	حداقل ۵۵ درجه سلسیوس[3]
SC-3000 و MC-3000	۱۱۵-۸۰ درجه سلسیوس[2]	-

توضیحات:

[1] چون نقطه اشتعال قیرهای محلول از ۲۷ تا حداکثر ۱۰۷ درجه سلسیوس تغییر می‌کند؛ بنابراین باید هنگام اختلاط قیرهای محلول کلیه نکات ایمنی و احتیاط‌های لازم جهت جلوگیری از انفجار و آتش‌سوزی به عمل آید.

[2] درجه حرارت مخلوط آسفالت سرد بلافاصله پس از اختلاط به جای درجه حرارت قیر محلول مورد استفاده قرار می‌گیرد.

[3] حداکثر درجه حرارت قیر باید به اندازه‌ای باشد که دود تیره رنگ از آن متصاعد نشود.

۱۸-۷ انتخاب فرمول کارگاهی طرح اختلاط

فرمول کارگاهی طرح اختلاط[1]، ضمن آنکه با اعمال رواداری مجاز باید در داخل محدوده مشخصات قرار گیرد، باتوجه به میزان ترافیک، شرایط جوی و وزن مخصوص سنگدانه‌های مصرفی انتخاب می‌شود. انتخاب دانه‌بندی فرمول کارگاهی، اعم از اینکه آسفالت سرد از نوع کارخانه‌ای یا مخلوط در محل باشد، باید با توجه به دانه‌بندی‌های مورد اشاره در بند (۱۸-۵-۲) انجام گیرد. منحنی دانه‌بندی بعد از الک شماره ۸ باید به موازات دو محدوده بالا و پائین دانه‌بندی اصلی قرار گیرد. رواداری‌های قابل اعمال در فرمول کارگاهی آسفالت سرد برای دانه‌بندی و درصد قیر در جدول (۱۸-۸) نشان داده شده‌اند.

1. Job Mix Formula

جدول ۱۸-۸ رواداری‌های فرمول کارگاهی آسفالت سرد برای دانه‌بندی و درصد قیر

اندازه الک و درصد قیر	درصد رواداری
۱۲٫۵ میلی‌متر ($\frac{۱}{۲}$ اینچ) و بزرگتر	± ۸
۹٫۵ میلی‌متر ($\frac{۳}{۸}$ اینچ) و ۴٫۷۵ میلی‌متر (شماره ۴)	± ۷
۲٫۳۶ میلی‌متر (شماره ۸) و ۱٫۱۸ میلی‌متر (شماره ۱۶)	± ۶
۶۰۰ میکرومتر (شماره ۳۰) و ۳۰۰ میکرومتر (شماره ۵۰)	± ۵
۷۵ میکرومتر (شماره ۲۰۰)	± ۳
درصد قیر بر حسب وزن مخلوط آسفالتی	± ۰/۵

۱۸-۸ طرح اختلاط آسفالت سرد

جزئیات طرح اختلاط آزمایشگاهی آسفالت سرد در آخرین ویرایش نشریه‌های MS14 و MS19 انستیتو آسفالت موجود است.

۱۸-۹ مشخصات فنی آسفالت سرد

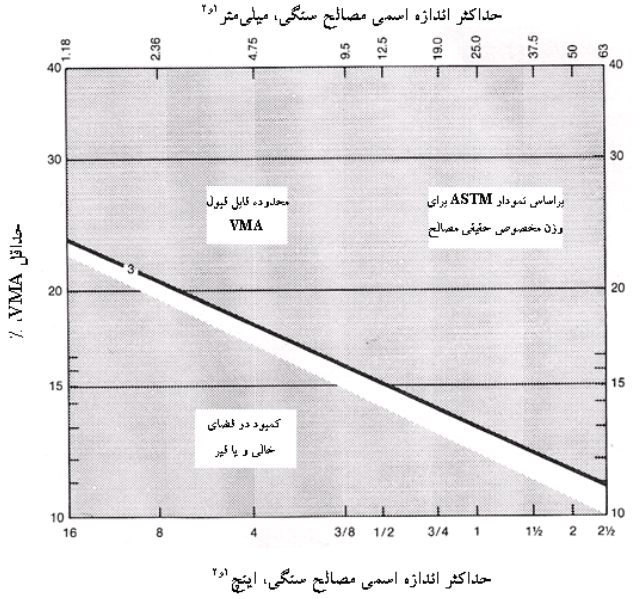
مشخصات فنی آسفالت سرد دارای دانه‌بندی پیوسته با حداکثر اندازه ۲۵ میلی‌متر یا کمتر حاوی قیرآبه یا قیر محلول مطابق جداول (۱۸-۹) و (۱۸-۱۰) و نیز شکل (۱۸-۱) می‌باشد. آزمایش‌های موضوع جداول فوق مطابق آخرین ویرایش نشریه MS14 انستیتو آسفالت انجام می‌گیرد.

جدول ۱۸-۹ مشخصات فنی آسفالت سرد دارای دانه‌بندی پیوسته حاوی قیرآبه

مشخصات فنی	حداقل	حداکثر
استحکام مارشال خشک در دمای ۲۲ درجه سلسیوس (N)	۲۲۲۴	-
درصد فضای خالی کل نمونه متراکم	۲	۸
درصد افت استحکام مارشال	-	۵۰
درصد پوشش قیری مصالح سنگی	۵۰	-

جدول ۱۸-۱۰ مشخصات فنی آسفالت سرد دارای دانه‌بندی پیوسته حاوی قیر محلول

خصوصیات آزمایش	حداقل	حداکثر
درجه عمل آوری (درصد حلال تبخیر شده) – مخلوط‌های آسفالت سرد جهت لکه‌گیری – مخلوط‌های آسفالت سرد جهت روکش	۲۵ ۵۰	
درصد فضای خالی در مخلوط متراکم آسفالت سرد	۳	۵
درصد فضای خالی مصالح سنگی در مخلوط آسفالت سرد	به شکل (۱۸-۱) مراجعه شود.	
استحکام مارشال N (lb) – مخلوط‌های آسفالت سرد جهت لکه‌گیری – مخلوط‌های آسفالت سرد جهت روکش	 ۲۲۲۴ (۵۰۰) ۳۳۷۶ (۷۵۰)	 --- ---
روانی مارشال بر حسب ۰٫۲۵ mm (۰٫۰۱ in)	۸	۱۶
نسبت استحکام مارشال اشباع به خشک در دمای ۲۵ ^{o}C	۷۵	---



۱- براساس استاندارد ASTM E11 (AASHTO M92)

۲- حداکثر اندازه اسمی برای مصالح سنگی دانه‌بندی شده، عبارت است از قطر بزرگترین الک استانداردی که مقداری از مصالح سنگی روی آن باقی مانده است.

۳- مخلوط‌های آسفالتی که در محدوده ۱٪ رواداری نسبت به منحنی قرار می‌گیرند، درصورت وجود تجارب قبلی مبنی بر عملکرد مناسب آن‌ها و همچنین رعایت شدن سایر محدودیت‌ها، می‌توانند مورد قبول واقع شوند.

شکل ۱۸-۱ حداقل درصد فضای خالی مصالح سنگی در مخلوط آسفالت سرد دارای دانه‌بندی پیوسته حاوی قیر محلول

مشخصات فنی آسفالت سرد دارای دانه‌بندی باز حاوی قیرآبه مطابق جدول (۱۸-۱۱) می‌باشد. آزمایش‌های موضوع جداول فوق مطابق آخرین ویرایش نشریه MS19 انستیتو آسفالت انجام می‌گیرد.

جدول ۱۸-۱۱ مشخصات فنی آسفالت سرد دارای دانه‌بندی باز حاوی قیرآبه

مشخصات فنی	حداقل	حداکثر
ریزش قیرآبه باقیمانده[1] (g)	۱۰	
درصد پوشش قیری مصالح سنگی		
- لایه رویه	۸۵	۱۰۰
- لایه‌های آستر و اساس	۶۰	۱۰۰
کارپذیری مخلوط[2]	مطلوب (سفت یا شل نباشد)	

۱۸-۱۰ ماشین‌آلات آسفالت سرد

این وسایل بر حسب اینکه آسفالت سرد در کارخانه آسفالت یا با روش‌های مخلوط در محل تهیه شود به شرح زیر است:

۱۸-۱۰-۱ ماشین‌آلات آسفالت سرد کارخانه‌ای

۱۸-۱۰-۱-۱ ماشین‌آلات تهیه آسفالت سرد کارخانه‌ای

الف- کارخانه ثابت تولید آسفالت[3]

به طور کلی کارخانه ثابت تولید آسفالت در محلی مشخص که با محل پروژه فاصله دارد (به طور معمول در نزدیک منبع قرضه) مستقر می‌شود. کارخانه ثابت تولید آسفالت سرد شامل مخلوط‌کن[4]، تجهیزات گرم کردن قیر (در صورت نیاز) و تجهیزات تغذیه[5] قیر، مصالح سنگی و افزودنی (در صورت نیاز) به مخلوط‌کن می‌باشد. کارخانه ثابت تولید آسفالت سرد از بسیاری جهات شبیه کارخانه ثابت تولید آسفالت داغ می‌باشد، با این تفاوت که فاقد خشک‌کن[6] یا واحد سرند[7] به جز سرند اول (سرند سطحی[8] که سنگدانه‌های بزرگ را جدا کرده و از مجموعه کنار می‌گذارد،) می‌باشد. مشابه کارخانه ثابت تولید آسفالت داغ، کارخانه ثابت تولید آسفالت سرد از نظر

1. Asphalt Residue Runoff
2. Mix Workability
3. Stationary Plant
4. Mixer
5. Feeder
6. Dryer
7. Screen
8. Scalping Screen

روش تولید به دو دسته مرحله‌ای (منقطع[1]) و مداوم (پیوسته[2]) تقسیم می‌شوند. جزئیات بیشتر در مورد کارخانه آسفالت در بند (۲۰-۳-۵-۱) ارایه شده است.

هر نوع کارخانه آسفالت که توانایی تولید مخلوط آسفالت سرد منطبق با مشخصات را داشته باشد، می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. اگرچه کارخانه‌های آسفالت باید حداقل مجهز به ابزارهای کنترل دمایی برای کنترل دمای قیر و مخلوط آسفالت سرد، ابزارهای اندازه‌گیری برای کنترل مقدار قیر اضافه شده به مصالح و نیز سامانه کنترل شده تغذیه مصالح سنگی[3] برای نسبت‌دهی و ترکیب دقیق و یکنواخت مصالح سنگی و افزودنی‌ها باشند. همچنین در صورت مجهز بودن کارخانه آسفالت سرد به سیلوی ذخیره[4]، عملیات اختلاط پیوسته‌تر و در نتیجه یکنواختی بهتر مخلوط حاصل می‌شود.

۱۸-۱۰-۱-۲ ماشین‌آلات حمل آسفالت سرد کارخانه‌ای

الف- کامیون‌های حمل[5]

بسته به نوع ماشین پخش مخلوط آسفالت سرد، انواع مختلفی از کامیون‌های حمل نظیر کامیون‌های بازشو عقب[6]، بازشو پایین[7] و تخلیه افقی[8] می‌توانند برای انتقال مخلوط آسفالت سرد کارخانه‌ای به محل عملیات ساخت روسازی مورد استفاده قرار گیرند.

کامیون کمپرسی بازشو عقب آسفالت را مستقیماً به داخل قیف[9] ماشین پخش تخلیه می‌کند و می‌تواند ۳ تا ۶ محور و ۱۲۰ تا ۲۰ تن ظرفیت داشته باشد. هرچه تعداد محور بیشتر باشد، ظرفیت کامیون بیشتر است. کامیون‌های بازشو پایین هنگامی استفاده می‌شوند که اجرای روسازی با ریسه کردن آسفالت انجام شود. اجرای روسازی به روش ریسه کردن روندی است که در آن آسفالت سرد به طور مستقیم روی سطح جاده و در جلوی ماشین پخش ریخته می‌شود. یک ماشین برداشت که در جلوی ماشین پخش کار می‌کند، آسفالت را برداشته و درون قیف می‌ریزد. کامیون‌های تخلیه افقی یک نوار نقاله دارد که بدون نیاز به بالا بردن اتاق کامیون، مصالح

1. Batch Plant
2. Drum Mix Plant
3. Controlled Feeders
4. Storage Silo
5. Hual Trucks
6. Bottom Dump Trucks
7 .End Dump Trucks
8. Horizontal Discharge Trucks
9. Hopper

را از ماشین حمل به قیف ماشین پخش منتقل می‌کند. برای کنترل حمل باید چک لیست شماره ۲ (کنترل حمل و توزین مخلوط آسفالتی) فصل آسفالت داغ به صورت روزانه و برای همه کامیون‌ها تکمیل گردد.

۱۸-۱۰-۱-۳ ماشین‌آلات پخش آسفالت سرد کارخانه‌ای

الف- گریدر[1]

برای پخش مخلوط آسفالت سرد کارخانه‌ای که در طول راه ریسه شده باشد، می‌توان از گریدر استفاده می‌شود. قبل از استفاده از گریدر برای پخش مخلوط آسفالت سرد باید آن را به طور کامل و با دقت کنترل کرد.

برای ایجاد مقطع عرضی مورد نیاز، لبه تیغه[2] گریدر باید از ابتدا تا انتها مستقیم و تیز باشد. همچنین برای اجرای مقطع عرضی راه به صورت یکپارچه و در محدوده رواداری‌های مجاز باید تیغه به اندازه کافی طویل باشد. به طور معمول از یک تیغه به طول ۳/۷ یا ۴ متر استفاده می‌شود. وزن گریدر باید به میزان کافی باشد تا هنگام پخش مخلوط آسفالت سرد تیغه را محکم و به طور یکنواخت بر روی سطح نگه دارد. محورهای گریدر[3] باید به اندازه کافی طویل باشد تا اجازه هر گونه مانور را به راننده بدهد. هنگام پخش لایه رویه باید از گریدر با چرخ‌های بدون آج استفاده شود تا رد چرخ بر روی روسازی باقی نماند. موتور دستگاه باید قدرتمند باشد تا هنگام پخش مخلوط، ماشین را بدون فشار اضافی به حرکت در آورد. جزئیات پخش آسفالت با گریدر در بند ۲۰-۳-۶-۴- ارایه شده است.

ب- فینیشر[4]

اگر شرایط آب و هوایی و دانه‌بندی مصالح امکان تبخیر رطوبت یا تصعید حلال موجود در آسفالت سرد را بدون هوادهی فراهم سازد، می‌توان آسفالت سرد کارخانه‌ای را مشابه مخلوط‌های آسفالت داغ با فینیشرهای معمولی خودمحرکه[5] پخش کرد. در صورتی‌که کارخانه تولید آسفالت بتواند مخلوط کافی را برای حفظ حرکت فینیشر بدون توقف تامین کند، می‌توان از فینیشر تمام عرض استفاده نمود. جزئیات پخش آسفالت با فینیشر در بند ۲۰-۳-۷-۳ ارایه شده است.

1. Motor Grader
2. Cutting Edge
3. Wheelbase
4. Paver
5. Conventional Self-Propelled Asphalt Paver

ت- پخش‌کننده[1]

برای پخش مخلوط آسفالت سرد کارخانه‌ای که عموما توسط کامیون‌های بازشو عقب به محل مصرف حمل می‌شوند، می‌توان از پخش‌کننده استفاده کرد. پخش‌کننده‌ها به عقب کامیون حمل متصل می‌شود. مخلوط آسفالت سرد داخل قیف پخش‌کننده تخلیه شده و به طور مستقیم بر روی سطح راه ریخته می‌شود. با حرکت کامیون به سمت جلو، مخلوط پخش شده با میله جمع‌کننده[2] یا تیغه یا اتو[3]، مسطح شده و یک رویه هموار به وجود می‌آید.

اجرای روسازی آسفالت سرد بدون توقف و با سرعت یکنواخت پخش‌کننده برای یکنواختی ضخامت پخش، لازم است. تغییر سرعت پخش‌کننده باعث بر هم خوردن تعادل نیروهای وارده به اتو یا ابزار تنظیم ضخامت شده و در نتیجه موجب تغییر ضخامت پخش می‌شود. شروع و توقف مکرر عملیات پخش موجب نشست اتو یا ابزار تنظیم ضخامت شده و منجر به ایجاد برآمدگی در روسازی می‌شود. اگر عملیات پخش نیاز به توقف پخش‌کننده داشته باشد، باید از روش‌های سریع برای توقف و شروع مجدد استفاده شود تا بلند شدن و پایین آمدن اتو به دلیل تغییرات سرعت پخش‌کننده محدود شود.

۱۸-۱۰-۱-۴ ماشین‌آلات تراکم آسفالت سرد کارخانه‌ای

تراکم لایه آسفالت سرد با غلتک خودرو انجام می‌شود، به استثنای نقاط غیر قابل دسترس که با غلتک دستی[4]، متراکم‌کننده صفحه‌ای[5] و متراکم‌کننده ضربه‌ای دستی[6] متراکم می‌شوند. انواعی از غلتک‌ها با پیکربندی‌های مختلف وجود دارد که بسته به شرایط خاص کارایی خاص خود را دارند. به طور معمول غلتک‌ها به سه دسته تقسیم می‌شوند:

- غلتک چرخ فولادی[7]
- غلتک چرخ لاستیکی[8]
- غلتک ارتعاشی[9]

1. Spreader
2. Cutter Bar
3. Screed
4. Walk Behind Roller
5. Vibrating Plate Compactor
6. Hand Tamper
7. Steel-Wheeled Roller
8. Pneumatic-Tired Roller
9. Vibratory Roller

الف- غلتک چرخ فولادی

این غلتک‌ها دارای استوانه‌های فولادی با دو پیکربندی مختلف هستند: غلتک چرخ فولادی جفت[1] و غلتک چرخ فولادی سه‌چرخ[2].

وزن غلتک‌های چرخ فولادی جفت (دواستوانه‌ای) از ۳ تا ۱۵ تن یا بیشتر متغیر است. در بیشتر مواقع برای افزایش وزن، مخازن ماسه مرطوب به عنوان سربار به چرخ اضافه می‌شود. اگرچه غلتک فلزی دو چرخ قابل حمل با وزن ۳ تا ۶ تن نیز موجود است، در بیشتر پروژه‌ها نیاز به غلتک‌های با وزن حداقل ۸ تن می‌باشد. به طور کلی بهتر است که بار خطی اعمال شده چرخ عقب این غلتک‌ها در مراحل غلتک‌زنی از ۴۵ کیلوگرم بر سانتی‌متر کمتر نشود.

غلتک‌های استاتیکی سه‌چرخ دارای دو چرخ با قطر بزرگ در عقب و یک چرخ پهن در جلو هستند. دو چرخ محرکه عقب معمولاً ۱۸۰ سانتی‌متر قطر و ۵۰ تا ۶۰ سانتی‌متر عرض دارد. وزن غلتک‌های فلزی سه چرخ از ۸ تا ۱۶ تن متغیر است.

ب- غلتک چرخ لاستیکی

غلتک‌های چرخ لاستیکی دارای ۲ تا ۷ چرخ صاف در جلو و ۴ تا ۸ چرخ در عقب می‌باشند. وزن غلتک‌های چرخ لاستیکی در حالت خالی ۳ تن و با اضافه نمودن مخازن ماسه مرطوب به عنوان سربار تا ۳۵ تن متغیر است. علاوه بر وزن غلتک چرخ لاستیکی عوامل دیگری نظیر سرعت غلتک و فشار تماسی[3] در تنظیم نیروی تراکم مؤثر است. سرعت غلتک بر زمان اعمال فشار به آسفالت تاثیر می‌گذارد.

غلتک‌های چرخ لاستیکی برای غلتک‌زنی اولیه[4] مخلوط آسفالت سرد، علی‌الخصوص برای مخلوط‌های پخش شده در ضخامت کم، بسیار تاثیرگذار است. غلتک‌زنی نهایی[5] نیز با غلتک‌های فولادی بهتر انجام می‌شود، زیرا رد چرخ به وجود آمده از مراحل قبلی غلتک‌زنی توسط سطح صاف استوانه فولادی از بین رفته و سطح روسازی صاف می‌شود.

1. Tandem Roller
2. Three-Wheel Roller
3. Contact Pressure
4. Initial Rolling
5. Final Rolling

ت- غلتک ارتعاشی

غلتک‌های ارتعاشی عمل تراکم را با ترکیب اثر وزن و ارتعاش استوانه فولادی خود انجام می‌دهند. دو مدل غلتک ارتعاشی وجود دارد: غلتک‌های ارتعاشی یک استوانه‌ای[1] (تک) و دو استوانه‌ای[2] (جفت). معمولاً هر دو استوانه فولادی غلتک نیروی پیشرانه ایجاد می‌کنند. قطر استوانه‌ها از ۰/۹ تا ۱/۵ متر و عرض آن‌ها ۱/۲ تا ۲/۴ متر متغیر است. غلتک‌های ارتعاشی تک برای تراکم خاک بستر یا اساس دانه‌ای و غلتک‌های ارتعاشی جفت برای تراکم آسفالت مورد استفاده قرار می‌گیرند. علاوه بر وزن ثابت غلتک ارتعاشی عوامل دیگری نظیر نیروی دینامیکی، دامنه و فرکانس ارتعاش در تنظیم نیروی تراکم مؤثر است:

وزن ثابت غلتک‌های ارتعاشی از ۲/۳ تا ۱۶/۴ تن و عرض آن‌ها از ۱۰۲ تا ۲۱۴ سانتی‌متر متغیر است. بار خطی ثابت بدون ارتعاش این غلتک‌ها معمولاً در محدوده ۳۲-۲۹ کیلوگرم بر سانتی‌متر است. فرکانس و دامنه ارتعاش غلتک ارتعاشی به سرعت حرکت غلتک بستگی دارند. عواملی که باید هنگام انتخاب فرکانس و دامنه ارتعاش مناسب مورد توجه قرار گیرد عبارتند از ضخامت لایه، ویژگی‌های مصالح سنگی و تراکم‌پذیری آسفالت. معمولاً فرکانس و دامنه ارتعاش غلتک در کاتالوگ آن مشخص شده است، در غیر این صورت، فرکانس ۴۰۰۰-۲۵۰۰ ارتعاش در دقیقه و دامنه ارتعاش ۰/۸-۰/۴ میلی‌متر مناسب است. در بسیاری از مواقع، بهترین ترکیب پارامترهای فوق قبل از اجرای مخلوط آسفالت سرد بر روی مقطع آزمایشی تعیین می‌شود.

۱۸-۱۰-۲ ماشین‌آلات آسفالت سرد مخلوط در محل

۱۸-۱۰-۲-۱ ماشین‌آلات اختلاط آسفالت سرد مخلوط در محل

الف- مخلوط‌کننده چرخشی[3]

این دستگاه شامل یک محفظه اختلاط سیار است که به یک ماشین خودمحرکه متصل می‌شود. در داخل محفظه اختلاط که عرض آن ۲ متر است و از پایین باز است، یک یا چند محور عمود بر محور راه وجود دارد که با سرعت بالا می‌چرخد و بر روی آن دندانه‌ها یا تیغه‌های برنده نصب شده است. مصالح سطح راه توسط تیغه‌های دستگاه از پایین به داخل مخلوط‌کن کشیده شده و با قیر مخلوط می‌شود. در حالی‌که دستگاه به سمت جلو حرکت می‌کند، یک لایه مخلوط آسفالت سرد با ضخامت یکنواخت و به صورت مسطح پخش می‌شود. برخی

1. Single Drum Vibratory Roller
2. Double Drum Vibratory Roller
3. Rotary Mixer

مخلوط‌کننده‌های چرخشی دارای سیستمی هستند که با حرکت ماشین به سمت جلو، پاشش قیر به داخل محفظه اختلاط را انجام می‌دهد. مقدار پاشش قیر با سرعت حرکت دستگاه هماهنگ می‌شود. نوع دیگر مخلوط‌کننده‌های چرخشی همراه با ماشین قیرپاش مورد استفاده قرار می‌گیرد و پاشش قیر بر روی مصالح سنگی را بلافاصله قبل از آنکه مصالح سنگی وارد محفظه اختلاط گردد انجام می‌دهد.

هر دو نوع از مخلوط‌کننده‌های چرخشی به طور معمول قابلیت تراش سطح راه به طور یکنواخت و سپس اختلاط مصالح برداشت شده و قیر برای تولید مخلوط آسفالت سرد در محدوده مشخصات را دارد. اما هر یک از آن‌ها با اجزا و ویژگی‌های مشخص شناخته می‌شوند که بر اساس آن عمل می‌کنند. دستگاه‌های دارای سیستم تغذیه قیر تعبیه شده در داخل محفظه اختلاط باید قابلیت پاشش مقدار دقیق قیر بر روی مصالح سنگی و اختلاط قیر و مصالح سنگی را همزمان با حرکت دستگاه به سمت جلو داشته باشد. بنابراین دستگاه‌های فوق باید مجهز به لوله پاشش قیر باشند که بتوانند قیر سیال را به طور یکنواخت در تمامی عرض محفظه اختلاط پخش کنند. همچنین باید مجهز به ابزار کنترل عمق برداشت و اختلاط و نیز مجهز به ابزار کنترل برای پخش مخلوط آسفالت سرد با ضخامت یکنواخت در پشت محفظه اختلاط باشد

مخلوط‌کننده‌های چرخشی فاقد تجهیزات پاشش قیر به طور معمول مجهز به ابزار کنترلی هستند که امکان تنظیم عمق برداشت تا حداقل ۲۵۰ میلی‌متر، امکان تنظیم تخته عقب محفظه پخش و امکان تنظیم روکش یا چادر مخصوص جریان ورود هوا به محفظه اختلاط برای هوادهی را فراهم می‌کند.

برخی از ماشین‌های تراش آسفالت[1] می‌توانند به سیستم پاشش قیر مجهز شده و به عنوان مخلوط‌کننده‌های چرخشی مورد استفاده قرار گیرند. سیستم فوق برای پخش دقیق قیر باید کالیبره شود. این ماشین‌ها می‌توانند قیر را با مصالح موجود در سطح راه یا مصالح سنگی قرضه که بر روی سطح راه پخش شده‌اند، مخلوط کنند. مخلوط نهایی آسفالت سرد تشکیل شده را می‌توان به شکل ریسه در مسیر تخلیه کرد و یا اینکه مستقیماً به یک ماشین پخش یا فینیشر خودمحرکه منتقل کرد تا عملیات پخش انجام گیرد. کاربرد دیگر ماشین‌های تراش آسفالت، تراشیدن و خرد کردن رویه آسفالتی موجود برای استفاده در بازیافت سرد است. تراشه روسازی توسط یک مخلوط‌کننده چرخشی برداشت شده و با قیر مخلوط می‌شود. سپس مخلوط آسفالت سرد حاصل در سطح راه پخش می‌شود.

1. Milling/Planing Machine

ب- مخلوط‌کن تیغه‌ای[1]

در مخلوط‌کن تیغه‌ای (اختلاط با گریدر)، قیر توسط یک قیرپاش که جلوتر از گریدر حرکت کرده به طور مستقیم بر روی مصالح ریسه شده پخش می‌شود و گریدر بلافاصله عملیات اختلاط را شروع می‌کند. برای دستیابی به حداکثر بازدهی در عملیات اختلاط، گریدر باید دارای تیغه‌ای به طول حداقل ۳ متر بوده و فاصله محورهای آن حداقل ۴/۵ متر باشد. گریدرهای مورد استفاده برای پخش نهایی و تسطیح لایه باید مجهز به چرخ‌های لاستیکی بدون آج باشد. در این حالت می‌توان از یک برف‌روب[2] یا شیارزن[3] در قبل یا پشت تیغه اصلی گریدر استفاده کرد.

ت- ماشین اختلاط سیار[4]

ماشین‌های اختلاط سیار از نوع دستگاه‌های خودمحرکه هستند که ضمن حرکت در مسیر راه، مصالح سنگی را با نسبت‌های مشخص و با درصد معینی از قیر مخلوط می‌کنند. در یکی از انواع این ماشین‌ها، مصالح سنگی توسط کامیون حمل به درون قیف تخلیه می‌شود. سپس قیر به مصالح سنگی اضافه و در داخل مخلوط‌کن[5] با آن مخلوط می‌شود. در نهایت با حرکت ماشین در مسیر راه مخلوط آسفالت تولید شده، در پشت ماشین پخش می‌شود. در نوع دیگر، ماشین اختلاط سیار مصالح ریسه شده را برداشت کرده و در حالیکه قیر به آن می‌افزاید، مصالح سنگی و قیر را در داخل مخلوط‌کن با یکدیگر مخلوط کرده و مخلوط آسفالت سرد آماده شده را پشت ماشین به شکل ریسه برای پخش باقی می‌گذارد. ماشین‌های اختلاط سیار دارای قیف و در برخی موارد ماشین‌هایی که مصالح ریسه شده را برداشت می‌نمایند به ابزاری برای کنترل دقیق جریان مصالح سنگی از داخل قیف به مخلوط‌کن نیاز دارند تا نسبت‌های اختلاط صحیح اعمال شود. ماشین‌های اختلاط می‌تواند مخزن ذخیره قیر داشته باشد و یا از یک تانکر قیر مجزا تغذیه شود. تغذیه قیر به مخلوط‌کن نیز به واسنجی دقیق نیاز دارد. عموماً یک پمپ از نوع جابجایی مثبت[6] برای تخلیه قیر به محفظه اختلاط از مسیر لوله پاشش قیر باشد.

برخی ویژگی‌ها و قابلیت‌های عملیاتی در همه ماشین‌های اختلاط سیار متعارف هستند که موجب عملکرد موثر دستگاه شده و امکان تولید مخلوط آسفالت سرد مطابق با طرح اختلاط و الزامات استاندارد را فراهم می‌نماید.

1. Blade Mixer
2. Plow Attachment
3. Scarifire
4. Travel Plant
5. Pugmill
6. Posetve Displacement Pump

چرخ‌ها یا سیستم محرکه زنجیری باید به نحوی طراحی و نصب شوند تا در هنگامی‌که ماشین اختلاط سیار در حالت کاملاً پر عمل می‌کند، موجب خرابی یا شیارافتادگی سطح مسیر راه نشود.

هدف اصلی ماشین‌های اختلاط سیار، اختلاط قیر و مصالح سنگی است. برخی از این ماشین‌ها مجهز به ابزاری هستند که نسبت‌های مناسب اختلاط را به طور خودکار اعمال می‌نمایند. اما برخی دیگر نیازمند حفظ سرعت یکنواخت ماشین برای ثابت ماندن نسبت‌های اختلاط می‌باشند. صرف نظر از نوع ماشین اختلاط سیار، توصیه‌های سازنده ماشین برای واسنجی و کارکرد آن باید به دقت رعایت شود. در نتیجه یک ماشین اختلاط سیار کارآمد باید قادر به اختلاط کامل قیر و مصالح سنگی، پخش یکنواخت قیر در بین سنگدانه‌ها، اندود کافی مصالح سنگی و در نتیجه قادر به تولید مخلوط آسفالت سرد با ظاهری یکنواخت و همگن باشد.

ث- آب‌پاش[1]

اجرای آسفالت سرد مخلوط در محل می‌تواند مستلزم پیش رطوبت دهی مصالح سنگی جهت اندود کافی آن و تسهیل در عملیات تراکم می‌باشد. در نتیجه یک تانکر آب‌پاش که توانایی پاشش میزان کنترل شده آب را داشته باشد، مورد نیاز است.

ج- قیرپاش[2]

یکی از اجزای کلیدی تجهیزات اجرای آسفالت سرد به ویژه هنگامی‌که از مخلوط‌کننده چرخشی که به سیستم پاشش قیر مجهز نباشد و یا از گریدر جهت اختلاط استفاده شوند، قیرپاش است. قیرپاش‌ها از یک مخزن عایق‌بندی شده با ظرفیت ۳۰۰۰ تا ۲۰۸۰۰ لیتر نصب شده بر روی کامیون یا یدک‌کش تشکیل می‌شوند. قیرپاش‌ها شامل دستگاه گرم‌کننده، پمپ، لوله پاشش قیر و نازل‌ها (که از طریق آن‌ها قیرهای محلول یا قیرآبه با فشار بر روی مصالح سنگی آماده شده پخش شوند،) می‌باشد. مشخصات قیرپاش مطابق بند ۱۵-۴-۴۱ فصل پانزدهم می‌باشد.

برخی از انواع قیرپاش‌ها توانایی پخش قیر تا عرض ۵ متر و با نرخ‌های کنترل شده تا ۱۳٫۵ لیتر بر دقیقه را دارا هستند.

ذخیره قیر به مقدار کافی در محل پروژه و یا در محدوده نزدیک به آن برای جلوگیری از تأخیر در عملیات اجرایی لازم است. در مناطق بین شهری توصیه می‌شود که از کامیون ذخیره قیر در محل پروژه استفاده شود.

1. Water Distributor
2. Asphalt Distributor

کامیون‌های فوق باید از نوع سرپوشیده بوده و از آلوده شدن قیر به گردوغبار، آب و دیگر آلاینده‌ها شدیداً ممانعت نماید.

۱۸-۱۰-۲-۲ ماشین‌آلات پخش آسفالت سرد مخلوط در محل

الف- گریدر

جزئیات مربوط به گریدر به عنوان ماشین‌آلات پخش آسفالت سرد در بند (۱۸-۱۰-۱-۳) بیان شده است.

ب- پخش‌کننده

برخی مخلوط‌های آسفالت سرد مخلوط در محل می‌توانند بدون نیاز به هوادهی تا عمق مورد نظر پخش شوند. به طور کلی، مخلوط‌های با دانه‌بندی باز که در شرایط آب و هوایی خاص (شرایط آب و هوایی که امکان خروج رطوبت یا حلال در زمان معقول را فراهم آورد) پخش شوند، از این دسته می‌باشند. مخلوط‌های فوق می‌توانند توسط مخلوط‌کننده چرخشی پخش شوند. همچنین مخلوط‌های ریسه شده می‌توانند توسط گریدر یا ماشین‌آلات چندکاره بزرگ[1] پخش شود. یک ماشین برداشت[2] آسفالت می‌تواند برای انتقال مخلوط آسفالت سرد ریسه شده به درون فینیشر خودمحرکه استفاده شود.

۱۸-۱۰-۲-۳ ماشین‌آلات تراکم آسفالت سرد مخلوط در محل

ماشین‌آلات تراکم آسفالت سرد در بند (۱۸-۱۰-۱-۴) بیان شده است.

۱۸-۱۱ مراحل اجرای آسفالت سرد

به طور کلی اجرای آسفالت سرد کارخانه‌ای و آسفالت سرد مخلوط در محل شامل مراحل زیر است:

۱۸-۱۱-۱ آماده کردن سطح راه

در صورتی‌که مصالح سنگی رویه آسفالت سرد مخلوط در محل از مصالح سنگی راه شنی موجود تأمین شود، سطح راه موجود باید توسط تجهیزات مناسب تا عمق ۵ سانتی‌متر بیش از ضخامت رویه مورد نظر و تا عرض ۶۰ سانتی‌متر بیش از لبه‌های روسازی شخم زده شود. سپس مصالح سست[3] حاصل باید توسط ماشین‌آلات

1. Large Multi-Purpose Equipement
2. Pick-up Machine
3. Loose Material

مناسب خرد شود. تمامی ذرات خارجی و دانه‌های درشت مصالح با اندازه بیش از ۶٫۳ سانتی‌متر باید از سطح راه برداشته شود. در صورت نیاز مصالح موجود باید با مصالح قرضه مناسب مخلوط شود.

برای اجرای آسفالت سرد مخلوط در محلی که تمامی مصالح سنگی با عنوان مصالح سنگی جدید به محل مصرف حمل شود و یا برای اجرای آسفالت سرد کارخانه‌ای، آماده کردن سطح راه شنی یا آسفالتی موجود به شرح زیر انجام می‌شود:

۱۸-۱۱-۱-۱ راه شنی

- سطحی راه باید کاملاً پروفیله شده تا تراز ارتفاعی و شیب طولی و عرضی آن اصلاح شود. قبل از اجرای رویه آسفالت سرد، باید برآمدگی‌ها، امواج و ناهمواری‌های سطحی که بر کیفیت سواری تاثیر می‌گذارد تسطیح گردد.
- کوبیدگی و تراکم نسبی سطحی راه باید براساس مشخصات تأمین شود.
- چاله‌ها یا نشست‌ها در رویه شنی موجود باید با برداشتن مصالح محل‌هایی که مضمحل شده و یا دارای خرابی باشد و جایگزینی آن با مصالح دانه‌ای مناسب[1] بهسازی شود. مکان‌های فوق باید تا حد مشخصات متراکم شود به طوری‌که قسمت‌های وصله‌شده سطح همترازی با سطوح مجاور داشته باشد.
- بسته به شرایط یا نوع سطح شنی راه، اندودهای نفوذی MC-30، MC-70، یا MC-250 برای آماده‌سازی سطح جهت پخش لایه آسفالت سرد می‌تواند مورد استفاده قرار می‌گیرد. قیرهای محلول به دلیل ویژگی نفوذ زیاد آن‌ها در سطح راه، بیشتر مورد توجه قرار می‌گیرند. در صورتی‌که به دلیل محدودیت‌های محیط زیستی نتوان از قیر محلول استفاده کرد، می‌توان از قیرآبه‌های SS-1، CSS-1، SS-1h، CSS-1h یا MS-2 که توسط یک گریدر با مصالح دانه‌ای راه موجود مخلوط شده‌اند، استفاده کرد.
- اگر از قیر محلول کندگیر برای اندود نفوذی استفاده شود، میزان پخش در محدوده ۲٫۳–۰٫۹ لیتر بر مترمربع است. در صورت استفاده از قیرآبه‌ها، قیرهای فوق باید به نسبت برابر با آب رقیق می‌شود. میزان پخش در بازه ۰٫۵ تا ۱٫۴ لیتر در مترمربع به ازای ۵۰ تا ۷۵ میلی‌متر عمق نفوذ در لایه اساس شخم زده است.

1. Granular Patching Material

- اندود نفوذی باید به طور کامل جذب سطح راه شده و قبل از پخش لایه آسفالتی عمل‌آوری شوند. چنانچه به هر دلیل اندود نفوذی بعد از ۲۴ ساعت جذب سطح راه نشود باید با پخش ماسه تمیز روی اندود نفوذی، قیر اضافی جذب شود.
- قبل از اجرای اندود نفوذی سطح راه با جاروی مکانیکی از مواد خارجی و مواد سست پاک شود. در صورت وجود گرد و غبار سطح راه باید توسط آب مرطوب شود.

۱۸-۱۱-۱-۲ راه آسفالتی

- چاله‌ها یا نشست‌ها در رویه آسفالتی موجود باید از طریق برداشتن مصالح محل‌هایی که مضمحل شده و یا دارای خرابی باشد و جایگزینی آن با مخلوط آسفالت لکه‌گیری[1] بهسازی شود. مخلوط لکه‌گیری باید تا حد مشخصات متراکم شود به طوری‌که قسمت‌های لکه‌گیری شده سطح همترازی با سطوح مجاور داشته باشد.
- قیر برداشته شود.
- سطوح جداول، سطوح قائم روسازی موجود و تمامی سازه‌هایی که قرار است در تماس یا مخلوط آسفالتی قرار گیرد باید با یک لایه نازک از قیر پوشش داده شوند. قیرهای محلول و قیرآبه مورد استفاده در اندود نفوذی را می‌توان بدین منظور مورد استفاده قرار داد. از پخش کردن قیر بر روی سطوحی‌که قرار نیست در تماس با مخلوط آسفالتی قرار گیرند اجتناب شود.
- قیرآبه‌های نوع SS-1، CSS-1، SS-1h یا CSS-1h که با نسبت برابر با آب رقیق می‌شوند باید برای اندود سطحی مورد استفاده قرار گیرند. اندود سطحی با هدف ایجاد چسبندگی بین لایه‌های آسفالتی بر روی سطح آسفالت موجود قبل از اجرای آسفالت سرد و یا بین لایه‌های آسفالت سرد اجرا می‌شود. بسته به شرایط رویه موجود، میزان پخش اندود سطحی در محدوده ۰٫۶۸–۰٫۲۳ لیتر بر مترمربع است. اندود سطحی باید قبل از پخش لایه بعدی عمل‌آوری شود. همچنین اندود سطحی باید در همان روزی که قرار است لایه بعدی اجرا شود، پخش گردد.

1. Asphalt Aggregate Patching Mixture

- هنگام پخش اندود سطحی، سطح راه باید کاملاً تمیز و خشک باشد تا چسبندگی لایه‌ها به خوبی صورت پذیرد. آشغال، آلودگی، گرد اضافی وصله‌ها و درزها باید تنها با روش‌های پذیرفته شده توسط مهندس مشاور از سطح راه پاک شود.
- و غبار و مواد سست باید با جاروی مکانیکی یا هوای فشرده از سطح کار برداشته شود.

۱۸-۱۱-۲ تولید مخلوط آسفالت سرد

۱۸-۱۱-۲-۱ تولید آسفالت سرد کارخانه‌ای

در مورد تولید مخلوط‌های آسفالت سرد کارخانه‌ای توجه به نکات زیر ضروری است:

- تغذیه یکنواخت مصالح سنگی به سیلوها برای پیوستگی و یکنواختی عملیات تولید آسفالت سرد بسیار مهم است.
- در صورت لزوم باید قیر در کارخانه‌های آسفالت سرد تا دمای مناسب حرارت داده شود تا بتوان آن را بطور یکنواخت با مصالح سنگی مخلوط کرد.
- یکی از مواردی که برای مخلوط آسفالت سرد کارخانه‌ای حاوی قیرآبه بسیار حائز اهمیت است، زمان اختلاط است. به طور معمول مخلوط‌های آسفالت سرد قیرآبه‌ای به زمان اختلاط کمتری نسبت به مخلوط‌های آسفالت داغ نیاز دارند. بنابراین غالباً اختلاط بیش از حد قیرآبه و مصالح سنگی انجام می‌شود. اختلاط بیش از حد موجب جدا شدن قیر از مصالح سنگی درشت‌دانه و گلوله شدن ذرات قیر در مصالح سنگی ریزدانه می‌شود. این امر ممکن است منجر به شکست زودهنگام قیرآبه و در نتیجه تولید مخلوط بیش از حد سفت می‌باشد.
- یکی دیگر از مسائل مربوط به قیرآبه که کمتر مشاهده می‌شود، پوشش نامناسب مصالح سنگی ناشی از زمان اختلاط کم می‌باشد. زمان اختلاط در کارخانه‌های پیوسته آسفالت سرد می‌تواند با تغییر آرایش پدال‌ها، تغییر ارتفاع دریچه خروجی مخلوط‌کن پیوسته یا تغییر در مکان نازل پاشش قیر تغییر یابد. در کارخانه‌های پیوسته با درام میکسر، با تغییر شیب استوانه (درام[1]) یا با تغییر مکان لوله ورودی قیر به درام میکسر می‌توان زمان اختلاط را کنترل نمود.

1. Drum

- زمان اختلاط آسفالت سرد قیرآبه‌ای باید کمترین مقداری باشد که قیرآبه به طور یکنواخت در مخلوط پراکنده شود. باید توجه داشت که در مخلوط آسفالت سرد قیرآبه‌ای با هر روش تولید و اختلاط معمولاً پوشش کامل سنگدانه‌های درشت حاصل نمی‌شود و ضرورتی هم ندارد. پوشش کامل این سنگدانه‌ها هم در حین عملیات پخش و غلتک‌زنی اتفاق خواهد افتاد. برخی مصالح به سختی با قیرآبه اندود می‌شوند که در پروسه طرح اختلاط باید مشهود شده و گزارش گردد. عملیات اختلاط باید با هدف پخش یکنواخت قیرآبه درون مخلوط و پوشش کامل بخش ریزدانه مصالح انجام شود.

۱۸-۱۱-۲-۲ تولید آسفالت سرد مخلوط در محل

تولید آسفالت سرد مخلوط در محل شامل مراحل زیر است:

الف- آماده‌سازی مصالح سنگی

اکثر روش‌های اجرای آسفالت سرد مخلوط در محل مستلزم ریسه کردن مصالح سنگی قبل از اختلاط با قیر و پخش مخلوط آسفالت سرد است. در صورتی‌که اجرای آسفالت سرد مخلوط در محل به روش ریسه کردن مصالح انجام شود، موارد زیر باید مورد توجه قرار گیرد:

سطح راه باید به عرضی‌که برای ریسه کردن و عبور ترافیک در حین عمل‌آوری مخلوط مورد نیاز است از پوشش گیاهی پاکسازی شود. از آنجاکه ضخامت روسازی جدید به طور مستقیم به مقدار مصالح ریسه بستگی دارد، کنترل و پایش دقیق حجم مصالح ریسه ضروری است. مصالح سنگی مصرفی برایتولید آسفالت سرد می‌تواند مخلوطی از دو یا چند مصالح سنگی مختلف باشد که دانه‌بندی ترکیبی آن‌ها در محدوده مشخصات طرح قرار گیرد. آزمایش‌های آزمایشگاهی نیاز به مصالح قرضه را برای بهبود مشخصات مخلوط آسفالت سرد مشخص می‌کند. در صورتی‌که نیاز باشد دو یا چند مصالح در سطح راه با هم نسبت‌دهی شوند، ترجیحا هر کدام باید کنار هم و جداگانه ریسه شوند. سپس ریسه‌ها قبل از اضافه کردن قیر با گریدر یا ماشین‌های اختلاط با هم مخلوط می‌شوند.

معمولا در سطح راه مصالح سنگی سست کافی برای مصرف در آسفالت سرد مخلوط در محل وجود ندارد. در این حالت به جای انجام عملیاتی که مستلزم اختلاط مصالح موجود و مصالح حمل شده از منابع دیگر است، بهتر است که تنها از مصالح قرضه استفاده کرد و مصالح سست را با تیغه زدن سطح راه به شانه هدایت کرد. مصالح سنگی درشت‌دانه و ریزدانه حمل شده از منابع قرضه باید در یک یا چند ریسه انباشته شود. مقدار مصالح

ریسه‌های جدید و نسبت‌های آن‌ها باید به اندازه‌ای باشد که دانه‌بندی مخلوط حاصل مطابق مشخصات استاندارد شده و لایه متراکم با ضخامت طرح اجرا شود.

درصورتی‌که مصالح سنگی راه موجود دارای مشخصات یکنواخت بوده و به میزان کافی در سطح راه موجود باشد، استفاده از آن برای تولید آسفالت سرد مخلوط در محل عملیاتی است. در صورتی‌که همه مصالح سنگی از سطح راه موجود برداشت شود، برای کنترل حجم مصالح ریسه و نمونه‌برداری، مصالح سست باید در یک یا چندین نوبت تیغه زده شود و در یک یا چند ریسه انباشته شود. اگر در مناطقی از راه برای اصلاح دانه‌بندی مصالح موجود به مصالح قرضه نیاز باشد، ابتدا باید مصالح موجود با تیغه زدن ریسه شده و مقدار آن اندازه‌گیری شود. سپس مصالح سنگی درشت‌دانه و ریزدانه جدید به مقادیر و نسبت‌های مناسب در یک یا چند ریسه کنار ریسه مصالح موجود انباشته شود به نحوی‌که دانه‌بندی مخلوط مصالح سنگی مطابق مشخصات استاندارد باشد و لایه متراکم با ضخامت طرح اجرا شود.

پس از تنظیم نسبت‌های مصالح سنگی ریزدانه و درشت‌دانه، مصالح ریسه‌های مختلف به طور کامل با یکدیگر مخلوط می‌شود. برای کنترل نهایی حجم مصالح ریسه، مخلوط آماده شده در ریسه‌ای با مقطع عرضی ذوزنقه‌ای یکنواخت انباشته شود.

اگر عملیات اختلاط آسفالت سرد مخلوط در محل توسط دستگاه مخلوط‌کن چرخشی انجام شود، ریسه نمودن مصالح سنگی قبل از اختلاط با قیر انجام نمی‌شود. در این صورت مصالح قرضه مورد استفاده باید بلافاصله پس از شخم زدن راه موجود به طور یکنواخت بر روی آن پخش شود، به نحوی‌که دانه‌بندی مخلوط مصالح سنگی مطابق مشخصات استاندارد باشد و لایه متراکم با ضخامت طرح اجرا شود. در صورتی‌که تمامی مصالح سنگی از مصالح قرضه تامین شود، مصالح فوق بر روی سطح آماده شده راه پخش می‌شود، به نحوی‌که دانه‌بندی مخلوط مصالح سنگی مطابق مشخصات استاندارد باشد و لایه متراکم با ضخامت طرح اجرا شود.

ب- تعیین مقدار قیر برای مصالح ریسه شده

افزودن قیر به مصالح سنگی توسط یک قیرپاش که جلوتر از مخلوط‌کن حرکت می‌کند، یا توسط مخلوط کن مجهز به سیستم پاشش قیر توکار صورت می‌گیرد. در هر دو حالت، برای اختلاط صحیح قیر و مصالح سنگی، کنترل دقیق نرخ پاشش قیر و کندروانی آن ضروری است. قبل از شروع فرآیند اختلاط باید مقدار مناسب نرخ پاشش قیر و سرعت پیشروی قیرپاش یا مخلوط‌کن مجهز به سیستم پاشش قیر تعیین گردد. همچنین هنگام استفاده از قیرآبه، در صورتی‌که پیش رطوبت دهی مصالح سنگی قبل از اختلاط با قیرآبه مورد نیاز است،

باید مقدار مناسب نرخ پاشش آب و سرعت پیشروی آب‌پاش تعیین گردد. روابطی که در ادامه بیان می‌شود می‌توانند برای تعیین نرخ پاشش قیر به روی مصالح ریسه شده و سرعت پیشروی مخلوط‌کن یا قیرپاش مورد استفاده قرار گیرند. با جایگزینی آب به جای قیر می‌توان از روابط فوق برای تعیین نرخ پاشش آب برای مصالح ریسه شده و سرعت پیشروی آب‌پاش برای مصالح ریسه شده استفاده کرد.

قبل از تعیین مقدار مناسب پاشش قیر، تعیین مقدار مصالح سنگی ریسه شده ضروری است. با در نظر گرفتن مصالح ریسه با مقطع عرضی ثابت و یکنواخت نشان داده شده در شکل (۱۸-۲)، مقدار مصالح ریسه شده در هر متر طول بر اساس روابط (۱۸-۱) و (۱۸-۲) محاسبه می‌شود:

$$V = \frac{(A+B)\times C}{2} \qquad (۱-۱۸)$$

$$W_f = W_1 \times V \qquad (۲-۱۸)$$

V: حجم مصالح ریسه در هر متر طول (مترمربع به ازای هر متر طول)

A، B و C: ابعاد ریسه بر حسب متر مطابق شکل (۱۸-۶)

W_f: وزن مصالح ریسه در هر متر طول (کیلوگرم بر متر)

W_1: وزن مخصوص غیرمتراکم مصالح سنگی خشک بر اساس AASHTO T19 (کیلوگرم بر متر مکعب)

نرخ مناسب پاشش قیر در امتداد ریسه از طریق رابطه (۱۸-۳) به دست می‌آید:

$$A_b = \frac{W_f \times P}{100 \times G} \qquad (۳-۱۸)$$

A_b: نرخ مناسب پاشش قیر در هر متر طول ریسه (لیتر بر متر)

P: درصد قیر موردنیاز بر اساس طرح اختلاط (نسبت به وزن مصالح سنگی خشک)

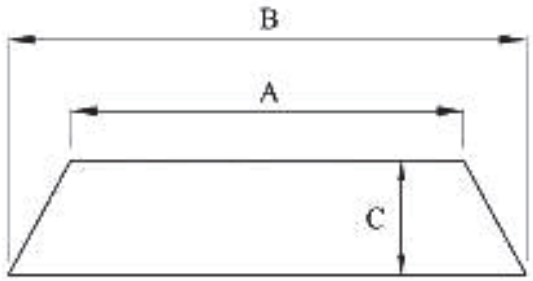
G: وزن مخصوص قیر به طور تقریبی یک کیلوگرم بر لیتر

سرعت پیشروی مخلوط‌کن یا قیرپاش از رابطه (۱۸-۴) به دست می‌آید:

$$S = \frac{D_p}{A_b} \qquad (۴-۱۸)$$

S: سرعت پیشروی مخلوط‌کن یا قیرپاش (متر بر دقیقه)

D_p: نرخ تخلیه پمپ (لیتر بر دقیقه)



شکل ۱۸-۲- ابعاد ریسه

ت- کنترل قیر

افزودن قیر به مصالح سنگی توسط قیرپاش یا مخلوط کن مجهز به سیستم پاشش قیر صورت می‌گیرد. در هر دو حالت کنترل دقیق مقدار قیر و ویسکوزیته آن برایاختلاط صحیح ضروری است.

قیر مورد استفاده در آسفالت سرد باید به به اندازه کافی روان باشد تا به راحتی از طریق لوله قیرپاش جریان یابد و اندود کافی بر روی مصالح سنگی به وجود آورد. قیرهای محلول اگرچه همیشه روان هستند، اما نیاز به کمی گرما دارند تا کندروانی آن‌ها به هنگام پاشش بر روی مصالح سنگی بین ۲۰ تا ۱۲۰ سانتی‌استوکس قرار گیرد. اختلاط قیر محلول و مصالح سنگی باید بلافاصله انجام گیرد تا قبل از رسیدن قیر محلول به کندروانی ۱۵۰ تا ۳۰۰ سانتی‌استوکس، عملیات اختلاط تکمیل گردد. در این صورت، حلال موجود در قیر محلول موجب می‌شود که قیر به مدت کافی و تا تکمیل فرآیند اختلاط روان باشد. با این حال، دمای مصالح سنگی در سایه و در حین اختلاط نباید کمتر از ۱۰ درجه سلسیوس باشد.

دماهای مناسب برای پاشش و اختلاط قیرآبه‌ها و محلول مورد استفاده در آسفالت سرد مخلوط در محل در جدول (۱۸-۷) ارایه شده است.

ث- اختلاط قیر و مصالح سنگی

جزئیات اختلاط قیر و مصالح سنگی در آسفالت سرد مخلوط در محل بسته به نوع ماشین‌آلات اختلاط مورد استفاده به شرح زیر است:

۱- اختلاط با مخلوط‌کننده چرخشی

در مخلوط‌کننده‌های چرخشی مجهز به سیستم پاشش قیر توکار (تعبیه شده در داخل محفظه اختلاط) نرخ پخش قیر به طور دقیق با توجه به سرعت پیشروی دستگاه، عرض و ضخامت لایه و دانسیته مصالح سنگی موجود در محل هماهنگ می‌شود. در نوع دیگر مخلوط‌کننده‌های چرخشی، یک ماشین قیرپاش که جلوتر از

دستگاه مخلوط‌کن حرکت می‌کند، قیر را روی مصالح سنگی پخش می‌کند. به طور معمول در این نوع مخلوط‌کن به چندین مرحله پخش قیر و عبور تناوبی مخلوط‌کن برای تولید آسفالت سرد مطابق با مشخصات نیاز است باشد. بیشتر مخلوط‌کننده‌های چرخشی مجهز به سیستم پخش قیر توکار می‌باشند. مراحل تولید آسفالت سرد مخلوط در محل در هنگام استفاده از این نوع از مخلوط‌کننده‌های چرخشی به صورت زیر می‌باشد:

- مصالح سنگی با شیب طولی و مقطع عرضی یکنواخت توسط گریدر پخش شوند.
- مصالح سنگی با یک یا چند مرتبه عبور مخلوط‌کن مخلوط شوند. (هنگام استفاده از قیر محلول، رطوبت مصالح سنگی در حین اختلاط با قیر نباید بیش از ۳ درصد باشد. تنها در صورتی‌که آزمون‌های آزمایشگاهی درصدهای بالاتر رطوبت را مضر نداند رطوبت مصالح سنگی در حین اختلاط با قیر محلول می‌تواند از سه درصد تجاوز کند.)
- با هر مرتبه عبور مخلوط‌کن، مقدار ۲٫۲۵ لیتر بر مترمربع قیرپاشی انجام شود تا در نهایت کل قیر مورد نیاز پخش و با مصالح سنگی مخلوط شود. عموماً مقدار ۰٫۷ تا ۱٫۱ لیتر بر متر مربع قیر به ازای هر ۱۰ میلی‌متر ضخامت لایه متراکم آسفالت سرد مورد نیاز است. اگر مخلوط‌کن به لوله پاشش قیر مجهز نباشد، ماشین قیرپاش قیر را روی مصالح سنگی پخش می‌کند.
- در صورت نیاز و برای حصول اطمینان از اختلاط کامل قیر و مصالح سنگی، پس از هر مرحله قیرپاشی عمل اختلاط با یک یا چند مرتبه عبور مخلوط‌کن انجام شود.
- پس از هر مرتبه عبور مخلوط کن (در طی فرآیند اختلاط)، شیب طولی و مقطع عرضی آسفالت سرد مخلوط در محل توسط گریدر اصلاح شود.
- در صورت لزوم، با زیر و رو کردن بیشتر آسفالت سرد مخلوط در محل، عملیات هوادهی انجام گیرد.

۲- اختلاط با گریدر

در اختلاط با گریدر، مصالح سنگی موجود در سطح راه یا مصالحی که به محل مصرف حمل شده‌اند، به مقدار لازم در سطح راه، ریسه می‌شوند. سپس ریسه توسط تیغه گریدر به عرض لوله پخش قیرپاش مسطح می‌شود. قیر به طور یکنواخت و در دمای مشخص با عبورهای متوالی ماشین قیرپاش بر روی ریسه مسطح پخش می‌شود. در مرتبه اول عبور قیرپاش، نرخ پخش قیر ۲٫۳ الی ۴٫۵ لیتر بر مترمربع می‌باشد. قیرپاشی در عبورهای بعدی باید با نرخ پخش کمتر از ۴٫۵ لیتر بر مترمربع انجام گیرد.

بلافاصله پس از قیرپاشی مرتبه اول، با زیر و رو کردن مخلوط مصالح سنگی و قیر توسط تیغه گریدر، عملیات اختلاط شروع می‌شود. در بعضی مواقع ماشین‌آلات اختلاط کمکی به این عملیات کمک می‌نماید. عملیات اختلاط باید تا زمانی‌که قیر به طور یکنواخت درون مصالح توزیع شود انجام گیرد. قبل از قیرپاشی مرتبه دوم، مخلوط به شکل مسطح ریسه می‌شود و یا بر روی خط عبوری (که قرار است روکش شود) به ضخامت یکنواخت پخش می‌شود. برای پخش کامل قیر در مخلوط و ایجاد پوشش کامل مصالح سنگی، مخلوط حاصل به دفعات لازم تحت عملیات اختلاط، پخش، ریسه کردن و هموار سازی قرار می‌گیرد. این مراحل باید تا زمانی‌که مقدار قیر مشخص شده طرح به طور یکنواخت با مصالح سنگی مخلوط شوند، ادامه می‌یابد. برای راحتی پخش، پس از تکمیل اختلاط و هوادهی، آسفالت سرد ریسه شده در یک سمت مسیر راه جمع می‌شود تا برای پخش آماده باشد. در صورتی‌که ریسه تا مدتی در سطح مسیر باقی بماند باید در زمان‌های مدون برش‌هایی در امتداد ریسه ایجاد شود تا امکان عبور آب باران به کناره راه فراهم شود.

هنگام استفاده از گریدر برای اختلاط توجه به نکات زیر حائز اهمیت است:

- این روش کمترین دقت را دارد. کیفیت کار به تجربه و توانایی اپراتور گریدر بستگی دارد و معمولاً زمانی که حجم عملیات کم باشد، اجرا می‌شود.
- اگر برای افزایش کیفیت اختلاط و تراکم آسفالت سرد حاوی قیرآبه نیاز به آب باشد، آب قبل از قیرآبه به مصالح افزوده می‌شود.
- اختلاط تا پوشش کامل سنگدانه‌ها ادامه یافته و باید از اختلاط اضافی که باعث جداشدگی قیر از سنگدانه‌ها می‌شود، پرهیز شود.
- برای ایجاد ریسه با مقطع عرضی ثابت و یکنواخت از قالب ریسه[1] یا جعبه پخش[2] استفاده می‌شود. مقدار مناسب نرخ پاشش قیر بر روی مصالح ریسه باید محاسبه شده و کنترل گردد.
- در حین اختلاط قیر و سنگدانه‌ها باید توجه شود که مصالح نامناسب اضافی از سطح راه کنده نشده و به مصالح ریسه افزوده نشود. همچنین باید دقت شود که مصالح ریسه بدون اختلاط با قیر در کنار راه باقی نمانند.

1. Windrow Sizer
2. Spreader Box

- هنگام استفاده از قیر محلول، رطوبت مصالح سنگی در حین اختلاط با قیر نباید بیش از ۳ درصد باشد. تنها در صورتی‌که آزمایش‌های آزمایشگاهی درصدهای بالاتر رطوبت را مضر نداند رطوبت مصالح سنگی در حین اختلاط با قیر محلول می‌تواند از ۳ درصد تجاوز کند.
- گاهی اوقات در هنگام استفاده از قیرهای محلول، تشکیل گلوله‌های پرقیر[1] به صورت مخلوطی از مصالح ریزدانه اشباع شده و اندود شده با قیر زیاد می‌تواند موجب دشواری پخش و تراکم مخلوط آسفالت سرد گردد. این وضعیت را می‌توان با ایجاد ریسه‌های فشرده‌تر و عمل‌آوری آن‌ها به مدت چند روز برطرف کرد.

۳- اختلاط با ماشین اختلاط سیار

ماشین اختلاط سیار دارای قیف، مقدار مناسب قیر را با مصالح سنگی که مستقیماً از کامیون حمل به درون قیف تخلیه شده است، مخلوط کرده و مخلوط آسفالت سرد آماده شده را پشت ماشین به شکل ریسه برای پخش باقی می‌گذارد. برخلاف مخلوط‌های آسفالت سرد مخلوط در محل با دانه‌بندی باز که می‌توان آن‌ها را بلافاصله پس از پخش متراکم نمود، در مخلوط‌های با دانه‌بندی پیوسته، مراقبت‌های لازم برایخروج کافی آب یا حلال از مخلوط قبل از عملیات تراکم باید صورت گیرد. مزیت ماشین اختلاط سیار نسبت به گریدر کنترل دقیق‌تر عملیات اختلاط است. هنگام استفاده از قیر محلول، رطوبت مصالح سنگی در حین اختلاط با قیر نباید بیش از ۳ درصد باشد. تنها در صورتی‌که آزمایش‌های آزمایشگاهی درصدهای بالاتر رطوبت را مضر نداند رطوبت مصالح سنگی در حین اختلاط با قیر محلول می‌تواند از ۳ درصد تجاوز کند. مخازن ذخیره قیر باید به گونه‌ای طراحی شوند که همه محتویات آن‌ها به طور یکنواخت گرم شوند. پیمانکار باید ابزار مورد نیاز برای تعیین دمای قیر در حین گرم شدن و قبل از قیرپاشی را تهیه کند.

۱۸-۱۱-۳ هوادهی مخلوط آسفالت سرد

قبل از تراکم مخلوط‌های آسفالت سرد ضرورت دارد که بخش عمده‌ای از حلال قیرهای محلول و یا آب قیرآبه‌ها سنگدانه‌ها که جهت افزایش کارپذیری مخلوط برای سهولت و تکمیل عملیات اختلاط مصرف شده، به اندازه کافی تصعید یا تبخیر شود. در بیشتر موارد این فرآیند در طی مراحل اختلاط و پخش مخلوط آسفالت سرد روی می‌دهد. اما در صورت پخش آسفالت سرد در لایه‌های ضخیم لازم است که زیر و رو کردن[2] مخلوط بر روی سطح راه برایافزایش سرعت فرآیند فوق انجام شود. تا زمانی‌که مخلوط آسفالت سرد به میزان کافی

1. Oil Balls
2. Manipulation

هوادهی نشود، نمی‌تواند وزن غلتک را بدون جابجایی و حرکت‌های جانبی (موج‌افتادگی[1]) تحمل کند. به طور کلی هنگامی‌که مخلوط حالت چسبنده[2] پیدا کند به میزان کافی هوادهی شده است.

متغیرهای زیادی در تعیین زمان هوادهی مخلوط‌های آسفالت سرد موثرند. برای مثال طول مدت زمان هوادهی برای دانه‌بندی‌های پیوسته و با بافت ریز، وقتی‌که سایر شرایط ثابت باشد در مقایسه با دانه‌بندی‌های باز و با بافت درشت بیشتر است. همچنین موقعی‌که آسفالت سرد پس از چند روز با لایه دیگری روکش می‌شود، هوادهی لایه اولیه قبل از تراکم باید بیشتر از وقتی باشد که آسفالت سرد روکش نمی‌شود، زیرا لایه روکش، تبخیر مواد فرار از لایه زیرین را به تاخیر می‌اندازد.

در زمینه هوادهی مخلوط آسفالت سرد توجه به نکات زیر حائز اهمیت است:

- به طور کلی مخلوط‌های آسفالت سرد کارخانه‌ای که به صورت ریسه روی سطح راه تخلیه شده سپس پخش می‌شوند، نیاز به هوادهی دارند. پخش مخلوط‌های فوق توسط گریدر انجام شده و عملیات هوادهی با زیر و رو کردن مخلوط توسط تیغه گریدر یا تجهیزات اختلاط چرخشی انجام می‌شود.
- در مخلوط‌های آسفالت سرد مخلوط در محل، صرف نظر از روش عملیات اختلاط، باید عملیات هوادهی با زیر و رو کردن مخلوط توسط گریدر تا خروج مقدار لازم آب و یا مواد حلال ادامه یابد.
- برای مخلوط آسفالت سرد تهیه شده با قیر محلول، هوادهی صحیح زمانی انجام می‌گیرد که حلال موجود در قیر به ۵۰ درصد حلال موجود در قیر اولیه و مقدار رطوبت به کمتر از ۳٪ وزن مخلوط کاهش یابد. اندازه‌گیری کاهش حلال‌های نفتی و یا رطوبت یا مخلوط‌های آسفالت سرد مطابق با روش استاندارد ASTM D1461 انجام می‌شود.
- برای مخلوط‌های آسفالت سرد تهیه شده با قیرآبه، عملیات غلتک‌زنی اولیه باید بلافاصله قبل یا در لحظه شروع شکست[3] قیرآبه آغاز شود. شکست قیرآبه با تغییر رنگ قیرآبه از قهوه‌ای به سیاه مشخص می‌گردد. در این شرایط، رطوبت مخلوط آسفالت سرد برای آنکه نقش روانکاری بین سنگدانه‌ها را ایفا کند کافی است. اما رطوبت به حدی کم شده است که تمام حفرات خالی مخلوط را پر نمی‌کند. بنابراین در اثر نیروهای تراکم ناشی از غلتک‌زنی مقدار حفرات خالی کم می‌شود. همچنین در این شرایط، مخلوط آسفالت سرد می‌تواند بدون جابجایی زیاد وزن غلتک را تحمل کند.

1. Shoving
2. Tacky
3. Break

۱۸-۱۱-۴ پخش و تراکم مخلوط آسفالت سرد

پس از انجام مراحل اختلاط و هوادهی، عملیات پخش و تراکم به عنوان مراحل نهایی اجرای آسفالت سرد انجام می‌گیرد. شکل‌گیری نهایی مقطع عرضی راه و ایجاد سطح صاف برای رانندگی از اهداف مراحل فوق می‌باشد. به طور کلی در زمینه پخش و تراکم مخلوط‌های آسفالت سرد توجه به نکات زیر ضروری است:

- پخش آسفالت سرد باید در یک یا چندین لایه به ضخامت یکنواخت انجام شود. پس از پخش هر لایه عملیات تراکم انجام می‌شود.
- پس از آنکه لایه زیرین به صورت کامل متراکم و عمل‌آوری شود، پخش لایه بعدی بر روی آن انجام می‌گیرد. منظور از عمل‌آوری خروج کامل آب و حلال از آسفالت سرد می‌باشد. عملیات فوق باید به دفعات لازم تا دستیابی به مقطع عرضی مورد نظر تکرار شود.
- گاهی اوقات رویه تکمیل شده آسفالت سرد قبل از عمل‌آوری کامل موقتاً بر روی ترافیک باز می‌شود. در چنین مواقعی، برایپیشگیری از بلندشدن آسفالت در اثر چسبیدن آن به چرخ خودروها، توصیه می‌شود که با پخش قیرآبه دیرشکن رقیق شده با مقدار برابر آب به نرخ ۰/۴۵ لیتر بر مترمربع سطح رویه آب‌بند شود. پس از قیرپاشی باید تا زمانی‌که آسفالت به چرخ خودروها نچسبد، اجازه گیرش به قیرآبه داده شود. برای عبور زودتر ترافیک می‌توان از ماسه‌پاشی برای جلوگیری از چسبیدن آسفالت به چرخ خودروها کرد.
- اگر مقدار رطوبت آسفالت سرد را بتوان با دقت کنترل کرد به نحوی که نیاز به هوادهی نباشد، یا اگر شرایط آب و هوایی و دانه‌بندی مصالح امکان خروج رطوبت یا حلال را بدون هوادهی فراهم سازد، می‌توان آسفالت سرد را با فینیشرهای معمولی خودمحرکه و یا پخش‌کننده خودمحرکه پخش کرد.
- اجرای آسفالت سرد کارخانه‌ای با فینیشرهای معمولی خودمحرکه مشابه اجرای آسفالت داغ است. استفاده از فینیشر برای پخش مخلوط آسفالت سرد کارخانه‌ای لایه رویه توصیه می‌شود. اگرچه برای پخش لایه اساس می‌توان از پخش‌کننده خودمحرکه یا حتی گریدر استفاده کرد.

برای پخش و تراکم مخلوط آسفالت سرد که توسط فینیشرهای معمولی خودمحرکه و یا پخش‌کننده خودمحرکه پخش می‌شوند، توجه به نکات زیر ضروری است:

- پخش مخلوط‌های فوق باید به طور پیوسته انجام شود و از هرگونه وقفه در طول آن جلوگیری شود. کارکرد مناسب ماشین پخش برایاجرای لایه یکنواخت و هموار تعیین کننده است. این امر با ثابت نگه

داشتن سرعت پیشروی و نیز ثابت نگه داشتن سطح آسفالت داخل ناحیه حلزونی‌ها تامین می‌شود. هرگونه غیریکنواختی یا ناهمواری در پخش باید قبل از تراکم نهایی مخلوط اصلاح شود.

- مخلوط‌های فوق باید در لایه‌های با ضخامت یکنواخت پخش شود، به‌طوریکه ضخامت هر لایه پس از تراکم کمتر از دو برابر حداکثر اندازه سنگدانه‌ای نباشد. حداکثر ضخامت پخش باید به اندازه‌ای باشد که در صورت پخش در یک لایه دانسیته یکنواخت و همواری سطح لایه تامین شود.
- به طور معمول ضخامت پخش هر لایه مخلوط آسفالت سرد قیرآبه‌ای کارخانه‌ای پس از تراکم ۵۰ تا ۷۵ میلی‌متر می‌باشد. مخلوط‌های فوق را می‌توان در لایه‌های با ضخامت تا ۱۰۰ میلی‌متر نیز اجرا کرد.
- مشابه سایر مخلوط‌های آسفالت سرد، مقاومت مطلوب مخلوط‌های فوق برای تحمل وزن غلتک بدون موج‌افتادگی با تبخیر رطوبت و مواد حلال اضافی حاصل می‌شود. به دلیل عدم هوادهی مخلوط‌های فوق، حداکثر ضخامت مجاز با توجه به نرخ کاهش رطوبت و مواد حلال اضافی تعیین می‌شود. مهمترین عوامل تاثیرگذار بر کاهش رطوبت و مواد حلال اضافی شامل نوع قیر، مقدار رطوبت یا حلال، دانه‌بندی و دمای مصالح سنگی، سرعت باد، دما و رطوبت محیط می‌شود. با توجه به متغیرهای فوق، تجربیات محلی به عنوان بهترین راهنما برای تعیین حدکثر ضخامت مجاز پخش مخلوط آسفالت سرد در نظر گرفته می‌شود.
- پخش مخلوط‌های فوق بر روی سطح راه باید از دورترین نقطه نسبت به کارخانه آسفالت شروع شود. حرکت ماشین‌آلات حمل بر روی آسفالت تازه پخش شده مجاز نیست، مگر آنکه برای تکمیل کار لازم باشد.
- پس از پخش هر لایه غلتک‌زنی اولیه توسط غلتک‌های چرخ‌فولادی جفت یا سه‌چرخ، غلتک‌های ارتعاشی یا غلتک‌های چرخ‌لاستیکی انجام می‌شود. وزن غلتک‌ها در این مرحله از تراکم حداقل ۹ تن و فشار تماسی لاستیک چرخ‌ها حداکثر ۶۲۰ کیلوپاسکال توصیه می‌شود. در صورت لزوم، غلتک‌زنی میانی توسط غلتک‌های چرخ‌لاستیکی بلافاصله پس از غلتک‌زنی اولیه انجام می‌شود. پس از شکل‌گیری نهایی مقطع عرضی راه، غلتک‌زنی نهایی برایاز بین رفتن رد چرخ‌های غلتک‌های دو مرحله پیشین و بهبود همواری لایه آسفالت سرد انجام می‌شود. استفاده از یک غلتک چرخ فولادی جفت با حداقل وزن هشت تن برای غلتک‌زنی نهایی توصیه می‌شود. در مکان‌های بسیار کوچک که عملیات تراکم با غلتک‌های فوق با مشکل مواجه می‌شود می‌توان با متراکم‌کننده صفحه‌ای یا متراکم‌کننده ضربه‌ای دستی به تراکم مورد نظر دست یافت.

- برای غلتک‌زنی اولیه آسفالت سرد با دانه‌بندی باز از غلتک چرخ فولادی و برای دانه‌بندی پیوسته از غلتک‌های ارتعاشی یا چرخ لاستیکی استفاده می‌شود. استفاده از غلتک ارتعاشی برای دانه‌بندی باز توصیه نمی‌شود چون باعث شکستن سنگدانه‌ها و گسستگی در آسفالت می‌شود.
- پخش یکنواخت مقدار کمی ماسه زبر خشک یا مصالح رد شده از الک ۲ میلی‌متر (شماره ۱۰) حاصل از سنگدانه‌های با دانه‌بندی باز، با نرخ ۳٫۳ تا ۶٫۶ کیلوگرم بر مترمربع، قبل یا پس از مرحله اولیه غلتک‌زنی از چسبیدن آسفالت سرد به ماشین‌آلات اجرایی و غلتک‌های بعدی جلوگیری می‌کند.
- در آسفالت سرد با دانه‌بندی باز شکست قیرآبه یا تبخیر حلال نسبتا سریع روی می‌دهد و غلتک‌زنی این آسفالت را می‌توان بلافاصله پس از پخش (پشت فینیشر) شروع کرد. شکست قیرآبه یا تبخیر حلال در آسفالت سرد با دانه‌بندی پیوسته بر خلاف آسفالت سرد با دانه‌بندی باز، مدتی پس از پخش اتفاق می‌افتد. از آنجاکه رطوبت و یا حلال زیادی برای اختلاط آسفالت با دانه‌بندی پیوسته به کار می‌رود غلتک‌زنی اولیه تا کسب مقاومت کافی آسفالت به تأخیر می‌افتد. مقدار تاخیر به ضخامت پخش، شرایط عمل‌آوری نظیر دمای هوا، رطوبت و سرعت باد دارد.
- برای پخش مطلوب آسفالت سرد با فینیشرهای معمولی خودمحرکه نیاز است که سیال کافی درون فینیشر وجود داشته باشد. آسفالت خیلی خشک زیر ماله[1] یا اتوی فینیشر معمولاً گسسته می‌شوند. افزایش مقدار آب آسفالت سرد می‌تواند مشکل را برطرف کند. گرم کردن اتوی فینیشر باعث رفع مشکل نمی‌گردد، بلکه با تسریع تبخیر آب باعث کاهش کارپذیری آسفالت می‌شود.

برای پخش و تراکم آسفالت سرد که توسط گریدر پخش می‌شوند توجه به نکات زیر ضروری است:

- مخلوط‌های فوق باید در یک لایه یا چندین لایه نازک با ضخامت یکنواخت پخش شود، به طوریکه ضخامت هر لایه پخش شده پس از تراکم کمتر از ۲ برابر حداکثر اندازه سنگدانه‌ای مصالح و بیشتر از ۷۵ میلی‌متر (۳ اینچ) نباشد. بهتر است که ضخامت لایه‌های پخش شده از ۶ برابر حداکثر اندازه سنگدانه‌ای کمتر باشد تا تراکم لازم حاصل گردد. پس از پخش هر لایه، عملیات تراکم توسط غلتک چرخ‌لاستیکی انجام می‌شود. برای غلتک‌زنی اولیه آسفالت با دانه‌بندی پیوسته در لایه‌های ضخیم می‌توان از غلتک پاچه‌بزی[2] هم استفاده کرد.

1. Strike-off
2. Padfoot Roller

- هنگام استفاده از گریدر برای پخش مخلوط آسفالت سرد، چرخ‌های گریدر لایه تازه پخش شده را تا حدودی متراکم می‌کنند و رد خود را بر روی آن باقی می‌گذارند. برایاز بین رفتن رد چرخ گریدر، آسفالت سرد باید در چند لایه پخش شده و قبل از پخش لایه بعدی به اندازه کافی غلتک‌زنی گردد. غلتک باید مستقیماً پشت گریدر حرکت کند تا اثر رد چرخ‌های گریدر به حداقل برسد.
- اگر در هر زمانی حین عملیات تراکم، مخلوط آسفالت سرد دچار تغییرشکل‌های ماندگار زیاد یا موج‌افتادگی شود، غلتک‌زنی باید باید تا کاهش مناسب رطوبت یا مواد حلال به صورت طبیعی (در طی فرآیند اختلاط و پخش) یا در اثر هوادهی متوقف گردد.
- تمامی ناهمواری‌های سطحی باید همزمان با تکمیل عملیات تراکم و تا هنگامی‌که آسفالت همچنان نرم است از طریق تیغه زدن اصلاح گردد. عملیات تیغه زدن و تراکم باید تا زمانی‌که مقطع عرضی و شیب طولی مناسب حاصل گردد، ادامه یابد.
- پس از شکل‌گیری مقطع عرضی نهایی راه باید با استفاده از یک غلتک مناسب، ترجیحاً غلتک استاتیکی چرخ فولادی، تمامی رد غلتک‌ها را از بین برد.
- تجربه نشان داده که بهتر است آسفالت سرد ماسه‌ای در لایه‌های با ضخامت حداکثر ۵ سانتی‌متر اجرا شود. لازم به ذکر است که استفاده از آسفالت سرد فوق عموماً برای لایه اساس مناسب‌تر است، اما گاهی اوقات به دلیل کمبود مصالح و ملاحظات اقتصادی می‌توان از آن در لایه رویه نیز استفاده کرد.
- به محض اینکه گیرش لایه آسفالت سرد ماسه‌ای کامل شود قیرآبه‌های زودشکن از نوع RS-1، RS-2، CRS-1 و CRS-2 باید به طور یکنواخت پاشیده شود و بلافاصله با سنگریزه پوشیده شود. روند اجرا باید مطابق با آخرین ویرایش نشریه ES-12 انستیتوآسفالت باشد.

۱۸-۱۲ ملاحظات اجرایی آسفالت سرد

در عملیات اجرای آسفالت سرد ملاحظات زیر باید در نظر گرفته شود:

- اجرای آسفالت سرد باید در دمای محیط حداقل ۱۰ درجه سلسیوس انجام شود. با توجه به گرم نشدن مصالح سنگی در آسفالت سرد، دمای مصالح حداکثر به دمای محیط می‌رسد. بلافاصله پس از افزودن قیر، دمای مخلوط به سرعت به دمای مصالح سنگی می‌رسد. در نتیجه، اگر هوا خیلی خنک باشد، عملیات اختلاط به سختی انجام می‌شود.

- پخش آسفالت سرد کارخانه‌ای باید هنگامی انجام شود که بتوان به دانسیته مد نظر دست یافت. آسفالت سرد کارخانه‌ای نباید در سطوح خیس و یا شرایط آب و هوایی که حمل، پخش و تراکم با مشکل مواجه شود، پخش شود. آسفالت سرد لایه رویه باید هنگامی پخش شود که دمای سطح لایه زیرین حداقل ۱۰ درجه سلسیوس باشد.
- پخش قیر بر روی مصالح سنگی آسفالت سرد مخلوط در محل باید هنگامی انجام شود که دمای هوا در سایه حداقل ۱۰ درجه سلسیوس باشد. عملیات فوق باید در طی بارندگی و پس از آن تا زمان خشک شدن مصالح سنگی متوقف شود.
- مقدار آب زمان اختلاط برای آسفالت سرد قیرآبه‌ای باید کمترین مقداری باشد که قیرآبه به طور یکنواخت در مخلوط پراکنده شود و کارآیی مناسب را تأمین نماید. مصرف بیش از اندازه آب باعث تأخیر در عمل‌آمدن و عملیات غلتک‌زنی می‌گردد.
- زمان اختلاط آسفالت سرد قیرآبه‌ای باید کمترین مقداری باشد که قیرآبه به طور یکنواخت در مخلوط پراکنده شود. اختلاط بیش از اندازه موجب شکست کامل و جدا شدن قیرآبه از سطح سنگدانه‌ها می‌گردد. زمان اختلاط مورد نیاز آسفالت سرد قیرآبه‌ای در کارخانه آسفالت کمتر از آسفالت داغ است.
- برای عمل‌آوری سریعتر، به جای اجرای یک لایه ضخیم، آسفالت سرد باید در چند لایه نازک اجرا گردد.
- اجرای قشرهای متوالی مشروط به آن است که لایه زیرین عمل آمده و آب و مواد فرار آن و تبخیر و متصاعد شده باشد. اگر آب و حلال‌های نفتی در اثر آب‌بندی سطح لایه متراکم محبوس گردد، مشکلاتی برای روسازی ایجاد می‌شود.
- در صورتی که شن‌زدگی اتفاق افتاد، باید هر چه زودتر و برای جلوگیری از خسارت بیشتر، مصالح کنده شده در سطح راه جارو شود. اگر شن‌زدگی ادامه یافت، باید اندود آب‌بندی با استفاده از قیرآبه دیرشکن رقیق‌شده روی آن اجرا کرد. میزان رقیق کردن قیرآبه بستگی به شدت شن‌زدگی و همچنین پیشگیری از چسبیدن لایه قیرآبه به چرخ خودروها دارد.
- رطوبت مصالح سنگی برای اختلاط با قیرآبه و تراکم آسفالت سرد باید حداکثر ۳٪ باشد. رطوبت بیشتر از ۳٪ موجب اشکال در اختلاط و تراکم و پوشش سنگدانه‌ها توسط قیرآبه می‌شود. در صورت استفاده از قیر محلول، باید مقدار رطوبت سطحی کمتر از ۳٪ باشد. قیرآبه‌های آنیونی (MS و SS) و قیرآبه‌های کاتیونی (CMS و CSS) بدون حلال نیاز به رطوبت برای اختلاط دارند. قیرآبه‌های HFMS (به طور خاص

HFMS-2s) و قیرآبه‌های کاتیونی CMS-2 و CMS-2h به دلیل وجود مقداری حلال نفتی در ترکیب آن‌ها با مصالح خشک بهتر مخلوط می‌شوند.

- در صورت عبور جریان ترافیک در حین اجرای پروژه، باید تردد وسایل نقلیه با استفاده از علائم، موانع، تجهیزات، پرچم‌ها و خودروهای هشدار دهنده به نحوی هدایت شود که حداکثر ایمنی برای کاربران و کارگران تامین گردد و اجرای کار و عبور ترافیک با حداقل تداخل مواجه شود.
- عبور ترافیک بر روی مخلوط آسفالت سرد تازه پخش شده ممنوع است. در صورتی‌که عبور ترافیک در حین عملیات غلتک‌زنی اجتناب ناپذیر باشد، باید تا زمان تکمیل عملیات تراکم و عمل‌آوری مخلوط آسفالت سرد، سرعت وسایل نقلیه به کمتر از ۴۰ کیلومتر بر ساعت محدود شود.

۱۸-۱۳ کنترل کیفیت

۱۸-۱۳-۱ کنترل تراکم قشرهای آسفالت سرد

متوسط تراکم نسبی (متوسط دانسیته خشک) هریک از قشرهای آسفالت سرد به ازای هر پنج آزمایش (در پنج محل) باید حداقل ۹۵ درصد متوسط دانسیته خشک شش نمونه آزمایشگاهی مارشال (اخذ شده از کامیون‌های حمل) باشد. همچنین در هیچ محلی تراکم نسبی کمتر از ۹۲ درصد دانسیته متوسط نمونه‌های آزمایشگاهی نباشد. دانسیته نمونه‌های آزمایشگاهی مخلوط آسفالت سردی که با قیرهای محلول تهیه می‌شود، بعد از تصعید ۵۰ درصد مواد فرار و حلال‌های نفتی آسفالت اندازه‌گیری می‌شود.

۱۸-۱۳-۲ کنترل سطح آسفالت

ضخامت و یکنواختی سطح قشرهای آسفالت سرد باید با مندرجات نقشه‌های اجرایی منطبق باشد. میزان اختلاف مجاز، باید از قبل در مشخصات خصوصی تصریح شده باشد که در هر حال، نباید از حدود زیر تجاوز کند:

- میانگین ضخامت آسفالت کوبیده شده نباید در کل پروژه کمتر از ضخامت طراحی (نقشه) و در هر نمونه‌برداری به تنهایی بیش از ۱۳ میلی‌متر از ضخامت طراحی کمتر باشد.
- یکنواختی سطح نهایی روسازی در راستای موازی با محور و یا عمود بر محور باید از طریق شمشه سه متری کنترل شده و به ترتیب بیش از ۵± و ۸± میلی‌متر نباشد.

هرگونه ناهمواری خارج از رواداری فوق و کلیه معایب موجود در سطح روسازی باید با هزینه پیمانکار و طبق نظر مهندس مشاور اصلاح گردد.

۱۸-۱۳-۳ آزمایش‌های کنترل کیفیت

مصالح مصرفی در مخلوط آسفالت سرد را در حین کار باید مورد آزمایش قرار داد تا نواقص و انحراف‌های آن نسبت به مشخصات فنی مورد نیاز، به سرعت اصلاح شود. برای کنترل کیفیت ابتدا باید نمونه‌برداری از مصالح انجام و سپس آزمایش شود. توضیحات بیشتر در این زمینه در بند (۲۰-۴ کنترل کیفیت مصالح سنگی و قیر)، ارایه شده است.

۱۸-۱۳-۳-۱ قیر

قیر مصرفی برای آسفالت سرد باید با انجام آزمایش‌هایی به شرح مشخصات فصل چهاردم و بر اساس تواتر بیان شده در جدول (۲۰-۲۴ کنترل کیفیت آسفالت تولیدی)، کنترل گردد.

۱۸-۱۳-۳-۲ مصالح سنگی

مصالح سنگی باید با انجام آزمایش‌های دانه‌بندی، ارزش ماسه‌ای، دامنه خمیری، شکستگی، وزن مخصوص و رطوبت، بر اساس تواتر بیان شده در (۲۰-۲۴ کنترل کیفیت آسفالت تولیدی)، کنترل گردد.

۱۸-۱۳-۳-۳ مخلوط آسفالتی

کیفیت آسفالت سرد تولیدی کارخانه بابد مطابق آزمایش‌های جدول (۱۸-۱۲) کنترل شود. چنانچه نتایج هر کدام از آزمایش‌ها مطابق با مشخصات تعیین شده نباشد، باید اقدام فوری برای رفع نقص انجام شود. اگر در چهار نوبت متوالی، نتایج یک آزمایش خارج از مشخصات باشد، باید عملیات آسفالتی متوقف و بعد از حصول اطمینان نسبت به رفع نواقص، کار مجدداً شروع شود.

جدول ۱۸-۱۲ کنترل کیفیت آسفالت تولیدی*

گروه	عنوان آزمایش‌ها	تناوب	محل نمونه‌گیری
سری کامل آزمایش‌ها	مشخصات ارایه شده در جداول (۱۸-۹) الی (۱۸-۱۱)	ارایه شده در جدول (۲۰-۲۸)	ارایه شده در جدول (۲۰-۲۸)
آزمایش‌های جزئی	درصد قیر، دانه‌بندی		
* هرگاه که مهندس مشاور تشخیص دهد به تعداد آزمایش‌های دوره‌ای مذکور افزوده می‌شود.			

پیش از انجام آزمایش تجزیه مخلوط به روش مکانیکی (اکستراکشن) برایتعیین درصد قیر و دانه‌بندی، مخلوط آسفالت سرد که ضخامت نکوبیده و غیر متراکم آن از ۳۸ میلی‌متر تجاوز نکند در یک ظرف فلزی قرار می گیرد و سه نوبت و هر نوبت یک ساعت در اون (گرمخانه) با دمای ۳±۱۲۱ درجه سلسیوس حرارت داده می‌شود. هر بار بعد از یک ساعت، نمونه از اون خارج شده و یک دقیقه کاملا هم زده می‌شود. سپس نمونه در دمای اتاق سرد شده و مطابق با روش استاندارد ASTM D2172 یا AASHTO T164 مورد آزمایش اکستراکشن قرار گیرد.

۱۸-۱۳-۳-۴- کنترل آسفالت کوبیده شده سطح راه و ضخامت لایه

جزئیات مربوط به آزمایش‌های کنترل میزان کوبیدگی و ضخامت لایه آسفالتی کوبیده شده در بند (۲۰-۴-۳) ارایه شده است.

۱۹

آسفالت ماکادم نفوذی

۱۹-۱ کلیات

آسفالت ماکادام 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 ماکادام نفوذی معمولاً در مناطقی به کار برده می‌شود که مصالح سنگی رودخانه‌ای با دانه‌بندی پیوسته یافت نشود. آسفالت ماکادام نفوذی را می‌توان به عنوان قشر اساس و یا قشر رویه به کار برد. خاصیت نفوذپذیری قشر آسفالت 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 است[2] که بر حسب نوع دانه‌بندی انتخابی تعیین می‌شود و میانگین آن حدود ۷۵ میلی‌متر است.

۱۹-۲ انواع آسفالت ماکادام نفوذی

باتوجه 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:

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

جدول ۱۹-۱ 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 ۱/۲ اینچ)	۹۰–۱۰۰												
۷۵ میلی‌متر (۳ اینچ)		۱۰۰											
۶۳ میلی‌متر (۲ ۱/۲ اینچ)	۲۵–۶۰	۹۰–۱۰۰	۱۰۰										
۵۰ میلی‌متر (۲ اینچ)	--	۳۵–۷۰	۹۰–۱۰۰										
۳۷/۵ میلی‌متر (۱ ۱/۲ اینچ)	۰–۱۵	۰–۱۵	۳۵–۷۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰							
۲۵ میلی‌متر (۱ اینچ)	--	--	۰–۱۵	۹۰–۱۰۰	۹۰–۱۰۰	۹۰–۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰				
۱۹ میلی‌متر (۳/۴ اینچ)	۰–۵	۰–۵	--	۲۰–۵۵	۴۰–۸۵	--	۹۰–۱۰۰	۹۰–۱۰۰	۹۰–۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰		
۱۲/۵ میلی‌متر (۱/۲ اینچ)			۰–۵	۰–۱۰	۱۰–۴۰	۲۵–۶۰	۲۰–۵۵	--	--	۹۰–۱۰۰	۹۰–۱۰۰	۱۰۰	
۹/۵ میلی‌متر (۳/۸ اینچ)				۰–۵	۰–۱۵	۰–۱۵	۰–۱۵	۲۰–۵۵	۳۰–۶۵	۴۰–۷۰	۴۰–۷۵	۸۵–۱۰۰	۱۰۰
۴/۷۵ میلی‌متر (شماره ۴)					۰–۵	۰–۵	۰–۵	۰–۱۰	۵–۲۵	۰–۱۵	۵–۲۵	۰–۳۰	۸۵–۱۰۰
۲/۳۶ میلی‌متر (شماره ۸)								۰–۵	۰–۱۰	۰–۵	۰–۱۰	۰–۱۰	۱۰–۴۰

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	٤	٥	٦	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳
اندازه الک‌ها	درصد وزنی رد شده از الک‌ها												
۱٫۱۸ میلی‌متر (شماره ۱۶)									۰–۵		۰–۵	۰–۵	۰–۱۰
۰٫۳ میلی‌متر (شماره ۵۰)													۰–۵

۱۹-۲-۱ آسفالت ماکادام با قیرهای خالص و قیرهای محلول سنگین

۱۹-۲-۱-۱ 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 ۱۹-۱ نشان داده شده است. دانه‌بندی‌ای شماره ۱، ۲ و ۳ بر حسب مورد برای قشر اصلی، و دانه‌بندی‌های شماره ۴، ۵، ۶، ۷ و ۱۰ به عنوان مصالح پرکننده[1] مصرف می‌شود. رابطه انتخاب دانه‌بندی مصالح درشت (قشراصلی) و دانه‌بندی مصالح متوسط (پرکننده) به شرح زیر می‌باشد:

شماره دانه‌بندی قشر اصلی ماکادام	شماره دانه‌بندی مصالح پرکننده
مصالح درشت‌دانه (جدول ۱۹-۱)	مصالح متوسط (جدول ۱۹-۱)
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 مصرفی باید تمیز و فاقد اندودهای خاکی و رسی بوده و مشخصات آن با جدول ۱۹-۲ تطبیق نماید.

1. Key Aggregate

جدول ۱۹-۲ مشخصات فنی مصالح سنگی درشت و متوسط

ردیف	شرح	مشخصات	روش آزمایش	
			AASHTO	ASTM
۱	درصد شکستگی در دو جبهه مانده روی الک شماره ۴	حداقل ۷۵	--	--
۲	درصد سایش با آزمایش لوس آنجلس	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.

