www.icivil.ir

پرتال جامع دانشجویان و مهندسین عمران

ارائه کتابها و جزوات رایگان مهندسی عمران

بهترین و برترین مقالات روز عمران

انجمن های تخصصی مهندسی عمران

فروشگاه تخصصی مهندسی عمران

به نام پروردگار یکتا

روسازی راه

مدرس:

امیرحاجی محمدی ها

نحوه ارزشیابی

پایان ترم	50%
میان ترم	40%
تمرین	10%

منابع و مراجع

1. Pavements Analysis and Design, Yang H. Huang, 1993.
2. Principles of Pavement Design, E. J. Yoder, 1975.
۳. روسازی راه، دکتر امیرمحمد طباطبایی، انتشارات مرکز نشر دانشگاهی
۴. آیین نامه روسازی آسفالتی راه های ایران (نشریه شماره ۲۳۴)
۵. مشخصات فنی عمومی راه (نشریه شماره ۱۰۱)
۶. روش های پیشرفته طراحی روسازی راه، دکتر امیر کاووسی و دکتر علی علی خدایی، انتشارات دانشگاه بین المللی امام خمینی قزوین
۷. روسازی راه و فرودگاه، دکتر امیرمحمد طباطبایی، انتشارات دانشگاه تهران
۸. مدیریت روسازی راه ها، دکتر محمود عامری و مهندس فرهاد افتخارزاده، انتشارات دانشگاه علم و صنعت

سرفصل درس روسازی راه

فصل اول: *مقدمه*

فصل دوم: *مشخصات فنی مصالح خاک بستر*

فصل سوم: *مشخصات فنی مصالح زیر اساس، اساس و رویه*

فصل چهارم: *تثبیت مصالح*

فصل پنجم: *قیر و آزمایش های آن*

فصل ششم: *آسفالت*

فصل هفتم: *تاثیر عوامل جوی در طرح روسازی راه ها*

فصل هشتم: *بارگذاری روسازی*

فصل نهم: *روشهای متداول برای طرح روسازی راه ها*

فصل دهم: *بررسی و ارزیابی خرابی های روسازی*

فصل اول

مقدمه

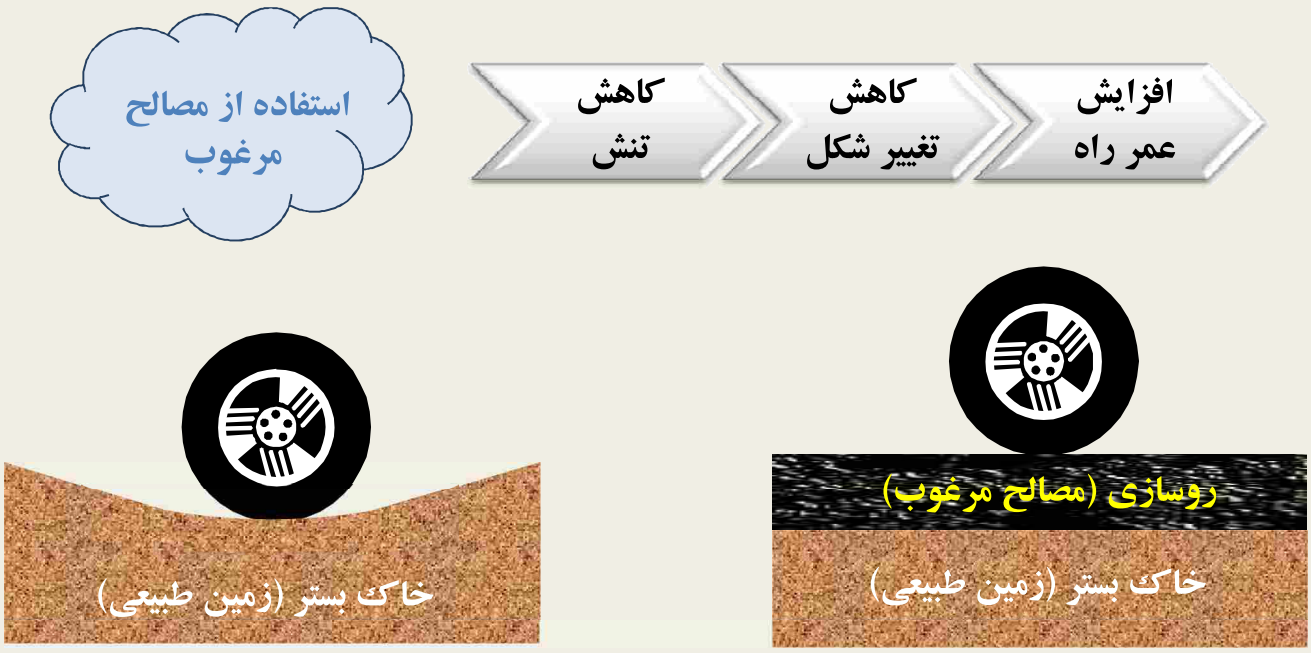
هدف از احداث روسازی چیست؟

- ایجاد سطحی صاف و هموار
- تامین ایمنی کافی
- ایجاد مقاومت کافی برای تحمل بارهای وارده

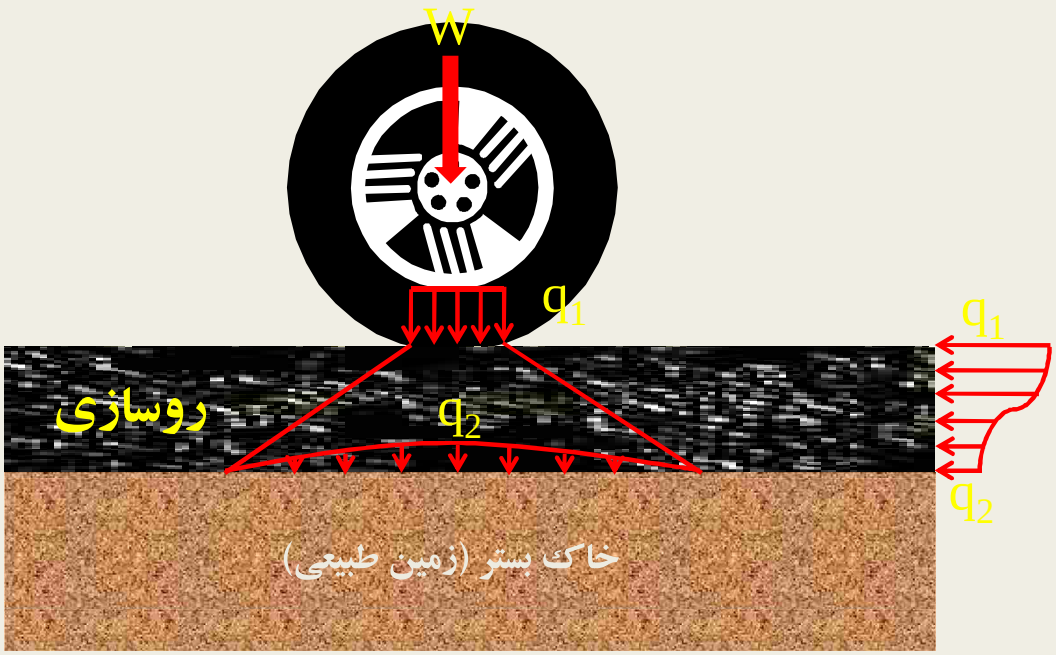
وظایف روسازی چیست؟

- کاهش بارهای وارده در حد قابل تحمل برای خاک بستر
- توانایی تحمل بارهای وارده

وظایف روسازی



شدت تنش های فشاری



سوال؟

نتیجه مهمی که از نحوه توزیع تنش در روسازی گرفته می شود چیست؟

- لایه های بالایی باید تنش بیشتری تحمل نمایند.
- با توجه به اصل فوق می توان برای اقتصادی تر کردن سیستم روسازی، آنرا از چندین لایه با مقاومت و مرغوبیت های مختلف طرح و اجرا کرد.

افت و خیز ناشی از تنش های فشاری و کششی

تنش کششی

تنش فشاری

انواع روسازی

۱- روسازی انعطاف پذیر Flexible Pavement

- از یک یا چند لایه با سختی کم تشکیل می شود.
- بارهای خارجی را بدون گسترش زیاد و در سطحی کوچک به خاک بستر منتقل می کند.

انواع روسازی

۲- روسازی صلب Rigid Pavement

- از یک یا چند لایه با سختی زیاد تشکیل می شود.
- بارهای خارجی را بدون تغییرشکل زیاد صفحه بتنی و در سطحی وسیع به خاک بستر منتقل می کند.
- شدت تنش های وارد بر خاک بستر حداقل است.

انواع روسازی

۳- روسازی مرکب Composite Pavement

- یک لایه رویه بتن آسفالتی (HMA)[1] برای ایجاد سطحی صاف و هموار و با اصطکاک مناسب
- یک لایه بتن سیمانی (PCC)[2] برای ایجاد اساسی مقاوم

- این نوع روسازی بسیار پر هزینه بوده و به ندرت اجرا می شود.

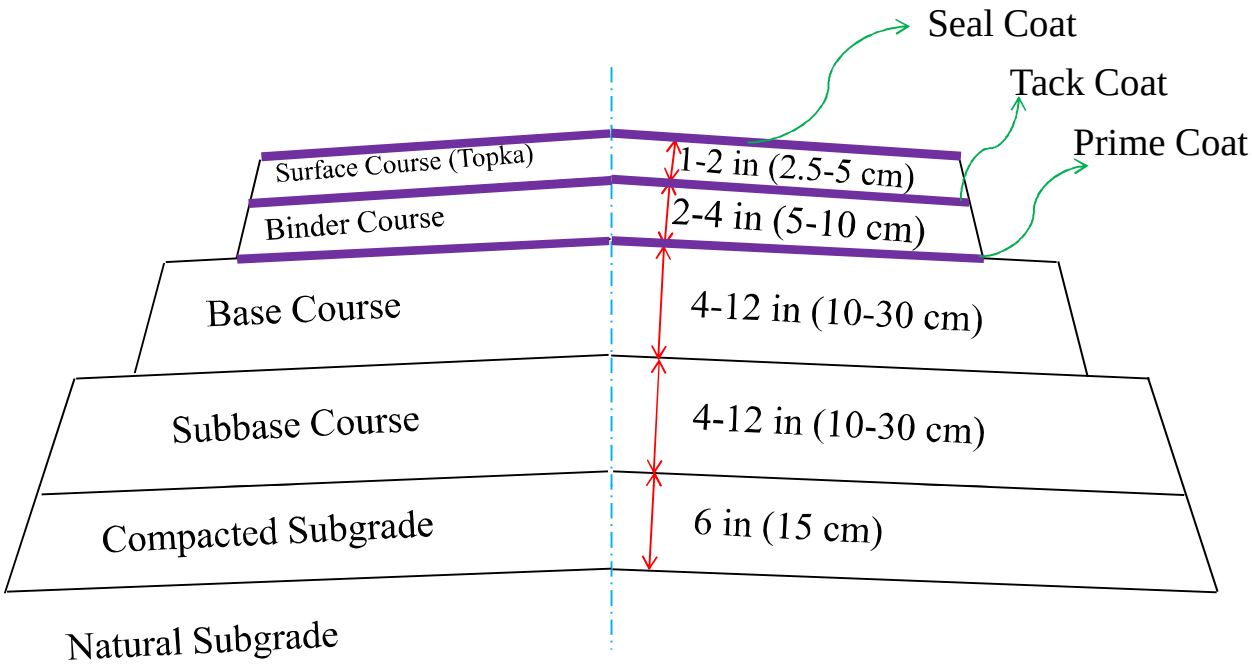
1: Hot mix Asphalt (HMA)

2: Portland Cement Concrete (PCC)

لایه های روسازی

- روسازی های انعطاف پذیر معمولا از چند لایه تشکیل می شوند
- که در آن مصالح مرغوب تر در لایه های بالاتر قرار می گیرند
- تعداد، ضخامت و جنس این لایه ها به عوامل زیر بستگی دارد:
  1. مقاومت خاک بستر
  2. میزان تردد وسایل نقلیه
  3. شرایط جوی منطقه
  4. مصالح موجود در محل
  5. شرایط اقتصادی

لایه های روسازی



لایه های روسازی

لایه زیراساس Subbase Course

جنس: مصالح نسبتا مرغوب (سنگ شکسته و شن و ماسه).

کاربرد: در راه هایی که تردد وسایل نقلیه زیاد و یا مقاومت خاک بستر کم باشد.

سوال؟

دلیل استفاده از دو لایه اساس و زیراساس چیست؟

- شدت تنش هایی که هرکدام از لایه های اساس و زیراساس تحمل می کنند متفاوت است.
- بنابراین از لحاظ اقتصادی بهتر است که خصوصیات این دو لایه نیز متفاوت باشد.

لایه های روسازی

لایه اساس Base Course

جنس: مصالح مرغوب (سنگ شکسته یا شن و ماسه شکسته و یا مصالح تثبیت شده).

کاربرد: در تمام راه ها استفاده می شود.

اساس قیری Black Base

کاربرد: در راه های با تردد وسایل نقلیه زیاد و یا با مقاومت خاک بستر کم و یا مناطق در معرض یخبندان و بارندگی زیاد

لایه های روسازی

اندود نفوذی Prime Coat

تعریف: اندودی است قیری که بین اساس غیر آسفالتی و لایه آستر اجرا می شود.

هدف:

۱. ایجاد چسبندگی بین دو لایه
۲. جلوگیری از نفوذ آبهای سطحی به داخل روسازی

نکته اجرایی: این اندود باید به اندازه ای باشد که به لایه زیرین نفوذ کرده فضاهای خالی را پر کند و مانع از ورود آب شود.

لایه های روسازی

لایه آستر Binder Course

جنس: مصالح بسیار مرغوب با مقاومت نسبتا زیاد

دلیل اجرای آن علاوه بر رویه (Topka):

۱. ضخامت لایه آسفالتی بیشتر از آن است که در یک لایه کوبیده شود
۲. لایه آستر معمولا دانه بندی درشت دانه داشته و قیر کمتری نیاز دارد
۳. نیازی به کیفیت بالای لایه آستر مانند رویه نیست

لایه های روسازی

اندود سطحی Tack Coat

تعریف: اندودی است قیری که بین آستر و رویه اجرا می شود.

هدف: چسبندگی آستر و رویه

نکات اجرایی:

۱. اندود سطحی باید نازک باشد
۲. باید به طور یکنواخت تمام سطح را بپوشاند
۳. باید بتواند لایه های آستر و رویه را قبل از سرد شدن به هم بچسباند

لایه های روسازی

تفاوت اندود سطحی با اندود نفوذی

- نیازی به نفوذ اندود سطحی در لایه زیرین نیست
- اندود نفوذی باید به لایه زیرین نفوذ کرده، فضاهای خـالی را پر کند و مانع از ورود آب شود

لایه های روسازی

لایه رویه Surface Course

جنس: مصالح بسیار مرغوب با مقاومت نسبتا زیاد

ویژگی ها:

- بالاترین لایه روسازی
- دارای دانه بندی توپر

وظایف:

- مقاومت لازم در برابر اعوجاج حاصل از تردد وسایل نقلیه
- ایجاد سطحی صاف، هموار و با اصطکاک و مقاومت سایشی مناسب
- جلوگیری از نفوذ آب

لایه های روسازی

اندود آب بندی Seal Coat

تعریف: اندود نازک قیری

هدف:

۱. احیای آسفالت و پر کردن ترکها
۲. نفوذناپذیر کردن سطح رویه
۳. تامین مقاومت سایشی و اصطکاک مورد نیاز

عوامل موثر در طرح روسازی

عواملی که در طراحی روسازی نقش دارند عبارتند از:

- خاک بستر روسازی (جنس، مقاومت، دوام و ...)
- مصالح روسازی (جنس، مقاومت، دوام و ...)
- شرایط جوی (رطوبت، یخبندان، درجه حرارت و ...)
- وسایل نقلیه (نوع، وزن، تعداد و ...)
- مسایل اقتصادی

به نام پروردگار یکتا

روسازی راه

مدرس:

امیرحاجی محمدی ها

فصل دوم

مشخصات فنی
مصالح خاک بستر

فصل دوم: مشخصات فنی مصالح خاک بستر

یکی از مهم ترین عواملی که در طرح روسازی نقـش دارنـد، *ویژگی های خاک بستر* است.

دلیل:

این خاک بستر است که در نهایت باید تمام بارها را تحمل نماید

فصل دوم: مشخصات فنی مصالح خاک بستر

مقاومت و قابلیت تراکم خاک به عوامل زیر بستگی دارد:

- جنس خاک ⟵ بررسی های ژئوتکنیکی
- رطوبت ⟵ آزمایش درصد رطوبت
- دانه بندی ⟵ آزمایش دانه بندی
- خاصیت خمیری ⟵ آزمایش حدود اتربرگ
- وزن مخصوص ⟵ آزمایش تعیین وزن مخصوص

فصل دوم: مشخصات فنی مصالح خاک بستر

انواع مطالعات ژئوتکنیکی عبارتند از:

- آزمایش دانه بندی خاک
- آزمایش تعیین درصد تراکم خاک
- آزمایش تعیین مقاومت خاک

دانه بندی و خواص خمیری خاک

تعیین دانه بندی خاک با استفاده از دو روش انجام می گیرد:

- دانه بندی با استفاده از الک ⟵ ذرات درشت تر از ۰/۰۷۵ میلی متر
- دانه بندی به روش هیدرومتری ⟵ ذرات ریزتر از ۰/۰۷۵ میلی متر

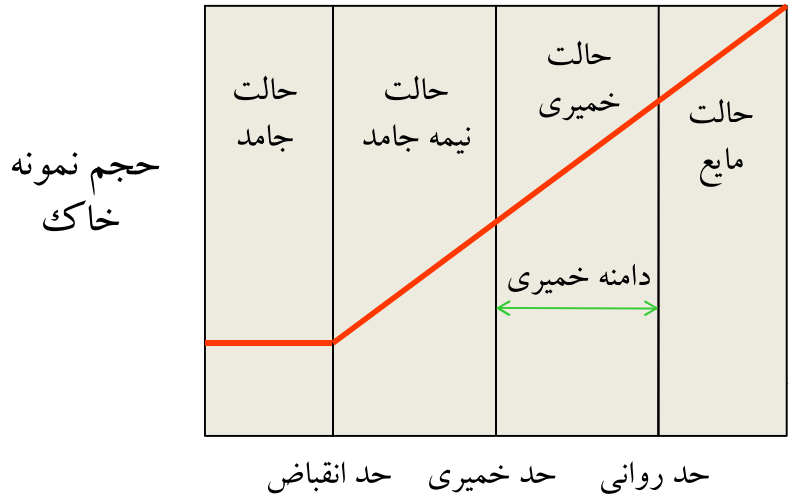
دانه بندی و خواص خمیری خاک

خصوصیات خمیری خاک شامل حد روانی، حد خمیری و حد انقباض خاک است که با استفاده از آزمایش حدود اتربرگ اندازه گیری می شود.

مناسب ترین روش برای مطالعه خواص خمیری خاک ها، بررسی توام حد روانی و دامنه خمیری است.

