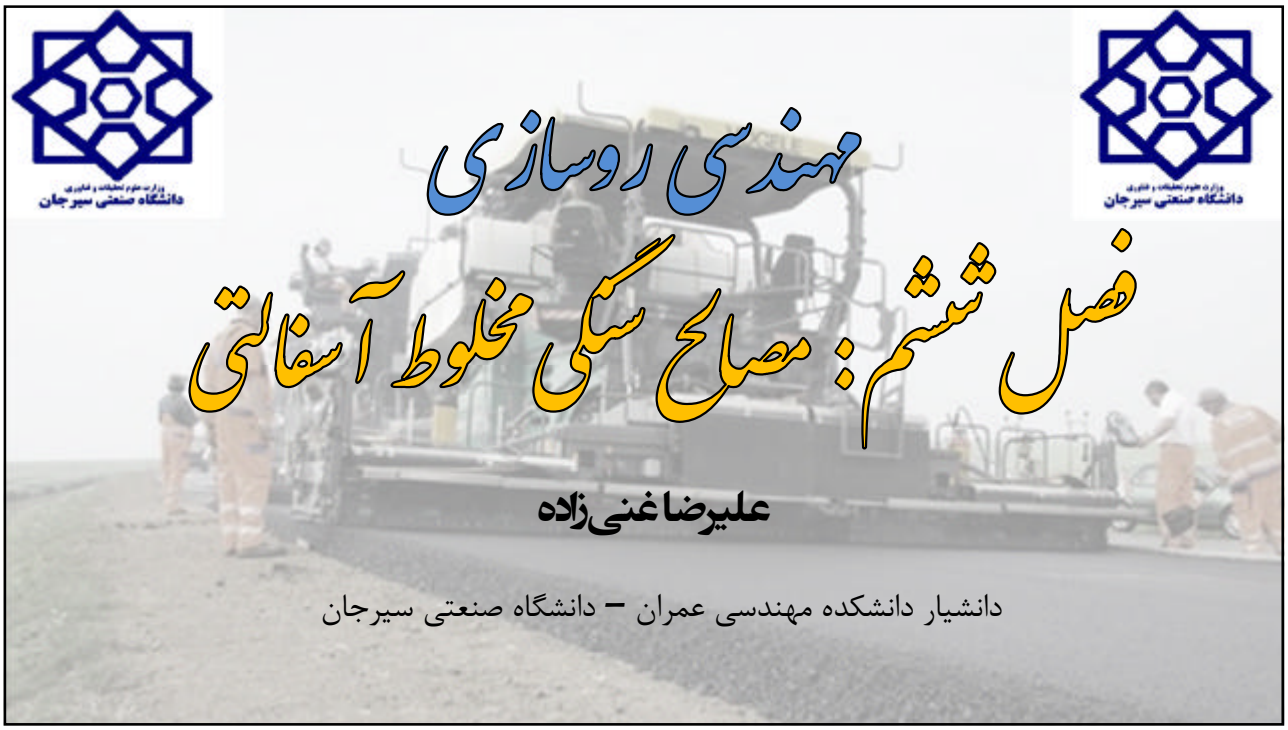
Pavement Engineering



مقدمه

- سنگدانه‌هایی که برای ساخت لایه‌های مختلف روسازی استفاده می‌شوند، عمدتاً از سنگ‌های طبیعی موجود در محل ساخت پروژه به دست می‌آیند.
- این سنگدانه‌ها یا از معادن کوهی و یا از بستر رودخانه‌ها به دست می‌آیند.
- زمین شناسان، سنگ‌های طبیعی را از لحاظ ساختاری به سه دسته آذرین، رسوبی و دگرگونی دسته‌بندی می‌کنند.
- علاوه بر این، گاهی اوقات از سرباره کوره‌های ذوب‌آهن نیز برای ساخت مخلوط‌های آسفالتی استفاده می‌شود. به‌کارگیری این مصالح سبب افزایش مقاومت لغزشی رویه‌های آسفالتی می‌شود.

Ali Reza Ghanizadeh, Ph.D | ghanizadeh@sirjantech.ac.ir
Associate Professor, Department of Civil Engineering, Sirjan University of Technology

Pavement Engineering

شن و ماسه (مصالح درشت‌دانه و ریزدانه)

- شن: از شکستن هر نوع سنگ طبیعی، شن به دست می‌آید. البته شن‌ها را می‌توان به‌راحتی در بستر رودخانه‌های موجود و یا خشک‌شده نیز یافت. تفاوت این دو نوع شن آن است که شن‌های بستر رودخانه اغلب گردگوشه هستند و سطحی صاف دارند، در حالی که شن‌های شکسته ساختاری تیزگوشه دارند. شن مورداستفاده در مخلوط‌های آسفالتی باید سطحی شکسته و گوشه‌دار داشته باشد.
- ماسه: به سنگدانه‌هایی که از خرد شدن سنگ‌های طبیعی به دست می‌آیند و ابعاد آن‌ها بین دو الک شمارهٔ ۲۰۰ و شمارهٔ ۸ قرار می‌گیرد، ماسه گفته می‌شود. کانی غالب در ماسه‌ها کوارتز است. نهشته‌های ماسه اغلب دارای مقادیر زیادی لای و رس هستند و به همین جهت بهتر است قبل از استفاده در مخلوط آسفالتی گرم، ماسه‌ها شسته شوند تا سنگدانه‌های تمیز در مخلوط استفاده گردند.

سرباره

- سرباره یکی از فرآورده‌های جانبی فرآیند تولید فلزاتی همچون آهن، قلع و مس است.
- خصوصیات سرباره‌ها به سنگ‌های آذرین شبیه است، اما به‌جای ساختاری بلوری شکل، ساختاری لانه‌زنبوری دارند.
- سرباره‌ای که از کوره‌های ذوب‌آهن به دست می‌آید، یکی از متداول‌ترین انواع سرباره است.
- استفاده از این مصالح در مخلوط‌های آسفالتی گرم، موجب بالا رفتن کیفیت مخلوط حاصله شده و مقاومت لغزندگی مناسبی را ایجاد می‌کند. به علت تخلخل بالای این مصالح، مخلوط آسفالتی نیاز به درصد قیر بالاتری نسبت حالت عادی دارد.

Ali Reza Ghanizadeh, Ph.D | ghanizadeh@sirjantech.ac.ir
Associate Professor, Department of Civil Engineering, Sirjan University of Technology

Pavement Engineering

خصوصیات شیمیایی سنگدانه‌ها

- برای تولید آسفالتی با کیفیت بالا، قیر باید سطح سنگدانه‌ها را اندود کند و به‌خوبی به آن‌ها بچسبد و در هنگام حضور آب در برابر جدا شدن از سطح سنگ مقاومت نماید.
- کانی‌ها و ترکیبات شیمیایی موجود در سنگدانه اثر بسیار مهمی روی خواص عریان شدگی (جداشدگی قیر از سنگدانه‌ها) دارد.
- برخی انواع سنگدانه‌ها حساسیت بیشتری به رطوبت دارند و در این سنگدانه‌ها رطوبت می‌تواند عامل جداشدگی سنگدانه‌ها از قیر و عریان شدگی آسفالت شود. این سنگدانه‌ها که طبیعتی اسیدی دارند را در اصطلاح آب‌دوست (هایدروفیلیک) می‌گویند. از طرف دیگر سنگدانه‌های با طبیعت قلیایی حساسیت چندانی به آب ندارند و به آن‌ها آب‌گریز (هایدروفوبیک) می‌گویند.

دانشگاه صنعتی سیرجان	مهندسی روسازی	۵

خصوصیات شیمیایی سنگدانه‌ها

- بار الکتریکی سطح سنگدانه‌ها به مقدار زیادی روی چسبندگی بین قیر و سنگدانه‌ها و حساسیت رطوبتی تأثیرگذار است.
- معمولاً سطح سنگدانه‌های سیلیسی همچون ماسه‌سنگ، کوارتز و شن سیلیسی در حضور آب دارای بار الکتریکی منفی است. این در حالی است که سطح سنگ‌آهک و دیگر مصالح کلسیم‌دار در حضور آب دارای بار الکتریکی مثبت است.
- برخی سنگدانه‌ها نیز روی سطح خود هر دو نوع بار الکتریکی را دارند.
- در حقیقت ترکیبات معدنی همچون سیلیس سبب ایجاد بار منفی و ترکیبات کلسیمی، منیزیمی، آلومینیومی و یا آهنی سبب ایجاد بار الکتریکی مثبت می‌شوند.
- مصالح سنگی با بار الکتریکی مثبت یا به عبارتی مصالح آهکی چسبندگی بهتری با قیر دارند.

