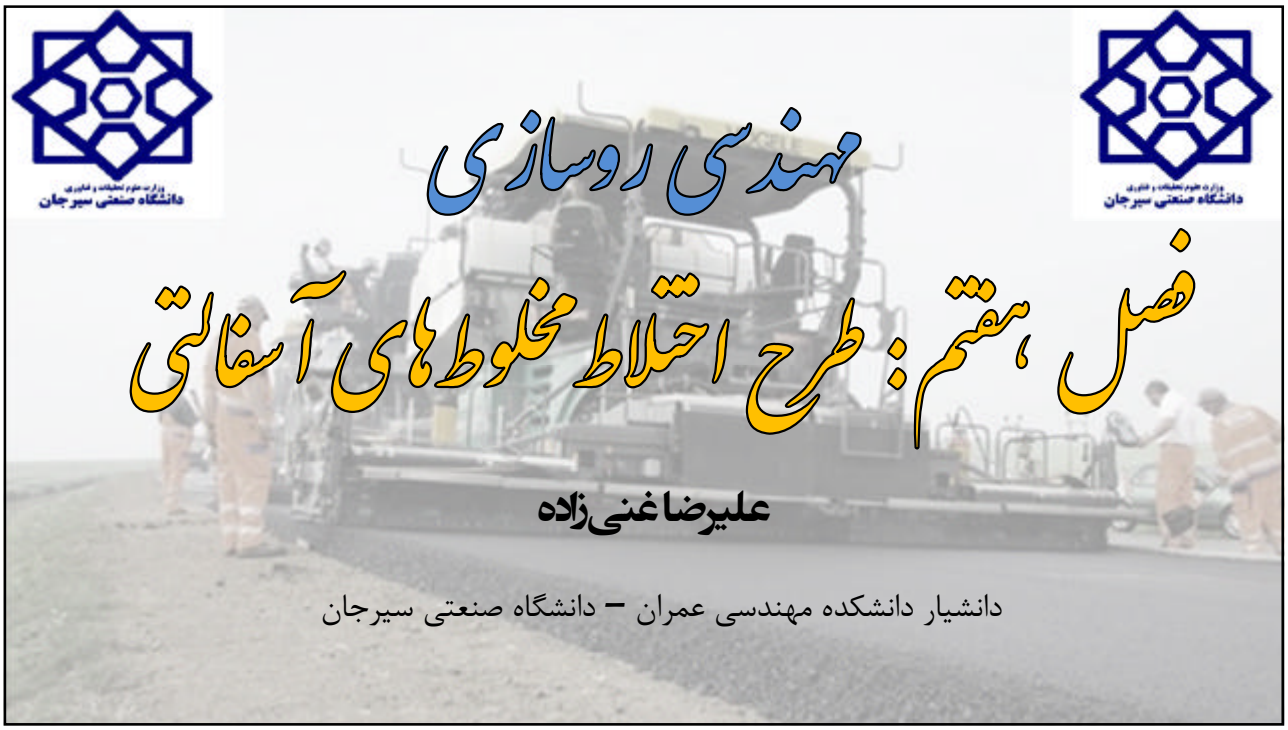


مقدمه

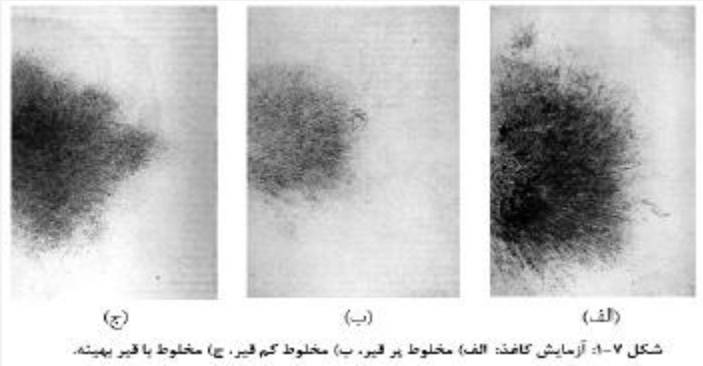
- از سال ۱۹۴۰ میلادی اغلب مخلوط‌های آسفالتی با استفاده از روش مارشال یا روش ویم طراحی شده‌اند.
- بر اساس مطالعاتی که در سال ۱۹۸۴ انجام گرفت، مبنای طراحی مخلوط‌های آسفالتی در حدود ۷۵ درصد از ایالت‌های آمریکا بر اساس روش مارشال است. ۲۵ درصد از ایالت‌های باقی‌مانده نیز از روش ویم برای انجام طرح اختلاط مخلوط‌های آسفالتی بهره می‌گیرند.
- در ایران طرح اختلاط مخلوط‌های آسفالتی با حداکثر اندازه سنگدانه‌های ۲۵ میلی‌متر به روش مارشال و برای مخلوط‌های آسفالتی حاوی مصالح درشت‌دانه‌تر به روش مارشال اصلاح شده انجام می‌شود.

تاریخچه طرح اختلاط مخلوط‌های آسفالتی

- طبق اسناد موجود، طی سال‌های ۱۸۶۸ تا ۱۸۷۳ استفاده از قیر در روسازی‌های شهر واشنگتن رفته‌رفته متداول شد. در آن زمان کسی به نسبت‌های اختلاط اهمیت نمی‌داد و فرآیند اختلاط قیر و سنگدانه‌ها کاملاً دستی صورت می‌گرفت.
- کلیفورد ریچاردسون که به‌عنوان یکی از بزرگ‌ترین مهندسین روسازی در ایالات‌متحده شناخته می‌شد، در سال ۱۹۰۶ نمونه‌هایی از این اساس‌های قیری را مورد آزمایش قرارداد و به اهمیت انتخاب نوع سنگدانه‌ها به‌خصوص بخش ریزدانه در کیفیت نهایی مخلوط پی برد. وی در تحقیقاتش دو مفهوم تأثیرگذار بر کیفیت آسفالت همچون فضای خالی سنگدانه‌ها (VMA) و فضای خالی مخلوط را معرفی کرد.

تاریخچه طرح اختلاط مخلوط‌های آسفالتی

- ریچاردسون در کتاب خود آزمایشی را تحت عنوان Pat Test معرفی کرد که به‌احتمال زیاد اولین روش برای تعیین میزان قیر مخلوط‌های آسفالتی داغ بود.
- استفاده از این روش برای تعیین مقدار قیر مخلوط‌های ریزدانه و نیز بخش ریزدانهٔ مخلوط‌های درشت‌دانه تا سال ۱۹۲۰ ادامه داشت.



شکل ۷-۱: آزمایش کاغذ: الف) مخلوط پر قیر، ب) مخلوط کم قیر، ج) مخلوط با قیر بهینه.

تاریخچه طرح اختلاط مخلوط‌های آسفالتی

- فردریک وارن در ابتدای قرن بیستم روشی را برای ساخت مخلوط‌های آسفالتی ابداع کرد که آن را Bitulithicنامید. این روش اجازه می‌داد که از سنگدانه‌هایی با اندازهٔ ۳ اینچ نیز بتوان در ساخت مخلوط‌های آسفالتی استفاده نمود. مواردی از اجرای این مخلوط‌های آسفالتی با حداکثر اندازهٔ سنگدانهٔ ۱/۲۵ اینچ در ایالت تگزاس ثبت شده است.
- رُی گرین استاد دانشگاه مکانیک و کشاورزی دانشگاه تگزاس بر روی انواع مخلوط‌های Bitulithicکه در این ایالت اجرا شده بود مطالعاتی انجام داد و در نهایت روشی را برای تعیین بهینه‌ترین دانه‌بندی متراکم برای این مخلوط‌ها به دست آورد. در روش ابداعی او، درصد وزنی مصالح عبوری از الک شمارهٔ ۲۰۰ روی منحنی دانه‌بندی به اندازهٔ کوچک‌ترین الکی که ۱۰۰ درصد سنگدانه‌ها از آن عبور می‌کرد، متصل می‌شد تا درصد عبوری متناظر با هر الک به دست آید.

انواع روش‌های طرح اختلاط مخلوط‌های آسفالتی

- روش ویم– در ایران کاربرد ندارد
- روش مارشال – برای مخلوط‌های با حداکثر اندازه سنگدانه ۲۵ میلیمتر
- روش مارشال اصلاح شده – برای مخلوط‌های با اندازه سنگدانه بیش از ۲۵ میلیمتر
- روش روسازی ممتاز (SuperPave) – پیشرفته ترین روش طرح مخلوط آسفالتی

اهداف طرح اختلاط جهت دستیابی به مخلوط آسفالتی ایده‌آل

- ✓ مقاومت در برابر تغییرشکل‌های برگشت‌ناپذیر
- ✓ مقاومت خستگی
- ✓ مقاومت در برابر ترک‌های دمایی
- ✓ دوام
- ✓ مقاومت در برابر خرابی‌های رطوبتی
- ✓ مقاومت در برابر سایش
- ✓ کارایی

معیارهای طرح اختلاط

- ✓ دانه‌بندی
- ✓ ضخامت لعاب قیر روی سنگدانه‌ها
- ✓ تراکم در آزمایشگاه
- ✓ پارامترهای وزنی و حجمی مخلوط‌های آسفالتی

لعاب نازک قیر

- توجه به ضخامت لعاب قیر هیچ‌وقت به‌عنوان بخشی از طرح اختلاط مخلوط‌های آسفالتی مطرح نبوده است. با این حال بررسی مخلوط‌هایی که خرابی‌های متعددی را از خود نشان داده‌اند، مشخص کرده است که این پارامتر نیز در هنگام تعیین طرح اختلاط باید مد نظر قرار گیرد.
- هرچه قطر سنگدانه کوچک‌تر می‌شود، ضخامت لعاب قیر روی آن‌ها نیز کوچک‌تر می‌شود.
- روشی که در حال حاضر برای تعیین میانگین ضخامت لعاب قیر روی سنگدانه‌های مخلوط آسفالتی به کار می‌رود بر اساس پارامتر سطح آزاد سنگدانه است.