۱۹-۲-۱-۲ مواد قیری

با در نظر گرفتن دمای محیط و دانه‌بندی مصالح درشت‌دانه و متوسط یکی از قیرهای جدول ۱۹-۳ 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 ۱۹-۳ قیرهای خالص و قیرهای محلول سنگین

نوع قیر / درجه حرارت	قیر خالص		قیرهای محلول کندگیر	
	۸۵/۱۰۰*	۱۲۰/۱۵۰*	RC- ۳۰۰۰**	RC- ۸۰۰**
درجه حرارت پخش (سلسیوس)	حداقل ۱۴۰	حداقل ۱۳۰	حداقل ۹۵	حداقل ۱۱۰
حداقل درجه اشتعال (سلسیوس)	--	--	حداقل ۲۷	حداقل ۲۷

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

۱۹-۲-۲ آسفالت ماکادام نفوذی با قیرهای محلول سبک و قیرآبه‌ها

۱۹-۲-۲-۱ مصالح سنگی

دانه‌بندی و مشخصات مصالح سنگی مصرفی باید با زیر بندهای الف و ب، بند ۱۹-۲-۱-۱ مطابقت داشته باشد، به استثنای نوع دانه‌بندی مصالح متوسط پرکننده که باید به شرح زیر انتخاب شود.

شماره دانه‌بندی قشر اصلی ماکادام	شماره دانه‌بندی مصالح پرکننده
مصالح درشت‌دانه (جدول ۱۹-۱)	مصالح متوسط (جدول ۱۹-۱)
۱	۸ یا ۹
۲	۸ یا ۹ یا ۱۱
۳	۹ یا ۱۱ یا ۱۲

۱۹-۲-۲-۲ مواد قیری

قیر مصرفی را می‌توان از نوع قیرآبه و یا قیر محلول به شرح جدول ۱۹-۴ انتخاب نمود.

جدول ۱۹-۴ قیرآبه‌ها و قیر محلول سبک

نوع قیر / درجه حرارت	قیرآبه‌ها				قیر محلول
	آنیونیک		کاتیونیک		
	RS-۱	RS-۲	CRS-۱	CRS-۲	RC- ۲۵۰ *
درجه حرارت پخش (سلسیوس)	۲۰-۶۰	۵۰-۸۵	۵۰-۸۵	۵۰-۸۵	حداقل ۷۵
درجه اشتغال (سلسیوس)	--	--	--	--	حداقل ۲۷

* درصورت مصرف قیر محلول RC-250 رعایت موارد احتیاط و ایمنی برای جلوگیری از آتش‌سوزی الزامی است (به زیرنویس جدول ۱۹-۳ مراجعه شود).

۱۹-۳ اجرای عملیات

۱۹-۳-۱ آماده نمودن سطح راه

قبل از اجرای عملیات، سطح راه باید طبق پروفیل‌های طولی و عرضی آماده و سپس با جاروی مکانیکی و یا هوای فشرده از هرگونه 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.

۱۹-۳-۲ 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 ۳ چرخ فلزی مورد تأیید مهندس مشاور آغاز می‌گردد. عبور غلتک در امتداد محور راه انجام و از منتهی الیه 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 برگیرد. عملیات تراکم آن قدر ادامه می‌یابد تا اینکه قشر کوبیده و منسجمی مطابق 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.

۱۹-۳-۳ پخش قیر

مواد قیری با 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 سلسیوس و برای قیرهای محلول سبک و قیرآبه از ۱۰ درجه سلسیوس کمتر نبوده و سطح جانبی مصالح در صورت مصرف قیرهای خالص و محلول خشک باشد. در صورتی که نقاطی از سطح راه را نتوان با 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.

۱۹-۳-٤ پخش و کوبیدن مصالح سنگی متوسط (پرکننده)

مصالح سنگی تمیز و خشک با دانه‌بندی متوسط و منطبق با بندهای ۱۹-۲-۱-۱ و ۱۹-۲-۲-۱ به وسیله پخش‌کن‌های خودرو و به طور یکنواخت، بلافاصله بر روی سطح قیرپاشی شده پخش و عمل غلتک‌زنی به وسیله غلتک‌های چرخ‌فلزی 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 با 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 هیچ گونه جابه‌جایی 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.

۱۹-۳-۵ 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 مهندس مشاور تعیین می‌گردد.

۱۹-٤ 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 (فصل هفدهم) و یا بتن آسفالتی (فصل بیستم) 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 هریک از لایه‌های عملیات آسفالت سطحی مقدار قیر و مصالح سنگی مصرفی در واحد سطح باید بر اساس فصل هفدهم 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 ۱۹-۱ باشد.

۱۹-۵ 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 سه‌چرخ – حداقل وزن غلتک ۶۰ کیلوگرم برای هر یک سانتی‌متر عرض چرخ جلو.

پ: غلتک چرخ‌لاستیکی – 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 طبق مشخصات فصل پانزدهم.

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

۱۹-۶ حفاظت سطح راه به هنگام اجرای عملیات

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

۱۹-۷ آزمایش‌های کنترل کیفیت

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.

۱۹-۷-۱ قیر

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

۱۹-۷-۲ قیرپاشی

برای تعیین مقدار قیر پخش شده به ازای هر ۱۰۰ متر طول در 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.

۱۹-۷-۳ مصالح سنگی

الف: مصالح سنگی باید در جریان تولید هفته‌ای یکبار 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 پانصد 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 فصل‌های هجدهم و بیستم باشد.

ج: در صورتی که مهندس مشاور لازم تشخیص دهد علاوه بر آزمایش‌های فوق، نسبت به انجام آزمایش‌های دیگر نیز باید اقدام شود.

۲۰

آسفالت داغ

۲۰-۱ کلیات

آسفالت داغ[1]، مخلوطی است از سنگدانه‌های شکسته و دانه‌بندی شده و فیلر که در کارخانه آسفالت حرارت داده شـده و با قیر داغ در درجه حرارت‌های معین، مخلوط و به همان صـورت داغ برای مصـرف در راه، حمل، پخش و کوبیده می‌شود. دوام مطلوب، تولید یکنواخت و آماده شدن سریع برای عبور ترافیک، از جمله مزایای آسفالت داغ است که در روسازی راه‌ها، خیابان‌ها، فرودگاه‌ها، باراندازها، پارکینگ‌ها و پایانه‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد.

۲۰-۲ انواع مخلوط‌های آسفالتی داغ

مخلوط‌های آسفالتی داغ از نظر نوع دانه‌بندی به سه دسته مخلوط‌های آسفالتی داغ با دانه‌بندی پیوسته، دانه‌بندی باز (متخلخل) و دانه‌بندی گسسته (ماستیک سنگدانه‌ای) تقسیم‌بندی می‌شود. لازم به ذکر است انتخاب نوع قیر برای مخلوط‌های آسفالتی با توجه به مشخصات آن و همچنین ملاحظات مندرج در فصل چهاردهم (قیر در راهسازی) صورت می‌گیرد.

۲۰-۲-۱ بتن آسفالتی

۲۰-۲-۱-۱ تعریف و حوزه کاربرد

در این ضابطه منظور از بتن آسفالتی، مخلوط آسفالتی با دانه‌بندی متراکم و پیوسته است که متداولترین نوع مخلوط آسفالتی داغ محسوب می‌شود. این نوع مخلوط آسفالتی متناسب با دانه‌بندی و مشخصات مصالح سنگی می‌تواند به عنوان لایه رویه، لایه آستر یا اساس قیری استفاده شود.

- لایه رویه[2] (توپکا)

آسفالت رویه آخرین لایه آسفالتی است که در تماس مستقیم با بارهای وارده از ترافیک و عوامل جوی محیط قرار می‌گیرد؛ بنابراین باید طوری طرح و اجرا شود که در مقابل اثرات سوء آب، یخبندان و تغییرات دما از پایایی

1. Hot-Mix Asphalt (HMA)
2. Wearing Course (Topeka)

و مقاومت لازم برخوردار باشد.

لایه رویه معمولاً نسبت به لایه‌های آستر (بیندر)[1] و اساس قیری[2] دارای دانه‌بندی ریزتر، فضای خالی بین سنگدانه‌های آن زیادتر و در نتیجه قیر بیشتر می‌باشد. حداکثر اندازه سنگدانه‌ها در این لایه بین ۹/۵ تا ۱۹ میلی‌متر می‌باشد که با توجه به بافت سطحی مورد نیاز، نوع ترافیک و شرایط آب و هوایی انتخاب می‌شود. چنانچه درصد رد شده از الک شماره ۸ دانه‌بندی به حداکثر و یا حداقل مجاز میل کند، به ترتیب بافت سطحی ریز یا درشت می‌شود.

- لایه آستر (بیندر)

این لایه بین رویه و لایه‌های آسفالتی زیر آن یا بین رویه و لایه اساس سنگ شکسته قرار می‌گیرد. دانه‌بندی آن درشت‌تر از آسفالت رویه و مقدار قیر آن کمتر است. حداکثر اندازه سنگدانه‌های مورد استفاده لایه آستر معمولاً بین ۱۹ تا ۳۷/۵ میلی‌متر متغیر است. گاهی اوقات در شرایط ترافیک خیلی سنگین، از جمله در بنادر و اسکله‌ها مشروط بر آنکه بافت سطحی آن مشکلی ایجاد نکند از دانه‌بندی‌های لایه آستر با سنگدانه‌های حداکثر اندازه ۲۵ میلی‌متر که در مقابل تغییر شکل ناشی از بارهای خیلی سنگین و هوای گرم حساسیت کمتری دارد، برای لایه رویه استفاده می‌شود.

- اساس قیری

این لایه می‌تواند به عنوان اولین لایه روسازی آسفالتی مستقیماً روی لایه اساس شکسته قرار گیرد. اساس قیری دارای دانه‌بندی درشت‌تر و مقدار قیر کمتر از آسفالت آستر و رویه می‌باشد. حداکثر اندازه سنگدانه‌ها برای این لایه معمولاً تا ۵۰ میلی‌متر و در مواردی نیز تا ۷۵ میلی‌متر قابل اجرا است.

از اساس قیری با دانه‌بندی باز به عنوان یک لایه زهکش به منظور تسریع در تخلیه آب‌های نفوذی به سازه روسازی و همچنین جلوگیری از بازگشت ترک‌های آسفالت موجود در بهسازی‌ها در نقش لایه جاذب تنش[3] با حداکثر اندازه سنگدانه‌های ۳۷/۵ تا ۵۰ میلی‌متر و صد در صد شکسته، استفاده می‌کنند.

1. Binder Course Mixture
2. Asphalt Treated Base
3. Crack Relief Layer

۲۰-۲-۱-۲ مشخصات مصالح سنگی

دانه‌بندی بتن آسفالتی بر حسب مورد باید با یکی از دانه‌بندی‌های جدول (۲۰-۱) مطابقت داشته باشد. ضمناً لازم است که در هر پروژه، نوع دانه‌بندی در مشخصات فنی خصوصی قید شود. همچنین مشخصات سنگدانه‌های درشت و ریز (شامل فیلر) باید با جدول‌های (۲۰-۲) تا (۲۰-۴) مطابقت داشته باشد.

حداکثر اندازه اسمی سنگدانه‌ها (NMAS[1]) عبارت است ازیک اندازه بزرگتر از اولین الک استاندارد که بیش از ۱۰ درصد سنگدانه‌ها روی آن باقی می‌ماند؛ همچنین حداکثر اندازه سنگدانه‌ها (MAS[2]) به صورت یک اندازه بزرگتر از حداکثر اندازه اسمی سنگدانه‌ها تعریف می‌شود.

۲۰-۲-۱-۳ انتخاب قیر

انتخاب قیر مناسب برای هر پروژه باید مورد توجه خاص قرار گیرد. در این انتخاب، به عوامل اصلی از جمله شرایط آب و هوایی محل اجرای طرح و ترافیک مربوط به آن باید توجه ویژه به عمل آید.

نوع قیر مصرفی برای هر پروژه باید توسط مهندس مشاور با لحاظ کلیه پارامترهای موثر از جمله موارد بیان شده و بر اساس طبقه‌بندی عملکردی، انتخاب و در مشخصات فنی خصوصی پروژه قید شود. به عنوان راهنما در این ارتباط می‌توان از نرم‌افزار تدوین شده که در آدرس http://pgi.bhrc.ac.ir ارایه شده است، استفاده کرد.

مشخصات قیرهای خالص مصرفی در آسفالت داغ در فصل چهاردهم به طور مشروح بیان شده است. برای کیفیت برتر آسفالت یا اجرای آسفالت خاص نظیر آسفالت متخلخل یا آسفالت ماستیک درشت‌دانه، می‌توان از قیرهای اصلاح شده به شرح فصل چهاردهم و با تایید مهندس مشاور استفاده کرد.

1. Nominal Maximum Aggregate Size
2. Maximum Aggregate Size

جدول ۲۰-۱ انواع دانه‌بندی پیوسته مخلوط‌های آسفالتی

اندازه الک	شماره دانه بندی					
	۱	۲	۳	۴	۵	۶*
	حداکثر اندازه اسمی سنگدانه‌ها (میلی‌متر)					
	۳۷/۵	۲۵	۱۹	۱۲/۵	۹/۵	۴/۷۵
	نوع لایه آسفالتی					
	اساس قیری	اساس قیری و آستر	اساس قیری و آستر	آستر و رویه	رویه	رویه
	درصد وزنی رد شده از هر الک					
۵۰ میلی‌متر (۲ اینچ)	۱۰۰	–	–	–	–	–
۳۷/۵ میلی‌متر ($1\frac{1}{2}$ اینچ)	۹۰–۱۰۰	۱۰۰	–	–	–	–
۲۵ میلی‌متر (۱ اینچ)	–	۹۰–۱۰۰	۱۰۰	–	–	–
۱۹ میلی‌متر ($\frac{3}{4}$ اینچ)	۵۶–۸۰	–	۹۰–۱۰۰	۱۰۰	–	–
۱۲/۵ میلی‌متر ($\frac{1}{2}$ اینچ)	–	۵۶–۸۰	–	۹۰–۱۰۰	۱۰۰	–
۹/۵ میلی‌متر ($\frac{3}{8}$ اینچ)	–	–	۵۶–۸۰	–	۹۰–۱۰۰	۱۰۰
۴/۷۵ میلی‌متر (شماره ۴)	۲۳–۵۳	۲۹–۵۹	۳۵–۶۵	۴۴–۷۴	۵۵–۸۵	۸۰–۱۰۰
۲/۳۶ میلی‌متر (شماره ۸)	۱۵–۴۱	۱۹–۴۵	۲۳–۴۹	۲۸–۵۸	۳۲–۶۷	۶۵–۱۰۰
۱/۱۸ میلی‌متر (شماره ۱۶)	–	–	–	–	–	۴۰–۸۰
۰/۶ میلی‌متر (شماره ۳۰)	–	–	–	–	–	۲۵–۶۵
۰/۳ میلی‌متر (شماره ۵۰)	۴–۱۶	۵–۱۷	۵–۱۹	۵–۲۱	۷–۲۳	۷–۴۰
۰/۱۵ میلی‌متر (شماره ۱۰۰)	–	–	–	–	–	۳–۲۰
۰/۰۷۵ میلی‌متر (شماره ۲۰۰)	۰–۶	۱–۷	۲–۸	۲–۱۰	۲–۱۰	۲–۱۰

* Sand Asphalt (ماسه آسفالت)

جدول ۲۰-۲ مشخصات سنگدانه‌های بتن آسفالتی

شرح	اساس قیری	آستر	رویه	روش آزمایش	
				AASHTO	ASTM
۱- مصالح درشت‌دانه					
حداکثر سایش به روش لوس آنجلس (درصد)	۳۵	۳۰	۲۵	T96	C131
حداکثر افت وزنی با سولفات سدیم (درصد)	۱۲	۱۲	۱۲	T104	C88
حداکثر افت وزنی با سولفات منیزیم (درصد)	۱۸	۱۸	۱۸	T104	C88
حداکثر درصد سنگدانه‌های پهن و دراز ۵ به ۱[۱]	۱۵	[۲]۱۰	[۲]۱۰	-	D4791
شاخص صیقلی‌شدن سنگدانه (PSV) [۳] (BS EN 1097-8)	–	–	* [۳]		
۲- مصالح ریزدانه					
حداکثر نشانه خمیری PI (درصد)	۴	۴	۴	T90	D4318
حداکثر افت وزنی با سولفات سدیم (درصد)	۱۵	۱۵	۱۵	T104	C88
یا حداکثر افت وزنی با سولفات منیزیم (درصد)	۲۰	۲۰	۲۰	T104	C88
حداقل ارزش ماسه‌ای (هر یک از دو ماسه طبیعی و ماسه شکسته) قبل از ورود به کارخانه آسفالت (درصد)	۴۵	۵۰	۵۰	T176	D2419
حداکثر مجاز درصد وزنی ماسه طبیعی نسبت به مصالح رد شده از الک شماره ۴ دانه‌بندی مربوطه (درصد)	[۴]۲۵	[۴]۲۰	۰	-	-

۱- آزمایش روی سنگدانه‌های درشت مخلوط سنگدانه‌ها منطبق با دانه‌بندی طرح انجام می‌شود. دانه‌های پهن و دراز ۵ به ۱، به سنگدانه‌هایی با حداکثر طول به حداقل ضخامت ۵ گفته می‌شود.

۲- چنانچه مخلوط آسفالتی دارای سنگدانه‌های با حداکثر اندازه اسمی ۴/۷۵ میلی‌متر باشد، معیار درصد مجاز مصالح سنگی پهن و دراز برای آن مخلوط درنظر گرفته نمی‌شود.

۳- سنگدانه‌های مصرفی در لایه رویه باید در برابر صیقلی‌شدن نیز از مقاومت مطلوبی برخوردار باشد. حدود مشخصات لازم باید توسط مهندس مشاور در مشخصات فنی خصوصی پروژه درج شود.

۴- میزان استفاده از ماسه طبیعی (حداکثر به میزان و مشخصات مندرج در جدول فوق) منوط به تشخیص مهندس مشاور پروژه است.

جدول ۲۰-۳ مشخصات شکستگی مصالح سنگی درشت‌دانه

تعداد محور منفرد هم‌ارز (ESAL) ۸/۲ تنی در طول عمر ۲۰ سال در خط طرح (میلیون)	عمق از سطح روسازی	
	برابر یا کمتر از ۱۰۰ میلی متر	بیشتر از ۱۰۰ میلی متر
	حداقل درصد شکستگی[۱]	
۰/۳>	–/۵۵[۲]	–/–
۰/۳ تا ۳	–/۷۵	–/۵۰
۳ تا ۱۰	۸۵/۸۰[۲]	–/۶۰
۱۰ تا ۳۰	۹۵/۹۰	۸۰/۷۵
≥۳۰	۱۰۰/۱۰۰	۱۰۰/۱۰۰

۱- تعیین درصد شکستگی مطابق ASTM D5821 انجام می‌شود.

۲-۸۵/۸۰ بدین معنی است که شکستگی در یک جبهه باید ۸۵ درصد و در دو جبهه ۸۰ درصد باشد یا –/۵۵ یعنی شکستگی یک جبهه حداقل ۵۵ درصد و شکستگی دو جبهه مشخصات ندارد.

جدول ۲۰-٤ مشخصات گوشه‌داری مصالح سنگی ریزدانه (رد شده از الک ۲/۳٦ میلی‌متر)

تعداد محور منفرد هم‌ارز (ESAL) ۸/۲ تنی در طول عمر ۲۰ سال در خط طرح (میلیون)	عمق از سطح روسازی	
	برابر یا کمتر از ۱۰۰ میلی متر	بیشتر از ۱۰۰ میلی متر
	حداقل درصد فضای خالی مصالح ریزدانه در حالت غیر متراکم[۱]	
۰/۳>	–[۲]	–
۰/۳ تا ۳	۴۰[۳]	۴۰
۳ تا ۱۰	۴۵	۴۰
۱۰ تا ۳۰	۴۵	۴۰
≥۳۰	۴۵	۴۵

۱- این آزمایش روی مصالح رد شده از الک شماره ۸ و مطابق روش A از استاندارد ASTM C1252 انجام می‌شود که نتیجه آن معرف درصد فضای خالی غیرمتراکم مصالح است و با رابطه زیر محاسبه می‌شود (در صد فضای خالی زیادتر، معرف گوشه‌داری و جبهه‌های شکسته بیشتر مصالح است).

$$\text{درصد فضای خالی (FAA)} = \frac{V - W/Gsb}{V} \times 100\%$$

V = حجم استوانه آزمایش، W = وزن مصالح داخل استوانه و Gsb = وزن مخصوص حقیقی مصالح

۲- برای مخلوط آسفالتی با حداکثر اندازه اسمی سنگدانه برابر ۴/۷۵ میلی‌متر که برای ترافیک کمتر از ۰/۳ میلیون طراحی می‌شود، حداقل درصد فضای خالی مصالح ریزدانه غیر متراکم برابر ۴۰ درصد است.

۳- برای مخلوط آسفالتی با حداکثر اندازه اسمی سنگدانه برابر ۴/۷۵ میلی‌متر که برای ترافیک مساوی یا بیشتر از ۰/۳ میلیون طراحی می‌شود، حداقل درصد فضای خالی مصالح ریزدانه غیر متراکم برابر ۴۵ درصد است.

۲۰-۲-۱-٤ معیارهای طراحی بتن آسفالتی

۲۰-۲-۱-٤-۱

طرح اختلاط بتن آسفالتی با روش مارشال (AASHTO T245)، مارشال اصلاح‌شده (ASTM D5581) و روش تحقیقات شارپ (با در نظر گرفتن AASHTO M323 و مطابق مندرجات مشخصات فنی خصوصی) مجاز است.

معیارهای طراحی بتن آسفالتی باید مطابق با شرایط زیر باشد:

الف: معیارهای مخلوط‌های آسفالتی داغ (با دانه‌بندی جدول (۲۰-۱)) که با روش AASHTO T245 طراحی شده باشد باید با جدول (۲۰-۵) منطبق باشد.

ب: در صورتی که مخلوط آسفالتی با روش مارشال اصلاح شده ASTM D5581 و قالب‌های با قطر ۱۵ سانتی‌متر (به شرح آخرین چاپ نشریه MS-2 انستیتو آسفالت) با دانه‌بندی جدول (۲۰-۱) طراحی شده باشد، باید با جدول (۲۰-۶) مطابقت نماید.

پ: در صورتی که مخلوط آسفالتی با روش تحقیقات شارپ طراحی شده باشد، معیارهای طراحی، کنترل کیفیت و پذیرش آن باید در مشخصات فنی خصوصی پروژه قید شود.

ت: حداقل درصد فضای خالی مصالح سنگی مخلوط آسفالتی تهیه شده با استفاده از دانه‌بندی جدول (۲۰-۱) و هر یک از روش‌های AASHTO T245 یا ASTM D5581 باید مطابق جدول (۲۰-۷) باشد.

ث: دوام مخلوط‌های آسفالتی در برابر آب

ج: نسبت درصد وزنی فیلر به درصد قیر موثر

جدول ۲۰-۵ معیارهای طراحی مخلوط‌های آسفالتی داغ به روش مارشال (AASHTO T245)

شرح	ترافیک سنگین[۱] $ESAL \geq 10^6$		ترافیک متوسط[۱] $10^4 < ESAL < 10^6$		ترافیک کم[۱] $ESAL \leq 10^4$	
	حداقل	حداکثر	حداقل	حداکثر	حداقل	حداکثر
تعداد ضربه‌ها در هر طرف نمونه	۷۵		۵۰		۳۵	
استحکام مارشال مخلوط بر حسب کیلوگرم[۲]	۸۰۰	–	۵۵۰	–	۳۵۰	–
روانی بر حسب میلیمتر[۳]	۲	۳/۵	۲	۴	۲	۴/۵
درصد فضای خالی نمونه مارشال[۴]	۳	۵	۳	۵	۳	۵
درصد فضای خالی سنگدانه‌ها پر شده با قیر (VFA)	۶۵	۷۵	۶۵	۷۸	۷۰	۸۰
حداقل درصد فضای خالی بین سنگدانه‌ها (VMA)	به جدول ۲۰-۷ مراجعه شود					
نسبت مقاومت کششی غیر مستقیم نمونه‌های اشباع به خشک (AASHTO T283)	حداقل ۰/۸۰					

۱- مجموع تعداد محور منفرد هم‌ارز (ESAL) ۸/۲ تنی در طول عمر ۲۰ سال در خط طرح (میلیون)

۲- چنانچه اساس آسفالتی داغ این معیارها را در دمای ۶۰ درجه سلسیوس، برآورده نکند، می‌توان این معیارها را برای دمای ۳۸ درجه سلسیوس در نظر گرفت؛ به شرط آنکه اساس آسفالتی داغ در عمق ۱۰۰ میلی‌متر یا بیشتر از سطح روسازی قرار گیرد.

۳- برای مخلوط‌های آسفالتی حاوی قیرهای پلیمری و پودر لاستیکی، حد بالای روانی لحاظ نمی‌شود.

۴- درصد فضای خالی هدف برای طراحی مخلوط آسفالتی باید برابر ۴ درصد درنظر گرفته شود. درصورت نیاز، برای تأمین سایر معیارهای طراحی مخلوط اسفالتی داغ، می‌توان این درصد فضای خالی را اندکی بیشتر یا اندکی کمتر از ۴ درصد درنظر گرفت.

جدول ۲۰-۶ معیارهای طراحی مخلوط‌های آسفالتی داغ به روش مارشال اصلاح شده ASTM D5581

شرح	ترافیک سنگین[۱] $ESAL \geq 10^6$		ترافیک متوسط[۱] $10^4 < ESAL < 10^6$		ترافیک کم[۱] $ESAL \leq 10^4$	
	حداقل	حداکثر	حداقل	حداکثر	حداقل	حداکثر
تعداد ضربه‌ها در هر طرف نمونه	۱۱۲		۷۵		۵۳	
استحکام مارشال مخلوط بر حسب کیلوگرم [۲]	۱۸۰۰	–	۱۲۴۰	–	۷۹۰	–
روانی بر حسب میلیمتر[۳]	۳	۵/۳	۳	۶	۳	۶/۸
درصد فضای خالی نمونه مارشال[۴]	۳	۵	۳	۵	۳	۵
درصد فضای خالی پر شده با قیر	۶۵	۷۵	۶۵	۷۸	۷۰	۸۰
حداقل درصد فضای خالی سنگدانه‌ها (VMA)	به جدول ۲۰-۷ مراجعه شود					
نسبت مقاومت کششی غیر مستقیم نمونه‌های اشباع به خشک (AASHTO T283)	حداقل ۰/۸۰					

۱- مجموع تعداد محور منفرد هم‌ارز (ESAL) ۸/۲ تنی در طول عمر ۲۰ سال در خط طرح (میلیون)

۲- چنانچه اساس آسفالتی داغ این معیارها را در دمای ۶۰ درجه سلسیوس، برآورده نکند، می‌توان این معیارها را برای دمای ۳۸ درجه سلسیوس در نظر گرفت؛ به شرط آنکه اساس آسفالتی داغ در عمق ۱۰۰ میلی‌متر یا بیشتر از سطح روسازی قرار گیرد.

۳- برای مخلوط‌های آسفالتی حاوی قیرهای پلیمری و پودر لاستیکی، حد بالای روانی لحاظ نمی‌شود.

۴- درصد فضای خالی هدف برای طراحی مخلوط آسفالتی باید برابر ۴ درصد درنظر گرفته شود. درصورت نیاز، برای تأمین سایر معیارهای طراحی مخلوط اسفالتی داغ، می‌توان این درصد فضای خالی را اندکی بیشتر یا اندکی کمتر از ۴ درصد درنظر گرفت.

جدول ۲۰-۷ حداقل درصد فضای خالی بین سنگدانه‌ها

حداکثر اندازه اسمی مصالح	حداقل درصد فضای خالی بین سنگدانه‌ها		
	درصد فضای خالی آسفالت*		
	۳	۴	۵
الک ۳۷٫۵ میلی‌متر (۱ ۱/۲ اینچ)	۱۰	۱۱	۱۲
الک ۲۵ میلی‌متر (۱ اینچ)	۱۱	۱۲	۱۳
الک ۱۹ میلی‌متر (۳/۴ اینچ)	۱۲	۱۳	۱۴
الک ۱۲٫۵ میلی‌متر (۱/۲ اینچ)	۱۳	۱۴	۱۵
الک ۹٫۵ میلی‌متر (۳/۸ اینچ)	۱۴	۱۵	۱۶
الک ۴٫۷۵ میلی‌متر (الک شماره ۴)	۱۶	۱۷	۱۸
الک ۲٫۳۶ میلی‌متر (الک شماره ۸)	۱۹	۲۰	۲۱
* برای درصدهای فضای خالی دیگر، از درون‌یابی استفاده می‌شود.			

۲۰-۲-۱-٤-۲ دوام مخلوط‌های آسفالتی در برابر آب

تأثیر آب بر مخلوط‌های آسفالتی و کاهش چسبندگی و مقاومت حاصل از اشباع این مخلوط‌ها در برابر آب باید به روش AASHTO T283 کنترل شود. این مشخصه باید در طرح اختلاط آزمایشگاهی مخلوط‌های آسفالتی به عنوان ضوابط طراحی لحاظ شود. شایان ذکر است نسبت مقاومت کششی[1] غیر مستقیم به روش AASHTO T283 نمونه‌های اشباع به نمونه‌های خشک نباید کمتر از ۰٫۸۰ باشد.

مصالح سنگی مصرفی در آسفالت که مستعد پدیده عریان شدگی[2] هستند باید قبل از مصرف از نظر تأمین معیار فوق مورد آزمایش قرار گیرند تا در صورت لزوم و تشخیص مهندس مشاور از آهک شکفته (مطابق استانداردهای ASTM C1097 یا AASHTO M303) یا مواد ضدعریان‌شدگی مایع (مطابق دستورالعمل تولیدکننده) استفاده شود.

با توجه به شرایط آب و هوایی حاکم بر برخی مناطق کشور از جمله مناطق استان‌های جنوبی و حاشیه خلیج فارس و دریای عمان، که احتمال بروز یخبندان در آن‌ها کم است، تنها در پروژه‌های واقع در این مناطق بنابه تشخیص مهندس مشاور و درج در شرایط خصوصی پروژه می‌توان برای ارزیابی عملکرد مخلوط‌های آسفالتی در برابر زیان‌های رطوبتی، هم در مرحله طرح اختلاط آزمایشگاهی و هم در کنترل کیفی حین اجرا، به جای

1. Indirect Tensile Strength
2. Stripping

استفاده از استاندارد AASHTO T283 (که فرآیند آن شامل یخبندان نمونه‌ها است) از استاندارد ASTM D4867 (که انجام یخبندان نمونه‌ها در آن اختیاری است) استفاده کرد. در این حالت نیز نسبت مقاومت کششی غیرمستقیم به نمونه‌های اشباع به خشک نباید کمتر از ۰٫۸۰ باشد.

۲۰-۲-۱-۴-۳ نسبت درصد وزنی فیلر به درصد وزنی قیر مؤثر

نسبت درصد وزنی فیلر به درصد وزنی قیر موثر[1] برای مخلوط‌های آسفالتی با دانه‌بندی پیوسته باید بین ۱٫۴–۰٫۶ باشد. در مخلوط‌های آسفالتی که به روش سوپرپیو طراحی می‌شوند چنانچه دانه‌بندی مصالح سنگی از زیر نقاط کنترلی (معرفی شده در AASHTO M323) عبور نمایند، با توجه به شرایط پروژه و مشروط به درج در مشخصات فنی خصوصی پروژه، این نسبت می‌تواند در بازه ۱٫۶–۰٫۸ نیز قرار گیرد. درصد قیر موثر از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$P_{be} = P_b - \frac{P_{ba}}{100} P_s$$

که در آن:

P_{be}– درصد وزنی قیر مؤثر مخلوط آسفالتی

P_b– درصد وزنی قیر مخلوط آسفالتی

P_{ba}– درصد وزنی جذب قیر مصالح سنگی

P_s– درصد وزنی مصالح سنگی در مخلوط آسفالتی

۲۰-۲-۱-۴-۴ مقاومت در مقابل شیارشدگی[2]

برای مخلوط‌های آسفالتی داغ مورد استفاده در رویه راه‌های با بیش از ۳ میلیون بار محور هم‌ارز، توصیه می‌شود مهندس مشاور طرح، ضوابط و معیارهای فنی مقاومت در مقابل شیارشدگی مخلوط آسفالتی را با توجه به شرایط خاص هر پروژه تعیین و در مشخصات فنی خصوصی قید نماید. روش این آزمایش باید مطابق AASHTO T324 باشد.

1. Effective Asphalt Content
2. Rutting

۲۰-۲-۱-۵ ماسه آسفالت

ماسه آسفالت نوعی مخلوط آسفالتی داغ با دانه‌بندی پیوسته است که حداکثر اندازه سنگدانه‌های آن ۹٫۵ میلی‌متر باشد. این مخلوط آسفالتی که از اختلاط ماسه طبیعی (با ارزش ماسه‌ای بیشتر از ۵۰) یا ماسه شکسته یا مخلوطی از این دو با قیر خالص تهیه می‌شود، با دو هدف استفاده می‌گردد: ۱) کاربرد سازه‌ای به ضخامت حداقل ۱۵ میلی‌متر پخش و اجرا می‌شود. ۲) کاربرد تسطیحی یا رگلاژی که به عنوان لایه تسطیح در رویه‌های قدیمی و قبل از روکش بکار می‌رود.

چون استحکام مارشال ماسه آسفالت در مقایسه با استحکام سایر مخلوط‌های آسفالتی داغ و بتن آسفالتی که دانه‌های بزرگتر از ۴٫۷۵ میلی‌متر دارند کمتر است؛ بنابراین موارد مصرف آن باید به تناسب استحکام مارشال و سایر ویژگی‌های آن و رابطه آن‌ها با انواع ترافیک سبک، متوسط و سنگین انتخاب شود.

طرح اختلاط ماسه آسفالت بر اساس روش مارشال (AASHTO T245) و با انتخاب دانه‌بندی مربوطه از جدول ۲۰-۱ انجام می‌شود. صرف نظر از نوع عملکرد ماسه آسفالت (سازه‌ای یا تسطیحی)، اگر این آسفالت در تراز کمتر از ده سانتی‌متر از سطح نهایی راه قرار گیرد، مشخصات فنی آن باید با ضوابط جدول ۲۰-۵ مطابقت داشته باشد. در صورتی‌که این لایه آسفالتی در تراز بیش از ده سانتی‌متر نسبت به سطح رویه نهایی قرار گیرد، مشخصات و معیارهای فنی آن بر اساس روش مارشال (AASHTO T245) و با اعمال ۵۰ ضربه در هر طرف نمونه‌ها بشرح جدول ۲۰-۸ است. چنانچه ماسه آسفالت به عنوان لایه اساس آسفالتی مصرف شود، تجاوز از حد ۱۸ درصد فضای خالی به شرح جدول ۲۰-۸ مشروط بر آنکه سایر ارزش‌های آن با مشخصات منطبق باشد، بلامانع است.

جدول ۲۰-۸ مشخصات فنی ماسه آسفالت در تراز بیش از ۱۰ سانتیمتر نسبت به سطح رویه نهایی

مشخصه	مقدار
استحکام مارشال با ۵۰ ضربه در هر طرف نمونه	حداقل ۱۸۰ کیلوگرم
روانی بر حسب میلی‌متر	حداکثر ۵
درصد فضای خالی نمونه مارشال	حداقل ۳ و حداکثر ۱۸

۲۰-۲-۲ آسفالت ماستیک سنگدانه‌ای[1]

۲۰-۲-۲-۱ تعریف و حوزه کاربرد

آسفالت ماستیک سنگدانه‌ای، مخلوط آسفالت داغ با دانه‌بندی گسسته[2] است که از دو بخش سنگدانه‌ای درشت و ملات پر قیر (مخلوط قیر، فیلر و افزودنی‌های تثبیت کننده[3] شامل الیاف سلولزی یا معدنی) تشکیل می‌شود. این مخلوط آسفالتی باید ساختار سنگدانه‌ای درشت[4] با تماس درشت‌دانه به درشت‌دانه[5] داشته باشد. در این آسفالت، برای دانه‌بندی با حداکثر اندازه اسمی ۱۹ و ۱۲٫۵ میلی‌متر، درشت‌دانه‌ها به مصالح مانده روی الک ۴٫۷۵ میلی‌متر (شماره ۴) و برای دانه‌بندی مصالح سنگی با حداکثر اندازه اسمی ۹٫۵ میلی‌متر، درشت دانه‌ها به مصالح مانده روی الک ۲٫۳۶ میلی‌متر (شماره ۸) اطلاق می شود.

از آسفالت ماستیک سنگدانه‌ای عمدتاً به عنوان لایه رویه در مناطق گرمسیر و راه‌های با آمد و شد زیاد و بار محوری سنگین استفاده می‌شود. این آسفالت به دلیل استفاده از مصالح سنگی صد در صد شکسته و مرغوب، مصرف نسبتاً زیاد سنگدانه‌های بزرگتر از ۴٫۷۵ میلی‌متر در مقایسه با دانه‌بندی‌های پیوسته، با ساختار تماس سنگدانه‌های درشت به یکدیگر که موجب افزایش استحکام و مقاومت در مقابل شیارافتادگی و تغییرشکل‌های دائم آسفالت می‌شود و مصرف نسبتاً زیاد قیر، از پایائی و دوام زیادتری نیز برخوردار است. ضمن آنکه موجب زهکشی آب‌های سطحی، کاهش پاشش آب ناشی از ایستابی، افزایش ضریب اصطکاک و مقاومت لغزشی رویه راه نیز می‌شود.

۲۰-۲-۲-۲ مشخصات مصالح سنگی

دانه‌بندی آسفالت ماستیک سنگدانه‌ای باید مطابق جدول (۲۰-۹) و مشخصات سنگدانه‌های مصرفی در آن مطابق جدول (۲۰-۱۰) باشد.

---

1. Stone Mastic Asphalt (SMA)
2. Gap Graded
3. Stabilizing Additives
4. Coarse Aggregate
5. Stone- on- Stone Contact

جدول ۲۰-۹ دانه‌بندی آسفالت ماستیک سنگدانه‌ای*

اندازه الک	درصد وزنی رد شده از هر الک			رواداری
	حداکثر اندازه اسمی سنگدانه‌ها			
	۱۹ میلی‌متر	۱۲٫۵ میلی‌متر	۹٫۵ میلی‌متر	
۲۵ میلی‌متر	۱۰۰	–	–	
۱۹ میلی‌متر	۱۰۰ – ۹۰	۱۰۰	–	مطابق جدول (۲۰-۲۸)
۱۲٫۵ میلی‌متر	۸۸ – ۵۰	۱۰۰ – ۹۰	۱۰۰	
۹٫۵ میلی‌متر	۶۰ – ۲۵	۸۰ – ۵۰	۹۵ – ۷۰	
۴٫۷۵ میلی‌متر	۲۸ – ۲۰	۳۵ – ۲۰	۵۰ – ۳۰	
شماره ۸ (۲٫۳۶ میلی‌متر)	۲۴ – ۱۶	۲۴ – ۱۶	۳۰ – ۲۰	
شماره ۱۶ (۱٫۱۸ میلی‌متر)	–	–	۲۱ (حداکثر)	
شماره ۳۰ (۰٫۶ میلی‌متر)	–	–	۱۸ (حداکثر)	
شماره ۵۰ (۰٫۳ میلی‌متر)	–	–	۱۵ (حداکثر)	
شماره ۲۰۰ (۰٫۰۷۵ میلی‌متر)	۱۱ – ۸	۱۱ – ۸	۱۲ – ۸	

*چنانچه اختلاف وزن مخصوص حقیقی سنگدانه های مورد استفاده در مخلوط آسفالتی بیش از ۰٫۲ باشد، دانه‌بندی مخلوط باید به صورت حجمی انجام شود.

جدول ۲۰-۱۰ مشخصات سنگدانه‌های آسفالت ماستیک سنگدانه‌ای

شرح	آسفالت ماستیک سنگدانه‌ای	روش آزمایش	
		AASHTO	ASTM
۱- مصالح درشت‌دانه			
سایش به روش لوس آنجلس (درصد)	حداکثر ۲۰	T96	C131
افت وزنی با سولفات سدیم (درصد)	حداکثر ۱۵[۱]	T104	C88
افت وزنی با سولفات منیزیم (درصد)	حداکثر ۲۰[۱]	T104	C88
درصد جذب آب	حداکثر ۲	T85	C127
درصد سنگدانه‌های پهن و دراز[۳] نسبت ۵ به ۱ نسبت ۳ به ۱	 حداکثر ۵ [۳] حداکثر ۲۰[۳]	-	D4791
شاخص صیقلی‌شدن سنگدانه (PSV) [۲] (BS EN 1097-8)	*[۲]		
درصد شکستگی در یک جبهه در دو جبهه و بیشتر	 ٪ ۱۰۰ حداقل ٪۹۰	-	D5821
۲- مصالح ریزدانه			
نشانه خمیری PI (درصد)	غیرخمیری	T90	D4318
حد روانی (درصد)	حداکثر ۲۵		
افت وزنی با سولفات سدیم (درصد)	حداکثر ۱۵	T104	C88
یا افت وزنی با سولفات منیزیم (درصد)	حداکثر ۲۰		
ارزش ماسه ای قبل از ورود به کارخانه آسفالت (درصد)	حداقل ۵۰	T176	D2419
حداکثر مجاز درصد وزنی ماسه طبیعی نسبت به مصالح رد شده از الک شماره ۴ دانه‌بندی مربوطه (درصد)	۰	-	-

۱- انجام یکی از آزمایش‌ها (با سولفات سدیم یا سولفات منیزیم) کفایت می‌کند.

۲- سنگدانه‌های مصرفی باید در برابر صیقلی‌شدن از مقاومت مطلوبی برخوردار باشد. حدود مشخصات لازم باید توسط مهندس مشاور در مشخصات فنی خصوصی پروژه درج شود.

۳- آزمایش روی سنگدانه‌های درشت مخلوط سنگدانه‌ها منطبق با دانه‌بندی طرح انجام می‌شود. دانه‌های پهن و دراز ۵ به ۱ (۳ به ۱)، سنگدانه‌هایی با حداکثر طول به حداقل ضخامت ۵ (۳) گفته می‌شود.

برای جلوگیری از پدیده جدا شدن یا ریزش قیر[1] آسفالت ماستیک سنگدانه‌ای، از تثبیت‌کننده‌هایی نظیر الیاف سلولزی یا معدنی استفاده می‌شود. مقدار الیاف سلولزی مصرفی باید حداقل ۰٫۳ درصد وزن مخلوط آسفالتی یا بیشتر باشد. برای الیاف معدنی، میزان مصرف باید حداقل ۰٫۴ درصد وزن مخلوط آسفالت باشد تا از پدیده ریزش قیر جلوگیری نماید. اندازه‌گیری مقدار ریزش قیر باید با روش AASHTO T305 انجام شود.

در آسفالت ماستیک سنگدانه‌ای بهتر است از فیلرهای معدنی با فضای خالی بیشتر از ۵۰ درصد (مطابق EN1097-4) استفاده نشود. تجربه نشان داده است که این فیلرها موجب افزایش سفتی[2] ملات قیری این آسفالت می‌شود.

۲۰-۲-۲-۳ مشخصات قیر

قیر مناسب برای تولید و اجرای مخلوط آسفالت ماستیک سنگدانه‌ای باید از نوع قیرهای با رده‌بندی عملکردی و مطابق با الزامات استاندارد AASHTO M320 بوده و متناسب با شرایط آب و هوایی و میزان بارهای ترافیکی محل اجرای پروژه انتخاب گردد. راهنمای انتخاب قیر مناسب در استاندارد AASHTO M323 ارایه شده است. به عنوان راهنما در این ارتباط می‌توان از نرم‌افزار تدوین شده که در آدرس http://pgi.bhrc.ac.ir ارایه شده است، استفاده کرد.

۲۰-۲-۲-٤ معیارهای طرح مخلوط آسفالت ماستیک سنگدانه‌ای

مشخصات طرح مخلوط آسفالت ماستیک سنگدانه‌ای باید با ویژگی‌های جدول (۲۰-۱۱) مطابقت داشته باشد.

1. Draindown
2. Stiffness

جدول ۲۰-۱۱ معیارهای طرح مخلوط‌های آسفالتی SMA [۱]

مشخصه	مقدار	روش آزمایش
درصد فضای خالی (Va)	۴ [۲]	نشریه MS-2 انستیتو آسفالت
درصد فضای خالی مصالح سنگی (VMA)	حداقل ۱۷	نشریه MS-2 انستیتو آسفالت
درصد فضای خالی بخش درشت‌دانه آسفالت (VCA_{MIX})[۳]	باید کمتر از درصد فضای خالی بخش درشت‌دانه مخلوط مصالح سنگی در حالت خشک (VCA_{DRC})[۳] باشد تا تماس دائم سنگدانه به سنگدانه تأمین شود.	AASHTO R46 AASHTO T19
نسبت مقاومت کششی غیر مستقیم[۱] اشباع به خشک در فضای خالی ۱±۶ درصد	حداقل ۰/۸۰	AASHTO T283
ریزش قیر از سنگدانه در دمای تولید آسفالت در کارخانه (درصد)	حداکثر ۰/۳	AASHTO T305
درصد قیر[۴]	حداقل ۶	AASHTO T164

۱- مخلوط آسفالتی به روش **AASHTO T312** با ۱۰۰ چرخش متراکم شده‌اند. در صورت استفاده از تراکم مارشال، تعداد ضربه به هر طرف نمونه ۵۰ ضربه است.

۲- برای راه‌های با میزان آمد و شد سبک یا در شرایط آب و هوائی سرد، درصد فضای خالی مخلوط آسفالت متراکم را می‌توان کمتر از ۴ در نظر گرفت؛ ولی در هیچ حالتی این میزان نباید کمتر از ۳ باشد.

۳- برای مخلوط سنگدانه‌های با حداکثر اندازه اسمی ۱۹ یا ۱۲/۵ میلی‌متر، سنگدانه‌های مانده روی الک ۴/۷۵ میلی‌متر و برای مخلوط سنگدانه‌های با حداکثر اندازه اسمی ۹/۵ میلی‌متر، سنگدانه‌های مانده روی الک ۲/۳۶ میلی‌متر، درشت‌دانه در نظر گرفته می‌شوند.

۴- در صورتی که مخلوط **SMA** را نتوان بر اساس معیار حداقل درصد قیر (۶٪) طراحی کرد، می‌توان به ازای هر ۰/۰۵ افزایش وزن مخصوص ظاهری مخلوط مصالح سنگی (G_{sb}) (نسبت به ۲/۷۵)، ۰/۱ از حداقل درصد قیر کم کرد (مثال: اگر G_{sb} مخلوط مصالح سنگی ۲/۸۵ باشد، حداقل درصد قیر ۵/۸ خواهد بود). برای اطلاع از جزئیات بیشتر می‌توانید به **AASHTO R46** مراجعه نمایید.

روش محاسبه VCA_{MIX}[۲] و VCA_{DRC}[۳] :

$$VCA_{(MIX)} = 100 - \left(\frac{G_{mb}}{G_{CA}}\right) P_{CA}$$

G_{mb} – وزن مخصوص حقیقی نمونه متراکم آزمایشگاهی (AASHTO T166)

G_{CA} – وزن مخصوص حقیقی مصالح درشت دانه (AASHTO T85)

P_{CA} – درصد مصالح درشت‌دانه در مخلوط SMA

$$VCA_{DRC} = \frac{G_{CA}\gamma_W - \gamma_S}{G_{CA}\gamma_W} \times ۱۰۰$$

γ_s– وزن واحد حجم مصالح درشت‌دانه خشک در آزمایش میله خورده AASHTO T19 برحسب کیلوگرم بر مترمکعب

1. Tensile Strength Ratio (TSR)
2. Voids in Coarse Aggregate of the Compacted Mixture
3. Voids in Coarse Aggregate in Dry-Rodded Condition

γ_w – وزن واحد حجم آب (۹۹۸ کیلوگرم بر مترمکعب)

۴– براساس تجربه، مقدار قیر SMA بین ۶ تا ۷ درصد است. کاهش مقدار قیر به کمتر از ۶ درصد موجب کاهش دوام SMA می‌شود. علت مصرف زیاد قیر نسبت به سایر مخلوط‌های آسفالت داغ، دانه‌بندی گسسته و مقدار نسبتاً زیاد فیلر در آسفالت ماستیک سنگدانه‌ای است.

۲۰-۲-۲-۵ روش طرح اختلاط آسفالت ماستیک سنگدانه‌ای

طرح اختلاط آسفالت ماستیک سنگدانه‌ای با استفاده از دستگاه متراکم‌کننده چرخشی روسازی ممتاز و با روش AASHTO R46 و یا روش تراکم مارشال انجام می‌شود. معیارهای کنترل کیفیت و پذیرش این نوع آسفالت باید در مشخصات فنی خصوصی پروژه درج شود.

۲۰-۲-۳ آسفالت متخلخل[1]

۲۰-۲-۳-۱ تعریف و حوزه کاربرد

عموماً دو نوع مخلوط آسفالتی داغ با دانه‌بندی باز شامل آسفالت متخلخل در لایه رویه[2] و اساس قیری نفوذپذیر[3] برای اجرای لایه‌های روسازی مورد استفاده قرار می‌گیرند.

الف– آسفالت متخلخل در لایه رویه از اختلاط قیر خالص یا اصلاح شده با مصالح سنگی کاملاً شکسته شده با دانه‌بندی باز در کارخانه آسفالت تهیه و با ضخامت حدود ۲۵ تا ۴۰ میلی‌متر اجرا می‌شود. فضای خالی آسفالت متخلخل بعد از کوبیده شدن در سطح راه، حدود ۲۰ درصد است. این لایه، جزو سازه روسازی محسوب نمی‌شود و نمی‌توان از آن به عنوان لایه جایگزین رویه اصلی استفاده کرد.

مزایای این آسفالت به یک یا چند مورد از موارد زیر که به ویژگی‌های عملکردی آن بستگی دارد، محدود می‌شود:

- باعث تخلیه سریع آب‌های سطحی رویه راه به خارج از عرض سواره رو می‌شود.
- مانع پدیده ایستابی در سطح راه و در نتیجه ایمنی بیشتر عبور و مرور می‌شود.
- کاهش پدیده پاشش و پخش آب که موجب افزایش قابلیت دید و ایمنی می‌شود.

---

1. Porous Asphalt
2. Open Graded Friction Course Mixtures (OGFC)
3. Asphalt Treated Permeable Base (ATPB)

- متوسط صدای تولید شده تا حدود ۳dB(A) کمتر از میزان سر و صدای تولید شده در آسفالت داغ معمولی است.
- رویه آسفالت متخلخل در حالت خشک و حتی بارندگی، مانع از انعکاس نور چراغ‌های جلوی خودروهای مقابل می‌شود که ناشی از عملکرد پخش نور آن است.
- موجب افزایش تاب لغزشی و ضریب اصطکاک سطح راه می‌شود که ناشی از مصرف حدود ۸۵ درصد مصالح درشت دانه (بیشتر از ۲ میلی‌متر) و صد در صد شکسته آن است.
- در صورت استفاده از آسفالت متخلخل در لایه رویه، لازم است لایه‌ای که بلافاصله زیر آن قرار می‌گیرد عملا نفوذ ناپذیر باشد. استفاده از این آسفالت فقط با توجیه فنی- اقتصادی مشاور طرح و تصویب کارفرما امکان پذیر است؛ ضمن آنکه مشخصات کامل مصالح سنگی، قیر، مواد افزودنی، طرح اختلاط، تولید و مراحل اجرا و برنامه دوره نگهداری آن جهت تأمین نیازهای عملکردی این آسفالت، باید در مشخصات فنی خصوصی پروژه قید شود.

ب- اساس قیری نفوذپذیر نوعی مخلوط آسفالتی برای اجرای لایه‌های زهکشی در زیر لایه‌های آستر و رویه روسازی راه‌ها است که برای تولید آن از مخلوط مصالح سنگی با دانه‌بندی باز استفاده می‌شود. اساس قیری (تهیه شده با قیر خالص) با دانه‌بندی باز و با ضخامت معمولا حدود ۷۵ تا ۱۰۰ میلی‌متر اجرا می‌شود. استفاده از این نوع اساس با توجیه فنی- اقتصادی مهندس مشاور طرح و تصویب کارفرما امکان پذیر است؛ ضمن آنکه مشخصات کامل مصالح سنگی، قیر، مواد افزودنی، طرح اختلاط، تولید و مراحل اجرای آن، باید در مشخصات فنی خصوصی پروژه قید شود.

۲۰-۲-۳-۲ مشخصات مصالح سنگی

دانه‌بندی مخلوط آسفالتی متخلخل باید برحسب مورد مطابق جدول (۲۰-۱۲) یا جدول (۲۰-۱۳) و مشخصات سنگدانه‌های مصرفی در آن بر حسب مورد مطابق جدول (۲۰-۱۴) یا جدول (۲۰-۱۵) باشد.

جدول ۲۰-۱۲ دانه‌بندی اساس قیری نفوذ پذیر*

اندازه الک	درصد وزنی رد شده از هر الک	حدود رواداری
۳۷٫۵ میلی‌متر ($1\frac{1}{2}$ اینچ)	۱۰۰	مطابق جدول (۲۰-۲۸)
۲۵ میلی‌متر (۱ اینچ)	۹۵-۱۰۰	
۱۲٫۵ میلی‌متر ($\frac{1}{2}$ اینچ)	۲۵-۶۰	
۴٫۷۵ میلیمتر (شماره ۴)	۰-۱۰	
۲ میلی‌متر (شماره ۱۰)	۰-۵	
۰٫۰۷۵ میلی‌متر (شماره ۲۰۰)	۰-۳	

* انتخاب دانه‌بندی‌های دیگر که سوابق عملکردی رضایت‌بخش داشته باشند توسط مهندس مشاور طرح در مشخصات فنی خصوصی پروژه درج می‌شود.

جدول ۲۰-۱۳ دانه‌بندی مخلوط آسفالتی متخلخل در لایه رویه *

شماره دانه‌بندی / اندازه الک	درصد وزنی رد شده از هر الک			حدود رواداری
	۱	۲	۳	
۱۹ میلی‌متر	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	مطابق جدول (۲۰-۲۸)
۱۲٫۵ میلی‌متر	۸۵-۱۰۰	۷۰-۱۰۰	۷۵-۱۰۰	
۹/۵ میلی‌متر	۳۵-۶۰	۳۸-۶۲	۶۰-۹۰	
۴٫۷۵ میلی‌متر (شماره ۴)	۱۰-۲۵	۱۳-۲۷	۳۲-۵۰	
۲٫۳۶ میلی‌متر (شماره ۸)	۵-۱۰	۹-۲۰	۱۰-۱۸	
۰٫۰۷۵ میلی‌متر (شماره ۲۰۰)	۲-۴	۳-۶	۳-۶	

* انتخاب دانه‌بندی‌های دیگر که سوابق عملکردی رضایت‌بخش داشته باشند توسط مهندس مشاور طرح در مشخصات فنی خصوصی پروژه درج می‌شود.

جدول ۲۰-۱۴ مشخصات سنگدانه‌های مصرفی در اساس قیری نفوذپذیر

مشخصه	مقدار	روش آزمایش	
		ASHTO	ASTM
سایش به روش لس‌آنجلس (درصد)	حداکثر ۴۰	T96	C131
درصد شکستگی در دو یا چند جبهه (مصالح مانده روی الک ۴/۷۵ میلی‌متر)	حداقل ۷۵		D5821
افت وزنی با سولفات سدیم در پنج سیکل (درصد)	حداکثر ۱۵	T104	C88
یا			
افت وزنی با سولفات منیزیم در پنج سیکل (درصد)	حداکثر ۲۰		

جدول ۲۰-۱۵ مشخصات سنگدانه‌های مصرفی در مخلوط‌های آسفالت متخلخل در لایه رویه

نوع سنگدانه	مشخصه یا آزمایش	مشخصات	روش آزمایش	
			AASHTO	ASTM
مصالح سنگی درشت‌دانه	حداکثر سایش به روش لس‌آنجلس(درصد)	۲۰	T96	C131
	حداکثر افت وزنی با سولفات سدیم در پنج سیکل (درصد)	۱۵	T104	C88
	یا			
	حداکثر افت وزنی با سولفات منیزیم در پنج سیکل (درصد)	۲۰		
	حداکثر درصد سنگدانه‌های پهن و دراز	(نسبت ۵:۱) ۵≥ (نسبت ۳:۱) ۲۰≥		D4791
	شاخص صیقل شدن مصالح سنگی، PSV (BS EN 1097-8)	حداقل ۵۰		
	درصد شکستگی در یک جبهه در دو جبهه و بیشتر[۱]	 ۱۰۰ حداقل ۹۰		D5821
مصالح سنگی ریزدانه[۲]	حداکثر افت وزنی با سولفات سدیم (درصد)	۱۵	T104	C88
	یا			
	حداکثر افت وزنی با سولفات منیزیم (درصد)	۲۰		
	حداقل ارزش ماسه‌ای (سیلوی گرم) (درصد)	۵۰	T176	D2419
	گوشه‌داری مصالح سنگی ریزدانه	حداقل ۴۰		C1252 (روش C)
فیلر	فیلر معدنی درصد آهک هیدراته	 حداقل ۱	M17 M303	

(۱) برای متوسط ترافیک روزانه (ADT[1]) بیشتر از ۸۰۰ وسیله نقلیه توصیه می‌شود، درصد شکستگی در دو جبهه ۱۰۰ درصد باشد.
(۲) نشانه خمیری آن بخشی از مصالح ریزدانه که از الک نمره ۴۰ می‌گذرند بر اساس آنچه که در استاندارد AASHTO T90 آمده است، نباید بیش از ۶ باشد.

1. Average Daily Traffic

۲۰-۲-۳-۳ مشخصات قیر

قیر مناسب برای تولید و اجرای آسفالت‌های متخلخل با توجه به شرایط آب و هوایی، ترافیک و عملکرد مورد انتظار از آن در محل پروژه از نوع قیرهای با رده‌بندی عملکردی انتخاب می‌شود. مطابق توصیه‌های استاندارد ASTM D7064، قیر مناسب مصرفی برای تولید آسفالت متخلخل در لایه رویه، به اندازه یک یا دو رده عملکردی بالاتر (سفت‌تر) از قیر موردنیاز بر اساس شرایط آب و هوایی انتخاب می‌گردد. در این ارتباط انتخاب قیرهای با رده‌بندی بر مبنای درجه نفوذ و تعدیل رده قیر انتخاب‌شده بر اساس شرایط آب و هوایی مجاز بوده و باید در مشخصات فنی خصوصی پروژه قید گردد. استفاده از قیرهای اصلاح شده، مشروط بر اینکه رده قیر انتخاب شده دارای محدوده دمایی PG بیش از ۹۲ باشد مجاز است.

در طرح اختلاط آسفالت متخلخل در لایه رویه به منظور جلوگیری از روان شدن و جدایش قیر از سنگدانه‌ها و جاری‌شدن آن در مراحل تولید، حمل، پخش و غلتک‌زنی از افزودنی‌های تثبیت‌کننده قیر که شامل انواع الیاف معدنی یا آلی است، استفاده می‌شود که مقدار آنها محدود به ۰/۳ تا ۰/۵ درصد وزن آسفالت است. همچنین با توجه به مقدار محدود قیر مورد نیاز در اساس قیری نفوذپذیر توصیه می‌شود در این نوع مخلوط آسفالتی از افزودنی‌ها به منظور جلوگیری از پدیده عریان‌شدگی استفاده شود.

۲۰-۲-۳-٤ طرح اختلاط و معیارهای فنی آسفالت‌های متخلخل

الف) طرح اختلاط آسفالت متخلخل در لایه رویه به روش استاندارد ASTM D7064 تهیه می‌شود. معیارهای فنی آسفالت متخلخل لایه رویه باید با ویژگی‌های جدول ۲۰-۱۶ مطابقت داشته باشد.

ب) برای اساس قیری نفوذپذیر با دانه‌بندی‌های مختلف مندرج در این فصل باید آزمایش زهکشی به روشی استاندارد که مورد تأیید مهندس مشاور است انجام و مقدار قیر طرح در محدوده (۳/۰±۰/۵) درصد انتخاب گردد. لازم است این نوع اساس ضریب نفوذپذیری حداقل ۳۰۰ متر در روز را تأمین کرد.

جدول ۲۰-۱۶ معیارهای فنی طرح مخلوط آسفالت متخلخل در لایه رویه

مشخصه	مقدار	روش آزمایش
تعداد چرخش در تراکم چرخشی(۱)	۵۰	AASHTO T312
درصد فضای خالی(۲)	حداقل ۱۸	AASHTO T269
درصد ریزش قیر[1]	حداکثر ۰/۳	AASHTO T305
نسبت مقاومت کششی غیرمستقیم (۳) در فضای خالی ۱±۱۹	حداقل ۰/۸۰	AASHTO T283

(۱) درصورت استفاده ازروش تراکم مارشال، باید تعداد ضربات مارشال که منجر به همان وزن مخصوص شود، معیار قرار گیرد.

(۲) وزن مخصوص حقیقی نمونه آسفالت متراکم شده در آزمایشگاه به روش ابعادی با اندازه‌گیری ارتفاع و قطر نمونه استوانه‌ای طبق استاندارد ASTM D3549 تعیین می‌شود.

(۳) درخصوص این آزمایش، ملاحظات مندرج در استاندارد ASTM D7064 در نظر گرفته شود. مقدار مشخصه تنها برای مخلوط‌های آسفالتی دارای قیرهای اصلاح شده می‌باشد.

۲۰-۲-۳-۵ روش طرح اختلاط آسفالت متخلخل

طرح اختلاط آسفالت متخلخل (لایه آسفالت اصطکاکی با دانه‌بندی باز) مطابق مندرجات استاندارد ASTM D7064 انجام می‌شود. در طرح اختلاط مخلوط آسفالت متخلخل باید ابتدا میزان حداکثر قیر با تعیین درصد فضای خالی مناسب (حداقل ۱۸ درصد)، انتخاب و سپس میزان حداقل قیر با آزمایش کانتابرو مشخص شود. در محدوده به دست آمده برای میزان قیر، با انجام آزمایش‌های ریزش قیر و لاتمن اصلاح شده درصد قیر بهینه به دست می‌آید. معیارهای کنترل کیفیت و پذیرش این نوع آسفالت باید در مشخصات خصوصی پروژه درج شود.

۲۰-۳ اجرای انواع مخلوط‌های آسفالتی

۲۰-۳-۱ اهداف طراحی مخلوط‌های آسفالتی

مهندس مشاور برای هر پروژه باید ویژگی‌های مطلوب مخلوط آسفالتی و قیر مناسب را مورد توجه خاص قرار دهد. نوع دانه‌بندی و ویژگی‌های مصالح مصرفی، شرایط آب و هوایی منطقه اجرای طرح، میزان آمد و شد و گروه ترافیک (خیلی سنگین، سنگین و سبک)، وضعیت هندسی راه (تقاطع‌ها، شیب‌های تند و سربالایی‌ها) و ضخامت لایه‌های آسفالتی از عوامل اصلی محسوب می‌شوند که باید مورد توجه قرار گیرند. هدف از طراحی

1. Draindown

مخلوط آسفالتی داغ و بتن آسفالتی انتخاب مناسب‌ترین و به‌صرفه‌ترین مخلوط مصالح سنگی و قیر است که ویژگی‌های زیر را تأمین نماید:

الف- قیر کافی داشته باشد تا ثبات و دوام آن و مقاومت در برابر ترک‌خوردگی ناشی از خستگی و ترک-خوردگی در دمای پایین را تامین نماید؛

ب- استحکام آن به اندازه‌ای باشد که تحت بارهای ترافیکی دچار تغییرشکل و شیارافتادگی مسیر چرخ‌های وسایل نقلیه نشود و همواری خود را حفظ کند؛

پ- فضای خالی کافی در آسفالت کوبیده شده تأمین شود تا با افزایش دمای محیط و تراکم اضافی ناشی از آمد و شد ترافیک سنگین که بیشترین افزایش آن در اولین تابستان پس از اجراست سبب قیرزدگی و شیارشدگی نشده و در عین حال این فضای خالی، در حدی نباشد که موجب نفوذ آب و هوای بیش از حد به جسم آسفالت شده، سبب زیان رطوبتی مخلوط آسفالتی و عریان‌شدگی مصالح سنگی شده و از مقاومت خستگی آن کاسته شود.

ت- کارایی کافی داشته باشد به‌طوری‌که به آسانی پخش و کوبیده شده و موجب جدا شدن مصالح از یکدیگر یا کمبود مقاومت نگردد؛

ث- بافت سطحی آسفالت رویه و سختی سنگدانه‌های آن بتواند ضریب اصطکاک کافی را در شرایط جوی نامناسب تأمین کند.

۲۰-۳-۲ انطباق و تأیید قیر و افزودنی‌های مورد استفاده در پروژه

انواع قیر، افزودنی‌های شیمیایی و مواد سلولزی، فیلرهای افزودنی و آهک هیدراته که وارد کارگاه می‌شوند باید مطابق مشخصات فنی مندرج در این فصل (یا مندرج در مشخصات فنی خصوصی پروژه) باشند. کلیه مواد ذکر شده باید منحصراً از تولید کنندگان معتبر خریداری و همراه با محموله‌های ورودی به کارگاه، مدارک مربوط به مقدار و مشخصات فنی محصولات به کارگاه تحویل شود. کنترل کیفیت این مواد باید مطابق مشخصات و دستورالعمل‌های این فصل در زمان ورود انجام شود تا بر اساس نتایج، تأیید مهندس مشاور اخذ گردد .

محل‌های انبار و نگهداری این مواد، طبق دستورالعمل تولید کننده بوده و شرایط و فرایند مصرف این مواد نیز باید به صورت مکانیکی و به نحو مطلوب در کارخانه آسفالت انجام شود .

۲۰-۳-۳- انطباق و تایید معادن تولید مصالح سنگدانه‌ای

سنگدانه‌ها از معادن سنگ کوهی یا قلوه سنگ‌های درشت رودخانه‌ای تهیه و طی چندین مرحله جداگانه (حداقل سه مرحله) در سنگ‌شکن‌ها شکسته می‌شود. مصالح پس از شکسته شدن، دانه‌بندی شده (با سرند کردن) و در قسمت‌های مجزا به صورت شن درشت، شن متوسط، شن ریز، ماسه درشت و ماسه ریز مطابق جدول (۲۰-۱۷) انبار می‌شود.

مصالح سنگی انواع آسفالت داغ باید سخت، محکم، بادوام، تمیز، مکعبی شکل و عاری از هرگونه مواد آلی، رسی، شیستی، پوشش خاکی و دانه‌های سست بوده و برای هر قطعه از پروژه، حتی‌الامکان از یک معدن تهیه شده باشد. مصالح درشت، متوسط و ریز در صورت لزوم باید قبل از مصرف شسته شوند.

معادن مصالح تعیین‌شده در مشخصات فنی خصوصی برای عملیات آسفالتی و نیز منابعی که توسط پیمانکار پیشنهاد می‌شود باید از نظر کمیت و کیفیت و انطباق نتایج حاصله، با معیارهای مندرج در این ضابطه و نیز مشخصات فنی خصوصی آزمایش شوند. در این خصوص لازم است:

الف) حجم مصالح قابل بهره‌برداری به طور دقیق و با روش مناسب از جمله نقشه‌برداری و گمانه‌زنی و مطابق مجوزهای اخذشده تعیین و برای تأیید به مهندس مشاور ارایه شود.

ب) برای ارزیابی کیفیت:

- نمونه‌برداری از مصالح به نحوی انجام شود که تعداد نمونه‌های برداشت‌شده، نوع یا انواع مصالح موجود در معدن را پوشش دهد.
- مصالح نمونه‌برداری شده با دستگاه سنگ‌شکن (در صورت استقرار) یا در آزمایشگاه مطابق دانه‌بندی مورد نیاز خردایش شوند.
- بر روی مصالح آزمایش‌های مرتبط با نوع و جنس سنگ مطابق مشخصات ذکرشده برای سنگدانه‌ها و انواع مخلوط آسفالتی از جمله پتروگرافی (ASTM C295)، سایش لس‌آنجلس و عدد صیقلی‌شدن سنگدانه‌ها (PSV) و دوام (افت وزنی در برابر سولفات سدیم) انجام شود. به طور کلی در مرحله پذیرش معدن، باید تمام ویژگی‌های لازم مرتبط با نوع معدن که ارتباطی با مراحل بعدی فرآیند خردایش و تولید مصالح سنگدانه‌ای ندارد و اصلاح این مشخصات در مراحل بعدی ممکن نیست، کنترل شود.

مصالح مصرفی برای هر طرح مخلوط آسفالتی منحصراً باید از یک معدن و از یک جنس و کیفیت انتخاب شود؛ به جز در مواردی که به تشخیص مهندس مشاور و در جهت تأمین مشخصات فنی خصوصی پروژه نیاز به

استفاده از بیش از یک معدن باشد. ضروری است که تمامی معادن، متناسب با نوع مصالح برداشتی از آن‌ها، مشخصات فنی مندرج در این ضابطه را تأمین کند. بدیهی است ترکیب مصالح معادن نیز باید مشخصات فنی لازم را داشته باشد.

برای هر نوع مخلوط آسفالتی، مصرف مصالح از هر معدن یا منبع فقط هنگامی مجاز است که نتایج و فرآیندهای مذکور مورد تأیید کتبی مهندس مشاور قرار گرفته باشد. در صورت تغییر معدن یا تغییر مشخصات معدن لازم است مراحل فوق مجدداً انجام شود. همچنین به تشخیص مهندس مشاور می‌توان نسبت به انجام آزمایش‌های اضافی لازم در حین تولید و بهره‌برداری از معدن اقدام کرد.

۲۰-۳-٤ تولید، نگهداری و مصرف مصالح سنگدانه‌ای

مخلوط مصالح سنگی و هر یک از اجزای درشت و ریز آن که در مخلوط‌های آسفالت داغ و بتن آسفالتی مصرف می‌شود باید با رعایت دقیق مطالبی که در ادامه می‌آید، تهیه، انبار و سپس مصرف شوند.

۲۰-۳-٤-۱ تهیه و تفکیک مصالح سنگدانه‌ای

برای تولید انواع دانه‌بندی پیوسته مخلوط‌های آسفالتی داغ توصیه می‌شود مصالح سنگی مطابق جدول (۲۰-۱۷) تهیه شود. انتخاب درصد ترکیب هر کدام از مصالح تهیه‌شده باید توسط مهندس مشاور و به گونه‌ای انجام شود که دانه‌بندی فرمول کارگاهی مطابق جدول (۲۰-۱) باشد. ضروری است برای تهیه مصالح سنگی از اپراتور سنگ شکن دارای گواهینامه صلاحیت حرفه‌ای / شغلی استفاده شود. برای آزمایش‌های مربوط به مصالح درشت‌دانه و ریزدانه ابتدا باید مخلوط مصالح دانه‌بندی با فرمول کارگاهیِ مورد تائید مهندس مشاور تهیه شود و سپس با جدا سازی مصالح مانده روی الک شماره ۴ و عبوری از آن، مصالح درشت دانه و مصالح ریزدانه تفکیک شود.

همچنین انتخاب نوع فیلر، مقدار مصرف و دانه‌بندی آن در انواع بتن آسفالتی، اهمیت ویژه‌ای دارد. در صورتی‌که کیفیت فیلر حاصل از شکستن سنگدانه‌ها (عمدتاً رد شده از الک ۲۰۰) مطلوب نباشد، باید فیلر افزودنی تهیه و در کارخانهٔ آسفالت از طریق سیلوی جداگانه و سیستم توزین مجزا به مخلوط‌کن اضافه شود

فیلر افزودنی را می‌توان از گرد سنگ‌های آهکی، آهک شکفته، سیمان، خاکستر بادی[1] یا گرد سایر سنگ‌های معدنی تهیه نمود. فیلر افزودنی مورد استفاده برای آسفالت، باید دارای ویژگی‌های زیر باشد:

1. Fly Ash

- دانه‌بندی آن با جدول ۲۰-۱۸ انطباق داشته باشد.
- دامنه خمیری آن در صورت عدم استفاده از سیمان و آهک شکفته از چهار درصد تجاوز نکند.
- فاقد ناخالصی‌های آلی باشد (AASHTO T21).
- در هنگام مصرف باید کاملا خشک و فاقد ذرات بهم چسبیده باشد.
- درصورت استفاده از خاکستر بادی، افت وزنی آن در اثر احتراق (ASTM C311) نباید بیشتر از ۱۲ درصد باشد.

فیلر موجود در مصالح سنگی آسفالتی باید توسط دستگاه غبارگیر کارخانه آسفالت از مصالح جدا و در سیلوی فیلر ذخیره و سپس به مقدار مورد نیاز به مصالح اضافه شود. این فیلر باید با ویژگی‌های مشروحه در بندهای فوق به استثنای الزامات مربوط به دانه‌بندی، مطابقت داشته باشد. آهک شکفته مصرفی به عنوان فیلر با مشخصات AASHTO M303 انطباق داشته باشد.

برای تأمین کسری میزان مصالح ریزدانه، می‌توان از ماسه طبیعی مشروط به تأیید مهندس مشاور استفاده کرد. ماسه باید دارای دانه‌بندی پیوسته باشد. ماسه مصرفی باید فاقد ناخالصی‌های آلی، رسی و مواد نمکی بوده و منطبق با مشخصات مصالح ریزدانه جدول ۲۰-۲ باشد. میزان مصرف ماسه طبیعی (ردشده از الک شماره ۴) در اساس قیری، حداکثر ۲۵ درصد و در لایه آستر حداکثر ۲۰ درصد وزنی کل مصالح ردشده از الک شماره ۴ دانه‌بندی مخلوط آسفالتی هر یک از این دو نوع آسفالت باشد. استفاده از ماسه طبیعی در لایه رویه مجاز نمی‌باشد. توصیه می‌شود ماسه طبیعی توسط دو سیلوی سرد جداگانه (طبق جدول ۲۰-۱۷) و به میزان تعیین شده وارد کارخانه آسفالت شود. در صورتی‌که ارزش ماسه‌ای ماسه طبیعی کمتر از مقادیر جدول (۲۰-۲) باشد، باید به روش مناسبی ارزش ماسه‌ای مندرج در جدول مذکور تأمین شود.

جدول ۲۰-۱۷ تهیه مصالح سنگی برای تولید انواع دانه‌بندی پیوسته مخلوط‌های آسفالتی داغ

	درصد وزنی رد شده از هر الک																
	شن												ماسه				
اندازه الک	درشت (۱)	درشت (۲)	درشت (۳)	متوسط (۱)	متوسط (۲)	متوسط (۳)	متوسط (۴)	متوسط (۵)	ریز (۱)	ریز (۲)	ریز (۳)	ریز (۴)	درشت	ریز (۱)	ریز (۲)	ریز (۳)	ریز (۴)
۵۰ میلی‌متر (۲ اینچ)	۱۰۰			۱۰۰													
۳۷/۵ میلی‌متر ($1\frac{1}{2}$ اینچ)	۱۰-۰	۱۰۰		۱۰۰-۹۰	۱۰۰				۱۰۰								
۲۵ میلی‌متر (۱ اینچ)		۱۰-۰	۱۰۰		۱۰۰-۹۰	۱۰۰											
۱۹ میلی‌متر ($\frac{3}{4}$ اینچ)			۱۰-۰	۱۰-۰		۱۰۰-۹۰	۱۰۰		۱۰۰-۹۰	۱۰۰							
۱۲/۵ میلی‌متر ($\frac{1}{2}$ اینچ)					۱۰-۰		۱۰-۰	۱۰۰		۱۰۰-۹۰	۱۰۰						
۹/۵ میلی‌متر ($\frac{3}{8}$ اینچ)						۱۰-۰		۱۰-۰			۱۰۰-۹۰	۱۰۰	۱۰۰				
۴/۷۵ میلی‌متر (شماره ۴)									۱۰-۰	۱۰-۰	۱۰-۰	۱۰-۰	۱۰۰-۹۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰
۲/۳۶ میلی‌متر (شماره ۸)													۱۰-۰	۱۰۰-۹۰	۱۰۰-۹۰	۱۰۰-۹۰	۱۰۰-۹۰
۱/۱۸ میلی‌متر (شماره ۱۶)																	۱۰۰-۵۰

		درصد وزنی رد شده از هر الک																
		شن												ماسه				
	اندازه الک	درشت (۱)	درشت (۲)	درشت (۳)	متوسط (۱)	متوسط (۲)	متوسط (۳)	متوسط (۴)	متوسط (۵)	ریز (۱)	ریز (۲)	ریز (۳)	ریز (۴)	درشت	ریز (۱)	ریز (۲)	ریز (۳)	ریز (۴)
	۰/۶ میلی‌متر (شماره ۳۰)																	۳۰-۸۰
	۰/۳ میلی‌متر (شماره ۵۰)														۱۲-۴۸	۱۵-۵۳	۲۰-۵۰	۱۰-۵۰
	۰/۱۵ میلی‌متر (شماره ۱۰۰)																	۴-۲۴
	۰/۰۷۵ میلی‌متر (شماره ۲۰۰)														۰-۱۸	۳-۲۲	۵-۲۵	۳-۱۲
	ترکیب استفاده در انواع دانه‌بندی پیوسته																	
۱	اساس قیری	✓			✓					✓				✓	✓			
۲	اساس قیری و آستر		✓			✓					✓			✓		✓		
۳	اساس قیری و آستر			✓			✓					✓		✓			✓	
۴	آستر و رویه							✓			✓			✓			✓	
۵	رویه								✓			✓		✓			✓	
۶	رویه												✓	✓				✓

جدول ۲۰-۱۸دانه‌بندی فیلر

اندازه الک	درصد وزنی رد شده
۱٫۱۸ میلی‌متر (شماره ۱۶)	۱۰۰
۰/۶ میلی‌متر (شماره ۳۰)	۹۷-۱۰۰
۰٫۳ میلی‌متر (شماره ۵۰)	۹۵ – ۱۰۰
۰٫۰۷۵ میلی‌متر (شماره ۲۰۰)	۷۰ – ۱۰۰

۲۰-۳-٤-۲ انبار کردن مصالح

مصالح سنگی درشت و ریز باید به نحوی در کارگاه انبار شود که با یکدیگر مخلوط نشده و کیفیت و مرغوبیت آن‌ها از بین نرود. محل انبار مصالح سنگی باید قدری مرتفع‌تر و برجسته‌تر از پیرامون آن باشد تا زهکشی آب در بستر زیرین مصالح سنگی به نحو مطلوبی انجام شود و آب‌های سطحی به سرعت از جسم مصالح به خارج هدایت شوند.

برای جدا کردن مصالح می‌توان از دیواره‌های بتنی، سنگی یا هر وسیله قابل قبول دیگری استفاده نمود. مصالح را باید طوری انبار کرد که دانه‌های آن از یکدیگر جدا نشده و در دانه‌بندی آن‌ها تغییری حاصل نشود. کاربرد بولدوزر برای انبار کردن و جمع کردن مصالح قابل قبول نخواهد بود.

اگر ماسه طبیعی به عنوان بخشی از مصالح ریز مصرف می‌شود باید جداگانه انبار گردد.

۲۰-۳-٤-۳ فرمول کارگاهی

الف) انتخاب دانه‌بندی برای طرح اختلاط آزمایشگاهی

از آنجا که محدوده‌های دانه‌بندی مندرج در جدول (۲۰-۱) برای هر یک از الک‌ها گستردگی زیادی دارد، در عمل دانه‌بندی منتخبی در آن محدوده‌ها با درصد عبوری معین برای هر کدام از اندازه الک‌های مندرج در دانه‌بندی اصلی انتخاب می‌شود که به آن دانه‌بندی کارگاهی اطلاق می‌گردد. دانه‌بندی کارگاهی، باید در کارگاه با در نظر گرفتن حداقل VMA لازم توسط پیمانکار به نحوی پیشنهاد شود که شرایط زیر را داشته باشد:

الف: مابین دو حد بالا و پایین مشخصات فنی خصوصی مورد تأیید مهندس مشاور، قرار گرفته و برای بتن آسفالتی داغ، از الک شماره ۸ به پایین حتی الامکان به موازات دو حد بالا و پایین دانه‌بندی انتخابی باشد.

ب: از نمودار معرف حداکثر چگالی[1] فاصله داشته باشد تا موجب افزایش فضای خالی مخلوط مصالح سنگی در حد مطلوب و در نتیجه مصرف قیر بیشتر برای افزایش دوام آسفالت گردد.

پ: با شرایط ترافیکی، آب و هوایی، موقعیت مسیر (کوهستانی، تپه ماهور، هموار) که توسط مهندس مشاور قبلاً تهیه شده است، هماهنگی داشته باشد.

ت: پوشش حاصل بعد از اعمال رواداری‌های مندرج در جدول (۲۰–۲۵) به دانه‌بندی پیشنهادی پیمانکار که «پوشش دانه‌بندی کنترل کارگاهی» نامیده می‌شود، به شرط تأمین سایر مشخصات فنی و تأیید مهندس مشاور می‌تواند خارج از دانه‌بندی اصلی واقع شود.

ث: بر اساس کلیه نتایج قابل قبول حاصل از آزمایش دانه‌بندی مصالح تفکیک شده در کارگاه محاسبه گردد.

ج: دانه‌بندی کارگاهی که بر اساس نتایج آزمایش‌های متغیر، منفرد و نمونه‌های غیر معرف اخذ شده از هر یک از مصالح محاسبه شود، قابل قبول نخواهد بود.

چ: نتایج دانه‌بندی جزء یا اجزای مصالح مورد استفاده در تعیین دانه‌بندی کارگاهی باید معرف حجم کل مخلوط مصالح سنگی مورد نیاز برای هریک از مخلوط‌های آسفالتی در پروژه باشد. در این مرحله، حجم مصالح سنگی آسفالتی برای دانه‌بندی کارگاهی نباید کمتر از ۲۵ درصد حجم کل مصالح سنگی آسفالتی آن لایه یا ۲۰۰۰۰ تن (هر کدام بیشتر است) باشد. لازم به ذکر است چنانچه میزان مصالح سنگی مورد نیاز آن لایه کمتر از ۲۰۰۰۰ تن باشد، باید قبل از نمونه‌برداری تمام مصالح تولید شده باشد.

ب) نمونه‌برداری برای طرح اختلاط آزمایشگاهی

پیمانکار موظف است ضمن پیشنهاد دانه‌بندی کارگاهی، نتایج آزمایشگاهی مصالح مورد نظر برای تولید آسفالت را همراه با دلایل توجیهی انتخاب آن مصالح به مهندس مشاور تحویل نماید. بر حسب اینکه نمونه‌برداری کارگاهی از سیلوهای سرد و تسمه نقاله باشد یا از سیلوهای گرم، نتایج دانه‌بندی متفاوت خواهد بود که می‌تواند بر طرح اختلاط آزمایشگاهی تأثیر بگذارد. از این‌رو، نمونه‌برداری برای طرح اختلاط آزمایشگاهی باید از سیلوهای گرم کارخانه آسفالت و با رعایت شرایط زیر انجام شود:

---

1. Maximum Density Curve (Fuller Curve)

خط حداکثر چگالی، معرف دانه‌بندی مخلوط مصالح سنگی با فضای خالی کمتر است که معادله آن به صورت زیر بیان می شود:

$$p = \left(\frac{d}{D}\right)^{0.45} \times 100$$

الف: مصالح درشت، متوسط و ریز آماده و تفکیک شده در کارگاه که منطبق با مشخصات این فصل باشد، هریک باید جداگانه به سیلوهای سرد کارخانه تغذیه شود. وضعیت دریچه سیلوهای سرد طوری تنظیم می‌گردد که از هر یک به نسبت معین مصالح وارد کارخانه شده و پس از حرارت دیدن و سرند شدن به سیلوهای گرم کارخانه منتقل شود.

ب: چنانچه ماسه طبیعی به عنوان بخشی از مصالح ریزدانه به کار رود، ضمن تغذیه جداگانه آن به سیلوهای سرد مربوط، نسبت تغذیه آن به واحد خشک کننده به نحوی تنظیم شود که منطبق با نسبت وزنی مندرج در مشخصات فنی خصوصی مورد تایید مهندس مشاور برای کل مخلوط آسفالتی لایه مورد نظر باشد.

پ: تغذیه مصالح به سیلوهای سرد و فعالیت آزمایشی کارخانه باید آنقدر ادامه پیدا کند تا کارخانه به شرایط عادی و عملکرد یکنواخت (مطابق تعریف زیربند ۲۰-۳-۵-۱) خود برسد. در چنین حالتی از هر یک از سیلوهای گرم در دو نوبت به فاصله ۱۵ دقیقه و در هر نوبت، دو نمونه برداشته می‌شود. نمونه‌برداری از سیلوها باید با وسایل خاص تعبیه شده توسط کارخانه و مطابق استاندارد AASHTO T2 انجام شود.

ت: نمونه‌های اخذشده در هر مرحله آزمایش، در آزمایشگاه مستقر در کارگاه مورد آزمایش قرار می‌گیرد تا اطمینان حاصل شود که دانه‌بندی نمونه‌های اخذشده از هر سیلوی گرم و فیلر در هر مرحله، مشابه بوده و با مشخصات فنی خصوصی مورد تایید مهندس مشاور انطباق دارد.

ث: چنانچه آزمایش‌های انجام شده در کارگاه به شرح فوق تایید کننده یکسان بودن دانه‌بندی مصالح در هر دو نوبت نمونه‌گیری و نیز انطباق آن‌ها با مشخصات فنی خصوصی مورد تأیید مهندس مشاور باشد، نمونه اخذ شده دوم جهت تهیه طرح اختلاط به آزمایشگاه ارسال می‌شود. لازم به ذکر است که حداقل مقدار نمونه لازم برای انجام آزمایش‌های مصالح با اندازه‌های مختلف مطابق جدول (۲۰-۱۹) است. همچنین در مواردی که به فیلر افزودنی علاوه بر فیلر حاصل از دستگاه غبارگیر کارخانه برای تأمین دانه‌بندی منطبق با مشخصات نیاز باشد، نمونه‌برداری باید از فیلر موجود در سیلوهای مناسب انجام گیرد (حداقل ۱۰ کیلوگرم). استفاده از فیلر حاصل از دستگاه غبارگیر در مخلوط آسفالتی به شرطی مجاز است که مشخصات فنی آن منطبق بر مشخصات فیلر زیربند (۲۰-۳-۴-۱) باشد.

ج: وزن نمونه‌های مصالح سنگی مورد نیاز، بر اساس حداکثر اندازه اسمی سنگدانه‌ها تغییر می‌کند. هر چقدر حداکثر اندازه اسمی سنگدانه‌ها بزرگتر باشد، وزن نمونه مورد نیاز بیشتر خواهد بود.

جدول ۲۰-۱۹ حداقل وزن نمونه پیشنهادی بر اساس حداکثر اندازه اسمی سنگدانه

حداکثر اندازه اسمی سنگدانه	وزن نمونه (کیلوگرم)
۳۷٫۵ میلی‌متر (۱٫۵ اینچ)	۷۵
۲۵ میلی‌متر (۱ اینچ)	۵۰
۱۹ میلی‌متر ($\frac{۳}{۴}$ اینچ)	۲۵
۱۲٫۵ میلی‌متر ($\frac{۱}{۲}$ اینچ)	۱۵
۹٫۵ میلی‌متر ($\frac{۳}{۸}$ اینچ)	۱۰
۴٫۷۵ میلی‌متر (شماره ۴)	۱۰
۲٫۳۶ میلی‌متر (شماره ۸)	۱۰

چ: قیر مورد مصرف در طرح اختلاط آزمایشگاهی نیز باید از مخازن ذخیره کارگاه و با توجه به روش AASHTO R66 نمونه‌برداری شود. اگر ظرفیت مخازن کارگاه کمتر از ۴۰۰۰ متر مکعب باشد، از مخزن حداقل ۵ نمونه چهار لیتری و اگر ظرفیت آن بیشتر از ۴۰۰۰ متر مکعب باشد، حداقل ۱۰ نمونه چهار لیتری قیر برداشته می‌شود. سپس این نمونه‌ها با هم ترکیب و از آن یک نمونه چهار لیتری جهت انجام آزمایش‌ها، برداشت می‌شود.

ح: نمونه‌برداری مصالح سنگی گرم، فیلر و قیر باید با حضور نمایندگان مهندس مشاور، پیمانکار و آزمایشگاه مستقر در کارگاه انجام و صورت جلسه شود.

خ: گاهی اوقات ذرات ریز سنگدانه، در گوشه‌های سیلو باقی می‌ماند و در مواقعی که مقدار سنگدانه باقیمانده در سیلو کم باشد، این توده ریزدانه ریزش می‌کند و باعث افزایش مقدار فیلر در مخلوط آسفالتی می‌شود. برای جلوگیری از این اتفاق، باید تمهیدات لازم توسط پیمانکار اتخاذ شود. پر کردن گوشه ها با جوش فیله و یا جوش دادن ورق در گوشه ها باعث کاهش انباشته شدن ذرات ریز سنگدانه در گوشه های سیلو می‌شود. ضمن آنکه بهتر است حجم مصالح در سیلو بطور کامل تخلیه نشود.

پ) تهیه طرح اختلاط آزمایشگاهی و ارزیابی اولیه آن

مهندس مشاور در صورت تأیید دانه‌بندی کارگاهی پیشنهادی پیمانکار در محدوده مشخصات دانه‌بندی‌های جدول (۲۰-۱)، نسبت به ارسال نمونه‌های مصالح سنگی، تراشه آسفالتی (RAP) (در صورت استفاده از تراشه

آسفالت باید جزئیات مربوط، در مشخصات فنی خصوصی پروژه درج شود) و قیر به آزمایشگاه جهت تهیه طرح اختلاط اقدام نموده و اطلاعات مورد نیاز تهیه طرح اختلاط را به شرح زیر در اختیار آزمایشگاه قرار می‌دهد:

الف: دانه‌بندی کارگاهی مورد تأیید مهندس مشاور

ب: مشخصات مصالح سنگی اخذشده از سیلوهای گرم، فیلر و قیر.

پ: مشخصات نمونه‌های تراشه آسفالتی (RAP) و درصد استفاده از آن‌ها (در صورت استفاده)

ت: مشخصات و درصد استفاده افزودنی‌ها مانند افزودنی‌های ضدعریان‌شدگی یا آهک هیدراته (در صورت استفاده)

ث: روش تهیه طرح اختلاط، به شرح آنچه که در مشخصات فنی خصوصی تشریح شده است (روش مارشال معمولی یا مارشال اصلاح شده یا روش‌های دیگر).

ج: کلیه معیارهای فنی طراحی مربوط به نوع مشخصات مخلوط آسفالتی (رویه، آستر، اساس قیری)، به شرح جداول مربوط.

چ: تعداد ضربه‌ها برای کوبیدن نمونه‌های آزمایشگاهی.

آزمایشگاه بر اساس اطلاعات فوق ضمن کاربرد دستورالعمل آخرین ویرایش MS-2 انستیتو آسفالت نسبت به تهیه طرح اختلاط آزمایشگاهی مخلوط‌های آسفالتی اقدام کرده و نتیجه را به شرح زیر به کارفرما یا مهندس مشاور اعلام می‌کند:

الف: دانه‌بندی هر یک از مصالح سنگی درشت، متوسط، ریز و فیلر به صورت جداگانه

ب: نتایج آزمایش‌های مصالح سنگی به شرح جدول‌های مربوطه این فصل و قیر مطابق جدول مربوط در فصل چهاردهم

پ: درصد وزنی هر یک از سنگدانه‌های درشت، متوسط، ریز و فیلر مصرفی در طرح اختلاط و مقایسه دانه‌بندی حاصل با دانه‌بندی کارگاهی

ت: مناسب‌ترین درصد قیر نسبت به مخلوط آسفالتی

ث: منحنی تغییرات درصد فضای خالی نمونه متراکم شده آزمایشگاهی

ج: منحنی تغییرات درصد فضای خالی بین مصالح سنگی سنگدانه (VMA)

چ: منحنی تغییرات درصد فضای خالی مصالح سنگی پر شده با قیر (VFA)

ح: منحنی تغییرات استحکام مارشال

خ: منحنی تغییرات روانی نمونه مارشال

د: منحنی تغییرات وزن مخصوص نمونه مارشال

ذ: وزن مخصوص حقیقی اجزاء مخلوط مصالح سنگی و وزن مخصوص حقیقی مخلوط مصالح سنگی

ر: درصد جذب قیر مخلوط مصالح سنگی، وزن مخصوص موثر مخلوط مصالح سنگی و حداکثر وزن مخصوص تئوری مخلوط آسفالتی غیرمتراکم

ز: دوام مخلوط آسفالتی در برابر آب (TSR[1])

ژ: سایر خصوصیات مخلوط آسفالتی

ت: ارزیابی و کنترل طرح اختلاط آزمایشگاهی و ابلاغ فرمول کارگاهی

تأیید طرح اختلاط آزمایشگاهی مخلوط آسفالتی در زمان شروع کار و با ارسال تأییدیه راه‌اندازی کارخانه آسفالت به پیمانکار برای تولید آسفالت آزمایشی توسط مهندس مشاور انجام می‌شود.

تطبیق مشخصات فنی و نتایج طرح اختلاط آزمایشگاهی مخلوط آسفالتی با نیازهای طرح، بر عهده مهندس مشاور است. مهندس مشاور باید بر اساس نیازهای طرح و اهداف بند ۲۰-۳-۱، پس از کنترل و بررسی طرح اختلاط آزمایشگاهی و در صورت لزوم اصلاح، آن را برای تولید آزمایشی به پیمانکار ارسال نماید.