دانه بندی و خواص خمیری خاک

تاثیر میزان رطوبت بر روی حجم خاک



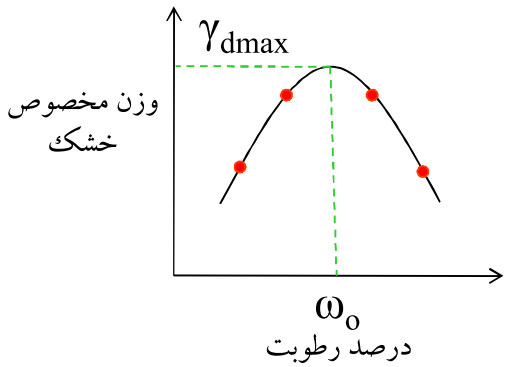
طبقه بندی خاک

روش های طبقه بندی خاک عبارتند از:

۱. روش آشتو AASHTO ⟵ راه سازی

۲. روش متحد UNIFIED ⟵ کارهای عمرانی

درصد تراکم

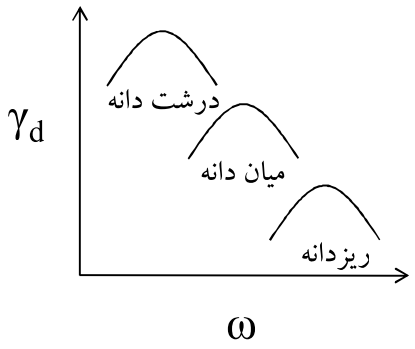


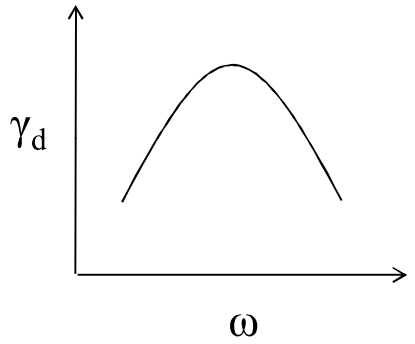
$$\text{درصد تراکم} = (\gamma_d / \gamma_{dmax}) * 100$$

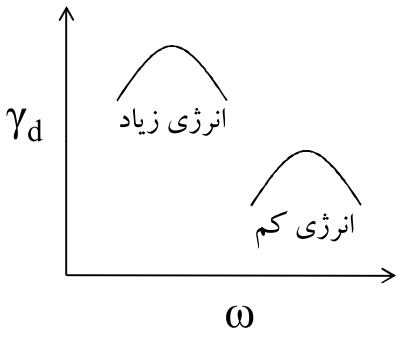
درصد تراکم

حداکثر وزن مخصوص خشک خاک به عوامل زیر بستگی دارد:

۱. جنس خاک
۲. رطوبت خاک
۳. انرژی تراکم







غلطک ها

انواع غلطک ها عبارتند از:

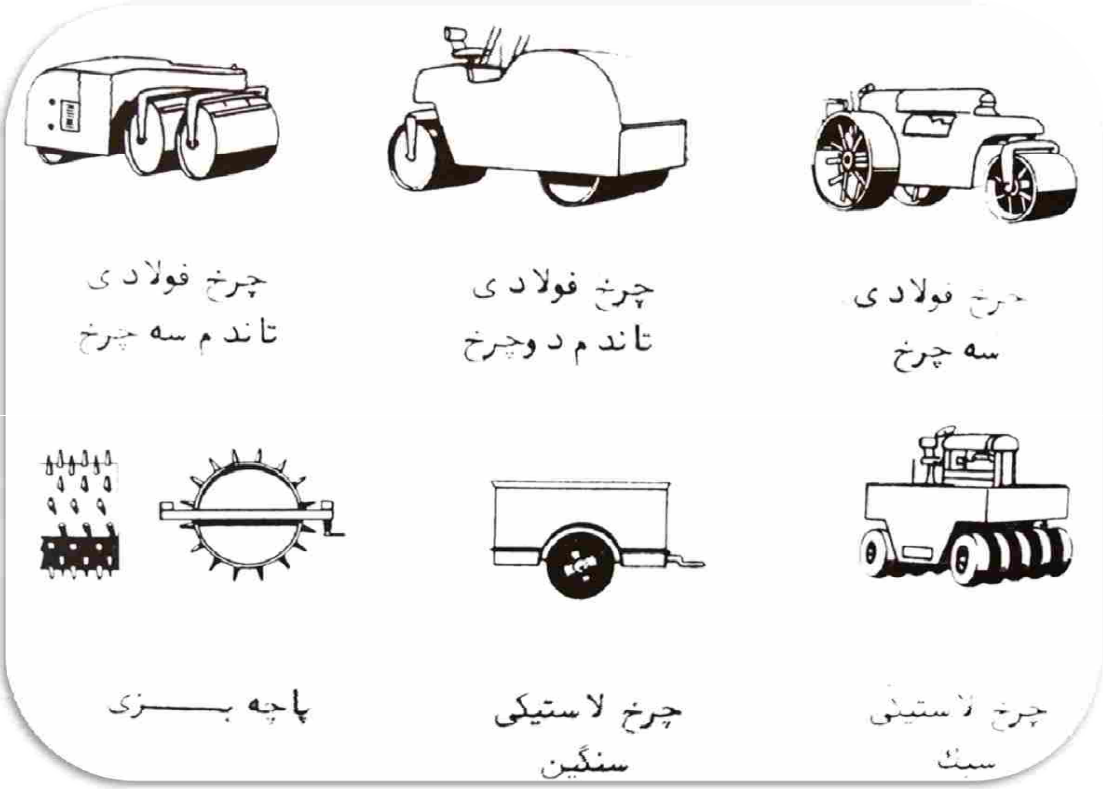
۱. غلطک های چرخ فولادی

۲. غلطک های چرخ لاستیکی

۳. غلطک های پاچه بزی

۴. غلطک های لرزنده (ارتعاشی)

غلطک ها


چرخ فولادی
سه چرخ
چرخ فولادی
تاندم دوچرخ
چرخ فولادی
تاندم سه چرخ
چرخ لاستیکی
سبک
چرخ لاستیکی
سنگین
پاچه بـــــزی

ویژگی های عمومی غلطک ها

نوع غلتک	وزن (تن)	فشار	ضخامت لایه خاک(سانتی-متر)		سرعت (کیلومتر بر ساعت)	خاک-های مناسب
			غلتک سبک	غلتک سنگین		
چرخ فولادی سه-چرخ	۵–۱۸	۱۰–۹۰ (kg/cm)	۱۰–۱۵	۱۵–۲۰	۵/۱–۸	شن و ماسه، سنگ شکسته
چرخ فولادی تاندم دو-چرخ	۳–۱۴	۱۰–۹۰ (kg/cm)	۱۰–۱۵	۱۵–۲۰	۵/۱–۸	شن و ماسه، سنگ شکسته
چرخ فولادی تاندم سه-چرخ	۱۰–۱۸	۱۰–۹۰ (kg/cm)	۱۰–۱۵	۱۵–۲۰	۵/۱–۸	شن و ماسه، سنگ شکسته
چرخ لاستیکی سبک	۳–۱۰	۵/۱–۲ (kg/cm^2)	۱۰–۱۵	۱۵–۲۰	۵/۱–۲۴	ماسه، رس لای، مخلوط رس و لای، ماسه
چرخ لاستیکی سنگین	۴۵	۶–۱۰ (kg/cm^2)	۶۰	–	۸–۱۶	هر نوع خاک
پاچه-بزی	۲–۱۸	۷–۵۶ (kg/cm^2)	۱۵–۲۲	۲۰–۳۰	۸–۱۶	رس، رس ماسه-دار و رس لای-دار
لرزنده	۳–۲۷	–	۱۰–۲۰	۲۰–۳۰	۵/۲–۸	شن، ماسه، سنگ شکسته، شن و ماسه

تعیین مقاومت خاک بستر

۱. متداول ترین روش های تعیین مقاومت خاک بستر عبارتند از:

۲. آزمایش فشاری سه محوری

۳. آزمایش بارگذاری صفحه

۴. آزمایش نسبت باربری کالیفرنیا (CBR)

آزمایش نسبت باربری کالیفرنیا (CBR)

طبق تعریف CBR یک خاک عبارت است از نسبت نیروی لازم برای فرو بردن پیستونی به شکل معین و با سرعت معین و به عمق معین در داخل خاک مورد آزمایش به نیروی لازم برای فرو بردن همان پیستون و با همان مشخصات در مصالح استاندارد (سنگ شکسته).

$$CBR=[P_{2.5} / (P_{2.5})_S]*100$$

$P_{2.5}$:فشار مربوط به ۲/۵ میلی متر نفوذ پیستون استاندارد در مصالح مورد آزمایش

$(P_{2.5})_S$:فشار مربوط به ۲/۵ میلی متر نفوذ پیستون استاندارد در مصالح استاندارد

آزمایش نسبت باربری کالیفرنیا (CBR)

عوامل موثر بر روی CBR عبارتند از:

۱. جنس خاک ← درشت تر ← CBR ↑

۲. میزان رطوبت ← متراکم تر ← CBR ↑

۳. تراکم خاک ← مرطوب تر ← CBR ↓

آزمایش نسبت باربری کالیفرنیا (CBR)

کاربرد خاکها بر اساس CBR

CBR	کیفیت خاک	کاربرد
0-3	خیلی بد	خاک بستر روسازی
3-7	بد	خاک بستر روسازی
7-20	متوسط	لایه زیراساس
20-50	خوب	لایه زیراساس و اساس
50>	عالی	لایه اساس

به نام پروردگار یکتا

روسازی راه

مدرس:

امیرحاجی محمدی ها

فصل سوم

مشخصات فنی مصالح
زیراساس، اساس و رویه شنی

فصل سوم: مشخصات فنی مصالح زیراساس، اساس و رویه شنی

مصالحی که برای ساخت لایه های روسازی استفاده می شوند عبارتند از:

- **مصالح سنگی**
- **مصالح تثبیت شده**
- **بتن آسفالتی**
- **بتن سیمانی**

فصل سوم: مشخصات فنی مصالح زیراساس، اساس و رویه شنی

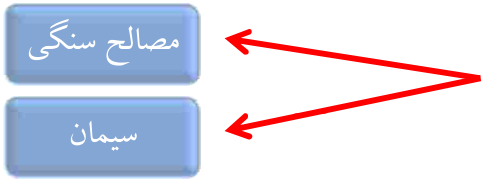
مصالحی که برای ساخت لایه های روسازی استفاده می شوند عبارتند از:

- **مصالح سنگی**
- **مصالح تثبیت شده**
  - آهک
  - سیمان
  - قیر
- **بتن آسفالتی**
- **بتن سیمانی**

فصل سوم: مشخصات فنی مصالح زیراساس، اساس و رویه شنی

مصالحی که برای ساخت لایه های روسازی استفاده می شوند عبارتند از:

- **مصالح سنگی**
- **مصالح تثبیت شده**
- **بتن آسفالتی**
- **بتن سیمانی**



فصل سوم: مشخصات فنی مصالح زیراساس، اساس و رویه شنی

مصالحی که برای ساخت لایه های روسازی استفاده می شوند عبارتند از:

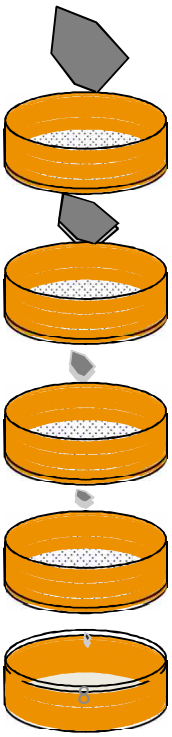
- **مصالح سنگی**
- **مصالح تثبیت شده**
- **بتن آسفالتی**
- **بتن سیمانی**

مشخصات مصالح سنگی

مصالح سنگی که برای ساختن لایه های زیراساس، اساس و رویه شنی به کار می روند باید مشخصات ویژه ای داشته باشند که عبارتند از:

- دانه بندی
- درصد شکستگی
- سختی
- خواص خمیری
- تمیزی
- نفوذپذیری

دانه بندی



دانه بندی مصالح سنگی یکی از مهم ترین عواملی است که بر روی مقاومت و قدرت باربری آن ها تاثیر دارد و با انجام *آزمایش دانه بندی* و ترسیم نمودار دانه بندی تعیین می شود.

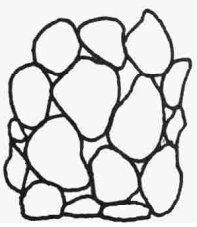
آزمایش دانه بندی برای تعیین درصد وزنی ذرات با اندازه های مختلف انجام می شود.

مصالح سنگی

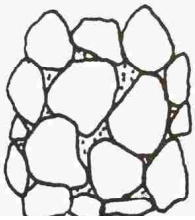
- درشت دانه (مانده روی الک #200)
- ریزدانه (عبوری از الک #200)

دانه بندی

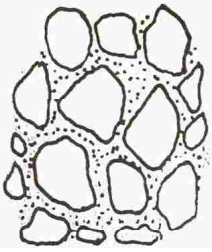
ساختمان مصالح سنگی از لحاظ میزان ریزدانه به سه حالت زیر تقسیم می شوند:



ساختمان اتکای مستقیم



ساختمان نیمه شناور



ساختمان شناور

۱. مقاومت	تماس بین دانه ها	تماس بین دانه ها+ قسمت ریزدانه	قسمت ریزدانه
۲. تغییر رطوبت	عدم تغییر مقاومت	عدم تغییر زیاد مقاومت	کاهش شدید مقاومت
۳. وزن مخصوص	کم	زیاد	کم
۴. نفوذپذیری	زیاد	کم	کم
۵. خطر تورم	وجود ندارد	وجود دارد	وجود دارد
۶. جابه جایی	دشوار	نسبتا دشوار	راحت
۷. تراکم	دشوار	نسبتا دشوار	راحت

منحنی دانه بندی با بیشترین تراکم و کمترین فضای خالی

درصد عبوري

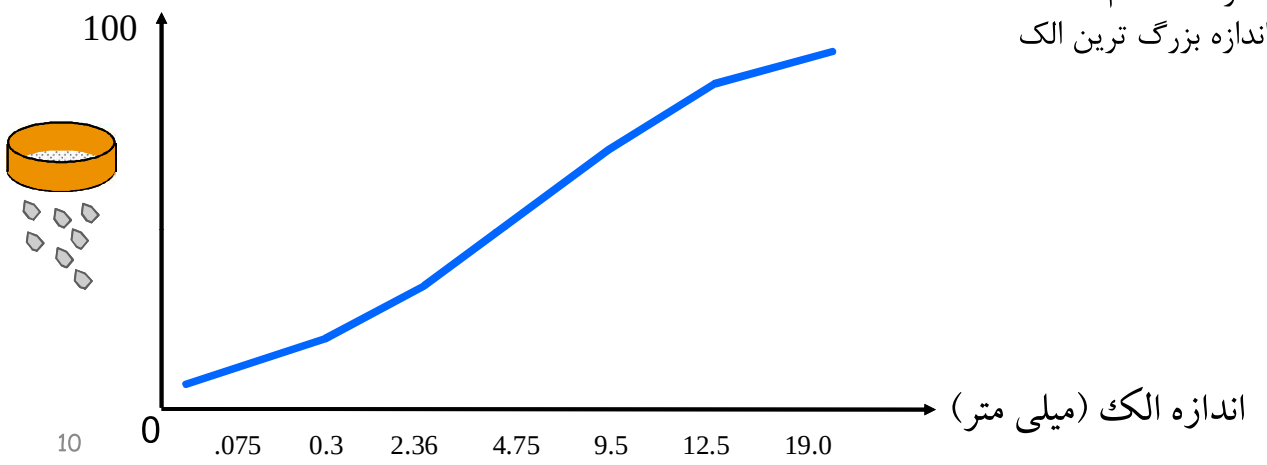
برای تعیین دانه بندی مصالح سنگی معمولا از رابطه فولر به صورت زیر استفاده می شود:

$$P_i = (d_i/D)^{0.5} \times 100$$

P_i : درصدی از وزن کل مصالح سنگی که از الک i ام عبور می کند

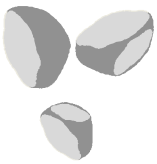
d_i : اندازه الک i ام

D : اندازه بزرگ ترین الک



شکستگی

مصالح سنگی شکسته شده دارای استقامت و قدرت باربری بیشتری نسبت به مصالح رودخانه ای با همان هستند.



علت این استقامت بیشتر چیست؟

مصالحی که سطحی ناصاف و گوشه هاس تیز دارند، بهتر در یکدیگر قفل و بست شده و استقامت بیشتری دارند.

میزان شکستگی مصالح سنگی با استفاده از آزمایش *تعیین درصد شکستگی* به دست می آید.

شکستگی

این آزمایش بر روی مصالح سنگی مانده روی الک 4# انجام می گیرد.

$$\text{درصد شکستگی} = \frac{\text{وزن دانه هایی که حداقل یک وجه شکسته دارند}}{\text{وزن کل دانه ها}} \times 100 \quad > 50\%$$

برای لایه اساس

سختی

منظور از سختی مصالح سنگی، مقاومت آنها در برابروزن وسایل نقلیه و غلطک هاست.

برای تعیین سختی مصالح سنگی از آزمایش *سایش لس آنجلس* استفاده می شود.

این آزمایش بر روی مصالح سنگی *مانده روی الک #12* انجام می شود.

$$\text{درصد سائیدگی} = \frac{\text{وزن دانه های عبوری از الک ۱۲\#}}{\text{وزن کل دانه ها}} \times 100$$

سختی

حداکثر میزان ساییدگی برای لایه های مختلف

آیین نامه	حداکثر میزان ساییدگی(٪)		
	لایه زیراساس	لایه اساس	رویه شنی
سازمان مدیریت و برنامه ریزی	۵۰	۴۵	۴۵
آشتو	۵۰		

خواص خمیری

مصالحی که در لایه های روسازی استفاده می شوند نباید بیشتر از حد مجاز خمیری باشند.

هرچقدر مصالح خمیری تر باشند، حد روانی و دامنه خمیری آنها بیشتر است.

برای تعیین خصوصیات خمیری خاک از آزمایش *حدود اتربرگ* استفاده می شود.

هرچه مصالح ریزتر باشند ← LL ↑ ← PI ↑ ← مقاومت برشی ↑

خواص خمیری

مقادیر مجاز خصوصیات خمیری برای لایه های مختلف

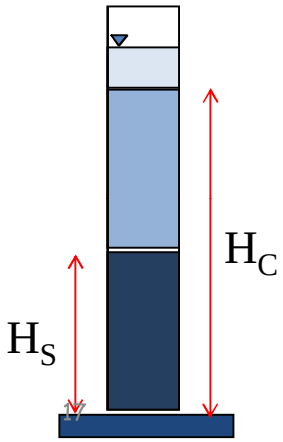
آیین نامه	خصوصیات خمیری	لایه زیراساس	لایه اساس	رویه شنی
سازمان مدیریت و برنامه ریزی	حد روانی	۲۵	۲۵	۳۵
	دامنه خمیری	۶	غیر خمیری	۴-۹
آشتو	حد روانی	۲۵	۲۵	۳۵
	دامنه خمیری	۶	۶	۴-۹

تمیزی

منظور از تمیزی مصالح سنگی، پاک بودن آنها از مواد آلی، خاکهای نباتی، سنگهای نرم و کم دوام است.

برای تعیین تمیزی مصالح سنگی از آزمایش هم ارز ماسه ای (ارزش ماسه ای) استفاده می شود.

این آزمایش بر روی مصالح سنگی عبوری از الک #4 انجام می شود.



$$SE = \frac{H_S}{H_C} \times 100$$

تمیزی

مقادیر حداقل هم ارز ماسه ای برای لایه های مختلف

نوع راه	اساس شنی	اساس ماکادامی	زیراساس
اصلی	۳۵	۳۰	۲۵
فرعی	۳۵	۳۰	۲۵

نفوذپذیری

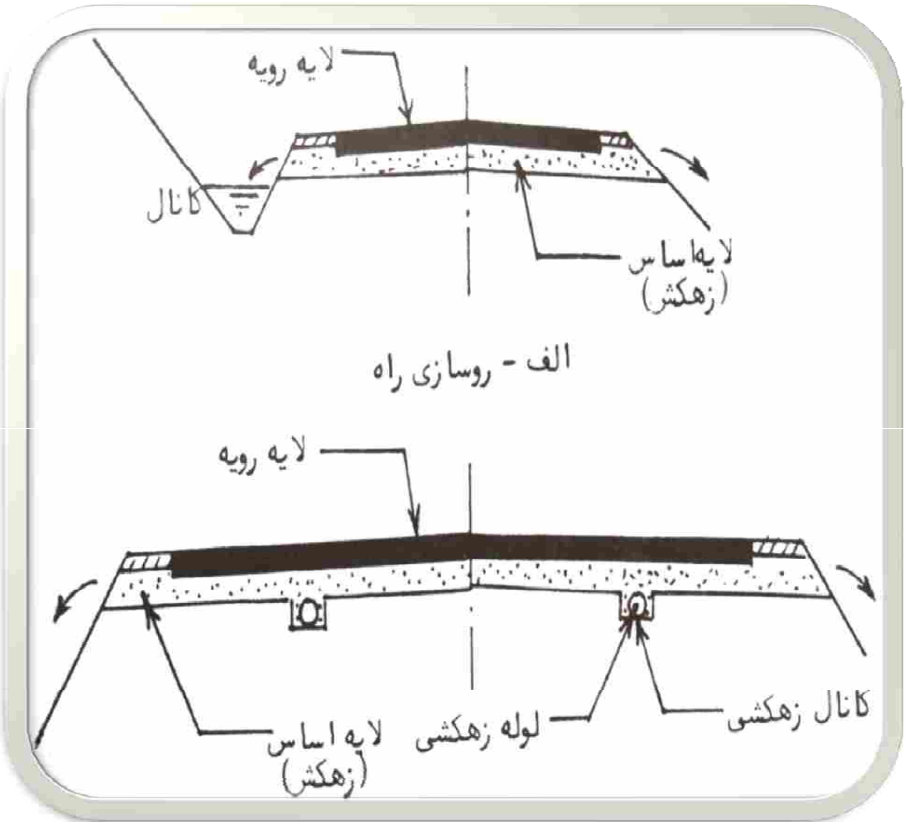
لایه روسازی راه ها باید در صورت امکان در برابر آبهای سطحی ناشی از بارندگی، غیر قابل نفوذ بوده و شیب عرضی مناسب داشته باشد تا آبهای سطحی در سیستم روسازی نفوذ نکند.

نفوذ آب در سیستم روسازی سبب *کاهش مقاومت مصالح* شده و از قدرت باربری روسازی می کاهد.