لعاب نازک قیر

$$T_F = \frac{V_{asp}}{SA \times W}(۳۰۴۸۰۰)$$

- در این رابطه SA سطح آزاد مصالح سنگی، W وزن مصالح سنگی در مخلوط آسفالتی و V_{asp} حجم قیر مؤثر است.
- حجم قیر مؤثر در مخلوط آسفالتی (V_{asp}) در واقع میزان قیری است که می‌تواند پیرامون سنگدانه‌ها را فرا گیرد. به همین علت حجم قیری که به درون سنگدانه‌ها نفوذ کرده و جذب آن‌ها می‌شود را باید از کل قیر افزوده شده به مخلوط کم کرد تا حجم قیر مؤثر به دست آید.

ضریب سطح آزاد برای سنگدانه‌های با اندازه مختلف

جدول ۶-۱۵: ضریب سطح آزاد برای سنگدانه‌های مختلف.

اندازهٔ الک	ضریب سطح آزاد (ft^2/lb)
درصد عبوری از بزرگ‌ترین الک	۲
درصد عبوری از الک شمارهٔ ۴	۲
درصد عبوری از الک شمارهٔ ۸	۴
درصد عبوری از الک شمارهٔ ۱۶	۸
درصد عبوری از الک شمارهٔ ۳۰	۱۴
درصد عبوری از الک شمارهٔ ۵۰	۳۰
درصد عبوری از الک شمارهٔ ۱۰۰	۶۰
درصد عبوری از الک شمارهٔ ۲۰۰	۱۶۰

مثال محاسبه سطح آزاد سنگدانه‌ها

مثال ۶-۵:

دانه‌بندی نشان داده شده در جدول (۶-۱۶) مربوط به یک مخلوط آسفالتی است. میزان تقریبی سطح آزاد این مخلوط را در هر پوند حساب کنید.

جدول ۶-۱۶: دانه‌بندی سنگدانه فرضی.

اندازهٔ الک									
۰/۷۵ اینچ	۰/۵ اینچ	۰/۳۷۵ اینچ	شمارهٔ ۴	شمارهٔ ۸	شمارهٔ ۱۶	شمارهٔ ۳۰	شمارهٔ ۵۰	شمارهٔ ۱۰۰	شمارهٔ ۲۰۰
۱۰۰	۸۸	۷۲	۶۰	۴۷	۳۵	۲۵	۲۰	۱۰	۵

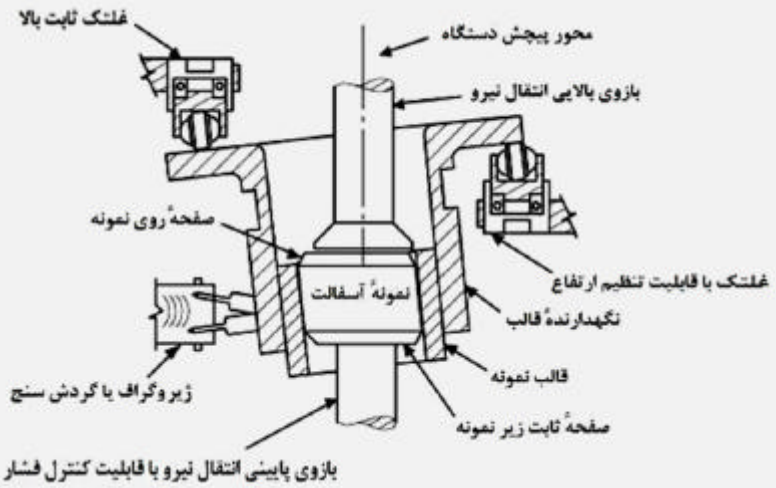
حل:

با در نظر گرفتن میزان سنگدانهٔ عبوری از هر الک و ضرایب هر الک در جدول (۶-۱۶)، میزان سطح آزاد دانه‌بندی فرضی به‌صورت زیر محاسبه می‌شود:

سطح آزاد = ۲ (۱) + ۲(۰/۶) + ۴(۰/۴۷) + ۸(۰/۳۵) + ۱۴(۰/۲۵) + ۳۰(۰/۲) + ۶۰(۰/۱) + ۱۶۰(۰/۰۵)

سطح آزاد = ۳۱/۳۸

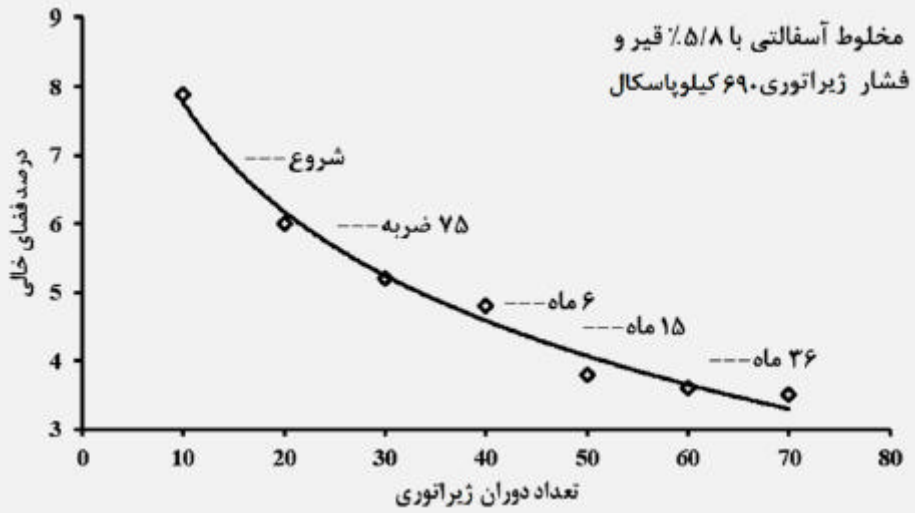
تراکم آسفالت



لعاب نازک قیر

- ✓ طرح اختلاط آزمایشگاهی باید در پروژه اجرا شود و در صورتی که تراکم ناشی از عبور ترافیک با تراکم آزمایشگاهی مطابقت نداشته باشد، طرح اختلاط ارائه شده بهینه نخواهد بود.
- ✓ اگر با پیشرفت پروژه مشخص شود که چگالی و تراکمی که در هنگام طرح آسفالت در آزمایشگاه به دست می‌آید، با آنچه در هنگام اجرا و عبور ترافیک نتیجه می‌شود متفاوت است، آنگاه تدابیر لازم باید از طرف سازمان مسئول لحاظ شود تا تراکم نمونه‌های آزمایشگاهی با مخلوط اجرا شده مطابقت داشته باشد.

تراکم آسفالت



پارامترهای وزنی–حجمی مخلوط آسفالتی

- ✓ درصد فضای خالی مخلوط آسفالتی (VTM)
- ✓ درصد فضای خالی مصالح سنگدانه‌ای (VMA)
- ✓ درصد فضای خالی پر شده با قیر (VFA)
- ✓ وزن مخصوص حقیقی مخلوط آسفالتی
- ✓ حداکثر وزن مخصوص نظری مخلوط آسفالتی.

پارامترهای وزنی–حجمی مخلوط آسفالتی

- **فضای خالی مصالح سنگی (VMA):** حجم فضای خالی بین مصالح سنگی در یک مخلوط آسفالتی متراکم شده که شامل فضای خالی (هوا) و حجم قیری است که جذب سنگدانه‌ها نشده است.
- **فضای خالی کل مخلوط (VTM):** مجموع حجم کلیهٔ حفرات خالی بین سنگدانه‌های پوشیده در مخلوط آسفالتی متراکم که به‌صورت درصدی از حجم کل مخلوط بیان می‌شود.
- **فضای خالی پرشده با قیر (VFA):** درصدی از VMA که با قیر شده است (شکل ۷-۴).

پارامترهای وزنی–حجمی مخلوط آسفالتی

- **وزن مخصوص حقیقی مخلوط آسفالتی متراکم:** این وزن مخصوص که نحوهٔ اندازه‌گیری آن در دو استاندارد ASTM D1188 و ASTM D2726تشریح شده است، از تقسیم وزن نمونهٔ متراکم مخلوط آسفالتی به حجم آن (با در نظر گرفتن حجم فضای خالی) به دست می‌آید.

$$G_{mb} = \frac{W_D}{W_{SSD} - W_{Sub}}$$

W_D = وزن نمونهٔ خشک مخلوط آسفالتی در هوا، گرم

W_{SSD} = وزن اشباع با سطح خشک نمونهٔ مخلوط آسفالتی در هوا، گرم

W_{Sub} = وزن نمونهٔ مخلوط آسفالتی مستغرق در آب، گرم

پارامترهای وزنی–حجمی مخلوط آسفالتی

✓ **حداکثر وزن مخصوص نظری مخلوط آسفالتی: نحوهٔ تعیین این وزن مخصوص در استاندارد ASTM D2041 تشریح شده است.**

$$\rho_{d\max} = \frac{A}{\frac{A-(B-C)}{\rho_{water}}}$$

که در این رابطه:

ρ_{dmax}: حداکثر چگالی نظری مخلوط آسفالتی (گرم بر سانتی‌متر مکعب).

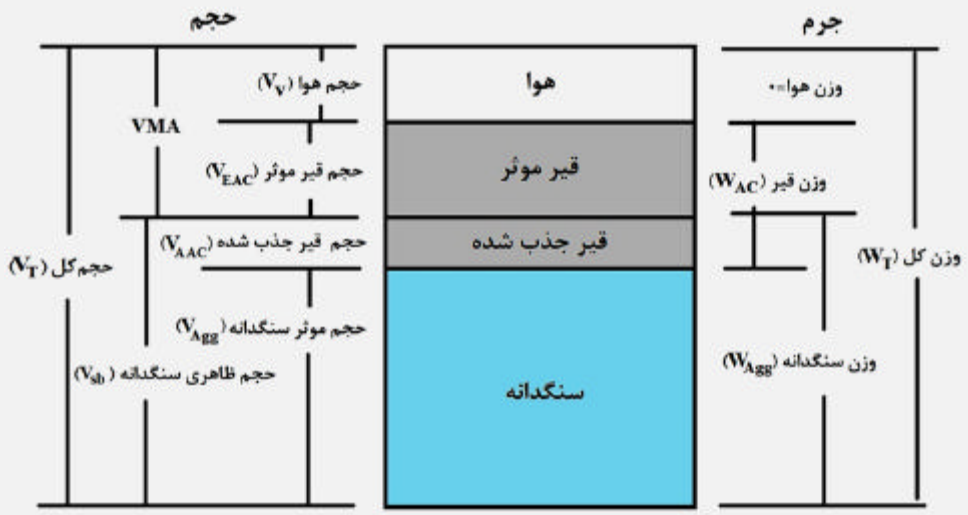
A: جرم نمونه خشک‌شده در هوا (در مخرج رابطه از جرم با سطح خشک استفاده شود)، (گرم).

