www.icivil.ir

پرتال جامع دانشجویان و مهندسین عمران

ارائه کتابها و جزوات رایگان مهندسی عمران

بهترین و برترین مقالات روز عمران

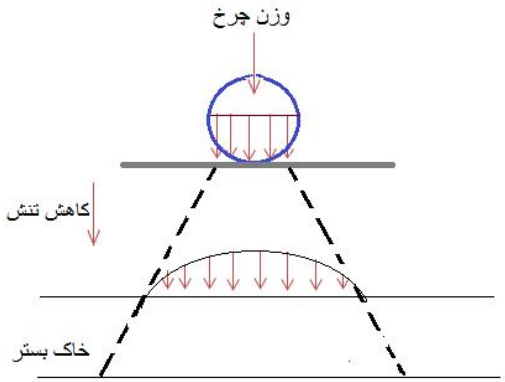
انجمن های تخصصی مهندسی عمران

فروشگاه تخصصی مهندسی عمران

@icivilir

icivil.ir

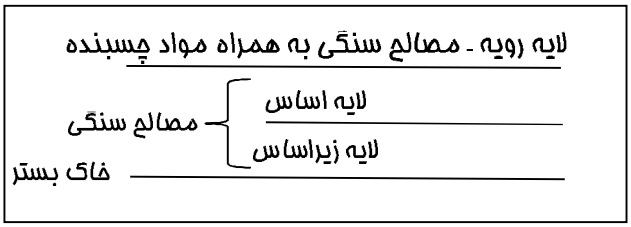
- اولین گام در روسازی، مقاوم سازی خاک جهت عبور ماشین آلات می‌باشد.
- یکی از دلایل اجرا شدن روسازی در چند لایه، کاهش تنش‌های موجود می‌باشد.
- هرگاه فشار تماسی بیشتر از مقاومت زمین طبیعی باشد نیاز به روسازی است.



چرا لازم نیست همه لایه‌های روسازی از یک جنس ساخته شود؟

۱- چون تنش‌ها از بالا به سمت پایین کمتر می‌شود، نیاز نیست که همه لایه‌ها از جنس آسفالت باشد.

۲- صرفه اقتصادی ندارد.



دلایل اجرای روسازی در حالت کلی را نام ببرید؟

۱- کاهش تغییر شکل‌های طبیعی زمین

۲- احساس بهتر راننده به هنگام رانندگی

۳- صرفه اقتصادی

هدف از راه‌سازی راه و فرودگاه چیست؟

۱- قابل استفاده در تمام شرایط جوی

۲- تحمل وزن وسایل نقلیه

۳- ایمنی کافی

۴- ایجاد سطح صاف و هموار

- **نکته:** در صورتی که آسفالت بیش از ۵ سانتی‌متر باشد این لایه در ۲ سطح اجرا می‌شود که سطح زیرین آستر (بیندر) و سطح رویی، رویه (توپکا) نامیده می‌شود.

تعداد، ضخامت و جنس لایه‌ها تابع چه مواردی می‌باشد؟

۱- مقاومت خاک بستر روسازی (جنس، مقاومت، قابلیت جذب رطوبت، قابلیت تراکم و . . .)

۲- خصوصیات آمد و شد (وزن، تعداد و ...)

۳- شرایط جوی منطقه (رطوبت، یخبندان، درجه حرارت)

۴- مصالح موجود در محل

۵- شرایط اقتصادی

لایه‌های مختلف روسازی را در حالت کلی توضیح دهید؟

۱- **لایه متراکم خاک بستر:** لایه‌ای است از خاک زمین طبیعی که از مواد آلی و مواد مضر پاک شده و متراکم گردیده است.

۲- **لایه زیراساس:** لایه‌ای از مصالح نسبتاً مرغوب که این لایه بین لایه اساس و خاک بستر اجرا می‌گردد.

موارد کاربرد: در راه‌هایی که آمد و شد زیاد بوده و یا مقاومت خاک بستر کم باشد.

مصالح آن: سنگ شکسته و یا شن و ماسه

۳- **لایه اساس:** لایه‌ای از مصالح مرغوب که بین لایه رویه و زیراساس و یا لایه رویه و خاک بستر اجرا می‌گردد.

مصالح آن: سنگ شکسته، شن و ماسه شکسته، مصالح تثبیت شده با قیر.

۴- **لایه رویه:** جنس لایه رویه خیلی مرغوب بوده و مقاومت آن نسبتاً زیاد می‌باشد. این لایه در بالاترین سطح اجرا می‌شود، لایه رویه در انواع بتن آسفالتی و بتن سیمانی اجرا می‌شود.

اشکالات مهم و علت آن در طرح روسازی راه چیست؟

۱- زیاد بودن طول راه

۲- شرایط جوی

۳- خصوصیات خاک زمین طبیعی

۴- نوع و تعداد وسایل نقلیه

۵- حمل مصالح

علت: متغییر بودن عوامل دخیل

انواع روسازی راه

۱- روسازی انعطاف پذیر *Flexible pavement*

۲- روسازی صلب *Rigid pavement*

۳- روسازی مرکب *Composit pavement*

انواع ویژگی‌های روسازی راه:

۱- روسازی انعطاف پذیر (آسفالتی):

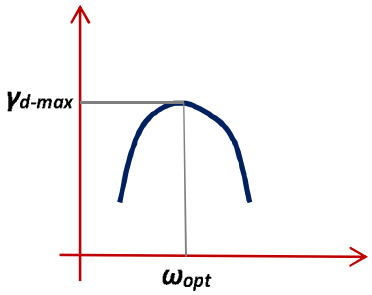
۱. مقاومت برشی مناسب
۲. مقاومت کششی کم
۳. ضریب ارتجاعی (مدول یانگ) پایین

۲- روسازی صلب (بتنی):

۱. مقاومت فشاری و کششی زیاد
۲. ضریب ارتجاعی بالا

۳- روسازی مرکب: ترکیبی از سیستم انعطاف پذیر و صلب

۱. کاهش نفوذ آب به داخل روسازی
۲. مناسب برای روسازی فرودگاه
۳. افزایش ظرفیت باربری و مقاومت در برابر تغییر شکل



نمودار تراکم - رطوبت خاک‌ها

$$\text{درصد تراکم} = \frac{\gamma_d}{\gamma_{d-max}} \times 100$$

مقادیر حداقل درصد تراکم، تابع چه عواملی می‌باشد؟

۱- نوع راه
۲- جنس خاک
۳- میزان آمد و شد وسایل نقلیه
٤- فاصله هر لایه از سطح روسازی

نوع راه	حداکثر ضخامت لایه
اصلی	۱۵ Cm
فرعی	۲۵ Cm
روستایی	۳۰ Cm

غلتک‌های مورد استفاده در راهسازی

غلتک چرخ فولادی: به سه نوع چرخ فولادی ۳ چرخ، چرخ فولادی ۲ چرخ تاندون و چرخ فولادی ۳ چرخ تاندون تقسیم می‌شود. این نوع غلتک‌ها برای خاک‌های دارای شن و ماسه، کوبیدن آسفالت و اتو کردن خاک‌هایی که با غلتک پاچه بزی کوبیده شده‌اند، مناسب هستند.

غلتک چرخ لاستیکی: به دو دسته سبک‌وزن با چرخ کوچک و سنگین‌وزن با چرخ بزرگ تقسیم می‌شود. این غلتک برای خاک‌های ماسه‌ای رسی، لای و مخلوط مناسب می‌باشد.

غلتک پاچه بزی: این غلتک مناسب ترین نوع غلتک برای خاک چسبنده رس دار، رس و لای و رس ماسه دار می‌باشد.

غلتک مشبک: این غلتک نوعی غلتک پاچه بزی بوده و برای شکستن و خرد کردن دانه‌های سنگ کاربرد دارد.

غلتک لرزنده: در تراکم خاک‌های دانه‌ای کاربرد دارد که در آن نیروی استاتیکی همراه با ارتعاش برای انجام تراکم به کار می‌رود.

❖ **نکته:** پس از ٦ تا ١٠ بار عبور تقریباً تراکم نهایی بدست آمده و با تعداد عبور بیشتر بر تراکم خاک افزوده نمی‌شود.

روش های تعیین مقاومت خا ک بستر روسازی:

١- آزمایش فشاری ٣ محوری
٢- آزمایش نسبت باربری کالیفرنیا (CBR)
٣- آزمایش صفحه
٤- آزمایش صفحه به روش VSS

آزمایش *CBR*: در این آزمایش نسبتی از مقاومت خاک مورد نظر در مقایسه با یک مصالح استاندارد به دست می‌آید، طبق تعریف، CBR یک خاک، نسبت نیروی لازم برای فرو بردن پیستونی به شکل معین و با سرعتی معین و به عمق معین در خاک مورد آزمایش، به نیروی لازم برای فرو بردن همان پیستون با همان سرعت و عمق در مصالح استاندارد می‌باشد.

$$CBR: \begin{cases} P_{2.5\,mm} \longrightarrow {}^{P}/_{A} = q_{2.5\,mm} \\ P_{5\,mm} \longrightarrow {}^{P}/_{A} = q_{5\,mm} \end{cases} \Longrightarrow CBR = max\left\{\frac{q_{2.5}}{q_{(2.5)s}}, \frac{q_5}{q_{(5)s}}\right\} \quad \& \quad q_{(2.5)s} = 70\,,\, q_{(5)s} = 105$$

❖ **نکته:** انجام آزمایش بر روی نمونه اشباع شده خاک از این جهت انجام می‌شود که:
١- معلوم شود در اثر اشباع شدن تا چه حد از مقاومت خاک کاسته می‌شود.
٢- معلوم شود که آیا نمونه خاک قابلیت تورم دارد یا خیر و اگر این قابلیت را دارد مقدارش چقدر می‌باشد.

❖ **نکته:** هر اندازه CBR خاک بیشتر، کیفیت آن خاک بالاتر و براساس آیین‌نامه معمولاً CBR لایه اساس ٥٠ معیّن می‌گردد.

