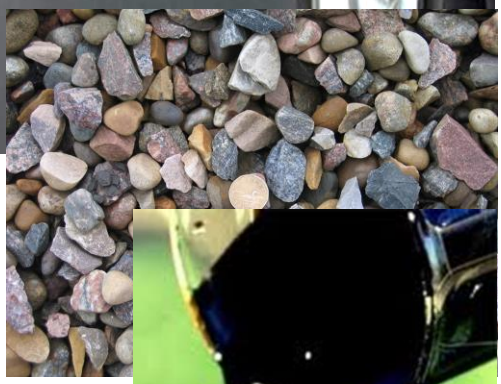
درسنامه

تکنولوژی و مواد روسازی



محمود رضا کی منش

عضو هیات علمی دانشگاه پیام نور

سعید شاکر

عضو هیات علمی دانشگاه پیام نور

ویرایش نخست

بنام یزدان بخشایشگر و مهربان

تکنولوژی و مواد روسازی

گرد آوری و تدوین:

محمود رضا کی منش

سعید شاکر

عضو هیئت علمی دانشگاه پیام نور

بسمه تعالی

امام علی بن ابیطالب (ع):

أعَزُّ الْعِزِّ الْعِلْمُ، لِانَّ بِهِ مَعْرِفَهُ الْمَعادِ وَ الْمَعاشِ، وَ أذَلُّ الذُّلِّ الْجَهْلُ، لِانَّ صاحِبَهُ أصَمُّ، أبْکَمٌ، أعْمی، حَیْرانٌ.

عزیزترین عزّت ها علم و کمال است، برای این که شناخت معاد و تأمین معاشِ انسان، به وسیله آن انجام می پذیرد. و پست ترین ذلّت ها جهل و نادانی است، زیرا که صاحبش همیشه در کری و لالی و کوری می باشد و در تمام امور سرگردان خواهد بود.

پیشگفتار:

مجموعه حاضر در قالب یک درسنامه و جزوهٔ آموزشی به سبب رفع نیاز آموزشی دانشجویان عزیز در مقطع کارشناسی ارشد عمران شاخهٔ راه و ترابری و آشنایی کلی پیرامون مفولهٔ بسیار مهم روسازی های آسفالتی است و نقش حائز اهمیتی در مباحث اجرایی حوزهٔ تخصصی راه دارد تدوین و جمه آوری و تالیف گردیده است .

به جرات میتوان گفت مقوله روسازی که در حال حاضر از جهات مختلف منجمله سهم اختصاص بودجه در اولویتهای کشور است و توجه به این مقوله با شناخت و علم کافی توسط متخصصین امر ، در کنار اهتمام به نظارت مسئولانه ، بدور از الزامات غیر فنی، میتواند ضمن صرفه جویی کلان ملی و تسریع در امور توسعه ای خطوط حمل ونقلی کشور ، کاهش خسارات مالی و آسودگی خاطر و صرفه جویی وقت و...را جهت استفاده کنندگان از راه بدنبال داشته باشد.

توجه به مباحث اجرایی و برخی نکات فنی که عمر عمدهٔ این موضوعات بعضا به همزمانی با شروع به استفاده از روسازی های آسفالتی میرسد و امروزه در اغلب نقاط جهان به عنوان بدیهیات مسلم و پذیرفته شده و واضح کلیه عوامل مرتبط با اجرای آسفالت (کارفرمایان ،مشاورین، پیمانکاران و اکیپ و عوامل اجرایی و نظارتی) نمایان است ، در کشور ما میتواند بخش عمده ای از مشکلات این حوزه را مرتفع نماید و بدون الزامات خاص اعم از تجهیزاتی و مطالعاتی و .. پیمودن مسیر کیفی سازی و افزایش عمر رویه راه و رضایتمندی مردم را هموار سازد. استفاده از مبانی علمی جدیدتر ،انجام مطالعات خاص، استفاده از تکنیک ها و مصالح و افزودنی های پرهزینه و .. صرفاً به پوشش بخشی از نقاط ضعف در اصول پایه ای و اجرایی و... منجر میشود و عملا بر

پایهٔ مهندسی اقتصادی صحیحی استوار نخواهد بود.این جزوه آموزشی با جمع آوری مباحثی از فصول مرتبط با روسازی آسفالتی در ۸ بخش: قیر، سنگدانه ها، طراحی مخلوطهای آسفالتی، آزمایشات آسفالت ، تولید آسفالت، آسفالتهای خاص ، بازیافت آسفالت و افزودنی های آسفالت، سعی نموده تا از پراکندگی مباحث در منابع گوناگون اجتناب گردد، و همچنین با پرداختن به مباحث پایه ای، آشنایی اولیه‌ای(نه کاملاً تخصصی و پایه ای و کامل) در خصوص کلیه مباحث مرتبط، زمینهٔ اولیه ای را جهت مطالعات تکمیلی دانشجویان و متخصصان و کارشناسان و پژوهشهای متعاقب آن و فراگیری تکمیلی مباحث فراهم گردد وامید داریم با راهنمایی اساتید معزز و دانشجویان فهیم این رشته که قطعاً از سرمایه های آینده در حفظ منافع ملی ما هستند بتوان در تکمیل این درسنامه و بالندگی آن اقدام نمود. تقاضا مندیم تا اشکالات و ایرادات شکلی و محتوایی و هر نوع پیشنهاد و کمکی در بهبود این مجموعه در نگارشهای بعدی را دریغ نفرمایید .mrkeymanesh@gmail.com و sash273@yahoo.com

ومن ا.. التوفیق

محمود رضا کی منش

سعید شاکر

فهرست مطالب

فصل ۱:

۱-۱- مقدمه ۲
۱-۱-۱- شناخت نفت در جهان ۲
۱-۱-۲- نفت ایران ۲
۱-۱-۳- اکتشاف و استخراج ۲
۱-۱-٤- ساختمان نفت ۲
۱-۱-۵- هیدروکربورها ۳
۱-۱-٦- تقطیر نفت خام ۳
۱-۱-۷- مشتقات نفت حاصل از عمل تقطیر ٤
۱-۱-۸- ترکیبات نفت خام ۵
۱-۱-۸-۱- پارافین ها ۵
۱-۱-۸-۲- نفتن ها (سیکلو پارافین ها) ۵
۱-۱-۸-۳- آروماتیک ها ۵
۱-۱-۸-٤- اولوفین ها ۵
۱-۱-۸-۵- ترکیبات آسفالتیک (ازت – گوگرد و اکسیژن) ۵
۱-۲- قیر ٦
۱-۲-۱- تاریخچه قیر ٦
۱-۲-۲- انواع قیر ۸
۱-۲-۲-۱- قیر طبیعی ۸
۱-۲-۲-۲- قیر سنگ‌ها ۸
۱-۲-۲-۳- قیرهای دریاچه‌ای ۸
۱-۲-۲-٤- قیرهای قطرانی (Coal Tar Pitches) ۸
۱-۲-۲-٤- قیر نفتی ۸
۱-۳- انواع قیرهای نفتی ۹
۱-۳-۱- قیرهای خالص ۹
۱-۳-۲- قیرهای محلول ۱۰
۱-۳-۲-۱- قیرهای محلول زودگیر (RC) ۱۰
۱-۳-۲-۲- قیرهای محلول کندگی (MC) ۱۱
۱-۳-۲-۳- قیرهای محلول دیرگیر (SC) ۱۱
۱-۳-۳- قیرهای اکسیده یا دمیده ۱۱
۱-۳-٤- قیرهای امولسیونی (قیرابه) ۱۱
۱-۳-٤-۱- قیرهای امولسیون آنیونیک ۱۲
۱-۳-٤-۲- قیرهای امولسیون کاتیونیک ۱۲
۱-٤- انواع اصلاح‌کننده‌ها و افزودنی‌های قیر ۱۲
۱-۵- نفت خام و پالایش ۱۳
۱-٦- شیمی قیر ۱۳
۱-٦-۱- هیدروکربنها ۱۵
۱-٦-۲- هتروواتمها ۱۵
۱-٦-۲- فلزات ۱۵
۱-۷- ساختار قیر ۱٦
۱-۷-۱- روش تفکیک شیمیایی گروه های سازنده قیر ۱٦
۱-۷-۲- ساختمان شیمیایی آسفالتن ها ۱٦
۱-۸- رابطه بین اجزای شیمیایی و رئولوژی قیر ۱۷
۱-۹- حساسیت حرارتی قیر ۱۸
۱-۱۰- گرم کردن قیر ۱۸
۱-۱۱- آزمایشات قیر ۱۸
۱-۱۱-۱- آزمایش تعیین درجه نفوذ قیر ۱۸
۱-۱۱-۲- آزمایش تعیین نقطه نرمی قیر ۲۰
۱-۱۱-۳- آزمایش تعیین نقطه اشتعال و شعله‌وری قیر ۲۰
۱-۱۱-٤- آزمایش تعیین خاصیت انگمی(کشسانی) ۲۱
۱-۱۱-۵- آزمایش تعیین وزن‌مخصوص و چگالی ۲۲
۱-۱۱-٦- آزمایش تعیین کندروانی قیرها ۲٤
۱-۱۱-۷- آزمایش تعیین لعاب نازک قیر ۲۵
۱-۱۱-۸- آزمایش حلالیت مواد قیری در تری‌کلرواتیلن ۲٦
۱- ۱۱-۹ –آزمایش نقطه شکست فراس ۲٦
۱-۱۱-۱۰ –آزمایش شناوری ۲٦
۱-۱۲-آزمایشات جدید قیر(دینامیکی) ۲۷

۱-۱۲ –آزمایش لعاب نازک چرخشی ۲۸
۱-۱۲- ۲ –آزمایش محفظه تسریع پیری ۲۹
۱-۱۲- ۳- آزمایش رئومتر برش دینامیکی ۳۰
۱-۱۲-٤-آزمایش رئومتر تیرچه خمشی ۳٤
۱-۱۲-٥-آزمایش کشش مستقیم ۳٦
۱-۱۲-٦-آزمایش کندروانی سنج چرخشی ۳۷
۱-۱۳- نقش قیر در عملکرد روسازی ۳۸
۱-۱٤- نشانه درجه نفوذ یا PI قیر ۳۸
۱-۱٥- رئولوژی قیر ٤۲
۱-۱٦- طبقه بندی قیر ٤۳
۱-۱٦-۱-طبقه‌بندی عملکردی ٤٤
۱-۱٤-۳- اجرای طبقه‌بندی ٤٥

فصل ۲:

۲-۱- مقدمه ٤۷
۲-۲- دسته بندی انواع سنگدانه ها ٤۷
۲-۳- منابع سنگدانه ها ٤۹
۲-٤- تولید سنگدانه ٥۱
۲-٥- مشخصات سنگدانه ها ٥۱
۲-٦- آزمایش‌های متعارف سنگدانه ها ٥۳
۲-٦-۱- دانه بندی ٥۳
۲-٦-۲- وزن مخصوص و جذب آب مصالح سنگی ٥٦
۲-٦-۳- تعیین مقاومت سایشی مصالح(سایش لس آنجلس) ٥۸
۲-٦-٤- تعیین ضریب تطویل مصالح درشت‌دانه ٦۰
۲-٦-٥- آزمایش تعیین ضریب تورق مصالح درشت‌دانه ٦۱
۲-٦-٦- آزمایش تعیین درصد ذرات شکسته در مصالح درشت‌دانه ٦۱
۲-٦-۷- آزمایش تمیزی مصالح ریز دانه –ارزش ماسه‌ای ٦٤
۲-٦-۸- تعیین افت وزنی مصالح سنگی در برابر یخبندان و گرما ٦٤
۲-٦-۹- تعیین افت وزنی در برابر سولفات سدیم و منیزیم ٦٥
۲-۲-۱۰- تعیین مقاومت صیقلی مصالح(آونگ متحرک) ٦٦

فصل ۳:

۳-۱- مقدمه ٦۸
۳-۱-۱- انواع روشهای طرح اختلاط آسفالت ٦۹
۳-۲- روش طرح اختلاط مارشال ٦۹
۳-۲-۱- مراحل طراحی ۷۰
۳-۲-۲- تعیین وزن مخصوص ظاهری ۷۱
۳-۲-۳- تعریف کمیتهای به کار رفته در طرح اختلاط مخلوطهای آسفالتی به روش مارشال ۷۲
۳-۲-٤- معیارهای طرح اختلاط مارشال ۷٤
۳-۲-٥- مراحل کلیدی و نمودارهای روش مارشال ۷٤
۳-۲-٦- روش انجمن ملی روسازی های آسفالتی ۷٦
۳-۲-۷- روش انستیتو آسفالت ۷٦
۳-۲-۸- تصحیح معایب ناشی از کم و زیاد بودن فضای خالی و کم بودن مقاومت آسفالت ۷۷
۳-۲-۹- مناسب بودن مصالح سنگی ۷۸
۳-۲-۱۰- روش اصلاح شده مارشال برای مصالح سنگی درشت دانه ۷۸
۳-۲-۱۱- مزایا و معایب طرح اختلاط مخلوطهای آسفالتی به روش مارشال ۷۹
۳-۳- روش طرح اختلاط ویم ۸۰
۳-۳-۱- چسپندگی ویم ۸۲
۳-۳-۲- آماده سازی نمونه ها ۸۳
۳-۳-۳- تراکم به وسیله متراکم کننده مالشی کالیفرنیا ۸۳
۳-۳-٤- تجهیزات آزمایشگاهی تورم سنج ، تغییر شکل سنج و تعیین دانسیته ۸٤
۳-۳-٥- ثبات سنج (پایداری سنج) و وسیله سنجش چسپندگی ویم ۸٤
۳-۳-٦- مراحل اجرای طرح اختلاط مخلوط آسفالتی به روش ویم ۸٥
۳-۳-٦-۱- تراکم نمونه ۸٥
۳-۳-٦-۲- تعیین مقدار پایداری ویم ۸٥
۳-۳-٦-۳- تورم نمونه ۸٥
۳-۳-٦-٤- تعیین قیر بهینه طرح اختلاط ۸٦
۳-۳-٦-٥- طبقه بندی ترافیک ۸٦
۳-۳-۷- مراحل کلیدی و نمودارهای روش ویم ۸٦
۳-۳-۸- مزایا و معایب طرح مخلوط آسفالتی به روش ویم ۹۱

۳-۳-۹-چسبندگی سنج ویم ۹۱
۳-٤- روش طرح اختلاط سوپر پیو (روسازی ممتاز) ۹۲
۳-٤-۱- تاریخچه ۹۲
۳-٤-۲- روش طرح ۹۳
۳-٤-۲-۱- انتخاب سنگدانه ها ۹۳
۳-٤-۲-۲- انتخاب قیر ۹۹
۳-٤-۲-۳- دمای طراحی روسازی ۱۰۱
۳-٤-۲-٤- آماده سازی نمونه ها (ازجمله تراکم) ۱۰۱
۳-٤-۲-٥- آزمایشات عملکردی ۱۰٥
۳-٤-۳- محاسبات حجم حفره ها و چگالی ۱۱۰
۳-٤-٤- انتخاب مقدار بهینه قیر آسفالت ۱۱٤
۳-٤-٥- سنجش حساسیت در برابر رطوبت ۱۱٥
۳-٤-٦- نرم افزار مربوط به روش اختلاط سوپرپیو ۱۱٦
۳-٥- روش طرح اختلاط ژیراتوری ۱۱۷
۳-٥-۱- مقدمه ۱۱۷
۳-٥-۲- مراحل ۱۲۰
۳-٥-۳- معایب و مزایای طرح اختلاط GTM ۱۲۰
۳-٦- هدف اساسی طرح های اختلاط جدید ۱۲۱
۳-٦-۱- طبقه بندی انواع روشهای طرح اختلاط مخلوطهای آسفالتی ۱۲۱
۳-٦-۲- مزایا و معایب انواع روشهای طرح اختلاط مخلوطهای آسفالتی ۱۲۳

فصل ٤:

٤-۱- آسفالت گرم ۱۲۷
٤-۱-۱- استحکام ۱۲۷
٤-۱-۲- عامل چسبندگی ۱۲۸
٤-۱-۳- اینرسی مخلوط ۱۲۸
٤-۱-٤- دوام ۱۲۸
٤-۱-٥- انعطاف پذیری ۱۲۹
٤-۱-٦- نفوذناپذیری ۱۲۹
٤-۱-۷-مقاومت در برابر خستگی ۱۳۰
٤-۱-۸- زبری سطح آسفالت ۱۳۰
٤-۱-۹- کارایی ۱۳۰
٤-۱-۱۰- دانه بندی ۱۳۲
٤-۲-روش نمونه گیری از آسفالت جاده ۱۳۲
٤-۲-۱- تعاریف ۱۳۳
٤-۲-۳- روش آزمون ۱۳۳
٤-۲-٤- انتقال نمونه ها و گزارش ۱۳٤
٤-۳- روش آزمایش تعیین مقدار قیر استخراج شده از مخلوطهای آسفالتی گرم ۱۳٥
٤-۳-۲- وسایل و مواد مورد نیاز ۱۳٥
٤-۳-۳- آماده سازی نمونه ۱۳٦
٤-۳-٤- روش انجام آزمایش ۱۳٦
٤-۳-٥- محاسبات ۱۳۷
٤-٤- روش آزمایش دانه بندی سنگدانه حاصل از استخراج ۱۳۸
٤-٤-۱- وسایل و مواد مورد نیاز ۱۳۸
٤-٤-۲- روش آزمایش ۱۳۸
٤-٤-۳- گزارش ۱۳۸
٤-٥- روش آزمایش تعیین وزن مخصوص حقیقی مخلوط آسفالتی گرم (HMA) ۱۳۹
٤-٥-۱- تعاریف ۱۳۹
٤-٥-۲- مشخصات آزمونه‌ها ۱۳۹
٤-٥-۳- وسایل مورد نیاز ۱۳۹
٤-٥-٤- روش آزمایش ۱۳۹
٤-٦- روش آزمایش تعیین وزن مخصوص حقیقی مخلوط آسفالتی گرم (HMA) ۱٤۰
٤-٦-۳- مشخصات آزمونه‌ها ۱٤۰
٤-٦-٤- وسایل مورد نیاز ۱٤۰
٤-٦-٥- روش آزمایش ۱٤۰
٤-٦-٦- محاسبه ۱٤۰
٤-۷- روش آزمایش تعیین مقاومت مخلوطهای آسفالتی در آستانه تغییر شکل پلاستیک با استفاده از دستگاه مارشال ۱٤۱
٤-۷-۱- وسایل مورد نیاز ۱٤۱
٤-۷-۲- آزمونه ها ۱٤۲
٤-۷-۳- تعیین دماهای مخلوط کردن و متراکم کردن ۱٤۳

٤-٧-٤- روش آماده سازی مخلوطها ١٤٣
٤-٧-٥- متراکم نمودن آزمونه‌ها ١٤٣
٤-٧-٦- روش آزمایش ١٤٣
٤-٨- روش آزمایش تعیین حداکثر وزن مخصوص تئوری مخلوط های آسفالتی ١٤٤
٤-٨-١- وسایل مورد نیاز ١٤٤
٤-٨-٢- کالیبره کردن ظرف خلا ١٤٤
٤-٨-٣- نمونه گیری ١٤٤
٤-٨-٤- روش آزمایش ١٤٤
٤-٨-٥- محاسبه ١٤٥
٤-٩- روش آزمایش تعیین درصد فضای خالی مخلوط های آسفالتی متراکم با دانه بندی پیوسته و باز ١٤٥
٤-٩-١- تعاریف ١٤٥
٤-٩-٢- روش آزمایش ١٤٥
٤-٩-٣- محاسبه ١٤٦
٤-١٠-آزمایش کشش غیر مستقیم ١٤٦
٤-١١- آزمایش تعیین مدول برجهندگی ١٤٧
٤-١٢-آزمایش پذیرش خزش و مقاومت ١٤٧
٤-١٣- آزمایش حساسیت رطوبتی ١٤٨
٤-١٤- آزمایش خستگی خمشی ١٤٩
٤-١٥- آزمایش خمش نیم دایره ١٥١
٤-١٥- آزمایش اثر چرخ آزمایشگاهی ١٥٢

فصل ٥:

٥-١- مقدمه ١٥٥
٥-٢- تهیه مصالح سنگی ١٥٥
٥-٣- تولید مصالح سنگی ١٥٧
٥-٣-١- سنگ شکن فکی ١٥٨
٥-٣-٢- سنگ‌شکن چرخشی ١٥٩
٥-٣-٣- سنگ‌شکن مخروطی ١٦٠
٥-٣-٤- سنگ‌شکن ضربه ای ١٦١
٥-٣-٥- سنگ‌شکن چکشی ١٦١
٥-٣-٦- سنگ‌شکن غلطکی ١٦١
٥-٣-٧- ماسه سازها ١٦٢
٥-٤- دپوی مصالح سنگی ١٦٣
٥-٥- حمل ،ذخیره و انتقال قیر ١٦٥
٥-٦- تولید مخلوط آسفالتی ١٦٦
٥-٧- اجزاء کارخانه آسفالت منقطع ١٦٩
٥-٧-١- سیلوهای سرد ١٦٩
٥-٧-٢- نوار نقاله سرد ١٧٠
٥-٧-٣- خشک کن ١٧٠
٥-٧-٤- غبارگیرها ١٧٢
٥-٧-٤-١- سیکلونها ١٧٢
٥-٧-٤-٢- غبارگیرهای تر ١٧٣
٥-٧-٤-٣- غبارگیر کیسه ای ١٧٣
٥-٧-٥- بالابر گرم ١٧٥
٥-٧-٦- سرندهای گرم ١٧٥
٥-٧-٧- سیلوهای گرم ١٧٦
٥-٧-٨- سیستم توزین ١٧٧
٥-٧-٩- مخلوط کن ١٧٨
٥-٧-١٠- مخزن ذخیره آسفالت، بارگیری، حمل ١٨٠
٥-٧-١١- اتاق کنترل ١٨١
٥-٧-١٢- فلاسک قیر ١٨٢
٥-٦-١٣- مخزن ذخیره خرده آسفالت ١٨٢
٥-٨- بازرسی و کنترل تولید ١٨٣
٥-٩- پخش و تراکم ١٨٩
٥-٩-١- پخش با فینیشر ١٨٩
٥-٩-٢- تراکم ١٨٩
٥-٩-٢-١- غلتکهای فولادی ١٩٠
٥-٩-٢-٢- غلتکهای لاستیکی ١٩٠
٥-٩-٣- نحوه کوبیدن آسفالت ١٩٠
٥-٩-٣-١- غلتک‌زنی درزهای عرضی ١٩٢

۵-۹-۳-۲- غلتک‌زنی درزهای طولی ۱۹۲
۵-۹-٤- کنترل تراکم ۱۹۲
۵-۹-۵- سطوح غیر قابل دسترسی برای غلتکها ۱۹۳
۵-۹-٦- تصحیح ناهمواریهای سطح ۱۹۳
۵-۹-۷- کنترل ترافیک ۱۹۳
۵-۹-۸- عوامل موثر در تراکم ۱۹۳
۵-۹-۸-۱- تراکم اولیه ۱۹۳
۵-۹-۸-۲- زمان تراکم ۱۹۳
۵-۹-۹- ترک ناشی از تراکم ۱۹۳

فصل ٦:

٦-۱- آسفالت گرم ۲۰۱
٦-۱-۱- آسفالت رویه (توپکا) ۲۰۱
٦-۱-۲- آسفالت آستر (بیندر) ۲۰۱
٦-۱-۳- اساس قیری ۲۰۱
٦-۱-٤- مصالح سنگی ۲۰۲
٦-۱-۵- تفکیک سنگدانه ها ۲۰۲
٦-۱-۵-۱- مصالح دانه درشت و متوسط ۲۰۲
٦-۱-۵-۲- مصالح ریز دانه ۲۰۲
٦-۱-۵-۳- فیلر ۲۰۲
٦-۱-٦- قیر ۲۰۳
٦-۱-٦-۱- انتخاب قیر ۲۰٤
٦-۱-٦-۲- حمل قیر و ذخیره سازی ۲۰٤
٦-۲- ماسه آسفالت ۲۰٦
٦-۳- آسفالت متخلخل ۲۰۸
٦-۳-۱-دانه بندی ۲۰۹
٦-۳-۲-قیر ۲۱۰
٦-٤- آسفالت سرد ۲۱۱
٦-٤-۱- انواع آسفالت سرد ۲۱۱
٦-٤-۲- مصالح سنگی ۲۱۲
٦-٤-۳- دانه بندی فیلر ۲۱۲
٦-٤-٤- انتخاب قیر ۲۱۲
٦-۵- آسفالت نفوذ ناپذیر ۲۱۳
٦-۵-۱- ملات ماستیک ۲۱۳
٦-۵-۲- مخلوط آسفالت ماستیک ۲۱۳
٦-۵-۳- آسفالت ماستیک ۲۱٤
٦-۵-٤- گوس آسفالت ۲۱٤
٦-۵-۵- مزایا و محدودیتهای آسفالت نفوذ ناپذیر ۲۱٦
٦-۵-٦- انواع آسفالتهای نفوذ ناپذیر ۲۱۷
٦-۵-٦-۱- آسفالت نفوذ ناپذیر گرم ۲۱۷
٦-۵-٦-۲- آسفالت نفوذ ناپذیر سرد ۲۱۷
٦-۵-۷- اجزای تشکیل دهنده آسفالت نفوذ ناپذیر ۲۱۸
٦-۵-۸- فیزیکی مصالح سنگی (درشت‌دانه و ریزدانه) ۲۱۸
٦-۵-۸-۱- مصالح سنگی درشت‌دانه ۲۱۸
٦-۵-۸-۲- مصالح سنگی ریز دانه ۲۱۹
٦-۵-۸-۳- خصوصیات فیزیکی فیلر ۲۱۹
٦-۵-۹-خصوصیات قیر ۲۲۰
٦-۵-۱۰-روشهای طراحی مخلوط آسفالت ماستیک ۲۲۱
٦-۵-۱۱-روشهای تولید ملات آسفالت ماستیک ۲۲۱
٦-٦- اندودهای قیری ۲۲۱
٦-٦-۱- اندود نفوذی ۲۲۱
٦-٦-۲- اندود سطحی ۲۲۱
٦-٦-۳- انتخاب قیر مناسب ۲۲۱
٦-۷- آسفالت حفاظتی ۲۲۳
٦-۷-۱- کاربرد آسفالت حفاظتی ۲۲۳
٦-۷-۲- انواع آسفالت های حفاظتی ۲۲۳
٦-۷-۳- سنگدانه ها ۲۲٤
٦-۷-٤- طرح آسفالت‌سطحی ۲۲٤
٦-۷-۵- دانه بندی ۲۲۸
٦-۸- اندودهای آب بند ۲۲۸

٦-٨-١- اندود آب بند سنگدانه ای ٢٢٩
٦-٨-٢- اندود آب بند ماسه ای ٢٢٩
٦-٨-٣- اندودهای آب بند قیری و یا سطحی بدون سنگدانه ٢٢٩
٦-٨-٤- اندود آب بند اسلاری سیل یا دوغاب قیرابه ای ٢٢٩
٦-٨-٥- میکروسرفیسینگ ٢٣١
٦-٩- غبارنشانی و روغن پاشی ٢٣٩
٦-٩-آسفالت گوگردی ٢٣٦
٦-١٠-آسفالت با استخوان بندی سنگدانه ای ٢٣٨
٦-١١-چیپ سیل ٢٣٨

فصل ٧:

٧-١- مقدمه ٢٤٤
٧-٢- بهسازی روسازی های آسفالتی ٢٤٥
٧-٣- بررسی قابلیت بازیافت مصالح آسفالتی ٢٤٥
٧-٤- خصوصیات مصالح بازیافتی ٢٤٦
٧-٥- بررسی انواع روش های بازیافت آسفالت ٢٤٧
٧-٦- بازیافت گرم روسازی های آسفالتی ٢٤٧
٧-٧- روش بازیافت گرم درجا (HIPR) ٢٤٧
٧-٨- روش بازیافت گرم آسفالت در کارخانه آسفالت مرکزی ٢٤٨
٧-٨-١- کارخانه آسفالت پیوسته جهت بازیافت بتن آسفالتی ٢٤٨
٧-٨-١-١- کارخانه مخلوط کن استوانه ای (Drum Mixer) ٢٤٨
٧-٨-١-٢-تغذیه جداگانه (Drum Mixer) ٢٤٩
٧-٨-١-٣- استوانه های مضاعف ٢٤٩
٧-٨-١-٤- کارخانه آسفالت مرحله ای (Batching Plant) ٢٥٠
٧-٩- بازیافت سرد روسازی های آسفالتی ٢٥٢
٧-٩-١- مشخصات مواد مصرفی و افزودنی در روش بازیافت سرد ٢٥٢
٧-١٠- جوانسازها ٢٥٣
٧-١١- ماشین آلات آسفالت بازیافتی ٢٥٦
٧-١١-١- کارخانه آسفالت خودکار ٢٥٦
٧-١١-٢- سامانه های گرمایشی ٢٥٧
٧-١١-٣- دستگاه تراش و گرم کننده ٢٥٧
٧-١١-٤- سامانه افزودن جوانساز ٢٥٧
٧-١١-٥- مخلوط کننده ٢٥٨
٧-١١-٦- فینیشر ٢٥٨
٧-١١-٧- تجهیزات و ماشین آلات بازیافت سرد ٢٥٨
٧-١١-٧-١- دستگاه های یک بخشی (Single Unit) ٢٥٨
٧-١١-٧-٢- دستگاه های دو بخشی (Twin Unit) ٢٥٨
٧-١١-٧-٣- دستگاه های چند بخشی (Multiple Unit) ٢٥٩
٧-١١-٧-٤- ماشین‌های بازیافت کننده سرد در محل ٢٥٩
٧-١٢- طرح اختلاط مخلوط آسفالتی به روش بازیافت گرم ٢٦٠
٧-١٢-١- مراحل طرح اختلاط بازیافت گرم ٢٦١
٧-١٢-١-١- ارزیابی مصالح سنگی بازیافتی و جدید جهت تهیه طرح اختلاط ٢٦١
٧-١٢-١-٢- تعیین درصد وزنی مصالح سنگی ٢٦١
٧-١٢-١-٣- برآورد درصد قیر مخلوط بازیافت ٢٦٢
٧-١٢-١-٤- محاسبه درصد قیر جدید برای مخلوط بازیافت ٢٦٣
٧-١٢-١-٥- انتخاب قیر جدید ٢٦٣
٧-١٢-١-٦- تعیین اجراء مخلوط آسفالت بازیافتی ٢٦٣
٧-١٢-١-٧- ضخامت روکش بازیافت گرم ٢٦٤
٧-١٣- طرح اختلاط مخلوط آسفالتی به روش بازیافت سرد ٢٦٤
٧-١٣-١- مقدمات انجام طرح اختلاط ٢٦٥
٧-١٣-٢- طرح اختلاط بازیافت سرد با امولسیون قیر (قیرابه) ٢٦٦
٧-١٣-٣- نوع مصالح سنگی ٢٦٦
٧-١٣-٤- امولسیون قیر (قیرابه) ٢٦٦
٧-١٣-٥- تهیه نمونه های آزمایشی ٢٦٧
٧-١٣-٦- برآورد مقدار امولسیون قیر مخلوط مصالح سنگی ٢٦٨
٧-١٣-٧- تهیه نمونه های آزمایش مارشال ٢٦٨
٧-١٣-٨- تراکم نمونه ها ٢٦٩
٧-١٣-٩- اندازه گیری وزن مخصوص حقیقی نمونه ها مطابق با روش A استاندارد ٢٦٩
٧-١٣-١٠- آزمایش مارشال ٢٦٩
٧-١٣-١١- آزمایش مارشال اصلاح شده ٢٧٠

۷-۱٤- تحقیقات و مطالعات طراحی مخلوط های سرد بازیافتی با قیر امولسیون ۲۷۱
۷-۱۵- طرح اختلاط بازیافت سرد با کف قیر ۲۷۱
۷-۱۵-۱- ارزیابی مصالح سنگی و خرده آسفالتی ۲۷۲
۷-۱۵-۲- دانه بندی مصالح سنگی ۲۷۳
۷-۱۵-۳- کاربرد مواد ضد عریان شدن ۲۷٤
۷-۱۵-٤- آب ۲۷٤
۷-۱۵-۵- دمای مصالح سنگی ۲۷٤
۷-۱۵-٦- خصوصیات کف قیر ۲۷٤
۷-۱۵-۷- طرح مخلوط های بازیافتی حاوی کف قیر ۲۷۵
۷-۱۵-۸- مصالح سنگی در مخلوط ۲۷۵
۷-۱۵-۹- درصد آب اختلاط ۲۷۵
۷-۱۵-۱۰- افزودنی های فعال ۲۷٦
۷-۱۵-۱۱- مقدار قیر لازم ۲۷٦
۷-۱۵-۱۲- وزن مخصوص مربوط به مصالح و سایر افزودنی ها ۲۷٦
۷-۱۵-۱۳- اختلاط مصالح با کف قیر ۲۷٦
۷-۱٦- طراحی ضخامت لایه آسفالتی بازیافت سرد ۲۷٦
۷-۱٦-۱- طراحی با روش آشتو ۲۷۷
۷-۱٦-۱-۱- محاسبه عدد ضخامت مؤثر روسازی موجود (SN_{xeff}) ۲۷۷
۷-۱٦-۱-۲- تعیین عدد ضخامت مورد نیاز روسازی جدید (SN_y) ۲۷۸
۷-۱٦-۱-۳- تعیین عدد ضخامت لایه روکش و بازیافت (SN_{OL}) ۲۷۹
۷-۱٦-۲- طراحی با روش انستیتو آسفالت ۲۸۰
۷-۱٦-۲-۱- ترافیک طرح ۲۸۰
۷-۱٦-۲-۲- مقاومت خاک بستر روسازی ۲۸۰
۷-۱٦-۲-۳- کیفیت مصالح و روش بازیافت ۲۸۰
۷-۱۷- طرح لایه اساس با استفاده از مصالح بازیافتی ۲۸۰
۷-۱۷-۱- پارامترهای طراحی ۲۸۱
۷-۱۷-۲- ضریب قشر لایه اساس ۲۸۱
۷-۱۷-۳- ضرایب زهکشی لایه های روسازی ۲۸۱
۷-۱۷-٤- مقادیر مجاز استفاده از مصالح آسفالت بازیافتی در لایه اساس ۲۸۲

فصل ۸:

۸-۱- مقدمه ۲۸٤
۸-۲- قیرهای اصلاح شده با پودر لاستیک ۲۸٦
۸-۳- قیرهای اصلاح شده با مواد شیمیایی تثبیت کننده ۲۸۷
۸-٤- قیرابه کاتیونیک زودشکن اصلاح شده با پلیمر ۲۸۷
۸-۵- پروتیلن ترفتالات (PET) ۲۸۷
۸-۵-۱- مواد ۲۸۷
۸-۵-۲- آزمایشات ۲۸۸
۸-٦- اصلاح کننده پلیمری SBS ۲۸۸
۸-٦-۱- مصالح ۲۸۹
۸-٦-۲- قشر بیندر ۲۸۹
۸-٦-۳- آزمایشات ۲۸۹
۸-٦-٤- بررسی مکانیسم شکست ۲۹۰
۸-۷- فایبر گلاس ۲۹۳
۸-۷-۱- مواد ۲۹۳
۸-۷-۲- آزمایشات ۲۹۳
۸-۸- تاثیر نانورس و کربنات کلسیم رسوبی در اصلاح مشخصات و رفتار رئولوژیکی قیر ۲۹٤
۸-۹- تاثیر کربنات کلسیم رسوبی در اصلاح قیر ۲۹۵
۸-۹-۱- اصلاح قیر با کربنات کلسیم رسوبی ۲۹۵
۸-۹-۲- نتیجه گیری ۲۹۵
۸-۱۰- تاثیر نانو رس در اصلاح قیر ۲۹٦
۸-۱۲- افزودنی های ضد عریان شدگی ۲۹۸
۸-۱۳- نتیجه گیری ۲۹۸

(تکنولوژی و مواد روسازی)

فصل اول:

پالایش ،کاربرد و مشخصات قیر

محمود رضا کی منش

سعید شاکر

۱-۱-مقدمه:

این فصل بر خواص ساختمان نفت و ترکیبات و مشتقات نفت خام که قیر نیز خود یکی از مشتقات نفت خام محسوب می گردد، خواهد پرداخت.

همانطوریکه می‌دانیم ترکیبات نفت خام به پنج گروه اصلی شامل: پارافین ها، نفتن ها، آروماتیک ها، الوفین ها و ترکیبات آسفالتیک تقسیم می شوند. ساختمان مولکولی تمام این ترکیبات جزء هیدروکربورها می‌باشد و تنها ترکیبات آسفالتیک بدلیل وجود ازت سولفور و اکسیژن و علی‌الخصوص سولفور با درصد اندک کربن و هیدروژن به ترکیب آسفالتیک خاصیت غیر هیدروکربوری بخشیده است. یعنی خاصیت هیدروکربوری سولفور اساس ساختمان ترکیبات آسفالتین ها و نهایتاً قیر را تشکیل می دهد و شاید پیچیده بودن ساختمان مولکول آسفالتین بعلت منابع نفتی با خواص گوناگون شامل نفت های سنگین و سبک و با درصد های متفاوت سولفور و ازت و اکسیژن بوده باشد، که ساختمان مولکول آسفالتین را با پیچیدگی خاص روبرو کرده است. لذا جهت بررسی خواص متفاوت قیرها می بایستی مطالعه بر روی ساختمان مولکول آسفالتین صورت پذیرد.

۱-۱-۱-شناخت نفت در جهان:

اسنادی مبنی بر کاربرد مواد نفتی در جهان به دوره ایلامیان به ۳۰۰۰ سال پیش از میلاد می‌رسد. از مواد نفتی در دوره مادها حدود ٦٧٠ سال پیش از میلاد و نیز در دوره هخامنشی حدود ۵۵۰ سال پیش از میلاد برای کارهای جنگی استفاده شده است. از جمله به دستور خشایار شاه در جنگ ایرانیان با یونانیان این مواد مورد استفاده قرار می‌گرفته است. راجع به نفت و مواد نفتی داستان‌های زیادی نقل شده است. استرابون جغرافیدان یونانی در کتاب خود می نویسد وقتی اسکندر شنید که این مایع شگفت انگیز قابل سوختن است برای کسب اطمینان دستور داد تا غلامی را به آن آلوده کردند و او را به آتش زدند ولی هنوز معلوم نیست که کدام قوم برای اولین بار نفت را مصرف کرده است.

۱-۱-۲-نفت ایران:

هردوت در کتاب خود راجع به نفت ایران می نویسد: در ۲۲ کیلومتری شوش چاههایی است که با چرخ و خیک از آن نفت، قیر و نمک استخراج می کنند او همچنین از معادن نفت اران در شمال رود ارس (بادکوبه) یاد کرده است. ابود لف در سفرنامه خود از نفت خانقین و شارون در دوره صفویه از نفت مازندان یاد کرده است.

۱-۱-۳- اکتشاف و استخراج:

اکتشاف نفت براساس روش های ژئوفیزیکی و به روش های زیر انجام می پذیرد.

۱- لرزه نگاری

۲- روش مغناطیسی

براساس اندازه‌گیری نسبی و مطلق فراوانی مواد و ایزوتوپ‌ها در زمین و براساسِ ژئوشیمی نیز می‌توان به اکتشاف نفت پرداخت، و استخراج نفت نیز معمولا با یکی از روشهای زیر انجام میپذیرد:

۱- حفاری دورانی

۲- روش توربینی

۱-۱-۴- ساختمان نفت

نفت ها به طور کلی مخلوطی از هیدروکربورهاست و این مخلوط **در** طبیعت و در اعماق زمین معمولا به سه حالت گاز، مایع و جامد وجود دارد. شکل مایع هیدر وکربورها همان نفت ها می باشند که از حیث کثرت منابع و وسعت معادن و نیز از نظر مصرف و مورد استعمال نسبت به دو حالت دیگر مهمتر می باشد ذخائر مواد هیدروکربوری به طور کلی و به خصوص مواد نفتی

به طور نامساوی در نقاط مختلف زمین پراکنده است به علاوه میزان ذخیره و ترکیب شیمیایی سازنده‌های نفتی در همه جا و در تمام انواع نفت‌های خام یکسان نیست.

۱-۱-۵-هیدروکربورها:

هیدروکربورها از دو عنصر کربن و هیدروژن تشکیل شده و بر حسب آنکه کلیه ظرفیت های اتم‌های کربن به طور کامل یا ناقص به وسیله عناصر دیگر اتصال شده باشد هیدروکربورهای مربوط به آنها به ترتیب سیر شده یا سیر نشده می‌نامند.

هیدرورکبورهای سیر شده (آلکان ها): ظرفیت های اتم های کربن تماماً توسط هیدروژن و یا عناصر دیگر اشباع شده و هیچگونه میل ترکیبی با سایر عناصر از خود نشان نمی دهند و این خانواده با نام آلکان ها و با فرمول عمومی C_nH_{2n+2} شناخته می شوند که اولین و ساده ترین عضو این خانواده متان بوده و فرمول عمومی آن CH_4 می باشد.

هیدروکربورهای سیر نشده: ظرفیت های اتم های کربن عموماً توسط هیدروژن ویا عناصر دیگر اشغال می باشد و تا حدی میل ترکیبی آشکاری با سایر عناصر از خود نشان می دهند و بر حسب اینکه اتصال دوتایی یا سه تایی در مولکول آنها وجود داشته باشد هیدروکربورهای مربوط به آنها اتیلیک یا استیلیک نامیده خواهد شد.

هیدروکربورهای اتیلینیک (آکلن ها): هیدروکربورهای این دسته از نظر خواص فیزیکی تفاوت کمی با هیدروکربورهای سیر شده دارند ولی از نظر خواهی شیمیایی به طور کلی با آنها متفاوتند. این خانواده با فرمول عمومی C_nH_{2n} شناخته می شوند که اولین و ساده ترین عنصر این خانواده اتیلن بوده وفرمول عمومی ان C_2H_4 می باشد.

هیدروکربورهای استیلینیک (الکین ها)، اولین عضو این دسته استیلن به فرمول C_2H_2 می باشد که دو اتم هیدروژن از اتیلن و چهار اتم هیدروژن از اتاق کمتر دارد.

کمبود هیدروژن در حالت سیر نشده هیدروکریورهای استیلینک با یک اتصال سه تایی نمایش داده می‌شود بعلاوه چون از هیدروکربورهای ا تیلینیک سیر نشده ترند از لحاظ شیمیایی ترکیبات موثرتری هستند و لی به طور کلی خواص ر شیمیایی آنها با هیدرو کربورهای اتیلینک شباهت زیادی دارند.

۱-۱-۶-تقطیر نفت خام

نفت خام به صورتی که از چاه بیرون می آید، برای بیشتر احتیاجات غیر قابل مصرف است به کمک عمل تقطیر نفت خام به اجزایی تبدیل می شود و آنگاه هر جزء برای منظور معینی قابل مصرف است به دنبال عمل تقطیر که پیوسته منجر به تفکیک نفت خام به برش های مختلف می گردد، تصفیه شیمیایی نیز انجام می یابد و در ضمن این عمل است که برش‌ها هر کدام با خواص تجاری معینی مانند رویت و ظاهر و رنگ و بو و پایداری در هوا و نور در می‌آیند.

تقطیر نفت خام معمولاً در دو مرحله انجام می‌یابد. در وهله اول تقطیر در فشار معمولی به منظور جدا ساختن اجزای سبک و در وهله دوم در فشار کم و در حدود ٤ ساتنی متر جیوه برای جدا کردن اجزاء سنگین و مخصوصاً روغن های ماشین موجود در نفت اجرا می‌شود. در هر دو مرحله نفت خام غیر مستقیم با لوله‌های مارپیچ گرم می‌شود و با تغییر حرارت کوره‌های مربوط بدان درجه حرارت نفت خام را به حد مطلوب می‌رسانند.

همینکه نفت خام به حرارت معین رسید وارد ستون تقطیر می شود و در اینجا با لوله هایی که بخار آب داغ در آنها جریان دارد گرمتر می گردد و اجزای مختلف نفت خام در طبقات و سینی های مختلف ستون تقطیر جمع می‌شود و باقیمانده تقطیر در قسمت پایینی اولین ستون گرد می‌آید، و از اینجا خارج و وارد دومین ستون می‌شود که تحت فشار کم از نو تقطیر می‌گردد. ستون‌های تقطیر در صنعت نفت به طور مداوم کار می‌کنند و از این راه مقادیر زیادی از نفت خام با دستگاه‌های کم حجمی قابل تقطیر می‌باشند. با انجام یافتن عمل تقطیر بر روی نمونه‌ای از نفت خام نتایج زیر حاصل می‌شود.

۱-۱-۷-مشتقات نفت حاصل از عمل تقطیر

۱-گازهای نفتی یا محصولات فرارنفتی شامل هیدروکربورهای سبک هستند که در شرایط معمولی به صورت گاز هستند و به طور کلی به سه نوع زیر تقسیم می شود.

الف) گاز طبیعی که همراه نفت خام از چاه های نفتی به دست می آید.

ب) گازهای پالایشگاهی که هنگام پالایش از واحدهای مختلف پالایشگاه به دست می آید.

ج) گاز مایع یا گازهای نفتی هستند که در تحت فشار چند اتمسفر، به صورت مایع در می آیند نظیر گاز مایع سیلندرها.

۲- محصولات سبک: نظیر بنزین یا گازوئیل می‌باشد. بنزین‌های مختلف برش‌هایی از نفت خام هستند که نقطه جوش آنها بین ۵۰ تا ۱۶۰ درجه سانتی گراد می‌باشد که حدود ۱۵ درصد از محصولات صنعت نفت را تشکیل می‌دهد و چگالی آن بین ۰/۷۱۸ تا ۰/۷۳۷ می‌باشد.

۳- محصولات سنگین نظیر نفتا وحلال ها: نفتا که از تقطیر مستقیم نفت خام به دست می‌آید و حدود نقطه جوش آن ۱۶۰ الی ۱۷۵ درجه سانتی گراد است یک نوع حلال می‌باشد.

٤- نفت سفید: یا نفت چراغ یا همان نفت معمولی می باشد که برشی از نفت خام است که نقطه جوش آن بین ۱۸۰ تا ۲۷۵ درجه ساتنی گراد متغیر است. چگالی نفت سفید در حدود ۰/۷۸ می باشد.

۵- سوخت جت: نیز از محصولات ویژه پالایشگاه به شمار می‌آید که برشی از نفت می باشد که حدود و نقطه جوش آن در ردیف بنزین و نفت چراغ است.

٦- نفت گاز یا گازوئیل: فرآورده ای از نفت خام است که حدود نقطه جوش آن بین ۲۷۰ تا ۳٦۰ درجه سانتی‌گراد است و نقطه اشتغال آن ۱۵۰درجه سانتی‌گراد می‌باشد.

۷- روغن ها از فرآورده های نفتی هستند که وجه تمایز آنها با سایر فرآودره های نفتی در ضریب ویسکوزیته آنهاست، حدود نقطه جوش آنها مابین ۳٦۰ تا ۵۳۰ درجه سانتی گراد متغیر است. و عمدتاً به سه گروه اصلی تقسیم می شوند:

الف) روغن های سبک برای موتور، عموماً به دو نوع سبک و متوسط تقسیم می شود که تفاوت آنها در ویسکوزیته آنهاست.

ب) روغن های مخصوص که شامل روغن های توربین و ترانسفورماتورها می شود.

ج) روغن هایی که مصارف خاص دارد نظیر روغن دوک

۸- پارافین ها: پارافین ها نیز به دو نوع نرم و جامد تقسیم می شود پارافین نرم دارای نقطه انجماد ٤۰ تا ٤۵ و پارافین جامد نقطه انجماد بین ۵۱ تا ۵۵ درجه را دارا می باشد.

۹- وازلین ها: وازلین طبیعی که عموماً مصرف پزشکی دارد.

۱۰- نفت کوره یا مازوت: آنچه که در هنگام تقطیر نفت در فشار معمولی بعد از ۳۰۰ درجه در پایین ستون تقطیر باقی می ماند مازوت نام دارد رنگ مازوت قهوه ای مایل به سیاه است و در حرارت معمولی نیمه جامد است و وزن مخصوص آن بین ۰/۹ تا ۰/۹۵ متغیر می باشد و حرارت ۱۲۰ الی ۱۶۰ درجه سانتی گراد بخاراتی متصاعد می کند که آتش گیر است و عموماً به عنوان سوخت کوره ها و کشتی ها به کار می رود و اغلب به چهار نوع زیر تقسیم می شود:

مازوت خانگی – مازوت سبک – مازوت سنگین نوع یک – مازوت سنگین نوع ۲

۱۱- قیر: باقی مانده تقطیر نفت خام قیر می باشد. که مواد متشکله آن عبارتند از مواد آسفالتین – رزینی و روغن های سنگینی که هر کدام از آنها، کیفیت مخصوص به قیر می دهند مثلا ازدیاد مواد آسفالتینی باعث سختی قیر و ازدیاد مواد روغنی باعث نرمی آن و مواد رزینی سبب انعطاف پذیری قیر می گردد.

معمولاً مشخصات قیر را بر حسب درجه نرمی یا درجه نفوذ آن معین می کنند با عمل اکسید کردن (دمیدن هوا) به قیر، مواد آسفالتینی زیاد و مقدار مواد روغنی کم می شود و در نتیجه با این عمل می توان قیرهای با مشخصات لازم تهیه نمود.

۱۲- کک نفت: در جریان عمل تقطیر که تجزیه و تخریب سازنده های آسفالتیک را به دنبال داشته و همچنین در جریان و در پایان عمل کراکینگ کک نفت به دست می آید که عاری از خاکستر و در حقیقت از کربن خالص تشکیل شده است.

۱-۱-۸-ترکیبات نفت خام

نفت خام اساساً مخلوطی از هیدروکربورها است و حتی عناصر غیر کربنی آن نیز معمولاً به صورت مولکول های پیچیده ای هستند که خاصیت هیدروکربنی آنها غلبه دارد، ولی در نفت خام در عین حال حاوی مقادیر اندکی اکسیژن، گوگرد، نیتروژن، وانادیم، نیکل و کروم است هیداروکربورهای موجود در نفت خام در سه گروه کلی طبقه بندی شده اند، پارافین ها، نفتن ها و آروماتیک ها، علاوه بر این، گروه چهارمی نیز وجود دارد یعنی همان اولوفین هایی که در نتیجه فرآیند هیدروژن زدایی از پارافین ها و نفتن ها تشکیل می شود.

۱-۱-۸-۱-پارافین ها:

پارافین ها جزء هیدروکربورهای سیر شده و با اتصال اتم های کربن به وسیله پیوندهای ساده می باشد و سایر پیوندها نیز با اتم های هیدروزن سیر شده اند بدیهی است فرمول عمومی پارافین ها از رابطه $C_n H_{2n+2}$ تبعیت می کند. پارافین ها به علت عدم تغیر خاصیتشان در مقابل عوامل اسیدی و بازی، به عنوان پوشش مواد غذایی وحفظ و نگهداری آنها در مقابل فساد استفاده می شود.

۱-۱-۸-۲-نفتنها (سیکلو پارافین ها):

هیدروکربورهای سیکلو پارافین هایی که تمام پیوندهای آزاد اتم های کربن شان با هیدروژن سیر شده اند، نفتنها نامیده می شودنفتن ها حدود ۵۰ درصد از ترکیب شیمیایی نفت های متعارف را تشکیل می دهند.

۱-۱-۸-۳- آروماتیک ها:

گروه هیدروکربورهای آروماتیکی، از نظر شیمیایی و فیزیکی، تفاوت بسیاری با پارافین ها و نفتن ها دارند، هیدروکربورهای آروماتیکی، شامل یک حلقه بنزنی سیر نشده ولی بسیار پایدار می باشند و اغلب مانند یک ترکیب سیر شده عمل می کند. آروماتیک ها به ندرت بیش از ۱۵٪ ترکیب شیمیایی نفت خام را تشکیبل می دهند و فرمول عمومی آنها $C_n H_{2n-6}$ می باشد.

۱-۱-۸-۴-اولوفین ها:

اولوفین ها به طور طبیعی در نفت های خام وجود ندارند و در خلال نتیجه فرآیند هیدروژن زدایی ازپارافین ها و نفتن های موجود در ملکول های نفت تشکیل می شوند. اولفین ها از نظر ساختاری شباهت زیادی به پارافین ها دارند ولی حداقل در اتم کربن ها با پیوند دوگانه متصل شده اند و فرمول های عمومی آنها $C_n H_{2n}$ می باشد. ولی باید خاطر نشان ساخت که اولوفین آنها به مراتب ناپایدارتر از آروماکت ها هستند، چنانچه H یا عناصر دیگر برای اشباع سازی آنها درد سترس نباشند، در آنصورت در مولکول های اولوفین بین خودشان واکنش نموده و مدل های سنگین تر پلیمری را می سازند.

۱-۱-۸-۵- ترکیبات آسفالتیک (ازت – گوگرد و اکسیژن)

.پنجمین نوع ازسری های مولکولی در ترکیب نفت مواد غیر هیدروکربوری هستند که در ساختار مولکولی آنها، ازت، گوگرد و اکسیژن به کار رفته است. اگرچه مقدار این عناصر، بسیار اندک است ولی با وارد شدن در ساختمان مولکولی، بخش غیر هیدروکربوری نفت ها را افزایش می دهند. به عنوان مثال اگر قیری را با ترکیب واحد به فرمول $C_{30}H_{60}S$ در نظر بگیریم، اگرچه با وجود آنکه ۸۰ د رصد وزن آن را کربن، ۱۳ درصد هیدروژن و ۷ درصد را گوگرد تشکیل می دهد ولیکن ممکن است هیچگونه هیدروکربوری در ساختمان این قیر دخالت نداشته باشد. اکثر ترکیبات سنگین نفت خام، دارای درصد بالایی از مواد غیر هیدروکربوری هستند. بعضی از مواد غیر هیدروکربوری که در ترکیب نفت های خام مشارکت دارند نظیر ترکیبات سولفوره شامل تیول‌ها، سولفیدها، تیوفن‌ها هستند. ترکیبات از انتها شامل پیرول‌ها، ایندول‌ها و پیریدین‌ها و کربازول‌ها می‌شود. ترکیبات اکسیژنه هم عمدتاً به صورت اسیدها با ساختار زنجیره‌ای و یا حلقوی می‌باشند. بسیار اتفاق می‌افتد که در ساخت مولکولی و ترکیب شیمیایی نفت‌های خام بیش از یک نوع از پنج نوع ترکیبات فوق الذکر دخالت داشته باشد. در این زمینه به منظور جلوگیری از مغشوش شدن اذهان، به طور قراردادی، مولکولی را آروماتیک می گوییم که حداقل یک حلقه آروماتیک داشته باشد. مولکول های نفتنی به همین ترتیب لازم است یک حلقه سیکلو پارافین در ساختارشان شرکت داشته و شاخص مولکول های پارافینی وجود یک حلقه آروماتیک با سیکلو پارافینی خواهد بود. همچنین در صورت اختلاط حلقه آروماتیکی با دو نوع دیگر، مواد حاصل الکیل‌آروماتیک و سیکلوالکیل آروماتیک نامیده خواهد شد. و آخرین بخش یعنی قیر که در ذیل به آن پرداخته می‌شود.

۱-۲- قیر

آخرین فراورده طلای سیاه یعنی قیر که یکی از مشتقات نفت خام، باقیمانده حاصل از عمل تقطیر بوده و مواد متشکله آن آسفالتین و مالتین می باشد، و شاید بی دلیل نباشد اگر قیر را با خواص ویژه، "طلای سیاه" شبکه راههای ملی یک مملکت که جزء زیر ساخت ها و سرمایه های ملی هر کشور بشمار می آید، تلقی کرد. در این خصوص ابتدا تعریف قیر را می آوریم

۱-۲-۱-تاریخچه قیر

قیر ماده ای است مرکب و بسیار پیچیده که آشوری‌ها، سومری‌ها و برخی دیگر از تمدن‌های پیشین از قیر بصورت وسیعی استفاده می‌کردند. از این ماده بعنوان مادهٔ ضد آب و نیز محافظ برای چوب و ساخت پروتزهای مصنوعی،ضد آب کردن کشتی و برای موارد مختلفی نظیر مومیایی کردن، مجسمه سازی و تزیینات استفاده می‌شد.

قیر بصورت طبیعی از زیر پوسته زمین بصورت چشمه، دریاچه و معادن سطحی به شکل جامد و مایع رخ می نماید، همچنین قیر موجود در بسترهای طبیعی به همراه آجرهای پخته شده بصورت ماستیک در ساختمان معابد، پایهٔ پل‌ها، خیابان‌ها و خانه‌ها بکار برده شده است. در حدود چهار الی پنج قرن پیش از میلاد مسیح، هخامنشیان نیز از قیر برای آب‌بندی در تخت جمشید استفاده کرده‌اند که هنوز آثار آن در این مجموعه قابل یافت می‌باشد.

معادل انگلیسی قیر Bitumen می‌باشد که اولین کاربرد این کلمه در زبان لاتین و در حدود سال‌های ۱٤٦۰میلادی بوده است. در انگلیسی امریکایی آنرا Asphalt می‌نامند که در کشور ما معادل "مخلوط آسفالتی" بکار برده می‌شود.

آغاز صنعت مدرن قیر را می‌توان به ۱۷۱۲میلادی نسبت داد که سنگ‌های قیرطبیعی در فرانسه کشف شدند. در آن هنگام مواد قیری را بطور ساده‌ای بصورت کلوخه روی سطح جاده‌های محلی پخش می‌کردند و می‌گذاشتند که ترافیک به تدریج آنها را ساییده و متراکم نماید. این تکنیک کاملاً موفقیت‌آمیز بود و در مدت کوتاهی پیشرفت‌هایی در این زمینه حاصل شد که من جمله پودر کردن و گرم کردن مواد قبل ازاستفاده بود. سپس آسفالت‌ها را با کوبیدن و مسطح کردن توسط آهن داغ (اتو) متراکم و محکم می‌نمودند. این ماده که عموماً به نام سنگ آسفالت متراکم[1] شناخته می‌شد، با موفقیت بسیاری در خیابان‌های اروپا بکار گرفته شد که تا به امروز به همه جا رسیده است و در نهایت با کشف نفت و پالایش آن و ایجاد پسمانده قیر ، مسیر برای استفاده وسیع قیر

[1]Compressed Rock Asphalt

در راهسازی باز شد. رویه های آسفالتی ساخته شده به کمک قیر امروزه راههای بسیار هموار و ایمن برای خودروهای سبک و سنگین و باندهای فرود با کیفیت برای نشست و برخاست هواپیماها و حتی زیرسازی های ریل بسیار خوبی برای قطارها فراهم می‌آورد.

عایق‌های رطوبتی ساختمانی و کاربردهای صنعتی مانند پوشش‌های حفاظتی لوله‌های خطوط انتقال نفت و گاز و خطوط انتقال نیرو همگی حاکی از قابلیت پوشش‌دهی و ضدآب بودن قیر دارند.

قیر مهمترین و اثر بخش ترین جزء در عملکرد مخلوطهای آسفالتی است. لذا ارزیابی مشخصات کیفی قیر و بررسی تاثیر آن در رویه‌های آسفالتی که با انجام یک سری آزمایش‌ها کنترل می‌گرددبسیار مهم است. البته مصالح سنگی که حدود ۹۲ تا ۹۶ درصد نسبت وزنی مخلوط‌های آسفالتی را تشکیل می‌دهند، در ساختار آنها نقش تعیین کننده و بنیادی دارند. توان باربری، دوام و عملکرد این مخلوط‌ها در طول مدت بهره‌دهی، به ویژگی‌های مصالح سنگی وابسته است.

در استاندارد ASTM قیر به صورت زیر تعریف می گردد: "دسته ای از مواد دارای خاصیت چسبندگی به رنگ سیاه یا تیره (جامد، نیمه جامد یا ویسکوز) با منشاء طبیعی یا تولیدی که عمده اجزای سازنده آنها را هیدروکبنهای با وزن مولکولی بالا تشکیل می دهند و در دی سولفید کربن (CS2) محلول می باشند."

همانگونه که ذکر شد، قیر، مخلوط شیمیایی پیچیده‌ای متشکل از مولکول‌های هیدروکربن طبیعی با مقدار جزئی از ترکیبات هیدروسیکلی و گروه‌های عاملی شامل عناصری نظیر سولفور، نیتروژن و اکسیژن است. قیر همچنین حاوی مقدار کمی از فلزات نظیر وانادیوم، نیکل، آهن، منیزیم و کلسیم به شکل نمک‌های معدنی ، اکسیدها می‌باشد.

مشخصات عمومی قابل توجه قیر عبارتند از:

۱- غیر قابل نفوذ بودن در مقابل آب و رطوبت

۲- مقاومت در مقابل اسیدها – بازها و نمک ها

۳- قابلیت ارتجاع

٤- چسبندگی

٥- محلول بودن در برخی از حلالها (بدون از دست دادن خواص خود)

٦- عایق بودن در مقابل جریانهای الکتریکی

۷- تشکیل دادن فیلم پایدار بروی اجسام مختلف

۸- داشتن رنگ ثابت

در بعضی موارد قیر خاصیت اصلی خود را از دست میدهد بطوریکه نمی توان از آن به خوبی استفاده نمود .این موارد شامل موارد زیر می باشد:

۱- تجزیه شدن در حرارت زیاد و تبدیل آن به ذغال توام با اشتعال

۲- نداشتن خاصیت چسبندگی در محیط مرطوب و آلوده بخاک نرم

۳- تغییر شکل پذیرفتن در مقابل فشار و حلالها

٤- کاهش خاصیت انعطاف پذیری بسبب عوامل خارجی (نظیر پدیده پیری)

همانگونه که بیان شد قیر مصرفی در راهسازی چنانچه از معدن به‌دست آید قیر طبیعی یا معدنی و هرگاه از پالایش نفت‌خام به‌دست آید قیر نفتی یا پالایشگاهی نامیده می‌شود.

۱-۲-۲-انواع قیر

۱-۲-۲-۱- قیر طبیعی[۱]

وقتی‌که مواد فرار نفت خام موجود در اعماق زمین به مرور زمان و در اثر عوامل جوی تبخیر شود، ماده سیاهی از آن بر جای می‌ماند که قیر طبیعی نامیده می‌شود. قیرهای طبیعی شامل قیرسنگ‌ها و قیرهای دریاچه‌ای می‌باشند.

۱-۲-۱-۲- قیر سنگ‌ها[۲]

قیر سنگ‌ها عمدتاً سنگ‌های آهکی و ماسه‌ای هستند که نفت خام در آنها نفوذ کرده و با گذشت زمان مواد فرار آن تبخیر شده و قیر در این سنگ‌ها باقیمانده است. قیرسنگ‌ها را پس از خرد و نرم کردن، حرارت داده و در سطح راه پخش می‌کنند. مقدار قیر موجود در قیر سنگ‌ها از ۷ تا حدود ۸۰٪ تغییر می‌کند. استفاده از قیرسنگ‌ها در راهسازی به دلیل هزینه‌های زیاد استخراج، حمل و عدم یکنواختی مواد تشکیل دهنده و متغیر بودن میزان قیر موجود در آنها در مقایسه با فراوانی قیرهای نفتی مقرون به صرفه نیست. از مهم‌ترین منابع بزرگ قیرسنگ‌ها در جهان می‌توان به قیرسنگ‌های آلبرتا، آتاباسکا، راباسکا، کلود لایک، و بیس ریور اشاره نمود.

۱-۲-۱-۳- قیرهای دریاچه‌ای

در محلهایی که نفت خام به طور طبیعی از بین لایه‌های شکست خورده زمین به سطح زمین راه پیدا می‌کند و اجزاء فرار آن تبخیر می‌شود، قیرهای طبیعی به صورت دریاچه در روی زمین بوجود می آید. دریاچه‌ی ترینیداد در جزیره ترینیداد، دریاچه‌ی برمودز ونزوئلا و ماسه‌های نفتی در غرب کانادا و..و در ایران نیز قلعه قیران لرستان، قیر دره مغان کرمانشاه و بهبهان قیر طبیعی یافت شده است.

۱-۲-۱-۴-قیرهای قطرانی (Coal Tar Pitches)

شکل دیگر طبقه بندی قیر از لحاظ شیمیائی و یا بر اساس نوع منبع تامین کننده قیر یعنی نفت یا ذغال سنگ یا چوب می باشد. قیرقطران(Tar)به دلیل تشابه ظاهری و کاربرد مشابه با قیر نفتی گاهی با یک اسم شناخته می شوند . چون منبع تهیه این نوع قیر با قیر نفتی متفاوت است ، ترکیب شیمیایی و خواص فیزیکی متفاوتی دارد که در نتیجه یک لغت عمومی برای مایعاتی است که رفتاری متفاوت در هنگام استفاده و عملکرد در سرویس دارد از سوزاندن مواد آلی طبیعی مثل چوب یا ذغال سنگ و تقطیر تخریبی آنها در غیاب هوا می باشد . دو نوع قیر قطرانی با توجه به نوع فرآیند از سوزاندن یا کربونیزاسیون ذغال سنگ میتوان تهیه کرد، یک فرآیند که حاصل آن قیری با در صد بالائی از آروماتیک هاست قیری که در دمای ۶۰۰درجه سانتی گراد بدست می آید و دارای در صد پائین تری آروماتیک است که پس از سرد کردن بخارات و جداسازی برشهای روغنی مواد باقیمانده قیر ذغال سنگ است. امروزه ۹۰ ٪ از این محصولات در چهار گروه کاربردی راهسازی ، خاک ذغال قالبی، الکترودهای ذغالی و لعاب و روکش لوله ها استفاده میگردد ولی استفاده از قیر های حاصل از ذغال سنگ پالایشگاهی در تولید آسفالت فقط محدود به مخلوط برای پوششهای سطحی میباشد و این بدان دلیل است که این قیرها در دمای پائین روانتر و عملکرد بهتری دارند و در نتیجه چسبندگی بهتری ایجاد میکنند ولی ضعف اصلی این قیرها حساسیت حرارتی بیشتر آن نسبت به قیر نفتی میباشد.

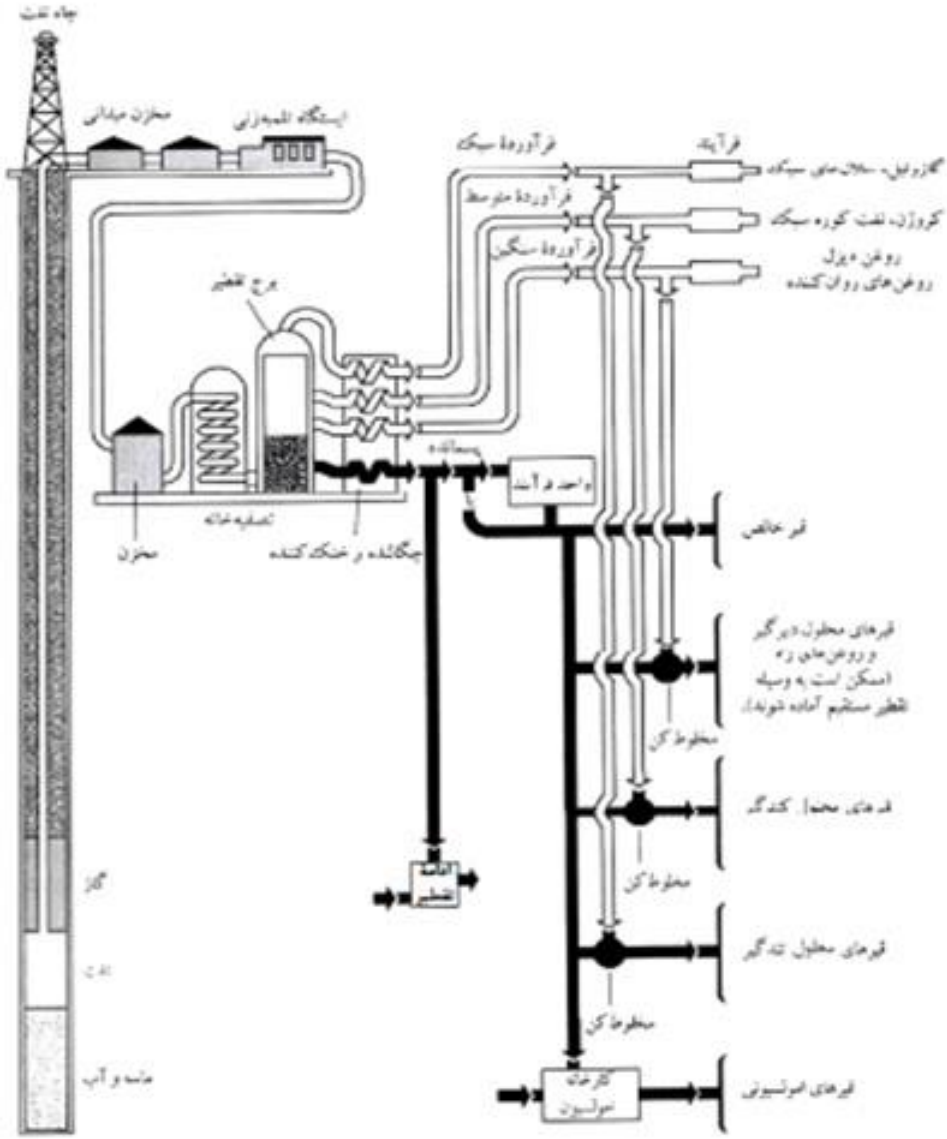
۱-۲-۱-۵- قیر نفتی

قیر نفتی یا پالایشگاهی سنگین‌ترین برش نفت خام است و از پالایش نفت خام در برج‌های تقطیر بدست می‌آید (شکل۱-۱) و نهایتاً آنچه که در ته برج تقطیر باقی می‌ماند قیر خالص نفتی است. قیرهای با درجه سفتی متفاوت برای مصارف مختلف راهسازی (در شرایط آب و هوایی و اقلیمی مختلف) را می‌توان با تنظیم درجه‌حرارت و فشار داخل برج‌های تقطیر و نیز هوادهی تولید کرد. قیرهای حاصل از پالایش نفت خام با توجه به نوع و شرایط مصرف آن در راهسازی به شرح زیر تقسیم‌بندی می‌شود.

---

[۱] Native Asphalt
[۲] Rock Asphalts

۱-۳- انواع قیرهای نفتی:



شکل(۱-۱) : نمودار تولید قیرهای نفتی

۱-۳-۱- قیرهای خالص [۱]

قیرهایی که مستقیماً در برج تقطیر در خلاء پالایشگاه به‌دست می‌آید و یا مختصری در جریان فرآیند هوادهی قرار می‌گیرد، قیرهای خالص نامیده می‌شود. قیرهای خالص در اثر فشار و حرارت به صورت مایع غلیظ و روان تغییر شکل می‌دهند و در دمای کم، حالت الاستیک و فنری دارند و در دماهای بسیار کم سخت و مستعد ترک میشوند. قیرهای خالص برای مصرف در راهسازی براساس درجه نفوذ[۲]، گرانروی[۳] و عملکردی[۴] مطابق جدول (۱-۱) تقسیم‌بندی می‌شوند.

در طبقه‌بندی براساس درجه نفوذ، قیر باید همگن و فاقد آب باشد و هم‌چنین زمانی که تا دمای ۱۷۵ درجه سانتی‌گراد، گرم می‌شود نباید کف کند. مشخصات فنی و طبقه بندی پس از تعریف آزمایشات در بخشهای بعد در جداول ذکر گردیده است .

[1] Asphalt Cement
[۲] Penetration
[۳] Viscosity
[۴] Performance Grade (PG)

جدول(۱-۱): طبقه بندی قیرهای خالص

انواع قیرهای خالص برای مصرف در راهسازی بر اساس درجه‌نفوذ،گرانروی و عملکردی			
درجه نفوذ	گرانروی		عملکردی
	قیر اولیه	قیر باقیمانده	
٤٠-٥٠	AC-2.5	AR-10	PG46
٦٠-٧٠	AC-5	AR-20	PG52
٨٥-١٠٠	AC-10	AR-40	PG58
١٢٠-١٥٠	AC-40	AR-80	PG64
٢٠٠-٣٠٠	AC-20	AR-160	PG70
			PG76
			PG82

۱-۳-۲- قیرهای محلول[1]

قیرهای محلول از حل کردن قیر خالص در حلال‌ها ویا روغن‌های نفتی به دست می‌آید. نوع و کیفیت قیرهای محلول به کیفیت قیرهای خالص اصلی، نوع و مقدار حلال بستگی دارد. هر اندازه مقدار حلال‌های نفتی در قیر محلول زیادتر باشد، روانی آن بیشتر است. معمولاً درصد حلال مصرفی از ۵ تا ٦٠ درصد تغییر می‌کند. قیرهای محلول در ساخت و اصلاح روسازی کاربرد دارد.در اکثر کشورها استانداردهای جدید در مورد قیرهای محلول تمدید نشده است. این در حالی است که حجم بسیار بالایی از قیرهای محلول در حال تولید و مصرف می‌شود و این روند تا آینده نامعلومی ادامه خواهد داشت. دلیل عدم تمدید و انتشار نسخه جدید استاندارد برای این قیرها مسائل زیست محیطی و بالا رفتن قیمت نفت و به تبع آن حلالهای با ارزشی مانند نفت سفید و بنزین می‌باشد. از طرف دیگر، ظهور فناوری قیرابه‌ها که در حال توسعه کامل می‌باشد و اثرات زیست محیطی نامطلوب ندارند می‌باشد. در ایران نیز به اثرات منفی قیرهای محلول بر محیط زیست واقفند و حرکتهایی نیز در چند سال اخیر در توسعه کاربرد قیرابه ها صورت پذیرفته لیکن به دلایل فنی هنوز قیرابه ها بصورت کامل جایگزین نگردیده اند.

قیرهای محلول بر حسب سرعت گیرش و نوع حلال مطابق جدول (۱-۲) به ۳ گروه اصلی زیر طبقه‌بندی می‌شوند:

جدول(۱-۲):انواع قیر محلول

طبقه‌بندی قیرهای محلول بر حسب سرعت گیرش و نوع حلال		
زودگیر	کندگیر	دیرگیر
RC-70	MC-30	SC-70
RC-250	MC-70	SC-250
RC-800	MC-250	SC-800
RC-3000	MC-800	SC-3000
	MC-3000	

*اعداد پسوند نشانگر حداقل گرانروی قیر محلول بر حسب سانتی‌استکس است.

۱-۳-۲-۱- قیرهای محلول زودگیر[2](RC)

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

[1] Liquid Asphalt(Cutback)
[2] Rapid setting

۱-۳-۲-۲- قیرهای محلول کندگیر[1] (MC)

اگر از حلال‌های نفتی با فراریت متوسط (نفت سفید) برای حل کردن قیر خالص استفاده شود قیر محلول را کندگیر می‌نامند.

۱-۳-۲-۳- قیرهای محلول دیرگیر[2] (SC)

اگر از حلال‌های نفتی سنگین برای حل کردن قیر خالص استفاده شود قیر محلول را دیرگیر می‌نامند. قیرهای دیرگیر در شرایط آب و هوایی عادی تبخیر نمی‌شوند، بلکه تغییر شکل مولکولی در آنها به وجود می‌آید که نسبتاً تدریجی و طولانی است. قیرهای محلول دیرگیر را می‌توان نظیر قیرهای خالص، از تقطیر نفت‌خام نیز به‌دست آورد. این نوع قیرها که به روغن‌راه[3] موسوم هستند، همان پسماند تقطیر نفت‌خام است که هنوز روغن موتور نفت‌خام از آن جدا نشده است.

۱-۳-۳- قیرهای اکسیده یا دمیده

از دمیدن هوای داغ به قیر خالص در مرحله آخر عمل تصفیه قیر دمیده بدست می‌آید. در این فرآیند، هوای داغ با دمای ۲۰۰ تا ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد توسط لوله‌های سوراخ‌دار به محفظه حاوی قیر دمیده می‌شود. در اثر انجام این فرآیند، اتم‌های هیدروژن موجود در مولکول‌های هیدروکربورهای قیر، با اکسیژن هوا ترکیب می‌شود و با تشکیل آب، عمل بسپارش اتفاق می‌افتد. قیر دمیده نسبت به قیر خالص دارای درجه نفوذ کمتری است، درجه نرمی بیشتری دارد و حساسیت کم تری نسبت به تغییرات دما دارد. علامت اختصاری قیر دمیده R می‌باشد. مثلا قیر R ۲۵/۸۰ به معنای قیر دمیده با درجه نرمی ۸۰ (یا دمایی که قیر حالت شره و اشک پیدا میکند)و درجه نفوذ ۲۵ می‌باشد قیرهای اکسیده (دمیده) تماماً در کاربردهای صنعتی مانند عایق رطوبتی ساختتمانی بام و کف، لاستیک ها، پوشش لوله، رنگ و غیره استفاده می‌شوند قیرهای اکسیده از معیارهای حلالیت و کاهش وزن در اثر حرارت نیز مطابق استاندارد تبعیت می‌کنند.

۱-۳-۴-قیرهای امولسیونی[4] (قیرابه)

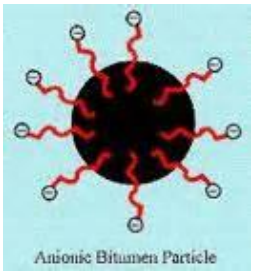
از مخلوط کردن قیر و آب بکمک یک ماده امولسیون‌ساز[5]، قیرهای امولسیونی به‌دست می‌آید. در این مخلوط قیر بصورت گلبولهایی با ابعاد از یک تا ۱۰ میکرون (۰/۰۰۱ میلی‌متر تا ۰/۰۱ میلی‌متر)، در آب شناور است (شکل ۱-۲). آب، فاز پیوسته و قیر فاز معلق و ناپیوسته این مخلوط را تشکیل می‌دهد. امولسیون‌سازها موجب ایجاد بارالکتریکی هم نام (مثبت یا منفی) در سطح ذرات قیر می‌شود. نیروی دافعه ناشی از این بار مانع به‌هم پیوستن ذرات قیر در امولسیون می‌شود.

مقدار قیر در قیرهای امولسیونی ۵۰ تا ۷۵ درصد است. مقدار امولسیون‌ساز نسبت به وزن کل امولسیون حداکثر ۰/۵ درصد می‌باشد. از قیرهای امولسیونی برای تهیهٔ انواع مخلوط‌های آسفالت سرد کارخانه‌ای و یا مخلوط در محل، آسفالت حفاظتی اندودهای قیری، درزگیری و لکه‌گیری رویه‌های آسفالتی، تثبیت خاک، ماسه و غبارنشانی می‌توان استفاده کرد. برای مصرف قیرهای امولسیونی معمولاً نیازی به حرارت دادن آنها نیست. بنابراین از نظر اقتصادی و ایمنی بر انواع دیگر قیرها برتری دارند. اختلاط قیرهای امولسیونی با سنگدانه‌های مرطوب و یا پخش قیرهای امولسیونی روی بستر مرطوب شنی و یا آسفالتی راه در عملکرد قیرهای امولسیونی تأثیر منفی ندارد.

قیرهای امولسیونی بر حسب نوع بارذره‌ای ایجاد شده در سطح ذرات شناور قیر، و با توجه به مصرف انواع امولسیون ساز(آنیونیک،کاتیونیک،غیر یونی، کلوئیدی) به دو گروه اصلی و با توجه به سرعت شکسته شدن که بیشتر به نوع و میزان ماده امولسیون‌ساز بستگی دارد به چهار گروه به شرح جدول (۱-۳) تقسیم می‌شود.

---

[1] Medium setting
[2] Slow setting
[3] Road oil
[4] Emulsified Asphalt
[5] Emulsifier



شکل (۱-۲): نمونه‌ای از قرار گرفتن مواد امولسیون‌ساز اطراف ذرات قیر پخش شده در امولسیون

مشخصات قیرابه‌های آنیونیک مصرفی در راهسازی باید با جدول (۱-۳) مطابقت داشته باشد.

جدول(۱-۳) :انواع قیرهای امولسیونی

طبقه‌بندی قیر های امولسیونی بر حسب نوع بار ذره‌ای		
نوع	آنیونیک	کاتیونیک
تندشکن	RS-1 RS-2 , HFRS-2	CRS-1 CRS-2
کندشکن	MS-1 , MS-2 , MS-2h Hfms-2 و Hfms-1 MSHF-2h , HFMS-2s	CMS-2 CMS-2h
دیرشکن	SS-1 SS-1h	CSS-1 CSS-1h
سریع‌شکن	QS-1h	CQS-1ch

پسوندها و پیشوندهای فوق دارای معانی زیر می باشد:

- پیشوند *HF* معرف ایجاد پوشش قیری با ضخامت بیشتر روی سنگدان هماست
- پسوندهای 1 و 2 به ترتیب معرف درصد قیر خالص کمتر و بیشتر در قیرابه میباشد.
- پسوند *h* معرف کاربرد قیر خالص سفتتر(درجه نفوذ کمتر) در قیرابه است .
- پسوند *s* قیرابه کندشکن *HFMS-2s* نشانه کاربرد قیر خالص رقیق با حداقل درجه نفوذ 200 در قیرآبه است.
- *QS-1h* ویژه مصرف در دوغاب قیری منطبق با مشخصات ASTM *D* –3910 می باشد .

۱-۳-۴-۱- قیرهای امولسیون آنیونیک

با استفاده از امولسیون‌سازهای نوع نمک‌های قلیایی اسیدهای آلی (مانند استارات سدیم CH3(CH2)16COONa) سطح ذرات قیر، دارای بار منفی می‌شود. این قیرهای امولسیونی را آنیونیک می‌نامند. قیرهای امولسیونی آنیونیک به چهار نوع سریع-شکن[1]، تندشکن، کندشکن، دیرشکن مطابق با کلیات شرح جدول (۱-۳) تقسیم می‌شود.

۱-۳-۴-۲- قیرهای امولسیون کاتیونیک

با استفاده از امولسیون‌سازهایی از نوع ترکیبات آلی نمک‌های آمونیوم و یا آمین‌ها، (مانند تری‌متیل‌آمونیوم بروماید $(C_{16}H_{33}(CH_3)_3NBr$) سطح دانه‌های قیر دارای بار مثبت می‌شود. این قیرهای امولسیونی را کاتیونیک می‌نامند. قیرهای امولسیونی کاتیونیک به چهار نوع سریع‌شکن، تندشکن، کندشکن، دیرشکن که هر یک زیر بخش‌هایی به شرح جدول (۱-۳) دارند، تقسیم می‌شود.

۱-۴-انواع اصلاح‌کننده‌ها و افزودنی‌های قیر

به منظور اصلاح برخی از خواص قیر از افزودنی‌ها و یا اصلاح‌کننده‌های قیر[2] استفاده می‌شود. این ترکیبات طیف وسیعی از مواد معدنی، آلی، طبیعی و صنعتی را در بر می‌گیرند. قیرهای اصلاح‌شده بر حسب نوع افزودنی و یا اصلاح کننده‌های قیر به سه گروه اصلی زیر تقسیم می‌شوند:

الف- قیرهای اصلاح شده پلیمری (Polymer Modified Asphalts,PMAs)

[1] Quick setting
[2] Modifier

ب- قیرهای اصلاح شده با لاستیک (Asphalt Rubber Binder)

ج- قیرهای اصلاح شده با مواد شیمیایی (Chemically Modified Asphalt Cements)

مواد افزودنی جهت اصلاح خواص قیر و آسفالت تولیدی بکار میرود که برخی از این خواص شامل موارد ذیل میباشند.

الف- جلوگیری از عریان‌شدن‌سنگدانه‌های‌مخلوط‌های آسفالتی

ب- جلوگیری از ایجادترک‌های‌حرارتی و انقباضی در رویه‌های آسفالتی

پ- کاهش‌پدیده‌های‌تغییرشکل و قیر زدگی رویه‌های آسفالتی

ت- تأخیر و جلوگیری از رو آمدن‌ترک‌های آسفالتی

ث- کاهش‌پدیده‌سخت‌شدن و پیرشدن‌قیر

ج- افزایش‌تاب‌خستگی آسفالت

در فصل ۸ بصورت کاملتر به این مقوله پرداخته خواهد شد.

۱-۵- نفت خام و پالایش

قیر امروزه به صورت عمده از نفت به دست می‌آید. دو روش کلی برای به دست آوردن قیر از نفت وجود دارد:

- روش تقطیر
- روش هوادهی

در روش اول بسته به خوراک و نحوه پالایش با ادامه فرایند تقطیر و جداسازی روغن های سنگین‌تر در خلاء یک قیر دارای مشخصات فیزیکی لازم برای استفاده در راهسازی و کاربردهای صنعتی به دست می‌آید.

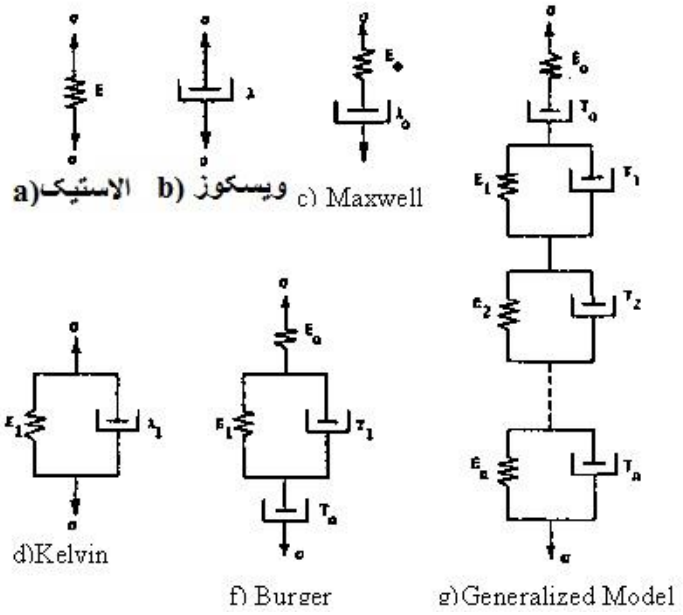
در روش دوم پسمانده خلاء به دست آمده معمولاً گرانروی بسیار پایین و درجه نفوذ بسیار بالا ۴۰۰-۳۰۰ دهم میلیمتر دارد. این محصول آسفالتن پایینی داشته و قابل استفاده برای راهسازی در مناطق گرمسیر و معتدل نمی‌باشد. برای اینکه بتوان این پسمانده قیر شکل را به قیری با خواص فیزیکی مناسب تبدیل کرد باید در طی فرایندی مولکولهای سنگین مانند آسفالتن‌ها را در آن افزایش داد. برای انجام اینکار هوا که مخلوطی از گازهای مختلف مانند اکسیژن، نیتروژن، دی اکسیدکربن و غیره است را به کمک یک کمپرسور فشرده می‌سازند و در دمای بالاتر از 200°C از پایین به درون یک برج حاوی قیر مذاب تزریق می کنند. این فرایند می‌تواند پیوسته یا ناپیوسته باشد. این فرآیند که به نام فرآیند نیمه هوادهی شناخته می‌شود به تولید قیرهای نیمه دمیده با درجه نفوذ و نقطه نرمی مناسب (۸۵/۱۰۰ یا ۶۰/۷۰) منجر می‌شود که در کاربردهای راهسازی و عایق رطوبتی ساختمانی استفاده می‌شوند. در صورتیکه در همان واحد یا واحد هوادهی بعدی فرایند هوادهی ادامه داده شود به تدریج درجه نفوذ قیر کاهش و نقطه نرمی آن افزایش می‌یابد. نتیجه قیرهای دمیده سفت می‌باشند به درجه نفوذهای بسیار پایین و نقطه نرمی‌های بسیار بالا ۱۱۰/۱۰، ۹۰/۱۵ و ۸۵/۲۵. این نوع قیرها کاربردهای ساختمانی داشته و به عنوان مواد افزودنی در عایق رطوبتی استفاده می‌شوند

۱-۶-شیمی قیر

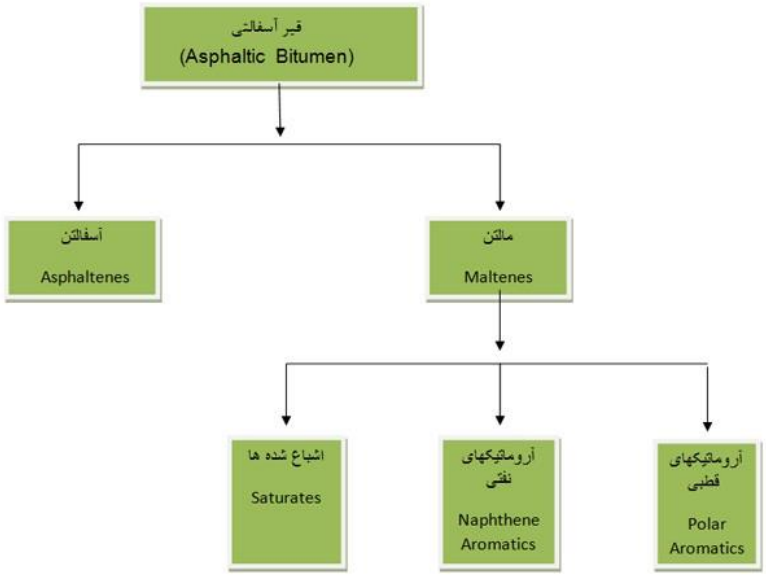
قیر ترکیبی هیدروکربنی است با رنگ قهوه‌ای تیره- سیاه، به اشکال جامد، نیمه‌جامه یا ویسکوز، با خاصیت چسبندگی که با منشاء طبیعی یا پالایشگاهی، عمدتاً حاوی هیدروکربن‌هایی با وزن ملکولی بالا می‌باشند. این مواد بطور کامل در دی‌سولفید کربن(CS_2)، تری‌کلرو اتیلن (C2HCl3) و زایلن (C6H4(CH3)2) قابل انحلال می باشند. فشار بخار آن در دمای محیط قابل اغماض و در این حالت تقریباً بدون بو است.

فراوان‌ترین و پرکاربردترین نوع قیر، قیر نفتی است که از نظر فیزیکی یک مادهٔ همگن[1] و از نظر شیمیایی یک مخلوط ناهمگن[2] از ترکیبات شیمیایی مختلف می‌باشد. این مخلوط هیدروکربنی ، عموماً شامل ۹۰٪ اتم‌های کربن و هیدروژن و الباقی ، نیتروژن، گوگرد و اکسیژن و مقادیر کمی از فلزات نیکل، آهن ، منیزیوم و... است. قیر از لحاظ رفتاری ماده ای است که در دمای محیط نه رفتار یک ماده الاستیک را دارد و نه یک ماده ویسکوز ، بلکه رفتار قیر شامل ترکیبی از این دو حالت یعنی ویسکوالاستیک می باشد.

مصالح ویسکو الاستیک، هم مشخصات یک جامد و هم رفتار ویسکوز یک مایع را دارد. دو روش مختلف برای در نظر گرفتن خواص ویسکو الاستیک مصالح وجود دارد که عبارتند از: مدل مکانیکی و تابع خزش. این مدلها از دو المان اصلی ساخته شده‌اند: یک فنر و یک میراگر . فنر بعنوان عنصری که ضمن پیروی از قانون هوگ خاصیت خطی بین تغییر شکل و نیرو، بدون اثربخشی زمان،را نشان میدهد و میراگر عنصری است که تغییر شکل با ثابت بودن نیرو را وابسته به زمان نشان میدهد.



شکل (۱-۳):مدلهای مکانیکی برای مصالح ویسکو الاستیک



[1] Homogeneous
[2] Heterogeneous

قیر یک ساختار شیمیایی بر پایه کربن است که در حدود ۹۵-۹۰ درصد آن از کربن و هیدروژن ساخته شده و لذا هیدروکربن نامیده می‌شود. بقیه آن شامل دو نوع از اتمهاست: هتروواتمها(نیتروژن، اکسیژن وگوگرد) و فلزات (وانادیم ،نیکل و آهن) که همه این اتمها بصورت ترکیب در قیر در طیف وسیعی از مولکولهای گوناگون وجود دارند.

هیدروکربنها : آلفاتیک ها (آلکانها)، سیکلیکها (نفتن آروماتیکها) و حلقه های آروماتیک (آرنها)

هتروواتمها: (O,N,S) .

فلزات : (V,Ni,Fe)

۱-۶-۱—هیدروکربنها

این مواد به آلیفاتیکها ، سیکلیکها و آروماتیکها با پیوند کووالانسی قوی دسته بندی می شوند. آلیفاتیک ها : مولکولهای خطی یا زنجیری شکل، بطوریکه اتمهای هر کربن به کربن بعدی بصورت زنجیری متصل است. (مانند هگزان)

سیکلیک ها: یا نفتن آروماتیکها مانند سیکلوهگزان که مثل هگزان، همان شش کربن داشته ولی با از دست دادن دو اتم هیدروژن، یک حلقه را تشکیل می دهند. از دست دادن دو اتم هیدروژن تاثیر زیادی بر خواص شیمیایی مولکول می گذارد و علت این امر نیز هم به سبب تغییر شکل مولکول و هم به خاطر بر همکنش تک تک اتمهای مولکول بر یکدیگر می‌باشد.

آروماتیک ها : حلقه های آروماتیکی ، حلقه های مسطح و پایدار اتمهای کربن هستند که به آسانی با یکدیگر توده و انباشته می شوند (پیوندهای π-π آنها بسیار قطبی است).

مقایسه نقطه جوش و انجماد این سه مولکول مشابه، بیانگر تغییرات خواص فیزیکی زیاد آنهاست که علت آن، تغییر ساختمان شیمیایی اندک آنهاست:

مولکول	نقطه جوش،^{o}F	نقطه انجماد،^{o}F
هگزان(آلیفاتیک)	٦٩	-٩٥
سیکلو هگزان(سیکلیک)	٨١	٧
بنزن(آروماتیک)	٨٠	٦

۱-۶-۲- هتروواتمها

هتروواتمها می‌توانند جایگزین اتمهای کربن در ساختمان مولکولی قیر شوند و هر چند شیمی آنها با کربن متفاوت است ولی چون پیوندهای هیدروژنی بیشتری می‌پذیرد لذا با تشکیل تجمع‌های بین مولکولها،خواص شیمیایی و فیزیکی خاصی ایجاد می‌نمایند. این پیوندها به خاطر قطبی شدن مولکولهاست که هتروواتمها در مولکول ایجاد می‌نمایند. نوع و مقدار هتروواتمها در قیر بستگی به نفت خام و میزان پیرشدگی آن دارد. مخصوصاً گوگرد نقش مهمتری در پیرشدگی قیر دارد زیرا در مقایسه با کربن و هیدروژن تمایل بیشتری به واکنش داشته و راحت تر از هیدروکربنها اکسید می‌شود. لذا هتروواتمها تاثیر مهمی بر رفتار مکانیکی قیر بجا می‌گذارند.

۱-۶-۳- فلزات:

هر چند میزان فلزات در قیر بسیار ناچیز بوده (کمتر از یک درصد) با این حال نقش مهمی در فرآیند پیرشدگی قیر بازی می‌کنند. از فلزات موجود در قیر می‌توان رد پای منشاء نفت خامی را که قیر از آن تولید شده، پیدا نمود. مجموعه هیدروکربنها، هتروواتمها و فلزات در میلیونها مولکول ترکیب شده و قیر را ایجاد می‌نمایند. هر قیر، مجموعه و ترتیبی منحصر به فرد از این مولکولها را دارد که این مولکولها به طریق مختلف برهم کنشهایی با یکدیگر دارند که در نتیجه بر رفتار شیمیایی و تجمع یافتگی آنها موثر است.

۱-۷-ساختار قیر:

قیرها از نظر فیزیکی یک ماده هموژن می‌باشند با این حال این مواد از نظر شیمیایی یک مخلوط ناهمگن (هتروژن) از ترکیبات شیمیایی مختلف می‌باشند. قیر، یا به بیان بهتر مواد قیری مخلوط بسیار متنوعی از طیف وسیع هیدروکربونها می‌باسند که در انواع دسته‌بندی‌های اشباع و غیراشباع، حلقوی و غیرحلقوی، قطبی و غیرقطبی قرار می‌گیرند. ضمناً پاره‌ای از هیدروکربنها علاوه بر کربن و هیدروژن دارای عناصردیگر[1] در ساختار خود می‌باشند.

با این مقدمه آشکار است که هر گونه تلاشی برای تجزیه مولکولی قیرها بی‌حاصل خواهد بود و نیز به همین دلیل است که اطلاعات مندرج در منابع و استانداردهای قیر جملگی به روش های تفکیک توسط حلالهای آلی و کروماتیکی برای جداسازی گروه‌هایی از اجزا با خواص مشابه تاکید دارند. از سلسله مراحلی که در تفکیک اجزای قیرها کاربرد فراوان داشته و امروزه نیز مورد پذیرش و تایید اغلب متخصصین می‌باشد عبارت است از تفکیک قیر به مؤلفه‌های نسبتاً مشخص به نام آسفالتن Asphaltene و مالتن Maltene و همچنین تقسیم مالتن به مؤلفه های نسبتا ابهام‌آمیز به نام رزین ها Resins و روغن ها Oils. .روش معتبر ASTM یا روش Corbett برای تفکیک قیر به چهار فراکنش نیز بر پایه تقسیم بندی فوق استوار می باشد.

۱-۷-۱- روش تفکیک شیمیایی گروه های سازنده قیر

قیر را با یک حلال پارافینی خالص (نظیر نرمال هپتان) مخلوط می نمایند و لذا آسفالتن ته‌نشین شده و در پی آن از فیلتراسیون و خشک کردن پودری با رنگ قهوه ای تیره تا سیاه به دست می آید که در بنزن تتراکلرید کربن و دی سولفید کربن محلول است. اما در هیدروکربن های پارافینی خالص نامحلول است. آسفالتن از درجه آروماتیسیته بالایی برخوردار بوده و دارای گروه های حلقوی متراکم و در هم رفته است.

۱-۷-۲-ساختمان شیمیایی آسفالتن ها

مطالعات طیف نگاری روی گروه های سازنده قیر دو پارامتر مهم یعنی جرم مولکولی M و نسبت هیدروژن به کربن H/C را به دست می دهد. از این پارامترها می توان برای مقایسه میزان پیچیدگی و تراکم مولکولهای هر دو گروه استفاده کرد. فاز محلول باقی مانده را مالتن می نامند.

پس از جداسازی آسفالتن قیر برای جدا کردن سایر اجزا از مالتن از خاصیت کروماتوگرافی بهره می گیرند. بدین ترتیب که یک بستر و حلال های مناسب را انتخاب می کنند. معمولا خاک رس، اکسید آلومینیم فعال شده و یا سیلیکاژن به عنوان بستر به کار می‌روند. برای جداسازی رزین‌ها ابتدا بستر را توسط مالتن شارژ می‌نمایند و سپس از حلال‌های مناسب نظیر بنزن، مخلوط بنزن- متانول و تری کلرواتیلن استفاده می‌کنند.

رزین‌ها جامدات بی‌شکلی با رنگ متمایل به قرمز تا قهوه‌ای تیره هستند که در هیروکربن‌های نفتی سبک محلول می‌باشند. انتخاب نام رزین برای این گروه از این جهت است که تبخیر محلول‌های آنها همچون رزین‌های طبیعی و سنتزی، فیلم پیوسته‌ای بر جای می‌گذارد. ساختار این گروه در شکل زیر نشان داده شده است. روغن ها اجزای باقی مانده نامحلول پس از جداسازی رزین‌ها می‌باشند که شامل انواع مختلف هیدروکربن‌ها بوده و می‌توانند به اجزای آروماتیک، سیکوپارافینیک و آلیافاتیک نیز تفکیک شوند. رزین‌ها و روغنها در قیر نیز از اجزای اصلی قیر بوده که مشخصات شیمیایی آنها مبنای اصلی مشخصه‌های مورد نیاز قیر در راهسازی میباشند.

به طور کلی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی نفت خام و در نتیجه قیر حاصل ازآن، تابع نوع ترکیبات شیمیایی و مقدار آن، که در نفت خام وجود دارد، می‌باشد. ناهمگونی غیرقابل تصور در خواص نفت خام منابع مختلف که قیرها عملاً به‌عنوان فرآورده‌های جنبی و فرعی آن محسوب می‌شوند از سویی و ویژگی‌های پالایش که با هدف عمده و اصلی تهیه و تولید حداکثر مواد سوختنی و

[1] HeteroAtoms

محصولات مشابه آن به‌کار گرفته می‌شوند از سوی دیگر، در کیفیت مواد قیری حاصله مستقیماً تاثیر می‌گذارند و در بسیاری از حالات نه فقط موجب کاهش کیفیت و مرغوبیت آنها بلکه ناهمگونی بیش از اندازه در خواص فیزیکی و شیمیایی و در نتیجه بی-ثباتی قیرها می‌گردد. تجزیه قیرهای حاصل از منابع مختلف نفتی نشان می‌دهد که عناصر تشکیل دهنده آنها به‌شرح زیر می‌باشد:

کربن	٪۸۸ تا ٪۸۲
هیدروژن	٪۱۱ تا ۸
گوگرد	٪٦ تا ۰
اکسیژن	٪۱/۵ تا ۰
نیتروژن	٪۱ تا ۰

ترکیب دقیق قیرها برحسب اینکه از کدام محل و منبع نفت خامی باشند، با یکدیگر متفاوت است، ضمن آنکه فرآیند عملیات در پالایشگاه مثل هوادادن و میزان آن می‌تواند روی کیفیت قیرها اثر داشته باشند.

همانگونه که بیان شد ترکیب شیمیایی قیر بسیار پیچیده است، لذا تجزیه کامل آن فقط از طریق آزمایشگاهی امکان‌پذیر است. به هر حال می‌توان اجزاء قیر را به دو گروه شیمیایی مشخص به نام آسفالتن (فاز معلق) و مالتن (فاز پیوسته) تقسیم کرد. فاز مالتن را می‌توان به‌تقسیمات کوچکتری به‌نام ترکیبات اشباع، آروماتیک‌ها و رزین‌ها طبقه‌بندی کرد. این چهار گروه به‌طور مشخص همیشه ثابت نیستند و قدری تداخل همیشه بین آنها وجود دارد.

آسفالتن- این ماده جسمی است جامد، بی‌شکل ، به‌رنگ قهوه‌ای تیره تا سیاه، با وزن مولکولی متغیر از ۱۵۰۰ تا ۱۰۰۰۰ که به‌عنوان عامل افزایش غلظت در قیرها محسوب می‌شود.

مقدار آسفالتن اثر بسیار زیادی در مشخصات رئولوژی قیر دارد، هر چه مقدار آن بیشتر باشد قیر سخت‌تر با درجه‌نفوذ کمتر، نقطه نرمی بزرگتر و در نتیجه ویسکوزیته بیشتری خواهد داشت. مقدار آسفالتن از ۵ تا ۲۵٪ قیر را تشکیل می‌دهد.

رزین ها- این مواد به رنگ قهوه‌ای تیره، جامد یا نیمه جامد بوده، بسیار قطبی هستند. خاصیت ویژه رزین‌ها در این است که بسیار چسبنده‌اند. ساختار مولکولی رزین‌ها قطبی است و در نتیجه عامل مهم چسبندگی قیر به سطح سنگدانه است. رزین‌ها مواد ضد انعقاد برای آسفالتن محسوب می‌شوند.

آروماتیک‌های نفتنی- آروماتیک‌ها ترکیباتی حلقوی با کمترین وزن مولکولی‌اند و شامل رنجیره‌های جانبی آروماتیکی و یا نفتنیکی هستند و محیط ضد انعقاد بسیار مناسبی برای آسفالتن به‌شمار می‌آیند. این جزء ٤٠ تا ٦٥٪ کل قیر را تشکیل می‌دهند.

ترکیبات اشباع (پارافین‌ها)- این ترکیبات اغلب به‌شکل روغن‌های ویسکوز غیرقطبی و کاهی رنگ یا سفید رنگ هستند. آنها شامل مواد مومی و غیر مومی اشباع می‌باشند و حدود ۵ تا ۲۰٪ قیر را تشکیل می‌دهند.

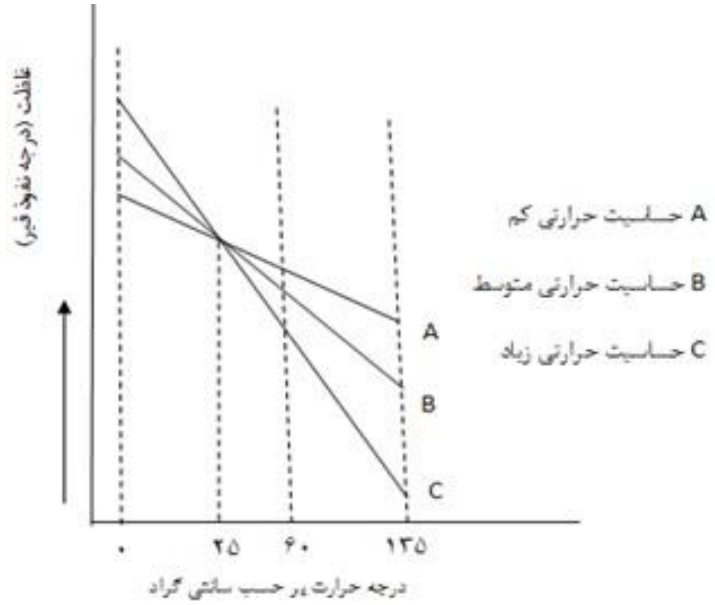
۱-۸- رابطه بین اجزای شیمیایی و رئولوژی قیر

مخلوط اجزای حاصل از قیر مثل ترکیبات اشباع، آروماتیک‌ها، رزین‌ها و آسفالتن نشان می‌دهد که اجزا با رئولوژی قیر مربوط‌اند، با ثابت نگه‌داشتن مقدار آسفالتن و متغیر بودن غلظت سه جزء دیگر مشخص شده است که:

- افزایش مقدار آروماتیک‌ها زمانی که نسبت اشباع‌ها به رزین‌ها ثابت باشد، اثر کمی در رئولوژی قیر دارد، در عین حال کاهش کمی در حساسیت برشی قیر نیز برجای می‌گذارد.
- ثابت نگه داشتن نسبت رزین‌ها به آروماتیک‌ها و افزایش مواد اشباع باعث نرمی قیر می‌شود.
- افزایش مقدار رزین‌ها باعث سخت شدن قیر، افزایش حساسیت حرارتی و حساسیت برشی می‌شود، ولی ویسکوزیته را زیاد می‌نماید.

۱–۹– حساسیت حرارتی قیر

درجه نفوذ (و یا کندروانی قیر) صرف‌نظر از نوع، کیفیت منابع نفت خام و فرایندهای مختلف پالایش، با کاهش یا افزایش درجه حرارت تغییر می‌کنند. به‌طور کلی تغییرات حاصله در غلظت قیر (درجه نفوذ و یا کندروانی) که از تغییر در درجه حرارت آن به وجود می‌آید، حساسیت حرارتی قیر نامیده می‌شود. حساسیت حرارتی برای قیرهای گوناگون و نیز قیرهای با درجه نفوذ معین متفاوت است. شکل (۱–۳) رفتار سه قیر دارای درجه نفوذ یکسان در ۲۵ درجه سانتی‌گراد را در مقابل حرارت نشان می‌دهد. این قیرها وقتی که در مخلوط‌های آسفالتی مورد مصرف قرار گیرند، از نظر دوام و پایائی در برابر حرارت مرحله ساخت و تهیه مخلوط و نوسانات دمای محیط در مدت بهره‌دهی رفتار کاملاً متفاوتی دارند، به این معنی که در شرایط محیطی مشابه، قیر A با دوام‌تر و قیرC با حساسیت حرارتی بیشتر آسیب پذیرتر است



شکل(۱–٤): تفاوت در حساسیت حرارتی سه قیر با درجه نفوذ یکسان

۱–۱۰–گرم کردن قیر

انتخاب درجه حرارت صحیح برای گرم کردن انواع قیر در شرایط مختلف اجرا و مصارف گوناگون با کیفیت و مرغوبیت کار و نکات ایمنی ارتباط مستقیم دارد. راهنمای کلی و عمومی انتخاب درجه حرارت برای قیرهای مختلف در جدول (۱–٤) ارایه شده است که در صورت نیاز می تواند مورد استفاده قرار گیرد.

۱–۱۱– آزمایشات پایه ای قیر(استاتیکی)

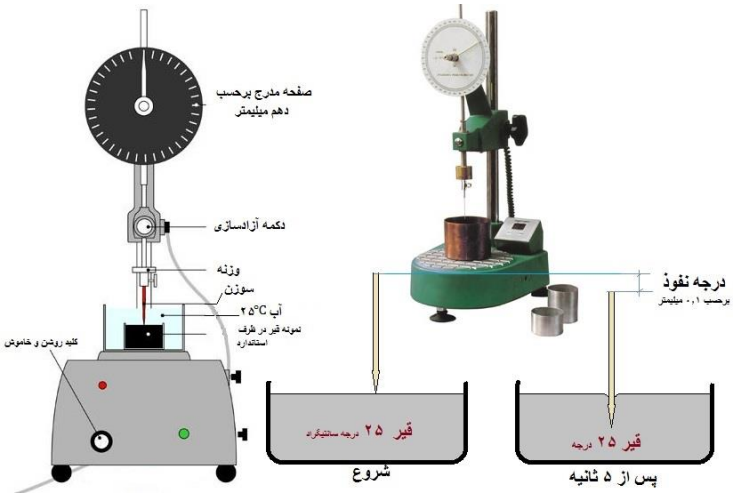
۱–۱۱–۱– آزمایش تعیین درجه نفوذ قیر[1](ASTM D5, AAHTO T49, ISIRI 2950)

آزمایش درجه نفوذ برای تعیین سختی و قوام قیر مورد استفاده قرار می گیرد در این آزمایش از یک نفوذ یک سوزن استاندارد تحت بار ۱۰۰ گرم در مدت ۵ ثانیه به داخل قیر در دمای ۲۵ درجه سانتی گراد، که در ظرفی به قطر ۵۵ وارتفاع ۳۵ میلیمتر قرار دارد ، نفوذ می کند. لذا مقدار نفوذ سوزن استاندارد تحت نیروی ثقلی خود بر حسب دهم میلیمتر در مدت ۵ ثانیه در قیر با دمای ۲۵ درجه سانتیگراد ،درجه نفوذ آن قیر نامیده می شود بدیهی است هر چه درجه نفوذ کمتر باشد قیر سخت تر است. مبنای اصلی طبقه بندی قیر در روشهای قدیمی نتیجه این آزمایش است . قیر خالص ۷۰/٦۰ بدین معنی است که درجه نفوذ این قیر بین ٦۰ تا ۷۰ دهم میلیمتر است. این نوع طبقه بندی بدلایل مختلف از جمله ماهیت حساسیت حرارتی بالای قیر و تغییرات بالا و متفاوت مشخصات قیر با تغییر دما (مطابق شکل۱–٤) نمیتواند بدرستی نشاندهندهٔ خصوصیات یا رده بندی قیر باشد.

[1] Penetration test

جدول (۱-٤): درجه‌حرارت راهنما برای‌گرم‌کردن انواع قیر

نوع‌قیر	درجه‌حرارت آسفالت در واحد مخلوط‌کننده		درجه‌حرارت‌پخش‌قیر	
	دانه بندی پیوسته	دانه بندی باز	آسفالت مخلوط در محل	آسفالت سطحی
قیرهای‌خالص				
۴۰/۵۰				
۶۰/۷۰	۱۲۰-۱۶۳	۱۰۵-۱۲۷	--	--
۸۵/۱۰۰	۱۲۰-۱۶۳	۱۰۵-۱۲۷	--	--
۱۵۰/۲۰۰	۱۲۰-۱۵۵	۱۰۵-۱۲۷	--	$(۶)_{۱۳۰+}$
۲۰۰/۳۰۰	۱۱۵-۱۵۰	۱۰۵-۱۲۷	--	$(۶)_{۱۳۰+}$
قیرآبه‌ها				
RS-1				
RS-2	--		--	۵۰-۸۵
HFRS-2	--		--	۵۰-۸۵
MS-1	$(۴)_{۱۰-۷۰}$		۲۰-۷۰	۲۰-۷۰
MS-2	$(۴)_{۱۰-۷۰}$		۲۰-۷۰	--
MS-2h	$(۴)_{۱۰-۷۰}$		۲۰-۷۰	--
HFMS-1	$(۴)_{۱۰-۷۰}$		۲۰-۷۰	۲۰-۷۰
HFMS-2	$(۴)_{۱۰-۷۰}$		۲۰-۷۰	--
HFMS-2h	$(۴)_{۱۰-۷۰}$		۲۰-۷۰	--
HFMS-2s	$(۴)_{۱۰-۷۰}$		۲۰-۷۰	--
SS-1	$(۴)_{۱۰-۷۰}$		۲۰-۷۰	--
SS-1h	$(۴)_{۱۰-۷۰}$		۲۰-۷۰	--
CRS-1	--		--	۵۰-۸۵
CRS-2	--		--	۵۰-۸۵
CMS-2	$(۴)_{۱۰-۷۰}$		۲۰-۷۰	--
CMS-2h	$(۴)_{۱۰-۷۰}$		۲۰-۷۰	--
CSS-1	$(۴)_{۱۰-۷۰}$		۲۰-۷۰	--
CSS-1h	$(۴)_{۱۰-۷۰}$		۲۰-۷۰	--
قیرهای‌محلول				
MC-30				$(۶)_{۳۰+}$
RC-MC-SC-70	--	--	$(۶)_{۲۰+}$	$(۶)_{۵۰+}$
RC-MC-SC-250	$(۳)_{۵۵-۸۰}$	--	$(۶)_{۴۰+}$	$(۶)_{۷۵+}$
RC-MC-SC-800	$(۳)_{۷۵-۱۰۰}$	--	$(۶)_{۵۵+}$	$(۶)_{۹۵+}$
RC-MC-SC-3000	$(۳)_{۸۰-۱۱۵}$	--	--	$(۶)_{۱۱۰+}$

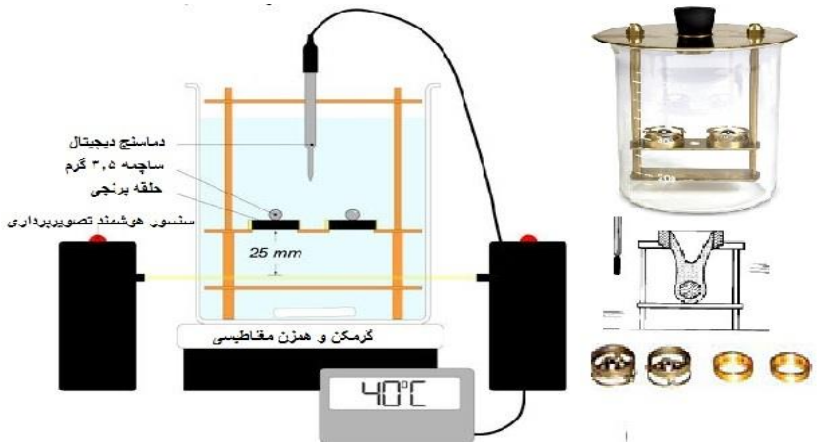


شکل(۱-۵): آزمایش تعیین درجه نفوذ

۱-۱۱-۲- آزمایش تعیین نقطه نرمی قیر[1](ASTM D36, AASHTO T53, ISIRI 3868)

هدف از این آزمایش تعیین دمای متناظر با روانی و نرمی قیر است. تعیین نقطه نرمی قیر مواد قیری در محدوده دمایی از ۳۰ تا ۱۵۷ درجه سانتی‌گراد با استفاده از ابزار گلوله و حلقه، غوطه‌ور شده در آب مقطر (دمای ۳۰ تا ۸۰ درجه سانتی‌گراد) ،گلسیرین (دمای بالای ۸۰ تا ۱۵۷ درجه سانتی‌گراد) می‌باشد.

از نقطه نرمی می‌توان به منظور دسته‌بندی قیرها و به عنوان عاملی جهت تایید یکنواختی محموله‌ها یا منابع تامین شده قیر استفاده نمود، که می‌تواند تمایل مواد را به جاری شدن در دماهای بالا که به هنگام سرویس‌دهی با آن مواجه می‌شوند، نشان دهد. این آزمایش بوسیله ۲ حلقه پر از قیر که با دو ساچمهٔ به وزن ۳/۵ گرم روی هر کدام، بر روی پایه ای در آب ۲۵ درجه قرار گرفته و ظرف آب با نرخ ۵ درجه سانتیگراد در هر دقیقه و یکنواخت افزایش دما می‌یابد و قیر و ساچمه‌های روی آن روان و به صفحه زیرین پایه حلقه ها که در فاصله‌ای ۲۵ میلیمتری حلقه‌ها قرار دارد میرسند. دمایی که در آن ساچمه‌ها و قیر به صفحهٔ پایینی میرسد درجه یا نقطهٔ نرمی قیر نام خواهد گرفت.



شکل(۱-٦):ابزار آزمایش نقطهٔ نرمی

۱-۱۱-۳- آزمایش تعیین نقطه اشتعال و شعله‌وری قیر[2](ASTM D92, AASHTO T48, ISIRI 2954)

درجه اشتعال دمایی است که اگر قیر به آن دما برسد گازهای متصاعد از آن با نزدیک شدن شعله، مشتعل می شوند و در سطح آن شعله به وجود می آید. بنابراین حداکثر دمایی که بتوان قیر را گرم کرد تابع درجه اشتعال می باشد. آزمایش تعیین درجه اشتعال قیر را می توان با دو نوع دستگاه انجام داد:

[1] Softeninig point (Ring and Ball)
[2] Flash point

- دستگاه درجه اشتعال رو باز
- دستگاه درجه اشتعال رو بسته

دمای اشتعال شاخصی از حداکثر دمای ایمن و حجم گازهای فرار میتواند بدست دهد.

شکل(۱-۷): دستگاههای انجام آزمایش نقطه اشتعال

ابتدا درجه اشتعال قیر را به صورت تقریبی بدست می آوریم تا از نتیجه آن در آزمایش اصلی بتوانیم استفاده نماییم. در این مرحله بدون توجه به سرعت گرمادهی با سرعت ثابت حدود ۱۲ درجه سانتیگراد در دقیقه قیر را گرم می نماییم و با عبور دادن شعله از روی قیر در دمای بالای ۲۵۰ درجه سانتیگراد ، دمایی که به ازای آن در سطح قیر جرقه ایجاد می شود، را به عنوان درجه اشتعال تخمینی در نظر می گیریم.حال آزمایش اصلی را با تنظیم درجه حرارت به طوری که در هر دقیقه ۱٦.۷ درجه سانتیگراد تغییر نماید ، شروع می کنیم. هنگامی که درجه حرارت قیر به دمایی بمیزان ٥٦ درجه سانتیگراد مانده به دمای اشتعال تقریبی رسید، سرعت گرم شدن قیر را به ۵ درجه سانتیگراد بر دقیقه کاهش می دهیم. زمانی که دمای قیر به ۲۸ درجه سانتیگراد مانده به درجه اشتعال تخمینی قیر رسید ، به ازای هر سه درجه یکبار شعله را از روی قیر عبور می دهیم.

این کار را تا زمانی ادامه می دهیم که هنگام عبور شعله، جرقه ای در سطح قیر نمایان شود. این درجه را به عنوان درجه اشتعال قیر ثبت می نماییم.

۱-۱۱-۴- آزمایش تعیین خاصیت انگمی[1](کشسانی) (ASTM D113, AASHTO T51, IS 3866)

اگر نمونه‌ای از قیر با سطح مقطع یک سانیمتر مربع را با سرعت ۵ سانتی‌متر در دقیقه بکشیم، مقدار افزایش طول نمونه را قبل از پاره شدن خاصیت انگلمی قیر گویند. این آزمایش توسط قالبهای مخصوص برنجی که با قیر پر شده و پس از تثبیت کامل دما دردمای ۲۵ درجه سانتیگراد و در آب راکد با همین درجه حرارت، با سرعت ثابت ۵ سانتی متر در هر دقیقه تا مرحله پاره شدن قیر ادامه می‌یابد. انگمی قیرهای خالص متعارف مورد استفاده در تولید مخلوط آسفالتی معمولاً بیش از ۱۰۰ سانتیمتر است.

شکل(۱-۸): ابزار آزمایش تعیین خاصیت انگمی قیرها

خاصیت انگمی قیر به میزان سفتی قیر بستگی دارد و معمولاً در قیرهای خالص هرچه قیر سفت تر باشد، خاصیت انگمی آن کمتر خواهد بود. البته خاصیت انگمی متاثر از درجه حرارت نیز هست. یکی از خواصی که در اصلاح قیرها بوسیلهٔ پلیمرها و.. بدنبال آن هستیم حصول خاصیت انگمی بیشتر در دماهای پایینتر و به نوعی عدم کاهش قابلیت انعطاف برغم سفتی بیشتر قیر است. قیرهای قطران معمولاً خاصیت انگمی بیشتر و قیرهای دمیده دارای کشسانی کمتری میباشند.

[1] Ductility

۱–۱۱–۵– آزمایش تعیین وزن‌مخصوص و چگالی (ASTM D70 , AASHTO T228, ISIRI 3872)

روش های مختلفی برای تعیین وزن مخصوص قیر وجود دارد که مبنای همه این روش ها، قانون ارشمیدس می باشد. طبق تعریف، وزن مخصوص قیر عبارت است از نسبت وزن حجم معینی از قیر به وزن آب هم حجم آن در درجه حرارت معین. از جمله روش های موجود برای تعیین وزن مخصوص قیر عبارت است از:

- روش پیکنومتر
- روش بوته نیکلی

مبنای کلی این روشها تعیین حجم قیر طبق قانون ارشمیدس و تقسیم وزن نمونه بر آن است. چگالی قیر بعلت تغییر حجم قیر در درجه حرارتهای مختلف در دمای معین ۱۵.٦ یا ۲۰ درجه سانتیگراد تعیین و گزارش میشود. چگالی قیرهای خالص بین ۰.۷٦ تا ۰.۸۵ و وزن مخصوص قیرهای قطران بسته به طرز تهیه آنها بین ۱.۱۰ تا ۱.۲۵ متغیر است.

دانستن وزن مخصوص قیر از دو جهت دارای اهمیت است:

۱–از آنجا که می دانیم هرجا صحبت از مقدار قیر در آسفالت به میان می آید، آن را به صورت درصد وزنی بیان می نمایند، در صورتی که قیر عملاً به صورت حجمی اندازه گیری می شود؛ بنابراین دانستن رابطه بین وزن و حجم قیر ضروری است. همچنین چون قیر را عموماً گرم می‌کنند، لذا دانستن ضریب انبساط حرارتی قیر نیز الزامی است تا بتوان وزن مخصوص قیر را در هر درجه حرارتی محاسبه نمود. در غیر این صورت وزن مخصوص قیر را باید در درجه حرارت مورد نیاز تعیین و اندازه گیری کرد.

آزمایش تعیین وزن مخصوص قیر به روش استاندارد ASTM-D70 انجام میشود و در آن وزن مخصوص قیر از رابطه ٤–۲ بدست می آید:

$$\text{وزن مخصوص قیر} = \frac{W_2 - W_1}{(W_w - W_1) - (W_3 - W_2)} \qquad (۱-۱)$$

که در این رابطه: W_1 : وزن پیکنومتر خالی

W_2: وزن پیکنومتر حاوی قیر

W_3 : وزن پیکنومتر محتوی قیر که با آب پرشده باشد .

W_w : وزن پیکنومتر پر از آب

روش بوته نیکلی :

بوته نیکلی خشک وتمیز را درسبد سیمی قرارداده و آن را از بازوی ترازو آویزان میکنیم. سپس آن را وزن کرده و با W_1 نشان میدهیم. یک بشر گریفین ٤۰۰ میلی لیتری را با آب مقطر تازه جوشیده که تا رسیدن به دمای آزمایش سرد شده است، پر کرده و بشر را روی کفه کمکی قرار داده و سبد حاوی بوته خالی را چنان آویزان کرده که بوته آزمایش در داخل آب غوطه ور شود، سپس آن را وزن کرده و وزن ظاهری آن را با W_2 نشان میدهیم. بوته را از سبد خارج و خشک کرده و نمونه را به دقت حرارت داده و جهت جلوگیری از افزایش موضعی دما، آن را هم زده تا نمونه بقدر کافی روان شود. (در هیچ حالی نمونه نباید بیش از ۱۱۰درجه سانتیگراد بالای نقطه نرمی قیر دما داده شود، نمونه را بیش از ٦۰ دقیقه حرارت نداده، از ورود و بهم پیوستن حبابهای هوا جلوگیری کنید). بوته را در داخل گرمخانه‌ایی با دمای ۱۲۰ درجه سانتیگراد به مدت ۱۰ دقیقه گرم کنید. بوته خشک را از قیر پر کنید و اجازه دهید حداقل ٤۰ دقیقه خنک شده و به دمای محیط برسد. بوته آویزان در سبد را وزن کرده، وزن بوته حاوی نمونه و سبد را با W نشان میدهیم. بوته را از سبد خارج کرده، در حمام آب حداقل ۳۰ بمدت دقیقه غوطه ور میسازیم. سپس بوته را از

حمام خارج و در داخل سبد قرار داده و بشر پر شده از آب مقطر را روی کفه کمکی قرار دهید . سبد حاوی بوته را طوری از بازوی تراز و آویزان کرده که در آب بشر غوطه ور شود. آن را وزن کرده و با W_3 نشان میدهیم.(دقت توزین‌ها ۱ گرم)

$$\text{چگالی نسبی} = \frac{W-W_1}{(W-W_1)-(W_3-W_2)} \qquad (۲-۱)$$

که در این رابطه:

W : جرم بوته حاوی نمونه با سبد بر حسب گرم

W_1 : جرم ظاهری بوته خالی با سبد بر حسب گرم

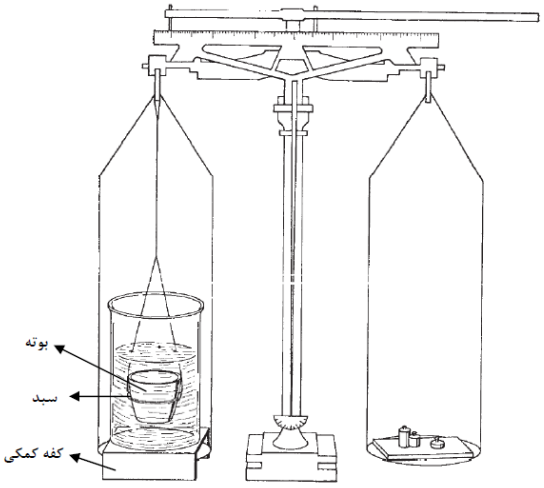
W_2 : جرم بوته خالی با سبد در آب بر حسب گرم

W_3 : جرم ظاهری بوته حاوی نمونه با سبد در آب بر حسب گرم

$$\text{چگالی} = \text{چگالی نسبی} \times W_T \qquad (۳-۱)$$

W_T : چگالی آب در دمای آزمون

دمای آزمون	چگالی آب
۱۵	۹۹۹.۱
۲۵	۹۹۷



شکل (۱-۹): ترازوی تحلیلی با سبد نگهدارنده بوته ، سبد و کفه کمکی(قدیمی،غیر دیجیتال)

حجم قیر تابعی است از درجه حرارت و بدلیل اینکه حجم قیر جهت درجه حرارت مصرف می‌بایست مشخص شود لازمست با دراختیار داشتن حجم قیر در درجه حرارتی مبنا، معمولاً ۱۵/٦ درجه سانتیگراد بتوان در حالات مختلف اعم از بارگیری و تخلیه و گرمایش مجدد و مصرف قیر تغییرات حجم در مخازن مختلف را تحت کنترل داشته و از سرریز و یا خطر انفجار و.. جلوگیری شده و در زمان استفاده در تولید خصوصاً در شرایط استفاده از باسکولها و نازلهای حجمی جهت افزودن به مخلوط کن کارخانه تغییرات حجم قیر لحاظ گردد. رابطه زیر بصورت تقریبی معیاری جهت تغییر حجم با دما را ارائه میدهد .

$$V_t \cong V_{15.6}\,[\,1 + C(t - 15.6)] \qquad (٤-۱)$$

که در اینجا V_t حجم قیر در درجه حرارت t ، $V_{15.6}$ حجم قیر در دمای ۱۵/٦ درجه سانتیگراد و C ضریب انقباض حرارتی حجمی قیر است که برای قیرهای با چگالی بیش از ۰/۹٦٦ برابر ۰/۰۰۰٦۳ و قیرها با چگالی کمتر از ۰/۹٦٦ برابر ۰/۰۰۰۷۲ در نظر گرفته میشود.

۱-۱۱-۶ – آزمایش تعیین کندروانی قیرها[1](ASTMD3381 ،ASTMD70،ASTM D2170, AASHTO T201)

مقاومت داخلی مایعات را که مانع حرکت و جریان آنها می‌شود، ویسکوزیته یا گرانروی و یا کندروانی می‌نامند. این کندروانی برای مایعات برحسب پوآز سنجیده می‌شود که همان پاسکال- ثانیه می‌باشد. از آنجایی که قیرهایی که در دمای ۲۵ درجه سانتیگراد دارای درجه نفوذ یکسانی هستند، ممکن است سختی متفاوتی در دماهای بالاتر داشته باشند، ضرورت ایجاد می کند که آزمایشی انجام شود تا این تفاوت‌ها را به نمایش بکشد.

کندروانی قیر کمیتی است که خواص قیر را در درجه حرارت های بالا که معمولا درجه حرارت‌هایی است که در عمل مخلوط‌های قیری ساخته می‌شوند، مشخص می‌نماید. این کمیت در تعیین عملکرد قیر موثر است به طوری که هر اندازه قیر نسبت به گرما حساس‌تر باشد، کندروانی آن در درجه حرارت‌های بالا کمتر خواهد بود. از جمله نکات اجرایی مهمی که می توان از کمیت کندروانی قیرها استخراج نمود، آن است که هر چه کندروانی قیر کمتر باشد، استفاده از آن قیر برای تولید و پخش آسفالت راحت‌تر خواهد بود و نیز جابجایی قیر از مخازن و اختلاط قیر با مصالح سنگی به سهولت انجام می‌شود.

نکته قابل تامل دیگر آن است که کندروانی قیر با پایداری آسفالت با تغییرات دما رابطه مستقیم دارد. بدین معنا که اگر کندروانی کم باشد، قیر در گرمای تابستان حالت خمیری پیدا خواهد کرد و سبب مواج شدن آسفالت زیر بار ترافیک می شود و نیز پدیده قیرزدگی رخ خواهد داد. هم چنین اگر کندروانی قیر زیاد باشد در سرمای زمستان آسفالت ها دچار ترک خوردگی خواهند شد. روش های مختلفی برای تعیین کندروانی قیرها موجود است که از جمله آنها می توان روش سی بولت- فورل، روش استاندارد تار ویسکومتر (S.T.V)، روش ویسکومتر ردوود (Red Wood) و روش کینماتیکی را نام برد.

- **روش سی بولت- فیورل[2]:**

ویسکومتر سی بولت- فیورل برای تعیین کندروانی قیرهای مخلوط بکار می‌رود و به طور کلی مشابه ویسکومتر S.T.V بوده و نوع اصلاح شده ویسکومتر ردوود تلقی می‌شود. از آنجایی که قطر سوراخ ویسکومتر سی بولت- فورل کوچکتر از قطر سوراخ ویسکومتر S.T.V می باشد، بنابراین درجه حرارت آزمایش در این ویسکومتر بالاتر خواهد بود. در دستگاه سی‌بولت- فورل کندروانی، زمان لازم بر حسب ثانیه برای آنکه مقدار ٦٠ سانتی متر مکعب قیر مایع در دمای ۱۳۵ درجه سانتیگراد از مجرای دستگاه سی‌بولت- فورل فروریزد تعیین میشود و بعنوان ویسکوزیته قیر بر حسب ثانیه بیان میشود. شرح این روش در استاندارد ASTMD: 88-53 آمده است.

- **روش ردوود[3]**

از ویسکومتر ردوود برای تعیین کندروانی قیرهای مایع استفاده می شود. از آنجایی که قطر سوراخ این ویسکومتر کوچک است، لذا قیرهای خالص و حتی قیرهای مخلوط به کندی از آن عبور کرده و مدت زمان زیادی نیاز دارند. از این ویسکومتر در اندازه گیری کندروانی قیرهایی که همراه با حلال هایی چون کروزین، گازوئیل و گازولین که در تهیه قیرهای مخلوط به کار می روند، استفاده می‌شود

- **روش کینماتیکی[4]**

در روش اندازه‌گیری کندروانی به روش کینماتیکی، با عبور مقدار ۵۰ میلی لیتر قیر مورد آزمایش با درجه حرارت ٤٠ درجه سانتیگراد از مجرای لوله استاندارد دستگاه زمانی که صرف عبور قیر شده است را یادداشت می‌کنیم و این زمان را به عنوان کندروانی قیر محسوب می‌نماییم.

---

[1] Viscosity
[2] Saybolt Furol
[3] Red Wood
[4] kinematic viscosity

کندروانی کینماتیکی نسبت کندروانی یک مایع به دانسیته آن می‌باشد. کندروانی کینماتیک نشانه مقاومت مایع در مقابل جریان، تحت تاثیر نیروی وزن است. واحد اندازه‌گیری آن در سیستم SI مترمربع بر ثانیه است. در سیستم CGS واحد کندروانی کینماتیک سانتی‌متر بر ثانیه است که استوکس نامیده می‌شود. هر سانتی‌استوک برابر یک میلی‌متر مربع بر ثانیه می‌باشد

- **روش استاندارد تار ویسکومتر[1]**

این ویسکومتر که به ویسکومتر S.T.V معروف می‌باشد، برای اندازه گیری کندروانی قیرهای مخلوط و نیز قیرهای قطران کاربرد دارد. این ویسکومتر مشابه ویسکومتر ردوود می باشد که در آن حجم معینی قیر از درون سوراخی با قطر معین در درجه حرارت مشخص عبور نموده و زمان عبور بر حسب ثانیه آن را به عنوان کندروانی قیر ثبت می نمایند. این روش در استاندارد ASTM گنجانده نشده است.

شکل(۱-۱۰): یکی از انواع دستگاه سنجش ویسکوزیته قیر(از چپ: سی بولت، ردوود،تار، سینماتیکی)

یک رابطه تقریبی بین کندروانی سی بولت فیورل و کندروانی کینماتیکی در همان درجه سانتیگراد در نظر گرفته میشودکه:

$$\vartheta_{SF} \cong \frac{1}{2}\vartheta_K \qquad (۵-۱)$$

ویسکوزیته دینامیکی یا مطلق بر حسب پواز و با حرکت قیر در خلا و دمای ۶۰ درجه و ویسکوزیته کینماتیکی بر حسب سانتی استوکس و با حرکت ثقلی در دمای ۱۳۵ درجه اندازه گیری میشود. با توجه به اینکه یکی از روشهای طبقه بندی قیرها و تعیین حداکثر دمای گرم کردن استفاده از ویسکوزیتهٔ مطلق است از عنوان AC و یکصدم مقدار ویسکوزیتهٔ دینامیکی استفاده میگردد، بعنوان مثال AC20 نشانگر قیر خالصی با ویسکوزیتهٔ دینامیکی ۲۰۰۰ پواز است. انستیتو آسفالت نیز کندروانی مناسب را برای اختلاط را 170 ± 20 و جهت تراکم لایه ها را 280 ± 30 سانتی استوکس پیشنهاد داده است.

$$\vartheta(60℃) = \frac{\mu(60℃)\times 100}{0.98\times G_b} \qquad (۶-۱)$$

ϑ : ویسکوزیتهٔ کینماتیکی بر حسب سانتی استوکس و μ ویسکوزیتهٔ دینامیکی بر حسب پواز و G_b دانسیتهٔ نسبی قیر در دمای ۱۵ درجه سانتی گراد است

۱-۱۱-۷- آزمایش لعاب نازک قیر[2] TFO (ASTM D1754, AASHTO T179, ISIRI 12957)

این آزمایش بمنظور تعیین اثر گرما و هوا بر لایه نازکی از مواد قیری نیمه جامد انجام میپذیرد. این تاثیر با اندازه‌گیری خواص انتخاب شده‌ای از قیر، قبل و بعد از آزمون مشخص می‌شود. مقدار حدود ۵۰ گرم قیر در ظرفی به قطر ۱۴۰ و عمق ۹/۵ میلیمتر بصورت فیلم نازکی قیر بمدت ۵ ساعت در دمای کورهٔ دارای تهویه در دمای ۱۶۳ درجه قرار گرفته و افت وزنی و تغییر مشخصات دیگری نظیر ویسکوزیته و درجه نفوذ قیر پس از این آزمایش مبنای قضاوت و مقایسهٔ کیفیت و مقاومت قیر در مقابل عوامل جوی و پیر شدگی با مرور زمان قرار میگیرد.

[1] Tar Viscometer
[2] Thin film oven

$$\text{درصد افت وزنی قیر} = \frac{W1-W2}{W1} \times 100 \qquad (۷-۱)$$

این آزمایش جهت تعیین مشخصه ای از سفتی و یا پیرشدگی[1] (فرسودگی با زمان)قیرها ، از طریق شبیه سازی فرآیند از طریق حرارت دادن انجام میپذیرد. این تغییرات ناشی از تسریع اکسیداسیون قیر و سفت تر شدن پلیمرهای متشکله قیر و خروج بیشتر مواد و روغن های نفتی فرار قیر، که عملاً در طبیعت توسط فرآیند تولید آسفالت ، نور خورشید، جریان آب و هوا ، بارگذاری ترافیکی و.. اتفاق می‌افتد، بوجود می‌آید.

۱-۱۱-۸- آزمایش حلالیت مواد قیری در تری‌کلرواتیلن(ASTM D2042, AASHTOT44, ISIRI 2953)

تعیین درجه حلالیت در تری کلروراتیلن مواد قیری که مقدار کمی مواد معدنی داشته یا اصلا" ندارند، می‌باشد. میزان خلوص قیر و عدم وجود ناخالصی در قیر مورد آزمایش قرار میگیرد.

$$\text{درصد مواد نامحلول} = (\frac{A}{B}) \times 100 \qquad (۸-۱)$$

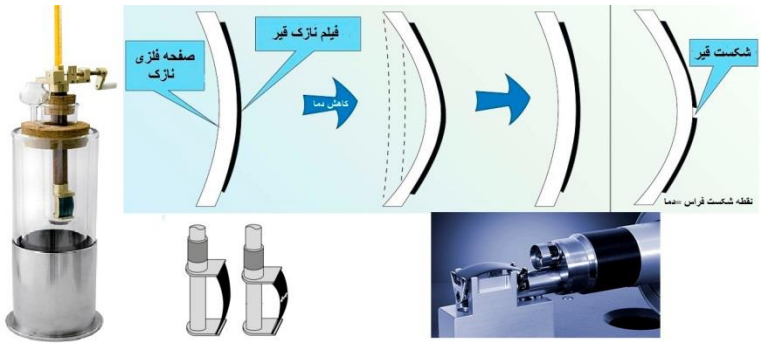
$$\text{درصد مواد محلول} = 100 - [(\frac{A}{B}) \times 100] \qquad (۹-۱)$$

A وزن کل مواد نامحلول

B وزن کل نمونه

۱-۱۱-۹-آزمایش نقطه شکست فراس[2] (EN12593,IP80)

این آزمایش جهت شناخت رفتار قیر در دماهای پایین (حدود ۳۰- درجه سانتیگراد) و تعیین دمای شکست قیرها و تعیین حد پایین دمای سرویس (در مقابل نقطه نرمی)بکار می‌رود. جهت تعیین آن توسط دستگاه مربوطه، قیر مورد آزمایش بصورت فیلم نازک و یکنواختی به ضخامت ۰.۵ میلیمتر بر روی یک صفحه کوچک و نازک فلزی پخش شده و با قرارگیری در دستگاه تحت تاثیر بار خم میگردد. قیر با سرعت ۱ درجه سانتیگراد در هر دقیقه سرد شده و از ۱۰ درجه بالاتر از نقطه شکست تخمینی ، در هر دقیقه با شدت مشخص (دستی یا اتوماتیک) صفحه خم شده و صفحه بازرسی میگردد و با همان سرعت صاف میگردد و این عمل آنقدر تکرار میگردد تا اولین ترک بر روی فیلم قیر مشاهده گردد و دمای این لحظه بعنوان نقطه شکنندگی فراس تعیین میشود.



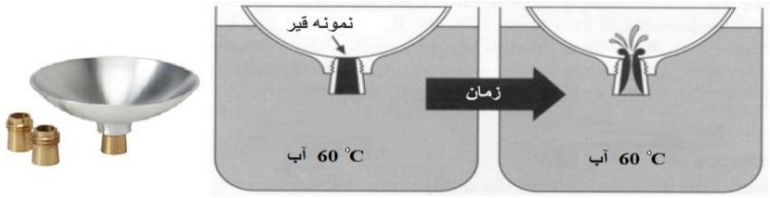
شکل(۱-۱۱): آزمایش تعیین نقطه شکست فراس

۱-۱۱-۱۰-آزمایش شناوری[3] (ASTM D139,AASHTOT50,ISIRI597)

آزمایش شناوری جهت تعیین غلظت قیرهای نیمه جامد که ویسکوزیتهٔ بیشتر از ۳۰۰۰ و یا درجه نفوذ بیش از ۳۰۰ دارند و با آزمایشهای متعارف نمیتوان براحتی غلظت آنها را تعیین نمود کاربرد بیشتری دارد. این آزمایش توسط کاسه ای آلومینیومی که در انتها دارای سوراخی جهت اتصال مخزن کوچک برنجی حاوی قیر است انجام می‌پذیرد. گلویی را با قیر مورد آزمایش پر نموده و

[1] Ageing
[2] Fraass Breaking Point
[3] Float test

نمونه قیر را به همراه پیاله در آب 5 ℃ نگه داشته تا دمای کل به ۵ درجه ثابت برسد. حمام آبی را به آب 60 ℃ رسانده و ثابت نگه می‌داریم و پیاله و گردنی چر قیر را که دمای آنها به 5 ℃ رسیده بر روی آب 60 ℃ قرار داده و زمان را نگه می‌داریم و زمان سپری شده بر حسب ثانیه از زمان قرارگیری در آب داغ تا ورود آب به پیاله، ناشی از روان شدن قیر را بعنوان عدد شناوری در نظر میگیریم. هرچه عدد مذکور بزرگتر باشد، بمعنی سختی بیشتر قیر است.



شکل(۱-۱۲): آزمایش شناوری

آزمایشات بسیار زیاد دیگری در خصوص شناخت قیرها و استخراج خصوصیات و مشخصات تکمیلی قیرها(خالص و محلول و امولسیونی و اصلاح شده و...) استاندارد گردیده که در این مجال نمیگنجد و نمونه ای از آنها را میتوان بدین شرح نام برد: آزمایش تعیین مقدار آب در قیر -آزمایش تعیین مقدار خاکستر در قیر -آزمایش شکنندگی قیر در راهسازی -آزمایش تعیین حلالیت قیر -آزمایش تقطیر و استخراج اجزاء متشکله قیر -آزمایش مقاومت در مقابل آب(امولسیون) -آزمایش تعیین بار ذره ای (امولسیون) -آزمایش نشست قیر (امولسیون) آزمایش پایداری امولسیون قیر(انبارداری و یخ زدگی و..) -آزمایش قابلیت دمولسیون(لخته شدن) -آزمایش اختلاط با سیمان(امولسیون) -آزمایش دانه بندی امولسیون قیر -آزمایشات بر روی پسماند تقطیر امولسیون و محلول -آزمایش نفوذ مخروط در قیرهای پلیمری -آزمایش بازگشت ارتجایی قیرهای درزگیر -...

۱-۱۲-آزمایشات جدید قیر(دینامیکی)

آزمایشهای فیزیکی و استاتیکی جهت قیرهای خالص دارای محدودیتهایی بشرح زیر است:

-اکثر این آزمایشات نظیر درجه نفوذ و انگمی و.. تجربی بوده و مستقیماً به عملکرد روسازی انعطاف پذیر نمیباشد.

-پیر شدگی بلند مدت که آیتم بسیار تعیین کننده ای در عملکرد روسازی ها از نظر خرابی های ناشی از خستگی و دمای پایین است کنترل نمیگردد.

-محدودهٔ دمایی عملکردی روسازی ها که در یک منطقه غالب است مورد توجه قرار نمیگیرد.

-پیر شدگی بلند مدت که آیتم بسیار تعیین کننده ای در عملکرد روسازی ها از نظر خرابی های ناشی از خستگی و دمای پایین است کنترل نمیگردد.

- مکانیزم‌های درجه بندی قیر اعم از اینکه بر مبنای درجه نفوذ باشند و یا کندروانی ، نمیتواند خصوصیات دمایی و عملکردی یکسانی را از قیرهای همنام انتظار داشت.

-برغم تفاوت شرایط بهره برداری نظیر آب و هوا ،آزمایشات در دمای ثابت استاندارد انجام میپذیرد.

-آزمایش متعارف بدلیل استواری بر تجربه، قیرهای خالص را در برگرفته و معمولاً قابلیت کاربرد جهت قیرهای اصلاح شده را ندارند.

بدلایل فوق تدوین استانداردها و آزمایشاتی در طی سالهای ۱۹۸۷ تا ۱۹۹۲ در ایالات متحده در برنامه تحقیقات استراتژیک راهها،SHRP ، انجام گرفت که متعاقباً طرح اختلاط SuperPave در سه سطح یک(ترافیک سبک)،سطح دو (ترافیک متوسط)، سطح سه(ترافیک سنگین) و بر مبنای طبقه بندی عملکردیPG قیر، مطرح و پایه ریزی گردید که در این روش قیر از طبقه بندی مذکور و بر اساس اطلاعاتی نظیر درجه حرارتهای محیط، میزان ترافیک، و سرعت بارگذاری و... انتخاب میگردد. که متعاقباً ویژگیهای این سیستم را ذکر خواهیم نمود.

۱ – ۱۲–۱ –آزمایش لعاب نازک چرخشی[1]RTFO(AASHTO T240 , ASTM D2872)

پیرشدگی و سخت شدگی در مواد قیری به علت دو فرآیند تبخیر روغنهای سبک در قیر و اکسیداسیون یا واکنش با اکسیژن محیط می باشد.

در زمان تولید مخلوط آسفالتی و حمل آن، به علت دمای بالا و جریان هوا ، ماده قیری با هر دو مکانیزم پیر میشود. آزمایش لعاب نازک چرخشی این پیرشدگی را درکوتاه مدت شبیه سازی می‌نماید.

تولید قیر سخت شده و هوازده برای استفاده در آزمایشهای دیگر خواص فیزیکی و تعیین مقدار افت وزنی مواد فرار قیر در طول آزمایش دو هدفی است که از آزمایش RTFO بدست می آید.

این آزمایش توسط گرمخانه‌ای دارای ۸ محفظه که همین تعداد استوانهٔ شیشه ای را بصورت افقی در یک دیسک دوار در خود جای میدهد انجام میگردد. حدود ۳۵ گرم قیر در هر استوانه بمدت حدود ۸۵ دقیقه با سرعت دوران حدود ۱۵ دور در دقیقه و در دمای ۱۶۳ درجه سانتیگراد پدیده افت وزنی و پیرشدگی قیر را شبیه سازی میکند.

همانگونه که بیان شد سخت شدگی قیر پس از تولید در زمانهای بارگیری و حمل و تخلیه در مخازن و گرمایشهای صورت گرفته جهت تولید آسفالت رخ داده لیکن پیرشدگی قابل توجه قیرخالص در مخلوط‌کن که مصالح داغ سنگی با قیرخالص داغ مخلوط میشوند روی میدهد. در خلال زمان کوتاه اختلاط، قیر خالص که بصورت لعاب نازک است، در بازه دمایی ۱۳۵ تا ۱۶۳ درجه سانتیگراد، در معرض هوا قرار میگیرد و بر اثر از دست دادن مواد متشکله فرار و یا اکسیداسیون با هوا، تغییرات رئولوژیکی قابل توجهی مثل کاهش درجه نفوذ و افزایش کند روانی رخ میدهد. سخت شدگی پیری قیر خالص در حین ذخیره مخلوط آسفالتی در مخزن، حمل ، پخش و تراکم گرچه با سرعت کمتر، ادامه می یابد. پس از سرد شدن رویه آسفالتی و باز شدن راه بروی ترافیک، فرایند سخت شدگی پیری طی ۲ تا ۳ سال نخست تا رسیدن رویه به وزن واحد حجم حدی زیر ترافیک ، با نرخ بسیار کمتر ادامه می یابد. از آن پس، نرخ سخت شدگی کاهش بیشتری یافته و برای تشخیص تغییرات در خواص رئولوژیکی قیر به دوره های زمانی طولانی‌تری نیاز است. اگر آسفالت دارای فضای خالی بیشتری نسبت به طرح اولیه باشد، بعلت سهولت ورود آب ، هوا و یا نور پیری با سرعت بیشتری روی میدهد. لعاب ضخیم قیر روی سنگدانه ها با سرعت کمتری نسبت به لعاب نازک دچار سخت شدگی پیری میشود.

کاهش جرم مواد فرار نشانه‌ای از پیرشدگی است که ممکن است در حین عملیات اختلاط و ساخت در قیر به وقوع بپیوندد. در طی پیرسازی به این روش، بعضی از قیرها(خصوصاً قیرهای اصلاح شده) بعلت تشکیل فراورده‌های اکسیداسیون در طی آزمایش، بجای از دست‌دادن وزن، افزایش وزن پیدا میکنند. درصد کاهش وزن هر نمونه با استفاده از معادله۱–۱۰محاسبه میشود.

$$\text{درصد کاهش وزن} = \frac{\text{وزن قیر پیر شده}-\text{وزن اصلی}}{\text{وزن اصلی}} \times 100 \qquad (۱۰-۱)$$

$$\text{شاخص پایداری نفوذ \%} = \frac{\text{درجه نفوذ بعد از آزمایش } TFOT}{\text{درجه نفوذ قبل از آزمایش } TFOT} \times 100 \qquad (۱۱-۱)$$

$$\text{نسبت لزجت} = \frac{\text{لزجت بعد از آزمایش } TFOT}{\text{لزجت قبل از آزمایش } TFOT} \qquad (۱۲-۱)$$

برای هر نوع ماده چسپنده ، افت وزنی نباید از ۱ درصد تجاوز کند.

[1] Rolling Thin film oven

مزایای این آزمایش:

در حین چرخش، بطور پیوسته چسپاننده تازه را در معرض گرما و جریان هوا قرار میدهد.

بعلت چرخش، اصلاح کننده‌ها در صورت استفاده معمولاً بصورت پراکنده در چسپاننده قیری باقی می‌مانند.

این آزمایش اجازه تشکیل پوسته سطحی را که از پیر شدگی ممانعت می کند ، نمی دهدو بجای زمان ۵ ساعت در آزمایش TFO صرفا به ۸۵ دقیقه زمان نیاز دارد.

شکل(۱– ۱۳): دستگاه آزمایش لعاب نازک قیر دورانی

۱–۱۲– ۲ –آزمایش محفظه تسریع پیری[1] (AASHTO R28,PP1,ASTMD6521,EN14769)(PAV)

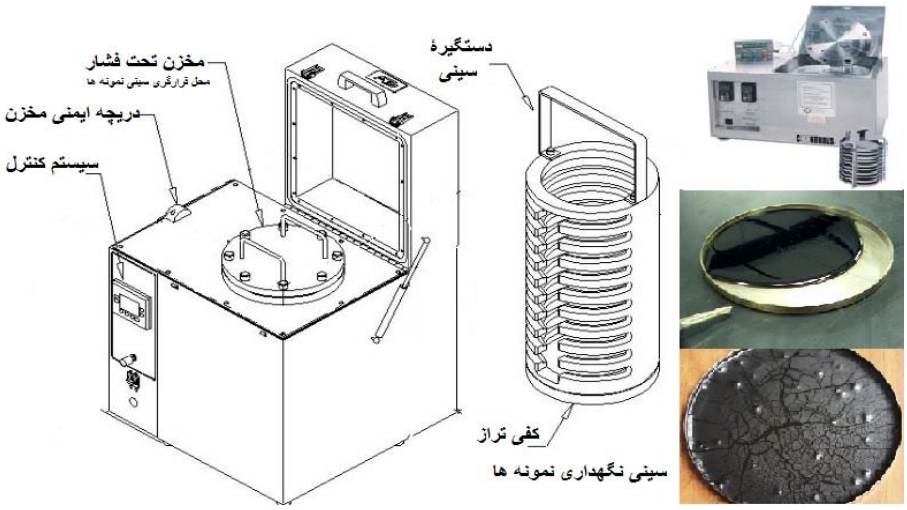
همانگونه که قبلاً ذکر گردید یکی از اشکالات مربوط به طبقه بندی قدیم عدم لحاظ نمودن شرایط بلند مدت قیرها بود. قبل از تدوین روشهای جدید در روسازی ممتاز، اثرات پیری دراز مدت قیر ، در خصوصیات مربوط به مواد قیری منظور نمی‌شد. آزمایش محفظه تسریع پیری تحت فشار PAV توسط SHRP به همین جهت پیشنهاد گردید تا سخت و پیر شدگی طولانی مدت قیر را در مخلوطهای آسفالتی شبیه سازی نماید. از آنجاییکه برای تهیه مخلوطهای آسفالتی از قیری استفاده میشود که هنوز مراحل فرسودگی زمانی را طی نکرده است، لذا فرسودگی زمانی مخلوط آسفالتی در کارخانه آسفالت و در محل روسازی باید در نظر گرفته شود.