B: جرم ارلن حاوی نمونه غوطه‌ور در آب، (گرم).

C: جرم ارلن پرشده از آب، (گرم).

ρ_{water}: چگالی آب (۰/۹۹۷ گرم بر سانتی‌متر مکعب در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد).

پارامترهای وزنی–حجمی مخلوط آسفالتی



روابط وزنی و حجمی آسفالتی

$$VMA = \frac{V_V + V_{EAC}}{V_T} \times ۱۰۰$$

$$VTM = \frac{V_V}{V_T} \times ۱۰۰$$

$$AC = \frac{W_{AC}}{W_T} \times ۱۰۰ = \frac{W_{EAC} + W_{AAC}}{W_T} \times ۱۰۰$$

$$VFA = \frac{V_{EAC}}{V_{EAC} + V_V} \times ۱۰۰$$

$$V_{Agg} = \frac{W_{Agg}}{G_{sb} \times \gamma_w}$$

$$G_{sb} = \frac{P_1 + P_2 + \ldots + P_n}{\frac{P_1}{G_1} + \frac{P_2}{G_2} + \ldots \frac{P_n}{G_n}}$$

V_T = حجم کل مخلوط آسفالتی متراکم شده

V_V = حجم فضای خالی

V_{EAC} = حجم قیر مؤثر

V_{AAC} = حجم قیر جذب‌شده به درون سنگدانه

V_{Agg} = حجم سنگدانه‌ها

W_T = وزن کل نمونهٔ متراکم شده

W_{EAC} = وزن قیر مؤثر

W_{AAC} = وزن قیر جذب‌شده به درون سنگدانه

P_1, P_2 و P_n = درصد انواع سنگدانه‌ها در مخلوط

W_{Agg} = وزن سنگدانه‌ها

VTM = درصد فضای خالی مخلوط آسفالتی

VMA = درصد فضای خالی مصالح سنگی

VFA = درصدی از فضای خالی که با قیر پر شده است

AC = درصد وزنی قیر در مخلوط

γ_w = چگالی آب

G_{sb} = وزن مخصوص مخلوط چند سنگدانه

G_1, G_2 و G_n = وزن مخصوص انواع سنگدانه‌ها در مخلوط

درصد فضای خالی مصالح سنگی

$$VMA = ۱۰۰ \times \left(۱ - \frac{G_{mb}(۱ - P_b)}{G_{sb}} \right)$$

G_{sb} = وزن مخصوص حقیقی سنگدانه‌ها

G_{mb} = وزن مخصوص حقیقی نمونهٔ آسفالتی متراکم

P_b = درصد وزنی قیر در مخلوط آسفالتی

فضای خالی کل مخلوط آسفالتی

$$VTM = ۱۰۰ \times \left(۱ - \frac{G_{mb}}{G_{mm}} \right)$$

G_{mb} - وزن مخصوص حقیقی نمونهٔ آسفالتی متراکم شده

G_{mm} - حداکثر وزن مخصوص نظری مخلوط آسفالتی

وزن مخصوص ظاهری مصالح سنگی

$$G_{se} = \frac{۱ - P_b}{\frac{۱}{G_{mm}} - \frac{P_b}{G_b}}$$

G_b = وزن مخصوص قیر

G_{mm} = حداکثر وزن مخصوص نظری مخلوط آسفالتی

P_b = درصد وزنی قیر

محاسبه حداکثر وزن مخصوص نظری به ازاء درصد قیرهای مختلف

- در عمل، جهت تهیهٔ طرح اختلاط، حداکثر وزن مخصوص نظری مخلوط آسفالتی تنها با استفاده از یک درصد مشخص قیر (ترجیحاً درصد قیر بهینه) اندازه‌گیری می‌شود. با محاسبهٔ وزن مخصوص مؤثر سنگدانه‌ها با استفاده از رابطهٔ قبل به ازای حداکثر وزن مخصوص نظری مخلوط آسفالتی (G_{mm}) در یک درصد قیر مشخص، می‌توان حداکثر وزن مخصوص نظری مخلوط آسفالتی را در سایر درصدهای قیر به‌صورت زیر محاسبه کرد.

$$G_{mm} = \frac{1}{\frac{(1 - P_b)}{G_{se}} + \frac{P_b}{G_b}}$$

طرح اختلاط مارشال

- طرح اختلاط به روش مارشال را می‌توان مطابق استاندارد ASTM D1559انجام داد.
- لازم به ذکر است که فرآیند طرح اختلاط مخلوط آسفالتی به روش مارشال تنها برای مخلوط‌های آسفالتی قابل‌اجرا است که قیر مصرفی در آن‌ها از انواع قیرهای مناسب راهسازی (قیرهای خالص با طبقه‌بندی درجه نفوذ یا طبقه‌بندی عملکردی) باشد و بزرگ‌ترین ابعاد سنگدانهٔ به‌کار رفته در آن‌ها بیش از ۱ اینچ (۲۵/۴ میلی‌متر) نباشد.
- در صورت استفاده از سنگدانه‌های با ابعاد بزرگ‌تر از ۱ اینچ، باید از قالب‌های بزرگ‌تر با قطر ۱۵ سانتی‌متر و روش مارشال اصلاح شده استفاده شود.

مراحل طرح اختلاط مارشال

۱- ارزیابی کیفیت مصالح سنگی و تعیین درصد اختلاط سنگدانه‌های مختلف؛

۲- ارزیابی کیفیت قیر؛

۳- آماده‌سازی نمونه‌ها؛

۴- انجام آزمایش روانی و استقامت مارشال؛

۵- تعیین حداکثر وزن مخصوص نظری مخلوط آسفالتی؛

۶- تعیین وزن مخصوص حقیقی، فضای خالی مخلوط آسفالتی، فضای خالی مصالح سنگی و فضای خالی پر شده با قیر؛

۷- ترسیم نمودار مربوط به تغییر پارامترهای مختلف مخلوط آسفالتی با توجه به تغییر درصد قیر و تعیین درصد قیر بهینه.

ارزیابی کیفیت مصالح سنگی و تعیین درصد اختلاط سنگدانه‌های مختلف

۱-۱- به‌منظور ارزیابی کیفیت مصالح سنگی معمولاً از آزمایش‌های سایش لوس‌آنجلس، دوام در برابر سولفات سدیم و هم‌ارز ماسه بهره‌گیری می‌شود. همچنین حضور مصالح آلی و مضر، تیزگوشگی سنگدانه‌ها و پهن و دراز بودن آن‌ها بررسی می‌شود. این آزمایش‌ها در فصل قبل تشریح شدند.

۱-۲- اگر سنگدانه‌ها حداقل معیارهای موردنیاز را پس از انجام آزمایش‌های مرحلهٔ ۱-۱ برآورده کردند، آنگاه آزمایش‌های دانه‌بندی، وزن مخصوص و جذب آب بر روی آن‌ها انجام می‌شود.

۱-۳- در این مرحله محاسبات مربوط به تعیین درصد اختلاط سنگدانه‌ها جهت دستیابی به دانه‌بندی مورد نظر مخلوط آسفالتی، انجام می‌شود. برای این منظور می‌توان دو الک شمارهٔ ۸ و شمارهٔ ۲۰۰ را به‌عنوان اهداف اولیه مدنظر قرار داد. پس از تعیین درصد اختلاط مصالح سنگی با توجه به این دو الک، می‌توان با اعمال تغییراتی نسبت سنگدانه‌ها را طوری تعیین کرد که درصد مربوط به دیگر الک‌ها نیز به دانه‌بندی مخلوط آسفالتی نزدیک شود.

۱-۴- وزن تجمعی مربوط به هر یک از الک‌ها با فرض اینکه وزن کل مصالح سنگی حدود ۱۱۵۰ گرم باشد، در داخل یک جدول نوشته می‌شود.

ارزیابی کیفیت قیر

۲-۱- در مرحلهٔ اول باید قیر مناسب برای پروژه تعیین شود.

۲-۲- ویسکوزیتهٔ قیر حداقل در دو دمای ۶۰ و ۱۳۵ اندازه‌گیری شود و نتایج مربوط به آزمایش‌های نقطهٔ اشتعال، درجهٔ خلوص، افت وزنی، درجهٔ نفوذ، شکل‌پذیری و نقطهٔ نرمی با معیارهای ذکر شده در آیین‌نامه مقایسه شوند.

۲-۳- وزن مخصوص قیر اندازه‌گیری و نمودار ویسکوزیته در برابر دما ترسیم شود.

۲-۴- دمای اختلاط و تراکم مخلوط آسفالتی با توجه به نمودار دما- ویسکوزیته تعیین شود.

- دمای اختلاط دمایی است که ویسکوزیتهٔ قیر بین ۱۵۰ تا ۱۹۰ سانتی‌استوکس قرار داشته باشد.
- دمای تراکم، دمایی است که ویسکوزیته قیر بین ۲۵۰ تا ۳۱۰ سانتی‌استوکس قرار داشته باشد.

آماده‌سازی نمونه‌ها

۳-۱- سنگدانه‌ها درون گرمخانه خشک و سپس درون ظروف درب‌دار ریخته می‌شوند. مقدار سنگدانه‌ها باید امکان آماده‌سازی ۱۸ نمونهٔ مارشال ۱۱۵۰ گرمی را فراهم کند.

۳-۲- ۱۸ عدد ظرف برداشته، سنگدانه‌ها وزن و درون آن‌ها ریخته می‌شوند و سپس ظروف درون گرمخانه قرار داده می‌شوند تا دمای آن‌ها به دمای اختلاط برسد.

