جمهوری اسلامی ایران
سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور - وزارت راه و ترابری

طراحی و ارزیابی آزمایشگاهی مخلوطهای آسفالتی با استخوانبندی سنگدانه‌ای (SMA)

نشریه شماره ۲۰۶

معاونت امور فنی
دفتر امور فنی و تدوین معیارها

مرکز تحقیقات و آموزش وزارت راه و ترابری

۱۳۷۹

انتشارات سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور ۷۹/۰۰/۵۸

omoorepeyman.ir

فهرستبرگه

سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور. دفتر امور فنی و تدوین معیارها

طراحی و ارزیابی آزمایشگاهی مخلوطهای آسفالتی با استخوانبندی سنگدانه‌ای (SMA)/ معاونت امور فنی، دفتر امور فنی و تدوین معیارها، مرکز تحقیقات و آموزش وزارت راه و ترابری.- تهران: سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، مرکز مدارک علمی و انتشارات، ۱۳۷۹.

دو، ۷٤ص.: مصور.- (سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور. دفتر امور فنی و تدوین معیارها؛ نشریه شماره ۲۰٦)(انتشارات سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور؛ ۷۹/۰۰/۵۸)

ISBN 964-425-221-7

مربوط به دستورالعمل شماره ۲۷٤٦/ن-۵۱/۱٦۳٤-۱۰۵ مورخ ۱۳۷۹/۵/۲۳.

کتابنامه: ص. ۷٤

۱. آسفالت - مشخصات. ۲.راهسازی - مصالح. الف. ایران. وزارت راه و ترابری. مرکز تحقیقات و آموزش. ب. سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور. مرکز مدارک علمی و انتشارات. ج. عنوان. د. فروست.

ش.۲۰٦ ۲٤س/۳٦۸ TA

شابک ۷-۲۲۱-۴۲۵-۹۶۴ ISBN 964-425-221-7

طراحی و ارزیابی آزمایشگاهی مخلوطهای آسفالتی با استخوانبندی سنگدانه‌ای (SMA)

تهیه کننده: معاونت امور فنی، دفتر امور فنی و تدوین معیارها، مرکز تحقیقات و آموزش وزارت راه و ترابری

ناشر: سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور. مرکز مدارک علمی و انتشارات

چاپ اول: ۱۵۰۰ نسخه، ۱۳۷۹

قیمت: ۶۰۰۰ ریال

لیتوگرافی: قاسملو

چاپ و صحافی: مؤسسه زحل چاپ

همه حقوق برای ناشر محفوظ است.

omoorepeyman.ir

ریاست جمهوری
سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور
دفتر رئیس

بسمه تعالی

به : دستگاه‌های اجرایی، مهندسان مشاور و پیمانکاران	شماره : ۱۰۵/۱۶۳۴ـ۵۴/۲۷۴۶
	تاریخ : ۱۳۷۹/۵/۲۳

موضوع : طراحی وارزیابی آزمایشگاهی مخلوطهای آسفالتی با استخوانبندی سنگدانه ای (SMA)

به‌استناد ماده ۲۳ قانون برنامه و بودجه و آیین‌نامه استانداردهای اجرایی طرح های عمرانی، این دستورالعمل، از نوع گروه سوم مذکور در ماده ۷ آیین نامه یاد شده در یک صفحه، صادر می گردد.

به پیوست، نشریه شماره ۲۰۶ دفترامورفنی وتدوین معیارهای این سازمان، با عنوان ***طراحی وارزیابی آزمایشگاهی مخلوطهای آسفالتی با استخوانبندی سنگدانه ای*** (SMA)، ابلاغ می‌گردد.

دستگاه های اجرایی، مهندسان مشاور، پیمانکاران و دیگر عوامل می توانند از این نشریه به عنوان راهنما استفاده نمایند و رعایت مفاد این نشریه در صورتیکه روشها، دستورالعمل‌ها و راهنماهای بهتر در اختیار داشته باشند، الزامی نیست .

محمدرضا عارف
معاون رئیس جمهور ورئیس سازمان

omoorepeyman.ir

omoorepeyman.ir

فهرست مطالب

عنوان — صفحه

پیشگفتار ..... یک

فصل اول - مقدمه ۱

فصل دوم - کاربرد و مزایای مخلوطهای آسفالتی با استخوانبندی سنگدانه‌ای ۲

فصل سوم - اجزای تشکیل‌دهنده مخلوطهای آسفالتی با استخوانبندی سنگدانه‌ای ۳

۳-۱- مصالح سنگی ۳

۳-۱-۱- مصالح درشت‌دانه ۳

۳-۱-۲- مصالح ریزدانه ۴

۳-۱-۳- فیلر ۴

۳-۲- الیاف ۵

۳-۳- قیر ۶

فصل چهارم - طرح اختلاط مخلوطهای آسفالتی با استخوانبندی سنگدانه‌ای ۷

فصل پنجم - ویژگیهای مخلوطهای آسفالتی با استخوانبندی سنگدانه‌ای ۱۰

فصل ششم - آزمایشهای بررسی کیفی مصالح سنگی و مواد انتخاب شده جهت ساخت نمونه‌های مخلوط آسفالتی با استخوان‌بندی سنگدانه‌ای ۱۵

۶-۱- مصالح سنگی درشت دانه و ریز دانه ۱۵

۶-۱-۱- آزمایش های انجام شده برروی مصالح سنگی ۱۵

۶-۱-۱-۱- تعیین مقاومت مصالح سنگی در برابر سایش به روش لوس‌آنجلس (AASHTO - T ۶۹) ۱۵

۶-۱-۱-۲- تعیین مقاومت در مقابل ضربه (BS - ۸۱۲) ۱۶

۶-۱-۱-۳- تعیین مقاومت در برابر خردشدن (BS - ۸۱۲) ۱۶

۶-۱-۱-۴- تعیین مقاومت در برابر محلول سولفات سدیم یا منیزیم(AASHTO - T ۱۰۴) ۱۶

۶-۱-۱-۵- آزمایش دانه‌بندی (AASHTO - T۲۷) ۱۷

۶-۱-۱-۶- تعیین ارزش ماسه‌ای (AASHTO - T۱۷۶) ۱۷

۶-۱-۱-۷- دامنه خمیری (AASHTO - T ۹۰) ۱۷

۶-۱-۱-۸- تعیین درصد ذرات سوزنی و پولکی شکل (BS - ۸۱۲) ۱۸

۶-۱-۱-۹- آزمایش تعیین درصد شکستگی ۱۸

۶-۱-۱-۱۰- آزمایش تعیین چگالی و جذب آب مصالح سنگی (D۸۵۴ و C۱۲۸ و ASTM: C۱۲۷) ۱۹

۶-۱-۲- نتایج آزمایشهای مصالح سنگی ۱۹

۶-۲- آزمایشهای فیلر ۲۱

۶-۳- آزمایشهای الیاف ۲۱

۶-۴- آزمایشهای قیر ۲۲

۶-۴-۱- آزمایش تعیین درجه نفوذ قیر (ASTM : D ۵ یا AASHTO : T ۴۹) ۲۲

۶-۴-۲- آزمایش تعیین نقطه نرمی قیر (ASTM : D ۳۶ یا AASHTO : T ۵۳) ۲۳

۶-۴-۳- آزمایش تعیین قابلیت شکل‌پذیری (ASTM : D ۱۱۳ یا AASHTO : T ۵۱) ۲۳

۶-۴-۴- آزمایش تعیین چگالی قیر (ASTM : D ۷۰ یا AASHTO : T ۲۲۸) ۲۴

۶-۴-۵- آزمایش تعیین نقطه اشتعال قیر (ASTM : D ۹۲ یا AASHTO : T ۴۸) ۲۴

omoorepeyman.ir

عنوان **صفحه**

۶-۴-۶- آزمایش قیر نازک قیر (ASTM : D ۱۷۵۴ یا AASHTO : T ۱۷۹) ۲۴
۶-۴-۷- آزمایش تعیین کندروانی (ASTM : D ۲۱۷۰ یا AASHTO : T ۲۰۱) ۲۵
۶-۴-۸- آزمایش تعیین حلالیت قیر در حلالهای آلی (ASTM : D ۲۰۴۲ یا AASHTO : T ۴۴) ۲۵
۶-۵- انتخاب نوع قیر در ساخت نمونه‌های آزمایشی مخلوطهای آسفالتی با استخوانبندی سنگدانه‌ای ۲۵
فصل هفتم - مخلوطهای آسفالتی گرم و بتن آسفالتی ۲۷
۷-۱- طرح مخلوط‌های آسفالتی گرم ۲۷
۷-۱-۱- هـدف ۲۷
۷-۱-۲- روش‌های طرح اختلاط ۲۸
۷-۲- تعریف برخی از کمیت‌های بکاررفته شده درطرح مخلوطهای آسفالتی ۲۸
۷-۳- تشریح طرح مخلوطهای آسفالتی انجام شده ۳۲
۷-۳-۱- طرح اختلاط بتن آسفالتی ۳۲
۷-۳-۲- طرح مخلوط آسفالتی با استخوانبندی سنگدانه‌ای (SMA) ۴۱
۷-۴- تهیه نمونه‌های مخلوط آسفالتی بمنظور تعیین میزان شیارافتادگی جای چرخ ۴۹
۷-۴-۱- شرح دستگاه ویل تراک ۴۹
۷-۴-۲- آماده‌سازی نمونه‌های مخلوط آسفالتی ۵۰
۷-۴-۳- آزمایش تعیین میزان شیارافتادگی جای چرخ ۵۰
فصل هشتم - بررسی و ارزیابی مخلوطهای آسفالتی با استخوانبندی سنگدانه‌ای ۵۷
۸-۱- ارزیابی اجزاء تشکیل دهنده مخلوطهای آسفالتی با استخوانبندی سنگدانه‌ای ۵۸
۸-۱-۱- مصالح سنگی درشت دانه ۵۸
۸-۱-۲- مصالح سنگی ریزدانه ۶۱
۸-۱-۳- فیلـر ۶۲
۸-۱-۴- قیـر ۶۳
۸-۱-۵- الیـاف ۶۵
۸-۲- ارزیابی طراحی مخلوط های آسفالتی با استخوانبندی سنگدانه‌ای ۶۶
۸-۲-۱- دانه‌بندی مخلوط مصالح سنگی ۶۶
۸-۲-۲- ارزیابی طرح اختلاط مخلوط های آسفالتی با استخوانبندی سنگدانه‌ای ۶۹
۸-۳- بررسی و ارزیابی ویژگیهای مخلوطهای آسفالتی با استخوانبندی سنگدانه‌ای ۷۰
۸-۳-۱- مقاومت در مقابل شیار افتادگی جای چرخ ۷۰
۸-۳-۲- دوام ۷۱
۸-۳-۳- مقاومت در مقابل لغزندگی ۷۲
۸-۳-۴- مقاومت در مقابل خستگی ۷۳
منابع و مراجع ۷۴

omoorepeyman.ir

فهرست جداول

عنوان **صفحه**

جدول ۳-۱- مزایای مخلوط‌های آسفالتی با استخوانبندی سنگدانه‌ای و علل آن ۳
جدول ۴-۱- دانه‌بندی مصالح سنگی مصرف شده در برخی از مخلوط‌های آسفالتی با استخوانبندی سنگدانه‌ای ۷
جدول ۵-۱- ویژگی‌های اجزاء متشکله مخلوط‌های آسفالتی با استخوانبندی سنگدانه‌ای ۱۴
جدول ۵-۲- ویژگی‌های مخلوط آسفالتی با استخوانبندی سنگدانه‌ای ۱۴
جدول ۶-۱- درصد سیلیس، سیلیکاتها و کربناتهای مصالح سنگی مصرفی ۱۹
جدول ۶-۲- نتایج آزمایشهای مصالح سنگی درشت‌دانه مانده روی الک شماره ۴ ..... ۲۰
جدول ۶-۳- نتایج آزمایشهای مصالح سنگی ریزدانه ردشده از الک شماره ۴ ..... ۲۰
جدول ۶-۴- نتایج آزمایشهای فیلر مصرفی ۲۱
جدول ۶-۵- ترکیب شیمیایی اجزاء تشکیل‌دهندهٔ الیاف پشم سنگ ۲۲
جدول ۶-۶- نتایج آزمایشهای انجام شدهٔ قیر منتخب ۲۶
جدول ۷-۱- حدود مشخصات دانه‌بندی شماره IV جدول (۱۸-۳) نشریه ۱۰۱ سازمان برنامه و بودجه ۳۲
جدول ۷-۲- نسبت‌های اختلاط هر بخش از مصالح سنگی در مخلوط بتن آسفالتی ۳۲
جدول ۷-۳- دانه‌بندی مخلوط مصالح سنگی مصرفی در طرح مخلوط بتن آسفالتی ۳۲
جدول ۷-۴- چگالی حقیقی و ظاهری مصالح سنگی مصرفی در مخلوط بتن آسفالتی ۳۷
جدول ۷-۵- وزن واحد حجم نمونه‌های مخلوط بتن آسفالتی متراکم‌شده ۳۸
جدول ۷-۶- مقادیر چگالی حداکثر مخلوط بتن آسفالتی با درصدهای مختلف قیر ۳۹
جدول ۷-۷- برخی از کمیت‌های مخلوط بتن آسفالتی ۴۰
جدول ۷-۸- مقادیر استحکام و روانی نمونه‌های مخلوط بتن آسفالتی ۴۰
جدول ۷-۹- مقایسهٔ ارزش‌های نمونه مخلوط بتن آسفالتی با مشخصات نشریه ۱۰۱ سازمان برنامه و بودجه ۴۱
جدول ۷-۱۰- ارزش‌های نمونهٔ مخلوط آسفالتی با استخوانبندی سنگدانه‌ای تهیه شده با ۲۰ درصد مصالح سنگی ریزدانه (ردشده از الک ۴/۷۵ میلیمتر) ۴۲
جدول ۷-۱۱- ارزش‌های نمونهٔ مخلوط آسفالتی با استخوانبندی سنگدانه‌ای تهیه شده با ۲۴ درصد مصالح سنگی ریزدانه (ردشده از الک ۴/۷۵ میلیمتر) ۴۲
جدول ۷-۱۲- ارزش‌های نمونهٔ مخلوط آسفالتی با استخوانبندی سنگدانه‌ای تهیه شده با ۲۸ درصد مصالح سنگی ریزدانه (ردشده از الک ۴/۷۵ میلیمتر) ۴۲
جدول ۷-۱۳- ارزش‌های نمونهٔ مخلوط آسفالتی با استخوانبندی سنگدانه‌ای تهیه شده با ۳۰ درصد مصالح سنگی ریزدانه (ردشده از الک ۴/۷۵ میلیمتر) ۴۴
جدول ۷-۱۴- ارزش‌های نمونهٔ مخلوط آسفالتی با استخوانبندی سنگدانه‌ای تهیه شده با ۳۲ درصد مصالح سنگی ریزدانه (ردشده از الک ۴/۷۵ میلیمتر) ۴۴
جدول ۷-۱۵- ارزش‌های نمونهٔ مخلوط آسفالتی با استخوانبندی سنگدانه‌ای تهیه شده با ۳۴ درصد مصالح سنگی ریزدانه (ردشده از الک ۴/۷۵ میلیمتر) ۴۴
جدول ۷-۱۶- ارزش‌های نمونهٔ مخلوط آسفالتی با استخوانبندی سنگدانه‌ای تهیه شده با ۳۶ درصد مصالح سنگی ریزدانه (ردشده از الک ۴/۷۵ میلیمتر) ۴۴

omoorepeyman.ir

عنوان **صفحه**

جدول ۷-۱۷- نسبت‌های اختلاط مصالح سنگی مخلوط آسفالتی با استخوانبندی سنگدانه‌ای ۴۵
جدول ۷-۱۸- دانه‌بندی مخلوط مصالح سنگی مصرفی در طرح مخلوط آسفالتی با استخوانبندی سنگدانه‌ای ۴۶
جدول ۷-۱۹-کمیت‌های مخلوط آسفالتی با استخوانبندی سنگدانه‌ای با ۳۲ درصد مصالح سنگی
ریزدانه (ردشده از الک ۴/۷۵ میلیمتر) ۴۶
جدول ۷-۲۰- ارزش‌های مخلوط آسفالتی با استخوانبندی سنگدانه‌ای به ازای درصد قیر بهینه ۴۹
جدول ۷-۲۱- دانه‌بندی مخلوط مصالح سنگی مورد استفاده در تهیه نمونه‌های آزمایش ویل تراک ۵۰
جدول ۸-۱- مقایسهٔ برخی از ویژگی‌های مصالح سنگی درشت‌دانه مصرفی با مشخصات پیشنهادی SMA TWG ۵۸
جدول ۸-۲- ویژگی‌های مصالح‌سنگی درشت‌دانه درمخلوط‌های آسفالتی بااستخوانبندی سنگدانه‌ای ۵۹
جدول ۸-۳- ویژگی‌های مصالح سنگی درشت‌دانه جهت مخلوط‌های آسفالتی با استخوانبندی سنگدانه‌ای
به پیشنهاد بخش راه و ترابری آلمان برای رویهٔ روسازی ۶۰
جدول ۸-۴- مشخصات مصالح سنگی درشت‌دانه مورد استفاده در مخلوط‌های بتن آسفالتی جهت قشر رویه
(مندرج در نشریه ۱۰۱ سازمان برنامه و بودجه) ۶۰
جدول ۸-۵- مقایسهٔ ویژگی‌های مصالح سنگی ریزدانه مصرفی با مشخصات پیشنهادی SMA TWG ۶۱
جدول ۸-۶- ویژگی‌های مصالح سنگی ریزدانه جهت مخلوط‌های آسفالتی با استخوانبندی سنگدانه‌ای
پیشنهادشده در مشخصات فنی کشور انگلستان ۶۱
جدول ۸-۷- ویژگی‌های مصالح سنگی ریزدانه جهت مخلوط‌های آسفالتی با استخوانبندی سنگدانه‌ای
پیشنهادشده در مشخصات فنی کشور آلمان ۶۲
جدول ۸-۸- مشخصات مصالح سنگی ریزدانه مورد استفاده در مخلوط‌های بتن آسفالتی جهت قشر رویه
(مندرج در نشریه ۱۰۱ سازمان برنامه و بودجه) ۶۲
جدول ۸-۹- راهنمای انتخاب نوع قیر ۶۳
جدول ۸-۱۰- مقایسه ویژگیهای قیر مصرفی با مشخصات AASHTO M20 ..... ۶۴
جدول ۸-۱۱- مشخصات دانه‌بندی مخلوط مصالح سنگی برای مخلوط آسفالتی با استخوانبندی سنگدانه‌ای
پیشنهادشده توسط NAPA و TWG ۶۶
جدول ۸-۱۲- مشخصات مخلوط‌های آسفالتی با استخوانبندی سنگدانه‌ای درکشور آلمان ۶۷
جدول ۸-۱۳- دانه‌بندی مصالح سنگی ومیزان قیرمصرفی مخلوط‌های آسفالتی بااستخوانبندی سنگدانه‌ای
در مشخصات فنی کشور انگلستان ۶۸
جدول ۸-۱۴- مقایسهٔ دانه‌بندی مخلوط‌های مصالح سنگی مصرفی در تهیهٔ نمونه‌های بتن آسفالتی و
مخلوط‌های آسفالتی با استخوانبندی سنگدانه‌ای ۶۹
جدول ۸-۱۵- برخی از ویژگیهای نمونه‌های مارشال مخلوط‌آسفالتی با استخوانبندی سنگدانه‌ای
و مخلوط بتن‌آسفالتی ۶۹
جدول ۸-۱۶- تأثیر میزان مصالح سنگی ریزدانه بر استحکام مارشال نمونه‌های آسفالتی با
استخوانبندی سنگدانه‌ای ۷۰

omoorepeyman.ir

فهرست اشکال

عنوان | **صفحه**

شکل ۴-۱- حدود دانه‌بندی پیشنهادی مخلوط‌های آسفالتی با استخوانبندی سنگدانه‌ای با حداکثر اندازه ۱۹ میلیمتر (توسط Technical Working Group) ۹

شکل ۵-۱- مقایسهٔ دانه‌بندی مصالح سنگی مخلوط آسفالتی با استخوانبندی سنگدانه‌ای با دانه‌بندی پیوسته مخلوط آسفالتی گرم متداول با حداکثر اندازه دانه ۱۹ میلیمتر ۱۱

شکل ۵-۲- مقایسه توزیع اندازهٔ دانه‌ها در مخلوط‌های آسفالتی با استخوانبندی سنگدانه‌ای و مخلوط‌های آسفالتی با دانه‌بندی پیوسته ۱۳

شکل ۷-۱- نمایش برخی از کمیت‌های حجمی نمونه‌های آسفالتی متراکم‌شده ۳۱

شکل ۷-۲- منحنی دانه‌بندی شن متوسط ۳۳

شکل ۷-۳- منحنی دانه‌بندی شن ریز ۳۴

شکل ۷-۴- منحنی دانه‌بندی ماسهٔ شکسته ۳۵

شکل ۷-۵- منحنی دانه‌بندی مخلوط مصالح سنگی مصرفی در بتن آسفالتی ۳۶

شکل ۷-۶- تغییرات ارزش‌های بتن آسفالتی برحسب درصد قیر ۴۳

شکل ۷-۷- تغییرات درصد فضای خالی مصالح سنگی برحسب درصد ردشده از الک ۴/۷۵ میلیمتر ۴۵

شکل ۷-۸- دانه‌بندی مخلوط مصالح سنگی مصرفی در ساخت نمونه‌های آسفالتی با استخوانبندی سنگدانه‌ای ۴۷

شکل ۷-۹- تغییرات ارزش‌های مخلوط آسفالتی با استخوانبندی سنگدانه‌ای برحسب درصد قیر ۴۸

شکل ۷-۱۰- دستگاه ویل‌تراک ۵۱

شکل ۷-۱۱- دستگاه متراکم‌کنندهٔ غلتکی ۵۲

شکل ۷-۱۲- شیار افتادگی جای چرخ مخلوط بتن آسفالتی در دمای ۳۵ و ۵۵ درجه سانتیگراد ۵۳

شکل ۷-۱۳- شیار افتادگی جای چرخ نمونه‌های مخلوط آسفالتی با استخوانبندی سنگدانه‌ای در دماهای ۳۵ و ۵۵ درجه سانتیگراد ۵۴

شکل ۷-۱۴- مقایسهٔ شیار افتادگی جای چرخ نمونه‌های مخلوط بتن آسفالتی و مخلوط با استخوانبندی سنگدانه‌ای در ۳۵ درجهٔ سانتیگراد ۵۵

شکل ۷-۱۵- مقایسهٔ شیارافتادگی جای چرخ نمونه مخلوط آسفالتی با استخوانبندی سنگدانه‌ای در دمای ۵۵ درجهٔ سانتیگراد ۵۶

omoorepeyman.ir

omoorepeyman.ir

پیشگفتار

به استناد ماده ۲۳ قانون برنامه و بودجه، این دستورالعمل توسط دفترامورفنی و تدوین معیارهای سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور با مساعدت مرکز تحقیقات و آموزش وزارت راه و ترابری تهیه شده‌است.

پیشرفت و رشد در کشورهای در حال توسعه مستلزم توجه و عنایتی وافر به تحقیقات علمی و تخصصی است و عواملی چون فقدان آگاهی در علوم و فنون، عدم بکارگیری صحیح نیروی انسانی متخصص و کارآمد و همچنین سیاستها و برنامه‌ریزی نامناسب، موجب رکود و تنزل رشد در این گونه کشورها شده است. از مهمترین اقدامات در سیاستگذاریها و برنامه‌ریزیهای تحقیقاتی و پژوهشی، تعیین هدف و خط‌مشی برای توسعه و همچنین هدایت، تشویق و اشاعه فرهنگ تحقیقاتی و استفاده بهینه از سرمایه ملی، منابع طبیعی و نیروی انسانی است که حاصل آن، دستیابی به اهداف توسعه ملی خواهدبود. برنامه‌ریزیهای تحقیقاتی باید بلندمدت و فراگیر باشد تا امکان انتقال و کسب تجارب میسر شود. امروزه از مهمترین معیارهای پیشرفت و توسعه هر کشوری میزان توجه به امر تحقیقات در آن کشور است و سرمایه‌گذاری در این بخش موجب تقویت و تعالی شاخصهای توسعه می‌گردد.

وزارت راه و ترابری به لحاظ گستردگی و حساسیت وظایف خویش، در توسعه و تحولات اقتصادی، صنعتی و اجتماعی کشورمان نقشی بنیادی ایفا می‌کند.این وظایف، عمدتاً شامل احداث تأسیسات زیربنایی حمل ونقل مانند راه، راه‌آهن، بندر و فرودگاه و نگهداری از این تأسیسات و بهره‌برداری بهینه از آنها، برای برقراری یک نظام پویا و قوی حمل ونقل زمینی، دریایی و هوایی است. نظر به این گستره وسیع، بخش وسیعی ازخدمات مهندسی این وزارتخانه برای طراحی، ساخت و نگهداری سیستمهای حمل و نقل و بهره‌برداری از آنهابه خدمت گرفته شده است.

مرکز تحقیقات و مطالعات وزارت راه و ترابری در سال ۱۳۶۷ تأسیس و در سال ۱۳۷۶ با ادغام در مرکز آموزش به مرکز تحقیقات و آموزش وزارت راه و ترابری تغییر نام یافت که با انجام تحقیقات کاربردی موفق به انتشار مجموعه‌های با ارزشی در زمینه‌های مختلف راه و ترابری شده است. برای دستیابی به نتایج ارزشمند، این مرکز از اندیشمندان و پژوهشگران برجسته کشور یاری جسته است، به طوری که هم‌اکنون نیروهای توانمندی از دانشگاهها، وزارت راه و ترابری، مهندسان مشاور و سایر بخشها در طرحهای مختلف با مرکز همکاری دارند.

یکی از شاخه‌های فعالیت مرکز تحقیقات و آموزش تهیه و تدوین، طراحی و بازنگری آیین‌نامه‌ها و دستورالعملهای کاربردی در زمینه‌های مختلف مربوط به وزارت راه و ترابری می‌باشد. پروژه طراحی و ارزیابی آزمایشگاهی مخلوطهای آسفالتی با استخوانبندی سنگدانه‌ای (SMA) توسط آزمایشگاه فنی و مکانیک خاک وزارت متبوع و با همکاری مرکز تحقیقات و آموزش در همین راستا انجام گرفته‌است.

omoorepeyman.ir

مخلوطهای آسفالتی با استخوانبندی سنگدانه‌ای از انواع مخلوطهای آسفالتی گرم می‌باشد و خصوصاً در مناطق گرمسیری و در راههای با تردد زیاد و بار محوری سنگین استفاده می‌شوند. رویه‌های آسفالتی با استخوانبندی سنگدانه‌ای موجب زهکشی سطحی آبهای حاصل از بارندگی، کاهش پاشیده‌شدن آب، جلوگیری از لغزندگی سطح جاده و سرخوردن وسایل‌نقلیه می‌گردد.

استفاده از این مخلوطهای آسفالتی احتمال قیرزدگی در نواحی گرمسیری را پایین‌آورده و باعث می‌شود سطح جاده اصطکاک لازم را جهت جلوگیری از سرخوردن دارا باشد. ضمناً با توجه به لزوم مصرف مصالح مرغوب و مقدار نسبتاً زیاد قیر، این مخلوطها دوام و پایداری بیشتری دارند.

در خاتمه مرکز تحقیقات و آموزش راه و ترابری به این وسیله مراتب تشکر و قدردانی خود را نسبت به تمامی کارشناسان و همکارانی که در تهیه و تدوین این مجموعه زحمات فراوانی کشیده‌اند، ابراز می‌دارد و از صاحبنظران تقاضا می‌نماید تا از ارائه نظرات و پیشنهادهای اصلاحی دریغ نورزند تا از آن در تجدیدنظرهای بعدی بهره‌برداری شود.

اعضای گروه تهیه‌کننده (به ترتیب حروف الفبا):

آقای مهندس علی‌محمد اسماعیلی

آقای مهندس محمد بهرامی

خانم مهندس بهناز پورسید

آقای مهندس علی‌رضا توتونچی

آقای مهندس ناصر رمضانی

آقای دکتر منصور فخری

آقای مهندس فرهاد مهریاری لیلمی

خانم مهندس مهین وزیری‌نسب

مرکز تحقیقات و آموزش وزارت راه و ترابری - ***دفتر امور فنی و تدوین معیارها سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور***

omoorepeyman.ir

۱

مقدمه

افزایش عمر رویه‌های آسفالتی، اجرای رویه آسفالتی مقاوم در برابر آمدوشد زیاد و بار محوری سنگین و تغییرات دما و فراهم نمودن رویه‌ای غیرلغزنده همراه با تأمین جریان مطمئن آمدوشد مورد توجه دست‌اندرکاران صنعت راهسازی می‌باشد. از طرف دیگر ساخت رویه‌های آسفالتی مقاوم در برابر تغییرشکل برای جاده‌های با آمدوشد زیاد و بار محوری سنگین حائز اهمیت است. اجرای رویه‌های آسفالتی گرم با دانه‌بندی پیوسته در راههای با آمدوشد زیاد و بار محوری سنگین به ویژه در مناطق گرمسیری، گاهی خرابیهایی نظیر گودی مسیر چرخ و قیرزدگی را به دنبال دارد. این خرابی‌ها مستلزم اجرای عملیات تعمیر و بهسازی در فواصل زمانی نسبتاً کوتاه پس از بهره‌برداری است که هزینه زیادی را دربر خواهد داشت.

در سالهای اخیر در برخی از کشورهای اروپایی، ایالات متحده آمریکا و کانادا جهت تأمین برخی از انتظارات خاص روسازی نظیر مقاومت در مقابل شیارافتادگی جای چرخ، جلوگیری از گسترش ترکهای انعکاسی و تحمل بار محوری سنگین از مخلوطهای آسفالتی با استخوانبندی سنگدانه‌ای (SMA) استفاده شده است.

مخلوطهای آسفالتی با استخوانبندی سنگدانه‌ای از انواع مخلوطهای آسفالتی گرم هستند. مخلوطهای آسفالتی با استخوانبندی سنگدانه‌ای نشان داده‌اند که کمتر دچار تغییرشکل شده و رویه‌های به مراتب مقاومتری در برابر لغزندگی هستند. این امر به دلیل وجود درصد بیشتری از مصالح سنگی درشت دانه در این گونه مخلوطهای آسفالتی است. در این مخلوطها تماس مصالح سنگی درشت به یکدیگر عامل اصلی ایجاد مقاومت می‌باشد. مصالح سنگی مورد استفاده در این مخلوطها باید از کیفیت بالایی برخوردار باشند. این گونه مخلوطهای آسفالتی به منظور افزایش دوام و استحکام لایه آسفالتی، جلوگیری از لغزندگی سطح راه و عدم ایجاد ترک‌های ناشی از خستگی به کار می‌روند [۱].

omoorepeyman.ir

۲

کاربرد و مزایای مخلوطهای آسفالتی با استخوانبندی سنگدانه‌ای

مخلوطهای آسفالتی با استخوانبندی سنگدانه‌ای خصوصاً در مناطق گرمسیری و در راههای با آمدوشد زیاد و بار محوری سنگین استفاده می‌شوند. این مخلوطها مقاومت بالایی را در مقابل شیار افتادگی و تغییرشکل دائم از خود نشان داده‌اند. مصالح سنگی درشت‌دانه ساختار اصلی این مخلوط ها را تشکیل می‌دهند. در مخلوطهای آسفالتی با استخوانبندی سنگدانه‌ای، مصالح سنگی درشت به میزان نسبتاً زیاد در مقایسه با مخلوطهای آسفالتی با دانه‌بندی پیوسته مصرف می‌گردند. در این مخلوطها، مصالح سنگی درشت مستقیماً با یکدیگر در تماس بوده و ایجاد قفل و بست می‌نمایند. به عبارت دیگر تماس مستقیم سنگدانه به سنگدانه عامل اصلی پایداری و مقاومت است. کیفیت بالای مصالح سنگی از نظر جنس و مقاومت نیز در پایداری و باربری این مخلوطها مؤثر است. بعلت استفاده مقدار زیاد مصالح سنگی درشت در این مخلوطها و دانه‌بندی میان تهی[1] آنها، سطوح حاصله دارای زبری نسبتاً زیادی گردیده که منجر به افزایش اصطکاک جاده می‌شود. رویه‌های آسفالتی با استخوانبندی سنگدانه‌ای موجب زهکشی سطحی آبهای حاصل از بارندگی، کاهش پاشیده شدن آب، جلوگیری از لغزندگی سطح جاده و سرخوردن وسایط نقلیه می‌گردد. در مخلوطهای آسفالتی با استخوانبندی سنگدانه‌ای، در صورت مصرف بیش از حد مقرر قیر و احتمال قیرزدگی در نواحی گرمسیری، سطح جاده اصطکاک لازم را جهت جلوگیری از سرخوردن دارا می‌باشد. ضمناً با توجه به لزوم مصرف مصالح مرغوب و مصرف مقدار نسبتاً زیاد قیر، این مخلوطها دوام و پایداری بیشتری دارند. در جدول (۳-۱) مزایای مخلوطهای آسفالتی با استخوانبندی سنگدانه‌ای و علل آن بطور خلاصه آورده شده است [۲].

امور پیمان
omoorepeyman.ir

1- Gap graded

۳

اجزای تشکیل‌دهنده مخلوطهای آسفالتی با استخوانبندی سنگدانه‌ای

۳-۱- مصالح سنگی

مصالح سنگی آسفالت با استخوانبندی سنگدانه‌ای شامل مصالح درشت، ریز و فیلر می‌باشد.

