جمهوری اسلامی ایران
سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور

دستور العمل طراحی و اجرای مخلوط‌های آسفالتی درشت دانه

ضابطه شماره ۷۰۶

معاونت فنی و توسعه امور زیربنایی
امور نظام فنی و اجرایی

nezamfanni.ir

وزارت راه و شهرسازی
مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی
پژوهشکده حمل و نقل
bhrc.ac.ir

۱۳۹۵

باسمه‌تعالی

ریاست جمهوری
سازمان برنامه و بودجه کشور
رییس سازمان

بخشنامه به دستگاه‌های اجرایی، مهندسان مشاور و پیمانکاران

شماره: ۹۵ /۶۶۹۳۰۳
تاریخ: ۱۳۹۵/۰۵/۲۳

موضوع: دستورالعمل طراحی و اجرای مخلوط‌های آسفالتی درشت دانه

به استناد ماده (۲۳) قانون برنامه و بودجه و مواد (۶) و (۷) آیین‌نامه استانداردهای اجرایی طرح‌های عمرانی- مصوب سال ۱۳۵۲ و در چارچوب نظام فنی و اجرایی کشور (موضوع تصویب‌نامه شماره ۴۲۳۳۹/ت۳۳۴۹۷هـ مورخ ۱۳۸۵/۴/۲۰ هیأت محترم وزیران)، به پیوست ضابطه شماره ۷۰۶ امور نظام فنی و اجرایی، با عنوان «**دستورالعمل طراحی و اجرای مخلوط‌های آسفالتی درشت دانه**» از نوع گروه سوم ابلاغ می‌شود.

رعایت مفاد این ضابطه در صورت نداشتن ضوابط بهتر، از تاریخ ۱۳۹۵/۱۰/۰۱ الزامی است.

امور نظام فنی و اجرایی این سازمان دریافت‌کننده نظرات و پیشنهادهای اصلاحی در مورد مفاد این ضابطه بوده و اصلاحات لازم را اعلام خواهد کرد.

محمد باقر نوبخت

ش ش: ۱۰۴۶۱۳۹

خواننده گرامی

امور نظام فنی و اجرایی سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، با استفاده از نظر کارشناسان برجسته مبادرت به تهیه این ضابطه کرده و آن را برای استفاده به جامعه‌ی 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 خواننده‌ی گرامی صمیمانه تقاضا دارد در صورت مشاهده هر گونه ایراد و اشکال فنی، مراتب را بصورت زیر گزارش فرمایید:

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

۲- ایراد مورد نظر را بصورت خلاصه بیان دارید.

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

٤- نشانی خود را برای تماس احتمالی ذکر فرمایید.

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 دانشسرا، ، سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، امور نظام فنی و اجرایی ـ مرکز تلفن ۳۳۲۷۱
web: nezamfanni.ir Email: info@nezamfanni.ir

امور پیمان
omoorepeyman.ir

باسمه تعالی

پیشگفتار

استفاده از ضوابط، معیارها و استانداردها در مراحل تهیه طرح، اجرا، بهره‌برداری و نگهداری طرح‌های عمرانی به لحاظ توجیه فنی و اقتصادی طرح‌ها، کیفیت طراحی و اجرا (عمرمفید) و هزینه‌های نگهداری و بهره‌برداری، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشد. نظام فنی و اجرایی کشور به کارگیری معیارها، استانداردها و ضوابط فنی در مراحل تهیه و اجرای طرح و نیز توجه لازم به هزینه‌های نگهداری از طرح‌ها را مورد تأکید جدی قرار داده است.

بنا بر مفاد ماده ۲۳ قانون برنامه و بودجه، سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور موظف به تهیه و ابلاغ ضوابط، مشخصات فنی، آیین‌نامه‌ها و استانداردهای اجرایی مورد نیاز طرح‌های عمرانی کشور می‌باشد. با توجه به تنوع و گستردگی طرح‌های عمرانی، طی سالهای اخیر سعی شده است در تهیه و تدوین این گونه مدارک علمی از مراکز تحقیقاتی و توان فنی دستگاه‌های اجرایی ذیربط استفاده شود. از این رو ضابطه شماره ۷۰۶ با عنوان " دستورالعمل طراحی و اجرای مخلوط های آسفالتی درشت دانه" با همکاری پژوهشکده حمل و نقل مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی و بهره‌مندی از توان علمی و تخصصی جمعی از کارشناسان باتجربه کشور تهیه شده است.

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 سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور ارسال کنند. کارشناسان سازمان پیشنهادهای دریافت شده را بررسی کرده و در صورت نیاز به اصلاح در متن ضابطه، با همفکری نمایندگان جامعه فنی کشور و کارشناسان مجرب این حوزه، نسبت به تهیه متن اصلاحی، اقدام و از طریق سایت اینترنتی معاونت برای بهره‌برداری عموم اعلام خواهند کرد. به همین منظور و برای تسهیل در پیدا کردن آخرین ضوابط ابلاغی معتبر، در سمت میانی بالای صفحات ضابطه، 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.

بدینوسیله از تلاش و جدیت رئیس و کارشناسان امور نظام فنی و اجرایی، مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی، ناظرین و مجری محترم پروژه و همچنین از تمام عزیزان متخصص همکار در امر تهیه و نهایی کردن این ضابطه تشکر و قدردانی می‌شود و از ایزد منان توفیق روز افزون همه این بزرگواران را آرزومند است.

غلامرضا شافعی

معاون فنی و توسعه امور زیربنایی

تابستان ۱۳۹۵

تهیه و کنترل " دستور العمل طراحی و اجرای مخلوط‌های آسفالتی درشت دانه "
[ضابطه شماره ۷۰۶]

اعضای گروه مجری:

امیر کاووسی	دکترای عمران	دانشگاه تربیت مدرس
اسماعیل اسماعیل‌پور	کارشناس شیمی	مهندسین مشاور ایران استن

اعضای گروه نظارت:

حسن طاهرخانی	دکترای عمران	دانشگاه زنجان
علی رودکی	کارشناس ارشد عمران	سازمان راهداری و حمل و نقل جاده‌ای

اعضای گروه ارزیابی و راهبری پروژه:

حامد خانی	دکترای عمران	دانشگاه یزد
احمد منصوریان	دکترای عمران	پژوهشکده حمل و نقل مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی

اعضای گروه هدایت و راهبری سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور:

علیرضا توتونچی	معاون امور نظام فنی و اجرایی
طاهر فتح‌اللهی	رییس گروه امور نظام فنی و اجرایی
زینب سقایی	کارشناس امور نظام فنی و اجرایی

امور پیمان
omoorepeyman.ir

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول: کلیات

۱-۱- مقدمه ۳
۱-۲- تاریخچه ۳
۱-۳- خصوصیات مخلوط‌های آسفالتی درشت دانه ۵
۱-۳-۱- مزایا ۵
۱-۳-۱-۱- امکان اجرای آسفالت در ضخامت زیاد ۵
۱-۳-۱-۲- مقاومت ۶
۱-۳-۱-۲- کاهش تاثیر نقش قیر در مخلوط ۶
۱-۳-۱-۳- کاهش میزان مصرف قیر ۶
۱-۳-۱-۴- تسهیل در تولید مصالح سنگی در سنگ شکنها ۷
۱-۳-۱-۵- تولید آسفالت دارای قابلیت زهکشی ۷
۱-۳-۲- معایب ۷
۱-۳-۲-۱- فضای خالی زیاد ۸
۱-۳-۲-۲- دشواری تراکم ۸
۱-۳-۲-۳- هوازدگی ۸
۱-۳-۲-۴- سایش ۸
۱-۴- کاربردها ۹
۱-۵- روش‌های آزمایش مخلوط آسفالت درشت دانه ۹
۱-۶- روش‌های طرح اختلاط و ملاحظات مربوط به دانه‌بندی مخلوط ۱۰
۱-۶-۱- مصالح سنگی ۱۰
۱-۶-۱-۱- دانه‌بندی براساس نشریه شماره ۵ انستیتو آسفالت ۱۰
۱-۶-۱-۱-۱- مخلوط‌های آسفالتی درشت دانه با دانه‌بندی توپر (پیوسته) ۱۱
۱-۶-۱-۱-۲- مخلوط‌های آسفالتی درشت دانه با دانه‌بندی باز (گسسته) ۱۲
۱-۶-۱-۱-۳- مخلوط مملو از دانه‌های درشت (افزودن سنگدانه‌های درشت به مخلوط) ۱۳
۱-۶-۱-۲- دانه‌بندی براساس نشریه ۱۰۱ ۱۴
۱-۶-۱-۳- دانه بندی مخلوط بر اساس دستورالعمل شماره ۱۶ استرالیا ۱۶
۱-۶-۱-۳-۱- مخلوط‌های با دانه بندی پیوسته ۱۶
۱-۶-۱-۳-۲- مخلوط‌های با دانه بندی درشت و گسسته ۱۷
۱-۷- آزمایشات کنترل کیفیت مخلوط آسفالتی تهیه شده (قبل از اجرا) ۱۸
۱-۷-۱- تجزیه کامل آسفالت ۱۸
۱-۷-۲- تعیین دانه‌بندی مصالح سنگی مخلوط آسفالتی ۱۸
۱-۷-۳- آزمایش مارشال ۱۹

۱-۷-۴- آزمایش تاثیر آب روی مخلوط آسفالتی گرم ۱۹
۱-۸- آزمایشات کنترل کیفیت مخلوط آسفالتی اجرا شده ۱۹
۱-۸-۱- تجزیه کامل آسفالت ۲۰
۱-۸-۲- آزمایش مارشال ۲۰
۱-۸-۳- آزمایش تعیین حداکثر وزن مخصوص مخلوط آسفالتی ۲۰
۱-۸-۴- آزمایش تعیین وزن مخصوص حقیقی مخلوط آسفالتی کوبیده شده در محل ۲۰
۱-۸-۵- آزمایش تعیین مقاومت کششی غیرمستقیم مخلوط آسفالتی ۲۰
فصل دوم : مطالعات آزمایشگاهی(طرح اختلاط و آزمایشات مخلوط های درشت دانه) ۲۱
۲-۱- روند تعیین طرح اختلاط مخلوطهای آسفالتی درشت دانه ۲۳
۲-۱-۱- انتخاب مصالح سنگی و تعیین دانه‌بندی مطلوب ۲۳
۲-۲- نتایج طرح اختلاط متداول مخلوط‌های آسفالتی ۲۳
۲-۲-۱- مخلوط‌های آسفالتی متداول منطقه فیروزکوه ۲۴
۲-۲-۲- مخلوط‌های آسفالتی متداول منطقه همدان ۲۴
۲-۲-۳- مخلوط‌های آسفالتی متداول منطقه اصفهان ۲۵
۲-۳- مقایسه نتایج طرح اختلاط مخلوط‌های متداول و مخلوط‌های آسفالت درشت دانه ۲۵
۲-۴- تحلیل نتایج آزمایش طرح اختلاط ۲۷
۲-۴-۱- استقامت ۲۷
الف – مخلوط آسفالتی تهیه شده با مصالح سنگی فیروزکوه ۲۷
ب - مخلوط آسفالتی ساخته شده با مصالح سنگی همدان ۲۷
ج - مخلوط آسفالتی ساخته شده با مصالح سنگی اصفهان ۲۸
۲-۴-۲- چگالی ۲۸
۲-۴-۳- درصد فضای خالی(Va) ۲۹
الف- درصد فضای خالی مخلوط آسفالتی تهیه شده با مصالح سنگی منطقه فیروزکوه ۲۹
ب- درصد فضای خالی مخلوط آسفالتی تهیه شده با مصالح سنگی منطقه همدان ۲۹
ج- درصد فضای خالی مخلوط آسفالتی تهیه شده با مصالح سنگی منطقه اصفهان ۲۹
۲-۴-۴- درصد فضای خالی مصالح سنگی(VMA) ۳۰
۲-۴-۵- درصد فضای خالی پر شده با قیر (VFA) ۳۰
۲-۴-۶- روانی ۳۱
۲-۵- تحلیل نتایج آزمایش XRD ۳۲
۲-۶- نتایج حاصل از تعیین روش طرح اختلاط با استفاده از مصالح درشت دانه ۳۳
۲-۷- آزمایش شیارافتادگی ۳۳
۲-۷-۱- انواع شیارافتادگی ۳۴
۲-۷-۱-۱- شیار افتادگی سطحی ۳۴
۲-۷-۱-۲- شیارافتادگی ناشی از ضعف بستر و سیستم روسازی ۳۴
۲-۷-۱-۳- شیارافتادگی ناشی از ضعف لایه آسفالتی ۳۵

۲-۷-۲- رفتار مخلوط آسفالتی و پدیده شیارافتادگی ۳۶
۲-۷-۳- مکانیزم‌های شیارشدگی........ ۳۷
۲-۷-۴- عوامل موثر بر شیارافتادگی........ ۳۷
۲-۷-۴-۱- مصالح سنگی........ ۳۷
۲-۷-۴-۲- قیر........ ۳۸
۲-۷-۴-۳- شرایط آب و هوایی ۳۹
۲-۷-۴-۴- ترافیک........ ۴۰
۲-۷-۵- اهداف آزمایش شیارافتادگی........ ۴۱
۲-۷-۶- نحوه آزمایش شیارافتادگی به روش‌هامبورگ........ ۴۱
۲-۸- آزمایش خستگی........ ۴۱
۲-۸-۱- هدف اصلی آزمایش کشش غیرمستقیم در شرایط خستگی........ ۴۲
۲-۸-۲- روش انجام آزمایش کشش غیرمستقیم در شرایط خستگی........ ۴۲
۲-۸-۳- مشخصات لازم نمونه‌ها........ ۴۳
۲-۹- آزمایش مقاومت کشش غیر مستقیم........ ۴۳
۲-۱۰- آزمایش خزش........ ۴۶
۲-۱۱- آزمایش خزش استاتیکی ۴۶
۲-۱۱-۱- آزمایش خزش دینامیکی ۴۹
۲-۱۱-۲- روش انجام آزمایش خزش دینامیکی ۴۹
۲-۱۱-۳- اصول آزمایش خزش دینامیکی ۵۰
۲-۱۱-۴- مشخصات فنی دستگاه و تجهیزات........ ۵۳
۲-۱۱-۵- مشخصات نمونه‌ها ۵۴
۲-۱۱-۶- تعیین مدول الاستیسیته........ ۵۴
۲-۱۲- نتایج آزمایشات شیارافتادگی........ ۵۴
۲-۱۲-۱- نتایج آزمایش شیارافتادگی بر روی نمونه فیروزکوه........ ۵۵
۲-۱۲-۲- نتایج آزمایش شیارافتادگی بر روی نمونه همدان ۵۶
۲-۱۲-۳- نتایج آزمایش شیارافتادگی بر روی نمونه اصفهان ۵۷
۲-۱۳- نتایج خستگی در آزمایش کشش غیر مستقیم........ ۵۹
۲-۱۳-۱- نتایج آزمایش خستگی کشش غیر مستقیم بر روی نمونه فیروزکوه ۶۰
۲-۱۳-۲- نتایج آزمایش خستگی کشش غیر مستقیم بر روی نمونه همدان........ ۶۱
۲-۱۳-۳- نتایج آزمایش خستگی کشش غیر مستقیم بر روی نمونه اصفهان........ ۶۲
۲-۱۴- آزمایش خزش دینامیکی........ ۶۳
۲-۱۴-۱- آزمایش خزش دینامیکی بر روی نمونه فیروزکوه........ ۶۴
۲-۱۴-۲ - آزمایش خزش دینامیکی نمونه‌های همدان........ ۶۴
۲-۱۴-۳- آزمایش خزش دینامیکی نمونه‌های اصفهان........ ۶۵
۲-۱۵- نتایج تجزیه و تحلیل آزمایش شیارافتادگی........ ۶۶

۲-۱۶- تجزیه و تحلیل آزمایش کشش غیر مستقیم ۷۰
۲-۱۷- تجزیه و تحلیل آزمایش خزش دینامیکی ۷۱
۲-۱۸- مقایسه نتایج طرح اختلاط مخلوط‌های متداول و مخلوط‌های آسفالت درشت دانه ۷۴
الف) نتایج آزمایش‌های مخلوط آسفالتی متداول در منطقه فیروزکوه ۷۴
ب) نتایج آزمایش‌های مخلوط آسفالتی متداول در منطقه همدان ۷۵
ج) نتایج آزمایش‌های مخلوط آسفالتی متداول در منطقه اصفهان ۷۵
۲-۱۹- نتیجه‌گیری ۸۰
فصل سوم: ساخت و اجرای آسفالت درشت دانه ۸۳
۳-۱- مقدمه ۸۵
۳-۲-کارخانه آسفالت ۸۵
۳-۳- آماده‌سازی سطوح زیرین ۸۸
۳-۴- حمل آسفالت ۸۹
۳-۴-۱- کامیون تخلیه بار از عقب ۸۹
۳-۴-۲- کامیون تخلیه بار از زیر ۹۰
۳-۴-۳- کامیون تخلیه بار از عقب با استفاده از تسمه نقاله ۹۲
۳-۵- نکات قابل توجه در خصوص کامیونهای حمل آسفالت ۹۲
۳-۶- روش پخش مخلوط آسفالتی ۹۳
۳-۶-۱- مخلوط ریزی و پخش آسفالت ۹۳
۳-۶-۲- دستگاه فینیشر ۹۴
۳-۶-۲-۱- مخزن دریافت آسفالت ۹۴
۳-۶-۲-۲- شمشه: ۹۸
۳-۶-۲-۳- نیروهای وارده به شمشه ۱۰۰
۳-۷- عوامل تاثیر گذار در ضخامت و لایه آسفالت پخش شده ۱۰۱
الف) سرعت ۱۰۲
ب) نرخ تغذیه مواد ۱۰۲
ج) ارتفاع نقطه کشش ۱۰۲
۳-۸- تراکم ۱۰۳
۳-۸-۱- عوامل موثر تراکم ۱۰۴
۳-۸-۱-۱- خصوصیات و مشخصات مخلوط ۱۰۴
۳-۸-۱-۲- شرایط محیطی ۱۰۵
۳-۸-۱-۳- ضخامت لایه‌ها ۱۰۵
۳-۸-۱-۴- خصوصیات لایه زیرین ۱۰۶
۳-۸-۲- تجهیزات ۱۰۷
۳-۸-۳- عملیات تراکم ۱۰۸
۳-۸-۳-۱- تراکم واحد یا تراکم اولیه ۱۰۸

امور پیمان
omoorepeyman.ir

۳-۸-۴- مراحل غلتک زنی ۱۰۹

۳-۸-۴-۱- غلتک زنی اولیه ۱۱۰

۳-۸-۴-۲- غلتک زنی ثانویه ۱۱۰

۳-۸-۴-۳- غلتک زنی نهایی ۱۱۱

۳-۸-۵- تراکم قشرهای با ضخامت بیش از ۵ سانتی متر ۱۱۱

۳-۸-۶- الزامات تراکم مخلوط‌های آسفالتی ۱۱۲

۳-۸-۷- عوامل تاثیر گذار در تراکم اولیه ۱۱۳

۳-۸-۷-۱- دمای تراکم ۱۱۳

۳-۹- مسائل اجرایی ۱۱۴

۳-۹-۱- آماده سازی سطح اولیه ۱۱۴

۳-۹-۲- تراکم در محل ۱۱۴

۳-۹-۳- مدیریت تعمیر و نگهداری ۱۱۵

فصل چهارم: ویژگی‌های اقتصادی مخلوط آسفالتی حاوی مصالح درشت دانه. ۱۱۷

۴-۱- مقدمه: ۱۱۹

۴-۲- عوامل مؤثر در انتخاب نوع روسازی ۱۱۹

۴-۳- فرآیند انتخاب نوع روسازی ۱۲۰

۴-۴- جمع‌بندی کلی ۱۲۲

۴-۴-۱- از مزایای آن می‌توان به: ۱۲۲

۴-۴-۱-۱- امکان اجرای آسفالت در ضخامت زیاد ۱۲۲

۴-۴-۱-۲- مقاومت ۱۲۲

۴-۴-۱-۳- کاهش تاثیر نقش قیر در مخلوط ۱۲۲

۴-۴-۱-۴- کاهش میزان مصرف قیر ۱۲۳

۴-۴-۱-۵- تسهیل در تولید مصالح سنگی در سنگ شکنها ۱۲۳

۴-۴-۱-۶- تولید آسفالت دارای قابلیت زهکشی ۱۲۳

۴-۴-۲- از معایب آن می‌توان به موارد زیر اشاره داشت: ۱۲۴

۴-۴-۲-۱- فضای خالی زیاد ۱۲۴

۴-۴-۲-۲- دشواری تراکم ۱۲۴

۴-۴-۲-۳- هوازدگی ۱۲۴

۴-۴-۲-۴- سایش ۱۲۴

۴-۴-۳- کاربردهای آسفالت درشت دانه ۱۲۵

۴-۴-۴- در رابطه با مصالح سنگی آسفالت درشت دانه ۱۲۵

۴-۴-۵- دانه‌بندی براساس نشریه شماره ۵ انستیتو آسفالت ۱۲۵

۴-۴-۶- مخلوط‌های آسفالتی درشت دانه با دانه‌بندی توپر (پیوسته) ۱۲۶

۴-۴-۷- مخلوط‌های آسفالتی درشت دانه با دانه‌بندی باز (گسسته) ۱۲۶

۴-۴-۸- مخلوط مملو از دانه‌های درشت (افزودن سنگدانه‌های درشت به مخلوط) ۱۲۶

۴-۴-۹- دانه‌بندی براساس نشریه ۱۰۱ .... ۱۲۷
۴-۴-۱۰- دانه بندی مخلوط بر اساس دستورالعمل شماره ۱۶ استرالیا ۱۲۷
۴-۴-۱۰-۱- مخلوط‌های با دانه بندی پیوسته ۱۲۷
۴-۴-۱۰-۲- مخلوط‌های با دانه بندی درشت و گسسته ۱۲۷
۴-۴-۱۱- تراکم قشرهای با ضخامت بیش از ۵ سانتی متر ۱۲۸
۴-۴-۱۲- الزامات کلی در ساخت روسازی‌های آسفالتی درشت دانه ۱۲۹
منابع و مراجع ۱۳۱

امور پیمان
omoorepeyman.ir

فهرست اشکال

عنوان صفحه

شکل ۱- ۱ - مقایسه بین سطح مخصوص مخلوط‌های ساخته شده با سنگدانه‌های درشت و سنگدانه‌های ریز ۷

شکل ۱- ۲ -دانه‌بندی پیوسته استاندارد ASTM D3515 .... ۱۱

شکل ۱- ۳ -محدوده‌های بالا و پایین دانه‌بندی استاندارد ASTM D-3515.............................. ۱۲

شکل ۱- ۴- دانه‌بندی مناسب مخلوط‌های آسفالتی باز (گسسته) استاندارد ASTM D-3515.............................. ۱۳

شکل ۲- ۱- شیارافتادگی فرسایشی ۳۴

شکل ۲- ۲- شیارافتادگی ناشی از ضعف بستر و سیستم روسازی ۳۵

شکل ۲- ۳- شیارافتادگی ناشی از ضعف لایه آسفالتی ۳۵

شکل ۲- ۴- تغییرات رفتار مخلوط آسفالتی با تغییر دما ۳۶

شکل ۲- ۵- روند کلی تغییر شکل دائم بر حسب تعداد بارگذاری در آزمایش‌های خستگی.............................. ۴۳

شکل ۲- ۶- کروکی آزمایش کشش غیر مستقیم ۴۴

شکل ۲- ۷- نحوه بارگذاری در آزمایش خستگی.............................. ۴۵

شکل ۲- ۸- قسمت‌های مختلف دستگاه آزمایش خزش استاتیکی ۴۷

شکل ۲- ۹- نمودار بارگذاری اولیه در آزمایش خزش استاتیکی.............................. ۴۷

شکل ۲- ۱۰- نمودار رفتار مخلوط در طول زمان باربرداری در آزمایش خزش استاتیکی ۴۸

شکل ۲- ۱۱- نمودار رفتار مخلوط پس از باربرداری کامل در آزمایش خزش استاتیکی.............................. ۴۸

شکل ۲- ۱۲- نمودار کرنش- زمان در آزمایش خزش استاتیکی ۴۸

شکل ۲- ۱۳- حسگرهای قرار گرفته در نمونه آزمایش خزش.............................. ۴۹

شکل ۲- ۱۴- نمونه تحت بارگذاری قبل از انجام آزمایش خزش دینامیکی.............................. ۴۹

شکل ۲- ۱۵- نمونه تحت بارگذاری بعد از انجام آزمایش خزش دینامیکی.............................. ۵۰

شکل ۲- ۱۶- ارتباط بین تغییرات کرنش دائم تجمعی(محور قائم) و تعداد سیکلهای بارگذاری(محور افقی) ۵۲

شکل ۲- ۱۷- نتایج یک آزمایش نمونه بین مجموع روانی (تسلیم Compliance) محاسبه شده در برابر زمان.... ۵۳

شکل ۲- ۱۸- دستگاه UTM و محفظه نمونه برای آزمایش خزش ۵۳

شکل ۲- ۱۹- دستگاه شیارافتادگی ویل تراک‌هامبورگ برای آزمایش شیارافتادگی.............................. ۵۵

شکل ۲- ۲۰- نمونه شماره ۱ فیروزکوه شکل ۲- ۲۱- نمونه شماره ۲ فیروزکوه برای انجام آزمایش شیارافتادگی.. ۵۵

شکل ۲- ۲۲- مقایسه عمق شیارافتادگی دو نمونه فیروزکوه با یکدیگر.............................. ۵۶

شکل ۲- ۲۳- نمونه شماره ۱ همدان برای انجام آزمایش شیارافتادگی.............................. ۵۶

شکل ۲- ۲۴- نمونه شماره ۲ همدان برای انجام آزمایش شیارافتادگی ۵۶

شکل ۲- ۲۵- مقایسه عمق شیارافتادگی دو نمونه همدان با یکدیگر.............................. ۵۷

شکل ۲- ۲۶- نمونه شماره ۱ اصفهان برای انجام آزمایش شیارافتادگی.............................. ۵۷

شکل ۲- ۲۷- نمونه شماره ۲ اصفهان برای انجام آزمایش شیارافتادگی.............................. ۵۷

شکل ۲- ۲۸- مقایسه عمق شیارافتادگی دو نمونه اصفهان با یکدیگر.............................. ۵۸

شکل ۲- ۲۹ – مقایسه شیارشدگی نمونه دال‌های آسفالت هر سه معدن تحت بررسی ۵۸

شکل ۲- ۳۰- نمونه‌های ۶ اینچی برای آزمایش خستگی... ۶۰
شکل ۲- ۳۱- نحوه قرارگیری مغزه ۴ اینچی در دستگاه UTM ۶۰
شکل ۲- ۳۲- مقایسه نمونه‌های فیروزکوه با یکدیگر از نظر گسیختگی... ۶۱
شکل ۲- ۳۳- مقایسه نمونه‌های همدان با یکدیگر از نظر گسیختگی... ۶۱
شکل ۲- ۳۴- مقایسه نمونه‌های اصفهان با یکدیگر از نظر گسیختگی ۶۲
شکل ۲- ۳۵- کرنش تجمعی در مقابل تعداد سیکل بارگذاری برای نمونه‌های فیروزکوه در دمای $^{\circ}C$ ۴۰ .... ۶۴
شکل ۲- ۳۶- کرنش تجمعی در مقابل تعداد سیکل بارگذاری برای نمونه‌های فیروزکوه در دمای $^{\circ}C$ ۵۰ .... ۶۴
شکل ۲- ۳۷- کرنش تجمعی در مقابل تعداد سیکل بارگذاری برای نمونه‌های همدان در دمای $^{\circ}C$ ۴۰ .... ۶۵
شکل ۲- ۳۸- کرنش تجمعی در مقابل تعداد سیکل بارگذاری برای نمونه‌های همدان در دمای $^{\circ}C$ ۵۰ .... ۶۵
شکل ۲- ۳۹- کرنش تجمعی در مقابل تعداد سیکل بارگذاری برای نمونه‌های اصفهان در دمای $^{\circ}C$ ۴۰ .... ۶۵
شکل ۲- ۴۰- کرنش تجمعی در مقابل تعداد سیکل بارگذاری برای نمونه‌های اصفهان در دمای $^{\circ}C$ ۵۰ .... ۶۶
شکل ۲- ۴۱- رابطه عمق شیار با ESAL در نمونه فیروزکوه ۶۸
شکل ۲- ۴۲- رابطه عمق شیار با ESAL در نمونه همدان... ۶۸
شکل ۲- ۴۳- رابطه عمق شیار با ESAL در نمونه اصفهان... ۶۸
شکل ۲- ۴۴- مقایسه نمونه‌ها از نظر درصد افت وزنی در برابر ضربه و فشار... ۶۹
شکل ۲- ۴۵- مقایسه نمونه‌ها از نظر درصد سایش در آزمایش لس آنجلس... ۶۹
شکل ۲- ۴۶- نتایج مطالعات در دانشگاه ویرجینیای غربی و ارتباط استقامت IDT و عمق شیار[۱۵]........... ۷۰
شکل ۲- ۴۷- رابطه استقامت ITS و عمق شیار برای نمونه‌های مورد مطالعه در این تحقیق ۷۰
شکل ۲- ۴۸- مقایسه استحکام شیارشدگی مخلوطهای فیروزکوه، همدان و اصفهان... ۷۱
شکل ۲- ۴۹- مقایسه نمونه‌های هر سه معدن با یکدیگر از نظر کرنش تجمعی در دمای $^{\circ}C$ ۴۰ .... ۷۲
شکل ۲- ۵۰- مقایسه نمونه‌های هر سه معدن با یکدیگر از نظر کرنش تجمعی در دمای $^{\circ}C$ ۵۰........... ۷۲
شکل ۲- ۵۱- مقایسه سیکل بارگذاری با کرنش تجمعی نمونه‌های فیروزکوه در دماهای $^{\circ}C$ ۴۰ و $^{\circ}C$ ۵۰........... ۷۳
شکل ۲- ۵۲- مقایسه سیکل بارگذاری با کرنش تجمعی نمونه‌های همدان در دماهای $^{\circ}C$ ۴۰ و $^{\circ}C$ ۵۰ .... ۷۳
شکل ۲- ۵۳- مقایسه سیکل بارگذاری با کرنش تجمعی نمونه‌های اصفهان در دماهای $^{\circ}C$ ۴۰ و $^{\circ}C$ ۵۰ .... ۷۳
شکل ۲- ۵۴- مقایسه عمق شیارافتادگی برای دو نمونه متداول و درشت دانه... ۷۷
شکل ۲- ۵۵- مقایسه سیکل گسیختگی در آزمایش خستگی کشش غیر مستقیم برای دو نمونه ۷۷
شکل ۲- ۵۶- مقایسه کرنش تجمعی در آزمایش خزش دینامیکی برای دو نمونه متداول و درشت دانه ۷۷
شکل ۲- ۵۷- مقایسه مدول خزشی در آزمایش خزش دینامیکی برای دو نمونه متداول و درشت دانه ۷۸
شکل ۲- ۵۸- مقایسه مقاومت کششی غیر مستقیم برای دو نمونه متداول و درشت دانه ۷۸
شکل ۲- ۵۹- مقایسه مدول الاستیسیته برای دو نمونه متداول و درشت دانه... ۷۸
شکل ۲- ۶۰- رابطه عمق شیار و در صد قیر در مخلوط‌های درشت دانه و متداول... ۷۹
شکل ۲- ۶۱- رابطه عمق شیار و در صد فضای خالی در مخلوط‌های درشت دانه و متداول ۷۹
شکل ۲- ۶۲- رابطه کرنش تجمعی و در صد فضای خالی در مخلوط‌های درشت دانه و متداول........... ۷۹
شکل ۳- ۱ - نمونه‌هایی از کارخانه‌های تولید آسفالت پیوسته و منقطع ۸۶
شکل ۳-۱- نمونه‌هایی از کارخانه‌های تولید آسفالت پیوسته و منقطع ۸۶

شکل ۳- ۲- گردونه دوار کارخانه آسفالت جهت خشک کردن مصالح سنگی ۸۷
شکل ۳- ۳- نمونه‌ای از مخازن ذخیره‌سازی و بارگیری آسفالت........ ۸۸
شکل ۳- ۴- نمایی از کامیون تخلیه کننده بار از عقب........ ۹۰
شکل ۳- ۵- روند تخلیه آسفالت از قسمت عقب کامیون ۹۰
شکل ۳- ۶- نماهایی از کامیون تخلیه آسفالت از زیر........ ۹۱
شکل ۳- ۷- نماهایی از کامیون تخلیه کننده بار از عقب با استفاده از سیستم تسمه نقاله........ ۹۲
شکل ۳- ۸- نمونه هایی از دستگاه پخش آسفالت (فینیشر) ۹۴
شکل ۳- ۹- نمونه‌هایی از غلتک‌های فشاری دستگاه فینیشر و اتصال گیردار کامیون به فینیشر ۹۵
شکل ۳- ۱۰- جداره‌های قیف فینیشر که به صورت شیب دار می‌باشند........ ۹۵
شکل ۳-۱۱- تسمه نقاله دستگاه فینیشر........ ۹۶
شکل ۳- ۱۲- جعبه بخش آسفالت و تیغه ماریپچ فینیشر (نمونهٔ با جعبه دنده تعبیه شده در وسط)........ ۹۶
شکل ۳- ۱۳- لکه نواری ایجاد شده ناشی از وجود جعبه دنده تعبیه شده در وسط تیغه مارپیچ فینیشر ۹۷
شکل ۳- ۱۴- تصویری نزدیک از بازوی شمشه و میلنگ عمقی دستگاه فینیشر........ ۹۹
شکل ۳- ۱۵- نقطه کشیدگی دستگاه فینیشر ۹۹
شکل ۳- ۱۶- نماهایی از قطعه افزاینده طول شمشه دستگاه فینیشر (قطعه تعریض) ۱۰۰
شکل ۳- ۱۷- نمونهای از اجزای شمشه دستگاه فینیشر آسفالت........ ۱۰۱
شکل ۳- ۱۸- انواع نیروهای وارده به شمشه در دستگاه فینیشر آسفالت........ ۱۰۱
شکل ۳- ۱۹- پخش مخلوط آسفالت با فینیشر و ترازبندی سطح ۱۰۶
شکل ۳-۲۰- نمونه‌ای از عملیات تراکم و تثبیت لایه‌های زیرسازی با استفاده از آهک ۱۰۷
شکل ۳- ۲۱- عملکرد ابتدایی غلتک زنی ۱۰۸
شکل ۳- ۲۲- شیوه صحیح غلتک زنی و تغییر مسیر غلتکها........ ۱۱۰
شکل۴-۱- فرآیند گزینه‌های مربوط به انتخاب نوع روسازی(بتنی یا آسفالتی) ۱۲۱

فهرست جداول

عنوان **صفحه**

جدول ۱- ۱ - روش‌های تراکم مخلوط‌های آسفالتی ویژه‌ی بارگذاری سنگین........................ ۹
جدول ۱- ۲- حداقل فضای خالی مصالح سنگی.. ۱۲
جدول ۱- ۳- دانه‌بندی‌های مصالح ریزدانه در مخلوط آسفالتی درشت دانه- نشریه ۱۰۱.......... ۱۴
جدول ۱- ۴- محدوده دانه‌بندی فیلر – نشریه ۱۰۱.. ۱۴
جدول ۱-۵- محدوده های دانه بندی مصالح سنگی درشت دانه – نشریه ۱۰۱.................. ۱۵
جدول ۱- ۶- محدوده دانه‌بندی مخلوط‌های آسفالتی درشت دانه با دانه‌بندی پیوسته در استاندارد استرالیا........ ۱۶
جدول ۱- ۷- دانه‌بندی مخلوط‌های آسفالتی درشت دانه با دانه‌بندی گسسته در استاندارد استرالیا.............. ۱۷
جدول ۱- ۸- مشخصات فیزیکی و مقاومتی مخلوطهای آسفالتی گرم به روش مارشال اصلاح شده(نشریه ۱۰۱) ۱۹
جدول ۲- ۱- مشخصات طرح اختلاط مورد استفاده از مصالح سنگی فیروزکوه.................... ۲۴
جدول ۲- ۲- مشخصات طرح اختلاط متداول مورد استفاده از مصالح سنگی همدان.................. ۲۴
جدول ۲- ۳ - مشخصات طرح اختلاط متداول مورد استفاده از مصالح سنگی اصفهان................ ۲۵
جدول ۲- ۴- مشخصات فنی طرح اختلاط آسفالت درشت دانه مصالح فیروزکوه در مقایسه بااختلاط متداول ۲۵
جدول ۲- ۵- مشخصات فنی طرح اختلاط آسفالت درشت دانه و مخلوط متداول با مصالح همدان............ ۲۶
جدول ۲- ۶- مشخصات فنی طرح اختلاط آسفالت و مخلوط متداول با مصالح اصفهان ۲۶
جدول ۲- ۷- توصیف انواع شیارافتادگی و دلایل آن‌ها بر اساس تقسیم‌بندی پیارک.................. ۳۹
جدول ۲- ۸- عوامل مؤثر بر شیارافتادگی.. ۴۰
جدول ۲- ۹- نتایج کلی آزمایش شیارافتادگی.. ۵۸
جدول ۲- ۱۰- نتایج آزمایش مقاومت کششی بر روی نمونه‌ها.................................... ۵۹
جدول ۲- ۱۱- نتایج نهایی و تعداد سیکل بارگذاری نهایی آزمایش خستگی کشش غیر مستقیم ۶۲
جدول ۲- ۱۲- میزان عدد روانی هر سه معدن در آزمایش خستگی کشش غیر مستقیم.................... ۶۳
جدول ۲- ۱۳- مشخصات حجمی و نتایج شیارافتادگی نمونه‌های آسفالتی مختلف ۶۶
جدول ۲- ۱۴- مقایسه عمق شیار نمونه‌ها در بارگذاری‌های مختلف.................................. ۶۷
جدول ۲- ۱۵- نتایج آزمایشات مخلوط متداول مصالح سنگی فیروزکوه در مقایسه با مخلوط درشت دانه.......... ۷۴
جدول ۲- ۱۶- نتایج آزمایشات مخلوط متداول مصالح سنگی همدان در مقایسه با مخلوط درشت دانه ۷۵
جدول ۲- ۱۷- نتایج آزمایشات مخلوط متداول مصالح سنگی اصفهان در مقایسه با مخلوط درشت دانه ۷۵
جدول ۲- ۱۸- دانه‌بندی مخلوط‌های آسفالتی متداول و درشت دانه.. ۷۶
جدول ۳- ۱- عوامل موثر بر مدت زمان تراکم.. ۱۰۴
جدول ۳- ۲- دماهای لازم جهت پخش آسفالت بر روی سطح روسازی ۱۰۵
جدول ۳-۳- ترتیب و توالی غلتک زنی.. ۱۰۹
جدول ۴-۱- حداقل فضای خالی مصالح سنگی.. ۱۲۶

امور پیمان
omoorepeyman.ir

امور پیمان
omoorepeyman.ir

فصل ۱

کلیات

۱-۱- مقدمه

مخلوط‌های آسفالتی درشت دانه که به مخلوط‌های LSAM[1] معروف می‌باشند، در میان موسسات متولی ساخت و بهسازی روسازی‌ها از اعتبار خاصی برخوردارند. مقاومت بالای مخلوط‌های آسفالتی درشت دانه در برابر تغییر شکل باعث شده است که این مخلوط‌ها در ساخت جاده‌هایی که دارای ترافیک بسیار سنگین می‌باشند، مورد توجه قرار گیرند. مقاومت مخلوط‌های آسفالتی درشت دانه، بیشتر به دلیل ایجاد شرایط اتصال سنگدانه به سنگدانه در آن‌ها می‌باشد. مخلوط آسفالتی درشت دانه در واقع همان مخلوط آسفالتی گرم (HMA[2]) است که حداکثر اندازه سنگدانه‌های آن بین ۲۵ تا ۶۳ میلیمتر می‌باشد. نیاز به قیر کمتر (به دلیل سطح مخصوص کمتر مصالح سنگی درشت دانه)، امکان اجرا در ضخامت‌های بیشتر از آسفالت‌های متداول و شیار افتادگی کمتر در جاده‌ها، موجب گسترش روز افزون استفاده از این مخلوط‌ها شده است.

۱-۲- تاریخچه

پیدایش زودهنگام برخی از خرابی‌ها نظیر شیار افتادگی مسیر چرخ‌ها در روسازی راه‌ها، پدیده‌ای متداول محسوب می‌شود. اکثر راه‌های فرعی و اصلی که دارای ترافیک سنگین هستند با این پدیده مواجه می‌باشند. با وجود اینکه حجم آمد و شد خودروها در اینگونه از راه‌ها غالبا کمتر از بزرگراه‌ها است، اما روسازی آن‌ها در معرض بارهای سنگین غیر مجاز بوده و بعلت محدودیت عرض جاده، مسیر حرکت چرخ خودروها و محل تماس آنها با روسازی هدایت شده بوده و تقریبا ثابت می‌باشد.

در خلال چند دهه‌ی گذشته، شمار کامیون‌های دارای بارهای محوری سنگین و فشار چرخ آن‌ها افزایش قابل ملاحظه‌ای داشته است. گاهاً حداکثر بار محور منفرد به ۲۵ تا ۳۰ تن هم می‌رسد، و مقدار تنشی که توسط یک محور منفرد استاندارد کامیون بر روسازی وارد می‌شود به ۱ تا ۱.۱ N/mm^2 بالغ می‌گردد. از سویی، در برخی از مناطق در فصل‌هایی از سال دمای هوا بسیار بالا بوده و دمای محیط در ماه‌هایی از سال اغلب بین ۴۰ تا ۴۵ درجه‌ی سانتیگراد می‌باشد. از اینرو دمای سطح روسازی ممکن است به ۸۰ تا ۸۵ درجه‌ی سانتیگراد نیز برسد. در این شرایط با اینکه ممکن است طراحی سازه‌ی روسازی کاملاً درخور و کافی صورت گرفته باشد، اما مشاهده می‌شود که پس از بازگشایی شماری از راه‌ها و آمد و شد خودروها، گونه‌های مختلف خرابی، از قبیل ترک‌های ناشی از خستگی، قیرزدگی و شیار افتادگی مسیر چرخ‌ها در آن‌ها پدیدار می‌شود.

مخلوط‌های آسفالت گرم متداول، که حاوی مصالح سنگی با حداکثر اندازه‌ی کمتر از یک اینچ هستند، تحت شرایط بارگذاری یاد شده، مستعد رشد و توسعه‌ی زودرس خرابی‌هایی نظیر شیار افتادگی در زیر مسیر چرخ‌ها می‌باشند. بسیاری از متخصصین آسفالت باور دارند که بکارگیری سنگدانه‌های درشت (بزرگتر از یک اینچ) این مسئله را برطرف نموده یا به حداقل خواهد رساند .

استفاده از مخلوط‌های آسفالتی درشت دانه یک موضوع جدید نیست، بلکه اولین کاربرد این گونه از مخلوط‌ها به سال ۱۹۰۳ بر می‌گردد، زمانی که از مخلوطی استفاده شد که اندازه سنگ دانه‌های آن به ۳ اینچ می‌رسید در ماه می۱۹۰۳

---

[1] Large Stone Asphalt Mix
[2] Hot Mix Asphalt (HMA)

میلادی فردی به نام فردریک .جی .وارن، حق امتیاز یک مخلوط آسفالتی حاوی مصالح درشت دانه را به نام خود ثبت نمود. آسفالت توصیه شده وارن دارای مشخصه‌ی زیر بود:

"رویه‌های آسفالتی که مصالح سنگی تشکیل دهنده آن‌ها شن و ماسه‌های درشت دانه بودند (که در این صورت کمتر تحت تاثیر مقاومت چسبندگی قرار داشتند). این مخلوط‌ها پایداری ماندگار و مطلوبی داشته و در مقابل شیارافتادگی چرخ‌ها مقاوم بودند".

اصل مهم آسفالت پیشنهادی وارن این بود که مصالح سنگی، برای مقابله و استقامت در برابر فشار و تغییرشکل ناشی از تردد خودروها، باید بهم تکیه نمایند و قیر بعنوان ماده‌ی چسباننده، باید جهت پرکردن فضای خالی بین سنگدانه‌ها و عایق نمودن مخلوط در برابر آب بکارگرفته شود. هم اتکایی و در هم تنیدگی دانه‌های مصالح سنگی، موجب استقامت روسازی در مقابل بارهای وارده شده و امکان فراگرفتن قشر ضخیم تری از قیر به دور دانه‌های سنگی را فراهم می‌آورد.

وارن برای حفظ حقوق خود علیه سایر تولید کنندگان آسفالت، که رقیبش محسوب می‌شدند، به دادگاه شکایت نمود تا اینکه بر اساس نظر دادگاه شهر توپکا در ایالت کانزاس تهیه مخلوط‌هایی که مصالح سنگی آنها کوچکتر از ۰/۵ اینچ باشد، نقض حقوق آقای وارن محسوب نگردید. بهمین دلیل از آن زمان، مخلوط آسفالت دارای مصالح سنگی کوچکتر از ۰/۵ اینچ به عنوان مخلوط توپکا معروف شد. با توجه به اینکه استفاده از مخلوط توپکا تخطی از حقوق وارن شمرده نمی شد، بکارگیری این نوع مخلوط فزونی یافت و دست اندرکاران راهسازی از بکارگرفتن مخلوط‌های حاوی مصالح سنگی بزرگتر از ۰/۵ اینچ جهت رویه‌های آسفالتی احتراز نمودند. این موضوع تا زمان انقضای حق امتیاز وارن ادامه یافت.

بتدریج استفاده از مصالح سنگی درشت تر جهت ساخت لایه‌های اساس آسفالتی در روسازی راه‌ها افزایش یافت و تا اوایل دهه‌ی ۱۹۵۰ عمومیت یافت. با رونق گرفتن کار راهسازی، استفاده از مصالح سنگی کوچکتر از یک اینچ همچنان رواج بیشتری پیدا کرد. زیرا این نوع مخلوط‌ها به راحتی جابه جا شده، فرسایش کمتری در تجهیزات و ماشین آلات روسازی ایجاد می‌کردند. علاوه بر این، از آنجا که روز به روز بر سرعت خودروها افزوده می‌شد، تاکید بیشتری بر صاف و هموار بودن سطح راه وسهولت رانندگی بر روی آن، بعمل می‌آمد، تا کیفیت سطح راه ارتقاء یابد. مضافاً اینکه طرح مخلوط آسفالت به روش‌های مارشال و ویم، هر دو برای مصالح سنگی با حداکثر اندازه یک اینچ تدوین شده بودند. همه این عوامل باعث گردید که مخلوط‌های آسفالتی دارای دانه‌های سنگی کوچکتر از یک اینچ بیشتر مورد استفاده قرار گیرد.

بر اساس تحقیقی که در سال ۱۹۸۴ در کشور آمریکا صورت گرفت، روش مارشال توسط ۷۶ درصد ایالت‌ها برای طرح مخلوط مورد استفاده قرار می‌گرفت. در این روش تجهیزات و لوازم تعیین شده در روش مارشال (ASTM D1559) برای مخلوط‌های حاوی دانه‌های سنگی با حداکثر اندازه‌ی یک اینچ در نظر گرفته شده است، و بکارگیری این روش برای مخلوط‌های آسفالت گرم حاوی دانه‌های سنگی با اندازه‌ی بزرگتر از یک اینچ منع گردیده است.

با این حال با افزایش سریع و روز افزون بارگذاری‌های ترافیکی در سال‌های اخیر، راه‌ها با خرابی‌هایی چون ترک‌های ناشی از خستگی و شیار افتادگی چرخ بیش از پیش مواجه شدند. بنظر می‌رسید که وجود شرایط تماس سنگ بروی سنگ درشت دانه‌های موجود در مخلوط‌های آسفالتی درشت دانه راه حل بسیار مناسبی برای افزایش مقاومت مخلوط‌ها در برابر خرابی شیار افتادگی چرخ باشد. با توجه به بررسی‌های انجام شده در آمریکا حدود ۳۰ شرکت از ۵۰ شرکت راهسازی فعال در پروژه‌های ساخت و بهسازی روسازی‌ها از این گونه مخلوط‌های آسفالتی استفاده کرده اند.

در سال ۲۰۰۰ مطالعه‌ای به منظور بررسی عملکرد مخلوط‌های آسفالتی درشت دانه (37.5 mm و بزرگ تر)، مخلوط‌های روسازی ممتاز[۳] و مخلوط‌های آسفالتی درشت دانه با دانه بندی باز برای استفاده به عنوان لایه‌های سازه‌ای و لایه‌های با قابلیت زهکشی انجام شده است. در این پروژه‌ها عمدتاً از آسفالت‌های اصلاح شده با پلیمر SBS که مورد تائید سازمان حمل و نقل آمریکا می‌باشد، استفاده شده است. آن‌ها طی یک مقایسه آزمایشی بین مخلوط‌های با دانه بندی باز و مخلوط‌های آسفالتی درشت دانه روسازی ممتاز و مخلوط‌های متداول اساس آسفالتی و مخلوط آسفالتی با دانه‌بندی باز (به منظور استفاده به عنوان لایه زهکش) به ارزیابی عملکرد این چند نوع مخلوط پرداختند. در این مطالعه نتیجه آن بود که مخلوط‌های آسفالتی درشت دانه با دانه بندی باز در مقایسه با مخلوط‌های زهکش عملکرد بسیار بهتری را در برابر آزمایش‌هایی نظیر آزمایش خزش محوری، آزمایش کشش غیر مستقیم و آزمایش تحلیل کننده آسفالت (APA)[۴] که یک نوع آزمایش شیار افتادگی چرخ[۵] محسوب می‌شود که به منظور بررسی مقاومت مخلوط‌های آسفالتی در برابر تغییر شکل‌های دائمی (شیار افتادگی) طراحی شده است، از خود نشان دادند. در ایالت کنتاکی نیز به منظور بررسی مشکلات ناشی از خرابی شیار افتادگی چرخ از این مخلوط‌ها استفاده شده است. در پی این کار مطالعاتی نیز نتیجه آن بود که مخلوط‌های آسفالتی درشت دانه دارای خصوصیات مطلوب زیادی برای روسازی‌های آسفالتی با ترافیک سنگین می‌باشند. آن‌ها این مخلوط‌ها را به عنوان مخلوط‌های آسفالتی که مقاومت فشاری و مدول بر جهندگی آن‌ها مطلوب و در برابر شیار افتادگی مقاوم می‌باشند، مورد تائید قرار داده اند.

۱-۳- خصوصیات مخلوط‌های آسفالتی درشت دانه

استفاده از مخلوط‌های آسفالتی درشت دانه مزایای فنی و اقتصادی متعددی دارد. بعضاً معایبی نیز وجود دارد که موارد زیر را می‌توان خلاصه‌ای از آن‌ها دانست:

۱-۳-۱- مزایا

۱-۳-۱-۱- امکان اجرای آسفالت در ضخامت زیاد

آسفالت‌های حاوی مصالح سنگی درشت دانه امکان اجرای لایه آسفالت در ضخامتی بیشتر از ضخامت اجرای آسفالت‌های با دانه‌بندی‌های متوسط و ریز را فراهم می‌کنند. به این ترتیب که ضخامت لایه‌های آسفالتی براساس دستورالعمل‌های آئین‌نامه‌ای نباید بیش از ۱.۵ برابر اندازه بزرگترین سنگدانه‌های مخلوط باشد. با بکارگیری مصالح درشت دانه حاصل ضرب بزرگترین اندازه سنگدانه‌ها در عدد فوق رقم بزرگتری را حاصل می‌دهد. لذا با استفاده از مصالح سنگی درشت دانه می‌توان لایه‌های آسفالتی را در ضخامتی تا دو برابر ضخامت‌های متداول متراکم نمود، مشروط بر آن که از روش تراکم سنگین استفاده شود.

---

[3] Superpave
[4] Asphalt Pavement Analyzer
[5] Wheel Tracking Test

۱-۳-۱-۲- مقاومت

اتصال سنگدانه‌های درشت به یکدیگر در یک مخلوط عموماً منجر به حصول مقاومت بیشتر مخلوط آسفالت می‌شود. با انتخاب مصالح درشت دانه در صورتی که سنگدانه‌ها خود دارای مقاومت کافی بوده و از جنس مصالح سست نباشند، این مقاومت در مقایسه با مخلوط‌های با دانه‌بندی ریزتر به مراتب بیشتر است.

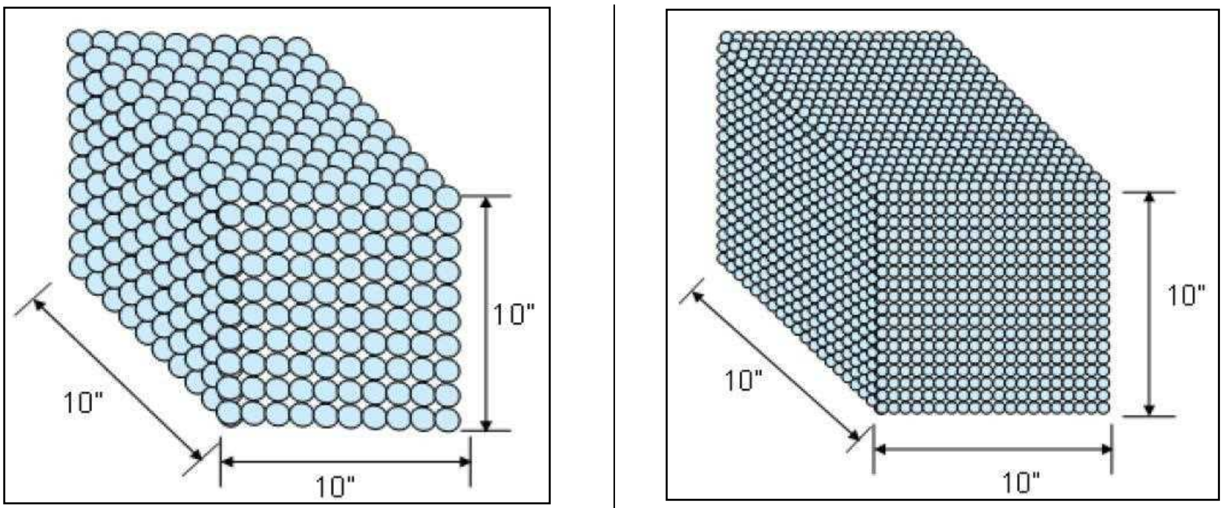
۱-۳-۱-۲- کاهش تاثیر نقش قیر در مخلوط

در مخلوط‌های آسفالتی ریز دانه نظیر مخلوط آسفالت ماسه‌ای، خصوصیات قیر نقش کلیدی در عملکرد آسفالت دارد. در این مخلوط‌ها در مناطق گرمسیری الزاماً باید از قیرهای سفت استفاده کرد تا آسفالت تهیه شده با آن دچار تغییر شکل نشود. بالعکس در مناطق سردسیری باید از قیرهای نسبتاً روان استفاده گردد تا آسفالت دچار ترک‌های حرارتی نشود.

در مخلوط‌های آسفالتی با دانه بندی متوسط این نقش کاهش پیدا می‌کند. اما چنانچه دانه‌بندی مخلوط در محدوده دانه‌بندی‌های توپر قرار نگیرد و یا هنگام پخش جدایی دانه‌بندی صورت گیرد دیگر قفل و بست لازم بین مصالح حاصل نشده و دوباره قیر نقش تعیین کننده در عملکرد مخلوط خواهد داشت. اما در مخلوط‌های حاوی مصالح درشت دانه که در آن‌ها امکان اتصال سنگدانه به سنگدانه بین سنگدانه‌های درشت افزایش می‌یابد، عامل مقاومت، اتصال سنگدانه‌های درشت به یکدیگر شده و قیر تاثیر به مراتب کمتری در ایجاد مقاومت و پایداری این مخلوط‌ها خواهد داشت. به علاوه این گونه آسفالت‌ها با تغییر آب و هوا دچار تغییرات چندانی نشده و می‌توانند به راحتی شرایط زمستانی و تابستانی را تحمل کنند (در زمستان دچار ترک خوردگی نشده و در تابستان دچار تغییر شکل نگردند).

۱-۳-۱-۳- کاهش میزان مصرف قیر

یکی از پارامترهایی که در میزان مصرف قیر مخلوط‌های آسفالتی موثر است، سطح مخصوص سنگدانه‌های مخلوط است (شکل ۱-۱). در این راستا هر چه دانه‌بندی مصالح انتخاب شده ریزتر باشد، سطح مخصوص سنگدانه‌ها بیشتر شده و مصرف قیر مخلوط بالا می‌رود. بالعکس هر چه دانه‌بندی درشت تر باشد، با کاهش سطح مخصوص سنگدانه‌ها، میزان مصرف قیر در مخلوط افزایش می‌یابد؛ بطوری که برای مثال، مخلوط‌های آسفالت ماستیکی که عمدتاً حاوی مصالح سنگی ریز دانه هستند بعضاً تا حدود ۱۰ درصد قیر دارند. برعکس در مخلوط‌های اساس آسفالتی که عموماً دارای مصالح سنگی درشت دانه هستند، درصد قیر حدود ۳.۵٪ و حتی کمتر از آن می‌باشد. بدیهی است با افزایش قیمت قیر در سال‌های اخیر کاربرد مخلوط‌های حاوی مصالح درشت دانه می‌تواند نقش قابل توجهی در کاهش هزینه اجرای پروژه‌های روسازی داشته باشند.



الف)مکعبی به ابعاد ۱۰ اینچ ساخته شده با توپ‌های به قطر ۰.۵ اینچ

ب) مکعبی به ابعاد ۱۰ اینچی ساخته شده با توپهای به قطر ۱ اینچ

شکل ۱- ۱ - مقایسه بین سطح مخصوص مخلوط‌های ساخته شده با سنگدانه‌های درشت و سنگدانه‌های ریز

۱-۳-۱-۴- تسهیل در تولید مصالح سنگی در سنگ شکن‌ها

در سنگ شکن‌ها به منظور تولید مصالح سنگی، یا از سنگ‌های لاشه‌ای کوهی و یا از سنگ‌های قلوه‌ای رودخانه‌ای استفاده می‌شود؛ آن‌ها را شکسته و به اندازههای کوچکتر در می‌آورند. هر چه دانه‌بندی‌های ریزتر مورد نظر باشد، لازم است ماشین آلات بیشتری بکار گرفته شده و زمان پروسه تولید مصالح افزایش یابد. بلعکس برای تهیه مخلوط‌های آسفالتی حاوی مصالح درشت دانه از مراحل تولید کاسته شده و مصالح سنگی ارزانتر و با زمان تولید سریع‌تر به دست می‌آیند.

۱-۳-۱-۵- تولید آسفالت دارای قابلیت زهکشی

از آنجا که عموماً میزان فضای خالی بین مصالح سنگی در مخلوط‌های آسفالتی حاوی مصالح درشت دانه زیاد است، این مخلوط‌ها قابلیت زهکشی مناسبی داشته و ضمن تأمین مقاومت می‌توانند آب‌های بارندگی را از خود عبور دهند. شاید به همین دلیل است که در طراحی مخلوط‌های اساس آسفالتی، مصالح سنگی با دانه‌بندی‌های درشت بیشتر مورد کاربرد قرار می‌گیرند.

۱-۳-۲- معایب

برخی از مواردی که شاید بتوان آن‌ها را بعنوان معایب مخلوط‌های آسفالتی حاوی مصالح درشت دانه (در مقایسه با مخلوط‌های حاوی مصالح میان دانه و مخلوط‌های حاوی مصالح ریز دانه) دانست موارد زیر است که تقریباً همه آن‌ها با انجام طراحی اصولی و دقت در انتخاب پارامترهای طراحی و اجرا قابل پیش‌بینی و پیشگیری است.

۱-۳-۲-۱- فضای خالی زیاد

وجود فضای خالی زیاد منجر به نفوذ آب و نفوذ هوا در مخلوط می‌شود. حضور آب در مخلوط یا گذر آن بصورت دائم بروز پدیده عریان شدگی مصالح سنگی را به دنبال دارد. گذر هوا از مخلوط آسفالتی پدیده پیرشدگی زودرس قیر و فرسودگی آن را در مخلوط به دنبال دارد.