نفوذپذیری مصالح به عوامل زیر بستگی دارد:

- جنس
- دانه بندی
- تراکم

نفوذپذیری


لایه رویه
کانال
لایه اساس
(زهکش)
الف - روسازی راه
لایه رویه
لایه اساس
(زهکش)
لوله زهکشی
کانال زهکشی

نفوذپذیری

حدود ضرایب نفوذپذیری مصالح مختلف

نوع مصالح	ضریب نفوذپذیری(متر در روز)
مصالح شنی با دانه بندی یکنواخت	۳۰۰–۳۰۰۰۰
مصالح شنی خوب دانه بندی شده	۳–۳۰۰
مصالح آسفالتی	۰/۰۰۳–۳
ماسه رس دار یا لای دار	۰/۰۰۰۱–۰/۰۱
رس متراکم شده	۰/۰۰۰۱
لای متراکم شده	۰/۰۰۰۰۶–۰/۰۰۶

نفوذپذیری

در مواردی که لایه اساس از مصالح درشت دانه با دانه بندی باز تشکیل شده و امکان بالا آمدن دانه های ریز لایه زیر آن(لایه زیراساس یا خاک بستر روسازی) وجود داشته باشد، باید از یک لایه حفاظتی که بین لایه اساس و لایه زیر آن قرار می گیرد استفاده شود. این لایه حفاظتی که به *لایه فیلتر* موسوم است از حرکت دانه های ریز لایه زیراساس و یا خاک بستر روسازی که موجب مسدود شدن حفرات لایه اساس با دانه بندی باز می شود جلوگیری می کند.

لایه فیلتر که معمولا ضخامتی برابر با *۵ تا ۱۰ سانتی متر* دارد از جنس ماسه با دانه های بین *۲ تا ۳ میلی متر* تشکیل می شود.

به نام پروردگار یکتا

روسازی راه

مدرس:

امیرحاجی محمدی ها

فصل چهارم

تثبیت مصالح

فصل چهارم: تثبیت مصالح

تثبیت خاک در راه سازی روشی است که به منظور بهبود مشخصات فنی خاک و مصالح، مورد استفاده قرار می گیرد تا بتوان مصالحی مناسب و با کیفیت نسبتا قابل قبول برای لایه های روسازی به دست آورد.

از مصالح تثبیت شده می توان در موارد زیر استفاده کرد:

- ایجاد خاکریزها
- اجرای لایه زیراساس
- اجرای لایه اساس
- خاک بستر روسازی
- در پاره ای موارد به عنوان لایه رویه

فصل چهارم: تثبیت مصالح

به طور کلی هدف از تثبیت خاک عبارت است از:

۱. اصلاح خاکهای نرم و کم مقاومت
۲. بهبود مشخصات فنی خاکها و مصالح شنی
۳. ایجاد لایه های اساس و زیراساس با قابلیت باربری نسبتا زیاد
۴. بازسازی روسازی های فرسوده با استفاده از مصالح موجود
۵. کاهش گرد و خاک و کاهش رطوبت

فصل چهارم: تثبیت مصالح

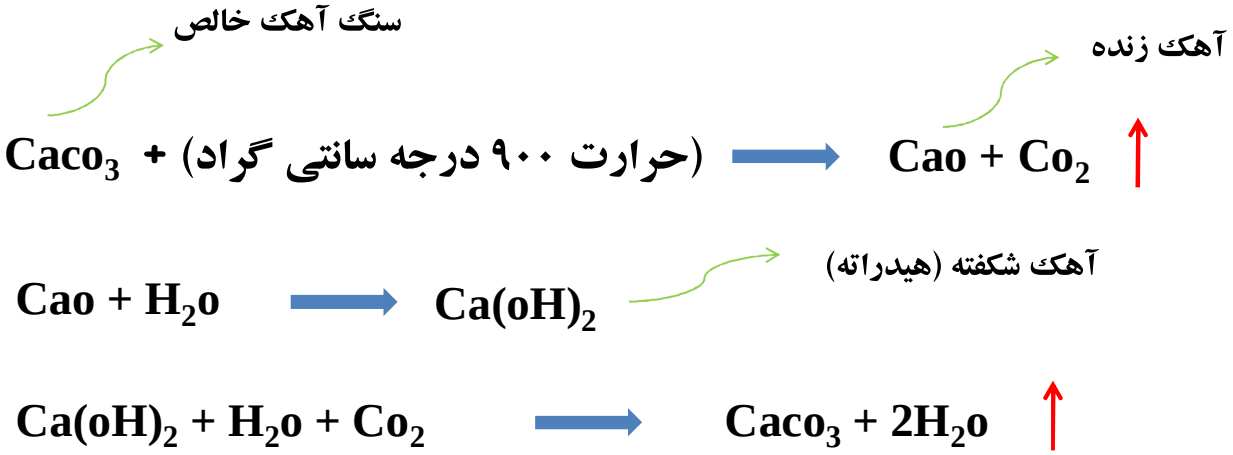
انتخاب نوع مواد تثبیت کننده

انتخاب نوع ماده تثبیت کننده به عوامل زیر بستگی دارد:

- ❖ جنس خاک
- ❖ شرایط جوی منطقه
- ❖ میزان تردد وسایل نقلیه
- ❖ هدف از انجام تثبیت
- ❖ هزینه عملیات

تعیین نوع ماده تثبیت کننده به کمک آزمایش *مقاومت و دوام* انجام می شود.

تثبیت خاک با آهک



آهک یکی از متداول ترین مواد تثبیت کننده خاک به شمار می رود.

مقدار آهک مناسب برای تثبیت خاکها بین ۰/۵ تا ۸ درصد وزن خشک خاک است.

تثبیت خاک با آهک

اثرات تثبیت خاک با آهک عبارتند از:

۱. افزایش *ظرفیت باربری* و افزایش *مقاومت برشی* (بـه میـزان بـیش از $3.5\ kg/cm^2$) در اثر ایجاد واکنش پوزولانی

واکنش پوزولانی: واکنش بین آب و آهک و مـواد سـیلیس دار و آلـومین دار موجـود در خاک رس که سبب ایجاد مواد سخت و مقاومی نظیـر سـیلیکات کلسـیم و آلومینـات کلسیم شده و افزایش مقاومت و دوام خاک را به همراه دارد.

اثرات تثبیت خاک با آهک عبارتند از:

۲. کاهش تورم خاک از ۷ تا ۸ درصد به *۱/۰ درصد* در اثر کاهش میل جذب آب توسط دانه های رس اشباع شده از آهک.

۳. ایجاد انقباض در اثر کاهش رطوبت که باعث ایجاد *ترکهای انقباضی* می شود (هرچند خاک تثبیت شده با آهک دارای درصد انقباض کمتری از خاک تثبیت نشده است.

۴. افزایش *دوام* خاک (مقاومت در برابر تکرار یخبندان - ذوب یخ) در اثر جبران کاهش مقاومت در اثر یخبندان، توسط افزایش مقاومت اولیه

تثبیت خاک با آهک

عمل آوری

دوام خاکهای تثبیت شده با آهک به نحوه عمل آوری آنها بستگی دارد.

مهمترین عواملی که در عمل آوری این گونه مصالح نقش دارند عبارتند از:

۱. درجه حرارت: ۴ تا ۱۰ درجه سانتی گراد

۲. رطوبت: در حد بهینه

۳. زمان: ۳ تا ۷ روز به حال خود رها می شود

تثبیت خاک با سیمان

معمولا هر نوع خاکی را می توان با سیمان تثبیت کرد. ولی خاکهای آلی به هیچ وجه قابل تثبیت با سیمان نیستند.

- خاکهای ریزدانه: میزان سیمان در این خاکها بستگی به خاصیت خمیری دارد

  هرچه خاک ریزتر باشد ⟵ درصد سیمان ↑

  میزان سیمان مصرفی در این خاکها بین ۷ تا ۲۰ درصد وزن خشک خاک است

- خاکهای ماسه ای: میزان سیمان در این خاکها بستگی به درصد تخلخل دارد

  هرچه خاک متخلخل تر باشد ⟵ درصد سیمان ↑

- خاکهای شنی: میزان سیمان لازم بستگی به درصد مواد ریزدانه دارد

  میزان سیمان مصرفی در این خاکها بین ۲تا ۶ درصد وزن خشک خاک است

تثبیت خاک با قیر

از قیر معمولا برای تثبیت خاکهای *درشت دانه وشنی* با مقدار ریزدانه کم (خاصیت خمیری کم) استفاده می شود.

خاکهای ریزدانه درصورتی قابل تثبیت با قیر هستند که بتوان آنها را از حالت کلوخه خارج و دانه های آنرا قیر اندود کرد.

تثبیت خاک با قیر سبب کاهش *خاصیت آب مکندگی* خاک می شود.

هرچه میزان قیر بیشتر باشد ⟵ خاصیت آب مکندگی ↓

تثبیت خاک با سیمان

- خاکهای ماسه ای: به خوبی قابل تثبیت شدن با قیر هستند

قیر مصرفی: قیر خالص، قیر زودگیر و امولسیون

مقدار قیر: ۲ تا ۶ درصد وزن خشک خاک

- خاکهای شنی: *درصورتی که*
  - مقدار ریزدانه < 15%
  - PI < 12%

  ← قابل تثبیت با قیر

قیر مصرفی: قیر خالص با کندروانی کم قیر زودگیر

مقدار قیر: ۲ تا ۶ درصد وزن خشک خاک

نتیجه گیری

- افزایش مقاومت مصالح تثبیت شده با *آهک* به واسطه ایجاد *واکنش پوزولانی* است.
- افزایش مقاومت مصالح تثبیت شده با *سیمان* به واسطه ایجاد *مواد سیمانی* است.
- افزایش مقاومت مصالح تثبیت شده با *قیر* به واسطه اندود شدن دانه های خاک با قیر و *چسبیدن دانه ها* و غیر قابل نفوذ شدن مصالح است.

به نام پروردگار یکتا

روسازی راه

مدرس:

امیرحاجی محمدی ها

فصل پنجم

قیر و آزمایش های آن

فصل پنجم: قیر

در روسازی مسیرهای محوطه برای اندود کردن دانه های مصالح سنگی و چسباندن آنها بر روی یکدیگر از *چسباننده های هیدروکربوری(قطران و قیر)* استفاده می شود.

قطران از *تقطیر گازهای حاصل از حرارت دادن ذغال سنگ* برای تهیه کوک به دست می آید.

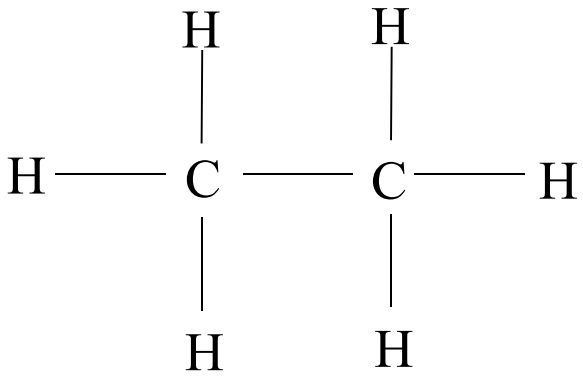
قطرانی که به این ترتیب تهیه می گردد، قطران خام نامیده شده و از تصفیه آن قطران راه سازی حاصل می شود.

در ایران به علت تولید ناچیز قطران، استفاده زیادی از آن نمی شود.

فصل پنجم: قیر

قیر جسمی است هیدروکربوری که از به هم پیوستن تعدادی اتم کربن و هیدروژن به صورت زنجیره ای ساخته می شود.

C_xH_y



$C_{36}H_{74}$

فصل پنجم: قیر

به طور کلی عناصر تشکیل دهنده قیر عبارتند از:

- کربن 70~78%
- هیدروژن 10~15%
- ازت < 1%
- گوگرد ≈1.5%
- اکسیژن ≈2%
- فسفر
- هالوژن
- مقادیر بسیار ناچیزی از فلزات مانند نیکل، آهن، کبالت و وانادیم

فصل پنجم: قیر

دو خاصیت مهم قیر:

- غیر قابل نفوذ بودن
- چسبندگی

منابع تهیه قیر:

- قیر طبیعی ⟵ به صورت طبیعی از معادن قیر استخراج می شود
- قیر نفتی ⟵ از پس مانده تقطیر نفت خام به دست می آید

مراحل تقطیر نفت خام: بنزین – نفت – نفت گاز – روغن موتور – قیر

فصل پنجم: قیر

نفتهای خام حاصل از معادن به سه حالت زیر تقسیم می شوند:

- آسفالتیک ⟵ مناسب ترین قیر برای راه سازی
- پارافینیک
- آسفالتیک – پارافینیک

در حقیقت هرچه مواد پاراقینی قیر کمتر باشد، مرغوبیت قیر بیشتر می شود.

فصل پنجم: قیر

هیدروکربورهاب تشکیل دهنده قیر عبارتند از:

- آسفالتین ها ⟵ اسکلت ساختمانی قیر را تشکیل می دهند — $\frac{C}{H} > 0.8$
- رزین ها ⟵ چسبندگی و شکل پذیری قیر را تامین می کنند — $0.8 > \frac{C}{H} > 0.6$
- روغن ها ⟵ کندروانی قیر را تامین می کنند — $0.6 > \frac{C}{H}$

درجه بندی قیر بر حسب عملکرد

قیرها را می توان بر حسب عملکردشان درجه بندی نمود. این درجه بندی نشان می دهد که *کمترین و بیشترین دمایی* که قیر می تواند تحمل کند چقدر است.

درجه بندی عملکرد با PG[1] نشان داده می شود. به طور مثال:

$$PG_{64\text{-}22}$$

بیشترین دمای قابل تحمل توسط قیر: 64˚C

کمترین دمای قابل تحمل توسط قیر: -22˚C

1: Performance Grade (PG)

انواع قیر

انواع قیرهای نفتی را می توان به صورت زیر نام برد:

- قیر خالص ⟵ راه سازی
- قیر دمیده ⟵ پوشش بام و اندودکاری
- قیر محلول ⟵ اندودکاری و استفاده در مناطق گرم و خشک
- قیرآبه (امولسیون) ⟵ استفاده در هر نوع آب و هوا و آسفالت سرد

قیر خالص

قیر خالص: از پس مانده تقطیر نفت خام به دست می آید

این نوع قیر با علامت AC نام گذاری شده و بر حسب درجه نفوذ درجه بندی می شود. به طور مثال:

$AC_{60/70}$

قیر خالص با درجه نفوذ ۶ تا ۷ میلی متر

مشخصات فنی قیرهای خالص باید مطابق جدول (۵-۳) آیین نامه روسازی آسفالتی راه های ایران *(نشریه ۲۳۴)* باشد.

جدول ۵-۳ مشخصات قیرهای خالص

نوع آزمایش	روش آزمایش		درجه نفوذ									
			۴۰-۵۰		۶۰-۷۰		۸۵-۱۰۰		۱۲۰-۱۵۰		۲۰۰-۳۰۰	
	ای اس تی ام	آشتو	حداقل	حداکثر	حداقل	حداکثر	حداقل	حداکثر	حداقل	حداکثر	حداقل	حداکثر
درجه نفوذ ($\frac{۱}{۱۰}$ میلیمتر)	D۵	T۴۹	۴۰	۵۰	۶۰	۷۰	۸۵	۱۰۰	۱۲۰	۱۵۰	۲۰۰	۳۰۰
درجه اشتعال (سانتیگراد)	D۹۲	T۴۸	۲۳۲		۲۳۲		۲۳۲		۲۱۸		۱۷۶	
خاصیت انگمی در ۲۵ درجه سانتیگراد (سانتیمتر)	D۱۱۳	T۵۱	۱۰۰		۱۰۰		۱۰۰		۱۰۰		۱۰۰	
درجه خلوص با تری کلرورانیلن (درصد)	D۲۰۴۲	T۴۴	۹۹		۹۹		۹۹		۹۹		۹۹	
نقطه نرمی قیر (درجه سانتیگراد)	D۲۳۹۸	T۵۳	۵۲	۶۰	۴۹	۵۶	۴۵	۵۲	۴۰	۴۶	۳۵	۴۰
خصوصیات پس از آزمایش لعاب نازک قیر (در ۱۶۳ C و بمدت ۵ ساعت):												
افت وزنی	D۱۷۵۴	T۱۷۹		۰/۸		۰/۸		۱		۱/۳		۱/۵
نسبت درصد درجه نفوذ بعد از آزمایش به درجه نفوذ اولیه	D۵	T۴۹	۵۸		۵۴		۵۰		۴۶		۴۰	
خاصیت انگمی	D۱۱۳	T۵۱			۵۰		۷۵		۱۰۰		۱۰۰	
شرایط کلی	قیرهای خالص باید از تقطیر مستقیم مواد نفتی تهیه شده و همگن باشد و وقتیکه تا حرارت ۱۷۶ درجه سانتیگراد گرم می‌شود کف نکند. نمونه گیری قیر باید براساس روشهای D۱۴۰ ای اس تی ام و یا T۴۰ آشتو انجام گیرد.											

قیر دمیده

قیر دمیده: از دمیدن هوای داغ (200~300°C) به قیر خالص به دست می آید.

هرچه میزان کربن قیر بیشتر باشد، پایایی و دوام آن بیشتر می شود. چون جرم مولکولی کربن بیشتر از هیدروژن بوده و از آن مقاوم تر است.

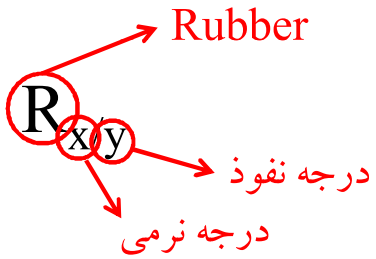
$$C_{36}H_{74} \xrightarrow{\text{دمیدن هوای داغ}} C_{70}H_{144}$$

قیر دمیده

خصوصیات قیر دمیده نسبت به قیر خالص:

- درجه نفوذ کمتر
- درجه نرمی بیشتر
- حساسیت کمتر نسبت به تغییر درجه حرارت

قیرهای دمیده با علامت R نام گذاری شده و به صورت زیر رده بندی می شوند:



قیر دمیده

خصوصیات قیر دمیده نسبت به قیر خالص:

- درجه نفوذ کمتر
- درجه نرمی بیشتر
- حساسیت کمتر نسبت به تغییر درجه حرارت

قیرهای دمیده با علامت R نام گذاری شده و به صورت زیر رده بندی می شوند:

$R_{90/15}$ ⟵ مناطق گرم سیر

$R_{80/25}$ ⟵ مناطق سردسیر

قیر دمیده

موارد استفاده از قیر دمیده:

- قیرپاشی زیر اتومبیل ها
- عایق کاری ساختمان
- اندود کردن بام
- پر کردن ترکهای روسازی

قیر محلول

قیر محلول: از حل کردن قیر خالص در روغن های نفتی نظیر بنزین، نفت و نفت گاز (گازوئیل) به دست می آید.

قیر خالص + حلال نفتی ⟵ قیر محلول

قیر خالص + حلال نفتی سبک (بنزین) ⟵ قیر محلول تندگیر *(RC)*
Rapid Curing Asphalt

قیر خالص + حلال نفتی متوسط (نفت) ⟵ قیر محلول کندگیر *(MC)*
Medium Curing Asphalt

قیر خالص + حلال نفتی سنگین(گازوئیل) ⟵ قیر محلول دیرگیر *(SC)*
Slow Curing Asphalt

قیر محلول

نحوه عمل آوری یا گیرش *قیرهای محلول* متفاوت بوده و به حلال نفتی آن یستگی دارد:

قیر محلول تندگیر و کندگیر *(RC) و (MC)*:

عمل آوری بر اساس تبخیر حلال های نفتی

قیر محلول دیرگیر *(SC)*:

عمل آوری بر اساس تغییرشکل مولکولی

قیر محلول

موارد کاربرد قیر محلول عبارتند از:

- قیر محلول تندگیر (RC): برای مناطق سردسیر
- قیر محلول کندگیر (MC): برای مناطق معتدل و گرم سیر
- قیر محلول دیرگیر (SC): برای مناطق بسیار گرم سیر

به طور کلی از قیرهای محلول بیشتر برای ساخت آسفالت سرد و اندودکاری استفاده می شود.

قیر محلول

درجه بندی قیرهای محلول بر اساس میزان کندروانی

❖ درجه بندی قدیمی

این درجه بندی براساس اعداد صفر تا ۵ برای نشان دادن *ویسکوزیته (غلظت)* سیال انجام می شود که عدد صفر بیانگر کمترین غلظت و عدد ۵ نشان دهنده بیشترین غلظت است.

$RC_0 \sim RC_5$
$MC_0 \sim MC_5$
$SC_0 \sim SC_5$

❖ درجه بندی جدید

۱. درجه بندی *کینماتیکی* که واحد اندازه گیری آن سانتی استوکس است.
۲. درجه بندی *سیبولت فیورول* که واحد اندازه گیری آن ثانیه است.

