مهندسی روسازی

فصل دهم: طراحی روسازی‌های انعطاف‌پذیر

علیرضا غنی‌زاده

دانشیار دانشکده مهندسی عمران – دانشگاه صنعتی سیرجان

مقدمه

- منظور از طراحی روسازی، تعیین ضخامت هر یک از لایه‌های تشکیل‌دهنده روسازی به‌طوری است که تنش‌ها و کرنش‌ها به اندازه قابل تحمل خاک بستر و همچنین سایر لایه‌های روسازی کاهش یابد و روسازی بتواند پاسخگوی ترافیک عبوری در طول عمر طراحی باشد.
- عوامل مؤثر بر ضخامت روسازی شامل حجم و ترکیب ترافیک عبوری از راه، خصوصیات مکانیکی هر یک از لایه‌های روسازی و خاک بستر و همچنین شرایط جوی منطقه است. علاوه بر این موارد، سایر عوامل نیز باید در طراحی نهایی روسازی، مد نظر قرار گیرند. این عوامل عبارت از هزینه ساخت، سهولت اجرا و هزینه‌های دوره عمر در آینده می‌باشند.

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

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

Pavement Engineering

تاریخچه‌ای از طراحی روسازی

- در اوایل قرن بیستم مقوله‌ای به‌عنوان طراحی روسازی وجود نداشت.
- پس از جنگ جهانی دوم و رشد سریع تولید اتومبیل و استفاده روزافزون آن، تقاضای بسیار شدیدی در حوزه راه‌ها ایجاد شد که همین مسئله، لزوم دستیابی به روشی مقرون‌به‌صرفه برای ساخت روسازی راه‌ها و باند فرودگاه‌ها را بیش‌ازپیش توجیه می‌کرد.
- اولین روش‌های طراحی روسازی مبتنی بر قوانین پایه‌ای مکانیک خاک بودند و به‌کارگیری آن‌ها تا سال ۱۹۶۰ نتایج رضایت بخشی داشت.
- با شروع دهه ۱۹۷۰ میلادی و هم‌زمان شدن سه عامل بروز بحران اقتصادی، توسعه بسیار سریع راه‌ها و ظهور انواع خرابی‌ها در سطح راه‌ها، مسئولین و پژوهشگران هر کشور به بازنگری، بهبود و توسعه روش‌های جدید طراحی اقدام کردند تا بتوانند به طرح‌هایی دست یابند که علاوه بر صرفه اقتصادی، در مقابل شرایط ترافیکی پیش‌آمده نیز مقاوم باشند.

روش‌های طراحی روسازی

روش‌های طراحی روسازی‌های انعطاف‌پذیر به سه دسته قابل تقسیم می‌باشند:

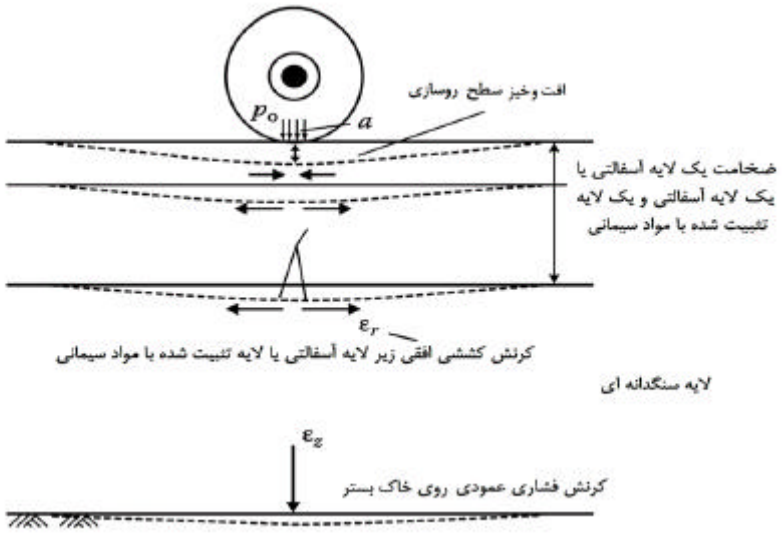
- روش‌های تجربی
- روش‌های نیمه تحلیلی
- روش‌های تحلیلی

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

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

Pavement Engineering

معیارهای طراحی روسازی آسفالتی



معیارهای خستگی لایه بتن آسفالتی

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

No.	Organization	f1	f2	f3
1	Asphalt Institute	0.0795	3.291	0.854
2	Shell Research	0.0685	5.671	2.363
3	US Army Corps of Engineers	497.156	5	2.66
4	Belgian Road Research Center	4.92E−14	4.76	0
5	Transport and Road Research Laboratory	1.66E−10	4.32	0
6	Federal Highway Administration	0.1001	3.565	1.474
7	ILLINOIS Department of Transportation	5.00E−06	3	0
8	Austin Research Engineers (ARE)	0.4875	3.0312	.06529