برای جلوگیری از پدیده فوق لازم است یا این مخلوط‌ها را در لایه‌های آسفالتی قشرهای زیرین از سطح روسازی استفاده نمود و یا این که روی آن‌ها آسفالت‌های حفاظتی نازک نظیر مخلوط‌های دوغاب قیری (اسلاری سیل)، آسفالت سطحی یا آسفالت‌های میکروسرفیسینگ اجرا شود.

۱-۳-۲-۲- دشواری تراکم

از آنجا که ضخامت آسفالت‌های حاوی مصالح سنگی درشت دانه معمولاً بیشتر از ضخامت مخلوط‌های آسفالتی متداول می‌باشد. لذا امکان متراکم نمودن آن‌ها با غلتک‌های معمولی و سبک بسیار دشوار خواهد بود. لذا توصیه آن است که برای متراکم نمودن لایه‌های آسفالتی حاوی مصالح سنگی درشت دانه و لایه‌های ضخیم از غلتک‌های سنگین (نظیر غلتگ استاتیک ده تن) و یا غلتک‌های ویبره استفاده شود تا تراکم لازم حاصل گردد.

۱-۳-۲-۳- هوازدگی

در مخلوط‌های آسفالتی نقش سنگدانه‌های درشت دانه هم در لایه‌های رویه و هم در لایه‌های زیرین زیاد است. به این ترتیب که در لایه‌های رویه مستقیماً و در لایه‌های زیرین به صورت غیرمستقیم در تماس با عوامل آب و هوایی قرار می‌گیرد. در صورت ضعف در مقاومت و یا وجود تخلخل زیاد (بخصوص در مناطق سردسیر دارای شرایط یخبندان) امکان متلاشی شدن سنگدانه‌ها وجود خواهد شد. در این شرایط شکننده بودن سنگدانه‌ها حتی اگر در زمستان نیز پدیده اضمحلال آسفالت را خود نشان ندهد، سطوح شکسته شده و سنگدانه‌ها نیاز به جذب قیر دارند. قیر موجود در مخلوط جذب سطوح سنگدانه‌های شکسته شده و باعث سخت شدن آسفالت می‌شود. این شرایط زمینه‌های اضمحلال زودرس روسازی را فراهم می‌آورد.

۱-۳-۲-۴- سایش

در صورت پایین بودن مقاومت سایشی سنگدانه‌ها هم درون مخلوط و هم در سطح راه ایجاد مشکل خواهد شد. درون مخلوط در محل اتصال سنگدانه‌ها به یکدیگر در اثر تکرار بارگذاری و پدیده خستگی سایش بین سنگدانه‌ها ایجاد خواهد شد. در اثر سایش سنگدانه‌ها اولاً قفل بست ناشی از اتصال آنها به یکدیگر کاهش پیدا کرده و آسفالت در معرض تغییر شکل یا پدیده شیار افتادگی زیر چرخ قرار خواهد گرفت. ثانیاً سنگدانه‌های سائیده شده خود درون مخلوط فیلر ایجاد می‌کنند که این فیلر بوجود آمده در شرایط گرما بخشی از قیر سفید موجود درون مخلوط را بخود جذب کرده و مخلوط کم کم سخت و شکننده خواهد شد. در آسفالت‌های اجرا شده در قشر رویه نیز در صورت سست بودن سنگدانه‌ها و مقاومت پایین آن‌ها در مقابل سایش، با عبور وسایط نقلیه کم کم مصالح سنگی سائیده شده و سطح راه صاف و مستعد لغزنده شدن می‌شود.

۱-۴- کاربردها

از مخلوط‌های آسفالتی درشت دانه معمولاً برای ساخت لایه‌های میانی و آستر روسازی‌های انعطاف پذیر استفاده می‌شود. غالباً بر روی اینگونه از مخلوط‌ها یک لایه سطحی به منظور هموارسازی بهتر سطح راه و جلوگیری از شن زدگی احداث می‌شود. نوع لایه سطحی بر اساس وظایف عملکردی روسازی و میزان ترافیک پیش بینی شده، تعیین می‌گردد. در جاده‌های پرترافیک، این لایه سطحی معمولاً از مخلوط‌های آسفالتی تو پر با کیفیت عالی (با اندازه اسمی ۱۹ میلیمتر) ساخته می‌شود. در سایر موارد می‌توان از مخلوط‌های آسفالتی حفاظتی نظیر آسفالت‌های میکروسرفیسینگ و اسلاری سیل و آسفالت سطحی جهت پوشش مخلوط‌های آسفالتی درشت دانه استفاده نمود.

۱-۵- روش‌های آزمایش مخلوط آسفالت درشت دانه

برای طرح اختلاط و انجام آزمایش تراکم مخلوطهای آسفالتی حاوی دانه‌های درشت، روش‌های متعددی توسط موسسات گوناگون و در نقاط مختلف دنیا، تدوین و بکار گرفته شده است. خلاصه‌ای از روش‌های مذکور در جدول ۱-۱ ارائه گردیده است. از این میان، می‌توان از روش مارشال اصلاح شده با قالب تراکم ۶ اینچی نام برد. نحوه‌ی استفاده از این شیوه که کاربرد وسیعی در نقاط مختلف جهان دارد در دستورالعمل توصیه‌ای شماره ۶ انجمن روسازی راه استرالیا، تحت عنوان «راهنمای طراحی مخلوط‌های آسفالتی درشت دانه به روش مارشال اصلاح شده» نیز تشریح شده است .

روش تراکم دورانی هم روش دیگری است که برای ساخت نمونه‌های ۱۵۰ میلیمتری می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد . بنابراین تهیه‌ی نمونه‌های کوبیده شده مخلوط‌های آسفالتی دارای سنگدانه‌های ۴۰ میلیمتری، و انجام آزمایش تراکم، به راحتی با این روش قابل حصول می‌باشد . همچنین آزمایش جواب کردن دانسیته[۶] "اعمال تراکم تا حد ظرفیت تراکم پذیری نمونه" که در انگلیس مورد استفاده می‌باشد، جهت تعیین خصوصیات حجمی و مقاومت در برابر تغییر شکل این نوع مخلوط‌ها قابل استفاده می‌باشد.

جدول ۱-۱ - روش‌های تراکم مخلوط‌های آسفالتی ویژه‌ی بارگذاری سنگین

روش آزمایش	نحوه‌ی ایجاد تراکم	حداکثر اندازه مصالح	قطر قالب تراکم
مارشال اصلاح شده توسط اداره راه و ترابری ایالت پنسیلوانیا	اعمال ۷۵ ضربه به هر طرف نمونه، وزن چکش ۲۲/۵ پوند، ارتفاع سقوط چکش ۱۸ اینچ	۳۷/۵ تا ۵۰ میلیمتر	۱۵۰ میلیمتر
دستگاه آزمایش دورانی	قابل تعدیل و تنظیم متناسب با میزان ترافیک پیش بینی شده	۳۷/۵ میلیمتر	۱۵۰ میلیمتر
آزمایش جواب کردن دانسیته، آزمایشگاه راه و ترابری انگلیس	اعمال تراکم به نمونه به مدت ۲ تا ۴ دقیقه تا زمان امتناع از پذیرش تراکم، با استفاده از چکش لرزان ۷۵۰ وات و ۵۰ هرتز، با تخماق کوبشی ۴ اینچی	۳۷/۵ تا ۵۰ میلیمتر	۱۵۰ میلیمتر
آزمایش اداره راه و ترابری ایالت مینه سوتا	اعمال تراکم به مدت ۳۰ ثانیه با چکش لرزان، ۵ بار به هر طرف نمونه، با تخماق کوبشی ۰/۸۷۵ اینچی	۳۷/۵ تا ۵۰ میلیمتر	۱۵۰ میلیمتر

---

1. Refusal Density

۱-۶- روش‌های طرح اختلاط و ملاحظات مربوط به دانه‌بندی مخلوط

بر اساس نشریه‌ی فنی شماره ۵ موسسه آسفالت آمریکا که در گزارش انیستیتوآسفالت درج شده است و دستورالعمل توصیه‌ای شماره ۱۶ انجمن روسازی راه استرالیا، مخلوط‌های آسفالتی درشت دانه از نظر دانه‌بندی عموماً به سه دسته زیر طبقه‌بندی می‌شوند:

دانه‌بندی توپر (پیوسته)،
دانه‌بندی تو خالی (باز یا گسسته)،
مملو از دانه درشت (افزودن سنگدانه‌ی درشت به مخلوط).

در هر حال ، تمامی مصالح دانه‌ای هر یک از انواع مخلوط‌های دانه درشت، باید صد درصد از نوع سنگ شکسته و گوشه دار باشند. ذیلاً مخلوط‌های فوق تشریح شده اند.

با توجه به معرفی روش مارشال اصلاح شده (ASTM D5581) به عنوان روشی برای تعیین طرح اختلاط آسفالت درشت دانه، در این بخش چگونگی روش انجام آزمایش برای تعیین طرح اختلاط بتن آسفالتی حاوی مصالح درشت دانه تشریح شده است.

از آنجا که تهیه نمونه‌های آسفالتی حاوی مصالح سنگی بالای یک اینچ با نمونه‌های متداول ۴ اینچی مارشال امکان پذیر نیست به این جهت کلیه نمونه‌ها در قالبهای ۶ اینچ تهیه شدند و طرح اختلاط با دستگاه مارشال مربوط به این نمونه‌ها صورت گرفت.

۱-۶-۱- مصالح سنگی

مصالح سنگی مورد استفاده در بتن آسفالتی درشت دانه باید از نظر دانه بندی، سختی، دوام، تمیزی، شکل و کیفیت سطح دانه‌ها دارای مشخصات ویژه‌ای باشند. دانه‌بندی مصالح سنگی با انجام آزمایش دانه‌بندی و رسم منحنی مربوط به آن مشخص می‌شود. دانه‌بندی مناسب با توجه به عوامل متعددی از قبیل نوع روسازی، نوع و محل قرار گرفتن لایه مورد نظر در سیستم روسازی، ضخامت لایه آسفالتی و اندازه بزرگترین دانه انتخاب می‌شود. دانه‌بندی مصالح سنگی باید مطابق با استاندارد و در بین دو منحنی حدی بالا و پایین و حتی الامکان در وسط و به موازات آنها قرار گیرد.

در نشریه فنی شماره ۵ انستیتو آسفالت و دستورالعمل توصیه‌ای شماره ۱۶ انجمن روسازی راه استرالیا، سه نوع دانه‌بندی و در نشریه شماره ۱۰۱ سازمان مدیریت و برنامه ریزی برای هر کدام از سه نوع مصالح سنگی درشت دانه، ریزدانه و فیلر، دانه‌بندی مورد استفاده برای مخلوطهای آسفالتی درشت دانه ارائه شده است که در ادامه هر دو نوع دانه‌بندی مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفته اند.

۱-۶-۱-۱- دانه‌بندی براساس نشریه شماره ۵ انستیتو آسفالت

بر اساس نشریه فنی شماره ۵ موسسه آسفالت آمریکا که منطبق بر استاندارد ASTM – D 3515 می‌باشد مخلوط‌های آسفالتی درشت دانه از نظر دانه‌بندی عموماً به سه دسته زیر طبقه‌بندی می‌شوند:

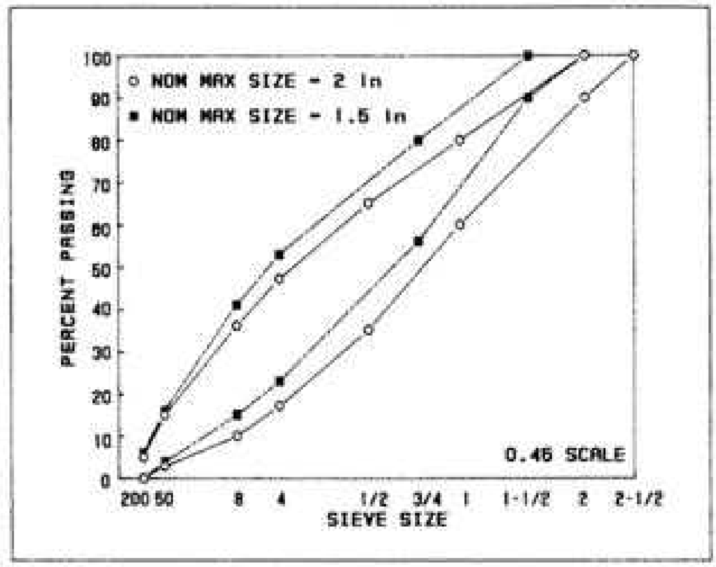
۱- دانه‌بندی توپر (پیوسته)
۲- دانه‌بندی تو خالی (باز یا گسسته)
۳- مملو از دانه درشت (افزودن سنگدانه‌های درشت به مخلوط)

در هر حال، تمامی مصالح دانه‌ای هر یک از انواع مخلوط‌های دانه درشت، باید صد درصد از نوع سنگ شکسته و گوشه دار باشند. در ادامه هر کدام از دانه‌بندی‌های اشاره شده مورد تشریح قرار گرفته اند.

۱-۶-۱-۱-۱- مخلوط‌های آسفالتی درشت دانه با دانه‌بندی توپر (پیوسته)

این مخلوط‌ها دارای دانه‌بندی پیوسته بوده و مقاومت آنها توسط هم اتکایی بین دانه‌های درشت مصالح سنگی و قفل و بست میان آنها، ویسکوزیته قیر و چسبندگی ناشی از ملات قیری بوجود آمده و نهایتاً بخشی از مقاومت از اختلاط قیر و مصالح ریزدانه تامین می‌شود. در شکل (۱-۲) پوش دانه‌بندی این مخلوط‌ها با حداکثر اندازه‌های اسمی 1.5 اینچ و ۲ اینچ نشان داده شده است.

چون ازدیاد بخش ریزدانه در این مخلوط‌ها پایداری و مقاومت آنها را به شدت کاهش می‌دهد، باید دقت نمود که منحنی دانه‌بندی آن‌ها در محدوده الک‌های شماره ۴ و شماره ۳۰ به شکل محدب یاکوژ درنیاید. به عبارت دیگر درصد عبوری مصالح از این الک‌ها زیاد نباشد.



شکل ۱- ۲ -دانه‌بندی پیوسته استاندارد ASTM D3515

از آن جایی که روش استاندارد اولیه مارشال مختص طرح اختلاط مخلوط‌های با اندازه حداکثر یک اینچ هستند، گروه مهندسین ارتش آمریکا[۷] و برخی از ادارات راه ایالت‌ها روشی را جهت طراحی این نوع مخلوط‌ها بکار گرفته اند. دراین روش مصالح سنگی از الک ۱ اینچ عبور داده شده و مصالح بزرگتر از ۱ اینچ از پیمانه مخلوط مصالح سنگی جدا می‌شوند. فقط مصالح عبور کرده از الک ۱ اینچ تحت آزمایش قرار گرفته و مصالح بزرگتر از آن دور ریخته می‌شود.در این حالت چگالی موثر اصلاح شده مصالح سنگی از فرمول زیر محاسبه می‌شود:

$$\text{چگالی موثر اصلاح شده} = \frac{100}{\frac{A}{C}+\frac{B}{D}} \times ۰.۹۹۵ \qquad [۱-۱]$$

در این رابطه :

1- U.S. Corps of Engineers

A = درصد وزنی مصالح سنگی بزرگتر از ۱ اینچ

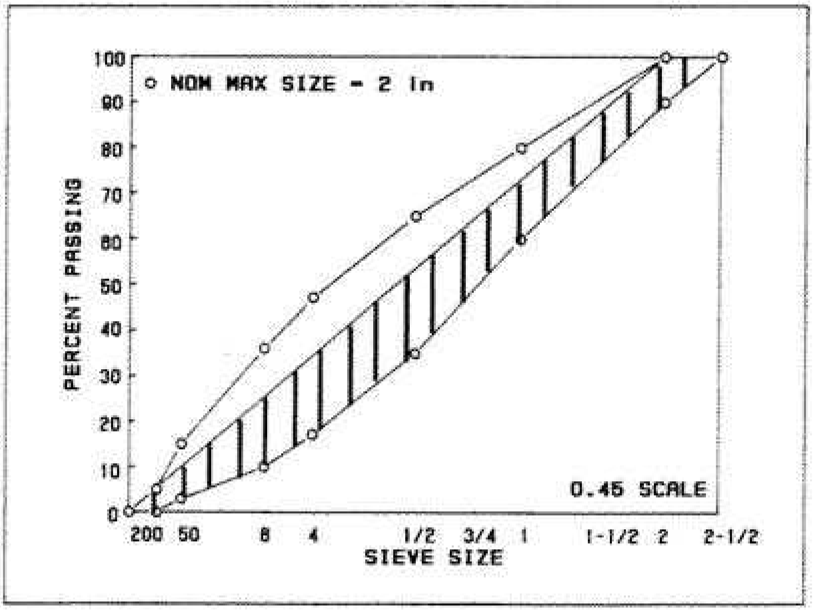
(100 -A) درصد وزنی مصالح سنگی کوچکتر از ۱ اینچ = B

چگالی واقعی مصالح سنگی بزرگتر از ۱ اینچ=C

چگالی واقعی مصالح سنگی کوبیده شده کوچکتر از ۱ اینچ=D

فاکتور تجربی= ۰.۹۹۵

به منظور حصول نتایج مطلوب می‌بایست منحنی دانه‌بندی این مخلوط‌ها در زیر خط حداکثر وزن مخصوص و متمایل به طرف مصالح درشت دانه و در محدوده‌ای که در شکل (۱-۳) باهاشور نشان داده شده است، قرار گیرد.



شکل ۱- ۳ -محدوده‌های بالا و پایین دانه‌بندی استاندارد ASTM D-3515

ضمنا حداقل فضای خالی مصالح سنگی نیز باید مطابق جدول (۱-۲) باشد.

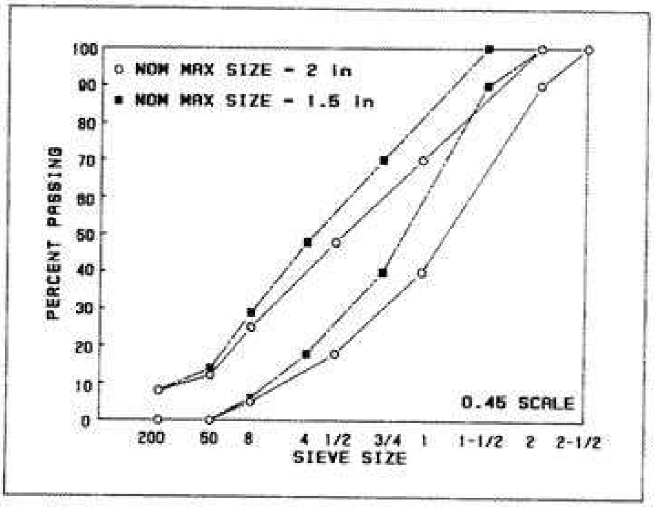
جدول ۱- ۲- حداقل فضای خالی مصالح سنگی

حداکثر اندازه اسمی مصالح سنگی (اینچ)	حداقل فضای خالی مصالح سنگی(درصد)
۳۷/۵	۱۲
۲۵	۱۱/۵
۶۲/۵	۱۱

۱-۶-۱-۱-۲- مخلوط‌های آسفالتی درشت دانه با دانه‌بندی باز (گسسته)

در این مخلوط‌ها بزرگترین اندازه سنگدانه می‌تواند تا ۳ اینچ نیز باشد. از طرفی درصد قیر این مخلوط‌ها از ۱/۵ تا ۳ درصد و فضای خالی آن‌ها بین ۲۰ تا ۳۰ درصد متغییر است. مقاومت این مخلوط‌ها عمدتاً نتیجه تماس سنگدانه‌ها با

یکدیگر می‌باشد. آب نیز به راحتی می‌تواند از لایه‌های اجرا شده از این مخلوط‌ها عبور کند. از آنجا که تاکنون روش استانداردی برای طرح اختلاط این مخلوط‌ها ارائه نشده است لذا حدود دانه‌بندی و درصد قیر این مخلوط‌ها با توجه به مشاهدات تجربی و خصوصیات زهکشی آنها تعیین می‌گردد. منحنی‌های بالا و پایین تیپ منحنی دانه‌بندی این مخلوط‌ها در شکل (۱-۴) نشان داده شده است.



شکل ۱- ۴- دانه‌بندی مناسب مخلوط‌های آسفالتی باز (گسسته) استاندارد ASTM D-3515

درصد قیر این مخلوط‌ها معمولاً در حد پایین حدود تغییرات (یعنی۱.۵ درصد) می‌باشد. البته هر چقدر اندازه مصالح سنگی این مخلوط‌ها کوچکتر شود درصد قیر بهینه مخلوط بیشتر شده و تا حدود ۳ درصد پیش می‌رود.

۱-۶-۱-۱-۳- مخلوط مملو از دانه‌های درشت (افزودن سنگدانه‌های درشت به مخلوط)

مصالح سنگی این مخلوط‌ها از سنگدانه‌های آسفالت‌های معمولی به همراه سنگدانه‌های بزرگتر، که تماماً یک اندازه هستند، تشکیل شده است. این ترکیب، استخوان‌بندی مستحکمی را برای مخلوط به دست می‌دهد. نسبت ترکیب مصالح سنگی با دانه‌بندی معمولی و سنگدانه‌های درشت بترتیب حدود ۴۵ تا ۵۵ درصد وزنی بوده است که البته این نسبت قابل تغییر است.

معمولا افزودن سنگدانه‌های بزرگتر به مصالح سنگی مورد استفاده در آسفالتهای رایج، باعث افزایش حجم سنگدانه‌ها در مخلوط شده و در نتیجه موجب کاهش فضای خالی مصالح سنگی می‌گردد. از طرف دیگر به علت کاهش سطح اندود مصالح سنگی، درصد قیر این مخلوط‌ها نیز حدود ۱ درصدکاهش می‌یابد. با افزایش درصد دانه‌های درشت تر، از میزان قیر بهینه مخلوط کاسته می‌شود.

از روش مارشال اصلاح شده، با استفاده از قالب تراکم ۶ اینچ جهت طرح اختلاط مخلوط‌های درشت دانه می‌توان استفاده نمود زیرا این موضوع اثبات شده است که بکارگیری این روش برای مخلوط‌هایی با سنگدانه‌های ۱.۵ اینچی مناسب می‌باشد.

۱-۶-۱-۲- دانه‌بندی براساس نشریه ۱۰۱

نشریه شماره ۱۰۱ سازمان مدیریت و برنامه ریزی نیز اشاره کوتاهی به دانه‌بندی مورد استفاده برای تهیه مخلوطهای آسفالتی درشت دانه دارد. در این نشریه برای تهیه مخلوط‌های آسفالتی درشت دانه با توجه به سه نوع مصالح سنگی درشت دانه، ریزدانه و فیلر محدوده بالا و پایین دانه‌بندی مشخص شده است.

درجداول (۱-۳) تا (۱-۵) مقادیر حداقل و حداکثر درصد عبوری از هر کدام از الکهای در نظر گرفته شده برای مخلوط آسفالتی درشت دانه برای هر سه دسته مصالح سنگی درشت دانه، ریزدانه و فیلر آورده شده است.

جدول ۱- ۳- دانه‌بندی‌های مصالح ریزدانه در مخلوط آسفالتی درشت دانه- نشریه ۱۰۱

اندازه الک	درصد وزنی			
	۱	۲	۳	٤
۹/۵ میلیمتر ($\frac{۳}{۸}$ اینچ)	۱۰۰	-	-	۱۰۰
۴/۷۵ میلیمتر (شماره ۴)	۹۵ - ۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۸۰ - ۱۰۰
۲/۳۶ میلیمتر (شماره ۸)	۷۰ - ۱۰۰	۷۵ - ۱۰۰	۹۵ - ۱۰۰	۶۵ - ۱۰۰
۱/۱۸ میلیمتر (شماره ۱۶)	۴۰ - ۸۰	۵۰ - ۷۴	۸۵ - ۱۰۰	۴۰ - ۸۰
۰/۶ میلیمتر (شماره ۳۰)	۲۰ - ۶۵	۲۸ - ۵۲	۶۵ - ۹۰	۲۰ - ۶۵
۰/۳ میلیمتر (شماره ۵۰)	۷ - ۴۰	۸ - ۳۰	۳۰ - ۶۰	۷ - ۴۰
۰/۱۵ میلیمتر (شماره ۱۰۰)	۲ - ۲۰	۰ - ۱۲	۵ - ۲۵	۲ - ۲۰
۰/۰۷۵ میلیمتر (شماره ۲۰۰)	۰ - ۱۰	۰ - ۵	۰ - ۵	۰ - ۱۰

جدول ۱- ۴- محدوده دانه‌بندی فیلر – نشریه ۱۰۱

اندازه الک	درصد وزنی رد شده
۰/۶ میلیمتر (شماره ۳۰)	۱۰۰
۰/۳ میلیمتر (شماره ۵۰)	۹۵ - ۱۰۰
۰/۰۷۵ میلیمتر (شماره ۲۰۰)	۷۰ - ۱۰۰

امورپیمان
@omoorepeyman.ir

جدول ۱ **جدول ۱-۵- محدوده های دانه بندی مصالح سنگی درشت دانه – نشریه ۱۰۱**

اندازه اسمی - میلیمتر	درصد وزنی رد شده از هر الک								
	۳۷/۵	۲۵	۲۵	۱۹	۱۹	۱۹	۱۹	۱۲/۵	۹/۵
شماره دانه‌بندی / اندازه الک	۱	۲	۳	٤	۵	٦	۷	۸	۹
الک ۵۰ میلیمتر (۲ اینچ)	۱۰۰	–	–	–	–				
الک ۳۷/۵ میلیمتر ($۱\frac{۱}{۲}$ اینچ)	۹۰ – ۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	–	–				
الک ۲۵ میلیمتر (۱ اینچ)	۲۰ – ۵۵	۹۰ – ۱۰۰	۹۰ – ۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	–	–	–
الک ۱۹ میلیمتر ($\frac{۳}{۴}$ اینچ)	۰ – ۱۵	۲۰ – ۵۵	–	۹۰ – ۱۰۰	۹۰ – ۱۰۰	۹۰ – ۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	–
الک ۱۲/۵ میلیمتر ($\frac{۱}{۲}$ اینچ)	–	۰ – ۱۰	۲۰ – ۶۰	۲۰ – ۵۵	–	–	۹۰ – ۱۰۰	۹۰ – ۱۰۰	۱۰۰
الک ۹/۵ میلیمتر ($\frac{۳}{۹}$ اینچ)	۰ – ۵	۰ – ۵	–	۰ – ۱۵	۲۰ – ۵۵	۳۰ – ۶۵	۴۰ – ۷۰	۴۰ – ۷۵	۸۵ – ۱۰۰
۴/۷۵ میلیمتر (شماره ۴)	–	–	۰ – ۱۰	۰ – ۵	۰ – ۱۰	۵ – ۲۵	۰ – ۱۵	۵ – ۲۵	۱۰ – ۳۰
۲/۳۶ میلیمتر (شماره ۹)	–	–	۰ – ۵	–	۰ – ۵	۰ – ۱۰	۰ – ۵	۰ – ۱۰	۰ – ۱۰
۱/۱۸ میلیمتر (شماره ۱۶)	–	–	–	–	–	۰ – ۵	–	۰ – ۵	۰ – ۵
۰/۳ میلیمتر (شماره ۵۰)	–	–	–	–	–	–	–	–	–

۱-۶-۱-۳- دانه بندی مخلوط بر اساس دستورالعمل شماره ۱۶ استرالیا

۱-۶-۱-۳-۱- مخلوط‌های با دانه بندی پیوسته

در مخلوط‌های با دانه‌بندی پیوسته، تنش‌های وارده از طریق قفل و بست میان سنگدانه‌های مصالح ریز و درشت تحمل می‌شود . منحنی دانه بندی مناسب این مخلوط‌ها با توجه به فرمول زیر که به رابطه فولر معروف است، حاصل می‌شود :

$$P = \left(\frac{d}{D}\right)^{n} \times 100 \qquad [۲-۱]$$

در این رابطه:

P = درصد عبور نسبی مصالح گذشته از الک شماره d (میلیمتر)

D = حداکثر اندازه مصالح سنگی (میلیمتر)

n = پارامتری که توسط آقای « فولر » برای تعیین شکل منحنی دانه بندی ارائه شده.

حداکثر وزن مخصوص مصالح سنگی هنگامی حاصل می‌گردد که «n» برابر ۰.۴۵ تا ۰.۵ اختیار شود. مخلوط‌های آسفالتی با دانه بندی پیوسته، و بدون وجود گسستگی در هر یک از اندازه‌ها از عملکرد مطلوبی (سختی خمشی زیاد و مقاومت در برابر تغییر شکل) برخوردار می‌باشند .

در این مخلوط‌ها بخش ریزدانه به همان اندازه بخش درشت دانه در افزایش ظرفیت باربری مؤثر است. همچنین شکل، بافت سطحی و کیفیت مصالح سنگی ریزدانه از اهمیت زیادی برخوردارمی باشند. از طرف دیگر قیر و فیلر (که در سختی قیرها مؤثر است) نقش مهمی را در این مخلوط‌ها ایفا می‌کنند.

قیرهای سفت (سخت) و مصالح سنگی مرغوب و شکسته در عملکرد مطلوب این مخلوط‌ها مؤثر بوده که مشخصات فنی مورد نیاز آنها در آیین نامه‌ها آورده شده است . روش‌های متداول جهت طرح مخلوط‌های آسفالتی در استرالیا، شامل مخلوط‌های آسفالتی درشت دانه در گزارش شماره ۱۸ دستورالعمل استان‌های استرالیا تشریح گردیده است. محدوده دانه‌بندی و مشخصات حجمی مورد نیاز جهت طرح اختلاط مخلوط‌های آسفالتی درشت دانه با دانه بندی پیوسته در جدول (۱-۶) آورده شده است .

جدول ۱- ۶- محدوده دانه‌بندی مخلوط‌های آسفالتی درشت دانه با دانه‌بندی پیوسته در استاندارد استرالیا

اندازه مخلوط	۲۸ میلیمتر	۴۰ میلیمتر
اندازه‌ی الک (میلیمتر)	درصد عبوری	
۵۳		۱۰۰
۳۷/۵	۱۰۰	۹۰ - ۱۰۰
۲۶/۵	۹۰ - ۱۰۰	۸۰ - ۹۵
۱۹	۷۵ - ۹۵	۶۵ - ۸۵
۱۳/۲	۶۰ - ۸۰	
۹/۵	۵۰ - ۷۰	۴۰ - ۶۰
۲/۳۶	۲۵ - ۴۰	۱۸ - ۳۵
۰/۰۷۵	۳ – ۶	۴ – ۶
مقدار قیر مخلوط(درصد)	۳/۵ - ۵/۵	۳ – ۵
میزان فضای خالی	۳ - ۷	۳ – ۷

(براساس آزمایش تراکم دورانی با تناوب ۸۰ دور)		
حداقل فضای خالی مصالح سنگی (درصد)	۱۳	۱۲
حداقل پوشش قیر روی مصالح دانه‌ای (میکرون)	۷/۵	۷/۵

۱-۶-۱-۳-۲- مخلوط‌های با دانه بندی درشت و گسسته

در کشورهای مختلف تحقیقاتی جهت استفاده از مخلوط‌های با دانه بندی درشت ولی ناپیوسته (گسسته) انجام شده است که از آن جمله، نمونه‌هایی در آفریقای جنوبی، موسسه حمل و نقل تگزاس و دانشگاه (A & M) تگزاس انجام گردیده است.

در آفریقای جنوبی مخلوط‌هایی با دانه بندی گسسته (با فرض $n= 0.7$ در فرمول فولر) ساخته شد که عملکرد سازه‌ای خوبی نشان داشته اند، اما مشکل جدایی دانه‌ها در آنها وجود داشته است . لذا توصیه شده که از مخلوط‌های آسفالتی درشت دانه با دانه بندی پیوسته (n=۰.۵) استفاده گردد.

در آمریکا مخلوط‌های غیر پیوسته بر اساس این مفهوم گسترش داده شدند که در آنها ساختار درشت دانه مصالح سنگی نقش تحمل و انتقال بارهای وارده را بعهده داشته، فضای خالی بین دانه‌های درشت را مصالح ریزدانه پر می‌کنند، و نقش قیر چسبندگی و افزایش دوام مخلوط می‌باشد. این مفهوم تا حدودی شبیه مفهوم طراحی آسفالت‌های ماستیکی است.

بر اساس تحقیقات انجام شده در آمریکا ، ضوابطی تجربی برای طرح اختلاط مخلوط‌های درشت دانهٔ غیر پیوسته بدست آمده که در جدول (۱-۷) منعکس می‌باشد.

جدول ۱- ۷- دانه‌بندی مخلوط‌های آسفالتی درشت دانه با دانه‌بندی گسسته در استاندارد استرالیا

مشخصات	۲۸ میلیمتر	۴۰ میلیمتر
اندازه‌ی الک (میلیمتر)	درصد عبوری	
۵۳		۱۰۰
۳۷/۵	۱۰۰	۹۰ - ۱۰۰
۲۶/۵	۹۰ - ۱۰۰	۴۰- ۶۰
۱۳/۲	۴۰ - ۶۰	۳۰ - ۴۵
۹/۵	۳۰ - ۴۵	
۲/۳۶	۲۰ - ۳۰	۲۰ - ۳۰
۰/۰۷۵	۴ – ۶	۴ – ۶
مقدار قیر مخلوط(درصد)	۳/۵ - ۴/۵	۳ -۴
میزان فضای خالی (براساس آزمایش تراکم دورانی با تناوب ۸۰ دور)	۴ – ۶	۴ – ۶
حداقل فضای خالی مصالح سنگی (درصد)	۱۲	۱۱
حداقل پوشش قیر روی مصالح دانه‌ای (میکرون)	۷/۵	۷/۵

باید توجه نمود که تاکنون اطلاعات محدودی از آزمایشات میدانی این مخلوطها در دسترس می‌باشد. یک ارزیابی اولیه نشان داده است که کنترل پدیده جدایی دانه‌ها هنگام تهیه نمونه‌های آزمایشگاهی، که دارای حجم کمی می‌باشند، بسیار مشکل است.

این در حالی است که در نمونه‌های واقعی این مخلوط‌ها که در کارخانه آسفالت تهیه می‌شوند، پتانسیل جدایی دانه‌ها قدری کمتر است. با این وجود در کارخانهٔ آسفالت نیز باید هنگام حمل و نقل و جابجایی این مخلوط‌ها در مقایسه با مخلوط‌های آسفالتی پیوسته دقت بیشتری مبذول گردد. از آنجایی که شکل هندسی و کیفیت خوب مصالح درشت دانه این مخلوط‌ها از اهمیت بسیاری برخوردار است، حداکثر ضریب تورق آنها به ۲۰ درصد محدود شده است.

۱-۷- آزمایشات کنترل کیفیت مخلوط آسفالتی تهیه شده (قبل از اجرا)

آزمایشات لازم بر روی مخلوطهای آسفالتی قبل از پخش و متراکم نمودن آنها، به منظور تایید کیفیت پیش بینی شده و عملکرد آنها در جاده می‌باشد. لذا لازم است که قبل از استفاده از این مخلوطها آزمایشهای زیر بر روی نمونه‌های ساخته شده انجام شود :

- تجزیه کامل آسفالت به منظور انجام آزمایش دانه‌بندی و تعیین میزان قیر مصرفی
- آزمایش مارشال به منظور تعیین استقامت مارشال، وزن مخصوص، روانی، درصد فضای خالی، درصد فضای سنگی مصالح سنگی و درصد فضای خالی پر شده با قیر
- ازمایش تاثیر آب روی مخلوط آسفالتی گرم (آزمایش فشار تک محوری)

۱-۷-۱- تجزیه کامل آسفالت

هدف از آزمایش تجزیه آسفالت، تفکیک قیر و مصالح سنگدانه‌ای جهت تعیین درصد مصالح و درصد قیر و تعیین خصوصیات مختلف قیر و سنگدانه‌ها از جمله نوع قیر، دانه‌بندی مصالح و غیره می‌باشد. آزمایش تجزیه آسفالت، ابزار مناسبی برای کنترل کار پیمانکاران خواهد بود و می‌تواند صدق کار آنان را به محک بگذارد.

برای انجام این آزمایش، ابتدا نیازمند نمونه برداری از آسفالت است. بسته به اینکه مخلوط آسفالت کوبیده شده یا بصورت اجزاء مخلوط شده غیر متراکم باشد، نمونه‌گیری متفاوت خواهد بود. نمونه‌گیری باید بر پایه علوم آماری صورت پذیرد تا نمونه گرفته شده بتواند به درستی معرف کیفیت کل آسفالت باشد. در پروژه‌های اجرایی عموما اگر آسفالت هنوز کوبیده نشده باشد و تولید زیاد باشد، از هر سیصد تن یک نمونه اخذ می‌شود ؛ که این نمونه‌ها به صورت کاملا اتفاقی از کامیون حامل آسفالت گرفته می‌شود. در صورتی که آسفالت کوبیده شده باشد معمولا به ازای هر سیصد تن یک نمونه کافی است که با دستگاه مغزه‌گیری به طور تصادفی بدست می‌آیند. این آزمایش براساس استاندارد ASTM – D2172 انجام می‌شود.

۱-۷-۲- تعیین دانه‌بندی مصالح سنگی مخلوط آسفالتی

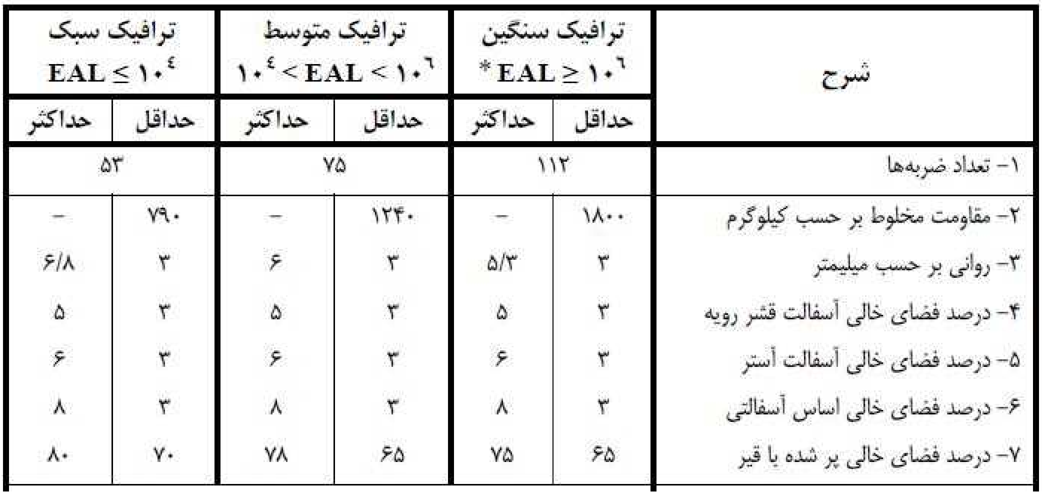
پس از تجزیه کامل مخلوط آسفالت و جدا شدن قیر موجود در آن، مصالح سنگی بدست آمده را می‌توان الک کرده و با بدست آوردن منحنی دانه بندی، آن را با منحنی دانه‌بندی مطلوب در نظر گرفته شده برای طرح اختلاط مقایسه نمود تا مشخص شود که مخلوط آسفالتی تهیه شده منطبق بر دانه‌بندی در نظر گرفته شده بوده یا خیر. این آزمایش براساس

استاندارد ASTM – C136 برای دانه‌بندی مصالح سنگی شکسته و استاندارد ASTM – D546 برای دانه‌بندی فیلر انجام می‌شود.

۱-۷-۳- آزمایش مارشال

پس از تهیه نمونه‌ها از مخلوط آسفالتی درشت دانه لازم است که آزمایش مارشال به منظور تعیین کیفیت و استقامت مخلوط آسفالتی درشت دانه مطابق با آنچه که در بخشهای قبلی توضیح داده شده بود انجام شود. با انجام آزمایش مارشال و تعیین شش فاکتور استقامت، روانی، وزن مخصوص مخلوط آسفالتی، درصد فضای خالی، درصد فضای خالی مصالح سنگی و درصد فضای خالی پر شده با قیر و با مقایسه آن با جدول (۱-۸) می‌توان کیفیت و استقامت مخلوط آسفالتی تولید شده را مورد ارزیابی قرار داد. این آزمایش براساس استاندارد ASTM – D5581 انجام می‌شود.

جدول ۱- ۸- مشخصات فیزیکی و مقاومتی مخلوطهای آسفالتی گرم به روش مارشال اصلاح شده D558(نشریه ۱۰۱)



شرح	ترافیک سنگین $* EAL \geq ۱۰^{۶}$		ترافیک متوسط $۱۰^{۴} < EAL < ۱۰^{۶}$		ترافیک سبک $EAL \leq ۱۰^{۴}$	
	حداقل	حداکثر	حداقل	حداکثر	حداقل	حداکثر
۱- تعداد ضربه‌ها	۱۱۲		۷۵		۵۳	
۲- مقاومت مخلوط بر حسب کیلوگرم	۱۸۰۰	–	۱۲۴۰	–	۷۹۰	–
۳- روانی بر حسب میلیمتر	۳	۵/۳	۳	۶	۳	۶/۸
۴- درصد فضای خالی آسفالت قشر رویه	۳	۵	۳	۵	۳	۵
۵- درصد فضای خالی آسفالت آستر	۳	۶	۳	۶	۳	۶
۶- درصد فضای خالی اساس آسفالتی	۳	۸	۳	۸	۳	۸
۷- درصد فضای خالی پر شده با قیر	۶۵	۷۵	۶۵	۷۸	۷۰	۸۰

۱-۷-۴- آزمایش تاثیر آب روی مخلوط آسفالتی گرم

این آزمایش به منظور نشان دادن تاثیر آب روی مقاومت آسفالت انجام می‌شود. در واقع برای بدست آوردن نشانه‌ای از مقاومت مصالح سنگی قیر اندود شده در برابر اثر آب، بر روی نمونه‌های بدست آمده از مخلوط آسفالتی آزمایش فشاری تک محوری انجام می‌شود.

این آزمایش براساس استاندارد ASTM –D1075 و یا استاندارد AASHTO – T165 انجام می‌شود.

۱-۸- آزمایشات کنترل کیفیت مخلوط آسفالتی اجرا شده

به منظور تعیین کیفیت مخلوط آسفالتی پخش و متراکم شده در سطح راه نیاز است آزمایشهایی انجام شود که در ادامه این آزمایشات معرفی و سپس مورد بررسی و ارزیابی قرار می‌گیرند. این آزمایشات عبارتند از:

۱ - تجزیه کامل آسفالت به منظور انجام آزمایش دانه‌بندی و تعیین میزان قیر مصرفی
۲ - آزمایش تعیین حداکثر وزن مخصوص مخلوط آسفالتی
۳- آزمایش تعیین وزن مخصوص مخلوط آسفالتی کوبیده شده در محل

۴- آزمایش مارشال
۵- آزمایش تعیین مقاومت کششی غیرمستقیم

۱-۸-۱- تجزیه کامل آسفالت

این ازمایش به منظور تعیین دانه‌بندی مصالح سنگی بکار رفته در مخلوط آسفالتی درشت دانه اجرا شده و همچنین تعیین میزان قیر مصرفی مورد استفاده قرار می‌گیرد. این آزمایش همانند آزمایش توضیح داده شده در بخش‌های قبلی است با این تفاوت که این آزمایشات بر روی نمونه‌های بدست آمده از مغزه‌گیری از مخلوطهای آسفالتی درشت دانه انجام می‌شود. این آزمایش نیز براساس استاندارد ASTM – D2172 انجام می‌شود.

۱-۸-۲- آزمایش مارشال

پس از تهیه نمونه‌ها از مخلوط آسفالتی درشت دانه اجرا شده لازم است که آزمایش مارشال به منظور تعیین کیفیت و استقامت مخلوط آسفالتی درشت دانه مطابق با آنچه که در بخش‌های قبل توضیح داده شده بود، انجام شود. این آزمایش براساس استاندارد ASTM – D5581 انجام می‌شود.

۱-۸-۳- آزمایش تعیین حداکثر وزن مخصوص مخلوط آسفالتی

پس از نمونه‌گیری از مخلوط آسفالت درشت دانه اجرا شده لازم است که وزن مخصوص آن نیز تعیین شود که نحوه انجام این آزمایش در بخش‌های قبلی توضیح داده شده است. این آزمایش براساس استاندارد ASTM – D2041 و یا استاندارد AASHTO – T209 انجام می‌شود.

۱-۸-۴- آزمایش تعیین وزن مخصوص حقیقی مخلوط آسفالتی کوبیده شده در محل

به منظور تعیین وزن مخصوص حقیقی آسفالت پخش و متراکم شده و بدست آوردن درصد تراکم واقعی آن، این آزمایش صورت می‌گیرد. این آزمایش براساس استاندارد AASHTO – T230 انجام می‌شود.

۱-۸-۵- آزمایش تعیین مقاومت کششی غیرمستقیم مخلوط آسفالتی

این آزمایش به منظور تعیین تغییرات مقاومت کششی نمونه‌های مخلوطهای آسفالتی در حالت اشباع نسبت به حالت خشک انجام می‌شود. از این آزمایش برای پیش بینی عریان شدگی مخلوطهای آسفالتی و همچنین ارزیابی مایعات افزودنی به قیر برای جلوگیری از عریان شدگی در مخلوطهای آسفالتی، استفاده می‌شود. این آزمایش براساس استاندارد AASHTO – T283 انجام می‌شود.

فصل ۲

مطالعات آزمایشگاهی

امور پیمان
omoorepeyman.ir

۲-۱- روند تعیین طرح اختلاط مخلوطهای آسفالتی درشت دانه

به منظور تعیین طرح اختلاط مخلوطهای آسفالتی درشت دانه لازم است مراحل زیر انجام شود:

انتخاب مصالح سنگی درشت و ریز و فیلر

انتخاب حدود دانه‌بندی مطلوب و تطابق آن با آیین نامه

تعیین نسبت درصدهایی که مصالح سنگی درشت و ریز و فیلر باید باهم مخلوط شوند

تعیین چگالی مصالح سنگی درشت، ریز و فیلر و چگالی قیر

تهیه نمونه‌های بتن آسفالتی با استفاده از مصالح سنگی و درصدهای مختلف قیر

تعیین چگالی نمونه‌های بتن آسفالتی تهیه شده

انجام آزمایش مارشال و ثبت استقامت و روانی مارشال

محاسبه درصد فضای خالی مصالح سنگی و درصد فضای خالی نمونه‌های بتن آسفالتی

رسم منحنی‌های تغییرات وزن مخصوص بتن آسفالتی، استقامت، درصد فضای خالی بتن آسفالتی، درصد فضای خالی مصالح سنگی، درصد فضای خالی پرشده با قیر و روانی بتن آسفالتی به ازاء درصدهای مختلف قیر مصرفی

تعیین درصد قیر بهینه

۲-۱-۱- انتخاب مصالح سنگی و تعیین دانه‌بندی مطلوب

برای انتخاب مصالح سنگی مورد استفاده در این مطالعه به این ترتیب عمل شده است که سه نوع مصالح متفاوت از سه نقطه کشور انتخاب شده اند. انتخاب این سه نوع مصالح از نقاط مختلف به این علت بوده است که روش طرح اختلاط بر روی مصالح مختلف با ویژگیها و جنس متفاوت انجام شود تا بتوان آن را برای شرایط گوناگون بکار گرفت. در واقع انتخاب این سه نوع مصالح سنگی بر اساس دو فاکتور زیر انجام شده است:

انتخاب مصالح سنگی که در حال حاضر در مخلوطهای آسفالتی متداول مورد استفاده قرار می‌گیرند.

انتخاب مصالح سنگی دارای جنس‌های متفاوت و مورد استفاده در مناطق مختلف آب و هوایی

یکی از روش‌های تعیین جنس دانه‌های مصالح سنگی انجام آزمایش تعیین اجزاء مواد سنگدانه‌ها به طریق (XRD) است. خروجی این آزمایش جنس دانه‌های مصالح سنگی هر منطقه را مشخص کرده و از این طریق می‌توان میزان تاثیر جنس مصالح سنگی بر روی کیفیت مخلوطهای آسفالتی را تعیین نمود.

۲-۲- نتایج طرح اختلاط متداول مخلوط‌های آسفالتی

به منظور بررسی عملکردی و کیفیتی مخلوط‌های آسفالتی درشت دانه لازم است که طرح اختلاط متداول برای این سه نوع مصالح نیز انجام شود تا بتوان نتایج آن را با نتایج طرح اختلاط مخلوط‌های آسفالتی درشت دانه مقایسه نمود و میزان تاثیر استفاده از مصالح سنگی درشت دانه در مخلوط‌های آسفالتی را بررسی و مشخص نمود. در ادامه نتایج طرح اختلاط مخلوط‌های آسفالتی متداول با استفاده از سه نوع مصالح سنگی مناطق فیروزکوه، همدان و اصفهان ارائه شده است.

۲-۲-۱- مخلوط‌های آسفالتی متداول منطقه فیروزکوه

نتایج طرح اختلاط ارائه شده برای مخلوط‌های آسفالتی متداول منطقه فیروزکوه از گزارش شماره ۰۰/۰۲/۰۴۰ تحت عنوان "پروژه طرح آسفالت محور رودهن – فیروزکوه" شرکت سهامی آزمایشگاه فنی و مکانیک خاک استان تهران گرفته شده است. این نتایج مربوط به طرح اختلاط قشر بیندر محور ذکر شده می‌باشد. جدول (۲-۱) نتایج نهایی انجام این طرح اختلاط با استفاده از مصالح سنگی که در این مطالعه از منطقه فیروزکوه آورده شده است را نشان می‌دهد.

جدول ۲-۱- مشخصات طرح اختلاط مورد استفاده از مصالح سنگی فیروزکوه

مشخصات فنی	نتایج
درصد قیر بهینه	۴/۸
استقامت مارشال (کیلوگرم)	۱۵۳۰
چگالی (کیلوگرم بر مترمکعب)	۲۴۲۵
درصد فضای خالی (V_a)	۳/۹
VMA(درصد)	۱۴/۴
VFA (درصد)	۷۰
روانی (۰/۲۵ میلی متر)	۱۰/۵
درصد قیر جذب شده	۰/۲۷

۲-۲-۲- مخلوط‌های آسفالتی متداول منطقه همدان

نتایج طرح اختلاط ارائه شده برای مخلوطهای آسفالتی متداول منطقه همدان از گزارش شماره ۱۶/۳۲۹۹ تحت عنوان "پروژه طرح اختلاط آسفالت محور ساوه– همدان" شرکت سهامی آزمایشگاه فنی و مکانیک خاک وزارت راه وترابری گرفته شده است. این نتایج مربوط به طرح اختلاط قشر بیندر محور ذکر شده می‌باشد. جدول (۲-۲) نتایج نهایی انجام این طرح اختلاط با استفاده از مصالح سنگی که در این مطالعه از منطقه همدان آورده شده است را نشان می‌دهد.

جدول ۲- ۲- مشخصات طرح اختلاط متداول مورد استفاده از مصالح سنگی همدان

مشخصات فنی	نتایج
درصد قیر بهینه	۵
استقامت مارشال (کیلوگرم)	۱۲۴۱
چگالی(کیلوگرم بر مترمکعب)	۲۴۲۰
درصد فضای خالی (V_a)	۳/۹
VMA(درصد)	۱۴/۳۵
VFA(درصد)	۷۳
روانی(۰/۲۵ میلی متر)	۱۲/۵
درصد قیر جذب شده	۰/۳۵

۲-۲-۳- مخلوط‌های آسفالتی متداول منطقه اصفهان

نتایج طرح اختلاط ارائه شده برای مخلوطهای آسفالتی متداول منطقه اصفهان از گزارش شماره ۱۵۶۲ تحت عنوان "پروژه طرح اختلاط آسفالت محور خمینی شهر– نجف آباد" شرکت سهامی آزمایشگاه فنی و مکانیک خاک- استان اصفهان گرفته شده است. این نتایج مربوط به طرح اختلاط قشر بیندر محور ذکر شده می‌باشد. جدول (۲-۳) نتایج نهایی انجام این طرح اختلاط با استفاده از مصالح سنگی که در این مطالعه از منطقه اصفهان آورده شده است را نشان می‌دهد.

جدول ۲- ۳ - مشخصات طرح اختلاط متداول مورد استفاده از مصالح سنگی اصفهان

مشخصات فنی	نتایج
درصد قیر بهینه	۴/۶
استقامت مارشال (کیلوگرم)	۹۵۰
چگالی(کیلوگرم بر مترمکعب)	۲۴۰۵
درصد فضای خالی (V_a)	۲/۹
VMA(درصد)	۱۳/۲
VFA(درصد)	۸۲
روانی(۰/۲۵ میلی متر)	۱۲/۲
درصد قیر جذب شده	۰/۱۶

۲-۳- مقایسه نتایج طرح اختلاط مخلوط‌های متداول و مخلوط‌های آسفالت درشت دانه

پس از انجام طرح اختلاط آزمایشگاهی و تعیین میزان قیر بهینه برای هر سه نوع مصالح سنگی مناطق فیروزکوه، همدان و اصفهان لازم است مقایسه‌ای عملکردی و کیفیتی مابین نتایج طرح اختلاط آسفالت درشت دانه و طرح اختلاط آسفالت متداول انجام شود تا مزایای استفاده از مصالح سنگی درشت دانه در مخلوطهای آسفالتی بهتر مورد شناسایی قرار گیرد. جداول (۲-۴) تا (۲-۶) نتایج مربوط به طرح اختلاط آسفالت درشت دانه سه نوع مصالح سنگی فیروزکوه، همدان و اصفهان که در این مطالعه بدست آمده است، در مقایسه با طرح اختلاط متداول را نشان می‌دهند.

جدول ۲- ۴- مشخصات فنی طرح اختلاط آسفالت درشت دانه مصالح سنگی فیروزکوه در مقایسه با طرح اختلاط متداول

مشخصات فنی	متداول	درشت دانه
درصد قیر بهینه	۴/۸	۴
استقامت مارشال (کیلوگرم)	۱۵۳۰	۱۶۹۱
چگالی(کیلوگرم بر مترمکعب)	۲۴۲۵	۲۴۱۵
درصد فضای خالی (V_a)	۳/۹	۴/۷
VMA(درصد)	۱۴/۴	۱۳/۸۵
VFA(درصد)	۷۰	۶۳
روانی(۰/۲۵ میلی متر)	۱۰/۵	۲۴

درصد قیر جذب شده	۰/۲۷	۰/۲۱
نسبت استقامت مارشال	-	۱/۱
نسبت روانی	-	۲/۲۹

جدول ۲- ۵- مشخصات فنی طرح اختلاط آسفالت درشت دانه و مخلوط متداول با مصالح همدان

مشخصات فنی	متداول	درشت دانه
درصد قیر بهینه	۵	۴/۲
استقامت مارشال (کیلوگرم)	۱۲۴۱	۱۷۰۰
چگالی(کیلوگرم بر مترمکعب)	۲۴۲۰	۲۳۹۸
درصد فضای خالی (V_a)	۳/۹	۴/۳
VMA(درصد)	۱۴/۳۵	۱۳/۶
VFA(درصد)	۷۳	۶۸
روانی(۰/۲۵ میلی متر)	۱۲/۵	۲۵/۹
درصد قیر جذب شده	۰/۳۵	۰/۴
نسبت استقامت مارشال	-	۱/۳۷
نسبت روانی	-	۲/۱

جدول ۲- ۶- مشخصات فنی طرح اختلاط آسفالت و مخلوط متداول با مصالح اصفهان

مشخصات فنی	متداول	درشت دانه
درصد قیر بهینه	۴/۶	۴/۳
استقامت مارشال (کیلوگرم)	۹۵۰	۱۲۸۲
چگالی(کیلوگرم بر مترمکعب)	۲۴۰۵	۲۳۹۹
درصد فضای خالی (V_a)	۲/۹	۵/۲
VMA(درصد)	۱۳/۲	۱۵/۶
VFA(درصد)	۸۲	۶۸
روانی(۰/۲۵ میلی متر)	۱۲/۲	۲۳/۵
درصد قیر جذب شده	۰/۱۶	۰/۲
نسبت استقامت مارشال	-	۱/۳۴
نسبت روانی	-	۱/۹۳

همانطور که در جداول فوق مشاهده می‌شود استفاده از مصالح سنگی درشت دانه در هر سه طرح اختلاط باعث افزایش کیفیت و عملکرد مخلوطهای آسفالتی شده است به صورتی که در هر سه نوع مخلوط آسفالتی درشت دانه نسبت به حالت متداول افزایش میزان استقامت حاصل شده است. از طرف دیگر میزان چگالی تغییر چندانی نسبت به حالت

طرح اختلاط متداول نداشته و میزان روانی نیز افزایش پیدا کرده است که این امر می‌تواند نشاندهنده افزایش انعطاف پذیری نمونه‌های ساخته شده با مصالح سنگی درشت دانه باشد که نهایتاً در جهت افزایش دوام آنها خواهد بود.

۲-۴- تحلیل نتایج آزمایش طرح اختلاط

به منظور مقایسه و تحلیل نتایج بدست آمده از طرح اختلاط مخلوط درشت دانه با مخلوط متداول لازم است که هر یک از مشخصات فنی ذکر شده به صورت جداگانه مورد بررسی قرار گرفته و شرایط آنها در هر دو حالت طرح اختلاط مورد مقایسه قرار گیرند.

۲-۴-۱- استقامت

به طور کلی استقامت مخلوطهای آسفالتی تحت تأثیر ویسکوزیته قیر، دانه‌بندی و مقاومت مصالح سنگی موجود در مخلوط آسفالتی بوده و بطور چشمگیری وابسته به زاویه اصطکاک داخلی مصالح سنگی، اندازه سنگدانه‌های مورد استفاده و میزان چسبندگی قیر موجود در مخلوط می‌باشد.

مشاهده می‌شود که نوع مصالح سنگی بکار رفته در مخلوطهای آسفالتی تاثیر بسزایی در استقامت مخلوطهای آسفالتی دارد. بنابراین استفاده از مصالح سنگی درشت دانه می‌تواند میزان استقامت مخلوطهای آسفالتی را افزایش داده به صورتی که با استفاده از نتایج آزمایشگاهی این میزان افزایش استقامت تا حد ۲.۲۵ برابر نسبت به حالت دانه‌بندی متداول نتیجه شده است.

با توجه به توضیحات فوق ذیلاً به مقایسه سه نوع مخلوط آسفالتی تهیه شده از سه نوع مصالح سنگی متفاوت که دارای خصوصیات متفاوت می‌باشند پرداخته شده است.

الف – مخلوط آسفالتی تهیه شده با مصالح سنگی فیروزکوه

آنچنانکه از جدول (۳-۱) مشخص است میزان استقامت مارشال مخلوطهای آسفالتی منطقه فیروزکوه، در حالت دانه‌بندی متداول در درصد قیر بهینه ۴.۸ درصد به میزان ۱۵۰۰ کیلوگرم می‌باشد که با استفاده از مصالح سنگی درشت دانه می‌توان میزان استقامت مارشال آن را به حدود ۱۷۰۰ کیلوگرم افزایش داد که این میزان افزایش، نسبت استقامت مارشال آن را به حدود ۱.۱ برابر می‌رساند.

بنابراین میزان افزایش استقامت مخلوط آسفالتی درشت دانه نسبت به مخلوط با دانه‌بندی متداول افزایش پیدا کرده و باعث بهبود کیفیت استقامت مخلوط آسفالتی به میزان ۱۶۰ کیلوگرم در مخلوطهای آسفالتی ساخته شده با مصالح سنگی فیروزکوه شده است.

ب – مخلوط آسفالتی ساخته شده با مصالح سنگی همدان

میزان استقامت مخلوط‌های آسفالتی با دانه‌بندی متداول ساخته شده با مصالح سنگی همدان که در جدول (۳-۲) نشان داده شده است در حدود ۱۲۴۰ کیلوگرم می‌باشد که استفاده از مصالح سنگی درشت دانه باعث افزایش استقامت آن به میزان ۱۷۰۰ کیلوگرم شده است. بر همین اساس نسبت مارشال آنها به ۱.۳۷ رسیده است. قابل ذکر است که این میزان افزایش استقامت نسبت به دو نوع دیگر مصالح سنگی بیشتر می‌باشد که این امر بهبود کیفیت مخلوط آسفالتی ساخته شده با مصالح سنگی منطقه همدان را به وضوح نشان می‌دهد.