جدول ۳-۱- مزایای مخلوطهای آسفالتی با استخوانبندی سنگدانه‌ای و علل آن

مزیت	علل
- پایداری زیاد، مقاومت در برابر تغییرشکل و شیار افتادگی	کیفیت بالای مصالح سنگی و قفل و بست سنگدانه به سنگدانه
- مقاومت در مقابل سرخوردن	کیفیت بالای مصالح سنگی و بافت سطحی آسفالت
- کاهش پاشیده‌شدن آب	بافت سطحی آسفالت و زهکشی
- افزایش دوام	کیفیت بالای مصالح سنگی و مصرف مقدار زیاد قیر
- بهبود رفتار در مقابل درجه حرارت‌های پایین	مصرف مقدار زیاد قیر و قیر اصلاح شده
- بهبود خواص پیرشدگی	مصرف مقدار زیاد قیر و درصد فضای خالی کم

۳-۱-۱- مصالح درشت‌دانه

مصالح درشت دانه اسکلت و استخوانبندی اصلی مخلوطهای آسفالتی با استخوانبندی سنگدانه‌ای را تشکیل می‌دهند. قفل و بست مصالح درشت دانه و تماس سنگدانه به سنگدانه عامل اصلی استحکام و پایداری می‌باشد که نتیجه آن مقاومت باربری بالا و مقاومت در برابر تغییرشکل دائمی و شیار افتادگی است. مصالح درشت دانه مورد مصرف در مخلوطهای آسفالتی با استخوانبندی سنگدانه‌ای بایستی از کیفیت بالایی برخوردار باشند. درصد شکستگی مصالح درشت دانه باید صددرصد بوده و افت وزنی کمی را در آزمایش سایش به روش لوس‌آنجلس داشته باشند. همچنین مقدار سنگدانه‌های سوزنی و پولکی شکل در مصالح درشت دانه نباید زیاد باشد.

برای مصالح سنگی درشت دانه مقدار شکستگی در یک جبهه صددرصد، در دو جبهه حداقل ۹۰ درصد، مقدار سایش به روش لوس‌آنجلس حداکثر ۳۰ درصد، میزان سنگدانه‌های سوزنی و پولکی شکل (با نسبت ۳ به ۱) حداکثر ۲۰ درصد، افت وزنی در مقابل سولفات سدیم حداکثر ۱۵ درصد، میزان جذب آب حداکثر ۲ درصد و شاخص دوام حداقل ۴۰ پیشنهاد گردیده است[1] [۳].

---

1 - SMA Technical Working Grout (SMA TWG)

omoorepeyman.ir

مصالح سنگی درشت دانه بایستی زبر، محکم و بادوام باشند. حداکثر اندازه مصالح درشت دانه که می‌تواند در مخلوطهای آسفالتی با استخوانبندی سنگدانه‌ای به کار رود برابر با ۲۵ میلیمتر است. معمولاً حداکثر اندازه مصالح درشت دانه بین ۱۲/۵ تا ۱۹ میلیمتر انتخاب می‌گردد.

۳-۱-۲- مصالح ریزدانه

مصالح ریزدانه مورد استفاده در مخلوطهای آسفالتی با استخوانبندی سنگدانه‌ای بایداز کیفیت بالایی برخوردار باشند. مصالح ریزدانه باید محکم، بادوام و تماماً شکسته بوده و عاری از هرگونه مواد مضره باشند. مقدار مصالح ریزدانه رد شده از الک شماره ۴ (۴/۷۵ میلیمتر) در مخلوط های آسفالتی با استخوانبندی سنگدانه‌ای اهمیت زیادی دارد. این مقدار برای سطوح راه با بافت سطحی ریز معمولاً بین ۳۰ تا ۴۰ درصد نسبت به کل مصالح سنگی می‌باشد. در سطوح راه با بافت سطحی درشت، میزان رد شده از الک شماره ۴ در کل مصالح سنگی به ۲۸ تا ۳۴ درصد کاهش می‌یابد. به طور کلی حدود ۲۰ تا ۳۰ درصد مخلوط مصالح سنگی بایستی از الک شماره ۴ عبور نماید.

برای کلیه سطوح راه دارای بافت درشت یا ریز مقدار رد شده از الک شماره ۲۰۰ بین ۸ تا ۱۳ درصد نسبت به کل مصالح سنگی می‌باشد. این مقدار با میزان رد شده از الک شماره ۲۰۰ مخلوطهای آسفالتی با دانه‌بندی پیوسته (بین ۲ تا ۱۰ درصد) متفاوت است [۴].

برای مصالح ریزدانه، درصد شکستگی برابر با صددرصد، حداکثر افت وزنی در مقابل سولفات سدیم ۱۵ درصد و حد روانی حداکثر ۲۵ درصد پیشنهاد گردیده است[1] [۳].

۳-۱-۳- فیلـــر

در مخلوطهای آسفالتی با دانه‌بندی پیوسته فیلر موجب پرکردن فضای خالی، افزایش نقاط تماس، افزایش مقاومت فشاری و برشی، افزایش قدرت باربری و کاهش تغییرشکل نسبی می‌گردد. فیلر در مخلوطهای آسفالتی با استخوانبندی سنگدانه‌ای علاوه بر موارد فوق دارای نقش اساسی دیگری است و آن افزایش کند روانی[2] و سفتی آن می‌باشد. دانه‌بندی فیلر مورد استفاده در مخلوطهای آسفالتی با استخوانبندی سنگدانه‌ای با دانه‌بندی فیلر مخلوطهای آسفالتی با دانه‌بندی پیوسته متفاوت است. برای فیلر مصرفی ،مخلوطهای آسفالتی گرم، درصد وزنی رد شده از الک ۰/۰۲ میلیمتر ۳۵ تا ۶۵ درصد می‌باشد، در حالی که برای فیلر مصرفی مخلوطهای آسفالتی با استخوانبندی سنگدانه‌ای میزان آن حداکثر ۲۰ درصد پیشنهاد شده است[3]. از طرف دیگر دامنه خمیری فیلر مصرفی در مخلوطهای آسفالتی با استخوانبندی سنگدانه‌ای همانند فیلر مخلوطهای آسفالتی گرم به حداکثر ۴ محدود گردیده است [۳].

1 - SMA TWG
2 - Viscosity
3 - SMA TWG

omoorepeyman.ir

در مخلوطهای آسفالتی با استخوانبندی سنگدانه‌ای نوع، جنس و دانه‌بندی فیلر نقش مهمی را در خواص و عملکرد آن بازی می‌کند. در واقع به علت مصرف نسبتاً زیاد قیر در این مخلوطها، فیلر به عنوان یکی از مواد تثبیت کننده محسوب می‌شود. فیلر این مخلوطها می‌تواند پودر سنگ، پودر سرباره، آهک هیدراته، سیمان هیدرولیکی، خاکستر بادی و یا فیلرهای معدنی دیگر باشد.

میزان مصرف فیلر در مخلوطهای آسفالتی با استخوانبندی سنگدانه‌ای بین ۸ تا ۱۳ درصد کل مصالح سنگی می‌باشد. استفاده بیشتر از این مقدار فیلر در مخلوط، باعث سفتی بیش از اندازه قیر می‌شود، در نتیجه کارکردن با این مخلوط مشکل شده و ممکن است موجب ظهور ترک‌هایی در این مخلوطها گردد [۴].

۳-۲- الیاف

بالابودن فضای خالی بین مصالح درشت دانه و مصرف نسبتاً زیاد قیر (حدود ۶/۵ تا ۷/۵ درصد کل مخلوط) در مخلوطهای آسفالتی با استخوانبندی سنگدانه‌ای عاملی جهت ریزش و بیرون‌زدن قیر از مخلوط آسفالتی است. به منظور جلوگیری از این پدیده، تمهیدات خاصی از جمله استفاده از فیلر زیاد و اصلاح کننده‌های پلیمری در قیر منظور می‌گردد. علاوه بر موارد ذکر شده جهت تثبیت این گونه مخلوطهای آسفالتی، الیاف به عنوان ماده اصلی تثبیت کننده استفاده می‌شود. وجود الیاف مناسب در این مخلوطها علاوه بر جلوگیری از قیرزدگی و جاری شدن قیر، مقاومت فشاری، ضریب سختی، مقاومت در برابر خستگی و دوام مخلوط را افزایش می‌دهد.

الیاف مورد مصرف در این مخلوط ها را می‌توان به دو دسته معدنی و آلی طبقه‌بندی نمود. از جمله الیاف‌های معدنی، پنبه کوهی [۱]، کریسو تایل [۲]، پشم سنگ [۳]، پشم شیشه [۴] و از الیاف آلی می‌توان از سلولز نام برد. الیاف مورد استفاده بایستی بسیار ریز بوده بطوریکه طول این الیاف در حدود ۱ میلیمتر و یا کمتر و قطر آنها کمتر از ۰/۰۲ میلیمتر باشد. مقدار الیاف بین ۰/۲۵ تا ۰/۴۵ درصد وزن مصالح سنگی یا حدود ۰/۳ درصد وزن مخلوط آسفالتی می‌باشد. اگر از الیاف معدنی به جای الیاف آلی استفاده گردد، مقدار این الیاف معمولاً بین ۰/۲۵ تا ۰/۵ درصد وزن مصالح سنگی و یا حدود ۰/۴ درصد نسبت به کل مخلوط می‌باشد [۴].

به منظور تثبیت مخلوطهای آسفالتی با استخوانبندی سنگدانه‌ای گاهی از اصلاح کننده‌های پلیمری در قیر استفاده می‌گردد. در شرایط حاد و آمدوشد زیاد اصلاح کننده پلیمری و الیاف توأماً بکار می‌روند. پلیمرها شامل لاستیک و مواد پلاستیکی می‌باشند. این گروه همراه با ترکیبات آنها لیست بزرگی را تشکیل می‌دهند.

به عنوان مثال از پلی‌اتیلن، پلی پروپیلن، SBS [۵]، SBR [۶]، EVA [۷] و PVC [۸] می‌توان نام برد. اثر مهم پلیمرها،

---

1 - Asbestos
2 - Chrysotile
3 - Rock Wool
4 - Glass Wool
5 - Styrene - Butadiene - Styrene
6 - Styrene - Butadiene - Rubber
7 - Ethyl-Vinyl-Acetate
8 - Poly-Vinyl-Chloride

omoorepeyman.ir

کم‌کردن حساسیت خواص مکانیکی مخلوط، بخصوص استحکام و کندروانی، با درجه حرارت است. پلیمرها همچنین باعث سفت‌شدن مخلوط و در نتیجه مانع بروز تغییرشکل‌های موضعی بزرگ در زیر چرخ‌های وسایل نقلیه می‌شود. در مخلوطهای آسفالتی با استخوانبندی سنگدانه‌ای پلیمرها به میزان ۰/۳ تا ۰/۹ درصد وزن مخلوط اضافه می‌شوند [۴].

۳-۳- قیـــر

قیر مورد استفاده در مخلوطهای آسفالتی با استخوانبندی سنگدانه‌ای از نوع قیرهای خالص می‌باشد. قیر با هر درجه نفوذ و کندروانی به مخلوطهای آسفالتی با استخوانبندی سنگدانه‌ای اضافه می‌شود. انتخاب قیر مناسب به کیفیت و دانه‌بندی مصالح سنگی، شرایط جوی محل و میزان آمدوشد بستگی دارد.

میزان قیر در این مخلوطها بیشتر از مقدار قیر مخلوطهای آسفالتی گرم است که در آنها مخلوط مصالح درشت و ریز با دانه‌بندی پیوسته بکار می‌رود. علت مصرف زیاد قیر در این مخلوطها، دانه‌بندی میان تهی و مقدار نسبتاً زیاد فیلر است. در مخلوطهای آسفالتی با استخوانبندی سنگدانه‌ای وقتی از مواد اصلاح‌کننده پلیمری جهت تثبیت استفاده می‌گردد، میزان مصرف قیر معمولاً ۵ تا ۶/۵ درصد است. در صورتیکه جهت تثبیت از الیاف معدنی یا آلی استفاده شود، قیر مورد نیاز معمولاً ۵/۵ تا ۷ درصد می‌باشد. به طور کلی مقدار قیر مصرف شده در مخلوطهای آسفالتی با استخوانبندی سنگدانه‌ای با استفاده از الیاف معدنی معمولاً ۰/۳ درصد بیشتر از زمانی است که در آن از اصلاح‌کننده‌های پلیمری استفاده می‌شود و در صورت استفاده از الیاف آلی ۰/۶ درصد بیشتر خواهد بود. اصولاً مقدار مصرف قیر در مخلوطهای آسفالتی با استخوانبندی سنگدانه‌ای به دانه‌بندی، شکل و جنس مصالح سنگی و دانه‌بندی و مقدار فیلر بستگی دارد. میزان قیر بهینه این مخلوطها با استفاده از روش‌های طرح اختلاط آسفالت تعیین می‌گردد [۴].

omoorepeyman.ir

۴

طرح اختلاط مخلوطهای آسفالتی با استخوانبندی سنگدانه‌ای

دانه‌بندی مخلوطهای آسفالتی با استخوانبندی سنگدانه‌ای بر خلاف دانه‌بندی مخلوطهای آسفالتی گرم متداول (با دانه‌بندی پیوسته) میان تهی می‌باشد. چون اسکلت و ساختار اصلی این مخلوطها را سنگدانه‌های بزرگتر از ۴/۷۵ میلیمتر تشکیل می‌دهد و این سنگدانه‌ها به مقدار زیاد در مخلوط بکار می‌روند، فضای خالی بین مصالح سنگی درشت و نیز مقدار مصالح رد شده از الک شماره ۴/۷۵ میلیمتر باید به اندازه‌ای انتخاب گردد که امکان تماس خوب سنگدانه به سنگدانه مهیا شود. افزایش مقدار ریز دانه (رد شده از الک ۴/۷۵ میلیمتر) بیش از حد مورد نیاز باعث کاهش قفل و بست بین مصالح سنگی درشت می‌گردد. مقدار ریزدانه این مخلوطها ۲۰ تا ۲۸ درصد نسبت به کل مخلوط پیشنهاد شده است[۱].

بهترین دانه‌بندی جهت این مخلوطها به منظور تأمین قابلیت‌های ذکر شده و بدست‌آوردن پارامترهای مورد نظر بایستی در مرحله طرح اختلاط تعیین گردد. نمونه‌هایی از دانه‌بندی مصالح سنگی که در برخی از مخلوطهای آسفالتی با استخوانبندی سنگدانه‌ای استفاده شده، در جدول (۴-۱) ارائه گردیده است. حدود دانه‌بندی پیشنهادی[۲] با حداکثر اندازه ذرات ۱۹ میلیمتر در شکل (۴-۱) ترسیم شده است.

جدول ۴-۱ - دانه‌بندی مصالح سنگی مصرف شده در برخی از مخلوطهای آسفالتی با استخوانبندی سنگدانه‌ای

اندازه الک	درصد وزنی رد شده				
الک ۱۹ میلیمتر ($\frac{3}{4}$ اینچ)	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰
الک ۱۲/۵ میلیمتر ($\frac{1}{2}$ اینچ)	۹۸	۱۰۰	۹۸	۱۰۰	۱۰۰
الک ۹/۵ میلیمتر ($\frac{3}{8}$ اینچ)	۷۶	۷۶/۹	۷۹	۷۶	۷۱
الک ۴/۷۵ میلیمتر (شماره ۴)	۳۱	۳۳	۳۴	۲۷	۲۹
الک ۲/۳۶ میلیمتر (شماره ۸)	۲۴/۵	۲۵	۲۷	۲۲	۲۳
الک ۱/۱۸ میلیمتر (شماره ۱۶)	۲۱	۱۹/۶	۲۲	۱۸	۲۱
الک ۰/۶ میلیمتر (شماره ۳۰)	۲۰	۱۵/۸	۱۸/۵	۱۵/۴	۱۹
الک ۰/۳ میلیمتر (شماره ۵۰)	۱۵	۱۳/۴	۱۵/۸	۱۴/۱	۱۵
الک ۰/۱۵ میلیمتر (شماره ۱۰۰)	۱۳	۱۲	۱۴	۱۳	۱۲/۵
الک ۰/۰۷۵ میلیمتر (شماره ۲۰۰)	۱۱	۱۱	۱۲	۱۰/۴	۹/۵

1 - SMA TWG, NAPA (National Asphalt Paving Association)

2- SMA TWG

omoorepeyman.ir

منظور از طرح اختلاط، انتخاب مصالح، تعیین دانه‌بندی مناسب مصالح سنگی و میزان هر یک از اجزاء تشکیل دهنده آن است. در مخلوط بدست آمده به منظور تأمین ویژگیهای مورد انتظار بایستی از ایجاد بهترین شرایط ممکن برای تماس سنگدانه به سنگدانه اطمینان حاصل نمود. مراحل مختلف طرح اختلاط آسفالت به طور کلی عبارتند از :

- انتخاب مصالحی که شرایط و ویژگی‌های مورد نظر را دارا باشد.

- تعیین بهترین دانه‌بندی مصالح سنگی

انتخاب بهترین دانه‌بندی مصالح سنگی باید به گونه‌ای صورت پذیرد که فضای خالی بهینه بین مصالح سنگی درشت جهت برقراری بهترین حالت تماس سنگدانه به سنگدانه فراهم گردد. فضای خالی بین مصالح سنگی درشت باید قابلیت دربر گرفتن حدود ۲۰ تا ۲۸ درصد مصالح سنگی رد شده از الک ۴/۷۵ میلیمتر را داشته باشد. مخلوط مصالح سنگی بایستی حداقل فضای خالی مصالح سنگی (VMA) را تأمین نماید، ضمناً مخلوط آسفالتی حاصله باید دارای فضای خالی مناسب باشد [۳].

- تعیین مقدار قیر بهینه

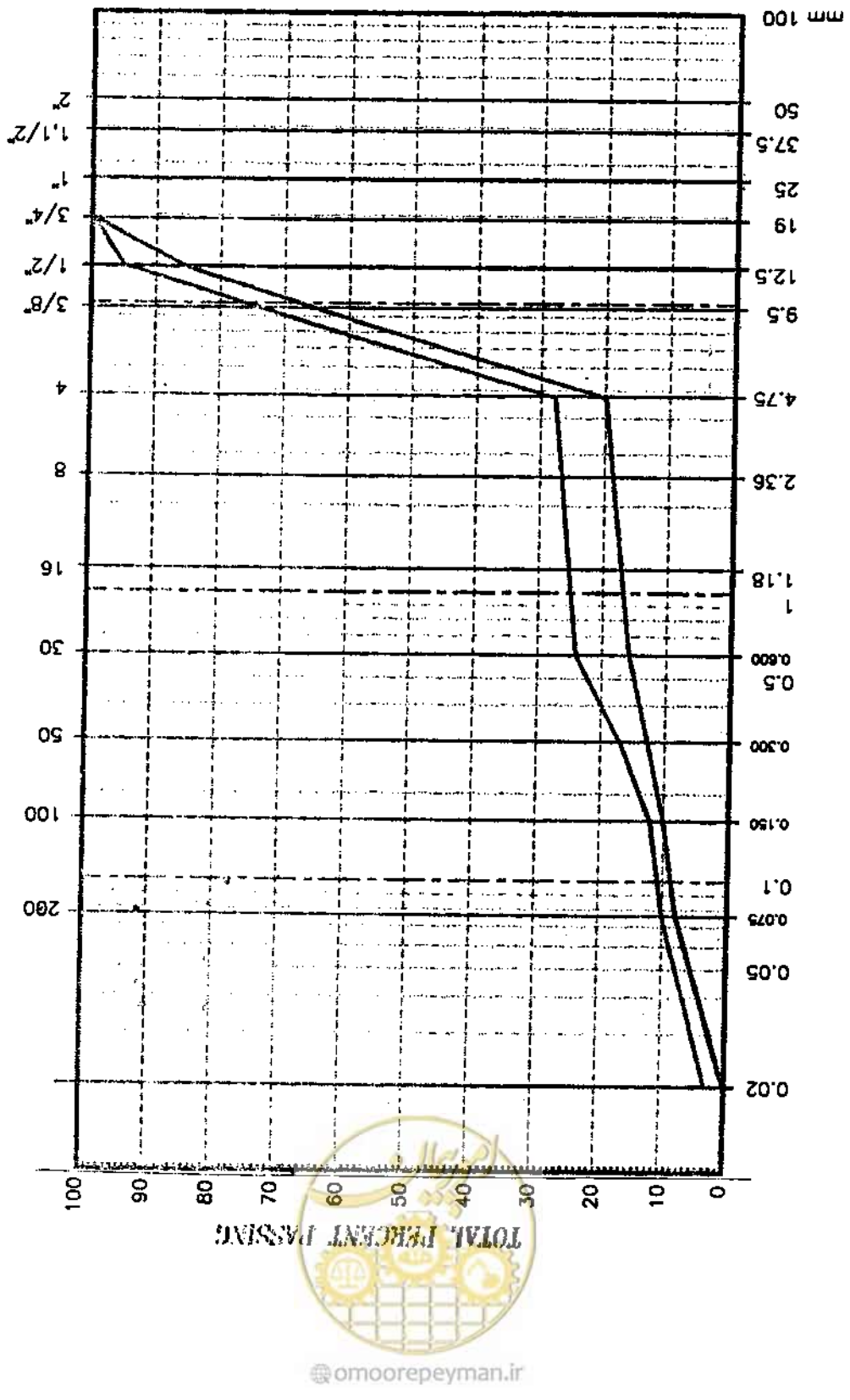
مقدار قیر بهینه بایستی ضمن تأمین فضای خالی مناسب آسفالت، پایدارترین حالت را به مخلوط آسفالتی بدهد. طراحی مخلوطهای آسفالتی گرم به روشهای ویم، هوبارد‌فیلد و مارشال صورت می‌پذیرد. متداولترین روش جهت طرح اختلاط مخلوطهای آسفالتی با استخوانبندی سنگدانه‌ای، روش مارشال می‌باشد.

جهت کوبیدن نمونه‌های مارشال اعمال ۵۰ ضربه به هر طرف نمونه توصیه شده است[۱]. برای نمونه‌های متراکم شده مخلوط، استحکام[۲] و روانی[۳] اندازه‌گیری و فضای خالی مصالح سنگی (VMA) و فضای خالی مخلوط آسفالتی محاسبه می‌گردد. درصد قیر مناسب نظیر فضای خالی ۲ تا ۴ درصد (معمولاً متناظر با ۳ درصد فضای خالی) است. با درصد فضای خالی انتخاب شده استحکام، روانی و VMA تعیین و با حداقل مقادیر لازم مقایسه می‌گردد [۴].

برای مخلوطهای آسفالتی با استخوانبندی سنگدانه‌ای، فضای خالی بین مصالح سنگی برابر ۱۷ درصد، فضای خالی مخلوط آسفالت ۲ تا ۴ درصد و حداقل میزان قیر ۶ درصد پیشنهاد شده است[۴].

omoorepeyman.ir

1 - SMA TWG
2 - Stability
3 - Flow
4 - SMA TWG



شکل ۴-۱- حدود دانه‌بندی پیشنهادی مخلوطهای آسفالتی با استخوانبندی سنگدانه‌ای با حداکثر اندازه ۱۹ میلیمتر
(توسط Technical Working Group)

omoorepeyman.ir

۵

ویژگیهای مخلوطهای آسفالتی با استخوانبندی سنگدانه‌ای

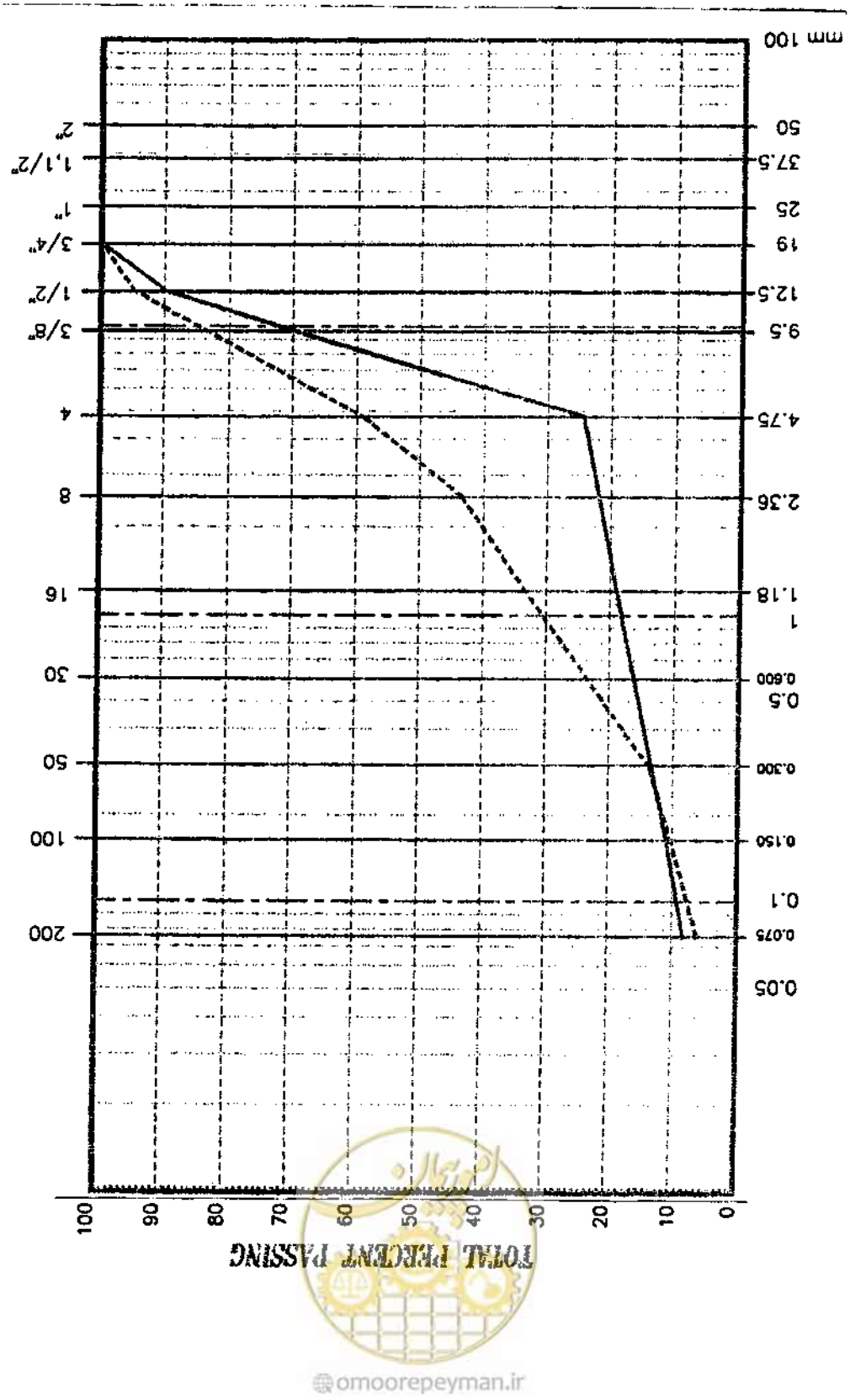
مخلوطهای آسفالتی با استخوانبندی سنگدانه‌ای از انواع مخلوطهای آسفالتی گرم هستند. در مناطق گرمسیری برای راههای با آمدوشد زیاد و بار محوری سنگین، از این مخلوطها استفاده شده است. این گونه مخلوطهای آسفالتی مقاومت خوبی در برابر شیار افتادگی و تغییرشکل دائمی از خود نشان داده‌اند. افزایش دوام و استحکام لایه آسفالتی، جلوگیری از لغزش سطح راه و عدم ایجاد ترک‌های ناشی از خستگی از دیگر ویژگی‌های این مخلوطها می‌باشند. در این مخلوطها، مصالح درشت دانه مقاوم و صددرصد شکسته به مقدار زیاد (حدود ۷۰ درصد نسبت به کل مصالح سنگی) مصرف می‌گردد. این میزان در مخلوطهای آسفالتی با دانه‌بندی پیوسته حدود ۴۰ درصد مصالح سنگی است. مصالح درشت دانه در واقع اسکلت و ساختار اصلی مخلوط را تشکیل می‌دهد. دانه‌بندی مخلوط های آسفالتی با استخوانبندی سنگدانه‌ای برخلاف دانه‌بندی مخلوطهای آسفالتی گرم متداول که عموماً پیوسته هستند، به صورت دانه‌بندی میان‌تهی می‌باشد. در شکل (۵-۱) دانه‌بندی مصالح سنگی مخلوط آسفالتی با استخوانبندی سنگدانه‌ای با حداکثر اندازه دانه ۱۹ میلیمتر با دانه‌بندی پیوسته مخلوط های آسفالتی گرم متداول با همان حداکثر اندازه دانه مقایسه گردیده است.

فضای خالی بین مصالح سنگی درشت در مخلوطهای آسفالتی با استخوانبندی سنگدانه‌ای با مخلوط ریزدانه، فیلر، قیر و ماده تثبیت‌کننده (الیاف‌های معدنی یا آلی، اصلاح کننده‌های پلیمری و یا ترکیبی از هر دو) پر می‌گردد. مجموعه ریزدانه، فیلر و ماده تثبیت‌کننده «ماستیک»[1] نامیده می‌شود. لازم به ذکر است هر مخلوطی با مقدار زیاد مصالح درشت دانه، مخلوط با استخوانبندی سنگدانه‌ای نمی‌باشد مگر آنکه فضای خالی بین سنگدانه‌ها با مواد یاد شده پر گردد.

عامل اصلی باربری و مقاومت در مخلوطهای آسفالتی گرم متداول با دانه‌بندی پیوسته، ملات (مصالح سنگی ریز و قیر) می‌باشد. در این گونه مخلوطهای آسفالتی مصالح درشت دانه به طور مستقیم با یکدیگر درگیر نشده و به هم قفل و بست نمی‌شوند در واقع تماس مصالح درشت دانه و ریزدانه برقرار می‌گردد.

omoorepeyman.ir

1 - Mastic



شکل ۵-۱- مقایسه دانه‌بندی مصالح سنگی مخلوط آسفالتی با استخوانبندی سنگدانه‌ای با دانه‌بندی پیوسته مخلوط آسفالتی گرم متداول با حداکثر اندازه دانه ۱۹ میلیمتر

omoorepeyman.ir

در مخلوطهای آسفالتی با استخوانبندی سنگدانه‌ای عامل اصلی باربری و مقاومت، مصالح درشت‌دانه هستند که به یکدیگر قفل و بست شده‌اند. به عبارت دیگر تماس مستقیم سنگدانه به سنگدانه عامل اصلی پایداری و باربری می‌باشد. در این مخلوطها برخلاف مخلوطهای آسفالتی گرم با دانه‌بندی پیوسته، مصالح سنگی ریزدانه، در استخوانبندی و اسکلت اصلی و قفل و بست‌ها دخالتی ندارد [۴]. در شکل (۵-۲) توزیع اندازه دانه‌ها در مخلوطهای آسفالتی با استخوانبندی سنگدانه‌ای و مخلوطهای آسفالتی با دانه‌بندی پیوسته مقایسه شده است [۲].

در مخلوطهای آسفالتی با استخوانبندی سنگدانه‌ای با توجه به مقدار زیاد فضای خالی بین مصالح درشت‌دانه و پرشدن این فضای خالی با مصالح سنگی ریزدانه و مقدار نسبتاً زیاد فیلر (۸ تا ۱۳ درصد)، مصرف نسبتاً زیاد قیر (بیش از ۶ درصد) الزامی می‌گردد.

وجود مقدار زیاد قیر در این مخلوطها، عاملی جهت افزایش دوام و پایداری و جلوگیری از پیرشدگی آسفالت تحت شرایط مختلف می‌باشد. با افزایش مقدار قیر، ضخامت غشاء دور دانه‌های مصالح سنگی زیادتر می‌گردد و هرچه این ضخامت بیشتر شود قیر دیرتر سفت می‌شود. به عبارت دیگر برای اینکه یک نوع قیر به درجه معینی از سختی برسد اندود ضخیم‌تر، مدت زمان بیشتری لازم دارد. از طرف دیگر با افزایش مقدار قیر مصرفی، فضاهای خالی مرتبط بین دانه‌های مصالح سنگی کوچکتر می‌شود و یا از بین می‌رود و در نتیجه هوا و آب دیگر نمی‌تواند به داخل مخلوط راه یابد. در مخلوطهای آسفالتی با استخوانبندی سنگدانه‌ای، دانه‌بندی میان‌تهی، وجود فضای خالی نسبتاً زیاد بین مصالح سنگی درشت دانه و مصرف زیاد قیر عوامل مستعدی جهت جاری شدن و ریزش قیر و قیرزدگی می‌باشند. بدین سبب جهت جلوگیری از این پدیده و تثبیت این گونه مخلوطهای آسفالتی از تثبیت‌کننده‌های مختلف استفاده می‌گردد. تمهیداتی که به منظور جلوگیری از ریزش و جاری شدن قیر و قیرزدگی در مخلوط های آسفالتی با استخوانبندی سنگدانه‌ای بکار می‌روند، عبارتند از :

۱- افزایش مقدار فیلر و ریزدانه‌ها [1]،

۲- افزودن الیاف‌های معدنی و یا الیاف‌های آلی،

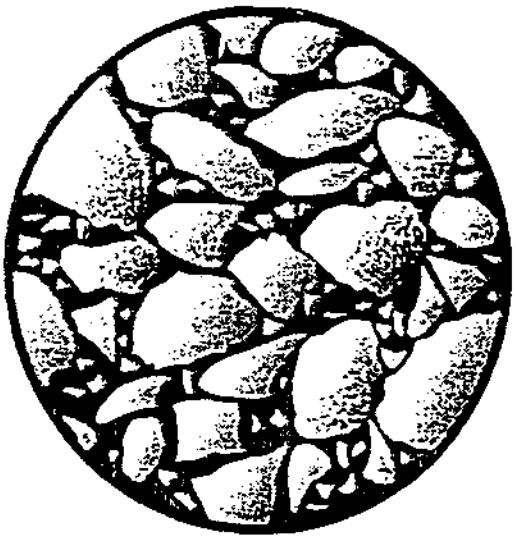
۳- استفاده از اصلاح‌کننده‌های پلیمری در قیر،

۴- ترکیبی از موارد فوق [۲].