نمونه در داخل یک گرمخانه در دمای زیاد محیطی تمیز و خشک و تحت فشار یکنواخت هوا نگهداری می‌شود. این روش برای بررسی و مطالعه پیر شدگی دراز مدت که حدود ۵ تا ۱۰ سال است، انجام میشود. در این آزمایش نمونه ها تحت فشار ۲ گیگا پاسکال در دمای ۹۰، ۱۰۰ و یا ۱۱۰ درجه سانتیگراد به مدت ۲۰ ساعت نگهداری میشوند. تسریع سرعت اکسیداسیون بدون افزایش دما و محدود کردن افت و فرار مواد از مهمترین ویژگیهای این آزمایش است.

مواد قیری حاصل ا ز پسماند آزمایش RTFO تا مایع شدن حرارت داده شده و در ظرف PAV که میتواند نمونه های گرم را در خود جای دهد، ریخته میشود. قفسه(سینی) نمونه حاوی ظروف در مخزن پیر سازی که تحت فشار بوده و از قبل بسته به شرایط آب و هوایی طرح تا دمای مورد نظر آزمایش حرارت داده شده قرار داده میشود . آنگاه برای به حداقل رساندن اتلاف دما سرپوش مخزن پیر سازی سریعاً در جای خود قرار داده میشود. وقتی PAV با تفاوت 2°C به دمای مورد نظر رسید، با استفاده از شیر مخزن هوا، فشاری برابر با ۲ گیگا پاسکال(۲۰۷۰ کیلوپاسکال) اعمال میشود و پس از ۲۰ ساعت ، با استفاده از شیر تخلیه ، فشار هوا تدریجاً (طی یک دوره زمانی با حداقل ۸ دقیقه زمان) رها میشود. رها سازی سریع فشار ممکن است سبب تشکیل کف در نمونه‌ها چسپاننده گردد. برای خارج ساختن هوای حبس شده در نمونه ها ، ظروف نمونه به مدت ۳۰ دقیقه در گرمخانه ایی با دمای ۱۶۳°C قرار داده میشود. سپس نمونه ها برای آزمایشات بعدی (ریومتر برش دینامیکی، ریومتر تیر خمشی و کشش مستقیم) انبارسازی می گردد.

[1] Pressure Aging Vessel

هدف از این آزمایش بررسی چگونگی سخت شدن قیر در طول عمر، با تسریع سرعت اکسیداسیون بدون افزایش دما و محدود کردن افت و از دست دادن مواد فرار، است.

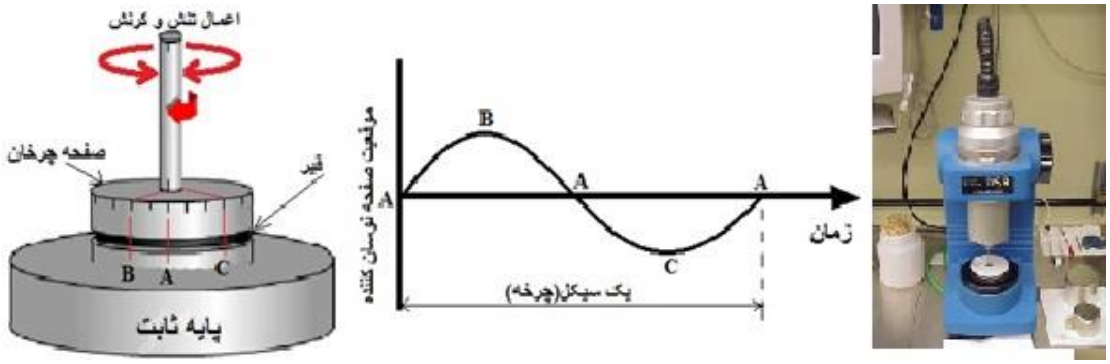


شکل(۱-۱٤): دستگاه و نمونه آزمایش محفظه تسریع پیری تحت فشار

۱-۱۲- ۳- آزمایش رئومتر برش دینامیکی[1] (DSR): (AASHTO D4402,TP5)

این آزمایش جهت مشخص نمودن رفتار کندروان و الاستیک مواد قیری در دماهای بالا و متوسط بکار میرود.به سبب وابستگی رفتار قیرها به دما و زمان بارگذاری، آزمایشی مناسب است که هر دو عامل را شامل گردد. این قابلیت در ابزار آزمایشی تحت عنوان رئومترهای دینامیکی، رئومترهای برش دینامیکی یا رئومترهای برش نوسانی ایجاد شده است.

رئومترها برای آزمایش قیرها بسیار مناسب هستند، زیرا هم اثرات زمان و هم اثرات دما را میتوانند مورد سنجش قرار دهند. رئومتر برش دینامیکی DSR خواص رئولوژیکی (زاویه اختلاف فاز و مدول برشی) را در دماهای متوسط و بالا اندازه گیری می نماید .در این آزمایش نمونه قیری بین یک صفحه ثابت و یک صفحه نوسان کننده قرار گرفته ودر یک نوسان،(شکل۱-۱۵) خط مرکزی صفحه نوسان در نقطه A ، به طرف نقطه B حرکت میکند و سپس از نقطه B ، به جهت دیگرحرکت نموده و پس از عبور از نقطه A به نقطه C می رسد. سپس از نقطه C مجددا به نقطه A برمی گردد. این نوسان یک چرخه کامل است و بطور مستمر در مدت عملیات آزمایش DSR تکرار میشود. تمام آزمایشهای DSR برای مواد قیری روسازی ممتاز، در بسامد(فرکانس) ۱۰ رادیان در ثانیه انجام میشود که تقریبا معادل ۱.۵۹ هرتز (دور در ثانیه) است .



شکل(۱-۱۵): عملیات و مبانی و دستگاه رئومتر برش دینامیکی

DSR با دو نوع عملکرد، تنش ثابت و کرنش ثابت وجود دارند. رئومترهای با تنش ثابت، با اعمال ممان ثابتی عمل میکنند. این گشتاور باعث حرکت دورانی صفحه رویی می‌گردد. با توجه به سفتی ماده قیری، گشتاور لازم برای حرکت صفحه فرکانس

[1] Dynamic Shear Rheometer

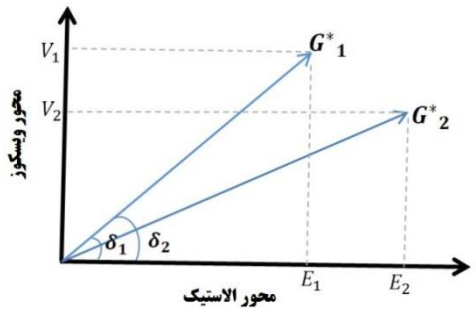
تعریف شده تغییر خواهد کرد. بعنوان مثال قیرهای با سفتی زیادتر نیاز به گشتاور بیشتری دارند. رئومترهای کرنش ثابت با حرکت صفحه نوسان از نقطه Aبه نقطه B در فرکانس مشخص شده کار کرده و گشتاور مورد نیاز را اندازه گیری می نمایند.

تفاوت بین دو رئومتر این است که رئومتر با تنش ثابت ، حداکثر تنش نمونه را ثابت نگه میدارد، بعبارت دیگر تراز گشتاور ثابت میماند و فاصله شعاعی که صفحه بطور واقعی حرکت میکند ممکن است به مقدار جزیی بین دورانها تغییر کند. برای رئومتر با کرنش ثابت، فاصله ای که صفحه حرکت میکند ثابت است و گشتاور یا تنش تغییر خواهد کرد. آزمایشهای ماده چسپنده روسازی ممتاز ، به روش تنش ثابت انجام میشود . با این وجود DSR با کرنش ثابت نیز قادر به انجام آزمایشهای مشخصات ماده قیری روسازی ممتاز می باشد.

ضخامت نمونه قیری بین دو صفحه به دما بستگی دارد. در دماهای بالاتر(بالای٤٦ درجه) ضخامت 1mm و در دماهای پایینتر (دماهای ٤٠ –٤) ضخامت 2mm لحاظ میگردد.جهت دماهای بالا از صفحهٔ بالایی به قطر لحاظ میگردد.جهت دماهای بالا از صفحهٔ بالایی به قطر 25mm و دماهای پایینتر صفحهٔ به قطر 8mm استفاده میگردد. پس از قرارگیری نمونه قیر بین صفحات دمای مورد نظر با دقت ۰.۱ با استفاده از حمام آب یا هوا ایجاد میشود.

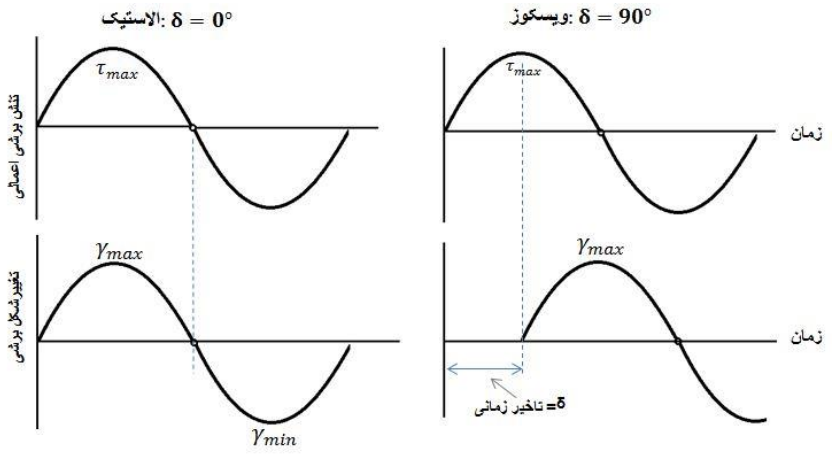
دستگاه، مدول برشی مرکب(G^*)و زاویه اختلاف فاز(δ) را در دما و فرکانس بارگذاری مدنظر، هم رفتار الاستیک و هم رفتار ویسکوز توصیف می نماید. G^* مقیاسی از پایداری کل مصالح در برابر تغییر شکل(مقاومت کلی قیر در برابر تغییر شکل) ، به هنگام قرار گیری در معرض ضربات تنش برشی تکرار شونده می باشد و شامل دو جزء الاستیک E (قابل برگشت) و ویسکوز V(غیر قابل برگشت) است . δ نشانه ایی از مقادیر نسبی تغییر شکل قابل برگشت و غیر قابل برگشت است. مقادیر G^* و δ بستگی زیادی به دما و تکرار بارگذاری دارند. قیرها در دماهای خیلی پایین، همانند مصالح جامد الاستیک رفتار میکند و پس از باربرداری و تغییر شکل به حالت اولیه برمی‌گردد. در شکل(١–١٦) این وضعیت منطبق با محور افقی است، در این حالت با توجه به اینکه δ=۰ است، جزء ویسکوز G^* وجود ندارد.

از سوی دیگر قیرها در دماهای بالا (بسیار بیشتر از دمای بهره برداری روسازی)بدون توانایی برگشت به حالت اولیه مانند سیالات غلیظ ویسکوز رفتار میکنند . در شکل١–١٦ ، نقاط واقع برروی محور عمودی نمایانگر این حالت (فقط جزء ویسکوز) می باشد . نظر به اینکه δ=۹۰ می باشد، جزء ویسکوز G^* وجود نخواهد داشت .



شکل(١–١٦): رفتار ویسکو– الاستیک ماده چسپنده

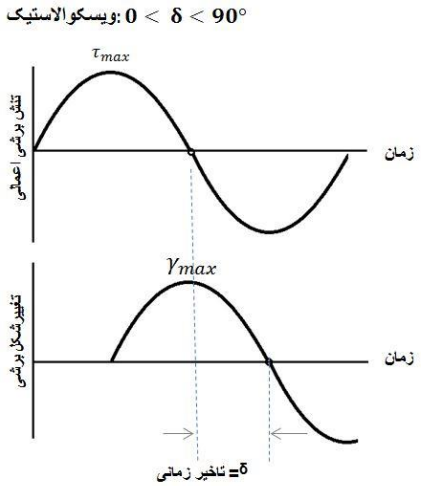
در شرایط معمول بهره برداری از نظر بارگذاری و دما، مواد قیری به صورت ترکیبی از مصالح ویسکوز (مایع کندروان) و اجسام الاستیک رفتار میکنند . DSR با اندازه گیری δ و G^* تصویر کاملتری از رفتار قیر در دماهای خدمت‌دهی روسازی را فراهم می‌آورد .G_1^* و G_2^* در شکل١–١٦ بردارهای مدول برشی مرکب (پیچیده) قیر را نشان میدهد. هنگامیکه این قیرها بارگذاری میشوند، بخشی از تغییر شکل آنها الاستیک E و بخشی ویسکوز V است. بنابراین قیر حالت ویسکو الاستیک دارد. گرچه هر دو قیر ویسکوالاستیک هستند و G^* همسان دارند، ولی قیر دوم δ کوچکتری دارد و بیشتر الاستیک می‌باشد. این مثال بطور آشکار نشان می‌دهد که G^* به تنهایی نمی‌تواند رفتار قیر را توصیف نماید و به مقدار δ نیز احتیاج می‌باشد.



شکل(۱-۱۷) : خروجی منحنی های تنش-کرنش ، مربوط به رئومتربا تنش ثابت

شکل۱-۱۷دو نوع حد نهایی رفتار الاستیک کامل و ویسکوز کامل را نشان می‌دهد. وقفه زمانی بین تنش اعمال شده و کرنش حاصله در رئومترهای با تنش ثابت یا وقفه زمانی بین کرنش اعمال شده و تنش حاصله در رئومترهای با کرنش ثابت، مربوط به اختلاف فاز می‌باشد. مدول برشی پیچیدهG^*، نسبت تنش برشی کل $(\tau_{max} - \tau_{min})$ به کرنش برشی کل $(\gamma_{max} - \gamma_{min})$ می‌باشد.

برای ماده کاملاً الاستیک، بار اعمال شده باعث حرکت متقابل فوری می‌گردد. بنابراین وقفه زمان یا اختلاف فاز صفر است. ماده ویسکوز، مانند قیر داغ در دماهای اختلاط، وقفه زمانی نسبتاً زیادی بین بار و حرکت متقابل دارد. در این مورد، زاویه به ۹۰ درجه نزدیک میشود . در دماهای عادی، روسازیهای ویسکوالاستیک هستند و جایی بین دو حد نهایی رفتار می کنند و DSR حرکت متقابلی شبیه شکل ۱-۱۸ را نمایان می سازد. فرمولهای مورد استفاده به وسیله رایانه و نرم افزار مربوط به رئومتر برای محاسبه τ_{max} و γ_{max} در روابط ۱۳و ۱٤ و۱۵بیان شده است.



$$G^* = \frac{\tau_{\max}}{\gamma_{\max}} \qquad (۱-۱۳)$$

$$\tau_{\max} = \frac{2T}{\pi r^3} \qquad (۱-۱٤)$$

$$\gamma_{\max} = \frac{\theta\, r}{h} \qquad (۱-۱۵)$$

$$\delta = \text{تاخیر زمانی}$$

شکل ۱- ۱۸: حرکت متقابل تنش-کرنش مصالح ویسکو-الاستیک

که در اینجا: T گشتاور یا ممان اعمال شده حداکثر و θ زاویهٔ چرخش، h ارتفاع نمونه قیر (1-2 mm) ، r شعاع صفحه بالایی و قیر (4 -12 mm) است.

آزمایش جهت اندازه گیری خواص قیر در دماهای بالا و متوسط خدمت دهی روسازی و بر اساس دماهای مورد انتظار خدمت دهی که قیر در آن نقش ایفا میکند انجام میگیرد. دمای بالا حداکثر میانگین دوره های زمانی ۷ روزه در تابستان تعیین میگردد و دمای آزمایش متوسط نیز بصورت میانگینی تقریبی از حداکثر میانگین ۷ روزه و دمای طرح حداقل مشخص می‌شود. دمای طرح حداقل به عنوان دمای روسازی حداقل که مورد انتظار در محل طرح است انتخاب میشود.

سنجش خواص فیزیکی مثل G^* و δ با استفاده از آزمایش DSR سه مرحله انجام میگردد. این سه مرحله شامل قیر در شرایط اولیه(جوان)،پیر شده در اون (خروجی آزمایش TRFO)، و پیر شده در مخزن تحت فشار(PAV) می‌باشد.برای تعیین توانایی قیر در مواجهه با پدیدهٔ شیارشدگی، نمونه‌های قیری اولیه و پسماند RTFO در دمای طرح حداکثر مورد آزمایش قرار میگیرد و جهت تعیین میزان مقاومت قیر در برابر ترک خوردگی خستگی، نمونه های پیر شده در مخزن تحت فشار در دمای متوسط مورد آزمایش قرار می‌گیرد.

فرآیند شیارشدگی: هر چه مقدار مدول G^* بزرگتر باشد، مقاومت قیر در مقابل شیارگذاری بیشتر بوده و مقدار کمتر δ نشان دهنده قیری الاستیک تر خواهد بود. لذا مقدار بزرگتر مدول مرکب و زاویه فازی کوچکتر برای دستیابی به مخلوط آسفالتی با حساسیت کمتر به شیارگذاری مطلوب تر خواهد بود.

با توجه به اینکه گذشت زمان و افزایش پیرشدگی ناشی از اکسیداسیون در قیرها سبب سخت شدن بیشتر قیر و بالطبع مقاومت بیشتر در برابر شیارشدگی می‌گردد، لذا آزمایش قیر قبل از پیری دراز مدت در اثر اکسیداسیون از اهمیت بیشتری برخوردار است. آزمایش DSR جهت قیر اولیه، که پیرشدگی ناشی از فرآیند تولید و پخش و تراکم آسفالت (پسماند RTFO) را نشان نمی‌دهند، در جهت اطمینان کاربرد دارد.

محققین SHRP شیار شدگی را بعنوان یک پدیده بار چرخه ای با تنش کنترل شده در نظر گرفتند که به حداقل رساندن مقدار کار (انجام شده برای تغییر شکل دادن رویه آسفالتی) تلف شده در طی چرخه بارگذاری را سبب به حداقل رساندن تغییر شکل دائمی (شیارشدگی) دانستند. بخشی از کار انجام شده توسط برگشت الاستیک رویه بازیافت می شود، حال آنکه بخشی بشکل تغییر شکل دائمی و حرارت تلف می‌گردد. از لحاظ ریاضی ،کار تلف شده در هر چرخه بارگذاری در تنش ثابت را میتوان با رابطه زیر مدل کرد:

$$W_c = \pi {\sigma_0}^2 \left[\frac{1}{G^*/_{sin\delta}}\right] \qquad (۱-۱۶)$$

در رابطهٔ فوق W_c کار تلف شده در هر چرخه بار، G^* مدول مرکب، σ_0 تنش اعمال شده در طی چرخه بار و δ زاویهٔ فاز است.

در این رابطه هر چه مقدار مدول G^* بزرگتر باشد، مقاومت قیر در مقابل شیارگذاری بیشتر بوده و مقدار کمتر δ نشان دهنده قیری الاستیک تر خواهد بود. لذا مقدار بزرگتر مدول مختلط و زاویه فازی کوچکتر برای دستیابی به مخلوط آسفالتی با حساسیت کمتر به شیارگذاری مطلوب تر خواهد بود. در صورتیکه شیارگذاری عاملی برای کنترل تنش و پدیده بارگذاری دوره‌ایی باشد، میتوان مشاهده کرد که پتانسیل شیارگذاری رابطه معکوسی را با نسبت $(G^*/_{sin\delta})$ دارد. بنابراین حد مینیمم بر اساس نسبت $(G^*/_{sin\delta})$ در نظر گرفته میشود.

$G^*/_{sin\delta}$ در دمای آزمایش، بایستی حداقل 1kPa برای قیر اولیه(پیر نشده) و 2.2 kPa بعد از پیر شدگی قیر با استفاده از روش RTFO باشد تا شیار افتادگی به حداقل برسد.

فرآیند ترک خستگی: ترک خوردگی خستگی در لایه های آسفالتی ضخیم روسازی، فرآیندی با تنش کنترل شده و در لایه های آسفالتی نازک پدیده ای با کرنش کنترل شده در نظر گرفته می‌شود.در این پدیده از لحاظ ریاضی کار تلف شده در هر چرخه بارگذاری در کرنش ثابت را بصورت معادله زیر بیان شد.

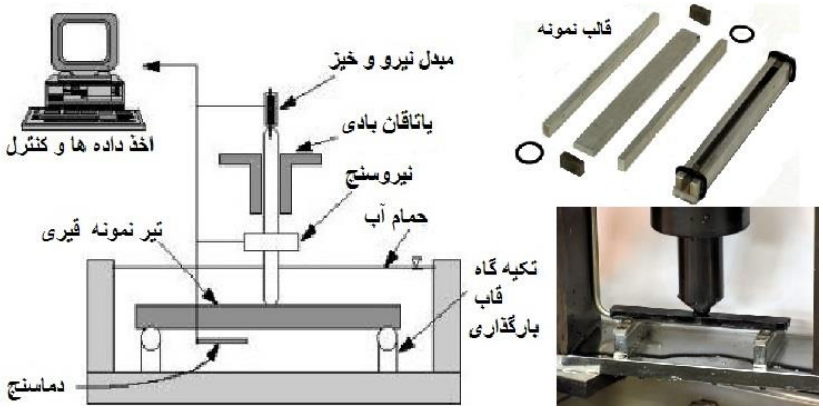
$$W_c = \pi \varepsilon_0^2 [G^*.sin\delta] \qquad (۱-۱۷)$$

در رابطه فوق ε کرنش است. با افزایش G^* و δ در هر چرخه بارگذاری، کار بیشتری تلف خواهد شد. کار میتواند به اشکال مختلفی نظیر گرما، روانی خمیری، ترک خوردگی و گسترش ترک تلف گردد.کاهش دو پارامتر ذکر شده در یک قیر نشان دهندهٔ امکان تغییر شکل دادن بدون تجمع تنشهای بزرگ و الاستیک تر بودن قیر است و قیر قادر میشود که بدون تلف کردن کار، شرایط

اولیه خود را بدست آورند. هر چه انرژی تلف شده در هر چرخه کمتر باشد ، احتمال روی دادن ترک خستگی کمتر خواهد بـود. $G^*.\text{Sin }\delta$ در مشخصات روسازی ممتاز برای محدود کردن مقدار کلی انرژی تلف شده و نتیجتاً به حداقل رسیدن ترک خـوردگی خستگی انتخاب شده است. عکس آیتم شیار شدگی قیر با سخت شدن ناشی از اکسیداسیون و پیری در طول عمر خـدمت دهـی ،نسبت به خرابی ترک خستگی حساس تر و مستعدتر خواهد شد و لذا جهت شبیه سازی بحرانی، جهت انجام آزمایش DSR از قیر پسماند آزمایش PAV استفاده میگردد. $G^*.\text{ Sin }\delta$ در دمای آزمایش باید حداکثر 5000 kPa باشد، تا تـرک ناشـی از خسـتگی بـه حداقل برسد.

۱-۱۲-۴-آزمایش رئومتر تیرچه خمشی[1] (BBR) (ASTM D6648, AASHTO T313,TP1)

آزمایش رئومتر تیرچه خمشی جهت ارزیابی عملکرد قیر در دماهای پایین پیشنهاد شده است. سختی قیر در دمای پایین توسط DSR، بصورت کامل قابل اطمینان نیست. بنابراین محققیق شارپ رئومتر تیرچه خمشی BBR را پیشنهاد نمودنـد، تـا بطـور دقیـق خواص مواد چسپنده را در دمای پایین روسازی ارزیابی کنند . آزمایش برش دینامیکی و تیرچه خمشی عکس العمل سختی قیر را در محدودهٔ دمایی گسترده‌ای پیش بینی میکنند. ترک خوردگی دمایی روسازی های آسفالتی در مناطق سرد در موقع افت سریع دما رخ میدهد و تنشها درون لایه آسفالتی جمع میشود و سرانجام وقتی از قابلیت رهاسازی تنشهای روسازی آسفالتی فراتر رفت، رهـا سازی تنشها با ایجاد ترک رخ می دهد.



شکل(۱-۱۹): رئومتر تیرچه خمشی

آزمایش BBR مقدار افت و خیزها (خزش) را زیر بار ثابت و در دمای ثابت اندازه گیری میکند. دمای آزمایش BBR بسـتگی به پایین ترین دمای خدمت دهی روسازی دارد که در آن قیر به ماده جامد الاستیکی شباهت بیشـتری دارد. ایـن آزمـایش بـر روی قیری که در دو آزمایش محفظه تسریع پیری،PAV و لعاب نازک چرخشی،RTFO سخت و پیر شده اند، انجام میگردد. بنابراین این آزمایش ، خصوصیات عملکردی مصالح قیری را که در دوره خدمت دهی در معرض گرما و همچنین پیرشدگی قرار گرفته اسـت، اندازه گیری میکند. آزمایش بصورت یک تیر قیری به ابعاد $125 \times 12.5 \times 6.25\ mm$ که بـا قـالبی پـازلی از جـنس آلومینیـوم یـا سیلیکون ساخته میشود، انجام میگردد. دو انتهای تیرچه قیر به پایه تکیه دارد و بار از میله نوک پهن به نقطـه وسـط تیرچـه اعمـال میشود. اصطکاک در حین بارگذاری توسط حایلی از هوا حذف میشود . یک مبدل کرنش سنج روی میله بارگذاری ، افت وخیـز را نشان میدهد. با اعمال بار ثابت به تیرچه قیر و سنجش افت و خیز مرکز تیرچه در مدت ٤ دقیقه زمان آزمایش ، سختی خزشی S و مقدار m مورد محاسبه قرار می گیرد.

سختی خزشی، مقاومت ماده قیری در مقابل بارگذاری خزشی و مقدار m تغییرات سفتی قیر با زمان درحین بارگذاری را نشان میدهد. به عبارت دیگر ،m شیب نمودار لگاریتم سختی در مقابل لگاریتم زمان است. مایع درون حمـام نبایـد امکـان یـخ زدن یـا

[1] Bending Beam Rheometer

سخت و لزج شدن داشته باشد، تا بتواند به راحتی در دماهای عادی آزمایش (دماهای پایین تا ۳۶ °C-) داخل حمام چرخش کند. عموماً مایعاتی از قبیل اتانل، متانل، اتیلن گلیکول، آب و ترکیبی از اینها مورد استفاده قرار می گیرند.

پس از تطبیق با دمای حمام، تیرچه ها مورد آزمایش قرار می گیرند. نتیجه این آزمایش بصورت میانگین آزمایشهای انجام شده بر روی دو تیرچه قیری مشخص می شود. برای انجام آزمایش ، بار ۹۸۰ میلی نیوتنی(حدود جرم۱۰۰ گرم) به مدت ۲٤۰ ثانیه (معادل ٤ دقیقه) بر وسط تیرچه وارد می گردد و نشست با مبدل خیز اندازه گیری میشود. در حین آزمایش،نمودارهای بار و افت و خیز در برابر زمان به منظور مشاهده و بطور مستمر روی شبکه رایانه، تولید میشود. بعد از ۲٤۰ ثانیه ، بار آزمایش به طور خودکار حذف میشود و رایانه رئومتر، سختی(سفتی) خزشی و سرعت خزش(مقدار نرخ تغییرات سختی خزشی در برابر زمان) را محاسبه میکند.

معادله مربوط به سختی خزشی S(t) به صورت زیر است:

$$S(t) = \frac{PL^3}{4bh^3\delta(t)} \qquad (۱-۱۸)$$

دراین رابطه:

S(t) : سختی خزشی بر حسب مگا پاسکال درمدت زمان t (٦۰ ثانیه)

P : بار ثابت وارد شده بر حسب نیوتن

δ : افت و خیز در زمان t بر حسب میلیمتر

L : فاصله بین پایه های تیر برابر با 102 mm

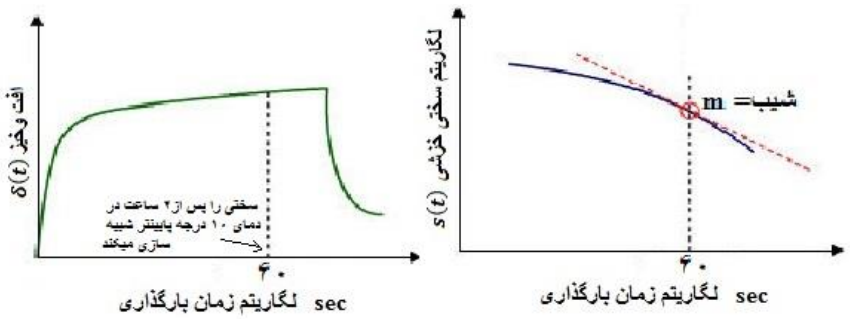
b : عرض تیرچه برابر با 12.5 mm

h : ضخامت تیرچه برابر با 6.25 mm

نرم افزار با استفاده از افت و خیز در برابر زمان، این محاسبه را انجام میدهد. شکل۱-۲۰ نشان دهنده نمودار افت و خیز حاصل از دستگاه BBR و تعیین مقدار m می باشد.

پژوهشگران شارپ با بکارگیری قاعده زمان-دما در مواد قیری بیان نمودند که میتوان با بالا بردن دمای آزمایش به اندازه ۱۰°C و اعمال بارگذاری ٦۰ ثانیه‌ای، سختی خزشی معادلی را نتیجه گرفت که سبب تعیین نتیجه آزمایش در زمان کوتاهتری میشود. با کاربرد معادله سختی خزشی و داشتن مقادیر افت و خیز که به صورت نمودار شکل ۱-۲۰ نشان داده شده است، نرم افزار BBR سختی را در ٦۰ ثانیه محاسبه میکند.

مطابق مشخصات روسازی ممتاز لازم است سختی خزشی در مدت ٦۰ ثانیه نباید از 300MPa تجاوز ننماید. در هر حال اگر سختی خزشی بین 300MPa تا 600MPa باشد، شرط کرنش شکست حاصل از آزمایش کشش مستقیم میتواند بجای شرط سختی خزشی مورد استفاده قرار گیرد.



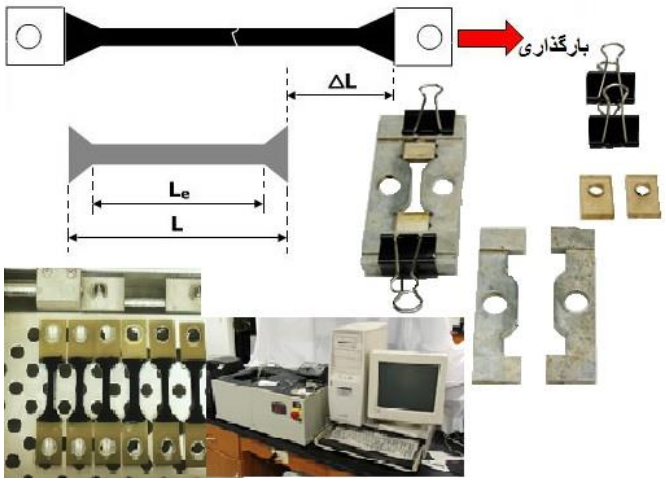
شکل(۱-۲۰): افت و خیز BBR و مقدار m در برابر زمان

m دومین پارامتر تعیین شده از نتایج آزمایش تیرچه خمشی است. مقدار m سرعت تغییر در سختی خزشی در مقابل زمـان را نشان میدهد. این مقدار نیز بطور خودکار با نرم افزار تیرچه خمشی محاسبه میشود. مطابق شکل۱-۱۵بـه منظـور ترسـیم منحنـی و محاسبه مقدار m لازم است، در چندین مرحله زمانی ، سختی را محاسبه کرد. مقـدار m ،شـیب منحنـی لگـاریتم سـختی در برابـر لگاریتم زمان در زمان t است. مطابق با مشخصات روسازی ممتاز لازم است، مقدار m در ٦٠ ثانیه بزرگتر یا مساوی ۰.۳ باشد.

۱-۱۲-۵-آزمایش کشش مستقیم[1] (DTT) (ASTM D6723, AASHTO T314,TP3)

سختی قیرها و مقدار شکل پذیری آنها قبل از گسیختگی در دمای پایین رابطه عکس با هم دارند و هرچه قیر نـرم تـر باشـد، شکل پذیری آن بیشتر و برعکس هر چه قیر سخت تر باشد شکننده تر است. سـختی خزشـی ناشـی از آزمـایش رئـومتر تیرچـه خمشی قادر به نشان دادن قابلیت کامل کشسانی قیر قبل از شکست نمیباشد. سختی میتواند جهت برآورد شکست یا مقدار مقاومت نیز استفاده گردد، لیکن برای برخی از قیرها، خصوصاً قیرهای اصلاح شده، رابطهٔ بین خصوصیات سختی و مقاومت، بخوبی شناخته شده نیست. بنابر این سنجش مقاومت و قابلیت در مقابل کشش قبل از شکست (کرنش در موقع شکست)، بایـد بوسـیلهٔ آزمـایش دیگری با عنوان کشش مستقیم صورت پذیرد. قیرهایی که انعطـاف قابـل تـوجهی را قبـل از شکسـتگی تحمـل میکننـد، کشسـان (ductile) و قیرهایی که بدون کشیدگی زیاد گسیخته میشوند ، شکننده (brittle) نام دارند.

آزمایش کشش مستقیم برای قیرهایی که در دماهای پایین خدمت دهی روسازی سختی خزشی بین ۳۰۰ تـا ٦۰۰ مگاپاسـکال دارند، کاربرد دارند. چنانچه سختی خزشی کمتر از ۳۰۰ باشد نیازی به استفاده ازDDT نمیباشد. آزمایش DTT که مقـدار کـرنش ماده قیری را در دماهای خیلی پایین (36°C – تا 0°C) قبل از شکست اندازه گیری می نماید. همانند آزمایش BBR، قبـل از انجـام آزمایش ، قیر را در معرض آزمایشهای RTFO وPAV قرار داد و آزمایش را جهت هر سه نوع قیر انجام داد.



شکل(۱-۲۱): قالبها ، دستگاه و نمونه آزمایش کشش مستقیم

همانگونه که در شکل فوق مشخص است ، در DTT ، نمونه قیرکوچک دمبلی شکل با سـرعت آهسـته و یکنواخـت کشـیده میشود تا بشکند. کرنش شکست (ε_f) ، عبارت از ازدیاد طول (ΔL) تقسیم بر طول موثر اولیه نمونه (L_e) است.

$$\varepsilon_f = \frac{\Delta L}{L_e} \qquad (۱۹-۱)$$

کرنش در زمان شکست نمونه نشان می‌دهد که ماده قیری در دمای پایین آزمایش، دارای رفتار شکننده خواهـد بـود یـا آنکـه رفتار کشسان دارد. شکست در آزمایش کشش مستقیم ، هنگامی که تنش به مقدار حداکثر آن می‌رسد، تعریف میشود و نه هنگـامی که بار اعمال شده، نمونه را می شکند. تنش شکست (σ_f) عبارت از مقدار بار شکست تقسیم بر سـطح مقطـع اصـلی نمونـه (36 mm^2) است. براساس مشخصات روسازی ممتاز کرنش شکست در موقع شکستگی ، حداقل باید ۱٪ باشد.

[1] Direct Tension Tester

نمونه‌ها قبل از انجام آزمایش، در اتاقک محصور در دمای ویژه آزمایش به مدت ۶۰ دقیقه نگهداری میشود . سپس نمونه توسط بار کششی که از یک انتها و با سرعت ۱ میلیمتر در دقیقه به نمونه اعمال میگردد، کشیده و شکسته میشود. در آزمایش کشش مستقیم، چهار نمونه بطور مجزا آزمایش میگردد. هر آزمایش در مدت زمانی کمتر از ۱ دقیقه انجام میشود . نتیجه این آزمایش شامل میانگین کرنش در مقابل شکست برای چهار نمونه بوده و با دقت ۰.۰۱ درصد بیان میگردد.

۱-۱۲-۶-آزمایش کندروانی سنج چرخشی[1] (RV) (ASTM D4402, AASHTO T316,TP48)

در SHRP، برای تعیین کندروانی(ویسکوزیته) قیر در دماهای بالای اجرا (بیش از ۱۰۰°C)، جهت اطمینان از اینکه قیر برای پمپاژ و اختلاط با مصالح سنگی بقدر کافی مایع است، آزمایش کندروانی سنج دورانی، RV را ارائه نمود. هدف از این آزمایش تعیین ویسکوزیته قیرها، خصوصاً قیرهای پلیمری و اصلاح شده و رسم منحنی های کند روانی- دماست.

ویسکومتر دورانی با اندازه گیری گشتاور لازم، با سرعت دورانی ثابت صفحه چرخنده که داخل قیر فرو رفته است، کندروانی دورانی را بطور خودکار تعیین می کند. برای اینکه مواد قیری ، به ویژه قیرهای اصلاح شده بتوانند در تجهیزات اختلاط گرم، به راحتی پمپاژ و جابجا شوند، یا به راحتی در دمای اختلاط ، با مصالح سنگی مخلوط شوند، کندروانی پیر نشده آنها در ۱۳۵°Cطبق مشخصات باید ، حداکثر سه پوآز باشد.

برای رسم داده های ویسکوزیته سینماتیکی در مقابل دما، آزمایشات در دمای ۱۳۵ تا ۱۶۵ انجام میگردد و نیازی به تبدیل ویسکوریته دینامیکی μ به مقدار سینماتیکی υ آن نیست. ویسکوزیتهٔ سینماتیکی بر حسب سانتی پواز و یا پاسکال ثانیه نشان داده شده و کندروانی های مورد استفاده برای تعیین دماهای هم ویسکوز برابر $0.17 \pm 0.02 \frac{pa}{sec}$ جهت اختلاط و $0.28 \pm 0.03 \frac{Pa}{s}$ برای تراکم در نظر گرفته میشود.

شکل(۱-۲۲):تجهیزات و دستگاه آزمایش ویسکومتر دورانی

در این آزمایش ۳۰ گرم قیر در گرمخانه حرارت داده شده و در محفظه نمونه وزن میگردد که میزان قیر بستگی به اندازه دوک دستگاه دارد و با بزرگتر شدن آن قیر کمتری لازم میباشد. (معمولا بیش از ۱۱ گرم نمیگردد) سپس محفظه دارای نمونه در ظرف گرم نگهدارنده قرار میگیرد و در دمای متعادل شده آزمایش آغاز میگردد. دوک درون محفظه قرار گرفته و پس از تعادل دما به موتور دستگاه متصل و با سرعت rpm ۲۰ شروع به دوران میکند. سیستم بصورت لحظه ای کندروانی قیر را بهمراه شماره دوک، تعداد دور در دقیقه و دما نمایش داده میشود. معمولا نمایشگر دیجیتال بر حسب سانتی پواز (cp) است حال آنکه در مشخصات قیر در superpave از واحد pa.sec استفاده می شود.جهت تبدیل باید عدد قرائت شدهٔ ویسکومتر بروکفیلد را در ۰.۰۰۱ ضرب کرد.

[1] Rotational Viscometer(Brookfield)

۱-۱۳- نقش قیر در عملکرد روسازی:

سه مکانیزم تنش‌زا که بر عملکرد روسازی اثر می‌گذارند و قیر نقش اساسی را در مقاومت در برابر هر سه آن‌ها بازی می‌کند عبارت‌اند از:

شیار افتادگی (Rutting)

ترک‌خوردگی ناشی از خستگی (Cracking Fatigue)

ترک‌خوردگی در اثر برودت (Cracking Temperature Low)

- ***شیار افتادگی:*** این پدیده تحت بارهای سنگین عبوری ناشی از چرخ‌های کامیون‌ها و وسایل نقلیه معمولی در هوای گرم تابستان یا بارهای ساکن در محل تقاطع‌ها و یا پارکینگ‌ها که قیر ساده تاب تحمل نداشته و آرام آرام جاری‌شده و مصالح داخل آسفالت را نیز جابه جا می‌کند، به وجود می‌آید. این نوع جابه‌جایی را به عنوان تغییر شکل خمیری (plastic) یا دایمی (permanent) می‌شناسند. وقوع چنین پدیده‌ای باعث افت کیفیت سطح راه یا جاده شده و بر خطرات استفاده از آن می‌افزاید.

- ***ترک‌خوردگی ناشی از خستگی:*** این شکل ترک به بارگذاری وسایل نقلیه مربوط بوده و بنابراین با گذشت زمان در مسیر عبور چرخ‌ها نمایان می‌شود. این ترک‌ها به شکل طولی آغازشده و اگر ترمیم نشوند به مرور زمان سطح آسیب‌دیده افزایش می یابد. این ترک‌ها به هم می‌پیوندند و سطحی شبیه پوست سوسمار تشکیل می‌دهند.

- ***ترک‌خوردگی ناشی از برودت:*** وقتی دمای محیط پایین می‌آید سطح روسازی دچار انقباض گشته و طول پوشش آسفالتی کاهش می‌یابد. از آنجا که اصطکاک با لایه‌های زیرین از حرکت پوشش جلوگیری می‌کند، نیروهای کششی در جاده ایجاد می‌شوند. وقتی تنش‌های کششی ایجادشده از استحکام کششی (strength tensile) مخلوط آسفالتی بزرگ‌تر شود، ترک‌های برودتی در روی سطح جاده ظاهر می‌شوند.

خواص قیرهایی که نسبت به این تنش‌ها مقاوم‌اند یکسان نیست، همچنین در دماهای متفاوت نیز اندازه‌گیری می‌شوند. برای مثال خصوصیات قیری که در برابر شیار افتادگی مقاوم است در حداکثر دمای روسازی اندازه‌گیری می‌شود و خواص الاستیک‌تر و خشک‌تر برای آن مناسب‌تر است. قیری که دارای مقاومت در برابر خستگی است در دماهای متوسط روسازی بحرانی‌تر بوده و باید نرم و از الاستیسیته بالایی برخوردار باشد. قیری که نسبت به ترک‌خوردگی حرارتی مقاوم است فقط در حداقل دماهای روسازی بحرانی بوده و در این مورد قیر نرم با الاستیسیته کمتر مطلوب است.

۱-۱۴- نشانه درجه نفوذ[1] یا PI قیر

معمولاً درجه نفوذ قیرهای خالص را در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد اندازه‌گیری می‌کنند و چنانچه درجه حرارت نمونه آزمایشی افزایش یابد، درجه نفوذ قیر نیز افزایش می‌یابد. بر مبنای این آزمایش تجربی، یک رابطه خطی بین لگاریتم درجه نفوذ و درجه حرارت توسط پفیفر[2] و واندورمال[3] نوشته شد.

$$\text{Log Pen} = A.T + C \qquad (۲۰-۱)$$

که در آن:

A ضریب حساسیت حرارتی قیر

C نرمی قیر

---

[1] Peneteration Index
[2] Pfeiffer

T درجه حرارت

بر اساس مطالعات تجربی مشخص گردیده که درجه نفوذ کلیه قیرها در صورتیکه آزمایش درجه نفوذ را (بجای دمای ۲۵ درجه) در دمایی مطابق نقطه نرمی همان قیر انجام دهیم یک عدد ثابت و یکسان خواهد گردید. اگر لگاریتم درجه نفوذ بر حسب درجه حرارت را برابر رابطه (۱-۲۰) رسم کنیم یک خط مستقیم به دست می‌آید که شیب این خط معرف حساسیت قیر نسبت به درجه حرارت بوده و از رابطه (۱-۲۱) به‌دست می‌آید.

$$A = \frac{\Delta LogP}{\Delta t} = \frac{1}{50}\left(\frac{20-PI}{10+PI}\right) = \frac{LogP2-LogP1}{t2-t1} \qquad (۲۱-۱)$$

در رابطه P_1 و P_2 درجه نفوذ قیر به ترتیب در درجه حرارت‌های t_1 و t_2 می‌باشد. حساسیت یک قیر نسبت به‌درجه حرارت عملاً تابع جنس نفت خام و چگونگی تهیه قیر در فرایند پالایش می‌باشد.

قیرهایی که از یک منبع نفت خام به دست آمده، نحوه تولید آن در سیستم پالایش مشابه باشد، دارای حساسیت یکسانی نسبت به‌درجه حرارت خواهند بود.

پفیفر و واندورمال با انجام آزمایش‌های متعددی به این نتیجه رسیدند که:

می‌توان فرض کرد که برای اغلب قیرهای مصرفی در راهسازی، رابطه خطی بین لگاریتم درجه نفوذ نسبت به درجه حرارت، تا نزدیک به درجه حرارت نقطه نرمی قیر با آزمایش حلقه و گلوله تقریبا" معتبر است.

با توجه به اینکه درجه نفوذ این قیرها در نقطه نرمی، معادل ۸۰۰ است (یا حدود ۱۲۰۰۰پوآز) رابطه (۱-۲۱) به‌صورت زیر نوشته می‌شود:

$$A=\frac{Log(P_1)-Log(P_2)}{T_1-T_2} = \frac{log_{800}-log_P}{T_{RB}-t} = \frac{Log800-LogPen25}{T_{RB}-25} \qquad (۲۲-۱)$$

و از این رابطه نمودار شکل (۱-۲۳) برای محاسبه حساسیت حرارتی[1] قیر که PI نام‌گذاری گردید با این فرض که قیرهای مصرفی در راهسازی با حساسیت حرارتی زیاد دارای PI کوچکتر از صفر و قیرهای با حساسیت کم PI بزرگتر از صفر داشته باشند، طراحی شد. نشانه درجه نفوذ قیرهای مورد استفاده در راه سازی معمولا در بازه ۲+ و۲- تغییر میکند. نشانهٔ درجه نفوذ قیرهای دمیده بیشتر از ۲+ و قیرهای قطران کوچکتر از ۲- است.

$$PI = \frac{20-500A}{1+50A} \qquad (۲۳-۱)$$

$$\frac{20-PI}{10+PI} = \frac{log_{800}-log_P}{T_{RB}-t} \qquad (۲٤-۱)$$

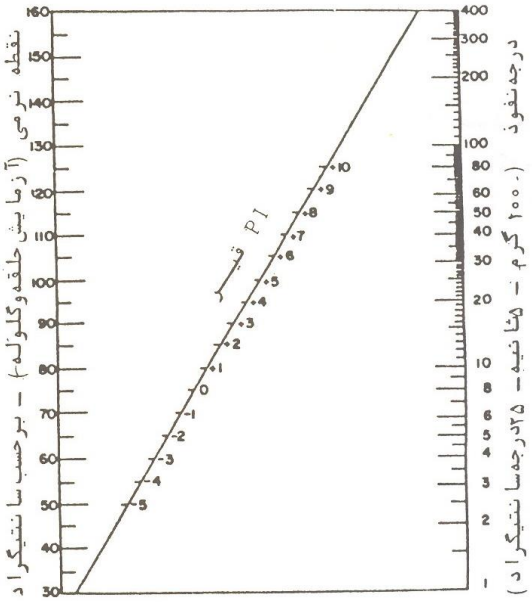
- PI اصلاح شده مک‌لود[2] یا PVN[3]

این روش بر اساس اندازه‌گیری درجه نفوذ در ۲۵ درجه سانتی‌گراد و کندروانی یا غلظت همان قیر در ۱۳۵ درجه سانتی‌گراد، بر حسب سانتی‌استوکس استوار است.

PVN قیر مصرفی در عملیات آسفالتی را برابر رابطه زیر می‌توان محاسبه کرد:

$$PVN= -1.5\ \frac{LogL-LogX}{LogL-LogM} \qquad (۲۵-۱)$$

[1] Thermal Susceptibility
[2] Mcleod
[3] Peneteration Viscosity Number



شکل(۱-۲۳): نمودار تعیین حساسیت حرارتی قیر با PI

که در آن:

X کندروانی بر حسب سانتی‌استوکس در ۱۳۵ درجه سانتی‌گراد مطابق روش ASTM D21700 برای قیر با درجه نفوذ P در ۲۵ درجه سانتی‌گراد که محاسبه PVN آن موردنظر است.

L کندروانی در دمای ۱۳۵ درجه سانتی‌گراد بر حسب سانتی‌استوکس برای قیر با درجه نفوذ P ، وقتی که PVN=0 باشد یا:

$$L=٤/٢٥٨٠٠-٠/٧٩٦٧LogP \qquad (٢٦-١)$$

M کندروانی در دمای ۱۳۵ درجه سانتی‌گراد بر حسب سانتی‌استوکس، برای قیر با درجه نفوذP ، وقتی‌که PVN= −۱/۵ باشد یا:

$$M= ٣/٤٦٢٨٩-٠/٦١٠٩٤LogP \qquad (٢٧-١)$$

P درجه نفوذ قیر در ۲۵ درجه سانتی‌گراد است که محاسبه PVN آن موردنظر می‌باشد.

مقادیر رایج PVN در محدوده ۲- و ۰.۵ میباشد. مک‌لود به‌عنوان طراح PVN پیشنهاد کرده است که بر حسب ارزش PVN ، قیرهای مصرفی در عملیات آسفالتی به‌شرح زیر به سه گروه B,A وC با خصوصیات زیر طبقه‌بندی می‌شوند:

- گروه‌های A وAA شامل قیرهای با حساسیت حرارتی کم با حداقل PVN =۰/۵ تا صفر یا بیشتر ویژه کاربرد ترافیک سنگین.

- گروه B شامل قیرهای با حساسیت حرارتی متوسط با PVN از ۰/ ۵ تا ۱- ویژه مصرف در شرایط ترافیک متوسط

- گروه C شامل قیرهای با حساسیت حرارتی زیاد از ۱- تا ۱/۵- و کمتر برای ترافیک سنگین.

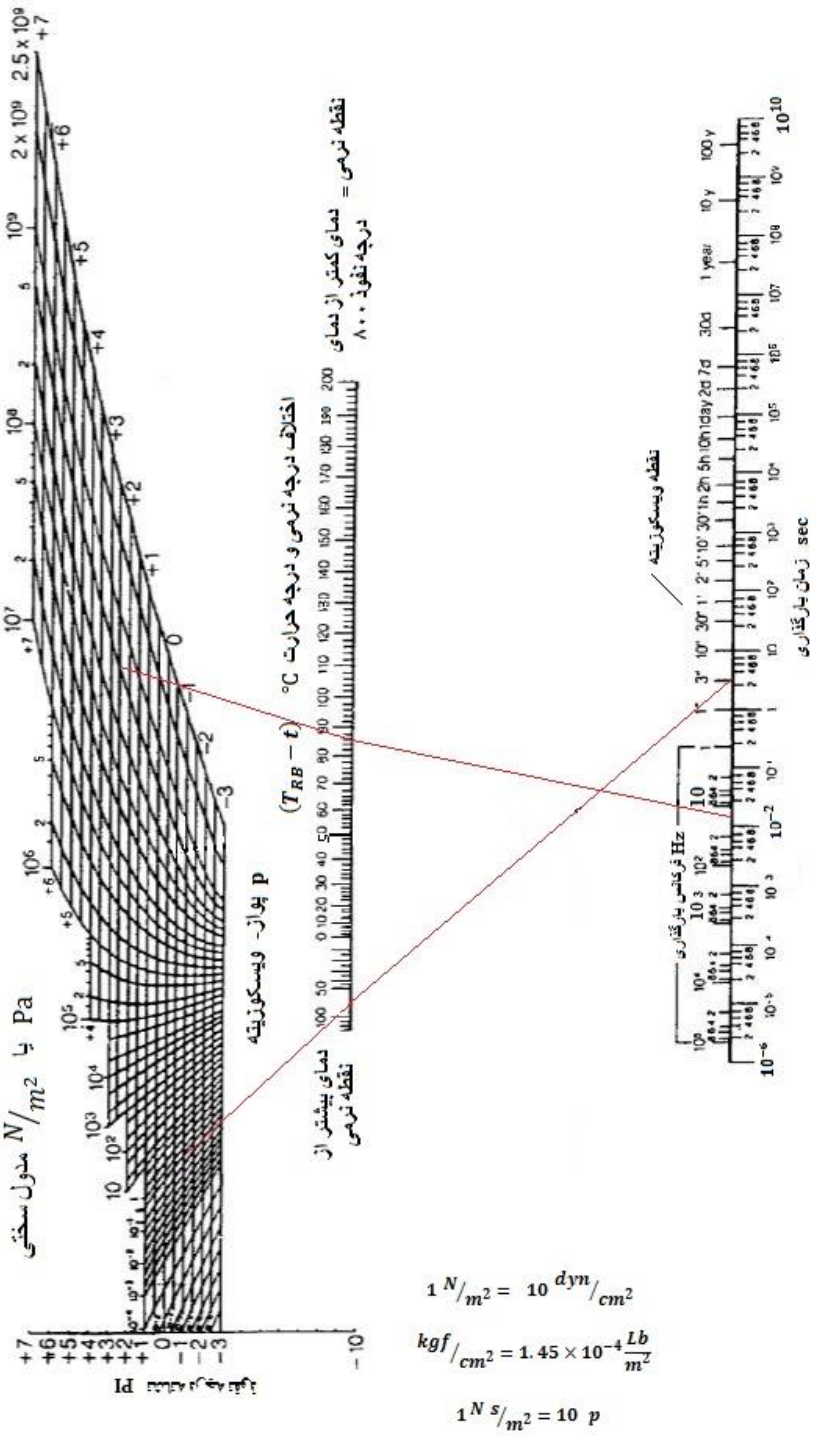
بجز دو پارامتر ضریب نفوذ(PI)وعدد PVN، پارامتر سومی با عنوان حساسیت کندروانی-دما[1] (VTS) تعریف شده است که همگی جهت اندازه‌گیری حساسیت قیر به دما پیشنهاد گردیده است.

$$VTS = \frac{LogV_2 - LogV_1}{LogT_1 - LogT_2} \qquad (٢٨-١)$$

[1] Viscosity-Temperature Susceptibility(VTS)

که V_2 کندروانی در دمای T_2 و V_1 کندروانی در دمای T_1 است .مقادیر متعارف VTS بین ۳.۳٦ تـا ۳.۹۸ اسـت کـه هرچقـدر VTSیک قیر کمتر باشد، نشان دهندهٔ حساسیت کمتر قیر نسبت به دماست.

با کمک اطلاعات فوق و اینکه معمولاً مدول الاستیک اکثر قیرها حدود $4.4 \times 10^5\ psi$ است ، واندرپل[1] نموگرام اولیه سفتی قیرها را در سال ۱۹٤٥ ارائه نمودو هیوکلم آن را اصلاح نمود(شکل۱-۲٤) همانگونه که مشخص است سـختی قیرهـا(S_b) تـابعی است از زمان بارگذاری s، PI و $T_{dif} = T_{RB} - T$ است.



شکل(۱-۲٤): نموگراف شل برای تعیین مدول سفتی قیر(وندرپل)

[1] Van Der Poel

مقدارPI را میتوان از معادله ۱- ۲٤ ، T_{RB} و مقدار نفوذ در دمایT تعیین نمود. مدول سختی قیر بـه عنـوان نسـبت $\frac{\sigma}{\epsilon}=\frac{\text{تنش}}{\text{کرنش}}$ تعریف گردیده که تابعی از طول زمان بارگذاری(فرکانس) و اختلاف درجه حرارت با درجه نرمی و PI میباشد. در دماهای پایین و فرکانسهای بالا، مدول سختی همه قیرها $3\times10^{9}\ {}^{N}/_{m^2}$ فرض میگردد.

۱-۱۵- رئولوژی قیر

همانطوریکه می‌دانیم هر سیالی تحت یک نیروی وارده معین، تغییر شکل نسبی بنام کرنش را متحمل می شود. بنابراین علمی که میزان تغییر شکل سیالات بر اثر اعمال تنش و تاثیر زمان در این تغییر شکل را بیان نماید علم رئولوژی نامیده می‌شود لذا بطـور خلاصه رئولوژی را میتوان علم تنش کرنش سیالات با در نظر گرفتن زمان بیان کرد.

سیال نیوتنی: سیالاتی که در آنها رابطه تنش برشی و سرعت تغییر شکل نسبی (کرنش) خطی بوده و در دما و فشار ثابت دارا ی کند روانی ثابتی باشند ، سیال نیوتنی نامیده می شود.

سیال غیر نیوتنی: سیالاتی که در آنها رابطه تنش بر شی و سرعت تغییر شکل نسبی (کرنش) خطـی نبـوده و در دمـا و فشـار ثابت کند روانی آنها بسته به تنش برشی اعمال شده متفاوت می باشد.

ماده ویسکو الاستیسیته: هر گاه ماده‌ای در حرارت محیط و تحت بار مشخص نه رفتار یک ماده الاستیک و نه رفتار یک مـاده ویسکوز را داشته باشد بلکه رفتار آن شامل ترکیبی از دو حالت ویسکوز و الاستیسیته باشد آن ماده را ویسکوالاستیسیته می‌نامنـد و قیر نیز جزء این دسته از مواد بشمار می آید، بقسمی که خاصیت ویسکو الاستیسیته قیر تابع درجه حرارت و زمان بارگذاری بستگی دارد لذا زمان بارگذاری و دما تواماً در رفتار قیر تاثیر دارند.

خاصیت ویسکوالاستیسیته قیر را می‌توان چنین معنی کرد که قیر تحت شرایط گرم یا تحت بارگذاری طولانی و سـنگین و بـا سرعت کم مانند یک ماده ویسکوز عمل می‌کند و همچنین قیر در دماهای پایین و با بارگذاری‌های سـریع شـبیه یـک مـاده جامـد الاستیک رفتار می‌کند بقسمی که هرگاه بار وارده به قیر بیش از توان و مقاومت آن باشد امکان دارد ماده الاستیک بشکند و همچنین دردماهای پایین قیر دارای خاصیت الاستیسیته می‌باشد و لذا هرگاه بیش از حد بارگذاری شود شکننده شده و تـرک بـر مـی‌دارد و بنابراین ترک‌خوردگی‌های موجود در روسازی‌های آسفالتی در سرما ناشی از دماهای پایین می‌باشد.

همچنین قیر در دماهای متوسط، بسته به دما و زمان بارگذاری قیـر هـم خاصـیت مایعـات ویسـکوز و هـم رفتـار جامـدهای الاستیک را تواماً دارا می‌باشد لذا یک ماده ویسکوالاستیسیته محسوب می‌گردد.

خاصیت حساسیت حرارتی قیر: همانطوریکه می‌دانیم قیرها را بر حسب روانی یا سفتی قیر (کند روانی یا درجه نفوذ) در یک دمای معین می‌توان طبقه‌بندی کرد. ولی عموماً درجه نفوذ یک قیر در یک دمای معینی مثلاً ۲۵ درجه سانتی‌گراد با کاهش یا افزایش دما امکان دارد تغییر نماید مطلب اخیر در خصوص کندروانی قیر در دماهای متفاوت نیز صادق می‌باشد لذا رفتار قیرهـا در هنگـام پخش و تراکم و در زمان خدمت دهی متفاوت خواهد بود که مطالب اخیر ممکن است بر دوام و پایداری مخلوط‌های آسـفالتی در جاده تاثیر بگذارد لذا هر چقدر تغییر روانی یا سفتی در مقابل تغییرات دما بیشتر باشد، حساسیت حرارتی قیر نیز بیشتر خواهد بـود (وبالعکس) و بنابراین قیرهای با حساسیت حرارتی کمتر عملکرد مناسب‌تری در مخلوط‌های آسفالتی ایجاد می‌نمایند.

سخت شدن قیر: سخت شدن قیر از پدیده‌هایی می‌باشد که تحت شرایط و عوامل مختلـف در کوتـاه مـدت و یـا بلندمـدت ممکن است در قیر پدید آید.

علت این امر تغییرات سریع یا تدریجی در شکل و ترکیبات شیمیایی قیر در اثر عوامل مختلف می‌باشد که به عـواملی کـه در تغییرات شیمیایی قیر می‌تواند موثر باشد میتوان به تصعید مواد فرار و سبک قیر، اکسیداسیون، پلیمریزاسیون، کربونیزاسیون، جـذب

روغن های قیر توسط سنگ دانه ها، واکنش شیمیایی بین قیرو اجزاء معدنی سنگ دانه ها اشاره نمود که عموماً فرایندهای فوق تابع شرایط محیطی د ما و ضخامت قیر موجود بر روی سنگ دانه ها می باشد.

در وهله اول سخت شدن در زمان کوتاه مدت و با سرعت و شدت زیاد است که با ایجاد تغییرات شیمیایی در قیر در فاصله زمانی کوتاه ضمن گرم کردن قیر و اختلاط قیر و مصالح سنگی در درجه حرارت زیاد رخ می دهد.

مرحله دوم شامل سخت شدن در طول خدمت دهی رویه آسفالتی که بتدریج و آرام صورت می گیرد که نتایج فیزیکی سخت شدن، باعث کاهش درجه نفوذ، افزایش نقطه نرمی، کاهش خاصیت انگمی، افزایش کند روانی، کاهش خاصیت چسبندگی و افزایش قابلیت شکنندگی می‌گردد.

ضمن سخت شدن قیر حین ساخت آسفالت و زمان خدمت دهی عموماً مقدار آسفالتین بتدریج افزایش یافته و مقدار رزین و ترکیبهای آروماتیکی کاهش می‌یابد و لذا در این عوامل ضریب پیرشدگی افزایش می‌یابد.

شاخص پایداری درجه نفوذ: این شاخص به صورت زیر تعریف می گردد:

$$\text{شاخص پایداری درجه نفوذ} = \frac{\text{قیری ملات نفوذ درجه}}{\text{خالص قیر نفوذ درجه}} \times 10 \qquad (۲۷-۱)$$

کاهش این شاخص نشانگر این است که نمونه پتانسیل بیشتری برای پیر شدگی دارد.

شاخص افزایش نقطه نرمی: این شاخص نیز برابر مقدار زیر می باشد:

نقطه نرمی قیر خالص – نقطه نرمی قیر پیر شده = شاخص افزایش درجه نرمی (۲۸-۱)

همچنین افزایش این شاخص نشانگر آن است که قیر مستعد پیرشدگی است.

شاخص شکل پذیری: شاخص شکل پذیری نیز برای قیرهای خالص به صورت زیر می باشد:

$$\text{شاخص شکل پذیری} = \frac{\text{شکل پذیری قیر خالص} - \text{شکل پذیری پیر شدگی}}{\text{شکل پذیری قیر خالص}} \times 100 \qquad (۲۹-۱)$$

با افزایش شاخص شکل پذیری، پتانسیل انعطاف پذیری کاهش می یابد.

۱-۱۶- طبقه بندی قیر

تا سال ۱۹۹۰ میلادی، مشخصات قیرها فقط بر اساس دو پارامتر سختی و ویسکوزیته بیان می‌شد. در بسیاری از کشورها این پارامترها به وسیله دو آزمایش تجربی ساده، یعنی میزان نفوذ و نقطه نرمی[1]، تعیین می‌شد که ارتباطی با عملکرد قیر نداشتند؛ زیرا بر پایه تجربه بوده و برای قیرهایی با طبقه‌بندی نفوذی[2] معتبر بودند.

طبقه‌بندی قیرها در آمریکا برای اولین بار در سال ۱۹۳۱ توسط AASHTO[3] انجام شد. در این طبقه‌بندی، قیرها به عنوان یک ماده نیمه جامد شناخته شدند؛ بنابراین اندازه‌گیری غلظت منجر به توسعه سیستم طبقه‌بندی بر اساس نفوذ شد. در طبقه‌بندی نفوذی، آزمایش‌ها در ۲۵درجه سانتیگراد انجام می‌شوند؛ بنابراین هیچ آزمایشی در دماهای بالا و پایین وجود ندارد و شرایط حاکم بر تست ها به قدری محدود هستند که قیرها با حساسیت‌های حرارتی و عملکردهای گوناگون، همگی در یک گروه قرار می‌گیرند. به همین دلیل در اوایل دهه ۱۹۶۰، سیستم طبقه‌بندی بر اساس ویسکوزیته مطرح شد. آزمایش‌ها شامل تعیین نفوذ در ۲۵درجه‌سانتیگراد، ویسکوزیته دینامیک در ۶۰ درجه‌سانتیگراد و ویسکوزیته سینماتیک در ۱۳۵درجه‌سانتیگراد بود. همچنین پیرشدگی کوتاه مدت قیر مد نظر قرار گرفت که خواص قیر را در کارخانه آسفالت شبیه‌سازی می‌کند.

1Softening Point
2 Penetration Grade
3 American Association for State Highway and Transportation Officials

۱-۱۶-۱-طبقه‌بندی عملکردی:

همانگونه که در بخشهای قبل ذکر گردید، در سال ۱۹۸۷، برنامه تحقیقاتی استراتژیک بزرگراه‌ها در آمریکا[1] (SHRP) به منظور یک پارچه نمودن خصوصیات قیر در سطح ملی شروع به کار کرد. درحالی‌که در ابتدا انتظار می‌رفت کـه اسـتانداردهای ملـی قیـر شامل خصوصیات ترکیبی آن باشند، اما چندی بعد مشخص شد که فقط خصوصیات فیزیکی که بیان‌کننده طبیعت ویسکوالاسـتیک قیر است در این استاندارد گنجانده خواهد شد. در اوایل دهه ۱۹۹۰، طبقه‌بندی جدیدی برای قیرها تعریف شد که کاملاً مبتنـی بـر خواص عملکردی آن‌ها بود؛ به این معنی که قیرها را با در نظر گرفتن شرایط روسازی، شرایط آب‌وهوایی و میزان ترافیـک محلـی که قیر در آن به کار می‌رود طبقه‌بندی می‌کرد. خواصی که قیر را در این شرایط مـورد بررسـی و مطالعـه قـرار مـی‌دهـد، خـواص رئولوژیکی است و آن را طبقه‌بندی عملکردی[2] (PG) می‌نامند. در این طبقه‌بندی، معیارهای قابل بررسی برای خصوصیات قیر یکسان می ماند و دمایی که معیار باید در آن دما برآورده شود تغییر می‌کند و بر خلاف سایر طبقه‌بنـدی‌هـا، پیرشـدگی بلندمـدت قیـر در اثـر استفاده در روسازی بعد از گذشت ۷ الی ۱۰ سال را نیز مورد مطالعه قرار می‌دهد. این برنامه دارای ویژگـی هـایی برجسـته ای در مقایسه با روشهای طبقه بندی بر مبنای درجه نفوذ و ویسکوزیته به شرح زیر میباشد:

-به رغم تغییر دمایی که معیارها میبایست، با توجه به نوع و درجه قیر انتخابی (متناسب با شرایط آب و هوایی) برآورده گردند ،معیارهای تعیین شده ثابت می ماند

-این آزمایشات برای طیف وسیعی از چسبنده های پایهٔ قیری اعم از خالص اصلاح شده یا نشده قابل کاربرد است.

-محدودهٔ دمایی بهره برداری روسازی در منطقه منظور می‌گردد.

-این آزمایشات برای حذف یا کنترل سه نوع رایج از خرابی ها شامل شیارشدگی، ترک خستگی و ترک دمایی طرح گردیـده اند.

- خواص فیزیکی استخراجی از این آزمایشات با اصول مهندسی مستقیماً به عملکرد میدانی وابسته اند.

-شرایط قیر اولیه و پیرشدگی کوتاه مدت(در فرآیند تولید و پخش آسفالت و..) و پیرشدگی بلند مدت (زمان خدمت دهـی) شبیه سازی و لحاظ میگردد.

در این طبقه بندی متوسط ۷ روز گرمترین روزهای سال و متوسط ۷ روز از سردترین روزهای سـال را محاسـبه کـرده و قیـر مناسب را انتخاب میکنند . قیر PG 64-22 یعنی قیری که در ناحیه ای با متوسط ۷ روز گرمترین ٦٤ درجه سانتیگراد و متوسـط ۷ روز سردترین ۲۲- درجه سانتیگراد می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد.

دمای بالا °C

دمای پایین °C	52	58	64	70	76
-16	52-16	58-16	64-16	70-16	76-16
-22	52-22	58-22	64-22	70-22	76-22
-28	52-28	58-28	64-28	70-28	76-28
-34	52-34	58-34	64-34	70-34	76-34
-40	52-40	58-40	64-40	70-40	76-40

از نفت خام =
نفت خام با کیفیت بالا =
نیاز به اصلاح کننده =

1 Strategic Highway Research Program
2 Performance Grade

محدودیت‌های پذیرفته شده یکسان هستند اما باید در دمای روسازی و شرایط ترافیکی خاصی در نظر گرفته شوند. به عبارت دیگر طبقه‌بندی بر اساس شرایط روسازی (دما و ترافیک) صورت می‌گیرد اما تمام گریدهای قیر با توجه به معیارهای یکسان سنجیده می‌شوند.

۱-۱۴-۳- اجرای طبقه‌بندی:

طبقه‌بندی عملکردی به ترتیب مراحل زیر انجام می‌گیرد:

الف) تعیین رده قیر مورد نیاز برای شرایط آب و هوایی یا منطقه به یکی از دو روش زیر:

۱ - **تعیین حداقل دمای (یک روزه) روسازی و میانگین حداکثر دمای (هفت‌روزه) روسازی:** در این طبقه‌بندی قیر مناسب، با توجه به درجه حرارت محل اجرای پروژه -کمترین درجه حرارت و بیشترین درجه حرارت سالیانه برای طرح روسازی- میزان آمد و شد، سرعت بارگذاری و موقعیت جغرافیایی انتخاب می‌شود و قیرها با توجه به حداکثر درجه حرارت محیط (دمای طرح روسازی) به هفت گروه اصلی PG82، PG76، PG70، PG64، PG58، PG52، PG46 دسته‌بندی و هر یک از آن‌ها نیز با توجه به پایین‌ترین درجه حرارت محیط به گروه‌های دیگر تقسیم‌بندی می‌شوند که در نهایت هر نوع قیر با دو عدد مشخص می‌شود که عدد مثبت مربوط به میانگین هفت روز حداکثر دمای طرح روسازی و عدد منفی حداقل دمای طرح بر حسب درجه حرارت سانتی‌گراد است. حداکثر دمای طرح روسازی در عمق ۲۰ میلیمتری از زیر سطح روسازی آسفالتی و دمای پایین در سطح روسازی تعیین می شود.

۲ - استفاده از نقشه‌های پهنه‌بندی: در این روش با اخذ داده‌های آب و هوایی از ایستگاه‌های سینوپتیک هواشناسی سراسر کشور، نقشه پهنه‌بندی آب و هوایی را تهیه نموده که بر اساس آن می‌توان قیر مورد نیاز برای هر منطقه را به راحتی معین نمود.

ب : بررسی انطباق قیر با مشخصات مورد نیاز با هر دو روش زیر:

۱ - استفاده از جداول آیین‌نامه برای انتخاب دماهای آزمایش

۲ - انجام آزمایش‌ها بر روی قیر و مقایسه با حدود آیین‌نامه

در سیستم طبقه بندی PG، قیرها بر اساس مشخصات و پارامترهای زیر مورد بررسی قرار می گیرد:

-کنترل درجه اشتعال در دمای حداقل ۲۳۰ °C

-کنترل کندروانی در دمای ۱۳۵ °C حداکثر پالس

-کنترل اینکه قیر خالص در چه دمایی نسبت $G^*/_{sin\delta}$ (در آزمایش DSR با سرعت $\frac{Rad}{sec}$ ۱۰)بزرگتر یا مساوی ۱ کیلو پاسکال است، دمای مورد نظر مطابق با درجه حرارتهای زیاد روسازی (٤٦ و ۵۲ و۵۸ و٦٤) است.

-انجام آزمایش TFO و RTFO وکنترل افت وزنی تا حداکثر ۱ درصد

-کنترل حداقل دمایی که درآن دما مقدار سختی خزشی(S) در آزمایش BBR در زمان ٦۰ ثانیه، کوچکتر یا مساوی۳۰۰ MPa و مقدار m بزرگتر یا مساوی ۰.۳ است (دماها از۰ تا ۳٦- با افزایش ٦ درجه‌ای). ودر صورت بزرگتر بودن سختی از ۳۰۰ ،انجام آزمایش کشش مستقیم و کنترل حداقل دمایی که کرنش شکست بیش از ۱٪ است.

-انجام آزمایش پیرشدگی با ظرف تحت فشار برای قیرهای پیرشده با آزمایشات TFO و RTFO ، در دمای ۹۰ درجه (PG46/22)،۱۰۰ درجه سانتیگراد(PG58/28) و ۱۱۰ درجه (PG70/22)

-در آزمایش DSR با سرعت $\frac{Rad}{sec}$ ۱۰ ودمای متوسط در دورهٔ سرویس دهی ، بر روی قیر های سخت شده حاصل از آزمایشات RTFO-PAV- TFO، در چه دمایی، پارامتر $G^*.Sin\ \delta$ کمتر از 500 K.Pa است.

(تکنولوژی و مواد روسازی)

فصل دوم:

مصالح سنگی

محمود رضا کی منش

سعید شاکر

۲-۱: مقدمه

نقش مصالح سنگی در روسازی راهها اعم از انعطاف پذیر و صلب و در کلیه اجزا روسازی اعم از زیر اساس و اساس و رویه بر مشخصات نهایی و حفظ کیفیت و دوام و هزینه و.. بسیار تعیین کننده و مهم میباشد . مصالح سنگی حدود ۹۲ تا ۹۶ درصد نسبت وزنی یا ۷۵ تا ۸۵ درصد نسبت حجمی مخلوط های آسفالتی گرم و بتن آسفالتی را تشکیل می‌دهند، در ساختار آنها نیز نقش اساسی و تعیین کننده دارد. توان بارپذیری، دوام و عملکرد این مخلوط ها، در طول مدت بهره‌دهی، به این پارامتر و آیتم غالب و مسلط وابسته است.

مرغوبیت مصالح تا حدود زیادی بستگی به خواص سنگ مادر مورد استفاده در تهیه مصالح شکسته دارد، از طرف دیگر روش تهیه مصالح سنگی نیز در مرغوبیت آن موثر می‌باشد.

۲-۲- انواع و دسته‌بندی سنگدانه‌ها:

مصالح سنگی بنا به تعریف، مواد معدنی بی اثری هستند که از منابع طبیعی یا فرایندهای مصنوعی یا سنتتیک تهیه می شود. از ذخایر طبیعی می توان شن و ماسه رودخانه ای، معادن کوهی، ابرفت های خرده سنگی، و دیگر معادن و ذخایر محلی و از فراورده های مصنوعی، سرباره کوره های آهن گدازی و مصالح مشابه را نام برد. لذا از حیث منبع کلی به دو نوع طبیعی و مصنوعی تقسیم بندی میگردند.

مصالح طبیعی مورد استفاده در تولید بتن آسفالتی از حیث محل تامین بشرح ذیل دسته بندی میشود:

- مصالح سنگی معدنی
- مصالح سنگی واریزه ای
- مصالح سنگی رودخانه ای

که از حیث کیفیت مصالح سنگی مصالح استخراجی از معادن از مطلوبیت بیشتری برخوردار است.

سنگدانه‌ها می‌توانند براساس منشأ زمین‌شناسیِ سنگِ مادرشان نیز دسته بندی شوند که شامل

آتشفشانی[1]

رسوبی[2]

دگرگونی[3]

میشوند. سنگ‌های آتشفشانی براساس سرد شدن سیلیکات مایع گداخته به نام ماگما[4]، تشکیل می‌شود. سنگ‌های آتشفشانی هم بلورین با دانه‌های ریز و درشت هستند و هم می‌توانند غیر بلورین باشند. نوع و اندازه بافت سنگ‌های آتشفشانی به فرآیند زمین‌شناسی و فرآیند پیدایش آن‌ها بستگی دارد. سنگ‌های آتشفشانی برون رونده زمانی تشکیل می‌شود که ماگما همراه با خاکستر و گدازه به سطح زمین برسد و سریعاً در سطح زمین سرد شود که در این صورت به شکل دانه‌های ریز و غیر بلورین تبدیل می‌گردد. سنگ‌های آتشفشانی درونی زمانی تشکیل می‌شود که ماگما به آهستگی در زیر پوستهٔ زمین سرد شود که در این صورت به شکل بلورهای درشت حاصل می‌شود. بالاست و گرانیت به ترتیب نمونه‌ای از سنگ‌های برون رونده و درونی هستند.

همچنین سنگ‌های رسوبی در سطح زمین یا زیر آب‌ها از تحکیم مصالح رسوبی یا رسوب شیمیایی حاصل می‌شوند. مصالح رسوبی از تجزیهٔ مصالح موجود در اثر فرآیندهای تخریبی همچون فرسایش در اثر هوا و سایش در اثر آب، باد، یخبندان یا در اثر وزن ایجاد می‌شوند. سخت شدن رسوبات در اثر سمنته شدن کانی‌های معدنی سیلیکات و کربنات و در اثر اعمال فشار ناشی از

[1]Igneous
[2]Sedimentary
[3]Metamorphic
[4]Magma

وزن لایه‌های ته نشین شدهٔ فوقانی است. سنگ‌های تشکیل شده از رسوبات به عنوان سنگ‌های آواری (تخریبی یا واریزه‌ای) نامیده می‌شوند. نمونه‌ای از سنگ‌های آواری، ماسه‌سنگ، گلسنگ است. سنگ‌های رسوبی که توسط رسوب شیمیایی حاصل می‌شوند، سنگ‌های کربناتی نامیده می‌شوند. این سنگ‌ها توسط ته نشینی و سمنته شدن کالبد موجودات دریایی، کالبد گیاهان دریایی و گل و لای کربناتی که در بستر دریاها ته نشین می‌شوند، ایجاد می‌گردند. نمونه‌ای از سنگ‌های کربناتی سنگ آهک و دولومیت است.

سنگ‌های دگرگونی توسط تبلور مجدد سنگ‌های رسوبی و آتشفشانی در اثر فشار و دما ایجاد می‌گردند. نمونه‌ای از سنگ‌های دگرگونی، گنیس، کوارتز و سنگ مرمر است.

سنگدانه‌ها از حیث اندازه و ابعاد نیز به معمولا به سه دستهٔ

فیلر

ریزدانه[1]

درشت‌دانه[2]

تقسیم بندی می‌گردند. اندازه‌ای که به عنوان معیار برای تفکیک ریزدانه و درشت‌دانه به کار می‌رود، براساس کاربرد آن متفاوت است. مطابق دستورالعمل (ASTMC125)، برای بتن سیمان پرتلند، ریزدانه، به سنگدانه‌های عبوری از الک نمرهٔ ٤ (٧٥ /٤ میلی‌متر) و باقی مانده برروی الک نمرهٔ ٢٠٠ (٧٥ میکرومتر) و درشت‌دانه، به سنگدانه‌های باقی مانده برروی الک نمرهٔ ٤ اطلاق میشود. در مخلوطهای آسفالتی مصالحی که از الک شماره ٨ (٢.٣٨ میلی متر) رد نشده اند (در برخی آیین نامه ها الک شمارهٔ ١٠) را مصالح درشت دانه و مصالح عبوری از الک شمارهٔ ٨ و مانده روی الک نمرهٔ ٢٠٠(٧٥ میکرومتر) را ریز دانه و مصالح رد شده از الک نمرهٔ ٢٠٠ را فیلر می‌نامند.

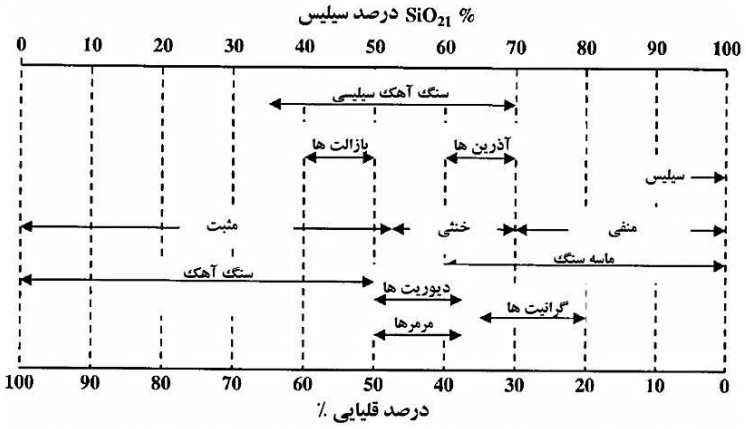
مصالح سنگی مورد استفاده در تولید مخلوطهای آسفالتی از نقطه نظر نوع دانه‌بندی نیز معمولا به سه رستهٔ : توپر، توخالی(باز) و یکنواخت (یک اندازه) تقسیم بندی شده که مطعاقباً به آن خواهیم پرداخت. مصالح از منظر شکل به شکسته و گردگوشه و نیمه‌شکسته و از حیث فرم سنگدانه به کروی (مکعبی)، پولکی و سوزنی دسته‌بندی می‌شوند که مناسبترین آن جهت کاربرد در بتن سیمانی و آسفالتی مصالح کاملاً شکسته و هم بعد است.

خصوصیات شیمیایی نیز در مشخصات آسفالت تولیدی نقشی موثر داشته و خصوصا چسبندگی‌شان به قیر بر کیفیت و دوام مخلوطهای آسفالتی اثر می‌گذارد. چسبندگی ضعیف قیر به سنگدانه در حضور رطوبت منجر به عریان‌شدگی و شن‌زدگی می‌شود. چندین تئوری وجود دارد که مکانیسم چسبندگی قیر و سنگدانه را توضیح می‌دهد. سنگدانه‌هایی که در حضور رطوبت، چسبندگی ضعیفی دارند به هیدروفیلیک (آب دوست) یا اسیدی[3] معروفند. سنگدانه‌هایی که چسبندگی خوبی با قیر دارند و مقاومت خوبی در برابر خرابی‌های رطوبتی دارند به هیدروفوبیک (آب گریز) یا بازی[4] معروفند. ماهیت بار الکتریکی در سطح سنگدانه زمانیکه در تماس با آب قرار دارد نیز برچسبندگی بین قیر و سنگدانه اثر می‌گذارد. بیشتر سنگدانه‌های سیلیسی (مانند ماسه‌سنگ، گرانیت،کوارتزیت و شن سیلیس) بار الکتریکی منفی در حضور آب دارند. دیگر سنگدانه‌ها همچون سنگ آهک، بار الکتریکی مثبتی را در حضور آب از خود نشان می‌دهند. دسته‌بندی سنگدانه‌ها براساس درصد سیلیس یا قلیایی در شکل٢-١ نشان داده شده است.

مصالح سنگی سیلیسی با مواد قلیایی از خود واکنش نشان می‌دهند و عمل هیدراتاسیون سیمان پرتلند را به وجود می‌آورند که این مسئله منجر به تشکیل مواد ژل مانند پیرامون دانه‌های سنگدانه می‌شود. این مادهٔ ژل مانند منبسط می‌شود و منجر به

[1]Fine
[2]Coarse
[3]Hydrophilic (water affinity) or acidic
[4]Hydrophobic (water aversion) or basic

ترک‌خوردگی اتفاقی در سطح بتن می‌شود. روش (ASTMC289) تحت عنوان واکنش‌پذیری بالقوهٔ سنگدانه‌ها، واکنش بالقوهٔ سنگدانه‌ها را به سرعت با مواد قلیایی در بتن سیمان پرتلند تعیین می‌کند، و در تولید بتن آسفالتی چسبندگی قیر و مصالح سنگی و جذب مناسب قیر در مصالح در دوام مخلوطهای آسفالتی نقش بسزایی دارند که سنگهای سیلیسی نظیر کوارتز اندود قیری را بخوبی بخود نگه نداشته و این اندود بخصوص در مجاورت آب بسهولت از مصالح سنگی جدا میشود و برعکس سنگهایی نظیر بازالت دلومیت و سنگ های آهکی بخوبی قیر را به خود جذب میکنند و پایداری مناسبی حتی در مواجهه با آب از خود نشان میدهند



شکل ۲-۱ : دسته‌بندی سنگدانه با توجه به بار سطحی الکتریکی

.محاسبهٔ انرژی سطحی[1] سنگدانه، معیار مناسبی را برای چسبندگی بالقوه بین سنگدانه‌ها و قیر ارائه مینماید. انرژی آزاد سطحی ماده به عنوان مقدار کار مورد نیاز برای ایجاد یک سطح واحد از سطح جدید آن مادهٔ خاص در خلأ است. انرژی آزاد سطحی ماده را به سه بخش تقسیم می‌کنند. این بخش‌ها شامل اسیدی تک قطبی γ^+ ، بازی تک قطبی γ^-و قطبی یا لیفشیدز– واندروالسی γ^{LW} است. کل انرژی آزاد سطحی ماده γ^{total} از سه بخش مطابق معادلهٔ۲-۱بدست می‌آید.

$$\gamma^{\mathrm{Total}} = \gamma^{\mathrm{LW}} + 2\sqrt{\gamma^{+}\gamma^{-}} \qquad (۱-۲)$$

انرژی آزاد سطحی کل

انرژی چسبندگی بین سنگدانه و قیر بدون رطوبت (W_{AS}) و با رطوبت (W_{ASw}) به ترتیب با استفاده از معادلات ۲-۲ و۲-۳ محاسبه می‌شود.

$$W_{\mathrm{AS}} = 2\sqrt{\gamma_{\mathrm{A}}^{\mathrm{Lw}}\gamma_{\mathrm{s}}^{\mathrm{LW}}} + 2\sqrt{\gamma_{\mathrm{A}}^{+}\gamma_{\mathrm{s}}^{-}} + 2\sqrt{\gamma_{A}^{-}\gamma_{s}^{+}} \qquad (۲-۲)$$

$$\mathrm{W_{ASW}} = \gamma_{\mathrm{Aw}} + \gamma_{\mathrm{Sw}} - \gamma_{\mathrm{As}} \qquad (۳-۲)$$

که در آن،اندیس A ، S و W به ترتیب قیر، سنگدانه و آب است. انرژی سطحی با دو اندیس γ_{ij} ، نشان دهندهٔ انرژی سطح مشترک بین دو مادهٔ i و j است که با استفاده از بخش‌های انرژی آزاد سطحی مطابق معادلهٔ۲-٤ محاسبه می‌شود.

$$\gamma_{\mathrm{ij}} = \gamma_{\mathrm{i}} + \gamma_{\mathrm{j}} - 2\sqrt{\gamma_{\mathrm{i}}^{\mathrm{Lw}}\gamma_{\mathrm{j}}^{\mathrm{Lw}}} - 2\sqrt{\gamma_{\mathrm{i}}^{+}\gamma_{\mathrm{j}}^{-}} - 2\sqrt{\gamma_{\mathrm{i}}^{-}\gamma_{\mathrm{j}}^{+}} \qquad (۴-۲)$$

۲-۳- منابع سنگدانه ها

بر اساس مشخصات فنی مورد نیاز و با درنظر گرفتن نیازهای پروژه، بازدید و مطالعات اولیه معادن مصالح سنگی مصرفی ضرورت دارد. در بررسی‌های اولیه حجم عملیات، ذخائر معادن و رعایت جنبه‌های اقتصادی، ارائه توجیهات فنی و منطقی مورد

[1]Surface energy

نیاز خواهد بود. در این رابطه و نخستین گام اقدام جهت آزمایشات اولیه معدن بمنظور تشخیص مناسب بودن مصالح، ارزیابی نتایج آزمایشات و تائید آن و بالاخره صدور مجوز بهره‌برداری ضروری می‌باشد.

چنانچه معدن منتخب مصالح رودخانه‌ای باشد (که در شرایط بسیار خاص و برحسب اجبار، مجاز به استفاده میباشیم) آزمایشات زیر مورد نظر خواهد بود.

- تعیین دانه بندی اولیه مصالح معدن
- تعیین مقاومت در مقابل عوامل جوی (سرما و گرما) و سولفاتها
- تعیین مقاومت در مقابل سایش
- تعیین وزن مخصوص ظاهری، وزن مخصوص حقیقی – درصد جذب آب
- تعیین چسبندگی، قیر به مصالح سنگی درحضور آب
- تعیین هم ارز ماسه ای
- درصد دانه‌های دراز و پهن
- حدود اتربرگ
- تعیین میزان آلودگی و مواد مضره
- تشریح نظری از جهت شناخت کانیهای مصالح معدن
- تجزیه شیمیائی از جهت تعیین و میزان کانیهای موجود در مصالح سنگی مصرفی

و چنانچه معدن منتخب مصالح کوهی باشد انجام آزمایشات زیر ضروری خواهد بود.

- تعیین مقاومت در مقابل عوامل جوی (سرما و گرما) و سولفاتها
- تعیین مقاومت در مقابل سایش
- تعیین وزن مخصوص ظاهری، وزن مخصوص حقیقی – درصد جذب آب
- تعیین چسبندگی، قیر به مصالح سنگی در حضور آب
- مقاومت فشاری خشک و تر
- تعیین میزان آلودگی و مواد مضره
- تشریح نظری از جهت شناخت کانیهای موجود در مصالح معدن
- تجزیه شیمیایی از جهت تعیین و میزان کانیهای موجود در مصالح معدن

که در ادامه به شرح برخی از موارد خواهیم پرداخت. توضیح اینکه بررسی وجود لایه‌های سست و رسی و مواد مضره در جبهه‌های معادن کوهی ضرورت دارد و باید پس از انفجار بنحو مؤثر و مطلوب لایه نامرغوب از سایر مصالح سنگی جدا و صرفاً لاشه سنگ‌های تأیید شده جهت شکستن و خرد کردن به سایت تولید سنگدانه ها منتقل شود. از جمله اقداماتی که باید مورد توجه قرار گیرد استقرار تجهیزات و ماشین آلات مناسب جهت تولید مصالح سنگی می‌باشد که با توجه به فاصله حمل معدن و اندازه درشتی مصالح انتخابی و جنس مصالح و رطوبت و حجم مورد نیاز و.... هماهنگ با سیستم انتخاب خواهد شد. در این رابطه تأمین مصالح ریزدانه (فیلر) براساس مندرجات جدول (۲-۱) به جهت ارتقاء کیفیت مخلوط‌های آسفالتی الزامی می‌باشد، عدم تأمین فیلر

مورد نیاز مخلوط‌های آسفالتی تولیدی در اکثر کارگاههای تولید آسفالت، اشکالات عدیده‌ای را به همراه داشته است، که لازم است تمهیدات لازم اتخاذ گردد.

جدول(۲- ۱):دانه‌بندی‌فیلر

اندازه الک	درصد وزنی رد شده از الک
۱/۱۸ میلیمتر(شماره۱۶)	۱۰۰
۰/۶ میلیمتر(شماره۳۰)	۹۷-۱۰۰
۰/۳ میلیمتر(شماره۵۰)	۹۵-۱۰۰
۰/۰۷۵ میلیمتر(شماره۲۰۰)	۷۰-۱۰۰

۲-۴- تولید سنگدانه:

کاهش اندازه مواد به طوری که برای مراحل بعدی تولید قابل استفاده باشند توسط سنگ شکنها صورت می گیرد. غالبا سنگهای که در اثر انفجار بوجود می آیند درشت و دارای رطوبت هستند. فرسایش ، سختی، اندازه سنگها و رطوبت از جمله مواردی هستند که در انتخاب نوع سنگ شکن مورد توجه می باشند.در فصل ۵ شرحی از انواع سنگ شکن و طرز کار هر کدام بیان خواهد شد.

۲-۵- مشخصات سنگدانه ها:

مشخصات فیزیکی و شیمیایی و .. سنگدانه ها که در هر استاندارد و آیین نامه ای مشخصاً جهت مصارف مختلف ،لایه های مختلف ، محلهای مختلف از حیث ترافیکی و آب و هوایی و ... ،تعاریف و چهارچوبهای خاص خود را داراست که مطابق با نیاز، ارزیابی و سنجیده شده و مبنای قضاوت مهندسی در مطلوبیت در بکاربردن آنها و یا مشروط مطلوبیت بکار بردن (با اعمال تغییرات لازم اعم از استخراج ، تولید سنگدانه ، افزودن مصالح دیگر و یا تدابیر و الزامات و یا افزودنی هایی در تولید محصول نهایی و...) و یا عدم مطلوبیت ، قرار میگیرد. برخی از مبانی و الزامات و روشها که در دو آیین نامه معتبر به آن اشاره شده با ذکر شماره استاندارد آنها در جدول ۲-۲ و ۲-۳ به اختصار بیان گردیده است.

جدول(۲-۲)- آزمایشات مصالح سنگی AASHTO و ASTM

عنوان	ASTM	AASHTO
مشخصات الک‌های سیمی برای آزمایش	E 11	M-92
شرایط مربوط به چگالی و وزن مخصوص	D 12	M-132
وزن‌ها و سیستم های توزین مورد استفاده در آزمایش	-	M-231
ارزیابی بازرسی و آزمایشگاهی برای مصالح روسازی‌های آسفالتی	D 3665	-
عملکرد آزمایشگاه‌های سنگدانهٔ بتن و بتن	C 1077	-
نمونه‌برداری از سنگ‌دانه‌ها	D 75	T-2
کاهش تعداد نمونه‌های میدانی سنگ‌دانه‌ها به اندازهٔ آزمایشگاهی	C 702	T-248
آماده‌سازی خشک نمونه‌های خاک دست‌خورده و سنگدانه‌های خاک برای آزمایش	D 421	T-87
آماده‌سازی مرطوب نمونه‌های خاک دست‌خورده برای آزمایش	D 2217	T-146
تحلیل الک درشت‌دانه و ریزدانه	C 136	T-27
مقدار مصالح ریزتر از الک نمره ۲۰۰	C 117	T-11
تحلیل مکانیکی سنگ‌دانه‌های استخراج شده	-	T-30
تحلیل اندازهٔ ذرات خاک	D 422	T-88
تحلیل الک فیلر	D 546	T-37
آزمایش ارزش ماسه‌ای برای ریزدانه‌های خمیری در خاک‌ها و مصالح دانه‌بندی شده	D 2419	T-176

عنوان	ASTM	AASHTO
حد روانی، حد خمیری و شاخص خمیری خاک‌ها	D 4318	-
شاخص دوام سنگ‌دانه	D 3744	T-210
پایداری در برابر شرایط جوی سنگ‌دانه با استفاده از سولفات سدیم و سولفات منیزیم	C 88	T-104
پایداری در برابر شرایط جوی سنگ‌دانه با یخبندان-ذوب	-	T-103
مقاومت در برابر سایش درشت‌دانه با اندازهٔ کوچک و بزرگ با استفاده از دستگاه لس‌آنجلس	C 131 or C 535	T-96
توده‌های رس و ذرات خردشونده در سنگ‌دانه	C 142	T-l12
دانه‌های بسیار سبک در سنگ‌دانه	C 123	T-113
نامگذاری ترکیبات مصالح معدنی طبیعی	C 294	-
پتانسیل واکنش قلیایی ترکیب سیمان و سنگ‌دانه	C 227	-
واکنش بالقوهٔ سنگ‌دانه‌ها	C 289	-
ذرات پولکی و سوزنی در درشت‌دانه	D 4791	-
پتانسیل تغییر حجمی ترکیب سیمان و سنگ‌دانه	C 342	-
اثربخشی ترکیب مواد معدنی در جلوگیری از انبساط بیش از حد ناشی از واکنش قلیایی سنگ‌دانه‌ها	C 441	-
اثر آب بر پیوستگی مخلوط آسفالتی متراکم شده	D 1075	T-165
پوشش و عریان‌شدگی مخلوط آسفالتی	D 1664	T-182
تعیین درجهٔ پوشش ذرات مخلوط آسفالتی	D 2489	T-195
معادل مشتق نفت و نسبت تقریبی قیر	-	T-270
مقاومت مخلوط آسفالتی متراکم شده در برابر خرابی ناشی از رطوبت	-	T-283
محاسبهٔ درصد جذب سنگ‌دانه در مخلوط آسفالتی	D 4469	-
مقاومت در برابر روانی پلاستیک با دستگاه مارشال	D 1559	-
تغییر شکل و پیوستگی با دستگاه ویم	D 1560	-
رابطهٔ رطوبت و چگالی با استفاده از تخماق ۵/۵ پوندی و ۱۲ اینچ ارتفاع سقوط	D 689	T-99
رابطهٔ رطوبت و چگالی با استفاده از تخماق ۱۰ پوندی و ۱۸ اینچ ارتفاع سقوط	D 1557	T-180
نفوذپذیری دانه‌های خاک	D 2434	T-215
اصلاح ذرات دشت‌دانه در آزمایش تراکم خاک	D 4718	T-224
چگالی خاک و سنگ‌دانه‌های خاک در محل توسط روش هسته‌ای	D 2922	T-238
مقدار رطوبت خاک و سنگ‌دانه‌های خاک در محل توسط روش هسته‌ای	D 3017	T-239
چگالی خاک با استفاده از میز لرزنده	D 4253	-
چگالی خاک در محل توسط روش مخروط ماسه	D 1556	T-191
چگالی خاک در محل توسط روش بالون لاستیکی	D 2167	T-205
مقدار مقاومت R و فشار انبساطی خاک‌های متراکم شده	D 2844	T-190
نسبت باربری کالیفرنیا	C 1883	T-193
پارامترهای مقاومت خاک‌ها توسط متراکم‌کنندهٔ سه محوری	D 2850	T-234
مدول برجهندگی خاک بستر	-	T-274
طبقه‌بندی سه محوری مصالح اساس، خاک‌ها و مخلوط‌های خاکی	D 3397	T-212
وزن مخصوص و جذب ریزدانه	C 128	T-84
وزن مخصوص و جذب درشت‌دانه	C 127	T-85
وزن واحد و حفرات سنگ‌دانه	C 29	T-19
خواص اصطکاکی سطوح هموار با استفاده از یک چرخ واقعی	E 374	T-242
صیقلی‌کردن سریع سنگ‌دانه‌ها با استفاده از چرخ انگلیسی	D 3319	T-279
اندازه‌گیری خواص اصطکاکی سطحی با استفاده از آزمایش آونگ انگلیسی	E303	T-278
رسوبات نامحلول در سنگ‌دانه‌های کربناتی	D 3042	-
مقاومت لغزشی سطوح هموار با استفاده از آزمایش اصطکاک با سرعت متغیر	E 707	-
صیقلی کردن سریع سنگ‌دانه‌ها یا سطوح روسازی با استفاده از دستگاه چرخ کوچک دوار صیقلی‌کننده	E 660	-

عنوان	ASTM	AASHTO
ذرات پولکی یا سوزنی در درشت‌دانه	D 4791	-
شاخص شکل و بافت سنگ‌دانه	D 3398	-
مقاومت درشت‌دانه در برابر تخریب توسط دستگاه سایش میکرودوال	D6928	TP-58
رطوبت سطحی مصالح ریزدانه	C 70	
دانسیته نسبی و جذب آب مصالح درشت دانه	C 127	T 85
دانسیته نسبی و جذب آب مصالح ریز دانه	C 128	T84
درصد تبخیر کل شن و ماسه به روش خشک کردن		T 255
درصد رطوبت کل شن و ماسه به روش خشک کردن	C566	

جدول(۲-۲)- خصوصیات دستور العمل‌های آشتو و ASTM برای سنگدانه‌ها

عنوان	ASTM	AASHTO
ابعاد استاندارد درشت‌دانه	C 448	M-43
درشت‌دانه برای ساختمان روسازی راه و فرودگاه		M-283
طبقه بندی سنگدانه برای اساس یا زیراساس	D 2940	
مصالح سنگدانه و زیراساس، اساس و لایهٔ سطحی خاکی		M-147
مصالح دانه‌ای جهت کنترل پمپاژ مصالح زیر روسازی بتنی		M-155
ریزدانه جهت مخلوط‌های آسفالتی	D1073	M-29
سنگدانه جهت مخلوط‌های آسفالتی	D 692	
فیلر معدنی جهت مخلوط‌های آسفالتی	D 242	M-17
طرح اختلاط مخلوط‌های آسفالتی با استفاده از روش مارشال و ویم		R-12
مصالح شکسته جهت روسازی‌های ماکادام	D 3515	
مصالح شکسته جهت روسازی ماکادام	D 693	
سنگ شکسته، سربارهٔ شکسته و شن جهت بهسازی سطوح آسفالتی	D 1139	
طبقه‌بندی خاک‌ها و سنگ‌دانه‌ها، فیلر و مصالح اساس		M-145
شرایطِ بستر، سنگ‌دانه‌ها و فیلر		M-146
تعاریف واژه‌های مرتبط با مصالح برای روسازی‌ها و راه‌ها	D 8	
اصطلاحات مربوط به بتن و مصالح بتنی	C 125	
نمونه‌برداری تصادفی و راندوم از مصالح ساخته شده	D 3665	

۲-۶- آزمایشهای متعارف سنگدانه ها:

۲-۶-۱- دانه بندی:

دانه بندی سنگدانه، درصد هریک از اندازهٔ دانه‌ها را در مخلوط بیان می‌کند و معمولا بوسیلهٔ درصد سنگدانه‌های عبوری از سوراخ‌های الکهای استاندارد بیان می‌شود. دانه‌بندی[1] سنگدانه‌ها مستقیماً به عملکرد لایه‌های روسازی مرتبط است. به طور کلی دانه‌بندی سنگدانه‌ها به صورت دانه‌بندی گسسته، یکنواخت، خوب و باز دسته‌بندی می‌شود. این دانه‌بندی‌ها در مقیاس نیمه لگاریتمی در شکل (۲-۷) نشان داده شده است. الک‌هایی که معمولاً در تعیین دانه بندی مورد استفاده قرار می‌گیرند، شاملِ الک "2، $\frac{3}{2}$"، "1، $\frac{3}{4}$"، $\frac{1}{2}$"، $\frac{3}{8}$"، شمارهٔ ٤، ٨، ١٦، ٣٠، ٥٠، ١٠٠ و ٢٠٠ یا به ترتیب ٥٠/٨ میلی‌متر، ٣٧/٥ میلی‌متر، ٢٥/٤ میلی‌متر، ١٩/٠ میلی‌متر، ١٢/٥ میلی‌متر، ٩/٥ میلی‌متر، ٤/٧٥ میلی‌متر، ٢/٣٦ میلی‌متر، ١/١٨ میلی‌متر، ٠/٦ میلی‌متر، ٠/٣ میلی‌متر، ٠/١٥ میلی‌متر و ٠/٠٧٥ میلی‌متر است. شماره الک یا برحسب قطر سوراخ(در الک های بزرگتر) و یا تعداد سوراخ در طول ۱ اینچ بیان میشود.

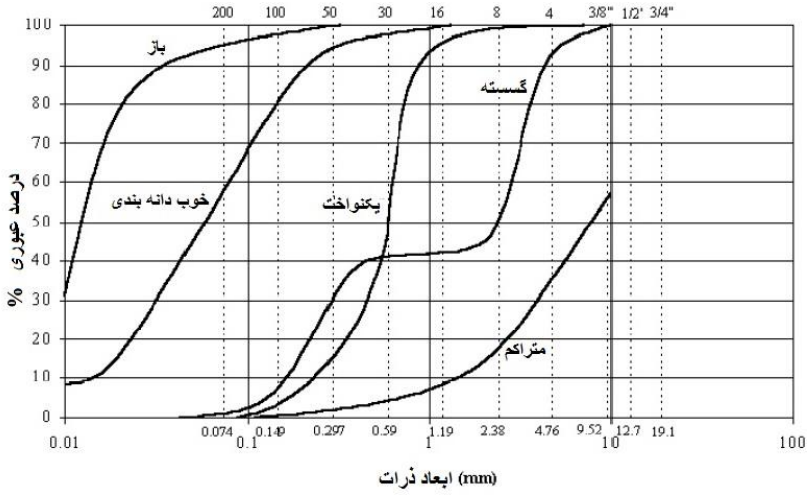
دانه بندی سنگدانه‌ها معمولاً در یک نمودار که در محور قائم آن درصد عبوری از الک‌ها در مقیاس حسابی و اندازهٔ دانه‌ها در محور افقی آن با مقیاس لگاریتمی رسم می‌شود. در عین حال می‌توان با استفاده از روش تامسون و فولور این نمودار خطی را با توان n رسم نمود. فولر و تامسون دریافتند که سنگدانه‌ها زمانی به چگالی حداکثر ممکن خود می‌رسند که طبقه بندیشان از معادلهٔ(۲-٤) بدست آید.

[1]Size distribution

$$p = 100(\frac{d}{D})^n \qquad (٤-٢)$$

شکل(۲-۲):سری الکها و دستگاه لرزاننده جهت تفکیک دانه ها

که در آن (P) درصد عبوری سنگدانه‌ها از الک با اندازهٔ d و (D) اندازه درشت‌ترین سنگدانه در دانـه بنـدی و n تـوان معادلـه است که مقداری برابر ۰/۵ دارد. توجه کنید که ادارهٔ فدرال راه آمریکا برای n مقدار کمتری برابر ۰/٤۵ توصیه می‌نماید. خط چگالی حداکثر فولر برای هر میزان از اندازهٔ درشت‌ترین سنگدانه در نمودار غیر لگاریتمی یک خط راست خواهد گردید.



شکل ۲-۳- نمونه‌ای از دسته بندی های مختلف سنگ‌دانه‌ها

مخلوط سنگدانه‌ها براساس اندازهٔ درشت‌ترین سنگدانه یا اندازهٔ حداکثر اسمی سـنگدانه[1] طراحـی مـی‌شـوند. مطـابق C125 ASTM اندازهٔ درشت‌ترین سنگدانه برابر ریزترین الکی است که ۱۰۰ درصد سنگدانه‌ها از آن عبور کننـد و انـدازهٔ حـداکثر اسـمی سنگدانه برابر با درشت‌ترین الکی است که کمتر از ۱۰ درصد وزنـی سـنگدانه‌هـا را روی خـود نگـه دارد. در روش هـای جدیـد SHARP ،سوپرپیو[2] اندازهٔ درشت‌ترین سنگدانه را به اندازه یک اندازه الک بزرگتر از اندازهٔ حداکثر اسمی سنگدانه می‌داند و انـدازهٔ حداکثر اسمی را یک اندازه الک بزرگتر از اولین الکی که بیش از ۱۰ درصد وزنی مصالح روی آن مانده است، می داند.

[1]The nominal maximum size of aggregate
[2]Superpave

بررسی عبوری از الک هم در شرایط خشک (ASTM C136) و هم در شرایط همراه با آب (C117ASTM) انجام می‌شود. تعیین دقیق مقدار مصالح عبوری از الک نمرهٔ ۲۰۰ باید توسط دستورالعمل (ASTMC117) صورت پذیرد. مدول نرمی[1] که ریزدانه‌های مرتبط با ماسه را نشان می‌دهد، به منظور بیان اندازهٔ ذرات ماسه (ریزی و درشتی) مورد استفاده قرار می‌گیرد. این مدول براساس صدم مجموع درصد تجمعی مانده روی الک‌های استاندارد شمارهٔ ٤، ٨، ١٦، ٣٠، ٥٠ و ١٠٠ از آزمایش الک ماسه تعیین می‌شود. کوچکترین مدول نرمی (ریزدانگی)، نرمی ماسه است.

بر اساس آیین نامه راه ایران طبقه‌بندی دانه‌بندی جهت مصارف مختلف راه منطبق با جدول (۲-٤) میباشد.

در عمل ومیدان اجرایی امکان بکارگیری تعداد زیاد الک و تمامی ابعاد سرندها وجود ندارد تا بتوان به سادگی با اختلاط از هر ابعاد متناسب با نیاز به دانه بندی مطلوب رسید و صرفاً از چند الک محدود استفاده میگردد که و مصالح در ۳ تا ۵ دپوی متفاوت ذخیره میگردند،شایان ذکر است بدلیل حجم بالا و اشکالات موجود نیز در هر دپو معمولا بخش کوچکی از مصالح به آن شماره دپوی خاص تعلق ندارد، به منظور رسیدن به یک دانه بندی مشخص، لازم است سنگدانه‌های مختلف موجود در دپوهای مختلف قرضه با نسبت‌هایی ترکیب شوند. درصد ترکیب سنگدانه‌های عبوری از یک اندازهٔ الک مشخص (P) از سه روش گرافیکی،سعی و خطا و حل چند معادله چند مجهولی مطابق نمونه معادلهٔ (۲- ۵) بدست می‌آید.

$$P = Aa + Bb + Cc + \cdots \qquad (۵-۲)$$

جدول(۲-٤): دانه‌بندی‌پیوسته مخلوط های آسفالتی

شماره دانه‌بندی / اندازه الک	درصد وزنی رد شده از هر الک						
	۱ (اساس قیری)	۲ (اساس‌قیری و آستر)	۳ (اساس‌قیری و آستر)	٤ آسترو رویه	٥ (رویه)	٦ (رویه)	۷ (رویه)
۵۰ میلیمتر(۲اینچ)	۱۰۰	--	--	--	--	--	--
۳۷/۵ میلیمتر(۱/۵اینچ)	۹۰-۱۰۰	۱۰۰	--	--	--	--	--
۲۵ میلیمتر(۱اینچ)	--	۹۰-۱۰۰	۱۰۰	--	--	--	--
۱۹میلیمتر($\frac{3}{4}$اینچ)	۵۶-۸۰	--	۹۰-۱۰۰	۱۰۰	--	--	--
۱۲/۵ میلیمتر($\frac{1}{2}$اینچ)	--	۵۶-۸۰	--	۹۰-۱۰۰	۱۰۰	--	--
۹/۵ میلیمتر($\frac{3}{8}$اینچ)	--	--	۵۶-۸۰	--	۹۰-۱۰۰	۱۰۰	--
۴/۷۵میلیمتر(شماره۴)	۲۳-۵۳	۲۹-۵۹	۳۵-۶۵	۴۴-۷۴	۵۵-۸۵	۸۰-۱۰۰	۱۰۰
۲/۳۶شماره میلیمتر۸)	۱۵-۴۱	۱۹-۴۵	۲۳-۴۹	۲۸-۵۸	۳۲-۶۷	۶۵-۱۰۰	۹۵-۱۰۰
۱/۱۸میلیمتر(شماره۱۶)	--	--	--	--	--	۴۰-۸۰	۸۵-۱۰۰
۰/۶رتمیلیم(شماره۳۰)	--	--	--	--	--	۲۵-۶۵	۷۰-۹۵
۰/۳میلیمتر(شماره۵۰)	۴-۱۶	۵-۱۷	۵-۱۹	۵-۲۱	۷-۲۳	۷-۴۰	۴۵-۷۵
۰/۱۵میلیمتر(شماره (۱۰۰)	--	--	--	--	--	۳-۲۰	۲۰-۴۰
۰/۰۷۵شماره(میلیمتر۲۰۰)	۰-۶	۱-۷	۲-۸	۲-۱۰	۲-۱۰	۲-۱۰	۹-۲۰

که در آن A، B، C و ... درصد هر سنگدانهٔ عبوری از الک مشخص و a، b، c و .... سهم هر سنگدانهٔ مورد نیاز برای رسیدن به رده‌بندی مشخص است. باید توجه نمود که مجموع a ،b ، c و .... برابر یک می‌باشد

[1]Fineness modulus

مثال(۱-۲):سه نوع دپوی مصالح Aو Bو C را در اختیار داریم و آزمایش دانه‌بندی هر کدام نتایجی مطابق جدول زیر را ارائه نموده است (درصد عبوری)، در نظر است بتن آسفالتی با حدود دانه‌بندی مصالح مشخصه زیر تولید نماییم، درصدهای اختلاط وزنی پیشنهادی از هر دپو را جهت نزدیکترین انطباق با میانگین حدود خواسته شده را ارائه نمایید؟

الک(ابعاد) mm / شماره	۱۹ 3/4 "	۱۲/۵ 1/2 "	۹/۵ 3/8"	٤/۷۵ # 4	۲/۳٦ #8	۰/٦۰ #30	۰/۳۰ #50	۰/۱۵ #100	۰/۰۷۵ #200
مصالح منتخب	۱۰۰	۸۰-۱۰۰	۷۰-۹۰	۵۰-۷۰	۳۵-۵۰	۱۸-۲۹	۱۳-۲۳	۸-۱٦	٤-۱۰
دپوی A	۱۰۰	۹۰	۵۹	۱٦	۳/۲	۱/۱	-	-	-
دپوی B	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۹٦	۸۲	۵۱	۳٦	۲۱	۹/۲
دپوی C	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۹۸	۹۳	۸۲

پاسخ: جدول فوق نشان میدهد که مصالح بزرگتر از ۲/۳٦ عمدتاً میبایست از دپوی A تامین گردد و مقدار جزئی از آن از دپوی B تامین میشود و دپوی C نقشی در تامین آن ندارد. در عین حال برعکس این موضوع جهت تامین مصالح ریزتر از ۰/۰۷۵ صادق است. با توجه به این موارد الکهای ۸ و ۲۰۰ به عنوان الکهای بحرانی انتخاب می‌شوند که به این ترتیب منحنی دانه‌بندی مخلوط در نقاط ذکر شده بر منحنی مشخصه منطبق خواهد گردید. لذا داریم:

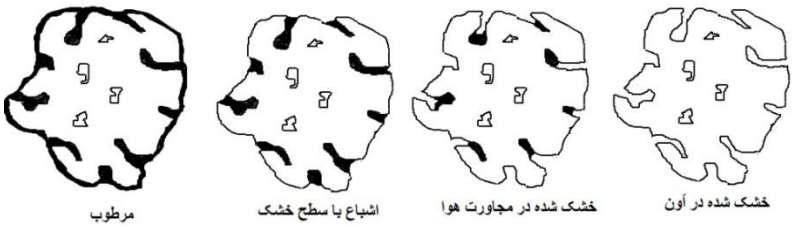
$$\begin{cases} 3.2\,a + 82\,b + 100\,c = 42.5 \\ 0\;a + 9.2\,b + 82\,c = 7 \\ a + b + c = 1 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} a = 0.51 \\ b = 0.46 \\ c = 0.03 \end{cases}$$

نتیجه اختلاط با نسبتهای فوق مطابق جدول زیر خواهد شد که اختلاف با متوسط دانه‌بندی مشخصه نشان میدهد که درصدهای محاسباتی نسبتاً مطلوب است و نیازی به اصلاح و یا سعی و خطای دیگری نمیباشد

الک(ابعاد)	3/4 "	1/2 "	3/8"	# 4	#8	#30	#50	#100	#200
مصالح منتخب	۱۰۰	۸۰-۱۰۰	۷۰-۹۰	۵۰-۷۰	۳۵-۵۰	۱۸-۲۹	۱۳-۲۳	۸-۱٦	٤-۱۰
مصالح تولیدی	۱۰۰	۹٤/۹	۷۹/۰۹	۵۵/۳۲	٤۳/۳۵	۲۷/۰۲	۱۹/۵	۱۲/٤۵	٦/٦۹

۲-۶-۲- وزن مخصوص و جذب آب مصالح سنگی ASTM C127, AASHTO T85 و ASTMC128

قبل از شرح آزمایشات یادآوری در خصوص پارامتر بسیار مهم در فرآیند تولید مصالح و بتن سیمانی و خصوصاً بتن آسفالتی یعنی رطوبت صورت میدهیم. مصالح سنگی در تولید بتن سیمانی میبایست از لحاظ میزان رطوبت مصالح و مقدار موثر آن در مصالح بدقت ارزیابی گردد و با توجه به تاثیر آن در طرح اختلاط بتن عدم تغییر میزان رطوبت مصالح، در تمامی زمانهای تولید میبایست مد نظر قرار گیرد. در تولید آسفالت رطوبت میبایست بصورت کامل از بین برود و در تمامی انواع مخلوطهای آسفالتی(بجز آسفالت سرد با قیرهای امولیسیونی) وجود رطوبت به عنوان نقطه ضعف مصالح بوده و میبایست از حصر رطوبت در داخل مصالح پس از پوشش با قیر جلوگیری گرد. از لحاظ شرایط وجود رطوبت مصالح توانند به چها حالت: کاملاً خشک (در گرمخانه) ، خشک شده در مجاورت هوا، مرطوب یا اشباع با سطح خشک و کاملاً مرطوب ،مطابق برشی از یک دانه مصالح و شکل شماتیک زیر، تقسیم بندی نمود. لیست برخی از آزمایشات مرتبط در انتهای جدول ۲-۳ آورده شده است.



آزمایشات تعیین وزن مخصوص براساس اصل ارشمیدس استوار است که طبق آن از وزن جسم غوطه‌ور در آب به میزان وزن آب هم حجمش کم می‌شود. در موضوع وزن مخصوص تعاریف مختلفی از جمله موارد زیر وجود دارد.

وزن مخصوص ظاهری[1]:وزن مخصوص ظاهری، نسبت وزن خشک سنگدانه‌ها به وزن آب معادل حجم بخش جامد سنگدانه‌ها (به جز خلل و فرج قابل نفوذ و مرتبط با سطح سنگدانه) است. دانسیته حاصل از این مقدار(Gsa) بیشترین مقدار را ارائه میدهد و نسبت جرم واحد حجم بخشهای جامد و نفوذ ناپذیر مصالح به جرم آب مقطر بدون حباب هوای هم حجم آن در دمای مشخص است.

وزن مخصوص حقیقی[2](واقعی): برابر است با نسبت وزن خشک سنگدانه‌ها به وزن آب معادل حجم سنگدانه‌ها شامل هر دوی خلل و فرج قابل نفوذ و غیر قابل نفوذ .نسبت دانسیته واقعی(Gsb) کمتر از دانسیته ظاهری و برابر نسبت جرم واحد حجم دانه های شن و ماسه(بخش جامد و خلل و فرج مرتبط با سطح) به جرم آب مقطر بدون گاز هم حجم آن در دمای مشخص است.

وزن مخصوص اشباع با سطح خشک[3]: وزن مخصوص اشباع با سطح خشک برابر است با نسبت وزن سنگدانه‌ها بهمراه وزن آب داخل حفرات قابل نفوذ به وزن معادل حجم سنگدانه‌ها شامل هر دوی خلل و فرج قابل نفوذ و غیر قابل نفوذ است.

معادلات این وزن مخصوص‌ها و درصد جذب آب در ادامه آمده است:

$$\text{وزن مخصوص ظاهری} = G_{sa} = \frac{\gamma_a}{\gamma_w} = \frac{W_{dry}}{V_a \cdot \gamma_w} = \frac{A}{\mathrm{A-C}} \qquad (۲-۶)$$

$$\text{وزن مخصوص حقیقی} = G_{sb} = \frac{\gamma_{bdry}}{\gamma_w} = \frac{W_{dry}}{V_b \cdot \gamma_w} = \frac{A}{B-\mathrm{C}} \qquad (۲-۷)$$

$$\text{وزن مخصوص اشباع با سطح خشک} = SSD = \frac{\gamma_{bSSD}}{\gamma_w} = \frac{W_{SSD}}{V_b \cdot \gamma_w} = \frac{B}{B-C} \qquad (۲-۸)$$

$$\text{جذب آب } (\%) = A_b = \frac{B-A}{\mathrm{A}} \times 100 \qquad (۲-۹)$$

$$G_{se} \cong \frac{G_{sa}+G_{sb}}{2} \qquad (۲-۱۰)$$

که در آن‌ها:

A = وزن نمونهٔ سنگدانهٔ خشک شده در اون در هوا

B= وزن نمونهٔ سنگدانهٔ اشباع با سطح خشک در هوا

C= وزن نمونهٔ سنگدانهٔ اشباع در آب

وزن مخصوص ریزدانه توسط پیکنومتر در شرایط غوطه‌وری نمونهٔ اشباع سنگدانه بدست می‌آید. پیکنومتر، یک شیشهٔ نورد شده، وارونه، همزن‌دار و تحت مکش است که حباب‌های هوا را کاملاً خارج می‌نماید. وزن کل پیکنومتر، نمونه و آب تعیین می‌شود. سپس ریزدانه‌ها از پیکنومتر خارج می‌شوند و خشک می‌گردند تا به وزن ثابتی برسند و سپس وزن می‌شوند. وزن پیکنومتر نیز بدست می‌آید و سرانجام از روابط ذیل وزن مخصوص ظاهری، حقیقی و اشباع با سطح خشک و درصد جذب آب محاسبه می‌شود.

$$\text{وزن مخصوص ظاهری} = \frac{A}{D+A-\mathrm{C}} \qquad (۲-۱۱)$$

$$\text{وزن مخصوص حقیقی} = \frac{A}{\mathrm{B+D-C}} \qquad (۲-۱۲)$$

$$\text{وزن مخصوص اشباع با سطح خشک} = \frac{D}{B+D-C} \qquad (۲-۱۳)$$

[1]Apparent specific gravity
[2]Bulk specific gravity
[3]Bulk specific gravity – saturated, surface dry (SSD)

$$\text{درصد جذب آب} = \frac{D-A}{\mathrm{A}} \times 100 \qquad (۱٤-۲)$$

که در آن‌ها:

A = وزن نمونهٔ کاملاً خشک شدهٔ در اون سنگدانه در هوا؛

B= وزن پیکنومتر پرشده از آب؛

C= وزن پیکنومتر با نمونه و پر شده از آب تا خط کالیبراسیون؛

D= وزن نمونهٔ سنگدانهٔ اشباع با سطح خشک.

. ترکیب وزن مخصوص (G) و درصد جذب آب به ترتیب با استفاده از معادلات (۲-۵) و (۲- ٦) محاسبه می‌شود

$$\text{وزن مخصوص مصالح ترکیبی } G = \frac{1}{\frac{a}{G_A}+\frac{b}{G_B}+\frac{C}{G_c}+\cdots} \qquad (۱۵-۲)$$

$$\text{درصد جذب آب مصالح ترکیبی} = \mathrm{a}.A_{bA} + b.A_{bB} + c.A_{bC} + \cdots \qquad (۱٦-۲)$$

که در آن‌ها b،a و c به ترتیب سهم (درصد)سنگدانه‌های مورد استفاده از سنگدانه‌های A، Bو C است.

مثال(۲-۲):نمونه ای از مصالح درشت دانه که در اون خشک شده است دارای جرمی بمیزان ۳/٤٥ کیلوگرم است. در صورتیکه دانسیته نسبی ظاهری و دانسیته واقعی نمونه خشک به ترتیب برابر ۱/۸۱ و ۱/۷٤ باشد، دانسیته واقعی نمونه با سطح خشک را محاسبه نمایید؟

$$G_{sb} = \frac{W_{dry}}{V_b.\gamma_w} = \frac{3.45 \times 9.81}{V_b.\gamma_w} = 1.74 \;\rightarrow\; V_b.\gamma_w = 19.451$$

$$G_{sa} = \frac{W_{dry}}{V_a.\gamma_w} = \frac{3.45 \times 9.81}{V_a.\gamma_w} = 1.81 \;\rightarrow\; V_a.\gamma_w = 18.69$$

$$SSD = \frac{\gamma_{bSSD}}{\gamma_w} = \frac{W_{SSD}}{V_b.\gamma_w} = \frac{(w_w + w_{dry})}{19.451} = \frac{((V_b - V_a)\gamma_w + w_{dry}}{19.451} = \frac{0.761 + 33.844}{19.451} = 1.779$$

مثال(۲-۳):جهت محاسبه دانسیته مصالح ریزدانه از پیکنومتر استفاده شده است و دانسیته ظاهری مصالح ۱/۹۳ و وزن نمونه با ظرف و پر از آب ۱۳/۱نیوتن است و جرم پیکنومتر که ٦۰۰ میلی لیتر گنجایش آب دارد، ۵۰۰ گرم است،مطلوبست محاسبه حجم ظاهری نمونه؟

$$D = \left(\frac{600}{1000} \times 1 + 0.5\right) \times 9.81 = 10.791\ N$$

$$\text{وزن مخصوص ظاهری} = G_{sa} = \frac{A}{D + A - \mathrm{C}} = \frac{A}{10.791 + A - 13.1} = 1.93 \rightarrow A = 4.792\ N$$

$$V_a = \frac{A + D - C}{\gamma_W} = \frac{4.792 + 10.791 - 13.1}{9810} = 0.000253\ m^3 = 253.11\ cm^3$$

۲-۶-۳- تعیین مقاومت سایشی مصالح(سایش لس آنجلس)ASTM C131, C535, AASHTO T96, ISIRI 448

آزمایش تعیین افت وزنی در برابر ساییدگی مصالح سنگی درشت دانه به وسیلهٔ ماشین لس آنجلس به عنوان نشانه‌ای از تحمل سنگدانه‌های درشت با ترکیبات معدنی مشابه در برابر بارهای اعمال شده با مکانیزم سایش و ضربه می‌باشد. سنگدانه‌های مصرفی در مخلوط‌های آسفالتی، استخوان‌بندی لایهٔ روسازی بوده و نقش اصلی در جذب و انتقال بارهای اعمال شده به روسازی را ایفا می‌نمایند. به دلیل ماهیت دینامیکی اغلب بارهای اعمال شده به جسم راه، استفاده از مصالح سنگی مقاوم در برابر اینگونه بارها اجتناب ناپذیر می‌باشد. آزمایش افت وزنی در برابر ساییدگی، معیار مناسبی را برای پذیرش مصالح سنگی ارائه می‌نماید.

این آزمایش در حقیقت افت وزنی مصالح سنگی را در اثر ضربه و سایش درون استوانه مدور به همراه تعدادی گلوله فولادی را با پارامترهایی نظیر موارد ذیل به عنوان شاخص مقاومت سایش لس آنجلس بیان مینماید:

- نمونه بین ۲۵۰۰ تا ۵۰۰۰ گرم (متناسب با دانه بندی) از مصالح کوچکتر از ۳۸.۵ و بزرگتر از ۱۹ میلی متر کـاملا شسته شده و خشک شده
- گلوله های فولادی بین ٦ تا ۱۲ عدد(متناسب با دانه بندی) به قطر ٤٦/۸ میلی متر و وزن ۳۹۰ تا ٤٤٥ گرم
- دوران با سرعت ۳۰ تا ۳۳ دور در دقیقه و تعداددور ۵۰۰ تا ۱۰۰۰ دور (متناسب با سایز دانه ها)
- مصالح خروجی روی الک شمارهٔ ۱۲ سرند ،شسته ،خشک و توزین میکنیم. و بعنوان مصالح باقیمانـده محسـوب میگردند.

$$\text{درصد افت وزنی در اثر سایش} = \frac{\text{وزن نهایی نمونه}-\text{وزن اولیه نمونه}}{\text{وزن اولیه نمونه}} \times 100 \qquad (۲-۱۷)$$

جدول(۲-۵): مقادیر تقریبی از افت سایش برخی از مصالح

نوع سنگ	سنگهای آذرین سخت	ماسه سنگ و سنگ آهک نرم	بازالت	دولومیت	ژنیس	گرانیت	سنگ آهک	کوارتز
مقدار افت سایشی لس آنجلس	۱۰	۶۰	۱۰-۷۰	۱۸-۳۰	۳۳-۵۷	۲۷-۴۹	۱۹-۳۰	۲۰-۳۵

شکل(۲-٤): شکل شماتیک از دستگاه سایش لس آنجلس

آزمایشات دیگری جهت ارزیابی مقاومت مصالح در برابر ضربه و سایش و .. نیزاستاندارد گردیده اند که از جمله آنها میتـوان به موارد زیر اشاره نمود:

آزمایش ضربه صفحه(ASTM D3) که مقاومت نمونه استوانه ای را در برابر ضربه چکشی که از ارتفاع های مختلف بـه طـور آزاد رها میشود، اندازه گیری می کند.

میزان ضربه سنگدانه ها[1] (AIV) (BS 812-part112) نیز بعنوان معیاری جهت محاسبه ضربه مطرح بکار گرفته شود و مبنای آن نیز میزان عبوری مصالح از الک شماره ۸ ، مصالح درشت دانه ای که قبل از آن در یک قالب استوانه‌ای تحت ضـربه هـای چکـش استاندارد قرار گرفته اند. این آزمایش با همین شماره (part 110) با تفاوت نحوه بارگذاری بصورت یک بـار پیوسـته پیسـتونی کـه بتدریج افزایش میابد ،صورت میپذیرد.(ACV)

آزمایش میکرو–دوال (ASTM D6928) نیز با تعیین اثر متقابل بین ذرات مصالح سنگی و گلوله‌های فولادی در حضـور آب و سنجش افت وزنی مصالح در عبور از الک نمرهٔ۱٦ (1.18 mm) مقاومت مصالح در برابر سایش را ارائه میدهد.

[1] Aggregate Impact Value

شکل(۲-۵): بخشهای آزمایش میکرو-دوال

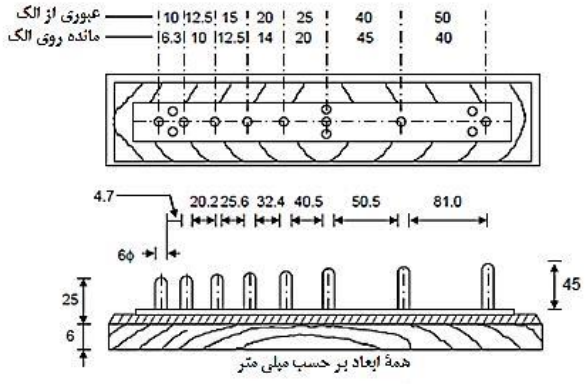
۲-۶-۴- تعیین ضریب تطویل مصالح درشت‌دانه BS 812 Section 105.2

شکل سنگدانه‌ها نقش بسزایی در خواص مخلوط‌های آسفالتی ایفا می‌نماید. استفاده از سنگدانه‌های بیش از حد دراز و یا پهن علاوه بر کاهش قابل ملاحظهٔ کارایی و روانی آسفالت باعث کاهش استحکام و پایداری این مخلوط‌ها و شکنده بودن مصالح در اثر فرآیند تراکم (غلطک زنی) و همچنین عبور بار ترافیکی خواهد شد.

بکارگیری سنگدانه‌های با شکل تقریبی مکعب مربع، مناسب‌ترین حالت برای حصول کیفیت مرتبط با شکل مصالح در مخلوطهای آسفالتی بشمار میرود. ولیکن جداسازی چنین سنگدانه‌هایی علاوه بر افزایش هزینه‌های تولید، بسیار دشوار و مستلزم صرف زمان طولانی می‌باشد، لذا آیین‌نامه‌های معتبر ، از نظر شکل سنگدانه‌ها، معیارهایی برای پذیرش ارائه می‌نمایند. براساس آیین‌نامهٔ روسازی ایران(نشریهٔ شمارهٔ ۲۳٤) حداکثر مقدار دانه‌های پهن[1](ورقه ای) و دراز[2](تطویل) سنگدانه‌های مصرفی در بتن آسفالتی ۱۵ درصد می باشد. و بازنگری و اصلاح فرآیند خردایش و یا تغییر نوع سنگ شکن و برخی پارامترهای عملکردی دستگاهها ممکن از تغییراتی را در میزان آنها ایجاد نماید.

سنگدانه‌های مطول(سوزنی) علاوه بر کاهش کارایی مخلوط‌های آسفالتی، موجب عدم قفل و بست مناسب سنگدانه‌ها و در نتیجه تقلیل پارامتر مقاومت مارشال، افزایش درصد فضای خالی آسفالت، نفوذپذیری زیاد و عملکرد نامناسب قشر آسفالتی در برابر عوامل محیطی و بارهای ترافیکی و نهایتاً کاهش محسوس پایداری و عمر مفید روسازی آسفالتی خواهد شد.

سنگدانه‌هایی به عنوان مصالح طویل(سوزنی) طبقه‌بندی می‌شوند که دارای طولی بزرگ‌تر از ۱/۸ میانگین اندازه الک‌هایشان باشند. بدین معنی که بزرگترین بعدشان بسیار بزرگتر از میانگین اندازه متوسط اندازه سوراخ‌های آخرین الک رد شده و مانده روی آن است. این آزمایش برای مصالح عبوری از الک ٦/۳ میلی‌متر و یا مصالح مانده روی الک ۵۰ میلی‌متر کاربرد ندارد.



شکل(۲-٦): وسیله تشخیص مصالح طویل(سوزنی)

[1]Flakiness aggregates
[2]Length aggregates

میزان مصالح مورد نیاز جهت انجام آزمایش از ماندهٔ روی الک‌ها ی با اندازه ۵۰ ،۳۷/۵ ،۲۸ ،۲۰ ،۱٤ ،۱۰ و٦/۳ میلی‌متـر و از ۳۵ تا ۰/۵ کیلوگرم متغیر است.

$$\text{ضریب تطویل} = \frac{M3}{M2} \times 100 \qquad (۱۸-۲)$$

M_2 جرم کل مصالح تفکیک شده

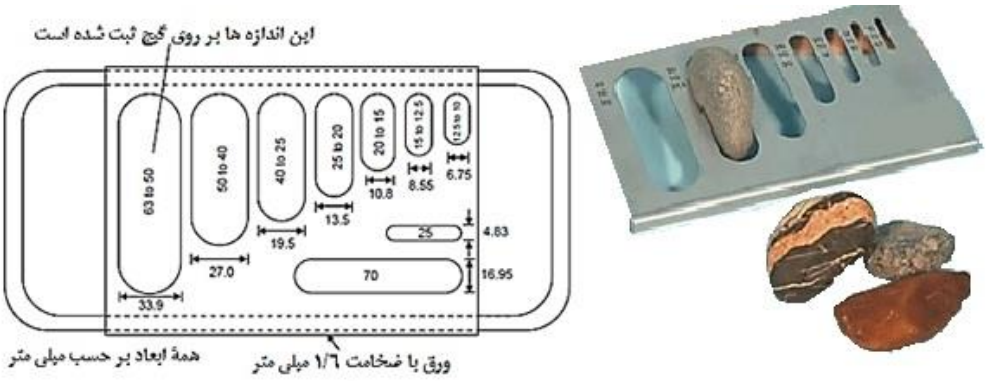
M_3 جرم کل سنگدانه‌های طویل

ضریب تطویل به نزدیک‌ترین عدد صحیح گرد می‌شود

۲-۶-۵- آزمایش تعیین ضریب تورق مصالح درشت‌دانه BS 812 Section 105.1

نظیر شرایط و دلایلی که در بخش قبلی بیان شد سنگدانه هایی نیز وجود دارند که مقاومتی کمتر از مقاومت مشخصهٔ متوسط سنگدانه‌های مشابه مانده روی همان الک را دارندو به عنوان مصالح متورق(پولکی) طبقه‌بندی می‌شوند که دارای ضخامتی کمتـر از ۰/٦ میانگین اندازه الک‌هایشان هستند. ضریب تورق یا پولکی سنگدانه‌ها با جداسازی مصـالح تخـت و از نسـبت جـرم مصـالح تخت به جرم کل مصالح مورد آزمایش بدست می‌آید.

میزان مصالح مورد نیاز جهت انجام آزمایش از ماندهٔ روی الک‌ها ی با اندازه٦۳، ۵۰ ،۳۷/۵ ،۲۸ ،۲۰ ،۱٤ ،۱۰ و٦/۳ میلی‌متر و از ۵۰ تا ۰/۵ کیلوگرم متغیر است.



شکل(۲-۷): وسیله سنجش پولکی بودن مصالح سنگی

$$\text{ضریب تورق} = \frac{M3}{M2} \times 100 \qquad (۱۹-۲)$$

M_3 مجموع تمام ذرات عبور کرده از شکاف‌ها M_2 جرم کل مصالح باقیمانده

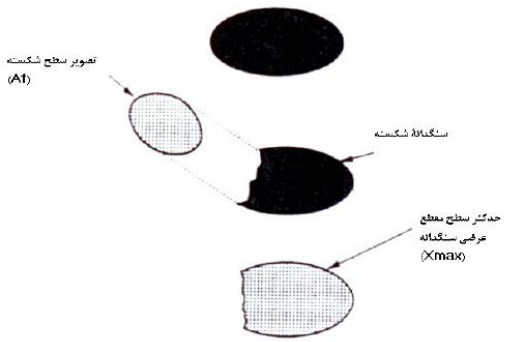
۲-۶-۶- آزمایش تعیین درصد ذرات شکسته در مصالح سنگی درشت‌دانه ASTM D5821

تعیین درصد جرمی یا درصد عددی مصالح سنگی درشت‌دانه شکسته شده‌ای که منطبق بر شروط مشخصـی باشـند را در بـر می‌گیرد. بعضی از مشخصات فنی دارای الزاماتی در رابطه با درصد شکستگی بـه منظـور افـزایش اصـطکاک داخلـی بـین ذرات و افزایش اصطکاک و کیفیت بافت مصالح سنگی در رویه‌های روسازی هستند.

یک سطح زاویه دار وگوشه‌دار، زبر یا شکسته یک سنگدانه که در اثر عملیات خردایش سنگ توسط وسایل مصـنوعی یـا بـه وسیله طبیعت ایجاد شود را وجه شکسته مینامند.

برابر استاندارد یک وجه وقتی شکسته در نظر گرفته می‌شود که مساحت تصویر سطح مورد نظر حداقل به اندازه یـک چهـارم مساحت تصویر بزرگ‌ترین سطح سنگدانه باشد.(شکل ۲-۸)

سنگدانه شکسته سنگدانه‌ای است که حداقل کمترین تعداد سطوح شکسته مورد نظر را داشته باشد.(یک یا دو وجه)



یک سطح وقتی سطح شکسته در نظر گرفته خواهد شد که شرط $Af \geq 0.25Xmax$ برقرار باشد

شکل(۲-۸): تصویر سنگدانه شکسته

سنگدانه های شکسته به جهت اصطکاک سطحی، از توان باربری، مقاومت کششی و توان خستگی بیشتری نسبت بـه مصـالح گردگوشه و طبیعی برخوردار هستند. در عین حال، در کنترل تغییر شکل‌های قائم و جانبی به ویژه تغییر شکل‌های مانـدگار بسـیار تأثیرگذار می‌باشند. به طور کلی بهترین نوع مصالح سنگی مورد مصرف در مخلوط بتن آسفالتی، مصالح مکعبی شکل و شکسته بـا گوشه‌های نسبتاً تیز و سطوح زبر می‌باشد.

در مشخصات فنی و عمومی راه(نشریهٔ شمارهٔ ۱۰۱)، درصد شکستگی مصالح سنگی مورد اسـتفاده در آسـفالت، حـداقل ۸۰ درصد و در دو جبهه تعیین گردیده است. البته برای قشرهای اساس قیری و آسفالت سرد مخلوط در محـل، درصـد شکسـتگی بـه ترتیب ۵۰ و ٦۵ درصد در یک جبهه ارائه شده است.برای آسفالت‌های سطحی، قشـر آسـتر(بیندر) و همچنـین قشـر رویـه(توپکا)، مقدار حداقل شکستگی در دو جبهه به ترتیب ٦۰ ، ۸۰ و ۹۰ درصد محدود گردیده است. این آزمایش بصـورت تفکیـک چشـمی صورت می‌پذیرد.

$$P = [\frac{F}{(F+N)}] \times 100 \qquad (۲۰-۲)$$

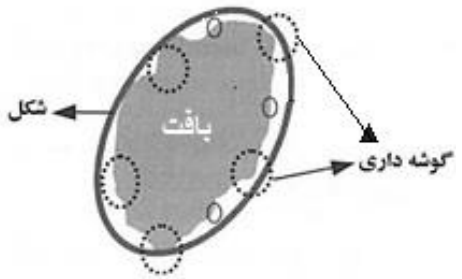
P :درصد ذرات با تعداد وجوه شکسته مورد نظر F :جرم ذراتی که حداقل تعداد وجوه شکسته لازم را دارند. N :جـرم ذراتی که در گروه ذرات غیرشکسته قرار دارند.

زاویه داری و درصد شکستگی در مصالح ریزدانه (کوچکتر از ۲/۳٦) نیز توسط آزمایش AASHTO TP33 قابلیت تعیین دارد.

ساختمان خلل و فرج[1] به اندازه، حجم و شکل فضاهای خالی درون ذرات سنگدانه‌ها اشاره دارد. برای سنگدانه‌هـا حجـم زیاد خلل و فرج نفوذپذیر مطلوب نیست. حجم زیاد خلل و فرج‌ها، سنگدانه‌ها را در معرض تخریـب و شکسـت در اثـر چرخـهٔ مداوم یخبندان – ذوب یا تر و خشک شدن قرار میدهد. در مخلوط‌های آسفالتی داغ، حجم زیاد خلل و فرج نفوذپذیر، جذب قیر و نتیجتاً مصرف آن را افزایش می‌دهد. همچنین، یک سنگدانهٔ متخلخل، احتمال جذب اجزاء روغنی قیر را افزایش میدهـد و مـانع از مستحکم شدن سطحی می‌گردد و در نتیجه احتمال عریان‌شدگی[2] و شن‌زدگی[3] آسفالت را افزایش می‌دهد.

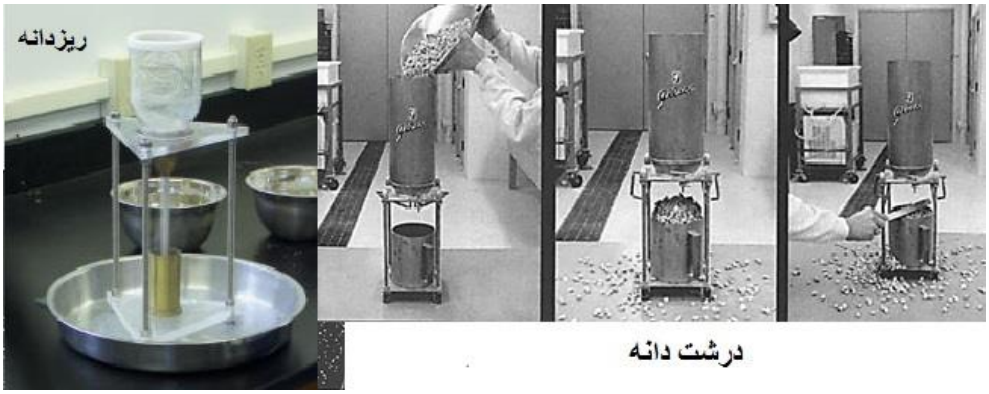
هندسهٔ دانه سنگی نیز می‌تواند به طور کلی در سه خاصیت شامل شکل[4]،گوشه‌داری (گرد گوشه‌ای)[5] و بافت سـطحی[6] بیـان شود. شکل ۲-۹ تفاوت بین این خصوصیت‌ها را نشان می‌دهد. شکل، تنوع در خصوصیات ذره را منعکس می‌کند. گوشه‌داری تنوع در گوشهٔ ذرات را نشان می‌دهد. بافت سطحی به منظور توصیف بی‌نظمی یا زبری در مقیاس بسـیار کوچـک مـورد اسـتفاده قـرار می‌گیرد. بافت عمدتاً تابعی از کانی سنگدانه است در حالیکه گوشه‌داری تحت تأثیر روش‌های خرد کردن سنگ قرار دارد.

[1]Pore structure
[2]Stripping
[3]Raveling
[4]Form (Shape)
[5]Angularity (roundness)
[6]Surface texture



شکل(۲-۹): اجزاء خصوصیات شکل سنگ‌دانه: شکل، گوشه‌داری و بافت

زاویه داری ریزدانه ها می‌تواند با استفاده از روش (ASTM Cl252) تعیین شود. این روش اغلب به آزمایش مصالح سنگی ریزدانه گوشه‌دار(زاویه دار) (FAA[1]) معروف است. این آزمایش به این صورت انجام می‌پذیرد که ریزدانه از یک فاصلهٔ ثابت و از طریق یک روزنه استاندارد به درون یک ظرف مشخص فرو می‌ریزد، تخلخل پایین به مصالح سنگی ریز گردگوشه با سطح صاف بستگی دارد،که باعث انباشتگی نزدیکتر ذرات می شود..این روش توسط سوپرپیو(روش روسازی ممتاز) برای تعیین گوشه‌داری ریزدانه ایجاد شده است تا براساس آن، ریزدانه اصطکاک درونی کافی به منظور مقاومت در برابر شیارشدگی مخلوط آسفالتی داشته باشد. وسیلهٔ آزمایشگاهی استفاده شده برای گوشه‌داری ریزدانه در شکل ۱-۱۰ نشان داده شده است.



شکل ۲-۱۰- دستگاه های تعیین درصد فضای خالی متراکم نشدهٔ ریزدانه و درشت دانه

AASHTO TP56 روش مشابهی را به منظور تعیین گوشه‌داری درشت‌دانه ارائه کرده است. وسیلهٔ آزمایشگاهی آن در شکل ۱-۱۰ آمده است.

روش ASTM D3398، جهت بدست آوردن یک اندیس از شکل و بافت ذرات سنگدانه انباشته بکار میرود. این آزمایش براساس اندازه‌گیری تغییرات فضای خالی نمونهٔ سنگدانه متراکم شده در قالب استاندارد، استوار است. این شاخص، اثر ترکیبی شکل،بافت و زاویه داری(گوشه‌داری) مصالح سنگی یکنواخت را تعیین می‌کند. که این شاخص با استفاده از معادلهٔ ذیل محاسبه می‌شود:

$$I_a = 1.25V_{10} - 0.25V_{50} - 32.0 \qquad (۱۳-۱)$$

که در آن: I_a مقدار شاخص ذرات سنگدانه، V_{10} درصد تخلخل مصالح متراکم شده با ۱۰ ضربه در هر لایه و V_{50} درصد فضای خالی مصالح متراکم شده با ۵۰ ضربه در هر لایه است.

گوشه‌داری درشت دانه توسط روش (ASTM D5821) اندازه‌گیری می‌شود. این روش مبتنی بر ارزیابی چشمی تک تک سنگدانه‌ها به منظور تعیین تعداد وجوه شکسته شده است. این روش اخیراً در سیستم سوپرپیو برای ارزیابی زاویه‌داری درشت‌دانهٔ مخلوط آسفالتی داغ، استفاده می‌شود. درصد وجوه شکسته شدهٔ سنگدانه (یک وجه، دو یا بیش از دو وجه) با گوشه‌داری مرتبط است. شکل درشت‌دانه توسط تعیین درصد تعداد یا وزن ذرات سوزنی، پولکی در نمونهٔ درشت‌دانه توسط روش (ASTM D

[1] Fine Aggregate Angularity

4791) مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. این روش از وسیله‌ای به نام کولیس استفاده و با استفاده از آن، نسبت ابعاد سنگدانه را اندازه‌گیری می‌کند سنگدانه‌ها به ترتیب براساس نسبت‌های نامطلوب عرض به ضخامت یا طول به عرض دسته‌بندی می‌شوند. ویژگی سنگدانه در سیستم سوپرپیوتوسط مقایسهٔ طول به ضخامتش یا بزرگترین بعد به کوچکترین بعدش مشخص می‌گردد.

در سالهای اخیر روش‌های تحلیلی تصاویر با هدف بررسی کمیِ شکل، گوشه داری و بافت سنگدانه گسترش یافته است. این روش برتصاویر گرفته شده از سنگدانه‌ها تکیه دارد و سپس از توابع ریاضی به منظور توصیف هندسهٔ آن استفاده می‌نماید.

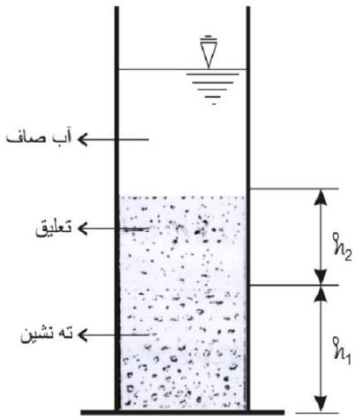
۲–۶–۷– آزمایش تمیزی مصالح ریز دانه – ارزش ماسه‌ای SE AASHTO T176, ASTM D2419

این آزمایش به عنوان یک آزمایش صحرایی سریع، جهت تعیین نسبت ذرات ریز یا مواد رسی در خاک‌ها یا مصالح دانه‌بندی شده به کار می‌رود.در این آزمایش مصالح عبوری از الک نمرهٔ ٤ و به حجمی به میزان ۸۵ میلی لیتر را با ۱۰۱/٦ میلی متر(٤ اینچ در استوانه مدرج استاندارد) از محلول استوک رقیق شده درون استوانه مدرج ریخته و بر روی تکان دهندهٔ مکانیکی قرار داده و پس از ٤٥ ثانیه ، سیلندر را بمدت ۲۰ دقیقه ساکن قرار میدهیم و با قرائت سطح کل مصالح(عدد رس) و سپس فرو بردن میله وزنه دار تا سطح ماسه را بدست می آوریم.

ارزش ماسه ای را با دقت ۰/۱ و با استفاده از فرمول زیر محاسبه کنید

$$\text{ارزش ماسه ای SE} = \frac{\text{عدد ماسه}}{\text{عدد رس}} \times 100 = \frac{h_1}{h_1+h_2} \times 100 \qquad (۲۱–۲)$$

عدد محاسبه شده را به نزدیک ترین عدد صحیح بزرگ تر گرد کنید.



شکل(۲–۱۱): مراحل قرائت ستون رس و ماسه در محاسبه SE

مقدار عددی هم ارز ماسه ای بستگی به منبع تهیه مصالح سنگی،استفاده از مصالح شسته شده و شرایط ذخیره سازی و نگهداری مصالح داشته و مقدار آن بین ۱۰ تا ۹۰ درصد متغیر است. در آیین نامه ایران مقدار حداقل هم ارز ماسه ای جهت مصالح زیراساس و اساس به ترتیب برابر ۳۰ و ٤۰ درصد در نظر گرفته می‌شود. مقادیر عددی ارزش ماسه ای (SE) در روش شارپ و روش روسازیهای ممتاز برحسب تعداد محور معادل استاندارد عبوری در دورهٔ ۲۰ ساله مطابق جدول زیر پیشنهاد میگردد.

جدول(۲–٦): مقدار مجاز SE در روش شارپ

ترافیک(ESALs) میلیون	کمتر از ۳	۳ تا ۳۰	بیش از ۳۰
حداقل هم ارز ماسه ای	٤۰	٤٥	٥۰

۲–۲–۸– تعیین افت وزنی مصالح سنگی در برابر یخبندان و گرما[1] AASHTO T 103

سنگدانه ها در فرآیند تولید و کاربرد بتن آسفالتی، می باید در برابر شرایط جوی از جمله آب، رطوبت و یخبندان، مقاوم بوده و هیچگاه بیش از اندازهٔ مجاز، شکسته و خرد نشوند. عوامل مذکور باعث بروز تغییرات ساختاری و ماهیتی در سنگدانه‌ها شده،

[1]Weight loss of aggregates against freezing and thawing

برخی ویژگی‌های آن‌ها را تحت تاثیر قرار می‌دهند. یکی از روش‌های کنترل مصالح قبل از مصرف در برابرآسیب‌های ناشی از تغییرات دمایی محیط، آزمایش تعیین افت وزنی در برابر چرخه‌های یخبندان و ذوب می‌باشد.

بررسی این پارامتر به ویژه در نقاط دارای یخبندان های مکرر و یا در مناطق با تغییرات دمایی بالا، حائز اهمیت است.

هدف از انجام این آزمایش، بررسی مقاومت سنگدانه‌های ریز و درشت در برابر چرخهٔ یخبندان و ذوب می‌باشد.

این آزمون به سه روش بشرح زیر قابل انجام است:

A (غوطه ور نمودن کل آزمونه): نمونه مصالح به مدت ۲٤ ساعت قبل از شروع چرخهٔ یخبندان در آب غوطه‌ور می‌شوند و در شرایط غوطه‌وری در معرض سرما و گرما قرار می‌گیرند. تعیین زمان لازم برای یخ زدن نمونه‌ها و ذوب یخ به حجم نمونه‌ها و یخ بستن آب بستگی دارد.

روش B (غوطه وری بخشی از نمونه): که در آن نمونه‌ها با قرار دادن آن‌ها در معرض فشار هوای ۲۵/٤ میلی‌متر جیوه اشباع می شوند و ایجاد سرما در خلاء، ۰/۵ درصد حجمی الکل اتیلیک داخل آب بمدت ۱۵ دقیقه باقی می‌ماند.

نمونه را از درون اطاقک خلاء بیرون آورده، مصالح سنگی درشت دانه به اندازهٔ عمق فقط یک لایه از مصالح داخل ظرف کم عمق (دستگاه یخبندان) محتوی ٦/٤ میلی‌متر محلول آب – الکل قرار داده می‌شود و در این شرایط فرآیند یخ زدن نمونه صورت خواهد گرفت.نمونه مصالح سنگی ریزدانه به داخل توری سیمی با چشمه‌های ۰/۲۵ میلی‌متری ریخته شده و در سینی کم عمق قرار داده شود.

پس از اتمام یخ زدن، نمونه‌ها می بایست به مدت ۳۰ دقیقه داخل محلول آب – الکل در دمای ۲۱ تا ۲٤ درجهٔ سانتیگراد قرار داده شود تا یک چرخهٔ آزمایش یخبندان و گرما به اتمام برسد.

ونهایتاً روش C (غرقاب جزئی): این روش همانند روش B است، با این تفاوت که از آب به جای محلول آب – الکل استفاده می‌شود.

این آزمایشات بر روی مصالح ماندهٔ روی الک نمرهٔ ٤ جهت درشت دانه ها و رد شده از الک 3/8 in جهت ریزدانه ها و انجام سیکلهای مشخص ذوب و یخ در شرایط و شیوه های استاندارد تعریف شده و تعداد دفعات تکرار مشخص و نهایتاً الک مجدد بر روی همان الکهای اولیه الک شده و پس از توزین، میزان افت وزنی هر بخش تعیین میگردد. تناوب یخ زدن و گرم شدن باید تکرار شود تا تعداد لازم چرخه‌ها بدست آید. گاهاً تعداد ۵۰ ، ۱٦ و ۲۵ چرخه به ترتیب برای روش‌های A ، B و C کافی تشخیص داده می‌شود و یا تعداد چرخه‌ها توسط متقاضی اعلام می‌گردد.

۲–۲–۹– تعیین افت وزنی در برابر سولفات سدیم و منیزیم - ASTM C88

سنگدانه های مورد استفاده در مخلوط‌های آسفالتی، در برابر شرایط جوی از جمله رطوبت و نفوذ آب، میبایست مقاومت کافی را دارا باشند. سنگ‌های شیستی از جمله سنگ‌های کم دوام در برابر عوامل جوی هستند. این سنگ‌ها با نفوذ آب و به ویژه یخبندان، منبسط شده و دچار خرد شدگی می‌شوند. آزمایش افت وزنی مصالح سنگی در برابر سولفات سدیم و منیزیم[1] که میزان آسیب‌پذیری و در نتیجه دوام مصالح سنگی را در شرایط آزمایشگاهی با محلول‌های اشباع سولفات سدیم و منیزیم اندازه‌گیری می‌نماید، معرف سختی و استحکام این مصالح در برابر شرایط محیطی صدمه زننده است.