ج - مخلوط آسفالتی ساخته شده با مصالح سنگی اصفهان

میزان افزایش استقامت نمونه‌های ساخته شده با مصالح سنگی اصفهان در حالت متداول نسبت به استفاده از مصالح سنگی درشت دانه در حدود ۳۳۰ کیلوگرم بوده بصورتی که نسبت استقامت مارشال به حدود ۱.۳۴ رسیده است که نشان دهنده افزایش نسبتا مناسبی در میزان استقامت مخلوطهای آسفالتی درشت دانه نسبت به دانه‌بندی متداول در خصوص این نوع مصالح سنگی می‌باشد.

با مقایسه میان نتایج استقامت مارشال نمونه‌های ساخته شده با دانه‌بندی متداول از سه نوع مصالح سنگی فیروزکوه، همدان و اصفهان، با دانه‌بندی درشت دانه تهیه شده با آنها می‌توان به این نتیجه رسید که مصالح سنگی درشت دانه در مخلوطهای آسفالتی باعث افزایش میزان استقامت مارشال در هر سه نوع نمونه شده است.

از بین سه نمونه ساخته شده، مخلوط آسفالتی همدان دارای بیشترین افزایش استقامت در میان سایر نمونه‌ها بوده و نمونه فیروزکوه دارای کمترین میزان افزایش استقامت است. پارامتر نسبت مارشال در نمونه همدان برابر ۱.۳۷ می‌باشد که فاصله نسبتاً زیادی با نسبت مارشال در نمونه‌های اجرا شده قبلی که در از تجربیات گذشته حاصل شده (در حدود ۲.۲۵) می‌باشد.

این امر شاید به علت استفاده از دستگاه مارشال دستی باشد که در این تحقیق مورد استفاده قرار گرفته و باعث می‌شود تراکم یکنواختی در نمونه‌های ساخته شده بوجود نیاید و در نتیجه منجر به کاهش میزان استقامت نهایی بدست آمده برای درصد قیر بهینه شود ولی با همه این تفاسیر افزایش استقامت مارشال نمونه‌های ساخته در سه نوع مصالح سنگی مشهود بوده و استفاده از مصالح درشت دانه را در مقایسه با دانه‌بندی متداول توجیه پذیر می‌کند.

۲-۴-۲- چگالی

میزان چگالی مخلوطهای آسفالتی به میزان درصدی از حداکثر چگالی تئوری مخلوطهای آسفالتی در نظر گرفته می‌شود که می‌تواند از طریق افزایش تراکم، افزایش درصد قیر، افزایش میزان فیلر و یا هر روشی دیگری به میزان چگالی مورد نظر دست پیدا نمود.

افزایش میزان چگالی ناشی از افزایش میزان تراکم موثر باعث می‌شود که نمونه‌های ساخته شده دارای مقاومت برشی بیشتری شده و عملکرد آنها را بهبود بخشد؛ البته با این شرط که درصد قیر مخلوط مناسب و در حد درصد قیر بهینه باشد. بنابراین با توجه به توضیحات ارائه شده مشخص می‌شود که میزان چگالی مخلوطهای آسفالتی تاثیر زیادی بر عملکرد آنها دارد.

با مقایسه میان نتایج آزمایش طرح اختلاط در هر دو حالت دانه‌بندی متداول و دانه‌بندی درشت دانه می‌توان به این نتیجه رسید که میزان چگالی مخلوطهای آسفالتی درشت دانه نسبت به دانه‌بندی متداول تغییر چندانی نکرده و دارای افت بسیار کمی می‌باشد. این اتفاق در مخلوط آسفالتی درشت دانه منطقه همدان بیشتر از بقیه محسوس می‌باشد به صورتی که میزان چگالی در دانه‌بندی متداول به میزان ۲۴۲۰ کیلوگرم بر مترمکعب بوده و در دانه‌بندی درشت دانه با افتی در حدود ۲۲ کیلوگرم بر متر مکعب به میزان ۲۳۹۸ کیلوگرم بر متر مکعب می‌رسد که نشان می‌دهد تغییر چندانی نکرده و حداقل میزان چگالی مورد نیاز برای مخلوطهای آسفالتی را دارا می‌باشد. این روند در دو نمونه دیگر نیز مشاهده شده و میزان افت چگالی کمتر از نمونه همدان است.

بنابراین می‌توان به این نتیجه رسید که استفاده از مصالح سنگی درشت دانه در مخلوطهای آسفالتی تغییر چندانی در میزان چگالی مورد نیاز مخلوطهای آسفالتی ایجاد نکرده و استفاده از آن از نظر فاکتور چگالی مشکلی ایجاد نمی کند.

۲-۴-۳- درصد فضای خالی(Va)

میزان فضای خالی مخلوط‌های آسفالتی باید به اندازه‌ای باشد که موجب بهبود عملکرد آنها شود. به عبارت دیگر میزان فضای خالی بتن آسفالتی باید طوری در نظر گرفته شود که دارای یک میزان حداقلی و حداکثری باشد. علت در نظر گرفتن این حد بالا و پایین برای درصد فضای خالی مخلوطهای آسفالتی آن است که اگر حداقل درصد فضای خالی در نظر گرفته نشود باعث می‌شود که با عبور ترافیک از مخلوط آسفالتی درصد فضای خالی آن بسیار کاهش پیدا کرده و نتیجتاً باعث ایجاد خرابی‌هایی نظیر قیرزدگی و ..... شود. از طرف دیگر وجود مقدار بیش از حد فضای خالی در بتن آسفالتی باعث کاهش استقامت و کاهش قابلیت شکل پذیری آن و در نتیجه سبب کم شدن دوام آسفالت شود. ذکر این نکته لازم است که درصد فضای خالی بتن آسفالتی در محدوده مشخص شده هر چقدر بالاتر باشد شرایط بهتری را از نظر عملکردی برای مخلوطهای آسفالتی ایجاد می‌کند.

با توجه به توضیحات ارائه شده و مقایسه نتایج حاصل از طرح اختلاط مخلوطهای آسفالتی در دو حالت دانه‌بندی متداول و درشت دانه در مورد درصد فضای خالی مخلوطهای آسفالتی ساخته شده با سه نوع مصالح سنگی می‌توان به موارد زیر برای هر کدام از آنها به صورت مجزا اشاره نمود:

الف- درصد فضای خالی مخلوط آسفالتی تهیه شده با مصالح سنگی منطقه فیروزکوه

درصد فضای خالی مخلوط آسفالتی منطقه فیروزکوه در دانه‌بندی متداول ۳.۹ درصد می‌باشد که در محدوده مناسبی با توجه به میزان در نظر گرفته شده در آیین نامه ASTM – D1559 (که بایستی مابین ۲ تا ۶ درصد باشد)، قرار دارد و در دانه‌بندی درشت دانه این میزان به ۴.۷ درصد می‌رسد. این میزان افزایش درصد فضای خالی در حدود ۰.۸ درصد با توجه به اینکه در محدوده استاندارد بوده و میزان در نظر گرفته شده در آنرا رعایت می‌کند، باعث می‌شود که شرایط بهتری برای مخلوط آسفالتی نسبت به دانه‌بندی متداول ایجاد شود.

ب- درصد فضای خالی مخلوط آسفالتی تهیه شده با مصالح سنگی منطقه همدان

افزایش درصد فضای خالی مخلوط آسفالتی منطقه همدان همانند توضیحات ارائه شده برای نمونه منطقه فیروزکوه بوده با این تفاوت که میزان افزایش درصد فضای خالی در این نمونه مصالح سنگی کمتر از منطقه فیروزکوه (به میزان ۰.۴ درصد) می‌باشد که هرچند افزایش چندان زیادی ندارد ولی باز هم باعث بهبود عملکرد مخلوط آسفالتی ساخته شده با مصالح با دانه‌بندی درشت دانه می‌شود.

ج- درصد فضای خالی مخلوط آسفالتی تهیه شده با مصالح سنگی منطقه اصفهان

درصد فضای خالی مخلوط آسفالتی درشت دانه ساخته شده با مصالح سنگی اصفهان دارای افزایش بسیار زیادی نسبت به دانه‌بندی متداول می‌باشد به صورتی که در دانه‌بندی متداول، درصد فضای خالی ۲.۹ درصد و در دانه‌بندی درشت دانه به میزان ۵.۲ درصد می‌رسد که منجر به افزایش تقریباً ۲ برابری درصد فضای خالی شده است.

استفاده از مصالح با دانه‌بندی درشت در ساخت مخلوطهای آسفالتی در هر سه نوع مصالح سنگی مورد استفاده باعث افزایش میزان درصد فضای خالی بتن آسفالتی می‌شود. این افزایش درصد فضای خالی در نمونه ساخته شده با مصالح سنگی اصفهان نسبت به سایر مصالح بسیار چشمگیر بوده به طوری که در دانه‌بندی درشت دانه میزان فضای خالی نسبت به دانه‌بندی متداول حدودا ۲ برابر شده و این امر شاید منجر به کاهش دوام مخلوطهای آسفالتی ساخته شده با این مصالح نسبت به سایر مصالح سنگی شود.

قابل ذکر است که نمونه‌های با دانه‌بندی درشت دانه منطقه همدان نسبت به سایر مصالح دارای کمترین میزان درصد فضای خالی می‌باشد که البته ممکن است شرایط بهتری را از نظر دوام مخلوط آسفالتی ایجاد نماید.

۲-۴-۴- درصد فضای خالی مصالح سنگی(VMA)

میزان درصد فضای خالی مصالح سنگی به مقدار بسیار زیادی بر عملکرد مخلوطهای آسفالتی تاثیرگذار است چرا که اگر مقدار VMA خیلی کم باشد میزان تحمل بار مخلوط دچار مشکل شده و اگر میزان درصد فضای خالی بسیار زیاد باشد از پایداری مخلوط آسفالتی کاسته می‌شود.

درصد فضای خالی مصالح سنگی در مرحله نخست ناشی از دانه‌بندی مصالح سنگی و شکل و زبری سطحی آنها می‌باشد. هنگامی که درصد فضای خالی مصالح سنگی بسیار کم باشد مقدار قیر کافی نمی‌تواند به مخلوط اضافه شده و در نتیجه از ایجاد ضخامت مناسبی از پوشش قیری روی سنگدانه‌ها بدون پر کردن حفرات خالی در مخلوط آسفالتی جلوگیری می‌کند. همچنین مخلوطهای آسفالتی دارای درصد فضای خالی کم حساسیت بیشتری نسبت به تغییرات کوچک در میزان قیر در مقایسه با مخلوطهای آسفالتی با درصد فضای بالا می‌باشد. بنابراین میزان درصد فضای خالی در مخلوطهای آسفالتی تاثیر زیادی در کیفیت آنها دارد و لازم است این معیار درمخلوطهای آسفالتی به دقت رعایت شود.

با توجه به توضیحات ارائه شده در این قسمت میزان درصد فضای خالی مصالح سنگی را در دو حالت دانه‌بندی متداول و درشت دانه با یکدیگر به شرح زیر مقایسه می‌کنیم.

با مقایسه نتایج طرح اختلاط دانه‌بندی متداول و دانه‌بندی درشت دانه برای سه نوع مصالح سنگی می‌توان به این نتیجه رسید که در نمونه‌های ساخته شده با مصالح سنگی فیروزکوه و اصفهان شاهد کاهش درصد فضای خالی مصالح سنگی در دانه‌بندی درشت دانه نسبت به دانه‌بندی متداول هستیم که از این بین نمونه‌های همدان دارای درصد فضای خالی مصالح سنگی کمتری نسبت به سایر مصالح می‌باشد. از طرف دیگر درصد فضای خالی مصالح سنگی نمونه ساخته شده با مصالح سنگی اصفهان در دانه‌بندی درشت دانه نسبت به دانه‌بندی متداول افزایش پیدا می‌کند که این امر شاید در میزان استقامت آن نسبت به سایر مصالح تاثیرگذار باشد.

نمونه‌های ساخته با مصالح سنگی همدان دارای کمترین درصد فضای خالی می‌باشد که از این نظر نسبت به سایر مصالح دارای شرایط بهتری (از نظر عملکرد) می‌باشد در عین حال نمونه‌های ساخته شده از مصالح اصفهان دارای بیشترین مقدار درصد فضای خالی مصالح سنگی (حتی در مقایسه با دانه‌بندی متداول خود نیز) می‌باشد که شاید باعث کاهش کیفیت عملکردی آن شود.

۲-۴-۵- درصد فضای خالی پر شده با قیر (VFA)

شاخص درصد فضای خالی مصالح سنگی پر شده با قیر به عنوانی شاخصی است که کمتر مورد استفاده قرار می‌گیرد. در بسیاری از موارد از این شاخص استفاده نشده و تنها به همان درصد فضای خالی مصالح سنگی اکتفا می‌شود. در مخلوطهای آسفالتی حفره‌های پر شده با قیر به صورت معکوس با حفره‌های هوا عمل می‌کنند. این عمل به این صورت است که هنگامی که میزان حفره‌های هوا در مخلوط به صفر برسد مشخص می‌شود که تمامی حفره‌ها با قیر پر شده اند.

مخلوطهای آسفالتی در ابتدای تولید معمولاً دارای ۵۰ تا ۷۰ درصد حفره‌های پر شده با قیر می‌باشند. بر اثر عبور ترافیک و متراکم شدن بیشتر این مقدار افزایش پیدا می‌کند و هنگامی که درصد فضای خالی مصالح سنگی پر شده با قیر به ۸۰ تا ۸۵ درصد برسد، مخلوطهای آسفالتی ناپایدار شده و خرابیهایی نظیر شیارشدگی در آنها ایجاد می‌شود.

بنابراین اگر مخلوطهای آسفالتی در هنگام تولید دارای درصد فضای خالی پر شده با قیر کمتری باشند دیرتر به حداکثر درصد فضای خالی پر شده با قیر می‌رسند و دیرتر دچار ناپایداری و خرابی می‌شوند.

با توجه به توضیحات ارائه شده و با بررسی نتایج طرح اختلاط دانه‌بندی متداول و دانه‌بندی درشت دانه سه نوع مصالح سنگی و مقایسه آنها با یکدیگر می‌توان به این نتیجه رسید که در هر سه نوع مخلوط آسفالتی میزان درصد فضای خالی مصالح سنگی پر شده با قیر در دانه‌بندی درشت دانه نسبت به دانه‌بندی متداول کاهش می‌یابد که این امر می‌تواند در بهبود عملکرد مخلوطهای آسفالتی موثر باشد.

با بررسی درصد فضای خالی مصالح سنگی پر شده با قیر در نمونه‌های ساخته شده با سه نوع مصالح سنگی مشاهده می‌شود که نمونه‌های ساخته شده با مصالح سنگی اصفهان دارای VFA کمتر و همچنین دارای بیشترین کاهش VFA در دانه‌بندی درشت دانه نسبت به دانه‌بندی متداول در مقایسه با دو نمونه دیگر ساخته با مصالح سنگی همدان و فیروزکوه می‌باشد که این امر نشان می‌دهد که نمونه‌های ساخته شده با مصالح اصفهان از این نظر دارای کیفیتی بیشتری بوده و دیرتر تحت ترافیک عبوری متراکم شده قرار گرفته و در آنها خرابی ایجاد می‌شود.

از طرف دیگر نمونه ساخته شده با مصالح سنگی همدان در دانه‌بندی درشت دانه نسبت به دو نوع مصالح دیگر دارای بیشترین میزان VFA بوده و این امر می‌تواند گویای آن باشد که نمونه‌های ساخته شده با مصالح همدان ممکن است تحت ترافیک عبوری در زمان کوتاهتری نسبت به دو نمونه دیگر متراکم شده و ناپایدار شوند.

۲-۴-۶- روانی

روانی در مخلوطهای آسفالتی به عنوان یک شاخص برای تعیین میزان انعطاف پذیری و دوام آنها مورد استفاده قرار می‌گیرد. مقادیر بالای روانی در مخلوطهای آسفالتی نشانگر آن است که مخلوط دارای خاصیت انعطاف پذیری بالایی بوده و تغییر شکلهای یکنواختی تحت ترافیک عبوری از خود نشان می‌دهد.

در عین حال مقدار کم روانی ممکن است نشانگر آن باشد که یک مخلوط آسفالتی دارای حفره‌های بیش از حد طبیعی بوده و همچنین مقدار قیر کافی برای دوام آنها در مخلوط وجود ندارد و همین عوامل ممکن است منجر به ایجاد ترکهای زودرس ناشی از شکنندگی مخلوط در طول عمر روسازی شود. بنابراین میزان بالای روانی در مخلوطهای آسفالتی می‌تواند به عنوان یک عامل موثر در کیفیت مخلوطهای آسفالتی مطرح باشد.

نمونه‌های ساخته شده با سه نوع مصالح سنگی بیانگر این موضوع می‌باشد که میزان روانی در آنها در دانه‌بندی درشت دانه نسبت به دانه‌بندی متداول افزایش پیدا کرده است که این موضوع در کیفیت مخلوط مخلوط آسفالتی تولید شده بسیار موثر می‌باشد. در بین نمونه‌های ساخته شده، میزان روانی نمونه همدان نسبت به دو نوع دیگر بیشتر می‌باشد که این امر نشان می‌دهد که مخلوط آسفالتی تولید شده با این مصالح دارای انعطاف پذیری بیشتری بوده و در نتیجه دوام بهتری را نسبت به دو نوع دیگر مصالح سنگی ایجاد می‌کند.

همچنین از بین نمونه‌های ساخته شده با سه نوع مصالح سنگی، نمونه‌های اصفهان دارای کمترین میزان روانی بوده که از این نظر نسبت به دو نوع دیگر از انعطاف کمتری برخوردار بوده و شاید در مقایسه با دو نمونه دیگر دوام کمتری را داشته باشند.

۲-۵- تحلیل نتایج آزمایش XRD

با انجام آزمایش XRD روی مصالح سنگی مناطق فیروزکوه، همدان و اصفهان و تعیین جنس آن‌ها می‌توان میزان تاثیر مواد تشکیل دهنده مصالح سنگی مناطق مختلف بر روی نتایج بدست آمده از طرح اختلاط آن‌ها را مشخص نمود.

نتایج آزمایش XRD بر روی مصالح سنگی همدان نشان داد که این نوع مصالح سنگی عمدتاً از نوع آهکی بوده، مصالح سنگی فیروزکوه ترکیبی از مصالح آهکی – سیلیسی بوده و مصالح سنگی اصفهان نیز از این جنس ولی با کمی تغییر به صورتی که میزان سیلیس آن بیشتر است، می‌باشد.

با مقایسه میزان استقامت مخلوط‌های آسفالتی درشت دانه مشخص می‌شود که مخلوطهای آسفالتی که دارای درصد بیشتری از مصالح سنگی آهکی می‌باشند دارای استقامت بیشتری هستند. در عین حال افزایش میزان سنگهای سیلیسی در آنها باعث کاهش میزان استقامت می‌شود بطوریکه مخلوط آسفالتی درشت دانه همدان که دارای بیشترین میزان استقامت می‌باشد از مصالح سنگی ساخته شده است که بیشترین مقدار آن از سنگهای آهکی است. از طرف دیگر مخلوط آسفالتی ساخته شده با مصالح اصفهان که دارای میزان سیلیس بیشتری می‌باشد کمترین میزان استقامت را نشان داده است.

نکته‌ای که در مورد نمونه فیروزکوه به مشاهده شود، میزان استقامت بالای آن‌ها نسبت به نمونه اصفهان در شرایط دانه‌بندی متداول و درشت دانه با توجه به کمتر بودن میزان درصد مصالح آهکی موجود در آن می‌باشد. علت این امر شاید در وجود مقداری از سنگهای محکم و پایدار که جزء دسته سنگ‌های آتشفشانی هستند، در بین این مصالح سنگی باشد. به علت وجود این نوع از سنگها شاهد بیشتر بودن استقامت نمونه فیروزکوه در هر دو حالت دانه‌بندی متداول و درشت دانه نسبت به نمونه اصفهان هستیم. البته ذکر این نکته لازم است که شاید مقدار سیلیس بیشتر در نمونه اصفهان منجر به کاهش میزان استقامت آن نیز شده باشد.

با توجه به مطالب ذکر شده می‌توان به این نتیجه رسید که استفاده از مصالح سنگی آهکی در مخلوطهای آسفالتی باعث می‌شود که این مخلوطها استقامت بیشتری را در مقایسه با مصالح سنگی سیلیسی – آهکی داشته باشند. در عین حال می‌توان به نقش منفی سیلیس در کاهش میزان استقامت مصالح سنگی مورد استفاده در مخلوطهای آسفالتی اشاره نمود.

نکته دیگری که در خصوص تاثیر نتایج آزمایش XRD بر روی نتایج طرح اختلاط قابل توجه است. همانا تأثیر جنس مصالح سنگی منطقه همدان است که عمدتاً آهکی می‌بوده و دارای بیشترین میزان روانی است. این امر می‌تواند نشانگر آن باشد که استفاده از مصالح آهکی در مخلوطهای آسفالتی باعث افزایش میزان انعطاف پذیری و دوام آنها می‌شود و وجود سیلیس در مخلوطهای آسفالتی می‌تواند باعث کاهش میزان روانی و انطعاف پذیری و در نتیجه کاهش دوام مخلوطهای آسفالتی شود.

با توجه به توضیحات ارائه شده و مقایسه میان نتایج بدست آمده از طرح اختلاط آسفالت با دانه‌بندی متداول و آسفالت با دانه‌بندی درشت دانه، به وضوح دیده می‌شود که با انجام آزمایش طرح اختلاط برای سه نوع مصالح با جنس‌های متفاوت و از نقاط مختلف کشور هر چند که از لحاظ مقاومتی و استقامتی میان این سه نوع مصالح تفاوت وجود دارد با این حال همه نمونه‌های ساخته شده با مصالح سنگی درشت دانه، دارای افزایش کیفیت و عملکرد بهتر آسفالت‌های تولید شده نسبت به حالت متداول می‌باشند که این امر هدف اصلی طراحان و تولید کنندگان مخلوطهای آسفالتی است که با کم کردن هزینه‌های تولید و تعمیر و نگهداری، باعث افزایش طول عمر روسازی شوند.

از نکات دیگری که می‌توان به آن اشاره نمود آن است که استفاده از مصالح سنگی آهکی در مخلوطهای آسفالتی باعث استقامت بیشتر و همچنین دوام بهتر مخلوطهای آسفالتی می‌شود. این روند با افزایش مقدار سیلیس در مخلوطهای آسفالتی باعث کاهش کیفیت آنها شده به صورتی که در مخلوطهای آسفالتی ساخته شده با مصالح سنگی منطقه فیروزکوه با افزایش مقدار سیلیس نسبت به نمونه‌های همدان کاهش میزان استقامت و روانی حاصل شده است. این روند در نمونه‌های اصفهان نیز وجود دارد بطوریکه با افزایش درصد سیلیس نسبت به مصالح فیروزکوه میزان استقامت و روانی آنها نیز کاهش پیدا کرده و دارای کمترین میزان استقامت و روانی در بین مخلوطهای آسفالتی ساخته شده با سه نوع مصالح سنگی می‌باشند.

۲-۶- نتایج حاصل از تعیین روش طرح اختلاط با استفاده از مصالح درشت دانه

با تعیین روش طرح اختلاط آسفالت با استفاده با مصالح سنگی درشت دانه می‌توان به نتایج زیر دست پیدا نمود:

۱- افزایش میزان استقامت که موجب می‌شود مخلوطهای آسفالتی توان عبور بارهای بیشتر را داشته باشند.

۲- افزایش درصد فضای خالی که تا اندازه‌ای از سختی مخلوط کاسته و ممکن است موجب انعطاف پذیری بیشتر مخلوطهای آسفالتی و افرایش طول عمر روسازی شود.

۳- افزایش میزان روانی که باعث ایجاد انعطاف پذیری بیشتر در مقابل بارهای وارده و جلوگیری از خرابیهای زودرس می‌شود.

۴- کاهش درصد فضای خالی مصالح سنگی (VMA) که موجب حصول دوام بیشتر و افزایش طول عمر روسازی می‌شود.

۵- کاهش درصد فضای خالی مصالح سنگی پر شده با قیر(VFA) که موجب دوام بیشتر و افزایش طول عمر روسازی می‌شود.

۶- کاهش مصرف قیر که باعث کاهش هزینه‌های تولید و تعمیر و نگهداری مخلوطهای آسفالتی می‌شود.

۷- کاهش استفاده از مصالح سنگی ریز دانه و درنتیجه کاهش هزینه‌های تولید مخلوطهای آسفالتی

۸- استفاده از مصالح سنگی آهکی باعث افزایش استقامت مخلوطهای آسفالتی و استفاده از مصالح سنگی سیلیسی باعث کاهش استقامت آنها می‌شود

۹- مصالح سنگی آهکی باعث ایجاد انعطاف پذیری و دوام بیشتر مخلوطهای آسفالتی درشت دانه در مقایسه با مصالح سنگی سیلیسی می‌شود.

۲-۷- آزمایش شیارافتادگی

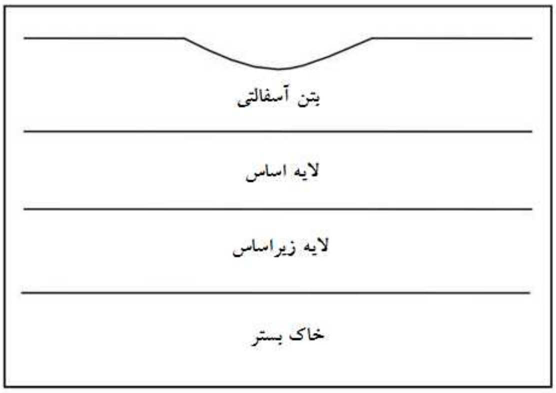
شیارافتادگی به تغییرشکل‌های دائمی اطلاق می‌شود که به صورت شیار فرورفته در مسیر چرخ وسایل نقلیه و به موازات محور طولی راه دیده می‌شود. تکرار بارگذاری ناشی از عبور وسایل نقلیه سنگین، کیفیت نامناسب مخلوط آسفالتی یا سایر مصالح روسازی و نرسیدن به تراکم مورد نیاز منجر به ایجاد این نوع خرابی می‌شود. چنین پدیده‌ای بیشتر در مناطق گرمسیر اتفاق می‌افتد. تغییر شکل‌های دائمی در لایه‌های روسازی یا بستر آن تحت بارهای ترافیکی منجر به ایجاد شیار افتادگی در سطح روسازی می‌شود.

۲-۷-۱- انواع شیارافتادگی

مکانیزم به وجود آمدن شیارافتادگی را می‌توان به سه عامل اساسی زیر تقسیم‌بندی نمود :
شیارافتادگی سطحی ناشی از فرسایش[۸]، شیارافتادگی ناشی از ضعف بستر و سیستم روسازی[۹] و شیارافتادگی ناشی از ضعف لایه آسفالتی[۱۰].

۲-۷-۱-۱- شیار افتادگی سطحی

این نوع از شیارافتادگی که ناشی از فرسایش سطحی است، در اثر جداشدگی و از بین رفتن مصالح سنگی از سطح رویه آسفالت (در مسیر چرخ‌ها) به وجود می‌آید. عامل اصلی این نوع از شیار افتادگی در تابستان گرمای هوا و بارهای ترافیکی سنگین و در زمستان سایش ناشی از عبور لاستیک‌های یخ شکن می‌باشد. نرخ خرابی این نوع از شیارافتادگی در فصل زمستان به علت فرسایش سنگدانه‌ها به سرعت افزایش می‌یابد. همچنین هنگامی که سنگدانه‌ها از قیری که به حالت شکننده درآمده است جدا می‌شوند و این حالت از شیارافتادگی به علت شرایط محیطی و بارهای ترافیکی در سطح رویه شدت می‌گیرد. در شکل (۲-۱) این نوع از شیارافتادگی نشان داده شده است.



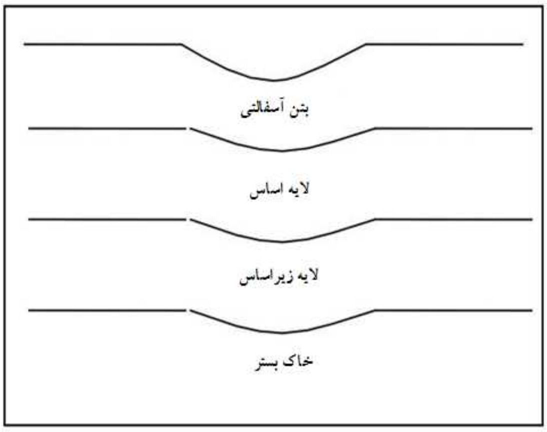
شکل ۲- ۱- شیارافتادگی فرسایشی

۲-۷-۱-۲- شیارافتادگی ناشی از ضعف بستر و سیستم روسازی

این نوع از شیارافتادگی به علت تراکم و فشردگی تدریجی لایه‌های تحتانی ناشی از تکرار آمد و شد وسایل نقلیه به وجود می‌آید. مهمترین عامل بروز شیار تحت تاثیر این مکانیزم، ضعف لایه‌های تحتانی از جمله خاک بستر است. ترک‌هایی که در سطح رویه آسفالت به وجود می‌آیند نیز می‌توانند عاملی برای این نوع از شیارافتادگی باشند. چنین شیارهایی معمولاً عریض بوده و دارای پهنایی به عرض ۰.۷۵ تا ۱ متر هستند. این نوع از شیار دارای مقطعی به شکل کاسه ای، کم عمق و بدون ترک هستند. ترسیم مقطع طولی در امتداد مسیر چنین شیارهایی، می‌تواند نشان دهد که ضخامت روسازی ثابت مانده و لایه‌های زیرین، نظیر خاک بستر یا مصالح دانه‌ای اساس و یا زیر اساس تغییر شکل یافته اند. در شکل (۲-۲) این نوع از شیارافتادگی نشان داده شده است.

---

[8] Wear Rutting
[9] Structural Rutting
[10] Instability Rutting

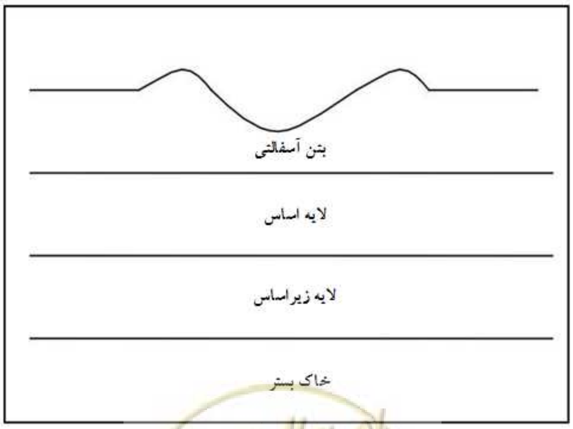


شکل ۲- ۲- شیارافتادگی ناشی از ضعف بستر و سیستم روسازی

۲-۷-۱-۳- شیارافتادگی ناشی از ضعف لایه آسفالتی

این نوع شیار به دلیل حرکت جانبی مخلوط آسفالتی تحت تاثیر تنش‌های برشی ناشی از عبور ترافیک و یا در اثر رفتار ویسکوالاستیک قیر و نرم شدن قیر در گرما به وجود می‌آید که عمدتاً ناشی از ضعف در مقاومت برشی لایه آسفالتی می‌باشد. چنانچه روسازی آسفالتی در برابر تغییر شکل، سخت وصلب باشد، ممکن است در مسیر چرخ‌ها ترک‌هایی به وجود آید. این نوع از خرابی در اثر تغییر شکل‌های برشی مخلوط آسفالتی به وجود می‌آید، مصالح مخلوط آسفالتی روی سطوح برشی به صورت جانبی جابجا می‌شوند و در اثر فرورفتگی ناحیه بارگذاری شده در مسیر چرخ‌ها و همچنین برآمدگی رویه در کنار مسیر چرخ‌ها، شیارافتادگی ایجاد می‌شود. در مسیر چرخ‌ها، سطح جاده معمولاً صاف است و سطح شیار نیز صاف و به شکل کاسه‌ای است. تغییر شکل برشی در اثر فقدان مقاومت مخلوط آسفالتی در برابر نیروهای برشی ناشی از اعمال بار قائم بر سطح راه ایجاد می‌شود.

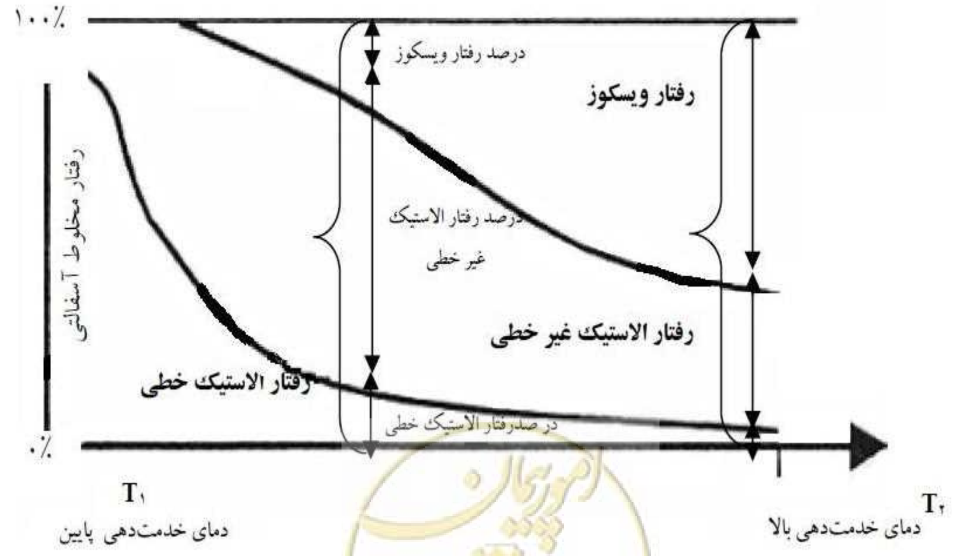
هنگامی که خصوصیات سازه‌ای آسفالت متراکم شده و مقاومت آن، برای عبور بارهای تکراری که یه سطح رویه اعمال می‌شود، ناکافی باشد، این نوع از شیارافتادگی شکل می‌پذیرد. در شکل (۲-۳) این نوع از شیارافتادگی نشان داده شده است.



شکل ۲- ۳- شیارافتادگی ناشی از ضعف لایه آسفالتی

۲-۷-۲- رفتار مخلوط آسفالتی و پدیده شیارافتادگی

مخلوط آسفالتی بر حسب شرایط (دما و بارگذاری) دارای رفتار ویسکوز، الاستیک خطی و الاستیک غیر خطی می‌باشد. بسته به دمای مخلوط و سرعت بارگذاری سهم هر یک از آنها در عملکرد مخلوط متفاوت است. در دماهای پایین، رفتار مخلوط آسفالتی را می‌توان الاستیک خطی فرض کرد. با افزایش دما ویژگی‌های رفتار الاستیک خطی کاهش و خصوصیات رفتار الاستیک غیرخطی افزایش می‌یابد. با افزایش بیشتر دما رفتار الاستیک غیرخطی شروع به کاهش نموده و رفتار ویسکوز مخلوط آغار می‌گردد. در فصل زمستان که دما پایین است، شیارافتادگی اتفاق نمی افتد، زیرا مخلوط کاملاً الاستیک است و تمام انرژی که از طریق ترافیک به روسازی منتقل می‌شود، در برگشت الاستیک آن پس زده می‌شود. برای روسازی‌های با ضخامت کافی، تنش ناشی از ترافیک به تنش گسیختگی نمی رسد و ترک‌های خستگی کمتری اتفاق می‌افتد. در دمای متوسط فصول بهار و پائیز، مخلوط بیشتر رفتار الاستیک دارد. هر چند ممکن است رفتار ویسکوز نیز اتفاق بیفتد، ولی سختی مخلوط به اندازه‌ای است که شیار مسیر چرخ به وجود نمی آید. در این شرایط، ترک‌های ناشی از خستگی به وجود می‌آیند. در دماهای بالای فصل تابستان، سختی مخلوط آسفالتی کاهش و کرنش ناشی از بارگذاری ترافیک افزایش می‌یابد. در این حالت قسمتی از کرنش که جزئی از رفتار ویسکوز مخلوط آسفالتی است، برگشت نمی یابد و تغییر شکل دائمی اتفاق می‌افتد. اگر این کرنش خیلی زیاد باشد یا رفتار مخلوط آسفالتی کاملاً ویسکوز باشد، تغییر شکل دائمی بزرگتری اتفاق می‌افتد. با استفاده از متغیرهای مهم طرح اختلاط آسفالت و روش‌های اجرایی می‌توان دمایی را که در آن رفتار و خصوصیات مخلوط آسفالتی شروع به تغییر می‌کند، تغییر داد. در دماهای بالا رفتار الاستیک مخلوط باید به اندازه‌ای باشد که بتواند از شیارافتادگی جلوگیری کند. در این جهت، استخوان‌بندی سنگدانه‌ای مخلوط و شکل و بافت سنگدانه‌ها در رفتار الاستیک مخلوط اسفالتی موثر است. مقدار تراکم میدانی نیز در رفتار الاستیک مخلوط آسفالتی موثر است که نشان دهنده مقدار فشردگی سنگدانه‌ها به یکدیگر است. خصوصیات الاستیک سفتی قیر نیز در رفتار الاستیک کل مخلوط آسفالتی سهیم است و قیر با سختی الاستیک زیاد، رفتار مخلوط آسفالتی را بهبود خواهد داد. همچنین افزایش درصد قیر مخلوط آسفالتی، رفتار ویسکوز مخلوط را افزایش می‌دهد. در شکل (۲-۴) تغییرات رفتار مخلوط آسفالتی با تغییرات دما نشان داده شده است.



شکل ۲- ۴- تغییرات رفتار مخلوط آسفالتی با تغییر دما

۲-۷-۳- مکانیزم‌های شیارشدگی

مکانیزم بروز شیارشدگی در زمان‌های متفاوت عمر روسازی را می‌توان به دو دسته عمده تقسیم کرد:

۱) شیارشدگی اولیه؛ که در اوایل عمر روسازی ایجاد شده و عمدتاً به تراکم لایه بر اثر ترافیک سنگین مرتبط می‌باشد. پارامترهایی چون؛ انتخاب ضخامت بسیار نازک برای مقطع روسازی و همچنین اجرای نادرست روسازی در ایجاد این نوع شیارشدگی موثر است. مهمترین عامل بروز شیارشدگی تحت مکانیزم فوق، ضعف لایه‌های تحتانی، از جمله خاک بستر است. در این نوع از شیارشدگی، ضخامت لایه آسفالتی تقریباً ثابت مانده و لایه‌های زیرین تغییرشکل می‌یابند.

۲) پس از مرحله اولیه، کاهش حجم مصالح روسازی در زیر تایرها تقریبا با افزایش حجم مناطق برآمده کناری برابر است .بدین معنا که تراکم اولیه کامل شده و ازاین پس شیارشدگی به علت جابجایی لایه با حجم ثابت، رخ می‌دهد. این نوع شیارشدگی اساساً، ناشی از ضعف در مقاومت و استحکام لایه آسفالتی است .ضعف در استحکام می‌تواند معلول توزیع نامناسب مصالح سنگی، صدمه‌های ناشی از رطوبت و یا ضعف در قفل و بست سنگدانه‌های مخلوط باشد.

۲-۷-۴- عوامل موثر بر شیارافتادگی

عوامل کلی که بر میزان مقاومت شیارافتادگی مخلوط‌های آسفالتی گرم تأثیرگذارند، شامل مشخصات مصالح سنگی، قیر، شرایط آب و هوایی و شرایط ترافیکی می‌باشند. نقش این عوامل در مقاومت شیارافتادگی مخلوط‌های آسفالتی که نتیجه تحقیقات صورت گرفته توسط محققین مختلف و تجربیات به دست آمده از روسازی‌های مختلف طی سالیان متمادی است، در بخش‌های بعدی تشریح گردیده است.

۲-۷-۴-۱- مصالح سنگی

دانه‌بندی مصالح سنگی :

دانه‌بندی مصالح سنگی استخوان‌بندی و ساختار اصلی مخلوط آسفالتی را تشکیل می‌دهد و از مهمترین عوامل مؤثر بر مقاومت مخلوط در برابر خرابی روسازی است. مقدار مصالح سنگی ریزدانه و درشت دانه در دانه‌بندی و حداکثر اندازه اسمی مخلوط آسفالتی تأثیر زیادی بر میزان شیارافتادگی روسازی دارد. مخلو طهای با دانه‌بندی ریز معمولاً نسبت به مخلوط‌های با دانه‌بندی درشت بیشتر در معرض شیارافتادگی قرار دارند.

مخلوط‌های با میزان فضای خالی مابین مصالح سنگی (VMA[11]) کم و درصد قیر بالا، پس از متراکم شدن تحت تأثیر بار ترافیک، در صد فضای خالی کمی خواهند داشت. چنین مخلوط‌هایی پس از آنکه به اندازه کافی تحت تأثیر ترافیک متراکم شدند، دچار شیارافتادگی خواهند شد.

استفاده از دانه بندی پیوسته در افزایش استحکام مخلوط در برابر شیارشدگی تاثیر به سزایی دارد. همچنین در خصوص مصالح سنگی، چگالی بیشتر، بافت زبرتر و خشن تر و گوشه داری بیشتر (افزایش درصد شکستگی)، سبب کاهش میزان شیارشدگی می‌گردد. در شرایط آب و هوایی گرم، استفاده از قیرهای سخت تر در کاهش میزان شیارشدگی موثر است. از سوی دیگر، میزان بالای قیر مصرفی، مقاومت در برابر شیارشدگی را کاهش می‌دهد.

مقاومت سایشی مصالح سنگی

---

[11] Voids in Mineral Aggregate

با توجه به اینکه از بین رفتن مصالح روسازی در مسیر چرخ‌ها به دلیل سایش مصالح سنگی، در اثر استفاده از لاستیک‌های آج دار و پهن از دلایل ایجاد شیارافتادگی سایشی می‌باشد، لازم است که مصالح سنگی به کار رفته در مخلوط آسفالتی از مقاومت سایشی کافی برخوردار باشند. حداقل مقاومت سایشی مصالح سنگی با توجه به شدت ترافیک و نوع لایه آسفالتی (آستر و رویه) متفاوت است. به منظور جلوگیری از ایجاد این نوع شیار افتادگی لازم است که لایه رویه با استفاده از مصالح سنگی که دارای دانه‌بندی درشت و اندازه اسمی بزرگتر و مقاومت بیشتر در آزمایش سایش لس آنجلس می‌باشد، اجرا شود.

شکل و بافت سطحی

شکل و بافت سطحی مصالح سنگی از عوامل تأثیرگذار در شکل‌گیری استخوان‌بندی مخلوط آسفالتی به شمار می‌رود مخلوط‌های حاوی مصالح سنگی تیزگوشه و بافت سطحی زبر، نسبت به مخلوط‌های حاوی مصالح گردگوشه و بافت صیقلی، مقاومت بیشتری در مقابل شیارافتادگی از خود نشان می‌دهند مادامی که بار ترافیک بر مخلوط آسفالتی حاوی مصالح با شکل و بافت سطحی مناسب اعمال می‌گردد، ذرات مکعبی و دارای بافت سطحی زبر با یکدیگر درگیر شده و کل مجموعه سنگدانه‌ای به عنوان یک محیط الاستیک نقش باربری را به عهده خواهد داشت. چنین مکانیزمی مقاومت برشی و نیز مقاومت در برابر شیارافتادگی را به نحو محسوسی افزایش می‌دهد.

شکستگی و گوشه داری مصالح سنگی درشت دانه

وجوه شکسته سنگدانه‌ها حاکی از میزان اصطکاک بین مصالح سنگی است که می‌تواند در استخوان‌بندی مخلوط آسفالتی به وجود آید و در مقابل شیارافتادگی مقاومت نماید. تیز گوشگی مصالح سنگی درشت دانه، افزایش اصطکاک داخلی مصالح سنگی و مقاومت بیشتر مخلوط در برابر شیارافتادگی را تضمین می‌کند.

مقدار مصالح ریزدانه

یکی از عواملی که بر مقاومت شیارافتادگی مؤثر است، مقدار مصالح ریزدانه (عبوری از الک ۴/۷۵ میلی متر) در مخلوط آسفالتی است. تحقیقات نشان داده است که با تعریف یک بازه مناسب برای مصالح سنگی ریزدانه می‌توان مخلوط آسفالتی را به گونه‌ای ساخت که در برابر شیارافتادگی مقاومت بیشتری داشته باشد.

ساختار مخلوط آسفالتی را می‌توان به دو بخش اصلی تقسیم نمود :

۱- استخوان‌بندی سنگدانه‌ای مخلوط آسفالتی، که شامل مصالح سنگی درشت دانه است و با ایجاد تماس سنگی در مخلوط آسفالتی، مقاومت بیشتر را تضمین می‌کند.

۲- بخش ملات مخلوط آسفالتی، که شامل قیر و مصالح سنگی ریزدانه می‌شود و انعطاف پذیری مخلوط آسفالتی را در برابر بارگذاری مکرر افزایش می‌دهد.

۲-۷-۴-۲- قیر

ویژگی‌های قیر اثر زیادی بر تغییر شکل‌های دائمی مخلوط آسفالتی دارد. هر چه قیر سخت تر باشد، شیارافتادگی مخلوط آسفالتی در دماهای بالا کمتر خواهد بود. امروزه در برخی از کشورها قیرها بر اساس روش جدید SHRP با توجه به شرایط عملکرد آتی آن‌ها، درجه‌بندی می‌شوند که برای هر درجه مشخصاتی ارائه شده است. هر یک از مشخصات و خواص ارائه شده، در رابطه با یک نوع خرابی خاص است و هر مشخصه از قیر نیز دمای آزمایش متفاوتی با دیگری دارد. با افزایش سفتی قیر، سختی مخلوط آسفالتی و در نتیجه مقاومت آن در برابر شیارافتادگی افزایش می‌یابد.

در روش SHRP نقش قیر در سختی مخلوط آسفالتی با تعیین مقدار حداقلی برای سفتی برشی مرکب مشخص شده است.

مقدار قیر به کار رفته در مخلوط آسفالتی در مقاومت شیار افتادگی تاثیر بسزایی دارد، به طوریکه با افزایش مقدار قیر میزان شیارافتادگی بیشتر خواهد شد، تحقیقات نشان می‌دهد که قیرهای اصلاح شده پلیمری، مقاومت شیارافتادگی را با سخت تر شدن در دماهای بالاتر افزایش می‌دهند.

۲-۷-۴-۳- شرایط آب و هوایی

شیارافتادگی جای چرخ ناشی از سایش سطح راه با لاستیک‌های آجدار در راه‌های پر رفت و آمد یکی از مهمترین عوامل اضمحلال روسازی در شرایط آب و هوایی سرد می‌باشد. با انتخاب مصالح مناسب (نوع و اندازه مصالح سنگی)، طرح اختلاط مناسب و استفاده از لاستیک‌های با آج کم می‌توان از شیارافتادگی ناشی از سایش سطح راه جلوگیری کرد. در شرایط آب و هوایی قاره‌ای یکی از شایع ترین انواع خرابی، شیارافتادگی جای چرخ ناشی از رفتار خمیری روسازی آسفالتی تحت تاثیر عبور ترافیک می‌باشد. خصوصاً اگر ضخامت لایه آسفالتی روسازی زیاد باشد، سبب گسترش شیارافتادگی ناشی از رفتار خمیری (تغییر شکل دائمی در لایه‌های آسفالتی) به عنوان اصلی ترین مسئله می‌شود. در آب و هوای گرم شیارافتادگی ناشی از رفتار خمیری مخلوط‌های آسفالتی و ترک‌های خستگی از جمله خرابی‌های متداول تحت تأثیر بارگذاری ترافیکی می‌باشند. به علت خصوصیات متناقض مورد نیاز، مخلوط آسفالتی با مقاومت بالا گرچه در برابر عامل شیارافتادگی مقاوم است اما در برابر ترک‌های خستگی دچار مشکل شده و سختی بیش از حد مخلوط موجب شکنندگی آن در سرما و ایجاد ترک در روسازی می‌گردد. یک مخلوط سخت مقاومت خوبی در برابر شیارافتادگی خواهد داشت، اما به ترک‌های خستگی حساس خواهد بود و طراحان باید خصوصیات بهینه‌ای را انتخاب کنند. در چنین مواردی استفاده از قیر اصلاح شده پلیمری آسفالت باید مورد توجه قرار گیرد. در جدول (۲-۷) توصیف انواع شیارافتادگی و دلایل ایجاد آن‌ها به همراه راهکارهای مناسب بر اساس تقسیم‌بندی پیشنهادی کمیته فنی مجمع جهانی راه (پیارک) ارائه گردیده است.

جدول ۲- ۷- توصیف انواع شیارافتادگی و دلایل آن‌ها بر اساس تقسیم‌بندی پیارک

تقسیم شرایط آب و هوایی (پیارک)	توصیف شرایط آب و هوایی	نوع شیارافتادگی و دلایل بروز آن‌ها	راهکار پیشنهادی
آب و هوای سرد	کشورهای با آب و هوای سرد و تابستان‌های معتدل	ناشی از سایش سطح راه با لاستیک‌های آجدار در راههای پر رفت و آمد	انتخاب مصالح مناسب، طرح اختلاط مناسب
آب و هوای قاره ای	کشورهای با زمستان سرد و تابستان گرم	ناشی از رفتار خمیری مخلوط‌های آسفالتی تحت تأثیر عبور ترافیک	اصلاح خصوصیات کشسانی قیر ، دانه‌بندی و طرح اختلاط مناسب
آب و هوای معتدل	کشورهای با زمستان سرد و تابستان معتدل	شیارافتادگی سازه‌ای ناشی از رفتار خمیری	-
آب و هوای گرم	کشورهای با زمستان معتدل و تابستان گرم	ناشی از رفتار خمیری مخلوط‌های آسفالتی	استفاده از قیر اصلاح شده پلیمری در تهیه مخلوط آسفالتی

با افزایش دما (از سرما به گرما) ، قیر از حالت الاستیک و جامد به حالت ویسکوز و خمیری تغییرشکل می‌دهد. در این زمان، قیر مستعد تغییرشکل‌های دائم بیشتری می‌باشد. با بارگذاری روسازی در این حالت، شیارشدگی افزایش می‌یابد.

۲-۷-۴-۴- ترافیک

رشد روزافزون وسایل نقلیه باعث خرابی‌های عمده روسازی به خصوص شیارافتادگی شده است. سرعت وسایل نقلیه و هندسه مسیر، نقش مهمی در ایجاد شیارافتادگی راه‌ها ایفا می‌نمایند، به طوریکه عمق شیارافتادگی در شرایط ثابت، با افزایش سرعت کاهش می‌یابد. ترافیک عبوری از سطح روسازی شامل ترافیک سبک و سنگین است. افزایش نسبت ترافیک سنگین به ترافیک سبک، منجر به افزایش شیارافتادگی می‌شود. سرعت عبور ترافیک (سرعت بارگذاری) نیز بر میزان شیارافتادگی تأثیر دارد. با افزایش سرعت بارگذاری، عمق شیارافتادگی کاهش می‌یابد. تحقیقات نشان داده است که با افزایش سرعت از ۲۰ Km/h به ۶۰ Km/h ، عمق شیارشدگی ۳۰ درصد کاهش می‌یابد. در جدول (۲-۸) عوامل مؤثر بر شیارافتادگی در مخلوط‌های آسفالتی گرم مورد ارزیابی قرار داده شده است.

جدول ۲- ۸- عوامل مؤثر بر شیارافتادگی

مخلوط آسفالت	عوامل مؤثر	تغییرات عوامل	اثر بر روی شیارافتادگی
سنگدانه	زبری رویه	ناهموار به صاف	افزایش
	دانه بندی	باز تا پیوسته	افزایش
	شکل	گرد تا گوشه دار	افزایش
	اندازه	افزایش در بزگترین سایز	افزایش
قیر	سختی	افزایش	افزایش
مخلوط آسفالت	درصد قیر	افزایش	کاهش
	درصد فضای خالی	افزایش	کاهش
	VMA	افزایش	کاهش
	روش تراکم	-	-
شرایط آزمایش	دما	افزایش	کاهش
	حالت تنش/ کرنش	افزایش در هنگام تماس فشار چرخ	کاهش
	تکرار بارگذاری	افزایش	کاهش
	آب	خشک به خیس	کاهش می‌یابد اگر مخلوط در آب باشد.

نکاتی در مورد جدول :

۱- این مطلب قابل بحث است که اگر VMA خیلی کم باشد (کمتر از ۱۰ درصد)، باید از آن در مورد تأثیر بر شیارافتادگی صرفنظر نمود.

۲- زمانی که درصد فضای خالی کمتر از حدود ۳ درصد باشد، شیارافتادگی افزایش می‌یابد.

۳- روش تراکم چه در آزمایشگاه و چه به صورت میدانی، ممکن است اثراتی بر روی سازه روسازی داشته باشد که نتیجه آن ممکن است بر شیارافتادگی تأثیر داشته باشد.

۲-۷-۵- اهداف آزمایش شیارافتادگی

آزمایش شیارافتادگی برای بررسی تغییرات خصوصیات مخلوط‌های آسفالتی در دماهای بالا مانند مقاومت در برابر شیارافتادگی، عریان شدگی و غیره تحت اثر بارهای ترافیکی و شرایط رطوبتی مورد استفاده قرار گرفته و در شرایط خشک و مرطوب قابل انجام است. همچنین این آزمایش برای تعیین حساسیت در برابر خرابی زودرس مخلوط آسفالتی گرم به دلیل ضعف در استخوان بندی سنگدانه ای، سفتی کم قیر و یا خرابی رطوبتی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

برای انجام آزمایش توسط دستگاه شیارافتادگی ویل تراک‌هامبورگ، یک چرخ لاستیکی(توپر) سخت با بار ثابت از روی سطح نمونه‌ای که دمای پیرامونش ثابت است، عبور داده می‌شود و عمق شیار ایجاد شده بر روی سطح نمونه دال آسفالتی ثبت می‌شود

۲-۷-۶- نحوه آزمایش شیارافتادگی به روش‌هامبورگ

نحوه انجام این آزمایش شیارافتادگی که به آزمایش به روش‌هامبورگ معروف است به این ترتیب است که نمونه آزمایش درون قالب مربوطه به محل آن در داخل دستگاه منتقل شده و در جای خود تثبیت می‌شود. حوضچه آب به اندازه‌ای پر می‌شود که نمونه کاملاً غرقاب گردد. دمای آزمایش برای آب انتخاب می‌شود و گرم کننده و سیستم گردش آب به کار انداخته می‌شود تا نمونه به دمای آزمایش برسد. پس از اینکه ۳۰ دقیقه از رسیدن نمونه به دمای آزمایش گذشت، چرخ بارگذاری پایین آورده می‌شود تا بر روی سطح نمونه قرار گیرد. حرکت چرخ بارگذاری آغاز می‌شود تا ۲۰۰۰۰ عبور چرخ صورت گیرد و داده‌های عمق شیارافتادگی در طول آزمایشات به صورت نمودار ثبت گردد.

۲-۸- آزمایش خستگی

ترک‌های خستگی ازجمله خرابی‌هایی هستند که در روسازی‌های با ترافیک سنگین مشاهده می‌گردند، برای تهیه مخلوط آسفالتی مقاوم در برابر بروز ترک‌های خستگی زودرس، آزمایش‌هایی پیشنهاد شده اند که معمولاً انجام آنها نیاز به تجهیزات ویژه و صرف زمان طولانی دارد. به همین دلیل پژوهشگران روابط متنوعی را برای پیش بینی عمرخستگی مخلوط‌های آسفالتی ارایه کرده اند که البته این روابط نیز برای شرایط خاص انجام آزمایش (نوع مصالح، دما و...) معتبر ند، و اعتبار آن‌ها برای شرایط دیگر باید مورد بررسی قرار گیرد.

اگر نقطه‌ای مشخص از روسازی آسفالتی در نظر گرفته شود، هنگامی که چرخ وسیله نقلیه در این نقطه قرار می‌گیرد، تغییر شکلی که در لایه بتن آسفالتی ایجاد می‌شود، باعث ایجاد کرنش کششی در زیر لایه می‌شود. با عبور وسیله نقلیه از این نقطه، لایه بتن آسفالتی تمایل بازگشت به موقعیت قبلی را دارد. با تکرار این عمل در صورتی که تنش یا کرنش کششی در زیر لایه آسفالتی از تنش یا کرنش کششی قابل تحمل لایه آسفالتی تجاوز کند، ترک‌هایی در زیر لایه آسفالتی ایجاد می‌شود که به مرور زمان، این ترک‌ها به سمت بالای لایه آسفالتی حرکت و در سطح لایه ظاهر می‌شوند. از به هم پیوستن این ترک‌ها، ترک‌های موسوم به ترک‌های خستگی به وجود می‌آیند.

به طورکلی ترک‌های خستگی به دو گروه تقسیم‌بندی می‌شوند که عبارتند از :

۱- ترک‌های خستگی ناشی از تکرار بارگذاری به علت عبور وسایل نقلیه.

۲- ترک‌های خستگی حرارتی ناشی از تغییرات دما.

ترک خستگی معمولاً از پایین لایه آسفالتی (یعنی محلی که مقدار تنش یا کرنش کششی زیر بار چرخ بیشینه است) شروع و به سمت بالای لایه منتشر می‌شود. با این وجود در اثر ترکیبی از تنش‌های حرارتی و تنش‌های حاصل از بارگذاری، این ترک‌ها می‌توانند از سطح بالای لایه نیز شروع و به سمت پایین لایه منتشر شوند. اصطلاحاً این نوع ترک‌ها، ترک‌های خستگی از بالا به پایین نامیده می‌شوند. برای انجام آزمایش خستگی مخلوط‌های آسفالتی روش‌های مختلفی وجود دارد که از جمله این روش‌ها می‌توان به آزمایش‌های تیر خمشی با بارگذاری چهار نقطه ای، تیر خمشی با بارگذاری سه نقطه‌ای، آزمایش خمش طره‌ای با تیرچه‌های ذوزنقه‌ای، آزمایش تکرار خمش با پی الاستیک آزمایش تک محوری، آزمایش سه محوری و آزمایش کشش غیر مستقیم اشاره کرد.

۲-۸-۱- هدف اصلی آزمایش کشش غیرمستقیم در شرایط خستگی

آزمایش کشش غیرمستقیم در شرایط خستگی برای تخمین مقاومت مخلوط‌های آسفالتی در برابر بروز ترک و ترک خوردگی بکار می‌رود. نتایج این آزمایش باید تنها برای نشان دادن مشخصات ترک خوردگی مخلوط‌های آسفالتی مورد استفاده قرار گیرد. در این آزمایش برای انجام آزمایش خستگی، از آزمایش خستگی کشش غیر مستقیم استفاده شده است. در این آزمایش نمونه زمانی خراب شده تلقی می‌شود که در بالای نوار بارگذاری، ۹ میلی متر تغییر شکل قائم رخ دهد.

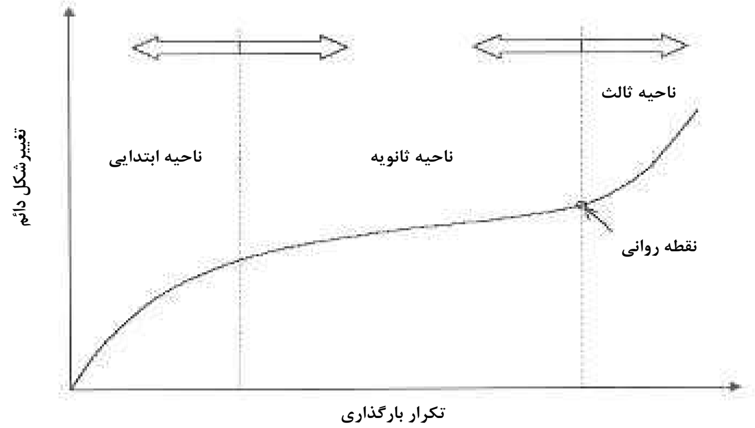
۲-۸-۲- روش انجام آزمایش کشش غیرمستقیم در شرایط خستگی

در آزمایش خستگی کشش غیرمستقیم، ابعاد نمونه اندازه گیری شده و در نرم افزار آزمایش وارد می‌شود. قبل از قرار گیری نمونه در داخل قاب نگهدارنده، در داخل محفظه محیطی قرار داده شده و در دمای آزمایش به مدت لازم عمل آوری می‌شود تا دمای آن برابر دمای آزمایش گردد. دمای آزمایش برابر ۲۰ درجه سانتیگراد توصیه می‌شود. در هر صورت نباید دمای آزمایش بیش از ۴۰ درجه سانتیگراد انتخاب شود[۱۵]. سپس نمونه در داخل قاب نگهدارنده قرار داده شده و نوار بارگذاری بالایی نیز بر روی آن قرار می‌گیرد. نمونه در این حالت باید درست در وسط قاب قرار گیرد. حسگرها یا ترنسدیوسرهای خطی[12] اندازه گیری تغییر شکل نمونه بر روی قاب نگهدارنده نصب شده و با استفاده از نرم افزار آزمایش، تنظیمات مربوط به آن‌ها انجام می‌شود. داده‌های آزمایش شامل میزان تنش وارد شده به نمونه، حداکثر تعداد سیکل بارگذاری، سرعت بارگذاری و ابعاد نمونه وارد شده و سپس نرم افزار اجرا شده تا آزمایش انجام شده و پایان یابد.