جدول ۵-۴ مشخصات قیرهای محلول زودگیر

آزمایش		روش آزمایش		درجه قیر زودگیر							
		ای‌اس‌تی‌ام	آشتو	RC-۷۰		RC-۲۵۰		RC-۸۰۰		RC-۳۰۰۰	
				حداقل	حداکثر	حداقل	حداکثر	حداقل	حداکثر	حداقل	حداکثر
کند روانی سیبولت فرول در ۶۰°C	(cst)	D۲۱۷۰	T۲۰۱	۷۰	۱۴۰	۲۵۰	۵۰۰	۸۰۰	۱۶۰۰	۳۰۰۰	۶۰۰۰
نقطهٔ اشتعال (ظرف روباز)	°C	D۳۱۴۳	T۷۹	–	–	۲۷	–	۲۷	–	۲۷	–
مقدار آب	%	D۴۵	T۵۵	–	۰/۲	–	۰/۲	–	۰/۲	–	۰/۲
درصد حجمی مواد تقطیرشده در درجه حرارت‌های روبرو نه مواد تقطیر شده در ۳۶۰°C	۱۹۰°C	D۴۰۲	T۷۸	۱۰	–	–	–	–	–	–	–
	۲۲۵			۵۰	–	۳۵	–	۱۵	–	–	–
	۲۶۰			۷۰	–	۶۰	–	۲۵	–	۲۵	–
	۳۱۵			۸۵	–	۸۰	–	۷۵	–		–
درصد حجمی قیر باقیمانده از تقطیر ۳۶۰°C				۵۵	–	۶۵	–	۷۵	–	۹۰	–
آزمایش روی قیر باقیمانده از تقطیر	درجه نفوذ (۱/۱۰ میلیمتر)(۱)	D۵	T۴۹	۸۰	۱۲۰	۸۰	۱۲۰	۸۰	۱۲۰	۸۰	۱۲۰
	خاصیت انگمی (سانتیمتر)	D۱۱۳	T۵۱	۱۰۰	–	۱۰۰	–	۱۰۰	–	۱۰۰	–
	حلالیت در تری کلرواتیلن (٪)	D۲۰۴۲	T۴۴	۹۹	–	۹۹	–	۹۹	–	۹۹	–

جدول ۵-۵ مشخصات قیرهای محلول کندگیر

آزمایش			روش آزمایش		درجه قیر کندگیر									
					MC-۳۰		MC-۱۰۰		MC-۲۵۰		MC-۸۰۰		MC-۳۰۰۰	
			ای اس تی ام	آشتو	حداقل	حداکثر	حداقل	حداکثر	حداقل	حداکثر	حداقل	حداکثر	حداقل	حداکثر
کند روانی سیبلماتیک در ۶۰°C		(cst)	D۲۱۷۰	T۲۰۱	۳۰	۶۰	۱۰۰	۱۴۰	۲۵۰	۵۰۰	۸۰۰	۱۶۰۰	۳۰۰۰	۶۰۰۰
نقطهٔ اشتعال (ظرف روباز)		°C	D۳۱۴۳	T۷۹	۳۸	–	۳۸	–	۶۶	–	۶۶	–	۶۶	–
مقدار آب		%	D۹۵	T۵۵	–	۰/۲	–	۰/۲	–	۰/۲	–	۰/۲		
درصد حجمی مواد تقطیرشده		۲۲۵°C	D۴۰۲	T۷۸	–	۲۵	۰	۲۰	۰	۱۰	–	–	–	–
دردرجه حرارت‌های روبرو به مواد		۲۶۰			۴۰	۱۰	۲۰	۶۰	۱۵	۵۵	۰	۳۵	۰	۱۵
تقطیرشده در °C ۳۶۰		۳۱۵			۷۵	۹۳	۶۵	۹۰	۶۰	۹۷	۴۵	۸۰	۱۵	۱۵
درصد حجمی قیر باقیمانده از تقطیر در °C ۳۶۰					۵۰	–	۵۵	–	۶۷	–	۷۵	–	۸۰	–
آزمایش روی قیر باقیمانده از تقطیر	درجه نفوذ ($\frac{۱}{۱۰}$ میلیمتر) (۱)		D۵	T۴۹	۱۲۰	۲۵۰	۱۲۰	۲۵۰	۱۲۰	۲۵۰	۱۲۰	۲۵۰	۱۲۰	۲۵۰
	خاصیت انگمی (سانتیمتر)		D۱۱۳	T۵۱	۱۰۰	–	۱۰۰	–	۱۰۰	–	۱۰۰	–	۱۰۰	–
	حلالیت در تری کلرواتیلن (٪)		D۲۰۴۲	T۴۴	۹۹	–	۹۹	–	۹۹	–	۹۹	–	۹۹	–

جدول ۵-۶ مشخصات قیرهای محلول دیرگیر

آزمایش		روش آزمایش		درجه قیر دیرگیر							
		ای‌اس‌تی‌ام	آشتو	SC-۷۰		SC-۲۵۰		SC-۸۰۰		SC-۳۰۰۰	
				حداقل	حداکثر	حداقل	حداکثر	حداقل	حداکثر	حداقل	حداکثر
کند روانی سینماتیک در ۶۰°C	(cst)	D۲۱۷۰	T۲۰۱	۷۰	۱۴۰	۲۵۰	۵۰۰	۸۰۰	۱۶۰۰	۳۰۰۰	۶۰۰۰
نقطهٔ اشتعال (ظرف روباز)	°C	D۳۱۴۳	Tv۹	۶۶	-	۷۹	-	۹۳	-	۱۰۷	-
مقدار آب	%	D۹۵	T۵۵	-	۰/۵	-	۰/۵	-	۰/۵	-	۰/۵
درصد حجمی مواد تقطیرشده در ۳۶۰°C		D۴۰۲	Tv۸	۱۰	۳۰	۴	۲۰	۲	۱۲	-	۵
کندروانی سینماتیک قیرباقیمانده ازتقطیردر۶۰°C(cst)		D۲۱۷۰	T۲۰۱	۴	۷۰	۸	۱۰۰	۲۰	۱۶۰	۴۰	۳۵۰
درصد قیرباقیمانده از تقطیر (قیر با درجهٔ نفوذ ۱۰۰)		D۲۴۳	T۵۶	۵۰	-	۶۰	-	۷۰	-	۸۰	-
خاصیت انگمی قیر باقیمانده از تقطیر (قیر با درجهٔ نفوذ ۱۰۰)		D۱۱۳	T۵۱	۱۰۰	-	۱۰۰	-	۱۰۰	-	۱۰۰	-
حلالیت در تری کلرورائیلن (٪)		D۲۰۴۲	T۴۴	۹۹	-	۹۹	-	۹۹	-	۹۹	-

توضیح: نمونه‌گیری قیر با روش D۱۴۰ ای اس تی ام و یا آشتو T۴۰ انجام می‌شود.

قیر آبه (امولسیون قیر)

قیر محلول: از اختلاط قیر خالص با آب و مواد امولسیون ساز به دست می آید.

قیر خالص + آب + مواد امولسیون ساز (امول گاتور) ⟵ قیرآبه

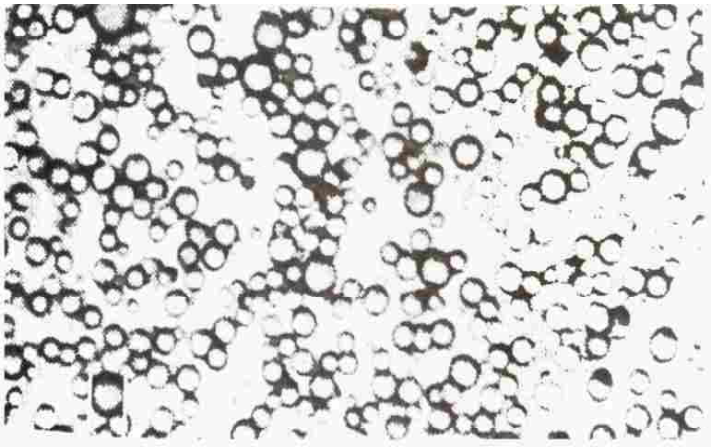
55~65% 35~45% 0.5%

نقش مواد امولسیون ساز: با باردار کردن دانه های قیر از لخته شدن آن جلوگیری می کنند.

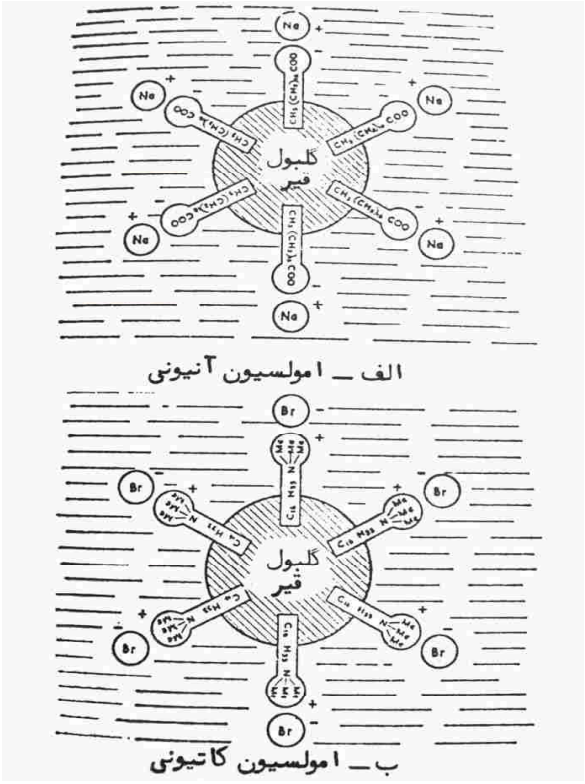
نوع مواد امولسیون ساز:

۱. ملح قلیایی یک اسید آلی (اسید + باز ⟵ ملح قلیایی مانند صابون) ⟵ *قیرآبه آنیونی*
۲. نمک آمونیوم (آمونیاک + اسید آلی ⟵ نمک آمونیوم) ⟵ *قیرآبه کاتیونی*

قیر آبه (امولسیون قیر)



قیر آبه



الف ــ امولسیون آنیونی

ب ــ امولسیون کاتیونی

نحوه باردار شدن دانه های قیرآبه در اثر مواد قیرآبه ساز

انواع قیرآبه

پدیده شکستن: آبی که با قیر مخلوط شده پس از مدتی از آن جدا می شود، پدیده جدا شدن آب از قیر در اصطلاح شکستن قیرآبه گفته می شود.

قیرآبه ها را می توان بر اساس سرعت شکستن به انواع زیر تقسیم کرد:

- قیرآبه ناپایدار یا زودشکن — Rapid Setting Asphalt (RS)
- قیرآبه نیمه پایدار یا کندشکن — Medium Setting Asphalt (MS)
- قیرآبه پایدار یا دیرشکن — Slow Setting Asphalt (SS)

قیرآبه آنیونی: RS, MS, SS

قیرآبه کاتیونی: CRS, CMS, CSS

انواع قیرآبه

مشخصات قیرآبه های آنیونی باید مطابق *جدول ۵-۷* نشریه ۲۳۴ باشد.

جدول ۵-۷ مشخصات قیرابه‌های آنیونیک

آزمایش [۱]	زودشکن						کندشکن										دیرشکن			
	RS-۱		RS-۲		HFRS-۲		MS-۱		MS-۲		MS-۱h		HFMS-۱		HFMS-۲		HFMS-۱h		SS-۱	SS-۱h
	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۰
کندروانی سی بولت فورل در ۲۵°C (ثانیه)	۲۰-۱۰۰	—	—	—	—	—	۲۰-۱۰۰	—	۲۰-۱۰۰	—	۲۰-۱۰۰	—	۲۰-۱۰۰	—	۲۰-۱۰۰	—	۴۰-۱۰۰	—	۴۰-۱۰۰	۴۰-۱۰۰
کندروانی سی بولت فورل در ۵۰°C (ثانیه)	—	—	۱۰۰-۴۰۰	۵۵-۴۰۰	۱۰-۴۰۰	۵۵-۴۰۰	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
باقیماندی در الک شماره ۲۰ (میلیمتر) (٪)	—	۲	—	۲	—	۲	—	۲	—	۲	—	۲	—	۲	—	۲	—	۲	—	۲
شدت شکست با کلرور کلسیم [۱]	۴۰-۶۰	—	۴۰-۶۰	—	۵۰-۶۰	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
[illegible]	—	—	—	—	—	—	خوب	خوب	خوب	خوب	خوب	خوب	خوب	خوب	خوب	خوب	خوب	خوب	—	—
[illegible]	—	—	—	—	—	—	متوسط	متوسط	متوسط	متوسط	متوسط	متوسط	متوسط	متوسط	متوسط	متوسط	متوسط	متوسط	—	—
[illegible]	—	—	—	—	—	—	متوسط	متوسط	متوسط	متوسط	متوسط	متوسط	متوسط	متوسط	متوسط	متوسط	متوسط	متوسط	—	—
[illegible]	—	—	—	—	—	—	متوسط	متوسط	متوسط	متوسط	متوسط	متوسط	متوسط	متوسط	متوسط	متوسط	متوسط	متوسط	—	—
[illegible]	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	۴	—
[illegible] [۲] (٪)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
قیر باقیمانده از آزمایش تقطیر (٪)	۵۵-۷۰	—	۶۳-۷۳	—	۶۳-۷۳	—	۵۵-۶۵	—	۶۵-۷۵	—	۶۵-۷۵	—	۵۵-۶۵	—	۶۵-۷۵	—	۶۵-۷۵	—	۶۰-۷۰	۶۰-۷۰
[illegible] (٪)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	۳	—	—	—
آزمایش روی قیر باقیمانده از تقطیر	درجه نفوذ (۱/۱۰ میلیمتر)	۱۰۰-۲۰۰	—	۱۰۰-۲۰۰	—	۱۰۰-۲۰۰	—	۱۰۰-۲۰۰	—	۱۰۰-۲۰۰	—	۱۰۰-۲۰۰	—	۱۰۰-۲۰۰	—	۱۰۰-۲۰۰	—	۱۰۰-۲۰۰	—	۱۰۰-۲۰۰
	حلالیت تکمین (تتراکلرور) (٪)	۹۷-۹۸	—	۹۷-۹۸	—	۹۷-۹۸	—	۹۷-۹۸	—	۹۷-۹۸	—	۹۷-۹۸	—	۹۷-۹۸	—	۹۷-۹۸	—	۹۷-۹۸	—	۹۷-۹۸	۹۷-۹۸
	شناوری در ۵°C (ثانیه)	۲۰-۱۰۰	—	۲۰-۱۰۰	—	۲۰-۱۰۰	—	۲۰-۱۰۰	—	۲۰-۱۰۰	—	۲۰-۱۰۰	—	۲۰-۱۰۰	—	۲۰-۱۰۰	—	۲۰-۱۰۰	—	۲۰-۱۰۰	۲۰-۱۰۰
	رسوب پس از ۵ روز [۳] (٪)	—	۱۰	—	۱۰	—	۱۰	—	۱۰	—	۱۰	—	۱۰	—	۱۰	—	۱۰	—	۱۰	—	۱۰

انواع قیرآبه

مشخصات قیرآبه های کاتیونی باید مطابق *جدول ۵-۸* نشریه **۲۳۴** باشد.

جدول ۵-۸ مشخصات قیرابه‌های کاتیونیک

آزمایش [۱]	زودشکن				کندشکن				دیرشکن			
	CRS-۱		CRS-۲		CMS-۲		CMS-۲h		CSS-۱		CSS-۱h	
	حداقل	حداکثر	حداقل	حداکثر	حداقل	حداکثر	حداقل	حداکثر	حداقل	حداکثر	حداقل	حداکثر
گند روانی سی برات فورل در ۲۵°C (ثانیه)	۲۰	۱۰۰	۱۰۰	۴۰۰	۵۰	۴۵۰	۵۰	۴۵۰	۲۰	۱۰۰	۲۰	۱۰۰
گند روانی سی برات فورل در ۵۰°C (ثانیه)	۱۰۰	۴۰۰	۲۰۰	۴۰۰	۴۵۰	۱۲۰۰	۴۵۰	۱۲۰۰	۱۰۰	۴۰۰	۱۰۰	۴۰۰
ته‌نشینی بعد از ۲۴ ساعت نگهداری در انبار (٪)	۰	۱	۰	۱	۰	۱	۰	۱	۰	۱	۰	۱
آزمایش طبقه‌بندی	طبق قیود مشروح آزمایش مربوطه در نشریه شماره ۱۰۰۳ D				—		—		—		—	
قابلیت اندودشدن مصالح سنگی خشک	—	—	—	—	خوب		خوب		—	—	—	—
[illegible]	—	—	—	—	متوسط		متوسط		—	—	—	—
قابلیت اندودشدن مصالح سنگی مرطوب	—	—	—	—	متوسط		متوسط		—	—	—	—
دوام اندود مصالح سنگی مرطوب اندودشده در برابر آب	—	—	—	—	متوسط		متوسط		—	—	—	—
بارهای دانه‌های قیر	مثبت		مثبت		خنثی		خنثی		مثبت		مثبت	
آزمایش ذره‌پوشش [۲] (آزمایش ذره‌پوشش در نشریه شماره ۱۰۰۳ D)	—	۰/۲	—	۰/۲	—	۰/۲	—	۰/۲	—	۰/۲	—	۰/۲
درصد قیر تقطیر شده در آزمایش تقطیر	—	—	—	—	—	—	—	—	—	۲	—	۲
درجه چسبی (قابلیت اندودشدن در آزمایش تقطیر)	—	۲	—	۳	—	۱۲	—	۱۲	—	—	—	—
درصد قیر خواص آزمایش تقطیر	۶۵	—	۶۵	—	۶۵	—	۶۵	—	۶۵	—	۶۵	—
آزمایش باقی‌مانده روی الک ۱۷۰ (۸۵ میکرون)	۱۰۰	۴۵۰	۱۰۰	۴۵۰	۱۰۰	۴۵۰	۱۰۰	۴۵۰	۱۰۰	۴۵۰	۱۰۰	۴۵۰
قابلیت ته‌نشینی (حداکثر اختلاف)	۳۰	—	۳۰	—	۲۰	—	۲۰	—	۳۰	—	۳۰	—
[illegible]	۹۰/۵	—	۹۰/۵	—	۸۰/۵	—	۸۰/۵	—	۹۰/۵	—	۹۰/۵	—

معایب و مزایای استفاده از قیر آبه

معایب:

- دفع آب ناشی از شکستن
- حمل بیهوده آب

مزایا:

- ایمنی بیشتر به دلیل عدم نیاز به گرم کردن قیر
- از لحاظ زیست محیطی و اقتصادی مناسب ترین جایگزین برای قیر محلول است

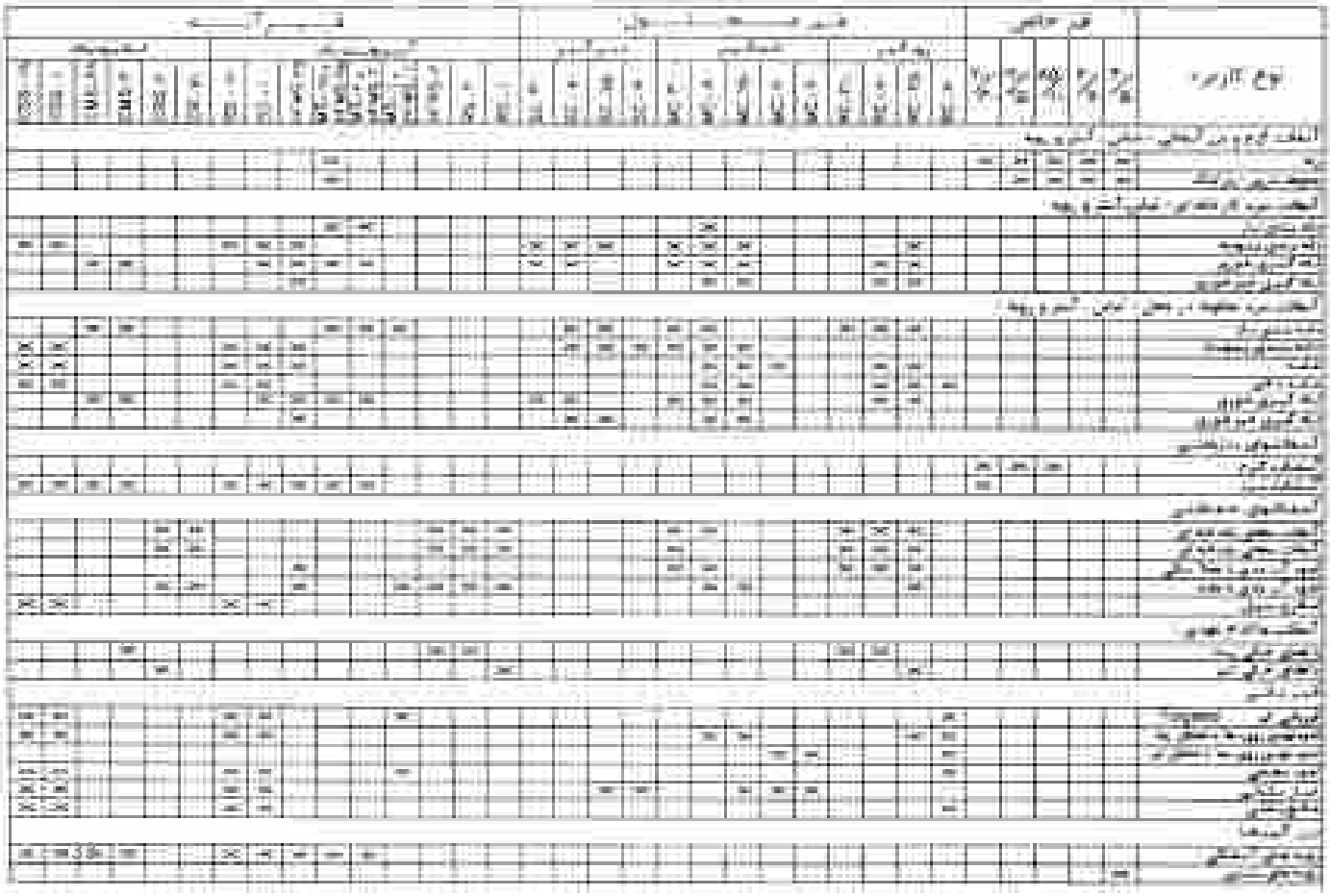
انتخاب نوع قیر

عواملی که در انتخاب نوع قیر نقش دارند عبارتند از:

- شرایط جوی ← هرچه درجه حرارت بالاتر ← ***قیر کندروان تر***
- نوع و شدت تردد وسایل نقلیه ← هرچه تعداد و وزن وسایل نقلیه بیشتر باشد ← ***قیر کندروان تر***
- جنس و دانه بندی مصالح سنگی ← هرچه تخلخل مصالح بیشتر باشد ← ***قیر کندروان تر***
- نوع و نحوه اجرای روسازی

جدول ۵-۹ نشریه ۲۳۴ به عنوان راهنمای کلی انتخاب قیر برای مصارف مختلف به کار می رود.