۳-۳- قبل از ساخت نمونه‌های اصلی مارشال بهتر است تا با ۱۱۵۰ گرم سنگدانه یک نمونهٔ مارشال ساخته شود تا ببینیم ارتفاع نمونه درون قالب مارشال به مقدار موردنیاز (۵ ± ۶۳/۵ میلی‌متر) می‌رسد یا خیر. اگر نمونهٔ ساخته‌شده ارتفاعی خارج از این بازه داشته باشد، باید وزن مصالح سنگی برای ساخت نمونه با استفاده از رابطهٔ زیر تصحیح شود.

$$Q = \frac{۶۳/۵}{h_۱} \times ۱۱۵۰$$

آماده‌سازی نمونه‌ها

۳-۴- به میزان مورد نیاز برای ساخت ۱۸ نمونهٔ مارشال قیر توزین و درون گرمخانه تا رسیدن به دمای اختلاط گرم می‌شود. علت ساخت ۱۸ نمونه این است که به ازای هر درصد قیر (۴/۰، ۴/۵، ۵/۰، ۵/۵، ۶/۰ و ۵/۶) باید سه نمونه ساخته شود. همچنین سه نمونهٔ آسفالتی غیر متراکم برای محاسبهٔ حداکثر وزن مخصوص نظری ساخته می‌شود. درصد قیر این سه نمونه باید نزدیک به درصد قیر بهینه باشد.

۳-۳۳- به‌نوبت ظرف نمونهٔ سنگدانه‌های داغ شده از گرم‌کن خارج و روی ترازو توزین می‌شود و به اندازه‌ای که درصد قیر مخلوط تأمین شود، به آن قیر اضافه می‌گردد. به‌عنوان مثال برای ساخت نمونه‌ای که ۵ درصد قیر داشته باشد باید به ۱۱۵۰ گرم سنگدانه، ۶۰/۵ گرم قیر اضافه شود.

$$\frac{x}{۱۱۵۰+x}=۰/۰۵ \rightarrow ۵۷/۵=۰/۰۹۵x \rightarrow x=۶۰/۵\ g$$

۳-۷- قیر و سنگدانه‌ها به‌خوبی با یکدیگر مخلوط می‌شوند تا سطح تمامی سنگدانه‌ها پوشیده از قیر شود. اگر این عمل بر روی اجاق داغ انجام شود، بهتر است. عمل اختلاط می‌تواند به‌صورت دستی یا با مخلوط‌کن‌های ویژه انجام شود.

آماده‌سازی نمونه‌ها

۳-۸- دمای مخلوط آسفالتی را پس از اختلاط اندازه‌گیری کنید، اگر دمای مخلوط بیش از دمای تراکم باشد، اجازه دهید تا مخلوط سردتر شود. در صورتی که دمای مخلوط به کمتر از دمای تراکم رسیده باشد باید مخلوط دور ریخته و مجدداً اقدام به ساخت یک نمونهٔ دیگر شود.

۳-۹- مخلوط را درون قالب مارشال ریخته و با اعمال یک تعداد ضربه مشخص به دو طرف نمونه آن را متراکم کنید. تعداد ضربات چکش به هر طرف نمونه‌های مارشال جهت متراکم کردن آن‌ها بستگی به شدت ترافیک عبوری از روی روسازی دارد. تعداد ضربات با توجه به شدت ترافیک می‌تواند ۳۵، ۵۰ و ۷۵ باشد.

۳-۱۰- وزن مخصوص حقیقی (G_{mb})هر نمونه را محاسبه کنید.

۳-۱۱- حداکثر وزن مخصوص نظری مخلوط آسفالتی را تعیین کنید. همان‌گونه که قبلاً بیان گردید، حداکثر وزن مخصوص نظری معمولاً در یک درصد قیر مشخص (نزدیک به درصد قیر بهینه) اندازه‌گیری می‌شود و برای سایر درصدهای قیر مقدار آن به روش محاسباتی تعیین می‌گردد.

آماده‌سازی نمونه‌ها

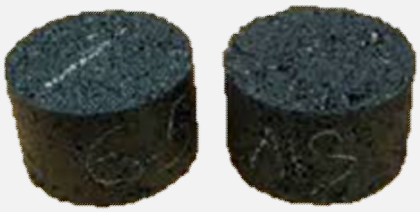
انجام آزمایش روانی و استقامت مارشال

۴-۱- حمام آب را تا دمای ۶۰° سانتی‌گراد گرم و نمونه‌های موردبررسی را به مدت ۳۰ تا ۴۰ دقیقه در آن مستغرق می‌کنیم.

۴-۲- بعد از اینکه نمونه‌ها برای مدت‌زمان کافی درون حمام آب قرار گرفتند، تک‌تک از حمام خارج و سطح آن‌ها با حوله خشک می‌شود. سپس سریعاً داخل فک‌های دستگاه آزمایش مارشال قرار داده می‌شوند.

۴-۳- قالب به همراه نمونه را روی دستگاه جک مارشال قرار داده و بازوی اعمال نیرو را تا روی آن پایین بیاورید. گیج مربوط به اندازه‌گیری تغییرشکل را صفر کرده و آن را روی بازوی اعمال نیرو سوار کنید. با روشن کردن دستگاه بار عمودی با نرخ ۵ میلی‌متر بر دقیقه به نمونه اعمال می‌شود و هم‌زمان گیج‌های نیرو و تغییرشکل قرائت می‌شوند تا جایی که حداکثر نیرو ثبت شود. به‌محض اینکه نیروی اعمالی شروع به کم شدن کرد، دستگاه را خاموش و حداکثر نیرو بر حسب کیلوگرم و تغییرشکل قطری نمونه بر حسب میلی‌متر را ثبت کنید. باید توجه داشت که فاصله زمانی بین خارج کردن نمونه‌ها از حمام آب تا اتمام آزمایش بیش از ۶۰ ثانیه نشود. همچنین مجموع زمان نگهداری نمونه‌ها در حمام آب و انجام آزمایش برای سری سه‌تایی از نمونه‌ها باید بین ۳۰ تا ۴۰ دقیقه باشد.

استقامت سنج مارشال



دانشگاه صنعتی سیرجان	مهندسی روسازی	۳۵

محاسبات وزنی– حجمی

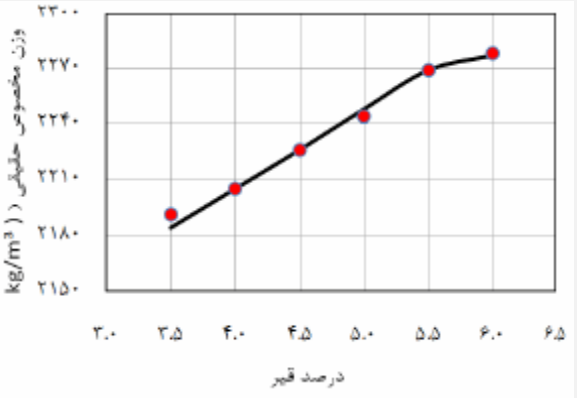
۵-۱- برای هر نمونه، وزن مخصوص حقیقی (G_{mb})و حداکثر وزن مخصوص نظری (G_{mm}) را به دست آورید. سپس با استفاده از روابط ذکر شده در بخش ۷-۳-۵، پارامترهای VTM، VMA و VFA را برای هر نمونه محاسبه کنید.

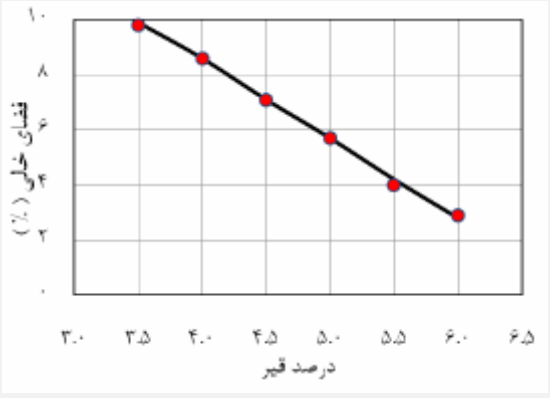
دانشگاه صنعتی سیرجان	مهندسی روسازی	۳۶

ترسیم نمودارهای طرح اختلاط مارشال

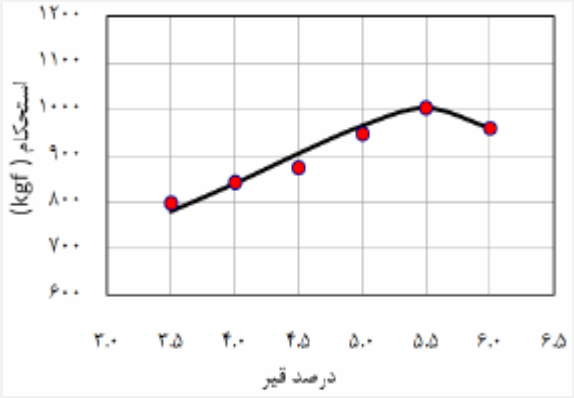
- ✓ درصد قیر در برابر وزن مخصوص حقیقی
- ✓ درصد قیر در برابر استقامت مارشال
- ✓ درصد قیر در برابر روانی
- ✓ درصد قیر در برابر فضای خالی مخلوط آسفالتی (VTM)
- ✓ درصد قیر در برابر VMA
- ✓ درصد قیر در برابر VFA