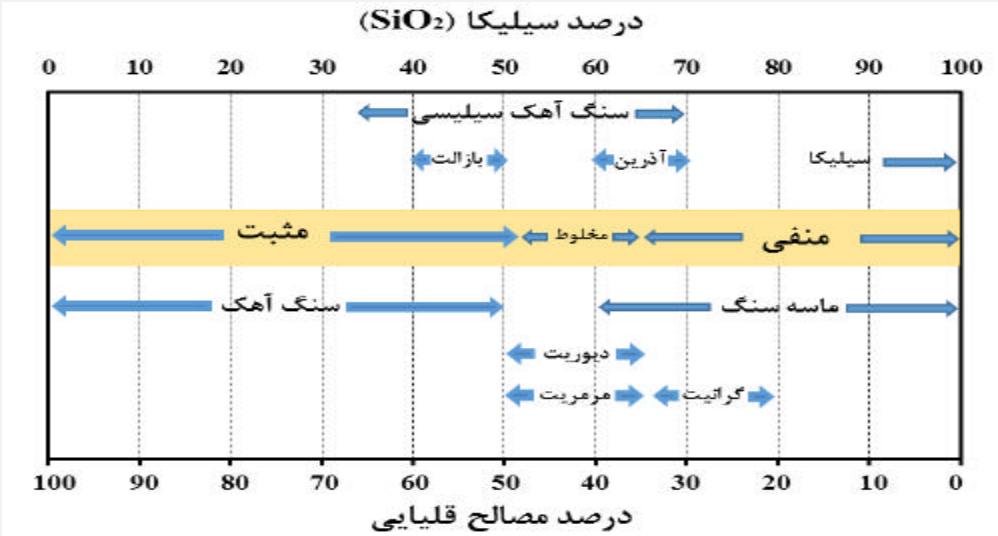
دانشگاه صنعتی سیرجان	مهندسی روسازی	۶

Ali Reza Ghanizadeh, Ph.D | ghanizadeh@sirjantech.ac.ir

Associate Professor, Department of Civil Engineering, Sirjan University of Technology

Pavement Engineering

بار الکتریکی روی انواع سنگدانه‌ها



خصوصیات فیزیکی سنگدانه‌ها

- ✓ دانه‌بندی ؛
- ✓ تمیزی و حضور مصالح رسی؛
- ✓ سختی و مقاومت سایشی؛
- ✓ دوام و سلامت سنگدانه‌ها؛
- ✓ بافت سطحی؛
- ✓ شکل سنگدانه‌ها؛
- ✓ میزان جذب آب؛
- ✓ چسبندگی به قیر.

Ali Reza Ghanizadeh, Ph.D | ghanizadeh@sirjantech.ac.ir
Associate Professor, Department of Civil Engineering, Sirjan University of Technology

Pavement Engineering

دانه‌بندی مصالح سنگی

- سنگدانه‌هایی که برای ساخت مخلوط‌های آسفالتی به کار می‌روند، از لحاظ ابعاد و اندازه به سه دستهٔ درشت‌دانه، ریزدانه و فیلر دسته‌بندی می‌شوند.
- طبق تعریف ASTM به سنگدانه‌هایی که هنگام دانه‌بندی روی الک شمارهٔ ۴ (با ابعاد ۷۵/۴ میلی‌متر) می‌مانند، درشت‌دانه و به سنگدانه‌هایی که از الک شمارهٔ ۴ عبور می‌کنند، ریزدانه گفته می‌شود.
- فیلر نیز به مصالحی اطلاق می‌شود که بیش از ۷۰ درصد وزن آن از الک شمارهٔ ۲۰۰ (با ابعاد ۰/۰۷۵ میلی‌متر) عبور کند.
- البته سایر مؤسسات بین‌المللی همچون انستیتو آسفالت، الک شمارهٔ ۸ (با ابعاد ۲/۳۸ میلی‌متر) و برخی دیگر الک شمارهٔ ۱۰ (با ابعاد ۲ میلی‌متر) را به‌عنوان مرز بین ریزدانه و درشت‌دانه معرفی کرده‌اند.

دوام مصالح سنگی

- سنگدانه‌ها باید به اندازه‌ای مقاوم باشند که تحت اثر چرخه‌های تر و خشک شدن و ذوب و یخبندان که در اصطلاح هوازدگی نامیده می‌شود، دوام آورند.
- استاندارد ASTM C88 جهت تعیین میزان دوام سنگدانه‌ها در برابر هوازدگی به کار می‌رود.
- در این آزمایش مصالح سنگدانه‌ای درون محلولی از سولفات سدیم یا سولفات منیزیم غوطه‌ور می‌شوند. پس از این کار، بلورهای نمک درون خلل و فرج سنگدانه‌ها تشکیل‌شده و سبب ازهم‌پاشی و خردشدن سنگدانه‌ها می‌شود. هرچه سنگدانه‌ها دوام بیشتری داشته باشند، میزان خردشدن سنگدانه‌ها کمتر خواهد بود. در حقیقت بلورهای نمک، وضعیت ذوب و یخبندان آب در درون خلل و فرج مصالح سنگی را شبیه‌سازی می‌کنند.

Ali Reza Ghanizadeh, Ph.D | ghanizadeh@sirjantech.ac.ir
Associate Professor, Department of Civil Engineering, Sirjan University of Technology

Pavement Engineering

دوام مصالح سنگی

- برای انجام این آزمایش ابتدا نمونه‌های سنگدانه‌ای با وزن و دانه‌بندی مشخص آماده شده و در دمای ثابت به مدت ۱۸ ساعت درون محلول سولفات سدیم یا سولفات منیزیم قرار داده می‌شوند.
- بعد از این مدت، نمونه‌ها از محلول خارج و درون گرمخانه خشک و سپس خنک می‌شوند. این فرآیند پنج مرتبه بر روی نمونهٔ مصالح سنگی انجام می‌شود. بعد از بار پنجم، نمونه شسته شده تا نمک‌های تشکیل‌شده پاک شوند.
- درنهایت تغییرات وزنی هر بخش از مصالح سنگی، با دانه‌بندی مجدد تعیین شده و درصد افت وزنی تعیین می‌شود.
- مطابق ضوابط ذکر شده در نشریه ۱۰۱، حداکثر افت وزنی مصالح درشت‌دانهٔ مخلوط آسفالتی پس از پنج چرخهٔ تر و خشک شدن در محلول سولفات سدیم ۱۲ درصد و در سولفات منیزیم ۱۸ درصد تعیین شده است.

شکل و خصوصیات سطحی سنگدانه‌ها

- سنگدانه‌هایی برای به‌کارگیری در مخلوط‌های آسفالتی مناسب‌اند که شکلی مکعبی داشته باشند؛ زیرا بعد از متراکم شدن توسط غلتک، قفل و بست این سنگدانه‌ها نسبت به دیگر انواع سنگدانه‌های گردگوشه، پهن و یا دراز بهتر بوده و اصطکاک درونی بیشتری را ایجاد می‌کنند و در نتیجه مخلوطی با استقامت بیشتر حاصل می‌شود.
- تعیین درصد سنگدانه‌های پهن و دراز مطابق استاندارد ASTM D4791 انجام می‌شود. شکل سنگدانه‌های ریزدانه نیز بسیار مهم است و تحقیقات نشان داده‌اند که استقامت مخلوط‌های آسفالتی با دانه‌بندی متراکم به میزان زیادی به این پارامتر بستگی دارد.
- تأثیر شکل دانه و بافت سطحی مصالح سنگی ریزدانه بر مقدار فضای خالی متراکم نشده UVC مصالح را می‌توان با استفاده از روش ASTM C1252ارزیابی نمود.