جدول ٩ : الإحصاء الكلي للمكتب الفني لمراقبة أنواع المكتسب والمعادن الصناعي



گرم کردن قیر

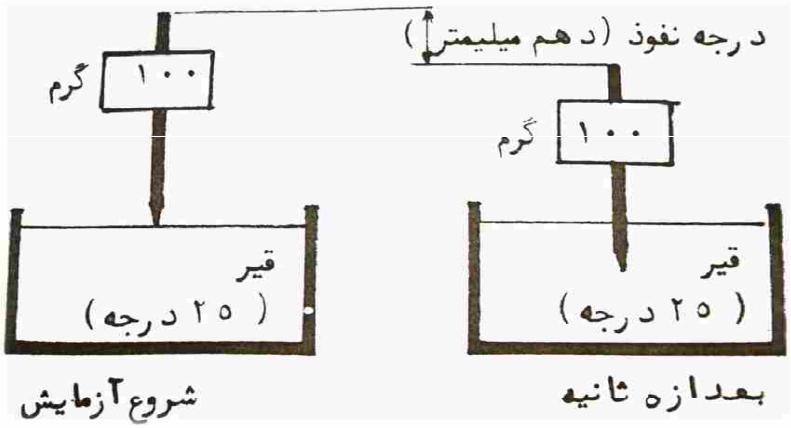
انتخاب درجه حرارت صحیح برای گرم کردن انواع قیر در شرایط مختلف اجرا و مصارف گوناگون با کیفیت و مرغوبیت کار و نکات ایمنی ارتباط مستقیم دارد. راهنمای کلی و عمومی برای انتخاب درجه حرارت مناسب برای قیرهای مختلف در *جدول ۵-۱۰* نشریه ۲۳۴ آمده است.

جدول ۵-۱۰ درجه حرارت راهنما برای گرم‌کردن قیر

نوع قیر	درجه حرارت در واحد مخلوط کننده[۱]		درجه حرارت پخش قیر[۱۰]	
	دانه‌بندی پیوسته	دانه‌بندی باز	آسفالت مخلوط در محل	آسفالت سطحی
قیرهای خالص				
۶۰/۷۰	۱۶۳-۱۷۳	۱۷۷-۱۸۲	—	[۹] ۱۵۰-۱۷۰
۸۰/۱۰۰	۱۵۳-۱۶۳	۱۷۶-۱۸۲	—	[۶] ۱۴۵-۱۶۵
AD/۱۰۰	۱۴۳-۱۵۳	۱۷۶-۱۸۲	—	[۲] ۱۳۰-۱۴۰
۱۵۰/۲۰۰	۱۳۵-۱۴۵	۱۷۶-۱۸۲	—	[۳] ۱۲۰-۱۳۰
۲۰۰/۳۰۰	۱۲۵-۱۳۵	۱۷۶-۱۸۲	—	[۴] ۱۱۰-۱۲۰
قیرابه‌ها				
RS-۱	—		۲۰-۶۰	
RS-۲	—		۵۰-۸۵	
HFRS-۲	—		۵۰-۸۵	
MS-۱	[۲] ۱۰-۶۰		۲۰-۶۰	
MS-۲	[۲] ۱۰-۶۰		—	
MS-۲h	[۲] ۱۰-۶۰		—	
HFMS-۱	[۲] ۱۰-۶۰		۲۰-۶۰	
HFMS-۲	[۲] ۱۰-۶۰		—	
HFMS-۲h	[۲] ۱۰-۶۰		—	
HFMS-۲s	[۲] ۱۰-۶۰		—	
SS-۱	[۲] ۱۰-۶۰		—	
SS-۱h	[۲] ۱۰-۶۰		—	
CRS-۱	—		۵۰-۸۵	
CRS-۲	—		۵۰-۸۵	
CMS-۲	[۲] ۱۰-۶۰		—	
CMS-۲h	[۲] ۱۰-۶۰		—	
CSS-۱	[۲] ۱۰-۶۰		—	
CSS-۱h	[۲] ۱۰-۶۰		—	
قیرهای محلول[۳]				
MC-۳۰	—	—	—	[۷] ۲۰-۶۰
RC-MC-۷۰۰	—	—	[۷] ۲۰-۶۰	[۳] ۵۰-۷۰
RC-MC-۲۵۰	[۳] ۵۵-۶۵	—	[۷] ۲۰-۶۰	[۸] ۷۵-۹۵
RC-MC-۸۰۰	[۳] ۷۵-۱۰۰	—	[۷] ۵۵-۸۰	[۴] ۹۵-۱۱۵
RC-MC-۳۰۰۰	[۳] ۸۰-۱۱۵	—	—	[۴] ۱۰۰-۱۴۰

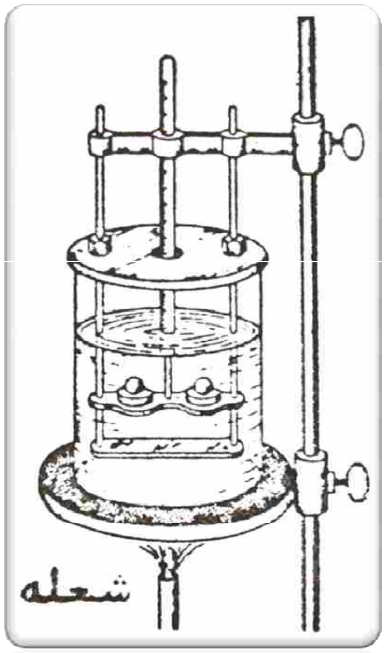
آزمایش های قیر خالص

۱. آزمایش درجه نفوذ: برای تعیین سختی نسبی قیرها



آزمایش های قیر خالص

۲. آزمایش درجه نرمی: برای تعیین *حساسیت قیرها نسبت به تغییر درجه حرارت*



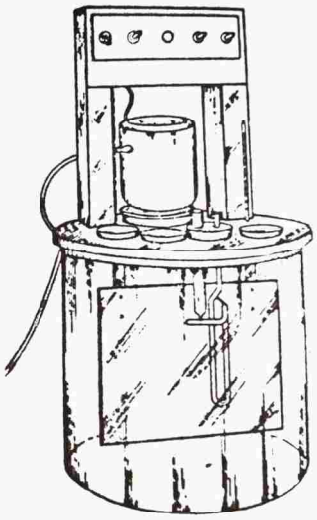
آزمایش های قیر خالص

۲. آزمایش درجه نرمی: برای تعیین *حساسیت قیرها نسبت به تغییر درجه حرارت*

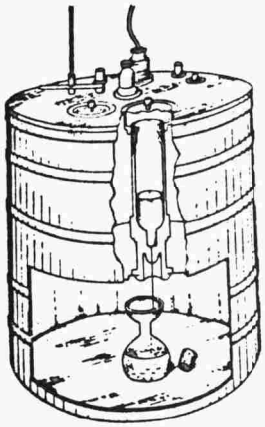
نکته: درجه نفوذ کلیه قیرها در درجه نرمیشان برابر ۸۰۰ است.

آزمایش های قیر خالص

۳. آزمایش کندروانی: برای تعیین *خاصیت روانی قیرها*



وسیله کند روانی سنج کینماتیکی



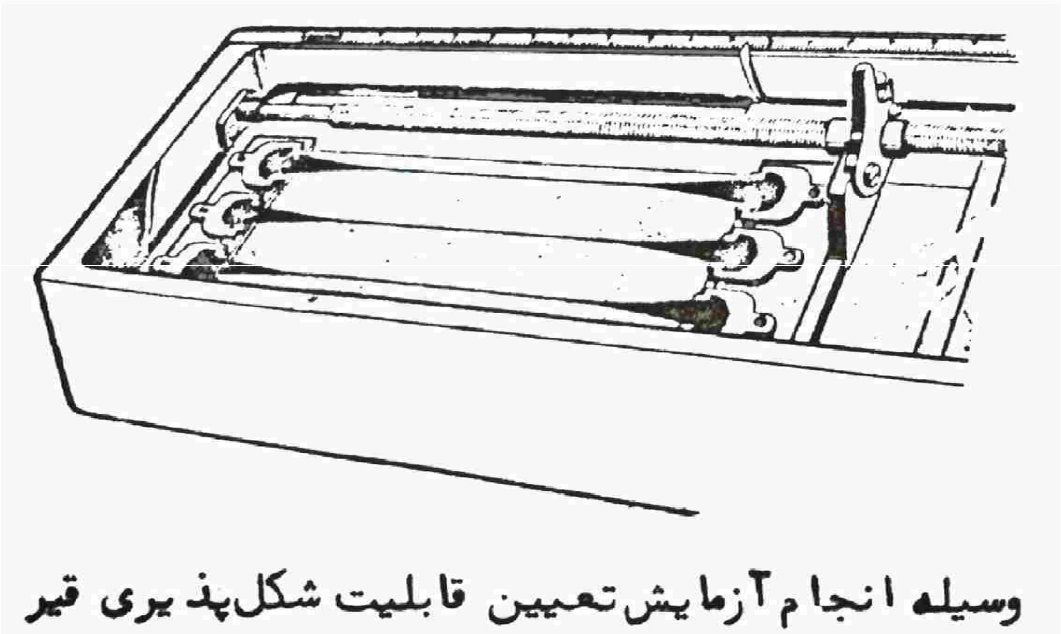
وسیله کند روانی سنج سی بولت فیورول

آزمایش های قیر خالص

۴. آزمایش درجه اشتعال: برای تعیین *درجه اشتعال قیرها*

آزمایش های قیر خالص

۵. آزمایش قابلیت شکل پذیری (خاصیت انگمی): برای تعیین *نشانه ای از چسبندگی قیرها*



وسیله انجام آزمایش تعیین قابلیت شکل‌پذیری قیر

آزمایش های قیر خالص

۶. آزمایش درجه خلوص: برای تعیین *میزان ناخالصی های قیر*

$$\text{درجه خلوص} = \frac{\text{وزن قیر حل شده}}{\text{وزن قیر اولیه}} \times 100$$

آزمایش های قیر خالص

۷. آزمایش افت وزنی: برای تعیین *میزان کاهش وزن قیر در اثر درجه حرارت*

$$\text{درصد افت وزنی قیر} = \frac{\text{وزن قیر اولیه} - \text{وزن قیر نهایی}}{\text{وزن قیر اولیه}} \times 100$$

آزمایش های قیر خالص

۸. آزمایش تعیین چگالی: برای تعیین *چگالی قیرها*

۹. آزمایش لعاب نازک قیر: برای تعیین *نشانه ای از سخت شدن قیر در اثر حرارت*

به نام پروردگار یکتا

روسازی راه

مدرس:

امیرحاجی محمدی ها

فصل ششم

آسفالت

فصل ششم: آسفالت

مصالح سنگی + قیر ⟵ آسفالت

انواع آسفالت

به طور کلی انواع آسفالت ها را می توان به صورت زیر نام برد:

۱. آسفالت گرم (Hot Mix Asphalt)

۲. آسفالت سرد (Cold Asphalt)

۳. آسفالت حفاظتی(Surface Treatment)

بتن آسفالتی گرم

Hot Mix Asphalt

این نوع مصالح که *مرغوب ترین* نوع آسفالت محسوب می شود از یک استخوان بندی مصالح سنگی خوب دانه بندی شده با حداقل فضای خالی که سطح دانه ها توسط قیر، اندود شده و دانه ها به یکدیگر چسبیده اند تشکیل می شود.

کاربرد بتن آسفالتی گرم هیچ محدودیتی نداشته و در هر شرایطی می توان از آن استفاده کرد.

بتن آسفالتی گرم

Hot Mix Asphalt

انواع آسفالت گرم عبارتند از:

۱. آسفالت رویه (Topka)
۲. آسفالت آستر (Binder)
۳. اساس قیری (Black Base)
۴. ماسه آسفالت (Sand Asphalt)

بتن آسفالتی گرم

Hot Mix Asphalt

۱. آسفالت رویه (Topka)

آخرین قشر آسفالتی است که در تماس مستقیم با بارهای وارده ناشی از تردد وسایل نقلیه و عوامل جوی قرار می گیرد.

این لایه معمولا نسبت به قشر آستر و اساس قیری دارای دانه بندی ریزتر و فضای خالی بیشتر و در نتیجه قیر بیشتری است.

حداکثر اندازه اسمی سنگدانه ها در این لایه بین ۹/۵ تا ۱۹/۵میلیمتر است.

بتن آسفالتی گرم

Hot Mix Asphalt

۱. آسفالت رویه (Topka)

برای ازدیاد مقاومت در برابر لغزندگی و هدایت آبهای سطحی می توان از یک قشر آسفالت رویه متخلخل با دانه بندی باز استفاده کرد. ضخامت این قشر حداقل ۲ سانتی متر است که جزء سیستم روسازی محسوب نمی شود. درصورت اجرای این لایه لازم است لایه زیرین /ان نفوذناپذیر باشد.

۲. آسفالت آستر (Binder)

این لایه بین قشر رویه و اساس قرار گرفته و دانه بندی آن از رویه درشت تـر و قیـر آن کمتر است.

حداکثر اندازه اسمی سنگدانه ها در این لایه بین ۱۹تا ۳۷/۵میلیمتر است.

۳. اساس قیری (Black Base)

این لایه می تواند به عنوان اولین لایه آسفالتی بر روی قشر زیراساس قرار گیرد

حداکثر اندازه اسمی سنگدانه ها در این لایه ۵۰ میلیمتر است.

کاربرد: در راه های با تردد وسایل نقلیه زیاد و یا با مقاومت خاک بستر کم و یا مناطق در معرض یخبندان و بارندگی زیاد

۴. ماسه آسفالت (Sand Asphalt)

از اختلاط ماسه شکسته یا معمولی با قیر به دست می آید.

ماسه آسفالت را می توان در قشرهای بـه ضـخامت حـداقل ۱۵ میلیمتـر پخـش و اجـرا کرد.

مزایای بتن آسفالتی گرم Hot Mix Asphalt

بتن آسفالتی گرم دارای مزایای زیر است:

- دوام زیاد
- تولید یکنواخت
- کنترل درجه حرارت و رطوبت مصالح
- بهره برداری سریع برای عبور ترافیک

بتن آسفالتی گرم

Hot Mix Asphalt

مصالح سنگی بتن آسفالتی گرم به سه دسته تقسیم می شوند:

- مصالح درشت دانه ← مانده روی الک #4
- مصالح ریزدانه ← عبوری از الک #4
- فیلر ← عبوری از الک #200

بتن آسفالتی گرم

Hot Mix Asphalt

مصالح سنگی:

مصالح سنگی انواع بتن آسفالتی باید سخت، محکم، با دوام، تمیز، تیز گوشه و عاری از هر گونه مواد آلی باشد.

انواع دانه بندی مصالح بتن آسفالتی گرم شامل *دانه بندی پیوسته، باز و متخلخل* در *جدول های ۹-۱، ۹-۲ و ۹-۳* نشریه ۲۳۴ آمده است.

جدول ۹-۱ دانه‌بندی‌های پیوسته بتن آسفالتی

شماره دانه‌بندی / اندازه الک	درصد وزنی ردشده از هر الک						
	۱ (استاندارد قدیمی)	۲ (استاندارد قدیمی و استاندارد)	۳ (استاندارد قدیمی و استاندارد)	۴ (استاندارد و رویه)	۵ (رویه)	۶[1] (رویه)	۷[2] (رویه)
۵۰ میلیمتر (۲ اینچ)	۱۰۰	–	–	–	–	–	–
۳۷/۵ میلیمتر ($1\frac{1}{2}$ اینچ)	۹۰-۱۰۰	۱۰۰	–	–	–	–	–
۲۵ میلیمتر (۱ اینچ)	–	۹۰-۱۰۰	۱۰۰	–	–	–	–
۱۹ میلیمتر ($\frac{3}{4}$ اینچ)	۵۶-۸۰	–	۹۰-۱۰۰	۱۰۰	–	–	–
۱۲/۵ میلیمتر ($\frac{1}{2}$ اینچ)	–	۵۶-۸۰	–	۹۰-۱۰۰	۱۰۰	–	–
۹ میلیمتر ($\frac{3}{8}$ اینچ)	–	–	۵۶-۸۰	–	۹۰-۱۰۰	۱۰۰	–
۴/۷۵ میلیمتر (شماره ۴)	۲۳-۵۳	۲۹-۵۹	۳۵-۶۵	۲۲-۷۴	۵۵-۸۵	۸۰-۱۰۰	۱۰۰
۲/۳۶ میلیمتر (شماره ۸)	۱۵-۴۱	۱۹-۴۵	۲۳-۴۹	۲۸-۵۸	۳۲-۶۷	۶۵-۱۰۰	۹۵-۱۰۰
۱/۱۸ میلیمتر (شماره ۱۶)	–	–	–	–	–	۴۰-۸۰	۸۵-۱۰۰
۰/۵ میلیمتر (شماره ۳۰)	–	–	–	–	–	۲۵-۶۵	۷۰-۹۵
۰/۳ میلیمتر (شماره ۵۰)	۴-۱۶	۵-۱۷	۵-۱۹	۵-۲۱	۷-۲۳	۷-۴۰	۴۵-۷۵
۰/۱۵ میلیمتر (شماره ۱۰۰)	–	–	–	–	–	۳-۲۰	۲۰-۴۰
۰/۰۷۵ میلیمتر (شماره ۲۰۰)	۰-۶	۱-۷	۴-۸	۴-۱۰	۴-۱۰	۴-۱۰	۹-۲۰

جدول ۹-۲ دانه‌بندیهای باز بتن آسفالتی

اندازه اسمی میلیمتر	درصد وزنی ردشده از هر الک (با سوراخهای چهارگوش)					
	۳۷/۵	۲۵	۱۹	۱۲/۵	۹/۵	۴/۷۵
شماره دانه‌بندی / اندازه الک	۱ اساس قیری	۲ اساس قیری و آستر	۳ اساس قیری و آستر	۴ آستر رویه	۵ رویه	۶ رویه
۵۰ میلیمتر (۲ اینچ)	۱۰۰					
۳۷/۵ میلیمتر (۱½ اینچ)	۹۰-۱۰۰	۱۰۰				
۲۵ میلیمتر (۱ اینچ)	–	۹۰-۱۰۰	۱۰۰			
۱۹ میلیمتر (¾ اینچ)	۴۰-۷۰	–	۹۰-۱۰۰	۱۰۰		
۱۲/۵ میلیمتر (½ اینچ)	–	۴۰-۷۰	–	۸۵-۱۰۰	۱۰۰	
۹/۵ میلیمتر (⅜ اینچ)	۱۸-۴۸	–	۴۰-۷۰	۶۰-۹۰	۸۵-۱۰۰	
۴/۷۵ میلیمتر (شماره ۴)	۶-۲۹	۱۰-۳۴	۱۵-۳۹	۲۰-۵۰	۴۰-۷۰	۱۰۰
۲/۳۶ میلیمتر (شماره ۸)	۰-۱۴	۱-۱۷	۲-۱۸	۵-۲۵	۱۰-۳۵	۷۵-۱۰۰
۱/۱۸ میلیمتر (شماره ۱۶)	–	–	–	۳-۱۹	۵-۲۵	۵۰-۷۵
۰/۶ میلیمتر (شماره ۳۰)	۰-۸	۰-۱۰	۰-۱۰	–	–	۲۸-۵۳
۰/۳ میلیمتر (شماره ۵۰)	–	–	–	۰-۱۰	۰-۱۲	۸-۳۰
۰/۱۵ میلیمتر (شماره ۱۰۰)	–	–	–	–	–	۰-۱۲
۰/۰۷۵ میلیمتر (شماره ۲۰۰)	–	–	–	–	–	۰-۵

جدول ۹-۳ دانه بندی مخلوط آسفالتی متخلخل

شماره دانه‌بندی / اندازه الک	درصد وزنی رد شده از هر الک	
	۱	۲
۱۹ میلیمتر ($\frac{3}{4}$ اینچ)	۱۰۰	—
۱۲/۵ میلیمتر ($\frac{1}{2}$ اینچ)	۹۰-۱۰۰	۱۰۰
۹/۵ میلیمتر ($\frac{3}{8}$ اینچ)	۶۰-۱۰۰	۹۰-۱۰۰
۴/۷۵ میلیمتر (شماره ۴)	۱۵-۴۰	۳۰-۵۰
۲/۳۶ میلیمتر (شماره ۸)	۴-۱۲	۵-۱۵
۰/۰۷۵ میلیمتر (شماره ۲۰۰)	۲-۵	۲-۵

بتن آسفالتی گرم

Hot Mix Asphalt

مصالح سنگی:

دانه بندی مصالح سنگی درشت و ریز باید مطابق جدول ۹-۴ و ۹-۵ نشریه ۲۳۴ باشد.