مقدار آسفالت آزمایشی حداقل ۲۵۰ تن و در یک نوبت کاری است. پیمانکار با راه اندازی کارخانه آسفالت و تولید مخلوط آسفالتی به شرح بند ۲۰-۳-۵، نسبت به پخش و کوبیدن آسفالت تولیدی بر اساس طرح اختلاط تصویب شده توسط مهندس مشاور، در قطعه یا قطعات آزمایشی اقدام می‌کند.

همزمان مهندس مشاور درخواست نمونه‌برداری و انجام آزمایش‌های مورد نیاز روی آسفالت اجرا شده آزمایشی را صادر می‌کند. مهندس مشاور نتایج حاصل از آزمایش نمونه‌های مراحل تولید و اجرا را با داده‌های طرح اختلاط تصویب شده، مقایسه می‌کند.

چنانچه خصوصیات مصالح نسبت به مصالح مورد استفاده در طرح اختلاط آزمایشگاهی تغییر کرده باشد یا مشکلات ناشی از تغییرات در مصالح بعد از فرآوری در کارخانه وجود داشته باشد، نتایج آزمایش‌ها آن را نشان می‌دهد و مهندس مشاور باید نسبت به انجام اصلاحات لازم برای هماهنگی بین فرمول کارگاهی و مخلوط آسفالتی تولید شده، اقدام تا انطباق نتایج آزمایش‌های کنترل کیفیت با معیارها و مشخصات فنی تضمین شود.

1. Tensile Strength Ratio

چنانچه ویژگی‌های مخلوط آسفالتی آزمایشی با مشخصه‌ها و معیارهای فنی طرح اختلاط آزمایشگاهی ضمن رعایت رواداری‌های پیش بینی شده در مشخصات، انطباق داشته و به تایید مهندس مشاور برسد، مهندس مشاور فرمول کارگاهی اصلاح شده مخلوط آسفالتی [1]را برای اجرا به پیمانکار ابلاغ می‌کند. پیمانکار باید مخلوط آسفالت را بر اساس فرمول کارگاهی ابلاغ شده تهیه و اجرا کند.

برای دستیابی به عملکرد مطلوب روسازی، مهندس مشاور با توجه به شرایط آب و هوایی، ترافیکی و هندسی پروژه، میزان مشخصات فنی هدف به ویژه میزان درصد فضای خالی هدف را در محدوده مندرج در جدول‌های ۵-۲۰ و ۲۰-۶ انتخاب و درصد قیر بهینه متناظر با آنها را همراه با فرمول کارگاهی اصلاح شده به پیمانکار و آزمایشگاه مستقر در کارگاه ابلاغ می‌کند.

۲۰-۳-۵ تولید مخلوط آسفالتی

۲۰-۳-۵-۱ کارخانه آسفالت

مخلوط آسفالت داغ یا بتن آسفالتی را باید با کارخانه آسفالت که ظرفیت و مشخصات آن متناسب با حجم عملیات مورد پیمان باشد، تهیه کرد. کارخانه باید آنچنان طرح شده باشد که بتواند آسفالت یکنواخت منطبق با مشخصات فنی را تولید کند. کارخانه آسفالت بسته به نوع و مقدار مخلوط آسفالتی تولیدی، می‌تواند کوچک و ساده یا بزرگ و پیچیده باشد. همچنین کارخانه آسفالت ممکن است دائمی (ثابت) یا موقت (قابل حمل) باشد.

کارخانه آسفالت داغ باید با مشخصات AASHTO M156 یا ASTM D995 و شرایط مشروحه در این فصل، مطابقت داشته و کاملاً اتوماتیک و دیجیتال باشد. در هر حال نوع و مشخصات کارخانه باید قبل از استقرار و نصب به تصویب مهندس مشاور برسد. در حین انجام کار نیز فرآیند تولید بر اساس ASTM D290 بازرسی و کنترل شود؛ همچنین کارخانه تولید آسفالت باید دارای گواهینامه فنی معتبر از مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی باشد.

محل نصب کارخانه آسفالت باید مورد تأیید مهندس مشاور و در حد امکان در مسیر بین معدن سنگدانه و محل اجرای آسفالت باشد تا از حمل اضافه سنگدانه‌ها جلوگیری شود. ظرفیت تولیدی کارخانه آسفالت متناسب با نوع آسفالت، اهمیت پروژه و تجهیزات اجرا تعیین می‌شود که معمولاً در محدوده ۱۲۰ تا ۳۰۰ تن در ساعت است.

---

1 Adjusted Job Mix Formula

۲۰-۳-۵-۱-۱ مشخصات عمومی کارخانه آسفالت

الف: یکنواختی و توازن

کارخانه باید هم در مصرف مواد اولیه و هم در فرآیند تولید آسفالت، یکنواختی و توازن داشته باشد. یکنواختی شامل یکنواختی در جنس مصالح، یکنواختی در نسبت استفاده از مصالح و پیوستگی کارکرد همه اجزای کارخانه است. لازمه رسیدن به این یکنواختی وجود توازن بین مقدار مصالح مصرفی و ظرفیت تولید از یکطرف و توازن بین ظرفیت تولید و میزان اجرای روسازی از طرف دیگر است.

کارخانه آنچنان طرح شده باشد که هنگام کار بتواند محصول منطبق با فرمول کارگاهی و ارزش‌های فنی مشخصه را به طور یکنواخت و در درجه حرارت ابلاغ‌شده با رعایت تغییرات در محدوده ۱۰± درجه سلسیوس تولید کند.

ب: مخازن گرم نگهدارنده قیر

کارخانه‌های آسفالت باید حداقل دو مخزن قیر گرم داشته باشند که مجهز به سنجه (گیج) مقدار قیر و نیز حرارت‌سنج باشد. ظرفیت مخازن قیر گرم باید به مقداری باشد که حداقل قیر مورد نیاز یک روز کاری را تأمین کند. قیرهای مختلف نباید مخلوط و در مخازن قیر گرم ذخیره شود. اگر برای انجام یک پروژه قیرهای با طبقه‌بندی مختلف لازم باشد، هر نوع قیر در حداقل یک مخزن جداگانه نگه‌داری شود. همچنین برای گردش مداوم قیر، باید از پمپ‌های مناسب در کل دوره کار استفاده شود. در مسیر گردش یا مخزن قیر، شیر (خروجی) مناسبی برای نمونه‌گیری و کنترل قیر تعبیه شده باشد. سرعت اکسیداسیون قیر در دماهای بالا زیاد است، از اینرو باید کمتر در معرض هوا قرار گیرد. به همین جهت لوله برگشت (تخلیه) قیر باید در نزدیکی کف مخزن قیر گرم قرار گیرد.

مجموعه مخازن قیر گرم و لوله‌های گردش قیر آن‌ها باید با استفاده از تجهیزات مناسب و مطابق دمای مندرج در این فصل، گرم شود. گرمایش مخازن قیر گرم می‌تواند با لوله‌های حاوی روغن و بخار انجام شود. وقتی از لوله‌های حاوی روغن برای گرم‌کردن قیر استفاده می‌شود، سطح روغن در مخزن سیستم گرمایشی باید به صورت دوره‌ای و مرتب کنترل شود تا اگر نشتی در لوله‌های روغن رخ داده باشد، به سرعت معلوم و از آلودگی احتمالی قیر جلوگیری شود. تماس مستقیم شعله آتش با بدنه مخازن قیر به هیچ وجه مجاز نیست. کارفرما و مهندس مشاور موظفند از کارکردن دستگاه‌هایی که در آن شعله با بدنه مخازن قیر تماس مستقیم دارند، جلوگیری نمایند. در خصوص دمای مخزن باید ملاحظات مندرج در در بند ۱۴-۵ مد نظر قرار گیرد تا

اکسیداسیون قیر حداقل و مخزن از خطر انفجار مصون بماند. برای اطمینان از اینکه دمای قیر ورودی به محفظه اختلاط مناسب است، باید بر روی لوله‌های انتقال قیر دماسنج نصب شود.

پ: سیلوهای سرد

کارخانه آسفالت باید حداقل به پنج سیلوی سرد مکانیکی دقیق (شامل شن درشت، شن متوسط، شن ریز، ماسه درشت و ماسه ریز مطابق جدول ۲۰–۱۷) و هر سیلو به یک دریچه و سیستم تغذیه مجزا مجهز باشد. این سیستم تغذیه کننده باید قادر باشد مصالح سنگی را به صورت یکنواخت و با دبی ثابت توسط تسمه نقاله وارد واحد خشک کننده کند. هر سیلوی سرد باید مجهز به حسگر قطع جریان باشد تا در صورت خالی شدن سیلو، پس از دادن هشدار، سیستم تغذیه و نوار نقاله‌ها را خاموش کند. باید کنترل شود که خروجی مصالح از دریچه‌ها همواره به آرامی انجام شود. هرگاه برای انتقال مصالح به واحد خشک کننده بیشتر از یک نوار نقاله به کار رود، هر کدام از نوار نقاله‌ها باید به صورت یک واحد جداگانه و با کنترل از اتاق فرمان مرکزی کارخانه عمل کند.

سیستم تغذیه‌کننده[1] سیلوی سرد برای هر نوع و اندازه‌ای از سنگدانه‌ها باید کالیبره شود. کارخانه سازنده تجهیزات، بطور تقریبی اینکار را انجام می‌دهد، اما برای اجرای دقیق ضروری است نمودار کالیبراسیون برای هر نوع دانه‌بندی تهیه و استفاده شود. لازم است تکنسین مربوطه نمودارهای کالیبراسیون تغذیه‌کننده را امتحان کند تا نسبت به تنظیمات نرخ تغذیه و نحوه تغییر آن در فرآیند تولید آشنایی کامل داشته باشد. معمولاً نرخ خروجی مصالح از سیلوی سرد از دو طریق کنترل می‌شود؛ میزان بازشدگی دریچه خروجی سیلوی سرد یا تغییر سرعت نوار نقاله کوتاه تغذیه‌کننده. در صورتی‌که از نوار نقاله با سرعت متغیر استفاده شود، لازم است که میزان بازشدگی دریچه خروجی ثابت باشد. همچنین میزان بازشدگی دریچه خروجی نباید برای مصالح درشت‌دانه کمتر از ۲٫۵ تا ۳ برابر درشت‌ترین دانه‌ها و برای مصالح ریزدانه (ماسه) کمتر از ۲۵ میلی‌متر باشد.

ت: واحد خشک کننده

واحد خشک کننده شامل یک استوانه خشک‌کننده گردان است که مصالح سنگی از سیلوهای سرد به آن وارد و در این واحد حرارت داده می‌شود تا اولا رطوبت سنگدانه‌ها از بین برود و ثانیا سنگدانه‌ها به دمای مطلوب برسد. واحد خشک کننده دارای مشعل و فن است که به کمک آن‌ها جریان گاز داغ، عمل خشک کردن و حرارت دادن مصالح سنگی را انجام می‌دهد. مشعل خشک کن با جریان هوای پیوسته، مصالح سنگی سرد

1. Feeder

تغذیه شده را گرم و خشک کرده و سبب جداسازی گرد و غبار (فیلر استحصالی) سنگدانه‌ها می‌شود. برای اطمینان از احتراق کامل سوخت، این واحد نیاز به کنترل میزان سوخت و هوا دارد. واحد خشک کننده باید مصالح سرد تغذیه شده را خشک و تا دمای لازم بدون آنکه روی آنها پوششی از سوخت ناقص و آلودگی سنگدانه بگذارد، گرم کند. مدت زمان لازم برای خشک و گرم کردن مصالح سنگی به رطوبت مصالح سنگی، شیب استوانه خشک کن، سرعت چرخش، ابعاد استوانه خشک کن به ویژه طول آن، میزان مصالح سنگی تغذیه شده به واحد خشک کننده در واحد زمان، آرایش و چیدمان تیغه‌های بالابر جدار داخلی استوانه خشک کن بستگی دارد.

مشعل واحد خشک کننده باید از نوع توربو جت، اتوماتیک و متصل به حرارت‌سنجی که دمای مصالح خروجی را نشان می‌دهد، باشد تا بتواند بصورت خودکار مصالح را در دمای معین نگه دارد. هدف استفاده از مشعل اتوماتیک این است که دمای مخلوط مصالح سنگی یکنواخت باشد و مصالح بیش از اندازه گرم نشود، چرا که گرمای بیش از حد می‌تواند در زمان اختلاط به مخلوط آسفالتی آسیب بزند.

ث: الک‌های دانه‌بندی (توری‌های سرند)

واحد دانه‌بندی باید حداقل دارای پنج توری سرند که قابل تعویض و اندازه چشمه آن‌ها برای هر نوع مخلوط آسفالتی متناسب با ابعاد سنگدانه‌های مورد نیاز آن مخلوط است، باشد. انتخاب قطر چشمه‌های مورد نیاز برای هر نوع دانه‌بندی با دستور و تأیید مهندس مشاور، به گونه‌ای انجام می‌شود که منحنی دانه‌بندی کارگاهی به آسانی با توزین مصالح دانه‌بندی‌شده از سیلوهای گرم به‌دست آید.

ظرفیت سرند باید با ظرفیت خشک‌کن و محفظه اختلاط متناسب و در واقع قدری بیشتر از ظرفیت کامل واحدهای خشک‌کننده و اختلاط باشد. خروجی واحد دانه‌بندی باید ثابت و یکنواخت و تغییرات دانه‌بندی آن در هر یک از سیلوهای گرم از حدود زیر تجاوز نکند.

شماره سیلوی گرم	درصد تغییرات اندزاه کوچکتر	درصد تغییرات اندازه بزرگتر
۱ (ریز)	–	۱۰
۲	۱۵	۱۰
۳	۲۰	۵
۴	۲۰	۵
۵ (درشت)	۲۰	–

موتور و متعلقات لرزاننده سرندها باید در شرایط خوبی باشد تا سرندها با سرعت مناسب بلرزند. سرندهای فرسوده که ممکن است پاره شده باشند و نیز باردهی بیش از توان تفکیک سرندها، دلایل اصلی خارج‌شدن دانه‌بندی از حدود مطلوب است که باید هر دو مورد روزانه بازرسی و در صورت وجود رفع شود.

ج: سیلوهای گرم

از سیلوهای گرم برای نگهداری موقت سنگدانه‌های گرم و دانه‌بندی‌شده در محفظه‌های جداگانه و با اندازه‌های مختلف استفاده می‌شود. بدنه سیلوها باید محکم، فاقد هر گونه سوراخ و برای جلوگیری از تداخل سنگدانه‌ها در سیلوهای مجاور به اندازه کافی بلند باشد. همچنین بزرگی سیلوها باید به حدی باشد که بتواند مصالح گرم مورد نیاز کارخانه را در حالت تولید با ظرفیت کامل تأمین کند. سیلوها باید مجهز به حرارت‌سنج‌های دقیق برای رصد دائمی دمای مصالح و نیز دارای لوله‌های سرریز باشد که در صورت پرشدن یک سیلو، مصالح آن با مصالح سایر سیلوها درهم آمیخته نشوند. مصالح سرریز شده مذکور، مردود تلقی می‌شود. همچنین دسترسی و تجهیزات لازم برای نمونه‌برداری از هر کدام از سیلوهای گرم باید فراهم باشد. برای یک کارخانه، حداقل پنج سیلوی گرم به علاوه یک سیلوی جداگانه برای فیلر به‌شرح زیر لازم است.

شن درشت: سیلوی گرم شماره ۱، دانه‌بندی از ۱۹ تا ۲۵ میلی‌متر یا درشت‌تر
شن متوسط: سیلوی گرم شماره ۲، دانه‌بندی از ۱۲ تا ۱۹ میلی‌متر
شن ریز: سیلوی گرم شماره ۳، دانه‌بندی از ۶ تا ۱۲ میلی‌متر
ماسه درشت: سیلوی گرم شماره ۴، دانه‌بندی از ۳ تا ۶ میلی‌متر
ماسه ریز: سیلوی گرم شماره ۵، دانه‌بندی از صفر تا ۳ میلی‌متر

فیلرهای معدنی یا گرد و غبار حاصله از دستگاه غبارگیری باید در یک سیلوی مجزا که در برابر نفوذ رطوبت مقاوم شده است، ذخیره و بطور مستقیم به محفظه توزین وارد شود. حتی اگر فیلر فقط از دستگاه غبارگیری تأمین می‌شود، باز هم باید در سیلوی فیلر ذخیره و به روش مذکور استفاده شود و هرگز سیلوی فیلر از مدار خارج نباشد.

سیلوهای گرم باید مجهز به سیستمی باشند که خالی‌شدن هر سیلو را کمی قبل از آن هشدار دهد و در زمان وقوع، پیمانه‌سازی را قطع کند. در این‌صورت، مراحل قبلی ادامه می‌یابد تا دوباره سیلوهای گرم آماده تغذیه شوند. دریچه‌های خروجی سیلوی گرم باید مرتب بازرسی شود و دریچه‌های فرسوده تعمیر یا تعویض شود تا از ورود کنترل‌نشده مصالح به محفظه توزین که می‌تواند تأثیر منفی بر دانه‌بندی نهایی داشته باشد، جلوگیری شود.

چ: کنترل درجه حرارت

کارخانه باید مجهز به سیستم مرکزی کنترل دمای مصالح سنگی، قیر و مخلوط آسفالتی در اتاق فرمان باشد. این سیستم باید حرارت‌سنج‌هایی با حداقل دقت ۲ درجه سلسیوس و حساسیت دمایی ۱۰ درجه سلسیوس در دقیقه داشته باشد، که در نقاط حساس به دمای کارخانه نصب و متصل به سیستم مرکزی باشند. سطح شیبدار خروجی واحد خشک کننده، دیواره‌های سیلوهای گرم و لوله تخلیه قیر به محفظه اختلاط باید مجهز به حرارت‌سنج‌های مذکور باشد. حرارت‌سنج قیر باید در روی لوله تخلیه قیر به واحد مخلوط کننده و در محلی که به یک شیر تخلیه نزدیک است، نصب شود و قادر به نشان‌دادن دما در بازه ۱۰۰ تا ۲۰۰ درجه سلسیوس باشد.

ح: دستگاه غبارگیری[1]

فیلر نباید با سنگدانه‌ها مخلوط شود، بلکه باید توسط دستگاه غبارگیر کارخانه (سیکلون‌ها) جمع‌آوری و در سیلوی جداگانه ذخیره و جداگانه توزین و وارد مخلوط‌کن آسفالت شود. دستگاه غبارگیر باید طوری طراحی شده باشد که فیلر موجود در گرد و غبار را جذب و قسمتی یا تمام آن را مجدداً با وسایل مکانیکی و به طور منظم وارد سیلوی فیلر نماید. قبل از اینکه این فیلر وارد کارخانه شود، مشخصات آن از نظر کمی و کیفی بررسی و مقدار قابل برگشت آن تعیین می‌شود. مخلوط‌کن کارخانه نیز باید به پوششی که ممکن است برای کنترل گرد و غبار لازم شود، مجهز باشد. همچنین فیلر باید دارای مخزن و باسکول توزین جداگانه باشد. ضمناً در صورت استفاده از فیلرهای افزودنی باید این فیلر در یک سیلوی جداگانه که در برابر نفوذ رطوبت مقاوم شده است ذخیره و توسط یک دستگاه بالابر اختصاصی به کارخانه منتقل و با دستگاه توزین مخصوص به خود، توزین شده و به مخلوط کن اضافه گردد.

به طور کلی دستگاه غبارگیر شامل دستگاه غبارگیر اولیه (سیکلون) و دستگاه غبارگیر ثانویه (خشک یا تر) است. دستگاه سیکلون از اجزای اساسی کارخانه در جمع‌آوری گرد و غبار موجود در مصالح گرم می‌باشد. گرد و غبار حاصل از گرم و خشک شدن مصالح سنگی که از خشک‌کن توسط دستگاه اگزوز فن خارج می‌گردد، ابتدا وارد دستگاه سیکلون شده و پس از ته‌نشینی ریزدانه‌های سنگی آن، مابقی به غبارگیرهای ثانویه خشک یا تر هدایت می‌گردد تا به طور کامل ته نشین شده و از آلودگی محیط زیست جلوگیری گردد. در کارخانه‌های مختلف باید با تنظیم قدرت مکش دستگاه اگزوزفن دانه‌بندی فیلر خروجی از دستگاه سیکلون را مطابق نیاز فرمول کارگاهی تنظیم نمود. قبل از اینکه این فیلر وارد کارخانه شود، مشخصات آن از نظر کمی و کیفی بررسی شده

1. Dust collector

و در صورت تأیید، تمام یا قسمتی از آن در سیلوی اختصاصی ذخیره و با توزین جداگانه وارد مخلوط کن آسفالت می‌شود. فیلر خروجی از غبارگیرهای ثانویه خشک (فاقد مشخصات مندرج در این نشریه) یا تر، قابل استفاده در فرآیند تولید آسفالت نیستند و باید بر اساس ضوابط حفاظت از محیط زیست دفع گردند.

خ: سیلوی ذخیره

برای جلوگیری از توقف در تولید کارخانه آسفالت به دلیل بروز وقفه در عملیات اجرا یا عدم حضور به‌موقع کامیون جهت بارگیری و نیز برای حفظ کیفیت و یکنواختی مخلوط آسفالتی، در انتهای خط تولید آسفالت، یک سیلوی ذخیره موقت مخلوط آسفالتی قرار داده می‌شود که در صورت لزوم آسفالت تولید شده برای کوتاه مدت ذخیره شود. حداکثر زمان نگهداری مخلوط‌های آسفالتی در سیلوی اضطراری باید به تشخیص و تأیید مهندس مشاور باشد.

د: کنترل مدت زمان اختلاط

مدت زمان اختلاط سنگدانه‌ها و قیر به مدل و ظرفیت کارخانه، نوع و دانه‌بندی مصالح و پوشش قیری سنگدانه‌ها بستگی دارد. معمولاً در دستورالعمل کارخانه سازنده، مدت زمان اختلاط تعیین می‌شود. البته مدت زمان اختلاط می‌تواند به درخواست مهندس مشاور تغییرکند. مدت زمان اختلاط سنگدانه‌ها و قیر باید به مقداری باشد که مخلوطی یکنواخت و کاملاً اندود شده مطابق شرایط AASHTO T195 و زیربند (۲۰-۳-۵-۳-۵) تأمین شود. هر چقدر زمان اختلاط کمتر باشد، مواجهه قیر گرم با اکسیژن و در نتیجه سخت‌شدگی آن کمتر و مخلوط مناسب‌تری تولید می‌شود. زمان اختلاط باید توسط مهندس مشاور به‌طور دقیق و مستمر کنترل شود. در هر حال مدت زمان اختلاط کامل (خشک و تر) معمولاً نباید کمتر از ۴۰ ثانیه و بیشتر از ۶۰ ثانیه باشد.

برای آسفالت ماستیک سنگدانه‌ای، مدت زمان اختلاط کامل (خشک و تر) از قبل باید تعیین و در زمان تولید نیز توسط مهندس مشاور بطور دقیق و مستمر کنترل شود.

ر: مقررات ایمنی

- محوطه کارخانه آسفالت باید خالی از هرگونه سیم، کابل، لوله، شیلنگ یا هر مانع رها شده دیگری باشد. کابل‌های فشار قوی برق و سطوح مرطوب زمین از دیگر مخاطرات بالقوه محسوب می‌شود.
- تمامی سیلوهای سرد باید مجهز به شبکه‌های فلزی با ابعاد چشمه مناسب بر روی سیلو باشد. در زمان‌هایی که کارخانه مشغول بکار است، هیچ کارگری اجازه ندارد بر روی سیلوهای سرد کار کند.

همچنین زمان‌هایی که دریچه تغذیه کننده مصالح باز است، ایستادن یا راه رفتن بر روی مصالح سیلوها ممنوع است.

- اطراف مشعل و یا مناطقی که دمای کار بالا است، محدوده آشکار خطر هستند. این مناطق و نیز محدوده خطوط انتقال سوخت باید مجهز به تجهیزات اطفاء حریق باشد. بر روی همه خطوط انتقال سوخت باید شیرهای کنترلی (که ممکن است کنترل از راه دور باشد) نصب شود. کشیدن سیگار در اطراف مخازن قیر و سوخت ممنوع است و باید این موضوع با نصب تابلوهای هشدار اعلان شده باشد.
- باید به تعداد کافی پلکان مطمئن برای سکوی مخلوط‌کن و همچنین نردبان مجهز به حفاظ برای سایر واحدهای کارخانه تهیه شود. متصدی دستگاه باید فضای کافی برای حرکت روی سکوی واحد مخلوط کننده داشته باشد. کلیه جعبه دنده‌ها، قرقره‌ها، زنجیرها، چرخ دنده‌ها و سایر قسمت‌های متحرک کارخانه بایستی دارای حفاظ باشند.
- برای کامیون‌ها نیز باید ترتیبی داد که مواد مایع از کارخانه روی کامیون چکه نکند. در محل قرار گرفتن کامیون‌ها باید نردبان یا سکویی نصب کرد تا بتوان به سهولت از مخلوط آسفالتی که به کامیون‌ها ریخته می‌شود، نمونه‌برداری کرد. در نقاط مورد لزوم باید حفاظ‌های هوایی نیز نصب شود.

۲۰-۳-۵-۱-۲ مشخصات اختصاصی کارخانه آسفالت مرحله‌ای[1]

الف: محفظه توزین

محفظه توزین[2] جعبه فلزی بزرگی است که به یک دستگاه توزین متصل شده است و برای توزین سنگدانه‌های گرم و نگهداری آن تا زمانی که محفظه اختلاط آماده تغذیه برای مرحله بعد باشد، بکار می‌رود. کارخانه‌های قدیمی معمولاً از قپان‌های بازویی[3] که وزن را بر اساس تراز بازوی تعادلی به‌دست می‌آورند و یا ترازوهای عقربه‌ای[4] بدون فنر برای توزین سنگدانه‌ها استفاده می‌کردند، اما تقریباً همه کارخانه‌های امروزی مجهز به دستگاه توزین الکترونیکی[5] هستند. مشکل متداول دستگاه‌های توزین این است که معمولاً بخش تعادلی دستگاه[6] با گردوغبار و ذرات ریز پوشیده می‌شود و در نتیجه ترازو از دقت خارج می‌شود. از این‌رو باید به‌صورت روزانه

1. Batch plant
2. Weigh hoppers
3. Beam type scales
4. Dial type scales
5. Electronic weighing system
6. Knife-edge balances

کالیبره‌بودن دستگاه توزین کنترل شود. دقت دستگاه توزین باید ۰/۵ درصد باشد که برای آزمایش آن، حداقل ده وزنه ۲۵ کیلوگرمی نیاز است. کلیه وسایل توزین باید مرغوب باشد و تنظیم آن‌ها به آسانی انجام شود، در غیر این‌صورت باید تعویض شود. همچنین دستگاه توزین باید مجهز به حسگر ظرفیت باشد که ده کیلوگرم قبل از پرشدن کامل محفظه اخطار بدهد.

در هر مرحله از پیمانه سازی، شروع وزن‌کشی باید از سیلوی گرم حاوی درشت‌ترین دانه شروع و تا ریزترین دانه ادامه یابد. با این روش، درشت‌دانه‌ها در زیر محفظه توزین خواهد بود و در نتیجه موقعی که سنگدانه‌های توزین شده به داخل محفظه اختلاط ریخته می‌شود، درشت‌دانه‌ها در کف محفظه به اختلاط بهتر سایر سنگدانه‌ها کمک می‌کند.

ب: تأمین قیر[1]

مقدار قیر مورد نیاز با استفاده از تجهیزات وزنی اندازه‌گیری و وارد محفظه اختلاط می‌شود. برای این کار، ابتدا قیر را به داخل ظرفی با وزن معلوم که متصل به ترازو است ریخته و از آنجا با لوله تخلیه وارد محفظه اختلاط می‌شود. دقت تجهیزات اندازه‌گیری باید در حدود یک کیلوگرم و ظرفیت آن‌ها حداقل ده درصد بیشتر از مقدار قیر مورد نیاز در هر مرحله باشد. همچنین مجموعه باید مجهز به سیستم گرمایشی مناسب باشد تا از افت دمای قیر جلوگیری شود. پس از اینکه زمان اختلاط خشک مصالح در محفظه اختلاط سپری شد، قیر بطور خودکار توسط نازل‌های نصب شده در محفظه به مخلوط اضافه می‌شود. پخش قیر باید با تنظیم فاصله نازل‌های پخش کننده قیر به طور یکنواخت انجام شود. مدت زمان پخش قیر نباید بیشتر از ۲۰ ثانیه از آغاز تخلیه قیر طول بکشد. شیر تخلیه باید سریع، بدون چکه و قادر به قطع جریان انتقال در هر لحظه باشد. در فاصله بین شیر تخلیه و لوله قیرپاشی باید شیری برای نمونه‌برداری از قیر تعبیه شده باشد.

پ: واحد مخلوط‌کن

واحد مخلوط کن یا محفظه اختلاط دارای دو محور گردان با تعدادی پره متصل به آن است، به گونه‌ای که فاصله لبه تیغه‌های همزن نباید از تمام اجزای ثابت و متحرک محفظه بیشتر از دو سانتی‌متر باشد وقتی بیشتر از ۱۰ درصد طول پره‌های مخلوط‌کن نسبت به ابعاد کاتالوگ کارخانه فرسوده شد، پره‌ها باید تعویض شود. محفظه اختلاط باید به گونه‌ای باشد که از فواصل و درزهای آن مصالح سنگی و قیر به بیرون نریزد و همچنین

1. Asphalt delivery system

برای جلوگیری از خروج گرد و غبار ناشی از تخلیه فیلر به مخلوط کن، باید مخلوط کن توسط یک لوله با قطر مناسب به مسیر مکش گرد و غبار توسط دستگاه اگزوزفن وصل شود تا گرد و غبار حاصل، از این مسیر خارج گردد.

مخلوط آسفالتی به دست آمده از محفظه اختلاط باید یکنواخت و در محدوده فرمول کارگاهی باشد. پر یا خالی بودن بیش از اندازه مخلوط‌کن باعث عدم اختلاط مناسب می‌شود.

ت: تجهیزات شمارش و کنترل زمان

مخلوط‌کننده باید دارای دستگاه کنترل دقیق زمانی برای بستن دریچه جعبه توزین بعد از پرشدن آن در هر دوره توزین و نیز بستن ورودی قیر به محفظه در زمان اختلاط خشک باشد. همچنین مخلوط‌کننده برای شمارش و ثبت تعداد پیمانه‌های مخلوط آسفالتی تخلیه‌شده از مخلوط‌کن باید مجهز به شمارشگر خودکار باشد.

۲۰-۳-۵-۲ بازرسی کارخانه آسفالت

پیمانکار باید حداقل هر ماه یکبار، کارخانه آسفالت را کالیبره کند و یک نسخه از داده‌های مربوطه را قبل از اجرای عملیات آسفالتی در اختیار مهندس مشاور بگذارد. مهندس مشاور نیز باید کلیه اجزا و عناصر اصلی و فرعی کارخانه آسفالت را حداقل یک هفته قبل از شروع عملیات آسفالتی و در حین کار بصورت روزانه بازرسی و کنترل کند. نحوه انجام بازرسی باید مطابق مندرجات همین فصل ضابطه ۱۰۱-۸۰۰ و ASTM D290 باشد. چک‌لیست‌های مربوط به مشخصات عمومی و اختصاصی کارخانه آسفالت باید در زمان بازرسی تکمیل شود. همچنین برای کنترل مشخصات کارخانه آسفالت، استانداردهای AASHTO M156 و ASTM D995 قابل ارجاع است. کلیه اجزای کارخانه آسفالت بشرح زیر باید مورد بازرسی و تایید مهندس مشاور قرار گیرد.

الف: سیلوهای سرد، دریچه‌های تغذیه‌کننده و نوار نقاله‌های رابط

ب: واحد خشک‌کننده و سیستم انتقال مصالح گرم به برج پیمانه‌سازی

پ: دستگاه غبارگیری و لوله‌های انتقال فیلر

ت: مخازن ذخیره قیر، لوله‌های انتقال و شیوه گرم‌کردن آن

ث: توزین مصالح سرد، فیلر و قیر

ج: سرندها (الک‌های دانه‌بندی)

چ: سیلوهای گرم و لوله‌های سرریز

ح: حرارت‌سنج‌های قیر و مصالح سنگی گرم

خ: محفظه‌های توزین‌کننده (مصالح گرم)

د: محفظه اختلاط و مدت زمان اختلاط

ذ: اتاق فرمان مرکزی کارخانه و تجهیزات کنترل‌کننده آن

لازم است چک لیست شماره ۱ برای کنترل مشخصات کارخانه آسفالت در فاصله زمانی تعیین‌شده، تکمیل شود.

چک لیست شماره ۱: کنترل مشخصات کارخانه آسفالت **صفحه ۱ از ۳**

مشخصات کارخانه آسفالت:

مدل: ظرفیت: سال تولید:

تعداد سیلوهای سرد:... تا تعداد سیلوهای گرم:...تا

شامل: سیلوهای شماره ۱□،۲□،۳□،۴□و۵□ شامل سیلوهای شماره ۱□،۲□،۳□،۴□و۵□

آدرس کارخانه آسفالت:

ردیف	موارد بررسی	نتیجه		توضیحات
		بله	خیر	
۱	**آیا کارخانه آسفالت دارای گواهینامه فنی با عنوان تأییدیه فرآیند تولید آسفالت است؟**			
۲	آیا دپو سنگدانه‌ها مناسب است از نظر:			
	حجم حداقل مورد نیاز			
	دانه بندی			
	یکنواختی			
	جداشدن دانه‌ها			
	آلودگی			
	فضای خالی بین دپوهای مختلف			
	دسترسی به مصالح سنگی مطابق سیلوهای سرد			
۳	**وضعیت سیلوهای سرد:**			
	آیا سیلوهای سرد با شبکه حفاظتی پوشیده شده است؟			
	آیا از دیواره‌های جدا کننده برای جلوگیری از اختلاط سنگدانه‌ها استفاده شده است؟			
	آیا بدنه سیلوها سالم است و مصالح از داخل به بیرون ریخته نمی‌شود؟			
	آیا تمام تغذیه کننده‌ها نواری و با سیستم های دور متغیر است؟			
	آیا همه دریچه‌های تغذیه کننده قابل بهره برداری است؟			
	آیا برای هر اندازه سنگدانه یک سیلوی مجزا استفاده می‌شود؟			
	آیا سیستم لرزش سیلوها در مواقع مورد نیاز قابل استفاده است؟			

	آیا ورودی مصالح سیلوها از مصالح ریز به سمت مصالح درشت از طرف خشک کن است؟			
	آیا نوارهای انتقال مصالح به خشک کن دارای حفاظ‌های ایمنی است؟			
۴	**وضعیت واحد خشک کننده:**			
	آیا با توجه به شرایط رطوبت مصالح شیب خشک کن مناسب است؟			
	آیا خشک کن دارای پوشش دو جداره است؟			
	آیا قاشقک‌ها و بدنه خشک کن سالم است؟			
	آیا مشعل توربو جت، اتوماتیک و سالم است؟			
	آیا قیف خروجی مصالح گرم به بالابر مصالح گرم، سالم است؟			
	آیا سنجش دمای مصالح گرم در قیف خروجی به درستی انجام می‌شود؟			
۵	**وضعیت غبارگیری کارخانه:**			
	آیا غبارگیرهای اولیه (سیکلون‌ها) در مسیر اگزوز فن وجود دارند؟			
	آیا بدنه غبارگیرهای اولیه (سیکلون‌ها) سالم و بدون سوراخ می‌باشند؟			
	آیا قدرت مکش دستگاه اگزوز فن مناسب جهت انتقال فیلر از سیکلون‌ها به ورودی بالابر فیلر گرم وجود دارند؟			
	آیا مکش دستگاه اگزوز فن در حد مطلوب است؟			
	آیا غبار گیر ثانویه از نوع خشک وجود دارد؟			
	آیا غبارگیر ثانویه از نوع مرطوب وجود دارد؟			
	آیا خروجی غبار گیرهای ثانویه بصورت ایمن دفع می‌شود؟			
۶	**وضعیت انتقال مصالح گرم و سرند:**			
	آیا بدنه بالابر مصالح گرم سالم است؟			
	آیا راندمان بالابر مصالح گرم مناسب است؟			
	آیا تعداد طبقات سرند مصالح گرم باتعداد سیلوهای مصالح گرم یکسان است؟			
	آیا اندازه چشمه های توری های طبقات سرند با اندازه الک‌های فرمول کارگاهی مطابقت دارد؟			
	آیا دریچه‌های خروجی مصالح درشت دانه یا مازاد سالم است؟			
	آیا راندمان سرند مصالح گرم مناسب است؟			
۷	**وضعیت سیلوهای گرم مصالح:**			
	آیا ظرفیت سیلوهای گرم مصالح با دانه‌بندی فرمول کارگاهی مطابقت دارد؟			

	آیا بدنه سیلوهای گرم فاقد هر سوراخی است؟			
	آیادریچه‌های خروجی به‌خوبی باز و بسته می‌شود؟			
	آیا تجهیزات نمونه‌گیری از سیلوهای گرم بدرستی کار می‌کند؟			
۸	**وضعیت سیستم توزین کننده:**			
	آیا توزین خودکار سنگدانه‌ها در اندازه‌های مختلف به‌خوبی انجام می‌شود؟			
	آیا دریچه خروجی مصالح به‌خوبی باز و بسته می‌شود؟			
۹	**وضعیت انتقال فیلر گرم مصالح و توزین:**			
	آیا بدنه بالابر فیلر گرم مصالح سالم است؟			
	آیا راندمان بالابر فیلر گرم مصالح مناسب است؟			
	آیا مخزن ذخیره فیلر کارخانه سالم است؟			
	آیا دستگاه توزین فیلر به‌خوبی کار می‌کند؟			
	آیا دریچه تخلیه دستگاه توزین فیلر به‌خوبی باز و بسته می‌شود؟			
	آیا سیلوی فلزی ذخیره مازاد فیلر گرم مصالح وجود دارد؟			
	آیا لوله برگشت فیلر مازاد از مخزن فیلر کارخانه به سیلوی فلزی ذخیره مازاد فیلر وجود دارد؟			
۱۰	**سیستم ذخیره، گرم کردن و انتقال قیر:**			
	آیا پوشش دو جداره مخزن ذخیره گرم نگه‌دارنده قیر (فلاکس) مناسب است؟			
	آیا ظرفیت مخزن ذخیره گرم نگه‌دارنده قیر مناسب است؟			
	آیا قیر موجود در مخزن توسط سیستم روغن داغ گرم می‌شود؟			
	آیا انتقال قیر به دستگاه توزین قیر و برگشت آن با لوله دوجداره انجام می‌شود؟			
	آیا مجرای خروجی لوله برگشت قیر در کف مخزن ذخیره قیر قرار دارد؟			
	آیا وضعیت دستگاه توزین قیر از نظر ظرفیت مناسب است؟			
	آیا وضعیت دستگاه توزین قیر از نظر تعلیق و عدم چسبندگی مناسب است؟			
	آیا پمپ تخلیه قیر از دستگاه توزین به مخلوط کن مناسب است؟			
	آیا لوله تخلیه قیر از پمپ تخلیه به مخلوط کن دو جداره است؟			
	آیا نازل‌های پاشش قیر در مخلوط کن مناسب است؟			
	آیا سیستم گرم کننده روغن در محل مناسب و ایمن نصب شده است؟			

	آیا ظرفیت سیستم گرم کننده روغن مناسب است؟			
	آیا مخزن ذخیره روغن بالای دستگاه گرم کننده روغن به‌درستی نصب شده است؟			
	آیا سیستم اطفاء حریق سیستم گرم کننده روغن و کارخانه مناسب است؟			
	آیا سنجش دما در سیستم گرم کننده روغن، مخزن ذخیره قیر و دستگاه توزین مناسب است؟			
۱۱	**وضعیت دستگاه مخلوط کن**			
	آیا ظرفیت محفظه مخلوط کن مناسب است؟			
	آیا محفظه مخلوط کن فاقد نشتی است؟			
	آیا قطعات فولادی پوشش بدنه مخلوط کن مناسب است؟			
	آیا تیغه‌های مخلوط کن و فاصله آن‌ها از پوشش بدنه مناسب است؟			
	آیا دریچه خروجی مخلوط کن به شکل مناسبی باز و به‌طور کامل بسته می‌شود؟			
	آیا زمان اختلاط تنظیم و قفل شده است؟			
	آیا مخلوط آسفالت تولید شده از نظر ظاهری و دمایی یکنواخت است؟			
۱۲	**وضعیت سیلوی ذخیره آسفالت و بارگیری کامیون:**			
	آیا بارگیری مخلوط آسفالتی در کامیون مناسب است؟			
	آیا سیلوی ذخیره موقت آسفالت در زیر مخلوط کن نصب شده است؟			
	آیا بدنه کامیون در زمان بارگیری شسته و خشک شده است؟			
	آیا بدنه کامیون سالم و بدون برآمدگی و گودی است؟			
	آیا بارگیری به‌صورت صحیح (تخلیه در دو یا سه قسمت) انجام می‌شود؟			
۱۳	**وضعیت اتاق فرمان مرکزی کارخانه:**			
	آیا محل نصب اطاق فرمان مرکزی کارخانه از نظر نظارت بر عملکرد کارخانه مناسب است؟			
	آیا محل نصب اطاق فرمان مرکزی کارخانه از نظر ایمنی مناسب است؟			
	آیا سیستم فرمان کارخانه تمام اتوماتیک و تمام کامپیوتری است؟			
	آیا سیستم فرمان کارخانه نیمه اتوماتیک است؟			
	آیا نرم افزار مورد استفاده بار معلق را هم در توزین سنگدانه‌ها محاسبه می‌کند؟			
۱۴	**وضعیت انتقال فیلر افزودنی و توزین:**			
	آیا بدنه بالابر فیلر افزودنی سالم است؟			

	آیا راندمان بالابر فیلر افزودنی مناسب است؟			
	آیا مخزن ذخیره فیلر کارخانه سالم است؟			
	آیا دستگاه توزین فیلر به‌خوبی کار می‌کند؟			
	آیا دریچه تخلیه دستگاه توزین فیلر به‌خوبی باز و بسته می‌شود؟			
	آیا سیلوی فلزی ذخیره مازاد فیلر افزودنی وجود دارد؟			
	آیا لوله برگشت فیلر مازاد از مخزن فیلر افزودنی به سیلوی فلزی ذخیره فیلر افزودنی وجود دارد؟			

توضیحات:

تهیه کننده:

تأیید کننده:

۲۰-۳-۵-۳ الزامات تولید مخلوط آسفالتی

۲۰-۳-۵-۳-۱ مسئول کارخانه آسفالت

پیمانکار مکلف است برای تهیه مخلوط آسفالتی منطبق با مشخصات و طرح اختلاط مصوب و ابلاغ شده، مسئولی را با شرایط زیر به کار گیرد:

- دارای گواهینامه صلاحیت حرفه‌ای باشد.
- کارآزموده، ماهر و دارای سابقه کار در عملیات تولید آسفالت باشد (مراتب به تایید مهندس مشاور برسد).
- آشنایی کامل با مشخصات فنی عمومی و اختصاصی کارخانه داشته باشد.
- آشنایی کامل با مشخصات و آزمایش‌های مربوط به قیر، مصالح سنگی و مخلوط آسفالتی داشته باشد.
- حضور تمام وقت در کارخانه داشته باشد.

همچنین اپراتور کارخانه آسفالت که زیر نظر مسئول کارخانه آسفالت فعالیت می‌کند، باید دارای گواهینامه صلاحیت حرفه‌ای باشد.

۲۰-۳-۵-۳-۲ آماده‌کردن کارخانه آسفالت

آماده‌کردن کارخانه آسفالت در واقع یک مرحله آزمایشی برای شروع تولید و اجرای عملیات آسفالتی است. پیمانکار باید ضمن تهیه تجهیزات لازم، کارخانه آسفالت را به شرح مراحل بیان شده در جدول ۲۰-۲۰ آماده، آسفالت آزمایشی را تهیه و پس از دریافت تأیید مهندس مشاور تولید مخلوط آسفالتی را آغاز کند. تمام مراحل آماده‌کردن کارخانه آسفالت توسط پیمانکار و زیر نظر مهندس مشاور انجام می‌شود.

جدول ۲۰-۲۰ مراحل آماده‌کردن کارخانه آسفالت

آماده‌کردن مصالح سنگی • مصالح سنگی قبل از ورود به سیلوهای سرد با هم مخلوط نشود. • هر یک از مصالح سنگی ریز و درشت تفکیک‌شده در کارگاه وارد یک سیلوی مجزا شود. • در صورت وجود ماسه طبیعی، سیلوی جداگانه به آن تخصیص یابد. • سیلوی ریزدانه‌ها مجهز به لرزاننده باشد. • نسبت وزنی استفاده از مصالح هر سیلو محاسبه شود. • نمودار وزن مصالح خروجی در دقیقه به میزان بازشدگی دریچه برای هر سیلو ترسیم و با تغییر نوع مصالح و دانه‌بندی مجدداً کالیبره شود. • بعد از رسیدن مصالح به سیلوهای گرم، از هر سیلوی گرم و نیز سیلوی فیلر، نمونه‌برداری و نسبت وزنی مصالح هر سیلو طبق فرمول کارگاهی تعیین شود. • وزن مصالح مصرفی روی دستگاه‌های توزین، تعیین و تثبیت شود.
آماده‌کردن قیر • مقدار قیر بر حسب وزن کل مخلوط آسفالتی (مصالح سنگی، فیلر و قیر) محاسبه شود. • سیستم تأمین قیر بر اساس وزن قیر محاسبه‌شده، کالیبره و تنظیم شود.
اختلاط • محفظه اختلاط از نظر سلامت بدنه و پره‌های همزن کنترل شود. • مدت اختلاط تعیین و اِعمال شود. • دریچه تخلیه از نظر نبود نشتی بررسی و کنترل شود.

در تولید آسفالت ماستیک سنگدانه‌ای ضمن انجام مراحل آماده‌کردن کارخانه به شرح مذکور، باید موارد زیر نیز در نظر گرفته شود:

الف: با توجه به اینکه درصد مصالح سنگی ریزدانه در این نوع آسفالت نسبتاً کم است، درجه حرارت مصالح سنگی و در نتیجه دمای آسفالت ماستیک سنگدانه‌ای باید بیشتر از دمای بتن آسفالتی متداول باشد، تا کارایی و شکل‌پذیری کمتر این نوع مخلوط، از این طریق جبران شود. از اینرو سیستم سوخت‌رسانی واحد گرم‌کننده مصالح باید بر این اساس تنظیم و کنترل شود.

ب: ورود مصالح به واحد اختلاط باید بترتیبِ مصالح سنگی، فیلر، افزودنی تثبیت کننده و در نهایت قیر باشد.

پ: همزمان با تولید آسفالت ماستیک سنگدانه‌ای در کارخانه از تولید نوع دیگری از مخلوط آسفالتی در آن کارخانه جلوگیری شود.

۲۰-۳-۵-۳-۳ آسفالت آزمایشی

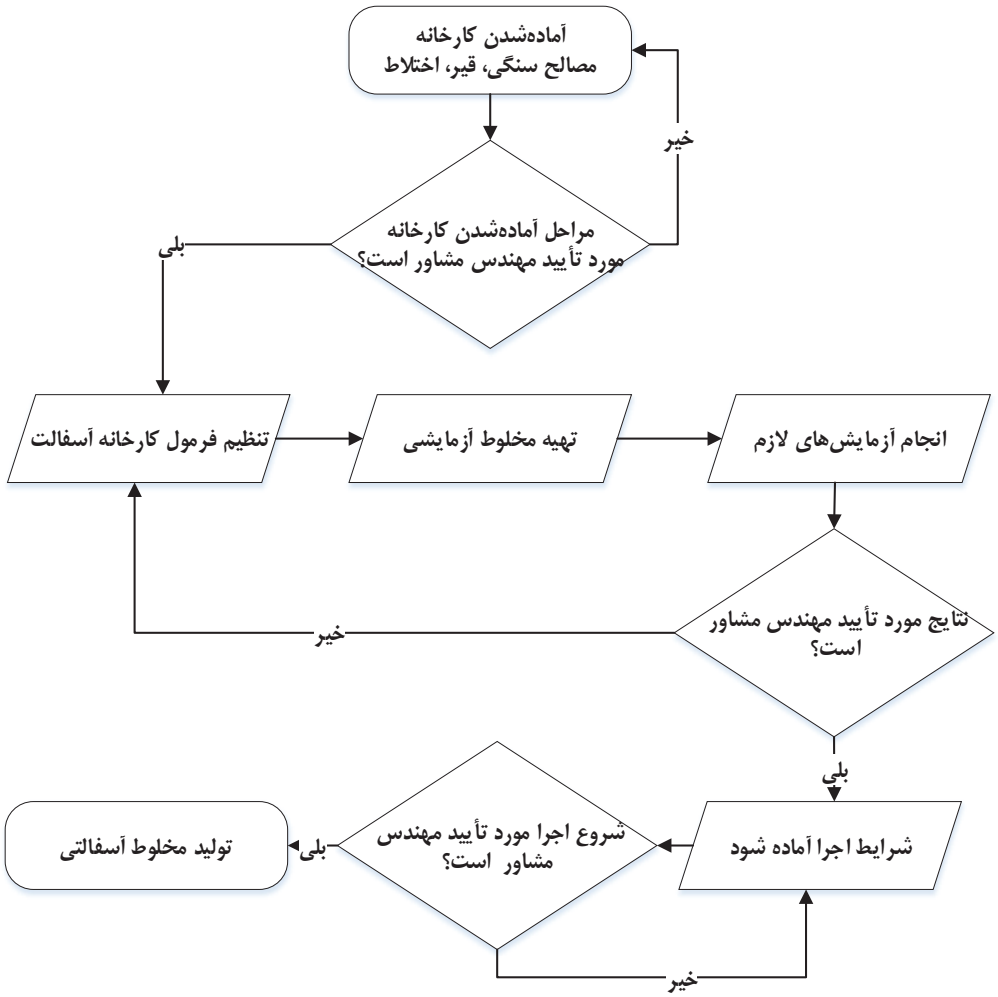
چرخه انجام کار قبل از شروع تولید مخلوط آسفالتی در شکل (۲۰-۱) نشان داده شده است. پیمانکار باید طبق روند نشان‌داده شده در شکل و به شرح زیر مقدمات تولید آسفالت را انجام دهد.

الف: پس از آنکه مطابق زیربند (۲۰-۳-۵-۳-۲)، پیمانکار کارخانه آسفالت را آماده و مهندس مشاور آن را تأیید کرد، باید فرمول کارخانه آسفالت تنظیم شود. فرمول کارخانه عبارتست از نسبت بین اجزای تشکیل‌دهنده مخلوط آسفالتی شامل مصالح سنگی، فیلر و قیر که باید با دانه‌بندی کارگاهی و طرح اختلاط مربوطه تطبیق نماید.

ب: بر مبنای فرمول تنظیم شده کارخانه، مخلوط آسفالتی تهیه می‌شود و آزمایش‌های لازم انجام می‌گیرد. چنانچه خصوصیات مخلوط آسفالتی تهیه‌شده، مورد قبول نباشد، با اعمال تغییرات در نسبت‌های کارخانه، مخلوط آسفالتی جدید تهیه می‌شود و مورد آزمایش قرار می‌گیرد. این روال تا جایی ادامه می‌یابد که مهندس مشاور بر مبنای ضوابط طرح اختلاط و مشخصات مندرج در این فصل، کیفیت نمونه‌ها را تأیید کند.

پ: پس از تأیید آسفالت آزمایشی، در صورتی که شرایط اجرا در محل، مورد تأیید مهندس مشاور باشد، تولید مخلوط آسفالتی منعی ندارد.

ت: هر موقع که نوع مصالح و یا دانه‌بندی آن‌ها عوض شود، فرمول کارگاهی و به تبع آن فرمول کارخانه تغییر می‌نماید. در آن صورت باید تولید متوقف و مجددا روال مذکور طی و صرفاً پس از تأیید مهندس مشاور عملیات تولید مجدد آغاز شود.



شکل ۲۰-۱- چرخه تولید آسفالت آزمایشی

۲۰-۳-۵-۳-۴ رطوبت مصالح سنگی

رطوبت مخلوط آسفالتی با روش AASHTO T329 بدست می‌آید که می‌تواند معرف رطوبت مصالح سنگی خشک‌شده پیش از اختلاط با قیر نیز باشد. رطوبت مخلوط آسفالتی باید حداکثر یک درصد و ترجیحاً کمتر از نیم درصد وزن کل مخلوط آسفالتی باشد. رطوبت بیشتر از این مقادیر، در مخلوط آسفالتی باعث می‌شود که مقاومت مخلوط آسفالتی کم و فرآیند تراکم آن بسختی انجام شود. از آنجا که رطوبت زیاد مخلوط آسفالتی می‌تواند از زیاد بودن رطوبت مصالح سنگی ناشی شود، رطوبت مصالح سنگی سرد نباید از ۶ درصد بیشتر باشد. چنانچه رطوبت سنگدانه‌ها بیش از این باشد، باید تمهیدات ویژه‌ای از جمله آنکه مصالح مدت طولانی‌تری در واحد خشک کننده بماند و یا اینکه در نحوه استقرار این واحد، شیب طولی و یا آرایش پره‌های داخل آن تغییراتی

ایجاد شود تا رطوبت سنگدانه‌ها به حد مجاز (حداکثر رطوبت مجاز مصالح سیلوهای گرم چنانچه جذب آب آنها بیشتر از ۲/۵ درصد باشد، حداکثر ۰/۲۵ درصد و چنانچه جذب آب آنها کمتر از ۲/۵ درصد باشد، این مقدار ۰/۱۵ درصد است)، برسد. در هر حال رطوبت مصالح سنگی و فیلر نباید خارج از مشخصات باشد. رطوبت مصالح سنگی با روش AASHTO T255 و با دقت ۰/۱ درصد بدست می‌آید که باید حداقل روزی یکبار در کارخانه انجام شود. بهتر است نمونه‌های مورد نیاز برای آزمایش رطوبت مصالح سرد از روی نوار نقاله مصالح سرد و حداقل یک متر دورتر از دریچه تغذیه برداشت شود.

۲۰-۳-۵-۳-۵ زمان و درجه حرارت اختلاط

برای رسیدن به دانه‌بندی یکنواخت و پوشش یکنواخت قیر روی همه سنگدانه‌ها نباید مدت زمان اختلاط کم باشد، از طرفی زمان اختلاط بیش از اندازه هم، باعث سخت‌شدگی لایه نازک قیر پیرامون سنگدانه‌ها در مواجهه با هوا می‌شود. مدت زمان اختلاط مناسب که معادل مدت زمان لازم برای پوشش ۹۵ درصدی سنگدانه‌ها با قیر است، با استفاده از روش وزنی مندرج در مشخصات AASHTO T195 بدست می‌آید.

حجم واحد مخلوط‌کننده بر اساس کاتالوگ کارخانه و اوزان طبق آزمایش‌های انجام شده، مشخص می‌شود. مدت زمان اختلاط تر نباید بیشتر از ۶۰ ثانیه باشد و در صورتی که این اتفاق بیفتد، مخلوط باید تخلیه و دور ریخته شود.

کندروانی قیر در هنگام اختلاط باید به قدری باشد که به خوبی سنگدانه‌ها را بپوشاند و مخلوط آسفالتی یکنواختی تولید شود. اگر کندروانی قیر بیش از اندازه باشد، مصالح بخوبی اندود نمی‌شود و اگر کندروانی آن کمتر از اندازه باشد، در مراحل بارگیری، حمل و پخش مخلوط آسفالتی، قیر از سنگدانه‌ها جدا می‌شود.

برای حصول پوشش مناسب سنگدانه‌ها و جدانشدن قیر از سنگدانه از زمان تهیه تا مصرف مخلوط آسفالتی، لازم است کندروانی قیر متناسب با شرایط عملیاتی کارخانه آسفالت انتخاب شود. از آنجا که کندروانی قیر با تغییر دمای آن تغییر می‌کند، برای رسیدن به کندروانی مطلوب، لازم است نمودار تغییرات کندروانی قیر مقابل درجه حرارت ترسیم شود و با استفاده از آن برای قیر مصرفی در عملیات آسفالتی محدوده درجه حرارت بهینه اختلاط، پخش و تراکم بدست آید.

۲۰-۳-۵-۳-۶ درجه حرارت آسفالت داغ و درجه نفوذ و سفتی قیر

مخلوط‌های آسفالت داغ که بلافاصله بعد از تخلیه از کارخانه آسفالت (از واحد مخلوط کننده یا سیلوی

نگهداری) به داخل کامیون نمونه‌گیری می‌شوند باید با خصوصیات زیر منطبق باشند:

الف: درجه حرارت مخلوط‌های آسفالتی با قیرهای خالص دارای دانه‌بندی جدول (۲۰-۱) (متراکم و پیوسته) یا دانه‌بندی‌های باز (جدول‌های ۲۰-۱۲ و ۲۰-۱۳) یا آسفالت ماستیک سنگدانه‌ای (جدول ۲۰-۹)، نباید خارج از محدوده زیر باشد:

دانه‌بندی‌های متراکم و پیوسته با قیرهای خالص – درجه سلسیوس	۱۶۳ – ۱۲۴
دانه‌بندی‌های باز با قیرهای خالص – درجه سلسیوس	۱۲۷ – ۱۰۵
آسفالت ماستیک سنگدانه‌ای – درجه سلسیوس	۱۷۵ – ۱۵۰

ب: درجه نفوذ قیر بازیابی شده از مخلوط‌های آسفالتی بر حسب نوع قیر مصرفی نباید خارج از معیارهای زیر باشد :

درجه نفوذ قیر اصلی	درجه نفوذ قیر بازیابی شده مساوی یا بیشتر از:
۴۰/۵۰	۲۲
۶۰/۷۰	۳۱
۸۵/۱۰۰	۴۰
۱۲۰/۱۵۰	۵۰
۲۰۰/۳۰۰	۷۴

روش آزمایش بازیافت قیر باید مطابق ASTM D1856 و روش نمونه‌گیری مخلوط آسفالتی و نگهداری آن تا موقع آزمایش مطابق ASTM D3515 باشد.

۲۰-۳-٦ حمل و توزین مخلوط آسفالتی

سطوح داخلی کامیون‌های حمل مخلوط آسفالتی باید صاف، تمیز و عاری از هرگونه گرد و غبار، گل و لای و مواد خارجی باشد. در صورت لزوم، سطوحی که با مخلوط آسفالتی در تماس است، روزانه با محلول آب صابونی[۱]، آب آهک (با نسبت تقریبی ۳۰۰ کیلوگرم آهک در هر مترمکعب آب) یا مواد مشابه شسته و تمیز

---

۱. برای حفظ کیفیت مخلوط آسفالتی و سطح روسازی، روانکاری و کاهش چسبندگی مخلوط آسفالتی داغ به کف و دیواره‌های اتاق کامیون، چرخ فولادی و لاستیکی غلتک، باید از ترکیب آب و شوینده‌ای که کف نکرده و حالت صابونی دارد، استفاده کرد. بهتر است عملکرد مواد رهاساز آسفالت مطابق روش آزمایش AASHTO T383 بررسی گردد.

شود. استفاده از گازوئیل و مواد روغنی برای شستشو ممنوع است. تعداد و اندازه کامیون‌ها باید متناسب با ظرفیت‌های تولید و اجرای مخلوط آسفالتی باشد، بگونه‌ای که عملیات آسفالتی آرام و پیوسته انجام شود.

برای پیشگیری از پدیده جدا شدگی، کامیون‌ها باید به روش مناسبی و با کاهش فاصله سقوط آزاد بارگیری شوند. ابتدا قسمت جلوی بار کامیون در زیر دریچه تخلیه کارخانه آسفالت قرار گیرد، سپس قسمت عقب بار کامیون زیر دریچه تخلیه قرار گیرد و در پایان قسمت میانی بارگیری شود. برای کاهش احتمالی افت دمای مخلوط آسفالتی حین حمل، در حد امکان باید تردد کامیون‌ها از کوتاه‌ترین مسیر انجام شود و زمان انتظار و تأخیر برای تخلیه در محل اجرا به حداقل برسد. برای فواصل حمل زیاد یا هر شرایط دیگری که افت دمای مخلوط آسفالتی (دمای مندرج در بند الف از ۲۰-۳-۵-۳-۶) بیشتر از ۱۰ درجه سلسیوس پیش‌بینی شود یا در هوایی با دمای کمتر از ۱۰ درجه سلسیوس، باید سطح مخلوط آسفالتی در کامیون در حین حمل با چادر یا برزنت کاملاً پوشیده شود تا سطح مخلوط آسفالتی سرد نشود و یکنواختی و خواص خود را از دست ندهد. اما استفاده از چادر برای حمل آسفالت ماستیک سنگدانه‌ای، همیشه حتی در تابستان و فاصله حمل کوتاه الزامی است. برای جلوگیری از افت درجه حرارت در فواصل حمل زیاد علاوه بر پوشاندن سطح مخلوط با پوشش های مناسبی مانند چادر ضخیم، بدنه کامیون نیز باید با مواد مناسب مانند مواد کامپوزیتی ایزوله شود. جداشدگی دمایی مشکلی است که می‌تواند به سبب خنک شدن سریع قسمت بیرونی محموله آسفالت هنگام حمل به وجود آید. اختلاف دمای بیش از حد (بیش از ۱۰ درجه سلسیوس) می‌تواند سبب تراکم غیر یکنواخت لایه آسفالت شود. به هرحال با توجه به شرایط اجرای کار، حداکثر فاصله زمانی و مکانی حمل توسط مهندس مشاور تعیین می‌شود که نباید حمل مخلوط آسفالتی با کامیون حتی‌المقدور از ۴۵ دقیقه بیشتر باشد؛ در هرحال آسفالت پخش شده در محل اجرای پروژه باید دارای دمای مناسب باشد.

لازم به ذکر است ملاک تبدیل وزن و حجم آسفالت، میانگین وزن مخصوص به دست آمده از لایه آسفالت کوبیده شده سطح راه است.

لازم بذکر است که اجرای مخلوط‌های آسفالتی اصلاح شده اعم از حمل، توزین، پخش و تراکم آن، مطابق مشخصات مندرج در شرایط فنی خصوصی انجام می‌شود.

برای کنترل حمل و توزین مخلوط آسفالتی، باید چک لیست شماره ۲ با تواتر اعلام شده تکمیل شود.

چک‌لیست شماره ۲: کنترل حمل و توزین مخلوط آسفالتی				
تاریخ:	تواتر اعلام گزارش: روزانه و برای همه کامیون‌ها			
موقعیت و محل اجرا: کیلومتر (+) تا (+) لاین (ها):				
ردیف	موارد بازرسی	نتیجه		توضیحات
		بله	خیر	
۱	آیا فاصله زمانی و مکانی حمل مخلوط آسفالتی مناسب برای تأمین میزان مجاز افت دمای مخلوط است؟			
۲	آیا تعداد و ظرفیت کامیون‌ها برای اجرای پیوسته عملیات اجرا مناسب است؟			
۳	آیا سطوح داخلی کامیون حمل مخلوط آسفالتی تمیز و خشک است؟			
۴	آیا سطوح داخلی کامیون حمل فاقد گازوئیل و مواد روغنی است؟			
۵	آیا در زمان بارگیری، مخلوط آسفالتی در چند محل اتاق بارتخلیه می شود؟			
۶	آیا کامیون تجهیزات لازم را برای جلوگیری از افت دمای مخلوط آسفالتی دارد؟			
۷	آیا از پوشش با ابعاد مناسب برای جلوگیری از نفوذ رطوبت یا از دست‌دادن سریع دمای مخلوط آسفالتی استفاده می‌شود؟			
۸	اگر نیاز به ایزولاسیون بدنه کامیون است، اینکار بخوبی انجام شده است؟			
۹	آیا سوراخ‌های کنترل دمای مخلوط در بدنه کامیون تعبیه شده است؟ (در هر سمت کامیون یک سوراخ حداقل به قطر ۱ سانتی‌متر و ۱۵ سانتی‌متر بالاتر از کف اتاق)			
۱۰	آیا شوت های تخلیه آسفالت از کامیون به مخزن فینیشر مناسب است؟			
توضیحات:				
تهیه‌کننده:				
تأییدکننده:				

۲۰-۳-۷ پخش مخلوط آسفالتی

۲۰-۳-۷-۱ آماده‌کردن سطح راه

سطح کار برای پخش و تراکم مخلوط آسفالتی باید قبل از شروع اجرای عملیات آسفالتی صاف، خشک و رقوم آن مطابق با رقوم مندرج در نقشه‌های اجرایی باشد. برای این منظور اگر عملیات آسفالتی روی لایه‌های تقویت‌شده سنگی، زیر اساس یا اساس شکسته اجرا می‌شود، پیش از کار مطابق دستور مهندس مشاور، باید

ناهمواری‌ها صاف و سطح کار بر نقشه‌های اجرایی منطبق شود. اگر عملیات اجرایی روی پوشش‌های آسفالتی یا بتنی اجرا می‌شود، پیش از انجام کار باید کلیه آسیب‌دیدگی‌ها ترمیم و سطح کار اصلاح شود. این آسیب-دیدگی‌ها شامل ترک‌های طولی، عرضی، وصله‌ها، نشست، تورم، شیارزدگی، موج‌زدگی و سایر خرابی‌های متداول روسازی است. روش‌های اصلاحی برای ترمیم این نوع خرابی‌ها باید در مشخصات فنی خصوصی ارایه شود. سطح کار باید الزاماً با جاروی مکانیکی، هوای فشرده یا شستشو از هر گونه گردوغبار، گل‌ولای و مواد اضافی تمیز و پس از آن مطابق مندرجات فصول ۱۵ و ۱۶ اجرا شود.

حداقل ۲۴ ساعت قبل از شروع اجرای عملیات آسفالتی، پیمانکار باید آماده‌شدن سطح راه برای اجرا را به اطلاع مهندس مشاور برساند. در این مدت، مهندس مشاور از سطح راه بازدید و موارد لازم را کنترل می‌کند، پس از تأیید کتبی مهندس مشاور، پیمانکار مجاز به اجرای ادامه کار خواهد بود.

پس از آماده‌کردن سطح راه و حمل مخلوط آسفالتی به محل اجرا، پخش مخلوط آسفالتی با در نظر گرفتن شرایط زیر انجام می‌شود.

۲۰-۳-۷-۲ محدویت‌های پخش

پخش مخلوط آسفالتی در هوای بارانی، روی سطح یخ‌زده یا مرطوب و در دمای هوای کمتر از ۱۰ درجه سلسیوس مجاز نیست. حداقل دمای مجاز پخش برای لایه‌های با ضخامت کمتر از ۴ سانتی‌متر و آسفالت با دانه‌بندی باز با هر ضخامتی بترتیب ۱۰ و ۱۵ درجه سلسیوس است. اگر هم بارندگی پیش‌بینی نشده‌ای رخ بدهد، باید فوراً تولید و پخش مخلوط آسفالتی متوقف شود. پیمانکار باید اجرای عملیات آسفالتی را بنحوی برنامه‌ریزی کند که این عملیات در فصول مناسب سال و قبل از رسیدن فصل سرما انجام شود.

۲۰-۳-۷-۳ پخش با فینیشر[1]

مخلوط آسفالتی باید با فینیشر که یک دستگاه خودکار و مکانیکی است، در یک لایه یکنواخت و با ضخامت، شکل، ارتفاع و مقطع عرضی مطلوب پخش و برای تراکم آماده شود. فینیشرهای امروزی قادرند مخلوط‌های آسفالتی را در لایه‌ای با ضخامت ۲ تا ۲۰ سانتی‌متر، عرض ۱٫۸ تا ۱۰ متر و با سرعت ۳ تا ۲۱ متر در دقیقه پخش نمایند. نوع و مشخصات فنی فینیشر باید قبل از کار به تأیید مهندس مشاور برسد. ضمناً توصیه می‌شود هنگام عملیات اجرای آسفالت در آزاد راه، بزرگراه و راه‌های اصلی و همچنین محوطه های پروازی از فینیشر

1. Asphalt Paving Machine

چرخ زنجیری استفاده شود. راننده فینیشر نیز باید دارای گواهینامه صلاحیت حرفه‌ای / شغلی باشد. فینیشر و اجزای آن باید دارای مشخصات فنی زیر باشد:

- فینیشر باید بتواند به آسانی به جلو و عقب حرکت کند، دارای فرمان سریع و حساسی باشد و سرعت آن، چنان قابل تنظیم باشد که حتی در زمان تخلیه مخلوط آسفالتی در قیف تغذیه، تغییر محسوسی نداشته باشد.
- محفظه‌ها و پره‌های پخش‌کننده آسفالت را به طور یکنواخت در جلو صفحه‌های اتو قرار می‌دهد. اتو مخلوط آسفالتی را در ضخامت و نیمرخ‌های عرضی مشخص پخش و آن‌را به‌طور کامل مسطح می‌کند.
- اتو باید مجهز به تسطیح‌کننده‌ای باشد که در درجه حرارت‌های معین و مناسب بتواند سطحی با بافت همگن و پیوسته ایجاد و از بریدگی یا فتیله‌شدن در سطح آسفالت جلوگیری نماید. همچنین اتو باید دارای سیستم گرم‌کننده باشد تا قبل از شروع کار و برای جلوگیری از چسبیدن مخلوط آسفالتی به آن تا دمای نزدیک به دمای مخلوط آسفالتی گرم شود. استفاده از گرم‌کن اتوی فینیشر برای گرم‌کردن مخلوط آسفالتی سردشده به هیچ وجه مجاز نیست.
- برای ایجاد یکنواختی بیشتر در پخش مخلوط آسفالتی، اتوی فینیشر باید مجهز به کوبنده‌های ارتعاشی باشد و بتواند مخلوط آسفالتی را در لایه‌های با ضخامت‌های مختلف و در عرضی که کارخانه سازنده تعیین کرده است، پخش کند.
- عرض پخش مخلوط آسفالتی با فینیشر را با استفاده از قطعات الحاقی [1] به صفحه اتو می‌توان تا رسیدن به ۸ متر افزایش داد؛ منتهی برای افزایش‌های بیش از ۳۰ سانتی‌متر طول صفحه اتو، باید پره‌های پخش‌کننده نیز به نحوی که مورد تأیید مهندس مشاور باشد، افزایش طول داشته باشند. ضمناً دارا بودن قابلیت اضافه و کم کردن عرض حداقل تا ۱۵ سانتی‌متر برای فینیشر لازم است.

در روکش‌های آسفالتی، تصحیح ناهمواری سطوح آسفالت موجود و قدیمی و برای ساخت آزادراه‌ها، بزرگراه‌ها و راه‌های اصلی باید از فینیشر کاملاً خودکار (تمام اتوماتیک) استفاده شود. همچنین در موارد خاص و برای تنظیم دقیق رقوم سطح آسفالت بدون اجرای لایه‌های تسطیحی، مهندس مشاور باید از پیمانکار بخواهد که از فینیشر تمام اتوماتیک استفاده و یا فینیشر موجود خود را تجهیز کند؛ در این‌صورت مشخصات فینیشر جدید قبل از شروع کار باید به تصویب مهندس مشاور برسد.

اصولا فینیشر برای اجرای پیوسته روسازی طراحی شده است، از اینرو مخلوط آسفالتی باید بنحوی به فینیشر

1. Extensions

برسد که فرآیند پخش با یک سرعت ثابت انجام شود، نه فینیشر خالی بماند و نه کامیون‌های حامل مخلوط آسفالتی منتظر خالی‌شدن فینیشر باشند. نزدیک‌شدن و تماس کامیون‌های حامل مخلوط آسفالتی به فنیشر باید به آرامی و بدون ضربه باشد تا در سطح روسازی موج و ناهمواری ایجاد نشود. در حین پخش اگر جداشدگی در مخلوط آسفالتی رخ دهد، باید فوراً عملیات پخش متوقف و موضوع بررسی و رفع شود. همچنین اگر مخلوط آسفالتی در زیر اتوی فینیشر کشیده شود، به عنوان یک ایراد، این موضوع باید بررسی و برطرف شود. وجود رطوبت در مخلوط آسفالتی، دمای پایین مخلوط و یا وجود ریزدانه بیش از اندازه در آن از دلایل متداول این مشکل است.

طرفین کناری لایه آسفالتی با غلتک‌زنی‌های معمول بخوبی متراکم نمی‌شود. برای جلوگیری از بروز درز طولی در دوره بهره‌برداری در این نواحی، باید قسمت کناری آسفالت که خوب متراکم نشده است در حدود ۲ تا ۳ سانتی‌متر با چرخ برش (حتی‌المقدور ماشینی) در طول راه بریده، برداشته و محل آن جاروب شود. بهتر است عملیات برش بعد از پخش و کوبیدگی اولیه که هنوز آسفالت گرم است، انجام شود. در غیر این‌صورت، انجام عملیات برش در روزهای بعد و قبل از اجرای لایه مجاور الزامی است. اگر کناره لایه آسفالتی جداول بتنی کار شده باشد، اجرای روسازی آسفالتی تا قبل از رسیدن مقاومت آن به مقاومت مشخصه مجاز نیست. برای پخش مخلوط آسفالتی در بیش از یک لایه، اتصالات طولی و عرضی حاصله باید مطابق مندرجات زیربخش (۲۰-۳-۸-۳) انجام شود.

روانه‌کاری (ترمیم) با دست مجاز نیست اما همیشه تعدادی کارگر مجرب، بعد از پخش مخلوط با فینیشر آماده باشند تا شیار، ناهمواری و نقایص احتمالی موضعی سطح روسازی و اعوجاج‌های کناره را با تخته‌ماله و وسایل مناسب دیگر برطرف کنند. لازم بذکر است که اینکار فقط در شرایط اضطراری و وجود ایرادات مذکور انجام شود. در انتهای کار که فینیشر هنوز گرم است باید با استفاده از حلال مناسب قیف تغذیه، دریچه‌های کنترلی، پره‌های پخش‌کننده و صفحه اتو آن کاملاً تمیز و برای استفاده در روز کاری بعد آماده شود.

ضخامت آسفالت پخش شده با فینیشر قبل از تراکم با توجه به وضع دانه‌بندی و میزان کوبیدگی محاسبه می‌شود. این ضخامت برای مخلوط آسفالتی با دانه‌بندی پیوسته معمولاً ۱٫۲۰ تا ۱٫۲۵ برابر ضخامت آسفالت کوبیده شده است. این ضریب برای مخلوط آسفالتی با دانه‌بندی باز و گسسته معمولاً ۱٫۱۵ برابر ضخامت آسفالت کوبیده شده است. در هر حال این ضخامت باید بطور مرتب و بلافاصله پشت دستگاه فینیشر باید با میله آهنی مخصوص توسط تکنسین‌های ناظر اندازه‌گیری و در فرم‌های مخصوص ثبت شود. چنانچه این

ضخامت با احتساب کم‌شدن بعد از کوبیدگی، با ضخامت نقشه‌های اجرایی اختلاف داشته باشد، باید تیغه فینیشر تنظیم شود. ضمناً ضخامت متوسط آسفالت پخش‌شده با مقدار آسفالت مصرفی روزانه کنترل می‌شود. همچنین بعد از انجام فرآیند تراکم، ضخامت آسفالت کوبیده‌شده اندازه‌گیری و با مشخصات انطباق داده می‌شود. ضخامت هر لایه کوبیده شده آسفالت ۳-۲ برابر حداکثر اندازه سنگدانه می‌باشد و بیش از آن، با توجه به مواردی از جمله شرایط اجرایی، شرایط آب و هوایی و نوع غلتک‌ها توسط مهندس مشاور تعیین می‌شود.

اجرای هر یک از انواع آسفالت از جمله اساس قیری و بیندر در یک لایه بر اجرای چندلایه آن برتری دارد. به عنوان مثال، ضمن رعایت ضوابط، پخش و تراکم ۱۵ سانتی‌متر آسفالت بیندر با مصالح دارای حداکثر اندازه ۲۵ میلی‌متر، در دولایه ۷/۵ سانتی‌متری نسبت به اجرای آن در سه لایه ۵ سانتی‌متری مناسب‌تر و ارزان‌تر است.

برای کنترل فینیشر باید چک‌لیست شماره ۳ با تواتر اعلام‌شده تکمیل شود.

چک‌لیست شماره ۳: کنترل فینیشر

تاریخ: تواتر اعلام گزارش: روزانه به ازای هر فینیشر

موقعیت و محل اجرا: کیلومتر (+) تا (+) لاین (ها): . . . . . .

نام راننده: نوع فینیشر: سال ساخت فینیشر: عرض دهانه پخش:

ردیف	موارد بازرسی	نتیجه		توضیحات
		بله	خیر	
۱	آیا نوع و مشخصات فینیشر با حجم عملیات اجرا متناسب است؟			
۲	آیا فینیشر دارای گواهینامه کالیبراسیون است؟ (گواهی مربوطه پیوست شود)			
۳	آیا اپراتور فینیشر تسلط و مهارت کافی را برای عملیات اجرای آسفالتی دارد؟ (گواهینامه صلاحیت حرفه‌ای / شغلی اپراتور پیوست شود)			
۴	آیا مخزن، نوارنقاله، پره‌های پخش‌کننده و صفحه اتو کاملاً تمیز است؟			
۵	آیا وضعیت لاستیک‌ها و زنجیرها کنترل شده است؟ (وضعیت بریدگی، خرابی و اختلاف فشار لاستیک‌های دو چرخ، وضعیت ترازبودن زنجیرها، میزان کشش، خرابی و شل‌شدن کفشک‌ها)			
۶	آیا اتوی فینیشر فاقد تاب‌خوردگی و فرسودگی است؟			
۷	آیا گرم‌کن اتو برای انجام پیش‌گرمایش بدرستی کار می‌کند؟			
۸	آیا کوبنده اتوی فینیشر سالم است؟			
۹	آیا قطعات الحاقی صفحه اتو و پره‌های پخش‌کننده بدرستی کار می‌کند؟			
۱۰	آیا عملکرد سنسورهای فینیشر مناسب است؟			
۱۱	آیا سیستم کنترل شیب بدرستی کار می‌کند؟			
۱۲	آیا برنامه تعمیر و نگهداری فینیشر به درستی انجام می‌شود؟			

توضیحات:

تهیه‌کننده:

تأییدکننده:

۲۰-۳-۷-٤ پخش با گریدر

پخش با گریدر بدلیل دشوار بودن اجرا، مشکلات آن برای تراکم و رسیدن به سطح هموار و نیز افزایش احتمال بروز جداشدگی در مخلوط آسفالتی مطلوب نیست؛ اما در کارهای با حجم کم یا راه‌های دسترسی موقت که معمولاً استفاده از فینیشر عملی نیست، با تأیید مهندس مشاور می‌توان از گریدر برای پخش مخلوط آسفالتی استفاده کرد؛ در این ارتباط راننده گریدر باید دارای گواهینامه صلاحیت حرفه‌ای / شغلی باشد. همچنین با موافقت مهندس مشاور پخش مخلوط آسفالتی برای تسطیح و اصلاح پروفیل‌های طولی و عرضی سطح راه موجود یا ترمیم و بازسازی شیب عرضی در قوس‌ها پخش با گریدر انجام می‌شود. بدلیل ناهمگن و درشت‌بافت بودن سطح پخش‌شده با گریدر، این سطح قشر ترمیمی مناسبی برای اصلاح پروفیل‌ها است. بعلاوه بافت درشت این سطح، عامل پیوستگی مناسب آن با لایه بعدی و در نتیجه کاهش لغزش دو لایه خواهد بود.

برای اینکه سطح آسفالت پخش‌شده با گریدر کاملاً هموار، یکنواخت و منطبق بر پروفیل‌های طولی و عرضی نقشه باشد، باید نکات اجرایی زیر رعایت شود.

الف: قبل از شروع عملیات تسطیح باید سطح راه را میخکوبی و ریسمان‌کشی کرد. اینکار باید به موازات محور و در طرفین مسیر بنحوی انجام شود که تمام نقاط فراز و فرود سطح در فواصل معین و کافی مشخص باشد.

ب: با استفاده از رقوم حاصل از میخکوبی، مقدار تقریبی مخلوط آسفالتی لازم برای تسطیح فواصل معینی از مسیر محاسبه و در طول آن ریسه می‌شود. سپس عملیات پخش و تسطیح مخلوط آسفالتی بدون مانور اضافی، با کم‌ترین جابجایی مخلوط آسفالتی در سطح و در حداقل زمان ممکن انجام می‌شود.

پ: بلافاصله بعد از پخش، عملیات تراکم با غلتک لاستیکی شروع و تا رسیدن به سطحی یکنواخت و با تراکم نسبی مشخصه ادامه می‌یابد.

ت: برای اصلاح فرورفتگی‌های بزرگ، باید نخستین لایه آسفالتی را از مرکز فرورفتگی به حداکثر ضخامت کوبیده‌شده ۷/۵ سانتی‌متر و در طول معینی اجرا کرد. سپس لایه‌های بعدی در طولی بیشتر از مرحله قبل و با ضخامتی که نباید بیشتر از ۷/۵ سانتی‌متر باشد، اجرا می‌شود.

ث: چنانچه لازم است اصلاح شیب عرضی قوس‌ها در بیش از یک لایه اجرا شود، باید ضخامت هر لایه کوبیده شده در خارج قوس حداکثر دو برابر ضخامت آن در داخل قوس باشد.

۲۰-۳-۷-۵ درجه حرارت پخش

دمای تولید و بخش مخلوط آسفالتی به شدت بر سهولت تراکم و مدت زمان لازم برای دستیابی به تراکم (ویژگی کار پذیری مخلوط آسفالتی) تاثیر می‌گذارد. در رابطه با دمای تولید قیر محدوده‌هایی وجود دارد (بند ۲۰-۳-۵-۳-۶)، تا دمای ۱۶۳ درجه سلسیوس به آسفالت با دانه‌بندی پیوسته آسیبی وارد نمی‌شود. برای قیرهای اصلاح شده، حد بالای دمای تولید و پخش مخلوط آسفالتی افزایش می‌یابد. مناسب ترین دمای تولید آسفالت برای شروع تراکم و غلتک زنی، حداکثر درجه حرارتی است که در آن مخلوط آسفالتی بدون تغییر شکل و حرکت افقی بتواند وزن غلتک را تحمل کند. اگر درجه حرارت پخش مخلوط بتن آسفالتی داغ بیش از حد باشد، هنگام تراکم، مخلوط از زیر چرخ‌های غلتک بیرون می‌زند و اگر مخلوط بیش از اندازه سرد شود، تمایل به سفت‌شدن دارد و تراکم‌پذیری مطلوب آن مقدور نخواهد بود.

حداقل درجه حرارت پخش مخلوط آسفالتی بر حسب نوع قیر مصرفی، دانه‌بندی مصالح سنگی، ضخامت لایه، فصل اجرای کار، دمای محیط و سطح راه، سرعت باد، میزان رطوبت هوا، نوع و تعداد غلتک‌ها توسط مهندس مشاور تعیین می‌شود. ولی به هر حال این درجه حرارت باید به حدی باشد که تراکم لازم را تأمین نماید. حداقل دمای مخلوط‌های آسفالتی داغ در هنگام پخش با توجه به ضخامت آن‌ها و دمای سطحی که مخلوط آسفالتی بر روی آن پخش می‌شود در جدول (۲۰-۲۱) نشان داده شده است. برای آسفالت ماستیک سنگدانه‌ای، درجه حرارت آسفالت در موقع تخلیه به فینیشر نباید کمتر از ۱۵۰ درجه سلسیوس باشد. در مورد مخلوط‌های آسفالتی اصلاح‌شده با افزدونی‌ها، درجه حرارت پخش باید مطابق مشخصات فنی خصوصی باشد.

جدول ۲۰-۲۱ حداقل دمای مخلوط بتن آسفالتی داغ در هنگام پخش

دمای سطح موجود (درجه سلسیوس)	ضخامت مخلوط آسفالتی (سانتی‌متر)					
	۱/۲۵	۲	۲/۵	۴	۵	۷/۵ و بیشتر
	حداقل دمای مخلوط آسفالتی بر حسب درجه سلسیوس					
۱۰-۱۶	--	۱۵۴	۱۴۹	۱۴۶	۱۳۸	۱۳۲
۱۷-۲۱	۱۵۴	۱۴۹	۱۴۳	۱۴۱	۱۳۵	۱۲۹
۲۲-۲۷	۱۴۹	۱۴۳	۱۴۱	۱۳۸	۱۳۲	۱۲۹
۲۸-۳۲	۱۴۳	۱۳۸	۱۳۵	۱۳۲	۱۲۹	۱۲۷
بیشتر از ۳۲	۱۲۸	۱۳۵	۱۳۲	۱۲۹	۱۲۷	۱۲۴
زمان تقریبی لازم برای کوبیدگی (بر حسب دقیقه)	۴	۶	۸	۱۲	۱۵	۱۵+

هر چقدر ضخامت لایه آسفالتی بیشتر باشد، به علت آن‌که مخلوط آسفالتی برای مدت طولانی‌تری حرارت را در خود نگه می‌دارد، زمان بیشتری برای کوبیدگی لایه تا رسیدن به تراکم نسبی مشخصه وجود دارد.

روش دیگر تعیین درجه حرارت پخش، استفاده از محدوده کندروانی مجاز قیر برای تراکم آسفالت است. اگر کندروانی قیر در هنگام تراکم مخلوط آسفالتی بیش از اندازه باشد، رسیدن به تراکم مطلوب ممکن نخواهد بود و اگر کندروانی قیر کمتر از اندازه باشد، مخلوط آسفالتی حالت روان پیدا می‌کند، جلوی غلتک فشرده و در آن ترک‌های ریز ایجاد می‌شود. بنابراین درجه حرارت پخش با توجه به حصول کندروانی بهینه قیر هنگام تراکم آسفالت توسط مهندس مشاور تعیین می‌شود و با ۱۰± درجه سلسیوس رواداری قابل اعتبار خواهد بود.

۲۰-۳-۷-۶ کنترل عملیات پخش

برای کنترل عملیات پخش باید چک‌لیست شماره ۴ با تواتر اعلام شده تکمیل شود.

چک‌لیست شماره ٤: کنترل عملیات پخش

تاریخ: تواتر اعلام گزارش: روزانه به ازای پخش هر خط عبور

موقعیت و محل اجرا: کیلومتر (+) تا (+) لاین (ها): .....

ردیف	موارد بازرسی	نتیجه		توضیحات
		بله	خیر	
۱	آیا دمای هوا برای پخش مخلوط آسفالتی مناسب است؟			
۲	آیا دمای سطح آماده‌شده برای پخش مخلوط آسفالتی مناسب است؟			
۳	آیا مقدار مصالح جلوی اتوی فینیشر در ارتفاع ثابت است؟			
۴	آیا تیغه تراکم فینیشر بدرستی کار می‌کند؟			
۵	آیا گرم‌کن اتوی فینیشر بدرستی کار می‌کند؟			
۶	آیا مصالح در زیر اتوی فینیشر کشیده نمی‌شود؟ سطح اتوشده کاملاً صاف است؟			
۷	آیا مخلوط آسفالتی دارای بافت یکنواختی است؟			
۸	آیا دمای مخلوط آسفالتی در کل مخلوط یکنواخت و در محدوده تعیین‌شده است؟			
۹	آیا ضخامت و رقوم مخلوط پخش‌شده و سرعت پخش منطبق بر مشخصات فنی است؟			

توضیحات:

تهیه‌کننده:

تأییدکننده:

۲۰-۳-۸ کوبیدن مخلوط آسفالتی

روسازی آسفالتی که مطابق طراحی و مشخصات تولید شده است، هنگامی ویژگی‌های مطلوب و عملکرد مورد انتظار را خواهد داشت که تراکم لازم را برای دست یابی به دانسیته و درصد فضای خالی در حد قابل قبول، حاصل شده باشد تا روسازی در برابر تغییرشکل دائمی، خستگی، پیر و سخت شدگی، ترک خوردگی و زیان‌های رطوبتی دارای مقاومت کافی بوده و دوام آن تضمین شود. عوامل متعددی بر دست یابی به تراکم کافی روسازی تاثیر دارند که از جمله می‌توان به مشخصات سنگدانه‌های مصرفی (دانه‌بندی، درصد شکستگی و بافت سطحی

سنگدانه‌ها)، نوع و درجه قیر، درصد قیر مصرفی، دمای آسفالت، شرایط محیطی و ضخامت لایه اشاره کرد. قابلیت کارپذیری و سهولت تراکم مخلوط آسفالتی، نقش تعیین کننده در دست یابی به تراکم مورد نظر دارد. مخلوط‌های آسفالتی که حاوی مقدار زیادی مصالح درشت‌دانه یا دانه‌های شکسته و بافت سطحی زبر و میزان قیر کم هستند، کارپذیری کمتر و تمایل بیشتری به جدا شدن دارند و متراکم کردن آنها دشوار است. همچنین مقدار زیاد فیلر در مخلوط و به ویژه مخلوط‌های با نسبت بزرگ فیلر به قیر موثر، بر کارپذیری مخلوط و در نتیجه دست یابی به تراکم و دانسیته کافی مشکل ایجاد می‌کنند. هنگام غلتک زنی، در صورتی که با رعایت ضوابط و پارامترهای اجرایی، دست یابی به تراکم مورد نظر ممکن نباشد، موضوع باید در اولین فرصت به کارخانه آسفالت گزارش شود تا اقدامات، تمهیدات و اصلاحات لازم انجام گردد.

۲۰-۳-۸-۱ غلتک‌های آسفالتی

کوبیدن مخلوط آسفالتی باید با غلتک‌های فولادی سه‌چرخ، ردیف دوچرخ، لرزشی، لاستیکی یا غلتک‌های مختلط که عملکرد چندگانه دارند، انجام شود. نوع و تعداد غلتک‌ها در هر مورد با توجه به شرایط کار توسط مهندس مشاور تعیین می‌شود. اما به‌طور کلی تعداد غلتک‌ها برای تراکم مخلوط آسفالتی باید کافی و حداقل دو دستگاه باشد. همواره باید غلتک اضافی در کارگاه موجود و آماده بکار باشد تا در صورت بروز مشکل برای غلتک‌های مشغول بکار، مورد استفاده قرار گیرد. راننده غلتک نیز باید دارای گواهینامه صلاحیت حرفه‌ای / شغلی باشد. تعداد تقریبی غلتک‌ها با توجه به متوسط آسفالت پخش شده و سرعت فینیشر در جدول (۲۰-۲۲) نشان داده شده است.

جدول ۲۰-۲۲ راهنمای تعیین تعداد غلتک

متوسط آسفالت پخش‌شده (مترمربع سانتی‌متر در ساعت)	سرعت فینیشر (متر در دقیقه)	تعداد غلتک لازم برای:	
		مرحله اول و دوم	مرحله نهایی
تا ۷۰۰	تا ۳	۱	۱
از ۷۰۰ تا ۱۵۰۰	از ۳ تا ۷	۱	۱
از ۱۵۰۰ تا ۳۵۰۰	از ۷ تا ۱۵	۲	۱
از ۳۵۰۰ تا ۶۰۰۰	از ۱۵ تا ۲۷	۳	۱

پیش از شروع کار، غلتک‌ها باید به شرح زیر بازدید و مشخصات ظاهری و فنی آن‌ها کنترل شود.

- شکل ظاهری غلتک مناسب و بدون خرابی و ناهمواری باشد.
- سیستم‌های ترمز و خودران غلتک بدرستی کار کند.

- سرعت غلتک متناسب با اجرا باشد.
- اندازه و تعداد غلتک‌ها متناسب با اجرا باشد.
- وزن غلتک و نوع تراکم آن متناسب با اجرا باشد.
- وزن کل غلتک
- وزن بازای هر سانتیمتر عرض درام غلتک‌های فولادی (بار خطی استاتیک)
- میانگین فشار چرخ‌های غلتک لاستیکی در سطح تماس بر حسب کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع
- تناوب و میدان نوسان غلتک‌های لرزشی به ترتیب بر حسب تعداد لرزش در دقیقه و میلیمتر

۲۰-۳-۸-۱-۱ غلتک‌های فولادی

روی چرخ‌های غلتک‌های فلزی باید گلگیر و لوله آبپاش نصب شده باشد تا چرخ‌ها را همواره تمیز و مرطوب نگه دارد و از چسبیدن مخلوط آسفالتی به آن‌ها جلوگیری شود. مصرف مواد روغنی و گازوئیل برای تمیزکردن چرخ غلتک‌ها به هیچ‌وجه مجاز نیست. سطح پیرامون کلیه چرخ‌ها باید کاملاً صاف و هموار و فاقد فرورفتگی‌های کوچک و بزرگ باشد. برای افزایش وزن آن‌ها باید فضای کافی در این نوع غلتک‌ها تعبیه شود. اگر تعداد دفعات عبور غلتک فولادی بیشتر از اندازه باشد، در روسازی ترک‌های مویی عرضی بنام ترک‌های کنترلی[1] تشکیل می‌شود که با مشاهده این ترک‌ها برای جلوگیری از گسترش و رفع آن باید ادامه تراکم با غلتک لاستیکی انجام شود.

الف: غلتک‌های استاتیکی

غلتک‌های فولادی استاتیکی به دو گروه اصلی تقسیم می‌شود؛ غلتک‌های سه‌چرخ و غلتک‌های ردیف دوچرخ. غلتک‌های سه‌چرخ دارای دو محور یکی با دو چرخ محرک و دیگری با یک غلتک سنگین است که بیشتر برای مرحله اول تراکم استفاده می‌شود. وزن غلتک‌های ردیف با پرکردن غلتک‌ها از بالاست[2] قابل تغییر است.

هر یک از غلتک‌های سه‌چرخ یا ردیف دوچرخ باید هنگام کار باری معادل ۴۵ تا ۶۵ کیلوگرم بر سانتی‌متر در عرض چرخ عقب غلتک اعمال نماید و وزنشان کمتر از ۸ تن نباشد. سرعت غلتک‌زنی با غلتک‌های استاتیکی باید یکنواخت و کمتر از ۵ کیلومتر در ساعت باشد.