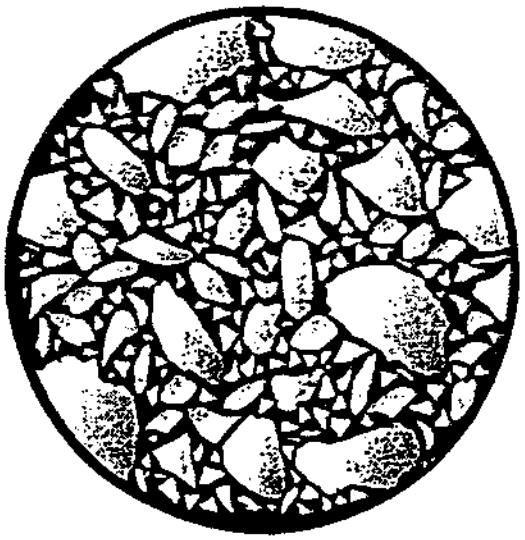
ویژگیهای اجزاء متشکله مخلوطهای آسفالتی با استخوانبندی سنگدانه‌ای و مخلوط آسفالتی با استخوانبندی سنگدانه‌ای در جداول (۵-۱) و (۵-۲) ارائه گردیده است [۳].

omoorepeyman.ir

1 - Fines

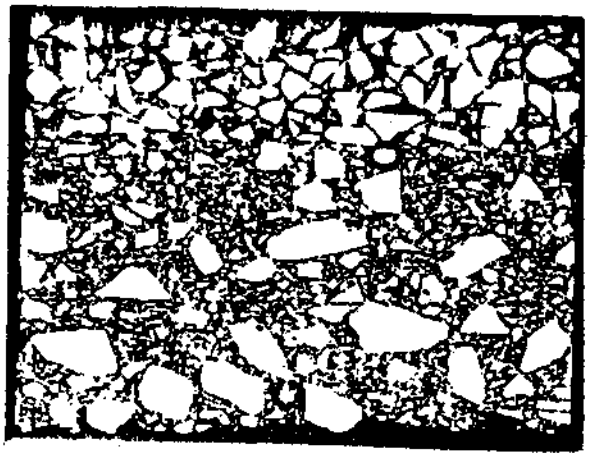


ب) دانه‌بندی میان تهی (استخوانبندی سنگدانه‌ای SMA)



الف) دانه‌بندی پیوسته

مخلوط آسفالت با استخوانبندی سنگدانه‌ای



مخلوط آسفالت معمولی

شکل ۵-۲- مقایسه توزیع اندازه دانه‌ها در مخلوطهای آسفالتی با استخوانبندی سنگدانه‌ای و مخلوطهای آسفالتی با دانه‌بندی پیوسته

omoorepeyman.ir

جدول ۵-۱- ویژگی‌های اجزاء متشکله مخلوطهای آسفالتی با استخوانبندی سنگدانه‌ای به پیشنهاد Technical Working Group

الف - مصالح درشت دانه :		
- درصد سایش به روش لوس‌آنجلس	حداکثر ۳۰	AASHTO : T۹۶
- درصد ذرات سوزنی و پولکی با نسبت ۳ به ۱	حداکثر ۲۰	ASTM : D ۴۷۹۱
- درصد ذرات سوزنی و پولکی با نسبت ۵ به ۱	حداکثر ۵	ASTM : D ۴۷۹۱
- درصد افت وزنی در مقابل سولفات سدیم	حداکثر ۱۵	AASHTO : T ۱۰۴
- درصد شکستگی در یک جبهه	۱۰۰	-
- درصد شکستگی در دو جبهه	حداقل ۹۰	-
- درصد جذب آب مصالح سنگی	حداکثر ۲	AASHTO : T ۸۵
ب - مصالح ریزدانه :		
- درصد شکستگی	۱۰۰	-
- حد روانی	حداکثر ۲۵	AASHTO : T ۸۹
- درصد افت وزنی در مقابل سولفات سدیم	حداکثر ۱۵	AASHTO : T ۱۰۴
ج - مخلوط مصالح سنگی		
- دانه‌بندی	**اندازه الک**	**درصد ریزتر**
	۱۹ میلیمتر	۱۰۰
	۱۲/۵ میلیمتر	۹۵-۸۵
	۹/۵ میلیمتر	حداکثر ۷۵
	۴/۷۵ میلیمتر	۲۸-۲۰
	۲/۳۶ میلیمتر	۲۴-۱۶
	۰/۶ میلیمتر	۱۶-۱۲
	۰/۳ میلیمتر	۱۲-۱۰
	۰/۰۷۵ میلیمتر	۱۰-۸
	۰/۰۲۰ میلیمتر	حداکثر ۳
- شاخص دوام مصالح درشت و ریز	حداقل ۴۰	AASHTO : T ۲۱۰
د - فیلـــر :		
- دامنه خمیری	حداکثر ۴	AASHTO : T ۹۰
- درصد رد شده از الک ۰/۰۲۰ میلیمتر	حداکثر ۲۰	AASHTO : M ۹۲
هـ - قیـــر :		
- آزمایشات قیر		AASHTO : M ۲۲۶
و - تثبیت‌کننده‌ها :		
- درصد سلولز نسبت به کل مخلوط	۰/۳	-
- درصد الیاف‌های معدنی نسبت به کل مخلوط	۰/۴	-

جدول ۵-۲- ویژگی‌های مخلوط آسفالتی با استخوانبندی سنگدانه‌ای به پیشنهاد Technical Working Group

- درصد فضای خالی مصالح سنگی (VMA)	۱۷
- درصد فضای خالی مخلوط آسفالت	۴-۲
- درصد قیر	حداقل ۶

omoorepeyman.ir

۶

آزمایشهای بررسی کیفی مصالح سنگی و مواد انتخاب شده جهت ساخت نمونه‌های مخلوط آسفالتی با استخوانبندی سنگدانه‌ای

در این مرحله مصالح سنگی و مواد انتخاب شده جهت ساخت نمونه‌های مخلوط آسفالتی مورد آزمایش بررسی کیفی قرار گرفتند. این مواد عبارتند از :

- مصالح سنگی درشت دانه
- مصالح سنگی ریزدانه
- فیلر
- الیاف
- قیر

۶ـ۱ـ مصالح سنگی درشت دانه و ریز دانه

مصالح سنگی مختلفی جهت بررسی بمنظور دارا بودن ویژگی‌های مطلوب مورد ارزیابی قرار گرفت. مصالح سنگی که شرایط مورد نظر برای تهیه نمونه‌های مخلوط آسفالتی با استخوانبندی سنگدانه‌ای را دارا نبودند، مردود و نهایتاً مصالح سنگی که دارای ویژگیهای مطلوب بودند، انتخاب گردیدند. مصالح سنگی انتخابی، مصالح شکسته رودخانه‌ای می‌باشد که از یکی از کارگاههای راهسازی واقع در جنوب شهر تهران برداشت گردیده‌است .

۶ـ۱ـ۱ـ آزمایش های انجام شده برروی مصالح سنگی

۶ـ۱ـ۱ـ۱ـ تعیین مقاومت مصالح سنگی در برابر سایش به روش لوس‌آنجلس (AASHTO - T ۶۹)

مصالح سنگی مصرفی در مخلوط های آسفالتی با استخوانبندی سنگدانه‌ای بایستی از سختی و استحکام کافی برخوردار بوده باشند. این مصالح باید تحت تأثیر بارهای وارده ناشی از آمدوشد وسایط نقلیه مقاومت لازم را دارا باشند. مقدار سایش مصالح سنگی با آزمایش لوس‌آنجلس تعیین می‌گردد. در این آزمایش مقدار معینی مصالح سنگی به همراه تعداد گلوله‌های فلزی مورد نیاز درداخل استوانه فولادی دوار دستگاه ریخته و دستگاه باسرعت ۳۰ دور در دقیقه به گردش در می‌آید. سقوط و تماس گلوله‌ها با مصالح سنگی باعث سایش و خرد شدن مصالح می‌گردد. موقعیکه استوانه ۵۰۰ دور، دوران نمود دستگاه متوقف و تمام مصالح را خارج نموده و روی الک شماره ۱۲ (۱/۶۸ میلیمتر) الک کرده و

omoorepeyman.ir

آنگاه مصالح مانده روی الک شماره ۱۲ را شسته و در گرمخانه با دمای ۱۱۰ درجه سانتیگراد خشک کرده و سپس وزن می‌نمایند. میزان افت وزنی مصالح سنگی برحسب درصد از اختلاف وزن مصالح خشک شده مانده روی الک شماره ۱۲ با وزن اولیه تعیین و بعنوان درصد سایش گزارش می‌گردد. مصالح سنگی که از استحکام بالایی برخوردار باشند میزان سایش در آنها کم خواهد بود.

۶ـ۱ـ۱ـ۲ـ تعیین مقاومت در مقابل ضربه [1] (BS ـ ۸۱۲)

نتیجه این آزمایش معیاری جهت اطمینان از استحکام و سختی مصالح سنگی در برابر ضربه می‌باشد. در این آزمایش مصالح سنگی رد شده از الک $\frac{1}{2}$ اینچ و مانده روی الک $\frac{3}{8}$ اینچ در قالب فولادی مخصوص در سه لایه ریخته شده و هر لایه با میله‌ای به قطر $\frac{3}{8}$ اینچ، طول ۱۹ اینچ و با ۲۵ ضربه متراکم می‌گردد. سپس قالب در زیر دستگاه قرار گرفته و توسط چکش ۱۳/۵ کیلوگرمی که از ارتفاع ۳۸ سانتی‌متری سقوط می‌کند ۱۵ ضربه به نمونه وارد می‌شود. بعد از آن مصالح را روی الک شماره ۸ (۲/۳۶ میلیمتر) ریخته و وزن مصالح خرد شده که از الک شماره ۸ عبور می‌نماید، تعیین و نسبت به وزن اولیه، درصد مصالح خرد شده در برابر ضربه محاسبه می‌گردد.

۶ـ۱ـ۱ـ۳ـ تعیین مقاومت در برابر خردشدن [2] (BS ـ ۸۱۲)

مقاومت در برابر خرد شدن نیز معیاری جهت تعیین سختی و استحکام مصالح سنگی می‌باشد. در این آزمایش مصالح سنگی رد شده از الک $\frac{1}{2}$ اینچ و مانده روی الک $\frac{3}{8}$ اینچ را در قالب استوانه‌ای فولادی ریخته و بوسیله جک مخصوص باری معادل ۴۰۰ کیلو نیوتن به مدت ده دقیقه بر آن اعمال می‌شود. سپس وزن مصالح خرد شده که از الک شماره ۸ (۲/۳۶ میلیمتر) عبور می‌نماید تعیین و با تقسیم آن به وزن اولیه، درصد مقاومت در برابر خردشدگی محاسبه می‌گردد.

۶ـ۱ـ۱ـ۴ـ تعیین مقاومت در برابر محلول سولفات سدیم یا منیزیم (AASHTO - T ۱۰۴)

این آزمایش معیاری جهت تعیین پایداری، مقاومت و دوام مصالح سنگی در مقابل عوامل شیمیایی و شرایط حاد محیطی می‌باشد. در این آزمایش مصالح سنگی را در محلول اشباع سولفات سدیم یا سولفات منیزیم قرار می‌دهند سپس در دمای ۱۱۰ درجه سانتیگراد خشک می‌نمایند. این عمل ۵ مرتبه تکرار می‌گردد. سرانجام درصد افت وزنی این مصالح تعیین می‌شود. هر اندازه افت وزنی مصالح کمتر باشد، پایداری و استحکام آن در برابر عوامل شیمیایی و شرایط جوی حاد بیشتر است.

1- Impact Value

2- Crushing Value

omoorepeyman.ir

۶ـ۱ـ۱ـ۵ـ آزمایش دانه‌بندی (AASHTO - T۲۷)

برحسب تعریف دانه‌بندی مصالح سنگی، تعیین درصد وزنی دانه‌های بااندازه‌های مختلف در مخلوط مورد نظر می‌باشد. در این آزمایش ابتدا با چهار قسمت کردن ، مقدار مناسبی از مصالح را برداشته و به تدریج بر روی یک سری الک که به ترتیب اندازه برروی هم چیده شده است ریخته می‌شود. پس از تکان دادن لازم، مصالح مانده روی هر الک بطور مجزا توزین می‌گردد. دانه‌بندی بصورت درصد وزنی رد شده از الک‌های مشخص تعیین شده و ارقام بدست آمده روی یک دستگاه مختصات نیمه لگاریتمی منتقل و منحنی نمایش تغییرات درصد وزنی رد شده از هر الک ترسیم می‌گردد.

۶ـ۱ـ۱ـ۶ـ تعیین ارزش ماسه‌ای (AASHTO - T۱۷۶)

مصالح سنگی ریزدانه مصرفی در مخلوطهای آسفالتی ، بایستی عاری از مواد مضره از قبیل مواد رسی، مواد آلی و ذرات ریز نرم و کم دوام باشند تا ایجاد خاصیت چسبندگی و اندود شدن توسط قیر بهتر تامین گردد علاوه بر آن در اثر مجاورت با آب کاهش مقاومت و یا تغییر حجم قابل ملاحظه‌ای نداشته باشند. آزمایش تعیین ارزش ماسه‌ای به منظور تعیین تمیزی نسبی مصالح سنگی ریز دانه به کار می‌رود. در این آزمایش مقدار معینی از مصالح رد شده از الک ۴/۷۵ میلیمتر به داخل آب حاوی کلرور کلسیم، گلیسیرین و فرم‌آلدئید (محلول استوک) در یک استوانه مدرج ریخته شده و بر این مخلوط حاوی نمونه در مدت ۳۰ ثانیه تعداد ۹۰ حرکت افقی رفت و برگشت اعمال می‌گردد. پس از آن استوانه محتوی نمونه و محلول برای مدت ۲۰ دقیقه بر روی میز به حال سکون گذارده می‌شود. در انتهای ۲۰ دقیقه، نمونه بهم خورده به مرور رسوب می‌نماید و بدین ترتیب مواد رسی از ماسه جداگردیده و به صورت معلق در بالای ماسه جمع می‌گردد. با میله نشانه دار ارتفاع ستون مواد رسی معلق و ارتفاع ستون ماسه ته‌نشین شده قرائت و ارزش ماسه‌ای بر حسب درصد از تقسیم ارتفاع ستون ماسه به ارتفاع ستون رس محاسبه می‌گردد. هر اندازه میزان ارزش ماسه‌ای مصالح سنگی ریزدانه بیشتر باشد حاکی از تمیزی بیشتر آن خواهد بود.

۶ـ۱ـ۱ـ۷ـ دامنه خمیری[1] (AASHTO - T ۹۰)

مصالح سنگی ریز دانه و فیلر مورد استفاده در مخلوطهای آسفالتی بایستی فاقد خاصیت خمیری و جذب آب بالا باشند . به عبارت دیگر این مصالح بایستی عاری از دانه‌های رسی و مواد آلی باشند. دامنه خمیری از معیارهای مهم تعیین مرغوبیت مصالح سنگی ریز دانه و فیلر می‌باشد. دامنه خمیری از اختلاف عددی حدروانی با حد خمیری بدست می‌آید . هر اندازه دامنه خمیری مصالح سنگی کمتر باشد نشان آن است که مصالح دانه‌ای و غیر چسبنده بوده و مواد رسی کمتری را دارد، در نتیجه جهت مصرف در آسفالت مرغوبتر است.

1- Plasticity Index

omoorepeyman.ir

۶ـ۱ـ۱ـ۸ـ تعیین درصد ذرات سوزنی و پولکی شکل[1] (BS - ۸۱۲)

شکل ظاهری دانه‌های مصالح سنگی در خواص مکانیکی مخلوطهای آسفالتی دارای اهمیت می‌باشد. زیرا سنگدانه‌های طویل و سنگدانه‌های تخت در اثر بارهای وارده ناشی از آمدوشد خرد شده و در نتیجه موجب کاهش پایداری و تشدید خرابی آسفالت می‌گردند. درصد ذرات سوزنی شکل، درصد وزنی مصالح سنگی است که طول آنها $1\frac{4}{5}$ اندازه متوسط دانه‌ها باشد. همچنین درصد ذرات پولکی شکل، درصد وزنی مصالح سنگی است که ضخامت آنها کمتر از $\frac{3}{5}$ اندازه متوسط دانه‌ها باشد. برای تعیین درصد ذرات سوزنی شکل از یک پایه چوبی که برروی آن میله‌هایی قرار دارد که فاصله میله‌ها $1\frac{4}{5}$ اندازه متوسط دو الک متوالی می‌باشد استفاده می‌گردد و برای تعیین درصد ذرات پولکی شکل از یک صفحه مخصوص شیاردار که عرض شیارها $\frac{3}{5}$ اندازه متوسط دو الک متوالی است بکار می‌رود. در هر دو حالت مصالح سنگی از میان میله‌ها و شیارها عبور داده می‌شود. از تقسیم جمع وزنی مصالح عبور نکرده از میان میله‌ها نسبت به وزن اولیه درصد ذرات سوزنی شکل و از تقسیم جمع وزنی مصالح رد شده از میان شیارها نسبت به وزن اولیه درصد ذرات پولکی شکل محاسبه می‌گردد.

۶ـ۱ـ۱ـ۹ـ آزمایش تعیین درصد شکستگی

بررسی شکل سنگدانه‌ها در یک مخلوط آسفالتی درواقع مطالعه تفاوت بین مصالح طبیعی و مصالح شکسته و تأثیر آن در مقاومت مکانیکی و سایر خصوصیات مخلوط است. شکل سنگدانه‌هادر مصالح شکسته به ساختار سنگ‌کوهی و یا رودخانه‌ای، خواص فیزیکی وجوه شکسته، روش شکستن و نوع سنگ‌شکن‌ها مربوط می‌شود. به طورکلی شکل سنگدانه‌هادر مقاومت، کارآیی و قابلیت تراکم‌پذیری مخلوط آسفالتی ونیز نوع وسایلی که برای تأمین دانسیته مطلوب آن لازم است ، نقش مؤثری دارد. کاربرد مصالح سنگی شکسته، نظیر شن و ماسه رودخانه‌ای در تهیه مخلوطهای آسفالتی بادانه‌بندی پیوسته و توپر نتایج رضایت‌بخشی داشته است . استانداردهای ASTM، AASHTO و انستیتو آسفالت نیز در مورد درصد شکستگی مصالح سنگی مصرفی در آسفالت‌گرم ، ارزش‌ها و مشخصه‌های کم و بیش متفاوتی را تعیین کرده‌اند. برای مخلوطهای آسفالتی با استخوانبندی سنگدانه‌ای نیز توسط TWG حدود مقادیر درصد شکستگی مشخص شده است. نحوه انجام این آزمایش به این ترتیب است که ابتدا قسمت درشت‌دانه مصالح سنگی (مانده روی الک شماره ۴) از کل نمونه مورد آزمایش جدا شده، تک‌تک دانه‌ها مورد بررسی قرار گرفته و تعداد وجه‌های شکسته آنها تعیین می‌شود. درصد شکستگی دانه‌ها از تقسیم وزن سنگدانه‌هایی که یک وجه شکسته یا بیشتر دارند (بسته به مورد) به کل وزن سنگدانه‌ها بدست می‌آید.

1- Elongation Index & Flakiness Index

omoorepeyman.ir

۶ـ۱ـ۱ـ۱۰ـ آزمایش تعیین چگالی و جذب آب مصالح سنگی (ASTM : C ۱۲۷ و C ۱۲۸ D ۸۵۴)

چگالی مصالح سنگی در محاسبات مربوط به مشخصات مخلوط آسفالتی در طرح اختلاط به‌خصوص در تعیین فضای خالی مخلوط آسفالتی کوبیده شده و فضای خالی مصالح سنگی اثر قابل ملاحظه‌ای دارد. علت این تأثیر تخلخل دانه‌های مصالح سنگی و جذب قیر در فضاهای خالی مرتبط مصالح سنگی است . برای مشخص نمودن اثر تخلخل یا خلل و فرج دانه‌های مصالح سنگی، چگالی را به دو صورت زیر مشخص می‌نمایند :

۱ ـ چگالی ظاهری[1]

۲ ـ چگالی حقیقی[2]

چگالی ظاهری مصالح سنگی برابر با وزن حجم معینی از مصالح (شامل حجم جامد دانه‌ها) نسبت به وزن آب هم حجم آن می‌باشد.

چگالی حقیقی مصالح سنگی برابر با وزن حجم معینی از مصالح (شامل حجم جامد دانه‌ها بعلاوه حجم حفرات دانه‌ها) نسبت به وزن آب هم حجم آن می‌باشد.

درصد جذب آب مصالح سنگی مطابق رابطه زیر تعیین می‌شود :

$$\text{درصد جذب آب} = [(\frac{1}{\text{چگالی حقیقی}})(\frac{1}{\text{چگالی ظاهری}})] \times ۱۰۰$$

۶ـ۱ـ۲ـ نتایج آزمایشهای مصالح سنگی

مصالح سنگی مورد استفاده در ساخت نمونه‌های مخلوطهای آسفالتی با استخوانبندی سنگدانه‌ای از مخلوط مصالح شکسته رودخانه‌ای تهیه شده است. مصالح سنگی مصرفی عمدتا ازنوع سیلیسی و سیلیکاتی بوده و در حدود ۱۵ درصد دارای ترکیبات کربناتی بر حسب $CaCO_3$ می‌باشند. مقدار سیلیس و سیلیکات‌های مخلوط این مصالح بر حسب SiO_2 و کربنات‌های آن بر حسب CO_2 در جدول (۶-۱) آمده است.

جدول ۶-۱ – درصد سیلیس ، سیلیکاتها و کربناتهای مصالح سنگی مصرفی

درصد سیلیس و سیلیکاتها برحسب SiO_2	درصد کربناتها بر حسب CO_2
۵۸/۱۳	۷/۱۵

1- Apparent Specific Gravity 2- Bulk Specific Gravity

omoorepeyman.ir

مصالح سنگی منتخب به دو بخش درشت‌دانه مانده روی الک شماره ۴ (۴/۷۵ میلیمتر) و ریز دانه رد شده ازالک شماره ۴ تفکیک شده و سپس آزمایش‌های بررسی کیفیت بر روی آنها انجام گرفته‌است. نتایج آزمایشهای انجام شده در جداول (۶-۲) و (۶-۳) ارائه گردیده است. از مقایسه نتایج حاصل از آزمایشهای انجام شده با حدود مشخصات پیشنهاد شده توسط TWG، مصالح سنگی منتخب جهت ساخت نمونه‌های مخلوط آسفالتی آزمایشی با استخوانبندی سنگدانه‌ای، مناسب تشخیص داده شدند.

جدول ۶-۲- نتایج آزمایشهای مصالح سنگی درشت دانه * مانده روی الک شماره ۴

نوع آزمایش	نتیجه آزمایش	روش استاندارد آزمایش
- درصد شکستگی در یک جبهه	۱۰۰	-
- درصد شکستگی در دو جبهه	۹۰	-
- درصد افت وزنی در مقابل سولفات منیزیم	۰/۵۳	AASHTO : T ۱۰۴
- درصد افت وزنی در مقابل سولفات سدیم	۰/۳۷	AASHTO : T ۱۰۴
- درصد خرد شده در اثر ضربه	۵/۴	BS - ۸۱۲
- درصد خرد شده در اثر فشار	۱۶/۳	BS - ۸۱۲
- درصد سایش به روش لوس‌آنجلس	۱۶	AASHTO : T ۹۶
- درصد ذرات سوزنی	۱۷/۵	BS - ۸۱۲
- درصد ذرات پولکی	۱۹/۴	BS - ۸۱۲
- چگالی حقیقی	۲/۴۷۵	ASTM : C ۱۲۷
- چگالی ظاهری	۲/۶۳۵	ASTM : C ۱۲۷
- درصد جذب آب	۲	ASTM : C ۱۲۷

* مصالح سنگی درشت دانه، عاری از هرگونه مواد آلی، دانه‌های سست و کلوخه‌های رسی بوده است.

جدول ۶-۳- نتایج آزمایشهای مصالح سنگی ریزدانه * رد شده از الک شماره ۴

نوع آزمایش	نتیجه آزمایش	روش استاندارد آزمایش
- درصد شکستگی	شکسته **	-
- درصد افت وزنی در مقابل سولفات منیزیم	۱/۰۶	AASHTO : T ۱۰۴
- درصد افت وزنی در مقابل سولفات سدیم	۰/۶۷	AASHTO : T ۱۰۴
- ارزش ماسه‌ای	۷۲	AASHTO : T ۱۷۶
- حد روانی	غیرقابل تعیین	AASHTO : T ۸۹
- حد خمیری	-	AASHTO : T ۹۰
- دامنه خمیری	N.P	AASHTO : T ۹۰
- چگالی حقیقی	۲/۵۴۸	ASTM : C ۱۲۸
- چگالی ظاهری	۲/۷۳۴	ASTM : C ۱۲۸
- درصد جذب آب	۲/۲	ASTM : C ۱۲۸

* مصالح سنگی ریزدانه، عاری از هرگونه مواد آلی، دانه‌های سست و کلوخه‌های رسی بوده است.

** ماسه مصرفی از خردکردن مصالح سنگی حاصل گردیده و تماماً شکسته می‌باشد.

omoorepeyman.ir

۶-۲- آزمایشهای فیلر

با توجه به نقش و اهمیت فیلر در مخلوطهای آسفالتی با استخوانبندی سنگدانه‌ای، گرد سنگ آهک به عنوان فیلر در ساخت نمونه‌های آسفالتی استفاده گردیده است. مقدار کربناتهای گرد سنگ مصرفی بر حسب CO_2 برابر ۴۳/۶۰ درصد می‌باشد. همه ذرات فیلر مصرفی در آزمایش دانه‌بندی به روش شستشو (ASTM : C ۱۱۷) از الک شماره ۲۰۰ عبور کرده است. آزمایشهای بررسی کیفی لازم بر روی فیلر مصرفی انجام گرفته و نتایج در جدول (۶-۴) ارائه گردیده است.

جدول ۶-۴- نتایج آزمایشهای فیلر مصرفی

نوع آزمایش	نتیجه آزمایش	روش استاندارد آزمایش
- حد روانی	۲۴	AASHTO : T ۸۹
- حد خمیری	۲۱	AASHTO : T ۹۰
- دامنه خمیری	۳	AASHTO : T ۹۰
- چگالی	۲/۷۰۶	ASTM : D ۸۵۴

۶-۳- آزمایشهای الیاف

الیاف به عنوان ماده تثبیت کننده در مخلوطهای آسفالتی با استخوانبندی سنگدانه‌ای به کار می‌روند. الیاف مورد استفاده در اینگونه مخلوطهای آسفالتی می‌توانند الیاف معدنی یا آلی باشند. موادی نظیر پنبه کوهی، پشم سنگ، پشم شیشه و سلولز به عنوان الیاف در مخلوطهای آسفالتی با استخوانبندی سنگدانه‌ای مورد استفاده قرار گرفته‌اند. برخی از این مواد مانند پشم شیشه و آزبست برای سلامتی افرادی که با آنها کار می‌کنند زیان‌آور است و در صورت استفاده از آنها باید اقدامات ایمنی خاصی به عمل آید. به عنوان مثال در بسته‌بندی‌های پلاستیکی دربسته نگهداری و مستقیماً به مخلوط آسفالتی افزوده گردند تا هیچگونه تماسی با بدن افراد نداشته باشند و در هوا نیز پخش نشوند. از نقطه نظر فنی و تأمین خاصیت جلوگیری از جاری‌شدن قیر از مخلوط، پشم شیشه و سلولز بسیار مؤثر و مطلوب می‌باشند زیرا می‌توانند میزان جاری شدن قیر از مخلوط را به کمتر از ۰/۱ درصد کاهش دهند [۵]. در ایران الیافهای سلولزی، پشم سنگ و پشم شیشه موجود و در دسترس می‌باشند. در این طرح تحقیقاتی جهت ساخت نمونه‌های مخلوط آزمایشی با توجه به سهولت دسترسی و رعایت مسائل ایمنی، بهداشتی و زیست محیطی از پشم سنگ که یک نوع الیاف معدنی می‌باشد، استفاده شده است. ماده اولیه پشم سنگ مصرفی، سنگ آتشفشانی بازالت می‌باشد. ترکیب شیمیایی اجزاء تشکیل دهنده الیاف پشم سنگ مصرفی در جدول (۶-۵) آمده است.

omoorepeyman.ir

جدول ۶-۵- ترکیب شیمیایی اجزاء تشکیل دهنده الیاف پشم سنگ

نوع ترکیب	فرمول شیمیایی	مقدار بر حسب درصد
اکسید سیلیسیم	SiO_2	۶۰
اکسید آلومینیم	Al_2O_3	۱۵
اکسید آهن	Fe_2O_3	۶/۳
اکسید کلسیم	CaO	۶/۴
اکسید منیزیم	MgO	۳/۸
اکسید سدیم	Na_2O	۳/۶
اکسید پتاسیم	K_2O	۰/۹
افت وزنی در مقابل حرارت	L.O.I	۲/۹

طول الیاف پشم سنگ مصرفی در ساخت نمونه‌های آزمایشی مخلوط آسفالتی با استخوانبندی سنگدانه‌ای در حدود یک میلیمتر بوده است.

۶-۴- آزمایشهای قیر

قیر مورد استفاده در مخلوطهای آسفالتی با استخوانبندی سنگدانه‌ای از نوع قیرهای خالص می‌باشد. در ایران قیرهای خالص مصرفی در راهسازی براساس درجه نفوذ[1] طبقه‌بندی می‌گردند. از جمله این قیرها می‌توان به قیرهای ۴۰/۵۰، ۶۰/۷۰ و ۸۵/۱۰۰ که در پالایشگاههای ایران تولید می‌شود، اشاره نمود. نوع قیر در راهسازی معمولاً با توجه به شرایط جوی محل، میزان آمدوشد و نوع روسازی انتخاب می‌گردد. هر اندازه درجه حرارت محل بیشتر باشد از قیر با درجه نفوذ کمتر استفاده می‌شود.

آزمایشهای مختلفی جهت تعیین خصوصیات قیرهای خالص به کار می‌روند. آزمایشهای متداول برای تعیین خصوصیات قیرهای خالص براساس استانداردهای ASTM و AASHTO عبارتند از :

تعیین درجه نفوذ، تعیین نقطه نرمی، تعیین قابلیت شکل‌پذیری، تعیین چگالی، تعیین نقطه اشتعال، قشرنازک قیر، تعیین کندروانی و تعیین درجه خلوص.

۶-۴-۱- آزمایش تعیین درجه نفوذ قیر (ASTM : D ۵ یا AASHTO : T ۴۹)

این آزمایش برای تعیین سفتی نسبی قیرهای خالص به کار می‌رود. در این آزمایش میزان نفوذ سوزن فولادی استاندارد تحت اثر یک وزنه ۱۰۰ گرمی به مدت ۵ ثانیه در داخل قیر مورد آزمایش در دمای ۲۵ درجه سانتیگراد

1- Penetration Grade

omoorepeyman.ir

اندازه‌گیری می‌شود. میزان فرورفتگی سوزن از سطح قیر بر حسب دهم میلیمتر بیان می‌گردد. در این آزمایش، پس از گرم کردن و هم زدن قیر، آن را در داخل ظرف مخصوص ریخته و پس از رسیدن به دمای محیط، به مدت یکساعت در آب ۲۵ درجه سانتیگراد قرار داده، سپس ظرف حاوی نمونه را زیر سوزن دستگاه نفوذسنج برده و سوزن را با سطح نمونه مماس می‌کنند و تحت نفوذ وزنه ۱۰۰ گرمی به مدت ۵ ثانیه قرار می‌گیرد. میزان نفوذ سوزن به داخل قیر از روی درجه‌بندی دستگاه بر حسب دهم میلیمتر قرائت و به عنوان درجه نفوذ یادداشت می‌گردد. درجه نفوذ کمتر نشانه قیر سفت‌تر و درجه نفوذ بیشتر نشانه قیر شل‌تر است.

۶-۴-۲- آزمایش تعیین نقطه نرمی قیر[1] (ASTM : D ۳۶ یا AASHTO : T ۵۳)

قیرهای خالص در برابر افزایش درجه حرارت به تدریج از حالت جامد به حالت خمیری و در نهایت به حالت مایع تغییر حالت می‌دهند. سرعت تغییر حالت برای قیرهای مختلف متفاوت می‌باشد. نقطه نرمی یکی از معیارهایی است که در تعیین حساسیت قیرها نسبت به درجه حرارت به کار می‌رود. درجه حرارتی که قیر از حالت جامد به حالت روان در می‌آید، نقطه نرمی قیر نامیده می‌شود.

آزمایش تعیین نقطه نرمی با روش حلقه و گلوله انجام می‌گیرد. در این روش ابتدا قیر گرم می‌شود، سپس قیر در داخل حلقه‌های مخصوص ریخته شده و سطح آن توسط کاردک گرم شده، صاف می‌گردد. حلقه‌ها در محل خود قرار داده می‌شوند. مجموعه در داخل ظرف محتوی آب ۴ درجه سانتیگراد قرار داده شده و گلوله‌ای فلزی با وزن و قطر معین روی قیر قرار می‌گیرد. به ظرف آب از پایین به طور یکنواخت حرارت داده می‌شود. درجه حرارتی که گلوله‌ها، تحت اثر وزن خود از داخل لایه قیر عبور کرده و با صفحه زیرین تماس حاصل می‌نمایند، اندازه‌گیری شده و به عنوان نقطه نرمی قیر یادداشت می‌گردد.

۶-۴-۳- آزمایش تعیین قابلیت شکل‌پذیری[2] (ASTM : D ۱۱۳ یا AASHTO : T ۵۱)

قیر مورد استفاده در اندودکردن مصالح سنگی باید دارای خاصیت چسبندگی زیاد باشد. برای تعیین نشانه‌ای از چسبندگی قیرها از آزمایش تعیین قابلیت شکل‌پذیری استفاده می‌شود. هر اندازه قیری چسبنده‌تر باشد، قابلیت شکل‌پذیری آن نیز بیشتر خواهد بود.