تغییراتی که در تغییر شکل دائم برحسب تعداد دفعات بارگذاری در حین انجام آزمایش به وجود آمد، دارای روند کلی نشان داده شده در شکل (۲-۵) بود، به طوری که در ناحیه ۱، نرخ تغییر شکل دائم با افزایش تعداد دفعات بارگذاری کاهش می‌یابد ، در ناحیه ۲ نرخ تغییر شکل دائم، ثابت، و در ناحیه ۳، نرخ تغییر شکل دائم با افزایش تعداد دفعات بارگذاری، افزایش می‌یابد. پس از وارد شدن نمونه در ناحیه ۳ ترک‌هایی در سطح آن مشاهده شد که با افزایش تعداد دفعات بارگذاری ، سرعت رشد ترک‌ها نیز افزایش یافته و نهایتاً به شکست کامل نمونه انجامید.

---

[12] LVDT- Linear Variable Displacment Transducer



شکل ۲- ۵- روند کلی تغییر شکل دائم بر حسب تعداد بارگذاری در آزمایش‌های خستگی

۲-۸-۳- مشخصات لازم نمونه‌ها

نمونه استوانه‌ای مخلوط آسفالتی جهت انجام آزمایش می‌تواند در آزمایشگاه تهیه شده و یا نمونه مغزه گیری شده از محل روسازی باشد. ضخامت نمونه بایستی بین ۳۰ و ۷۵ میلی متر و قطر آن برابر ۱۰۰ میلی متر باشد.

آزمایش خستگی کشش غیر مستقیم در خصوص روسازی‌های انعطاف پذیر از سال ۱۹۶۰ مورد استفاده قرار گرفت. این آزمایش یکی از پرکاربردترین آزمایشاتی است که روی مخلوط‌های آسفالتی گرم استفاده شده و برای تحلیل و ارزیابی سازه روسازی به کار گرفته می‌شود. اطمینان از پیش بینی خرابی روسازی توسط این آزمایش ممکن است سوال برانگیز باشد، اما نتایج این آزمایش نسبت به سایر آزمایشات دارای اطمینان بیشتری است.

در این تحقیق برای ارزیابی نتایج آزمایش خستگی کشش غیر مستقیم از دستور العمل ارزیابی NCHRP گزارش شماره ۴۶۵، استفاده شده است. در این دستورالعمل به خصوص از عدد روانی[13] برای ارزیابی نتایج استفاده شده است.

۲-۹- آزمایش مقاومت کشش غیر مستقیم[14]

آزمایش کشش غیر مستقیم از جمله آزمایش‌هایی است که برای تعیین مقاومت کششی مصالح تثبیت شده استفاده می‌شود، استفاده از این آزمایش در طرح اختلاط مخلوط‌های آسفالتی از دهه ۱۹۶۰ به طور گسترده‌ای مورد توجه قرار گرفته و در برنامه تحقیقات عملکرد دراز مدت روسازی نیز بر استفاده از این آزمایش برای تعیین مشخصات مخلوط آسفالتی تأکید شده است. در این آزمایش ، نمونه استوانه‌ای شکل آسفالتی تحت بار فشاری وارد بر سطح جانبی آن قرار می‌گیرد .این نحوه بارگذاری باعث ایجاد تنش کششی نسبتاً یکنواختی در امتداد قطر بارگذاری نمونه آسفالتی و شکسته شدن آن در امتداد این قطر می‌شود تنش‌های ایجاد شده در مرکز نمونه، تحت یک بار نواری، می‌توانند از روابط زیر محاسبه شوند.

---

[13] Flow Number
[14] Indirect Tensile Strength (ITS)

$$\sigma_t = \frac{2P}{\pi a t}\left(\sin(2\alpha) - \frac{a}{2R}\right) \quad (۲-۱)$$

$$\sigma_C = \frac{-6P}{\pi a t}\left(\sin(2\alpha) - \frac{a}{2R}\right) \quad (۲-۲)$$

P : مقدار بار اعمال شده

a : عرض نوار بارگذاری

t : ضخامت (ارتفاع) نمونه

R : شعاع نمونه

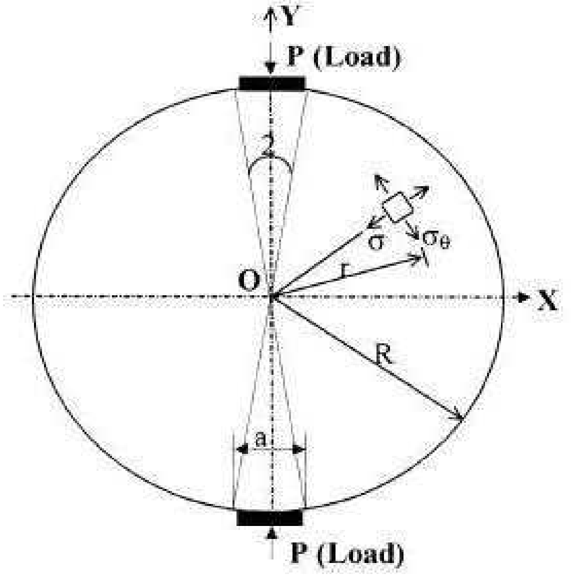
2α : زاویه مقابل به عرض نوار بارگذاری

σ_t : تنش کششی (افقی) در مرکز نمونه

σ_C : تنش فشاری (قائم) در مرکز نمونه

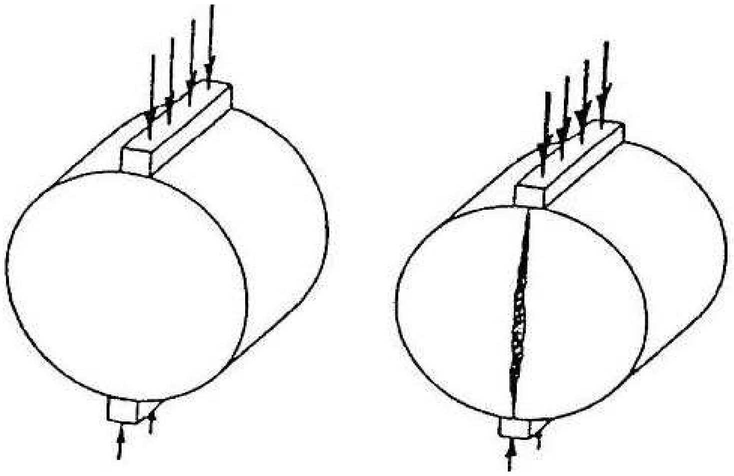
همان طور که در روابط فوق مشاهده می‌شود، در مرکز نمونه مقدار تنش فشاری قائم سه برابر تنش کششی افقی است. اگر چه وضعیت تنش در نمونه پیچیده است ، اما با فرض رفتار کشسان خطی، تنش و کرنش بحرانی ایجاد شده در نمونه، به راحتی قابل محاسبه اند.

در شکل (۲-۶) نمایشی از آزمایش کشش غیر مستقیم و نام گذاری قسمت‌های مختلف آن آورده شده است.



شکل ۲- ۶- کروکی آزمایش کشش غیر مستقیم

در شکل (۲-۷) نحوه بارگذاری نمونه در آزمایش خستگی نشان داده شده است.



شکل ۲- ۷- نحوه بارگذاری در آزمایش خستگی

چنانچه بارگذاری در آزمایش کشش غیر مستقیم به صورت تکراری (بارگذاری – باربرداری) انجام شود، این امکان فراهم می‌شود تا بتوان عمرخستگی نمونه‌های آسفالتی را نیز تعیین کرد .در این آزمایش معمولاً از روش بارگذاری کنترل تنش استفاده شده و بار به صورت یک منحنی شبه سینوسی، در مدت زمان ۰.۱ ثانیه بارگذاری و ۰.۹ ثانیه باربرداری (استراحت) بر نمونه‌ها اعمال می‌شود. در سال‌های اخیر استفاده از زمان بارگذاری ۰.۱ ثانیه و زمان استراحت ۰.۴ ثانیه نیز پیشنهاد شده است. تجمع تغییر شکل‌های دائم مهم ترین اشکال در تعیین عمر خستگی نمونه‌های آسفالتی با استفاده از آزمایش کشش غیر مستقیم یاد شده است. این مطلب به خصوص در درجه حرارت‌های بالا از اهمیت بیشتری برخوردار است ، زیرا در این حالت رفتار غیر خطی و ویسکوز آسفالت حاکم می‌شود. با وجود معایبی که بر این روش آزمایش متصور است، اما به دلیل ساده بودن انجام آزمایش، استفاده از این روش درتعیین مشخصات مخلوط آسفالتی توصیه شده است.

نتایج آزمایش کشش غیرمستقیم

نرم‌افزار آزمایش کشش غیرمستقیم با روش‌ها و استانداردهای آزمایش‌های بین‌المللی زیر مطابقت می‌کند :

- Australian Standards, AS 2891.13.1 – 1995
- British Standards Institute [BSI], Draft for Development DD213: 1996
- American Association of State Highway and Transportation Officials [AASHTO], Designation TP31-94

مهم‌ترین داده‌هایی که کاربر قادر به مشاهده و پلات گرفتن از آنهاست، آیتم‌های زیر می‌باشند.

- مدول ارتجاعی نمونه آسفالتی
- مجموع کرنش برگشت‌پذیر
- تغییرشکل‌های افقی

مدول ارتجاعی برای ارزیابی کیفیت نسبی مخلوط آسفالتی به‌عنوان داده ورودی طرح روسازی، ارزیابی و یا تحلیل روسازی بکار می‌آید. تغییرشکل‌های اندازه‌گیری‌شده برای محاسبه مدول ارتجاعی آنی و کل به کار می‌روند. مدول ارتجاعی آنی با استفاده از تغییرشکل برگشت‌پذیر افقی که در هنگام باربرداری ایجاد می‌شود، محاسبه می‌گردد. مدول ارتجاعی کل با استفاده از تغییرشکل‌های برگشت‌پذیر کل شامل تغییرشکل برگشت‌پذیر آنی و تغییر شکل وابسته به زمان استراحت در یک سیکل بدست می‌آید.

۲-۱۰- آزمایش خزش

خزش خاصیتی از بتن آسفالتی است که در اثر گرما و اعمال بارگذاری ممتد (نظیر محل ایستگاهها اتوبوس) مخلوط آسفالتی به تغییر شکل خود (در محدوده قابل قبول الاستیک و یا در محدودهٔ پلاستیک)، ادامه می‌دهد. با افزایش زمان بارگذاری، مقدار تغییر شکل پلاستیک (غیرالاستیک) افزایش یافته و مقدار کل آن ممکن است به چند برابر تغییر شکل‌های سریع الاستیک برسد. اما با گذشت زمان سرعت افزایش تغییر شکل عموماً کاهش یافته و منحنی دارای مجانب خواهد شد.

آزمایش خزش، همانند آزمایش شیارافتادگی، برای بررسی میزان تغییر شکل‌های ماندگار در روسازی آسفالتی مورد استفاده قرار می‌گیرد. با انجام این آزمایش، بر حسب تغییر شکل‌های ماندگار ایجاد شده، می‌توان مخلوط آسفالتی مناسب را برای محل مورد نظر شناسایی کرد. در این آزمایش علاوه بر فشار استاتیکی یا دینامیکی عمودی، می‌توان با استفاده از قالب ویژه، فشار جانبی مشابه موقعیت مخلوط آسفالتی در محل را نیز به نمونه آسفالتی اعمال نمود. توضیح آنکه آزمایش خزش به دو صورت استاتیکی و دینامیکی انجام می‌شود، در ادامه هر دو آزمایش به صورت کامل معرفی شده اند، در این پروژه تحقیقاتی برای انجام آزمایش خزش، از آزمایش خزش دینامیکی استفاده شده است.

۲-۱۱- آزمایش خزش استاتیکی[15]

این آزمایش جهت ارزیابی و مقایسه مقاومت مخلوط‌های آسفالتی در برابر تغییر شکل‌های دائمی در دما و بارگذاری‌های مشابه انجام می‌شود. نتایجی که از این آزمایش به دست می‌آید شامل سختی، کرنش دائمی و شیب نمودار می‌باشد.

دمای این آزمایش در حدود ۴۰ تا ۶۰ درجه سانتی گراد می‌باشد. این دما باید دارای دقتی در حدود $\pm1^{o}C$ باشد مقدار بار عمودی که دستگاه آزمایش می‌تواند اعمال کند تا ۵۰۰ پوند و یا ۲۲۲۴ نیوتن می‌باشد. در شکل ۲-۸ قسمت‌های مختلف دستگاه نام گذاری شده اند. همانطور که در شکل مشاهده می‌شود، حسگرهای خطی (LVDT) که تغییرشکل‌های قائم را ثبت می‌کنند.

مشخصات نمونه‌ای که در درون دستگاه قرار می‌گیرد به شرح زیر می‌باشد:

قطر نمونه باید دارای قطری برابر با ۴ اینچ (۱۰۱ میلی متر) باشد.

ارتفاع نمونه باید در حدود ۲ اینچ (۲ ± ۵۱ میلی متر) باشد.

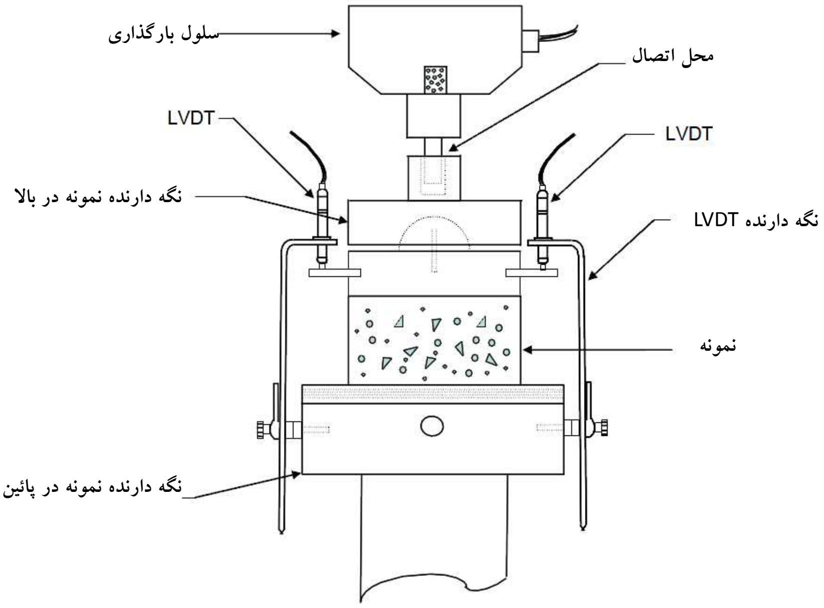
رویه نمونه باید به صورت صاف و تخت باشد.

نحوه بارگذاری نمونه به شرح زیر است :

برای هر سیکل بارگذاری در ابتدا سه بار، باری به مقدار ۱۲۵ پوند (معادل ۵۵۶ نیوتن)، به مدت ۱ دقیقه به نمونه اعمال می‌شود. که این امر به صفحات اجازه بارگذاری یکنواخت و بهتر را خواهد داد. سپس بار به اندازه ۵۵۶ نیوتن، به مدت ۱ ساعت به نمونه اعمال می‌شود، در پایان ۱ ساعت، باربرداری آغاز می‌شود و به مدت ۱۰ دقیقه به نمونه اجازه

---

[15] Static Creep Test


سلول بارگذاری
محل اتصال
LVDT
LVDT
نگه دارنده نمونه در بالا
نگه دارنده LVDT
نمونه
نگه دارنده نمونه در پائین

شکل ۲- ۸- قسمت‌های مختلف دستگاه آزمایش خزش استاتیکی

خواهد داده شد تا به حالت اولیه خود باز گردد. در این مدت بارگذاری و باربرداری دستگاه کنترل، نتایج آزمایش را توسط LVDTها ثبت می‌کند.

مقدار کرنش آزمایش خزش استاتیکی از رابطه زیر به دست می‌آید :

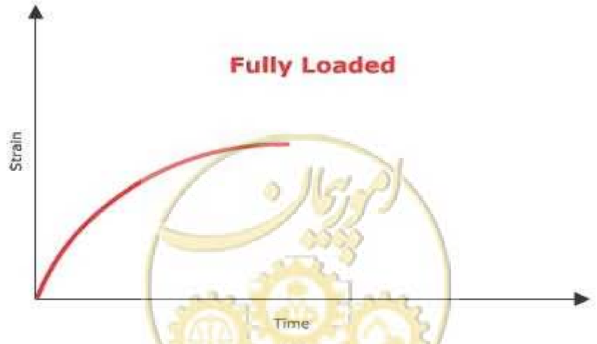
(کرنش برابر است با نسبت تغییر شکل به ضخامت نمونه)

$$\text{کرنش} = \frac{\text{تغییرشکل}}{\text{ضخامت نمونه}} \qquad (۲-۳)$$

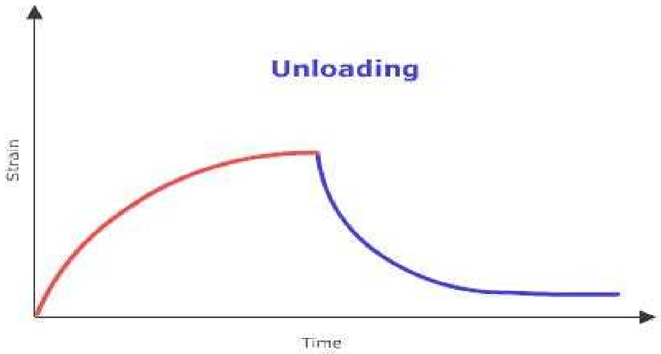
از رابطه زیر نیز مقدار سختی خزشی محاسبه می‌شود :

$$\text{سختی خزشی} = \frac{\text{۶۹ (کیلو پاسکال)}}{\text{کرنش نهایی}} \qquad (۲-۴)$$

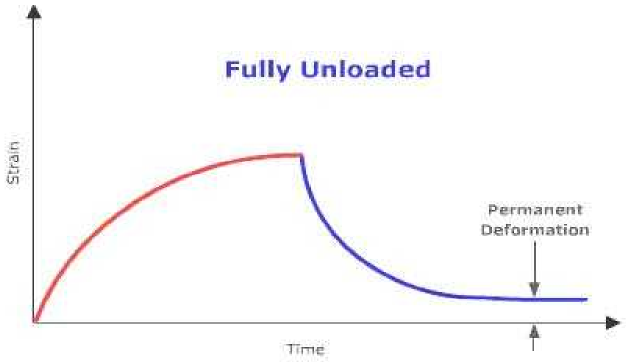
شکل‌های (۲- ۹) تا (۲-۱۱) روند کلی تشکیل نمودار کرنش بر حسب زمان را در آزمایش خزش استاتیکی نشان می‌دهد.



شکل ۲- ۹- نمودار بارگذاری اولیه در آزمایش خزش استاتیکی

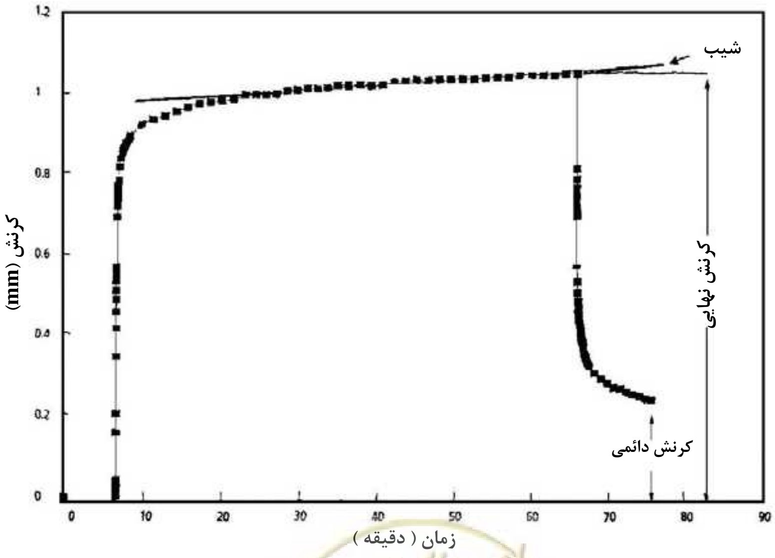


شکل ۲- ۱۰- نمودار رفتار مخلوط در طول زمان باربرداری در آزمایش خزش استاتیکی



شکل ۲- ۱۱- نمودار رفتار مخلوط پس از باربرداری کامل در آزمایش خزش استاتیکی

شکل (۲-۱۲) نمودار کلی این آزمایش را در زمان اصلی آزمایش، یعنی ۶۰ دقیقه نشان می‌دهد.



شکل ۲- ۱۲- نمودار کرنش- زمان در آزمایش خزش استاتیکی

۲-۱۱-۱- آزمایش خزش دینامیکی

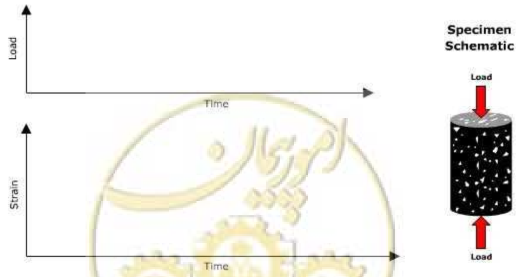
آزمایش خزش دینامیکی محصور نشده، به روش استاندارد BS DD226 برای تعیین مقاومت مخلوط‌های آسفالتی در برابر تغییرشکل دائمی در دماهای سرویس دهی روسازی مورد استفاده قرار می‌گیرد. این روش آزمایش بر روی نمونه‌های مخلوط آسفالتی مورد استفاده در لایه رویه، آستر و اساس آسفالتی انجام می‌شود.

۲-۱۱-۲- روش انجام آزمایش خزش دینامیکی

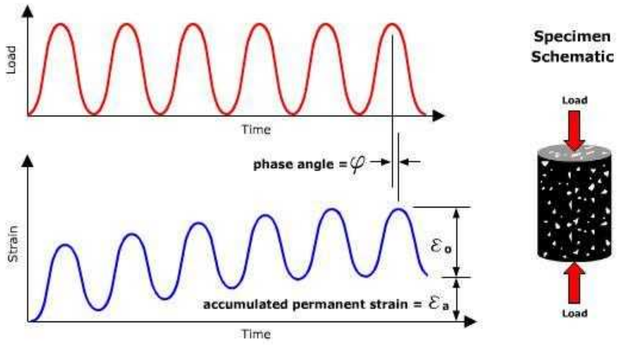
نمونه به مدت ۱ ساعت در محفظه کنترل دما قرار می‌گیرد تا دمای آن به دمای آزمایش (۴۰ و ۵۰ درجه سانتی گراد) برسد (آزمایشات بر روی نمونه‌ها در دو دمای ۴۰ و ۵۰ درجه سانتی گراد انجام شد). نمونه در قاب نگهدارنده قرار گرفته و صفحه بالایی نیز بر روی آن گذاشته می‌شود. قاب نگهدارنده به زیر سل بارگذاری منتقل شده و سپس حسگرهای خطی اندازه گیری تغییر شکل نمونه، بر روی قاب نگهدارنده نصب شده و با استفاده از نرم افزار آزمایش، تنظیمات مربوط به این حسگرها انجام می‌شود. داده‌های آزمایش شامل میزان تنش وارده به نمونه، مدت زمان بارگذاری، تعداد سیکل بارگذاری (دینامیکی)، سرعت بارگذاری(دینامیکی) و ابعاد نمونه وارد شده و سپس نرم افزار اجرا شده تا آزمایش انجام شود. ابتدا یک تنش اولیه به میزان ۱۲ کیلوپاسکال به مدت ۶۰۰ ثانیه اعمال شده و مقدار تغییرشکل محوری نمونه به ازای پیش بارگذاری، اندازه گیری و ثبت می‌شود. سپس بارگذاری اصلی با تنش ۱۰۰ کیلوپاسکال و به مدت ۳۶۰۰ ثانیه بصورت استاتیکی یا دینامیکی صورت می‌گیرد. نرم افزار آزمایش خزش، مقادیر کرنش محوری، مدول خزشی و کرنش دائمی را محاسبه نموده و ارائه می‌دهد. در شکل (۲-۱۳) حسگرهای قرار داده شده در نمونه در دستگاه UTM نشان داده شده است.

شکل ۲- ۱۳- حسگرهای قرار گرفته در نمونه آزمایش خزش

در شکل‌های (۲-۱۳) تا (۲-۱۵) نحوه اندازه‌گیری کرنش بر روی نمودار و نحوه ارزیابی آن آورده شده است.



شکل ۲- ۱۴- نمونه تحت بارگذاری قبل از انجام آزمایش خزش دینامیکی



شکل ۲- ۱۵- نمونه تحت بارگذاری بعد از انجام آزمایش خزش دینامیکی

۲-۱۱-۳- اصول آزمایش خزش دینامیکی

آزمایش خزش دینامیکی تک محوره، سال‌ها در تعیین میزان استعداد شیارشدگی مخلوط‌های آسفالتی مورد استفاده قرار گرفته است. علت آن، آسانی نسبی آزمایش و ارتباط منطقی آن با تغییرشکل دائم در مخلوط‌های آسفالتی است. کاربرد اصلی این روش به طبقه بندی مصالح و مقایسه آن‌ها از لحاظ پتانسیل شیارشدگی محدود می‌شود. به عبارت دیگر، بوسیله آزمایش خزش دینامیکی تک محوری نمی توان عمق شیار را پیش بینی نمود. یکی از دستگاه‌هایی که بر اساس آزمایش خزش دینامیکی ابداع شد، دستگاه UTM 5 بود این دستگاه را می‌توان جز دستگاه‌های با قدرت پایین UTM دانست؛ به نحوی که سری‌های جدیدUTM 14 و UTM 25 نیز با قدرت بالاتر وجود دارند. این دستگاه که توانایی تعیین پارامترهای مکانیکی مهم مخلوط‌های آسفالتی را تحت شرایط مشابه میدانی (از لحاظ بارگذاری و دمایی) دارد، دارای سیستم بارگذاری با هوای فشرده بوده و قادر به اعمال هر نوع بار مانند سینوسی، زین اسبی و... می‌باشد. نرم افزار این آزمایش براساس آیین نامه استرالیا (AS 2891.12.1) تدوین شده و با آیین نامه‌های اروپا، انگلستان و امریکا نیز مطابقت دارد. مهمترین خروجی نرم افزار آزمایش خزش دینامیکی، نمودار کرنش تجمعی[۱۶] در برابر تعداد سیکل‌های بارگذاری بوده که به نوعی به مقاومت شیارشدگی مخلوط وابسته است.

یکی از اهداف کلیدی پروژه NCHRP 9-19[۱۷]، دست‌یابی به آزمایش‌های با عملکرد ساده برای تغییرشکل‌های دائم، می‌باشد.

بر اساس نتایج برنامه آزمایش در پروژه ۱۹-۹ ، سه آزمایش برای مطالعات تغییرشکل‌های دائم توصیه شد که عبارتند از:

۱- مدول دینامیکی *E که با آزمایش مدول دینامیکی سه‌محوری تعیین می‌شود.

۲- عدد روانی[۱۸]Fn، که از آزمایش بارگذاری سیکلی تعیین می‌شود.

۳- زمان روانی [۱۹] که از آزمایش خزش استاتیکی تعیین می‌شود.

بین سال‌های ۲۰۰۱ تا ۲۰۰۴، ASU و زیرمجموعه‌های آن، یک سری آزمایش‌های گسترده را جهت تعیین مدول دینامیکی، عدد روانی و زمان روانی روی نمونه‌های ساخته شده در آزمایشگاه و نمونه‌های مغزه‌گیری شده صحرایی انجام دادند. در سال ۲۰۰۴ بر اساس نتایج این آزمایشات، آزمایش مدول دینامیکی بعنوان یک آزمایش اجرایی اولیه ساده برای

---

16 Accumulated Strain
17 - Superpave Support and Performance Models Management
18 - Flow Number
19 - Flow Time

شیارشدگی توصیه شد. آزمایش عدد روانی بعنوان روش مکمل برای ارزیابی و تعیین مقاومت مخلوط آسفالتی گرم در برابر روانی ناحیه سوم[۲۰] رفتار مخلوط پیشنهاد گردید و آزمایش زمان روانی نیز بعنوان یک نماینده ساده و تجربی برای آزمایش عدد روانی معرفی شد.

مدول دینامیکی(E^*)

برای مصالح با رفتار ویسکوالاستیک خطی مثل مخلوط آسفالتی گرم (HMA)، رابطه تنش به کرنش تحت اعمال یک بار سینوسی پیوسته با مدول دینامیکی مختلط[۲۱] آن تعریف می‌شود. این عددی است که ارتباط بین تنش و کرنش را برای مواد با رفتار ویسکوالاستیک خطی که تحت اعمال بار سینوسی پیوسته و در یک دامنه تکرار قرار می‌گیرند، برقرار می‌کند.

عدد روانی (Fn)

یک روش تعیین خصوصیات تغییر شکل دائمی (ماندگار) مخلوط آسفالتی بکارگیری آزمایش بارگذاری دینامیکی تکرار شونده به تعداد چندین هزار تکرار و ثبت تغییر شکل‌های دائم تجمعی بعنوان تابعی از تعداد سیکل‌ها (بارگذاری‌ها) در زمان انجام آزمایش است. این روش توسط Monismith و همکاران در اواسط دهه هفتاد با استفاده از آزمایش فشاری تک‌محوری بکار گرفته شد. چندین تحقیق توسط Witckzak و همکاران در دمای ۱۰۰ و ۱۳۰ درجه فارنهایت و با تنش‌های انحرافی ۱۰، ۲۰ و ۳۰ (psi)، صورت گرفت. یک بار سینوسی به مدت ۰/۱ ثانیه بر روی نمونه اعمال می‌شد و به اندازه ۰/۹ ثانیه دوره استراحت (باربرداری) برای نمونه و در زمانی حدود ۳ ساعت صورت می‌گرفت. این روش ۱۰۰۰ سیکل را برای هر نمونه دربر داشت. از آزمایش عدد روانی پارامترهای مختلفی که می‌توانند توصیف‌کننده واکنش تغییرشکل‌های دائم مخلوط آسفالتی باشند قابل حصول‌اند.

شکل(۲-۱۶)، ارتباط بین تغییر مکان دائم تجمعی و تعداد سیکل‌های بارگذاری را نمایش می‌دهد. مشابه با منحنی حاصله از آزمایش خزش، منحنی کرنش تجمعی با ۳ ناحیه تعریف می‌شود:

- ناحیه ابتدایی[۲۲]

در ناحیه ابتدایی تغییرشکل‌های دائم سریعاً روی هم انباشته می‌شوند.

- ناحیه ثانویه[۲۳]

افزایش روند (شیب) تغییرشکل دائم کاهش می‌یابد تا به مقدار ثابتی می‌رسد.

- ناحیه ثالث[۲۴]

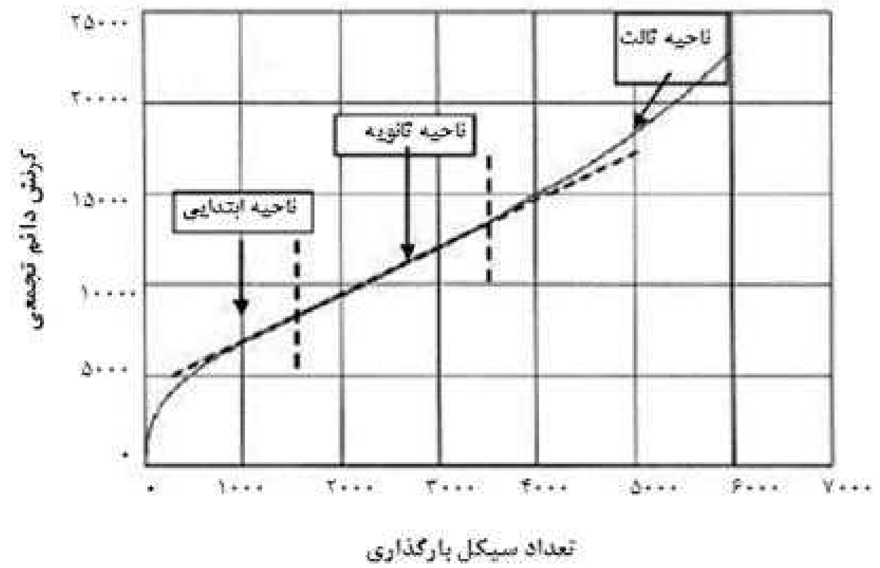
در این ناحیه شیب تغییر شکل ماندگار مجدداً افزایش یافته و مقدار تغییر شکل ماندگار به شدت روی هم انباشته می‌شود.

عدد روانی، نقطه شروع وضعیت ناحیه سوم یا تعداد سیکلی که در آن نمودار وارد ناحیه سوم می‌شود، می‌باشد.

نکته مهم در مورد این آزمایش آن است که مهمترین پارامتر به دست‌آمده از آزمایش خزش، کرنش تجمعی می‌باشد که به نوعی به مقاومت شیارشدگی مخلوط آسفالتی بستگی دارد ولی صرفاً با اطلاع از مقادیر تغییر شکل‌های تجمعی نمی‌توان میزان عمق شیارشدگی مخلوط را بدست آورد در واقع این آزمایش جهت مقایسه بین انواع

20- Tertiary Flow
21- Complex Dynamic Modulus
22- Primary Zone
23- Secondary Zone
24 - Tertiary Zone

مختلف نمونه‌های آسفالتی و بررسی رفتار خزشی مخلوط‌های آسفالتی کاربرد دارد. یادآوری می‌شود که در این آزمایش، مخلوط آسفالتی از شرایط مهار جانبی که در حالت واقعیت (روسازی) از آن برخوردار است، بهره نمی‌برد و لذا تغییر شکل بیشتری در مقابل اعمال بار از خود نشان می‌دهد.



شکل ۲- ۱۶- ارتباط بین تغییرات کرنش دائم تجمعی(محور قائم) و تعداد سیکل‌های بارگذاری(محور افقی)

زمان روانی

شکل (۲-۱۷)، ارتباط بین روانی (تسلیم)[۲۵] مجموع محاسبه‌شده و زمان اندازه‌گیری‌شده در آزمایش خزش استاتیکی را نمایش می‌دهد. این شکل نشان می‌دهد که این مجموعه می‌تواند به سه ناحیه تقسیم شود :

- ابتدایی

در ناحیه ابتدایی نرخ کرنش کاهش می‌یابد.

- ثانویه

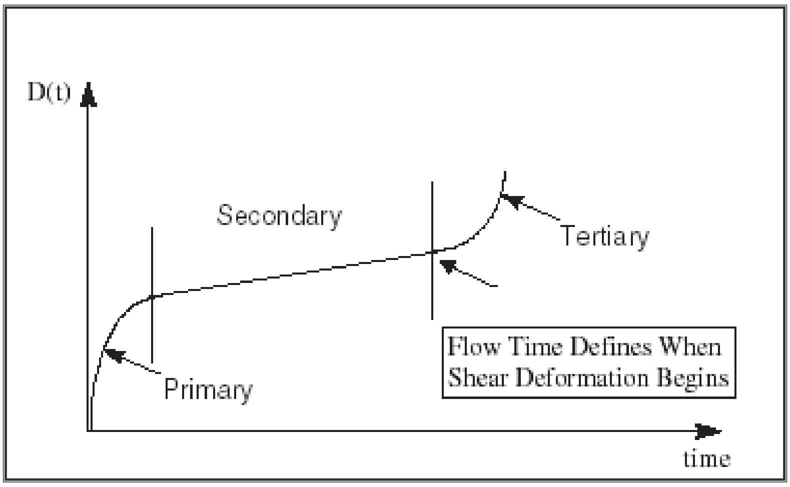
در این ناحیه نرخ خزش ثابت است.

- ثالث

در ناحیه آخر نرخ خزش افزایش می‌یابد.

---

[۲۵]- Compliance



شکل ۲- ۱۷- نتایج یک آزمایش نمونه بین مجموع روانی (تسلیم Compliance) محاسبه‌شده در برابر زمان

نکته قابل توجه در مورد ناحیه سوم این است که زمان روانی، هنگامی است که تغییرشکل برشی در نمونه آسفالتی شروع می‌شود، بدین‌معنی که با شروع این وضعیت برای مخلوط آسفالتی، به ازای اعمال بارهای وارده تغییرشکل‌های دائم (شیارشدگی) در روسازی اتفاق می‌افتد و راه وارد وضعیت بد سرویس‌دهی می‌شود. برای درک بهتر ناحیه سوم میتوان آنرا با منحنی تنش - کرنش فولاد مقایسه کرد. در منحنی فولاد ناحیه تسلیم بیانگر قسمتی از نمودار است که به ازای تنش‌های کم، یا بعبارتی اعمال نیروی کم، کرنش‌های زیاد در فولاد بوجود می‌آید.

۲-۱۱-۴- مشخصات فنی دستگاه و تجهیزات

دستگاه آزمایش توانایی اعمال یک سیکل بار را در فرکانس‌های مختلف، مدت زمان‌های مختلف و مقادیر مختلف بارگذاری دارد. محفظه کنترل دما توانایی کنترل دما را در بازه ۲۰- تا ۸۰ درجه سانتیگراد دارد. این دستگاه قادر است حداقل بار محوری عمودی برابر با ۱۰۰ کیلوپاسکال را به صورت استاتیکی و یا سیکلی (دینامیکی) بر نمونه وارد کند. دستگاه انجام این آزمایش نیز، همان دستگاه UTM است که در شکل(۲-۱۸) نشان داده شده است.

شکل ۲- ۱۸- دستگاه UTM و محفظه نمونه برای آزمایش خزش

۲-۱۱-۵- مشخصات نمونه‌ها

نمونه متراکم مخلوط آسفالتی جهت انجام آزمایش می‌تواند در محل آزمایشگاه ساخته شده و یا مغزه گیری شده از محل روسازی باشد. قطر نمونه بایستی ۱۰۰، ۱۵۰ یا ۲۰۰ میلی متر و ضخامت آن ۴۰ تا ۱۰۰ میلی متر باشد.

برای مخلوط‌های آسفالتی با حداکثر اندازه اسمی سنگدانه‌ای بیش از ۱۹ میلی متر ، قطر نمونه آزمایشی باید حداقل ۱۵۰ میلی متر و ضخامت آن، حداقل برابر ضخامت لایه روسازی باشد، ولی در هر حال ضخامت نمونه نباید بیش از ۱۰۰ میلی متر باشد.

۲-۱۱-۶- تعیین مدول الاستیسیته

مدول الاستیسیته مهمترین مشخصه لایه‌های روسازی است. برای طراحی روکش و یا تعیین کفیت سازه‌ای روسازی به طور مستقیم از مدول الاستیسیته استفاده می‌شود که اطمینان از درستی آن بسیار ضروری می‌باشد. در محاسبات بازگشتی، افت و خیز به دست آمده از تجهیزات غیر مخرب ارزیابی روسازی به مدول الاستیسیته لایه‌های مختلف تبدیل می‌شود. برای تعیین مدول الاستیسیته در محاسبات بازگشتی به ضخامت دقیق لایه‌ها و دمای عمق لایه آسفالتی نیاز می‌باشد. برای محاسبه مدول الاستیسیته از دستگاه‌های غیر مخرب HWD[26] و FWD[27] استفاده می‌شود. برای بررسی تأثیر ضخامت و دمای لایه آسفالتی در نتایج مدول الاستیسیته به دست آمده از محاسبات بازگشتی می‌توان از نرم افزار ۲۸ELMOD استفاده کرد. با توجه به اینکه تا کنون در سطح وسیعی از مخلوط درشت دانه مورد استفاده در این تحقیق استفاده نشده است لذا امکان استفاده از دستگاه‌های غیر مخرب برای تعیین مدول الاستیسیته میسر نمی باشد و برای تعیین آن از دستگاه UTM استفاده شده است. به این صورت که نمونه‌های ۶ اینچی که در درون دستگاه UTM که نتایج این آزمایش در فصل سوم آمده است.

۲-۱۲- نتایج آزمایشات شیارافتادگی

آزمایش شیارافتادگی مخلوط‌های آسفالتی توسط دستگاه شیارافتادگی (ویل تراک)هامبورگ (شکل ۲-۱۹) مطابق استاندارد AASHTO-T324 انجام پذیرفت. در این دستگاه، چرخ بارگذاری با بار ثابت بر روی سطح نمونه به صورت رفت و برگشتی حرکت می‌کند و نمونه آزمایش می‌تواند در شرایط خشک و یا غرقاب مورد آزمایش قرار گیرد. نمونه مورد استفاده در این دستگاه دارای ابعاد ۷/۵×۳۰×۳۰ سانتیمتر است. چرخ بارگذاری دستگاه آزمایش، ۲۰ سانتیمتر قطر و ۵ سانتیمتر عرض دارد. نمونه‌های آزمایش توسط دستگاه تراکم غلطکی متراکم شدند که در آن از روش مالشی برای تراکم نمونه استفاده می‌شود. نمونه‌های دال متراکم مخلوط‌های آسفالتی در شرایط غوطه ور درون آب با دمای ۵۰ درجه سانتیگراد، بار چرخ ۷۰۵ نیوتن و سرعت حرکت رفت و برگشتی ۵۰ عبور در دقیقه، تحت ۲۰۰۰۰ عبور چرخ بارگذاری (۱۰۰۰۰ رفت و برگشت) قرار گرفتند.

---

[26] Heavy Weight Deflectometer
[27] Falling Weight Deflectometer
[28] Evaluation of Layer Moduli and Overlay Design

امور پیمان
omoorepeyman.ir

شکل ۲- ۱۹- دستگاه شیارافتادگی ویل تراک‌هامبورگ برای آزمایش شیارافتادگی

با توجه به استاندارد AASHTO-T324 برای هر نمونه ساخته شده باید ۲ بار آزمایش ویل تراک بر روی آن انجام شود. در این تحقیق سه معدن مورد آزمایش قرار گرفتند، برای هر نمونه ساخته شده از معادن فیروزکوه، همدان و اصفهان در محدوده دانه‌بندی منتخب (با توجه به نمودار دانه‌بندی مخلوط درشت دانه ارائه شده در گزارش شماره ۲) آسفالت درشت دانه منطبق و با درصد قیر بهینه دال‌های آسفالتی تهیه و بر روی هر نمونه، ۲ بار آزمایش شیارافتادگی انجام شد. در ادامه نتایج مربوط به نمونه‌های هر یک از معادن مختلف آورده شده است.

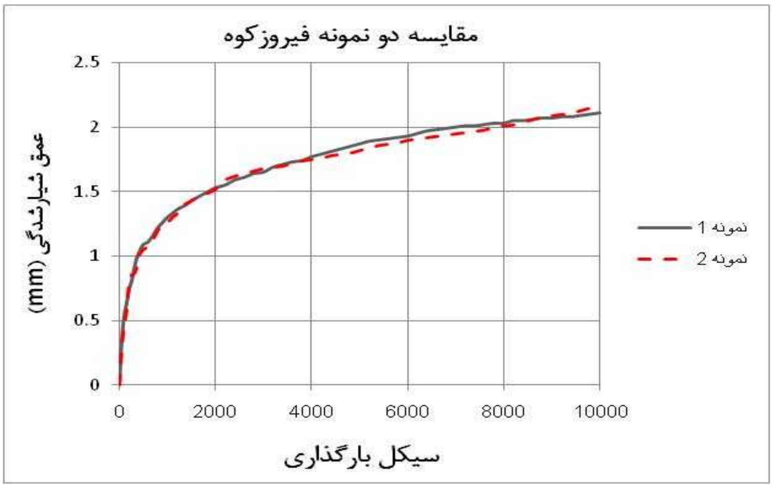
۲-۱۲-۱- نتایج آزمایش شیارافتادگی بر روی نمونه فیروزکوه

نمونه‌های تهیه شده با مصالح فیروزکوه که آزمایش شیارافتادگی بر روی آن انجام شد در شکل‌های (۲-۲۰) و (۲-۲۱) نشان داده شده اند.

شکل ۲- ۲۰- نمونه شماره ۱ فیروزکوه برای انجام آزمایش شیارافتادگی

شکل ۲- ۲۱- نمونه شماره ۲ فیروزکوه برای انجام آزمایش شیارافتادگی

همانگونه که از شکل (۲-۲۲) که مقایسه دو نمونه فیروزکوه از آن مشاهده می‌شود بر می‌آید تقریباً هر دو نمونه نتایج مشابه داشتند و روند میزان خط افتادگی آن‌ها در برابر تعداد دفعات بارگذاری یکسان بود. این بدان معنی است که تکرارپذیری آزمایش بسیار خوب بوده است.



شکل ۲- ۲۲- مقایسه عمق شیارافتادگی دو نمونه فیروزکوه با یکدیگر

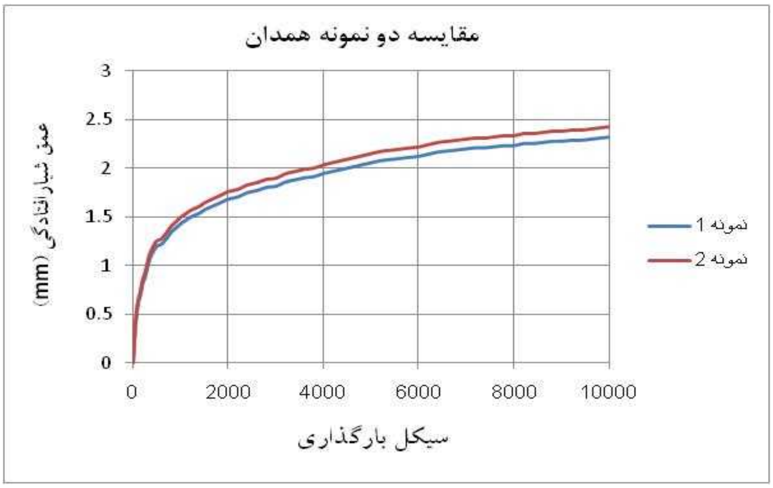
۲-۱۲-۲- نتایج آزمایش شیارافتادگی بر روی نمونه همدان

تصویر نمونه‌هایی ازمخلوطهای حاوی مصالح همدان که آزمایش شیارافتادگی بر روی آن‌ها انجام شده است در شکل-های (۲-۲۳) و (۲-۲۴) آورده شده است.

شکل ۲- ۲۳- نمونه شماره ۱ همدان برای انجام آزمایش شیارافتادگی

شکل ۲- ۲۴- نمونه شماره ۲ همدان برای انجام آزمایش شیارافتادگی

در شکل (۲-۲۵) مقایسه دو نمونه همدان با یکدیگر انجام شده است.



شکل ۲- ۲۵- مقایسه عمق شیارافتادگی دو نمونه همدان با یکدیگر

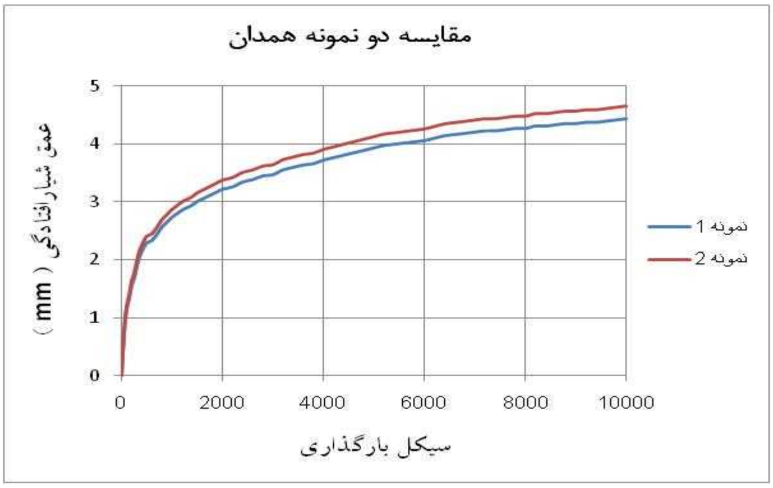
۲-۱۲-۳- نتایج آزمایش شیارافتادگی بر روی نمونه اصفهان

نمونه‌هایی که آزمایش شیارافتادگی بر روی آن انجام شده در شکل‌های (۲-۲۶) و (۲-۲۷) آورده شده است.

شکل ۲- ۲۶- نمونه شماره ۱ اصفهان برای انجام آزمایش شیارافتادگی

شکل ۲- ۲۷- نمونه شماره ۲ اصفهان برای انجام آزمایش شیارافتادگی

در شکل (۲-۲۸) مقایسه دو نمونه اصفهان با یکدیگر انجام شده است.



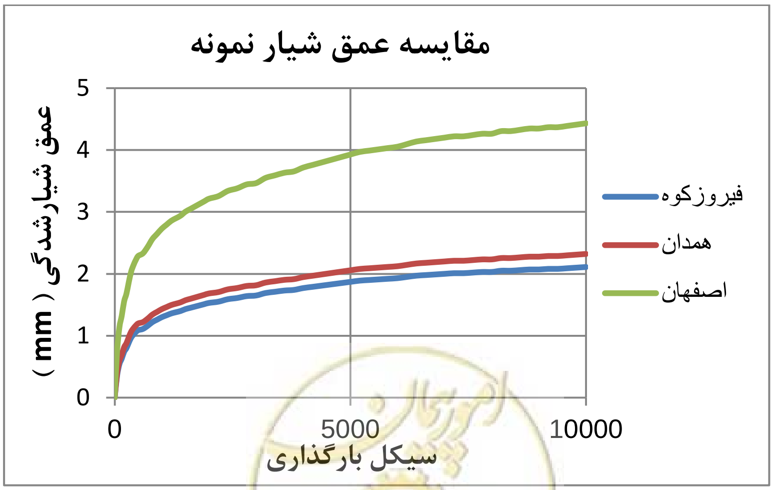
شکل ۲- ۲۸- مقایسه عمق شیارافتادگی دو نمونه اصفهان با یکدیگر

نتایج کلی آزمایش شیارافتادگی در جدول (۲-۹) آورده شده است.

جدول ۲- ۹- نتایج کلی آزمایش شیارافتادگی

نمونه	عمق شیار (mm)		
	نمونه ۱	نمونه ۲	میانگین
فیروزکوه	۲/۱۱	۲/۱۷	۲/۱۴
همدان	۲/۳۲۱	۲/۴۲۴	۲/۳۷۳
اصفهان	۴/۴۳۱	۴/۶۵۲	۴/۴۵۱

نتایج نمونه‌های هر سه نمونه مخلوط‌های حاوی مصالح فیروزکوه، همدان و اصفهان بر روی یک نمودار با یکدیگر قابل مقایسه است (شکل (۲-۲۹)) .



شکل ۲- ۲۹ - مقایسه شیارشدگی نمونه دال‌های آسفالت هر سه معدن تحت بررسی

با توجه به نمودار، نمونه اصفهان دارای عمق شیار بیشتری است و نمونه فیروزکوه کمترین عمق شیار شدگی را نتیجه داد. دلایل این امر در فصل سوم این پروژه تحقیقاتی مورد تحلیل و ارزیابی قرار گرفته است.

۲-۱۳- نتایج خستگی در آزمایش کشش غیر مستقیم

به منظور انجام آزمایش خستگی در بارگذاری به روش آزمایش کشش غیرمستقیم، نمونه‌های ۶ اینچی مخلوط‌های آسفالتی ساخته شدند. نحوهٔ ساخت نمونه‌ها به این صورت بود که پس از اختلاط مصالح سنگی و قیر با یکدیگر ، مخلوط در درون قالب‌های ۶ اینچی ریخته شد و سپس مخلوط درون قالب به همراه قالب در زیر دستگاه چکش مارشال قرار داده شده و با اعمال ۱۱۲ ضربه به هر یک از سطوح طرفین نمونه، عملیات متراکم کردن آن‌ها انجام گردید. سپس نمونه‌ها توسط جک هیدرولیکی از درون قالب خارج شدند که نمونه‌هایی از آن‌ها در شکل (۲-۸) نشان داده شده است. سپس مغزه‌های ۴ اینچی از این نمونه‌ها تهیه شده و در دمای ۲۵ درجه سانتیگراد مورد آزمایش قرار گرفتند. در این آزمایش، مدت زمان سیکل بارگذاری برابر ۱۵۰۰ میلی ثانیه و مدت زمان اعمال بار برابر ۲۵۰ میلی ثانیه انتخاب شد. لازم به ذکر است که بر اساس استاندارد BS-DD235، آزمایش با اعمال تنش برابر ۱۵۰ kPa انجام پذیرفت. این عدد برابر با ۲۰ درصد مقاومت کششی نهایی نمونه می‌باشد. به طور کلی عددی که برای انتخاب مقدار تنش در آزمایش خستگی انتخاب می‌شود بر حسب استاندارد BS-DD235 ، بین ۱۰ تا ۳۰ درصد مقاومت کششی کل نمونه باید انتخاب شود، که در این پروژه متوسط این مقدار انتخاب شده است.

نحوه انجام آزمایش کشش غیر مستقیم مطابق دستورالعمل ASTM-D4321 می‌باشد. برای هر سه نمونه فیروزکوه، همدان و اصفهان مقاومت کششی غیر مستقیم اندازه‌گیری و سپس میانگین این اعداد به دست آمد. ۲۰ درصد این مقدار برای آزمایش خستگی در نظر گرفته شد که نتایج آن در جدول (۲- ۱۰) آمده است.

جدول ۲- ۱۰- نتایج آزمایش مقاومت کششی بر روی نمونه‌ها

مشخصات نمونه	مقاومت کشش غیر مستقیم (kPa)
مخلوط آسفالتی درشت دانه مصالح سنگی همدان	۷۷۵
مخلوط آسفالتی درشت دانه مصالح سنگی اصفهان	۶۵۰
مخلوط آسفالتی درشت دانه مصالح سنگی فیروزکوه	۷۴۵

نتایج جدول ۲-۱۰ نشان می‌دهد که مخلوطهای آسفالت درشت دانه تهیه شده با مصالح سنگی همدان بیشترین و مخلوطهای حاوی مصالح اصفهان کمترین مقاومت کشش را داشته‌اند. شاید علت ضعف مخلوطهای حاوی مصالح اصفهان را بتوان به آهکی بودن آنها اطلاق نمود.

میانگین سه مقاومت کششی جدول (۲-۲) استفاده شد و سپس ۲۰ در صد آن مورد استفاده قرار گرفته است.

$$\overline{\sigma_t} = \frac{۷۷۵+۶۵۰+۷۴۵}{۳} = ۷۲۳Kpa$$

$$۷۲۳\times ۰/۲ = ۱۴۴/۶ \approx ۱۵۰Kpa$$

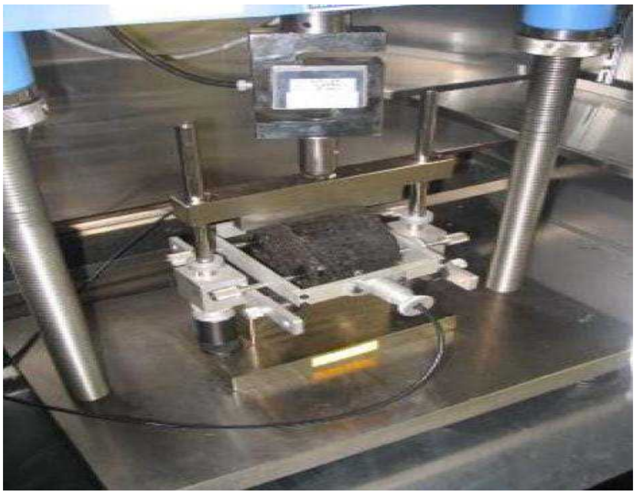
(۲-۵)

در شکل (۲-۳۰) نمونه‌های شش اینچی که از آن‌ها نمونه‌های چهار اینچی مورد نیاز انجام آزمایش خستگی در آورده شده است نشان داده شده اند. برای هر کدام از معادن فیروزکوه، همدان و اصفهان سه نمونه آزمایش خستگی بارگذاری کشش غیر مستقیم انجام شده است.

فیروزکوه
اصفهان
همدان

شکل ۲- ۳۰- نمونه‌های ۶ اینچی برای آزمایش خستگی

نحوه انجام آزمایش در فصل اول شرح داده شد و در شکل (۲-۹) نحوه قرارگیری مغزه‌های ۴ اینچی در درون دستگاه نشان داده شده است.



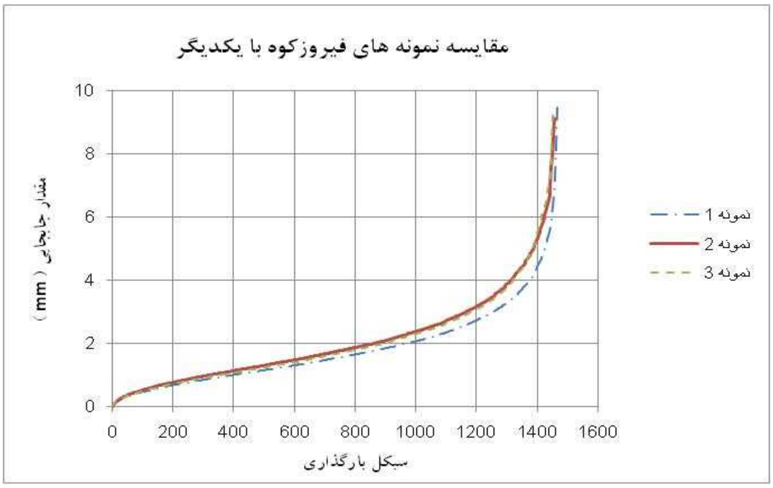
شکل ۲- ۳۱- نحوه قرارگیری مغزه ۴ اینچی در دستگاه UTM

۲-۱۳-۱- نتایج آزمایش خستگی کشش غیر مستقیم بر روی نمونه فیروزکوه

در این آزمایش نمونه‌ها زمانی خراب شده تلقی می‌شوند که یا نمونه شکسته و معمولاً به نیم تقسیم شود و یا در بالای نوار بارگذاری، ۹ میلی متر تغییر شکل قائم رخ دهد. این آزمایش برای تخمین مقاومت مخلوط‌های آسفالتی در برابر ترک خوردگی به کار می‌رود. در این تحقیق تعیین مقاومت کششی رویه‌های آسفالتی در حالت استاتیکی با اعمال

تدریجی بار تا بروز شکست و در شرایط تکرار بارگذاری با اعمال بارهای ۱۵۰ kPa و دمای ثابت ۲۵ درجه سانتی گراد انجام شده است.

همانطور که در شکل (۲-۳۲) مشاهده می‌شود نتایج هر سه نمونه A ، B و C فیروزکوه تقریباً شبیه به هم می‌باشند، یعنی تفاوت ناچیزی با یکدیگر دارند، که این بار نیز این نتیجه حاکی از تکرارپذیری آزمایش کشش غیر مستقیم می‌باشد.