آیین‌نامهٔ روسازی آسفالتی ایران (نشریهٔ شماره ۲۳٤) نیز مقادیر زیر را برای مصالح سنگی ریز و درشت مصرفی در مخلوط‌های آسفالتی ارائه می‌نماید:

[1]Sulfate Soundness Test

جدول(۲-٦): حداکثر افت وزنی سنگدانه ها

حداکثر درصد افت وزنی در برابر سولفات سدیم برای مصالح سنگی مصرفی در بتن آسفالتی			
نوع مصالح سنگی	اساس قیری	آستر (بیندر)	رویه (توپکا)
ریز دانه	۱۵	۱۲	۱۲
درشت دانه	۱۲	۸	۸

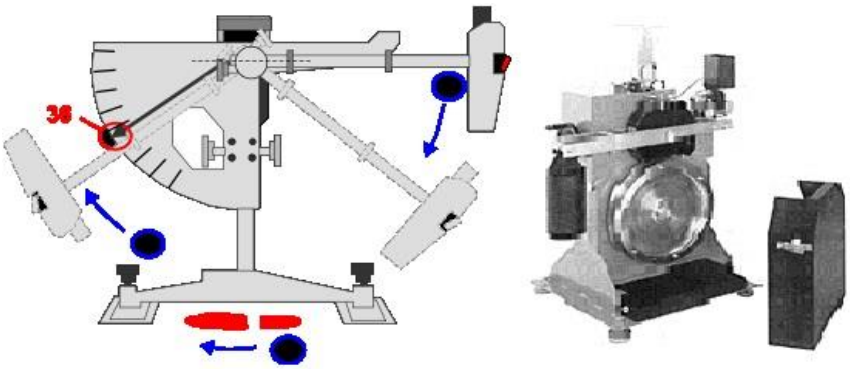
این روش آزمایش به منظور تعیین افت وزنی مصالح سنگی ریز و درشت در برابر محلول‌های سولفات سدیم و منیزیم بکار می‌رود. دانه بندی ، نوع محلولها و فرمولاسیون و نحوه ساخت و ترکیب محلولها و ... مطابق استاندارد انجام و با تکرار سیکلهایی(معمولاً ۵ سیکل) پس از ١٦ تا ١٨ ساعت غرقاب شدن در محلول و سپس خروج و قرارگیری در گرمخانه با دمای ۱۱۰ درجه جهت تثبیت وزن و نهایتاً شستن و خشک کردن و الک مجدد مصالح با الکهای اولیه و محاسبه افت وزنی بانجام می‌رسد.

شکل(۲-۱۲): محفظه، سبدهای استاندارد و نمونه مصالح قبل و بعد از آزمایش افت وزنی

۲-۲-۱۰- تعیین مقاومت صیقلی مصالح(آونگ متحرک) - ASTM E303

پرکاربردترین روش در سنجش مقاومت مصالح سنگی در برابر صیقلی شدن ، استفاده از ابزار چرخ بریتانیایی[1] می‌باشد(ASTM D3319). دستگاه آونگ متحرک نیز اصطکاک مصالح سنگی را تعیین می‌شود.

دستگاه مربوطه شامل یک لاستیک لغزنده در انتهای آونگ می‌باشد. اصطکاک متناسب با درجه صیقلی بودن، توسط ارتفاع بدست آمده بوسیله لغزنده بعد از نقطه تماس با نمونه تحت آزمایش تعیین می‌شود. بررسی ها نشان داده که آزمایش آونگ بریتانیایی علاوه بر بافت مصالح سنگی به فاکتورهایی نظیر انحنای نمونه آزمایش، آرایش مصالح سنگی و اندازهٔ مصالح سنگی وابسته می‌باشد.



شکل(۲-۱۳): آزمایش آونگ و چرخ صیقل دادن بریتانیا

[1] British Pendulum

(تکنولوژی و مواد روسازی)

فصل سوم:

طرح اختلاط آسفالت

محمود رضا کی منش

سعید شاکر

۳-۱- مقدمه:

امروزه در کلیه کشورها، از روسازی های مخلوطهای چسبنده[1](بتنی) بطور وسیعی برای ساخت روکش راههای شهری و بین شهری ، پارکینگ ها، بنادر و فرودگاه ها استفاده میشود. روسازیهای بکار رفته در این موارد بـه دو دسـته اصـلی روسـازیهای بـتن آسفالتی و بتن سیمانی تقسیم میشوند. بیش از ۸۰٪ از روسازیهای بکار رفته در این کشورها از نوع روسازی آسفالتی است. درایران با توجه به فراوانی مواد قیری و تکنولوژی نسبتاً ساده تر آن در غالب موارد از روسازیهای آسفالتی استفاده شده و در پاره ایی موارد از روسازی های بتنی برای پوشش فرودگاهها، پارکینگها و اسکله بنادر و محوطه سازی استفاده شده است.

مخلوطهای قیری و یا آسفالتی از ترکیب قیر، سنگدانه، فیلر و در پاره‌ایی موارد مواد اضافی چـون مـواد شـیمیایی و پلیمرهـا تشکیل میشود. در بدنه راهها و به منظور افزایش اتصال لایه‌ها و پیوستگی سازه روسازی از اندودهای قیری نفوذی و سـطحی نیـز استفاده می‌کنند. طرح اختلاط و طراحی روسازی ارتباط تنگاتنگی با هم داشته، بطوریکه ضروریست در طرح اختلاط، مناسب ترین ترکیب مصالح و در طراحی ، بهینه ترین تعداد و ضخامت لایه ها انتخاب شود. طرح اختلاط آسـفالت بـر اسـاس خـواص وزنـی حجمی مصالح تعیین میشود .

برای طرح هر مخلوط آسفالتی، ویژگیهای مطلوب زیر بایستی مد نظر قرار گیرد، که در فصل بعد توضیحات مختصری از هر بخش ارائه خواهد گردید:

استحکام[2]

دوام[3]

انعطاف پذیری[4]

مقاومت در برابر خستگی

مقاومت در برابر لغزش

نفوذناپذیری

کارایی یا سهولت کاربرد (تولید و پخش وتراکم)

هدف کلی از طرح مخلوطهای آسفالت گرم و بتن آسفالتی، انتخاب مناسب ترین و با صرفه ترین مخلوط مصالح سنگی و قیـر است، بطوریکه قیر کافی داشته باشد تا ثبات و دوام آن را تأمین نماید. مقاومت و استحکام آن به اندازه‌ای باشد که بار ناشی از ترافیک را بدون تغییر شکل تحمل نماید. فضای خالی کافی در آن تأمین شده باشد، تا با افزایش درجه حرارت محیط و تراکم اضافی ناشی از عبور و مرور ترافیک، قیرزدگی وافت مقاومت پیدا نکند و در عین حال، این فضای خالی در حدی باشد که موجب نفوذ آب و هوا به جسم آسفالت نگردد. همچنین کارآیی کافی برای پخش و کوبیدن با بافت یکنواخت و همگن را داشته باشد و بافت سطحی آسفالت رویه و سختی سنگدانه های آن بتواند ضریب اصطکاک کافی را در شرایط جوی نامناسب تأمین نماید.

روشهای طراحی مخلوطهای آسفالتی در آزمایشگاه عموماً شامل موارد زیر است:

-آماده سازی و متراکم نمودن مخلوط آسفالت در آزمایشگاه برای شبیه سازی شرایط کارگاه

-تعیین مشخصات توصیفی نمونه های متراکم شده آزمایشگاهی

-تعیین طرح اختلاط بهینه بر مبنای خواص نمونه های آزمایشی در مقایسه با معیارهای مورد نظر

---

[1] Binder mix
[2] stability
[3] durability
[4] flexibility

معمولا روشهای طراحی مختلف به وسیله موارد زیر از یکدیگر متمایز میگردند:

-تجهیزات و روشهای بکار رفته برای آماده سازی و متراکم کردن مخلوطهای آسفالتی

-خصوصیات قابل اندازه گیری نمونه های متراکم شده

-معیار بکار رفته برای انتخاب طرح های اختلاط بهینه و قابل قبول

۳-۱-۱- انواع روشهای طرح اختلاط آسفالت

روش مارشال (ASTM D1559) که هم جهت تهیهٔ طرح اختلاط و هم کنترل عملیات آسفالتی برای سنگدانه های با حداکثراندازهٔ 25 میلیمتر و دانه‌بندی متراکم و پیوسته کاربرد دارد.

روش اصلاح شدهٔ مارشال (ASTM D5581) برای سنگدانه‌های با حداکثر اندازهٔ ۳۸ میلیمتر

روش ویم (ASTM D1560) که مانند روش مارشال برای سنگدانه‌های با حداکثر اندازهٔ 25 میلیمتر، به منظور تهیهٔ طرح و کنترل عملیات کاربرد دارد.

روش طرح اختلاط روسازی ممتاز(Superpave) که یک روش طرح اختلاط عملکرد مبنایی است .

روش طرح اختلاط ژیراتوری (ASTM D ۳۳۸۷) ماشین آزمایش دورانی GTM توسط John McRae در حین کار برای ایستگاه آزمایشگاهی راه آبی هیئت مهندسین ایالات متحده در می‌سی‌سی‌پی ساخته شد. این دستگاه هم یک وسیله متراکم‌سازی و هم یک دستگاه آزمایش برای مخلوط آسفالت می‌باشد.

در حال حاظر روش طرح اختلاط مارشال و اصلاح شدهٔ مارشال در ایران دارای بیشترین کاربرد می‌باشند و در نشریهٔ مشخصات فنی عمومی راه نیز استفاده از این دو روش برای طرح اختلاط مخلوطهای آسفالتی پیشنهاد شده است . هدف، تهیه آسفالتی است که درصد قیر بهینه آن بگونه ای باشد که اولاً بتن آسفالتی بدست آمده کلیهٔ شرایط ذکر شده در آیین‌نامه را دارا باشد و ثانیاً دارای بیشترین وزن مخصوص و بیشترین استقامت مارشال باشد.

۳-۲-روش طرح اختلاط مارشال

روش طرح اختلاط مارشال نخستین بار توسط بروس مارشال[1] - که مهندس اداره بزرگراه های ایالتی می‌سی‌سی‌پی بود - در سال ۱۹۳۰ پیشنهاد شد و بعدها در دهه های ۱۹۴۰ و ۱۹۵۰ بوسیلهٔ بخش مهندسی ارتش ایالات متحده[2] مورد تجدید نظر قرار گرفت و تبدیل به یک استاندارد جهانی شد. به دلیل سهولت، این روش متداولترین و رایج ترین روش طرح اختلاط به کار رفته در ایالات متحده، تا قبل از معرفی سیستم طرح سوپرپیو و همچنین رایج‌ترین روش استفاده شده در سایر نقاط جهان می‌باشد. از روش مارشال میتوان برای طرح اختلاط روسازی فرودگاهها و راهها، طراحی روسازیهای با مواد قیری امولسیونی و آزمایشات تراکم و کنترل کیفیت نمونه های زمان ساخت استفاده کرد. در حال حاضر طرح اختلاط مخلوطهای آسفالتی گرم در ایران نیز بر اساس روش مارشال استوار است .

انجام طرح اختلاط به روش مارشال دو پیش شرط دارد:

-مصالح مورد استفاده در آسفالت مطابق با مشخصات فنی مربوطه(نظیر حداکثر اندازهٔ مصالح سنگی۲۵) باشد.

-نسبت اختلاط و در نتیجه نمودار دانه‌بندی مصالح سنگی مندرج در مشخصات فنی رعایت شده باشد.

برای تهیه طرح اختلاط آسفالت لازم است مخلوطهایی به صورت آزمایشی تهیه گردد تا بتوان با استفاده از نتایج آزمایشهای انجام شده، فرمول مخلوط نهایی را که با تمامی مشخصات فنی مطابقت داشته باشد، انتخاب نمود. بدین ترتیب هر مخلوط

[1] Bruce Marshall
[2] The U.S.Crops of Engineers

آزمایشی اولیه، در حقیقت راهنمایی در جهت تنظیم و تهیه مخلوطهای آزمایشی بعدی است. برای طرح های مقدماتی و یا تحقیقاتی بهتراست ابتدا مخلوطی را تهیه نمود که دانه بندی آن حتی المقدور نزدیک به میانه حدود دانه بندی مندرج در مشخصات فنی باشد، و با توجه به اینکه نتایج آزمایشهای انجام شده برای این مخلوطهای آزمایشی در حقیقت مبانی انتخاب فرمول کارگاهی را تشکیل میدهد، لذا علاوه بر رعایت حدود دانه بندی، لازم است خصوصیات مصالحی که در دستگاههای تولیدکننده مصالح و کارخانه آسفالت تولید میشود و یا قابل تولید است نیز منظور گردد. در بسیاری از مواد و فرآورده‌هایی که کاربرد مهندسی دارند، غالباً استحکام بعنوان نمایانگر میزان کیفیت تلقی میگردد، اما در زمینه مخلوطهای آسفالتی این مطلب الزاماً صادق نیست. چه استحکام زیاد معمولاً به قیمت کاهش دوام آسفالت تمام میشود و افزایش دوام ممکن است سبب کاهش استحکام گردد. با توجه به مراتب فوق هدف اصلی در هنگام ارزیابی و تنظیم و انتخاب طرح اختلاط و فرمول کارگاهی باید آن باشد که دانه بندی و میزان قیر انتخاب شده در واقع تعادل مناسب بین استحکام و دوام را ایجاد نماید، علاوه بر آن طرح انتخابی از نظر تولید و اجرا عملاً مناسب و مقرون بصرفه باشد.

آزمایشهای طرح اختلاط در هر پروژه معمولاً چهار کاربرد مهم دارد:

تهیه طرح اختلاط مقدماتی

آزمایشهای قبولی منابع مصالح

آزمایشهای کنترلی فرمول کارگاهی

آزمایشهای کنترلی کیفیت آسفالت تولید شده

۳-۲-۱-مراحل طراحی:

مراحل طرح اختلاط بتن آسفالتی گرم به روش مارشال را می توان بصورت زیر خلاصه نمود:

انتخاب مصالح : دانه بندی مصالح مورد استفاده باید ضمن تامین نیازهای دانه بندی و مقدار فضای خالی آنها (VMA)، خصوصیات زیر را نیز تا حد مورد نظر تامین نماید:

مقاومت در برابر ساییدگی[1]، مقاومت در برابر سولفات ها[2] ، ارزش ماسه ایی[3] ، درصد مواد زیان آور[4]، درصد ماسه طبیعی[5]، درصد شکستگی[6]، درصد ذرات ورقه ایی(پولکی) و سوزنی

انتخاب قیر مخلوط: انتخاب قیر با درجه ویسکوزیته مناسب ، انجام آزمایش ویسکوزیته در دماهای مختلف و تعیین دمای اختلاط و تراکم بر اساس رابطه بین دما و ویسکوزیته. بطور کلی قیر باید معیارها ومشخصاتی را که در AASHTO-M20 و یا ۲۲۶ AASHTO-M به آنها اشاره شده است ، را برآورده نماید.

آماده سازی نمونه های (۱۲۰۰ گرمی) مخلوط آسفالت : نمونه‌ها با استفاده از دستگاه متراکم کننده مارشال بر اساس تعداد ضربه مشخصی که مطابق سطح ترافیکی پروژه در دمای اختلاط و تراکم مشخص شده در گام قبلی است، تهیه می شود. نمونه های مخلوط آسفالت برای یک دامنهٔ شامل مقادیر متفاوت قیر معمولاً بر مبنای تغییرات ۰.۵ ٪ – با حداقل دو نمونه بیش از مقدار قیر پیش بینی شدهٔ طرح و حداقل دو نمونه کمتر از آن– تهیه میشوند. هر چه بازهٔ تغییرات کوچکتر و تعداد هر نمونه قیر بیشتر باشد خطا کاهش می‌یابد.

---

[1] L.A abration Loss
[2] Soundness Loss
[3] Sand equivalent
[4] Percent of deleterious substance
[5] Percent of natural sand
[6] Percent of particles with crushed faces

متراکم سازی مخلوطهای آسفالتی: مخلوط آسفالتی در یک قالب استوانه ایی با قطر۱۰۱.٦میلیمتر بوسیله چکش مارشال با وزن ٤.٥ کیلوگرم که از ارتفاع ٤٥٧ میلیمتر رها میشود، برای تعداد مشخصی از ضربه ها به هرسمت نمونه، متراکم میشود. تعداد ضربه‌ها برای هر سمت، مطابق جدول زیر است:

ترافیک (محور معادل منفرد)	**سبک**(کمتر از 10^4)	**متوسط**(بین 10^4 تا 10^6)	**سنگین**(بیش از 10^6)
تعداد ضربه مورد نیاز	**۳۵**	**۵۰**	**۷۵**

متراکم‌سازی مخلوط در دمایی که ویسکوزیته کینماتیکی قیر20 ± 280 سانتی استوکس است، انجام میشود و نمونه متراکم شده ۱۰۱.٦ میلیمتر قطر و تقریباً ٦۳.٥ میلیمتر ارتفاع دارد.

آزمایش نمونه های متراکم شده مارشال : این آزمایشات برای تعیین مقاومت نمونه ها و تغییر شکل ایجاد شده در آنها انجام میشود و شامل موارد زیر است :

۳-۲-۲-تعیین وزن مخصوص ظاهری [1]

*پس از سردشدن نمونه های مخلوط آسفالتی متراکم شده، وزن مخصوص حقیقی آنها با روشهای استاندارد ASTM D 2726 [2004] (بدون پوشش پارافین) یا (ASTM-D 1188) (با پوشش پارافین)تعیین میگردد.

*آزمایش پایداری مارشال که مقاومت مارشال و روانی مارشال را مطابق ASTM D 1559 اندازه گیری می‌نماید .

*پس از تعیین وزن مخصوص مخلوط آسفالتی متراکم شده، نمونه ها به مدت ۳۰ تا ٤۰ دقیقه در آب ۱±٦۰ درجه سانتیگراد قرار گرفته و بعد از آن بلافاصله مقدار استحکام و روانی آن بوسیله دستگاه جک مارشال تعیین میشود. استحکام مارشال در آزمایش پایداری مارشال، حداکثر باری است که نمونه می‌تواند تا قبل از گسیخته شدن تحمل نماید. آزمایش پایداری مارشال به جز در مورد محدود کردن نمونه مارشال، شبیه به آزمایش مقاومت کششی غیر مستقیم است. بنابراین پایداری مارشال با مقاومت کششی مخلوط آسفالت رابطه دارد.

* روانی مارشال در آزمایش پایداری مارشال، تغییر شکل عمودی کل نمونه است، هنگامی که تا حداکثر میزان ممکن بارگذاری(بارپذیری) شود . مخلوط هایی با میزان روانی کم، سفت بوده و به سختی متراکم می شوند. در عین حال این مخلوط ها در قیاس با مخلوط‌های با روانی زیاد، مقاومت بیشتری در برابر شیارشدگی از خود نشان می‌دهند. مخلوط‌های با میزان روانی مارشال بیش‌تر از محدوده تعیین شده، مخلوط‌های حساسی [2] می‌باشند که مستعد و در معرض تغییر شکل دایمی هستند.

* محاسبه خواص حجمی نمونه ها : با استفاده از وزن مخصوص حجمی ظاهری نمونه، وزن مخصوص بیشینه مخلوط و وزن مخصوص حجمی مصالح و درصد فضای خالی سنگدانه ها [3](VMA) ، تعیین می شوند.

[1] Bulk specific gravity
[2] Tender Mixes
[3] Void of mineral aggregates

جدول(۳-۱): روابط محاسباتی مورد استفاده در تعیین کمیتهای مخلوط آسفالتی به روش مارشال

$G_{se}=\frac{100-P_b}{\frac{100}{G_{mm}}-\frac{P_b}{G_b}}$ (۱-۳)	**وزن مخصوص مؤثر مصالح سنگی**
$G_{mm}=\frac{100}{\frac{P_s}{G_{se}}+\frac{P_b}{G_b}}$ (۲-۳)	**حداکثر وزن مخصوص مخلوط آسفالتی در درصدهای مختلف قیر**
$P_{ba}=100*\frac{G_{se}-G_{sb}}{G_{se}*G_{sb}}*G_b$ (۳-۳)	**درصد جذب قیر مصالح سنگی**
$P_{be}=P_b-\frac{P_{ba}}{100}P_s$ (٤-۳)	**درصد قیر مؤثر مخلوط آسفالتی**
$VMA=100-\frac{G_{mb}*P_s}{G_{sb}}$ (۵-۳) یا $VMA=100-\frac{G_{mb}}{G_{sb}}*\frac{100}{100-P_b}*100$ (٦-۳)	**درصد فضای خالی مصالح سنگی**
$V_a=100*\frac{(G_{mm}-G_{mb})}{G_{mm}}$ (۷-۳)	**درصد فضای خالی مخلوط آسفالتی متراکم شده**
$VFA=\frac{100(VMA-V_a)}{VMA}$ (۸-۳)	**درصد فضای خالی مصالح سنگی پرشده با قیر**

در این روابط:

P_b: درصد قیر مخلوط آسفالتی نسبت به درصد وزنی کل مخلوط آسفالتی

G_b : وزن مخصوص قیر

P_s : درصد مصالح سنگی نسبت به وزن کل مخلوط آسفالتی

G_{sb} : وزن مخصوص حقیقی مخلوط مصالح سنگی

P_{ba}: درصد جذب قیر مصالح سنگی نسبت به وزن مصالح سنگی

۳-۲-۳-تعریف کمیتهای به کار رفته در طرح اختلاط مخلوطهای آسفالتی به روش مارشال:

چگالی حقیقی مصالح سنگی (G_{sb})[1] :وزن حجم معینی از مصالح سنگی(شامل حجم بخش جامد و حجم حفرات) به وزن آب مقطر هم حجم آن در همان درجه حرارت را چگالی حقیقی مصالح سنگی میگویند.

چگالی ظاهری مصالح سنگی(G_{sa}) [2]: وزن حجم معینی از مصالح سنگی (شامل فقط حجم قسمت جامد) به وزن آب مقطر هم حجم آن در همان درجه حرارت را چگالی ظاهری مصالح میگویند.

چگالی مؤثر مصالح سنگی (G_{se}) [3]: وزن حجم معینی از مصالح سنگی (شامل حجم بخش جامد و حجم حفراتی که با قیر پرنمی‌شود) به وزن آب مقطر هم حجم آن در همان درجه حرارت، را چگالی مؤثر مصالح سنگی میگویند.

[1] Bulk Specific Gravity
[2] Apparent specific Gravity
[3] Effective Specific Gravity

چگالی مخلوط مصالح سنگی : مخلوط مصالح سنگی از اختلاط چند نوع مصالح سنگی با چگالیهای مختلف به دست می آید . چگالی حقیقی مخلوط مصالح سنگی با استفاده از رابطه زیر محاسبه میگردد:

$$G_{sb} = \frac{P_1+P_2+\cdots+P_n}{\frac{P_1}{G_{sb1}}+\frac{P_2}{G_{sb2}}+\cdots+\frac{P_n}{G_{sbn}}} \qquad (۹-۳)$$

G_{sb} : چگالی حقیقی مخلوط مصالح سنگی

P_1،P_2،P_n : درصدهای وزنی هر یک از مصالح سنگی در مخلوط مصالح سنگی

G_{sb1}،G_{sb2}،G_{sbn}: چگالی حقیقی هر یک از مصالح سنگی

چگالی حقیقی مخلوط آسفالتی کوبیده شده (G_{mb}) [۱]: وزن حجم معینی از مخلوط آسفالتی کوبیده شده(شامل حجم قسمت جامد و حجم فضای خالی) به وزن آب مقطر هم حجم آن در همان درجه حرارت، را چگالی حقیقی مخلوط آسفالت کوبیده شده می‌گویند.

چگالی حداکثر مخلوط آسفالت (G_{mm}) [۲]: چگالی مخلوط آسفالتی در حالتی که فضای خالی آن صفر باشد، را چگالی حداکثر مخلوط آسفالتی می گویند.

درصد قیر مؤثر مخلوط آسفالتی(P_{be}) [۳]:مقدار کل قیر مخلوط آسفالتی منهای مقدار قیر جذب شده توسط مصالح سنگی نسبت به کل مخلوط را درصد قیر مؤثر مخلوط آسفالتی میگویند. به عبارت دیگر مقدار قیری است که فقط صرف پوشش و اندود مصالح سنگی میگردد.

درصد قیر جذب شده (P_b) [۴]:مقدار قیری که جذب قسمتی از خلل و فرج مصالح سنگی می گردد، را قیر جذب شده می‌گویند.

استحکام مارشال: نیروی لازم (بر حسب کیلوگرم یا کیلونیوتن) جهت گسیخته شدن نمونه های متراکم شده مخلوط آسفالتی با دمای ۶۰ درجه سانتیگراد در جهت جانبی، با دستگاه مارشال را، استحکام نمونه مارشال میگویند. به عبارت دیگر حداکثر نیرویی است که نمونه مخلوط آسفالتی کوبیده شده مورد آزمایش میتواند قبل از گسیختگی تحمل نماید.

روانی [۵]: مقدار تغییر شکل قطری نمونه مخلوط آسفالتی متراکم شده در هنگام گسیختگی برحسب۲۵ صدم میلیمتر را روانی مخلوط آسفالتی میگویند.

درصد فضای خالی مخلوط آسفالتی متراکم شده (Va) [۶]:فضای خالی موجود بین مصالح سنگی پوشیده شده با قیر مخلوط آسفالتی متراکم برحسب درصد حجمی نسبت به حجم کل مخلوط آسفالتی را گویند.

درصد فضای خالی مخلوط مصالح سنگی(VMA): فضای خالی بین ذرات مصالح سنگی در مخلوط آسفالتی متراکم شده (شامل فضای خالی مخلوط آسفالتی و فضای اشغال شده توسط قیر مؤثر) بر حسب درصد حجمی نسبت به حجم کل مخلوط آسفالتی میباشد.

درصد فضای خالی مصالح سنگی پرشده با قیر(VFA) [۱]: قسمتی از فضای خالی بین مصالح سنگی است که با قیر پر میشود (این کمیت شامل قیرجذب شده توسط مصالح سنگی نمی‌باشد) و بر حسب درصد حجمی نسبت به حجم خالی فضای خالی مصالح‌سنگی بیان می‌گردد.

---

[1] Bulk Spesific Gravity of compacted mix
[2] Maximum Spesific Gravity of Asphalt mix
[3] Effective Asphalt content
[4] Absorbed Asphalt content
[5] Flow
[6] Voids(percent air voids in compacted mix)

۳-۲-۴-معیارهای طرح اختلاط مارشال:

پایداری ماکزیمم مارشال

محدوده روانی قابل قبول مارشال

محدوده قابل قبول برای فضای خالی

درصد فضای خالی پرشده با قیر (VFA)

حداقل درصد فضای خالی سنگدانه ها

جدول ۳-۲ مشخصات مربوط به پایداری، روانی، فضای خالی و درصد فضای خالی پرشده با قیر و جدول۳- ۳ حداقل درصد فضای خالی لازم سنگدانه ها را نشان می دهد. طرح اختلاط مورد قبول باید تمام این ۵ معیار را برآورده سازد.

تعیین درصد قیر بهینه بر اساس معیارهای مناسبی چون درصد هوای مخلوط، درصد تخلخل شن و ماسه، دانسیته ، درصد فضای پرشده با قیر ، پایداری و تغییرشکل نمونه ها در یک سطح ترافیکی خاص صورت می پذیرد.

جدول(۳-۲):شرایط مقاومت، روانی، فضای خالی و درصد فضای خای پرشده با قیر برای طراحی مخلوط آسفالتی به روش مارشال

طبقه بندی ترافیک	سبک		متوسط		سنگین	
تراکم ، تعداد ضربه به هر سمت	۳۵		۵۰		۷۵	
پایداری مارشال، نیوتن	حداقل	حداکثر	حداقل	حداکثر	حداقل	حداکثر
	۳۳۳۳	----	۵۳۳۳	----	۸۰۰۰	----
مقاومت حداقل، پوند	۷۵۰	----	۱۲۰۰	----	۱۸۰۰	----
روانی مارشال (0.001 in)	۸	۱۸	۸	۱۶	۸	۱۴
درصد فضای خالی	۳	۵	۳	۵	۳	۵
درصد فضای خالی پر شده با قیر	۶۵	۷۵	۶۵	۷۸	۷۰	۸۰

جدول(۳-۳): محدودهٔ درصد فضای خالی سنگدانه ها در طراحی به روش مارشال

حداکثر اندازه اسمی سنگدانه	حداقل فضای خالی پرشده قیر مورد نیاز		
	درصد فضای خالی طرح		
	3	4	5
1.18 mm	21.5	22.5	23.5
2.36 mm	19	20	21
4.75 mm	16	17	18
9.5 mm	14	15	16
12.5 mm	13	14	15
19 mm	12	13	14
25 mm	11	12	13
37.5 mm	10	11	12
50 mm	9.5	10.5	11.5
63 mm	9	10	11

۳-۲-۵-مراحل کلیدی و نمودارهای روش مارشال:

انجام آزمایش ویسکوزیته و رسم منحنی مقادیر ویسکوزیته در دماهای مختلف، بر این اساس دمای اختلاط مخلوط در ویسکوزیته ۲۰ ± ۱۷۰ سانتی استوکس و دمای تراکم نمونه ها در ویسکوزیته ۳۰ ±۲۸۰ سانتی استوکس انتخاب میشود .

[1] Voids fulled

- حداقل ۱۸ نمونه مخلوط در ۳ گروه ٦ تایی با درصد قیر های، نزدیک به بهینه تخمینی ، بازه های ۰.۵٪ کمتر از بهینه ، ۰.۵٪ بیشتر از بهینه بر اساس استاندارد تهیه میشود.
- با چکش مارشال ، نمونه ها را با تعداد ضربات داده شده در جدول ۳-۲ متراکم میکنیم.(شکل ۳-۱)

پس از تهیه نمونه‌ها و در صورت لزوم عمل‌آوری آنها، مقادیر جرم مخصوص واقعی نمونه ها، درصد هوای مخلوط، درصد تخلخل شن و ماسه و درصد فضای پر شده با قیر تعیین میشود .

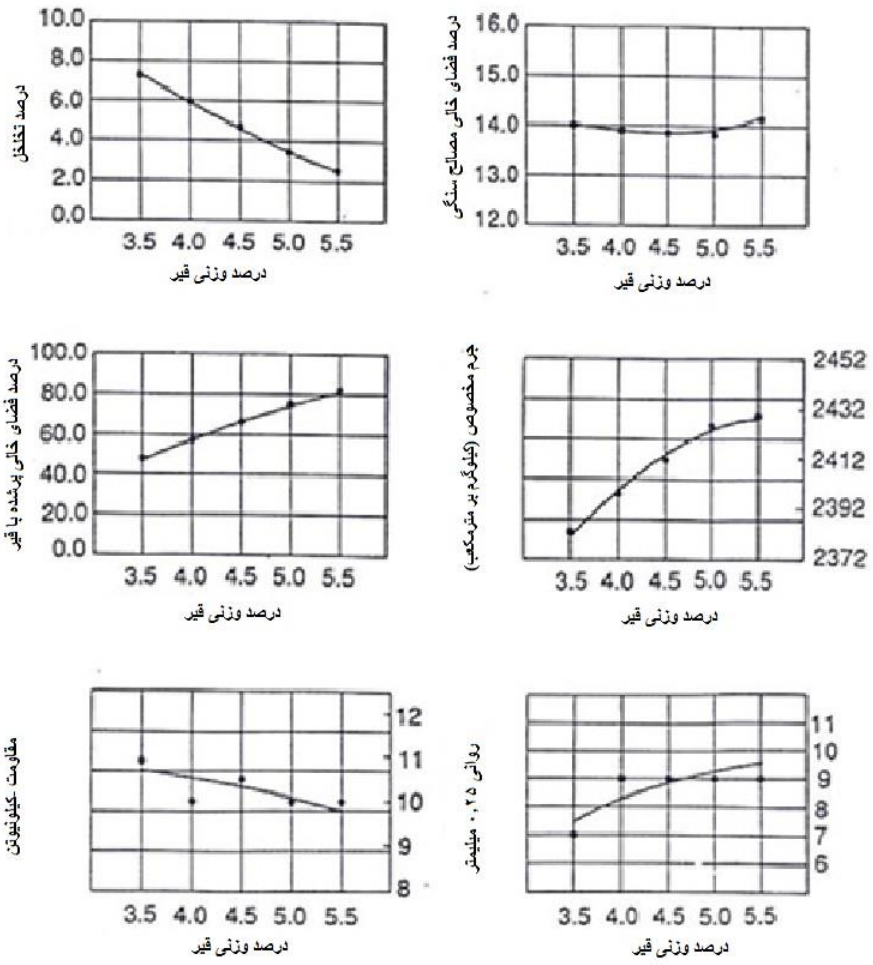
شکل(۳-۱): چکش مارشال(دستی و اتوماتیک)،قالبها ، وسیله خروج نمونه

- در مرحله بعد آزمایشات استقامت نمونه‌ها و روانی و تغییرشکل ایجاد شده در آنها اندازه گیری می‌شود.

در گام بعدی، منحنی‌های درصد قیر در برابر وزن مخصوص کل مخلوط آسفالت، مقاومت، درصد هوای مخلوط(درصد فضای خالی)، درصد تخلخل شن و ماسه ، روانی آسفالت و درصد فضای پر شده با قیر، رسم میشود. شکل ۳-۲ نمونه ایی از این منحنی‌ها را نمایش میدهد.

نتایج آزمایشات و نمودارهایی که به این ترتیب رسم میشوند بطور کلی دارای شکل و روند مشخصی است که معمولا به صورت زیر می باشد:

- استحکام آسفالت در اثر افزایش میزان قیر تا نقطه بحرانی (بهینه) افزایش یافته و سپس تقلیل می یابد.
- میزان روانی آسفالت با افزایش قیر نسبت مستقیم دارد .
- منحنی تغییرات وزن مخصوص تقریبا مشابه منحنی استحکام (مقاومت) است، با این تفاوت که میزان قیر مربوط به بالاترین وزن مخصوص از میزان قیر نظیر بالاترین استحکام معمولا کمی بیشتر است.
- درصد فضای خالی آسفالت با میزان درصد قیر رابطه معکوس داشته ، نهایتا به صفر متمایل خواهد شد.



شکل(۳-۲): منحنی تیپ خواص آزمایشی مخلوطهای آسفالتی در روش مارشال

- درصد فضای‌خالی‌مصالح‌سنگی‌آسفالت در اثر افزایش قیر تا نقطه بحرانی کاهش یافته و پس از آن افزایش می‌یابد.

در مرحله آخر، درصد قیر بهینه براساس معیارهای پیشنهادی یکی از مراجع معتبر تعیین میشود . در این رابطه ، دو معیار توسط انجمن ملی روسازی های آسفالتی و انستیتو آسفالت پیشنهاد شده است .

۳-۲-۶-روش انجمن ملی روسازی های آسفالتی

درصد قیر بهینه را مطابق درصد هوای مناسب مخلوط آسفالتی تعیین میکنیم . پیشنهاد میشود که مقدار میانه درصد هوای مخلوط ، به عنوان مثال ٤٪ ،به عنوان درصد قیر بهینه انتخاب شود . مقدار درصد قیر بهینه را با مقادیر قیر مناسب در دستیابی به مقاومت مارشال حداکثر ، روانی حداقل، درصد هوای بهینه مخلوط آسفالتی،و درصد قیر جذبی مقایسه کرده و سازگاری درصد قیربهینه را با همه این معیارها مورد بررسی قرار میدهیم . غالبا، تامین همه این معیارها با هم کمی مشکل به نظر می رسد.

اگر حداقل یکی از معیارها ارضا نشده بود، ضروری است طرح اختلاط جدیدی انجام شود . (اگر معیار تعیین شده برای درصد تخلخل مصالح سنگی تامین نشده بود، تغییر منحنی دانه بندی و طراحی مجدد طرح اختلاط ضروری است)

۳-۲-۷- روش انستیتو آسفالت :

مقادیر درصد قیر بر اساس مقاومت حداکثر ، دانسیته حداکثر و میانه دامنه مجاز درصد هوای مخلوط تعیین می شود . متوسط سه مقدار درصد قیر گام قبلی به عنوان درصد قیر بهینه انتخاب میشود . بر اساس درصد قیربهینه ، مقادیر مقاومت ، روانی ، درصد هوای مخلوط ، درصد تخلخل شن و ماسه و درصد قیر جذبی را تعیین کرده و سازگاری آنها با معیارهای موجود بررسی می شود .

اگر حداقل یکی از معیارها ارضا نشده بود، ضروری است طرح اختلاط جدیدی انجام شود. (اگر معیار تعیین شده برای درصد تخلخل مصالح سنگی تامین نشده بود، تغییر منحنی دانه بندی و طراحی مجدد طرح اختلاط ضروری است)

برای تهیه وساخت نمونه های آزمایش مارشال، مقدار کافی از مخلوط آسفالتی به همراه صفحات کاغذی محافظ در بالا و پایین آن در داخل قالب استاندارد ریخته شده و از هر طرف نمونه توسط وزنه سقوطی متراکم میشود . غالبا ۱۲۰۰ گرم آسفالت برای ساخت یک نمونه مارشال با قطر ۱۰ سانتیمتر و ضخامت ٦۳.۵ میلیمتر و حجم تقریبی ۵۰۹ تا ۵۲۲ سانتیمتر مکعب کافی است . چکش متراکم کننده با وزن ٤.۵ کیلوگرم از ارتفاع ٤۵۷ میلیمتری به صورت دستی یا خودکار با سقوط آزاد نمونه را متراکم میکند . قالب و سطح چکش را قبل از شروع آزمایش تا ۱۰۰ درجه سانتیگراد گرم و روغن کاری می‌کنند . پس از ریختن مخلوط در قالب و تعبیه صفحه کاغذی بر روی سطح زبر مخلوط ، مجموعه قالب به وسیله چکش تراکم و با رعایت دمای مناسب محیطی و نمونه ها ، متراکم میگردد. هر سمت نمونه با تعداد ضربه استاندارد متراکم شده و سپس صفحات کاغذی برداشته شده و زمانیکه دمای نمونه کاهش یافت، به راحتی با دست قابل جابجا کردن خواهد بود و از قالب بیرون آورده می شود. قبل از انجام آزمایش تعیین مقاومت و روانی ، نمونه‌ها به مدت۳۰ تا ٤۰ دقیقه در آب ٦۰ درجه سانتیگراد نگهداری میشود. آزمایش به کمک دستگاه تعیین مقاومت و روانی در دمای ۲۰ تا ٤۰ درجه سانتیگراد انجام شده و بار شکست نمونه و روانی آن اندازه گیری میشود. در صورتیکه ارتفاع نمونه با مقدار استاندارد آن که برابر ٦۳.۵ میلیمتر است، مطابقت نداشته باشد، برای یکسانی نتایج مقاومت ، ضریب تصحیحی جهت مقاومت مارشال در نظر گرفته میشود. در جدول ۳-٤ ضرایب تصحیح مقاومت براساس استاندارد AASHTO T-245 تعیین شده است.

جدول(۳-٤): ضریب تصحیح مقاومت مارشال

حجم نمونه سانتیمتر مکعب	ضخامت نمونه به میلیمتر	ضریب تصحیح	حجم نمونه سانتیمتر مکعب	ضخامت نمونه به میلیمتر	ضریب تصحیح
۲۰۰ تا ۲۱۳	۲۵.۴	**۵.۵٦**	۴۲۱ تا ۴۳۱	۵۲.۴	**۱.۳۹**
۲۱۴ تا ۲۲۵	۲۷	**۵**	۴۳۲ تا ۴۴۳	۵۴	**۱.۳۲**
۲۲۶ تا ۲۳۷	۲۸.۶	**٤.۵۵**	۴۴۴ تا ۴۵۶	۵۵.۶	**۱.۲۵**
۲۳۸ تا ۲۵۰	۳۰.۲	**٤.۱۷**	۴۵۷ تا ۴۷۰	۵۷.۲	**۱.۱۹**
۲۵۱ تا ۲۶۴	۳۱.۸	**۳.۸۵**	۴۷۱ تا ۴۸۲	۵۸.۷	**۱.۱٤**
۲۶۵ تا ۲۷۶	۳۳.۳	**۳.۵۷**	۴۸۳ تا ۴۹۵	۶۰.۳	**۱.۰۹**
۲۷۷ تا ۲۸۹	۳۴.۹	**۳.۳۳**	۴۹۶ تا ۵۰۸	۶۱.۹	**۱.۰٤**
۲۹۰ تا ۳۰۱	۳۶.۵	**۳.۰۳**	۵۰۹ تا ۵۲۲	۶۳.۵	**۱**
۳۰۲ تا ۳۱۶	۳۸.۱	**۲.۷۸**	۵۲۳ تا ۵۳۵	۶۴	**۰.۹٦**
۳۱۷ تا ۳۲۸	۳۹.۷	**۲.۵**	۵۳۶ تا۵۴۶	۶۵.۱	**۰.۹۳**
۳۲۹ تا ۳۴۰	۴۱.۳	**۲.۲۷**	۵۴۷ تا ۵۵۹	۶۶.۷	**۰.۸۹**
۳۴۱ تا ۳۵۳	۴۲.۹	**۲.۰۸**	۵۶۰ تا ۵۷۳	۶۸.۳	**۰.۸٦**
۳۵۴ تا ۳۶۷	۴۴.۴	**۱.۹۲**	۵۷۴ تا ۵۸۵	۷۱.۴	**۰.۸۳**
۳۶۸ تا ۳۷۹	۴۶	**۱.۷۹**	۵۸۶ تا ۵۹۸	۷۳	**۰.۸۱**
۳۸۰ تا ۳۹۲	۴۷.۶	**۱.٦۷**	۵۹۹ تا ۶۱۰	۷۴.۶	**۰.۷۸**
۳۹۳ تا ۴۰۵	۴۹.۲	**۱.۵٦**	۶۱۱ تا ۶۲۵	۷۶.۲	**۰.۷٦**
۴۰۶ تا ۴۲۰	۵۰.۸	**۱.٤۷**			

۳-۲-۸-تصحیح معایب ناشی از کم و زیاد بودن فضای خالی و کم بودن مقاومت آسفالت:

برای برطرف کردن نقایص ناشی از کم و زیاد بودن فضای خالی و کم بودن مقاومت آسفالت چهار حالت در نظر گرفته میشود:

-فضای خالی کم بوده ولی مقاومت رضایت بخش باشد، در این صورت یا فیلر مصالح را کاهش میدهیم و یا درصد مصالح سنگی درشت دانه را افزایش و یا درصد قیر را کاهش می دهیم.

-فضای خالی کافی بوده ولی مقاومت آن کم است، این عیب معمولا از دانه بندی نا پیوسته و درصد شکستگی کم ناشی میشود. لذا اقدام به تصحیح دانه بندی و در صورت امکان زیاد نمودن درصد شکستگی مصالح سنگی با افزایش مقدار مصالح شکسته می نماییم.

-فضای خالی زیاد بوده ولی مقاومت کافی باشد، در اینصورت با افزایش درصد فیلر در مصالح تا حدودی میتوان فضای خالی را به حد قابل قبول رساند.

-فضای خالی زیاد بوده ولی مقاومت کم باشد، در اینصورت چنانچه با افزایش مقدار فیلر و به حد قابل قبول رساندن فضای خالی آسفالت ، مقاومت نیز تامین شود، منظور ما تامین خواهد شد. ولی چنانچه مقاومت هنوز کم باشد، باید عیب اصلی را در شن وماسه مخلوط و دانه بندی آن جستجو کرد. معمولا دراین موارد با اصلاح دانه بندی از لحاظ پیوستگی یا اضافه کردن درصد شکستگی سنگدانه ها ، مقاومت آسفالت بیشتر میشود .

توجه : البته اتفاق می افتد که ازدیاد درصد شکستگی مصالح سنگی حتی تا میزان صد درصد نیز در تامین مقاومت، مطلوب واقع نمی شود و این در صورتی است که جنس مصالح کوارتزی یا سیلیسی باشد که پس از شکسته شدن نیز سطح صاف و صیقلی خود را حفظ کرده و دانه های آغشته به قیر به آسانی عریان میشوند. در این موارد چاره‌ایی جز کنار گذاشتن آن مصالح و استفاده از مصالح جدید دیگر، وجود ندارد. پیشگیری از چنین اتفاقی در کل امری بسیار ساده و کم خرج است و آن انجام آزمایش عریان شدگی یا چسبندگی قیر است که درصد چسبندگی قیر به سنگ را قبل از شروع به تهیه و شکستن مقدار زیادی مصالح و دپو آن مشخص می‌نماید. معمولاً عریان شدگی مصالح تا ۵٪ قابل اغماض است.

۳-۲-۹-مناسب بودن مصالح سنگی: (برخی از مشخصات)

فیلر مصالح آسفالتی باید عاری از مواد آلی بوده، ضریب پلاستیسیته آن $PI \leq 4$ باشد.

مصالح ریزدانه باید عاری از مواد رسی و مواد مضر باشد و افت وزنی آن در اثر خوردگی در آزمایش ساندنس بوسیله سولفات سدیم کمتر از ۱۵ درصد و به وسیله سولفات منیزیم کمتر از ۲۰ درصد باشد.

مصالح درشت دانه باید دارای خصوصیات زیر باشد:

الف. عاری از مواد رسی فشرده (کلوخه رسی)، مواد آلی و مضر باشد.

ب. افت وزنی در اثر سایش لس آنجلس کمتر از ٤٠ تا ٥٠ درصد باشد. (این حد بسته به نوع کاربرد آسفالت فرق میکند)

۳-۲-۱۰-روش اصلاح شده مارشال برای مصالح سنگی درشت دانه:

از آنجا که روش استاندارد (ASTM-D 1559) تنها برای مصالح سنگی با حداکثر اندازه ۲۵ میلیمتر (۱اینچ)، کارایی داشت؛ لذا روش اصلاح شده‌ای برای مصالح سنگی با حداکثر اندازه ۳۸ میلیمتر(۱.۵ اینچ) توسط کندهال [1]درمرکز ملی تکنولوژی آسفالت مطرح شده و برای اولین بار پیشنویس آن در سال ۱۹۹۰ توسط انجمن تکنولوژیستهای روسازی آسفالت [2] ارائه و سرانجام به وسیله کمیته (ASTM-D٤) روش آزمایش آن در سال ۱۹۹٦ تحت شمارهٔ D5581 استاندارد گردید. این روش آزمایش اساساً همانند روش آزمایش D1559 میباشد با این تفاوت که در این روش نمونه‌های آسفالتی متراکم شده با قطر۱۵۲.٤ میلیمتر (٦ اینچ) و ارتفاع ۹۵.۲ میلیمتر (۳.۷۵ اینچ) تهیه میگردند. تراکم این نمونه با سقوط آزاد چکش ۱۰.۲ کیلوگرمی از همان ارتفاع ٤٥ میلیمتری انجام

[1] Kandhal
[2] AAPT

میشود و تعداد ضربات در این روش ۷۵ و یا ۱۱۲ ضربه که معادل انرژی نظیر ۵۰ و ۷۵ ضربه در روشD1559 است، می‌باشد .فکهای دستگاه جک مارشال نیز به تناسب اندازه نمونه تغییر می‌یابد.

معیارهای طرح اختلاط در نشریه MS2 انستیتو آسفالت جهت این نمونه پیشنهاد گردیده که حداقل استحکام مارشال ۲.۲۵ برابر و مقادیر محدوده روانی بایستی ۱.۵ برابر معیارهای موجود جهت نمونه‌های معمولی گردد.

۳-۲-۱۱-مزایا و معایب طرح اختلاط مخلوطهای آسفالتی به روش مارشال:

مزایای طرح اختلاط مخلوطهای آسفالتی به روش مارشال:

*اساس این روش طرح اختلاط را، آزمایشهای ساده تشکیل میدهد .

*در این روش از ابزار و وسائل آزمایشگاهی نسبتا ارزان قیمت استفاده میشود.

*نیاز به آموزشهای خاص و پیچیده و کادر مجرب ندارد .

*به راحتی میتوان وسائل آزمایشگاهی مربوطه را جهت کنترل کیفی به محل پروژه در نقاط دوردست انتقال داد.

*معیارهای مناسب حجمی از مخلوط آسفالتی را ارائه میدهد.

جدول(۳-۵): خلاصه روش طرح اختلاط آسفالت به روش مارشال بر اساس نشریه MS2 انستیتو آسفالت

تهیه نمونه با روش استاندارد(ASTM-D 1559)
مصالح سنگی:اندازه حداکثر ۲۵ میلیمتر و کمتر اندازه نمونه آسفالتی :ارتفاع ۶۳.۵ میلیمتر و قطر۱۰۱.۶ میلیمتر نوع تراکم :سقوط چکش ۴.۵ کیلوگرمی از ارتفاع ۴۵۷ میلیمتر تعداد ضربات تراکم:(۵۰، ۳۵ و ۷۵ ضربه) جهت هر طرف نمونه کمیتهای به دست آمده از طرح اختلاط: **استحکام مارشال(Stability)** **روانی (Flow)** **وزن واحد حجم(Unit Weight)** **درصد فضای خالی مخلوط آسفالتی** **درصد فضای خالی مصالح سنگی** **درصد فضای خالی مصالح سنگی پرشده با قیر** **معیار انتخاب درصد قیر: درصد فضای خالی مخلوط آسفالتی و کنترل بقیه کمیتها**
تهیه نمونه به روش استاندارد (ASTM-D۵۵۸۱)
مصالح سنگی :به اندازه حداکثر ۳۸ میلیمتر اندازه نمونه :ارتفاع ۹۵.۲ میلیمتر و قطر۱۵۲.۴ میلیمتر نوع تراکم :سقوط چکش ۱۰.۲ کیلوگرمی از ارتفاع ۴۵۷ میلیمتر تعداد ضربات :۷۵ و ۱۱۲ ضربه کمیتهای به دست آمده از طرح اختلاط :همانند بالا معیار انتخاب درصد قیر :همانند بالا

*کمیتهای استحکام مارشال، روانی، وزن مخصوص مخلوط آسفالتی، فضای خالی مخلوط آسفالتی، فضای خالی مصالح سنگی یا پرشده با قیر را نسبت به تغییرات میزان قیر بیان می‌نماید.

*نسبتهای حجمی صحیحی از مخلوط مصالح را برای رسیدن به پایداری مناسب ارائه میدهد.

معایب و نواقص عنوان شده طراحی مخلوطهای آسفالتی با روش مارشال:

-روش تراکم نمونه های آسفالتی در روش مارشال که به وسیله ضربات چکش انجام میگردد، مشابه تراکمی که در سطح راه و به وسیله غلتک انجام میشود، نمی‌باشد.

-استحکام مارشال و روانی مخلوط آسفالتی ارتباط دقیقی با عملکرد واقعی یک مخلوط آسفالتی ندارد.

-رفتار مقاومت برشی مخلوط آسفالتی بیان نمیشود.

-این روش طرح مخلوط آسفالتی تجربی بوده و تنها به ارائه نسبتهای حجمی و وزنی اکتفا نموده و نمیتواند پاسخگوی بارهای محوری روزافزون و فشار زیاد باد چرخ باشد.

-این روش طرح مخلوط آسفالتی نمیتواند به طور دقیق عملکرد مخلوط آسفالتی اجرا شده را از نظر مقاومت در برابر پدیده‌هایی مانند : تغییرشکلهای دائمی وشیارافتادگی[1]، ترکهای ناشی از خستگی و ترکهای ناشی از پایین بودن درجه حرارت بیان نماید.

-هیچ تصویری از تغییرات تنش - کرنش که بر اثر وزن و حرکت وسایط نقلیه سنگین در روسازی آسفالتی به وجود می‌آید ارائه نمیدهد.

-در ارائه طرح اختلاط، شرایط آب و هوایی و بار محوری تأثیری ندارد.

-این روش برای مخلوطهایی با دانه بندی غیر پیوسته مناسب نمیباشد .

-این روش طرح مخلوطهای آسفالتی به طرح سازه ای مرتبط نمیباشد.

۳-۳-روش طرح اختلاط ویم[2]

این روش در سال ۱۹۲۰ توسط فرانسیس ویم از بخش راهسازی کالیفرنیا ارائه شده و در طول سالها تکمیل و گسترش یافته است. برای این منظور از استانداردهای (ASTM D-1560, D-1561) و نشریه MS-2 انستیتو آسفالت استفاده میشود. این روش برای سنگدانه‌های با حداکثر اندازه ۲۵ میلیمتر پیشنهاد شده است و به عنوان یک روش توسط اداره حمل و نقل کالیفرنیا و بعضی از مؤسسات دیگر در آمریکا برای طراحی مخلوطهای آسفالتی با دانه بندی فشرده و متراکم بکار برده شده و در سایر کشورها متداول نمی باشد. اصول این روش، مبتنی بر آنالیز دانسیته، فضای خالی مخلوطهای آسفالتی و پایداری ویم و همچنین مقاومت مخلوط آسفالتی در برابر تورم در حضور آب می باشد.

فلسفه اساسی پیرامون روش ویم در ۳ بخش خلاصه شده است :

۱-نیاز مخلوطهای آسفالتی گرم به میزان قیرکافی برای پوشش دانه ها به ضخامت مطلوب (امکان جذب شدن توسط سنگدانه ها)

۲-نیاز مخلوطهای آسفالتی گرم به پایداری کافی برای مقاومت در برابر بارگذاری ترافیکی (این پایداری به وسیله اصطکاک داخلی بین ذرات و انسجام (مقاومت کششی) ایجاد شده توسط قیر تولید میشود)

۳-افزایش دوام مخلوطهای آسفالتی گرم با افزایش ضخامت پوشش قیر

براساس این روش، انتخاب اجزای آسفالت بطوریست که بالاترین دوام را بدون از بین رفتن حداقل مقاومت مجاز، تامین نماید. بعبارت دیگر بکار بردن قیر درآسفالت تا جایی مقدور است که حداقل مقاومت مورد نیاز تامین شود.

[1] Rutting
[2] Hveem

شکل(۳-۳): نمودار طرح اختلاط مارشال

در اواخر دهه ۱۹۲۰، بخش بزرگراه کالیفرنیا، در تمامی راههای روستایی خود به استفاده از مخلوط آسفالت سنگدانه‌ایی که معمولاً با عنوان "مخلوط قیری" شناخته میشد، روی آورد. مخلوط قیری، حالت میانه‌ایی است بین مخلوطهای آسفالت گرم با کارایی بالا و گران قیمت که در بزرگراهها و خیابانهای اصلی شهرها بکار میرود و مخلوطهای نفوذی ارزان‌تر که در خیابانهای روستایی با حجم ترافیک کم بکار میرود. مخلوط قیری شامل ترکیبی از سنگدانه ها و قیر است که یا در کارخانه و یا در روی جاده

(مخلوط جاده ایی نامیده میشود)مخلوط شده و بوسیله تیغه (گریدر) گسترده شده و سپس به وسیله ترافیک متراکم می گردد. متاسفانه برای طراحی این مخلوط قیری هیچ روشی در دست نیست. فرانسیس ویم براساس تحقیقات خود و دیگران، روشی را برای تخمین زدن مقادیر صحیحی از قیر (روغن) که سطح دانه ها را پوشش میدهد، ایجاد کرد که به کمک منحنی دانه بندی تعیین میگردد. همچنین مشخص شد که علیرغم داشتن مقدار صحیح قیر، جاده‌هایی که حاوی سنگدانه‌های سخت با بافت سطحی شیشه‌ایی هستند، زیر بار، تمایل زیادی به تغییر شکل بیش از حد دارند، در حالیکه جاده‌های حاوی سنگدانه‌های با بافت سطحی نامنظم و خشن بسیار مقاوم‌تر هستند. بنابراین تلاش ویم برای ساخت وسیله‌ایی برای اندازه‌گیری پایداری،منجر به ساخت مقاومت سنج ویم[1] شد. مشکل دیگری نیز وجود داشت: نمونه متراکم شده در آزمایشگاه برای مقاومت سنج، نتایج مشابهی با نمونه‌های بدست آمده از محل واقعی نداشت . بنابراین یک وسیله تراکم جدید – متراکم کننده مالشی کالیفرنیا[2] – ساخته شد که نتایج مشابهی با نمونه‌های متراکم شده بوسیله غلطکها در محل را داشت.

در این روش برای انتخاب طرح اختلاط بهینه، لازم است نکات زیر در نظر گرفته شود:

انتخاب مصالح سنگی درشت دانه و ریز دانه و قیر مناسب

اگرچه ویم، به طور ویژه روش ارزیابی و انتخاب سنگدانه ها را تعیین نکرده است، اما بدلیل اینکه این بخش، جزیی جدایی ناپذیر از طرح اختلاط است، به آن اشاره شده است. معمولاً ارزیابی سنگدانه‌ها برای روش طراحی مارشال یا ویم شامل سه گام اساسی است:

تعیین خواص فیزیکی سنگدانه ها. این بخش شامل اجرای آزمایشهایی برای تعیین خواص زیر است :

- سختی و سایش
- دوام و سلامت
- تمیزی و مواد زیان آور
- شکل ذرات و بافت سطحی

تعیین سایر خواص فیزیکی سنگدانه ها: اگر سنگدانه ها براساس گام یک قابل قبول باشند، آزمایشهای بیشتری برای توصیف کامل آنها انجام میشود. این آزمایشات شامل موارد زیر است:

- دانه بندی و اندازه
- وزن مخصوص ویژه و میزان جذب

تعیین مقدار قیر مخلوط آسفالتی بر حسب درصدی از مصالح سنگی با استفاده از منحنی دانه بندی سنگدانه ها و آزمایش هم ارزی سانتریفیوژ نفتی (C.K.E)[3]: آزمایش C.K.E بر روی مصالح ریزدانه و به منظور تعیین C.K.E و محاسبه سطوح مصالح سنگی به منظور تخمین و تعیین میزان قیر بهینه انجام میشود. آزمایش ظرفیت و توانایی سطحی بر روی مصالح درشت دانه، برای تعیین درصد قیر نگه داشته انجام میشود. سپس C.K.E و درصد قیر نگه داشته سطح محاسبه شده مصالح و چگالی ویژه مصالح ریزدانه و درشت دانه به منظور محاسبه مقدار قیر بهینه از طریق نمودارها و جداول بکار میرود.

۳-۳-۱-چسبندگی ویم:

دستگاه اندازه گیری چسبندگی ویم مقاومت چسبندگی را در امتداد قطر نمونه ایی که آزمایش پایداری آن قبلا انجام شده است ، اندازه گیری میکند. این تست برای فراهم کردن امکان برخی پیش بینی ها در خصوص توانایی نمونه مخلوط آسفالت گرم

[1] Hveem stabilometer
[2] Kneading Compactor
[3] Centrifuge Kerosene Equivalent

برای مقاومت در برابر پیچش ناشی از بار ترافیکی در نظر گرفته میشود. مخلوطهای آسفالتی گرم تمایل زیادی به چسبندگی دارند که به وسیله دستگاه اندازه گیری چسبندگی سنجیده میشود و در آنها – اگر نگوییم هرگز- به ندرت شکست رخ میدهد.

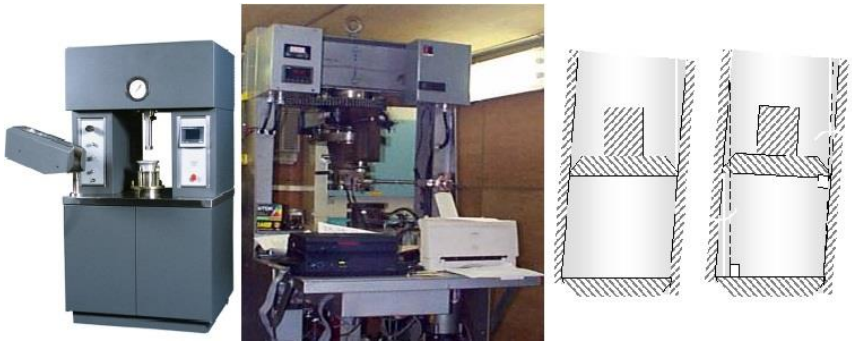
۳-۳-۲-آماده سازی نمونه ها:

روش ویم مانند سایر روشهای طرح اختلاط ، چندین مخلوط آسفالتی شامل سنگدانه و قیر را بصورت آزمایشی تولید میکند که محتوی مقادیر مختلف قیر هستند. سپس با ارزیابی عملکرد هر مخلوط آزمایشی، آسفالت محتوی قیر بهینه را میتوان انتخاب کرد. برای این کار، مخلوطهای آزمایشی باید شامل ماکزیمم و مینیمم مقدار قیر باشند. این کار میتواند با دو روش زیر انجام شود:

مقدار قیر آسفالت برای هریک از مخلوطهای آزمایشی از لیست از پیش تعیین شده انتخاب میشود. بسیاری از سازمانها، لیست‌هایی دارند که ترکیب آسفالت برای هر مخلوط آزمایشی را از پیش تعیین نموده اند . فرض بر این است مقدار قیر بهینه آسفالت روی ترکیب ویژه‌ایی از مقادیر مخلوط آزمایشی واقع خواهد شد.

مقدار قیر بهینه آسفالت تخمین زده میشود و سپس مخلوط آزمایشی با مقدار این درصد قیر بهینه ، بیشتر و کمتر از آن ، ساخته میشود. یک روش معمول تخمین زدن، آزمون سانتریفیوژ معادل نفت[1] (CKE) (هم ارز سانتری گیج نفتی)است.

ارتفاع ٦.٤ سانتیمتر(۲.۵ اینچ) ساخته میشوند. نمونه‌ها، در شش درصد قیر مختلف، با اختلاف ۰.۵ درصد (نسبت به قیر تخمین زده شده طبق آزمایش CKE) آماده میشوند. چهار نمونه با قیر بیشتر از میزان بهینه برآورد شده، یک نمونه برابر قیر بهینه و دو نمونه با قیر کمتر از قیر بهینه ساخته میشوند. دمای اختلاط تابعی از نوع قیر می باشد. مثلا برای قیر AC-10 دمای اختلاط ۱۳۵-۱٤۹ درجه سانتیگراد است در حالیکه در قیر AC-40 این دما ۱٤۹-۱٦۳ درجه سانتیگراد است. هر نمونه پس از اینکه تا رسیدن به دمای پیش بینی شده جهت تراکم گرم شد، به کمک متراکم کننده مالشی کالیفرنیا (شکل ۳-٤) که دستگاهی برای تراکم نمونه به صورت هیدرولیکی و مانند تخماق است ، متراکم میگردد.



شکل(۳-٤): متراکم کننده مالشی کالیفرنیا

۳-۳-۳-تراکم به وسیله متراکم کننده مالشی کالیفرنیا:

اندازه نمونه: قطر سیلندر حدود ۱۰۲ میلیمتر(٤ اینچ) و ارتفاع آن ٦٤ میلیمتر(۲.۵ اینچ) است .

کوبنده (تخماق): جسمی سپری شکل با مساحت ۲۰ سانتیمتر مربع (۳.۱ اینچ مربع)

فشار تراکمی: در محدوده ۲.٤ تا ۳.٤ مگا پاسکال (۳۵۰ تا ۵۰۰ پوند برایچ مربع)

تعداد ضربات: ۱۵۰ (بعلاوه ضربات مقدماتی ۱.۷ مگاپاسکالی (۲۵۰ پوند بر اینچ مربع)

روش شبیه سازی: با تخماق بالای نمونه نزدیک لبه ضربه بزنید. بعد از هر ضربه ، پایه به میزان ۱/٦ دور میچرخد. این کار به شباهت نمونه آزمایشگاهی به نمونه بدست آمده از مسیر واقعی بعد از غلطک زدن کمک میکند .

1 Centrifuge Kerosene Equivalent

طبق نشریه پژوهشکده حمل و نقل ایران، پس از اختلاط، نمونه ها به مدت ۱۵ ساعت در یک کوره با دمای ٦۰ درجه سانتیگراد ،عمل آوری میشود. پس از آن نمونه مجددا تا دمای ۱۱۰ درجه سانتیگراد ، حرارت داده میشود و در متراکم کننده مالشی کالیفرنیا، متراکم می گردد. متراکم کردن نمونه با بارگذاری استاتیکی تا صاف و صیقلی شدن سطح نمونه ادامه می یابد. ارتفاع نمونه متراکم تقریبا ٦۳.۵ میلیمتر است.

۳-۳-۴- تجهیزات آزمایشگاهی تورم سنج ، تغییر شکل سنج و تعیین دانسیته :

نمونه های متراکم در دمای ٦۰ درجه برای تعیین پایداری و استقامت در پایداری سنج ویم قرار میگیرد . این آزمایش غیر مخرب[1] است. وزن مخصوص حجمی نمونه بعد از تعیین پایداری ، مشخص میگردد. مقدار S^2 معمولا ، اندازه زاویه اصطکاک داخلی در آزمایش مقاومت برشی کلمب در نظر گرفته میشود .

$$\tau = c + \varphi_n \tan(\theta) \qquad (۱۰-۳)$$

رفتار بتن آسفالتی را میتوان با تئوری شکست موهر-کلمب مورد آنالیز قرارداد . این تئوری ، مقاومت برشی بتن آسفالتی را با دو پارامتر چسبندگی و اصطکاک داخلی اندازه گیری می نماید . در واقع زاویه اصطکاک داخلی در مخلوطهای آسفالتی، نشان دهنده اثر متقابل بر هم کنش میان ذرات می باشد. از نظر مهندسی روسازی، بالا بودن اصطکاک داخلی برای آسفالت یک مزیت محسوب میشود. مقدار S روش ویم در ارتباط مستقیم با مقاومت برشی بوده، در نتیجه منجر به مقاومت در مقابل شیار شدگی مخلوط آسفالت میگردد.

شکل(۳-۵): دستگاه اندازه گیری پایداری ویم

۳-۳-۵-ثبات سنج (پایداری سنج) و وسیله سنجش چسبندگی ویم:

دستگاه اندازه گیری پایداری ویم (شکل ۳-۵) اندازه گیری عملکرد کلیدی پایداری پیش بینی شده مخلوط بدست آمده از روش طرح اختلاط ویم را فراهم میکند.(TRB2000) این دستگاه ، مقاومت در برابر تغییر شکل نمونه متراکم شده مخلوط آسفالتی گرم را با اندازه گیری فشار جانبی توسعه یافته ناشی از اعمال بار قائم اندازه گیری میکند.(آشتو۲۰۰۰)

دستگاه اندازه گیری چسبندگی، پیوستگی و چسبندگی نمونه متراکم شده مخلوط آسفالت گرم را با اندازه گیری نیروهای لازم برای شکست یا خمش نمونه مثل یک تیر طره اندازه گیری میکند. (آشتو۲۰۰۰)

آزمایش تورم[3] نیز بر روی نمونه های متراکم ، برای تعیین مقاومت مخلوط در برابر نفوذ آب انجام میشود . اساساً این آزمایش، تورم یک نمونه متراکم را پس از غوطه ور شدن در آب به مدت ۲٤ ساعت، اندازه گیری میکند. مقدار تورم زیاد، نشان دهنده مقاومت اندک مخلوط آسفالتی در برابر نفوذ آب است. نتایج دانسیته حداکثر، درصد هوا، تورم و تغییر شکل نمونه های متراکم شده با هم مقایسه میشود.

تخلخل نمونه ها: فضای خالی نمونه ها با استفاده از وزن مخصوص حجمی ظاهری نمونه و وزن مخصوص بیشینه آن محاسبه می گردد.

درصد قیر بهینه، براساس نمونه‌ایی که درصد هوا وتغییر شکل در آن حداقل است، انتخاب میشود. تورم و روزدگی قیر معیارهای دیگری است که در انتخاب درصد قیر بهینه در نظر گرفته میشود.

[1] Non-destructive Test
[2] Hveem S-value
[3] Swell test

۳-۳-۶-مراحل اجرای طرح اختلاط مخلوط آسفالتی به روش ویم:

پس از آماده سازی مصالح سنگی، مقدار قیر تقریبی با استفاده از روش C.K.E (محاسبه سطوح مصالح سنگی) تخمین زده میشود. سپس نمونه های آزمایشگاهی مخلوط آسفالتی با درصد قیرهای مختلف (با نیم درصد اختلاف در مقادیر قیرها نسبت به وسیله روش C.K.E) تهیه میگردد.بعد از عمل اختلاط کامل در دمای مربوطه، نمونه های مخلوط آسفالتی را برای مدت ۲ تا ۳ ساعت در گرمخانه با دمای ۳±۱٤٦ درجه سانتیگراد قرار میدهند. بعد از آن، تا هنگام تراکم، نمونه ها در یک گرمخانه با دمای ۱۱۰ درجه سلسیوس قرار داده میشود.

۳-۳-۶-۱-تراکم نمونه:

جهت تراکم نمونه های از دستگاه متراکم کننده مالشی استفاده میگردد. این دستگاه به وسیله عمل مالش چرخشی، به وسیله فشار یک محور کوبنده، تحت تأثیر نیروی مشخص، نمونه ها را متراکم مینماید. برای این منظور، مرحله اول تراکم با ۲۰ ضربه مالشی تحت فشار ۱.۷ مگاپاسکال انجام شده و در نهایت با ۱۵۰ ضربه مالشی تحت شار۳.٤٥ مگاپاسکال، تراکم نمونه‌های آسفالتی کامل می‌گردد.

۳-۳-۶-۲-تعیین مقدار پایداری ویم :

پس از عمل تراکم نمونه ها، پایداری آنها با استفاده از دستگاه پایداری سنج ویم تعیین میگردد .در این سیستم فشار جانبی حاصل ازاعمال فشار قائم بر نمونه های آسفالتی با فشار جانبی حاصل از نیروی قائم برابر ۱۳.٤ ، ۲۲.۳ ، ۲٦.۷ کیلونیوتن بر نمونه‌ها، تعیین میشوند. در این روش مقدارعدد پایداری با توجه به رابطه زیر محاسبه میشود:

$$S = \frac{22.2}{\frac{P_h \cdot D}{P_v - P_h} + 0.222} \qquad (۳-۱۱)$$

S: مقدار پایداری

D : مقدار جابجایی نمونه در ۰.۲۵ میلیمتر یا ۰.۰۱ اینچ

P_h : فشار قائم (بطور معمول ۲۸۰۰ کیلو پاسکال یا ٤۰۰ پوند بر اینچ مربع)

P_v : فشار جانبی ناشی از فشار قائم

طبق تحقیقات موسسه حمل و نقل ایالت واشنگتن، بااستفاده از این معادله، مقدار پایداری میتواند بین۰ تا ۹۰ تغییر کند. مقدار صفر زمانی رخ میدهد که فشار جانبی با فشار قائم برابر باشد. (برای مثال در مایعات) و۹۰ زمانی رخ میدهد که بدون توجه به فشار قائم، هیچ فشار جانبی وجود نداشته باشد. (برای مثال در جامدات تراکم ناپذیر) اما مقدار S طبق نشریه پژوهشکده حمل و نقل ایران، بصورت عددی که بین ۰ تا ۱۰۰ است، بیان میشود. مقدار S بیشتر، بمعنی پایداری و استقامت بیشتر است. با توسعه روش ویم ، این نتیجه بدست آمد که S از ۲۸ تا ۳۰ میتواند برای تشخیص روسازی هایی که در معرض شیار شدگی هستند ، استفاده شود. بنابراین ، مقدار S حداقل مورد نیاز برای ترافیک سنگین تا ۳۷ افزایش یافت .

توجه: تصحیح میزان پایداری، اگر ارتفاع نمونه ٦٤ میلیمتر (۲.۵ اینچ) نباشد، الزامی است .

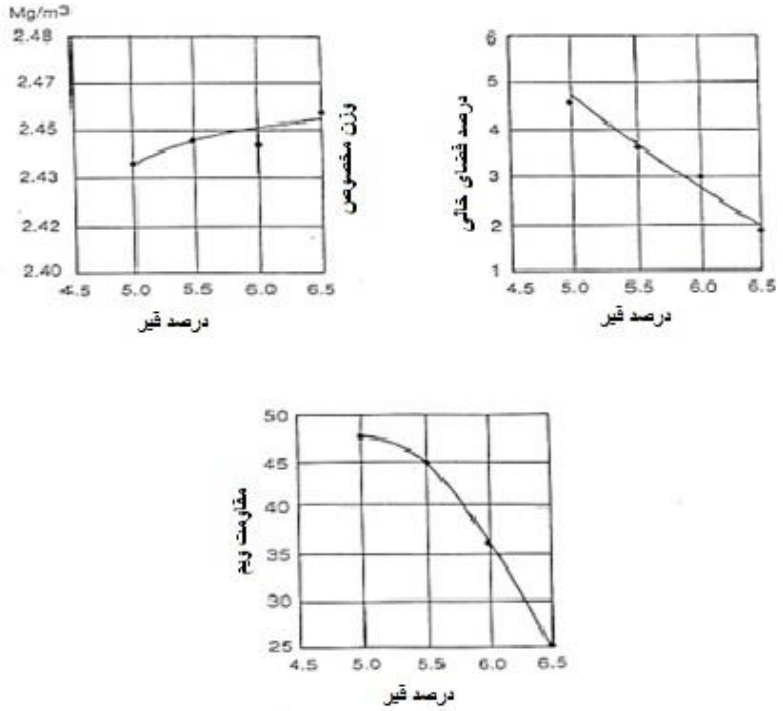
۳-۳-۶-۳-تورم نمونه :

تورم و میزان نفوذ آب از دیگر کمیتهایی است که در این روش تعیین میشود. برای این منظور ، نمونه ای با درصد قیر بهینه معین ساخته و سپس این نمونه در سل مخصوص قرار داده میشود و صفحه ای مشبک بر روی آن گذارده میشود و گیج مخصوص جهت قرائت تورم بر روی آن نصب میگردد .۵۰۰ میلی لیتر آب نیز بر روی سل مخصوص ریخته میشود و پس از۲٤ ساعت گیج،

قرائت میگردد. تغییرات قرائت گیج به عنوان مقدار تورم گزارش میشود. با توجه به کاهش ارتفاع آب در سلول، مقدار نفوذ آب نیز اندازه گیری می گردد.

۳-۳-۶-۴-تعیین قیر بهینه طرح اختلاط:

مقادیر پایداری ویم، وزن مخصوص و فضای خالی مخلوط با درصدهای مختلف قیر ترسیم میگردد .وزن مخصوص مخلوط آسفالتی متراکم شده و درصد فضای خالی مخلوط آسفالتی همانند روش مارشال تعیین میشود.



شکل(۳-٦): منحنی های حاصل از طرح اختلاط به روش ویم

۳-۳-۶-۵-طبقه بندی ترافیک:

ترافیک سبک کمتر از 10^4 محور معادل منفرد ($EAL< 10^4$)

ترافیک متوسط بین 10^4 تا 10^6 محور معادل منفرد ($10^4 < EAL < 10^6$)

ترافیک سنگین بیش از 10^6 محور معادل منفرد ($EAL > 10^6$)

۳-۳-۷-مراحل کلیدی و نمودارهای روش ویم:

در این روش به ترتیب، مراحل زیر برای انتخاب طرح اختلاط بهینه انجام میشود:

۱-انتخاب دانه‌بندی و ترکیب مناسب مصالح‌سنگی و محاسبه سطح مخصوص معادل آنها. جدول ۳-۱۰ محاسبات تعیین سطح مخصوص معادل یک نمونه دانه بندی سنگی را نشان داده است.

۲-به کمک آزمایش هم ارزی سانتریفیوژ معادل نفتی و با استفاده از آزمایش ظرفیت سطحی، ضریب معادل سانتریفیوژ نفتی مصالح سنگی ریز دانه C.K.E و درصد روغن باقیمانده (نگه داشته) برای شن و ماسه درشت دانه[1] POR به کمک روابط زیر تعیین میشود:

[1] P Oil ratio

$$C.K.E_{corrected} = C.K.E * \frac{SG}{2.65} \quad (۱۲-۳)$$

$$C.K.E = \frac{W_w - W_D}{W_D} * 100 \quad (۱۳-۳)$$

$$POR_{corrected} = POR * \frac{SG}{2.65} \quad (۱٤-۳)$$

$$POR = \frac{W_w - W_D}{W_D} * 100 \quad (۱۵-۳)$$

در این روابط:

SG : دانسیته نسبی شن و ماسه درشت دانه یا ریزدانه

W_w : وزن شن و ماسه درشت دانه یا ریزدانه و روغن جذب شده آنها

W_D : وزن شن و ماسه درشت دانه یا ریزدانه

POR : درصد روغن باقیمانده در دو حالت عادی و اصلاح شده

جدول(۳-٦): محاسبه سطح مخصوص معادل یک نمونه مصالح سنگی

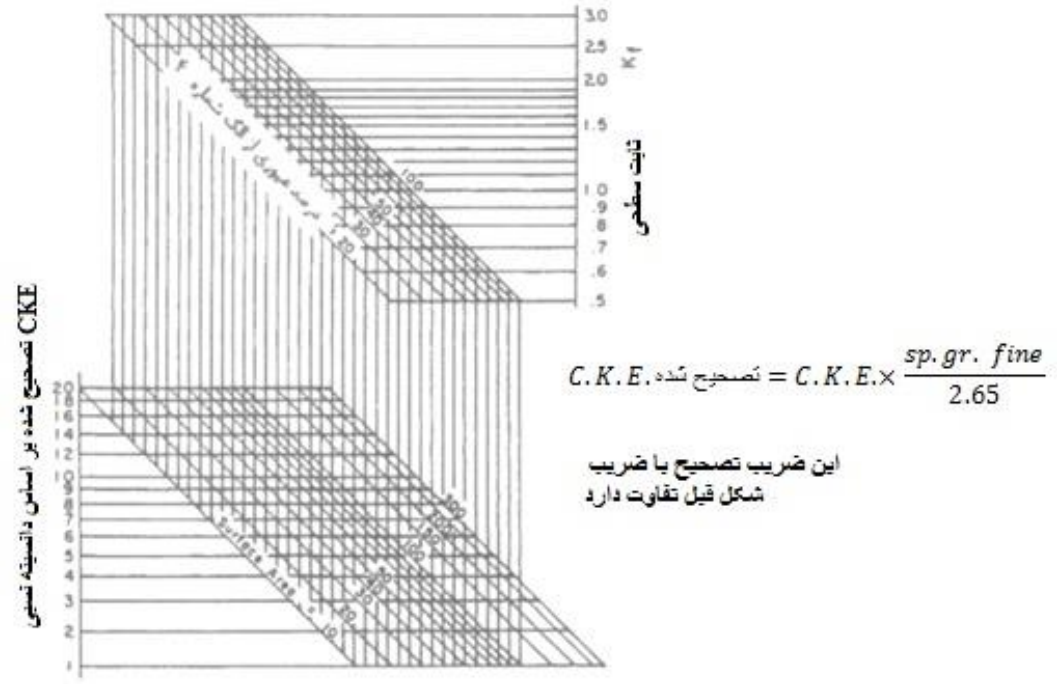
اندازه الک (۱)	درصد عبوری (۲)	ضریب سطح مخصوص (m^2/kg) (۳)	حاصل ضرب ستون۲و۳
۹.۵ میلیمتر	۱۰۰	۰.٤۱	۰.٤۱
#٤ (٤.۷۵ میلیمتر)	۷۵	۰.٤۱	۰.۳۱
#۸ (۲.۳٦ میلیمتر)	٦۰	۰.۸۲	۰.٤۹
#۱٦ (۱.۱۸میلیمتر)	٤۵	۱.٦٤	۰.۷٤
#۳۰ (۰.٦ میلیمتر)	۳۵	۲.۸۷	۱
#۵۰ (۰.۳ میلیمتر)	۲۵	٦.۱٤	۱.۵٤
#۱۰۰ (۰.۱۵ میلیمتر)	۱۸	۱۲.۲۹	۲.۲۱
#۲۰۰ (۰.۷۵ میلیمتر)	۱۰	۳۲.۷۷	۳.۲۸
	جمع کل		۹.۹۸ m^2/kg

۳-براساس مقادیر C.K.E و POR ضرایب K_f از منحنی شکل ۳-۷ و K_c از منحنی شکل ۳-۸ تعیین میشوند.

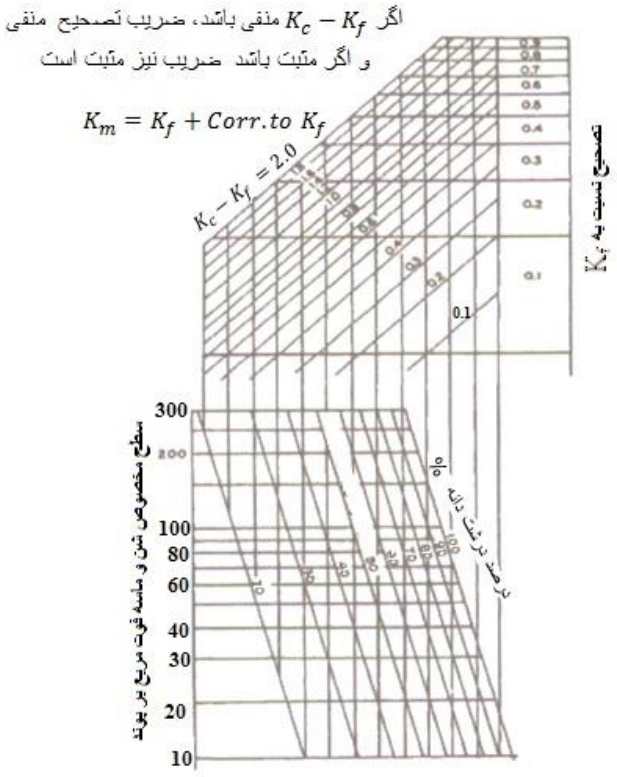
٤-براساس مقدار سطح مخصوص دانه های سنگی ، ضریب تصحیح K_f از شکل ۳-۹ تعیین میشود .

۵- ضریب K_m محاسبه میشود. این ضریب برابر با مجموع ضرایب K_f و ضریب تصحیح شده آن خواهد بود . در صورتیکه تفاضل ضریب K_f و K_c مثبت باشد، مقدار ضریب مثبت و اگر تفاضل منفی باشد، مقدار آن عددی منفی خواهد بود.

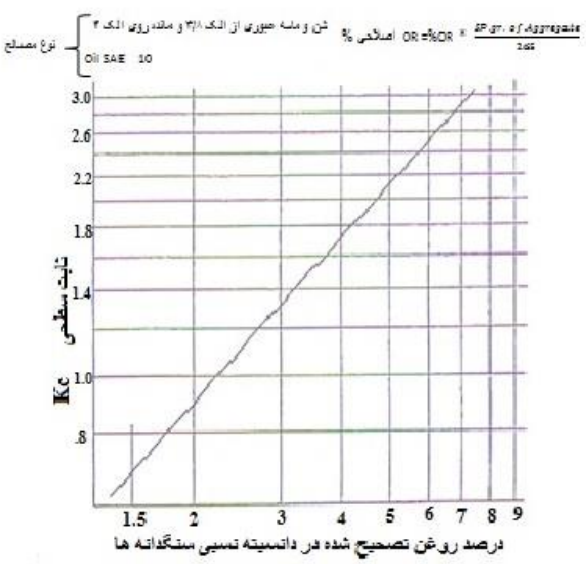
٦-با استفاده از شکل ۳-۱۰، نسبت روغن OR برای نوع قیر محلول تعیین میشود.



شکل(۳-۷): نمودار تعیین ضریب K_f در تعیین C.K.E تصحیح شده



شکل(۳-۹): نمودار ترکیب K_c و K_f برای محاسبه K_m



شکل(۳-۸): تعیین ضریب K_c بر حسب C.K.E

۷-با استفاده از شکل ۳-۱۱ و رابطه ۳-۱۶، نسبت روغنی برای یک نوع چسپاننده قیری درجه بندی شده تعیین میشود.

$$P_b = \frac{OR}{100+OR} * 100 \qquad (۱۶-۳)$$

در این رابطه OR نسبت روغن و P_b درصد قیر است.

جدول(۳-۷): دمای اختلاط شن وماسه

نوع قیر	دما،درجه سانتیگراد
AC-2,5 ,AR-1000,or200-300Pen	۱۱۰ تا ۱۲۰
AC-5 ,AR-2000,or120-150Pen	۱۲۰ تا ۱۳۵
AC-10 ,AR-4000,or85-100Pen	۱۳۵ تا ۱۵۰
AC-20 ,AR-8000,or60-70Pen	۱۵۰ تا ۱٦۵
AC-40 ,AR-16000,or40-50Pen	۱٦۵ تا ۱۸۰

۸-قیر و شن و ماسه را بر اساس دمای داده شده در جدول ۳-۷ مخلوط می‌کنیم.(٦ نمونه ساخته میشود که ٤ نمونه جهت اندازه گیری تغییر شکل (یکی با درصد قیر مرحله قبل ،۲ تا با ۰.۵ درصد کمتر و یکی در ۰.۵ درصد بیشتر) و ۲ نمونه جهت آزمایش اندازه گیری تورم، در درصد قیر مرحله قبل)

۹- بعد از نگهداری نمونه‌ها در دمای ٦۰ درجه سانتیگراد به مدت ۱۵ ساعت ، مجدداً نمونه ها را تا دمای ۱۱۰ درجه سانتیگراد گرم کرده و متراکم می‌کنیم.

۱۰-با استفاده از آزمایش تغییر شکل سنج، مقدار S را از رابطه(۳-۱۱) تعیین می کنیم. با استفاده از منحنی شکل ۳-۱۲ مقادیر را بر اساس ارتفاع نمونه تصحیح می کنیم.

۱۱- با استفاده از آزمایش تورم، مقدار تورم نمونه‌ها را براساس تغییرات ضخامت آنها، با رعایت شرایط آزمایش در مدت ۲٤ ساعت، تعیین می‌کنیم.

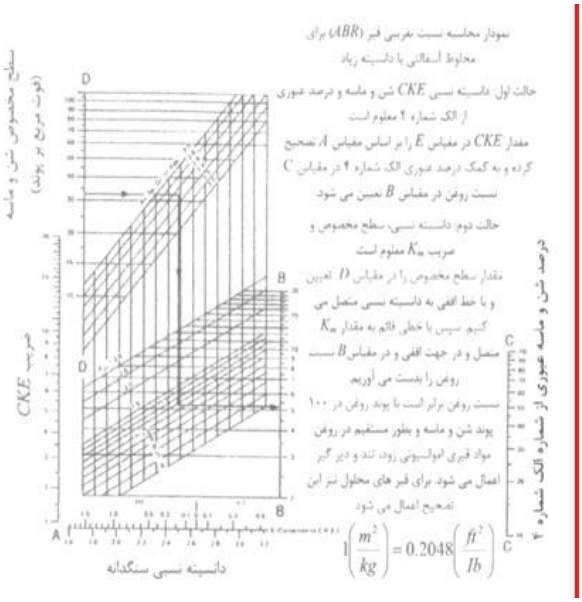
۱۲- درصد هوای مخلوطهارا تعیین میکنیم.

۱۳-با استفاده از منحنی شکل ۳-۱۳ درصد قیر بهینه را تعیین می‌کنیم.

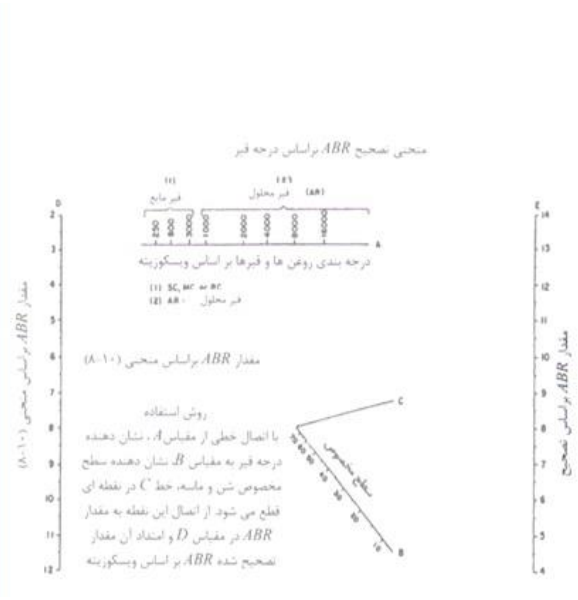
جدول(۳-۸): معیارهای طرح اختلاط مخلوطهای آسفالتی به روش ویم

طبقه بندی ترافیک	**سبک**		**متوسط**		**سنگین**	
مقدار پایداری	حداقل	حداکثر	حداقل	حداکثر	حداقل	حداکثر
	۳۰	---	۳۵	---	۳۷	---
تورم	کمتر از ۰.۷۷ میلیمتر					
حجم حفرات هوا	تقریبا ۴ درصد					

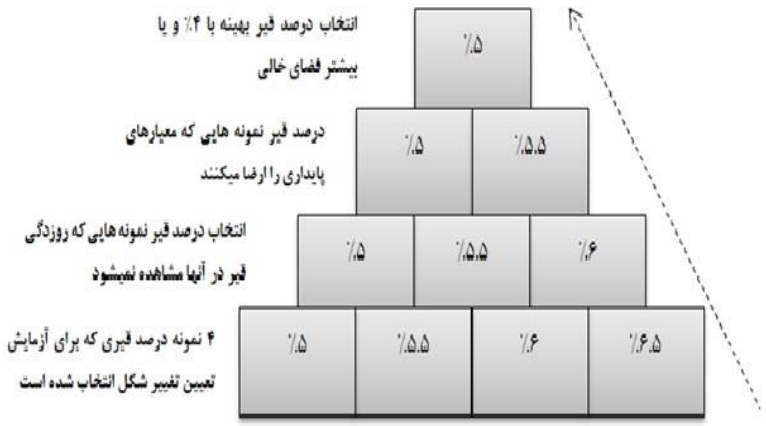
در جدول ۳-۸، معیارهای حداقل مقادیر تغییر شکل و تورم پیشنهادی این روش و در شکل ۳-۱٤، تجهیزات تراکم نمونه‌ها نشان داده شده است.



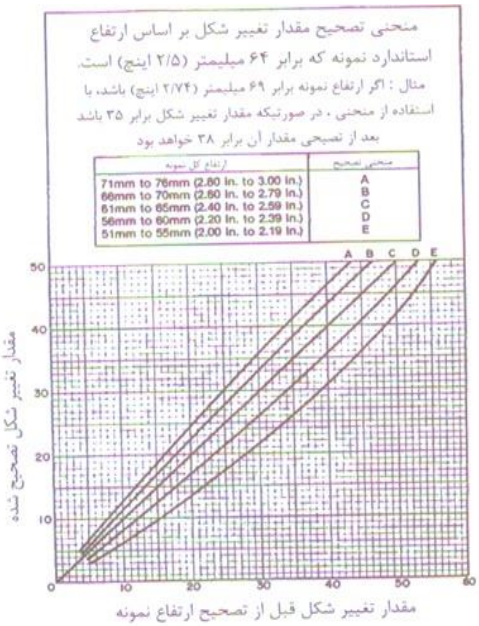
شکل(۳-۱۰): نمودار تعیین نسبت روغن بکار رفته در آزمایش



شکل(۳-۱۱): منحنی تصحیح درجه قیر



شکل(۳-۱۳) مثال منحنی تعیین درصد قیر بهینه با استفاده از ٤ نمونه



شکل(۳-۱۲) نمودار تصحیح تغییر شکل در اثر تغییرات ارتفاع نمونه

انتخاب مقدار قیر بهینه آسفالت با استفاده از منحنی تعیین درصد قیر بهینه:

- با تمام مقادیر قیر آسفالت در پایین هرم آغاز کنید.
- مقادیری از قیر را که باعث میشود سطح راه صیقلی شود، حذف کنید. (فرض کنید در این مثال ٦.٥٪ قیر باعث صیقلی شدن سطح میشود)
- سه عدد بزرگ قیر باقیمانده را در تراز دوم هرم بنویسید.
- پایداری ویم این سه نمونه را محاسبه و هر کدام را که حداقل پایداری را کسب نمیکند، حذف کنید. (در این مثال فرض کنید ٦٪ قیر ، حداقل پایداری مورد نیاز را کسب نمیکند)
- دو مقدار باقیمانده را در تراز سوم هرم قرار دهید.
- بزرگترین مقدار قیر مخلوط آسفالتی را انتخاب کنید که حداقل ٤٪ فضای خالی (حفره هوا) دارد و این مقدار را در بالای هرم قرار دهید. این مقدار، قیر بهینه آسفالت است.

۳-۳-۸-مزایا و معایب طرح مخلوط آسفالتی به روش ویم:

مزایا : از مزایای این روش میتوان به نحوه تراکم نمونه های آسفالتی در آزمایشگاه اشاره نمود.نحوه تراکم آزمایشگاهی این روش نسبتا تشابه بهتری با مشخصات تراکمی مخلوط آسفالتی درمحل دارد. همچنین پایداری ویم گویای اندازه گیری مستقیم اصطکاک داخلی و مقاومت برشی می باشد. پایداری در این روش بوسیلهٔ جابجایی افقی در مقابل نیروی عمودی اندازه گیری میشود.

معایب : از معایب روش ویم میتوان به گران بودن وسائل آزمایشگاهی آن و همچنین عدم سهولت در جابجایی این وسایل که امکان کنترل عملیات اجرا شده و استفاده از آن را در نقاط دوردست و در محل پروژه را، محدود میسازد، اشاره نمود. علاوه بر آن بعضی از مهندسین و دست اندرکاران معتقدند که شیوه انتخاب مقدار قیر در این روش بسیار ذهنی و مجازی بوده واطمینان بخش نمی باشد. همچنین برخی از خواص مهم حجمی مخلوط آسفالتی در این روش مطرح نمی‌گردد.

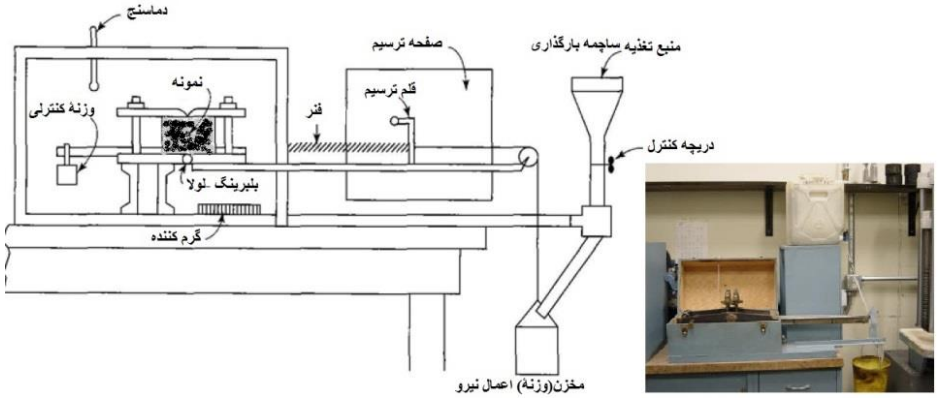
شکل(۳-۱٤): دستگاه تراکم مالشی کالیفرنیا[1]

۳-۳-۹-چسبندگی سنج ویم[2]:

آزمایش چسبندگی به جهت تعیین چسبندگی مخلوط آسفالتی گرم استفاده میشود. بارگذاری جهت تعیین مقاومت شکست نمونه با یک نرخ مشخص از وزن ساچمه ها انجام میگردد و مقدار چسبندگی از رابطهٔ زیر محاسبه میگردد.

$$C = \frac{L}{W(0.2\,t+0.044t^2)} \qquad (۳-۱۷)$$

که در آن C مقدار چسبندگی به گرم بر اینچ ، L وزن گلوله های سربی به گرم ، Wقطر یا عرض نمونه به اینچ است.



شکل(۳-۱۵): دستگاه سنجش چسبندگی

[1]California kneading compactor
[2] Hveem Cohesiometer

شکل(۳-۱۶):فلوچارت طرح اختلاط ویم

۳-۴-روش طرح اختلاط سوپرپیو (روسازی ممتاز)[1]

۳-۴-۱-تاریخچه:

این روش ، حاصل تلاشهای برنامه تحقیقات استراتژیک راهها (SHRP)[2] در مورد مخلوط آسفالتی است که از سال ۱۹۸۷ تـا ۱۹۹۲ در ایالات متحده آمریکا انجام گردید، و در آن، مشخصات ۲۵ ناحیه پژوهشی، در سیستمی واحد جمع آوری گردید .این روش طرح اختلاط شامل مشخصات مصالح اولیه، روش آزمایش ویژه با دستگاههای پیشرفته و سیستم مشخصات مخلوط آسـفالتی و نـرم افزار مربوطه Core می باشد .

[1] Superpave
[2] Strategic Highway Research Program

تحت برنامه های تحقیقاتی استراتژیک بزرگراهها (SHRP) یک ابتکار عمل برای بهبود روش طرح اختلاط و انتخاب مصالح به شرح زیر صورت گرفت :

یک روش طرح اختلاط جدید که شرایط محیطی و بارگذاری ترافیکی را در نظر می گیرد.

روش جدیدی برای ارزیابی و سنجش قیر آسفالت

روش جدیدی برای آنالیز مخلوط

هدف از این روش طرح اختلاط،که از نوع عملکرد مبنایی می باشد و برای انواع مخلوطهای آسفالتی مناسب است، انتخاب مناسب مصالح، کنترل و کاهش بروز تغییر شکل دائمی و ایجاد ترکهای ناشی از خستگی و دمای پایین در مخلوط آسفالتی و همچنین برای حساسیت مخلوط آسفالتی در برابر آب و نیز پیش بینی خرابیهای مخلوط آسفالتی در عمر روسازی می باشد.

۳-۴-۲-روش طرح:

روش طرح اختلاط سوپرپیو شامل ۷ مرحله اصلی است:

انتخاب سنگدانه ها

انتخاب قیر

آماده سازی نمونه ها

آزمایشات عملکردی

محاسبات حجم حفرات و چگالی

انتخاب مقدار قیر بهینه آسفالت

سنجش حساسیت در برابر رطوبت

۳-۴-۲-۱-انتخاب سنگدانه ها

با توجه به نقش و اهمیت اساسی خواص و کیفیت مصالح سنگی مصرفی در مخلوطهای آسفالتی گرم در روش سوپرپیو، ویژگیهای مصالح سنگی برای مصرف در روسازیهای آسفالتی در دو گروه "ویژگیهای کلی[۱]" و "ویژگیهای مصالح سنگی خام معدنی[۲]" طبقه بندی شده است. ویژگیهایی که برای مصالح سنگی در این گروه مورد بررسی قرار می‌گیرند عبارتند از:

زاویه داربودن یا شکستگی مصالح سنگی درشت دانه[۳]

زاویه داربودن یا شکستگی مصالح سنگی ریزدانه[۴]

درصد سنگدانه های پهن و دراز[۵]

درصد رس[۶]

درصد شکستگی مصالح سنگی درشت دانه

این ویژگی در قالب درصد شکستگی مصالح سنگی بزرگتر از۴.۷۵ میلیمتر در یک یا دو جبهه تعیین می گردد. روش آزمایش پیشنهادی Superpave برای تعیین درصد شکستگی مصالح سنگی درشت دانه"روش بخش حمل ونقل پنسیلوانیا شماره ۶۲۱"[۱] می

[1] Consensus Properties
[2] Source Properties
[3] Coarse Aggregate Angularity
[4] Film Aggregate Angularity
[5] Flat Elongated patticles
[6] Clay Content

باشد .مقدار شکستگی مصالح سنگی درشت دانه در مشخصات این روش با توجه به محل قرارگیری لایه آسفالتی در سیستم روسازی و همچنین تراز آن از سطح بارگذاری روسازی و نیز تعداد محورهای معادل آمدوشد متغیر است. در جدول ۳-۱۲ ضوابط مربوط به این ویژگی قید گردیده است.

درصد شکستگی مصالح سنگی ریزدانه:

زاویه داربودن یا شکستگی مصالح سنگی ریزدانه کوچکتر از ۲.۳٦ میلیمتر در مشخصات Superpave برحسب درصد فضای خالی مصالح ریزدانه غیرمتراکم[2] که با روش آزمایش AASHTO TP33 تعیین می گردد، بیان میشود. هر قدر فضای خالی در این حالت بیشتر باشد، سطوح و جهت های شکسته در مصالح ریزدانه زیادتر میشود. حدود مشخصات این پارامتر در Superpave برحسب اینکه مصالح سنگی، در چه ترازی نسبت به سطح رویه آسفالتی قرار گرفته اند و همچنین تعداد محورهای معادل آمدوشد، تعیین شده است. (جدول۳-۹)

جدول(۳-۹):معیارهای انتخاب مصالح شن و ماسه و سطح ترافیکی

سطح ترافیکی، میلیون ESAL	درصد شکستگی مصالح درشت دانه		درصد شکستگی مصالح ریزدانه	
	کمتر از ۱۰۰ میلیمتر	بیش از ۱۰۰ میلیمتر	کمتر از ۱۰۰ میلیمتر	بیش از ۱۰۰ میلیمتر
کمتر از ۰.۳	۷۵/–	۵۰/–	۴۰	۴۰
۰.۳تا کمتر از ۳	۸۵/۸۰	۶۰/–	۴۵	۴۰
۳تا کمتراز۳۰	۹۵/۹۰	۷۰/۷۵	۴۵	۴۰
۳۰ و بیشتر	۱۰۰/۱۰۰	۱۰۰/۱۰۰	۴۵	۴۵

سطح ترافیکی	هم ارز ماسه ایی ٪	درصد مصالح پهن ودراز٪
کمتر از ۰.۳	۴۰	---
۰.۳تا کمتر از ۳	۴۵	۱۰
۳تا کمتر از۱۰	۴۵	۱۰
۱۰تا کمتر از۳۰	۴۵	۱۰
۳۰ و بیشتر	۵۰	۱۰

سطح ترافیکی	تعداد دوران برای تراکم نمونه ها			
	N اولیه		N طراحی	N حداکثر
	دوران	دانسیته نسبیG_{mm}%		
کمتر از ۰.۳	۶	کمتراز۹۱/۵	۵۰	۷۵
۰.۳تا کمتر از ۳	۷	کمتراز۹۰/۵	۷۵	۱۱۵
۳تا کمتراز۳۰	۸	کمتراز۸۹	۱۰۰	۱۶۰
۳۰ و بیشتر	۹	کمتراز۸۹	۱۲۵	۲۵۰

برای ترافیک استاندارد وکند ، مقدار N طراحی را یک سطح افزایش می دهیم

سطح ترافیکی	محدوده درصد فضای خالی مصالح شنی که توسط قیر جذب میشود، VFA%
کمتر از ۰.۳	۷۰ تا ۸۰
۱تا۳	۶۵ تا ۷۸
بیش از ۳	۶۵ تا ۷۵

اندازه اسمی حداکثرشن وماسه، میلیمتر	حداقل مقدار تخلخل مصالح معدنی٪
۹.۵	۱۵
۱۲.۵	۱۴
۱۹	۱۳
۲۵	۱۲
۳۷.۵	۱۱

$1.2 \leq$ نسبت درصد وزنی مصالح عبوری از الک200 به درصد وزنی قیر موثر ≤ 0.6
ضریب مقاومت کششی = نسبت متوسط مقاومت کششی نمونه های مرطوب به متوسط مقاومت کششی نمونه های خشک

[1] Pennsylvania DOT Test Method No.621
[2] Loosely Compacted

یادآوری: ۸۵/۸۰ بدین معنی است که شکستگی در یک جبهه باید ۸۵ و در دو جبهه ۸۰ درصد باشد.

سنگدانه های پهن و دراز:

در Superpave درصد حداکثر مجاز مصالح سنگی پهن و دراز که بر اساس روش استاندارد ASTM D 4791 تعیین می‌گـردد، برحسب تعداد محورهای معادل آمدوشد تعیین گردیده است. (جدول ۳-۹)

درصد رس:

میزان مجاز رس در مصالح سنگی که برحسب ارزش ماسه‌ای و با روش استاندارد ASTM-D2419 تعیین می گردد، نیز در ایـن روش برحسب تعداد محورهای معادل آمدوشد تعیین گردیده است.

ویژگیهای مصالح سنگی خام معدن:

- سختی لوس آنجلس[1]

سختی برحسب درصد افت وزنی مصالح سنگی در اثر سایش در آزمایش لوس آنجلس با روش ASTM-C131-C 535 تعیـین می گردد. در Superpave حداکثر مقدار مجاز افت وزنی برحسب مورد ۳۵ تا ٤٥ درصد می باشد.

- سلامت یا افت وزنی در مقابل سولفات سدیم و منیزیم[2]

این مقادیر نیز با روش آزمایش ASTM-C 88 تعیین می گردد. درSuperpave این مقدار بر حسب مورد، بین ۱۰ تا ۲۰ درصـد در پنج سیکل می باشد.

- مواد مضره[3]

مواد زیان آور که شامل سنگدانه های سست، چوب، میکا، زغال، شیل[4]، کلوخه های رسی وسایر مواد زیان آور می باشـد ، در مصالح سنگی ریزدانه و درشت دانه بر اسـاس روشASTM-C142 تعیـین مـی گـردد .حـداکثر مقـدار مجـاز ایـن مـواد زیـان آور درSuperpave برحسب نوع آلودگی از۰.۲ تا ۱۰ درصد تعیین شده است.

انتخاب دانه بندی شن و ماسه : حداکثر اندازه اسمی(ظاهری): بیشینه اندازه اسمی و ابعاد مصالح باید ۹.۵ تا ۱۹.۵ میلیمتر برای رویه آسفالتی گرم و ۱۹ تا ۳۷.۵ میلیمتر برای لایه اساس آسفالت گرم باشد.

نقاط کنترل دانه بندی : منحنی دانه بندی باید از نقاط کنترل جدول ۳-۱۸ بگذرد.

منطقه محدود شده دانه بندی[5]: درروش اولیه طرح اختلاط سوپرپیو توصیه می شد که منحنی دانه بندی نباید از منطقه ممنوعه عبور کند. در صورتیکه دانه بندی مصالح از زیر منطقه محدود شده عبور می کرد، بعنوان درشت دانه بندی شده ، و در صورتیکه از بالای آن عبور می کرد بعنوان ریزدانه بندی شده ، طبقه بندی می شد.

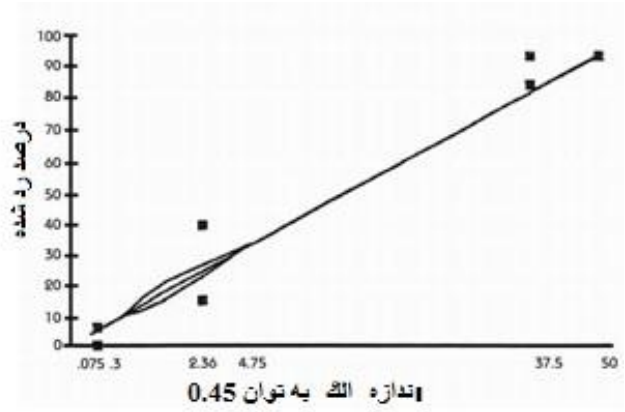
برای مخلوطهای آسفالتی،اگر نمودار دانه بندی مصالح سنگی که در مقیاس محور قائم نظیر درصد رد شده مصالح سنگی از الک و محورافقی اندازه الک به توان ۰.٤٥، ترسیم شود، برای حداکثر دانسیته مصالح سنگی به خط مستقیم تبدیل میشود .در این سیستم با توجه به حداکثر اندازه اسمی مصالح سنگی، دو معیار کنترلی برای دانه بندی مخلوط مصالح سنگی جهت مخلوطهای آسفالتی گرم در نظر گرفته شده است .نخست نقاط کنترلی وجود دارد که نمودارداندانه بندی مصالح سنگی باید در داخل آن قـرار گیـرد .ایـن نقـاط در ناحیه الک ۰.۰۷۵ میلیمتر(شماره۲۰۰)، ۲.۳٦ میلیمتر(شماره ۸) ودر حداکثر اندازه اسمی و حداکثر اندازه سنگدانه قرار دارد .علاوه بر نقاط کنترلی در این سیستم، محدوده ممنوعه ای در راستای خط مستقیم که معرف حداکثر دانسیته است و تقریبًا بین الکهای شماره ٤

[1] Toughness
[2] Soundness
[3] Deleterious Materials
[4] Shale
[5] Restricted Zone

و ۵۰ قرار میگیرد وجود دارد، که دانه بندی انتخابی برای مخلوطهای آسفالتی نباید در این محدوده ممنوعه قرار گیـرد .در ایـن زمینـه توصیه شده که دانه بندی انتخابی از ناحیه زیرین خارج ازاین منطقه، عبور نماید. در سوپرپیو دانه بندی مخلوط مصالح سنگی با توجه به حداکثراندازه اسمی آنها به پنج گروه، طبقه بندی شده و برای هر یک از آنها مشخصات مربوطـه، نقـاط کنترلـی و محـدوده تعیـین گردیده است و در نمودارها و جداول ۳-۱۰ تا ۳-۱۷ مشخصات آنها ترسیم و قید گردیده است.

جدول(۳-۱۰): حداکثر اندازه اسمی ۳۷.۵ میلیمتر

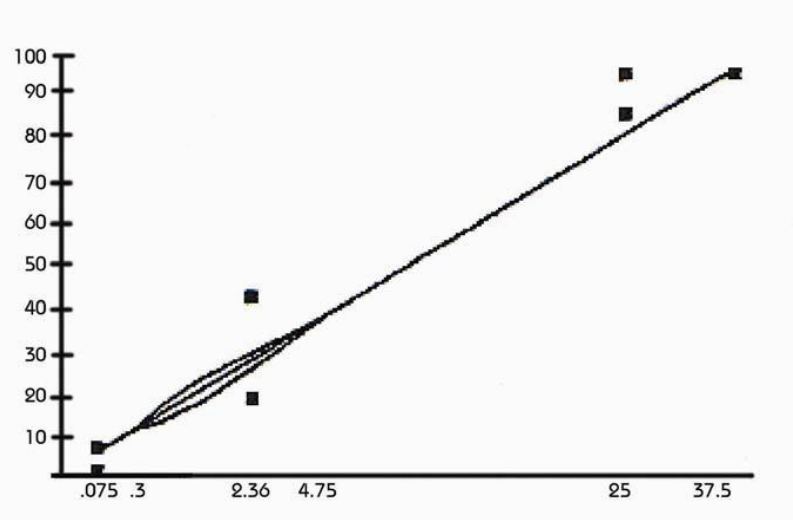
اندازهٔ الک میلیمتر	نقاط کنترلی		محدودهٔ ممنوعه	
			ماکزیمم	مینیمم
۵۰		۱۰۰/۰		
۳۷/۵	۹۰/۰	۱۰۰/۰		
۲۵				
۱۹				
۱۲/۵				
۹/۵				
۴/۷۵			۳۴/۷	۳۴/۷
۲/۳۶	۱۵/۰	۴۱/۰	۲۷/۳	۲۳/۳
۱/۱۸			۲۱/۵	۱۵/۵
۰/۶۰۰			۱۵/۷	۱۱/۷
۰/۳۰۰			۱۰	۱۰
۰/۱۵۰				
۰/۰۷۵	۰/۰	۶/۰		



شکل(۳-۱۷): نمودار جدول ۳-۱۳

جدول(۳-۱۱)- حداکثر اندازه اسمی ۲۵ میلیمتر

اندازهٔ الک میلیمتر	نقاط کنترلی		محدودهٔ ممنوعه	
			ماکزیمم	مینیمم
۳۷/۵		۱۰۰/۰		
۲۵	۹۰/۰	۱۰۰/۰		
۱۹				
۱۲/۵				
۹/۵				
۴/۷۵				
۲/۳۶	۱۹/۰۰	۴۵/۰	۳۹/۵	۳۹/۵
۱/۱۸			۳۰/۸	۲۶/۸
۰/۶۰۰			۲۴/۱	۱۸/۱
۰/۳۰۰			۱۷/۶	۱۳/۶
۰/۱۵۰			۱۱/۴	۱۱/۴
۰/۰۷۵	۱/۰	۷/۰		



شکل(۳-۱۸): نمودار جدول ۳-۱٤

جدول ۳-۱۲- حداکثر اندازه اسمی ۱۹ میلیمتر

اندازهٔ الک میلیمتر	نقاط کنترلی		محدودهٔ ممنوعه	
			ماکزیمم	مینیمم
۲۵		۰/۱۰۰		
۱۹	۰/۹۰	۰/۱۰۰		
۵/۱۲				
۵/۹				
۷۵/۴				
۳۶/۲	۰/۲۳	۰/۴۹	۶/۳۴	۶/۳۴
۱۸/۱			۳/۲۸	۳/۲۲
۶۰۰/۰			۷/۲۰	۷/۱۶
۳۰۰/۰			۷/۱۳	۷/۱۳
۱۵۰/۰				
۰۷۵/۰	۰/۲	۰/۸		

جدول ۳-۱۳- حداکثر اندازه اسمی ۱۲.۵ میلیمتر

اندازهٔ الک	نقاط کنترلی		محدودهٔ ممنوعه	
			ماکزیمم	مینیمم
۱۹		۱۰۰/۰		
۱۲/۵	۹۰/۰	۱۰۰/۰		
۹/۵				
۴/۷۵				
۲/۳۶	۲۸/۰	۵۸/۰	۳۹/۱	۳۹/۱
۱/۱۸			۳۱/۶	۲۵/۶
۰/۶۰۰			۲۳/۱	۱۹/۱
۰/۳۰۰			۱۵/۵	۱۵/۵
۰/۱۵۰				
۰/۰۷۵	۲/۰	۱۰/۰		

جدول ۳-۱٤- حداکثر اندازه اسمی ۹.۵ میلیمتر

اندازهٔ الک میلیمتر	نقاط کنترلی		محدودهٔ ممنوعه	
			ماکزیمم	مینیمم
۱۲/۵		۱۰۰/۰		
۹/۵	۹۰/۰	۱۰۰/۰		
۴/۷۵				
۲/۳۶	۳۲/۰	۶۷/۰	۴۷/۲	۴۷/۲
۱/۱۸			۳۷/۶	۳۱/۶
۰/۶۰۰			۲۷/۵	۲۳/۵
۰/۳۰۰			۱۸/۷	۱۸/۷
۰/۱۵۰				
۰/۰۷۵	۲/۰	۱۰/۰		

جدول ۳-۱۵ – نقاط کنترل دانه بندی مصالح در طراحی به روش سوپرپیو(تحقیقات جدید)

اندازه الک	حداکثر اندازه اسمی دانه ها									
	۳۷.۵ میلیمتر		۲۵ میلیمتر		۱۹ میلیمتر		۱۲.۵ میلیمتر		۹.۵ میلیمتر	
	حداقل	حداکثر	حداقل	حداکثر	حداقل	حداکثر	حداقل	حداکثر	حداقل	حداکثر
۵۰ میلیمتر	۱۰۰									
۳۷.۵ میلیمتر	۹۰	۱۰۰	۱۰۰							
۲۵ میلیمتر		۹۰	۹۰	۱۰۰	۱۰۰					
۱۹ میلیمتر				۹۰	۹۰	۱۰۰	۱۰۰			
۱۲.۵ میلیمتر						۹۰	۹۰	۱۰۰	۱۰۰	
۹.۵ میلیمتر								۹۰	۹۰	۱۰۰
۴.۷۵ میلیمتر										۹۰
۲.۳۶ میلیمتر	۱۵	۴۱	۱۹	۴۵	۲۳	۴۹	۲۸	۵۸	۳۲	۶۷
۰.۰۷۵ میلیمتر	۰	۶	۱	۷	۲	۸	۹	۱۰	۲	۱۰

در عین حال نتایج تحقیقات اخیر نشان می دهندکه مخلوط هایی با دانه بندی هایی که از منطقه ممنوعه تجاوز نموده اند، توانسته اند بطور مشابه یا بهتراز مصالحی که از آن نگذشته اند، اجرا شوند. بنابراین ، با حذف منطقه ممنوعه، اگر نمودار منحنی دانه بندی از پایین نقطه کنترل اولیه PCS[1] عبور کند، آن مصالح بعنوان درشت دانه طبقه بندی می شود . نقطه کنترل در جدول ۳-۱٦ مشخص شده است. سایر دانه بندی ها بعنوان ریز دانه طبقه بندی میشوند.

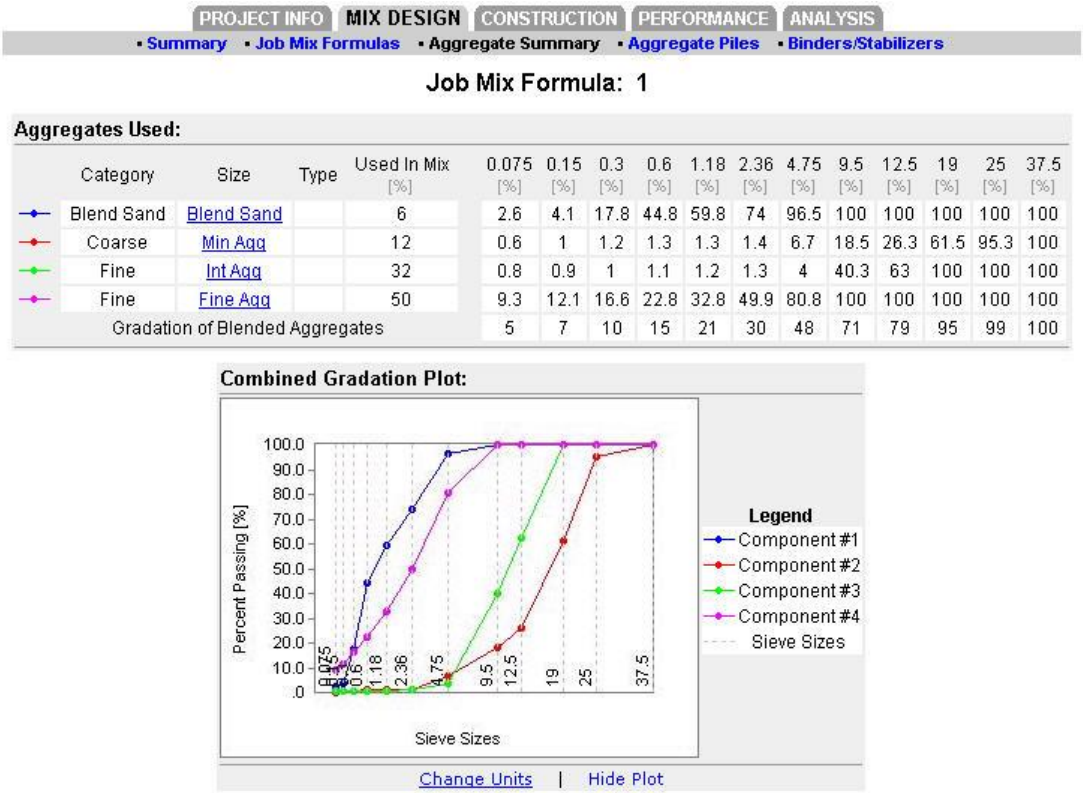
جدول ۳-۱٦- طبقه بندی دانه ها در روش سوپرپیو(تحقیقات جدید)

حداکثر اندازه اسمی سنگدانه	**۳۷.۵ میلیمتر**	**۲۵ میلیمتر**	**۱۹ میلیمتر**	**۱۲.۵ میلیمتر**	**۹.۵ میلیمتر**
نقطه کنترل اولیه	**۹.۵ میلیمتر**	**٤.۷۵ میلیمتر**	**٤.۷۵ میلیمتر**	**۲.۳٦ میلیمتر**	**۲.۳٦ میلیمتر**
درصد عبوری از نقطه کنترل اولیه	**٤۷**	**٤۰**	**٤۷**	**۳۹**	**٤۷**

برای بدست آوردن دانه بندی مطلوب به ندرت فقط از یک قرضه استفاده می شود . بنابراین معمولا طرح اختلاط سوپرپیو ، چند منبع مختلف سنگدانه را انتخاب و باترکیب آنها با هم با یک نسبت معین ، دانه بندی نهایی قابل قبول را تولید می‌کند. کاملا نرمال است که برای یافتن طرح اختلاط سوپرپیو از ۳ یا ٤ قرضه مختلف سنگدانه استفاده شود. (شکل ۳-۱۹)

[1] Primary control Seive

بطور معمول، مخلوط چند سنگدانه برای طرح اختلاط قبل از تشکیل مخلوط نهایی باید ارزیابی شود . ارزیابی به وسیله آماده سازی نمونه مخلوط آسفالت گرم با تعیین مقدار قیر بهینه و سپس تراکم آن ، انجام می شود .نتایج این ارزیابی میتواند نشان دهد که آیا یک ترکیب خاص حداقل الزامات (حداقل فضای خالی سنگدانه ها)را در، دوران اولیه یا دوران ماکزیمم تامین می کند یا خیر



شکل(۳-۱۹) : نمایش منحنی مشخصات ترکیب مصالح سنگی از ٤ منبع برای مخلوط آسفالتی گرم

۳.-۴-۲-۲-انتخاب قیر

در روش طرح اختلاط Superpave نوع قیر مخلوط آسفالتی با توجه به طبقه بندی عملکردی PG [1] و بر اساس درجه حرارت محیطی، میزان آمدوشد و سرعت بارگذاری انتخاب می گردد .نوع قیر، بر اساس متوسط حداکثر دمای هفت روز آن محل (دمای طرح روسازی) وهمچنین حداقل دمای آن مشخص می گردد . (به طور مثال نوع قیر ١٦-٥٢- PG برای محیطی درنظر گرفته می شود که حداکثر دمای هفت روز آن (دمای طرح روسازی) ٥٢ درجه سانتیگراد وحداقل آن ١٦ - درجه سانتیگراد باشد) .قیر مورد نظر همچنین بایستی با انجام آزمایشات ویژه Superpave و مطابقت نتایج آن با معیارهای مربوطه ، مورد بررسی و ارزیابی قرار گیرد .در جدول ۳-۲۰ طبقه بندی و معیارهای قیر، بر اساس PG درج گردیده است .با انتخاب نوع قیر مناسب ، امکان ایجاد ترکهای حرارتی، از بین رفته و یا کاهش می یابد. از سوی دیگر مقاومت مخلوط آسفالتی در برابر تغییر شکلهای دائمی و ترکهای خستگی افزایش می یابد.

PG (سطح عملکرد) قیر بر اساس حداکثر دمای مورد انتظار محلی که روسازی در آن اجرا می شود، انتخاب می گردد . نرم افزار سوپرپیو (یا برنامه مستقلی مثل LTPP Bind) برای محاسبه این حداکثر و انتخاب PG (سطح عملکرد) مناسب قیر بکار می رود که با استفاده از یکی از سه روش متفاوت زیر انجام می شود :

۱-دمای روسازی: طراح دمای روسازی را بطور مستقیم در طراحی بکار می برد .

۲-دمای هوا: طراح دمای هوای محل را وارد میکند ، سپس نرم افزار آن را به دمای روسازی تبدیل میکند.

[1] Performance Grade

جدول(۳-۱۷): مشخصات قیر بر اساس عملکرد (SHRP)

طبقه بندی عملکرد	PG70						PG76					PG82				
	-10	-16	-22	-28	-34	-40	-10	-16	-22	-28	-34	-10	-16	-22	-28	-34
میانگین ۷روزحداکثر دمای طرح روسازی (°C)	70 >						76 >					82 >				
حداقل دمای طرح روسازی (°C)	−10 <	−16 <	−22 <	−28 <	−34 <	−40 <	−10 <	−16 <	−22 <	−28 <	−34 <	−10 <	−16 <	−22 <	−28 <	−34 <
قیر اصلی																
دمای نقطه اشتعال T48 حداقل °C	**۲۳۰**															
دمایآزمایش °C کندروانی حداکثرcp 3000 ASTM D440	**۱۳۵**															
دمایآزمایش °C برش‌دینامیکی tp5 حداقل ۱کیلوپاسکال($0.1\frac{rad}{s}$)	**۷۰**						**۷٦**					**۸۲**				
باقیمانده از آزمایش لعاب نازک چرخشی (T_{240}) با بقیمانده لعاب نازک (T_{179})																
کاهش وزن حداکثر ٪	**۱**															
برش دینامیکی tp5 حداقل۲.۴کیلو پاسکال دمای آزمایش °C($\frac{rad}{s}$ ۱۰)	**۷۰**						**۷٦**					**۸۲**				
باقیمانده از محفظه تسریع پیری (PPI)																
دمای پیری PAV, °C	100(110)						100(110)					100(110)				
برش دینامیکی tp5 حداقل5000کیلوپا سکال دمای آزمایش °C(۱۰ $\frac{rad}{s}$)	34	31	28	25	22	19	37	34	31	28	25	40	37	34	31	28
گزارش																
سفتی تحت خزش ۱ tp حداکثر۳۰۰مگاپاسکا ل مقدار m حداقل ، ۰.۳دمای آزمایش °C(۶۰ sec)	۰	-٦	-۱۲	-۱۸	-۲٤	-۳۰	۰	-٦	-۱۲	-۱۸	-۲٤	۰	-٦	-۱۲	-۱۸	-۲٤
کشش مستقیم ۳ tp کرنش شکست حداقل۱٪ ، دمای آزمایش °C	۰	-٦	-۱۲	-۱۸	-۲٤	-۳۰	۰	-٦	-۱۲	-۱۸	-۲٤	۰	-٦	-۱۲	-۱۸	-۲٤

۳-منطقه جغرافیایی: طراح محل پروژه را وارد میکند . (برای مثال ایالت ، شهر، بخش) نرم افزار با استفاده از آن ، دوباره شرایط آب و هوایی را از اطلاعات پایه هواشناسی بدست می آورد و بعد ، آن را به دمای روسازی تبدیل میکند .

هنگامیکه درجه حرارت روسازی تعیین شود، میتوان سطح عملکرد(PG) قیر مناسب را با آن تطبیق داد.

۳-۴-۲-۳-دمای طراحی روسازی:

روش طرح اختلاط سوپرپیو با هر دو دمای حداقل و حداکثر ، طراحی روسازی را انجام می دهد. این دماها به صورت زیر تعیین می شوند:

*دمای بالای روسازی: براساس میانگین دمای ۷ روز گرم محل و مناطق اطراف آن

*دمای پایین روسازی: دمای یک روز سرد محل و مناطق اطراف

سوپرپیو با استفاده از این دماها بعنوان نقطه شروع ، سطح عملکرد (PG) مناسب قیر را با بکارگیری فرضیات قابل اطمینان تعیین می کند .

تنظیمات دمای طراحی روسازی :

محاسبات دمای طراحی روسازی بر اساس روسازی با مخلوط آسفالتی گرم تحت ترافیک سریع انجام می شود . بطور خاص ، آزمایش برش دینامیک رئومتر (DSR) با نرخ ۱۰ رادیان بر ثانیه که برابر سرعت ترافیک حدود ۹۰ کیلومتر بر ساعت (۵۵ مایل بر ساعت) است، انجام می شود . روسازی هایی که در معرض ترافیک با سرعت کمتر (یا متوقف) هستند مثل تقاطعها، عوارضی ها و ایستگاههای اتوبوس باید از قیر سخت تری نسبت به آنچه در ترافیک با سرعت بالا بکار می رود، استفاده کنند . سوپرپیو اجازه می دهد درجه حرارت بالا برای بارهای رفت و آمدی کند یک درجه و برای بارهای ایستا ، دو درجه افزایش یابد . علاوه براین ، درجه حرارت زیاد باید یک درجه برای بار ۲۰ ساله پیش بینی شده بیش از ۳۰ میلیون ESALs افزایش یابد.

برای روسازی هایی که تحت شرایط مختلف و متفاوت هستند ، لازم است که فقط بزرگترین درجه که مورد استفاده قرار می گیرد، برای افزایش درجه قیر بکار رود . بنابراین ، برای یک روسازی مفروض که بار کند را تجربه می کند، (پتانسیل افزایش یک درجه) و ESALs بیش از ۳۰ میلیون دارد (پتانسیل افزایش یک درجه) دمای بالای قیر باید فقط یک درجه افزایش یابد. جدول ۳-۱۸ دو مثال برای تنظیم دمای بالای طراحی را نشان میدهد .

جدول(۳-۱۸): نمونه ایی برای تنظیمات دمای طراحی روسازی برای بارهای ایستا و کند

ESALs ۲۰ ساله بیش از ۳۰ میلیون (۱درجه افزایش)	درجه برای بارهای ایستا (۲ درجه افزایش)	درجه برای بارهای رفت و امدی کند(۱درجه افزایش)	درجه نرمال
PG 64-22	PG 70-22	PG 64-22	PG 58-22
PG 76-22	PG 82-22	PG 76-22	PG 70-22*

*بالاترین دمای ممکن روسازی در آمریکای شمالی حدود ۷۰ درجه سانتی گراد است اما دو درجه دمای بالاتر برای بارهای ایستا لازم است.

۳-۴-۲-۴-آماده سازی نمونه ها (ازجمله تراکم)

در روش سوپرپیو مانند سایر روشهای طرح اختلاط ، چندین مخلوط آسفالتی با مقادیر مختلف قیر تولید می شود . سپس با نتایج آزمایش عملکرد هر مخلوط ، مقدار قیر بهینه آسفالت تعیین می گردد . برای این کار ، آزمایش مخلوطها ، باید شامل دامنه وسیعی از ترکیب اجزای آسفالت ، با مقادیر کمتر و بیشتر از قیر بهینه آسفالت باشد . بنابراین گام اول در آماده سازی نمونه ها ، تعیین مقدار بهینه آسفالت است . آزمایش ترکیب اجزا انجام و پس از آن ، مقادیر بهینه تعیین می گردند .

محققین SHRP در تحقیقات خود برای تراکم نمونه های مخلوط آسفالتی در آزمایشگاه ، خواهان دستگاهی بودند که تراکم واقعی را در نمونه های مخلوط آسفالتی برای رسیدن به دانسیته ایی که در روسازی آسفالتی با شرایط آب و هوایی و آمدوشد مورد نیاز است، به دست آورد .همچنین این دستگاه بایستی قادر باشد مخلوط آسفالتی حاوی مصالح سنگی درشت دانه را نیز متراکم نماید و بتواند میزان تراکم و قابلیت تراکم را اندازه گیری نموده ، تا رفتار صحیح مخلوط آسفالتی را در این زمینه و همچنین مشکلات تراکمی را مشخص نماید. تحقیقات محققینSHRP در این زمینه منجر به ارائه دستگاهی گردید که دستگاه متراکم کننده ژیراتوری سوپرپیو (SGC)[1] نامیده شد .این دستگاه با داشتن جایگاهی برای نمونه با قطر ۱۵۰ میلیمتر، این امکان را فراهم می سازد تا مصالح سنگی با حداکثر اندازه ۵۰ میلیمتر نیز مورد آزمایش قرار گیرد . این دستگاه از قسمتهای کلی زیرتشکیل گردیده است:

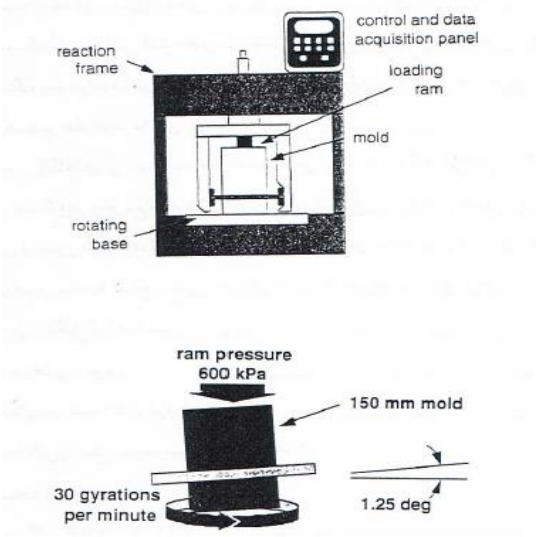
۱ -بدنه، پایه چرخشی و موتور

۲ -سیستم اعمال بار، دسته انتقال نیرو و فشار سنج

۳ -سیستم اندازه گیری ارتفاع نمونه، سیستم ثبت اطلاعات

٤ -قالب و صفحه پایه

در شکل ۳-۲۰ دستگاه SGC نشان داده شده است.



شکل(۳-۲۰): شمایی از SGC

هر نمونه برای مدت زمان کوتاهی (تا ٤ ساعت) با دمای اختلاط پیش بینی شده گرم می شود، سپس اعمال بار به وسیله عکس العمل بدنه بر نمونه و با فشار ٦۰۰ کیلوپاسکال انجام می گردد.فشارسنج، مقدار فشار را که باید در طول تراکم ثابت بماند، مشخص می نماید .قالب دستگاه دارای قطر داخلی ۱۵۰ میلیمتر است که صفحه پایه ای ته قالب محدودیت حرکت قالب در طول تراکم را فراهم می آورد .موتور الکتریکی ، پایه چرخشی را با سرعت ۳۰ دور در دقیقه و تحت زاویه ۱.۲۵ درجه می گرداند. اندازه گیری ارتفاع نمونه از ویژگیهای مهم دستگاه SGC می باشد. با این اندازه گیری و مشخص بودن وزن نمونه ها در قالب و نیز اندازه ابعاد داخلی قالب، دانسیته نمونه ومیزان تراکم در طول مدت تراکم تخمین زده میشود و دانسیته مخلوط آسفالتی با افزایش تعدادچرخش افزایش می یابد . ارتفاع نمونه توسط ثبت حالات دستک انتقال نیرو در طول آزمایش اندازه گیری می گردد .به این ترتیب، مشخصات تراکمی نمونه در حین تراکم معین میشود .در روش سوپرپیو تعداد چرخش برای تراکم، با توجه به مقدار بار ناشی از آمدوشد و وضعیت حداکثر دما در متوسط ۷ روز برای هر پروژه تعیین می گردد. محدوده مقادیر تعداد چرخش با توجه به عوامل مذکور در جدول ۳-۱۹ درج گردیده است.

[1] Superpave Gyratory Compactor

جدول(۳-۱۹): تعداد چرخش SGC در روش سوپرپیو

طراحی	میانگین حداکثر دمای طراحی											
ESALS	$<39^{o}$ C			$39-40^{o}$ C			$41-42^{o}$ C			$43-44^{o}$ C		
میلیون	N_{ini}	N_{des}	N_{max}	N_{ini}	N_{des}	N_{max}	N_{ini}	N_{des}	N_{max}	N_{ini}	N_{des}	N_{max}
<0.3	7	68	104	7	74	114	7	78	121	7	82	127
0.3-1	7	76	117	7	83	129	7	88	138	8	93	146
1-3	7	86	134	8	95	150	8	100	158	8	105	167
3-10	8	96	152	8	106	169	8	113	181	9	119	192
10-30	8	109	174	9	121	195	9	128	208	9	135	220
30-100	9	126	204	9	139	228	9	146	240	10	153	253
>100	9	143	235	10	158	262	10	165	275	10	172	288

پارامترهای کلیدی در متراکم کننده ژیراتوری عبارتند از:

اندازه نمونه: قطر سیلندر تقریبا معادل ۱۵۰ میلیمتر (٦ اینچ) ، ارتفاع ۱۱۵ میلیمتر (٤.٥ اینچ) (برای نمونه‌های با ارتفاع متفاوت باید تصحیح انجام شود) توجه کنید که ابعاد این نمونه از ابعاد نمونه هایی که در طرح اختلاط ویم و مارشال بکار میرود بزرگتر است. (شکل ۳-۲۰)

بار: دایره ایی و تخت به قطر ۱٤۹.٥ میلیمتر (٥.۸۹ اینچ) برابر سطح ۱۷٥.٥ سانتیمتر مربع (۲۷.۲٤ اینچ مربع)

فشار تراکمی: بطور معمول ٦۰۰کیلوپاسکال (۸۷ پوند بر اینچ مربع)

تعداد ضربات: متفاوت

روش شبیه سازی : بار به بالای نمونه اعمال می شود و تقریبا تمام سطح بالای نمونه را می پوشاند. نمونه را ۱.۲٥ درجه خم و با سرعت ۳۰ بار در دقیقه بصورت یک بار پیوسته می چرخانیم . این روش در جهت گیری ذرات مانند آنچه که در محل پروژه رخ می دهد ،کمک می کند .

شکل(۳-۲۱):متراکم کننده ژیراتوری و نمونه های مارشال و ژیراتوری

متراکم کننده ژیراتوری ، ۳ عدد مختلف چرخش را نشان میدهد :

۱-تعداد دوران اولیه (N_{ini}): تعداد چرخش بکاررفته برای اندازه گیری توان تراکم مخلوط در طی ساخت و ساز است . مخلوطهایی که به سرعت متراکم میشوند، (حفرات هوا در دوران اولیه آنها بسیار کم است) ممکن است در طی ساخت، ترد و نازک

شوند و زمانی که تحت بار ترافیک قرار می گیرند، ناپایدار شوند. مخلوطهای آسفالت گرم با ماسه طبیعی زیاد ، با دوران اولیه شکسته می شوند. مخلوط طراحی شده برای ترافیک بزرگتر یا برابر ۳ میلیون ESALs با ٤ درصد حفره هوا در چرخش طراحی ، باید حداقل ۱۱ درصد حفره هوا در دوران اولیه داشته باشد .

۲-تعداد دوران طراحی (N_{des}): این عدد در طراحی برابر چرخش مورد نیاز برای تولید نمونه ایی است که چگالی مشابه با محل پروژه ، وقتی ترافیک پیش بینی شده از آن عبور کند، است .

۳-دوران ماکزیمم (N_{max}): تعداد چرخش مورد نیاز برای تولید چگالی آزمایشگاهی که هرگز نباید بیش از چگالی محل شود . اگر حفره های هوا در دوران ماکزیمم خیلی کم باشد و بعد مخلوط تحت با ترافیکی بیش از حد ، متراکم شود، نتیجه آن کاهش بسیار زیاد حجم حفرات هوا و ایجاد پتانسیل شیارافتادگی خواهد بود. مقدار حفرات هوا در دوران ماکزیمم هرگز نباید کمتر از ۲ درصد باشد.

بطور معمول نمونه ها در دوران طراحی با مقدار قیربهینه متراکم میشوند. سپس نمونه های اضافی برای کنترل با دوران ماکزیمم متراکم میشوند . پیش از این نمونه ها بابیشترین دوران ، متراکم می شدند. پس از آن دوران اولیه و طراحی مشخص میشد. جدول ۳-۲۳ چگالی مورد نیاز را بر حسب در صدی از چگالی تئوری ماکزیمم TDM برای چرخش اولیه، طراحی و ماکزیمم نشان می دهد. توجه کنید که عدد بار ترافیکی بر حسب تراز ترافیکی پیش بینی شده برای دوره طراحی ۲۰ ساله، صرف نظر از عمر واقعی جاده ها می باشد.

جدول (۳-۲۰): چگالی مورد نیاز برای دوران اولیه، طراحی و ماکزیمم

بار ترافیکی ۲۰ساله (میلیون**ESALs**)	**عدد چرخش**		
	دوران اولیه	**دوران طراحی**	**دوران ماکزیمم**
<۰.۳	**<۹۱.۵**	**۹٦**	**<۹۸**
۳> تا ۰.۳	**<۹۰.۵**		
۱۰> تا۳	**<۸۹**		
۳۰> تا۱۰			
<۳۰			

طرح اختلاط Superpave شامل سه سطح مجزای فرمول بندی شده می باشد. جدول ۳-۲٤ ، این امکان رابه ما می دهد که روش طرح اختلاط سازگار با شرایط آمدوشد (با در نظرگرفتن میزان بارگذاری و تعداد عبور) که روسازی در طی عمر خدمت دهی انتظار میرود با آن روبرو شود، انتخاب گردد.. (آمدوشد مزبور با جمع تعداد محورهای معادل ۸۰ کیلو نیوتن ESALs بار محوری منفرد معادل ۸۰ کیلونیوتن، بیان میشود.)

جدول (۳-۲۱): سطوح طرح اختلاط سوپرپیو با توجه به مقدار ESALs

ESALs	سطح طرح
$ESALs < 10^6$	**۱**
$10^6 < ESALs \leq 10^7$	**۲**
$ESALs > 10^7$	**۳**

در این روش طرح اختلاط، از سطح ۱ به سطح ۳ به تدریج بر پیچیدگی مراحل اختلاط و انجام آزمایشات افزوده شده و همچنین به تعداد نمونه ها و آزمایشات نیز اضافه می گردد .بنابراین زمان بیشتری نیز صرف میشود .در این روش اعلام گردیده که اگر در طرح اختلاط به شیوه سطوح ۱و ۲و ۳ تمامی ضوابط و معیارها رعایت شود، میتوان تضمینهای معقولی برای عملکرد مناسب روسازی آسفالتی ارائه نمود .بخشی که در هر سه طرح اختلاط Superpave مشترک است، آنالیز حجمی مخلوط آسفالتی است .بر خلاف سطوح ۲ و ۳ که در آنها، علاوه بر تراکم چرخشیGC از دستگاه آزمون برشی SHRP نیز استفاده می شود، در روش طرح اختلاط سطح ۱ اساس کار را تراکم چرخشی GC تشکیل می دهد .علاوه بر این، روش طرح اختلاط سطح ۳ شامل یک سری بررسی های پیشنهادی است تا از نتایج آزمایشهایی که اساس آن را عملکرد مبنایی تشکیل داده ، برای تأمین ضریب اطمینان طرح اختلاط ، اطمینان حاصل شود . در این روش ، کنترل پیرشدگی (فرسودگی زمانی) قیر به وسیله آزمایشهای RTFO و PAV نیز مورد بررسی قرار می گیرد .از آنجائی که برای تهیه مخلوطهای آزمایشگاهی ، از قیرهایی استفاده می شود که هنوز مراحل فرسودگی زمانی را طی نکرده اند، لذا فرسودگی زمانی مخلوط آسفالتی در کارخانه آسفالت و در محل روسازی باید در نظر گرفته شود . در فرسودگی زمانی کوتاه مدت برای مخلوطهای آسفالتی، نمونه برای مدت چهار ساعت درگرمخانه ای با دمای ۱۳۵ درجه سانتیگراد قرار گرفته، سپس در درجه حرارت مورد نظر متراکم می شود .در روش فرسودگی زمانی بلندمدت، مخلوط آسفالتی که در شرایط فرسودگی کوتاه مدت قرار داشته، در داخل گرمخانه ای با دمای ۸۵ درجه سانتیگراد قرار داده می شود .زمانی که مخلوط باید در داخل گرمخانه قرار گیرد، بسته به عمرروسازیی که مخلوط آسفالتی برای آن شبیه سازی میشود، متغیر است .زمان پیشنهادی به ازاء عمرسرویس دهی ۱۰ ساله، ۲ روز است .

۳-۴-۲-۵-آزمایشات عملکردی

در روش سوپرپیو آزمایشات عملکردی فقط برای آمدوشد متوسط و سنگین کاربرد دارد. بدین معنا که این آزمایشات فقط برای سطوح ۲ و ۳ طرح اختلاط سوپرپیو نیاز می باشد .آزمایشات عملکردی به وسیله روشها و دستگاههای جدیدی انجام می شود تا از مقاومت مناسب مخلوطهای آسفالتی در برابر انواع خرابیها نظیر تغییرشکل دائمی،ترکهای خستگی و ترکهای دمای پایین اطمینان حاصل شود .در این رابطه دستگاههای آزمایش برش(SST)[1] و دستگاه آزمایش کشش غیرمستقیم (IDT)[2] جهت انجام آزمایشات مورد نظر بکار می روند.

دستگاه آزمایش برش SST یا STD[3] :

این وسیله آزمایش برای تعیین مقاومت مخلوطهای آسفالتی در برابر تغییرشکل دائمی وترکهای خستگی به کار می رود .با این دستگاه ، بارهای عمودی و افقی بر نمونه های مخلوط آسفالتی اعمال شده و از این طریق نیروهای برشی و فشاری که در اثر بار چرخها بر روسازی وارد می شود، شبیه سازی می گردد .این دستگاه از سه قسمت اصلی زیر تشکیل شده است:

بدنه سیستم بارگذاری هیدرلیکی با دو بازو که نیروی برشی و محوری را بر نمونه وارد می نماید .نیروی موتور هیدرولیکی دارای دو مکانیزم است که هر یک دارای توانایی تقریبی ۳۲KN می‌باشد. محرکه عمودی، بار محوری را بر نمونه اعمال می‌نماید و محرکه افقی صفحه برشی را به حرکت درآورده، و در نتیجه نیروی برشی بر نمونه اعمال می‌گردد.

واحد کنترل محیطی که دما و فشار درون محفظه آزمایش را در سطح مورد نظر ثابت نگهداری می نماید .این واحد قادرمی باشد که دما را در سطح وسیعی از ۱ تا ۸۰ درجه سانتیگراد کنترل نموده و همچنین فشار هوای درون محفظه را نیز درصورت لزوم به طور دقیق کنترل نماید.

[1] Superpave Shear Test
[2] Indirect Tensile Test
[3] Shear Tester Device

واحد کنترل آزمایش که شامل سیستم‌های نرم افزاری و سخت افزاری برای کنترل بارهای آزمایشی و نیز دریافت و کنتـرل داده های آزمایش و تحصیل و پردازش اطلاعات می‌باشد. همچنین در این دستگاه چندین انتقال دهنده از نوع LVDT [1] تدارک دیده شده که بر روی نمونه ها قرار گرفته و عکس العمل آنها، در برابر بارهای اعمال شده را اندازه گیری می نماید.با استفاده از ایـن دسـتگاه، شش آزمایش زیر انجام می پذیرد:

۱. آزمایش حجمی[2]
۲. آزمایش کرنش تک محوری[3]
۳. آزمایش برش مکرر در نسبت تنش ثابت[4]
٤. آزمایش برش مکرر در ارتفاع ثابت[5]
۵. آزمایش برش ساده در ارتفاع ثابت[6]
٦. آزمایش سوئیپ فرکانسی[7] در ارتفاع ثابت

آزمایشهای حجمی و تنش تک محوری که بر اساس فشار محدودکننده انجام می گردد،فقط در طرح اختلاط سـطح ۳ سـوپرپیو انجام گرفته و در سطوح ۲ و ۳ آزمایشهای برش مکرر در نسبت کرنش ثابت، برش ساده در ارتفاع ثابت و آزمایش سوئیپ فرکانسی در ارتفاع ثابت انجام می گیرد .آزمایش برش مکرر در ارتفاع ثابت تنها آزمایشی است که برای تخمین عمق شیارافتادگی از آن استفاده می گردد .خلاصه از هریک از آزمایشات به شرح زیر می باشد:

آزمایش حجمی:

آزمایش حجمی یکی از دو آزمایشی است که از فشار محدودکننده استفاده می کند .این آزمـایش در سـه دمـای ٤، ۲۰ و 40درجـه سانتیگراد با فشارهای به ترتیب ۵۵۰، ٦۹۰ و ۸۳۰ کیلوپاسکال انجام می شود آزمایش با افزایش تنش در محدوده ۷۰ کیلوپاسکال در ثانیه انجام می گیرد و کرنش محیطی به وسیله LVDT اندازه گیری می‌شود.

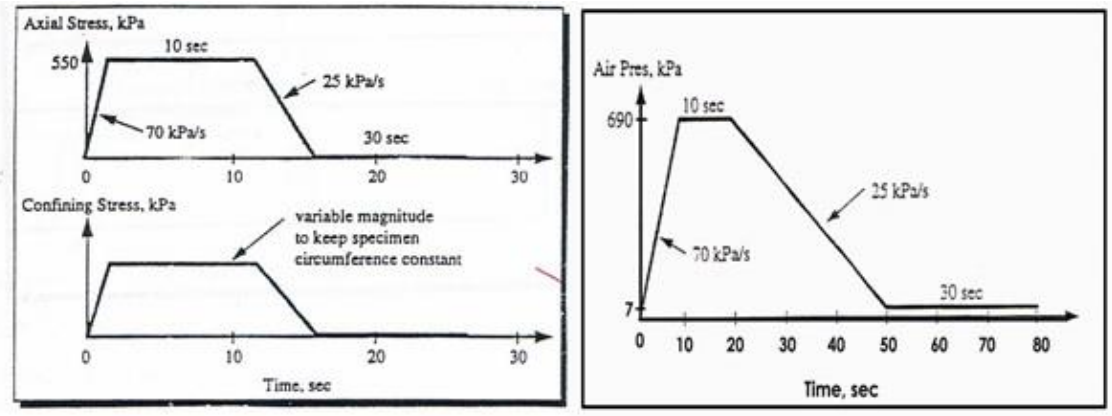
در شکل ۳-۲۲ تغییرات فشار نسبت به زمان در ۲۰ درجه سانتیگراد نشان داده شده است. نتایج این آزمـایش در تحلیـل تغییـر شکلهای دائم وترکهای ناشی از خستگی استفاده می‌گردد.

آزمایش کرنش تک محوری

در آزمایش کرنش تک محوری که از فشار محدودکننده استفاده می گردد، تنش محوری برنمونه وارد شده و در این حالت نمونه تمایل به افزایش اندازه در محیط دارد که LVDT این تغییرات را در محیط حس کرده و با ایجاد فشار هوا، از این افزایش جلـوگیری می نماید. مقدارفشار در این آزمایش نیز بستگی به دمای آزمایش دارد. این آزمایش در دماهای ۲ و ۲۰ و ٤۰ درجه با فشار به ترتیب ۳٤۵، ۵۵۰ و ٦۵۵ کیلوپاسکال انجام می‌شود.

در شکل ۳-۲۲ تنشها در طی این آزمایش ترسیم شده است .نتایج این آزمایش جهـت تحلیـل تغییرشـکلهای دائـم و ترکهـای خستگی کاربرد دارد.

[1] Linear Variable Differential Transducers
[2] Volumetric Test
[3] Uniaxil Strain Test
[4] Repeated Shear Test at Constant Stress Ratio
[5] Repeated Shear Test at Constant Height
[6] Simple Shear Test at Constant Height
[7] Sweep Frequency Test



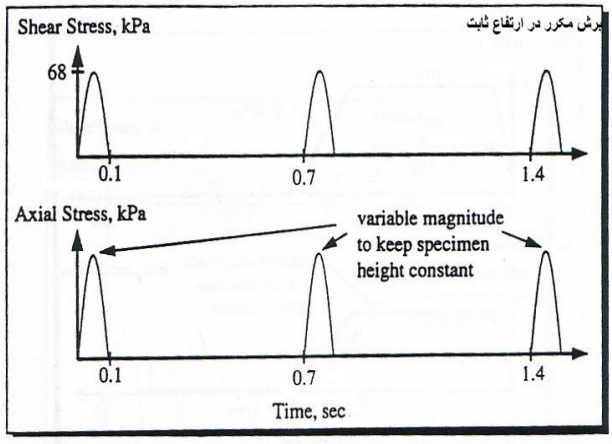
شکل (۳-۲۲): چگونگی اعمال فشار محدود کننده در آزمایش حجمی شکل(۳-۲۳) چگونگی اعمال تنش در آزمایش تنش تک محوری

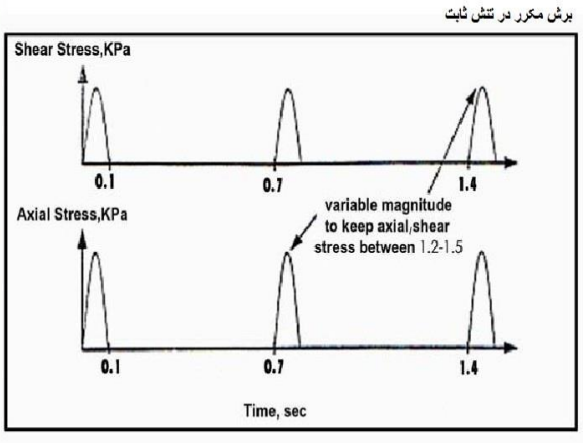
آزمایش برش مکرر در نسبت تنش ثابت:

این آزمایش که در هردو سطح ۲و ۳ انجام می گیرد، تمایل به شیارافتادگی شدید و ایجاد قابلیت خمیری (روندگی) مخلوطهای آسفالتی در درصد فضای خالی کم مخلوط آسفالتی را بررسی می نماید .در این روش، تنش برشی و بار محوری به طور همزمان بر نمونه اعمال شده و در طول آزمایش بارهای محوری و برشی و تغییرشکلها، اندازه گیری وثبت می شود. دوره بارگذاری برابر ۰.۷ ثانیه است که ۰.۱ آن برای زمان بارگذاری و ۰.٦ آن برای زمان استراحت درنظرگرفته شده است. بسته به سطح آمدوشد و شرایط آب و هوایی نمونه های آزمایشی، تحت بارگذاری سیکلی از ۵۰۰۰ تا ۱۲۰۰۰۰ قرار می گیرند. نسبت تنش محوری به تنش برشی در محدوده ۱.۲ تا ۱.۵ ثابت نگهداشته می شود. دمای به کار رفته شده در آزمایش، دمای کنترل (Tc) برای تغییر شکلهای دائمی می باشد، که درسوپرپیو این دما به عنوان شاخص جهت شرایط آب و هوایی و آمدوشد می باشد.

آزمایش برش مکرر در ارتفاع ثابت:

این روش آزمایش به صورت اختیاری برای سطوح ۲ و ۳ و به منظور تخمین عمق شیارافتادگی انجام می شود. در این آزمایش بار برشی برای کنترل تنش برشی به میزان ٦٨ کیلوپاسکال بر نمونه اعمال می گردد. در هنگام اعمال بار برشی مکرر، نمونه تمایل به انبساط پیدا می کنند که از طریق LVDT این علائم مشخص و در نتیجه بار محوری کافی برای جلوگیری از انبساط بر نمونه به وجود می آید .دوره بارگذاری برابر۰.۷ ثانیه می باشد که ۰.۱ ثانیه آن زمان وارد کردن باربرشی و۰.٦ ثانیه زمان استراحت می باشد که در مجموع، نمونه در معرض ۵۰۰۰ دوره بارگذاری قرار می گیرد. (شکل ۳-۲۵) دما در این آزمایش برابرTmax که دمای ۷ روزه حداکثر در عمق ۵۰ میلیمتری سطح روسازی می باشد، انتخاب می شود.