حداکثر میزان افزایش طول نمونه قیر با شکل و ابعاد معین، در دمای مشخص و با سرعت کشش یکسان را در لحظه پاره‌شدن، قابلیت شکل‌پذیری یا خاصیت انگمی آن گویند. در روش آزمایش، نمونه قیر گرم شده و در قالب‌های استاندارد ریخته می‌شود. پس از پایین‌آمدن دمای نمونه تا دمای محیط، آن را در ظرف آب با دمای ۲۵ درجه سانتیگراد

1- Softening Point
2- Ductility

omoorepeyman.ir

قرار داده، سپس قالب محتوی نمونه قیر در دستگاه کشش قرار داده می‌شود، آنگاه با سرعت ۵ سانتیمتر در دقیقه نمونه کشیده می‌شود تا پاره گردد. مقدار افزایش طول نمونه قیر در لحظه پاره‌شدن بر حسب سانتیمتر به عنوان قابلیت شکل‌پذیری قیر تعیین می‌گردد.

۶-۴-۴- آزمایش تعیین چگالی قیر[1] (ASTM : D ۷۰ یا AASHTO : T ۲۲۸)

نسبت وزن حجم معینی از قیر در درجه حرارت معین به وزن آب هم حجم آن در همان درجه حرارت را چگالی قیر می‌نامند. چگالی قیر در اندازه‌گیری‌های حجمی و همچنین در محاسبات و تعیین پارامترهای مخلوطهای آسفالتی در طرح اختلاط آسفالت کاربرد دارد. آزمایش تعیین چگالی قیر با استفاده از پیکنومتر انجام می‌گیرد. این آزمایش براساس اندازه‌گیری وزن و حجم قیر در درجه حرارت مبنا که معمولاً ۲۵ یا ۱۵/۶ درجه سانتیگراد می‌باشد، انجام می‌گردد.

۶-۴-۵- آزمایش تعیین نقطه اشتعال قیر[2] (ASTM : D ۹۲ یا AASHTO : T ۴۸)

درجه حرارتی را که در آن گازهای حاصل از حرارت‌دادن قیر با نزدیک شدن شعله به سطح قیر مشتعل می‌گردند، نقطه اشتعال قیر می‌نامند. در این آزمایش قیر را در ظرف مخصوص ریخته و آن را تدریجاً حرارت می‌دهند. درجه حرارتی که گازهای حاصل از حرارت قیر با نزدیک‌شدن شعله مشتعل می‌گردد را با استفاده از دماسنج قرائت کرده و به عنوان نقطه اشتعال قیر گزارش می‌نمایند. با داشتن نقطه اشتعال قیر، حداکثر درجه حرارتی را که بدون خطر آتش‌سوزی می‌توان قیر را گرم کرد، بدست می‌آید.

۶-۴-۶- آزمایش قیر نازک قیر[3] (ASTM : D ۱۷۵۴ یا AASHTO : T ۱۷۹)

قیر در تماس با هوا، حرارت و به مرور زمان برخی از ترکیبات فرار خود را از دست می‌دهد و یا مولکولهای آن تغییرشکل شیمیایی پیدا می‌نمایند. در نتیجه قیر نسبت به حالت اولیه خود سفت‌تر شده و برخی از خواص قیر از جمله چسبندگی و دوام آن کاهش می‌یابد. میزان تغییر حالت و سفت‌شدن قیر با انجام آزمایش قشر نازک قیر تعیین می‌گردد. در این آزمایش، قیر را در ظروف مخصوص به شکل قشر نازکی به ضخامت تقریبی ۳ میلیمتر در می‌آورند. سپس ظرف را به مدت ۵ ساعت داخل گرمخانه با صفحه دوار در دمای ۱۶۳ درجه سانتیگراد قرار می‌دهند. پس از گذشت ۵ ساعت، آزمایشهای قیر از جمله آزمایش تعیین درجه نفوذ بر روی آن انجام می‌گردد. سپس نتیجه آزمایش به صورت نسبت درجه نفوذ جدید به درجه نفوذ اولیه بر حسب درصد محاسبه و گزارش می‌گردد.

omoorepeyman.ir

1- Specific Gravity
2- Flash Point
3- Thin Film Oven Test

۶-۴-۷- آزمایش تعیین کندروانی[1] (AASHTO : T ۲۰۱ یا ASTM : D ۲۱۷۰)

مقاومت سیالات در مقابل جاری شدن راکندروانی گویند. قیر خالص در درجه حرارت محیط حالت جامد یا نیمه جامد داشته و در اثر افزایش درجه حرارت حالت خمیری و سپس مایع پیدا می‌کند. با افزایش درجه حرارت کند روانی قیر کاهش می‌یابد. کند روانی قیر یکی از عوامل اصلی در نحوه ساخت و اجرای مخلوطهای آسفالتی و همچنین کیفیت آسفالت ساخته شده می‌باشد. روشهای آزمایش مختلفی جهت تعیین میزان کندروانی قیرهای خالص ارائه گردیده که متداولترین آنها روش آزمایش کندروانی کینماتیک می‌باشد. در روش اندازه‌گیری کندروانی کینماتیک، قیر در داخل لوله شیشه‌ای U شکل ریخته شده و در دمای ۱۳۵ درجه سانتیگراد تحت تأثیر وزن خود به حرکت در آورده می‌شود. مدت زمانی راکه قیر داخل لوله فضای معینی را پر می‌کند، اندازه‌گیری می‌شود. از ضرب زمان اندازه‌گیری شده در ضریب کالیبراسیون لوله، کندروانی کینماتیک بر حسب سانتی‌استوکس بدست می‌آید.

۶-۴-۸- آزمایش تعیین حلالیت قیر در حلالهای آلی[2] (AASHTO : T ۴۴ یا ASTM : D ۲۰۴۲)

قیر مورد استفاده در مخلوطهای آسفالتی نباید بیش از حد مجاز ناخالصی داشته باشد. به منظور تعیین میزان ناخالصی قیر، آن را در حلالهای آلی نظیر تتراکلرورکربن یا تری کلروراتیلن حل کرده و مقدار مواد نامحلول آن تعیین می‌گردد. درجه خلوص قیر از تقسیم وزن قیر حل شده به وزن قیر اولیه بر حسب درصد به دست می‌آید.

۶-۵- انتخاب نوع قیر در ساخت نمونه‌های آزمایشی مخلوطهای آسفالتی با استخوانبندی سنگدانه‌ای

با توجه به گستردگی استفاده از قیر ۶۰/۷۰ در اکثر پروژه‌های راهسازی خصوصاً در مناطق گرمسیری، قیر ۶۰/۷۰ پالایشگاه اصفهان جهت ساخت نمونه‌های آزمایشی مخلوطهای آسفالتی انتخاب شده است. آزمایشهای قیر براساس روش‌های مندرج در استاندارد AASHTO بر روی نمونه قیر منتخب انجام پذیرفته و نتایج آنها در جدول (۶-۶) ارائه گردیده است. با توجه به نتایج آزمایشها، قیر مذکور خصوصیات قیر را مطابق با استانداردهای AASHTO : M ۲۰ و AASHTO : M ۲۲۶ دارا می‌باشد.

1- Viscosity

2- Solubility of bituminous in organic solvents

omoorepeyman.ir

جدول ۶-۶- نتایج آزمایشهای انجام شده قیر منتخب

نوع آزمایش	نتیجه آزمایش	روش استاندارد آزمایش AASHTO
درجه نفوذ (۲۵ °C، ۱۰۰ گرم، ۵ ثانیه)	۶۴	T ۴۹
نقطه‌نرمی بر حسب درجه سانتیگراد	۵۱	T ۵۳
چگالی در ۲۵ °C	۱/۰۱۵	T ۲۲۸
قابلیت شکل‌پذیری در ۲۵ °C بر حسب سانتیمتر	بیشتر از ۱۰۰	T ۵۱
حلالیت در تتراکلرورکربن بر حسب درصد	۹۹/۸	T ۴۴
نقطه اشتعال بر حسب درجه سانتیگراد	۳۱۴	T ۴۸
کند روانی کینماتیک در ۱۳۵ °C بر حسب سانتی‌استوکس	۳۴۷	T ۲۰۱
کندروانی مطلق در ۶۰ °C بر حسب پوآز	۱۸۷۰	T ۲۰۲
قشر نازک قیر در ۱۶۳ °C :		T ۱۷۹
افت وزنی قیر در اثر حرارت بر حسب درصد	۰/۰۸	
درجه نفوذ بعد از آزمایش	۴۶	
نسبت درجه نفوذ بعد از آزمایش به درجه نفوذ اولیه بر حسب درصد	۷۲	
قابلیت شکل پذیری بعد از آزمایش بر حسب سانتیمتر	بیشتر از ۱۰۰	

با توجه به نتایج حاصل از آزمایشهای قیر، مقدار نشانه نفوذ (PI)[1] و نشانه نفوذ اصلاح شده PVN[2] برای قیر منتخب مطابق با روابط زیر محاسبه گردیده است:

$$PI = \frac{۲۰-۵۰۰A}{۱+۵۰A}$$

$$A = \frac{\text{Log } ۸۰۰ - \text{Log (درجه نفوذ در ۲۵ °C)}}{۲۵ - \text{نقطه نرمی قیر}}$$

$$PVN = -۱/۵ \left(\frac{L - \text{Log } V}{L - M}\right)$$

V : کندروانی قیر در ۱۳۵ درجه سانتیگراد بر حسب سانتی‌استوکس می‌باشد و L و M عبارتند از :

$$L = ۴/۲۵۸۰۰ - ۰/۷۹۶۷ \text{ Log (درجه نفوذ در ۲۵°C)}$$

$$M = ۳/۴۶۲۸۹ - ۰/۶۱۰۹۴ \text{ Log (درجه نفوذ در ۲۵°C)}$$

میزان نشانه نفوذ و PVN قیر منتخب به شرح زیر می‌باشد :

$$PI = -۰/۳۵$$

$$PVN = -۰/۹۱$$

با توجه به مقدار نشانه نفوذ بدست آمده، قیر مصرفی از نظر حساسیت حرارتی در رده قیرهای با حساسیت حرارتی کم و در حد قابل قبول قرار می‌گیرد.

1- Penetration Index (PI)
2- Penetration Viscosity Number (PVN)

omoorepeyman.ir

۷

مخلوطهای آسفالتی گرم و بتن آسفالتی

آسفالت گرم مخلوطی از مصالح سنگی و قیر خالص است که با توجه به نوع دانه‌بندی و قیر مصرفی در درجه حرارت‌های بین ۸۰ تا ۱۷۰ درجه سانتی‌گراد در کارخانه آسفالت تولید و در حالت گرم روی سطوح آماده شده راه نظیر بستر نهائی خاکی تقویت شده، زیراساس، اساس، پوشش‌های گوناگون آسفالتی سردوگرم و رویه‌های بتنی پخش و کوبیده می‌شود.

از انواع مخلوطهای آسفالتی گرم، بتن آسفالتی است که ممتازترین، مقاوم‌ترین و با دوام‌ترین نوع آن می‌باشد. بتن آسفالتی از اختلاط مصالح سنگی مرغوب و شکسته با دانه‌بندی پیوسته و قیر خالص در درجه حرارت بین ۱۳۰ تا ۱۷۰ درجه سانتی‌گراد در کارخانه آسفالت تولید شده سپس بصورت گرم و با استفاده از ماشین‌های پخش آسفالت در سطوح آماده شده ریخته و با غلتک زدن متراکم می‌گردد. فضای خالی بتن آسفالتی بین ۳ تا ۸ درصد بوده و در قشرهای مختلف روسازی و هرگونه شرایط جوی و آمدوشد قابل استفاده می‌باشد.

مخلوطهای آسفالتی با استخوانبندی سنگدانه‌ای (SMA) نیز از انواع مخلوطهای آسفالتی گرم می‌باشد. در اینگونه مخلوط‌ها، مصالح سنگی درشت دانه به مقدار نسبتاً زیاد در مقایسه با مخلوطهای آسفالتی با دانه‌بندی پیوسته مصرف می‌گردد. در مخلوط های آسفالتی با استخوانبندی سنگدانه‌ای، مصالح سنگی درشت دانه مستقیماً با یکدیگر در تماس بوده و ایجاد قفل و بست می‌نمایند. بعبارت دیگر تماس مستقیم سنگدانه به سنگدانه عامل اصلی پایداری و مقاومت است.

۷-۱- طرح مخلوط‌های آسفالتی گرم

۷-۱-۱- هـــدف

هدف از طرح مخلوط های آسفالتی گرم و بتن آسفالتی، انتخاب مناسب‌ترین و با صرفه‌ترین مخلوط مصالح سنگی و قیر است که ویژگی‌های زیر را در پوشش‌های آسفالتی تأمین نماید :

- قیر کافی داشته باشد تا ثبات و دوام آن را تأمین نماید.
- مقاومت آن به اندازه‌ای باشد که بار ناشی از آمدوشد را بدون تغییر شکل زیاد تحمل کند.
- فضای خالی کافی در آن تأمین شده باشد تا با افزایش درجه حرارت محیط و تراکم ناشی از آمدوشد، قیرزدگی و افت مقاومت پیدا نکند و در عین حال این فضای خالی در حدی باشد که باعث نفوذ آب و هوا به جسم راه نگردد.
- کارائی کافی برای پخش و کوبیدن نهائی را داشته باشد.
- دارای سایر ویژگی‌های مورد نظر باشد.

omoorepeyman.ir

۷-۱-۲- روش‌های طرح اختلاط [۶]

دو روش ویم و مارشال از روش‌های متداول طرح مخلوط های آسفالتی گرم هستند روش مارشال هم در طرح اختلاط و هم در کنترل عملیات آسفالتی حین اجرا کاربرد دارد. روشی که در حال حاضر در ایران متداول است روش مارشال می‌باشد. این روش برای مخلوط های آسفالتی گرم با دانه‌بندی پیوسته که حداکثر اندازه مصالح سنگی آن ۲۵ میلی‌متر یا کمتر می‌باشد بکار می‌رود.

طرح اختلاط بتن آسفالتی بطور کلی شامل مراحل زیر است :

- تعیین حدود دانه‌بندی مصالح سنگی با توجه به نوع و ضخامت قشر آسفالتی و مشخصات فنی مربوطه؛
- انتخاب مصالح سنگی درشت، ریز و فیلر با توجه به مشخصات فنی؛
- تعیین بهترین نسبت‌های اختلاط مصالح سنگی به منظور بدست آوردن دانه‌بندی مناسب و مورد نظر و منطبق با مشخصات؛
- تعیین چگالی حقیقی و ظاهری مصالح سنگی درشت دانه، ریزدانه، فیلر و چگالی قیر؛
- تهیه نمونه‌های بتن آسفالتی با استفاده از مصالح سنگی و درصدهای مختلف قیر؛
- تعیین چگالی حقیقی نمونه‌های بتن آسفالتی کوبیده شده، تعیین چگالی حداکثر مخلوط آسفالتی و درصد جذب قیر مصالح سنگی؛
- تعیین مقدار استحکام[۱] و روانی[۲] نمونه‌های بتن آسفالتی متراکم شده با انجام آزمایش مارشال؛
- محاسبه درصد فضای خالی[۳] نمونه‌های بتن آسفالتی، درصد فضای خالی مصالح سنگی (VMA) و درصد فضای خالی مصالح سنگی پر شده با قیر (VFA)؛
- رسم منحنی‌های تغییرات وزن واحد حجم مخلوط آسفالتی، استحکام، روانی، درصد فضای خالی مخلوط آسفالتی، درصد فضای خالی مصالح سنگی و درصد فضای خالی مصالح سنگی پر شده با قیر به ازاء درصدهای مختلف قیر مصرفی؛
- تعیین درصد قیر بهینه؛
- کنترل و تصحیح درصد قیر بهینه؛

۷-۲- تعریف برخی از کمیت‌های بکار رفته شده در طرح مخلوط‌های آسفالتی

چگالی حقیقی مصالح سنگی[۴] (G_{sb})

وزن حجم معینی از مصالح سنگی (شامل حجم جامد و حجم حفرات) به وزن آب مقطر هم حجم آن در همان درجه حرارت را چگالی حقیقی مصالح سنگی گویند.

1- Stability
2- Flow
3- Voids
4- Bulk Specific Gravity

omoorepeyman.ir

چگالی ظاهری مصالح سنگی[1] (G_{sa})

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 سنگی گویند.

چگالی موثر مصالح سنگی[2] (G_{se})

وزن حجم معینی از مصالح سنگی (شامل حجم جامد و حجم حفراتی که با قیر پر نمی‌شود) به وزن آب مقطر هم حجم آن در همان درجه حرارت را چگالی مؤثر مصالح سنگی گویند.

چگالی حقیقی مخلوط مصالح سنگی

مخلوط مصالح سنگی از اختلاط چند نوع مصالح سنگی با چگالی‌های مختلف بدست می‌آید. چگالی حقیقی مخلوط مصالح سنگی با استفاده از رابطه زیر محاسبه می‌گردد :

$$G_{sb} = \frac{P_1 + P_2 + \ldots + P_n}{\frac{P_1}{G_{sb_1}} + \frac{P_2}{G_{sb_2}} + \ldots + \frac{P_n}{G_{sb_n}}}$$

در این رابطه

G_{sb} = چگالی حقیقی مخلوط مصالح سنگی

P_1 و P_2 و ..... و P_n = درصدهای وزنی هر یک از مصالح سنگی در مخلوط سنگی

G_{sb_1} و G_{sb_2} و .... و G_{sb_n} = چگالی حقیقی هر یک از مصالح سنگی

چگالی حقیقی مخلوط آسفالت کوبیده شده[3] (G_{mb})

وزن حجم معین مخلوط آسفالت 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 آسفالتی[4] (G_{mm})

چگالی مخلوط آسفالتی در حالتی که فضای خالی آن صفر باشد، چگالی حداکثر مخلوط آسفالتی می‌گویند.

1- Apparent Specific Gravity

2- Effective Specific Gravity

3- Bulk Specific Gravity of Compacted Mix

4- Maximum Specific Gravity of Asphaltic Mix

omoorepeyman.ir

درصد قیر موثر در مخلوط آسفالتی[۱] (P_{be})

مقدار کل قیر مخلوط آسفالتی منهای مقدار قیر جذب شده توسط مصالح سنگی بر حسب درصد نسبت به کل مخلوط را درصد قیر موثر مخلوط آسفالتی گویند. بعبارت دیگر مقدار قیری است که فقط صرف پوشش و اندود مصالح سنگی می‌گردد.

درصد قیر جذب شده[۲] (P_{ba})

مقدار قیری که جذب قسمتی از خلل و فرج مصالح سنگی می‌گردد، قیر جذب شده گویند.

استحکام مارشال[۳]

نیروی لازم (بر حسب کیلوگرم نیرو) جهت گسیخته شدن نمونه‌های متراکم شده مخلوط آسفالتی با دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد در جهت جانبی را در دستگاه مارشال، استحکام نمونه مارشال می‌گویند. بعبارت دیگر حداکثر نیروئی است که نمونه مخلوط آسفالتی کوبیده شده مورد آزمایش می‌تواند قبل از گسیختگی تحمل نماید.

روانی[۴]

مقدار تغییرشکل قطری نمونه مخلوط آسفالتی متراکم شده در هنگام گسیختگی بر حسب ۲۵ صدم میلیمتر را روانی مخلوط آسفالتی می‌گویند.

درصد فضای خالی مخلوط آسفالتی متراکم شده[۵] (V_a)

فضای خالی موجود بین مصالح سنگی پوشیده شده با قیر در مخلوط آسفالتی متراکم، را فضای خالی مخلوط آسفالتی گویند.

درصد فضای خالی مخلوط مصالح سنگی[۶] (VMA)

فضای خالی بین ذرات مصالح سنگی در مخلوط آسفالتی متراکم شده (شامل فضای خالی مخلوط آسفالتی و فضای اشغال شده توسط قیر موثر) را فضای خالی مصالح سنگی می‌گویند.

امور پیمان
omoorepeyman.ir

1- Effective Asphalt Content
2- Absorbed Asphalt Content
3- Stability
4- Flow
5- Voids (Percent Air Voids in Compacted Mix)
6- Voids In Mineral Aggregate

درصد فضای خالی مصالح سنگی پر شده با قیر (VFA)[1]

قسمتی از فضای خالی بین مصالح سنگی که با قیر پر می‌شود را فضای خالی مصالح سنگی پرشده با قیر می‌گویند. این کمیت شامل قیر جذب شده توسط مصالح سنگی نمی‌باشد.

کمیت‌های حجمی نمونه‌های آسفالتی کوبیده شده در شکل (۷-۱) نمایش داده شده است.

شکل ۷-۱- نمایش برخی از کمیت‌های حجمی نمونه‌های آسفالتی متراکم شده

V_{ma} = حجم فضای خالی مصالح سنگی

V_{mb} = حجم حقیقی مخلوط آسفالتی متراکم شده

V_{mm} = حجم مخلوط آسفالتی بدون فضای خالی

V_{fa} = حجم فضای پرشده با قیر

V_a = حجم فضای خالی مخلوط آسفالتی متراکم شده

V_b = حجم قیر

V_{ba} = حجم قیر جذب شده

V_{sb} = حجم مصالح سنگی (براساس چگالی حقیقی مصالح سنگی)

V_{se} = حجم مصالح سنگی (براساس چگالی مؤثر مصالح سنگی)

1- Voids Filled With Asphalt

omoorepeyman.ir

۷-۳- تشریح طرح مخلوطهای آسفالتی انجام شده

به منظور مقایسه ویژگی‌های مخلوطهای آسفالتی با استخوانبندی سنگدانه‌ای (SMA) با مخلوط بتن آسفالتی با دانه‌بندی پیوسته با حداکثر اندازه مصالح سنگی یکسان، در ابتدا طرح اختلاط بتن آسفالتی با دانه‌بندی پیوسته تهیه گردید. با توجه به گستردگی استفاده از دانه‌بندی شماره IV جدول (۱۸-۳) نشریه ۱۰۱ سازمان برنامه و بودجه جهت لایه رویه (توپکا)، دانه‌بندی مذکور جهت طرح مخلوط آسفالتی با دانه‌بندی پیوسته انتخاب گردیده است (جدول ۷-۱).

جدول ۷-۱- حدود مشخصات دانه‌بندی شماره IV جدول (۱۸-۳) نشریه ۱۰۱ سازمان برنامه و بودجه

اندازه الک (میلیمتر)	۱۹	۱۲/۵	۴/۷۵	۲/۳۶	۰/۳	۰/۰۷۵
درصد رد شده از الک	۱۰۰	۹۰-۱۰۰	۴۴-۷۴	۲۸-۵۸	۷-۲۱	۲-۱۰
میانگین درصد رد شده از الک	۱۰۰	۹۵	۵۹	۴۳	۱۴	۶

۷-۳-۱- طرح اختلاط بتن آسفالتی

مصالح سنگی انتخابی به چهار بخش شن متوسط، شن ریز، ماسه شکسته و فیلر دسته‌بندی گردید. منحنی دانه‌بندی هر بخش از مصالح سنگی انتخابی در شکل‌های (۷-۲) تا (۷-۴) ترسیم گردیده است.

بمنظور دستیابی به منحنی حد وسط دانه‌بندی شماره IV جدول (۱۸-۳) نشریه ۱۰۱ سازمان برنامه و بودجه نسبت‌های اختلاط مندرج در جدول (۷-۲) جهت مصالح سنگی درنظر گرفته شد.

جدول ۷-۲- نسبت‌های اختلاط هر بخش از مصالح سنگی در مخلوط بتن آسفالتی

نوع مصالح سنگی	درصد اختلاط
شن متوسط	۱۵
شن ریز	۲۳
ماسه شکسته	۵۷
فیلر	۵

با اعمال نسبت‌های فوق، میزان رد شده مخلوط مصالح سنگی از الک‌های مورد نظر مطابق با جدول (۷-۳) می‌باشد.

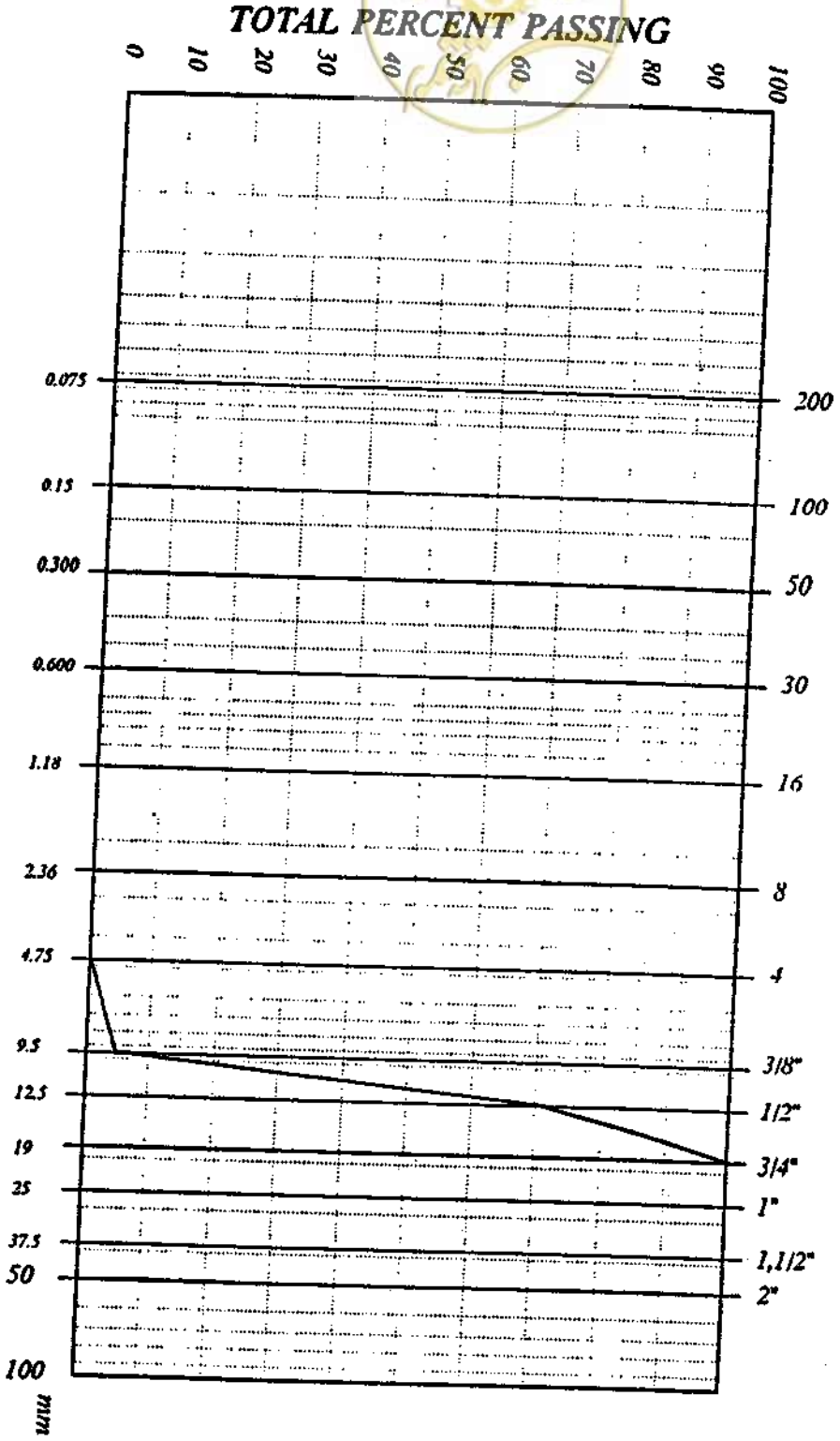
جدول ۷-۳- دانه‌بندی مخلوط مصالح سنگی مصرفی در طرح مخلوط بتن آسفالتی

اندازه الک (میلیمتر)	۱۹	۱۲/۵	۹/۵	۴/۷۵	۲/۳۶	۰/۳	۰/۱۵	۰/۰۷۵
درصد رد شده از الک	۱۰۰	۹۵/۵	۸۴/۱	۵۹/۸	۴۳/۸	۱۵/۴	۱۲	۶

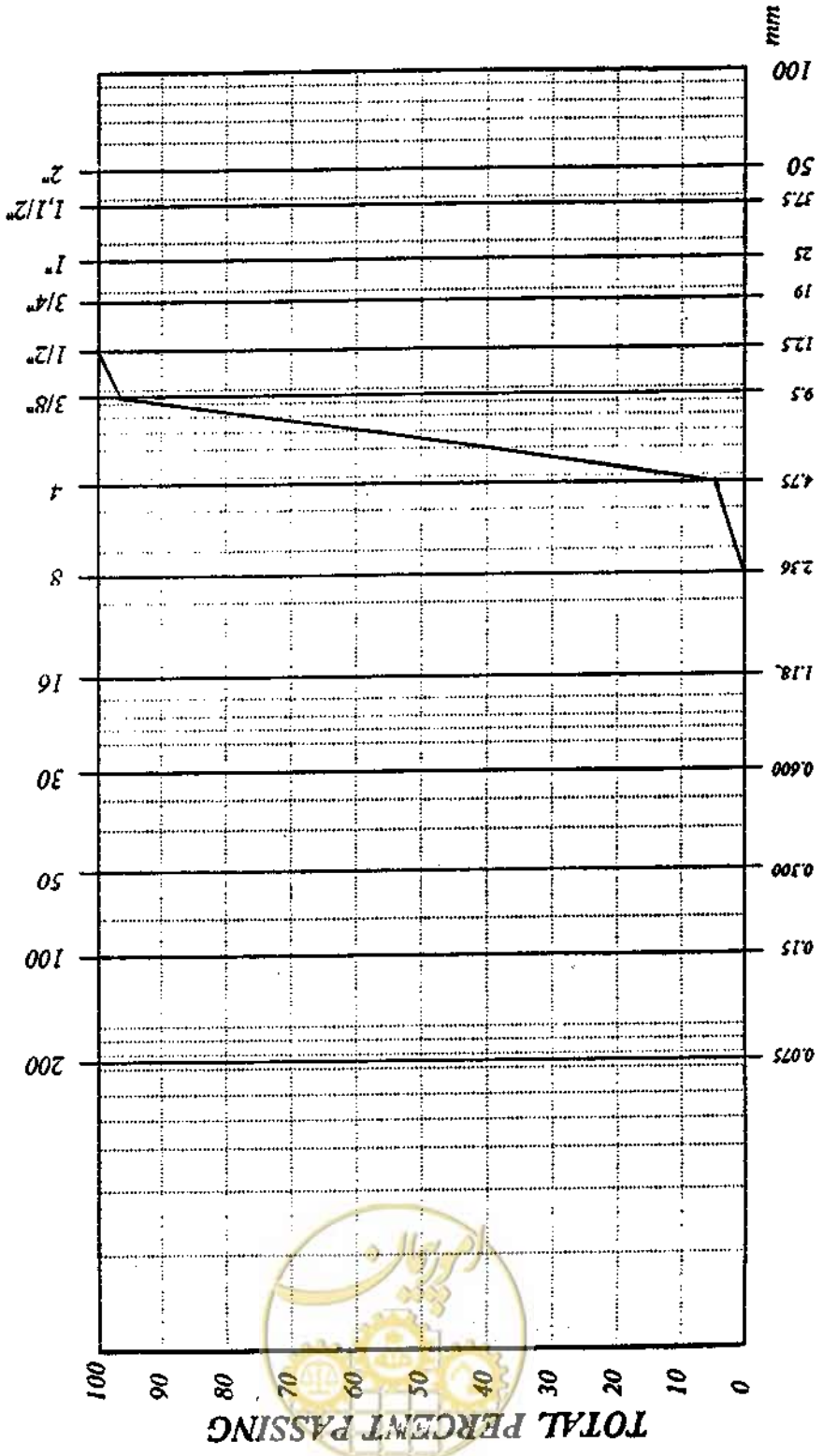
منحنی دانه‌بندی مخلوط مصالح سنگی استفاده شده در طرح بتن آسفالتی در شکل (۷-۵) ارائه گردیده است.

omoorepeyman.ir

omoorepeyman.ir



شکل ۷-۲- منحنی دانه‌بندی فین متوسط

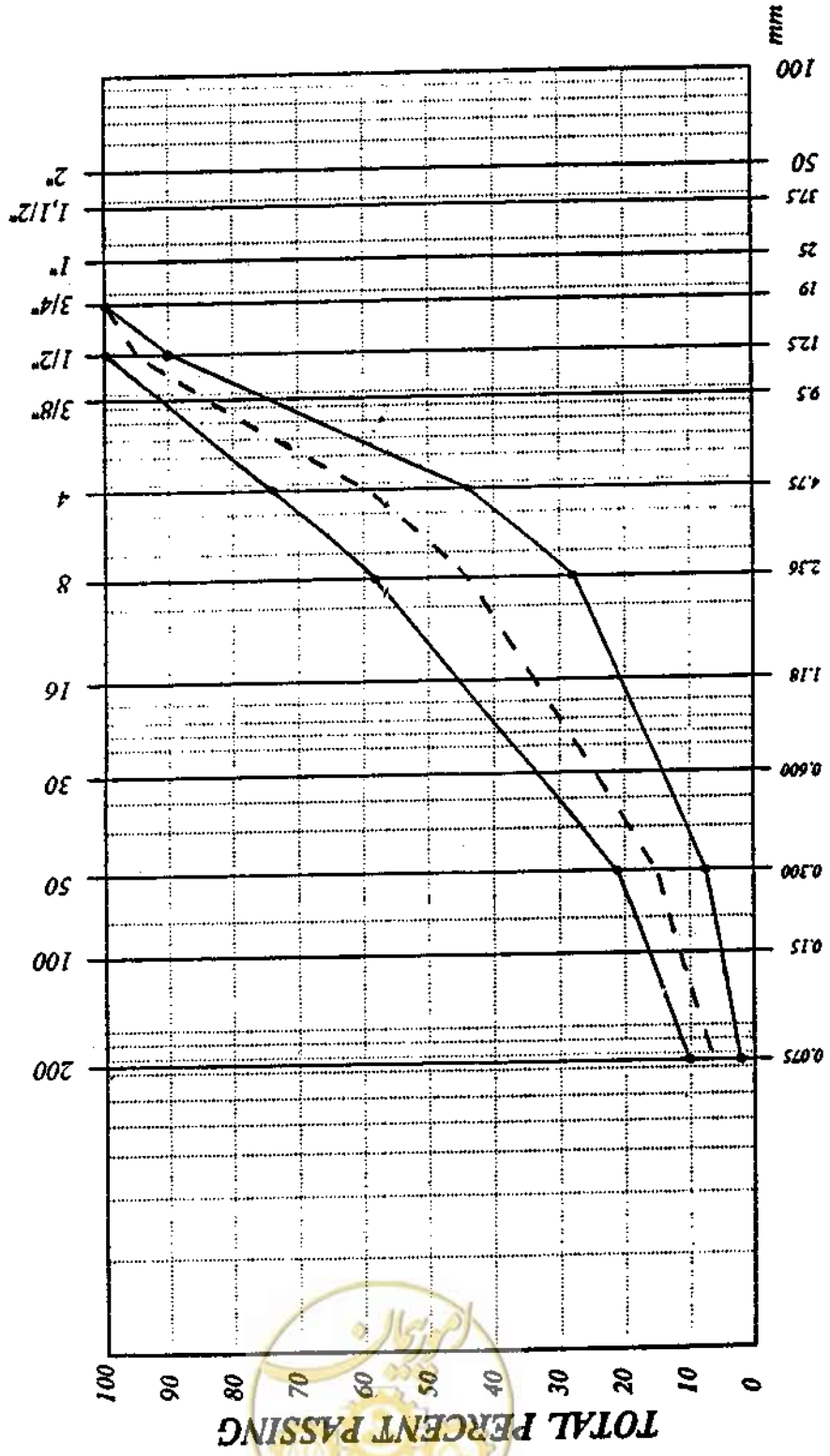


شکل ۷-۳- منحنی دانه‌بندی شن ریز

omoorepeyman.ir

شکل ۷-۴- منحنی دانه‌بندی ماسه شکسته

omoorepeyman.ir



شکل ۷-۵- منحنی دانه‌بندی مخلوط مصالح سنگی مصرفی در بتن آسفالتی

omoorepeyman.ir

ابتدا مصالح سنگی به طور جداگانه در گرمخانه با دمای ۱۱۰ درجه سانتی‌گراد کاملاً خشک گردیدند. پس از خنک‌شدن و رسیدن به دمای محیط، نمونه‌های ۱۲۰۰ گرمی با توجه به نسبت‌های اختلاط مندرج در جدول (۷-۲) تهیه گردید. جهت تعیین چگالی مصالح سنگی سه نمونه مخلوط مصالح سنگی درنظر گرفته شد. نمونه‌ها به سه بخش مانده روی الک شماره ۸، رد شده از الک شماره ۸ و مانده روی الک شماره ۲۰۰ و عبوری از الک شماره ۲۰۰ تفکیک گردیدند. چگالی مصالح سنگی مانده روی الک شماره ۸ براساس استاندارد AASHTO-T85 و چگالی مصالح سنگی رد شده از الک شماره ۸ و مانده روی الک شماره ۲۰۰ براساس استاندارد AASHTO-T84 و چگالی مصالح سنگی عبوری از الک شماره ۲۰۰ براساس استاندارد AASHTO-T100 تعیین گردیدند. با استفاده از مقادیر حاصله، چگالی حقیقی مخلوط مصالح سنگی محاسبه گردید. مقادیر در جدول (۷-۴) درج گردیده است.