جدول ۹-۴ دانه‌بندی مصالح سنگی درشت‌دانه مخلوطهای بتن آسفالتی

شماره دانه‌بندی / اندازه الک	درصد وزنی ردشده از هر الک								
	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹
الک ۵۰ مم (۲ اینچ)	۱۰۰	-	-	-	-				
الک ۳۷/۵ مم ($1\frac{1}{2}$ اینچ)	۹۰-۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	-	-				
الک ۲۵ مم (۱ اینچ)	۲۰-۵۵	۹۰-۱۰۰	۹۰-۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	-	-	-
الک ۱۹ مم ($\frac{3}{4}$ اینچ)	۰-۱۵	۲۰-۵۵	-	۹۰-۱۰۰	۹۰-۱۰۰	۹۰-۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	-
الک ۱۲/۵ مم ($\frac{1}{2}$ اینچ)	-	۰-۱۰	۲۵-۶۰	۲۰-۵۵	-	-	۹۰-۱۰۰	۹۰-۱۰۰	۱۰۰
الک ۹/۵ مم ($\frac{3}{8}$ اینچ)	۰-۵	۰-۵	-	۰-۱۵	۲۰-۵۵	۳۰-۶۵	۴۰-۷۰	۴۰-۷۵	۸۵-۱۰۰
۴/۷۵ مم (شماره ۴)	-	-	۰-۱۰	۰-۵	۰-۱۰	۵-۲۵	۰-۱۵	۵-۲۵	۱۰-۳۰
۲/۳۶ مم (شماره ۸)	-	-	۰-۵	-	۰-۵	۰-۱۰	۰-۵	۰-۱۰	۰-۱۰
۱/۱۸ مم (شماره ۱۶)	-	-	-	-	-	۰-۵	-	۰-۵	۰-۵
۰/۳ مم (شماره ۵۰)	-	-	-	-	-	-	-	-	-

جدول ۹-۵ دانه‌بندی مصالح ریزدانه مخلوطهای بتن آسفالتی

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

بتن آسفالتی گرم

Hot Mix Asphalt

فیلر:

درصورتی که از شکستن سنگدانه ها به مقدار کافی فیلر به دست نیاید، فیلـر اضـافی را می توان از پودر سنگ، سیمان و آهک شکفته به دست آورد.

حدود دانه بندی فیلر مورد استفاده در آسفالت بایـد مطـابق جـدول (۹-۶) نشـریه ۲۳۴ باشد.

جدول ۹-۶ دانه‌بندی فیلر

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

بتن آسفالتی گرم

Hot Mix Asphalt

نقش فیلر:

مهمترین نقش فیلر در بتن آسفالتی گرم *افزایش عمر روسازی* و ازدیاد مقاومت آن در برابر تاثیر آب است.

علاوه بر این استفاده از فیلر باعث افزایش قدرت باربری، کاهش تغییرشکل نسبی، افزایش مقاومت در برابر ضربه، افزایش مقاومت برشی و فشاری، افزایش کندروانی و کاهش شکنندگی بتن آسفالتی می شود.

مصرف زیاد فیلر در بتن آسفالتی نیز سبب *کاهش تخلخل*، *افزایش مقاومت در برابر تراکم* و *کاهش استقامت* (به علت کاهش اصطکاک داخلی) مصالح می شود.

بتن آسفالتی گرم

Hot Mix Asphalt

به طور کلی مشخصات مصالح سنگی بتن آسفالتی باید مطابق جدول ۹-۷ نشریه ۲۳۴ باشد.

جدول ۹-۷ مشخصات سنگدانه‌های بتن آسفالتی

شرح	اساس‌قیری	آستر	رویه	روش‌آزمایش AASHTO	روش‌آزمایش ASTM
۱- مصالح درشت دانه					
حداکثرسایش بروش‌لوس‌آنجلس(درصد)	۴۵	۴۰	۳۰	T۹۶	C۱۳۱
حداکثرافت‌وزنی‌باسولفات‌سدیم(درصد)	۱۲	۸	۸	T۱۰۴	C ۸۸
حداکثرجذب‌آب(درصد)	-	۲/۵	۲/۵	T۸۵	C۱۲۷
حداکثرضریب‌لورق‌باروش BS۸۱۴(درصد)	۳۵	۳۰	۲۵	-	-
حداقل‌شکستگی					
دریک‌جبهه‌روی‌الک شماره۴(درصد)	۵۰	-	-	-	D۵۸۲۱
دردوجبهه‌روی‌الک‌شماره۴(درصد)	-	۸۰	۹۰	-	D۵۸۲۱
حداقل‌چسبندگی‌باقیر(درصد)	۹۵	۹۵	۹۵	T۱۸۲	-
۲- مصالح ریزدانه[1]					
حداکثرنشانه‌خمیری PI(درصد)	۴	ع‌خ (۲)	ع‌ع(۲)	T۹۰	D۴۳۱۸
حداکثرافت‌وزنی‌باسولفات‌سدیم(درصد)	۱۵	۱۲	۱۲	T۱۰۴	C۸۸
حداکثرجذب‌آب(درصد)	-	۴/۸	۲/۵	T۸۴	C۱۲۸
حداقل‌ارزش‌ماسه‌ای‌قبل‌ازتغذیه‌بکارخانه‌آسفالت(درصد)	۴۵	۵۰	۵۰	T۱۷۶	D۲۴۱۹
حداکثرمجاز(مصرف‌ماسه‌طبیعی‌نسبت‌بکل‌مصالح‌ریزدانه(درصدوزنی)	۱۰۰	۲۵	صفر	-	-
حد رواداری ضریب نرمی نسبت به پایه[3]	-	±۰/۲۵	±۰/۲۵	M۶	
۳- مخلوط‌مصالح‌درشت،متوسط‌وریزوفیلر					
حداکثرنشانه‌خمیری‌مصالح‌ردشده‌ازالک۲۰۰وفیلر(درصد)	(۲)$_{۴}$	(۲)$_{۴}$	(۲)$_{۴}$	T۹۰	D۴۳۱۸

۱) ماسه شکسته و یا ماسهٔ رودخانه‌ای

۲) ع‌خ = غیرخمیری

۳) ضریب نرمی مصالح ریزدانه : حاصل جمع درصدهای مانده روی الک های ۸/۵، ۴/۷۵، ۲/۳۶، ۱/۱۸، ۰/۶، ۰/۳ و ۰/۱۵ میلیمتر تقسیم بر ۱۰۰

۴) درصورت عدم استفاده از میمان یا آهک شکفته

بتن آسفالتی گرم

Hot Mix Asphalt

قیر:

برای تهیه بتن آسفالتی گرم از *قیر خالص با درجه نفوذهای مختلف* (متناسب با شرایط جوی منطقه و شرایط تردد وسایل نقلیه) استفاده می شود.

قیر خالص مورد استفاده در بتن آسفالتی گرم در *جدول ۹-۸* نشریه **۲۳۴** آمده است.

جدول ۹-۸- راهنمای انتخاب قیرهای خالص

شرایط جوی (متوسط درجه حرارت سالیانه)	درجه نفوذ قیر	
	ترافیک سبک و متوسط	ترافیک سنگین
هوای سرد: کمتر از ۷ درجه سانتیگراد	۱۲۰-۱۵۰	۸۵-۱۰۰
هوای گرم: بین ۷ تا ۲۴ درجه سانتیگراد	۸۵-۱۰۰	۶۰-۷۰
هوای خیلی گرم بیش از ۲۴ درجه سانتیگراد	۶۰-۷۰	۴۰-۵۰

بتن آسفالتی گرم

Hot Mix Asphalt

قیر نباید با شعله مستقیم گرم شود

شعله مستقیم موجب سوخته شدن موضعی قیر و در نتیجه *کاهش خواص چسبندگی* آن می شود.

در صورت اجبار به اعمال شعله باید بین شعله و جدار تانکر از *آجر نسوز* استفاده شود.

درجه حرارت قیرهای خالص در مخازن و لوله ها و هنگام اختلاط با سنگدانه ها در مخلوط کن کارخانه آسفالت باید به گونه ای تنظیم شود که درجه حرارت آسفالت، با دانه بندی پیوسته که از کارخانه به کامیون تخلیه می شود هیچگاه از ۱۶۳ درجه سانتی گراد تجاوز ننماید و در عین حال درجه حرارت قیر کمتر از ۱۷۶ درجه سانتی گراد باشد.

بتن آسفالتی گرم

Hot Mix Asphalt

تاثیر میزان قیر مصرفی

قیر بیش از حد:

۱. افزایش ضخامت اندود قیری دور دانه ها ← عدم اتکاء سنگدانه ها به یکدیگر ← ایجاد تغییر شکل در آسفالت

۲. کاهش زاویه اصطکاک داخلی ← کاهش مقاومت فشاری ← ایجاد موج در آسفالت

۳. پر شدن تمام فضاهای خالی با قیر ← رو زدن قیر

تاثیر میزان قیر مصرفی

قیر کم:

مصالح سنگی به اندازه کافی با قیر اندود نشده و چسبندگی لازم ایجاد نمی شود و نفوذ ناپذیری آسفالت تامین نمی گردد.

قیر بهینه:

چسبندگی و نفوذ ناپذیری تامین شده و استقامت آسفالت افزایش می یابد.

بتن آسفالتی گرم

Hot Mix Asphalt

تعیین مقدار قیر بهینه

از آن جایی که مقدار قیر بهینه در بتن آسفالتی گرم تابع مشخصات و دانه بندی مصالح سنگی است، بنابراین مقدار آن با استفاده از *آزمایش استقامت مارشال* به دست می آید.

حداکثر نیروی لازم برای گسیخته شدن نمونه بتن آسفالتی بر حسب کیلوگرم را *استقامت مارشال (Stability)* می نامند.

میزان تغییر شکل قطری نمونه بتن آسفالتی در لحظه گسیختگی بر حسب میلیمتر را *روانی (Flow)* می گویند.

بتن آسفالتی گرم

Hot Mix Asphalt

طرح اختلاط بتن آسفالتی گرم (HMA)

هدف از طرح مخلوطهای بتن آسفالتی، انتخاب مناسب ترین و باصرفه ترین مخلوط سنگدانه و قیر است که ویژگی های زیر را تامین کند:

۱. دارای مقدار قیر کافی باشد که دوام آسفالت را تامین کند.
۲. استحکام مخلوط به قدری باشد که بارهای وارده ناشی از ترافیک سنگین را بدون تغییر شکل تحمل کند.
۳. دارای مقدار کافی فضای خالی در آسفالت کوبیده شده باشد تا در اثر تراکم حاصل از عبور ترافیک سنگین که اوج شدت آن در اولین تابستان پس از اجرا است قیرزدگی و یا افت مقاومت پیدا نکند.

بتن آسفالتی گرم

Hot Mix Asphalt

طرح اختلاط بتن آسفالتی گرم (HMA)

هدف از طرح مخلوطهای بتن آسفالتی، انتخاب مناسب ترین و باصرفه ترین مخلوط سنگدانه و قیر است که ویژگی های زیر را تامین کند:

۴. میزان حداکثر فضای خالی مجاز محدود باشد تا موجب نفوذ آب و هوای بیش از حد به جسم آسفالت نگردد.

۵. دارای کارایی کافی باشد به طوری که به آسانی پخش و کوبیده شده و سبب جدا شدن مصالح از یکدیگر و یا کمبود مقاومت نگردد.

۶. آسفالت های قشر رویه دارای چنان مصالحی باشد که بافت سطحی آسفالت و سختی دانه ها، ضریب اصطکاک کافی را در شرایط نامناسب جوی فراهم نماید.

بتن آسفالتی گرم

Hot Mix Asphalt

روشهای طرح اختلاط بتن آسفالتی گرم (HMA)

در طرح مخلوطهای بتن آسفالتی گرم روشهای استاندارد شده زیر کاربرد دارد:

۱. *روش مارشال (ASTM D 1559):* که برای سنگدانه های با حداکثر اندازه اسمی ۲۵ میلیمتر و دانه بندی متراکم و پیوسته کاربرد دارد.

۲. *روش اصلاح شده مارشال (ASTM D 5581):* که برای سنگدانه های با حداکثر اندازه اسمی ۵۰ میلیمتر و با قالب های ۲۵ سانتی متری کاربرد دارد.

۳. *روش ویم (ASTM D 1560):* که برای سنگدانه های با حداکثر اندازه اسمی ۲۵ میلیمتر به منظور تهیه طرح و کنترل عملیات کاربرد دارد.

٤. *روش شارپ (SHRP):* که توسط آشتو به صورت موقت ارائه گردیده است.

بتن آسفالتی گرم

Hot Mix Asphalt

مشخصات فنی مخلوطهای بتن آسفالتی گرم (HMA)

مشخصات فنی مخلوطهای بتن آسفالتی گرم باید مطابق شرایط زیر باشد:

۱. *دانه بندی*

دانه بندی مخلوطهای بتن آسفالتی گرم باید مطابق جداول ۹-۱، ۹-۲ و ۹-۳ نشریه ۲۳۴ باشد.

مشخصات فنی مخلوطهای بتن آسفالتی گرم (HMA)

مشخصات فنی مخلوطهای بتن آسفالتی گرم باید مطابق شرایط زیر باشد:

۲. *مشخصات فیزیکی و مقاومتی*

مشخصات فیزیکی و مقاومتی مخلوطهایی که با استفاده از روش مارشال (ASTM D 1559) طرح شده باشند، باید مطابق جدول ۹-۹ نشریه ۲۳۴ باشد.

جدول ۹-۹ مشخصات فیزیکی و مقاومتی مخلوط های آسفالتی گرم با روش مارشال ۱۵۵۹ D ای‌اس‌تی‌ام

شرح	ترافیک سنگین $EAL \geq 10^6$ (۱)		ترافیک متوسط $10^4 < EAL < 10^6$		ترافیک کم $EAL \leq 10^4$	
	حداقل	حداکثر	حداقل	حداکثر	حداقل	حداکثر
۱-تعدادضربه‌ها دردوطرف نمونه	۷۵	۷۵	۵۰	۵۰	۳۵	۳۵
۲- مقاومت مخلوط برحسب کیلوگرم	۸۰۰	-	۵۵۰	-	۳۵۰	-
۳- روانی برحسب میلیمتر	۲	۳/۵	۲	۴	۲	۴/۵
۴- درصدفضای‌خالی‌آسفالت‌قشررویه	۳	۵	۳	۵	۳	۵
۵- درصد فضای خالی آسفالت آستر	۳	۶	۳	۶	۳	۶
۶- درصدفضای خالی اساس آسفالتی	۳	۸	۳	۸	۳	۸
۷- درصدفضای خالی پرشده با قیر	۶۵	۷۵	۶۵	۷۸	۷۰	۸۰
۸- فضای خالی سنگدانه‌ها (VMA)	به جدول ۹-۱۱ مراجعه شود					

۱) مجموع محورهای استاندارد در دوره طرح

مشخصات فنی مخلوطهای بتن آسفالتی گرم (HMA)

مشخصات فنی مخلوطهای بتن آسفالتی گرم باید مطابق شرایط زیر باشد:

۳. *فضای خالی مصالح سنگی*

فضای خالی مصالح سنگی مخلوطهای آسفالتی باید مطابق جدول ۹-۱۱ نشریه ۲۳۴ باشد.

جدول ۹-۱۱ فضای خالی مصالح سنگی

حداکثر اندازه اسمی مصالح	درصد فضای خالی مصالح سنگی برای فضای خالی آسفالت با مقادیر:		
	۳ درصد	۴ درصد	۵ درصد
الک ۶۳ میلیمتر (۲ $\frac{۱}{۲}$ اینچ)	۹	۱۰	۱۱
الک ۵۰ میلیمتر (۲ اینچ)	۹/۵	۱۰/۵	۱۱/۵
الک ۳۷/۵ میلیمتر (۱ $\frac{۱}{۲}$ اینچ)	۱۰	۱۱	۱۲
الک ۲۵ میلیمتر (۱ اینچ)	۱۱	۱۲	۱۳
الک ۱۹ میلیمتر ($\frac{۳}{۴}$ اینچ)	۱۲	۱۳	۱۴
الک ۱۲/۵ میلیمتر ($\frac{۱}{۲}$ اینچ)	۱۳	۱۴	۱۵
الک ۹/۵ میلیمتر ($\frac{۳}{۸}$ میلیمتر)	۱۴	۱۵	۱۶
الک ۴/۷۵ میلیمتر (الک شماره ۴)	۱۶	۱۷	۱۸
الک ۲/۳۶ میلیمتر (الک شماره ۸)	۱۹	۲۰	۲۱
الک ۱/۱۸ میلیمتر (الک شماره ۱۶)	۲۱/۵	۲۲/۵	۲۳/۵

بتن آسفالتی گرم

Hot Mix Asphalt

مشخصات فنی مخلوطهای بتن آسفالتی گرم (HMA)

مشخصات فنی مخلوطهای بتن آسفالتی گرم باید مطابق شرایط زیر باشد:

۶. *درجه حرارت آسفالت گرم*

درجه حرارت مخلوطهای آسفالتی گرم با قیر خالص دارای دانه بندی مطابق جدول ۹-۱ (متراکم و پیوسته) و یا دانه بندی باز (جدولهای ۹-۲ و ۹-۳)، نباید خارج از محدوده زیر باشند:

- دانه بندی متراکم و پیوسته 120~163˚C
- دانه بندی باز 105~127˚C

بتن آسفالتی گرم

Hot Mix Asphalt

طرح اختلاط بتن آسفالتی گرم (HMA)

طرح اختلاط بتن آسفالتی گرم شامل مراحل زیر است:

۱. انتخاب مصالح سنگی درشت، ریز و فیلر

۲. انتخاب حدود دانه بندی مطلوب

۳. تعیین نسبت درصدهایی که مصالح درشت، ریز و فیلر باید با هم ترکیب شوند.

۴. تعیین چگالی مصالح سنگی درشت، ریز، فیلر و همچنین چگالی قیر

۵. برآورد درصد قیر تقریبی

$$P_{b(estimate)} = 0.05\ A + 1.0\ B + 0.5\ C$$

بتن آسفالتی گرم

Hot Mix Asphalt

طرح اختلاط بتن آسفالتی گرم (HMA)

طرح اختلاط بتن آسفالتی گرم شامل مراحل زیر است:

۶. تهیه نمونه های بتن آسفالتی با استفاده از مصالح سنگی و درصدهای مختلف قیر برآورد شده
۷. تعیین چگالی نمونه های بتن آسفالتی تهیه شده
۸. انجام آزمایش استقامت مارشال بر روی هر یک از نمونه ها
۹. محاسبه درصد فضای خالی مصالح سنگی و درصد فضای خالی نمونه های بتن آسفالتی

بتن آسفالتی گرم

Hot Mix Asphalt

طرح اختلاط بتن آسفالتی گرم (HMA)

طرح اختلاط بتن آسفالتی گرم شامل مراحل زیر است:

۱۰. ترسیم نمودارهای وزن مخصوص بتن آسفالتی، استقامت مارشال (Stability)، درصد فضای خالی بتن آسفالتی (Air Voids)، درصد فضای خالی مصالح سنگی پر شده با قیر (VFA)[1]، درصد فضای خالی مصالح سنگی (VMA)[2] و روانی بتن آسفالتی (Flow) به ازای درصدهای مختلف قیر مصرفی

۱۱. تعیین درصد قیر بهینه با توجه به نمودارهای فوق

۱۲. کنترل و تصحیح درصد قیر بهینه

1: Voids Filled With Asphalt (VFA)

2: Voids In Mineral Aggregate (VMA)

بتن آسفالتی گرم

Hot Mix Asphalt

تهیه بتن آسفالتی گرم (HMA)

پس از تهیه سنگدانه های شکسته و دانه بندی شده، فیلر و قیر، اقدام به تهیه آسفالت گرم در کارخانه می شود.