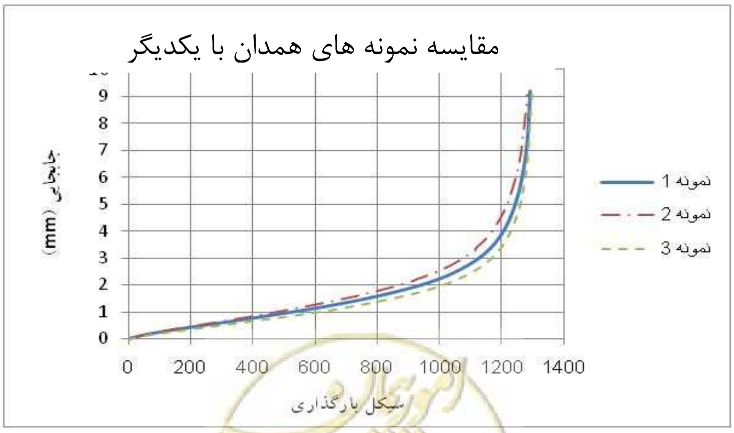


شکل ۲- ۳۲- مقایسه نمونه‌های فیروزکوه با یکدیگر از نظر گسیختگی

۲-۱۳-۲- نتایج آزمایش خستگی کشش غیر مستقیم بر روی نمونه همدان

همانطور که در قسمت قبل نیز توضیح داده شده برای هر کدام از سه معدن، سه نمونه مورد آزمایش قرار می‌گیرند، با توجه به نتایج آزمایشات خستگی مشاهده می‌شود که روند گسیختگی نمونه‌های همدان و فیروزکوه تا حدودی شبیه به یکدیگر می‌باشند.

در شکل (۲-۳۳) نتایج آزمایش خستگی هر سه نمونه با یکدیگر مقایسه شده است.

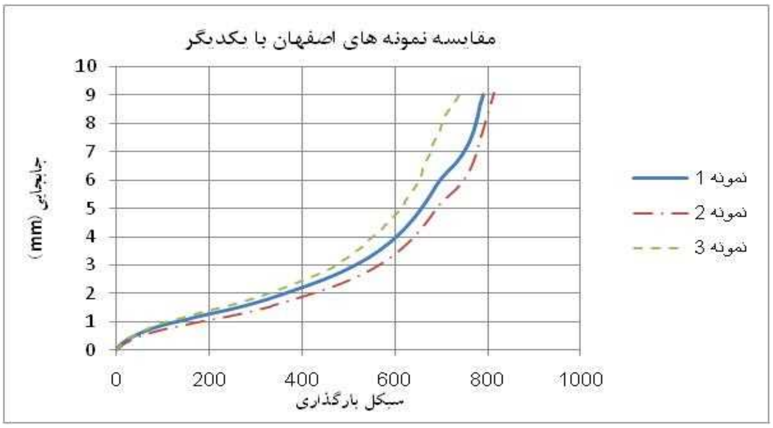


شکل ۲- ۳۳- مقایسه نمونه‌های همدان با یکدیگر از نظر گسیختگی

۲-۱۳-۳- نتایج آزمایش خستگی کشش غیر مستقیم بر روی نمونه اصفهان

با توجه به نوع مصالح اصفهان، که در آزمایش XRD مشخصات مصالح به طور کامل مشخص شد، معلوم شد که این نوع مصالح ضعیف تر از مصالح فیروزکوه و همدان بوده است. همین امر باعث شده است که نتایج آزمایشات با دو نمونه دیگر کاملا متفاوت باشد. در نمودار (۲-۳۴) نتایج آزمایش خستگی هر سه نمونه با یکدیگر مقایسه شده است

در نمونه‌های آسفالتی این مصالح تعداد سیکل بارگذاری که برای گسیختگی نمونه لازم بود، بسیار کمتر از مصالح فیروزکوه و همدان بود.



شکل ۲- ۳۴- مقایسه نمونه‌های اصفهان با یکدیگر از نظر گسیختگی

نتایج نهایی و تعداد سیکل بارگذاری نهایی (گسیختگی) در جدول (۲- ۱۱) آورده شده است.

جدول ۲- ۱۱- نتایج نهایی و تعداد سیکل بارگذاری نهایی آزمایش خستگی کشش غیر مستقیم

نمونه		تعداد سیکل بارگذاری نهایی (گسیختگی)	
		نتایج	میانگین
فیروزکوه	A	۱۴۶۴	۱۴۵۷
	B	۱۴۵۵	
	C	۱۴۵۲	
همدان	۱	۱۲۹۳	۱۲۹۲
	۲	۱۲۸۴	
	۳	۱۲۹۹	
اصفهان	۱	۷۸۹	۷۸۲
	۲	۸۱۹	
	۳	۷۳۸	

با توجه به توضیحاتی که درباره عدد روانی و نحوه به دست آمدن آن داده شد، در جدول (۲-۴) نتایج عدد روانی نمونه‌ها آورده شده است.

جدول ۲- ۱۲- میزان عدد روانی هر سه معدن در آزمایش خستگی کشش غیر مستقیم

نمونه		عدد روانی	
		نتایج	میانگین
فیروزکوه	A	۱۲۵۰	۱۲۲۸
	B	۱۲۲۰	
	C	۱۲۱۵	
همدان	۱	۹۵۰	۹۲۳
	۲	۸۹۰	
	۳	۹۳۰	
اصفهان	1	۵۸۰	۵۷۰
	2	۶۲۰	
	3	۵۱۰	

۲-۱۴- آزمایش خزش دینامیکی

آزمایش خزش دینامیکی بر روی نمونه‌های متراکم شده ۶ اینچی مخلوط آسفالتی و بر اساس روش استاندارد BS:DD226 در دماهای ۴۰ و ۵۰ درجه سانتیگراد انجام پذیرفت. مطابق استاندارد BS:DD226 مدت زمان آزمایش ۳۶۰۰ ثانیه می‌باشد که در این مدت ۱۸۰۰ سیکل بارگذاری اعمال می‌گردد که در هر سیکل، مدت اعمال بار با اندازه ۳۰۰ kPa ، برابر یک ثانیه می‌باشد. همچنین در این آزمایش، قبل از اعمال سیکل‌های آزمایش، به مدت ۱۲۰ ثانیه تنش پیش بارگذاری به میزان ۱۲ kPa اعمال می‌شود.

برای نتیجه‌گیری بهتر ، از ۳ نمونه شش اینچی برای هر معدن، در آزمایش خزش دینامیکی در هر قسمت (برای دماهای مختلف) استفاده شد. این آزمایش برای تعیین مقاومت مخلوط‌های آسفالتی در برابر تغییرشکل دائمی در دماهای سرویس دهی روسازی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

پارامترهایی که از این آزمایش به دست می‌آیند عبارتند از:

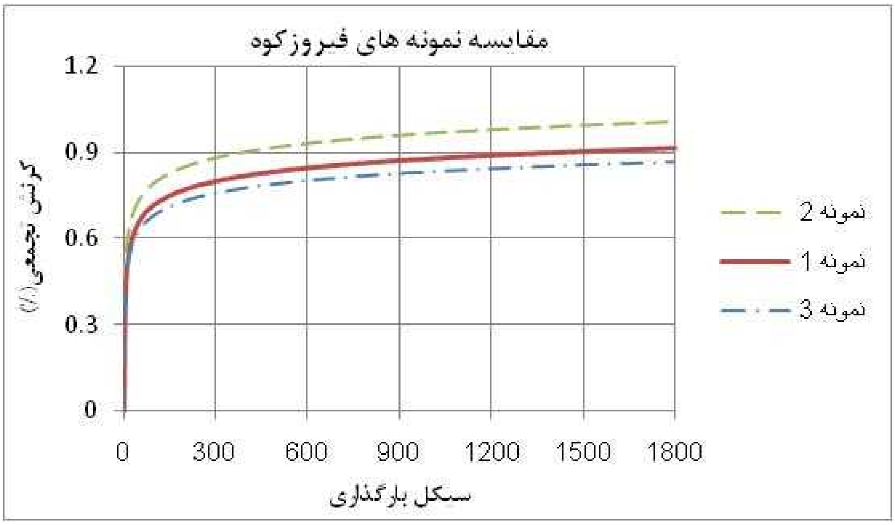
کرنش تجمعی، کرنش ارتجاعی، مدول ارتجاعی و مدول خزشی

در این مطالعه نتایج کرنش تجمعی و مدول خزشی به صورت نموداری ارائه شده و سایر نتایج در پیوست شماره ۱ به صورت کامل آورده شده اند.

با توجه به اینکه تعداد سیکل بارگذاری در آزمایش خزش دینامیکی ۱۸۰۰ سیکل می‌باشد، لذا خروجی‌هایی که از این آزمایش حاصل می‌شود بسیار زیاد بوده و امکان نمایش این اعداد در جدول میسر نمی باشد و لذا نتایج به صورت نموداری نشان داده شده‌اند.

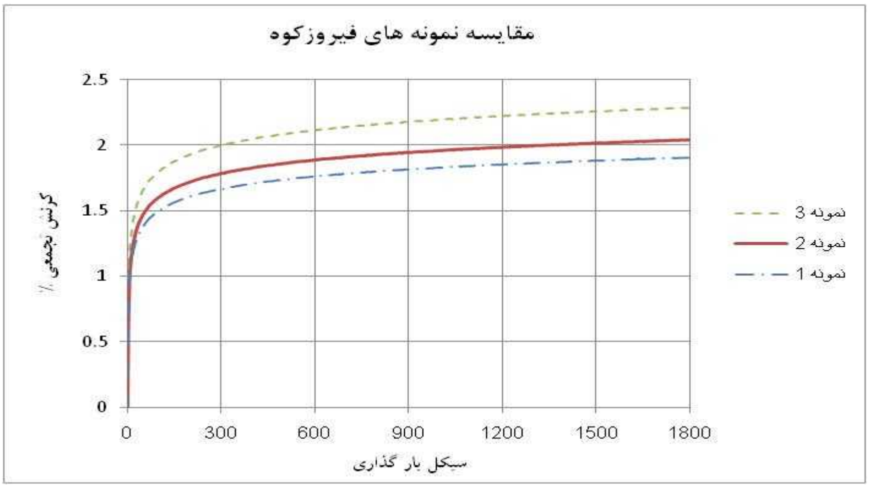
۲-۱۴-۱- آزمایش خزش دینامیکی بر روی نمونه فیروزکوه

نتایج آزمایش خزش بر روی سه نمونه معدن فیروزکوه به صورت نمودارهای کرنش تجمعی بر حسب تعداد سیکل بارگذاری ارائه شده اند. نتایج نهایی کرنش تجمعی سه نمونه فیروزکوه در دمای ۴۰ درجه سانتی گراد به صورت نموداری در شکل (۲-۳۵) ارائه شده است.



شکل ۲- ۳۵- کرنش تجمعی در مقابل تعداد سیکل بارگذاری برای نمونه‌های فیروزکوه در دمای ۴۰ °C

نتایج نموداری کرنش تجمعی نمونه‌های معدن فیروزکوه در شکل (۲-۳۶) ارائه شده است.

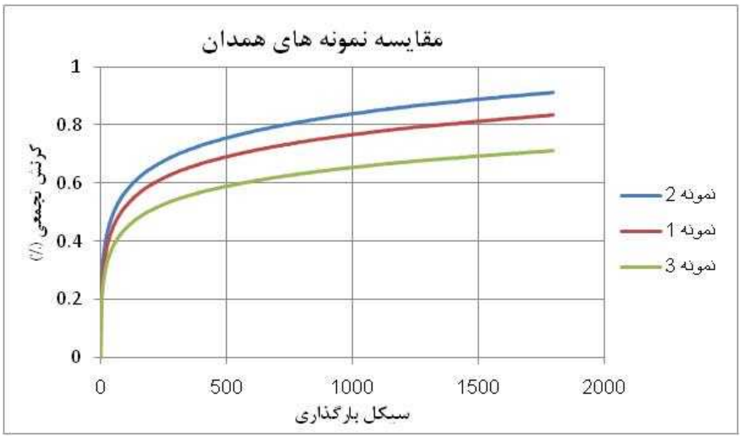


شکل ۲- ۳۶- کرنش تجمعی در مقابل تعداد سیکل بارگذاری برای نمونه‌های فیروزکوه در دمای ۵۰ °C

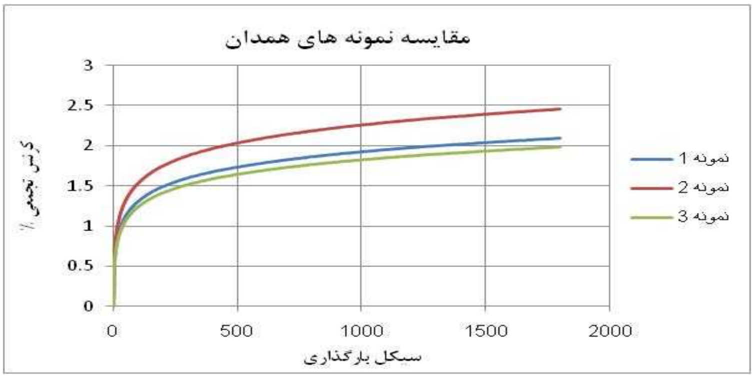
۲-۱۴-۲ - آزمایش خزش دینامیکی نمونه‌های همدان

در ابتدا نمودارهای کرنش تجمعی بر حسب تعداد سیکل بارگذاری و سپس جداول مدول خزشی بر حسب ۱۸۰۰ سیکل بارگذاری ارائه شده اند نمودار نتایج کامل در شکل (۲-۳۷) ارائه شده است.

نتایج نهایی کرنش تجمعی سه نمونه همدان در دمای ۵۰ درجه سانتی گراد در شکل (۲-۳۸) ارائه شده است.



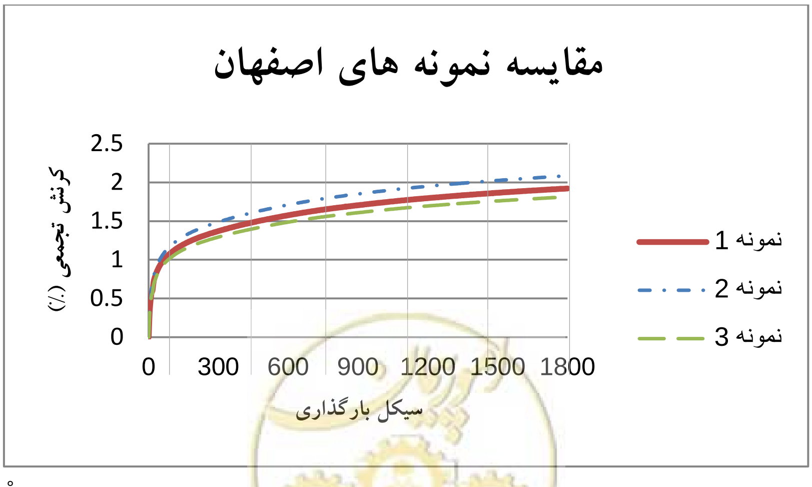
شکل ۲- ۳۷- کرنش تجمعی در مقابل تعداد سیکل بارگذاری برای نمونه‌های همدان در دمای ۴۰ °C



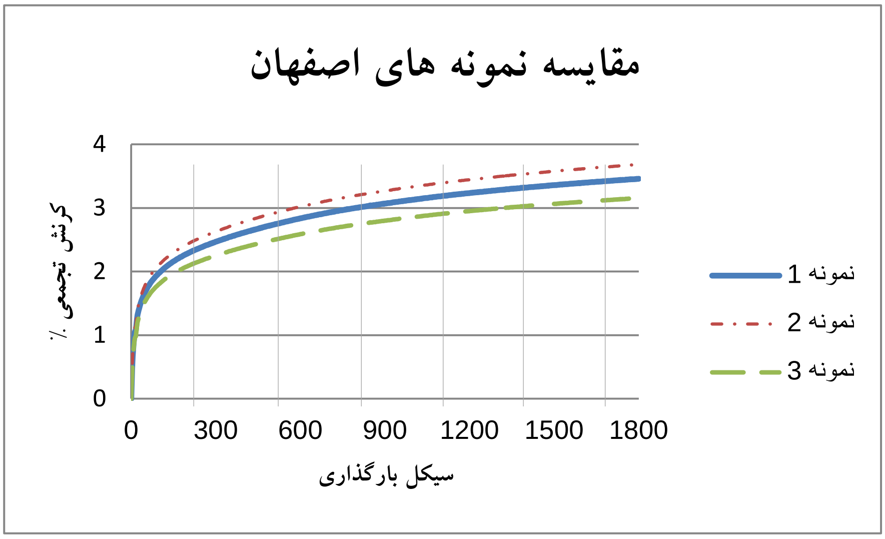
شکل ۲- ۳۸- کرنش تجمعی در مقابل تعداد سیکل بارگذاری برای نمونه‌های همدان در دمای ۵۰ °C

۲-۱۴-۳- آزمایش خزش دینامیکی نمونه‌های اصفهان

نتایج آزمایش خزش بر روی سه نمونه معدن اصفهان در ادامه ارائه شده اند. نتایج کامل کرنش تجمعی بر حسب تعداد سیکل بارگذاری شکل (۲-۳۹) و (۲-۴۰) ارائه شده اند.



شکل ۲- ۳۹- کرنش تجمعی در مقابل تعداد سیکل بارگذاری برای نمونه‌های اصفهان در دمای ۴۰ °C



شکل ۲- ۴۰- کرنش تجمعی در مقابل تعداد سیکل بارگذاری برای نمونه‌های اصفهان در دمای ۵۰ °C

۲-۱۵- نتایج تجزیه و تحلیل آزمایش شیارافتادگی

خلاصه‌ای از نتایج و پارامترهای مربوط به نتایج نمونه‌ها در جدول (۲-۱۳) آورده شده اند.

جدول ۲- ۱۳- مشخصات حجمی و نتایج شیارافتادگی نمونه‌های آسفالتی مختلف

	نمونه	پارامترهای مورد نیاز برای تحلیل در درصد قیر بهینه					
		قیر مخلوط (٪)	فضای خالی (٪)	G_{mb} (g/cm^3)	G_{mm} (g/cm^3)	تراکم (٪) *	عمق شیار (mm)
	فیروزکوه	۴	۴/۹۹	۲/۴۲۰	۲/۵۴۲	۹۶	۲/۱۴
	همدان	۴/۰۷۵	۴/۴۵۴	۲/۳۹۹	۲/۵۰۲	۹۴	۲/۳۷۳
	اصفهان	۴/۳	۳/۹۱۶	۲/۳۹۹	۲/۵۳۲	۹۰	۴/۵۴۱

* تراکم نمونه‌ها از رابطه زیر به دست می‌آید :

درصد تراکم $=100\times\left(\frac{G_{mb}}{G_{mm}}\right)$ (۲-۶)

نتایج آزمایش‌های برشی که بر روی نمونه‌های آسفالتی توسط Sousa و Solaimanian برای سیکل برشی مورد نیاز جهت رسیدن به بالاترین سطح کرنش برشی تخمین زده شد و با استفاده از این موضوع عمق شیار نمونه‌ها با یکدیگر مورد مقایسه قرار گرفتند. برای این منظور از جهت تعیین بار هم ارز[29] استفاده شد، در این تحقیقات که از نظر علمی مورد نقد و پذیرش عام قرار گرفته است ارتباط بین تعداد بار محوری استاندارد با تعداد سیکل‌های بارگذاری در آزمایش شیارافتادگی بر حسب رابطه مذکور برقرار گردیده است [۳۱] :

$$\log(\text{Cycles}) = -4.36 + 1.241\log(\text{ESAL}) \qquad (۲-۷)$$

---

[29] Equivalent Single Axel Loads (ESAL)

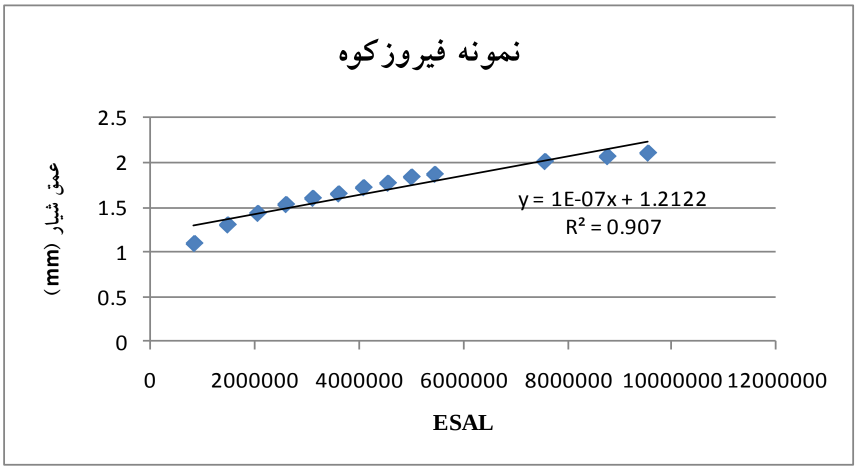
آزمایش شیارافتادگی که در این پروژه تحقیقاتی انجام شد مطابق با آئین نامه AASHTO T-324 بود که نمونه‌ها تحت بار چرخ ۷۰۵ نیوتن و سرعت حرکت رفت و برگشتی ۵۰ عبور در دقیقه، تحت ۲۰۰۰۰ عبور چرخ بارگذاری (۱۰۰۰۰ رفت و برگشت) قرار گرفتند. بار تک محوره هم ارز مجاز برای تعداد سیکل‌های مختلف بر حسب نتایج آزمایش در جدول (۲-۱۴) آورده شده است.

جدول ۲- ۱۴- مقایسه عمق شیار نمونه‌ها در بارگذاری‌های مختلف

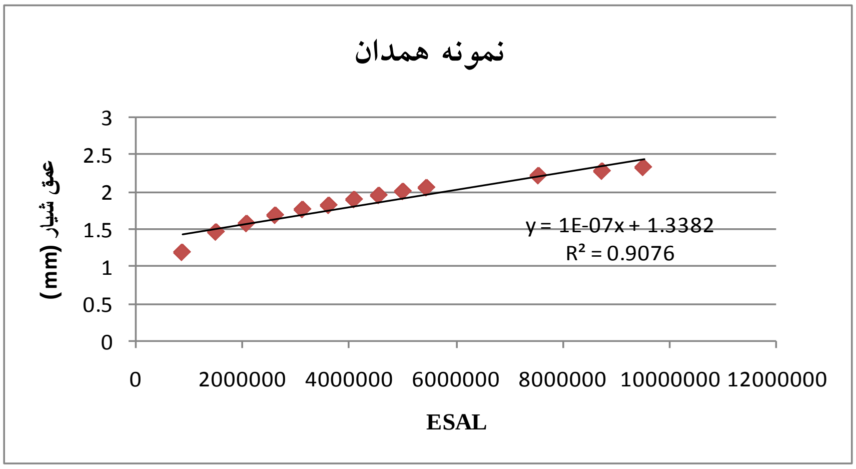
تعداد سیکل	ESAL	عمق شیار		
		نمونه فیروزکوه	نمونه همدان	نمونه اصفهان
۱۰۰۰	۸۵۲۵۱۳	۱/۰۹	۱/۱۹	۲/۲۸
۲۰۰۰	۱۴۹۰۲۹۲	۱/۳	۱/۴۶	۲/۷۳
۳۰۰۰	۲۰۶۶۱۷۰	۱/۴۳	۱/۵۷۳	۳
۴۰۰۰	۲۶۰۵۲۰۵	۱/۵۳	۱/۶۸۳	۳/۲۱
۵۰۰۰	۳۱۱۸۴۰۳	۱/۶	۱/۷۶	۳/۳۶
۶۰۰۰	۳۶۱۱۹۰۸	۱/۶۵	۱/۸۱۵	۳/۴۶
۷۰۰۰	۴۰۸۹۶۱۶	۱/۷۲	۱/۸۹۲	۳/۶۱۲
۸۰۰۰	۴۵۵۴۲۰۴	۱/۷۷	۱/۹۴	۳/۷۱
۹۰۰۰	۵۰۰۷۶۱۹	۱/۸۴	۲	۳/۸۲
۱۰۰۰۰	۵۴۵۱۳۳۴	۱/۸۷	۲/۰۵	۳/۹۲
۱۵۰۰۰	۷۵۵۷۸۳۶	۲/۰۱۵	۲/۲۱	۴/۲۳
۱۸۰۰۰	۸۷۵۳۹۰۵	۲/۰۷	۲/۲۷	۴/۳۴
۲۰۰۰۰	۹۵۲۹۵۷۰	۲/۱۱	۲/۳۲	۴/۴۳

همانطور که از این جدول مشخص است بعد از ۲۰۰۰۰ سیکل بارگذاری مقدار ESAL تقریبا برابر با ۱۰۰۰۰۰۰۰ می‌باشد. در نمونه‌های فیروزکوه و همدان تقریباً عمق شیار برابر با ۲ میلی متر و در نمونه اصفهان برابر با ۴ میلی متر می‌باشد. برازش نمونه‌ها در شکلهای (۲-۴۱) تا (۲-۴۳) آورده شده است.

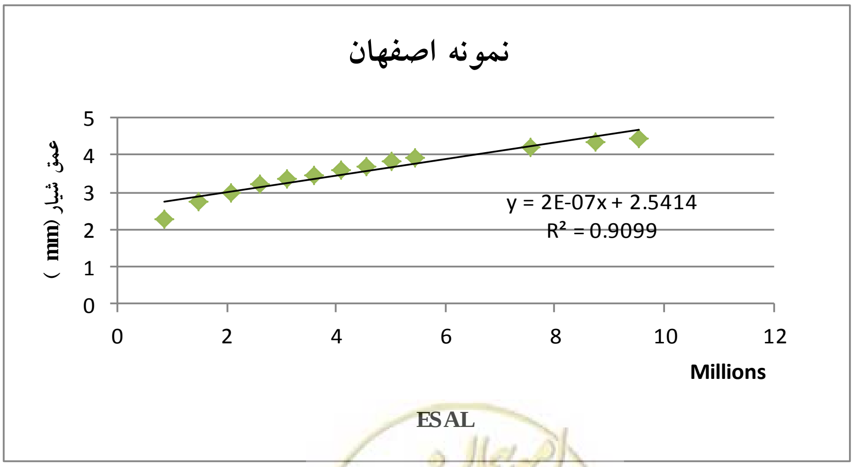
امور پیمان
omoorepeyman.ir



شکل ۲- ۴۱- رابطه عمق شیار با ESAL در نمونه فیروزکوه



شکل ۲- ۴۲- رابطه عمق شیار با ESAL در نمونه همدان



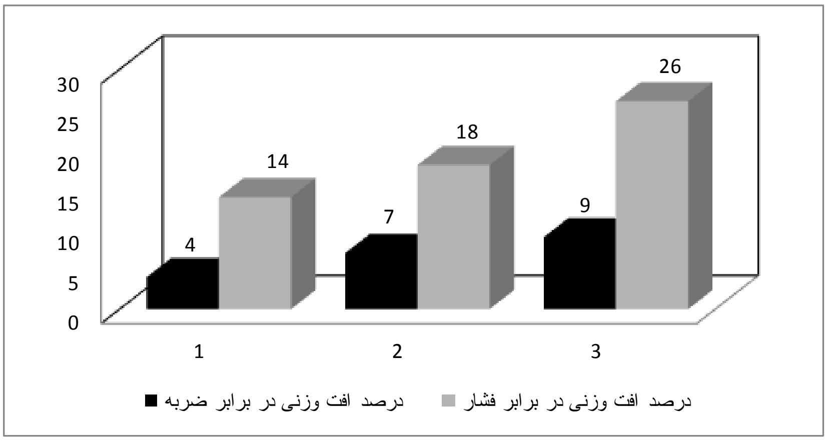
شکل ۲- ۴۳- رابطه عمق شیار با ESAL در نمونه اصفهان

* در شکل بالا اعداد محور افقی برحسب میلیون می‌باشد.

همانطور که در نمودارهای فوق مشاهده می‌شود در هر سه نمودار عددی برای عرض از مبدا به دست آمده است، این عدد بیانگر عددی است که در این حالت شیب منحنی تغییر می‌کند و شیب نمودار به صورت تقریباً یکنواخت ادامه می‌یابد، که در نمونه فیروزکوه این عدد از عدد نمونه‌های دیگر کمتر است.

با توجه به نمودارهای فوق مشاهده می‌شود که به ازای ۱۰۰۰۰۰۰۰ بار هم ارز تک محوری عمق شیار نمونه اصفهان ۲ برابر نمونه‌های دیگر است.

دلیل این امر را می‌توان در شکلهای (۲-۴۴) و (۲-۴۵) دنبال کرد، گرچه نمونه درشت دانه اصفهان نسبت به دو نمونه دیگر دارای عمق شیارافتادگی بیشتری می‌باشد، اما نسبت به نمونه مخلوط‌های آسفالتی متداول همین نمونه‌ها دارای عمق شیار کمتری هستند. درصد افت وزنی در برابر فشار و ضربه پارامترهایی هستند که از آزمایشات مرغوبیت مصالح سنگی به دست می‌آیند، این پارامترها برای این تحقیق، در گزارش شماره دوم (مرحله اول) در جداول مربوطه آورده شده‌اند.

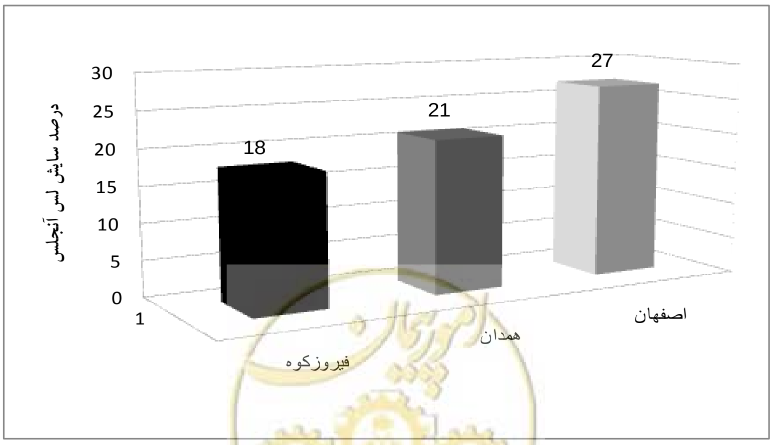


شکل ۲- ۴۴- مقایسه نمونه‌ها از نظر درصد افت وزنی در برابر ضربه و فشار

در شکل (۲-۴۴) ، شماره نمونه‌ها در محور افقی به ترتیب زیر می‌باشد (این ترتیب برای کل نمودارهای این فصل صدق می‌کند) :

۱- فیروزکوه ۲- همدان ۳- اصفهان

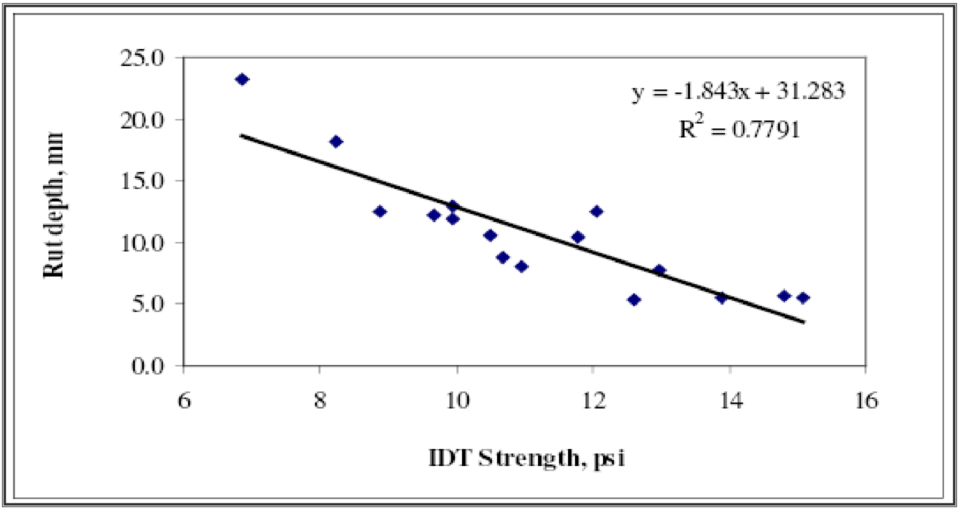
در شکل (۲-۴۵) نیز نمونه‌ها از نظر درصد سایش لس آنجلس مورد بررسی و مقایسه قرار گرفته اند.



شکل ۲- ۴۵- مقایسه نمونه‌ها از نظر درصد سایش در آزمایش لس آنجلس

۲-۱۶- تجزیه و تحلیل آزمایش کشش غیر مستقیم

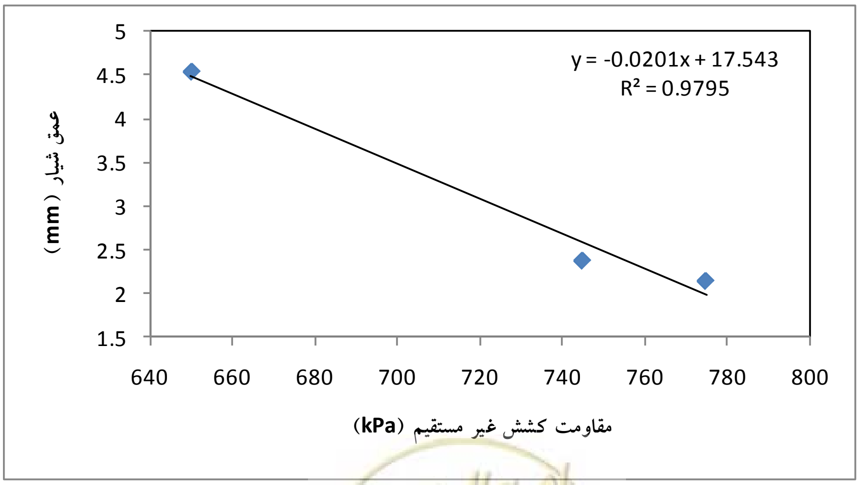
هدف از انجام این آزمایش تعیین مقاومت کششی مخلوط‌های آسفالتی است. مقاومت کششی یک خصوصیت مهندسی اساسی هر نوع مصالح است. بر اساس مطالعات صورت گرفته توسط محققین در مورد ارتباط بین پتانسیل شیارشدگی و آزمایش کشش غیرمستقیم مخرب که حاصل آن تنش کششی در صفحه قطری نمونه است، مشخص شد که با افزایش استقامت کششی، پتانسیل شیارشدگی کاهش می‌یابد شکل(۲-۴۶).



شکل ۲- ۴۶- نتایج مطالعات صورت گرفته در دانشگاه ویرجینیای غربی و ارتباط استقامت IDT و عمق شیار[۱۵]

آزمایش کشش غیرمستقیم صورت‌گرفته با فک دستگاه استقامت مارشال و با تجهیزات آزمایش کشش غیر مستقیم صورت گرفته و نتایج حاصل از آن بر اساس رابطه بین مقاومت فشاری نمونه تحت شرایط اعمال بار دستگاه می‌باشد.

نمونه‌ای از آن به صورت شکل (۲-۴۷) برای سه نمونه مربوط به فیروزکوه، همدان و اصفهان (با درصد قیر بهینه) نشان داده شده است.



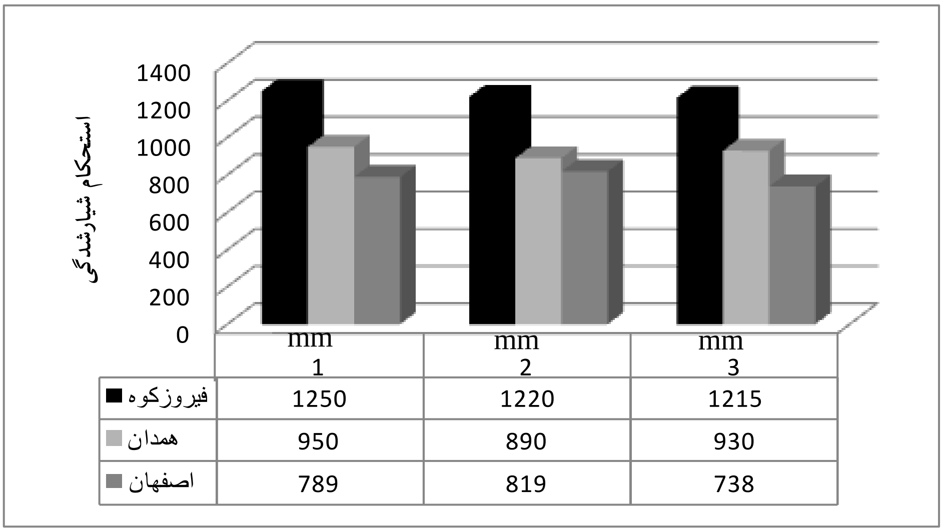
شکل ۲- ۴۷- رابطه استقامت ITS و عمق شیار برای نمونه‌های مورد مطالعه در این تحقیق

همانطور که در نمودار مشاهده می‌شود با افزایش مقاومت کششی نمونه‌ها پتانسیل شیارشدگی کاهش می‌یابد.

۲-۱۷- تجزیه و تحلیل آزمایش خزش دینامیکی

نتایج حاصل از این آزمایش به منظور ارزیابی استحکام شیارشدگی انواع مخلوط‌های آسفالتی به صورت نمودار میله‌ای (۲-۴۸) مورد بررسی قرار گرفته است. همانطور که پیشتر نیز آورده شد از نتایج این آزمایش نمی‌توان برای تعیین میزان عمق شیار استفاده کرد و دلیل آن نیز وضعیت محصورنشده نمونه تحت بارگذاری است که نمی‌تواند بیانگر رفتار واقعی مخلوط آسفالتی در شرایط واقعی جاده و اعمال بار چرخ باشد؛ ولیکن با توجه به منحنی سیکل بارگذاری- کرنش تجمعی حاصله از این آزمایش و با بررسی سه ناحیه رفتاری توضیح داده‌شده، جهت مقایسه استحکام شیارشدگی بین مخلوط‌های مختلف، قابل استناد و استفاده است. نمودار (۲-۴۸) مقایسه بین انواع مخلوط‌های ساخته شده با درصد قیر بهینه ۶۰/۷۰ را نشان می‌دهد که این مقایسه بر اساس مقدار عدد روانی[۳۰] هریک از نمونه‌ها (اعداد داخل جدول) و بر اساس استدلال ویتزاک[۳۱] گرفته است[۱۶].

نظریه ویتزاک بر این مفهوم استوار است که عدد روانی هر مخلوط به معنی تعداد سیکل‌های بارگذاری است که بعد از این تعداد، مخلوط وارد ناحیه تسلیم شیارشدگی شده است و به ازای اعمال بار، تغییرشکل‌های دائم و تجمعی زیادی را از خود نشان می‌دهد.



	mm 1	mm 2	mm 3
■ فیروزکوه	1250	1220	1215
■ همدان	950	890	930
■ اصفهان	789	819	738

شکل ۲- ۴۸- مقایسه استحکام شیارشدگی مخلوط‌های فیروزکوه، همدان و اصفهان

همانطور که در شکل مشاهده می‌شود مخلوط فیروزکوه با دانه‌بندی درشت دانه مطابق با آیین‌نامه انیستیتو آسفالت، بیشترین استحکام شیارشدگی را در بین انواع مخلوط‌های ساخته‌شده با نمونه‌های دیگر دارد و این بدین مفهوم است که این مخلوط بیشترین تعداد سیکل بارگذاری را تا رسیدن به ناحیه تسلیم شیارشدگی یا ناحیه ثالث[۳۲] تحمل می‌کند. در این میان حدس اولیه بیشترین استحکام مربوط به دانه‌بندی‌های درشت‌دانه نسبت به دانه‌بندی‌های متداول درست است که در ادامه استحکام هر دو مخلوط با یکدیگر مقایسه شده است.

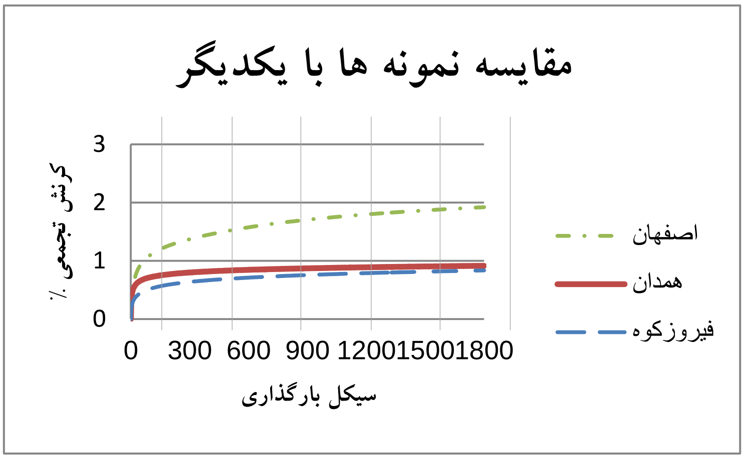
---

[30] Flow number
[31] Witckzak
[32] Tertiary Zone

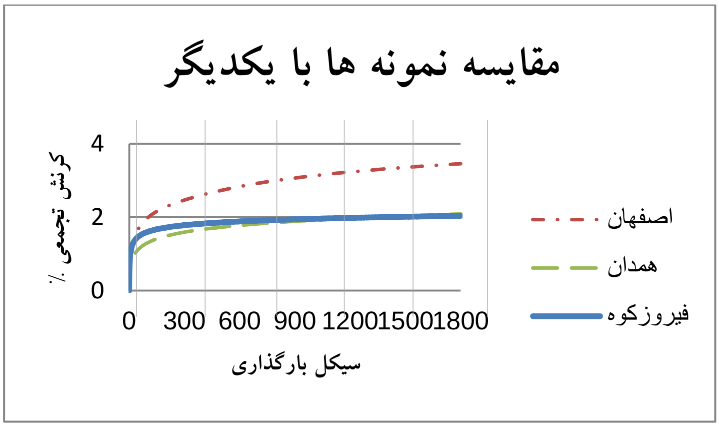
با توجه به اینکه قیری که برای هر سه نمونه استفاده شد از یک کارخانه انتخاب شده بود و تفاوت نمونه اصفهان با سایر نمونه‌ها، می‌توان به این نتیجه رسید که برای بالابردن استحکام نمونه‌ها و بحث اتصال سنگدانه ای[۳۳] می‌توان از یک افزودنی به قیر استفاده نمود.

علت این امر این‌گونه حدس زده می‌شود که قیری که به عنوان چسباننده سنگدانه عمل می‌کند، مقاومت کافی برای بی‌حرکت نگه داشتن سنگدانه‌های درشت را ندارد. با توجه به بحث اتصال سنگدانه‌ای که در مورد سنگدانه‌های درشت مطرح می‌شود، ظاهراً قیر مصرفی قادر به نگه داشتن این اتصال بین سنگدانه نمی‌باشد، لذا باید از افزودنی‌های قیر به منظور افزایش تاب چسبندگی قیراستفاده شود تا از ظرفیت اتصال سنگدانه‌ای به طور کامل استفاده شود.

در شکل (۲-۴۹) و (۲-۵۰) هر سه نمونه از نظر درصد کرنش تجمعی در دمای ۴۰ و ۵۰ درجه سانتی گراد با یکدیگر مقایسه شده اند.



شکل ۲- ۴۹- مقایسه نمونه‌های هر سه معدن با یکدیگر از نظر کرنش تجمعی در دمای ۴۰ °C



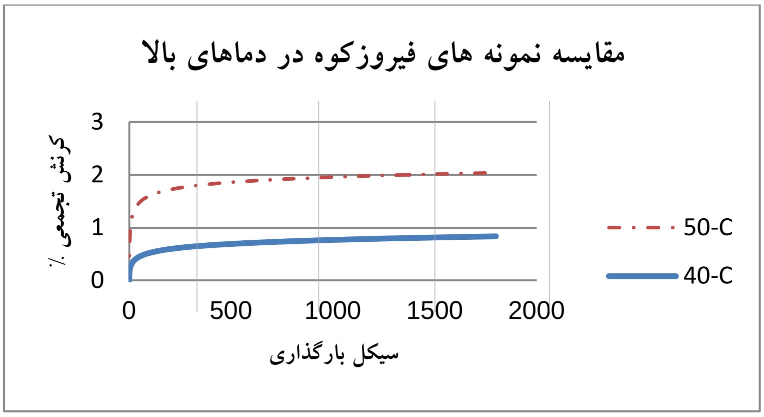
شکل ۲- ۵۰- مقایسه نمونه‌های هر سه معدن با یکدیگر از نظر کرنش تجمعی در دمای ۵۰ °C

با توجه به شکلهای (۲-۴۹) و (۲-۵۰) ، نمونه اصفهان دارای بیشترین تغییرشکل دائم می‌باشد که این امر نیز به دلیل مرغوبیت و جنس مصالح می‌باشد که مصالح اصفهان نسبت به دو نوع مصالح دیگر از مرغوبیت کمتری برخوردار است که این مساله در قبل مورد بررسی قرار گرفته است.

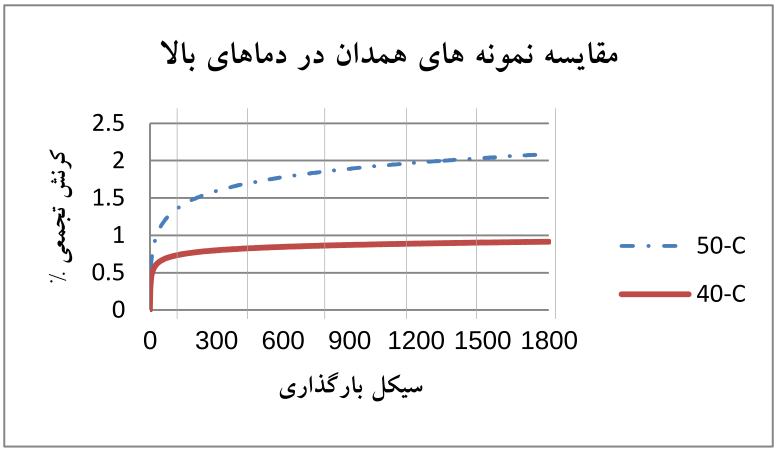
شکل‌های (۲-۵۱) تا (۲-۵۳) رابطه دما را بر کرنش هر سه نمونه نشان می‌دهد.

---

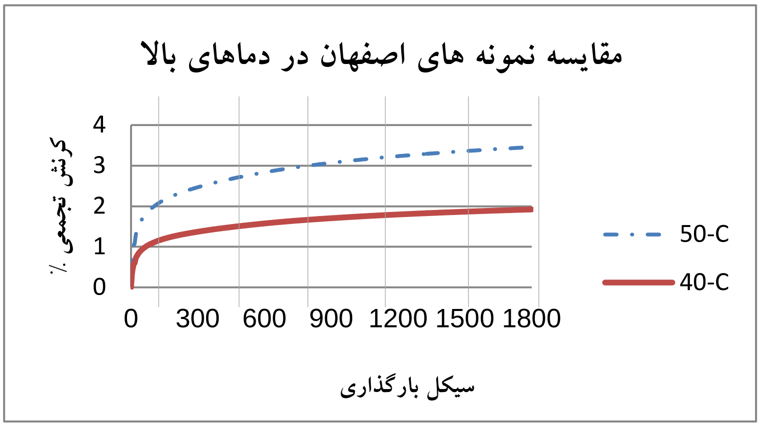
33 - Stone On Stone



شکل ۲- ۵۱- مقایسه سیکل بارگذاری با کرنش تجمعی نمونه‌های فیروزکوه در دماهای ۴۰ °C و ۵۰ °C



شکل ۲- ۵۲- مقایسه سیکل بارگذاری با کرنش تجمعی نمونه‌های همدان در دماهای ۴۰ °C و ۵۰ °C



شکل ۲- ۵۳- مقایسه سیکل بارگذاری با کرنش تجمعی نمونه‌های اصفهان در دماهای ۴۰ °C و ۵۰ °C

همانطور که از نمودارهای بالا مشخص است، با افزایش دما به میزان ۱۰ درجه سانتی گراد میزان کرنش تجمعی نمونه‌ها به میزان تقریبی ۲ برابر افزایش می‌یابد، و این بدان علت است که با افزایش خاصیت انعطاف پذیری نمونه افزایش می‌یابد و تغییرشکل نمونه بیشتر می‌شود.

تغییر شکل نمونه‌ها تا سیکل تقریبی ۳۰۰ به طور چشم‌گیری افزایش می‌یابد که در این حالت منحنی در ناحیه ابتدایی می‌باشد و همانطور که در فصل چهارم توضیح داده شد در این ناحیه تغییر شکل‌های دائم سریعاً روی هم انباشته

می‌شوند. اما در ناحیه ثانویه که از سیکل ۳۰۰ تا سیکل ۱۸۰۰ همچنان ادامه می‌یابد و ممکن است تا سیکل‌های بیشتری نیز ادامه یابد تغییر شکل‌های دائم برای این نمونه‌ها کاهش می‌یابد تا به یک مقدار ثابت برسد، اما با توجه به اینکه نمونه‌های درشت دانه مورد مطالعه در این تحقیق از استحکام بالایی برخوردارند در این سیکل بارگذاری وارد ناحیه ثالث نشده اند و شیب تغییر شکل دائم مجدداً افزایش نیافته است.

۲-۱۸- مقایسه نتایج طرح اختلاط مخلوط‌های متداول و مخلوط‌های آسفالت درشت دانه

پس از انجام آزمایشات و به دست آمدن نتایج آزمایشات شیارافتادگی، خستگی و خزش دینامیکی برای هر سه نوع مصالح سنگی مناطق فیروزکوه، همدان و اصفهان لازم است مقایسه‌ای عملکردی و کیفیتی مابین نتایج آزمایشات انجام شده آسفالت درشت دانه و آزمایشات آسفالت متداول همین معادن انجام شود تا مزایای استفاده از مصالح سنگی درشت دانه در مخلوط‌های آسفالتی بهتر مورد شناسایی قرار گیرد.

به منظور بررسی عملکردی و کیفیتی مخلوط‌های آسفالتی درشت دانه لازم است که آزمایش‌هایی نیز بر روی مخلوط‌های متداول برای این سه نوع مصالح انجام شود تا بتوان نتایج آن‌ها را با نتایج آزمایش‌های مخلوط‌های آسفالتی درشت دانه مقایسه نمود و میزان تاثیر استفاده از مصالح سنگی درشت دانه در مخلوط‌های آسفالتی را بررسی و مشخص نمود. در ادامه نتایج آزمایش‌های مخلوط‌های آسفالتی متداول با استفاده از سه نوع مصالح سنگی مناطق فیروزکوه، همدان و اصفهان ارائه شده است.

الف) نتایج آزمایش‌های مخلوط آسفالتی متداول در منطقه فیروزکوه

نتایج آزمایش‌های ارائه شده برای مخلوط‌های آسفالتی متداول منطقه فیروزکوه از گزارش شماره ۰۰/۰۲/۰۴۵ تحت عنوان « پروژه طرح آسفالت محور رودهن – فیروزکوه » شرکت سهامی آزمایشگاه فنی و مکانیک خاک استان تهران گرفته شده است. این نتایج مربوط به آزمایشات بر روی قشر بیندر محور ذکر شده می‌باشد. جدول (۲-۱۵) نتایج نهایی انجام آزمایشات شیارافتادگی، خستگی کشش غیر مستقیم و خزش دینامیکی با استفاده از مصالح سنگی که در این مطالعه از منطقه فیروزکوه آورده شده است را نشان می‌دهد.

جدول ۲- ۱۵- نتایج آزمایشات مخلوط متداول مصالح سنگی فیروزکوه در مقایسه با مخلوط درشت دانه

مشخصات و نوع آزمایش	مخلوط متداول	مخلوط درشت دانه
درصد قیر بهینه	۴	۴
درصد فضای خالی (V_a)	۴/۲	۴/۹۹
عمق شیارافتادگی در ۱۰۰۰۰ سیکل بارگذاری (mm)	۴/۷۳	۲/۱۴
عدد گسیختگی در آزمایش خستگی کشش غیر مستقیم	۱۱۶۵	۱۴۵۷
درصد کرنش تجمعی در ۱۸۰۰ سیکل بارگذاری	۱/۲۳	۰/۸۱۹
مدول خزشی (MPa)	۱۰/۷۳۲	۱۲/۲۸۲
مقاومت کشش غیر مستقیم (kPa)	۶۲۰	۷۴۵
مدول الاستیسیته (MPa)	۴۱۵۰	۵۰۷۵

ب) نتایج آزمایش‌های مخلوط آسفالتی متداول در منطقه همدان

نتایج آزمایش‌های ارائه شده برای مخلوط‌های آسفالتی متداول منطقه همدان از گزارش شماره ۱۶/۳۲۹۹ تحت عنوان "پروژه طرح اختلاط آسفالت محور ساوه– همدان" شرکت سهامی آزمایشگاه فنی و مکانیک خاک وزارت راه وترابری گرفته شده است. این نتایج مربوط به آزمایش‌های قشر بیندر محور ذکر شده می‌باشد. جدول (۲-۱۶) نتایج نهایی انجام آزمایشات شیارافتادگی، خستگی کشش غیر مستقیم و خزش دینامیکی با استفاده از مصالح سنگی که در این مطالعه از منطقه همدان آورده شده است را نشان می‌دهد.

جدول ۲- ۱۶- نتایج آزمایشات مخلوط متداول مصالح سنگی همدان در مقایسه با مخلوط درشت دانه

مشخصات و نوع آزمایش	مخلوط متداول	مخلوط درشت دانه
درصد قیر بهینه	۴/۲	۴/۰۷۵
درصد فضای خالی (V_a)	۳/۸	۴/۴۵۴
عمق شیارافتادگی در ۱۰۰۰۰ سیکل بارگذاری (mm)	۴/۸	۲/۳۷۳
عدد گسیختگی در آزمایش خستگی کشش غیر مستقیم	۱۰۳۸	۱۲۹۲
درصد کرنش تجمعی در ۱۸۰۰ سیکل بارگذاری	۱/۳۸۵	۰/۹۲۹
مدول خزشی (MPa)	۸/۳۱۵	۹/۲۶۳
مقاومت کشش غیر مستقیم (kPa)	۶۴۰	۷۷۵
مدول الاستیسیته (MPa)	۴۰۱۰	۴۹۸۰

ج) نتایج آزمایش‌های مخلوط آسفالتی متداول در منطقه اصفهان

نتایج آزمایش‌های ارائه شده برای مخلوط‌های آسفالتی متداول منطقه اصفهان از گزارش شماره ۱۵۶۲ تحت عنوان "پروژه طرح اختلاط آسفالت محور خمینی شهر– نجف آباد" شرکت سهامی آزمایشگاه فنی و مکانیک خاک - استان اصفهان گرفته شده است. این نتایج مربوط به آزمایش‌های قشر بیندر محور ذکر شده می‌باشد. جدول (۲-۱۷) نتایج نهایی انجام آزمایشات شیارافتادگی، خستگی کشش غیر مستقیم و خزش دینامیکی با استفاده از مصالح سنگی که در این مطالعه از منطقه اصفهان آورده شده است را نشان می‌دهد.

جدول ۲- ۱۷- نتایج آزمایشات مخلوط متداول مصالح سنگی اصفهان در مقایسه با مخلوط درشت دانه

مشخصات و نوع آزمایش	مخلوط متداول	مخلوط درشت دانه
درصد قیر بهینه	۴/۴۵	۴/۳
درصد فضای خالی (V_a)	۳/۵	۳/۹۱۶
عمق شیارافتادگی در ۱۰۰۰۰ سیکل بارگذاری (mm)	۶/۳	۴/۵۴۱
عدد گسیختگی در آزمایش خستگی کشش غیر مستقیم	۶۸۵	۷۸۲
درصد کرنش تجمعی در ۱۸۰۰ سیکل بارگذاری	۲/۲۸۵	۱/۹۴۲
مدول خزشی (MPa)	۶/۹۴	۷/۳۷۷
مقاومت کشش غیر مستقیم (kPa)	۵۶۵	۶۵۰
مدول الاستیسیته (MPa)	۳۸۹۰	۴۵۶۰

همانطور که از جدول (۲-۱۵) تا (۲-۱۷) مشخص است، میزان مقاومت کشش غیر مستقیم مخلوط‌های آسفالتی دانه هر سه منطقه نسبت به مخلوط‌های آسفالتی متداول به میزان تقریبی ۲۰ درصد افزایش یافته است و همچنین مدول الاستیسیته مصالح سنگی درشت دانه هر سه منطقه نسبت به مخلوط‌های آسفالتی متداول به میزان تقریبی ۲۰ درصد افزایش یافته است. که این موضوع نشان می‌دهد با بیشتر شدن اندازه سنگدانه میزان مدول الاستیسیته افزایش می‌یابد و نیز میزان مدول خزشی مخلوط‌های آسفالتی دانه هر سه منطقه نسبت به مخلوط‌های آسفالتی متداول به میزان تقریبی ۱۰ درصد افزایش یافته است.

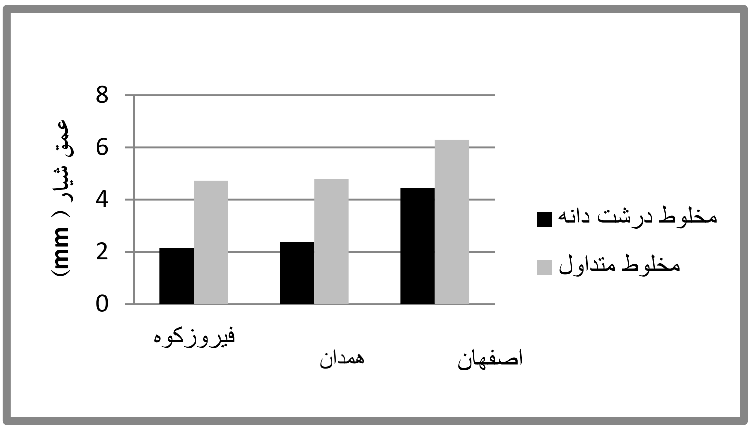
در جدول (۳-۶) دانه‌بندی مخلوط‌های آسفالتی متداول مورد استفاده هر سه معدن فیروزکوه، همدان و اصفهان و مخلوط‌های درشت دانه مورد استفاده در این مطالعه آورده شده است.

جدول ۲- ۱۸- دانه‌بندی مخلوط‌های آسفالتی متداول و درشت دانه

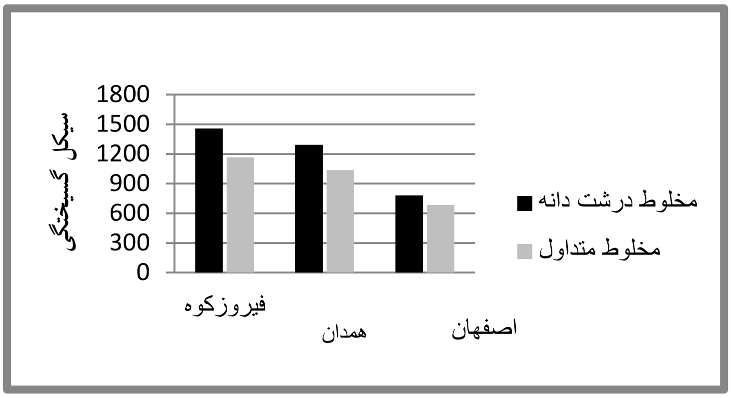
الک	درصد عبوری ٪			
	مخلوط درشت دانه ×	مخلوط متداول فیروزکوه	مخلوط متداول همدان	مخلوط متداول اصفهان
۵۰ میلیمتر	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰
۳۷/۵ میلیمتر	۹۳/۹	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰
۲۵ میلیمتر	۷۲/۴	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰
۱۹	۵۶/۹	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰
۱۲/۵	۴۶/۳	۹۵	۹۳	۹۰
۹/۵	۲۶/۵	۸۴	۸۶	۸۳
≠۴	۱۲/۳	۶۰	۶۵	۵۵
≠۸	۴/۱	۴۳	۴۲	۴۰
≠۳۰	۲/۸	-	۱۸	۲۰
≠۵۰	۲/۱۹	۱۳	۸	۶
≠۲۰۰	۱/۸۲	۵	۳	۴

× دانه‌بندی که برای مصالح درشت دانه در جدول (۲-۱۸) ارائه شده است، دانه‌بندی مورد مطالعه در این تحقیق می‌باشد، که برای هر سه معدن از این دانه‌بندی استفاده شده است.