جدول ۷-۴- چگالی حقیقی و ظاهری مصالح سنگی مصرفی در مخلوط بتن آسفالتی

مصالح سنگی	چگالی حقیقی	چگالی ظاهری
مصالح سنگی مانده روی الک شماره ۸	۲/۴۷۸	۲/۶۳۵
مصالح سنگی رد شده از الک شماره ۸ و مانده روی الک شماره ۲۰۰	۲/۵۴۸	۲/۷۳۴
مصالح سنگی رد شده از الک شماره ۲۰۰	-	۲/۷۰۲
چگالی حقیقی مخلوط مصالح سنگی	۲/۵۱۳	

تعداد ۳۴ نمونه ۱۲۰۰ گرمی از مخلوط مصالح سنگی با نسبت‌های مندرج در جدول (۷-۲) تهیه و جهت ساخت نمونه‌های مخلوط بتن آسفالتی براساس روش ASTM-D1559 در داخل گرمخانه با دمای ۱۶۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت. قیر نیز جداگانه تا دمای ۱۴۰ درجه سانتی‌گراد در گرمخانه گرم شد. با هر یک از درصدهای قیر ۳/۵، ۴، ۴/۵، ۵، ۵/۵، ۶ و ۶/۵ چهار نمونه مخلوط آسفالتی در دمای ۱ ± ۱۶۰ درجه سانتی‌گراد تهیه گردید. این دما، درجه حرارتی است که قیر منتخب دارای کندروانی کینماتیکی برابر ۲۰ ± ۱۷۰ سانتی‌استوکس می‌باشد. پس از اختلاط کامل قیر و مصالح سنگی، مخلوط آسفالتی بدست آمده در دمای ۵ ± ۱۵۴ درجه سانتی‌گراد که قیر در آن دما دارای کندروانی کینماتیکی برابر ۳۰ ± ۲۸۰ سانتی‌استوکس می‌باشد در داخل قالب استوانه‌ای فلزی به قطر داخلی ۱۰ و ارتفاع ۷/۵ سانتی‌متر ریخته شده و سپس بوسیله چکش به وزن ۴/۵ کیلوگرم که از ارتفاع ۴۵ سانتی‌متری سقوط می‌کند با اعمال ۷۵ ضربه به هر طرف آن متراکم گردیدند. پس از سردشدن، نمونه‌ها از قالب خارج و تا روز بعد نگهداری شدند. در روز بعد، نمونه‌های مخلوط آسفالتی متراکم شده جهت تعیین چگالی حقیقی مخلوط آسفالت براساس روش استاندارد AASHTO-T166 مورد آزمایش قرار گرفت. مطابق با این روش آزمایش، ابتدا وزن خشک نمونه‌های مخلوط آسفالتی در هوا تعیین، سپس آنها برای مدت ۴ دقیقه در آب ۲۵ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند. در این حالت، نمونه‌ها با دقت ۰/۱ گرم توزین

omoorepeyman.ir

گردیدند. پس از خروج نمونه‌ها از آب، آب سطحی نمونه‌های آسفالتی بوسیله پارچه مرطوب گرفته شد و پس از آن مجدداً وزن آنها تعیین گردید.

چگالی حقیقی مخلوط آسفالتی کوبیده شده با استفاده از رابطه زیر تعیین می‌شود.

$$G_{mb} = \frac{A}{B-C}$$

که در این رابطه :

G_{mb} = چگالی حقیقی مخلوط آسفالتی کوبیده شده

A = وزن نمونه در هوا

B = وزن نمونه اشباع با سطح خشک در هوا

C = وزن نمونه در آب

چگالی حقیقی کلیه نمونه‌ها با روش فوق تعیین گردید. این مقادیر بر حسب وزن واحد حجم آنها در جدول (۷-۵) درج گردیده است.

جدول ۷-۵- وزن واحد حجم نمونه‌های مخلوط بتن آسفالتی متراکم شده

درصد قیر نسبت به کل مخلوط	۳/۵	۴	۴/۵	۵	۵/۵	۶	۶/۵
وزن واحد حجم (کیلوگرم بر مترمکعب)	۲۲۰۲	۲۳۲۲	۲۲۴۰	۲۲۵۵	۲۲۷۰	۲۲۷۵	۲۲۶۹

ضمناً شش نمونه دیگر از مخلوط بتن آسفالتی با درصدهای قیر ۵/۵ و ۶ جهت تعیین چگالی حداکثر مخلوط آسفالتی و مقدار جذب قیر تهیه گردید. چگالی حداکثر مخلوط آسفالتی این نمونه‌ها براساس روش مندرج در AASHTO-T209 تعیین شد. در این روش نمونه‌های مخلوط شده قیر و مصالح سنگی در یک سینی قرار می‌گیرد و کاملاً پخش می‌گردد. بعد از خنک‌شدن مخلوط، ذرات به هم چسبیده کاملاً از هم جدا و پس از توزین، در داخل ارلن مخصوص خلاء ریخته می‌شود سپس بر روی آنها آنقدر آب اضافه می‌گردد تا سطح همه نمونه‌ها پوشیده از آب شود. ظروف حاوی نمونه‌ها به سیستم تخلیه هوا وصل می‌گردد. تخلیه تدریجی هوا تا حدی که فشار داخل ظرف به کمتر از ۳۰ میلی‌متر جیوه برسد، ادامه می‌یابد. حدود ۱۰ دقیقه تخلیه هوا همراه با تکان دادن ارلن، حبابهای هوای محبوس شده خارج می‌گردد. سپس بتدریج میزان فشار هوا افزایش می‌یابد و ظرف حاوی نمونه از سیستم تخلیه جدا و پس از پرشدن ارلن با آب، با ترازوی با دقت ۰/۱ گرم در داخل آب توزین می‌شود. چگالی حداکثر نمونه‌های مخلوط آسفالتی با استفاده از رابطه زیر تعیین می‌گردد:

$$G_{mm} = \frac{A}{A-B}$$

که در این رابطه :

G_{mm} = چگالی حداکثر مخلوط آسفالتی

A = وزن نمونه غیرمتراکم در هوا

B = وزن نمونه غیرمتراکم در آب

omoorepeyman.ir

مقادیر چگالی حداکثر مخلوطهای آسفالتی غیرمتراکم با ۵/۵ و ۶ درصد قیر بترتیب برابر با ۲/۳۶۰ و ۲/۳۴۴ بدست آمد.

برای تعیین درصد قیر جذب شده توسط مصالح سنگی از روابط زیر استفاده می‌شود :

$$P_{ba} = 100\left(\frac{G_{se}-G_{sb}}{G_{sb}.G_{se}}\right) \times G_b$$

$$G_{se} = \frac{100 - P_b}{\frac{100}{G_{mm}} - \frac{P_b}{G_b}}$$

در این روابط :

P_{ba} = درصد قیر جذب شده توسط مصالح سنگی

G_{se} = چگالی مؤثر مخلوط مصالح سنگی

P_b = درصد قیر نسبت به کل مخلوط آسفالتی

G_b = چگالی قیر

G_{sb} = چگالی حقیقی مخلوط مصالح سنگی می‌باشد.

با استفاده از روابط فوق، مقادیر چگالی موثر مصالح سنگی و درصد قیر جذب شده توسط مصالح سنگی برای نمونه‌های مخلوط آسفالتی با ۵/۵ و ۶ درصد قیر به ترتیب برابر با ۲/۵۵۸ و ۰/۶۵ بدست آمد.

چگالی حداکثر مخلوطهای آسفالتی با درصدهای مختلف قیر نیز با استفاده از رابطه زیر محاسبه و در جدول (۷-۶) درج گردیده است. در این رابطه P_s درصد مصالح سنگی نسبت به کل مخلوط آسفالتی می‌باشد.

$$G_{mm} = \frac{100}{\frac{P_s}{G_{se}} + \frac{P_b}{G_b}}$$

جدول ۷-۶- مقادیر چگالی حداکثر مخلوط بتن آسفالتی با درصدهای مختلف قیر

درصد قیر نسبت به کل مخلوط	۳/۵	۴	۴/۵	۵	۵/۵	۶	۶/۵
چگالی حداکثر مخلوط آسفالتی	۲/۴۲۸	۲/۴۱۱	۲/۳۹۴	۲/۳۷۷	۲/۳۶۰	۲/۳۴۴	۲/۳۲۸

درصد فضای خالی مخلوط آسفالتی متراکم شده، درصد فضای خالی مصالح سنگی و درصد فضای خالی مصالح سنگی پر شده با قیر با استفاده از روابط زیر محاسبه و نتایج در جدول (۷-۷) ارائه شده است :

$$V_a = 100\,\frac{G_{mm} - G_{mb}}{G_{mm}}$$

omoorepeyman.ir

$$VMA = 100 - \frac{G_{mb} \times P_s}{G_{sb}}$$

$$VFA = \frac{100\ (VMA - V_a)}{VMA}$$

در این روابط :

V_a = درصد فضای خالی مخلوط آسفالتی متراکم‌شده

VMA = درصد فضای خالی مصالح سنگی

VFA = درصد فضای خالی مصالح سنگی پر شده با قیر

G_{mm} = چگالی حداکثر مخلوط آسفالتی

G_{mb} = چگالی حقیقی مخلوط آسفالتی متراکم شده

G_{sb} = چگالی حقیقی مخلوط مصالح سنگی

P_s = درصد مصالح سنگی نسبت به کل مخلوط آسفالتی می‌باشد.

جدول ۷-۷- برخی ازکمیت‌های مخلوط بتن آسفالتی

کمیت مخلوط آسفالتی متراکم شده	درصد قیر نسبت به کل مخلوط						
	۳/۵	۴	۴/۵	۵	۵/۵	۶	۶/۵
درصد فضای خالی مخلوط آسفالتی	۸/۹	۷/۴	۶	۴/۷	۳/۴	۲/۵	۱/۸
درصد فضای خالی مصالح سنگی	۱۵/۴	۱۵/۱	۱۴/۹	۱۴/۷	۱۴/۶	۱۴/۹	۱۵/۵
درصد فضای خالی مصالح سنگی پر شده با قیر	۴۲/۴	۵۱	۵۹/۷	۶۸/۲	۷۶/۹	۸۳/۲	۸۶/۶

مطابق با روش استاندارد ASTM-D1559 نمونه‌های بتن آسفالتی متراکم شده بمدت ۳۰ دقیقه در داخل آب ۶۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شده و سپس نمونه‌ها داخل دستگاه مارشال گذاشته شد. مقدار استحکام نمونه‌ها بر حسب کیلوگرم نیرو و روانی بر حسب ۲۵ صدم میلی‌متر تعیین گردید. مقادیر بدست آمده در جدول (۷-۸) درج گردیده است.

جدول ۷-۸- مقادیر استحکام و روانی نمونه‌های مخلوط بتن آسفالتی

کمیت مخلوط آسفالتی متراکم شده	درصد قیر نسبت به کل مخلوط						
	۳/۵	۴	۴/۵	۵	۵/۵	۶	۶/۵
استحکام (کیلوگرم نیرو)	۹۴۰	۱۰۷۰	۱۰۸۰	۱۱۶۰	۱۲۲۵	۱۲۵۵	۱۱۵۰
روانی (۰/۲۵ میلی‌متر)	۸/۵	۱۰	۱۰/۵	۱۱	۱۱/۷	۱۲	۱۴

omoorepeyman.ir

منحنی تغییرات استحکام، وزن واحد حجم، روانی، درصد فضای خالی مخلوط آسفالتی، درصد فضای خالی مصالح سنگی و درصد فضای خالی مصالح سنگی پرشده با قیر بر حسب درصد قیر در شکل (۷-۶) ترسیم گردیده است. با توجه به منحنی‌های شکل (۷-۶) و معیارهای انتخاب درصد قیر بهینه مندرج در نشریه MS2 انستیتو آسفالت، درصد قیر بهینه برای این مخلوط ۵/۳ بدست آمد. ارزش‌های نمونه مخلوط بتن آسفالتی به ازاء درصد قیر بهینه همراه با حدود مشخصات بتن آسفالتی مندرج در نشریه ۱۰۱ سازمان برنامه و بودجه در جدول (۷-۹) ارائه گردیده است.

جدول ۷-۹- مقایسه ارزش‌های نمونه مخلوط بتن آسفالتی با مشخصات نشریه ۱۰۱ سازمان برنامه و بودجه

کمیت مورد بررسی	مشخصه بتن آسفالتی در درصد قیر بهینه	حدود مشخصات
استحکام (کیلوگرم نیرو)	۱۲۰۰	حداقل ۷۰۰
روانی (۰/۲۵ میلی‌متر)	۱۲	۸-۱۶
وزن واحد حجم (کیلوگرم بر مترمکعب)	۲۲۷۵	-
درصد فضای خالی مخلوط آسفالت	۳/۸	۳-۵
درصد فضای خالی مصالح سنگی	۱۴/۵	حداقل ۱۴
درصد فضای خالی مصالح سنگی پرشده با قیر	۷۰	۶۵-۷۵

۷-۳-۲- طرح مخلوط آسفالتی با استخوانبندی سنگدانه‌ای (SMA)

اسکلت و استخوانبندی اصلی مخلوط های آسفالتی با استخوانبندی سنگدانه‌ای را مصالح سنگی درشت دانه بزرگتر از ۴/۷۵ میلی‌متر تشکیل می‌دهند. میزان سنگدانه‌های درشت بکار رفته در این مخلوطها زیاد است. در طرح اختلاط این مخلوط های آسفالتی فضای خالی مصالح سنگی درشت‌دانه و مقدار مصالح سنگی رد شده از الک ۴/۷۵ میلی‌متر باید بگونه‌ای انتخاب گردد که امکان تماس خوب سنگدانه به سنگدانه مهیا گردد. افزایش بیش از حد مصالح سنگی ریزدانه باعث کاهش تماس سنگدانه‌های درشت می‌گردد.

بمنظور حصول ویژگی‌های مورد نظر در این مخلوطهای آسفالتی، نمونه‌هائی از مخلوط آسفالتی با مقادیر مختلف مصالح سنگی ریزدانه (رد شده از الک ۴/۷۵ میلی‌متر) تهیه و نتایج آزمایش‌های انجام شده بر روی آنها مورد ارزیابی قرار گرفت. بدین منظور مخلوط های مصالح سنگی حاوی مصالح سنگی درشت با مقادیر ۲۰، ۲۴، ۲۸، ۳۰، ۳۲، ۳۴ و ۳۶ درصد مصالح سنگی ریزدانه (رد شده از الک ۴/۷۵ میلی‌متر) تهیه گردید. با هرکدام از این مخلوط های مصالح سنگی با مقادیر ۶، ۶/۵ و ۷ درصد قیر نسبت به کل مخلوط نمونه‌های مخلوط آسفالتی ساخته شد. ساخت نمونه‌های مخلوط آسفالتی با روش‌های شرح داده شده در مورد بتن آسفالتی با دانه‌بندی پیوسته مندرج در بند (۷-۳-۱) انجام پذیرفت با این تفاوت که در این مرحله تعداد ضربات چکش مارشال، ۵۰ ضربه به هر طرف نمونه اعمال گردید. مقدار ده درصد از

omoorepeyman.ir

مصالح سنگی رد شده از الک ۴/۷۵ میلیمتر، فیلر (رد شده از الک شماره ۲۰۰) می‌باشد. ضمناً میزان الیاف پشم سنگ مصرفی در ساخت این نمونه‌ها، ۰/۴ درصد وزن مخلوط مصالح سنگی بوده است. پس از تهیه نمونه‌های مخلوط آسفالت ارزش‌های استحکام، درصد فضای خالی مخلوط آسفالتی و درصد فضای خالی مصالح سنگی تعیین و محاسبه گردید. نتایج بدست آمده در جداول (۷-۱۰) تا (۷-۱۶) درج گردیده است.

جدول ۷-۱۰- ارزش‌های نمونهٔ مخلوط آسفالتی با استخوانبندی سنگدانه‌ای تهیه شده با ۲۰ درصد مصالح سنگی ریزدانه (رد شده از الک ۴/۷۵ میلیمتر)

درصد قیر نسبت به کل مخلوط	درصد فضای خالی مخلوط آسفالتی	درصد فضای خالی مصالح سنگی	استحکام برحسب (کیلوگرم نیرو)
۶	۹/۳	۲۰/۹	۴۳۰
۶/۵	۸/۶	۲۱/۲	۴۵۰
۷	۷/۸	۲۱/۴	۴۴۰

جدول ۷-۱۱- ارزش‌های نمونهٔ مخلوط آسفالتی با استخوانبندی سنگدانه‌ای تهیه شده با ۲۴ درصد مصالح سنگی ریزدانه (رد شده از الک ۴/۷۵ میلیمتر)

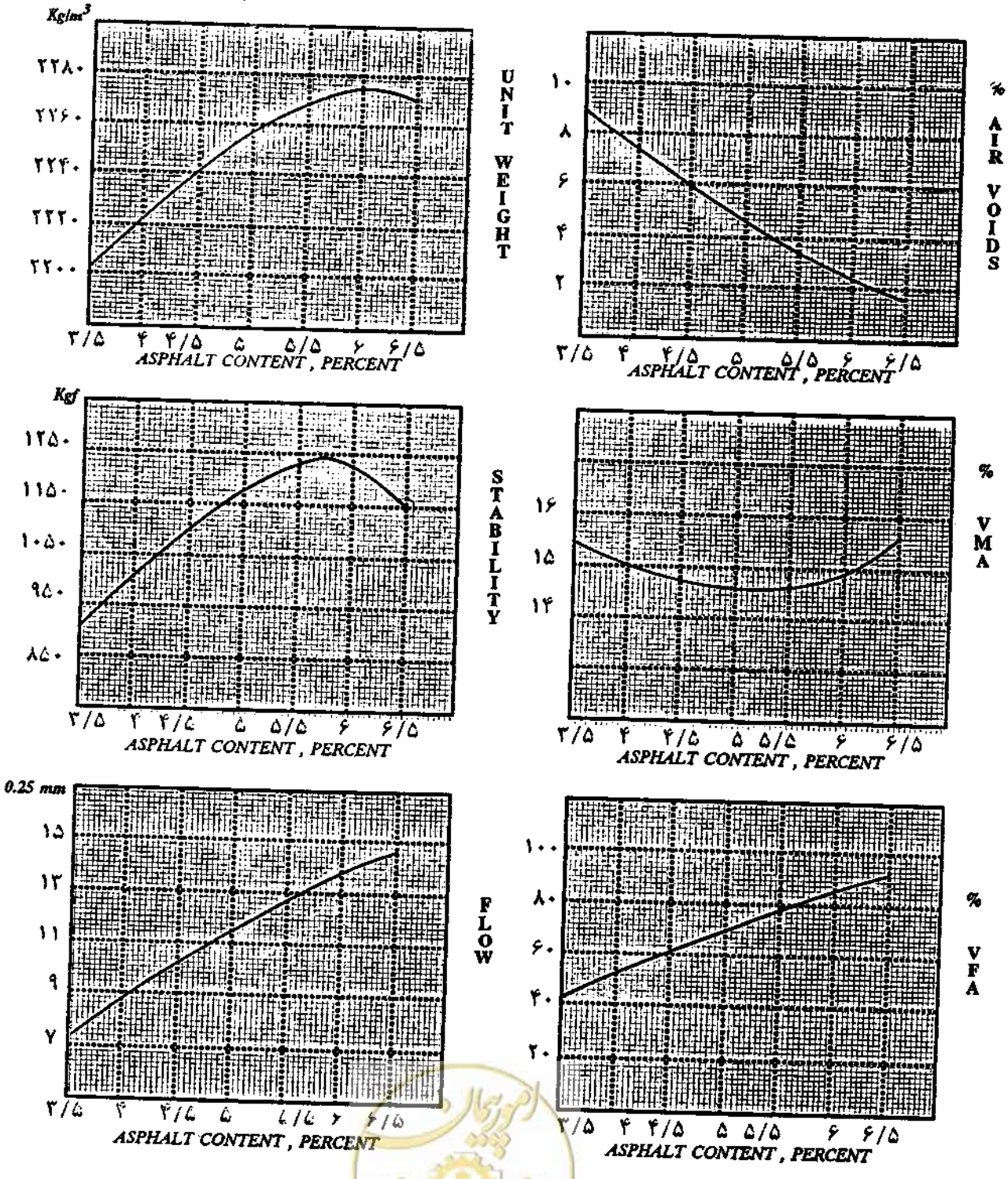
درصد قیر نسبت به کل مخلوط	درصد فضای خالی مخلوط آسفالتی	درصد فضای خالی مصالح سنگی	استحکام برحسب (کیلوگرم نیرو)
۶	۷/۷	۱۹/۵	۵۱۰
۶/۵	۶/۹	۱۹/۷	۵۵۰
۷	۶	۱۹/۹	۵۵۰

جدول ۷-۱۲- ارزش‌های نمونهٔ مخلوط آسفالتی با استخوانبندی سنگدانه‌ای تهیه شده با ۲۸ درصد مصالح سنگی ریزدانه (رد شده از الک ۴/۷۵ میلیمتر)

درصد قیر نسبت به کل مخلوط	درصد فضای خالی مخلوط آسفالتی	درصد فضای خالی مصالح سنگی	استحکام برحسب (کیلوگرم نیرو)
۶	۷/۱	۱۸/۸	۶۲۰
۶/۵	۶	۱۹	۶۲۰
۷	۵	۱۹/۱	۵۶۰

omoorepeyman.ir

قشـــــر:
نـــوع قیر: ۷۰ ـ ۶۰
تعداد ضربه: ۷۵



شکل ۷-۶- تغییرات ارزش های بتن آسفالتی برحسب درصد قیر

omoorepeyman.ir

جدول ۷-۱۳- ارزش‌های نمونهٔ مخلوط آسفالتی با استخوانبندی سنگدانه‌ای تهیه شده با ۳۰ درصد مصالح سنگی ریزدانه (رد شده از الک ۴/۷۵ میلیمتر)

درصد قیر نسبت به کل مخلوط	درصد فضای خالی مخلوط آسفالتی	درصد فضای خالی مصالح سنگی	استحکام برحسب (کیلوگرم نیرو)
۶	۶/۲	۱۸/۲	۶۶۰
۶/۵	۵/۱	۱۸/۲	۶۶۰
۷	۴/۱	۱۸/۴	۶۲۰

جدول ۷-۱۴- ارزش‌های نمونهٔ مخلوط آسفالتی با استخوانبندی سنگدانه‌ای تهیه شده با ۳۲ درصد مصالح سنگی ریزدانه (رد شده از الک ۴/۷۵ میلیمتر)

درصد قیر نسبت به کل مخلوط	درصد فضای خالی مخلوط آسفالتی	درصد فضای خالی مصالح سنگی	استحکام برحسب (کیلوگرم نیرو)
۶	۴/۷	۱۶/۸	۷۱۰
۶/۵	۳/۶	۱۷	۷۷۰
۷	۳/۲	۱۷/۶	۷۰۰

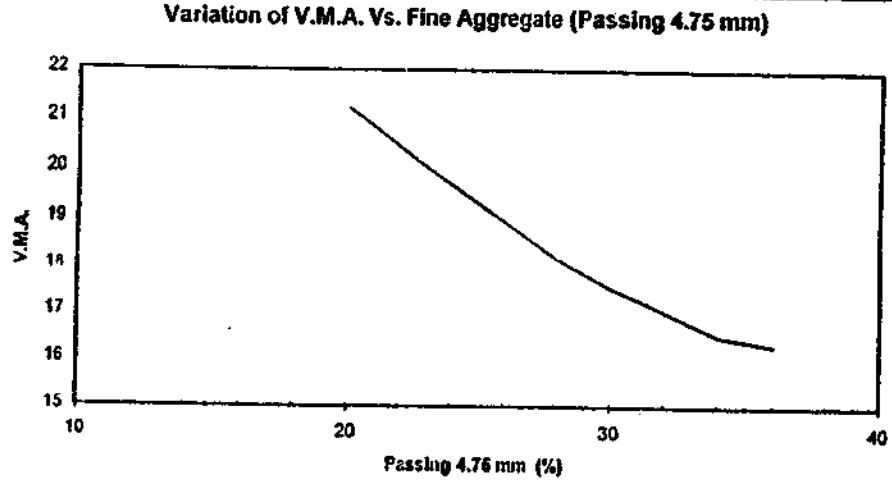
جدول ۷-۱۵- ارزش‌های نمونهٔ مخلوط آسفالتی با استخوانبندی سنگدانه‌ای تهیه شده با ۳۴ درصد مصالح سنگی ریزدانه (رد شده از الک ۴/۷۵ میلیمتر)

درصد قیر نسبت به کل مخلوط	درصد فضای خالی مخلوط آسفالتی	درصد فضای خالی مصالح سنگی	استحکام برحسب (کیلوگرم نیرو)
۶	۴/۲	۱۶/۳	۸۱۰
۶/۵	۳/۲	۱۶/۵	۸۰۰
۷	۲/۳	۱۶/۷	۷۵۰

جدول ۷-۱۶- ارزش‌های نمونهٔ مخلوط آسفالتی با استخوانبندی سنگدانه‌ای تهیه شده با ۳۶ درصد مصالح سنگی ریزدانه (رد شده از الک ۴/۷۵ میلیمتر)

درصد قیر نسبت به کل مخلوط	درصد فضای خالی مخلوط آسفالتی	درصد فضای خالی مصالح سنگی	استحکام برحسب (کیلوگرم نیرو)
۶	۴	۱۶/۲	۸۰۰
۶/۵	۳	۱۶/۳	۸۵۰
۷	۱/۹	۱۶/۵	۸۴۰

omoorepeyman.ir



شکل ۷-۷- تغییرات درصد فضای خالی مصالح سنگی بر حسب درصد رد شده از الک ۴/۷۵ میلیمتر

تغییرات درصد فضای خالی مصالح سنگی بر حسب درصد مصالح سنگی ریزدانه در شکل (۷-۷) ترسیم گردیده است. با توجه به شکل (۷-۷) در درصدی از مصالح سنگی ریزدانه که نرخ تغییرات درصد فضای خالی مصالح سنگی کاهش قابل توجهی را نشان می‌دهد، می‌توان شروع تماس مناسب سنگدانه به سنگدانه در مخلوط آسفالتی تلقی نمود. برای نمونه‌های ساخته شده مخلوط آسفالتی با استخوانبندی سنگدانه‌ای کاهش قابل توجه نرخ تغییرات درصد فضای خالی مصالح سنگی به ازای میزان حدود ۳۲ درصد مصالح سنگی رد شده از الک ۴/۷۵ میلی‌متر بوقوع پیوسته است. همچنین نمونه‌های مخلوط آسفالتی ساخته شده با ۳۲ درصد مصالح سنگی رد شده از الک ۴/۷۵ میلی‌متر دارای کلیه ویژگی‌های مورد نظر برای مخلوط آسفالتی با استخوانبندی سنگدانه‌ای می‌باشد (جدول ۷-۱۴). بدین ترتیب دانه‌بندی با ۳۲ درصد مصالح سنگی رد شده از الک ۴/۷۵ میلی‌متر بعنوان دانه‌بندی مورد نظر برای مخلوط آسفالتی با استخوانبندی سنگدانه‌ای انتخاب گردید.

با توجه به دانه‌بندی مصالح سنگی موجود، نسبت‌های زیر بمنظور دستیابی به دانه‌بندی مخلوط مصالح سنگی درنظر گرفته شد، (جدول ۷-۱۷).

جدول ۷-۱۷- نسبت‌های اختلاط مصالح سنگی مخلوط آسفالتی با استخوانبندی سنگدانه‌ای

نوع مصالح سنگی	درصد اختلاط
شن متوسط	۲۹
شن ریز	۴۰
ماسه شکسته	۲۱
فیلر	۱۰

با اعمال نسبت‌های فوق دانه‌بندی مخلوط مصالح سنگی مطابق با جدول ۷-۱۸ می‌باشد.

omoorepeyman.ir

جدول ۷-۱۸- دانه‌بندی مخلوط مصالح سنگی مصرفی در طرح مخلوط آسفالتی با استخوانبندی سنگدانه‌ای

اندازه الک (میلیمتر)	۱۹	۱۲/۵	۹/۵	۴/۷۵	۲/۳۶	۰/۳	۰/۱۵	۰/۰۷۵
درصد رد شده از الک	۱۰۰	۹۲	۷۱	۳۲/۱	۲۴	۱۵/۷	۱۲/۳	۱۰/۶

منحنی دانه‌بندی مخلوط مصالح سنگی مصرفی در طرح مخلوط آسفالتی با استخوانبندی سنگدانه‌ای در شکل (۷-۸) ارائه گردیده است.

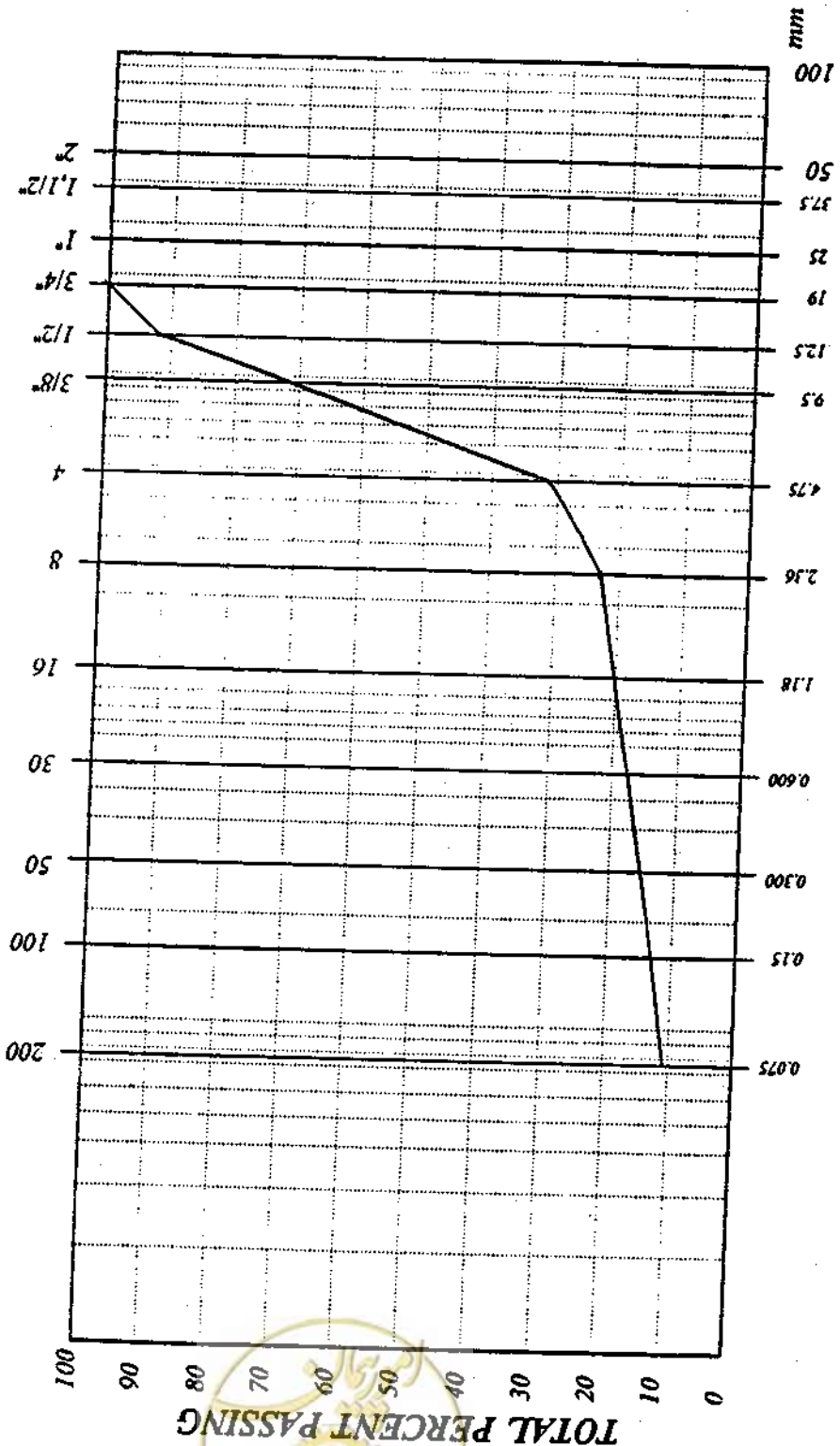
جهت تعیین دقیق درصد قیر مناسب، نمونه‌های مخلوط آسفالتی با مخلوط مصالح سنگی با دانه‌بندی فوق و درصدهای مختلف قیر و استفاده از ۰/۴ درصد الیاف،ساخته شد. برای این منظور با هر درصد قیر، ۴ نمونه مخلوط آسفالتی با روش‌های شرح داده شده و اعمال ۵۰ ضربه چکش به هر طرف نمونه تهیه گردید. سپس کمیت‌های وزن واحد حجم، استحکام، روانی، درصد فضای خالی مخلوط آسفالتی و درصد فضای خالی مصالح سنگی پر شده با قیر تعیین و محاسبه گردید. مقادیر بدست آمده به ازای درصدهای مختلف قیر در جدول (۷-۱۹) ارائه گردیده است. همچنین منحنی تغییرات هر یک از کمیت‌های مذکور بر حسب درصدهای مختلف قیر در شکل (۷-۹) ترسیم شده است.