شکل(۳-۲۵): چگونگی اعمال بار (تنش محوری-تنش برشی) در آزمایش برش مکرر در ارتفاع ثابت

شکل(۳-۲٤): چگونگی اعمال بارهای محوری و برشی در آزمایش برش مکرر در نسبت تنش ثابت

آزمایش برش ساده در ارتفاع ثابت:

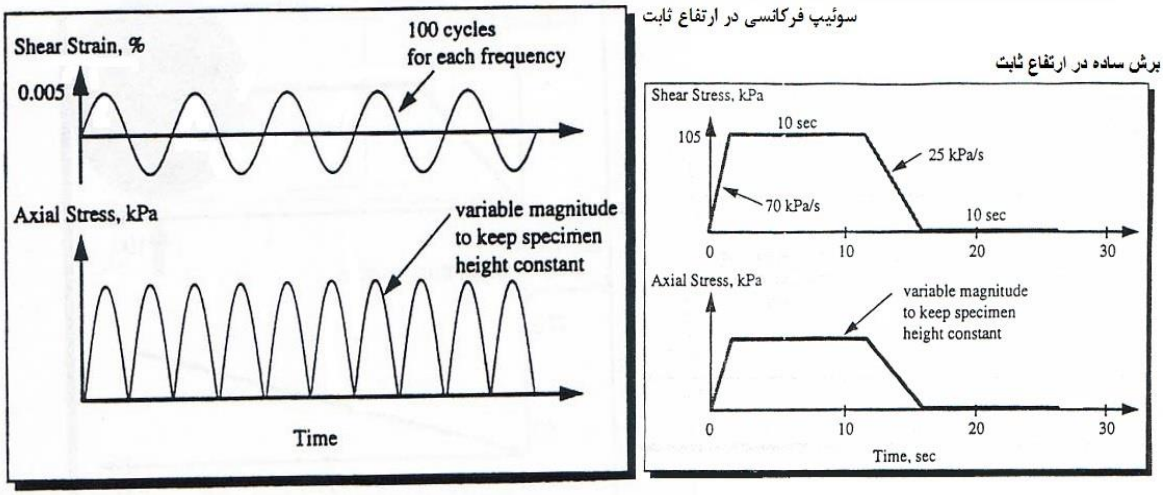
این آزمایش در هر دو سطح ۲ و ۳ انجام می گیرد .این آزمایش برای تحلیل در مورد تغییرشکل دائمی و ترکهای خستگی مخلوط آسفالتی کاربرد دارد .در این آزمایش، تنش برشی کنترل شده ای که بر نمونه اعمال می شود، باعث می گردد نمونه آزمایشی تمایل به انبساط یافته وافزایش ارتفاع یابد .به وسیله LVDT علائم مشخص و باعث می شود به منظور ثابت نگاه داشتن ارتفاع نمونه، تنش محوری کافی، اعمال گردد. (سطوح طرح ۲و۳ آزمایش، در تنش و دماهای مختلف انجام می گیرد. در جدول ۳-۲۲، مقدار دما و تنشها قید گردیده است) .در این جدول(*FC*) *Teff* دمای مؤثر برای تغییرشکل دائمی می باشد .این دما در سوپرپیو با توجه به شرایط آب و هوا و ضخامت مخلوطهای آسفالتی، تعیین می شود.

جدول(۳-۲۲): مقادیر تنش و دما در سطوح طرح ۲ و۳ سوپرپیو برش ساده در ارتفاع ثابت

سطح طراحی	درجه حرارت °C	تنش برشی kPa ,
2	$T_{eff(PD)}$ $T_{eff(FC)}$	35 105
3	4 20 40	345 405 35

آزمایش سوئیپ فرکانسی در ارتفاع ثابت:

این آزمایش در هر دو سطح ۲ و ۳ ، مورد استفاده قرار می گیرد .در این آزمایش بار سینوسی مکرر به منظور حصول کرنش برشی کنترل شده ۰.۰۰۵ درصد بر نمونه اعمال می گردد .تعداد صد سیکل برای هریک از فرکانسهای بارگذاری ۱- ۰.۵ - ۰.۲ - ۰.۱ - ۰.۰۰۵ و ۰.۰۰۲ هرتز، اعمال می‌شود. در این آزمایش به محض اینکه نمونه تحت برش قرار می گیرد ارتفاع نمونه تمایل به افزایش می نماید که علائم این حالت به وسیله LVDT نصب شده، مشخص شده و سپس تنش محوری مناسب برای ثابت نگه داشتن ارتفاع نمونه اعمال می گردد. (شکل۳-۲۶) در طول آزمایش بارهای محوری و برشی این آزمایش در دمای (*PD*) *Teff* و *Teff* *(FC)* برای سطح ۲ و در دماهای ۲۰، ٤ و ٤٠ درجه سانتیگراد برای سطح ۳ انجام می گیرد.



شکل(۳-۲۶): چگونگی اعمال تنش در آزمایش برش ساده در ارتفاع ثابت

شکل(۳-۲۷): چگونگی اعمال تنش محوری و کرنش برشی در آزمایش سوئیپ فرکانسی در ارتفاع ثابت

دستگاه آزمایش کشش غیرمستقیمIDT :

از این وسیله آزمایش برای پیش بینی تغییرشکل پذیری و مقاومت مخلوطهای آسفالتی دربرابر ترکهای خستگی ایجادشده به سبب تکرار بارهای اعمال شده در اثر آمدوشد و شرایط آب و هوایی استفاده می گردد .این دستگاه، خزش و مقاومت نمونه مخلوط آسفالتی استوانه ای به قطر ۱۵۰ میلیمتر را با استفاده از بارگذاری کشش غیرمستقیم دردماهای مشخص پایین تا متوسط(کمتر از ۲۰

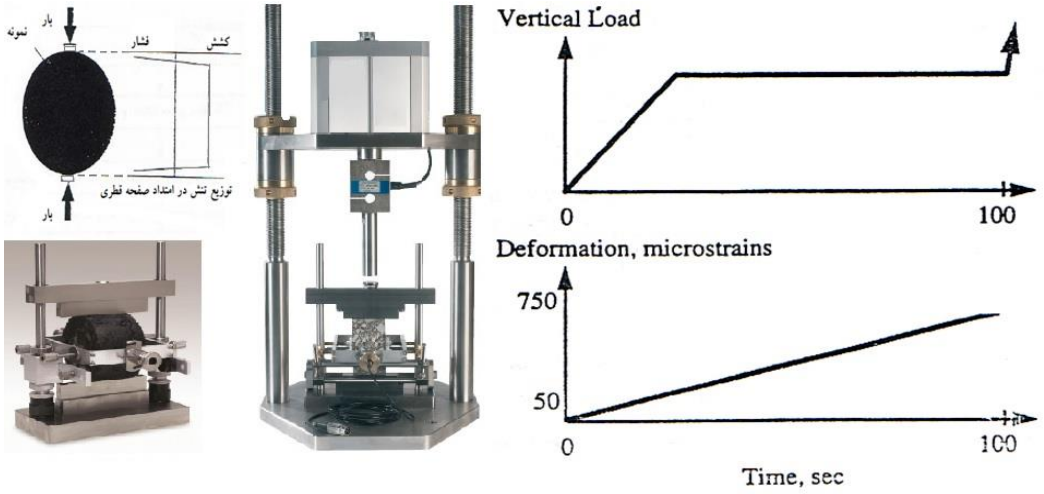
درجه سانتیگراد) ، اندازه گیری می نماید .این دستگاه در داخل محفظه ای قرار دارد که دمای آن بین ۲۰ + تا ۲۰ - درجه سانتیگراد قابل تنظیم و کنترل می باشد و با این وسیله دو آزمایش زیر بر روی نمونه های مخلوط آسفالتی تهیه شده، انجام می گردد:

۱-آزمایش خزش به روش کششی غیرمستقیم در دمای پایین (جهت بررسی ترکهای دمای پایین)

۲-آزمایش مقاومت کشش غیرمستقیم در دمای متوسط(جهت بررسی ترکهای خستگی)

آزمایش خزش در مقاومت کشش غیرمستقیم[1]:

این آزمایش برای هر دو سطح ۲ و ۳ سوپرپیو و به منظور بررسی ترکهای دمای پایین مخلوط آسفالتی در سه دمای متفاوت ۱۰- ،۰ و ۲۰ – درجه سانتیگراد با استفاده از نمونه های استوانه ای به قطر ۱۵۰ میلیمتر انجام می گیرد .در مرحله نخست آزمایش بار استاتیکی با مقدارثابت (به صورت بارگذاری در امتداد قطر)برای خزش بر نمونه وارد می گردد. (شکل۳-۲۸)



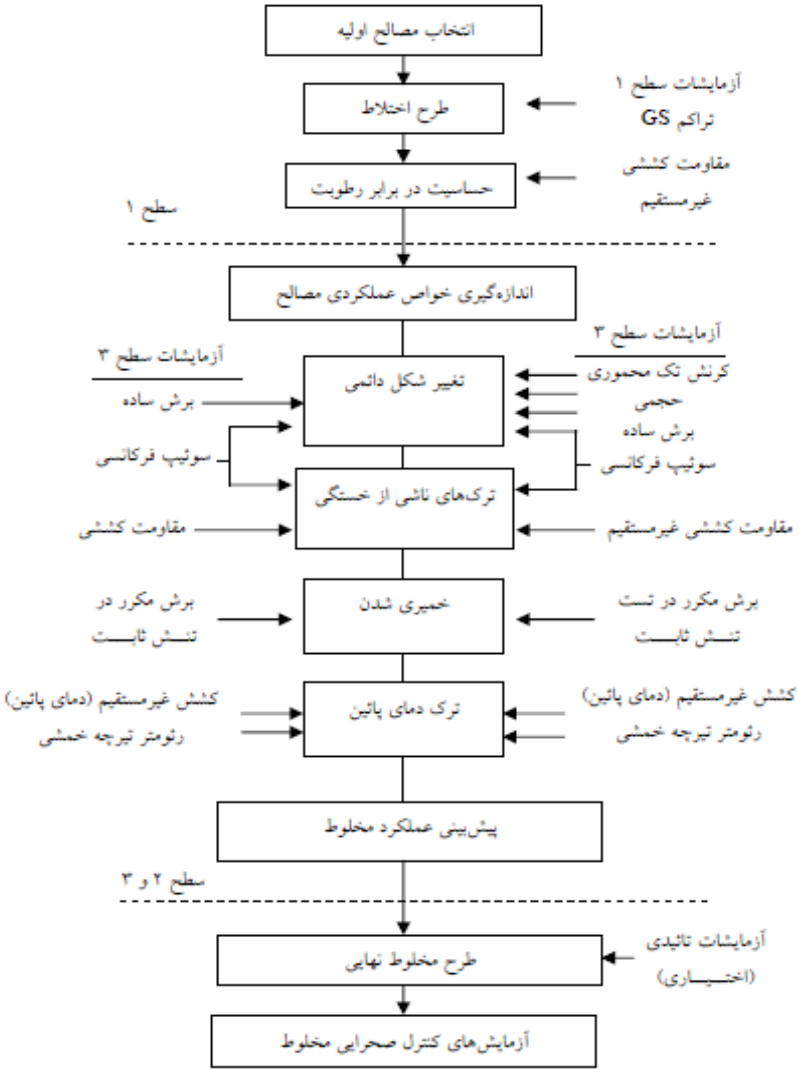
شکل(۳-۲۸): چگونگی اعمال بار در آزمایش خزش ، دستگاه و فک آزمایش کشش غیر مستقیم

این مقدار بار در حدی است که طی مدت ۱۰۰ ثانیه که زمان تعیین شده جهت خزش دراین آزمایش می باشد، کرنش افقی خزش بین ۵ تا ۷۵۰ ایجاد نماید. در سطح ۲ سوپرپیو، آزمایش خزش در دمای ۰ ، ۱۰- و ۲۰- درجه سانتیگراد و آزمایش مقاومت کشش غیرمستقیم در ۱۰ – درجه سانتیگراد و درسطح ۳ سوپرپیو آزمایش خزش و مقاومت کشش غیرمستقیم هردو در سه درجه حرارت ذکرشده انجام می گیرد.

آزمایش مقاومت کشش غیرمستقیم:

این آزمایش به جهت بررسی خواص مخلوط آسفالتی از نظر مقاومت در برابر خستگی انجام می‌گردد .دمای آزمون در سطوح ۲ و ۳ متغیر می‌باشد و در سطح ۲، آزمایش در دمای *Teff (FC)* و در سطح ۳ آزمایش در دماهای ٤ ،۲۰ و ۱۰- درجه سانتیگراد انجام می‌گردد. در این آزمایش نمونه تحت اثر تنشی که توسط بار فشاری در امتداد قطر نمونه وارد می شود گسیخته می‌گردد. مقدار بار و تغییر شکل درطی مدت آزمایش اندازه گیری می‌گردد. نوع و کاربرد آزمایشات عملکردی در سطح ۲و ۳ در شکل۳-۲۹ درج گردیده است. شایان ذکر است چنانچه هدف از طراحی مخلوط آسفالتی برای قشر روکش باشد ،برای پیش بینی ترکهای خستگی یا ترکهای دمای پایین، روشی پیشنهاد نشده است .درسوپرپیو دراین حالت تنها تغییر شکل دائمی مدنظر گرفته می شود .کاربرد آزمایشات عملکردی برای مخلوطهای روکش آسفالتی در جدول ۳-۲۳ نشان داده شده است.

1 Creep Test at Indirect Tensile Test



شکل(۳-۲۹): نمودار طرح اختلاط سوپرپیو به روش سوپرپیو

جدول(۳-۲۳): آزمایشات عملکردی روکش آسفالتی

سطح طرح اختلاط	تغییر شکل دائم [۱]
۲	- آزمایش برش ساده در ارتفاع ثابت در $T_{eff}(PD)$ - آزمایش سوئیپ فرکانسی در ارتفاع ثابت در $T_{eff}(PD)$
۳	- آزمایش سوئیپ فرکانسی در ارتفاع ثابت در ۴، ۲۰ و ۴۰ °C - آزمایش کرنش تک محوری در ۴، ۲۰ و ۴۰ °C - آزمایش حجمی‌در ۴، ۲۰ و ۴۰ °C - آزمایش برش ساده در ارتفاع ثابت در ۴، ۲۰ و ۴۰ °C
۱- برای کنترل قابلیت خمیری شدن شدید (روندگی) در هر دو سطوح ۲ و ۳ آزمایش برش مکرر در نسبت تنش ثابت در T_e لازم است	

۳-۴-۳-محاسبات حجم حفره ها و چگالی

برای تعیین ساختار دانه بندی مخلوط مصالح سنگی، با توجه به دانه بندی هریک از مصالح سنگی، نسبتهای اختلاط مختلف برای سه نوع دانه بندی تهیه می‌گردد، به طوریکه معیارهای مربوطه درنظرگرفته شده باشد. با تعیین وزن مخصوص حقیقی(*Gsb*) و

وزن مخصوص ظاهری (Gsa) ، وزن مخصوص مؤثر مخلوط مصالح سنگی (Gse) با استفاده از رابطه $(G_{se}) = (G_{sb}) + 0.8\,(G_{sa} - G_{sb})$ برای هر یک از مخلوطهای مصالح سنگی تخمین زده می شود. با استفاده از روابط:

$$P_{bi} = \frac{G_b(V_{be}+V_{ba})}{(G_b(V_{be}+V_{ba}))+W_w} * 100 \qquad (۱۸-۳)$$

$$V_{ba} = \frac{\frac{P_s(1-V_a)}{P_b}}{\frac{P_b}{G_b}+\frac{P_s}{G_{se}}} * \left(\frac{1}{G_{sb}} - \frac{1}{G_{se}}\right) \qquad (۱۹-۳)$$

حجم قیر جذب شده (V_{ba}) محاسبه و میزان قیر هریک از مخلوطها به طور تخمینی محاسبه می شود. در این روابط:

V_{ba} = حجم قیر جذب شده در مخلوط آسفالتی

P_B = درصد قیر(۰/۰۵ تخمین زده شده)

P_s = درصد مصالح (۰/۹۵ تخمین زده شده)

V_a = حجم فضای خالی مخلوط آسفالتی (در مخلوط تخمین زده شده)

G_b = وزن مخصوص قیر (۱/۰۲ تخمین زده شده)

P_{bi} = درصد قیرمخلوط آسفالتی (نسبت به کل مخلوط)

W_S =جرم مصالح سنگی-گرم

حداقل دو نمونه مخلوط آسفالتی برای هر دانه بندی مخلوط مصالح سنگی با درصد قیرتخمینی جهت تراکم و دو نمونه مخلوط آسفالتی نیز با درصد قیر بهینه جهت تعیین حداکثر وزن مخصوص مخلوط آسفالتیGmm(*با روش* ۲۰٤ AASHTO-T) تهیه می گردد. (درجه حرارت اختلاط و تراکم با توجه به کندروانی قیر طرح، از منحنی مربوط به دست می آید). پس از اختلاط قیر و مصالح سنگی در درجه حرارت تعیین شده، نمونه مخلوط آسفالتی برای مدت ٤ ساعت دریک گرمخانه با درجه حرارت ۱۳۵ درجه سانتیگراد قرار می گیرد .آنگاه نمونه ها به مدت حداقل نیم ساعت در دمای تراکم قرار گرفته و سپس به وسیله دستگاه تراکم SGC متراکم می گردند. با تنظیم زاویه چرخش برابر۱.۲۵ درجه و تنشی برابر ٦۰۰ کیلوپاسکال) تعداد دفعات چرخش اولیه، طرح و حداکثر $N_{initial}$ و N_{design} و $N_{max\,imum}$ برای تراکم با توجه به متوسط حداکثر درجه حرارت طرح برای شرایط پروژه و میزان آمدوشد از جدول ۳-۲۲ تعیین می گردد .نمونه های مخلوط آسفالتی تا حداکثر تعداد چرخش (N_{max}) متراکم شده و در فواصل تراکم و در تعداد چرخشهای مختلف ،ارتفاع نمونه تعیین می شود .درصدG_{mm} نیز در هر تعداد چرخش با استفاده از وزن مخصوص حقیقی مخلوطهای آسفالتی در آن تعداد چرخش، و حداکثر وزن مخصوص اندازه گیری شده با استفاده از روابط زیر تعیین می گردد:

$$G_{mb}\,(\text{نیمختة}) = C \times G_{mb} \qquad (۲۰-۳)$$

$$G_{mb}\ \text{تصحیح شده} = \frac{W_m/V_{mx}}{\gamma_w} \qquad (۲۱-۳)$$

$$C = \frac{G_{mb}\ \text{اندازه گیری شده}}{G_{mb}\ \text{تخمینی}} \qquad (۲۲-۳)$$

$$\%G_{mm} = \frac{G_{mb}\ \text{تصحیح شده}}{G_{mm}\ \text{اندازه گیری شده}} \qquad (۲۳-۳)$$

G_{mb} = وزن مخصوص حقیقی مخلوط آسفالتی

W_m = جرم نمونه-گرم

V_{mx} = حجم قالب تراکم – سانتیمتر مکعب

γ_w = 1 گرم بر سانتی متر مکعب

C = ضریب تصحیح وزن مخصوص حقیقی مخلوط آسفالتی

با استفاده از تعداد چرخش " $N_{\max}$, N_{des} , N_{ini} " که قبلا با توجه به تعداد آمدوشد ودمای طرح برای پروژه مشخص شده، درصد فضای خالی مخلوط آسفالتی (Va) درصد فضای خالی مخلوط سنگی (VMA) در N_{des} بر اساس روابط زیر محاسبه می گردد:

$$V_a = 100 - \%G_{mm} N_{des} \qquad (۲۴-۳)$$

$$VMA = 100 - \left(\frac{\%G_{mm} N_{des} * G_{mm} * P_s}{G_{sb}}\right) \qquad (۲۵-۳)$$

در این روابط:

V_a = دصرد يضاف يلاخ طولخم يتلافسآ

$\%G_{mm} N_{des}$ = رثكادح نزو صوصخم طولخم يتلافسآ رد N_{des}

G_{mm} = رثكادح نزو صوصخم طولخم يتلافسآ

G_{sb} = نزو صوصخم يقيقح طولخم حلاصم يگنس

P_s = دصرد حلاصم يگنس رد كل طولخم يتلافسآ

اگر میزان درصد فضای خالی مخلوط آسفالتی چهار درصد به دست آید، این ترکیب مخلوط، برای مراحل بعدی مورد استفاده قرار می گیرد و چنانچه این عدد حاصل نگردد، مقدار قیرتخمینی در ٤ درصد فضای خالی مخلوط آسفالتی با استفاده از رابطه زیر محاسبه می گردد:

$$P_b = P_{bi} - [0.4(4 - V_a)] \qquad (۲۶-۳)$$

که در این روابط:

Pb= درصد قیر تخمینی برای چهار درصد فضای خالی مخلوط آسفالتی

Pbi= درصد قیر تخمینی اولیه

Va= درصد فضای خالی در چرخش N_{des}

همچنین بر اساس آن درصد فضای خالی بین مصالح سنگیVMA نیز بر اساس رابطه زیرمحاسبه می گردد:

$$\%VMA_{(\text{يلاوا يتخيم})} = \%VMA + C(4 - V_a) \qquad (۲۷-۳)$$

% VMA (يتخيم) = (اهيلو يتخيم)

C = ضریب ثابت (اگر V_a کمتر از چهاردرصد باشد) برابر است با۰.۱ و اگر بیشتر از چهار درصد باشد برابر۰.۲ درنظرگرفته می شود.

مشخصات حداقل درصد فضای خالی مصالح سنگیVMA به ازاء درصد فضای خالی مخلوط آسفالتی برابر چهار درصد با توجه به حداکثر اندازه اسمی مصالح سنگی در جدول ۳-۲٤ درج گردیده است.

جدول(۳-۲٤): مشخصات VMA در سوپرپیو

حداقل VMA%	حداقل اندازه مسامحلاص سنگی mm
۱۵	۵/۹
۱۴	۵/۱۲
۱۳	۱۹
۱۲	۲۵
۱۱	۵/۳۷

همچنین درصد فضای خالی بین مصالح سنگی که با قیر پر شدهVFA نیز با استفاده ازرابطه زیر محاسبه می گردد:

$$\%VFA_{\text{تخمین}} = 100 = \frac{\left(\%VMA_{\text{تخمینی}} - 4\right)}{\%VMA_{\text{تخمینی}}} \qquad (۲۸-۳)$$

مشخصات VFA در چهار درصد فضای خالی با توجه به تعداد آمدوشد در جدول ۳-۲۵ درج گردیده است.

جدول (۳-۲۵): مشخصات VFA در سوپرپیو

VFA	میلیون-$ESAL_S$ آمدوشد
۷۰-۸۰	<۰/۳
٦۵-۷۸	<۱
٦۵-۷۸	<۳
٦۵-۷۵	<۱۰
٦۵-۷۵	<۳۰
٦۵-۷۵	<۱۰۰
٦۵-۷۵	≥۱۰۰

درصد Gmm درNini و Nmax نیز با استفاده از روابط زیر محاسبه میگردد:

$$\%G_{mm} = \%G_{mm}N_{ini} - (4 - V_a) \text{ تخمین در} N_{ini} \qquad (۲۹-۳)$$

$$\%G_{mm} = \%G_{mm}N_{max} - (4 - V_a) \text{ نیمختلط در } N_{max} \qquad (۳۰-۳)$$

در مشخصات مربوطه، حداکثر وزن مخصوص در N_{ini} برابر ۸۹ درصد و در N_{max} برابر ۹۸ درصد می باشد .نسبت فیلر به قیر موثر نیز با استفاده از رابطه زیر محاسبه می گردد:

$$DP = \frac{P_{0.075}}{P_{be}} \qquad (۳۱-۳)$$

$P_{0.075}$ = مقدار ردشده از الک نمره ۲۰۰ (ریزتر از ۰.۰۷۵ میلیمتر)

P_{be} = درصد قیر موثر

در مشخصات، برای تمام مخلوطهای آسفالتی، حد قابل قبول برای DP بین ۰.٦ تا ۱.۲ می باشد .بعد از حصول پارامترهای فوق، این پارامترها با معیارها و مشخصات مربوطه سنجیده ومورد بررسی قرار می گیرند و از بین آنها طراح یکی را که در بهترین حالت باشد، انتخاب نموده ودانه بندی آن را برای تعیین درصد قیر قطعی و سایر پارامترها ملاک قرار می دهد .درصورتیکه معیارهای موردنظر تأمین نگردد ،نسبتهای اختلاط مجددا برای مخلوط آسفالتی تعیین می گردد.به طور کلی در روشهای طرح اختلاط سوپرپیو مصالح سنگی و قیر به گونه ای انتخاب می شوند که معیارهای موردنظر را دارا باشند.

نمونه مصالح سنگی انتخاب شده با مقادیر مختلف قیرمورد آزمایش قرار گرفته تا بهترین مقدار قیرطرح انتخاب شود.

۳-۴-۴-انتخاب مقدار بهینه قیر آسفالت

با دانه بندی مختلف مصالح سنگی انتخاب شده، نمونه های مخلوط آسفالتی با درصد قیرتخمینی و همچنین با درصدهای قیر۰.۵ ± ۱ + قیر تخمینی بر اساس روشهای ذکر شده، تهیه و بوسیله SGC متراکم می‌گردد و نسبتهای حجمی درصد فضای خالی مخلوطهای آسفالتی (V_a) درصد فضای خالی مصالح سنگی VMA و درصد فضای خالی پر شده با قیر VFA تعیین و تغییرات مقادیر آنها با درصدهای مختلف قیر ترسیم می‌گردد. مقدار قیر بهینه آسفالت براساس مقدار قیر بدست آمده از ٤ درصد حفره هوا در تعداد دوران طراحی بدست می آید. این حجم آسفالت باید چندین الزام دیگر را نیز تامین کند:

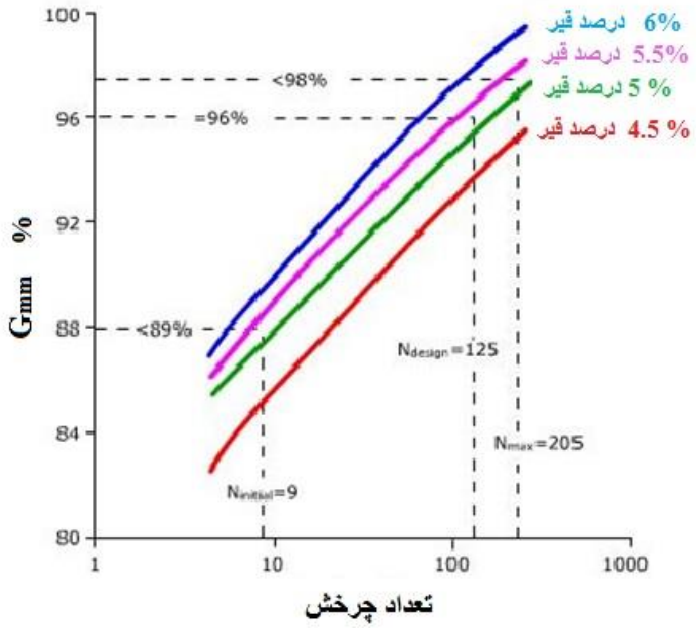
۱-حفرات هوا در دوران اولیه بیش از ۱۱ درصد. (برای طراحی تا ۳ میلیون ESALs)

۲-حفرات هوا در دوران ماکزیمم بیش از ۱۲ درصد .

۳-VMA در محدوده ذکر شده در جدول ۳-۲۷

٤-VFA در محدوده ذکر شده در جدول ۳-۲۸

اگر شروط ۱و۲ و یا ۳ در مخلوط بدست نیاید، طراحی مجدد الزامی است. اگر شرط ٤ تامین نشود اما نزدیک به آن باشد، مقدار قیر می تواند کمی تعدیل شود ، بطوریکه حجم حفرات هوای باقیمانده نزدیک ٤ درصد باشد اما VFA در داخل محدوده باشد . دلیل آن اینست که VFA شرط اضافی است که تابع حفرات هوا و VMAاست . این فرآیند در شکل۳-۳۳ تشریح شده است. (اعداد طبق بارگذاری ترافیکی ۲۰ ساله و برای تا ۳ میلیون ESALs انتخاب شده اند)



۱-نمودار نیمه لگاریتمی تعداد دوران در مقابل وزن مخصوص ماکزیمم تئوری بر حسب در صد را رسم کنید.

۲-مقدار قیر اسفالت را برای حداکثر چگالی تئوری برابر ۹۶٪ (۴٪ حجم حفرات هوا) تعیین کنید. درون یابی قابل قبول و برون یابی غیر قابل قبول است .

۳-مطمئن شوید که نتیجه انتخاب این مقدار قیردر کمتر از ۸۹٪ برای دوران اولیه است .

۴- مطمئن شوید که نتیجه انتخاب این مقدار قیردر کمتر از ۹۸٪ برای دوران ماکزیمم است .

۵-مطمئن شوید مخلوط انتخاب شده شروط VMA و VFA را تامین میکند.

شکل(۳-۳۰):نمونه انتخاب مقدار قیر بهینه

۳-۴-۵-سنجش حساسیت در برابر رطوبت

در واقع این روش ، شامل مراحل بررسی مشخصات عملکردی قیر مورد نظر، مشخصات عملکردی مصالح سنگی و مشخصات مخلوط آسفالتی است که بتواند در طی مدت معین واز پیش تعیین شده، خدمت دهی مناسبی را ارائه دهد، بدون اینکه در آن انواع خرابی، نظیر شیارافتادگی، ایجاد ترکهای ناشی از خستگی و ترکهای دمای پایین رخ دهد و نیز بررسی اثرمتقابل مخلوطهای آسفالتی و سازه روسازی با آمدوشد و شرایط آب و هوایی پیش بینی شده، می باشد.برای ارزیابی حساسیت در برابر رطوبت در روش طرح اختلاط سوپرپیو، مخلوط آزمایشی تحت آزمایش AASHTO T233 با عنوان « مقاومت مخلوطهای آسفالتی متراکم شده در برابر اثرات نامطلوب رطوبت» و یا آزمایشSHRP M- 006 با عنوان« حساسیت رطوبتی مخلوط آسفالتی گرم، حاوی مواد اصلاح کننده یا بدون مواد اصلاح کننده، همراه با سیستم شرایط محیطی » قرار می گیرد .سیستم شرایط محیطی در SHRP M- 006 بخشی از آزمایش سه محوری است که متناسب با این روش، تغییر داده شده و در آن ضریب بر جهندگی دینامیکی نمونه مرطوب در اثر اعمال نیرو به آن، اندازه گیری می شود .حساسیت رطوبتی با استفاده از نسبت ضریب بر جهندگی نمونه ها قبل و بعد از اعمال شرایط فوق محاسبه می شود.

مهمترین نکاتی که به منظور تهیه طرح اختلاط روسازی با عملکرد عالی (سوپرپیو) باید رعایت شود، عبارتند از:

*انتخاب قیر (با سطح عملکرد مناسب PG) و شن وماسه مناسب با توجه به شرایط آب و هوایی و ترافیکی طرح . برای این منظور میتوان از طبقه بندی بر اساس درجه عملکردی روش آشتو استفاده کرد.

*انتخاب دانه بندی شن و ماسه و تخمین درصد اولیه قیر بر اساس خواص حجمی، درصد تخلخل مخلوط متراکم شده، درصد تخلخل شن وماسه ودرصد فضای خالی مصالح سنگی پرشده با قیر و سطح ترافیکی . برای این منظور از اطلاعات داده شده در جدول ۳-۱۲ استفاده می کنیم .

*نمونه ها در درصدهای مختلف قیر با استفاده از متراکم کننده دورانی ، فشرده می شوند . تعداد دوران نمونه ها تابعی از تعداد آمد وشد وسایل نقلیه بوده و برای این منظور از اطلاعات داده شده در جدول ٤-١ استفاده می شود . نمونه مخلوطهای متراکم شده برای سه درصد قیر مختلف تهیه شده و در دمای متوسط طرح تهیه ، مخلوط و متراکم می شوند. برای تعیین دمای اختلاط و تراکم مخلوط آسفالتی با در نظر گرفتن مقدار ویسکوزیته متناسب با محدوده دمایی ۱۳۵ تا ١٦٥ درجه سانتیگراد ، از منحنی های دما و ویسکوزیته استفاده می کنیم. دمای اختلاط بر اساس ویسکوزیته ۰.۱۵ تا ۰.۱۹ پاسکال ثانیه و دمای تراکم براساس ویسکوزیته ۰.۲۵ تا ۰.۳۱ پاسکال ثانیه انتخاب می شود . ضروریست ۲ تا ٤ ساعت قبل از تراکم، ۲۱ تا ۵۰ کیلوگرم مخلوط آسفالتی در سینی مناسبی به مساحت ۱ مترمربع پخش و در دمای ۱۳۵ درجه سانتی گراد نگهداری شوند.

*در گام بعدی ، چگالی واقعی و درصد تخلخل مخلوط متراکم شده، درصد تخلخل سنگدانه ها و درصد فضای مصالح سنگی پرشده با قیر اندازه گیری میشود.

*تعیین درصد بهینه قیر براساس درصد تخلخل مناسب مخلوط آسفالتی متراکم ، برابر ٤٪ و کنترل اینکه این مقدار درصد قیر با مقادیر مجاز درصد تخلخل شن و ماسه و درصد فضای مصالح سنگی پر شده باقیر همخوانی داشته باشد. (جدول۳-۱۲)

*تهیه ٦ نمونه مخلوط آسفالتی با درصد قیر بهینه در شرایط تخلخل های اجرایی که برابر ۷٪ است.

*انجام آزمایش کشش مستقیم برای سه نمونه درحالت مرطوب و سه نمونه در حالت خشک

*تعیین ضریب مقاومت کششی که برابر است با نسبت مقاومت کششی متوسط نمونه های اشباع شده به متوسط مقاومت کششی نمونه های خشک و اطمینان از مقاومت کافی آنها در مقابل حساسیتهای رطوبتی

در صورت نا مناسب بودن مقاومت میتوان از مواد مضافی چون آهک استفاده کرد.

مرجع استاندارد آشتو ۳۱۲، استفاده از متراکم کننده های دورانی سوپرپیو را برای تراکم نمونه های استوانه ایی به قطر ۱۵۰ میلیمتر و تعیین چگالی واقعی شرح داده است .

۳-۴-۶ -نرم افزار مربوط به روش اختلاط سوپرپیو:

نرم افزار سوپرپیو شامل برنامه‌ایی است که Core نامیده میشود و شامل قسمتهای زیر است:

مشخصات عملکرد مبنایی SHRP برای قیر و الگوریتمهای لازم برای انتخاب نوع قیر مناسب برای مخلوط آسفالتی بر اساس عملکرد اطلاعات مربوط به شرایط محیطی بر اساس داده هایی که در طی ۳۰ الی ۸۰ سال از ۷۰۰ ایستگاه هواشناسی در سراسر ایالات متحده جمع آوری شده (در این نرم افزار امکان قراردادن اطلاعات مربوط به سایر نقاط دنیا نیز وجود دارد).

اطلاعات مربوط به داده هایی از نتایج آزمایشات انجام شده بر روی قیر و سنگدانه ها

الگوریتم های مورد نیاز برای اجرای طرح اختلاط حجمی (سطح ۱) به منظور بررسی نتایج حاصل از آزمایشات بر روی مصالح اولیه و مخلوط آسفالتی و انتقال داده ها برای پیش بینی عملکرد مخلوط آسفالتی، نرم افزارسوپرپیو،تنها شامل برنامهCore نیست. بلکه علاوه بر آن برنامه های دیگری که"Included"یا "Associated" نامیده می شوند در آن درنظرگرفته شده است"Included".
جزیی از برنامه Superpave است شامل:

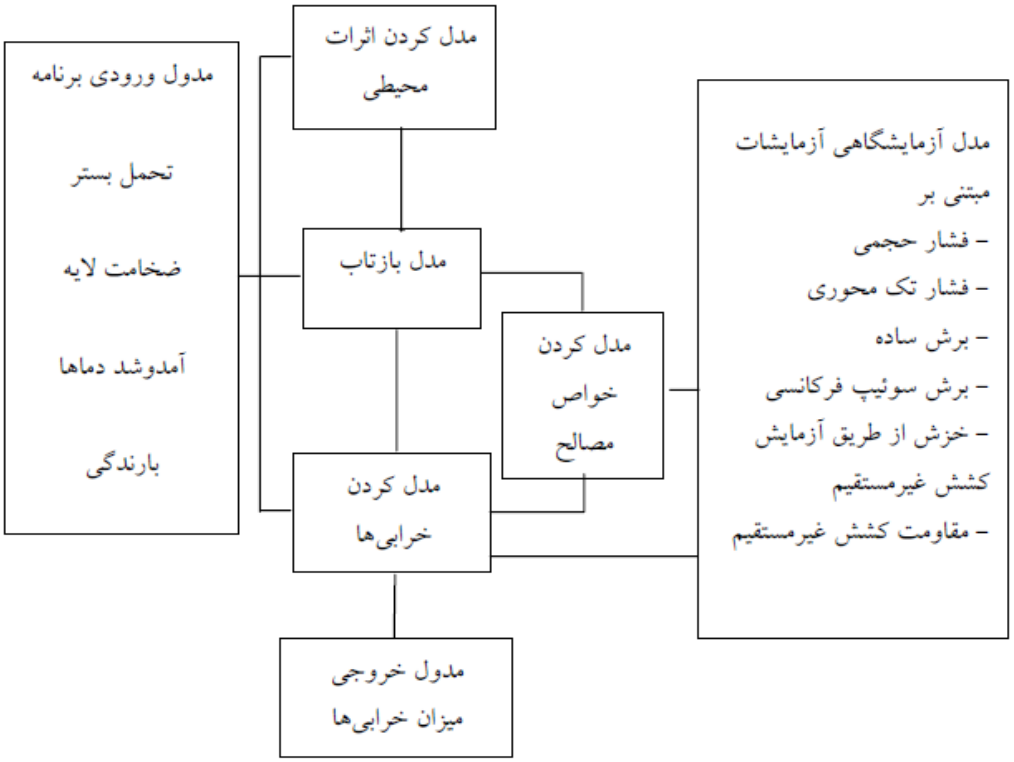
الگوریتم هایی از خواص پایه ای مصالح به کار رفته در مدل عملکردی به عنوان آزمایشات عملکردی در ارتباط یا غیر ارتباط با اعمال بار.

پیشنهاد مدلهای عملکردی که اساس آنها را داده های مربوط به خواص مصالح مخلوط،شرایط آب و هوایی، شرایط آمدوشد، تغییر شکل دائمی، ترکهای خستگی و ترکهای دمای پایین تشکیل می دهد.

ویرایش اصلاح شده روش اداره فدرال بزرگراهها که در آن شرایط آب و هوایی در ارتباط با دمای روسازی ایجاد گردیده است.

برنامه "Associated" این امکان را می‌دهد که در ابتدا، نتایج آزمایشات تحلیل شده و به عملکرد ارتباط داده شود. در این روش عنوان گردیده که استفاده از مدل عملکردی Superpave این امکان را می دهد که مخلوطهای آسفالتی با حداقل امکان خرابیهای مختلف حاصل گردد .این مدلها شامل چهار بخش در ارتباط با خواص مصالح، اثرات شرایط آب و هوایی، عکس العمل روسازی و خرابیهای روسازی می باشد. (شکل۳-۳٤)

به منظور پیش بینی رفتار مخلوط های آسفالتی که در معرض شرایط خاص آمدوشد و آب وهوایی قرار دارند، خواص مصالح در برنامه " عکس العمل روسازی "به کار گرفته می شود.همچنین چندین ویژگی این مصالح نیز برای برنامه " خرابی روسازی "به کار گرفته می شود.برنامه " عکس العمل روسازی "یک برنامه محدود است که در آن امکان محاسبه تنش وکرنشهای مخلوط آسفالتی که تحت شرایط بارگذاری و آب و هوایی خاص است، وجود دارد.برنامه " خرابی روسازی "بر اساس خواص مربوط به مخلوط و تنشهای ایجاد شده در آن،تغییرشکلهای دائمی را محاسبه می نماید.



شکل(۳-۳۱): نمودار روش پیش بینی عملکردی سوپرپیو

بزرگترین اختلاف سوپرپیو با سایر روشهای طرح اختلاط عبارتست از:

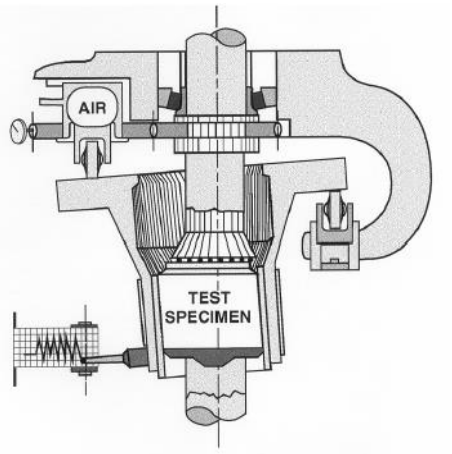
۱. استفاده از روشهای قراردادی ارزیابی سنگدانه ها
۲. استفاده از سیستم درجه بندی سطح عملکرد(PG) قیر و وجود سیستم انتخاب آن
۳. استفاده از متراکم کننده ژیراتوری برای شبیه سازی شرایط تراکم
٤. ملاحظات زیست محیطی و بارگذاری ترافیکی
۵. روش حجمی برای طرح اختلاط

باوجود اختلاف زیاد در مقایسه با روشهای ویم و مارشال، سوپرپیو هنوز هم از مراحل طرح اختلاط مشابهی استفاده می کند، و هنوز هم برای کسب مقدار قیر بهینه در حجم حفرات هوای ٤٪ تلاش می کند. بنابراین، اگرچه این روش، روشی کاملا متفـاوت است اما اهداف نهایی بصورت نسبتاً سازگار باقیمانده است.

۳-۵-روش طرح اختلاط ژیراتوری

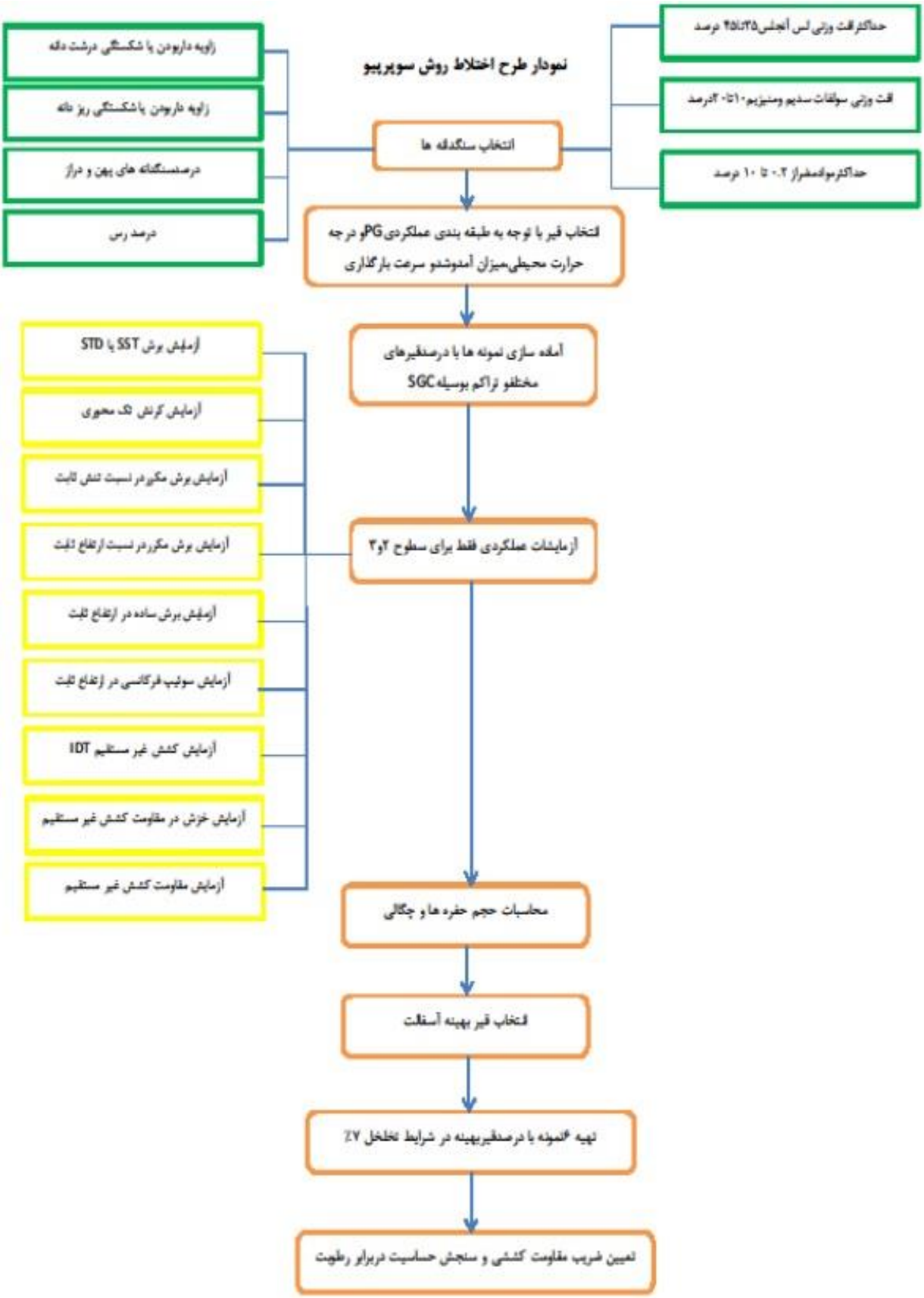
۳-۵-۱ -مقدمه:

ماشین آزمایش دورانی GTM توسط John McRae در حین کـار بـرای ایستگاه آزمایشگاهی راه آبی هیئت مهندسین ایالات متحده در می سی سی پی ساخته شد. این دستگاه هم یک وسیله متراکم سازی و هم یک دستگاه آزمایش بـرای مخلـوط آسـفالت مـی باشـد. توصـیف GTM و روش آزمـایش آن در ASTM D 3387 مشخص شده است. شکل شماتیک این دستگاه در شکل ۳-۳۱ نشان داده شده است.



شکل۳-۳۲- شکل شماتیک دستگاه GTM

متغیرهای متراکم سازی در GTM شامل موارد زیر است:



(۳-۳۳): نمودار طرح اختلاط روش سوپرپیو

فشار پیستون[1] : فشار عمودی پیستون ، همانطور که روسازی جاده بوسیله غلتک در حین ساخت و بوسیله ترافیک در حین استفاده متراکم می گردد، فشار تماس لاستیک را بر روی جاده شبیه سازی می کند. فشار پیستون ۱۲۰ پاوند بر اینچ مربع است و نوعا برای شبیه سازی بیشترین فشار برخورد لاستیک پیش بینی شده بر روی روسازی بزرگراه بکار می رود.

زاویه دوران[2] : زاویه چرخش یا دورانی ، بطور تجربی مربوط به کرنش بکار رفته بر روی روسازی است. زاویه دورانی بزرگتر، نیروی متراکم کننده بیشتری را ایجاد خواهد کرد. عموما زاویه دورانی ۱ تا ۳ درجه به عنوان زاویه دورانی اولیه استفاده می شود.

نوع غلتک: سه نوع غلتک مختلف میتوان بکار برد. غلتکهای ثابت، روغنی و هوایی. غلتک های ثابت، آسانترین نوع برای استفاده هستند. در عین حال، استفاده از غلتکهای روغنی یا هوایی، دستگاه را قادر می سازند تا بارگذاری‌های صورت گرفته بوسیله غلتکها اندازه‌گیری شده و مقاومت برشی دورانی نمونه تعیین شود.

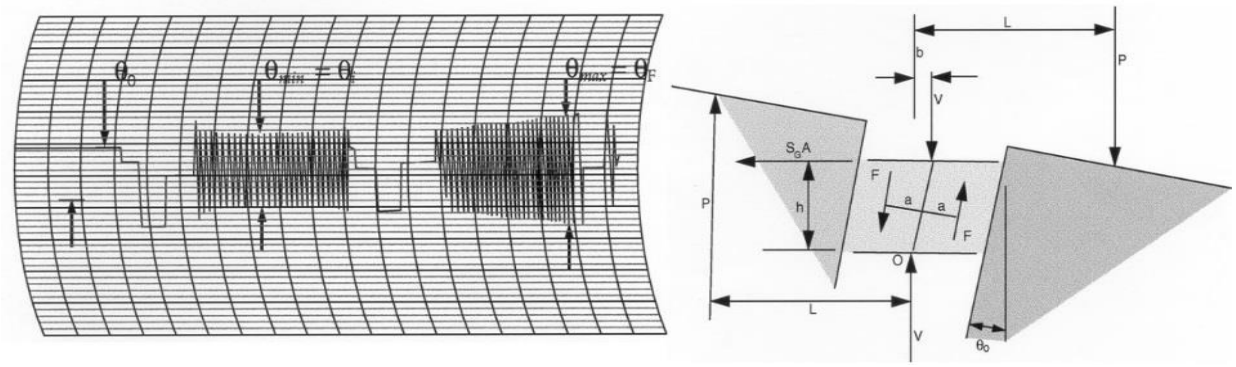
تعداد دوران: نیروی تراکمی با تعداد بیشتر دوران ها افزایش می یابد. حدودا ٦٠ تا ۳۰۰ دوران برای ایجاد شرایط تراکم نهایی به کار می رود.

مشخصات زیر در حین متراکم سازی GTM و آزمایش، اندازه گیری می شوند:

ژیروگراف [3]: ژیروگراف، یک وسیله ثبت و ضبط کرنش برشی وارد شده به نمونه در حین متراکم سازی است . یک مثال از ژیروگراف در شکل ۳-۳٤ نشان داده شده است .

خصوصیات زیر را میتوان به کمک ژیروگراف محاسبه کرد :

$$GSI = \frac{\theta_F}{\theta_I} \qquad (۳۲-۳)$$



شکل(۳-۳٤): نیروهای اعمال شده در آزمایش GTM و ژیروگراف

که در آن GSI شاخص پایداری دورانی و θ_F = زاویه دورانی بیشینه و $\boldsymbol{\theta_I}$= زاویه دورانی متوسط است.

یک مخلوط پایدار دارای GSI حدود یک می باشد و مقدار بزرگتر از یک ، ناپایداری مخلوط را نشان می دهد.

مقاومت برشی دورانی : هنگامی که از غلتک هوا یا روغنی استفاده می شود ، مقاومت برشی نمونه در حین متراکم سازی قابل اندازه گیری می باشد. شکل۳-۳٤ نیروهای وارد بر نمونه در حین متراکم سازیGTM را نشان می دهد.

با متعادل ساختن گشتاورهای وارد بر نقطه O ، همانطور که در شکل نشان داده می شود ، معادله زیر می تواند نوشته شود :

[1] Ram pressure
[2] Gyratory angele
[3] Gyrograph

$$2PL = S_G Ah + 2Fa - Vb \qquad (۳۳-۳)$$

مقاومت برشی دورانی ، S_G می تواند به صورت زیر تعیین شود :

$$S_G = [2(PL - Fa) + Vb]/Ah \qquad (۳٤-۳)$$

با صرف نظر کردن از اصطکاک دیواره F و گشتاور حاصل از خروج از مرکزیت Vb [1]، مقاومت برشی دورانی به صورت زیر تعیین می شود :

$$S_G = \frac{2PL}{Ah} \qquad (۳۵-۳)$$

ارتفاع نمونه : روش طرح اختلاط ژیراتوری از رویکردی استفاده می کند که کاملا از آنچه در روش طرح اختلاط حجمی سوپرپیو ارایه شده متفاوت است . روش طرح اختلاط ژیراتوری خواص حجمی را به صورت معیار طرح اختلاط استفاده نمی کند در عوض ، از خواصی که مستقیما مربوط به مقاومت برشی و مقاومت شیارشدگی به صورت شاخص های اجرا هستند ، استفاده می کند. دستورالعمل ASTM D3387-83 روش طرح اختلاط با استفاده از GTM را توضیح می دهد. آخرین روش طرح اختلاط GTM که در استاندارد به روز ASTM D3387 توضیح داده خواهد شد، از ویژگی های آزمایش GTM به شکل زیر استفاده می کند:

۱. فشار پیستون : فشار تماس و برخورد پیش بینی شده بیشینه لاستیک خودرو
۲. نوع غلتک : بادی یا روغنی
۳. زاویه دورانی : ۲ درجه
٤. فشار اولیه غلتک : فشاری که مقاومت برشی دورانی محاسبه شده معادل با بیشینه تنش برشی پیش بینی شده در روسازی را ارائه می دهد .
۵. دمای متراکم سازی : دمای پیش بینی شده دستگاه

۳-۵-۲- مراحل:

این روش شامل مراحل و گام های زیر است :

۱-حداقل ۳ درصد قیر در نظر گرفته می شود. یکی در میزان قیر بهینه برآورد شده و درصد قیر بعدی هر یک با اختلاف ۰.۵ درصد بالا و پایین این مقدار در نظر گرفته می شوند. به ازای هر درصد قیر و هر ترکیب مصالح حداقل ۲ نمونه ساخته خواهد شد.

۲-مصالح و قیر در دمای پیش بینی شده مخلوط می گردند.

۳-متراکم کردن مخلوط در GTM تا حصول شرایط تعادل ادامه می یابد . شرایط تعادل ، هنگامی است که در ازای ۵۰ دوران ، تغییرات جریان حجمی کمتر از ۰.۵ پاوند بر فوت مکعب یا ۰.۰۰۸ گرم بر سانتیمتر مربع تغییر می کند.

٤-تعیین کردن GSI (از ژیروگراف) و S_G (از فشار غلتک) در شرایط تعادل . میزان قیر بهینه ، میزان قیر ماکزیمم است . مقدار GSI معادل یک و S_G معادل یا بزرگتر از تنش برشی پیش بینی شده روسازی می باشد . برآورد محافظه کارانه تنش برشی می تواند معادل با فشار ماکزیمم لاستیک فرض شود .

۳-۵-۳-معایب و مزایای طرح اختلاط GTM :

نکات مثبت این روش عبارتند از:

- مخلوطهای آسفالتی متراکم شده GTM ، تا حدود زیادی نمایانگر و معرف مخلوطهای کارگاهی می باشند .
- مقدار برش دورانی S_G معیاری از مقاومت برشی بوده و مرتبط با مقاومت شیار شدگی می گردد.

[1] Moment due to eccentricity

- مقدار GSI بیشتر از یک ، ناپایداری و استحکام کم مخلوط آسفالت را نشان می دهد .
- نیازی به خواص حجمی نبوده و مخلوط ها می توانند سریعا ارزیابی شوند .
- مخلوطها تا شرایط متراکم سازی نهایی متراکم می شوند . مخلوطهای ناپایدار می توانند در حین متراکم سازی مشخص شوند.

اشکال احتمالی این روش، این است که این روش بطور گسترده شناخته شده و کاربردی نیست. ضعف دیگر این روش این است که تنها مقاومت شیارشدگی مخلوط ارزیابی می گردد، در حالی که مقاومت در مقابل ترک خوردگی، در این روش ارزیابی نمی‌گردد.

۳-۶- هدف اساسی طرح های اختلاط جدید:

مفهوم اساسی طرحهای اختلاط جدید، تعیین نسبتها و نوع هریک از ترکیبات مخلوط است که در آن، با توجه به میزان آمدوشد، بار محوری، شرایط آب و هوایی و فاکتورهای سازه ای پیش بینی شده برای روسازی، بهترین عملکرد و رفتار را در طول زمان خدمت دهی از خود نشان دهد .در طی سالهای اخیر روشهای طرح مخلوط به شیوه عملکرد گرایی و عملکرد مبنایی گسترش یافته است. طرح مخلوط های آسفالتی به روش عملکرد گرایی باید میزان خرابی را که در طول عمر خدمت دهی روسازی ایجاد خواهد شد با توجه به خواص مصالح و مدلهای پیش بینی رفتار مخلوط آسفالتی، برای هر نوع روسازی ، در شرایط آمدوشد و آب و هوایی تخمین بزند .این روشها اساس سیستم های طرح اختلاط آینده را تشکیل خواهند داد.

روشهای دیگر طرح اختلاط جدید، در جستجوی بهینه کردن ترکیبات مخلوط آسفالتی به منظور تضمین و تأمین حداقل مقادیر خصوصیات مکانیکی آنها نیستند، بلکه در این روشها ترجیح داده می‌شود از حداقل سطوح رفتاری و عملکردی اطمینان حاصل شود. نمونه ای از این روش ها در SHRP-A 698 و در سطوح ۲ و ۳ SUPERPAVE و SHRP در آمریکا ، روش دانشگاه ناتینگهام انگلیس، سطوح ۲ و ۳ و دستورالعمل CROW هلند آمده است. روش های طرح اختلاط SHRP شامل سطوح مجزا و همراه با آزمایش های متعددی می‌باشد. در این روشها، ضرایب اطمینان بیشتری در طرح اختلاط مد نظر قرار دارد.این تفکیک سطوح اجازه طراحی مناسب برای بارهای محوری پیش بینی شده آمدوشد را فراهم می سازد.

۳-۶-۱-طبقه بندی انواع روشهای طرح اختلاط مخلوطهای آسفالتی:

۱) دستورالعملی
۲) تجربی
۳) تحلیلی
٤) حجمی
۵) عملکرد گرائی
۶) عملکرد مبنائی

روشهای طرح اختلاط مبتنی بر استفاده از مخلوطهای استاندارد (دستورالعملی) :

اساس روشهای دستورالعملی را تجربیات حاصل از شناخت ترکیبات مخلوط های مختلف که طی مدت زمان طولانی تحت شرایط مختلف آمدوشد و آب و هوایی قرار گرفته و عملکرد خوبی از خود نشان داده است، تشکیل می دهند. در این روش، توسط یک دستورالعمل، دانه بندی مصالح سنگی، درجه نفوذ قیر، ترکیب مخلوط، ضخامت لایه و مشخصات مخلوط آسفالتی در حین ساخت و در کارخانه آسفالت، پخش و تراکم در سطح راه تعیین می شود .در این روش هیچ نمونه آزمایشگاهی تهیه نمی شود.

روش طرح اختلاط مبتنی بر آزمایش های تجربی به خصوص روش مارشال :

روش طرح اختلاط تجربی مبتنی بر انتخاب درصد قیر بر اساس چندین متغیر و با درنظرگرفتن محدوده های قراردادی که حاصل تجربیات قبلی است، می باشد .این متغیرها از اندازه گیری مستقیم در عمل به دست نیامده است .در این روش، نمونه ها در آزمایشگاه و به کمک یک روش آزمایش، کوبیده و متراکم می شوند. لیکن تراکم با آنچه در عمل و در طی مراحل تراکم در محل اتفاق می افتد، متفاوت است.

روشهای طرح اختلاط تحلیلی:

در روش طرح اختلاط به شیوه تحلیلی بخش های حجمی مربوط به مخلوط مانند دانه بندی سنگدانه، قیر و فضای خالی محاسبه می گردد و در این رابطه، ساخت هیچ نمونه ای لحاظ نمی شود.در این شیوه که ترکیب مصالح به کمک محاسبات تحلیلی به دست می آید از روشهای کامپیوتری نیز استفاده می گردد.

روشهای طرح اختلاط حجمی :

در روش طرح اختلاط حجمی، انتخاب درصد قیر مخلوط آسفالتی و دانه بندی مصالح سنگی به وسیله آنالیز نسبتهای حجمی مربوط به فضای اشغال شده مخلوط توسط قیر، مصالح سنگی و هوا صورت می گیرد .مخلوط آسفالتی توسط دستگاه تراکمی که تراکم در محل را شبیه سازی می نماید، متراکم می شود .در این روش، خواص مکانیکی نمونه تعیین نمی شود زیرا فرض براین است که مشخصات حجمی نمونه متراکم شده در آزمایشگاه، معادل نمونه هایی است که از محل اخذ و نمونه گیری می شود و این مشخصات بر رفتار مکانیکی مخلوط اثر می گذارد. سطح ۱ روش طرح اختلاط SUPERPAVE که در پروژهSHRP آمریکا گسترش یافته است ، به عنوان روش حجمی طبقه بندی می شود که به کمک آن میتوان مخلوطی با رفتارهای قابل اطمینان در محل راه و تحت شرایط آمدوشد سبک به دست آورد. در این روش از مشخصات قیرهای خالص که بر اساس عملکرد و رفتار طبقه بندی شده‌اند و مشخصات تجربی عملکردگرایی جهت سنگدانه ها استفاده می‌گردد .همچنین نمونه‌ها توسط متراکم‌کننده برشی چرخشی -SHRP GSC متراکم می‌گردند.

روشهای طرح اختلاط عملکرد گرایی:

در این روش مخلوطهای آسفالتی که در محدوده مجاز متراکم شده اند، به وسیله آزمایشهای شبیه سازی و یا پایه ای مورد آزمایش قرار می گیرند تا خواص آنها که مرتبط با عملکرد روسازی است تعیین و یا تخمین زده شود. نهایتًا مخلوط آسفالتی بهینه بر مبنای معیارهای مربوطه انتخاب می گردد .روش طرح اختلاط فرانسوی مبتنی بر استفاده از آزمایشهای شبیه سازی شامل دستگاه متراکم ساز برشی چرخشی GSC (که در زبان فرانسه موسوم به PCG است) و دستگاه تعیین شیارافتادگی جای چرخ ، می باشد. روش طرح اختلاطی که اخیراً توسط دانشگاه ناتینگهام در انگلستان تدوین یافته نیز به این روش انجام می شود

. طرح اختلاطی که هم اکنون در هلند (پیشنهادیCROW گروه کاری تکنولوژی آسفالت) پیشنهاد شده که جایگزین روش طرح اختلاط فعلی که اساس آن را آزمایش مارشال تشکیل می دهدگردد، نیز از روشهای عملکرد گرایی می باشد.

روش طرح اختلاط عملکرد مبنایی :

در این شیوه در ابتدا مخلوط به وسیله یکی از روشهای گفته شده، طرح و سپس تحت آزمایش های عملکرد مبنایی و سیستم ارزیابی کامل قرار می گیرد تا رفتار آن در طول یک دوره زمانی تعیین شود که در نهایت مخلوط اولیه رد و یا تأیید می گردد .در این روش ابتدا نمونه های مخلوط آسفالتی متراکم شده آزمایش می شوند تا خواص پایه ای آنها که با رفتار مخلوط در ارتباط است تعیین گردد و سپس از این داده ها برای مدلسازی خواص مصالح استفاده می شود.

یکی از اولین روشهای پیشنهادی که برای طرح اختلاط عملکرد مبنایی تدوین یافت درخلال پروژه SHRP در آمریکا بود که جهت آمدوشد متوسط و سنگین در سطوح ۲ و ۳ از سیستم طرح اختلاط Superpave بود.

۳-۶-۲-مزایا و معایب انواع روشهای طرح اختلاط مخلوطهای آسفالتی:

روشهای طرح اختلاط مبتنی برکاربرد مخلوطهای استاندارد (دستورالعملی):

مزایا: فرمول مخلوط آسفالتی از دستورالعملی که نشان داده مخلوطهای مورد نظر رفتار خوبی در محل داشته، به دست آمده است.

کاربرد آن ساده بوده و برای هر نوع مخلوط قابل استفاده است .

طراح مخلوط، به سادگی ترکیب مصالح مورد نیاز برای هر لایه روسازی را تعیین می کند .

برای تهیه کننده چنین مخلوط هایی، ارضاء الزامات دستورالعمل داده شده آسان تر از تغییردادن ترکیب مخلوط است.

کنترل مصالح و خواص مخلوط با درنظرگرفتن مشخصات نسبتًا آسان می باشد .

هزینه زیادی ندارد و تهیه آن زمان بر نیست .

معایب: شرایط آمدوشد و آب و هوایی که مخلوط تحت اثر آن قرار می گیرد ممکن است با آنچه که مبنای روش دستورالعملی قرار گرفته متفاوت باشد.

رفتار مخلوط های آسفالتی که بار آمدوشد بر آنها اعمال می شود ، ممکن است فقط به ترکیب مخلوط وابسته نباشد بلکه علاوه بر آن به مراحل تولید و پخش آسفالت در سطح راه نیز وابسته باشد، که در این مورد در روش دستورالعملی لحاظ نشده است.

اگر نتایج آزمایشها نشان دهد که مشخصات مصالح اولیه تهیه شده مناسب نیست (حتی اگر این تفاوت در مشخصات مربوط به یکی از کمیتهای عمده باشد) راهی برای ارزیابی این اختلاف بر روی مخلوط دستورالعملی (در نتیجه رفتار مخلوط مزبور درمحل) وجود ندارد.

با توجه به وجود تعداد زیادی از مخلوطهای دستورالعملی ، محتمل است که مهندس بی تجربه از نوع نامناسب آن استفاده کند.

در روشهای طرح اختلاط دستورالعملی معمولا امکان استفاده از مصالح سنگی در دسترس و موجود در محل وجود ندارد و به این دلیل هزینه های زیادی بر پروژه تحمیل می شود.

با توجه به ترکیبات مشخص موجود در روش دستورالعملی، امکان تولید محصولات جدید و نوآوری در کار کمتر است.

مخلوط هایی که با دستورالعمل یکسان تهیه می گردند، ولی سنگدانه های آنها از معادن مختلف برداشت شده است ممکن است خواص مکانیکی بسیار متفاوتی داشته باشند درنتیجه رفتار واقعی آنها با یکدیگر کاملا متفاوت خواهد بود .در واقع شکل، بافت، تخلخل و خواص ترکیب سنگدانه ها اثر قابل ملاحظه ای بر خواص مخلوطهای آسفالتی دارد.

روش طرح اختلاط مبتنی بر آزمایش های تجربی، به خصوص آزمایش مارشال:

مزایا: اساس این روش طرح اختلاط را آزمایش های ساده و کم هزینه تشکیل می دهد .

در بیشتر کشورها از این روش برای فرمول بندی مخلوطهای آسفالتی استفاده می شود .

این روش نیاز به آموزش های خاص و نیز کادر مجرب ندارد .

این آزمایش اطلاعات و نتایج زیادی را در اختیار می گذارد و این قابلیت را دارد که برای کاربردهای گوناگون معیارهای کیفی را در نظر گیرد.

معایب: در این روش که از یک آزمایش تجربی استفاده می شود خواص پایه ای مخلوطهای آسفالتی مد نظر قرار نگرفته است.

شرایط آمدوشد جدید (بارهای محوری سنگین) مورد توجه قرار نگرفته است .به همین دلیل در سالیان اخیر مشاهده شده است برای مخلوط هایی که با روش طرح اختلاط مارشال تهیه شده اند به طور محسوسی مشکل شیارافتادگی جای چرخ افزایش یافته است.

در هنگام ساخت نمونه ها روش تراکم واقعی مخلوط آسفالتی در محل شبیه سازی نشده است.

کوبیدن مخلوطهای آسفالتی در محل با غلتکها یا وسایط نقلیه صورت می پذیرد درحالیکه در روش مارشال عمل تراکم در اثر ضربات چکش انجام می شود.

این روش برای طرح مخلوطهای با دانه بندی باز مناسب نیست .روش مارشال از ابتدا برای طراحی مخلوطهای آسفالتی با دانه بندی پیوسته به کار گرفته شده است.

این روش در بیش از ۵۰ سال پیش تدوین یافته و نمی تواند از حدود سنتی خود تجاوزکند. در واقع دلیل اصلی این مشکل به کارگیری روش مارشال برای ترکیبات اولیه جدید به ویژه تطابق آن با قیرهای حاوی مواد افزودنی است.

در این روش تطابق نتایج آزمایش و شرایط واقعی مشکل و یا غیرممکن است .

روشهای طرح اختلاط تحلیلی:

مزایا: روش طرح اختلاط تحلیلی امکان پیش بینی خواص اصلی مخلوطهای آسفالتی(نظیررفتار ویسکو پلاستیک و مقاومت خستگی) را با تعیین پارامترهای حجمی ترکیب فراهم می سازد.

با استفاده از اطلاعات حجمی مربوط به این روش می توان درصد ماستیک مورد نیاز برای مخلوطهای آسفالتی را به گونه ای تعیین کرد که در مخلوط آسفالتی تغییر شکل شدید ایجاد نگردد. (متناظر با درصدهای زیاد ماستیک) و نیز از جدا شدن دانه های مخلوط و بروز ترک های خستگی(متناظر با استفاده از ماستیک کم) جلوگیری شود.

در کنار افزایش سرعت مراحل طراحی، در هزینه های مربوطه نیز به مقدار زیاد صرفه جویی می گردد.

معایب: این روش به محاسبات زیادی نیاز دارد .بدون آنکه نرم افزار خاصی برای آن در نظرگرفته شده باشد.

به کارگیری روش تحلیلی به تنهایی نمی تواند رفتار مکانیکی مخلوط آسفالتی را تضمین کند و برای پیش بینی نیاز به استفاده از حداقل یک آزمایش می باشد.

بررسی مبنای ترکیب (که به وسیله مقادیر حجمی محاسبه می شود) به منظور اطمینان یافتن از درست بودن فرمول مخلوط آسفالتی از گام های اساسی به شمار می آید.

روش طرح اختلاط حجمی:

مزایا: استفاده از این روش آسان است .

در مقایسه با روشهای تجربی نظیر مارشال، این روش مطمئن تر است .در عمل نشان داده شده است اگر مشخصات حجمی مخلوط آسفالتی مناسب باشد به طور طبیعی این مخلوط آسفالتی شرایط استحکام، روانی و نسبت مارشال را نیز تأمین می نماید. (امکان اینکه این مخلوط استحکام کافی داشته باشد اما با وجود مشخصات حجمی نامناسب به خوبی اجرا شود، بسیار کم است).

بسیاری از روشهای طرح اختلاط عملکردی از روش متراکم کننده برشی چرخشیGSC برای متراکم کردن نمونه های مخلوط آسفالتی استفاده می کنند .این عمل امکان شبیه سازی نمونه در آزمایشگاه مطابق با شرایط محل را فراهم می سازد.

روش تراکم برشی چرخشیGSC در این شیوه برای پیش بینی و ارزیابی درصد فضای خالی مخلوط آسفالتی در محل نیز کاربرد دارد.

معایب: در این روش، مشخصات مکانیکی مخلوط آسفالتی به طور مستقیم اندازه گیری نمی شود .

در این روش رفتار مکانیکی مخلوط آسفالتی به طور مستقیم پیش بینی نمی شود .

این روش برای شرایط آمدوشد سنگین، رفتار مکانیکی مناسب را برای مخلوط آسفالتی تضمین نمی کند و به این منظور نیاز به حداقل یک آزمایش مکانیکی است.

در برخی شرایط خاص مانند آمدوشد کند و سنگین لازم است با استفاده از آزمایشهای خاصی، مقاومت در برابر ایجاد تغییر شکل دائمی بررسی شود که در این روش به آن توجه نشده است.

با استفاده از روشGSC جهت تراکم مخلوط آسفالتی، درصد فضای خالی مخلوط آسفالتی تابعی از تعداد چرخش، زاویه چرخش، فشار محوری و تعداد چرخش ها در دقیقه است .اندکی تغییر در هر کدام از این پارامترها می تواند تأثیر مستقیمی بر داده ها و نتایج داشته باشد.

در آزمایش GSC آزمایش در دمایی انجام می شود که امکان ارزیابی اثر قیر بر کارآیی مخلوط وجود ندارد.

روشهای طرح اختلاط عملکرد گرایی:

مزایا: آزمایشهایی که در روش طرح اختلاط عملکرد گرایی به کار می رود، پاسخ مصالح را در حالتهای مختلف تنش اندازه گیری می نماید.

در این روشها میان نتایج به دست آمده در آزمایشگاه و رفتار مخلوط در محل همگرایی بسیار خوبی وجود دارد.

روشهای طرح اختلاط عملکرد مبنایی:

مزایا: این روش ، این امکان را فراهم می سازد که در آزمایشگاه و با استفاده از خواص مصالح به کار رفته در مخلوط آسفالتی، توسعه خرابیهای قابل انتظار را در مدت خدمت دهی پیش بینی نماید.

در این روش، مادامی که مخلوط آسفالتی رفتار مناسبی را نشان می دهد نیازی به قرار داشتن پارامترهای حجمی در محدوده مشخصات وجود ندارد .انتخاب درصد قیر براساس سطح مطلوب عملکرد در طراحی مخلوط آسفالتی (برای هر شکل خرابی) است.

معایب: تأثیر آزمایش های به کار رفته برای این روشهای طرح اختلاط باید پس از طی زمان مقرر بوسیلهٔ آزمایش های در محل یا آزمایش های با مقیاس واقعی اثبات گردد.

با توجه به پیچیدگی نسبی کاربرد این روش و دستگاه های مورد نیاز به نظر می رسد که به کارگیری آن به عنوان روشی برای طراحی و کنترل کیفیت مخلوطهای آسفالتی در کارخانه های آسفالت بسیار مشکل باشد.

استفاده از این روش با توجه به پیچیدگی آن تنها برای برخی موارد خاص و معین توجیه پذیر است.

(تکنولوژی و مواد روسازی)

فصل چهارم:

مشخصات مخلوطهای آسفالتی

محمود رضا کی منش

سعید شاکر

۴-۱-مقدمه:

در کشور ما به علت وجود منابع سرشار نفتی و فراوانی قیر، به جزء در موارد خاص، در روسازی راه‌ها و خیابان‌ها از آسفالت استفاده می‌شود. با توجه به اینکه راه‌های آسفالته دائماً تحت تاثیر عوامل مخرب ترافیک و جوی قرار دارند تدریجاً فرسوده می‌شوند. برای بالا بردن دوام و عمر مفید راه‌ها لازم است موارد زیر مورد توجه قرار گیرد:

الف: دقت در طرح و اجرای صحیح آسفالت راه‌ها و خیابان‌ها

ب: مراقبت دائمی و مرمت به موقع معایب و سعی در از بین بردن علل معایب

از عواملی که در دوام عمر راه‌ها و خیابان‌ها موثر است نوع و کیفیت آسفالت می‌باشد و از طرف دیگر بایستی از مطالعات و تجربیات سایر کشورها که با شرایط جوی و جغرافیایی نقاط مختلف کشور تطبیق دارد استفاده و دستورالعمل‌های مناسب تهیه کرد.

در مشخصات فنی معمولاً نوع آسفالت تعیین می‌گردد و برای دانه‌بندی مصالح سنگی و عواملی که در خصوصیات آسفالت موثر هستند حدودی پیش بینی می‌گردد و آزمایشگاه بر اساس این حدود طرح اختلاط را تعیین، دستگاه نظارت بر اساس طرح اختلاط پیشنهادی آزمایشگاه و امکانات کارگاهی و شرایط جوی مناسب‌ترین طرح اختلاط را انتخاب و برای تهیه فرمول کارگاهی به مهندس ناظر و پیمانکار ابلاغ می‌نماید. برای تهیه فرمول کارگاهی ابتدا نسبت ترکیب مصالح سنگی سرد به طور تقریبی تعیین و کارخانه آسفالت شروع به فعالیت می‌کند سپس نسبت ترکیب مصالح سنگی گرم و مقدار قیر طوری تعیین می‌گردد که خصوصیات مخلوط تهیه شده حتی‌الامکان در حدود طرح اختلاط قرار گیرد این نسبت انتخاب شده را فرمول کارگاهی می‌گویند. هنگام تهیه آسفالت عوامل زیادی در کارخانه موجب تغییر و انحراف از مشخصات تعیین شده، مصالح سنگی و قیر می‌گردد، لذا ضمن تهیه آسفالت باید با آزمایش‌هایی که مرتباً به عمل می‌آید ترکیب مخلوط آسفالت را کنترل نمود.

بتن آسفالتی که معمولاً در روسازی راه‌ها در کشور ما مورد استفاده قرار می‌گیرد ترکیبی است از مصالح سنگی (با دانه‌بندی پیوسته و مشخص) و قیر که به طور یکنواخت دور دانه‌های مصالح سنگی را می‌پوشاند. بتن آسفالتی گرم و به طور کلی آسفالت چه در قشرهای اساس یا آستر یا رویه برای اینکه بتواند در مقابل اثرات عامل جوی و (نوع و تعداد) ترافیک با توجه به جنس بستر راه مقاوم باشد و به علاوه برای راننده مطلوب گردد باید دارای مشخصات و خصوصیات معینی باشد. این مشخصات و خصوصیات بستگی به نوع دانه‌بندی و نسبت اختلاط مصالح سنگی و قیر و همچنین نحوه اختلاط، پخش و کوبیدن آنها خواهد داشت. به همین دلیل است که در شرایط جوی مختلف با توجه به امکانات و نوع استفاده‌ای که از قشر آسفالتی انتظار می‌رود و همچنین امکانات موجود، مخلوط‌های متنوع و دستورالعمل‌های متفاوتی پیش بینی شده است. برای حصول این مشخصات مخلوط آسفالتی باید دارای خصوصیاتی همچون استحکام، پایداری ، دوام، نفوذناپذیری، کارایی، انعطاف پذیری، تاب خستگی، تاب لغزشی، و.... باشند که هدف اصلی از طرح مخلوطهای آسفالتی، حصول شرایطی است که بین کلیه خواص مطلوب تعادل برقرار نماید.لازم به ذکر است درصد قیر و یا شرایطی که تمام شاخص ها را به حداکثر رساند وجود ندارد و ما بدنبال شرایط بهینه خواهیم بود.

۴-۱-۱-استحکام[1](پایداری)

منظور از استحکام در مبحث آسفالت، در واقع پایداری و یا میزان مقاومت مخلوط آسفالت اجرا شده در مقابل نیروهای وارده از نظر جابجایی و تغییر شکل میباشد . علایم ناپایداری در آسفالت با مشاهده موج یا شیار در سطح آسفالت مشخص می‌گردد. پایداری یا استحکام آسفالت به اصطکاک داخلی، تماس و چسبندگی بین اجزای تشکیل دهنده آن بستگی دارد. اصطکاک داخلی به شکل مصالح سنگی، بافت سطح آسفالت، دانه بندی مصالح سنگی، غلظت مخلوط آسفالتی و میزان قیر آن مربوط است و

[1] Stability

بطور خلاصه، استحکام ترکیبی از اصطکاک و میزان درگیری و بهم پیوستگی مصالح سنگی است. هرچه دانه های سنگی زبرتر و سطح تماس بین آنها بیشتر باشد، مقاومت اصطکاکی مخلوط بیشتر خواهد بود. از سوی دیگر، استحکام آسفالت به غلظت آن ارتباط دارد که این غلظت با انتخاب مصالح سنگی با دانه بندی ریزتر که طبعاً دارای فضای خالی بیشتری می باشد و کفایت میزان تراکم مخلوط آسفالتی، افزایش خواهد یافت. وجود قیر اضافی سبب کاهش اصطکاک بین مصالح سنگی خواهد شد. چسبندگی عبارت از نیروی ذاتی نگهدارنده شیرازه هر مخلوط آسفالتی است. قیر سبب پایداری فشار ایجاد شده در سطح تماس بین دانه ها می‌باشد. چسبندگی با مقدار نیرو و سطحی که نیرو بر آن وارد میشود و با لزجت (ویسکوزیته) قیر نسبت مستقیم و با دما نسبت معکوس دارد. میزان چسبندگی، ابتدا با افزایش قیر زیاد میشود اما پس از رسیدن به نقطه مشخصی (قیر بهینه)، افزایش قیر سبب کاهش چسبندگی می‌گردد.

همانگونه که بیان شد مخلوط آسفالت باید دارای استحکامی باشد که بتواند در مقابل تغییر شکل ناشی از بارهای استاتیک و دینامیک مقاومت کند. استحکام مخلوط آسفالت بر اساس مطالعات انجام شده بستگی به سه عامل اصطکاک[1]، چسبندگی[2] و اینرسی[3] دارد.

۴-۱-۲- عامل چسبندگی

عامل چسبندگی مخلوط آسفالتی بستگی به همان عواملی دارد که در غلظت مخلوط موثر هستند ولی اثر چسبندگی با اثر غلظت مخلوط متفاوت است به طوری که تجربه نشان می‌دهد موقعی که بین دانه‌های مصالح سنگی در نقطه تماس فشاری بوجود می‌آید، قیر این فشار را جذب کرده، مانع تغییر شکل دانه‌ها از محل خود می‌گردد. به علاوه قیر دانه‌های مصالح سنگی را به هم می‌چسباند و در اثر سایش حاصل از عبور وسایط نقلیه دانه‌های مصالح سنگی جدا نمی‌شود. خواص شیمیایی قیر و مصالح سنگی و اثر متقابل این دو با هم و بافت سطحی مصالح اصلی ترین عامل میزان چسبندگی در مخلوط آسفالتی را ایجاد میکنند، همچنین جنس، کیفیت، کمیت و مشخصات فیلر مورد استفاده نیز نقش بسیار اساسی در این مقوله ایفا میکند و میتواند در برخی از موارد بخشی از نقاط ضعف در چسبندگی را در مخلوط مرتفع نماید.

۴-۱-۳- اینرسی مخلوط

موقعی که وسایط نقلیه از روی راه آسفالته عبور می‌کند، مخلوط آسفالتی در مقابل تغییر وضع مقاومت می‌کند. این نیروی مقاوم ناشی از اینرسی رویه راه، بستگی به وزن وسایل نقلیه و سرعت آنها و قسمتی از رویه راه دارد که تحت تاثیر قرار می‌گیرد.

۴-۱-۴- دوام[4]

خاصیتی از مخلوط آسفالتی که نشانگر مشخصات آسفالت و پایداری مخلوط از نظر جدایی اجزای متشکله آن در اثر فرسایش ناشی از عبورترافیک و عوامل طبیعی و آب و هوا است ، دوام آسفالت نام دارد. منظوراز فرسایش ، تغییر در ویژگیهای قیر موجود در آسفالت مانند اکسیده شدن [5]و یا خروج(تبخیر) مواد فرار قیر[6](پیر شدگی)، نفوذ آب، همچنین تغییر در خصوصیات آسفالت اجرا شده، و تغییر خصوصیات مصالح سنگی آن در اثر رطوبت شامل یخ زدن و ذوب مجدد یخ است. معمولا دوام آسفالت در اثر وجود درصد قیر زیاد، غلظت زیاد، تراکم مناسب و نفوذناپذیری آسفالت افزایش می یابد.بعبارتی دوام مخلوط آسفالتی را میتوان با سه روش بهبود داد:

- ✓ به حداکثر رساندن ضخامت لعاب یا فیلم قیر روی سنگدانه ها

---

[1] Friction
[2] Cohesoin
[3] Moment Inertion
[4] Durability
[5] Oxidatio
[6] Volatilization

- ✓ طراحی مخلوط با مصالح با دانه بندی توپر و مقاوم به رطوبت
- ✓ تراکم مخلوط در محل با ۸ درصد یا کمتر فضای خالی

افزایش قیر سبب ایجاد قشر ضخیم‌تری از قیر روی سنگدانه‌ها میشود که سرعت تخریبی عوامل ناشی از عمر آسفالت را کاهش میدهد. علاوه براین وجود قیر بیشتر، سبب کاهش میزان فضای خالی بهم پیوسته داخل مخلوط شده، بهمین جهت نفوذ آب به داخل آسفالت مشکل‌تر میشود. آسفالت باید حاوی قیر کافی باشد(بهینه) بطوریکه به لطف چسبندگی و پیوستگی حاصله در مقابل نیروی فرسایشی ، سایشی و کششی ترافیک پایدار بماند. کمبود قیر باعث جدا شدن دانه های سنگی در سطح آسفالت میشود. از سوی دیگر حرارت دادن بیش از حد قیر هنگام تهیه آسفالت باعث ایجاد شکنندگی و در نتیجه فرسایش آسفالت خواهد شد. آسفالتی که دارای مقدار بیش از حدی قیر باشد بطوریکه تمام فضای خالی مصالح سنگی آن با قیر پر شده باشد، ممکن است از نظر دوام بهترین شرایط را داشته باشد اما این میزان قیر از نظر استحکام نامطلوب است. چنین مخلوطی زیر بار ترافیک دچار شیار، موج و قیرزدگی خواهد شد. البته جهت پذیرش انبساط قیر در هوای گرم و فشار ترافیک وارده، باید درصد مشخصی فضای خالی در روسازی وجود داشته باشد. مصالح دانه ای مناسب، توپر، سخت و مقاوم به رطوبت از سه روش به دوام کمک میکند:

- با نزدیکتر شدن تماس مصالح سنگی نفوذپذیری مخلوط ارتقاء می‌یابد.

-شکستن و خرد شدن مصالح سخت و مرغوب زیر بار ترافیک به حداقل می‌رسد.

- مصالح مقاوم در برابر رطوبت از جدا شدن فیلم قیر در مواجه با آب و ترافیک و نتیجتاً گرشدگی[1] مصالح پیشگیری میکند.

۴-۱-۵- انعطاف پذیری[2]

شکل پذیری قشر آسفالتی مطابق تغییر شکلی که در قشرهای اساس و زیراساس و همچنین جسم راه در طول زمان به وجود می‌آید بدون اینکه سطح راه ترک بخورد را انعطاف پذیری می‌گویند، به تعبیری، انعطاف پذیری خاصیت تطبیق یافتن آسفالت به نشست و جابجایی قشرهای اساس و زیر اساس و سابگرید می باشد. معمولا انعطاف پذیری آسفالت با افزایش مقدار قیر و درشت دانه بودن مصالح سنگی (وجود فضای خالی کمتر در مصالح)، افزایش می‌یابد.

رویه آسفالتی بر خلاف رویه بتنی که سخت می‌باشد دارای این خاصیت است که همراه با این نشست‌ها بدون اینکه ترک بخورند تغییر شکل می‌دهند. این انعطاف پذیری با مصرف قیر زیادتر و با درجه نفوذ بیشتر و به علاوه با دانه‌بندی پیوسته افزایش می‌یابد.

۴-۱-۶- نفوذناپذیری[3]

ممانعت مخلوط آسفالتی از نفوذ هوا و آب بداخل آن نفوذناپذیری نامیده میشود ،مخلوط آسفالت باید در مقابل نفوذ آب و هوا مقاوم باشد. فضاهای خالی مرتبط بین دانه‌های مصالح سنگی و اتصال آنها به سطح راه معرف نفوذ پذیری آسفالت است. اگر چه مقدار فضای خالی نشانه ای از قابلیت عبور هوا و آب از درون روسازی است، خصوصیات فضاهای خالی از تعداد آنها اهمیت بیشتری دارد. بزرگی و تعداد فضاهای خالی و مرتبط بودن یا نبودن آنها و نحوه ارتباط با سطح روسازی همگی در میزان نفوذناپذیری مهم میباشند. نحوه کوبیدن آسفالت و استفاده از غلتک‌های مناسب و کافی، در نفوذپذیری فوق‌العاده موثر است. نفوذپذیری در مقابل آب و هوا از نقطه نظر دوام آسفالت بسیار حائز اهمیت می باشد، لیکن همه مخلوطها مقداری نفوذ پذیری دارند که میبایست در محدوده های قابل قبول جهت آن نوع آسفالت قرار داشته باشد.

[1] Stripping
[2] Flexibility
[3] Impermeability

۴-۱-۷-مقاومت در برابر خستگی(تاب خستگی[1])

منظور از مقاومت در برابر خستگی ، پایداری آسفالت در مقابل خمش و تنش تکرار شونده حاصل از عبور ومرور ترافیک است. آزمایشات نشان میدهد که میزان قیر موجود در آسفالت تاثیر مستقیمی در میزان تحمل آن در برابر خستگی داشته و مخلوط آسفالتی که با مصالح ریزدانه تر (با فضای خالی بیشتر) ساخته شده باشد، در برابر خستگی مقاوم تر است. با افزایش فضای خالی در رویه اعم از اینکه ناشی از طرح بوده و یا کمبود تراکم، تاب خستگی کاهش مییابد، همچنین روسازی اجرایی با قیر سخت شده و اکسیده و پیری قیر مقاومت خستگی را کاهش میدهد. خصوصیات ضخامت و مقاومت و باربری روسازی و بستر نیز در عمر روسازی و پیشگیری از ایجاد ترک موثر است. روسازی ها ضخیم و یا بستر های ضخیم و یا نیمه صلب و صلب بدلیل تغییر شکلهای محدودتر دارای تاب خستگی بیشتری هستند. ترک خوردگی خستگی در لایه های آسفالتی ضخیم روسازی نوعاً پدیدهای با تنش کنترل شده و در لایههای آسفالتی نازک روسازی پدیده ای با کرنش کنترل شده در نظر گرفته میشود.

۴-۱-۸- زبری سطح آسفالت (مقاومت در برابر لغزش-تاب لغزشی[2])

مقاومت در برابر لغزش به مفهوم مقاومت سطح آسفالت اجرا شده در مقابل سر خوردن، لغزش و یا جهش ترافیک عبور کننده است به خصوص در شرایطی که سطح آسفالت مرطوب باشد. تامین تاب لغزشی مناسب ، عاج لاستیک باید بجای حرکت بر روی لایهای از آب در سطح روسازی (آب پیمایی[3]) قادر به حفظ تماس با دانه های مصالح سنگی باشد. عوامل ایجاد کننده مقاومت بیشتر در برابر لغزش، عموماً همان است که برای تامین استحکام بیشتر لازم است . در این زمینه میزان قیر مطلوب و زبری سطح مصالح سنگی بیشترین تاثیر را دارد . علاوه بر این مصالح سنگی باید دارای کانی های مقاوم در برابر صیقلی شدن[4] بوده، خصویات فرسایشی و سایشی متفاوت داشته باشند. از طرف دیگر آسفالتی که دارای قیر اضافی باشد، قیر آزاد آن باعث لغزندگی درسطح جاده خواهد شد. زیری سطح آسفالت باید به حدی باشد که در تمام شرایط، وسایط نقلیه بتوانند در فاصله قابل قبولی متوقف شوند. همانگونه که بیان شد باید سطح دانههای مصالح سنگی زبر و مصرف قیر کم باشد و به علاوه باید مقاومت مصالح سنگی در مقابل سایش نیز زیاد باشد. سنجش تاب لغزشی عموماً در سرعت ٦٥ کیلومتر بر ساعت با لاستیک عاج دار استاندارد و در شرایط مرطوب سازی کنترل شده انجام میگردد.

۴-۱-۹- کارایی[5](کارپذیری)

کارایی، قابلیت و سهولت پخش و کوبیدن آسفالت است به طوری که خوب کوبیده شود و سطح آن صاف و هموار گردد. منظور از کارایی (سهولت کاربرد) همان راحتی عمل پخش و حصول تراکم لازم میباشد. در صورتیکه در طرح اختلاط آسفالت و انتخاب ماشین آلات پخش و تراکم دقت شود، تامین سهولت کاربرد به آسانی امکان پذیر است. در بعضی موارد خصوصیات مصالح سنگی که منجر به حصول استحکام بیشتری شده است، خود سبب بروز مشکلاتی در پخش آسفالت خواهد بود. مخلوطهای درشت دانه در جدایی حین حمل و جابجایی مستعدترند و همچنین ممکن است تراکم دشوارتری را نیز داشته باشند، به جهت افزایش کارایی این مخلوطها میتوان با کنترلهای آزمایشگاهی میزان ریزدانه یا قیر را افزایش داد.

افزایش میزان فیلر نیز کارایی را می تواند تحت شعاع قرار داده و چسبناکی را زیاد و تراکم را دشوار نماید.

مخلوطهایی که پخش و تسطیح آنها آسان است را مخلوطهای وارونده[6](وارفتگی ساده نسبت به تراکم) گویند که برای پخش و تراکم صحیح بسیار ناپایدارند. وارفتگی مخلوط را به عواملی نظیر: کمبود فیلر، زیادی ماسه متوسط ، صاف و گردگوشه ای سنگدانه ها و رطوبت زیاد در مخلوط میتوان مرتبط دانست.

---

[1] Fatigue Resistance
[2] Skid Resistance
[3] Hydroplaning
[4] Polishing
[5] Workability
[6] Tender Mix

گر چه سهم قیر در مشکلات کارپذیری زیاد نیست لیکن تاثیر خود را دارد. بدلیل تاثیر دما بر کندروانی قیر، کم بودن بیش از حد دما مخلوط را غیر کارپذیر ساخته و زیاد بودن بیش از حد دما ممکن است آن را وارونده نماید. نوع قیر نیز مشابه مقدار آن ممکن است در کارایی قیر موثر باشد.

در فرآیند آزمایشگاهی یکی از مراحل عمومی در انجام ارزیابی بر روی مخلوطهای آسفالتی ساخت نمونه های آسفالتی و تراکم آنهاست. روشهای آزمایشگاهی که در حال حاضر جهت ساخت نمونه های آزمایشی مورد استفاده قرار می گیرند شامل: الف)تراکم استاتیکی ب) تراکم ضربه ای پ) تراکم مالشی[1] ت)تراکم چرخشی[2] ث) تراکم غلتکی[3] . .دمای تراکم معمولاً طوری انتخاب می شود که ویسکوزیته قیر cst 50+500 است.(ASTM D3202). جهت نگهداشت این دما در طول تراکم، باید قالب، ابز ار تراکم، میله کوبیدن و مخلوط بتن آسفالتی قبلا حرارت داده شوند .

تراکم استاتیکی: در این پروسه مخلوط بتن آسفالتی تهیه شده در یک قالبی باشکل و اندازه مورد نظر آماده می شود وسپس مخلوط تحت یک بار استاتیکی تدریجی قرار می گیرد . جهت افزایش همگنی و تجانس، مخلوط را معمولا قبل از تراکم بهم می زنند و قالب ساخته شده به راحتی با کاربرد یک پیستون دو طرفه جابه جا می شود،(ASTM D1074) . مزیت این روش در مقایسه با روشهای دیگر سادگی آن است و اصلی ترین اشکال وارده عدم انطباق موقعیت دانه های سنگی با شرایط روسازی است بطوریکه شرایط واقعی بطور دقیق شبیه سازی نمی شود.

تراکم ضربه ای: در این روش مخلوط در یک قالب بوسیله بار ضربه ای که بطور تکرار ی وارد می شود متراکم میگردد، که از یک چکشی که دارای وزن مشخص بوده وبطور آزاد از یک فاصله معین رها می شود، استفاده میگردد .تعداد ضربه با توجه به تراکم حاصله از بار غلتک و عبور ترافیک در جاده انتخاب می گردد. مزیت تراکم ضربه ای این است که به نسبت دارای هزینه کم و روش ساده ای است که به کار می برد. نمونه ای که در حد ممکن نزدیک به شرایط جاده است را می تواند در آزمایشگاه به خوبی تهیه کند. اشکال عمده این است که با انتقال انرژی عمده هنگام ضربه ممکن است رویۀ قیری گسیخته شده و ذرات دانه ای مستقیماً بالای هم قرار گیرند که منجر به اشکالات سازه ای آن قسمت نسبت به دیگر بخشهای مخلوط متراکم شده گردد(بطور مثال مقاومت در برابر تغییرشکل دائمیRutting) و همچنین سبب شکستن و ریزشدن دانه های سنگی گردد.

تراکم مالشی: در این روش تراکم با تکرار بار بوسیله یک پایه (کوبه) فشاری انجام می شود ، نمونه ای را که حجم آن کوچکتر از حجم مخلوط اولیه است، بوجود می آورد. در طول هر بار وارد کردن پایه(کوبه) فشاری، بار بتدریج افزایش یافته و برای یک مدت کوتاهی ثابت نگه داشته شده و سپس برداشته می شود. در هر بار، بارگذاری به بخش جدیدی از سطح وارد می‌گردد. در این الگو، بارگذاری مطابق با روسازی واقعی شبیه سازی می‌گردد. تراکم مالشی جهت تهیه نمونه هایی به شکل تیر برای آزمایشات خستگی بکار گرفته ASTM D3201می شود و برای تهیه نمونه های آزمایشی ویم بکار می رود. متراکم کننده های مالشی موجود در اندازه اپراتورهای دستی کوچک، که بصورت مدل های میز هیدرولیکی قابل حمل هستند تا مدل های هیدرولیکی خیلی دقیق و پیچیده با قابلیت تراکم نمونه های بیش از 30 اینچ طول و نمونه های سیلندری 6 اینچ قطر و 12 اینچ ارتفاع متغیر موجود است.

تراکم چرخشی: در این روش تراکم ، بتن آسفالتی تحت یک نمونه سیلندری با حرکت چرخشی یک قالب، متراکم می‌گردد بطوریکه فشار در هر انتهای نمونه بوسیله پیستون هایی فولادی با صفحات موازی ثابت نگه داشته می شود . اشکال عمده این نوع متراکم کننده عدم توانا یی آن در ساخت نمونه های آزمایشی غیر از شکل های سیلندری (استوانه ای) است.

متراکم کننده غلتکی: می تواند شرایط تراکم جاده را بطور واقعی‌تر شبیه‌سازی کند. تراکم مخلوط های ساخته شده تشابه زیادی به نحوه تراکم در جاده دارد . این روش می تواند بدین صورت ارتقاء یابد که مخلوط در یک سطح وسیع با استفاده از غلتک درست

[1] Kneading
[2] Gyratory
[3] Rolling Wheel

شبیه به شرایط در سطح جاده متراکم گردد و سپس نمونه مورد نظر بوسیله اره کردن و مغزه گیری از دال های بزرگ تهیه شود.بـرای چنین کاربرد وسیعی ماشین مخلوط کنی در مقیاس واقعی باید بکار گرفته شود. اشکال وارده هزینه بر بودن پروژه و نیاز به تجهیزات ویژه است. گزینه دیگر، روشهای متراکم کننده کوچک مقیاس است که با کاربرد یک غلتک فولادی یا همچنین غلتک لاستیکی انجام می‌شود. به عنوان مثال روشی بوسیلهٔLCPC ارائه شده است که از یک چرخ کوچک جهت تراکم دال به اندازه 1500میلیمتر در 180 میلیمتر با ضخامت 100 میلیمتر استفاده شده است . بعد از تراکم، نمونه ها اره و یا مغزه گیری می شوند.

۴–۱–۱۰– دانه بندی

اولین گام در طرح مخلوط آسفالتی تعیین بازه مجاز دانه بندی مصالح سنگی متناسب با اهداف و نوع مخلوط آسفالتی است که در برخی موارد رواداری مصالح کارگاه (تولید سنگ شکنها)بعنوان اولین گزینه مطرح میباشد. در آیین نامه ایران دانه بندی مخلـوط های آسفالت گرم بر حسب مورد باید با یکی از دانه بندی های جداول (٤–١)، (٤–٢) مطابقت داشته باشند.

جدول(٤–١): دانه‌بندی پیوسته مخلوط‌های آسفالتی

شماره دانه‌بندی / اندازه الک	درصد وزنی رد شده از هر الک						
	۱ (اساس قیری)	۲ (اساس قیری و استر)	۳ (اساس قیری و آستر)	٤ (آستر و رویه)	٥ (رویه)	٦ (رویه)	٧ (رویه)
۵۰ میلیمتر (۲ اینچ)	۱۰۰	---	---	---	---	---	---
۳۷/۵ میلیمتر (۱/۵ اینچ)	۹۰ –۱۰۰	۱۰۰	---	---	---	---	---
۲۵ میلیمتر (۱ اینچ)	---	۹۰ –۱۰۰	۱۰۰	---	---	---	---
۱۹ میلیمتر ($\frac{۳}{۴}$ اینچ)	۵۶ –۸۰	---	۹۰ –۱۰۰	۱۰۰	---	---	---
۱۲/۵ میلیمتر ($\frac{۱}{۲}$ اینچ)	---	۵۶ –۸۰	---	۹۰ –۱۰۰	۱۰۰	---	---
۹/۵ میلیمتر ($\frac{۳}{۸}$ اینچ)	---	---	۵۶ –۸۰	---	۹۰ –۱۰۰	۱۰۰	---
۴/۷۵ میلیمتر (شماره ۴)	۲۳ –۵۳	۲۹ –۵۹	۳۵ –۶۵	۴۴ –۷۴	۵۵ –۸۵	۸۰ –۱۰۰	۱۰۰
۲/۳۶ میلیمتر (شماره ۸)	۱۵ –۴۱	۱۹ –۴۵	۲۳ –۴۹	۲۸ –۵۸	۳۲ –۶۷	۶۵ –۱۰۰	۹۵ –۱۰۰
۱/۱۸ میلیمتر (شماره ۱۶)	---	---	---	---	---	۴۰ –۸۰	۸۵ –۱۰۰
۰/۶ میلیمتر (شماره ۳۰)	---	---	---	---	---	۲۵ –۶۵	۷۰ –۹۵
۰/۳ میلیمتر (شماره ۵۰)	۴–۱۶	۵ –۱۷	۵ –۱۹	۵ –۲۱	۷ –۲۳	۷ –۴۰	۴۵ –۷۵
۰/۱۵ میلیمتر (شماره ۱۰۰)	---	---	---	---	---	۳ –۲۰	۲۰ –۴۰
۰/۰۷۵ میلیمتر (شماره ۲۰۰)	۰ –۶	۱ –۷	۲–۸	۲ –۱۰	۲ –۱۰	۲–۱۰	۹ –۲۰

در ادامه به برخی از آزمایشات بر روی آسفالت تولیدی جهت بررسی برخی خصوصیات اشاره میگردد.

۴–۲–روش نمونه گیری از آسفالت جاده AASHTO T168, ASTM D979, ISIRI 1688

هدف و دامنه کاربرد: ارائه روشی برای نمونه‌گیری از مخلوط‌های آسفالتی در محل تولید، انبار، تحویل یا در محـل مـی‌باشـد. این روش برای نمونه‌گیری از آسفالت جاده کاربرد دارد.

نمونه‌گیری اهمیتی معادل انجام آزمون دارد، شخص نمونه‌گیر باید دقت بسیاری در نمونه‌گیـری بـه عمـل آورد تـا نمونـه‌هـا، نمایانگر ماهیت و شرایط مصالحی که از آنها نمونه گرفته شده است، باشند.

جدول(٤-٢): دانه‌بندی باز مخلوط‌های آسفالتی

شماره دانه‌بندی / اندازه الک	درصد وزنی رد شده از هر الک					
	١ (اساس قیری)	٢ (اساس قیری و استر)	٣ (اساس قیری و آستر)	٤ (آستر و رویه)	٥ (رویه)	٦ (رویه)
٥٠ میلیمتر (٢ اینچ)	١٠٠	---	---	---	---	---
٣٧/٥ میلیمتر (١/٥ اینچ)	٩٠ -١٠٠	١٠٠	---	---	---	---
٢٥ میلیمتر (١ اینچ)	---	٩٠ -١٠٠	١٠٠	---	---	---
١٩ میلیمتر ($\frac{3}{4}$ اینچ)	٤٠ -٧٠	---	٩٠ -١٠٠	١٠٠	---	---
١٢/٥ میلیمتر ($\frac{1}{2}$ اینچ)	---	٤٠ -٧٠	---	٨٥ -١٠٠	١٠٠	---
٩/٥ میلیمتر ($\frac{3}{8}$اینچ)	١٨ -٤٨	---	٤٠ -٧٠	٦٠ -٩٠	٨٥ -١٠٠	---
٤/٧٥ میلیمتر (شماره ٤)	٦ -٢٩	١٠ -٣٤	١٥ -٢٩	٢٠ -٥٠	٤٠ -٧٠	١٠٠
٢/٣٦ میلیمتر (شماره ٨)	٠ -١٤	١ -١٧	٢ -١٨	٥ -٢٥	١٠ -٢٥	٧٥ -١٠٠
١/١٨ میلیمتر (شماره ١٦)	---	---	---	٣ -١٩	٥ -٢٥	٥٠ -٧٥
٠/٦ میلیمتر (شماره ٣٠)	٠ -٨	٠ -١٠	٠ -١٠	---	---	٢٨ -٥٣
٠/٣ میلیمتر (شماره ٥٠)	---	---	---	٠ -١٠	٠ -١٢	٨ -٣٠
٠/١٥ میلیمتر (شماره ١٠٠)	---	---	---	---		٠ -١٢
٠/٠٧٥ میلیمتر (شماره ٢٠٠)	---	---	---	---	---	٠ -٥

۴-۲-۱-تعاریف:

نمونه میدانی[1]: مقدار کافی از مصالحی که باید آزمون شوند تا برآورد قابل قبولی از کیفیت متوسط یک واحد را ارائه دهند.

افزونه[2]: زیر نمونه‌هایی که از تجمع آنها نمونه اصلی تشکیل می‌شود.

بهر[3]: مقادیر جدا شده هم‌اندازه[4] از توده مصالح که دارای یک منبع می‌باشند و بر اساس فرآیند مشابهی تولید می‌شوند.

آزمونه[5]: مقادیری از مصالح به میزان کافی که از یک نمونه میدانی بزرگ‌تر، طراحی شده و نمایانگر دقیقی از آن می‌باشند. این مواد از یک واحد نمونه‌برداری شده‌اند.

واحد[6]: یک دسته[7] یا یک حجم مشخص از یک توده مصالح

۴-۲-۲-روش آزمون:

نمونه‌گیری از تسمه نقاله- تسمه نقاله را متوقف کرده، به طور اتفاقی حداقل ۳ مساحت تقریباً هم‌اندازه را روی تسمه، برای نمونه‌گیری انتخاب کنید. در هر محل نمونه‌گیری صفحه‌ای که با شکل تسمه نقاله سازگار باشد قرار دهید. از محل‌های انتخابی، نمونه‌های یکسان بگیرید و آنها را در یک ظرف مناسب بریزید.

نمونه‌گیری از کامیون – با یک روش اتفاقی، بخش‌هایی را برای نمونه‌گیری از فرآورده حمل شده، انتخاب کنید. حداقل ۳ نمونه با مقادیر یکسان بگیرید. از گرفتن نمونه از سطح فوقانی خودداری شود. نمونه‌ها را با یکدیگر مخلوط کنید.

---

[1] Field sample
[2] Increment
[3] Lot
[4] Sizable
[5] Test Portion
[6] Unit
[7] Batch

نمونه‌گیری از جاده قبل از تراکم- حداقل سه افزونه یکسان به روش اتفاقی از واحدی که باید نمونه‌گیری شود گرفته و آنها را با هم مخلوط کنید. نمونه‌ها از عمق کامل جاده برداشت شود. دقت کنید که از مصالح لایه زیرین برداشت نشود.

نمونه‌گیری از یک نقاله متحرک که مخلوط را به مخزن نگه‌دارنده حمل می‌کند- واحدهایی را برای نمونه‌گیری از نقاله متحرک به روش اتفاقی، بسته به ظرفیت مخزن نگه‌دارنده انتخاب کنید. به محض خالی شدن قیف تغذیه، نقاله متحرک را متوقف کنید. شیاری به پهنای ۱۵۰ میلی‌متر از بالا تا پایین توده حفر کنید. تقریبا سه مقدار مساوی افزونه از بالا، میانه و کف شیار، برداشته و افزونه هر بخش را در یک ظرف بریزید.

نمونه‌گیری از قیف تغذیه برای انتقال مخلوط به مخزن نگه‌دارنده- بر اساس حداکثر ظرفیت مخزن نگه‌دارنده به طور اتفاقی واحدهایی را برای نمونه‌گیری از قیف انتخاب کنید. حداقل سه افزونه یکسان از مصالح برای هر نمونه، با قرار دادن سینی، سطل و یا ظرف مناسب دیگری در مسیر کامل جریان مصالحی که از قیف بر روی نقاله می‌ریزد، تهیه کنید.

نمونه‌گیری از آسفالت پخش شده پس از تراکم- واحدهایی را به روش اتفاقی برای نمونه‌برداری از مصالح در محل انتخاب کنید. حداقل سه نمونه یکسان به طور اتفاقی از واحدی که باید نمونه‌برداری شود، تهیه کنید. هر نمونه را آزمون کرده و برای تعیین قابلیت پذیرش، از نتایج آزمون‌ها میانگین بگیرید. همه مصالح را از ضخامت لایه تهیه و توجه کنید که تمام مواد یک لایه را شامل شود. هر افزونه باید به روش مغزه‌گیری، اره کردن و دیگر روش‌هایی که حداقل دست‌خوردگی را در مصالح ایجاد کند، گرفته شود.

نمونه‌برداری از مخلوط آسفالت سرد انبار شده- ممکن است قشری بر روی سطح مخلوط‌های سرد که برای مدتی انبار شده‌اند، تشکیل شود. این قشر باید تا عمق ۱۰۰ میلی‌متری در یک محدوده یک مترمربعی برداشته شود تا مخلوط غیر هوازده نمایان شود. مخلوط نمایان شده را بهم‌زده و سه نمونه یکسان به طور اتفاقی از واحد انتخابی تهیه کنید و آنها را با هم ترکیب نمائید.

مقادیر مصالح در نمونه‌های میدانی به عنوان راهنما در جدول ٤-۳ ارائه شده است. مقدار نمونه آزمون را می‌توان از نمونه‌های میدانی با روش چهار یا دو قسمت کردن به دست آورد.

۴-۲-۴-انتقال نمونه ها و گزارش:

جهت انتقال نمونه‌ها از ظروفی استفاده کنید که ضمن حفظ نمونه مانع آلودگی آن گردد و مشخصات هر نمونه بر روی آن ثبت شود.

جدول(٤-۳): راهنمای تخمین مقدار آزمونه

حداکثر اندازه اسمی مصالح سنگی mm	حداقل وزن تقریبی مخلوط متراکم نشده kg
۲/۳٦	۲
٤/۷۵	۲
۹/۵	٤
۱۲/۵	۵
۱۹/۰	۷
۲۵/۰	۹
۳۷/۵	۱۱
۵۰	۱٦
اندازه کوچک‌ترین الکی که حداکثر ۱۰٪ وزنی سنگدانه روی آن باقی بماند، حداکثر بزرگ‌ترین اندازه اسمی مصالح سنگی نامیده می‌شود.	

شکل(٤-١): نمونه‌گیری از آسفالت جاده

۴-۳-روش آزمایش تعیین مقدار قیر استخراج شده از مخلوط‌های آسفالتی گرم (HMA)

AASHTO T164, ASTM D2172, ISIRI 11801

هدف و دامنه کاربرد: تعیین مقدار قیر در مخلوط‌های روسازی آسفالت گرم و نمونه‌های آسفالتی روسازی می‌باشد.

نکته۱: نتایج به دست آمده از این آزمون ممکن است متاثر از سن مصالح مورد آزمون باشند. نمونه‌های قدیمی‌تر درصد قیر کمتری می‌دهند. بهترین نتایج کمی، زمانی به دست می‌آید که آزمون بر روی مخلوط‌ها و روسازی‌ها پس از زمان کوتاهی بعد از آماده شدن انجام می‌گیرد.

نکته۲: در مورد برخی از مصالح سنگی، جدا کردن کل قیر مشکل است. ممکن است مقداری کلریدها، درون مواد معدنی باقی بماند که بر روی مقدار قیر اندازه‌گیری شده، اثر بگذارد.

این آزمایش به دو روش انجام می‌گیرد که در اینجا روش الف (استفاده از دستگاه سانتریفوژ) که متداول‌تر است شرح داده می‌شود . در روش ب با استفاده از آزمایش احتراق طبق ASTM D6307 و AASHTO,T308 است که بوسیله کوره های مخصوص و با حرارتهای بسیار بالا (بیش از ۵۰۰درجه سانتیگراد) و سوزاندن کامل قیر موجود نسبت به تعیین درصد قیر مخلوط نمونه‌گیری شده اقدام میگردد.

۴-۳-۱-وسایل و مواد مورد نیاز:

وسایل استخراج(دستگاه سانتریفوژ)، با قابلیت کنترل سرعت چرخش تا ۳۶۰۰ دور در دقیقه

حلقه‌های صافی، کاغذی یا نمدی و هم اندازه با شیارهای کاسه دستگاه استخراج

آون، با توانایی نگه‌داری دما در ۵±۱۱۰ درجه سانی‌گراد

ظرف مسطح، با طول ۳۰۵ میلی‌متر، عرض ۲۰۳ میلی‌متر و عمق ۲۵ میلی‌متر

ترازو، با دقت ۰/۰۱ درصد جرم نمونه

هات پلیت، با قابلیت تنظیم کم، متوسط و زیاد

استوانه مدرج، با ظرفیت ۱۰۰۰ یا ۲۰۰۰میلی‌لیتر

ظرف احتراق، با ظرفیت ۱۲۵ میلی‌لیتر

دسیکاتور

محلول کربنات آمونیوم، محلول اشباع معرف گروه آمونیوم کربنات[$(NH_4)_2CO_3$]

متیلن کلراید نوع صنعتی و برومید پروپیل نرمال و تری کلرواتیلن نوع صنعتی یک

نکته۳: با توجه به آن که محلول‌های ذکر شده دارای درجه‌ای از سمی بودن هستند باید در زیر هواکش استفاده شوند. در ایران متداول است که از بنزین به جای محلول‌های ذکر شده استفاده شود.

۴-۳-۲-آماده سازی نمونه

اگر مخلوط به اندازه کافی برای جدا کردن با یک کاردک نرم نباشد، آن را در آون با دمای ۵±۱۱۰ درجه سانی‌گراد قرار داده تا زمانی که بتوان آن را مخلوط کرد. سپس به روش چهار قسمتی[1] جرم آن را کاهش داده تا به مقدار بیان شده در جدول ٤-٤ برسد.

جدول(٤-٤): اندازه آزمونه

حداکثر اندازه اسمی مصالح mm	اندازه الک	حداقل جرم نمونه kg
٤/٧٥	شماره ٤	۰/۵
۹/۵	$\frac{3}{8}$اینچ	۱
۱۲/۵	$\frac{1}{2}$اینچ	۱/۵
۱۹/۰	$\frac{3}{4}$اینچ	۲
۲۵/۰	1 اینچ	۳
۳۷/۵	$1\frac{1}{2}$اینچ	٤

شکل(٤-۲): دستگاه استخراج و کاغذ صافی

۴-۳-۳-روش انجام آزمایش

در صورت لزوم مقدار رطوبت مخلوط را بلافاصله پس از اخذ آزمونه استخراج، از باقی‌مانده نمونه بدست آورید. جرم آب آزمونه استخراجی را W_2 با ضرب کردن درصد جرمی آب، در جرم آزمونه استخراجی W_1 محاسبه کنید.

آزمونه را داخل کاسه ریخته و روی آن را با یکی از حلال‌های ذکر شده در بالا بپوشانید. حداکثر یک ساعت برای جدا کردن آزمونه توسط حلال اختصاص دهید. کاسه را در دستگاه استخراج قرار دهید و حلقه صافی را که قبلا" در آون ۵±۱۱۰ درجه سانتی‌گراد خشک شده و جرم آن تعیین شده است در شیار کاسه جای دهید. درپوش را روی کاسه محکم کرده و ظرف مناسبی را

[1] Quarter

زیر قسمت لوله تخلیه برای جمع‌آوری مواد خروجی قرار دهید. سانتریفوژ را با سرعت کم شروع و به تدریج سرعت را تا حداکثر ۳۶۰۰ دور در دقیقه یا تا زمانی که حلال دیگر تخلیه نشود، افزایش دهید. بعد از توقف دستگاه، ۲۰۰ میلی‌لیتر از حلال را اضافه و همان عمل را تکرار کنید. این مرحله را حداقل سه مرتبه تکرار کنید به طوری که مواد خروجی تیره‌تر از رنگ کاهی روشن نباشد. مواد خروجی و شسته شده را در یک ظرف مدرج مناسب جمع کنید.

با دقت حلقه صافی و تمام مصالح در ظرف سانتریفوژ را به یک ظرف تخت با وزن مشخص منتقل کنید. ظرف را در زیر هواکش تا زمانی که بخارات آن محو شود، خشک کنید و سپس در آون ۵±۱۱۰ درجه سانتی‌گراد تا رسیدن به جرم ثابت قرار دهید. جرم مصالح سنگی استخراج شده(W_3) برابر با جرم مصالح سنگی داخل ظرف فلزی منهای جرم اولیه حلقه‌های صافی است.

مقدار مواد معدنی خارج شده را به یکی از روش‌های زیر تعیین کنید:

۱- روش خاکستر

۲- روش سانتریفوژ

۳-روش حجمی

در ایران متداول است که از روش خاکستر استفاده می‌شود که در اینجا توضیح داده می‌شود:

حجم یا جرم کل مواد استخراج شده را تعیین کنید (W_1). ظرف مخصوص احتراق[1] را در کوره قرار داده و پس از خنک شدن در دسیکاتور با دقت ۰/۰۰۱ گرم وزن کنید. مواد استخراج شده را کاملا هم‌زده و بلافاصله حدود ۱۰۰میلی‌لیتر از آن را داخل ظرف احتراق بریزید. برای خشک کردن از هات پلیت یا حمام بخار استفاده کنید. مواد باقی‌مانده را در کوره ۵۰۰-۶۰۰ درجه سانتی‌گراد بسوزانید. سپس در دسیکاتور خنک و وزن کنید.

۵ میلی‌لیتر محلول کربنات آمونیوم اشباع برای هر گرم خاکستر اضافه کنید. آن را به مدت یک ساعت در دمای اتاق نگه دارید. در آون ۵±۱۱۰ درجه سانی‌گراد تا رسیدن به وزن ثابت خشک و پس از خنک شدن در دسیکاتور با دقت ۰/۰۰۱ گرم وزن کنید.

۴-۳-۴-محاسبات

جرم مواد معدنی، W_4، در کل حجم استخراجی را به روش زیر محاسبه کنید:

$$W4 = G(\frac{W1}{100}) \qquad (۱-٤)$$

G خاکستر باقی‌مانده در ظرف احتراق (gr)

W_1 حجم کل استخراج (ml)

۴-۳-۵-محاسبه مقدار قیر

$$\text{مقدار قیر بر حسب درصد} = [\frac{(W1-W2)-(W3-W4)}{W1-W2}] \times 100 \qquad (۲-٤)$$

W_1 جرم آزمونه

W_2 جرم آب در آزمونه

W_3 جرم مصالح سنگی معدنی استخراج شده

W_4 جرم مواد معدنی استخراج شده

[1] Ignition Dish

۴-۴-روش آزمایش دانه بندی سنگدانه حاصل از استخراج AASHTO T30, ISIRI 1154

هدف و دامنه کاربرد: تعیین دانه‌بندی سنگدانه‌های ریزدانه و درشت‌دانه استخراج شده از مخلوط آسفالتی گرم با استفاده از الک‌هایی با چشمه‌های مربع شکل است. نتایج بدست آمده به منظور تطبیق دانه‌بندی مصالح سنگی با مشخصات مورد نیاز و هم چنین داده‌های ضروری جهت کنترل تولید انواع سنگدانه‌های استفاده شده در مخلوط‌های آسفالتی گرم کاربرد دارد.

۴-۴-۱-وسایل مورد نیاز:

ترازو، باید ظرفیت کافی داشته و قادر به قرائت تا ۰/۱ درصد جرم نمونه باشد.

سری الک‌های استاندارد

نمونه، نمونه باید شامل کل یا بخشی از سنگدانه‌هایی باشد که در آزمایش تعیین مقدار قیر مخلوط‌های آسفالتی AASHTO T164 بدست آمده است.

۴-۴-۲-روش آزمایش:

نمونه باید در صورت لزوم در آون ۵±۱۱۰ درجه سانتی‌گراد خشک شود. وزن کل مصالح سنگی موجود در مخلوط آسفالتی آزمایش شده برابر مجموع وزن سنگدانه‌های خشک شده و مواد معدنی موجود در قیر استخراج شده می‌باشد.

نمونه را پس از آنکه خشک و توزین شد، در ظرف مناسب ریخته و با آب بپوشانید. محتویات ظرف را به شدت تکان داده و بلافاصله آب شستشو را از بین الک‌های ۲ میلی‌متر (شماره ۱۰) یا ۱/۱۸ میلی‌متر (شماره ١٦) و الک ۰/۰۷۵ میلی‌متر (شماره ۲۰۰) عبور دهید. سنگدانه‌ها را با آب روی الک نمره ۲۰۰ بشوئید. می‌توانید از عامل پراکنده کننده مانند شوینده‌های فسفاته یا غیر فسفاته یا سایر شوینده‌ها برای جداکردن ذرات ریز استفاده کنید. عمل شستشو تا زمانی که آب حاصل از شستشو زلال شود ادامه یابد. تمامی مصالح باقی‌مانده روی الک به ظرف برگردانده و در آون ۵±۱۱۰ درجه سانتی‌گراد خشک و با دقت ۰/۱ درصد وزن کنید. سپس سنگدانه را با الک‌هایی که اندازه آنها بر اساس مشخصات مخلوط تعیین می‌شود و شامل الک نمره ۲۰۰ می‌باشد، الک کنید ومقدار عبور کرده از هر الک و مانده روی الک بعدی و مقدار عبوری از الک نمره ۲۰۰ را وزن و یادداشت نمائید. مجموع وزن-های بدست آمده بایستی با وزن خشک پس از شستشو با تقریب ۰/۲ درصد وزن کل مصالح تطبیق داشته باشد. وزن مصالح خشک عبوری از الک نمره ۲۰۰ عبارت است از وزن مواد معدنی موجود در قیر و وزن مصالحی که در اثر شستشو به‌دست آمده و وزن مصالح خشکی که با دانه‌بندی خشک از الک نمره ۲۰۰ عبور کرده است.

۴-۴-۳-گزارش

وزن بخش‌های باقی‌مانده بر روی الک‌های مختلف و وزن کل عبور کرده از الک نمره ۲۰۰ باید به درصد از طریق تقسیم هر یک بر وزن کل سنگدانه به مخلوط آسفالتی، تبدیل شود.

شکل(٤-۳): مصالح باقی‌مانده در دستگاه استخراج که بایستی دانه‌بندی شود

۴-۵-روش آزمایش تعیین وزن مخصوص حقیقی مخلوط آسفالتی گرم (HMA) متراکم با استفاده از آزمونه‌های اشباع شده با سطح خشک AASHTO T166, ASTM D2726, ISIRI 12380

هدف و دامنه کاربرد: تعیین وزن مخصوص حقیقی مخلوط آسفالتی گرم متراکم شده می‌باشد. این روش نباید برای آزمونه-هایی که دارای فضاهای خالی باز یا فضاهای خالی به‌هم پیوسته بوده و یا جذب آب بیشتر از ۲ درصد حجمی دارند، استفاده شود.

۴-۵-۱-تعاریف

وزن مخصوص حقیقی برای جامدات- نسبت جرم در هوای یک واحد حجم مصالح نفوذپذیر (شامل فضاهای خالی معمولی نفوذپذیر و نفوذناپذیر مصالح) در یک دمای مشخص به جرم هوای معادل با چگالی یک حجم از آب مقطر بدون هوا در یک دمای مشخص است.

۴-۵-۲-مشخصات آزمونه‌ها

آزمونه می‌تواند مخلوط آسفالتی گرم متراکم آزمایشگاهی و یا نمونه‌گیری شده از روسازی‌های مخلوط آسفالتی گرم باشند.

قطر آزمونه‌های استوانه‌ای متراکم شده یا مغزه، یا طول سطوح جانبی آزمونه اره شده، حداقل چهار برابر بزرگ‌ترین اندازه مصالح سنگی باشد.

ضخامت آزمونه‌ها حداقل یک و نیم برابر بزرگ‌ترین اندازه مصالح سنگی باشد.

آزمونه باید عاری از مواد خارجی مانند اندودهای آب بند، اندودهای سطحی، مصالح بستر، خاک... باشد.

آزمایش به دو روش (الف) و (ب) انجام می‌گیرد. که در اینجا روش (الف) که متداول‌تر است توضیح داده می‌شود.

۴-۵-۳-وسایل مورد نیاز

ترازو، دارای ظرفیت کافی بوده و قابلیت قرائت تا ۰/۱ درصد جرم آزمونه را داشته باشد. ترازو باید به لوازم آویز و نگه-دارنده‌ی مناسبی مجهز باشد تا امکان توزین آزمونه هنگامی که از مرکز کفه سنجش آویزان است وجود داشته باشد.

لوازم آویز، سیم آویز به اندازه کافی نازک باشد.

حمام آب، مجهز به یک سرریز برای ثابت نگه داشتن سطح آب

۴-۵-۴-روش آزمایش

آزمونه را تا رسیدن به جرم ثابت در دمای ۳±۵۲ درجه سانتی‌گراد خشک کنید. آزمونه اشباع در آب ابتدا باید یک شب خشک شده، سپس وزن شود. آزمونه را تا دمای ۵±۲۵ درجه سانتی‌گراد خنک کنید و جرم خشک (A) را تعیین نمایید. سپس آزمونه را در حمام آب با دمای۱±۲۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱±٤ دقیقه غوطه‌ور ساخته و آنگاه جرم غوطه‌وری(C) را یادداشت کنید. آزمونه را از آب خارج کرده، سریعا" (کمتر از ۵ ثانیه) آزمونه را بوسیله حوله خشک کرده تا به شرایط اشباع با سطح خشک برسد و جرم آن را (B) یادداشت کنید.

$$\text{وزن مخصوص حقیقی} = \frac{A}{\mathrm{B-C}} \qquad (۳-٤)$$

A وزن آزمونه در هوا بر حسب گرم

B وزن آزمونه اشباع با سطح خشک در هوا بر حسب گرم

C وزن آزمونه در آب بر حسب گرم

$$\text{درصد آب جذب شده بر اساس اندازه گیری حجم} = \frac{B-A}{\mathrm{B-C}} \times 100 \qquad (٤-٤)$$

۴-۶-روش آزمایش تعیین وزن مخصوص حقیقی مخلوط آسفالتی گرم (HMA) متراکم با استفاده از آزمونه‌های با پوشش پارافین AASHTO T275, ASTM D1188, ISIRI 10868

هدف و دامنه کاربرد: تعیین وزن مخصوص حقیقی مخلوط آسفالتی گرم متراکم شده می‌باشد. این روش باید برای آزمونه‌هایی که دارای فضاهای خالی باز یا فضاهای خالی به‌هم پیوسته بوده و یا جذب آب بیشتر از ۲ درصد حجمی دارند، استفاده شود.

وزن مخصوص حقیقی برای جامدات- نسبت جرم در هوای یک واحد حجم مصالح نفوذپذیر (شامل فضاهای خالی معمولی نفوذپذیر و نفوذناپذیر مصالح) در یک دمای مشخص به جرم هوای معادل با چگالی یک حجم از آب مقطر بدون هوا در یک دمای مشخص است.

۴-۶-۱-مشخصات آزمونه‌ها:

آزمونه می‌تواند مخلوط آسفالتی گرم متراکم آزمایشگاهی و یا نمونه‌گیری شده(کر گرفته) از روسازی‌های مخلوط آسفالتی گرم باشند.

قطر آزمونه‌های استوانه‌ای متراکم شده یا مغزه، یا طول سطوح جانبی آزمونه اره شده، حداقل چهار برابر بزرگ‌ترین اندازه مصالح سنگی باشد.

ضخامت آزمونه‌ها حداقل یک و نیم برابر بزرگ‌ترین اندازه مصالح سنگی باشد.

آزمونه باید عاری از مواد خارجی مانند اندودهای آب بند، اندودهای سطحی، مصالح بستر، خاک... باشد.

آزمایش به دو روش انجام می‌گیرد. که در اینجا روشی که متداول‌تر است توضیح داده می‌شود.

۴-۶-۲-وسایل مورد نیاز:

ترازو، دارای ظرفیت کافی بوده و قابلیت قرائت تا ۰/۱ درصد جرم آزمونه را داشته باشد. ترازو باید به لوازم آویز و نگه-دارنده‌ی مناسبی مجهز باشد تا امکان توزین آزمونه هنگامی که از مرکز کفه سنجش آویزان است وجود داشته باشد.

لوازم آویز، سیم آویز به اندازه کافی نازک باشد.

حمام آب، مجهز به یک سرریز برای ثابت نگه داشتن سطح آب

۴-۶-۳- روش آزمایش:

جرم آزمونه اندود نشده- آزمونه را بعد از این که تا جرم ثابتی خشک شد، وزن کنید (A).

جرم آزمونه اندود شده در هوا- تمام سطح آزمونه را به وسیله پارافین مذاب با ضخامت کافی پوشش دهید تا تمام فضاهای خالی آن آب‌بندی شود. اجازه دهید پوشش پارافینی در هوای محیط با دمای اتاق ۵±۲۵ درجه سانتی‌گراد به مدت حداقل ۳۰ دقیقه خنک شود وسپس آزمونه را وزن کنید(D).

جرم آزمونه اندود شده در آب- حال آزمونه اندود شده را در حمام آب با دمای ۱±۲۵ درجه سانتی‌گراد غوطه‌ور ساخته و وزن کنید(E).

وزن مخصوص پارافین- وزن مخصوص پارافین را در صورت مجهول بودن در دمای ۱±۲۵ درجه سانتی‌گراد تعیین کنید(F).

۴-۶-۵-محاسبه

وزن مخصوص حقیقی آزمونه را به نزدیک‌ترین عدد تا سه رقم اعشار گرد و گزارش کنید.

$$\text{وزن مخصوص حقیقی (انبوهی)}^{1} = G_{mb} = \frac{A}{D-E-(\frac{D-A}{F})} \qquad (٥-٤)$$

A وزن آزمونه در هوا بر حسب گرم

D وزن آزمونه به اضافه پوشش پارافینی در هوا بر حسب گرم

E وزن آزمونه به اضافه پوشش پارافین در آب بر حسب گرم

F وزن مخصوص پارافین در دمای ۱±۲۵ درجه سانتی‌گراد

۴-۷-روش آزمایش تعیین مقاومت مخلوط‌های آسفالتی در آستانه تغییر شکل پلاستیک با استفاده از دستگاه مارشال AASHTO T245, ASTM D1559, ISIRI 12381

هدف و دامنه کاربرد: تعیین مقاومت آزمونه‌های استوانه‌ای مخلوط روسازی قیری در آستانه تغییر شکل پلاستیک در حالتی‌که سطح جانبی آزمونه با دستگاه مارشال تحت بارگذاری قرار گرفته است، می‌باشد. این روش برای مخلوط‌هایی که با قیر خالص، قیر محلول یا قیر قطرانی و مصالح سنگی با حداکثر اندازه ۲۵/٤ میلی‌متر ساخته شده‌اند، کاربرد دارد.

۴-۷-۱-وسایل مورد نیاز

مجموعه قالب آزمونه[2]، قالب استوانه‌ای به قطر ۱۰۱/٦ میلی‌متر با ارتفاع ۷٦/۲ میلی‌متر، صفحات زیرین و گلویی الحاقی مطابق شکل (٤-٤) باشد. سه قالب استوانه‌ای پیشنهاد می‌شود.

خارج کننده آزمونه[3]، صفحه‌ای فولادی به شکل دیسک با قطر حداقل ۱۰۰ میلی‌متر و ضخامت ۱۲/۷ میلی‌متر برای خارج کردن آزمونه متراکم شده از قالب آزمونه با استفاده از گلویی قالب

چکش تراکم[4]، دارای سطح ضربه گرد، مسطح و وزنه متحرک به وزن ۹±٤٥۳٦ گرم با ارتفاع سقوط آزاد ۱/٥۲٤±٤٥۷/۲ میلی‌متر. شکل (٤-٥)

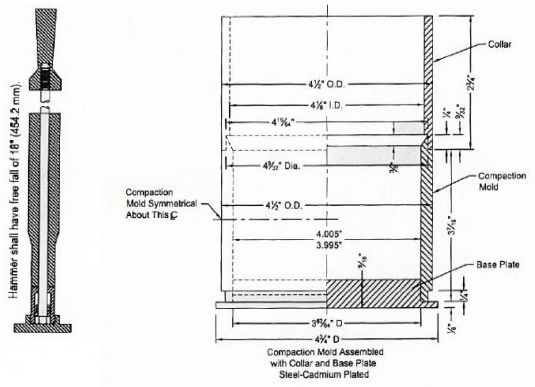
پایه تراکم[5]، یک کنده چوبی به ابعاد ٤٥۷/۲×۲۰۳/۲×۲۰۳/۲ میلی‌متر که قسمت بالایی آن با یک صفحه فولادی پوشیده شده است. مجموعه پایه باید ثابت بوده و تراز باشد.

نگه دارنده قالب آزمونه[6]، این نگه‌دارنده روی پایه تراکم، به نحوی سوار می‌شود که مرکز قالب به مرکز پایه منطبق باشد.

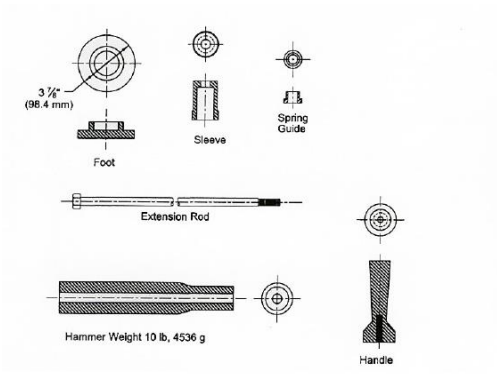
فک شکست[7]،

جک بارگذاری[8]، شامل یک جک دنده‌ای نصب شده روی یک قاب دستگاه آزمون است. و حرکت قائم یکنواخت ۵۰/۸ میلی‌متر بر دقیقه را فراهم می‌کند. شکل (٤-٦)

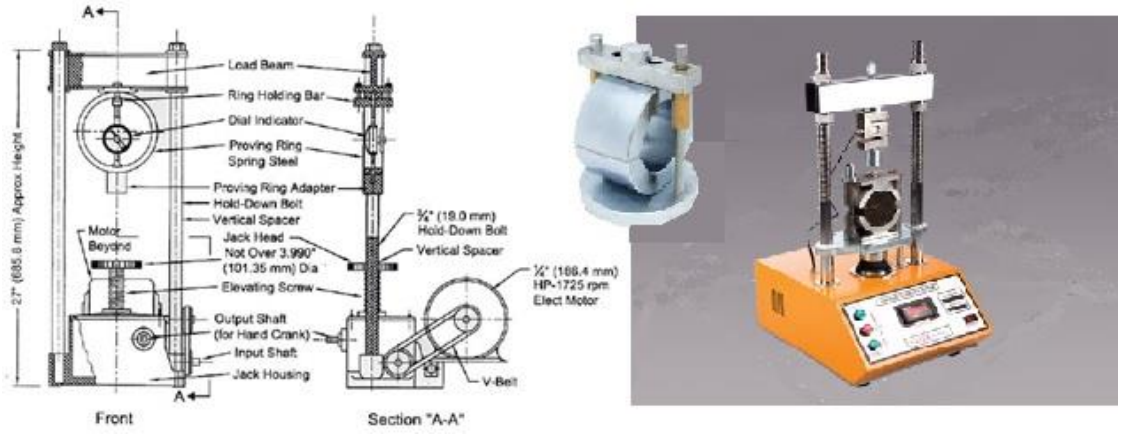
[1] Bulk Specific Gravity
[2] Specimen Mold Assembly
[3] Specimen Extrctor
[4] Compaction Hammer
[5] Compaction Pedestal
[6] Specimen Mold Holder
[7] Breaking Head
[8] Loading Jack



شکل(٤-٤): قالب تراکم



شکل(٤-٥): چکش تراکم



شکل(٤-٦): جک بارگذاری

مجموعه حلقه نیروسنج، با ظرفیت ۲۲/۲ کیلو نیوتن(و یا لودسل[1] سنجش اتوماتیک نیرو)

روانی سنج[2](ویا کرنش سنج دیجیتال)

آون یا هات پلیت

وسیله گرمایش[3]، با نرخ گرمایشی متغیر و قابل تنظیم

وسایل اختلاط

حمام آب، با حداقل عمق ۱۵۲/٤ میلی‌متر و دمای حمام را در ۱±٦۰ درجه سانتی‌گراد و یا ۱±۳۷/۸ درجه سانتی‌گراد ثابت نگه دارد.

حمام هوا، برای مخلوط‌های آسفالتی با قیر محلول و کنترل دمای هوا در۱±۲۵ درجه سانتی‌گراد

۴-۷-۲-آزمونه‌ها

حداقل سه آزمونه برای هر ترکیبی از مصالح سنگی و قیر آماده کنید.

آماده کردن مصالح سنگی- مصالح سنگی را در دمای ۱۰۵-۱۱۰ درجه سانتی‌گراد خشک کنید. سپس به روش دانه‌بندی خشک مصالح سنگی را به بخش‌های زیر تفکیک کنید:

- ۱۹ تا ۲۵ میلی‌متر
- ۹/۵ تا ۱۹ میلی‌متر

[1] Load cell
[2] Flowmeter
[3] Heating Device

- ٤/٧٥ تا ٩/٥ میلی‌متر
- ٢/٣٦ تا ٤/٧٥ میلی‌متر
- کوچک تر از ٢/٣٦ میلی‌متر

۴-۷-۳-تعیین دماهای مخلوط کردن و متراکم کردن

دمای مخلوط کردن- دمایی که در آن کندروانی قیر خالص و قیر محلول به ۲۰±۱۷۰ سانتی استوکس برسد.

دمای متراکم کردن- دمایی که در آن کندروانی قیر خالص به ۳۰±۲۸۰ سانتی استوکس برسد.

۴-۷-۴-روش آماده سازی مخلوط‌ها

اولین پیمانه به منظور آغشته کردن جام مخلوط‌کن و همزن، پس از اختلاط دور ریخته می‌شود.

در درون ظرف‌های مجزا، حدود ۱۲۰۰ گرم از مصالح مورد نیاز برای یک پیمانه را ریخته و آنها را در آون گرم کنید. دمای آون برابر دمای اختلاط به دست آمده از منحنی ویسکوزیته قیر می‌باشد.

به میزان کافی قیر برای تهیه آزمونه‌ها تا دمای اختلاط گرم کنید.

جام اختلاط را با مصالح سنگی گرم شده پر کنید. مقدار مورد نیاز از قیر گرم شده را به آن افزوده و آزمونه را با کاردک یا همزن خوب مخلوط کنید تا پوشش کامل انجام شود.

۴-۷-۵-متراکم نمودن آزمونه‌ها

قالب و چکش تراکم را تمیز کرده و در آون با دمای بین ۹۳/۳ و ۱٤۸/۹ درجه سانتی‌گراد گرم کنید.تمام پیمانه را در قالب خالی کرده و با یک کاردک گرم با نیروی زیاد ۱۵ بار به اطراف مخلوط و ۱۰ ضربه به داخل آن بزنید. گلویی قالب را برداشته و سطح مخلوط را با بیلچه صاف کنید. گلویی قالب را دوباره گذاشته و مجموعه قالب را روی پایه تراکم، در نگه‌دارنده قالب قرار دهید. با چکش تراکم که از ارتفاع ٤٥٧/٢ میلی‌متر سقوط می‌کند تعداد ۵۰ یا ۷۵ ضربه اعمال کنید. صفحه زیرین و گلویی را بردارید و آن را مجددا سوار کنید و همان تعداد ضربه را به ته آزمونه وارد کنید. بعد از تراکم صفحه زیرین را برداشته و بوسیله خارج کننده، آزمونه را از قالب خارج کرده و به مدت یک شب در دمای اتاق نگه‌دارید. آزمونه را وزن کرده و ابعاد آن را اندازه بگیرید.

۴-۷-۶-روش آزمایش

آزمونه‌های آماده شده با قیر خالص را، با غوطه‌ور کردن در حمام آب به مدت ۳۰ تا ٤٠ دقیقه یا با قرار دادن در آون به مدت ۲ ساعت به دمای مورد نظر برسانید. دمای حمام آب یا آون برای قیر خالص ۱±٦۰ درجه سانتی‌گراد است. میله‌های راهنما و فک-های آزمایش را قبل از انجام آزمون تمیز کنید. دمای فک آزمون باید بین ۲۱/۱ تا ۳۷/۸ درجه سانتی‌گراد باشد. آزمونه را از حمام آب یا آون خارج کرده و در قسمت پایینی فک قرار دهید. قسمت بالایی فک را قرار داده و روانی‌سنج را نصب کنید. توسط جک بارگذاری یا فک دستگاه آزمون که قابلیت حرکت با نرخ ثابت ۵۰/۸ میلی‌متر در دقیقه دارد، به آزمونه بار اعمال کنید تا به حداکثر رسیده و کاهش بار در عقربه مشاهده شود. به محض اینکه حداکثر بار شروع به کاهش کرد، روانی‌سنج را قرائت کنید. زمان انجام آزمون از هنگام خروج آزمونه از حمام آب تا تعیین حداکثر بار نباید از ۳۰ ثانیه بیشتر شود. جکهای شکست مارشال در اغلب موارد دیجیتال بوده و با روند ثابت تغییر شکل(نزدیکی فکها) قرائت حداکثر نیرو و روانی متناظر آن را بصورت خودکار انجام میدهند.

۴-۸-روش آزمایش تعیین حداکثر وزن مخصوص تئوری مخلوط های آسفالتی ASTM D2041, ISIRI 12651

هدف و دامنه کاربرد: تعین حداکثر وزن مخصوص تئوری و دانسیته مخلوط‌های آسفالتی متراکم نشده در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد است. حداکثر وزن مخصوص تئوری و دانسیته مخلوط‌های آسفالتی خواص ذاتی هستند که مقدار آن‌ها تحت تاثیر ترکیب مخلوط نظیر، انواع، مقدار مصالح سنگی و مواد قیری قرار دارد.

۴-۸-۱-وسایل مورد نیاز

جام‌های خلاء، هر یک از جام‌های فلزی یا پلاستیکی با قطر تقریبی ۱۸۰ میلی‌متر تا ۲۶۰ میلی‌متر و ارتفاع جام حداقل ۱۶۰ میلی‌متر باید به یک سرپوش شفاف چفت شده با یک درزگیر لاستیکی و یک اتصال دهنده برای حفظ خلا مجهز شوند.

ظروف خلا برای توزین در هوا و آب:

برای توزین آزمونه در هوا و آب دو نوع ظرف وجود دارد و برای توزین در هوا چهار نوع ظرف وجود دارد. که نوع متداول آن فلاسک نوع D می‌باشد.

نوع D ، پیکنومتر شیشه‌ای با دیواره ضخیم و اندازه متوسط با ظرفیت تقریبی ۴۰۰۰ میلی‌لیتر

ترازو، با ظرفیت کافی و دقت سه رقم بعد از اعشار

پمپ خلاء، که قادر به مکش هوا از داخل ظرف خلاء بوده تا فشار باقی‌مانده ۳۰ میلی‌متر جیوه باشد.

دماسنج، دماسنج شیشه‌ای با حداکثر خطای ۰/۵ درجه سانتی‌گراد

آون، با قابلیت نگه‌داری دما در ۵±۱۱۰ درجه سانتی‌گراد

۴-۸-۲-کالیبره کردن ظرف خلا

فلاسک را از آب ۱±۲۵ درجه سانتی‌گراد پر کرده و درپوش آن را بگذارید. با دقت خشک کرده و توزین کنید. این کار را سه مرتبه تکرار کنید و جرم میانگین را با علامت (D) نشان دهید.

۴-۸-۳-نمونه گیری

مقدار نمونه باید مطابق با مشخصات زیر باشد:

جدول(۴-۵): وزن آزمونه برای آزمایش

حداقل مقدار نمونه (gr)	حداکثراندازه اسمی سنگدانه (mm)
۶۰۰۰	۵۰
۴۰۰۰	۳۷/۵
۲۵۰۰	۲۵
۲۰۰۰	۱۹
۱۵۰۰	۱۲/۵
۱۰۰۰	۹/۵
۵۰۰	۴/۷۵

۴-۸-۴-روش آزمایش

ذرات نمونه انتخابی مخلوط آسفالت را با دست به نحوی که شکسته نشوند از هم جدا کنید. اگر نمونه به اندازه کافی نرم نباشد، آن را در یک ظرف پهن قرار داده ودر آون گرم کرده تا بتوان ذرات را از هم جدا کرد. نمونه خشک را وزن کنید (A). سپس آن را در فلاسک ریخته و به اندازه کافی آب ۲۵ درجه سانتی‌گراد اضافه کنید تا کاملا" نمونه را بپوشاند. هوای محبوس شده را از داخل نمونه با اعمال خلایی که به تدریج زیاد می‌شود تا فشار باقی‌مانده به کمتر از ۳۰ میلی‌متر جیوه یا کمتر برسد، خارج کنید. این

فشار را به مدت ۵ تا ۱۵ دقیقه نگه‌دارید. پس از این مدت، خلاء را به آرامی کاهش دهید. سپس فلاسک را کاملا" از آب پر کرده و دمای آب را در ۱±۲۵ درجه سانتی‌گراد تنظیم کنید (می‌توانید از حمام آب ۱±۲۵ درجه سانتی‌گراد استفاده کنید). پس از ۱±۱۰ دقیقه فلاسک را خشک کرده و وزن کنید (E).

۴-۸-۵-محاسبه

$$\text{حداکثر وزن مخصوص تئوری} = G_{mm} = \frac{A}{A+D-E} \qquad (٦-٤)$$

A جرم در هوای نمونه خشک شده در آون بر حسب گرم

D جرم ظرف پر شده با آب در ۲۵ درجه سانتی‌گراد بر حسب گرم

E جرم ظرف پر شده با نمونه و آب در ۲۵ درجه سانتی‌گراد بر حسب گرم

شکل(٤-٧): تجهیزات هواگیری آزمونه

۴-۹-روش آزمایش تعیین درصد فضای خالی مخلوط های آسفالتی متراکم با دانه بندی پیوسته و باز ,ASTM D3203 AASHTO T269. ISIRI 2010

هدف و دامنه کاربرد: تعیین درصد فضاهای خالی مخلوط‌های روسازی قیری متراکم شده با دانه‌بندی پیوسته و باز است.

درصد فضاهای خالی در یک مخلوط قیری، به عنوان معیاری در روش‌های طراحی و برای ارزیابی از تراکم در پروژه‌های روسازی قیری به‌کار می‌رود.

۴-۹-۱-تعاریف

فضاهای خالی- فضاهای خالی بین ذرات سنگدانه‌ای پوشیده شده با قیر در یک مخلوط روسازی قیری متراکم شده است.

مخلوط‌های روسازی قیری با دانه‌بندی پیوسته- مخلوط‌های روسازی قیری که در آن فضاهای خالی پس از تراکم کمتر از ۱۰ درصد است.

مخلوط‌های آسفالتی با دانه‌بندی باز- مخلوط‌های روسازی قیری که در آن فضاهای خالی پس از تراکم ۱۰ درصد یا بیشتر است.

۴-۹-۲-روش آزمایش

برای مخلوط‌های روسازی قیری با دانه‌بندی پیوسته، وزن مخصوص حقیقی مخلوط متراکم شده مطابق روش ASTM D2726 که قبلا" توضیح داده شد تعیین می‌شود.

برای مخلوط‌های روسازی قیری با دانه بندی باز، چگالی یک آزمونه با شکل منظم از مخلوط متراکم شده بر اساس جرم خشک و حجم آن تعیین می‌شود. ارتفاع آزمونه‌ها را اندازه بگیرید. قطر آزمونه را در چهار نقطه اندازه‌گیری و میانگین بگیرید. حجم آزمونه بر اساس میانگین ارتفاع و قطر محاسبه می‌شود.

حداکثر وزن مخصوص نظری را مطابق روش ASTM D2041 در یک مخلوط قیری مشابه تعیین کنید.

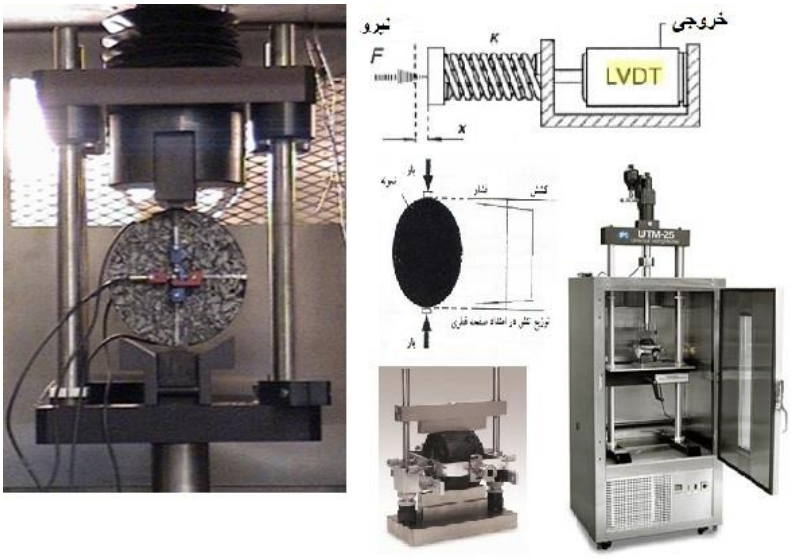
۴-۹-۳-محاسبه

$$\text{درصد فضاهای خالی} = \left(1 - \frac{\text{وزن مخصوص حقیقی}}{\text{حداکثر وزن مخصوص نظری}}\right) \times 100 \qquad (۴-۷)$$

۴-۱۰-آزمایش کشش غیر مستقیم[1] ASTM D6931 , AASHTO TP9 ,T 332

این آزمایش بمنظور تعیین تغییر شکل پذیری و خزش پذیری و مقاومت کششی غیر مستقیم مخلوطهای آسفالتی در دماهای متوسط و پایین روسازی(۲۰>) کاربرد داشته و میتوان از نتایج آن در جهت ارزیابی استعداد ترک خوردگی در دمای پایین و ترک خستگی در دماهای میانه استفاده برد. آزمایش کشش غیر مستقیم با اعمال یک بار فشاری قطری به نمونه استوانه‌ای به جهت تامین تنش کششی یکنواخت در راستای عمود بر راستای نیرو انجام میپذیرد. بارگذاری بر نمونهٔ استوانه ای به قطر ۱۵۰ میلیمتر و بصورت نواری با سطح تماسی مقعر به عرض ۱۹ میلیمتر انجام میپذیرد. دستگاه آزمایش (آزمایشگر کششی غیر مستقیم[2]) دارای یک مکانیزم بارگذاری قائم، یک اتاقک کنترل دما و رطوبت، ابزار اندازه گیری خطی تغییر شکل[3] (LVDT) و یک سامانه کنترل و اخذ داده ها تشکیل شده است. ظرفیت و توان بارگذاری معمولا متغیر و تا حدود ۱۰۰KN است. و مکانیزم سنجش بار با دقت 5N عمل مینماید. حداقل چهار LVDT با دقت 0.25 mm ،تغییر شکلهای نسبی افقی و قائم نمونه را در دو راستای عمود بر هم (در راستا و عمود بر راستای بارگذاری) بصورت پیوسته سنجیده و به همراه بار متناظر هر زمان و جابجایی به سامانه ثبت منتقل میکنند. دمای آزمایش را در محدودهٔ ۳۰°C+ و ۳۰°C- و با دقت ۰.۲ کنترل کرده و چندین نمونه را همزمان در خود نگهداری میکند.

نمونه های مغزه گیری شده آسفالتی و یا ساخته شده با کمپکتور زیراتوری نیز همچون نمونه های ساخته شده قابلیت آزمایش را دارند. دکمه های برنجی (قطر 8mm وضخامت3mm) بصورت موازی بر روی سطح نمونه ها نصب میشوند و با اعمال بار در دماهای مختلف میزان کرنش و بار متناظر را در شرایط بارگذاری مختلف سنجیده میشود.

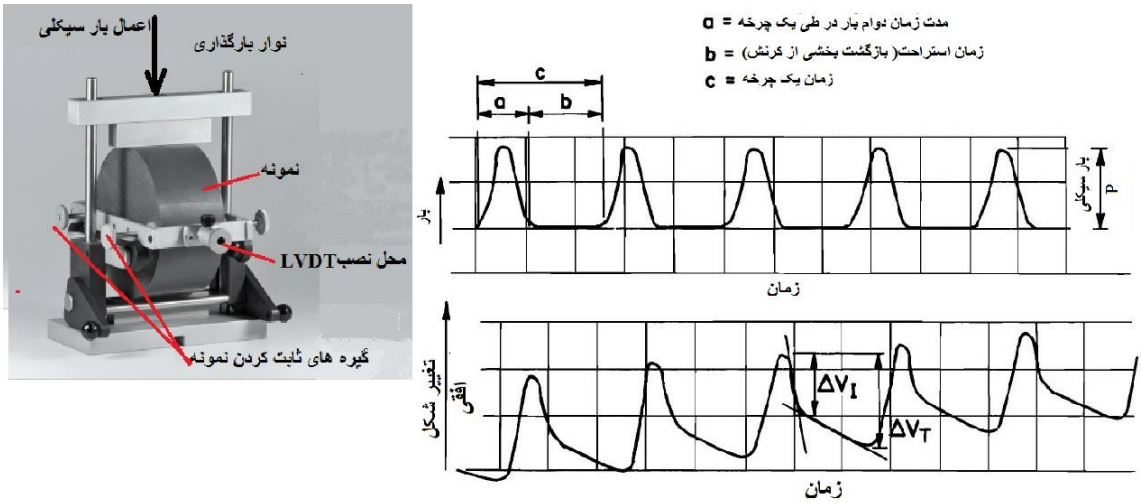


شکل(۴-۸):تجهیزات و مکانیزم بارگذاری و فک آزمایش کشش غیر مستقیم

[1] indirect tensile test
[2] Indirect Tensil Tester(IDT)
[3] Linear Variable Differential Transformer(LVDT)

۴–۱۱– آزمایش تعیین مدول برجهندگی[1] مخلوط آسفالتی ASTM D4123

دستگاه این آزمایش کاملاً مشابه تجهیزات آزمایش کشش غیر مستقیم ، لیکن با قابلیت اعمال بارهـای متغیـر و غیـر ثابـت و همچنین بارگذاری های سیکلی و چرخه‌ای است. شکل زیر قالب قرار گیری نمونه با قابلیت اتصال تماسی LVDTها و نمودارهای نحوه بارگذاری و تغییر شکل را در طول آزمایش نمایش می‌دهد.