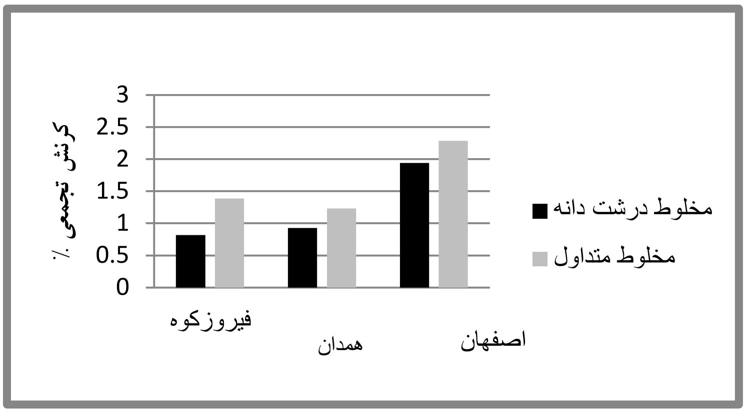
در ادامه برای مقایسه و نتیجه‌گیری بهتر از نتایج آزمایشات هر دو نمونه، نمودارهایی جهت مقایسه ارائه شده اند، که مقایسه نمونه‌ها در شکلهای (۲-۵۴) تا (۲-۶۲) آورده شده است.



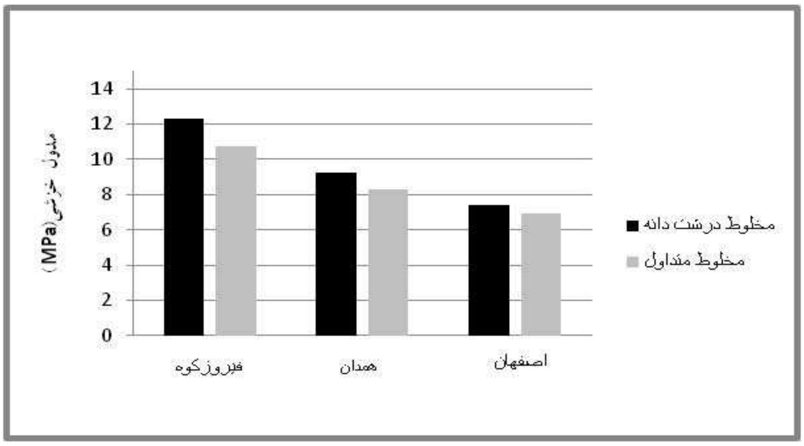
شکل ۲- ۵۴- مقایسه عمق شیارافتادگی برای دو نمونه متداول و درشت دانه



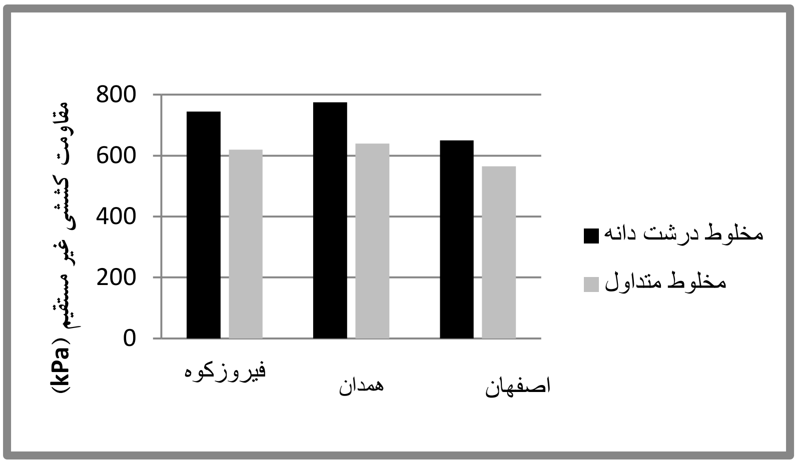
شکل ۲- ۵۵- مقایسه سیکل گسیختگی در آزمایش خستگی کشش غیر مستقیم برای دو نمونه متداول و درشت دانه



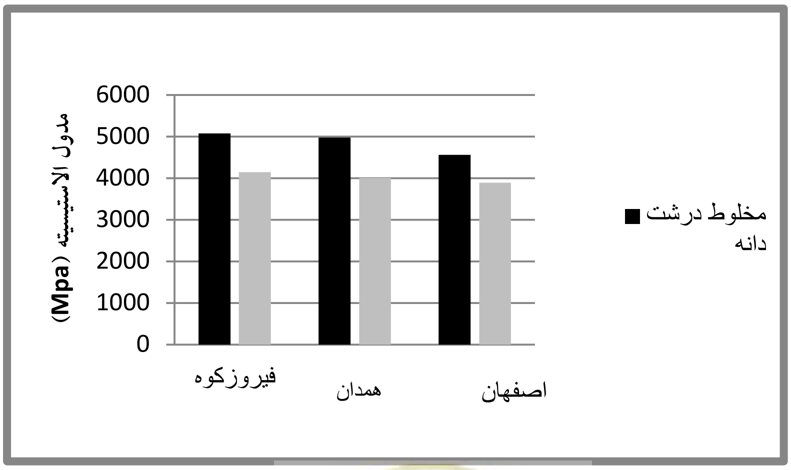
شکل ۲- ۵۶- مقایسه کرنش تجمعی در آزمایش خزش دینامیکی برای دو نمونه متداول و درشت دانه



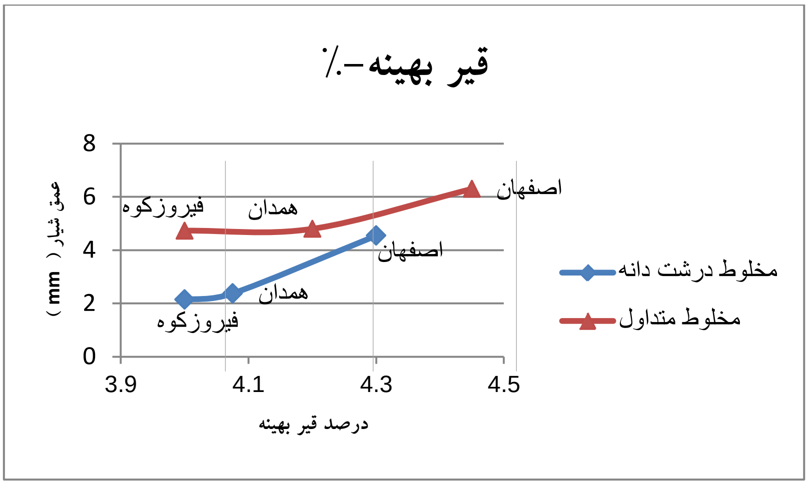
شکل ۲- ۵۷- مقایسه مدول خزشی در آزمایش خزش دینامیکی برای دو نمونه متداول و درشت دانه



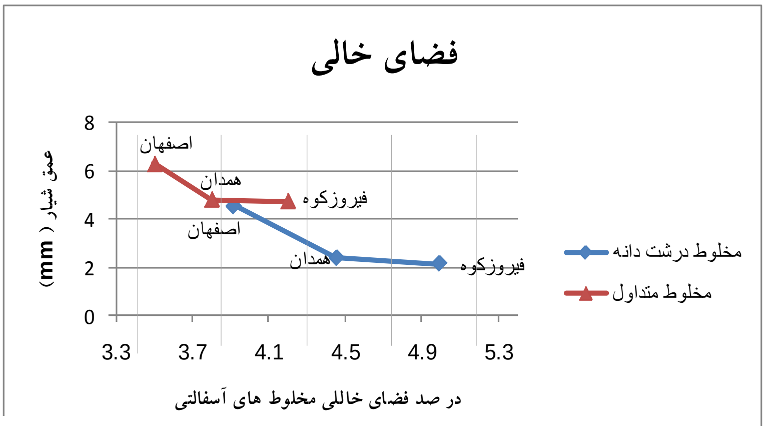
شکل ۲- ۵۸- مقایسه مقاومت کششی غیر مستقیم برای دو نمونه متداول و درشت دانه



شکل ۲- ۵۹- مقایسه مدول الاستیسیته برای دو نمونه متداول و درشت دانه

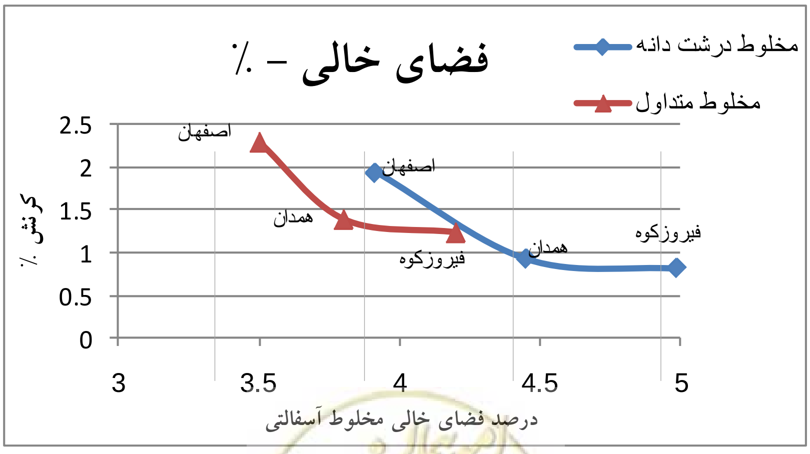


شکل ۲- ۶۰- رابطه عمق شیار و در صد قیر در مخلوط‌های درشت دانه و متداول



درصد فضای خالی مخلوط‌های آسفالتی

شکل ۲- ۶۱- رابطه عمق شیار و در صد فضای حالی در محلوط‌های درشت دانه و متداول



شکل ۲- ۶۲- رابطه کرنش تجمعی و در صد فضای خالی در مخلوط‌های درشت دانه و متداول

با توجه به نمودارهای فوق :

در مخلوط‌های درشت دانه میزان عمق شیار به میزان تقریبی ۵۰ درصد نسبت به مخلوط‌های متداول کاهش می‌یابد. علت این موضوع را می‌توان قدرت استحکام مصالح درشت دانه نسبت به مصالح متداول بیان نمود.

با کاهش درصد فضای خالی مخلوط‌های آسفالتی به میزان تقریبی ۱ درصد، مقدار شیارافتادگی مخلوط‌های آسفالتی با مصالح سنگی درشت دانه و متداول به مبزان ۲ برابر افزایش می‌یابد. این امر را می‌توان اینگونه توجیه کرد که ، فضاهای خالی بین مصالح سنگی درشت دانه در مخلوط آسفالتی به طور مناسب، توسط مصالح ریزدانه و قیر پر می‌شود و مخلوط آسفالتی تقریباً همان اتصال سنگدانه‌ای مصالح درشت دانه در حالت تراکم خشک را دارد.

با افزایش درصد قیر بهینه میزان عمق شیار افزایش می‌یابد، دلیل آن این است که مخلوط آسفالتی روان تر شده و به میزان انعطاف پذیری نمونه افزوده می‌شود.

با افزایش درصد قیر، مقدار شیارافتادگی مخلوط‌های آسفالتی با مصالح سنگی درشت دانه افزایش می‌یابد علی رغم آنکه درصد تراکم افزایش می‌یابد.

با افزایش میزان تراکم مخلوط‌های آسفالتی درشت دانه میزان عدد روانی افزایش می‌یابد. این عدد برای نمونه‌های مصالح سنگی اصفهان کمترین و برای مصالح فیروزکوه بیشترین است.

۲-۱۹- نتیجه‌گیری

با توجه به بررسی‌های آزمایشگاهی و تجزیه و تحلیل‌های انجام شده در این تحقیق، می‌توان موارد زیر را به عنوان نتیجه‌گیری‌های نهایی مطرح نمود.

۱) در مقایسه با عملکرد سه مصالح متفاوت، مخلوط مربوط به معدن فیروزکوه دارای استحکام شیارشدگی بیشتری در مقایسه با مخلوط‌های همدان و اصفهان می‌باشد این استحکام شیارشدگی حاصل نتایج آزمایش‌های خط افتادگی با تعیین پارامترهای عدد روانی و عمق شیارشدگی نتیجه گردیده است، از بررسی نمودارها نتیجه گردید که مخلوط فیروزکوه، بیشترین تعداد سیکل بارگذاری را تا رسیدن به ناحیه تسلیم شیارشدگی یا ناحیه سوم[۳۴] تحمل می‌کند.

۲) رفتار هر سه مخلوط آسفالتی در اعمال بار سیکلیک و یا به عبارتی تغییر مکان دائم[۳۵] از سه مرحله تشکیل شده است؛ در مرحله اول، کرنش دائم به سرعت افزایش می‌یابد و با ادامه آزمایش، مقدار کرنش دائم به ازای هر سیکل بارگذاری رفته‌رفته کاهش می‌یابد و به یک مقدار ثابت می‌رسد که به عنوان شروع مرحله دوم تعریف شده است. در نهایت نیز مقدار کرنش دائم به ازای هر سیکل (شیب منحنی کرنش- سیکل بارگذاری) افزایش می‌یابد و مقدار کرنش تجمعی دائم با سرعت بیشتری افزایش می‌یابد. این افزایش، شروع مرحله سوم تغییر شکل را نشان می‌دهد که در مصالح فیروزکوه این مقدار در مقایسه با سایر نمونه‌ها دارای کمترین میزان تغییرشکل دائم و همچنین دارای بیشترین مقاومت در برابر شیارشدگی و تغییرات حاصل از آزمایش خستگی می‌باشد.

۳) مقدار شیارافتادگی مخلوط‌های آسفالتی هر سه معدن مورد مطالعه در این تحقیق با افزایش مقدار قیر افزایش می‌یابد.

34- Tertiary Zone
35- Permanent Deformation

۴) مخلوط‌های آسفالتی هر سه معدن مورد مطالعه در این تحقیق با مصالح سنگی درشت نسبت به مخلوط‌های متداول مقاومت بیشتری در برابر شیارافتادگی دارند. همچنین در این مخلوط‌ها با افزایش مقدار مصالح درشت، مقاومت در برابر شیارافتادگی افزایش می‌یابد.

۵) از بررسی‌های انجام شده نتیجه گردید که از نتایج آزمایش خزش دینامیکی نمی‌توان مستقیماً برای تعیین میزان عمق شیارشدگی استفاده کرد و دلیل آن نیز محصور نبودن نمونه تحت بارگذاری است که نمی‌تواند بیانگر رفتار واقعی مخلوط آسفالتی در شرایط جاده و اعمال بار چرخ باشد؛ ولیکن با توجه به منحنی سیکل بارگذاری- کرنش تجمعی حاصل از این آزمایش و با بررسی سه ناحیه رفتاری تشریح شده در گزارش، جهت مقایسه استحکام شیارشدگی بین مخلوط‌های مختلف، قابل استناد و استفاده است.

۶) با توجه به شرایط موجود در کشور و قیر مصرفی در اکثر پروژه‌های راهسازی، برای مناطق با ترانزیت سنگین عبوری زیاد و به ویژه مناطق گرمسیر توصیه می‌شود از دانه‌بندی درشت دانه برای طرح و اجرای لایه رویه آسفالتی استفاده شود که دارای اختلاف استحکام شیارشدگی قابل توجهی در قیاس با بقیه دانه‌بندی‌های پیشنهادی آیین‌نامه است.

۷) برای نمونه‌های ساخته‌شده با قیر ۶۰/۷۰، برای مناطق با ترافیک عبوری سنگین که باید مساله شیارشدگی را به عنوان یکی از پارامترهای طرح لحاظ کرد، می‌توان دانه‌بندی درشت دانه را در اولویت قرار داد.

۸) مقاومت شیارافتادگی مخلوط‌های آسفالتی با مصالح سنگی درشت به درصد قیر و درصد فضای خالی مخلوط آسفالتی وابستگی زیادی دارد و با شدت کمتری به نوع دانه‌بندی اینگونه از مخلوط‌های آسفالتی وابسته است.

امور پیمان
omoorepeyman.ir

فصل ۳

ساخت و اجرای آسفالت‌های درشت دانه

امور پیمان
omoorepeyman.ir

۳-۱- مقدمه

نحوه و کیفیت ساخت و اجرای لایه‌های روسازی در عملکرد دراز مدت روسازی‌ها بسیار مؤثراند. فاکتورهای اجرایی نظیر آماده‌سازی سطوح زیرین، مخلوطریزی و پخش آسفالت، ساخت درزها و عملیات تراکم نقش بسزایی در عملکرد روسازی‌ها ایفا می‌کنند و لذا به هیچ وجه نمی توان اثرات آنها را نادیده گرفت و یا بواسطه طرح اختلاط و طراحی سازه اثرات آن‌ها را جبران نمود. سایر فاکتورها نظیر کارخانه آسفالت، حمل مخلوط آسفالتی و روشهای کنترل کیفیت نیز بر عملکرد روسازی‌ها تاثیر مستقیم دارند.

در این بخش روش‌های تولید و اجرای مخلوط‌های آسفالتی درشت دانه و الزامات مربوط به آن‌ها مورد بحث و بررسی قرار گرفته است. ناگفته نماند که روش‌های تولید و اجرای مخلوط‌های آسفالتی درشت دانه بسیار شبیه مخلوط‌های آسفالتی با دانه‌بندی متداول است با این تفاوت که در ساخت مخلوط‌های آسفالتی درشت دانه الزاماتی بیشتر بایستی رعایت گردد.

۳-۲-کارخانه آسفالت

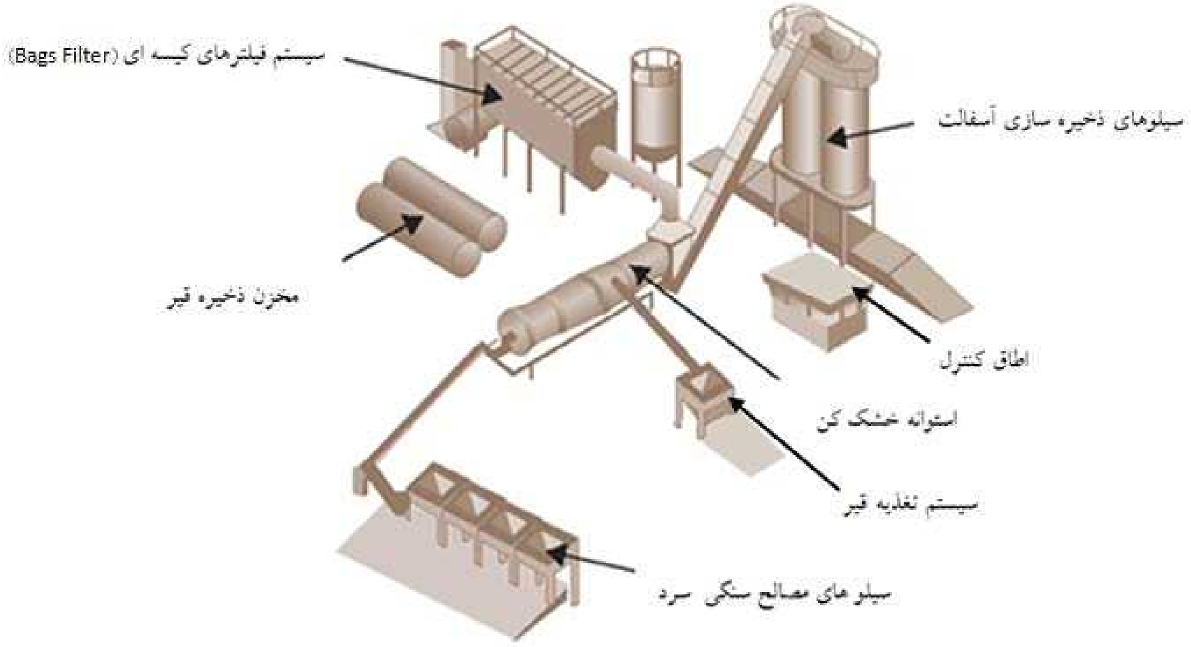
برای تولید مخلوط‌های آسفالتی درشت دانه، کارخانه‌های آسفالت متداول مورد استفاده برای تولید مخلوط‌های با دانه‌بندی‌های متداول اعم از کارخانه‌های آسفالت پیوسته یا منقطع که نمونه‌ای از آن‌ها در شکل ۳-۱ آورده شده است، مورد استفاده قرار می‌گیرند. در این کارخانه‌ها بایستی الزامات مندرج در استاندارد ASTM D995 به همراه پاره‌ای تغییرات که در ذیل بدان اشاره شده است تامین گردند:

برای تولید مخلوطهای حاوی مصالح درشت دانه (مصالح بزرگتر از یک اینچ) می‌بایست سیلوهای مناسب (اصطلاحاً سیلوهای سرد مناسب) علاوه بر سیلوهای مصالح متداول تعبیه گردند. تعداد آنها بستگی به دانه‌بندی منتخب داشته اما در هر صورت یک یا دو مخزن اضافی معمولاً کفایت دارد. این سیلوها نظیر دیگر سیلوهای سرد می‌بایست مجهز به سیستم تنظیم دریچه خروج باشند.

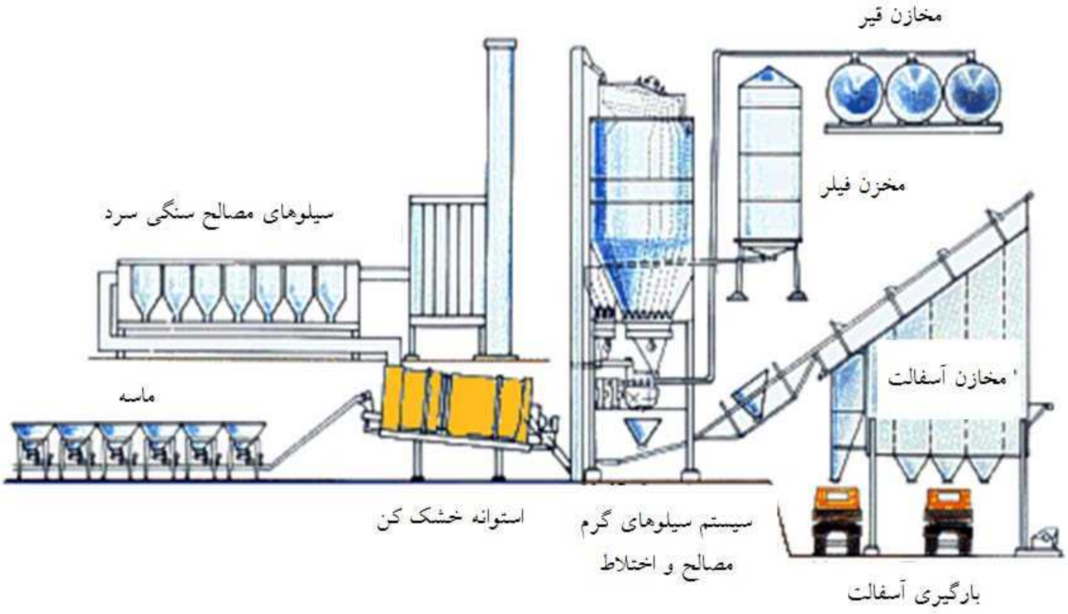
نوارهای نقاله که وظیفه انتقال مصالح سنگی به گردونهٔ خشک کن را دارند می‌بایست لرزش زیاد نداشته و بدون ریزش مصالح آنها را به گردونه منتقل کنند در صورت بادخیز بودن منطقه بهتر است آنها پوشش مناسب داشته باشند.

گردونهٔ دوار که مصالح سیلوهای سرد به آن منتقل شده و با کمک مشعل وظیفه خشک کردن و گرم کردن مصالح را انجام می‌دهد (شکل ۳-۲) می‌بایست مرتب تحت کنترل قرار گرفته و از عدم سائیدگی یا شکستگی زائده‌های درونی گردونه که وظیفه پوش دادن مصالح سنگی در مقابل مشعل را دارند اطمینان حاصل گردد.

مشعل مورد استفاده باید قادر باشد در طول مدت زمان گردش مصالح سنگی درون گردونهٔ دوار دمای مصالح را به دمای مورد نظر اختلاط برساند. این دما معمولاً برای آسفالتهای تهیه شده با قیرهای خالص حدود ۱۷۰ – ۱۵۰ درجهٔ سانتیگراد و برای آسفالتهای تهیه شده با قیرهای پلیمری حدود بیست درجه بالای این مقادیر باشند. تجربه نشان داده است که مشعل‌های از نوع توربو آبی سوز بهترین عملکرد را دارند.


سیستم فیلترهای کیسه ای (Bags Filter)
سیلوهای ذخیره سازی آسفالت
مخزن ذخیره قیر
اطاق کنترل
استوانه خشک کن
سیستم تغذیه قیر
سیلو های مصالح سنگی سرد

شکل ۳- ۱ - نمونه‌هایی از کارخانه‌های تولید آسفالت پیوسته و منقطع


مخازن قیر
مخزن فیلر
سیلوهای مصالح سنگی سرد
ماسه
مخازن آسفالت
استوانه خشک کن
سیستم سیلوهای گرم مصالح و اختلاط
بارگیری آسفالت

شکل ۳-۱(ادامه)- نمونه‌هایی از کارخانه‌های تولید آسفالت پیوسته و منقطع

شکل ۳- ۲- گردونه دوار کارخانه آسفالت جهت خشک کردن مصالح سنگی

باسکول‌های توزین[1]: مخازن مصالح سنگی در سیلوهای گرم و مخزن تغذیه قیر بایستی با باسکول‌های مورد تائید و کالیبره شده اندازه‌گیری شوند. لازم است باسکول حداقل سالی یک مرتبه توسط شرکت‌های ذیصلاح، کالیبره شود.

نظارت بر کارخانه: مدیر کارخانه بایستی در تمامی زمان‌های تولید امور مربوط به بررسی تجهیزات، نظارت بر عملیات تولید و تائید سیستم‌های توزین، کنترل نسبتهای اختلاط و بررسی خصوصیات مصالح ، مواد و بررسی دمای قیر، مصالح و ساخت مخلوط را انجام داده و نسبت به نمونه‌گیری در زمان‌های مقرر برای انجام آزمایشات لازم اقدام کند.

سیلوهای گرم که در آنها مصالح سنگی داغ (منتقل شده از گردونهٔ خشک کن) ذخیره می‌گردند باید به تعداد کافی باشند. سیلوهای اضافی مربوط به مصالح سنگی درشت (مصالح با بعد بیش از یک اینچ) مخصوصاً می‌بایست تعبیه شده باشند.

مخازن ذخیره سازی[2] و مخازن بارگیری[3]: استفاده از مخازن ذخیره‌سازی و بارگیری آسفالت برای ذخیره‌سازی موقت (شکل ۳-۳) بایستی با دقت و نظارت کافی صورت گرفته و موارد ذیل کنترل گردند :

بیش از ۳ ساعت مخلوط‌های آسفالتی در مخازن بارگیری معمولی (بدون عایق) انباشته نگردند.

مخلوط‌های آسفالتی نبایستی بیش‌از۸ ساعت در مخازن ذخیره عایق‌بندی شده انبار شوند. شرایط این مخازن بایستی به گونه‌ای باشد که خصوصیات مخلوط‌های خارج شده از آنها با خصوصیات مخلوط‌هایی که مستقیماً در کامیون‌ها تخلیه می‌گردند، برابری کنند.

---

[1] Truck Scale
[2] Storage Bin
[3] Surge Bin

شکل ۳- ۳- نمونه‌ای از مخازن ذخیره‌سازی و بارگیری آسفالت

۳-۳- آماده‌سازی سطوح زیرین

عملکرد یک روسازی آسفالتی تحت بارگذاری‌های ترافیکی به شدت تحت تاثیر شرایط لایه‌های روسازی می‌باشد. این لایه‌ها شامل بستر آماده شده،اساس سنگدانه‌ای و یا روسازی‌های آسفالتی یا بتنی موجود می‌باشند. در همین راستا قبل از آنکه عملیات پخش مخلوط آغاز گردد؛ سطح محل پروژه بایستی برای احداث روسازی آماده و مهیا گردد. اهمیت این موضوع به میزانی است که به اعتقاد کارشناسان داشتن عملکرد دراز مدت روسازی‌ها بستگی تام به چگونگی اجرای لایه‌های زیرین روسازی دارد. روسازی‌هایی که بدون آماده‌سازی سطح زیرین روسازی ساخته می‌شوند معمولاً با مشکلاتی چون ناهمواری، عدم چسبندگی لایه‌های روسازی با لایه‌های زیرین موجود (به خصوص در موارد اجرای روکش) و یا گسیختگی بدلیل ضعف تکیه گاهی مواجه می‌گردند. آماده‌سازی سطوح معمولاً به دو شکل ذیل صورت می‌گیرد:

آماده‌سازی خاک بستر، قشر زیراساس و یا لایه اساس سنگدانه‌ای به منظور ساخت یک روسازی جدید.

در این شکل از آماده‌سازی می‌تواند فعالیت‌هایی چون تثبیت خاک بستر[1] (برای مثال با پودر آهک، سیمان یا قیر)، خاکبرداری اضافی خاک بسترهای ضعیف، اعمال اندود نفوذی و تراکم خاک بستر انجام شوند.

آماده‌سازی سطح روسازی موجود قبل از احداث روکش بر روی آن.

این شکل از آماده‌سازی شامل فعالیت‌هایی چون لکه‌گیری روسازی موجود، برداشتن لایهٔ فوقانی بواسطه تراشیدن سطح روسازی، استفاده از یک لایه تسطیح کننده، اعمال اندود سطحی و ... می‌شود.

---

[1] Subgrade Stabilization

درست قبل از پخش مخلوط بایستی سطح زیرین تمیز شده و عاری از هر گونه گرد و غبار باشد. سپس بسته به موقعیت لایه مورد اجرا و براساس مشخصات فنی، بر روی آن اندود نفوذی[۱] و یا اندود سطحی[۲] اجرا شود. در صورتی‌که سطح زیرین لایه آسفالتی یک لایه سنگدانه‌ای غیر چسبنده باشد، اندود نفوذی بایستی اجرا شود مخصوصاً اگر قرار باشد، این لایه‌ی سنگ دانه‌ای برای مدت زمان زیادی در معرض و مجاورت هوا قرار گیرد. مزایایی که استفاده از اندود نفوذی در پی خواهد داشت عبارتند از: تامین یک لایه آب بند بر روی اساس، افزایش چسبندگی و اتصال بین لایه اساس و لایه آسفالتی درشت دانه و جلوگیری از تغییر شکل لایه اساس در اثر حرکات ماشین آلات اجرایی. در صورتی‌که که سطح زیرین لایه آسفالتی در حال اجرا یک لایه آسفالتی دیگر و یا بتن باشد، به منظور تامین چسبندگی کافی بین لایه‌ها، بایستی از اندود سطحی استفاده گردد.

۳-۴- حمل آسفالت

حمل آسفالت نقطه آغازین فرایند اجرای روسازی‌های آسفالتی می‌باشد. اگر فرایند حمل آسفالت طبق برنامه از پیش تعیین شده انجام گردد، مخلوط آسفالتی رسیده به محل پروژه از کیفیت مرغوب تری برخوردار خواهد بود و در نتیجه فرایند ساخت نیز به بهترین شکل ممکن پیش خواهد رفت. جلوگیری از جداشدگی مخلوط از یکدیگر (به عبارت دیگر ممانعت از بهم خوردن دانه‌بندی) در مخلوطهای آسفالتی درشت دانه بسیار حائز اهمیت است زیرا در غیراینصورت ممکن است پس از پخش در سطح راه مصالح درشت دانه در یک منطقه تمرکز کرده و مناطق دیگر مجاور فاقد مصالح سنگی درشت دانه باشند جهت حمل آسفالت از کامیون‌های مخلتفی استفاده می‌گردد. تمامی کامیون‌ها از نقطه نظر طریقه پر شدن در کارخانه آسفالت به یک شکل می‌باشند؛ (به این ترتیب که لازم است تخلیهٔ آسفالت از مخازن تولید آسفالت به کامیون بصورت متناوب صورت گرفته و از ریختن آسفالت در یک نقطه در کامیون اجتناب گردد). به طور کلی کامیون‌های مورد استفاده در حمل مخلوط‌های آسفالتی بر حسب نحوه تخلیه بار به سه گونه ذیل می‌باشند:

کامیون تخلیه بار از عقب[۳]
کامیون تخلیه بار از زیر[۴]
کامیون تخلیه بار از عقب با استفاده از تسمه نقاله[۵]

۳-۴-۱- کامیون تخلیه بار از عقب

این نوع از کامیون‌ها به دلیل فراوانی ، کاربرد بسیار زیاد و قدرت مانور بالا از جمله متداول‌ترین انواع کامیون به حساب می‌آیند. در ذیل به برخی از ملاحظاتی که در مورد این نوع از کامیون‌های بایستی توجه شود، اشاره شده است :

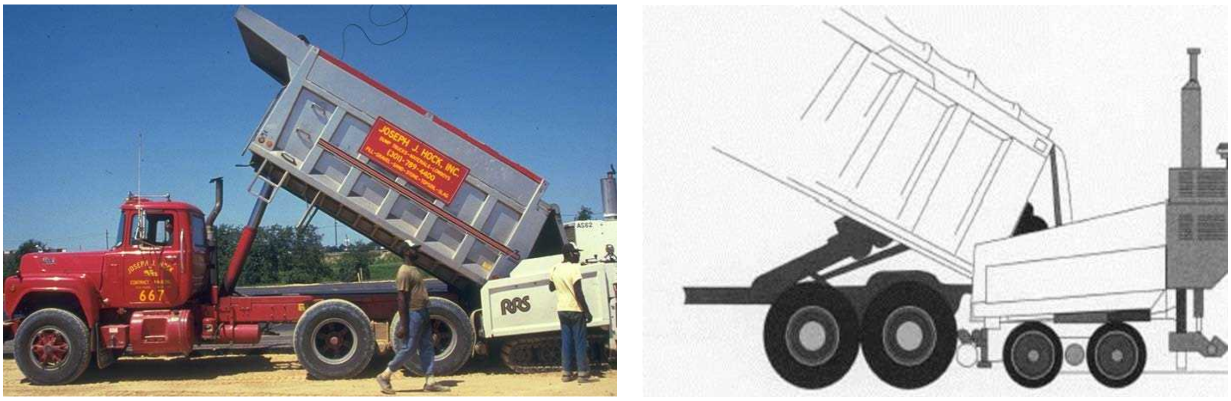
هنگامیکه اطاق کامیون بلند می‌شود بایستی مراقب بود که به دستگاه فینیشر ضربه وارد نکند. چرا که درصورت برخورد شدید این احتمال وجود دارد که شمشه دستگاه پخش از تراز خارج شده و در یک لحظه آسفالت حین پخش به مقدار کمتر و یا بیشتر از روند پخش متداول، آسفالت ریخته شده و محل در آینده دچار پله گردد که خود موجب می-

---

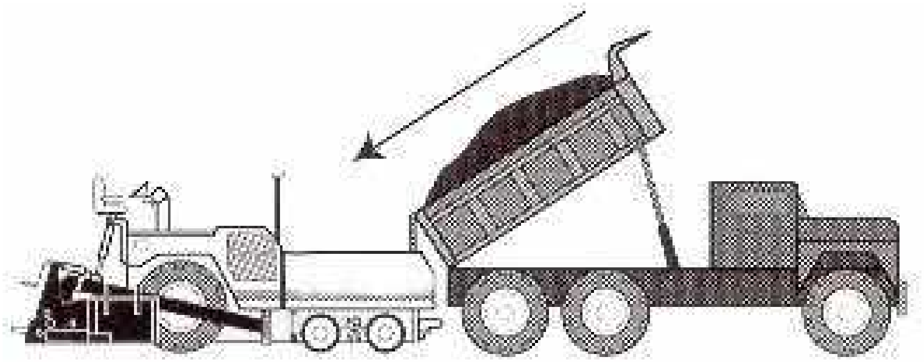
1Prime Coat
2Tack Coat
3End Dump Truck
4Bottom Dump (Belly Dump)
5Live Bottom (Flo Boy)

شود که لایه صاف و هموار اجرا نشده و در سرعت‌های بالای وسایط نقلیه ایجاد ناهمواری شده یا پرش وسیله نقلیه حادث شود.

اطاق کامیون بایستی کمی قبل از آنکه درب عقب کامیون باز شود، بالا بیاید. این باعث می‌شود که مخلوط با سرعت زیاد پس از آنکه درب عقب کامیون باز شد به درون قیف فینیشر بریزد. مخلوطهایی که با سرعت کم و آهسته به درون قیف فینیشر ریخته می‌شوند به جداشدگی مصالح حساسیت بیشتری دارند. لذا از آنجا که جداشدگی در مخلوط‌های آسفالتی درشت دانه در قیاس با دیگر مخلوط‌های آسفالتی بیشتر اتفاق می‌افتد، رعایت این موضوع برای این نوع از مخلوط‌های آسفالتی از اهمیت بیشتری برخوردار است. (شکل ۳-۴ و شکل ۳-۵).



شکل ۳- ۴- نمایی از کامیون تخلیه کننده بار از عقب



شکل ۳- ۵- روند تخلیه آسفالت از قسمت عقب کامیون

۳-۴-۲- کامیون تخلیه بار از زیر

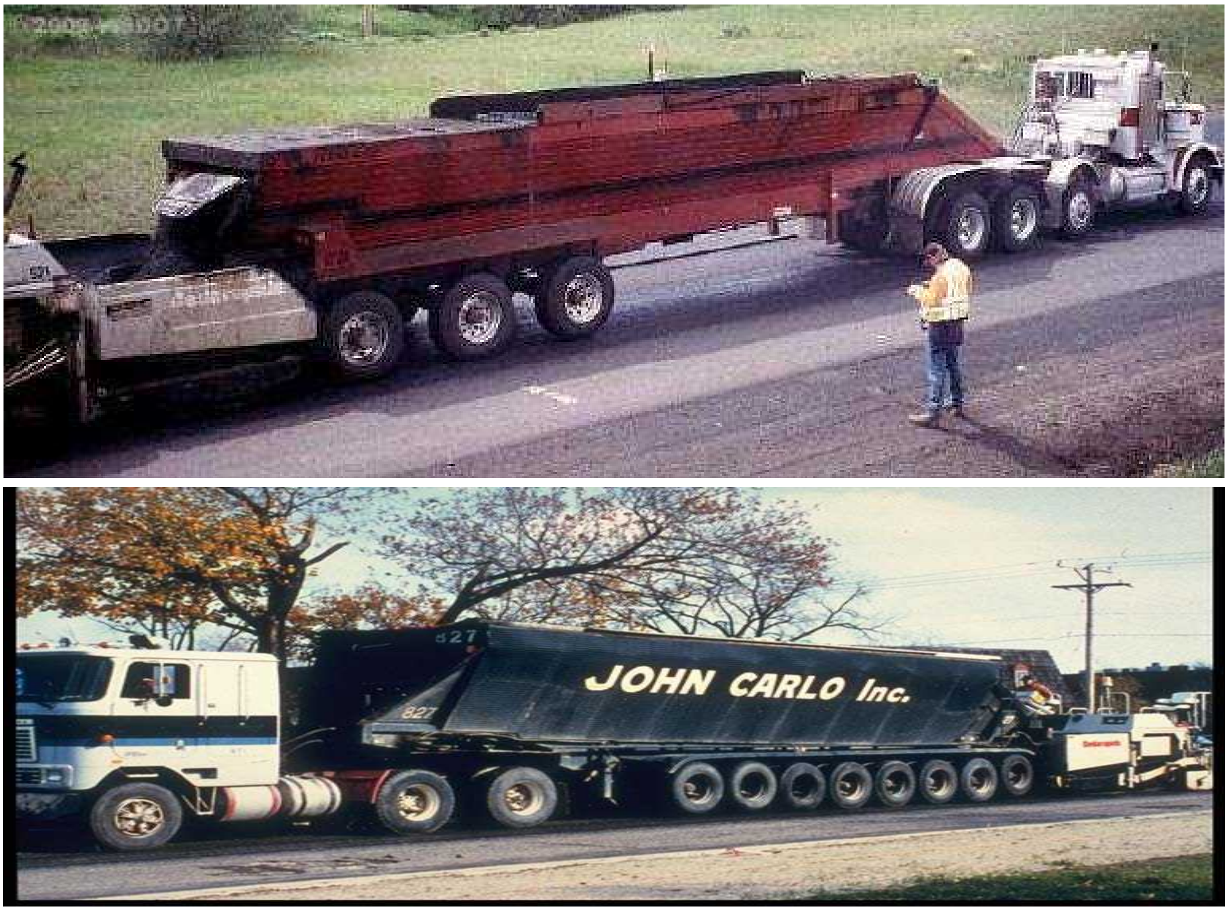
این نوع از کامیون‌ها، با باز شدن دریچه‌ای در زیر کف اطاق کامیون بار خود را تخلیه می‌کنند. شیب دیواره‌های داخلی اتاق کامیون به گونه‌ای طراحی و اجرا شده اند که کلیه بارها بتواند از طریق دریچه باز شده به بیرون تخلیه گردند. نرخ تخلیه را می‌توان به وسیله درجه باز بودن دریچه و سرعت حرکت کامیون در حین تخلیه کنترل نمود.در این نوع کامیون‌ها بار، در اینجا مخلوط آسفالتی بصورت تلی طولانی از آسفالت که اصطلاحاً ریسه گفته می‌شود در مقابل دستگاه فینیشر، در حالی که کامیون در حال حرکت به جلو می‌باشد، تخلیه می‌گردد. یکی از مزیت‌های این نوع دستگاه‌های حمل آسفالت تخلیه سریعتر بار در قیاس با کامیون‌های تخلیه کننده از عقب است. و دیگر مزیت آنها

جداشدگی کمتر سنگدانه‌های آسفالت از یکدیگر می‌باشد (شکل ۳-۶) نمونه‌هایی از این روش پخش آسفالت را نشان می‌دهد.

شکل ۳- ۶- نماهایی از کامیون تخلیه آسفالت از زیر

۳-۴-۳- کامیون تخلیه بار از عقب با استفاده از تسمه نقاله

این نوع از کامیون‌ها در کف اطاق بار خود (به منظور تخلیه بار) از یک سیستم تسمه نقاله بهره می‌برند. در این حالت مخلوط آسفالتی بدون آنکه نیاز باشد که اطاق کامیون برخیزد؛ تخلیه می‌گردد. استفاده از این کامیون‌ها و تعمیر و نگهداری آنها بدلیل وجود سیستم نقاله ای، بسیار هزینه بر می‌باشد. اما کاربرد آنها باعث کاهش قابل ملاحظه خطر جداشدگی مصالح و همچنین خطر برخورد احتمالی اطاق کامیون با فینیشر می‌گردد. لذا برای اجرای لایه‌های روسازی حاوی مصالح سنگی درشت دانه بسیار مناسب می‌باشند(شکل ۳-۷).



شکل ۳- ۷- نماهایی از کامیون تخلیه کننده بار از عقب با استفاده از سیستم تسمه نقاله

۳-۵- نکات قابل توجه در خصوص کامیونهای حمل آسفالت

ملاحظاتی کلی که در خصوص کامیون‌های حمل مخلوط‌های آسفالتی درشت دانه باید مورد توجه قرار گیرند به شرح ذیل آورده شده است. به طور کلی کامیون‌های مورد استفاده در حمل مخلوط‌های آسفالتی درشت دانه بایستی دارای اطاق فلزی محکم، صاف، تمیز و عاری از هرگونه مخلوط آسفالتی از قبل مانده و هر گونه ماده زائد دیگرباشند. کف اطاق کامیون بایستی صاف و هموار و فاقد هر گونه برآمدگی و تورفتگی قابل ملاحظه باشد. چرا که برای مثال تورفتگی باعث می‌شود که قیر مخلوط آسفالتی به مرور در آن نقاط تجمع کند و پس از پخش آسفالت نقاطی قیر زده شده و نقاطی دیگر کم قیر باشند. به منظور جلوگیری از چسبیدن مخلوط به کف اطاق کامیون‌ها، بایستی قبل از بارگیری آسفالت،

کف و دیواره‌های آنها، با استفاده از مواد شوینده، محلول آهک و یا هر ماده دیگر مورد تائید دستگاه نظارت آغشته شود. برای این منظور به هیچ وجه نباید از مواد نفتی نظیر روغن یا گازوئیل استفاده گردد. کامیون‌ها بایستی از یک پوشش مناسب جهت حفظ مخلوط‌های آسفالتی بهره مند باشند. در شرایطی که لازم است که مخلوط با دمای مشخصی به محلی برسد، و فاصله حمل به گونه‌ای باشد که احتمال افت حرارت در آسفالت وجود داشته باشد بایستی اطاق کامیون اولاً عایق‌بندی شده و پوشش روی کامیون نیز کاملاً محکم نصب شود و ثانیاً در صورت حمل آسفالت در فصل سرما اطاق کامیون به سیستم‌های گرم کننده آسفالت مجهز باشد.

۳-۶- روش پخش مخلوط آسفالتی

۳-۶-۱- مخلوط ریزی و پخش آسفالت

یکی از مهمترین مراحل اجرایی ساخت لایه‌های آسفالتی و بخصوص لایه‌های ضخیم حاوی مصالح درشت دانه مرحله مخلوط ریزی و پخش آسفالت[1] است . ملزومات پخش آسفالت شامل بکارگیری هر گونه تجهیزات و دستورالعمل‌های اجرایی بکار برده در جهت دستیابی به یک لایه با ضخامت و کیفیت مطلوب می‌گردد. جهت پخش آسفالت غالباً از فینیشر استفاده می‌شود که در ادامه توضیحات آن و اصولی که در خصوص لایه‌های ضخیم رعایت آن‌ها ضروری است آورده شده است.

پس از پخش آسفالت، غلتک‌زنی درزهای طولی باید سریعاً انجام شود. غلتک‌زنی اولیه باید تا حد امکان سریعتر (در درجه حرارت مناسب) انجام شود، بدون اینکه در مخلوط ترک ایجاد شود و یا مخلوط بوسیله لاستیکهای غلتک از جای خود بلند شود. البته غلتک‌زنی اولیه نباید خیلی سریع شروع شود زیرا شروع زود هنگام غلتک‌زنی عواقبی را به شرح زیر به دنبال خواهد داشت:

چسبیدن مصالح به لاستیک چرخ غلتک (با وجود آب پاشی سطح جداره آن).
ظهور ترکهای عرضی در آسفالت پخش شده بلافاصله پس از عبور غلتک
ایجاد برآمدگی و چین‌خوردگی در جلوی غلتک.

غلتک‌زنی ثانویه باید بلافاصله بعد از غلتک‌زنی اولیه انجام شود و تا زمانی که دمای مخلوط به مقداری است که می‌تواند به چگالی حداکثر برسد ادامه یابد. غلتک‌زنی نهایی تا زمانی باید ادامه یابد که مخلوط هنوز برای برطرف کردن اثر غلتک (ناهمواری)، حالت شکل‌پذیری دارد. رعایت موارد زیر نیز بعنوان یک خط مشی توصیه می‌شود:

درزهای طولی و لبه‌ها بلافاصله بعد از پخش، غلتک‌زنی شوند. غلتک‌زنی اولیه حدود ۶۰ متر بعد از فینیشر و غلتک‌زنی ثانویه ۶۰ متر و یا کمتر، بعد از غلتک زنی اولیه، و غلتک‌زنی نهایی تا حد امکان سریعتر و بعد از غلتک‌زنی ثانویه انجام شود. اگر چگالی مورد نظر در هنگام اجرا بدست نیاید، ترافیک بعدی (ترافیک زمان بهره‌برداری)، روسازی را تحکیم می‌دهد که این عمل به دلیل آنکه بصورت یکنواخت صورت نگرفته و محل عبور وسایط نقلیه از محل‌های خاصی صورت می‌گیرد باعث ایجاد نشست و تغییر شکل در زیر چرخهای وسایل نقلیه می‌شود. برای رسیدن به چگالی مورد نظر و یک سطح قابل قبول، توصیه می‌شود که از غلتک چرخ لاستیکی با فشار تماس بالا همراه با غلتک چرخ فولادی استفاده شود. غلتک‌های ویبره نیز در این کار به خصوص برای لایه‌های ضخیم حاوی مصالح درشت دانه مفید بوده و بعضاً بدون

---

[1] Mix Placement

استفاده از آنها ایجاد تراکم یکنواخت در کل ضخامت لایه میسر نخواهد شد. اما از آنجا که غلتک‌های ویبره ممکن است در مواردی موج ایجاد نمایند، استفاده از غلتک‌های چرخ لاستیکی در مراحل نهایی غلتک‌زنی می‌تواند نارسایی مذکور را برطرف نماید.

۳-۶-۲- دستگاه فینیشر

کمپانی "باربر گرین" در سال ۱۹۳۴ دستگاهی خودکششی که دارای یک مخزن، سیستم اختلاط و حاوی یک شمشه شناور بود، به نام پخش کننده مخلوط آسفالتی (فینیشر مدل ۷۹) اختراع کرد. از آن تاریخ تاکنون اصول کار دستگاه‌های فینیشر (پخش مخلوط آسفالتی) تغییر اصولی چندانی با آن روش نکرده است. روش کار بدین شکل است که مخلوط آسفالتی گرم از جلو بارگیری شده و سپس با استفاده از یک سری سیستم‌های تسمه نقاله ای، مخلوط به سمت عقب دستگاه روانه می‌گردد. پس از آن بواسطه تیغه مارپیچ قسمت پخش، در عرض مسیر پخش شده و در نهایت با استفاده از شمشه دستگاه ، صاف و متراکم می‌گردد (شکل ۳-۸). این سری فعالیت‌های صورت گرفته در دستگاه فینیشر توسط دو سیستم اصلی ذیل تحقق می‌یابد که در ادامه مورد تشریح قرار گرفته اند :

۱- مخزن دریافت آسفالت و سیستم انتقال آن به جعبهٔ پخش
۲- سیستم شمشه‌بندی و ترازدهی [1]

SPEEDCRAFTS

شکل ۳- ۸- نمونه‌هایی از دستگاه پخش آسفالت (فینیشر)

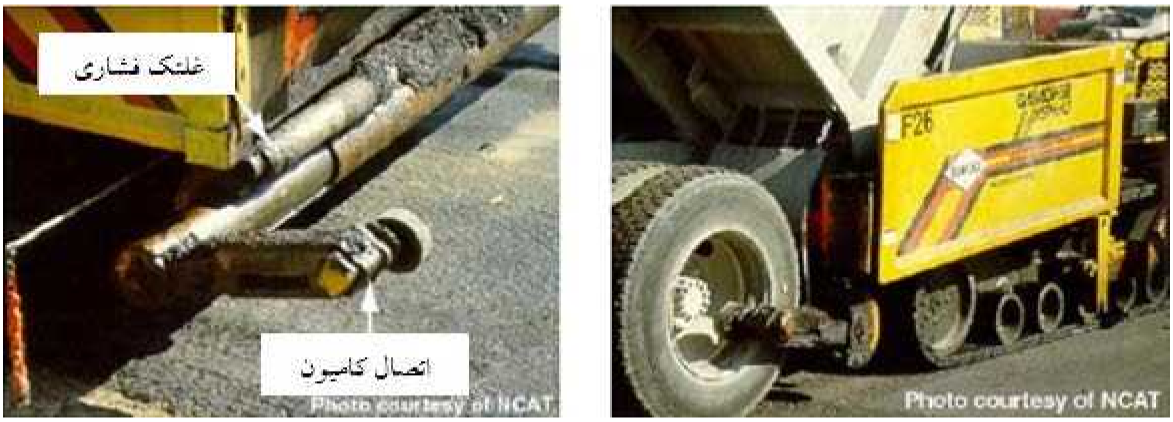
۳-۶-۲-۱- مخزن دریافت آسفالت

سیستم تغذیه کننده مواد، مخلوط آسفالت گرم را از قسمت جلویی فینیشر دریافت کرده و توسط نوار نقاله‌های دستگاه به سمت عقب دستگاه روانه می‌کند. سپس مخلوط را در عرض دلخواه پخش و شرایط را مهیا می‌سازد تا شمشه دستگاه وارد عمل شده و مخلوط را صاف و هموار و تا اندازه‌ای متراکم نماید. اجزای اصلی این سیستم عبارتند از:

---

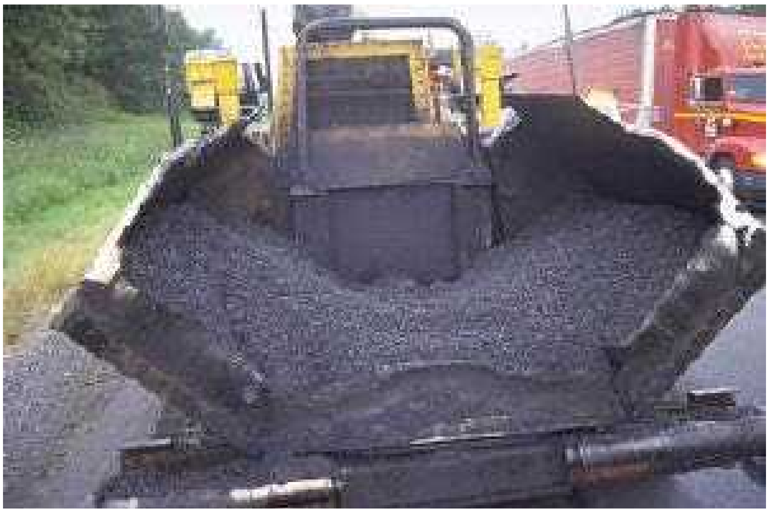
[1] Screed

غلتک لاستیکی برای برقراری اتصال گیردار به کامیون[1]: این غلتک که در تماس با کامیون قرار گرفته و تحت فشار ناشی از آن است بصورت گیردار این اتصال را حفظ می‌نماید. این دو قسمت در جلوی قیف فینیشر واقع شده اند (شکل ۳-۹).



شکل ۳- ۹- نمونه‌هایی از غلتک‌های فشاری دستگاه فینیشر و اتصال گیردار کامیون به فینیشر

قیف[2] :قیف فینیشر به عنوان محفظه ذخیره موقت برای مخلوط‌های آسفالتی تخلیه شده از کامیون‌ها عمل می‌کند. جداره‌های قیف (بال‌های قیف) به صورت شیب دار ساخته می‌شوند. این مسئله باعث می‌شود که مواد در قسمت میانه قیف (در محلی که سیستم تسمه نقاله مواد را به سمت عقب فینشر روانه می‌سازد)، جمع شوند (شکل ۳-۱۰).



شکل ۳- ۱۰- جداره‌های قیف فینیشر که به صورت شیب دار می‌باشند.

تسمه نقاله : مکانیزم تسمه نقاله بدین گونه است که مخلوط آسفالتی گرم را از سوی قیف دریافت می‌کند و از زیر شاسی و موتور دستگاه عبور داده ودر نهایت به تیغه‌های مارپیچ پخش آسفالت تحویل می‌دهد. میزان مخلوط آسفالتی حمل شده توسط تسمه نقاله را می‌توان با تغییر سرعت حرکت نقاله و میزان دور تیغه مارپیچ تنظیم نمود در شکل ۳-۱۱ تسمه نقاله دستگاه فینیشر نمایش داده شده است.

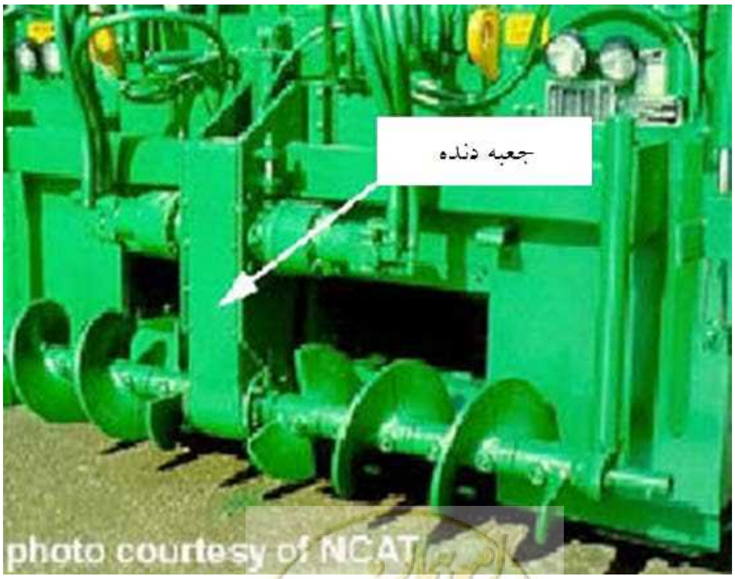
---

[1] Push Roller and Truck Hitch
[2] Hopper

photo courtesy of NCAT

شکل ۳-۱۱- تسمه نقاله دستگاه فینیشر

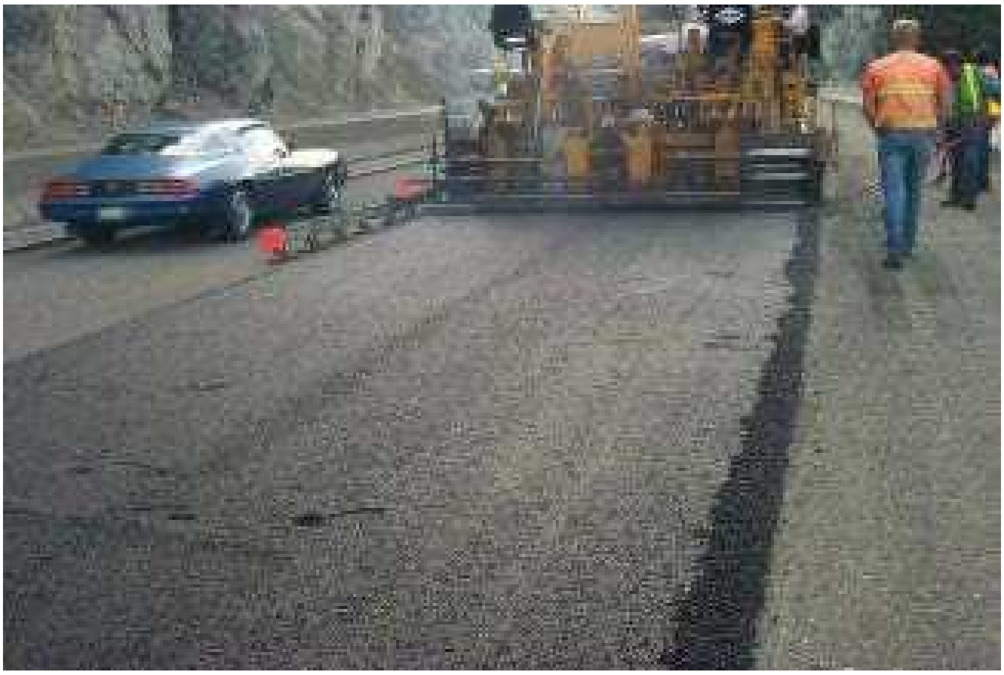
تیغه مارپیچ[1] :تیغه‌های مارپیچ، مخلوط آسفالتی گرم را از سیستم تسمه نقاله دریافت کرده و به صورت یکنواخت در عرض مشخص و از قبل تعیین شده از مسیر پخش می‌کنند. در هر طرف فینیشر تنها یک تیغه مارپیچ وجود دارد. تیغه‌ها می‌توانند به طور مستقل از هم کار کنند. تیغه مارپیچ برخی از فینیشرها این امکان را دارند که در جهت عکس نیز عمل نمایند. جعبه دنده این تیغه هم می‌تواند در وسط (بین تیغه همانگونه که در شکل۲-۵ نشان داده شده است) و هم در لبه بیرونی هر یک از تیغه‌ها قرار گیرد. معمولاً در فینیشرهایی که در آن‌ها جعبه دنده تیغه مارپیچ در وسط قرار دارد(شکل ۳-۱۲)، احتمال وقوع پدیده جداشدگی مصالح افزایش می‌یابد. لذا بهتر است برای اجرای مخلوطهای آسفالتی حاوی مصالح درشت دانه، از استفاده از این نوع فینیشرها اجتناب نمود. این مسئله خود را به صورت یک نوار طولی ایجاد شده روی مخلوط آسفالت تازه پخش شده نشان می‌دهد که نمونه‌ای از آن در شکل ۳-۱۳ مشاهده می‌شود.



شکل ۳- ۱۲- جعبه بخش آسفالت و تیغه مارپیچ فینیشر (نمونهٔ با جعبه دنده تعبیه شده در وسط)

---

[1] Auger



شکل ۳- ۱۳- لکه نواری ایجاد شده ناشی از وجود جعبه دنده تعبیه شده در وسط تیغه مارپیچ فینیشر

عملکرد سیستم تغذیه کننده مواد نیز می‌تواند تاثیر در کیفیت کلی روسازی اجرا شده و همچنین شکل دهی عملکرد دراز مدت روسازی داشته باشد. گرچه نکته‌های اجرایی زیادی در رابطه با عملکرد قسمت دریافت مخلوط و توزیع کننده فینیشر وجود دارد اما دو مورد تشریح شده در ذیل تقریباً تمامی نکته‌های فوق را در بر می‌گیرند.