❖ **نکته:** این آزمایش در حال حاضر به عنوان یک روش استاندارد برای تعیین مقاومت خاک‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد و با وجود داشتن نقاط ضعف فراوان یکی از متداول‌ترین روش‌ها برای ارزیابی قدرت باربری خاک بستر روسازی می‌باشد.

عوامل مؤثر بر *CBR* خاک

میزان تراکم: هر چه تراکم خاک ما بالاتر باشد خاک مقاوم‌تر شده و *CBR* بالاتری نشان می‌دهد.

نوع خاک: معمولا *CBR* خاک‌های درشت دانه بیشتر از خاک‌های ریزدانه می‌باشد و یا به عنوان مثال شن خوب دانه‌بندی شده دارای *CBR* بالاتری نسبت به شن بد دانه‌بندی شده می‌باشد.

مثال: با توجه به داده های زیر *CBR* خاک مربوطه را بدست آورید.

نفوذ سوزن	فشار مصالح استاندارد	فشار نمونه اشباع در سربار
2.5 mm	*70 Kg/cm2*	*3.5*
5 mm	*105 Kg/cm2*	*10.5*

$$CBR = \begin{cases} \frac{3.5}{70} \times 100 = 5\% \\ \frac{10.5}{105} \times 100 = 10\% \end{cases} \Longrightarrow CBR = max\{5\%, 10\%\} \Longrightarrow CBR = 10\%$$

آزمایش صفحه: برای تعیین قدرت باربری خاک بستر، لایه‌های اساس و زیراساس و در برخی موارد برای طرح روسازی‌های انعطاف پذیر و روسازی‌های صلب مورد استفاده می‌باشد.

آزمایش صفحه به روش *VSS*: برای تعیین نشانه‌ای از قدرت باربری خاک بستر، لایه‌های اساس و زیراساس به کار می‌رود.

زیراساس و اساس:

معیارهای مهم در تقسیم بندی لایه‌های اساس و زیراساس:

دانه‌بندی یکی از مهترین عواملی است که بر مقاومت و قدرت باربری اثرگذار می‌باشد. دانه‌بندی مصالح با انجام آزمایش دانه‌بندی و رسم منحنی دانه‌بندی مشخص می‌گردد. آنچه از الک شماره ۲۰۰ عبور کند ریزدانه و آنچه بر روی الک باقی می‌ماند درشت‌دانه نامیده می‌شود.

مصالح سنگی شکسته شده استقامت و باربری بیشتری نسبت به مصالح رودخانه‌ای دارند. علت این امر آن است که دانه‌های مصالح سنگی شکسته شده دارای گوشه‌های تیز و سطح ناصاف بوده و از این نظر دانه‌های این نوع مصالح بهتر در یکدیگر قفل و بست شده و دارای زاویه اصطکاک داخلی بیشتر نسبت به مصالح گردگوشه می‌باشد، میزان شکستگی مصالح سنگی با انجام آزمایش تعیین درصد شکستگی بدست می‌آید.

آزمایش تعیین درصد شکستگی: نحوه انجام آزمایش به این ترتیب است که پس از الک کردن قسمت درشت‌دانه مصالح سنگی، بخشی که از الک شماره ٤ رد نمی‌شود از کل نمونه آزمایش جدا شده تا تک‌تک دانه‌ها مورد بررسی قرار گرفته و تعداد وجوه شکسته آنها تعیین گردد. درصد شکستگی دانه‌ها از تقسیم وزن دانه‌هایی که حداقل یک وجه شکسته دارند به وزن کل دانه‌ها بدست می‌آید.

$$\text{درصد شکستگی} = \frac{\text{وزن دانه‌های با حداقل یک وجه شکسته}}{\text{وزن کل دانه‌ها}}$$

آزمایش سختی: مصالحی که در لایه‌های زیراساس، اساس و رویه به کار می‌رود باید در برابر وزن وسایل نقلیه سنگین و همچنین وزن غلطک‌ها مقاومت کافی داشته باشند و نباید بر اثر بارهای وارده شکسته و خرد شوند. سختی مصالح سنگی با آزمایش لوس‌آنجلس مشخص می‌شود.

❖ **نکته:** طبق آیین‌نامه‌ها حداکثر میزان ساییدگی مصالح برای لایه‌های اساس و زیراساس به ۵۰ محدود می‌شود.

تمیزی مصالح: مصالح سنگی که برای لایه‌های اساس و زیراساس به کار می‌رود باید تمیز و عاری از هرگونه مواد خارجی و مضر از قبیل مواد آلی، خاک رس و سنگ‌های نرم و کم دوام باشد.

برای تعیین تمیزی مصالح سنگی از آزمایش هم ارز ماسه یا ارزش ماسه‌ای استفاده می‌شود. $SE = {}^{Hs}/_{Hc} \times 100$

SE: ارزش ماسه‌ای، Hs: ارتفاع ماسه ته نشین شده، Hc: ارتفاع مواد رسی و ریزدانه

نوع راه	اساس	زیراساس
راه های اصلی	۵۰	۲۵

تثبیت خاک: مواردی را که مهندسین راه‌ساز با آن پیوسته درگیر هستند، خاک نامرغوب و سست در خاک بستر می‌باشد، بنابراین بوسیله تثبیت خاک با مصالح و روش‌های مختلف، نقاط ضعف خاک را حتی‌الامکان برطرف می‌نمایند.

روش‌های تثبیت خاک:

۱- **مکانیکی:** غلتک
۲- **شیمیایی:** آهک ـ سیمان
۳- **فیزیکی:** قیر

ویژگی‌های خاک بعد از تثبیت:

۱- برطرف شدن ضعف مشخصات کیفی مصالح خاک بستر.
۲- ایجاد لایه‌هایی با قابلیت باربری بیشتر.
۳- کنترل گرد و غبار و جلوگیری از حرکت ذرات خاک.
٤- افزایش مقاومت و دوام مصالح.

انتخاب نوع ماده تثبیت کننده به چه عواملی بستگی دارد؟

۱- جنس خاک (شن، ماسه و ...)
۲- شرایط جوی منطقه (سرد سیر، گرم سیر و ...)
۳- میزان آمد و شد (ترافیک سنگین ، متوسط و ....)
٤- هدف از انجام تثبیت خاک.

روش‌های تثبیت خاک:

مکانیکی: این روش ساده‌ترین و کم هزینه‌ترین روش در میان روش‌های تثبیت خاک می‌باشد که در واقع به سه دسته استاتیکی، ضربه‌ای و ارتعاشی تقسیم می‌شود.

ویژگی های خاک بعد از تثبیت به روش مکانیکی:

۱ - افزایش مقاومت و سختی خاک. ۲ - کاهش نفوذ پذیری.

تثبیت خاک با آهک: این روش شیمیایی باعث کاهش خواص خمیری خاک می‌گردد.

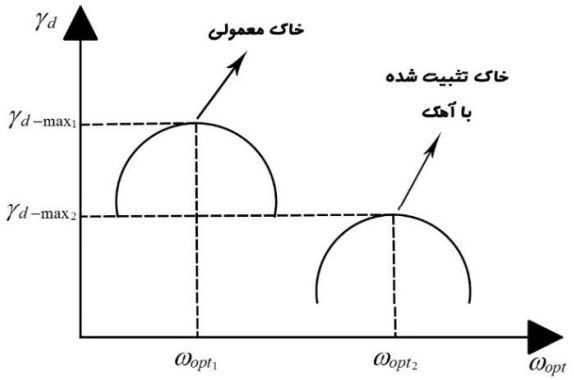
مقدار آهک مصرفی در روش تثبیت خاک با آهک به ۰/۵٪ تا ۸٪ محدود می‌گردد.

سوال: چه خاک‌هایی برای تثبیت با آهک مناسب هستند؟

۱- **خاک‌های با واکنش:** خاک‌هایی هستند که پس از تثبیت خاک با آهک و عمل‌آوری آن به مدت ۲۸ روز در گرمای ۲۰ درجه، افزایش مقاومتی بیشتر از $3/5\ kg/cm^2$ از خود نشان می‌دهند.
۲- **خاک‌های بدون واکنش:** خاک‌هایی هستند که پس از تثبیت خاک با آهک و عمل‌آوری آن به مدت ۲۸ روز در گرمای ۲۰ درجه، افزایش مقاومتی کمتر از $3/5\ kg/cm^2$ از خود نشان می‌دهند.

❖ **نکته:** براساس آیین‌نامه روسازی راه‌های ایران، آهک در ساخت زیراساس آهکی به کار می‌رود.

خصوصیات خاک‌های تثبیت شده با آهک



تراکم خاک: ω_{opt} ، γ_{d-max} مهمترین پارامترهای عامل تراکم می‌باشند. خاک تثبیت شده با آهک دارای حداکثر وزن مخصوص خشک کمتر و درصد رطوبت بهینه بیشتر نسبت به خاک معمولی می‌باشد.

خصوصیت خمیری خاک: اضافه کردن آهک به خاک خصوصیات خمیری خاک را کاهش می‌دهد.

این خصوصیات عبارتند از: دامنه خمیری(PI) و حد روانی(LL)

تغییر حجم خاک پس از تثبیت:

۱- **تورم (انبساط):** میزان تورم خاک هنگامی که تثبیت می‌شود از ٪۷ یا ٪۸ به ٪۱ / ۰ کاهش می‌یابد.

۲- **جمع شدگی (انقباض):** خاک تثبیت شده با آهک دارای درصد انقباض کمتری از خاک تثبیت نشده می‌باشد.

مقاومت: مقاومت خاک تثبیت شده با آهک را می‌توان با بررسی مقاومت آنی و مقاومت دراز مدت بررسی کرد. آزمایش‌هایی که برای اندازه‌گیری مقاومت خاک‌های با تثبیت آهکی انجام می‌شود عبارتند از:

۱- آزمایش *CBR* (نسبت باربری کالیفرنیا). ۲- آزمایش تک محوری. ۳- آزمایش سه محوری.

مقاومت فشاری> مقاومت خمشی> مقاومت کششی

❖ **نکته:** افزایش مقاومت خاک تثبیت شده با آهک تا ۱۰ سال ادامه دارد و بعد از آن تقریباً متوقف می‌شود.