به طور کلی کارخانه آسفالت گرم باید با مشخصات *M-156 (AASHTO)* آشتو و *D 995 (ASTM)* مطابقت داشته باشد.

بتن آسفالتی گرم

Hot Mix Asphalt

زمان اختلاط

مدت زمان اختلاط سنگدانه ها، قیر و فیلر بستگی به مدل و ظرفیت کارخانه، نوع مصالح و دانه بندی آنها داشته و معمولا در کاتالوگ کارخانه سازنده مشخص می شود.

بتن آسفالتی گرم

Hot Mix Asphalt

درجه حرارت اختلاط

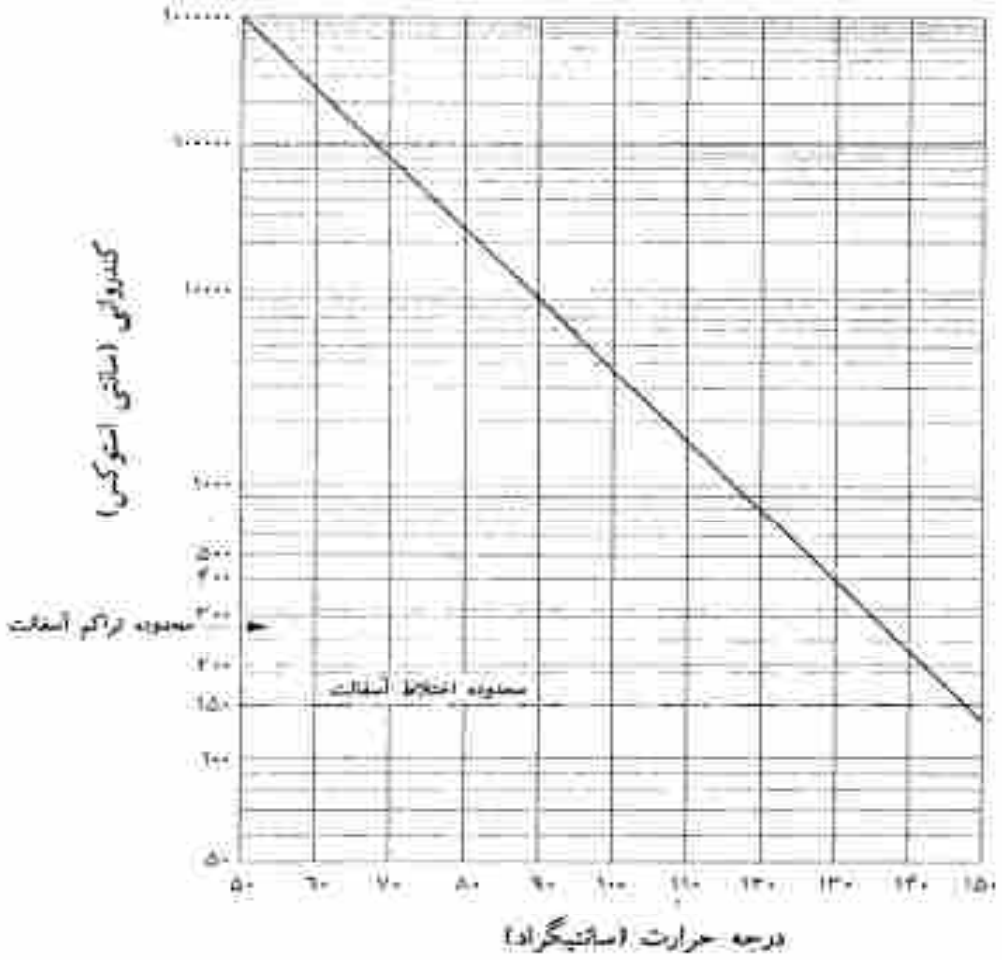
هنگام تهیه و پخش آسفالت، کندروانی قیر باید به گونه ای باشد که مصالح بـه خـوبی با قیر پوشیده شده و قابل پخش باشند.

چنانچه کندروانی قیر در هنگام اختلاط زیاد باشد مصالح بـه خـوبی پوشـش نخواهنـد شد و در صورتی که کندروانی کم باشد هنگام حمل از کارخانه تا محل مصرف، قیـر از سنگدانه ها جدا می شود.

به منظور حصول پوشش مناسب و جدانشدن قیر از سنگدانه ها، لازم اسـت کنـدروانی قیر در هنگام تهیه و حمل و نقل آسفالت حدود *170±20 سانتی استوکس* باشد.

درجه حرارت اختلاط

برای تعیین درجه حرارتی که قیر به این کندروانی می رسد، لازم است نمودار تغییرات کندروانی قیر را در برابر درجه حرارت ترسیم نمود. شکل ۹-۱ *نشریه ۲۳۴* این نمـودار را برای یک نمونه قیر نشان می دهد.



شکل ۹-۱ نمودار تغییرات کندروانی قیر برحسب حرارت و محدوده‌های کندروانی آن در زمان تهیه آسفالت و تراکم آن

بتن آسفالتی گرم

Hot Mix Asphalt

حمل آسفالت گرم

چنانچه در طی حمل آسفالت، درجه حرارت آن *بیش از ۱۰ درجه سانتی گراد* افت کند، کامیون حامل آسفالت باید با برزنت پوشانده شود.

حداکثر زمان حمل آسفالت *۴۵ دقیقه* و حداکثر فاصله حمل با کامیون *۷۰ کیلومتر* (هر کدام کمتر بود) است.

بتن آسفالتی گرم

Hot Mix Asphalt

پخش آسفالت گرم

درجه حرارت آسفالت تخلیه شده در فینیشر برای دانه بندی های پیوسته نباید از *۱۲۰ درجه سانتی گراد* کمتر باشد.

ضخامت آسفالت پخش شده معمولا بین *۱/۲ تا ۱/۳* برابر ضخامت کوبیده شده است.

بتن آسفالتی گرم

Hot Mix Asphalt

پخش آسفالت گرم

در صورتی که آسفالت در بیش از یک خط و بیش از یک قشر پخش شود، رعایت نکات زیر الزامی است:

۱. اجرای خطوط آسفالت مجاور هم در یک روز و عدم پخش یک خط عبور در طول زیاد

۲. تراکم ویژه در طرفین کناری راه

درجه حرارت هوا هنگام پخش

حداقل درجه حرارت هوا برای پخش آسفالت، به شرطی کـه هـوا رو بـه گرمـی رود، *۱۰ درجه سانتی گراد* است.

بتن آسفالتی گرم

Hot Mix Asphalt

متراکم کردن آسفالت

میزان تراکم لایه های اساس آسفالتی، آستر و رویه (توپکا) حداقل ۹۷ درصد وزن مخصوص نمونه های آزمایشگاهی مارشال، یا ۹۲ درصد وزن مخصوص ظاهری آسفالت به روش T209 آشتو است.

بتن آسفالتی گرم

Hot Mix Asphalt

متراکم کردن آسفالت

برای تراکم آسفالت پخش شده از سه مرحله استفاده می شود:

مرحله اول: استفاده از غلطک چرخ فولادی تاندم برای رساندن درصد تراکم به حدود نهایی. دمای آسفالت در این مرحله نباید کمتر از ۱۲۰ درجه سانتی گراد باشد.

مرحله اول: استفاده از غلطک چرخ لاستیکی برای افزایش درصد تراکم.

مرحله اول: استفاده از غلطک چرخ فولادی تاندم برای اطوکشی و ایجاد سطحی صاف و هموار. دمای آسفالت در این مرحله نباید کمتر از ۷۰ درجه سانتی گراد باشد.

به نام پروردگار یکتا

روسازی راه

مدرس:

امیرحاجی محمدی ها

انواع آسفالت

به طور کلی انواع آسفالت ها را می توان به صورت زیر نام برد:

۱. آسفالت گرم (Hot Mix Asphalt)

۲. آسفالت سرد (Cold Asphalt)

۳. آسفالت حفاظتی(Surface Treatment)

بتن آسفالتی سرد

Cold Asphalt

آسفالت سرد از اختلاط *سنگدانه* با *قیرهای محلول* یا *قیرآبه* در *دمای محیط* تهیه، پخش و متراکم می شود.

آسفالت سرد را می توان در مسافت های زیاد حمل و سپس پخش کرد و یا آنرا در کارگاه انبار و بعدا مورد استفاده قرار داد.

دامنه کاربرد:

این نوع آسفالت را می توان در قشرهای *رویه*، *آستر و اساس قیری* برای *ترافیک سبک و متوسط* و همچنین در قشر *اساس آسفالتی* برای *ترافیک سنگین* مورد استفاده قرار داد.

بتن آسفالتی سرد

Cold Asphalt

انواع آسفالت سرد عبارتند از:

۱. آسفالت سرد کارخانه ای
۲. آسفالت سرد مخلوط در محل

الف- سنگدانه ها در کنار و امتداد راه ریسه شده و روی آن قیرپاشی می شود و سپس عمل اختلاط و پخش با گریدر انجام می گیرد.

ب- اختلاط قیر و سنگدانه در کارگاه انجام شده و برای پخش به محل اجرا حمل می شود.

بتن آسفالتی سرد

Cold Asphalt

سنگدانه ها:

سنگدانه ها در آسفالت سرد را می توان از اختلاط مصالح درشت دانه حاصل از شکستن سنگ و شن رودخانه ای یا ماسه شکسته و در صورت لزوم فیلر تهیه کرد.

مخلوط مصالح مصرفی باید با مشخصات مندرج در *جدول ۸-۱ نشریه ۲۳۴* مطابقت داشته باشد.

جدول ۸-۱ مشخصات سنگدانه‌ها برای استفاده در آسفالت سرد

آزمایش	مشخصات	روش آزمایش		
		آشتو	ای اِس تی اِم	بی اِس
مقاومت سایشی با آزمایش لوس‌آنجلس - حداکثر	۴۰ درصد	T ۹۶	C ۱۳۱	-
افت وزنی با سولفات سدیم - حداکثر	۱۲ درصد	T ۱۰۴	C ۸۸	-
افت وزنی با سولفات منیزیم - حداکثر	۱۸ درصد	T ۱۰۴	C ۸۸	-
ارزش ماسه‌ای - حداقل	۳۵ درصد	T ۱۷۶	D ۲۴۱۹	-
نشانه خمیری - حداکثر	۴ درصد	T ۹۰	D ۴۳۱۸	-
شکستگی یک جبهه سنگدانه‌های مانده روی الک شماره ۴ یا ۴/۷۵ میلیمتر - حداقل	۶۵ درصد	-	-	-
ضریب تورق - حداکثر	۳۵ درصد	-	-	۸۱۲
جرم واحد حجم سنگدانه‌های سرباره کوره آهن‌گدازی - حداقل	۱۱۲۰ kg/m^3	T ۱۹	C ۲۹	-

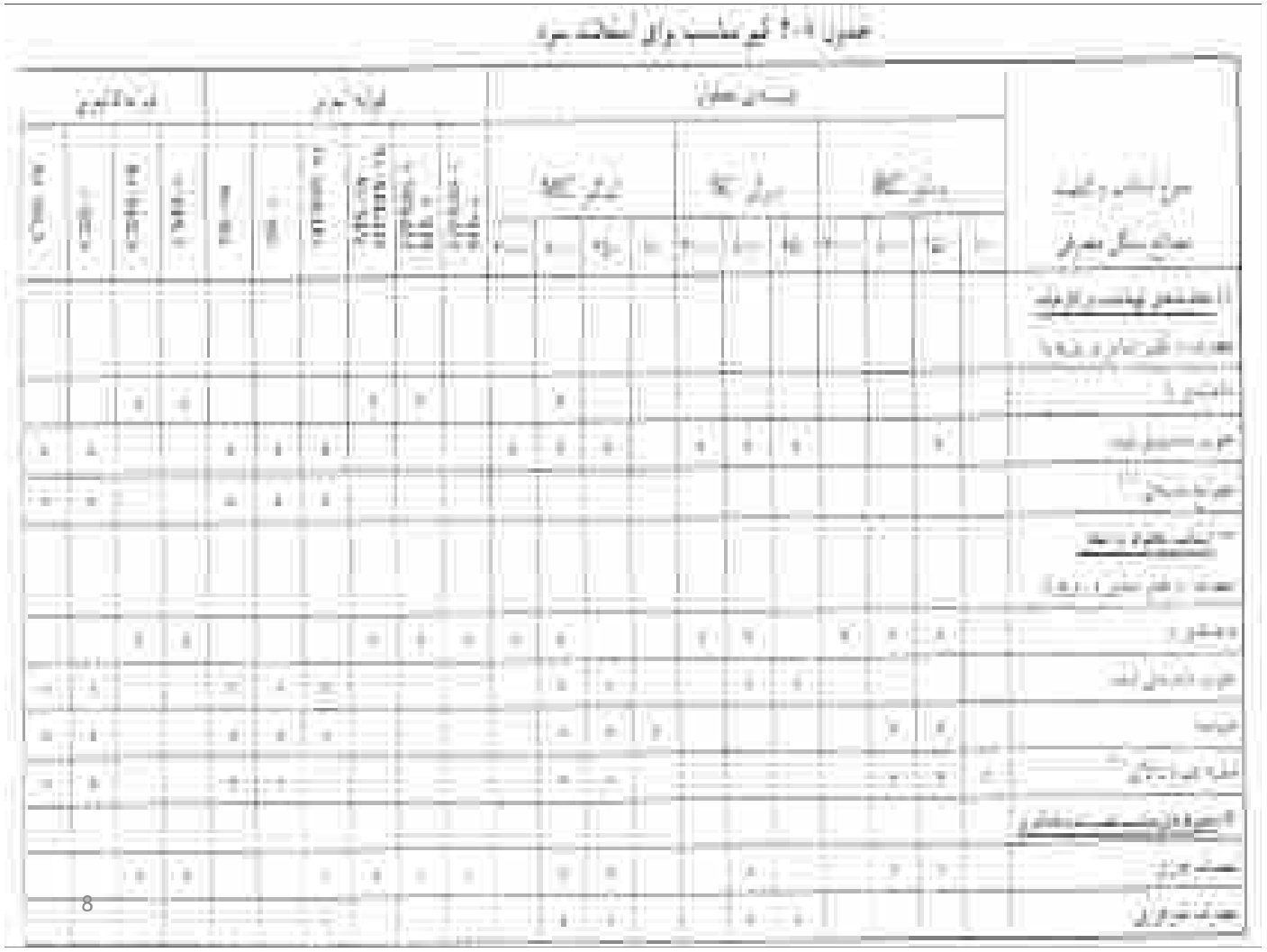
بتن آسفالتی سرد

Cold Asphalt

انتخاب قیر:

قیرهای مصرفی در آسفالت سرد با توجه به نوع آسفالت سرد (کارخانه ای یا مخلوط در محل)، دانه بندی مصالح، شرایط منطقه، عمر طراحی و مدت زمان انبارداری قبل از مصرف انتخاب می شود.

برای انتخاب قیرهای محلول و قیرآبه می توان از *جدول ۸-۲ نشریه ۲۳۴* به عنوان راهنما استفاده کرد.



جدول ٥-٨ كم مكتب والأسئلة بعد

بتن آسفالتی سرد

Cold Asphalt

طرح اختلاط آسفالت سرد:

طرح اختلاط آسفالت سرد به دو روش انجام می شود:

۱. استفاده از روابط تجربی
۲. طرح اختلاط آزمایشگاهی

بتن آسفالتی سرد

Cold Asphalt

طرح اختلاط آسفالت سرد با استفاده از روابط تجربی:

درصد قیرآبه:

درصد وزنی قیرآبه برای مصالح با دانه بندی پیوسته و متراکم را می توان با استفاده از رابطه تجربی زیر محاسبه کرد:

$$P = (0.05\ A + 0.1\ B + 0.5\ C) \times 0.7$$

P: درصد وزنی قیرآبه بر حسب وزن مصالح سنگی خشک

A: درصد وزنی مصالح سنگی مانده روی الک ۲/۳۶ میلی متر(#8)

B: درصد وزنی مصالح سنگی عبوری از الک ۲/۳۶ میلی متر(#8) و مانده روی الک #200

C: درصد وزنی مصالح سنگی عبوری از الک #200

بتن آسفالتی سرد

Cold Asphalt

طرح اختلاط آسفالت سرد با استفاده از روابط تجربی:

درصد قیر محلول:

درصد وزنی قیر محلول برای مصالح با دانه بندی پیوسته و متراکم را می توان با استفاده از رابطه تجربی زیر محاسبه کرد:

$$P = (0.02\ A + 0.07\ B + 0.15\ C + 0.2\ D)$$

P: درصد وزنی قیر محلول بر حسب وزن مصالح سنگی خشک

A: درصد وزنی مصالح سنگی مانده روی الک #50

B: درصد وزنی مصالح سنگی عبوری از الک #50 و مانده روی الک #100

B: درصد وزنی مصالح سنگی عبوری از الک #100 و مانده روی الک #200

C: درصد وزنی مصالح سنگی عبوری از الک #200

بتن آسفالتی سرد

Cold Asphalt

طرح اختلاط آسفالت سرد به روش آزمایشگاهی:

قیرمحلول:

طرح اختلاط برای قیرهای محلول به روش *مارشال D1559* انجام می شود.

قیرآبه:

طرح اختلاط برای قیرآبه به یکی از دو روش زیر انجام می شود:

۱. روش ویم (Hveem) مطابق استاندارد *ASTM D1560*
۲. روش اصلاح شده مارشال مطابق *AI MS-14*

بتن آسفالتی سرد

Cold Asphalt

اجرای آسفالت سرد:

اجرای آسفالت سرد شامل مراحل زیر است:

۱. آماده کردن سطح راه

۲. تهیه و پخش مصالح سنگی

۳. *تهیه و پخش قیر*

۴. *مخلوط کردن مصالح سنگی و قیر*

۵. *هوادادن مخلوط* ←

۶. *متراکم کردن مخلوط*

مخلوط حاصل برای مدتی به حال خود رها می شود تا اینکه بیش از ۵۰ درصد روغن های حلال قیرهای محلول تبخیر شده و یا درصد رطوبت مصالح در صورت استفاده از قیرآبه به کمتر از ۲ درصد کاهش یابد.

بتن آسفالتی سرد

Cold Asphalt

محدودیت های اجرای آسفالت سرد:

۱. پخش قیر روی مصالح و عملیات اختلاط، در آسفالت مخلوط در محل نباید در دمای کمتر از ۱۰ *درجه سانتی گراد* انجام شود.

۲. چنانچه از قیر محلول استفاده شود، رطوبت مصالح سنگی نباید بیشتر از ۳ *درصد* باشد.

آسفالت حفاظتی

Surface Treatment

نوعی رویه سازی آسفالتی است که در سطح راه های شنی یا آسفالتی اجرا می شود.

- ضخامت این آسفالت کمتر از ۲۵ میلی متر است
- این لایه باربر نبوده و عملکرد سازه ای ندارد
- قیر مصرفی: قیر محلول، قیرآبه و قیر خالص با کندروانی کم

دامنه کاربرد:

کاربرد این آسفالت برای میزان تردد سبک و متوسط محدود می گردد.

آسفالتی حفاظتی

Surface Treatment

هدف از اجرای این لایه:

- غیر قابل نفوذ کردن بستر راه
- جلوگیری از ایجاد گرد و غبار
- افزایش مقاومت سایشی و لغزشی راه
- به سازی موقت رویه های آسفالتی

آسفالت حفاظتی

Surface Treatment

افزایش مقاومت سایشی:

اجرای آسفالت حفاظتی، مقاومت سایشی راه های شنی را افزایش می دهد و از کاهش ضخامت رویه شنی و جدا شدن سنگدانه های ریز و درشت آن از بستر راه جلوگیری می کند.

افزایش مقاومت لغزشی:

سطوح آسفالتی قیر زده و لغزنده به علت فقدان مقاومت لغزشی به ویژه در هنگام بارندگی، حوادث زیادی ایجاد می کند. اجرای آسفالت سطحی در این راه ها موجب افزایش مقاومت لغزندگی و افزایش ایمنی می شود.

آسفالت حفاظتی

Surface Treatment

انواع آسفالت حفاظتی را می توان به صورت زیر تقسیم کرد:

۱. آسفالت سطحی Asphalt Surface Treatment

۲. اندود آب بندی Seal Coat

۳. مخلوط آسفالت متخلخل Open Grade Asphalt

۴. غبار نشانی Dust Laying

۵. روغن پاشی Road Oiling

آسفالت حفاظتی

Surface Treatment

آسفالت سطحی (Asphalt Surface Treatment):

پخش قیر رو یسطح آماده شده شنی راه که بلافاصله روی آن سنگدانه های شکسته و تمیز و با دانه بندی معین پخش گردد، آسفالت سطحی یک لایه ای و در صورتی که دو یا سه بار اجرا شود، آسفالت سطحی چند لایه ای نامیده می شود.