Ali Reza Ghanizadeh, Ph.D | ghanizadeh@sirjantech.ac.ir
Associate Professor, Department of Civil Engineering, Sirjan University of Technology

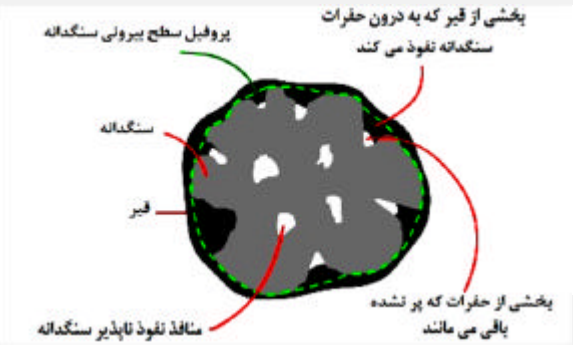
Pavement Engineering

آزمایش ارزیابی شکل و بافت سطحی سنگدانه‌های ریز

- این آزمایش برای پیش‌بینی پتانسیل شیارشدگی مخلوط‌های آسفالتی مفید تشخیص داده شده است. در این روش یک قالب استوانه‌ای به حجم ۱۰۰ سانتی‌متر مکعب از مصالح ریزدانه با دانه‌بندی مشخص با ریزش نمونه از روزنهٔ یک قیف پر می‌شود. سپس سطح قالب صاف و قالب به همراه مصالح داخل آن توزین می‌شود.
- که در این رابطه V حجم قالب استوانه‌ای بر حسب میلی‌لیتر، W وزن مصالح سنگی ریزدانه کوبیده نشده برای پر کردن قالب بر حسب گرم و G_{sb} وزن مخصوص حقیقی خشک مصالح سنگی ریزدانه است.

$$UVC = \frac{V - (W / G_{sb})}{V} \times ۱۰۰$$

انواع وزن مخصوص سنگدانه‌ها



۱- وزن مخصوص ظاهری [۱] (G_{sa})؛

۲- وزن مخصوص حقیقی [۲] (G_{sb})؛

۳- وزن مخصوص اشباع با سطح خشک [۳]؛

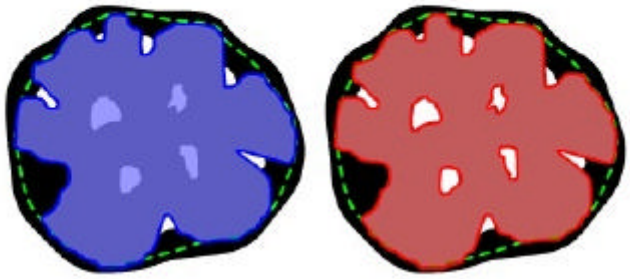
۴- وزن مخصوص مؤثر [۴] (G_{se}).

Ali Reza Ghanizadeh, Ph.D | ghanizadeh@sirjantech.ac.ir
Associate Professor, Department of Civil Engineering, Sirjan University of Technology

Pavement Engineering

چگالی ظاهری سنگدانه‌ها

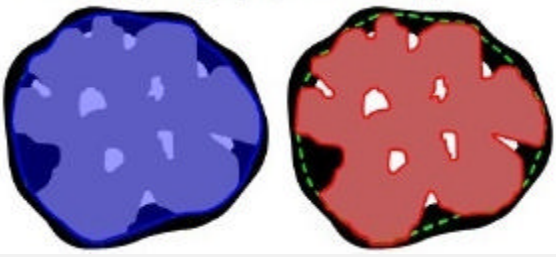
$$\text{چگالی ظاهری} = \frac{\text{تنها جرم سنگدانه محاسبه می شود}}{\text{تنها حجم سنگدانه محاسبه می شود}}$$



۱۵ | مهندسی روسازی | دانشگاه صنعتی سیرجان

چگالی حقیقی سنگدانه‌ها

$$\text{چگالی واقعی} = \frac{\text{تنها جرم سنگدانه محاسبه می شود}}{\text{حجم سنگدانه} + \text{حجم فضای خالی که امکان نفوذ آب دارد}}$$



۱۶ | مهندسی روسازی | دانشگاه صنعتی سیرجان

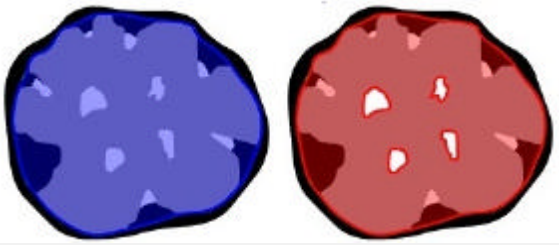
Ali Reza Ghanizadeh, Ph.D | ghanizadeh@sirjantech.ac.ir

Associate Professor, Department of Civil Engineering, Sirjan University of Technology

Pavement Engineering

چگالی واقعی اشباع با سطح خشک

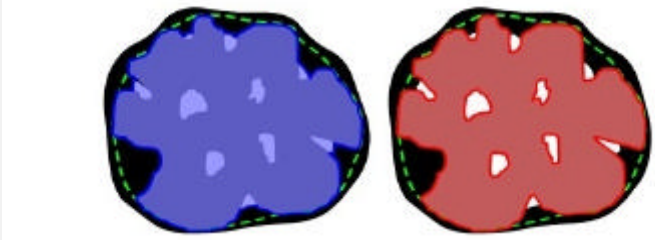
$$\text{چگالی واقعی اشباع با سطح خشک} = \frac{\text{وزن سنگدانه} + \text{وزن آب نفوذ کرده به درون سنگدانه}}{\text{حجم سنگدانه} + \text{حجم فضای خالی که امکان نفوذ آب دارد}}$$



۱۷ | مهندسی روسازی | دانشگاه صنعتی سیرجان

چگالی مؤثر سنگدانه‌ها

$$\text{چگالی موثر سنگ دانه ها} = \frac{\text{تنها جرم سنگدانه محاسبه می شود}}{\text{حجم سنگدانه} + \text{حجم فضای خالی که امکان نفوذ آب دارد} - \text{حجم قیر جذب شده}}$$



۱۸ | مهندسی روسازی | دانشگاه صنعتی سیرجان

Ali Reza Ghanizadeh, Ph.D | ghanizadeh@sirjantech.ac.ir

Associate Professor, Department of Civil Engineering, Sirjan University of Technology

Pavement Engineering

تعیین چگالی سنگدانه‌ها

$$G_{sa} = \frac{W_s}{V_s \times \gamma_w} \qquad (۵-۶)$$

$$G_{sb} = \frac{W_s}{(V_s + V_{pp}) \times \gamma_w} \qquad (۶-۶)$$

$$G_{se} = \frac{W_s}{(V_s + V_{pp} - V_{ap}) \times \gamma_w} \qquad (۷-۶)$$

که در این روابط:

W_s= جرم سنگدانه؛

V_s= حجم سنگدانه؛

V_{pp}= حجم فضای خالی مصالح سنگی که آب به درون آن‌ها نفوذ می‌کند؛

V_{ap}= حجم فضای خالی پرشده با قیر.