تغییر شکل نسبی: هرچه مقاومت خاک تثبیت شده بیشتر می‌گردد، تغییر شکل نسبی آن کمتر می‌شود.

خستگی: هرچقدر میزان بارگذاری افزایش یابد (تعداد دفعات بارگذاری تا گسیختگی) میزان تحمل بار وارده از جانب خاک تثبیت شده کمتر می‌شود.

دوام: منظور از دوام، مقاومت مصالح خاکی تثبیت شده با آهک، در برابر تکرار پدیده یخبندان-ذوب می‌باشد.

پدیده یخبندان-ذوب: پدیده‌ای که خاک در فصل سرما دچار یخ زدگی شده و در اوایل فصل بهار یخ ایجاد شده ذوب می‌گردد.

تثبیت خاک با سیمان:

مشخصات خاک تثبیت شده با سیمان به عوامل زیر بستگی دارد:

۱ - جنس خاک
۲ - مقدار سیمان مصرفی
۳ - شرایط عمل آوری (همانند بتن)

❖ **نکته:** مقدار سیمان مصرفی معمولا بین ۷٪ تا ۲۰٪ خاک می‌باشد.

خاک‌های قابل تثبیت با سیمان:

خاک‌های ریزدانه: مقدار سیمان مصرفی برای تثبیت خاک‌های ریزدانه به صورت کلی بین ۷٪ تا ۲۰٪ می‌باشد.

خاک‌های ماسه‌ای: میزان سیمان مصرفی برای تثبیت خاک‌های ماسه‌ای از جمله ماسه بادی بین ۵٪ تا ۱۲٪ می‌باشد.

خاک‌های شنی: میزان سیمان مصرفی برای تثبیت خاک‌های شنی بین ۲٪ تا ٦٪ می‌باشد.

تثبیت خاک با قیر: مخصوص خاک‌های درشت دانه و شنی می‌باشد، زیرا اندود کردن خاک‌های درشت دانه با قیر بسیار راحت‌تر صورت می‌گیرد.

بررسی چند نکته در تثبیت خاک‌ها با قیر:

۱ - قیر زودگیر و امولیسیون‌های قیر دیرشکن برای تثبیت ماسه مناسب می‌باشد.
۲ - در مناطق گرم و خشک، ماسه تثبیت شده با قیر برای کاربرد در لایه‌های روسازی بسیار مناسب می‌باشد.
۳ - مقدار قیر لازم برای تثبیت خاک‌های ماسه‌ای با استفاده از آزمایش استقامت هوبارد فیلد تعیین می‌شود. این مقدار قیر باید به گونه‌ای باشد که استقامت خاک تثبیت شده بزرگتر از 550kg باشد.

نحوه انجام آزمایش استقامت هوبارد فیلد:

نمونه خاک تثبیت شده با قیر را پس از متراکم شدن، در گرم‌خانه‌ای با دمایی حدود 60 ℃ قرار می‌دهیم، پس از آن نمونه را در دستگاه هوبارد فیلد قرار می‌دهیم و از بالا نیرو وارد کرده تا اینکه نمونه از سوراخی که قطرش کمی کمتر از قطر نمونه است با سرعت معیّن عبور کند، طبق تعریف، به حداکثر نیروی لازم برای عبور نمونه از سوراخ استقامت هوبارد فیلد گفته می‌شود که واحد آن بر حسب کیلوگرم است.

انواع قیرهای موجود:

قیر طبیعی: به صورت سنگ‌های بزرگ و یا به صورت دریاچه بزرگ در سطح زمین مشاهده می‌شود.

قیر قطران: نوعی چسباننده است که رنگ سیاه مایل به قهوه‌ای دارد، این ماده از تقطیر گازهای حاصل از حرارت دادن ذغال سنگ و چوب بدست می آید که آن را قطران خام می‌نامند و از تصفیه قطران خام قطران راه‌سازی حاصل می‌شود.

قیر نفتی: همانطور که از اسم آن پیداست از تقطیر نفت خام بدست می‌آید. عناصر تشکیل دهنده آن کربن، هیدروژن، اکسیژن و گوگرد می‌باشد.

منابع نفت خام:

۱ - آسفالتیک	۲ - پارافینیک	۳ - آسفالتیک ـ پارافینیک

❖ **نکته:** بهترین قیری که در راه‌سازی مورد استفاده قرار می‌گیرد از منابع آسفالتیک می‌باشد و بدترین برای راه‌سازی قیر پارافینیک می‌باشد.

انواع قیرهای مصرفی:

قیر خالص: از تقطیر نفت خام بدست می‌آید که به آن قیر تقطیری نیز می‌گویند.

قیر دمیده: اگر در قیر خالص هوای داغی در حدود $200^{\circ}c$ الی $300^{\circ}c$ دمیده شود آنگاه قیر دمیده حاصل می‌شود.

قیر محلول: از ترکیب حلال‌های نفتی مانند بنزین، نفت سفید و گازوئیل با قیر خالص حاصل می‌شود.

قیر امولیسیون (قیرآبه): از ترکیب قیر خالص با آب و ماده امولیسیون‌ساز کاتیونی یا آنیونی حاصل می‌گردد.

آزمایشات مهم قیر:

۱ - درجه نفوذ	۲ - درجه نرمی	۳ - کندروانی یا ویسکوزیته

آزمایش درجه نفوذ: مقدار طولی که سوزن استاندارد برحسب دهم میلی‌متر با وزن معلوم و با زمان معیّن و یک دمای مشخص در قیر فرو می‌رود.

❖ **نکته:** هرچه میزان نفوذ سوزن در قیر بیشتر باشد درجه نفوذ قیر بیشتر است و درنتیجه قیر مورد استفاده نرم‌تر می‌باشد.

❖ **نکته:** هر اندازه آب و هوای منطقه گرم‌تر و یا میزان حجم ترافیک در آن منطقه بیشتر باشد از قیر با درجه نفوذ کمتر برای راه‌سازی در آن منطقه استفاده می‌شود.

آزمایش درجه نرمی: درجه نرمی قیر درجه حرارتی است که قیر از حالت جامد به حالت روان در می‌آید.

❖ **نکته:** قیری که درجه نرمی آن بیشتر باشد در مقابل تغییرات درجه حرارت حساسیت کمتری دارد و درجه نفوذ آن کمتر تغییر می‌کند.

آزمایش کندروانی یا ویسکوزیته: برای تعیین خاصیت روانی قیرها در درجه حرارت‌های بالا به کار می‌رود، در واقع خاصیتی از قیر را که دیرتر به حالت روان شدگی یا جاری شدگی دچار شود کندروانی گویند.

❖ **نکته:** در قیر خالص سرد، کندروانی زیاد است و در قیر خالص داغ کندروانی کم است.

نام گذاری قیرها:

۱ - نام گذاری قیرهای خالص:

AC_{x-y}	درجه نفوذ حداقل: x	درجه نفوذ حداکثر: y

الف) انواع قیر خالص بر اساس طبقه بندی نفوذ:

AC_{60-70}	AC_{85-100}	$AC_{120-150}$	$AC_{200-300}$

❖ مثال) AC_{40-50}: $40\times0.1\ mm=4\ mm$, $50\times0.1\ mm=5\ mm$

ب) نام گذاری قیر خالص بر مبنای عملکرد:

PG_{x-y}	حداکثر درجه حرارت محیط: x	حداقل درجه حرارت محیط: y

PG_{46}	PG_{52}	PG_{58}	PG_{64}	PG_{70}	PG_{76}	PG_{82}

❖ هرکدام از قیرهای فوق نیز داری زیر مجموعه‌ای است، به عنوان مثال PG_{46-32} زیرمجموعه PG_{46} است.

۲ - نام گذاری قیرهای دمیده:

$R_{x/y}$	درجه نرمی: x	درجه نفوذ: y

قیرهای دمیده تولید ایران

$R_{80/25}$	$R_{90/15}$	$R_{110/10}$

۳ - نامگذاری قیر های محلول:

قیر خالص + حلال نفتی { بنزین ، گازوئیل ، نفت سفید } ⟵ قیر محلول

الف) نامگذاری قیرهای محلول بر مبنای گیرش

۱. قیر تند گیر (RC) ⟵ قیری که حلال نفتی آن سریع تبخیر می‌شود .
۲. قیرکند گیر(MC) ⟵ قیری که حلال نفتی آن نسبتاً سریع تبخیر می‌شود.
۳. قیر دیر گیر(SC) ⟵ قیری که حلال نفتی آن تبخیر نمی‌شود، بلکه تغییر شکل ملکولی می‌دهد.

ب) نامگذاری قیرهای محلول بر اساس کندروانی

۱. بنزین + قیر خالص ⟵ RC
۲. نفت سفید + قیر خالص ⟵ MC
۳. گازوئیل + قیر خالص ⟵ SC

ج) درجه بندی قیرهای محلول بر اساس کندروانی

۱. RC-1, RC-2, ...
۲. MC-1, MC-2, ...
۳. SC-1, SC-2, ...

❖ در این روش کندروانی قیرهای محلول با استفاده از اعداد صفر تا پنج مشخص می‌شود. و قیر RC-2 نسبت به قیر RC-1 سفت‌تر است.

٤ - نامگذاری قیرآبه‌ها (قیرهای امولیسیون)

قیر خالص + آب + ماده امولیسیون ساز ⟵ قیر آبه

(قیر خالص= ٥٥ تا ٦٥ درصد) + (آب = ٣٥ تا ٤٥ درصد) + (ماده امولیسیون ساز = ٠/٧ درصد)

❖ مواد امولیسیون ساز	۱ - نمک قلیایی اسیدهای آلی
	۲ - نمک آمونیوم

قیر خالص + آب + نمک های قلیایی اسیدهای آلی ⟵ قیر امولیسیونی آنیونی

قیر خالص + آب + نمک آمونیوم ⟵ قیر امولیسیونی کاتیونی

❖ قیرآبه‌ها	۱ - قیر آنیونیک: سطح ذرات قیر دارای بار منفی است.
	۲ - قیر کاتیونیک: سطح ذرات قیر دارای بار مثبت است.