1. Checking cracks
2. Ballast

ب: غلتک‌های لرزشی

غلتک‌های لرزشی مورد استفاده در عملیات آسفالتی باید خودرو باشد و نوع کششی آن‌ها مجاز نیست. این غلتک‌ها معمولاً از نوع ردیف دوچرخ هستند که سیستم ارتعاش در یک یا هر دو چرخ آن‌ها تعبیه شده است. وزن آن‌ها نباید کمتر از ۷ تن و بار خطی استاتیک آن‌ها باید بین ۲۵ تا ۳۵ کیلوگرم بر سانتیمتر باشد. تناوب و دامنه نوسان غلتک‌های لرزشی با توجه به شرایط کار باید توسط مهندس مشاور تعیین و یا از کاتالوگ کارخانه سازنده استخراج شود، ولی در هر حال تناوب غلتک باید در محدوده ۳۰۰۰– ۲۰۰۰ ارتعاش در دقیقه و دامنه نوسان آن در بازه ۰/۴ تا ۰/۸ میلی‌متر باشد. ثابت شده است که اگر تناوب غلتک بالا (در حدود ۳۰۰۰ ارتعاش در دقیقه) باشد، عملکرد آن برای مخلوط آسفالتی بهتر است. سرعت غلتک‌زنی با غلتک‌های لرزشی باید یکنواخت و کمتر از ۵ کیلومتر در ساعت باشد.

استفاده از غلتک‌های لرزشی برای مخلوط آسفالتی با دانه‌بندی باز (در هر سه مرحله تراکم)، مرحله تراکم نهایی هر نوع مخلوط آسفالتی و نیز برای تراکم لایه با ضخامت کمتر از ۲/۵ سانتی‌متر مجاز نیست.

۲۰-۳-۸-۱-۲ غلتک‌های چرخ لاستیکی

غلتک‌های چرخ لاستیکی معمولاً دو محور و در هر محور دو تا هشت چرخ لاستیکی دارند. این غلتک‌ها، باید خودرو و وزن آن‌ها با توجه به شرایط کار بین ۱۰ تا ۳۰ تن باشد. وزن دقیق غلتک توسط مهندس مشاور تعیین می‌شود. در غلتک باید فضای کافی برای افزایش وزن آن در صورت لزوم تعبیه شود. فشار باد چرخ‌های غلتک لاستیکی باید بین ۵ تا ۸/۵ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع و اختلاف فشار باد تایرها در هر حال کمتر از ۰/۳ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع باشد. وقتی از غلتک چرخ لاستیکی برای غلتک‌زنی میانی استفاده می‌شود باید فشار تایرها در حالت گرم تقریباً ۶/۵ و در حالت سرد بین ۵ تا ۵/۵ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع باشد. سرعت غلتک‌زنی با غلتک چرخ لاستیکی نباید از ۸ کیلومتر در ساعت تجاوز کند.

لاستیک‌ها باید سالم و صاف و بدون نخ‌زدگی باشد، زیرا اثر نخ‌زدگی لاستیک‌ها در روی سطح آسفالت با غلتک زدن‌های بعدی نیز از بین نخواهد رفت. برای اینکه آسفالت به چرخ‌ها نچسبد، باید سعی نمود حتی‌المقدور چرخ‌ها در تمام مدتِ کار گرم بماند و از محلول‌های تمیزکننده مانند آب صابونی و یا گلگیرهای ضخیم پارچه‌ای استفاده شود. استفاده از گازوئیل و مواد روغنی به هیچ وجه مجاز نیست و استفاده از آب صابونی هم نباید در حدی باشد که باعث سردشدن مخلوط آسفالتی شود. چرخ‌های غلتک لاستیکی باید طوری قرار گرفته باشد که در هر گذر تمام عرض غلتک توسط چرخ‌ها کوبیده شود و امتداد عرضی اثر چرخ‌ها در حین حرکت همپوشانی

کافی داشته باشد. استفاده از غلتک‌های چرخ لاستیکی برای کوبیدن آسفالت ماستیک سنگدانه‌ای به دلیل پمپ شدن قیر به سطح نهایی آسفالت و در نتیجه قیرزدگی مجاز نیست.

۲۰-۳-۸-۱-۳ غلتک‌های مختلط

تعدادی از غلتک‌های مورد استفاده در عملیات آسفالتی دارای شرایط غلتک‌های فولادی ردیف یا لاستیکی و یا لرزشی هستند. به‌طور نمونه در غلتک‌های ردیف دوچرخ استاتیک، موتور جداگانه‌ای تعبیه شده است که بترتیب چرخ وسط، و یکی از چرخ‌ها را به کوبنده لرزشی تبدیل می‌کند. همچنین یک غلتک مجهز به یک استوانه فلزی با عملکرد استاتیک و لرزشی دارای دو ردیف چرخ‌های لاستیکی یکی در جلو و دیگری در عقب این استوانه است. این نوع غلتک‌های مختلط می‌تواند برای لایه های تسطیحی، لایه‌های اساس آسفالتی و آستر مورد استفاده باشد، مشروط بر اینکه واجد شرایط ردیف‌های (۲۰-۳-۸-۱-۱) و (۲۰-۳-۸-۱-۲) باشد.

۲۰-۳-۸-۲ مراحل تراکم مخلوط آسفالتی

بین مراحل تولید، حمل، پخش و کوبیدن مخلوط آسفالتی باید هماهنگی کامل و برنامه‌ریزی‌شده وجود داشته باشد، بنحوی‌که مجموعه این عملیات بطور مستمر، مداوم و بدون توقف انجام شود. عمل تراکم باید بلافاصله بعد از پخش مخلوط آسفالتی شروع شود. البته باید توجه داشت که در این مرحله، درجه حرارت مخلوط آسفالتی به حدی باشد (مطابق جدول۲۰-۲۱) که به هنگام شروعِ کوبیدن تاب تحمل وزن غلتک یا اثرات ارتعاشی آن‌را (در مورد غلتک‌های لرزشی) داشته باشد و زیر فشارِ چرخ فتیله و جابجا نشود و در سطح آن، شیار و ترک‌های طولی و عرضی ایجاد نشود. غلتک‌ها باید آهسته و با سرعت ثابت حرکت کنند و چرخ‌های عقب آن بجز در شیب‌های تند و طولی و یا در قوس‌های با شیب عرضی زیاد، به‌طرف فینیشر باشد. قبل از اتمام غلتک‌زنی در هر مرحله از تراکم، هموار بودن سطح راه با شمشه کنترل شود و هر گونه عیب و نقصی و به هر دلیلی که در سطح راه به وجود آید، باید قبل از کوبیدن نهایی با تخته ماله و روانه‌کاری اصلاح و سپس ادامه تراکم انجام شود. در سطوحی که استفاده از غلتک‌های منطبق با مندرجات این فصل ممکن نباشد، پیمانکار می‌تواند از غلتک‌های کوچک موتوری و یا لرزشی استفاده کند.

کوبیدن و تراکم مخلوط آسفالتی معمولاً در سه مرحله انجام می‌شود: غلتک‌زنی اولیه، میانی و نهایی.

مرحله اول: غلتک‌زنی اولیه

غلتک‌زنی اولیه که بیشتر تراکم حین اجرای آن به‌دست می‌آید، معمولاً با استفاده از غلتک‌های فولادی

(استاتیک یا لرزشی) انجام می‌شود. وقتی‌که غلتک‌های سه‌چرخ، ردیف و یا لرزشی با هم کار می‌کنند، غلتک ردیف دوچرخ باید بلافاصله پشت فینیشر و بقیه غلتک‌ها بعد از آن عمل نمایند. چرخ با نیروی محرک غلتک باید به طرف فینیشر باشد تا از جمع‌شدن آسفالت در جلوی چرخ جلوگیری شود. فاصله غلتک‌ها از فینیشر در این مرحله، باید بنحوی تنظیم شود که از ۵۰ متر تجاوز نکند.

وزن غلتک‌های مورد استفاده در این مرحله به درجه حرارت مخلوط آسفالتی پخش‌شده، ضخامت و مقاومت آن بستگی دارد. این وزن برای غلتک‌های استاتیکی ۸ تا ۱۲ تن و برای غلتک‌های لرزشی ۷ تا ۱۲ تن است. درجه حرارت مخلوط آسفالتی در این مرحله باید به مقداری باشد که مخلوط به چرخ غلتک نچسبد و در سطح آن ترک طولی یا عرضی و یا جابجایی ایجاد نشود. بعبارت دیگر مخلوط تاب پذیرش وزن غلتک را داشته باشد. حداقل درجه حرارت در شروع مرحله اول تراکم برای مخلوط آسفالتی پیوسته ۱۲۰ و برای مخلوط آسفالتی با دانه‌بندی باز ۱۰۵ درجه سلسیوس است. سرعت غلتک‌زنی اولیه باید کمتر از ۵ کیلومتر در ساعت باشد. حداقل دو بار گذر غلتک برای این مرحله لازم است.

مرحله دوم: غلتک‌زنی میانی

غلتک‌زنی میانی که مشکل‌ترین مرحله تراکم است، بلافاصله بعد از تکمیل مرحله اول و در شرایطی شروع می‌شود که مخلوط آسفالتی هنوز حالت خمیری دارد و درجه حرارت آن در حدی است که می‌تواند تراکم نسبی مورد نظر را تأمین کند. ترجیحاً این درجه حرارت در محدوده ۱۰۵ تا ۱۲۰ درجه سلسیوس است، اما برای مخلوط آسفالتی با دانه‌بندی پیوسته حداقل دمای غلتک‌زنی در مرحله میانی ۹۵ درجه سلسیوس در نظر گرفته می‌شود. فاصله غلتک‌های مورد استفاده در مرحله دوم از غلتک‌های مرحله اول معمولاً بیشتر از ۶۰ متر است. سرعت غلتک چرخ لاستیکی در این مرحله ۵ کیلومتر در ساعت و سرعت غلتک لرزشی در محدوده ۴ تا ۵ کیلومتر در ساعت است.

غلتک‌زنی میانی می‌تواند با غلتک‌های فولادی لرزشی و غلتک‌های چرخ لاستیکی[1] انجام شود، اما بهتر است از غلتک‌های لرزشی یا چرخ لاستیکی استفاده شود. بکارگیری این نوع غلتک‌ها نسبت به نوع استاتیکی در این مرحله، مزایایی به شرح زیر دارد.

الف: تراکم حاصله در لایه آسفالتی توسط این غلتک‌ها نسبت به غلتک‌های فولادی استاتیک، یکنواخت‌تر

---

۱. استفاده از غلتک چرخ لاستیکی برای آسفالت ماستیک سنگدانه‌ای، مجاز نیست.

و همگن‌تر است.

ب: تعداد گذر غلتک‌های لرزشی برای حصول تراکم لازم کمتر از سایر غلتک‌هاست.

پ: بافت بسته و پیوسته‌ای که غلتک‌های چرخ لاستیکی و لرزشی ایجاد می‌کند، باعث می‌شود که قابلیت نفوذ آب در لایه آسفالتی کم شود.

ت: غلتک‌های چرخ لاستیکی و لرزشی با جابجاکردن دانه‌های سنگی و قفل‌وبست کردن آن‌ها در هم، مقاومت لایه آسفالتی و زاویه اصطکاک داخلی آن را به میزان قابل توجهی افزایش می‌دهد.

توجه شود که توقف و تغییر جهت غلتک‌ها در حالت لرزش روشن مجاز نیست. عبور غلتک‌های چرخ لاستیکی یا لرزشی در مرحله میانی، باید تا رسیدن مخلوط آسفالتی به حداقل تراکم لازم مندرج در این فصل ادامه یابد، بطوری‌که عبور حداقل سه گذر غلتک تأمین شود. ضمناً قبل از آن‌که درجه حرارت مخلوط آسفالتی به حداقلی که مهندس مشاور تعیین کرده است (که باید بیشتر از ۸۵ درجه سلسیوس باشد)، برسد باید غلتک‌زنی در این مرحله با رسیدن به تراکم مطلوب خاتمه یابد.

مرحله سوم: غلتک‌زنی نهایی

غلتک‌زنی نهایی معمولاً با استفاده از غلتک فولادی استاتیکی و یا غلتک فولادی لرزشی در حالت لرزش خاموش انجام می‌شود. هدف اصلی این مرحله از غلتک‌زنی آرایش نهایی سطح راه است تا ناهمواری‌های کوچک سطح روسازی و یا اثر احتمالی ناشی از عبور چرخ غلتک بر روی روسازی از بین برود و سطحی صاف ایجاد شود. وزن غلتک‌ها در این مرحله حداقل ۸ تن و سرعت آن‌ها حداکثر ۵ کیلومتر در ساعت است.

غلتک‌زنی نهایی در فاصله نسبتاً زیادی بعد از غلتک اولیه و میانی و در شرایطی که هنوز مخلوط آسفالتی کارایی لازم را برای محو اثرات چرخ‌های غلتک مراحل قبل و رفع نواقص و ناهمواری در پوشش آسفالتی دارد، انجام می‌شود. غلتک‌زنی در این مرحله، قبل از آن‌که دمای مخلوط آسفالتی به کمتر از ۸۰ درجه سلسیوس و در مورد آسفالت ماستیک سنگدانه‌ای به ۱۳۰ درجه سلسیوس برسد، باید پایان یابد. همچنین باید از کوبیدن بیش از اندازه مخلوط آسفالتی پرهیز شود، چرا که عبور بیش از حد غلتک می‌تواند باعث کاهش تراکم مخلوط آسفالتی و در مورد آسفالت ماستیک سنگدانه‌ای موجب قیرزدگی شود. حداکثر تعداد عبور غلتک برای تکمیل تراکم این نوع آسفالت (ماستیک سنگدانه‌ای)، ۶ گذر است که بهتر است مورد آزمایش قرار گیرد. در ضمن، غلتک‌ها و سایر تجهیزات سنگین اجرا نباید بر روی روسازی تازه‌ای که به اندازه کافی سرد نشده است، پارک یا رها شود.

۲۰-۳-۸-۳ اجرای اتصالات طولی و عرضی

الف: اتصالات عرضی

اتصالات عرضی بدلیل توقف‌های روزانه یا اضطراری در اجرا ایجاد می‌شود که چون فرآیند تراکم و ایجاد سطح صاف را دشوار می‌کند، باید برنامه‌ریزی اجرا در راستای کاهش تعداد این اتصالات باشد. قبل از شروع مجدد کار، جداشدگی سنگدانه‌ها[1] و ضخامت روسازی در محل درز عرضی کنترل و سپس مقطع درز کاملاً عمودی برش داده و اتصال اجرا شود. بعد از اجرای اتصال، هموار بودن آن با شمشه[2] کنترل شود. روش دیگر اجرا این است که در زمان پخش مخلوط آسفالتی، جلوی فینیشر در محل قطع پخش تخته چوبی با ضخامت برابر با ضخامت آسفالت کوبیده‌شده قرار داده و برای سهولت در کندن آسفالت اضافی مجاور در زیر سطح آسفالت این قسمت پارچه پهن شود.

غلتک‌زنی در محل اتصال عرضی باید با غلتک‌های فولادی (استاتیکی یا لرزشی در حالت لرزش خاموش)، در امتداد عرضی و عمود بر محور راه، از پایین‌ترین نقطه مقطع شروع و به طرف محور راه ادامه یابد به نحوی‌که تمام عرض غلتک ردیف به استثنای ۱۵ سانتی‌متر آن و یا تمام عرض یک چرخ عقب غلتک سه‌چرخ، روی آسفالت کوبیده‌شده قبلی باشد. این روش به طریقی‌که هر گذر غلتک حدود ۱۵ تا ۲۰ سانتی‌متر به طرف آسفالت جدید پیشروی نماید، ادامه خواهد یافت تا اینکه تمام عرض غلتک ردیف و یا تمام عرض یک چرخ عقب غلتک سه‌چرخ روی سطح آسفالت جدید منتقل شود. برای آنکه کناره خارجی آسفالت هنگام غلتک‌زنی عرضی آسیب نبیند، باید یک قطعه تخته و یا چوب مقاوم به ضخامت آسفالت کوبیده‌شده برای جلوگیری از حرکت عرضی آسفالت، پشت لبه خارجی قرار داده شود و یا اینکه حدود ۱۵ سانتی‌متر آن حداکثر با ۱۵ دقیقه تأخیر غلتک‌زنی شود.

ب: اتصال طولی

چنانچه عرض آسفالت زیاد باشد و پخش و تراکم آن در یک خط ممکن نباشد، باید آن را در چند خط اجرا کرد. در این صورت تعداد خطوط و ترتیب اجرای آن با نظر و تصویب مهندس مشاور تعیین می‌شود.

در اجرای اتصال طولی، دو رویکرد اصلی وجود دارد. رویکرد اول این است که خط عبور دوم قبل از سردشدن خط اول اجرا شود. در این حالت اتصال طولی گرم و اجرای آن راحت‌تر است. در رویکرد دوم، خط عبور اول

1. Segregation
2. Straightedge smoothness

کاملاً سرد می‌شود، سپس مشابه اجرای اتصالات عرضی، محل اتصال طولی با دستگاه به‌صورت عمودی برش داده می‌شود و سپس مخلوط آسفالتی خط عبور دوم پخش می‌شود. در اجرا سعی بر استفاده از رویکرد اول است، یعنی عملیات پخش خطوط مجاور یا همزمان یا در فاصله زمانی کوتاه، بنحوی انجام شود که در پایان روز اتصال‌های طولی اجرا شده باشد. بنابراین باید از پخش آسفالت در یک خط عبور و در طول زیاد، به‌طوری‌که ادامه عملیات به روز یا روزهای بعد موکول شود، خودداری شود. برای پخش آخرین لایه رویه باید بگونه‌ای برنامه‌ریزی شود که محل درز طولی یا دوبندی، دقیقاً در مجاور خط‌کشی جاده در زمان بهره‌برداری قرار گیرد تا عبور چرخ وسایل‌نقلیه از محل دوبندی‌ها به حداقل برسد.

غلتک‌زنی طولی باید بلافاصله بعد از پخش خط عبور بعدی انجام شود. برای اینکار سه روش متداول وجود دارد؛ غلتک لرزشی روی آسفالت قبلی و ۱۵ سانتی‌متر آن روی آسفالت جدید (اجرا در حالت بدون لرزش)، غلتک لرزشی روی آسفالت جدید و ۱۵ سانتی‌متر آن روی آسفالت قبلی (اجرا در حالت لرزشی) و یا غلتک لرزشی روی آسفالت جدید بگونه‌ای که ۱۵ سانتی‌متر دورتر از درز باشد (اجرا در حالت لرزشی) و سپس غلتک زدن این ۱۵ سانتی‌متر در گذر بعدی. پیمانکار مجاز است از هر روشی برای تراکم اتصالات استفاده کند، مهم این است که نتیجه نهایی کار الزامات تراکم و همواری را تامین نماید. بعد از کوبیدن محل اتصالات طولی، باید بلافاصله غلتک‌زنی لبه خارجی آسفالت در امتداد محور راه شروع شود، بنحوی‌که حدود ۵ سانتی‌متر لبه غلتک (یا چرخ عقب در صورت استفاده از غلتک سه‌چرخ) بیرون از آسفالت قرار گیرد.

۲۰-۳-۸-٤ الگوی غلتک‌زنی

الگوی غلتک‌زنی با توجه به عرض مسیر، تجهیزات، تعداد دفعات عبور مورد نیاز و سایر عوامل تغییر می‌کند؛ اما بطور کلی در مورد روسازی راه‌ها غلتک‌زنی از قسمت‌های با رقوم پایین‌تر مقطع عرضی بسمت قسمت‌های با رقوم بالاتر پیشروی می‌کند. در هر حال، غلتک‌زنی باید بگونه‌ای باشد که سطحی صاف و بدون ناهمواری ایجاد شود. برای این منظور باید غلتک‌زنی به آهستگی و با چرخش‌های تدریجی باشد. فینیشر و غلتک توقف نداشته باشد و هر گذر غلتک در هر مرحله تراکم حداقل نیمی از گذر قبلی را بپوشاند. با توجه به اینکه در کارهای مختلف، عرض غلتک و مسیری که باید روسازی شود متفاوت است، ارایه یک الگوی واحد برای غلتک‌زنی، اقدامی غیرعملی است. با این وجود بر حسب اینکه پخش آسفالت در کدام خط عبور انجام می‌شود، ترتیب کوبیدن بدین شرح است:

الف: وقتی‌که غلتک‌زنی فقط در یک خط عبوری اجرا می‌شود.

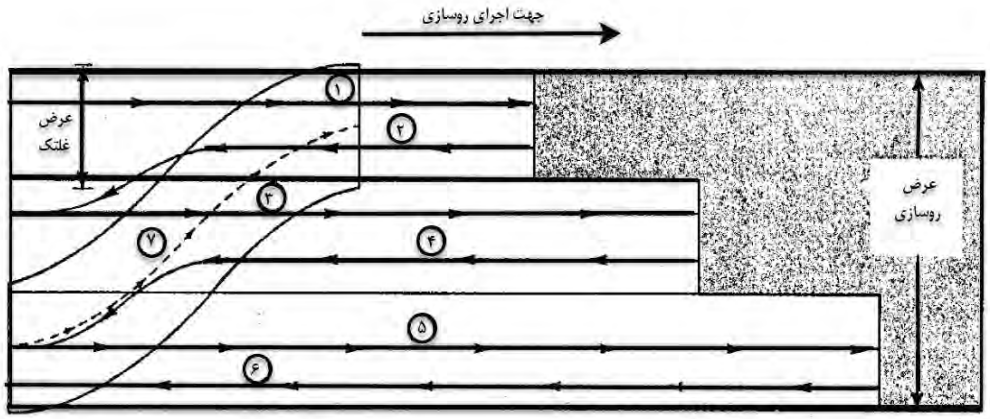
۱-اتصال عرضی
۲-لبه خارجی آسفالت
۳-تراکم مرحله اول با شروع از پایین‌ترین رقوم مقطع عرضی و پیشروی بسمت محور راه
٤-تراکم مرحله دوم مشابه مرحله اول
۵-تراکم نهایی

ب: وقتی که غلتک‌زنی در دومین خط عبوری اجرا می‌شود.

۱- اتصال عرضی
۲- امتداد اتصالات طولی
۳- لبه خارجی آسفالت
٤- تراکم مرحله اول با شروع از پایین‌ترین رقوم مقطع عرضی و پیشروی بسمت محور راه
۵- تراکم مرحله دوم مشابه مرحله اول
٦- تراکم نهایی

پ: وقتی‌که عملیات پخش با دو فینیشر اجرا می‌شود، ابتدا اتصال طولی مطابق زیربند (۲۰-۳-۸-۳) اجرا و سپس منطبق با اولویت‌های الف و ب مذکور غلتک‌زنی اجرا می‌شود.

نمونه‌ای از الگوی غلتک‌زنی با استفاده از غلتک فولادی در شکل (۲۰-۲) ارایه شده است. در این نمونه، غلتک‌زنی از پایین‌ترین سطح مسیر و بلافاصله بعد از پخش مخلوط آسفالتی شروع می‌شود. سپس در مسیر ۲ غلتک به نقطه اولیه بر می‌گردد و با یک چرخش آهسته در مسیر ۳ حرکت و بعد از آن با مسیر ۴ به نقطه قبل بر می‌گردد. پس از طی مسیر ۵ و برگشت آن با مسیر ۶، با حرکتی آهسته غلتک طی مسیر ۷ به نقطه اولیه بر می‌گردد.



شکل ۲۰-۲ نمونه پیشنهادی از الگوی غلتک‌زنی با استفاده از غلتک فولادی استاتیکی

۲۰-۳-۸-۵ کنترل عملیات تراکم

برای کنترل عملیات تراکم باید چک‌لیست شماره ۵ با تواتر اعلام‌شده، تکمیل شود.

چک‌لیست شماره ۵: کنترل عملیات تراکم

تاریخ:	تواتر اعلام گزارش: روزانه به ازای تراکم هر خط عبور

موقعیت و محل اجرا: کیلومتر (+) تا (+) لاین (ها): . . . . . .

ردیف	موارد بازرسی	نتیجه		توضیحات
		بله	خیر	
۱	آیا تعداد و مشخصات فنی غلتک‌های دو چرخ ویبره فولادی و غلتک‌های لاستیکی با توجه به مقدار آسفالت تولیدی و شرایط آب و هوایی مناسب و کافی است؟			
۲	آیا سطح درام غلتک‌های ویبره فولادی سالم و بدون خوردگی و فرورفتگی است؟			
۳	آیا شکل ظاهری غلتک‌ها مناسب است؟			
۴	آیا فشار باد غلتک‌های چرخ لاستیکی مناسب است؟			
۵	آیا سیستم‌های ترمز و خودران غلتک‌ها بدرستی کار می‌کند؟			
۶	آیا اندازه و تعداد غلتک‌ها مناسب است؟			
۷	آیا وزن غلتک‌ها متناسب با نوع اجرا است؟			
۸	آیا از ماده تمیزکننده مناسب برای غلتک استفاده می‌شود؟ (از گازوئیل و مواد روغنی هرگز استفاده نشود)			
۹	آیا الگوی غلتک‌زنی مناسب است؟			
۱۰	آیا سرعت غلتک‌زنی در محدوده مجاز است؟			
۱۱	آیا دمای هوا برای تراکم مناسب است؟			
۱۲	آیا دمای مخلوط آسفالتی برای تراکم مناسب است؟			
۱۳	آیا سطح روسازی در هر مرحله غلتک‌زنی فاقد ترک‌های عرضی است؟			
۱۴	آیا سطح تمام‌شده فاقد هرگونه ناهمواری، ترک، شیار و خراشیدگی است؟			
۱۵	آیا ضخامت لایه برای تراکم مناسب است؟			
۱۶	آیا شیوه اجرای اتصالات طولی و عرضی درست است؟			

توضیحات:

تهیه‌کننده:

تأییدکننده:

۲۰-٤ کنترل کیفیت مصالح سنگی و قیر

۲۰-٤-۱ کنترل کیفیت مصالح سنگی و قیر

مصالح مصرفی در مخلوط آسفالتی در حین کار باید مورد آزمایش قرار گیرد تا نواقص و انحراف‌های آن نسبت به مشخصات فنی مورد نیاز، به‌سرعت اصلاح شود. در صورتی‌که قرارداد اجرا بیشتر از ۵۰۰۰ تن مخلوط آسفالتی باشد، پیمانکار باید آزمایشگاهی با حداقل مساحت کل ۳۰ مترمربع در محل احداث کند. برای حجم کار کمتر از ۵۰۰۰ تن مخلوط آسفالتی، پیمانکار می‌تواند از آزمایشگاه‌های صاحب صلاحیت استفاده کند. در هر صورت، به کارگیری تکنسین آزمایشگاه که دارای گواهینامه صلاحیت حرفه‌ای / شغلی باشد، ضروری است.

برای کنترل کیفیت مصالح و مخلوط آسفالتی ابتدا باید نمونه‌برداری از مصالح انجام و سپس آزمایش شود. اگر هدف از این نمونه‌برداری و آزمایش، کنترل کیفیت تولید در سنگ شکن،کارخانه، انبار یا در محل اجرا باشد، کارخانه‌دار، پیمانکار و یا هر بخش مسئول دیگری می‌تواند اینکار را انجام دهد؛ ولی اگر هدف از آزمایش، کنترل کیفیت به منظور قبول یا رد تولید یا اجرا باشد، کارفرما یا نماینده قانونی او مسئول نمونه‌برداری و انجام آزمایش است.

قیر و مصالح سنگی اعم از مصالح سرد و مصالح گرم‌شده در کارخانه باید با انجام آزمایش‌هایی به‌شرح جدول (۲۰-۲۳) از نظر کیفی کنترل شود. هر سه نوع تکرار تعریف شده در جدول مذکور، یعنی تکرار زمانی، بر اساس تغییرات و حجم کار باید با هم لحاظ شود. همچنین علاوه بر کنترل کیفی مصالح سنگی سرد در کارخانه آسفالت، پیمانکار باید روزانه حداقل در یک نوبت به ازای هر دپو با نمونه‌گیری زیر نوار سرند برای آزمایش و کنترل دانه‌بندی مصالح سنگی، حین تولید در تجهیزات سنگ‌شکن، اقدام نماید.

جدول ۲۰-۲۳ کنترل کیفیت قیر و مصالح سنگی در کارخانه آسفالت (نمونه‌گیری و آزمایش)

گروه	عنوان آزمایش (ها)	تکرار			نوع نمونه و محل نمونه‌گیری
		تکرار زمانی	تکرار بر اساس تغییرات	تکرار بر اساس مقدار کار	
قیر	مشخصات فصل چهاردهم	یکبار در شروع کار	تغییر واحد تولید کننده قیر[1]	بازای هر ۱۰۰۰ تن قیر وارده [2]	قیر ورودی
مصالح سنگی سرد [3]	دانه‌بندی، نشانه خمیری	هفته‌ای یکبار	هرگاه معدن و منبع مصالح تغییر کند	–	فیلر افزدونی وارده به کارگاه
	دانه‌بندی به روش شسته، ارزش ماسه‌ای و نشانه خمیری	حداقل هفته‌ای یکبار	هرگاه معدن و منبع مصالح تغییر کند	–	ریزدانه شکسته و ماسه طبیعی، سیلوی سرد
	دانه‌بندی و درصد سنگدانه‌های پهن و دراز	حداقل هفته‌ای یکبار	هرگاه معدن و منبع مصالح تغییر کند	بازای هر ۲۰۰۰ تن مخلوط آسفالتی	درشت‌دانه، سیلوی سرد
	شکستگی سنگدانه‌های مانده روی الک شماره ۴	هفته‌ای یکبار	هرگاه معدن و منبع مصالح تغییر کند	–	مصالح حاصل از شکستن شن و ماسه رودخانه‌ای
	وزن مخصوص	هر دو ماه یکبار	هرگاه معدن و منبع مصالح تغییر کند	–	سیلوی سرد
	رطوبت سنگدانه	–	–	بازای هر ۲۰۰۰ تن مخلوط آسفالتی	مصالح سیلوی سرد
مصالح سیلوهای گرم [4]	دانه‌بندی	حداقل هفته‌ای یکبار	دانه‌بندی مخلوط آسفالتی خارج از فرمول کارگاهی شود	بازای هر ۱۰۰۰۰ تن مخلوط آسفالتی	مصالح هر کدام از سیلوهای گرم
	نشانه خمیری	حداقل هفته‌ای یکبار	هرگاه معدن و منبع مصالح تغییر کند	–	فیلر محصول غبارگیر کارخانه

۱- برگه نتایج آزمایش‌های مربوط به قیر تحویلی (انجام شده توسط تولید کننده قیر)، باید همراه با بارنامه حمل قیر، تحویل پیمانکار شود.
۲- از هر حواله صادره از سوی کارفرما یک آزمایش انجام شود.
۳- هرگاه مهندس مشاور تشخیص دهد به تعداد یا نوع آزمایش‌های دوره‌ای مذکور افزوده می‌شود.
۴- فیلر محصول دستگاه غبارگیر کارخانه که برای مصرف به سیلوی فیلر برگشت داده می‌شود، جزء مصالح سیلوهای گرم محسوب می‌شود. همچنین هر آزمایش دیگری که مهندس مشاور تشخیص بدهد به این آزمایش‌ها افزوده می‌گردد.

۲۰-۴-۲ کنترل کیفیت مخلوط آسفالتی

کیفیت آسفالت تولیدی کارخانه باید مطابق آزمایش‌های جدول (۲۰-۲۴) توسط آزمایشگاه پیمانکار و آزمایشگاه کارفرما کنترل شود. چنانچه نتایج هر کدام از آزمایش‌ها مطابق با مشخصات تعیین شده نباشد، پیمانکار باید اقدام فوری برای رفع نقص انجام دهد. اگر در چهار نوبت متوالی، نتایج هر یک مشخصه‌ها خارج از مشخصات (جداول ۲۰-۲۵ و ۲۰-۲۶) باشد، باید مهندس مشاور عملیات آسفالتی را متوقف و بعد از حصول اطمینان نسبت به رفع نواقص، کار مجددا شروع شود.

جدول ۲۰-۲۴ کنترل کیفیت آسفالت تولیدی[1]

گروه	عنوان آزمایش (ها)	تناوب	محل نمونه‌گیری
سری کامل آزمایش‌ها	دانه‌بندی، درصد قیر، درصد شکستگی، استحکام و روانی مارشال، درصد فضای خالی مخلوط آسفالت متراکم شده (نمونه مارشال)، وزن مخصوص حقیقی مخلوط آسفالتی (نمونه مارشال)، درصد فضای خالی مخلوط مصالح سنگی، درصد فضای خالی بین مصالح سنگی پرشده با قیر، نسبت درصد وزنی فیلر به درصد وزنی قیر مؤثر	به ازای هر ۳۵۰ تن آسفالت تجمعی یا کمتر، یک نمونه برای یک طرح اختلاط، یک کارخانه در هر نوبت کاری (حداقل دو نمونه در یک روز کاری)	آسفالت پخش‌شده در سطح راه و قبل از کوبیدن
Gmm	حداکثر وزن مخصوص نظری مخلوط آسفالتی	به ازای هر ۳۵۰۰ تن	
تراکم	تراکم در محل	هر ۳۵۰ تن یا کمتر یک نمونه (حداقل دو نمونه در یک روز کاری)	آسفالت پخش‌شده و کوبیده شده در سطح راه
نسبت مقاومت کششی غیر مستقیم (TSR)	دوام مخلوط آسفالتی در برابر رطوبت مطابق AASHTO T283	به‌ازای هر ۱۴۰۰ تن تا ۵۰۰۰ آسفالت یک آزمایش[2]	آسفالت پخش‌شده در سطح راه و قبل از کوبیدن

۱- هر آزمایش دیگری که به تشخیص مهندس مشاور ضروری باشد، افزوده می‌شود.

۲- در این آزمایش تناژ آسفالت براساس تشخیص مهندس مشاور و در نظر گرفتن مواردی از جمله شرایط اقلیمی، اهمیت راه، دپوی مصالح موجود، تکنولوژی و مواد افزودنی مورد استفاده، یکنواختی تولید آسفالت و ... تعیین می‌شود.

- چنانچه از افزودنی‌های بهبود دهنده دوام رطوبتی در مخلوط آسفالتی استفاده شود هر ۵۰۰۰ تن یکبار یا به تشخیص مهندس مشاور هر کدام کمتر باشد، یک آزمایش TSR انجام شود.
- چنانچه در مخلوط آسفالتی از افزودنی‌های دوام رطوبتی استفاده نشود، هر ۱۰۰۰۰ تن یکبار آزمایش TSR انجام شود.
- در مواقعی که میزان مخلوط آسفالتی کمتر از ۱۰۰۰۰ تن یا ۵۰۰۰ تن باشد باید حداقل یکبار آزمایش TSR انجام شود.

حدود رواداری دانه‌بندی فرمول کارگاهی و قیر باید مطابق جدول (۲۰-۲۵) و رواداری درصد فضای خالی آسفالت، درصد فضای خالی سنگدانه (VMA) و TSR مطابق جدول (۲۰-۲۶) باشد.

جدول ۲۰-۲۵ حدود رواداری دانه‌بندی و درصد قیر فرمول کارگاهی آسفالت داغ (پوش کنترل کیفیت)

اندازه الک‌ها و قیر	رواداری (درصد)
الک‌ها:	
۱۲٫۵ میلی‌متر ($\frac{1}{2}$ اینچ) و بزرگتر	± ۳
۹٫۵ میلی‌متر ($\frac{3}{8}$ اینچ) و ۴٫۷۵ میلی‌متر (شماره۴)	± ۳
۲٫۳۶ میلی‌متر (شماره ۸) و ۱٫۱۸ میلی‌متر (شماره ۱۶)	± ۳
۰٫۶ میلی‌متر (شماره ۳۰) و ۰٫۳ میلی‌متر (شماره ۵۰)	± ۲
۰٫۱۵ میلی‌متر (شماره ۱۰۰)	± ۲
۰٫۰۷۵ میلی‌متر (شماره ۲۰۰)	± ۱
رواداری درصد قیر نسبت به قیر بهینه:	
اساس قیری	± ۰٫۳
آستر و رویه	± ۰٫۲۵

شایان ذکر است، دانه‌بندی فرمول کارگاهی باید به صورت پیوسته از اندازه درشت به ریز به گونه‌ای داخل پوش دانه‌بندی قرار گیرد که از حد بالای یک الک به حد پایین الک مجاور و بالعکس نرسد.

جدول ۲۰-۲۶ حدود رواداری فضای خالی آسفالت، فضای خالی سنگدانه، فضای خالی سنگدانه‌ها پرشده با قیر و TSR (به منظور کنترل کیفیت)

عنوان	مرجع مقایسه	انحراف معیار (درصد)
درصد فضای خالی آسفالت	فرمول کارگاهی	±۱
درصد فضای خالی سنگدانه (VMA)	فرمول کارگاهی	±۱
درصد فضای خالی سنگدانه‌ها پر شده با قیر (VFA)	فرمول کارگاهی	±۵
نسبت مقاومت کششی غیر مستقیم (TSR)	فرمول کارگاهی	- ۰٫۰۸

برای کنترل کیفیت مخلوط آسفالتی، برنامه نمونه‌برداری و آزمایش دوره‌ای به شرح زیر انجام می‌شود:

الف: چنانچه به هر دلیل محل معدن تغییر نماید و مشخصات مصالح نیز تغییر کند، فرمول کارگاهی جدید باید تهیه شود. نظر به اینکه امکان تغییر نوع و وزن مخصوص سنگدانه‌های مصرفی حتی در یک معدن هم وجود دارد، لذا هر ۲ ماه یکبار یا در هر بازه زمانی که مهندس مشاور تشخیص دهد، از سنگدانه‌های مخازن گرم آسفالت، نمونه برداری شده و جهت کنترل وزن مخصوص و میزان جذب قیر به آزمایشگاه مجاز ارسال می‌شود.

ب: در صورتی‌که نتایج جدید وزن مخصوص حقیقی مخلوط مصالح سنگی یا نتایج جدید حداکثر وزن

مخصوص تئوری مخلوط آسفالتی (G_{mm}) با نتایج قبلی، اختلافی بیش از ۰/۰۴داشته باشد، باید نسبت به تهیه طرح اختلاط جدید اقدام شود.

پ: همه آزمایش‌هایی که قرار است روی نمونه‌ها انجام شود، باید حداکثر ۲۴ ساعت بعد از نمونه‌برداری شروع شود. نتایج آزمایش‌های انجام شده باید توسط مهندس مشاور بررسی و به پیمانکار اعلام گردد.

۲۰-۴-۳ کنترل تراکم و ضخامت لایه‌های آسفالتی

میزان تراکم برای لایه‌های اساس آسفالتی، آستر و رویه (توپکا) حداقل ۹۶ درصد وزن مخصوص نمونه‌های آزمایشگاهی مارشال، یا حداقل ۹۲ درصد (و حداکثر ۹۷ درصد) حداکثر وزن مخصوص نظری آسفالت که با روش AASHTO T209 تعیین می‌شود، است. توصیه می‌شود برای مخلوط آسفالت ماستیک سنگدانه‌ای (SMA) حداقل میزان تراکم ۹۴ درصد وزن مخصوص نظری مخلوط آسفالتی باشد.

اندازه‌گیری و محاسبه تراکم لایه آسفالتی برای عملیات با حجم کمتر از ۵۰ تن یا ضخامت لایه کمتر از ۳ سانتی‌متر جز در مواردی که مهندس مشاور ضروری بداند، لازم نیست.

برای کنترل میزان کوبیدگی و ضخامت لایه آسفالتی کوبیده شده باید از محل، حداکثر ظرف مدت یک هفته پس از اتمام عملیات غلتک‌زنی نمونه‌گیری و حداکثر ظرف مدت ۲۴ ساعت نیز نتیجه آزمایش اعلام شود. نمونه‌های آسفالتی برداشت شده (مغزه‌گیری شده) دارای حداقل قطر ۱۰ سانتی‌متر هستند که حداکثر تا ۷۲ ساعت بعد از برداشت باید محل آن توسط پیمانکار به درستی پر و متراکم شود؛ بنحوی که سطح نهایی کار کاملا یکنواخت و یکپارچه باشد. برای اندازه‌گیری تراکم در محل، نمونه‌گیری باید به روش تصادفی مطابق فرآیند مندرج در بند (۲۰-۵-۲-۱) انجام شود. روش‌های غیرمخرب برای محاسبه تراکم نسبی می‌تواند به منظور کنترل اجرا بکار رود، اما مغزه‌گیری، تنها روش پذیرشِ تراکم لایه آسفالتی در محل است.

ضخامت لایه‌های آسفالت، هنگام نمونه‌گیری نباید بیشتر از ۱۰ درصد با ضخامت لایه طبق نقشه‌ها اختلاف داشته باشد (اختلاف در یک جهت پذیرفته نیست). میانگین ضخامت لایه آسفالت کوبیده شده نباید در کل پروژه کمتر از ۱۰ درصد ضخامت طراحی (نقشه) باشد.

در مورد لایه‌های تسطیحی که برای اصلاح پروفیل اجرا می‌شود و ضخامت آن متغیر است، اگر مخلوط آسفالتی مصرف شده توزین نشده باشد برای طول کمتر از یکصد متر در هر خط عبور حداقل یک آزمایش

تعیین ضخامت و برای طول‌های بیشتر از آن به ازای هر یکصد متر طول راه در هر خط عبور، یک آزمایش تعیین ضخامت انجام می‌شود.

۲۰-٤-٤ کنترل کیفیت عملیات اجرایی

تجزیه و تحلیل کنترل کیفیت عملیات اجرایی با استفاده از نمودارهای کنترلی، به ویژه نمودارهای کنترل آماری انجام می‌شود. نمودارهای کنترلی، ابزاری را برای تأیید اینکه فرآیند عملیات اجرایی تحت کنترل است، ارایه می‌دهد. این روش برای تمام مشخصه‌های آسفالت داغ استفاده می‌شود.

نمودارهای کنترلی یک مکانیسم هشدار بصری برای اطلاع از زمانی که پیمانکار باید به دنبال مشکلات احتمالی در کیفیت عملیات اجرایی باشد، ارائه می دهد.

در این روش از نمودارهای کنترلی استفاده می‌شود که نقاط داده‌های آزمایشگاهی و منحنی میانگین متحرک[1] بر روی آنها ترسیم می‌شود. این نمودارها معمولا برای کنترل فرآیندها و روش‌های تولید در مورد مقدار هدف استفاده می‌شود. نقاط داده‌های آزمایشگاهی پراکنده نشان‌دهنده تغییرپذیری در فرآیندها می‌باشد، حتی اگر منحنی میانگین متحرک آنها مطلوب باشد.

این نمودارها در واقع منحنی‌هایی هستند که نسبت به زمان ترسیم می‌شوند و همچنین می‌توان محدوده مجاز مطابق با مشخصات فنی را نیز در این نمودارها ترسیم کرد. این نمودارها بسیار سودمند هستند، چرا که به سرعت می‌توان از روی آنها تطابق کیفیت مخلوط آسفالتی تولیدی و مشخصات فنی را تشخیص داد.

دو هدف اصلی برای آزمایش‌های کنترل کیفیت دنبال می‌شود. هدف اول اندازه‌گیری مشخصات و بررسی فعالیت‌هایی است که بر کیفیت مخلوط آسفالتی تولید شده تاثیر می‌گذارد و هدف دوم گزارش نتایج این اندازه‌گیری‌ها و بررسی‌ها به روشی است که در یک بازه زمانی مشخص امکان انجام اصلاحات در فرآیند تولید فراهم گردد.

فرآیند تولید مخلوط آسفالتی باید از ثبات نسبی برخوردار باشد و کلیه افرادی که به نوعی با این فرآیند مرتبط هستند باید به طور مستمر برای بهبود عملکرد و کاهش تغییر پذیری در پارامترهای کلیدی تلاش کنند. اگر کلیه نقاط در محدوده کنترل به گونه‌ای واقع شوند اما شواهدی از رفتار غیرتصادفی یا سیستماتیک وجود داشته باشد، فرآیند خارج از کنترل تلقی می‌شود (اگر فرآیند تحت کنترل آماری باشد، باید روند نقاط بر روی نمودار کنترلی به صورت تصادفی باشد). اگر نقاط به صورت تصادفی باشند باید انتظار داشت که توزیع نقاط در بالا و پایین خط مرکزی از یکنواختی برخوردار

1. Moving Average

باشند. تنظیم نادرست، خطای اپراتور، مواد و مصالح نامناسب می‌توانند تغییرات غیرتصادفی ایجاد کنند که از جمله انحرافات با دلیل محسوب می‌شوند. یکی از اهداف اصلی کنترل کیفیت آماری، شناسایی سریع انحرافات با دلیل، پیش از آنکه حجم زیادی از مخلوط آسفالتی معیوب تولید شود، می‌باشد تا بتوان اقدامات اصلاحی را انجام داد.

با توجه به تعداد زیاد مشخصه‌های کیفی در تولید و اجرای مخلوط‌های آسفالتی نمودارهای کنترلی تنها برای بررسی برخی از مشخصه‌ها از جمله: مقدار قیر مصرفی (درصد قیر مخلوط آسفالتی)، درصد فضای خالی مخلوط آسفالتی، درصد مصالح عبوری از الک شماره ۲۰۰، دانه‌بندی سنگدانه‌ها (خصوصا درصد عبوری از الک های شماره ۴ یا ۸ و درصد عبوری از الک شماره ۵۰) و سایر مشخصه‌ها بنابه تشخیص مهندس مشاور، استفاده می‌شود.

یک نمودار کنترلی برای منحنی میانگین متحرک دارای پنج خط مبنا است که به شرح زیر تعریف می‌شوند (شکل۲۰-۳):

حد بالای اقدام (UAL[1]) برابر است با مقدار هدف مشخصه به اضافه سه برابر انحراف معیار کنترل کیفیت تقسیم بر جذر تعداد نمونه برای ترسیم منحنی میانگین متحرک که عموما میانگین پنج نمونه متوالی منظور می‌شود.

حد بالای هشدار(UWL[2]) برابر است با مقدار هدف مشخصه به اضافه دو برابر انحراف معیار کنترل کیفیت تقسیم بر جذر تعداد نمونه برای ترسیم منحنی میانگین متحرک که عموماً میانگین پنج نمونه متوالی منظور می‌شود.

مقدار هدف[3] مشخصه، توسط مهندس مشاور و تحت عنوان فرمول کارگاهی به پیمانکار ابلاغ می‌گردد.

حد پایین هشدار (LWL[4]) ، برابر است با مقدار هدف مشخصه منهای دو برابر انحراف معیار کنترل کیفیت تقسیم بر جذر تعداد نمونه برای ترسیم منحنی میانگین متحرک که عموماً میانگین پنج نمونه متوالی منظور می‌شود.

حد پایین اقدام (LAL[5]) ، برابر است با مقدار هدف مشخصه منهای سه برابر انحراف معیار کنترل کیفیت تقسیم بر جذر تعداد نمونه برای ترسیم منحنی میانگین متحرک که عموماً میانگین پنج نمونه متوالی منظور می‌شود.

1. Upper Action Limit
2. Upper Warning Limit
3. Target Value
4. lower warning limit
5. Lower action limit

شکل زیر نمودار کنترلی را برای درصد قیر آسفالت داغ نشان می‌دهد. مقدار هدف برای درصد قیر (درصد قیر بهینه)، برابر با ۵/۷ درصد است.

شکل ۲۰- ۳- نمودار کنترلی درصد قیر آسفالت داغ

از جدول (۲۰–۲۵) انحراف معیار درصد قیر نسبت به قیر بهینه (محدوده‌ی کنترل کیفیت) برابر ۰/۲۵ درصد است (این انحراف معیار در صورتی است که درصد قیر نمونه‌ها با آزمایش اکسترکشن به‌دست آید و در صورت استفاده از روش سوزاندن در کوره انحراف معیار درصد قیر باید اصلاح شود).

انحراف از مقدار هدف برای تعیین حدود هشدار به ازای میانگین متحرک پنج نمونه برابر است با :

$$\frac{2 \times 0.25}{\sqrt{5}} = 0.22$$

حد بالا و پایین هشدار عبارتند از:

$$\mathrm{UWL} = 5.7 + 0.22 = 5.92$$
$$LWL = 5.7 - 0.22 = 5.48$$

انحراف از مقدار هدف برای تعیین حدود اقدام به ازای میانگین متحرک پنج نمونه برابر است با:

$$\frac{3 \times 0.25}{\sqrt{5}} = 0.33$$

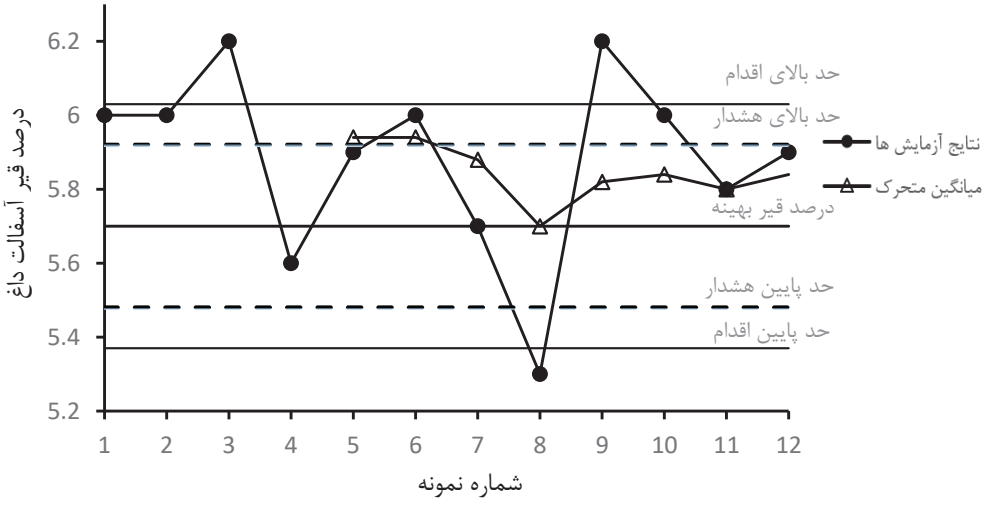
حد بالا و پایین اقدام عبارتند از:

$$\mathrm{UAL} = 5.7 + 0.33 = 6.03$$
$$LAL = 5.7 - 0.33 = 5.37$$

نقاط داده‌های آزمایشگاهی منفرد از هر زیرقطعه بر روی نمودار رسم شده و متصل می‌شوند. این سری از

نقاط داده نشانه‌ای از تغییرات داده‌ها می‌باشد. اگر تغییرپذیری زیاد باشد، لازم است که روش‌های اجرایی را با هدف کاهش تغییرپذیری اصلاح کرد. میانگین متحرک پنج داده‌ای با شروع از نقطه داده پنجم محاسبه و بر روی نمودار ترسیم می شود. نقاط داده میانگین متحرک نشانه‌ای از نزدیکی به مقدار هدف است. همچنین می‌توان روندها را در فرآیند تولید تشخیص داد و روش‌های تولید را برای نزدیک کردن میانگین متحرک به مقدار هدف اصلاح کرد.

شکل (۲۰-۴) یک نمودار کنترلی درصد قیر آسفالت را نشان می‌دهد که در آن، منحنی میانگین متحرک همواره بالاتر از مقدار هدف است و لازم است برای کاهش تغییرپذیری داده‌ها و نزدیک‌تر کردن میانگین متحرک به مقدار هدف اقدام کرد.



شکل ۲۰-٤- نمودار کنترلی درصد قیر آسفالت داغ

اگر یک نقطه از منحنی میانگین متحرک از حدود هشدار تجاوز کند، باید بررسی و اصلاحاتی در روش‌های اجرایی انجام شود تا مقدار میانگین به داخل محدوده هشدار بازگردد.

اگر دو نقطه متوالی از منحنی میانگین متحرک از حدود هشدار تجاوز کند یا یک نقطه میانگین متحرک از حدود اقدام فراتر رود، عملیات تولید باید متوقف، علت یا علل انحراف شناسایی و ژس از اقدامات اصلاحی، عملیات تولید ادامه یابد.

۲۰-٤-۵ کنترل سطح آسفالت

رقوم ارتفاعی و شیب‌های طولی و عرضی اجراشده لایه آسفالتی باید با مندرجات نقشه‌های اجرایی منطبق باشد. میزان اختلاف مجاز، باید از قبل در مشخصات خصوصی تصریح شده باشد که در هر حال، نباید از حدود مندرج در بندهای زیر تجاوز کند.

۲۰-٤-۵-۱ نیمرخ عرضی لایه آسفالتی

شیب طولی و عرضی سطح تمام شده راه باید با نقشه‌ها مطابقت داشته باشد. همچنین در محل نیمرخ‌های عرضی راه، رقوم اندازه‌گیری‌شده در محور و طرفین مسیر با رقوم مندرج در نقشه نباید برای لایه اساس آسفالتی بیشتر از ۱۰± میلی‌متر و برای آستر و رویه بیشتر از ۵± میلی‌متر اختلاف داشته باشد.

۲۰-٤-۵-۲ یکنواختی سطح آسفالت

یکنواختی سطح تمام شده هر یک از لایه‌های اساس آسفالتی، آستر و رویه باید با استفاده از یک شمشه فلزی سه متری که بر روی سطح راه و در امتداد طولی و عرضی قرار داده می‌شود، آزمایش و کنترل شود. در هر یک از امتدادهای طولی و عرضی نباید حداکثر فاصله بین سطح زیرین شمشه و سطح آسفالت برای اساس آسفالتی از ۷ میلی‌متر، لایه آستر از ۶ میلی‌متر و رویه از ۵ میلی‌متر بیشتر باشد. در هر صد متر راه باید ۲۵ آزمایش طولی و ۲۵ آزمایش عرضی انجام شود. همچنین کنترل یکنواختی سطح آسفالت در تمام اتصالات عرضی و طولی الزامی است. برای کنترل یکنواختی سطح راه می‌توان از روش‌های جدیدتر مانند تجهیزات مبتنی بر لیزر و GPS نیز استفاده کرد.

تحویل لایه آستر (در صورت عبور ترافیک) و لایه رویه روسازی راه باید بر اساس شاخص بین المللی ناهمواری (IRI[1]) و مطابق آخرین بخشنامه وزارت راه و شهرسازی صورت گیرد.

۲۰-٤-۵-۳ اصلاح ناهمواری‌ها

هر گونه ناهمواری خارج از حدود رواداری فوق و همچنین نواقصی مانند قیرزدگی، فتیله شدن، موج، ترک‌خوردگی، شن‌زدگی و جداشدگی سنگدانه‌ها و سایر معایب موجود در سطح روسازی باید به هزینه پیمانکار و طبق نظر مهندس مشاور اصلاح شود. مطابق دستور ناظر، برای اصلاح بلندی‌ها در سطح راه می توان از سنگ زنی[2] و برای پستی‌ها از برش و وصله[3] استفاده کرد.

---

1. International Roughness Index
2. Grinding
3. Cut out and patch

۲۰-۴-۶ کنترل تردد وسایل‌نقلیه

تردد وسایل‌نقلیه بر روی روسازی گرم می‌تواند باعث قیرزدگی، شیارشدگی و ترک خوردگی عرضی روسازی شود و یا اثرات دائمی بر جا بگذارد. برای پیشگیری از این رخداد باید از تردد وسایل‌نقلیه بر روسازی تا سرد و سخت‌شدن کامل روسازی بنحوی که اثر چرخ روی آن نماند، جلوگیری شود. تردد وسایل‌نقلیه تا وقتی درجه حرارت مخلوط آسفالتی بیشتر از ۴۰ درجه سلسیوس باشد یا از خاتمه پخش کمتر از سه ساعت گذشته باشد، مجاز نیست. در مورد آسفالت ماستیک سنگدانه‌ای، حداقل باید ۲۴ ساعت از خاتمه کوبیدگی گذشته و آسفالت کاملاً سرد شده باشد، تا وسایل‌نقلیه مجوز تردد بگیرند. در غیر این‌صورت، ممکن است روسازی دچار قیرزدگی شود.

در پروژه‌هایی که عملیات اجرای روسازی در مجاورت عبور و مرور وسایل‌نقلیه قرار دارد، به‌ویژه وقتی که عملیات در نیم‌عرض راه اجرا می‌شود، لازم است تمهیدات ایمنی مناسبی در نظر گرفته شود تا هم کاربران راه و هم پرسنل اجرای روسازی از خطرات تصادف‌های احتمالی در امان باشند. پیمانکار موظف است برنامه ایمنی ترافیک مناسبی را بر مبنای الزامات نشریه شماره ۷-۲۶۷ سازمان برنامه و بودجه کشور تهیه و اجرا کند. طرح و اجرای برنامه ایمنی مذکور باید به تأیید مهندس مشاور رسیده باشد.

برای کنترل مدیریت ترافیک حین اجرا باید چک‌لیست شماره ۶ با تواتر اعلام‌شده، تکمیل شود.

چک‌لیست شماره ٦: کنترل مدیریت ترافیک حین اجرا				
تاریخ:	تواتر اعلام گزارش: یکبار قبل از شروع عملیات و در حین اجرا روزانه			
موقعیت و محل اجرا: کیلومتر (+) تا (+) لاین (ها):				
ردیف	موارد بازرسی	نتیجه		توضیحات
		بله	خیر	
۱	آیا عملیات اجرا دارای برنامه ایمنی برای تردد وسایل‌نقلیه است؟			
۲	آیا تابلوها و علائم راهنمایی ترافیک از نظر تعداد و نوع مناسب است؟			
۳	آیا تعداد و نوع پرچم‌های هشدار مناسب است؟			
۴	آیا اجرای صحیح و ایمن مدیریت ترافیک نیازمند نیروی انسانی است؟ در صورت نیاز، آیا تعداد نیروی انسانی گماشته‌شده برای مدیریت ترافیک مناسب است؟			
۵	آیا تجهیزات پیمانکار به شیوه ایمن پارک و یا استفاده می‌شود؟			
توضیحات:				
تهیه‌کننده:				
تأییدکننده:				

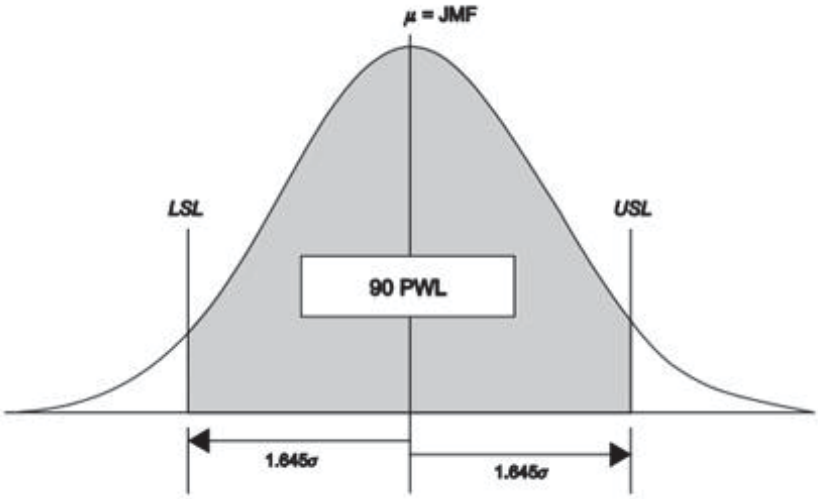
۲۰-۵ پذیرش

۲۰-۵-۱ محدوده پذیرش

روش «درصد درون محدوده» PWL[1] از میانگین و انحراف معیار داده‌های حاصل از آزمایش‌ها برای تخمین درصدی از قطعه که در محدوده مشخصات است، استفاده می‌کند (شکل ۲۰-۶). این روش بر اساس توزیع نرمال است که در آن مساحت زیر منحنی نرمال را می توان برای تعیین درصدی از قطعه که در محدوده رواداری قرار دارد، استفاده کرد.

1. Percent Within Limits

در تدوین طرح پذیرش، محدوده‌های پذیرش باید تعیین شوند و سطح کیفیت قابل قبول (AQL[1]) باید انتخاب شود.



شکل ۲۰-۵- سطح کیفی قابل قبول (AQL)

سطح کیفیت قابل قبول (AQL) برای پروژه‌های آزادراهی و خطوط اصلی راه‌آهن ۹۵ درصد و برای پروژه‌های سایر راه‌ها و خطوط فرعی راه‌آهن و پروژه‌های سایر رشته‌ها (ابنیه، آب و ...) ۹۰ درصد می‌باشد.

کارفرما می‌تواند برای راه‌های کم اهمیت از PWL برابر ۹۵ درصد نیز برای به دست آوردن محدوده‌های پذیرش استفاده کند که باید پیش از شروع عملیات در مشخصات فنی خصوصی آورده شود. در این صورت، رواداری پذیرش مشخصه‌های مختلف (که از دو طرف محدود هستند) معادل ۱/۹۶ برابر رواداری کنترل کیفیت خواهد بود.

مشخصه‌های فنی برای پذیرش و پرداخت مبلغ کار انجام شده و همچنین محدوده‌های آنها شامل حد بالای پذیرش و حد پایین پذیرش (USL و LSL) برای PWL برابر ۹۰ درصد در جدول ۲۰-۲۸ مشخص شده است. پذیرش یا عدم پذیرش با استفاده از محدوده‌های مندرج در جدول ۲۰- ۲۸ تعیین می‌شود.

1. Acceptable Quality Level

جدول ۲۰-۲۷ محدوده مشخصه‌های عملیات آسفالتی داغ برای ارزیابی آماری و تعیین ضریب پرداخت

عنوان	محدوده پذیرش	
سطح اطمینان	٪۹۰	٪۹۵
درصد عبوری از الک‌ها:	---	---
الک متناظر با حداکثر اندازه سنگدانه	---	---
۱۲٫۵ میلی‌متر ($\frac{1}{2}$ اینچ) و بزرگتر	۶ ± مقدار هدف	۵ ± مقدار هدف
۹٫۵ میلی‌متر ($\frac{3}{8}$ اینچ) و ۴٫۷۵ میلی‌متر (شماره ۴)	۶ ± مقدار هدف	۵ ± مقدار هدف
۲٫۳۶ میلی‌متر (شماره ۸) و ۱٫۱۸ میلی‌متر (شماره ۱۶)	۶ ± مقدار هدف	۵ ± مقدار هدف
۰٫۶ میلی‌متر (شماره ۳۰) و ۰٫۳ میلی‌متر (شماره ۵۰)	۴ ± مقدار هدف	۳ ± مقدار هدف
۰/۱۵ میلی‌متر (شماره ۱۰۰)	۴ ± مقدار هدف	۳ ± مقدار هدف
۰/۰۷۵ میلی‌متر (شماره ۲۰۰)	۲ ± مقدار هدف	۲ ± مقدار هدف
درصد قیر:	---	---
اساس قیری	±۰٫۵ مقدار هدف	±۰٫۴ مقدار هدف
آستر و رویه	±۰٫۴ مقدار هدف	±۰٫۳ مقدار هدف
درصد فضای خالی آسفالت کوبیده‌شده در آزمایشگاه	۱٫۶ ± مقدار هدف	±۱/۴ مقدار هدف
نسبت مقاومت کششی غیرمستقیم (TSR)	۰٫۱۳- مقدار هدف *	۰/۱۱ - مقدار هدف *
تراکم در محل نسبت دانسیته در محل به حداکثر دانسیته تئوری (G_{mm}) (درصد)	۲٫۳ ± مقدار هدف	۱/۹ ± مقدار هدف
* حداقل نسبت مقاومت کششی غیر مستقیم (TSR) برابر مقدار هدف منهای ۰٫۱۳ بوده و حداکثر آن می تواند برابر ۱ شود.		

مقدار هدف: مقدار هدف هر مشخصه توسط مهندس مشاور و تحت عنوان فرمول کارگاهی با توجه به نوع راه و شرایط ترافیکی، محیطی و ... به پیمانکار ابلاغ می‌گردد. مقدار هدف تراکم در محل با توجه به انجام نوار آزمایشی و الگوی غلتک‌زنی پیمانکار، توسط مهندس مشاور تعیین می‌گردد یا می‌توان مقدار هدف تراکم در محل را مساوی مقدار هدف درصد فضای خالی آسفالت کوبیده شده در طرح اختلاط ابلاغ شده (طرح اختلاط کارگاهی) به علاوه چهار درصد تعیین نمود.

۲۰-۵-۲ حل اختلاف

چنانچه تغییر پذیری داده های آزمایشگاهی آزمایشگاه کارفرما و آزمایشگاه پیمانکار مطابق بند۲۰-۴-۴ تعیین و زیاد نبوده و پیمانکار به نتایج آزمایش‌های مربوط به پذیرش معترض باشد یا پس از بررسی‌های آماری F-test و t-test، نتایج آزمایش‌های آزمایشگاه کارفرما و آزمایشگاه پیمانکار همسنگ نباشد، می‌تواند قبل از ارایه صورت وضعیت مربوط به عملیات مورد نظر اعتراض خود را به مهندس مشاور (یا کارفرما) اعلام کند و نتایج آزمایش‌های کنترل کیفیت را به طور کتبی به اطلاع مهندس مشاور برساند. در این صورت، فرآیند رسیدگی به اعتراض پیمانکار و حل اختلاف طبق مراحل زیر انجام می‌شود.

مرحله اول: تکرار آزمایش توسط آزمایشگاه کارفرما

پیمانکار درخواست انجام مجدد آزمایش‌ها را به طور کتبی به مهندس مشاور منعکس و مهندس مشاور نیز پس از اطلاع کارفرما، آن را به آزمایشگاه کارفرما ارایه می‌کند. آزمایشگاه کارفرما با دعوت از نمایندگان پیمانکار، مهندس مشاور و کارفرما و با حضور آنها نسبت به نمونه‌برداری، انجام آزمایش و محاسبات فنی و صدور برگه آزمایش جدید اقدام می‌کند. چنانچه نتایج آزمایش مجدد با نتایج اولیه مطابقت داشته باشد (یا با استفاده از روش آماری F-test و t-test همسنگ باشند)، هزینه انجام آزمایش‌های مجدد با اعمال ضریب ۱٫۲۵ باید توسط پیمانکار به حساب آزمایشگاه کارفرما پرداخت کند. اگر نتایج آزمایش مجدد با نتایج اولیه مطابقت نکند (یا با استفاده از روش آماری F-test و t-test همسنگ نباشند)، صرفا نتایج آزمایش‌های مجدد در محاسبه ضریب پرداخت استفاده می‌شود.

اگر پیمانکار به نتایج یک نمونه معترض باشد، آزمایش مجدد از محل نمونه اولیه (سه نمونه) انجام می‌شود.

اگر پیمانکار به نتایج یک مجموعه برگه آزمایش معترض باشد، نمونه‌برداری و آزمایش مجدد باید به صورت تصادفی و به تعداد اعلام شده در مشخصات فنی پیمان انجام شود.

مرحله دوم: تکرار آزمایش توسط آزمایشگاه دیگر

اگر در مرحله اول، نتایج آزمایش‌های مجدد با نتایج اولیه مطابقت نداشته (یا با استفاده از روش آماری F-test و t-test همسنگ نباشند) یا اگر نتایج مطابقت داشته باشند و همچنان پیمانکار متقاضی بررسی دوباره باشد، پیمانکار با اطلاع و هماهنگی کارفرما و مهندس مشاور از آزمایشگاه صلاحیت‌دار دیگری (که مورد تأیید کارفرما نیز باشد) برای انجام آزمایش کنترلی دعوت به عمل می‌آورد. اگر با انجام آزمایش کنترلی، وجود مغایرت

معنادار (با استفاده از همسنگی روش آماری F-test و t-test) محرز شود، نتایج آزمایش کنترلی در این مرحله مبنای پذیرش خواهد بود.

در انجام آزمایش کنترلی توسط آزمایشگاه دیگر، باید تمام اقدامات نمونه‌برداری، انجام آزمایش، محاسبات فنی و تنظیم گزارش با حضور نمایندگان مشاور، کارفرما، پیمانکار و آزمایشگاه کارفرما باشد.

اگر با انجام آزمایش‌های کنترلی، اعتراض پیمانکار قابل قبول واقع نشود، چنانچه وقفه‌ای در روند اجرای عملیات پیش آید، تأخیر مجاز محسوب نمی‌شود و هزینه انجام آزمایش‌ها نیز توسط پیمانکار پرداخت می‌شود. در صورت قابل قبول بودن ادعای پیمانکار، هزینه پرداخت شده توسط پیمانکار با اعمال ضریب ۱٫۲۵ به حساب بدهکاری آزمایشگاه کارفرما و هزینه پرداخت شده به حساب بستانکاری پیمانکار منظور می‌شود.

سایر الزامات در تکرار آزمایش

- چنانچه اعتراض پیمانکار در سه نوبت پس از بررسی در مرحله مربوطه (اول یا دوم، بطور جداگانه) نادرست تشخیص داده شود، اعتراض‌های بعدی قابل رسیدگی نخواهد بود.
- همه ویژگی‌هایی که قرار است مجدداً آزمایش شود، باید با همان روش آزمایش تعیین شده در مشخصات فنی پیمان انجام شود.
- وقتی ویژگی‌های حجمی مخلوط آسفالتی مورد اعتراض باشد، باید همه ویژگی‌هایی نظیر درصد قیر که بر روی ویژگی‌های حجمی اثر می‌گذارد، مجدداً آزمایش شود.
- اگر نتیجه دانه‌بندی مورد اعتراض باشد، باید درصد عبوری از همه الک ها، مورد آزمایش مجدد قرار گیرد و یا اگر دانه‌بندی مربوط به مصالح بعد از اختلاط با قیر بوده باشد، باید درصد قیر هم مجدداً آزمایش شود.
- کل کارهای تعیین شده در مراحل اول و دوم باید حداکثر در ۱۸ روز کاری از زمان اطلاع مهندس مشاور انجام شود.

۲۰-۵-۳ نحوه پذیرش آزمایش‌های پیمانکار

برای مقایسه دو مجموعه نتایج آزمایش‌های انجام شده توسط آزمایشگاه کارفرما و آزمایشگاه پیمانکار مطابق پیوست پنج ضابطه شماره ۷۷۳ اقدام گردد.

۲۱

رویه‌های شنی
و شانه رویه‌های آسفالتی و بتنی

۲۱-۱ کلیات

مخلوطی از مصالح که از بستر رودخانه، یا معادن شن و ماسه و یا سنگ کوهی شکسته تهیه گردیده و با مشخصات فنی مشروحه در این فصل روی بستر آماده شده راه پخش و متراکم گردد رویه شنی نامیده می‌شود.

خصوصیات فنی مورد نیاز برای قشر رویه‌های شنی شامل استحکام در مقابل بارهای وارده و سایش ناشی از عبور و مرور وسایل نقلیه و دوام در برابر عوامل جوی نظیر باران، برف، یخبندان و هوای گرم و خشک می‌باشد.

در محورهای با حجم ترافیک نسبتا کم می‌توان به جای روسازی با رویه‌های سیاه، اقدام به اجرای رویه‌های شنی نمود.

چون مشخصات فنی برای شانه‌های راه‌های آسفالتی و بتنی تقریبا معادل کیفیت مصالح مورد نیاز برای رویه‌های شنی می‌باشد، بنابراین، برای تهیه مصالح و اجرای شانه‌های رویه‌های آسفالتی و بتنی از همین فصل استفاده می‌شود. مگر آنکه در مشخصات فنی خصوصی پروژه به نحو دیگری تصریح شده باشد.

۲۱-۲ تهیه مصالح

مصالح مورد نیاز از شن و ماسه رودخانه‌ای (شکسته و یا نشکسته)، سنگ کوهی شکسته و یا ترکیبی از آنها تهیه می‌گردد. مصالح مصرفی باید عاری از هرگونه مواد آلی باشد. حتی‌المقدور باید سعی کرد مصالح مورد نیاز، ضمن دارا بودن مشخصات فنی مورد نظر، نسبتا ارزان تهیه گردد. زیرا یکی از دلایل اجرای قشر رویه‌های شنی محدود بودن منابع مالی می‌باشد. بدین ترتیب همواره باید سعی کرد در درجه اول از مصالح محلی و یا مخلوطی از مصالح محلی و مصالح منتخب استفاده نمود، تا اجرای آن در مقایسه با سایر روسازی‌ها از نظر اقتصادی مقرون به صرفه باشد.

استفاده از مخلوط چند نوع مصالح، برای تأمین مشخصات مورد نظر که مورد تأیید مهندس مشاور باشد مجاز خواهد بود.

برای هر پروژه مشخصات مورد نیاز برای مصالح رویه شنی و یا شانه راه باید در دفترچه مشخصات فنی خصوصی قید گردد.

۲۱-۳ مشخصات فنی مصالح

از مصالح مورد مصرف باید طبق روش AASHTO T2 نمونه‌برداری شده و مورد آزمایش قرار گیرد. نتایج آزمایش‌ها باید با ضوابط زیر مطابقت داشته باشد:

۲۱-۳-۱ دانه بندی مصالح مصرفی

دانه‌بندی مصالح مصرفی برای رویه‌های شنی و شانه‌ها باید با جدول ۲۱-۱ مطابقت داشته باشد. دانه‌بندی‌های شماره ۱ تا ۴ برای شانه‌ها و ۵ و ۶ برای رویه‌های شنی کاربرد دارد. برای هر پروژه با توجه به نوع مصالح معدن، یکی از انواع دانه‌بندی جدول ۲۱-۱ انتخاب و در مشخصات فنی خصوصی ارایه می‌شود.

۲۱-۳-۲ سایر مشخصات مصالح مصرفی

سایر مشخصات مصالح مصرفی برای رویه‌های شنی و شانه‌ها باید با جدول ۲۱-۲ مطابقت داشته باشد.

۲۱-۳-۳ مشخصات مصالح برای شانه

مشخصات مصالح مصرفی برای شانه‌ها علاوه بر رعایت موارد فوق باید با مشخصات زیراساس معمولی به شرح فصل دوازدهم مطابقت داشته باشد.

جدول ۲۱-۱ دانه‌بندی مصالح رویه‌های شنی و شانه راه‌های آسفالتی و بتنی

نوع دانه‌بندی	۱	۲	۳	٤	٥	٦
اندازه الک‌ها	**درصد وزنی رد شده از الک‌ها**					
۵۰ میلی‌متر (۲ اینچ)	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰			
۳۷٫۵ میلی‌متر ($1\frac{1}{2}$ اینچ)	--	۹۵ – ۱۰۰	--	۱۰۰		
۲۵ میلی‌متر (۱ اینچ)	--	۷۵ – ۹۰	۷۵ – ۹۵	۹۰ – ۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰
۹٫۵ میلی‌متر ($\frac{3}{8}$ اینچ)	۳۰ – ۶۵	۴۰ – ۷۰	۴۰ – ۷۵	۵۵ – ۸۰	۵۰ – ۸۵	۶۰ – ۱۰۰
۴٫۷۵ میلی‌متر (شماره ۴)	۲۵ – ۵۵	۳۰ – ۶۰	۳۰ – ۶۰	۴۰ – ۶۰	۳۵ – ۶۵	۵۰ – ۸۵
۲ میلی‌متر (شماره ۱۰)	۱۵ – ۴۰	۲۰ – ۵۰	۲۰ – ۴۵	۲۸ – ۴۸	۲۵ – ۵۰	۴۰ – ۷۰
۰٫۴۲۵ میلی‌متر (شماره ۴۰)	۸ – ۲۰	۱۰ – ۳۰	۱۵ – ۳۰	۱۴ – ۲۸	۱۵ – ۳۰	۲۵ – ۴۵
۰٫۰۷۵ میلی‌متر (شماره ۲۰۰)*	۲ – ۸	۰ – ۱۲	۵ – ۱۲	۵ – ۱۲	۵ – ۱۵	۵ – ۲۰

* چنانچه مقرر گردد رویه شنی برای مدت زیادی بدون رویه آسفالتی باقی بماند، حداقل درصد مواد رد شده از الک ۲۰۰ باید به ۸ درصد افزایش یابد.

۲۱-٤ ابعاد قشر رویه‌های شنی

ضخامت رویه‌های شنی در هر مورد و برای هر پروژه، با معلوم بودن حجم ترافیک و مشخصات فنی مصالح مصرفی باید با یکی از روش‌های استاندارد شناخته شده محاسبه و در دفترچه مشخصات فنی خصوصی قید گردد. ولی به هر حال این ضخامت نباید کمتر از ۱۵ سانتیمتر باشد.

چون تمام عرض راه شنی زیر عبور و مرور ترافیک قرار می‌گیرد لذا مصالح رویه شنی باید در تمام عرض راه پخش شود، به دیگر عبارت شانه‌ها نیز جزئی از عرض راه می‌باشند.

جدول ۲۱-۲ مشخصات مصالح رویه‌های شنی و شانه‌های راه‌های آسفالتی و بتنی

ردیف	شرح	مشخصات	روش‌های آزمایش	
			AASHTO	ASTM
۱	حد روانی – درصد	حداکثر ۲۵	T89	D4318
۲	دامنه خمیری – درصد	حداکثر ۶-۴ [1]	T90	D4318
۳	ارزش ماسه‌ای – درصد	حداقل ۳۰	T176	D4318
۴	سایش با لوس آنجلس – درصد	حداکثر ۵۰	T96	D2419
۵	افت وزنی با آزمایش یخبندان ذوب – درصد	حداکثر ۱۵ [2]	T103	C131
۶	افت وزنی با سولفات سدیم – درصد	حداکثر ۱۲	T104	C88
۷	سی بی آر – درصد	حداقل ۲۵	T193	D1883

توضیحات:

[1] چنانچه مقرر گردد رویه شنی برای مدت زیادی بدون رویه آسفالتی باقی بماند حداکثر حد روانی ۳۵ درصد و دامنه خمیری در محدوده ۴ تا ۹ درصد قابل افزایش است. دامنه خمیری برای مصالح شانه‌ها ۰ تا ۶ درصد می‌باشد.

[2] آزمایش افت وزنی AASHTO T103 برای رویه شنی کاربرد دارد.

۲۱-۵ آماده نمودن بستر

قبل از اجرای عملیات، بستر آماده شده راه باید عاری از هرگونه مواد زائد و اضافی بوده و طبق پروفیل‌های طولی و عرضی آماده شده باشد. همواری سطح بستر با استفاده از شمشه کنترل می‌گردد. در صورتی که شمشه ۴ متری در جهات مختلف بر روی سطح بستر راه قرار گیرد، ناهمواری‌های آن نباید از ۲٫۵ سانتی‌متر تجاوز کند.

۲۱-۶ پخش مصالح و آبپاشی

مصالحی که طبق مشخصات فنی تعیین شده تهیه گردیده است، با کامیون‌های در حال حرکت و یا پخش‌کن‌های خودرو یا هر وسیله‌ای که مورد تأیید مهندس مشاور باشد، پخش می‌گردد. حداکثر ضخامت کوبیده شده هر لایه ۱۵ سانتی‌متر می‌باشد. دانه‌بندی مصالح باید قبل از حمل تنظیم شده باشد. چنانچه دانه‌هایی درشت‌تر از حداکثر اندازه‌های مجاز مندرج در جدول ۲۱-۱ باشد، باید از سطح راه برداشته و به خارج از حریم راه حمل گردد، به هنگام پخش مصالح، دانه‌های درشت و ریز نباید از یکدیگر جدا شوند. در صورت استفاده از چند نوع مصالح مختلف و برای به دست آوردن مشخصات فنی مورد نظر، باید آن‌ها را به نسبت‌های

معینی بر روی سطح راه تخلیه و سپس با هم مخلوط کرد. اختلاط با تیغه گریدر، تراکتور دیسک‌دار و یا هر وسیله مناسب دیگر صورت می‌گیرد. چون کیفیت اختلاط بستگی به وسایل مورد استفاده و عملکرد آن‌ها و همچنین به چگونگی مصالح مورد اختلاط دارد، لذا انتخاب نوع مخلوط کننده باید با نظر مهندس مشاور صورت گیرد.

مصالح پخش شده با تیغه گریدر یا هر وسیله مناسب دیگر، باید آنچنان پروفیله شود که پس از آبپاشی و کوبیدن، ابعاد آن برابر با رقوم، اندازه و شیب تعیین شده در نقشه باشد.

قبل از کوبیدن مصالح، از هر یک هزار متر مکعب مصالح پخش شده بر روی سطح راه باید یک نمونه ۲۵ کیلوگرمی انتخاب و نمونه تهیه شده باید مورد آزمایش‌های مندرج در جدول ۲۱-۱ و ۲۱ -۲ قرار بگیرد، نتایج حاصله نباید خارج از محدوده تعیین شده در جدول‌ها باشد.

پس از پخش و پروفیله نمودن مصالح، آبپاشی با تانکر و با فشار یکنواخت آغاز می‌گردد. آبپاشی باید طوری انجام شود که تمام دانه‌های مصالح به طور یکنواخت مرطوب گردد. توقف تانکر به هنگام آبپاشی مجاز نخواهد بود. مقدار آب لازم بر مبنای درصد رطوبت بهینه که با روش AASHTO T180 قبلاً در آزمایشگاه به دست آمده است، تعیین می‌شود. تفاوت مجاز آب مصرفی ۱/۵± درصد وزن آب مورد لزوم برای رطوبت بهینه می‌باشد.

۲۱-۷ کوبیدن رویه‌های شنی و شانه‌ها

پس از آبپاشی، بلافاصله کوبیدن مصالح با غلتک‌های ۸ تا ۱۲ تنی فلزی و یا چرخ‌لاستیکی آغاز می‌گردد. نوع و وزن دقیق غلتک‌ها باید متناسب با نوع مصالح مصرفی باشد. به هرحال وزن آنها نباید طوری باشد که سبب خرد شدن دانه‌های مصالح زیر غلتک گردد. عملیات غلتک‌زنی از کناره‌های راه شروع و به محور آن ختم می‌گردد (به استثنای پیچ‌ها که غلتک‌زنی از داخل قوس یا پایین‌ترین نقطه، شروع شده و به بلندترین نقطه خارج از قوس ختم می‌گردد). غلتک‌زنی و در صورت لزوم همراه با آبپاشی، باید آنقدر ادامه یابد تا اینکه یک لایه کوبیده شده و منسجمی مطابق ابعاد و شیب تعیین شده در نقشه‌ها به دست آید تراکم نسبی به دست آمده با روش AASHTO T191، باید حداقل ۱۰۰ درصد باشد.

در صورتی که تراکم نسبی به دست آمده کمتر از حد مجاز باشد، باید لایه کوبیده شده را شخم زده، سپس آبپاشی و غلتک زد تا تراکم نسبی مشخصه تأمین شود. برای سطوحی که کوبیدن آن‌ها با غلتک‌های خودرو

امکانپذیر نباشد، می‌توان از وسایل کوبنده موتوری کوچک استفاده کرد، مشروط بر اینکه تراکم مورد نظر تأمین گردد. هر نوع ناهمواری که به هنگام یا بعد از غلتک‌زنی ظاهر شود، با برداشتن قسمتی از مصالح (در نقاط برآمده) و یا اضافه نمودن مصالح (در نقاط گود افتاده) باید اصلاح گردد.

۲۱-۸ کنترل سطح تمام شده

رقوم سطح تمام شده رویه شنی با توجه به نیمرخ‌های طولی و عرضی اندازه‌گیری می‌شود. در هر نقطه، اختلاف بین رقوم مورد نظر و آنچه ساخته شده، نباید از ۲± سانتی‌متر تجاوز نماید. شیب‌های طولی و عرضی باید با نقشه‌ها مطابقت داشته باشد. همواری سطح تمام شده راه با استفاده از شمشه کنترل می‌گردد. در صورتی که شمشه چهار متری در جهات مختلف بر روی سطح رویه شنی قرار گیرد، ناهمواری‌های آن نباید از یک سانتی‌متر تجاوز کند.

۲۱-۹ نگهداری سطح رویه‌های شنی

یکی از معایب رویه‌های شنی ایجاد موج‌های عرضی و حفره‌های متعدد در سطح راه و گرد و غبار بوده که ناشی از عبور و مرور وسایل نقلیه و شرایط جوی می‌باشد. متوسط فواصل موج‌های عرضی معمولاً در حدود ۷۵ سانتی‌متر و ارتفاع موج‌ها در حدود چهار سانتی‌متر است. موج‌های عرضی معمولا در تمام عرض راه ایجاد شده و عموماً عمود بر محور راه ولی بعضا با زاویه کمتر از ۹۰ درجه نیز مشاهده می‌گردد. درجه خرابی سطح رویه‌های شنی متناسب با افزایش حجم ترافیک و شرایط جوی می‌باشد. به تدریج که حجم وسایل نقلیه افزایش می‌یابد، هزینه نگهداری سطح راه نیز افزایش یافته تا حدی که از نظر اقتصادی و محیط زیست تنها راه حفاظت از سطح راه پوشش رویه‌های شنی با یک و یا چند لایه آسفالت حفاظتی و یا در حجم ترافیک زیاد، پوشش با یک قشر آسفالت گرم می‌باشد.

نگهداری رویه‌های شنی به طور عمده شامل تسطیح و پروفیله کردن سطح آن‌ها است، این عمل با برش موج‌های ایجاد شده در سطح رویه و پخش مجدد مصالح آن‌ها، به طور یکنواخت، بر روی سطح راه انجام می‌گردد بهترین موقع برای تسطیح و پروفیله کردن رویه‌های شنی بعد از بارندگی می‌باشد. زیرا موج‌های ایجاد شده به راحتی بریده شده و مصالح آن برای تسطیح و پروفیله کردن مورد استفاده قرار می‌گیرد که در مرحله بعد با عبور و مرور وسایل نقلیه کوبیده می‌گردد. تسطیح در هوای خشک نیز ضروری می‌باشد، گرچه در

هوای خشک به دلیل عدم رطوبت کافی مصالح برش شده از موج‌ها کاملاً شکل نمی‌گیرند، اما دانه‌های این مصالح که به طور یکنواخت بر روی سطح راه پخش و پراکنده شده‌اند، سبب جلوگیری از افزایش ناهمواری‌ها می‌شوند.

عمل تسطیح و پروفیله کردن سطح راه با تیغه گریدر انجام می‌گیرد که علاوه بر برش موج‌ها و پخش مجدد مصالح آن در پستی‌ها، شیب عرضی راه را نیز تأمین کرده و کانال‌های طرفین راه را هم می‌تواند تعبیه نماید.

در مناطق سرد و یخبندان علاوه بر عملیات تسطیح و پروفیله کردن مستمر که باید انجام گردد، در اوایل پاییز و بهار این عملیات نیز باید اجرا شود. در اوایل پاییز سطح راه باید با تیغه گریدر تسطیح و شیب طولی و عرضی آن کاملاً تأمین گردیده تا آمادگی لازم را برای انتقال سریع آب‌های سطحی ناشی از نزولات جوی، داشته باشد. در فصل زمستان عبور و مرور وسایل نقلیه و احتمالاً زنجیر چرخ این وسایل نیز موجب افزایش سریع خرابی‌های سطح راه و ایجاد موج‌ها و حفره‌های بی‌شمار می‌گردد. بنابراین در اوایل بهار، کلیه این موج‌ها و حفره‌ها باید اصلاح و سطح راه کاملاً تسطیح و پروفیله گردد. در صورتی که ارتفاع موج‌ها و عمق حفره‌ها زیاد باشد، سطح راه را باید به ضخامت عمق حفره‌ها شخم زده و مصالح آن با تیغه گریدر مجدداً بر روی سطح راه پخش گردد. به هنگام شخم‌زنی در صورت وجود دانه‌های بزرگتر از ۲۵ میلی‌متر باید آن‌ها را از روی سطح راه خارج کرد.

هر چند سال یکبار، برای جبران نقصان ضخامت رویه شنی (که در این مدت در اثر عملیات تسطیح و پروفیله نمودن از بین رفته است) و در صورت ضرورت، باید مصالح اضافی طبق مشخصات فنی مندرج در این فصل تهیه و با مصالح موجود در رویه مخلوط و سپس آبپاشی و کوبیده گردد.

یادآوری: مندرجات بند ۲۱-۹، راهنمایی جهت نگهداری رویه‌های شنی پس از اتمام عملیات ساختمانی و تحویل موقت بوده و اجرای مفاد آن و بالطبع هزینه مربوطه به عهده دستگاه بهره‌برداری کننده می‌باشد.

۲۱-۱۰ آزمایش‌های کنترل کیفیت

برای کنترل کیفیت مصالح و کارهای انجام شده باید از مصالح تهیه شده، قبل و بعد از مصرف و نیز حین اجرای کار و متناسب با پیشرفت آن‌ها آزمایش‌های لازم به شرح زیر به عمل آید.

۲۱-۱۰-۱ آزمایش‌های دانه‌بندی، دامنه خمیری و ارزش ماسه‌ای

برای هر ۱۰۰۰ متر مکعب مصالح مصرف شده یکبار آزمایش‌های دانه‌بندی، دامنه خمیری و ارزش ماسه‌ای انجام شود.

۲۱-۱۰-۲ آزمایش تعیین وزن مخصوص

به ازای هر ۵۰ متر طول راه به ترتیب در وسط – چپ – راست، یک آزمایش تعیین وزن مخصوص محلی برای رویه شنی راه انجام گیرد. برای شانه راه به ازای هر ۱۰۰ متر طول در هر طرف راه یک آزمایش وزن مخصوص محلی به عمل آید.

۲۱-۱۰-۳ تعیین ضخامت لایه

در هر مورد که آزمایش وزن مخصوص محلی به عمل می‌آید، ضخامت لایه نیز اندازه گیری و گزارش می‌شود.

۲۱-۱۰-٤ آزمایش تراکم آزمایشگاهی

آزمایش تراکم آزمایشگاهی برای مصالح رویه شنی باید به ازای هر ۱۵۰۰ متر طول راه یک بار صورت گیرد، و در صورتی که جنس مصالح تغییر کند آزمایش تراکم بیشتری به عمل آید. برای شانه راه حداقل هر ۲ کیلومتر، در هر طرف راه یک آزمایش تراکم انجام می‌شود.

۲۱-۱۰-۵ آزمایش سی بی آر

در صورتی که مهندس مشاور لازم بداند، آزمایش سی بی آر بر روی نمونه‌هایی که از فواصل ۵۰۰ تا ۱۰۰۰ متر طول راه گرفته می‌شود، انجام می‌گردد.

۲۲

ژئوسنتتیک‌ها در راه‌سازی

۲۲-۱ کلیات

۲۲-۱-۱ تعریف

ژئوسنتتیک‌ها[1] محصولات مسطحی از جنس پلیمر هستند که در پروژه‌های عمرانی به همراه مصالح خاکی، سنگی یا در بستر طبیعی به کار می‌روند. در هر حال استفاده از این محصولات منوط به ارایه گزارش توجیه فنی و اقتصادی توسط مهندس مشاور پروژه است.

۲۲-۱-۲ مواد تشکیل دهنده

بیشتر ژئوسنتتیک‌ها از پلیمرهای مصنوعی پلی پروپیلن، پلی‌استر یا پلی‌اتیلن تولید می‌شوند که در مقابل آثار زیان‌بار عوامل شیمیایی و بیولوژیکی، مقاومت بالایی دارند. پلیمرهایی مانند پلی آمید (نایلون)، پلی ونیل کلراید، پلی استایرن و الیاف شیشه‌ای نیز در ساخت ژئوسنتتیک‌ها به کار می‌روند. از الیاف طبیعی از قبیل کتان، کنف و ... نیز در کارهای موقت استفاده می‌شود.

۲۲-۱-۳ انواع عمده ژئوسنتتیک‌ها

انواع متداول ژئوسنتتیک‌ها عبارتند از ژئوتکستایل‌ها، ژئوگریدها، ژئوممبرین‌ها، ژئونت‌ها، ژئوسل‌ها، ژئوپایپ‌ها و ژئوکمپوزیت‌ها[2] که دو نوع اول، در راه‌سازی از کاربرد بیشتری برخوردار هستند.

۲۲-۱-۴ مشخصه‌های عمومی معرفی ژئوسنتتیک‌ها

بسته به نوع ژئوسنتتیک، برای معرفی آن از چند مشخصه عمومی زیر استفاده می‌شود:

- عنوان ژئوسنتتیک (ژئوتکستایل، ژئوگرید، ژئوممبرین و ...)
- نوع پلیمر تشکیل دهنده (به همراه عبارات توصیفی مانند سنگین، سبک و ...)
- نوع اجزا (رشته‌ای، شیاری، پوشش‌دار و ...)
- روند تولید (بافته شده، نبافته سوزنی، نبافته حرارتی، نبافته شیمیایی، گره خورده، تافته و ...)
- جرم واحد سطح یا ضخامت

1. Geosynthetics
2. Geotextiles, Geogrids, Geomembranes, Geonets, Geocells, Geopipes, Geocomposites

– سایر اطلاعات یا مشخصات فیزیکی برای معرفی مصالح (بسته به کاربرد خاص مربوط به آن)

مثال: – ژئوتکستایل پلی پروپلینی با رشته‌های بافته سوزنی و وزن واحد سطح ۳۵۰ گرم در متر مربع

– ژئوممبرین پلی اتیلنی سنگین، صفحه زبر با ضخامت ۱٫۵ میلی‌متر

۲۲-۱-۵ کاربرد و عملکرد

ژئوسنتتیک‌ها عموما دارای شش عملکرد اصلی هستند: فیلتراسیون[۱]، زهکشی[۲]، جداسازی[۳]، تسلیح[۴]، آب‌بندی[۵] و حفاظت[۶]. کاربرد ژئوسنتتیک‌ها براساس عملکرد اصلی یا اولیه آنها بیان می‌شود. در حالی‌که ژئوسنتتیک‌ها علاوه بر عملکرد اصلی، یک یا چند عملکرد ثانویه نیز دارند. عملکرد اولیه و ثانویه ژئوسنتتیک، به طور همزمان در طراحی و اجرا، باید مد نظر قرار گیرد. عملکرد انواع ژئوسنتتیک‌ها در جدول ۲۲-۱ ارایه شده است.