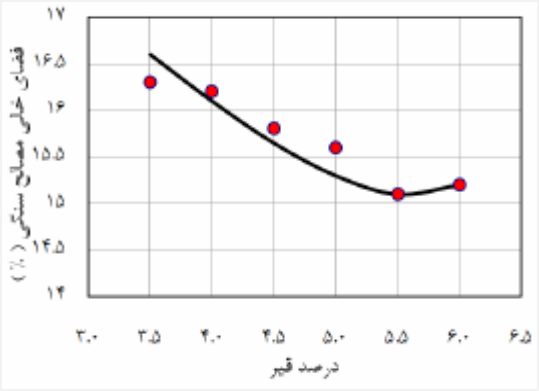
نمودارهای طرح اختلاط مارشال



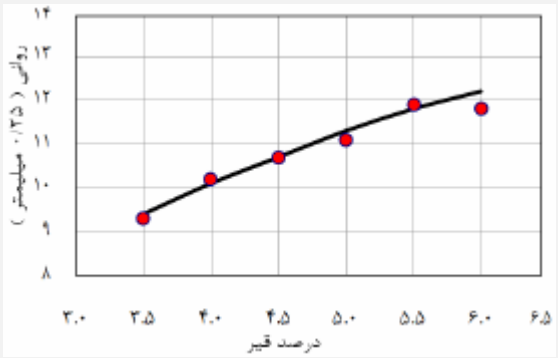


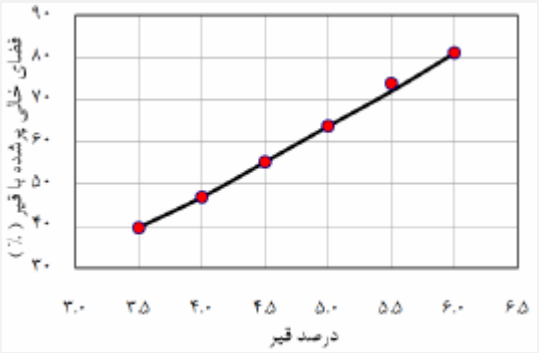
نمودارهای طرح اختلاط مارشال





نمودارهای طرح اختلاط مارشال





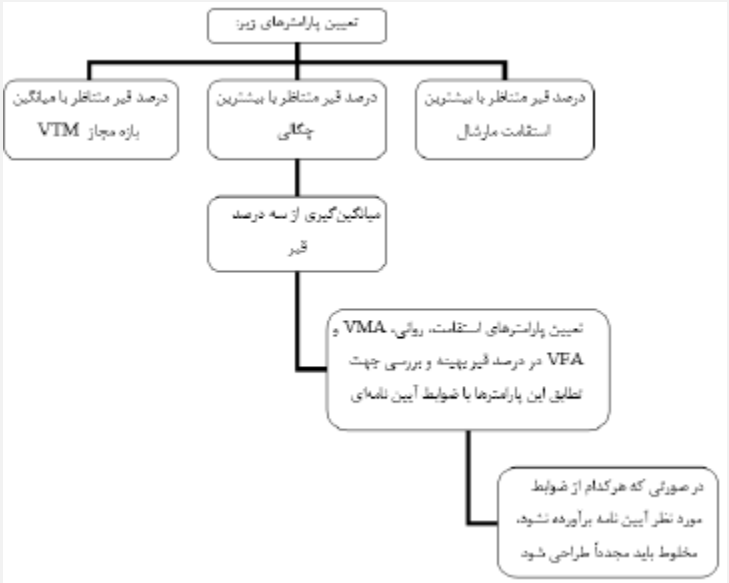
روش NAPA برای تعیین درصد قیر بهینه

تعیین درصد قیر مخلوط بر مبنای پارامتر VTM و متناظر با میانگین بازه مجاز VTM طبق آیین‌نامه

تعیین پارامترهای استقامت مارشال، روانی، VMA و VFA در درصد قیر بهینه و بررسی جهت تطابق این پارامترها با ضوابط آیین نامه‌ای

در صورتی که هرکدام از ضوابط مورد نظر آیین نامه تأمین نشود، مخلوط باید مجدداً طراحی شود.

روش AI برای تعیین درصد قیر بهینه



ضوابط طرح اختلاط به روش مارشال

جدول ۷-۳: حدود مجاز برای نتایج آزمایش مارشال و پارامترهای مربوط به طرح اختلاط.

شرح	ترافیک سنگین $EAL > 10^7$		ترافیک متوسط $10^7 > EAL > 10^6$		ترافیک کم $10^6 > EAL$	
	حداقل	حداکثر	حداقل	حداکثر	حداقل	حداکثر
تعداد ضربه‌ها در هر طرف نمونه	۷۵		۵۰		۳۵	
مقاومت مخلوط برحسب کیلوگرم	۸۰۰	-	۵۵۰	-	۳۵۰	-
روانی برحسب میلی‌متر	۲	۳/۵	۲	۴	۲	۴/۵
درصد فضای خالی آسفالت رویه	۳	۵	۳	۵	۳	۵
درصد فضای خالی آسفالت آستر	۳	۶	۳	۶	۳	۶
درصد فضای خالی اساس آسفالتی	۳	۸	۳	۸	۳	۸
درصد فضای خالی پرشده با قیر	۶۰	۷۵	۶۵	۷۸	۷۰	۸۰
فضای خالی سنگدانه‌ها (VMA)	به جدول ۶-۵ در فصل ۶ مراجعه شود.					

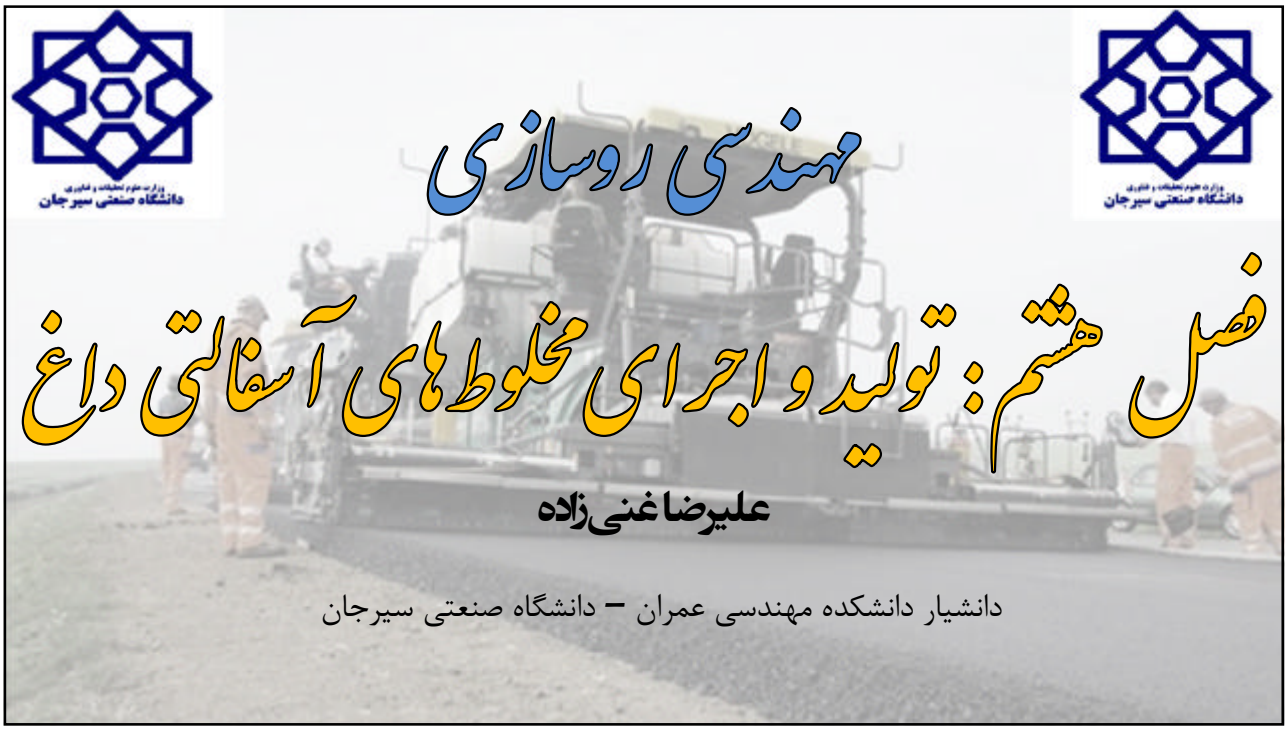
تفاوت روش مارشال و مارشال اصلاح شده

- در روش مارشال قطر و ارتفاع نمونه‌های آسفالتی به ترتیب ۴ و ۲/۵ اینچ (۱۰۱/۶ میلی‌متر و ۶۳/۵ میلی‌متر) است اما در روش مارشال اصلاح‌شده، قطر و ارتفاع نمونه‌ها به ترتیب ۶ و ۳/۷۵ اینچ (۱۵۲/۴ میلی‌متر و ۹۵/۲۵ میلی‌متر) است.
- در روش مارشال وزن چکش ۴/۵ کیلوگرم است، اما در روش اصلاح‌شده به دلیل افزایش ضخامت و قطر نمونه، وزن چکش به ۱۰/۲ کیلوگرم افزایش داده شده است.
- در روش مارشال تعداد ضربه‌های وارد شده به هر طرف نمونه ۳۵، ۵۰ یا ۷۵ ضربه است، در حالی که در روش مارشال اصلاح‌شده، تعداد ضربه‌ها به ۵۳، ۷۵ یا ۱۱۲ ضربه افزایش یافته است.

ضوابط طرح اختلاط به روش مارشال اصلاح شده

جدول ۷-۴: حدود مجاز برای نتایج آزمایش مارشال اصلاح‌شده و پارامترهای مربوط به طرح اختلاط.

شرح	ترافیک سنگین $EAL > 10^7$		ترافیک متوسط $10^7 > EAL > 10^4$		ترافیک کم $10^4 > EAL$	
	حداقل	حداکثر	حداقل	حداکثر	حداقل	حداکثر
تعداد ضربه‌ها در هر طرف نمونه	۱۱۲		۷۵		۵۳	
مقاومت مخلوط برحسب کیلوگرم	۱۸۰۰	-	۱۲۴۰	-	۳۵۰	-
روانی برحسب میلی‌متر	۳	۵/۳	۳	۶	۳	۶/۸
درصد فضای خالی آسفالت رویه	۳	۵	۳	۵	۳	۵
درصد فضای خالی آسفالت آستر	۳	۶	۳	۶	۳	۶
درصد فضای خالی اساس آسفالتی	۳	۸	۳	۸	۳	۸
درصد فضای خالی پرشده با قیر	۶۰	۷۵	۶۵	۷۸	۷۰	۸۰
فضای خالی سنگدانه‌ها (VMA)	به جدول ۶-۵ در فصل ۶ مراجعه شود.					