سیستم دریافت و توزیع بایستی به گونه‌ای عمل کند که تقریباً مقدار مواد تجمع کرده در مقابل شمشه فینیشر همواره ثابت بماند. برای تحقق این امر معمولاً سعی می‌گردد که یک مقدار حداقل مخلوط آسفالت همیشه در قیف فینیشر موجود باشد. علاوه بر این از روش‌های کنترل سرعت تسمه نقاله و کنترل نرخ خروجی مواد در دروازه خروجی دستگاه (اگر وجود داشته باشد) و ثابت نگه داشتن سرعت پخش آسفالت نیز می‌توان بدین منظور استفاده نمود. همانگونه که در ادامه تشریح شده است، نوسان در میزان آسفالت مقابل شمشه فینیشر باعث می‌شود که زاویه تماس شمشه با سطح کار تغییر نماید و در نتیجه سطح پر از تورفتگی و برآمدگی گردد.

به هیچ وجه نبایستی قیف دستگاه به هنگام پخش آسفالت خالی گردد. این مسئله باعث می‌شود که مواد پس مانده سرد شده (بدون آنکه با مصالح ریزدانه و گرم دیگر مخلوط شود) وارد لایه تازه پخش شده گردد و جداشدگی مصالح و کاهش نسبی درجه حرارت مخلوط را به دنبال داشته باشد. این خطر در خصوص مخلوطهای حاوی مصالح سنگی درشت دانه بیشتر است زیرا از آنجا که مصالح سنگی درشت بیشتر در مجاورت هوا قرار گرفته می‌شوند، بنابراین زودتر سرد شده و از دیگر اجزاء مخلوط جدا خواهند شد. در صورتی که کامیون حمل آسفالت (برای پر کردن بلافاصله قیف) موجود نباشد؛ بهتر آن است که دستگاه فینیشر متوقف شده و مخلوط باقیمانده در قیف به دور ریخته شده و یا برای استفاده مجدد به کارخانهٔ آسفالت برگردانده شود.

۳-۶-۲-۲- شمشه[1]:

شاید مهمترین بخش هر فینیشر را بتوان شمشه آن دانست. در واقع این بخش تعیین کننده نیمرخ لایه آسفالت پخش شده می‌باشد. شمشه که در قسمت انتهایی جلوی دستگاه فینیشر واقع شده است ضخامت لایه آسفالتی پخش شده و شیب عرضی پخش را تنظیم می‌کند (گرچه روش اصولی آن است که شیب عرضی در لایه‌های زیرین تعبیه شده و لایه‌های آسفالتی در ضخامت‌های معین ثابت پخش شوند). علاوه براین تراکم اولیه لایه آسفالتی اجرا شده توسط همین بخش (شمشه) صورت می‌گیرد. در ادامه اجزای اصلی بخش شمشه و اصطلاح‌های آن تشریح شده است:

صفحه شمشه: قسمت تخت انتهایی پخش آسفالت که وظیفه تسطیح و متراکم کردن مخلوطهای آسفالتی را برعهده دارد.

زاویه شمشه (زاویه حمله)[2]: زاویه‌ای است که شمشه با سطح زمین تماس پیدا می‌کند.

صفحه از بین برنده برجستگی‌ها[3]: صفحه‌ای عمودی است که دقیقاً بر روی لبه جلویی شمشه قرار گرفته و جهت برطرف کردن (جداکردن) مخلوط‌های آسفالتی مازاد مورد استفاده قرار می‌گیرد. علاوه براین، این صفحه باعث حفاظت لبه‌های شمشه در برابر سایش‌های بیش از حد می‌شود.

بازوهای شمشه[4]: تیرهای بلندی که شمشه را به بخش تغذیه کننده سیستم متصل می‌سازد را بازوی شمشه گویند(شکل ۳-۱۳).

نقطه کشیدگی[5]: نقطه‌ای است که بازوی شمشه را به بخش تغذیه کننده متصل می‌کند. این مفصل را اصطلاحاً نقطه کشیدگی گویند(شکل ۳-۱۴).

میل لنگ عمقی[6]: وسیله‌ای است جهت کنترل دستی زاویه شمشه و در نهایت عمق لایه آسفالتی پخش شده(شکل ۳-۱۳).

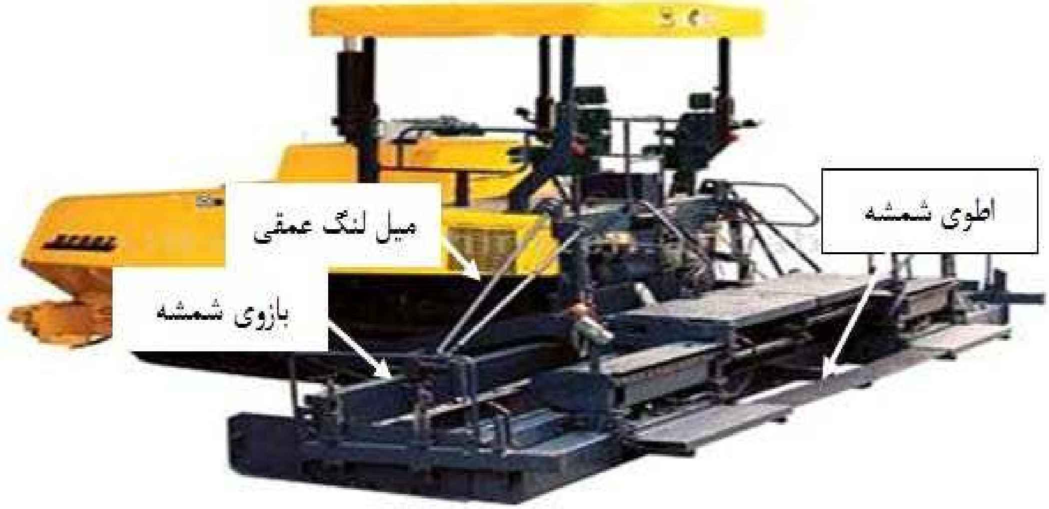
گرمکن شمشه: از گرم کن جهت گرم کردن شمشه و رساندن دمای آن به دمای مخلوط آسفالتی گرم استفاده می‌شود. مخلوط‌های آسفالتی گرم معمولاً به شمشه‌های سرد می‌چسبند و باعث گسیخته شدن لایه آسفالتی پخش شده می‌گردند. بعد از آنکه شمشه دستگاه برای مدت کمی (تقریباً ۱۰ دقیقه) با مخلوط آسفالتی تماس پیدا کند و عملیات پخش آسفالت شروع گردد. دمای شمشه ثابت باقی خواهد ماند. در شرایط هوای گرم می‌توان دستگاه گرمکن را خاموش نمود.

سیستم لرزاننده (ویبره) شمشه: وسیله‌ای که درون شمشه و به منظور بالا بردن قدرت تراکم شمشه کار گذاشته می‌شود. تراکم اولیه حاصل شده، به وزن شمشه ، فرکانس لرزاننده و دامنه لرزش بستگی دارد.

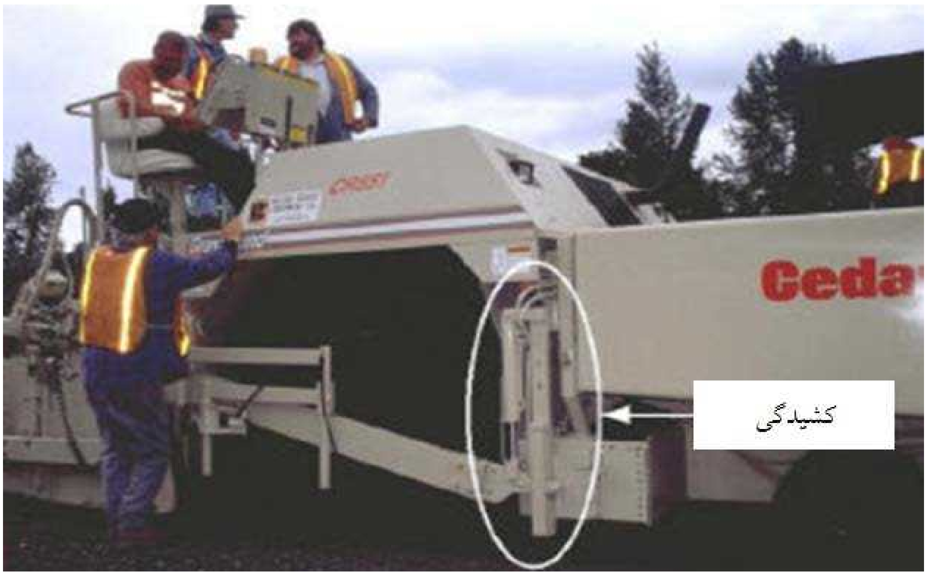
قطعه افزاینده طول شمشه[7]: از این قطعه که به صورت ثابت یا قابل تنظیم می‌باشد جهت افزایش طول شمشه دستگاه استفاده می‌شود تا در صورت نیاز و برحسب توان دستگاه بتوان در عرض بیشتری آسفالت پخش نمود(شکل ۳-۱۵). این قطعه بخصوص برای پخش آسفالت در قسمت شانه راه ضرورت دارد.

---

[1] Screed
[2] Screed Angle (Angle of Attack)
[3] Strike off Plate
[4] Screed Arms
[5] Tow Point
[6] Depth Crank
[7] Screed Extension


میل لنگ عمقی
بازوی شمشه
اطوی شمشه

شکل ۳- ۱۴- تصویری نزدیک از بازوی شمشه و میلنگ عمقی دستگاه فینیشر


کشیدگی
Ceda

شکل ۳- ۱۵- نقطه کشیدگی دستگاه فینیشر

شکل ۳- ۱۶- نماهایی از قطعه افزاینده طول شمشه دستگاه فینیشر (قطعه تعریض)

۳-۶-۲-۳- نیروهای وارده به شمشه

حین پخش آسفالت به طور کلی شش نوع نیرو به شرح زیر به شمشه وارد شده و زاویه و موقعیت قرارگیری آن را تعیین می‌کند (شکل‌های ۳-۱۶ و ۳-۱۷):

نیروی کششی[1]: این نیرو از ناحیه بخش تغذیه کننده و در نقطه کشیدگی وارد می‌شود که آن را می توان با سرعت فینیشر تنظیم نمود.

نیروی مقاوم ناشی از مقاومت مخلوط‌های آسفالتی در برابر نیروی کششی: این نیرو از جانب مخلوط‌های آسفالتی واقع شده در جلوی شمشه ایجاد می‌گردد. مقدار این نیرو بستگی به نرخ تغذیه مواد در فینیشر و خصوصیات مخلوط آسفالتی دارد. عموماً هر چه مخلوط آسفالتی درشت دانه تر باشد این نیرو بیشتر خواهد بود. به این ترتیب فینیشرهای کم قدرت برای اجرای لایه‌های آسفالتی حاوی مصالح درشت دانه و لایه‌های ضخیم مناسب نمی‌باشند.

وزن شمشه که به صورت یک نیروی عمود بر شمشه و به سمت پایین عمل می‌کند.

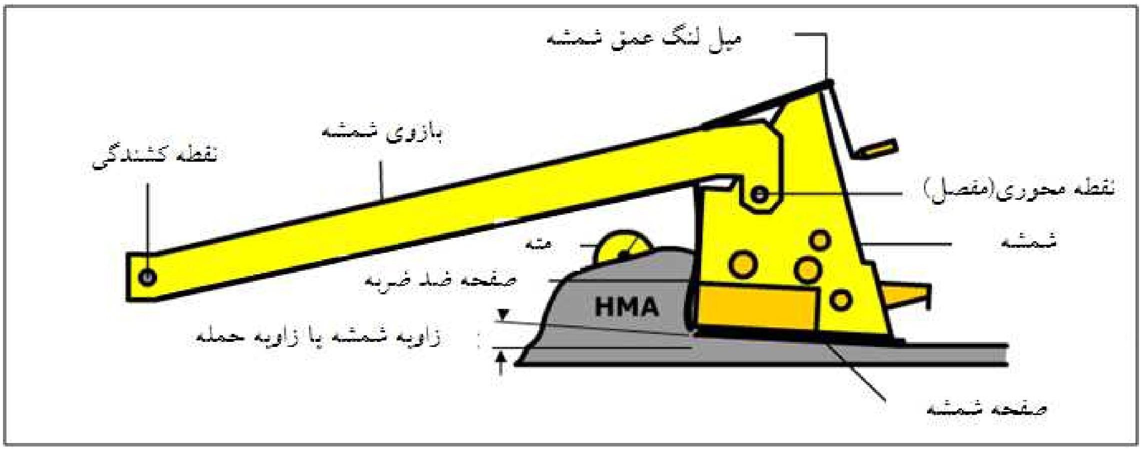
نیروی عمودی که از طریق مخلوط متراکم شده در زیر شمشه اعمال می‌گردد. این نیرو نیز به نوع و مشخصات مخلوط آسفالتی و وزن شمشه بستگی دارد.

---

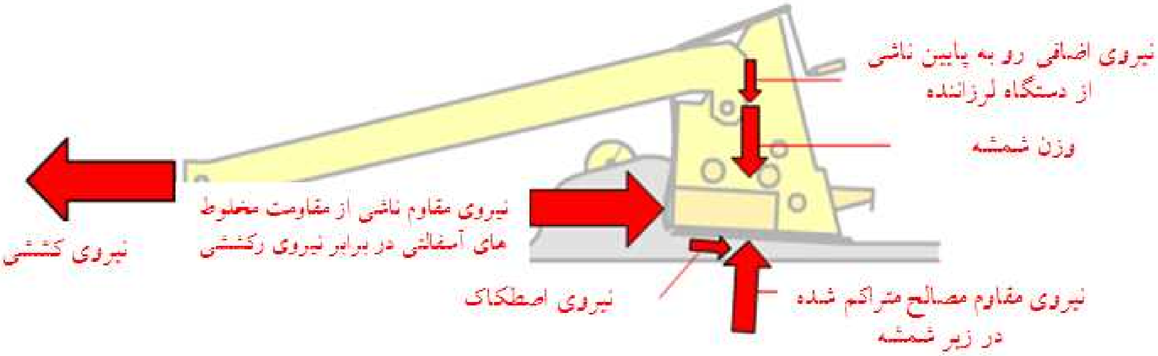
[1] Towing Force

نیروی اضافی رو به پایین ناشی از دستگاه‌های لرزاننده شمشه. این نیرو در اثر دامنه و فرکانس ارتعاش قابل کنترل می‌باشد.

نیروی اصطکاک بین شمشه و مخلوط آسفالتی زیر شمشه: این نیرو نیز در اثر خصوصیات مخلوط آسفالتی و شمشه قابل کنترل است.


میل لنگ عمق شمشه
بازوی شمشه
نقطه کشندگی
نقطه محوری(مفصل)
شمشه
مته
صفحه ضد ضربه
HMA
زاویه شمشه یا زاویه حمله
صفحه شمشه

شکل ۳- ۱۷- نمونه‌ای از اجزای شمشه دستگاه فینیشر آسفالت


نیروی اضافی رو به پایین ناشی از دستگاه لرزاننده
وزن شمشه
نیروی کششی
نیروی مقاوم ناشی از مقاومت مخلوط های آسفالتی در برابر نیروی رکششی
نیروی اصطکاک
نیروی مقاوم مصالح متراکم شده در زیر شمشه

شکل ۳- ۱۸- انواع نیروهای وارده به شمشه در دستگاه فینیشر آسفالت

۳-۷- عوامل تاثیر گذار در ضخامت و لایه آسفالت پخش شده

حین پخش آسفالت اصولاً شمشه به صورت آزاد و شناور قرار می‌گیرد. هنگامی که بر روی مخلوط آسفالتی می‌لغزد، زاویه و ارتفاع آن به گونه‌ای تنظیم می‌گردد که این شش نیروی وارده به شمشه در حالت تعادل قرار گیرند.هر زمانی که یکی از این نیروها دچار تغییر گردد، زاویه و ارتفاع شمشه و به تبع آن ضخامت لایه آسفالت پخش شده در راستای برگشت به حالت تعادل، تغییر پیدا می‌کنند. بنابراین هر اتفاقی که باعث تغییر این شش نیرو گردد(نظیر سرعت فینیشر،نرخ تغذیه مواد، خصوصیات مخلوط آسفالتی و ...) بر روی ضخامت لایه آسفالتی پخش شده تاثیر گذار می‌باشد. علاوه بر این از آنجا که ضخامت لایه آسفالتی پخش شده بایستی به دقت تحت کنترل باشد، فینیشرها مجهز به تنظیماتی هستند که زاویه شمشه را بجای آنکه اجازه بدهند بر اساس تعادل طبیعی تعیین گردد به صورت دستی تنظیم می‌کنند. در اکثر عملیات پخش آسفالت با فینیشر، ضخامت لایه پخش شده از طریق تعیین زاویه شمشه کنترل

می‌گردد. به منظور درک بهتر این مسئله که چگونه تنظیم دستی زاویه شمشه می‌تواند بر ضخامت لایه پخش شده تاثیر گذار باشد، در ادامه یک مرور اجمالی بر چگونگی تاثیر پارامترهایی چون سرعت فینیشر، نرخ تغذیه مواد و ارتفاع نقطه کشش بر روی زاویه شمشه ، ارتفاع شمشه و در نهایت ضخامت لایه آسفالتی پخش شده ، صورت گرفته است.

الف) سرعت

سرعت فینیشر با تغییر زاویه شمشه بر روی ضخامت لایه آسفالتی پخش شده تاثیر گذار است. در صورتی که سرعت فینیشر افزایش یابد و مابقی نیروهای وارده به شمشه ثابت باقی بمانند، زاویه شمشه جهت دستیابی مجدد به تعادل کاهش یافته و در نتیجه آن، ضخامت لایه پخش شده نیز کاهش می‌یابد. به همین ترتیب اگر سرعت فینیشر کاهش یابد، زاویه شمشه و به تبع آن ضخامت لایه آسفالتی پخش شده نیز افزایش پیدا می‌کند.

ب) نرخ تغذیه مواد

میزان مخلوط آسفالتی گرم جمع شده در جلوی شمشه دستگاه فینیشر نیز بر روی زاویه شمشه و در نهایت ضخامت لایه آسفالتی اثر گذار است. این تاثیر به گونه‌ای است که اگر مواد جمع شده در جلوی شمشه فینیشر افزایش یابد (به دلیل عواملی چون افزایش نرخ مخلوط و یا کاهش سرعت فینیشر)، زاویه شمشه در جهت رسیدن مجدد به حالت تعداد ، افزایش پیدا می‌کند که این امر نیز باعث افزایش ضخامت لایه آسفالتی می‌گردد.

بنابراین به منظور ثابت نگه داشتن ضخامت لایه آسفالتی پخش شده در اثر تغییراتی چون سرعت فینیشر و یا میزان مواد جمع شده در مقابل شمشه ، نمی توان بر به تعادل رسیدن طبیعی نیروها چندان تکیه‌ای داشت و بایستی زاویه شمشه را به صورت دستی از طریق تنظیم میل لنگ عمقی و پیچ‌های کنترل ضخامت دستگاه تنظیم نمود.

ج) ارتفاع نقطه کشش

ارتفاع نقطه کشش فینیشر نیز بر روی زاویه شمشه و در نهایت ضخامت لایه آسفالتی پخش شده تاثیر دارد. به طور کلی هر ۲۵ میلیمتر جابجایی در ارتفاع نقطه کششی باعث جابجایی ۳ میلیمتر لبه جلویی شمشه می‌شود. ارتفاع نقطه کشش فینیشرهایی که فاقد سیستم‌های خودکار تنظیم شمشه می‌باشند، با تغییر ارتفاع قسمت تغذیهٔ مواد دستگاه، تغییر می‌یابد. ارتفاع مخزن تغذیه نیز معمولاً به دلیل ناهمواری‌های سطح زیرین خود تغییر می‌یابد. لذا با افزایش ارتفاع نقطه کشش (نقطه کشیدگی) ، زاویه شمشه و در نهایت ضخامت لایه افزایش پیدا می‌کند. قرار دادن نقطه کشش ششمه در نزدیکی وسط دستگاه تغذیه مواد بسیاری از انتقال نوسانات از مخزن تغذیه به شمشه را می‌گیرد.

لازم به ذکر است که برخی از فینیشرها دارای امکانات سیستم کنترل کننده خودکار شمشه[1] می‌باشند.این سیستم کنترلی به طور خودکار از طریق یک خط مرجع و یا توسط سنسورهای مکانیکی به گونه‌ای عمل می‌کنند که شمشه فینیشر در شیب عرضی از قبل تعیین شده و در ارتفاع مناسب جهت دستیابی به ضخامت لایه مورد نیاز قرار می‌گیرد. کنترل کننده‌های شیب عرضی شمشه نیز بایستی قابلیت نگهداری شمشه دستگاه را در شیب دلخواه با دقتی معادل ۰.۱٪ درصد داشته باشند. لازم به ذکر است که از کنترل کننده‌های شیب عرضی نبایستی به منظور کنترل شیب طولی استفاده نمود.

بطور کلی در هنگام پخش آسفالت گرم ملاحظات بسیاری را باید مد نظر داشت. بسیاری از این ملاحظات بستگی به مواد محلی، شرایط آب و هوایی، سطح دانش، آموزش و تجارب عوامل اجرایی دارد. اهم مواردی که در تمامی شرایط می‌بایست مورد توجه قرار گیرند به شرح زیر است:

---

[1] Automatic Screed Control

زمان رسیدن مخلوط آسفالتی بایستی به گونه‌ای برنامه ریزی شود که پخش و تراکم آن با حداقل توقف فینیشر و به صورت کاملاً یکنواخت و پیوسته صورت پذیرد.

تا زمانی که لایه آسفالتی کاملاً متراکم نشده است و دمای آن به ۶۰ درجه سانتیگراد نرسیده است، اجازه هیچگونه عبور و مروری از روی آن نبایستی داده شود.

پخش و تراکم مخلوط می‌بایست در دمایی صورت پذیرد که چگالی، همواری و دیگر الزامات مورد نظر تامین گردد.

در هر بار عبور فینیشر، مخلوط بایستی در طول کل عرض دستگاه توزیع شود. سپس برای تامین ارتفاع و شیب مورد نیاز لایه، مخلوط آسفالتی مورد شمشه کشی قرار گیرد.

سرعت فینیشر نیز به گونه‌ای تنظیم شود که آسفالت پخش شده، کشیده و یا گسیخته نشود. چرا که در غیر این صورت، در زمان بهره‌برداری سطح راه دارای موج‌های متوالی ریز نزدیک به هم خواهد شد.

ضخامت لایه پخش آسفالت توسط فینیشر[1]: به منظور جلوگیری از گسیختگی لایه آسفالتی اجرا شده (که معمولاً خود را به صورت رگه‌های طولی نشان می‌دهند)، عمق لایه متراکم شده آسفالتی بایستی حداقل دو برابر حداکثر اندازه سنگدانه‌ها[2] دو یا سه برابر حداکثر اندازه اسمی سنگدانه‌ها[3] درنظر گرفته شود. لذا می‌توان نتیجه گرفت که در مورد مخلوط‌های آسفالتی درشت دانه ضخامت لایه پخش شده توسط دستگاه فینیشر نسبت به مخلوط‌های آسفالتی متداول بیشتر در نظر گرفته شده و لذا کلیه تمهیدات فوق‌الذکر می‌بایست مورد رعایت قرار گیرند.

مخلوط نیز بایستی در نوارهای متوالی کنار هم که دارای حداقل عرض همپوشانی ۰.۳ متر باشند، پخش شود. به این ترتیب که درز طولی در یک لایه نسبت به درز طولی لایه زیرینش حداقل ۰.۳ متر فاصله داشته باشد. با این حال درز طولی لایه رویه بایستی در محل محور مرکزی روسازی قرار گیرد.

لازم است درزهای عرضی یک لایه نیز نسبت به درزهای عرضی لایه زیرین خود حداقل ۰.۳ متر فاصله داشته باشد. درزهای عرضی در مسیرهای مجاور هم بایستی حداقل ۳ متر باهم فاصله داشته باشند.

۳-۸- تراکم

تراکم فرایندی است که در اثر آن مخلوط آسفالتی متراکم شده و فضای خالی آن کاهش می‌یابد. تراکم مجاز می‌کند که وزن واحد یا چگالی مخلوط از طریق جایگذاری مواد بیشتر در یک فضای خالی محدود، افزایش یابد. در نتیجه فرآیند تراکم، مصالح سنگی احاطه شده توسط قیر در مخلوط، نیرویی به یکدیگر وارد خواهند کرد که قفل و بست بین سنگدانه‌ها و اصطکاک داخلی ذرات را افزایش داده و همچنین میزان فضای خالی در مخلوط تا سطح مطلوب کاهش می‌یابد. بتن آسفالتی در دمای حداقل ۱۲۰ درجه سانتی گراد می‌بایست در فینیشر تخلیه شود. لایه مخلوط آسفالتی پس از پخش توسط فینیشر بایستی قبل از آنکه درجه حرارت آن به کمتر از ۸۰ تا ۸۵ درجه سانتیگراد برسد (که حداقل دماهای تراکم برای آسفالت دارای قیر با درجه نفوذ ۷۰-۶۰ است)؛ مورد تراکم قرار گیرد. معمولاً آخرین مرحله تراکم در دمایی پایین تر از دمای فوق الذکر صورت می‌پذیرد. بتن آسفالتی تنها زمانی باید پخش و اجرا شود که دمای سطح و دمای اطراف در شروع پخش و در طول کار، حداقل ۱۰ درجه سانتی گراد باشد. عملیات تراکم مهمترین عامل تاثیر گذار در شکل‌گیری عملکرد نهایی روسازی‌های آسفالتی محسوب می‌گردد. عملیات پخش آسفالت، هنگامی که دمای محیط

---

[1] Lift Tickness
[2] Maximum Aggregate Size
[3] Nominal Aggregate Size

برابر ویا کمتر از ۱۰ درجه سانتی گراد و همچنین در شرایطی که دما افت پیدا می‌کند، باید متوقف شود. همه لبه‌ها باید در حالی که مخلوط هنوز گرم است با غلتک لاستیکی یا با ماشین‌های دیگری که توسط مهندس ناظر به تصویب رسیده متراکم شوند. تراکم کافی مخلوط آسفالتی باعث کاهش تغییر شکل‌های دائمی (خط افتادگی چرخ)، اکسیده شدن، پیرشدگی و خرابی‌های ناشی از رطوبت و ترک خوردگی‌های ناشی از دمای پایین می‌گردد و از طرف دیگر نیز باعث افزایش عمر خستگی، مقاومت و استحکام روسازی‌های آسفالتی می‌شود. تاثیر تراکم روسازی به حدی است که اگر یک مخلوط آسفالتی عالی طراحی شده؛ به خوبی مورد تراکم قرار نگیرد، تحت بارگذاری‌های ترافیکی عملکرد بسیار ضعیفی از خود نشان خواهد داد. مکانیسم تراکم شامل اندرکنش سه نیروی اصلی است: نیروی فشار غلتک‌ها، نیروی مقاومتی ایجاد شده در بین مخلوط و نیروی تکیه گاهی اعمال شده از طریق سطح زیرین لایه، که این سطح، عموماً اساس سنگدانه‌ای یا لایهٔ آسفالتی موجود روسازی می‌باشد. در صورتی که سطح لایه‌های زیرین محکم و پایدار نباشد مخلوط آسفالتی گرم محدود نخواهد شد و تراکم لازم بدست نمی آید. به طور مشابه در صورتی که مخلوط آسفالتی گرم به حد کافی جهت مقاومت نیروی تراکم پایدار نباشد بطور یکنواخت متراکم نشده و در مخلوط تراکم شده فضای خالی مطلوب حاصل نمی‌شود. سرانجام در صورتی که غلتک‌ها به حد کافی جهت غلبه بر مقاومت ایجاد شده در بین مخلوط نیرو وارد نکند روسازی به حد کافی متراکم نخواهد شد.

۳-۸-۱- عوامل موثر تراکم

اهم عوامل تاثیر گذار در تراکم مخلوط‌های آسفالتی عبارتند از :

خصوصیات مصالح (شامل بافت سطحی، تخلخل، شکل، اندازه ذرات سنگدانه و ویسکوزیته قیر)

متغییرهای محیطی (درجه حرارت، باد، شدت تابش خورشیدی)

شرایط پخش مخلوط در محل (بافت سطحی روسازی موجود، ضخامت لایه‌های آسفالتی اجرا شده و استحکام لایه‌های زیر اساس و اساس)

۳-۸-۱-۱- خصوصیات و مشخصات مخلوط

اصولاً مخلوط آسفالت گرم ترکیبی از مصالح سنگی و قیر است که مصالح سنگی به عنوان استخوان بندی سازه‌ای روسازی و قیر به عنوان ماده چسباندن عمل می‌کنند. دانه بندی مصالح سنگی، بافت سطحی و گوشه دار بودن جزء مشخصات اولیه و اصلی است که کارایی مخلوط را تحت تاثیر قرار می‌دهند. مخلوط حاوی مصالح سنگی درشت دانه و همچنین دارای بافت سطحی زبر و نیز گوشه دار، به تلاش زیادی جهت تراکم نیاز دارد. عوامل موثر بر مدت زمان تراکم در جدول ۳-۱ ارائه شده است.

قیر یک ماده ترموپلاستیک یا گرما نرم است که به دما حساس است. در دمای بالا به عنوان یک ماده روغنی عمل کرده، ذرات مصالح سنگی را پوشانده و عمل تراکم مخلوط را آسان می‌کند. هنگامی که آسفالت خنک می‌شود، قیر سفت شده و مصالح سنگی را در جهت عملکرد ترافیکی به عنوان یک مخلوط ثابت و با دوام بهم می‌پیوندد. عملیات تراکم باید قبل از اینکه دمای مخلوط به زیر حداقل دمای پیش بینی شده برای انواع قیر در مخلوط برسد به اتمام رسیده باشد.

جدول ۳-۱- عوامل موثر بر مدت زمان تراکم

عوامل عمده موثر بر مدت زمان تراکم	زمان بیشتر	زمان کمتر

ضخامت لایه	ضخیم (درشت دانه)	نازک
درجه حرارت مخلوط	زیاد	کم
درجه حرارت محیط	زیاد	کم

۳-۸-۱-۲- شرایط محیطی

کیفیت ساخت روسازی بستگی زیادی به شرایطی دارد که در آن، آسفالت پخش می‌شود. دمای هوای محیط اطراف، با دمای سطح قشری که مخلوط آسفالت جدید روی آن اجرا میشود می‌تواند سرعت سرد شدن مخلوط را تحت تأثیر قرار دهد. پخش و تراکم مخلوط آسفالتی گرم اغلب می‌بایست در مدت زمان کوتاه و قبل از سرد شدن قشر آسفالتی انجام شود.

هوای سرد، باد شدید و سطح خنک می‌توانند مدت زمانی را که تراکم باید انجام شود کاهش دهند و بالعکس افزایش دمای اختلاط، پوشش دادن کامیون حمل مخلوط تا کارگاه و کاهش فاصله حمل مخلوط تا کارگاه، همه می‌توانند اثرات شرایط محیطی را روی روسازی آسفالتی کاهش دهند.

پخش مخلوط آسفالتی بر روی سطح مرطوب و یا در شرایط آب و هوایی که مانع از قرارگیری و پخش صحیح مخلوط شده و متراکم کردن آن را دشوار کند، مطلوب نمی باشد. دماها و خصوصیات و حداقلی که به عنوان نمونه از طرف موسسه حمل ونقل ایالت آریزونا ارائه شده در جدول۳-۲ آورده گردیده است.

جدول ۳- ۲- دماهای لازم جهت پخش آسفالت بر روی سطح روسازی

ضخامت لایه	حداقل درجه حرارت سطح
≥ ۱۰۰mm	۵°c*
≥ ۵۰mm , <۱۰۰mm	۸°c*
< ۵۰mm	۱۰°c *

* اندازه‌گیری دمای مخلوط آسفالتی پخش شده هنگامی صورت می‌گیرد که مخلوط کاملاً پخش شده و در جای خود قرار گیرد(شکل ۳-۱). همچنین نظارت بر دمای سطح مخلوط به صورت میانگین حاصل قرائت دما در سه نقطه مختلف از سطح راه در فاصله‌هایی با اختلاف ۸ ± متر صورت می‌گیرد.

۳-۸-۱-۳- ضخامت لایه‌ها

همه مخلوط‌های آسفالتی در طول زمان سرد می‌شوند. سطح مخلوط بزرگتر، سریعتر می‌تواند محیط مخلوط را خنک کند. لایه‌های ضخیم، در حالی که مصالح، سطح زیرین کمتری نسبت به حجمشان در مقابل هوا دارند آهسته تر خنک می‌شوند. عموماً بدست آوردن چگالی مورد نیاز در لایه‌های ضخیم تر به نسبت لایه‌های نازکتر آسان است. این موضوع به این دلیل است که لایه‌های ضخیم تر گرما را به مدت طولانی نگه میدارند. از این رو افزایش زمان در طول تراکم این مخلوط‌ها می‌تواند روی دهد. لایه‌های ضخیم تر می‌توانند به مخلوط‌ها اجازه دهند که در دمای پایین تر (به علت کاهش سرعت خنک شدن) محیط اجرا شوند.

شکل ۳- ۱۹- پخش مخلوط آسفالت با فینیشر و ترازبندی سطح

۳-۸-۱-۴- خصوصیات لایه زیرین

بستر و لایه‌های زیرین روسازی که قرار است لایهٔ آسفالتی روی آنها اجرا شود باید محکم و پایدار باشند و تحت عبور کامیون‌ها و دیگر تجهیزات ساخت روسازی نباید دچار تغییر شکل شوند. لایه‌هایی که در اثر حرکت غلتک در آنها تغییر شکل ایجاد می‌شود به تراکم اضافی یا بهسازی (با استفاده از مواد افزودنی) برای غلبه بر نرم شدگی نیاز خواهند داشت. چنین عملیاتی می‌توانند شامل اجرای زیرسازی تثبیت شده با آهک و یا سیمان (نظیر شکل ۳-۱۸) و یا برداشت و جایگذاری لایه‌ها با لایه‌های مناسب باشند. در برخی موارد کنترل اندازه و وزن کامیون‌های حامل مصالح در مسیر و حرکت یا کنترل وزن دیگر تجهیزات ساخت روسازی می‌تواند به جلوگیری از خرابی لایه‌های زیرین کمک کند.

لایه‌های آسفالتی، بعد از پخش، باید به منظور تحمل بارها، توزیع بهتر فشارهای وارده و نیز ایجاد یک سطح صاف و هموار، متراکم شوند. در نتیجه تراکم، لایه‌ها به هم می‌چسبند و یک سازه متراکم و بدون درز را تشکیل و در مقابل نیروهای برشی حاصل از ترافیک بهتر عمل می‌کنند. با کم شدن فضای خالی در آسفالت، مقاومت آن در برابر شرایط آب و هوایی و نیز فرسایش بیشتر شده و باعث دوام بیشتر آسفالت خواهد شد. با کاهش ناهمواری سطح، ایمنی ترافیک و راحتی رانندگی بیشتر شده و بار ضربه‌ای ترافیک برروی روسازی آسفالتی کم می‌شود.

شکل ۳-۲۰- نمونه‌ای از عملیات تراکم و تثبیت لایه‌های زیرسازی با استفاده از آهک

با توجه به موارد فوق‌الذکر، ضروری است که در تراکم آسفالت بیشتر دقت شود تا نتیجه مطلوب حاصل گردد. در راستای بهبود کیفیت تراکم مخلوط‌های آسفالتی رعایت مواردی به شرح زیر ضروری می‌باشد:

اکثر مخلوط‌های آسفالتی چنانچه در دماهایی که کندروانی (ویسکوزیته) قیر در آن دما مناسب باشد پخش شده و غلتک زنی شوند به خوبی متراکم می‌گردند. غلتک‌زنی باید بلافاصله بعد از پخش مخلوط آسفالتی در درجه حرارت مناسب شروع شود. به منظور تامین کیفیت مطلوب لایه‌های آسفالتی، غلتک‌زنی باید با دقت صورت گرفته و از ایجاد زبری و ناهمواری زیاد در سطح روسازی جلوگیری شود.

توصیه می‌شود که هر لایه روسازی به گونه‌ای متراکم شود که وزن مخصوص آن تا میزان ۹۷ درصد وزن مخصوص آسفالت متراکم شده با چکش مارشال باشد. میزان تراکم، تابعی از نوع آسفالت و نحوه بهره برداری از آن می‌باشد، بطوری که در فرودگاهها درصد تراکم بیشتر بوده و در جاده‌های با ترافیک سبک درصد تراکم می‌تواند کمتر ، باشد.

۳-۸-۲- تجهیزات

عملیات تراکم با استفاده از غلتک‌های چرخ فلزی و چرخ لاستیکی صورت می‌گیرد. متراکم کننده‌ها باید مطابق با پیشنهادات کارخانه‌های سازنده مورد استفاده و کاربرد قرارگیرند. این تجهیزات باید طراحی شده و با دقت نگهداری شوند بطوری که قادر باشند عملیات تراکم مورد نیاز را انجام دهند.

وزن غلتک‌های چرخ فولادی نباید کمتر از ۸ تن باشد. غلتک‌های چرخ لاستیکی باید از نوع لرزشی(ویبره) با حداقل ۷ چرخ لاستیکی با اندازه و قطر مساوی باشند. متراکم کننده‌های دارای چرخ لنگ (یا چرخ لق) مجاز به کاربرد نیستند. لاستیک‌ها باید از یکدیگر فاصله داشته باشند بطوری که شکاف بین تایرهای مجاور از طریق تایرهای عقب پوشش داده شوند. تایرها باید قادر باشند تا با ۹۰ پوند در هر اینچ مربع باد شده و نگهداری شوند بطوری که فشار هوا بیش از ۵ پوند در هر اینچ مربع از فشار طراحی شده تغییر نکند.

غلتک‌های چرخ لاستیکی باید به گونه‌ای طراحی شده باشند، که وزن کل متراکم کننده جهت ایجاد فشار برای هر تایر از ۵۰۰۰ پوند بیشتر نشود. در صورت وجود شرایط افت دما لازم است چرخ غلتک به وسیله عایق مناسب (پارچه ای) که در اطراف تایرها قرار می‌گیرند تا افت حرارت در چرخ‌ها به حداقل برسد پوشش شوند.

۳-۸-۳- عملیات تراکم

۳-۸-۳-۱- تراکم واحد یا تراکم اولیه

عملیات غلتک زنی آسفالت، اولین عمل متقابل بین غلتک و مخلوط آسفالتی در جهت تراکم آن است. پیمانکارانی که در نظر دارند فقط از یک غلتک برای ایجاد تراکم لایه‌های آسفالتی استفاده کنند از غلتک‌های ویبره فولادی استفاده می‌کنند تا با عملیات تراکم چگالی مخلوط افزایش یافته و یک سطح صاف و هموار ایجاد شود. در برخی موارد نیز ممکن است از غلتکهای چرخ لاستیکی برای این عمل استفاده شود. این کار برای اجرای لایه‌های نازک میسر است اما برای متراکم کردن لایه‌های ضخیم استفاده از تنها یک غلتک فلزی (هر چند ویژگی کاربرد آن بصورت ویبره نیز باشد)کفایت نکرده و آنچنان که در ادامه خواهد آمد از عملیات غلتک زنی میانی (استفاده از غلتک‌های چرخ لاستیکی برای ورز دادن آسفالت و متراکم کردن قسمت‌های زیرین لایه تحت تراکم) و سپس انجام اطوی نهایی کار با استفاده از غلتک چرخ فلزی نیز ضرورت دارد.

عمده ترین چگالی در طول غلتک زنی در ابتدای عملیات تراکم بدست می‌آید. میزان سرعت حرکت غلتک و جلوگیری از ایجاد شوک روی لایهٔ در حال اجرا از پارامترهای مهم است. غلتک‌ها باید همیشه به آرامی روی مخلوط‌های متراکم نشده شروع به حرکت کنند، همچنین تغییر جهت حرکت و تغییر مسیر یا گردش غلتک می‌بایست در محل سرد شده قبلی صورت گیرد.

توقف روی قسمت آسفالت گرم پخش شده اثرات نامطلوبی بر سطح روسازی ایجاد می‌کند. لازم به ذکر است که می‌بایست بیشترین تراکم قبل از اینکه مخلوط کاملاً سرد شود بدست آید. این موضوع بخصوص در مواقعی که کار در شرایط محیطی سرد و یا در شرایط باد و همچنین هنگامی که مخلوط‌های حساس (نظیر غلتک‌های حاوی مواد افزودنی) متراکم می‌شوند باید با دقت رعایت شود(شکل ۳-۲۱)

شکل ۳- ۲۱- عملکرد ابتدایی غلتک زنی

امور پیمان
omoorepeyman.ir

۳-۸-۴- مراحل غلتک زنی

عملیات تراکم باید از توالی غلتک زنی و همپوشانی چرخ غلتک‌ها، با استفاده از انواع متراکم کننده‌های مشخص شده حاصل شود. یک بار عبور، به عنوان یک بار حرکت از یک متراکم کننده تعریف می‌شود. ترتیب و توالی غلتک زنی، نوع متراکم کننده‌ها که باید استفاده شوند و تعداد پوشش مورد نیاز باید براساس موارد مندرج در جدول شماره ۳-۳ صورت می‌گیرد. در جدول مذکور دو گزینه پیشنهاد شده است، یکی استفاده از غلتک‌های استاتیکی و دیگری استفاده از غلتک‌های ویبره و استاتیکی که نوع انتخاب برحسب دسترسی به امکانات کارگاهی صورت می‌گیرد. در هر گروه پس از انتخاب گزینه، لازم است سه مرحله غلتک زنی اولیه، میانی و نهایی به ترتیب مندرج در جدول ۳-۳ صورت گیرد.

در هر مرحله از غلتک زنی نیز برای انتخاب نوع غلتک و تعداد عبور آن، از ستون انتخاب مربوطه از جدول ۳-۳ استفاده می‌گردد.

جدول ۳-۳- ترتیب و توالی غلتک زنی

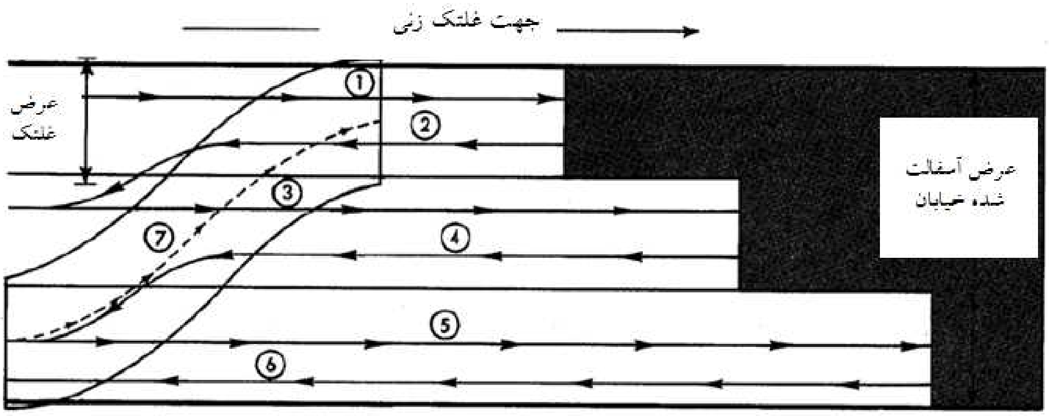
نوع غلتک زنی	نوع متراکم کننده		تعداد عبور غلتک	
	انتخاب اول	انتخاب دوم	گزینه اول	گزینه دوم
اولیه	فولادی استاتیکی	فولادی ویبره (لرزان)	۱	۱
میانی	چرخ لاستیکی	فولادی ویبره	۴	۴* – ۲
نهایی	فولادی استاتیکی	فولادی استاتیکی	۳ – ۱	۳ - ۱

* براساس نمونه (الگوی) غلتکی که عملکرد بهتری را ارائه می‌دهد.

متراکم کننده چرخ فولادی نباید در حالت ویبره برای ضخامت قشرهایی برابر یا کمتر از ۲/۵ سانتی متر و همچنین غیر از مواقعی که دمای بتن آسفالتی به زیر ۸۰ درجه سانتی گراد افت پیدا می‌کند، استفاده شود.

تراکم‌های اولیه و میانی قبل از اینکه دمای بتن آسفالتی به زیر ۹۳ درجه سانتی گراد افت پیدا کند باید انجام گردند. با توجه به شکل ۳-۲۰حوه صحیح عملیات غلتک زنی و چگونگی تغییر مسیرها با توجه به عرض غلتک، بصورتی است که جهت شروع عملیات غلتک از ابتدا با علامت ① آغاز (یعنی از قسمت کناری جاده) و در انتها در مرحله هفتم (یعنی محل تاج روسازی) به پایان می‌رسد.

لازم به ذکر است که هنگام تغییر جهت حرکت علتک از یک خط عبور به خط دیگر همانگونه که در شکل ۳-۲۲ مشاهده می‌شود می‌بایست غلتک به قسمت آسفالت سرد شده منتقل و تغییر مسیر در آنجا صورت گیرد و به هیچ وجه تغییر جهت در محل‌هایی که تازه آسفالت آنجا پخش شده و آسفالت هنوز گرم است صورت نگیرد.



شکل ۳- ۲۲- شیوه صحیح غلتک زنی و تغییر مسیر غلتک‌ها

۳-۸-۴-۱- غلتک زنی اولیه

این غلتک‌زنی باید بوسیله غلتک چرخ فولادی انجام شود. عموماً غلتک‌های سه چرخ برای این منظور به کار می‌روند ولی گاهی هم از غلتک‌های تاندم استفاده می‌شود. هنگامی که از هر دو نوع آنها استفاده می‌شود، باید از غلتک سه چرخ در کنار فینیشر استفاده گردد و سپس از غلتک تاندم استفاده نمود. وزن غلتک مورد استفاده برای غلتک‌زنی اولیه بستگی به دمای مخلوط، ضخامت لایه و پایداری مخلوط دارد. معمولاً غلتک‌های با وزن ۱۰ تا ۱۲ تن برای این منظور بکار می‌روند. نکته مهم این است که غلتک‌زنی باید از لبه پایینی مخلوط پخش شده شروع شود و سپس به سمت بالاتر ادامه یابد. دلیل این کار آن است که مخلوط‌های آسفالتی وقتی که داغ هستند در زیر غلتک تمایل به حرکت به سمت پایین دست را دارند. اگر غلتک‌زنی از لبه بالایی شروع شود، این جابجایی نسبت به وقتی که از لبه پایینی شروع گردد خیلی بیشتر می‌شود. غلتک‌ها در عرض‌های متفاوت ساخته می‌شوند و لذا تدوین یک دستورالعمل واحد و انتظار کارکرد یکنواخت و یکسان برای تمام آنها غیر عملی است. به این جهت بهترین روش برای هر غلتک آن است که به صورت جداگانه اعمال شود. یک یا دو مورد استثناء در مورد غلتک‌زنی با استفاده از غلتک‌های چرخ فولادی به صورت فوق وجود دارد و این موضوع وقتی اتفاق می‌افتد که شیب عرضی در محل اجرا زیاد بوده و یا شیب طولی در آن مقطع خیلی تند باشد.

۳-۸-۴-۲- غلتک زنی ثانویه

این غلتک‌زنی باید بلافاصله بعد از غلتک‌زنی اولیه شروع شود و تا زمانی که مخلوط خمیری است و توانایی متراکم شدن با حداکثر چگالی را دارد ادامه داشته باشد. بدین منظور غلتک‌های چرخ لاستیکی باید بکار روند زیرا دارای مزایای زیر هستند و نکاتی چند باید در خصوص آنها رعایت گردد:

۱) این غلتک‌ها نسبت به غلتک‌های چرخ فولادی درجه تراکم یکنواخت‌تری دارند.

۲) قشر رویه را بهبود می‌بخشند و در نتیجه نفوذپذیری لایه را کم می‌کنند.

۳) با ازدیاد فشار باد لاستیکها، سنگدانه‌ها در جهتی استقرار می‌یابند که در پایدارترین حالت خود قرار گیرند. فشار باد لاستیکها تا مقداری باید زیاد شود که باعث جابجایی مواد نشود، البته فشار باد لاستیکها باید متناسب با نوع و ترکیب مواد باشد. اگر این فشار کم باشد، لاستیک به سمت داخل خم می‌شود و اگر زیاد باشد، لاستیک به سمت بیرون خم می‌شود که در هر دو حالت تراکم یکنواخت حاصل نخواهد شد.

۴) تراکم با غلتک چرخ لاستیکی به معنای تراکم بر اساس وزن ماشین و نیز اثر ورز دادن مخلوط بعلت تغییر شکل لاستیک است. اثر متقابل نیروهای افقی و عمودی، مخلوط را ورز می‌دهند که باعث پر شدن حفره‌ها در مخلوط می‌شود.

۵) استفاده از غلتک چرخ لاستیکی چگالی را نسبت به حالتی که از غلتک چرخ فولادی استفاده می‌شود زیاد نمی کند بلکه از تغییر شکل بیشتر آن تحت اثر ترافیک سنگین جلوگیری می‌کند، در نتیجه باعث افزایش پایداری می‌شود.

۶) غلتک‌زنی با غلتک چرخ لاستیکی باید به صورت مداوم و از زمان غلتک‌زنی اولیه تا تراکم کامل مخلوط صورت گیرد.

۷) به غلتک‌های چرخ لاستیکی نباید اجازه گردش و تغییر مسیر در محل آسفالت گرم داده شود، زیرا باعث جابجایی مخلوط می‌گردند با این وجود این غلتک‌ها بر غلتک‌های فولادی در این مرحله ترجیح داده می‌شوند.

۸) هنگام استفاده از غلتک چرخ فولادی و یا چرخ لاستیکی، نمونه غلتک‌زنی شده و پلان آن باید شبیه غلتک زنی اولیه باشد. این پلان تا حصول تراکم نهایی باید ادامه یابد.

۳-۸-۴-۳- غلتک زنی نهایی

این مرحله غلتک‌زنی فقط برای بهبود کیفیت سطح و هموارسازی نهایی به کار می‌رود. (عملیات تراکم در دو مرحلهٔ قبلی انجام شده است) این مرحله غلتک‌زنی باید با استفاده از غلتک تاندم دو محوره و یا سه محوره تا زمانی که مخلوط هنوز برای رفع اثر غلتک‌های قبلی گرم است، انجام شود.

۳-۸-۵- تراکم قشرهای با ضخامت بیش از ۵ سانتی متر

عملیات تراکم و کنترل تراکم بر عهده پیمانکار بوده و تعداد و نوع غلتک‌ها نیز باید با مسئولیت پیمانکار و به حد کافی در محل فراهم گردد تا نیازهای مورد نظر تأمین شود. همه لبه‌ها در حالی که مخلوط گرم است باید با غلتک چرخ لاستیکی یا دیگر روشهایی که توسط مهندس ناظر تائید شده غلتک زنی گردند. وقتی بیش از یک پروژه در حال اجرا باشد لازم است هر سری بطور مجزا مورد اجرا و آزمایش قرار گیرند. به عنوان مثال ۲۰ نمونه برای هر سری، توسط پیمانکار تحت نظارت مهندس مغزه گیری می‌شود. مهندس بطور تصادفی ۱۰ محل در بین هر سری انتخاب خواهد کرد و پیمانکار نیز دو مغزه در هر محل می‌گیرد. محل‌هایی که بطور تصادفی انتخاب شده اند باید بیش از ۱۵سانتی متر در جهت‌های عرض و طولی از کنار روسازی فاصله داشته باشند. مغزه‌ها باید با استفاده از دستگاه مغزه‌گیری مناسب (از نظر قطر و عمق) و مطابق با نیاز صورت گیرد. مغزه‌ها معمولاً باید دارای قطر ۱۵ سانتی متر (۶ اینچ) باشند. این مغزه‌ها، در صورتیکه هدف کنترل آسفالت جدید اجرا شده باشد، نباید بعد از دو روز کاری پس از اجرا گرفته شده باشند.

مغزه‌ها باید فوراً به محض مغزه گیری به مهندس ناظر تحویل داده شوند. سپس به منظور کنترل و پذیرش مطابق با نیازهای مورد نظر آزمایش خواهند شد. تأکید نتایج آزمایش برای پیمانکار در ۴ روز کاری پس از دریافت مغزه‌ها توسط مهندس ناظر تهیه خواهد شد. مقدار نهایی برای تراکم معمول مخلوط، ۷٪ فضای خالی باید باشد. چگالی تئوری ماکزیمم استفاده شده در تعیین فضای خالی، میانگین ۴ چگالی تئوری ماکزیمم تعیین شده می‌باشد. حد بالایی (UL)[1]، ۹٪ فضای خالی و حد پائین (LL)[2]، ۴٪ فضای خالی هوا است. مغزه‌هایی که قبلاً گرفته شده اند مطابق با نیازهای آزمایش در یک آزمایشگاه طراحی شده توسط مهندسین ناظر و کارفرما بطور مستقل مورد آزمایش قرار می‌گیرند.

---

[1] Upper Limit
[2] Lower Limit

آزمایش کردن مغزه‌ها از طریق آزمایشگاهی که بطور مستقل می‌باشد، انجام می‌گیرد و بدون آگاهی از شرایط ویژه پروژه، صورت خواهد گرفت.

۳-۸-۶- الزامات تراکم مخلوط‌های آسفالتی

غلتک‌ها بایستی کیفیت لازم را داشته و در وضعیت خوبی باشند و به منظور جلوگیری از جابجایی و تغییرشکل مخلوط آسفالتی پخش شده با سرعت پایین(به شرحی که در ادامه آمده است) کار کنند. تعداد، نوع و وزن غلتک‌ها نیز بایستی بگونه‌ای انتخاب گردد که چگالی مورد نیاز مخلوط قبل از آنکه سرد و سخت شود، تامین گردد. از تجهیزاتی که منجر به خرد شدن بیش از حد سنگ دانه‌ها می‌گردند، بایستی اجتناب گردد.

لایه پخش شده بایستی در سریع ترین زمان ممکن به گونه‌ای متراکم شود که دیگر تغییر شکل‌های بیش از حد، ترک خوردگی و موج شدگی در آن ایجاد نشود. تعداد دفعات عبور غلتک و نوع غلتک‌های مورد استفاده همانگونه که قبلاً اشاره شد بر اساس صلاحدید دستگاه نظارت تعیین می‌گردد .

سرعت غلتک‌ها همواره بایستی به منظور جلوگیری از ایجاد تغییر شکل‌های افقی در مخلوط‌های آسفالتی گرم (موجی شدن سطح) به اندازه کافی پایین باشد.

هنگام غلتک‌زنی، چرخ‌های غلتک باید بگونه‌ای لزج نگه داشته شوند تا از چسبیدن مخلوط به آنها جلوگیری گردد. این کار معمولاً با استفاده از مواد شوینده صابونی صورت می‌گیرد. در این راستا باید از استفاده از مواد روغنی و گازوئیل جداً ممانعت گردد. غلتک‌ها باید با یک سرعت ملایم و یکنواخت و نیز در نزدیکی فینیشر حرکت کنند. سرعت غلتک‌های چرخ فولادی بسته به شرایط، نباید بیش از ۳ تا ۵ کیلومتر در ساعت و سرعت غلتک‌های چرخ لاستیکی نباید بیش از ۵ تا ۸ کیلومتر در ساعت باشد. غلتک باید در شرایط مطلوبی بوده تا توانایی برگشت را بدون لرزش داشته باشد، خط و نوار غلتک‌زنی نباید سریعاً عوض شود و یا جهت حرکت آن نباید سریعاً برعکس شود. تغییر سرعت نیز باید به صورت تدریجی اعمال گردد، زیرا در غیر این صورت باعث جابجایی آسفالت غیر متراکم خواهد شد. طرز حرکت و جهت غلتک در شکل ۳- ۱۱ آورده شده است. هرگونه تغییر در جهت حرکت غلتک باید برروی مخلوط پایدار و تثبیت شده (مخلوط سرد شده) صورت گیرد. اگر غلتک‌زنی باعث جابجایی مخلوط شود، محلهای فوق باید دوباره با شخم زدن نرم شده و به حالت اولیه برگردند و سپس غلتک زده شوند. به تجهیزات سنگین نباید اجازه داده شود که برروی سطح تمام شده آسفالت (قبل از آنکه آسفالت کاملاً سرد شود) توقف نمایند.

هنگامی که کل عرض خط با یک بار حرکت فینیشر پوشش داده شود و درز طولی بوجود نیاید، اولین نوار باید مطابق بامراحل زیر غلتک زده شود:

درزهای عرضی.
لبه خارجی.
غلتک‌زنی اولیه از لبه پایینی نوار شروع شده و به سمت لبه بالایی برود.
غلتک‌زنی ثانویه مانند بند (۳) اجرا شود.
غلتک‌زنی نهایی.
مراحل غلتک زنی اصولی در کروکی شکل ۳-۱۱ نشان داده شده است.

هنگامی که به صورت مرحله‌ای و یا در مجاورت یک لایه قبلی روکش انجام می‌شود، غلتک‌زنی باید مطابق توضیحات زیر و مراحل ذکر شده انجام گردد:

درزهای عرضی.
درزهای طولی.
لبه خارجی.
غلتک‌زنی اولیه از لبه پایینی شروع شده و به سمت لبه بالایی برود.
غلتک‌زنی ثانویه مانند بند (۴) زده شود.
غلتک‌زنی نهایی.

هنگام غلتک‌زنی در حالت مرحله‌ای، در هر مرحله ۵ تا ۸ سانتیمتر از لبه‌ای که فینیشر بعدی برروی آن می‌آید باید بدون غلتک‌زنی رها شود و سپس هنگامی که درز بین دو نوار غلتک زده می‌شود، متراکم گردد (مرحله ۷ نشان داده شده در شکل ۳-۱۱). لبه‌ها نباید بیش از ۱۵ دقیقه بدون غلتک‌زدن رها شوند. در اجرای درزهای طولی و عرضی در غلتک‌زنی‌های ثانویه و در لایه رویه باید توجه ویژه مبذول شود .

نکته قابل ذکر دیگر این که نسبت به اصلاح هر گونه تغییر شکل ناشی از تغییر مسیر غلتک‌ها و یا هر گونه خرابی ناشی از آنها بلافاصله باید اقدام نمود. تعداد غلتک‌ها نیز متناسب با شرایط پخش آسفالت و مطابق با حداکثر نرخ تولید کارخانه آسفالت باشد. از طرف دیگر عملیات غلتک زنی تا زمانی ادامه یابد که بافت سطحی جاده مناسب و به طور یکنواخت شده و شیب‌ها و مقاطع عرضی مورد نظر تامین شوند. به منظور جلوگیری از چسبیدن مخلوط به غلتک، چرخ‌های غلتک‌ها بایستی به طریق مناسب (همانگونه که در ابتدای همین بند ذکر گردید) مرطوب شوند. شایان ذکر است که بدین منظور استفاده از آب بیش از اندازه نیز مجاز نمی باشد تا موجب سرد شدن مخلوط و ایجاد کف در سطح روسازی نگردد.

۳-۸-۷- عوامل تاثیر گذار در تراکم اولیه

هرچه تراکم اولیه بیشتر باشد (غلتک مربوط به اطوی اولیه)، آسفالت پخش شده برای عبور غلتک‌های بعدی (چرخ لاستیکی) تعادل بیشتری خواهد داشت و لذا سطح صاف‌تری در نهایت حاصل خواهد شد.

۳-۸-۷-۱- دمای تراکم

برای ارزیابی تراکم‌پذیری مخلوط آسفالتی، عامل اصلی و تعیین‌کننده دمای مخلوط است. بدین جهت دمایی که تراکم در آن صورت می‌گیرد باید مشخص باشد. هرچه دمای مخلوط آسفالتی پایین‌تر باشد، تامین تراکم مخلوط مشکل‌تر می‌شود و لذا تراکم باید در دمای بین ۸۰ تا ۱۰۰ درجه سانتیگراد کامل شود، زیرا کمتر از این دما، تراکم مخلوط بسیار مشکل خواهد بود، که البته این مقدار هم‌به نوع قیر بکار رفته بستگی دارد.