تعدادی از موارد کاربرد قیرهای مختلف:

۱ - در مناطق با آب و هوای سرد و خشک بهتر است از قیرهای محلول استفاده شود.
۲ - در مناطق با آب و هوای مرطوب و یا مصالح سنگی مرطوب، بهتر است از امولسیون قیر استفاده شود.
۳ - برای ساختن بتن آسفالتی گرم از قیر خالص و برای ساختن بتن آسفالتی سرد از قیرهای محلول و یا امولیسیون‌های قیر استفاده شود.

تعدادی از آزمایشات مهم قیر

۱ - **تعیین خاصیت انگمی قیر (چسبندگی قیر):** میزان افزایش طولی که نمونه قیری با شکل و ابعاد معین در یک دمای معین میتواند کش بیاید تا پاره شود.
۲ - **آزمایش لعاب نازک قیر:** برای تعیین نشانه‌ای از سفتی و یا پیرشدگی قیرها از طریق حرارت دادن به قیر است.
۳ - **آزمایش درجه اشتعال قیر:** تعیین درجه حرارتی که وقتی گرمای قیر به آن درجه حرارت می‌رسد با نزدیک کردن شعله به سطح قیر، سطح قیر شعله‌ور می‌شود.

آشنایی با آسفالت ⟸ قیر + مصالح سنگی (ریزدانه و درشت‌دانه) ⟵ آسفالت

تقسیم بندی انواع آسفالت

۱ - **آسفالت گرم:** برای جاده‌های با ترافیک سنگین و خیلی سنگین
۲ - **آسفالت سرد:** برای جاده‌های با ترافیک متوسط و سبک
۳ - **آسفالت حفاظتی:** جاده‌های با ترافیک خیلی کم و خیلی سبک

بتن آسفالتی گرم

مقاوم‌ترین و با دوام‌ترین نوع مخلوطهای آسفالتی است. این مخلوط ترکیبی از سنگ دانه‌های شکسته و دانه بندی شده و درصدی از ریزدانه می‌باشد که در کارخانه آسفالت حرارت داده شده و با قیر گرم در درجه حرارت‌های بالا مخلوط می‌شود و در ادامه به صورت گرم برای مصرف در راه حمل، پخش و کوبیده می‌شود.

موارد کاربرد آسفالت گرم:

۱ - **لایه رویه { توپکا ، بیندر }:** توپکا نسبت به بیندر دارای قیر بیشتر و دانه‌بندی ریزتری می‌باشد.
۲ - **لایه اساس قیری:** اگر از بتن آسفالتی گرم برای ساختن لایه اساس استفاده شود ، اساس قیری نام دارد.
۳ - **ماسه آسفالت:** ماسه طبیعی یا شکسته + قیر ⟵ ماسه آسفالت
٤ - **آسفالت متخلخل:** قیر خالص + مصالح سنگی ۱۰۰٪ شکسته شده ⟵ آسفالت متخلخل

درشت دانه + ریزدانه + فیلر ← مصالح سنگی آسفالت

(مصالح باقیمانده روی الک #٤ = درشت‌دانه)، (مصالح بین الک #٤ و #٢٠٠ = ریزدانه)، (مصالح رد شده از الک #٢٠٠ = ریزدانه)

مهمترین اثرات فیلر در آسفالت:

١ - افزایش عمر روسازی
٢ - افزایش مقاومت در برابر تأثیر آب
٣ - افزایش قدرت باربری
٤ - افزایش مقاومت برشی و فشاری
٥ - کاهش تغییر شکل نسبی

طرح اختلاط بتن آسفالتی گرم:

هدف: انتخاب مناسب‌ترین و با صرفه‌ترین مخلوط مصالح سنگی و قیر

طرح اختلاط بتن آسفالتی به روش مارشال:

یکی از متداولترین روش‌های طرح بتن آسفالتی است که نمونه ساخته شده بتن آسفالتی (1200gr) را به مدت معین در آب گرم قرار می‌دهند و پس از خارج کردن از آب ، نمونه‌ها را تحت فشار قرار می‌دهند تا گسیخته شود. حداکثر نیروی لازم جهت گسیخته شدن بتن آسفالتی بر حسب کیلوگرم اندازه‌گیری می‌شود که آن را استقامت مارشال می‌نامند.

محاسبه پارامترهای مورد نیاز آزمایش استقامت مارشال

$$\text{درصد وزنی قیر در بتن آسفالتی} = \frac{\text{درصد قیر مخلوط آسفالتی}}{\text{درصد وزنی کل مخلوط آسفالتی}} = P_b$$

$$\text{چگالی قیر} = G_b$$

$$\text{درصد وزنی مصالح سنگی در بتن آسفالتی} = \frac{\text{درصد مصالح سنگی}}{\text{درصد وزنی کل مخلوط آسفالتی}} = P_s$$

$$\text{چگالی واقعی مصالح سنگی} = \frac{P_1 + P_2 + P_3}{\frac{P_1}{G_1} + \frac{P_2}{G_2} + \frac{P_3}{G_3}} = G_{sb}$$

G_1 = چگالی واقعی مصالح سنگی درشت دانه	P_1 = درصد وزنی درشت دانه
G_1 = چگالی واقعی مصالح سنگی ریز دانه	P_2 = درصد وزنی ریز دانه
G_3 = چگالی واقعی مصالح سنگی فیلر	P_3 = درصد وزنی فیلر

$$G_{se} = \frac{100 - P_b}{\frac{100}{G_{mm}} - \frac{P_b}{G_b}}$$ = چگالی مؤثر مصالح سنگی

G_{mm} = چگالی تئوری حداکثر مخلوط آسفالتی

$$P_{ba} = \left[\frac{G_{se} - G_{sb}}{G_{se} \times G_{sb}} \times G_b\right] \times 100$$ = درصد قیر جذب شده

$$P_{be} = P_b - \frac{P_{ba}}{100} \times P_s$$ = درصد قیر مؤثر

سه عامل مهم در عملکرد لایه آسفالتی:

$$1)\ VMA = 100 - \frac{G_{mb}}{G_{sb}} \times P_s$$ = درصد فضای خالی مصالح سنگی

G_{mb} = چگالی واقعی بتن آسفالتی

$$2)\ V_a = \frac{G_{mm} - G_{mb}}{G_{mm}} \times 100$$ = درصد فضای خالی بتن آسفالتی

$$3)\ VFA = \frac{VMA - V_a}{VMA} \times 100$$ = درصد فضای خالی مصالح سنگی پر شده با قیر

رسم منحنی‌های آزمایش مارشال

پس از آنکه نمونه‌های بتن آسفالتی ساخته شده با درصد قیرهای مختلف تحت آزمایش مارشال قرار گرفتند، منحنی‌های آزمایش مارشال بر حسب درصد وزنی قیر و درصد فضای خالی، درصد وزنی قیر و وزن مخصوص آسفالت، درصد وزنی قیر و درصد فضاهای خالی مصالح سنگی و درصد وزنی قیر و استقامت مارشال در ٤ نمودار مختلف رسم می‌گردد.

لذا مقدار قیری که برای ساختن بتن آسفالتی بکار می‌رود میانگین مقادیری است که بیشترین استقامت، بیشترین وزن مخصوص و مناسب‌ترین فضای خالی را در بتن آسفالتی سبب می‌شود.

مثال: اگر در یک بتن آسفالتی، درصد فضای خالی مصالح پر شده با قیر برابر ۷۰ درصد، فضای خالی مصالح سنگی برابر ۱۰ درصد و حداکثر چگالی نظری ۲/۵ باشد، چگالی واقعی بتن آسفالتی کدام است؟

$$VFA = \frac{VMA - V_a}{VMA} \times 100$$

$VFA=70\%$

$VMA=10\%$

$$\longrightarrow \quad 70 = \frac{10 - V_a}{10} \times 100 \quad \longrightarrow \quad V_a = 3\%$$

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

$V_a=3\%$

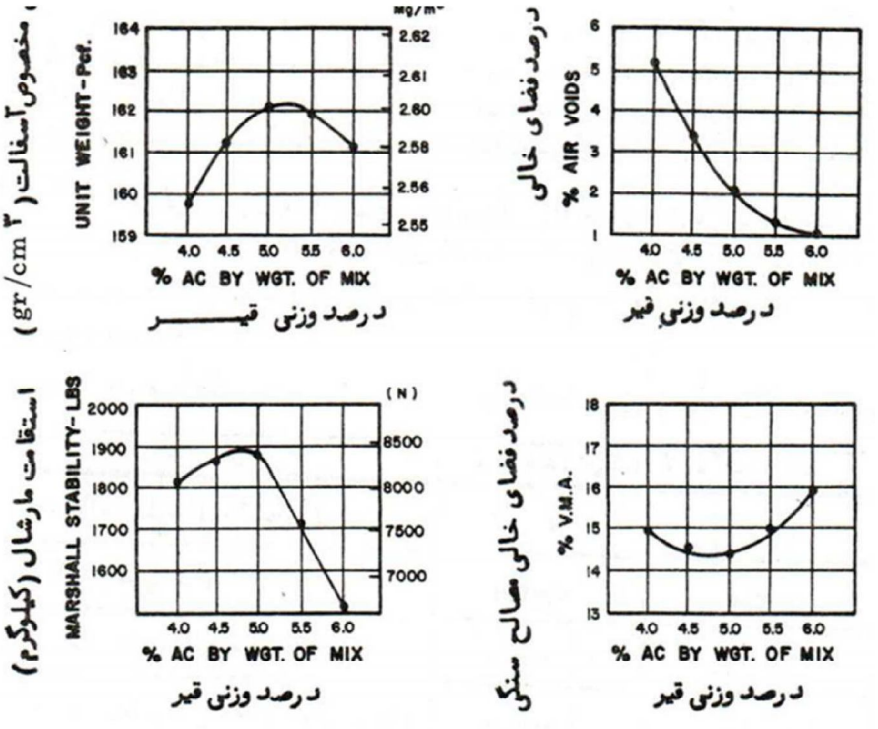
$G_{mm}=2.5$

$$\longrightarrow \quad 3 = \frac{2.5 - G_{mb}}{2.5} \times 100 \quad \longrightarrow \quad G_{mb} = 2.425$$

رسم منحنی‌های آزمایش مارشال

پس از آنکه نمونه‌های بتن آسفالتی ساخته شده با درصدهای مختلف قیر تحت آزمایش مارشال قرار گرفته و درصد فضاهای خالی آن تعیین شد، منحنی‌های آزمایش مارشال به طوریکه در شکل‌های زیر نشان داده شده‌اند ترسیم می‌شود.