شکل(٤– ٩): نمودارها و قاب بارگذاری نمونه

معادلات در آزمایش کشش غیر مستقیم برای محاسبهٔ مقاومت و کرنش کششی تا گسیختگی را می توان برای محاسبهٔ تنش و کرنش در سنجش مدول برجهندگی بکار برد. نمونه ها معمولاً تا میزان ۱۰ تا ۵۰ درصـد حـد نهـایی مقاومـت کششـی بارگـذاری میشوند. لذا پیش از آزمایش میبایست مقاومت کششی نمونه های آسفالتی محاسبه یا برآورد گردد. بار بمدت ۰.۱ ثانیه اعمال شـده (a) و ۰.۹ ثانیه بارگذاری قطع میشود(b) ، لذا نمونه در هر ثانیه یک چرخه کامل بارگـذاری را طـی میکنـد. معـادلات زیـر جهـت محاسبهٔ نسبت پواسون پیشنهاد شده است.

$$v = 3.59\,\frac{H}{V} - 0.27 \qquad for \quad \text{قطر } 4\,in \qquad (٨-٤)$$

$$v = 4.09\frac{H}{V} - 0.27 \qquad for \quad \text{قطر } 6in \qquad (٩-٤)$$

که ϑ ضریب پواسون ، H تغییر شکل افقی و V تغییرشکل قائم است. این آزمایش در دماهای ۵°C ، ۲۵ ، ٤٠ انجام که نسبت پواسون در این دماها را بترتیب ۰.۲۵ و ۰.۳۵ و ۰.٤ در نظر گرفته میشود و از روابط بالا کمتر استفاده میگردد. مدول برجهندگی در مورد نمونه های با قطر ٤ و ٦ اینچ از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$M_R = \frac{P}{Ht}(0.27 + v) \qquad (١٠-٤)$$

مدول برجهندگی M_R برحسب psi (یا MPa)، P بار تکراری به lb (یا N) ، H تغییر شکل برگشت پذیر افقی به in (یـا mm) و tضخامت نمونه به in (یا mm) است.

۴–۱۲–آزمایش پذیرش خزش و مقاومت[2] AASHTO T322 | ASTM D7369

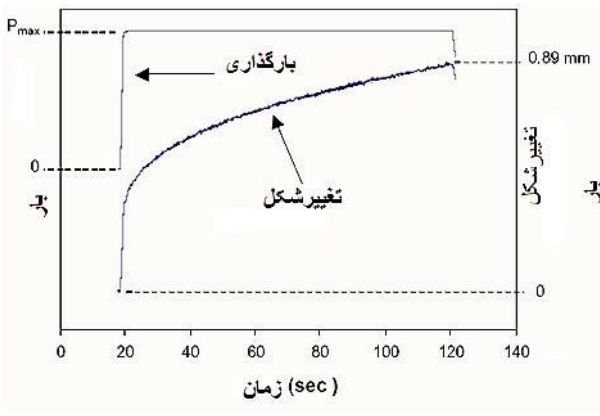
این آزمایش جهت ارزیابی مخلوطهای آسفالتی در ترک خوردگی دمای پایین بکار میرود. جهت سنجش قابلیت خزش پذیری ابتدا نمونه تا دمای مورد آزمایش(۰°C و ۱۰- °C و ۲۰- °C) سرد می گردد و سپس بار خزشی ثابت با اندازه ای ثابت بمدت ۱۰۰ ثانیه بر نمونه اعمال میشود. میزان بار، بقسمی مشخص میگردد که پاسخ نمونه در بازهٔ ویسکوالاستیک خطی باقی بمانـد. کـه معمولاً اینکار با محدود شدن تغییر شکل به ۰.۸۹ میلیمتر صورت میپذیرد. در طول آزمایش تغییر شکلهای قائم و افقـی در هـر دو

[1] Reslient Modulus
[2] Creep Compliance and Strength

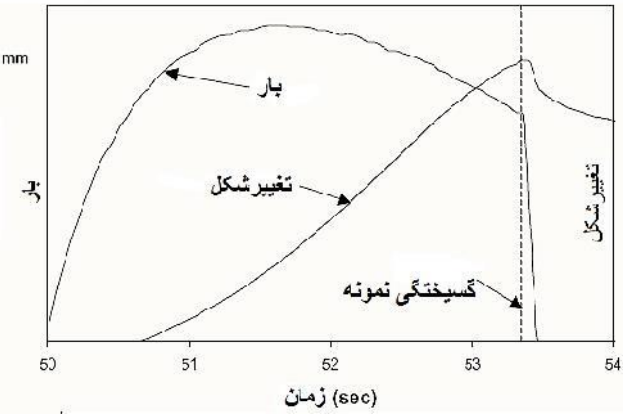
سمت نمونه با استفاده از LVDTها متناظر با زمان اندازه گیری می‌شوند. با مشخص شدن بار و تغییر شکل به صورت تابعی از زمان، خزش‌پذیری مصالح $D_{(t)}$ از رابطه زیر محاسبه میگردد.

$$D_{(t)} = \frac{\varepsilon(t)}{\sigma} \qquad (۱۱-٤)$$

$\varepsilon(t)$ کرنش زمان وابسته، و σ تنش ثابت اعمال شده است. پس از ۱۰۰ ثانیه بارگذاری خزشی، با اعمال یک بار اضافی با شدت $12.5\,^{mm}/_{min}$ نمونه تا مرحلهٔ گسیختگی بارگذاری میگردد. اندازه گیری تغییرمکان قائم و افقی و مقدار بار به حداقل ۱۰ درصد کمتر از مقدار اوج کاهش پیدا میکند، ادامه می‌یابد.



شکل(٤-۱۰): یک نمونه بار گذاری در آزمایش خزش



شکل(٤- ۱۱): تغییرات بار و تغییر شکل در آزمایش کشش غیر مستقیم

بجهت یک ارزیابی متوسط در نمونه های خزش، اندازه‌گیری مقاومت کششی صرفاً در ۱۰°C- انجام می‌پذیرد لیکن جهت یک تحلیل کامل اندازه گیری خزش‌پذیری و مقاومت کششی در هر سه دما نیاز است. مقاومت کششی S_T حسب MPa از رابطه زیر محاسبه میشود..

$$S_T = \frac{2P_{ultimate}}{\pi tD} \qquad (۱۲-٤)$$

که $P_{ultimate}$ بار نهایی اعمالی جهت گسیختگی نمونه به N و t ضخامت نمونه به mm وDقطر نمونه به mm است. شکل(٤-۱۱) نوعی تغییرات بار و تغییر شکل در برابر زمان در آزمایش مقاومت کششی غیر مستقیم را نشان میدهد

۴-۱۳- آزمایش حساسیت رطوبتی ASTM D 4867 , AASHTO T 283

کاهش ویا حذف پیوند بین قیر و سطح مصالح دانه ای در حضور رطوبت، به عریان شدن دانه ها و از بین رفتن یکپارچگی مخلوط آسفالتی منجر میشود. همانگونه که قبلاً ذکر شده عواملی نظیر مشخصات مصالح سنگی ، مشخصات قیر، عوامل محیطی، ترافیک و روشهای اجرا و زهکشی در این پدیده تاثیرگذار است. نتایج بدست آمده از آزمایش را میتوان برای پیش بینی عریان شدگی آسفالت در دراز مدت و سنجش اثر افزودنی های ضد عریان شدگی بکار برد.

در این آزمایش ٦ نمونه استوانه ای بتن آسفالتی با قطر ۱۵۰ و ضخامت ۱۰۰ میلیمتر که دارای ۷ درصد یا درصدی مطابق طرح فضای خالی بوده نیاز است لیکن قبل از تراکم، مخلوط تهیه شده به مدت ١٦ ساعت در گرمخانه با دمای ٦٠°C و سپس به مدت ۲ ساعت در گرمخانه با دمای ۱۳۵ °C عمل آوری میشود. نمونه ها پس از تراکم به مدت ۷۲ ساعت در دمای محیط نگهداری میشود و سپس وزن مخصوص ماکزیمم G_{mm} و نیز وزن مخصوص حقیقی G_{mb} ، ارتفاع و حجم و فضای خالی هر نمونه را بدست می‌آوریم.

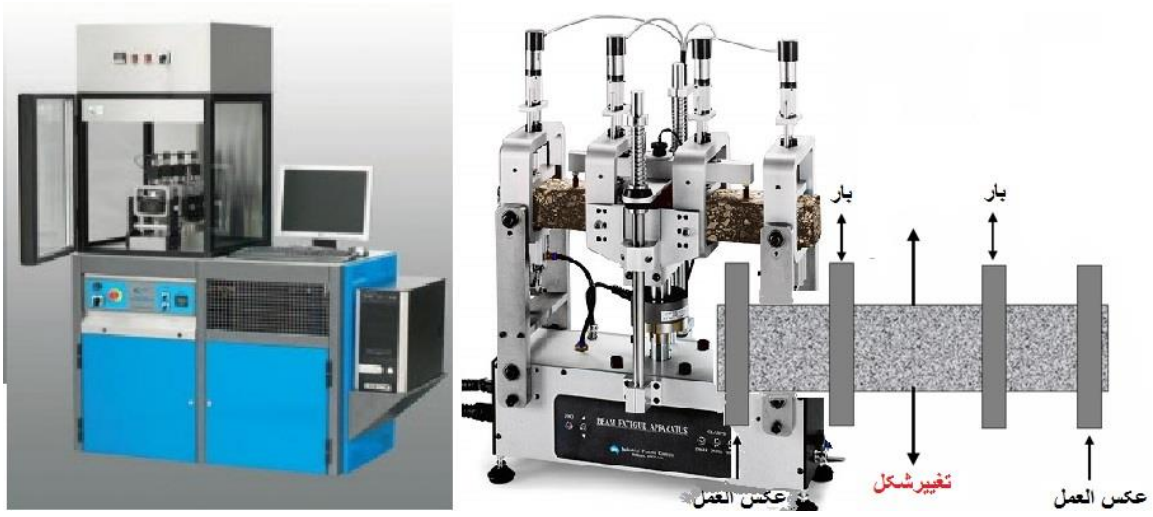
٦ نمونه را به دو گروه بنحوی تقسیم میکنیم که متوسط درصد فضای خالی یکسانی داشته باشند . یک دسته ۳ تایی را پس از اشباع ۵۵ تا ۸۰ درصدی با آب بمدت ٢٤ ساعت در حمام آب ٦٠°C قرار میدهیم و نهایتاً یک چرخه یخبندان-ذوب یخ

اختیاری(حداقل ١٦ ساعت در دمای $18^{o}C$- و ٢٤ ساعت ذوب یخ) انجام میپذیرد. اشباع نمودن نمونه ها با اعمال خلاء نسبی ٢٥٤ تا ٦٦٠ میلیمتر جیوه (١٠ تا ٢٦ اینچ جیوه) به مدت ٥ تا ١٠ دقیقه در حالیکه نمونه ها در یک محفظه خلع در داخل آب قرار دارتد، انجام میشود.

دسته دوم بدون هیچ اقدامی با ٣ نمونه اول برای تعیین مقاومت کششی غیر مستقیم مورد آزمایش قرار میگیرد و نتیجه آزمایش بصورت نسبت میانگین مقاومت هر دو دسته ٣ تایی گزارش میشود. بر اساس طرح مخلوط به روش روسازی ممتاز، مخلوطهایی که نسبت مقاومت کششی آنها کمتر از ٨٠ درصد باشد، حساس به رطوبت شناخته می‌شود.

۴-۱۴- آزمایش خستگی خمشی AASHTO T 321 AASHTO TP8-96

آزمایش های متعددی جهت اندازه گیری عمر خستگی بتن آسفالتی بکار گرفته شده است . که عموماً آزمایش تیر خمشی چهار نقطه ای را به عنوان مناسب‌ترین آزمایش جهت بیان ویژگی رفتار خستگی مخلوطهای آسفالتی مورد پذیرش قرار گرفته است. دلیل این امر اینست که نتایج این آزمایش از درصد اطمینان بالاتری برخوردار است، درعین حال تنها آزمایشی است که می توان با استفاده از داده های بدست آمده از روش های مکانیستیک نظیر انرژی تلف شده و مکانیک شکست برای تحلیل داده های آن استفاده نمود. در این بخش مختصری از تئوری و روش آزمایش اشاره می شود و سپس آنالیز داده های آزمایشگاهی با استفاده از رابطه بین تکرار بارگذاری و کرنش و همچنین انرژی تلف شده انجام میگیرد.



شکل(٤- ١٢): محفظه و فک و مکانیزم بارگذاری آزمایش خستگی خمشی چهارنقطه ای

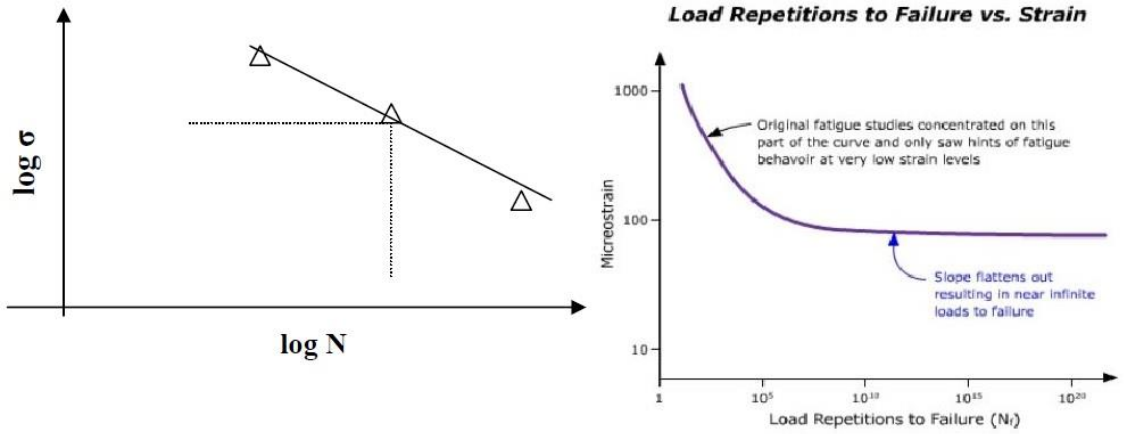
پارامترهای مختلفی از داده های بدست آمده این آزمایش محاسبه می شود که عبارتند از: مدت زمان بارگذاری ، تعداد تکرار بار ، حداکثر و حداقل میزان بار وارده ، حداکثر و حداقل تغییر شکل تیر ، تنش و کرنش کششی ، زاویه فاز ، سختی خمشی ، مدول الاسیسیته ، انرژی تلف شده ، دمای محیط آزمایش.

بدلیل زمانبر بودن و گرانی تجهیزات و لزوم تکرار حدود ١٠ نمونه تیر تحت خمش معمولاض این آزمایش جهت امور تحقیقاتی استفاده شده و جهت ارزیابی مخلوطها بکار نمیرود. آزمایش با قرار دادن تیر بتن آسفالتی به طول ٣٨٠ و عرض ٦٣ و ارتفاع ٥٠ میلیمتر در فک مخصوص بارگذاری چهار نقطه ای آغاز میگردد. برای هر آزمایش ٣ نمونه نیاز میباشد که معمولاً با اره کردن حداقل ٦ میلیمتر از هر طرف نمونه ساخته شده تهیه میگردد.(ASTM D3202 , AASHTO PP3) .بار در دو نقطه اعمال و دو بار خارجی دیگر توسط تکیه‌گاهها بصورت عکس وارد می‌آید. این آزمایش به دو صورت بارگذاری تنش ثابت و کرنش ثابت انجام میگیرد.

درحالت تنش ثابت، تنش ثابت باقی میماند اما کرنش با تعداد تکرارها افزایش می‌یابد. در این حالت با شکست نمونه گسیختگی روی میدهد. درحالت کرنش ثابت، افت و خیز نمونه ثابت نگه داشته شده و عملا با افزایش تکرار، بار اعمال شده

کاهش می یابد. در این حالت تعریف گسیختگی مشکلتر است و زمانی را جهت مبنای گسیختگی لحاظ میکنند که بـار اعمـالی بـه درصدی(معمولاً ۵۰ درصد) بار اولیه رسیده باشد.

حالت کرنش ثابت بدلیل نتایج قابل قیاس تر با مشاهدات تجربی از کاربرد بیشتری برخوردارند. برای تحلیـل نتـایج آزمـایش کرنش خمشیε در برابر تعداد چرخه های بارگذاری تا گسیختگی N_f ، یا لگاریتم تعداد چرخه ها در برابر لگـاریتم کـرنش رسـم میشود.



شکل(٤-١٣) نمونه ترسیم داده های آزمایش خستگی (حالت کرنش ثابت)

جهت تعیین سختی اولیه نمونه ابتدا یک کرنش اولیـه(250×10^{-6} تا 750×10^{-6}) ، یـک پریـود بارگـذاری (۵ تـا ۱۰ هرتز) ، و فاصله زمانی که در آن نتایج باید ثبت شوند، انتخاب میشود و آنگاه ۵۰ چرخه بار اعمال میگردد. سختی تیـر در ۵۰امـین سیکل سختی اولیه است. تنش کششی حداکثر(σ_t برحسب MPa) از رابطهٔ زیر محاسبه میشود.

$$\sigma_t = \frac{3\,a\,P}{b\,h^2} \qquad (١٣-٤)$$

در اینجا a فاصله بین گیره های داخلی(۱۱۹ mm) ، P بار اعمالی به N و bوh بترتیب عرض میـانگین و ارتفـاع نمونـه بـر حسب mm است. کرنش کششی حداکثر(ε_t بر حسب mm/mm)از رابطه زیر محاسبه میشود.

$$\varepsilon_t = \frac{12\,h\,\Delta}{3\,l^2 - 4\,a^2} \qquad (١٤-٤)$$

Δ افت در وسط دهانه به mm، h ارتفاع میانگین نمونه به mm، l طول تیر بین تکیه‌گاههای خارجی (۳۵۷mm) و a فاصله بین گیره‌های داخلی (۱۱۹mm) است. سختی خمشی S به MPa، از رابطه زیر بدست می‌آید.

$$S = \frac{\sigma_t}{\varepsilon_t} \qquad (١٥-٤)$$

ε_t کرنش کششی حداکثر به mm / mm و σ_t تنش کششی حداکثر به MPa است.زاویه فاز φ_t برحسب درجه نیز از رابطـهٔ زیر محاسبه میگردد.

$$\varphi_t = 360\,f\,s \qquad (١٦-٤)$$

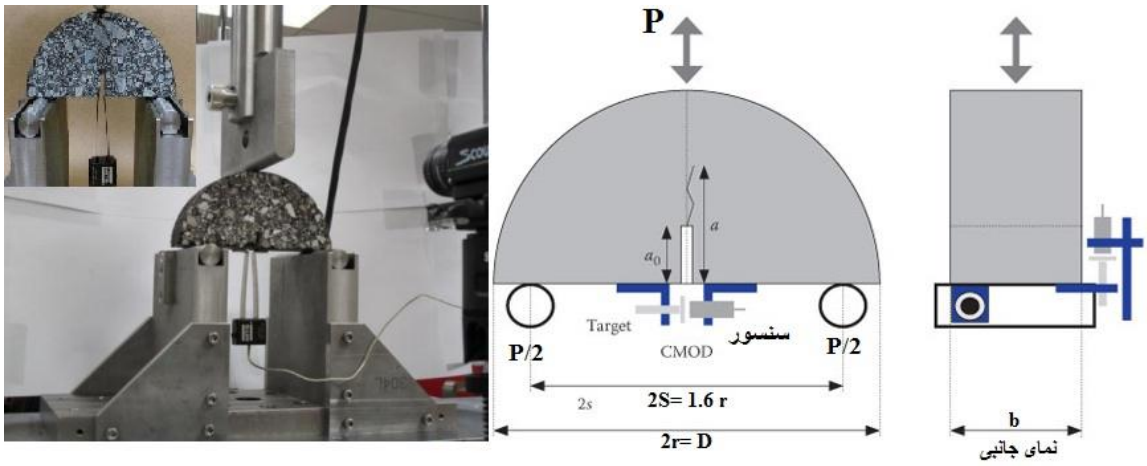
دررابطه فوق f بسامد به هرتزHz و s تاخیر زمانی بین بار حداکثر و افت و خیز به ثانیه است. و نهایتاً انرژی پراکنده شده در هر چرخه D بر حسب J/mm^3 را از رابطهٔ زیر محاسبه میکنیم.

$$D = \pi\,\sigma_t\,\varepsilon_t \sin(\varphi_t) \qquad (١٧-٤)$$

انرژی پراکنده شده تجمیعی حاصل جمع انرزی های در هر چرخه است.

۴-۱۵- آزمایش خمش نیم دایره[1]

آزمایش خمش نیم دایره یکی از انواع آزمایشهای خمش سه نقطه ای است که ضمن برخورداری از سرعت و دقت مناسب، تعیین ویژگی هایی نظیرمقاومت کششی، ضرایب شدت تنش و مقاومت خستگی و سختی شکست مصالح بتن آسفالتی ، را میسر میسازد. این آزمایش بدلیل سهولت تهیه نمونه و سادگی حالت تنش هنگام شکست و کاهش تغییر شکل نامطلوب و غیر قابل پیش بینی در زمان بارگذاری و تاثیر کمتر مشخصات هندسی بر نتایج از سایر آزمایشات خمش نظیر چهارنقطه ای، کشش غیر مستقیم و مستقیم ارجحیت دارد.



شکل(٤-١٤): مشخصات و دستگاه خمش سه نقطه ای نیم دایره ای

نمونه های استوانه ای با ضخامت ۲۵ میلیمتر برش داده شده و سپس به دو نیم دایره برش میابند. قطر تکیه گاههای دستگاه ٦.۲۵ میلی متر و قطر استوانه بارگذاری ۹.٤ است. روشهای تحلیلی نشان میدهد که تنش فشاری و کششی در محل گسیختگی ناچیز و تقریباً در این مقطع کشش خالص وجود دارد.

طبق رابطهٔ لیم مقادیر پارامتر سختی شکستKI برمبنای فرضیات مبتنی بر خطی و همگن بودن رفتار (LEFM) مطابق روابط زیر است.

$$K_I = \sigma_0 \sqrt{\pi a} Y_1 \qquad (١٨-٤)$$

$$\sigma_0 = \frac{F_{max}}{D\ L} \qquad (١٩-٤)$$

در اینجا: D قطر نمونه، F_{max} حداکثر باری که تحت آن گسترش ترک خوردگی آغاز میگردد.

a طول ترک اولیه ای که در زیر نمونه ایجاد شده است. و L طول نمونه است.

برای هر نمونه ، قبل از ایجاد ترک مشخصات هندسی نمونه ثابت است و پارامتر سختی شکست صرفاً با تغییر میزان بار تغییر میکند ولیکن هنگامی که بار به حد نهایی شروع ترک خوردگی نمونه میرسد، F_0، ترک خوردگی شروع شده و شکل هندسی نیز تغییر میکند و نیازمند انجام اصلاحاتی و ایجاد ضرایب اصلاحی میباشد.

جهت لحاظ نمودن اثر ناهمگنی در مخلوط آسفالتی لازم است که ابعاد و مشخصات هندسی نمونه ها، روابط (٤- ۲۰) تا(٤-۲۳) را برآورده نماید که البته روابط (٤-۲۱) و(٤-۲۲) غالباً تعیین کننده و بحرانی نیستند.

$$\frac{P_{max}}{P_a} \leq 1.1 \qquad (٢٠-٤)$$

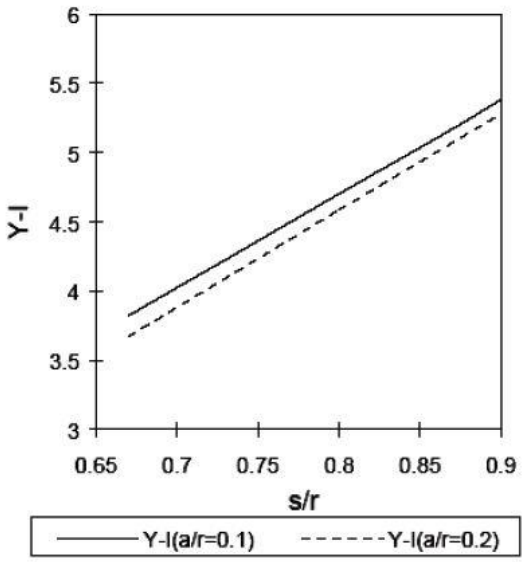
$$a \geq 2.5 \left(\frac{K_I\, Q}{\sigma_{ys}}\right)^2 \qquad (٢١-٤)$$

$$W \geq 5 \left(\frac{K_I\, Q}{\sigma_{ys}}\right)^2 \qquad (٢٢-٤)$$

$$t \geq 2.5 \left(\frac{K_I\, Q}{\sigma_{ys}}\right)^2 \qquad (٢٣-٤)$$

[1] semi-circular bending (SCB)

در اینجا t ضخامت نمونه ، a طول ترک و w ارتفاع نمونه است. مطالعاتی نشان داده است که مقدار سختی شکست برای ضخامت های ۲۵ تا ۷۵ میلی متر مستقل از ضخامت نمونه است و این پارامتر برای قطرهای بین ۱۰۰ تا ۲۲۰ میلی متر مستقل از اندازهٔ قطر است.



شکل(٤-١٥): ضریب لیم برحسب اندازهٔ ترک و شعاع نمونه ها

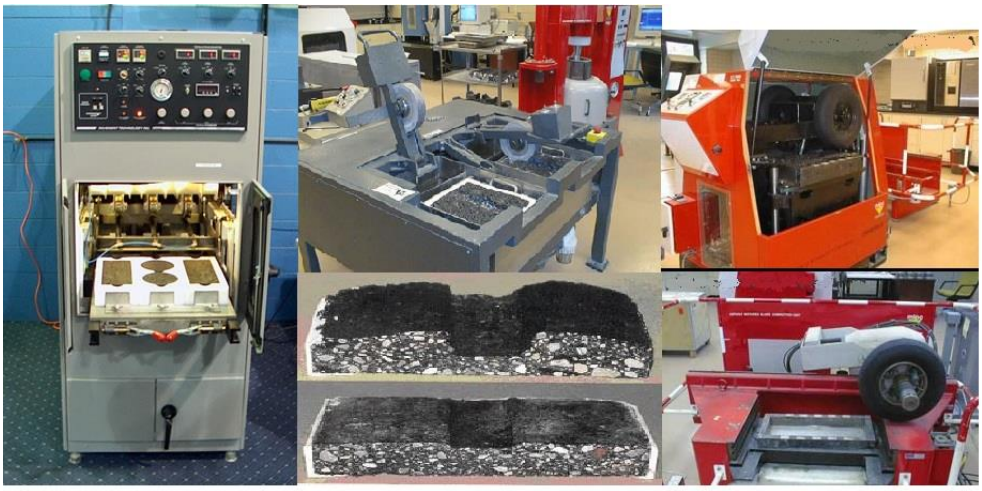
۴-۱۵- آزمایش اثر چرخ آزمایشگاهی[1] EN12697-22 BS598:110 AASHTO TP 63

دستگاههای اثر چرخ به جهت شبیه سازی حرکت چرخ خودرو و ارزیابی کیفیت مخلوط در شرایط بارگذاری واقعی بکار میروند. دستگاههای اثر چرخ که انواع بسیار متفاوتی دارند، جهت پیش بینی خصوصیاتی چون شیارافتادگی[2]، خستگی ، عریان شدگی و حساسیت رطوبتی بکار میروند.

شکل(٤-١٦): انواع نمونه و تجهیزات آزمایش شیارافتادگی

بصورت کلی این دستگاهها قابلیت سنجش شیار شدگی و .. را دارند لیکن می بایست در ایجاد شرایط آزمایشگاهی اعم از بار چرخ ، تعداد دفعات گذر چرخ، فشار باد تایر، دما و.. امکان همبستگی سازگار و دقیق با عملکرد واقعی و کارگاهی مد نظر قرار داشته باشد.در بین دستگاهها و استانداردهای متعدد در اینجا به مرور دستگاه تحلیل گر روسازی آسفالتی[3](APA) اشاره می کنیم. این دستگاه چرخ آلومینیومی تحت باری را با واسطه یک لوله لاستیکی بر روی نمونه حرکت میدهد.

1 wheel-tracking devices
2 Rutting
3 Asphalt Pavement Analyzer (APA)



Asphalt Pavement Analyzer
APA

Hamburg Wheel Tracking Device
HWTD

French Rutting Tester
FRT

شکل(٤-١٧): انواع دستگاههای آزمایش اثر چرخ

نمونه را میتوان بصورت خشک و یا مستغرق در آب آزمایش نمود. نمونه هایی که در این آزمایش بکار گرفته میشوند بشکل تیر یا استوانه ساخته میشوند. تیرها با تراکم ویبره ای و استوانه ای ها معمولا با ژیراتوری متراکم میشوند. ابتدا ٦ نمونه استوانه ای (با ٤ درصد فضای خالی و ٧٥ میلی متر ارتفاع)یا ٣ نمونه تیری(با ٥ درصد فضای خالی و ٧٥ میلی متر ارتفاع) و یا نمونه های کرگیری شده از محل (با قطر ١٥٠ ارتفاع ٧٥ میلی متر) آماده و پس از محاسبهٔ وزن مخصوص حقیقی و وزن مخصوص ماکزیمم و فضای خالی آماده آزمایش میگردند. نمونه ها بمدت ٦ ساعت در محفظه دستگاه که دمای آن مطابق دمای حد بالای قیر مخلوط در طبقه‌بندی عملکردی PG است نگهداری میشود.فشار لوله و میزان بار چرخ تنظیم میگردد (معمولاً ٨٧٢ KPa و ٥٣٤ N) . در ابتدای سینی نمونه ها در محل آزمایش مستقر شده و ٢٥ سیکل یا چرخه عبور چرخ از روی نمونه انجام میگردد و نمونه ها بیرون کشیده شده و عمق شیار اولیه قرائت میگردد و مجدد سینی نمونه ها در محفظه قرار گرفته و پس از اطمینان از تثبیت و همسانی دمای نمونه ها دستگاه بر روی ٨٠٠٠ چرخه تنظیم و آزمایش ادامه می یابد. عمق شیار شدگی در پایان قرائت شده و میانگین اختلاف قرائتهای پایانی و اولیه ٦ نمونه بعنوان شیارشدگی APA بیان میگردد.

آزمایشات متعدد دیگری در ارزیابی خصوصیات مخلوطهای آسفالتی نظیر: آزمایش برشی روسازی ممتاز[1] (SST) ،آزمایش برشی تکرارشونده با ارتفاع ثابت[2](RSCH)، آزمایش تعیین مدول دینامیکی(عملکرد مخلوط آسفالتی)[3](AASHTO TP62-07)، آزمایشات ناتینگهام، آزمایش خزش تک محوری،آزمایش مقاومت فشاری تک محوری، آزمایش سه محوری ویم، آزمایش سوئیپ فرکانسی در ارتفاع ثابت، آزمایش برش ساده در ارتفاع ثابت و....آزمایشات کاربردی دیگری هستند که خصوصاً در روشهای جدید طراحی روسازی ممتاز جهت ارزیابی عملکردهای مختلف مخلوطهای آسفالتی نظیر: عملکرد در مقابل ترکهای خستگی، تغییر شکل، ترکهای دمای پایین، حساسیت رطوبتی و.. مورد استفاده قرار میگیرد.

آزمایشات متعدد دیگری نیز وجود دارند که درجا و در محل اجرای روکشهای آسفالتی و بر روی روسازی های آسفالتی جهت ارزیابی خصوصیات و شرایط فعلی آسفالت و روسازی بکار گرفته میشوند برخی از این آزمایشات و ابزار نظیر: آزمایش تیر بنکلمن، افت و خیز سنج وزنه ای FWD[4] ، آزمایشگر آونگ بریتانیایی(BPT)، آزمایش وصله ماسه[5](ASTM E965) ،آزمایش سنجش دانسته با چگالی سنج هسته ای، سنجش چگالی با دستگاه الکترومغناطیسی غیر هسته ای پیوتراکر(PQI)، دستگاه کرگیری و..... میباشد.

[1] Superpave Shear Tester
[2] Repeated Shear at constant height
[3] Asphalt Mix Performance Test(for Determining Dynamic Modulus)
[4] Falling Weight deflectometer
[5] Sand-Patch test

(تکنولوژی و مواد روسازی)

فصل پنجم:

تولید ،ساخت و تجهیزات

محمود رضا کی منش

سعید شاکر

۵-۱- مقدمه:

در پروسه کیفیت روسازی‌های انعطاف‌پذیر، تولید آسفالت حساس‌ترین و مهمترین بخش از عملیات روسازی است که متاسفانه عدم شناخت صحیح اجزا و بخشها در کنار ضعف در نظارت کارشناسانه در این بخش بیشترین صدمات را در افزایش هزینه‌های بهره‌برداری ، با کاهش طول عمر مفید لایه‌های آسفالتی، بدنبال دارد.

آسفالت یا بتن آسفالتی، مخلوطی از سنگدانه ها با دانه بندی مورد نظر(درشت دانه، ریز دانه، فیلر) و ماده چسبنده مربوطه[1] (قیر) می‌باشد. که در فرآیندی معین با ترکیب نسبتهای مشخص از سنگدانه ها و قیر تولید میشود. هدف از ایجاد یک کارخانه آسفالت اختلاط کنترل شده، با کیفیت، همگن بهمراه امکان کنترل دقیق مشخصات فنی لازم مصالح سنگی و قیر در دمای مناسب و در زمان بهینه است.

مسیری که در پروسه اجرای روسازی آسفالتی بصورت کلی طی میگردد بشرح ذیل است:

- شناسایی منبع تامین مصالح سنگی
- انجام آزمایشات و کنترل مشخصات مصالح سنگی و تایید مصالح
- استخراج،حمل و انتقال مصالح به بخش سنگ شکنها
- فرآیند خردایش کامل و مناسب مطابق با نیاز و دانه بندی و تفکیک دپوها
- نمونه برداری از مصالح سنگی و قیر و انتقال به آزمایشگاه
- استخراج طرح اختلاط مناسب آسفالت مطابق با نیاز (نوع لایه،ترافیک و....)
- انتقال مصالح سرد به فرآیند تولید کارخانه
- حمل و تخلیه و ذخیره و انتقال به فلاکس اصلی ، قیر مصرفی ،مطابق نیاز
- تولید آسفالت مطابق با مشخصات فنی و طرح اختلاط مخلوط آسفالتی
- کنترل کیفیت پیوسته مخلوط آسفالتی در فرآیند تولید
- حمل مخلوط آسفالتی تولیدی به محل اجرا
- پخش ، اجرا،تراکم و کنترل لایه آسفالتی

همانگونه که ذکر شد خصوصیات آسفالت بستگی به خصوصیات مصالح تشکیل دهنده آن یعنی قیر و مصالح سنگی و مشخصات فنی و عملکرد مناسب کارخانه تولید کننده آسفالت و انجام اقدامات و کنترل های پس از تولید تا تراکم دارد.

۵-۲-تهیه مصالح سنگی:

همانگونه که بیان شد مصالح سنگی معمولاً یا به طور طبیعی در طبیعت یافت می شوند و یا به طور مصنوعی و به صورت غیرمستقیم به صورت تفاله برخی از کارخانجات ذوب فلزات تهیه می شود. مصالح سنگی طبیعی معمولا از سه منبع کلی:

- معدنی
- واریزه ای
- رودخانه ای

قابل تامین است این بدین معنی است که مصالح سنگی یا به صورت آماده از بستر رودخانه ها و یا معادن شن و ماسه ایی که در طول مسیر راهها قرار دارند بدست می آیند و یا از شکستن سنگهای موجود در معادن سنگ (معادن کوهی) تهیه می گردند. که از منظر کیفیت محدودیتهای آیین نامه ای و الزامات کنترلی بسیاری در استفاده از مصالح غیر معدنی وجود دارد که حتی الامکان پرهیز از استفاده از مصالح رودخانه ای را بدنبال دارد. با توجه به مشخصات مورد نظر نوع مصالح در محصول نهایی و محدودیتها

[1] Binder

اقتصادی پروژه و شرایط دسترسی و مسائل زیست محیطی و طبیعی منطقه نزدیکترین منبع تامین مصالح سنگی به محل تولید آسفالت انتخاب وپس از نمونه برداری از منبع سنگ و ارزیابی حجم معدن متناسب با حجم پروژه ، ارزیابی اقتصادی وفنی و زیست محیطی و دسترسی و...این معدن، کار استخراج از معدن آغاز میگردد که در قالب موارد این معادن سطحی بوده و پس از برداشت و دورریز قشرهای رویه و هوازده و.. عملیات استخراج بوسیله روشهای موجود که متناسب با حجم کلی مورد نیاز مصالح و جنس مصالح و شرایط لایه های سنگی و... روش آن بصورت: ماشینی(پیکورها، بیل مکانیکی و..) و یا انفجار و یا ماشین آلات حفاری معدن پیشرفته با حجم بالاو..استخراج و به محل سنگ شکن ها که معمولا در کنار کارخانه تولید آسفالت مستقر گردیده منتقل میگردد.

شکل(۵-۱): استخراج معدن

استخراج مصالح سنگی از معادن سنگ عاری از خاک بر خلاف مصالح رودخانه ای و واریزه ای احتمال وجود مشکل آلودگی مصالح به مواد آلی و رسی و شیستی و، تمیزی، رطوبت بیش از اندازه، هوازدگی، غیر همگنی و تنوع جنس، شکل هندسی مصالح نهایی و سستی بخشی از مصالح مشخصات مکانیکی و.. کمتری داشته و کیفیت بسیار مناسبتری را جهت تولید نهایی فراهم می آورد . در صورت استفاده از مصالح غیر کوهی و رودخانه ای توجه به محدودیتهای آیین نامه ای و الزامات کنترلی و اجرایی نظیر:برخی محدودیت هادر استفاده در تولید آسفالتهای رویه و آستر ،سرند اولیه قبل از انتقال به کارخانه جهت دور ریز مصالح ریز دانه و خاک و.. ، استفاده از قلوه سنگهای بزرگتر ، تکرار منظم آزمایشات مصالح و...

توضیح اینکه بررسی وجود لایه‌های سست و رسی و مواد مضره در جبهه‌های معادن کوهی نیز ضرورت دارد و باید پس از انفجار بنحو مؤثر و مطلوب لایه نامرغوب از سایر مصالح سنگی جدا و صرفاً لاشه سنگ‌های تأیید شده جهت شکستن و خرد کردن منتقل گردند.

با توجه به حجم مصالح سنگی مورد نیاز هر پروژه در صورتی که مقدار مصالح سنگی شکسته مورد نیاز برای آسفالت پروژه قابل توجه باشد از کارخانجات سنگ شکن ثابت با ظرفیت تولید بالا و در غیر این صورت از کارخانجات سنگ شکن سیار استفاده می شود.

مصالح سنگی شکسته شده دارای قابلیت باربری و استقامت بیشتری نسبت به مصالح گرد گوشه (رودخانه‌ای) می باشد زیرا دانه‌های اینگونه مصالح دارای لبه‌های تیز و سطحی زبر بوده و بهتر در یکدیگر قفل و بست می شوند. معمولاً مصالح شکسته شده حاصل از سنگ شکن‌ها گرانتر از مصالح طبیعی رودخانه‌ایی یا گرد گوشه هستند و از این نظر در مواردی که به هر دو نوع مصالح دسترسی باشد باید در انتخاب آنها عوامل اقتصادی را نیز در نظر گرفت. در مواردی که استفاده از مصالح رودخانه ایی تنها راه حل است باید به منظور افزایش استقامت و ظرفیت باربری بیشتر، مصالح سنگی درشت‌دانه‌تر را شکسته و سپس مورد استفاده قرار داد.

مصالح سنگی که برای تولید انواع آسفالت مورد استفاده قرار می‌گیرند باید دارای مشخصات فنی ویژه ایی از جمله دانه بندی، سختی، دوام، تمیزی، شکل دانه‌ها و کیفیت سطح دانه‌ها باشند.

چنانچه معدن منتخب مصالح رودخانه‌ای باشد آزمایشات زیر مورد نظر خواهد بود.

• تعیین دانه‌بندی اولیه مصالح معدن

• تعیین مقاومت در مقابل عوامل جوی (سرما و گرما) و سولفاتها

• تعیین مقاومت در مقابل سایش

• تعیین وزن مخصوص ظاهری، وزن مخصوص حقیقی – درصد جذب آب

• تعیین چسبندگی، قیر به مصالح سنگی درحضور آب

• تعیین هم ارز ماسه‌ای

• درصد دانه‌های دراز و پهن

• حدود اتربرگ

• تعیین میزان آلودگی و مواد مضره

• تشریح نظری از جهت شناخت کانیهای مصالح معدن

• تجزیه شیمیائی از جهت تعیین و میزان کانیهای موجود در مصالح‌سنگی مصرفی

چنانچه معدن منتخب مصالح کوهی باشد انجام آزمایشات زیر ضروری خواهد بود.

- تعیین مقاومت در مقابل عوامل جوی (سرما و گرما) و سولفاتها
- تعیین مقاومت در مقابل سایش
- تعیین سختی مصالح و دوام
- تعیین وزن مخصوص ظاهری، وزن مخصوص حقیقی – درصد جذب آب
- تعیین چسبندگی، قیر به مصالح سنگی در حضور آب
- مقاومت فشاری خشک و تر
- تعیین میزان آلودگی و مواد مضره
- تشریح نظری از جهت شناخت کانیهای موجود در مصالح معدن
- تجزیه شیمیایی از جهت تعیین و میزان کانیهای موجود در مصالح معدن

۵–۳– تولید مصالح سنگی:

مجموعه سنگ شکن ها به جهت تولید مصالح مورد نیاز در تولید معمولا در نزدیکترین وضعیت نسبت به کارخانه تولید آسفالت (جهت کارخانه های ثابت) با توجه به نکات فنی و برخی ملاحظات مستقر میشوند. خرد کردن مواد از ابعاد اولیه خارج شده از معدن، تا رساندن به ابعاد مناسب برای ورود به آسیاها توسط وسایلی که سنگ شکن نامیده می شوند انجام می گیرد.

در استقرار مجموعه سنگ شکن ها بگونه ای عمل میگردد تا نکات ذیل رعایت گردد:

- با توجه به جهت وزش باد غالب منطقه گرد و غبار تولیدی از این فرآیند ،دپوی مصالح سنگی و اجزاء کارخانه را آلوده نسازد.
- ترتیب جانمایی و چیدمان به جهت سهولت دسترسی ها و حداقل رساندن هزینه های جابجایی و... میبایست با ترتیب مسیر ورودی مصالح از معدن ،سرند گریزلی، سنگ شکنها، ماسه سازها، محل دپوی مصالح ، سیلوهای سرد کارخانه آسفالت و دیگر اجزا کارخانه صورت پذیرد.

- محل دپوی مصالح سنگی مطلوب است تا در محوطه ای بابزرگی متناسب با نیاز و حجم مصالح و تولید بگونه ای که تداخلی میان مصالح دانه بندی شده بوجود نیاید.
- محوطه دپو از قبل تسطیح و ترجیحا از خاک نباتی و هوازده و سست پاکسازی (و حتی در شرایط خاص بگونه ای با تدابیری زیرسازی گردد)
- محوطه ذخیره مصالح سنگی با شیب حداقلی جهت زهکشی مناسب مصالح دپو شده مهیا گردد.
- به منظور جلوگیری از آلودگی مصالح تولیدی ضرورت استقرار ماسه شور در مناطقی که از مصالح رودخانه‌ای استفاده می‌شود بیشتر است.
- نصب سرند اولیه جهت جدا نمودن مصالح ریزدانه طبیعی ضروری می‌باشد، توضیح اینکه نصب سرند اولیه با توجه به ساختار فیزیکی مصالح و مشخصات فنی پروژه و چگونگی مورد مصرف قرار گرفتن مصالح تولیدی در پروژه از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشد.

از جمله اقداماتی که باید مورد توجه قرار گیرد انتخاب سنگ شکن و در صورت نیاز آسیاب مناسب و هم آهنگ با سیستم با توجه به فاصله حمل معدن و اندازه درشتی مصالح است. در این رابطه تأمین مصالح ریزدانه (فیلر) نیز براساس مندرجات جدول فصل نهم آئین نامه روسازی آسفالتی راه های ایران نشریه شماره ۲۳٤ به جهت ارتقاء کیفیت مخلوط‌های آسفالتی الزامی می‌باشد، عدم تأمین فیلر مورد نیاز مخلوط های آسفالتی تولیدی در اکثر کارگاههای تولید آسفالت، اشکالات عدیده‌ای را به همراه داشته و یا سبب افزایش هزینه ها میگردد، که لازم است تمهیدات لازم اتخاذ گردد. انتخاب و استفاده از انواع سنگ شکن‌ها و نحوه استقرار سیستم بمنظور تأمین درصد شکستگی مصالح مورد نیاز و حذف مصالح گرد گوشه در مخلوط مصالح تولیدی ضروری می‌باشد.حمل و نقل مواد تا سنگ شکن بوسیله نوار نقاله یا کامیون انجام می شود. سنگ شکنی عموما بطریقه خشک و طی دو یا سه مرحله انجام می شود.

سنگ شکنها در مصارف ساختمانی و راهسازی معمولا از سه جزء: سنگ شکنهای اولیه ، سنگ شکن های ثانویه ، ماسه سازها و ماسه شورها . که در تولید اسفالت در پاره ای موارد نیازی به بخش ماسه ساز و در تمام موارد به ماسه شور نمیباشد.

مشخصات سنگ شکن ها عموما با توجه به سختی سنگ مادر، بزرگترین ابعاد ورودی به سنگ شکن و رطوبت مصالح انتخاب میشود.که در ذیل نگاهی اجمالی خواهیم داشت به برخی از انواع پر کاربرد سنگ شکن‌ها.

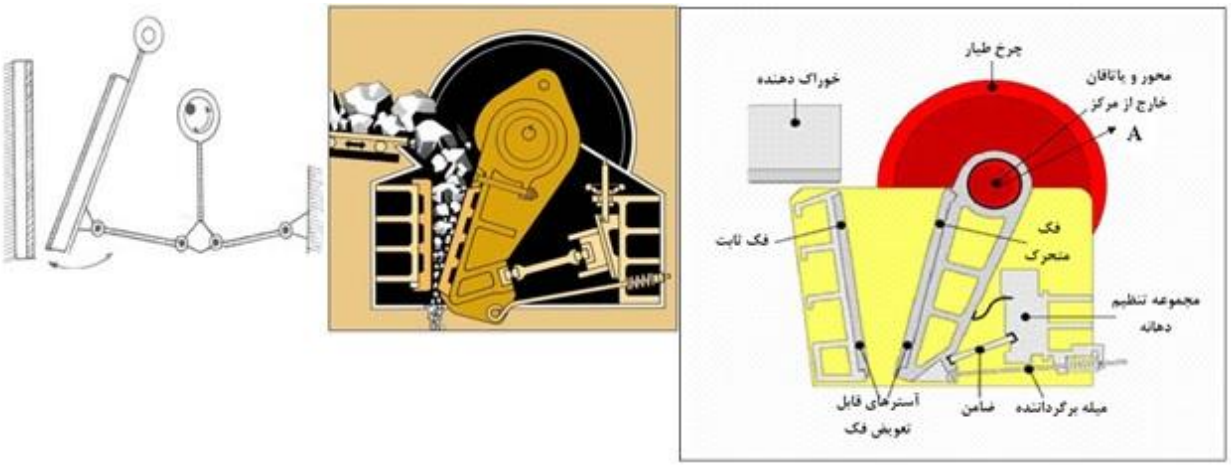
۵-۳-۱- سنگ شکن فکی[1]:

این نوع سنگ‌شکن‌ها برای مرحله اول خردایش طراحی شده اند. سنگ‌شکن فکی از یک فک ثابت و یک فک متحرک تشکیل شده است. حرکت فک متحرک از طریق یک شافت خارج از مرکز که توسط تسمه و پولی به موتور متصل است تامین می‌شود. با حرکت فک مواد تحت تاثیر نیروی فشاری (و گاه ضربه‌ای یا برشی) قرار می‌گیرند و خرد می‌شوند. فاصله بین دو فک در قسمت فوقانی را دهانه و فاصله بین دو فک در قسمت تحتانی دستگاه را گلوگاه می‌نامند. سنگ‌شکن‌های فکی انواع گوناگونی دارند که شامل:

- ✓ با بازوی مضاعف (Double Toggle)
- ✓ با بازوی ساده (Single Toggle)

نوع تک بازویی آن به طور شماتیک در شکل ۱-۱ قابل مشاهده است:

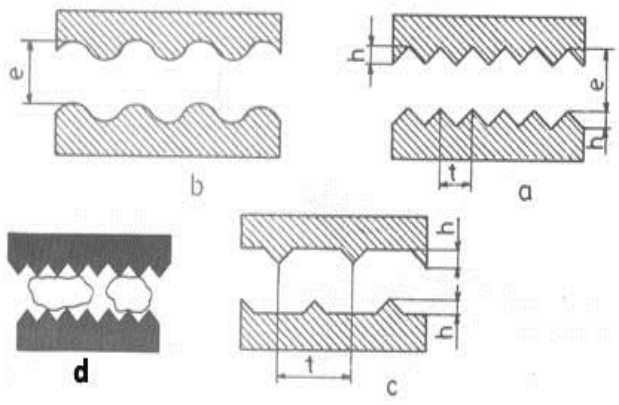
[1] jaw crusher



شکل(۵-۳):سنگ‌شکن فکی

از معایب سنگ‌شکن فکی به موارد زیر می‌توان اشاره کرد:

- یکنواخت نبودن عمل خرد کردن به علت شیب موجود بین دو فک
- در هر سیکل عمل خرد کردن دانه‌ها فقط در حالت رفت انجام می‌شود و در موقع برگشت فک متحرک هیچ عملی صورت نمی‌گیرد، لذا نیمی‌از انرژی هدر می‌رود.
- قسمت پایین فک متحرک که دائما در تماس می‌باشد ساییده می‌شود.
- دانه‌های بلند و نازک می‌توانند از این دستگاه بدون خرد شدن بگذرند.



از مزایای آن به موارد زیر می‌توان اشاره کرد:

- سرعت تولید بالایی دارند
- نگهداری، تعمیر و تمیزکردن آن آسان است.

جنس فکها در این سنگ شکن ها از فولاد با ۱۲-۱٤ درصد منگنز بوده که زاویه فک ها حدود ۲۷-۲٦ درجه و طول عمر ۸۰۰-۱۲۰۰ ساعت است.و به اشکال مختلف نظیر شکل زیر مورد استفاده قرار میگیرد و معمولابزرگترین ذرات قابل خوراک‌دهی می‌توانند ابعادی حدود ۹۰-۸۰ درصد اندازه دهانه ورودی را داشته باشند. با تغییر گلوگاه، ظرفیت سنگ شکن تغییر می کند. در حالت باز، ظرفیت افزایش می یابد و نسبت خردایش کم می شود. در حالت بسته، ظرفیت کاهش می یابد ولی نسبت خردایش زیاد می شود، حدود ٦٥٪ از محصول خرد شده دارای ابعادی کوچکتر از گلوگاه درحالت بسته است و حدود ۸۰٪ محصول خرد شده دارای ابعادی کوچکتر از گلوگاه در حالت باز است.

مبانی و فرمولهای متعددی در خصوص سرعت دورانی و ظرفیت سنگ شکن ها و توان آنها بصورت جداگانه توسط افرادی چون trtagga و Viard و noslewen و...پیشنهاد گردیده است.

۵-۳-۲- سنگ‌شکن چرخشی[1]:

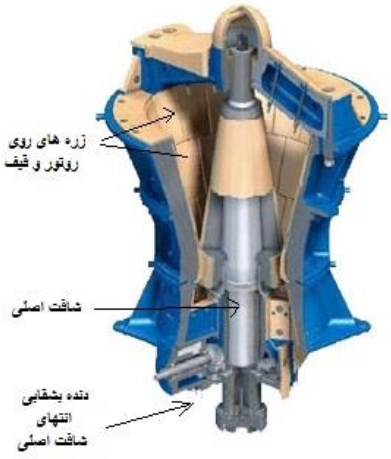
این سنگ‌شکن برای مرحله اول سنگ‌شکنی، به خصوص در کارخانه‌های بزرگ وقتی که ظرفیت و نسبت خردایش زیاد باشد کاربرد وسیعی دارد. سنگ‌شکن چرخشی معمولا از دو مخروط ناقص تشکیل شده است که مخروط خارجی بدنه ثابت و

[1] Gyratory crusher

مخروط میانی هسته مرکزی این سنگ‌شکن را تشکیل می‌دهند و در اصل در هر حالت مشابه سنگ‌شکن فکی عمل می‌کنـد. هسـته مرکزی حرکت چرخشی دارد و در هر لحظه در یک طرف بین هسته مرکزی و بدنه عمل خردایش انجام می‌گیرد و در همان لحظه و در طرف دیگر بین هسته و بدنه فاصله قابل توجهی وجود دارد و مواد به تدریج وارد این قسمت می‌شوند.

با توجه به عملکرد مشابه سنگ‌شکن فکی و مخروطی در زیر به مقایسه این دو سنگ‌شکن می‌پردازیم:

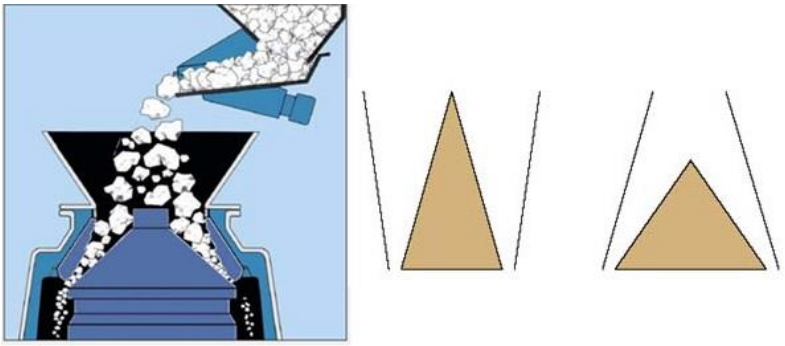
- مدت کار مفید در سنگ‌شکن فکی نیمه وقت و در چرخشی تمام وقت است
- ظرفیت‌های سنگ‌شکن‌های چرخشی در شرایط مشابه دو برابر نوع فکی است
- نیروی مصرفی در سنگ‌شکن‌های چرخشی کمتر از نوع فکی است
- نسبت خردایش در سنگ‌شکن‌های چرخشی تقریبا دو برابر فکی است
- نسبت به محصول تولید شده در شرایط مشابه، وزن انواع فکی بیشتر از چرخشی است
- در سنگ‌شکن‌های چرخشی نیاز به تغذیه کننده نیست ولـی در نوع فکی به منظور جلوگیری از گرفتگی مواد در میان فک‌ها، تغذیه کننده لازم است
- ساییدگی فک‌ها در سنگ‌شـکن چرخشـی بیشـتر از نـوع فکـی است
- مخارج و نگهداری سنگ‌شکن‌های ژیراتوری بیشتر از نـوع فکـی است
- قیمت سنگ‌شکن چرخشی در شرایط مشابه تقریبا دوبرابر نـوع فکی است
- برای ظرفیت‌های بسیار زیاد (بیشتر از ۱۵۰۰ تن بـر سـاعت) و ابعاد اولیه درشت (بیش از ۶۰۰ میلی متر) سنگ‌شکن چرخشی مناسب تر است



شکل(۵-٤): سنگ شکن چرخشی

۵-۳-۳- سنگ‌شکن مخروطی[1]

این نوع سنگ‌شکن که با نام سیموند نیز آن را نام می‌برند، از جمله انواع سنگ‌شکن‌های چرخشی است ولی از جهاتی بـا آن متفاوت است، که از جمله می‌توان به سرعت بیشتر و افزایش بسیار زیاد زاویه هسته مخروطی و به موازات آن انحنـا داخلـی بدنـه اشاره کرد. شکل ۵-۵ این اختلاف را نشان می‌دهد:



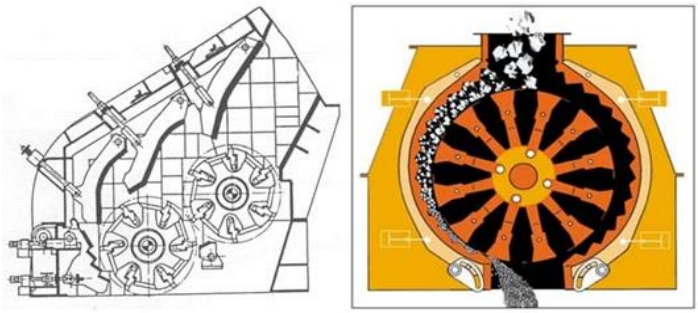
شکل(۵-۵): وسط سنگ‌شکن مخروطی، چپ سنگ‌شکن چرخشی

[1] cone crusher

از این سنگ‌شکن به عنوان سنگ‌شکن ثانویه در مراحل میانی خردکردن تا ابعاد نسبتا کوچک مورد استفاده قرار می‌گیـرد. در سنگ شکنهای مخروطی مانند فکی مواد از دهانه گشاد ورودی به یک دهانه پایینی کوچک می رسند. دهانه خروجی مواد با بـالا و پایین آوردن شافت قابل تنظیم می باشد. این عمل در زمانی صورت می گیرد که بدلیل سایش بین توپی و قیف دهانـه خروجـی از اندازه مناسب بازتر شود و یا نیاز به تغییر اندازه سنگ خرد شده خروجی باشد. در این سیستم با ریز و درشت شدن مواد اختلالـی در کار بوجود نمی آید ولی این نوع سیستم به رطوبت حساس بوده و در اثر آن به حالت خفگی می افتد.

۵-۳-۴- سنگ شکن ضربه ای[1]:

سنگ‌شکن ضربه‌ای از یک روتور که دارای تعدادی پره است و با سرعت زیاد دوران می‌کند، تشکیل شده است. عملکرد این نوع به این صورت است که ابتدا سنگها از دهانه ورودی وارد شده و روی چکشهای چرخان می افتنـد و کمـی خـورد شـده و بـه اطاقک خرد کننده برگشت داده می شوند ودوباره بر روی چکشها می افتند و این عمل آنقدر تکرار می شود که سـنگها بـه انـدازه کافی کوچک شده و از دهانه خروجی خارج شوند. نقش پره‌ها پرتاب قطعات بار ورودی به طرف جدار داخلی سنگ‌شکن است. بر روی جدار داخلی دستگاه نیز تعدادی سپر که از جنس فولاد منگنزدار می‌باشد نصب شده است. این سـپرها نقـش مـانع را ایفـا می‌کند و قطعات در اثر برخورد با آنها خرد می‌شوند. سنگها در برخورد با هم ودر فضای بین چکشها و صفحات خرد کننده نیز خرد میشوند. این نوع از سنگ شکنها برای سنگهای سخت و ترد و نیمه سخت مناسبند و درمقابل مواد نرم و مرطـوب عملکـرد مناسـبی ندارند. این سنگ شکن معمولا دارای ۲ تا ٦ پره بوده که با سرعتی بین ۱۵ تا ۵۰ متر بر ثانیه میچرخند و معمولا در دو نوع یـک و دو محور چرخان بکارگیری میشوند:



شکل(۵-٦):سنگ‌شکن های ضربه‌ای (یک و دو محوری)

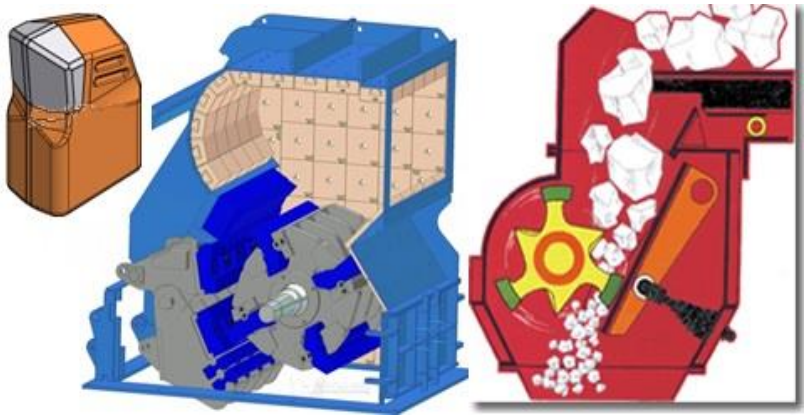
۵-۳-۵- سنگ شکن چکشی[2]:

این نوع سنگ شکن ها تقریباً با مکانیزم سنگ‌شکن‌های ضربه ایست که پروسهٔ خرد ایش به سبب چرخش و دوران چکشهای ما بین روتور و کوبیدن بر روی سندان انجام می شود.

۵-۳-۶- سنگ شکن غلطکی[3]:

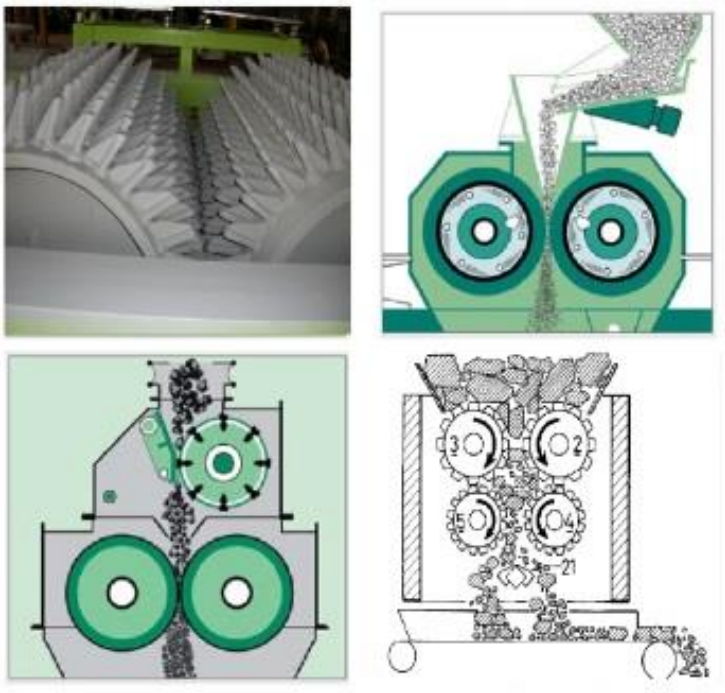
در این نوع سنگ‌شکن‌ها عملیات سنگ‌شکنی به وسیله یک یا چند استوانه سنگین با سطح صاف یا آجدار صورت می‌گیرد. حرکت استوانه‌های روبرو در خلاف جهت یکدیگر و سرعت چرخشی آن‌ها مساوی و یا نزدیک به هم است. فاصله بین دو استوانه‌ها قابل تنظیم است. اساس کار این سنگ‌شکن‌ها بر مبنای اصطکاک بین سنگ و استوانه‌ها استوار است. با توجه به‌این که این سنگ‌شکن‌ها از نظر تعداد غلطک متنوعند. در شکل ۵-۸ تعدادی از این نوع سنگ‌شکن‌ها به طور شماتیک نشان داده شده است:

[1] impact crusher
[2] hammer crusher
[3] roll crusher



شکل(۵-۷): شمایی از سنگ شکن چکشی و یک نوع ناخن چکش

از مزایای این سنگ‌شکن ها میتوان به سرعت تولید نسبتا زیاد، سهولت تنظیم گلوگاه و نگهداری آسان و از معایب آن نیز می‌توان به نسبت خرد کردن کم، فرسایش نسبتا زیاد و عدم کارایی آن در مورد مواد لایه‌ای یا الیافی شکل، اشاره نمود.



شکل(۵-۸): سنگ‌شکن استوانه‌ای

۵-۳-۷- ماسه سازها:

ماسه سازها در عملیات دانه بندی به عنوان سنگ شکن ثانویه کاربرد دارند و در کارگاهها و معادنی که تمایل به تولید ماسه شکسته بیشتری داشته باشند مورد استفاده قرار می گیرند و قابلیت و ظرفیت های مختلفی از آن موجود می باشد که در جهت خرد کردن مواد غیر چسبنده خشک و تا استحکام MP ٤٥٠ از قبیل کوارتز، بازالت، آهک، گرانیت و ... دیگر سنگهای معدنی بکار می رود که در تنوع و مدلهای بسیار زیاد (نظیر پاکتی وعمودییا خرگوشی و....) ساخته و تولید می شوند.

در کارخانه های تولید آسفالت معمولا از ماسه ساز استفاده نمیگردد و سعی میگردد تا در فرآیند تولید مصالح ریز دانه وفیلر لازم تامین گردد.

ماسه ساز پاکتی:این نوع ماسه ساز از انواع سنگ شکن های کوبشی (Impact Crusher) بوده که چکش های آن حول محوری قائم و روتورها مصالح را به سندان ها می کوبند و باعث خرد شدن می گردند .چون غالبا دستگاه از هر دو طرف میتواند

بچرخد چکش ها به طور کامل خورده می شوند و از کل ظرفیت چکش بهره گیری می شود از امتیازات این نوع ماسه ساز ها میتوان به تولید فیلر بیشتر نسبت به انواع ماسه سازها و ولتاژ تولیدی بیشتر نسبت به دیگر ماسه سازها اشاره کرد.

ماسه ساز های عمودی (Vertical Impact Crusher) : با ساختار چکشی می باشد و عمل خردایش حول محور عمودی انجام می شود. ورودی آن برای سنگهای در سایز صفر تا ۵۰میلی متر مناسب بوده و سایز سنگهای خروجی آن بین صفر تا ۱۰ میلی متر می باشد و بار تولیدی مفید این دستگاه ۲۵ تن در ساعت است. ظرفیت ورودی این دستگاه ها به ۲۵ و ٤٠ تن در ساعت نیز میرسد و ۸۰-۷۵٪ خروجی آن را ماسه ۱۰-۰ میلی متر تشکیل می دهد؛ دانه تولید شده گرد و شکسته خواهد بود .

ویژگی ماسه سازهای خرگوشی عبارتند از: *تعویض قطعات در حداقل زمان *عملکرد بدون لرزش دستگاه با استفاده از ضربه گیرهای مخصوص *استقرار و نصب راحت دستگاه

.ماسه ساز های تعویض قطعات در حداقل زمان ،عملکرد بدون لرزش دستگاه با استفاده از ضربه گیرهای مخصوص واستقرار و نصب راحت دستگاه از ویژگی ماسه سازهای خرگوشی است.

ماسه شورها که البته بدلیل انجام فرآیند غبار گیری در خشک کن کارخانه آسفالت ، همچنین پایین آوردن راندمان تولید در صورت وجود رطوبت بیش از حد در مصالح سنگی و نیاز به فیلر در تولید محصول نهایی در کارخانه تولید آسفالت بکار گیری نمیشوند لیکن در تولید بتن سیمانی نقشی تعیین کننده دارند نیز کار شستشو و آب زدایی مصالح ریز دانه و همچنین خروج مصالح بسیار ریز در هنگام شستشوی مصالح در آب را بر عهده دارند و بر دو نوع کلی حلزونی و پاکتی می باشد .

جزءبسیار مهم دیگری که نقش بسزایی در فرآیند خردایش سنگ و خروجی سنگ شکن کارخانه دارند و میبایست متناسب با نیاز و نوع آسفالت تولیدی تنظیم گردد سرندهای گریزلی و.. کارگاه سنگ شکن میباشد که چیدمان آنها و توجه به تولید دپوی هر سایز متناسب با طرفیت و نیاز کارخانه در راندمان کارخانه نقش مهمی ایفا میکند.

۵-۴- دپوی مصالح سنگی:

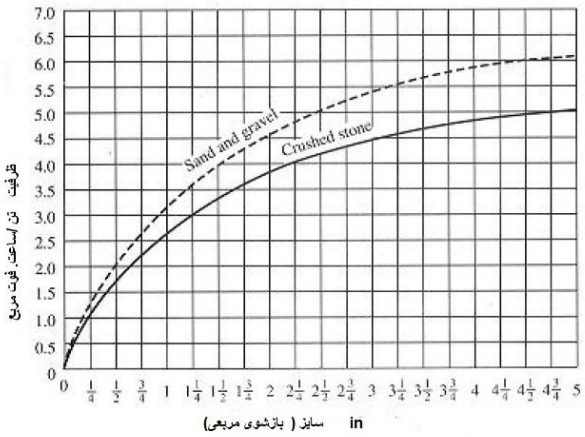
همزمان با فرآیند سنگ شکنی مصالح تولیدی توسط سرتدهای لرزان بخش سنگ شکن (فیدر ها) با تعداد وابسته به دقت نظر لازم جداسازی می شوند. نوع و سایز سرندهای انتخابی و سطح لازم جهت سرندها متناسب با نیاز و ظرفیت تولید مصالح میبایست صورت پذیرد. انتخاب نامناسب سرندها خصوصا مساحت و شیب و میزان ویبره و.. سبب تداخل سایز دانه ها و عدم دانه بندی صحیح میگردد.یکی از فرمولهای تجربی پیشنهادی جهت محاسبه مساحت سرندها به قرار زیر است:

$$Q = A \times C \times E \times D \times G \qquad (۱-۵)$$

که در آن: Q:ظرفیت سرند (ton/hr) A: سطح سرند(ft^2) C: ظرفیت تئوری سرند(ton/hr/ft2)(از نمودار زیر) E : فاکتور بهروری[1](راندمان) D: فاکتور عرشه[2] G: فاکتور دانه بندی (از جداول زیر) است. که بصورت تقریبی میتوان از رابطهٔ زیر سطح لازم جهت سرندها را محاسبه نمود.

$$A = \frac{Q}{C\,E\,D\,G} \qquad (۲-۵)$$

[1] Efficiency factor
[2] Deck factor



درصد دانه های کوچکتر از نصف بازشو(شمارهٔ) الک	(G) فاکتور سایز دانه ها
10	0.55
20	0.70
30	0.80
40	1.00
50	1.20
60	1.40
70	1.80
80	2.20
90	3.00

کارایی مجاز سرند	(E) فاکتور کارایی
95	1.00
90	1.25
85	1.50
80	1.75
75	2.00

شمارهٔ عرشه سرند	فاکتور عرشه (D)
1	1.00
2	0.90
3	0.75
4	0.60

روش تقریبی فوق بدون لحاظ نمودن پارامترهای موثر دیگری نظیر شیب سرندها و.. پیشنهاد شده وروشهای متعدد دیگری نیز بدین منظور وجود دارد. پس از سرند، مصالح بوسیله نوار نقاله های شیب دار در محلی کنار دستگاه دپوی اولیه شده تا از انجا با لودر و یا کامیون و یا مستقیم با نوار نقاله های بزرگتر به دپوی اصلی منتقل گردند.

در نحوه دپوی اولیه و اصلی و انتقال و تخلیه مصالح سنگی میبایست نسبت به توجه به نکات خاص و توسل بـه تکنیکهـای مختلف اقدام نمود که اصلی ترین هدف در این اقدامات جلوگیری از جداسازی مصالح و ناهمگن گردیـدن بخشـهای مختلـف از مصالح دپو شده است. البته در کارخانه های تولید آسفالت از نوع منقطع که قبل از تولید مجددا مصالح سنگی دانه بنـدی میگردنـد، این موضوع صرفا در عدم کالیبراسیون مناسب تولید و کاهش ظرفیت اثر میگذارد.

شکل(۵-۹): دپوی مصالح سنگی تولیدی

انتخاب سرندها و نوع سنگ‌شکن‌ها و تنظیمات مربوطه، زمانی شرایط ایده ال و بهینه را فراهم می‌آورد کـه عـلاوه بـر تـامین مشخصات فنی لازم، مصالح سنگی خروجی سنگ شکنها از نظر حجم تولیدی متناسب با میزان مصرف آن در طرح اختلاط آسفالت بوده تا شاهد تجمیع ابعادی از مصالح و یا کمبود ابعاد دیگر نباشیم. معمولا در پروژه های بزرگ پس محاسـبه و اسـتقرار و تنظـیم مجموعه تولید مصالح و قبل از شروع به کار کارخانه تولید آسفالت ،سنگ شکنها نسبت به شروع به کار و تولیـد و دپـوی مصـالح اقدام میکنند تا پس از انجام اصلاحات و تنظیمات لازم در تولید مصالح مناسب و با نسبت حجمی مطلوب و رسیدن حجم دپـویی

کافی (حتی تا یک سوم کل نیاز) به جهت اطمینان از یکنواختی خروجی سنگ شکنها و عدم تغییر مشخصات مصالح نسبت به نمونه‌برداری از مصالح و انجام کنترلهای لازم وتخمین اولیه از نسبت اختلاط مصالح سنگی و کفایت هر سایز و.. اقدام میگردد.

دپوهای مصالح حتی المقدور بهتر است بگونه ای جایابی و صورت پذیرد که با کمترین انرژی و مسافت و ترجیحا با لودر قابل حمل و تخلیه در سیلوهای سرد کارخانه باشند. در این مرحله بمنظور ارزیابی و کنترل مصالح تولیدی انجام آزمایشات ذیل مجدداً ضروری و مورد نیاز می‌باشد.

- دانه بندی(درشت دانه، ریز دانه و فیلر)
- درصد شکستگی مصالح در یک و دو جبهه
- درصد دانه های دراز و پهن (تطویل و تورق)
- ارزش ماسه‌ای مصالح ریزدانه
- وزن مخصوص ظاهری و حقیقی و جذب آب مصالح
- حدود اتربرگ و....

در این خصوص با توجه به مشخصات چنانچه نتایج آزمایشات انجام شده مغایرتهای قابل ملاحظه‌ای را نشان دهد توقف و کنترل و بازرسی سیستم تولید مصالح در این مرحله الزامی خواهد بود. بدیهی است ادامه تولید بدون کنترل و ارزیابی‌های متناوب و اخذ نتایج تأیید شده مجاز نخواهد بود. باستثنای نتایج تأیید شده فوق الذکر مطابقت دانه بندی مصالح تولیدی به تفکیک مصالح درشت دانه و ریز دانه با مندرجات جداول فصل نهم آئین نامه روسازی آسفالتی راه¬های ایران (نشریه شماره ۲۳٤) و سپس انطباق دانه بندی مخلوط مصالح براساس مندرجات جداول فصل مربوطه بمنظور استفاده در قشرهای مختلف آسفالتی ضروری می‌باشد.

۵-۵- حمل ،ذخیره و انتقال قیر:

قیر به عنوان رکن اصلی اجزا بتن آسفالتی برغم درصد حجمی پایین آن در تولید، بیشترین نقش را در کیفیت و دوام و طول عمر آسفالت در اغلب موارد ،ایفا میکند .انتخاب قیر مناسب به همراه توجه و دقت نظر در تامین و خصوصا حفظ مشخصات اولیه و اطمینان از صدمه ندیدن، تسریع پیری ، تغییر مشخصات لازم (ویسکوزیته، چسبندگی با مصالح، درجه نفوذ ، انعطاف پذیری، نقطه نرمی و...) نکات بسیار مهمی است که پس از تولید قیر در پالایشگاه و تا زمان افزودن به مخلوط آسفالتی میبایست با رعایت برخی نکات و بکارگیری تجهیزات مناسب مورد توجه قرار گیرد که متاسفانه اشکالات فراوانی نیز در این حوزه در تولیدات آسفالت کشور وجود دارد.

حرارت مستقیم قیر با استفاده از شعله و نگهداشت بلند مدت قیر در دمای بالا(دمای تولید) دو آیتم اصلی مخرب و مضر در فرآیند بکارگیری قیر است. متعارفترین سیستم گرمایش غیر مستقیم قیر استفاده از مکانیزم روغن داغ [1]است . این موضوع با استفاده از یک سیال واسطه (عموما روغن مخصوص)و کنترل هوشمند دمای روغن که با استفاده از شعله مستقیم بر بدنه فلزی مخزن مرتبط با روغن و یا المنت های الکتریکی، آن را در دمای استاندارد و مورد نیاز کاربرد(تخلیه، انتقال قیر و تولید آسفالت و..) رسانده و نگه میدارد،صورت میپذیرد. این سیستم معمولا بصورت مرکزی (یا در دو بخش مجزا) در کارخانه های آسفالت ایجاد و بوسیلهٔ خطوط طراحی شده بصورت رفت و برگشت ، امکان اتصال و گردش روغن داغ را به محلهای مرتبط با قیر در کلیه سطوح در تماس با قیر(استخر یا مخازن اصلی ذخیره،پمپها و خطوط انتقال، فلاکس کارخانه و...) فراهم می آورد.

تانکر های حمل قیر نیز میبایست به سیستم مذکور مجهز بوده و درون تانکر با شبکه لوله‌ای امکان گردش روغن داغ را درون تانک فراهم آورد. برخی دیگر از تانکرهای حمل قیر خود به سامانهٔ گرمایش روغن ومخزن آن مجهز نمیباشند لیکن در صورت نیاز امکان اتصال به پکیج اویل هیتر کارخانه های آسفالت و گردش روغن داغ در تانکر بمنظور روانسازی قیر جهت تخلیه را دارا

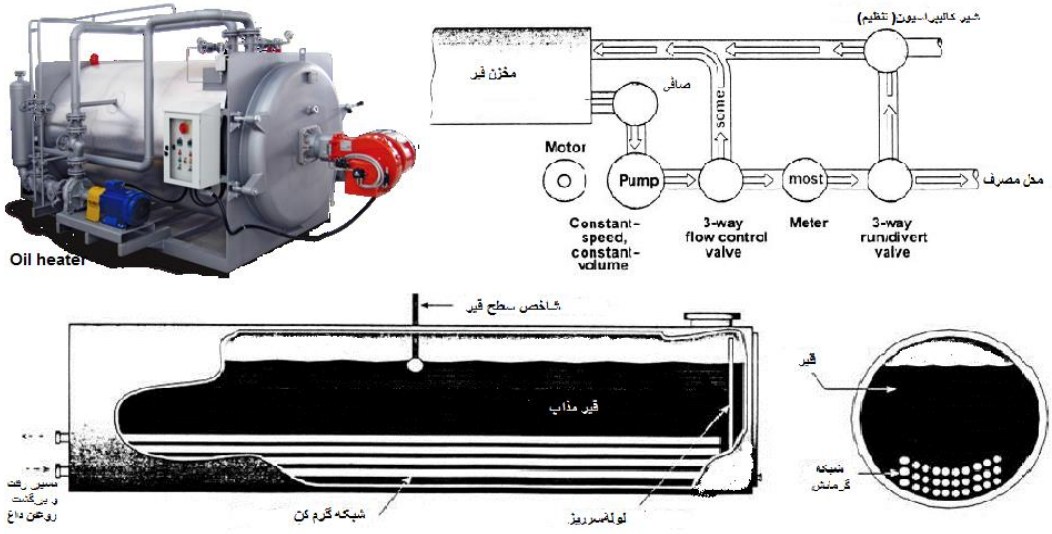
[1] Hot Oil Heatersr

میباشند ، لذا ترجیحاً سیستم اویل هیتر کارخانه‌ها نیز میبایست این قابلیت را دارا باشند. مخازن ذخیره اصلی کارخانه در دو نوع درجا (استخر قیر) و یا مخازن سری فلزی احداث میشوند که اجرای مخازن درجا در حال حاضر به هیچ عنوان توصیه نمیگردد و در موارد اضطرار و قدیمی انجام تدابیر بسیار ویژه خصوصاً جهت گرمایش غیر مستقیم و محصور کامل و.. الزام خواهد داشت و درصورتیکه برای ذخیره قیر از استخر استفاده گردد، دیوار و کف این استخرها باید بتنی یا با پوشش سیمانی بوده و سرپوشیده باشد تا قیر کاملاً از هجوم گرد و غبار، بارندگی و دیگر آلاینده ها محفوظ بماند.

عایق مناسب و کامل مخازن و خطوط انتقال قیر، به حداقل رساندن مسیر انتقال، وجود سیستم و خطوط برگشت فوری قیر و تخلیه خطوط انتقال و پمپها، بکارگیری پمپهای با تعداد و توان و جانمایی متناسب، تعبیهٔ دریچه های بازدید مناسب، تعبیه سوپاپ های کنترل کننده وخروج گاز ، تعبیهٔ سوپاپ کنترل حجم و سطح قیر مخزن، مسیر تخلیه اضطراری ، تعبیهٔ سرریز اضطراری جهت تخلیه قیر بیش از حجم مخزن و .... برخی از نکات و الزامات مربوط به این بخش از کارخانه های تولید آسفالت میباشد.

توجه به افزایش حجم قیر در اثر افزایش دما در تخلیه و ذخیره‌سازی قیر میبایست مورد توجه قرار گیرد. از فرمول تقریبی- تجربی زیر میتوان جهت تخمین حجم قیرهای خالص در دمای t در صورت در اختیار داشتن یا استخراج حجم قیر در دمای 15.6 استفاده نمود که در آن C ضریب انقباض حرارتی حجمی قیر است. (برای قیرهای با چگالی بیش از 0.996 این مقدار با عدد 0.00063 و چگالی کمتر از آن 0.00072 فرض میگردد)

$$V_t = V_{15.6}[1 + C(t - 15.6)] \qquad (۳-۵)$$



شکل(۵-۱۰): گرمایش غیر مستقیم و طراحی خطوط انتقال قیر

درجه حرارت قیرهای خالص در مخازن و لوله ها و هنگام اختلاط با سنگدانه ها در مخلوط کن کارخانه آسفالت، باید بگونه ای تنظیم شود که درجه حرارت آسفالت با دانه بندی پیوسته که از کارخانه به کامیون تخلیه می شود هیچگاه از ۱۶۳ درجه سانتیگراد تجاوز ننماید و در عین حال درجه حرارت قیر نیز کمتر از ۱۷۶ درجه سانتیگراد باشد. تانکرهای حمل قیر و همچنین مخازن قیر کارگاه باید مجهز به حرارت سنج باشد. یک حرارت سنج در قسمت تحتانی تانکر و دیگری در قسمت فوقانی نصب شود. در کارخانه آسفالت نیز باید حرارت سنج قیر نصب شود، بطوریکه در هر زمان بتوان درجه حرارت قیر را کنترل نمود.

۵-۶- تولید مخلوط آسفالتی:

از آنجا که تولید آسفالت، مخلوط کردن قیر با سنگدانه های شکسته و بدون گرد و غبار در درجه حرارت بالا بوده، کارخانجات آسفالت در بخشهای مختلف با طراحی فرآیند معین، نسبت به تولید آسفالت اقدام می نمایند.

فرآیندهای مورد نظر به شرح ذیل می باشد:

۱- فرآیند مربوط به سنگدانه ها در کارخانه آسفالت

۲- فرآیند مرتبط با جداسازی فیلر در کارخانه آسفالت

۳- فرآیند خروج دود و گازهای موجود در کارخانه آسفالت

٤- فرآیند آماده سازی قیر و سیر آن در کارخانه آسفالت

کارخانه های تولید آسفالت از لحاظ ماهیت نصب به سه نوع :

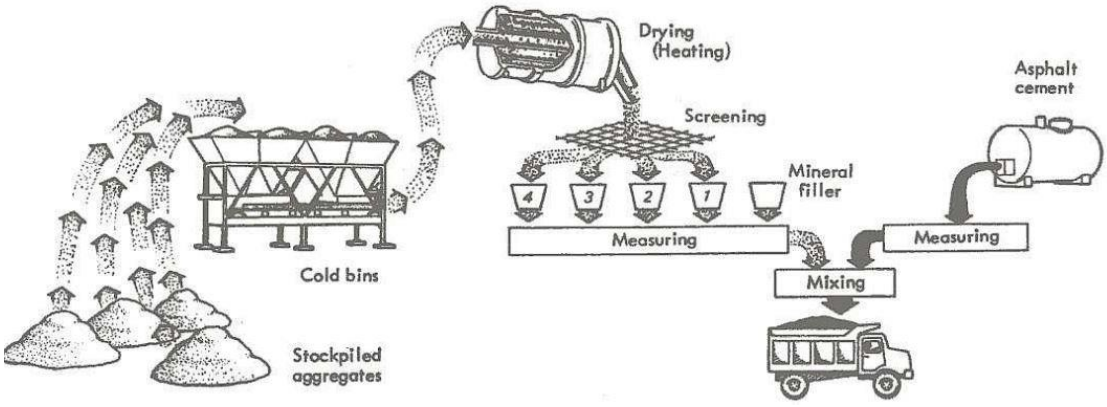
- کارخانه های ثابت
- کارخانه های نیمه پرتابل
- کارخانه های پرتابل

تقسیم بندی شده که به ترتیب برای مصارف با تناژ بالا به پایین و مدت زمان نیاز در یک منطقه اولویت دارند. لیکن مبانی و تقریبا تمامی اجزا آنها (بجز حجم و ظرفیت)یکسان است.

کارخانه های تولیدی بهتر است بگونه ای طراحی و ساخته و مستقر شوند که امکان استفاده از مصالح و قیر مختلف را جهت تولید انواع مختلف آسفالت (گرم و نیمه گرم و سرد و بازیافت سرد و گرم کارخانه ای و...) را داشته باشند.کارخانه های آسفالت گرم از نظر فرآیند تولید به سه نوع عمده تقسیم بندی میگردند:

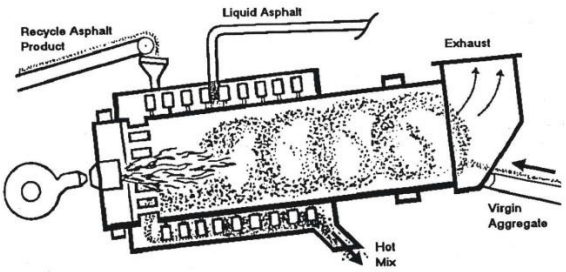
- کارخانه های منقطع[1](پاکتی.مرحله ای)
- کارخانه های پیوسته [2]
- کارخانه های توام[3] (بشکه ای- استوانه ای)

که از نظر کیفیت و یکنواختی و امکان کنترل کیفیت تولیدات کارخانه ها به ترتیب فوق میباشند. کارخانه های توام نیز به سه دسته تقسیم بندی شده که تفاوتهای آنها عمدتا درنوع ورود و حرارت مصالح و مرحله و یا روش افزودن خرده آسفالتهای تراشیده شده(RAP) همانگونه که در شکل (۵- ۱۳) قابل تمایز است میباشد.

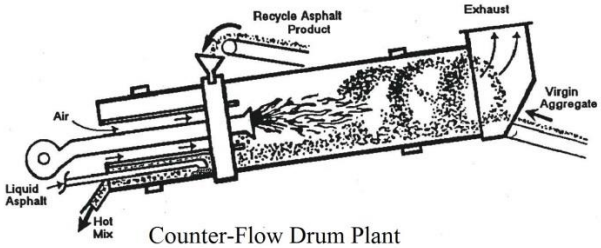


شکل(۵-۱۱): نمای کلی از فرآیند تولید در کارخانه آسفالت گرم منقطع

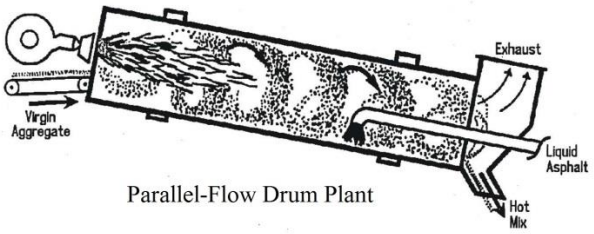
[1] (bach mix plant) Baching Plant
[2] Continuos mix plant
[3] Drum mix plant



Double-Drum Plant

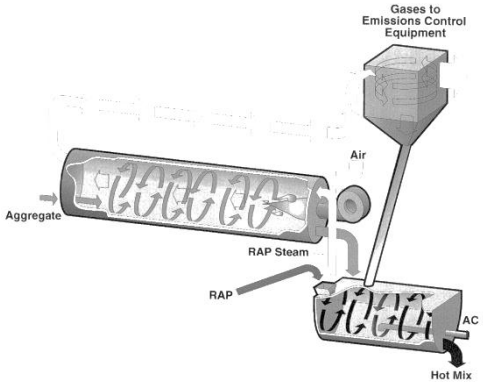


Counter-Flow Drum Plant



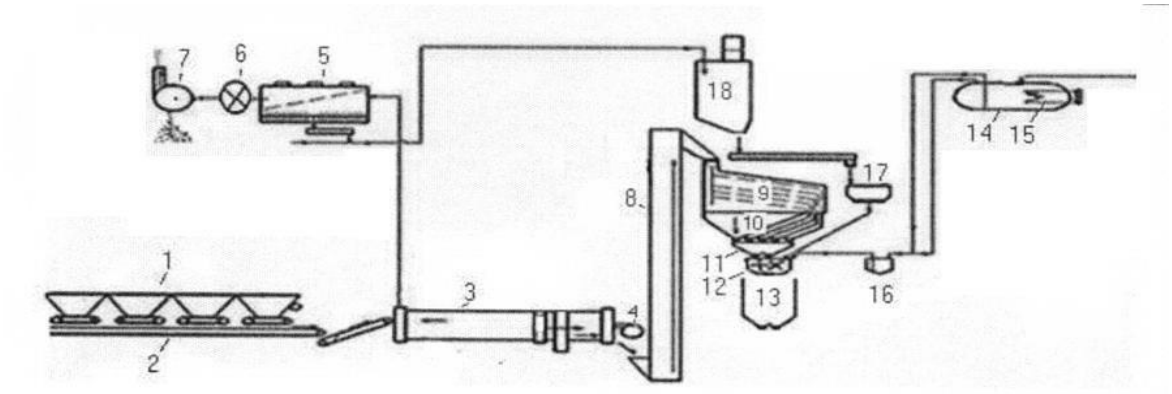
Parallel-Flow Drum Plant

شکل (۵-۱۳): انواع مختلف کارخانه های آسفالت گرم درام



شکل(۵-۱۲): بخش اصلی کارخانه آسفالت پیوسته

در کارخانه های منقطع نیز در تولیدات جدید عموما امکان استفاده از درصد های مختلف مواد بازیافتی خرده آسفالت در فرآیند تولید ،فراهم میباشد.با توجه به عمومیت بیشتر استفاده از کارخانه های منقطع و مشترکات فراوان با انواع دیگر در ادامه به اختصار به معرفی و بررسی اجزا مختلف این نوع میپردازیم.



۱.بین های سرد
۲.نوارنقاله
۳. درایر
۴. مشعل
۵.سیکلون
۶.هواکش
۷.فیلتر
۸. الواتور مصالح
۹.سرند
۱۰.بین های گرم
۱۱. مخزن توزین سنگدانه ها
۱۲.میکسر
۱۳.سیلوی آسفالت
۱۴. فلاکس قیر
۱۵.اویل هیتر
۱۶.مخزن توزین قیر
۱۷.مخزن توزین فیلر
۱۸.مخزن فیلر

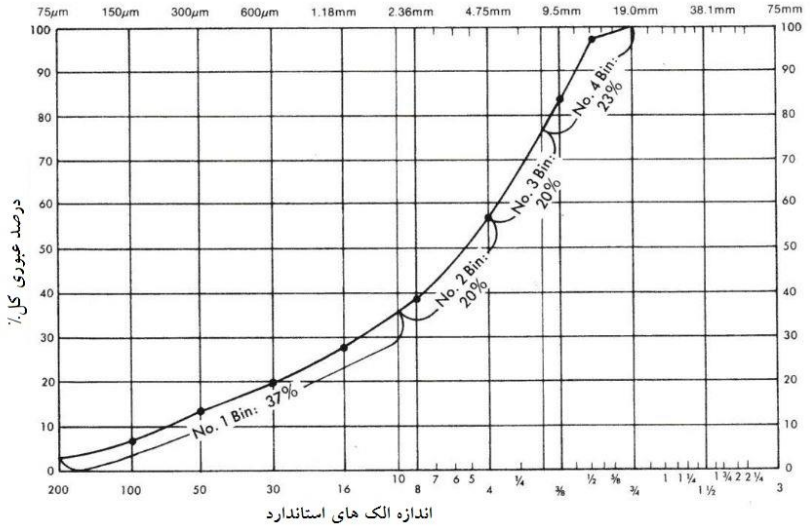
شکل (۵-۱٤): اجزا عمومی کارخانه تولید آسفالت گرم منقطع

۵–۷– اجزاء کارخانه آسفالت منقطع:

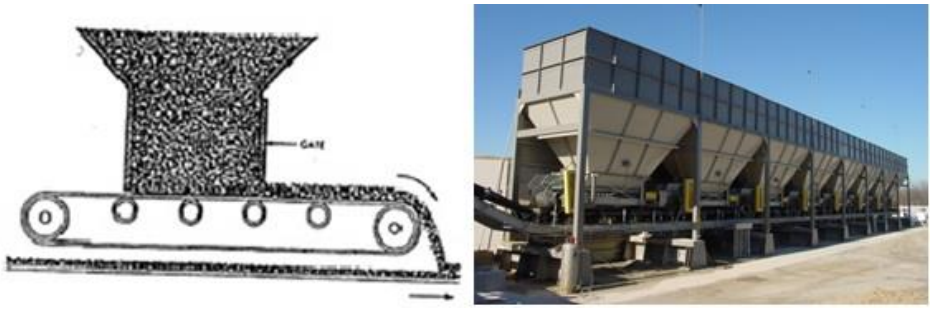
۵–۷–۱: سیلوهای سرد[1]:

اولین بخش از کارخانه سیلوها یا بینهای سرد است که به تعداد دپوهای مختلف تولیدی سنگ شکنها (بطور معمول حداقل ٤ سیلو) دارای مخزن نگهداری مصالح سرد میباشند که در حین تولید بوسیله لودر از محل دپوی مصالح تغذیه میگردند. سیلوی مصالح سرد در کنار همدیگر به ظرفیت متناسب با ظرفیت تولید کارخانه آسفالت که از ورق فولادی به شکل مخروط چهارگوش ناقص ساخته شده و امکان افزایش ظرفیت سیلوها از قسمت بالایی آنها نیز مهیا می باشد وجود دارد و میبایست تدابیر لازم در عدم تداخل مصالح را داشته باشد.

زیر هر یک از سیلوها یک سیستم دریچه تخلیه با کنترل تغذیه فیدر نواری با الکتروموتور دور متغیر AC و قابل تنظیم سرعت نوار فیدرها با کنترل پتانسیومتر از اتاق فرمان توسط اپراتور و کنترل دبی درصد تغذیه طبق فرمول کارگاهی و طرح اسفالت وجود دارد. قبل از شروع به تولید و با استفاده از نمودار دانه بندی(یا جدول عبوری از هر الک) هر یک از دپوهای مصالح و همچنین نمودار دانه بندی طرح اختلاط نهایی آسفالت و با روش سعی و خطا و یا حل معادلات حاصل از جداول دانه بندی ، درصد لازم از اختلاط هر دپو استخراج و بر مبنای آن محاسبه میشود و سرعت فیدر های زیر دریچه بین های سرد و یا میزان بازشوی دریچه ها بگونه ای تنظیم می گردد تا ترکیب کلی مصالح در خروجی نوار نقاله سرد با دانه بندی آسفالت مد نظر تطابق داشته باشد و در تولید آسفالت در مراحل آخر شاهد سرریز یک سایز از مصالح و یا کمبود برخی سایز ها که سبب کاهش ظرفیت تولید کارخانه میگردد نباشیم.نمودار شکل(۵–۱۵) مثالی از نمودار دانه بندی درشرایط خاص(عدم وجود سایزهای مشترک در هر دپو)را نشان میدهد.



شکل(۵–۱۵): درصد از هر سیلو در شرایط ایده ال از نظر تولید و سرند در سنگ شکنها



شکل(۵–۱٦): بینهای سرد و فیدر زیر بینهای سرد

[1] Cold bins

۵-۷-۲- نوار نقاله سرد[1]:

نوار نقاله از لاستیک نواری با الیافهایی محکم و انعطاف پذیر که بر روی رولیکهای سوار بر شاسی لوله ایی یا ناودانی قرار گرفته و توسط الکترو موتور حرکت می کند تشکیل شده است. و بار قرار گرفته بر روی خود را جابجا و منتقل می نماید و در کارخانه آسفالت جهت انتقال مصالح از خروجی مخازن سرد به درایر یا خشک کن مورد استفاده قرار گرفته است. نمونه گیری از مصالح سرد جهت کنترل دانه بندی و درصد رطوبت مصالح ورودی به خشک کن حائز اهمیت است.

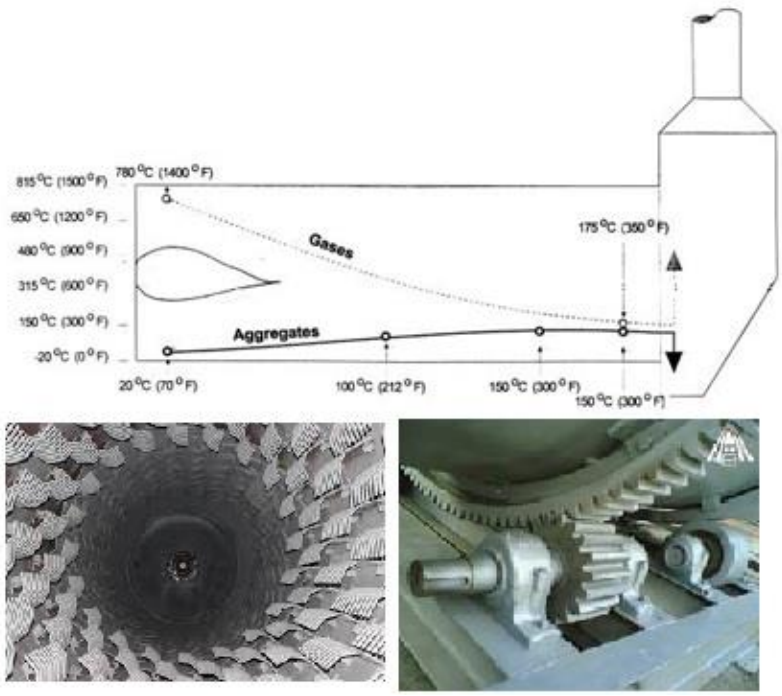
۵-۷-۳- خشک کن[2]:

از مهمترین بخشهای کارخانه است و تاثیر بسزایی در کیفیت آسفالت داراست. درایر کارخانه آسفالت از یک استوانه فولادی دو جداره دوار با تیغه های مورب داخلی (L شکل) جهت جابجایی مصالح که به صورت افقی با شیب کم (حدود ۷ درجه) برروی شاسی آن نصب گردیده تشکیل شده است. در محیط خارجی این استوانه معمولاً دو کمربند چدنی یا فولادی جهت تکیه دادن درایر بر روی رولیکهای هرزگرد سوار شده بر روی شاسی قرار دارد. هم چنین یک چرخ دنده بزرگ در محیط خارجی درایر جهت انتقال نیرو برای به دوران درآوردن درایر نصب گردیده است. این چرخ دنده با چرخ دنده پینیون (کوچک) متصل به گیربکس، درگیر می باشد و بدین طریق قدرت دورانی الکتروموتور که به گیربکس منتقل می گردد پس از تقلیل دور و افزایش گشتاور توسط چرخ دنده پینیون به چرخ دنده کمربندی درایر منتقل و باعث به چرخش درآمدن درایر می گردد. خشک کن ها انواع بسیار متفاوتی را دارا میباشند و با استفاده از اجزاء و ملحقات خود سه وظیفه عمده را در کارخانه به انجام میرسانند:

- ✓ گرم کردن مصالح سنگی تا دمای مورد نظر طرح(معمولا حدود ۱۵۰ -۱۸۰)
- ✓ حذف کامل رطوبت از مصالح سنگی
- ✓ غبارگیری و حذف ریزدانه ها و فیلر
- ✓ حذف مواد آلی و.. احتمالی مصالح

بخش خشک کن از نظر نحوه ورود مصالح معمولا به دو شکل متفاوت همراستا با شعله و عکس جهت شعله عمومیت دارد . جزء مهم خشک کن ،منبع تولید گرماست که توسط مشعل توربوجت

[1] Cold Belt conveyor
[2] Drayer



شکل(۵-۱۶): خشک کن و مکانیزم گردش مصالح و استوانه

درایر (درام) کارخانه آسفالت با توجه به ظرفیت تولیدی کارخانه آسفالت دارای ابعاد (طول و قطر) متفاوت می باشد و هر چه ظرفیت تولیدی کارخانه بیشتر باشد به همان نسبت قطر و طول آن نیز افزایش می یابد. زاویه نصب درایر بر روی شاسی و سرعت دورانی درایر نیز بر ظرفیت تولید تاثیر دارد. معمولاً زاویه شیب درایر ° ۸- ° ۷ به سمت انتهای درایر (محل نصب مشعل) و سرعت دورانی آن RPm ١٤-١١ می باشد.

با افزایش شیب و سرعت دورانی زمان طی مسافت طول درایر توسط مصالح کاهش می یابد در نتیجه ظرفیت تولید افزایش می یابدولی از طرفی با کم شدن شیب و زمان باقی ماندن مصالح در درایر، امکان رسیدن درجه حرارت مصالح به درجه حرارت مطلوب و حذف با مشکل مواجه خواهد شد که لازم است قدرت حرارتی مشعل افزوده گردد و در نتیجه نیاز به مشعل با بازده حرارتی بالاتری خواهد بود. به همین دلیل با توجه به ظرفیت تولیدی کارخانه و قدرت حرارتی مشعل منصوبه بر روی آن، زاویه شیب نصب درایر و سرعت دورانی آن که مستقیماً بر زمان قرارگیری مصالح در درون درایر تاثیر دارد تعیین می گردد.

یکی از عواملی که در نگهداری درایر باید مورد توجه قرار گیرد خنک نمودن درایر در انتهای کار روزانه کارخانه می باشد و می بایست با استفاده از دمیدن هوای خالص محیط توسط توربوجت که سوخت آن قطع گردیده، حرارت داخلی درایر را به حدود ۷۰-۸۰ °C رساند و بعد از آن نسبت به خاموش نمودن کارخانه و درایر اقدام نمود این عمل باعث می گردد تا از تاب برداشتن و دفرمه شدن درایر در اثر خاموش نمودن درایر در حرارتهای بالا جلوگیری بعمل آید. ضمناً از روغنکاری کمربندهای چدنی و یا فولادی محیط خارجی درایر که بر روی رولیکهای هرز گرد تکیه داده اند و به حرکت در می آیند جلوگیری کرد. زیرا روغنی بودن سطح کمربندها باعث نشستن و چسبیدن گرد و خاک و فیلر اطراف محیط کارخانه بر روی آنها می گردد و باعث خورده شدن سطح تماس رولیکها و کمربندها می شود.

جهت جلوگیری از افت و پرت حرارتی و بالا بردن راندمان حرارتی، معمولاً جدار خارجی درایر را به صورت دو جداره می سازند و با استفاده از یک لایه پشم شیشه و پوشش ورق فولادی استیل بر روی آن نسبت به ایزوله نمودن آن اقدام می‌گردد.

سوخت مورد استفاده در سیستم مشعل کارخانه از انواع :گاز ، نفت گاز(گازوئیل)، نفت کوره(مازوت) بوده که نوع گازی بدلایل زیست محیطی و کیفیت بالای سوخت از اولویت بالاتری برخوردار است و استفاده از سوختهای مایع میبایست به همراه تدابیر کنترلی خاص صورت پذیرد. سوختهای مایع مشعل امکان ایجاد دوده در زمان سوختن و یا آغشته شدن مصالح به مواد نفتی

در صورت بروز اشکال سوخت ناقص مشعل را در پی دارد. عملکرد مناسب مشعل و درایر در گرو مناسب و یکسان بودن حجم دبی هوای دمنده و مکنده خشک‌کن است.

عملکرد دیگر درایر بواسطه خشک نمودن مصالح سنگی، حذف رطوبت، گردش مواد و تماس با بدنه درایر و سطح مصالح دیگر در محیطی با جریان بالای هوا جداسازی گرد و غبار سطحی مصالح و معلق شدن دانه های ریز و فیلر در محفظهٔ درایر است. ذرات معلق با جریان مکندهٔ هوا از خشک کن خارج میشوند و عملا مصالح خروجی میبایست عاری از هر نوع گرد و غبار و فیلری باشند. هوای گرم خارج شده از واحد خشک‌کن میبایست به واحد غبارگیری کارخانه منتقل گردد. شوت خروجی درایر میبایست مجهز به سیستم انحراف جریان جهت نمونه گیری باشد. مصالح خروجی از خشک‌کن میبایست بصورت پیوسته حرارت سنجی گردند تا از مناسب بودن گرمای مصالح اطمینان حاصل نمود.

مصالح خروجی میبایست کاملاً تمیز و عاری از گرد و غبار و فیلر و عاری از هر نوع پوششی از دوده و مواد سوختی باشد. با آزمایشی ساده و کارگاهی با ریختن بخشی از نمونه در یک سطل آب زلال این مشخصه را با عدم مشاهدهٔ کاهش زلالیت آب و فیلم نازک مواد روغنی در سطح آب میتوان کنترل کرد.

رطوبت مصالح با کنترل فوری وزن نمونه‌ای از مصالح خروجی از درایر و تداوم نگهداری نمونه در اُون آزمایشگاه و توزین مجدد قابل ارزیابی است که میبایست افت وزنی صفر(یا کمتر از یک درصد به سبب احتمال حذف کامل رطوبت تا قبل از پوشش قیری مصالح) را شاهد باشیم. عدم حصول نتیجه لازم در تامین حرارت و یا حذف رطوبت، لزوم افزایش حرارت مشعل ، ویا کاهش شیب درایر و یا سرعت دوران آن و یا کنترل و کاهش رطوبت مصالح ورودی به سیلوهای سرد را بدنبال خواهد داشت. دمای بالای مصالح سنگی نیز سبب تغییر خواص قیر و سخت شدگی آن در واحد میکسر می‌گردد و کنترل عدم افزایش دمای مصالح نیز (خصوصا در فصول سرد که احتمال دارد تعمدا برخی اپراتورها با افزایش دمای مصالح سعی در جبران افت دمای آسفالت در حین اجرا برآیند) حائز اهمیت است.

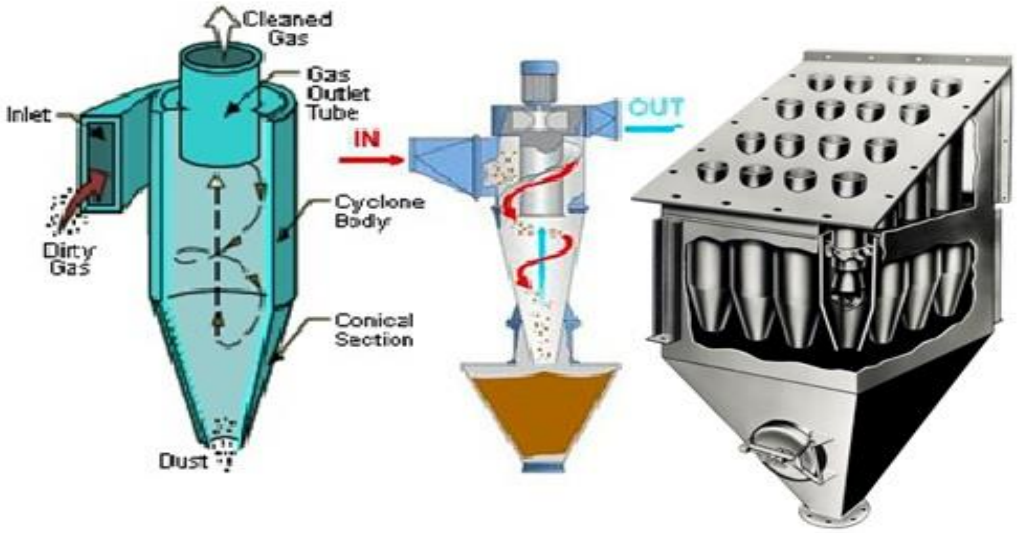
۵-۷-۴- غبارگیرها[1]:

گرد و غبار و فیلر هوای خارج شده از درایر توسط سیستم های غبارگیری از هوا گرفته میشود که علاوه بر رعایت مسائل زیست محیطی و جلو گیری از آلودگی مناطق اطراف در صورتی که فیلر اخذ شده مشخصات لازم را جهت تولید آسفالت داشتند مجدد در پروسه تولید و به عنوان فیلر مورد استفاده قرار گیرد.مصالح معدنی و کوهی معمولا فیلری عاری از مواد رسی و .. را در پروسه غبار گیری تعمین مینمایند. شرایط ایده ال در سیستم غبارگیری یک مکانیزم دو جزئی شامل یک سیستم غبارگیری اولیه جهت جداسازی دانه های درشتتر و فیلر ها (معمولا سیکلونها) و بخش دوم شامل غبارگیری جهت پاکسازی کامل هوا (فیلتر آبی یا فیلتر پارچه‌ای) است.

۵-۷-۴-۱- سیکلونها[2]:

گرد و خاک جدا شده از مصالح از کانال بالای درایر در اثر مکش ناشی از اگزوزفن به سایکلون رفته و با توجه به طراحی در داخل سایکلون به حالت گرد باد و چرخش درآمده و ذرات سنگین (فیلر) آن جدا می گردد و به صورت ثقلی به انتهای سایکلون و از آنجا نیز به مخزن ذخیره فیلر یا جهت مصرف مستقیم بر روی بالابر فیلر هدایت و در نهایت به مخزن مربوطه در بالای برج انتقال می یابد. متناسب با ظرفیت کارخانه و هوای مکنده و دمنده سیکلونها بصورت تکی و یا مولتی سیکلونی بکار میروند.

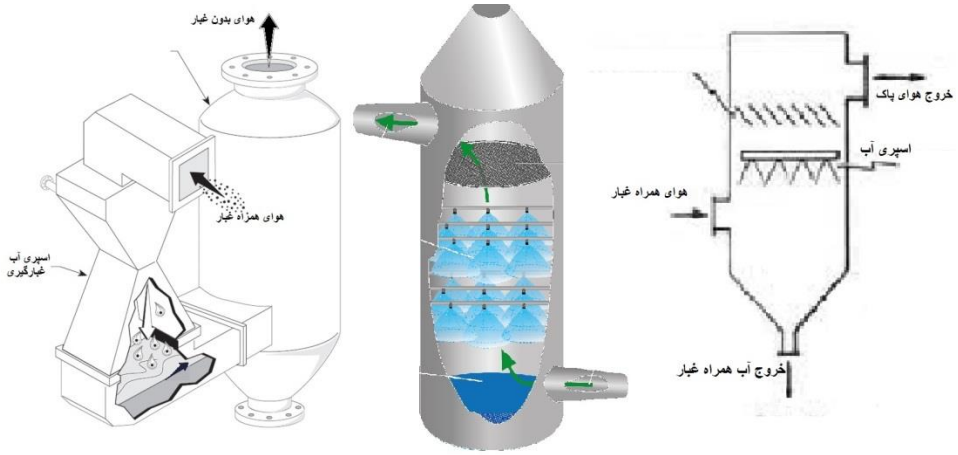
[1] Dust collector
[2] Cyclone



شکل(۵-۱۷): غبارگیرهای سیکلونی(گردبادی)

۵-۷-۴-۲- غبارگیرهای تر[1]:

بکارگیری آب جهت جداسازی غبار از هوای خروجی درایر روشی کاملا موثر و مطلوب جهت پاکسازی کامل هواست. لیکن در این روش فیلر مستقیم مورد استفاده مجدد قرار نمیگیرد . آب همراه غبار به حوضچه های رسوب گذاری منتقل میگردند تا پس از ته نشینی رسوب مجددا جهت استفاده قرار گیرند.

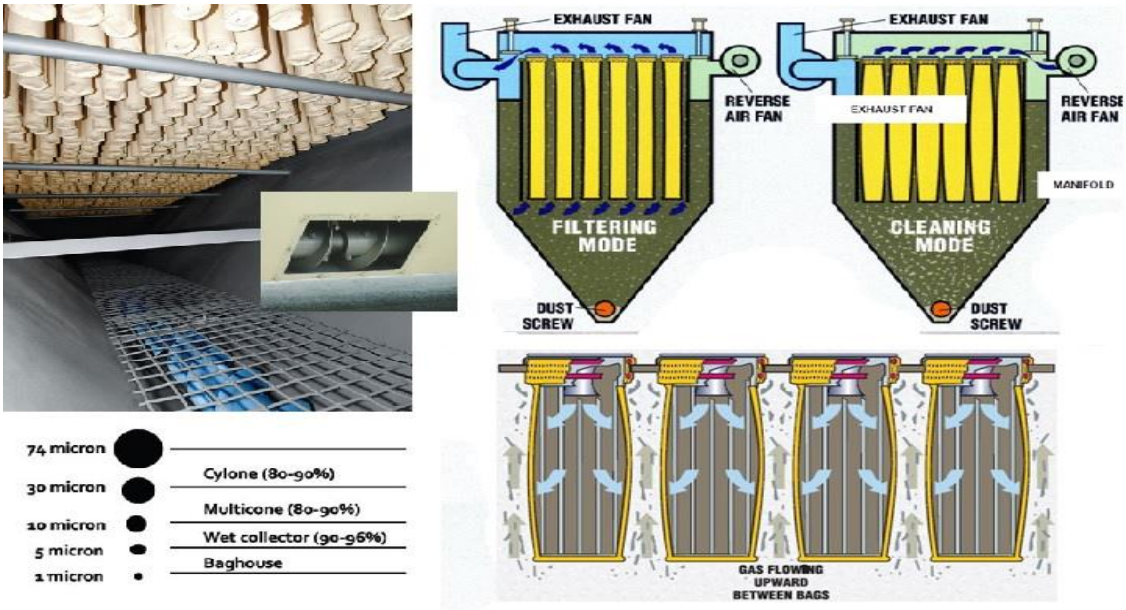


شکل(۵-۱۸): غبارگیر مرطوب

۵-۷-۴-۳- غبارگیر کیسه ای[2]:

پرکاربردترین و با کیفیت ترین شکل غبارگیری نوع پارچه ای خشک است. این غبارگیرمحفظه ایست فلزی که حاوی کیسه های فراوان پارچه ای جهت جداسازی ذرات گرد و غبار و فیلر به همراه هوای گرم توسط هواکش (مستقر در خروجی سایلکون) از درایر مکش و پس از جداسازی فیلر آن به محفظه حاوی کیسه های پارچه ای دمیده می شود. و پس از عملیات پاکسازی، گرد و غبار به قسمت تحتانی فیلتر سقوط ثقلی نموده و به مخزن مربوطه هدایت میشوند.

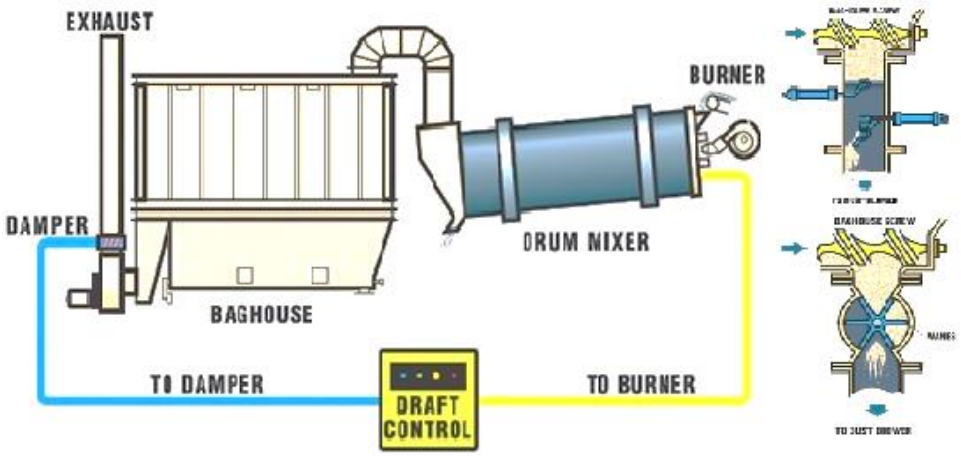
[1] Wet Collector’s
[2] Baghouse



شکل(۵-۱۹): سیستم غبارگیر بگ هوس

هر کدام از ستونهای داخله محفظه اتاق گرد گیر شامل یک غلاف شبکه ای فلزی است که با روکشی از جنس الیاف غیر بافته ای از جنس آرامید، شیشه ، پلی استر و...که از نظر جنس و نحوه تولید پاکتها و.. میبایست مشخصاتی نظیر: خصوصیت فیلتراسیون- مقاومت شیمیایی- مقاومت کششی – دوام - هزینه مناسب – مقاومت حرارتی- غیر قابل اشتعال را دارا باشند ، پوشیده شده است. که میبایست بصورت مرتب پارگی و باز شدگی و ..را کنترل نمود.

غبار و فیلر گرفته شده توسط پاکات به پایین اتاق که مجهز به شافت حلزونی جهت تخلیه فیلر به بیرون است ریخته میشوند و جهت عدم کاهش قدرت مکش و حجم غبارگیری ،سیستم مذکور بصورت دو مرحله ای عمل میکند و در بازه های زمانی متناسب با میزان غبار مکش به دمش تبدیل میشود و بصورت ضربه هوای عکس پاکت ها را پاکسازی میکند. تخلیه تحتانی فیلر ، بدلیل لزوم هوابندی کامل اتاق و فشار هوای داخل اتاق، توسط شیرهای مخصوص صورت میگیرد که در شکل زیر دو نوع آن نشان داده شده است. کنترل هوای خروجی سیستم غبارگیر و کنترل هوای ورودی (دمنده و مکنده) به جهت اطمینان از سوخت مناسب درایر مطلوبیت دارد. ریز دانه و فیلر استخراجی در صورت انطباق با مشخصات فنی با استفاده از بالابر فیلر[1] به مخزن فیلر جهت استفاده درتولید آسفالت منتقل میشود و درغیر اینصورت به خارج کارخانه منتقل میشود و از فیلر جایگزین استفاده میشود.



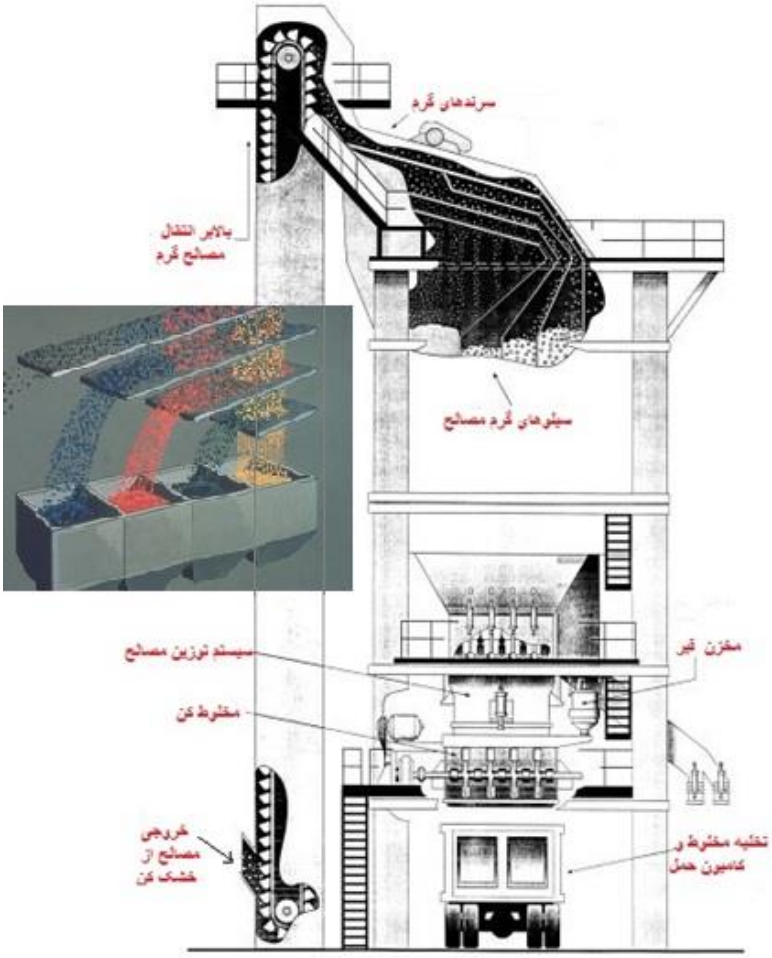
شکل(۵-۲۰): مکانیزم کنترل هوای مشعل و مکنده و دریچه های مخصوص تخلیه فیلر

[1] filer elevator (Bucket Elevator)

۵-۷-۵- بالابر گرم[1]:

نوعی بالابر زنجیری که مخازن کوچک به نام قاشقک بر آن سوار و در محفظه ای فلزی حرکت رو به بالا دارد.

سنگدانه های داغ عاری از گرد و غبار از شوتینگ (خروجی) انتهای درایر داخل قاشقکهای الواتور ریخته و در طی حرکت، سنگدانه ها به بالای برج کارخانه منتقل و سپس به صورت ثقلی روی سرندها تخلیه می شوند. قبل از الواتور گرم دریچه و مجرای نمونه گیری از خروجی خشک کن و دماسنج و..تعبیه میشود.



شکل (۵-۲۱): برشی از بخش برج کارخانه آسفالت منقطع و سرندهای گرم

۵-۷-۶- سرندهای گرم[2]:

سرندهای گرم شامل توریهای مشبک فلزی ضد سایش، شوتینگ و سیستم ویبراسیون می باشد. توریهای مشبک فلزی ضد سایش بر اساس اندازه منافذ عبور، طبق بندی و با فاصله مشخص به صورت موازی بر روی سرند نصب شده اند به طوریکه توری با منافذ بزرگ در قسمت فوقانی و بقیه به ترتیب اندازه به پایین چیدمان شده است. یادآوری می گردد که اندازه و ابعاد سرند به ظرفیت کارخانه و اندازه منافذ توریها به طرح اختلاط آسفالت بستگی دارد.

هنگام فعالیت کارخانه آسفالت، سیستم ویبره توریها را به لرزش درآورده و عمل تفکیک و هدایت سنگدانها به مخازن مربوطه انجام می شود و در صورت وجود سنگدانه مازاد یا درشت، از شوتهای انتهای توری ها به خارج سیستم منتقل می گردد. برغم کنترل بزرگترین سایز در فرآیند سنگ شکن ها سرند اول سبب خروج سنگدانه های اور سایز ها میگردد.

[1] Hot Aggrgate elevator
[2] Hot Aggregate Screening(screen desk)

مساحت، ویبره، شیب و.. سرندهای گرم میبایست منجر به تفکیک مناسب مصالح و عدم وجود مصالح کوچکتر از سایز الک در سیلوهای گرم((carryover) smaller size) مخازن گرم گردد که همگی قابل محاسبه و یا کنترل است.انتخاب ابعادی سرندها میبایست متناسب با دانه بندی طرح آسفالت و حجم سیلوهای گرم و دانه بندی تولیدی سنگ شکن و.. بگونه ای انتخاب گردد که حداقل ناهمگنی تغذیه و تخلیه در سیلوها ایجاد گردد.

۵-۷-۷- سیلوهای گرم[1]:

مخازنی که هر کدام زیر توری خاص قرار گرفته به طوریکه پس از جداسازی، سنگدانه های داغ به داخل آنها هدایت می شوند و در انتهای بین ها نیز دریچه تخلیه تعبیه شده که پس از فرمان به جک ها (هیدرولیکی یا پنوماتیکی) باز و سنگدانه ها به مقدار معین بر روی باسکول هدایت و با فرمان بعدی بسته می شود. معمولاً در هر کارخانه آسفالت چهار بین گرم با ظرفیت مناسب وجود دارد. سیلوها میبایست بدقت تفکیک شده و دارای آیتم هایی نظیر: دریچه تخلیه اتوماتیک، سنجش درجه حرارت ، دریچه بازدید و نمونه گیری ، دریچه یا مجرای تخلیه سرریز، عایق پشم سنگ، سیستم هشدار کاهش حجم مصالح سیلو، جهت حفظ و کنترل کیفیت باشند.

شکل(۵-۲۳): سیلوهای گرم و سیستم ساده هشدار تخلیه

اپراتور کارخانه میبایست با کنترل مداوم سرریز احتمالی و یا کمبود مصالح غیر همسان کالیبره نماید. باز شدگی چشمه های سرندها نیز در صورتی که در روند تولید مقدار آن تغییر کند میبایست اصلاح گردد. **سیلوهای گرم و قبل از آن سرندهای گرم معمولا بگونه ای در نظر گرفته میشوند که بشرح ذیل مصالح سنگی در دسترس جهت تولید قرار گیرد:**

دانه درشت: سیلوی گرم شماره ۱، دانه بندی از ۱۲ تا ۲۵ میلیمتر یا درشت تر

دانه متوسط: سیلوی گرم شماره ۲، دانه بندی از ٦ تا ۱۲ میلیمتر

ریز دانه ۱ : سیلوی گرم شماره ۳، دانه بندی از ۳ تا ٦ میلیمتر

ریز دانه ۲ : سیلوی گرم شماره ٤، دانه بندی از صفر تا ۳ میلیمتر

و یا انتخاب سرندها و حجم سیلوهای گرم (غیر از سیلوی فیلر) بدین صورت انجام میگردد که که سیلوی۱حدود ٤۰ تا ۵۰ درصد ،سیلوی ۲حدود ۲۵ تا ۳۰ و سیلوی ۳ ،۱۵ تا ۲۰ وسیلوی ٤ حدود ۱۰ درصد از مصالح را تحویل بگیرد. چنانچه تعداد سیلوهای گرم کارخانه بیش از ٤ سیلو باشد، حذف آنها مجاز نیست.همانگونه که بیان شد برای فیلر باید سیلوی جداگانه تهیه شود.. هر یک از مخازن گرم کارخانه آسفالت باید دارای حرارت سنج باشد تا بتوان درجه حرارت سنگدانه‌ها را کنترل نمود. دسترسی به مصالح گرم کارخانه نیز بایستی‌امکان پذیر باشد ، بطوریکه بتوان به سهولت نمونه‌برداری کرد. دستگاه توزین باید از نوع دیجیتال و یا عقربه ای و بدون فنر بوده و حساسیت آن حداکثر تا نیم درصد بیشترین باری که توزین می کند، باشد. کارخانه آسفالت باید مجهز به دماسنج های مختلف برای تعیین و بررسی درجه حرارت مخلوط آسفالتی و قیر و سنگدانه ها باشد.

[1] Hot Bins

نمونه گیری اصلی جهت ارسال به آزمایشگاه جهت تعیین طرح اختلاط از محل سیلوهای گرم انجام میگردد. کـه آزمایشـگاه موظف است نتـایج طـرح اختلاط را به شرح زیر به کارفرما یا دستگاه نظارت ارائه نماید:

الف- منحنی دانه بندی هر یک از مصالح سنگی درشت، متوسط و ریز و فیلر به صورت جداگانه

ب- نتایج آزمایشات مصالح سنگی به شرح جدول های و قیر مطابق جدول مربوط در فصل‌پنجم

پ- درصد وزنی هر یک از سنگدانه های درشت، متوسط، ریز و فیلر مصرفی در طـرح اخـتلاط و مقایسـه دانـه بنـدی حاصـل بـا دانه بندی کارگاهی پیشنهادی پیمانکار

ت- مناسب ترین درصد قیر نسبت به کل مخلوط

ث- درصد فضای خالی آسفالت کوبیده شده

ج- درصد فضای خالی سنگدانه ها (VMA)

چ- درصد فضای خالی سنگدانه هایی که با قیر پر می شود (VFB)

ح- استحکام مارشال

خ- روانی مارشال

د- میانگین وزن مخصوص حقیقی مخلوط مصالح سنگی

ذ- درصد جذب قیر مصالح سنگی

ر- سایر خصوصیات مخلوط آسفالتی طرح با قیر بهینه بشرح بندهای برحسب مورد

کنترل مداوم دریچه های تخلیه سیلوهای گرم به سبب نشتی مصالح الزام دارد.

۵-۷-۸- سیستم توزین[1]:

مجموعه ای از مخازن، لودسل (اندازه گیر وزن)،دریچه تخلیه که توسط جکهای پنوماتیکی بز و بسته می گردنـد.در کارخانـه آسفالت معمولاً از سه باسکول مجزا جهت توزین قیر، فیلر و مصالح استفاده می شود و بر اساس طرح اختلاط، توزین مصالح انجام و سپس به داخل میکسر تخلیه می گردد. سیستم توزین که در بالای مخلوط کن بصورت تفکیکی مصالح هر بین را بر اساس طرح اختلاط توزین میکند به دو صورت مکانیکی و دیجیتالی(لودسل) و سه حالت عملکردی تمام اتوماتیک و نیمه اتوماتیک و دستی است. سیستم توزین میبایست بصورت مداوم با وزنه های استاندارد صحت سنجی و کالیبره گردد. و کلیه توزین ها میبایسـت در حدود رواداری مجاز نسبت به طرح اختلاط اعلامی آزمایشگاه، مطابق با جدول (۵- ۱) صورت پذیرد.

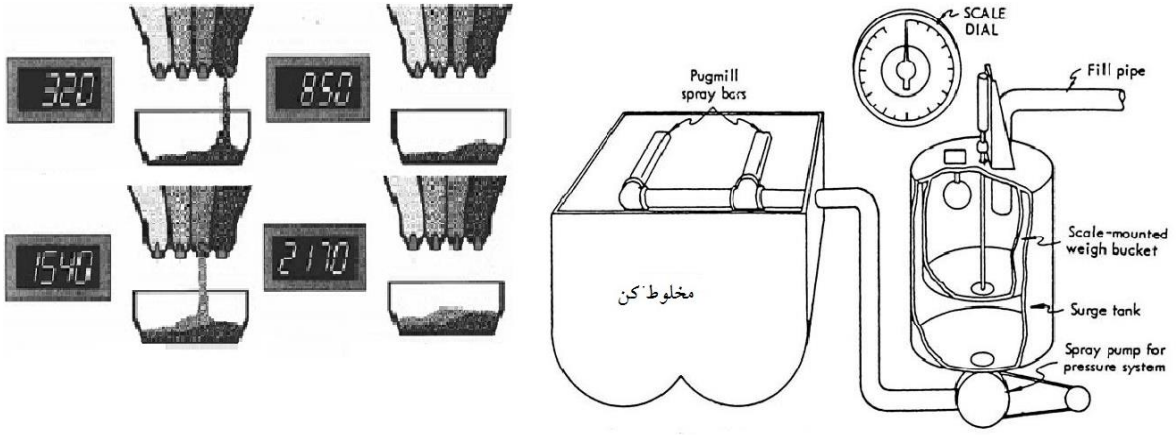
جدول(۵- ۱): حدود رواداری های مجاز در آیین نامه ایران

اندازه الک ها و قیر	درصد رواداری
:الک ها	
میلیمتر ۱۲/۵(۱/۲اینچ)و بزرگتر	± ۸
میلیمتر ۹/۵(۳/۸اینچ) ٤.۷۵ میلیمتر (شماره٤)	± ۷
۲/۳۶ میلیمتر (شماره ۸) و ۱/۱۸ میلیمتر(شماره ۱۶)	± ۶
۰/۶ میلیمتر شماره ۳۰) و ۰/۳ میلیمتر (شماره ۵۰)	± ۵
۰/۱۵ میلیمتر (شماره ۱۰۰)	± ۴
۰/۰۷۵ میلیمتر (شماره ۲۰۰)	± ۳
رواداری قیر نسبت به قیر بهینه: اساس قیری آستر رویه	± ۰/۵
اساس قیری	
آستر	± ۰/۴
رویه	± ۰/۳

[1] Weigh Hopper

معمولا مصالح سنگی در محفظهٔ اولیه مجهز به سیستم توزین و دریچهٔ تخلیه تحتانی یک به یک متناسب با وزن مورد نیاز (درصد طرح اختلاط هر بین و حجم هر بچ کارخانه) ریخته شده و بصورت تجمیعی و ترجیحا اتوماتیک وزن و به یکباره در مخلوط کن وارد میشوند.(شکل۵-۲٤)

سیستم توزین قیر یکی از مهمترین بخشهای کنترلی کارخانه است که عموما در دونوع توزین وزنی و سیستم حجمی بر اساس حجم پمپاژ قیر. در مکانیزم حجمی بر اساس وزن مخصوص قیر پمپاژ قیر مذاب توسط نازل به مخلوط کن انجام میشود. در عین سهولت و سرعت در اندازه گیری حجمی ،بجز لزوم کالیبراسیون و کنترل های لازم ،توجه به ایجاد خطای اندازه گیری حجمی در رسیدن به درصد قیر طرح اختلاط نظیر : تغییرات درجه حرارت قیر که منجر به تغییر حجم قیر میشود، ایجاد کف قیر یا حباب ناشی از ورود آب و یا هوا و... نیز از اهمیت خاص برخوردار است .در برخی از کارخانه ها قبل از پمپاژ ، دما بصورت پیوسته اندازه گیری و تا رساندن دما به درجه مبنا بصورت خودکار دما تغییر میابد. ثبت دمای قیر جهت بازرسی های آتی و.. بصورت گرافی پیوسته در طول یک پروژه ثبت میگردد. در انتهای کار تولید روزانه تخلیه کامل و شستشوی سیستم انتقال و توزین و نازلها و.. امری مهم است. کالیبراسیون و اصلاح نشت قیر نیز میبایست مورد توجه قرار گیرد.

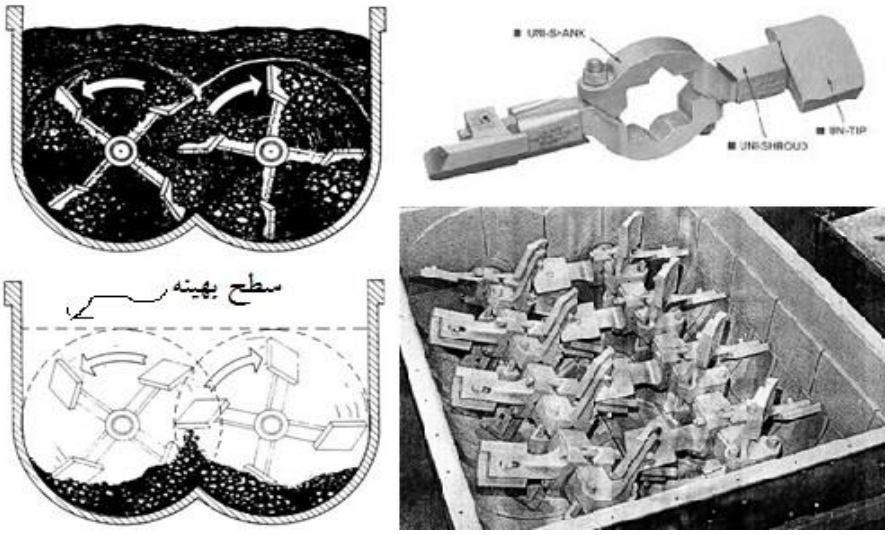


شکل(۵-۲۲): سیستم توزین غیر حجمی قیر و مصالح سنگی

۵-۷-۹- مخلوط کن[1]:

مخلوط کن (میکسر یا پاگمیل) از یک مخزن از جنس چدن ضد سایش و به حجم متناسب با ظرفیت تولیدی کارخانه ، دریچه تخلیه قابل کنترل ، دو محور چرخان خلاف همدیگر که تعدادی بازو و پنجه از جنس فولاد مقاوم و قابل تعویض ،جهت میکس و تولید آسفالت بر روی آنها نصب شده ، تشکیل گردیده است . حجم مخزن مخلوط کن و آیتم زمان اختلاط تعیین کننده ظرفیت اسمی کارخانه است.زمان اختلاط کمترین زمان ممکن جهت پوشش کامل مصالح سنگی با قیر ویکنواختی کامل مخلوط است (پوشش مصالح با افزایش سایز و درصد درشت دانه زمانبر تر خواهد بود).

[1] Pugmill



شکل(۵-۲۵): مخلوط کن و حجم مناسب اختلاط

مصالح ورودی به مخلوط کن (سنگدانه، فیلر و قیر) توزین شده برابر طرح آسفالتی ، به مدت ۲۵ الی ۳۰ ثانیه (متناسب با نوع اسفالت تولیدی و جنس مصالح و قیر به سبب پوشش کامل مصالح و یکنواختی محصول) توسط بازو و پنجه های نصب شده بر روی شافت های گردان میکسر که خلاف جهت همدیگرمی چرخند کاملا" مخلوط شده و آسفالتی همگن و یکنواخت تولید می گردد و سپس با باز شدن دریچه زیر میکسر توسط جکهای پنوماتیکی ، آسفالت تولیدی به داخل سیلوی ذخیره آسفالت تخلیه می گردد . حجم مصالح سنگی و قیر میبایست بگونه ای تنظیم و بصورت چشمی اصلاح گردد ،که قاشقکها مماس با سطح مخلوط حرکت کنند و نه کاملا مدفون و نه کاملا بیرون زده از مخلوط در زمان اختلاط قابل مشاهده باشند. افزایش و یا کاهش میزان مخلوط در مقایسه با سطح ایده ال در مخلوط کن سبب عدم اختلال مناسب میگردد.

یکی از عوامل مهم در تولید آسفالت همگن و یکنواخت سالم بودن بازوها و پنجه های منصوبه در میکسر می باشد. با توجه به در معرض سایش بودن بازو و پنجه ها، در صورت وارد آمدن خسارت و فرسایش بیش از حد بازو و پنجه ها، عمل اختلاط آسفالت تولیدی به خوبی انجام نپذیرفته و آسفالت از همگنی و یکنواختی خارج می گردد. لذا لازم است به صورت مرتب در پایان کار روزانه نسبت به بازدید وضعیت قطعات داخلی میکسر به خصوص بازو و پنجه ها اقدام گردد. همچنین خشت های نصب شده در جدار داخلی میکسر که از بدنه آن محافظت می نماید باید به صورت مرتب و دوره ایی بازدید گردد و در صورت وارد آمدن خسارت نسبت به تعویض آنها اقدام گردد.معمولا در زمانبندی اختلاط و تولید آسفالت بازه های زیر را خواهیم داشت:

مصالح سنگی و فیلر به داخل مخلوط کن ریخته شده و بمدت ۲ تا ۵ ثانیه بدون افزودن قیر مخلوط کن عمل میکند(زمان اختلاط خشک) و پس از آن اسپری قیر مذاب به درون مخلوط کن در حال کار آغاز میگردد معمولا حدود۵ تا ۱۰ ثانیه نیز همزمان با اختلاط، قیر به مخلوط کن اضافه میشود. کل زمان اختلاط تر (از آغاز افزودن قیر تا باز شدن دریچه تخلیه)نیز معمولا بین ۲۷ تا ۳۵ ثانیه است. و تقریبا ۵ تا ۷ ثانیه نیز باز و بسته شدن دریچه تخلیه و خروج آسفالت از مخلوط کن زمان نیاز دارد . همزمان با عمل همزدن معمولا کار توزین مصالح سنگی باکت بعدی انجام میپذیرد و عملا بگونه ای کارخانه تنظیم میگردد که به محض تخلیه مخلوط ساخته شده و بسته شدن دریچه ها مصالح جدید تخلیه گردد.

این زمانها و تناژ مخلوط کن ظرفیت اسمی کارخانه را جهت این آسفالت تعیین میکند. عواملی چون فرسودگی قاشقکهای همزن، عملکرد نامناسب جک های پنوماتیک دریچه ها ، کاهش سرعت دوران قاشقکها، تغذیه ناکافی مصالح در بینهای گرم ، گرفتگی نازلها و یا کاهش توان پمپ قیر، خروج ازحالت اتوماتیک سیستم توزین و تولید توسط اپراتور(البته نه جهت کاهش زمان اختلاط)، عدم حمل و تخلیه مخزن ذخیره آسفالت ، کاهش دمای مصالح وقیر و ... سبب کاهش ظرفیت تولید میگردد. همانگونه که ذکر شد حداقل زمان پوشش کامل مصالح با قیر زمان بهینه اختلاط را مشخص میکند ،که این زمان با روش سعی و

خطا(AASHTO T195) پس از الک آسفالت تولیدی و مشاهده چشمی درشت دانه ها در زیر نور شدید قابل ارزیابی است .افزایش زمان اختلاط نیز ضمن کاهش بهره وری کارخانه کمکی به افزایش کیفیت مخلوط نکرده وبعضا نتیجه عکس خواهد داشت.

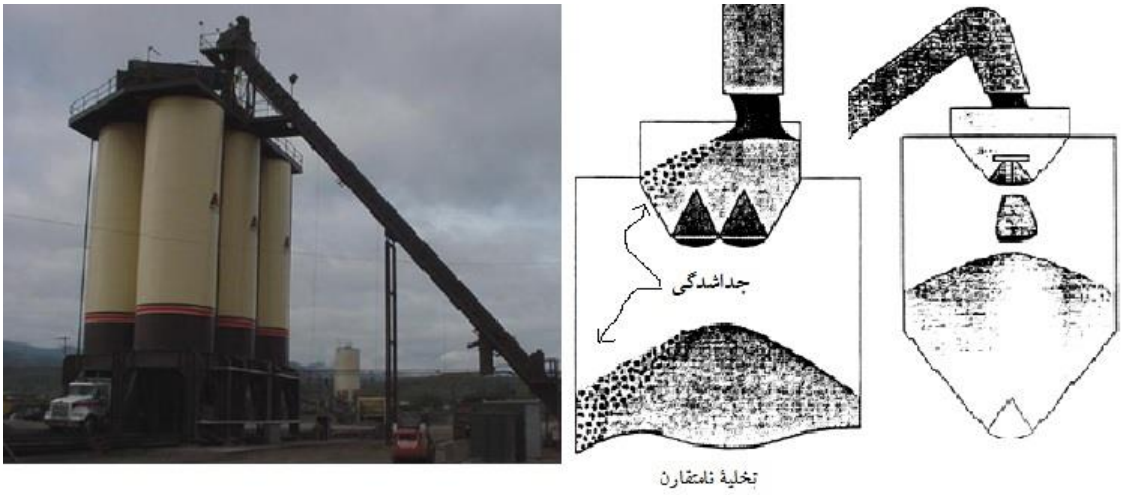
۵-۷-۱۰- مخزن ذخیره آسفالت[1]، بارگیری ،حمل:

تخلیه مخلوط آسفالتی تولیدی به دو صورت در کارخانه انجام میگردد. تخلیه آسفالت تولیدی یا مستقیما در کامیون حمل آسفالت صورت میگیرد و یا بوسیله بالابر مخلوط گرم درون سیلوهای ذخیره آسفالت تخلیه میگردد.

مهمترین چالش در زمان تخلیه آسفالت مشکل جدایی درشت دانه های مخلوط تولیدی است که در نحوه تخلیه به کامیون و سیلو میبایست از روشها و نکات خاص استفاده نمود.اگر تمامی آسفالت به یکباره در مرکز کامیون ریخته شود، آسفالت به شکل یک حجم مخروطی در وسط کامیون در می اید وبه تبع آن، ذرات درشت دانه به سمت دیواره کامیون سرخورده و جداشدگی رخ می دهد. طریقه صحیح بارگیری کامیون، بارگیری در چندین مرحله به صورت کپه که در مقاطع و نقاط مختلف کف کامیون می باشد. برای بار گیری این نوع کامیونها در ابتدا حدود ٤٠ در صد وزن کل آسفالتی که باید در کامیون بار گیری شود، در مرکز نیمه جلویی کامیون ریخته شده، سپس کامیون کمی به جلو حرکت حرکت کرده و ٤٠ در صد آسفالت در مرکز نیمه عقبی کامیون و نزدیک به انتهای کامیون ریخته شده، سپس کامیون به عقب حرکت کرده و ٢٠ درصد باقی مانده آسفالت در مرکز کامیون و بین دو توده عقبی و جلویی ریخته شود.

ریختن آسفالت به صورت کپه به هیچ وجه نباید از جلوی کامیون شروع شده و به ترتیب تا انتهای کامیون ادامه یابد. این گونه بارگیری سبب می شود جداشدگی افزایش یابد

قبل از تخلیه آسفالت جداره‌های کامیون میبایست با آب آهک (یک حجم آهک سه حجم آب) کاملاً تمیز و آغشته شود و از بکارگیری هر نوع حلال نفتی جهت آغشته نمودن و تمیز کردن تمامی جداره مرتبط با آسفالت(کامیون، غلطکها، ابزار پخش و..) اجتناب گردد. کامیونهای حمل میبایست دارای پوشش مناسب و جداره های عایق باشند تا از افت دما جلوگیری گردد. افزایش مسافت حمل و ماندگاری در کامیون سبب کاهش دما و ته نشینی و زهکشی قیر مخلوط آسفالتی میگردد.(حداکثر افت دما 10°_{c} و حداکثر زمان ٤٥ دقیقه و حداکثر مسافت حمل ٧٠ کیلومتر است).



شکل(٥-٢٦): سیلوهای ذخیره اسفالت و نحوهٔ صحیح تخلیه به سیلو

بالابر مخلوط (conveying device) پس از باز شدن دریچه های مخلوط کن، آسفالت تولیدی را به سیلوهای مخلوط آسفالت منتقل میکند .مهمترین موضوع عدم جداشدگی در دانه بندی مخلوط و حفظ درجه حرارت است.کارخانه های دارای این سیستم با ظرفیت مناسب امکان تولید خواهند داشت و مشکل حمل و کامیون مکانیزم تولید را مختل نمیکند.توجه به نحوهٔ انتقال

[1] Storage Silos

همگن آسفالت به داخل سیلو ها و عایق بودن سیلوها جهت حفظ حرارت ، هوابند بودن دریچه های تحتانی و دریچه ورود مخلوط به سیلو جهت جلوگیری از جریان هوا داخل مخلوط تولیدی، عدم انتظار بیش از حد مجاز آسفالت جهت زهکش نشدن قیر[1] و... نکاتی است که در سیلوهای ذخیره آسفالتی میبایست مورد توجه قرار گیرد. استفاده از یک باکت واسطه پس از خروج اسفالت از بالابر آسفالت و قبل از ریختن در سیلو به حفظ دانه بندی کمک میکند.

۵-۷-۱۱- اتاق کنترل[2]

مکان و جایگاهیست برای استقرار دستگاهها و ادوات کنترلی کارخانه بطوریکه اپراتور در این مکان بر پروسه تولید آسفالت از ابتدا تا انتها (صفر تا صد) اشراف، نظارت و کنترل داشته باشد و معمولاً از اتاق فلزی چسبیده به کارخانه یا با فاصله اندک تشکیل شده است که کلیه تابلوهای فرمان اعم از الکتریکی و الکترونیکی و ملزومات دیگر کنترلی در آنجا نیز نصب هستند. اپراتور می تواند با استفاده از امکانات موجود و صدور فرمانهای دستی، نیمه اتوماتیک، اتوماتیک و یا هوشمند کارخانه را اداره نماید تا خروجی مطلوب و مورد انتظار (آسفالت همگن و یکنواخت برابر طرح اسفالتی با درجه حرارت مناسب) از کارخانه محقق گردد.

شکل(۵-۲۷): کابین کنترل کارخانه آسفالت

۵-۷-۱۲- فلاسک قیر[3]:

فلاسک قیر وظیفه مهمی در حفظ کیفیت قیر و تنظیم حرارت و نهایتا حفظ کیفیت آسفالت تولیدی ایفا میکند.معمولاً قیر از محل ذخیره (تانک یا استخر)، به صورت ثقلی یا پمپاژ راهی فلاسک شده و توسط روغن داغی که از داخل لوله های مارپیچ می گذرد دمای قیر به حد مطلوب جهت تولید آسفالت می رسد. سپس توسط پمپ کوپله شده به الکتروموتور، قیر داغ شده به سه راهی قابل کنترل بالای برج و در نهایت به مخزن توزین مربوطه جهت مصرف هدایت می شود.

۵-۶-۱۳- مخزن ذخیره خرده آسفالت[4](RAP):

در اغلب کارخانه‌های جدید امکان استفاده از تراشه‌های آسفالت به جهت بازیافت خرده آسفالتها و کمک به مسائل زیست محیطی و کاهش استفاده از معادن و هزینه تمام شده آسفالت وجود دارد. البته کارخانه‌های بازیافت کامل نیز وجو دارد لیکن در

[1] draindown
[2] Control cabin
[3] Bitumen flask
[4] Storage Silo Recycled Asphalt Pavement (RAP)

کارخانه های اسفالت گرم اعم از منقطع و پیوسته و درام امکان جایگزینی بخشی از مصالح جدید و قیر بـا خـرده آسـفالت فـراهم میباشد.

تراشه های آسفالت در کارخانه های منقطع در سه بخش: ابتدای بالابر گرم و بالای سرندهای گرم و مستقیم در مخلوط کن به مراحل تولید اضافه میشوند با توجه به درصد پایین استفاده از تراشه های آسفالت امکان افزودن سرد تراشه ها به مراحـل تولیـد وجود دارد و میتوان از ورود تراشه ها به خشک کن و حرارت آنها اجتناب گردد و صرفا در تماس با مصـالح گـرم دمـای آن بـالا میرود (بطور مشابه جهت فیلر نیز این امکان وجود دارد) لیکن متناسب با درصد افزودن مصالح سرد میبایست دمای پخـت مصـالح جدید را افزایش داد. (جدول پیشنهادی(۵-۲)) . مصالح خرده آسفالتی میبایست تمیز و عاری از غبار و بدون رطوبـت باشـند و اطمینان حاصل گردد که در طول تولید مشخصات و دانه بندی آن ثابت مانده و تغییری در آن ایجـاد نگردد..ضـمنا افـزودن تراشـه آسفالتی میبایست از ابتدا به همراه نمونه گیری توسط آز مایشگاه در طرح اختلاط آسفالت دیده شده باشد.

۵-۸- بازرسی و کنترل تولید:

کلیه اجزاء و عناصر اصلی و فرعی کارخانه آسفالت ، حداقل یک هفته قبل ازشروع عملیات اسفالتی و سپس روزانه در حـین تولید باید مستمر توسط دستگاه نظارت مورد بازرسی و کنترل دقیق قرار گیرد تا هر گونه نقص ، کمبود و یا عدم انطبـاق عملکـرد هر یک از آنها با مشخصات M156 اشتو و شرایط مشروحه در این فصل ، اصلاح شود . نحوه بازرسی باید به روش T172 آشتو به عمل آمده و اجزاء و عوامل زیر دقیقاً بازبینی و مورد تصویب دستگاه نظارت قرار گیرد :

الف: سیلوهای سرد و تسمه نقاله های رابط

ب: واحد خشک کننده و سیستم انتقال مصالح گرم به سرندها

پ: سرندها

ت: سیلوهای گرم و لوله های سرریز

ث: سیلوی فیلر سیستم انتقال فیلر

ج: حرارت سنجهای قیر و مصالح سنگی

چ: مخازن ذخیره و تغذیه قیر و لوله های رابط ، و روش گرم کردن قیر

ح: قپانهای مصالح سنگی ، فیلر و قیر

خ: محفظه توزین

د: واحد مخلوط کننده و مدت زمان اختلاط

ذ: اطاق فرمان مرکزی کارخانه و تجیزات کنترل کننده آن .

جدول(۵-۲): نمونه ای از پیشنهاد دمای مصالح جدید جهت افزودن درصدی تراشه سرد

درصد رطوبت مصالح خرده آسفالتی %	°F دمای مدنظر جهت مخلوط نهایی بازیافتی			
	220°F	240°F	260°F	280°F
A. نسبت ۱۰ درصد تراشه و ۹۰ درصد مصالح جدید				
0	250	280	305	325
1	260	290	310	335
2	270	295	315	340
3	280	300	325	345
4	285	305	330	350
5	290	315	335	360
.				
.				
.				
E. نسبت ۵۰ درصد تراشه و ۵۰ درصد مصالح جدید				
0	410	455	495	540
1	465	515	550	590
2	520	580	605	650
3	575	620	660	705
4	640	680	715	760
5	690	735	775	820

جهت ارزیابی و کنترل عملکردی مجموعه تولید شن و ماسه و کارخانه آسفالت فرمهای بازبینی به شرح ذیل تهیه که میتوانـد مورد استفاده مهندس ناظر یا مشاور پروژه و یا بازرس فنی جهت بازدید و ارزیابی قرار می گیرد.