جدول ۲۲-۱ عملکرد انواع ژئوسنتتیک‌ها

	فیلتراسیون	زهکشی	جداسازی	تسلیح	آب‌بندی	حفاظت
ژئوتکستایل[۱]	✓	✓	✓	✓		✓
ژئوگرید				✓		
ژئونت		✓				✓
ژئوممبرین					✓	
ژئوکمپوزیت[۲]	✓	✓	✓	✓	✓[۳]	✓

۱. به منظور حصول عملکرد آب‌بندی، ژئوتکستایل باید با قیر یا سایر مواد پلیمری، اشباع شود.
۲. بستگی به نحوه طراحی، ساخت و نوع ژئوکمپوزیت دارد.
۳. ژئوکمپوزیت‌های رسی (جی سی ال)[۷] از این نوع می‌باشند.

1. Filteration
2. Drainage
3. Separation
4. Reinforcement
5. Fluid Barrier
6. Protection
7. Geosynthetic Clay Liners (GCLs)
2 Minimum (or Maximum) Average Roll Values (MARVs)

۲۲-۱-۶ معیارها

هنگام کاربرد ژئوسنتتیک‌ها در پروژه‌های راهسازی و در کلیه مراحل اعم از طراحی، تهیه مصالح، حمل، نصب و اجرا، باید معیارهای زیر معین بوده و موارد مربوط به آنها رعایت گرد.

الف: مشخصات عمومی:

شامل نوع ژئوسنتتیک، نوع پلیمر مورد قبول، مشخصات مربوط به دوام محصول، روش حمل و انبار، توصیه‌های محافظت در برابر آثار زیان‌بار اشعه فرابنفش، نور مستقیم خورشید، گرد و غبار، رسوبات و سایر عواملی که می‌تواند بر عملکرد ژئوسنتتیک تاثیر بگذارد.

ب: مشخصات فنی

شامل مشخصات ویژه و عملکردی محصول که برای طراحی مورد نیاز است. این مشخصات باید برابر کوچکترین (یا بزرگترین) مقدار میانگین طاقه‌ها (MARVs)[1] و در جهت مورد نظر طاقه باشد. برای تعیین کوچکترین (یا بزرگترین) مقدار میانگین طاقه‌ها، ابتدا از نتایج آزمایش‌های انجام شده بر روی نمونه‌های هر طاقه، میانگین گرفته، سپس کوچکترین (یا بزرگترین) مقدار متوسط چندین طاقه که از آن‌ها نمونه‌بردای و آزمایش انجام شده است، انتخاب می‌شود.

پ: درزها و همپوشانی‌ها

نحوه اتصال و همپوشانی قطعات مجاور طاقه‌ها که باید با توجه به شرایط محیطی، نوع مصالح، عملکرد و ... ارایه شود.

ت: نصب و اجرا

شامل نحوه آماده‌سازی بستر، نحوه نصب ژئوسنتتیک، مشخصات مصالح خاکی، ضخامت لایه‌های خاکی، نحوه اجرای خاکریزی، پرسنل و ماشین‌آلات اجرایی مورد نیاز و ... می‌باشد.

ث: ترمیم

شامل نحوه ترمیم آسیب‌دیدگی‌های حین نصب و اجرا می‌باشد.

ج: ضوابط تایید یا عدم تایید

شامل ضوابط و معیارهای مربوط به نمونه‌برداری و آزمایش‌های مورد نیاز می‌باشد.

۲۲-۲ ملاحظات کلی در ژئوسنتتیک‌ها

۲۲-۲-۱ گواهینامه تایید محصول

- پیمانکار موظف است گواهینامه‌ای شامل اطلاعاتی از نام تولیدکننده، نام و کد محصول، ترکیبات شیمیایی محصول و سایر اطلاعات مربوطه که ژئوسنتتیک را معرفی کند، در اختیار مهندس مشاور قرار دهد.
- تولیدکننده یا فروشنده محصول موظف است در خصوص برقراری برنامه کنترل کیفیت، مستندات کنترل کیفیت را در اختیار مهندس مشاور قرار دهد.
- گواهینامه ارایه شده توسط تولیدکننده یا فروشنده، باید تضمین‌کننده این مطلب باشد که محصول استفاده شده، کیفیت درخواستی را تامین خواهد کرد. این گواهینامه باید مهر و امضای رسمی تولیدکننده یا فروشنده را داشته باشد.
- در صورت عدم ارایه مستندات ذکر شده در فوق، محصول تایید نمی‌شود.

۲۲-۲-۲ نمونه برداری، آزمایش و تایید

نمونه‌برداری باید طبق دستورالعمل ISIRI 7774 یا ASTM D4354 انجام شود. تایید محصول طبق دستورالعمل ASTM D4759 انجام می‌شود.

۲۲-۲-۳ حمل و انبار

- برچسب محصولات، حمل و انبار آنها مطابق ASTM D4873 باید انجام شود. برچسب محصول باید بطور شفاف، نام تولید کننده یا فروشنده، کد محصول و شماره طاقه را نشان بدهد. در مدارک هر محموله باید به گواهینامه محصول که از طرف تولید کننده ارایه می‌شود، اشاره شود.
- هر طاقه باید با پوشش مخصوص در مقابل آسیب‌های ناشی از نور خورشید، رطوبت (بسته به نوع محصول و در صورت نیاز) و آلاینده‌های مضر، محافظت شود. این پوشش باید در تمام مراحل حمل و انبار، باقی بماند.
- در زمان انبار، ژئوسنتتیک نباید در تماس مستقیم با زمین بوده و توسط حفاظی در مقابل آسیب‌های کارگاهی، رطوبت و بارش (بسته به نوع محصول)، اشعه فرابنفش، تابش مستقیم نور خورشید، مواد

شیمیایی بازی و اسیدی، جرقه‌های جوشکاری، حرارت بیش از ۶۰ درجه سانتی‌گراد و سایر شرایط محیطی که می‌تواند به مشخصات فیزیکی ژئوسنتتیک آسیب وارد کند، محافظت شود.

۲۲-۲-۴ ارزیابی مشخصات

مشخصاتی که برای ژئوسنتتیک‌ها باید تعیین شود، بستگی به کاربرد و عملکرد مورد انتظار از هر ژئوسنتتیک دارد. معیارهای مهم و مشخصات مورد نیاز برای ارزیابی مطلوبیت ژئوسنتتیک در ازای عملکردهای مختلف در جدول ۲۲-۲ ارایه شده است. لیست آزمایش‌های مربوط به تعیین مشخصات ژئوسنتتیک‌ها در فصل بیست و پنج ارایه شده است.

جدول ۲۲-۲ معیارها و مشخصات اصلی ارزیابی ژئوسنتتیک‌ها

معیارها		عملکرد					
		فیلتراسیون	زهکشی	جداسازی	تسلیح	آب‌بندی	حفاظت
طراحی							
مشخصات مکانیکی:							
مقاومت کششی نوار عریض	Wide Width Tensile Strength				✓	✓	
مدول کششی نوار عریض	Wide Width Tensile Modulus				✓	✓	
مقاومت کششی درز	Wide Width Seam Strength				✓	✓	
میزان خزش در کشش	Tension Creep Resistance				✓	✓	
میزان خزش در فشار	Compression Creep Resistance		✓				
اصطکاک خاک و ژئوسنتتیک (مقاومت برشی)	Soil-Geosynthetic Friction (Shear Strength)				✓	✓	✓
مشخصات هیدرولیکی:							
میزان نفوذپذیری	Flow Capacity (Permeability)	✓	✓	✓	✓	✓	
مقاومت در برابر رگاب	Piping Resistance	✓		✓	✓		✓
مقاومت در برابر انسداد روزنه‌ها	Clogging Resistance	✓					✓
اجرا							
مقاومت چنگکی	Grab (Tensile) Strength	✓	✓	✓	✓	✓	✓
مقاومت درز در برابر گسیختگی	Seam Grab (Tensile) Strength	✓	✓	✓		✓	
مقاومت در برابر شکافتگی	Bursting Resistance	✓	✓	✓	✓	✓	✓
مقاومت در برابر سوراخ‌شدگی	Puncture Resistance	✓	✓	✓	✓	✓	✓
مقاومت در برابر پارگی	Tear Resistance	✓	✓	✓	✓	✓	✓
دوام (پایداری)*							
مقاومت در برابر ساییدگی	Abrasion Resistance	✓					
مقاومت در برابر اشعه ماوراء بنفش	UV Stability	✓			✓	✓	✓
مقاومت در برابر عوامل مضر محیطی	Soil Enviroment						
شیمیایی	Chemical	✓	✓	✓	✓	✓	✓
بیولوژیکی	Biological	✓	✓	✓	✓	✓	✓
رطوبت	Wet-Dry	✓	✓				✓
یخبندان- ذوب	Freeze-Thaw	✓	✓			✓	

* ضرورت بررسی این معیارها، بستگی به شرایط محیطی و عملکردی ژئوسنتتیک دارد.

۲۲-۲-۵ درزها

انواع پیوستگی و درزگیری در محل مجاورت دو قطعه ژئوسنتتیک، اعمال می‌شود. روش‌های درزگیری عبارتند از همپوشانی، دوختن، بست و گیره، گره زدن، حرارت، مهار کردن، جوش دادن و چسپ زدن که باید با توجه به نوع و عملکرد ژئوسنتتیک و شرایط پروژه، انتخاب و اعمال شود. از آنجا که ممکن است محل درزها به نقطه ضعف سیستم تبدیل شود، باید تعداد آن‌ها تا حد امکان محدود گردد. ضمن آنکه استفاده از درز در جهت اصلی کشش (عمود بر طول طاقه) در شیب‌ها و دیوارهای خاکی مسلح، مجاز نمی‌باشد.

معمول‌ترین روش برای درزها در ژئوتکستایل‌ها و ژئوگریدها، همپوشانی حداقل ۰٫۳ متری می‌باشد که بسته به شرایط پروژه، ممکن است همپوشانی‌های بیشتری لازم شود. در صورتیکه مقدار همپوشانی زیاد (بیش از ۱متر) یا انتقال تنش مد نظر باشد، دوختن دو قطعه مجاور، روش مناسب‌تری است. مقادیر لازم همپوشانی یا نیاز به درزگیری از طریق دوخت در این فصل و در بخش‌های مربوط به هر یک از عملکردهای ژئوسنتتیک‌ها، ارایه شده است.

در زمان دوختن درزها در ژئوتکستایل‌ها باید موارد ذیل رعایت شود:

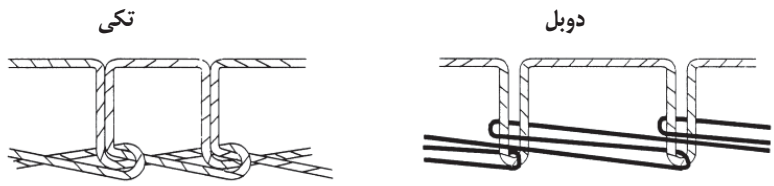
– جنس و دوام نخ: از جنس پلی الفین‌ها یا پلی استر بوده و دوام آن مطابق نیازهای پروژه باشد (مثلاً دوام کافی در برابر اشعه فرابنفش). استفاده از نخ نایلونی، مجاز نیست.

– کشش نخ: به اندازه کافی محکم بوده و باعث برش ژئوتکستایل نشود.

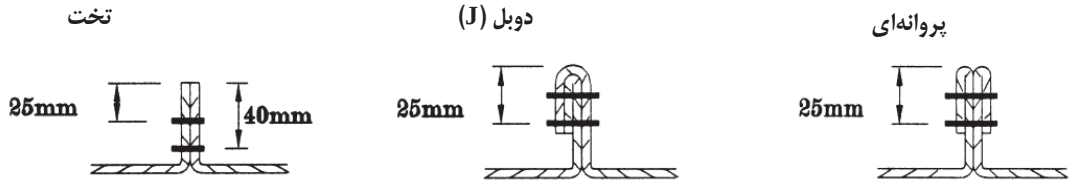
– تراکم کوک‌ها: برای ژئوتکستایل‌های سبک، ۲۰۰ الی ۴۰۰ گره در هر متر طول و برای سنگین، ۱۵۰ الی ۲۰۰ گره در هر متر طول می‌باشد.

– نوع و تعداد ردیف کوک‌ها: دو نمونه کوک‌زنی در شکل ۲۲–۱ نشان داده شده است. معمولاً دو ردیف دوخت یا بیشتر استفاده می‌شود، مگر آنکه ژئوتکستایل‌های با لبه کارخانه‌ای، مجاور هم قرار گیرند. در این صورت یک ردیف دوخت نیز کافی است.

– نوع درز: سه نوع متداول درز شامل تخت، دوبل (یا J) و پروانه‌ای در شکل ۲۲–۲ نشان داده شده است.



شکل ۲۲- ۱ دو نوع کوک‌زنی (تکی و دوبل)

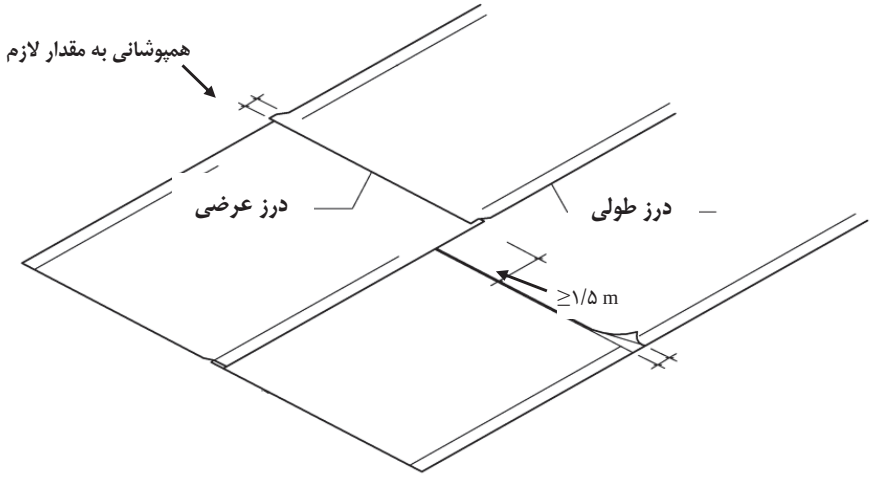


شکل ۲۲- ۲ سه نوع متداول درز

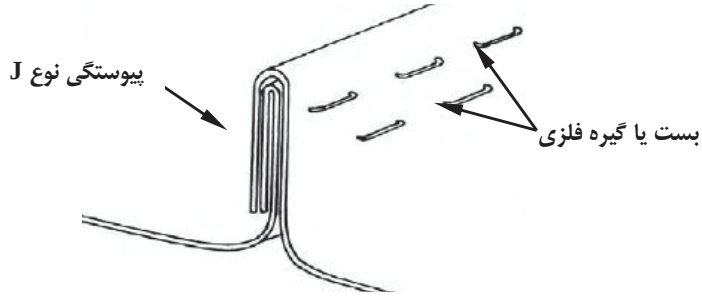
به دلیل آسیب‌های ناشی از سوزن در هنگام دوخت درز، درزها نسبت به قسمت‌های عادی ژئوتکستایل، استعداد بیشتری به خرابی و گسیختگی خواهند داشت. از اینرو برای بازدید و تعمیرات احتمالی، باید دوخت‌ها رو به بالا بوده و در زیر کار، پنهان نشوند. ضمن آنکه استفاده از نخ‌های با رنگ متفاوت نسبت به رنگ ژئوتکستایل، می‌تواند دقت بازرسی را بیشتر کند.

درزهای عرضی به هیچ وجه نباید در یک امتداد افقی قرار گیرند. فاصله افقی بین درزهای عرضی حداقل ۱٫۵ متر می‌باشد (شکل ۲۲-۳). این امر در هنگام استفاده از چند لایه ژئوسنتتیک در ارتفاع نیز باید رعایت گردد، به طوری که درزهای عرضی لایه‌های متوالی در ارتفاع، نباید در یک امتداد قایم واقع شوند.

نوع دیگری از پیوستگی که با بست‌های فلزی انجام می‌شود در شکل ۲۲-۴ نشان داده شده است. این نوع پیوستگی برای کارهای موقت مناسب بوده و عملکرد سازه‌ای ندارد. بست‌های بکار رفته باید در برابر عوامل محیطی مقاوم باشند.



شکل ۲۲- ۳ حداقل فاصله افقی درزهای عرضی نسبت به هم

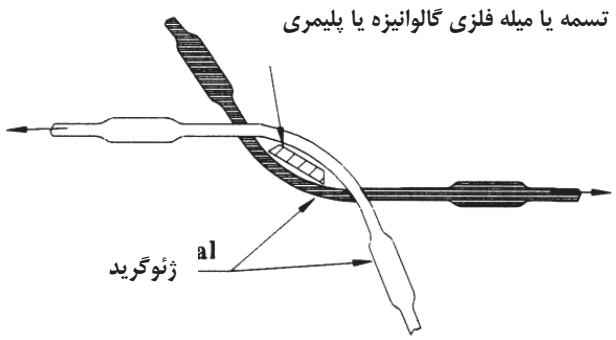


شکل ۲۲- ۴ پیوستگی دو قطعه ژئوسنتتیک مجاور با بست‌های فلزی

درزهای ژئوگریدها، ژئونت‌ها و ژئوسنتتیک‌هایی از این قبیل نیز با همپوشانی و دوخت، قابل اتصال بوده و نکات مربوط به ژئوتکستایل‌ها، در مورد این مصالح نیز صادق است. شکل ۲۲-۵ نوعی دوخت به وسیله تسمه یا میله فلزی گالوانیزه یا پلیمری را در این نوع ژئوسنتتیک‌ها نشان می‌دهد.

در سایر ژئوسنتتیک‌ها، روش‌های درزگیری، متفاوت و بسته به نوع و کاربرد آن تعیین می‌شود. مثلاً ژئوممبرین‌ها با روش‌های حرارتی یا شیمیایی درزگیری می‌شوند. به هر حال نوع پیوستگی، دوخت، ابزار و تیم اجرایی که معمولاً توسط تولیدکننده، پیشنهاد می‌شود باید در مشخصات فنی خصوصی پروژه قید شود. چنانچه دوخت در محل پروژه انجام خواهد شد، پیمانکار باید یک نمونه ۲ متری از دوخت را قبل از نصب و اجرا، در اختیار مهندس مشاور به منظور آزمایش‌های لازم قرار دهد. چنانچه دوخت در محل کارخانه انجام می‌شود،

مهندس مشاور باید به صورت تصادفی از دوخت‌های کارخانه‌ای طاقه‌ها، نمونه‌برداری انجام دهد. در هر حال مقاومت کششی درز دوخته شده نباید از ۹۰ درصد مقاومت مشخصه طراحی برای ژئوتکستایل کمتر باشد.



شکل ۲۲- ۵ اتصال با تسمه یا میله فلزی گالوانیزه یا پلیمری در ژئوگرید

۲۲-۳ مشخصات ژئوتکستایل‌ها در راه‌سازی

الیاف استفاده شده در ژئوتکستایل و نخ مورد استفاده برای درزها، باید حداقل ۹۵٪ از پلی الفین‌ها یا پلی استر با زنجیره پلیمری بلند تشکیل شده باشد.

در پروژه‌های راه‌سازی حاوی ژئوسنتتیک‌ها، بارهای حین اجرا در انتخاب ژئوتکستایل از اهمیت برخوردارند. جدول ۲۲-۳ طبقه‌بندی ژئوتکستایل‌ها را براساس میزان مقاومت آن‌ها در برابر تنش‌های حین اجرا ارایه می‌دهد. این طبقه‌بندی در استاندارد AASHTO M288 ارایه شده است. بسته به میزان شرایط اجرا و احتمال آسیب دیدن ژئوتکستایل در حین نصب و اجرا، برای شرایط سخت و خشن از رده یک و برای شرایط متوسط و عادی از رده‌های دو و سه استفاده می‌شود. لازم به ذکر است ژئوتکستایل‌های مصرفی در هر رده و با هر نوع کاربری باید از مصالح پلیمری اولیه (غیر بازیافتی) تولید شده باشند. استفاده از ژئوتکستایل تولیدی با مصالح بازیافتی در هر شرایطی ممنوع می باشد. در انتخاب رده ژئوتکستایل باید به جزییات فنی ارایه شده در بخش ۲۲-۶-۱ نیز توجه شود.

جدول ۲۲-۳ طبقه‌بندی ژئوتکستایل‌ها براساس قابلیت‌های مورد نیاز در حین اجرا (AASHTO M288)

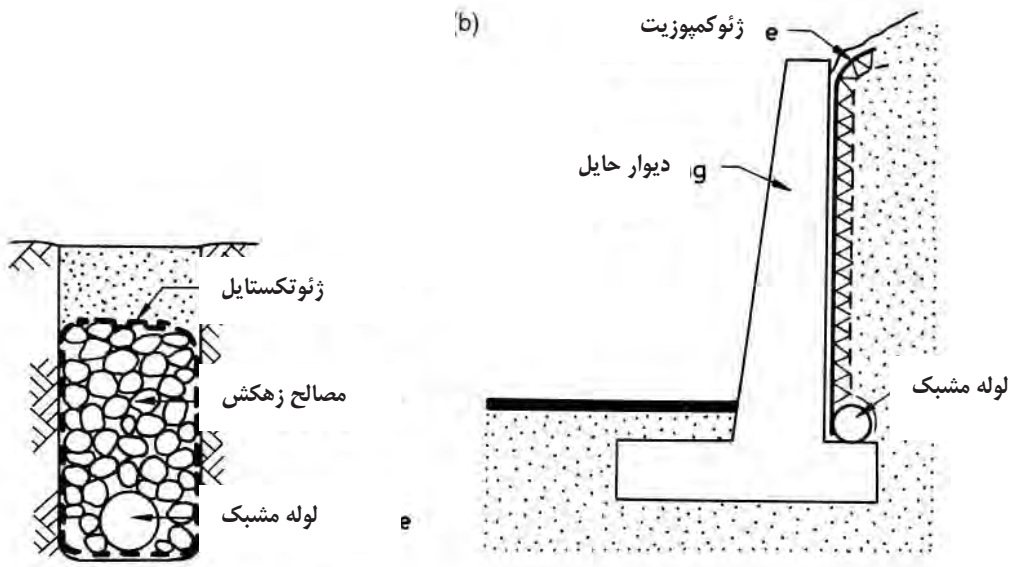
مشخصه	روش آزمایش ASTM	واحد	رده ۱		رده ۲		رده ۳	
			تغییر طول		تغییر طول		تغییر طول	
			<۵۰٪	≥۵۰٪	<۵۰٪	≥۵۰٪	<۵۰٪	≥۵۰٪
مقاومت در برابر گسیختگی	D4632	N	۱۴۰۰	۹۰۰	۱۱۰۰	۷۰۰	۸۰۰	۵۰۰
مقاومت درز دوخته شده	D4632	N	۱۲۶۰	۸۱۰	۹۹۰	۶۳۰	۷۲۰	۴۵۰
مقاومت در برابر پارگی	D4533	N	۵۰۰	۳۵۰	۴۰۰*	۲۵۰	۳۰۰	۱۸۰
مقاومت در برابر سوراخ شدن (پانچ)	D4833	N	۵۰۰	۳۵۰	۴۰۰	۲۵۰	۳۰۰	۱۸۰
مقاومت در برابر شکافتگی	D3786	kPa	۳۵۰۰	۱۷۰۰	۲۷۰۰	۱۳۰۰	۲۱۰۰	۹۵۰
قابلیت گذردهی (ψ) جدول ۲۲-۴	D4491	Sec^{-1}	مقادیر حداقل مربوط به این سه مشخصه، بستگی به عملکرد مورد انتظار از ژئوتکستایل داشته و در بخش‌های مربوطه، ارایه شده است.					
اندازه ظاهری روزنه- جدول ۲۲-۴	D4751	mm						
مقاومت در برابر اشعه مضر	D4355	٪						

* مقدار حداقل برای ژئوتکستایل بافته شدهٔ تک رشته‌ای[1]، N۲۵۰ است.

۲۲-۴ فیلتراسیون و زهکشی

برای عملکرد فیلتراسیون، عمدتاً از ژئوتکستایل استفاده می‌شود. در این عملکرد، ژئوتکستایل از حرکت ذرات خاک در اثر جریان آب و ورود آنها به سیستم زهکشی، جلوگیری می‌کند. جریان آب در بیشتر موارد، عمود بر صفحه ژئوتکستایل می‌باشد. در شرایطی که آب در دو جهت عمود بر صفحه و موازی با صفحه ژئوسنتتیک جریان داشته باشد، ژئوکمپوزیت عملکرد بهتری خواهد داشت. شکل ۲۲-۶ نمونه‌ای از عملکرد فیلتراسیون و زهکشی را برای ژئوسنتتیک‌ها نشان می‌دهد. توضیحات بخش ۱۱-۵-۲ و شکل‌های فصل یازدهم نیز در همین ارتباط می‌باشند.

1. Woven Monofilament Geotextile



عملکرد زهکشی ژئوکمپوزیت در دیوار حایل

عملکرد فیلتراسیون ژئوتکستایل در کانال زهکشی

شکل ۲۲- ۶ نمونه‌ای از عملکرد فیلتراسیون و زهکشی ژئوسنتتیک‌ها

۲۲-۴-۱ انتخاب ژئوتکستایل

ژئوتکستایل مصرفی در عملکرد فیلتراسیون باید از مصالح پلیمری اولیه (غیر بازیافتی) ساخته شده باشد و دارای حداقل مشخصات مکانیکی رده دو در جدول ۲۲-۳ باشد. استفاده از ژئوتکستایل‌های بافته از نوارهای مسطح (ژئوتکستایل ورقه‌ای چاک‌خورده)[1] مجاز نمی‌باشد. مشخصات فیزیکی ژئوتکستایل در عملکرد فیلتراسیون، متناسب با شرایط جریان و مصالح خاکی موجود، از جدول ۲۲-۴ تعیین می‌شود.

۲۲-۴-۲ نحوه اجرا

- ژئوتکستایل‌ها نباید به منظور اجرای مراحل بعدی کار، بیش از ۷ روز (یک هفته) به صورت پهن شده و در معرض آسیب‌های محیطی و تابش نور خورشید قرار گیرند.

1. Woven Slit Film Geotextile

- خاکبرداری باید مطابق با نقشه‌ها و طوری انجام پذیرد که حفرات بزرگ در دیواره و کف کانال یا ترانشه ایجاد نشود. ضمن آنکه سطحی صاف و عاری از هرگونه پستی و بلندی، مصالح واریزه‌ای و نخاله‌ای برای نصب ژئوتکستایل آماده شود.
- در کاربردهای زهکشی نباید هنگام نصب، ژئوتکستایل تحت کشش قرار گیرد. ضمن آنکه باید فاقد هرگونه چین و چروک باشد. بین ژئوتکستایل و زمین طبیعی نباید هیچ حفره‌ای وجود داشته باشد. طاقه‌های متوالی باید حداقل ۳۰۰ میلی‌متر همپوشانی داشته باشند، به طوری که صفحه واقـع در بالادست جریان روی صفحه پایین دست جریان قرار گیرد. در صورت وجـود شرایط سخت و بحرانی در سیستم‌های زهکشی از قبیل جریان‌های هیدرولیکی بالا یا بارگذاری سنگین (کانال عمیق)، از همپوشانی بیشتر از ۳۰۰ میلی‌متر تا ۶۰۰ میلی‌متر استفاده شود.
- امتداد نصب ژئوتکستایل‌ها باید در جهت جریان آب باشد. در صورت نصب ژئوتکستایل در سیستم زهکشی روسازی‌ها، امتداد نصب در جهت راه خواهد بود.

جدول ۲۲-۴ مشخصات ژئوتکستایل در عملکرد فیلتراسیون

۱- حفاظت خاک (مقاومت در برابر رگاب)[1]		
نوع خاک	جریان دایمی	جریان غیر دایمی (در صورت امکان جابجایی ژئوتکستایل)
خاک با کمتر از ۵۰٪ عبوری از الک شماره ۲۰۰	$AOS^{2} \leq B\ D_{85}$ $C_u \leq ۲$ یا $C_u \geq ۸$: $B = ۱$ $۲ \leq C_u \leq ۴$: $B = ۰/۵\ C_u$ $۴ \leq C_u \leq ۸$: $B = ۸ / C_u$	$AOS \leq ۰/۵\ D_{85}$
خاک با بیش از ۵۰٪ عبوری از الک شماره ۲۰۰	بافته: $AOS \leq D_{85}$ نبافته: $AOS \leq ۱/۸\ D_{85}$	$AOS \leq ۰/۵\ D_{85}$
خاک چسبنده (PI >۷)	$AOS \leq ۰/۳$ mm	
۲- معیارهای نفوذپذیری و گذردهی[3]		
شرایط بحرانی	$k_{geo} \geq ۱۰\ k_{soil}$	
شرایط عادی	$k_{geo} \geq k_{soil}$	
خاک با کمتر از ۱۵٪ عبوری از الک شماره ۲۰۰	$\psi \geq ۰/۵\ sec^{-1}$	
خاک با مقدار عبوری از الک شماره ۲۰۰ بین ۱۵٪ تا ۵۰٪	$\psi \geq ۰/۲\ sec^{-1}$	
خاک با بیش از ۵۰٪ عبوری از الک شماره ۲۰۰	$\psi \geq ۰/۱\ sec^{-1}$	
۳- معیارهای انسداد[4]		
الف- شرایط بحرانی: پس از انتخاب مشخصات براساس بندهای ۱، ۲ و ۳-ب، آزمایش فیلتراسیون خاک- ژئوتکستایل انجام پذیرد (ASTM D5101 , ASTM D5567).		
ب- شرایط عادی:		
- انتخاب مشخصات براساس آزمایش فیلتراسیون خاک- ژئوتکستایل انجام پذیرد.		
- برای $C_u > ۳$: $AOS \geq ۳\ D_{15}$		
- برای $C_u \leq ۳$: ژئوتکستایل با ابعاد حداکثر روزنه که از قسمت ۱ بدست می‌آید، انتخاب شود.		
- خاک با کمتر از ۵٪ عبوری از الک شماره ۲۰۰	بافته: نسبت سطح باز، بیش از ۱۰٪ باشد.	نبافته: نسبت تخلخل، بیش از ۷۰٪ باشد.
- خاک با بیش از ۵٪ عبوری از الک شماره ۲۰۰	بافته: نسبت سطح باز، بیش از ۴٪ باشد.	نبافته: نسبت تخلخل، بیش از ۵۰٪ باشد.
* در خاک ریزدانه، بخش عبوری از الک شماره ۴ (۴/۷۵ میلی‌متر) ملاک تعیین مشخصات فیزیکی ژئوتکستایل می‌باشد.		

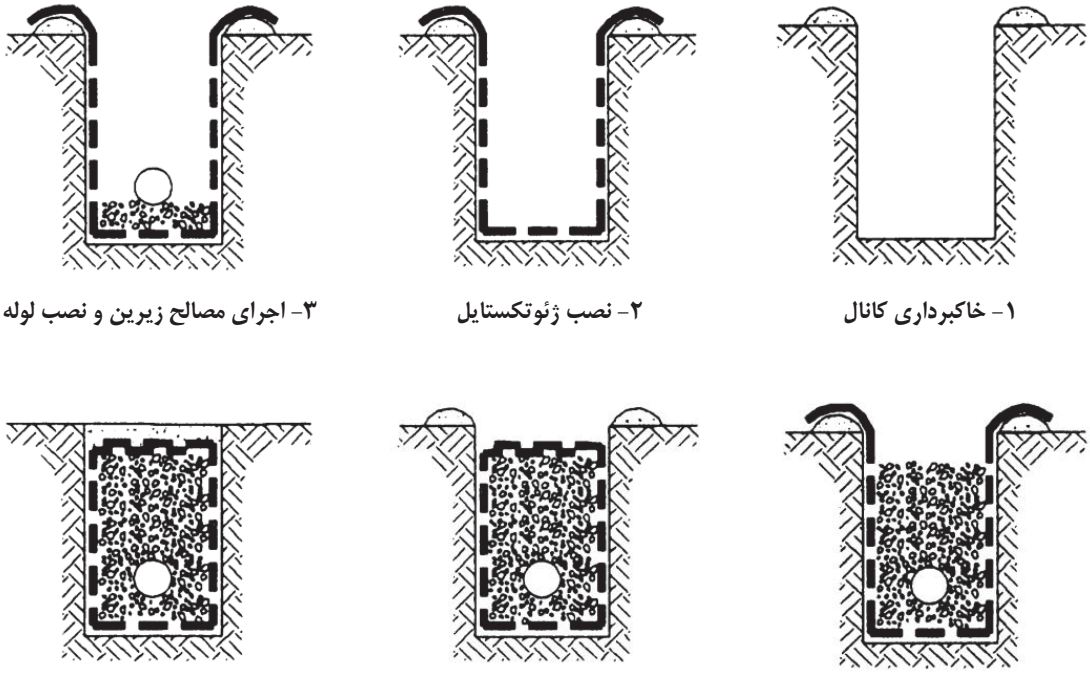
- در کانال‌های زهکشی با عرض بیش از ۳۰۰ میلی‌متر، پس از پر کردن کانال با مصالح زهکش و تراکم آن، دو لبه ژئوتکستایل به روی کانال خوابانده می‌شود به طوری که همپوشانی حداقل ۳۰۰ میلی‌متر را در بالای کانال، تامین کند. چنانچه عرض کانال بین ۱۰۰ الی ۳۰۰ میلی‌متر باشد، مقدار همپوشانی در بالای کانال، برابر عرض کانال خواهد بود. در کانال‌های با عرض کمتر از ۱۰۰

1. Soil Retention (Piping Resistance)
2. Apparent Opening Size
3. Permeability/Permittivity
4. Clogging

میلی‌متر، لبه‌های ژئوتکستایل در محل همپوشانی باید به هم دوخته شده یا با روش‌های دیگر، به هم متصل شود. در هر حالت، درزها باید توسط مهندس مشاور بازدید و تایید گردند.

- در صورت آسیب دیدن ژئوتکستایل در هنگام نصب یا ریختن و تراکم مصالح زهکش، یک قطعه ژئوتکستایل روی قسمت آسیب دیده باید طوری قرار گیرد که ۳۰۰ میلی‌متر از اطراف آن را پوشش دهد.
- از آلوده شدن ژئوتکستایل در هنگام نصب با مواد زیان‌آور، باید اجتناب شود.
- بلافاصله بعد از نصب ژئوتکستایل، باید کانال با مصالح زهکش، پر و متراکم شود. ضخامت کوبیده نشده لایه اول (روی ژئوتکستایل) باید ۳۰ سانتی‌متر باشد. چنانچه نصب لوله مشبک در داخل کانال مد نظر باشد، یک لایه مصالح زهکش به ضخامت حداقل ۱۰ سانتی‌متر در زیر لوله باید اجرا شود.
- برای جلوگیری از نشست‌های زیاد در هنگام زهکشی، مصالح زهکش باید با تراکم حداقل ۹۵٪ کوبیده شود، مگر آنکه مسائل سازه‌ای، میزان تراکم کمتری را توجیه کند. در صورت نیاز به میزان تراکم بیشتر، باید از ژئوتکستایل رده یک در جدول ۲۲-۳ استفاده شود.
- پس از اتمام عملیات تراکم مصالح زهکش و اعمال همپوشانی ژئوتکستایل بر روی آن، خاکریزی و تراکم لایه‌های بالای کانال انجام می‌شود.

شکل ۲۲-۷، مراحل اجرای یک کانال زهکشی با استفاده از ژئوتکستایل را نشان می‌دهد.



۱- خاکبرداری کانال

۲- نصب ژئوتکستایل

۳- اجرای مصالح زیرین و نصب لوله

۴- ریختن مصالح زهکش و تراکم

۵- همپوشانی لبه‌های ژئوتکستایل

۶- اجرای خاکریز باقیمانده روی کانال و تراکم

شکل ۲۲- ۷ مراحل اجرای یک کانال زهکشی با استفاده از ژئوتکستایل

۲۲-۴-۳ ژئوکمپوزیت‌ها

ژئوکمپوزیت‌ها شامل هسته‌ای صفحه‌ای با قابلیت بالای عبوردهی آب و پوسته‌ای از ژئوتکستایل در یکطرف یا دو طرف برای عملکرد فیلتراسیون و زهکشی می‌باشند.

چنانچه زهکشی در صفحه ژئوسنتتیک مطرح باشد، ژئوکمپوزیت‌ها از عملکرد بهتری برخوردار هستند. در انتخاب ژئوکمپوزیت، سه اصل اساسی زیر باید مد نظر قرار گیرد:

- عملکرد مناسب فیلتراسیون
- قابلیت و ظرفیت مناسب زهکشی با توجه به شرایط بارگذاری واقعی (رابطه ۲۲-۱)
- ملاحظات عملکردی سیستم

به دلیل تاثیر قابل توجه تنش‌های فشاری ناشی از بارگذاری بر روی قابلیت زهکشی این محصولات، توجه به بارگذاری شرایط واقعی پروژه در هنگام طراحی و اجرا، ضروری است. بدین منظور قبل از استفاده از

ژئوکامپوزیت‌ها باید مشخصات فنی محصول تولیدی بخصوص جداول یا نمودارهای تغییر دبی زهکشی ژئوکمپوزیت در تنش‌های فشاری ناشی از بارگذاری به مشاور طرح ارایه شده و تایید فنی قبل از اجرا اخذ شود.

$$q = k_p iA = k_p iBt \qquad (۱-۲۲)$$

q: دبی جریان (مترمکعب بر ثانیه)

k_p: ضریب زهکشی صفحه‌ای ژئوسنتتیک (متر بر ثانیه- آزمایش ASTM D4716)

B: عرض ژئوسنتتیک (متر)

t: ضخامت ژئوسنتتیک (متر)

i: گرادیان هیدرولیکی (متر بر متر)

۲۲-۴-۳-۱ ملاحظات اجرای ژئوکمپوزیت‌ها

در اجرای ژئوکمپوزیت‌ها، علاوه بر موارد بخش ۲۲-۴-۲، موارد ذیل باید رعایت شود:

- در محل اتصال طاقه‌های مجاور یا متوالی، همپوشانی توسط رویهٔ ژئوتکستایلی و باید با دقت انجام شود. همچنین ژئوتکستایل پس از اتمام هسته زهکشی مقداری امتداد می‌یابد تا از ورود مصالح خاکی از قسمت‌های انتهایی به داخل بخش زهکشی، جلوگیری شود.
- جزییات نحوه امتداد و ورود ژئوکمپوزیت به درون سیستم زهکش اصلی، باید در نقشه‌ها و مشخصات، قید شود.

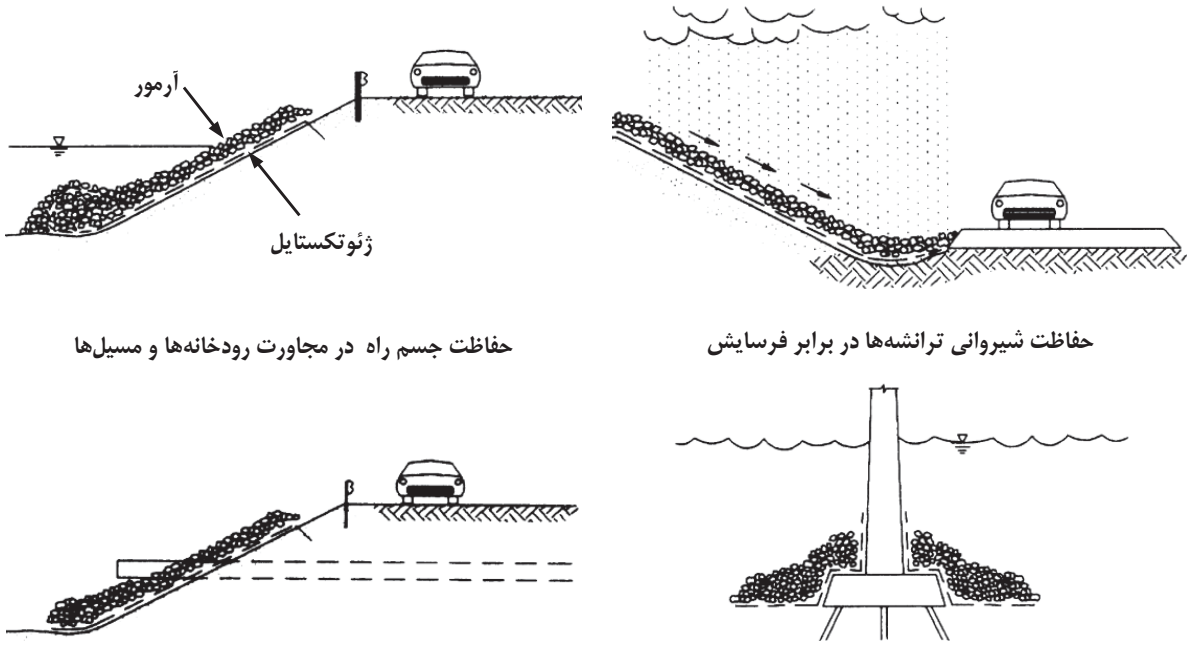
۲۲-۵ کنترل فرسایش

از ژئوتکستایل‌ها در کنترل فرسایش خاک از طریق نصب در زیر آرمورها[1] مانند سنگ‌چین‌ها[2] یا سایر سیستم‌های کنترل فرسایش[3]، استفاده می‌شود (شکل ۲۲-۸).

حصیرها[4] نوع دیگری از ژئوسنتتیک‌ها هستند که به منظور کنترل فرسایش استفاده می‌شوند. این محصولات، خاک، رطوبت و بذر را محصور کرده و باعث رشد گیاهان می‌شوند. سیستم بدون آرمور، برای

1. Armors
2. Riprap Revetments
3. Erosion Control Systems
4. Mats

شرایط موقت رواناب (عموماً تا ۲ ساعت)، توصیه می‌شود و در شرایط سخت، باید از آرمور استفاده شود. بطور کلی، حصیرها در ترکیب با پوشش سخت، عملکرد مطلوب‌تری را ارایه می‌دهند.



حفاظت شیروانی ترانشه‌ها در برابر فرسایش

حفاظت جسم راه در مجاورت رودخانه‌ها و مسیل‌ها

حفاظت در برابر آب‌شستگی

حفاظت جسم راه در محل ابنیه

شکل ۲۲- ۸ نمونه‌هایی از کاربرد ژئوتکستایل در کنترل فرسایش

۲۲-۵-۱ انتخاب ژئوتکستایل

روش طراحی و انتخاب ژئوتکستایل برای کنترل فرسایش، مشابه آنچه که در عملکرد زهکشی ارایه شد، می‌باشد. لیکن با توجه به اینکه نحوه اجرا و مصالح خاکی و سنگی مورد استفاده در سیستم کنترل فرسایش نسبت به سیستم زهکشی، شرایط سخت‌تری را برای ژئوتکستایل از نظر آسیب دیدگی فراهم می‌کند، لذا مشخصات مقاومتی بالاتری به شرح زیر، مورد نیاز می‌باشد.

- ژئوتکستایل‌های بافته شدهٔ تک رشته‌ای[1]، حداقل مشخصات مکانیکی رده دو و سایر ژئوتکستایل‌ها، حداقل مشخصات مکانیکی رده یک در جدول ۲۲-۳ را باید دارا باشند.

1. Woven Monofilament Geotextile

- ژئوتکستایل باید ۵۰ درصد مقاومت کششی خود را پس از ۵۰۰ ساعت قرارگیری در معرض اشعه فرابنفش، حفظ کند (آزمایش ASTM D4355).
- استفاده از ژئوتکستایل‌های بافته از نوارهای مسطح (ژئوتکستایل ورقه‌ای چاک‌خورده)[1] برای کنترل فرسایش، مجاز نمی‌باشد.
- مشخصات فیزیکی ژئوتکستایل برای حفظ عملکرد فیلتراسیون توام با کنترل فرسایش، متناسب با شرایط جریان و مصالح خاکی موجود، از جدول ۲۲-۴ تعیین می‌شود.
- چنانچه خاک موجود ناپایدار یا مستعد فرسایش باشد (مانند سیلت غیرچسبنده، یا رس‌های واگرا)، آزمایش محلی برای کارآمدی سیستم طراحی شده توصیه می‌شود.
- باید توجه کرد که بخشی از مساحت ژئوتکستایل در تماس مستقیم با قطعات آرمور، تحت فشار قرار گرفته و عملکرد زهکشی نخواهد داشت. لذا مساحت مفید جهت زهکشی کمتر از مساحت کل ژئوتکستایل خواهد بود.
- سنگ‌ها و بلوک‌های مورد استفاده در آرمور، باید در مقابل عوامل محیطی، تکان نخورده و به ژئوتکستایل آسیب وارد نکنند. چنانچه تکان‌هایی پیش‌بینی می‌شود، لازم است با توجه به شرایط پروژه، مقاومت سایش مورد نیاز (آزمایش ASTM D4886) در مشخصات فنی خصوصی پروژه، قید شود. کاهش در مشخصات مکانیکی و تراوایی ژئوتکستایل در اثر سایش مجاز نیست. مقدار مجاز کاهش در سایر مشخصات نیز باید در مشخصات خصوصی، قید شود.
- در صورت استفاده از ژئوتکستایل در کانال‌های میانه یا کناره راه به منظور کنترل فرسایش ناشی از جریان رواناب، می‌توان از حداقل‌های مشخصات ارایه شده در این بخش، استفاده کرد.

۲۲-۵-۲ نحوه اجرا

- ژئوتکستایل‌ها نباید به منظور اجرای مراحل بعدی کار، بیش از ۷ روز (یک هفته) به صورت پهن‌شده و در معرض آسیب‌های محیطی و تابش نور خورشید قرار گیرند.
- ژئوتکستایل باید مستقیما بر روی بستر شیب و بدون هیچ گونه چین و چروک پهن شده و مهار شود. نصب ژئوتکستایل باید به گونه‌ای انجام شود که پخش و اجرای مصالح آرمور، باعث ایجاد کشیدگی و

1. Woven Slit Film Geotextile

پارگی در آن نشود. همه چاله‌ها و حفرات موجود در سطح مورد نظر برای حفاظت، باید با مصالح مناسب، پر شوند. سنگ‌های بزرگ، خار و خاشاک، بوته‌ها و ریشه‌ها، واریزه‌ها، نخاله‌ها و سایر مصالح اضافی باید قبل از پهن شدن ژئوتکستایل، جمع‌آوری شوند.

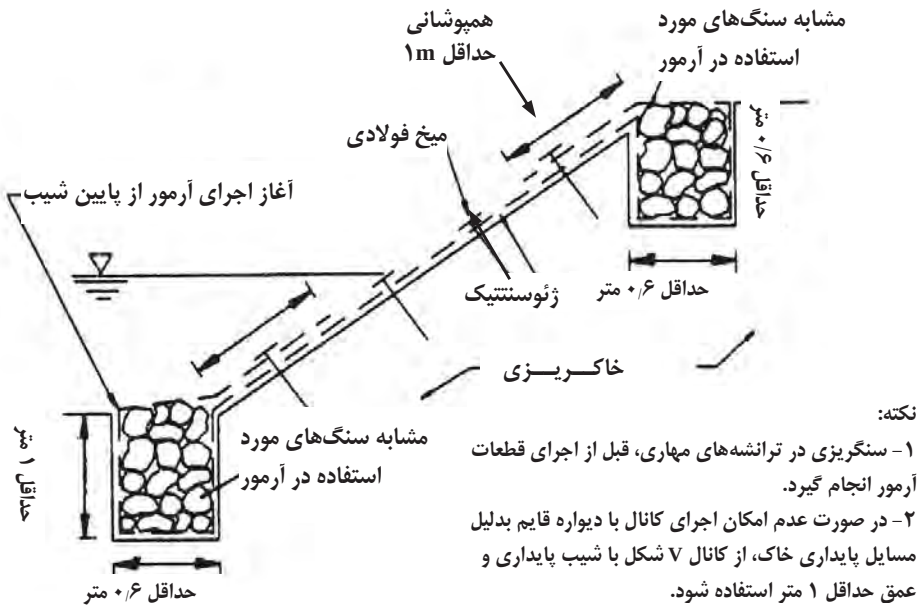
- ژئوتکستایل باید بدون اعمال کشش و در جهت پیش‌بینی شده جریان آب، پهن شود. طاقه‌های مجاور، حداقل ۳۰ سانتی‌متر باید همپوشانی داشته باشند. همپوشانی‌ها باید در جهت جریان آب بوده یا لایه بالای شیب، بر روی لایه پایین شیب قرار گیرد. به منظور جلوگیری از جابجا شدن ژئوتکستایل در محل همپوشانی‌ها در هنگام سنگ‌ریزی، از بست‌های فلزی یا میخ‌های فولادی در فواصل یک متری در طول درز، استفاده شود.
- برای مهار ژئوتکستایل و ثابت نگهداشتن آن در محل خود، از میخ‌های فولادی در فواصل مرکز به مرکز ۶۰ الی ۱۸۰ سانتی‌متری (بسته شرایط) استفاده می‌شود. بطور معمول، قطر میخ‌های فولادی ۵ میلی‌متر و طول آن‌ها، ۵۰ سانتی‌متر می‌باشد که در انتها دارای یک واشر به قطر ۴ سانتی‌متر است. در صورت نیاز و بسته به شرایط، می‌توان از ترانشه‌های مهاری ابتدا و انتها (بالا و پایین شیب) استفاده کرد (شکل ۲۲-۹).
- در صورت آسیب دیدن ژئوتکستایل، باید از یک قطعه پوششی سالم که یک متر از هر طرف، محل آسیب دیده را پوشش می‌دهد، استفاده کرد.
- آرمور روی ژئوتکستایل می‌تواند از مصالحی مانند مصالح سنگی، بسته‌های ماسه‌ای (کیسه‌های ساخته شده از ژئوتکستایل که از ماسه پرشده‌اند)، بلوک‌های بتنی، بسته‌های خاک و سیمان و غیره باشد. در هر حال، حداکثر ضخامت پوشش روی ژئوتکستایل باید به قدری باشد که باعث بریدگی یا پانچ در ژئوتکستایل نگردند.
- حین اجرای آرمور، قطعات نباید بر روی ژئوتکستایل حرکت داده شوند (به ویژه در محل همپوشانی ها و در خلاف جهت آن).
- اجرای آرمور باید از پنجه شیب شروع و به سمت بالای شیب و ترجیحا از وسط پروژه به سمت طرفین، توسعه یافته و طوری انجام شود که باعث کشش و پارگی در ژئوتکستایل نشود.

- سنگ‌های بزرگ و سنگین (حداکثر ۱۰۰ کیلوگرم)، نباید از ارتفاعی بیش از ۳۰ سانتی‌متر بر روی ژئوتکستایل، رها شوند. این ارتفاع برای مصالح کوچکتر، نباید از یک متر بیشتر باشد. همچنین سنگ های سنگین‌تر از ۴۰ کیلوگرم، نباید از بالای شیب به پایین، غلتیده شوند.
- سنگ‌های سنگین‌تر از ۱۰۰ کیلوگرم، باید به آرامی روی ژئوتکستایل، گذاشته شده و نباید روی آن، رها شوند. مگر آنکه رهاسازی از ارتفاع کمتر از ۳۰ سانتی‌متر به صورت نمونه، اجرا و از عدم آسیب‌دیدگی ژئوتکستایل در اثر عملیات مربوطه، اطمینان حاصل شود.
- به‌طور کلی در صورت نیاز، باید از یک لایه مصالح بعنوان ضربه‌گیر استفاده شود.
- در شرایط کار در زیر آب، پهن کردن ژئوتکستایل و اجرای مصالح آرمور، باید در یک روز انجام شود.
- پس از عملیات جاگذاری قطعات بزرگ آرمور، کلیه حفرات باید با مصالح کوچکتر، پر شوند تا از پوشش کامل ژئوتکستایل، اطمینان حاصل شود.
- اجرای آرمور باید طوری انجام پذیرد که شیب مورد نظر به صورت پروفیله و همزمان با جاگذاری قطعات و مصالح، حاصل شود. پس از اتمام اجرای پوشش، تسطیح شیروانی بدلیل احتمال جابجایی قطعات آرمور و آسیب رساندن به ژئوتکستایل، مجاز نمی‌باشد.

شیب سیستم ژئوتکستایل- سنگریز جهت کنترل فرسایش می‌تواند حداکثر برابر زاویه اصطکاک ژئوتکستایل- خاک (برای شیب زمین طبیعی) یا ژئوتکستایل- سنگ (برای پوشش سنگی)، هر کدام که کمتر است، باشد (آزمایش ASTM D5321). توصیه می‌شود با توجه به ملاحظات هیدرولیکی و پایداری طولانی مدت، شیب‌های کمتری استفاده شود. در شیب‌های تندتر از ۲/۵ عمودی به ۱ افقی، تمهیدات ویژه‌ای از جمله موارد ذیل لازم است:

- احداث ترانشه‌های مهاری (شکل ۲۲-۹)
- پله‌بندی شیب و اجرای برم در فواصل و با ابعاد مناسب
- حذف میخ‌های فولادی در همپوشانی‌ها و اعمال مقادیر بیشتر همپوشانی
- آزادی کافی حرکت ژئوتکستایل در امتداد شیب (البته باید از ایجاد چین‌خوردگی نامنظم در ژئوتکستایل جلوگیری شود. زیرا باعث فرسایش در نقاط چین خوردگی خواهد شد)

مهندس مشاور حین اجرای آرمور، باید بر اجرای صحیح آن به طور دقیق نظارت کند. چنانچه قطعات سنگی بر روی ژئوتکستایل، بیش از ۱۵ سانتی‌متر جابجا شوند، باید قطعه مذکور برداشته شده و از سلامت ژئوتکستایل، اطمینان حاصل شود.



نکته:

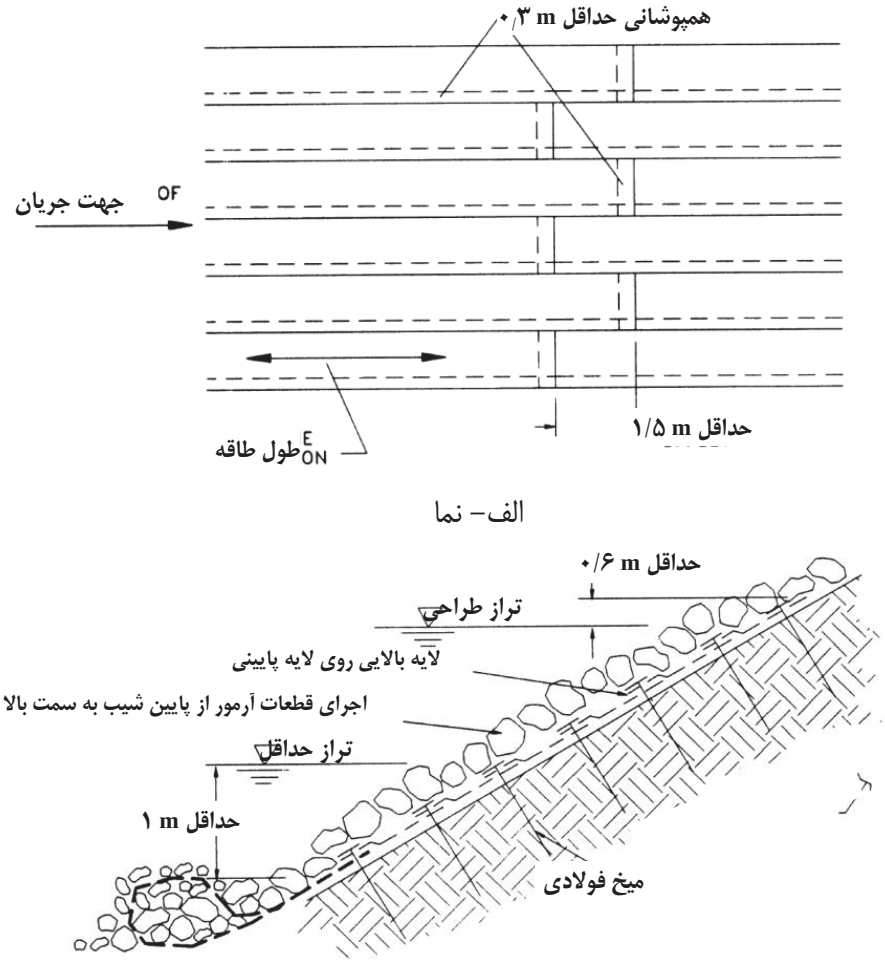
۱- سنگریزی در ترانشه‌های مهاری، قبل از اجرای قطعات آرمور انجام گیرد.

۲- در صورت عدم امکان اجرای کانال با دیواره قایم بدلیل مسایل پایداری خاک، از کانال V شکل با شیب پایداری و عمق حداقل ۱ متر استفاده شود.

شکل ۲۲- ۹ سیستم کنترل فرسایش با ترانشه‌های مهاری

در صورت لزوم و با تشخیص مهندس مشاور، پیمانکار موظف است روش اجرای پیشنهادی را برای اطمینان از صحت آن، در یک قطعه نمونه و بصورت آزمایشی اجرا نموده و در صورت مشاهده آسیب دیدگی در ژئوتکستایل، پیمانکار باید روش اجرای دیگری را پیشنهاد کند.

شکل ۲۲-۱۰ یک نمونه طرح حفاظت جسم راه در مجاورت رودخانه را نشان می‌دهد.



شکل ۲۲- ۱۰ نمونه طرح حفاظت جسم راه در مجاورت رودخانه

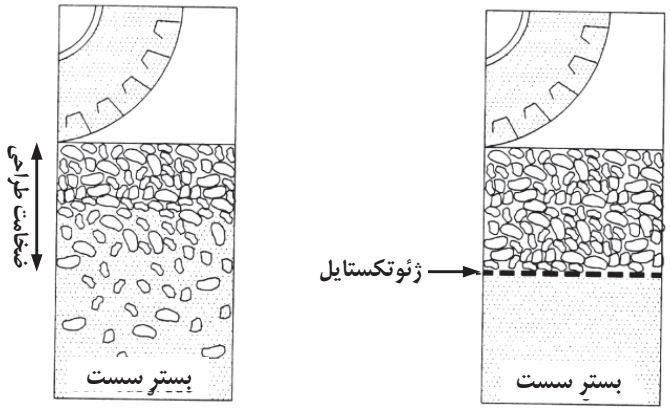
۲۲-۶ جداسازی و تثبیت در بستر راه

در عملکرد جداسازی، از ژئوسنتتیک‌ها که عموماً ژئوتکستایل یا ژئوکمپوزیت متشکل از ژئوتکستایل و ژئوگرید (ابعاد چمشه‌های ژئوگرید در هر جهت مسلح کننده ژئوگریدی کوچکتر از ۷/۵ سانتی‌متر باشد) می‌باشند، بین بستر و لایه‌های دانه‌ای جسم راه، استفاده می‌شود. در اینحالت ژئوسنتتیک از نفوذ مصالح دانه‌ای جسم راه به بستر راه یا از حرکت مصالح ریزدانه بستر راه به سمت لایه‌های بالایی جسم راه و اختلاط آن‌ها،

جلوگیری کرده و باعث حفظ عملکرد لایه‌های دانه‌ای اجرا شده، می‌شود (شکل ۲۲-۱۱). در این شرایط، عملکرد جداسازی برای ژئوتکستایل، عملکرد اصلی محسوب می‌شود.

علاوه بر آن در صورتی که بستر راه، سست باشد (به ویژه در شرایط اشباع)، قابلیت تسلیح ژئوسنتتیک‌ها می‌تواند عملکرد مقاومتی سیستم در مقابل بارگذاری ناشی از ترافیک را بهبود بخشد. ضمن آنکه در شرایط مرطوب و اشباع، عملکرد فیلتراسیون و زهکشی نیز قابل حصول است. استفاده از ژئوسنتتیک در این حالت، مشکلات اجرایی ناشی از بستر سست و اشباع را نیز می‌تواند تا حدودی، کاهش دهد.

به طور کلی استفاده از ژئوتکستایل در بستر راه، به منظور کاهش مشکلات اجرایی یا افزایش عمر جاده بوده و بهتر است ضخامت لایه‌های روسازی مورد نیاز بارگذاری ترافیک، به دلیل استفاده از ژئوتکستایل کاهش نیابد. چنانچه از ژئوگرید در زیر لایه‌های دانه‌ای جسم راه استفاده شود، می‌توان با استناد به محاسبات، کاهش حداقل ۱۰ الی ۲۰ درصدی در ضخامت روسازی در نظر گرفت.



شکل ۲۲- ۱۱ مفهوم عملکرد جداسازی توسط ژئوتکستایل در بستر راه

عملکرد ژئوتکستایل بر اساس شرایط مقاومتی خاک بستر در جدول ۲۲-۵ ارایه شده است. برای بسترهای با CBR اشباع بیش از ۳ درصد، به ندرت از ژئوتکستایل‌ها برای تثبیت بستر، استفاده می‌شود.

جدول ۲۲-۵ عملکرد ژئوتکستایل در شرایط مختلف خاک بستر

سی بی آر بستر (٪- اشباع)	عملکرد
۳-۲	فیلتراسیون و گاها، جداسازی
۲-۱	فیلتراسیون، جداسازی و گاهاً، تثبیت
۱>	هر سه مورد

برای استفاده از ژئوگرید در بستر باید به شرح زیر عمل گردد:

- سی‌بی‌آر بستر کمتر از ۱ درصد: تثبیت بستر در این شرایط، عملکرد اولیه ژئوسنتتیک محسوب می‌شود. بدین منظور یک لایه ژئوتکستایل نبافته مستقیماً روی بستر ضعیف و یک لایه ژئوگرید دوسویه بر روی آن نصب می‌گردد. ضخامت محاسباتی لایه‌های روسازی در این شرایط نباید کاهش یابد.
- سی‌بی‌آر بستر بین ۱ الی ۲ درصد: در این شرایط، تثبیت بستر و تسلیح لایه‌های دانه‌ای روسازی، تواماً حاصل می‌شود. به طوری که مشابه حالت فوق، یک لایه ژئوتکستایل نبافته مستقیماً روی بستر و یک لایه ژئوگرید دوسویه بر روی آن نصب می‌گردد. ضخامت لایه‌های روسازی در این شرایط و براساس محاسبات، قابل کاهش است.
- سی‌بی‌آر بستر بین ۲ الی ۳ درصد: استفاده از ژئوتکستایل در اینحالت، در صورت ریزدانه بودن مصالح بستر، مفید خواهد بود. نصب ژئوگرید نیز عملکرد تسلیح لایه‌های دانه‌ای روسازی را ارائه خواهد کرد. ضخامت لایه‌های روسازی در این شرایط نیز براساس محاسبات، قابل کاهش است.
- سی‌بی‌آر بستر بیش از ۳ درصد: استفاده از ژئوگرید در این شرایط به منظور تسلیح لایه‌های دانه‌ای روسازی، با توجیه اقتصادی تمام عمر پروژه انجام می‌گیرد.

۲۲-۶-۱ انتخاب ژئوسنتتیک

معمولا تنش‌های وارده به سیستم ژئوتکستایل- بستر در زمان احداث راه، بیش از زمان بهره‌برداری است. از اینرو انتخاب ژئوتکستایل در راه‌سازی، باید بگونه‌ای انجام شود که تنش‌های پیش‌بینی شده حین احداث را تحمل نماید. جدول ۲۲-۶ می‌تواند بعنوان راهنما برای انتخاب رده ژئوتکستایل براساس شدت سختی اجرا، استفاده شود. ژئوتکستایل انتخابی باید از نظر زهکشی و فیلتراسیون نیز مشخصات مورد نیاز را مطابق با جدول ۲۲-۷، تامین کند. به منظور بهره‌مندی از عملکرد مطلوب زهکشی و فیلتراسیون، شرایط بخش ۲۲-۴ باید رعایت شود.

جدول ۲۲-۶ انتخاب رده ژئوتکستایل براساس شرایط اجرا در عملکرد جداسازی و تثبیت بستر

سی بی آر بستر (اشباع)		<۱		۱-۳		>۳	
فشار وارده به زمین ناشی ازماشین‌آلات اجرایی (kPa)		<۳۵۰	>۳۵۰	<۳۵۰	>۳۵۰	<۳۵۰	>۳۵۰
ضخامت مصالح دانه‌ای روی ژئوتکستایل[1] (mm)	۱۰۰[2]	–	–	۱	۱	۲	۲
	۱۵۰	–	–	۱	۱	۲	۲
	۳۰۰	۱	–	۲	۲	۲	۲
	۴۵۰	۲	۱	۲	۲	۲	۲

۱. اندازه بزرگترین سنگدانه از نصف ضخامت لایه، بزرگتر نباشد.

۲. برای مسیرهای کم تردد با ترافیک متوسط روزانه کمتر از ۲۰۰ وسیله نقلیه (ADT<۲۰۰ veh/day).

جدول ۲۲-۷ مشخصات زهکشی و فیلتراسیون ژئوتکستایل در عملکرد جداسازی و تثبیت بستر

مشخصه	روش آزمایش	واحد	مقدار	
ابعاد ظاهری روزنه (AOS)	ASTM D4751	mm	خاک با کمتر از ۵۰٪ عبوری از الک شماره ۲۰۰ :	<۰/۶
			خاک با بیش از ۵۰٪ عبوری از الک شماره ۲۰۰ :	<۰/۳
قابلیت گذردهی	ASTM D4491	Sec *	خاک با کمتر از ۱۵٪ عبوری از الک شماره ۲۰۰ :	۰/۵
			خاک با مقدار عبوری از الک شماره ۲۰۰ بین ۱۵٪ تا ۵۰٪ :	۰/۲
			خاک با بیش از ۵۰٪ عبوری از الک شماره ۲۰۰ :	۰/۱
دوام در برابر اشعه مضر	ASTM D4355	% (باقیمانده پس از ۵۰۰ ساعت)	۵۰	

* قابلیت زهکشی ژئوتکستایل، در هر حالت باید بیش از قابلیت زهکشی خاک باشد.

مشخصات مهم ژئوگرید که باید در انتخاب آن، مد نظر قرار گیرد عبارتند از: اندازه چشمه‌های شبکه، نسبت سطح باز به کل سطح ظاهری، مدول کششی در کرنش صفر، ۲ و ۵ درصد، مقاومت کششی نوار منفرد و عریض، مقاومت کششی محل اتصال نوارها، ضخامت و سختی ژئوگرید. مشخصات فوق با توجه به شرایط پروژه باید در مشخصات فنی خصوصی و گزارش توجیه فنی و اقتصادی توسط مهندس مشاور قید شده و در هیچ حالتی کمتر از مقادیر جدول ۲۲-۸ نباشد.

جدول ۲۲-۸ مقادیر حداقل مشخصات ژئوگرید دو سویه برای عملکرد تثبیت بستر

مشخصه	روش آزمایش	واحد	مقدار (حداقل)
وزن واحد سطح	ASTM D5261	g/m^2	۳۰۰
مقاومت کششی نوار عریض در کرنش ۵٪ [1]	ASTM D6637	kN/m	۱۰ × ۲۰
مقاومت کششی نهایی نوار عریض [2]			۲۰ × ۳۰

در پروژه‌های بزرگ، ژئوتکستایل‌ها و ژئوگریدها باید در قطعات نمونه و تحت شرایط پروژه، آزمایش شوند. این آزمایش‌ها با ماشین‌آلات و روش‌های اجرایی مختلف، انجام می‌شود تا بهترین روش و شرایط اجرا جهت نصب صحیح ژئوسنتیک، به طوری که در شرایط اجرا آسیب نبیند، انتخاب شود.

۲۲-۶-۲ نحوه اجرا

- ژئوسنتتیک‌ها نباید به منظور اجرای مراحل بعدی کار، بیش از ۷ روز (یک هفته) بصورت پهن شده و در معرض آسیب‌های محیطی و تابش نور خورشید قرار گیرند.
- قبل از پهن کردن ژئوسنتتیک، بستر طبیعی باید به نحو مناسبی آماده شود. ریشه‌کنی و بوته‌کنی، برداشت خاک نباتی و تسطیح بستر با خاکبرداری یا خاکریزی و زدودن محل نصب ژئوسنتتیک از هر گونه مصالح یا مواد اضافی، مراحل آماده سازی بستر را تشکیل می‌دهد.
- نقاط ضعیف و دارای خاک نامناسب در بستر، در مراحل آماده‌سازی باید شناسایی و با خاک مناسب جایگزین و متراکم گردند.
- ژئوتکستایل باید به صورت صاف و بدون چین و چروک، مستقیماً بر روی بستر آماده شده و در جهت رفت و آمد ماشین‌آلات اجرایی، پهن شود. ژئوتکستایل نباید در عرض مقطع راه، کشیده شود.
- در صورتی که ضخامت کل طراحی برای لایه‌های دانه‌ای، کمتر از ۳۵ سانتی‌متر باشد، ژئوگرید مستقیماً بر روی بستر و بعد از ژئوتکستایل پهن می‌شود. در غیر این صورت باید در وسط لایه‌های دانه‌ای پهن گردد.

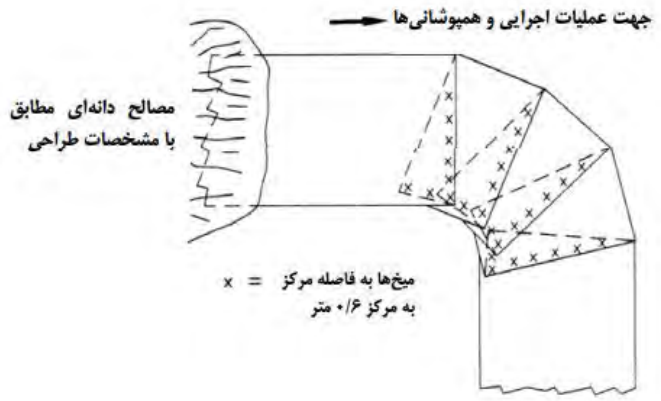
1. Wide Width Strip Tensile Strength at 5% Strain
2. Wide Width Strip Ultimate Tensile Strength

- ژئوسنتتیک‌های مجاور باید همپوشانی داشته و مطابق با جدول ۲۲-۹، به هم متصل گردند. جهت همپوشانی‌ها باید مطابق نقشه‌ها و مشخصات باشد. در محل همپوشانی‌ها می‌توان از میخ یا بست-های فولادی جهت ثابت نگهداشتن لبه‌ها در محل خود استفاده کرد. طول میخ‌ها ۲۵ الی ۳۰ سانتی‌متر و فواصل آن‌ها برای درزهای طولی، برابر ۱۵متر و برای درزهای عرضی برابر ۱٫۵ متر می-باشد.

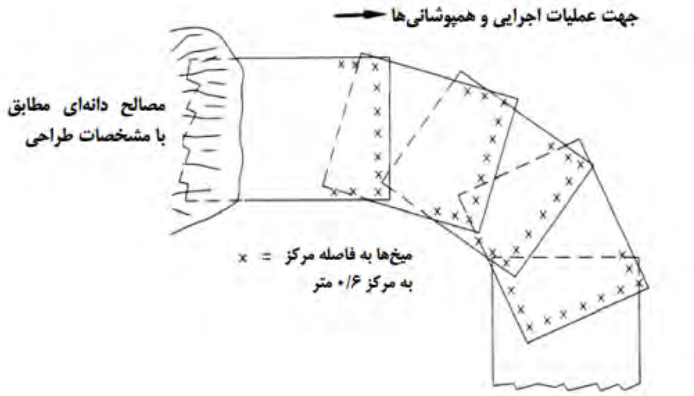
جدول ۲۲-۹ مقادیر حداقل همپوشانی

سی بی آر بستر	حداقل همپوشانی
>۲	۴۵۰-۳۰۰ میلی‌متر
۲-۱	۹۰۰-۶۰۰ میلی‌متر
۱-۰٫۵	۹۰۰ میلی‌متر یا دوخت درز*
<۰٫۵	دوخت درز*
درزهای عرضی (انتهای طاقه‌ها)	۹۰۰ میلی‌متر یا دوخت درز*
* دوخت درز مطابق با بند ۲۲-۲-۵ انجام شود.	

- عرض طاقه‌ها باید طوری انتخاب شوند که محل درزهای طولی در لبه سواره‌رو یا در محل انتهای شانه قرار گیرد. از قرار گرفتن درز طولی در زیر چرخ وسایل نقلیه، اجتناب شود. همپوشانی در محل انتهای طاقه‌ها نیز باید در جهت اجرای مصالح رویه باشد (طاقه قبلی، روی طاقه بعدی).
- در محل قوس‌های افقی، تاخوردگی‌ها یا برش‌هایی در ژئوسنتتیک به منظور تبعیت از قوس ایجاد می‌شود. همپوشانی در این نقاط باید در جهت رفت و آمد ماشین‌آلات اجرایی بوده و با میخ‌ها یا بست‌های فولادی در فواصل ۰٫۶ متری، ثابت گردند (شکل ۲۲-۱۲).



شکل ۲۲-۱۲-الف نصب ژئوسنتتیک در قوس از طریق تاخوردگی



شکل ۲۲- ۱۲-ب نصب ژئوسنتتیک در قوس از طریق ایجاد برش

- قبل از اجرای مصالح خاکی روی ژئوسنتتیک، بازدید لازم توسط مهندس مشاور بمنظور اطمینان از عدم آسیب‌دیدگی در آن انجام پذیرد. در صورت مشاهده نقطه آسیب‌دیده، باید با یک قطعه ژئوسنتتیک با لحاظ همپوشانی‌های جدول ۲۲-۹، نقطه مذکور را ترمیم کرد یا بخش آسیب دیده را تعویض نمود.
- ریختن، پخش و تراکم مصالح خاکی باید از لبه انتهایی ژئوسنتتیک یا از محلی که قبلاً لایه خاکی اجرا شده است، انجام شود.
- ماشین‌آلات راه‌سازی به هیچوجه نباید مستقیماً روی ژئوسنتتیک حرکت کنند. در تمام مراحل احداث، لایه خاکی با حداقل ضخامت مورد نیاز باید بین چرخ ماشین‌آلات اجرایی و ژئوسنتتیک وجود داشته

باشد. بهتر است ضخامت کوبیده نشده لایه اول خاکریزی بر روی ژئوسنتتیک، ۳۰ سانتی‌متر یا برابر ضخامت کل طراحی باشد (هر کدام که کمتر است).

- ماشین‌آلات نصب ژئوسنتتیک در صورت مقاومت کافی بستر، می‌توانند با تایید مهندس مشاور به منظور عملیات نصب بر روی ژئوسنتتیک بدون پوشش خاکی تردد نمایند.
- در بسترهای بسیار سست، باید از ماشین‌آلات راه‌سازی سبکتری برای لایه اول استفاده شود. ابعاد و وزن ماشین‌آلات باید طوری انتخاب شود که مقدار نشست‌ها در لایه اول خاکریزی از ۷۵ میلی‌متر تجاوز نکند.
- دور زدن و چرخش ماشین‌آلات بر روی لایه اول خاکریزی، مجاز نمی‌باشد. اجرای لایه‌های خاکی و تردد ماشین‌آلات باید موازی محور راه باشد.
- در بسترهای بسیار سست (سی‌بی‌آر کمتر از یک درصد)، به محض ریختن مصالح خاکی، عملیات پخش باید انجام گیرد تا از نشست‌های موضعی بدلیل بار ناشی از توده مصالح، جلوگیری شود.
- هر گونه نشست در مراحل اجرا باید با مصالح خاکریزی، پر شده و متراکم شود.
- در صورت آسیب دیدن ژئوسنتتیک در حین اجرای عملیات خاکی، باید از قطعه سالم با همپوشانی‌های لازم بر روی قسمت تخریب شده استفاده شود ضمن آنکه روش اجرا، باید بررسی و اصلاح شود (مثلا افزایش ضخامت لایه اول یا کاهش فشار ناشی از ماشین‌آلات).
- در پروژه‌های تثبیت، تراکم با ماشین‌آلات ویبره‌ای برای لایه اول خاکریزی، توصیه نمی‌شود. در بسترهای نسبتاً مقاوم، لایه‌های خاکریزی شامل لایه اول، باید تا رسیدن به تراکم مشخصه، کوبیده شوند. اما در بسترهای بسیار سست که امکان تراکم تا حد مشخصه وجود ندارد، می‌توان تا ۵٪ از میزان تراکم لایه اول خاکریزی، کم کرد.
- چنانچه ژئوسنتتیک به بخشی از راه که احداث شده است برسد، باید آن را تا لبه بخش قدیمی امتداد و به نحو مناسبی مهار کرد. در صورتیکه در بخش قدیمی راه، ژئوسنتتیک استفاده شده باشد، بهتر است با حفاری لبه راه، ژئوسنتتیک قدیمی و جدید را همپوشانی داد و به روش دوختن یا با استفاده از میخ یا بست‌های فولادی، به هم متصل کرد.
- ضخامت کوبیده نشده لایه‌های بعدی، تابع فصل دوم بوده و باید تا تراکم مشخصه، کوبیده شوند.

۲۲-۶-۳ درزها

در عملکرد جداسازی، چنانچه نیاز به دوختن درزها باشد (مطابق با جدول ۲۲-۹)، علاوه بر مطالب بخش ۲۲-۲-۵، توجه به موارد زیر، الزامی است:

- مقاومت کششی درز دوخته شده باید برابر با مقاومت کششی ژئوتکستایل مصرفی باشد. در صورتی که درزهای دوخته شده مقاومت کششی مورد نیاز را تامین نمی‌کند، باید از ژئوتکستایل با مشخصات بالاتری استفاده کرد تا مقاومت مورد نیاز در درز، تامین شود.
- جنس نخ مصرفی باید از نظر مقاومت و دوام، مانند الیاف مصرفی در ژئوتکستایل باشد.
- درز نوع J با کوک‌های قفل و بستی (شکل ۲۲-۱) ارجحیت دارند. ضمن آنکه دو ردیف دوخت با فاصله ۵ تا ۱۰ میلی‌متر از اطمینان بیشتری برخوردار بوده و توصیه می‌شود.
- در ژئوگریدها، لبه‌های محل درزها بوسیله ابزاری از قبیل کابل، لوله پلاستیکی یا فلزی و... مطابق نمونه ارایه شده در شکل ۲۲-۵، به هم متصل می‌شوند. ضوابط مربوط به مشخصات مقاومتی در درزهای دوخته شده یا همپوشانی‌های ژئوتکستایل‌ها برای ژئوگریدها هم قابل استفاده است. در این خصوص می‌توان اطلاعات تکمیلی را از تولید کننده دریافت کرد.

۲۲-۷ روکش

برای افزایش عمر و بهبود عملکرد روکش‌های آسفالتی[1]، از سه نوع ژئوسنتتیک شامل ژئوتکستایل آسفالتی، ژئوگرید آسفالتی و ژئوکمپوزیت‌های آسفالتی استفاده می‌شود.

ژئوتکستایل‌های مخصوص آسفالتی در صورت نصب صحیح می‌توانند از دو طریق زیر باعث افزایش قابل توجه عمر روسازی گردند:

- عملکرد به عنوان مانع نفوذ رطوبت[2] و ممانعت از نفوذ رطوبت سطحی به لایه‌های زیرین
- عملکرد به عنوان میان لایه جاذب تنش[3] و به تعویق انداختن ترک‌های انعکاسی[4]

1. A.C Overlays
2. Moisture Barrier
3. Stress-Relieving Interlayer
4. Reflection Cracks

ژئوگریدهای مخصوص آسفالتی که از پلیمرهای سخت یا الیاف شیشه تهیه می‌شوند، بدلیل مدول بالا و سختی زیاد، عملکرد مسلح‌سازی دارند.

ژئوکمپوزیت‌های مخصوص آسفالتی متشکل از ژئوتکستایل و الیاف مسلح کننده‌ای که روی آن دوخته شده است، هر سه عملکرد آب‌بندی، جذب تنش و مسلح‌سازی را بصورت همزمان، ارایه می‌دهند. ژئوگریدهایی که به منظور راحتی نصب، لایه نازکی از ژئوتکستایل به همراه دارند که در حین اجرا، ذوب شده و از بین می‌رود، ژئوکمپوزیت محسوب نمی‌شوند.

ممبرین‌های مسلح نیز که از یک لایه ممبرین نفوذ ناپذیر به همراه شبکه مسلح‌کننده در یک یا هر دو طرف تشکیل می‌شوند، بسته به ساختار آن، عملکرد جذب تنش یا تسلیح را به همراه آب‌بندی، ایفاء می‌کنند. به این ژئوکمپوزیت‌ها، میان لایه جاذب تنش ممبرینی[1] نیز اطلاق می‌شود.

۲۲-۷-۱ دامنه کاربرد

۲۲-۷-۱-۱ روسازی بتن آسفالتی[2]

خرابی: عملکرد ژئوتکستایل‌ها در مقابل ترک‌های خستگی ناشی از بارگذاری ترافیکی (مثلا خرابی پوست سوسماری) با شدت کم تا متوسط، مناسب بوده و برای ترک‌های حرارتی یا خرابی‌های ناشی از ضعف لایه‌های زیرین یا بستر بدلیل تغییر مکان‌های افقی و عمودی زیاد، قابلیت خوبی ندارند. ترک‌های پوست سوسماری با شدت و وسعت زیاد، نشان دهنده ضعف سازه‌ای روسازی بوده و نیاز به بهسازی عمقی دارد.

در صورتی که عرض ترک‌ها کمتر از ۳ میلی‌متر باشند، عملکرد بهینه حاصل خواهد شد. از اینرو بهترین زمان برای اجرای روکش به همراه لایه ژئوسنتتیک، زمانی است که ترک‌ها، مویی بوده و در مراحل اولیه شکل‌گیری هستند.

ضخامت روکش: با افزایش ضخامت روکش، ژئوسنتتیک نیز عملکرد بهتری ارایه می‌دهد. ضخامت روکش نباید کمتر از ۴ سانتی‌متر باشد.

1. Stress Absorbing Membrane Interlayer (SAMI)
2. Asphalt Concrete Pavement (AC)

نوع روکش: در صورت آب‌بندی توسط ژئوسنتتیک، روکش باید از آسفالت گرم با دانه‌بندی توپر بوده و به نحوی متراکم شود که کمترین نفوذپذیری را در برابر آب‌های سطحی داشته باشد. چنانچه به هر دلیلی استفاده از آسفالت‌های نفوذپذیر (مثلاً آسفالت با دانه‌بندی باز) به همراه لایه آب‌بند مد نظر باشد، باید برای جلوگیری از خرابی‌های ناشی از نفوذ و ماندن آب (بویژه در فصول یخبندان) در داخل روکش، تمهیدات زهکشی لازم به منظور هدایت رطوبت به بیرون از آن، اندیشیده شود.

۲۲-۷-۱-۲ روسازی بتن سیمان پرتلند[1]

از ژئوسنتتیک با پلیمر مخصوص (دارای قابلیت استفاده در بتن تازه، برای مثال ژئوگرید پلی استر قابل استفاده در بتن تازه نمی باشد) می‌توان در روکش آسفالتی رویه‌های بتنی[2] به شرح زیر استفاده کرد:

- روسازی بتنی مسلح پیوسته[3] : به طور عموم، ژئوسنتتیک‌ها در این مورد کاربرد چندانی ندارند. در برخی موارد خاص می‌توان در محل خرابی‌های روسازی بتنی مسلح پیوسته، از ژئوسنتتیک‌ها استفاده کرد.
- روسازی بتنی مسلح[4] یا غیرمسلح درزدار[5] : ژئوتکستایل در جلوگیری از گسترش ترک‌های انعکاسی ناشی از درزهای روسازی بتنی درزدار، قابلیت چندانی ندارد. در این مورد باید از ژئوگریدهای با سختی بالا که به شکل نواری بر روی درزها پهن می‌شوند، استفاده شود. همچنین بررسی‌های لازم در خصوص تغییر مکان‌های افقی و قایم درزها برای تشخیص نیاز به بهسازی آن‌ها باید انجام شود.

۲۲-۷-۲ انتخاب ژئوتکستایل

ژئوتکستایل مصرفی در روکش‌های آسفالتی، باید قابلیت تحمل حرارت و جذب و نگهداری قیر را داشته باشد تا عملکرد آب‌بندی و جذب تنش را ایفا کند. عموماً ژئوتکستایل‌های مصرفی در روکش‌های آسفالتی، از نوع بافته نشده سوزنی با وزن واحد سطح ۱۲۰ الی ۲۰۰ گرم بر مترمربع هستند. این گروه از

1. Portland Cement Concrete Pavement (PCC)
2. AC/PCC Overlay
3. Continuously Reinforced Concrete Pavement (CRCP)
4. Jointed Reinforced Concrete Pavement (JRCP)
5. Jointed Plane Concrete Pavement (JPCP)

ژئوتکستایل‌ها، پرمنفذ بوده و قابلیت مطلوبی در جذب و نگهداری قیر دارند. از ژئوتکستایل‌های بافته نشده حرارتی نازک نیز می‌توان در روکش‌های آسفالتی، استفاده کرد.

با افزایش وزن واحد سطح ژئوتکستایل، میزان جذب قیر نیز بیشتر شده و عملکرد ژئوتکستایل بهتر می‌شود. استفاده از ژئوتکستایل‌های با وزن واحد سطح بیش از ۲۰۰ گرم بر متر مربع، به‌دلیل کاهش و اختلال در پیوستگی روکش با سیستم روسازی قدیمی، مجاز نمی‌باشد.

ژئوتکستایل مصرفی، باید حداقل مشخصات ارایه شده در جدول ۲۲-۱۰ را تامین کند. ضمن آنکه انتخاب ژئوتکستایل باید بر اساس شرایط روسازی موجود، میزان تغییر شکل اندازه‌گیری شده در آن و ترافیک طراحی، انجام شود. جدول ۲۲-۱۱ به عنوان راهنمای انتخاب ژئوتکستایل، ارایه شده است.

جدول ۲۲-۱۰ حداقل مشخصات مورد نیاز برای ژئوتکستایل آسفالتی

مشخصات	روش آزمایش	واحد	مقدار
مقاومت گسیختگی	ASTM D4632	N	۴۵۰
وزن واحد سطح	ASTM D3776	g/m^2	۱۴۰
کرنش نهایی	ASTM D4632	٪	≥ ۵۰
جذب قیر	ASTM D6140	g/m^2	*
نقطه ذوب	ASTM D276	°C	۱۵۰

* مقدار قیر مورد نیاز برای اشباع ژئوتکستایل باید توسط تولید کننده، تعیین و ارایه گردد. این مقدار، برابر مقدار قیر برای پخش نمی‌باشد (رجوع شود به بخش ۲۲-۷-۳-۱).

جدول ۲۲-۱۱ راهنمای انتخاب ژئوتکستایل آسفالتی

رده ژئوتکستایل	وضعیت رویه	ترافیک طرح (ESAL)
سبک (تا ۱۴۰ g/m^2)	خوب[۱]	≤ ۵۰ ۰۰۰
متوسط (تا ۱۷۰ g/m^2)	متوسط[۲]	≤ ۲ ۰۰۰ ۰۰۰
سنگین (تا ۲۰۰ g/m^2)	نامناسب[۳]	> ۲ ۰۰۰ ۰۰۰

۱. خوب: ترک‌های طولی و سوسماری با شدت و وسعت کم و ناهمواری‌های خفیف در سطح رویه.
۲. متوسط: ترک‌های طولی و سوسماری با شدت و وسعت متوسط و ناهمواری‌های متوسط در سطح رویه.
۲. نامناسب: ترک‌های طولی و سوسماری با شدت و وسعت زیاد و ناهمواری‌های شدید در سطح رویه.

۲۲-۷-۳ مصالح آب‌بند[1]

۲۲-۷-۳-۱ ژئوگرید

ژئوگریدها فاقد سطح کافی برای جذب قیر و چسبیدن به رویه قدیمی هستند، از اینرو استفاده از تک‌کت با هدف آب‌بندی یا اتصال ژئوگرید به رویه قدیمی، انجام نمی‌شود. در این حالت از روش‌های دیگری برای چسباندن ژئوگرید به رویه قدیمی (مانند سوزن‌های فولادی) استفاده می‌شود. برخی از ژئوگریدها نیز پوششی از مواد چسباننده دارند که در حین اجرا باعث اتصال ژئوگرید به رویه قدیمی می‌شود. روش اتصال ژئوگرید به رویه قدیمی باید توسط تولید کننده، ارایه و در مشخصات فنی خصوصی پروژه، قید شده باشد.

صرف نظر از نحوه اتصال ژئوگرید به رویه قدیمی، نحوه پیوستگی لایه روکش به رویه قدیمی باید مد نظر باشد. به این منظور اجرای یک لایه تک‌کت به مقدار و مشخصاتی که در حالت بدون استفاده از ژئوگرید باید اجرا شود، لازم است. در صورت اجرای یک لایه رگلاژی قبل از نصب ژئوگرید، می‌توان لایه تک‌کت را با تایید مهندس مشاور، اجرا نکرد.

۲۲-۷-۴ نحوه اجرا

۲۲-۷-۴-۱ آماده سازی بستر

- سطح رویه باید کاملاً تمیز و عاری از هرگونه برآمدگی یا مواد زاید، رطوبت، خاک، روغن، گیاهان و ... باشد. به این منظور باید از جاروهای مخصوص این کار یا هوای فشرده استفاده شود.
- ترک‌های با عرض ۳ میلی‌متر و بیشتر، باید با روش و مصالح مناسب، تمیز و درزگیری شوند. ترک‌های عریض (بیش از ۱۰ میلی‌متر) و چاله‌ها به روش مناسب و مورد تایید مهندس مشاور، ترمیم و لکه‌گیری شوند. درزگیری‌ها و لکه‌گیری‌ها باید قبل از پهن کردن ژئوتکستایل، عمل آمده و سفت شوند. سطح درزگیری‌ها و ترمیم‌ها، باید نسبت به رویه اطراف، همسطح بوده و برآمدگی نداشته باشد.

1. Sealant Materials

- در صورتی که دلیل اصلی خرابی‌ها، ضعف بستر یا لایه‌های زیرین می‌باشد، باید ابتدا بهسازی عمقی انجام و سپس استفاده از ژئوسنتتیک در روکش، بررسی شود.
- در صورتی که سطح رویه قدیمی، ناهموار و نامناسب باشد، باید قبل از نصب ژئوسنتتیک، یک لایه آسفالت رگلاژی جهت تامین رویه صاف و هموار، اجرا گردد. به طور کلی اجرای لایه رگلاژی در زیر ژئوگریدها، کارایی ژئوگرید را به میزان قابل توجهی افزایش می‌دهد.
- در صورت اجرای روکش آسفالتی روی روسازی بتنی، اجرای یک لایه نازک آسفالتی قبل از پهن کردن ژئوسنتتیک، ضروری است.

۲۲-۷-۴-۲ اجرای اندود سطحی

- مقدار پخش قیر به هیچ وجه نباید نسبت به مقدار تعیین شده در مشخصات فنی خصوصی، کمتر باشد. اندازه‌گیری مقدار پخش قیر باید توسط صفحات با وزن مشخص که در مسیر ماشین قیرپاش قرار داده می‌شود، کنترل گردد.
- در شرایط نامساعد جوی (با نظر مهندس مشاور)، پهن کردن ژئوتکستایل و اجرای اندود سطحی، مجاز نمی‌باشد. درجه حرارت هوا و روسازی باید به اندازه‌ای باشد که قیر پخش شده، بتواند ژئوتکستایل را در محل خود ثابت نگهدارد. دمای حداقل مجاز محیط برای اجرای قیر خالص، ۱۰ درجه سانتی‌گراد و برای اجرای امولسیون‌ها، ۱۵ درجه سانتی‌گراد می‌باشد.
- میزان پخش قیر باید به اندازه‌ای باشد که مقدار مورد نیاز جذب ژئوتکستایل را تامین نمود و آنرا به لایه‌های پایینی و بالایی، بچسباند. چنانچه از امولسیون استفاده می‌شود، مقدار بیشتری برای جبران آب موجود در سیستم، باید پخش شود (به نسبت قیر موجود در امولسیون). سیستم پخش قیر باید ماشینی بوده و از اسپری دستی یا قلم مو بجز در موارد استثنایی (مانند محل هپوشانی‌ها یا درزهای روسازی‌های بتنی) نباید استفاده شود.
- درجه حرارت قیر خالص در هنگام پخش برای یکنواختی، باید حداقل ۱۴۵ درجه سانتی‌گراد و به منظور عدم آسیب‌رسانی به ژئوتکستایل، حداکثر ۱۶۰ درجه سانتی‌گراد باشد. مقدار حداقل دما برای قیر امولسیونی، ۵۵ درجه سانتی‌گراد می‌باشد.
- عرض پخش قیر باید به اندازه ۱۵ سانتی‌متر از عرض ژئوتکستایل در هر طرف، بیشتر باشد.
- پخش قیر باید پیوسته بوده و نباید در هیچ نقطه‌ای بمنظور عبور و مرور، قطع شود.

- چنانچه در برخی از نقاط، مقدار قیر بیش از مقدار تعیین شده باشد، باید قیر اضافی جمع شود.
- در صورت استفاده از امولسیون، رقیق کردن آن با آب، مجاز نمی‌باشد. همچنین باید قبل از نصب ژئوسنتتیک یا اجرای روکش، عمل‌آوری شده و به عبارت دیگر، هیچ رطوبتی در سطح رویه نباید مشاهده شود.