این منحنی ها نمایشگر تاثیر میزان قیر بر مشخصات فنی بتن آسفالتی ساخته شده می‌باشد.



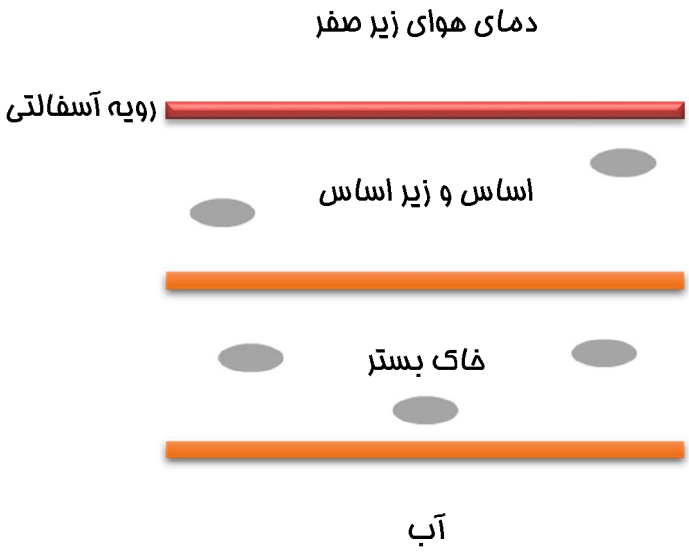
سرما و یخبندان در روسازی

ویژگی مصالح مناسب برای مبارزه با پدیده تورم:

۱. عدم حساسیت به یخبندان
۲. نفوذ پذیری متوسط تا زیاد به جهت آنکه نتواند آب را داخل خاک نگه دارد.

تورم

وقتی آب موجود در سطوح زیر زمینی در اثر خاصیت مویینگی بالا می‌آید، در اثر رجوع به هوای سرد زیر صفر درجه عدس‌های یخ تشکیل می‌شود و حجم داخل عدس‌ها به علت یخ زدن افزایش یافته و درنتیجه حجم خاک و مصالح روسازی نیز افزایش میابد و به علت پدیده ذوب در فصل بهار انواع خرابی‌های روسازی به وجود می‌آید.



سه عامل اصلی تورم در روسازی

۱ - هوای سرد زیر صفر درجه
۲ - خاک ریزدانه (بدترین خاک، خاک‌های لای‌دار می‌باشد.)
۳ - منبع آب زیر زمینی در عمق کمتر از ۳متر

خاک‌های حساس در برابر یخبندان

۱ - خاک ماسه‌ای که با مقادیر زیادی ریزدانه همراه باشد.
۲ - خاک لای‌دار
۳ - رس لای‌دار (دامنه‌ی خمیری کمتر از ۱۲)

راهکارهای مبارزه یا راهکارهای حفظ روسازی در برابر پدیده یخبندان

۱ - حفاظت کامل و نیمه کامل لایه‌های روسازی

۲ - ایجاد زهکشی عمیق

۳ - سطح روسازی را به وسیله ایجاد خاک‌ریز بالاتر بیاوریم.

٤ - به خاک قابل تورم آهک اضافه کنیم.

٥ - خاک قابل تورم را با رطوبتی بیشتر از رطوبت بهینه مرطوب کرده و متراکم کنیم.

طبقه‌بندی حساسیت خاک‌ها به پدیده یخ زدگی

FG1	بهترین
FG2	...
FG3	...
FG4	بدترین

خاک لای دار	حساسترین
رس با $PI<12$	حساسترین

طبقه بندی حساسیت خاک ها از نظر طبقه بندی متحد و آشتو (AASHTO)

	طبقه بندی متحد	طبقه بندی آشتو (AASHTO)
غیر حساس	SW-GW SP-GP	A-1 A-2
.	.	.
.	.	.
.	.	.
متوسط	CH	A-7
متوسط تا زیاد	CL	A-6
متوسط تا خیلی زیاد	MH ML	A-4 A-5

تعیین عمق یخبندان

طراحی روسازی: مهمترین طراحی‌های روسازی، تعیین عمق یخبندان روسازی می‌باشد.

$$Z = A\sqrt{FI}$$

Z=عمق یخبندان A=عدد ثابت FI=شاخص برودت هوا

روش‌های تعیین عمق یخبندان

۱ - روش تجربی

۲ - روش دقیق

فرمول صفحه‌ی قبل مربوط به روش تجربی می‌باشد که در آن Z عمق یخبندان بر حسب cm و A عدد ثابت (تابع خصوصیات حرارتی مصالح) و FI شاخص برودتی هوا بر حسب روز-درجه می‌باشد.

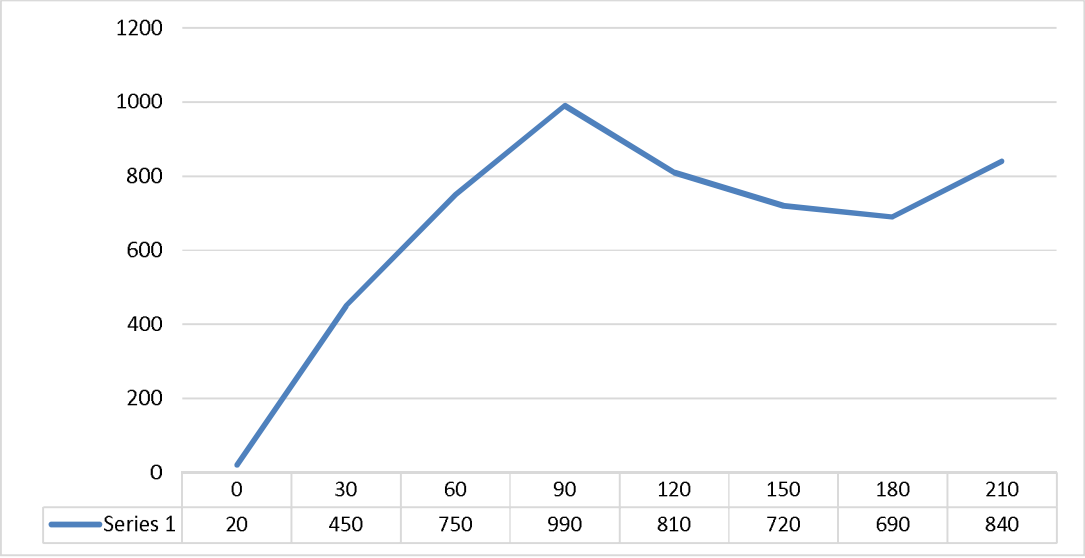
❖ **نکته:** پارامتر A برای مصالح شنی با نفوذ پذیری خوب برابر 4.7 می‌باشد.

مثال) در تمرین زیر شاخص برودت هوا را محاسبه کنید.

تذکر: تمام ماه‌ها ۳۰ روزه فرض می‌شود و نیز دمای روز اول مهر ۲۰ درجه سانتی‌گراد می‌باشد.

ماه	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین
درجه حرارت C°	15	10	8	-6	-3	-1	5
۳۰ برابر درجه حرارت	450	300	240	-180	-90	-30	150
درجه حرارت تجمعی	450	750	990	810	720	690	840

روز-درجه $FI=990-690= \ (300)$



❖ در این سوال فصل سرما به علت وجود داده‌های منفی سه ماه است (دی ، بهمن ، اسفند) لذا min را در این دماهای منفی باید مشخص کنیم. پس توجه شود که فصل سرما باید در زمستان و دمای زیر صفر در نظر گرفته شود.

مثال) مشخصات یک روسازی به صورت جدول زیر می‌باشد.

نوع لایه	رویه آسفالت	لایه اساس	لایه زیر اساس
ضخامت لایه	5 cm	18 cm	25 cm

فرض می شود مصالح شنی با نفوذپذیری خوب باشد و شاخص یخبندان ۹۰۰ روز- درجه باشد.

مطلوب است تعیین عمق یخبندان خاک بستر؟

Z= عمق یخبندان $A = 4.7$ $FI = 900$

$$Z = A\sqrt{FI} \implies Z = 4.7\sqrt{900} \implies Z = 141\ cm$$

عمق یخزده = 141-48 = 93 cm ⟹ عمق لایه‌ها = 5+18+25 = 48

عمق یخبندان در خاک بستر 93 cm	آسفالت	5 cm
	اساس	18 cm
	زیر اساس	25 cm
	خاک بستر	∞

روش دقیق محاسبه عمق یخبندان

$$Z = \lambda \cdot \sqrt{\frac{48 \cdot FI}{\frac{L}{K}}}$$

Z= عمق یخبندان λ= ضریب تصحیح آلدریچ

FI= شاخص برودت هوا L= حرارت نهایی تجمعی $(\frac{cal}{cm3})$

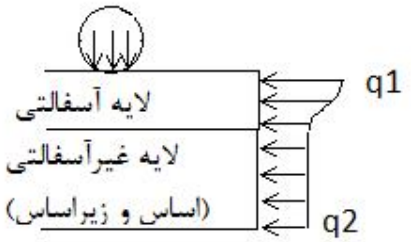
K= ضریب هدایت حرارتی $(\frac{\text{cal}}{\text{cm.c°.hr}})$

بارهای وارد بر روسازی و اثرات آن

تحلیل سیستم‌های روسازی تحت اثر بارگذاری:

۱ - سیستم یک لایه‌ای
۲ - سیستم دو لایه‌ای
۳ - سیستم سه لایه‌ای
٤ - روش المان محدود

توزیع تنش های قائم در روسازی

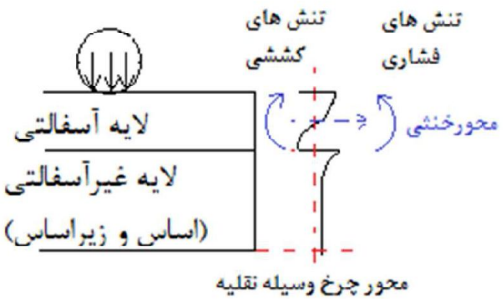


$q_1 > q_2$

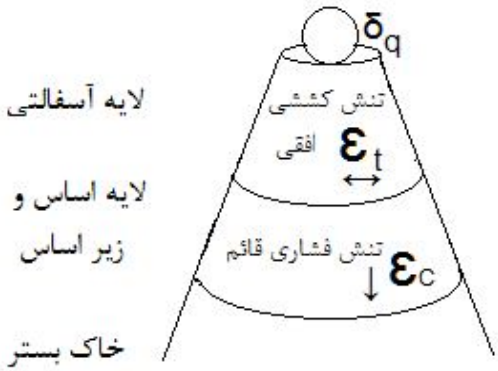
❖ **نکته:** هرچه از سطح رویه پایین‌تر می رویم تنش قائم کاهش یافته و بیشترین تنش قائم در زیر بارگذاری چرخ اتفاق می‌افتد، به همین دلیل مقاوم‌ترین مصالح بر روی لایه آسفالتی قرار می‌گیرد.