جدول ۷-۱۹- کمیت‌های مخلوط آسفالتی با استخوانبندی سنگدانه‌ای با ۳۲ درصد مصالح سنگی ریزدانه (رد شده از الک ۴/۷۵ میلی‌متر)

کمیت مخلوط آسفالتی متراکم شده	درصد قیر نسبت به کل مخلوط				
	۵/۵	۶	۶/۵	۷	۷/۵
استحکام (کیلوگرم نیرو)	۶۵۰	۷۱۰	۷۷۰	۷۰۰	۵۵۰
وزن واحد حجم (کیلوگرم بر مترمکعب)	۲۲۱۸	۲۲۲۵	۲۲۳۵	۲۲۲۸	۲۲۱۹
روانی (۰/۲۵ میلیمتر)	۱۴	۱۶	۱۶	۱۷	۱۸
درصد فضای خالی مخلوط آسفالت	۵/۷	۴/۷	۳/۶	۳/۳	۳
درصد فضای خالی مصالح سنگی	۱۶/۶	۱۶/۸	۱۷	۱۷/۶	۱۸/۴
درصد فضای خالی مصالح سنگی پرشده با قیر	۶۵/۹	۷۱/۹	۷۸/۵	۸۱/۷	۸۳/۶

در بین مخلوط های آسفالتی ساخته شده با درصدهای مختلف قیر، با توجه به منحنی‌های شکل (۷-۹) و معیارهای توصیه شده جهت انتخاب درصد قیر بهینه، درصد قیر بهینه برای این مخلوط برابر ۶/۵ درصد تعیین گردید. مخلوط آسفالتی ساخته شده با ۶/۵ درصد قیر بیشترین استحکام و نیز ویژگی‌های مورد نظر از جمله درصد فضای خالی مخلوط آسفالتی و درصد فضای خالی مصالح سنگی را دارا می‌باشد. ارزش‌های مخلوط آسفالتی با استخوانبندی سنگدانه‌ای به ازای درصد قیر بهینه در جدول (۷-۲۰) ارائه گردیده است.

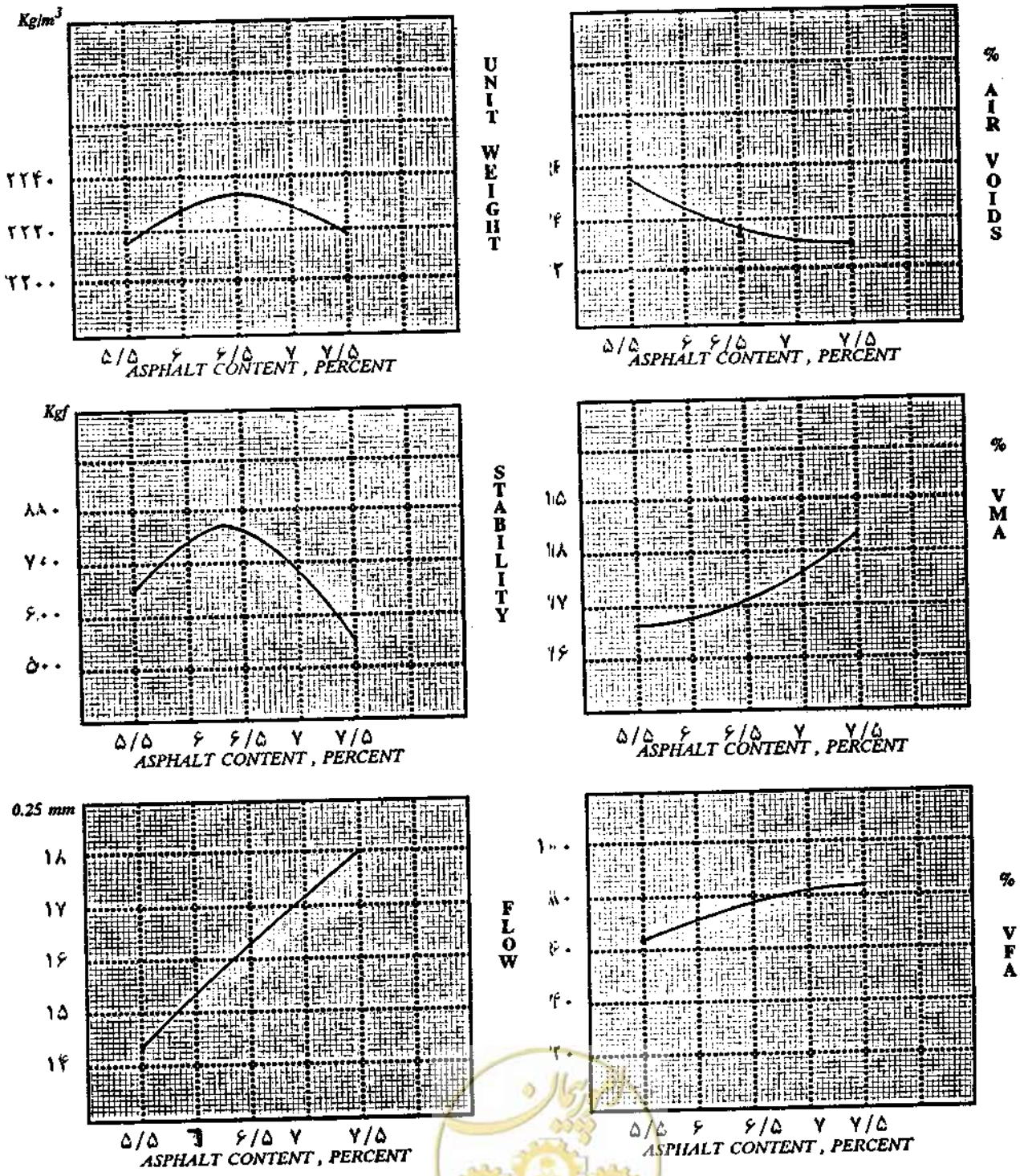
omoorepeyman.ir



شکل ۷-۸- دانه‌بندی مخلوط مصالح سنگی مصرفی در ساخت نمونه‌های آسفالتی با استخوانبندی سنگدانه‌ای

omoorepeyman.ir

قشـــــر:
نـــوع قیـر: ۶۰ـ۷۰
تعداد ضربه: ۵۰



شکل ۷-۹- تغییرات ارزش‌های مخلوط آسفالتی با استخوانبندی سنگدانه‌ای برحسب درصد قیر

omoorepeyman.ir

جدول ۷-۲۰- ارزش‌های مخلوط آسفالتی با استخوانبندی سنگدانه‌ای به ازای درصد قیر بهینه

کمیت مورد بررسی	مشخصه مخلوط آسفالتی
استحکام (کیلوگرم نیرو)	۷۷۰
وزن واحد حجم (کیلوگرم بر مترمکعب)	۲۲۳۵
روانی (۰/۲۵ میلیمتر)	۱۶
درصد فضای خالی مخلوط آسفالت	۳/۶
درصد فضای خالی مصالح سنگی	۱۷
درصد فضای خالی مصالح سنگی پر شده با قیر	۷۸/۵

۷-۴- تهیه نمونه‌های مخلوط آسفالتی بمنظور تعیین میزان شیارافتادگی جای چرخ[1]

بمنظور بررسی مخلوط های آسفالتی با استخوانبندی سنگدانه‌ای از نظر شیارافتادگی و مقایسه آن با مخلوط های آسفالتی با دانه‌بندی پیوسته، نمونه‌های مخلوط آسفالتی از هر کدام تهیه و با دستگاه ویل‌تراک[2] میزان شیارافتادگی جای چرخ برای نمونه‌ها تعیین گردید.

۷-۴-۱- شرح دستگاه ویل تراک[3]

دستگاه ویل تراک وسیله‌ای است که در آن چرخی با ابعاد معین تحت نیروی مشخص و در دمای تعیین شده بر روی نمونه مخلوط آسفالتی رفت و برگشت می‌نماید. میزان شیارافتادگی جای چرخ بر روی نمونه مخلوط آسفالتی در اثر اعمال بار وارده در دمای مشخص پس از عبور تعداد معینی رفت و برگشت چرخ اندازه‌گیری می‌شود. دستگاه مورد استفاده دارای چرخ فولادی با روکش لاستیک سخت[4] با قطر ۲۰ سانتی‌متر و پهنای ۵ سانتی‌متر و فشار تماس چرخ برابر ۶/۴ یا ۵/۵ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع است. ابعاد قالب نمونه‌های این دستگاه ۵×۳۰×۳۰ سانتی‌متر می‌باشد. قابلیت دستگاه انجام آزمایش تا دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد در شرایط خشک و تر و با سرعت دلخواه ۱۰ تا ۳۰ رفت و برگشت در دقیقه می‌باشد. در شکل (۷-۱۰) تصویر دستگاه ویل‌تراک نشان داده شده است.

امور پیمان
omoorepeyman.ir

1- Rutting
2- Wheel Track
3- Wheel Tracking Machine
4- Solid Tire

۷-۴-۲- آماده‌سازی نمونه‌های مخلوط آسفالتی

نمونه‌های مخلوط آسفالتی به منظور آزمایش با دستگاه ویل‌تراک با استفاده از متراکم‌کننده غلتکی که تصویر آن در شکل (۷-۱۱) نشان داده شده است، تهیه گردید. بدین منظور پس از تهیه نمونه‌های مخلوط آسفالتی، آنها را در داخل قالب فلزی به ابعاد ۵×۳۰×۳۰ سانتی‌متر ریخته و با استفاده از متراکم‌کننده غلتکی، نمونه‌ها بقدری متراکم گردید که چگالی حقیقی آنها برابر چگالی حقیقی بدست آمده با روش چکش مارشال گردد.

۷-۴-۳- آزمایش تعیین میزان شیارافتادگی جای چرخ

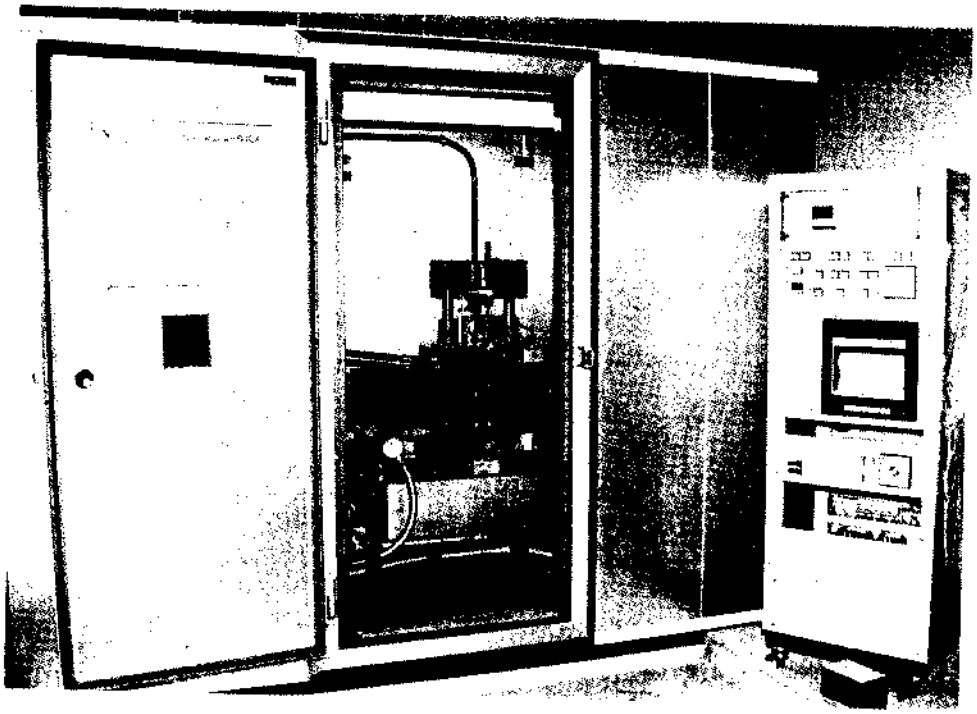
از هر مخلوط آسفالتی، ۴ قالب نمونه تهیه و شیارافتادگی نمونه‌های مخلوط آسفالتی در دماهای ۳۵ و ۵۵ درجه سانتیگراد و تحت فشار تماس چرخ برابر ۶/۴ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع و با سرعت ۳۰ رفت و برگشت در دقیقه اندازه‌گیری گردید. میزان شیارافتادگی جای چرخ برای هر یک از نمونه‌ها در دماهای ۳۵ و ۵۵ درجه سانتی‌گراد و مقایسه آنها بر حسب تعداد رفت و برگشت چرخ در اشکال (۷-۱۲) تا (۷-۱۵) ترسیم گردیده است.

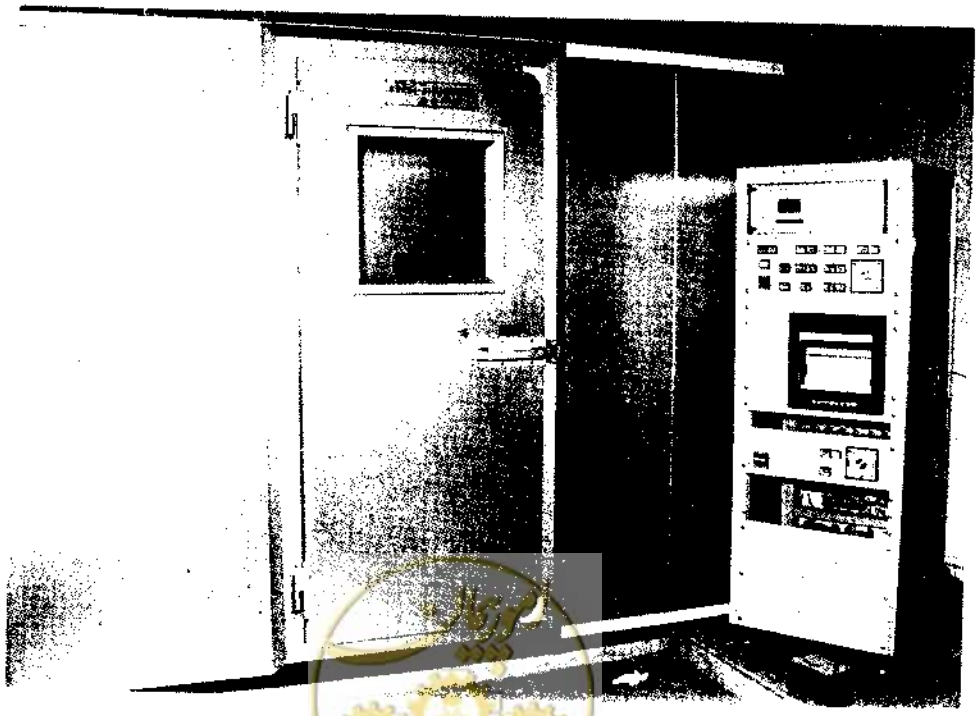
دانه‌بندی مخلوط مصالح سنگی به کار رفته در ساخت نمونه‌هایی که مورد آزمایش ویل‌تراک قرار گرفته‌اند در جدول (۷-۲۱) ارائه شده است.

جدول ۷-۲۱- دانه‌بندی مخلوط مصالح سنگی مورد استفاده در تهیه نمونه‌های آزمایش ویل تراک

اندازه الک (میلیمتر)	۱۹	۱۲/۵	۹/۵	۴/۷۵	۲/۳۶	۰/۳	۰/۱۵	۰/۰۷۵
	درصد رد شده							
مخلوط بتن آسفالتی	۱۰۰	۹۵/۵	۸۴/۱	۵۹/۸	۴۳/۸	۱۵/۴	۱۲	۶
مخلوط آسفالتی با استخوانبندی سنگدانه‌ای	۱۰۰	۹۲	۷۱	۳۲/۱	۲۴	۱۵/۷	۱۲/۳	۱۰/۶

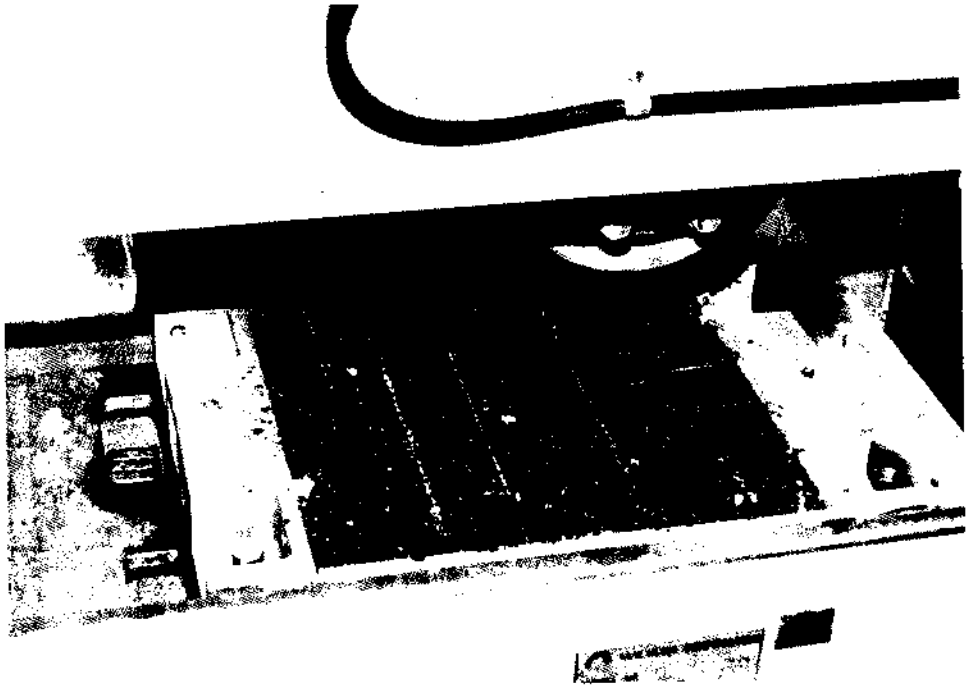
omoorepeyman.ir

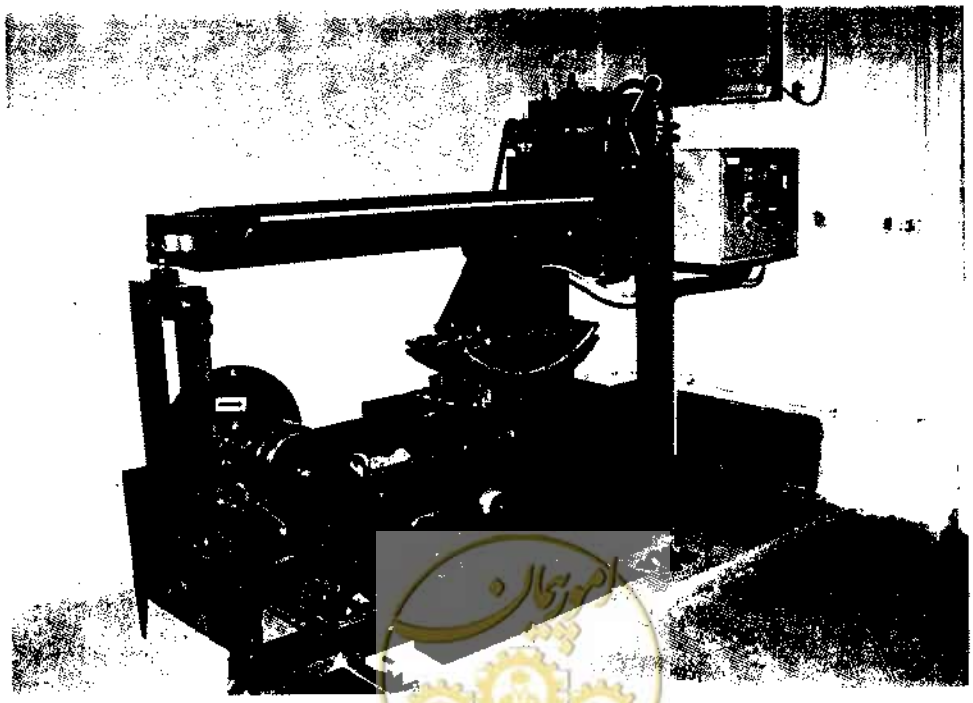




شکل ۷-۱۰- دستگاه ویل تراک

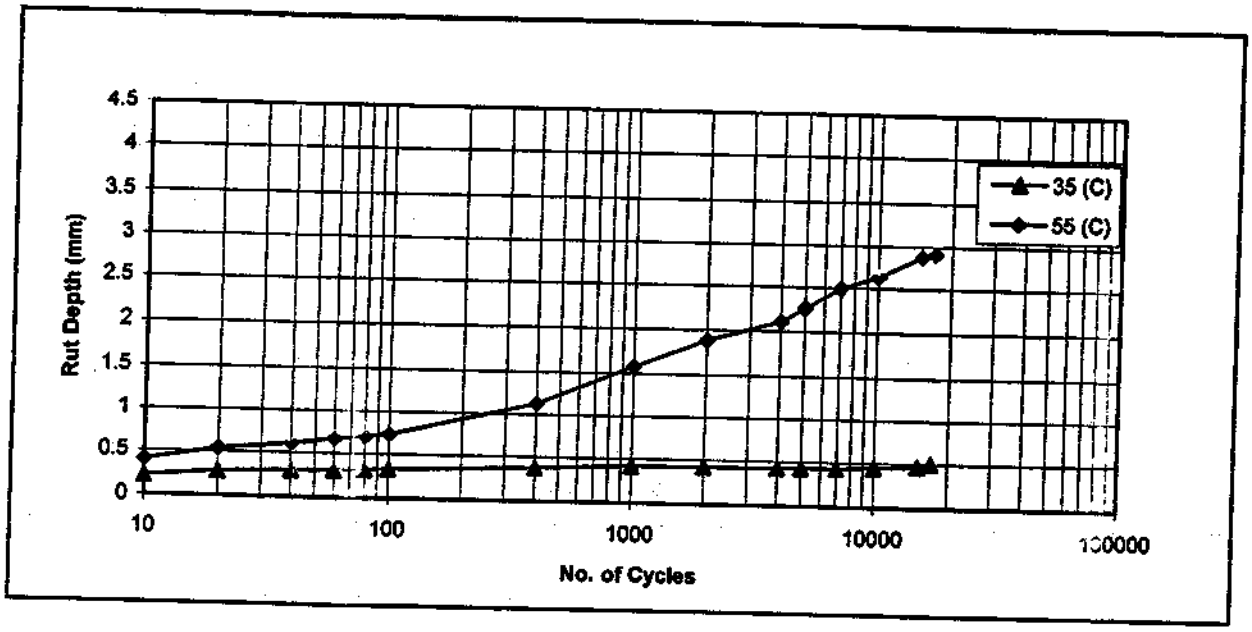
omoorepeyman.ir

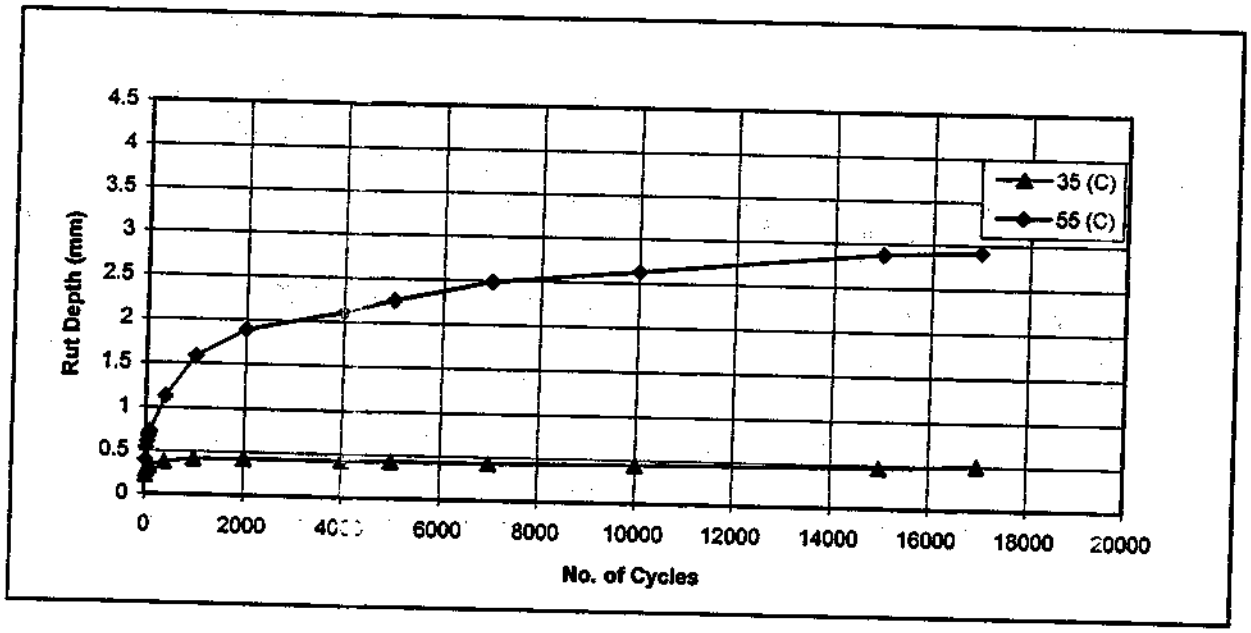




شکل ۷-۱۱ - دستگاه متراکم‌کننده غلتکی

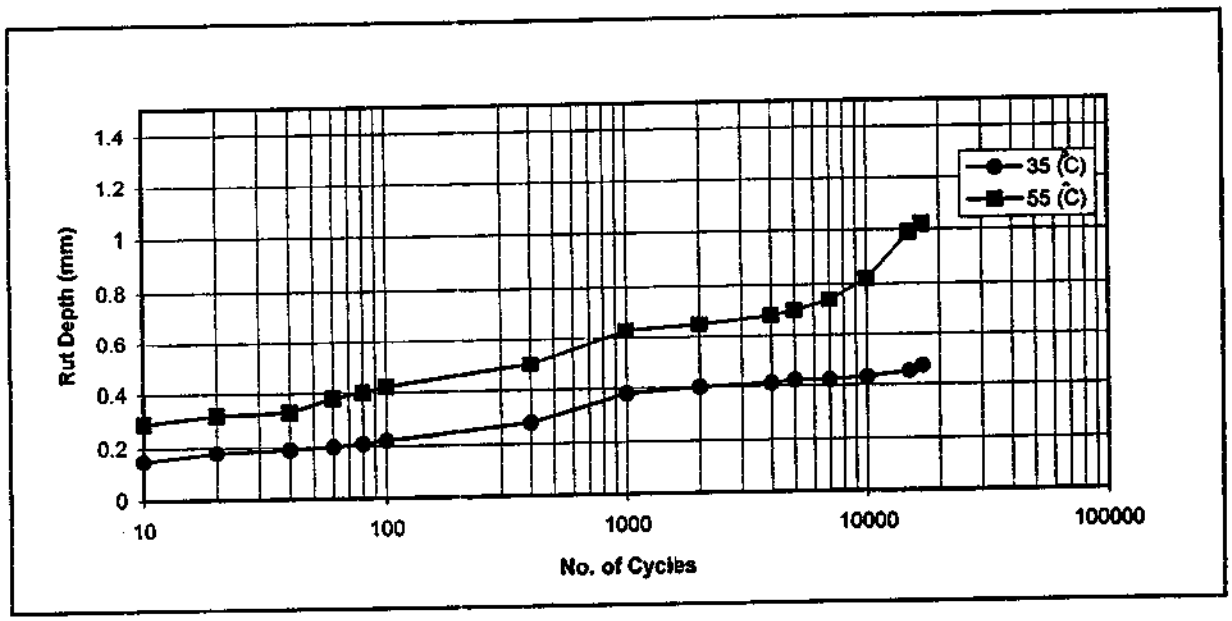
omoorepeyman.ir

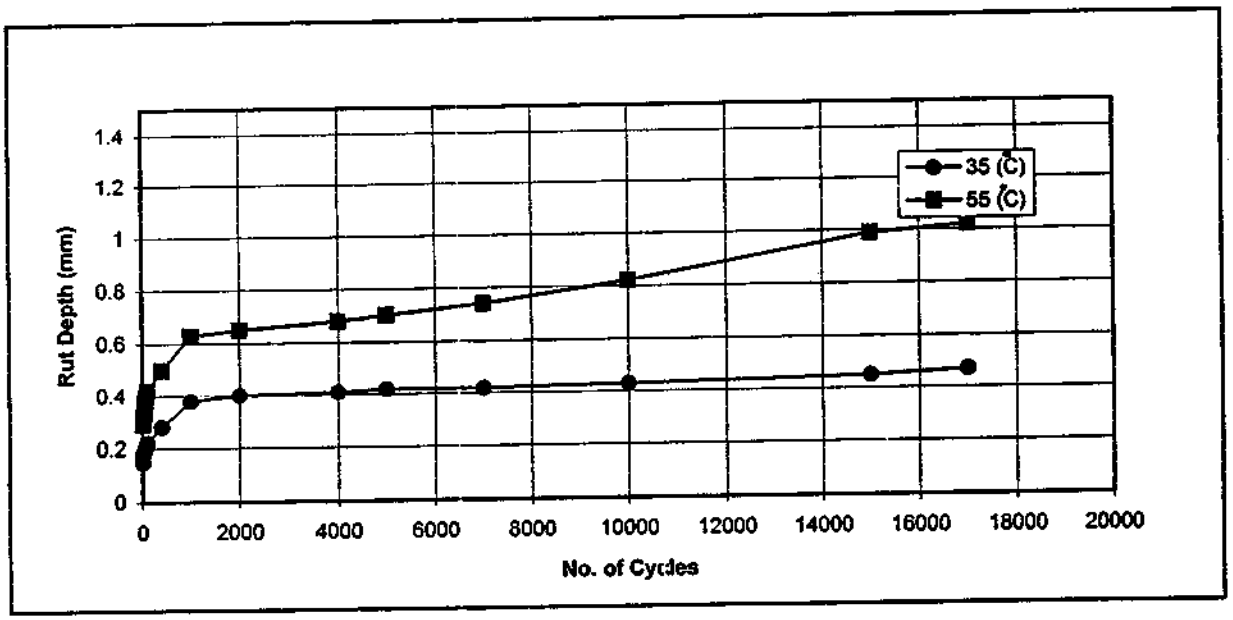




شکل ۷-۱۲- شیار افتادگی جای چرخ مخلوط بتن آسفالتی در دماهای ۳۵ و ۵۵ درجه سانتیگراد