مهندسی روسازی

فصل هشتم: تولید و اجرای مخلوط‌های آسفالتی داغ

علیرضا غنی‌زاده

دانشیار دانشکده مهندسی عمران – دانشگاه صنعتی سیرجان

مقدمه

- ✓ مخلوط‌های آسفالتی داغ در کارخانه‌های آسفالت تولید می‌شوند.
- ✓ کارخانه‌های آسفالت معمولاً در نزدیکی معادن یا منابع مصالح سنگی در مناطق حومهٔ شهر و در نزدیکی محل اجرای پروژه ساخته می‌شوند.
- ✓ کارخانه‌های آسفالت می‌توانند به‌صورت ثابت یا سیار باشند. استفاده از کارخانه‌های سیار سبب کاهش هزینهٔ ساخت و انعطاف‌پذیری بیشتر در هنگام اجرای آسفالت می‌شود، با این وجود ظرفیت تولید آسفالت در آن‌ها کمتر از کارخانه‌های ثابت است.

اجزاء مشترک کلیه کارخانه های آسفالت

- ✓ کارخانه‌های آسفالت از پنج بخش مجزا تشکیل می‌شوند که عبارت‌اند از:
  - سیستم تغذیهٔ مصالح سرد
  - گرم‌کن
  - سیستم غبارگیر
  - سیستم مخلوط‌کن
  - مخازن ذخیرهٔ آسفالت داغ.
- ✓ از بین این موارد، سیستم مخلوط‌کن تعیین‌کنندهٔ دسته‌بندی کارخانهٔ آسفالت است.

انواع کارخانه آسفالت

- ✓ کارخانه‌های پیمانه‌ای متداول ؛
- ✓ کارخانه‌های گرم‌کن و مخلوط‌کن هم‌زمان .
  - در کارخانه‌های پیمانه‌ای، مصالح سنگی پس از گرم شدن توسط گرم‌کن در مخازن ذخیرهٔ مصالح سنگی گرم ذخیره‌سازی می‌شوند و پس از ترکیب با نسبت‌های وزنی مشخص با قیر در سیستم مخلوط‌کن، مخلوط می‌شوند. مخلوط حاصله می‌تواند در مخازن نگهداری آسفالت ذخیره شود یا پس از بارگیری توسط کامیون به محل پروژه انتقال داده شود.
  - در کارخانه‌های گرم‌کن و مخلوط‌کن هم‌زمان، اختلاط مصالح سنگدانه‌ای و قیر درون گرم‌کن انجام می‌شود و آسفالت حاصله قبل از تخلیه شدن به داخل کامیون و حمل به محل، در داخل مخازن ذخیرهٔ آسفالت، ذخیره می‌شود.

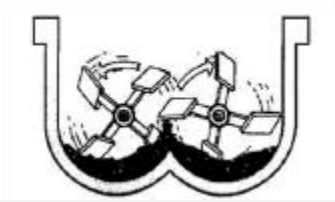
انواع کارخانه آسفالت

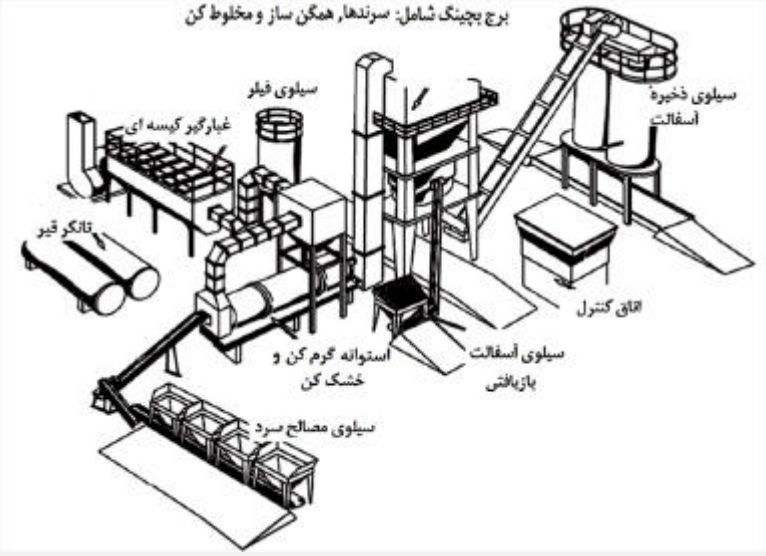
- ✓ کارخانه‌های پیمانه‌ای خود به دو دسته زیر تقسیم می‌شوند:
  - کارخانه‌های پیمانه‌ای متداول (اغلب با حرارت‌دهی در خلاف جریان حرکت)؛
  - کارخانه‌های توزین قبل از گرم نمودن .
- ✓ کارخانه‌های گرم‌کن و مخلوط‌کن هم‌زمان نیز خود به دو نوع زیر قابل تقسیم می‌باشند:
  - کارخانه‌های گرم‌کن و مخلوط‌کن هم‌زمان با جریان موازی؛
  - کارخانه‌های گرم‌کن و مخلوط‌کن هم‌زمان با جریان مخالف.

عوامل تأثیرگذار بر انتخاب

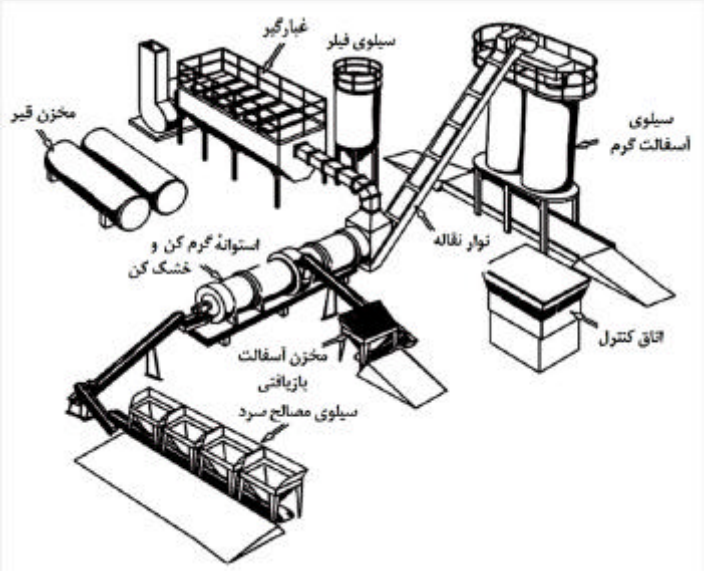
- ✓ بازار خرید و فروش آسفالت،
- ✓ میزان تولید آسفالت موردنیاز،
- ✓ قیمت تمام‌شدهٔ کارخانه،
- ✓ نوع مخلوط آسفالتی موردنیاز،
- ✓ قابلیت بهره‌گیری از آسفالت بازیافتی در کارخانه،
- ✓ درصد آسفالت بازیافتی مورداستفاده در کارخانه،
- ✓ میزان فضای اشغال‌شده توسط کارخانه
- ✓ محدودیت‌های زیست‌محیطی محل احداث کارخانه بستگی دارد.