۲۲-۷-۴-۳ نصب ژئوسنتتیک

- هسته طاقه‌های ژئوسنتتیک باید به اندازه کافی محکم باشد تا از خم شدن طاقه و تا خوردگی‌های ماندگار در ژئوسنتتیک به هنگام بلند کردن، حمل و نصب، اجتناب شود.
- ژئوسنتتیک قبل از اینکه قیر سرد شده و چسبناکی خود را از دست بدهد، باید بدون چین و چروک بر روی آن پهن شود. درجه حرارت قیر خالص پخش شده در هنگام نصب ژئوسنتتیک باید بین ۸۰ تا ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد باشد. رویه پرزدار ژئوتکستایل یا سمت مسلح شده ژئوکمپوزیت باید بر روی تک کت قرار گرفته و رویه صاف آن رو به بالا باشد.
- پهن کردن ژئوسنتتیک باید توسط ماشین‌آلات مخصوص انجام و پهن کردن دستی بجز در قطعات کوچک، مجاز نمی‌باشد.
- کشش اعمال شده در ژئوسنتتیک به منظور رفع چین و تاخوردگی‌ها، باید ملایم باشد. اعمال کشش زیاد باعث کاهش ضخامت ژئوسنتتیک شده و میزان جذب قیر آن را تحت تاثیر قرار می‌دهد. ایجاد کشش اولیه در ژئوگرید برای رسیدن به خاصیت مسلح‌سازی، لازم است.
- چین یا تاخوردگی‌ها با نظر مهندس ناظر، بریده شده (چاک خورده) و به طور صاف، روی هم قرار گیرند. در غیر این‌صورت باعث ایجاد ترک در روکش خواهند شد.
- برای حداکثر چسبناکی ژئوسنتتیک به رویه پایینی و جذب مناسب قیر بویژه در دماهای پایین هوا، از جاروب‌ها یا غلطک‌های چرخ لاستیکی استفاده می‌شود. این امر در شیب‌های تند طولی یا عرضی، نباید باعث لغزش یا جابجایی ژئوسنتتیک شود.
- در صورت استفاده از ژئوگرید، باید تمهیدات لازم جهت ثابت نگهداشتن آن در حین اجرا بر روی رویه قدیمی مانند استفاده از سوزن‌های فولادی یا مواد چسباننده، انجام شود. عملکرد ژئوکمپوزیت‌ها در این مورد به‌دلیل وجود ژئوتکستایل بعنوان بخشی از آن‌ها، بهتر بوده و مشابه ژئوتکستایل‌ها می‌باشد.

- در محل درزها، همپوشانی باید به قدری باشد که از پیوستگی درز اطمینان حاصل شود. حداکثر مقدار همپوشانی در ژئوتکستایل‌ها برابر ۱۵ سانتی‌متر است. این مقدار برای ژئوگریدها متفاوت بوده و توسط تولیدکننده باید ارایه شود. در درزهای عرضی، همپوشانی باید در جهت اجرای روکش باشد (بمنظور اجتناب از بلند شدن لایه ژئوتکستایل در هنگام عملیات روکش). با تشخیص مهندس مشاور، اجرای مجدد قیرپاشی در محل همپوشانی‌ها باید انجام پذیرد. ضمن آنکه باید دقت شود تا از تجمع قیر، اجتناب شود. این امر در محل چین‌خوردگی‌های اصلاح شده (برش خورده و صاف شده) که با مقداری همپوشانی همراه خواهد بود نیز باید رعایت شود.
- در صورتیکه عملیات اجرایی در خطوط عبوری مجاور بدلیل برقراری ترافیک، بطور همزمان انجام نمی‌شود، باید ۱۵ سانتی‌متر از ژئوسنتتیک به منظور اعمال همپوشانی با لایه مجاور، بدون روکش باقی بماند.
- عرض طاقه‌ها باید به اندازه‌ای باشد که درزهای طولی و اتلاف مصالح، حداقل باشد.
- بهتر است ژئوسنتتیک، تمام سطح ترک‌خورده را پوشش دهد. در صورت استفاده موضعی، باید ۶۰ سانتی‌متر از هر طرف ترک را پوشش دهد.
- نقاط آسیب دیده ژئوسنتتیک باید جدا و با قطعه سالم، جایگزین شود.
- در نقاطی که روزدگی قیر مشاهده می‌شود، باید ماسه‌پاشی انجام شود.
- عبور و مرور وسایل نقلیه غیر مرتبط با اجرای پروژه، مجاز نیست. ماشین‌آلات اجرایی در صورت لزوم و با سرعت پایین (حداکثر ۴۰ کیلومتر در ساعت) مجاز به تردد روی ژئوسنتتیک می‌باشند. همچنین از توقف طولانی، ترمز ناگهانی، دور زدن و حرکات چرخشی بر روی ژئوسنتتیک، حتی‌الامکان ممانعت شود.

۲۲-۷-۴-۴ اجرای روکش

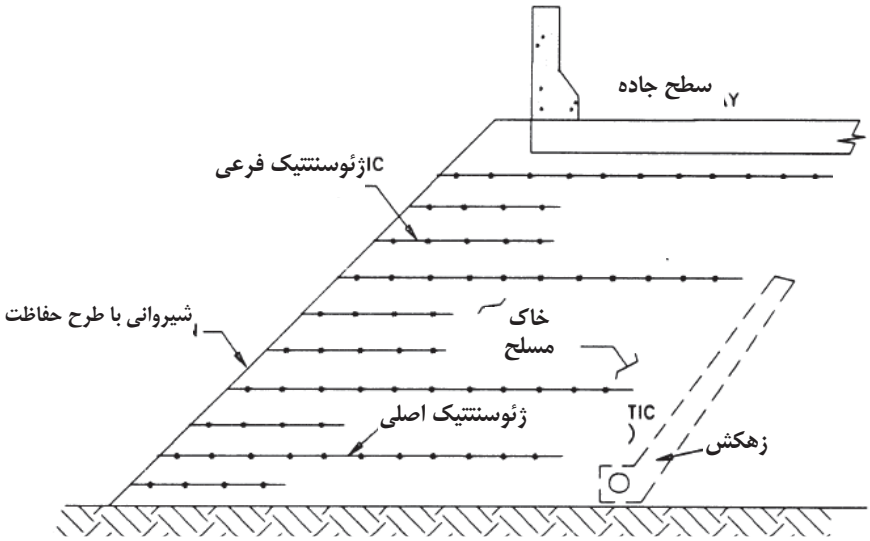
- اجرای روکش بلافاصله پس از نصب ژئوسنتتیک باید آغاز شود. دلیل این امر، تکمیل روند جذب قیر توسط ژئوتکستایل در اثر حرارت روکش و فشار ناشی از عملیات تراکم آن است. لایه روکش در کلیه قسمت‌هایی که ژئوسنتتیک نصب شده است، باید همان روز اجرا شود.

- برای پرهیز از خسارت به ژئوسنتتیک، درجه حرارت آسفالت نباید از ۱۶۰ درجه سانتی‌گراد بیشتر باشد. همچنین به منظور تامین حرارت مورد نیاز برای جذب قیر توسط ژئوتکستایل، درجه حرارت روکش نباید از ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد کمتر باشد.
- در روزهای گرم، به دلیل اشباع زود هنگام ژئوتکستایل (قبل از پخش آسفالت روکش)، چسبندگی بین ژئوتکستایل اشباع شده و چرخ ماشین‌آلات اجرای روکش، باعث بروز مشکلاتی از قبیل بلند شدن ژئوتکستایل می‌شود. در این مواقع پخش لایه نازکی از آسفالت گرم (یا ماسه شسته) در مسیر چرخ‌های ماشین‌آلات، لازم است. استفاده از ماسه به دلیل جذب بخشی از قیر پخش شده، باید به مقدار حداقل ممکن انجام شود. همچنین ماسه اضافه قبل از اجرای روکش، باید جمع‌آوری شود.
- چنانچه در اثر عواملی از قبیل بارندگی، سطح ژئوسنتتیک مرطوب باشد، اجرای روکش قبل از خشک شدن آن، مجاز نمی‌باشد. در غیر این صورت بخار ناشی از رطوبت حبس شده، مانع از چسبندگی بخش‌هایی از سیستم شده و باعث خرابی زودرس خواهد شد.
- در صورت اجرای روکش در بیش از یک لایه، نباید ضخامت لایه روی ژئوسنتتیک در هیچ نقطه از ۴ سانتی‌متر کمتر باشد.

۲۲-۸ شیب‌های خاکی مسلح[1]

گاهی اوقات به دلیل هزینه‌های زیاد تهیه مصالح، اجرا، خریداری اراضی حریم و ...، احداث خاکریز با شیب تند در خاکریزهای مرتفع از طریق سازه‌های خاک مسلح، مقرون به صرفه‌تر است. شیب‌های خاکی مسلح، نوعی از سازه‌های خاکی مسلح (تثبیت مکانیکی زمین[2]) هستند که در آن‌ها از مسلح‌کننده‌های صفحه‌ای (ژئوسنتتیک‌ها یا تسمه‌های فلزی) استفاده می‌شود. زاویه شیب در این پروژه‌ها، کمتر از ۷۰ درجه است. سازه‌های تثبیت مکانیکی زمین که در آن‌ها زاویه شیب بیش از ۷۰ درجه تا ۹۰ درجه است، در ردهٔ دیوارهای خاک مسلح[3] قرار می‌گیرند که در بخش بعد به آن‌ها اشاره شده است.

1. Reinforces Soil Slopes (RSS)
2. Mechanically Stabilized Earth (MSE) Structures
3. MSE Walls



شکل ۲۲-۱۳ شیب خاکی مسلح

۲۲-۸-۱ مشخصات مصالح

۲۲-۸-۱-۱ ژئوسنتتیک‌ها

از خانوادهٔ ژئوسنتتیک‌ها، دو گروه ژئوتکستایل‌ها و ژئوگریدها در احداث شیب‌ها و دیوارهای خاکی مسلح مورد استفاده قرار می‌گیرند. یکی از مزایای اصلی استفاده از ژئوسنتتیک‌ها در خاک‌های مسلح نسبت به تسمه‌های فلزی، طول عمر و دوام قابل توجه آنها حتی در خاک‌های نامناسب می‌باشد.

ژئوسنتتیک مصرفی باید قابلیت تامین قفل و بست کافی با مصالح خاکی را داشته باشد. در مسلح کننده‌های ژئوگریدی، برای تامین قفل و بست مناسب مسلح کننده ژئوگریدی و مصالح خاکی ابعاد چمشه‌های ژئوگرید در هر جهت مسلح کننده ژئوگریدی کوچکتر از ۷/۵ سانتی‌متر باشد. همچنین ژئوسنتتیک مصرفی باید در مقابل تنش‌های وارده ناشی از بارهای حین اجرا، مقاومت کافی داشته و در مقابل اشعه ماورای بنفش و عوامل شیمیایی و بیولوژیکی، آسیب‌پذیر نباشد. نفوذپذیری ژئوسنتتیک نیز باید بیش از نفوذپذیری خاکریز مصرفی باشد.

پارامترهای مقاومتی طراحی برای ژئوسنتتیک باید در اندرکنش با خاک و از طریق آزمایش‌های استاندارد و روش‌های تحلیلی مربوطه، تعیین شود. مقاومت کششی[1] ژئوسنتتیک مصرفی در اندرکنش با گروه‌های مختلف خاک، باید توسط تولید کننده محصول در جدولی مشابه جدول ۲۲-۱۲، برای بررسی کفایت مشخصات فنی محصول ارایه شود. مهندس مشاور موظف است مشخصات ارایه شده در جداول مذکور را با مشخصات قید شده در نقشه‌ها و مشخصات فنی خصوصی پروژه، مطابقت داده و تایید کند. ضمن آنکه نمونه‌برداری از محصولات جهت انجام آزمایش‌های، مطابق با بند ۲۲-۲-۲ باید انجام و نتایج مربوطه با مقادیر جدول ۲۲-۱۲ مطابقت داده شود. لازم به ذکر است انجام آزمایش تعیین پتانسیل خسارت حین اجرا (RF_{ID}) برای هر پروژه‌ای با مصالح خاکریز منتخب با نظر مهندس مشاور باید انجام پذیرد و پس از بررسی نتایج و اطمینان از این که مقدار آسیب وارده از سوی مصالح خاکی به مسلح کننده های ژئوسنتتیکی در محدوده قابل قبول آیین‌نامه‌ای باشد نسبت به شروع عملیات اجرایی اقدام شود. لازم بذکر است داده‌های ارایه شده از سوی تولید کننده در خصوص تعیین پتانسیل خسارت حین اجرا (RF_{ID}) نمی‌تواند جایگزین انجام آزمایش در محل پروژه شود. چنانچه مقدار ضریب کاهشی پتانسیل خسارت حین اجرا بزرگتر از ۱/۷ حاصل شود نتایج بیانگر آن است که ترکیب مصالح خاکریز منتخب پروژه و ژئوسنتتیک مناسب نبوده و نباید از این ترکیب استفاده شود. در مسلح کننده‌های ژئوگریدی تک سویه مورد استفاده در شیب و دیوارهای خاک مسلح فارغ از مقاومت کششی جهت اصلی، پیشنهاد می‌گردد حداقل مقاومت کششی (بدون اعمال ضرایب کاهشی) در جهت فرعی (عرضی) بزرگتر از۲۰ کیلونیوتن برمتر باشد. حداقل مشخصات مقاومت کششی در جهت فرعی باید توسط مهندس مشاور تعیین و در گزارش توجیه فنی و اقتصادی درج گردد.

1. Tensile Strength

جدول ۲۲-۱۲ جدول مشخصات ژئوسنتتیک در اندرکنش با خاک‌های مختلف

ژئوسنتتیک	مقاومت کششی نهایی* (T_{ult} -kN/m)	مقاومت کششی کاهش یافته بلند مدت (LTDS-kN/m))	نوع مصالح خاکی
A			GW-GM
A			SW-SM-SC
B			GW-GM
B			SW-SM-SC
* براساس مقادیر MARVs			

مقاومت کششی کاهش یافته بلند مدت (**LTDS**) باید با اعمال ضریب اطمینان برای آسیب‌های حین اجرا، شرایط شیمیایی و بیولوژیکی محیط و پتانسیل خزش پلیمر انتخاب شود. در صورت لزوم، ضرایب کاهشی برای درزها نیز باید لحاظ شود. مقاومت مجاز کششی بلند مدت از رابطه ۲۲-۲ محاسبه می‌شود.[۱]

$$\mathrm{LTDS} = \frac{T_{ult}}{RF} \qquad (۲-۲۲)$$

$$(RF = RF_{CR} \times RF_{ID} \times RF_{D})$$

LTDS: مقاومت کششی کاهش یافته بلند مدت[۲] (کیلونیوتن بر متر)

T_{ult}: مقاومت کششی نهایی[۳] (کیلونیوتن بر متر)

RF: ضریب کاهنده کلی[۴]

RF_{CR}: ضریب اطمینان کاهنده برای پتانسیل خزش[۵]

RF_{ID}: ضریب اطمینان کاهنده برای پتانسیل خسارت حین اجرا[۶]

RF_{D}: ضریب اطمینان کاهنده دوام برای آسیب‌های ناشی از عوامل شیمیایی و بیولوژیکی[۷]

---

۱. برای اطلاعات بیشتر در این زمینه به مراجع معتبر طراحی مراجعه گردد.

2. Long Term Tensile Strength (LTTS)
3. Ultimate Tensile Strength
4. Reduction Factor
5. Creep Reduction Factor
6. Installation Damage Reduction Factor
7. Durability Reduction Factor (For Chemical & Biological Degradation)

۲۲-۸-۱-۲ مصالح خاکی

بیشتر خاک‌های مجاز جهت مصرف در خاکریزهای غیر مسلح، در شیب‌های مسلح نیز می‌تواند استفاده شود. لیکن به منظور دوام بیشتر ژئوسنتتیک‌ها و همچنین مسائل اجرایی، استفاده از مصالح خاکی با کیفیت، توصیه می‌شود. جدول ۲۲-۱۳ محدوده انتخاب مصالح خاکی مناسب در خاکریزهای شیب مسلح، قابل ارایه شده است.

اندازه بزرگترین دانه مصالح خاکریزی تا ۱۰ سانتی‌متر می‌تواند افزایش یابد. در اینحالت عدم آسیب‌دیدگی ژئوسنتتیک در اثر استفاده از مصالح درشت‌دانه باید در قطعات آزمایشی، بررسی شود. ضمن آنکه در همه حال، باید مقدار ضریب کاهش مقاومت ژئوسنتتیک در اثر آسیب‌های حین اجرا که در طراحی مد نظر قرار گرفته است را در انتخاب ابعاد و میزان تیزگوشه بودن سنگدانه‌های خاکریز، مورد توجه قرار داد.

لازم به ذکر است خاکریزی ضخامت ۱ متری بالایی (نهایی) سازه‌های خاک مسلح حداکثر اندازه مصالح خاک ریزی باید به ۷۵ میلی‌متر محدود شود.

حداقل یک نمونه از هر ۱۵۰۰ متر مکعب مصالح خاکی برای تعیین مشخصات آن باید اخذ شود. چنانچه تغییری در روند تهیه مصالح خاکی اتفاق بیفتد، نمونه‌برداری باید مجددا انجام شود.

جدول ۲۲-۱۳ راهنمای انتخاب مصالح خاکریزی در شیب‌های خاکی مسلح

اندازه الک	درصد مصالح رد شده
۱۹ میلی‌متر (۳/۴ اینچ)	۷۵-۱۰۰
۴٫۷۵ میلی‌متر (الک شماره ۴)	۲۰-۱۰۰
۰٫۴۲۵ میلی‌متر (الک شماره ۴۰)	۰-۶۰
۰٫۰۷۵ میلی‌متر (الک شماره ۲۰۰)	۰-۵۰

- شاخص خمیری خاک باید کمتر از ۲۰ باشد.
- افت وزنی با سولفات منیزیم، بعد از ۴ سیکل، کمتر از ۳۰٪ و با سولفات سدیم، بعد از ۵ سیکل، کمتر از ۱۵٪ باشد.
- برای ژئوسنتتیک‌ها از جنس پلی الفین، ۳<**PH** و از جنس پلی استر، ۹>**PH**>۳ باشد.

۲۲-۸-۲ مصالح درشت دانه سنگی (راکفیل)

مصالح درشت دانه سنگی (راکفیل) مورد استفاده در شیب و دیوارهای خاک مسلح (با هر نوع مسلح کننده) به مصالحی شامل قطعات درشت دانه سنگی اطلاق می‌شود که حداقل ۲۵ درصد وزنی مصالح دارای اندازه بزرگتر از ۲۰ میلی‌متر باشد و حداکثر اندازه مصالح درشت دانه سنگی باید کوچکتر از ۱۰۰ میلی‌متر باشد. به طور معمول استفاده از مصالح درشت دانه سنگی (راکفیل) در سازه‌های خاک مسلح با هر نوع مسلح کننده ژئوسنتتیکی به دلیل پتانسیل بالای خسارت حین اجرا وارده بر مسلح کننده ژئوسنتتیکی و مشکلات ناشی از عدم کوبش صحیح و مشکل کنترل کیفیت توصیه نمی‌شود. در خاکریزی ۱ متری بالایی (نهایی) سازه‌های خاک مسلح حداکثر اندازه مصالح خاک ریزی باید به ۷۵ میلی‌متر محدود شود و در این محدوده از مصالح درشت دانه سنگی نباید استفاده کرد.

جنس و نوع کانی‌های تشکیل دهنده مصالح درشت دانه سنگی قبل از استفاده، باید توسط آزمایشگاه مستقر در کارگاه مورد بررسی قرار گرفته و از عدم وجود مشکلاتی همچون اضمحلال مصالح در شرایط محیطی با گذشت زمان و همچنین عدم تاثیر منفی جنس مصالح درشت دانه سنگی بر مسلح کننده باید اطمینان حاصل کرد.

توده خاکریز خاک مسلح باید با یک نوع جنس مصالح خاکریز ساخته شود تا بدنه‌ای با مصالح یکنواخت حاصل شود. تغییر متناوب جنس و اندازه دانه بندی مصالح در ارتفاع در سازه‌های خاک مسلح

موجب تغییر اساسی در رفتار خواهد شد؛ لذا استفاده از مصالح خاکی در همجواری مسلح کننده‌ها (فلزی یا ژئوسنتتیکی) و استفاده از مصالح درشت‌دانه سنگی مابین مسلح کننده‌ها (فلزی یا ژئوسنتتیکی) ممنوع می‌باشد.

۲۲-۸-۳ نحوه اجرا

به دلیل تشابه عملیات اجرایی شیب‌های خاکی مسلح با خاکریزهای معمولی، کلیه معیارهای ارایه شده برای عملیات خاکی در فصل دوم به استثنای مواردی که با بندهای این بخش در تناقض باشد، در مورد خاکریز مسلح نیز باید رعایت شود.

۲۲-۸-۳-۱ آماده سازی بستر

- محدوده بستر خاک مسلح که در تماس با ژئوسنتتیک خواهد بود باید مطابق با جزئیات نقشه‌ها و مشخصات و با نظارت مهندس مشاور، آماده شود. بستر باید در طولی برابر یا بیشتر از طول مسلح‌کننده‌ها و تا رقوم قید شده در نقشه‌ها خاکبرداری، تسطیح و متراکم شود.
- خاکبرداری اضافی باید با مصالح خاکریزی منظور شده برای خاک مسلح، مجدداً پر و متراکم شود.
- سطح بستر باید هموار بوده و عاری از هرگونه ریشه، بوته، نخاله، مواد و مصالح زیان‌آور و نامناسب باشد.
- بستر باید با غلتک‌های ویبره‌ای یا چرخ لاستیکی کوبیده شده و سطحی کاملاً متراکم و صاف، داشته باشد. هیچ نقطه‌ای از بستر نباید سست و غیر متراکم باشد. نقاط سست باید با نظر مهندس مشاور، خاکبرداری و با خاک مناسب پر و متراکم شوند.
- قبل از پهن کردن ژئوسنتتیک، بستر باید توسط مهندس ژئوتکنیک (مکانیک خاک و پی)، بازدید و تایید شود.

۲۲-۸-۳-۲ نصب ژئوسنتتیک

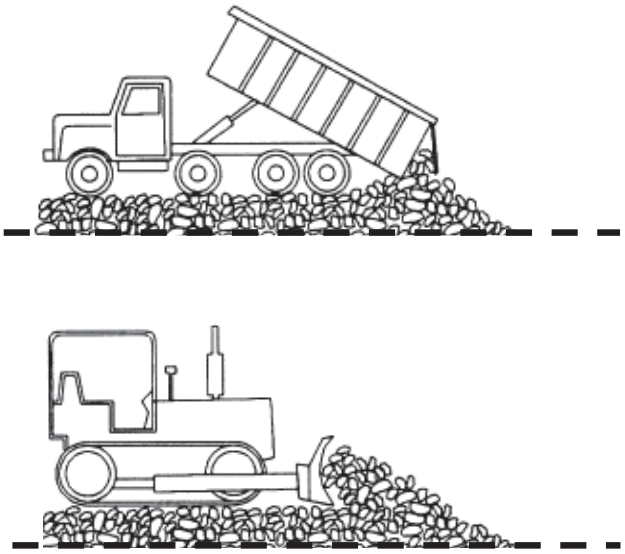
نصب ژئوسنتتیک باید براساس دفترچه مشخصات فنی خصوصی پروژه که توصیه‌های تولیدکننده محصول نیز در آن لحاظ شده است و در ابعاد و لایه‌هایی مطابق با نقشه‌ها و مشخصات انجام شود.

- ژئوسنتتیک‌ها باید در نوارهای طولی به طوری که جهت اصلی آنها عمود بر نما باشد، پهن شوند. استفاده از درز در جهت اصلی کشش (عمود بر طول طاقه)، به هیچ وجه مجاز نمی‌باشد.
- همپوشانی حداقل به اندازه ۱۵ سانتی‌متر بین نوارهای طولی مجاور، لحاظ شود. برای اجتناب از جابجایی طاقه‌های ژئوگرید در حین عملیات اجرایی نسبت به یکدیگر، استفاده از حلقه‌ها یا بست های فلزی در درزهای طولی، توصیه می‌شود.
- پهن کردن مقادیر اضافی ژئوسنتتیک در نقاطی که ممکن است عملیات خاکی با فاصله زمانی به آن نقاط برسد. به هیچ وجه مجاز نمی‌باشد.
- رقوم قرارگیری لایه‌های مسلح کننده (ژئوسنتتیک‌ها)، نباید بیش از ۷۵ میلی‌متر با رقوم قید شده در نقشه‌ها، اختلاف داشته باشد.
- پس از پهن شدن لایه ژئوسنتتیک، بلافاصله لایه خاکی روی آن باید پخش و متراکم شود.
- لایه‌های ژئوسنتتیک باید به صورت صاف و بدون چین و چروک، پهن و محکم کشیده شوند. سپس با میخ‌های فولادی مناسب، ثابت نگهداشته شوند تا حین اجرای لایه خاکی، جابجا نشوند.
- قبل از اینکه ضخامت لایه خاکی روی ژئوسنتتیک به ۱۵ سانتی‌متر برسد، ماشین‌آلات اجرایی مجاز به تردد روی آن نیستند. ضمن آنکه حرکات چرخشی یا ترمزهای ناگهانی باید به حداقل رسیده و حتی‌الامکان، انجام نشود.
- ابعاد و وزن ماشین‌آلات و روش اجرا باید طوری انتخاب شوند که شیارشدگی به عمق بیش از ۷۵ میلی‌متر در لایه اول خاکریز، اتفاق نیفتد. در غیر این صورت باید در ابعاد و وزن ماشین‌آلات و روش اجرایی، تجدید نظر شود.
- تمام لایه‌های خاکی پس از اجرا باید سطحی صاف و افقی داشته باشند. لایه ژئوسنتتیک بعدی، باید مستقیماً روی لایه خاکریزی کوبیده شده، پهن شود.

۲۲-۸-۳-۳ عملیات خاکی

- عملیات خاکریزی و پخش باید از لبهٔ کار و از قسمتی که قبلاً خاکریزی شده یا از محل زمین طبیعی، آغاز شود (شکل ۲۲-۱۴).
- حداقل درصد تراکم لایه‌های خاکریزی نسبت به حداکثر وزن مخصوص خشک خاک، برابر ۹۵٪ آزمایش تراکم اصلاح شده یا تراکم قید شده در مشخصات فنی خصوصی پروژه می‌باشد.

- ریختن، پخش و تراکم لایه‌های خاکریز به شکلی باید انجام شود که باعث ایجاد چین‌خوردگی، تاخوردگی یا جابجایی در لایه‌های ژئوسنتتیک، نشود.
- استفاده از غلتک‌های پاچه بزی یا مشابه بدلیل امکان آسیب زدن به ژئوسنتتیک، مجاز نمی‌باشد. تراکم در نزدیکی نمای شیب (محدوده یک متری نما)، باید با غلتک‌های سبک انجام پذیرد.
- مصالح خاکریزی باید با میزان رطوبتی برابر رطوبت بهینه (با رواداری ۲ درصد) تا رسیدن به تراکم مشخصه، کوبیده شوند.
- حداکثر ضخامت لایه‌های خاکی کوبیده شده برای خاک‌های ریزدانهٔ چسبنده، بین ۱۵ تا ۲۰ سانتی‌متر و برای خاک‌های دانه‌ای، بین ۲۰ تا ۳۰ سانتی‌متر می‌باشد. اجرای خاکریز با ضخامت بیش از ۲۰ سانتی‌متر تا ضخامت حداکثر ۳۰ سانتی‌متر در خاک‌های دانه‌ای، مشروط به 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. در صورتی که عملیات تراکم با ابزار دستی انجام شود، حداکثر ضخامت لایه خاکی قبل از تراکم، باید ۱۵ سانتی‌متر باشد.
- در انتهای هر روز کاری، شیب بندی باید به سمتی باشد که جمع‌شدگی آب در سطح کار، اتفاق نیفتد.



شکل ۲۲-۱۴ خاکریزی و پخش مصالح خاکی بر روی لایه ژئوسنتتیک

(تردد ماشین‌آلات اجرایی بر روی ژئوسنتتیک بدون پوشش مصالح خاکی، مجاز نیست)

۲۲-۸-۳-۴ نما

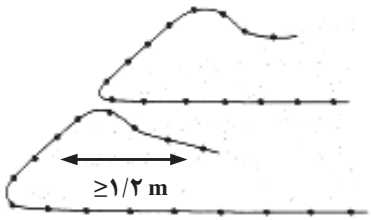
در شیب‌های با زاویه تا ۴۵ درجه، در صورتی که لایه‌های ژئوسنتتیک در ارتفاع به هم نزدیک باشند (فاصله قائم حداکثر ۴۰ سانتی‌متر)، عموماً نیازی به برگرداندن ژئوسنتتیک به سمت لایه بالایی جهت پوشاندن و نگهداری نمای شیب، وجود ندارد. در این شرایط، ژئوسنتتیک تا لبهٔ نمای شیب امتداد می‌یابد. در اینگونه شیب‌ها، باید تدابیر لازم جهت حفاظت شیب در مقابل فرسایش حین اجرا و بهره‌برداری، اندیشیده شود.

چنانچه نیاز به حفاظت شیب از طریق ژئوسنتتیک‌ها باشد (مثلاً در شیب‌های تند)، موارد زیر باید رعایت شود:

– طول ژئوسنتتیک که پس از برگردانده شدن در زیر لایه بعدی خاکریزی قرار خواهد گرفت، برابر نقشه‌ها و حداقل ۱/۲ متر باشد (شکل ۲۲-۱۵).

– در شیب‌های تند با زاویه بیش از ۵۰ درجه، در صورت نیاز از قالب برای حفظ مصالح خاکی در نما حین عملیات پخش و تراکم، استفاده شود.

– در صورت استفاده از ژئوگرید به عنوان مسلح‌کننده، جهت جلوگیری از ریزش مصالح خاکی باید از یک قطعه ژئوتکستایل یا توری مقاوم با چشمه‌های ریز در نما، استفاده شود.



شکل ۲۲-۱۵ استفاده از ژئوتکستایل یا توری برای جلوگیری از ریزش مصالح خاکی

۲۲-۸-۳-۵ نصب پایه‌های تجهیزات و تاسیسات ایمنی

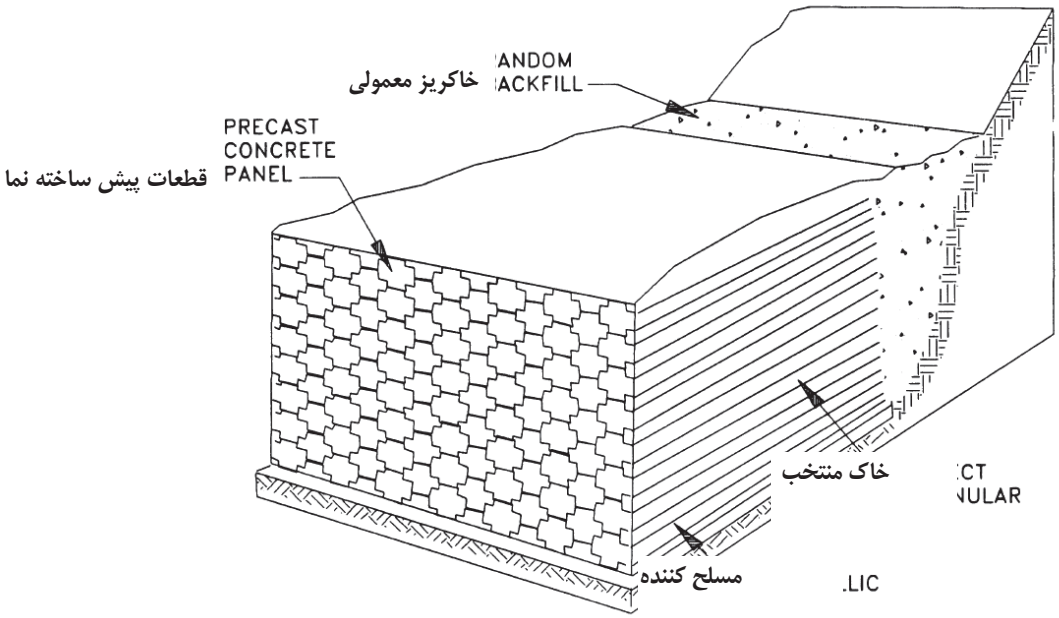
با توجه به احتمال آسیب‌دیدگی در لایه‌های مسلح‌کننده هنگام نصب پایه‌های تاسیسات و تجهیزات ایمنی از قبیل روشنایی، حفاظ‌های ایمنی و موارد مشابه، مهندس مشاور باید کلیه جزئیات مربوطه را در مشخصات فنی خصوصی پروژه و نقشه‌ها، قید کند.

۲۲-۹ دیوارهای خاک مسلح[1]

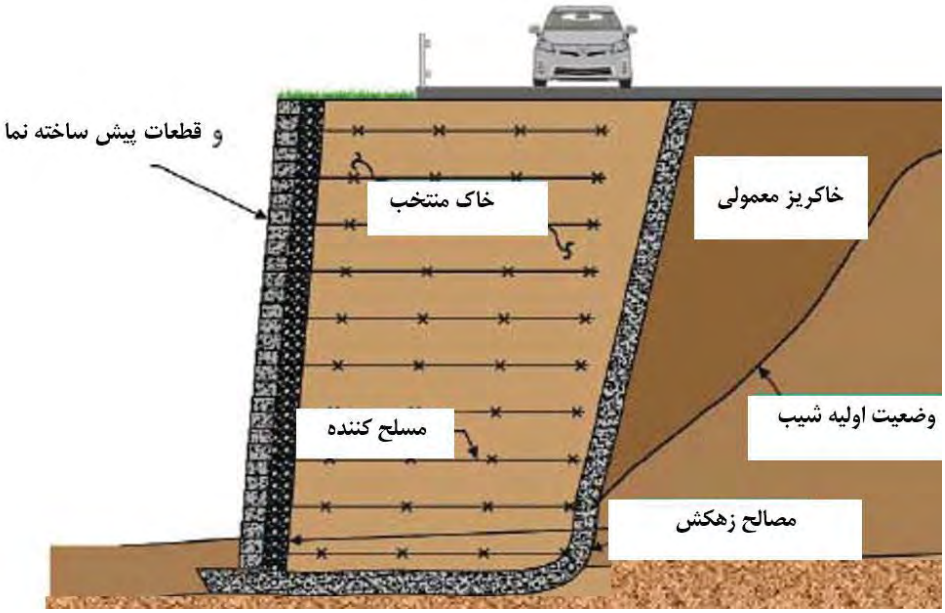
به شیب‌های خاکی مسلح با زاویه بیش از ۷۰ درجه در نما، دیوارهای خاک مسلح اطلاق می‌شود. لذا کلیه ضوابط بخش ۲۲-۸، در مورد دیوارهای خاک مسلح نیز، باید رعایت شود. دیوارهای خاک مسلح در مقایسه با دیوارهای متداول (وزنی یا مسلح طره‌ای) دارای مزایایی از قبیل هزینه تمام شده کمتر و انعطاف‌پذیری بیشتر (مناسب برای زمین‌های سست و مناطق لرزه‌خیز) می‌باشند. در احداث دیوارهای خاک مسلح، عموما از دو گروه مصالح مسلح‌کننده شامل ژئوسنتتیک‌ها (ژئوگریدها و تسمه‌های) و تسمه-های فلزی استفاده می‌شود. ژئوسنتتیک‌ها نسبت به تسمه‌های فلزی از دوام بیشتری در برابر تهاجم محیطی برخوردارند. ضمن آنکه نماهای متنوعی در دیوارهای خاک مسلح ژئوسنتتیکی، می‌توان اجرا کرد. در صورتی که در تسمه‌های فلزی، معمولا از قطعات بتنی پیش‌ساخته در نما استفاده می‌شود. با وجود آنکه تسمه‌های فلزی از خانواده ژئوسنتتیک‌ها محسوب نمی‌شود، به دلیل تشابه عملکرد و نحوه اجرا، در انتهای فصل، به مواردی در رابطه با آن‌ها نیز اشاره شده است.

دیوارهای خاک مسلح با طول عمر بهره برداری کمتر از ۳۶ ماه به عنوان دیوار خاک مسلح موقت نامیده می‌شود و دیوارهای حایل دائمی دارای طول عمر بهره‌برداری حداقل ۷۵ سال می‌باشند. برای حالت‌های مهمی مانند دیوار خاک مسلح که به عنوان کوله پل باشند یا بالای دیوار راه و یا ساختمان یا هر نوع سازه مهمی باشد در طراحی باید طول عمر بهره برداری بالای ۱۰۰ سال در نظر گرفته شده و مشخصات فنی مورد نیاز برای دوران بهره‌برداری متناسب با آن در نقشه‌های اجرایی در نظر گرفته شود.

1. Mechanically Stabilized Earth (MSE) Walls



الف) مسلح کننده تسمه فلزی با نمای پانلی



ب) مسلح کننده ژئوگریدی با نمای بلوک مدولار بتنی

شکل ۲۲-۱۶ دیوار خاک مسلح

۲۲-۹-۱ مشخصات مصالح

۲۲-۹-۱-۱ ژئوسنتتیک‌ها

مطابق با بند ۲۲-۸-۱-۱ عمل شود.

۲۲-۹-۱-۲ مصالح خاکی

به دلیل حساسیت بیشتر دیوارهای خاک مسلح در مقابل تغییر شکل‌ها به ویژه در نمای دیوار، از خاک مرغوب‌تری نسبت به شیب‌های مسلح باید استفاده شود.

پارامترهای مقاومت برشی مصالح خاکریزی باید با آنچه که در طراحی مورد استفاده قرار گرفته است، مطابقت داشته باشد. مصالح خاکریزی باید قابلیت زهکشی داشته و عاری از هرگونه مصالح نامناسب یا مواد آلی باشد. استفاده از مصالح بازیافتی مانند قطعات شیشه، لاستیک، بتن، آسفالت و مصالحی از این قبیل، مجاز نیست.

مصالح خاکریزی در دیوارهای خاک مسلح در دو بخش خاکریز پشت نما[1] (زهکش) و خاکریز بدنه[2]، اجرا می‌شود. دانه‌بندی و مشخصات خاک مصرفی برای خاکریز بدنه در دیوارهای خاک مسلح باید مطابق جدول ۲۲-۱۴ باشد. برای خاکریز پشت نما، استفاده از مصالح درشت‌دانه خوب دانه‌بندی شده با قابلیت زهکشی بالا، الزامی است.

اندازه بزرگترین دانه مصالح خاکریزی تا ۱۰ سانتی‌متر می‌تواند افزایش یابد. در این حالت باید از عدم آسیب‌دیدگی ژئوسنتتیک در اثر استفاده از مصالح درشت‌دانه در قطعات آزمایشی، بررسی شود. بهتر است سنگدانه‌های بزرگتر از ۳۸ میلی‌متر (۱٫۵ اینچ)، کمتر از ۲۰٪ وزنی مصالح خاکریزی را تشکیل دهد. ضمن آنکه در همه حال، باید مقدار ضریب کاهش مقاومت ژئوسنتتیک در اثر آسیب‌های حین اجرا که در طراحی مد نظر قرار گرفته است را در انتخاب ابعاد و میزان تیزگوشه بودن سنگدانه‌های خاکریز، مورد توجه قرار داد.

لازم بذکر است خاکریزی ضخامت ۱ متری بالایی (نهایی) سازه‌های خاک مسلح حداکثر اندازه مصالح خاکریزی باید به ۷۵ میلی‌متر محدود شود.

---

1. Unit Fill
2. Back Fill

حداقل یک نمونه از هر ۱۵۰۰ متر مکعب مصالح خاکی برای تعیین مشخصات آن باید اخذ شود. چنانچه تغییری در روند تهیه مصالح خاکی اتفاق بیفتد، نمونه‌گیری باید مجدداً انجام شود.

جدول ۲۲-۱۴ مشخصات مصالح خاکریزی در بدنه دیوارهای خاک مسلح

اندازه الک	درصد مصالح رد شده
۱۹ میلی‌متر (۳/۴ اینچ)	۱۰۰
۴٫۷۵ میلی‌متر (الک شماره ۴)	۲۰-۱۰۰
۰٫۴۲۵ میلی‌متر (الک شماره ۴۰)	۰-۶۰
۰٫۰۷۵ میلی‌متر (الک شماره ۲۰۰)	۰-۱۵
- شاخص خمیری خاک باید کمتر از ۶ باشد. - افت وزنی با سولفات منیزیم، بعد از ۴ سیکل، کمتر از ۳۰٪ و با سولفات سدیم، بعد از ۵ سیکل، کمتر از ۱۵٪ باشد. - برای ژئوسنتتیک‌ها از جنس پلی الفین، ۳<**PH** و از جنس پلی استر، ۹>**PH**>۳ باشد.	

۲۲-۹-۱-۳- مصالح درشت دانه سنگی (راکفیل)

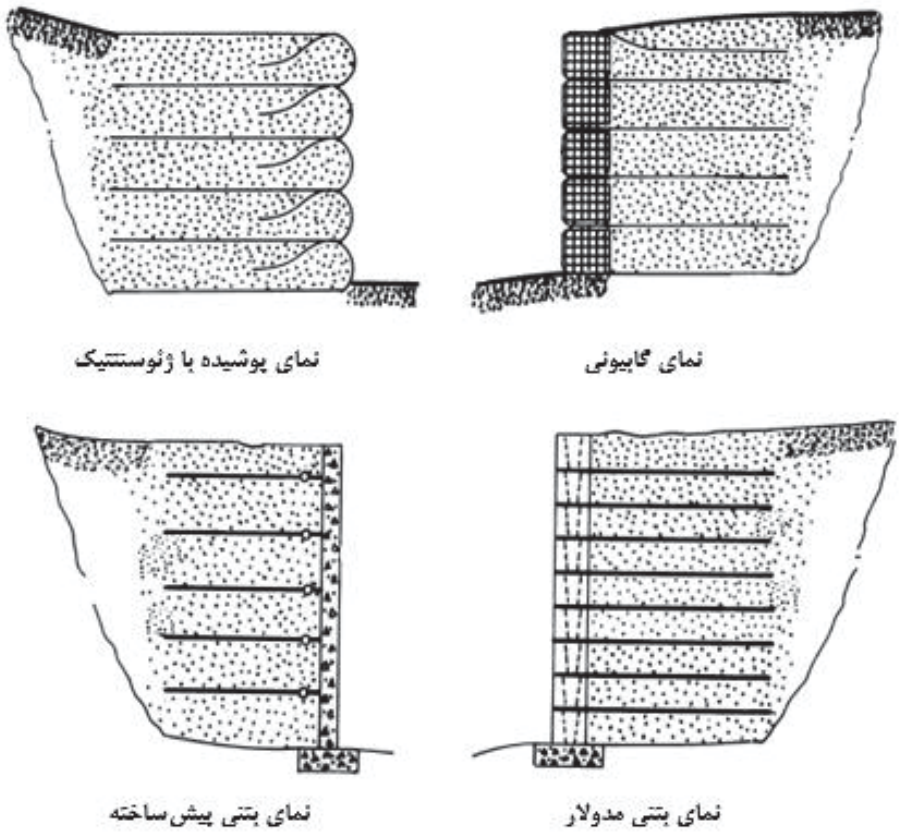
مطابق با بند ۲۲-۸-۲ -۳ عمل شود.

۲۲-۹-۱-۳ نما

عمده نماهایی که در دیوارهای خاک مسلح، استفاده می‌شوند به شرح زیر است:

نمای بلوک بتنی مدولار[1]، قطعات بتنی پیش‌ساخته[2]، پانل تمام ارتفاع بتنی[3]، نمای شبکه فلزی[4]، نمای گابیونی[5]، نمای پوشیده با ژئوسنتتیک (بدون نما)[6].

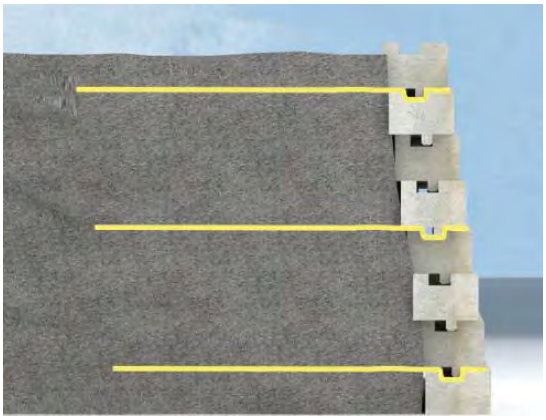
1. Modular Block Wall Units (MBW)
2. Segmental Precast Concrete Pannels
3. Full-Height Concrete Panels
4. Timber Facing
5. Gabion Facing
6. Wrap-Around Facing



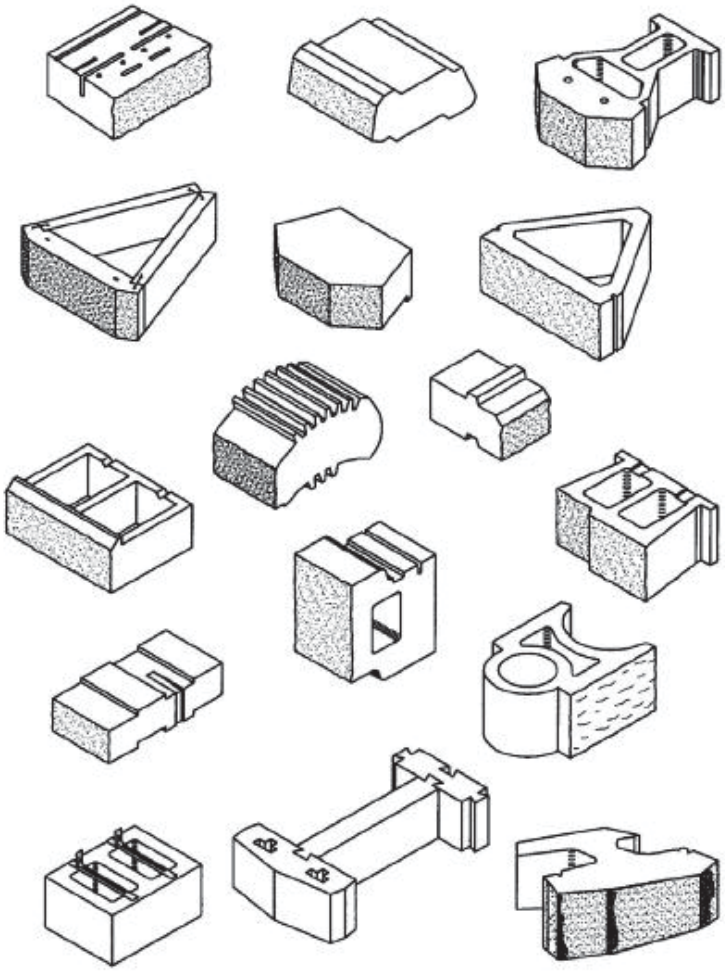
شکل ۲۲-۱۷ برخی از انواع نماهای معمول در دیوارهای خاک مسلح

نمای بتنی مدولار: قطعات بتنی مدولار عموماً دارای ارتفاعی برابر ۲۰ الی ۳۰ سانتی‌متر، عرضی برابر ۲۰ الی ۴۵ سانتی‌متر و عمقی برابر ۲۰ الی ۶۰ سانتی‌متر می‌باشند. به لحاظ آیین‌نامه آشتو، عمق بلوک باید بزرگتر از نصف فاصله قائم مسلح کننده‌های ژئوگریدی باشد برای مثال اگر فاصله قائم مسلح کننده‌های ژئوگریدی برابر با ۶۰ سانتی‌متر باشد حداقل عمق بلوک بادی ۳۰ سانتی‌متر باشد. مقاومت فشاری ۲۸ روزه قطعات بتنی باید حداقل۲۱۰ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع یا برابر مقاومت قید شده در مشخصات فنی خصوص (هر کدام که بیشتر باشد) باشد. با توجه به حساسیت قطعات مدولار به چرخه یخبندان- ذوب در مناطق سردسیر، باید تدابیر لازم از قبیل افزایش مقاومت فشاری، محدود کردن میزان جذب آب و آزمایش‌های لازم جهت ارزیابی دوام قطعات در برابر چرخه یخبندان- ذوب مطابق استاندارد ASTM C1372 در دفترچه مشخصات فنی خصوصی پروژه، اندیشیده شده و قید گردد. مشخصات کلید

برشی برای قفل و بست هر قطعه با قطعه زیرین باید بگونه‌ای باشد که حداقل ظرفیت برشی مطابق با مشخصات فرض شده در طراحی را ارایه دهد (شکل ۲۲-۱۸). اتصال قطعه بتنی و ژئوسنتتیک نیز باید بگونه‌ای باشد که حداقل مقاومت کششی برابر با مشخصات فرض شده در طراحی را ارایه دهد. برای اطمینان از اتصال صحیح قطعه بتنی و ژئوسنتتیک قبل از اجرا باید آزمایش مقاومت اتصال مطابق استاندارد ASTM D6638 بر روی نمای بتنی مدولار و مسلح کننده‌های ژئوسنتتیکی انجام شده و پس از بررسی نتایج آزمایش توسط مهندس مشاور، پیمانکار مجاز به استفاده از نمای بتنی مدولار می‌باشد و بدون انجام آزمایش مطابق استاندارد ASTM D6638 استفاده از نمای بتنی مدولار ممنوع می‌باشد. در دیوار رواداری مجاز در ابعاد قطعه برای طول، عرض و ارتفاع برابر ۵ میلی‌متر می‌باشد. در صورت لزوم باید طراحی قطعات بگونه‌ای باشد که قوس‌های محدب و مقعر افقی را بتوان در نمای دیوار، ایجاد کرد. استفاده از قطعات متفرقه بتنی از قبیل بلوک‌های سیمانی فاقد مشخصات در نمای دیوار خاک مسلح، به هیچ وجه مجاز نمی‌باشد.



شکل ۲۲-۱۸ بلوک بتنی مدولار با کلید برشی



شکل ۲۲-۱۹ برخی از انواع قطعات بتنی مدولار

قطعات بتنی پیش ساخته: این قطعات پیش ساخته، مسلح و عموماً به شکل مربع یا مستطیل با ضخامت حدود ۱۲ الی ۲۰ سانتی‌متر، ارتفاع ۱/۵ متر و عرض ۱/۵ الی ۳ متر می‌باشند. مقاومت فشاری ۲۸ روزه قطعات بتنی باید حداقل ۲۸۰ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع یا برابر مقاومت قید شده در مشخصات فنی خصوصی باشد. حمل و نصب قطعات بتنی قبل از آنکه مقاومت فشاری آن‌ها به ۷۵ درصد مقاومت مشخصه برسد، مجاز نیست. قطعات انتظار که برای قرارگیری در جسم خاک در پشت قطعات پیش ساخته تعبیه می‌شوند، نباید با میلگردهای قطعه پیش ساخته در ارتباط مستقیم باشند. رواداری مجاز برای

ابعاد قطعه پیش ساخته برابر ۵ میلی‌متر، برای موقعیت قطعات انتظار برابر ۲۵ میلی‌متر، برای چهارگوشی قطعه برابر ۱۳ میلی‌متر (اختلاف بین دو قطر) و برای همواری سطح نمای قطعه برابر ۳ میلی‌متر با شمشه ۱/۵ متری در نمای صاف (بدون طرح) و ۸ میلی‌متر با شمشه ۱/۵ متری در نمای طرح‌دار می‌باشد.

پانل تمام ارتفاع بتنی: این پانل‌ها به صورت دیوارهای بتنی پیش ساخته بوده و عموما دارای ضخامتی برابر ۱۵ الی ۲۰ سانتی‌متر، عرضی برابر ۲/۴ الی ۳ متر و حداکثر ارتفاع ۱۰ متر می‌باشند. در این دیوارها، استفاده از تکیه‌گاه خارجی برای نگهداشتن پانل تا زمان اجرای خاکریز مسلح به اندازه دو سوم ارتفاع آن، الزامی است. مقاومت فشاری بتن برای این قطعات و سایر مشخصات فنی، مشابه قطعات بتنی پیش ساخته در بند فوق می‌باشد.

کلیه مشخصات انواع قطعات بتنی نما شامل پارامترهای مقاومتی، شکل و ابعاد، رنگ و طرح ظاهری، مشخصات کلیدهای برشی و بخش‌های اتصالی مسلح کننده به قطعه نما و ... باید به طور کامل در نقشه‌ها و دفترچه مشخصات فنی خصوصی پروژه قید شود. به منظور کنترل کیفیت انواع قطعات بتنی نما، حداقل یک نمونه از هر ۴۰ قطعه تولید شده یا حداقل یک نمونه در روز (هر کدام که بیشتر است)، باید اخذ گردد. حمل و انبار قطعات باید گونه‌ای انجام گیرد که باعث آسیب دیدن آنها نگردد. مهندس مشاور باید قطعاتی را که وارد کارگاه می‌شوند بازرسی کرده و در صورت مشاهده موارد زیر، آن‌ها را عودت نماید:

- مقاومت فشاری کمتر از مقاومت مشخصه (در نمونه‌های آزمایش شده)
- نقص قالب‌گیری
- ترک‌خوردگی، شکستگی یا موارد مشابه
- تفاوت‌های فاحش در رنگ و ظاهر قطعات
- عدم تطابق ابعاد و خروج از رواداری‌های مجاز
- عدم قرارگیری قطعه اتصالی در موقعیت مشخص شده

نمای شبکه فلزی: این نما بدلیل انعطاف پذیری زیاد و عدم درگیری مناسب بین مسلح کننده و نما مناسب پروژه‌های دائمی نمی‌باشد و برای پروژه‌های موقت مناسب می‌باشد. در صورتی که از این نما به عنوان نمای دایمی استفاده شود، مش مورد استفاده باید به میزان مشخص شده در مشخصات فنی خصوصی پروژه، گالوانیزه شده و از مصالح سنگی با دانه‌بندی باز در پشت نما استفاده گردد. ابعاد شبکه

اصلی نما نباید بیش از ۴۵ سانتی‌متر باشد (با بزرگتر شدن ابعاد شبکه اصلی، انعطاف‌پذیری نما نیز بیشتر می‌شود). میزان سختی شبکه فلزی باید به اندازه‌ای باشد که تغییر مکان افقی هر لایه خاک مسلح نسبت به لایه مجاور، بیش از ۲۵ میلی‌متر نگردد. ضمن آنکه ابعاد شبکه فرعی باید به اندازه‌ای باشد که از ریزش مصالح سنگی نما جلوگیری شود. مصالح سنگی مورد استفاده در نما بگونه‌ای باید باشد که در برابر عوامل محیطی و سرما و یخبندان و ذوب و ... در دوران بهره‌برداری کیفیت خود را حفظ نماید. استفاده از این نما در مناطق با خطر لرزه پذیری بالا بدلیل عدم قفل و بست مکانیکی مسلح کننده با نما و همچنین عدم قفل و بست صحیح ردیف المان‌های نما با یکدیگر، ممنوع می‌باشد.

۲۲-۹-۲ نحوه اجرا

۲۲-۹-۲-۱ دیوار خاک مسلح با نمای بتنی

بستر نما:

- بستر نما باید تا اندازه‌ای که در نقشه‌ها مشخص شده است، خاکبرداری و به منظور نصب صحیح قطعات نما، به شرح زیر آماده شود.
- سطح بستر نما (سطح زیر ردیف اول قطعات بتنی) باید با بتن غیرمسلح با عیار ۱۵۰ کیلوگرم سیمان در متر مکعب بتن آماده‌سازی شود.
- عرض بتن بستر باید حداقل ۲ برابر عرض قطعات نما یا ۵۰ سانتی‌متر، هر کدام که بیشتر است باشد.
- ضخامت بتن بستر نیز باید مطابق با نقشه‌های اجرایی بوده و کمتر از ۱۵ سانتی‌متر و بیش از ۳۵ سانتی‌متر نباشد. برای دیوارهای با نمای پانل‌های تمام ارتفاع، ضخامت بیشتری برای بتن بستر مورد نیاز است.
- در دیوارهای با نمای قطعات مدولار و با ارتفاع کمتر از ۴/۵ متر، می‌توان از یک لایه به ضخامت حداقل ۱۵ سانتی‌متر، مصالح دانه‌ای با خاصیت زهکشی که تا ۹۵ درصد کوبیده شده است یا سنگ‌چینی با سنگ لاشه استفاده کرد. در اینحالت، بستر نما نیز باید تا تراکم ۹۵ درصد، کوبیده شود.

- به هر حال بستر نما باید دارای سطحی کاملا صاف بوده و از نظر پلان و نیمرخ، مطابق با نقشه‌های اجرایی باشد. رواداری مجاز نسبت به رقوم نقشه، ۳ میلی‌متر می‌باشد.

بستر سایر بخش‌های خاکریزی مسلح:

- محدوده بستر خاک مسلح که در تماس با ژئوسنتتیک خواهد بود باید مطابق با جزئیات نقشه‌ها و مشخصات و با نظارت مهندس مشاور، آماده شود.
- بستر باید در طولی برابر یا بیشتر از طول مسلح‌کننده‌ها و تا رقوم قید شده در نقشه‌ها خاکبرداری، تسطیح و متراکم شود. خاکبرداری اضافی باید با مصالح خاکریزی منظور شده برای خاک مسلح، مجددا پر و متراکم شود.
- سطح بستر باید هموار بوده و عاری از هرگونه ریشه، بوته، نخاله، مواد و مصالح زیان‌آور و نامناسب باشد. بستر باید با غلتک‌های ویبره‌ای یا چرخ لاستیکی کوبیده شده و سطحی کاملا متراکم و صاف، داشته باشد. هیچ نقطه‌ای از بستر نباید سست و غیر متراکم باشد. نقاط سست باید با نظر مهندس مشاور، خاکبرداری و با خاک مناسب پر و متراکم شوند.
- قبل از پهن کردن ژئوسنتتیک، بستر باید توسط مهندس ژئوتکنیک (مکانیک خاک و پی)، بازدید و تایید شود.

قطعات نما و درپوش[1]:

- حمل و دپوی قطعات نما باید به گونه‌ای انجام شود که از وارد شدن خسارت به آن‌ها، اجتناب شود. استفاده از قطعات خسارت دیده (دارای ترک خوردگی، شکستگی و ...) در نمای دیوار، مجاز نمی‌باشد.
- کلیه قطعات بتنی باید مطابق با نقشه‌ها و مشخصات به دقت در محل خود نصب و ثابت گردند. میزان رواداری مجاز برای نصب قطعات نما مطابق جدول ۲۲-۱۵ می‌باشد.

1. Facing & Cap Units

جدول ۲۲-۱۵ میزان رواداری مجاز نصب قطعات نما

شرح	حداکثر رواداری مجاز
امتداد قائم	۶ میلی‌متر با شمشه ۳ متری
امتداد افقی	۱۳ میلی‌متر با شمشه ۳ متری

- میزان تغییر مکان جانبی نمای دیوار نیز بسته به اهمیت و ارتفاع آن، باید محدود و در نقشه‌ها و مشخصات فنی، قید شود. میزان تغییر مکان جانبی دیوار به عوامل مختلفی از قبیل شدت کوبیدن خاک، طول مسلح کننده‌ها، میزان صلبیت نقطه اتصال ژئوسنتتیک به قطعات نما و میزان انعطاف‌پذیری سیستم نما، بستگی دارد.
- در نصب قطعات ردیف اول نما، دقت مضاعفی باید اعمال شود. سطح زیر ردیف اول باید کاملا صاف و عاری از هر نوع مواد و مصالح اضافی باشد. استفاده از چوب‌بست یا پشت‌بند، در ردیف اول برای قطعات مدولار مفید خواهد بود. این امر برای قطعات پیش ساخته و پانل‌های تمام ارتفاع، اجتناب‌ناپذیر می‌باشد. از تماس کامل قطعات ردیف اول با سطح بستر اطمینان حاصل شود. به منظور تثبیت نما، تراز زیر ردیف اول باید به اندازه مشخص شده در نقشه‌ها، پایین‌تر از تراز زمین طبیعی اطراف باشد.
- از اجرای صحیح کلیه کلیدهای برشی و ابزار قفل و بست قطعات، مطابق با نقشه‌ها و مشخصات، اطمینان حاصل شود. میزان حداقل و حداکثر عقب‌نیشنی هر قطعه نسبت به قطعه زیرین، باید مطابق با نقشه‌ها و مشخصات فنی، کنترل شود.
- قطعات ردیف آخر نما بعنوان قطعات درپوش، باید با ملات یا مواد چسبانندهٔ مناسب (به پیشنهاد تولید کننده) به لایه ما قبل آخر، متصل و محکم گردند.

مصالح پشت نما (زهکش):

- محدوده پشت نما مطابق با نقشه‌ها و قبل از جاگذاری ردیف بعدی، با مصالح درشت‌دانهٔ خوب دانه‌بندی شده با خاصیت زهکشی بالا، پر شده و متراکم می‌شود.
- روی قطعات نما قبل از جاگذاری ردیف بعدی، باید تمیز و عاری از هرگونه مصالح باشد.
- مصالح پشت نما در حین اجرا نباید با مصالح نامناسب یا مواد زاید دیگر در تماس بوده و مخلوط شود.

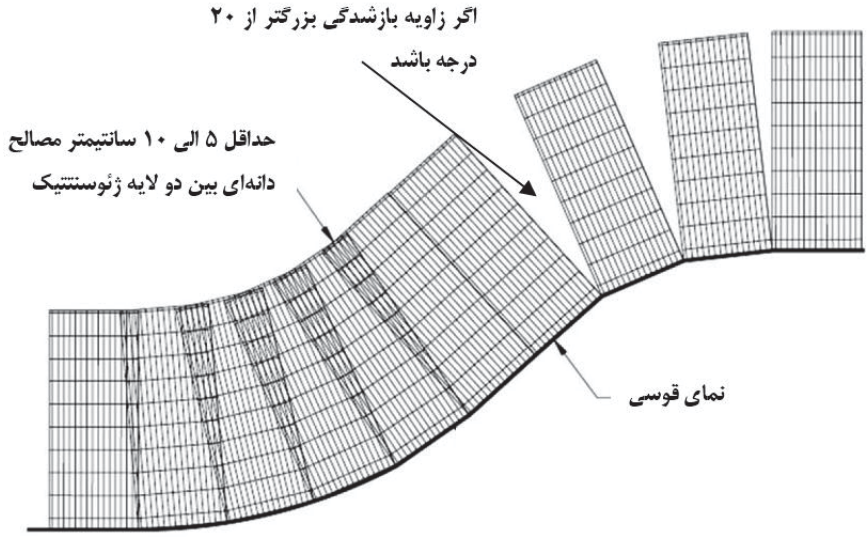
- ضخامت افقی مصالح پشت نما، نباید از مقدار ذکر شده در مشخصات فنی خصوصی و ۳۰ سانتی‌متر، کمتر باشد.

خاکریزی:

- موراد بخش ۲۲-۸-۲-۳ در اجرای دیوارهای خاک مسلح نیز باید رعایت شود.
- میزان تراکم برای خاکریزی در دیوارهای خاک مسلح، حداقل ۹۵ درصد و برای دیوارها یا کوله-هایی که به عنوان زیر سازه عمل خواهند کرد، ۱۰۰ درصد می‌باشد.
- کوبیدگی باید با رطوبتی برابر رطوبت بهینه (با رواداری ۲ درصد) انجام شود.
- استفاده از غلتک‌های پاچه بزی یا مشابه بدلیل امکان آسیب زدن به ژئوسنتتیک، مجاز نمی‌باشد.
- برای خاک‌های دانه‌ای، ضخامت لایه خاک کوبیده شده، بین ۲۰ تا ۳۰ سانتی‌متر و حداکثر به ارتفاع قطعات نما (هر کدام که کمتر است) می‌باشد. اجرای خاکریز با ضخامت بیش از ۲۰ سانتی‌متر تا ضخامت حداکثر ۳۰ سانتی‌متر، مشروط به 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.
- در تمام مراحل اجرای لایه‌های خاکریزی، باید از عدم ایجاد چین و چروک در لایه‌های ژئوسنتتیک بویژه در نزدیکی نما، اطمینان حاصل شود.
- برای جلوگیری از تغییر مکان قطعات نما، متراکم کردن خاک در نزدیکی نما (محدوده یک متری)، باید توسط غلتک‌های سبک صفحه‌ای لرزنده انجام شود. روش کنترل کیفیت در این محدوده باید در مشخصات فنی، قید شود (مانند حداقل تعداد عبور غلتک).
- نمونه‌برداری برای کنترل تراکم خاکریزی براساس برنامه منظم و در طول احداث باید انجام شود. به ازای هر ۵۰ متر طول سازه در هر لایه و در صورتی که عرض خاکریز زیاد باشد در هر ۵۰۰ متر مربع سطح خاکریزی، یک آزمایش تعیین وزن مخصوص محلی انجام شود.
- آزمایش تراکم آزمایشگاهی در صورت یکنواخت بودن جنس خاک هر ۵۰۰ متر طول یک بار صورت می‌گیرد و چنانچه کیفیت خاک تغییر کند آزمایش تراکم به تناسب و تعداد بیشتری به عمل آید.

نصب ژئوسنتتیک:

- هنگامی که رقوم ارتفاع خاکریزی در هر لایه، به نقطه اتصال ژئوسنتتیک و قطعه نما رسید، عملیات پهن کردن و نصب ژئوسنتتیک باید انجام شود.
- اختلاف ارتفاع سطح مصالح خاکریز در محدوده یک متری پشت نما نسبت به رقوم ارتفاعی لایه مسلح کننده (مطابق با نقشه‌ها)، نباید بیش از ۲۵ میلی‌متر باشد.
- ژئوسنتتیک باید در جهت عمود بر نما، پهن شده و به اندازه کافی، کشیده و بوسیله میخ‌های چوبی یا فلزی در جای خود محکم شود. همچنین باید به طرز مناسبی که در نقشه‌ها و مشخصات فنی قید شده است، به قطعات نما متصل و محکم شود. مهندس ناظر باید از محکم شدن اتصال قطعات نما و ژئوسنتتیک اطمینان حاصل کند.
- در صورت وجود نمای قوسی در دیوار، همپوشانی‌هایی در ژئوسنتتیک‌ها ایجاد خواهد شد که باید یک لایه مصالح دانه‌ای بین دو لایه ژئوسنتتیک به ضخامت ۵ الی ۱۰ سانتی‌متر اجرا شود (شکل ۲۲-۲۰).
- در قوس‌های مقعر چنانچه زاویه بازشدگی بین مسلح کننده‌ها بیش از ۲۰ درجه باشد باید در این ناحیه از مسلح کننده تقویتی برای پوشش بازشدگی و جلوگیری از ضعف در دیوار استفاده شود (شکل ۲۲-۲۰).



شکل ۲۲-۲۰ نمونه‌ای از نصب ژئوسنتتیک در دیوار با نمای قوسی

۲۲-۹-۲-۲ دیوار خاک مسلح بدون نما[1]

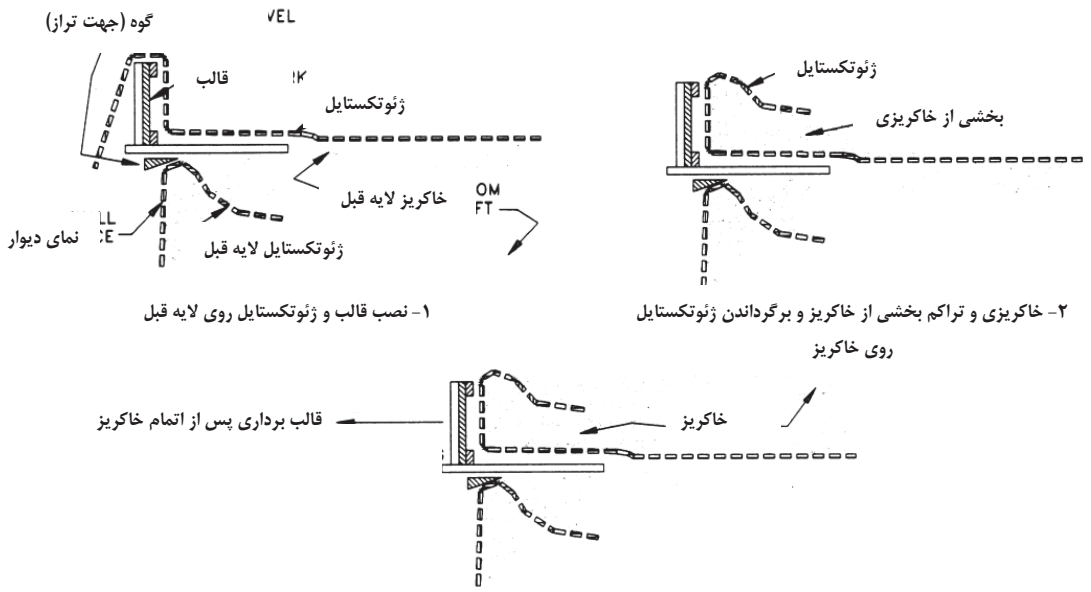
به دلیل تشابه دیوارهای خاک مسلح بدون نما و شیب‌های خاکی مسلح، موارد قید شده در بند ۲۲-۸-۲، در این بخش نیز صادق است. لیکن رعایت موارد ذیل در نمای این دیوارها، الزامی است. لازم بذکر است این نوع نما برای سازه‌های موقت قابل استفاده می‌باشد لیکن پایداری و عملکرد صحیح این نوع نما در دوران بهره‌برداری موقت باید توسط مهندس مشاور بررسی و تایید و جزییات اجرایی و مشخصات فنی در نقشه‌ها درج شده باشد.

- پیمانکار موظف است جهت جلوگیری از تغییر شکل نما (شکم دادن)، از قالب‌های موقت مانند شکل ۲۲-۲۱، استفاده کند.
- شکستگی زاویه در نمای دیوار با زاویه داخلی کوچکتر از ۱۵۰ درجه، گوشه نام دارد. گوشه‌ها باید مطابق با نقشه‌ها و مشخصات، بگونه‌ای اجرا گردند که بین دیوارهای دو سمت آن، اتصال مقاومی برقرار گشته و در طول عمر سازه، مصالح خاکی از محل گوشه، ریزش نکند. ضمن آنکه مقطع دیوار در هر دو طرف گوشه، باید دارای لایه کامل ژئوسنتتیک باشد.
- چنانچه پروفیل سطح بالای دیوار، شیب‌دار باشد، نحوه خاتمه دادن به هر لایهٔ خاک مسلح از بالای دیوار، باید در نقشه‌ها و مشخصات، قید شده و بگونه‌ای اجرا شود که محل ریزش خاک به بیرون، نشود. اگر تغییر شیب در بالای دیوار، بیش از ۴۵ درجه باشد، گوشه تلقی می‌شود.
- میزان مجاز تغییر مکان جانبی نمای دیوار پس از پایان عملیات اجرایی در دیوارهای بدون نما که با شمشه ۳ متری اندازه‌گیری می‌شود، در جدول ۲۲-۱۶، ارایه شده است.

جدول ۲۲-۱۶ میزان مجاز تغییر مکان جانبی نما

شرح	دیوار دائمی	دیوار موقت
امتداد قائم (با شمشه ۳ متری)	۵۰ میلی‌متر	۷۵ میلی‌متر
امتداد افقی (با شمشه ۳ متری)	۷۵ میلی‌متر	۱۳۰ میلی‌متر
حداکثر برآمدگی (شکم دادن) بین لایه‌های مسلح شده (با شمشه ۳ متری)	۱۰۰ میلی‌متر	۱۵۰ میلی‌متر

1. Wrap-Around Facing Wall



۱- نصب قالب و ژئوتکستایل روی لایه قبل

۲- خاکریزی و تراکم بخشی از خاکریز و برگرداندن ژئوتکستایل روی خاکریز

۳- خاکریزی و تراکم باقیمانده خاکریز

شکل ۲۲-۲۱ مراحل اجرای دیوار خاک مسلح بدون نما

۲۲-۹-۳ دیوارهای خاک مسلح با مسلح کننده‌های فلزی

در این نوع دیوارها، از مسلح کننده‌های فلزی شامل تسمه‌های فلزی صاف و تسمه‌های فلزی آجدار و شبکه‌های فلزی و دیگر انواع مسلح کننده‌های فلزی به جای ژئوسنتتیک‌ها، استفاده می‌شود. با وجود آنکه مسلح کننده‌های فلزی از خانواده ژئوسنتتیک‌ها محسوب نمی‌شود، بدلیل تشابه عملکرد و نحوه اجرا، به مواردی در رابطه با آن‌ها نیز اشاره شده است.

تسمه‌های فلزی بر حسب مورد، آجدار فولادی گالوانیزه با روکش قیر یا اپوکسی است. در اینجا نیز عامل اصلی در خاک مسلح، اصطکاک بین خاک و تسمه‌هاست. خاک با اصطکاک، نیروهای وارده را به تسمه‌ها منتقل می‌کند و تسمه‌ها تحت کشش قرارمی‌گیرند. به این ترتیب خاک در جهاتی که تسمه‌ها قرارگرفته‌اند، دارای چسبندگی می‌شود که میزان آن با مقاومت کششی تسمه‌ها نسبت مستقیم دارد. لذا خاک مورد استفاده باید دارای اصطکاک داخلی مناسبی بوده و از نوع مصالح دانه‌ای غیر چسبنده و زهکش انتخاب شود. استفاده از خاک‌های چسبنده ریزدانه یا خاک‌های جاذب آب، منجر به ایجاد فشار آب حفره‌ای در حین بارگذاری شده و موجب کاهش مقاومت خاک می‌شود.

در یک سازه خاک مسلح، لازم است که در نمای خارجی آن پوسته‌ای جهت جلوگیری از ریزش خاک بین تسمه‌ها پیش‌بینی شود. به این پوسته می‌توان شکل‌های مناسبی داد.

۲۲-۹-۳-۱ عمر مفید سازه

مدت استفاده سازه خاک مسلح، بستگی به دوام تسمه‌های کششی در تماس با خاک و آب و تأثیر ناشی از فعل و انفعالات شیمیایی و بیولوژیکی دارد. در حالت استفاده از تسمه‌های فلزی، این دوام اساسا تابع نوع و شدت پدیده‌های خوردگی و زنگ‌زدگی فلز است. لذا، باید در طراحی سازه‌های خاک مسلح با تسمه‌های فلزی، اضافه ضخامت مناسب به منظور رفع اثر زنگ‌زدگی و خوردگی در نظر گرفته می‌شود.

زمان استفاده یا عمر مفید حداقل را باید از زمان استفاده احتمالی که به مراتب طولانی‌تر است، تمییز داد تا طراحی به لحاظ اقتصادی قابل توجیه باشد. لذا طراح باید اندازه‌دهی اجزای تشکیل دهنده سازه خاک مسلح را طوری انجام دهد که با عمر مفید سازه که یکی از داده‌های طراحی است، مطابقت داشته باشد.

دیوارهای خاک مسلح با طول عمر بهره برداری کمتر از ۳۶ ماه به عنوان دیوار خاک مسلح موقت نامیده می‌شود و دیوارهای حایل دائمی دارای طول عمر بهره برداری حداقل ۷۵ سال می‌باشند. برای حالت‌های مهمی مانند دیوار خاک مسلح که به عنوان کوله پل باشند یا بالای دیوار راه و یا ساختمان یا هر نوع سازه مهمی باشد در طراحی باید طول عمر بهره‌برداری بالای ۱۰۰ سال در نظر گرفته شده و مشخصات فنی مورد نیاز برای دوران بهره‌برداری متناسب با آن در نقشه‌های اجرایی در نظر گرفته شود.

۲۲-۹-۳-۲ مشخصات فنی اجزای تشکیل دهنده

الف- مصالح خاکریز

مصرف خاک‌های زراعتی، پسمانده‌های صنعتی و ضایعات و خاک‌های آوار در خاک مسلح مجاز نیست. مصالح خاکریز باید از نظر ژئوتکنیکی، شیمیایی و زهکشی، شرایط زیر را دارا باشد.

ضوابط ژئوتکنیکی:

- زاویه اصطکاک داخلی مصالح اشباع شده (در شرایط آزمایش سریع) نباید از ۲۵ درجه کمتر باشد.
- ابعاد درشت‌ترین دانه‌های تشکیل دهنده مصالح نباید از ۱۰۰ میلی‌متر تجاوز کند.

- حداکثر مجاز درصد وزنی دانه‌های ریزتر از ۰/۰۷۵ میلی‌متر (الک شماره ۲۰۰) درمصالح خاکریز ۱۵٪ است. در مورد خاک‌هایی که بیش از ۱۵٪ دانه‌های ریزتر از الک ۲۰۰ دارند از قبیل مصالح حاصل از شکستن سنگ کوهی یا مخلوط رودخانه‌ای شکسته، باید طبق نظر مهندس مشاور اقدام شود.
- در حالت مصالح حساس در مقابل رطوبت، لازم است که میزان رطوبت خاک به ۱۵ درصد محدود شود.
- استفاده از مارن، شیل، رس و گچ و اصولاًمصالح جذب کننده آب، مجاز نیست.

ضوابط شیمیایی و الکتروشیمیایی:

- میزان حداکثر یون (Cl^-) برای بناهای واقع در خشکی، ۲۰۰ میلی‌گرم در هر کیلوگرم مصالح و در مورد بناهای داخل آب شیرین، ۱۰۰ میلی‌گرم در هر کیلوگرم است. میزان حداکثر یون ($SO4^{--}$) نیز به ترتیب ۱۰۰۰ و ۵۰۰ میلی‌گرم در هر کیلوگرم می‌باشد.
- میزان PH خاک اندازه گرفته شده در مخلوط آب – خاک باید بین ۵ تا ۱۰ باشد.
- مصالح خاکریز باید فاقد مواد آلی باشند.

زهکشی:

تودهٔ خاک مسلح نباید از آب اشباع شود و حالت یک سد را به خود بگیرد. چون پوسته غیر قابل نفوذ نیست لذا جنس خاکریز باید بتواند از اشباع آب، جلوگیری کند و خاصیت زهکشی داشته باشد. معمولاً مصالح دانه‌ای مصرفی در خاک مسلح باید به عنوان زهکش عمل کند و آب در آن جمع نشود. ولی اگر خاک مصرفی خاصیت زهکشی مناسبی نداشته باشد و احتمال اشباع آن وجود داشته باشد، باید ملاحظات خاصی را برای زهکشی آن به کار برد. آنچه که معمولا انجام می‌شود این است که بین تودهٔ مسلح و زمین طبیعی یعنی در پشت و زیر دیوار از یک لایه ۵۰ سانتی‌متری تا یک متری مصالح درشت‌دانه زهکشی برای تخلیه آب استفاده می‌کنند.

ب- مسلح کننده‌های فلزی

مسلح کننده‌های فلزی (شامل تسمه‌های فلزی صاف و تسمه‌های فلزی آجدار و شبکه‌های فلزی و دیگر انواع مسلح کننده‌های فلزی) باید مشخصات زیر را داشته باشند:

- مقاومت کششی مناسب و کافی و گسیختگی از نوع غیر شکننده.
- تغییر شکل پذیری (در حدود چند درصد) تحت اثر بارهای متداول.
- اصطکاک نسبتاً قابل ملاحظه با مصالح خاکریز.
- انعطاف‌پذیری کافی تا حدی که مانع تغییر شکل پذیری مجموعه "خاک مسلح" نباشد.
- طول عمر کافی.
- اقتصادی بودن.

در شرایط فعلی، مناسب‌ترین فلز که تمامی مشخصات فوق را دارد، فولاد گالوانیزه است. برای سازه‌های دریایی یا در مجاورت دریا از فولاد غیر گالوانیزه استفاده می‌شود. ضخامت پوشش گالوانیزه باید بزرگتر از ۸۵ میکرومتر باشد و گالوانیزه باید از نوع گرم باشد. تسمه‌ها معمولا نوارهایی به ضخامت چند میلیمتر و عرض چند سانتی‌متر می‌باشند. در سطح این تسمه‌ها، برآمدگی‌هایی به شکل آج نیز برای افزایش اصطکاک در نظر گرفته شده است.

مشخصات دقیق مسلح کننده‌ها شامل نوع فولاد، طول و عرض و ضخامت آن تابع نوع و موقعیت بنای مورد نظر است که برای هر طرح در مشخصات فنی خصوصی قید شده و یا توسط مهندس مشاور تعیین می‌شود.

ج- قطعات پوسته (نمای خارجی)

در بناهای خاک مسلح دو نوع پوسته، بتنی یا فلزی (بدون بازشدگی در پوسته فلزی) به کار برده می‌شود. کاربرد پوسته فلزی کم است و فقط در مواردی که دستیابی به محل بنای خاک مسلح مشکل و حمل قطعات بتنی غیر عملی باشد از این نوع پوسته استفاده می‌شود. پوسته‌های بتنی نیز از نظر مشخصات فنی، مشابه قطعات پیش‌ساخته به کار رفته در بخش ۲۲-۹-۱-۳ می‌باشند. در این قطعات، زبانه‌های تسمه‌گیر که تسمه‌ها به آن پیچ و مهره می‌شوند و از همان نوع فلز می‌باشند در قطعات بتن ریشه گرفته است. تعداد این زبانه‌ها برای قطعات حداقل چهار است. میله‌های عمودی اتصال بین قطعات را تأمین می‌کند و امکان تغییر شکل پذیری افقی را نیز فراهم می‌کند. درزگیرهای افقی قابل تراکم از نوع لاستیک فشرده بین قطعات قرار داده می‌شود تا تغییر شکل پذیری قائم پوسته میسر باشد.

۲۲-۹-۳-۳ تهیه مصالح و لوازم و انبار کردن آن در کارگاه

الف- قطعات بتنی پیش‌ساخته

معمولا این قطعات بر اساس دستورالعمل‌های اجرایی مندرج در مشخصات فنی خصوصی و در کارگاه ساخته می‌شود یا اینکه به صورت قطعات پیش‌ساخته و آماده، تحویل کارگاه می‌شود.

برای انبار کردن این قطعات لازم است محل مناسبی که مساحت کافی داشته و دسترسی به آن آسان باشد در نظر گرفته شود. سطح محل انبار باید افقی و مسطح باشد. گاه لازم است قشر نازکی از ماسه نرم روی این سطح ریخته شود. معمولاً می‌توان پنج قطعه پیش‌ساخته را بر روی هم انبار کرد. فقط لازم است بین قطعات چهارتراش‌های چوبی قرار داده شود تا قطعات در تماس با یکدیگر نباشند.

در صورتی که ساخت قطعات در کارگاه انجام شود، لازم است برای جابه‌جایی قطعات یک روزه بتنی، انبار از محل ساخت فاصله چندانی نداشته باشد.

در هنگام بلند نمودن قطعات بتنی پیش‌ساخته باید از چهار زبانه درگیر در بتن استفاده شود.

ب- تسمه‌ها

تسمه‌های فلزی معمولا در دسته‌های ۵۰تایی به کارگاه وارد می‌شوند. تخلیه آن‌ها احتیاج به جرثقیل کوچک یا لودر دارد. محل انبار تسمه‌ها باید دور از آمد و شد کارگاهی باشد.

طول، نوع، ضخامت و عرض تسمه‌ها در مشخصات خصوصی داده می‌شود.

ج- لوازم دیگر

این لوازم عبارتند از پیچ و مهره‌ها، درزگیرها، قلابهای نصب، زبانه‌های تسمه‌گیر و غیره که همگی باید در انبار بسته و سرپوشیده محفوظ کارگاه نگهداری شوند.

۲۲-۹-۳-۴ روش اجرا

ساختمان یک تودهٔ خاک مسلح در مراحل پی‌درپی صورت می‌گیرد. هر مرحله شامل کار گذاردن یک ردیف قطعات پوسته و خاکریزی پشت آن و نصب یک ردیف مسلح کننده فلزی (مثلا تسمه) است. ساختمان دیوار خاک مسلح همواره از طرف داخل یعنی طرف خاکریزی صورت می‌گیرد و بدین سبب هیچ گاه نیازی به چوب بست نیست. ماشین‌آلات لازم برای اجرای خاک مسلح همان وسایلی است که در اجرای عملیات

خاکریزی به کار برده می‌شود. تنها یک دستگاه بالابر سبک (۲ تا ۵ تن) برای حرکت دادن و جاگذاری قطعات بتنی پوسته لازم است.

در مواردی که شرایط فنی و ایمنی ایجاب کند می‌توان دیوارها را به صورت چند مرحله‌ای یا با فاصله زمانی اجرا کرد. شرایط و نحوه اجرا تابع نوع و موقعیت بنا است که در مشخصات فنی خصوصی قید شده یا توسط مهندس مشاور تعیین می‌شود.

سر جا نگه داشتن و تأمین پایداری اولین ردیف قطعات پوسته فلزی یا قطعات پیش‌ساخته بتنی در موقع خاکریزی پشت آن‌ها، به وسیله چوب‌بست‌های موقتی که در طرف خارج دیوار قرار می‌دهند تأمین می‌شود. این پشت‌بندها در موقع خاکریزی جلوی دیوار برداشته می‌شوند.

در زیر قطعات بتنی پوسته و به منظور تأمین تراز افقی، باید به ارتفاع حداقل ۱۵ سانتی‌متر و عرض ۳۵ سانتی‌متر بتن‌ریزی شود و عیار بتن ۱۵۰ کیلوگرم سیمان در متر مکعب باشد.

برای اینکه نمای خارجی دیوار قائم باشد لازم است در موقع نصب پوسته‌ها از حرکت آن‌ها نسبت به یکدیگر جلوگیری شود. این کار به کمک گوه‌های چوبی سخت که در درزهای سه ردیف آخری که پشت آنها خاکریزی شده قرار داده می‌شود، صورت می‌گیرد. در دیوارهایی که پوسته آن‌ها بتنی است جلوگیری از پس و پیش قرار گرفتن قطعات پوسته نسبت به قطعات قبلی با گیره عمل می‌شود.

نصب مسلح کننده فلزی و خاکریزی، قسمت‌های اصلی خاک مسلح را تشکیل می‌دهد و به این جهت لازم است به طور صحیح اجرا شود. مسلح کننده فلزی را باید عمود به سطح نما و از پهنا به طور افقی روی لایه خاکریز که قبلاً انجام گرفته قرار داد. این مسلح کننده فلزی مانند تسمه‌ها را با پیچ و مهره مقاوم که حتماً باید از همان فلز تسمه باشد به قطعات پوسته متصل می‌نمایند. مهره‌ها نباید زیاد سفت شود و بین دو قسمتی که با پیچ و مهره وصل شده فاصله موجود باشد. نیروی وارد بر پیچ نباید زیاد باشد.

ارتفاع هر لایه خاکریزی برابر فاصله عمودی دو ردیف جوشن در حالت پوسته فلزی، و نصف آن در حال پوسته بتنی است. پخش و تسطیح لایه‌ها باید به موازات نمای ساختمان صورت گیرد تا رانش ناشی از حرکت ماشین‌آلات مستقیما به ردیف‌های آخری پوسته که خاکریز در پشت آن‌ها صورت می‌گیرد وارد نشود.

لازم است از عبور کامیون‌ها در فاصله کمتر از ۲ متری پوسته اجتناب شود تا از جابه‌جا شدن پوسته‌هایی که هنوز پشت آن‌ها کاملا خاکریزی و کوبیده نشده، جلوگیری به عمل آید.

در مورد کاربرد ماشین‌آلات زنجیردار باید مطلقاً از تماس مستقیم زنجیر با جوشن‌ها اجتناب کرد. خودرو باید حتماً روی لایه خاکی که در جلوی خود پخش می‌کند حرکت کند.

برای پرهیز از تغییر مکان قطعات پوسته، غلتک‌های سنگین نباید به هنگام عبور از فاصله یک متری به پوسته نما نزدیکتر شوند. متراکم کردن خاک در نزدیکی نما باید با وسایل سبک لرزنده صورت گیرد. عمل تراکم باید همواره به موازات پوسته نما و از داخل به طرف پوسته نما صورت گیرد. میزان تراکم لایه‌های خاکریز بر اساس مندرجات فصل دوم این مشخصات می‌باشد، که با توجه به نوع بنا باید در مشخصات خصوصی قید شود.

۲۲-۹-۳-۵ آزمایش‌های کنترل کیفیت

برای کنترل مصالح مصرفی و کارهای انجام شده، نوع و تعداد آزمایش‌های زیر تعیین شده است.

مصالح قرضه منتخب برای خاک مصرفی در سازه، قبل از شروع عملیات باید مورد آزمایش قرار گیرد تا کیفیت آن به شرح بند ۲۲-۹-۳-۲ از نظر دانه‌بندی و میزان یون‌های سولفات و کلر قابل حل در آب تعیین شود.

در جریان پیشرفت کار از مصالحی که در سازه خاکریز مسلح استفاده می‌شود برای هر ۱۵۰۰ متر مکعب یک آزمایش دانه‌بندی باید انجام شود. تعیین یون‌های کلر و سولفات موجود در خاک نیز باید متناوبا و به تشخیص دستگاه نظارت کنترل شود.

به ازای هر ۵۰ متر طول سازه در هر لایه، و در صورتی که عرض خاکریز زیاد باشد در هر ۵۰۰ متر مربع، یک آزمایش تعیین وزن مخصوص محلی انجام شود.

آزمایش تراکم آزمایشگاهی در صورت یکنواخت بودن جنس خاک هر ۵۰۰ متر طول یک بار صورت می‌گیرد و چنانچه کیفیت خاک تغییر کند آزمایش تراکم به تناسب و تعداد بیشتری به عمل آید.

در صورتی که مهندس مشاور انجام آزمایش‌های دیگری را علاوه بر آزمایش‌های بیان شده، ضروری تشخیص دهد، باید نسبت به اجرای آنها اقدام شود.

۲۲-۱۰ آب بندها[1]

ژئوسنتتیک‌های آب‌بند که در پروژه‌های مرتبط با زمین برای کنترل جریان آب یا سیالات دیگر و در برخی موارد، بخارات مورد استفاده قرار می‌گیرند، عبارتند از: ژئوممبرین‌ها، ژکامپوزیت‌های ژئوتکستایلی، ژئوکامپوزیت‌های رسی[2] .

آب‌بندی در پروژه‌های راه‌سازی با مقاصد زیر انجام می‌شود:

- آب‌بندی و کنترل رطوبت در بستر راه و روسازی‌ها
- حفظ رطوبت مناسب برای مصالحی از قبیل ماسه بادی یا رس (چنانچه در راه‌ها با اهمیت پایین به عنوان مصالح جسم راه، به کار روند)
- آب‌بندی در تونل‌ها
- آب‌بندی در کانال‌های زهکشی
- آب‌بندی و حفاظت سطح برم‌ها

جزئیات اجرایی در رابطه با شرایط محیطی و تاثیر سازه‌های اطراف، بسته به نوع ژئوسنتتیک مصرفی و شرایط پروژه باید در نقشه‌ها و مشخصات فنی خصوصی، قید شود.

به طور کلی، نقشه‌ها و مشخصات فنی پروژه‌های آب‌بندی، باید شامل موارد زیر باشد:

- حداقل مشخصات فنی مورد نیاز ژئوسنتتیک
- روش حمل و انبار
- نحوه آماده‌سازی بستر و روش نصب
- درزگیری و نحوه آزمایش و تایید یا رد آن
- نحوه کنترل و اطمینان از کیفیت (QC و QA)

۲۲-۱۰-۱ ژئوممبرین‌ها

نفوذپذیری ژئوممبرین‌ها در مقابل رطوبت، کمتر از رس متراکم بوده و برخی از انواع آن‌ها، دارای یک لایه مسلح کننده نیز می‌باشد.

1. Moisture Barriers
2. Geosynthetic Clay Liners (GCLs)

برای پیشگیری از بروز نشت در ژئوممبرین‌ها، اعمال دقت کافی در طراحی، آزمایش‌ها، انتخاب مشخصات، کنترل و اطمینان از کیفیت[1] در تولید محصول و مراحل نصب و اجرا، ضروری است. انتخاب ژئوممبرین باید با توجه به هدف استفاده از آن، دوام مورد نیاز متناسب با شرایط و آسیب‌های محیطی، شرایط اجرایی، شرایط دوره بهره‌برداری و ملاحظات اقتصادی انجام گیرد.

مشخصات فنی ژئوممبران باید مطابق با مشخصات فنی مندرج در استاندارد GRI-GM13 باشد. کارفرما یا مهندس مشاور در صورت لزوم مطابق با جدول ۲۲-۱۷ آزمایش‌های لازم را برای تطبیق مشخصات درخواستی محصول با ژئوممبران مورداستفاده را درخواست کنند.

جدول۲۲-۱۷ مشخصات فنی ژئوممبران و آزمایش‌های مربوط

شاخص	واحد	مقدار آزمایش	استاندارد
ضخامت کمینه	mm	هر طاقه	ASTM D5199
چگالی	g/cm^2	۹۰۰۰۰ کیلو گرم	ASTM D1505
			ASTM D6693
مقاومت کششی حین گسیختگی	N/mm	۹۰۰۰ کیلوگرم	Type IV Dumbbell. 50 Mm/min G.L. 50 mm G.L. 33 mm
مقاومت کششی حین تسلیم	N/mm		
ازدیاد طول حین گسیختگی	%		
ازدیاد طول حین تسلیم	%		
مقاومت پارگی	N	۲۰۰۰۰ کیلوگرم	ASTM D1004
مقاومت سوراخ شدگی	N	۲۰۰۰۰ کیلوگرم	ASTM D4833

۲۲-۱۰-۲ ژئوکامپوزیت‌ها

این محصولات که در پروژه‌های راه‌سازی برای کنترل رطوبت در بستر راه و روسازی به کار می‌روند، معمولاً از یک یا دو لایه ژئوتکستایل که با یک یا دو لایه ژئوسنتتیک از جنس پلی الفین‌ها آب‌بندی شده است، تشکیل می‌شوند.

1. QC & QA

۲۲-۱۰-۲-۱ حمل و انبارداری و بررسی محصول

نحوه حمل رول‌های ژئوممبران باید به گونه‌ای باشد که از هر گونه خراش، ضربه، سوراخ شدگی، قرارگیری مستقیم در مقابل نور خورشید و غیره جلوگیری شود.

محل انبار ژئوممبران‌ها باید به‌گونه‌ای باشد که از هرگونه سوراخ شدگی، خراش یا ساییدگی، آلودگی مثل خاک، سیمان یا غیره، رطوبت بیش از اندازه، جلوگیری شود.

لازم است ژئوممبران های موجود در انبار حداقل به صورت هفته‌ای یکبار بازدید شوند تا از احتمال مواردی که به آن‌ها آسیب وارد می‌کنند اطلاع پیدا کنید.