تمرین

- ✓ نحوه محاسبه وزن مخصوص برای سنگدانه‌های درشت دانه را شرح دهید (ASTM C 127)
- ✓ نحوه محاسبه وزن مخصوص برای سنگدانه‌های ریزدانه را شرح دهید (ASTM C 128)

Ali Reza Ghanizadeh, Ph.D | ghanizadeh@sirjantech.ac.ir

Associate Professor, Department of Civil Engineering, Sirjan University of Technology

Pavement Engineering

حدود دانه‌بندی مربوط به مخلوط‌های آسفالتی با دانه‌بندی متراکم

شماره دانه‌بندی / اندازه الک	درصد وزنی رد شده از هر الک						
	۱ (اساس قیری)	۲ (اساس قیری و استر)	۳ (اساس قیری و استر)	٤ (استر و رویه)	٥ (رویه)	٦ (رویه)	۷ (رویه)
۵۰ میلیمتر (۲ اینچ)	۱۰۰	—	—	—	—	—	—
۳۷/۵ میلیمتر (۱½ اینچ)	۹۰ –۱۰۰	۱۰۰	—	—	—	—	—
۲۵ میلیمتر (۱ اینچ)	—	۹۰ –۱۰۰	۱۰۰	—	—	—	—
۱۹ میلیمتر ($\frac{3}{4}$ اینچ)	۵۶ –۸۰	—	۹۰ –۱۰۰	۱۰۰	—	—	—
۱۲/۵ میلیمتر ($\frac{1}{2}$ اینچ)	—	۵۶ –۸۰	—	۹۰ –۱۰۰	۱۰۰	—	—
۹/۵ میلیمتر ($\frac{3}{8}$ اینچ)	—	—	۵۶ –۸۰	—	۹۰ –۱۰۰	۱۰۰	—
۴/۷۵ میلیمتر (شماره ۴)	۲۳ –۵۳	۷۹ –۵۹	۷۵ –۶۵	۷۴ –۷۴	۵۵ –۸۵	۸۰ –۱۰۰	۱۰۰
۲/۳۶ میلیمتر (شماره ۸)	۱۵ –۳۱	۱۹ –۲۵	۲۳ –۴۹	۲۸ –۵۸	۳۲ –۶۷	۶۵ –۱۰۰	۹۵ –۱۰۰
۱/۱۸ میلیمتر (شماره ۱۶)	—	—	—	—	—	۴۰ –۸۰	۸۵ –۱۰۰
۰/۶ میلیمتر (شماره ۳۰)	—	—	—	—	—	۲۵ –۶۵	۷۰ –۹۵
۰/۳ میلیمتر (شماره ۵۰)	۴–۱۶	۵ –۱۷	۵ –۱۹	۵ –۲۱	۷ –۲۳	۷ –۴۰	۲۵ –۷۵
۰/۱۵ میلیمتر (شماره ۱۰۰)	—	—	—	—	—	۳ –۲۰	۲۰ –۴۰
۰/۰۷۵ میلیمتر (شماره ۲۰۰)	۰ –۶	۱ –۷	۲–۸	۲ –۱۰	۲ –۱۰	۲–۱۰	۹ –۲۰

حدود دانه‌بندی مربوط به مخلوط‌های آسفالتی با دانه‌بندی باز

شماره دانه‌بندی / اندازه الک	درصد وزنی رد شده از هر الک					
	۱ (اساس قیری)	۲ (اساس قیری و استر)	۳ (اساس قیری و استر)	٤ (استر و رویه)	٥ (رویه)	٦ (رویه)
۵۰ میلیمتر (۲ اینچ)	۱۰۰	—	—	—	—	—
۳۷/۵ میلیمتر (۱½ اینچ)	۹۰ –۱۰۰	۱۰۰	—	—	—	—
۲۵ میلیمتر (۱ اینچ)	—	۹۰ –۱۰۰	۱۰۰	—	—	—
۱۹ میلیمتر ($\frac{3}{4}$ اینچ)	۴۰ –۷۰	—	۹۰ –۱۰۰	۱۰۰	—	—
۱۲/۵ میلیمتر ($\frac{1}{2}$ اینچ)	—	۴۰ –۷۰	—	۸۵ –۱۰۰	۱۰۰	—
۹/۵ میلیمتر ($\frac{3}{8}$ اینچ)	۱۸ –۳۸	—	۴۰ –۷۰	۶۰ –۹۰	۸۵ –۱۰۰	—
۴/۷۵ میلیمتر (شماره ۴)	۶ –۲۹	۱۰ –۴۴	۱۵ –۳۹	۲۰ –۵۰	۴۰ –۷۰	۱۰۰
۲/۳۶ میلیمتر (شماره ۸)	۰ –۱۴	۱ –۱۷	۲ –۱۸	۵ –۲۵	۱۰ –۲۵	۲۵ –۱۰۰
۱/۱۸ میلیمتر (شماره ۱۶)	—	—	—	۳ –۱۹	۵ –۲۵	۵۰ –۷۵
۰/۶ میلیمتر (شماره ۳۰)	۰ –۸	۰ –۱۰	۰ –۱۰	—	—	۲۸ –۵۴
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

Ali Reza Ghanizadeh, Ph.D | ghanizadeh@sirjantech.ac.ir
Associate Professor, Department of Civil Engineering, Sirjan University of Technology

Pavement Engineering

حدود دانه‌بندی مربوط به آسفالت متخلخل

اندازه الک / شماره دانه‌بندی	درصد وزنی رد شده از الک ۱	درصد وزنی رد شده از الک 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 -۳۰	۳۰ -۵۰
۲/۳۶ میلیمتر (شماره ۸)	۴ -۱۲	۵ -۱۵
۰/۰۷۵ میلیمتر (شماره ۲۰۰)	۲-۵	۲-۵
درصد قیر خالص برحسب مخلوط آسفالتی- حداقل	۴/۵ - ۸	۵ - ۸/۵

مشخصات سنگدانه‌های درشت

جدول ۶-۱۷: مشخصات سنگدانه‌های درشت مخلوط آسفالتی.

شرح	اساس قیری	آستر	رویه	روش آزمایش AASHTO	روش آزمایش ASTM
حداکثر سایش به روش لوس‌آنجلس، درصد	۳۵	۳۰	۲۵	T 96	C131
حداکثر افت وزنی با سولفات سدیم، درصد	۱۲	۸	۸	T 104	C88
حداکثر جذب آب[1]، درصد	-	۲/۸	۲/۵	T 85	C127
حداکثر درصد سنگدانه‌های پهن و دراز[2]	۱۵	۱۵	۱۵	-	D4791

۱- استفاده از مصالح سنگی با درصد جذب آب بیشتر برای قشر آستر با توجه به شرایط محیطی و ترافیکی پروژه به تشخیص دستگاه نظارت و تصویب کارفرما مجاز است.

۲- دانه‌های پهن و دراز، سنگدانه‌هایی می‌باشند که حداکثر طول به حداقل ضخامت آن‌ها بزرگتر از ۵ باشد.

Ali Reza Ghanizadeh, Ph.D | ghanizadeh@sirjantech.ac.ir

Associate Professor, Department of Civil Engineering, Sirjan University of Technology

Pavement Engineering

مشخصات سنگدانه‌های ریز

جدول ۶-۱۸: مشخصات سنگدانه‌های ریز مخلوط آسفالتی.

شرح	لایه قیری	آستر	رویه	روش آزمایش AASHTO	روش آزمایش ASTM
حداکثر دامنه‌خمیری PI، درصد	۴	غیر خمیری	غیر خمیری	T 90	D4318
حداکثر افت وزنی با سولفات سدیم، درصد	۱۵	۱۲	۱۲	T 104	C88
حداکثر جذب آب[1]، درصد	-	۲/۸	۲/۵	T 84	C128
حداقل اوزن ماسه‌ای هریک از دو ماسهٔ طبیعی و ماسهٔ شکسته قبل از ورود به کارخانهٔ آسفالت	۴۵	۵۰	۵۰	T 176	D2419
حداکثر مجاز درصد وزنی ماسه طبیعی نسبت به مصالح رد شده از الک شماره ۴ دانه‌بندی مربوطه، درصد	۲۵	۲۰	-	-	-
حد رواداری ضریب نرمی نسبت به پایه[2]، درصد	-	±۰/۲۵	±۰/۲۵	M 6	-
حداکثر دامنه‌خمیری عبوری از الک شمارهٔ ۲۰۰ مخلوط مصالح درشت، متوسط، ریز و فیلر در صورت عدم استفاده از سیمان و آهک، درصد	۴	۴	۴	T 90	D4318

۱- استفاده از مصالح سنگی با درصد جذب آب بیشتر برای قشر آستر با توجه به شرایط محیطی و ترافیکی پروژه به تشخیص دستگاه نظارت و تصویب کارفرما مجاز است.

۲- ضریب نرمی مصالح ریزدانه، حاصل جمع درصدهای مانده روی الک‌های ۸/۱۵، ۴/۷۵، ۸/۳۶، ۸/۱۸، ۰/۶، ۰/۳، ۰/۱۵ میلی‌متر تقسیم بر ۱۰۰

مشخصات شکستگی سنگدانه‌های درشت دانه

جدول ۶-۱۹: مشخصات شکستگی مصالح سنگی درشت‌دانه.