❖ **نکته:**

۱ - زیر چرخ تنش فشاری می‌باشد.
۲ - بیشترین تنش کششی افقی در سطح زیرین لایه آسفالتی می‌باشد.
۳ - در یک ضخامت معیّن از رویه آسفالتی: تنش‌های افقی فشاری در بالای محور خنثی و تنش‌های افقی کششی در پایین تار خنثی بوجود می‌آید.



تنش‌ها و تغییر شکل‌های بحرانی در سیستم روسازی:



❖ **نکته:** مقادیر زیر در یک سیستم روسازی بحرانی بوده و حائز اهمیت می‌باشد.

۱ - حداکثر افت و خیز قائم روسازی (Δ)
۲ - حداکثر تنش کششی افقی در سطح زیرین لایه آسفالتی (ε_t)
۳ - حداکثر تنش فشاری قائم وارد بر خاک بستر (ε_c)

تحلیل سیستم یک لایه‌ای:

فرضیات:

۱ - فرض می‌شود کل سیستم زیرسازی و روسازی راه از یک لایه همگن و هم‌جنس تشکیل شده است.

۲ - از تغییر ضخامت لایه‌ها صرف نظر می‌کنیم .

۳ - در رفتار خطی مدول الاستیسیته را E و ضریب پواسون را ν فرض می‌کنیم.

٤ - ضخامت خاک بستر بی‌نهایت فرض می‌شود.

روش بوسینسک: مبنای محاسبات، در سیستم یک لایه‌ای می‌باشد. $\Delta z = \frac{3}{2\pi}$

نمونه‌ای از جداول کاربردی برای تعیین پارامترها

r/a			
z/a	۰	۰.۲	۰.۴
۰	۱	۱	۱
۰.۱	۰.۹۰۰۵	۰.۸۹۷۴	–

جدول A

r/a			
z/a	۰	۰.۲	۰.۴
۰	۱	۱	۱
۰.۱	۰.۰۹۸۵	۰.۱۰۱۴	–

جدول B

تنش افقی شعاعی $\longrightarrow \sigma_r = q(2\gamma_A + C + (1-2\nu)F)$

تنش افقی مماسی $\longrightarrow \sigma_t = q(2\gamma_A - D + (1-2\nu)E)$

تغییرشکل نسبی قائم $\longrightarrow \varepsilon_z = \frac{q(1+\nu)}{E1}((1-2\nu)A + B)$

تغییر شکل نسبی شعاعی افقی $\longrightarrow \varepsilon_r = \frac{q(1+\nu)}{E1}((1-2\nu)F + C)$

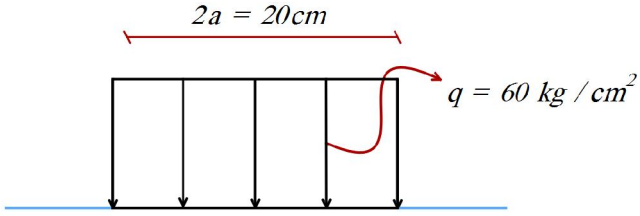
تغییر شکل نسبی افقی مماسی $\longrightarrow \varepsilon_t = \frac{q(1+\nu)}{E1}\left((1-2\nu)E - D\right)$

فرمول زیر بسیار مهم می‌باشد

$$\delta = \frac{q(1+\nu)a}{E_1}\left(\frac{z}{a}A + (1-\nu)H\right)$$

حالت خاص سطح خاک $\Longrightarrow z = 0 \Longrightarrow \frac{z}{a} = 0 \Longrightarrow$ روی سطح خاک $\delta = \frac{2q(1-\nu^2)a}{E_1}$

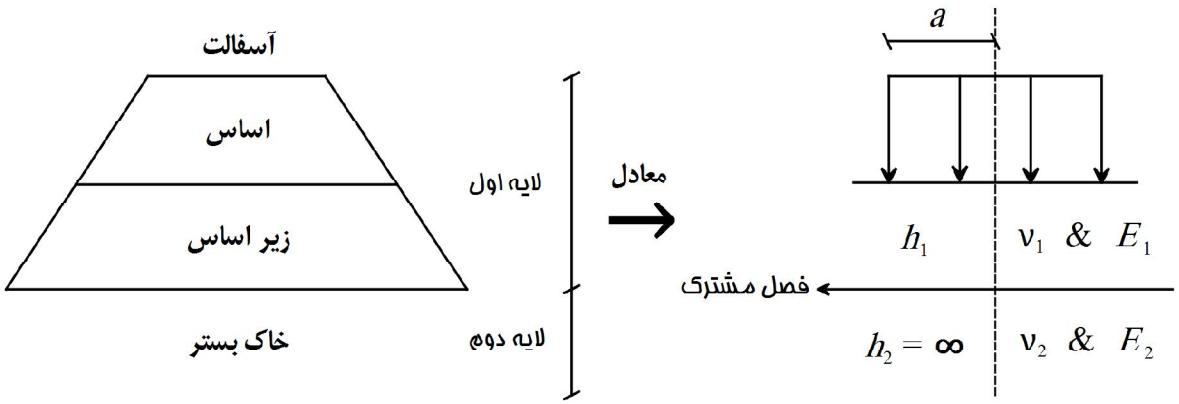
مثال) در شکل زیر مطلوب است محاسبه افت و خیز حداکثر؟



$$E = 1000\frac{kg}{cm2} \quad \& \quad \nu = 0.5 \quad k = \sim$$

$$\delta \max = \frac{2q(1-\nu^2)a}{E_1} = \frac{2 \times 60 \times (1-0.5^2) \times 10}{1000} = 0.9cm = 9mm$$

تحلیل سیستم دو لایه‌ای:



۱ - روسازی به صورت شکل فوق مدل‌سازی می‌شود.

۲ - در هر یک از لایه‌ها، مصالح موجود در هر لایه هم‌جنس و همسان و ارتجاعی می‌باشد.

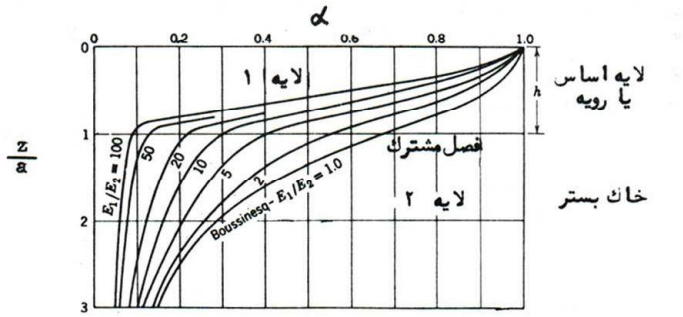
۳ - همان طور که در شکل مشاهده می‌گردد کل لایه‌های اساس و زیراساس و رویه آسفالتی با یک لایه به ضخامت h_1 و مدول الاستیسیته E_1، ضریب پواسون ν_1 جایگزین گشته است.

محاسبه تنش قائم درسیستم دولایه‌ای:

$$\sigma z = \alpha . q \; \frac{kg}{cm^2}$$

α=ضریب ← برای محاسبه تنش قائم

q ← یکنواخت وارد بر سطح (kg/cm^2)



شکل ۸ــ ۵ــ منحنی های تاثیر برمیستر برای محاسبه تنش‌فشاری قائم

گام های محاسبه α (ضریب برمیستر) در محاسبه تنش قائم در سیستم دولایه‌ای:

۱ - باتوجه به عمق موردنظر (z) و شعاع بارگذاری (a) : $(\frac{z}{a})$ را محاسبه نموده و روی محور عمودی سمت چپ مشخص و از آن یک خط افقی رسم می‌نماییم.

۲ - نسبت ضریب ارتجاعی لایه اول به لایه دوم را محاسبه نموده و منحنی مربوطه را انتخاب می‌نماییم.

۳ - از نقطه تلاقی خط افقی و منحنی که در گام ۲ انتخاب کرده‌ایم به صورت عمودی به سمت محور افقی بالا حرکت نموده و مقدار ضریب α را بدست می‌آوریم.