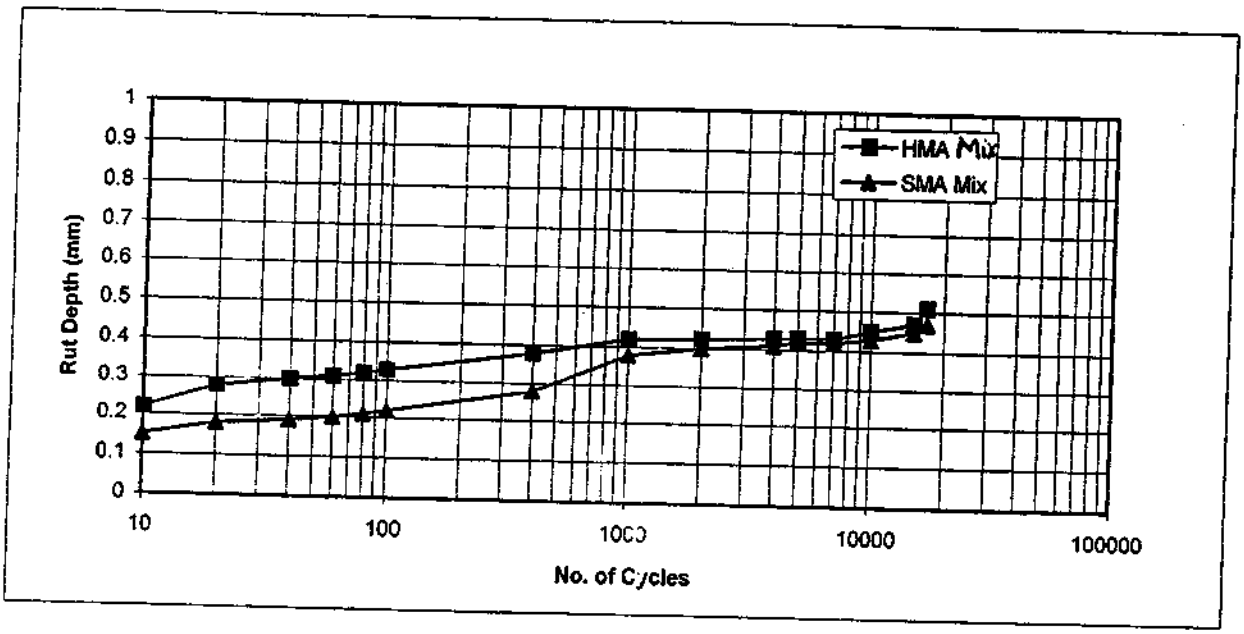
omoorepeyman.ir

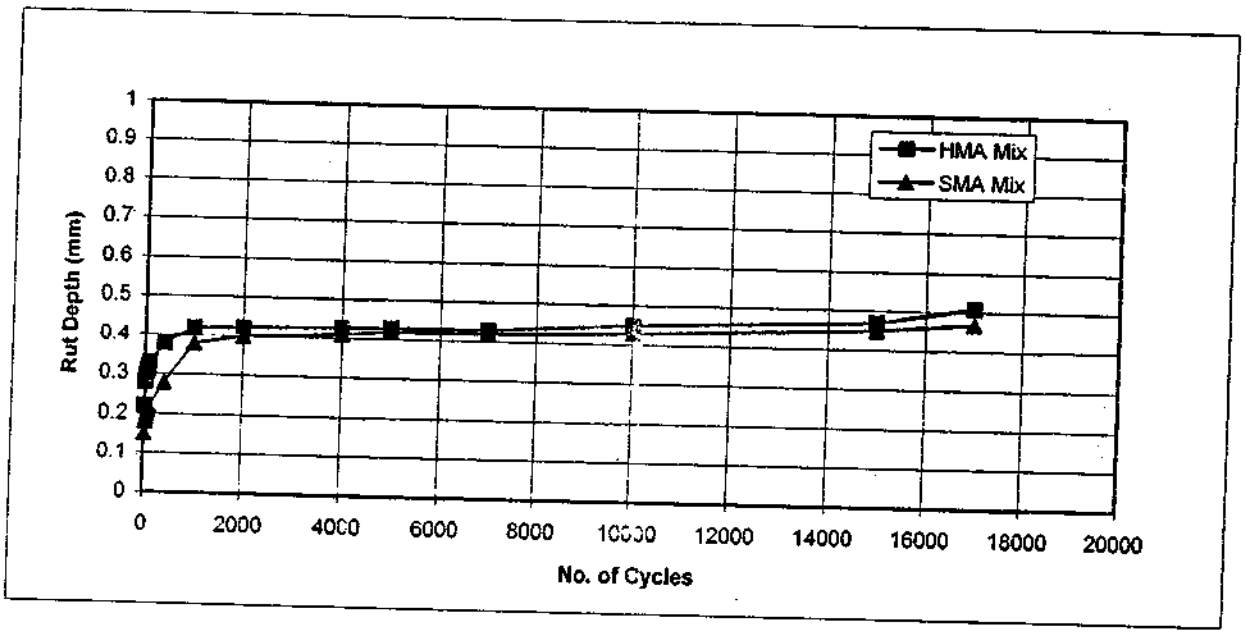




omoorepeyman.ir

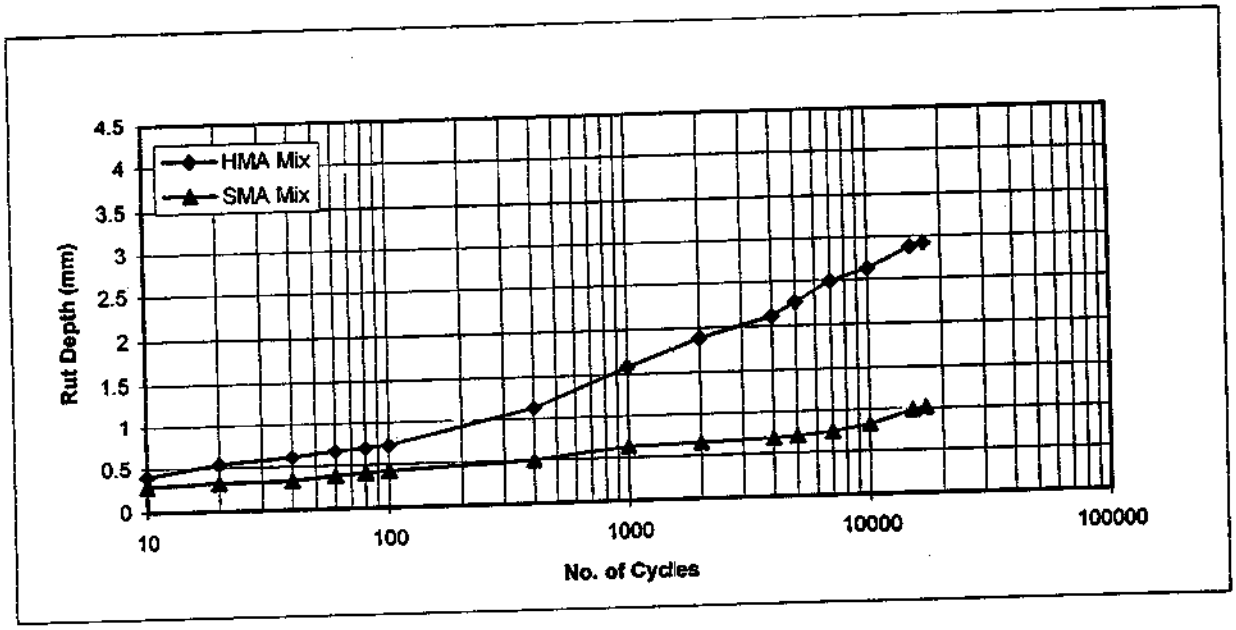
شکل ۷-۱۳- شیارافتادگی جای چرخ نمونه‌های مخلوط آسفالتی با استخوانبندی سنگدانه‌ای در دماهای ۳۵ و ۵۵ درجه سانتیگراد

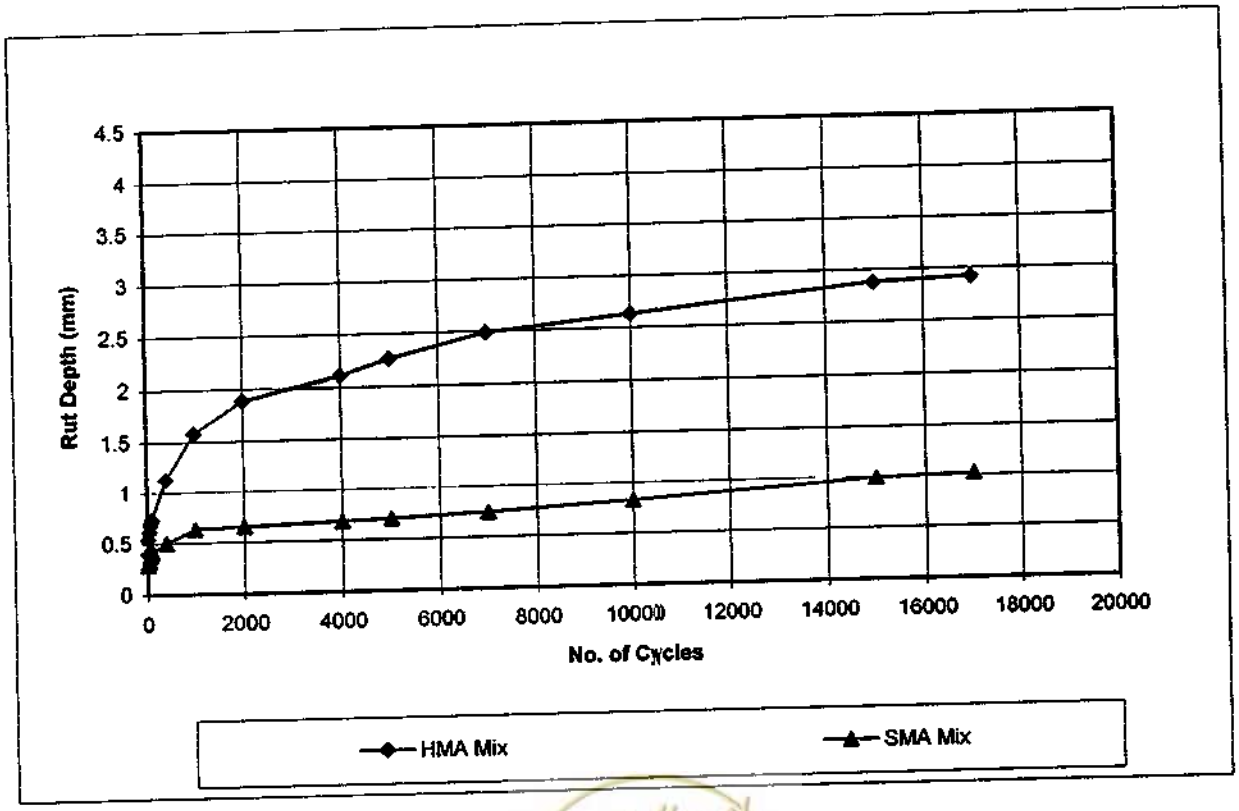




شکل ۷-۱۴- مقایسه شیارافتادگی جای چرخ نمونه‌های مخلوط بتن آسفالتی و مخلوط با استخوانبندی سنگدانه‌ای در ۳۵ درجه سانتیگراد

omoorepeyman.ir





شکل ۷-۱۵- مقایسه شیارافتادگی جای چرخ نمونه مخلوط آسفالتی و مخلوط آسفالتی با استخوانبندی سنگدانه‌ای در دمای ۵۵ درجه سانتیگراد

omoorepeyman.ir

۸

بررسی و ارزیابی مخلوطهای آسفالتی با استخوانبندی سنگدانه‌ای

این گزارش بررسی و ارزیابی مخلوطهای آسفالتی با استخوانبندی سنگدانه‌ای را شامل می‌شود. مخلوطهای آسفالتی با استخوانبندی سنگدانه‌ای به عنوان لایه رویه با دوام و مقاوم در مقابل شیارافتادگی مطرح می‌باشند. این مخلوطهای آسفالتی در ابتدا در آلمان تولید شدند لیکن عملکرد خوب آنها منجر به استاندارد نمودن مخلوطهای آسفالتی با استخوانبندی سنگدانه‌ای در «مشخصات فنی آلمان»[1] (در سال ۱۹۸۴) گردید. امروزه این گونه مخلوطهای آسفالتی به طور گسترده‌ای در شبکهٔ راههای اروپا، امریکا و کانادا مورد استفاده قرار می‌گیرند و انواع مخلوطهای آسفالتی با استخوانبندی سنگدانه‌ای در بسیاری از کشورهای دیگر نیز کاربرد دارند.

مخلوطهای آسفالتی با استخوانبندی سنگدانه‌ای بواسطه ساختمان پایدار مصالح سنگی در مقابل تغییرشکل بسیار مقاوم می‌باشند. فضای خالی این گونه مخلوطها با ملاتی از قیر، ماسه شکسته، فیلر و الیاف پر می‌گردد. اساساً استفاده از الیاف به منظور جلوگیری از جاری‌شدن قیر و متعاقب آن افزایش ضخامت پوشش قیری می‌باشد که در نتیجهٔ آن سرعت اکسیده‌شدن مخلوط کاهش می‌یابد. علاوه بر این در مخلوطهای آسفالتی با استخوانبندی سنگدانه‌ای، الیاف که به عنوان ریز تسلیح‌کنندهٔ ملات نیز عمل می‌کند باعث پایداری مخلوط و افزایش مقاومت در مقابل شیارافتادگی می‌گردد.

مخلوطهای آسفالتی با استخوانبندی سنگدانه‌ای به علت درصد فضای خالی کم و ضخامت زیاد قشر قیر اندودکننده مصالح سنگی، بادوام و به سفت‌شدگی در اثر گذشت زمان مقاوم می‌باشند. در نتیجه، این مخلوطها نسبت به ترک‌خوردگی زودهنگام، جداشدن دانه‌ها و آسیب‌دیدگی و خرابی ناشی از رطوبت مقاوم هستند. علاوه بر پایداری خوب و دوام که خدمت‌دهی دراز مدت و عمر زیاد مخلوط را تضمین می‌نماید، مزایای دیگری برای این مخلوطها مطرح می‌باشد. به عنوان مثال، این مخلوطهای آسفالتی می‌توانند روی سطح شیار افتاده یا ناهموار اجرا گردند زیرا در حین عمل تراکم خیلی کم متراکم و فشرده می‌شوند. این ویژگی، صاف و هموار بودن طولی و عرضی سطح را به راحتی تأمین می‌نماید. مخلوطهای آسفالتی با استخوانبندی سنگدانه‌ای در مقایسه با مخلوطهای بتن آسفالتی صدای چرخ وسیله‌نقلیه را به میزان تقریباً دو دسی‌بل کاهش می‌دهند [۷].

مخلوطهای آسفالتی با استخوانبندی سنگدانه‌ای اساساً از مصالح سنگی درشت دانه با دانه‌بندی میان‌تهی تشکیل یافته‌اند که توسط اندود سطحی و ملات (ماستیک) به لایه زیرین و به یکدیگر چسبیده‌اند. در ته و در جسم لایه،

1- German Technical Specification

omoorepeyman.ir

فضاهای خالی در مصالح سنگی درشت تقریباً به طور کامل با ملات پر شده است در حالی که در سطح لایه تنها بخشی از فضاهای خالی با ملات پر می‌گردد، لذا سطحی با بافت زبر و باز حاصل می‌گردد. این ویژگی سطح به افزایش مقاومت در مقابل سرخوردن در همه سرعتها و به تسهیل زهکشی آبهای سطحی کمک می‌کند.

از جمله معایب مخلوطهای آسفالتی با استخوانبندی سنگدانه‌ای در مقایسه با مخلوطهای بتن آسفالتی، لزوم استفاده از افزودنی‌ها، استفاده از مصالح سنگی کاملاً شکسته و درصد قیر بیشتر را می‌توان نام برد. هزینه تولید مخلوطهای آسفالتی با استخوانبندی سنگدانه‌ای به علت مخلوط کردن در دمای بالاتر افزایش می‌یابد، ضمناً جهت پراکنده کردن افزودنی‌ها در مخلوط آسفالتی، به زمان بیشتری در مرحله مخلوط کردن نیاز است. با توجه به عوامل مذکور و تجربیات حاصله در کشورهای مختلف، مخلوطهای آسفالتی با استخوانبندی سنگدانه‌ای در مقایسه با مخلوطهای بتن آسفالتی حدود ۲۰ درصد گرانتر خواهند بود [۷].

۸-۱- ارزیابی اجزاء تشکیل دهنده مخلوطهای آسفالتی با استخوانبندی سنگدانه‌ای

۸-۱-۱- مصالح سنگی درشت دانه

با توجه به نتایج حاصل از آزمایشهای انجام شده بر روی مصالح سنگی درشت دانه جدول (۶-۲) و ویژگی‌های مندرج در مشخصات ارائه شده SMA TWG[1] جدول (۵-۱) می‌توان نتیجه گرفت مصالح سنگی درشت دانه مصرفی، قابلیت استفاده در مخلوطهای آسفالتی با استخوانبندی سنگدانه‌ای را برای رویه‌های آسفالتی دارا بوده است.

جدول (۸-۱) مقایسه برخی از ویژگی‌های مصالح سنگی درشت دانه مصرفی را با مشخصات پیشنهاد شده توسط SMA TWG نشان می‌دهد.

جدول ۸-۱- مقایسه برخی از ویژگی‌های مصالح سنگی درشت دانه مصرفی با مشخصات پیشنهادی SMA TWG

ویژگی	روش استاندارد آزمایش	نتیجه آزمایش	مشخصات پیشنهادی SMA TWG
درصد شکستگی در یک جبهه	-	۱۰۰	۱۰۰
درصد شکستگی در دو جبهه	-	۹۰	حداقل ۹۰
درصد افت وزنی در مقابل سولفات سدیم	AASHTO- T۱۰۴	۰/۳۷	حداکثر ۱۵
درصد سایش به روش لوس‌آنجلس	AASHTO-T۹۶	۱۶	حداکثر ۳۰
درصد جذب آب مصالح سنگی	AASHTO-T۸۵	۲	حداکثر ۲

1- SMA Technical Working Group

omoorepeyman.ir

مصالح سنگی درشت دانه اسکلت و استخوانبندی اصلی مخلوط های آسفالتی با استخوانبندی سنگدانه‌ای را تشکیل می‌دهند و عامل اصلی پایداری، مقاومت باربری بالا و مقاومت در برابر شیارافتادگی این مخلوط ها می‌باشند. بدین لحاظ مصالح سنگی درشت دانه مورد مصرف در مخلوط های آسفالتی با استخوانبندی سنگدانه‌ای بایستی از کیفیت بالایی برخوردار باشند تا ویژگی‌های مورد نظر را تأمین نمایند. این مصالح سنگی باید از استحکام، سختی و دوام کافی برخوردار باشند تا در حالت تماس سنگدانه به سنگدانه در مقابل بار ناشی از آمدوشد مقاومت نمایند. لذا در تهیه اینگونه مخلوط های آسفالتی باید از مصرف سنگدانه‌های سست و نرم خودداری گردد. درصد شکستگی مصالح سنگی درشت دانه یکی دیگر از معیارهای مهم در انتخاب سنگدانه‌های درشت می‌باشد. مصالح سنگی درشت دانه باید از شکستن و خردکردن سنگ کوهی و یا مصالح سنگی درشت رودخانه‌ای تهیه شده و تماماً شکسته باشند، در غیر این صورت قفل و بست لازم در تماس سنگدانه به سنگدانه بوجود نیامده در نتیجه انتظارات مورد نظر حاصل نمی‌گردد.

به منظور بررسی ویژگی‌های مصالح سنگی درشت‌دانه در مخلوط های آسفالتی با استخوانبندی سنگدانه‌ای همان گونه که قبلاً نیز اشاره گردید SMA TWG معیارهای درصد افت وزنی در مقابل سایش به روش لوس‌آنجلس، درصد سنگدانه‌های سوزنی و پولکی شکل (ASTM : D۴۷۹۱)، درصد افت وزنی در مقابل سولفات سدیم، درصد شکستگی، میزان جذب آب (AASHTO : T۸۵) و شاخص دوام مصالح درشت و ریز (AASHTO : T۲۱۰) را در نظر گرفته است. این مشخصات برای مصالح سنگی با حداکثر اندازه ۱۹ میلی‌متر و برای استفاده در قشرهای رویه پیشنهاد گردیده است.

در کشور آلمان برای مصالح سنگی درشت دانه مصرفی در مخلوط های آسفالتی با استخوانبندی سنگدانه‌ای جهت رویه روسازی، مشخصه‌های درصد شکستگی و اشکال سوزنی و پولکی را درنظر گرفته‌اند. همچنین توصیه نموده‌اند مصالح سنگی درشت دانه ترجیحاً از سنگهای گرانیت، گابرو، دیاباز، بازالت و سایر سنگهای محکم و سخت تهیه شود [۷].

حدود مشخصات پیشنهاد شده برای مصالح سنگی درشت‌دانه مصرفی در مخلوط های آسفالتی با استخوانبندی سنگدانه‌ای و مشخصات مندرج در نشریه ۱۰۱ سازمان برنامه و بودجه برای مصالح سنگی درشت دانه در مخلوط بتن آسفالتی (قشر رویه) در جداول (۸-۲) و (۸-۳) و (۸-۴) درج گردیده است.

جدول ۸-۲- ویژگی‌های مصالح سنگی درشت‌دانه در مخلوط های آسفالتی با استخوانبندی سنگدانه‌ای به پیشنهاد Technical Working Group

مشخصات	استاندارد آزمایش	حدود مشخصات
درصد شکستگی در یک جبهه	-	۱۰۰
درصد شکستگی در دو جبهه	-	حداقل ۹۰
درصد سایش به روش لوس‌آنجلس	AASTHTO : T۹۶	حداکثر ۳۰
درصد ذرات سوزنی و پولکی با نسبت ۳ به ۱	ASTM : D۴۷۹۱	حداکثر ۲۰
درصد ذرات سوزنی و پولکی با نسبت ۵ به ۱	ASTM : D۴۷۹۱	حداکثر ۵
درصد افت وزنی در مقابل سولفات سدیم	AASHTO : T۱۰۴	حداکثر ۱۵
درصد جذب آب مصالح سنگی	AASHTO : T۸۵	حداکثر ۲
شاخص دوام مصالح سنگی درشت و ریز	AASHTO : T۲۱۰	حداقل ۴۰

omoorepeyman.ir

جدول ۸-۳- ویژگی‌های مصالح سنگی درشت‌دانه جهت مخلوط‌های آسفالتی با استخوانبندی سنگدانه‌ای به پیشنهاد بخش راه و ترابری آلمان[1] برای رویه روسازی

- مصالح سنگی باید کاملاً شکسته باشد.
- حداکثر درصد مصالح سنگی پولکی و سوزنی شکل ۲۰ درصد باشد.
- ترجیحاً از جنس گرانیت، گابرو، دیاباز، بازالت و یا دیگر سنگهای سخت، محکم و بادوام باشد.

جدول ۸-۴- مشخصات مصالح سنگی درشت دانه مورد استفاده در مخلوط‌های بتن آسفالتی جهت قشر رویه (مندرج در نشریه ۱۰۱ سازمان برنامه و بودجه)

- مصالح سنگی باید از شکستن و خردکردن سنگ کوهی یا شن و ماسه رودخانه‌ای که در مرحله نهائی با سنگ‌شکن‌های چکشی و یا مخروطی تهیه‌شود.
- مصالح سنگی درشت دانه باید کاملاً تمیز، سخت، محکم با دوام، مکعبی بوده و عاری از هرگونه مواد آلی، کلوخه‌های رسی، اندود و پوشش‌های خاکی و دانه‌های سست و شکننده باشد.
- حداکثر درصد سایش به روش لوس‌آنجلس، ۳۰ درصد باشد.
- حداکثر افت وزنی در مقابل محلول سولفات سدیم پس از ۵ نوبت آزمایش، ۸ درصد باشد.
- حداکثر درصد ذرات پولکی (BS:812) ۲۵ باشد.
- حداقل درصد شکستگی در یک جبهه یا بیشتر، ۸۰ باشد.
- چسبندگی قیر به مصالح سنگی طبق روش AASHTO - T182 کمتر از ۹۵ درصد نباشد.

با توجه به جداول (۸-۲) و (۸-۳)، اهم ویژگی‌هایی که برای مصالح سنگی درشت‌دانه در مخلوط های آسفالتی با استخوانبندی سنگدانه‌ای پیشنهاد شده عبارتند از:

- شکستگی کامل مصالح سنگی
- بالابودن استحکام، سختی و دوام مصالح سنگی
- کم بودن مقدار مصالح سنگی سوزنی و پولکی شکل

از مقایسه ویژگی‌های مصالح سنگی درشت‌دانه با مشخصات پیشنهادی سنگدانه‌های درشت دانه مناسب برای مخلوط‌های آسفالتی با استخوانبندی سنگدانه‌ای می‌توان نتیجه‌گیری کرد، مصالح سنگی درشت‌دانه که دارای شرایط مندرج در نشریه ۱۰۱ سازمان برنامه و بودجه جهت قشر رویه باشند می‌تواند در تهیه این مخلوطها مورد استفاده قرار گیرد. این مقایسه، دانه‌بندی و درصد شکستگی مصالح سنگی درشت‌دانه را شامل نمی‌شود.

1- German Federal Department of Transport

omoorepeyman.ir

۸-۱-۲- مصالح سنگی ریزدانه

با توجه به نتایج حاصل از آزمایشهای انجام شده بر روی مصالح سنگی ریزدانه جدول (۶-۳) و ویژگی‌های مندرج در مشخصات ارائه شده توسط SMA TWG جدول (۵-۱) مصالح سنگی ریزدانه مصرفی قابلیت استفاده در مخلوط های آسفالتی با استخوانبندی سنگدانه‌ای را دارا می‌باشد. جدول (۸-۵) مقایسه ویژگی‌های مصالح سنگی ریزدانه مصرفی را با مشخصات پیشنهاد شده توسط SMA TWG را نشان می‌دهد.

جدول ۸-۵- مقایسه ویژگی‌های مصالح سنگی ریزدانه مصرفی با مشخصات پیشنهادی SMA TWG

ویژگی	روش استاندارد آزمایش	نتیجه آزمایش	مشخصات پیشنهادی SMA TWG
درصد شکستگی	-	شکسته *	۱۰۰
حد روانی	AASHTO - T۸۹	غیرقابل تعیین**	حداکثر ۲۵
درصد افت وزنی در مقابل سولفات سدیم	AASHTO - T۱۰۴	۰/۶۷	حداکثر ۱۵

* ماسه مصرفی از خردکردن مصالح سنگی حاصل شده و تماماً شکسته می‌باشد.

** طبق بند ۵-۳ استاندارد آزمایش

مصالح سنگی ریزدانه به همراه فیلر، قیر و ماده تثبیت‌کننده، فضای خالی بین مصالح سنگی درشت‌دانه را که در حالت تماس با یکدیگرند پر می‌نماید. مصالح سنگی ریزدانه نیز باید از کیفیت بالائی جهت استفاده در مخلوط‌های آسفالتی با استخوانبندی سنگدانه‌ای برخوردار باشند.

SMA TWG ویژگی‌های شکستگی، حد روانی و درصد افت وزنی در مقابل سولفات سدیم را جهت بررسی کیفیت مصالح سنگی ریزدانه در نظر گرفته است. در مشخصات فنی کشورهای انگلستان و آلمان همان ویژگی‌های مصالح سنگی ریزدانه مصرفی در بتن آسفالتی گرم جهت قشر رویه با تأکید بر درصد شکستگی و محدودیت استفاده از ماسه طبیعی قید گردیده است [۷].

ویژگی‌های مصالح سنگی ریزدانه برای مخلوط های آسفالتی با استخوانبندی سنگدانه‌ای که در مشخصات فنی کشورهای انگلستان و آلمان ارائه گردیده در جداول (۸-۶) و (۸-۷) درج گردیده است. همچنین مشخصات مصالح سنگی ریزدانه مورد استفاده در بتن آسفالتی مندرج در نشریه ۱۰۱ سازمان برنامه و بودجه در جدول (۸-۸) ارائه گردیده است.

جدول ۸-۶- ویژگی‌های مصالح سنگی ریزدانه جهت مخلوط های آسفالتی با استخوانبندی سنگدانه‌ای پیشنهاد شده در مشخصات فنی کشور انگلستان

- مصالح سنگی ریزدانه، باید ویژگی‌های مصالح سنگی ریزدانه جهت بتن آسفالتی را دارا باشد.
- مصالح سنگی ریزدانه باید ازشکستن کامل سنگ وشن حاصل شده‌باشد. این مصالح سنگی نباید با بیش از ۵۰ درصد ماسه طبیعی مخلوط گردد.

omoorepeyman.ir

جدول ۸-۷- ویژگی‌های مصالح سنگی ریزدانه جهت مخلوط های آسفالتی با استخوانبندی سنگدانه‌ای پیشنهاد شده در مشخصات فنی کشور آلمان

- مصالح سنگی ریزدانه باید همان ویژگی‌های سنگدانه‌های ریز، مخلوط بتن آسفالتی را دارا باشد.
- حداقل ۵۰ درصد مصالح سنگی ریزدانه باید شکسته باشد. ضمناً حداقل ۵۰ درصد مصالح سنگی گذشته از الک ۲ میلیمتر باید شکسته باشد.

جدول ۸-۸- مشخصات مصالح سنگی ریزدانه مورد استفاده در مخلوط های بتن آسفالتی جهت قشر رویه (مندرج در نشریه ۱۰۱ سازمان برنامه و بودجه)

مصالح سنگی ریزدانه را می‌توان از ماسه شکسته و یا مخلوط ماسه شکسته و یا طبیعی با مشخصات زیر تهیه نمود.
- مصالح سنگی ریزدانه باید تمیز، سخت، بادوام، گوشه‌دار و با کیفیت یکنواخت و عاری از پوشش‌های خاکی، مواد آلی، کلوخه‌های رس و لای، مواد سست و شکننده و زیان‌آور باشد.
- ارزش ماسه‌ای طبق روش AASHTO - T176 حداقل ۴۵ باشد.
- درصد افت وزنی در مقابل سولفات سدیم پس از ۵ نوبت آزمایش نباید بیشتر از ۱۲ باشد.
- حداکثر درصد وزنی ماسه طبیعی مصرفی در کل مخلوط مصالح سنگی ۲۵ باشد.

با توجه به جداول (۸-۶) و (۸-۷) می‌توان اعلام نمود مصالح سنگی ریزدانه که دارای مشخصات مندرج در نشریه ۱۰۱ سازمان برنامه و بودجه جهت قشر رویه برای ترافیک سنگین باشد می‌تواند در مخلوط های آسفالتی با استخوانبندی سنگدانه‌ای به کار رود.

۸-۱-۳- فیلر

فیلر در مخلوط های آسفالتی با استخوانبندی سنگدانه‌ای علاوه بر پرکردن فضای خالی، افزایش نقاط تماس، افزایش مقاومت فشاری و برشی، افزایش قدرت باربری و کاهش تغییرشکل نسبی، باعث افزایش کندروانی و سفتی آن می‌گردد. فیلر در این مخلوط های آسفالتی بعنوان ماده تثبیت‌کننده نیز عمل می‌نماید.

SMA TWG دامنه خمیری و درصد رد شده از الک ۰/۰۲ میلیمتر را بعنوان مشخصات برای فیلر ذکر نموده است. حداکثر دامنه خمیری بر طبق روش AASHTO : T۹۰ برابر ۴ و حداکثر درصد رد شده از الک ۰/۰۲ میلیمتر براساس AASHTO : M۹۲ را ۲۰ پیشنهاد نموده است [۳].

در انگلستان آهک هیدراته، پودر سنگ آهک یا سیمان پرتلند که مطابق با معیارهای مندرج در BS : ۵۹۴ باشد بعنوان فیلر پیشنهاد شده است [۷].

در آلمان مشخصات خاصی برای فیلر درنظر گرفته نشده و بطور کلی استفاده از پودر سنگ آهک توصیه گردیده است [۷].

omoorepeyman.ir

نشریه ۱۰۱ سازمان برنامه و بودجه برای فیلر مصرفی در بتن اسفالتی حداکثر دامنه خمیری را برابر ۴ ذکر نموده است. همچنین درصد رد شده از الک شماره ۳۰ برابر ۱۰۰ درصد، درصد رد شده از الک شماره ۵۰ را بین ۹۵ تا ۱۰۰ و درصد رد شده از الک ۲۰۰ را بین ۷۰ تا ۱۰۰ پیشنهاد نموده است.

معمولاً مقدار فیلر (رد شده از الک شماره ۲۰۰) در مخلوط های آسفالتی با استخوانبندی سنگدانه‌ای بین ۸ تا ۱۳ درصد وزنی نسبت به کل مخلوط مصالح سنگی می‌باشد، در حالیکه برای بتن آسفالتی مقدار فیلر جهت انطباق دانه‌بندی مخلوط مصالح سنگی ریز و درشت با مشخصات مورد نظر تعیین می‌گردد و میزان آن برای لایه رویه بین ۲ تا ۱۰ درصد نسبت به کل مخلوط مصالح سنگی می‌باشد.

با توجه به نقش و اهمیت فیلر در مخلوط های آسفالتی با استخوانبندی سنگدانه‌ای، استفاده از فیلر مرغوب مانند پودر سنگ آهک، آهک هیدراته و سیمان پرتلند توصیه می‌گردد.

در تهیه نمونه‌های مخلوط آسفالتی با استخوانبندی سنگدانه‌ای از گرد سنگ آهک به میزان ده درصد نسبت به کل مخلوط مصالح سنگی استفاده گردیده است. از مقایسه ویژگی‌های فیلر مصرفی جدول (۶-۴) با مشخصات پیشنهادی SMA TWG نتیجه می‌شود فیلر مورد استفاده جهت ساخت نمونه‌ها دارای شرایط لازم می‌باشد.

۸-۱-۴- قیر

قیرهای مورد استفاده در مخلوطهای آسفالتی با استخوانبندی سنگدانه‌ای از نوع قیرهای خالص می‌باشند. انتخاب قیر با درجه نفوذ مناسب برای تهیه این مخلوطها بستگی به میزان آمد و شد و شرایط آب و هوائی منطقه دارد. جدول (۸-۹) با توجه به شرایط آب و هوایی منطقه و میزان آمدوشد می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد.

جدول ۸-۹- راهنمای انتخاب نوع قیر

مورد استفاده		نوع آب و هوای منطقه		
		گرم	معتدل	سرد
راه	آمد و شد سنگین	۴۰-۵۰	۶۰-۷۰	۸۵-۱۰۰
	آمد و شد سبک	۶۰-۷۰	۸۵-۱۰۰	۸۵-۱۰۰
خیابان	آمد و شد سنگین	۴۰-۵۰	۶۰-۷۰	۸۵-۱۰۰
	آمد و شد سبک	۶۰-۷۰	۸۵-۱۰۰	۸۵-۱۰۰
فرودگاه (باند، تاکسی وی و توقفگاه)		۴۰-۵۰	۶۰-۷۰	۸۵-۱۰۰

omoorepeyman.ir

این قیرها بتنهایی و یا با اصلاح کننده پلیمری مصرف می‌گردند. وجود مقدار زیاد قیر در این مخلوط ها باعث افزایش دوام و پایداری و جلوگیری از پیرشدگی آنها می‌گردد. از سوی دیگر مصرف زیاد قیر عامل مستعدی جهت جاری شدن، ریزش قیرو قیرزدگی است. بمنظور جلوگیری از این پدیده و تثبیت مخلوطهای آسفالتی با استخوانبندی سنگدانه‌ای موادی نظیر فیلر، الیاف‌های معدنی و آلی، اصلاح کننده‌های پلیمری و یا ترکیبی از آنها مورد استفاده قرار می‌گیرد. قیر مورد استفاده در ساخت نمونه‌های آسفالتی در این طرح تحقیقاتی، قیر ۷۰-۶۰ پالایشگاه اصفهان با مشخصات مندرج در جدول (۶-۶) بوده است.