ضخامت لایه آسفالت سطحی یک لایه ای کم بوده و معادل *حداکثر اندازه اسمی* ذرات است.

قیر مصرفی: قیر خالص با درجه نفوذ بالا، قیر محلول و قیرآبه، مطابق *جدول ۷-۱ نشریه ۲۳۴*.

جدول ۷-۱ قیرهای مورد استفاده در آسفالت‌های سطحی یک یا چندلایه‌ای

انواع قیر		
قیرهای خالص	قیرهای محلول	قیرابه‌ها
	قیرهای زودگیر	آنیونیک
	RC-۲۵۰	RS-۱
۱۲۰-۱۵۰	RC-۸۰۰	RS-۲
۲۰۰-۳۰۰ (۱)	RC-۳۰۰۰	HFRS-۲
		MS-۱
		HFMS-۱
		HFMS-۲s
	قیرهای کندگیر	کاتیونیک
	MC-۸۰۰	CRS-۱
	MC-۳۰۰	CRS-۲

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

آسفالت حفاظتی

Surface Treatment

هدف از اجرای آسفالت سطحی:

- محافظت در برابر عوامل جوی
- جلوگیری از ایجاد گرد و غبار
- افزایش قدرت باربری (در مورد آسفالت سطحی چند لایه ای)

دانه بندی مصالح آسفالت سطحی باید مطابق *جداول ۷-۳، ۷-۴ و ۷-۵ نشریه ۲۳۴* باشد.

جدول ۷-۳ دانه‌بندی‌های یک اندازه مصالح آسفالت سطحی

اندازه الک	درصد مواد عبور کرده از الک		
	دانه‌بندی الف	دانه‌بندی ب	دانه‌بندی ج
۲۵ میلیمتر (۱ اینچ)	۱۰۰		
۱۹ میلیمتر ($\frac{۳}{۴}$ اینچ)	۸۵-۱۰۰	۱۰۰	
۱۲/۵ میلیمتر ($\frac{۱}{۲}$ اینچ)	۰-۲۰	۸۵-۱۰۰	۱۰۰
۹/۵ میلیمتر ($\frac{۳}{۸}$ اینچ)	۰-۷	۰-۳۰	۸۵-۱۰۰
الک شماره ۳ (۵/۶ میلیمتر)	–	۰-۷	۰-۲۵
الک شماره ۴ (۴/۷۵ میلیمتر)	–	–	۰-۱۰
الک شماره ۸ (۲/۳۶ میلیمتر)	۰-۱	۰-۱	۰-۱
الک شماره ۲۰۰ (۰/۰۷۵ میلیمتر)	۰-۰/۵	۰-۰/۵	۰-۰/۵

جدول ۷-۴ دانه‌بندی‌های باز مصالح آسفالت سطحی

حداکثر اندازه اسمی مصالح	۲۵ میلیمتر	۱۹ میلیمتر	۱۲/۵ میلیمتر	۹/۵ میلیمتر	۴/۷۵ میلیمتر
شماره دانه‌بندی	۱	۲	۳	۴	۵
اندازه الک‌ها	درصد مواد عبور کرده از الک				
۳۷/۵ میلیمتر (۱ ۱/۲ اینچ)	۱۰۰				
۲۵ میلیمتر (۱ اینچ)	۹۰-۱۰۰	۱۰۰			
۱۹ میلیمتر (۳/۴ اینچ)	۲۰-۵۵	۹۰-۱۰۰	۱۰۰		
۱۲/۵ میلیمتر (۱/۲ اینچ)	۰-۱۰	۲۰-۵۵	۹۰-۱۰۰	۱۰۰	
۹/۵ میلیمتر (۳/۸ اینچ)	۰-۵	۰-۱۵	۴۰-۷۰	۸۵-۱۰۰	۱۰۰
۴/۷۵ میلیمتر (شماره ۴)	–	۰-۵	۰-۱۵	۱۰-۳۰	۸۵-۱۰۰
۲/۳۶ میلیمتر (شماره ۸)	–	–	۰-۵	۰-۱۰	۱۰-۴۰
۱/۱۸ میلیمتر (شماره ۱۶)	–	–	–	۰-۵	۰-۱۰
۰/۳ میلیمتر (شماره ۵۰)	–	–	–	–	۵-۲۰

جدول ۷-۵ ترتیب انتخاب دانه‌بندی‌ها برای آسفالت سطحی یک تا سه لایه‌ای

نوع آسفالت سطحی	لایه‌های آسفالت سطحی	شماره دانه‌بندی از جدول ۷-۴	حداکثر اندازه اسمی مصالح (میلیمتر)
یک لایه‌ای	لایه اول	۱	۲۵-۱۲/۵
		۲	۱۹-۹/۵
		۳	۱۲/۵-۴/۷۵
		۴	۹/۵-۲/۳۶
		۵	۴/۷۵-۱/۱۸
دو لایه‌ای	لایه اول	۱	۲۵-۱۲/۵
	لایه دوم	۳	۱۲/۵-۴/۷۵
	لایه اول	۲	۱۹-۹/۵
	لایه دوم	۴	۹/۵-۲/۳۶
سه لایه‌ای	لایه اول	۱	۲۵-۱۲/۵
	لایه دوم	۳	۱۲/۵-۴/۷۵
	لایه سوم	۵	۴/۷۵-۱/۱۸
	لایه اول	۲	۱۹-۹/۵
	لایه دوم	۴	۹/۵-۲/۳۶
	لایه سوم	۵	۴/۷۵-۱/۱۸

آسفالت حفاظتی

Surface Treatment

اندود آب بندی (Seal Coat):

یک نوع آسفالت حفاظتی نازک است که با *پخش قیر همراه با مصالح سنگی* و یا *بدون مصالح سنگی* اجرا می شود.

هدف از اجرا:

- آب بندی و نفوذناپذیر کردن رویه آسفالتی
- اصلاح آسیب دیدگی های سطحی
- بهسازی موقت
- افزایش عمر مفید روسازی

آسفالت حفاظتی

Surface Treatment

انواع اندود آب بند:

اندودهای آب بند معمولا به دو صورت اجرا می شوند:

۱. اندود قیری (Fog Coat): پخش یک لایه قیر نازک بدون مصالح سنگی

هدف از اجرا:

- ❖ پر کردن فضاهای خالی و ترکهای سطحی
- ❖ احیای سطح آسفالت قدیمی

قیر مصرفی: قیرآبه پایدار (دیرشکن) مطابق *جدول ۷-۱۱ نشریه ۲۳۴* باشد.

میزان قیر: $220 \sim 550\ gr/m^2$

جدول ۷-۱۱ قیرهای مصرفی برای اندود قیری

قیرابه‌ها	قیرهای محلول
MS-۱	RC-۷۰
HFMS-۱	RC-۲۵۰
SS-۱	
SS - ۱h	
CSS-۱	
CSS - ۱h	

آسفالت حفاظتی

Surface Treatment

انواع اندود آب بند:

اندودهای آب بند معمولا به دو صورت اجرا می شوند:

۲. دوغاب قیری (Slurry Seal): پخش یک لایه قیر (۳ تا ۱۰ میلی متر) که بر روی آن مصالح سنگی ریزدانه پخش و کوبیده می شوند.

هدف از اجرا:

- ❖ پر کردن درزها و ترکها
- ❖ افزایش مقاومت لغزشی (افزایش زبری)
- ❖ جلوگیری از نفوذپذیری

قیر مصرفی: قیرآبه پایدار (دیرشکن)

میزان قیر: $5 \sim 8\ kg/m^2$

دانه بندی مصالح سنگی دوغاب قیری باید مطابق *جدول ۷-۱۲ نشریه ۲۳۴* باشد.

جدول ۷-۱۲ دانه بندی مصالح سنگی مخلوطهای دوغاب قیرآبه‌ای

اندازه الک	درصدعبورکرده ازالک			حدودرواداری‌نسبت به‌دانه‌بندی‌کارگاهی درصد
	نوع۱	نوع۲	نوع۳	
۹/۵میلیمتر($\frac{۳}{۸}$اینچ)	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	--
۴/۷۵میلیمتر(شماره۴)	۱۰۰	۹۵-۱۰۰	۷۰-۹۰	±۵
۲/۳۶میلیمتر(شماره۸)	۹۰-۱۰۰	۶۵-۹۰	۲۵-۷۰	±۵
۱/۱۸میلیمتر(شماره۱۶)	۶۵-۹۰	۴۵-۷۰	۲۸-۵۰	±۵
۶۰۰میکرون(شماره۳۰)	۴۰-۶۵	۳۰-۵۰	۱۹-۳۴	±۵
۳۰۰میکرون(شماره۵۰)	۲۵-۴۲	۱۸-۳۰	۱۲-۲۵	±۴
۱۵۰میکرون(شماره۱۰۰)	۱۵-۳۰	۱۰-۲۱	۷-۱۸	±۳
۷۵میکرون(شماره۲۰۰)	۱۰-۲۰	۵-۱۵	۵-۱۵	±۲

آسفالت حفاظتی

Surface Treatment

مخلوط آسفالت متخلخل:

این نوع آسفالت از اختلاط قیر با مصالح سنگی شکسته دارای *دانه بندی باز* تهیه می شود.

ضخامت آن کم بوده و حدود ۲۰ *میلی متر* پخش می شود.

فضای خالی موجود در این نوع آسفالت باید حدود ۲۰ *درصد* باشد.

هدف از اجرا:

- نفوذ و خروج آبهای سطحی

مشخصات دانه بندی و قیر مصرفی در آسفالت متخلخل باید مطابق *جداول ۷-۱۳ و ۷-۱۴* نشریه ۲۳۴ باشد.

جدول ۷-۱۳ دانه‌بندی پیشنهادی مصالح آسفالت متخلخل

اندازه‌الک‌ها	درصد مواد ردشده از الک	
	۱	۲
۱۹ میلیمتر ($\frac{۳}{۴}$ اینچ)	۱۰۰	
۱۲/۵ میلیمتر ($\frac{۱}{۲}$ اینچ)	۹۰-۱۰۰	۱۰۰
۹/۵ میلیمتر ($\frac{۳}{۸}$ اینچ)	۶۰-۱۰۰	۹۰-۱۰۰
۴/۷۵ میلیمتر (شماره ۴)	۱۵-۴۰	۳۰-۵۰
۲/۳۶ میلیمتر (شماره ۸)	۴-۱۲	۵-۱۵
۰/۰۷۵ میلیمتر (شماره ۲۰۰)	۲-۵	۲-۵
درصد قیر خالص برحسب وزن مخلوط آسفالتی - حداقل	۴/۵+	۵+[3]

جدول ۷-۱۴ راهنمای انتخاب قیربرای آسفالت متخلخل

آسفالت گرم	آسفالت سرد (کارخانه‌ای)
قیرهای خالص	قیرهای محلول
۴۰-۵۰	MC-۸۰۰
۶۰-۷۰	
۸۵-۱۰۰	قیرابه‌ها
۱۲۰-۱۵۰	MS-۲
قیرابه‌ها	HFMS-۲
MS - ۲h	MS - ۲h
HFMS - ۲h	HFMS - ۲h

غبارنشانی (Dust Laying):

پخش قیر در سطح راه های شنی و خاکی به منظور *جلوگیری از ایجاد گرد و غبار*، غبارنشانی گفته می شود.

این کار سبب *تثبیت خاک* و *کاهش نفوذپذیری* نیز می شود.

قیر مصرفی: قیر محلول و قیرآبه، مطابق جدول ۷-۱۵ نشریه ۲۳۴.

میزان قیر: $0.5 \sim 2\ kg/m^2$ برای قیر محلول و $0.75 \sim 2.5\ kg/m^2$ برای قیرآبه

جدول ۷-۱۵ راهنمای انتخاب قیر برای غبارنشانی و روغن‌پاشی راه

قیر مناسب	
غبارنشانی	روغن پاشی راه
قیرهای محلول	قیرهای محلول
MC-۳۰	MC-۷۰
MC-۷۰	SC-۷۰
SC-۷۰	SC-۲۵۰
SC-۲۵۰	
قیرابه‌ها	قیرابه‌ها
SS-۱	SS-۱
SS - ۱h	SS - ۱h
CSS-۱	CSS-۱
CSS - ۱h	CSS - ۱h

روغن پاشی (Road Oiling):

پخش قیر در سطح راه های شنی و خاکی به منظور *تثبیت بستر راه*، روغن پاشی گفته می شود.

این کار سبب *کاهش نفوذپذیری* نیز می شود.

قیر مصرفی: قیر محلول و قیرآبه، مطابق جدول ۷-۱۵ نشریه ۲۳۴.

میزان قیر: $3 \sim 4\ kg/m^2$ برای قیر محلول و $4 \sim 5\ kg/m^2$ برای قیرآبه

ضریب سختی مخلوط های آسفالتی

به منظور تمایز بین ضریب ارتجاعی (E) مصالح ارتجاعی با مصالح آسفالتی، از ضریبی به نام ضریب سختی (S_m) که تابع درجه حرارت و مدت زمان بارگذاری است استفاده می شود.

ضریب سختی مخلوط های آسفالتی بستگی به ضریب سختی قیر و نسبت حجم مصالح سنگی به حجم قیر داشته و از رابطه زیر به دست می آید:

$$S_m = S_b \left[1 + \left(\frac{2.5}{n} \right) \left(\frac{C_v}{1 - C_v} \right) \right]^n$$

ضریب سختی مخلوط های آسفالتی

$$S_m = S_b \left[1 + \left(\frac{2.5}{n} \right) \left(\frac{C_v}{1 - C_v} \right) \right]^n$$

S_m = mix stiffness (kg/cm^2)

S_b = bitumen stiffness (kg/cm^2)

$n = 0.83 \log_{10} [(4 \times 10^5)/S_b]$

$$C_v = \frac{\text{Volume of aggregate}}{V_{\text{aggregate}} + V_{\text{asphalt}}}$$

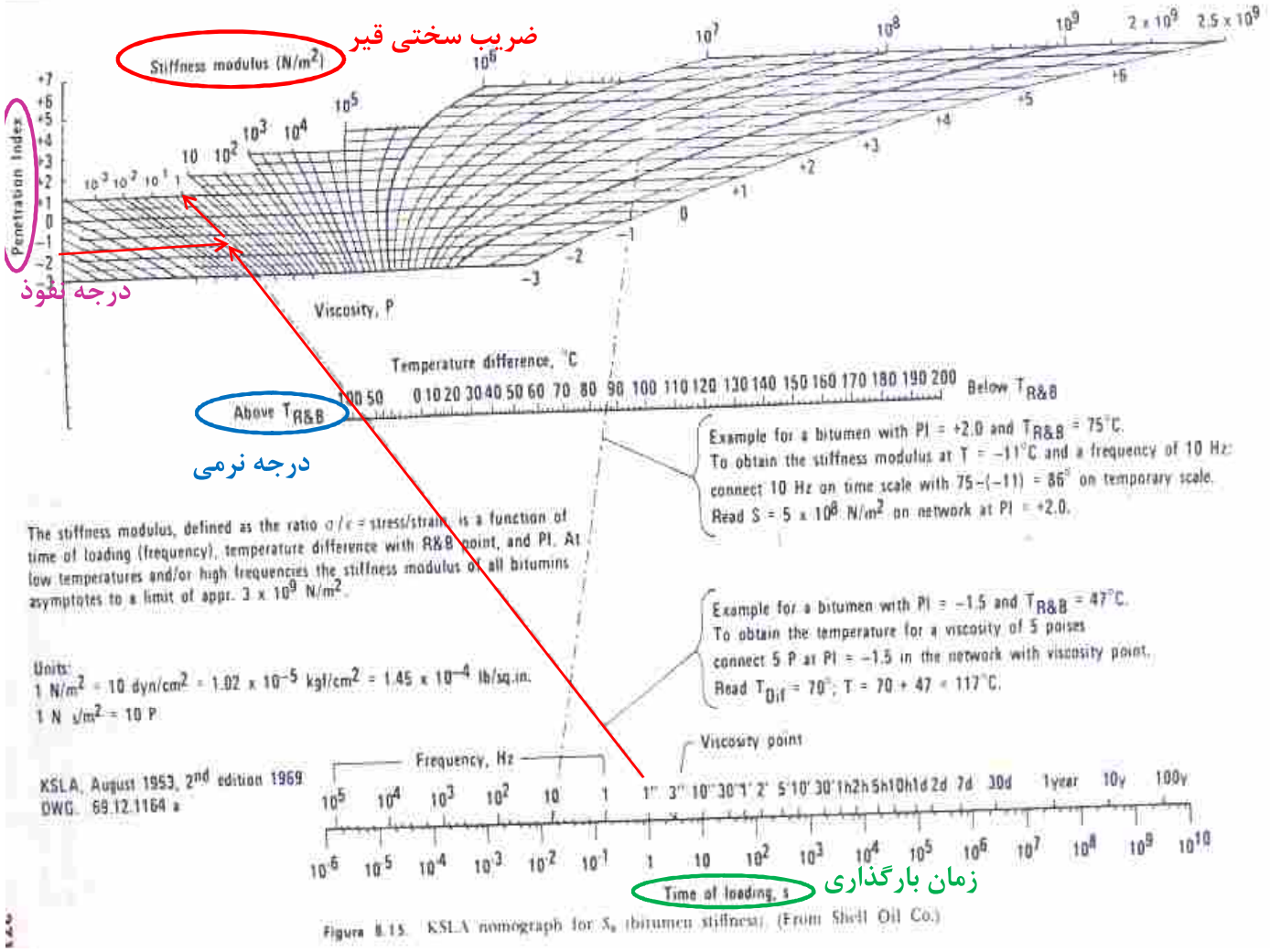


Figure 8.15. KSLA nomograph for S_b (bitumen stiffness). (From Shell Oil Co.)

ضریب سختی قیر

ضریب سختی قیر به عوامل زیر بستگی دارد:

۱. جنس قیر
۲. دمای قیر در زمان بارگذاری
۳. میزان حساسیت قیر نسبت به تغییرات درجه حرارت
۴. طول زمان بارگذاری

خستگی در مخلوطهای آسفالتی

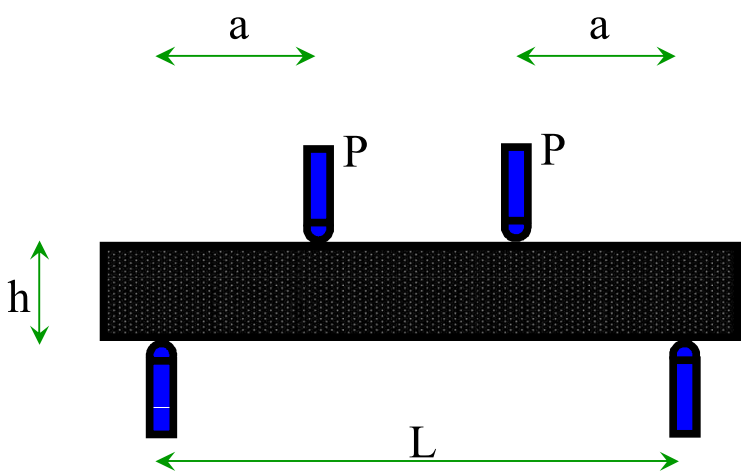
خستگی خمشی در مصالح آسفالتی تحت اثر *تکرار بارگذاری* (تردد وسایل نقلیه) ایجاد می شود.

برای تعیین رفتار مصالح آسفالتی تحت اثر تکرار بارگذاری از *آزمایش* خستگی استفاده می شود.

عملیات بارگذاری و باربرداری آنقدر تکرار می شود که نمونه در اثر خستگی خمشی گسیخته شود.

نتیجه این آزمایش به صورت *تعداد دفعات بارگذاری و باربرداری* لازم برای ایجاد خستگی در نمونه با تنش یا تغییرشکل نسبی کششی حداکثر به دست می آید.

خستگی در مخلوطهای آسفالتی



$$\sigma = \frac{3aP}{bh^2}$$

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E} = \frac{12\,h\Delta}{(3L^2 - 4a^2)}$$

خستگی در مخلوطهای آسفالتی

تعداد دفعات بارگذاری و باربرداری لازم برای ایجاد خستگی خمشی به عمر خستگی موسوم است.

با تکرار این آزمایش برای بارهای مختلف، تعداد دفعات بارگذاری و باربرداری های مربوط به شکست نمونه در اثر خستگی به دست آمده و منحنی تغییرات تنش یا تغییرشکل نسبی کششی حداکثر (σ یا ε) بر حسب تعداد دفعات بارگذاری (N_f) رسم می شود.

خستگی در مخلوطهای آسفالتی

$$N_f = f_1(\varepsilon_t)^{-f_2}(E_1)^{-f_3}$$

ε_t: کرنش کششی در انتهای لایه آسفالتی

E_1: مدول الاستیک لایه آسفالتی

انستیتو آسفالت مقادیر *0.0796*، *3.291* و *0.854* و Shell نیز مقادیر *0.0685*، *5.671* و *2.363* رابرای f_1، f_2 و f_3 پیشنهاد می کند (Huang, 1993).