ژئوممبران‌ها باید کاملا صاف بوده و عاری از هرگونه سوراخ، حباب، بادکردگی، آلودگی با مواد خارجی ، شکستگی و ترک باشند.

تمام رول‌های ژئوممبران تحویلی، باید دارای برچسب کارخانه بوده که مشخصات فنی آن شامل نام کارخانه یا واردکننده، نوع محصول، ضخامت، طول، عرض، شماره رول روی محصول نصب‌شده باشد.

۲۲-۱۰-۲-۲ کلیات و ملاحظات نصب

- گروه نصاب ژئوممبران باید قبل از شروع نصب اطلاع کافی از پانل‌های ژئوممبران و محل درزها و اتصالات داشته و تمام جزئیات اجرایی را در نظر گرفته باشد تا در محل‌های اجرایی خاص مثل گوشه، رمپ‌ها، سازه‌ها و غیره با مشکل مواجه نشود.
- گروه نصاب باید قبل از نصب ژئوممبران شرایط محیطی را کاملاً بررسی کرده و در صورت مناسب بودن شرایط محیطی عملیات نصب را اجرا کند.
- گروه نصاب ژئوممبران باید تجربه کافی داشته باشند و حداقل یک مورد کار در ابعاد پروژه مذکور انجام داده باشند.
- تجهیزات جوش و اتصال ورق های ژئوممبران باید شامل موارد زیر باشد:
  - تعداد کافی دستگاه جوش ژئوممبران برای اجتناب از تاخیر در کار
  - تعداد کافی گوه و فیوز لازم برای دستگاه جوش متناسب با نوع ژئوممبران
  - تعداد کافی اکسترودر و فیوژن جوش
  - تجهیزات کافی برای اندازه گیری دمای هوا
  - منبع برق با ولتاژ ثابت

- در هنگام پهن کردن رول ژئوممبران برای جلوگیری از جمع شدگی و بلند شدن در اثر باد بهتر است از کیسه‌های حاوی ماسه استفاده گردد. این کیسه‌ها نباید باعث ایجاد خطر برای ژئوممبران شوند.
- حتی الامکان از حرکت بر روی ژئوممبران پهن شده اجتناب شود. ولی به هر حال پرسنل باید از پوشیدن کفش هایی که باعث آسیب برای ژئوممبران می‌شود اجتناب کنند.
- سیگار کشیدن پرسنل در حین نصب ژئوممبران ممنوع است.
- عبور و مرور وسایل نقلیه بر روی ژئوممبران ممنوع است ولی حرکت محدود وسایل نقلیه با چرخ لاستیکی به شرطی که فشار تماس چرخ ها کمتر از ۵۵ کیلو پاسکال باشد اشکالی ندارد.
- اگر ژئوممبران در محلی است که عبور و مرور باید از روی آن انجام گیرد باید یک لایه محافظ با مشورت کارفرما یا مشاور طرح روی ژئوممبران قرار داده شود.
- تمهیدات لازم برای انقباض و انبساط حرارتی ژئوممبران از طرف اکیپ اجرایی انجام گردد.
- درگوشه های و قسمت‌های با حالت پیچیده مثل کنار سازه ها لوله‌ها و غیره، گوشه رمپ‌ها و غیره حداقل میزان درزهای اجرای ژئوممبران قرار داده شود.
- برای ایجاد اتصال مناسب بین ورق‌های ژئوممبران از همپوشانی کافی استفاده گردد. طبق آیین‌نامه‌ها حداقل همپوشانی ۱۵ سانتی‌متر پیشنهاد می‌گردد.
- دما، سرعت و گوه دستگاه جوش ژئوممبران را متناسب با ژئوممبران مورد مصرف انتخاب شود.
- قبل از اکسترود کردن، قسمت های حرارتی دستگاه تمیزگردد و درجه حرارت طوری تنظیم گردد که آسیب به ژئوممبران وارد نشود.
- قبل از اجرای جوش ورق‌های ژئوممبران را از گرد و خاک رطوبت آلودگی و غیره پاک شود.
- دستگاه جوش ژئوممبران باید قابلیت تنظیم دما و سرعت حرکت را داشته باشد.
- قبل از انجام جوش ورق‌های اصلی، یک سری نمونه جوش شود تا از مناسب بودن نوع دستگاه، درجه حرارت و سرعت نصب اطمینان حاصل شود. شرایط محیطی در هنگام جوش نمونه‌ها باید همان شرایط ورق‌های اصلی باشد. در هر روز حداقل دو نمونه از هر دستگاه موجود، یکی قبل از کار و یکی در وسط کار مورد جوش قرار گیرد. برای انجام جوش، نمونه‌های ژئوممبران باید دارای حداقل عرض ۲/۵ سانتی‌متر و طول ۱۵ سانتی‌متر باشند.
- تست خلاء مطابق با استاندارد ASTM D5641 بعد از انجام جوش ژئوممبران باید انجام گردد.

- آزمایش فشار هوا مطابق با استاندارد ASTM D5820 بعد از انجام جوش ژئوممبران انجام گردد.
- در صورت نیاز کارفرما یا مهندس مشاور قسمت‌هایی از جوش ورق‌های اصلی را بریده و برای انجام تست‌های برشی، کششی و غیره روی اتصال به آزمایشگاه خواهند فرستاد. این نمونه باید دارای حداقل عرض ۳۰ سانتی‌متر باشد.
- پیشنهاد می‌شود انتهای رول‌های اصلی را که جوش شده و اضافه هستند برای انجام آزمایش‌های میدانی بریده و آزمایش شود. همچنین سه نمونه به ابعاد۳۰×۳۰ سانتی‌متر انتخاب و یکی به نصب کننده ژئوممبران و یکی به آزمایشگاه ارسال و دیگری آرشیو شود.

-آزمایش‌های میدانی طبق استاندارد ASTM D6392 انجام گردد.

۲۲-۱۰-۲-۳ آماده‌سازی بستر قبل از نصب ژئوممبران

تسطیح و آماده‌سازی سطح به طوری که سطح عاری از وجود سنگ‌دانه‌های با قطر بیشتر از ۱۹ میلی‌متر باشد. همچنین بستر خاکی باید عاری از وجود هرگونه آرماتور، اشیاء نوک‌تیز، قطعات بتن شکسته و ... باشد.

خاک‌برداری به حالتی که موجب تقعر درشیب خاکی شود ممنوع می‌باشد. در صورت امکان خاک‌برداری به‌گونه‌ای انجام شود که سطح نهایی شیب خاکی تحدب داشته باشد. مقدار تحدب در وسط شیب برابر ۱۰ سانتی‌متر و مقدار تحدب در بالا و پایین شیب صفر می‌باشد.

بعد از خاک‌برداری سطح شیب بایستی متراکم شود. در صورت ناهموار بودن سطح شیب پس از خاک‌برداری و یا خاک‌برداری بیش از اندازه باید در محل موردنظر خاک درشت‌دانه مناسب ریخته و متراکم شود.

پس از خاکرداری، سطح شیب خاکی باید از وجود ریشه گیاهان احتمالی باقیمانده کاملا پاک شده و در سطح خاک از علف کش برای جلوگیری از رویش مجدد گیاه استفاده شود.

در صورت نیاز در سرتاسر سطح شیب می‌توان حداکثر تا ضخامت ۱۰ سانتی‌متر از مصالح دانه‌ای (شن یا ماسه) برای تسطیح نهایی سطح استفاده کرد.

در محل کنج‌ها و اطراف سازه‌های بتنی و محل ورود لوله‌ها باید با ایجاد ماهیچه ملاتی زاویه اجرا به ۱۳۵ درجه افزایش یابد. ابعاد ماهیچه ملاتی حداقل ۳۰ سانتی‌متر یا بیشتر به‌گونه‌ای در نظر گرفته شود که ژئوممبران به‌راحتی روی بستر تماس کامل داشته باشد.

۲۲-۱۰-۲-۴ نکات حین نصب ژئوممبران

لازم است گروه نصاب پلان چیدمان ژئوممبران (برحسب عرض رول ژئوممبران و محل‌های اجرایی خاص) را تهیه‌کرده و حداقل یک هفته قبل از شروع عملیات نصب به تائید مشاور رسانده شود.

تمهیدات لازم برای انقباض و انبساط حرارتی ژئوممبران از طرف گروه نصب کننده صورت پذیرد. نصب ژئوممبران فقط در دمای محیطی بین ۲ الی ۳۷ درجه سلسیوس انجام شود. در غیر این صورت باید شروع ساعات کاری به‌گونه‌ای تنظیم شود که دمای هوا در محدوده فوق‌الذکر باشد. نصب کل ژئوممبران‌ها باید در یک شرایط آب و هوایی و دمایی انجام شود.

شرایط آب و هوایی و دمایی باید در گزارش‌های روزانه کارگاه ثبت شود.

نصب لایه‌های ژئوممبران قبل و بعد از جوش دادن باید بدون چین و چروک انجام شود.

چنانچه چروک ایجاد شده در محل درز طولی (دهن ماهی) در مسیر جوش قرار بگیرد باید به نحو مقتضی چروک ایجاد شده رفع شود.

در گوشه‌ها و قسمت‌های با حالت پیچیده مثل کنار سازه‌ها، لوله‌ها، گوشه رمپ‌ها و غیره حداقل درزهای اجرای ژئوممبران قرار داده شود.

برای ایجاد اتصال مناسب بین ورق‌های ژئوممبران از همپوشانی طولی کافی در محل درز استفاده گردد. همپوشانی طولی در محل درز اجرایی حداقل۱۰ سانتی‌متر و حداکثر۳۰ سانتی‌متر می‌باشد.

دما، سرعت و گوه دستگاه جوش ژئوممبران را متناسب با ژئوممبران مورد مصرف انتخاب شود.

لازم است در اولین زمان ممکن پس از جوشکاری، آزمایش‌های غیر مخرب (مانند آزمایش فشار هوا) روی تمام خطوط جوش به‌طور کامل صورت گیرد.

درصورتی‌که در حین آزمایش فشار هوا محل نشتی معلوم باشد حتماً محل نشتی با وصله‌ای مربع شکل به ابعاد حداقل ۳۰ سانتی‌متر ترمیم شود. چنانچه محل نشتی معلوم نباشد حتماً کل طول درز با وصله‌ای به عرض حداقل ۳۰ سانتی‌متر و طول کامل درز ترمیم شود.

۲۲-۱۰-۳ ژئوکامپوزیت‌های رسی

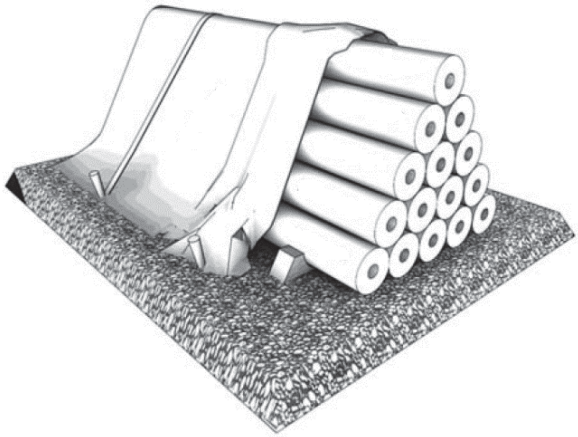
این نوع ژئوسنتتیک از یک لایه پودر بنتونیت خشک که بین دو لایه ژئوتکستایل یا یک لایه ژئوممبرین نگهدارنده قرار گرفته است، تشکیل می‌شود. لایه بنتونیت در زمان جذب آب، به شدت غیر

قابل نفوذ می‌شود. خاصیت گذردهی کم خاک رس خالص در مقابل مایعات پایه تشکیل نوعی ژئوکامپوزیت رسی بنام جی سی ال[1] شده است.

۲۲-۱۰-۳ -۱ پذیرش و انبارداری جی سی ال

قبل از پذیرش طاقه‌های جی سی ال باید دقت کرد تا بسته‌بندی طاقه‌های وارده عاری از آسیب دیدگی باشد. و تمامی طاقه‌های وارده دارای برچسب بوده و از پذیرش طاقه‌های فاقد برچسب و یا با بسته‌بندی آسیب دیده خودداری شود.

انبار محصول باید در محیط خشک با سطح صاف زیرین صورت بگیرد. برای جلوگیری از رسیدن آب به محصول می‌باید طاقه‌ها در محدوده مسقف نگهداری شود یا اینکه پوشش آب بند مناسب (مانند دولایه پلاستیک ضخیم) بر روی آن کشیده شود. همین طور محل نگهداری باید به صورت مناسبی زهکشی گردد تا آب به محل ذخیره طاقه‌ها راه نیابد. در هنگام جابه‌جایی طاقه‌ها باید از طاقه باز کن یا حداقل یک لوله فولادی در وسط رول استفاده شود تا طاقه‌ها در هنگام جابه‌جایی دچار شکست نشود. حداکثر تعداد قابل ذخیره طاقه‌ها به صورت طبقاتی برابر ۱۵ طاقه در ۵ ردیف است.



شکل ۲۲-۲۲ نحوه ذخیره سازی طاقه‌ها به صورت طبقاتی

---

[1] Geosynthetics Clay Liner

۲۲-۱۰-۳ -۲ شرایط آب و هوایی برای نصب جی سی ال

مکانیزم عملکرد جی سی ال فرآیند جلوگیری از عبور سیالات توسط قابلیت جذب آب توسط رس بنتونیت و قرارگیری آب در ساختار مولکولی لایه‌ای شکل آن که منجر به متورم شده رس می‌شود، استوار است. هنگامی که بنتونیت متورم می‌شود در صورتی که مابین دو سطح سفت، یعنی سطوحی که می‌توانند مانع از انبساط نامحدود آن در اثر متورم شوند، قرار داشته باشد، به مرور تبدیل به نوعی ژل نفوذ ناپذیر می‌شود که خلل و فرج مابین دو سطح را پر کرده و عمل ایزولاسیون اتفاق می‌افتد. بنابراین متورم شدن بنتونیت در اثر تماس با سیال و سفتی سطوح زیر و روی آن، شروط لازم و کافی برای ایزولاسیون مناسب توسط جی سی ال است و می‌توان نتیجه گرفت که جی سی ال را هیچ‌گاه نمی‌شود به صورت روباز استفاده نمود. متداول‌ترین نوع بنتونیت مورد استفاده، بنتونیت سدیم فعال است که بصورت پودر نرمی مابین دو لایه ژئوتکستایل قرار می‌گیرد. بنتونیت سدیم دارای قابلیت متورم شدن تا ۱۵ برابر حجم اولیه خود است. علاوه بر نوع پودری، نوع گرانول آن نیز بکار گرفته می‌شود که هر چند دیرتر شروع به تورم می‌کند اما مقدار تورم نهایی آن با نوع پودری مساوی خواهد بود. بنتونیت سدیم در مجاورت سیالات خنثی نظیر آب شیرین به خوبی منبسط می‌شود اما در صورتی که غلظت برخی یون‌ها نظیر کلر، سدیم، منیزیم، در سیال زیاد باشد مانع از متورم شدن آن خواهند شد. جهت استفاده در این موارد، بنتونیت سدیم را پلیمریزه می‌نمایند که تا حدودی در بهبود خاصیت متورم شدن بنتونیت موثر است. همچنین بنتونیت در مجاورت سیالات هیدروکربنی منبسط نمی‌شود که در چنین مواردی جهت حصول غشاء آب‌بندکننده باید جی سی ال را قبل از مجاورت با سیال (یعنی در مرحله نصب) پیش آب‌دهی نمود و قبل از آنکه رطوبت از بین برود.

به طور کلی وجود هوای آفتابی شرط اصلی آب و هوایی برای شروع عملیات نصب می‌باشد.

به منظور جلوگیری از انبساط جی سی ال در اثر هیدراتاسیون ناشی از آب‌های سطحی لازم است بلافاصله پس از نصب جی سی ال روی آن با یک لایه نایلون پلی اتیلن ضخیم پوشانده شود. در ضمن این نایلون از ورود شیرابه بتن مگر روی آن و آسیب جی سی ال جلوگیری می‌کند.

پس از نصب جی سی ال باید روی آن با یک لایه خاک به ضخامت حداقل ۳۰ سانتی‌متر پوشانده شود. لازم بذکر است که ضخامت خاک پوششی به حدی باید باشد که حداقل فشار ۶ کیلوپاسکال بر جی سی ال را اجرا نماید. در این پروژه برای پوشش از ۱۵ سانتی‌متر بتن استفاده شده است که به عنوان بتن

مگر زیر فونداسیون نیز استفاده شود. لازم است که پس از بتن‌ریزی برای افزایش تنش وارده به جی سی ال با ایجاد بارگذاری بر سطح بتن (مثلا گذاشتن آرماتورهای لازم برای پی) مقدار فشار را افزایش داد.

۲۲-۱۰-۳ -۳ آماده سازی بستر برای نصب جی سی ال

قبل از نصب جی سی ال لازم است تا سطح از وجود هرگونه آشغال(چوب، فلز،بتن و سنگریزه و ...) پاک شود. اگر بستر زیرین جی سی ال خاکی باشد لازم است که قلوه سنگ‌های بیشتر از ۶۳ میلی‌متر برداشته شوند. اگر سطح زیرین جی سی ال بتن باشد لازم است سطح خوب جاروکشی شود. هرگونه برآمدگی ناگهانی بیش از ۱۲ میلی‌متر از سطح و هرگونه تغییر ناگهانی در سطح بیش از ۲۵ میلی‌متر باید ترمیم گردد.

به طور کلی در هنگام نصب جی سی ال باید سطح خشک (رطوبت به گونه‌ای که محصول را هیدراته نکند مشکل زا نیست) باشد.

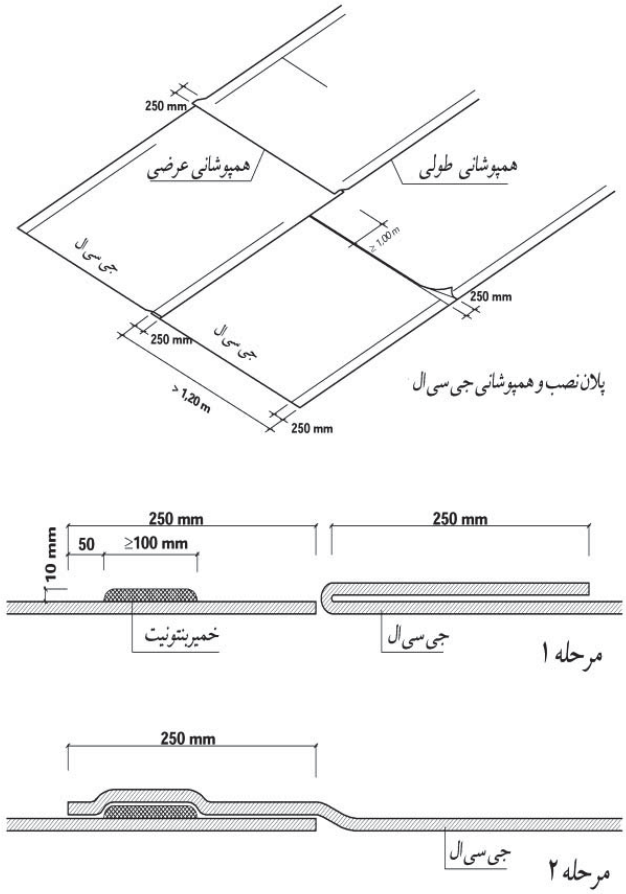
۲۲-۱۰-۳ -۴ اصول نصب جی سی ال در کف

پس از آماده‌سازی بستر و اجرای بتن مگر، جی سی ال بر روی کف پهن می‌گردد. در شکل ۱۸ جزئیات و مقادیر همپوشانی طولی و عرضی ارائه شده است. بین رول‌های مجاور باید همپوشانی (عرض و طولی) به میزان ۲۵ سانتی‌متر انجام شود و در محل همپوشانی نیز از پودر بنتونیت به مقدار ۰/۵ کیلوگرم در متر طول استفاده می‌شود. پس از پوشاندن کل کف، در محل تلاقی کف با دیواره گودبرداری باید با تمهیداتی جی سی ال را به دیوار متصل نمود (شکل۲۲-۲۳). جهت این کار معمولا از میخ کردن جی سی ال به دیوار استفاده می‌شود. پس از اجرای جی سی ال، آرماتوربندی فونداسیون انجام شده و سپس بتن ریزی قابل انجام خواهد بود. در راستای اجرای جی سی ال در کف رعایت کلیات ذیل نیز باید در نظر گرفته شود:

- جهت نصب جی سی ال باید در یک جهت باشد. در سطوح صاف جهت باز نمودن جی سی ال خیلی اهمیت ندارد.
- حداقل مقدار همپوشانی در شکل۲۲-۲۳ ارایه شده است و تحت هیچ شرایط در اجرا مقدار همپوشانی کمتر از مقادیر ارایه شده نباید اجرا شود.

-وجود همپوشانی عرض برای دو نوار کنار هم ممنوع است و لازم است که محل همپوشانی عرضی در دو نوار حداقل ۱ متر از هم فاصله داشته باشد (شکل۲۲-۲۳).

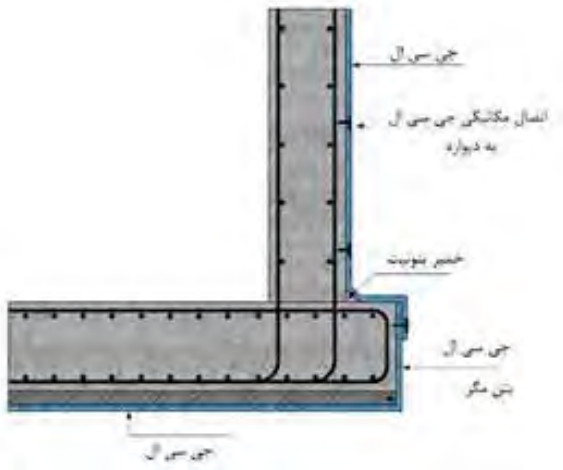
-از پهن نمودن جی سی ال در مساحتی بیش از حدی که نتوان حداکثر در یک روز روی آن را توسط خاک یا بتن پوشاند، خودداری شود.



شکل ۲۲-۲۳ اجرای جی سی ال در کف

- در کنج‌ها برای اجرای صحیح لازم است از یک ماهیچه بنتونیتی (شکل۲۲-۲۴) بین دیوار یا فونداسیون و جی سی ال استفاده شود.
- از رفت و آمد ماشین‌آلات و بارگذاری مستقیم بر روی جی سی ال باید جلوگیری شود.

- محل همپوشانی طولی و عرضی باید عاری از هرگونه آلودگی باشد و فقط باید از پودر یا خمیر بنتونیت در محل همپوشانی باید استفاده نمود. لازم به ذکر است آب‌بندی صحیح در محل همپوشانی منوط به استفاده صحیح از بنتونیت در محل همپوشانی می‌باشد.



شکل۲۲-۲۴- اجرای جی سی ال در اطراف فونداسیون

۲۲-۱۰-۳ -۵ اصول نصب جی سی ال در دیواره

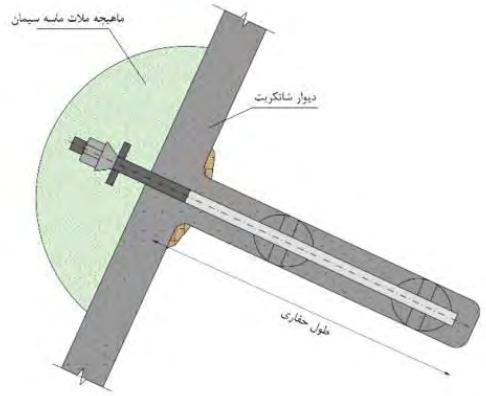
کلیات اجرای جی سی ال بر روی دیواره مشابه اجرا بر روی کف می‌باشد. جی سی ال قابلیت اجرا بر روی طیف وسیعی از دیتایل‌های ساختمانی را داراست. جهت همپوشانی رول‌های جی سی ال در دیواره‌ها از ملات بنتونیت استفاده می‌شود. در گوشه‌ها نیز یک لایه اضافی جی سی ال به عرض حدود ۵۰ سانتی متر در امتداد عمق اجرا شده و توسط ملات بنتونیت به جی سی ال مجاور چسبانده می‌شود. با توجه به استفاده از جی سی ال، نیاز است تا سر نیل‌ها را با اجرای ملات ماسه سیمان صاف نموده و سپس اقدام به اجرای جی سی ال نمود. به این منظور باید حتی الامکان از کوتاه نمودن سر نیل‌ها اجتناب کرد (شکل۲۲-۲۵).

لازم بذکر است مشاور و طراح سیستم نیلینگ در پروژه باید نسبت به محاسبه و اعلام حداقل رزوه آزاد لازم بعد از مهره سر نیل، اقدام نماید تا در صورت نیاز اضافه رزوه جهت نصب جی سی ال بریده شود.

برای اجرای ملات ماسه سیمان سر نیل‌ها به شرح ذیل باید عمل شود:

ابتدا یک تور مرغی یا رابیتس به ابعاد ۲ برابر صفحه سر نیلینگ بر روی صفحه گذاشته شده و ملات ماسه سیمان به ضخامت مورد نظر اجرا خواهد شد. برای جلوگیری از طبله نمودن و ریزش ملات لازم است ملات در طی ۲ مرحله به ضخامت مورد نظر بر روی سر نیل اجرا شود.

جهت اتصال جی سی ال به دیواره از میخ‌های مخصوصی به فاصله ۵۰ سانتی‌متر استفاده می‌شود (شکل۲۲-۲۵). لازم به ذکر است پس از نصب جی سی ال بروی دیوار حائل، در صورت فاصله بین دیواره حائل و دیواره گود باید با خاک پر شود تا هم شرایط اجرا برای نصب جی سی ال در طبقات بالا فراهم آید و هم در هنگام عملیات خاکریزی هیچ گونه آسیبی به لایه جی سی ال وارد نشود. پیشنهاد می‌شود جهت محافظت از لایه جی سی ال در هنگام خاکریزی از یک لایه ژئوتکستایل نیز استفاده گردد. لازم است تا در حین نصب ارتباط کامل بین محصول و دیواره زیرین وجود داشته باشد.

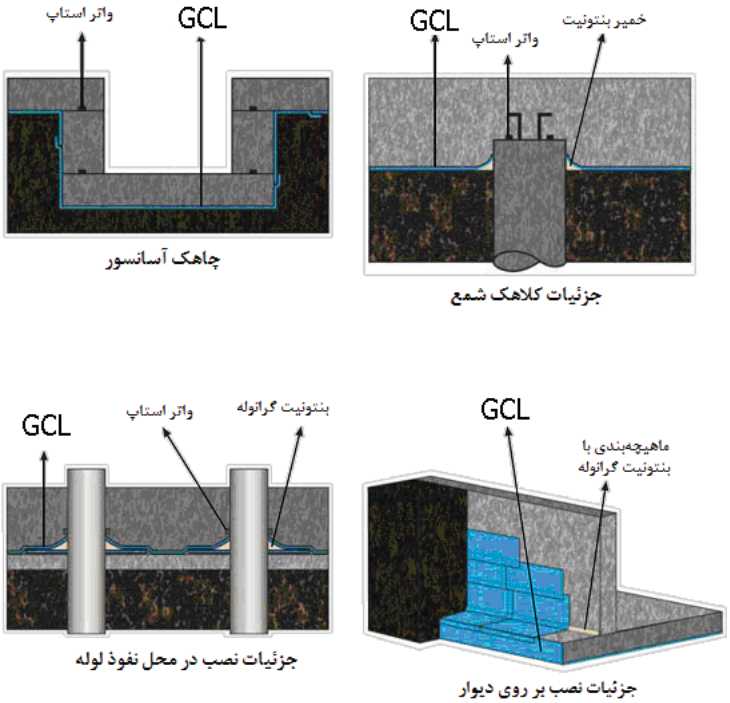


شکل۲۲-۲۵ جزئیات آماده سازی سر نیل ها برای نصب جی سی ال در دیواره

در صورتی که جی سی ال در دیواره مستقیم با بتن ریزی دیوار حائل در تماس باشد یا اینکه دیواره خیس باشد و احتمال رسیدن آب و خیس نمودن جی سی ال باشد. لازم است یک لایه نایلون پلی اتیلن در زیر و روی آن هنگام نصب کشیده و بر دیواره میخ شود.

لازم بذکر است در ارتفاعی از دیوار که وجود نشت آب وجود دارد یا آنکه احتمال رسیدن آب وجود داشته باشد لازم است که بر دیواره ابتدا یک نوار زهکش قائم به عرض ۱۰ سانتی‌متر به فاصله مرکز به مرکز۲٫۵ متر و ارتفاع برابر با دیوار درمعرض تراوش، نصب شده و سپس نصب نایلون زیر و جی سی ال و نصب نایلون رویه اجرا شود. لازم بذکر است در کف گود اتصال نوار زهکش قائم به زهکش کف موجود باید برقرار باشد تا از تجمع آب در روی بتن مگر موجود جلوگیری شود.

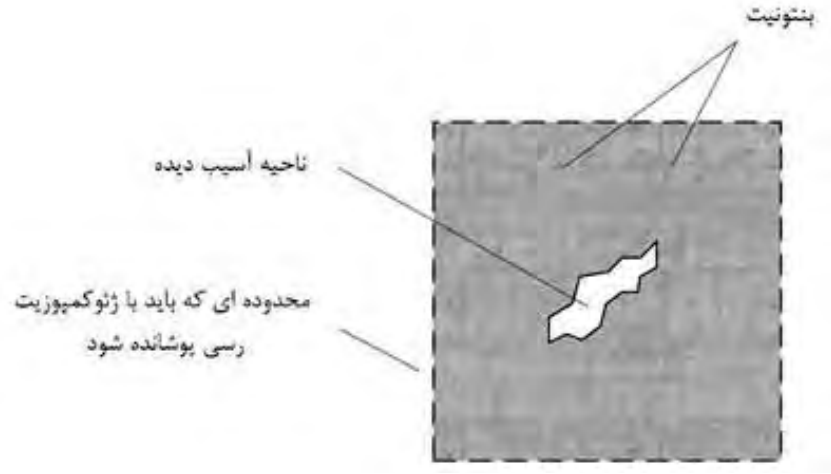
در شکل۲۲-۲۶ بطور کلی نحوه اجرای جی سی ال در اطراف سر شمع و دیواره گود و محل اتصال لوله‌ها ارایه شده است.



شکل۲۲-۲۶ نحوه اجرای جی سی ال در اطراف سر شمع و دیواره گود و محل اتصال

۲۲-۱۰-۳ -۶ تعمیر محل آسیب دیده

در صورتی که محصول مورد استفاده آسیب ببیند باید عملیات تعمیر با استفاده از تکه دهی انجام شود. باید در اطراف حفره ایجاد شده تکه‌ای قرار گیرد به گونه‌ای که حداقل فاصله از لبه آسیب دیدگی ۳۰ سانتی‌متر باشد. مقدار پودر بتن مورد نیاز در همپوشاتی‌ها در این مورد ۵۰۰ گرم بر متر طول است.



شکل ۲۲-۲۷- نحوه تعمیر حفره های ایجاد شده در محصول در اثر عملیات اجرایی

۲۲-۱۰-۴ ملاحظات اجرا

با توجه به اهمیت بالای نصب صحیح آب‌بندها، مراحل اجرا باید با توجه به توصیه‌های تولیدکننده محصول و مطابق با نقشه‌ها و مشخصات فنی خصوصی انجام پذیرد.

توجه به شرایط محیطی و سازه‌های مجاور: جزئیات اجرایی در رابطه با شرایط محیطی و تاثیر سازه-های اطراف، بسته به نوع ژئوسنتتیک مصرفی و شرایط پروژه باید در نقشه‌ها و مشخصات فنی خصوصی، قید شود.

بطور کلی، نقشه‌ها و مشخصات فنی پروژه‌های آب‌بندی، باید شامل موارد زیر باشد:

- حداقل مشخصات فنی مورد نیاز ژئوسنتتیک
- روش حمل و انبار
- نحوه آماده‌سازی بستر و روش نصب
- درزگیری و نحوه آزمایش و تایید یا رد آن
- نحوه کنترل و اطمینان از کیفیت (QC و QA)

۲۳

تونل

۲۳-۱ کلیات

با عنایت به اینکه در ضابطه شماره ۱۴-۸۰۰ «آیین‌نامه تونل‌های برون شهری» مقررات تونل‌های برون شهری (بخش اول)، ضوابط و معیارهای فنی تونل‌های برون شهری (بخش دوم) بیان شده است، رعایت آن الزامی بوده و چنانچه تناقضی با مشخصات فنی و الزامات ارایه شده در این فصل وجود داشته باشد، مفاد ضابطه شماره ۱۴-۸۰۰ لازم‌الاجرا می‌باشد.

۲۴

دستورالعمل‌های ایمنی و بهداشت حرفه‌ای در کارهای راه‌سازی

۲۴-۱ کلیات

این فصل شامل حداقل مقررات و ضوابطی است که رعایت آنها موجب می‌گردد تا با استفاده از وسایل و تجهیزات ایمنی و حفاظتی مناسب، فراهم کردن تسهیلات مورد نیاز برای سکونت، تهیه مواد غذایی، آب آشامیدنی سالم، وسایل و سرویس‌های بهداشتی، انتخاب وظایف شغلی متناسب با توانایی‌های جسمی و روانی کارگران و آموزش آنان در مورد خطرات ناشی از کار و روش‌های پیشگیری و حفاظت در برابر عوامل زیان‌آور محیط کار و نهایتاً بهره‌گیری از روش‌های صحیح و ایمن برای اجرای عملیات پیمان، ایمنی و سلامتی کارکنان شاغل در کارهای راهسازی تأمین شود.

۲۴-۲ هدف و دامنه کاربرد

ایمنی[1] و بهداشت حرفه‌ای[2] ترکیبی از علوم پزشکی و مهندسی است که مسایل مربوط به ایمنی، بهداشت و درمان کارکنان را برای دستیابی به اهداف زیر بررسی می‌کند.

۲۴-۲-۱ تامین سلامت جسم و روان

تأمین، حفظ و ارتقای سطح سلامت جسمی، روانی و اجتماعی کارکنان و کارگران.

۲۴-۲-۲ پیشگیری از بیماری و حوادث

پیشگیری از بیماری‌ها و حوادث ناشی از کار.

۲۴-۲-۳ سازگاری کار با انسان

انتخاب کارگر یا کارمند برای محیط و شغلی که از هر نظر توانایی انجام آن را داشته باشد و به عبارت دیگر ایجاد سازگاری کار با انسان، و یا انسان با کار.

---

1. Safety
2. Occupational Health

۲۴-۳ عوامل زیان‌آور محیط کار و علل وقوع حوادث ناشی از کار

۲۴-۳-۱ عوامل زیان‌آور محیط کار

ارزیابی و کنترل عوامل زیان‌آور محیط کار یکی از برنامه‌های اصلی ایمنی و بهداشت حرفه‌ای است. این عوامل عبارتند از:

۲۴-۳-۱-۱ عوامل فیزیکی محیط کار

عوامل فیزیکی شامل صدا، ارتعاش، گرما، سرما، فشار، پرتوها و . . . .

۲۴-۳-۱-۲ عوامل شیمیایی محیط کار

عوامل شیمیایی زیان‌آور مانند گازها، بخارات، دود ناشی از تهیه آسفالت و گرم کردن قیر، غبار حاصل از شکستن ماسه‌سنگ‌ها و سنگ‌های سیلیسی.

۲۴-۳-۱-۳ عوامل زیست شناختی محیط کار

عوامل زیست‌شناختی مانند ویروس‌ها، باکتری‌ها و قارچ‌ها.

۲۴-۳-۱-۴ عوامل انسانی محیط کار

عوامل انسانی[1] مانند وضعیت نامطلوب بدنی در هنگام کار، وارد شدن فشار بیش از حد روی اندامی خاص و . . . .

۲۴-۳-۲ علل وقوع حوادث ناشی از کار

علل وقوع حوادث ناشی از کار که طی آن احتمال آسیب به افراد، خسارت به تجهیزات و محیط، اتلاف مواد و ضعف در عملکرد مطلوب را به وجود می‌آورد، به طور عمده عبارتند از:

1. Human Factors

۲۴-۳-۲-۱ اعمال ناایمن

اعمال ناایمن[1] مانند کار با ماشین در سرعت غیر مجاز، استفاده نکردن از وسایل حفاظت فردی، سرویس ماشین‌آلات در حال کار، و شوخی‌های نابجا در حین کار.

۲۴-۳-۲-۲ شرایط ناایمن

شرایط ناایمن[2] یا علل فیزیکی مربوط به ماشین، مواد و محیط کار مانند نقص فنی ماشین، انبار کردن و نگهداری مصالح در محل یا شرایط ناایمن.

۲۴-٤ مقررات عمومی

در قالب مقررات عمومی و به منظور اجرای آیین‌نامه ایمنی و بهداشت حرفه‌ای، موارد زیر باید رعایت شود.

۲۴-٤-۱ برنامه ایمنی و بهداشت حرفه‌ای

پیمانکار موظف است قبل از شروع کار برنامه معینی برای پیشگیری و کنترل حوادث و بیماری‌های شغلی تهیه کند و آن را در عمل به کار گیرد. این برنامه باید ویژگی‌های زیر را داشته باشد:

الف: ارائه تعریف مشخصی از ایمنی و بهداشت حرفه‌ای در حین اجرای پیمان به طوری که مسئولیت خود را در برابر تعهدات قانونی و تأمین سلامتی کارکنان بپذیرد و تمهیدات لازم را برای جذب نیروی متخصص در زمینه ایمنی و بهداشت حرفه‌ای، تهیه وسایل و تجهیزات حفاظتی مورد نیاز و ارائه تسهیلات رفاهی در نظر بگیرد.

ب: آموزش کارکنان متناسب با شرایط کار و خطراتی که با آن روبرو هستند.

پ: انجام بازدیدهای منظم و مستمر توسط افراد صلاحیت‌دار در مراحل مختلف اجرای پیمان برای اطمینان از رعایت اصول و مقررات ایمنی و بهداشت حرفه‌ای.

ت: برنامه‌ریزی برای ثبت، پردازش، تحلیل، گزارش و بایگانی حوادثی که در حین اجرای پیمان اتفاق می‌افتد.

ث: کاربرد ایمن دستگاه‌ها و ماشین‌آلات برابر با دستورالعمل کارخانه سازنده.

---

1. Unsafe Acts
2. Unsafe Condition

ج: تطبیق شرایط کار با قوانین، آیین‌نامه‌ها و استانداردهای ایمنی و بهداشت حرفه‌ای.

۲۴-٤-۲ حمایت مدیریت

کلید یک برنامه مؤثر پیشگیری و حفاظت در برابر حوادث و بیماری‌های شغلی حمایت مدیریت برای ساماندهی و تداوم تلاش‌های ایمنی است که عملا موجب می‌شود تا تمامی کارکنان نسبت به رعایت اصول و مقررات ایمنی و بهداشت حرفه‌ای احساس مسئولیت کنند. ساماندهی برنامه‌های ایمنی، اصلاح روش‌های کار و تدارک وسایل و تجهیزات ایمنی گرچه هزینه‌هایی را به پیمانکار تحمیل می‌کند ولی باید در نظر داشت که پیامدهای حوادث نیز قابل توجه هستند. «فعالیت ایمن» می‌تواند زمان‌های توقف کار و هزینه ساخت را کاهش دهد، رضایت شغلی کارکنان را فراهم کند و در بهره‌وری و کیفیت کار تأثیر مثبت داشته باشد.

۲۴-٤-۳ شرایط انجام کار

انجام کارهای راهسازی نباید مستلزم پذیرش ریسک بالا برای کارکنان باشد. به عبارت دیگر پیمانکار نباید وظایفی را به کارکنان محول کند که توانایی انجام آن را نداشته باشند یا کار در شرایط غیرایمن، مخاطره‌آمیز و غیر بهداشتی انجام گیرد به نحوی که سلامتی کارکنان به طور جدی به خطر بیفتد. در این مورد قوانین، آیین‌نامه‌ها و استانداردهای ایمنی و بهداشت حرفه‌ای باید ملاک عمل قرار گیرد.

۲۴-٤-٤ آموزش کارکنان

پیمانکار موظف است نسبت به آموزش کارکنان خود در مورد شناسایی و پیشگیری از شرایط ناایمن، انجام فعالیت‌های ایمن و کاربرد استانداردهای ایمنی و بهداشت حرفه‌ای اقدام کند تا در برابر هر نوع حادثه و بیماری بتوانند از خود محافظت کنند. کارکنان باید با نحوهٔ استفاده از وسایل حفاظت فردی در مقابل خطرات احتمالی آشنایی کافی داشته باشند. پیمانکار موظف است برای کسانی که در جریان کار با مواد قابل اشتعال و قابل انفجار، گازها و بخارات سمی، جابه‌جایی اشیاء سنگین و موارد مشابه در ارتباط هستند برنامه‌های آموزشی ویژه‌ای را در نظر بگیرد.

۲۴-٤-٥ بازرسی[1]

پیمانکار باید افرادی را که با اصول و مقررات ایمنی و بهداشت حرفه‌ای آشنا هستند در اختیار داشته باشد تا هر روز به طور منظم و مستمر از محل اجرای عملیات، نحوهٔ جابه‌جایی و کار با مواد و مصالح، فعالیت کارکنان، عملکرد دستگاه‌ها و ماشین‌آلات، نحوه استقرار تجهیزات ایمنی و علائم هشدار دهنده بازدید کنند و گزارش کاملی از مشاهدات خود را برای بررسی خطرات احتمالی و یافتن روش‌های مؤثر برای بهبود وضعیت ایمنی ارائه دهند.

۲۴-٤-٦ ثبت حوادث

پیمانکار موظف است تمهیدات لازم را برای ثبت، پردازش، تحلیل، گزارش و بایگانی اطلاعات مربوط به حوادث و بیماری‌های ناشی از کار در نظر بگیرد تا از یک طرف جوابگوی نیازمندی‌های مراجع ذی‌صلاح بوده و به تعهدات قانونی خود عمل کند و از طرف دیگر داده‌های مورد نیاز برای بررسی و تحلیل علل و عوامل مؤثر در وقوع حوادث و بیماری‌های ناشی از کار و جلوگیری از تکرار دوباره آن‌ها در اختیار داشته باشد.

۲۴-٤-۷ مقررات و استانداردها

پیمانکار موظف به رعایت مقررات و استانداردهای ایمنی و بهداشت حرفه‌ای به عنوان یک الزام قانونی و شرایط پیمانی است، ضمن آنکه باید پیمانکاران جزء را که به نحوی در ارتباط با پیمان هستند از این امر مطلع کند. در این مورد پیمانکار باید دستورالعمل‌های قانون کار جمهوری اسلامی ایران، آیین‌نامه‌های حفاظت و بهداشت کار وزارت تعاون، کار و رفاه اجتماعی و استانداردهای کمیته فنی بهداشت حرفه‌ای وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی را در تمامی مراحل اجرای پیمان در اختیار داشته باشد و آن‌ها را به مورد اجرا بگذارد.

۲۴-٤-۸ وظایف مهندس مشاور

مهندس مشاور باید اطمینان پیدا کند که برنامه‌های پیمانکار برای دستیابی به ایمنی مطلوب و منطبق با آیین‌نامه‌ها و استانداردهای ایمنی و بهداشت حرفه‌ای، کارایی لازم را دارند. همچنین روش‌های مناسبی برای تشویق پیمانکارانی که اصول و مقررات ایمنی را به خوبی رعایت می‌کنند پیش‌بینی نماید تا آنها اشتیاق

1. Inspection

بیشتری برای تداوم این کار داشته باشند. مهندس مشاور باید شیوه‌های مؤثری برای برخورد با پیمانکاران خطاکار در نظر بگیرد، بدین ترتیب که در مرحله اول به صورت شفاهی پیمانکار یا نماینده او را در جریان اعمال ناایمن و شرایط ناایمن قرار دهد. در مرحله بعد این موارد را به صورت مکتوب به پیمانکار اطلاع دهد و هرگاه پیمانکار به تذکرات شفاهی و کتبی توجه نکند و به تعهدات پیمانی خود عمل نکند مهندس مشاور باید تا رفع نواقص و بهبود وضعیت ایمنی، اجرای پیمان را با موافقت کارفرما متوقف کند.

۲۴-۵ تسهیلات و خدمات بهداشتی و رفاهی

۲۴-۵-۱ کلیات

کارهای راهسازی در بیشتر موارد دور از امکانات شهری مانند آب، برق، وسایل ارتباطی و خدمات بهداشتی – درمانی انجام می‌گیرد. پیمانکار باید اطمینان پیدا کند که نیازهای اولیه کارکنان یعنی خوراک، مسکن و بهداشت آنها برآورده شده است. در این مورد قبل از شروع عملیات اجرایی باید تدارکات و پیش‌بینی‌های لازم به عمل آید.

۲۴-۵-۲ آب آشامیدنی

پیمانکار موظف است آب آشامیدنی سالم و گوارا را به مقدار کافی در مخازن سرپوشیده که طبق اصول بهداشتی ساخته و نگهداری می‌شوند در اختیار کارکنان قرار دهد. همچنین آب نمک با غلظت مناسب یا قرص نمک طعام به مقدار کافی برای کارگرانی که به طور مداوم در گرمای زیاد کار می‌کنند فراهم کند. استفاده از لیوان عمومی برای آشامیدن مجاز نیست و لیوان‌های یک بار مصرف نیز باید در شرایط بهداشتی نگهداری شوند و ظرف مناسبی در محل برای جمع‌آوری آن‌ها در نظر گرفته شود. به علاوه مخازن آب غیر قابل شرب باید به نحوی علامت‌گذاری شوند که آن‌ها را برای آشامیدن، شستشوی ظروف و آشپزی مورد استفاده قرار ندهند.

۲۴-۵-۳ سرویس‌های بهداشتی

پیمانکار موظف است برای یکصد کارگر به ازای هر ۲۵ نفر کارگر یک توالت بهداشتی و برای تعداد بیش از یکصد نفر به ازای هر ۳۵ نفر اضافی یک توالت بهداشتی اضافی تهیه کند. شستشو و گندزدایی مرتب

توالت‌ها الزامی است. در صورتی که فضولات حاصله ممکن است موجب بروز بیماری شوند باید با عملیات شیمیایی یا فیزیکی در حوضچه‌های مخصوص تصفیه شوند به طوری که سلامتی کارکنان و مردم به خطر نیفتد و محیط زیست تخریب نگردد. همچنین در محل‌هایی که کارگران با رنگ، قیر، روغن، گرد و غبار و سایر مواد شیمیایی در ارتباط هستند یا در شرایطی کار می‌کنند که با وجود آلاینده‌های محیطی سلامتی آنها به خطر می‌افتد باید به تعداد کافی دوش آب سرد و گرم با رعایت اصول بهداشتی فراهم شود.

۲۴-۵-٤ برنامه غذایی

در کارهای راهسازی با توجه به ساعات کار و بر حسب مورد، پیمانکار موظف است یک تا سه وعده غذای مناسب (صبحانه، نهار، شام) برای کارکنان فراهم کند. برنامه غذایی باید دارای ویژگی‌های زیر باشد:

الف: ارزش ریالی، کمیت، کیفیت، فرهنگ محلی و تنوع غذا مورد توجه قرار گیرند به نحوی که کارکنان با رغبت غذا را صرف کنند و حداقل انرژی مورد نیاز آنها تأمین شود.

ب: برای پیشگیری از بروز مسمومیت، ظروف غذا در یک محل تمیز و بهداشتی نگهداری شوند و از مصرف مواد غذایی مانده و تاریخ گذشته خودداری شود.

پ: زمان معین و کافی برای صرف غذا پیش‌بینی شود و تا حد امکان در برنامه روزانه از میوه و سبزیجات استفاده گردد.

۲۴-۵-۵ محل خواب و استراحت

در کارهای راهسازی با توجه به فصل، محل و مدت کار باید خوابگاه مناسبی با وسایل مورد نیاز برای اقامت کارکنان ایجاد شود و همچنین در صورت دوری محل اجرای عملیات و عدم تکافوی وسیلهٔ نقلیهٔ عمومی پیمانکار موظف است برای رفت و برگشت کارکنان وسیلهٔ نقلیهٔ مناسبی در اختیار آن‌ها قرار دهد.

۲۴-٦ وسایل حفاظت فردی

۲۴-٦-۱ کلیات

وسایل حفاظت فردی شامل کلاه ایمنی، عینک حفاظتی، حفاظ صورت، گوشی حفاظتی، حفاظ دستگاه تنفسی، دستکش ایمنی، کفش ایمنی، لباس کار، جلیقه نجات و سایر وسایل، تجهیزاتی هستند که می‌توانند

کارکنان را در برابر عوامل بیماری‌زا و خطرات محیطی معمول یا قابل پیش‌بینی با توجه به رعایت موارد زیر محافظت کنند:

الف: وسایل فوق باید از نظر طرح، اندازه، رنگ، مقاومت، کیفیت و سایر مشخصات مورد تأیید باشند. در این زمینه به ترتیب آیین‌نامه سازمان ملی استاندارد ایران، سازمان بین‌المللی استاندارد (ISO) و استانداردهای آمریکا (ANSI)، (ASTM)، انگلیس (BS) و آلمان (DIN) معتبر هستند ضمن آنکه نظر وزارت تعاون، کار و رفاه اجتماعی در رابطه با هریک از وسایل حفاظت فردی به عنوان معیار باید مورد پذیرش قرار گیرد.

ب: پیمانکار موظف است وسایل فوق را متناسب با نوع کار، وظایف شغلی کارکنان و خطرات کار تهیه کند و با یک برنامه زمانی معین آنها را در اختیار کارکنان قرار دهد.

پ: پیمانکار باید برای تفهیم سودمندی وسایل حفاظت فردی و نحوهٔ کاربرد آنها آموزش لازم را به کارکنان بدهد و با نظارت مستمر اطمینان پیدا کند که تمامی افراد در صورت نیاز از این وسایل برابر با دستورالعمل کارخانه سازنده استفاده می‌کنند. کارکنان نیز موظف هستند از وسایل حفاظت فردی مناسب و سالم بر حسب دستور پیمانکار و در صورت مواجهه با عوامل بیماری‌زا و خطرات محیطی استفاده کنند.

ت: وسایل و تجهیزات معیوب باید به سرعت تعمیر یا تعویض شوند، وسیله حفاظتی که دوباره به وسیله فرد دیگری مورد استفاده قرار می‌گیرد باید ابتدا ضد عفونی شود و در صورت نیاز قسمت‌هایی از آن تعویض شوند. وسایل فوق باید راحت باشند و در حین کار مزاحمت غیر ضروری برای کارکنان ایجاد نکنند.

۲۴-۶-۲ حفاظت سر

در هر فعالیتی که احتمال مجروح شدن سر افراد بر اثر افتادن یا پرتاب شدن اشیا و مصالح یا برخورد با ماشین‌آلات، خطر سوختگی بر اثر ریزش مواد و مصالح داغ یا تماس با قطعات داغ و خطر شوک الکتریکی به دلیل نزدیکی و تماس با وسایل و تجهیزات الکتریکی وجود دارد، تمامی کارکنان باید مجهز به کلاه ایمنی استاندارد باشند. همچنین کارکنانی که به طور مداوم در فضای باز و در برابر تابش مستقیم پرتوهای خورشیدی کار می‌کنند باید به کلاه حصیری یا کلاه لبه‌دار مناسب دیگر مجهز شوند.

۲۴-۶-۳ حفاظت چشم و صورت

انجام کار در شرایطی که همراه با انتشار گرد و غبار، دود ناشی از قیر و تهیه آسفالت، گازها، بخارات سمی و سایر آلاینده‌ها، پرتاب ذرات، پاشیدن اسید، روغن داغ و سایر مواد خطرناک، مواجهه با گرما یا سرمای بیش از حد و تابش پرتو (مانند تابش پرتوهای ماورای بنفش و مادون قرمز در عملیات جوشکاری و برشکاری) باشد و باعث کوفتگی، سوزش، سوختگی، نفوذ اشیاء ریز، ایجاد پارگی و سایر جراحت‌ها و آسیب‌ها به چشم و صورت گردد، کلیه کارکنان باید بر حسب نیاز به عینک‌های حفاظتی، و حفاظ صورت مناسب و استاندارد مجهز شوند.

۲۴-۶-٤ حفاظت سیستم شنوایی

هرگاه تدابیر پیشگیرانه و حفاظتی برای کاهش تراز صدا به حد مجاز مؤثر واقع نشود و احتمال افت شنوایی و سایر عوارض و بیماری‌های ناشی از تماس مداوم با صدای بیش از حد وجود داشته باشد، بر حسب نیاز کلیه کارکنان باید مجهز به گوشی حفاظتی مناسب باشند. پیمانکار در هیچ شرایطی نباید از سیستم شنوایی کارکنان برای تشخیص صدای غیر عادی و آگاهی از نقص دستگاه‌ها و ماشین‌آلات استفاده کند به طوری که سلامتی آن‌ها به خطر بیفتد.

۲۴-۶-۵ حفاظت سیستم تنفسی

در شرایط اضطراری یا هنگامی که کنترل‌های مهندسی و مدیریتی برای پیشگیری از بروز ناراحتی‌های تنفسی در اثر مواجهه کارکنان با گرد و غبار، گازها، بخارات و سایر عوامل زیان‌آور و بیماری‌زا کافی نباشد کلیه کارکنان بنا بر ضرورت و با توجه به نوع کار، نوع آلاینده، میزان خطر، بیماری‌زایی آن و فضای کار باید به وسایل و تجهیزات حفاظت تنفسی مناسب مجهز شوند.

۲۴-۶-٦ حفاظت دست و بازو

در هر نوع عملیات یا کار با وسایل و تجهیزاتی که ممکن است دست و بازو مجروح شود یا به طور مداوم با مواد شیمیایی خطرناک در تماس باشد، تمامی کارکنان باید به دستکش و بازوبند حفاظتی مناسب به شرح زیر مجهز شوند:

الف: کارکنانی که مواد و مصالح داغ مانند قیر و آسفالت حمل می‌کنند باید از دستکش‌های حفاظتی مقاوم در برابر حرارت استفاده کنند.

ب: کارکنانی که با اشیاء نوک تیز و برنده کار می‌کنند باید از دستکش‌های مقاوم در برابر پارگی و سوراخ‌شدگی استفاده کنند.

پ: کارکنانی که با برق سروکار دارند باید از دستکش‌های عایق با مشخصات استاندارد استفاده کنند به طوری که مقاومت الکتریکی آن‌ها متناسب با حداکثر ولتاژ اسمی دستگاه باشد.

ت: کارکنانی که با روغن و سایر مواد شیمیایی سر و کار دارند باید از دستکش‌های حفاظتی مقاوم در برابر این مواد استفاده کنند.

ث: راننده‌های ماشین‌های راهسازی مانند لودر و بلدوزر برای جلوگیری از بروز ناراحتی‌های پوستی باید از دستکش‌های مناسب استفاده کنند.

۲٤-٦-۷ حفاظت پا

هر نوع عملیات یا کار با ماشین که مستلزم راه رفتن بر روی سطح گرم مانند آسفالت گرم در عملیات پخش آسفالت است، یا احتمال سقوط اشیا، قطعات و مصالح یا ریزش مواد داغ یا خورنده بر روی پا وجود داشته باشد یا مستلزم راه رفتن بر روی سطوح لغزنده، نا هموار و گل‌آلود باشد و همچنین هرگاه اجرای پیمان در آب و هوای بسیار گرم یا بسیار سرد صورت گیرد، یا خطر گزیدگی، نیش زدن و حمله حشرات و حیوانات وجود داشته باشد تمامی کارکنان بر حسب مورد باید به گتر، کفش و چکمه حفاظتی مناسب مجهز شوند. کارکنانی که با وسایل و تجهیزات برقی در ارتباط هستند نباید از کفش‌های پنجه فولادی استفاده کنند. در مکان‌هایی که تولید جرقه خطر انفجار یا آتش‌سوزی را افزایش می‌دهد کفش ایمنی نباید دارای میخ فلزی باشد.

۲٤-٦-۸ لباس کار

کارکنانی که در حین اجرای پیمان یا در معرض پرتاب اشیاء ریز و براده‌های داغ، استنشاق گرد و غبار و سایر ذرات معلق در هوا، پاشیدن اسید یا بخارات آن و تماس با مواد و مصالح گرم می‌باشند یا در محیط خیلی گرم و یا خیلی سرد کار می‌کنند، یا با گازوئیل، روغن، گریس و همچنین رنگ و سایر مواد شیمیایی سروکار دارند باید به وسایل حفاظت فردی از جمله لباس کار مناسب مجهز شوند. کیفیت، جنس، رنگ، طرح و اندازه

لباس کار باید متناسب با شرایط محیطی، خطرات کار و اندازه کارکنان باشد به نحوی که در آن احساس راحتی کنند و پوشیدن لباس کار خطر اضافی برای آنها به وجود نیاورد. لباس کار سرویس‌کار و سایر کارکنانی که با قسمت‌های متحرک ماشین سر و کار دارند نباید شل و آویزان باشد و هیچ قسمت از لباس مانند کمربند نباید آزاد باشد. همچنین پیمانکار موظف است برای پرچمدار و سایر کارکنانی که در عملیات اجرایی راه‌ها و کنترل ترافیک فعالیت می‌کنند لباسی تهیه کند که از قابلیت دید بالایی برخوردار باشد به طوری که از راه دور به خوبی قابل تشخیص باشد.

۲۴-۶-۹ کمربند ایمنی و طناب نجات[1]

در هر نوع فعالیتی که خطر سقوط کارکنان از بلندی وجود داشته باشد و ارتفاع محل استقرار افراد از سطح زمین بیش از ۳ متر است پیمانکار باید کمربند ایمنی و طناب نجات مناسب را در اختیار کارکنان قرار دهد. کمربند ایمنی، طناب نجات و تمامی ضمایم آنها باید مقاومت لازم برای تحمل وزن کارکنان را در هر وضعیتی داشته و مطابق با استانداردهای معتبر باشند. قبل از شروع کار، این وسایل و ضمایم آنها باید به دقت بازدید شوند و در صورت وجود هر نوع نقص مانند زدگی، پارگی یا پوسیدگی تحت هیچ شرایطی مورد استفاده قرار نگیرند.

۲۴-۶-۱۰ تورهای ایمنی[2]

در هر نوع عملیاتی که مستلزم فعالیت کارکنان در ارتفاع بالای ۸ متر از سطح زمین، آب یا هر تراز و سطح دیگر باشد و استفاده از نردبان، داربست، نرده‌های حفاظتی، طناب و کمربندهای ایمنی امکانپذیر نیست باید از تورهای ایمنی با روزنه‌هایی به ابعاد ۱۵ × ۱۵ سانتی‌متر استفاده کرد. تورهای ایمنی باید تا ۳ متر دور از لبهٔ سطح کار امتداد داشته باشند و تا حد امکان با فاصله کم در زیر سطح کار نصب شوند. در عین حال اختلاف ارتفاع محل نصب تورهای ایمنی و سطح کار نباید بیشتر از ۸ متر باشد. پیمانکار باید قبل از شروع کار تورهای ایمنی را از نظر نصب صحیح، پارگی، پوسیدگی و موارد دیگر به دقت بازرسی کرده و مقاومت آنها را به لحاظ تحمل وزن افراد هنگام سقوط در شرایط مختلف مورد آزمایش قرار دهد و بعد از اطمینان از کارایی تورهای ایمنی دستور اجرای عملیات را صادر کند.

---

1. Safety Belt and Lift Line
2. Sefety Nets

۲۴-۶-۱۱ حفاظت در برابر غرق شدن

هر نوع فعالیتی که در بالا یا نزدیک آب انجام شود و خطر غرق شدن کارکنان وجود داشته باشد، بر حسب ضرورت تمامی کارکنان باید مجهز به جلیقه نجات مناسب باشند و یک قایق نجات همواره در محل و در دسترس قرار داشته باشد.

۲۴-۷ کمک‌های اولیه[1]

قبل از شروع کارهای راهسازی پیمانکار موظف است علاوه بر تمهیدات لازم برای پیشگیری از وقوع حوادث در حین انجام کار برنامه مشخصی برای مقابله با شرایط اضطراری و نجات مصدومین حادثه تنظیم کرده و وسایل و تجهیزات مورد نیاز را تهیه کند.

هرگاه در نزدیکی محل کار بیمارستان، اورژانس یا درمانگاه محلی برای رسیدگی به مصدومین حادثه و بیماران وجود نداشته باشد، پیمانکار موظف است یک فرد صلاحیت‌دار و با تجربه را که دورهٔ کمک‌های اولیه را طی کرده است به عنوان مسئول کمک‌های اولیه تعیین کند. همچنین برای تعدادی از کارکنان مجرب و قابل اعتماد که توانایی جسمی لازم را دارند دوره عملی و نظری کمک‌های اولیه را برگزار کند.

وسایل کمک‌های اولیه باید در بسته‌بندی‌های مناسب به طور ایمن و بهداشتی درون جعبه مخصوص در محل کار نگهداری شوند به نحوی که تغییر شرایط آب و هوایی نظیر درجه حرارت، رطوبت و جریان باد باعث کاهش کیفیت و فساد زود هنگام آنها نشود. پیمانکار موظف است به تعداد کافی جعبه کمک‌های اولیه در محل کار و در موقعیت مناسب نصب نماید تا همه کارکنان در صورت نیاز بتوانند به سهولت به آنها دسترسی پیدا کنند.

محتویات جعبه کمک‌های اولیه با مشورت کارشناس بهداشت حرفه‌ای و با توجه به شرایط محیطی و خطرات کار مانند گرمازدگی، مارزدگی، مسمومیت، سوختگی، بریدگی و موارد دیگر تعیین می‌شود. محتویات جعبه باید حداقل هر دو هفته یک بار توسط فرد صلاحیت‌دار برای اطمینان از جایگزینی اقلام مصرفی بازدید شود. کتاب راهنمای کمک‌های اولیه باید در داخل جعبه و در دسترس تمامی کارکنان قرار داشته باشد.

---

1. First Aids

پیمانکار موظف است پیش‌بینی‌های لازم را برای انتقال سریع و به موقع مصدوم یا بیمار به یک پزشک یا بیمارستان انجام دهد. شماره تلفن‌های تعدادی از پزشکان محلی و بیمارستان‌ها و مراکز اورژانس نزدیک محل کار باید همواره در کارگاه‌های راهسازی در دسترس باشد.

در عملیاتی مانند نقشه‌برداری یا کار با ماشین‌های راهسازی که برخی اوقات افراد بنا بر ضرورت دور از محل تجمع کارکنان و امکانات کارگاهی کار می‌کنند و به خدمات شهری و محلی دسترسی ندارند، پیمانکار موظف است وسایل و تجهیزات کمک‌های اولیه مورد نیاز را در اختیار آنها قرار دهد و اطمینان پیدا کند که حداقل یکی از افراد گروه آموزش کافی در مورد کمک‌های اولیه دیده است.

۲۴-۸ عوامل آسیب‌رسان و بیماری‌زای محیط کار و بهداشت حرفه‌ای

۲۴-۸-۱ صدا

تماس مداوم با صدای بیش از حد مجاز، ناراحتی‌های جسمی و روانی به ویژه افت شنوایی کارکنان را به همراه دارد. هرگاه تراز فشار صوت و همچنین صدای کوبه‌ای[1] و صدای ضربه‌ای[2] از مقادیر جدول‌های ۲۴-۱ و ۲۴-۲ فراتر رود، تدابیر حفاظتی مناسب برای کاهش اثرات زیان‌آور صدا باید به کار گرفته شود.

برای کاهش تراز صوت به پایین‌تر از حدود تماس مجاز باید روش‌های کنترل مهندسی مانند کنترل صدا در منبع یا بکارگیری موانع یا جاذب‌های صدا در مسیر انتقال صوت و همچنین روش‌های کنترل مدیریتی مانند انتخاب درست کارکنان و کاهش زمان مواجهه افراد با صدا مورد استفاده قرار گیرد. هرگاه روش‌های فوق به اندازه کافی مؤثر نباشند پیمانکار موظف است گوشی‌های حفاظتی مناسب در اختیار کارکنان قرار دهد. به علاوه برنامه معاینات پزشکی، به خصوص آزمایش شنوایی‌سنجی برای راننده بولدوزر، کارگر سنگ‌شکن و کارکنان دیگری که ممکن است در اثر تماس مداوم با صدا دچار افت شنوایی شوند، در نظر بگیرد.

1. Impulsive Noise
2. Impact Noise

جدول ۲۴-۱ مقادیر قابل قبول حداکثر تماس شغلی با صدا

تراز فشار صوت بر حسب دسیبل[1]	طول مدت تماس بدون گوشی حفاظتی در روز بر حسب ساعت
۸۰	[2]۱۶
۸۵	۸
۹۰	۴
۹۵	۲
۱۰۰	۱
۱۰۵	$\frac{۱}{۲}$
۱۱۰	$\frac{۱}{۴}$
[3]۱۱۵	$\frac{۱}{۸}$

۱- واحد اندازه‌گیری صدا
۲- حداکثر اضافه‌کاری مجاز در نظر گرفته شود.
۳- تماس صوتی (صوت مداوم و متناوب بدون گوشی حفاظتی) در مواردی که تراز فشار صوت از ۱۱۵ دسیبل بیشتر است، مجاز نمی‌باشد.

جدول ۲۴-۲ حد تماس شغلی با صدای ضربه‌ای یا کوبه‌ای

تراز فشار صوت بر حسب دسیبل	تعداد مجاز صدای ضربه‌ای یا صدای کوبه‌ای در روز
۱۴۰*	۱۰۰
۱۳۰	۱۰۰۰
۱۲۰	۱۰۰۰۰

* تراز فشار صوتی نباید از ۱۴۰ دسیبل تجاوز کند.

۲۴-۸-۲ گازها، بخارات، دود و گرد و غبار

کارکنانی که بر حسب نوع کار و شرایط محیطی در معرض عوامل زیان‌آور شیمیایی قرار دارند با توجه به نوع آلاینده، نحوه انتشار، راه ورود و میزان تماس ممکن است دچار عوارض و بیماری‌های حاد و مزمن شوند و توانایی‌های آن‌ها در دراز مدت کاهش یابد. هرگاه میزان مواجهه شغلی کارکنان با گازها، بخارات، دود و گرد و غبار بیش از حد مجاز باشد پیمانکار موظف است با استفاده از کنترل‌های مهندسی مانند تعمیر دستگاه‌ها و ماشین‌آلات معیوب یا نصب سیستم‌های تهویه مناسب و کنترل‌های مدیریتی مانند کاهش زمان مواجهه

کارکنان با آلاینده‌های محیطی، نظارت دقیق بر فعالیت‌های کارکنان برای اطمینان از رعایت اصول ایمنی در حین جابه‌جایی و کار با مواد شیمیایی خطرناک، سلامتی کارکنان را در حین اجرای مراحل مختلف پیمان تأمین نماید. در صورتی که تدابیر فوق کافی نباشد باید بر حسب مورد، لباس کار، دستکش ایمنی، ماسک تنفسی و سایر وسایل حفاظتی مناسب را در اختیار کارکنان قرار دهد. در مورد حدود تماس مجاز عوامل شیمیایی زیان‌آور استانداردهای کمیته فنی بهداشت حرفه‌ای کشور معتبر می‌باشند. پیمانکار موظف است برای انجام معاینات پزشکی از کارکنانی که به طور مداوم در معرض گرد و غبار حاوی ذرات سیلیس، ذرات آزبست، دود ناشی از گرم کردن قیر، دود و دمه جوشکاری، بخارات اسید و سایر عوامل زیان‌آور شیمیایی قرار دارند تمهیدات لازم را در نظر بگیرد و کلیه هزینه‌های آن را بپردازد.

۲۴-۸-۳ پرتوهای یونساز و غیر یونساز

پرتوها شکلی از انرژی هستند که در خلأ و ماده انتشار می‌یابند و به دو گروه اصلی یونساز و غیریونساز تقسیم می‌شوند.

هرگاه در کارهای راهسازی از پرتوهای یونساز مانند پرتو گاما برای آزمون‌های غیر مخرب استفاده شود مانند عملیات ساخت پل‌های فلزی یا پرتو غیر یونساز به عنوان محصول فرعی در کارهای اجرایی تولید شود نظیر تولید پرتو ماورای بنفش در فرایند جوشکاری به روش قوس الکتریکی، یا کارکنان به طور مداوم در فضای روباز و در مقابل نور مستقیم خورشید فعالیت کنند و در معرض پرتوهای ماورای بنفش و مادون قرمز خورشیدی قرار گیرند، پیمانکار موظف است تدابیر حفاظتی مناسب و ضروری را به کار گیرد تا میزان تماس کارکنان با پرتو در حین اجرای کار به پایین‌تر از حد مجاز کاهش یابد به طوری که در کوتاه‌مدت و دراز مدت آثار نامطلوبی بر روی سلامتی آن‌ها نداشته باشد. در این مورد استانداردهای کمیته فنی بهداشت حرفه‌ای کشور معتبر می‌باشند.

هرگاه استفاده از پرتوهای یونساز در کارهای راهسازی ضروری باشد، این کار باید توسط کسانی انجام گیرد که فعالیت آن‌ها مورد تأیید سازمان انرژی اتمی کشور باشد. کار با پرتو تا حد امکان باید در روزهای تعطیل و اوقاتی که افراد کمتری در محل حضور دارند انجام گیرد. کارکنانی که در حین اجرای پیمان در معرض پرتوهای یونساز یا غیر یونساز هستند باید بر حسب مورد به وسایل حفاظت فردی مناسب مجهز شوند. پیمانکار قبل از شروع کار در چنین شرایطی باید اطمینان حاصل کند که تمامی اصول و مقررات حفاظتی در این موردها رعایت می‌شود.

۲۴-۸-٤ تنش گرمایی[1]

تابش آفتاب، گرمای دستگاه‌ها و ماشین‌آلات، جابه‌جایی و پخش مواد و مصالح گرم، انجام کارهایی که مستلزم شعله و حرارت است و فعالیت بدنی مداوم در کارهای عمرانی تعادل گرمایی بدن را مختل می‌کند و عوارضی نظیر: شوک حرارتی، خستگی، گرفتگی عضلات، ناراحتی‌های پوستی و گرمازدگی را ایجاد می‌نماید.

پیمانکار و کارکنان باید به طور مشترک مسئولیت پیشگیری و کنترل تنش گرمایی را بپذیرند و با شناسایی و ارزیابی عوامل مؤثر در بروز عوارض ناشی از گرما راه‌های مناسبی را برای مقابله با آنها پیدا کنند. در این مورد استانداردهای کمیته فنی بهداشت حرفه‌ای کشور معتبر می‌باشند. در یک برنامه پیشگیری از بیماری‌های ناشی از گرما نکات زیر باید مورد توجه قرار گیرد:

الف: برخی افراد نسبت به گرما حساسیت بیشتری دارند همچنین کسانی که ناراحتی قلبی و عروق دارند نمی‌توانند همانند سایرین در محیط گرم کار کنند. پیمانکار موظف است برای شناسایی افراد حساس به گرما و انتخاب افراد مناسب برای کار در محیط گرم، از کلیه داوطلبان قبل از استخدام معاینات پزشکی به عمل آورد. همچنین برای اطمینان از سلامتی کارکنانی که در حین اجرای پیمان با خطر ابتلا به بیماری‌های گرمایی روبرو هستند، هر سال یک بار برای آن‌ها معاینات پزشکی دوره‌ای در نظر بگیرد.

ب: اغلب اوقات مواجهه با گرما در کارهای راهسازی اجتناب‌ناپذیر است لذا پیمانکار باید وظایف و مسئولیت‌های افراد را به نحوی طراحی و روش‌هایی برای انجام کار انتخاب کند که تا حد امکان در فصل گرما نیاز کمتری به فعالیت بدنی زیاد وجود داشته باشد و در صورت اجبار این کار در ساعات خنک روز انجام گیرد به طوری که زمان مواجهه کارکنان با گرما به حداقل برسد. همچنین کارکنان نباید به طور غیر ضروری در کنار وسایل گرمازا و مصالح گرم قرار بگیرند و تا حد امکان از انجام فعالیت بدنی اضافی که دمای داخلی بدن را افزایش دهد خودداری کنند.

پ: کارکنان باید تا حد امکان از خوردن غذاهای خیلی گرم و سنگین و همچنین نوشیدنی‌های کافئین‌دار در ساعات گرم روز خودداری کنند و به طور مرتب و بدون در نظر گرفتن میزان تشنگی آب خنک بنوشند و در صورت نیاز به مقدار کافی نمک به آب و غذای روزانه اضافه کنند.

---

1. Heat Stress

ت: پیمانکار باید در مورد نحوهٔ سازش با محیط گرم، برنامه غذایی، ضرورت استراحت در بین زمان‌های کار، علائم تنش گرمایی و راه‌های مقابله با آن و سایر نکاتی که در پیشگیری از بروز عوارض ناشی از گرما مؤثر است، آموزش‌های لازم را به کارکنان ارائه دهد.

ث: کارکنانی که در محیط گرم کار می‌کنند باید در صورت احساس علائم اولیه تنش گرمایی موضوع را به سرپرست خود اطلاع دهند تا تحت درمان قرار گیرند یا در صورت ضرورت به نزدیکترین بیمارستان یا درمانگاه انتقال یابند.

ج: پیمانکار موظف است برای کارکنانی که با خطر تنش گرمایی روبرو هستند با توجه به نوع کار و دمای محیط، برنامه معینی برای زمان‌های کار و استراحت در نظر بگیرد و برای دوره استراحت کارکنان مکان مناسبی را با امکانات مورد نیاز فراهم کند.

چ: لباس کار کارکنان از نظر رنگ، جنس و اندازه باید متناسب با شرایط کار در محیط گرم انتخاب شود. همچنین کارکنان باید در حین کار از کلاه حصیری یا کلاه لبه‌دار مناسب استفاده کنند.

۲۴-۸-۵ سایر عوامل

در مورد سایر عوامل زیان‌آور و بیماری‌زا مانند سرما و فشار استانداردهای کمیته فنی بهداشت حرفه‌ای کشور معتبر می‌باشند.

۲۴-۹ ایمنی در حین کار با ابزار، وسایل و ماشین‌آلات

۲۴-۹-۱ کلیات

۲۴-۹-۱-۱ اطمینان از سلامت ابزار کار

کلیه ابزار، وسایل و ماشین‌آلاتی که در کارهای راهسازی به کار می‌روند باید استاندارد و سالم باشند و با توجه به دستورالعمل کارخانه سازنده به نحو مطلوب نگهداری شوند و مورد استفاده قرار گیرند. اقلام معیوب و غیر ایمن باید با برچسب‌های ایمنی علامت‌گذاری شوند و در صورت نیاز به طور مطمئن قفل شوند و یا به خارج از محل کار انتقال یابند.

۲۴-۹-۱-۲ به کار گیری کتاب راهنمایی سرویس

پیمانکار موظف است کتاب راهنمای سرویس، تعمیر و کاربری صحیح و ایمن دستگاه‌ها و ماشین‌آلات را تهیه کند و بر حسب نیاز در دسترس کارکنان قرار دهد و اطمینان یابد که توصیه‌های کارخانه سازنده در هر مورد به طور کامل رعایت می‌شود.

۲۴-۹-۱-۳ نصب حفاظ‌های مکانیکی و الکترونیکی

کلیهٔ حفاظ‌های مکانیکی و الکترونیکی و سیستم‌های هشدار دهنده که از طرف سازنده دستگاه‌ها و ماشین‌آلات برای تأمین ایمنی و پیشگیری از حوادث در نظر گرفته شده‌اند باید به طور صحیح نصب شود و کارایی لازم را داشته باشند.

۲۴-۹-۱-٤ کنترل مشخصات ماشین آلات

هر نوع تغییری در مشخصات وسایل و ماشین‌آلات باید با توجه به دستورالعمل سازندهٔ آنها و نظر کارشناسی افراد صلاحیت‌دار انجام گیرد و در هر حال تغییرات مورد نظر نباید سلامتی کارکنان را به خطر بیندازد.

۲۴-۹-۱-۵ سرویس، تعمیر و به کارگیری دستگاه‌ها توسط افراد آموزش دیده

سرویس، تعمیر و کاربری دستگاه‌ها و ماشین‌آلات باید توسط افراد آموزش دیده و با تجربه که از تواناییهای جسمی و روحی مناسب برای انجام کار مورد نظر برخوردار هستند، صورت گیرد.

۲۴-۹-۱-٦ وسایل حفاظت فردی مناسب

در صورتی که کارکنان در هنگام کار با ابزار، دستگاه‌ها و ماشین‌آلات با خطر سقوط یا پرتاب اشیا، پاشیدن اسید، تماس با روغن داغ، تماس با اشیاء تیز و برنده، مواجهه با صدای بیش از حد، گرما و سرمای زیاد، استنشاق ذرات گرد و غبار، گازها و بخارات سمی و بیماری‌زا و موارد دیگر روبرو هستند باید به وسایل حفاظت فردی مناسب مجهز شوند.

۲۴-۹-۲ ابزار دستی و وسایل برقی

۲۴-۹-۲-۱ استفاده بهینه ابزار

هریک از ابزارهای دستی فقط باید در کارهایی که برای آن ساخته شده‌اند مورد استفاده قرار گیرند.

۲۴-۹-۲-۲ شرایط نگهداری ابزار

ابزارها باید در شرایط مناسب نگهداری شوند. ابزارهای برنده همیشه باید تیز باشند، در صورتی که نوک ابزار ضربتی پهن شد یا ترک برداشت باید بلافاصله آن را تیز یا تعویض کرد. نوک یا لبه تیز ابزار را هنگامی که مورد احتیاج نیست باید پوشاند. همچنین ابزارها باید در محل مناسبی نگهداری شوند. نباید آنها را روی زمین یا در مسیر رفت و آمد یا در بلندی که احتمال سقوط وجود دارد قرار داد. ابزاری که برای کار معین مورد نیاز نیست باید در جعبه یا قفسه مخصوص نگهداری کرد.

۲۴-۹-۲-۳ الزامات حفاظتی ابزار و تاسیسات

کلیه وسایل و تأسیسات الکتریکی که در کارهای راهسازی به کار گرفته می‌شوند باید منطبق با آیین‌نامه حفاظتی تأسیسات و وسایل الکتریکی وزارت تعاون، کار و رفاه اجتماعی باشند.

۲۴-۹-۲-٤ به کار گیری مواد عایق و غیرهادی

تمام ابزارهایی که برای تعمیر یا تنظیم تأسیسات و وسایل الکتریکی به کار می‌روند مانند انبردست، آچار و پیچ‌گوشتی باید دسته عایق داشته باشند. برس، پاک‌کن و سایر ابزارهایی که برای سیستم‌های الکتریکی مورد استفاده قرار می‌گیرند باید از مواد غیرهادی ساخته شده باشند.

۲۴-۹-۲-۵ سیستم اتصال به زمین

بدنه وسایل الکتریکی که با جریان متناوب یا مستقیم با ولتاژ بیش از ۵۰ ولت نسبت به زمین کار می‌کنند باید به طور مطمئن به زمین وصل شوند. ابزارهای الکتریکی دستی قابل حمل باید با دوشاخه و پریزی که دارای اتصال اضافی برای سیستم اتصالی زمین است به شبکه وصل شوند.

۲٤-۹-۲-٦ پریزهای ثابت

برای اجتناب از طولانی شدن کابل‌های اتصالی وسایل الکتریکی قابل حمل تا حد امکان محل نصب پریزهای ثابت باید نزدیک محل کار باشند.

۲٤-۹-۲-۷ لباس کار مناسب

کارکنانی که با وسایل الکتریکی قابل حمل کار می‌کنند باید از پوشیدن لباس‌های گشاد با گوشه‌های آزاد و دستکش‌های غیر لاستیکی خودداری کنند.

۲٤-۹-۲-۸ محافظت از سیستم برق جرثقیل و سایر هادی‌ها

سیستم‌های برق جرثقیل‌ها و سایر هادی‌هایی که نمی‌توان آنها را کاملا عایق کرد باید طوری قرارگیرند یا محافظت شوند که احتمال تماس تصادفی با آن وجود نداشته باشد.

۲٤-۹-۳ ماشین‌آلات راهسازی و ساختمانی

در لودر، بولدوزر، گریدر، غلتک، کامیون، قیرپاش، فینیشر و دستگاه‌های مشابه انرژی به صورت روغن تحت فشار، هوای فشرده یا فنر فشرده می‌تواند ذخیره شود. متعلقات ماشین نظیر بیل، تیغه و شخم‌زن نیز اگر در ارتفاع قرار داشته باشند به علت نیروی وزن خود دارای انرژی هستند. آزاد شدن ناگهانی و غیر منتظره انرژی در هریک از موارد فوق می‌تواند حادثه ناخوشایندی را به همراه داشته باشد. بنابراین قبل از سرویس یا تعمیر ماشین، اجرای تدابیر پیشگیرانه زیر ضروری است:

۲٤-۹-۳-۱ کنترل تخلیه ناگهانی فشار

برقراری حالت انرژی صفر یا وضعیت ایمن در ماشین به طوری که احتمال حرکت ناخواسته ماشین و اجزای آن یا تخلیه ناگهانی فشار سیستم وجود نداشته باشد.

۲٤-۹-۳-۲ قفل کردن منبع نیرو و نصب علامت هشدار دهنده

قفل کردن منبع نیرو و نصب علامت هشدار دهنده بر روی ماشین به نحوی که کارکنان دیگر دانسته یا ندانسته بدون هماهنگی آن را روشن نکنند یا حرکت ندهند.

۲۴-۹-۳-۳ تنظیم، روغنکاری و تعمیر دستگاه

تنظیم، روغنکاری و تعمیر دستگاه در حال حرکت یا با موتور روشن مجاز نیست مگر آنکه از طرف کارخانه سازنده توصیه شده باشد و دستورالعمل آن نیز در دسترس باشد.

۲۴-۹-۳-٤ محل مناسب برای انجام سرویس و تعمیر ماشین آلات

محل انجام سرویس و تعمیر ماشین‌آلات باید تمیز و مرتب باشد، روغن، گریس، گازوئیل و آب به طور منظم از محدودهٔ کار پاک شوند و مواد و وسایل غیر ضروری در محل مخصوص خود قرار گیرند. علاوه بر این محیط‌های سرپوشیده باید روشنایی، تهویه و فضای مناسب داشته باشند تا شرایط مطلوب برای انجام کار فراهم گردد.

۲۴-۹-۳-۵ شناخت کافی از خطرات و پیامدهای زیانبار

سرویس‌کار، مکانیک و سایر کارکنانی که با خطراتی نظیر آتش‌سوزی، انفجار و پاشیدن آب اسید باطری به بیرون، ترکیدن لاستیک و در رفتن بچه‌رینگ، انفجار حاصل از جوشکاری در باک حاوی بنزین و گازوئیل و آتش‌سوزی ناشی از شستشوی قطعات ماشین با بنزین روبرو هستند باید شناخت کافی نسبت به این خطرات، پیامدهای زیانبار آن‌ها و روش‌های پیشگیری و کنترل حوادث را داشته باشند.

۲۴-۹-۳-٦ توجه به توصیه‌های کارخانه سازنده ماشین آلات

راننده بیل مکانیکی، غلتک، ماشین خط‌کشی، بلدوزر و دستگاه‌های مشابه قبل از شروع کار باید بازدیدهای روزانه را بر اساس دستورالعمل کتاب راهنمای ماشین انجام دهد و نقص‌ها و ایرادات را هرچند جزئی برطرف کند یا به مسئول خود گزارش دهد. در هنگام کار نیز باید توانایی‌ها و محدودیت‌های ماشین را در نظر بگیرد و توصیه‌های کارخانه سازنده را به طور کامل اجرا کند.

۲۴-۹-۳-۷ درک مفهوم علائم و تابلوهای هشدار دهنده

راننده باید مفهوم علائم و تابلوهای هشدار دهنده و کاربرد آنها را بداند و در صورت نیاز قبل از شروع کار آنها را تهیه کند و همچنین با قوانین و مقررات رانندگی در جاده‌های مختلف به خوبی آشنا باشد و از آن‌ها پیروی کند.

۲۴-۹-۳-۸ شناخت مسیر حرکت به ماشین

قبل از حرکت ماشین تا حد امکان محل اجرای عملیات باید شناسایی شود. در این رابطه حجم ترافیک، عرض راه، وجود دست‌انداز، حفره، گل و لای، یخ، گرد و غبار زیاد، خطوط لولهٔ آب و گاز، کابل‌های برق و تلفن در زیر زمین یا بالای سر و به طور کلی هر نوع خطر احتمالی در مسیر باید مورد توجه قرار گیرد تا راننده در حین کار با شرایط غیر منتظره و پیش‌بینی نشده روبه‌رو نشود.

۲۴-۹-۳-۹ احتیاط در کار با ماشین آلات

راننده در هنگام هدایت و کار با ماشین باید از هر نوع عمل دور از احتیاط مانند توقف و دور زدن سریع و ناگهانی، سوار کردن نفر اضافی بر روی ماشین و سرعت غیر مجاز خودداری کند.

۲۴-۹-۳-۱۰ توجه به علائم هشدار دهنده

هرگاه علائم هشدار دهنده «ماشین در حال سرویس است» یا برچسب‌های مشابه آن بر روی فرمان یا کلید ماشین نصب شده باشد، نباید موتور را روشن کرد یا کنترل‌ها را حرکت داد.

۲۴-۹-۳-۱۱ توجه به سیستم تهویه مکان‌های سرپوشیده

قبل از روشن کردن ماشین در مکان‌های سرپوشیده باید اطمینان حاصل شود که سیستم تهویه کارایی لازم را دارد. در این مکان‌ها برای خروج دود، لولهٔ اگزوز را باید به بیرون از محوطه ارتباط داد.

۲۴-۹-۳-۱۲ توجه به کتاب راهنمای کارخانه سازنده ماشین آلات

در هنگام پارک کردن، یدک کشیدن، بارگیری و حمل ماشین باید به کتاب راهنمای کارخانه سازنده مراجعه شود و دستورالعمل آن را به طور کامل اجرا نمود.

۲۴-۹-٤ ماشین‌آلات ارتعاشی[1]

۲۴-۹-٤-۱ کلیات

ابزارهای مرتعش دستی مانند مته چال‌زنی، ویبراتور و ماشین‌های راهسازی نظیر غلتک‌های ارتعاشی و بولدوزر کارکنان را در معرض ارتعاش قرار می‌دهند. ارتعاشات در فرکانس‌های کمتر از دو هزار در ثانیه یک عامل زیان آور شغلی محسوب می‌شوند و می‌توانند آسایش فرد را مختل نمایند، بازده کار را کاهش دهند و موجب بروز ناراحتی‌های گوارشی، عصبی، عروقی و غیره شوند. پیمانکار برای تأمین سلامتی کارکنان ضمن رعایت اصول زیر باید استانداردهای کمیته فنی بهداشت حرفه‌ای در رابطه با حدود تماس شغلی با ارتعاش را مورد توجه قرار دهد:

الف: سرویس و نگهداری وسایل و دستگاه‌های مرتعش به نحو مناسب انجام پذیرد و بنا بر ضرورت به میرا کننده‌ها و عایق‌های ارتعاش مجهز شوند.

ب: متصدیان وسایل و ابزارهای ارتعاش دستی به دستکش‌های ضد ارتعاش مجهز شوند.

پ: برای پیشگیری از بروز عارضه و همچنین شناخت افراد حساس به ارتعاش، معاینات پزشکی سالیانه و دوره‌ای در مورد کارکنان در معرض ارتعاشات وارد بر دست و بازو انجام گیرد.

ت: کار به روش مناسب و توسط افراد کارآزموده و ماهر انجام گیرد به طوری که دست‌ها و بقیه بدن حین کار گرم نگهداشته شوند و انتقال ارتعاش از ابزار مرتعش به کارگر تا حد امکان کاهش یابد.

ث: در شرایط تماس مداوم، برای تخفیف اثرات زیان آور ناشی از وسایل و ابزار ارتعاش دستی برنامه کار باید تعدیل شود و به صورت یک ساعت کار و ده دقیقه استراحت تنظیم گردد.

۲۴-۹-۵ واحد سنگ‌شکن و کارخانه آسفالت

۲۴-۹-۵-۱ کلیات

در ابتدای بهره‌برداری از واحد سنگ‌شکن و کارخانه آسفالت رعایت نکات زیر از سوی پیمانکار الزامی است:

1. Vibrating Machines

الف: کلیه ماشین‌آلات و ضمایم آن‌ها باید دارای عملکرد صحیح و ایمن باشند و برنامه معینی برای نگهداری مطلوب از این امکانات در نظر گرفته شود.

ب: نشانگرها، کنترل کننده‌ها، وسایل هشدار دهنده و تجهیزات ایمنی باید از کارایی لازم برخوردار باشند. وسایل خاموش کننده حریق و کمک‌های اولیه به تعداد کافی در دسترس قرار گیرند.

پ: مخازن، خشک‌کن، سیلوها، مخلوط‌کن و سایر واحدها در صورت لزوم باید به وسایل اندازه‌گیری دقیق و سالم مجهز باشند تا در هر زمان اطلاعات مورد نیاز برای تنظیم دستگاه و تولید محصول استاندارد در اختیار متصدی قرار گیرد.

ت: وظایف و مسئولیت‌های سرپرست کارگاه، متصدی دستگاه، سرویس‌کار، راننده لودر، قیرگرمکن و سایر کارکنان باید مشخص شود و تنها افراد آموزش دیده و با تجربه به کار گرفته شوند. کلیه کارکنان باید وسایل حفاظت فردی مورد نیاز را در اختیار داشته باشند.

ث: فرآیند تولید نباید سلامتی کارکنان را در معرض خطر قرار دهد و مشکلات زیست‌محیطی ایجاد کند.

۲۴-۹-۵-۲ تجهیزات ایمنی

الف: برای پیشگیری از خطر برق‌گرفتگی، آتش‌سوزی و انفجار، کلیه مخازن، ماشین‌آلات و ضمایم مربوط به آنها باید به طور مناسب به زمین وصل شوند.

ب: انواع فیوزها و وسایلی که برای تأمین ایمنی و کارکرد مطلوب سیستم در مسیر مدارهای الکتریکی قرار داده شده‌اند باید همواره در وضعیت مناسب نگهداری شوند تا در شرایط غیر عادی به خوبی عمل حفاظتی خود را انجام دهند.

پ: در صورت ضرورت برای بالا رفتن و استقرار کارکنان در بخش‌های مختلف مانند سیلوها، سرندها و مخلوط‌کن باید نردبان، نرده‌های حفاظتی و سکوهای مناسبی فراهم شود تا کار بازدید و نمونه‌برداری به سهولت و بدون پذیرش خطر انجام پذیرد.

ت: تسمه‌ها، جعبه‌دنده‌ها، قرقره‌ها و سایر اجزای متحرک باید دارای حفاظ باشند و نیز مکان‌هایی که افراد در معرض خطر ریزش ناخواسته مصالح سنگی، قیر و افتادن اشیا هستند باید محافظت شوند.

ث: واحد سنگ‌شکن و کارخانه آسفالت باید مجهز به وسایل هشدار دهنده مانند زنگ خطر باشند تا کارکنان به موقع از شروع به کار دستگاه و یا وقوع شرایط غیر عادی مطلع شوند و از محوطه خطر فاصله گیرند.

همچنین در اتاق کنترل و محوطه کارگاه باید کلید اضطراری یا مکانیسم دیگری برای قطع جریان برق وجود داشته باشد تا در صورت وقوع حادثه با عمل کردن آن بلافاصله خط تولید متوقف گردد.

۲۴-۹-۵-۳ مخازن قیر

برای گرم کردن قیر باید از لوله‌های روغن و بخار، دستگاه‌های الکتریکی یا وسایل مشابه استفاده کرد. کاربرد شعله مستقیم که با بدنه مخزن در تماس باشد مجاز نیست. هرگاه برای گرم کردن قیر از سیستم مشعل و لولهٔ گرم‌کن استفاده شود هرگز نباید سطح قیر داخل مخزن به پایین‌تر از لوله گرم‌کن برسد چون در این حالت به دلیل افزایش سریع دما و تجمع گازها و بخارات خطرناک هر لحظه احتمال انفجار وجود خواهد داشت. برای گرم کردن و تخلیه قیر از تانکر به مخازن و حوضچه‌های کارگاهی در هیچ شرایطی نباید از شعله مستقیم استفاده کرد.

پیمانکار باید پیرامون مخازن و کارخانه را به نحوی آماده کند که امکان تمیز نگه داشتن محیط کارگاه فراهم شود و مواد قابل اشتعال در محل جمع نشوند. چکه کردن و نشتی لوله‌ها و شیرآلات مربوط به سوخت، قیر و روغن باید رفع شود. ضایعات حاصل از فرآیند تولید به طور منظم و در فواصل زمانی معین به خارج کارگاه انتقال یابند و برای پاک کردن قیر و آسفالت از سطح کامیون و تانکر نباید نفت و گازوئیل مورد استفاده قرار گیرد.

۲۴-۹-۵-٤ کاهش آلودگی‌های محیطی

برای کاهش دود ناشی از گرم کردن آسفالت تا حد مجاز باید علاوه بر تنظیم مشعل و غبارگیرها یک دستگاه گازشوی مناسب نیز در محل نصب شود و تا حد امکان برای تأمین انرژی حرارتی مورد نیاز کارخانه از گاز طبیعی یا گازوئیل به عنوان سوخت مصرفی استفاده شود. برای کاهش میزان گرد و غبار در واحد سنگ‌شکن که احتمالاً می‌تواند حاوی درصد قابل توجهی سیلیس باشد باید وسایل آبپاش مناسب برای غبارزدایی در محل طراحی و نصب شود.