آمد و شد برحسب ESALs	عمق از سطح رویه: کمتر از ۱۰۰ میلی‌متر	عمق از سطح رویه: بیشتر از ۱۰۰ میلی‌متر
	درصد شکستگی	
$< ۰/۳ * ۱۰^۶$	۵۵/۰[1]	-
$< ۱ * ۱۰^۶$	۶۵/۰	-
$< ۳ * ۱۰^۶$	۷۵/۰	۵۰/۰
$< ۱۰ * ۱۰^۶$	۸۵/۸۰[1]	۶۰/۰
$< ۳۰ * ۱۰^۶$	۹۵/۹۰	۸۰/۷۵
$< ۱۰۰ * ۱۰^۶$	۱۰۰/۱۰۰	۹۵/۹۰
$> ۱۰۰ * ۱۰^۶$	۱۰۰/۱۰۰	۱۰۰/۱۰۰

۱- ۸۵/۸۰ بدین معنی است که شکستگی در یک جبهه باید ۸۵ درصد و در دو جبهه ۸۰ درصد باشد و یا ۵۵/۰ یعنی شکستگی یک جبهه حداقل ۵۵ درصد و شکستگی دو جبهه مشخصات ندارد.

۲- درصد شکستگی مطابق ASTM D5821 انجام شود.

Ali Reza Ghanizadeh, Ph.D | ghanizadeh@sirjantech.ac.ir

Associate Professor, Department of Civil Engineering, Sirjan University of Technology

Pavement Engineering

مشخصات گوشه‌داری مصالح ریزدانه

جدول ۶-۲۰: مشخصات گوشه‌داری مصالح سنگی ریزدانه (رد شده از الک ۲/۳۶ میلی‌متر).

آمد و شد برحسب ESALs	عمق از سطح رویه: درصد فضای خالی مصالح ریزدانه در حالت غیر متراکم [1] — کمتر از ۱۰۰ میلی‌متر	عمق از سطح رویه: درصد فضای خالی مصالح ریزدانه در حالت غیر متراکم [1] — بیشتر از ۱۰۰ میلی‌متر
$< 0/3 * 10^6$	–	–
$< 1 * 10^6$	۴۰	–
$< 3 * 10^6$	۴۰	۴۰
$< 10 * 10^6$	۴۵	۴۰
$< 30 * 10^6$	۴۵	۴۰
$< 100 * 10^6$	۴۵	۴۵
$> 100 * 10^6$	۴۵	۴۵

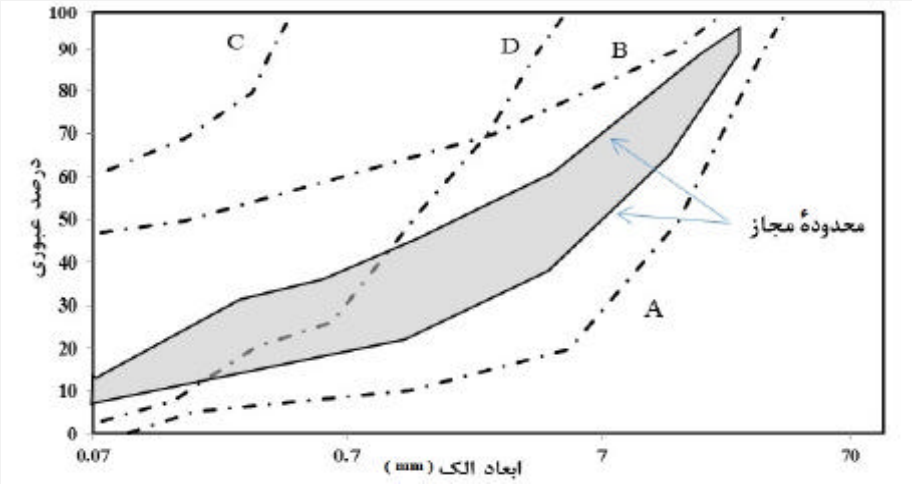
- این آزمایش روی مصالح رد شده از الک شماره ۸ و مطابق ASTM C1252 انجام می‌شود که نتیجه آن معرف درصد فضای خالی غیر متراکم مصالح است و با رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$\text{درصد فضای خالی (FAA)} = \frac{V - W / G_m}{V} \times 100\%$$

که در آن: V= حجم استوانه آزمایش، W= وزن مصالح داخل استوانه و G_m= وزن مخصوص حقیقی مصالح

- درصد فضای خالی زیادتر معرف گوشه‌داری و چیدمان شکسته بیشتر مصالح است.

اختلاط چند سنگدانه به منظور دستیابی به دانه‌بندی مورد نظر



Ali Reza Ghanizadeh, Ph.D | ghanizadeh@sirjantech.ac.ir

Associate Professor, Department of Civil Engineering, Sirjan University of Technology

Pavement Engineering

اختلاط چند سنگدانه به منظور دستیابی به دانه‌بندی مورد نظر

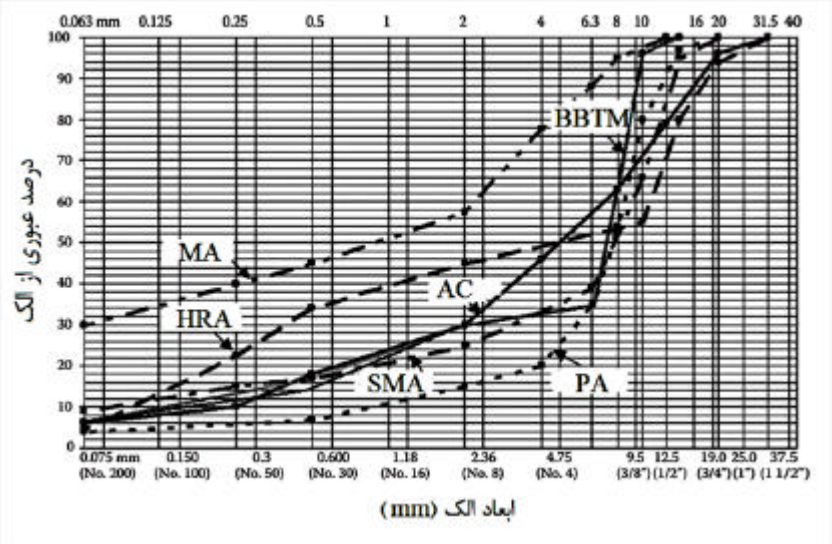
جدول ۶-۱۳: دانه‌بندی مصالح و محدوده مجاز.

سنگدانه	اندازهٔ الک									
	۰/۷۵- اینچ	۰/۵- اینچ	۰/۳۷۵- اینچ	شمارهٔ ۴	شمارهٔ ۸	شمارهٔ ۳۰	شمارهٔ ۵۰	شمارهٔ ۱۰۰	شمارهٔ ۲۰۰
A	۱۰۰	۹۰	۵۹	۱۶	۳	۰	۰	۰	۰
B	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۹۶	۸۲	۵۱	۳۶	۲۱	۹
مجاز	۱۰۰	۸۰-۱۰۰	۷۰-۹۰	۵۰-۷۰	۳۵-۵۰	۱۸-۲۹	۱۳-۲۳	۸-۱۶	۴-۱۰

جدول ۶-۱۴: نحوهٔ تعیین اختلاط دو دانه‌بندی مختلف

سنگدانه	درصد اختلاط	اندازهٔ الک								
		۰/۷۵- اینچ	۰/۵- اینچ	۰/۳۷۵- اینچ	شمارهٔ ۴	شمارهٔ ۸	شمارهٔ ۳۰	شمارهٔ ۵۰	شمارهٔ ۱۰۰	شمارهٔ ۲۰۰
A	۱۰۰	۱۰۰	۹۰	۵۹	۱۶	۳	۰	۰	۰	۰
B	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۹۶	۸۲	۵۱	۳۶	۲۱	۹
A ۵۰٪	۵۰	۵۰	۴۵	۲۹/۵	۸	۱/۵	۰	۰	۰	۰
B ۵۰٪	۵۰	۵۰	۵۰	۵۰	۴۸	۴۱	۲۵/۵	۱۸	۱۰/۵	۴/۵
مخلوط	۱۰۰	۱۰۰	۹۵	۷۹/۵	۵۶	۴۲/۵	۲۵/۵	۱۸	۱۰/۵	۴/۵
میانگین مجاز	۱۰۰	۱۰۰	۹۰	۸۰	۶۰	۳۳	۲۳	۱۸	۱۲	۷
محدوده مجاز		۱۰۰	۸۰-۱۰۰	۷۰-۹۰	۵۰-۷۰	۳۵-۵۰	۱۸-۲۹	۱۳-۲۳	۸-۱۶	۴-۱۰

انواع مخلوط‌های آسفالتی



Ali Reza Ghanizadeh, Ph.D | ghanizadeh@sirjantech.ac.ir
Associate Professor, Department of Civil Engineering, Sirjan University of Technology

Pavement Engineering

مشخصات کلی انواع مخلوطهای آسفالتی

جدول ۶-۲۱: مقایسهٔ بین خصوصیات مخلوطهای آسفالتی مختلف.