کارخانه آسفالت از نوع پیمانه‌ای معمولی

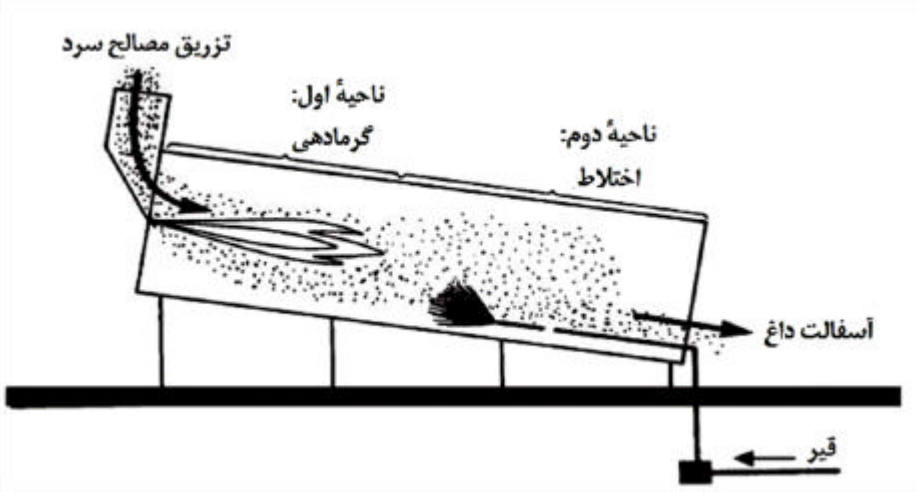




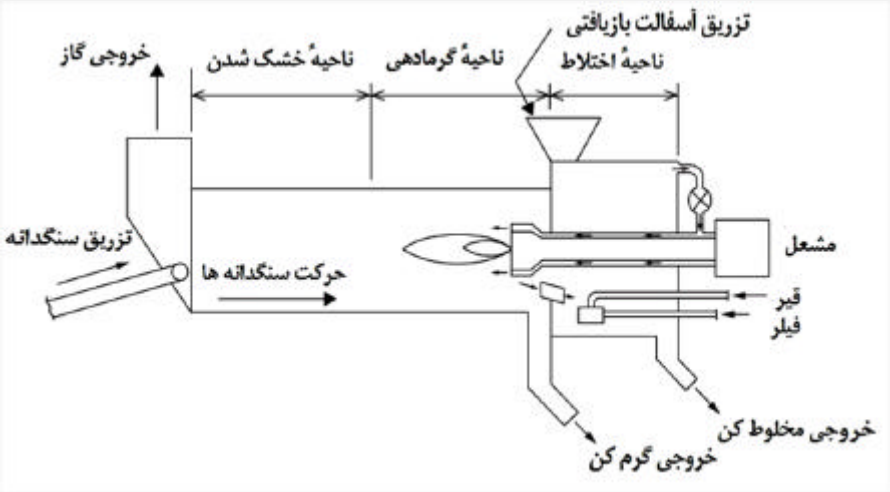
کارخانه‌های گرم‌کن و مخلوط‌کن هم‌زمان



کارخانه‌های گرم‌کن و مخلوط‌کن هم‌زمان با جریان موازی



کارخانه‌های گرم‌کن و مخلوط‌کن هم‌زمان با جریان مخالف



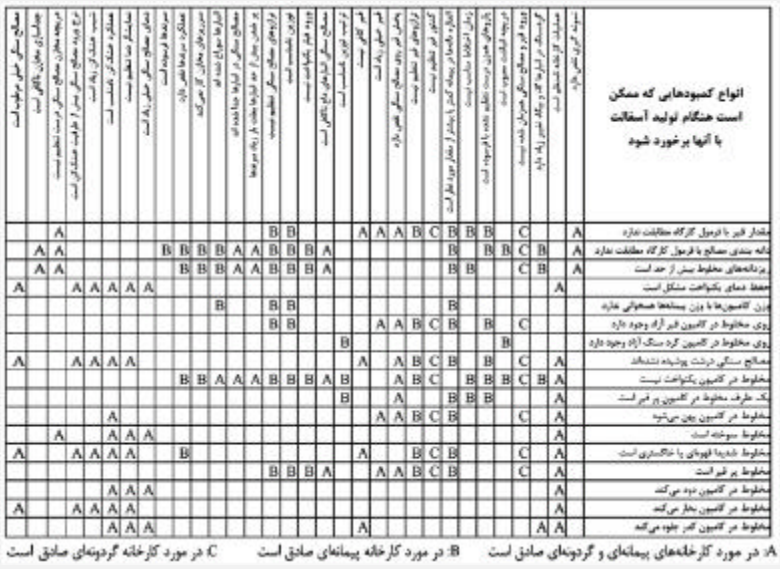
ظرفیت تولید انواع کارخانه‌های آسفالت

- ✓ حداکثر توان تولیدی کارخانه‌های پیمانه‌ای متداول در هر ساعت ۱۶۰ تن خواهد بود.
- ✓ نرخ تولید کارخانه‌های پیمانه ای توزین قبل از گرم کردن معمولاً بین ۵۰ تا ۲۰۰ تن بر ساعت است.
- ✓ ظرفیت تولید کارخانه‌ها گرم کن و خشک کن همزمان بالغ بر ۵۰۰ تا ۵۵۰ تن بر ساعت است.

مزایای و معایب دو نوع اصلی کارخانه آسفالت

- ✓ از مزایای کارخانهٔ آسفالت گرم‌کن و مخلوط‌کن هم‌زمان می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:
  - قیمت پایین‌تر نسبت به کارخانه‌های پیمانه‌ای؛
  - نیاز به فضا و زمین کمتر برای احداث کارخانه؛
  - نرخ تولید بالا؛
  - سازگاری با حمل و عملکرد به‌صورت سیار؛
  - هزینهٔ نگهداری به نسبت کمتر؛
  - اقتصادی بودن برای کارهای بزرگ و پروژه‌های طولانی‌مدت.
- ✓ از معایب کارخانهٔ آسفالت گرم‌کن و مخلوط‌کن هم‌زمان با جریان موازی می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:
  - افزایش انتشار گازهای مختلف در صورت افزایش دمای تولید؛
  - محدود بودن درصد آسفالت بازیافتی به ۱۰ تا ۱۵ درصد؛
  - عدم صرفهٔ اقتصادی در صورت پایین بودن مقدار آسفالت موردنیاز؛
  - مشکل بودن تولید انواع مختلف مخلوط‌های آسفالتی.

مزایای و معایب دو نوع اصلی کارخانه آسفالت



انتقال و جابجایی مخلوط آسفالتی داغ

- ✓ انتقال و جابه‌جایی مخلوط‌های آسفالتی داغ از محل کارخانه تا محل پروژه و خالی کردن آن داخل فینیشر با استفاده از کامیون‌های عایق‌بندی شده و سرپوشیده انجام می‌شود تا گرمای مخلوط حین جابه‌جایی از دست نرود و شرایط جوی نامساعد (همچون بارش باران و برف) سبب خرابی مخلوط آسفالتی نشود.
- ✓ کامیون‌های حمل آسفالت می‌توانند آسفالت را هم از زیر خود و هم با بالا بردن بار خود از انتها تخلیه کنند.
- ✓ کامیون‌هایی که آسفالت را از زیر تخلیه می‌کنند، دارای ظرفیت بیشتری بوده و ازاین‌رو در پروژه‌های بزرگ کارایی دارند.
- ✓ یکی از مزایای اصلی سیستم‌های تخلیه از پایین این است که جداشدگی سنگدانه‌ها در مخلوط آسفالتی به حداقل می‌رسد و چون نیازی به ارتفاع گرفتن محموله نیست، حضور موانع طبیعی همچون درخت‌ها مشکلی را ایجاد نمی‌کند.

انتقال و جابجایی مخلوط آسفالتی داغ

انتقال و جابجایی مخلوط آسفالتی داغ

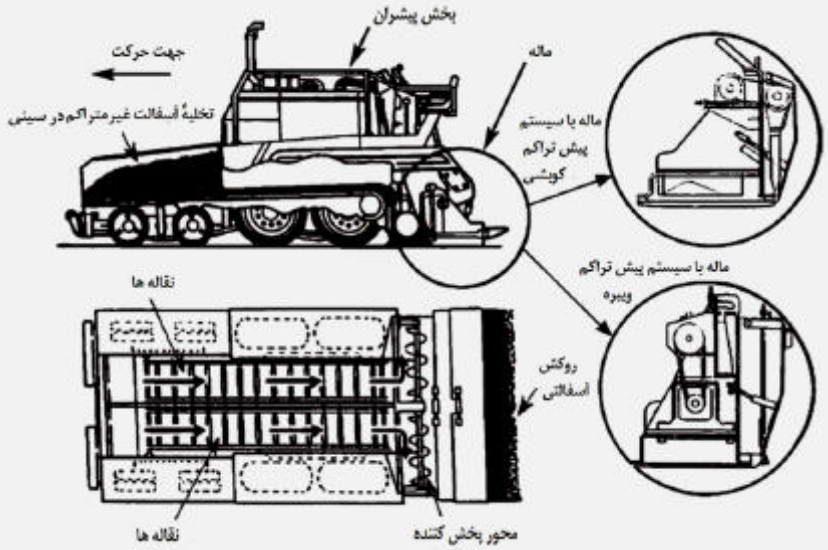
- ✓ هرگاه در مدت زمان حمل آسفالت، درجه حرارت آسفالت بیش از ۱۰ درجه سانتی‌گراد افت کند، کامیون‌های حامل آسفالت باید با برزنت پوشیده شود تا سطح آسفالت سرد نشده و خاصیت و یکنواختی خود را از دست ندهد.
- ✓ حداکثر زمان حمل آسفالت ، ۴۵دقیقه و حداکثر فاصله حمل با کامیون ۷۰ کیلومتر است.

اجرا و پخش مخلوط آسفالتی داغ

- اجرای آسفالت با استفاده از ماشینی به نام فینیشر انجام می‌شود.
- فینیشرها انواع و ابعاد متفاوتی دارند و می‌توانند عرضی بین ۱ تا ۱۶ متر را با عبور خود روکش کنند.
- فینیشرها به دو دسته چرخ لاستیکی و چرخ زنجیری تقسیم می‌شوند.
- هر دو مدل فینیشر از دو قسمت اصلی شامل بخش پیشران و بخش ماله تشکیل شده‌اند.
- به‌تازگی فینیشرهایی ساخته شده است که در هر بار عبور می‌توانند دو لایهٔ آسفالتی (لایهٔ توپکا و بیندر) را به‌صورت هم‌زمان اجرا کنند. از مزایای چنین روسازی‌هایی می‌توان به قفل و بست بهتر دو لایه در یکدیگر، حذف و عدم نیاز به پاشیدن اندود سطحی و کاهش زمان اجرای روسازی اشاره کرد.

انواع فینیشر (چرخ زنجیری و چرخ لاستیکی)

بخش‌های اصلی فینیشر

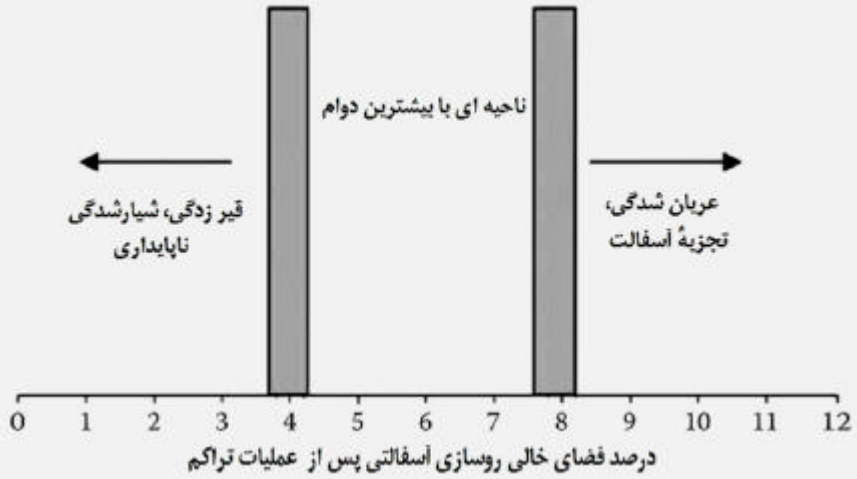


فینیشر با قابلیت اجرای دو لایه آسفالتی به صورت هم‌زمان

تراکم مخلوط آسفالتی

- تراکم لایه‌های آسفالتی مهم‌ترین و کلیدی‌ترین بخش اجرای یک لایهٔ آسفالتی است. انجام تراکم زمانی دوام و عملکرد راه را تضمین خواهد کرد که از مقدار تراکم و یکنواخت بودن آن در سطح راه اطمینان حاصل شود.
- مخلوط آسفالتی دقیقاً پس از اجرا با استفاده از فینیشرهای دارای ماله‌های معمولی درصد فضای خالی درحدود ۱۵٪ تا ۲۰٪ دارد.
- وظیفه غلتک‌ها این است که این میزان فضای خالی را با عبور مکرر از روی راه تا حدود ۸ درصد کاهش دهند.
- باید توجه داشت که میزان فضای خالی مخلوط پس از عمل تراکم با غلتک کمتر از ۴ درصد نشود؛ زیرا خطر شیارشدگی، روزدگی قیر و عدم استقامت مخلوط بالا می‌رود.