قیر مصرفی دارای حداقل مشخصات لازم برای قیرهای خالص مورد استفاده در روسازی‌ها مندرج در نشریه ۱۰۱ سازمان برنامه و بودجه (AASHTO M۲۰) می‌باشد. جدول (۸-۱۰) مقایسه ویژگیهای قیر مصرفی با مشخصات مذکور را نشان می‌دهد.

جدول ۸-۱۰- مقایسه ویژگیهای قیر مصرفی با مشخصات AASHTO M20

ویژگی	روش استاندارد آزمایش	نتیجه آزمایش	مشخصات	
	AASHTO		حداقل	حداکثر
درجه نفوذ (۱۰۰ گرم، ۵ ثانیه و ۲۵°C)	T۴۹	۶۴	۶۰	۷۰
نقطه اشتعال برحسب درجه سانتیگراد	T۴۸	۳۱۴	۲۳۲	-
قابلیت شکل پذیری در ۲۵°C بر حسب سانتیمتر	T۵۱	بیشتر از ۱۰۰	۱۰۰	-
حلالیت در تتراکلورکربن برحسب درصد	T۴۴	۹۹/۸	۹۹	-
قشر نازک قیر در ۱۶۳°C :	T۱۱۹			
افت وزنی قیر در اثر حرارت بر حسب درصد		۰/۰۸	-	۰/۸
نسبت درجه نفوذ بعد از آزمایش به درجه نفوذ اولیه بر حسب درصد		۷۲	۵۴	-
قابلیت شکل‌پذیری قیر بعد از آزمایش بر حسب سانتیمتر		بیشتر از ۱۰۰	۵۰	-

در ایران قیرهای خالص ۷۰-۶۰ در اکثر پروژه‌های راهسازی مناطق معتدل و یاگرم استفاده می‌گردد.

در صورت تولید قیرهای خالص ۵۰-۴۰، استفاده از آن در مناطق گرم بویژه برای مخلوطهای آسفالتی با استخوانبندی سنگدانه‌ای توصیه می‌شود.

شاخص نفوذ (PI)[1] قیر مصرفی برابر ۰/۳۵- و نشانه نفوذ اصلاح شده (PVN)[2] آن برابر ۰/۹۱- بدست آمده است.

1- Penetration Index

2- Penetration Viscosity Number

omoorepeyman.ir

براساس مطالعات تجربی مشخص گردیده است که کلیه قیرها در صورتیکه آزمایش درجه نفوذ در درجه حرارت برابر با نقطه نرمی آنها انجام شود دارای درجه نفوذ برابر ۸۰۰ خواهند بود. با استفاده از این اطلاعات پارامتری بنام نشانه نفوذ که تابعی از درجه نفوذ و نقطه نرمی قیر است تعریف می‌شود که نشانه‌ای از حساسیت قیر نسبت به درجه حرارت می‌باشد. هر اندازه نشانه نفوذ قیر بیشتر باشد حساسیت آن قیر در مقابل تغییرات درجه حرارت کمتر می‌باشد.

نشانه نفوذ مطابق با رابطه زیر تعریف شده است :

$$PI = \frac{۲۰-۵۰۰A}{۱+۵۰A}$$

$$A = \frac{\text{Log } ۸۰۰ - \text{Log}(\text{درجه نفوذ در } ۲۵\,^{\circ}C)}{\text{نقطه نرمی} - ۲۵}$$

نشانه نفوذ قیرهای مورد استفاده در راهسازی بین ۲- تا ۲+ تغییر می‌کند.

با توجه به مقادیر مذکور برای نشانه نفوذ، قیر مصرفی در گروه قیرهای با حساسیت حرارتی کم قرار می‌گیرد.

پارامتر تجربی دیگری به عنوان نشانه نفوذ اصلاح شده (PVN) براساس اندازه‌گیری درجه نفوذ قیر در ۲۵^{oc} و کندروانی قیر در ۱۳۵ درجه سانتیگراد بر حسب سانتی‌استوکس استوار است که طبق رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$PVN = -۱/۵ \left(\frac{L - \text{Log } V}{L - M}\right)$$

در رابطه فوق V کندروانی قیر در ۱۳۵ درجه سانتیگراد بر حسب سانتی‌استوکس می‌باشد و L و M عبارتند از :

$$L = ۴/۲۵۸۰۰ - ۰/۷۹۶۷ \text{ Log } (\text{درجه نفوذ در } ۲۵\,^{\circ}C)$$

$$M = ۳/۴۶۲۸۹ - ۰/۶۱۰۹۴ \text{ Log } (\text{درجه نفوذ در } ۲۵\,^{\circ}C)$$

۸-۱-۵- الیـــاف

مصرف زیاد قیر در مخلوط های آسفالتی با استخوانبندی سنگدانه‌ای عاملی جهت ریزش و جاری شدن قیر در حین عملیات ساخت، حمل، پخش و تراکم مخلوط های آسفالتی و قیرزدگی سطح روسازی می‌گردد. به منظور جلوگیری از این پدیده‌ها از فیلر به نسبت زیاد و اصلاح کننده‌های پلیمری استفاده می‌شود. علاوه بر مصرف مواد فوق جهت تثبیت این گونه مخلوط های آسفالتی و جلوگیری از ریزش و تراوش قیر از الیاف بعنوان ماده اصلی تثبیت کننده استفاده می‌گردد. وجود الیاف مناسب در این مخلوط های آسفالتی ضمن جلوگیری از ریزش و جاری شدن قیر، مخلوط آسفالتی را مسلح کرده و باعث تقویت آن بخصوص ازدیاد مقاومت کششی و بالارفتن حد مجاز تغییرشکل نسبی نهائی و افزایش دوام مخلوط آسفالتی می‌شوند.

الیاف‌های مورد استفاده در مخلوط های آسفالتی با استخوانبندی سنگدانه‌ای از نوع الیاف‌های معدنی یا آلی می‌باشند که به مقدار ۰/۳ تا ۰/۴ درصد در این مخلوط ها استفاده می‌گردند. از الیاف‌های معدنی دو نوع پشم سنگ و

omoorepeyman.ir

پشم شیشه و از الیاف‌های آلی، سلولز مورد استفاده گسترده‌تری دارند. تجربه نشان داده است به منظور جلوگیری از جاری شدن قیر در مخلوط های آسفالتی با استخوانبندی سنگدانه‌ای، الیاف سلولزی و پشم شیشه اولویت دارند [۵].

در ایالات متحده آمریکا الیاف سلولزی و پشم شیشه کاربرد گسترده‌تری داشته است. SMA TWG میزان مصرف الیاف سلولزی را ۰/۳ درصد و الیاف معدنی را ۰/۴ درصد، پیشنهاد نموده است.

در انگلستان استفاده از حداقل ۰/۳ درصد الیاف سلولزی و یا الیاف‌های معدنی پیشنهاد شده است. در مشخصات فنی کشور آلمان تنها استفاده از الیاف سلولزی و آن هم به مقدار ۰/۳ درصد توصیه گردیده است [۷].

بطور کلی انتخاب الیاف مناسب برای مخلوط های آسفالتی با استخوانبندی سنگدانه‌ای باید با توجه به مسائل فنی، اقتصادی، امکان تهیه و کاربرد الیاف و رعایت ایمنی و حفظ محیط زیست انجام گیرد.

۸-۲- ارزیابی طراحی مخلوط های آسفالتی با استخوانبندی سنگدانه‌ای

۸-۲-۱- دانه‌بندی مخلوط مصالح سنگی

دانه‌بندی مخلوط های آسفالتی با استخوانبندی سنگدانه‌ای بر خلاف دانه‌بندی مخلوط های آسفالتی متداول، میان تهی[1] است و مصالح سنگی درشت دانه به مقدار نسبتاً زیادی در مقایسه با مخلوطهای آسفالتی با دانه‌بندی پیوسته مصرف می‌گردد. دانه‌بندی مخلوط مصالح سنگی در این مخلوط های آسفالتی باید بگونه‌ای باشد که مصالح سنگی درشت دانه که اسکلت اصلی این مخلوط ها را تشکیل می‌دهد، امکان تماس سنگدانه به سنگدانه را ایجاد نماید. مقدار ریزدانه مخلوط های آسفالتی با استخوانبندی سنگدانه‌ای باید به میزانی باشد که فضای خالی بین مصالح سنگی درشت‌دانه را پر نماید بگونه‌ای که تأثیری در تماس سنگدانه به سنگدانه نداشته باشد.

در ایالات متحده آمریکا SMA TWG برای دانه‌بندی مصالح سنگی با حداکثر اندازه ۱۹ میلی‌متر مشخصاتی مطابق جدول (۸-۱۱) پیشنهاد نموده است. برای دانه‌بندی مخلوط مصالح سنگی میزان رد شده از الک ۴/۷۵ میلی‌متر بین ۲۰ تا ۲۸ درصد می‌باشد. ضمناً ۸ تا ۱۰ درصد وزنی مخلوط مصالح سنگی از الک شماره ۲۰۰ (۰/۰۷۵ میلیمتر) عبور می‌نماید.

جدول ۸-۱۱- مشخصات دانه‌بندی[2] مخلوط مصالح سنگی برای مخلوط آسفالتی با استخوانبندی سنگدانه‌ای پیشنهاد شده توسط NAPA[3] و TWG

اندازه الک (میلیمتر)	۱۹	۱۲/۵	۹/۵	۴/۷۵	۲/۳۶	۰/۶	۰/۳	۰/۰۷۵	۰/۰۲۰
درصد رد شده	۱۰۰	۸۵-۱۰۰	حداکثر ۷۵	۲۰-۲۸	۱۶-۲۴	۱۲-۱۶	۱۰-۱۲	۸-۱۰	حداکثر ۳

1- Gap graded

2- Recommended gradation guidline by NAPA, 1994

3- National Asphalt Paving Association

omoorepeyman.ir

در مشخصات فنی کشور آلمان، دانه‌بندی مخلوط مصالح سنگی جهت استفاده در مخلوط های آسفالتی با استخوانبندی سنگدانه‌ای برای رویه‌های روسازی با توجه به نوع آمدوشد و ضخامت لایه در سه گروه ۰ تا ۵، ۰ تا ۸ و ۰ تا ۱۱ میلیمتر ارائه گردیده است. ضمناً توصیه شده است ضخامت لایه آسفالتی حداقل ۲/۵ برابر حداکثر اندازه مصالح سنگی باشد. مشخصات دانه‌بندی مخلوط مصالح سنگی و مخلوط آسفالتی طبق مشخصات فنی کشور آلمان در جدول (۸-۱۲) درج گردیده است [۷].

جدول ۸-۱۲- مشخصات مخلوط های آسفالتی با استخوانبندی سنگدانه‌ای در کشور آلمان

اندازه الک (میلیمتر)	۰-۱۱	۰-۸	۰-۸	۰-۵
	آمدوشد سنگین		آمدوشد معمولی	
	> ۱۸۰۰ cv/day			
	درصد رد شده		درصد رد شده	
۱۶	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰
۱۱	۹۰-۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰
۸	≤۷۰	۹۰-۱۰۰	۹۰-۱۰۰	۱۰۰
۵	۳۰-۳۵	۳۰-۵۵	۳۰-۵۵	۹۰-۱۰۰
۲	۲۰-۳۰	۲۰-۳۰	۲۰-۳۰	۳۰-۴۰
۰/۰۹ (فیلر)	۸-۱۳	۸-۱۳	۸-۱۳	۸-۱۳
افزودنی تثبیت‌کننده	۰/۳ تا ۱/۵ درصد الیاف آلی یا معدنی، سیلیکا یا پلیمر دانه‌ای			
درجه نفوذ قیر	۶۵	۶۵	۸۰	۸۰
درصد قیر نسبت به کل مخلوط	۶/۵-۷/۵	۶/۵-۷/۵	۶/۵-۷/۵	۷/۰-۸/۰
فضای خالی مارشال	۲ تا ۴ درصد حجمی			
فضای خالی	حداکثر ۶ درصد حجمی			
ضخامت لایه (میلیمتر)	۲۵-۵۰	۲۰-۴۰	۲۰-۴۰	۱۵-۳۰

دانه‌بندی مخلوط مصالح سنگی و میزان قیر مصرفی در مخلوط های آسفالتی با استخوانبندی سنگدانه‌ای که در کشور انگلستان مورد استفاده قرار می‌گیرد در جدول (۸-۱۳) قید گردیده است [۷].

omoorepeyman.ir

جدول ۸-۱۳- دانه‌بندی مصالح سنگی و میزان قیر مصرفی مخلوط های آسفالتی با استخوانبندی سنگدانه‌ای در مشخصات فنی کشور انگلستان

اندازه الک BS (میلیمتر)	درصد رد شده نسبت به کل مصالح سنگی	
	اندازه اسمی	
	۱۴ میلیمتر	۱۰ میلیمتر
۲۰	۱۰۰	۱۰۰
۱۴	۹۰-۱۰۰	۱۰۰
۱۰	۳۵-۶۰	۹۰-۱۰۰
۶/۳	۲۳-۳۵	۳۰-۵۰
۲/۳	۱۸-۳۰	۲۲-۳۲
۰/۰۷۵	۸-۱۳	۸-۱۳
درصد قیر	۶/۵-۷/۵	۶/۵-۷/۰

با توجه به حداکثر اندازه مصالح سنگی برابر ۱۹ میلیمتر که جهت قشر رویه در SMA TWG پیشنهاد شده مقدار مصالح سنگی ریزدانه رد شده از الک ۴/۷۵ میلیمتر باید بگونه‌ای انتخاب گردد که علاوه بر امکان تماس خوب سنگدانه به سنگدانه سایر ویژگی‌های مورد نظر مخلوط آسفالتی, نیز تأمین گردد.

SMA TWG و NAPA برای مصالح سنگی رد شده از الک ۴/۷۵ میلیمتر حداکثر مقدار ۲۸ درصد را پیشنهاد نموده است. ولی آنچه مسلم است تعیین دقیق این مقدار بایستی با توجه به حداکثر اندازه مصالح سنگی و ویژگی‌های مورد نظر مخلوط آسفالتی در مرحله طرح اختلاط آسفالت تهیه شود. همانگونه که قبلاً ذکر گردید دانه‌بندی مصالح سنگی مخلوط های آسفالتی با استخوانبندی سنگدانه‌ای بر خلاف دانه‌بندی مخلوط های آسفالتی گرم متداول، میان تهی می‌باشد که در آن مصالح سنگی درشت دانه به مقدار نسبتاً زیاد مصرف می‌گردد. در نتیجه میزان رد شده از الک ۴/۷۵ میلیمتر در مقایسه با مخلوط های آسفالتی گرم متداول، نسبتاً کم می‌باشد. برای مخلوط مصالح سنگی مصرفی در تهیه نمونه‌های مخلوط های آسفالتی، مقدار مانده روی الک ۴/۷۵ میلیمتر در مخلوط بتن آسفالتی ۴۰ درصد و برای مخلوط آسفالتی با استخوانبندی سنگدانه‌ای ۶۸ درصد بوده است.

مقایسه دانه‌بندی مخلوط مصالح سنگی مصرفی در تهیه نمونه‌های بتن آسفالتی و مخلوط آسفالتی با استخوانبندی سنگدانه‌ای در جدول (۸-۱۴) درج گردیده است.

omoorepeyman.ir

جدول ۸-۱۴- مقایسه دانه‌بندی مخلوط‌های مصالح سنگی مصرفی در تهیه نمونه‌های بتن آسفالتی و مخلوطهای آسفالتی با استخوانبندی سنگدانه‌ای

اندازه الک (میلیمتر)	۱۹	۱۲/۵	۹/۵	۴/۷۵	۲/۳۶	۰/۳	۰/۱۵	۰/۰۷۵
مخلوط بتن آسفالتی درصد رد شده	۱۰۰	۹۵/۵	۸۴/۱	۵۹/۶	۴۳/۸	۱۵/۴	۱۲	۶
مخلوط آسفالتی با استخوانبندی سنگدانه‌ای درصد رد شده	۱۰۰	۹۲	۷۱	۳۲/۱	۲۴	۱۵/۷	۱۲/۳	۱۰/۶

۸-۲-۲- ارزیابی طرح اختلاط مخلوط های آسفالتی با استخوانبندی سنگدانه‌ای

برای طراحی مخلوط های آسفالتی با استخوانبندی سنگدانه‌ای همانند مخلوط های بتن آسفالتی می‌توان از روش مارشال استفاده کرد. SMA TWG برای مخلوط آسفالتی با دانه‌بندی حداکثر ۱۹ میلیمتر، دو پارامتر درصد فضای خالی مخلوط آسفالتی و درصد فضای خالی مصالح سنگی را به عنوان معیار طراحی مخلوط های آسفالتی و تعیین میزان قیر مناسب مشخص نموده است. TWG برای این مخلوط های آسفالتی درصد فضای خالی بین ۲ تا ۴ و درصد فضای خالی مصالح سنگی را برابر ۱۷ پیشنهاد نموده است. در کشورهای انگلستان و آلمان برای رویه‌های روسازی با توجه به حداکثر اندازه مصالح سنگی، درصد قیر مناسب، بین ۶/۵٪ تا ۷/۵٪ به کار می‌رود. میزان دقیق قیر با توجه به درصد فضای خالی مخلوط آسفالتی تعیین می‌گردد [۸].

مقایسه نتایج حاصل از آزمایشهای تعیین استحکام مارشال نمونه‌های مخلوط های آسفالتی با استخوانبندی سنگدانه‌ای با مخلوط بتن آسفالتی با حداکثر اندازه مصالح سنگی یکسان حاکی از آن است که استحکام مارشال نمونه‌های مخلوط های آسفالتی با استخوانبندی سنگدانه‌ای در درصد قیر بهینه کمتر از مخلوط های بتن آسفالتی می‌باشد. در جدول (۸-۱۵) برخی از ویژگی‌های نمونه‌های مارشال این دو نوع مخلوط ارائه گردیده است.

جدول ۸-۱۵- برخی از ویژگی‌های نمونه‌های مارشال مخلوط آسفالتی با استخوانبندی سنگدانه‌ای و مخلوط بتن آسفالتی

نوع مخلوط آسفالتی	روانی (۰/۲۵) میلیمتر	استحکام مارشال (کیلوگرم نیرو)	درصد فضای خالی مخلوط آسفالتی	درصد فضای خالی مصالح سنگی	تعداد ضربات در ساخت نمونه‌ها	درصد قیر بهینه
بتن آسفالتی	۱۲	۱۲۰۰	۳/۸	۱۴/۵	۷۵	۵/۳
مخلوط آسفالتی با استخوانبندی سنگدانه‌ای	۱۶	۷۷۰	۳/۵	۱۷	۵۰	۶/۵

omoorepeyman.ir

میزان مصالح سنگی ریزدانه اثر قابل ملاحظه‌ای در استحکام نمونه‌های مارشال مخلوط های آسفالتی با استخوانبندی سنگدانه‌ای دارد. در جدول (۸-۱۶) اثر میزان ریزدانه بر استحکام مارشال نمونه‌ها نشان داده شده است. همانگونه که ملاحظه می‌گردد مقدار استحکام مارشال با افزایش میزان درصد رد شده از الک ۴/۷۵ میلیمتر افزایش می‌یابد.

جدول ۸-۱۶- تأثیر میزان مصالح سنگی ریزدانه بر استحکام مارشال نمونه‌های آسفالتی با استخوانبندی سنگدانه‌ای

درصد رد شده از الک ۴/۷۵ میلیمتر	۲۰	۲۴	۲۸	۳۰	۳۲	۳۴	۳۶
استحکام مارشال (کیلوگرم نیرو)	۴۵۰	۵۵۰	۶۲۰	۶۶۰	۷۷۰	۸۰۰	۸۵۰

۸-۳- بررسی و ارزیابی ویژگیهای مخلوطهای آسفالتی با استخوانبندی سنگدانه‌ای

۸-۳-۱- مقاومت در مقابل شیار افتادگی جای چرخ[1]

در سالهای اخیر با افزایش وزن و بار محور کامیونها، افزایش فشار چرخها و کاهش سطح تماس وسایط نقلیه با روسازی، شیارافتادگی جای چرخ و تغییر شکل دائمی در روسازی‌ها افزایش یافته است. مخلوطهای بتن آسفالتی در مقابل این پدیده عملکرد کاملاً مناسبی نشان نداده‌اند، لذا استفاده از مخلوطهای آسفالتی با استخوانبندی سنگدانه‌ای به عنوان جایگزین مطرح گردیده است.

از اهم ویژگیهای مخلوط آسفالتی با استخوانبندی سنگدانه‌ای مقاومت آنها در مقابل شیارافتادگی جای چرخ است. بدلیل استفاده از مصالح سنگی درشت دانه با کیفیت عالی و صد درصد شکسته به مقدار زیاد و تماس خوب سنگدانه به سنگدانه، این مخلوطهای آسفالتی در مقابل شیارافتادگی جای چرخ مقاوم می‌باشند [۸]. نحوه قرارگیری سنگدانه‌های درشت دانه در مخلوط، تمایل به جابجایی ذرات را کم می‌کند، لذا در مقابل تغییرشکل‌های ناشی از بار وارده مقاوم می‌باشند [۹].

نتایج حاصل از آزمایشهای تعیین میزان شیارافتادگی جای چرخ بر روی نمونه‌های ساخته شده مخلوط بتن آسفالتی و مخلوط آسفالتی با استخوانبندی سنگدانه‌ای در اشکال (۷-۵) تا (۷-۸) ترسیم گردیده است. نمونه‌ها در دو دمای ۳۵ و ۵۵ درجه سانتیگراد مورد آزمایش قرار گرفته‌اند. نتایج آزمایش‌ها نشان داد با افزایش دما مقاومت در برابر شیارافتادگی جای چرخ کاهش می‌یابد و مخلوطهای آسفالتی با استخوانبندی سنگدانه‌ای (SMA) نسبت به مخلوط بتن آسفالتی به ویژه در دمای زیاد مقاومت بهتری را در مقابل شیارافتادگی جای چرخ از خود نشان داده‌اند.

omoorepeyman.ir

1- Rutting

۸-۳-۲- دوام

منظور از دوام مخلوطهای آسفالتی، مقاومت آنها در برابر عوامل جوی و افزایش عمر روسازی است. مخلوطهای آسفالتی که در اثر تغییرات رطوبت یا دما، ترک خورده، شکسته و خرد می‌شوند نباید در لایه‌های روسازی به ویژه قشر رویه مصرف شوند.

در مخلوطهای آسفالتی متداول، عریان شدگی سنگدانه‌ها[1] از اندود قیری پدیده‌ای است که به علت اثرات رطوبت بر مخلوط بوجود می‌آید. این پدیده به خاصیت چسبندگی بین قیر و مصالح سنگی مربوط می‌شود و به عوامل دیگری نظیر میزان فضای خالی مخلوط رویه آسفالتی، مقدار قیر، دمای محیط و ... بستگی دارد. به منظور مقابله با این خرابی باید خاصیت چسبندگی بین قیر و مصالح سنگی بهبود یابد. روشهای بهبود خاصیت چسبندگی بین قیر و مصالح سنگی عبارتند از:

- افزایش ضخامت اندود قیری
- مصرف قیر اصلاح شده
- استفاده از افزودنی‌ها به قیر
- استفاده از درصد قیر بیشتر [۲].

از آنجاکه در مخلوطهای آسفالتی با استخوانبندی سنگدانه‌ای، درصد فضای خالی کم و درصد قیر در مخلوط زیاد است احتمال وقوع پدیده عریان‌شدگی سنگدانه‌ها اندک است. از طرف دیگر چسبندگی قیر به سنگدانه و خواص فیزیکی و شیمیایی اجزاء قیر به مرور زمان تحت تأثیر حرارت و فرآیندهای ناشی از پیرشدگی تغییر می‌کند. وقتیکه قیر بتدریج و باگذشت زمان کهنه می‌شود سخت‌تر و شکننده‌تر می‌گردد در نتیجه چسبندگی و خاصیت چسبانیدن را از دست می‌دهد. لذا به منظور دستیابی به خدمت‌دهی دراز مدت قیر و افزایش پایائی و دوام آن، باید فرآیندهای کهنه شدن، اکسیداسیون و سایر تغییرات فیزیکی و شیمیایی حذف یاکاهش یابند. کاهش درصد فضای خالی و افزایش غشاء قیری اطراف سنگدانه‌ها در مخلوطهای آسفالتی با استخوانبندی سنگدانه‌ای، فرآیندهای اکسیداسیون و کهنه‌شدن را به تأخیر می‌اندازد و موجب دوام بیشتر رویه‌های آسفالتی می‌گردد [۹]. پدیده سخت‌شدن قیر همچنین هنگامی که قیر با مصالح سنگی در واحد مخلوط کننده کارخانه آسفالت و در درجه حرارت بالا مخلوط می‌شود نیز اتفاق می‌افتد. در مخلوطهای آسفالتی که خوب متراکم نشوند یا دارای فضای خالی زیادی باشند این نوع پیری سریعتر در آنها رخ می‌دهد. زیرا وجود فضای خالی زیاد، عبور اکسیژن هوا به داخل رویه روسازی را آسانتر می‌سازد. پدیده دیگری به نام سختی فیزیکی نیز در مخلوطهای آسفالتی که به مدت طولانی در دمای پایین قرار گیرند بوقوع می‌پیوندد. کاهش دما قیر را منقبض کرده سبب سخت‌شدن آن می‌شود. هنگامی که کاهش دما ادامه یابد سخت شدن قیر نیز ادامه یافته تا

1- Stripping

omoorepeyman.ir

هنگامی که ترکهای کششی حرارتی در رویه آسفالتی ایجاد شود. در مخلوطهای آسفالتی با استخوانبندی سنگدانه‌ای به علت مصرف قیر زیادتر و کاهش ضریب سختی[۱] مخلوط آسفالتی، خاصیت انعطاف‌پذیری[۲] و مقاومت در برابر ترک‌خوردگی افزایش می‌یابد [۹].

۸-۳-۳- مقاومت در مقابل لغزندگی

یکی از مهمترین خصوصیات روسازی‌ها، مقاومت در مقابل سرخوردگی[۳] آنها می‌باشد. این امر یکی از پارامترهای مهم در ایمنی راهها می‌باشد. امروزه در کشورهای پیشرفته بررسی و کنترل مقاومت روسازیها در مقابل سرخوردگی امری عادی است و در طرح روسازی‌ها بدان توجه می‌شود و همچنین مطالعات کافی جهت افزایش مقاومت روسازیها در مقابل سرخوردگی بر روی سیستم ترمز وسایط نقلیه و جنس و کیفیت لاستیک چرخهای آنها صورت می‌گیرد. مسئله سرخوردگی در مناطق مرطوب بیشتر ملحوظ است، لذا تصادفات ناشی از آن در مناطق مرطوب به مراتب بیشتر می‌باشد. نوع مخلوط آسفالتی، جنس و کیفیت سنگدانه‌ها و بافت روسازی[۴] از جمله عواملی هستند که در سرخوردگی روسازی‌های آسفالتی تأثیر می‌گذارند. بافت روسازی بیانگر زبری یا صافی سطح روسازی است. مخلوطهای آسفالتی با استخوانبندی سنگدانه‌ای به علت استفاده از مصالح سنگی درشت دانه با کیفیت عالی و دانه‌بندی میان تهی مصالح سنگی، دارای بافت زبر و باز می‌باشند، در نتیجه سطح تماس بین لاستیک و روسازی زیاد می‌گردد و مقاومت در برابر لغزندگی این مخلوطها افزایش می‌یابد. همچنین در مخلوطهای آسفالتی با استخوانبندی سنگدانه‌ای به علت بافت درشت، کانالهای باریک موجود در سطح روسازی امکان زهکشی و جریان آبهای سطحی را در هنگام بارندگی فراهم می‌نمایند. با این عمل از پدیده آب پیمایی[۵] جلوگیری می‌شود، در نتیجه مقاومت در برابر سرخوردگی افزایش می‌یابد. پدیده آب پیمایی، تشکیل لایه‌ای نازک از آب بین رویه راه و سطح لاستیک چرخ وسائط نقلیه است که منجر به حذف اتصال لاستیک با سطح روسازی می‌گردد. مقاومت رویه راه در برابر لغزندگی به طور قابل توجهی بستگی به نوع مصالح مصرفی در آسفالت و همچنین نوع و میزان قیر به کار رفته در آن دارد. تجربیات کشورهای مختلف در اجرای مخلوط آسفالتی با استخوانبندی سنگدانه‌ای نشان داده است که، در ابتدا مقاومت در مقابل سرخوردگی این مخلوطها به علت قشر ضخیم قیر روی سطح مصالح سنگی کم بوده ولی در اثر آمدوشد این عیب برطرف می‌شود. مقاومت اولیه در برابر سرخوردگی رویه‌های اجرا شده با این مخلوطها را می‌توان با پخش ماسه شکسته و غلتک زدن بهبود بخشید. از طرف دیگر به علت سایش مصالح سنگی در اثر آمدوشد، مقاومت در برابر لغزندگی همه رویه‌ها کاهش می‌یابد، اما می‌توان انتظار داشت مخلوطهای آسفالتی با استخوانبندی سنگدانه‌ای به علت کیفیت بالای مصالح سنگی مصرفی در آنها، درصد سایش کمتری در اثر آمدوشد وسایط نقلیه داشته باشند [۷].

1- Stiffness Modulus
2- Flexibility
3- Skid Resistance
4 - Texture
5- Hydroplaning

omoorepeyman.ir

۸-۳-۴- مقاومت در مقابل خستگی

بر اثر تکرار بارهای وارده ناشی از آمدوشد وسایط نقلیه، تغییرشکل نسبی کششی در انتهای لایه آسفالتی بوجود می‌آید. وقتی که میزان کرنش کششی در لایه آسفالتی بیش از حد تغییرشکل نهایی گردد، ترک حاصل می‌شود. ترک بتدریج به طرف بالا توسعه می‌یابد و باعث تضعیف تدریجی ساختمان راه می‌شود. برای اینکه قشر آسفالتی در مقابل تغییرشکل متناوب مقاوم گردد و ترک نخورد باید خاصیت انعطاف‌پذیری داشته باشد. با مصرف قیر زیاد و قیر با درجه نفوذ بیشتر خاصیت انعطاف‌پذیری مخلوط آسفالتی افزایش می‌یابد [۶]. در این حالت مقاومت مخلوط آسفالتی در مقابل خستگیهای ناشی از تغییرشکل متناوب بالا می‌رود.

مخلوطهای آسفالتی با استخوانبندی سنگدانه‌ای به دلیل مصرف قیر زیاد خاصیت انعطاف‌پذیری دارند. علاوه بر این استفاده از الیاف، مخلوط را مسلح کرده و خواص آن را بهبود می‌بخشد، از جمله باعث بالابردن مقاومت کششی و افزایش تغییرشکل نسبی نهایی آن می‌شود. مقایسه نسبی ضرایب سفتی نمونه‌های مخلوط بتن آسفالتی و مخلوط آسفالتی با استخوانبندی سنگدانه‌ای ساخته شده در آزمایشگاه با استفاده از رابطه نظری ارائه شده برای مخلوطهای آسفالتی نشان می‌دهد که ضریب سفتی نمونه مخلوط آسفالتی با استخوانبندی سنگدانه‌ای کمتر از ضریب سفتی نمونه بتن آسفالتی می‌باشد، لذا قابلیت تحمل تغییرشکل نسبی کششی بیشتری در برابر تعداد دفعات بارگذاری و باربرداری تا شکست در اثر خستگی خواهد داشت.

omoorepeyman.ir

منابع و مراجع

1 - Basil M. Harris, and Kevin D. Stuart."Analysis of Mineral Filler and Mastics Use In Stone Matrix Asphalt",Association of Asphalt Paving Technologists, Volume 64, 1995.

2 - G. J. Kennepohl, and J.K. Davidson. "Introduction of Stone Mastic Asphalt (SMA)", Association of Asphalt Paving Technologists, Volume 61, 1992.

3 - E. R. Brown, Rajib B. Mallick, and Todd Alynn. "National Center for Asphalt Technology", 1997.

4 - James A. Scherocman. "Construction of Stone Mastic Asphalt Test Sections in The U.S.", Association of Asphalt Paving Technologists, Volume 61, 1992.

5 - John Rebbechi, "Fiber Modified Open Graded Asphalt", 9th AAPA International Asphalt Conference, Australia, November 13 - 17, 1994.

6 - Mix Design Methods for Asphalt Concrete and other Hot Mix Type, MS-2, Asphalt Institute, 1997.

7 - M. E. Nunn. "Evaluation of Stone Mastic Asphalt (SMA) : A High Stability Wearing Course Material", Project Report 65 EllIA/HM, Transport Research Laboratory, 1994.

8 - James E. Shoenberger, "Construction of Stone Matrix Asphalt Section at Edwards Air Force Base", Transportation Research Record, 1996.

9 - Manfred N. Partl, Ted S. Vinson, R. Gary Hicks and Krey Younger. "Performance - Related Testing of Stone Mastic Asphalt", Association of Asphalt Paving Technologists, Volume 64, 1995.

10- American Society for Testing and Materials (ASTM) 04.03, 1994.

11- American Association of State Highway and Transportation Official (AASHTO), Part I & II, 1986.

۱۲- مشخصات فنی و عمومی راه نشریه ۱۰۱ سازمان برنامه و بودجه.

۱۳- مجموعه مقالات دومین سمینار قیر و آسفالت ایران - ۱۳۷۳ - آزمایشگاه فنی و مکانیک خاک.

۱۴- روسازی راه و فرودگاه - دکتر امیر محمد طباطبائی انتشارات دانشگاه تهران.

omoorepeyman.ir

Islamic Republic of Iran
Management and Planning Organization - Ministry of Road and Transportation

Laboratory Designing and Evaluation of Stone Mastic Asphalt

No. 206

Office of the Deputy for Technical Affairs
Bureau of Technical Affairs and Standards

Research and Education Center of
Ministry of Road and Transportation

omoorepeyman.ir

1379/2000

omoorepeyman.ir