۲۴-۱۰ ایمنی در حین اجرای عملیات

۲۴-۱۰-۱ کلیات

در کارهای عمرانی مانند ساخت راه، پل و تونل تعیین وظایف شغلی کارکنان و انتخاب روشهای اجرا باید به نحوی انجام پذیرد که با اصول مهندسی و معیارهای ایمنی سازگار باشد. پیمانکار در برابر سلامتی کارکنان مسئول است و باید بر مبنای آیین‌نامه‌ها و استانداردهای مصوب شورای عالی حفاظت فنی و کمیته فنی بهداشت حرفه‌ای کشور تدابیر لازم را برای تأمین ایمنی آنها در حین اجرای پیمان به کار گیرد.

۲۴-۱۰-۲ سازه‌های موقت

داربست‌ها، نردبان‌ها، راه‌های موقت، شمع‌ها، سپرها، قالب‌ها، مهارها، نرده‌های حفاظتی و سایر وسایل و سازه‌های موقت باید از مواد و مصالح مرغوب و مناسب تهیه شوند و طراحی، ساخت، آماده‌سازی و نگهداری آنها مطابق استانداردهای معتبر باشد، به طوری که اهداف مورد انتظار را تأمین کنند، توانایی پذیرش فشارهای وارده را داشته باشند و کارکنان را در برابر خطرات کار محافظت کنند.

آیین‌نامه حفاظتی کارگاه‌های ساختمانی مصوب شورای عالی حفاظت فنی در رابطه با سازه‌های موقت مانند انواع داربست، نردبان و نرده‌های حفاظتی معتبر می‌باشد.

۲۴-۱۰-۳ تونل‌سازی

۲۴-۱۰-۳-۱ کلیات

فعالیت‌هایی نظیر تونل‌سازی، حفر چاه، حفر قنات، جوشکاری مخازن و ترانشه‌زنی در عمق بیش از ۱٫۲۲ متر از سطح زمین و در فضای محصور به طور معمول در شرایط غیر عادی انجام می‌گیرند و به همین دلیل نیازمند تجهیزات، روش‌ها، مقررات و آموزش ویژه هستند. یک فضای محصور، محفظه یا ناحیه‌ای با ویژگی‌های زیر است:

الف: راه ورود و خروج افراد، تجهیزات و مواد محدود است و معمولا راه دومی برای خروج اضطراری و دور شدن از ناحیه خطر وجود ندارد.

ب: تهویه طبیعی کارایی لازم را برای تأمین اکسیژن مورد نیاز و کاهش غلظت آلودگی‌های محیط ندارد و بدون استفاده از تهویه مکانیکی اکسیژن هوا به کمتر از ۲۰ درصد می‌رسد.

پ: قابلیت تجمع گرد و غبار، گازها و بخارات بیماری‌زا، اشتعال‌پذیر و قابل انفجار وجود دارد.

۲۴-۱۰-۳-۲ ایمنی در تونل‌سازی

برای تأمین ایمنی کامل در تونل‌سازی رعایت موارد زیر الزامی است:

الف: کلیه کارکنان باید در مورد خطرات کار در فضای محصور و پیامدهای احتمالی آن، ضرورت صدور مجوز ورود، مقررات ایمنی، اطفای حریق، کمک‌های اولیه، کاربرد صحیح وسایل حفاظتی، عملیات نجات و خروج اضطراری آگاهی کافی داشته باشند. پیمانکار موظف است وسایل و تجهیزات حفاظتی و امدادی مورد نیاز را در اختیار کارکنان قرار دهد. در عین حال این امکانات نباید جایگزین روشهای ایمن کار و سیستم‌های تهویه مکانیکی شوند.

ب: در هر نوبت کار قبل از ورود کارکنان به داخل تونل باید مجوز این کار بعد از بازرسی دقیق محل و تأیید مسئول ایمنی و بهداشت حرفه‌ای صادر گردد. ورود کارکنان به داخل تونل و محل اجرای عملیات بدون مجوز ممنوع است. اطلاعات مندرج در فرم صدور مجوز باید شامل محل اجرای عملیات، توصیف کار، تعداد و مشخصات کارکنان، تاریخ و زمان ورود، خطرات احتمالی، تدابیر ایمنی، وسایل حفاظت فردی و مدت اجرای عملیات باشد.

پ: فعالیت کارکنان در حین حفاری، حمل و نقل مواد و سایر مراحل تونل‌سازی باید به صورت گروهی انجام گیرد و وظایف و مسئولیت‌های هریک از افراد مشخص گردد. یک نفر از اعضای تعلیم دیده و با تجربه گروه باید به سیستم‌های هشدار دهنده صوتی و نوری و وسایل ارتباطی مناسب مجهز گردد و دور از ناحیه خطر در یک محل امن مستقر شود و شرایط کار را زیر نظر بگیرد. این فرد نباید مسئولیت دیگری بر عهده داشته باشد تا در صورت احساس خطر بتواند به موقع اعضای دیگر گروه و مسئولین را مطلع کند. در شرایط اضطراری تنها کسانی مجاز به ورود به ناحیه خطر و شرکت در عملیات نجات هستند که آگاهی و توانایی‌های لازم را داشته باشند و به وسایل حفاظت فردی مناسب مجهز شوند.

ت: پیمانکار باید با استفاده از وسایل سنجش مناسب و افراد صلاحیت‌دار در شروع کار و در طول اجرای عملیات میزان گرد و غبار، گازها و بخارات خطرناک را اندازه‌گیری کند تا اطمینان یابد که آلاینده‌ها

پایین‌تر از حد مجاز قرار دارند. هرگاه مقدار اکسیژن هوا به کمتر از ۱۹ درصد برسد کارکنان در صورتی مجاز به ادامه کار هستند که به وسایل حفاظت تنفسی مناسب مجهز شوند.

ث: پیمانکار باید متناسب با تعداد و نوع فعالیت کارکنان، تعداد و نوع ماشین‌آلات و مقدار گازها و گرد و غبار حاصل از عملیات آتشباری، حفاری و حمل مواد، سیستم‌های تهویه مکانیکی مناسب را در محل نصب نماید و از کارایی آنها اطمینان پیدا کند. کاربرد تجهیزات بنزینی در صورتی مجاز است که تهویه کافی وجود داشته باشد.

۲۴-۱۰-٤ عملیات خاکی

قبل از شروع کار محل اجرای عملیات باید به طور کامل و دقیق مورد بازرسی قرار گیرد. در مسیر حرکت ماشین‌آلات، وضعیت ترافیک، وجود گودال، گل و لای، گرد و غبار زیاد و مه غلیظ، جنس خاک، احتمال ریزش، نزدیکی به پرتگاه، خطوط لولهٔ آب، فاضلاب و گاز، موانع، کابل‌های برق و تلفن در زیر زمین و بالای سر و به طور کلی هر نوع شرایط غیر عادی و خطرناک احتمالی باید شناسایی شوند و تمهیدات لازم برای تأمین ایمنی کارکنان فراهم گردد.

کلیه کارکنان در هنگام اجرای عملیات خاکی باید به وسایل حفاظت فردی مناسب مجهز شوند و به وظایف خود آشنایی کافی داشته باشند و به طور غیر ضروری خود را در معرض عوامل زیان‌آور مانند گرد و غبار، صدا، گرما و پرتوهای خورشیدی و نیز عوامل مخاطره‌آمیز مانند سقوط از ارتفاع، ریزش مواد و برخورد با ماشین‌آلات قرار ندهند. در صورت لزوم برای تعیین موقعیت‌های خطرناک و حفظ هوشیاری کارکنان باید از علائم هشدار دهنده و برچسب‌های ایمنی استفاده کرد.

در صورت نیاز برای جلوگیری از ریزش‌های احتمالی دیوارهٔ محل حفاری‌ها، ترانشه‌ها و شیروانی‌ها باید با قراردادن و بستن حایل‌های موقت محافظت شوند. در زمین‌های ریزشی، در مهاربندی‌ها و بکارگیری سپرها باید دقت بیشتر به عمل آید و قفل و بست‌های مناسب تأمین شود.

در مواردی که قرار است کارکنان درون ترانشه یا محل حفاری کار کنند باید بازرسی‌های زیر از نظر ریزش و اکسیژن مورد نیاز انجام پذیرد و در صورت کاهش درصد اکسیژن هوا و خطر ریزش یا مشاهدهٔ ترک در جبهه خاک و یا سنگ، کار متوقف شود. برای شروع دوباره عملیات، تأمین نظر مهندس مشاور به لحاظ رعایت مقررات ایمنی ضروری است:

الف: حداقل روزی یک بار، در صورتی که کارکنان به طور مرتب درون ترانشه کار می‌کنند.

ب: پس از هر ریزش غیر منتظره مصالح به داخل ترانشه.

۲۴-۱۰-۵ کارهای بتنی

۲۴-۱۰-۵-۱ قالب‌بندی

قالب‌بند و سایر کارکنان مرتبط با این کار در صورت لزوم باید بدون زحمت و پذیرش خطر به قسمت‌های مختلف سازه دسترسی داشته باشند و در موقعیت مناسب قرار گیرند. جایگاه کار و تجهیزات ایمنی مربوط به آن به عنوان یکی از عناصر اصلی قالب باید شرایط ایمنی را برای کارکنان فراهم کند. قالب‌بند باید به وسایل حفاظت فردی مناسب مانند دستکش ایمنی، لباس کار، کلاه ایمنی و کفش ایمنی مجهز شود.

برای اطمینان از پایداری و استحکام قالب باید قبل از بتن‌ریزی کلیه اجزای آن را به دقت بازرسی کرد. قالب‌های بزرگ باید دستگیره مناسبی داشته باشند تا به راحتی بتوان آن را برداشت و جابه‌جا کرد. در هنگام قالب‌برداری باید احتیاط‌های لازم در برابر خطر ریزش ناخواسته بتن و جدا شدن قالب انجام پذیرد.

مواد شیمیایی که به عنوان رهاساز در قالب‌ها به کار می‌روند نباید حاوی ترکیبات سمی و قابل اشتعال باشند یا به پوست آسیب برسانند.

۲۴-۱۰-۵-۲ آرماتوربندی

محموله‌های میلگرد که به محل کارگاه حمل می‌شوند باید به نحوی تخلیه شوند که ضمن آسیب ندیدن میلگرد، به کارکنان نیز صدمه‌ای وارد نشود. هنگام بریدن و خم کردن میلگرد استفاده از میز آرماتوربندی و ابزار مناسب ضروری است. همچنین در حین آرماتوربندی برای کاهش حوادث و پیامدهای زیانبار آن رعایت موارد زیر الزامی است:

الف: کارکنان باید به وسایل حفاظت فردی مورد نیاز مجهز شوند.

ب: در صورتی که تردد کارکنان بر روی شبکه میلگرد ضروری است باید با قراردادن تعدادی تخته یا صفحه فولادی شطرنجی روی میلگردها گذرگاهی به وجود آورد تا احتمال لغزیدن و سقوط کارکنان کاهش یابد و شبکه آرماتور نیز آسیب نبیند.

پ: میلگردهای انتظار و امثال آن که از بتن بیرون زده‌اند، در صورت سقوط کارگران می‌توانند موجب صدمات جدی شوند به همین دلیل پوشاندن آنها با تخته و یا وسایل مناسب دیگر ضروری است.

۲٤-۱۰-۵-۳ بتن پاشی[1]

در شرایط اجرای کار با روش بتن‌پاشی متصدی دستگاه بتن‌پاش و تزریق سیمان باید از عینک ایمنی استفاده کند. فشار هوای این دستگاه‌ها نباید از مقادیر مذکور در دستورالعمل‌ها بیشتر شود. برای حمل بتن با لوله بخصوص در فواصل زیاد و هوای سرد نباید کسی در فاصله‌ای کمتر از ۱۰ متر از خروجی لوله در مسیر بتن قرار گیرد.

۲٤-۱۰-٦ کارهای فلزی

در نقشه‌های کارگاهی برای ساخت و نصب سازه‌های فلزی علاوه بر سرعت انجام کار و کاهش هزینه عملیات باید ایمنی در حین اجرا نیز به طور جدی مورد توجه عوامل فنی و مسئولان پیمانکار در کارگاه قرار گیرد و تدابیر لازم برای پیشگیری و کنترل حوادث و آسیب‌های شغلی انجام پذیرد.

کلیه معابر، پلکان‌ها، سطوح شیبدار، بازشوها و به طور کلی تمام نقاطی که احتمال سقوط افراد وجود دارد باید به وسیله نرده و پوشش‌های مناسب حفاظت شوند. در صورتی که کارکنان در ارتفاع بیش از سه متر کار می‌کنند و نصب وسایل حفاظتی امکانپذیر نیست باید به کمربند ایمنی و طناب نجات مجهز شوند.

برای بالا بردن تیرآهن‌ها باید از وسایل بالابر و کابل‌ها و یا طناب‌های استاندارد مطابق با آیین‌نامه وسایل و تجهیزات بالابر مصوب شورایعالی حفاظت فنی استفاده شود. کاربرد زنجیر در این مورد مجاز نیست.

در مواردی که ستون‌های آهن روی هم می‌نشینند نباید بیش از یک طبقه ستون بدون جوشکاری و اتصالات لازم روی ستون زیرین قرار داده شوند. در موقع نصب ستون‌ها، تیرها و سایر قطعات فلزی قبل از جدا کردن نگهدارنده قطعات باید حداقل نصف تعداد پیچ و مهره‌ها بسته شده و یا جوشکاری شوند. قبل از نصب یک تیر روی تیر آهن دیگر باید تیر زیرین صد درصد پیچ و مهره یا جوشکاری شده باشد.

هنگام بارندگی شدید، وزش بادهای سخت و یخبندان باید از نصب و برپا کردن اسکلت فلزی خودداری کرد.

سطوحی که در فاصله ۵۰ میلی‌متری از محل هر جوش کارگاهی قرار می‌گیرند باید از موادی که به جوشکاری لطمه می‌زنند یا در حین جوشکاری گازهای سمی و بیماری‌زا تولید می‌کنند کاملاً پاک شوند.

---

1. Shotcrete

۲۴-۱۰-۷ کارهای آسفالتی

۲۴-۱۰-۷-۱ کلیات

هرگاه عملیات آسفالتی راه ضمن عبور وسایل نقلیه انجام پذیرد، علائم و تجهیزات ترافیکی مانند علائم «جاده در دست تعمیر است»، «پرچمدار» و «جاده باریک می‌شود»، مخروط‌های ایمنی و منابع روشنایی باید مطابق با آیین‌نامه علائم راه‌های کشور در محل نصب شود، لباس تمامی کارکنان از قابلیت دید بالایی برخوردار باشد و هماهنگی لازم با پلیس راه صورت گیرد.

۲۴-۱۰-۷-۲ آسفالت گرم و سرد

در هنگام اجرای عملیات آسفالت گرم و سرد و نیز قیرپاشی سطح راه، رعایت نکات زیر بر حسب مورد الزامی است:

الف: تابلوهای «جاده لغزنده است» همراه با سایر علائم ترافیکی به ترتیب در طولی از راه که قیرپاشی شده یا خطر لغزندگی وجود دارد نصب شود.

ب: در ابتدا و انتهای محل اجرای عملیات دو نفر پرچمدار برای هدایت ایمن ترافیک مستقر شوند.

پ: قیر مازاد موضعی در سطح راه، کاغذهای آغشته به قیر در ابتدا و یا انتهای عملیات قیرپاشی و سایر ضایعات قابل اشتعال و مخاطره‌آمیز حاصل از اجرای پیمان باید در اولین فرصت جمع‌آوری شوند و به محل امن انتقال یابند.

ت: درجه حرارت پخش برخی از انواع قیر بالاتر از حداقل نقطه اشتعال آنها است بنابراین برای گرم‌کردن قیر یا بازدید محتوای مخزن نباید از شعله مستقیم آتش یا چراغ یا کبریت استفاده کرد و در حین اجرای عملیات باید تجهیزات کافی برای خاموش کردن حریق احتمالی در دسترس باشد.

ث: کارگر قیرپاش، سنگ‌جمع‌کن، کارگر شن‌پاش و سایر کارکنان باید متناسب با عوامل زیان‌آور و خطراتی که در حین انجام کار با آن روبرو هستند باید آموزش کافی را ببینند و به وسایل حفاظت فردی مناسب مجهز شوند.

۲۴-۱۰-۷-۳ دستگاه قیرپاش

الف: دستگاه قیرپاش باید بدون نقص باشد و علاوه بر وسایل گرم کننده مناسب و تجهیزات ایمنی مورد نیاز به حرارت‌سنج استاندارد مجهز گردد تا دمای قیر را در هر زمان نشان دهد.

ب: در هنگام قیرپاشی در سطح راه باید جهت باد در نظر گرفته شود تا قیر به سمت دستگاه پاشیده نشود و شاگرد قیرپاش نیز در معرض قیر داغ و گازها و بخارات خطرناک قرار نگیرد.

پ: کسی که قیر را گرم می‌کند باید از بدون آب بودن آن مطمئن شود چون اگر آب داشته باشد محتوای قیر درون مخزن با فشار به بیرون تخلیه می‌شود و شرایط خطرناکی را به وجود می‌آورد.

۲۴-۱۱ انبار کردن و حمل ایمن مواد و مصالح

۲۴-۱۱-۱ انبار کردن مصالح

پیمانکار باید مصالح را در محل‌هایی انبار کند که احتمال وقوع حوادث را افزایش ندهد و برای ساکنان محل و عابران ایجاد مزاحت نکند. در ساعات شب برای تأمین روشنایی محل باید از وسایل روشنایی مناسب استفاده شود. هرگاه اجرای عملیات مستلزم اعمال محدودیت سرعت برای وسایل نقلیه عبوری یا بسته شدن قسمتی از راه باشد این کار باید با هماهنگی مسئولیت ذی‌ربط و زیر نظر مهندس مشاور صورت گیرد.

مواد و مصالح نباید در نزدیکی محل گودبرداری یا هر نوع پرتگاه دیگر انبار شوند، انبار شن، ماسه و سنگ باید به طور مرتب بازدید شوند تا در اثر برداشتن مصالح ریزش ناگهانی روی ندهد. کیسه‌های سیمان یا گچ نباید بیش از ۱۰ عدد روی هم قرار گیرند مگر آنکه محل‌های ویژه‌ای برای انبار کردن آن‌ها در نظر گرفته شود. ورقه‌های فلزی باید به طور افقی روی هم قرار گیرند و ارتفاع آن‌ها از یک متر بیشتر نشود. تیر آهن باید به ارتفاع کم طوری روی هم قرار گیرد که احتمال غلتیدن آن‌ها وجود نداشته باشد.

۲۴-۱۱-۲ بارگیری، حمل و تخلیه

پیمانکار موظف است در هنگام بارگیری، حمل و تخلیه مواد و مصالح کلیه مقررات راهنمایی و رانندگی و همچنین آیین‌نامه‌های وزارت راه و شهرسازی را به طور کامل اجرا نماید.

۲۴-۱۱-۳ بلند کردن و جابه‌جایی دستی بار

نقل و انتقال و جابه‌جایی دستی بار توسط کارکنان باید با رعایت موارد زیر انجام گیرد:

۲۴-۱۱-۳-۱ استفاده از وسایل مکانیکی برای جابجایی وسایل

بهترین راه برای پیشگیری از آسیب‌ها و عوارض ناشی از بلند کردن و حمل دستی بار حذف چنین عملی از فرآیند کار است. با بهره‌گیری از اصول مهندسی عوامل انسانی و استفاده از وسایل مکانیکی مانند جرثقیل، بالابر و نوار نقاله می‌توان به این هدف دست یافت.

۲۴-۱۱-۳-۲ طب کار

هرگاه برای اجرای پیمان استفاده از نیروی بدنی کارکنان بخصوص برای بلند کردن و جابه‌جایی بار اجتناب‌ناپذیر باشد باید با نظر پزشک متخصص افراد مناسبی را برای این کار انتخاب کرد.

۲۴-۱۱-۳-۳ آموزش کارکنان برای حمل و جابجایی

پیمانکار باید اطمینان پیدا کند که کارکنان با توجه به وظایفی که برعهده دارند، روش صحیح و ایمن بلند کردن و حمل بار را فراگرفته‌اند و در عمل از آن پیروی می‌کنند.

۲۴-۱۱-۳-٤ جابجایی بار متناسب با توان کارکنان

هرگاه سنگینی بار به اندازه‌ای است که یک نفر با دشواری می‌تواند آن را بردارد، باید ضمن پذیرش این امر از کارکنان دیگر یاری بخواهد. پیمانکار نباید کارکنان را وادار به کاری کند که همراه با بلند کردن و حمل بار سنگین باشد. در مورد حدود مجاز بلند کردن و حمل دستی بار قوانین وزارت تعاون، کار و رفاه اجتماعی معتبر هستند.

۲۴-۱۱-۳-۵ جابجایی بار با هل دادن یا کشیدن

در صورت امکان باید با غلتاندن، هل دادن یا کشیدن، بار را جابه‌جا کرد.

۲۴-۱۱-۳-٦ بازدید مسیر جابجایی بار

قبل از بلند کردن بار و حمل آن تا محل مورد نظر ابتدا باید مسیر را بازدید کرد، اشیاء دست و پاگیر را از سر راه برداشت و محل گذاشتن بار را مشخص نمود.

۲۴-۱۱-۳-۷ پیشگیری از آسیب به ستون فقرات

هرگز نباید بار را در حالت خمیده بلند کرد. سر، شانه و کمر را باید راست نگهداشت، زانوها را خم کرد، پاها را کمی باز نمود و در هنگام بلند کردن بار آن را تا حد امکان به بدن نزدیک کرد. در این صورت بدن تعادل و پایداری بیشتری خواهد داشت و به ستون فقرات آسیب نمی‌رسد. در هنگام پایین آوردن بار مراحل فوق باید تکرار شود.

۲۴-۱۲ پیشگیری و حفاظت در برابر آتش‌سوزی

الف: پیمانکار موظف است با توجه به موارد زیر قبل از شروع عملیات اجرایی برنامه معینی برای ایمنی در برابر وقوع حریق ارائه دهد و همچنین شرایط و امکانات لازم را برای اجرای مطلوب آن فراهم کند:

۱- روش‌های پیشگیری از وقوع حریق و انفجار.

۲- آموزش کارکنان در زمینه خطرات آتش‌سوزی و روش‌های مقابله با آن در حین اجرای پیمان.

۳- کاربرد پوستر، علائم و تجهیزات هشدار دهنده در محل کار.

۴- کنترل حریق و جلوگیری از گسترش شعله‌های آتش به مناطق مجاور.

۵- تدوین و اجرای روش‌های مؤثر برای عملیات نجات و دور کردن افراد از محدودهٔ خطر.

۶- اطفای حریق با استفاده از وسایل خاموش کننده مناسب.

ب: در کارهای راهسازی، فعالیت‌های مختلف باید به ترتیبی در کنار یکدیگر انجام گیرند و دستگاه‌ها و ماشین‌آلات به نحوی مستقر شوند که تا حد امکان منابع احتراق مانند شعله و جرقه و مواد سوختنی در مجاورت هم نباشند.

پ: پیمانکار باید با پیش‌بینی برنامه‌های منظم و مستمر بازدید از مکان‌های مختلف اجرای پیمان شرایط ناایمن و عوامل خطرآفرین زیر یا موارد مشابه را که می‌توانند نقطه شروع یک آتش‌سوزی باشند به موقع شناسایی کند و سریعاً نسبت به رفع آنها اقدام نماید:

۱- نشت روغن و سوخت در سیستم‌های هیدرولیکی و ماشین‌هایی که نیروی محرکهٔ آنها به وسیله فرآورده‌های نفتی تغذیه می‌شود.

۲- نشت مخازن و لوله‌های حامل مایعات و گازهای قابل اشتعال.

۳- باز بودن درب ظروف حاوی مایعات فرار و زود تبخیر شونده و در نتیجه انتشار بخارات قابل اشتعال در هوای محیط کار.

۴- پاره شدن قسمتی از روکش عایق کابل‌های برق در اثر برخورد با اشیاء تیز.

ت: کارکنانی که به نحوی با مواد قابل اشتعال در ارتباط هستند باید آشنایی کافی در مورد خطرات احتمالی و اصول پیشگیری و کنترل آتش‌سوزی داشته باشند. علاوه بر این پیمانکار باید با استفاده از روش‌های مؤثر تشویق و جریمه، تعداد موارد آتش‌سوزی ناشی از سهل‌انگاری و بی‌احتیاطی را به حداقل ممکن کاهش دهد.

ث: پیمانکار موظف است لیست کلیه مواد قابل اشتعال و قابل انفجار را که در محل اجرای پیمان یا واحدهای مرتبط با آن تولید، حمل، ذخیره یا به کار گرفته می‌شوند تهیه کند و بر اساس خصوصیات فیزیکی و شیمیایی، نحوه کاربرد، مقدار مصرف و در نهایت خطر اشتعال‌پذیری و قابلیت انفجار آنها تمهیدات لازم را برای پیشگیری و کنترل آتش‌سوزی و انفجار در نظر بگیرد.

ج: برای شستشوی قطعات ماشین و همچنین تمیز کردن لباس کار نباید از بنزین یا مواد مشابه که نقطه اشتعال پایینی دارند و به سرعت شعله‌ور می‌شوند استفاده کرد. در صورت نیاز مواد پاک کنندهٔ مناسب که خطر اشتعال‌پذیری کمتری دارند باید در اختیار کارکنان قرار گیرد.

چ: در قسمت‌های مختلف کارگاه باید ظروف و مکان‌های ویژه‌ای برای جمع‌آوری مواد دور ریختنی و ضایعات حاصل از فرآیند کار وجود داشته باشد و با استفاده از روش‌ها و امکانات مناسب مواد خطرناک و قابل اشتعال در فواصل زمانی معین به طور ایمن به خارج از محل اجرای پیمان انتقال یابند. محل جمع‌آوری ضایعات نباید در مسیر حرکت وسایل نقلیه قرار داشته باشد.

ح: مواد اشتعال‌پذیر مانند بنزین، نفت و سایر مواد مشابه تنها به اندازه نیاز روزانه (کمترین مقدار ممکن) در محل کار نگهداری شوند. این مواد نباید در مسیر رفت و آمد و همچنین در نزدیکی منابع گرمازا باشند.

خ: در صورت نگهداری طولانی‌مدت مواد قابل اشتعال، نکات زیر باید رعایت گردد:

۱- محل ذخیره‌سازی و انبار مواد قابل اشتعال نباید در نزدیکی ساختمان‌های اداری، منازل مسکونی، پارکینگ و مسیر عبور و مرور وسایل نقلیه باشد.

۲- قابلیت اشتعال مواد نگهداری شده باید به عنوان یک معیار مهم در زمان طراحی و ساخت انبار، مخازن و حوضچه‌های نگهداری به خصوص از نظر نوع مصالح، مقاومت آنها در برابر حرارت و انتخاب تجهیزات حفاظتی باید مورد توجه قرار گیرد.

۳- در انبارهای سرپوشیده برای تنظیم درجه حرارت و عبور جریان هوا در قسمت‌های مختلف انبار باید از سیستم‌های تهویه مناسب استفاده شود.

۴- ظروف و بسته‌های حاوی مواد قابل اشتعال باید به نحوی بر روی یکدیگر قرار گیرند که احتمال سقوط آنها از ارتفاع تا حد امکان کاهش یابد.

۵- در محل نگهداری مواد قابل اشتعال استفاده از گرم کنندهٔ برقی، بخاری یا منابع گرمازای دیگر که شعله مستقیم دارند ممنوع است.

۶- در نزدیکی مخازن سوخت یا محل نگهداری مواد قابل اشتعال انجام جوشکاری یا هر نوع فعالیت دیگری که همراه با تولید حرارت و جرقه است مستلزم رعایت کلیهٔ اصول ایمنی می‌باشد.

د: طراحی، نصب، بهره‌برداری و نگهداری کلیهٔ تأسیسات و دستگاه‌های الکتریکی در محل اجرای پیمان باید مطابق با آیین‌نامه حفاظتی وزارت تعاون، کار و رفاه اجتماعی در مورد تأسیسات و وسایل الکتریکی در کارگاه‌ها باشد. همچنین وسایل و تجهیزاتی که احتمال تولید الکتریسیته ساکن در آن‌ها وجود دارد و به نحوی با مایعات قابل اشتعال فرار و زود تبخیر شونده در ارتباط هستند باید به سیستم اتصال به زمین مناسب مجهز شوند.

ذ: در محل کار برای حفظ هوشیاری کارکنان و آگاهی آنها از خطرات آتش‌سوزی و پیامدهای ناگوار آن باید از تابلوها و علائم هشدار دهنده مناسب مانند «کشیدن سیگار ممنوع» استفاده شود.

ر: پیمانکار موظف است با توجه به نوع مواد سوختنی و مقدار آنها و احتمال وقوع آتش‌سوزی در محل اجرای پیمان وسایل و تجهیزات خاموش کننده مناسب به تعداد کافی تهیه کند و در دسترس کارکنان قرار دهد و اطمینان یابد که این وسایل در هر زمان آماده به کار می‌باشند.

۲۴-۱۳ کاربرد مواد ناریه در کارهای راهسازی

۲۴-۱۳-۱ کلیات

هدف از اجرای مقررات ایمنی در جریان کاربرد مواد ناریه عبارت است از:

الف: انفجار ناخواسته و برنامه‌ریزی نشده انجام نگیرد.

ب: در صورت وقوع انفجار ناخواسته و برنامه‌ریزی نشده پیامدهای زیان‌بار جانی و مالی آن به حداقل برسد.

۲۴-۱۳-۲ مقررات ایمنی حمل، نگهداری و کاربرد مواد ناریه

این مقررات عمدتاً شامل موارد زیر است:

۲۴-۱۳-۲-۱ رعایت الزامات کار با مواد ناریه

تهیه، حمل، نگهداری و کاربرد مواد ناریه در کارهای عمرانی باید مطابق با آیین‌نامه و مقررات حفاظت و ایمنی در معادن وزارت تعاون، کار و رفاه اجتماعی باشد.

۲۴-۱۳-۲-۲ آتش باری توسط افراد صلاحیت‌دار

عملیات آتشباری باید توسط افراد صلاحیت‌دار انجام گیرد. آتشبار و افراد دیگری که با مواد ناریه در ارتباط هستند با توجه به وظایفی که بر عهده دارند باید آموزش کافی دیده باشند. علاوه بر این کارکنانی که در نزدیکی محل اجرای آتشباری کار می‌کنند باید آگاهی لازم از خطرات احتمالی و مقررات ایمنی داشته باشند.

۲۴-۱۳-۲-۳ کاربرد مواد ناریه متناسب با شرایط کار

نوع، مقدار و نحوهٔ کاربرد مواد ناریه باید متناسب با شرایط کار و اهداف مورد انتظار باشد. استفاده از باروت و مواد مشابه در داخل تونل و سایر فضاهای سرپوشیده به دلیل تولید و انتشار گازهای سمی و خطرناک ممنوع است.

۲۴-۱۳-۲-٤ حفاظت از احتراق مواد ناریه

روشن کردن سیگار، استفاده از چراغ‌ها و بخاری‌های نفتی و منابع گرمازای دیگر، نگهداری مایعات قابل اشتعال و سایر عواملی که احتمال آتش‌سوزی و انفجار را افزایش می‌دهند، در نزدیکی جایگاه موقت نگهداری

مواد ناریه ممنوع است. جایگاه موقت نباید در مسیر رفت و آمد قرار داشته باشد. این محل باید به نحوی محافظت شود که افراد غیر مجاز به مواد ناریه دسترسی نداشته باشند.

۲۴-۱۳-۲-۵ جدا نگه داشتن چاشنی و فتیله از مواد ناریه

حمل چاشنی و فتیله همراه با مواد ناریه مجاز نیست. همچنین محل نگهداری موقت مواد ناریه باید حداقل ۱۵ متر با چاشنی و فتیله فاصله داشته باشد.

۲۴-۱۳-۲-۶ نصب علائم هشدار دهنده

قبل از آتشباری باید ناحیه خطر یا محدوده‌ای که احتمال پرتاب سنگ وجود دارد با علائم هشدار دهنده مشخص گردد. در این مورد با رعایت اصول ایمنی می‌توان از نیروی انسانی آموزش دیده استفاده کرد.

۲۴-۱۳-۲-۷ اعلان شروع و خاتمه عملیات آتشباری

در هنگام آتشباری کلیه کارکنان و ماشین‌آلات باید به اندازه کافی از محدودهٔ خطر دور شوند. برای اطمینان از این امر علاوه بر بازرسی کامل اجرای عملیات باید زمان شروع و پایان آتشباری بوسیلهٔ علائم صوتی و نوری مناسب اعلام گردد.

۲۴-۱۳-۲-۸ دقت در استفاده از منابع انرژی با فرکانس رادیویی

استفاده از منابع انرژی فرکانس رادیویی در فاصله ۳۰۰ متری محل آتشباری به دلیل احتمال تولید جرقه انفجاری در چاشنی‌های الکتریکی مواد ناریه ممنوع است.

۲۴-۱۳-۲-۹ کنترل تعداد چال در آتشباری با فتیله

در مواردی که آتشباری با فتیله اطمینان انجام می‌شود، انفجار بیش از ۱۰ چال در یک نوبت ممنوع است.

۲۴-۱۳-۲-۱۰ آتشباری پس از اطمینان از ایمنی عملیات

آتشبار باید بعد از اجرای عملیات و سپری شدن حداقل ۱۵ دقیقه با رعایت دقت و احتیاط کامل محل را از نظر احتمال ریزش، انفجارهای ناخواسته، وجود گرد و غبار و گازهای سمی و خطرات دیگر بازدید کند و تنها در صورتی که ایمنی عملیات مورد تأیید قرار گیرد اجازه ادامه کار صادر گردد.

۲۴-۱۳-۲-۱۱ عدم خالی کردن چال پر شده به هر علت

بعد از آتشباری، هرگاه تعدادی از چال‌ها منفجر نشوند باید از نقطه‌ای به فاصلهٔ حداقل ۴۰ سانتی‌متر از دهانه چال مورد نظر و به موازات آن چال جدیدی حفر نمود و پس از خرجگذاری آن را منفجر کرد. خالی کردن چال پر شده به هر علت مجاز نیست.

۲۴-۱۴ ایمنی و بهداشت در فرآیند جوشکاری

۲۴-۱۴-۱ کلیات

جوشکاری فرآیندی است که در صورت رعایت نکردن اصول ایمنی گسترهٔ وسیعی از عوامل زیان‌آور محیط کار و عوامل مخاطره‌آمیز و حادثه‌آفرین را در بر می‌گیرد. پیمانکار موظف است تدابیر ایمنی ضروری را برای حفظ سلامتی جوشکار و سایر کارکنانی که در نزدیکی محل جوشکاری فعالیت می‌کنند در نظر بگیرد. در این مورد نشریه ایمنی در جوشکاری سازمان برنامه و بودجه کشور و آیین‌نامه و مقررات حفاظت در ریخته‌گری، آهنگری و جوشکاری وزارت تعاون، کار و رفاه اجتماعی در رابطه با جوشکاری و برشکاری معتبر هستند.

۲۴-۱۴-۲ آموزش

برنامه آموزش افراد جوشکار و برشکار باید شامل موارد زیر باشد:

۲۴-۱۴-۲-۱ اجرای روش صحیح و ایمن

اجرای روش‌های صحیح و ایمن در فرآیند جوشکاری و برشکاری.

۲۴-۱۴-۲-۲ آشنایی با حوادث احتمالی

آشنایی با حوادث احتمالی نظیر برق‌گرفتگی، آتش‌سوزی، سقوط از ارتفاع و خطرات بهداشتی مانند مواجهه با پرتوهای ماورای بنفش و مادون قرمز و تماس با دود و دمه جوشکاری.

۲۴-۱۴-۲-۳ اهمیت معاینات پزشکی

اهمیت معاینات پزشکی قبل از استخدام و دوره‌ای برای جوشکار و برشکار.

۲٤-۱٤-۲-٤ آشنایی با مقررات جوشکاری

آشنایی با مقررات جوشکاری در ارتفاع و فضاهای محصور.

۲٤-۱٤-۲-۵ آشنایی با اصول اطفا حریق

آشنایی با اصول اطفای حریق و کمک‌های اولیه.

۲٤-۱٤-۲-٦ حفاظت فردی

آشنایی با وسایل حفاظت فردی مورد نیاز و روش صحیح استفاده از آن‌ها.

۲٤-۱٤-۳ وسایل حفاظت فردی

۲٤-۱٤-۳-۱ به کاری گیری صحیح وسایل حفاظت فردی

پیمانکار باید اطمینان پیدا کند که کارکنان در حین اجرای عملیات جوشکاری و برشکاری با توجه به شرایط کار به وسایل حفاظت فردی مورد نیاز شامل عینک یا نقاب محافظ چشم و صورت، کلاه ایمنی، دستکش حفاظتی، پیشبند، لباس کار، گوشی حفاظتی، کفش ایمنی و کمربند ایمنی مجهز هستند و به درستی از آن‌ها استفاده می‌کنند.

۲٤-۱٤-۳-۲ پیشگیری از خطر سقوط

هرگاه جوشکاری در ارتفاع بیش از ۱/۵ متر انجام گیرد باید با استفاده از نرده‌کشی، کمربند ایمنی یا امکانات دیگر از سقوط جوشکار جلوگیری به عمل آید.

۲٤-۱٤-۳-۳ ایمنی سایر کارکنان و رهگذران

علاوه بر جوشکاران، حفاظت کارکنان دیگر و رهگذرها نیز باید مورد توجه قرار گیرد. در این رابطه تا حد امکان با نصب علائم هشدار دهنده و تعیین مسیرهای ایمن برای تردد باید از ورود افراد بدون وسایل ایمنی به محل انجام جوشکاری جلوگیری کرد. هرگاه این کار امکانپذیر نباشد باید برای محصور کردن عملیات جوشکاری از وسایل ثابت یا متحرک مناسب استفاده کرد. ارتفاع این وسایل حداقل ۲ متر خواهد بود.

۲۴-۱۴-۴ تهویه

در صورتی که جوشکاری در داخل کارگاه و در یک محیط سرپوشیده انجام گیرد احتمال انباشته شدن دود فلزی و گازهای سمی وجود دارد و ممکن است سلامتی کارکنان به خطر بیفتد. برای کاهش تراکم آلاینده‌ها به پایین‌تر از حدود تماس مجاز علاوه بر جریان طبیعی هوا باید سیستم‌های تهویه مکانیکی شامل تهویه موضعی و تهویه عمومی در محل نصب شوند و کارایی آنها مورد تأیید قرار گیرد.

۲۴-۱۴-۵ دستگاه‌های جوشکاری

۲۴-۱۴-۵-۱ کنترل وضعیت مکانیکی و الکترونیکی دستگاه‌های جوشکاری

دستگاه‌های جوشکاری چه از نظر مکانیکی و چه از نظر الکتریکی باید در وضعیت مطلوبی نگهداری شوند، کابل‌های دستگاه جوشکاری باید دارای روپوش عایق و بدون زدگی باشند، گیره الکترودها باید به خوبی عایق‌پوش شوند و در هر کار نوع مناسب آن مورد استفاده قرار گیرد. همچنین نصب و تعمیر تجهیزات و لوازم جوشکاری باید توسط یک نفر تکنیسین ورزیده انجام گیرد.

۲۴-۱۴-۵-۲ کنترل اتصال بدنه ماشین جوشکاری به زمین

برای جلوگیری از خطرات احتمالی، اتصال بدنه ماشین جوشکاری به زمین ضروری است و همچنین در هنگام جوشکاری منابع فلزی، لوله‌ها و قطعاتی که روی فونداسیون نصب می‌شوند جوشکار باید دقت کند که به قسمت‌های لخت و بدون عایق مدار جوشکاری دست نزند.

۲۴-۱۴-۶ نظم و ترتیب

در کلیه عملیات جوشکاری نظم و ترتیب باید رعایت شود. جوشکار نباید ته الکترودها را در محل کار پراکنده کند و ابزار کار را در جایی قرار دهد که حادثه آفرین باشد. هر جوشکار باید یک ظرف مخصوص الکترود داشته باشد که مصرف روزانه خود را در آن قرار دهد و ته الکترودها را نیز در آن بریزد. هنگامی که جوشکار در ارتفاع کار می‌کند برای این کار باید از کیف ویژه‌ای که به کمر بسته می‌شود استفاده کند.

۲۴-۱۴-۷ جوشکاری در فضای محصور

جوشکاری در داخل مخازن و به طور کلی در فضاهای محصور تنها در صورتی مجاز است که رعایت معیارهای ایمنی و تهویه هوا توسط کارشناس ایمنی و بهداشت حرفه‌ای تأیید شود و مجوز انجام کار در شرایط معین و زمان مشخص صادر گردد.

۲۴-۱۴-۸ حریق و جوشکاری

۲۴-۱۴-۸-۱ کنترل حریق هنگام جوشکاری

هرگاه جوشکاری در مجاورت مواد قابل اشتعال انجام می‌گیرد باید دقت شود که ذرات فلز مذاب و روباره گرم با مواد مزبور تماس پیدا نکنند و باعث ایجاد حریق نشوند. در صورتی که دور کردن مواد مزبور از محل جوشکاری میسر نباشد، در موقع جوشکاری باید روی آن‌ها را با ورقه‌های ساخته شده از سیمان و پنبه نسوز یا نظایر آن پوشاند.

۲۴-۱۴-۸-۲ کنترل خطر آتش سوزی حین و پس از جوشکاری

یک نفر مجهز به آتش‌خاموش‌کن باید در موقع جوشکاری در محل‌هایی که خطر حریق وجود دارد حاضر بوده و مراقب باشد که ذرات فلز مذاب از ترک‌ها و بازشوها و سوراخ‌ها عبور نکنند. فرد مزبور باید حداقل نیم ساعت پس از اتمام کار نیز در محل باقی بماند تا اطمینان حاصل شود که خطر آتش‌سوزی وجود ندارد.

۲۴-۱۴-۸-۳ آشکارسازی محل تازه جوش شده

پس از اتمام جوشکاری، یعنی وقتی که جوشکار محل تازه جوش شده را ترک می‌کند باید آن منطقه را به شکل مناسبی مشخص نماید تا سایر کارگران با جسم داغ تماس پیدا نکنند.

۲۴-۱۴-۹ جوشکاری و برش اکسی استیلن

رعایت موارد زیر در این فرآیند الزامی است:

۲۴-۱۴-۹-۱ نگهداری سیلندرهای پر و خالی استیلن

سیلندرهای پر و خالی استیلن نباید در کارگاه‌های جوشکاری و برشکاری نگهداری شوند، همچنین محل نگهداری سیلندرهای اکسیژن و استیلن باید به طور مطمئن از یکدیگر تفکیک شوند.

۲۴-۱۴-۹-۲ مشخص بودن و تفکیک لوله‌های استیلن و اکسیژن

لوله‌های قابل انعطافی که استیلن و اکسیژن را از لوله‌های تغذیه یا از سیلندرها به مشعل جوشکاری می‌رساند باید دارای رنگ‌های متفاوت و مشخص باشند و پیچ اتصالات لوله‌ها نیز دنده‌های متفاوتی داشته باشند تا احتمال بستن اشتباه لوله‌ها از بین برود.

۲۴-۱۴-۹-۳ تمیزی فشار سنج و تنظیم کننده‌ها

سوپاپ اطمینان، فشارسنج و تنظیم کننده‌های سیلندر اکسیژن نباید با گریس، روغن و سایر مواد چرب تماس داشته باشند.

۲۴-۱۴-۹-۴ مشخصات مولدهای استیلن

مولدهای استیلن باید دارای مشخصات مندرج در آیین‌نامه‌های حفاظت و بهداشت کار وزارت تعاون، کار و رفاه اجتماعی باشند و در هنگام کار با این مولدها دقت و احتیاط لازم باید صورت گیرد.

۲۴-۱۴-۹-۵ حفاظت سیلندرهای گاز

فاصلهٔ سیلندرهای گاز تا محل برش نباید از ۱۰ متر کمتر باشد و بهتر است سیلندرها در پناه دیوار و یا حفاظ مطمئنی قرار گیرد تا از تابش مستقیم آفتاب به روی آن‌ها جلوگیری به عمل آید.

۲۴-۱۴-۹-۶ کنترل سلامت شیلنگ‌ها

در فواصل کم و به دفعات متعدد باید شیلنگ‌ها از لحاظ نشت گاز و فرسودگی مخصوصا در محل اتصالات مورد بازدید قرار گیرند و محل‌های نشت گاز بلافاصله تعمیر شوند و اگر فرسودگی وجود داشته باشد باید آن قسمت را بریده و مجددا به نحو مطمئن اتصال را برقرار کرد.

۲۴-۱۴-۹-۷ کنترل برشکاری در فضای بسته

در مورد برش ظروف و مخازن مواد نفتی، انجام برشکاری در فضای بسته و موارد مشابه باید شرایطی که در رابطه با جوشکاری عنوان شده رعایت گردد.

۲۴-۱۴-۹-۸ نگهداری مشعل هنگام جوشکاری و برشکاری

پس از پایان جوشکای و برشکاری، مشعل باید در محل امنی گذاشته شود. مشعل نباید بر روی میز، کشو یا قفسه ابزار رها شود یا در کنار سیلندرهای اکسیژن و استیلن آویزان شود.

۲۴-۱۴-۹-۹ روشن کردن مشعل با فندک مخصوص

برای روشن کردن مشعل نباید از کبریت استفاده شود. در این مورد باید فندک مخصوص به کار رود.

۲۴-۱۵ علائم و تجهیزات هشدار دهنده و اطلاع‌رسانی

۲۴-۱۵-۱ کلیات

از علائم و تجهیزات هشدار دهنده و اطلاع‌رسانی برای دستیابی به هدف‌های زیر استفاده می‌شود:

۲۴-۱۵-۱-۱ اطلاع رسانی به موقع

اطلاع‌رسانی به موقع در مورد شرایط غیر عادی که به واسطهٔ انجام کارهای عمرانی به وجود آمده است.

۲۴-۱۵-۱-۲ جلب توجه و حفظ هوشیاری کارکنان و مردم

جلب توجه و حفظ هوشیاری کارکنان و مردم نسبت به خطراتی که ممکن است سلامتی آن‌ها را تهدید نماید.

۲۴-۱۵-۱-۳ آگاهی افراد نسبت به مقررات ایمنی

آگاه کردن افراد نسبت به مقررات ایمنی و محدودیت‌های قانونی دائر بر اینکه رعایت آن‌ها در محدوده اجرای پیمان الزامی است.

۲۴-۱۵-۲ ارتباط با راننده

یکی از اصول مهم در ایمنی و کاربری ماشین‌هایی نظیر جرثقیل و بیل مکانیکی برقراری ارتباط مناسب و تبادل اطلاعات با راننده است به خصوص در شرایطی که میدان دید محدود باشد. برای اجرای مطلوب عملیات و پیشگیری از حوادث احتمالی یک فرد آموزش دیده باید در محل هدایت و راهنمایی راننده را بر عهده گیرد. سادگی، وضوح و درک آسان علائم، از ویژگی‌های یک روش اطلاع‌رسانی مناسب است. در این مورد استفاده از استاندارد DIN 24081 برای بیل مکانیکی و ماشین‌آلات مشابه که با حرکات قانونمند دست انجام می‌گیرد معتبر می‌باشند. علاوه بر این، در صورت تجهیز ماشین‌آلات به وسایل ارتباطی مانند تلفن و بی‌سیم می‌توان برای برقراری ارتباط با راننده استفاده کرد.

۲۴-۱۵-۳ علائم و برچسب‌های ایمنی

پیمانکار موظف است کلیه شرایط ناایمن و مخاطره‌آمیز در محل اجرای پیمان را مانند «لغزنده بودن سطح»، «وجود مواد اشتعال‌پذیر و قابل انفجار»، «معیوب بودن ابزار و ماشین‌آلات» و «انتشار آلاینده‌های سمی و بیماری‌زا» را با استفاده از تابلوهای ایمنی به طور مشخص علامت‌گذاری کند. انتخاب طرح، محتوا، رنگ، ابعاد و محل نصب علائم باید با تأیید کارشناس ایمنی و بهداشت حرفه‌ای صورت گیرد. علائم ایمنی باید بلافاصله بعد از رفع خطر برداشته شوند.

۲۴-۱۵-٤ کنترل ترافیک در عملیات راهسازی

۲۴-۱۵-٤-۱ برنامه موثر کنترل ترافیک

یک برنامه موثر کنترل ترافیک با در نظر گرفتن متغیرهایی نظیر نوع عملیات، سرعت و حجم ترافیک، شرایط محیطی، زمان اجرای عملیات و میزان خطر و همچنین بهره‌مندی از دستورالعمل‌ها، روش‌ها، تجهیزات و نیروی انسانی مورد نیاز، می‌تواند ایمنی خودروهای عبوری و سرنشینان آن‌ها، عابران پیاده و کارکنان عملیاتی را تأمین کند و در عین اجرای عملیات پیمان اختلال احتمالی در جریان ترافیک عمومی را به حداقل برساند.

۲٤-۱۵-٤-۲ مشخصات تابلوها

مشخصات تابلوهای هشدار دهنده، اطلاع‌رسانی و انتظامی، مخروط‌های ایمنی، منابع روشنایی و سایر تجهیزات کنترل ترافیک و همچنین انتخاب روش‌های کنترل در حین اجرای عملیات راهسازی و سایر کارهای عمرانی باید مطابق با آیین‌نامه علائم راه‌های کشور و سایر آیین‌نامه‌های مورد تأیید سازمان برنامه و بودجه کشور یا وزارت راه و شهرسازی باشد.

۲٤-۱۵-٤-۳ لباس مناسب کارکنان برای قابلیت رویت

کلیه کارکنان در محل اجرای پیمان باید در شب و روز از فواصل دور برای رانندگان به خوبی قابل رؤیت باشند. به همین دلیل لباسی که می‌پوشند باید از قابلیت دید بالایی برخوردار باشد و با استانداردهای مربوط تطبیق نماید.

۲٤-۱۵-٤-٤ رویت علایم و تجهیزات ترافیک در شب

کلیه علایم و تجهیزات ترافیکی به کار رفته باید در هنگام تاریکی به اندازه کافی قابل رؤیت و تشخیص باشد. تأمین روشنایی محل با یک منبع نور درونی یا بیرونی و یا با استفاده از مواد منعکس کننده یا شبرنگ امکان‌پذیر است. مشخصات حداقل بازتاب شبرنگ به کار رفته در علائم باید مطابق با استانداردهای مربوطه باشد.

۲٤-۱۵-٤-۵ تناسب تعداد تابلوها

تعداد تابلوها در طول مسیر نباید بیش از حد نیاز باشد و در صورت پایان کار و رفع خطر این تجهیزات باید به سرعت برچیده شوند.

۲٤-۱۵-٤-٦ تجهیزات کنترل ترافیک

برای استفاده درست از تجهیزات کنترل ترافیک باید آنها را در شرایط مطلوب و وضعیت صحیح نگهداری کرد. تابلوها و سایر تجهیزات خاک‌آلود، آسیب دیده و تغییر شکل یافته باید تمیز، تعمیر یا تعویض شوند.

۲٤-۱۵-٤-۷ کنترل موقت ترافیک

پرچمداری به عنوان یک روش در کنترل موقت ترافیک در راه‌ها باید توسط افراد آموزش دیده و صلاحیت‌دار انجام گیرد. پرچمدار در برابر سلامتی کارکنان و مردم مسئول است و در عین حال نسبت به سایر کارکنان ارتباط بیشتری با مردم دارد. بنابر این باید دارای ویژگی‌های زیر باشد:

الف: هوش طبیعی

ب: شرایط جسمانی مناسب از نظر بینایی و شنوایی

پ: آمادگی ذهنی مطلوب

ت: برخورد مؤدبانه همراه با قاطعیت

ث: ظاهر آراسته و پاکیزه

ج: احساس مسئولیت نسبت به سلامتی کارکنان و مردم

۲٤-۱۵-٤-۸ پرچمدار

لباس پرچمدار، محل استقرار پرچمدار، روش علامت‌دهی و سایر مقررات مربوط به پرچمداری باید مطابق با آیین‌نامه‌های وزارت راه و شهرسازی باشد.

۲٤-۱٦ استانداردها

شماره و عناوین استانداردها و مقررات مربوط به این فصل، شامل کیفیت و مشخصات وسایل حفاظت فردی، لباس‌های ایمنی، انبار کردن، حمل و نقل و مصرف ایمن مواد ناریه، ایمنی در کارهای آسفالتی، بتنی، خاکی و تونلسازی، علائم هشدار دهنده و اطلاع‌رسانی و غیره طی جدول شماره ۲۵-۱۳ در فصل بیست و پنجم ارائه شده است. تا موقعی که استاندارد ملی ایران در پاره‌ای از موارد فوق تدوین نشده باشد در درجه اول استانداردهای سازمان بین‌المللی استاندارد (ISO) معتبر خواهد بود و در صورت نبودن استاندارد مذکور به ترتیب آیین‌نامه‌های BS، DIN، ANSI و ASTM ملاک عمل قرار خواهد گرفت.

۲۵

استاندارد مشخصات و آزمایش‌ها

۲۵-۱ کلیات

شماره استانداردهای ذکر شده در این فصل تحت عنوان مشخصات و آزمایش‌ها، طی جدول‌های طبقه‌بندی شده مرتبط با عملیات فصل‌های مختلف، ارائه گردیده‌اند.

تا موقعی که استانداردهای مندرج در جدول‌های فوق شامل مشخصات و آزمایش‌ها، از سوی امور نظام فنی و اجرایی سازمان برنامه و بودجه کشور، تدوین و منتشر نشده‌اند به ترتیب از استانداردهای رسمی منتشر شده توسط سازمان ملی استاندارد ایران و انجمن‌های بین‌المللی AASHTO ، ASTM ، ISO ، BS ، DIN یا استانداردهای نظیر استفاده خواهد شد.

۲۵-۲ شماره استانداردهای مرتبط با این مشخصات

فهرست استانداردهای مرتبط با این مشخصات در جدول‌های ۲۵-۱ الی ۲۵-۱۳ به شرح زیر درج شده‌اند:

جدول ۲۵-۱ شماره و عناوین استانداردهای خاک و تثبیت خاک

جدول ۲۵-۲ شماره و عناوین استانداردهای مصالح سنگی

جدول ۲۵-۳ شماره و عناوین استانداردهای بتن - بخش سیمان و ملات

جدول ۲۵-۴ شماره و عناوین استانداردهای بتن - بخش سنگدانه‌ها

جدول ۲۵-۵ شماره و عناوین استانداردهای بتن - بخش آب

جدول ۲۵-۶ شماره و عناوین استانداردهای بتن - بخش افزودنی‌های شیمیایی و معدنی

جدول ۲۵-۷ شماره و عناوین استانداردهای بتن - بخش فولاد

جدول ۲۵-۸ شماره و عناوین استانداردهای بتن- بخش بتن تازه

جدول ۲۵ - ۹ شماره و عناوین استانداردهای بتن - بخش بتن سخت شده

جدول ۲۵-۱۰ شماره و عناوین استانداردهای قیرهای راهسازی

جدول ۲۵-۱۱ شماره و عناوین استاندارد مخلوط‌های آسفالتی

جدول ۲۵-۱۲ شماره و عناوین استانداردهای ژئوسنتتیک‌ها

جدول ۲۵-۱۳ شماره و عناوین استانداردهای دستورالعمل‌های ایمنی و بهداشت حرفه‌ای در کارهای راهسازی

۳-۲۵ فهرست مؤسسه‌های بین‌المللی استاندارد

فهرست کامل تعدادی از مؤسسه‌های استاندارد بین‌المللی به عنوان مراجع مورد استفاده در این مشخصات به شرح زیر است.

۱- American Society for Testing and Material, ASTM

۲- American Association for State Highway and Transportation Official, AASHTO

۳- Federal Highway Administration, FHWA

۴- International Standard Organisation, ISO

۵- German Standard Institute, DIN

۶- British Standard Institute, BSI

۷- American National Standard Institute, ANSI

۸- Geosynthetic Institute, GSI

جدول ۲۵-۱ شماره و عناوین استانداردهای خاک و تثبیت خاک

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

1. Unified System

ردیف	مشخصات - آزمایش	عنوان	ASTM	AASHTO
۱۵	آزمایش	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 دست خورده برای آزمایش		T146
۱۹	"	آزمایش هم‌ارز 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 سی بی آر خاک در آزمایشگاه		T193
۲۴	"	تعیین مقدار مواد آلی درخاک به روش سوزاندن		T194
۲۵	"	شناسایی خاک توسط مته نمونه‌گیری	D1452	T203
۲۶	"	تعیین تراکم خاک در محل به روش فروکردن استوانه	D293*	T204
۲۷	"	تعیین تراکم خاک در محل به روش بادکنک لاستیکی	D2167	T205
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	"	نمونه‌برداری از آهک شکفته		T218

1. Resistant

ردیف	مشخصات - آزمایش	عنوان	ASTM	AASHTO
۳۱	آزمایش	آزمایش دانه‌بندی و شیمیایی آهک		T219
۳۲	"	تعیین مقاومت فشاری مخلوط خاک و آهک با روش تک محوری	D5102*	T220
۳۳	"	تعیین سی بی آر مخلوط خاک و آهک در آزمایشگاه	D3668	
۳۴	"	آزمایش بارگذاری با صفحه به روش تکراری	D1195	T221
۳۵	"	آزمایش بارگذاری با صفحه به روش غیر تکراری	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 منبسط شونده		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 نمونه‌های استوانه‌ای مخلوط خاک و سیمان	D1633	
۴۵	"	تعیین سی بی آر 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 سی بی آر صحرایی خاک	D4429	

ردیف	مشخصات – آزمایش	عنوان	ASTM	AASHTO
۴۹	آزمایش	تصحیح حداکثر وزن مخصوص خشک آزمایشگاهی و وزن مخصوص گمانه آزمایشی در محل برای خاک‌های دارای مواد درشت‌دانه بیش از اندازه معین	D4718	
۵۰	"	تعیین ضریب انبساط خاک	D4829	
۵۱	"	تعیین ضریب انقباض خاک با روش استفاده از موم	D4943	

* روش‌های آزمایش AASHTO و ASTM کاملا" یکسان نیستند.

جدول ۲۵-۲ شماره و عناوین استانداردهای مصالح سنگی[1]

ردیف	مشخصات – آزمایش	عنوان	ASTM	AASHTO
۱	مشخصات	تعاریف و اصطلاحات مصالح راهسازی	D8	
۲	"	طبقه‌بندی 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 درمخلوط‌های آسفالتی	D242	M17
۹	آزمایش	نمونه‌گیری 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

1. Aggregate

ردیف	مشخصات - آزمایش	عنوان	ASTM	AASHTO
۱۵	آزمایش	وزن مخصوص و جذب آب مصالح ریزدانه	C128	T87
۱۶	"	وزن مخصوص و جدب آب مصالح درشت‌دانه	C127	T85
۱۷	"	مقاومت در مقابل سایش با آزمایش لوس‌آنجلس در ۵۰۰ دور	C131	T96
۱۸	"	مقاومت در مقابل سایش با آزمایش لوس‌آنجلس 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
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	

1. British Wheel

جدول ۲۵-۳ شماره و عناوین استانداردهای بتن - بخش سیمان و ملات

ردیف	مشخصات - آزمایش	عنوان	ASTM	AASHTO	BSI	ISO	استاندارد ایران
۱	مشخصات	سیمان پرتلند	C150	M85	BS12 BS1370 BS4027		389
۲	"	سیمان پرتلند روباره‌ای	C595	M240	BS146 BS4246		
۳	"	سیمان‌های آمیخته	C595	M240	BS146 BS4246		990
۴	"	سیمان پرتلند آمیخته آهکی					4220
۵	"	سیمان بنایی	C91				
۶	"	میز جاری شدن برای آزمایش سیمان	C230	M152			
۷	آزمایش	مقدار بهینه SO_3 در سیمان پرتلند	C563				1694
۸	"	نمونه‌گیری از سیمان	C183	T127	BS4550 Part1		
۹	"	تجزیه شیمیایی سیمان	C114	T105	BS4550 Part2		1692 1693 1694 1695

ردیف	مشخصات - آزمایش	عنوان	ASTM	AASHTO	BSI	ISO	استاندارد ایران
۱۰	آزمایش	جرم مخصوص سیمان به وسیله نفوذ هوا	C188	T133	BS4550 Part3		
۱۱	"	نرمی سیمان (نفوذ هوا)[1]	C204	T153	BS4550 Part3		190
۱۲	"	نرمی سیمان (کدری‌سنج واگنر)[2]	C115	T98			
۱۳	"	اختلاط مکانیکی خمیرهای سیمان و ملات	C305	T162			
۱۴	"	زمان گیرش سیمان به وسیله سوزن ویکات	C191	T131			
۱۵	"	زمان گیرش سیمان به وسیله سوزن گیلمور	C266	T154			
۱۶	"	مقدار هوای ملات	C185	T137	BS4551 Part1		
۱۷	"	روانی و زمان گیرش سیمان	C187	T129	BS4550 Part3		
۱۸	"	مقاومت کششی ملات	C190	T132			
۱۹	"	مقاومت خمشی ملات	C348				393
۲۰	"	مقاومت فشاری ملات (آزمایش نمونه مکعبی)	C109	T106	BS4550 Part3		
۲۱	"	مقاومت فشاری ملات (آزمایش نمونه منشوری)	C349			R679	393
۲۲	"	آب انداختن خمیرهای سیمان و ملات	C243				

1. Blain Test
2. Wagner Turbidimeter

ردیف	مشخصات - آزمایش	عنوان	ASTM	AASHTO	BSI	ISO	استاندارد ایران
۲۳	آزمایش	حرارت آبگیری سیمان	C186		BS4550 Part3		394
۲۴	"	انبساط سیمان در اتوکلاو (آزمایش سلامت)	C151	T107	BS4550 Part3		391
۲۵	"	تغییر طول ملات و بتن سخت شده	C157				
۲۶	"	قابلیت انبساط سولفاتی ملات‌ها	C452				
۲۷	"	انبساط مفید سیمان منبسط شونده	C806				
۲۸	"	جمع‌شدگی خشک شدن ملات	C596				

جدول ۲۵-٤ شماره 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-85 M-6	BS882 BS1201		300 302
۲	"	سنگدانه‌ها برای بتن حفاظت کننده 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	"	آزمایش سنگ‌شناسی	C295				
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

1. Unit Weight

ردیف	مشخصات – آزمایش	عنوان	ASTM	AASHTO	BSI	ISO	استاندارد ایران
۱۱	آزمایش	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[1]			BS812 Part3		669
۱۵	"	ناخالصی‌های آلی	C40	T21			
۱۶	"	اثر ناخالصی‌های آلی سنگدانه‌های ریز روی مقاومت ملات	C87	T71			
۱۷	"	مصالح ریزتر از الک شماره ۲۰۰ (۷۵ میکرون)	C117	T11	BS812 Part3		446
۱۸	"	سنگدانه‌های سبک وزن	C123	T113			
۱۹	"	سنگدانه‌های پولکی و سوزنی			BS812 Part1		
۲۰	"	کلوخه‌های رسی و دانه‌های سست	C142	T112			
۲۱	"	سنگدانه برای ملات بنایی	C144				299
۲۲	"	دانه‌های نرم[2]	C235				

1. Impact Crushing
2. Soft Particles

ردیف	مشخصات – آزمایش	عنوان	ASTM	AASHTO	BSI	ISO	استاندارد ایران
۲۳	آزمایش	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 کربناتی	C586				
۲۷	"	قابلیت تغییرات حجمی مخلوط‌های سیمان و سنگدانه‌ها	C342				
۲۸	"	مقدار کل یا مقدار یون سولفات قابل حل در آب			BS1377 Test9		
۲۹	"	مقدار کلرید سنگدانه		T260	BS812 Part4 BS1881 Part6		

جدول ۲۵-۵ شماره و عناوین استانداردهای بتن - بخش آب

ردیف	مشخصات - آزمایش	عنوان	ASTM	AASHTO	BSI	ISO	استاندارد ایران
۱	مشخصات	تعاریف و واژه‌هایی که به آب ارتباط دارد	D1129				
۲	آزمایش	تعیین یونهای کلسیم و منیزیم درآب	D511				
۳	"	pH آب	D1293	T26			
۴	"	اسیدی یا قلیایی بودن آب	D1067				
۵	"	ذرات معلق و مواد محلول در آب	D1888				
۶	"	یون کلرید در آب	D512				
۷	"	یون سولفات در آب	D516		BS1377 Test10		
۸	"	کیفیت آب مصرفی در بتن		T26	BS3148		

جدول ۲۵-۶ شماره و عناوین استانداردهای بتن - بخش افزودنی‌های شیمیایی و معدنی

ردیف	مشخصات - آزمایش	عنوان	ASTM	AASHTO	BSI	ISO	استاندارد ایران
۱	مشخصات	مواد افزودنی شیمیایی[1]	C494	M194	BS5075 Part1		
۲	"	مواد افزودنی حبابساز	C260	M154			
۳	"	خاکستر بادی[2] و پوزولان‌های طبیعی خام یا تکلیس شده	C618	M295			
۴	"	کلرید کلسیم	D98	M144			
۵	"	روباره آهنگدازی مصرفی در بتن و ملات[3]	C989	M302			
۶	"	دوده سیلیسی[4] مصرفی در بتن و ملات	C1240	M307			
۷	"	مواد افزودنی شیمیایی برای بتن سیال[5]	C1017				
۸	"	مواد شیمیایی امولسیونی برای چسبیدن بتن تازه به بتن سخت شده	C1059				
۹	"	نمونه‌گیری و آزمایش کلرید کلسیم	D345	T143			
۱۰	"	مواد افزودنی حبابساز	C233	T157			

1. Chemical Admixtures
2. Fly Ash
3. Ground Granutated Blast Furnace Slag
4. Silica Fume
5. Flowing Concrete

ردیف	مشخصات – آزمایش	عنوان	ASTM	AASHTO	BSI	ISO	استاندارد ایران
۱۱	آزمایش	نمونه‌برداری و آزمایش‌های خاکستر بادی یا پوزولان‌های طبیعی	C311				
۱۲	"	کنترل واکنش‌زایی قلیایی سنگدانه‌های بتن با استفاده از افزودنی‌های معدنی	C441				

جدول ۲۵-۷ شماره و عناوین استانداردهای بتن - بخش فولاد

ردیف	مشخصات - آزمایش	عنوان	ASTM	AASHTO	DIN	سایر استاندارد
۱	آزمایش	آزمایش کششی میلگرد			488 Part3	RC2*
۲	"	آزمایش کششی پس از خم کردن و باز کردن خم (برای میلگرد و سیم با قطر کمتر از ۹ میلی‌متر)			488 Part5	RC3*
۳	"	آزمایش خم کردن و باز کردن خم			488 Part3	RC4*
۴	"	آزمایش پیوستگی میلگرد با بتن (آزمایش تیر)				RC5*
۵	"	آزمایش پیوستگی میلگرد با بتن (آزمایش بیرون کشیدن میلگرد)				RC6*
۶	"	آزمایش وصله‌های جوش شده میلگرد			488 Part7	RC7*
۷	"	آزمایش خستگی میلگرد			488 Part3	RC8*

* RILEM – CEB - FIB

جدول ۲۵-۸ شماره و عناوین استانداردهای بتن - بخش بتن تازه

ردیف	مشخصات - آزمایش	عنوان	ASTM	AASHTO	BSI	ISO	استاندارد ایران
۱	مشخصات	بتن آماده	C94	M157	BS1920		
۲	"	مواد محلول عمل آوردن بتن تازه	C309	M148			
۳	"	مواد غشائی عمل آوردن بتن تازه	C171	M171			
۴	"	تهیه بتن با روش حجمی به طریق اختلاط مداوم[1]	C685	M241			
۵	آزمایش	نمونه‌برداری	C172	T141	BS1881 Part1		489
۶	"	نمونه‌برداری از شات کریت تازه	C1385				
۷	"	ساختن وعمل آوردن نمونه‌های آزمایشی بتن در آزمایشگاه	C192	T126	BS1881 Part3		581
۸	"	ساختن و عمل آوردن نمونه‌های آزمایشی بتن در کارگاه	C31	T23	BS1881 Part3		
۹	"	آزمایش روانی (اسلامپ)	C143	T119	BS1881 Part2		
۱۰	"	آزمایش روانسنجی وی - پی			BS1881 Part2		
۱۱	"	نفوذ گلوله در بتن تازه (گلوله کلی)[2]	C360				511

1. Volumetric Batching and Continuous Mixing
2. Kelly Ball

ردیف	مشخصات - آزمایش	عنوان	ASTM	AASHTO	BSI	ISO	استاندارد ایران
۱۲	آزمایش	آزمایش ضریب تراکم			BS1881 Part2		
۱۳	"	وزن مخصوص، بازدهی و مقدار هوا (اندازه‌گیری وزنی)	C138	T121	BS1881 Part2		
۱۴	"	مقدار هوای بتن تازه (اندازه‌گیری حجمی)	C173	T196			
۱۵	"	مقدار هوای بتن تازه (روش فشاری)	C231		BS1881 Part2		
۱۶	"	تجزیه بتن تازه			BS1881 Part2		
۱۷	"	آب انداختن بتن	C232	T158			
۱۸	"	زمان گیرش بتن به وسیله مقاومت در برابر نفوذ	C403	T157			
۱۹	"	تغییرات حجمی اولیه	C827				
۲۰	"	نگهداری آب بتن با مواد عمل‌آورنده بتن	C156				
۲۱	"	درجه حرارت بتن	C1064				
۲۲	"	اندازه‌گیری آب بتن	C1079				

جدول ۲۵ - ۹ شماره و عناوین استانداردهای بتن - بخش بتن سخت شده

ردیف	مشخصات - آزمایش	عنوان	ASTM	AASHTO	BSI	ISO	استاندارد ایران
۱	آزمایش	تسطیح سر نمونه‌های استوانه‌ای	C617		BS1881 Part3		
۲	"	مقاومت فشاری	C39	T22	BS1881 Part4		
۳	"	مقاومت فشاری بتن (نمونه‌های منشوری)	C116		BS1881 Part4		
۴	"	عمل آوردن تسریع شده و آزمایش بتن	D684				
۵	"	مقاومت کششی دو نیم کردن	C496		BS1881 Part4		
۶	"	مقاومت خمشی بتن با استفاده از تیر ساده با بارگذاری متمرکز در نقاط یک سوم دهانه	C78		BS1881 Part4 BS340 BS368		490
۷	"	مقاومت خمشی بتن با استفاده از تیر ساده با بارگذاری متمرکز در وسط دهانه	C293	T177			
۸	"	تعیین خشک‌شدگی، جمع‌شدگی و حرکت رطوبت	C490		BS1881 Part5		
۹	"	مدول الاستیسیته استاتیکی و نسبت پواسون	C469		BS1881 Part5		525

ردیف	مشخصات – آزمایش	عنوان	ASTM	AASHTO	BSI	ISO	استاندارد ایران
۱۰	آزمایش	فرکانس‌های اصلی، عرضی، طولی و پیچشی	C215		BS1881 Part5		
۱۱	"	ویژگی‌های مکانیکی تحت اثر بارهای سه محوری	C801				
۱۲	"	وارفتگی بتن در فشار	C512				
۱۳	"	تغییر طول نمونه‌های مته یا اره شده	C341		BS1881 Part5		
۱۴	"	چگالی، جذب آب و فضاهای خالی	C642		BS1881 Part5		
۱۵	"	تعیین میکروسکپی سیستم حباب‌های هوا	C457				
۱۶	"	عیار سیمان بتن سخت شده	C1084		BS1881 Part6		
۱۷	"	مقاومت در برابر یخ زدن و آب شدن سریع	C666				
۱۸	"	اتّساع بحرانی در اثر یخبندان	C671				
۱۹	"	مقاومت در برابر سایش با ماسه‌پاشی	C418				
۲۰	"	مقاومت سایشی سطوح افقی	C779				
۲۱	"	مقاومت پوسته شدن بتن در معرض مواد شیمیایی یخزدا	C672				
۲۲	"	پیوستگی ایجاد شده با میلگردهای فولادی	C234				
۲۳	"	نمونه‌برداری از بتن در عملیات اجرایی و آزمایش نمونه	C823				

ردیف	مشخصات – آزمایش	عنوان	ASTM	AASHTO	BSI	ISO	استاندارد ایران
۲۴	آزمایش	آزمایش مغزه‌های مته شده و تیرهای اره شده	C42		BS1881 Part4		
۲۵	"	عدد برجهندگی	C805		BS4408 Part4		
۲۶	"	مقاومت نفوذی	C803				
۲۷	"	آزمایش بتن به روش فراصوتی	C597		BS4409 Part5		
۲۸	"	مقاومت در برابر بیرون کشیدن	C900				
۲۹	"	اندازه‌گیری کلر قابل حل در اسید در بتن و ملات	C1152				
۳۰	"	اندازه‌گیری کلر قابل حل در آب، در بتن و ملات	C1218				
۳۱	"	اندازه‌گیری نفوذ یون کلر در بتن با روش الکتریکی	C1202				
۳۲	"	تجزیه بتن سخت شده			BS1881 Part6		
۳۳	"	دستگاه‌های الکترومغناطیسی اندازه‌گیری پوشش			BS4408 Part1		
۳۴	"	رادیوگرافی با اشعه گاما			BS4408 Part3		

جدول ۲۵-۱۰ شماره و عناوین استانداردهای قیرهای راهسازی

ردیف	مشخصات - آزمایش	عنوان	ASTM	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، آبروها و استخر	D2521	M239
۹	"	راهنمای انتخاب قیرآبه‌ها	D3628	R5-89
۱۰	"	راهنمای انتخاب قیرهای محلول	D2399	
۱۱	"	مشخصات قیرهای طبیعی تری‌تیداد	D5710	
۱۲	"	قیرهای اصلاح شده با پودر لاستیک همراه با افزودنی‌های دیگر برای مصرف در عملیات آسفالتی	D6114	
۱۳	"	قیرهای اصلاح شده با مواد شیمیایی برای مصرف در عملیات آسفالتی	D6154	
۱۴	"	نمونه‌گیری از مواد قیری	D140	T40
۱۵	"	قابلیت حلالیت قیرها در تری‌کلرور اتیلن	D2042	T44

1. Oxidized Petroleum Asphalt

ردیف	مشخصات - آزمایش	عنوان	ASTM	AASHTO
۱۶	آزمایش	افت وزنی ترکیبات قیری و روغنی با حرارت	D6	T47
۱۷	"	نقطه اشتعال و سوختن با ظرف روباز کلیولند	D92	T48
۱۸	"	درجه نفوذ مواد قیری	D5	T49
۱۹	"	آزمایش شناور شدن مواد قیری[1]	D139	T50
۲۰	"	خاصیت انگمی مواد قیری	D113	T51
۲۱	"	نقطه نرمی قیر و قطران (روش حلقه و گلوله) با اتیلن گلیکول	D2398	T53
۲۲	"	مقدار آب در محصولات نفتی و مواد قیری از طریق تقطیر	D95	T55
۲۳	"	آزمایش قیرآبه‌ها	D244	T59
۲۴	"	غلظت با روش سی بولت[2]	D88	T72
۲۵	"	نقطه اشتعال قیر با روش ظرف سربسته	D93	T73
۲۶	"	تقطیر قیرهای محلول	D402	T78
۲۷	"	نقطه اشتعال قیرهای دارای نقطه اشتعال کمتر از ۹۳ سانتیگراد (۲۰۰ فارنهایت)	D1310	T79
۲۸	"	آزمایش لکه[3] مواد قیری		T102
۲۹	"	مواد معدنی (غیر آلی) یا خاکستر موجود در مواد قیری		T111
۳۰	"	تقطیر محصولات نفتی	D86	T115

1. Float Test
2. Saybolt
3. Spot Test

ردیف	مشخصات - آزمایش	عنوان	ASTM	AASHTO
۳۱	آزمایش	بازیافت قیر از مخلوط‌های آسفالتی با روش آبسون[1]	D1856	T170
۳۲	"	اثر حرارت و هوا روی مواد قیری با روش فیلم نازک قیر	D1754	T179
۳۳	"	اثر حرارت و هوا روی مواد قیری با روش فیلم نازک قیری دوّار[2]	D2872	T240
۳۴	"	کندروانی کینماتیک مواد قیری	D2170	T201
۳۵	"	کندروانی با روش (واکیوم کاپیلاری)[3]	D2171	T202
۳۶	"	وزن مخصوص قیرهای نیمه‌سخت (قیرهای خالص)	D70	T228
۳۷	"	تشخیص قیرآبه‌های کندشکن کاتیونیک	D5545	
۳۸	"	اندازه‌گیری قیر پخش شده با قیر پاش	D2995	
۳۹	"	بازیافت الاستیک مواد قیری با استفاده از خاصیت انگمی	D6084	
۴۰	"	نقطه اشتعال قیرهای محلول	D3143	
۴۱	"	تعیین مواد غیر قابل حل (آسفالتین‌ها) با حلال هپتان نرمال	D3297	
۴۲	"	تعیین کندروانی مواد قیری در بازیافت گرم مخلوط‌های آسفالتی	D4887	
۴۳	"	جدا کردن مواد چهارگانه قیر	D4124	
۴۴	"	تعیین وزن واحد حجم قیرهای محلول با روش هیدرومتری	D3142	
۴۵	"	کندروانی قیر با غلظت‌سنج صفحه‌ای – مخروطی[1]	D3205	

1. Abson
2. Rolling Thin Film of Asphalt
3. Vacum Capillary Viscometer

جدول ۲۵-۱۱ شماره و عناوین استانداردهای مخلوط‌های آسفالتی

ردیف	مشخصات - آزمایش	عنوان	ASTM	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[2]	D3910	
۴	"	طبقه‌بندی مواد احیا کننده 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[3]	D2172	T164
۱۳	"	اثر آب روی چسبندگی مخلوط‌های آسفالتی	D1075	T165

1. Cone and Plate Viscometer
2. Slurry Seal
3. Extraction

ردیف	مشخصات - آزمایش	عنوان	ASTM	AASHTO
۱۴	آزمایش	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 مخلوط‌های آسفالتی	D2489	T195
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 نمونه‌های 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 تقریبی قیر مصالح سنگی با روش سانتریفوژ[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

1. Rice Method
2. Hveem
3. Dense Grade
4. Open Grade
5. Centrifuge Keroseen Equiualent

ردیف	مشخصات - آزمایش	عنوان	ASTM	AASHTO
۲۸	آزمایش	تعیین وزن مخصوص ظاهری و وزن واحد حجم مخلوط‌های آسفالتی فاقد خاصیت جذب آب	D2726	
۲۹	"	محاسبه درصد قیر جذب شده توسط سنگدانه‌ها در مخلوط‌های آسفالتی	D4469	
۳۰	"	خواص برشی و کوبیدگی مخلوط‌های آسفالتی با ماشین دوار[1]	D3387	
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 برجهندگی 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 تعیین کندروانی قیر در بازیافت گرم مخلوط‌های آسفالتی	D4887	

1. Gyratory Testing Machin
2. Resilient Modulous
3. Rotary Evaporator

جدول ۲۵-۱۲ شماره و عناوین استانداردهای ژئوسنتتیک‌ها

ردیف	مشخصات - آزمایش	عنوان	ASTM	AASHTO	GRI	ISIRI
۱	مشخصات	مشخصات فنی ژئوتکستایل‌ها		M228		
۲	"	تعاریف و اصطلاحات	D4439			
۳	"	دستورالعمل شناسایی ژئوسنتتیک‌ها، انبار کردن و نقل و انتقال آنها	D4873			
۴	"	روش استاندارد تایید مطابقت نتایج آزمایش‌ها با مشخصات	D4759			
۵	آزمایش	نمونه‌گیری از ژئوسنتتیک‌ها برای انجام آزمایش	D4354			7774
۶	"	تعیین جرم واحد سطح ژئوتکستایل	D5261			
۷	"	تعیین وزن مخصوص ژئوسنتتیک‌ها	D1505-D792			
۸	"	تعیین ضخامت اسمی ژئوسنتتیک‌ها	D5199			
۹	"	تعیین سختی ژئوسنتتیک‌ها	D1388			
۱۰	"	شناسایی نوع الیاف در منسوجات	D276			
۱۱	"	تعیین مقاومت پارگی (ذوزنقه‌ای) ژئوتکستایل	D4533			
۱۲	"	تعیین مقاومت کششی نوار پهن ژئوتکستایل (و ژئوگرید)	D4595			7221
۱۳	"	تعیین بار گسیختگی و افزایش طول ژئوتکستایل‌ها	D4632			
۱۴	"	تعیین مقاومت درز دوخته شده یا درز حرارتی در ژئوتکستایل	D4884			7743

ردیف	مشخصات - آزمایش	عنوان	ASTM	AASHTO	GRI	ISIRI
۱۵	آزمایش	تعیین ضریب اصطکاک خاک- ژئوسنتتیک یا ژئوسنتتیک- ژئوسنتتیک به روش برش مستقیم	D5321			
۱۶	"	تعیین مقاومت شکافتگی پارچه‌گونه‌ها	D3786			
۱۷	"	مقاومت کششی نوار باریک ژئوممبرین	D412-D638-D882			
۱۸	"	تعیین مقاومت کششی نوار عریض ژئوممبرین	D4885			
۱۹	"	تعیین مقاومت پارگی ژئوممبرین	D1004			
۲۰	"	تعیین مقاومت سوراخ شدگی (پانچ) ژئوممبرین و محصولات مشابه	D4833			
۲۱	"	تعیین مقاومت سوراخ‌شدگی هرمی (پانچ هرمی) ژئوممبرین	D5494			
۲۲	"	تعیین مقاومت سوراخ شدگی ژئوسنتتیک‌ها در شرایط هیدرواستاتیک	D5514			
۲۳	"	تعیین مقاومت سوراخ شدگی (پانچ) ژئوسنتتیک‌ها بروش میله ۵۰mm	D6241			
۲۴	"	تعیین مقاومت کششی نوار منفرد (یا نوارهای ژئوگرید)	D6637		GG1	
۲۵	"	مقاومت کششی گره (نقطه اتصال نوارها) ژئوگرید	D7737		GG2	
۲۶	"	تعیین مقاومت کششی ژئوگرید و ژئوتکستایل در کرنش پایین	D7556			
۲۷	"	تعیین سختی ژئوسنتتیک‌ها	D7748			
۲۸	"	تعیین ضریب اندرکنش اصطکاکی ژئوسنتتیک- خاک	D7499		GS7	
۲۹	"	تعیین میزان مقاومت مهاری ژئوسنتتیک در خاک	D6706		GG5-GT6	
۳۰	"	تعیین مقاومت سوراخ شدگی (پانچ) ژئوسنتتیک‌ها به روش CBR			GS1	

ردیف	مشخصات – آزمایش	عنوان	ASTM	AASHTO	GRI	ISIRI
۳۱	آزمایش	تعیین مقاومت انسداد ژئوتکستایل‌ها در برابر عوامل بیولوژیکی	D1987			
۳۲	"	تعیین مقاومت ژئوگریدها در برابر عوامل شیمیایی	D6213			
۳۳	"	تعیین مقاومت ژئوسنتتیک‌ها در برابر عوامل بیولوژیکی			G21-G22	
۳۴	"	تعیین میزان تاثیر حرارت بر عملکرد ژئوتکستایل	D4594			
۳۵	"	تعیین میزان مقاومت ژئوتکستایل در برابر سایش	D4886			
۳۶	"	ارزیابی رفتار ژئوسنتتیک‌ها در شرایط خزش کششی	D5262			
۳۷	"	تعیین مقاومت ژئوسنتتیک‌ها در برابر عوامل شیمیایی	D5322			
۳۸	"	تعیین مقاومت ژئوسنتتیک‌ها در برابر اکسیداسیون	D5885			
۳۹	"	تعیین مقاومت ژئوتکستایل در برابر آسیب‌های نور، رطوبت و حرارت	D4355			
۴۰	"	تعیین مقاومت ژئوتکستایل در برابر آسیب‌های محیطی	D5970			
۴۱	"	تعیین میزان نفوذپذیری و قابلیت گذردهی ژئوتکستایل	D4491			7778
۴۲	"	تعیین میزان نفوذپذیری ژئوتکستایل تحت بار	D5493			
۴۳	"	ظرفیت عبوردهی جریان صفحه‌ای ژئوسنتتیک در فشار هیدرولیکی ثابت	D4716			
۴۴	"	تعیین اندازه ظاهری روزنه‌های ژئوتکستایل	D4751			7775
۴۵	"	تعیین مقاومت در برابر انسداد روزنه‌های ژئوتکستایل در محیط خاکی	D5101			
۴۶	"	تعیین بازده و ضریب گذردهی زمین‌پارچه‌ها در مقابل خاک‌های از نوع لای با استفاده از نمونه‌های خاک لای موجود در محل	D5141			
۴۷	"	تعیین نرخ گذردهی هیدرولیکی در سیستم ژئوتکستایل– خاک	D5567			

ردیف	مشخصات – آزمایش	عنوان	ASTM	AASHTO	GRI	ISIRI
۴۸	آزمایش	تعیین میزان جذب قیر در ژئوسنتتیک‌های آسفالتی	D6140			
۴۹	"	آزمایش غیرمخرب تعیین عدم معیوب بودن درزگیری در ژئوممبرین‌ها	D4437			
۵۰	"	تعیین عدم معیوب بودن درزگیری کارخانه‌ای در ژئوممبرین‌ها	D4545			
۵۱	"	تعیین کارایی محافظت ژئوسنتتیک‌ها در برابر صدمات ناشی از ضربه				14203
۵۲	"	تعیین مقاومت اتصالات ساختار داخلی ژئوسل‌ها				7744-1
۵۳	"	تعیین مقاومت اتصالات ساختار داخلی ژئوکمژوزیت‌ها				7744-2

جدول ۲۵-۱۳ شماره و عناوین استانداردهای دستورالعمل‌های ایمنی و بهداشت حرفه‌ای در کارهای راهسازی

ردیف	عنوان	ASTM	BSI	ISO	ANSI	DIN	استاندارد ایران
۱	مشخصات کلاه‌های ایمنی صنعتی برای کارهای سبک						1381
۲	مشخصات کلاه‌های ایمنی برای کارهای سنگین						1375
۳	مشخصات حفاظهای صنعتی چشمی						1374
۴	وسایل ایمنی برای حفاظت چشم، چهره و گردن در مقابل تشعشع حاصل از جوشکاری و عملیات مشابه						1761
۵	مشخصات دستکش‌های چرمی ساقدار برای جوشکاران						1764
۶	مشخصات و روش‌های آزمایش دستکش‌های لاستیکی برای مصارف الکتریکی						1645
۷	مشخصات چکمه‌های لاستیکی						1383
۸	مشخصات پوشاک ایمنی برای جوشکاران						1136
۹	مشخصات کفش و پوتین ایمنی						1377
۱۰	مشخصات لباس‌های با قابلیت دید بالا		(EN)471				
۱۱	مشخصات حفاظهای چشم و صورت				Z87.1		
۱۲	مشخصات حفاظهای پا				Z49.1		
۱۳	مشخصات تورهای ایمنی				A10.11		
۱۴	مشخصات کمربند ایمنی و طناب نجات				A10.14		
۱۵	مشخصات حفاظهای دستگاه تنفسی				Z88.2		

ردیف	عنوان	ASTM	BSI	ISO	ANSI	DIN	استاندارد ایران
۱۶	سنجش و ارزیابی ارتعاش به عنوان یک عامل زیان‌آور محیط کار		DD43	5349	53-34		
۱۷	ویژگی علائم اطلاع‌رسانی و ارتباط با راننده ماشین‌آلات خاکبرداری و جرثقیل					24081	
۱۸	مشخصات ساختار حفاظتی ماشین‌های خاکبرداری در برابر سقوط اشیاء		6912				
۱۹	ایمنی در عملیات خاکی				A10.12		
۲۰	ایمنی در تونلسازی		6164		A10.16		
۲۱	نصب و برپاکردن سازهای فلزی				A10.13		
۲۲	ایمنی در اجرای عملیات آسفالتی				A10.17		
۲۳	ایمنی درکارخانه آسفالت				A10.27		
۲۴	انبار کردن، حمل و نقل و مصرف ایمن مواد ناریه		5607		A10.11		
۲۵	ایمنی در کارهای بتنی				A10.9		
۲۶	مشخصات حداقل بازتاب در شبرنگ مورد استفاده در علائم راه‌ها	D4956	873				

خواننده گرامی

امور نظام فنی و اجرایی سازمان برنامه و بودجه کشور، با گذشت بیش از چهل سال فعالیت تحقیقاتی و مطالعاتی خود، افزون بر هشتصد عنوان نشریه تخصصی - فنی، در قالب آیین‌نامه، ضابطه، معیار، دستورالعمل، مشخصات فنی عمومی و مقاله، به‌صورت تالیف و ترجمه، تهیه و ابلاغ کرده است. ضابطه حاضر در راستای موارد یاد شده تهیه شده، تا در راه نیل به توسعه و گسترش علوم در کشور و بهبود فعالیت‌های عمرانی به کار برده شود. فهرست نشریات منتشر شده در سال‌های اخیر در سایت اینترنتی **nezamfanni.ir** قابل دستیابی می‌باشد.

Preparation and Supervision of the General Technical Specifications for Road [IR-Code 800-101] -Third Edition

Project Manager: Rahyab Melal Consulting Engineers

Borhan Rostami	Civil Engineer (Project Manager)
Mozaffar Biglar	Civil Engineer
Robabe Ghadiri	Civil Engineer
Mohsen Moghaddasin	Civil Engineer
Alireza Mohammadirad	M.Sc. in Civil Engineering
Mohammadreza Farzinpour	M.Sc. in Civil Engineering
Loghman Rostami	M.Sc. in Civil Engineering

Project Executor: Road, Housing and Urban Development Research Center (Names listed in alphabetical order)

First Name	Last Name	Workplace	Education Level
Mohsen	Esmaeili Taheri	Rahyab Melal Consulting Engineers	M.Sc.
Ali Mohammad	Esmaeili	Technical and Soil Mechanics Laboratory	M.Sc.
Pouyan	Ayar	Iran University of Science and Technology	Ph. D.
Mohammad	Jafari	Noshirvani University of Technology, Babol	Ph. D.
Karim	Jalalian	National Transportation Infrastructure Development Co.	M.Sc.

First Name	Last Name	Workplace	Education Level
Mohammad Sadegh	Joodi	Barayand Consulting Engineers	M.Sc.
Hamed	Khani	University of Yazd	Ph. D.
Alireza	Khavandi Khiavi	University of Zanjan	Ph. D.
Mehdi	Khoshkardar	Road, Housing and Urban Development Research Center	Ph. D.
Borhan	Rostami	Rahyab Melal Consulting Engineers	B. Sc.
Shahrouz	Zamani	Budget and Planning Organization	Ph. D.
Somayeh	Sattari	Kandovan Pars Construction Company	M.Sc.
Mohammad	Shekarchizadeh	Road, Housing and Urban Development Research Center	Ph. D.
Hamidreza	Saheb Alzamani	Kandovan Pars Construction Company	Ph. D.
Bahram	Talebi	Iran Society of Consulting Engineers	M.Sc.
Nader	Tabatabaei	Sharif University of Technology	Ph. D.
Mahmoud	Ameri	Iran University of Science and Technology	Ph. D.
Taher	Fathollahi Marni	Budget and Planning Organization	M.Sc.
Asghar	Fatootfard	Chavosh Rah Bana Company	B. Sc.
Orang	Farzaneh	CVR Consulting Engineers	Ph. D.
Alireza	Fard Alirezaei	Akam Sheni Industries	M.Sc.
Aghil	Ghadim	Road, Housing and Urban Development Research Center	M.Sc.
Ghodratollah	Ghamsari	Retired from Technical and Soil Mechanics Laboratory	B. Sc.

First Name	Last Name	Workplace	Education Level
Firouz	Ghiasi	Road Maintenance and Transportation Organization	M.Sc.
Amir	Kavoosi	Tarbiat Modares University	Ph. D.
Ahmad	Goli	University of Isfahan	Ph. D.
Nader	Mahmoudinia	Kandovan Pars Construction Company	M.Sc.
Fereydoun	Moghaddasnejad	Amirkabir University of Technology	Ph. D.
Ahmad	Mansourian	Road, Housing and Urban Development Research Center	Ph. D.
Ali	Moniri	Rahbord Taraddod Pars Consulting Engineers	Ph. D.
Javad	NazariAfshar	Faculty member, Islamic Azad University, Qods City Branch	Ph. D.

Confirmation Committee (Names listed in alphabetical order)

First Name	Last Name	Education Level
Mohsen	Esmaeili Taheri	M.Sc.
Ali Mohammad	Esmaeili	M.Sc.
Karim	Jalalian	M.Sc.

First Name	Last Name	Education Level
Mehdi	Khoshkardar	Ph. D.
Somayeh	Sattari	M.Sc.
Bahram	Talebi	M.Sc.
Taher	Fathollahi Marni	M.Sc.
Asghar	Fatootfard	B. Sc.
Aghil	Ghadim	M.Sc.
Ghodratollah	Ghamsari	B. Sc.
Fereydoun	Moghaddasnejad	Ph. D.
Ahmad	Mansourian	Ph. D.

Steering Committee (Plan and Budget Organization)

Alireza Toutounchi	Deputy of Technical and Executive Affairs Department
Taher Fatthollahi Marni	Head of Technical and Executive Affairs Department
Sajjad Heidari Hasanaklou	Expert in Technical and Executive Affairs Department

Islamic Republic of Iran
Planning and Budget Organization

Iranian Highways Manual (IHM)

"General Technical Specifications for Road"

No. 800-101

3rd Revision

2026.04.11

Technical Deputy and Development of Infrastructure and Production Affairs
Technical and Executive System Affairs
Nezamfanni.ir

2026

این ضابطه

با عنوان « **آیین‌نامه راه‌های ایران (آرا) – آیین‌نامه مشخصات فنی عمومی راه**» در قالب ۲۵ فصل به بیان مهمترین مسائل موجود در زمینه مطالعه، طراحی، ساخت و مشخصات فنی عمومی راه می‌پردازد.