	انواع مخلوطهای آسفالتی								
	MA	Open	HRA	SMA	AC	DMac	BBTM	OMac	PA
ترکیبات (٪)									
مصالح درشت	کم	متوسط	متوسط	زیاد	زیاد	زیاد	زیاد	زیاد	زیاد
مصالح ریز	زیاد	زیاد	زیاد	کم	متوسط	متوسط	کم	کم	کم
غبار	خیلی زیاد	زیاد	متوسط	زیاد	متوسط	متوسط	زیاد	کم	کم
قیر	خیلی زیاد	زیاد	زیاد	زیاد	متوسط	متوسط	زیاد	کم	کم
مختی قیر	خیلی سخت	سخت	سخت	متوسط	نیمه سخت	نیمه سخت	متوسط	نیمه نرم	متوسط
خصوصیات									
فضای خالی (٪)	۱-۰	۲-۱	۲-۲	۴(۵-۲)۵	۵-۳	۵-۱۰	۶-۱۵	۱۸<	۱۸<
مقاومت در برابر کلیپرشکل	متوسط/زیاد	زیاد	متوسط	زیاد	متوسط/زیاد	متوسط	زیاد	متوسط	متوسط
نرمی	زیاد	زیاد	خیلی زیاد	خیلی زیاد	زیاد	زیاد	زیاد	کم	کم
استحکام سازهای	زیاد	زیاد	زیاد	زیاد	زیاد	زیاد	متوسط	کم	کم
مقاومت لغزشی	-	متوسط	زیاد	متوسط	متوسط	متوسط	زیاد	زیاد	زیاد
کاهش صدا	خیر	خیر	خیر	خیر	خیر	خیر	بله	بله	بله
تأخیر در نوسازی سطح	خیر	خیر	خیر	خیر	خیر	خیر	بله	بله	بله
کارایی	کم	کم	متوسط	متوسط	متوسط	متوسط	متوسط	زیاد	متوسط
گرمت	خیلی زیاد	زیاد	زیاد	زیاد	متوسط	متوسط	کم	متوسط	زیاد

تمرین

- ✓ مخلوط های آسفالتی زیر را شرح دهید
- ✓ HMA (Hot Mix Asphalt)
- ✓ SMA (Stone Matrix Asphalt)
- ✓ Porous Asphalt (PA)
- ✓ WMA (Warm Mix Asphalt)

Ali Reza Ghanizadeh, Ph.D | ghanizadeh@sirjantech.ac.ir

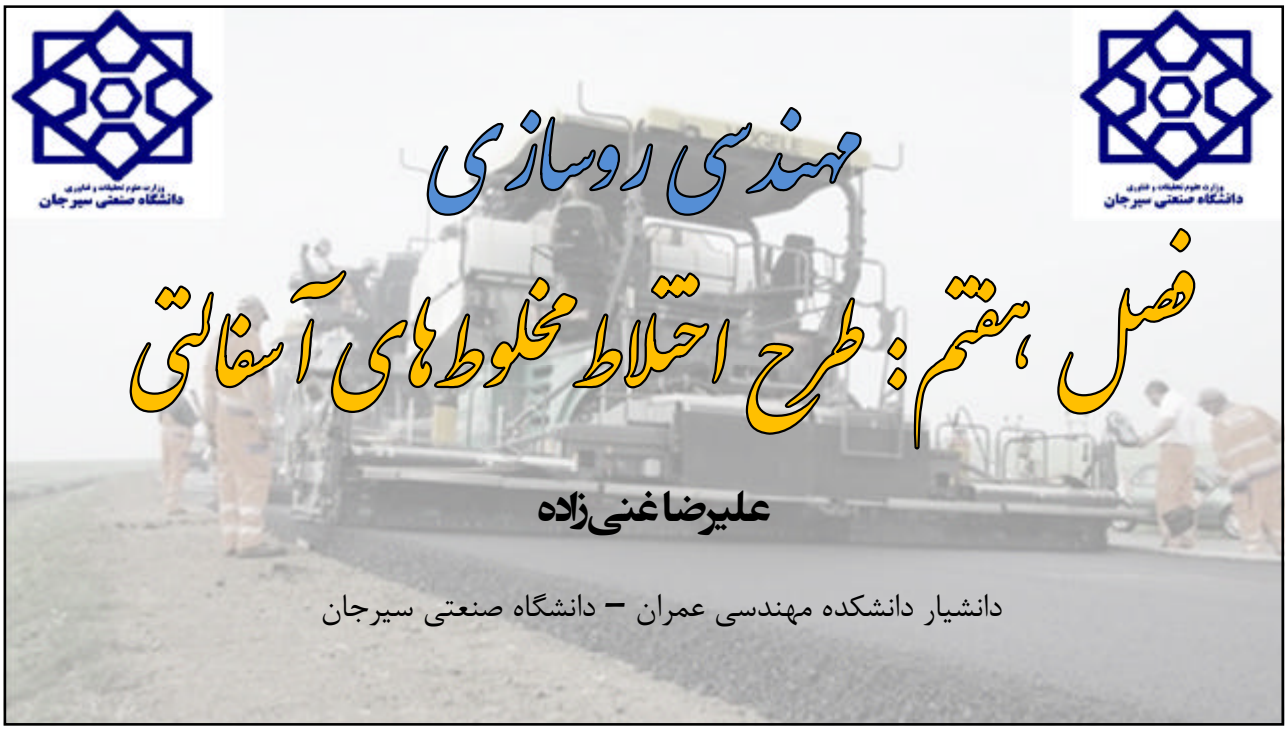
Associate Professor, Department of Civil Engineering, Sirjan University of Technology

Pavement Engineering

Ali Reza Ghanizadeh, Ph.D | ghanizadeh@sirjantech.ac.ir

Associate Professor, Department of Civil Engineering, Sirjan University of Technology

Pavement Engineering



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.

Ali Reza Ghanizadeh, Ph.D | ghanizadeh@sirjantech.ac.ir
Associate Professor, Department of Civil Engineering, Sirjan University of Technology

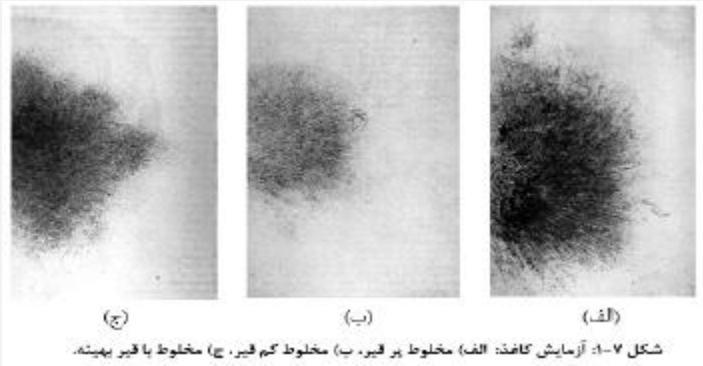
Pavement Engineering

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.

Ali Reza Ghanizadeh, Ph.D | ghanizadeh@sirjantech.ac.ir
Associate Professor, Department of Civil Engineering, Sirjan University of Technology

Pavement Engineering

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.