جدول (۵-۳): مشخصات کلی و تاسیسات تولید مصالح

موقعیت استقرار تاسیسات تولید شن و ماسه نسبت به تاسیسات کارخانه آسفالت	مناسب ☐	نامناسب ☐
موقعیت استقرار سیلوی خام مصالح نسبت به تاسیسات تولید مصالح	مناسب ☐	نامناسب ☐
موقعیت استقرار تاسیسات تولید مصالح از جهش وزش بادهای منطقه ای	مناسب ☐	نامناسب ☐
وضعیت دپوی مصالح سنگی با توجه به جهت وزش باد ,رعایت آلودگی محیط چگونه است؟	مناسب ☐	نامناسب ☐
رعایت دانه بندی و دپوی مصالح تولیدی به صورت تفکیکی برابر مشخصات در سیستم تولید سنگ شکن	مناسب ☐	نامناسب ☐
آبا تدابیری جهت جلوگیری از مخلوط شدن مصالح تولیدی و تفکیکی بعمل آمده؟	بلی ☐	خیر ☐
آیا از مصالح تولیدی آزمایشات کنترلی براساس مشخصات انجام می پذیرد؟	بلی ☐	خیر ☐
آیا تسمه نقاله های مصالح سیستم تولید از سلامت و سرعت مناسب برخوردار می باشند؟	بلی ☐	خیر ☐
آیا بکارگیری تسمه نقاله های سیستم تولیدی مصالح براساس مشخصات انجام می شود؟	بلی ☐	خیر ☐

جدول (۵-٤): مشخصات سیلوهای سرد کارخانه آسفالت

وضعیت سیلوهای سرد مصالح از نظر جلوگیری از مخلوط شدن مصالح دانه بندی شده با یکدیگر	مناسب ☐	نامناسب ☐
سیستم خروج مصالح از سیلوها	ویبره ایی ☐	تسمه نقاله دور متغیر ☐
وضعیت کنترل مصالح خروجی از سیلوها	قابل کنترل از داخل اطاق فرمان ☐	دستی توسط کارگر با کم و زیاد کردن دریچه خروجی ☐
سیستم کنترل مصالح خروجی سیلوهای سرد	سالم ☐	ناسالم ☐

جدول (۵-۵): مشخصات و تجهیزات تولید مصالح گرم (سرند و بین ها)

ظرفیت سرند ویبره با حداکثر توان مصالح خارج شده از واحد خشک کن مطابقت دارد	آری ☐		خیر ☐	
انتخاب توری سرندهای ویبره	بر اساس مشخصات نصب شده		با سرندهای سنگ شکن همخوانی دارد	دریچه سرریز تعبیه شده است
	آری ☐ خیر ☐		آری ☐ خیر ☐	آری ☐ خیر ☐
بازرسی و کنترل سرندهای ویبره	روزانه	هفتگی	ماهانه	موردی
	آری ☐ خیر ☐	آری ☐ خیر ☐	آری ☐ خیر ☐	آری ☐ خیر ☐
وضعیت مصالح ورودی به سرندهای ویبره	هماهنگی با ظرفیت کارخانه		تفکیک مصالح براساس مشخصات	میزان حرارت مورد لزوم
	دارد ☐ ندارد ☐		مناسب ☐ نامناسب ☐	مناسب ☐ نامناسب ☐
مشخصات بین های گرم	تعداد بین ها	حجم بین ها	ابعاد مصالح تفکیکی	نحوه آرایش
بازرسی بینهای گرم توضیح داده شود				
نمونه برداری و کنترل بینهای گرم	روزانه	هفتگی	تطابق با فرمول کارگاهی	درصد عدم تطابق
	آری☐ خیر ☐	آری☐ خیر ☐	آری ☐ خیر ☐	
توضیحات				

جدول (۵-٦): مشخصات مشعل درایر جهت تولید مصالح گرم

مشخصات و نوع مشعل درایر	توربوجت ☐	معمولی ☐
نوع سوخت مشعل	نفت گاز☐ نفت کوره ☐	گاز ☐
در موقع روشن بودن مشعل آیا دودی از دودکش کارخانه خارج می شود؟	آری☐ خیر☐ زیاد ☐ کم ☐	
قابلیت کنترل سیستم مشعل	قابل کنترل در اطاق فرمان با استفاده از سروموتور ☐ قابل تغییر به صورت دستی ☐	
چگونگی کنترل حرارت مصالح خروجی از درایر	دماسنج دارد ☐	دماسنج ندارد ☐
چگونگی کنترل حرارت مصالح سنگی بین های گرم	دماسنج دارد ☐	دماسنج ندارد ☐
آیا جهت جلوگیری از آلودگی مصالح در اثر سوخت ناقص اقدامی شده است؟	آری ☐ خیر ☐	(توضیح داده شود)
آیا فشار هوا و سوخت مشعل تنظیم می باشد	آری ☐	خیر ☐
آیا مکش اگزوزفن با توجه به وضعیت مصالح مناسب است؟	آری ☐	خیر ☐
آیا قدرت حرارتی مشعل متناسب با ظرفیت تولیدی کارخانه آسفالت است؟	آری ☐	خیر ☐

جدول (۵-۷): مشخصات تاسیسات سیستم فیلرو فیلتر کارخانه آسفالت

مشخصات سیستم غبارگیر	سیکلون		مولتی سیکلون		فیلتر پارچه ای
آیا فیلر موجود در مصالح کافی می باشد؟	آری ☐ خیر ☐ در صورت کمبود فیلر مورد نیاز چه اقدامی شده است؟				
آیا مخزن فیلر جداگانه وجود دارد؟	آری ☐ خیر ☐				
مشخصات فیلر مصرفی	دانه بندی	Pl	مواد مضره	نوع فیلر	سایر توضیحات
توضیحات در مورد فیلر مصرفی					
توزین فیلر	ترازوی مکانیکی	لودسل	تغذیه پیوسته همراه با مصالح		تایمر برقی
نوع فیلتر نصب شده در کارخانه جهت جلوگیری از آلودگی زیست محیطی	فیلتر آبی ☐		فیلتر خشک (کیسه ایی) ☐		
وضعیت عملکردی فیلتر از نظر کنترل آلودگی زیست محیطی	مناسب ☐		نامناسب ☐		

جدول(۵-۸): مشخصات و تجهیزات مخلوط کن (میکسر)

مشخصات مخلوط کن	هماهنگی با ظرفیت کارخانه	ترتیب ورود مصالح	وضعیت نصب قاشقک (پنجره و بازوها)	وضعیت استقرار قطعات
	دارد ☐ ندارد ☐	رعایت میشود ☐ رعایت نمیشود ☐	مناسب ☐ نامناسب ☐	مناسب ☐ نامناسب ☐

وضعیت ورودی مصالح	مطابق با فرمول کارگاهی	توزین مصالح	استمرار ورود مصالح	زمان اختلاط	درجه حرارت
	دارد ☐ ندارد ☐	تفکیکی ☐ تجمعی ☐	متصل ☐ منفصل ☐		

وضعیت ورودی مصالح	دمای ورود قیر و مصالح به مخلوط کن		هماهنگی مصالح و قیر به مخلوط کن	
	مناسب ☐	نامناسب ☐	مناسب ☐	نامناسب ☐

آیا زمان اختلاط مصالح و قیر و فیلر جداگانه محاسبه شده است:
آری ☐ خیر ☐

آیا سیلوی ذخیره آسفالت تعبیه شده است: آری ☐ خیر ☐

آیا در زمان تخلیه، آسفالت از کیفیت مناسب و یکنواختی برخوردار است؟
آری ☐ خیر ☐

آیا نتایج آزمایشات نمونه های کنترلی مخلوط آسفالتی با مشخصات از پیش تعیین شده مطابقت دارد؟
آری ☐ خیر ☐

جدول(۵-۹): مشخصات تاسیسات گرمایش قیر و اطاق فرمان

موقعیت استقرار مخازن قیر خالص	مناسب ☐ نامناسب ☐
مکانیسم کنترل درجه حرارت قیر	دماسنج دارد ☐ محل نصب: دماسنج ندارد ☐
مکانیسم توزین قیر	حجمی ☐ وزنی ☐
نحوه نمایش میزان قیر مصرفی در اطاق فرمان	به صورت دیجیتالی ☐به صورت عقربه ایی ☐
اطاق کنترل و محل استقرار آن	با فاصله از کارخانه ☐ چسبیده به کارخانه ☐
با توجه به موقعیت اطاق فرمان نسبت به کارخانه، اپراتور تسلط کافی به قسمتهای تولید و تخلیه کارخانه دارد	آری ☐ خیر ☐
سیستم اطاق کنترل	دستی ☐ اتوماتیک ☐ سیستم های الکترونیک: سالم ☐ ناسالم ☐
نوع و مشخصات اطاق کنترل	ساخت خارج ☐ مونتاژ داخل با امکانات ☐ طراحی و ساخت داخل☐
میزان استفاده اپراتور از سیستم اطاق کنترل	مطلوب ☐ متوسط ☐ کم☐
محل استقرار اطاق فرمان با توجه به وضعیت بادهای منطقه ای	مناسب ☐ نامناسب ☐

جدول(۵-۱۰): جدول مشخصات تاسیسات گرمایش قیر

		مخازن زمینی استخر قیر خالص	مخازن فلزی قیر خالص	فلاسک قیر خالص	مخازن قیر محلول
حجم مخازن بر حسب تن					
سیستم گرمایش	شعله مستقیم				
	حرارت غیرمستقیم روغن داغ				
دماسنج	دارد				
	ندارد				
نحوه انتقال قیر به مخزن	ثقلی				
	پمپاژ				
لوله های انتقال قیر	عایق بندی شده				
	دو جداره با روغن				
	هیچکدام				
نحوه برداشت قیر از مخازن	ثقلی				
	پمپاژ				
آیا امکان ثقلی نمودن برداشت قیر از مخازن وجود دارد	بلی				
	خیر				
نوع ساخت مخازن زمینی	خاکی				
	بتنی				
	مصالح بنایی سنگی				
پوشش مخازن زمینی	دارد				
	ندارد				

جدول (۵-۱۱) در یک نگاه کلی اشکالات و ایرادات کمی و کیفی حاصله در آسفالت تولیدی را ذکر و دلایلی که امکان دارد مسبب بوجود آمدن این ایراد باشد را جهت سه دسته بندی بر اساس نوع کارخانهA(منقطع و پیوسته) ،B(منقطع) و C(پیوسته) نشان میدهد.

جدول(۵-۱۱): دلایل احتمالی بروز برخی از مشکلات و معایب در فرآیند تولید آسفالت

دلایل ممکن / مشکل یا نقص	رطوبت مصالح بیش از حد بوده است	جدایی نامتعارف در سیلو ها رخ داده است	تنظیم نامناسب دریچه تغذیه سنگدانه ها	تغذیه درایر بیش از حد ظرفیت است	شیب درایر زیاد است	عملکرد درایر نامناسب است	دما بدرستی تنظیم نگردیده است	دمای مصالح بیش از حد بالا رفته است	سرندها فرسوده شده اند	عملکرد سرندها نادرست است	سرریز سیلو ها عمل نمی کنند	سیلو ها نشتی دارند	در سیلو ها جداسازی مصالح اتفاق افتاده است	Carryover در سیلو ها با توجه به ورودی بیش از حد به سرندها	اندازه دانه ها از تنظیم خارج است	روش توزین نامناسب است	تغذیه از مصالح فیلر یکنواخت نمی باشد	عدم کفایت مصالح در سیلو های گرم	توالی توزین نامناسب است	ناکافی بودن قیر	بیش از حد بودن قیر	پخش نامناسب قیر به مصالح	اندازه قیر از تنظیم خارج است	سیستم اندازه گیری میزان قیر از تنظیم خارج است	وجود دانه های کوچکتر وبزرگتر از سایز در هر بچ تولید	زمان مخلوط کردن نادرست است	قاشقک های مخلوط کن فرسوده شدخ اند	نمونه برداری نادرست انجام گرفته	دریچه تغذیه درست عمل نمی کند	تغذیه فیلر و مصالح هماهنگ نمی باشد	جداشدن تا منظم گرد و ریز دانه از بین ها	نامنظم بودن عملکرد کارخانه
آسفالت تولیدی با طرح اختلاط تطابق ندارد			A												A	B				A	A	A	B	C	B	B	A		C			A
دانه بندی با شرایط طرح اختلاط تطابق ندارد		A	A						A	A	B	A	A	B	B	B	A	A							B		A	A	C	A		A
میزان فیلر مخلوط بیش از حد است		A	A						A	A	B	A	A	B	B	B	A	A							B	B			C	A		A
حفظ یکنواختی دمای مخلوط دشوار است	A			A	A	A	A	A																							A	
عدم تطابق وزن کامیون حمل با وزن بچ کارخانه												B			B	B								B								
قیر بیش از حد درمخلوط															B	B					A	A	B	C	B		A		C			
گرد و غبار بیش از حد در مخلوط																			B								B					
مصالح درشت دانه پوشش قیر کافی ندارند	A			A	A	A	A													A		A	B	C	B	B	A		C		A	
عدم یکنواختی مخلوط در کامیون حمل									A	A	B	A	A	B	B	B	A	A	B			A	B	C		B	A	B	C	A	A	
یکطرف بودن مخلوط در کامیون پر																			B			A			B	B	A				A	
مسطح شدن مخلوط در کامیون						A																A	B	C	B				C		A	
سوختن مخلوط			A			A	A	A																							A	
مخلوط بیش از حد قهوه‌ای یا خاکستری(پوشش کامل نیست)	A			A	A	A	A		A	A	B	A		B	A					A			B	C	B				C		A	
غلظت بیش از حد مخلوط (قیر مازاد)									A						A	B	A	A			A	A	B	C	B				C		A	
مخلوط تخلیه شده دود میکند						A	A	A																							A	
از مخلوط تخلیه شده بخارخارج میشود	A			A	A	A	A																								A	
کندی در تخلیه مخلوط را شاهد هستیم						A	A	A						B	A						A									A	A	
	در کارخانه های منقطع(پاکتی) وپیوسته= A								در کارخانه های منقطع (Batch plants) = B												در کارخانه های پیوسته = C											

۵-۹- پخش و تراکم:

پس از زیرسازی و مهیا شدن سطح کار باید مصالح آسفالتی ، پخش و آماده کوبیدن گردد. پخش آسفالت از نظر درجه حرارت محیط، درجه حرارت مخلوط آسفالتی و آمادگی سطح کار، باید با مشخصات فنی لازم منطبق باشد. در شرایط بارانی، روی سطوح آلوده، سطوح یخ زده و دمای محیط کمتر از ۷ درجه سلسیوس، پخش آسفالت به هیچوجه مجاز نمی‌باشد. اصولاً برنامه زمانبندی اجرای عملیات، باید چنان باشد که پخش آسفالت در فصول مناسب سال صورت گیرد. اساساً درجه حرارت سطح کار، نباید از ۲۵ درجه سلسیوس کمتر باشد.

۵-۹-۱- پخش با فینیشر:

دستگاه پخش آسفالت (فینیشر) باید بتواند مخلوط آسفالتی را به صورت یکنواخت در عرض، ضخامت و شیب موردنظر پخش نماید. محفظه و پره‌های دستگاه پخش‌کننده، باید به نحوی باشد که آسفالت را به طور یکنواخت در جلوی صفحه‌های اطوی فینیشر پخش نماید. اطوی فینیشر باید مجهز به وسایل تسطیح باشد که در درجه حرارتهای معین بتواند سطحی همگن و یکنواخت ایجاد نموده و از شیاردار شدن و فتیله شدن آسفالت جلوگیری به عمل آید. این اطو باید به گرم‌کن مجهز باشد که در صورت لزوم از آن استفاده شود. در موارد خاص و برای تنظیم دقیق سطح آسفالت، پیمانکار باید از فینیشرهای تمام اتوماتیک استفاده نماید. دستگاه فینیشر باید مجهز به کوبنده‌های ارتعاشی باشد و بتواند آسفالت را در لایه‌هایی با ضخامتهای مختلف و عرضهای خواسته شده، پخش نماید. در صورتی که آسفالت بیشتر از یک قشر پخش شود، باید اتصالهای طولی و عرضی هر قشر حداقل ۱۵ سانتیمتر از اتصالهای نظیر قشر زیرین فاصله داشته باشد. در صورتی که عرض پخش آسفالت زیاد باشد و اجباراً پخش در چند خط عبور انجام شود، باید حتی‌الامکان پخش خطوط مجاور همزمان صورت گیرد تا ترک طولی ایجاد نشود. باید دقت شود که محل اتصال عرضی سطح آسفالت کاملاً یکسان و یکنواخت بوده و بعد از کوبیده شدن، ناهمواری ایجاد نشود. بدین منظور پیمانکار باید به تعداد کافی کارگر مجرب همراه با دستگاه فینیشر آماده به کار داشته باشد تا شیارها و ناهمواریها و نقایص احتمالی را با تخته ماله و وسایل مناسب و مورد تأیید دیگر برطرف سازند. اندازه‌گیری آسفالت پخش شده و کوبیده شده با میله انجام می‌شود تا در صورت لزوم ضخامت متوسط آسفالت پخش شده، کنترل شود. درجه حرارت پخش مخلوط آسفالتی تابع دمای محیط اجرای کار، نوع و دانه‌بندی مصالح سنگی و نوع قیر مصرفی است.

۵-۹-۲- تراکم:

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 تا یک سازه متراکم و بدون درز تشکیل شود و در مقابل نیروهای برشی حاصل از ترافیک بهتر عمل کنند. 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 و با کاهش ناهمواری سطح، ایمنی ترافیک و راحتی رانندگی بیشتر می‌شود و بار ضربه‌ای ترافیک برروی آسفالت کم می‌گردد .

کوبیدن آسفالت با غلتکهای فولادی سه‌چرخ، غلتکهای لرزشی، غلتکهای لاستیکی و غلتکهای دوچرخ یا سه‌چرخ و غلتکهای مختلط انجام می‌شود. نوع و تعداد غلتکهای موردنظر در هر مورد با توجه به میزان آسفالت پخش شده، مطابق مشخصات فنی و با تایید دستگاه نظارت انجام میپذیرد. به طور کلی تعداد غلتکها باید برای حصول تراکم مورد لزوم کافی بوده و نباید کمتر از دو دستگاه باشد. با توجه به موارد فوق‌الذکر، ضروری است که در تراکم آسفالت بیشتر دقت شود تا نتیجه مطلوب حاصل گردد. اکثر مخلوط‌های آسفالتی چنانچه در دماهایی که غلظت (ویسکوزیته) قیر مناسب باشد پخش و غلتک زنی شوند به خوبی متراکم می‌گردند. غلتک‌زنی باید بلافاصله بعد از پخش مخلوط آسفالتی در درجه حرارت مناسب شروع شود. ولی به منظور تامین کیفیت مطلوب لایه‌های آسفالتی، غلتک‌زنی باید با دقت صورت گرفته و از ایجاد زبری و ناهمواری زیاد در سطح روسازی جلوگیری کند .

بعد 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 ممکن است نواقصی را بوجود آورد:

-چسبیدن مصالح به جدار غلتک (با وجود آب پاشی سطح جدار آن)

-ظهور ترکهای عرضی در پشت جدار 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 ماکزیمم برسد ادامه یابد. غلتک‌زنی نهایی تا زمانی باید ادامه یابد که مخلوط هنوز برای برطرف کردن اثر غلتک (ناهمواری) حالت شکل‌پذیری دارند. موضوع زیر بعنوان یک خط مشی پیشنهاد می شود :

درزهای طولی و لبه‌ها بلافاصله بعد از پخش، غلتک‌زنی شوند. غلتک‌زنی اولیه حدود ٦٠ متر بعد از فینیشر و غلتک‌زنی ثانویه ٦٠ متر و یا کمتر بعد از غلتک‌زنی 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، روسازی را تحکیم می‌دهد که این عمل باعث نشست 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 مفید و با ارزش هستند و چون غلتک‌های ویبره ممکن است در مواردی موج ایجاد نماید لذا استفاده از غلتک‌های لاستیکی در مراحل نهایی غلتک‌زنی می‌تواند نارسایی مذکور را برطرف نماید .

انواع غلتکها به شرح زیر باید مورد استفاده قرار گیرند.

۵-۹-۲-۱- غلتکهای فولادی:

این غلتکها شامل غلتکهای صاف (استاتیک) یا غلتکهای لرزشی می‌باشند. وزن غلتکهای دوچرخ یا سه‌چرخ، باید حداقل ۸ تن و فشار روی هر واحد از عرض چرخ غلتک، حداقل ٤٥ کیلوگرم بر سانتیمتر باشد. روی سطح غلتکها باید گلگیر و آبپاش نصب شود. حرکت غلتکهای صاف باید حتی‌الامکان یکنواخت بوده و سرعت آن، نباید از ۵ کیلومتر در ساعت تجاوز نماید. غلتکهای لرزشی برای کوبیدن آسفالت باید خودرو بوده و از نوع کششی آنها نباید استفاده شود. وزن غلتک لرزشی نباید کمتر از ۷ تن باشد، بار خطی استاتیک این غلتکها، باید بین ۲۵ تا ٤٥ کیلوگرم بر سانتیمتر عرض و میزان ارتعاش آنها ۲۰۰۰-۳۰۰۰ در دقیقه باشد. میزان نوسان غلتکهای ارتعاشی ۰/۸-۰/٤ میلیمتر و سرعت حرکت آنها، حداکثر ۵ کیلومتر در ساعت می‌باشد.

۵-۹-۲-۲- غلتکهای لاستیکی:

این غلتکها باید خودرو بوده و وزن آنها بین ۱۵ تا ۳۰ تن باشد. در این غلتکها باید فضای کافی برای افزایش وزن تعبیه گردد. فشار باد چرخ این غلتکها بین ۵ تا ۸/۵ کیلوگرم بر سانتیمترمربع است. برای اینکه آسفالت به چرخها نچسبد، حتی‌الامکان باید چرخها در تمام مدت کار گرم بماند، در غیر این صورت باید از لوله آبپاش و گلگیرهای پارچه‌ای ضخیم برای تمیز نگه داشتن چرخها استفاده نمود. لاستیک چرخ غلتکها باید سالم و بدون نخزدگی باشد. سرعت غلتک لاستیکی، نباید از ۸ کیلومتر در ساعت تجاوز نماید.

۵-۹-۳ ـ نحوه کوبیدن آسفالت:

تراکم آسفالت باید بلافاصله و همزمان با پخش انجام شود. در این مرحله باید توجه داشت که درجه حرارت پخش چنان باشد که آسفالت، تاب تحمل وزن غلتک یا اثرات ارتعاشی غلتکهای لرزشی را داشته و زیر بار چرخ، فتیله و جابه‌جا نشود و در

سطح آن پس از اتمام غلتک‌زنی، شیارهای طولی و عرضی به وجود نیاید. غلتک‌زنی باید چنان صورت گیرد که هر گذر غلتک در هر مرحله از تراکم، قسمتی از گذر قبلی را بپوشاند تا تراکم یکنواخت و همگن در تمام سطح کار تأمین شود. تغییر مسیر غلتکها یا جلو عقب رفتن آنها با دقت و آهستگی صورت گیرد. توصیه می‌شود که هر لایه از روسازی آسفالتی بگونه‌ای متراکم شود کـه وزن مخصوص آن تا میزان ۹۷ درصد وزن مخصوص آسفالت بدست آمده در آزمایش مارشال باشد که این رقم تراکم تابع نوع آسفالت و نحوه بهره برداری از آن می‌باشد بطوری که در فرودگاهها درصد تراکم بیشتر بوده و برعکس در جاده‌ها با ترافیک سبک می‌تواند درصد تراکم کمتر از آن نیز باشد .مراحل مختلف کوبیدن به شرح زیر است.

مرحله اول ـ این مرحله پس از پخش مخلوط آسفالتی، شروع و توسط غلتکهای سه چرخ، دوچرخ و یا لرزشی انجام می‌شود. چنانچه غلتکهای فوق‌الذکر با یکدیگر کار کنند، درست در پشت سر فینیشر، باید غلتک سه‌چرخ عمل نماید. سرعت غلتک در این مرحله ۳ کیلومتر در ساعت و وزن آن ۸ الی ۱۲ تن است. سرعت غلتک لرزشی ٤-۵ کیلومتر در ساعت و وزن آنها ۷ تا ۱۲ تن می‌باشد. فاصله غلتکها با فینیشر، نباید از ۵۰ متر تجاوز نماید. درجه حرارت مخلوط آسفالت باید چنان باشد که مخلوط آسفالت به چرخ نچسبد و در سطح آن ترکهای طولی و عرضی ایجاد نشود. حداقل درجه حرارت برای مخلوطهای آسفالتی با دانه‌بندی پیوسته، ۱۲۰ و برای مخلوطهای با دانه‌بندی گسسته ۸۰ درجه سلسیوس، می‌باشد.

مرحله دوم ـ در این مرحله مخلوط آسفالتی هنوز حالت خمیری داشته و عمل تراکم بلافاصله بعد از مرحله اول صورت خواهد گرفت و غلتک‌زنی تا حصول تراکم موردنظر ادامه خواهد یافت. درجه حرارت مخلوط آسفالتی با دانه‌بندی پیوسته در این مرحله، ۹۰ درجه سلسیوس است. غلتکهای به کار گرفته شده در این مرحله، باید از نوع چرخ لاستیکی یا لرزشی انتخاب شوند تا بتوان به تراکم یکنواخت‌تر و همگن‌تر در فاصله زمانی کوتاهتر دست یافت. سرعت غلتکهای لاستیکی در این مرحله، ۵ تا ۸ و سرعت غلتکهای لرزشی، ٤ تا ۵ کیلومتر در ساعت است. بکارگیری غلتکهای استاتیک در این مرحله به جای غلتکهای لاستیکی یا لرزشی با تأیید دستگاه نظارت مجاز می‌باشد. غلتک‌زنی تا حصول تراکم موردنظر باید قبل از سرد شدن آسفالت خاتمه یافته باشد، این درجه حرارت برای غلتکهای لرزشی، ۷۰ و برای غلتکهای لاستیکی، ۸۵ درجه سلسیوس است.

مرحله نهایی ـ غلتک‌زنی در این مرحله به عنوان عمل کمکی و برای محو آثار ناشی از چرخ غلتکهای مراحل پیشین صورت خواهد گرفت. غلتکهای مورد استفاده در این مرحله از نوع غلتکهای استاتیکی با سرعت ۵ کیلومتر در ساعت و وزن حداقل ۸ تن می‌باشد. عمل غلتک‌زنی تکمیلی، باید بلافاصله بعد از مرحله دوم صورت گیرد تا مخلوط آسفالتی هنوز کارایی لازم برای محو آثار غلتک‌زنی قبلی را داشته باشد.

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

۱-درزهای عرضی

۲-لبه خارجی

۳-غلتک‌زنی اولیه از لبه پایینی نوار شروع شده و به سمت لبه بالایی برود .

٤- غلتک‌زنی ثانویه مانند بند (۳) اجرا شود .

۵-غلتک‌زنی نهایی .

هنگامی که به صورت مرحله‌ای (پلکانی) و یا در مجاورت یک لایه قبلی روکش انجام می‌شود، غلتک‌زنی باید مطابق توضیحات زیر انجام گردد :

۱- درزهای عرضی

۲- درزهای طولی

۳- لبه خارجی

٤ -غلتک‌زنی اولیه از لبه پایینی شروع شده و به سمت لبه بالایی برود

٥ -غلتک‌زنی ثانویه مانند بند (٤) زده شود

٦ -غلتک‌زنی نهایی

هنگام غلتک‌زنی در حالت مرحله‌ای، ٥ تا ٨ 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. لبه‌ها نباید بیش از ١٥ دقیقه بدون غلتک‌زدن رها شوند (البته این زمان تعیین شده تابع درجه حرارت محیط و درجه حرارت آسفالت در حال پخش شدن نیز می‌باشد.) در اجرای درزهای طولی و عرضی در غلتک‌زنی‌های ثانویه و در لایه رویه باید توجه ویژه مبذول شود .

٥-٩-٣-١- غلتک‌زنی درزهای عرضی

هرجا که درز عرضی وجود دارد، اولین عبور باید بوسیله غلتک چرخ فولادی که در جهت درز طولی و به مقدار چند متر حرکت می‌کند غلتک‌زنی شده، سپس درز عرضی به صورت عرضی غلتک زده شود (غلتک در عرض حرکت کند). در حین غلتک زنی مذکور با غلتک تاندم، جابجایی عرضی به نحوی باشد که مقدار ١٥ سانتیمتر از سطح جدید مصالح آسفالتی غلتک‌زنی شود. در صورت استفاده از غلتک‌های سه چرخ، جابجایی به اندازه یک چرخ عقب غلتک در نظر گرفته شود و بقیه عرض غلتک برروی لایه تثبیت شده قبلی باشد. این کارها در عبورهای بعدی باید تکرار شوند.

تخته‌های چوبی با ضخامت مناسب باید در لبه‌های روسازی قرار داده شوند تا از حرکت لبه روسازی در حین غلتک‌زنی جلوگیری کند. اگر تخته استفاده نشود، غلتک‌زنی عرضی باید لزوماً در فاصله حدود ١٥ تا ٢٠ سانتیمتر از لبه خارجی متوقف شود تا از خرابی و آسیب رساندن به لبه جلوگیری شود. این لبه سپس باید با غلتک‌زنی طولی غلتک‌زنی شود .

٥-٩-٣-٢-غلتک‌زنی درزهای طولی

درزهای طولی باید بلافاصله بعد از فینیشر غلتک‌زنی شوند. اگر از غلتک سه چرخ استفاده شود، باید طوری حرکت کند که بیش از ١٥ سانتیمتر از چرخ عقب غلتک برروی مخلوط متراکم نشده قرار نگیرد.

غلتک‌زنی باید در این مسیر ادامه یابد و هنگامی که یک مسیر متراکم شد، تغییر مسیر غلتک باید به صورت تدریجی اعمال گردد. در صورت استفاده از غلتک‌های تاندم، آنها نیر باید شبیه سه چرخ عمل کنند.

لبه‌های روسازی باید موازی با درزهای طولی غلتک‌زنی شوند. در غلتک‌زنی لبه‌ها، چرخهای غلتک باید ٥ تا ١٠ سانتیمتر خارج از لبه‌ها را نیز پوشش دهند. بعد از تراکم درزهای طولی و لبه‌ها، غلتک‌زنی اولیه باید سریعاً انجام شود .

٥-٩-٤-کنترل تراکم:

قشرهای آسفالتی شامل اساس آسفالتی، آستر و رویه، باید حداقل تا تراکم (٩٧٪) نمونه آزمایشگاهی مارشال کوبیده شوند. وزن مخصوص نمونه مارشال به طریقه آشتو T166 و تراکم نسبی قشرهای آسفالتی به روش آشتو T230 اندازه‌گیری می‌شود. آزمایش‌های فراوانی برای روش اندازه‌گیری درصد تراکم مخلوط‌های آسفالتی وجود دارد. معمول‌ترین روش آزمایش، اندازه‌گیری چگالی نمونه متراکم شده می‌باشد که از روسازی، نمونه‌برداری شده و با چگالی نمونه متراکم شده در آزمایشگاه مقایسه شود.

۵–۹–۵–سطوح غیر قابل دسترسی برای غلتکها

وقتی آسفالت در محل‌هایی پخش شده باشد که غلتک نتواند به آنجا برود، تراکم می‌تواند بوسیله متراکم کننده‌های دستی، مکانیکی و یا صفحه متراکم‌کننده ویبره حاصل شود. ابعاد این صفحه‌ها حدود ۳۰ × ۳۰ سانتیمتر تا ۵۰ ۵۰ سانتیمتر است .

۵–۹–۶–تصحیح ناهمواریهای سطح :

اگر هرگونه ناهمواری و پستی و بلندی در لایه‌های زیر روکش بعد از اتمام تراکم وجود داشته باشد، بوسیله برداشت و یا پخش آسفالت می‌توان آن را تصحیح کرد، ولی در لایه رویه باید تمام سطح مورد نظر برداشته شود و سپس با مواد مناسب و کافی جایگزین شود تا یک سطح سالم و هموار بوجود آید .

تمام برجستگی‌های کوچک، درزها و دندانه‌های کوچک باید غلتک زده شوند تا یک سطح صاف بدست آید. سطح نهایی باید بافتی یکنواخت داشته باشد و مطابق با پلان و تراز نشان داده شده برروی نقشه‌ها باشد .

پیمانکاران و ناظرین باید دائماً مقدار و کیفیت ظاهری پخش را در نزدیک فینیشر کنترل کنند تا سنگدانه‌ها جدا نشده باشند و یا مقدار آسفالت ریخته شده کم و زیاد نباشد. اگر مشکلی وجود داشته باشد، باید سریعاً مصالح را با مصالح مرغوب و مناسب جایگزین نمود. اگر قبل از جابجایی آنها مصالح آسفالتی غلتک زده شده باشند، تمام سطح معیوب باید تا عمق لازم کنده شده، با مصالح آسفالتی جدید جایگزین شوند .

۵–۹–۷– کنترل ترافیک:

تا وقتی که سطح آسفالت سرد نشده باشد، ترافیک نباید از روی سطح عبور کند. در محورهایی که ترافیک ناچاراً باید عبور کند، با آماده کردن قسمتی از عرض و تامین وسایل ایمنی مورد نیاز آن را زیر عبور قرار می‌دهند که در این حالت لازم است به میزان کافی علامت‌های خطر در محل‌های مناسب قرار گیرند تا ترافیک از روی سطوح تازه در دست اقدام، عبور نکند .

۵–۹–۸– عوامل موثر در تراکم:

۵–۹–۸–۱–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 .

۵–۸–۸–۲–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 هم‌بستگی به نوع قیر بکار رفته دارد .

۵–۹–۸–۳–زمان تراکم:

این زمان به سرعت سرد شدن لایه اسفالتی بستگی دارد، یعنی در واقع زمان تراکم تابعی از دمای تراکم 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 می شود، همچنین در شرایط آب و هوایی سرد، لایه‌ها زود تر سرد می‌گردند .

۵-۹-۹- ترک ناشی از تراکم:

* ترکهای عرضی: ترکهای عرضی در آسفالت به دلایل زیر می‌توانند بوجود آیند :

- پارگی سطحی

-اگر غلتک در جلو خود یک " موج قوسی " را هل دهد (بعلت تراکم اولیه ناکافی در هنگام پخش و یا استفاده زود هنگام از غلتک‌های سنگین

- سرد شدن سطح آسفالت

- تغییر مکان لایه آسفالت نسبت به لایه اساس در اثر عبور غلتک

دلایل ایجاد تغییر مکان:

- ماسه زیاد در لایه اساس فاقد چسبندگی، عدم وجود اندود نفوذی مناسب .

- ضخامت زیاد لایه آسفالتی در مقاطع شیبدار .

* ترکهای طولی: ترکهای طولی در آسفالت (غیر از ترکهای طولی ناشی از دوبندی‌ها که در اثر عدم همپوشانی صحیح در هنگام اجرای باند مجاور ایجاد می‌شود) به دلایل زیر می‌توانند بوجود آیند :

- جابجایی در لایه زیرین

-برش در مخلوط در زیر غلتک (مثلاً اگر آسفالت در یک لایه ضخیم ریخته شده باشد و از غلتک‌های سنگین در دماهای بالا استفاده شود، در آن صورت وقتی سطح لایه سرد شده است، این لایه یک پوسته نازک را تشکیل می‌دهد، در حالی که درون لایه هنوز داغ است و بخوبی متراکم نمی‌شود).

-شکستن مخلوط بوسیله غلتک، وقتی که غلتک‌زنی در مسیر صحیح انجام نشود. (مثلاً غلتک‌زنی از لبه بالاتر به سمت لبه پایین‌تر ادامه یابد)

نکته: کنترلها و آزمایشات متعارف و سنجشهای مستند در روسازی های آسفالتی(دانه بندی، درصد قیر، ضخامتها، درصد تراکم، دانسیته، پروفیلهای طولی و عرضی، ناهمواری هاو...) مهم و با ابزار مربوطه و مطابق با ضوابط و آیین نامه‌ها و استانداردها مدون آن لازم الاجرا ست، لیکن آنچه از اهمیت بسیار بیشتری برخوردار است و در شرایط فعلی در کشور ما نیز نقش تعیین کننده و بسیار حیاتی را در کیفیت و عمر خدمت روسازی های آسفالتی ایفا میکند، لازم الاجرا بودن نظارتهای مستمر ، مقیم، آگاهانه و تخصصی در فرآیند تولید (اعم از مصالح سنگی، آسفالت) و حمل و اجرای روسازی(اعم از لایه های پوششی و نفوذی قیر و آسفالت) است، و مطمئناً در بیش از ۹۰ درصد شرایط و مکانها و .. در شرایط فعلی روسازی های آسفالتی در کشور، میتوان با رعایت ضوابط و چهارچوبهای مدون موجود و حتی با اتکا بر علوم پایه ای و قدیمی آسفالت و البته اطمینان به انجام موازین مربوطه ،بخش عمدهٔ مشکلات روسازی های آسفالتی را مرتفع نمود و صرفاً بخش بسیار ناچیزی از شرایط و مکانهاست که شاید در کنار موازین گفته شده تکنولوژی های نوین تر ،آسفالتها و قیرهای خاص و اصلاح شده و مسلح کننده ها و... را طلب میکند. پس جا دارد در ابتدا (و قبل از تلاش در جهت جایگزینی ها و افزودنی ها و...و صرف هزینه مازاد) با توجه بیشتر به موضوعات و مباحث بسیار پایه ای و پیش پا افتاده اعم از انتخاب مصالح، کیفیت تولید، کیفیت قیر و شرایط استاندارد بکارگیری آن، حمل و پخش وتراکم آسفالت ،در کنار نظارت آگاهانه و فنی توسط افراد متخصص، در حصول روسازی های آسفالتی کیفی و بادوام و کم هزینه در بهره برداری و...مطمئن بود.

مرکز تحقیقات راه ،مسکن و شهرسازی وزارت راه و شهرسازی نیز دستورالعمل کلی را به جهت حصول کیفیت مخلوطهای آسفالتی و روسازی ها انعطاف پذیر بشرح زیر منتشر و ابلاغ نموده است:

" به منظور دستیابی به اهداف مورد نظر جهت ارتقاء کیفیت آسفالتهای تولیدی و مورد مصرف در صنعت راهسازی منجمله در پروژه‌های نوسازی و بهسازی راه، فرودگاه و ایجاد راهی امن و راحت، تأمین و بکارگیری نیروی انسانی ماهر و واجد شرایط، بهینه نمودن تجهیزات و عملیات و ضرورت رعایت ضوابط فنی ملحوظ شده در مشخصات فنی، شناخت پروسه تهیه و تولید و پیگیری بمنظور جلوگیری از هدر رفتن سرمایه های ملی از اهمیت ویژه برخوردار خواهد بود که برای تحقق اهداف فوق پیگیری روال ذیل مورد توجه می‌باشد.

۱- مطالعه و بررسی مرغوبیت و ظرفیت معادن مصالح اعم از رودخانه‌ای، کوهی، سرباره کارخانه‌های ذوب فلزات.

۲- بررسی مجموعه سنگ شکن و استقرار چیدمانی بهینه سیستم تولید مصالح سنگی.

۳- بررسی نوع و ظرفیت کارخانه آسفالت و ضمائم و ملحقات مربوطه و استقرار آن.

٤- استقرار تأسیسات و گرمایش قیر و خطوط انتقال.

۵- کنترل مراحل تهیه و تولید آسفالت، اجرای عملیات پخش، تجهیزات و ماشین آلات و عوامل ذیربط و بالاخره کنترل و ارزیابی پارامترهای مؤثر در اجرای کار.

۱-۱- با توجه به مندرجات مشخصات فنی و با درنظر گرفتن نیازهای پروژه بازدید و مطالعات اولیه معادن مصالح سنگی مصرفی ضرورت دارد. در بررسی‌های اولیه حجم عملیات، ذخائر معادن و لحاظ در رعایت جنبه‌های اقتصادی، ارائه توجیهات فنی و منطقی مورد نیاز خواهد بود. در این رابطه و نخستین گام اقدام جهت آزمایشات اولیه معدن بمنظور تشخیص مناسب بودن مصالح، ارزیابی نتایج آزمایشات و تائید آن و بالاخره صدور مجوز بهره‌برداری از وظائف مهندسین مشاور پروژه ضروری می‌باشد.
۱-۲- چنانچه معدن منتخب مصالح رودخانه‌ای باشد آزمایشات زیر مورد نظر خواهد بود.

- تعیین دانه بندی اولیه مصالح معدن
- تعیین مقاومت در مقابل عوامل جوی (سرما و گرما) و سولفاتها
- تعیین مقاومت در مقابل سایش
- تعیین وزن مخصوص ظاهری، وزن مخصوص حقیقی – درصد جذب آب
- تعیین چسبندگی، قیر به مصالح سنگی درحضور آب
- تعیین هم ارز ماسه ای
- درصد دانه‌های دراز و پهن
- حدود اتربرگ
- تعیین میزان آلودگی و مواد مضره
- تشریح نظری از جهت شناخت کانیهای مصالح معدن
- تجزیه شیمیائی از جهت تعیین و میزان کانیهای موجود در مصالح سنگی مصرفی

۱-۳- چنانچه معدن منتخب مصالح کوهی باشد انجام آزمایشات زیر ضروری خواهد بود.
- تعیین مقاومت در مقابل عوامل جوی (سرما و گرما) و سولفاتها
- تعیین مقاومت در مقابل سایش

- تعیین وزن مخصوص ظاهری، وزن مخصوص حقیقی – درصد جذب آب
- تعیین چسبندگی، قیر به مصالح سنگی در حضور آب
- مقاومت فشاری خشک و تر
- تعیین میزان آلودگی و مواد مضره
- تشریح نظری از جهت شناخت کانیهای موجود در مصالح معدن
- تجزیه شیمیایی از جهت تعیین و میزان کانیهای موجود در مصالح معدن

توضیح اینکه بررسی وجود لایه‌های سست و رسی و مواد مضره در جبهه‌های معادن کوهی ضرورت دارد و باید پس از انفجار بنحو مؤثر و مطلوب لایه نامرغوب از سایر مصالح سنگی جدا و صرفاً لاشه سنگ‌های تأیید شده جهت شکستن و خرد کردن با بکارگیری سنگ شکن‌های فکی، کوبیت، ماسه ساز مناسب و ضمن رعایت چیدمان فنی تأیید شده.

– از جمله اقداماتی که باید مورد توجه قرار گیرد استقرار تجهیزات و ماشین آلات مناسب جهت تولید مصالح سنگی می‌باشد که با توجه به فاصله حمل معدن و اندازه درشتی مصالح انتخاب سنگ شکن فکی، کوبیت و ماسه ساز و ضرورتاً آسیاب مناسب و هم آهنگ با سیستم انتخاب خواهد شد. در این رابطه تأمین مصالح ریزدانه (فیلر) براساس مندرجات جدول فصل نهم آئین نامه روسازی آسفالتی راه های ایران نشریه شماره ۲۳٤ به جهت ارتقاء کیفیت مخلوط‌های آسفالتی الزامی می‌باشد، عدم تأمین فیلر مورد نیاز مخلوط های آسفالتی تولیدی در اکثر کارگاههای تولید آسفالت، اشکالات عدیده‌ای را به همراه داشته است) که لازم است تمهیدات لازم اتخاذ گردد.

– به منظور جلوگیری از آلودگی مصالح تولیدی ضرورت استقرار ماسه شور در مناطقی که از مصالح رودخانه‌ای استفاده می‌شود و همچنین نصب سرند اولیه جهت جدا نمودن مصالح ریزدانه طبیعی ضروری می‌باشد، توضیح اینکه نصب سرند اولیه با توجه به ساختار فیزیکی مصالح و مشخصات فنی پروژه و چگونگی مورد مصرف قرار گرفتن مصالح تولیدی در پروژه از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشد.

۲–۳ انتخاب و استفاده از انواع سنگ شکن‌ها و نحوه استقرار سیستم بمنظور تأمین درصد شکستگی مصالح مورد نیاز و حذف مصالح گرد گوشه در مخلوط مصالح تولیدی ضروری می‌باشد، انتخاب معدن و مصالح با درشتی حداکثر ۱ اینچ نمی‌تواند درصد شکستگی مورد نیاز را تأمین نماید.

۲–٤– بمنظور تهیه مصالح مناسب ضروری است کلیه بخشهای مصالح تولیدی از نظر یکنواختی با توجه به مصالح حمل شده از معدن و با بهره‌گیری سرندهای انتخابی و تعبیه شده در سیستم متناوباً مورد بررسی قرار گیرد. در این مرحله بمنظور ارزیابی و کنترل مصالح تولیدی انجام آزمایشات ذیل مجدداً ضروری و مورد نیاز می‌باشد

دانه بندی

- درصد شکستگی مصالح در یک و دو جبهه
- درصد دانه های دراز و پهن
- ارزش ماسه‌ای مصالح ریزدانه
- وزن مخصوص ظاهری و حقیقی و جذب آب مصالح
- حدود اتربرگ

در این رابطه با توجه به مشخصات چنانچه نتایج آزمایشات انجام شده مغایرتهای قابل ملاحظه‌ای را نشان دهد توقف و کنترل و بازرسی سیستم تولید در این مرحله الزامی خواهد بود. بدیهی است ادامه تولید بدون کنترل و ارزیابی‌های متناوب و اخذ نتایج تأیید شده مجاز نخواهد بود.

۲-۵- باستثنای نتایج تأیید شده فوق الذکر مطابقت دانه بندی مصالح تولیدی به تفکیک مصالح درشت دانه و ریز دانه با مندرجات جداول فصل نهم آئین نامه روسازی آسفالتی راه¬های ایران (نشریه شماره ۲۳٤) و سپس انطباق دانه بندی مخلوط مصالح براساس مندرجات جداول فصل مربوطه بمنظور استفاده در قشرهای مختلف آسفالتی ضروری می‌باشد.

۳-۱- انتخاب و استقرار کارخانه آسفالت با ظرفیت مناسب با توجه به حجم عملیات و نیازهای منطقه نصب کلیه ملحقات و ضمائم براساس مشخصات و ضوابط کشور سازنده، بهره‌برداری و استفاده بهینه و رعایت ضوابط و مشخصات تولیدات کارخانه از اولویت خاص برخوردار بوده و الزاماً کنترل مراحل تولیدی بشرح ذیل باید دقیقاً مورد توجه قرار گیرد.

۳-۱-۱- تغذیه مستمر سیلوهای سرد مصالح و بازدید ادواری دریچه‌های خروجی مصالح در سیلوهای سرد ضروری می‌باشد. (کالیبره نمودن سیستم).

۳-۱-۲- بررسی و بازدید ادواری تسمه نقاله‌های حامل مصالح سرد خروجی از سیلوهای سرد بمنظور جلوگیری از مصرف نوارهای فرسوده و پاره و همچنین کنترل غلتک‌های حامل نوار نقاله و تنظیم شیب حرکتی با توجه به ظرفیت سیستم نیز ضرورت دارد.

۳-۱-۳- کالیبره نمودن دریچه‌های سیلوی سرد مصالح به تفکیک مصالح درشت، متوسط، ریز و رسم نمودار براساس وزن عبوری مصالح در واحد زمان و بازشدگی دریچه هر سیلو، توضیح اینکه این عمل حداقل برای هر سیلو در سه نوبت متناوباً باید انجام پذیرد و دریچه‌ها با توجه به دانه بندی مصالح تولیدی و ظرفیت کارخانه تنظیم گردد، در این رابطه به جهت جلوگیری از انباشته شدن مصالح اضافی در واحد خشک کن تنظیم مجدد دریچه‌های خروجی در سیلوی سرد ضروری می‌باشد.

۳-۱-٤- کنترل یکنواختی پخش مواد سوخت در واحد خشک کن، جلوگیری از احتراق ناقص و آلوده شدن سطح دانه‌ها که نهایتاً مانع چسبندگی فیلم نازک قیر به مصالح خواهد بود، همچنین تنظیم شیب واحد خشک کن، کنترل سلامت جدارهای آن و غلتک‌های دوار. تجهیز واحد خشک کن به دما سنج دقیق و مناسب به منظور کنترل حرارت مصالح سنگی و قابل رؤیت بودن آن در تمام مراحل.

۳-۱-۵- کنترل رطوبت مصالح تغذیه شده به واحد خشک کن که با افزایش آن کاهش تولید را به دنبال خواهد داشت و ضرورتاً با افزایش میزان سوخت، تغییر پره‌های داخل واحد خشک کن و اصلاح شیب آن یا تغذیه مناسب مصالح قابل پیگیری خواهد بود، ضرورتاً افزایش مدت زمان ماندگاری مصالح در واحد خشک کن.

۳-۱-٦- به منظور تعیین کیفیت و میزان فیلر در مخلوط مصالح سنگی و نقش حساس و تعیین کننده آن در مخلوط آسفالتی و در مواردی که به دلایلی افزودن فیلر اضافی به مخلوط یا تعیین درصد میزان مصرف آن مورد نظر باشد ضرورتاً تجهیز واحد خشک کن به مکش مجهز و مناسب ضروری می‌باشد در این رابطه و به جهت جلوگیری از آلودگی محیط زیست و ارتقاء کیفیت مخلوط آسفالتی تولیدی انتخاب نوع مکش و سیستم غبار گیری کارخانه آسفالت از اهمیت ویژه برخوردار می‌باشد.

- بنابراین تعبیه مخازن جمع آوری فیلر و تجهیزات برگشت آن و توزین میزان فیلر افزودنی به مخلوط مصالح سنگی در واحد میکسر ضروری می‌باشد. ضمناًکنترل دانه بندی برای تعیین میزان فیلر در این مرحله براساس مندرجات جداول فصل نهم آئین نامه روسازی آسفالتی راه‌های ایران (نشریه ۲۳٤) تأکید می‌گردد.

۳-۱-۷- دمای بالای مصالح سنگی سبب تغییر خواص قیر و سخت شدگی آن در واحد میکسر می‌گردد و نصب وسیله اندازه گیری و قابل روئیت و نشان دهنده درجه حرارت مصالح سنگی در مدخل خروجی تخلیه مصالح سنگی در واحد خشک کن و کالیره ادواری آن ضروری می‌باشد (با قراردادن سنسورهای مخصوص و یا یک دماسنج دقیق و مطمئن قابل کنترل خواهد بود).

۳-۱-۸- کنترل نحوه قرار گیری سرندهای ویبره، نوع و تعداد و ابعاد آن بر طبق مشخصات پروژه و کارخانه سازنده، کنترل چشمه‌های سرندها و شیب آن و جلوگیری از تغییراتی که بنحوی در بازدهی و ظرفیت آن مؤثر باشد، ضروری می‌باشد، در این مرحله انتخاب سرندهای ویبره با توجه به مشخصات مخلوط تولید شده و دانه بندی فرمول کارگاهی مورد نیاز معمول خواهد شد.

۳-۱-۹- کنترل و بازرسی ادواری سیلوهای گرم از نظر سلامت جداره‌های آن و دریچه‌های خروجی مصالح.

• تعبیه لوله‌های سر ریز برای هر سیلوی گرم به منظور جلوگیری از تداخل مصالح دانه بندی شده.

• نصب وسائل نشان دهنده کنترل سطح تراز مصالح در سیلوهای گرم، همچنین جلوگیری از پرشدن بیش از حد سیلوها که نهایتاً باعث کند شدن حرکت سرندها ی ویبره خواهد شد.

• تعبیه دریچه‌های مورد نیاز بمنظور نمونه برداری و کنترل دانه بندی از سیلوهای گرم به جهت تعیین نسبتهای فرمول کارگاهی و همچنین دستیابی به تغییرات دانه بندی در دپوی تولید مصالح ناشی از تغذیه نامنظم مصالح به سیلوهای سرد ضروری می¬باشد. توضیحاً اینکه در این مرحله کنترل قپان‌های توزین مصالح و کالیبره آن و اطمینان از سلامت اهرم‌ها، کاردک‌ها، یاتاقانهای آن با توجه به صفحه نمایشگر تغییرات اوزان در اطاق فرمان از اهمیت ویژه‌ای برخوردار خواهد بود.

• پیش بینی نصب یک دستگاه کامپیوتر در اطاق فرمان بمنظور ذخیره سازی نتایج و ...

کنترل ادواری و متناوب دانه بندی آسفالت و میزان قیر پیشنهاد و توصیه می‌گردد.

٤-۱- استقرار مخازن فلزی قیر با توجه به ظرفیت کارخانه و تولید آسفالت، نصب و تجهیز سیستم گرمایش قیر با استفاده از فلاکس و روغن داغ، نصب و کنترل خطوط انتقال، پمپ‌های و محفظه توزین قیر و لوله مارپیچ پوشش دار، کنترل سطح روغن در مخزن روغن بمنظور جلوگیری از هدر رفتن روغن داغ و نشت آن در مخزن قیر که باعث آلودگی و کاهش کیفیت و تغییر در مشخصات قیر خواهد شد.

• کنترل درجه حرارت قیر در پروسه گرم کردن آن، در این رابطه مصرف قیر بلافاصله پس از گرم شدن به نحوی که درجه نفوذ آن بعد از گرم کردن تا ١٦٥ سانتی گراد بیش از ۲۰ درصد درجه اولیه افت پیدا نکند ضروری بوده قابل توجه اینکه درجه حرارت قیر وارده به مخلوط کن در هیچ حالتی نباید از ۱۵۰ درجه سانتیگراد تجاوز نماید بنابراین نصب دماسنج قابل رویت در مخزن اصلی قیر و در مخزن روغن و استفاده از نمایشگر توزین مصالح – قیر و دمای مصالح و قیر و مخلوط آسفالت در اطاق فرمان ضروری خواهد بود.

٤-۲- کنترل و اطمینان از سلامت تعداد کفشهای واحد میکسر و جداره‌ها و دریچه‌های ورود مصالح و خروج آسفالت، اختصاصاً کاربرد آلیاژهای استاندارد در ساخت قطعات.

٤-۳- تغذیه واحد میکسر با توجه به ظرفیت کارخانه و کنترل زمان اختلاط مصالح آسفالت با توجه به مشخصات کارخانه سازنده و کاربرد نوع مخلوط آسفالتی.

۵-۱- توجه و رعایت توضیحات فوق الذکر به جهت دستیابی به فرمول کارگاهی و دانه بندی تعیین شده در مشخصات ضروری است در این مرحله تهیه مخلوط آسفالتی براساس ضوابط و مندرجات بند ۱۸-۱۰ مشخصات فنی عمومی راه (نشریه ۱۰۱) مورد توجه قرار خواهد گرفت.

۵-۲- اجرای عملیات آسفالت در محور منوط به آماده سازی سطح راه، اصلاح کلیه آسیب دیدگیها با توجه به نوع و علـل آن شامل مرمت ترکهای طولی و عرضی، لکه‌گیری، تسطیح نشست‌ها، اصلاح پروفی‌ها، اصـلاح قیرزدگـی‌هـا و تعمیـرات موضـعی و رعایت محدودیتهای پخش آسفالت در این مرحله ضروری خواهد بود.

۵-۳- با توجه به فاصله حمل آسفالت بکارگیری و تأمین تعداد کامیون کافی، ماشین آلات و تجهیزات مناسب پخش، انتخاب غلتک‌های مناسب و رعایت اولویت‌های پخش و کوبیدن با توجه به مندرجات فصل نهم آئین نامه روسازی آسفالتی راه‌های ایـران (نشریه ۲۳٤) و رعایت‌های اختصاصی مندرج در مشخصات خصوصی پروژه.

تکمیل پرسشنامه‌های شماره ۱ الی ۱۰ (فرم‌های خوداظهاری کارخانجات تولید آسفالت بـرای صـدور گواهینامـه فنـی) روش سینماتیک برای ارزیابی مجموعه فعالیت‌ها جهت تولید آسفالت مناسب و پخش مطلوب بوده و میتوانـد اطلاعـات مفیـدی جهـت شناسنامه عملیاتی تجهیزات و عوامل کارگاهی و نظارتی در کارگاه مورد بررسی و ارزیابی قرار گیرد.

(تکنولوژی و مواد روسازی)

فصل ششم:

انواع مخلوطهای آسفالتی

محمود رضا کی منش

سعید شاکر

۶-۱-آسفالت گرم[1]

آسفالت گرم، مخلوطی است حاصل از سنگدانه های شکسته و دانه بندی شده و فیلر که در کارخانه آسفالت حرارت داده شده و با قیر گرم در درجه حرارت های معین، مخلوط و به همان صورت گرم برای مصرف در راهها، خیابان ها، فرودگاه ها، بار اندازها، پایانه ها و... پخش و کوبیده و مورد مصرف قرار می‌گیرد.

آسفالت گرم مصرفی در قشرهای روسازی راه، به شرح انواع زیر است:

۶-۱-۱-آسفالت رویه[2] (توپکا)

آسفالت رویه آخرین قشر بتن آسفالتی است که درتماس مستقیم با بارهای وارده از ترافیک و عوامل جوی محیط قرار می گیرد. آسفالت رویه طوری طراحی و اجرا می گردد که تحمل بارهای وارده را داشته و در مقابل اثرات سوء آب، یخبندان و تغییرات درجه حرارت مقاومت کرده و دوام آورد.

قشر رویه نسبت به قشر آستر و اساس قیری، دارای دانه بندی ریزتر، فضای خالی سنگدانه های آن زیادتر و در نتیجه قیر بیشتر می‌شود. حداکثر اندازه سنگدانه در این قشر بین ۹/۵ تا ۱۹ میلیمتر می‌باشد که با توجه به بافت سطحی مورد نیاز و نوع ترافیک و شرایط آب و هوایی، انتخاب می‌شود. چنانچه درصد رد شده از الک شماره ۸ دانه‌بندی به حداکثر و یا حداقل مجاز میل کند، به ترتیب بافت سطحی ریز یا درشت می‌شود.

۶-۱-۲-آسفالت آستر[3] (بیندر)

این قشر بتن آسفالتی، بین قشر رویه و قشر اساس قیری و در صورت عدم وجود قشر اساس قیری، بین قشر رویه و قشر اساس سنگ شکسته قرار می‌گیرد. دانه بندی آن درشت تر از آسفالت رویه و مقدار قیر آن کمتر است. حداکثر اندازه سنگدانه های آن از ۱۹ تا ۳۷/۵ میلیمتر می‌باشد. گاهی اوقات در شرایط ترافیک خیلی سنگین از جمله در بنادر اسکله ها، مشروط بر آنکه بافت سطحی آن مشکلی ایجاد نکند، از دانه بندی قشر بیندر با سنگدانه های حداکثر اندازه ۲۵ میلیمتر که در مقابل تغییر شکل ناشی از بارهای خیلی سنگین و هوای گرم، حساسیت کمتری دارد برای قشر رویه استفاده می شود.

۶-۱-۳-اساس قیری

این قشر به عنوان اولین قشر روسازی بتن آسفالتی می تواند مستقیماً روی قشر زیراساس و یا اساس قرار گیرد. اساس قیری دارای دانه بندی درشت تر و مقدار قیر آن کمتر از آسفالت آستر و رویه می‌باشد. حداکثر اندازه سنگدانه های آن تا ۵۰ میلیمتر و در مواردی نیز تا ۷۵ میلیمتر می‌رسد.

از اساس قیری با دانه بندی باز به عنوان یک لایه زهکش بمنظور تسریع درتخلیه آب های نفوذی به سیستم روسازی و یا جلوگیری از بازگشت ترک‌های آسفالت موجود در بهسازی‌ها با حداکثر اندازه سنگدانه‌های ۳۷/۵ تا ۵۰ میلیمتر، متشکل از مصالح صددرصد شکسته، بعنوان لایه کنترل کننده ترک های انعکاسی استفاده می کنند.

استفاده از اساس قیری جز برای شرایط خاص که باید مستند به توجیه فنی مشاور طرح توصیب کارفرما باشد، توصیه نمی گردد.

---

[1] Hot mix asphalt
[2] Surface Course
[3] Binder Course

در طراحی مخلوطهای آسفالتی گرم که چند روش آن در فصل۳ بیان گردید، مشخصات و پارامترهایی نظیر دانه بندی مصالح، مشخصات مقاومتی و فیزیکی، فضای خالی مصالح سنگی و مخلوط متراکم، مقاومت در مقابل تغییر شکلهای شیاری ، دوام در برابر و مشخصات قیر و....میبایست کنترل و بر اساس آیین نامه های مربوطه کنترل نمود.

۶-۱-۴-مصالح سنگی:

سنگدانه هااز معادن سنگ کوهی یا قلوه سنگ های درشت رودخانه ای استخراج و در سنگ شکن فکی و دوار (کوبیت) شکسته می شود مصالح بلافاصله پس از شکسته شدن دانه بندی شده (با سرند کردن) ودر قسمت های مجزا به صورت مصالح دانه درشت، دانه متوسط و دانه ریز (شامل فیلر) انبار می شود، بدیهی است که مصالح سنگ کوهی نسبت به شن و ماسه و قلوه سنگ رودخانه ای، ارجحیت دارد.

در صورتی که استخراج سنگ از معدن به دلایل مختلف اقتصادی نبوده و یا تهیه مواد سوزا (انفجاری) مواجه با مشکل شود، می توان برای اساس قیری از شکستن مخلوط شن و ماسه درشت رودخانه ای و برای رویه و آستر از شکستن شن و قلوه سنگ رودخانه ای استفاده کرد

مصالح سنگی شکسته شده برای انواع آسفالت گرم باید سخت، محکم، با دوام، تمیز، مکعبی شکل و عاری از هر گونه مواد آلی، رسی، شیستی، پوشش خاکی و دانه های سست بوده و برای هر قطعه از پروژه، حتی الامکان از یک معدن تهیه شده باشد. مصالح درشت و متوسط و ریز در صورت لزوم باید شسته شود.

۶-۱-۵-تفکیک سنگدانه ها:

سنگدانه ها پس از شکسته شدن، سرند شده و بشرح زیر تفکیک می شود:

۶-۱-۵-۱-مصالح دانه درشت و متوسط

مصالح دانه درشت و متوسط، شامل مصالح باقیمانده روی الک شماره ٤ (٤/٧٥ میلیمتر) می باشد که دانه بندی آنها برای انواع مخلوط های آسفالتی بکار برده می شود. مصالح درشت دانه معمولاً محدودهٔ مجازی از مقدار سایش لس آنجلس، افت وزنی با سولفات سدیم، جذب آب، ضریب تطویل و تورق ودرصد شکستگی،... را از روشهای استاندارد را میبایست شامل گردد.

۶-۱-۵-۲-مصالح ریز دانه

مصالح ریز دانه، مصالح رد شده از الک شماره ٤ (٤/٧٥ میلیمتر) می‌باشد که برای رویه از ماسه شکسته، برای آستر و اساس قیری، مخلوطی از ماسه شکسته و ماسه طبیعی می‌باشد مورد مصرف قرار می‌گیرد. مصالح ریزدانه نیز در آسفالت گرم میبایست دارای مقادیر مجازی از افت وزنی با سولفات سدیم ، جذب آب، ارزش ماسه‌ای، دامنهٔخمیری ، ضریب نرمی ، درصد وزنی ماسه طبیعی، گوشه داری و... مطابق با آزمایشات استاندارد ASTM و AASHTO باشد.

۶-۱-۵-۳-فیلر :

در صورتیکه از شکستن سنگدانه ها به مقدار کافی، فیلر (عمدتاً رد شده از الک ۲۰۰) تامین نشود، بایستی فیلر اضافی تهیه و در کارخانه آسفالت از طریق سیلوی جداگانه به مصالح اضافه شود. نوع فیلر، میزان مصرف ودانه بندی آن در انواع بتن آسفالتی اهمیت ویژه‌ای دارد.

فیلر اضافی را می‌توان از گردسنگ‌های آهکی، آهک شکفته، سیمان و یا سایر سنگ‌های معدنی مناسب تهیه نمود. فیلر اضافی مورد استفاده برای آسفالت باید دارای ویژگی‌های زیر باشد:

دانه خمیری آن در صورت عدم استفاده از سیمان و آهک شکفته از چهار درصد تجاوز نکند.

فاقد ناخالصی‌های آلی باشد.

فاقد مواد رسی (دانه های کوچکتر از ۰/۰۰۲ میلیمتر) که با آزمایش هیدرومتری تعیین می‌شود، باشد.

وزن مخصوص حجمی فیلر که با آزمایش EN1097-3 اندازه‌گیری می‌شود، باید در محدودهٔ ۰/۵ تا ۰/۹۵ گرم بر سانتیمتر مکعب قرار گیرد.

فیلر موجود درمصالح سنگی آسفالتی باید توسط دستگاه غبارگیر کارخانه آسفالت از مصالح جدا شده و در سیلوی فیلر، ذخیره و سپس به مقدار مورد نیاز به مصالح اضافه شود. این فیلر باید با ویژگی‌های مشروحه در زیر بندهای فوق مطابقت داشته باشد.

آهک شکفته مصرفی بعنوان فیلر باید به مشخصات M-۳۰۳ آشتو تطبیق نماید.

دانه بندی فیلر با جدول(٦-٢) مطابقت داشته باشدو نسبت درصد وزنی فیلر به درصد وزنی قیر موثر برای مخلوط های آسفالتی با دانه بندی پیوسته باید بین ۱/۲ تا ۰/٦ درصد باشد.

جدول(٦-١): دانه‌بندی پیوسته مخلوط‌های آسفالتی

شماره دانه‌بندی / اندازه الک	درصد وزنی رد شده از هر الک						
	١ (اساس قیری)	٢ (اساس قیری و استر)	٣ (اساس قیری و آستر)	٤ (آستر و رویه)	٥ (رویه)	٦[6] (رویه)	٧[7] (رویه)
۵۰ میلیمتر (۲ اینچ)	۱۰۰	—	—	—	—	—	—
۳۷/۵ میلیمتر (۱/۵ اینچ)	۹۰ –۱۰۰	۱۰۰	—	—	—	—	—
۲۵ میلیمتر (۱ اینچ)	—	۹۰ –۱۰۰	۱۰۰	—	—	—	—
۱۹ میلیمتر ($\frac{3}{4}$ اینچ)	۵۶ –۸۰	—	۹۰ –۱۰۰	۱۰۰	—	—	—
۱۲/۵ میلیمتر ($\frac{1}{2}$ اینچ)	—	۵۶ –۸۰	—	۹۰ –۱۰۰	۱۰۰	—	—
۹/۵ میلیمتر ($\frac{3}{8}$ اینچ)	—	—	۵۶ –۸۰	—	۹۰ –۱۰۰	۱۰۰	—
۴/۷۵ میلیمتر (شماره ۴)	۲۳ –۵۳	۲۹ –۵۹	۳۵ –۶۵	۴۴ –۷۴	۵۵ –۸۵	۸۰ –۱۰۰	۱۰۰
۲/۳۶ میلیمتر (شماره ۸)	۱۵ –۴۱	۱۹ –۴۵	۲۳ –۴۹	۲۸ –۵۸	۳۲ –۶۷	۶۵ –۱۰۰	۹۵ –۱۰۰
۱/۱۸ میلیمتر (شماره ۱۶)	—	—	—	—	—	۴۰ –۸۰	۸۵ –۱۰۰
۰/۶ میلیمتر (شماره ۳۰)	—	—	—	—	—	۲۵ –۶۵	۷۰ –۹۵
۰/۳ میلیمتر (شماره ۵۰)	۴–۱۶	۵ –۱۷	۵ –۱۹	۵ –۲۱	۷ –۲۳	۷ –۴۰	۴۵ –۷۵
۰/۱۵ میلیمتر (شماره ۱۰۰)	—	—	—	—	—	۳ –۲۰	۲۰ –۴۰
۰/۰۷۵ میلیمتر (شماره ۲۰۰)	۰ –۶	۱ –۷	۲–۸	۲ –۱۰	۲ –۱۰	۲–۱۰	۹ –۲۰

جدول(٦-٢):دانه‌بندی‌فیلر

اندازه الک	درصد وزنی رد شده از الک
۱/۱۸ میلیمتر(شماره ۱۶)	۱۰۰
۰/۶ میلیمتر(شماره ۳۰)	۹۷ –۱۰۰
۰/۳ میلیمتر (شماره ۵۰)	۹۵ –۱۰۰
۰/۰۷۵ میلیمتر (شماره ۲۰۰)	۷۰ –۱۰۰

بر اساس آیین نامه ایران

به منظور تامین کسری میزان مصالح ریز دانه، می توان از ماسه طبیعی با مشخصات زیر استفاده کرد:

ماسه باید دارای دانه بندی منظم و پیوسته باشد. ماسه مصرفی بایستی فاقد ناخالصی های آلی، رسی و مواد نمکی بوده باشد. میزان مصرف ماسه طبیعی (رد شده از الک شماره ٤) در اساس قیری، حداکثر ۲۵ درصد و آستر ۲۰ درصد وزنی کل مصالح رد شده از الک شماره ٤ دانه بندی مخلوط آسفالتی هر یک از این دو نوع آسفالت باشد. استفاده از ماسه طبیعی در قشر رویه مجاز نمی باشد. ماسه طبیعی توسط سیلوی سرد جداگانه به میزان تعیین شده وارد کارخانه آسفالت می شود ماسه طبیعی با ارزش ماسه ای کمتر از ۵۰٪ می بایستی شسته شوند.

۶-۱-۶-قیر

با توجه به محدودیت های موجود در تنوع قیرهای تولیدی در ایران و عدم توجه به تنوع اقلیمی و آب و هوایی در حال حاضر و بالاجبار قیر ۷۰-٦۰ برای شرایط اقلیمی گرم و معتدل ایران مناسبتر است، مگر اینکه شرایط ویژه ای از قبیل هوای بسیار گرم، ترافیک، خیلی سنگین، وجود تقاطع ها، شیب تندرراه و حداکثر مطلق درجه حرارت قشر آسفالت در حین بهره برداری که ممکن است در مواردی بیشتر از ٦۰ درجه سانتیگراد باشد، انتخاب و مصرف قیرهای با درجه نفوذ کمتر مانند ۵۰-٤۰ را ایجاب

نماید. به هر حال مصرف قیرهایی از این قبیل در عملیات آسفالتی باید با آزمایش های دقیق و بررسی های محلی با آمارهای مستند و معتبر ترافیک و هواشناسی همراه باشد. و برای آب و هوای سرد و معتدل نیز می توان از قیر ۱۰۰-۸۵ استفاده نمود.

لیکن همانگونه که در فصل قیر بیان شد تغییر ساختار طبقه بندی جدید قیرمبنای عملکرد قیر در برابر گرما و سرما به راحتی با داشتن آمار دمایی منطقه مدنظر جهت راهسازی قیر مورد نیاز بازهٔ دمایی منطقه قابل انتخاب است.(PG x-y)

۶-۱-۶-۱- انتخاب قیر:

انواع‌قیرهای عملکردی PG ، یاقیرهای‌طبقه‌بندی‌شده‌براساس درجه‌نفوذ، مورد استفاده در آسفالت‌گرم بر اساس محدودیت مصرف هریک از قیرهای‌مذکور، حسب‌موقعیت و شرایط‌جوی‌منطقه و نوع آمد و شد، انتخاب می‌شود. قیر۶۰-۷۰ برای‌شرایط اقلیمی‌گرم و معتدل ایران‌مناسب است، مگرآنکه‌شرایط ویژه‌ای از قبیل‌هوای‌بسیارگرم، ترافیک خیلی سنگین، وجود تقاطع‌ها، شیب تندراه وحداکثر مطلق درجه حرارت قشر آسفالت در حین بهره‌برداری که ممکن است در مواردی بیشتر از۶۰ درجه سانتیگراد باشد، انتخاب و مصرف قیرهای با درجه نفوذ کمتر مانند۴۰-۵۰ را ایجاب نماید به هرحال مصرف قیرهایی از این قبیل در عملیات آسفالتی باید با آزمایش‌های دقیق و بررسی‌های‌محلی‌با آمارهای‌مستند و معتبرترافیک و هواشناسی همراه باشد. برای‌حصول کیفیت برتر برای آسفالت جهت مصارف ومناطق خاص و یا اجرای آسفالت‌های خاص نظیر آسفالت متخلخل، می‌توان از قیرهای اصلاح‌شده و با تائید دستگاه نظارت استفاده نمود. البته در شرایط فعلی در کشور در ابتدا با رفع نقاط ضعف فنی در مراحل مختلف: انتخاب مصالح سنگی و فیلر و تولید آن ، تولید و حمل و نگهداری و کاربرد قیر ، تولید آسفالت و حمل و اجرای آسفالت و نگهداری های پیشگیرانه متعاقب آن ، میتوان بخش بسیار عمده ای از مشکلات کیفی و خدمت دهی را در روسازی های آسفالتی و با هزینه ای بسیار کمتر از اصلاح قیر یا آسفالت ، برطرف نمود.

۶-۱-۶-۲-حمل قیر و ذخیره سازی

قیرهای مورد نیاز کارگاه‌های آسفالتی، توسط تانکرهای حمل قیر به کارگاه وارد می‌شود. برای تخلیه قیر این تانکرها به مخازن قیر کارگاه، نیاز به گرم کردن تحت شرایط خاص می‌باشد. قیر نباید با شعله مستقیم گرم شود. زیرا موجب سوخته شدن موضعی قیر و در نتیجه کاهش خواص چسبندگی آن می‌شد. در صورت لزوم برای اعمال شعله باید بین شعله و جدار تانکر، از آجر نسوز استفاده شود. برای انتقال قیر از مخازن به کارخانه آسفالت و یا گرم کردن قیر باید از لوله های روغن و یا وسایل الکتریکی استفاده شود.

درجه حرارت قیرهای خالص در مخازن و لوله ها و هنگام اختلاط با سنگدانه ها در مخلوط کن کارخانه آسفالت، باید بگونه ای تنظیم شود که درجه حرارت آسفالت با دانه بندی پیوسته که از کارخانه به کامیون تخلیه می شود هیچگاه از ۱۶۳ درجه سانتیگراد تجاوز ننماید و در عین حال درجه حرارت قیر نیز کمتر از ۱۷۶ درجه سانتیگراد باشد.

تانکرهای حمل قیر و همچنین مخازن قیر کارگاه باید مجهز به حرارت سنج باشد. یک حرارت سنج در قسمت تحتانی تانکر و دیگری در قسمت فوقانی نصب شود. در کارخانه آسفالت نیز باید حرارت سنج قیر نصب شود، بطوریکه در هر زمان بتوان درجه حرارت قیر را کنترل نمود.

ذخیره قیر در کارگاه ها، درمخازن قیر انجام می شود.و درصورتیکه برای ذخیره قیر از استخر استفاده گردد، دیوار و کف این استخرها باید بتنی یا با پوشش سیمانی بوده و سرپوشیده باشد تا قیر کاملا از هجوم گرد و غبار، بارندگی و دیگر آلاینده ها محفوظ بماند. وسایل گرم کردن قیر باید در کف استخر پیش بینی گردد.

جدول(٦-٣): راهنمای بکارگیری قیر جهت مصارف مختلف

نـــوع کاربـــرد	قیر خالص					قیر محلول										
						زود گیر				کند گیر					دیر گیر			
	۴۰/۵۰	۶۰/۷۰	۸۵/۱۰۰	۱۲۰/۱۵۰	۲۰۰/۳۰۰	RC-70	RC-250	RC-800	RC-3000	MC-30	MC-70	MC-250	MC-800	MC-3000	SC-70	SC-250	SC-800	SC-3000
آسفالت گرم و بتن آسفالتی –اساس آستر و رویه																		
راه	×	×	×	×	×													
محوطه سازی	×	×	×	×														
آسفالت سرد کارخانه ای – اساس استر و رویه																		
دانه بندی باز													×					
دانه بندی پیوسته							×					×	×	×		×	×	×
لکه گیری فوری							×	×				×	×	×			×	×
لکه گیری غیر فوری												×	×			×	×	
آسفالت سرد مخلوط در محل –اساس آستر و رویه																		
دانه بندی باز							×	×	×				×	×		×	×	
دانه بندی پیوسته							×	×			×	×	×		×	×	×	
ماسه							×	×				×	×					
ماسه بادی						×	×	×				×	×					
لکه گیری فوری							×	×				×	×	×			×	×
که گیری غیر فوری												×	×			×	×	
آسفالتهای بازیافتی																		
بازیافت‌گرم			×	×	×													
بازیافت‌سرد					×													
آسفالتهای حفاظتی																		
آسفالت‌سطحی‌یک‌لایه ای				×	×		×	×	×				×	×				
آسفالت‌سطحی‌چندلایه ای				×	×		×	×	×					×				
اندود آب‌بندی‌بامصالح‌سنگی							×	×	×				×	×				
اندود آب‌بندی‌باماسه							×					×	×					
اسلاری‌سیل																		
آسفالت‌ماکادام‌نفوذی																		
بافضای‌خالی زیاد								×	×									
بافضای‌خالی‌کم							×											
قیرپاشی																		
*Fogseal*قیرپاشی‌کم																		
اندودنفوذی روی‌سطح‌باتخلخل							×				×	×						
اندودنفوذی روی‌سطح‌باتخلخل							×			×	×							
اندودسطحی							×											
غبارنشانی							×				×				×			
مالچ‌پاشی							×											
درزگیـــرها																		
رویه‌های آسفالتی																		
رویه های بتنی	×																	

۶-۲-ماسه آسفالت[1]

ماسه آسفالت از اختلاط ماسه شکسته و یا ماسه طبیعی شسته و یا مخلوطی از این دو با قیر تهیه می گردد ماسه آسفالت را می توان در قشرهای به ضخامت حداقل ۱۵ میلیمتر و بیشتر پخش و اجرا کرد. از ماسه آسفالت بعنوان قشر تسطیح آسفالت های قدیمی (قبل از روکش) نیز استفاده می شود. چون مقاومت مارشال ماسه آسفالت در مقایسه با مقاومت سایر مخلوط های آسفالت گرم و بتن آسفالتی که دانه بندی درشت تر از ماسه دارند کمتر است، لذا موارد مصرف آن باید به تناسب مقاومت مارشال سایر ویژگی های آن و رابطه آنها با انواع ترافیک سبک، متوسط و سنگین انتخاب شود.

ماسه آسفالت گرم ، مخلوط آسفالتی ریز دانه ایی است که بافت منسجم، متراکم و پیوسته ایی دارد و اگر چه در رویه یا قشر توپکای محورهای سنگین نیز تجربه شده است ، ولی بطور کلی استفاده از آن به محورهای با ترافیک سبک و متوسط محدود می گردد. در روکش های ترمیمی ، تقویتی و رویه های آسیب دیده با ضخامتی معادل حداکثر ۱۹ تا ۲۰ میلیمتر بکار میرود . ماسه آسفالت گرم مخلوطی از مصالح ریزدانه طبیعی یا شکسته عمدتا کوچکتر از الک ٤.۷۵ میلیمتر (الک ٤) ، با قیرهای خالص یا امولسیون است که در کارخانه آسفالت تهیه می گردد. درجه حرارت ماسه آسفالت گرم با قیرهای خالص، با توجه به درشتی مصالح ، نوع دانه بندی پیوسته یا گسسته و کیفیت قیر مصرفی و درجه نفوذ آن بین ۸۰ تا ١٦٤ درجه سانتیگراد و در صورت استفاده از قیرهای امولسیون از نوع آنیونیک کندگیر، از ۱۰۵ تا ۱۲۵ درجه سانتیگراد است. مشخصات این نوع آسفالت در ASTM-D3515 و نشریات متعدد انستیتو اسفالت آمده است . این موسسات برای ماسه آسفالت دانه بندی های متعدد اما متفاوتی را توصیه می کنندکه درشتی سنگدانه های انها از ۵ میلیمتر تجاوز نمی کند و در مواردی نیز مصالح مصرفی، از الک ۲.۳٦ میلیمتر (الک۸) نیز کوچکتر هستند. ماسه آسفالت گرم را نمی توان در شمار بتن آسفالتی که ممتازترین، مرغوبترین و بادوام ترین نوع آسفالت گرم است قرار داد ، مگر اینکه مقاومت و فضای خالی ان با ارزشهای مشخصه برای بتن آسفالتی که در نشریات انستیتو آسفالت از جمله SS-1 ویا MS-2 به آن اشاره شده و در زیر به اختصار آمده است، برابری داشته باشد.

- مقاومت مارشال برای ترافیک سبک ، حداقل ۲۳۰ کیلوگرم (معادل ۵۰۰ پوند)
- مقاومت برای ترافیک متوسط، حداقل ۳٤۰ کیلوگرم (معادل ۷۵۰ پوند)
- مقاومت برای ترافیک سنگین، حداقل ۷۳۰ کیلوگرم (معادل ۱۸۰۰ پوند)
- فضای خالی مخلوط آسفالتی ، ۳ تا ۵ درصد

مصالح سنگی مصرفی در ماسه آسفالت، در بهترین شرایط، ماسه طبیعی رودخانه ایی یا ماسه بادی و یا ماسه ساحلی است که میتواند تا ۲۰٪ مصالح عبوری از الک ۰.۰۷۵ میلیمتر (شماره ۲۰۰) داشته و ارزش ماسه ایی حداقل آن ۳۰٪ باشد.

طبق نشریه MS-1 انستیتو آسفالت ، هر ۱.۳ سانتی متر ماسه آسفالت معادل یک سانتیمتر بتن آسفالتی است. و ضریب لایه این نوع آسفالت طبق توصیه آشتو و با توجه به کیفیت مصالح بین ۰.۳ الی ۰.٤ تغییر میکند درحالیکه ضریب بتن آسفالتی در محاسبه ضخامت ۰.٤٤ منظور میشود.

استاندارد ASTM طبق مشخصات D1073 ارزشهای زیر را برای ماسه مصرفی تعیین کرده است:

- درصد افت وزنی مصالح با آزمایش AASHTO T104 ، با سولفات سدیم حداکثر۱۵ و با سولفات منیزیم حداکثر ۲۰ درصد باشد.
- ضریب نرمی ماسه در طول انجام کار نباید بیش از ± 0.25 تغییر کند.
- دامنه خمیری ماسه (PI) از ٤٪ تجاوز نکند .

[1] Sand Asphalt

- دانه بندی مطابق استاندارد ASTM-D1073 و یا AASHTO-M29 برابری داشته باشد.

فیلر در ماسه اسفالت برای انطباق با دانه بندی در شرایطی که درصد مصالح عبوری از الک ۲۰۰ تا ۲۰٪ باشد، لازم است ولی اگر دانه بندی مصالح خام ماسه در آسفالت در محدوده درصدهای مشخص شده باشد، استفاده از آن ضرورتی ندارد.

قیر خالص مصرفی در ماسه آسفالت گرم در شرایط آب و هوایی خیلی گرم (بیش از^{o}C ۲٤) از نوع ۵۰-٤۰ ، برای شرایط آب و هوایی گرم (بین ۷ تا ^{o}C ۲٤) از نوع ۷۰-٦۰ ، برای شرایط آب و هوایی سرد (کمتر از^{o}C ۷) از نوع ۱۰۰-۸۵ خواهد بود . اگر ماسه آسفالت با قیر امولسیون تهیه شود ، نوع قیر به توصیه ASTM-D3628 باید از نوع آنیونیک MS-2h و یا HFMS-2h باشد. سایر خصوصیات قیرهای خالص باید با مشخصات AASHTO-M20 یا ASTM-D946 و برای قیرهای امولسیون با مشخصات AASHTO-M140 یا ASTM-D977 برابری داشته باشد.

چنانچه آزمایشهای کنترل کیفیت در کارگاه، حین اجرای عملیات آسفالتی نشان دهد که ارزش ماسه آسفالت مصرفی با جدول برابری دارد، تجاوز از ۱۸٪ فضای خالی برای ماسه آسفالتی در صورتیکه در لایه رویه پخش و مصرف نشود، قابل قبول است. اگر ارزشهای مکانیکی-فنی ماسه اسفالت گرم در حین تولید و اجرا ضمن انجام آزمایشهای کنترل کیفیت که معمولا در دمای ٦۰ درجه سانتی گراد روی نمونه مارشال اندازه گیری میشود با جدول تطبیق ننماید، ولی در دمای ۳۸ درجه با مشخصات برابری کند، مشروط براینکه در اعماق پایین تر از ۱۰ سانتیمتری، یا ضخامت بیشتر از رویه نهایی بکار رود این مخلوط قابل قبول خواهد بود. این شرط محدود به ماسه آسفالتی است که در لایه اساس مصرف شود.

جدول(٦-٤): مشخصات فنی ماسه آسفالت – انستیتو آسفالت SS-1

ارزشها	حداقل	حداکثر
تعداد ضربه ها برای ساخت نمونه مارشال	---	۵۰
مقاومت مارشال-کیلوگرم	۹۵	---
درصد فضای خالی	۳	۱۸
روانی (۰.۰۱ اینچ)	---	۲۰

ماسه آسفالت گرم یا مخلوط آسفالتی گرم ریزدانه، تهیه شده با قیرهای خالص و یا امولسیون در محورهای با آمدوشد سنگین فقط برای قشر اساس آسفالتی و در سایر رده های ترافیکی (سبک یا متوسط) بدون هیچگونه محدودیتی در کلیه قشرهای روسازی قابل مصرف است . کاربرد ویژه ماسه آسفالتی گرم با مصالح سخت، تیزگوشه و بادوام با ضخامتهای متغیر ۱۲ تا ۲۰ میلیمتر، و گاهی تا ۲۵ میلیمتر به عنوان روکش ترمیمی و حفاظتی ، برروی پوششهای آسفالتی موجود، نوساخته و قدیمی آسیب دیده، در کلیه منابع و ماخذ دانش آسفالتی و موسسات معتبر راه سازی توصیه شده است مشروط بر اینکه ضخامت لایه های روسازی و کیفیت مقاومتی محورهایی که باید روکش شود، کافی و مناسب بوده و توان پذیرش بار ترافیک طرح شده را داشته باشد.این روکش ترمیمی به ضخامت حداکثر ۲۰تا ۲۵ میلیمتر، عملا تاثیری در افزایش توان باربری نداشته و برای اهداف خاصی به شرح زیر بکار میرود:

۱. وقتیکه مصالح سنگی پوشش آسفالتی موجود، صیقلی و رویه لغزنده شده باشد.
۲. رویه آسفالتی موجود بعلت قیرزدگی دچار لغزندگی باشد.
۳. بخش ریزدانه یا ملات قیری از مخلوز آسفالتی جدا شده و سطح راه زبر شده و بافت آن گسسته و ناهموار باشد.
٤. غیر قابل نفوذ کردن رویه های آسفالتی اکسید شده ، هوا زده و فرسایش یافته و متخلخل در برابر نفوذ آب و هوا به لایه های زیرین
۵. افزایش دوام و طول عمر مفید لایه هایی که توان باربری کافی و مناسبی ندارند .

٦. این روکشها بعلت ریزدانه بودن و قیر بیشتر، از دوام و پایداری و ثبات بیشتری برخوردارند.
٧. این روکشها، نقش و بافت متراکم و پیوسته ایی داشته و رانندگی روی آنها آرام و بی صداست.
٨. برای بسیاری از عملیات تعمیراتی ، ترمیمی، حفاظتی و پوشش های آسفالتی ، از جمله اصلاح قیرزدگی ، شن زدگی، زبرشدن ناشی از زنجیرچرخ و یا لاستیکهای میخ دار یا به هر دلیل دیگر ، استفاده از این روکشها به جای آسفالت سرد نظیر سیل کت ، نه فقط برتری داردبلکه ثبات ف استحکام ، دوام و کارایی آن بسیار بیشتر است.
٩. قشر رویه با ماسه اسفالت ، دارای دانه بندی باز و گسسته را نباید در محورهایی که آمدوشد در آنها در ماههای معینی از سال با زنجیر چرخ انجام میشود، مصرف کرد.چراکه در مقابل قدرت سایشی-تخریبی زنجیر چرخ تاب مقاومت ندارد.
١٠. درجه حرارت برای این مخلوطهای آسفالتی، چنانچه دارای دانه بندی باز و گسسته باشد باید همواره با دقت انتخاب شود. اگر درجه حرارت بیش از اندازه لازم باشد، در فاصله زمانی حمل اسفالت ، قیر از سنگدانه جدا شده و قبل از اینکه در سطح راه پخش شود، قیر در کف کامیون جمع خواهد شد.
١١. در مناطق سرد و در شرایطی که احتمال یخبندان وجود دارد ، کاربرد مخلوطهای با دانه بندی باز که درصد حجمی فضای خالی آنها بیش از اندازه است ، در قشرهای با ضخامت کم مرسوم نیست ، زیرا در اثر انبساط ناشی از یخ زدن ، سنگدانه ها از قشر نازک لایه آسفالتی جدا میشوند.

ترکهای پوشش آسفالتی موجود، بعد از اجرای روکش ترمیمی با ضخامت کم، در سطح راه ظاهر میشود، مگر آنکه قبل از روکش، تعمیر و لکه گیری شود.

۶-۳-آسفالت متخلخل[1]

این آسفالت از اختلاط قیر خالص اصلاح شده با مصالح سنگی صد در صد شکسته دارای دانه بندی باز در کارخانه آسفالت گرم تهیه و با ضخامت حدود ٢٥ تا ٤٠ میلیمتر اجرا می شود. فضای خالی این آسفالت گرم بعد از کوبیده شدن در سطح راه، حدود ٢٠ درصد است. این قشر، جزء سیستم روسازی محسوب نمی شود و نمی توان از آن بعنوان قشر جایگزین رویه اصلی استفاده کرد. رویه متخلخل در واقع یک مخلوط با دانه بندی تقریباً یکنواخت است که ٥٠ تا ٦٠ درصد آن دارای دانه های تقریبا یک اندازه هستند . فیلرآن (رد شده از الک ٢٠٠) معمولا بین ٢ الی ٥ درصد متغییراست .

عوامل زیر را به عنوان مزایای این آسفالت میتوان ذکر نمود.

- باعث تخلیه سریع آب های سطحی رویه راه به خارج از عرض سواره رو می شود.
- مانع پدیده ایستایی در سطح راه و در نتیجه ایمنی بیشتر عبور و مرور می شود.
- کاهش پدیده پاشش و پخش آب که موجب افزایش قابلیت دید و ایمنی می شود.
- متوسط صدای تولید شده تا حدود 3dB(A) کمتر از میزان سر و صدای تولید شده در آسفالت گرم معمولی است.
- رویه آسفالت متخلخل در حالت خشکی و حتی بارندگی مانع از انعکاس نورچراغ های جلوی خودروهای مقابل می شود و که ناشی از عملکرد پخش نور آن است.
- موجب افزایش تاب لغزشی و ضریب اصطکاک سطح راه می شود که ناشی از مصرف حدود ٨٥ درصد مصالح درشت دانه (بیشتر از ٢ میلیمتر) صد در صد شکسته آن است.
- عمل مکش هوا توسط تایر در منافذ آسفالت متخلخل منجر به جریان بیشتر هوا در منافذ می شود که نتیجه آن نزدیک بودن درجه حرارت آسفالت متخلخل به درجه حرارت محیط است. این امر به خصوص در فصل تابستان

1 Porous asphalt

بسیار اهمیت دارد. زیرا در آسفالت معمولی حرارت رویه تا ٦٠ درجه بالا می رود که تحت این شرایط، سختی مخلوط کاهش می یابد. که باعث افزایش عمر خستگی آن می شود.

- با افزایش درجه حرارت محیط، مقاومت آسفالت متخلخل در برابر شیاری شدن در مقایسه با آسفالت معمولی بهبود چشمگیری می یابد که به دلیل کاهش اختلاف درجه حرارت رویه های متخلخل با درجه حرارت محیط می باشد.
- ضریب اصطکاک طولی و عرضی در یک رویه متخلخل به مقدار قابل توجهی افزایش می یابد.
- معایب آسفالت متخلخل:
- یکی از عواملی که در هزینه های آسفالت متخلخل و معمولی تفاوت ایجاد می کند، هزینه نگهداری است در آسفالت متخلخل این هزینه بیشتر از آسفالت معمولی است زیرا لازم است در تعمیرات ترکیب آسفالت جدید به وضعیت موجود نزدیک باشد تا خصوصیات زهکشی آن حفظ شود.
- عمر کوتاه آسفالت متخلخل نسبت به آسفالت معمولی از جمله معایب دیگر این آسفالت است.
- چون آسفالت متخلخل دارای فضای خالی زیادی است بنابراین بایستی مصالح آن از استاندارد بالاتری برخوردار باشد. در آسفالت معمولی اطراف تمام دانه ها با مصالح پر شده و انتقال بار تقریباً از تمام سطوح یک دانه انجام می شود ولی در آسفالت متخلخل با توجه به تخلخل زیاد، سطح تماس اطراف دانه ها کوچکتر شده، بنابراین تنش در انتقال بارها بالاتر رفته و لازم است مقاومت و سختی دانه ها و قیر مصرفی نسبت به آسفالت معمولی از مرغوبیت بالایی برخوردار باشد.
- در راه های شهری نیاز به پیش بینی زهکش های مناسب در کناره راه ها می باشد.
- حفظ نفوذپذیری آسفالت در طول عمر آن بسیار مشکل است زیرا با توجه به وجود گرد و خاک و عوامل دیگر، با گذشت زمان منافذ آن پر شده و نفوذپذیری کاهش می یابد

در صورت استفاده از رویه آسفالت متخلخل، لازم است لایه ای که بلافاصله زیر آن قرار می گیرد عملا نفوذ ناپذیر باشد. استفاده از این آسفالت فقط با توجیه فنی- اقتصادی مشاور طرح و تصویب کارفرما اجرا می شود ضمن آنکه مشخصات کامل مصالح، قیر، طرح اختلاط، تولید و مراحل اجراء و برنامه دوره نگهداری آن جهت تامین نیازهای عملکردی این آسفالت، باید در مشخصات فنی خصوصی پروژه قید شود.

از مهمترین مشکلات در استفاده از آسفالت متخلخل موضوع نگهداری به جهت عدم آلودگی و پر شدن منافض و خلل و فرج آن ناشی از گرد و غبار احتمالی هوا و ورود گل ولای از حریم راه و جاده های فرعی توسط وسایط عبوری و.. است.

مقدار قیر مصرفی در این مخلوط آسفالتی با توجه به تجربه و سوابق عملکرد آنها و براساس فضای خالی مورد نظر که حدود 20 درصد میباشد، تعیین میشود. معمولا بین ٤.٥ تا ٥.٥ درصد متناسب با وزن مخصوص سنگدانه ها و جذب قیر آنها). در عین حال به سبب جلوگیری از روان شدن و جدایش قیر از سنگدانه ها و ته‌نشین شدن قیر در این آسفالت استفاده از قیرهای اصلاح شده و همچنین استفاده از افزودنی‌های تثبیت‌کننده قیر ،که در عین کمک به ضخیم شدن فیلم قیر دور مصالح ، مشکل ذکر شده را کاهش دهند توصیه می‌شود. این مواد میتواند مواد معدنی و آلی باشند که مقدار این الیاف معمولا حدود ۰.۳ تا ۰.۵ درصد وزنی آسفالت بدست خواهد آمد.

۶-۳-۱-دانه بندی:

دانه بندی مخلوطهای آسفالت متخلخل یک دانه بندی باز و یا میان تهی می باشد. مقدار فضای خالی در مخلوطهای آسفالتی معمولی در حدود ۳ درصد می باشد و این فضای خالی به علت انبساط و انقباض مصالح و قیر در نظر گرفته می شود که تاثیر بسزایی در کاهش مقاومت مخلوط، ندارد و انتقال بار از طریق تمام وجه های دانه های روی هم و قیر، صورت می گیرد. در آسفالت متخلخل ، فضای خالی بیش از ۱۵ درصد می باشد. علاوه بر وجود فضای خالی زیاد، حفرات فضای خالی باید با یکدیگر

ارتباط داشته باشند تا بتوانند بعنوان یک زهکش عمل نماید. مصالح درشت دانه استخوان بندی اصلی را تامین مـی کننـد و مصـالح ریزدانه با جایگیری در بین آنها و پر کردن فضای خالی بین زوایای دانه های درشت، یک مخلوط یـک پارچـه و یـک مخلـوط بـا چگالی بالا و فضای خالی مناسب را ارائه می کنند. مصالح فیلر در واقع مسلح کننده قیر مصرفی می باشد و باعث می شود قیر بـه راحتی نتواند فرونشست نماید و مثل یک پوشش مقاوم به همراه قیر، اطراف دانه ها را گرفته و آنها را در انتقال بار کمک می نماید. همچنین باعث می شود با افزایش فشار بین دانه ها، قیر حرکت نکند.

شکل دانه ها در مخلوط های آسفالت متخلخل بسیار قابل توجه است. شکل دانه ها باید بگونه ای باشند که بخوبی روی هـم قرار گرفته و درگیری لازم برای انتقال بارهای قایم و تنشهای برشی را داشته باشند. دانه های پهن و دراز در اثـر تنشـهای ناشـی از وزن غلتک ها و وسایل سنگین به راحتی خرد شده و علاوه بر برهم زدن دانه بندی، تاثیر بسزایی در کاهش مقاومت مخلوط دارند. مصالح سنگی شکسته شده بیش از مصالح سنگی دارای گوشه های گرد دارای استقامت و ظرفیت باربری هستند. در شـرایطی کـه مصالح سنگی شکسته در اختیار نباشد می توان از مصالح طبیعی شکسته شده استفاده کرد.

دانه های مصالح سنگی باید قادر به جذب قیر باشند و علاوه بر این، برای مدت طولانی قیر را به خـود نگـه دارنـد تـا عمـل چسبیدن دانه ها به یکدیگر بخوبی انجام پذیرد. هر اندازه اندود قیری، بهتر به دانه ها بچسبد و چسبندگی پایدار باشد، اسـتقامت و دوام آسفالت نیز بیشتر می باشد.

استقامت و قابلیت باربری لایه های آسفالتی متناسب با استقامت و قابلیت باربری مصالح سنگی آن است. سـختی مصـالح در رویه متخلخل باید بیش از یک رویه معمولی باشد، زیرا در یک رویه متخلخل انتقال بار از تمام وجه های دانه ها صورت نگرفتـه، یعنی مساحت انتقال بار کاهش یافته و یا بهتر است بگوییم تنشها روی دانه ها افزایش یافته است. پس بایـد مصـالح سـخت تـری استفاده شود.

مصالح سنگی مورد استفاده باید در برابر عوامل جوی مقاوم باشند. این مسئله در مورد رویه های متخلخل با توجه بـه وجـود آب در محیط مخلوط و احتمال یخ زدن آن، از اهمیت بیشتری برخوردار است. مصالحی که در اثر یخبنـدان و یـا در اثـر تغییـرات رطوبت شکسته و خرد می شوند، نباید در لایه های آسفالتی مصرف شوند.

سطح مصالح سنگی باید عاری از هر گونه مواد آلی، سنگهای نرم و کم دوام و خاکهای رس و لای باشـد. وجـود ایـن مـواد علاوه بر پایین آوردن استقامت مخلوط باعث می شود قیر بخوبی به مصالح دانه ای نچسبیده و دوام مخلوط را به شـدت در زمـان بهره برداری تحت الشعاع خود قرار دهد.

۶-۳-۲-قیر:

انتخاب نوع قیر در رویه متخلخل بستگی به عواملی نظیر شرایط جوی محل احداث راه، نوع وسـایل نقلیـه عبـوری و تکـرار بارگذاری دارد. هر اندازه درجه حرارت متوسط سالیانه منطقه ای بیشتر باشد، باید از قیر کند روان تری استفاده شود و همچنین هر چقدر وزن وسایل عبوری و تعداد آنها بیشتر شود نیز، باید از قیر کند روان تری استفاده کرد. در آسفالت متخلخل به علـت جریـان داشتن هوا در داخل مخلوط، اکسید شدن قیر، روان شدن و یا سخت شدن آن، سریعتر صورت می گیرد ولی باید گفـت بـه علـت همین جریان هوا در داخل مخلوط، دمای مخلوط در حد دمای محیط باقی می ماند یعنی سطح آسفالت به مقدار یک رویه معمولی گرم و یا سرد نمی شود. در رویه متخلخل خرابی قیر خالص خیلی سریعتر از یک رویه معمولی اتفاق می افتد.

امروز با توجه به افزایش بارها و افزایش سیکل بارگذاری ها و تنوع آرایش چرخها و هزینه سنگین تمام شده این نوع رویـه، استفاده از قیرهای خالص در طی دو دهه اخیر در بیشتر کشورها منسوخ شده و استفاده از اصلاح کننده ها که شامل انواع مختلـف پلیمرها، انواع مختلف لاستیک ها و افزودنیها می باشد، رواج یافته است.

جدول(٦-٥): دانه‌بندی‌مخلوط آسفالتی‌متخلخل

شماره دانه‌بندی اندازه الک	درصد وزنی رد شده از الک	
	۱	۲
۱۹میلیمتر(۳/۴اینچ)	۱۰۰	--
۱۲/۵ میلیمتر(۱/۲اینچ)	۹۰-۱۰۰	۱۰۰
۹/۵ میلیمتر(۳/۸اینچ)	۶۰-۱۰۰	۹۰-۱۰۰
۴/۷۵ میلیمتر(شماره۴)	۱۵-۴۰	۳۰-۵۰
۲/۳۶میلیمتر(شماره۸)	۴-۱۲	۵-۱۵
۰/۰۷۵ میلیمتر(شماره۲۰۰)	۲-۵	۲-۵
درصد قیر خالص بر حسب مخلوط آسفالتی-حداقل	۴/۵-۸	۵- ۸/۵

۶-۴-آسفالت سرد[1]:

آسفالت سرد از اختلاط مصالح سنگدانه ای با قیرهای محلول یا امولسیونی یا قطرانی در دمای طبیعی محیط تهیه و در همین دما پخش و متراکم می شود. شرط عدم وجود رطوبت درسنگدانه ها در زمان اختلاط با امولسیون می‌تواند رعایت نگردد، ولی با قیرهای محلول در دمای محیط و یا تحت اثر حرارت باید خشک شده باشد. مخلوط های آسفالت سرد که با قیرهای محلول غلیظ مانند MC-3000 یا SC-3000 تهیه می شود، عملاً مانند آسفالت گرم باید در درجه حرارت ۹۵ درجه سانتیگراد یا بیشتر با قیر مخلوط شده و در محدوده همین دما، پخش و متراکم شود. آسفالت سرد را می توان در مسافت های زیاد حمل و پخش کرد و یا آن را در کارگاه انبار نمود (ترجیحاً با پوششی از پلاستیک) و بعداً مورد استفاده قرار داد.

آسفالت سرد در کلیه لایه های روسازی و در قشرهای رویه، آستر و اساس قیری برای ترافیک سبک و متوسط و در قشر اساس قیری برای ترافیک سنگین و خیلی سنگین می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد.

ضرایب هم ارزی آسفالت سرد نسبت به آسفالت گرم بر حسب این که آسفالت سرد کارخانه ای یا مخلوط در محل و یا با دانه بندی درشت ماسه ای باشد، متفاوت است و در محدوده ۲-۱/۳ تغییر می کند. آسفالت سرد را می توان برای ترافیک سبک و یا متوسط طراحی کرد و چنانچه در آینده ترافیک جاده سنگین شد، آنرا با آسفالت گرم روکش و تقویت نمود.

۶-۴-۱-انواع آسفالت سرد:

آسفالت سرد را بر حسب روش تهیه و اجرا می توان به دو دسته آسفالت سرد کارخانه ای و آسفالت سرد مخلوط در محل تقسیم کرد.

-آسفالت سرد کارخانه ای[2]:

آسفالت سرد کارخانه ای در کارخانه های ثابت و مرکزی آسفالت تهیه می شود و سپس برای پخش به محل مصرف حمل می شود. در کلیه مراحل ساخت آن ازجمله در تنظیم دانه بندی، توازین سنگدانه ها و اختلاط با قیرهای مشروحه در این بخش کنترل های لازم آنطور که درتهیه آسفالت گرم تشریح شده است، باید رعایت شود. هنگامی که از قیرابه استفاده می شود، مراحل حرارت دادن و یا خشک کردن سنگدانه ها انجام نمی شود. مظروط بر آنکه رطوبت مصالح بیش تر از ۳ درصدنباشد.

-آسفالت سرد مخلوط در محل[3]

[1] Cold Asphalt
[2] Plant cold mix asphalt
[3] Road cold mix asphalt

آسفالت سرد مخلوط در محل به دو روش زیر تهیه می شود:

الف- نوع مخلوط در محل که سنگدانه ها در کنار و امتداد راه ریسه شده و روی آن قیرپاشی می شود و سپس عمل اختلاط و پخش با گریدر یا وسایل نظیر آن انجام می گیرد.

ب- نوع مخلوط در کارگاه که عمل اختلاط قیر و سنگدانه ها در کارگاه های ثابت یا موقت انجام و مخلوط تهیه شده برای پخش به محل مصرف حمل می شود.

۶-۴-۲-مصالح سنگی:

مصالح سنگی در آسفالت سرد، اعم از کارخانه ای یا مخلوط در محل را می توان از اختلاط مصالح درشت دانه حاصل از شکستن سنگ کوهی، شن رودخانه ای، سرباره کوره آهن گدازی، با ماسه شکسته، ماسه طبیعی و یا مخلط این دو و در صورت لزوم فیلر تهیه کرد. مخلوط مصالح مصرفی باید مشخصات مندرج در جدول زیر دارا باشد.

جدول(٦-٦):مشخصات سنگدانه ها برای استفاده در آسفالت سرد

آزمایش	مشخصات	روش آزمایش	
		AASHTO	ASTM
مقاومت‌سایشی‌با آزمایش‌لوس آنجلس- حداکثر	۴۰ردصد	T 96	C 131
افت وزنی‌باسولفات‌سدیم- حداکثر	۱۲ردصد	T 104	C 88
افت وزنی‌باسولفات‌منیزیم- حداکثر	۱۸ردصد	T 104	C 88
ارزش ماسه ای- حداقل	۳۵ردصد	T 176	C 2419
دامنه‌خمیری- حداکثر	۴ردصد	T 90	C 4318
شکستگی یک جبهه دانه های مانده روی الک شماره ۴یا ۴/۷۵میلیمتر-حداقل	۶۵ردصد	---	D5821
سنگدانه‌های‌پهن و دراز[1]-حداکثر	۱۵ردصد	---	D4791
جرم واحدحجم‌سنگدانه‌های‌سرباره‌کوره آهن‌گدازی- حداقل	۱۱۲۰Kg/m^3	T 19	C 29

دانه بندی مصالح سنگی با توجه به ضخامت قشر آسفالتی، ترافیک و شرایط جوی- اقلیمی منطقه تعیین می شود. دانه بندی اجزای دانه درشت و دانه ریز نیز برای اختلاط و تامین دانه بندی مشخصات با توجه به حداکثر اندازه سنگدانه ها باید مطابق دانه بندی مصالح درشت دانه و ریز دانه آسفالت گرم را دارا باشد. انتخاب دانه بندی های درشت و ریز دیگر که بتواند دانه بندی مشخصات را تامین کند، قابل قبول خواهد بود.

وقتی که مصالح سنگی مصرفی برای آسفالت سرد از بستر راه شنی موجود و از طریق شخم زدن و برداشتن ضخامت معینی از آن تهیه می شود، باید با مشخصات جدول فوق و شرایط فوق منطبق بوده و در غیر این صورت اصلاحات لازم برای تطابق با مشخصات روی آن انجام گیرد.

۶-۴-۳-دانه بندی فیلر

چنانچه برای تامین دانه بندی مخلوط سنگدانه ها از فیلر استفاده شود، دانه بندی آن باید خصوصیات آسفالت گرم را دارا باشد.

۶-۴-۴-انتخاب قیر

قیرهای مصرفی در آسفالت سرد با توجه به روش اختلاط سنگدانه و قیر در واقع نوع آسفالت سرد (کارخانه ای یا مخلوط در محل) دانه بندی مصالح، شرایط منطقه، عمر طراحی و مدت زمان انبار کردن آسفالت قبل از مصرف (فوری، کوتاه مدت، و یا میان مدت) انتخاب می شود.

در این خصوص با عنایت به اینکه کند روان قیر تابع درجه حرارت می باشد بنابراین ضروری است قیر مصرفی در اسفالت سرد و در دمای محیط کار و در حین عملیات اجرائی، کارایی و روانی کافی داشته باشد، لذا کند روانی قیر در این دما از اهمیت خاصی برخوردار است. قیر در شرایط محیطی ساخت آسفالت باید آنچنان کند روانی داشته باشد که بتواند مخلوط آسفالتی همگن و یکنواخت با پوشش قیری کامل برای سنگدانه ها را تامین کند. به عنوان مثال برای تولید آسفالت سرد کارخانه ای، از قیر با کندروانی بیشتر (قیر غلیظ تر) و برای آسفالت سرد تولید شده در محل از قیر با کند روانی کمتر (قیر رقیق تر) استفاده می شود.

۶-۵-آسفالت نفوذناپذیر:

آسفالت ماستیک یکی از انواع آسفالتهای گرم میباشد که اساسًا در دو کشور آلمان و انگلستان ابداع گردید. پایین بودن عمر پایین آسفالتهای معمول و هزینه بالایی که جهت نگهداری روسازیها مصروف میگردد و همچنین ضعف آسفالت دربعضی مناطق خاص نظیر ایستگاههای اتوبوس، تقاطعات، میدانها،شیبهای تند، مناطق پرترافیک ، پارکینگهای مراکز صنعتی و عرشه پلهای فلزی، ضرورت استفاده از روکشی را می‌طلبد که بتواند با داشتن خصوصیات بسیار ممتازتری نسبت به سایر مخلوطهای آسفالتی، نیازهای مربوطه به این مناطق را برآورده نماید.

آسفالت نفوذناپذیر (ماستیک)،به دلیل چسبندگی فوق‌العاده، پایین بودن فضای خالی و بالا بودن مقاومت مکانیکی می‌تواند یکی از بهترین گزینه ها باشد. با توجه به اینکه بزرگترین ضعف آسفالت در کشش است، پایین بودن مقاومت کششی آسفالت، از عوامل بروز خرابیهایی نظیر ترکهای حرارتی، ترکهای خستگی، عریان‌شدگی مصالح سنگی از قیر، جداشدگی دانه‌ها (شن زدگی)، ایجاد چاله و درنهایت اضمحلال روسازی می‌باشد. درحالیکه آسفالت نفوذناپذیر به دلیل ساختار خاص خود (ترکیب و اختلاط فیلر و قیر و تولید چسبنده‌ای با قطبیت بسیار بالا) و همچنین تخلخل بسیار کم می‌تواند مسائل و مشکلات مذکور را برطرف نماید.

فرسودگی و شکست در رویه بزرگراههای دارای حجم ترافیک، بارگذاری و سرعت ترافیک بالا، نیاز به لایه‌ای نازک را که با آن رویه‌های جدید ساخته شوند و یا رویه‌های قدیمی جهت عبور چنین ترافیکی احیا شوند، ایجاب می‌نماید.

با شرایط ترافیک امروزی، با افزایش حجم ترافیک، حرکتها و توقفهای ناگهانی، رویه‌های قدیمی نمی‌توانند سرویس‌دهی قابل اطمینانی داشته‌باشند، مخصوصاً زمانی که قرار باشد، آسفالتهای متداول برروی سطوح بتنی قدیمی اجرا گردند.

آسفالت نفوذناپذیر به دلیل دارا بودن مقاومت مکانیکی بالا از یک طرف و نداشتن فضای خالی از طرف دیگر، از پتانسیل بالاتری در تمام شرایط بارگذاری نسبت به مخلوطهای آسفالتی متداول برخوردار می‌باشد و دارای عمر خستگی طولانی‌تری است.

آسفالت نفوذناپذیر درصورت داشتن دانه‌بندی مناسب می‌تواند در برابر بارهای ترافیکی سنگین و شرایط نامساعد جوی برای مدتی طولانی مقاوم باشد. چسبندگی بهتر بین قیر و مصالح سنگی در این نوع آسفالتها و درنتیجه افزایش مقاومت کششی، می‌تواند این مخلوطها را دارای کاربرد ویژه و ممتازی ازجمله بعنوان روکش عرشه پلهای فلزی بنماید.

با دانه‌بندی مناسب و هرچه غیرقابل نفوذ کردن آسفالتهای نفوذناپذیر می‌توان از ضایعات ناشی از نفوذ آب به داخل آسفالت در مناطق باران‌خیز و درنتیجه پدیده عریان شدگی ممانعت به عمل آورد.

یکی از مشکلات مربوط به استفاده از آسفالتهای نفوذناپذیر، هزینه آنهاست. در بسیاری از موارد، هزینه تهیه و پخش این نوع آسفالتها بالاست. با این وجود، تجربه نشان داده‌است که هزینه تمام عمر آسفالت نفوذناپذیر، هزینه اولیه آن را جبران می‌کند. مخصوصاً جایی که نگهداری و روکش مجدد، مشکلاتی ازلحاظ فنی و محیطی ایجاد نماید.

اصولاً در بسیاری از موارد، تعمیرات بعضی از خیابانهای داخل شهر و یا جاده‌های برون شهری، به علت حجم ترافیک سنگین، کاری بسیار مشکل است. در چنین محلهایی،انحراف ترافیک باعث بوجود آمدن هزینه‌های مختلفی بر مصرف‌کنندگان آن جاده خواهدشد. ضمن اینکه در بعضی از شرایط، این امر امکان‌پذیر نمی‌باشد.

با توجه به توضیحات فوق، آسفالت نفوذناپذیر مخلوطی است که از ترکیب مصالح سنگی و یک مخلوط قیری به نام ماستیک تشکیل شده‌است. این ماستیک شامل درصد بالایی فیلر می‌باشد که بطور یکنواخت در داخل قیر خالص پخش شده است.

۶-۵-۱-ملات ماستیک:

از مخلوط قیر، فیلر و مصالح سنگی ریزدانه تشکیل شده‌است. این مخلوط دارای مقدار زیادی قیر و فیلر می‌باشد، بطوریکه مصالح سنگی ریزدانه و فیلر به خوبی در داخل قیر پخش شده‌اند و تشکیل مخلوط یکنواختی به‌نام ملات ماستیک را می‌دهند.

۶-۵-۲- مخلوط آسفالت ماستیک:

مخلوطی از قیر خالص، مصالح سنگی و فیلر به نسبتی است که تشکیل توده‌ای بدون تخلخل و غیرقابل نفوذ را بدهد. آسفالت ماستیک به طورکلی از دو فاز مصالح سنگی درشت دانه و ملات ماستیک تشکیل شده است که نقش عمده در رفتار مخلوط ،به خصوصیات و ویژگیهای ملات ماستیک وابسته میباشد. میزان مصرف قیر و فیلر مورد استفاده در این مخلوط نسبت به سایر مخلوطهای آسفالتی از درصد قابل توجه بالاتری برخوردار میباشد. قیر خالص می‌تواند قیر نفتی، قیر طبیعی یا ترکیبی از این‌دو باشد. پایداری این نوع آسفالت به گونه‌ای است که در دماهای طبیعی به حالت جامد یا نیمه جامد است. اما در دمای ۲۰۰ درجه سانتیگراد کاملاً مایع می‌باشد، به قسمی که بوسیله ماله‌هایی دستی پخش می‌گردد.

طبق استاندارد BS1447،آسفالت ماستیک، نوعی آسفالت متشکل از مصالح معدنی خوب دانه‌بندی شده و قیر خالص به نسبتی است که تشکیل توده‌ای چسبنده، بدون فضای خالی و غیرقابل نفوذ را بدهد که تحت شرایط دمای طبیعی دارای حالتی جامد یا نمیه جامد بوده، اما وقتی جهت پخش بوسیله ماله دستی یا ماشین مخصوص این کار به دمای موردنظر رسانده شود، کاملاً مایع است.

در انگلستان، استانداردهای BS 1446 و BS 1447 جهت تولید آسفالت ماستیک مورد استفاده می‌باشد. تفاوت عمده این استانداردها در نوع مصالح ریزدانه است: در اولی مصالح ریزدانه موجود در پودر سنگ طبیعی[1]کار برده می‌شود و در دومی سنگ آهک بدست آمده از معدن سنگ مورد استفاده قرار می‌گیرد. این تفاوت اساسی، بر سایر مشخصات ماستیکها مخصوصاً درجه نفوذ قیرهای خالص و ترکیبات موجود در مخلوط تأثیرگذار است.

در آلمان،مخلوطهای گوس آسفالت براساس استاندارد DIN 1996 تولید می‌گردند.

سایر کشورها نیز گرچه دارای کد استاندارد اختصاصی جهت تولید آسفالت نفوذناپذیر هستند، ولی چارچوب اصلی آنها از استانداردهای انگلستان یا آلمان الگوبرداری شده‌است. در هندوستان، استانداردهای IS 5317 و IRC 107 جهت تولید آسفالت ماستیک استفاده می‌شوند. دو دسته مهم از آسفالتهای نفوذناپذیر شامل آسفالت ماستیک و گوس آسفالت است.

۶-۵-۳- آسفالت ماستیک[2]:

حاصل کار کشورهای انگلستان، فرانسه و حوزه مدیترانه می‌باشد، که بدون تخلخل بوده و دارای غلظتی، همانند یک پودینگ یا فرنی است. DIN1996 – BS1446 – BS1447 – IS5317 – IRC107-1992 از استانداردهای آسفالت ماستیک هستند.

۶-۵-۴- گوس آسفالت[3]:

محصول آلمان، اروپای شرقی و کشورهای اسکاندیناوی می‌باشد، که بر ساختار مصالح سنگی دانه‌بندی شده، استوار است. با این وجود، برروی سطح، جاری می‌شود، ولو بوسیله کوبیدن.

[1] Natural Rock Powder
[2] Mastic Asphalt
[3] Gouss Asphalt

گوس آسفالت در سال ۱۹۵۰ میلادی بوسیله مهندسین آلمان برای سطح راهها توسعه داده شد و برای اولین بار با احداث مجدد سیستم اتوبانی که ۲۰ سال پیش ساخته شده‌بود، مورد استفاده قرار گرفت.

این اسفالت برای اولین بار در سال ۱۹۵۳ در برلین آلمان بطور ماشینی پخش گردید. سپس طی سالهای بعد، برای اولین بار در اتوبانهای آلمان اجرا شد. تقریباً ۱۵۰۰ مایل (۲٤۰۰ کیلومتر) از خطوط اتوبانهای آلمان بوسیله گوس آسفالت روکش گردید.

بطورکلی، گوس آسفالت دارای پیشینه‌ای همانند آسفالت ماستیک، قدیمیترین مصالح آسفالتی است که به دوران باستان برمی‌گردد و در خاورمیانه تولید می‌شد.

تفاوتهای بین آسفالت نفوذناپذیر با سایر مخلوطهای آسفالتی را می‌توان در موارد ذیل خلاصه نمود:

۱. در آسفالت نفوذناپذیر، فیلر بطور یکنواخت در چسبنده قیری بصورت معلق مکانیکی یا کلوئیدی پراکنده شده‌است. به عبارتی دیگر، هر ذره از فیلر بوسیله فیلمهای بسیار نازکی از چسبنده پوشانیده شده است.

۲. آسفالت نفوذناپذیر معمولاً دارای فضای خالی کمتر از ۱٪ می‌باشد.دقیقاً به همین دلیل یعنی داشتن فضای خالی نزدیک به صفر نیازی به کوبیدن ندارد، درحالیکه در سایر آسفالتها درصد فضای خالی با توجه به فاکتورهایی: ازقبیل نوع مصالح، استفاده موردنظر و اهداف مربوطه، بین ۲٪ تا ۲۰٪ متغیر است.

۳. برخلاف سایر مخلوطهای آسفالتی، این مخلوط بسیار متراکم و چگال است.

۴. علیرغم درصد تخلخل بسیار کم و عدم نیاز به کوبیدن این آسفالت تحت ترافیک سنگین دچار روزدگی قیر نمی‌شود.

۵. ظاهر این مخلوط به شکل سیالی بسیار ویسکوز با پایداری و قوامی همانند لاستیک و خواص چسبندگی بالاست، بطوریکه وقتی برروی فولاد یا شیشه ریخته شود، به سختی به آن می‌چسبد.

۶. علیرغم نرمی نسبی چسبنده، این اسفالت در مقایسه با سایر آسفالتها دارای استقامتی زیاد و حساسیت حرارتی بسیار کم می باشد.

۷. ضخامت آسفالت نفوذناپذیر در مقایسه با سایر آسفالتها بسیار کم و با توجه به کاربرد آن بین ۲۰ میلیمتر تا۵۰ میلیمتر متغیر است.

آسفالت نفوذناپذیر دارای مشخصات فوق‌العاده‌ای می‌باشد که از این حیث نسبت به سایر مخلوطهای آسفالت گرم دارای ارجحیت است. خصوصیات مهم این آسفالت به شرح ذیل است:

۱. به شکل سیال می‌باشد، بطوریکه حتی می‌توان آن را بسته به نوع دانه‌بندی در لایه‌های بسیار نازک به ضخامت ۳ میلیمتر تا ۱۰ میلیمتر نیز برروی سطح ریخته و صاف نمود.

۲. دارای چنان قابلیتی است که پس از گذشت تنها چند ساعت می‌توان ترافیک را برروی آن عبور داد.

۳. به انواع سطوح مخصوصاً سطوح بتنی با سیمان پرتلند به سختی می‌چسبد و دارای خواص پیوستگی و چسبندگی بالایی است.

۴. دارای استقامت کافی و مقاومت در برابر فرسودگی در هنگام عبور ترافیک بدون جابجایی بیش از اندازه می‌باشد.

۵. دارای حجمی متراکم و چگال و حساسیت حرارتی بسیار پایینی است.

۶. این آسفالتها، روسازی متراکم و مقاومی ایجاد می‌نمایند، که دچار روزدگی قیر نشده، در آینده اثری از فشار ترافیک برروی آن مشاهده نمی‌گردد.

۷. این روسازی، بسیار بادوام و دارای سطح سرویس عالی جهت استفاده به مدت چندین سال می‌باشد.

ویژگیهای متعددی که در خصوصیات مکانیکی آسفالت نفوذناپذیر مشاهده شده، موجب گردیده که این نوع آسفالت در بسیاری از موارد مشکل‌زا در پروژه های عمرانی مورد استفاده قرار گیرد.

از مهمترین کاربردهای اینگونه آسفالتها در صنایع مختلف میتوان به: استفاده در روکش راهها ، استفاده در پایانه‌ها و بنادر ، استفاده در عرشه پلهای فلزی، استفاده در تونلها و عرشه پلهای بتنی، استفاده جهت آب‌بندی، استفاده در بام، استفاده در سایر روسازیها نظیر پارکینگ اتومبیلها، سراشیبیها، محلهای بارگیری و توقفگاههای وسایط نقلیه سنگین و لایه ایزولاسیون سازه های آبی نظیر کانالها ، مخازن زمینی ،حوضچه ها ودریاچه های ذخیره سازی آب اشاره نمود

۶–۵–۵–مزایا و محدودیتهای آسفالت نفوذناپذیر:

آسفالتهای نفوذناپذیر اعم از گوس آسفالتها و آسفالتهای ماستیک در سطح وسیعی از صنایع، زیرساختهای اقتصادی و زیربنایی کاربرد دارند. علاوه بر داشتن مزایای بسیار، محدودیتها و مشکلاتی نیز در استفاده از این آسفالتها مشاهده می‌گردد.

مهمترین مزایای استفاده از آسفالتهای نفوذناپذیر عبارتند از:

۱. مشخصات آب‌بندی: این مشخصات عموماً در کاربردهایی همچون سقف‌سازی، کف‌سازی و ساختن مخازن نمودپیدا می کند. اما می‌توان آن را به کارهایی نظیر ساخت لایه‌های محافظ ومقاوم در برابر آب و خورنده‌های شیمیایی مخصوصاً در عرشه پلها تعمیم داد.

۲. دوام: این گروه از آسفالتها عمر فوق‌العاده‌ای را مخصوصاً در کاربرد بعنوان لایه میانی مثلاً لایه آب‌بند بین مصالح ساختمانی از خود نشان داده‌اند و در شرایطی همچو پلها که کار نگهداری دشوار می‌باشد و روش مناسب دیگری وجود ندارد، ایده‌آل بنظر می‌رسند. همچنین در اتوبانها، نتایج بدست آمده، مبنی بر دوام و کارآیی بسیار عالی روکشهای ماستیک است.

۳. استقامت: این نوع آسفالتها در برابر تغییرشکل پلاستیک و تغییرشکل دائمی در دماهای بالا مقاوم می‌باشند.

۴. چسبندگی و کشش زیاد: بدلیل مصرف زیادتر قیر، این آسفالتها از چسبندگی و کشش بالایی برخوردار بوده، تمایل خیلی کمی به ترک خوردن دارند. به همین دلیل است که لایه آسفالت ماستیک ایزولاسیون خیلی خوبی برای لایه‌های زیرین بشمار می‌رود.

۵. انعطاف‌پذیری:تغییرشکل عرشه پلهای فلزی را بدون شکست امکان‌پذیر می‌سازد.

۶. مقاومت سایشی بسیار بالا: تجربه خیلی خوبی از کاربرد آسفالت ماستیک در تقاطعات ومیادین شهر کاسل مبنی بر پایداری روکش درمقابل چرخهای زیر تانکهای نظامی و دوام و کارآیی خیلی خوب این لایه‌ها تحت عبور ماشین‌آلات سنگین نظامی بدست آمده‌است.

۷. سختی زیاد: لایه نازکی از این آسفالتها بار مرده را برروی عرشه پلها محدود می‌نماید.

۸. مقاومت در برابر اسیدهای آلی: آسفالت ماستیک در برابر اسیدهای آلی مقاوم‌تر از بتن آسفالتی است، که احتمالاً ناشی از سطح تماس کمتر آسفالت ماستیک به دلیل بافت ریزدانه آن است.

۹. حساسیت کمتر در برابر عوامل جوی: این روکشها، حساسیت کمتری بخصوص در زمان اجرای روکش درمقابل عوامل جوی از خود بروز می‌دهند.

۱۰. نداشتن فضای خالی: موجب می‌شود که آسفالتهای نفوذناپذیر، بعد از پخش نیازی به غلتک زدن نداشته‌باشند.

۱۱. هزینه نگهداری کمتر:نگهداری این قبیل آسفالتها بسیار ساده و اقتصادی می‌باشد.

برخی از مشکلات و محدودیتها در رابطه با آسفالتهای نفوذناپذیر عبارتند از:

۱- هزینه: یکی از مشکلات مربوط به استفاده از آسفالتهای نفوذناپذیر، هزینه آنهاست.

۲- تجهیزات و مهارتهای مربوط به ساخت و کاربرد:

۳- بافت سطحی: سطح آسفالت نفوذناپذیر، به دلیل دارا بودن درصد بالای فیلر و قیر و نیز مصالح ریزدانه، صاف و صیقلی است، بطوریکه در فصول بارندگی، لغزنده و خطرناک می‌باشد.. بدین‌ترتیب، بافت گوس آسفالت زبرتر از بتن آسفالتی می‌گردد که سروصدای مضاعفی را نیز در عبور وسایط نقلیه ایجاد می‌نماید، اما تجربه نشان داده که استفاده از سنگدانه‌های ۱ تا ۳ میلیمتری، سطح آرامتری را برای رانندگی فراهم می‌نماید.

۶-۵-۶-انواع آسفالتهای نفوذناپذیر:

بطورکلی آسفالتهای نفوذناپذیر را می‌توان به دو دسته تقسیم نمود:

آسفالتهای نفوذناپذیر گرم و آسفالتهای نفوذناپذیر سرد

۶-۵-۶-۱-آسفالت نفوذناپذیر گرم:

این آسفالتها در کشورهایی نظیر انگلستان و هندوستان با عنوان آسفالت ماستیک نامگذاری شده‌اند. آسفالت ماستیک، آسفالتی است که در آن حجم ترکیبی فیلر و قیر از حجم فضای خالی در ساختار مصالح سنگی باقیمانده تجاوز نماید. این آسفالتها زمانی که داغ هستند، ریخته شده و نیازی به کوبیدن ندارند.

آسفالتهای ماستیک یا فاقد مصالح سنگی درشت دانه هستند و یا مقدار کمی از مصالح سنگی درشت‌دانه در آنها استفاده می‌شود و معمولاً بطور دستی پخش می‌شوند.

شکل(٦-١): اجرای دستی و مکانیزه آسفالت ماستیک

در کشور آلمان، آسفالتهای نفوذناپذیر را گوس آسفالت می‌نامند. گوس آسفالت درواقع آسفالت ماستیکی است که در آن مقدار قابل توجهی از مصالح درشت‌دانه بکار می‌رود. این نوع آسفالت دارای مشخصاتی است که پخش آن را هم بصورت دستی و هم بصورت ماشینی میسر ساخته‌است.

تفاوت آسفالت ماستیک با گوس آسفالت، به مقدار بسیار جزئی در ترکیب مصالح می‌باشد. در آسفالت ماستیک از ماسه‌های سیلیسی استفاده نمی‌شود تا بدین ترتیب مقاومت کششی ماستیک افزایش یابد. همچنین در این نوع آسفالت، قیرهای با درجه نفوذ پایینتر بکار می‌رود،درحالیکه نوع قیر مورد استفاده در گوس آسفالت، نرمتر است.

۶-۵-۶-۲-آسفالت نفوذناپذیر سرد:

مخلوط قیری مایعی است که در اروپا به نام شلم[1] نامگذاری شده و در آلمان کاربرد زیادی دارد. این کلمه در آلمان به معنای لجن[2] یا دوغاب[1] است.

[1] Schlamme
[2] Sludge

هدف از تهیه این مخلوط، دستیابی به ملات قیری به شکل دوغاب (اسلاری) است،که بتوان آن رابصورت لایه‌ای نازک برروی انواع مختلف اساسها و روسازیها پخش کرد. مشخصات غیرمعمول مخلوط آسفالت نفوذناپذیر سرد به شرح ذیل است:

این آسفالت بصورت سرد پخش می‌گردد و از اختلاط مصالح سنگی با قیر خالص داغ بعنوان چسبنده، در محل بدست می‌آید. قوام این دوغاب می‌تواند طوری تعدیل گردد که هر نوع عمل پخش کردن برروی روسازی را میسر سازد. این مخلوط نیازی به زمان طولانی جهت عمل‌آوری ندارد و تنها چند ساعت پس از پخش، خود را می‌گیرد.

مخلوط آسفالت نفوذناپذیر سرد نیز همانند مخلوط آسفالت نفوذناپذیر گرم،درصورت طراحی درست، ایجاد سطحی سخت، محکم، بادوام و یکنواخت می‌نماید که بسیاری از مشکلات مربوط به چسبندگی را حل می‌نماید.

۶–۵–۷–اجزای تشکیل دهنده آسفالت نفوذناپذیر:

مخلوط آسفالت نفوذناپذیر، ترکیبی از ملات ماستیک و مصالح سنگی درشت‌دانه است که در آن مصالح سنگی بوسیله ملاط احاطه و به یکدیگر متصل شده‌اند. ویژگیهای مکانیکی مخلوطهای آسفالت نفوذناپذیر برخلاف سایر انواع آسفالتهای گرم متداول وابسته به خصوصیات این ملات می‌باشد و مصالح سنگی درشت‌دانه که در سایر آسفالتهای گرم نقش اصلی را در باربریو همچنین مشخصات مکانیکی مخلوطها بعهده دارند،در آسفالت نفوذناپذیر دارای نقش دوم می‌باشند.

در این بخش، اجزای تشکیل دهنده آسفالت نفوذناپذیر، شامل مصالح درشت‌دانه، ریزدانه و فیلر خصوصیات و نقش آنها در این نوع آسفالت مورد بررسی قرار می‌گیرند.

۶–۵–۸–خصوصیات فیزیکی مصالح سنگی (درشت‌دانه و ریزدانه):

یکی از مسائل بسیار مهم در انتخاب نوع مصالح، چسبندگی قیر به مصالح سنگی می‌باشد. مصالح سنگی علاوه بر داشتن مقاومت لازم دربرابر بارهای وارده،باید دارای دوام، پایداری و چسبندگی به قیر باشند. قیر از هیدروکربنهای با وزن مولکولی زیاد تشکیل شده‌است که به جهت داشتن هیدروژن در ترکیبات خود دارای حالت قطبی ضعیفی می‌باشد و تمایل به بار منفی دارد. به همین دلیل، چنانچه مصالحی بکار برده شود که آنها نیز دارای بار منفی باشند، اتصال بین قیر و مصالح سنگی ضعیف گشته، جای خود را به آب که حالت قطبی بیشتری نسبت به قیر دارد، می‌دهند و همین عمل باعث عریان شدن مصالح سنگی از قیر می‌شود که یکی از رایجترین خرابیهای روسازی محسوب می‌گردد. سنگهای سیلیسی به جهت دارا بودن بار ذره‌ای منفی در سطح دانه‌های خود تمایل زیادی به بار مثبت نشان می‌دهند که این به علت ساختار شیمیایی سیلیس و وجود اتصال مضاعف اکسیژن است. با توجه به مشخص شدن حالت ضعیف قطبی بودن قیر، لازم است مصالح سنگی دارای بار ذره‌ای مثبت باشند تا عمل چسبندگی بصورت کامل انجام شود. بهترین نوع سنگ در این خصوص سنگهای آهکی هستند.

سنگهای آهکی جزء سنگهای رسوبی هستند و در طبیعت بصورت متبلور و بلورهای دانه‌ای وجود دارند. سنگهای دولومیتی از گروه سنگهای آهکی محسوب می‌شوند که بهترین نوع سنگ جهت تولید مخلوطهاتی آسفالتی می‌باشند. این نوع سنگها کمی سخت‌تر از سنگهای آهکی و به رنگ روشن نزدیک به سفید و دارای وزن مخصوص حدود ۲/٦ هستند که در بسیاریاز مناطق یافت می‌شوند. مصالح سنگی مورد استفاده در آسفالت نفوذناپذیر شامل مصالح درشت‌دانه و ریزدانه می‌باشند.

۶–۵–۸–۱– مصالح سنگی درشت‌دانه:

مصالح سنگی درشت‌دانه جهت افزایش استقامت ومقاومت سطح رویه به ماستیک اضافه می‌گردند. این مصالح باید تمیز،بادوام، دارای سختی کافی و نیز دارای صددرصد شکستگی و عاری از هرگونه مواد سست باشند. همچنین مقدار سنگدانه های سوزنی و پولکی شکل در مصالح درشت‌دانه نباید از حدود مجاز بیشتر باشد.

[1] Slurry

براساس BS1447 مصالح سنگی درشت‌دانه می‌تواند یکی از انواع ذیل باشد:

۱. سنگ شکسته، شامل: بازالت، گابرو، گرانیت، ماسه‌سنگ درشت[1]، هورنفلس[2]، سنگ آهک، سنگ آذرین یا کوارتزیت.

۲. شن، شامل: یک یا چند نوع از گروه ۱ یا سنگ چخماق.

بطورکلی، سنگهای آذرین و آهکی جهت کارهای مربوط به راهسازی مناسبند وبرای پیاده‌روها علاوه بر این سنگها مصالح سیلیسی نیز می‌توانند بعنوان درشت‌دانه مورد استفاده قرار گیرند.

حداکثر اندازه مصالح درشت دانه که می‌تواند در مخلوطهای آسفالت نفوذناپذیر استفاده شود برابر ۱۹ میلیمتر است و معمولاً حداکثر اندازه مصالح درشت‌دانه، بین ۱۲/۵ میلیمتر تا ۱۹ میلیمتر انتخاب می‌گردد.

حداقل و حداکثر ضخامت لایه روکش آسفالت ماستیک به ترتیب ۲۵ میلیمتر و ۵۰ میلیمتر میباشد .در حالت روکش پیاده روها این ضخامت ۲۰ تا ۲۵ میلیمتر انتخاب میگردد.سنگهایی کوارتزیت و گرانیت به دلیل داشتن مقاومت مکانیکی بالا و مقاومت سایش مناسب و همچنین میل ترکیبی با قیر، سنگهای مناسبی جهت استفاده در آسفالت ماستیک میباشند .وزن مخصوص ظاهری مصالح سنگی مورد استفاده در آسفالت ماستیک بین۲.۵ تا ۳ می باشد.

۶-۵-۸-۲-مصالح سنگی ریزدانه:

مصالح ریزدانه مورد استفاده در مخلوطهای آسفالت ماستیک باید از کیفیت بالایی برخوردار باشند. این مصالح باید محکم،بادوام و شکسته و عاری از هرگونه مواد مضر باشند. مصالح ریزدانه نقش بسزائی در تعیین رفتار ملات ماستیک داشته و تقریبًا ۵۰ درصد از وزن ملات ماستیک را تشکیل میدهد. حداکثر اندازه مصالح ریزدانه مورد استفاده در آسفالت ماستیک بین ۲.۳۶ تا ٤.۷۵ میلیمتر بوده و حداقل باید ۷۵ درصد از مصالح ریزتر از الک نمره ۸ و یا قطر۲.۳٦ میلیمتر باشند. به طور کلی حدود ۲۵ تا۳۵ درصد مخلوط مصالح سنگی بایستی از الک شماره ۸ عبور نمایند .مصالح سنگی ریزدانه باید از سنگهای آهکی خرد شده تهیه شده باشند. طبق BS1447 این مصالح باید آهکی بوده،حداقل ۸۰ درصد وزن آنها از کربنات کلسیم تشکیل شده باشد.

جدول(٦-۷): مشخصات فیزیکی و مکانیکی مصالح سنگی مخلوط آسفالت ماستیک

نام آزمایش	حداکثردرصدمجاز
سایش لوس آنجلس	۳۰
خرد شدگی در اثر ضربه	۴۰
ضریب پولکی شکل	۳۵
عریان شدن	۲۵
حل شدن در سولفات سدیم(۵سیکل)	۱۲
حل شدن در سولفات منیزیم(۵سیکل)	۱۸
جذب آب	۲

۶-۵-۸-۳-خصوصیات فیزیکی فیلر:

فیلر از پودر سنگ آهک بدست می‌آید، که مقدار کربنات کلسیم در آن نباید از ۸۰ درصد کمتر باشد. اندازه ذرات فیلر کوچکتر از ۷۵ میکرون است.

[1] Gritstone
[2] Hornfels

هرچه مخلوط آسفالتی دارای فضای خالی و تخلخل بیشتری باشد.، به همان نسبت از استحکام و مقاومت آن کاسته می‌شود و بتن آسفالنی در چنین وضعیتی، ترد و شکننده شده، به راحتی در مقابل بار، تسلیم می‌گردد. فیلر بعنوان ماده پرکننده این فضای خالی ایفای نقش می‌نماید و با کاستن از فضای خالی مخلوطهای آسفالتی، موجب افزایش مقاومت و پایداری آنها می‌گردد.

در آسفالتهای گرم متداول، جهت پیشگیری از روزدگی قیر در سطح جاده، حداقل فضای خالی بین ۳ تا ۵ درصد حجمی در سازه روسازی منظور می‌گردد، ولی در مورد مخلوطهای آسفالت نفوذناپذیر، به دلیل اینکه اصولاً قیر آزادی وجود ندارد، این درصد فضای خالی به حداقل ممکن کاهش می‌یابد. بهمین دلیل است که میزان فیلر در آسفالتهای گرم متداول محدود است و حتی گاهی اوقات به ٥٪میزان فیلر مورد استفاده در آسفالت نفوذناپذیر محدود می‌شود.

بطورکلی ذرات فیلر در مخلوطهای آسفالتی به دلیل نرمی، ریزدانه بودن و همچنین مشخصات فیزیکی و شیمیایی متنوع دارای نقش چند بعدی در آسفالت می‌باشند که اهم آنها عبارتند از:

- پر کردن فضای خالی مخلوطهای آسفالتی
- کنترل فضای خالی مصالح سنگی
- افزایش سطح تماس مصالح سنگی
- افزایش سختی مخلوطهای آسفالتی
- افزایش چسبندگی مصالح به یکدیگر
- افزایش مقاومت مکانیکی مخلوطهای آسفالتی (برشی، فشاری و ضربه‌ای)
- کاهش حساسیت حرارتی مخلوطهای آسفالتی
- افزایش مقاومت دربرابر عریان‌شدگی آسفالت
- افزایش عمر آسفالت و کاهش کهنگی و فرسودگی قیر
- کاهش تغیرشکل نسبی آسفالت
- افزایش کند روانی و کاهش شکنندگی آسفالت

باید توجه داشت که استفاده از فیلر در آسفالت گرم، چنانچه از یک حد مجازی افزایش یابد، معایبی را در بتن آسفالتی بوجود می‌آورد ولی در آسفالتهای نفوذناپذیر که مصرف فیلر زیاد است، باید نقش فیلر در مخلوطهای آسفالت نفوذناپذیر به دلیل دارابودن سهم قابل توجهی از کل مخلوط (حدود ۲۰ درصد و یا بیشتر) ، شاخص‌تر و تعیین‌کننده‌تر باشد و بسته به مقدار و نوع فیلر مورد استفاده، توان باربری و مقاومت مکانیکی آسفالت نفوذناپذیر و همچنین مشخصات روانی و شکل‌پذیری آن بخصوص در شرایط بارگذاری سنگین و دمای محیطی بالا قابل توجه است. دانه بندی فیلر مورد استفاده در آسفالت ماستیک با دانه بندی فیلر مورد استفاده در مخلوطهای آسفالتی متداول نیز متفاوت میباشد .برای فیلر مصرفی مخلوطهای آسفالتی گرم، درصد وزنی رد شده از الک شماره ۲۰۰بین ۳۵ تا ٦٥ درصد است، در حالی که فیلر مورد استفاده در آسفالت ماستیک باید صددرصد و یا حداقل۷۵ درصد از فیلر از الک شماره ۲۰۰ رد شده باشد.

۶-۵-۹-خصوصیات قیر:

قیر مورد استفاده در مخلوطهای آسفالت ماستیک از نوع قیرهای خالص و با درجه نفوذ پایین میباشد.درجه نفوذ قیر مصرفی به نوع روکش، محل کاربرد مخلوط آسفالت ماستیک، شرایط محیطی و اقلیمی منطقه و همچنین کاربری محل مورد استفاده جهت روکش آسفالت ماستیک بستگی دارد .مشخصات فیزیکی قیر مصرفی در مخلوطهای آسفالت ماستیک در جدول ارائه شده است .

مقدار مصرف قیر در آسفالت ماستیک به دانه بندی، شکل و جنس فیلر و مصالح سنگی ریزدانه بستگی دارد .میزان قیر بهینه این مخلوطها با استفاده ازروش آزمایش سختی ویسلون W.H.T تعیین میگردد .مقدار مصرف قیر بین ١٤ تا ١٧ درصد وزن ملات ماستیک می باشد.

جدول(٦-٨): مشخصات فیزیکی قیرهای مورد استفاده در آسفالت ماستیک

مشخصات فنی	حدود مجاز
درجه نفوذ در ۲۵°C (۰.۱ میلیمتر)	۲۰ الی ٤٠
نقطه نرمی °C	۵۰ الی ۹۰
شکل پذیری°C ۲۷ (حداقل براساس سانتیمتر)	۳
حداکثر درصد افت وزنی در اثر حرارت	۱
حداقل درصد حل شدن در CS_2	۹۹

۶-۵-۱۰-روشهای طراحی مخلوط آسفالت ماستیک:

- روش تعیین فضای خالی بین مصالح سنگیVMA
- روش آزمایش نفوذ
- روش آزمایش سختی ویلسون

۶-۵-۱۱-روشهای تولید ملات آسفالت ماستیک:

- روش پخت ملات ماستیک
- روش ضربه ایی
- روش استفاده از کف قیر

۶-۶-اندودهای قیری

۶-۶-۱-اندود نفوذی

اندود نفوذی با پخش یک لایه قیر با کند روانی کم یا متوسط روی سطوح شنی راه جهت اجرای لایه آسفالتی اعم از آسفالت سطحی، آسفالت سرد یا آسفالت گرم انجام می شود.این اندود علاوه برکمک به آب بندی کردن جسم راه و چسباندن سنگدانه ها به یکدیگر و نفوذ در خلل و فرج سطح قیرپاشی شده موجب چسبندگی قشر آسفالت به سطح راه می شود.

۶-۶-۲-اندود سطحی

اندود سطحی با پخش یک لایه قیر با کند روانی کم یا متوسط جهت آغشته کردن سطح اسفالتی یا بتنی موجود و ایجاد چسبندگی با لایه آسفالتی که روی آن پخش می گردد، اجرا می شود.

۶-۶-۳-انتخاب قیر مناسب

انتخاب نوع و درجه قیر مناسب برای اندودهای نفوذی و سطحی، تابع پارامترهای زیر می باشد.

دمای محیط ، رطوبت نسبی و باد ، درجه حرارت سطحی که قیرپاشی می شود. ، بافت سطحی بستری که قیرپاشی می شود ، طول زمان عمل آمدن قیر

ولی در حالت کلی می توان جدول ٦-٩ را برای تعیین قیر مناسب بکار برد.

در شرایط هوای سرد، قیرهای با کندروانی کم MC-70 , MC-30 , RC-70 مناسب است.

در شرایط هوای معتدل و گرم هر یک از قیر های گروه MC-250 MC-30 , MC-70مناسب است.

در صورتیکه بافت سطح شنی راه متراکم، پیوسته و ریز دانه باشد، از قیرهای با کند روانی کم مانند MC-30 , MC-70 و یا RC-70 و در صورتیکه بافت سطح شنی راه درشت دانه و باز باشد، علاوه بر قبیرهای فوق می توان از قیرهای با کند روانی بیشتر ماند MC-250 استفاده کرد.

جدول(٦- ٩):قیرهای مصرفی در اندودهای سطحی و نفوذی

نوع و درجه قیر	اندود نفوذ	اندود سطحی	درجه حرارت پخش (سانتی گراد)
قیرابه‌های انیونیک			
زودشکنRS-1	--	--	۲۰-۶۰
کند شکن MS-1،HFMS-1	--	(۱)	۲۰-۷۰
دیرشکن SS-1،SS-1h	(۲)	(۳)	۱۰-۶۰
قیرابه‌های کاتیونیک			
زودشکن CRS-1	--	--	۲۰-۶۰
کند شکن CMS-2	--	--	۲۰-۷۰
دیرشکن CSS-1،CSS-1h	(۲)	(۳)	۱۰-۶۰
قیرهای محلول			
قیر زود گیر RC-70	*	*	(۴)۵۰
قیر زودگیر RC-250	*	*	(۴)۷۵
قیرکندگیر MC-30	*	--	(۴)۳۰
قیرکندگیر MC-70	*	--	(۴)۵۰
قیرکندگیر MC-250	*	--	(۴)۷۵

۱- رقیق شده با آب توسط کارخانه سازنده ۲- فقط برای سطوح قابل نفوذ مانند اساس ماکادامی و اساس با دانه بندی باز تخلخل زیاد

۳- رقیق شده با آب در حین اجرا موارد قابل مصرف با علامت * مشخص شده است.

چنانچه به هر دلیل اندود نفوذی بعد از ٤٨ ساعت جذب سطح راه نشود، تا موقعی که قیر در بافت سطحی راه نفوذ کند، فرصت داده می شود. در صورت لزوم می توان با پخش ماسه تمیز روی اندود نفوذی، قیر اضافی را جذب کرد. ماسه مصرفی باید ریزتر از ۵ میلیمتر بوده و درصد عبور کرده از الک ۲۰۰ آن از ۵ درصد تجاوز نکند.

استفاده از قیرابه ها محدود به اساس ماکادامی و اساس شنی و کوهی شکسته با سطوح قابل نفوذ و تخلخل زیاد است.

هر یک از قیرهای جدول فوق را که برای اندود سطحی تعیین شده است، می توان بدون توجه به شرایط جوی تفاوت برای موردهای زیر مصرف کرد:

در صورت استفاده از قیرابه ها برای اندودهای سطحی اولویت مصرف به ترتیب با قیرهای دیرشکن، کندشکن و زودشکن می باشد. استفاده از این قیرها در مناطق شهری برای حفظ محیط زیست و جلوگیری از آلودگی هوا مناسب است. بدیهی است اندود سطحی برای تامین چسبندگی بین دو لایه آسفالتی امری ضروریست.

قیرابه های دیرشکن را باید قبل از مصرف با آب رقیق نمود. عمل رقیق کردن برای قیرابه های کندشکن MS-I و HFMS-1 باید توسط کارخانه سازنده انجام گیرد. برای رقیق کردن قیرابه، آب تدریجاً و ضمن بهم زدن به آن اضافه می گردد تا کاملاً مخلوط شود. مناسب ترین درجه حرارت پخش قیرهای محلول، علاوه بر رعایت دمای مندرج در جدول فوق درجه حرارتی است که آن کند روانی بین ۱۲۰-۲۰ سانتی استکس باشد.

مقدار قیر برای اندود نفوذی برای سطوح آماده شده راه بر حسب آنکه بافت ریز دانه متراکم و یا بافت درشت دانه و باز داشته باشد، مقدار قیر محلول به ترتیب می تواند از ۱ تا ۲ کیلوگرم بر متر مربع تغییر کند. در صورتیکه از قیرابه برای سطوح آماده شده راه با دانه بندی باز و تخلخل زیاد استفاده شود، میزان مصرف آن بر حسب مورد بین ۱/۵-۲/۵ لیتر بر متر مربع خواهد بود.

مقدار قیر محلول برای اندودهای سطحی حدود ٤۰۰-۲۰۰ گرم در مترمربع و برای قیرابه ها ۵۰۰-۲۵۰ گرم در متر مربع می باشد. میزان اندود سطحی که باید روی سطوح آسفالتی قدیمی، هوازده و اسیب دیده پخش شود، بر حسب مورد و با توجه به شدت میزان فرسودگی رویه موجود نسبت به مقادیر یاد شده در فوق بیشتر انتخاب می شود.

۶-۷-آسفالت حفاظتی[1]:

پخش قیر در راه های خاکی، شنی، آسفالتی و بتنی و بلافاصله پخش سنگدانه بر روی آن، یا قیر پاشی بدون سنگندانه و با استفاده از مخلوط های آسفالتی پیش ساخته از نوع دو غاب قیری (اسلاری سیل[2]) و یا میکروسرفیسینگ[3] آسفالت حفاظتی نامیده می شود.

ضخامت این نوع روسازی حداکثر ۲۵ میلیمتر است که جزء سازه باربر روسازی راه محسوب نمی شود و عملکرد سازه ای ندارد. در آسفالتهای حفاظتی از قیرهای محلول، قیرابه ها یا قیرابه های خالص با کند روانی کم استفاده می شود.

۶-۷-۱-کاربرد آسفالت حفاظتی:

۱- افزایش مقاومت سایشی: اجرای آسفالت حفاظتی مقاومت سایشی راههای شنی را افزایش می دهد و از کاهش ضخامت رویه های شنی و جدا شدن سنگ دانه های ریز و درشت آن از بستر راه جلوگیری می کند و در نتیجه دوام و تاب آوری آن را بهبود می بخشد.

۲- افزایش مقاومت لغزشی: اجرای اسفالت حفاظتی مقاومت لغزشی سطوح آسفالتی قیر زده و لغزنده را بعلت فقدان مقاومت لغزشی هنگام خیس بودن سطح راه و بویژه بعد از بارندگی را بهبود می بخشد.

۳- آب بندی و ترمیم راه: اجرای آسفالت حفاظتی مانع آسیب دیدگی رویه های آسفالتی در اثر ورود آب و هوای نفوذی از فضاهای خالی حفره های موجود موجب بقای رویه های آسفالتی می شود.

٤- بهسازی راه: اجرای یک لایه از آسفالت حفاظتی با هزینه اندک برای رویه های آسفالتی تحت ترافیک که مشکل سازه ای نداشته باشد بقاء و دوام روسازی را تامین می کند. بنابراین قابلیت خدمت دهی را افزایش می دهد.

۶-۷-۲-انواع آسفالت های حفاظتی

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

- آسفالتهای سطحی یک یا چند لایه ای
- سیلکوت ها یا اندودهای آب بند
- مخلوط های آسفالتی قیرابه ای مانند دوغاب قیری و میکروسرفیسینگ
- غبارنشانی و روغن پاشی راه (جلوگیری از گرد و غبار و تثبیت راه های خاکی)

آسفالتهای سطحی یک یا چندلایه ای

پخش یک یا دو یا سه بار قیر روی بستر شنی، آسفالتی و بتنی راه و بلافاصله روی هر بار، پخش سنگدانه‌های شکسته و تمیز و با دانه‌بندی معین، آسفالت‌سطحی یک ،دو یا سه لایه‌ای را ایجاد میکند. ضخامت آسفالت یک لایه ای، معادل میانگین کمترین

[1] Surface treatment
[2] seal Slurry
[3] Microsurfacing

ضخامت سنگدانه‌های مصرفی است معمولاً حداکثر اندازه اسمی‌سنگدانه‌های مصرفی در هر لایه از آسفالت سطحی چندلایه‌ای، نصف حداکثراندازه اسمی سنگدانه های لایه قبلی است. قیر مصرفی در این نوع آسفالتها معمولاً از قیرابه‌ها و قیرهای محلول و یا قیرهای خالص با کندروانی کم بوده که متناسب با ترافیک و شرایط آب و هوایی و مشخصات مصالح با دارا بودن خواصی چون ،روانی مناسب جهت یکنواخت شدن ضخامت و یا عدم جاری شدن در شیب عرضی، زمان گیرش و تصعید بخش فرار و کندروانی لازم در پوشش کامل مصالح و جلوگیری از جداشدن مصالح پس از گیرش و... مورد استفاده قرار میگیرند. جدول (٦-١٠) انواع مختلف قیر مورد استفاده را بر اساس آیین نامه ایران نشان میدهد.

۶-۷-۳- سنگدانه ها:

سنگدانه‌های مصرفی در آسفالت سطحی یک یا چندلایه ای از شن‌شکسته یا سنگ‌کوهی شکسته و یا سرباره کوره‌های آهن‌گدازی تهیه می‌شود.

۱-مصالح باید مقاوم، سخت و مکعبی بوده و فاقد دانه‌های سست، شکننده و کلوخه‌های خاکی، پوشش و اندودهای لای، رس و گردسنگ باشد.

جدول(٦-١٠):قیرهای مورد استفاده درآسفالت‌های سطحی یک یا چندلایه‌ای

انواع‌قیر		
قیرهای خالص	**قیرهای محلول**	**قیرابه ها**
	قیرهای زودگیر	آنیونیک
	RC-250	*RS-1*
۱۲۰-۱۵۰	*RC-800*	*RS-2*
[1]۲۰۰-۳۰۰	*RC-3000*	*HFRS-2*
	قیرهای کندگیر	کاتیونیک
	MC-800	*CRS-1*
	MC-3000	*CRS-2*

[1] قیر ۲۰۰-۳۰۰ درمناطق‌گرم‌بایدباتوجه به سابقه‌عملکردآن درشرایط‌مشابه جوی‌مصرف شود

۲--سنگ دانه ها باید دارای مقاومت سایشی و مکانیکی و دوام در مقابل شرایط جوی و نیز فاقد مواد مضر بوده باشند.

۳- سنگدانه ها، باید عاری از هر گونه آلودگی، پوشش خاکی و موادی که مانع چسبیدن قیر به سنگدانه‌ها می‌گردد بوده و در صورت لزوم، قبل از مصرف شسته شوند و یا توسط هوای فشرده تمیز گردند.