اثر فضای خالی مخلوط پس از تراکم بر دوام رویهٔ آسفالتی



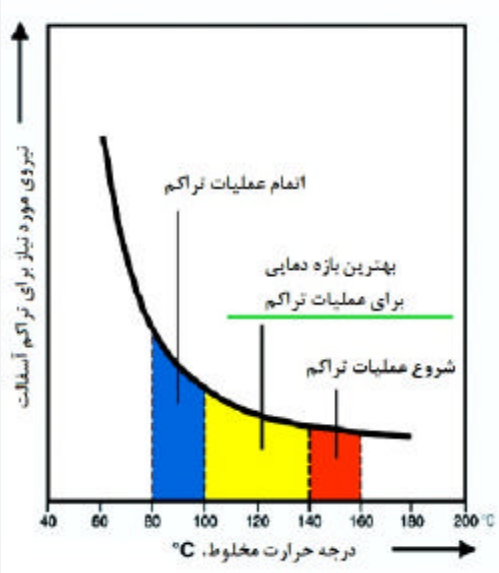
پارامترهای مؤثر بر تراکم آسفالت

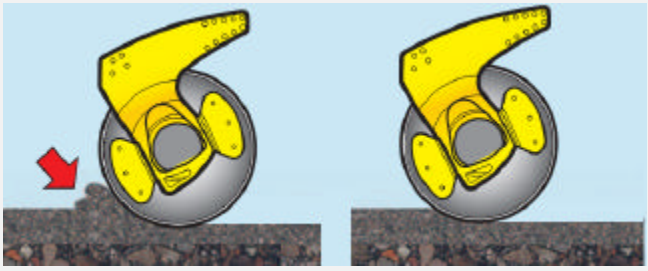
- ✓ مصالح سنگدانه‌ای؛
- ✓ نوع قیر و دمای تراکم؛
- ✓ شرایط محیطی؛
- ✓ ضخامت لایهٔ آسفالتی؛
- ✓ تجهیزات مورداستفاده جهت انجام تراکم؛
- ✓ روش انجام تراکم؛

تاثیر مصالح سنگی و نوع قیر بر تراکم

- ✓ مخلوط آسفالتی با دانه‌بندی باز و حاوی مصالح صیقلی و گرد گوشه راحت‌تر متراکم می‌شود. در ضمن هر چه مقدار درشت‌دانه مخلوط بیشتر باشد تراکم سخت‌تر خواهد بود.
- ✓ درجه یا نوع قیر و مقدار آن در مخلوط عامل مهم و تأثیرگذار بر تراکم آسفالت است. مخلوط‌های حاوی قیر سفت‌تر باید در دمای بالاتری تولید و اجرا شوند.
- ✓ ویسکوزیتهٔ بهینهٔ قیر در زمان تراکم ۲۸۰±۳۰ سانتی‌استوکس است.
- ✓ به‌عنوان یک قانون کلی، تراکم آسفالت به‌هیچ‌وجه نباید در دمایی کمتر از ۸۵ تا ۹۰ درجهٔ سانتی‌گراد انجام شود و مناسب‌ترین دما برای تراکم مخلوط‌های آسفالتی بین ۱۰۰ تا ۱۴۰ درجهٔ سانتی‌گراد است

دمای مناسب برای تراکم مخلوط آسفالتی





تأثیر عوامل محیطی بر تراکم مخلوط آسفالتی

- ✓ وضعیت آب و هوا، به‌خصوص دمای محیط و سرعت باد اصلی‌ترین پارامترهای تأثیرگذار بر روی تراکم آسفالت و مدت‌زمانی که عمل تراکم باید انجام شود، هستند.
- ✓ هر چه دمای محیط کمتر و سرعت باد بیشتر باشد، مدت زمان قابل دسترسی جهت تراکم کاهش می‌یابد.
- ✓ پخش آسفالت رویه یا هر قشر نهایی دیگر باید حتی‌المقدور در فصول مناسب و گرم سال که درجه حرارت سطح راه از ۲۵ درجه سانتی‌گراد کمتر نباشد، انجام شود.
- ✓ مخلوط آسفالتی در دمای کمتر از ۱۰ درجه سانتی‌گراد نباید اجرا شود.

تأثیر ضخامت بر تراکم مخلوط آسفالتی

- ✓ در حالت کلی، هرچه لایه ضخیم‌تر باشد، دستیابی به درجهٔ تراکم موردنظر راحت‌تر است؛ زیرا مدت زمان بیشتری دما را درون خود حفظ می‌کند و زود سرد نمی‌شود.
- ✓ لایه‌هایی که ضخامتشان بین ۲۵ تا ۴۰ میلی‌متر است، در صورت امکان در ماه‌های سرد زمستان نباید اجرا شوند. در صورت الزام به اجرا نیز، در کوتاه‌ترین زمان ممکن پس از پخش شدن باید متراکم شوند.
- ✓ ضخامت آسفالت پخش شده توسط فینیشر با توجه به وضع دانه‌بندی و میزان کوبیدگی محاسبه می‌شود.
- ✓ ضخامت آسفالت پخش‌شده معمولاً بین ۱/۲ تا ۱/۲۵ برابر ضخامت نهایی است.
- ✓ ضخامت هر لایهٔ کوبیده شدهٔ آسفالت، ۲ تا ۳ برابر حداکثر اندازهٔ مصالح سنگی است.

مراحل تراکم مخلوط آسفالتی در ضخامت های نسبتاً زیاد

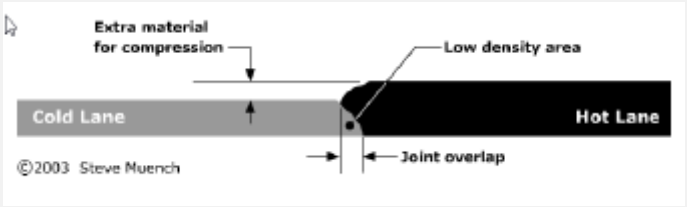
I. غلتک لرزه‌ای؛

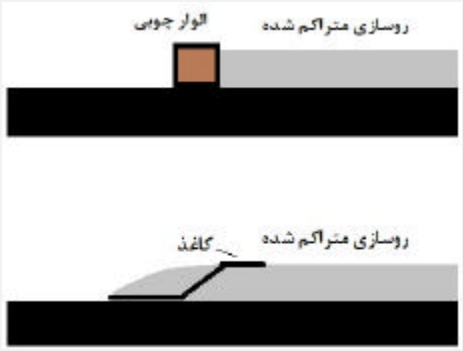
II. غلتک چرخ لاستیکی؛

III. غلتک چرخ فولادی استاتیک یا ترکیبی.

- ✓ مطابق پیشنهاد نشریهٔ ۱۰۱، میزان تراکم برای قشرهای اساس آسفالتی، آستر و رویه (توپکا) باید حداقل ۹۷ درصد وزن مخصوص نمونه‌های آزمایشگاهی مارشال یا ۹۲ درصد حداکثر وزن مخصوص نظری آسفالت باشد.
- ✓ غلتک‌های لرزه‌ای معمولی تنها زمانی می‌توانند برای تراکم آسفالت استفاده شوند که ضخامت اجرایی لایه بیش از ۵ سانتی‌متر باشد. در غیر این صورت برای تراکم لایه‌های نازک آسفالت صرفاً مدل‌هایی که قابلیت تنظیم میزان بزرگی و فرکانس لرزش را دارند، مجاز به استفاده هستند.

اجرای درزهای عرضی

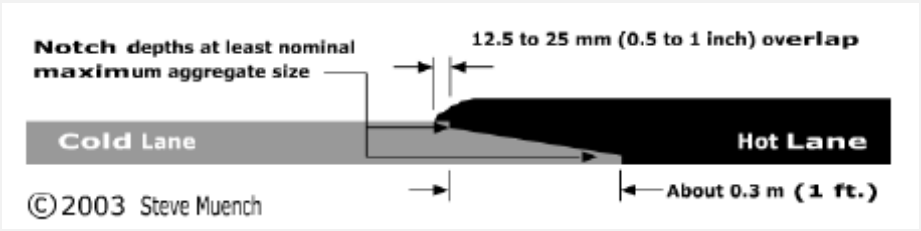




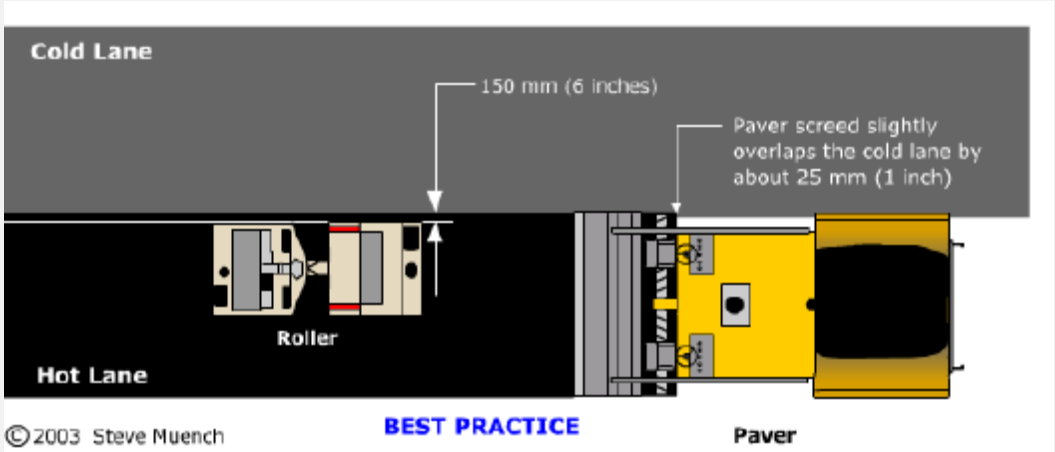
اجرای درزهای طولی

- ✓ اجرای همزمان کل عرض مسیر در یک جلسه کاری (درز گرم)
- ✓ برش بخش کوبیده نشده به صورت قائم (درز سرد)
- ✓ اجرای لایه جدید همراه با همپوشانی (درز سرد)
- ✓ اجرای درز به صورت لبه دار (درز سرد)

اجرای درز لبه دار



عبور اول غلتک برای تراکم درز طولی



عبورهای بعدی غلتک برای تراکم درز طولی