دانشگاه صنعتی سیرجان	مهندسی روسازی	۵

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

دانشگاه صنعتی سیرجان	مهندسی روسازی	۶

Pavement Engineering

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

Ali Reza Ghanizadeh, Ph.D | ghanizadeh@sirjantech.ac.ir
Associate Professor, Department of Civil Engineering, Sirjan University of Technology

Pavement Engineering

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.

Ali Reza Ghanizadeh, Ph.D | ghanizadeh@sirjantech.ac.ir
Associate Professor, Department of Civil Engineering, Sirjan University of Technology

Pavement Engineering

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)

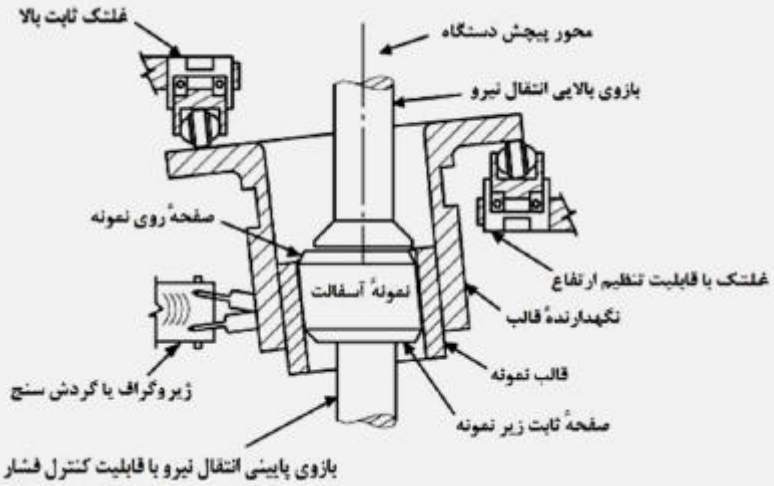
سطح آزاد = ۳۱/۳۸

Ali Reza Ghanizadeh, Ph.D | ghanizadeh@sirjantech.ac.ir

Associate Professor, Department of Civil Engineering, Sirjan University of Technology

Pavement Engineering

تراکم آسفالت



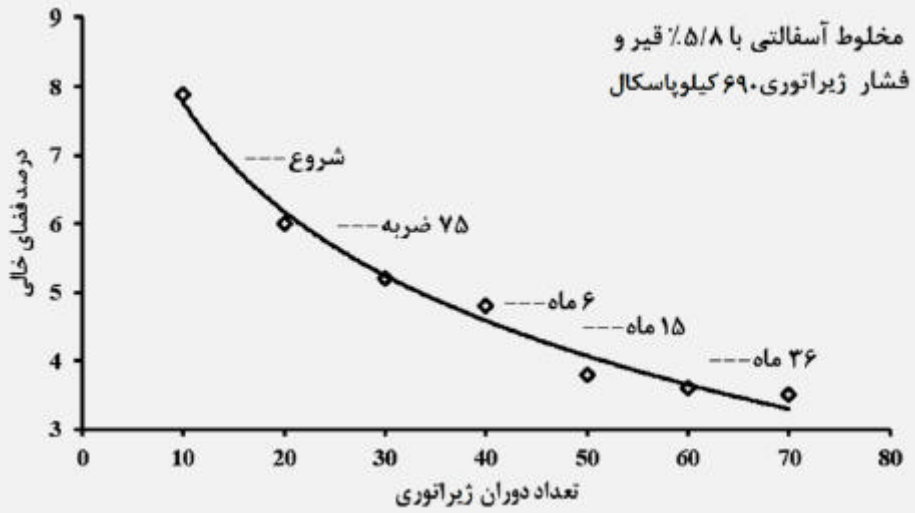
لعاب نازک قیر

- 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.

Ali Reza Ghanizadeh, Ph.D | ghanizadeh@sirjantech.ac.ir
Associate Professor, Department of Civil Engineering, Sirjan University of Technology

Pavement Engineering

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.

Ali Reza Ghanizadeh, Ph.D | ghanizadeh@sirjantech.ac.ir
Associate Professor, Department of Civil Engineering, Sirjan University of Technology

Pavement Engineering

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

Ali Reza Ghanizadeh, Ph.D | ghanizadeh@sirjantech.ac.ir

Associate Professor, Department of Civil Engineering, Sirjan University of Technology

Pavement Engineering

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).

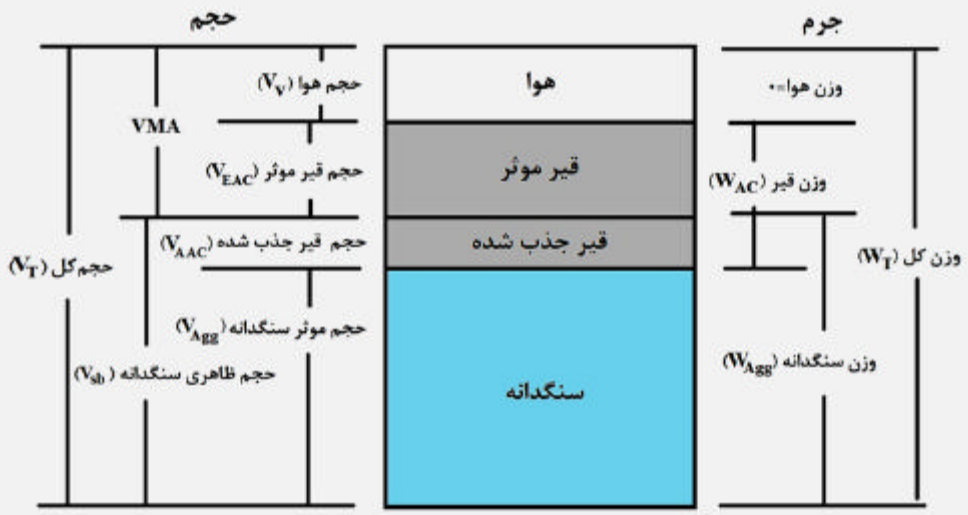
A: جرم نمونه خشک‌شده در هوا (در مخرج رابطه از جرم با سطح خشک استفاده شود)، (گرم).

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



Ali Reza Ghanizadeh, Ph.D | ghanizadeh@sirjantech.ac.ir
Associate Professor, Department of Civil Engineering, Sirjan University of Technology

Pavement Engineering

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

Ali Reza Ghanizadeh, Ph.D | ghanizadeh@sirjantech.ac.ir

Associate Professor, Department of Civil Engineering, Sirjan University of Technology

Pavement Engineering

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

Ali Reza Ghanizadeh, Ph.D | ghanizadeh@sirjantech.ac.ir

Associate Professor, Department of Civil Engineering, Sirjan University of Technology

Pavement Engineering

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.

Ali Reza Ghanizadeh, Ph.D | ghanizadeh@sirjantech.ac.ir
Associate Professor, Department of Civil Engineering, Sirjan University of Technology

Pavement Engineering

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.

Ali Reza Ghanizadeh, Ph.D | ghanizadeh@sirjantech.ac.ir
Associate Professor, Department of Civil Engineering, Sirjan University of Technology

Pavement Engineering

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.

$$Q = \frac{۶۳/۵}{h_۱} \times ۱۱۵۰$$

Ali Reza Ghanizadeh, Ph.D | ghanizadeh@sirjantech.ac.ir
Associate Professor, Department of Civil Engineering, Sirjan University of Technology

Pavement Engineering

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.

۳-۳۳-۶- 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.

$$\frac{x}{1150+x} = 0/05 \rightarrow 57/5 = 0/095x \rightarrow x = 60/5\ g$$

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.

Ali Reza Ghanizadeh, Ph.D | ghanizadeh@sirjantech.ac.ir
Associate Professor, Department of Civil Engineering, Sirjan University of Technology

Pavement Engineering

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.