دانه بندی مصالح سنگی این پوشش دو نوع عمومی شامل: دانه بندی یک اندازه که اندازه بزرگترین سنگدانه آن بیشتر از دو نوع برابر اندازه کوچکترین سنگدانه نباشد و دانه بندی باز را در برمیگیرد. انتخاب دانه بندی های یک اندازه و یا باز، شرایط اجرایی طرح و نوع مصالح تهیه شده بستگی دارد، ولی در صورت امکان بهتر است که از دانه بندی یک اندازه استفاده شود. برخی از مشخصات و آزمایشات متعارف بر روی سنگدانه ها به شرح جدول ٦-١١است.

۶-۷-۴- طرح آسفالت‌سطحی:

در طرح آسفالت سطحی، هدف تعیین مقادیردقیق قیر و سنگدانه‌ها است که برای اجرای کار محاسبه میشود. این روش بر اساس فرضیات زیر استوار می‌باشد و برای انواع سنگدانه‌های با دانه‌بندی باز و یا یک اندازه نیزصادق است:

جدول (٦-١١): مشخصات فیزیکی سنگدانه‌ها یا آسفالت‌های سطحی

آزمایش	مشخصات	روش آزمایش	
		ASSHTO	ASTM
مقاومت سایشی با آزمایش لس آنجلس-حداکثر	درصد۴۰	T 96	C 131
افت وزنی باسولفات‌سدیم- حداکثر	درصد۱۲	T 104	C 88
افت وزنی باسولفات‌منیزیم- حداکثر	درصد۱۸	T 104	C 88
درصدشکستگی در دو جبهه- مانده روی الک‌شماره ۴ حداقل	درصد۶۰	---	D5821
وزن واحد حجم مصالح چنانچه از نوع سرباره کوره آهن گذاری باشد-حداقل	۱۱۲۰کیلو گرم در متر مکعب	T 19	C 29
کلوخه های رسی و سنگدانه های سست و شکننده - حداکثر	درصد۳	T 112	C 142
مواد شناور در مایع با وزن مخصوص حداکثر	درصد۱	T 113	C 123
ضریب‌تورق‌سنگدانه‌ها	درصد۲۵	BS 812	

الف- مقدار فضای خالی‌سنگدانه‌ها که توسط دستگاه مکانیکی پخش کننده مصالح روی قیر پخش می‌شود، قبل از غلتک‌زنی و باتوجه به آرایش نامتعادل و ناپیوسته سنگدانه‌ها، تقریباً ۵۰ درصد حجم کل آن است.

ب- مقدار این‌فضای‌خالی‌بعد از غلتک زنی و جابجاشدن سنگدانه‌ها، به ۳۰ کاهش می‌یابد.

پ- بعد از آن که رویه آسفالت سطحی به مدت کافی مورد استفاده ترافیک قرار گرفت، سنگدانه‌ها برروی مسطح‌ترین وجه خود قرار می‌گیرند. در چنین شرایطی مقدار فضای خالی به حدود۲۰ درصد می‌رسد و ضخامت نهایی رویه آسفالتی‌تقریباً بامیانگین کوچکترین بعد سنگدانه‌ها برابر می‌شود.

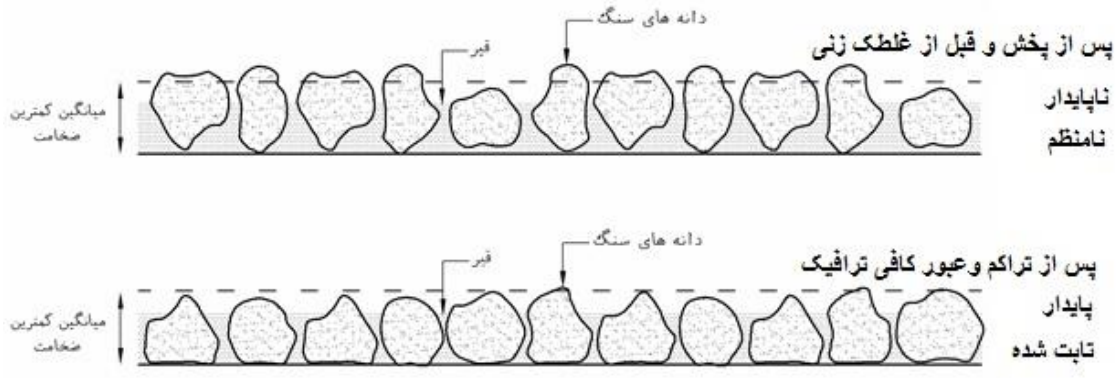
ت- برای آنکه رویه آسفالت سطحی عملکرد مفید و بادوامی داشته باشد، لازم است ٦٠ تا ٨٠ درصد فضای‌خالی باقیمانده که ٪۲۰ فرض‌شده است با توجه به نوع ترافیک با قیر پرشده و فضای‌خالی‌نهایی رویه آسفالتی با توجه به شرایط ترافیکی محور بشرح زیرگردد:

برای‌ترافیک روزانه ۱۰۰ تا ۵۰۰ وسیله‌نقلیه: ٪۲۰ - (٪۲۰ * ٪۸۰) = ٪٤

برای‌ترافیک روزانه ۵۰۰ تا ۱۰۰۰ وسیله‌نقلیه: ٪۲۰ - (٪۲۰ * ٪۷۰) = ٪٦

برای‌ترافیک روزانه ۱۰۰۰ تا ۲۰۰۰ وسیله‌نقلیه: ٪۲۰ - (٪۲۰ * ٦٥) = ٪٧

برای‌ترافیک روزانه ۲۰۰۰ تا ٤٠٠٠ وسیله‌نقلیه: ٪۲۰ - (٪۲۰ * ٦٠) = ٪٨



شکل(٦- ۲): وضعیت و مشخصات آسفالت تک لایهٔ سطحی قب و پس از تراکم

جهت تعیین مقدار سنگدانه‌های مصرفی در واحد سطح درهر یک از لایه‌های آسفالت سطحی یک یا چند لایه‌ای، رابطه زیر کاربرد دارد.

$$C = M.(1- 0.4V)H.G.E \qquad (۱-٦)$$

که در آن: c = وزن سنگدانه‌ها برحسب کیلوگرم در هر مترمربع سطح راه

v = فضای خالی مصالح در حالت غیرمتراکم که براساس رابطه ٦-۲محاسبه می‌شود:

$$V =1- W/1000G \qquad (۲-٦)$$

که در آن: W = وزن واحد حجم غیر متراکم سنگدانه‌ها که به روش ۱۹- Tآشتو اندازه‌گیری می‌شود.

G = وزن مخصوص‌حقیقی‌سنگدانه‌ها H= میانگین کمترین بعد سنگدانه بر حسب میلیمتر که بشرح زیر و با آزمایش‌های لازم در آزمایشگاه مشخص می‌شود:

الف- پس از آزمایش دانه‌بندی روی سنگدانه‌های مصرفی در رویه آسفالتی، نمودار دانه‌بندی آن رسم می‌شود و از این نمودار قطر سنگدانه‌هایی را که ۵۰٪ مواد رد شده دارد برحسب میلیمتر تعیین می‌گردد.

ب- بر روی مصالح مصرفی آزمایش تعیین ضریب تورق برابر روش استاندارد ۸۱۲ B.S انجام می‌شود.

پ- با داشتن اندازه متوسط سنگدانه‌ها ردیف الف و ضریب تورق مصالح ردیف ب میانگین کمترین بعد سنگدانه یا H ازمحور افقی شکل ٦- ۳ برحسب میلیمترمحاسبه می‌شود.

E = ضریب هدر رفتن سنگدانه‌ها مصالحی که به سطح راه نچسبیده‌اند از۱.۱ تا ۱.۱۵ تغییر می‌کند و رقم اصلی آن توسط طراح انتخاب می‌شود. M = ضریبی‌که براساس تجربه ارزیابی‌شده و باتوجه به شرایط اقلیمی محل اجرای کار، نوع ترافیک، سنگدانه‌ها و غیره انتخاب می‌شود. محدوده این ضریب ۱.۱ تا ۰.۸ است و در حالت عادی و معمولی، عدد یک منظور می‌شود.

قیر: مقدار قیر بهینه جهت رویه‌های آسفالت سطحی یک‌لایه‌ای، دولایه‌ای و یا بیشتر، از رابطه(٦- ۳) به دست می‌آید:

$$B = k\frac{((0.4\times H\times T\times V) +S+A)}{R} \qquad (۳-٦)$$

که در آن: B = مقدار قیر برحسب لیتر جهت هر مترمربع در درجه حرارت۱۵ درجه‌سانتیگراد است. این‌حجم با توجه به درجه حرارت قیرمصرفی در شرایط پخش بر روی بستر راه، تصحیح می‌شود. بدیهی است که وزن مخصوص قیر مصرفی، نخست در آزمایشگاه براساس استاندارد ASTM D70اندازه‌گیری و سپس ضریب اصلاح تعیین می‌گردد. H = میانگین کمترین بعد سنگدانه برحسب میلیمتر.

T = ضریب ترافیک که با توجه به شدت ترافیک و تعداد وسایل‌نقلیه از 0.6 تا0.85طبق‌جدول ٦- ۱۲ تغییرمی‌کند. V = فضای خالی سنگدانه‌ها در شرایط غیرمتراکم بشرح آنچه در رابطه بالا توضیح داده شد.

S = عامل متغیر مربوط به اصلاح میزان قیر برحسب وضعیت سطح راه موجود، برحسب لیتردر هر مترمربع و بشرح شرایط متفاوت زیر که فقط در دومین یا سومین لایه آسفالت سطحی و یا بستر آسفالتی‌موجود که روی آن آسفالت سطحی اجرامی‌شود، منظور می‌گردد: *درسطح قیر زده راه*: 0.04 تا 0.27 لیتر در هر مترمربع از قیرمحاسبه شده کسر می‌شود. *در بافت سطحی راه بدون تخلخل و فضای‌خالی:* S=۰، *بافت سطحی کمی متخلخل و اکسیده‌شده*: 0.14 لیتر جهت هر مترمربع قیر اضافه می‌شود ، *بافت‌سطحی‌خیلی‌متخلخل و زیاد اکسیدشده*: 0.4 لیتر جهت هر مترمربع قیر اضافه می‌شود.

A = ضریب اصلاح مربوط به جذب مواد قیری توسط سنگدانه‌ها، (به‌غیر از مصالحی‌که بیش از اندازه جاذب قیر بوده و متخلخل می‌باشد ،صفرمنظور می‌گردد) در صورتیکه مصرف سنگدانه‌های خیلی متخلخل بامنافذ و ریزه سوراخ‌های سطحی اجتناب‌ناپذیر باشد می‌توان از رقم اضافی 0.15- 0.1 لیتر در مترمربع استفاده کرد و در موارد حاد و بحرانی، رقم دقیق توسط آزمایشگاه اندازه‌گیری و تعیین می‌شود.

R = مقدار قیر برجای مانده پس از تصعیدو تبخیر قیرهای محلول یا قیرابه‌ها که توسط آزمایشگاه تعیین مـی‌شود. درصورتیکه قیرهای محلول و یا قیرابه‌ها مورد استفاده قرار گیرد ودسترسی به نتایج حاصل از آزمایشات آزمایشگاهی مقـدور نباشد، از جدول٦-١٣ می‌توان به عنوان راهنما استفاده کرد.

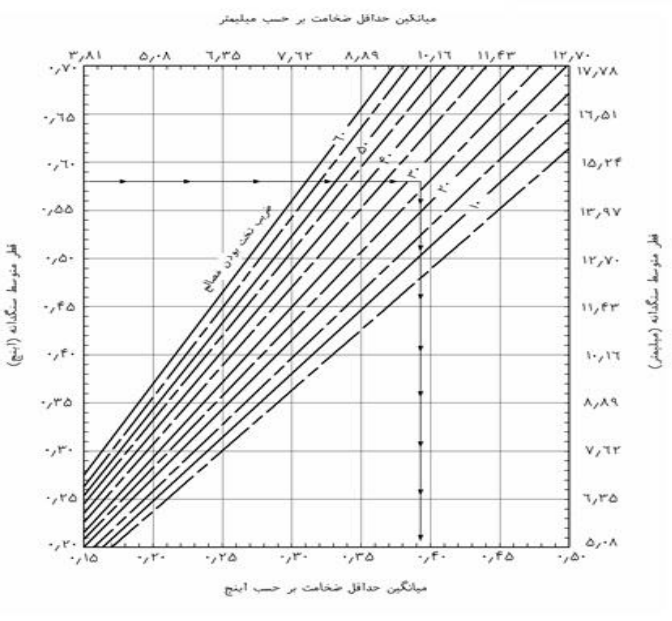
جدول(٦-١٢):ضریب‌ترافیک‌برای‌محاسبه‌مقدارقیر

میزان آمد و شد روزانه	ضریب ترافیک
کمتر از ۱۰۰ وسیله	۰/۸۵
۱۰۰ -۵۰۰	۰/۷۵
۵۰۰ -۱۰۰۰	۰/۷۰
۱۰۰۰ -۲۰۰۰	۰/۶۵
۲۰۰۰ -۴۰۰۰	۰/۶۰

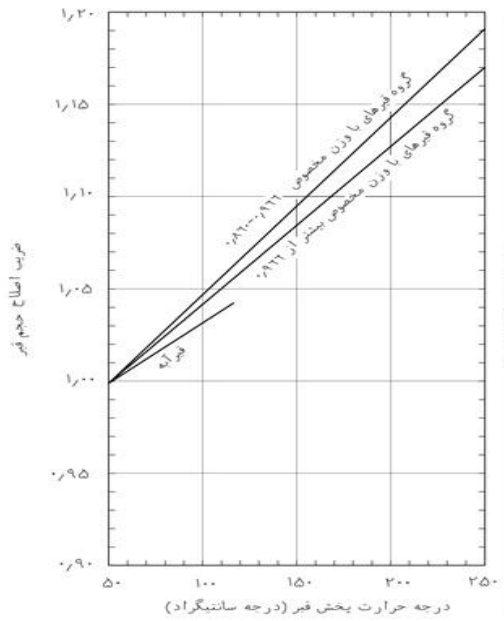
جدول(٦-١٣ درصدقیرباقیمانده‌پس‌ازتصعیدموادفرارقیرهای‌محلول و قیرابه‌ها

انواع قیر	ضریب R
قیرهای خالص در انواع درجات	۱
قیرهای محلول:	
RC 70	۰/۷۱
RC 250 , MC 250	۰/۷۹
RC 800 , MC 800	۰/۸۴
RC 3000 , MC 3000	۰/۸۷
قیرابه‌ها :	
RS -1	۰/۵۵
RS -2	۰/۶۴
MS-1	۰/۵۵
HFMS -1	۰/۵۵
CRS- 1	۰/۶۰
CRS- 2	۰/۶۵

K = ضریبی است که به عوامل و شرایط محلی، آب و هوا، ترافیک، مصالح و غیره بستگی‌داشته و با توجه به سابقه کار و تجربیات اجرایی انتخاب می‌شود. این‌ضریب می‌تواند کوچکتر یا بزرگتر از یک باشد تجربه نشان داده که در مورد کاربرد قیرابه‌ها و در شرایط اقلیمی سرد، ارزش عددی این‌ضریب حدود ۱.۲ است. حجم قیر محاسبه شده بشرح فوق، مربوط به دمای۱۵ درجه سانتیگراد است که با استفاده از شکل٦-٤ به حجـم قیـر در شرایط حرارت پخش تبدیل می‌شود.



شکل(٦-٣): تعیین‌میانگین‌کمترین‌بعدسنگدانه‌ها



شکل(٦- ٤): تعیین ضریب اصلاح حجم قیر

سرعت حرکت ماشین قیرپاش(V1) برحسب متر بر ثانیه را نیز با استفاده از دبی خروجی نازلهای ماشین (Q) بر حسب لیتر بر ثانیه وB و عرض نوار قیرپاش(b) بر حسب متر از رابطهٔ $V_1 = \frac{Q}{b \times B}$ بدست آورد.

در استفاده از روابط ٦-١ و٦-٢ و٦-٣ مربوط به محاسبه میزان پخش سنگدانه‌ها و قیر، بهتر است موارد زیر رعایت شود:

الف- در آسفالت‌های سطحی یک لایه‌ای و یا سیل‌کت اجرای آسفالت سطحی بر روی بستر آسفالتی موجود، از روابط٦-١ و٦-٢ استفاده شود.

ب- فرض این است که آسفالت سطحی دو یا سه لایه‌ای از دو یا سه لایه آسفالت سطحی‌تک لایه‌ای تشکیل می‌شود. لذا برای محاسبه مقادیرسنگدانه و قیر مصرفی هریک از لایه‌ها باتوجه به کیفیت سنگدانه‌ها و مواد قیری هرلایه که در آزمایشگاه ارزیابی‌و تعیین‌خواهد شد، از روابط‌فوق استفاده شود

.پ - ضریب هدر رفتن یا ریخت و پاش سنگدانه‌هاE برای لایه‌های دوم یا سوم آسفالت سطحی، برابر یک منظور شود.

ت- هیچگونه ضریب اصلاحی برای قیر از نظربافت سطحی لایه اول در موقع اجرای‌لایه دوم آسفالت سطحی بکارگرفته‌نمی‌شود S = ٠ (زیرافرض این است‌که درمحاسبات‌مربوط‌به‌تعیین‌قیرلایه‌قبلی، کلیه عوامل برای تعیین و محاسبه قیر بهینه و پخش آن در سطح راه در محدوده رواداریهای اجرایی، منظورشده است.)

ث- مقدارقیر مصرفی در لایه اول و دوم رویه‌های دو لایه ای، یا در لایه اول، دوم و سوم رویه‌های سه‌لایه ای بشرح زیر اصلاح شود:

١-چنانچه زمان اجرای رویه از ماه‌های اردیبهشت و خرداد شروع شده و تا ماه‌های گرم تابستان ادامه داشته باشد ، مقدارقیر محاسبه شده برای‌هرلایه بشرح زیر محاسبه می‌شود:

رویه دو لایه ای: ٪٦٠ از مجموع قیر محاسبه‌شده دو لایه در لایه اول و ٤٠٪ در لایه دوم.

٢-رویه‌سه‌لایه ای: ٪ ۴٠ از مجموع قیر محاسبه شده سه‌لایه در لایه اول، ۴٠٪ در لایه دوم و ٪ ٢٠ در لایه سوم. چنانچه اجرای رویه در ماه شهریور آغازشود، قیرمحاسبه شده برای هرلایه بدین شرح که رویه دو لایه ای٪٤٠ از مجموع‌قیر دو لایه در لایه اول و٪ ٦٠ در لایه دوم، منظورمی‌شود

٣-رویه‌سه‌لایه ای: ٪ ٣٠ از مجموع قیرسه‌لایه در لایه اول، ٪ ٤٠ در لایه دوم و٪ ٣٠ در لایه‌سوم.

۶-٧-۵-دانه بندی

دانه بندی سنگدانه های آسفالت سطحی یک یا چندلایه‌ای می تواند یکی از دو نوع دانه بندی زیر باشد:

الف- دانه بندی یک اندازه که اندازه بزرگترین سنگدانه آن بیشتر از دو نوع برابر اندازه کوچکترین سنگدانه نباشد.

ب- دانه بندی باز

انتخاب دانه بندی های یک اندازه و یا باز، شرایط اجرایی طرح و نوع مصالح تهیه شده بستگی دارد، ولی در صورت امکان بهتر است که از دانه بندی یک اندازه استفاده شود.

۶-٨- اندودهای آب بند:

اجرای آسفالت های حفاظتی با توجه به مطالب یاد شده در موضوعات اخیر بر روی انواع رویه های آسفالتی و یا بتنی موجود به منظور آب بندی، افزایش خاصیت نفوذناپذیری، اصلاح آسیب دیدگی های سطحی، بهسازی موقت و افزایش عمر بهره برداری آنها، اندود آب بند یا سیل کت نامیده می شود.

اندودهای آب بند بشرح زیر تقسیم بندی می شود:

اندودهای سنگدانه ای

اندودهای ماسه ای

اندودهای قیری بدون سنگدانه

اسلاری سیل یا دوغاب قیری

میکروسرفیسینگ

۶-۸-۱- اندود آب بند سنگدانه ای

اجرای آسفالت سطحی یک یا چند لایه ای مطابق مطالب ذکر شده در فوق و کلیه زیربندهای ان سیل کت سنگی نام دارد.

۶-۸-۲-اندود آب بند ماسه ای

اندود ماسه ای مشابه آسفالت سطحی یک لایه ای و با انتخاب مصالح ماسه ای منطبق با دانه بندی جدول زیر اجرا می گردد. ارزش ماسه ای مصالح مصرفی نباید کمتر از ۷۵٪ باشد.

جدول(٦-٧):دانه بندی ماسه برای اندود ماسه ای

اندازه الک ها	درصد مواد رد شده
الک ۹.۵ میلیمتر($\frac{3}{8}$اینچ)	۱۰۰
الک ۴/۷۵ میلیمتر(شماره۴)	۹۵-۱۰۰
الک ۱/۱۸ میلیمتر(شماره۱۶)	۴۵-۸۰
الک ۰.۳ میلیمتر (شماره۵۰)	۱۰-۳۰
الک ۰/۱۵ میلیمتر (شماره۱۰۰)	۲-۱۰
الک ۰/۷۵ میلیمتر(شماره۲۰۰)	۰-۳

۶-۸-۳-اندودهای آب بند قیری و یا سطحی بدون سنگدانه

اندودهای قیری یا پخش قیر بر روی بستر آسفالتی و یا بتنی مورد نظر، بدون مصرف سنگدانه ها و نظیر اندودهای سطحی اجرا می شود. اندود قیری برای پر کردن فضاهای خالی و ترک ها و خلل و فرج های سطحی رویه آسفالتی و احیای مواد قیری آن بکار می رود.

قیرابه ها دراجرای این اندود قیری با نسبت های معینی با آب رقیق شده و سپس مصرف می شود. مقدار مصرف با توجه به وضعیت سطح بستر موجود آسفالتی (زبری زیاد یا کم) از ۸۵۰-٤۰۰ گرم در متر مربع تغییر می کند. حدود مصرف قیرهای محلول، ۵۵۰-۲۵۰ گرم در مترمربع می باشد.

۶-۸-۴- اندود آب بند اسلاری سیل یا دوغاب قیرابه ای

مخلوط آسفالتی اسلاری سیل یا دوغاب قیرایه ای از مصالح ریز دانه خوب دانه بندی شده مطابق جدول زیر و قیرابه و آب تهیه و بعنوان یک قشر حفاظتی روی سطح راه های آسفالتی موجود با هدف پر کردن درزها، ترک ها، حفر ها و فضای خالی سطحی، پیشگیری از گسترش خرابی ها و افزایش تاب لغزشی آن پخش می شوند. ضخامت این آسفالت وقتی که در یک لایه اجرا می شو، حدود ۳ تا ۱۰ میلیمتر است.

استفاده از این مخلوط ها برای راه هایی توصیه می شود که زیر سازی روسازی آنها سالم بوده و خرابی ها سطحی باشـد. در صورت وجود ترک ها و نواقص زیاد، ابتدا باید آنها را تعمیر و لکه گیری و سپس اقدام با روکش با این مخلوط قیرابه ای نمود.این مخلوط ها هنگام پخش در سطح راه باید حالت نیمه روان و خمیری داشته باشند تا در ترک ها و خلل و فرج آن نفوذ کرده و آنـرا آب بند کنند.

جدول(٦-٨):دانه بندی مصالح سنگی مخلوط های دوغاب قیرابه ای

اندازه الک	درصد عبور کرده از الک			درصدحدود رواداری‌نسبت‌به دانه‌بندی‌کارگاهی
	نوع۱	نوع۲	نوع۳	
۳ ۹/۵میلیمتر(۸اینچ)	---	۱۰۰	۱۰۰	--
۴/۷۵میلیمتر(شمار۴)	۱۰۰	۹۰-۱۰۰	۷۰-۹۰	±۵
۲/۳۶میلیمتر(شماه۸)	۹۰-۱۰۰	۶۵-۹۰	۴۵-۷۰	±۵
۱/۱۸ شمارمیلیمتر۱۶)	۶۵-۹۰	۴۵-۷۰	۲۸-۵۰	±۵
۶۰۰شمارمیلیمتر۳۰)	۴۵-۶۰	۳۰-۵۰	۱۹-۳۴	±۵
۳۰۰شمارمیکرون۵۰)	۲۵-۴۲	۱۸-۳۰	۱۲-۲۵	±۴
۱۵۰ رشمارمیکرون۱۰۰)	۱۵-۳۰	۱۰-۲۱	۷-۱۸	±۳
۷۵ میکرون(شماره ۲۰۰)	۱۰-۲۰	۵-۱۵	۵-۱۵	±۲

قیرابه های آنیونیک و یا کاتیونیک دیرشکن و قیرابه های سریع شکن کاتیونیک و یا آنیونیک نوع CQS-1h یا QS-1h (برای مواقعی که جاده باید در اسرع وقت برای عبور ترافیک باز شود) دو نوع قیری است که در اینخصوص بکار میرود.

مشخصه مصالح ریز دانه ای مورد استفاده شامل موارد زیر است:

۱- از ماسه شکسته یا مخلوط ماسه شکسته و طبیعی که حداکثر ۵۰ درصد آن طبیعی باشد تهیه شده جذب آب ماسه طبیعی از ۱/۲۵ درصد تجاوز کند. برای محورهای با ترافیک سنگین ماسه باید ۱۰۰ درصد شکسته باشد.

۲- حداکثر افت وزنی با آزمایش لوس آنجلس ۳۰ درصد باشد.

۳- حداکثر افت وزنی در پنج سیکل با سولفات سدیم و یا منیزیم به ترتیب ۱۵ و ۲۵ درصد باشد.

٤- حداقل ارزش ماسه ای ٤٥ درصد باشد.

۵- مصالح، قبل از افزودن سیمان یا آهک بعنوان فیلر فعال به آن، فاقد دامنه خمیری باشد

٦- دانه بندی مصالح با توجه به ضخامت مورد نیاز برای پخش در هر لایه با یی از دانه بندی های جدول فوق مطابقت داشته باشد.

فیلرهای فعال نظیر سیمان، آهک شکفته و یا فیلر غیرفعال مانند پودر سنگ های آهکی یا هر نوع دیگری را کـه مشخصـات ذکر شده برای فیلر مصرفی در آسفالت گرم را داشته باشد، می‌توان در مخلـوط‌هـای دوغـاب قیرابـه ای مصـرف کـرد. اسـتفاده از فیلرهای فعال موجب افزایش کارائی و تنظیم گیرش مخلوط و عمل آوری آن در زمان کوتاه تری می گردد ضمن آنکه در اصـلاح دانه بندی مخلوط نیز نقش موثری دارد. چگونگی سازگاری فیلر انتخاب شده با قیرابه مصرفی باید کنترل شود تا چسبندگی پایـدار و با دوام بین قیر و سنگدانه ها تامین گردد.

آب مورد استفاده برای تهیه قیرابه و آب مصرفی برای اختلاط با اسلاری سیل باید عاری از مواد مضر مانند نمک، مواد آلـی و مواد معدنی باشد. مقدار آب مصرفی برای تهیه اسلاری سیل باید به اندازه ای باشد تا یک مخلوط روان و یکنواخت تهیه شود.

کاربرد دانه بندی مصالح سنگی برای مخلوط های دوغاب قیری:

۱- دانه بندی نوع ۱:

این دانه بندی برای درزگیری و پوشش سطوح فرسوده ای مناسب است که دارای ترک های محدود و با عرض کم و چاله های کم عمق می باشد. مقدار قیر خالص باقیمانده در قیرابه در آزمایش تقطیر قیرابه با این دانه بندی بین ۱۶-۱۰ درصد وزنی مصالح خشک و مقدار پخش آسفالت بین ۵/۵-۳/۵ کیلوگرم در متر مربع است.

۲- دانه بندی نوع ۲:

این دانه بندی که از دانه بندی نوع ۱ درشت است برای رویه هایی که ترک ها و چاله های بزرگتری دارند مورد استفاده قرار می گیرد .اسلاری سیل با این دانه بندی هم خرابی هایی با عمق محدود ترک خوردگی های زیاد را ترمیم می کند، هم می تواند بعنوان یک رویه قابل قبولی کارایی داشته باشد. مقدار قیر خالص باقیمانده در آزمایش تقطیر قیرابه با این دانه بندی، بین ۱۳/۵-۷/۵ درصد وزن مصالح خشک سنگی و مقدار پخش بین ۹-۵/۵ کیلوگرم در مترمربع است.

۳- دانه بندی نوع ۳:

این دانه بندی که از دیگر دانه بندیها درشت تر است، برای راه های با شدت خرابی زیادتر (راه های با زیر سازی سالم ولی با ترک ها و چاله های بزرگتر) مورداستفاده قرار می گیرد و می تواند بعنوان یک رویه با ضریب اصطکاک بالا نیز عمل کند.

مقدار قیر خالص باقیمانده در آزمایش تقطیر قیرابه با این دانه بندی بین ۱۲-۵/۶ درصد مصالح و میزان پخش مخلوط بین ۱۳/۵-۸ کیلوگرم در متر مربع است از این دانه بندی همچنین می توان بعنوان قشر اول یا دوم در یک سیستم چند لایه ای نیز استفاده کرد.

۶-۸-۵-میکروسرفیسینگ[1]

میکروسرفیسینگ، آسفالت سرد حفاظتی ریز دانه ای است که از اختلاط ماسه صد در صد شکسته و خوب دانه بندی شده با قیرابه کاتیونیک پلیمری اصلاح شده، فیلر و آب در صورت لزوم افزودنی های کنترل کننده جهت تنظیم زمان شکستن قیرابه تهیه می شود و منشاء اولیه آن اسلاری سیل است. فیلر معدنی معمولا سیمان و در جاهایی که شرایط اجازه دهد (امکان تخصیص زمان گیرش طولانی میسر باشد)از آهک هیدراته استفاده میشود. افزودنیهای کنترلی نیز بعضا جهت تنظیم طمان شکستن قیر امولسیون مورد کاربرد قرار می گیرند.در صورتی که این آسفالت به خوبی طراحی شده و با تجهیزات مناسب اجرا شود نتایج خوبی در اصلاح خصوصیات اصطکاکی سطح رویه خواهد داشت .هرچند اجرای این آسفالت نیاز به دقت خاص دارد و تا اندازه ای دشوار است، اما نتایج خوب عملکردی آن مشوق کاربران بوده است .

این مخلوط آسفالتی سرد بعنوان یک قشر حفاظتی- ترمیمی در کلیه معابر شهری، راه های اصلی، بزرگراه ها، آزاد راه ها با سرعت زیاد و ترافیک سنگین و فرودگاه ها با هادف آب بندی سطحی، پر کردن درزها، ترک ها و شیارهای طولی جای چرخها، اصلاح قیرزدگی و شن زدگی، افزایش تاب لغزشی، پر کردن فضاهای خالی و چاله های کم عمق، اصلاح ناهمواری های سطحی و نهایتاً پیشگیری از گسترش خرابی ها و افزایش قابلیت خدمت دهی آنها با ضخامت های متغیر (عموما در ضخامتی معادل ۱.۵ برابر اندازه درشت ترین سنگدانه مخلوط) و بیشتر از ۱۲/۵ میلیمتر اجرا می شود که باید در شرایط دمای محیط ۲۴ درجه سنتیگراد و در رطوبت نسبی ۵۰ درصد، یک ساعت بعد از پخش، ضمن تبخیر آب امولسیون و سفت شده مخلوط آسفالتی به روی ترافیک گشوده شود. این سیستم برای راه ها و معابری توصیه می شود که روسازی آنها از توان سازه ای کافی برخوردار بوده و آسیب دیدگی های آن سطحی باشد. میکروسرفیسینگ برای رویه های بتنی و سنگی نیز بکار می رود.

[1] Micro-surfacing

مشخصات فنی این آسفالت حفاظتی بشرح زیر است:

الف- قیرابه

قیرابه باید از نوع سریع شکن اصلاح شده با پلیمر بوده و با مشخصات قیرابه کاتیونیک CSS-1h مطابقت داشته باشد. پلیمر مصرفی را می توان با قیر پایه یا امولسیون ساز، قبل از شروع فرایند تولید قیرابه مخلط کرد.انجام آزمایش های ته نشینی و سیمان برای این قیرابه ضرورت ندارد.

ب- مصالح سنگی

مصالح سنگی باید صد در صد شکسته باشد و دانه بندی آن با یکی از دانه بندی های شماره ۲ یا ۳ جدول مصالح سنگی دوغاب قیری مطابقت داشته باشد. سایر ویژگی های این مصالح نیز باید مطابق جدول زیر باشد.

جدول(٦-٩):مشخصات فیزیکی مصالح سنگی میکروسرفیسینگ

آزمایش	روشهای آزمایش		مشخصات٪
	ای اس تی ام	آشتو	
افت وزنیباآزمایش لوس آنجلس	C 131	T 96	≤ ۳۰
افت وزنی با سولفات سدیم	C 88	T 104	≤ ۱۵
افت وزنی با سولفات منیزیم	C88	T 104	≤ ۲۵
ارزش ماسه ای قبل از افزودن فیلر	C 2419	T 176	≥ ۶۵

فیلر که بعنوان بخشی از مصالح سنگی محسوب می شود، باید از آهک شکفته یا فیلر تهیه شده از مصالح سنگی آهکی و یا سیمان پرتلند فاقد مواد هوازا باشد.

میکروسرفیسینگ باید به گونه ای طراحی شود که با مشخصات سیستم گشایش ترافیک سریع، هماهنگی داشته و در مدت کوتاهی بعد از گیرش کامل تثبیت و تحکیم شده تا ترافیک بتواند بدون ایجاد تغییر شکل و جابجایی و کنده شدن سنگدانه ها از روی آن عبور کند. از این آسفالت با دانه بندی شماره ۲ جدول (مصالح سنگی دوغاب بستری) برای بخش در معابر شهری و مناطق مسکونی به مقدار ۸/۱-۵/٤ کیلوگرم بر متر مربع می توان استفاده کرد. و برای دانه بندی شماره ۲ جدول فوق برای راه های بین شهری و جاده های اصلی بمقدار ۱٦/۲-۸/۱ کیلوگرم بر متر مربع استفاده نمود .

از آن جائیکه آسفالت های حفاظتی ریز دانه به منظوربهبود کیفی رویه راه مورد کاربرد قرار می گیرند، انتظار افزایش قدرت باربری از آنها نباید داشت .پیمانکاران اینگونه آسفالتها نیاز به ارائه یک طرح ترکیبی دارند .این طرح ترکیبی که بصورت معمول توسط تولید کنندگان امولسیون ارائه می گردد، باید مقادیر خاصی از امولسیون حاوی پلیمرهای شناخته شده، مصالح سنگی و فیلرهای معدنی را دارا باشد و شامل یک محدوده پیشنهادی مشخص شده جهت میزان آب و مواد افزودنی باشد.

مراحل طرح اختلاط آسفالت حفاظتی ریزدانه مشتمل بر موارد زیر است:

الف :انتخاب و آزمایش مواد مورد استفاده (برای مشخص شدن چگونگی دارا بودن قابلیت های مورد نیاز)

ب :آزمایش مخلوط به منظور تعیین -1 :خصوصیات کاربردی دو ماده ترکیبی عمده (قیر و مصالح سنگی)، تاثیرات آب، تاثیرات فیلر و مواد افزودنی در مخلوط و -2 تعیین میزان درصد بهینه سیمان

ج :انجام آزمایشات لازم روی نمونه های اجرا شده برای اطمینان از رفتار بلندمدت مخلوط.

بیشترین موارد کاربرد آسفالت حفاظتی ریز دانه بعنوان سیل کتهای سطحی، مواد پرکنندهٔ خط افتادگی چرخها، زبر کردن سطح راه، پرکردن منافذ رویه های آسفالتی و اصلاح شیب عرضی روسازی می باشد .بعضی کشورها آسفالت حفاظتی ریز دانه را برای اهداف دیگری نیز مورد استفاده قرار می دهند، که این اهداف شامل موارد زیر است:

- اصلاح قیر زدگی
- اصلاح شن زدگی
- اجرای قشر رگلاژی
- پرکردن ترکها
- پرکردن فضاهای خالی و چاله های کوچک
- لکه گیری چاله های کوچک و کم عمق

روش ساخت و اجرا:

- در شرایطی که دمای هوا زیر 10 درجه سانتیگراد باشد یا در هنگام بارندگی یا هنگامیکه پیش بینی ها از فراگیر شدن هوای زیر صفر درجه حکایت دارند به هیچ وجه نبایدآسفالت حفاظتی ریزدانه اجرا شود. همچنین اگر در هوای خیلی گرم یا خشک اجرا شود ممکن است به دلیل تفاوت درگیرایی بیرونی و درونی، مخلوط امولسیونی سریع بشکند.
- بیشتر موفقیت در ساخت آسفالت حفاظتی ریزدانه به دانش و مهارت گروه اجرا بستگی دارد. تجربه نشان داده است که کیفیت کاری با کسب تجربه اجرای آسفالتهای حفاظتی افزایش می یابد.
- هنگامیکه مخلوط آسفالت حفاظتی ریزدانه به محفظه پخش وارد می شود، باید استقامت و روانی دلخواه را داشته باشد .اگر مخلوط خیلی سفت باشد، ممکن است در محفظه پخش زودتر از حد موعد دچار گیرایی شده و زیر دستگاه پخش بصورت شیار شده و خط افتاده اجرا شود .اگر خیلی روان باشد ممکن است سنگدانه ها دچار جداشدگی شوند و قیر امولسیون به کانالها یا کناره راه جریان پیدا کند. میزان وزنی مخلوط برای پرکردن درزها و خلال و فرج سطح راههای پر رفت و آمد از 8 تا20 کیلو گرم در متر مربع با توجه به وزن مخصوص مصالح، دانه بندی، شرایط روسازی وضخامت پخش متغیر است .عموما برای ضخامت های 6 تا 13 میلیمتر، وزنی از آسفالت حفاظتی برابر 8 تا 16 کیلوگرم در متر مربع در سطح راه اجرا می شود.اگرسطح روسازی نامنظم بوده و یا شیار در محل چرخها بین 6 تا 13 میلیمتر عمق داشته باشد، دو لایه آسفالت حفاظتی در دو زمان مختلف باید اجرا شود . لایه اول بعنوان قشر هموار کننده نیمرخ عرضی عمل کرده و لایه دوم نقش پوشش نهایی را خواهد داشت.
- پیش بینی و کنترل فرآیند شکست قیرامولسیون برای اجرای مناسب آسفالتهای حفاظتی بسیارحیاتی است .دما و رطوبت بر شکست، عمل آمدن و روانی آسفالتهای حفاظتی تاثیر گذارند .با افزایش دما و کاهش رطوبت مدت زمان شکست امولسیون و حذف آب کاهش می یابد .نوع مصالح سطح روسازی و خصوصیات جذب و خواص شیمیایی مصالح در زمان شکست و مقدار قیر باقیمانده روی سنگدانه تأثیر دارند.
- در طول اجرا معمولا از افزودنی ها برای کنترل زمان شکست و گیرایی امولسیون استفاده می شود. درهوای بسیار گرم از افزودنی های مناسب برای افزایش زمان شکست استفاده می شود.
- مقدار فیلر معدنی در زمان طراحی مخلوط معین می شود و معمولا نیازی نیست که پیمانکار درطول اجرا میزان آن را تغییر دهد. کاربر باید در مورد اضافه کردن فیلربسیار مراقب باشد .چرا که فیلر بیش از حد منجر به شکست

سریع امولسیون در درون محفظه اختلاط و پخش می شود .معمولا افزایش ۰.۵ درصدی نسبت به مقدار طرح (تا حداکثر 3 درصد) برای دستیابی به نتایج دلخواه کافی به نظر می رسد.

- چگونگی کار با قیرهای امولسیونی در عملکرد محصول نهایی موثر است.پمپ بیش از حد امولسیون ممکن است منجر به کاهش ویسکوزیته امولسیون و جدا شدن اجزا آن شود .براساس گزارشات اجرایی اگر قیر امولسیون در پای کار خیلی گرم باشد(65تا 82 درجه سانتیگراد) ممکن است خیلی زود دچار شکست شده و یا بخوبی با مصالح مخلوط نشود. دمای مناسب دمای 27 تا 49 درجه سانتیگراد است .همچنین لازم است قیر امولسیون قبل از استفاده برای اطمینان از روانی مناسب، جدانشدن فاز پلیمری و دمای مناسب به آرامی به هم زده شود.
- آسفالت حفاظتی باید طوری طراحی شود که پس از یک ساعت تثبیت شده و ترافیک بتواند ازروی آن عبور کند . برای عملی شدن این مهم، قیر امولسیون باید زمانی بشکند که مخلوط به مقاومت برشی مورد نظر رسیده و نیز با لایه زیرین همبستگی کافی پیدا کرده باشد.
- آسفالت حفاظتی ریزدانه یک سیستم باگیرایی سریع است که به شرایط گیرش بستگی دارد. چنانچه شرایط گیرش در آزمایشگاه با شرایط صحرایی متفاوت باشد مشکلاتی ایجاد خواهد شد.مخلوطی که در شرایط آزمایشگاهی طرح شده ممکن است در شرایط میدانی به خوبی عمل نکند .برای اطمینان از مناسب بودن طرح و تعیین دقیق زمان گیرش، توصیه می گردد قبل از شروع اجرای کامل طرح، یک باند آزمایشی شبیه اجرای واقعی ساخته شده و موارد اجرایی نظیر کنترل زمان گیرش و تعیین مقادیر دقیق آب و مواد افزودنی مشخص گردند.
- کنترل ترافیک که شامل زمان بازگشایی جاده و کنترل سرعت تردد تا اطمینان از گیرش کامل قیر است، برای پروژه های آسفالت حفاظتی بسیار مهم بوده و لازم است توجه خاص به آن معطوف گردد.
- آسفالتهای حفاظتی باید پوشش کامل سطح روسازی را فراهم کرده و سطحی صاف و غیر لغزنده حاصل شود . برای دستیابی به این هدف، سطح نهایی کار باید عاری از هر گونه رگه های قیری، برش خوردگی، چین و چروک و دیگر نامنظمی ها باشد .به علاوه کیفیت مناسب و پوشش درزهای طولی وعرضی باعث ارتقاء کیفیت رانندگی و منظر جاده گردد.
- چین خوردگیها که به نام موج های متوالی هم شناخته می شوند، پستی و بلندیهای عرضی هستند که در سطح روسازی با فواصل منظم ظاهر می شوند .اجرای لایه در ضخامتی بسیار نازک یا کم بودن مقدار مخلوط از عوامل ایجاد موجه های عرضی می باشند .سرعت پخش نیز ممکن است تاثیر گذار باشد .همچنین مشاهده شده است که سرعت زیاد پخش مواد منجر به موجدار شدن سطح نهایی شده است .برای جلوگیری از بروز این خرابی چگونگی عمل کرد دستگاه پخش نیز مهم است .تجربه نشان داده است که استفاده از تیغهٔ لاستیکی در دستگاه پخش برای ماله کشی مخلوط معمولا نتایج بهتری ازنوع فولادی آن می دهد.
- بروز رگه یا شیار شدگی طولی نیز از دیگر خرابی های ناشی از اجرای نا مناسب است که اغلب به دلیل استفاده از تیغه های پخش کثیف، شکسته و نامناسب ایجاد می گردد .استفاده از مصالح درشت دانه و عدم یکنواختی مخلوط از نظر میزان روانی نیز ممکن است از عوامل بروز این خرابی باشند. توصیه های مربوط به جلوگیری از بروز چین خوردگی ها نیز می تواند برای پیشگیری از بروز این خرابیها مفید باشد. دلیل دیگر ایجاد خط افتادگی نرخ پخش مصالح ومواد کمتر از اندازهٔ طراحی شده است .دراین راستا لازم است از نرخهای پخش کمتر از ضخامت۱.۵ برابر سایز بزرگترین سنگدانه اجتناب گردد. همچنین برای جلوگیری از ایجاد ترکهای انعکاسی در روسازی، ترکهای موجود باید به صورت یکنواخت و همسطح قبل از اجرای آسفالت حفاظتی پر شوند.

- نامنظمی های جزئی که در سطح روسازی وجود دارد با تنظیم قسمت پخش کن دستگاه اجرای آسفالت حفاظتی ریزدانه در حین عملیات اجرایی قابل اصلاح است. در مقاطع شیبدار استفاده از مخلوطهای باروانی زیاد باعث ایجاد مشکل در اجرا شده و امکان پخش مخلوط در ضخامت کنترل شده را دشوارمی کند.
- بررسیهای میدانی نشان داده است که کیفیت ساخت لبه کناری به پیمانکار آن بستگی دارد .بعضی پیمانکاران از نوار گذاری استفاده می کنند در حالیکه بقیه سعی می کنند با نگاه (بصورت چشمی) لبه موجود را دنبال کنند . برای اطمینان ازنتایج یکدست توصیه می شود که کناره ها طوری اجرا شوند که درطول خطوط عبوری، شانه ها و ...جداول یکدست و یکنواخت به نظر بیایند .لبه ها نباید بیش از ± 50 میلیمتر در هر 30 متر اختلاف عرضی داشته باشند.
- وقتی پرکردن شیارهای با عمق 40 میلیمتر یا بیشتر در یک بار عبور ماشین انجام شود، معمولاسطحی قیر زده برجای می ماند .در این شرایط بخش درشت تر مصالح می تواند ته نشین شده و در کف شیار قرار گیرند .در نتیجه قیر و ذرات ریز تر به سطح مخلوط می آیند و بافت سطحی بسیار نا مناسب و با چهره ای نا همگون بوجود می آید .برای حصول بهترین نتیجه شیارهای با عمق بیش از 25 میلیمترباید با بیش از یک بار عبور ماشین پرشوند .کاربرد مصالح درشت تر و مخلوط خشک تر در هنگام پرکردن شیارهای عمیق به یکدستی بیشتر سطح کمک می کند .معمولا وقتی عمق شیار از 15 میلیمترتجاوز کند اقدامات بهسازی تغییر می کند .بین اجرای دو لایه باید یک دوره 24 ساعته عمل آوری زیربار ترافیک در نظرگرفته شود .در انتهای ساخت، در پروفیل عرضی هیچ گونه گود افتادگی نباید دیده شود .استفاده از شمشه 3 متری برای اطمینان از عدم وجود هیچ گونه شیاری در سطح راه پس از اجرا ضروری است.

۶-۹-غبارنشانی و روغن پاشی

پخش قیر در سطح راه های شنی و خاکی از ایجاد گرد و غبار جلوگیری کرده و و در عین حال با تامین یک پوشش حفاظتی و سطحی، موجب تثبیت و تحکیم بستر راه و کاهش نفوذپذیری آن در برابر نزولات جوی می شود.

مواد قیری مصرفی برای غبار نشانی و روغن پاشی را می توان بر حسب مورد (شرایط جوی، ترافیکی و نوع قیر موجود) از جدول زیر انتخاب کرد.

مصرف قیر به تناسب نوع مصالح شنی یا خاکی بستر موجود، در نخستین اجرا قیرپاشی محلول از ۲-۰/۵ کیلوگرم بر متر مربع تغییر می کند. در صورت مصرف قیرابه که مقدار آن ۲/۵-۰/۷۵ کیلوگرم در متر مربع می باشد. قیرابه را با یک تا پنج برابر حجم آن با آب رقیق کرده و سپس در دو یا سه مرحله پخش می کنند.

جدول(٦-١٠):راهنمای انتخاب قیر برای غبار نشانی و روغن پاشی راه

غبار نشانی	روغن پاشی راه
قیرهای محلول	قیرهای محلول
RC-70	*MC-70*
MC-70	*SC- 70*
SC- 70	*SC- 250*
قیرآبه ها	قیر آبه ها
SS -1	*SS -1*
SS -1h	*SS -1h*
CSS -1	*CSS -1*
CSS -1h	*CSS -1h*

مقدار قیر تقریبی مصرفی از میان قیرهای محلول، برای روغن پاشی راه در اولین سال اجرا، ٤-٣ کیلوگرم در هر متر مربع تغییر می کند.در صورت مصرف قیرابه که مقدارآن ٥-٤کیلوگرم در هر مترمربع می باشد، قیرابه را با یک تا پنج برابر حجم آن با آب رقیق کرده و سپس در سه مرحله پخش می کنیم، بقسمی که در مرحله اول نیمی از کل قیر و در دو مرحله دیگر مابقی ان بمقدار مساوی در هر مرحله پخش می شود . فاصله زمانی پخش قیر حداقل ٣ تا ٤ هفته است .

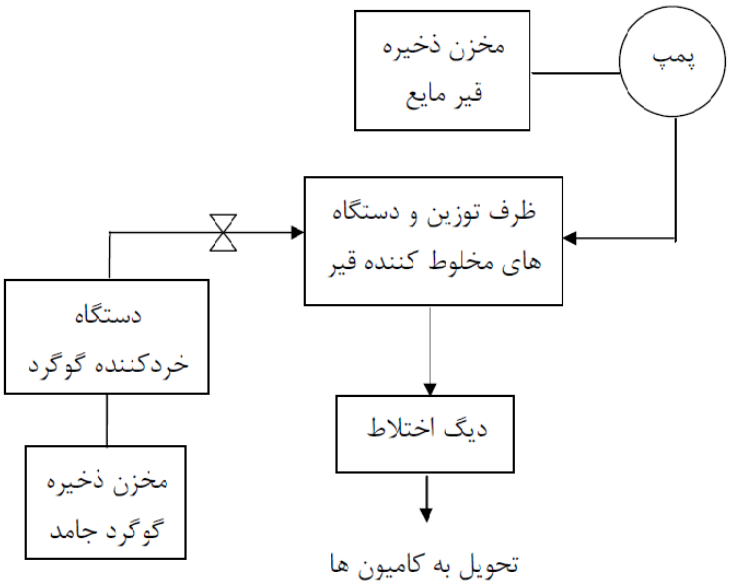
٦—٩-آسفالت گوگردی:

جایگزین کردن ٣٠تا ٥٠ درصد قیر مصرفی با گوگرد سبب میشود که مقاومت آسفالت به مقدار قابل توجهی افزایش پیدا کند. این افزایش نسبی مقاومت در مورد ماسه آسفالت بیشتر از بتن آسفالتی است. بنابراین در ساخت روسازی راهها میتوان کیفیت مخلوطهای آسفالتی که دارای مصالح سنگی نامرغوب هستند را با استفاده از گوگرد بهبود بخشید.اضافه کردن گوگرد به آسفالت سبب افزایش سختی آن میشود لذا استفاده از آن در مناطق گرم مناسبتر است.

در دمای محیط گوگرد از حلقه ایی مرکب از هشت اتم که به صورت هشت ضلعی قرار گرفته است، تشکیل میشود و به همین جهت مقاومت شیمیایی زیادی دارد. لیکن به مجرد اینکه دمای ان از ١١٨ درجه سانتیگراد بیشتر شود، فوراً ذوب شده ، ساختمان شیمیایی آن شکسته شده ، قابلیت ترکیب آن بخصوص با کربورهای اشباع نشده قیرها به شدت افزایش می یابد. کاهش کندروانی گوگرد با افزایش دما تا ١٥٧ درجه سانتیگراد ادامه یافته و سپس در دمای بیش از این مقدار ، گوگرد به سرعت حالت خمیری به خود گرفته و کندروانی آن افزایش می یابد. اضافه کردن گوگرد مذاب به قیرهای خالص در دمای بین ١١٨ تا ١٥٧ درجه سانتیگراد بدلیل کندروانی اندک گوگرد ، موجب کاهش کندروانی قیرمیشود. این کاهش کندروانی تابع مستقیم مقدار گوگرد است. واکنش گوگرد با قیرهای خالص به ترتیب زیر است:

- بین ٠ تا ٤ درصد وزنی، گوگرد با قیر ترکیب میشود.
- بین ٤ تا ٢٥ درصد ، گوگرد در قیر حل شده ، لیکن دیگر ترکیب شیمیایی بوجود نمی آید.
- بین ٢٥ تا ٥٠ درصد، گوگرد میتواند بصورت ذرات ریزدر قیر پخش شود.
- برای عیارهای بیش از ٥٠ درصد، گوگرد حتی اگر در قیرهم پخش شود، تمایل به ته نشینی دارد.

برای مخلوط کردن قیر و گوگرد باید گوگرد مذاب به حالت مایع تحت نیروی برشی زیاد به صورت ذرات بسیار ریز درآمده ، با قیر مذاب به حالت مایع مخلوط شود. این امر مستلزم در اختیار داشتن تکنولوژی این عمل است که اغلب توسط برخی موسسات و شرکتهای نفتی نظیر گلف کانادا، آکتین و یا ویافرانس فرانسوی ارائه شده اند. در کارگاه برای اختلاط قیر و گوگرد ابتدا هر یک از انها جداگاهنه به کارخانه حمل شده و بطور مجزا ذخیره میشوند. سپس بطور جداگانه حرارت داده شده تا به حالت مایع درآیند. با استفاده از دو تلمبه با دبی قابل تنظیم قیر و گوگرد به نسبت مورد نظر به یک توربین مخصوص هدایت میشوند. این توربین با وارد کردن نیروی برشی شدیدی به گوگرد مایع ان را بصورت ذرات بسیار ریز در آورده و سپس با قیر مخلوط میکند.



شکل(٦- ٥): دیاگرام کلی از یک واحد تولید آسفالت گوگردی

آسفالتهای گوگرد دار را میتوان مانند آسفالتهای معمولی با استفاده از روشهای معمول طرح اختلاط نظیر روش مارشال طرح کرد. عاملی که دراین طرح باید به آن توجه کرد، چگالی زیاد گوگرد درمقایسه با قیر است. این به آن معناست که میزان درصد وزنی ماده چسپنده برای مصالح آسفالتی گوگرد دار بیشتراز مصالحی است که ماده چسپنده آن فقط قیر است. (براساس حجم معادل) مقدار بهینه قیر-گوگرد باید با انجام آزمایش تعیین شود. این مقدار معمولا مقداری بین میزان بهینه قیر به تنهایی و مقدار قیر-گوگرد است که براساس حجم معادل بدست می آید.

استفاده از قیر-گوگرد همچنین میتواند سبب بهبود قابل ملاحظه ایی در مشخصات فنی آسفالتهایی که با لستفاده از مصالح سنگی با کیفیت پایین نظیر ماسه ها ساخته میشوند، گردد

ضریب برجهندگی ارتجاعی مصالح آسفالتی گوگرد دار مربوط به تغییر شکل برگشت پذیر با استفاده از رابطه ٦-٤ محاسبه میشود.

$$E_r = (P/H_r h)(v + 0.27) \qquad (٤ - ٦)$$

که در این رابطه E_r ضریب برجهندگی ارتجاعی، P مقدار بار وارد بر نمونه، H_r مقدار تغییر شکل افقی برگشت پذیر حاصل، h ارتفاع نمونه و v ضریب پواسون است.

مقدار ضریب برجهندگی ارتجاعی مصالح با اضافه کردن گوگرد افزایش می یابد و مقدار این افزایش برای ٢٠٪ گوگرد قابل ملاحظه است. افزایش نسبت گوگرد به ٥٠٪ سبب افزایش قابل ملاحظه ایی در مقاومت مصالح در برابر خستگی شده، ضمنا در این آزمایش نیز بکاربردن ٢٠٪ گوگرد اثر قابل توجهی در افزایش مقاومت ندارد. بطور کلی هم مقاومت کششی و هم مقاومت فشاری بتن آسفالتی با افزایش نسبت گوگرد افزایش می یابد. مقاومت کششی بتن آسفالتی وقتی که نسبت درصد گوگرد از ٢٠٪ تجاوز میکند، بطور قابل ملاحظه ایی افزایش می یابد. که این نظیر رفتاری است که بتن آسفالتی گوگرددار در مورد مقاومت خستگی و ضریب برجهندگی ارتجاعی از خود نشان می دهد.تاثیر گوگرد برقیر از نظر سختی در دماهای زیاد (و بارگذاری سریع) بسیار قابل ملاحظه و در دماهای پایین (و بارگذاری کند) غیر قابل توجه است.

آسفالتهای گوگرددار را میتوان با استفاده از ماشین آلات و روشهای متداول اجرای روسازیهای آسفالتی تهیه و پخش کرد. دمای مصالح موقع پخت اسفالت و یا اختلاط قیر و گوگرد نباید از ١٥٠ درجه سانتیگراد تجاوز کند تا از تشکیل گاز هیدوژن سولفوره که در دمای بالاتر از این مقدار به سرعت افزایش می یابد، اجتناب شود. هرگاه قیر و گوگرد بطور جداگانه به مصالح

سنگی در مخلوط کن اضافه شود، گوگرد به خوبی در قیر پراکنده نشده، بنابراین موجب کاهش کیفیت آسفالت میشود. برای حصول اطمینان از پراکندگی مناسب گوگرد در قیر باید ابتدا قیر و گوگرد به نسبت لازم با هم مخلوط شده ، سپس ماده بدست آمده در مخلوط کن با مصالح سنگی ترکیب شود.

نتایج برخی آزمایشات نشان داده اند که پیش اختلاط قیر و گوگرد میتواند استقامت بتن آسفالتی را تا ۲۰٪ در مقایسه با آسفالتی که قیر و گوگرد آن در مخلوط کن با یکدیگر مخلوط میشوند، افزایش دهد.

استفاده از گوگرد بدلایل مختلف زیست محیطی و خردگی شدید ماشین آلات و کارخانه و... کاربرد چندانی ندارد.

۶-۱۰-آسفالت با استخوان بندی سنگدانه ای(SMA)[1]:

مخلوط های آسفالتی با استخوان بندی سنگدانه ای از نوع مخلوطهای آسفالتی گرم هستند .در مناطق گرمسیر برای استفاده در مسیرهای پر تردد و بار محوری سنگین، این نوع مخلوطها استفاده می شو ند. این گونه مخلوط های آسفالتی مقاومت خوبی در برابر شیار افتادگی و تغییر شکل دائمی ازخود نشان می دهند.از دیگر ویژگی های این مخلوط ها افزایش دوام و استحکام لایه آسفالتی، جلوگیری از لغزش سطح راه و عدم ایجاد ترکهای ناشی از خستگی است . در این مخلوط ها، مصالح درشت دانه مقاوم و صددرصد شکسته به مقدار زیاد (حدود 70 درصد نسبت به کل مصالح سنگی) مصرف میشوند. این میزان ، در مخلوطهای آسفالتی با دانه بندی پیوسته حدود 40 درصد مصالح سنگی است. دانه بندی مخلوط های آسفالتی با استخوان بندی سنگدانه ای بر خلاف دانه بندی مخلوط های آسفالتی گرم متداول با دانه بندی پیوسته یا آسفالت بتنی، میان تهی است . چون اسکلت و ساختار اصلی این مخلوطها را سنگدانه های بزرگتر از ٤.٧٥ میلیمترتشکیل میدهند . این سنگدانه ها به مقدار زیاد در مخلوط به کار می روند ، فضای خالی بین مصالح سنگی درشت و نیز مقدار رد شده از الک ٤.٧٥ میلیمتر باید به اندازهای انتخاب شود، که امکان تماس خوب بین سنگدانه ها ایجاد شود . افزایش مقدار ریزدانه بیش از حد مورد نیاز، باعث کاهش قفل و بست بین مصالح سنگی درشت می شود . مقدار ریزدانه این مخلوط ها 20 تا 28 درصد نسبت به کل مخلوط پیشنهاد شده است.

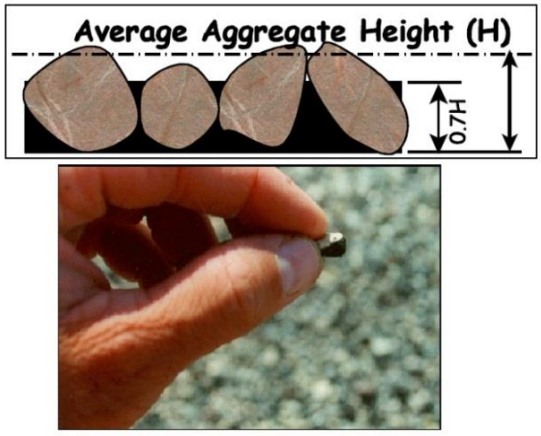
۶-۱۱-چیپ سیل[2]:

چیپ سیل به وسیله پاشش قیر بر روی لایه خارجی روسازی آسفالتی و سپس ریزش توده سنگدانه ها بر روی قیر پاشیده شده اجرا میگردد. چیپ سیل، اجرای یک لایه قیر به همراه پخش یک لایه ماسه روی آن است . (شکل ٤-) چیپ سیل می‌تواند سطح را ضد آب و غیر قابل نفوذ کرده و به علاوه در درزگیری ترکهای با شدت کم و بازیابی ضریب اصطکاک سطحی نیز کاربرد داشته باشد. چیپ سیل در هر زمان از عمر روسازی قابل اجرا است. دلیل اصلی استفاده از چیپ سیل روی یک سطح آسفالتی، محافظت از روسازی در برابر اثرات مخرب گرمای خورشید و رطوبت و هوا است. وقتی یک روسازی آسفالتی در معرض خورشید، باد و آب قرار می‌گیرد، شدت سخت شدن قیر یا اکسیده شدن آن افزایش می‌یابد.

[1] Stone mastic asphalt
[2] Chip seal

شکل(٦-٦): اجرای یک لایه قیر به همراه پخش یک لایه ماسه روی آن

چیپ سیل یک غشاء ضد آب روی سطح راه ایجاد می‌کند که نه تنها فرآیند اکسیداسیون را کند می‌کند، بلکه نفوذ پذیری سطح را نیز کاهش داده و موجب افزایش ضریب اصطکاک سطح راه یا افزایش مقاومت آن در برابر سرخوردگی می‌گردد. یکی از عوامل مهم و قابل توجه، روش طراحی آن برای تعیین مقادیر قیر و مصالح سنگی می‌باشد . هدف ازطراحی، قرار گرفتن حدود ۷۰ درصد ذرات مصالح سنگی و ماسه در لایه قیری است.



شرایط آب و هوایی تاثیر زیادی بر عملکرد چیپ سیل ها به ویژه در طول زمان اجرا دارد. بهترین شرایط، روز آفتابی، گرم و با رطوبت کم است. رطوبت و هوای سرد، زمان عمل آوری را به تاخیر انداخته و اگر در این شرایط ترافیک از آن عبور کند موجب بروز خرابی در سطح راه خواهد شد. بارندگی نیز می‌تواند مشکلات زیادی ایجاد کند. اجرای چیپ سیل بهتر است در فصول گرم و غیر بارانی انجام شود. به علاوه نباید چیپ سیل را در هوای مه آلود و بارانی اجرا کرد. از لحاظ عملکرد طول عمر خدمت‌دهی مورد انتظار برای چیپ سیل، تقریبا ۳ تا ۵ سال پیش‌بینی می‌شود.

مصالح با رطوبت زیاد نیز ممکن است که باعث عدم پیوستگی سطح روسازی شوند. اجرای چیپ سیل و قیمت آن عمدتاً به نوع قیر، نوع مصالح و فاصله حمل آن و وسعت پروژه بستگی دارد.

میزان و شدت ترکهای لایه زیرین نشانه ایی از فرسودگی قابل انتظار آتی میباشد.اگر ترکها بزرگ و قابل توجه باشد، ممکن است اجرای چیپ سیل راه حل مناسبی نباشد. سختی و زبری سطح بر میزان امولوسیون مورد نیاز برای نگهداری سنگدانه ها در جای خود تأثیر گذار می باشد. اجرای لایه اولیه به صورت سست باعث شن زدگی در سطح چیپ سیل و جدا شدن سنگدانه از جای خود میشود.آزمایش نفوذ گوی یک روش مؤثر برای اندازه گیری استعداد لایه اولیه در این خصوص میباشد. چنانچه سطح لایه اولیه که نیاز به اجرای چیپ سیل دارد دارای دانه بندی یکنواخت و قابل قبولی نباشد، ممکن است نیاز به استفاده از مقادیر

مختلف امولوسیون برای اجرای چیپ سیل میباشد که لازم است قبل از اجرا ،مکانهایی که نیاز به امولوسیون متفاوت دارند، مشخص گردد. حجم و نوع عبور و مرور بر انتخاب مصالح چیپ سیل اجرایی تأثیر گذار است.

در این بخش عواملی که بر فرایند انتخاب مصالح بر مبنای حجم و نوع وسایل نقلیه عبوری، تأثیر گذار است ؛ مورد بررسی قرار میگیرد:

انتخاب سنگدانه: سنگدانه های بزرگ تنوع و نوسان زیادی در نوع و مقدار امولوسیون مصرفی ایجاد مینماید و احتمال کمی وجود دارد که با عبور و مرور در جای خود مستحکم باقی بمانند و شل نشوند.سنگدانه های بزرگتر نیازمند امولوسیون های غلیظتری برای استحکام و پایداری در لایه اجرایی میباشند که در نتیجه توانایی آب بندی لایه را نیز افزایش میدهد. ولی از سوی دیگر باعث ایجاد سرو صدای بیشتر و نیز خسارت وارده بیشتری به وسایل نقلیه در زمان اجرا، میگردد. مصالح انتخابی برای اجرای چیپ سیل نباید از مصالح سوزنی یا پولکی شکل باشد. بهترین مصالح برای اجرای چیپ سیل، مصالحی هستند که ظاهری مکعبی شکل داشته باشند تا پس از عبور غلطت یا ترافیک عبوری، حدود ۷۰٪ ذرات مصالح سنگی و ماسه در لایه قیری قرار گیرند.

قیر : دوروشی که معمولا برای استفاده در هنگام چیپ سیل بکار می رود، استفاده از قیرهای محلول[1] ویا امولسیونهای قیری می باشد. از مزایای قیرهای محلول نسبت به امولسیون، درصد بسیار بیشتر قیر مانده، پس از زمان عمل آوری می باشد ،که تقریبا حدود ۸۰ درصد است. در حالیکه این مقدار برای امولسیون های قیری حدود ٦٥ درصد می باشد که نتیجه آن، باقی ماندن بیشتر قیر بر روی سطح راه در جاده پس از زمان عمل آوری در صورت استفاده مقدار یکسان قیر محلول و امولسیون می باشد. از نظر زیست محیطی واقتصادی، امولسیونها، مناسب ترین و باصرفه ترین جایگزین برای قیرهای محلول محسوب می شوند، زیرا:

۱- انرژی مصرفی برای گرم کردن آنها به مراتب کمتر از قیرهای محلول است.

۲- به جای تبخیر و تصعید حلالهای نفتی موجود در قیرهای محلول و انتشار آنها در محیط زیست که موجب آلودگی شدید می گردد، در امولسیونها فقط آب تبخیر می گردد.

۳- هزینه حلالهای نفتی موجود در قیرهای محلول (حدود ۲۵ درصد وزنی)، در شرایط جاری بحران انرژی، به مراتب بیشتر از هزینه ماده امولسیون ساز (حدود ۰/۵ درصد) در امولسیونهاست.

فاگ سیل[2] : اجرای یک لایه فاگ سیل بر روی چیپ سیل رنگ روشنی را ایجاد میکند،که باعث بهبود میدان دید و افزایش عمر کارکرد آن میشود. موقع استفاده از فاگ سیل باید دقت شود، زیرا اگر به مقدار زیادی از فاگ سیل استفاده شود و یا امولوسیون مصرفی در فاگ سیل عمل آوری نشده باشد و یا برای تحمل بار ترافیکی پیش بینی نشده باشد، احتمال کاهش اصطکاک مسیر وجود دارد .

ماشین آلات و تجهیزاتی که برای اجرای چیپ سیل به کار می روند دارای تنوع زیادی می باشد. نوع و اندازه دقیق ماشین آلات با توجه به عرض جاده و وضعیت روسازی تغییر می کند. لیست تجهیزات به شرح زیر است:

- جاروکننده ها.
- پخش کننده مواد قیری.
- پخش کننده سنگدانه ها.
- غلطک پنوماتیک.
- کامیونهای کشنده.
- لودرها.

[1] cut back
[2] Fog seal

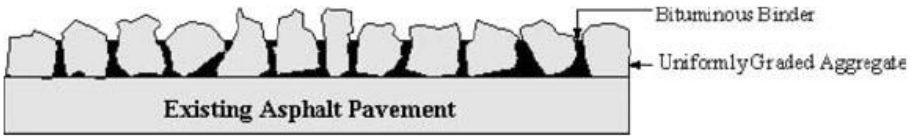
- تانکر حمل مواد قیری.
- وسایل دستی.

خرابی هایی که در سطح چیپ سیل اتفاق می‌افتد شامل موارد زیر می‌باشد:

- رگه ای شدن[1]
- قیر زدگی[2]
- جداشدن مصالح از سطح راه.

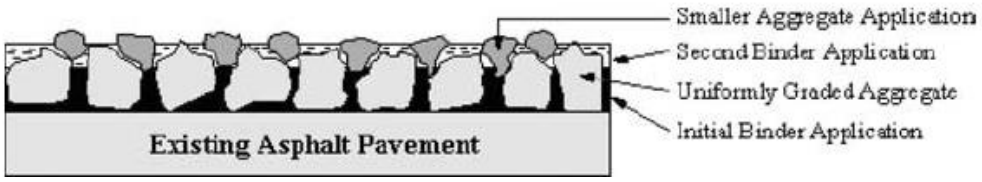
انواع چیپ سیل ها:

چیپ سیل یک لایه ای: پرکاربردترین نوع چیپ سیل، چیپ سیل تک لایه ای است. این چیپ سیل از یک لایه قیر و یک لایه یکنواخت از سنگدانه ها تشکیل می شود (تصویر٦-٧) . این نوع چیپ سیل در اماکن عادی که هیچ شرایط خاصی وجود ندارد مورد استفاده قرار می گیرد.



تصویر(٦-٧) : چیپ سیل یک لایه ای

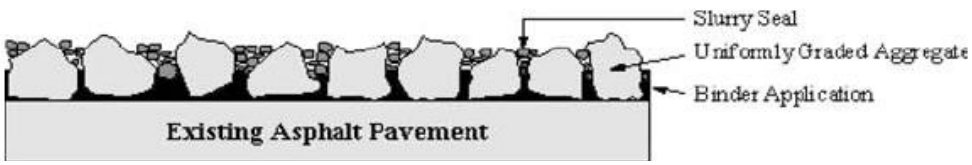
چیپ سیل دولایه ای: چیپ سیل دولایه از دو لایه متوالی قیر و سنگدانه های یک اندازه تشکیل میشود (تصویر٦-٨). سنگدانه های لایه دوم، معمولاً از نظر اندازه، نصف سنگدانه های لایه اول می باشد. چیپ سیل دولایه صدای کمتری در تماس با چرخها ایجاد می کند و قابلیت نفوذ پذیری کمتری در مقابل آب دارد و در مقایسه با چیپ سیل تک لایه مقاومت بیشتری دارد.



تصویر (٦-٨): : چیپ سیل دولایه ای

بنابراین از چیپ سیل دولایه درمناطق با نیروهای تنشی بالا مانند جاده هایی که درصد ترافیک وسایط نقلیه سنگین زیاد است و یا در شیب های زیاد استفاده می شود.

کیپ سیل[3]: کیپ سیل اولین بار درمحلی درآفریقایی جنوبی با اسم کیپ انجام شد و شامل یک لایه سیل کت است که روی آن اسلاری سیل انجام می شود (تصویر٦-٩) :



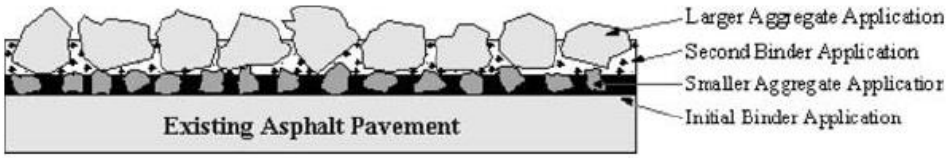
تصویر (٦-٩): کیپ سیل

[1] Streaking
[2] Bleeding
[3] cape seal

در آفریقای جنوبی از مصالح بزرگتر از مصالح اساس استفاده شد، ولی در دیگر کشورها از مصالح کوچکتر استفاده می شود. کیپ سیلها مقاومت بسیار خوبی دارند و مقاومت برشی آنها قابل مقایسه با آسفالت می باشد.

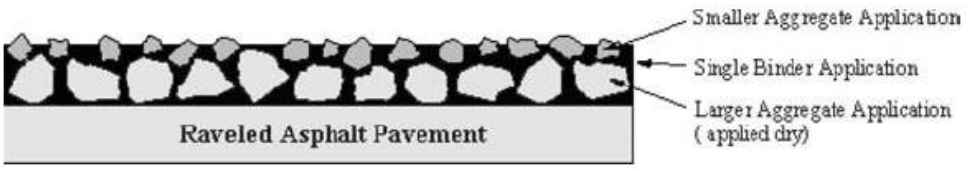
سیل معکوس: تصویر ٦-١٠ این نوع چیپ سیل را نشان می دهد. علت اینکه آن را سیل معکوس می نامند، این است که سنگدانه های با اندازه بزرگتر روی سنگدانه های با اندازه کمتر قرار می گیرند.

این نوع سیل، معمولاً برای تعمیر سطوح موجود که در حال قیرزدگی می باشد مورد استفاده قرار میگیرد. از این نوع سیل، دراسترالیا برای ترمیم قیرزدگی انجام شده است. همچنین برای یکنواخت کردن سطوحی که بافت سطحی متفاوتی دارند نیز استفاده می شود.



تصویر(٦-١٠): سیل معکوس

سیل ساندویچی: سیل ساندویچی همانطور که درتصویر ٦-١١ نشان داده شده است، شامل یک لایه قیر می باشدکه بین دو لایه سنگدانه قرار گرفته است. این نوع سیل برای ترمیم بافت سطحی در سطوح دارای هوازدگی استفاده می شود.



تصویر(٦-١١) : سیل ساندویچی

(تکنولوژی و مواد روسازی)

فصل هفتم:

بازیافت مخلوطهای آسفالتی

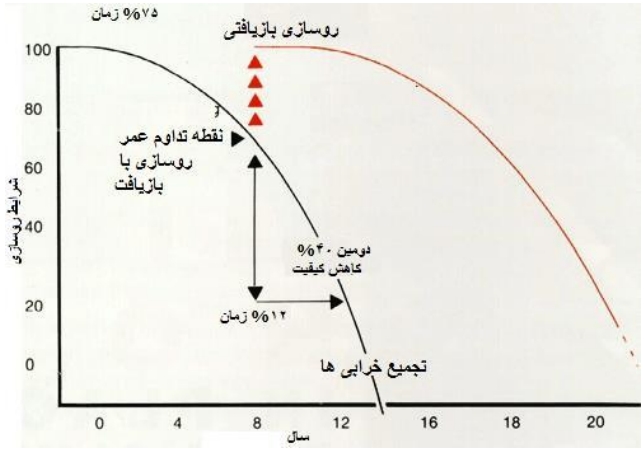
محمود رضا کی منش

سعید شاکر

۷-۱-مقدمه

بازیافت آسفالت[1]، استفاده مجدد از آسفالت های قدیمی است که قابلیت خدمت دهی اولیه خود را از دست داده است. این عمل معمولاً پس از اجرای پاره ای فعل و انفعال بر روی آسفالت قدیمی و احتمالاً افزودن مصالح و مواد جدید به آن، صورت می گیرد. حفظ منابع طبیعی، کاهش هزینه ساخت، ازدیاد استقامت روسازی موجود قبل از روکش و اصلاح خرابی های سطحی، پاره‌ای از مزایای این تکنولوژی محسوب می‌شود. خصوصیات مخلوط های آسفالتی بازیافت شده، تحت تأثیر خصوصیات و میزان مصرف آسفالت قدیمی در مخلوط های بازیافتی می باشد. دراین خصوص دانشمندان و پژوهشگران متعددی نشان داده اند که خصوصیات ساختمانی مخلوطهای بازیافتی، در بعضی موارد حتی بهتر از مخلوطهای آسفالتی جدید است.

همانگونه که میدانیم افزایش قابلیت سرویس دهی راهها، به دو دستهٔ نگهداری[2](اعم از دوره ای، پیشگیرانه و تاخیری) و بهسازی[3](شامل احیاء[4]، بازسازی[5] و نوسازی[6]) تقسیم میگردد و استفاده از مصالح آسفالتی بازیافتی به صور مختلف بعنوان بهسازی سطحی و یا سازه ای مورد استفاده قرار میگیرد که این مصالح بعنوان مصالح کامل بازیافت شده از روسازی آسفالتی(RAP[7]) و یا بعنوان مصالح سنگی بازیافتی از روسازی های آسفالتی که قیر آن قابل استفاده مجدد نمیباشد(RAM[8]) مد نظر در طراحی ها و کاربری ها می‌باشد.



شکل(۷-۱): فرآیندکاهش شاخص کیفی روسازی راه و اصلاح آن با بازیافت روسازی

تاریخچه بازیافت آسفالت

اگر چه بنا بر برخی گزارشات و مدارک موجود تاریخچه اولین پروژه هایی که در آنها به نوعی مصالح موجود مورد بازیابی قرار گرفته به اوایل دهه ۱۹۰۰ بر می گردد، اما نخستین تلاش ها در زمینه تثبیت و بهسازی روسازی‌ها عملاً در دهه ۱۹۳۰ صورت گرفت که که با چندان مقبولیتی مواجه نگردید. تا اینکه در دهه ۱۹۵۰ همزمان با دوران مجدد رشد اقتصادی پس از جنگ جهانی دوم و همراه با احداث مجدد راه‌های جدید و بهسازی راه های فرسوده بازمانده از جنگ، بازیافت روسازی های آسفالتی مجدداً مورد توجه قرار گرفت.

نخستین تلاش های عملی در جهت استفاده مجدد از مصالح آسفالتی روسازی قدیمی در ایالات متحده طی سال ۱۹۷٤ در نوادای ایالت تگزاس انجام شد. در طول سالهای ۱۹۷٦ تا ۱۹۸۲ با پشتیبانی و حمایت وزارت راه فدرال ایالات متحده ، بیش از ٤۰

[1] Asphalt Recycled
[2] Maintainance
[3] Rehabilitation
[4] Restoration
[5] Resurfacing -Reworking
[6] Reconstruction
[7] Recycled or Reclaimed Asphalt Pavement
[8] Reclaimed Aggregate Material

ایالت بازیافت روسازی های آسفالتی را با استفاده از مصالح بازیافتی به انجام رساندند. اکثر فعالیت های اولیه در خصوص بازیافت روسازیهای آسفالتی به مخلوطهای بازیافتی گرم و سرد با استفاده از کارخانه آسفالت‌های مرکزی مربوط می شود.

۷-۲-بهسازی روسازی های آسفالتی

بر اساس گزارش‌های سالانه وزارت راه ایالات متحده ، هزینه سالیانه مورد نیاز جهت حفظ وضع موجود راههای آمریکا، بالغ بر ۵۰ میلیارد دلار است. این در حالی است که هم اکنون سالیانه تنها ۲۵ میلیارد دلار صرف این کار می شود و پیش بینی می شود چنانچه صرفاً بر اساس استانداردهای متداول، رساندن راه‌های موجود به وضعیت" خوب "مد نظر باشد باید سالیانه ۲۰۰ میلیارد دلار صرف این کار شود. این ارقام سرسام آور مؤید این امر است که ادامه چنین سیستمی عملاً امکان پذیر نیست و نیاز به بازنگری در سیستمهای سنتی و متداول نگهداری راه‌ها وجود دارد. این کار به نوعی در برنامه " سیستم های مدیریت روسازی" پیش‌بینی شده و در آن مدلی جهت مدیریت مناسب هزینه های نگهداری راه ارائه شده است.

کشور ما ایران نیز از قاعده فوق مستثنی نیست. اگرچه آمارهای دقیقی از میزان هزینه‌های صرف شده جهت نگهداری راه ها در دست نیست اما با توجه به رشد روز افزون شبکه راههای کشور در صورت عدم بازنگری در مدیریت نگهداری راهها و نیز عدم تحول در شیوه های سنتی بهسازی راهها مسلماً باید با توجه به محدودیت منابع در آینده ای نزدیک منتظر بحرانی جدی در وضعیت راههای خود باشیم. این امر نکته ای است که اکثر مسئولین ذیربط نیز بدان اذعان دارند. اختصاص صحیح منابع موجود، اعمال روشهای پیشگیرانه جهت جلوگیری از تشدید خرابی های موضعی در زمان مناسب، اعمال روش بهینه بهسازی برای هر پروژه با توجه به پارامترهای اساسی دخیل در آن (نظیر نوع خرابی، دلایل بروز خرابی، شرایط آب و هوائی و ...)همه و همه مواردی است که با افزایش توجه به تخصص و تعهد و نظارتهای اصولی و تاکید بر رعایت مبانی پایه ای علم روسازی اسفالتی و اعمال یک سیستم جامع مدیریت نگهداری راه‌ها امکان پذیر است.

۷-۳- بررسی قابلیت بازیافت مصالح آسفالتی

عموماً به کمک امکانات و دستگاههای متمرکز مستقر در کارخانه های آسفالت، می توان با استفاده از مصالح خرده آسفالتی، مخلوطهای آسفالت بازیافتی را تولید نمود. در چنین مراکزی روسازیهای آسفالتی خرد و دانه بندی شده و به محل دپوی مناسب جهت تولید بتن آسفالتی، مخلوط آسفالت سرد یا مصالح سنگدانه ای یا تثبیت شده جهت لایه اساس، حمل می شوند. بسیاری از این دستگاهها در محل کارخانه آسفالت هائی که جهت تولید مخلوط آسفالت گرم به کار می روند، مستقر هستند. خواص مصالح خرده آسفالتی تا حدود زیادی به مشخصات مواد اصلی تشکیل دهنده آن و نوع قیری که در روسازی قدیمی به کار رفته بستگی دارد. کیفیت مصالح خرده آسفالتی به پارامترهای متعددی وابسته است که از آن جمله می توان به موارد زیر اشاره کرد:

- نوع و کیفیت مصالح و قیر اولیه و شرایط تولید
- عمر روسازی آسفالتی
- شرایط آب و هوایی منطقه از نظر درجه حرارت، تابش خورشید و رطوبت و بارندگی و...
- شرایط ترافیکی راه
- شرایط ، کیفیت ، نوع دستگاه و نحوه تراش و یا برداشت آسفالت(تولید تراشه آسفالتی)
- تعداد دفعاتی که روسازی آسفالتی مورد بهسازی قرار گرفته است.
- در صد لکه گیریهای موجود در سطح روسازی
- درصد ترکهای سطح و میزانی از این ترکها که با قیر یا ماسه آسفالت پر شده است.
- امکان استفاده از سایر روشهای بهسازی در پیشینه نگهداری راه.

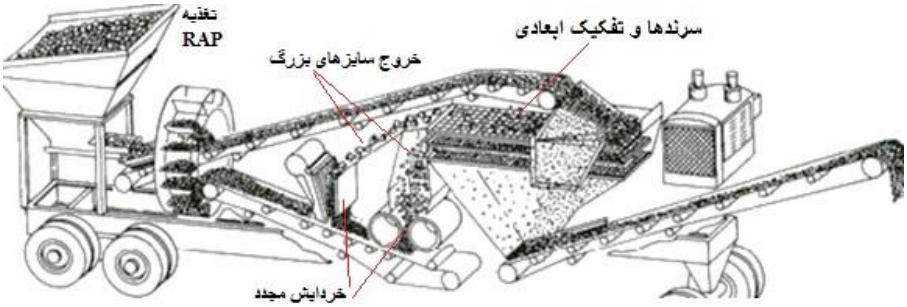
از سوی دیگر جهت اطمینان از کیفیت مطلوب مصالح خرده آسفالتی در آینده لازم است در کلیه مراحل تولید و استفاده از این مصالح کنترل های کیفی مربوطه به دقت صورت گیرد. این نکته به خصوص در مورد روشهای بازیافت درجای روسازیهای آسفالتی از اهمیت خاصی برخوردار است.

۷-۴-خصوصیات مصالح بازیافتی

خصوصیات مصالح بازیافتی به سه دسته کلی تقسیم بندی می شود. این سه دسته به تفکیک شامل موارد زیر است :

- **خصوصیات فیزیکی**

مشخصات مصالح خرده آسفالت (RAP) بستگی به مشخصات مصالح سازنده و نوع مخلوط بتن آسفالتی (لایه رویه، لایه آستر و ...) بازیافتی دارد. تفاوت های قابل ملاحظه ای بین مخلوط های بتن آسفالتی در کیفیت مصالح سنگی،اندازه و استحکام آنها می توان مشاهده کرد. از آنجایی که سنگدانه های لایه رویه باید در مقابل سایش مقاومت مناسبی داشته باشند تا اینکه مقاومت اصطکاکی کافی را تأمین کنند، می توان انتظار داشت که این سنگدانه ها نسبت به سنگدانه‌های لایه آستر (جایی که مقاومت سایشی اهمیت ندارد) کیفیت بالاتری داشته باشند. دانه بندی مصالح بازیافتی معمولاً بدلیل نحوهٔ برداشت و خردایش آسفالت قدیمی و ترافیک تحملی در طول زمان متفاوت از مصالح اولیه است و درصد شکستگی آن نیز متفاوت میگردد که سبب ایجاد و مشاهدهٔ سطوحی عاری از پوشش قیر میباشیم که میبایست در عملیات بازیافت این پوشش ها کامل گردد، لیکن در هرحال در صورت توجه به فرآیند تولید مصالح بازیافتی و نگهداری و کاربرد مجدد ، تمیزی مصالح و کاهش جذب قیر و.. از مشخصات مصالح بازیافتی محسوب میگردد.



شکل(۷-۲): نمونه ای از مکانیزم های آماده سازی و دانه بندی مصالح بازیافتی

- **خصوصیات شیمیایی**

۹۳ تا ۹۷ درصد وزنی مصالح خرده آسفالت را سنگدانه های معدنی تشکیل می دهند و تنها درصد اندکی (۳ تا ۷ درصد) را قیر سخت شده تشکیل می دهد. قیر ترکیبی از آسفالتین ها و مالتین ها (رزین ها و روغن ها) می باشد. آسفالتین ها اسکلت ساختمانی قیر ها را تشکیل می‌دهند. رزین ها در میزان چسبندگی و قابلیت شکل پذیری قیر ها مؤثر هستند و روغن ها بر روی کندروانی آنها تأثیر می گذارند. از این جهت خصوصیات یک قیر تابعی است از کمیت و کیفیت هیدروکربن های تشکیل دهنده آن که خود تابعی است از جنس نفت خام وهمچنین نحوه تقطیر آن. آسفالتین ها نسبت به رزین ها یا روغن ها دارای ویسکوزیته بیشتر می‌باشند. به همین دلیل نقش مهمی را در ویسکوزیته قیر و نحوه پیر شدن قیر ایفا می کنند. اکسیداسیون قیر باعث پیر شدن و سخت شدن قیر و در نتیجه کاهش خواص اصلی مورد نیاز قیر اعم از انعطاف پذیری ،چسبندگی، نفوذناپذیری و... می‌شود. این پدیده باعث سخت تر شدن قیر و افزایش ویسکوزیته آن می شود.

- خصوصیات مکانیکی

خصوصیات مکانیکی مصالح خرده آسفالتی به نوع روسازی اولیه (آسفالت سرد یا گرم)، کیفیت مصالح سنگی، قیر به کار برده شده در روسازی اولیه، روش به کار رفته برای بازیافت مصالح و درجه فرآوری لازم برای آماده سازی مصالح خرده آسفالت در یک

کاربرد ویژه بستگی دارند. از آنجایی که عمده مصالح خرده آسفالت تولیدی بلافاصله پس از برداشت در روسازی ها به کار گرفته می شوند، در مورد خصوصیات مکانیکی مصالح خرده آسفالت اطلاعات زیادی در دسترس نیست.

۷-۵-بررسی انواع روش های بازیافت آسفالت

روسازی هر جاده ای که نیاز به بازسازی یا روکش جدید دارد یک گزینه برای بازیافت محسوب می شود. در طول سالها روش های مختلفی برای بازیافت آسفالت معرفی شده اند که هرکدام از آنها به کارهای خاصی اختصاص یافتند. یک نمونه از این دسته بندی ها بر اساس مکان انجام فرآیند بازیافت تقسیم بندی می شود و بسته به اینکه فرآیند مذکور در محل یا در کارخانه انجام می گیرد تفکیک می گردد. عامل دیگری که برای دسته بندی روش های بازیافت مورد استفاده قرار می گیرد، به میزانی که مصالح بازیافت شده گرم می‌گردند مربوط می‌شود. در این مورد، دو روش بازیافت گرم[۱] و بازیافت سرد[۲] وجود دارد.

۷-۶-بازیافت گرم روسازی های آسفالتی

مصالح خرده آسفالتی را می توان در بازیافت گرم مخلوطهای آسفالتی به دو روش استفاده کرد:

روش اول روشی که از پیشینه بیشتری برخوردار و به نام مخلوط بازیافت گرم کارخانه‌ای موسوم است، بدین صورت است که مصالح خرده آسفالتی با مصالح جدید و خام و قیر خالص جدید در داخل یک کارخانه مرکزی مخلوط شده و مخلوط آسفالت گرمی پدید می آید که بخشی از آن را مصالح بازیافتی تشکیل می‌دهد.

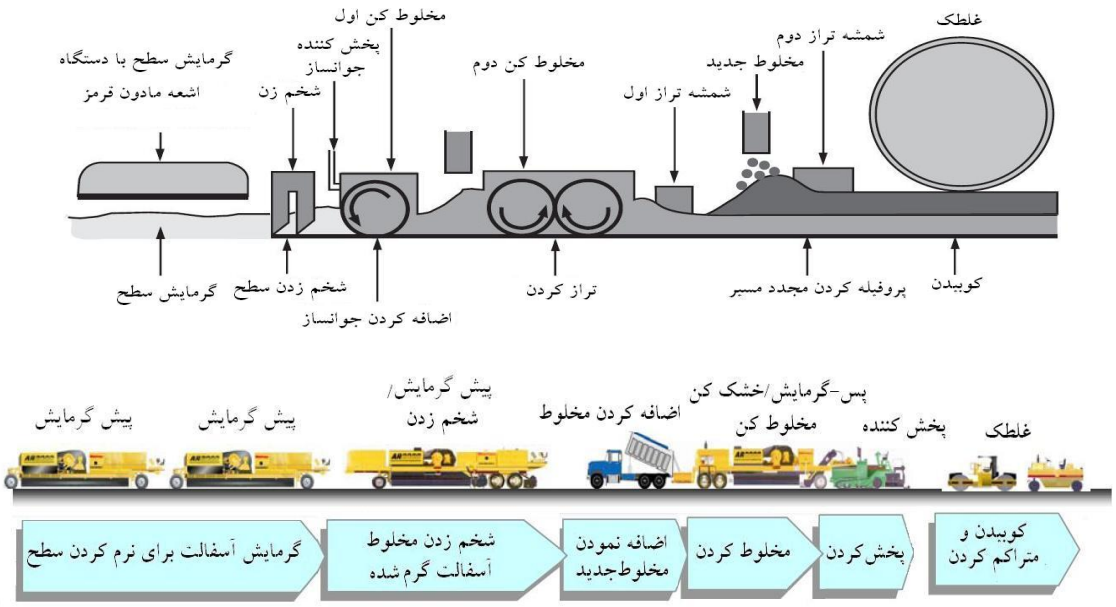
روش دوم، بازیافت گرم درجا برای روسازیهای آسفالتی است که در آن ابتدا بخشهای خراب و ترک خورده روسازی به کمک حرارت گرم شده، سپس به کمک روشهای مکانیکی وآسفالت تراشی، سطح روسازی تراشیده و برداشته شده و با مواد جوانساز[۳] یا احیا کننده[٤] و یا در صورت لزوم مصالح و قیر خالص جدید، مخلوط مناسبی از مصالح برای اجرای آسفالت بدست می آید، بدون اینکه مصالح از محل روسازی به نقطه دیگری انتقال یابد. روش بازیافت گرم در واقع متداولترین و در عین حال قدیمی ترین روش بازیافت روسازی های آسفالتی به شمار می آید.

۷-۷-روش بازیافت گرم درجا[۵] (HIPR)

روش بازیافت گرم درجا برای روسازی های آسفالتی در طول دهه گذشته به سرعت توسعه یافته و به عنوان جانشینی مهم برای روشهای سنتی بازیافت مطرح شده است. در سالیان اخیر دستگاههای گوناگونی برای این منظور توسط متخصصین ساخته و به بازار آمده است. این روش جهت ترمیم خرابی های سطحی لایه های آسفالتی به کار می رود و کلیه عملیات به صورت درجا و در یک عبور با ایجاد حداقل اختلالات در ترافیک عبوری انجام می شود. در روش درجا ابتدا سطح لایه رویه آسفالتی حرارت داده می شود ، سپس آسفالت نرم شده توسط شخم زنهای دوار برداشته شده ، به درون دستگاه مخلو ط کن وارد می شود و در آنجا با مصالح جدید از قبیل مصالح سنگی، قیر و یا ماده احیا کننده یا جوانساز مخلوط و در نهایت مجموعهٔ این مواد بر روی سطح حرارت راه پخش می‌شود. معمولاً توسط همین دستگاه ، یک لایه جدید آسفالت بر روی لایه مزبور ریخته می شود و تمام این عملیات معمولاً به صورت درجا و در یک بار عبور دستگاه و تا عمق حداکثر ۵۰ میلیمتر انجام می شود.

---

[1] Hot Recycling
[2] Cold Recycling
[3] Rejuvenator
[4]
[5] Hot In-Place Recycling



شکل (۷-۳): مراحل اجرای بازیافت گرم درجا

۷-۸-روش بازیافت گرم آسفالت در کارخانه آسفالت مرکزی[1]

این روش از پیشینه بیشتری نسبت به سایر روش ها برخوردار است. در این روش مصالح خرده آسفالتی کنده شده از سطح راه را به یک کارخانه مرکزی آسفالت حمل و آن را با قیر خالص جدید و یا مواد جوانساز و در صورت لزوم با مصالح سنگی جدید مخلوط می کنند که نهایتاً آسفالت گرمی تولید می‌شود که بخشی از آنرا مصالح خرده آسفالتی تشکیل می دهد.

این کارخانه غالباً دارای امکاناتی از قبیل سنگ شکن ها، سرندهای مختلف، تسمه نقاله ها و دپوهایی است که به منظور تولید خرده آسفالت مطابق با مشخصات دانه بندی مورد نظر طراحی شده اند. در این روش برای نرم کردن مصالح خرده آسفالت،از روش انتقال حرارت استفاده می‌شود. داشتن رطوبت بهینه در این روش برای مصالح خرده آسفالتی ضروری می باشد. در غیر این صورت رطوبت اضافی باعث کاهش نرخ تولید خواهد شد. به دلیل اینکه گرما قبل از اینکه باعث نرم کردن مصالح خرده آسفالت شود، باعث تبخیر رطوبت آن می شود. انواع کارخانه های بازیافت گرم آسفالت به دسته های زیر تقسیم بندی می شود:

۷-۸-۱- کارخانه آسفالت پیوسته جهت بازیافت بتن آسفالتی

در کارخانه های آسفالت پیوسته سنتی، تمام مواد اعم از مصالح سنگی و قیر درون استوانه دوار همزمان مخلوط می‌شود. این کارخانه جهت استفاده در بازیافت نیاز به اصلاحاتی دارد تا از برخورد مستقیم شعله به آسفالت قدیمی جلوگیری گردد، در غیر اینصورت آسفالت قدیمی بیشتر اکسید شده و علاوه بر از دست دادن خواص شیمیایی و فیزیکی خود باعث آلودگی محیط زیست می‌شود. کارخانه های آسفالت پیوسته متفاوتی جهت استفاده برای بازیافت مصالح آسفالتی ابداع شده اند که از آن میان می توان به دستگاه مجهز به سپر حرارتی، سیستم استوانه‌ای تو در تو و سیستم مجهز به دو مجرای ورودی اشاره کرد، دستگاه های مذکور قادر به بازیابی از ۵ تا ۷۰ درصد آسفالت قدیمی می باشند.

۷-۸-۱-۱- کارخانه مخلوط کن استوانه ای (Drum Mixer)

برای تولید مخلوط بازیافتی با این کارخانه، مصالح سنگی جدید ازبالای استوانه، یعنی نزدیک شعله، افزوده می شوند و مصالح سنگی بیشتر گرما را از شعله جذب می کنند و مانند یک سپر از مصالح بازیافتی روسازی، قیر جدید و ماده جوانساز محافظت می نمایند.مصالح بازیافتی روسازی از نزدیک نقطه مرکزی به استوانه افزوده می شود. سپرها در داخل درام باید در وضعیتی باشند که

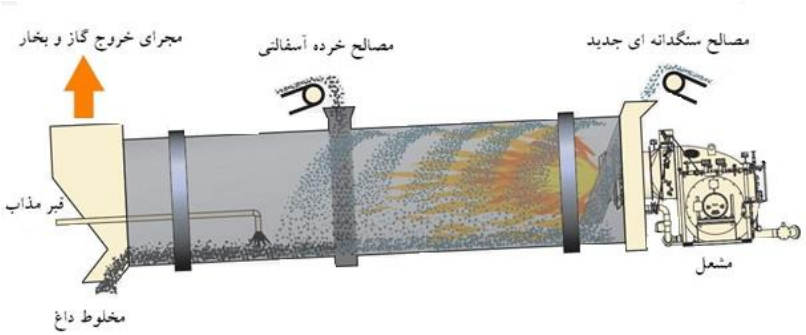
[1] Central Plant

مصالح خرده آسفالتی را در مقابل صدمات گرما محافظت کنند. مخلوط بازیافت شده نهایی معمولاً بین ۱۳۰ تا ۱۵۰ درجه سانتیگراد گرما داده می‌شود تا بتواند متراکم شده و تراکم نسبی مورد نیاز را تأمین نماید.

در کارخانه‌های اولیه، مصالح بازیافتی در معرض شعله کوره و گازهای احتراقی فوق العاده داغ قرار می‌گرفتند که سبب ایجاد دود آبی خیلی زیادی می شد. طرح و برنامه های متعددی برای تنظیم و اصلاح آنها به شرح زیر مورد استفاده قرار گرفته‌اند تا به مشکلات آلودگی هوا فائق آیند.

۷-۸-۱-۲-تغذیه جداگانه (Drum Mixer)

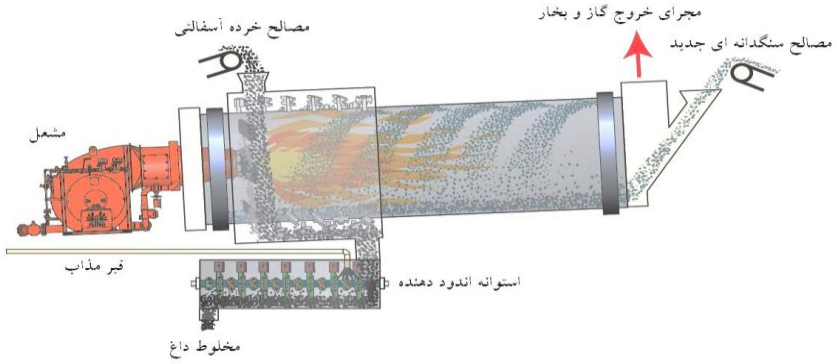
در این نوع کارخانه ها، مصالح سنگی از انتهای مشعل استوانه وارد مخلوط کن می شوند. مصالح خشک شده حرارت بسیار زیادی دریافت می کنند.سپس در نقطه ای کاملاً پایین تر از مشعل یا کوره به مصالح بازیافتی اضافه می شوند تا از شعله و گازهای داغ احتراقی دور باشند. بر حسب وضعیت کارخانه مصالح بازیافتی از میان دریچه های پوسته یا از قسمت عقب استوانه و تقریباً نزدیک به مرکز آن وارد استوانه می شوند. قیر جدید یا ماده جوان کننده به آن افزوده شده و اختلاط در نیمه پایین تر استوانه انجام می گیرد.



شکل (۷-٤) تغذیه جداگانه (Drum Mixer)

۷-۸-۱-۳- استوانه های مضاعف[1]

یک استوانه کوچکتر، هم از نظر قطر و هم ازنظر طول، داخل استوانه اصلی قرار می‌گیرد. مشعل حرارت لازم را برای گرم کردن استوانه کوچکتر تولید می کند. مصالح سنگی بازیافتی RAM یا مصالح سنگی جدید و یا هر دوی آنها وارد استوانه داخلی در انتهای مشعل می شوند. مصالح خرده آسفالتی نیز وارد استوانه اصلی و در انتهای مشعل، اما نه میان شعله مشعل و فقط در استوانه داخلی گرم می شود. مصالح خرده آسفالتی، توسط جابه‌جایی گازهای داغ، فلز داغ استوانه داخلی و انتقال حرارت از مصالح سنگی گرم شده حرارت داده می‌شوند که نهایتاً به پایین‌ترین قسمت انتهایی درام داخلی منتقل می شود. در نزدیکی این قسمت قیر جدید و یا ماده جوانساز افزوده شده و اختلاط قیر و مصالح در قسمت بقیه استوانه اصلی ادامه می یابد.



شکل(۷-٤): استوانه مضاعف

[1]Double-Drum Plant

۷-۸-۱-۴- کارخانه آسفالت مرحله ای[1]

برای بهره گیری از کارخانه آسفالت مرحله ای در بازیابی آسفالت گرم، از روش انتقال حرارت استفاده می شود. این کارخانه ها طوری تغییر یافته اند تا بتوانند مخلوط های بازیافتی گرم تولید کنند. این تغییرات شامل افزودن یک تغذیه کننده وتسمه نقاله برای حمل مستقیم مصالح بازیافتی روسازی به پیمانه وزنی می‌شود. در این روش مصالح سنگی جدید از سیلوهای سرد، به کارخانه تغذیه و سپس در یک خشک کن متداول مصالح سنگی گرم می شوند و از آنجا به سیلوی ذخیره گرم به روش مرسوم منتقل می گردند. مصالح خرده آسفالتی بدون حرارت دادن یا خشک کردن از دپو به سیلوی ذخیره سرد حمل می شود. یک سیلوی تغذیه سرد مجزا با شیب خیلی زیاد ضروری می باشد. مصالح بازیافتی پس از آن به قیف توزین منتقل می شوند. در آنجا مصالح خرده آسفالتی به مصالح فوق گرم شده اضافه می شوند. وقتی که مواد یا مصالح با نسبت‌های معین درون مخلوط کن ریخته شدند، انتقال حرارت بین مصالح خرده آسفالتی و مصالح سنگی گرم شده انجام می‌گیرد. تعادل حرارتی کامل در مخلوط بازیافتی گرم معمولاً مدتی پس از این که مخلوط از مخلوط کن خارج می شود، به دست می آید. استفاده از سیلوهای ذخیره آسفالت گرم تولیدی برای این انتقال حرارت بسیار مؤثر است. دمای مصالح سنگی جدید باید به اندازه ای باشد که دمای حاصله برای اختلاط و تهیه مخلوط نهایی برای تراکم مناسب باشد.

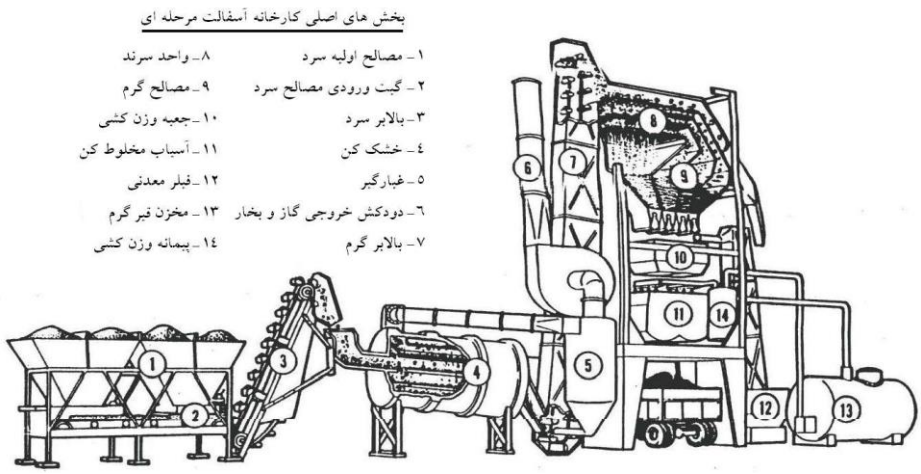
این روش انتقال حرارت در کارخانه آسفالت مرحله ای مقدار آلودگی هوا را کاهش می‌دهد، مشکل گرفتگی و انسداد الک ها را از بین می برد و چسبیدن و جمع شدن مصالح خرده آسفالتی بر روی بالابر های مصالح سنگی داغ جلوگیری می کند. در هر حال در بعضی مواقع ابری از بخار آب تولید می شود که با دریچه دار کردن و ایجاد جریان هوا در این موارد می تواند مؤثر باشد. باید توجه داشت که در کارخانه های تجهیز شده به غبارگیر های کیسه ای، درجه حرارت های خیلی بالا به کیسه های غبار گیر ضرر می رساند. خطر تخریب فرسودگی کیسه ها در گازهای خروجی با درجه حرارت بیشتر از ۲۳۰ درجه سانتیگراد خیلی زیاد است.

محل افزودن مصالح RAP در کارخانه های پیوسته (بچ) در چهار شکل رایج (به ترتیب اولویت ایده‌آلی) به جهت انجام تبادل حرارتی و..انجام میپذیرد: در بخشهای ابتدای بالابر گرم مصالح(خروجی خشک‌کن)، با الواتور جداگانه بر روی سرندهای گرم، انتهای(یا جداره دوم) خشک کن کارخانه، با سیستم توزین جداگانه مستقیم در مخلوط‌کن. بدلیل پیوسته بودن پروسه افزودن مصالح بازیافتی به مصالح گرم و نتیجتاً پیوسته بودن تولید و خروج همچنین بخارات و دود از محل مشخص در کارخانه و امکان جمع آوری مناسب این غبارها توسط فن اگزوز مجزا و همچنین حرارت غیر مستقیم مصالح بازیافتی و کاهش استهلاک اجزا اصلی کارخانه(خشک کن و غبارگیرها) و امکان کنترل مناسب دانه بندی وطرح اختلاط و... مناسبترین محل جهت افزودن RAP ابتدای الواتور گرم است. در هر شرایط خروجی مصالح جدید میبایست، جهت جبران درجه حرارت پایین مصالح بازیافتی، کمی در درجه حرارت بیشتری تنظیم گردد. این میزان درجه حرارت (که با انجام کنترلهای لازم در محصول خروجی در آخرین مرحله قبل از افزودن قیر صورت میپذیرد) به عواملی چون درصد اختلاط RAP ، درصد رطوبت مصالحRAP ،درجه حرارت محیط، محل افزودن RAP به پروسه تولید، میزان انتظار مصالح گرم قبل از ورود به مخلوط کن بستگی دارد.

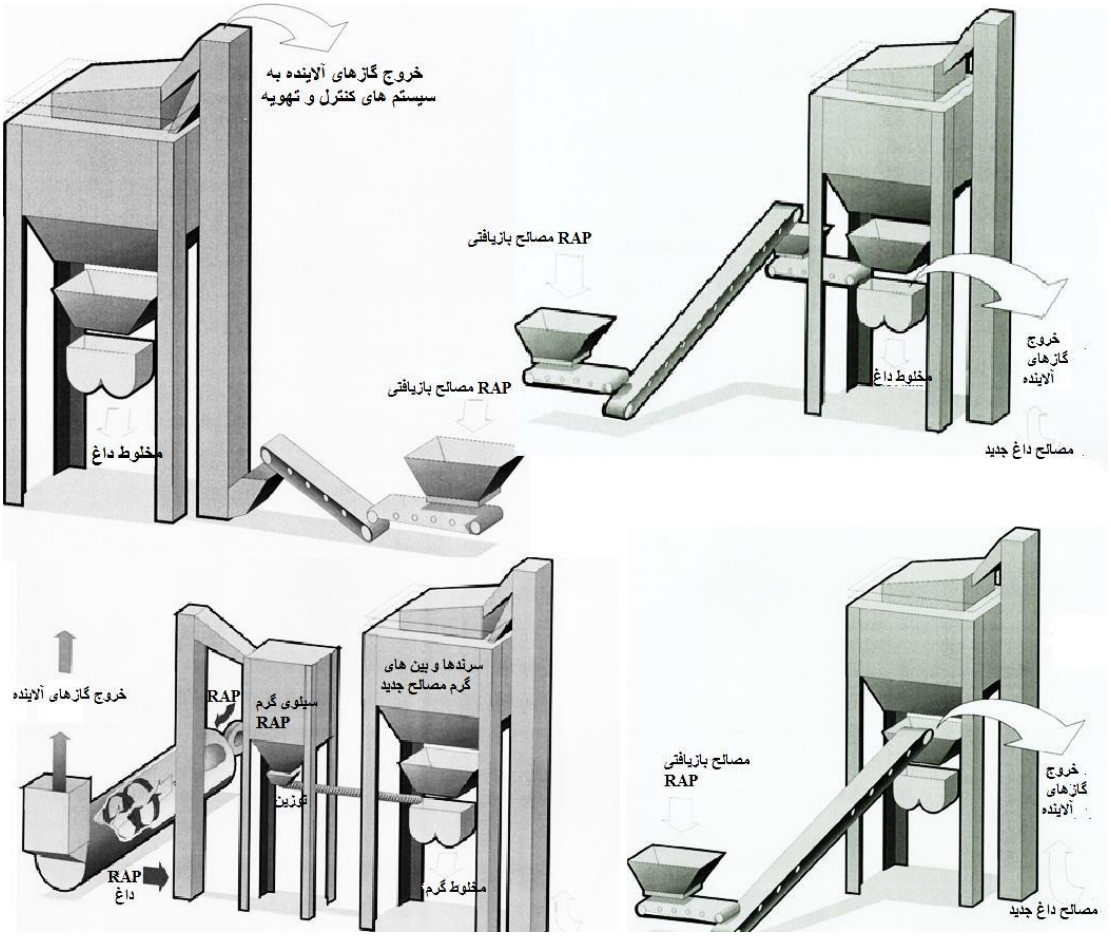
حداکثر مقدار مصالح بازیافتی RAP را که می توان در مخلوط گرم آسفالت بازیافت شده نهایی به کار برد به موارد زیر بستگی دارد:

- مقدار رطوبت و درجه حرارت مصالح بازیافتی انبار شده در کارگاه
- درجه حرارت مورد نیاز مخلوط بازیافت شده
- درجه حرارت مصالح سنگی فوق گرم شده

[1]Batching Plant



شکل (۷–۵): کارخانه آسفالت مرحله ای (Batching Plant)



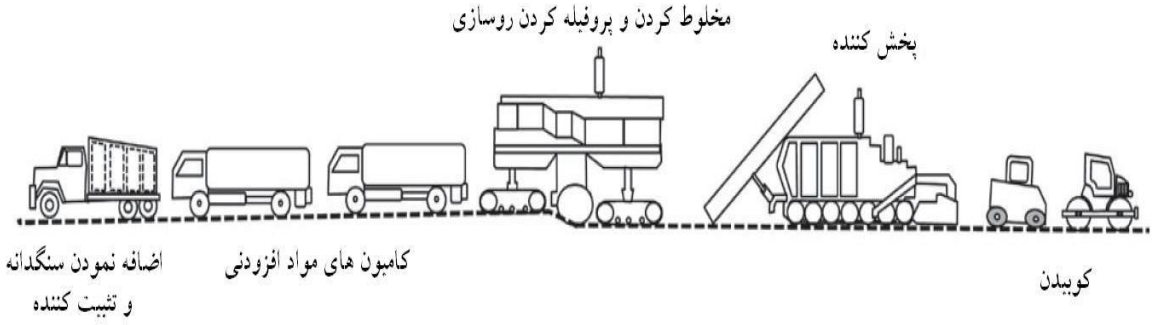
شکل(۷–٦): انواع شرایط افزودن مصالح بازیافتی در کارخانهٔ بچ

اگر مقدار رطوبت مصالح بازیافتی در کمترین یا نزدیک به کمترین حد و درجه حرارت نیز نزدیک به درجه حرارت محیط باشد، درصد مصالح بازیافتی می تواند ۵۰ درصد باشد. افزایش مقدار مصالح بازیافتی در آسفالت گرم تولیدی نیاز به افزایش دمای مصالح سنگی جدید دارد ضمن این که رطوبت اضافی درانبارهای مصالح سنگی جدید و RAP نیز عامل افزایش حرارت می باشد. بنابراین برای ذخیره انرژی باید مصالح ذخیره شده در انبارها تا حد امکان خشک نگهداری شوند. یکی از محدودیت های کارخانه مرحله ای در مصرف مصالح RAP این است که نسبت مصالح بازیافتی به مصالح سنگی جدید نمی تواند بیش از ۵۰ درصد باشند زیرا در غیر این صورت انتقال حرارت به خوبی انجام نخواهد گرفت.

۷-۹-بازیافت سرد روسازی های آسفالتی

در بازیافت سرد روسازی ها ، مصالح خرده آسفالتی بازیافتی را به دو روش می‌توان به عنوان جایگزینی برای سنگدانه های مخلوطهای آسفالتی به کار برد. اولین روش به نام بازیافت سرد کارخانه ای آسفالت[1] موسوم است که در آن مصالح بازیافتی با قیرهای امولسیونی و یا کف قیر و یک ماده احیا کننده یا جوانساز و یا در صورت نیاز درصدی از مصالح سنگی جدید ترکیب شده و در یک کارخانه آسفالت مرکزی[2] و یا یک کارخانه آسفالت قابل حمل[3] جهت تولید مخلوطهای بازیافت سرد، مخلوط می گردد.

روش دوم که در سطح دنیا بیشتر متداول است آسفالت بازیافت سرد درجا نام دارد و در آن روسازیهای آسفالتی به صورت درجا بازیافت می شوند. در این شیوه مصالح خرده آسفالتی بدون گرم کردن با قیرهای امولسیونی یا کف قیر و یا در صورت نیاز با مواد احیا کننده یا جوانساز و درصدی از مصالح سنگی جدید ترکیب شده و در محل راه مخلوط می شود. در این روش جهت اجرای بازیافت سرد آسفالت عملیات بهسازی روسازی موجود در کل عمق لایه های روسازی و یا در بخشی از آن انجام می شود در بسیاری از ایالتهای آمریکا روش بازیافت سرد درجا همراه با روکش آسفالتی گرم و یا پوششهای آسفالت سطحی[4] به اجرا در آمده است. بازیافت سرد آسفالت به صورت درجا به روشی اطلاق می شود که در آن با استفاده از ماشین آلات خاصی لایه های آسفالتی (و یا سنگدانه ای) موجود در سطح روسازی تا عمق ۳۰۰ میلیمتر آسفالت تراشی شده، تا دانه بندی مناسب خرد گردیده و با امولسیون قیر (یا کف قیر) و یا سایر افزودنی‌های مناسب ترکیب شده و نهایتاً در همان محل پخش و متراکم می گردند. در این روش نیز تمامی مراحل اجرایی در محل و به طور مداوم به کمک یک سری ماشین آلات صورت می پذیرد.



شکل (۷-۷) تجهیزات بازیافت سرد درجا

از بازیافت سرد درجا می توان جهت مرمت بخش های مختلف روسازی آسفالتی موجود استفاده کرد از جمله کاربرد های این روش می توان موارد زیر را نام برد:

- بهسازی کلی لایه های روسازی آسفالتی موجود
- بهسازی لایه اساس
- بهسازی لایه های آسفالتی (لایه های قیری)
- بهسازی لایه زیراساس
- تقویت سابگرید
- اصلاح رقوم خط پروژه و برطرف کردن اعوجاجات موجود در سطح راه

۷-۹-۱-مشخصات مواد مصرفی و افزودنی در روش بازیافت سرد

در طی انجام بازیافت سرد درجا از مواد و مصالح افزودنی متفاوتی استفاده می شود که شامل مواد زیر است:

[1] Cold Mix Plant Recycling
[2] Central Plant
[3] Mobile Plant
[4] Chip Seal

الف– افزودنی های شیمیایی

برای افزایش مقاومت اولیه مخلوط بازیافتی و نیز افزایش پایداری مخلوط در برابر تغییر شکل های دائمی و شیار افتادگی مسیر چرخ و خرابیهای ناشی از اثر آب، برخی مؤسسات توصیه کرده اند که از افزودنی‌های شیمیایی نظیر سیمان، خاکستر بادی گروه C یا آهک شکفته به شکلهای مختلف در مراحل اختلاط استفاده شود. به عنوان مثال، اکثراً سیمان را به دو شکل پودر یا دوغاب سیمان، به تنهایی و یا در ترکیب با سایر افزودنیها، در فرآیند بازیافت سرد درجا استفاده می‌کنند.

ب– افزودنی های قیری

این افزودنیها غالباً در دو شکل (الف) امولسیون قیر یا قیر آبه و (ب) کف قیر در فرآیند بازیافت سرد درجا به کار می روند. امولسیونهایی که عمدتاً در این روش به کار می روند شامل امولسیون های کاتیونیک یا آنیونیک دیر شکن به خصوص امولسیون نوع با ماندگاری یا شناوری بالا[1]) است که عموماً می توانند حاوی پلیمر نیز باشند. علاوه بر موارد فوق، از امولسیون های دیرشکن نوع CSS-1 یا CSS-1h نیز گاهی به همین منظور استفاده می شود. نوع دیگری از فرآورده های قیری که کاربرد آن به خصوص طی سالیان اخیر از مقبولیت نسبی زیادی برخوردار شده، کف قیر است. هرچند که این تکنولوژی نیز از پیشینه نسبتاً زیادی برخوردار است و سابقه تحقیقاتی و اجرایی طولانی دارد، ولی به دلیل فقدان ماشین آلات مناسب تا مدتها کاربرد چندان گسترده ای نداشت. توسعه استفاده از این افزودنی قیری به دهه ۹۰ و خصوصاً کشور آلمان مربوط می شود. نحوه تولید این فرآورده از دمیدن هوا و تزریق آب به قیر که تحت فشار تا دمای ۱۸۰ درجه سانتیگراد گرم شده باشد بدست می آید و در آن کف قیر در ترکیب با مصالح ریزدانه ملات مناسبی را تولید میکند که کار پوشش سنگدانه‌های بزرگتر را بر عهده دارد. در حال حاضر دو مشخصه مهم کف قیر که عبارتند از نسبت انبساط و نیمه عمر را به صورت زیر می توان تعریف نمود:

- **نسبت انبساط**[2]: نسبت حجم حداکثر کف قیر به حجم اولیه قیر
- **نیمه عمر**[3]: این شاخص که با واحد ثانیه اندازه گیری می شود، زمان رسیدن حجم کف به نصف حجم حداکثر است که از آزمایش حاصل می شود.

دو مشخصه فوق به نوع و درجه نفوذ قیر انتخاب شده، مقدار آب تزریق شده به قیر داغ و درجه حرارت قیر هنگام تولید کف بستگی دارد. هر چه نسبت انبساط افزایش یابد، کند روانی قیر کمتر و اختلاط مصالح سنگدانه ای و کف قیر بهتر انجام می شود. همچنین هر چه زمان نیمه عمر زیادتر باشد، فرصت بیشتری برای اختلاط کف قیر و مصالح وجود دارد. ضمن اینکه رفتار این دو متغیر عکس یکدیگر است. به عبارت دیگر نسبت انبساط وقتی زیاد می‌شود که مقدار آب افزایش یابد. در حالی که هر قدر مقدار آب افزایش یابد نیمه عمر کوتاه تر خواهد شد.

۷–۱۰– جوانسازها[4]

قیر، به عنوان یکی از مصالح پایه ای، نقش مهمی در ساخت روسازی های آسفالتی و عملکرد آنها دارد. تقاضای سالیانه قیر در سطح جهان بالغ بر 111 میلیون تن می باشد. مقادیر فوق العاده زیادی سرمایه و انرژی هرساله برای ساختمان، نوسازی، و نگهداری روسازیهای آسفالتی هزینه می شود. در کنار هزینه بالای قیر خالص و منابع ناکافی این ماده، معضلات دیگری همچون سخت شدگی یا پیرشدگی قیر در حین ذخیره سازی، اختلاط، انتقال و پخش کردن و ماندن روی جاده ها و عمر مفیدآن، دیگر مسائل مهمی هستند که بایست در کاربرد قیر در روسازی مدنظر قرار گیرند. پیرشدگی قیر به عوامل مختلفی بستگی دارد و بسته به منطقه مورد بهره برداری، شرایط جوی و میزان ترافیک عبوری بایستی در زمانهای مناسبی نسبت به جوانسازی آن اقدام کرد که برای آن نیز روش های متنوعی وجود دارد که از بازیافت گرم و سرد تا روش کپسول های حاوی عامل جوان کننده گسترش یافته‌است. ولی متأسفانه در حال

[1] High Float medium setting
[2] Expansion Ratio
[3] Half-Life
[4] Rejuvenator

حاضر درسطح جهان و همچنین ایران به ندرت از این روش ها جهت جلوگیری از هدررفت قیر به عنوان یک سرمایه ملی و جهانی استفاده به عمل می آید.

به طور کلی جوانسازها از مشتقات نفتی ،حاوی مالتین[1]، تشکیل شده اند که برای بازگرداندن و اصلاح خصوصیات کند روانی (ویسکوزیته) یا درجه نفوذ و انعطاف پذیری[2] و شکل پذیری[3] قیر موجود درمصالح روسازی مصرف می شوند. این مواد ضمن آنکه خواص قیر را دارند، می توانند به جای قیر اضافی مورد نیاز نیز عمل کنند. عامل اصلی در انتخاب نوع جوان کننده ها، خصوصیات کند روانی و یا درجه نفوذ قیر سخت شده موجود و کیفیت قیر حاصل از اختلاط قیر سخت شده با این ترکیبات است. این ترکیبات باید با مشخصات ASTM-D4552 ویژه مصرف در عملیات بازیافت گرم و یا ASTM-D5550 که شامل مواد امولسیونی است و در عین حال نیز خاصیت قیری دارد و برای بازیافت گرم و سرد مصرف می شوند،انطباق داشته باشد.

انتخاب نوع جوان کننده های منطبق با مشخصات ASTM-D4552 به درصد مصالح خرده آسفالت بازیافتی مصرفی در بازیافت گرم بستگی دارد. برای مثال چنانچه مصرف بیش از ۳۰ درصد باشد باید از انواع رقیق آن شامل RA1 ، RA5 ، RA25 و RA75 و برای کمتر از ۳۰ درصد از انواع غلیظ آن یعنی RA250 و RA500 استفاده شود.

جوان کننده های منطبق با مشخصات ASTM-D5505 در سه گروه ER-1 ، ER-2 و ER-3 با کندروانی سی بولت فورل ASTM-D88 و بر حسب ثانیه در ۵۰ درجه سانتیگراد تقسیم بندی شده اند. نوع ER-1 آن به عنوان جوان کننده قیر سخت شده و ER-2 و ER-3 همزمان عملکرد جوانسازها و قیر اضافی را هم دارند. اختلاط جوان کننده ها با قیر سخت شده به نسبت‌های تعیین شده در مرحله طراحی و اصلاح آن در اصلاح کند روانی قیر موجود باید عملاً بر اساس آزمایشی که روی قیر حاصل از اختلاط جوان کننده و قیر سخت شده انجام می شود به اثبات برسد.

به طور کلی خصوصیات رئولوژی قیر بر عملکرد روسازی آسفالتی مؤثر است. خصوصیات رئولوژی قیر در طول دوره فرآیند تولید مخلوط های آسفالتی گرم تغییر می یابد و بعدها، این تغییرات در طول دوره خدمت دهی روسازی آسفالتی نیز ادامه خواهد داشت که به این پدیده سخت شدگی یا پیر شدگی قیر گفته می شود. اولین نشانه از سخت شدگی قیر را می توان در حین فرآیند تولید آسفالت در درام میکسر مشاهده نمود. در طول دوره اختلاط، قیر که به صورت لایه نازکی اطراف مصالح سنگی را فراگرفته است، در معرض هوای داغ با دمای ۱۳۵ تا ۱۶۳ درجه سانتی گراد قرار می‌گیرد. این پدیده منجر به تغییرات اساسی در خصوصیات رئولوژی قیر همچون کاهش درجه نفوذ و افزایش ویسکوزیته قیر می‌شود که ناشی از تبخیر اجزای فعال قیر می‌باشد. فرآیند سخت‌شدگی قیر در طول دوره خدمت‌دهی روسازی، این بار با شدت بسیار کمتری برای حدود ۲ تا ۳ سال اول ادامه دارد و بعد از این دوره زمانی و پس از رسیدن روسازی آسفالت به حداکثر تراکم خود شدت این تغییرات باز هم کاهش می‌یابد. مطالعات انجام شده در این زمینه حکایت از این موضوع دارد که افت درجه نفوذ به کمتر از ۲۰ می تواند باعث ایجاد ترک‌های با شدت زیاد در روسازی شود. همچنین مطالعات دیگری نشان داده‌اند هنگامی روسازی آسفالتی می‌تواند در برابر ترک مقاوت بالایی از خود نشان دهد که به طور صحیح متراکم شود و درجه نفوذ قیر موجود در آن بیشتر از ۳۰ باشد. بنابراین برای اطمینان از عمر طولانی روسازی آسفالتی باید تا حد امکان از قیر نرمی استفاده شود که بتواند استحکام و روانی روسازی آسفالتی را در حد مطلوب تأمین کند.

در نگاه اول ممکن است به نظر می‌رسد مواد زیادی وجود دارد که باعث کاهش ویسکوزیته و افزایش درجه نفوذ قیر موجود در آسفالت می‌شود. نکته‌ای که در اینجا می‌بایست مد نظر قرار گیرد این است که عموماً با بالا رفتن درجه نفوذ و پائین آمدن ویسکوزیته، پایداری مخلوط تحت تأثیر قرار گرفته و کاهش می‌یابد. بنا به تعریف به قیری پایدار گفته می‌شود که آسفالتین در آن به خوبی حل شده و به طور همگن پراکنده شده باشد و ضمناً ته‌نشین و لخته نشده باشد. پایداری مخلوط نیز به معنای سازگاری عناصر موجود در مخلوط با یکدیگر و ایجاد چسبندگی مناسب بین سنگدانه و قیر به طوریکه جداشدگی اتفاق نیفتد می‌باشد.

[1] maltene
[2] flexibility
[3] plasticity

عدم پایداری مناسب باعث کاهش انعطاف پذیری و تقلیل مقاومت باربری مخلوط خواهد شد. در آسفالت بازیافتی پایداری مناسب هنگامی تأمین خواهد شد که طی یک فرآیند، مواد جوان کننده به مخلوط اضافه شده و باعث کاهش درصد آسفالتین موجود در مخلوط و جبران آن با مالتین ها گردد. آسفالتین موجود در قیر ماده‌ای پایدار می‌باشد. از طرف دیگر مالتین‌ها که عناصر فعالتری می‌باشند تمایل به رسیدن به سطح انرژی پایین‌تری دارند؛ زیرا دارای فعالیت شیمیایی بیشتری هستند. مالتین ها در اثر عواملی چون اکسیداسیون نور خورشید و مجاورت در برابر رطوبت با شرکت در واکنش های شیمیایی به آسفالتین تبدیل می‌شوند. همانطور که ذکر شد آسفالتین ها با داشتن وزن مولکولی بالا بیشترین تأثیر را روی ویسکوزیته مخلوط می‌گذارند. هر چه آسفالتین یک قیر بیشتر باشد ویسکوزیته آن نیز بیشتر می‌شود. به همین دلیل است که آسفالت های فرسوده که در مجاورت اکسیژن و رطوبت هوا قرار گرفته اند در صورتی که قیر آنها استخراج شود دیده می‌شود که ویسکوزیته بالا و درجه نفوذ پایینی دارند.

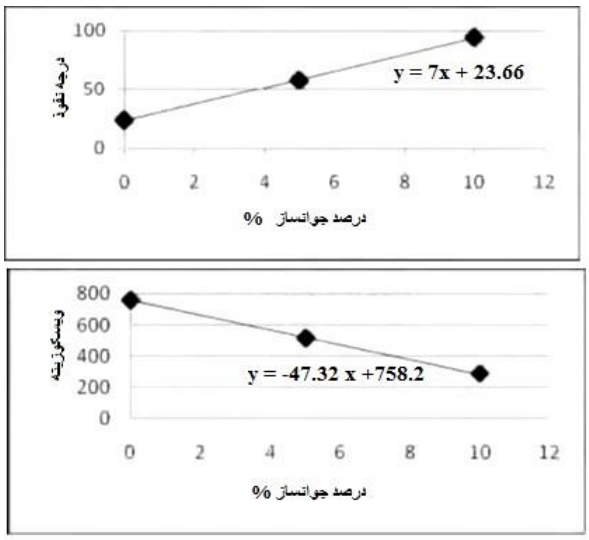
در حال حاضر ماده جوان کننده سایکلوژن متداول ترین ماده جوان کننده موجود بوده و در پنج کلاس (47,22,H,M,L) عرضه می‌شود. تفاوت این مواد در مقدار آسفالتین موجود در دمای مناسب پمپاژ می باشد. (44=121, 22=110, H=93, M=88, L=60 درجه سانتیگراد) مشخصات ماده جوان کننده سایکلوژن در جدول (۷-۱) مشاهده می شود.

جدول(۷-۱): مشخصات ماده جوان کننده سایکلوژن

مشخصات ماده جوان کننده سایکلوژن	روش آزمایش	L (کم)	M (متوسط)	H(زیاد)	22	44
ویسکوزیته (سانتي استوکس)	ASTM D-2170	۲۰۰	۱۰۰۰	۵۰۰۰	۱۵۰۰۰	٤۰۰۰۰
نقطه اشتعال (درجه سانتیگراد)	ASTM D-92	۲۰٤	۲۳۲	۲۳۲	۲٤٦	۲٦۰
درصد افت وزني(W%)	ASTM D-2892	٤	۲	۲	۰/۵	۰/۵
سازگاريPC/S	ASTM D-2006	۰/۵	۰/۵	۰/۵	—	—
درصد هيدروكربن هاي اشباع شده (W%)	ASTM D-2007	۲۸	۲۸	۲۸	۲۸	۲۸
فعاليت شيميايي ماده جوان كننده ((PC+A1)/(S+A2)) Cyclogen	ASTM D-2006	۰/۲-۱/۲	۰/۲-۱/۲	۰/۲-۱/۲	—	—

در مجموع جوانساز به منظور احیای خصوصیات قیر سخت شده از طریق بازسازی ترکیبات شیمیایی آن استفاده می شود. قیری که فرآیند سخت شدگی را سپری می کند، دارای مقدار کمتری از اجزای فعال [nitrogen base(N)+first acidaffins(A1)] و مقدار بیشتری از اجزای با فعالیت کم [paraffines(P)+second acidaffins(A2)] می باشد. برای اطمینان از سازگاری ماده جوانساز و قیر پیر شده و جلوگیری از جریان همرفت باید از جوانسازی که در آن N/P بزرگتر از ۰/۵ باشد استفاده گردد.

برای چگونگی ترکیب روغن جوانساز با قیر خرده آسفالتی، محققان سه حالت مختلف را در نظر گرفته‌اند. در نخستین حالت فرض می شود که قیر مصالح خرده آسفالتی و روغن جوانساز به هیچ عنوان با یکدیگر ترکیب نمی‌شوند. این درحالی است که در حالت ترکیب کامل فرض بر این است که روغن جوانساز و قیر خرده آسفالتی به طور کامل و یکنواخت با هم ترکیب می شوند. صورت سوم که حالتی بین دو حالت فوق می باشد به ترکیب واقعی موسوم است. در آزمایشگاه به منظور آزمایش تجزیه مصالح خرده آسفالتی از استاندارد ASTM- D2172 استفاده می‌شود. سپس به منظور جداسازی قیر خرده آسفالتی از حلال تولوئن آزمایش ریکاوری بر اساس استاندارد AASHTO TP2 استفاده می شود. برای تعیین نشانه ای از میزان سخت شدگی قیر خرده آسفالتی ، آزمایشات درجه نفوذ بر اساس استاندارد ASTM D5 و آزمایش ویسکوزیته بر اساس ASTM-2171 مورد استفاده قرار می گیرد. برای تعیین مقادیر بهینه روغن جوانساز، ۵ و ۱۰ درصد جوانساز استفاده می شود و با توجه به مقادیر درجه نفوذ و ویسکوزیته هدف درصدها تعیین می گردد. پس از تعیین مقادیر بهینه جوانساز، آزمایشات مارشال برای تعیین میزان بهینه قیر تازه به گونه ای که مشخصات وزنی- حجمی مخلوط های حاوی مصالح خرده آسفالتی در محدوده مقادیر مجاز باشد صورت می گیرد.



شکل (۷-۸): تغییرات درجه نفوذ و ویسکوزیته یک نمونه قیر بر حسب درصد جوانساز

هدف از تعیین مدول دینامیکی، تعیین رابطه تنش– کرنش در ساختار روسازی آسفالتی تحت اثر بارگذاری مشخص و متناوب است. مدول دینامیکی نشانه ای از مقاومت روسازی آسفالتی نمی‌باشد بلکه بیانگر این موضوع است که تحت اثر بارگذاری مشخص، روسازی با مدول دینامیکی بزرگتر کرنش های کمتری تجربه می‌کند. مدول دینامیکی از طریق اعمال بارگذاری عمودی و سینوسی شکل همزمان با اندازه‌گیری تغییر شکل‌های قائم تعیین می‌شود. آزمایش تعیین مدول دینامیکی بر اساس استاندارد ASTM-D3497 انجام می‌شود. برای کاهش اثر اصطکاک در بالا و پایین نمونه‌ها باید نسبت ارتفاع به قطر آنها حداقل برابر ۲ باشد. از نمونه‌های با نسبت ارتفاع به قطر برابر ۱ نیز، در صورت استفاده از مواد کاهش دهنده اثر اصطکاک در بالا و پایین نمونه‌ها می‌توان برای تعیین مدول دینامیکی روسازی آسفالتی استفاده کرد. میزان بارگذاری بر نمونه‌ها به صورت درصدی از مقاومت نهایی آنها در نظر گرفته می‌شود. نمونه‌ها معمولاً در دماهای ۵و۲۵و۴۰ درجه سانتیگراد و فرکانس‌های ۱و۴و۱۶ هرتز آزمایش می‌شوند. نتایج آزمایش‌ها نشان می‌دهد درصد بهینه قیر برای درصد جوانساز ٦/٦ درصد از درصد بهینه قیر برای مخلوط های ساخته شده با ۹/٤ درصد جوانساز بیشتر می‌باشد. مخلوط‌های حاوی مصالح خرده آسفالتی در صورت استفاده از مقادیر صحیح روغن جوانساز می‌توانند عملکرد مناسبی در برابر بارهای دینامیکی از خود نشان دهند و این مخلوط ها در برابر تغییرات سطح تنش، تغییرات کمتری را در مدول دینامیکی خود تجربه می‌کنند.

۷-۱۱-ماشین آلات آسفالت بازیافتی

۷-۱۱-۱-کارخانه آسفالت خودکار

در مدت بازیافت آسفالت در کارخانه، آسفالت احیا شده با عامل چسباننده جدید و یا آسفالت تازه مخلوط می گردد.آسفالت احیا شده از آسیاب کردن، شکافتن یا شکستن رویه آسفالت بدست می آید. اغلب در عملیات نگهداری راه، برای ثابت نگه داشتن سطح روسازی در یک تراز معین نسبت به پیاده رو و یا پاکسازی سازه ای قبل از جایگزینی یک رویه جدید، عمل آسیاب کردن مورد استفاده قرار می گیرد. مصالح آسیاب شده آماده مصرف، کامل تمیز و نسبتاً یکنواخت هستند. مسافت طولانی حمل مصالح از کارخانه آسفالت می تواند هزینه های قابل توجه و تاثیرات زیست محیطی داشته باشد. بازیافت داغ در کارخانه در مناطق شهری متداول می‌باشد. استفاده از کارخانه آسفالت سیار می تواند نیاز به حمل و نقل را محدود کند.

به غیر از استفاده مستقیم، مصالح احیا شده نیازمند انبار شدن می باشند. برای اینکه مصالح یکنواخت باقی بمانند می بایست انواع مختلف مخلوط، در توده های جداگانه نگهداری شوند، شیوه دیگر برای دست یافتن به یک نواختی در مصالح احیا شده این است که مصالح را کامل با هم مخلوط نموده که در نتیجه خواص مقاومتی بیشتری بدست می آید. در طول مدت ذخیره معمولاً لایه خارجی توده به هم می چسبد و در حقیقت بیشتر مصالح دست نخورده باقی می مانند. بهتر است در برابر تابش مستقیم نور خورشید و

رطوبت نیز محافظت شود. مصالح شکافته شده و دوباره انبار شده می بایست قبل از مصرف شکسته شوند. در برخی موارد آب تراوش شده از آسفالت قیری و شن روغنی شامل مقادیر زیادی هیدروکربن پلی آروماتیک می باشد (PAH) و دارای برخی اثرات سمی است.

در بازیافت آسفالت داغ، آسفالت احیا شده می تواند پس از استوانه دوار، در میانه ی آن و یا در یک استوانه ای موازی به دستگاه خورانده شود. به منظور جلوگیری از بروز مشکلاتی در هنگام گرم کردن مصالح در درجه حرارت های بالا، آسفالت احیا شده می بایست قبل از مخلوط کردن خشک شود. کارخانه آسفالت مجهز به وسایل مخصوصی که برای به حداقل رساندن پیری قیر و همچنین جلوگیری از انتشار هیدروکربن و گرد و غبار می‌باشند. به عنوان مثال می توان از استوانه مخلوط‌کن با جریان بر عکس و گرم کننده ماکروویو نام برد، که اجازه می دهند تا صد در صد آسفالت احیا شده، بازیافت شود. سنگدانه ها بیشتر از عامل چسباننده امواج را جذب می‌کنند که این امر پیری قیر را به حداقل می رساند. در این روش به انرژی الکتریسیته زیادی برای حرارت دهی نیاز می باشد که محدودیت های اقتصادی و زیست محیطی را به همراه دارد.

۷-۱۱-۲-سامانه های گرمایشی

خشک کردن، گرم کردن و در نتیجه نرم شدن سطح راه به وسیله یک یا چند دستگاه پیش حرارتی انجام می‌گیرد. این دستگاه ها از اشعه غیر مستقیم و گرمایش با سامانه مادون قرمز استفاده می‌کنند که میزان گازهای منتشره و خسارات وارده به قیر را کاهش می‌دهند. بیشتر گرم کننده ها از پروپان یا گازهای مشابه آن به عنوان سوخت استفاده می نمایند. در صورتی که دستگاه های حرارتی مادون قرمز از سوخت دیزلی استفاده می کنند.

شکل (۷-۹) گرم کردن سطح آسفالت با سامانه گرمایشی مادون قرمز

۷-۱۱-۳-دستگاه تراش و گرم کننده

دستگاه تراش با گرما بلافاصله پشت گرم کننده های اولیه حرکت می کند. این دستگاه حرارت نهایی را افزایش داده و سپس روسازی آسفالتی موجود نرم شده را شخم می زند. روسازی نرم شده به وسیله یک یا چند ردیف دندانه های موجود در دستگاه، شخم زده می شود. دندانه های موجود در برخی دستگاه ها گاهی به وسیله فشار هوا یا آب فعال می شوند تا از شکستگی سطح زیرین روسازی که سرد است جلوگیری کند.

۷-۱۱-۴-سامانه افزودن جوانساز

جوانسازها به وسیله یک سامانه رایانه‌ای قابل کنترل که به سرعت حرکت پیش روندگی دستگاه متصل می‌باشد، به روسازی آسفالت نرم شده و یا به مصالح خرده آسفالتی افزوده می‌شود که شامل موارد زیر است:

- خصوصیات قیر فرسوده
- نوع ماده جوانساز که مورد استفاده قرار می گیرد

- الزامات طرح اختلاط

در برخی موارد این ماده جوانساز در یک مخزن مسطح قرار دارد و به آن حرارت داده می شود تا بتوان از آن در دماهای خیلی زیاد استفاده کرد. این کار فرآیند پخش ماده جوان ساز را در کل مواد نرم و خرد شده افزایش می‌دهد.

۷-۱۱-۵-مخلوط کننده

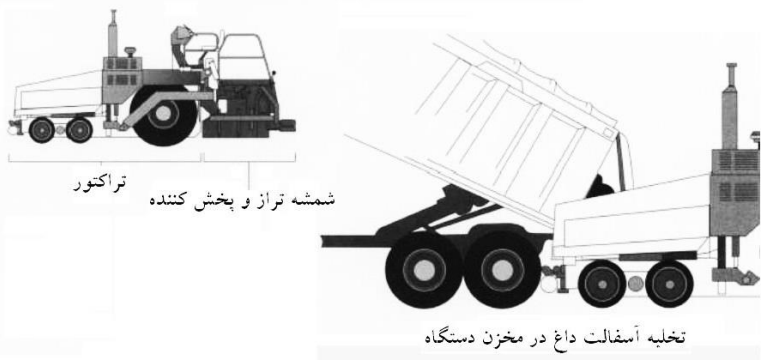
در کلیه روش های بازیافت گرم درجا محفظه‌ای برای اختلاط جوانسازها با مصالح بازیافت یا مخلوط کردن آسفالت گرم جدید با مصالح بازیافت تعبیه شده است. درضمن برای افزودن آسفالت گرم جدید به دستگاه نیز محل معینی در نظر گرفته شده است.

۷-۱۱-۶-فینیشر

فینیشر متصل به دستگاه باید دارای شرایط زیر باشد:

خود کششی بوده و چرخ های آن تماسی با مخلوط پخش شده نداشته باشد.

- به تیغه و شمشه تراز مجهز باشد تا بتواند مخلوط بازیافت را با بافتی همگن و پیوسته درعرض، ضخامت، خطوط و شیب تعیین شده پخش نماید؛ ضمن آنکه موجب جداشدگی مخلوط نشود و بریدگی در سطح آسفالت ایجاد ننماید.
- به یک سامانه کنترل پخش شونده مجهز باشد تا آسفالت را با شیب مورد نظر پخش نماید و شمشه تراز دستگاه را در محل صحیح نگهداری کند.



شکل (۷-۱۰): فینیشر چرخ لاستیکی

۷-۱۱-۷-تجهیزات و ماشین آلات بازیافت سرد

۷-۱۱-۷-۱-دستگاه های یک بخشی (Single Unit)

در این روش تمامی مراحل شامل خرد کردن مصالح روسازی موجود، آسیاب کردن مصالح خرد شده تا اندازه های معین و مخلوط کردن افزودنی ها، همگی به کمک یک دستگاه انجام می‌شود که فقط از یک سیستم یکپارچه تشکیل شده و تمامی قسمتهای کششی و سایر بخش‌های مورد نیاز در همین دستگاه مستقر است. این دستگاه ضمناً مجهز به سیستم های اختلاط افزودنی‌های مایع و نازل های پخش این افزودنی ها بر روی مصالح خرده آسفالتی است که با کنترل دبی آنها هر یک از این مواد را به مقدار معین، با توجه به ضخامت و عرض مصالح خرد شده از سطح روسازی و طراحی های به عمل آمده بر اساس وضع و مشخصات روسازی موجود و سرعت حرکت ماشین، به مخلوط اضافه می کند.

۷-۱۱-۷-۲-دستگاه های دو بخشی (Twin Unit)

در این دستگاه ها زمان اختلاط مصالح قابل کنترل است و حتی می توان مواد مضاف را به مقدار دقیق‌تری به مصالح اضافه کرد. در دستگاه های تک بخشی به علت اینکه سرعت دستگاه باید به طریقی تنظیم گردد که سنگدانه ها خرد نشود و زیاد درشت هم نباشد، زمان اختلاط غیر قابل تنظیم است. زیرا قسمتی که کار اختلاط را انجام می دهد استوانه دستگاه است که کار خرد کردن را نیز باید انجام دهد. در حالیکه در وسایل اختلاط مصالح سنگی سعی بر این است که قسمت اختلاط دستگاه حداقل توانایی خرد

کردن و تنظیم دانه بندی را داشته باشد. به علاوه این نوع دستگاه مانند دستگاه های چند بخشی دارای طول زیاد نیستند که برای ترافیک و در قوس های کم ایجاد مشکل نمایند.

۷-۱۱-۷-۳-دستگاه های چند بخشی (Multiple Unit)

در این روش دستگاهی که عملیات آسفالت بازیافت سرد درجا را انجام می دهد، دارای قطعات و تجهیزات بیشتری به نسبت نوع قبلی است و هدف اصلی از این کار افزایش دقت های اجرایی در خصوص کنترل دقیق دانه‌بندی و اندازه مصالح خرده آسفالتی و میزان مواد افزودنی، اطمینان از همگن بودن مخلوط خرده آسفالتی و بازیافتی و پخش مناسب و یکنواخت مخلوط نهایی در سطح راه است. برای این منظور چنین دستگاههایی مجهز به واحدهای کامل خرد کننده، مخلوط کننده های مناسب، تسمه نقاله ها و سایر ادوات مناسب می باشند. همچنین در این دستگاههای چند بخشی ممکن است یک ترن کامل که خود نیروی کششی اجزاء را تأمین می‌نماید به صورت مجزا از قسمت خرد کننده و آسفالت تراش عمل نماید. در چنین ترنی غالباً بخش های سرند کردن و مخلوط کردن مصالح کنده شده از سطح راه وجود دارد.

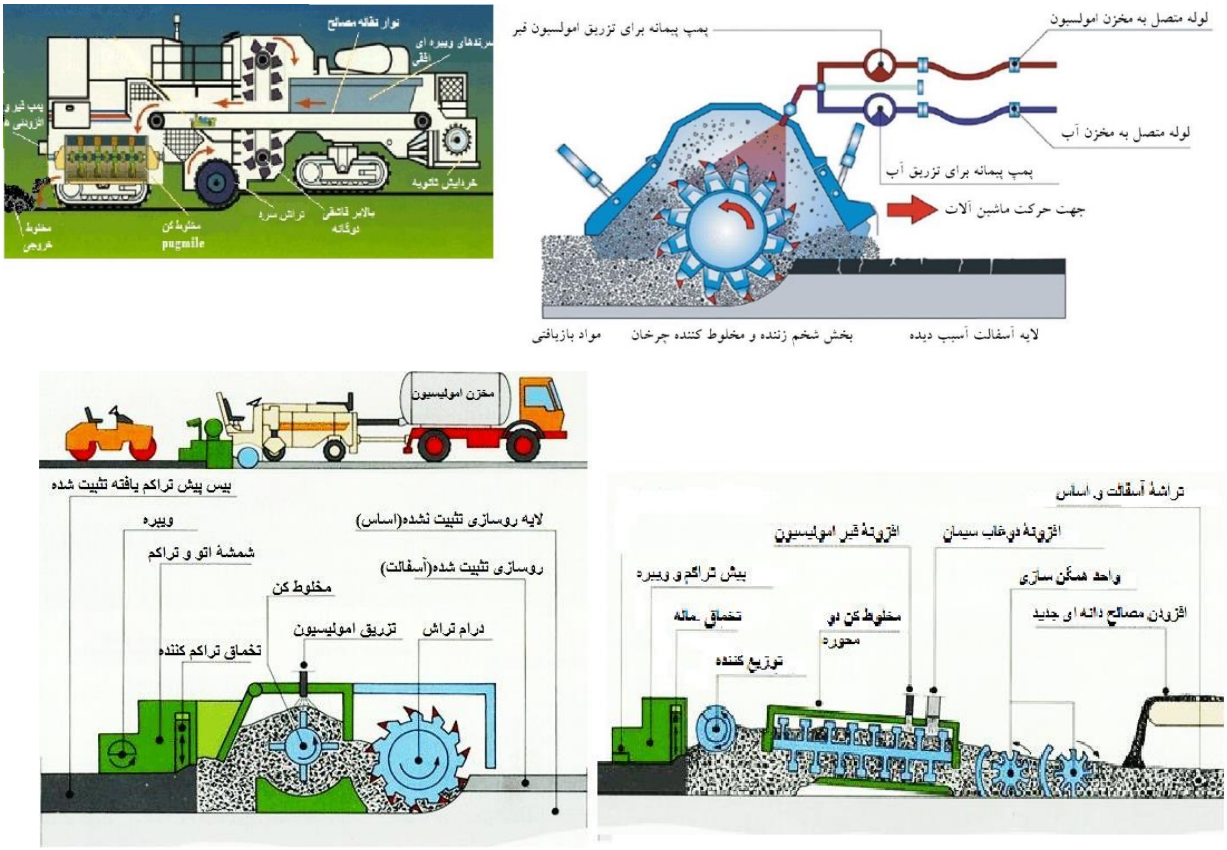
۷-۱۱-۷-۴-ماشین‌های بازیافت کننده سرد در محل

استفاده از ماشین‌های آسیاب مصالح سنگی و دستگاه‌های ابتدایی تثبیت کننده زمینه ایجاد فکر بازیافت سرد آسفالت بوده است؛ بطوری که با تکامل آنها امروزه بازیافت کننده‌های مخصوص و مدرن ساخته شده و در خدمت این صنعت قرار گرفته‌اند. آنها به گونه‌ای طراحی شده‌اند که قابلیت بازیافت یک روسازی ضخیم را در یکبار عبور دارند. زمانی‌که عمل آسیاب انجام می‌شود، آب از مخزن متصل به دستگاه بازیافت، توسط یک شیلنگ خارج شده، روی مخلوط بازیافت شده پاشیده می‌شود. آبی که مقدار آن توسط یک سیستم پمپ و کنترل کننده به دقت اندازه‌گیری می‌شود، روی مخلوط ریخته و با مصالح آسیاب شده کاملا مخلوط می گردد، تا این مجموعه به درصد رطوبت بهینه برسد.این ماشین‌ها دارای تجهیزات مخصوص تراش روسازی هستند.

شکل (۷-۱۱): خودروی تولید و تزریق دوغاب سیمان و نمایی از درام تراش اسفالت

ناخن‌های مخصوص دستگاه که در سطح جانبی درام (Drum) آن قرار دارند، با دوران درام مصالح سطح روسازی موجود را تراش داده و همزمان با مواد دیگری که به درون محفظه اختلاط افشانده می‌شود، مخلوط کرده و مجددا پخش می‌کنند.

ماده تثبیت کننده مانند دوغاب سیمان و یا امولسیون قیر می‌توانند به تنهایی و یا با هم، به همان روش وارد محفظه آسیاب کننده شوند. به علاوه کف قیر نیز ممکن است به مخلوط درون آسیاب کننده توسط اسپری کننده مخصوص، تزریق شود.روش دیگر به این صورت است که مواد تثبیت کننده، از قبیل سیمان پرتلند بطور معمولی روی سطح جاده موجود و جلو دستگاه بازیافت کننده پاشیده می‌شود. بازیافت کننده از روی این پودر عبور کرده و آنرا با آب و در همان حال با مصالح زیرین، کاملا مخلوط می کند.دستگاه بازیافت کننده بسته به کاربرد آن و نوع تثبیت کننده‌ای که بکار برده می‌شود دارای اشکال مختلفی است. در همه حالات ماشین تثبیت کننده به عنوان لکوموتیو (کشنده) عمل می‌کند و تجهیزاتی را که به آن متصل شده بصورت هل دادن و یا کشیدن حرکت می‌دهد.



شکل(۷-۱۲):انواع مختلف سامانه های بازیافت سرد

۷-۱۲-طرح اختلاط مخلوط آسفالتی به روش بازیافت گرم

امروزه استفاده از مصالح خرده آسفالتی فرآوری شده در مخلوطهای آسفالت گرم در بسیاری از کشورهای دنیا به صورت استاندارد در آمده و در بسیاری از مراجع معتبر روش های مربوطه طبقه بندی شده است از آن جمله می توان به استاندارد ASTMاشاره کرد. نخستین گام در طرح اختلاط این روش شامل تعیین مشخصات مصالح خرده آسفالتی و مصالح سنگی و قیری جدید است. سپس باید مراحل زیر به ترتیب انجام شود:

- انتخاب مخلوطی مناسب از مصالح خرده آسفالتی و مصالح سنگی جدید جهت انطباق با دانه بندی مورد نظر.
- انتخاب مخلوطی مناسب از مواد قیری جهت اطمینان از رسیدن این مخلوط به مشخصات مطلوب (به لحاظ انطباق با مشخصات درجه نفوذ و ویسکوزیته).
- تعیین و تشخیص لزوم استفاده از موارد جوانساز و احیا کننده به منظور نرم تر کردن قیر موجود
- اطمینان از پایداری و استحکام مخلوط
- اطمینان از مناسب بودن نرمی مخلوط
- اطمینان از مناسب بودن فضای خالی مخلوط

در بسیاری از کشورها برای مخلوط آسفالت گرم بازیافتی همانند مخلوط های آسفالت گرم متداول از روشهای طرح اختلاط مارشال و یا ویم برای تعیین درصد قیر و درصد مصالحRAP قابل قبول در مخلوط بازیافتی استفاده می شود. از سوی دیگر، مواد احیا کننده و جوانساز را می توان در سه زیر گروه عمده زیر طبقه بندی کرد :

- قیرهای خالص (با نرمی بالا)
- روغنهای نفتانیکی (آروماتیکی)
- روغنهای پارافینی

این فرآورده ها از ترکیبات ارگانیکی تشکیل شده اند که در خلال پالایش هیدروکربورهای نفتی مشتق می شوند. در استاندارد ASTM- D4552-92طبقه بندی کاملی از مواد جوانساز به همراه روشهای کنترل آنها ارایه شده است. همچنین در همین استاندارد روش‌های گزینش و انتخاب قیر خالص یا مواد جوانساز برای مخلوط های بازیافت گرم تشریح شده است. این مشخصات مشتمل بر جدول ویسکوزیته مخلوط است که طراح را قادر می سازد تا درصد مواد احیا کننده (و یا قیر خالص نرم) را جهت افزودن به قیر خالص اولیه، تعیین کند هدف از این اختلاط رسیدن مخلوط قیری بازیافتی نهایی به مقادیر ویسکوزیته مطلق مطلوب است.