حداکثر افت و خیز قائم در سیستم روسازی دولایه‌ای:

$$\delta = \frac{3}{2}\,\beta\,\frac{q \cdot a}{E_2}$$

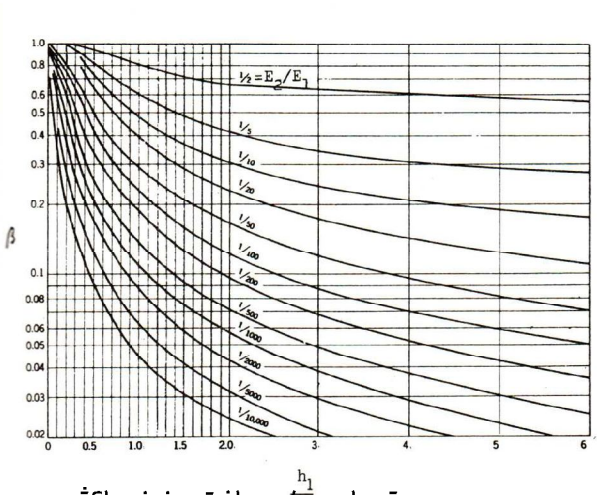
q فشار چرخ (kg/cm^2)، a شعاع چرخ، E_2 مدول الاستیسیته لایه دوم، β ضریب برمیستر

گام‌های بدست آوردن ضریب β از منحنی تأثیر برمیستر:

۱ - **گام اول:** ابتدا پارامتر $\frac{h_1}{a}$ را محاسبه نموده و روی محور افقی پایین مشخص می‌کنیم و از آن نقطه، عمودی به سمت بالا رسم می‌نماییم.

۲ - **گام دوم:** نسبت ضریب ارتجاعی لایه اول به لایه دوم را محاسبه نموده و منحنی مربوطه را انتخاب می‌نماییم.

۳ - **گام سوم:** از محل تلاقی خط عمودی و منحنی مربوطه، خطی افقی رسم نموده تا محور عمودی سمت چپ راقطع نماید و نهایتاً مقدار β بدست آید.

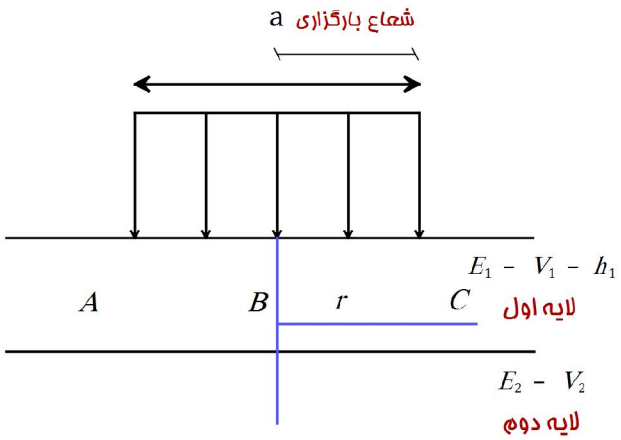


شکل ۸-۶- منحنی‌های تاثیر برمیستر برای محاسبه افت و خیز حداکثر

محاسبه افت و خیز در سیستم دولایه‌ای در فصل مشترک لایه‌ها:

$$\delta s = \gamma\,\frac{q.a}{E_2}$$

محاسبه ضریب γ از منحنی‌های تاثیر ونگ:



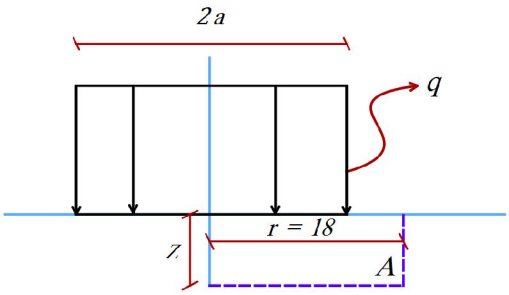
۱ - **گام اول:** ابتدا نسبت ضریب ارتجاعی لایه اول به دوم $\frac{E_1}{E_2}$ را محاسبه نموده و سپس نمودار مربوطه مناسب را انتخاب می‌نماییم.

۲ - **گام دوم:** نسبت $\frac{r}{a}$ را محاسبه و منحنی مربوطه در نمودار انتخاب شده مرحله قبل را مشخص می‌نماییم.

۳ - **گام سوم:** پارامتر $\frac{z}{a}$ را روی محور قائم سمت چپ مشخص نموده و از آن یک خط افقی رسم می‌نماییم تا منحنی مربوط به $\frac{r}{a}$ را قطع نماید.

٤ - **گام چهارم:** از محل تقاطع به صورت عمودی خطی به سمت بالا رسم نموده و مقدار γ را قرائت می‌نماییم.

مسئله ۱: در شکل زیر تغییر مکان قائم نقطه A را محاسبه کنید.



$$A:(x,y)=(18\ cm,24\ cm)\ \&\ a=12\ cm$$

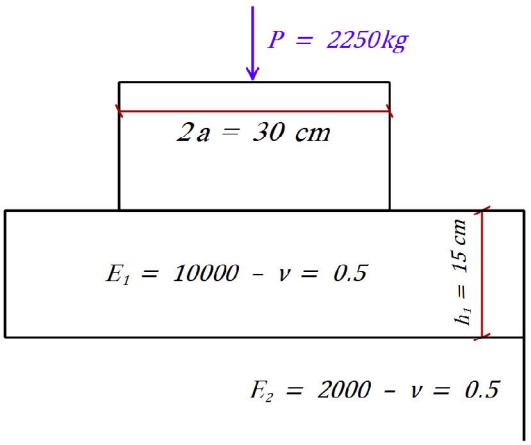
$$E=5000\frac{kg}{cm^2}\ \&\ \nu=0.5\ \&\ q=7\frac{kg}{cm^2}$$

حل مسئله: $\frac{Z}{a}=\frac{24}{12}=2\ \&\ \frac{r}{a}=\frac{18}{12}=1.5$

$$H=0.39242\ \&\ A=0.06275 \xleftarrow{\text{از جداول}}$$

$$\delta=\frac{q(1+\nu)a}{E_1}\left(\frac{z}{a}A+(1-\nu)H\right)=\frac{7(1+0.5)12}{5000}(2\times0.06275+(1-0.5)0.39242)=0.0081$$

مسئله ۲: در شکل زیر مقدار حداکثر افت و خیز قائم تحت اثر بارگذاری چقدر است؟



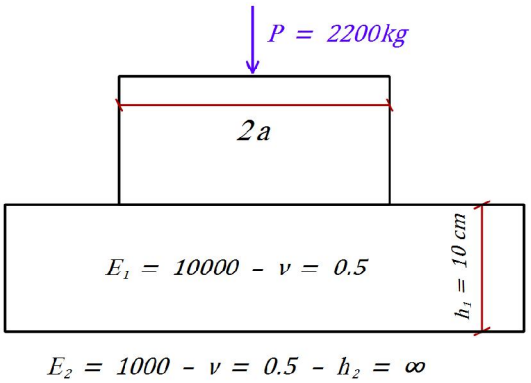
$$\left.\begin{matrix}\frac{E_2}{E_1}=\frac{2000}{10000}=\frac{1}{5}\\ \frac{h}{a}=\frac{15}{15}=1\end{matrix}\right\}\xrightarrow{\text{از جداول}}\ \beta=0.62$$

$$q=\frac{P}{A}=\frac{P}{\pi r^2}=\frac{2250}{3.14\times15^2}=3.18\frac{kg}{cm^2}$$

$$\delta=1.5\beta\times\left(q\times\frac{a}{E_2}\right)=$$

$$1.5\times0.62\times\left(3.18\times\frac{15}{2000}\right)=0.022$$

مسئله ۳: در روسازی دولایه‌ای زیر حداکثر فشار قائم نقطه A چقدر است؟ (فشار داخلی باد چرخ $7kg/cm^2$ است)

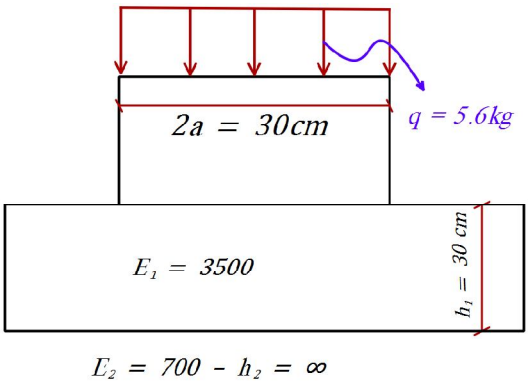


$$q=\frac{p}{A}=\frac{p}{\pi a^2}\longrightarrow a=\sqrt{\frac{p}{\pi q}}=\sqrt{\frac{2200}{3.14\times7}}=10$$

$$\left.\begin{matrix}\frac{E_1}{E_2}=\frac{10000}{1000}=10\\ \frac{z}{a}=\frac{10}{10}=1\end{matrix}\right\}\xrightarrow{\text{از جداول}}\ \alpha=0.3$$

$$\sigma A=\alpha q=0.3\times7=2.1$$

مسئله ۴: در شکل زیر مطلوبست افت وخیز قائم در فصل مشترک دو لایه ۱ و ۲؟



$$\left.\begin{array}{l}\frac{E_1}{E_2}=\frac{3500}{700}=5\\ \frac{r}{a}=\frac{0}{15}=0\\ \frac{z}{a}=\frac{30}{15}=2\end{array}\right\} \xrightarrow{\text{از جداول}} \gamma = 0.48$$

$$\Delta s = \gamma \times \left(\frac{q \times a}{E_2}\right) = 0.48 \times \left(\frac{5.6 \times 15}{700}\right) = 0.058cm$$

بارهای وارد بر روسازی:

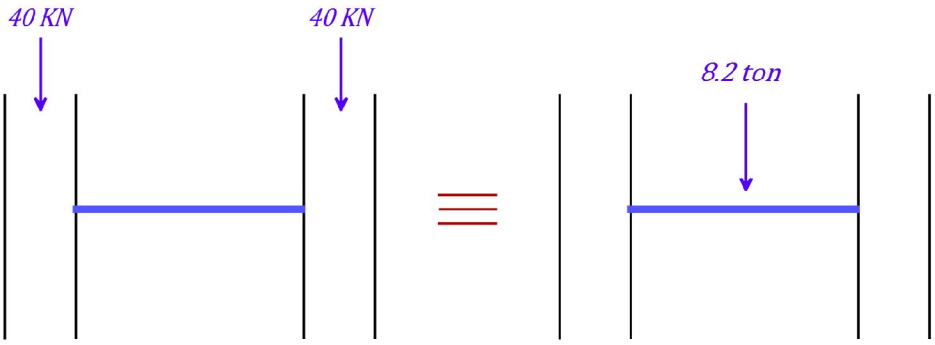
۱ - ماهیت بارها

۲ - محور هم ارز استاندارد

۳ - قاعده تجربی توان ٤

۴ - تعریف ضریب بار هم ارز

محور هم ارز استاندارد:



فشار باد چرخ $Q = {}^{4.9kg}/_{cm^2}$

شعاع سطح تماس چرخ $a = 11.5cm$

فاصله مرکز به مرکز چرخ $= 34.5cm$

بارکل محور $= 8.2ton$

قاعده تجربی توان ٤:

میزان صدمه وخرابی وارد شده به یک روسازی ناشی از دو محور به طور مستقیم با توان چهارم وزن محور متناسب می‌باشد.

$$\frac{\text{خرابی ناشی از محور x}}{\text{خرابی ناشی از محور y}} = \left(\frac{Wx}{Wy}\right)^4$$

ضریب بار هم ارز:

$$\text{ضریب بار هم ارز (LEF)} = \left(\frac{Wx}{Wy}\right)^4$$

$$\frac{\textit{خرابی ناشی از یک بار عبور محور مورد نظر}}{\textit{خرابی ناشی از یک بار عبور محور استاندارد}}$$

این ضریب صدمات ناشی از یک بار عبور چرخ را با یک بار عبور محور استاندارد مقایسه میکند.