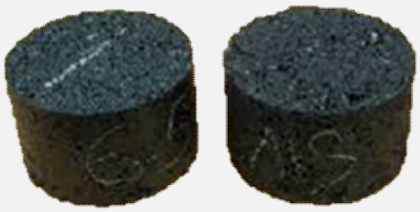
۴-۲- بعد از اینکه نمونه‌ها برای مدت‌زمان کافی درون حمام آب قرار گرفتند، تک‌تک از حمام خارج و سطح آن‌ها با حوله خشک می‌شود. سپس سریعاً داخل فک‌های دستگاه آزمایش مارشال قرار داده می‌شوند.

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.

Ali Reza Ghanizadeh, Ph.D | ghanizadeh@sirjantech.ac.ir
Associate Professor, Department of Civil Engineering, Sirjan University of Technology

Pavement Engineering

استقامت سنج مارشال



۳۵ | مهندسی روسازی | دانشگاه صنعتی سیرجان

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.

۳۶ | مهندسی روسازی | دانشگاه صنعتی سیرجان

Ali Reza Ghanizadeh, Ph.D | ghanizadeh@sirjantech.ac.ir

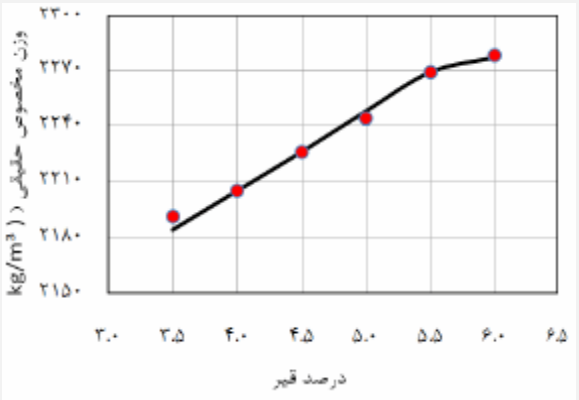
Associate Professor, Department of Civil Engineering, Sirjan University of Technology

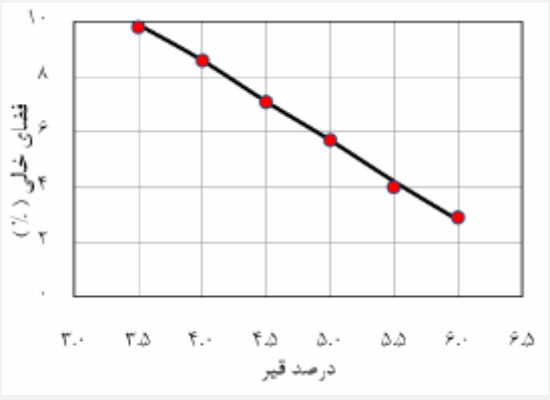
Pavement Engineering

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

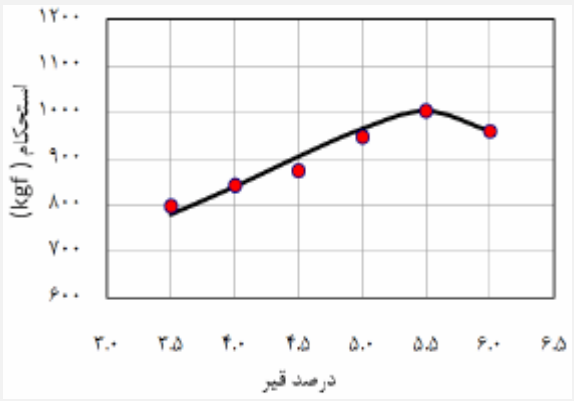


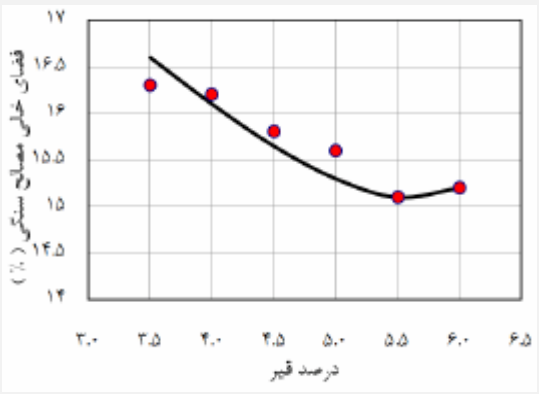


Ali Reza Ghanizadeh, Ph.D | ghanizadeh@sirjantech.ac.ir
Associate Professor, Department of Civil Engineering, Sirjan University of Technology

Pavement Engineering

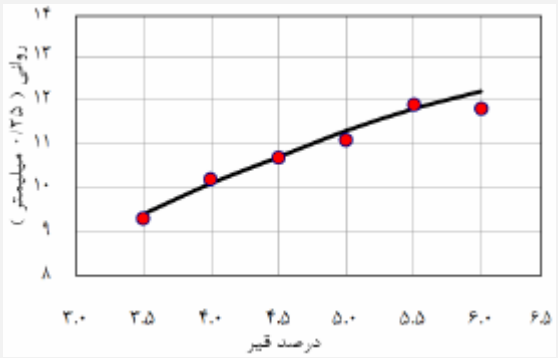
نمودارهای طرح اختلاط مارشال

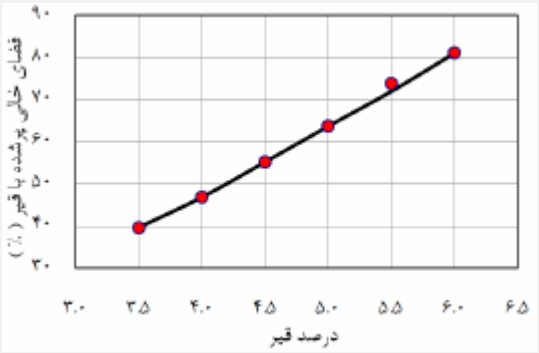




دانشگاه صنعتی سیرجان	مهندسی روسازی	۳۹

نمودارهای طرح اختلاط مارشال





دانشگاه صنعتی سیرجان	مهندسی روسازی	۴۰

Ali Reza Ghanizadeh, Ph.D | ghanizadeh@sirjantech.ac.ir

Associate Professor, Department of Civil Engineering, Sirjan University of Technology

Pavement Engineering

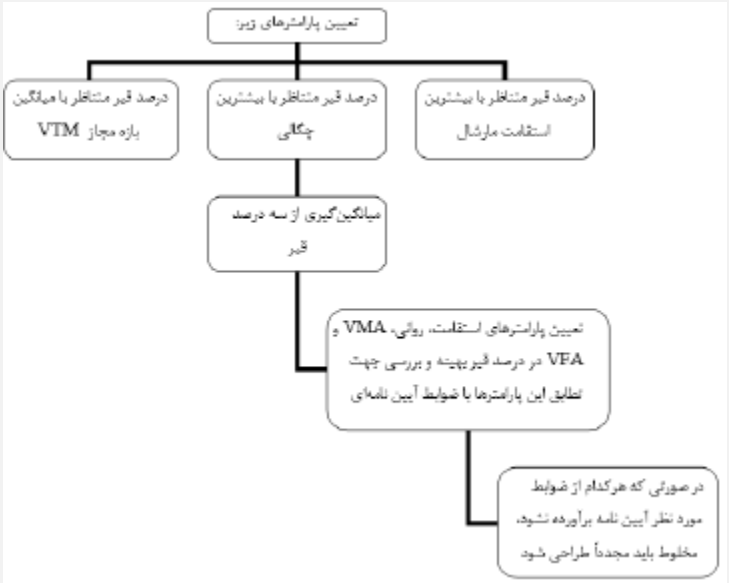
روش NAPA برای تعیین درصد قیر بهینه

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



Ali Reza Ghanizadeh, Ph.D | ghanizadeh@sirjantech.ac.ir
Associate Professor, Department of Civil Engineering, Sirjan University of Technology

Pavement Engineering

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 $10^7 > EAL > 10^4$		ترافیک کم $10^4 > EAL$	
	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.

Ali Reza Ghanizadeh, Ph.D | ghanizadeh@sirjantech.ac.ir
Associate Professor, Department of Civil Engineering, Sirjan University of Technology

Pavement Engineering

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.					

Ali Reza Ghanizadeh, Ph.D | ghanizadeh@sirjantech.ac.ir

Associate Professor, Department of Civil Engineering, Sirjan University of Technology