انستیتو آسفالت پیشنهاد کرده چنانچه میزان مصالح RAP مورد استفاده در مخلوط بازیافت گرم کمتر یا مساوی ۲۰ درصد باشد ، هیچگونه تغییری در رده بندی و مشخصات قیر خالص اولیه ایجاد نشود. اما برای مخلوط هایی که در آنها بیش از ۲۰ درصد مصالح خرده آسفالتی استفاده شده باشد، باید قیر خالصی با مشخصات یک درجه نرمتر از قیر اولیه به کار گرفته شود تا از این طریق ویسکوزیته بالاتر قیر اکسید شده موجود در روسازی جبران شود. با این وجود ، بررسی ها نشان می دهد که در بسیاری از کشورها بدون توجه به درصد مصالح خرده آسفالتی از همان قیر اولیه استفاده می شود.

۷-۱۲-۱-مراحل طرح اختلاط بازیافت گرم

مراحل طرح اختلاط بازیافت گرم بر اساس اطلاعاتی که از نمونه گیری و ارزیابی مصالح سنگی و قیر روسازی آسفالتی به دست می آید به شرح نمودار شکل(۷-۱۳) می باشد.

۷-۱۲-۱-۱-ارزیابی مصالح سنگی بازیافتی و جدید جهت تهیه طرح اختلاط

پس از ارزیابی مصالح خرده آسفالتی، در صورت استفاده از مصالح سنگی جدید جهت اصلاح کمی و کیفی مخلوط بازیافت، نتایج آزمایش‌های مربوطه مورد استفاده قرار می‌گیرد.

۷-۱۲-۱-۲-تعیین درصد وزنی مصالح سنگی

درصد وزنی ترکیب مصالح RAP و RAM و مصالح سنگی جدید (در صورت لزوم) با توجه به دانه‌بندی طرح اختلاط دراین مرحله تعیین می شود. جمع درصدهای وزنی مصالح سنگی جدید و مصالح RAM با علامت «r» نشان داده می‌شود. جدول (۷-۲) روش محاسبه قیر و هر یک از انواع مصالح شمال RAM و RAP و مصالح سنگی جدید را بر حسب وزن کل مخلوط بازیافتی نشان می دهد.

شکل(۷-۱۳):مراحل طرح اختلاط بازیافت گرم

جدول(۷-۲):روابط تعیین نسبت مصالح و قیر مخلوط بازیافت گرم

اجزاء تشکیل دهنده مخلوط	بر حسب وزن مخلوط بازیافت	بر حسب وزن مصالح سنگی
p_{nb}- درصد قیر جدید	$\frac{(100^2 - rp_{sb})p_b}{100(100-p_{sb})} - \frac{(100-r)p_{sb}}{100-p_{sb}}$	$p_b - \frac{(100-r)p_{sb}}{100}$
p_{sm}- درصد RAP	$\frac{100(100-\mathrm{r})}{100-p_{sb}} - \frac{(100-r)p_b}{100-p_{sb}}$	$\frac{(100+p_{sb})(100-\mathrm{r})}{100}$
p_{ns}- درصد مصالح سنگی جدید و یا RAM	$r - \frac{rp_b}{100}$	r
جمع کل قیر و مصالح سنگی در مخلوط بازیافت	100	$100+p_b$
R- درصد قیر جدید نسبت به مقدار کل قیر	$\frac{100p_{nb}}{p_b}$	$\frac{100p_{nb}}{p_b}$

که در آن:

P_{sm}: درصدRAP در مخلوط بازیافت است.

P_b: درصد قیر برآورد شده برای مخلوط بازیافت است.

P_{sb}: درصد قیر موجود در RAP است.

P_{nb}: درصد قیر اضافی یا مواد جوانساز(در صورت نیاز) برای مخلوط بازیافت است.

P_{ns}: درصد مصالح سنگی اضافی(مصالح جدید سنگی یا RAM)است.

r : جمع درصد مصالح سنگی جدید و RAM نسبت به کل مصالح سنگی مخلوط بازیافت است.

R : درصد قیر جدید یا مواد جوانساز (در صورت نیاز) نسبت به کل قیر بر حسب مخلوط بازیافت یا مصالح سنگی مخلوط

۷-۱۲-۱-۳-برآورد درصد قیر مخلوط بازیافت

میزان قیر خالص مورد نیاز در مخلوط بازیافت را می توان با آزمایش CKE (ASTM-D5148) تعیین نمود ویا با فرمول تجربی زیر برآورد کرد:

$$\boldsymbol{P = 0.035a + 0.045b + K_c + F} \qquad (۱-۷)$$

که در آن:

P : درصد قیر بر حسب مخلوط آسفالتی

a : درصد مصالح مانده روی الک نمره ۸ (۲/۳۶ میلی متر) که ازدانه بندی طرح اختلاط به دست می‌آید. (برحسب عدد کامل بیان می‌شود.)

b : درصد مصالح رد شده از الک نمره ۸ (۲/۳۶) و مانده روی الک نمره ۲۰۰ (برحسب عدد کامل)

c : درصد مصالح رد شده از الک نمره ۲۰۰ (بر حسب عدد کامل)

K : ۰/۱۵ برای درصد رد شده از الک نمره ۲۰۰ از ۱۱ تا ۱۵ درصد.

۰/۱۸ برای درصد رد شده از الک نمره ۲۰۰ از ٦ تا ۱۰ درصد.

۰/۲۰ برای درصد رد شده از الک نمره ۲۰۰ معادل ۵ درصد یا کمتر.

F :از صفر تا ۲ بر حسب اینکه میزان جذب قیر مصالح کم یا زیاد باشد. در صورتی که نتایج و اطلاعاتی در دست نباشد از رقم ۰/۷ می توان استفاده کرد.

۷-۱۲-۱-۴-محاسبه درصد قیر جدید برای مخلوط بازیافت

درصد قیر جدید یا ماده جوانساز که به مخلوط بازیافت اضافه می شود بر حسب وزن مخلوط بازیافت، از رابطه زیر و مطابق با جدول (۷-۲) تعیین می‌گردد:

$$\mathbf{P_{nb}} = \frac{(\mathbf{100^2} - \boldsymbol{rp_{sb}})\boldsymbol{p_b}}{\mathbf{100(100}-\boldsymbol{p_{sb}})} - \frac{(\mathbf{100}-\boldsymbol{r})\boldsymbol{p_{sb}}}{\mathbf{100}-\boldsymbol{p_{sb}}} \qquad (۷-۲)$$

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

۷-۱۲-۱-۵-انتخاب قیر جدید

هدف از انتخاب قیر جدید (یا مواد جوانساز) قیری است که کندروانی و یا درجه‌نفوذ حاصل از اختلاط آن با قیر موجود در RAP یا کندروانی و یا درجه نفوذ قیر هدف که در مشخصات تعیین شده است، انطباق داشته باشد. کندروانی و یا درجه نفوذ قیر هدف به شرایط جوی– اقلیمی و نوع ترافیک محور (سبک، متوسط و سنگین) ارتباط دارد و باید در مشخصات فنی خصوصی پروژه قید شود. قیرهایی که بر اساس کندروانی و یا درجه نفوذ درجه‌بندی می‌شوند باید به ترتیب با مشخصات ASTM-D3381 و ASTM-D946 برابر باشند.

جوانسازهای مصرفی برای اصلاح کندروانی (و یا درجه نفوذ) قیر موجود در RAP باید با مشخصات ASTM-D4552 ویژه بازیافت گرم و یا ASTM-D5505 که شامل جوانسازهای امولسیونی است و در عین حال نیز خاصیت قیری دارد و می‌تواند به جای قیر اضافی مورد نیاز عمل کند، منطبق باشد. این جوانسازها از مشتقات نفتی تشکیل شده‌اند که به طور کلی با قیر موجود در مخلوط بازیافت سازگاری دارند.

اگر کندروانی برای قیر مخلوط بازیافت مورد طرح ، ۲۰۰۰ پواز انتخاب شود که معادل کندروانی متوسط قیر AC-20 (نظیر قیر ٤٠ تا ٦٠ بر حسب درجه نفوذ) می باشد، می‌توان با استفاده از جدول ۱ نوع آن را به شرح مراحل زیر تعیین کرد:

درصد این قیر اضافی یا R بر حسب وزن مخلوط بازیافت معادل است با:

$$\boldsymbol{R} = \frac{\mathbf{100}\boldsymbol{p_{nb}}}{\boldsymbol{p_b}} \qquad (۷-۳)$$

به طور کلی مصرف ۲۰-۱۵ درصد از مصالح RAP و یا کمتر، نیازبه قیر جدید برای اصلاح خواص قیر سخت شده ندارد. برای بیش از ۲۰ درصد، تغییر نوع قیر بیش از یک درجه و در جهت کاهش کندروانی آن، جایز نیست. به عنوان مثال چنانچه قیر موجود در RAP دارای کندروانی حدود ٤٠٠٠ پواز باشد(یعنی قیر AC-40 طبق مشخصات ASTM-D3381) قیر جدید معمولاً باید از نوع AC-20 یعنی با کندروانی ٤٠٠±٢٠٠٠ انتخاب شود. بدیهی است در مواردی که درصد RAP مصرفی خیلی زیادتر از ۲۰ درصد باشد بررسی لازم برای نوع دقیق قیر جدید الزامی است.

۷-۱۲-۱-۶-تعیین اجزاء مخلوط آسفالت بازیافتی

فرمول‌هایی که برای تعیین نسبت اجزاء مخلوط بازیافت،شامل درصد قیر جدید یا P_{nb} درصد مصالح RAP و RAM و مصالح سنگی جدید یعنی P_{sm} و P_{ns} و درصد قیر جدید نسبت به مقدار کل قیر یا R در این مرحله باید مورد استفاده قرار گیرد تا اجزاء مخلوط بر اساس آنها محاسبه و طرح اختلاط آزمایشگاهی تهیه شود. چنانچه مصالح سنگی از دو منبع RAM و مصالح جدید تأمین شود، درصد هر یک از آنها به نحوی که مجموع آن با P_{ns} تطبیق نماید محاسبه می‌گردد.

۷-۱۲-۱-۷-ضخامت روکش بازیافت گرم

مطابق با نشریه ۳٤۱ سازمان مدیریت و برنامه ریزی، طرح روسازی پروژه هایی کـه بـرای آن بخشـی از ضـخامت روسـازی موجود به طریق بازیافت گرم جایگزین می‌شود، تفاوتی با روش طراحی در نوسازی‌ها و استفاده از مصالح جدید بـرای کلیـه لایـه های روسازی ندارد و لذا آیین‌نامه روسازی راه، نشریه ۲۳٤ را می‌توان بـرای محاسـبه ضـخامت روکـش آسـفالتی در پـروژه‌هـای بازیافت گرم مورد استفاده قرار داد. بدیهی است قبل از رعایت ضوابط آیین نامه فوق برای طراحی باید اطلاعات بـه روز در مـورد ترافیک، مقاومت بستر روسازی و خصوصیات لایه های غیرآسفالتی شامل اساس و زیراساس، لایه های آسـفالتی باقیمانـده و لایـه بازیافت گرم جدید اجرا شده و شرایط جوی-اقلیمی پروژه تهیه شود. علاوه بر آن ضروری اسـت مسـائل مربـوط بـه زهکشـی و نواقص آن مورد توجه قرار گرفته و قبل از اجرای روکش جدید تقویتی، درصورت لزوم نسبت به اصلاح و رفـع معایـب آن اقـدام شود. چنانچه لایه‌های زیراساس و اساس روسازی قدیم در جریان بازیافت دست نخورده باقی می‌ماند، انتخاب ضریب لایه‌ای یا α_i آن‌ها باید از طریق نمونه‌گیری و آزمایش مورد ارزیابی قرار بگیرد و چنانچه این ضریب نیز بر اساس نتایج حاصل از ارزیابی نیاز به بازنگری و اصلاح داشته باشد، اقدام لازم انجام شود.

در مورد ضریب لایه آسفالت گرم حاصل از عملیات بازیافت یا α_i صرفنظر از آزمایش‌های معمولی کنترل کیفیت آسفالت در جریان کار، به شرح مندرج در مشخصات فنی عمومی راه و آیین نامه روسازی، انجام آزمایش تعیـین ضـریب برجهنـدگی[1](E) آسفالت با روش ASTM-D4123 و در دمای ۲۰ درجه سانتیگراد در حین اجرای عملیات ضروری است. نتایج ایـن آزمـایش‌هـا و مقایسه آنها با ضریب مربوطه در آیین‌نامه روسازی می‌تواند مبنای انتخاب ضریب واقعی در محاسبات روکش تقویتی قرار بگیرد.

در نهایت با استفاده از ضرایب مربوطه برای بهسازی و روکش آیین نامه روسازی و انتخاب یکی از دو گزینـه اصـلی شـامل روش مستقیم و یا غیرمستقیم، ضخامت روکش محاسبه و اجرا می‌شود. چنانچه مهندس مشاور پـروژه روش دیگـری را از جملـه FWD مطابق با استاندارد ASTM-D4694 برای طراحی سیستم روسازی انتخاب کند استفاده از آن باید بـا حفـظ کامـل مسـئولیت مشاور در صحت مطالعات و محاسبات و رعایت دستورالعمل های فنی و به کاربردن استانداردهای متداول و تصویب کارفرما باشد. بدیهی است جزئیات این روش باید در مشخصات فنی خصوصی پروژه قید شود.

۷-۱۳-طرح اختلاط مخلوط آسفالتی به روش بازیافت سرد

با وجود اینکه مؤسسات و آیین‌نامه های مختلف به دفعات در مورد روشهای بازیافت سرد کارخانه‌ای و درجا اظهار نظر کرده‌اند ، متاسفانه روش فراگیری که در سراسر جهان عمومیت داشته باشد برای طرح اختلاط و کنترل کیفی این روش‌هـا وجـود نـدارد. بـر همین اساس در اینجا سعی می‌شود تا بر خلاف روشهای بازیافت گرم توضیحات مبسوطی در خصوص روشهای طراحـی و کنتـرل مخلوطهای بازیافت سرد ارائه شود و تا حد امکان با بازنگری مراجع مختلف، از برخی نظرات مفید آنها در این زمینه استفاده شود.

برای مخلوطهای بازیافت سرد، نخستین گام در طراحی مخلوط مشتمل بر تولید مخلوطی است که به لحاظ مشخصات فنی قابل مقایسه با مخلوطهای آسفالتی‌ای باشد که با مصالح جدید ساخته شده‌اند.

همانگونه که قبلاً اشاره شد یک روش فراگیر برای روند طراحی مخلوطهای بازیافت سرد (چه درجا و چه کارخانه ای) وجود ندارد، اما چنانچه بنا به دلایلی قصد مقایسه میان روشهای سنتی و روش بازیافت سرد و یا روشهای بازیافت سرد با یکـدیگر وجـود داشته باشد، می‌توان به کمک روشهای استاندارد آزمایشگاهی، فرمولهای تجربی، استفاده از تجربیات گذشته و یـا تکیـه بـر یکـی از استانداردها و آیین نامه‌های موجود (به عنوان مثال انستیتو آسفالت) این کار را انجام داد.

[1] Elastic(Resilient)Modulus

۷-۱۳-۱-مقدمات انجام طرح اختلاط

به منظور فراهم کردن مشخصات دانه‌بندی مطلوب برای مخلوط بازیافتی ممکن است لازم باشد مصالح خرده آسفالتی با مصالح سنگی جدید در نسبت‌های مناسب مخلوط شوند. وقتی که مشخصات مصالح مشخص شد، باید منحنی دانه‌بندی کارگاهی مخلوط بازیافتی تعیین شود. همچنین، حجم مصالح آسفالتی و بازیافتی پروژه باید مشخص شود و سپس بر مبنای این داده‌ها باید میزان مصالح بازیافتی و مواد قیری جدید محاسبه شود. در پایان باید به کمک این محاسبات، درصد قیر بهینه پروژه به کمک آزمایش و در صورت لزوم نمونه‌گیریهای صحرائی تعیین شود. مشخصات و روشهای طراحی مخلوطهای بازیافت سرد کارخانه‌ای در استاندارد ASTM به طور کامل آورده شده است. مخلوطهای بازیافت سرد کارخانه‌ای را می‌توان به دو زیر گروه عمدهٔ " مخلوطهای با دانه بندی توپر " و "مخلوطهای با دانه بندی باز " طبقه بندی کرد. این مخلوطها معمولاً در قشرهای زیراساس، اساس و رویه (با توجه به شرایط و طبقه بندی راه) به کار گرفته می شوند.

بر اساس گزارش مؤسسه AASHTO به منظور طرح اختلاط مخلوطهای بازیافت سرد (درجا و کارخانه‌ای) که در آنها از امولسیون قیر استفاده شده باشد، از دو روش استاندارد مارشال و ویم کمک گرفته می‌شود که پیشتر در خصوص آنها صحبت شد. در اینجا باید به این موضوع اشاره نمود که روشهای استاندارد مارشال و ویم که برای مخلوطهای بازیافت سرد به کار گرفته می‌شوند قدری با روشهای معمول این استانداردها که در استانداردهای ASTM و AASHTO آورده شده متفاوت است. این تفاوت به ویژه در بخش شرایط نگهداری از نمونه ها، تعداد ضربات و اندازه قالبها است که در استاندارد کشورهای مختلف برای این روش‌های تغییر یافته، روش‌های متفاوتی ارایه شده است. انستیتو آسفالت روش تغییر یافته طرح اختلاط مارشال را پیشنهاد کرده که بیشتر ایالتهای آمریکا از آن استفاده می‌کنند. به طور کلی این روشها عموماً شامل تعیین دانه‌بندی سنگدانه‌ها درصد قیر مخلوط، تعیین درصد مصالح سنگی جدیدی که باید افزوده شود، محاسبه سنگدانه های ترکیبی در مخلوط بازیافتی، انتخاب نوع و منحنی دانه‌بندی آسفالت جدید، تعیین میزان نیاز پروژه به مصالح خرده آسفالتی و مصالح سنگدانه‌ای جدید، محاسبه درصد قیر جدید مورد نیاز پروژه و تطابق درصد قیر بر اساس نمونه‌های صحرائی است.

به کمک جدول زیر می‌توان روش طرح اختلاط مخلوطهای بازیافت سرد (درجا و کارخانه‌ای) را بر اساس پیشنهاد انستیتو آسفالت به طور خلاصه به گام‌های پیاپی زیر طبقه‌بندی کرد:

شکل(۷-۱٤):روش گام به گام طرح مخلوط های آسفالت بازیافت سرد

۷-۱۳-۲-طرح اختلاط بازیافت سرد با امولسیون قیر (قیرابه)

برای طرح بازیافت سرد با امولسیون قیر از روش اصلاح شده مارشال مطابق با ASTM-D1559 یا AASHTO-T245 که با روش طراحی آسفالت گرم تفاوت دارد استفاده می شود. دامنه کاربرد این دستورالعل محدود به مخلوط هایی است که برای تهیه آنها امولسیون قیر و یا امولسیون های جوانساز (Rejuvenator) مطابق با مشخصات ASTM-D5505 مصالح RAP و در صورت لزوم مصالح سنگی جدید مصرف می شود. مقدار امولسیون مصرفی در این روش معمولاً از یک تا ۲ درصد و امولسیون جوانساز از ۰/۵ تا ۱/۲۵ درصد نسبت به وزن مخلوط قیری متغیر است. مقادیر بیشتر برای مخلوط هایی است که درصد مصالح سنگی شکسته آن زیاد و مقدار قیر موجود در RAP کمتر است و درصد های پایین برای مخلوط های با میزان زیاد ریزدانه و گرد گوشه مصرف می شود. وقتی که مصالح سنگی جدید به RAP اضافه شود از امولسیون های جوانساز استفاده نمی شود. ضمن اینکه درصد امولسیون قیر را نیز باید افزایش داد. در این طراحی برای برآورد درصد قیر امولسیون اولیه از روشی استفاده شده است که طی آن مقدار ثابتی از امولسیون قیر به عنوان درصد پایه انتخاب شده که بر حسب وضعیت دانه بندی PAR مقدار قیر آن، کندروانی و درجه نفوذ قیر بازیافتی از قیر سخت شده، اصلاح می شود.

۷-۱۳-۳-نوع مصالح سنگی

دانه بندی مخلوط مصالح سنگی مصرفی در بازیافت سرد بر حسب اینکه از دانه بندی باز یا پیوسته استفاده شود باید با ضوابط و معیارهای فنی مندرج در آیین نامه ها مطابقت داشته باشد. دانه بندی مورد نظر در هر پروژه باید در مشخصات فنی خصوصی قید شود. مخلوط مصالح سنگی می تواند شامل ۱۰۰ درصد مصالح خرده آسفالتی و یا مصالح خرده آسفالتی با مصالح سنگی جدید باشد که در این صورت نسبت مصالح سنگی جدید نباید از ۲۵ درصد وزن کل مصالح سنگی تجاوز نماید.

۷-۱۳-۴-امولسیون قیر (قیرابه)

راهنمای کلی انتخاب امولسیون های قیری مصرفی در عملیات بازیافت سرد بر حسب اینکه از روش درجا یا کارخانه ای و یا دانه بندی های پیوسته، باز، مصالح ماسه ای و یا ماسه لای‌دار استفاده شود، در جدول(۷-۲) ارائه شده است. برای کاهش حرارتی، مقاومت بیشتر در مقابل شیار افتادگی و افزایش و بهبود مقاومت اولیه از امولسیون های قیری (High Float, HF) اصلاح شده با پلیمر نیز استفاده می شود. ضمن رعایت مفاد جدول(۷-۳) برای انتخاب امولسیون قیر مناسب، رعایت موارد زیر الزامی است:

برای مخلوط های سنگی با دانه بندی باز یا دانه بندی درشت، هنگامی که درجه نفوذ قیر بازیافت شده از قیر موجود در مصالح خرده آسفالتی کمتر از ۳۰ باشد از قیر های کند شکن (MS) و برای مصالح سنگی با مقدار زیاد ریزدانه وقتی که درجه نفوذ قیر بازیابی شده بیشتر از ۳۰ باشد از امولسیون های دیرشکن (SS) استفاده می‌شود.

کارایی قیر های دیرشکن از قیر های کند شکن بیشتر وکندروانی آنها نیز کمتر است. ضمن اینکه با افزایش آب می توان کندروانی را بیشتر کاهش داد که در نتیجه کارایی قیر ومدت زمان اختلاط آنها با مصالح نیز افزایش می یابد.

در شرایطی که اندود قیری ضخیم تری برای مصالح سنگی درشت دانه با تأمین پوششی با دوام در دمای زیاد مورد نظر باشد از قیرهای کند شکن HFMS استفاده می شود که پیشوند HF معرف ایجاد پوشش قیری با ضخامت بیشتر است.

امولسیون‌های قیری انتخاب شده باید با مصالح خرده آسفالتی و مصالح سنگی جدید از نظرکانی‌های تشکیل دهنده سنگدانه‌ها سازگاری داشته باشند. سنگ‌های آهکی معمولاً بار سطحی مثبت دارند و امولسیون‌های آنیونیک و سنگ‌های سیلیسی بار سطحی منفی دارند و در نتیجه با امولسیون‌های کاتیونیک سازگار می‌باشند. بنابراین امولسیون‌های قیری باید بر اساس نوع بار سطحی سنگدانه‌ها انتخاب و دوام اندود قیری آن ها با روش AASHTO-T59 مورد آزمایش قرار گیرد.

در شرایطی که اندود قیری ضخیم تری برای مصالح سنگی درشت دانه با تأمین پوششی با دوام در دمای زیاد مورد نظر باشد از قیرهای کند شکن HFMS استفاده می شود که پیشوند HF معرف ایجاد پوشش قیری با ضخامت بیشتر است.

جدول(۷-۳):راهنمای انتخاب امولسیون قیری برای روش بازیافت سرد

نوع بازیافت سرد	شماره دانه بندی	آنیونیک AASHTO-M140 ASTM-D977					کاتیونیک AASHTO-M208 ASTM-D2397			
		MS-2, HFMS-2	**MS-2h, HFMS-2h**	**HFMS-2S**	**SS-1**	**SS-1h**	**CMS-2**	**CMS-2h**	**CSS-1**	**CSS-1h**
کارخانه ای:										
دانه بندی باز	۳،۲،۱	×	×				×	×		
دانه بندی پیوسته	٤			×	×	×			×	×
ماسه	٦،٥			×	×	×			×	×
درجا (مخلوط در محل):										
دانه بندی باز	۳،۲،۱	×	×				×	×		
دانه بندی پیوسته	٤			×	×	×			×	×
ماسه	٦،٥			×	×	×			×	×
ماسه با لای(Silty Sand)	۷			×	×	×			×	×

- برای نمونه گیری از امولسیون قیر از روش ASTM-D140 (AASHTO-T40) استفاده می‌شود.

- آزمایش امولسیون های قیری با روش ASTM-D244 (AASHTO-T59) انجام می‌گیرد.

امولسیون‌های قیری انتخاب شده باید با مصالح خرده آسفالتی و مصالح سنگی جدید از نظرکانی‌های تشکیل دهنده سنگدانه‌ها سازگاری داشته باشند. سنگ‌های آهکی معمولاً بار سطحی مثبت دارند و امولسیون‌های آنیونیک و سنگ‌های سیلیسی بار سطحی منفی دارند و در نتیجه با امولسیون‌های کاتیونیک سازگار می‌باشند. بنابراین امولسیون‌های قیری باید بر اساس نوع بار سطحی سنگدانه‌ها انتخاب و دوام اندود قیری آن ها با روش AASHTO-T59 مورد آزمایش قرار گیرد.

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

۷-۱۳-۵-تهیه نمونه های آزمایشی

- تعداد نمونه‌ها

برای هر ترکیبی از مخلوط مصالح سنگی منطبق با دانه بندی مشخصات و درصد امولسیون قیر مصرفی باید سه نمونه مارشال تهیه شود. یک نمونه نکوبیده نیز برای تعیین حداکثر وزن مخصوص آماده می گردد. علاوه بر آن نمونه هایی نیز برای تعیین فضای خالی مخلوط بازیافت در مقدار قیر بهینه و درصد آب بهینه باید ساخته شود.

- تهیه مصالح RAP

نمونه های RAP باید از مصالح خرد شده توسط ماشین بازیافت برداشته شود تا معرف واقعی مخلوط مصرفی در جریان بازیافت باشد. در صورتی که نمونه گیری از طریق مغزه گیری از روسازی موجود انجام گیرد اصلاحات لازم برای انطباق آن با مصالح خرد شده توسط ماشین باید انجام شود. درصد رطوبت مصالح RAP باید مطابق AASHTO-T110 تعیین شود.

- افزودن سیمان

مصرف سیمان برای مخلوط جهت کسب مقاومت اولیه بسیار مؤثراست ولی مقدار آن نباید بیش از دو درصد وزنی مخلوط باشد که در جریان طراحی باید مقدار بهینه آن با توجه به ضوابط موجود مشخص شود.

- مصالح سنگی جدید

در صورت مصرف مصالح سنگی جدید دانه بندی آن را تعیین و نسبت درصد وزنی آن را برای اختلاط با RAP محاسبه می کنیم. به نحوی که مخلوط حاصله از RAP و مصالح جدید، با دانه بندی مورد نظر انطباق داشته باشد.

- دمای اختلاط کوبیدن و آزمایش نمونه

دمای اختلاط مخلوط مصالح سنگی با امولسیون قیر و دمای کوبیدن آن در قالب مارشال و دمای آزمایش نمونه های مارشال به طور کلی ۲۵ درجه سانتیگراد است. گزینه دیگر برای دمای کوبیدن نمونه، حداکثر دمای غالب محیط پروژه در دوره عملیات اجرایی است. استفاده از این گزینه امکان انتخاب دمای کوبیدن نمونه را با توجه به شرایط آب و هوایی حین اجرای عملیات و فصل کاری معین فراهم می کند. دمای آزمایش نمونه ها برای تعیین مقاومت مارشال و روانی نیز باید بر اساس حداکثر دمای سطح راه در دوره عملیات بازیافت باشد. با استفاده از این دما تغییر شکل احتمالی مخلوط بازیافت مورد آزمایش را در دوره عملیات اجرایی و قبل از روکش می توان برآورد کرد.

۷-۱۳-۶-برآورد مقدار امولسیون قیر مخلوط مصالح سنگی

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

$$E = 1.2 + A_G + A_{AC} + A_{\mathrm{PV}} \qquad (۷-۴)$$

که در آن:

E : درصد قیر مورد نیاز

1.2 : درصد ثابت قیر

A_G: ضریب اصلاح برای دانه بندی بر حسب درصد.

A_{AC} : ضریب اصلاح برای درصد قیر موجود در مخلوط بازیافت شده بر حسب درصد.

A_{PV}: ضریب اصلاح برای درجه نفوذ و کندروانی قیر.

در مواردی که E برای یک نمونه مصالح بازیافت شده نتایج متفاوتی داشته باشد از نتیجه ای که درصد قیر E کمتر است استفاده می شود.

۷-۱۳-۷-تهیه نمونه های آزمایش مارشال

مخلوط مصالح سنگی منطبق با دانه بندی مشخصات روی الک ۲۵ میلی متر سرند می شود و مصالح مانده روی الک نیز شکسته و به گونه ای خرد می شود که از الک ۲۵ میلی متر بگذرد و مواد ریزدانه اضافی تولید نکند. برای ساختن هر نمونه مارشال،

حدود ۱۱۵۰ گرم از این مصالح در ظرف های جداگانه تهیه می شود و حداقل یک ساعت در آون الکتریکی و دردمای ۲۵ درجه سانتیگراد گرم می شود.

مصالح گرم شده در داخل ظرف اختلاط ریخته شده و به آن به اندازه ای آب اضافه می شود که کل آب موجود در مخلوط به سه درصد وزن خشک مخلوط مصالح سنگی برسد. این مقدار آب از رابطه زیر به دست می آید:

آب اختلاطی که باید افزوده شود = ۳-(درصد رطوبت مخلوط مصالح سنگی+درصد آب امولسیون قیر) (۷-۵)

بعد از افزودن آب، نمونه را یک دقیقه به هم می زنیم. معمولاً کلیه امولسیون‌های دیرشکن، و امولسیون های آنیونیک کندشکن نیاز به افزودن آب به مصالح برای توزیع و پراکندگی مطلوب تر قیر در مخلوط دارند. در هر صورت برای اطمینان باید نسبت به آزمایش پوشش قیری سنگدانه ها به شرح مشخصات مربوطه برای قیرهای امولسیون انتخاب شده اقدام نمود تا در صورت نیاز به آب اضافی مقدار آن تعیین شود. امولسیون قیر یا امولسیون جوانساز را که تا ٦٠ درجه سانتیگراد گرم شده است، بر حسب نیاز طرح برای هر درصد قیری معین و با تفاوت ۰/۵ درصد (مطابق با تهیه آسفالت گرم با روش مارشال) به مخلوط اضافه می شود.

امولسیون قیر مصرفی می تواند آنیونیک یا کاتیونیک یا پلیمری و یا امولسیون های HF باشد. اگر از امولسیون های جوان کننده استفاده شود مقدار قیر باقیمانده در این امولسیون نباید از ۳۰ درصد وزنی مقدار قیر خالص سخت شده در RAP تجاوز نماید. مخلوط حاصله تا موقعی که امولسیون قیر یا امولسیون جوانساز به طور یکنواخت در مصالح توزیع شود کاملاً به هم زده می شود و مدت اختلاط نباید بیش از ۲ دقیقه باشد. اگر بعد از ۲ دقیقه پوشش قیری سنگدانه ها تأمین نشود، امولسیون دیگری که از پایداری بیشتری برخوردار باشد و بتواند به خوبی مصالح سنگی درشت و ریز را اندود نماید باید انتخاب شود. در این موارد ممکن است افزودن آب اضافی (بیش از ۳ درصد) به مخلوط، کیفیت اندود شدن سنگدانه ها را بهبود ببخشد.

۷-۱۳-۸-تراکم نمونه ها

قالب های خالی مارشال به مدت یک ساعت در حرارت ٦٠ درجه سانتیگراد گرم می شود. برای هر مخلوط به ازاء مقادیر معین امولسیون قیر و یا جوان کننده، سه قالب تهیه می شود و هر طرف قالب با ۵۰ ضربه چکش مارشال متراکم می گردد. سپس قالب های نمونه برای عمل آوری به مدت ٦ ساعت و در دمای ٦٠ درجه سانتیگراد در آون الکتریکی قرار می گیرند. بعد از عمل آوری کامل(یعنی بعد از ٦ ساعت) قالب ها از آون خارج می‌گردند. قبل از خارج نمودن نمونه ها از قالب، نمونه ها ٢٤ ساعت در دمای محیط آزمایشگاه نگهداری می‌شوند.

۷-۱۳-۹-اندازه گیری وزن مخصوص حقیقی نمونه ها مطابق با روش A استاندارد AASHTO-T166 و یا ASTM-D2726

۱- بعد از سرد شدن نمونه ها در دمای محیط آزمایشگاه، نمونه ها از قالب خارج شده و وزن می شوند. (وزن نمونه: A)

۲- نمونه ها به مدت ۳ تا ۵ دقیقه در آب ۲۵ درجه قرارداده شده و سپس وزن می‌گردند. (وزن نمونه در آب : C)

۳- نمونه ها از آب خارج شده و سطح آن با پارچه خشک می گردد. (وزن نمونه خشک شده : B)

٤- وزن مخصوص حقیقی نمونه از رابطه زیر به دست می آید:

$$\text{وزن مخصوص حقیقی} = \frac{A}{B-C} \qquad (٦-٧)$$

۷-۱۳-۱۰-آزمایش مارشال

۱- نمونه‌ها به مدت دو ساعت در آون الکتریکی و با حرارت دمای آزمایش ۲۵ درجه قرار می گیرد.(ازقرار دادن نمونه ها در حمام آب خودداری شود.)

۲- مقاومت مارشال نمونه‌ها مطابق بندهای مربوطه در AASHTO-T245 و یا ASTM-D1559 اندازه گیری می‌شود.

۳- برای هریک از درصدهای امولسیون قیر و یا امولسیون جوانساز، حداکثر وزن مخصوص مخلوط بازیافت مورد طراحی با روشAASHTO-T209 و یا ASTM-D2041 اندازه گیری و فضای خالی نمونه‌ها محاسبه می شود.

٤- در درصد قیر بهینه، چهار سری سه نمونه ای هر سری با مقدار کل آب ۲، ۲/۵، ۳/۵، ٤ درصد تهیه شده و سپس میزان فضای خالی آن ها مطابق با شرح بالا محاسبه می گردد. از این طریق درصد آب بهینه در درصد قیر بهینه به دست می‌آید.

۵- آزمایش حساسیت مخلوط مورد طراحی در مقابل رطوبت، در قیر بهینه و آب اختلاط بهینه، مطابق روش AASHTO-T283 انجام شده و نسبت مقاومت اشباع به مقاومت خشک محاسبه می گردد.

۷-۱۳-۱۱-روش مارشال اصلاح شده

در این روش، طراحی مخلوط به نحوی انجام می شود که مقدار کل رطوبت آن از ۳ درصد تجاوز نکند (درصد آب امولسیون، درصد آب موجود در خرده آسفالت و درصد آب اضافه شده به مخلوط). نمونه ها با ۵۰ ضربه چکش مارشال متراکم می شوند. نمونه های متراکم شده به مدت ٦ ساعت در دمای ٦۰ درجه سانتیگراد و سپس به مدت ۱۲ ساعت در محیط آزمایشگاه عمل‌آوری می شوند. پس از آن برای تعیین وزن مخصوص، مقاومت مارشال و روانی در ٦۰ درجه سانتیگراد قرار داده می شوند. وزن مخصوص حداکثر در مقدار قیر امولسیون بهینه تعیین و سرانجام نمونه های حاوی قیر امولسیون بهینه برای مقادیر مختلف درصد آب تهیه می شوند(مانند۲ درصد، ۲/۵ درصد، ۳ درصد، ۳/۵ درصد و ٤ درصد) مقدار فضای خالی برای هر درصد رطوبت تعیین می‌شود. پارامترهای طراحی شامل حداقل وحداکثر فضای خالی طراحی به ترتیب ۹ درصد و ١٤ درصد است.

روش مارشال اصلاح شده دارای برخی اشکالات است، به طوری که علاوه بر ابهامات موجود در این روش، این روش با مصالح و شرایط ایران نیز همخوانی ندارد:

الف- روش مارشال اصلاح شده، استانداردی برای استفاده از مصالح جدید ارایه نمی کند.

ب- در این روش، از مصالح خرده آسفالتی عبوری از الک ۲۵میلی متر استفاده می شود، که معمولاً با دانه بندی میدانی خرده آسفالت متفاوت است. آزمایش ها نشان می دهند که تغییر در دانه بندی مصالح نمونه ها(کاهش مصالح درشت دانه) منجر به تغییر در خصوصیات مخلوط شده و نمونه‌های حاوی درصد بیشتر مصالح درشت دانه تطابق بیشتری با شرایط میدانی دارند.

ج- مقدار مصالح نمونه ها ۱۱۵۰ گرم است که برای تهیه نمونه ها با ارتفاع استاندارد مارشال، بسیار زیاد است.

د- مقدار کل رطوبت موجود در مخلوط بازیافتی بایستی از ۳ درصد تجاوز نکند. در صورتی که برخی روشهای طراحی آزمایش اندود را پیشنهاد می کنند. علاوه بر این، آزمایش های انجام گرفته نشان می‌دهند، مقدار فوق ممکن است در نقاط مختلف با توجه به نوع مصالح مورد استفاده تغییر کند.

ه- محاسبه وزن مخصوص در روش مارشال اصلاح شده مشابه روش ارایه شده برای آسفالت گرم(بند ۹-۲ استاندارد ASTM-D2726) است. در صورتی که نمونه ها در این روش رطوبت دارند و وزن مخصوص آنها براساس بند ۹-۱ استاندارد ASTM-D2726 محاسبه می شوند.

و- وزن مخصوص در روش مارشال اصلاح شده با استفاده از استاندارد ASTM-D2726 تعیین می‌شود. اما جذب آب در برخی نمونه‌های بازیافتی بیش از حد مجاز ۲ درصد است. در این نمونه‌ها بهتر است تعیین وزن مخصوص مطابق با استاندارد ASTM-D1188 صورت گیرد.

ز- در روش مارشال اصلاح شده نحوه تعیین درصد قیر بهینه به طور واضح بیان نشده است. به طوری که مقاومت مارشال و روانی نمونه ها تعیین می شود، ولی محدوده های مجاز برای این دو پارامتر مشخص نشده است. علاوه بر این، هیچکدام از

خصوصیات مخلوط طراحی شده شامل: مقاومت در برابر شیارشدگی، مقاومت در برابر ترکهای حرارتی و حساسیت در برابر رطوبت (عریان شدگی) در کوتاه مدت و بلند مدت در این روش مورد بررسی قرار نمی‌گیرد.

ح- این روش در استفاده از فیلرهای مختلف در طراحی مخلوطهای سرد بازیافتی، ضوابطی ارایه نکرده است.

ط- در این روش ضابطه‌ای برای استفاده از انواع قیرهای امولسیون ارایه نشده است.

۷-۱۴-تحقیقات و مطالعات طراحی مخلوط های سرد بازیافتی با قیر امولسیون

با توجه به مشکلات روش مارشال اصلاح شده، روش پیشنهادی مجمع احیاء و بازیافت آسفالت و دیگر تحقیقات، برخی از معایب روش مارشال اصلاح شده را اصلاح و پیشنهاداتی را برای بهبود طراحی مخلوطهای سرد بازیافتی ارائه کرده اند که به طور خلاصه در زیر تشریح می‌شود:

الف – روش مجمع احیا و بازیافت آسفالت

در این روش پس از تعیین خصوصیات خرده آسفالت و انتخاب نوع افزودنی مناسب، درصد رطوبت مورد نیاز برای اندود مصالح تعیین می شود. آزمایش اندود با اختلاط ۱۰۰۰ گرم خرده آسفالت، در درصد قیر امولسیونی تخمین زده شده و درصد رطوبت های متفاوت انجام می گیرد. نحوه پوشش مصالح با قیر امولسیونی بررسی شده و حداقل درصد رطوبت که پس از آن تغییری در بهبود اندود مصالح ایجاد نگردد، درصد رطوبت بهینه است .

نمونه ها مطابق با دانه بندی خرده آسفالت با اختلاط ۱۱۰۰ گرم مصالح، آب و قیر امولسیون تهیه می‌شوند. تراکم نمونه ها با ۵۰ یا۷۵ ضربه مارشال انجام می گیرد. عمل آوری نمونه ها را می توان در دو حالت عمل آوری کوتاه مدت (۲ تا ٤ ساعت در ٦۰ درجه سانتیگراد) و عمل آوری بلند مدت (در ۱۱۰ درجه سانتیگراد و تا زمانی که وزن نمونه ها ثابت شود) انجام داد. انجام هر یک از آزمایشهای مقاومت مارشال، ویم، مقاومت فشاری، مقاومت کششی غیر مستقیم وتعیین مدول ارتجاعی در این روش پیشنهاد می‌شود. روش پیشنهادی در تعیین مقدار قیر امولسیون بهینه، انتخاب درصد قیری است که در آن یک یا چند شاخص فوق بهینه گردد. همچنین نسبت مقاومت کششی نمونه های اشباع شده به نمونه های خشک نیز در این روش بیش از ۷۰ درصد تا ۸۰ درصد تعیین شده است.

ب – افزودنی های مورد استفاده

انواع قیرهای مورد استفاده در بازیافت سرد درجا شامل قیرهای امولسیونی (آنیونی و کاتیونی) و کف قیر هستند. استفاده از قیر امولسیون به علت کاربرد آسان، مستقیم و بدون به کارگیری گرما نسبت به کف قیر دارای مزیت است، اما از معایب این روش گران بودن و نیاز به زمان برای عمل آوری در مقایسه با کف قیر است.

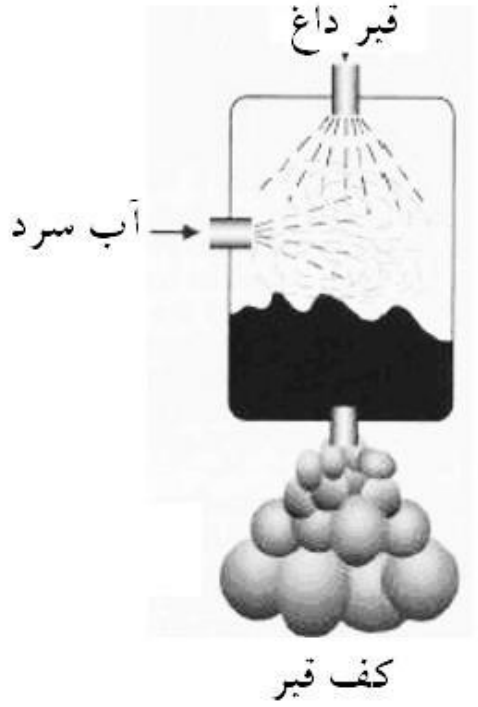
در روش انستیتو آسفالت برای دانه بندی خرده آسفالت و مصالح جدید استانداردی ارائه شده که بر اساس دانه بندی مصالح، نوع قیر امولسیون و درجه آن تعیین می شود. محققان تأثیر دو نوع قیر امولسیون HF و CSS -1 را با کمک آزمایشهای پروکتر و مارشال مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که پوشش مصالح سنگی در رطوبت بهینه در هنگام استفاده از قیرامولسیون نوع CSS -1 بسیار بهتر از قیرامولسیون HF است. به این ترتیب که مقاومت مارشال و چگالی به دست آمده از نمونه های حاوی قیر CSS -1 بیشتر از نمونه های حاوی قیر امولسیون HF است.

۷-۱۵-طرح اختلاط بازیافت سرد با کف قیر:

کف قیر زمانی به وجود می‌آید که مقدار کمی آب به قیر داغ اضافه شود و بوسیله آن سطح تماس افزایش یافته و ویسکوزیته قیر به میزان زیادی کاهش یابد. در این حالت کف قیر حالت کاملا مناسبی از قیر جهت مخلوط نمودن با سنگدانه سرد و مرطوب است. خصوصیات فیزیکی قیر با تزریق آب و تماس آن با قیر داغ بطور موقت تغییر یافته و بصورت بخاری که حاوی هزاران

حباب قیری ریز است، در می‌آید. لیکن کف در کمتر از یک دقیقه از بین رفته و قیر دوباره به خصوصیات اولیه خود بر مـی‌گـردد. جهت تولید آسفالت با کف قیر، باید آن را تا زمانی که بصورت کف است با سنگدانه مخلوط کرد.

روش استفاده از کف قیر بعنوان ماده چسبنده برای مصالح سرد، اولین بار توسـط پرفسـور LadisCsanyi در دانشـگاه ایـالتی Iowa در سال ۱۹۵٦ ابداع شد. پس از آن تکنولوژی آسفالت کف‌دار بصورت موفقـت‌آمیـزی در کشـورهای مختلـف و بـا تکامـل تدریجی فرآیند اولیه تولید کف قیر مورد استفاده قرار گرفت. فرآیند اولیه تولید، با تزریق بخار آب بـه قیـر داغ همـراه اســـت، در کارخانه‌های آسفالـــت به دلیل سهولت تولید بخار آب، سیستم کف‌سازی با بخار آب سهل‌تر است؛ در کاربردهای میدانی به دلیل نیاز به تجهیزات خـاص مانند بویلر جهت تولید بخار آب، این کار تقریبـاً غیـر ممکـن بـود. در سـال ۱۹٦۸ میلادی شرکت Mobil Oil Organization فرآیند کف‌سازی را با اضافه نمودن آب سرد به جای بخار آب به قیر داغ اصلاح کـرد. پـس از آن فرآینـد کف‌سازی برای کلیه کاربردها، عملی و اقتصادی شد. در شرایط حاضر بـرای تهیه طرح اختلاط بازیافت سرد با کف قیـر روش اسـتاندارد شـده‌ای وجـود ندارد. روش هایی که هم اینک در کشورهای مختلف مورد استفاده قـرار مـی گیرد بر پایه ضوابط و معیارهای متفاوتی استوار است. در شمار عوامل مؤثری که در جریان تهیه طرح اختلاط باید مد نظر قرار گیرد، لزوماً نیازی به تعیـین درصد قیر بهینه برای تأمین حداکثر مقاومت مخلوط وجود ندارد؛ بلکه هـدف طراحی باید دستیابی به حداقل مشخصات و معیارهایی باشد کـه بـه رفتـار و دوام دراز مدت آن مربوط می شود.



شکل (۷-۱۵) فرآیند تولید کف قیر

دو مشخصه مهم کف قیر که عبارتند از نسبت انبساط و نیمه عمر را بـه صورت زیر می توان تعریف نمود:

نسبت انبساط[1]:نسبت حجم حداکثر کف قیر به حجم اولیه قیر

نیمه عمر[2]:این شاخص که با واحد ثانیه اندازه گیری می شود، زمان رسیدن حجم کف به نصف حجـم حـداکثر اسـت کـه از آزمایش حاصل می شود.

دو مشخصه فوق به نوع و درجه نفوذ قیر انتخاب شده، مقدار آب تزریق شده به قیر داغ و درجه حرارت قیر هنگام تولید کف بستگی دارد. هر چه نسبت انبساط افزایش یابد، کند روانی قیر کمتر و اختلاط مصالح سنگدانه ای و کف قیر بهتر انجام مـی شـود. همچنین هر چه زمان نیمه عمر زیادتر باشد، فرصت بیشتری برای اختلاط کف قیر و مصالح وجود دارد. ضمن اینکه مطابق شـکل (۷-۱٦) رفتار این دو متغیر عکس یکدیگر است. به عبارت دیگر نسبت انبساط وقتی زیاد می‌شود که مقـدار آب افـزایش یابـد. در حالی که هر قد مقدار آب افزایش یابد نیمه عمر کوتاه تر خواهد شد.

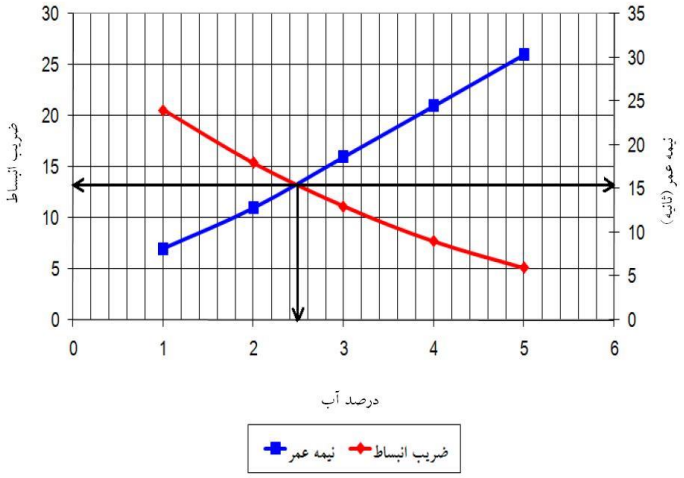
۷-۱۵-۱-ارزیابی مصالح سنگی و خرده آسفالتی

برای ارزیابی مصالح خرده آسفالتی و تعیین خصوصیات آنها آزمایش های تعیین درصـد رطوبـت و دانـه بنـدی مصـالح خـرده آسفالتی و بررسی نیاز به افزودن مصالح سنگی جدید، استخراج قیر و تعیین درصد قیر مصالح خرده آسفالتی، تعیین وزن مخصـوص مخلوط مصالح، ضروری است. قیر مصالح خرده آسفالتی، نسبت به قیر اولیه به طور قابل ملاحظه ای سخت شده است و این قیر که با اکسیژن هوا واکنش داده باعث سخت تر شدن کل مخلوط (شامل قیر جدید) می‌شود و مقادیر مقاومت مارشال و مقاومت کشش غیر

[1] Expansion Ratio
[2] Half-Life

مستقیم را افزایش می دهد. انتخاب نوع قیر نیز خود مستلزم انجام آزمایش هایی چون درجه نفوذ، نقطه اشتعال، نقطه نرمی، کندروانی کینماتیکی و وزن مخصوص قیرمصرفی است.

شکل (۷-۱۶): نمودار بهینه سازی کف قیر



۷-۱۵-۲-دانه بندی مصالح سنگی

دانه بندی مخلوط مصالح بازیافت شامل RAP و مصالح سنگی جدید باید پیوسته بوده و موارد زیر باید برای آن رعایت شود:

الف- دانه بندی مخلوط مصالح بازیافت شامل RAP و مصالح سنگی جدید باید پیوسته بوده و برای هر پروژه و با توجه به عمق بازیافت و نوع ماشین آلات ،دانه بندی مصالح انتخابی باید در مشخصات فنی خصوصی قید شود.

ب- اکثر مراجع حداکثر اندازه مصالح سنگی را به ۳۷/۵ میلی متر محدود کرده اند، مصالح خیلی درشت موجب افزایش جداشدگی سنگدانه ها، افزایش درصد فضای خالی مخلوط بازیافت، افزایش نفوذ پذیری و دشواری در پخش و متراکم کردن مخلوط به ویژه در ضخامت های کم خواهد شد.

ج- در صورتی که دانه بندی موجود مطابق با دانه بندی تعیین شده در مشخصات نباشد، می‌توان با افزودن مصالح سنگی جدید و شکسته و مطابق با مشخصات مندرج در استانداردها نسبت به تأمین دانه بندی مطابق با مشخصات اقدام نمود. مصالح سنگی جدید نباید بیش از ۲۵ درصد وزنی کل مخلوط باشد.

د- ضریب یکنواختی (Coefficient of Uniformity, C_u) دانه بندی مخلوط که مطابق با رابطه زیر محاسبه می شود و باید بیشتر از ۱۰ باشد که در آن:

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} \qquad (۷-۷)$$

D_{60} : اندازه سنگدانه هایی که در نمودار دانه بندی ۶۰ درصد عبوری داشته باشد.

D_{10} : اندازه سنگدانه هایی که در نمودار دانه بندی ۱۰ درصد عبوری داشته باشد.

ه- با توجه به عملیات تراش و آسیاب کردن در جریان بازیافت، معمولاً میزان مصالح سنگی ریزدانه (رد شده از ۴/۷۵ میلی متر) افزایش می یابد. لذا مصالح ریزدانه به ویژه ماسه طبیعی نباید برای اصلاح دانه بندی به مخلوط افزوده شود مگر آنکه تأثیر آن بر عملکرد مخلوط بازیافت کاملاً ارزیابی گردد. باید توجه داشت که مخلوط های با استخوان بندی ماسه ای و ریز دانه برای اختلاط با کف قیر بسیار مطلوب می‌باشند، زیرا در مخلوط‌های کف قیر فقط ریز دانه ها این فرصت را دارند که روکش قیری کاملی بر روی آنها ایجاد گردد، در حالی که این شرایط برای تمام مصالح به ویژه درشت دانه ها وجود ندارد.

۷-۱۵-۳-کاربرد مواد ضد عریان شدن[1]

ضعیف استفاده می شود، باید از مواد شیمیایی ضد عریان شدن (Anti-Stripping Agents) برای مخلوط بازیافت مصرف نمود. چنانچه مخلوط مصالح سنگی از کیفیت مناسبی برخوردار باشد، مصرف یک درصد فیلر فعال برای این منظور کفایت می کند. چنانچه به هر دلیل استفاده از سیمان به عنوان فیلر فعال امکان پذیر نباشد باید از مواد ضد عریان شدن بر پایه آمینی (Amine Type) به نسبت ۲-۰/۲ درصد وزنی نسبت به قیر استفاده کرد و آن را قبل از تشکیل کف قیر به قیر خالص اولیه افزود ضمن اینکه به آن فرصت کافی داده می شود تا اختلاط کامل قیر با این ماده تأمین گردد. در موارد استفاده از این مواد باید مشخصات کف قیر کنترل شود زیرا ممکن است ویژگی‌های کف قیر با مصرف این ترکیبات تغییر نماید.

۷-۱۵-۴-آب

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

۷-۱۵-۵-دمای مصالح سنگی

دمای مصالح سنگی در زمان اختلاط با کف قیر در میزان پوشش قیر و خواص نهایی مخلوط آسفالت سرد حاوی کف قیر نقش به سزایی دارد. به عنوان مثال چنانچه دمای مصالح سنگی قبل از اختلاط از ۲۰ درجه سانتیگراد به ٦٥ درجه سانتیگراد افزایش داده شود، ابعاد سنگدانه هایی که میزان پوشش کامل قیری پیدا می کند از یک میلی متر به ۵ میلی متر افزایش می‌یابد. لذا کنترل و تعیین دمای مصالح سنگی قبل از تهیه مخلوط بازیافت (چه در آزمایشگاه و چه در جریان عملیات) الزامی است. مخلوط های آزمایشگاهی باید در دمایی تهیه شوند که پیش بینی می شود در عمل با آن مواجه می گردند. (با در نظر داشتن تغییرات دمای فصلی و روزانه). به طور کلی وقتی که دمای مصالح سنگی کمتر از ۱۰ درجه سانتیگراد باشد باید از انجام بازیافت خودداری شود.

۷-۱۵-۶-خصوصیات کف قیر

وقتی تحت شرایط کنترل شده و مشخص مقدار معینی آب سرد به قیر خالص داغ (با دمای ١٦٠ تا ١٨٠ درجه سانتیگراد) تزریق شود،کف قیر تولید می شود. کف قیر حاصله دارای خواص زیر است:

- کند روانی قیر شدیداً کاهش می یابد.
- افزایش حجمی تا ۱۵ برابر نسبت به حجم اولیه ایجاد می شود.
- تنش سطحی قیر کاهش می یابد.

این خواص موجب می شود تا بتوان کف قیر را با مصالح سنگی سرد و مرطوب مخلوط نمود که مخلوط حاصله دارای خصوصیات زیر می باشد:

- صرفه جویی در مصرف انرژی در مقایسه با مخلوط های آسفالتی گرم
- برای اختلاط با انواع متفاوت مصالح خرده آسفالتی و سنگی سرد مناسب است.
- انعطاف پذیر است و مقاومت در مقابل خستگی را افزایش می دهد.
- امکان پخش و کوبیدن مخلوط حاصله و تکمیل عملیات مربوطه بدون محدودیت های عمل آوری و تبخیر آب مخلوط را دارد.
- حساسیت کمتری در برابر رطوبت در مقایسه با مخلوط های امولسیون قیر دارد.
- حفظ کارایی و تراکم پذیری مخلوط تا ٤٨ ساعت بعد از تولید برای انبار کردن، جابه‌جایی و اختلاط مجدد آن.

[1] Anti-Stripping

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

۷-۱۵-۷-طرح مخلوط های بازیافتی حاوی کف قیر

تنها روش متداول در طرح مخلوط های حاوی کف قیر بر اساس آزمایش کشش غیر مستقیم می باشد. دلیل این انتخاب را اینگونه می توان توضیح داد که در این گونه مخلوط ها هنگام افزودن کف قیر به مصالح، کف قیر در تماس با فیلر موجود در مصالح، تولید یک ترکیب ماستیکی(فیلر، قیر و آب) می نماید که وظیفه آن چسباندن سنگدانه های درشت تر به یکدیگر می‌باشد. لذا مقاومت کششی که در واقعیان کننده چسبندگی مخلوط می باشد، تعیین کننده مقاومت یا ضعف مخلوط است. چگونگی بارگذاری در آزمایش مقاومت کششی غیر مستقیم بر اساس استاندارد AASHTO-T283 بوده و ساخت نمونه ها بر اساس روش مارشال ASTM_D1559 می باشد. در این آزمایش پس از آنکه نمونه ها تهیه شد، مقاومت کششی غیر مستقیم در حالت خشک و اشباع اندازه گیری می شود و بر اساس آن مقدار بهینه کف قیر مشخص می گردد. اندازه گیری مقاومت کشش مستقیم در حالت اشباع برای تعیین میزان حساسیت مخلوط به رطوبت می باشد.

۷-۱۵-۸-مصالح سنگی در مخلوط

برای نمونه های طرح اختلاط، ۱۰ کیلوگرم مخلوط مصالح سنگی برای هر درصد قیر مورد نیاز است و چون در طراحی معمولاً از پنج نقطه قیری استفاده می شود لذا حداقل پنج نمونه ۱۰ کیلوگرمی به صورت جداگانه آماده می شود.

۷-۱۵-۹- درصد آب اختلاط

درصد رطوبت مخلوط مصالح سنگی آماده شده در آزمایشگاه، قبل از افزودن کف قیر به آن از اهمیت زیادی برخوردار است. زیرا آب در مخلوط های کف قیر به عنوان حامل قیر و توزیع یکنواخت و بهینه آن عمل می کند. مقدار کم رطوبت مانع توزیع کافی و کامل قیر، کاهش کارایی مخلوط و در نتیجه کاهش تراکم پذیری آن و مقدار بیش از اندازه آن موجب افزایش دوره عمل آوری، کاهش وزن مخصوص و کاهش مقاومت مخلوط کوبیده شده می شود. در نتیجه مقدار آن باید بهینه باشد.

آب لازم جهت تهیه اختلاط مصالح (با کف قیر و سیمان) بر حسب نوع دانه بندی و جنس مصالح حدود ۵۰ تا ۹۰ درصد رطوبت بهینه (Optimum Moisture Content, OMC) مخلوط با آزمایش تراکم به روش AASHTO-T180 روش D می باشد که رطوبت طبیعی مصالح از آن کم می شود. لذا مقدار آب اختلاط برای هرنمونه ۱۰ کیلوگرمی قبل از افزودن کف قیر به مصالح از رابطه زیر تعیین می شود:

$$A = (OMC \times B - W) \times 100 \qquad (۸-۷)$$

که در آن:

A : مقدار آب لازم بر حسب میلی لیتر برای نمونه ۱۰ کیلوگرمی

OMC : رطوبت بهینه مخلوط مصالح به روش AASHTO-T180 روش D

B : حدود ۹۰-۵۰ درصد OMC (رطوبت بهینه)

W : درصد رطوبت موجود مخلوط مصالح

۷–۱۵–۱۰– افزودنی های فعال

چنانچه برای طراحی، درصدی از سیمان یا آهک مورد لزوم باشد (معمولاً ۰/۵ تا ۲ درصد) ابتدا محاسبات بر اساس یک درصد سیمان انجام می شود. مقدار سیمان بر حسب گرم برای نمونه ۱۰ کیلوگرمی از رابطه زیر تعیین می گردد:

$$C = (gr) \text{ وزن نمونه} \times \text{درصد سیمان} \times ۱۰۰۰۰ \qquad (۹–۷)$$

۷–۱۵–۱۱– مقدار قیر لازم

وزن قیر لازم بر حسب گرم برای نمونه ۱۰ کیلوگرمی بر حسب درصد قیر انتخاب شده که معمولاً (۱ تا ۵ درصد)است. مطابق با را بطه زیر:

$$F = (gr) \text{ وزن نمونه} \times \text{درصد قیر} \times ۱۰۰۰۰ \qquad (۱۰–۷)$$

۷–۱۵–۱۲– وزن مخصوص مربوط به مصالح و سایر افزودنی ها

وزن مخصوص مصالح بر حسب گرم برای تهیه هر نمونه ۱۰ کیلوگرمی از رابطه زیر تعیین می شود:

$$\mathbf{D = ۱۰۰۰۰-(A+C+F)} \qquad (۱۱–۷)$$

۷–۱۵–۱۳ –اختلاط مصالح با کف قیر

نمونه مخلوط مصالح رد شده از الک ۳/٤ اینچ به مقدار تعیین شده توزین و در کاسه مخلوط کن ریخته می شود. پس از این که مقدار هم خورد مقدار آب لازم که مطابق با بندهای قبل محاسبه شده است به نمونه اضافه می گردد. در صورتی که اضافه نمودن سیمان لازم باشد، مقدار سیمان لازم (C) داخل یک کاسه جداگانه توزین و با آب تراکم مخلوط به مصالح اضافه می گردد. سپس کل مخلوط با بیلچه هم زده می شود.

مقدار قیر پیش بینی شده (F) بر روی دستگاه تولید کننده کف قیر مطابق با دستورالعمل مربوطه تنظیم می‌شود.

کاسه مخلوط کن محتوی نمونه در محل خود مستقر شده و محتویات آن در حدود یک دقیقه و در دمای ۲۵ درجه سانتیگراد مخلوط می شود.

خروجی دستگاه تولید کننده کف قیر آزمایشگاهی به مخلوط کن متصل می گردد.

در حین افزودن قیر لازم به صورت کف، به مدت ۳۰ ثانیه پس از تخلیه قیر، مخلوط مصالح و قیر با همزن فلزی دستگاه ، هم زده می شود. به علت چسبیدن قیر به وسایل مخلوط کن، میزان قیر بایستی از ۵ تا ۲۵ درصد (برحسب درصد قیر انتخاب شده به ترتیب از درصد کم تا زیاد) افزایش یابد.

پس از اتمام عملیات اختلاط، مخلوط قیری را در کیسه های پلاستیک یا ظرف در بسته مناسب تخلیه کرده و برای آنکه رطوبت آن تا موقع آزمایش تغییر نکند باید محافظت و نگهداری شود.

اختلاط مصالح با درصد های مختلف قیر به شرح بالا برای سایر نمونه ها تکرار می شود.

پس از آماده شدن تمامی نمونه های ۱۰ کیلوگرمی با درصد های مختلف قیر بر حسب نوع آزمایش های مقاومتی تعیین شده برای طرح، نمونه ها مورد آزمایش قرار می گیرند.

۷–۱۶–طراحی ضخامت لایه آسفالتی بازیافت سرد

به طور کلی از مخلوط های بازیافت سرد عمدتاً به عنوان لایه میانی(Intermediate Layer) در بهسازی روسازی های آسفالتی و یا قشر اساس تثبیت شده با قیر در نوسازی ها استفاده می شود که در هر دو حالت، مقاومت سازه ای و یا ضریب لایه ای (a_i (Structural Coefficient) و نهایتاً ضخامت روکش آسفالت تقویتی که روی لایه بازیافت اجرا می گردد، باید تعیین شود.

در حال حاضر ضابطه و معیار خاصی در آیین نامه های روسازی ایران برای ضریب a_i لایه بازیافت سرد وجود ندارد. ولی می توان از طریق تهیه و آزمایش نمونه های آزمایشگاهی در جریان عملیات بازیافت واندازه‌گیری مدول مقاومتی آنها و یا انجام آزمایشات غیر مخرب (Nondestructive Test) از جمله Falling Weight Deflectometer, (FWD) مطابق با روش ASTM-D4694، جهت محاسبات مربوط به تعیین ضخامت روکش اقدام نمود. در نشریه شماره ۳۳۹ سازمان مدیریت و برنامه ریزی برای تعیین ضخامت روکش لایه های بازیافت سرد، از دو روش آشتو و انستیتو آسفالت استفاده می شود که طراحان برای هر پروژه با بررسی ضخامت‌های محاسبه شده با هر یک از دو روش فوق، طرحی را که از نظر اقتصادی و فنی بهینه باشد، به عنوان طرح نهایی انتخاب و اجرا می نمایند.

۷-۱۶-۱-طراحی با روش آشتو

در این روش، عدد ضخامت مجموعه لایه روکش و لایه بازیافت، از رابطه زیر به دست می آید:

$$SN_{OL} = SN_y - SN_{xeff(New)} \qquad (۱۲-۷)$$

که در این رابطه:

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

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

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

$$SN_{xeff(New)} = SN_{eff} - \left(\frac{\sum_{i=1}^{n} a_i h_i}{2.54}\right) \qquad (۱۳-۷)$$

که در این رابطه:

SN_{xeff}: عدد ضخامت مؤثر روسازی موجود.

a_i: ضریب لایه های تراشیده شده.

h_i: ضخامت لایه های تراشیده شده (سانتیمتر).

n: تعداد لایه ها

لازم به ذکر است تراشیدن روسازی به اندازه عمق شیار باعث کاهش عدد ضخامت مؤثر روسازی موجود نمی‌شود.

۷-۱۶-۱-۱- محاسبه عدد ضخامت مؤثر روسازی موجود (SN_{xeff})

برای محاسبه هر کدام از پارامترهای موجود در دو رابطه قبل مطابق زیر عمل می شود:

جهت تعیین عدد ضخامت مؤثر روسازی موجود یا SN_{xeff} که عامل اصلی و تعیین کننده عدد ضخامت روکش و لایه بازیافت یا SN_{OL} محسوب می شود از یکی از دو روش زیر استفاده می شود:

الف – روش مستقیم یا روش آزمایش غیر مخرب (NDT) :

در این روش عدد ضخامت مؤثر موجود (قبل از بازیافت) بر اساس مدول الاستیسیته معادل لایه ها یا مدول الاستیسیته هر یک از لایه ها (مدول مؤثر) که از محاسبات معکوس در آزمایش های غیر مخرب به دست می آیند و نیز ضخامت اندازه‌گیری شده لایه ها از روابط زیر استفاده می شود:

$$SN_{xeff} = 0.00436D^3\sqrt{(EP)} \qquad (۱۴-۷)$$

$$SN_{xeff} = 0.00436\sum_{i-1}^{n} h_i\,(E_i)^{\frac{1}{3}} \qquad (۱۵-۷)$$

که در این روابط:

SN_{xeff}: عدد ضخامت مؤثر روسازی موجود.

E_P: مدول الاستیسیته مؤثر مجموع لایه های روسازی بر حسب کیلوگرم بر سانتی متر مربع

D: ضخامت کل لایه ها بر حسب سانتیمتر

n: تعداد لایه ها

h_i: ضخامت لایه i ام روسازی موجود بر حسب سانتیمتر

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

ب– روش غیر مستقیم یا محاسبه ضخامت و ضرایب لایه های روسازی موجود :

در این روش با اندازه گیری ضخامت لایه های روسازی و ضرایب لایه ها، می توان عدد ضخامت موثر را با استفاده از رابطه زیر محاسبه نمود:

$$SN_{xeff} = \frac{1}{2.54}(a_1D_1 + a_2m_2D_2 + a_3m_3D_3) \qquad (۱۶-۷)$$

که در این رابطه:

D_i: ضخامت لایه های روسازی موجود بر حسب سانتیمتر

h_i: ضخامت لایه i ام روسازی موجود بر حسب سانتیمتر

m_i: ضریب زهکشی مصالح اساس و زیر اساس موجود.

چون ضرایب لایه های روسازی در طول عمر بهره برداری با توجه به تغییراتی که در مشخصات فنی اولیه مصالح آنها ایجاد می شود کاهش می یابد، لذا برای برآورد ضرایب جدید، به تناسب میزان و شدت آسیب دیدگی ها و تغییرات به وجود آمده در لایه ها می توان از جدول (۷-۳) و نتایج آزمایش هایی که روی مصالح انجام می شود با رعایت محدودیت های زیر استفاده نمود:

– حداکثر ضریب لایه برای قشرهای رویه و آستر آسفالتی ۰/۳۵ و برای لایه اساس قیری ۰/۲۵ در نظر گرفته می‌شود.

– ضرایب لایه های اساس و زیر اساس به تناسب نتایج آزمایش CBR ، دانه بندی،درصد شکستگی، ارزش ماسه‌ای و دامنه خمیری و مقایسه آنها با مشخصات اولیه مصالح انتخاب می شود.

– ضرایب زهکشی مصالح اساس و زیر اساس (m_2 و m_3) با توجه به نتایج دانه بندی و درصد مواد عبوری از الک ۲۰۰، ارزش ماسه ای و دامنه خمیری و مقایسه آنها با مقادیر مشخصات و نیز شرایط اشباع، نیمه اشباع و یا رطوبت بهینه آنها در دوران بهره دهی تعیین می شود.

۷–۱۶–۱–۲– تعیین عدد ضخامت مورد نیاز روسازی جدید (SN_y)

عدد ضخامت روسازی جدید بر اساس مقاومت خاک بستر روسازی و ترافیک پیش بینی شده دوره بازیافت بدون در نظر گرفتن ساختار روسازی فعلی و بر اساس نشریه ۲۳٤ سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور محاسبه می گردد. توصیه می شود مقدارS_0 یا انحراف استاندارد کلی معادل ۰/٤۹ در نظر گرفته شود.

۷-۱۶-۱-۳- تعیین عدد ضخامت لایه روکش و بازیافت (SN_{OL})

پیش از تعیین عدد ضخامت لایه های روکش و بازیافت ، ضخامت لایه روکش آسفالتی از رابطه زیر محاسبه می شود:

جدول(۷-٤):انتخاب ضریب لایه روسازی موجود با وضعیت متفاوت

لایه روسازی	شرایط روسازی	ضریب لایه
آسفالت رویه و آستر	فاقد ترک های موزاییکی و ترک های خیلی کم و یا فقط ترک های عرضی با شدت کم	۰/٤٥-۰/٤
	ترک های موزاییکی با شدت کم – کمتر از ۱۰ درصد و یا ترک های عرضی با شدت متوسط تا زیاد – کمتر از ۵ درصد	۰/۲۵-۰/۳۵
	ترک های موزاییکی با شدت کم – بیشتر از ۱۰ درصد و یا ترک های موزاییکی با شدت متوسط – کمتر از ۱۰ درصد و یا ترک های عرضی با شدت متوسط تا زیاد – کمتر از ۱۰-۵ درصد	۰/۲-۰/۳
	ترک های موزاییکی با شدت متوسط – بیشتر از ۱۰ درصد و یا ترک های موزاییکی با شدت زیاد – کمتر از ۱۰ درصد و یا ترک های عرضی با شدت متوسط تا زیاد – کمتر از ۱۰ درصد	۰/۱٤-۰/۲
	ترک های موزاییکی با شدت زیاد بیشتر از ۱۰ درصد و یا ترک های عرضی زیاد بیشتر از ۱۰ درصد	۰/۰۸-۰/۱۵
اساس قیری	ترک موزاییکی خیلی کم یا فاقد این ترک ها و یا فقط ترک عرضی با شدت کم	۰/۲۵-۰/۳۵
	ترک های موزاییکی با شدت کم – کمتر از ۱۰ درصد و یا ترک های موزاییکی با شدت متوسط تا زیاد – کمتر از ۵ درصد	۰/۱۵-۰/۲٤
	ترک های موزاییکی با شدت کم – بیشتر از ۱۰ درصد و یا ترک های موزاییکی با شدت متوسط – کمتر از ۱۰ درصد ترک های عرضی با شدت متوسط تا زیاد – بیشتر از۱۰-۵ درصد	۰/۱۵-۰/۲
	ترک های موزاییکی با شدت متوسط – بیشتر از ۱۰ درصد و یا ترک های موزاییکی با شدت زیاد – کمتر از ۱۰ درصد ترک های عرضی با شدت متوسط یا زیاد – بیشتر از ۱۰ درصد	۰/۱-۰/۲
	ترک های موزاییکی با شدت زیاد – بیشتر از ۱۰ درصد و یا ترک های عرضی با شدت زیاد – بیشتر از ۱۰ درصد	
اساس یا زیر اساس	بدون تغییر و بدون نفوذ ریز دانه از بستر روسازی با حفظ CBR اولیه تغییر حالت مصالح شامل نفود ریزدانه از بستر روسازی و کاهش CBR و خصوصیات زهکشی	۰/۱-۰/۱۳ ۰/۰۰-۰/۱

$$SN_{OL} = \frac{1}{2.54}(a_{AC}D_{\mathrm{AC}} + a_{RC}D_{\mathrm{RC}}) \qquad (۱۷-۷)$$

که در آن:

a_{AC} : ضریب لایه روکش آسفاتی.

D_{AC} : ضخامت لایه روکش آسفالتی - سانتیمتر

a_{RC} : ضریب لایه بازیافت سرد

D_{RC} : ضخامت لایه بازیافت سرد- سانتیمتر

در رابطه بالا ضریب لایه روکش آسفالت گرم (a_{AC}) شامل بیندر یا توپکا بر اساس آیین نامه روسازی آسفالتی راه های ایران ۰/٤۲ منظور می شود، ولی ضریب لایه بازیافت سرد یا a_{RC}را می‌توان با اندازه گیری مدول برجهندگی این لایه که با آزمایش ASTM-D4123 به دست می آید از رابطه زیر محاسبه کرد:

$$a_{RC} = 0.011(E_{RC})^{\frac{1}{2}} \qquad (۱۷-۷)$$

که در این رابطه E_{AC} مدول برجهندگی لایه بازیافت بر حسب کیلوگرم بر سانتیمتر مربع می‌باشد.

به طور کلی مطالعات و بررسی های انجام شده نشان داده است که ضریب لایه بازیافت سرد با کف قیر بین ۰/۲ تا ۰/۳۵ و با امولسیون قیر بین ۰/۱۷ تا ۰/۳ می باشد. در شرایطی که انجام آزمایش های کنترل کیفیت در حین اجرای بازیافت سرد و یا مغزه‌گیری از این لایه برای اندازه گیری مدول برجهندگی و نهایتاً تعیین ضریب لایه بازیافت a_{RC} مطابق رابطه بالا امکان پذیر نباشد، توصیه می گردد که ضریب ۰/۲۵ برای بازیافت سرد با کف قیر و ۰/۲ برای بازیافت سرد با امولسیون قیر منظور شود.

۷-۱۶-۲- طراحی با روش انستیتو آسفالت

این روش شامل طراحی ضخامت روکش بازیافت سرد با امولسیون قیر می باشد.

۷-۱۶-۲-۱- ترافیک طرح

ترافیک طرح بر حسب بار هم ارز ۸/۲ تنی بر اساس ضوابط مندرج در نشریه شماره ۲۳٤ سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور محاسبه می گردد.

۷-۱۶-۲-۲- مقاومت خاک بستر روسازی

مقاومت خاک بستر روسازی بر حسب CBR یا ضریب برجهندگی تعریف می شود. تبدیل CBR به ضریب برجهندگی مطابق با آیین نامه روسازی ایران انجام می شود.

۷-۱۶-۲-۳- کیفیت مصالح و روش بازیافت

کیفیت مصالح در بازیافت سرد بر حسب اینکه از امولسیون قیر یا کف قیر استفاده شود باید با مشخصات مربوط به روش های مطرح شده بازیافت سرد با امولسیون قیر و کف قیر مطابقت داشته باشد. همچنین روش های بازیافت کارخانه ای یا درجا نیز باید با ضوابط مربوط به این روش ها مطابقت داشته باشد. از این روش برای طراحی ضخامت روکش در شرایط اجرای بازیافت درجا با گریدر یا مخلوط کننده های چرخشی نمی توان استفاده کرد.

۷-۱۷-طرح لایه اساس با استفاده از مصالح بازیافتی

آسفالت بازیافتی از جمله مصالحی است که می توان آن را به جای منابع و معادن سنگی مرغوب استفاده نمود. مطابق تعریف مصالح به دست آمده از آسفالت موجود که با روش های گوناگونی از سطح روسازی برداشت می شوند را آسفالت بازیافتی (RAP) می گویند. مزیت این مصالح این است که در وضع طبیعی خود دارای مصالح سنگی و قیر هستند. از جمله کاربردهای این مصالح می توان به مخلوط آسفالت گرم و سرد بازیافتی، مصالح اساس و مصالح خاکریز راه اشاره نمود.

هدف نهایی از به کار بردن آسفالت بازیافتی در لایه اساس کاهش هزینه های ساخت راه و کاهش ضخامت لایه های روسازی است.

۷-۱۷-۱-پارامترهای طراحی

عدد ضخامت روسازی (SN) نشان دهنده ضخامت کل مورد نیاز روسازی است. این عدد از رابطه زیر به دست می آید:

$$\log W_{t18} = Z_R S_0 + 9.36 \log(SN+1) - 0.20 + \frac{\log(\frac{4.2\,Pt}{4.2\,1.5})}{0.4+\frac{1094}{(SN+1)^{5.19}}} + 2.32 \log M_R - 8.07 \qquad (۱۸-۷)$$

مقدار SN به دست آمده از فرمول باید برابر یا کمتر از مقداری که از فرمول زیر به دست می آید، باشد:

$$SN = a\ \ D_1 + a_2 D_2 m_2 + a_3 D_3 m_3 \qquad (۱۹-۷)$$

a_1وa_2 وa_3 به ترتیب ضرایب قشر لایه های رویه آسفالتی ، اساس و زیر اساس می باشد و D_1 ، D_2 و D_3 ضخامت لایه های آسفالتی، اساس و زیر اساس و m_1 و m_2 ضرایب زهکشی لایه های اساس و زیر اساس می باشد.

۷-۱۷-۲-ضریب قشر لایه اساس

برای تعیین ضخامت واقعی هر یک از لایه های روسازی ضریبی تخصیص داده شده که ضریب لایه نامیده می شود. این ضریب رابطه تجربی بین عدد ضخامت و ضخامت واقعی را بیان می کند. ضریب لایه در واقع معرف مقاومت و قدرت باربری لایه مورد نظر است که برای هر یک از قشرهای مختلف روسازی متفاوت می‌باشد.

مطابق با آیین نامه روسازی آسفالتی راه های ایران ضریب a_2 را می توان از رابطه زیر به دست آورد:

$$a_2 = 0.3356(log(E_{BS})) - 0.977 \qquad (۲۰-۷)$$

که در این رابطه E_{BS} ضریب ارتجاعی بر حسب کیلوگرم بر سانتی متر مربع است. همانطور که از رابطه پیداست با افزایش E_{BS} مقدار a_2 نیز افزایش می‌یابد. طبق نتایج آزمایشاتی که محققان بر روی آسفالت بازیافتی انجام داده اند، مقدار M_R با افزایش درصد آسفالت بازیافتی افزایش می‌یابد. با افزایش M_R مقدار E_{BS} افزایش می‌یابد و در نتیجه مقدار a_2 افزایش یافته و طبق معادله زیر:

$$SN = a_1 D_1 + a_2 D_2 m_2 + a_3 D_3 m_3 \qquad (۲۱-۷)$$

مقدار SN با ضخامت کمتری در لایه های روسازی قابل دست یابی است.

۷-۱۷-۳-ضرایب زهکشی لایه های روسازی

مقدار زهکشی نامناسب و حضور آب اضافی در لایه های زیر اساس و اساس، ضریب ارتجاعی این مصالح یعنی E_{SB} و E_{BS}را تا بیش از ۵۰ درصد کاهش می دهد. کیفیت زهکشی در آیین نامه برای مصالح غیر آسفالتی سازه روسازی یعنی زیر اساس و اساس بر حسب مدت زمانی تعریف می شود که آب باقیمانده در این مصالح بعد از زهکشی به حدود ۵۰ درصد رطوبت اشباع (حالت مرطوب) برسد.

با این تعریف مصالح روسازی از نظر خاصیت زهکشی و سرعت خروج آب به پنج طبقه تقسیم می شود که در جدول (۷-۵) نشان داده شده است.

آزمایشات نشان داده نفوذ پذیری مصالح لایه اساس در دامنه ۰/۹ تا ٤٨/٢ فوت بر روز قرار دارد که میانگین آن برابر ١٦/٣ فوت بر روز می باشد. در حالی که نفوذ پذیری مصالح آسفالت بازیافتی بین ۲۰/۷ تا ٤٢٥/٢ فوت بر روز بوده که نتیجه گیری می شود کیفیت زهکشی مصالح آسفالت بازیافتی در رده عالی یا خوب قرار دارد.

جدول(۷-۵):طبقه بندی مصالح از نظر زهکشی

کیفیت زهکشی	مدت زمان زهکشی
عالی	دو ساعت
خوب	یک روز
قابل قبول	دو روز
ضعیف	یک ماه
خیلی ضعیف	دفع نمی شود

در نتیجه می توان گفت که مصالح آسفالت بازیافتی با توجه به نتایج به دست آمده بسته به منبع آن، نفوذ پذیری متفـاوتی از خود نشان می دهد. در نتیجه لازم است تا قبل از طرح روسازی، نفوذ پذیری مصالح آسفالت بازیافتی مورد آزمایش قرار گیرد.

۷-۱۷-۴-مقادیر مجاز استفاده از مصالح آسفالت بازیافتی در لایه اساس

حداکثر درصد آسفالت بازیافتی در لایه اساس به چند عامل بستگی دارد از جمله مـی تـوان بـه مقـدار قیـر مصـالح آسـفالت بازیافتی، کیفیت مصالح سنگدانه ها، نیازهای لایه اساس و ... اشاره کرد. بر اساس تحقیقات انجام شده، استفاده از مصالح آسـفالت بازیافتی به عنوان مصالح لایه اساس، گزینه ای مناسب محسوب می شود. استفاده مجدد از این مصالح در لایه اساس علاوه بر حفظ منابع طبیعی، باعث افزایش توان باربری روسازی می‌شود. درنتیجه می‌توان ضخامت لایه های روسازی را کاهش داد. با نگاهی کلی می توان دریافت:

با افزودن مصالح آسفالت بازیافتی به مخلوط، M_R افزایش می یابد. در نتیجه E_{BS} افزایش یافته و باعث افزایش ظرفیت باربری لایه می شود.

با افزودن مصالح آسفالت بازیافتی، CBR کاهش می یابد؛ در نتیجه مقاومت برشی لایه کاهش می‌یابد.

مصالح آسفالت بازیافتی بسته به منبع آن ، نفوذ پذیری متفاوتی ازخود نشان می دهـد در نتیجـه لازم اسـت تـا قبـل از طـرح روسازی، نفوذ پذیری مصالح آسفالت بازیافتی مورد آزمایش قرار بگیرد.

با توجه به نتایج به دست آمده، مقدار مجاز ۵۰ درصد استفاده از مصالح آسفالت بازیافتی در لایه اساس مطلوب بـه نظـر مـی رسد.

(تکنولوژی و مواد روسازی)

فصل هشتم:

افزودنی ها و اصلاح کننده ها

محمود رضا کی منش

سعید شاکر

۸-۱-مقدمه

اصلاح کننده ها در حالت کلی جهت بهبود خواص مکانیکی و شیمیایی ترکیب بتن آسفالتی بکار برده شده که عموماً به دو جزء کلی اصلاح کننده های قیری و اصلاح کننده های بتن آسفالتی تقسیم می شوند.

امروزه علاوه بر قیر و مصالح سنگی تشکیل دهنده مخلوط های آسفالتی، از مواد دیگری به نام افزودنی‌ها[1] و یا اصلاح کننده های[2] قیر استفاده می‌شود. این ترکیبات که طیف وسیعی از مواد معدنی، آلی، طبیعی و صنعتی را در بر می گیرد، به منظور اصلاح برخی از خواص قیر و در نتیجه مخلوط های آسفالتی به شرح موارد زیر کاربرد دارند:

الف- جلوگیری از عریان شدن سنگدانه های مخلوط های آسفالتی

ب- جلوگیری از ایجاد ترک های حرارتی و انقباضی در رویه های آسفالتی

پ- کاهش پدیده‌های تغییر شکل و قیر زدگی رویه های آسفالتی

ت- تاخیر و جلوگیری از رو آمدن ترک های آسفالتی

ث- کاهش پدیده سخت شدن و پیر شدن قیر

ج- افزایش تاب خستگی آسفالت

همچنین همانطوریکه میدانیم قیر جزء مشتقات نفت خام و آخرین و ته مانده ستون تقطیر و از ترکیبات آسفالتیک (گوگرد- ازت- اکسیژن) محسوب می شود.

از طرفی بعلت منابع نفتی با خواص گوناگون شامل نفت های سبک و سنگین نوع قیر نیز متفاوت خواهد بود. که عمده اختلاف قیرهای موجود در درصدگوگرد و ازت موجود در ترکیبات آسفالتیک و نهایتاً در آسفالتین نهفته می باشد.

همچنین پیچیده بودن فرمول شیمیایی قیر (آسفالتین و مالتین) خاصیت‌های ویژه‌ای را به قیر بخشیده است، بقسمی که قیر را می توان جزء مواد ویسکوالاستیسیته بشمار آورد لذا قیر تحت شرایط گرم یا تحت بارگذاری سنگین و طولانی و با سرعت اندک شرایط یک ماده ویسکوز را دارا می‌باشد و بالعکس قیر در دماهای پایین و یا بارگذاری‌های سریع شبیه یک ماده جامد الاستیک رفتار می‌کند. بقسمی که در دماهای پایین بعلت خاصیت الاستیسیته بودن و تحت بارهای سنگین وارده بیش از توان و مقاومت آن احتمال دارد شکننده و ترد باشد و منجر به ترک شود و همچنین برای دماهای متوسط می‌توان قیر را یک ماده ویسکوالاستیسیته محسوب نمود.

در برخی از موارد خاص ترافیکی و منطقه ای، که آسفالتهای متعارف و رعایت نکات فنی و استانداردهای لازم در زمینهٔ تولید واجرا جوابگوی نیاز منطقه نباشد، برای کاهش هزینه‌های نگهداری و در جهت افزایش عمر خستگی با افزایش درجه سختی و کاهش نفوذپذیری و ارتقاء مدول الاستیسیته قیر و نیز کاهش حساسیت حرارتی قیر در مقابل تغییرات دما که عملکرد مناسب‌تری در مخلوط‌های آسفالتی را ایجاد می‌کند، میتوان از افزودنی ها و اصلاح کننده ها بهره برد. ولی آنچه بدیهی است اجرای مطالب فوق‌الذکر تنها از منظر کاهش هزینه‌های نگهداری نبوده بلکه کنترل کیفیت یا بهبود بخشیدن به کیفیت سطح جاده‌ها و یا کاهش ناهمواری‌ها و نهایتاً افزایش سرعت طرح جاده همراه با ایمنی لازم و اقدامات مناسب برای بهینه‌سازی جاده‌ها محسوب می‌گردد و دراین خصوص بعلت تنوع آب و هوایی در کشور ما نیز شاید جهت بهبود بتن آسفالتی و قیر ، استفاده از اصلاح کننده‌های متفاوت قیری و بتن‌آسفالتی اعم از اصلاح کننده‌های پلیمری درانواع مختلف و اصلاح کننده‌های بتن آسفالتی نظیر فایبرها برای آسفالت ماستیک که غیر قابل نفوذ کردن سطح بتن آسفالتی برای مناطق باران خیز نظیر شمال کشور میتواند موثر باشد، در ادامه به تعدادی از این موارد اشاره میکنیم

[1] Additive
[2] Modifyer

هر ماده ترموپلاستیکی، قیرهای استحاله مستقیم یا ابتدایی، در دماهای پایین ترد و شکننده بوده و به لحاظ نقطه نرمی خود، محدود به سقف نسبتاً پایینی از دمای سرویس می باشند. تبدیل تراکمی قیر، بر اثر هوادهی، در درجه حرارت هایی حدود$250^{o}C$، منجر به تولید محصولی با ویژگیهای لاستیکی بیشتر و تمایل به خزش(creep)کمتر تحت بار، خواهد شد که از نقاط نرمی بالا وعملکرد دمای پایین بهتری برخوردارند، حتی قیرهای دمیده هم، قادر به کسب الاستیسیته صحیح و مناسبی به صورت یک کرنش قابل بازیابی محسوس، پس از تغییر شکل‌های بزرگ نیستند. این خاصیت به این دلیل مورد توجه و نیاز قرار گرفته است که تلفیقی از ویژگیهای انعطاف‌پذیری ومقاومت خستگی با خاصیت مقاومت روندگی(Flow R.)از تقاضای بسیار بالایی برخوردار است. انجام تحقیقات فراوان و کسب تجارب عملی بسیار، خصوصاً در خلال ۳۰ سال گذشته، موجب پیشرفت های مهم و گسترده کنونی در استفاده از آمیزه‌های قیر- پلیمر شده است. در حالی که تا پیش از این، از پلی اتیلن، پلی پروپیلن، لاستیک طبیعی و سایر لاستیک های سنتزی دیگر، استفاده می شد، ولی در حال حاضر لاستیک های ترموپلاستیک(TPE)با دامنه کاربرد وسیعتری به کار میروند. انواع افزودنی های قیر را می توان به چهار گروه عمده زیر تقسیم نمود:

الف) لاستیک ها

ب) ترموپلاستیک ها

ج) ترموست ها

د) ترموپلاستیک الاستومرها

تقسیم بندی دیگری که با ذکر اهداف عمومی کاربرد و چند مثال از هر کدام به شرح زیر بیان شده است:

الف- فیلر ها[1] : اهداف کلی کاربرد: ■ پرکردن فضای خالی و کاهش حجم بهینه اجزای آسفالت ■ انطباق بیشتر با منحنی دانه بندی سنگدانه‌ها ■افزایش پایداری ■ بهبود پیوستگی سیمان و سنگدانه ها آسفالت

مثال: فیلرهای معدنی (نظیر:ریزدانه شکسته و آهک و سیمان پرتلند و خاکستر بادی[2]) ، دوده زغالی[3]

ب- پرکننده[4] اهداف کلی کاربرد: جایگزینی بخشی از قیر در آسفالت(بطور معمول۲۰تا۳۵ درصد وزن کلی قیر)برای کاهش مقدار قیر مورد نیاز آسفالت

مثال: گوگرد لیگنین[5]

ج- لاستیک[6] ها: اهداف کلی کاربرد: ■افزایش سختی مخلوطهای آسفالتی در دماهای بالای سرویس

■افزایش الاستیسیته مخلوط آسفالتی در دماهای متوسط سرویس برای مقاومت در برابر ترکهای خستگی ■کاهش سختی مخلوط آسفالتی در دماهای پایین برای مقاومت در برابر ترکهای حرارتی

مثال: لاتکس طبیعی ،لاتکس مصنوعی (لاتکس پلی کلروپرین[7]) ، بلوک کوپلیمربرای مثال استایرن-بوتادین-استایرن یا SBS[8] ، لاستیک بازیافت شده برای مثال خرده لاستیکهای تهیه شده از تایرهای کهنه

د: پلاستیک[9] ها: (اهداف همسان با لاستیک ها)

---

[1] Filler
[2] Fly ash
[3] Carbon black
[4] Extender
[5] Lignin
[6] Rubber
[7] Polychloroprene latex
[8] Styrene-butadiene-styrene
[9] Plastic

مثال: پلی پروپیلن/ پلی اتیلن (Polyethylene/polypropylene) ، کوپلیمراکریلیت اتیلن (Ethylene acrylate copolymer) ، اتیل‌ونیل‌اکتیت(EVA) (Ethyl-vinyl-acetate) ، پلی ونیل کلراید (PVC) (Polyvinyl chloride) ، اتیلن پـروپیلن (EPDM) (Ethylene propylene)، پلی الفین (Polyolefins)

ه: ترکیبات الاستوپلاستیک[1]:(اهداف همسان با لاستیک ها)

مثال: مخلوطهای لاستیکی و پلاستیکی (Blends of rubber and plastic)

و: الیاف[2] ها: اهداف کلی کاربرد: ■بهبود مقاومت کششی مخلوط آسفالتی گرم ■بهبود چسپندگی مخلوط آسفالتی گرم ■امکان افزایش درصد قیر بدون افزایش مشکل روزدگی[3] قیر

مثال: طبیعی (آزبست ، پشم سنگ) و مصنوعی (پلی پروپیلن ، پلی استر ، فایبرگلاس ، معدنی ، سلولز)

ز: اکسید کننده[4] ها: اهداف کلی کاربرد: افزایش سختی مخلوطهای آسفالتی بعد از قرارگیری مخلوط در محـل مثـال: نمکهای منگنز[5]

ح: آنتی اکسیدان[6] ها: اهداف کلی کاربرد: ■بازیابی قیر آسفالتهای کهنه به مشخصات فعلی ■بطور کلی افـزایش سـختی مخلوطهای آسفالتی

مثال: روغن های جوانساز و بازیافت کننده[7] ، قیرهای طبیعی و سخت

ط:مواد ضد عریان شدگی[8]: اهداف کلی کاربرد: به حداقل رساندن عریان شدن سنگدانه ها از پوشش قیری مثال: آمینه ها ، آهک

ی: ضایعات[9] : اهداف کلی کاربرد: جایگزینی حجمی از سنگدانه یا قیر با محصولات ارزان تر

مثال: ایزوگامهای قدیمی ، تایرهای بازیافتی ، شیشه

ک: نانو ذرات: اهداف کلی کاربرد: با توجه به تنوع ، اصلاح نقاط ضعف و یا تقویت خواص عمومی آسفالتها نظیـر افـزایش مقاومت کششی ، کارایی، دوام و...

مثال: نانو رس ها، نانو لوله های کربنی ، میکرو فیلرها، نانو کامپوزیت ها، نانو ذرات .....

۸-۲- قیرهای اصلاح‌شده‌با پودر لاستیک

این‌قیرها از اختلاط پودر لاستیک‌های بازیافتی و در صورت لزوم افزودنی‌های‌معدنی و یا مواد الیافی دیگر با قیرخالص تهیه می‌شوند و باید با مشخصات ASTMD -٦١١٤ مطابقت‌داشته باشند. قیرهایی که به این طریق اصلاح می‌شوند از نظر کندروانی به سه گروه I الی III بترتیب با غلظت زیاد تا کم تقسیم می‌شوند. پودر مصرفی باید با قیر داغ آنچنان مخلوط شده و واکنش نشان دهد که ذرات لاستیک قبل از مصرف قیر به اندازه کافی متورم و منبسط شده باشند. وقتـــی کـــه قیر اصلاح شده با پودر لاستیک برای آسفالت گرم مصرف می‌شود، درصد الیاف موجود در آسفالت نباید از ۰.۵ و چنـانچـــه ایـــن قیر برای قیرپاشی بکار گرفته شود، درصد الیاف نباید از ۰.۱ درصد وزنی پودر لاستیک بیشتر باشد.

---

[1] Rubber-Plastic Combinations
[2] Fiber
[3] draindown
[4] Oxidant
[5] Manganese salts
[6] Antioxidant
[7] Recycling and rejuvenating oils
[8] Antistripping Agents
[9] Waste Materials

۸–۳– قیرهای اصلاح‌شده با موادشیمیایی تثبیت‌کننده

این قیرها از افزودن مواد شیمیایی تثبیت‌کننده به قیرهای خالص تهیه می‌شوند و باید با مشخصات ASTM D6154 مطابقت داشته باشند قیرهای اصلاح‌شده با این مواد یا اصلاح‌کننده‌های دیگری‌که ویژگیهای مندرج در مشخصات فوق را تأمین نمایند، درچهارگروه قیر بادرجه نفوذ۱٤۰– ۱۸۵تا قیر با درجه نفوذ ۳۵– ٦۵ تقسیم می‌شوند.

۸–۴– قیرابه کاتیونیک زودشکن اصلاح‌شده باپلیمر

این قیرابه ها با مصرف پلیمرهای جامد و یا مایع و در دو نوع بشرح زیر تهیه می‌شود:

الف – قیرابه اصلاح شده CRS-2P که از افزودنSB یا SBS و پلیمر به قیرابه تهیه شده با قیر خالص، بدست می‌آید.

ب– قیرابه اصلاح شده CRS-2L که از افزودن لاتکس SBR لاتکس پلی‌کلروپرن به قیرابه تهیه شده با قیر خالص بدست می‌آید. این قیرابه‌ها باید با مشخصات AASHTO M– ۳۱٦ مطابقت داشته باشند.

۸–۵– پروتیلن ترفتالات (PET)

برای آب و هوای سرد نظیر غرب ایران بعلت خاصیت الاستیسیته قیر در دماهای پایین و همچنین بارگذاری سنگین احتمال شکنندگی و ترک‌برداری آسفالت در چنین مناطقی محتمل می‌باشد.

بنابراین یک عملکرد بالای روسازی جاده ها به قیری نیاز دارد که در مقابل اثر چرخ (شیار) در دمای بالا و یا برای ترک در دماهای پایین از حسایت کمتری برخوردار باشد و ضمناً می بایستی سنگریزه ها را بخوبی پوشش دهد.

اضافه کردن مواد پلیمری به قیر خواص رئولوژیکی قیر را بهبود ساخته و نهایتاً عملکرد روسازی جاده‌ها را برای دماهای کم و بیش بالا با افزایش مقاومت ترکیب در مقابل شکست خستگی و شکست حرارتی– تغییر شکل دائمی و ماندگار را اصلاح کرده و عملکرد سرویس‌دهی را بهبود بخشد.

استفاده از پلیمرها با افزایش مدول برشی و کاهش خاصیت پلاستیسیته در دماهای بالا و یا افزایش مقاومت در مقابل شکست حرارتی برای دماهای پایین و کاهش تغییر شکل دائمی و ماندگار زیر بارها و بخصوص در اثر چرخ و شیار کاربرد دارد که باعث چسبندگی بیشتر سنگریزه‌ها می‌گردد. همچنین اصلاح کننده‌ها با بهبود چسبندگی و خواص زبری قیرها هزینه چرخه عمر را کاهش داده و طرح بهینه، عملکرد روسازی جاده ها را افزایش می‌دهند ولی با این وجود سعی می‌شود حتی‌الامکان از پلیمرهایی بعنوان اصلاح‌کننده‌های قیری استفاده شود که از درصد کمتری برای بهبود قیر و نهایتاً از نقطه نظر اقتصادی و محیط زیست مقرون به صرفه باشد که در این خصوص می‌توان از موادی نظیر خرده لاستیک‌های تایرهای پلیمری مانند پروتیلن ترفتالات (PET) بعنوان راه حلی برای رفع مشکل مواد زائد و برای اصلاح کیفیت روسازی بهره‌مند شد. در زیر به یک نمونه از مطالعات صورت گرفته در این خصوص صرفا بسبب آشنایی اشاره میگردد.

۸–۵–۱– مواد

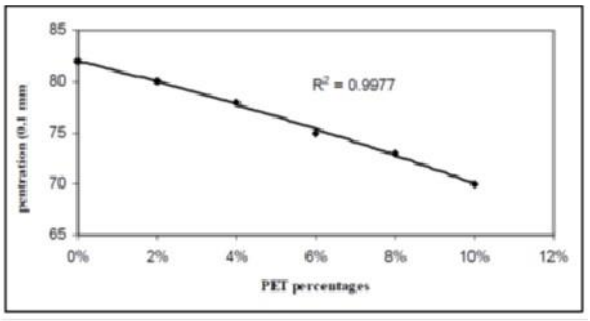
مواد قیری مورد استفاده برای آزمایشات آزمایشگاهی با درجه نفوذ ۸۵/۱۰۰ مطابق با خصوصیات جدول ۸–۱ می باشد

جدول(۸–۱):خصوصیت های قیر مورد نظر برای انجام آزمایشات

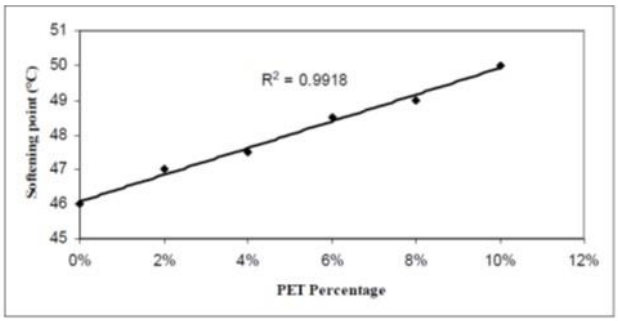
آزمایش	نتیجه آزمایش
انگمی (cm)	< ۱۰۰
درجه نفوذ (0.1 mm)	۸٤ –۱۰۰
نقطه نرمی °C	٤٦
وزن مخصوص(g/cm3)	۱.۰۳

۸–۵–۲– آزمایشات

با استفاده از پروتئیلن تر فتالات PET بمقدار ۱۰٪، ۸٪، ٦٪ ، ٤٪ و ۲٪ برای قیر با درجه نفوذ ۸۵/۱۰۰ نمودار (۸–۱) حاصل می گردد. این نمودار بخوبی موید آن است که با ازدیاد PET مقدار درجه نفوذ با کاهش روبرو بوده و قیر سختر و سفت تر می‌گردد.



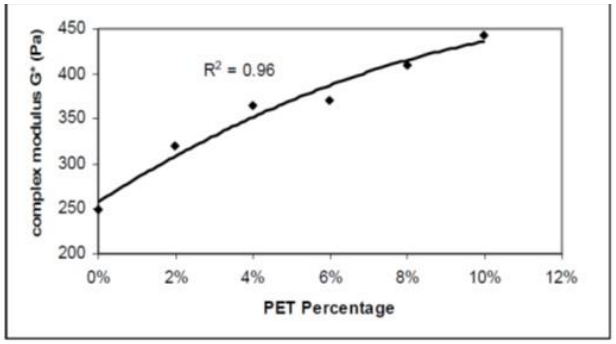
شکل(۸–۱):نمودار درجه نفوذ بر حسب درصدهای مختلف PET



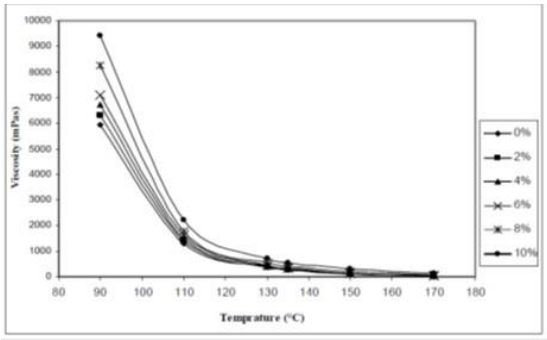
شکل (۸–۲):نمودار نقطه نرمی بر حسب درصدهای مختلف PET

همچنین نمودار ۸–۲ نشانگر آن است که با استفاده از پروتیلن تر فتالات PET با درصدهای متفاوت برای قیر با درجه نفوذ ۸۵/۱۰۰ مقدار نقطه نرمی قیر را با افزایش مواجه می سازد.

مطابق آزمایشات انجام شده بر اساس درصدهای مختلف PET برای قیر مورد نظر یعنی ۸۵/۱۰۰ جهت انجام آزمایش ویسکوزیته مطابق نمودار ۸–۳ می‌توان نتیجه گرفت که با افزایش PET مقدار ویسکوزیته نیز با افزایش همراه می‌باشد بقسمی که با مصرف ۱۰ درصدPET مقدار ویسکوزیته قیر اصلاح شده نسبت به حالت عادی در دمای ۱۳۵ درجه را تا دو برابر افزایش می‌دهد .



شکل(۸–٤):نمودار مدول برشی بر حسب درصدهای مختلف PET



شکل (۸–۳):نمودار ویسکوزیته بر حسب دما

۸–۶– اصلاح کننده پلیمری SBS

برای آب و هوای گرم بعلت خاصیت ویسکوز قیر می بایستی از قیرهای سخت با درجه نفوذ پایین و با کند روانی بیشتر و قیر غلیظ استفاده نمود و عملاً برای آب و هوای گرم از قیر ٦۰/۷۰ و برای آب و هوای بسیار گرم از قیر ٤۰/۵۰ استفاده می شود. از طرفی یکی از مهمترین مکانیسم های فرسایش و خرابی روسازی‌ها، شکست خستگی می‌باشد. خستگی حالتی از تکرار بار و ترافیک می باشد که در اثر ایجاد ترک و انتشار ترک و نهایتاً شکست در مواد بصورت رشد ترک های ناهمگون اتفاق می افتد. همچنین عموماً با وجود خاصیت ویسکوز، قیر تحت بارهای سنگین و افزایش دما در طول تابستان میتواند نرم شده و در نتیجه سختی آن پایین آید.

برای مقابله با این پدیده ها می‌توان با افزودن اصلاح کننده ها نظیر سولفور و پلیمرها به قیر که خاصیت الاستیکی دارند، قیر را اصلاح کرد و در نتیجه ترکیب بتن آسفالتی نیز به تبع آن اصلاح شده و کارآیی بهتری در مدت زمان بهره برداری خواهد داشت.

در یک مطالعه خاص و در این خصوص جهت اصلاح قیر و بهبود و عملکرد مناسب بتن آسفالتی گرم تحت آب و هـوای گـرم از اصلاح کننده پلیمری SBS برای قیر ۶۰/۷۰ مطابق شرایط زیر مورد استفاده قرار گرفته است.

۸–۶–۱– مصالح

سنگدانه های درشت و ریز دانه و فیلر مورد استفاده در ترکیب بتن آسفالتی دارای خواص مطابق با جدول ۸–۲ می باشد.

۸–۶–۲–قیر:

خواص فیزیکی قیر اصلاح شده با SBS یا پلیمر PMB70 با درجه نفوذ قیر ۶۰/۷۰ شرایط جدول(۸–۳) را دارا می باشد.

جدول(۸–۲):خواص سنگدانه های مورد استفاده در مطالعه حاضر

Property	BIS Test Method	AC 60/70	PMB-70
Penetration 25°C (100 g, 5 s),0.1mm	IS 1203-1978	66	68.67
Softening point(Ring and Ball),°C, Minimum	IS1205-1978	43.75	63
Ductility at 27°C (5 cm/min pull), minimum	IS 1208-1978	79	100
Elastic recovery(15°C), %, minimum		-	81
Specific gravity	IS 1202	1.01	1.03

جدول(۸–۳):خواص فیزیکی قیر

Properties Tested	Test Results	MOSRTH Specification
Crushing Value	33.2%	45% max
Aggregate Impact Value	28.1%	30% max
Los Angeles Abrasion Value	13.7%	30% max
Water Absorption Value	0.85%	2% max
Specific Gravity	2.65	2.5 – 3.0
Combined (EI + FI) Index	20.2%	30% max

۸–۶–۳–آزمایشات:

مقدار ویسکوزیته برای دو قیر اصلاح شده با SBS و قیر غیر اصلاح شده بر اساس سرعت ثابت دورانی بیست دور در دقیقـه توسط دستگاه بروکفیلد و در دماهای ثابت مطابق جدول (۸–٤) می باشد .

جدول(۸–٤):مقایسه مقدار ویسکوزیسته قیر اصلاح شده SBS و معمولی بر حسب مقادیر مختلف دما

Temperature (°C)	Viscosity	
	Neat(60/70)	PMB 70
60	1023(poise)	
135	0.83(pa·s)	1.6(pa·s)
150	0.48(pa·s)	0.875(pa·s)

آزمایش استقامت مارشال برای ترکیب اصلاح شده با SBS در مقایسه با ترکیب غیر اصلاحی و معمولی مطابق جدول (۸–۵) از افزایش ۲۵ درصدی برخوردار می باشد .

جدول(۸–۵):خواص حجمی بهینه قشر بیندر

Binder type in mix	% OBC	Stability (kN)	Flow	Air (mm)	VMA voids(%)	VFB (%)
60/70	4.75	18.55	2.95	3.50	75	14.91
PMB-70	5.0	23.50	3.10	3.14	74	15.70

در سنجش اثر SBS بر آزمایش خستگی، هرگاه تعداد سیکل های شکست تحت بارگذاری معین برای ترکیب بـتن آسـفالتی برابر $N_F(AC)$ و برای ترکیب بتن آسفالتی اصلاح شده با پلیمر SBS برابر $N_F(PMB)$ فرض شود در ان صورت می تـوان ضـریب اثر شکست را بصورت زیر تعریف کرد:

$$EF = \frac{N_F(PMB)}{N_F(AC)} \qquad (۱–۸)$$

آزمایشات نشان می دهد ضریب اثر شکست با استفاده از SBS در مقایسه با حالت عادی با افزایش دما ترقی می کند. بقسمی که ترکیب های بتن اسفالتی اصلاح شده با SBS اثر بار بهتری در حدود ۱/۲ تا ۲/۱ برابر در مقابل ترک های ابتدایی نسبت به ترک های بتنی آسفالتی معمولی را دارا می باشند.

همچنین مقدار مدول ارتجاعی با افزایش دما از ۳۰ تا ٤٠ درجه سانتیگراد همراه با کاهش می باشد بدیهی است مقدار استقامت مارشال نیز با افزایش دما سیر نزولی دارد.

ولی با استفاده از SBS جهت اصلاح قیر مقدار مدول ارتجاعی در جهت افزایش دما ضمن کاهش با بهبود همراه می باشد بقسمی که سختی مطلوب تری نسبت به بتن آسفالتی غیر اصلاح شده را دارا می باشد همچنین در این خصوص مقدار استقامت مارشال نیز بمقدار ۲۵٪ با بهبودی نسبی برخوردار می باشد.

جدول(۸-٦): اثر اصلاح کننده SBS برای ترکیب

درجه حرارت (°C)	سیکل خستگی		فاکتور تاثیر
	PMB 70	BC 60/70	$\frac{N_f(PMB)}{N_f(AC)}$
30	24257	20123	1.21
35	14714	8217	1.79
40	4231	2019	2.1

در آزمایش تغییر شکل دائمی، نمودارهای زیر تغییر شکل پلاستیکی افقی(HPD) و تغییر شکل پلاستیکی قائم (VPD) برای اصلاح کننده پیلمری SBS به عنوان تابعی از تعداد سیکل ها را نشان می دهد همچنین مشاهده می شود تغییر شکل های افقی و قائم عامل اصلی برای ترک‌های خستگی و اثر چرخ (شیار) برای ترکیب‌های بتنی آسفالتی بشمار می‌آید. لذا با افزایش مقاومت تغییر شکل پلاستیک طول عمر خستگی و مقاومت اثر چرخ نیز با افزایش قابل توجهی مواجه خواهد گردید.

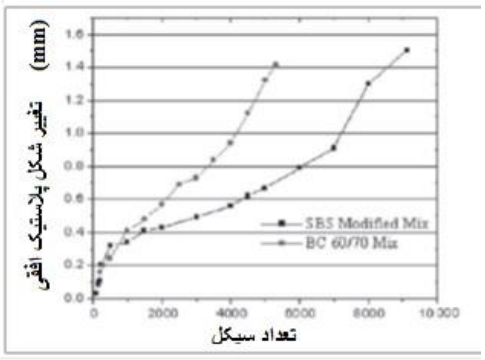
۸-۶-۴- بررسی مکانیسم شکست

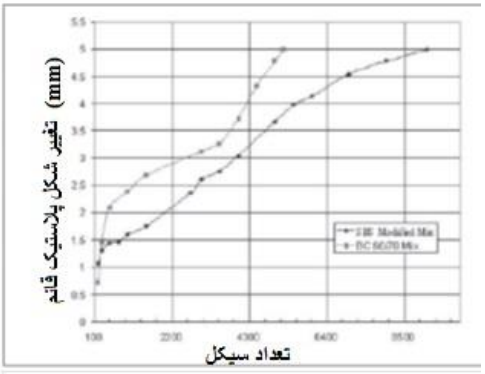
نمودار زیر تغییرات طول ترک را بر حسب تعداد سیکل ها را در دمای معین و ثابت٤٠ درجه سانتی گراد را نشان می دهد مطابق این نمودار ترک ها برای ترکیب بتن قیری با ۱۳۰ سکیل شروع شده و خیلی سریع گسترش می یابد بقسمی که تا ۲۲۳ سیکل ترکیب با شکست مواجه می شود.

ولی برای ترکیب اصلاح شده با SBS، ترک ها از ۲۲۷ سیکل شروع و در ۳۹٤ سیکل به شکست نهایی می‌رسد لذا چنین به نظر می رسد که شروع ترک های ابتدایی و مدت زمان انتشار برای ترکیب اصلاحی SBS نسبت به قیر عادی از بهبود نسبی برخوردار می باشد.

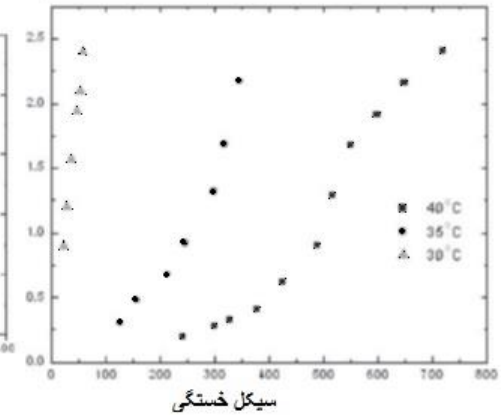
جدول(۸-۷):نتیجه آزمایش کشش غیر مستقیم بار تناوبی و تکراری

درجه حرارت (°C)	ضریب برجهندگی (MPa)	عمر خستگی	تنش کششی اولیه
مخلوط آسفالتی خالص			
Marshall specimens			
30	1,653	19,167	91
35	987	8,168	112
40	614	1,919	129
SGC Specimens			
30	1,710	20,123	93
35	1,264	8,217	121
40	946	2,079	135
بتن آسفالتی اصلاحی با پلیمر			
Marshall specimens			
30	2,046	22,257	56
35	1,569	14,200	83
40	1,132	3,633	101
SGC Specimens			
30		24,257	43
35	1,710	14,714	77
40	1,231	4,231	95

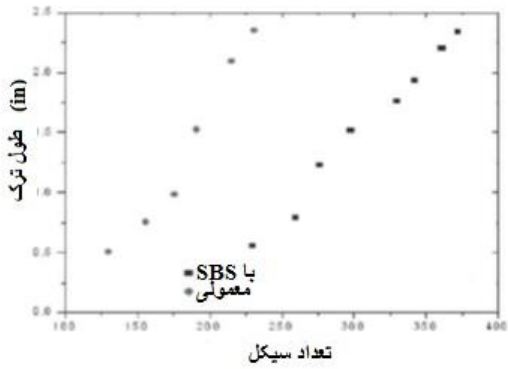




شکل(۸-۵):ارتباط تجمعی تغییر شکل پلاستیک افقی و قائم با تعداد سیکل های شکست



شکل(۸-۷):نمودار طول ترک بر حسب سیکل‌های شکست تعداد سیکل‌های برای دمای ۳۰ و ۳۵ و ۴۰ درجه سانتی گراد



شکل(۸-٦):نمودار طول ترک بر حسب شکست در دمای ٤٠ درجه

همچنین نمودار شکل(۸-۷) اثر دما بر طول ترک را برای ترکیب بتن آسفالتی اصلاح شده SBS در دماهای متفاوت بعنوان تابعی بر حسب سیکل های شکست را نشان می دهد.

مناطق خشک و کویری نظیر نقاط مرکزی فلات ایران بعلت بارش اندک همراه با تبخیر شدید، دور بودن از دریا با رطوبت نسبی کم توام با گرمای شدید هوا از عواملی است که شرایط آب و هوایی کویری را تشکیل می دهد. همچنین در مناطق کویری عموماً اختلاف درجه دما در زمستان و تابستان و حتی در شب و روز بسیار زیاد بوده بقسمی که اختلاف دما در شب و روز به ٤٠ الی ٥٠ درجه سانتی گراد بالغ می‌شود که این امر را شاید ناشی از وجود ماسه، که هوا در بین ذرات آن قرار گرفته و بشکل عایق عمل می کند، تلقی کرد. در نتیجه گرم شدن سریع و سرد شدن سریع در سطح کویر در شب و روز را منجر می شود. لذا در چنین خصوصیت آب و هوایی و با توجه به خاصیت ویسکو الاستیسیته قیر و همچنین افت وزنی قیر در اثر تبخیر مواد روغنی آن تحت

دمای بسیار بالا و علی الخصوص بعلت خاصیت حساسیت حرارتی قیر که برای آب و هوای کویری با اختلاف دمای بسیار زیاد شب و روز و بالاخص برای فصل زمستان که تغییرات دما عموماً ما بین (۲۵تا۲۰-) متغیر می باشد مواجه می باشیم، لذا این تغییرات دمایی در طول شب و روز می تواند بر درجه نفوذ قیر و کند روانی قیر و یا با بیان خیلی ساده‌تر بر سختی و کندروانی قیر تاثیر بگذارد و بنابراین هر چقدر تغییر کند روانی یا سفتی قیر در مقابل تغییرات دما بیشتر باشد حساسیت حرارتی قیر نیز زیاد خواهد بود و لذا این تغییرات به نوبه خود می‌تواند بر دوام و پایداری مخلوط‌های بتن آسفالتی جاده‌های انعطاف‌پذیر تاثیرپذیر باشد. لذا بدیهی است برای چنین شرایطی بخصوص استفاده از اصلاح‌کننده‌های مناسب قیری نظیر SBS ضمن بهبود و عملکرد روسازی آسفالتی، با افزایش طول عمر خستگی و کاهش حساسیت قیری و کاهش تغییر شکل ماندگار الزامی به نظرمی‌آید.

طبق آزمایشات انجام یافته برای مدول ارتجاعی و طول عمر خستگی برای اصلاح خواص فیزیکی و رئولوژیکی قیر با استفاده از SBS و حالت عادی (بدون استفاده از SBS) می توان روابط زیر داشت

۱. مدول ارتجاعی با استفاده از اصلاح کننده SBS

$$M_{rSBS}(t) = 0.8t^2 - 147.4t + 5784 \qquad (۲-۸)$$

$$t > 25$$

۲. مدول ارتجاعی بدون استفاده از اصلاح کننده SBS

$$M_r(t) = 5.86t^2 - 514.1t + 11802 \qquad (۳-۸)$$

$$t > 25$$

۳. حال با توجه به روابط فوق می‌توان جدول ۸-۸ را داشت:

جدول (۸-۸):تغییرات مدول ارتجاعی با دما با و بدون استفاده از اصلاح کننده SBS

دما	مدول ارتجاعی بدون اصلاح کننده SBS	مدول ارتجاعی با اصلاح کننده SBS
۳۰	۱۶۵۵	۲۰۴۶
۳۵	۹۸۷	۱۵۶۹
۴۰	۶۱۴	۱۱۳۲
۴۵		۷۳۵
۴۷		۶۲۳

همانطوریکه از جدول بالا مشخص است مقدار مدول ارتجاعی بدون استفاده از SBS در دماهای بالا در حدود ۳۰ تا ۴۰ درجه سانتی گراد در بازه $614 < M_r < 1655$ تغییر می کند همچنین با استفاده از SBS به مقدار ۶٪ مقدار مدول ارتجاعی در بازه $1132 < M_r < 2046$ تغییر خواهد کرد. همچنین با توجه به جدول بالا مشخص میشود مقدار مدول ارتجاعی در دمای ۴۷ درجه سانتی گراد با استفاده از SBS با مدول ارتجاعی همان نمونه قیر بدون استفاده از SBS، با هم یکسان بوده و تقریباً برابر ۶۲۰ مگا پاسکال می‌باشد از مطلب اخیر میتوان چنین استنباط کرد که استفاده از SBS کیفیت ترکیب بتن آسفالتی گرم را از لحاظ دما، جهت عملکرد بهینه ترکیب بتن آسفالتی بمقدار ۷ الی ۸ درجه سانتی گراد بهبود می‌بخشد. لذا با استفاده از SBS بمقدار ۶٪ از حساسیت قیر بشدت کاسته شده وحساسیت حرارتی قیر بمقدار ۲.۷ الی ۳ برابر بهبود می‌یابد این بهبود کیفیت و عملکرد روسازی را، برای مناطق کویری با کاهش حساسیت حرارتی قیر را می‌توان چنین تعبیر کرد که قیر تحت دماهای بسیار بالا همانند روزهای کویری که از تابش آفتاب بهره مند می شود حالت ویسکوز داشته در نتیجه استفاده از SBS مقدار مدول ارتجاعی

را افزایش داده و بر سختی آن می افزاید. و نهایتاً ترکیب آسفالتی را اصلاح کرده و بر عملکرد و کیفیت آن جاده های انعطاف پذیر آسفالتی را بهبود می‌بخشد.

۸-۷-فایبر گلاس

همانطوریکه می‌دانیم هر چه از عمر آسفالت می‌گذرد بعلت خاصیت سخت شدگی قیر در زمان خدمت‌دهی و بمرور زمان مقدار آسفالتین بتدریج افزایش یافته واز خاصیت رزینی و ترکیبات آروماتیکی قیر کاسته می‌شود.

و این امر موجب کاهش چسبندگی قیر به مصالح سنگی خواهد شد لذا در مناطق باران خیز نظیر شمال کشور و نیز مناطقی که درصد رطوبت در آنجا بالاست و یا به دلایلی سطح آبهای زیرزمینی بالا می‌باشد بعلت عدم زهکشی مناسب، احتمال نفوذ آب، به داخل آسفالت شدیدتر بوده و نهایتاً سطح آسفالت با خرابی مواجه خواهد بود. بنابراین استفاده از آسفالت ماستیک با مقاومت مکانیکی بالا و و دارای پتانسیل در مقابل فشارهای بیش از حد سازه‌ای برای جاده ها در اثر افزایش بار ترافیکی و نداشتن فضای خالی برای جلوگیری از نفوذ آب، لازم به نظر می‌رسد.

در این خصوص استفاده از فیبرها برای بهبود عمر خستگی بوسیله افزایش مقاومت در برابر ترک و تغییر شکل دائمی و بخصوص در مقابل فشارها و تنش های بالا موثر می‌باشد. همچنین فیبرها برای جلوگیری نشست آسفالت ها و بخصوص برای ترکیبات با دانه بندی باز و آسفالتیک ماستیک (SMA) موجب تثبیت و تحکیم آسفالت می‌گردند. فیبرها ویسکوزیته ترکیب‌ها، حساسیت رطوبتی، مقاومت اثر چرخ، اثر تاثیرپذیری ترک در ترکیبات آسفالتی و جاده‌ها را تغییر می‌دهد.

از میان فیبرهای قابل مصرف، فایبرگلاس عملکرد مناسب‌تری از خود نشان داده است، دیگر فیبرها با حساسیت در مقابل نفوذ آب و یا نظیر مفتول‌های فلزی با حساسیت در مقابل زنگ‌زدن و یا فیبرهای آزبستی با مضر بودن از لحاظ سلامتی، قابلیت چندانی ندارد و سایر اصلاح کننده‌های فیبری نیز برای تقویت دراز مدت مناسب نبوده و مقاومت را کاهش می‌دهند. از طرف دیگر فایبرگلاس می تواند ملات آسفالت را تثبیت کرده و ویسکوزیته را افزایش داده و با افزایش حجم قیر مانع جلوگیری جدا شدن سنگ دانه ها از قیر بشود و همچنین فایبرگلاس ترکیب را همگن و هموژن کرده و گیرداری و فرو رفتن دانه ها و اصطکاک دانه‌ها را به حداکثر ممکن می‌رساند و شرایطی را فراهم می‌سازد که سازه مقاومت و استحکام داشته باشد ضمناً فایبرگلاس با هزینه قابل رقابت با سایر اصلاح کننده‌ها و با کاهش هزینه‌های نگهداری از مزیت نسبی برخوردار می‌باشد.

موارد ذکر شده در فوق از مزایای اصلاح کننده فایبرگلاس بر روی آسفالت ماستیک با قیر ۸۵/۱۰۰ به ثبوت رسیده است.

۸-۷-۱- مواد

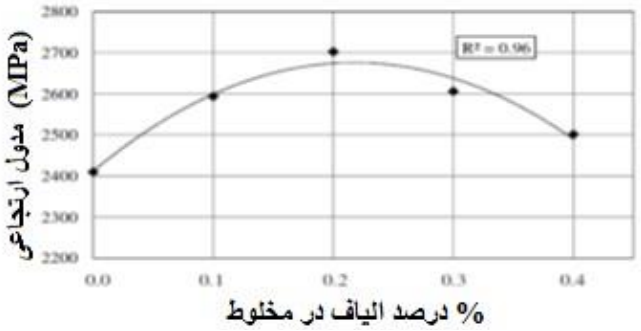
مصالح مورد استفاده ، قیر با درجه نفوذ ۸۵/۱۰۰ و سنگ‌دانه‌ها با دانه‌بندی اسمی تا سایز ۲۰ میلیمتر و سیمان پرتلند و فیلر و فایبرگلاس را شامل می‌شود.

جدول(۸-۱۰):انتخاب دانه بندی سنگ دانه ها برای آسفالت ماستیک

سایز الک(mm)	۲۰	۱٤	۱۰	٦.۳	۲.۳٦	۰.۳	۰۰.۷۵
درصد عبوری %	۱۰۰	۹۵	۷۵	۵۰	۲٦	۱۳.۵	۸

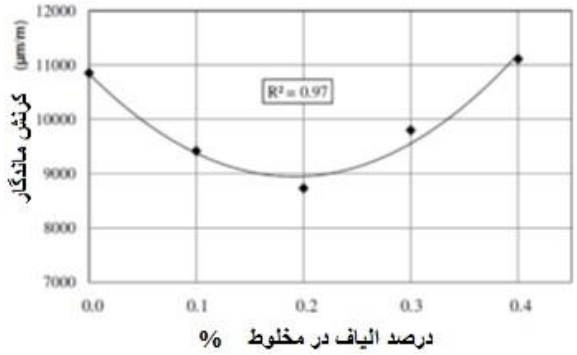
۸-۷-۲-آزمایشات

فیبرها عموماً و بطور کلی ذرات سنگدانه‌ها را در اطراف خمیر و ملات قیری را احاطه کرده و از حرکت آنها جلوگیری می‌نماید و بقسمی که به ترکیب سختی می‌دهند ولی به هر حال افزایش مدول ارتجاعی تا یک مقدار معین ۰/۲ درصد فایبرگلاس برای ترکیب‌های آسفالتیک ماستیک مطابق شکل زیر می‌باشد.

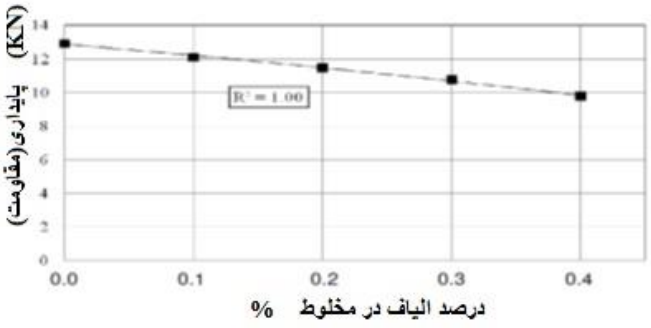


شکل(۸-۸): مدول ارتجاعی بر حسب مقادیر مختلف فایبرگلاس

در آزمایش کرنش ماندگار و دائمی، همچنین مطابق آزمایشات انجام یافته شده برای درصدهای متفاوت ۰/۱ ، ۰/۲، ۰/۳، ۰/٤ درصد فایبرگلاس برای آسفالت ماستیک نمودار(۸-۹) حاصل شده است بقسمی که مشاهده می‌گردد با استفاده از ۰/۲ درصد فایبرگلاس برای آسفالت ماستیک مقدار کرنش و دائمی و ماندگار می‌نیمم مقدار ممکنه را دارا می‌باشد.



شکل(۸-۹):نتیجه کرنش ماندگار بر حسب مقادیر مختلف فایبرگلاس



شکل(۸-۱۰):نتیجه استقامت مارشال بر حسب مقادیر مختلف فایبرگلاس

آزمایشات نشان می‌دهد از آنجائیکه مصرف فایبرگلاس به نقاط تماس بین‌دانه‌ای سنگریزه‌ها اثر می‌کند لذا عموماً مقدار استقامت مارشال قدری پایین می‌آید.

۸-۸- تاثیر نانورس و کربنات کلسیم رسوبی در اصلاح مشخصات و رفتار رئولوژیکی قیر

در خصوص تأثیر بکارگیری نانورس و کربنات کلسیم رسوبی در اصلاح قیر و تغییر مشخصات رئولوژی آن در شرایط مختلف پیر شدگی کوتاه مدت و دراز مدت در مقیاس آزمایشگاه ها مورد بررسی قرار می گیرد. قیر به کار گرفته شده در این پژوهش از نوع ٦٠/٧٠ بوده که مشخصات رئولوژیکی و فیزیکی آن در جدول (۸-۱۱) آمده است.

جدول(۸-۱۱): مشخصات فیزیکی و رئولوژی قیر

نوع آزمایش	استاندارد	نتیجه آزمایش
نقطه نرمی	ASTM D36	٥٤ درجه
نفوذ در دمای ۲۵ درجه	ASTM D5	٦٣ دسی میلیمتر
درجه اشتعال	ASTM D92	۲٥۹ درجه
نشانه نفوذ	**	+ ۰/٤
شکل‌پذیری در دمای ۲۵	ASTM D113	بیش از ۱۰۰ سانتیمتر
نقطه شکست فراس	**	١٤
افت حرارتی	ASTM D6	۰/۰٥ درصد
چکالی در دمای ۲۵ درجه	ASTM D70	۱/۰٤٥
قابلیت حل در سولفورکربن	ASTM D4	حداقل ۹۹/٥ درصد وزن
مالتین	**	۷٥ درصد
آسفالتین	**	۲۷/۲ درصد
** بر اساس اطلاعات شرکت تولید کننده (نفت پاسارگاد)		

۸–۹–تاثیر کربنات کلسیم رسوبی در اصلاح قیر

کربنات کلسیم رسوبی از ترکیباتی است که به وفور در اصلاح پلیمرها به کار گرفته می شود اما ابعاد آن در مقیاس نانو نبوده و انتظار می رود این ترکیب بتواند تاثیر موثرتری بر رفتار قیر و مخلوط آسفالتی گرم داشته باشد. مشخصات فیزیکی و هندسی کربنات کلسیوم رسوبی مطابق جدول (۸–۱۲) می باشد.

۸– ۹–۱–اصلاح قیر با کربنات کلسیم رسوبی:

از لحاظ شیمیایی کربنات کلسیم توسط پکتین ها یعنی رنگ های آلی گیاهی پوشش داده می شود فیلم بسیار نازک این پوشش ۲ تا ٤ میکرون بر روی ذرات بسیار ریز PPC می تواند در حرارت بالا و با اختلاط کافی و مناسب قیر غیر اشباع را اشباع نماید علاوه بر آن کربن های آزاد شده با پر کردن فضاهای خالی، با زنجیره های قیر، پیوندهای قوی ایجاد می کند که باعث افزایش ویسکوزیته و بالا رفتن چسبندگی قیر با سنگدانه می شود، باقیمانده ذرات کربنات کلسیم که در واکنش شیمیایی وارد نمی شوند می توانند دانه بندی مصالح فیلر را کامل کند و بخش بسیار ریز منحنی دانه بندی را پوشش دهد همچنین بررسی ها نشان داده است که پدیده بیرون زدگی در مناطق گرمسیر استفاده از این نوع اصلاح کننده ها پیش می آید که علت آن ایجاد حفره هایی در ابعاد میکرو در قیر است.

شکل(۸–۱۲):مشخصات فیزیکی و هندسی کربنات کلسیم رسوبی

نوع آزمایش	استاندارد	مقادیر اندازه‌گیری شده
چگالی ویژه	ASTM C188	۲/۷
وزن مخصوص ظاهری	ASTM C168	۱۸۹۰ kg/m^3
سطح ویژه	ASTM C204	٦۲۰۰ cm^2/g
pH	pH سنج	۸/۹
وزن مولکولی		۱۰۰/۱ گرم
قطر متوسط ذرات	**	٤ تا ۱۵ میکرون
گرمای ویژه	**	۰/۱۹
نقطه جوش	**	۸۹۹ درجه سانتیگراد
نقطه ذوب	**	۱۳۳۹ درجه سانتیگراد
نوع کریستال	**	شش ضلعی-کلسیت و آراگونیت
بافت سطحی	**	نرم – چین‌دار
**بر اساس اطلاعات تولیدکننده		

آزمایشات: به منظور ارزیابی تأثیر اصلاح کننده ها بر مشخصات رئولوژیکی قیر و آزمایش های مختلفی چون درجه نفوذ، نقطه نرمی و شکل پذیری در شرایط مختلف پیر شدگی (بدون در نظر گرفتن اعمال پیر شدگی کوتاه مدت و دراز مدت). روش RTFOT استاندارد ASTM D2782 و پیر شدگی دراز مدت بروش PAV استاندارد ASTM D6521 انجام شدند.

۸–۹–۲–نتیجه گیری:

کربنات کلسیم رسوبی در نسبت های وزنی ۱۰ و ۲۰ و ۳۰ درصد با قیر اختلاط یافته و سپس آزمایشات مختلف بر روی نمونه ها انجام شدند با تعریف شاخص های متعددی چون پایداری نفوذ، افزایش نقطه نرمی، تغییرات شکل پذیری، تاثیر نوع و مقدار اصلاح کننده در تغییر و رفتار رئولوژیکی در شرایط مختلف پیر شدگی با قیر خالص مورد ارزیابی قرار می گیرد.

در این خصوص با افزودن کربنات کلسیم رسوبی از ۱۰ به ۳۰ درصد شاخص پایداری نفوذ تا ۲۵ درصد، شاخص پایه ای نقطه نرمی تا ٦۰ درصد و شاخص پایداری شکل پذیری تا ٤۰ درصد دچار تغییر می شوند در خاتمه شایان ذکر است کربنات کلسیم رسوبی با داشتن ترکیبات آهکی و پوشش مواد آلی فعالیت بسیار شدیدتری با قیر دارد و جذب ترکیبات قطبی قیر می شود. کربن های آزاد شده از پوشش آلی در این اصلاح کننده ترکیبات غیر اشباع قیر را اشباع می کند و با پر کردن منافذ خالی، ویسکوزیته و چسبندگی قیر را افزایش می دهد.

۸-۱۰- تاثیر نانورس در اصلاح قیر

مقدمه: در دو دهه اخیر بهبود رفتار با استفاده از مصالح در مقیاس نانو رشد روز افزونی داشته است. مواد نانو به موادی گفته می شود که حداقل یکی از ابعاد آن (طول – عرض و ضخامت) زیر ۱۰۰ نانومتر باشد مواد نانو کامپوزیت بر پایه پلیمر (ماتریس پلیمری) اولین بار در دهه ۷۰ میلادی معرفی شد که از تکنولوژی سول – ژل جهت انتشار ذرات نانو کانی، درون ماتریس پلیمر استفاده شد.

نانورس کانی های رسی هستند که حداقل یکی از ابعاد آنها در حد نانومتر است و غالباً به عنوان پر کننده به منظور اصلاح خواص پلیمرها به کار گرفته می شوند. استفاده از نانورس ها به دلیل ارزانی و در دسترس بودن در زمینه فناوری نانو بسیار گسترده و قابل رقابت کرده است. نانورس ها سطح ویژه بزرگی دارند و غالباً برای اصلاح خواص مکانیکی مواد پلیمری، آنها را با پر کننده ها تقویت می کنند. خالص بودن و ظرفیت تبادل کاتیونی، دو خصوصیت مهم برای موقعیت نانورس ها به عنوان عاملی استحکام در پلیمرها بشمار می آید. از آنجا که بکارگیری نانورس در اصلاح پلیمرها، بسیار موفقیت آمیز بود، انتظار می رود بکارگیری آنها در اصلاح رفتار قیر نیز بتواند نتایج مثبتی داشته باشد. هر چند قیر تریکبات بسیار پیچیده ای نسبت به پلیمر دارد. مشخصات نانورس در این تحقیق مناسب جدول (۸-۱۳) می باشد.

در یک مطالعه موردی در خصوص نانو رس، اصلاح نانورس با قیر بروش مذاب و دمای مناسب و تحت تنش برشی اعمالی توسط پره دیسکی دندانه دار انجام شد و وقتی قیر تا دمای حدود ۱۵۰ درجه توسط هیتر برقی گرم شده تا به ویسکوزیته مناسب یعنی ۱۷۰ سانتی استوکس برسد سپس در حالی که توسط همزمن به هم زده می شود پودر نانورس بتدریج و توسط نمک پاش به آن اضافه می شود تا از ایجاد توده های نانورس در قیر ممانعت شود.

در زمان اختلاط به علت بالا بردن دما و سرعت پره، نفوذ و تماس حباب های هوا با قیر اجتناب ناپذیر بوده و اکسیداسیون تسریع می‌گردد. بنابراین پارامترهای متعددی شامل زمان، سرعت و دمای اختلاط ثابت در نظر گرفته شده تا پیر شدگی ناشی از اکسیداسیون برای تمام نمونه ها نسبتاً یکسان باشد. پارامترهای اختلاط اصلاح کننده با قیر مطابق جدول (۸-١٤) می باشد.

نتایج حاصل از آزمایش های مختلف در این مطالعه، به وضوح نشان داد که نانورس تغییرات قابل توجهی بر رئولوژی قیر دارد و در تمامی حالات ، درجه نفوذ و خاصیت انگمی را کاهش و نقطه نرمی را افزایش می‌دهد در این خصوص با افزودن هر یک از نانورس ها از ۲ به ۷ درصد شاخص پایداری نفوذ تا ۳۰ درصد، شاخص پایداری نقطه نرمی تا ۷۰ درصد و شاخص پایداری شکل پذیری تا ۵۰ درصد دجار تغییر می شود. بنابراین درصد بسیار اندکی از نانورس به تغییر رئولوژی قیر یعنی کاهش درجه نفوذ و شکل پذیری و همچنین افزایش نقطه نرمی، حساسیت حرارتی قیر را به شدت کاهش می دهد. نانورس در مقایسه با کربنات کلسیم رسوبی، تاثیر بسیار محسوس تری بر مشخصات رئولوژیکی قیر می گذارد بقسمی که سفتی و غلظت ملات قیری با درصد بسیار کمی نانورس، به شدت افزایش می یابد.

جدول(۸-۱۳):مشخصات نانو چند نوع تجاری رس‌های مختلف

مشخصات		Cloisite-15A	Nanofil-15
اصلاح‌کننده آلی		MT2EtOH	NLS
پایه		مونتموریونیت	مونتموریونیت
آنیون		کلراید	کلرید آمونیوم
وزن مخصوص غیرمتراکم (kg/m^3)		۲۳۰	۱۹۰
چگالی		۱/٦٦	۲/۰۱
سطح ویژه m^2/g		۹٤۰۰	۸۷۰۰
غلظت اصلاح کننده (meq/100g)		۹۰	۹۵
نتیجه پرتونگاری با اشعه ایکس		d'=31.5Å	d'=28 Å
حد خمیری		۸۸/۲ درصد	۸۵/۵ درصد
درصد رطوبت		کمتر از ۲ درصد	کمتر از ۳ درصد
کاهش وزن پس از احتراق		۳۰ درصد	۳۵ درصد
قطر ذرات	۱۰ درصد کمتر از	۲ میکرو	۵ میکرو
	۵۰ درصد کمتر از	٦ میکرو	۱۵ میکرو
	۹۰ درصد کمتر از	۱۳ میکرو	۲۵ میکرو
رنگ		سفید	کرم
این جدول براساس اطلاعات شرکت‌های تولید کننده ارایه شده است.			

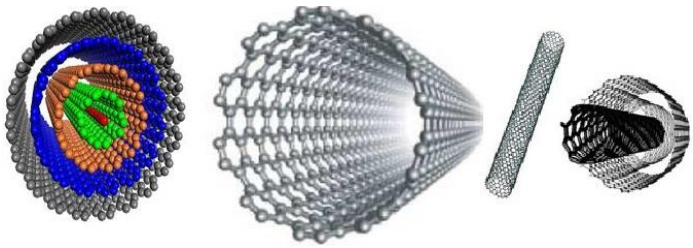
شکل(۸-۱٤): پارامترهای اختلاط اصلاح کننده ها با قیر

نوع پارامتر	کربنات کلسیم رسوبی	نانورس
دمای اختلاط	۱۵۰ درجه	۱۵۰ درجه
ویسکوزیته قیر	۱۹۰-۱۷۰ سانتی استوکس	۱۹۰-۱۷۰ سانتی استوکس
درصد وزنی	۱۰ ، ۲۰ و ۳۰ درصد	۲، ٤ و۷ درصد
سرعت همزن	۳۰۰-۲۵۰ دور در دقیقه	۵۰۰ دور در دقیقه
مدت زمان	۲۰ دقیقه	۲۵-۲۰ دقیقه

. از جمله نانوذراتی که در اصلاح خواص مخلوطهای آسفالتی بکار گرفته شده نانو لوله های کربنی[1] است. نانو لوله های کربنی یک استوانه تو خالی با قطری در حد نانومتر می باشد که دارای خواص ویژه ای از جمله مدول یانگ بالا، استحکام کششی خوب ،قدرت رسانایی گرمایی خیلی بالا ،چگالی سطحی بسیار بالا ،مقاومت کششی بالا(۱۰۰ برابر استیل) و طبیعت کربنی بودن نانو لوله ها(به دلیل این که کربن ماده ای کم وزن ،بسیار پایدار وساده جهت انجام فرآیندها ،که نسبت به فلزات برای تولید ارزان تر می باشد) باعث شد که کاربرد آن در آسفالت مورد توجه قرار گیرد در این طرح از آن به عنوان یک ماده افزودنی واصلاح کننده قیر استفاده شود.

[1] Carbon Nanotubes

از زمان کشف نانولوله های کربنی در سال ۱۹۹۱، این ساختار ها به دلیل خصوصیات منحصر بـه فـرد در زمینـه هـای بسـیار متنوعی مورد توجه قرار گرفته اند. آنها یک ساختار یکپارچه با شبکه های شش وجهی لانه زنبوری با قطر چند نانومتر و طول چند میکرومتر دارند. دو گروه از نانولوله های کربنی وجود دارند: نانولوله های کربنی چند جداره[1] و نانولوله های کربنی تک جداره[2] و نانولوله های کربنی چند جداره را می توان به صورت لوله های گرافنی متراکم و نزدیک به هم بـا لایـه هـای متعـددی از ورقهـای گرافنی تعریف کرد که با حفره ای با قطر به طور معمول ۲ تا ۲۵ نانومتر متحدالمرکز با فاصله ۰.۳٤ نانومتر از هم جدا شده اند.



۸-۱۲- افزودنی های ضد عریان شدگی[3]

جدایش قیر از سطح سنگدانه‌ها در مخلوطهای آسفالتی فرآیندی پیچیده از نظر فیزیکی و شیمیایی است و از جمله خرابی‌های رایج محسوب می گردد، پدیدهٔ عریان شدگی که در اکثر موارد به سبب حضور آب انجـام میگـردد بـه عـواملی چـون عـدم وجـود زهکشی مناسب در لایه‌ها، تراکم ناکافی مخلوط، وجود گرد وغبار و یا رطوبت بر روی مصالح قبل از افزودن قیر، وجود لایه هـای آببند و کم نفوذ در لایه زیرین نظیر لایه بتنی و لایه های ضدآب و آببند [4]، استفاده از آسفالت با دانه بندی باز[5] و نوع و درصد قیر و بالاخره مهمترین عامل نوع و جنس سنگدانه ها، بستگی دارد. معمولاً وجود میزان بالای سیلیس در مصـالح سـنگی بـرغم افـزایش سختی مصالح سبب افزایش خطر عریان شدگی میگردد. یکی از راهکارهای مقابله با این مشکل در آسفالتهایی که مجبور به استفاده از این مصالح میباسیم ، استفاده از آهک شکفته یا مواد شیمیایی خاص مایع است.

آهک بمیزان ۱ تا ۱.۵ درصد وزن مصالح سنگی خشک و یا بصورت دوغاب بر روی مصالح افـزوده میشـود، در اینصـورت آهک شکفته بصورت فیلر عمل کرده و هم ترکیب شیمیایی سطح مصالح را تغییر میدهند. غالب مواد شیمیایی ضد عریـان شـدگی مایع، عامل مرطوب کننده در سطح هستند که زمان اختلاط با قیر، کشش سطحی آنرا را کاهش داده و چسبندگی قیر بـه مصـالح را افزایش میدهد. این مواد میبایست در حرارت پایداری مشخصات خود را حفظ نمایند و در مواجه با قیرهای اصلاح شده نیز کارایی داشته باشند. رایج ترین مواد شیمیایی در این مقوله آمینهای پرچرب هستند که با نامهای تجاری عرضه میشوند و معمولاً بـه میـزان ۰.۵ تا ۱ درصد وزنـی بـه قیـر اضـافه میگردنـد. آزمایشـاتی نظیـر آب جوشـان(ASTMD3625) ، سـایش در شـرایط مرطـوب[6]، آزمایشXRF و XRD(جهت مصالح)و... میتوانند پارامترها مربوطه در مقوله استعداد عریان شدگی را بسنجند.

۸-۱۳-نتیجه گیری

مطالب بخشهای فوق در چهار بخش جداگانه بصورت زیر قابل جمع بندی است:

a) **شرایط آب و هوایی رطوبتی و بارانی و ترافیک سنگین**: همانطوریکه ذکر شد عموماً قیـر بعلـت حساسـیت حرارتـی در دماهای مختلف ناشی از سخت شدگی تحت اختلاط قیر و مصالح سنگی در درجه حرارت بالا و بصورت ارام و تدریجی در طول خدمت پذیری بتن اسفالتی با افزایش آسفالتین و کاهش مواد رزینی و آروماتیکی و چسبندگی قیر برای مناطق بارانی و رطوبت خیز

[1] Multi-Walled Carbon Nanotubes
[2] Single-Walled Carbon Nanotubes
[3] Antistripping Agents
[4] Water proofing membranes or seal coats or Stress – Absorbing Membranes Interlayer
[5] Open-Graded Asphalt Friction Course (OGFC)
[6] Wet Track Abrasion Test (WTAT)

با نفوذ آب به لایه های زیرین روسازی باعث تخریب سازه روسازی همراه با کاهش خدمت پذیری و افزایش هزینه های نگهداری و ایجاد نا امنی برای وسایل نقلیه ضمن کاهش سرعت همراه می‌باشد.

همچنین برای مناطق غیر رطوبتی ولی همراه با حجم ترافیک سنگین و تکرار بارگذاری و سرعت بالا برای لایه‌های روسازی بزرگراهها عموماً با فرسودگی و شکست خستگی همراه می‌باشد لذا جهت کارپذیری و افزایش خدمت‌پذیری احیاء رویه‌های قدیمی لازم الاجرا می‌باشد.

لذا استفاده از قشر آسفالت ماستیک با درصد فیلر بالا و قیر و مصالح ریز دانه و مصالح سنگی با ضخامت اندک ۲ الی ٤ سانتی متر ضمن غیر قابل نفوذ کردن سطح بتن آسفالتی گرم همراه با چسبندگی فوق العاده و پایین بودن فضاهای خالی برای مناطق رطوبتی و احیاء بزرگراه های با حجم ترافیک بالا امری ضروری بشمار می‌آید.

در این خصوص با استفاده از فایبرگلاس بمقدار ۰/۲٪ درصد جهت بهبود آسفالت ماستیک با همگن و هموژن کردن آسفالت ماستیک و با افزایش گیرداری و اصطکاک و فرو رفتن دانه ها به هم مقاومت سازه را به حداکثر میرساند همچنین با استفاده تا حداکثر ۰/۲٪ فایبرگلاس برای اسفالت ماستیک با افزایش مدول ارتجاعی و ازدیاد طول عمر خستگی اسفالت ماستیک بمقدار ۵۰ درصد وکاهش کرنش ها و تغییر شکل ها بمقدار ۲۰ درصد آسفالت ماستیک را بهبود می‌بخشد.

b) مناطق آب و هوای سرد: برای مناطق سرد بعلت خاصیت الاسیستیه قیر عموماً از قیر با درجه نفوذ بالا ۸۵/۱۰۰ و سختی کمتر استفاده می شود.

در بخش دوم این بخش اثر اصلاح کننده قیری پروتیلن تر فتالات PET بر قیر ۸۵/۱۰۰ مورد مطالعه قرار گرفته شده بود معهذا طی آزمایشات حاصله اثر PET با افزودن بمقدار تا ۱۰٪ قیر اصلاح شده را سخت و غلیظ تر می کند بقسمی که بر انعطاف پذیری قیر اثر کرده و برای مقاومت در مقابل ترک خستگی با حساسیت کمتر نسبت به دما می تواند موثر باشد. همچنین PET درجه نفوذ را کاهش داده و باعث افزایش درجه نرمی می گردد همچنین با افزایش PET مدول برشی (G*)افزایش یافته و تحت تنش های بالا و بارگذاری های با حجم ترافیک سنگین اثر چرخ (شیار) با این پلیمر بهبود می یابد نهایتاً با استفاده از PET برای قیر ۸۵/۱۰۰ تغییر شکل دائمی و ماندگار با افزایش مدول برشی و کاهش زاویه دورانی برشی ، اصلاح گردیده و با ایجاد تغییرات رئولوژیکی قیر باعث چسبندگی خوب به سنگ دانه ها می شود.

c) **شرایط آب و هوایی گرم و بسیار گرم** :همانطوریکه در مطالب ذکر گردید قیر عموماً با خاصیت ویسکوز تحت بارهای سنگین و افزایش دما در طول تابستان می تواند قیر قشر بیندر را نرم کرده و در نتیجه باعث کاهش سختی قیر گردد لذا طی ازمایشات انجام یافته جهت اصلاح قیر و بهبود و عملکرد مناسب بتن اسفالتی گرم تحت آب و هوای گرم ضمن استفاده از قیرهای ٦۰/۷۰ یا قیر ٤۰/۵۰ برای مناطق بسیار گرم اصلاح کننده پلیمری SBS دارای مزایای زیر می باشد.

با مصرف ٦٪ SBS از حساسیت به دما کاسته میشود.

مصرف۵٪ از SBS باعث افزایش طول عمرخستگی بمقدار۲الی۲/۵ برابر و ترقی استقامت مارشال می‌شود.

استفاده از SBS بطور متوسط از کاهش مدول ارتجاعی قیر بمقدار ۲۰ درصد ممانعت بعمل می آورد.

و نهایتاً استفاده از SBS در دماهای بالا از سختی بیشتری برخوردار می باشد که موجب کاهش تغییر شکل پلاستیک و بهبود طول عمر خستگی و مقاومت اثر چرخ را برای دماهای بالا میسر می سازد.

d) آب و هوای خشک و کویری: با استفاده از SBS برای اصلاح قیر ٦۰/۷۰ جهت بهبود خواص رئولوژیکی قیر برای مناطق خشک و کویری بر اساس مطالب فوق میتوان نتایج زیر را داشت.

استفاده از SBS بمقدار ٦٪ از حساسیت حرارتی قیر برای مناطق کویری در زمستان و اختلاف دمای بالای شب و روز با اصلاح مدول ارتجاعی قیر بمیزان۲/۷ الی۳ برابر بر کارایی مناسب بتن آسفالتی گرم در مناطق کویری می‌افزاید. استفاده ازSBS برای مناطق کویری در تابستان با افزایش مدول الاسیسیته و سختی قیر ضمن کاهش تغییر شکل پلاستیک و بهبود طول عمر خستگی و مقاومت اثر چرخ (شیار) بر عملکرد روسازی آسفالتی گرم می‌افزاید.

نتایج و موارد فوق بدلیل عناوین تجاری و تولیدات مختلف افزودنی‌های قیر و مخلوط‌های آسفالتی عمومیت نداشته و میبایست متناسب با نوع تولید آنها و انواع آن با آزمایشات و کنترل مشخصات مواد و افزودنی‌ها، کیفیت و مشخصات محصول نهایی را تحلیل نمود.

همانگونه که ذکر شد علاوه بر خواص عمومی قیر و مخلوطهای آسفالتی که میبایست با افزودنی‌ها حفظ و تقویت گردند، کاهش حساسیت حرارتی قیر در بازه‌های دمایی بهره برداری(خدمت) میتواند نقش بسیار زیادی در کاهش خرابی‌های متداول روسازی‌های انعطاف‌پذیر ایفا نماید، لیکن کاهش حساسیت حرارتی قیر و یکنواختی و خطی بودن این حساسیت در کلیه دماها ممکن است منجر به ضعف در کارایی مخلوط آسفالتی و مشکلات متعدد در تولید و حمل و پخش آسفالت ایفا نماید که شرایط ایده‌آل شرایطی غیر خطی در دماهای بالاتر از دمای بهره‌برداری است.

PAVEMENT TECHNOLOGY AND MATERIALS

M . R . Keymanesh

S . Shaker

Faculty member of University Payam Noor, Iran