طراحی روسازی راه:

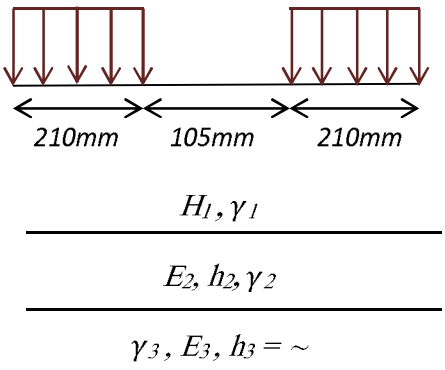
هدف:به دست آوردن ضخامت لایه‌های روسازی، باتوجه به تغییر شرایط ترافیکی و آب و هوایی

انواع روش‌های طرح روسازی:

۱- روش CBR ۲- روش طراحی انستیتو آسفالت ۳- روش طراحی شل ٤- روش طراحی NCSA ٥- روش آشتو

معیارهای طراحی در روش شل:

در روش‌های طراحی شِل، روسازی به سه لایه انعطاف پذیر تقسیم می‌گردد.



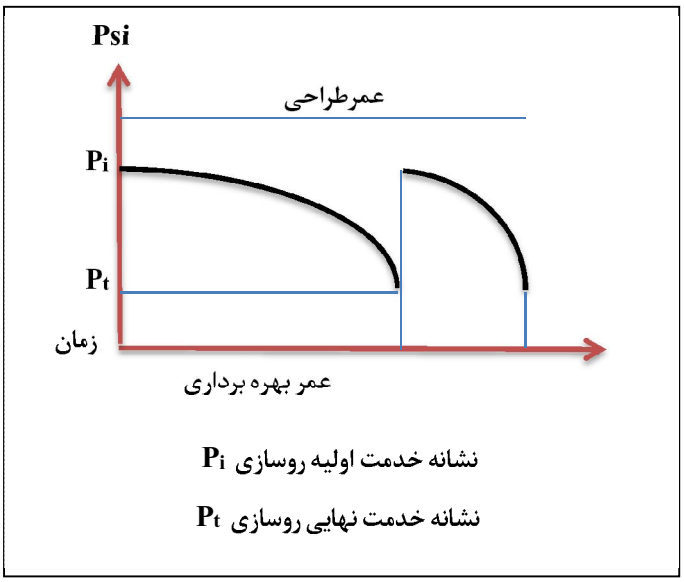
۱- بارگذاری ترافیکی (محور استاندارد به صورت نشان داده شده در شکل)
۲- کنترل تنش‌ها و تغییر شکل‌ها در لایه آسفالتی و خاک بستر
۳- دمای متوسط ماهیانه
٤- خواص مصالح

روش طراحی NCSA: این روش مانند روش CBR، مبنای آن فقط مقاومت خاک بوده و با توجه به بار ترافیکی، ضخامت لایه را به دست می‌آورد و پارامترهای دیگری مثل اثر یخبندان و تورم خاک را نیز در نظر می‌گیرد.

***مهم* روش طراحی روسازی توسط آشتو (AASHTO):**

مفاهیم مهم در طراحی روسازی به روش آشتو:

۱- نشانه خدمت دهی روسازی (PSI)
۲- عمر مفید و عمر طراحی
۳- سطح قابلیت اطمینان در روسازی (R)
٤- انحراف معیار نرمال در طراحی روسازی (Z_R)
٥- انحراف معیار کلی پیش بینی ترافیک (S_0)
٦- مدول برجهندگی (M_R)



نشانه خدمت دهی روسازی (PSI): این مقیاس بر حسب قابل استفاده بودن راه تقسیم بندی می‌گردد به این نحو که به یک راه با درجه ساخت عالی نمره ٥ و به یک راه غیر قابل استفاده نمره صفر را میدهد.

❖ **تقسیم بندی:** 5=عالی، 4=خیلی خوب، 3=خوب، 2=متوسط، 1=ضعیف، 0=غیرقابل استفاده

عمرمفید: مدت زمانی که لازم است روسازی از سطح اولیه خدمت دهی (P_i) به سطح نهایی خدمت دهی (P_t) برسد

عمر طراحی: مدت زمانی که روسازی برای آن طراحی شده و پس از آن روسازی باید از نو احداث گردد.

براساس آیین‌نامه ایران نشانه خدمت دهی اولیه روسازی آسفالتی را P_i=4.2 فرض می‌نمایند، نشانه خدمت دهی نهایی راه‌ها را مطابق جدول زیر درنظر می‌گیرند.

نوع راه	Pt
آزادراه وبزرگراه	۳
راه اصلی	۲/٥
راه فرعی	۲

بزرگراه $\Delta PSI=P_i-P_t=4.2-3=1.2$

سطح قابلیت اطمینان در روسازی (R): سطح قابلیت اطمینان بیان می‌دارد که با چه درصدی می‌توان انتظار داشت روسازی طراحی شده معادل عمر طراحی، عمر نماید.

❖ **تذکر:** انحراف معیار کلی پیش بینی ترافیک برای کلیه راه ها $S_0= 0.35$

مدول برجهندگی خاک (M_R): یکی از پارامترهای مهم تعیین مقاومت خاک آزمایش تعیین مدول برجهندگی خاک می‌باشد.

$$logw_{8.2} = Z_R \cdot S_0 + 9.36\,log(SN+1) - 0.2 + \frac{log\left(\Delta PSI/_{4.2-1.5}\right)}{0.4 + 1094/_{(SN+1)^{5.19}}} + 2.32\,log\frac{M_R}{0.07} - 8.07$$

اصلاح عدد SN

مثال: مطلوب است محاسبه‌ی عدد سازه‌ای کل روسازی

$W_{8.2}= 2*10^6$ $R= 0.95 \rightarrow Z_R = -1.645$ $M_R = 350\ kg/cm^2$

$S_0 = 0.35$ $P_0 = 4.2$ $P_t = 2.5$

حل: $\Delta PSI = 4.2 - 2.5 = 1.7$

$$\log_{8.2} 2\times 10^6 = -1.643\times 0.35 + 9.36\log(SN+1) - 0.2 + \frac{\log\left(\frac{1.7}{4.2-1.5}\right)}{0.4+\frac{1094}{(SN+1)^{5.19}}} + 2.32\log\frac{350}{0.07} - 8.07$$

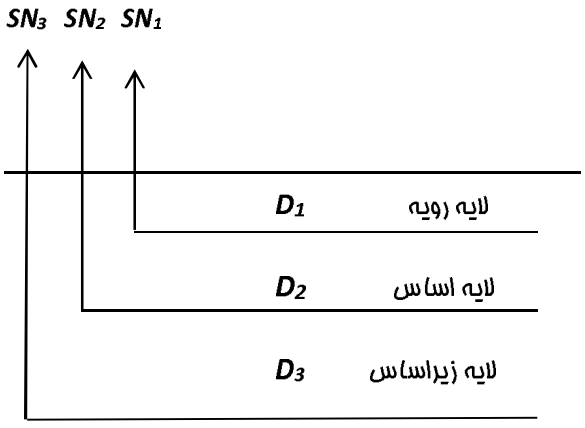
SN را از روی نمودار بدست آورده و در معادله جایگذاری می‌کنیم، چنانچه با اختلاف خیلی کم مساوی باشند SN قابل قبول می‌باشد.

$$SN = \frac{1}{2.5}\left(a_1D_1 + a_2m_2D_2 + a_3m_3D_3\right)$$

(a_1,a_2,a_3): ضرایب لایه قشر آسفالتی، اساس شکسته و زیراساس

(D_1,D_2,D_3): ضخامت لایه آسفالت، لایه اساس و لایه زیراساس

(m_2,m_3): ضرایب زهکشی لایه اساس و لایه زیراساس



$$SN_i = \frac{1}{2.5}\times ai\ Di$$

$$SN_1 = \frac{1}{2.5}\times a_1D_1$$

$$SN_2 = \frac{1}{2.5}\times \left(a_1D_1 + m_2a_2D_2\right)$$

$$SN_3 = \frac{1}{2.5}\times \left(a_1D_1 + m_2a_2D_2 + m_3a_3D_3\right)$$

مثال: با توجه به شکل فوق ضخامت لایه اساس را بدست آورید.

$SN_1 = 3.2$ $SN_2 = 4.5$ $SN_3 = 5.6$

$a_1 = 0.41$ $a_2 = 0.14$ $a_3 = 0.08$

$SN_1 = \frac{1}{2.5}a_1D_1 \rightarrow D_1 = 19.04\ cm$

$SN_2 = \frac{1}{2.5}\left(a_1D_1 + m_2a_2D_2\right) \rightarrow D_2 = 20\ cm$

$SN_3 = \frac{1}{2.5}\left(a_1D_1 + m_2a_2D_2 + m_3a_3D_3\right) \rightarrow D_3 = 35\ cm$