۳-۸-۷-۲- زمان تراکم

این زمان به سرعت سرد شدن لایه آسفالتی بستگی دارد، یعنی در واقع زمان شروع تراکم تابعی از دمای آن است. سرعت سرد شدن لایه آسفالتی نیز بستگی به عواملی چون ضخامت لایه، شرایط آب و هوایی، دمای لایه، تغییرات حرارتی از طریق لایه اساس و کاهش دما بعلت تبخیر آب باران و پاشش آب برروی غلتک دارد. هرچه ضخامت لایه کمتر باشد، لایه آسفالتی سریعتر سرد می‌شود، همچنین در شرایط آب و هوایی سرد، لایه‌ها زود تر سرد می‌گردند.

۳-۹- مسائل اجرایی

۳-۹-۱- آماده سازی سطح اولیه

اصلاح کلیه آسیب دیدگی‌ها، شامل مرمت ترکهای طولی و عرضی، لکه گیری، تعمیر موضعی قشرهای زیرسازی و در صورت لزوم، تسطیح نشست‌ها، اصلاح پروفیل‌ها، پخش مصالح سنگی داغ روی سطوح قیر زده، تثبیت و یا مرمت آسفالت موجدار و فتیله شده، تعمیر و اصلاح پوشش بتنی و هر نوع کارهای تکمیلی دیگر باید قبل از اجرای قشرهای جدید آسفالتی انجام گیرد. همچنین قبل از اجرای لایه آسفالتی میبایست یک لایه قیر با حجم مشخص بر روی سطح آماده شده ریخته شود .قبل از پخش آسفالت و به منظور فراهم آوردن شرایط تصعید مواد حلال و یا آب قیرهای امولسیون (هم برای اندودهای سطحی و هم اندودهای نفوذی) لازم است عملیات پخش اندود یک روزقبل انجام شده باشد. صحت عملکرد ماشین پخش قیر می‌بایست با آزمایش سینی کنترل شود. در بسیاری از موارد آماده سازی سطوح به درستی انجام نمی گیرد .دستگاه آسفالت تراش، برای برداشتن قسمت خراب رویه آسفالتی توسط پیمانکاران تهیه نشده است و در مواردی با وسایل دیگر از جمله کلنگ اقدام به برداشتن قسمت خرابی میکنند .در هنگام اجرای وصله مشاهده شده قیر به صورت صحیح پخش نمی شود. متاسفانه در برخی موارد حتی خرابیهایی نظیر ترک موزاییکی با شدت زیاد که همراه با تورفتگی می‌باشد برداشته نشده و بر روی آن قیر پاشی شده و آسفالت اجرا شده است. ترک موزاییکی و تورفتگی زودرس در رویه جدید در این موارد قطعاً رخ خواهد داد.

به دلیل عدم هماهنگی‌های لازم فاصله زمانی بین اجرای اندود سطحی و لایه آسفالتی بسیار زیاد شده و در مواردی به چند روز می‌رسد .در این زمان در اثر عبور وسایل نقلیه و یا بارندگی قشر قیری از بین رفته و یا خاصیت چسبندگی خود را از دست داده است .به دلیل فرسوده بودن ماشین آلات، پخش قیر به درستی انجام نشده و خرابی‌هایی نظیر قیرزدگی در قسمتهایی که بیش از حد قیر پخش شده است و جمع شدگی در قسمتهایی که به اندازه کافی قیر پخش نشده است، پس از گذشت زمان چند ماه رخ خواهد داد، خصوصا اگر اتمام عملیات روکش با شروع فصل گرما همراه باشد.

۳-۹-۲- تراکم در محل

عمل تراکم باید بلافاصله بعد از پخش مخلوط آسفالتی شروع شود ولی باید توجه داشت که در این مرحله، حرارت مخلوط آسفالتی به حدی باشد که به هنگام شروع کوبیدن تاب تحمل وزن غلتک و یا اثرات ارتعاشی آن را (در مورد غلتکهای لرزشی) داشته و زیر فشار چرخ فتیله و جابه جا نشده و در سطح آن نیز شیار و ترک‌های طولی و عرضی ایجاد نگردد. غلتک‌ها باید قبل از شروع کار توسط دستگاه نظارت مورد بازبینی قرار گرفته تا انطباق مشخصات غلتک نظیر وزن و نیز شرایط مناسب مکانیکی آنها نظیر تناوب و میدان نوسان غلتکهای لرزشی برای کوبیدن مخلوط آسفالتی با مندرجات آیین نامه ۱۰۱ سازمان مدیریت و برنامه ریزی محرز گردد. در اثر استفاده از روغن سوخته ویا گازوئیل برای تمیز کردن سطح غلتک، این مواد در هنگام غلتک زدن بر روی مخلوط آسفالتی اثر کرده و با قیر آسفالت مخلوط شده و قیر خاصیت خود را از دست می‌دهد.

درجه حرارت مناسب پخش نیز بر حسب درجه حرارت سطح راه و ضخامت لایه آسفالتی مشخص می‌شود که برای ضخامت‌های متداول (۵ تا ۱۰ سانتیمتر) بین ۱۲۰ تا ۱۴۰ درجه سانتیگراد است .دمای آسفالت در هنگام بارگیری در کامیون و در کارخانه‌های آسفالت با دماسنج لیزری ثبت می‌شود. در بسیاری از محورها دیده شده که آسفالت در دمایی

بیش از دمای استاندارد (بالای ۱۶۳ درجه سانتیگراد) بارگیری شده که می‌تواند عواملی چون بالا بودن دمای قیر یا دمای مصالح سنگی، نا آشنا بودن با گرم کننده قیر و یا اپراتور به دمای استاندارد یا نبودن سنسور دما موجب عملکرد نادرست گردد. دمای پخش نیز در چندین مورد کمتر از مقدار مجاز ثبت شده که فاصله زیاد حمل و استفاده نکردن از پوشش پارچه می‌تواند دلایل آن باشد .نبودن مخلوط آسفالتی در دمای مناسب در زمان بارگیری و اجرا، تراکم نا کافی و یا بیش از حد را در رویه اجرا شده به دنبال خواهد داشت .عدم تراکم کافی و در واقع مقدار بیش از حد فضای خالی دوام ناکافی رویه آسفالتی می‌باشد تراکم بیش از حد، کم بودن فضای خالی مورد نیاز و قیرزدگی رویه آسفالتی را منجر خواهد شد.

۳-۹-۳- مدیریت تعمیر و نگهداری

مدیریت از ارکان اساسی هر فعالیت اجرایی است. از آنجا که ساخت راهها هزینه کلانی را به خود اختصاص می‌دهد، اجرای به هنگام گزینه‌های ترمیم ونگهداری باید سر لوحه برنامه‌ها قرار گیرد .عملیات روکش یکی از متعارفترین گزینه‌های بهسازی در سطح روسازی راهها میباشد.که ارائه زمانبندی مناسب برای اجرای آن از اهمیت بسزایی بر خوردار است. سعی بر آن است تا با ارائه الگوئی قانونمند با تکیه بر مراحل گفته شده بتوان بهینه ترین عملیات روکش را به عنوان زمانبندی بهینه معرفی نمود.

مطالعه و تحقیقات نشان میدهد که عوامل زیادی در ایجاد خرابیها دخیل هستند .در بخش تولید آسفالت در کارخانه آسفالت، ذخیره و گرمایش نامناسب قیر، عدم توزین صحیح مصالح سنگی و قیر، کنترل نشدن مشخصات مصالح اولیه (خصوصاً فیلر و مخلوط آسفالت) درکارخانه و حمل و نقل ناصحیح آسفالت از کارخانه تا محل احداث روکش از عوامل مهم در بروز خرابیهای زودرس هستند .در بخش اجرا، آماده نشدن سطح به طور مناسب برای اجرای روکش، وجود ماشین آلات فرسوده و غیر استاندارد در عملیات پخش و تراکم و عدم نظارت صحیح کارگاهی ازمهمترین عوامل در ایجاد خرابی هستند.

عدم توجه به اولویت بندی پارامترهای مهم در تعمیر و نگهداری، عدم توجه به موقع به زمان تعمیر و نگهداری، عدم شناخت کافی نسبت به این موضوع که کدامیک از روشهای تعمیر و نگهداری باید استفاده شود ، در صورت داشتن دید درست نسبت به روشهای تعمیر و نگهداری عدم اجرای درست روشهای تعمیر و نگهداری، عدم استفاده از دستگاههای پیشرفته و مدرن ارزیابی روسازی نیز در بخش مدیریت، کاهش عمر روکش‌های آسفالتی را ناشی می‌شود.

با انجام تحلیل سلسله مراتبی، عوامل کلی و جزئی ایجاد خرابی رتبه بندی شدند. از میان عوامل اصلی، مسایل اجرایی و کارخانه آسفالت بالاتر ازسایر عوامل قرارمی گیرند .در میان اجزای عامل در کارخانه آسفالت حمل ونقل و بارگیری و گرمایش قیر بالاترین رتبه و در میان اجزای عامل در مسایل اجرایی نظارت بر اجراء و آماده سازی سطح بالاترین رتبه را از نظر دخیل بودن در ایجاد خرابی روسازی دارند.

باید آسفالت در درجه حرارت مناسب قرار گیرد. اگر حرارت داده شده بیش از حد باشد (که در این حالت دود آبی رنگی از روی آسفالت متصاعد می‌شود) سطح آسفالت پس از مدت کوتاهی ترک بر می‌دارد و آسفالت زودتر از مدت مقرر سخت و سفت می‌شود. بنابر این یکی از مواردی که باید مد نظر قرار داد و نظارت صحیحی بر آن داشت کنترل درجه حرارت آسفالت می‌باشد.

۳-۱۰- الزامات کلی در ساخت روسازی‌های آسفالتی درشت دانه

به طور کلی و با توجه به بررسی‌های صورت گرفته ساخت یک روسازی آسفالتی با کیفیت مناسب، هموار و یکنواخت با استفاده از مخلوط‌های آسفالتی درشت دانه مستلزم رعایت موارد ذیل است:

استفاده از روش‌های مناسب جهت انباشته کردن مصالح سنگی(دپو کردن مصالح سنگی) و تهیه دانه‌بندی‌های لازم.

نمونه‌گیری و انجام آزمایش بر روی مصالح سنگی بایستی به منظور بهبود کنترل کیفیت نسبت به مخلوط‌های آسفالتی متداول، افزایش یابد.

جلوگیری از جداشدگی مخلوط‌های آسفالتی به هنگام حمل و انبار کردن آنها در سیلوها.

به منظور آغشته شدن کامل سطوح سنگدانه‌ها، مدت زمان اختلاط مخلوط در کارخانه بایستی افزایش یابد.

ذرات درشت دانه معمولاً در بال مخزن ورودی دستگاه پخش آسفالت در محل (فینیشر) جمع و انباشته می‌شوند به همین دلیل قیف دستگاه فینیشر و سطح جلوی شمشه دستگاه بایستی همواره در طول اجرا، به منظور کاهش احتمال جداشدگی مخلوط آسفالتی پر باشد.

دهانه ورودی مخزن بارگیری فینیشر بایستی به گونه‌ای تنظیم شود که تا جایی که امکان دارد، شرایطی فراهم آید که تسمه نقاله انتقال آسفالت، عملکرد نسبتاً پیوسته‌ای داشته باشد.

ذرات درشت دانه‌ای که در اطراف پره مخزن ورودی فینیشر جمع می‌شوند را بایستی در پایان روز کاری به دور ریخت.

تنظیم سرعت فینیشر بسیار اهمیت دارد. دستگاه بایستی با سرعتی منطبق بر تولید بی وقفه کارخانه و تامین آسفالت توسط کامیون‌های حمل کار کند. با اینحال انتخاب سرعت پایین موجب بهبود بافت سطحی جاده و کاهش جداشدگی مخلوط می‌گردد.

تجهیزات تراکم (غلتک‌ها) و نحوه عملکرد آنها بایستی به گونه‌ای باشد که تراکم لازم در محل تامین گردد. این امر بایستی قبل از شروع پروژه در ابعاد وسیع آن بصورت آزمایشی بررسی و به تائید برسد.

فصل ۴

ویژگی‌های اقتصادی مخلوط آسفالتی حاوی مصالح درشت دانه

۴-۱- مقدمه:

محدود بودن منابع، ایجاب می‌کند تا از امکانات موجود به صورت بهینه استفاده شده و سرمایه‌ها به بهترین شکل ممکن به کار گرفته شوند. عدم استفاده صحیح از سرمایه، نه تنها سرمایه گذار را دچار فرصتهای از دست رفته می‌نماید، بلکه ممکن است او را با زیانهای غیرقابل جبران مواجه سازد. یکی از موثرترین راهها، برای استفاده بهینه از امکانات موجود و همچنین جلوگیری از زیانهای احتمالی، در اختیار داشتن اطلاعات کافی جهت پیش بینی نتایج حاصل از سرمایه گذاری و تعیین عوامل موثر در سودآوری پروژه می‌باشد.

جمع آوری، طبقه بندی و تجزیه و تحلیل اطلاعات مربوط به امکانات و محدودیتها و همچنین، برآورد نیازهای سخت افزاری و نرم افزاری جهت اجرای پروژه‌های سرمایه گذاری و در نهایت پیش بینی سودآوری پروژه و تاثیرات اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی آن بر جامعه از جمله دستاوردهای انجام مطالعات امکان سنجی صحیح و علمی می‌باشد.

اطلاعات به دست آمده در پایان مطالعات بخش فنی، اساس بررسی‌های مالی طرح را تشکیل میدهد. بدین ترتیب که ارزش پولی اقلام تعریف شده در بخش فنی، به عنوان اطلاعات ورودی در این بخش مورد استفاده قرار می‌گیرد و پس از انجام محاسبات و بدست آمدن روندی از وضعیت مالی طرح در سال‌های آینده، تحلیل‌های لازم و مفیدی را جهت تصمیم گیری در مورد نحوه سرمایه گذاری و اخذ تسهیلات ارائه می‌دهد و سود آوری طرح را در سالهای آتی پیش بینی می‌نماید.

۴-۲- عوامل مؤثر در انتخاب نوع روسازی

در یک فرآیند تصمیم‌گیری درباره انتخاب گزینه برتر، عوامل گوناگونی وجود دارد که روی گزینش نوع روسازی اثرگذار است. تعدادی از آن‌ها شامل شرایط اقلیمی، دسترسی به مصالح در نزدیکی محل ساخت، تجربیات اجرایی، قابلیت ساخت، قابلیت نگهداری و قابلیت بازیافت می‌باشد. آیین‌نامه‌ها، بخصوص آئین نامه روسازی آسفالتی ایران توصیه می‌کند که انتخاب نوع روسازی با مقایسه اقتصادی گزینه‌های مختلف بررسی و تسهیل شود. استاندارد آشتو تأکید می‌کند که ارزیابی اقتصادی شامل تحلیل هزینه‌های چرخه عمر و ارزیابی روش‌های طرح روسازی، شامل تمام عواملی که در انتخاب نوع روسازی اثرگذار است، نمی‌باشد. علاوه بر تحلیل اقتصادی و مقایسه هزینه‌ها، باید به پارامترهای زیر نیز توجه کرد[۲۶]:

ویژگی‌های خاک بستر راه

شرایط اقلیمی و آب و هوایی

مسائل سیاسی و زیست محیطی

ملاحظات اجرایی (سرعت ساخت، مدیریت ترافیک، سهولت جایگزینی روسازی جدید به جای روسازی قبلی و فصل اجرا)

بودجه اولیه

دسترسی به مصالح مورد نیاز

بارهای ترافیکی

پیشینه عملکرد روسازی‌های مشابه در آن منطقه

دوام روسازی

امور پیمان
omoorepeyman.ir

قابلیت بازیافت مصالح روسازی موجود

قابلیت نگهداری

در خصوص پارامتر اخیر توضیح آنکه هرچه زمان متوسط فعالیت‌های نگهداری و تعداد فعالیت‌های ترمیم و نگهداری کمتر باشد، روسازی قابلیت نگهداری بالاتری دارد. البته تعیین آن بسیار مشکل است. مثلاً روسازی‌های انعطاف‌پذیر اگرچه نگهداری ساده‌تری دارند و زمان کمتری برای ترمیم و نگهداری آن‌ها صرف می‌شود، ولی تعداد فعالیت‌های نگهداری آن‌ها بیشتر است. در حالی که روسازی‌های صلب، نظیر روسازی‌های بتنی، فعالیت‌های نگهداری کمتری نیاز دارند اما نگهداری آن‌ها پیچیده تر بوده و به زمان و اعتبارات بیشتری نیاز دارند.

همان گونه که اشاره شد، انجام تحلیل اقتصادی روی پروژه‌ها، معیار کاملی برای تصمیم‌گیری نمی‌باشد با این حال فرآیند موردنظر را تسهیل می‌سازد تا بهترین گزینه ممکن انتخاب گردد. زیرا معیار انتخاب نهایی نوع روسازی شامل ملاحظاتی می‌گردد که به طور صریح در ارزیابی‌های اقتصادی لحاظ نشده‌اند. اگرچه ارزیابی اقتصادی گزینه‌ها چارچوب قابل اطمینانی را برای تصمیم‌گیری فراهم می‌آورد، ولی این ارزیابی که تحلیل هزینه چرخه عمر نمونه‌ای از آن می‌باشد، خود دارای کمبودها و محدودیت‌هایی است که ذیلاً به آن‌ها اشاره شده است [۲۶]:

این روش نمی‌تواند عوامل غیر پولی مانند در دسترس بودن مصالح، تخصص و مهارت پیمانکاران در اجرای روسازی یا موارد دیگر را در خود جای دهد.

دقت برآورد مالی پروژه‌ها اگرچه در هزینه‌های اولیه خوب است، ولی در هزینه‌های نگهداری و بهره برداری و زمان نیاز آن‌ها از تخمین مناسب برخوردار نیست.

این روش به تمامی هزینه‌ها اهمیت یکسانی می‌دهد. ممکن است سازمان مسؤول به هزینه‌هایی که مستقیماً به آن‌ها تحمیل می‌شود، حساسیت بیشتری داشته باشد. همچنین مرجع پرداخت بودجه ساخت و ترمیم، اغلب دولت‌های مرکزی هستند ولی هزینه‌های نگهداری به صورت سالیانه در بودجه ادارات محلی لحاظ می‌شود. به همین دلیل ادارات محلی مایلند وزن بیشتری به هزینه‌های نگهداری داده شود.

روش تحلیل هزینه‌های چرخه عمر به توانایی و وضعیت تأمین اعتبارات و منابع مالی پروژه در زمان حال به آینده توجهی ندارد.

از طرف دیگر تحلیل هزینه چرخه عمر کاربردهای مفیدی دارد که ذیلاً فهرست برخی از آن‌ها آورده شده است[۲۷]:

طراحی، انتخاب و تهیه گزارش مستند از صرفه اقتصادی رویکردهای اجرایی پروژه. به عنوان مثال، اگر قرار است پلی جدید جایگزین پلی قدیمی شود، از این روش می‌توان برای انتخاب گزینه مناسب که حداقل هزینه را در طول عمر پل داشته باشد، استفاده کرد.

ارزیابی رویکردهای نگهداری روسازی در ارتباط با عمر مفید درنظرگرفته شده برای آن. هزینه‌های هریک از این رویکردها را با توجه به اثرات احتمالی آن‌ها می‌توان مورد ارزیابی قرار داد.

برنامه‌ریزی پروژه و اجرای آن علی‌الخصوص فعالیت‌ها و عملیات متفاوت و زمان‌بندی اجرای آنها در مناطق کاری.

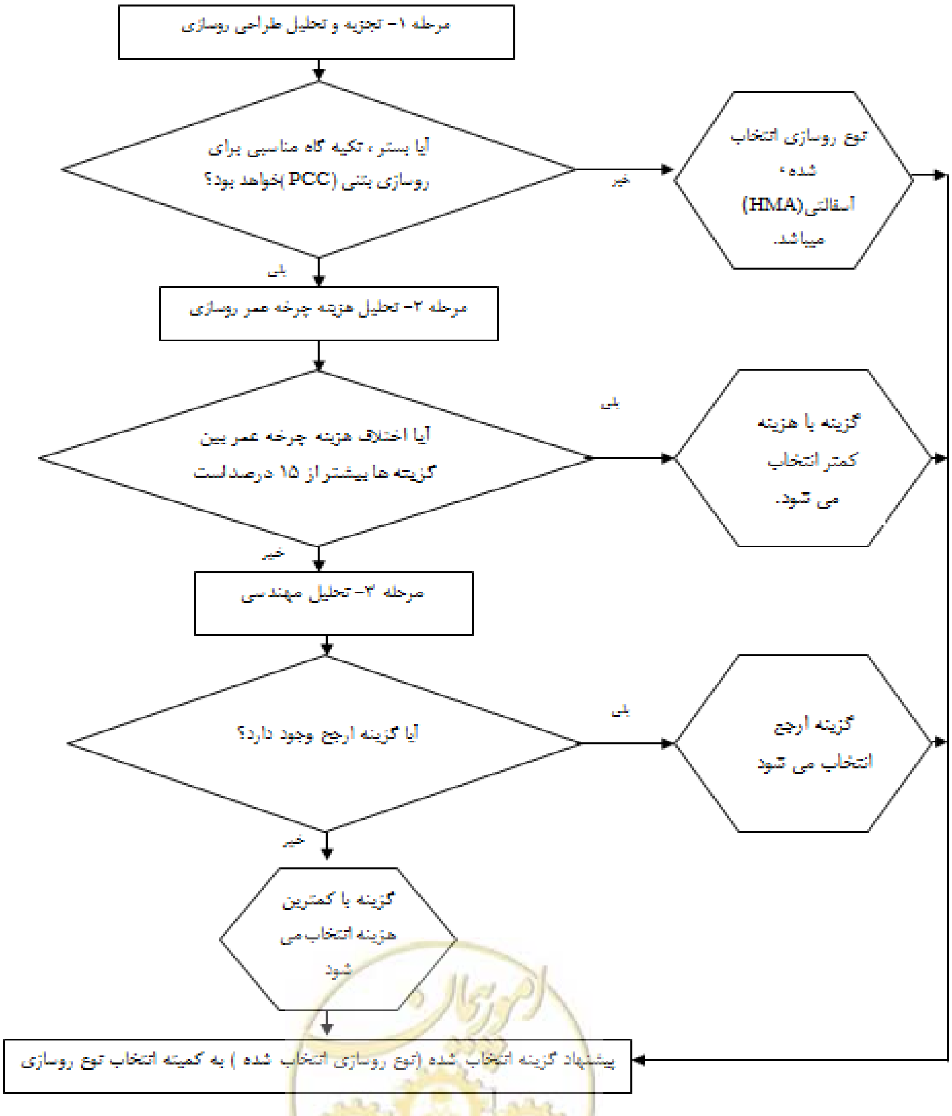
۴-۳- فرآیند انتخاب نوع روسازی

در یک فرآیند تصمیم‌گیری درباره انتخاب گزینه برتر، عوامل گوناگونی وجود دارد که روی گزینش نوع روسازی اثرگذار است. تعدادی از آن‌ها شامل شرایط اقلیمی، دسترسی به مصالح در نزدیکی محل ساخت، تجربیات اجرایی، قابلیت ساخت، قابلیت نگهداری و قابلیت بازیافت، اعتبار لازم اولیه، پیشینه عملکرد و صرفه اقتصادی می‌باشد. ممکن

است از نظر فنی چندین نوع رویه قابل اجرا باشند در این حالت است که صرفه اقتصادی اهمیت خاصی پیدا می‌کند. به طور کلی انتخاب نوع روسازی هم باید با توجه به شرایط فنی و هم اقتصادی صورت گیرد. در این حالت است که بهترین انتخاب صورت خواهد گرفت. ارزیابی اقتصادی باید با در نظر گرفتن تمامی هزینه‌هایی که در چرخهٔ عمر روسازی صرف می‌شود، انجام گیرد.

در ادامه روند انتخاب نوع روسازی برای انتخاب موردی بین دو نوع روسازی آورده شده است. این مورد صرفاً بعنوان مثال بوده و از آنجا که از طرف مراجع ذیصلاح مورد تأیید قرار گرفته است آورده شده تا بعنوان الگویی بتواند برای مقایسه دیگر روسازی‌ها استفاده شود.

شکل(۴-۱) روند انتخاب نوع روسازی (از بین دو روسازی بتنی و آسفالتی) را نشان می‌دهد. این چارت بسیار مهم و کاربردی بوده و توسط دپارتمان‌های حمل و نقل آمریکا به کار گرفته می‌شود. آنچه از این شکل می‌توان دریافت آن است که اختلاف ۱۵ درصدی هزینه چرخهٔ عمر دو گزینه، بعد فنی را تحت الشعاع قرار داده و گزینه دارای هزینه کمتر را در ارجحیت قرار می‌دهد. این روند را می‌توان به انتخاب دیگر گزینه‌ها تعمیم داده و نتیجه‌گیری را بر اساس آن انجام داد.


مرحله ۱- تجزیه و تحلیل طراحی روسازی
آیا بستر، تکیه گاه مناسبی برای روسازی بتنی (PCC) خواهد بود؟
خیر
نوع روسازی انتخاب شده، آسفالتی(HMA) میباشد.
بلی
مرحله ۲- تحلیل هزینه چرخه عمر روسازی
آیا اختلاف هزینه چرخه عمر بین گزینه ها بیشتر از ۱۵ درصداست
بلی
گزینه با هزینه کمتر انتخاب می شود.
خیر
مرحله ۳- تحلیل مهندسی
آیا گزینه ارجح وجود دارد؟
بلی
گزینه ارجح انتخاب می شود
خیر
گزینه با کمترین هزینه انتخاب می شود
پیشنهاد گزینه انتخاب شده (نوع روسازی انتخاب شده) به کمیته انتخاب نوع روسازی

شکل(۴-۱):فرآیند گزینه‌های مربوط به انتخاب نوع روسازی(بتنی یا آسفالتی)

چنانچه اختلاف هزینه‌های چرخه عمر دو گزینه مورد بررسی بیش از ۱۵٪ بود، می‌توان مخلوطی را انتخاب نمود که هزینه‌های کمتری را در پی دارد. از آن جا که اطلاعات مستندی در زمینه برآورد هزینه‌های نگهداری رویه آسفالتی درشت دانه در دسترس نمی‌باشد، نمی‌توان ارزیابی دقیقی از این هزینه‌ها برای این رویه صورت داد. ولی با توجه به نکاتی که در بخش اول ذکر شد، مخلوط آسفالتی درشت دانه مقاومت بیشتری از خود نشان داده و در برابر بسیاری از خرابی‌های متداول (مانند شیارشدگی) عملکرد بهتری از خود به جای می‌گذارد. پس می‌توان انتظار داشت حتی هزینه نگهداری کمتری را به مؤسسات متولی تعمیر و نگهداری و تسویه شبکه تحمیل نماید. از سوی دیگر چنانچه مخلوط درشت دانه هزینه تولید و ساخت کمتری (به میزان ۱۵٪ کمتر) داشته باشد، می‌توان از این گزینه به عنوان جایگزینی مناسب برای بتن آسفالتی گرم استفاده نمود.

۴-۴- جمع‌بندی کلی

در رابطه با خصوصیات مخلوط‌های آسفالتی درشت دانه می‌توان به مزایای فنی و اقتصادی متعددی اشاره داشت. بعضاً معایبی نیز وجود دارد که موارد زیر را می‌توان خلاصه‌ای از آن‌ها دانست:

۴-۴-۱- از مزایای آن می‌توان به:

۴-۴-۱-۱- امکان اجرای آسفالت در ضخامت زیاد

آسفالت‌های حاوی مصالح سنگی درشت دانه امکان اجرای لایه آسفالت در ضخامتی بیشتر از ضخامت اجرای آسفالت‌های با دانه بندی‌های متوسط و ریز را فراهم می‌کنند. به این ترتیب که ضخامت لایه‌های آسفالتی براساس دستورالعمل‌های آئین نامه‌ای نباید بیش از ۱.۵ برابر اندازه بزرگترین سنگدانه‌های مخلوط باشد. با بکارگیری مصالح درشت دانه حاصل ضرب بزرگترین اندازه سنگدانه‌ها در عدد فوق رقم بزرگتری را حاصل می‌دهد. لذا با استفاده از مصالح سنگی درشت دانه می‌توان لایه‌های آسفالتی را در ضخامتی تا دو برابر ضخامت‌های متداول متراکم نمود، مشروط بر آن که از روش تراکم سنگین استفاده شود.

۴-۴-۱-۲- مقاومت

اتصال سنگدانه‌های درشت به یکدیگر در یک مخلوط عموماً منجر به حصول مقاومت بیشتر مخلوط آسفالت می‌شود. با انتخاب مصالح درشت دانه در صورتی که سنگدانه‌ها خود دارای مقاومت کافی بوده و از جنس مصالح سست نباشند، این مقاومت در مقایسه با مخلوط‌های با دانه‌بندی ریزتر به مراتب بیشتر است.

۴-۴-۱-۳- کاهش تاثیر نقش قیر در مخلوط

در مخلوط‌های آسفالتی ریز دانه نظیر مخلوط آسفالت ماسه‌ای، خصوصیات قیر نقش کلیدی در عملکرد آسفالت دارد. در این مخلوط‌ها در مناطق گرمسیری الزاماً باید از قیرهای سفت استفاده کرد تا آسفالت تهیه شده با آن دچار تغییر شکل نشود. بالعکس در مناطق سردسیری باید از قیرهای نسبتاً روان استفاده گردد تا آسفالت دچار ترک‌های حرارتی نشود.

در مخلوط‌های آسفالتی با دانه بندی متوسط این نقش کاهش پیدا می‌کند. اما چنانچه دانه‌بندی مخلوط در محدوده دانه‌بندی‌های توپر قرار نگیرد و یا هنگام پخش جدایی دانه‌بندی صورت گیرد دیگر قفل و بست لازم بین مصالح حاصل نشده و دوباره قیر نقش تعیین کننده در عملکرد مخلوط خواهد داشت. اما در مخلوط‌های حاوی مصالح درشت دانه که در آن‌ها امکان اتصال سنگدانه به سنگدانه بین سنگدانه‌های درشت افزایش می‌یابد، عامل مقاومت، اتصال سنگدانه‌های درشت به یکدیگر شده و قیر تاثیر به مراتب کمتری در ایجاد مقاومت و پایداری این مخلوط‌ها خواهد داشت. به علاوه این گونه آسفالت‌ها با تغییر آب و هوا دچار تغییرات چندانی نشده و می‌توانند به راحتی شرایط زمستانی و تابستانی را تحمل کنند (در زمستان دچار ترک خوردگی نشده و در تابستان دچار تغییر شکل نگردند).

۴-۴-۱-۴- کاهش میزان مصرف قیر

یکی از پارامترهایی که در میزان مصرف قیر مخلوط‌های آسفالتی موثر است، سطح مخصوص سنگدانه‌های مخلوط است. در این راستا هر چه دانه‌بندی مصالح انتخاب شده ریزتر باشد، سطح مخصوص سنگدانه‌ها بیشتر شده و مصرف قیر مخلوط بالا می‌رود. بالعکس هر چه دانه‌بندی درشت تر باشد، با کاهش سطح مخصوص سنگدانه‌ها، میزان مصرف قیر در مخلوط افزایش می‌یابد؛ بطوری که برای مثال، مخلوط‌های آسفالت ماستیکی که عمدتاً حاوی مصالح سنگی ریز دانه هستند بعضاً تا حدود ۱۰ درصد قیر دارند. برعکس در مخلوط‌های اساس آسفالتی که عموماً دارای مصالح سنگی درشت دانه هستند، درصد قیر حدود ۳.۵٪ و حتی کمتر از آن می‌باشد. بدیهی است با افزایش قیمت قیر در سال‌های اخیر کاربرد مخلوط‌های حاوی مصالح درشت دانه می‌تواند نقش قابل توجهی در کاهش هزینه اجرای پروژه‌های روسازی داشته باشند.

۴-۴-۱-۵- تسهیل در تولید مصالح سنگی در سنگ شکن‌ها

در سنگ شکن‌ها به منظور تولید مصالح سنگی، یا از سنگ‌های لاشه‌ای کوهی و یا از سنگ‌های قلوه‌ای رودخانه‌ای استفاده می‌شود؛ آن‌ها را شکسته و به اندازههای کوچکتر در می‌آورند. هر چه دانه‌بندی‌های ریزتر مورد نظر باشد، لازم است ماشین آلات بیشتری بکار گرفته شده و زمان پروسه تولید مصالح افزایش یابد. بلعکس برای تهیه مخلوط‌های آسفالتی حاوی مصالح درشت دانه از مراحل تولید کاسته شده و مصالح سنگی ارزانتر و با زمان تولید سریع‌تر به دست می‌آیند.

۴-۴-۱-۶- تولید آسفالت دارای قابلیت زهکشی

از آنجا که عموماً میزان فضای خالی بین مصالح سنگی در مخلوط‌های آسفالتی حاوی مصالح درشت دانه زیاد است، این مخلوط‌ها قابلیت زهکشی مناسبی داشته و ضمن تأمین مقاومت می‌توانند آب‌های بارندگی را از خود عبور دهند. شاید به همین دلیل است که در طراحی مخلوط‌های اساس آسفالتی، مصالح سنگی با دانه‌بندی‌های درشت بیشتر مورد کاربرد قرار می‌گیرند.

۴-۴-۲- از معایب آن می‌توان به موارد زیر اشاره داشت:

برخی از مواردی که شاید بتوان آن‌ها را بعنوان معایب مخلوط‌های آسفالتی حاوی مصالح درشت دانه (در مقایسه با مخلوط‌های حاوی مصالح میان دانه و مخلوط‌های حاوی مصالح ریز دانه) دانست موارد زیر است که تقریباً همه آن‌ها با انجام طراحی اصولی و دقت در انتخاب پارامترهای طراحی و اجرا قابل پیش‌بینی و پیشگیری است.

۴-۴-۲-۱- فضای خالی زیاد

وجود فضای خالی زیاد منجر به نفوذ آب و نفوذ هوا در مخلوط می‌شود. حضور آب در مخلوط یا گذر آن بصورت دائم بروز پدیده عریان شدگی مصالح سنگی را به دنبال دارد. گذر هوا از مخلوط آسفالتی پدیده پیرشدگی زودرس قیر و فرسودگی آن را در مخلوط به دنبال دارد.

برای جلوگیری از پدیده فوق لازم است یا این مخلوط‌ها را در لایه‌های آسفالتی قشرهای زیرین از سطح روسازی استفاده نمود و یا این که روی آن‌ها آسفالت‌های حفاظتی نازک نظیر مخلوط‌های دوغاب قیری (اسلاری سیل)، آسفالت سطحی یا آسفالت‌های میکروسرفیسینگ اجرا شود.

۴-۴-۲-۲- دشواری تراکم

از آنجا که ضخامت آسفالت‌های حاوی مصالح سنگی درشت دانه معمولاً بیشتر از ضخامت مخلوط‌های آسفالتی متداول می‌باشد. لذا امکان متراکم نمودن آن‌ها با غلتک‌های معمولی و سبک بسیار دشوار خواهد بود. لذا توصیه آن است که برای متراکم نمودن لایه‌های آسفالتی حاوی مصالح سنگی درشت دانه و لایه‌های ضخیم از غلتک‌های سنگین (نظیر غلتگ استاتیک ده تن) و یا غلتک‌های ویبره استفاده شود تا تراکم لازم حاصل گردد.

۴-۴-۲-۳- هوازدگی

در مخلوط‌های آسفالتی نقش سنگدانه‌های درشت دانه هم در لایه‌های رویه و هم در لایه‌های زیرین زیاد است. به این ترتیب که در لایه‌های رویه مستقیماً و در لایه‌های زیرین به صورت غیرمستقیم در تماس با عوامل آب و هوایی قرار می‌گیرد. در صورت ضعف در مقاومت و یا وجود تخلخل زیاد (بخصوص در مناطق سردسیر دارای شرایط یخبندان) امکان متلاشی شدن سنگدانه‌ها وجود خواهد شد. در این شرایط شکننده بودن سنگدانه‌ها حتی اگر در زمستان نیز پدیده اضمحلال آسفالت را خود نشان ندهد، سطوح شکسته شده و سنگدانه‌ها نیاز به جذب قیر دارند. قیر موجود در مخلوط جذب سطوح سنگدانه‌های شکسته شده و باعث سخت شدن آسفالت می‌شود. این شرایط زمینه‌های اضمحلال زودرس روسازی را فراهم می‌آورد.

۴-۴-۲-۴- سایش

در صورت پایین بودن مقاومت سایشی سنگدانه‌ها هم درون مخلوط و هم در سطح راه ایجاد مشکل خواهد شد. درون مخلوط در محل اتصال سنگدانه‌ها به یکدیگر در اثر تکرار بارگذاری و پدیده خستگی سایش بین سنگدانه‌ها ایجاد خواهد شد. در اثر سایش سنگدانه‌ها اولاً قفل بست ناشی از اتصال آنها به یکدیگر کاهش پیدا کرده و آسفالت در معرض تغییر شکل یا پدیده شیار افتادگی زیر چرخ قرار خواهد گرفت. ثانیاً سنگدانه‌های سائیده شده خود درون مخلوط فیلر ایجاد می‌کنند که این فیلر بوجود آمده در شرایط گرما بخشی از قیر سفید موجود درون مخلوط را بخود جذب کرده و مخلوط

کم کم سخت و شکننده خواهد شد. در آسفالت‌های اجرا شده در قشر رویه نیز در صورت سست بودن سنگدانه‌ها و مقاومت پایین آن‌ها در مقابل سایش، با عبور وسایط نقلیه کم کم مصالح سنگی سائیده شده و سطح راه صاف و مستعد لغزنده شدن می‌شود.

۴-۴-۳- کاربردهای آسفالت درشت دانه

از مخلوط‌های آسفالتی درشت دانه معمولاً برای ساخت لایه‌های میانی و آستر روسازی‌های انعطاف پذیر استفاده می‌شود. غالباً بر روی اینگونه از مخلوط‌ها یک لایه سطحی به منظور هموارسازی بهتر سطح راه و جلوگیری از شن زدگی احداث می‌شود. نوع لایه سطحی بر اساس وظایف عملکردی روسازی و میزان ترافیک پیش بینی شده، تعیین می‌گردد. در جاده‌های پرترافیک، این لایه سطحی معمولاً از مخلوط‌های آسفالتی تو پر با کیفیت عالی (با اندازه اسمی ۱۹ میلیمتر) ساخته می‌شود. در سایر موارد می‌توان از مخلوط‌های آسفالتی حفاظتی نظیر آسفالت‌های میکروسرفیسینگ و اسلاری سیل و آسفالت سطحی جهت پوشش مخلوط‌های آسفالتی درشت دانه استفاده نمود.

۴-۴-۴- در رابطه با مصالح سنگی آسفالت درشت دانه

مصالح سنگی مورد استفاده در بتن آسفالتی درشت دانه باید از نظر دانه بندی، سختی، دوام، تمیزی، شکل و کیفیت سطح دانه‌ها دارای مشخصات ویژه‌ای باشند. دانه‌بندی مصالح سنگی با انجام آزمایش دانه‌بندی و رسم منحنی مربوط به آن مشخص می‌شود. دانه‌بندی مناسب با توجه به عوامل متعددی از قبیل نوع روسازی، نوع و محل قرار گرفتن لایه مورد نظر در سیستم روسازی، ضخامت لایه آسفالتی و اندازه بزرگترین دانه انتخاب می‌شود. دانه‌بندی مصالح سنگی باید مطابق با استاندارد و در بین دو منحنی حدی بالا و پایین و حتی الامکان در وسط و به موازات آنها قرار گیرد.

۴-۴-۵- دانه‌بندی براساس نشریه شماره ۵ انستیتو آسفالت

در نشریه فنی شماره ۵ انستیتو آسفالت و دستورالعمل توصیه‌ای شماره ۱۶ انجمن روسازی راه استرالیا، سه نوع دانه‌بندی و در نشریه شماره ۱۰۱ سازمان مدیریت و برنامه ریزی برای هر کدام از سه نوع مصالح سنگی درشت دانه، ریزدانه و فیلر، دانه‌بندی مورد استفاده برای مخلوطهای آسفالتی درشت دانه ارائه شده است که در ادامه هر دو نوع دانه‌بندی مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفته اند.

بر اساس نشریه فنی شماره ۵ موسسه آسفالت آمریکا که منطبق بر استاندارد ASTM – D 3515 می‌باشد مخلوط‌های آسفالتی درشت دانه از نظر دانه‌بندی عموماً به سه دسته زیر طبقه‌بندی می‌شوند:

۱- دانه‌بندی توپر (پیوسته)

۲- دانه‌بندی تو خالی (باز یا گسسته)

۳- مملو از دانه درشت (افزودن سنگدانه‌های درشت به مخلوط)

در هر حال، تمامی مصالح دانه‌ای هر یک از انواع مخلوط‌های دانه درشت، باید صد درصد از نوع سنگ شکسته و گوشه دار باشند. در ادامه هر کدام از دانه‌بندی‌های اشاره شده مورد تشریح قرار گرفته اند.

۴-۴-۶- مخلوط‌های آسفالتی درشت دانه با دانه‌بندی توپر (پیوسته)

این مخلوط‌ها دارای دانه‌بندی پیوسته بوده و مقاومت آنها توسط هم اتکایی بین دانه‌های درشت مصالح سنگی و قفل و بست میان آنها، ویسکوزیته قیر و چسبندگی ناشی از ملات قیری بوجود آمده و نهایتاً بخشی از مقاومت از اختلاط قیر و مصالح ریزدانه تامین می‌شود. چون ازدیاد بخش ریزدانه در این مخلوط‌ها پایداری و مقاومت آنها را به شدت کاهش می‌دهد، باید دقت نمود که منحنی دانه‌بندی آن‌ها در محدوده الک‌های شماره ۴ و شماره ۳۰ به شکل محدب یاکوژ درنیاید. به عبارت دیگر درصد عبوری مصالح از این الک‌ها زیاد نباشد.

حداقل فضای خالی مصالح سنگی باید مطابق جدول زیر باشد.

جدول ۴-۱۰- حداقل فضای خالی مصالح سنگی

حداکثر اندازه اسمی مصالح سنگی (اینچ)	حداقل فضای خالی مصالح سنگی(درصد)
۳۷/۵	۱۲
۲۵	۱۱/۵
۶۲/۵	۱۱

۴-۴-۷- مخلوط‌های آسفالتی درشت دانه با دانه‌بندی باز (گسسته)

در این مخلوط‌ها بزرگترین اندازه سنگدانه می‌تواند تا ۳ اینچ نیز باشد. از طرفی درصد قیر این مخلوط‌ها از ۱/۵ تا ۳ درصد و فضای خالی آن‌ها بین ۲۰ تا ۳۰ درصد متغییر است. مقاومت این مخلوط‌ها عمدتاً نتیجه تماس سنگدانه‌ها با یکدیگر می‌باشد. آب نیز به راحتی می‌تواند از لایه‌های اجرا شده از این مخلوط‌ها عبور کند. از آنجا که تاکنون روش استانداردی برای طرح اختلاط این مخلوط‌ها ارائه نشده است لذا حدود دانه‌بندی و درصد قیر این مخلوط‌ها با توجه به مشاهدات تجربی و خصوصیات زهکشی آنها تعیین می‌گردد.

درصد قیر این مخلوط‌ها معمولاً در حد پایین حدود تغییرات (یعنی1.5 درصد) می‌باشد. البته هر چقدر اندازه مصالح سنگی این مخلوط‌ها کوچکتر شود درصد قیر بهینه مخلوط بیشتر شده و تا حدود ۳ درصد پیش می‌رود.

۴-۴-۸- مخلوط مملو از دانه‌های درشت (افزودن سنگدانه‌های درشت به مخلوط)

مصالح سنگی این مخلوط‌ها از سنگدانه‌های آسفالت‌های معمولی به همراه سنگدانه‌های بزرگتر، که تماماً یک اندازه هستند، تشکیل شده است. این ترکیب، استخوان‌بندی مستحکمی را برای مخلوط به دست می‌دهد. نسبت ترکیب مصالح سنگی با دانه‌بندی معمولی و سنگدانه‌های درشت بترتیب حدود ۴۵ تا ۵۵ درصد وزنی بوده است که البته این نسبت قابل تغییر است.

معمولا افزودن سنگدانه‌های بزرگتر به مصالح سنگی مورد استفاده در آسفالتهای رایج، باعث افزایش حجم سنگدانه‌ها در مخلوط شده و در نتیجه موجب کاهش فضای خالی مصالح سنگی می‌گردد. از طرف دیگر به علت کاهش سطح اندود مصالح سنگی، درصد قیر این مخلوط‌ها نیز حدود ۱ درصدکاهش می‌یابد. با افزایش درصد دانه‌های درشت تر، از میزان قیر بهینه مخلوط کاسته می‌شود.

از روش مارشال اصلاح شده، با استفاده از قالب تراکم ۶ اینچ جهت طرح اختلاط مخلوط‌های درشت دانه می‌توان استفاده نمود زیرا این موضوع اثبات شده است که بکارگیری این روش برای مخلوط‌هایی با سنگدانه‌های ۱.۵ اینچی مناسب می‌باشد.

۴-۴-۹- دانه‌بندی براساس نشریه ۱۰۱

نشریه شماره ۱۰۱ سازمان مدیریت و برنامه ریزی نیز اشاره کوتاهی به دانه‌بندی مورد استفاده برای تهیه مخلوطهای آسفالتی درشت دانه دارد. در این نشریه برای تهیه مخلوط‌های آسفالتی درشت دانه با توجه به سه نوع مصالح سنگی درشت دانه، ریزدانه و فیلر محدوده بالا و پایین دانه‌بندی مشخص شده است.

۴-۴-۱۰- دانه بندی مخلوط بر اساس دستورالعمل شماره ۱۶ استرالیا

۴-۴-۱۰-۱- مخلوط‌های با دانه بندی پیوسته

در مخلوط‌های با دانه‌بندی پیوسته، تنش‌های وارده از طریق قفل و بست میان سنگدانه‌های مصالح ریز و درشت تحمل می‌شود . منحنی دانه بندی مناسب این مخلوط‌ها با توجه به فرمول زیر که به رابطه فولر معروف است، حاصل می‌شود :

$$P = (\frac{d}{D})^{n} \times 100$$ (۴-۱)

در این رابطه:

P = درصد عبور نسبی مصالح گذشته از الک شماره d (میلیمتر)

D = حداکثر اندازه مصالح سنگی (میلیمتر)

n = پارامتری که توسط آقای « فولر » برای تعیین شکل منحنی دانه بندی ارائه شده.

حداکثر وزن مخصوص مصالح سنگی هنگامی حاصل می‌گردد که «n» برابر ۰.۴۵ تا ۰.۵ اختیار شود. مخلوط‌های آسفالتی با دانه بندی پیوسته، و بدون وجود گسستگی در هر یک از اندازه‌ها از عملکرد مطلوبی (سختی خمشی زیاد و مقاومت در برابر تغییر شکل) برخوردار می‌باشند .

در این مخلوط‌ها بخش ریزدانه به همان اندازه بخش درشت دانه در افزایش ظرفیت باربری مؤثر است. همچنین شکل، بافت سطحی و کیفیت مصالح سنگی ریزدانه از اهمیت زیادی برخوردارمی باشند. از طرف دیگر قیر و فیلر (که در سختی قیرها مؤثر است) نقش مهمی را در این مخلوط‌ها ایفا می‌کنند.

قیرهای سفت (سخت) و مصالح سنگی مرغوب و شکسته در عملکرد مطلوب این مخلوط‌ها مؤثر بوده که مشخصات فنی مورد نیاز آنها در آیین نامه‌ها آورده شده است .

۴-۴-۱۰-۲- مخلوط‌های با دانه بندی درشت و گسسته

در کشورهای مختلف تحقیقاتی جهت استفاده از مخلوط‌های با دانه بندی درشت ولی ناپیوسته (گسسته) انجام شده است که از آن جمله، نمونه‌هایی در آفریقای جنوبی، موسسه حمل و نقل تگزاس و دانشگاه (A & M) تگزاس انجام گردیده است.

در آفریقای جنوبی مخلوط‌هایی با دانه بندی گسسته (با فرض $n= 0.7$ در فرمول فولر) ساخته شد که عملکرد سازه‌ای خوبی نشان داشته اند، اما مشکل جدایی دانه‌ها در آنها وجود داشته است . لذا توصیه شده که از مخلوط‌های آسفالتی درشت دانه با دانه بندی پیوسته ($n=۰.۵$) استفاده گردد.

در آمریکا مخلوط‌های غیر پیوسته بر اساس این مفهوم گسترش داده شدند که در آنها ساختار درشت دانه مصالح سنگی نقش تحمل و انتقال بارهای وارده را بعهده داشته، فضای خالی بین دانه‌های درشت را مصالح ریزدانه پر می‌کنند، و نقش قیر چسبندگی و افزایش دوام مخلوط می‌باشد. این مفهوم تا حدودی شبیه مفهوم طراحی آسفالت‌های ماستیکی است.

روند تعیین طرح اختلاط مخلوطهای آسفالتی درشت دانه

به منظور تعیین طرح اختلاط مخلوطهای آسفالتی درشت دانه لازم است مراحل زیر انجام شود:

انتخاب مصالح سنگی درشت و ریز و فیلر

انتخاب حدود دانه‌بندی مطلوب و تطابق آن با آیین نامه

تعیین نسبت درصدهایی که مصالح سنگی درشت و ریز و فیلر باید باهم مخلوط شوند

تعیین چگالی مصالح سنگی درشت، ریز و فیلر و چگالی قیر

تهیه نمونه‌های بتن آسفالتی با استفاده از مصالح سنگی و درصدهای مختلف قیر

تعیین چگالی نمونه‌های بتن آسفالتی تهیه شده

انجام آزمایش مارشال و ثبت استقامت و روانی مارشال

محاسبه درصد فضای خالی مصالح سنگی و درصد فضای خالی نمونه‌های بتن آسفالتی

رسم منحنی‌های تغییرات وزن مخصوص بتن آسفالتی، استقامت، درصد فضای خالی بتن آسفالتی، درصد فضای خالی مصالح سنگی، درصد فضای خالی پرشده با قیر و روانی بتن آسفالتی به ازاء درصدهای مختلف قیر مصرفی

تعیین درصد قیر بهینه

۴-۴-۱۱- تراکم قشرهای با ضخامت بیش از ۵ سانتی متر

عملیات تراکم و کنترل تراکم بر عهده پیمانکار بوده و تعداد و نوع غلتک‌ها نیز باید با مسئولیت پیمانکار و به حد کافی در محل فراهم گردد تا نیازهای مورد نظر تأمین شود. همه لبه‌ها در حالی که مخلوط گرم است باید با غلتک چرخ لاستیکی یا دیگر روشهایی که توسط مهندس ناظر تائید شده غلتک زنی گردند. وقتی بیش از یک پروژه در حال اجرا باشد لازم است هر سری بطور مجزا مورد اجرا و آزمایش قرار گیرند. به عنوان مثال ۲۰ نمونه برای هر سری، توسط پیمانکار تحت نظارت مهندس مغزه گیری می‌شود. مهندس بطور تصادفی ۱۰ محل در بین هر سری انتخاب خواهد کرد و پیمانکار نیز دو مغزه در هر محل می‌گیرد. محل‌هایی که بطور تصادفی انتخاب شده اند باید بیش از ۱۵سانتی متر در جهت‌های عرض و طولی از کنار روسازی فاصله داشته باشند. مغزه‌ها باید با استفاده از دستگاه مغزه‌گیری مناسب (از نظر قطر و عمق) و مطابق با نیاز صورت گیرد. مغزه‌ها معمولاً باید دارای قطر ۱۵ سانتی متر (۶ اینچ) باشند. این مغزه‌ها، در صورتیکه هدف کنترل آسفالت جدید اجرا شده باشد، نباید بعد از دو روز کاری پس از اجرا گرفته شده باشند.

مغزه‌ها باید فوراً به محض مغزه گیری به مهندس ناظر تحویل داده شوند. سپس به منظور کنترل و پذیرش مطابق با نیازهای مورد نظر آزمایش خواهند شد. تأکید نتایج آزمایش برای پیمانکار در ۴ روز کاری پس از دریافت مغزه‌ها توسط مهندس ناظر تهیه خواهد شد. مقدار نهایی برای تراکم معمول مخلوط، ۷٪ فضای خالی باید باشد. چگالی تئوری

ماکزیمم استفاده شده در تعیین فضای خالی، میانگین ۴ چگالی تئوری ماکزیمم تعیین شده می‌باشد. حد بالایی (UL)[1]، ۹٪ فضای خالی و حد پائین (LL)[2]، ۴٪ فضای خالی هوا است. مغزه‌هایی که قبلاً گرفته شده اند مطابق با نیازهای آزمایش در یک آزمایشگاه طراحی شده توسط مهندسین ناظر و کارفرما بطور مستقل مورد آزمایش قرار می‌گیرند. آزمایش کردن مغزه‌ها از طریق آزمایشگاهی که بطور مستقل می‌باشد، انجام می‌گیرد و بدون آگاهی از شرایط ویژه پروژه، صورت خواهد گرفت.

۴-۴-۱۲- الزامات کلی در ساخت روسازی‌های آسفالتی درشت دانه

به طور کلی و با توجه به بررسی‌های صورت گرفته ساخت یک روسازی آسفالتی با کیفیت مناسب، هموار و یکنواخت با استفاده از مخلوط‌های آسفالتی درشت دانه مستلزم رعایت موارد ذیل است:

استفاده از روش‌های مناسب جهت انباشته کردن مصالح سنگی(دپو کردن مصالح سنگی) و تهیه دانه‌بندی‌های لازم.

نمونه‌گیری و انجام آزمایش بر روی مصالح سنگی بایستی به منظور بهبود کنترل کیفیت نسبت به مخلوط‌های آسفالتی متداول، افزایش یابد.

جلوگیری از جداشدگی مخلوط‌های آسفالتی به هنگام حمل و انبار کردن آنها در سیلوها.

به منظور آغشته شدن کامل سطوح سنگدانه‌ها، مدت زمان اختلاط مخلوط در کارخانه بایستی افزایش یابد.

ذرات درشت دانه معمولاً در بال مخزن ورودی دستگاه پخش آسفالت در محل (فینیشر) جمع و انباشته می‌شوند به همین دلیل قیف دستگاه فینیشر و سطح جلوی شمشه دستگاه بایستی همواره در طول اجرا، به منظور کاهش احتمال جداشدگی مخلوط آسفالتی پر باشد.

دهانه ورودی مخزن بارگیری فینیشر بایستی به گونه‌ای تنظیم شود که تا جایی که امکان دارد، شرایطی فراهم آید که تسمه نقاله انتقال آسفالت، عملکرد نسبتاً پیوسته‌ای داشته باشد.

ذرات درشت دانه‌ای که در اطراف پره مخزن ورودی فینیشر جمع می‌شوند را بایستی در پایان روز کاری به دور ریخت.

تنظیم سرعت فینیشر بسیار اهمیت دارد. دستگاه بایستی با سرعتی منطبق بر تولید بی‌وقفه کارخانه و تامین آسفالت توسط کامیون‌های حمل کار کند. با اینحال انتخاب سرعت پایین موجب بهبود بافت سطحی جاده و کاهش جداشدگی مخلوط می‌گردد.

تجهیزات تراکم (غلتک‌ها) و نحوه عملکرد آنها بایستی به گونه‌ای باشد که تراکم لازم در محل تامین گردد. این امر بایستی قبل از شروع پروژه در ابعاد وسیع آن بصورت آزمایشی بررسی و به تائید برسد.

---

[1] Upper Limit
[2] Lower Limit

منابع و مراجع

AAPA (1999), “Testing and Evaluation of Large Stone Mixes Using Marshall Mix Design Procedures”, Australian Asphalt Pavement Association, KEW, Victoria, Australia.

Asphalt Institute. (2001), “Introduction to Asphalt”, Manual Series No. 5 (MS-5). Asphalt Institute. Lexington, KY, USA.

Asphalt Institute (2005), "Large Aggregate Asphalt Mixes", Asphalt Institute, Technical Bulletin No. 5, Lexington, KY, USA.

Arif Beg, A., Zhang, Z., Hudson, W.R. (1988) , "A Rational Pavement Type Selection Procedure", The University of Texas at Austin, Center of Transportation Research, Report No. FHWA/TX-04/0-1734-S.

Brown, E.R. (1984), “Experiences of Corps of Engineers in Compaction of Hot Asphalt Mixtures”, Placement and Compaction of Asphalt Mixtures, F.T. Wagner, Ed. ASTM Special Technical Publication 829. American Society for Testing and Materials. Philadelphia, PA,USA, pp. 67-79.

Elian, A.A. (1990), "Dubai Experience in Development of Large Stone Asphalt Mixtures", Proceedings, Fourth International Symposium on Mechanical Test for Bituminous Mixes Characterization, pp 3-25, Budapest, Hungary.

ETL (2001), “Large Aggregate Asphalt Mixtures”, Engineering Technical Letter (ETL) 01-7, Department of the Air Force, USA, June 5.

Gallivan, V., Horan, R., D’Angelo, J., (2010), Intelligent Compaction – Improved Construction Technologies for Hot Mix Asphalt that Benefits Agencies and Contractors, International Society of Asphalt Pavements (ISAP), 11th International Conference on Asphalt Pavements, Nagoya, Japan.

Hot–Mix Asphalt Paving,(2000) United States Army Corps of Engineers, Washington DC, USA.

Hughes, C.S. (1989). National Cooperative Highway Research Program Synthesis of Highway Practice 152: Compaction of Asphalt Pavement. Transportation Research Board, National Research Council. Washington, D.C, USA.

Kandhal P.S. (1990), “Large Stone Asphalt Mixes(1990): Design and Construction,” Proc. of AAPT, Vol. 59, USA, pp 526-559.

Kandhal, P.S. and Mallick, R.B. (1997). Longitudinal Joint Construction Techniques for Asphalt Pavements. NCAT Report No. 97-04. http://www.eng.auburn.edu/center/ncat/reports/rep97-4.pdf

Kandhal, P.S.; Ramirez, T.L. and Ingram, P.M. (2002). Evaluation of Eight Longitudinal Joint Construction Techniques for Asphalt Pavements in Pennsylvania. NCAT Report No. 02-03. http://www.eng.auburn.edu/center/ncat/reports/rep02-03.pdf.

Kloubert, H.-J., Wallrath, W. -Bomag, (2010), Intelligent Asphalt Compaction, Draft Final Paper Submission, Strasse und Autobahn Highway Magazine, Boppard, Germany : : Presented at 89th Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington, D.C, USA.

Luo, Rong; Lytton, Robert Leonard, (2011); “Distribution of Crack Size in Asphalt Mixtures”, Presented at 90th Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington, D.C, USA.

Mahboub K., and D. L. Allen, “Characterization of Rutting Potential of Large Stone Asphalt Mixes in Kentucky”, Transportation Research Record 1259, National Research Council, Washington, D.C., USA, 1990.

Mohammad L. N., B. Huang, C. Abadie, and A. Raghavendra, “Laboratory Study of Large Stone Asphalt Mixtures”, AAPA, Volume 69, MN, USA, 2000.

National Center for Asphalt Technology (NCAT) (2001), "Asphalt Paving Level II: Module 4, Surface Preparation", Power Point slide show prepared for the Florida Department of Transportation, Construction Training Qualification Program, National Center for Asphalt Technology, USA.

Stroup-Gardiner, M. and Brown, E.R. (2000), “National Cooperative Highway Research Program Report 441: Segregation in Hot Mix Asphalt Pavements”, Transportation Research Board, National Research Council. Washington, D.C, USA.

TRB (2000), “Hot-Mix Asphalt Paving Handbook 2000”, Transportation Research Board, National Research Council. Washington, D.C, USA.

Tunnicliff. D.G.; Beaty, R.W. and Holt, E.H. (1974), “A History of Plants, Equipment and Methods in Bituminous Paving”, Asphalt Paving Technology: Proceedings, Vol. 43A. Association of Asphalt Paving Technologists ,Historical Session., 26 February. Williamsburg, VA.USA, pp. 159-296.

Islamic Republic of Iran
Plan and Budget Organization

Guideline for DESIGN AND CONSTRUCTION of LARGE STONE ASPHALT MIXES.

No. 706

Office of Deputy for Technical and Infrastructure Development Affairs
Department of Technical and Execution Affairs

Nezamfanni.ir

The Ministry of Road & Urban Development

Road, Housing & Urban Development Research Center

bhrc.ac.ir

2016