E1: Resilient modulus or Dynamic modulus of Asphalt Concrete (PSI)

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

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

Pavement Engineering

معیار خستگی لایه تثبیت شده با مواد سیمانی

Austroads

$$N = RF\left[\frac{11300 / E^{0.804} + 191}{\varepsilon}\right]^{12}$$

در این رابطه، **N** تعداد عبور مجاز محور ۸/۲ تنی (۸۰ کیلو نیوتن) استاندارد به‌صورت تجمعی، **RF** ضریب اطمینان (به‌عنوان مثال برای پروژه‌ای که ضریب اطمینان آن ۹۷/۵ ٪ است ضریب **RF** برابر ۰/۵ قرار داده می‌شود)، **E** مدول ارتجاعی مصالح سیمانی برحسب مگا پاسکال و **ε** نیز کرنش ایجادشده بر اساس میکرو کرنش ($۱۰^{-۶}$) است.

برای لایه‌های تثبیت‌شده با مدول ارتجاعی بین ۲۰۰۰ تا ۱۰۰۰۰ مگا پاسکال معتبر است.

معیار تغییرشکل برگشت ناپذیر خاک بستر

$$N_d = f_4(\epsilon_c)^{-f_5}$$

No.	Organization	f4	f5
1	Asphalt Institute	1.365E−09	4.477
2	Shell Research	6.15E−07	4
3	US Army Corps of Engineers	1.81E−15	6.527
4	Belgian Road Research Center	3.05E−09	4.35
5	Transport and Road Research Laboratory	1.13E−06	3.75

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

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

Pavement Engineering

کلیات روش طراحی اشتو

- در سال ۱۹۵۶ اشتو با ساخت یک مسیر آزمایشی در شهر اتاوای ایالت ایلینوی آمریکا و صرف ۲۷ میلیون دلار بودجه، پروژهٔ بزرگی را جهت دستیابی به یک روش جامع برای طراحی روسازی آغاز کرد.
- بارگذاری این پروژه در اکتبر سال ۱۹۵۸ شروع شد و در نوامبر سال ۱۹۶۰ پایان یافت. بیشتر مقاطع آزمایشی که در این پروژه ساخته شدند را روسازی‌های انعطاف‌پذیر و بتنی تشکیل می‌دادند.
- نقطه اشتراک تمام این مقاطع حضور یک نوع خاک بستر بود. نوع این خاک بستر برحسب طبقه‌بندی اشتو از نوع A-6 بود. این نوع خاک از انواع رس لای‌دار بوده و درصد ریزدانه آن (ذرات عبوری از الک شماره ۲۰۰) بیش از ۳۶ درصد بود.
- همچنین دامنه خمیری این خاک بیش از ۱۱ بود. در حالت کلی عملکرد چنین خاکی برای به‌کارگیری در بستر متوسط تا ضعیف است.

کلیات روش طراحی اشتو

- مقاطع روسازی‌های انعطاف‌پذیر در این آزمایش متشکل از یک لایه رویه از جنس آسفالت با دانه‌بندی متراکم، یک لایه اساس سنگ شکسته خوب دانه‌بندی شده، یک لایه زیراساس مخلوط شن و ماسه‌ای و در نهایت خاک بستر از نوع A-6 بود.
- مهم‌ترین متغیرهایی که در طراحی اولیه مقاطع مدنظر قرار گرفت، ضخامت لایه‌های رویه، اساس و زیراساس بود. ازاین‌رو سه ضخامت مختلف برای هرکدام از این لایه‌ها مدنظر قرار گرفت که حالت‌های ترکیبی این ضخامت‌ها در مجموع (۲۷=۳×۳×۳) مقطع را شامل شد. ضخامت‌های بکار گرفته‌شده برای لایه آسفالتی حدود ۲۵ تا ۱۵۰ میلی‌متر، برای لایه اساس ۰ تا ۲۲۵ میلی‌متر و برای لایه زیراساس از ۰ تا ۴۰۰ میلی‌متر در نظر گرفته شد.
- وسایل نقلیه‌ای که بارگذاری روسازی توسط آن‌ها انجام شد نیز دارای انواع محورهای منفرد (ساده) و دوگانه (تاندم) بودند. محورهای تکی این وسایل نقلیه باری معادل ۹ تا ۱۳۳ کیلو نیوتن و محورهای تاندم نیز باری معادل ۱۰۷ تا ۲۱۴ کیلو نیوتن را به سطح راه وارد می‌کردند. از ترکیب این محورها ۱۰ نوع پیکربندی مختلف برای بارگذاری ایجاد شد که بر روی یک نوع مقطع روسازی هر یک از این ۱۰ نوع پیکربندی به تعداد هزاران مرتبه عبور می‌کرد. در حین آزمایش خرابی‌های روسازی، مانند ترک‌خوردگی‌ها و شیارشدگی ها مشاهده و ثبت شدند.

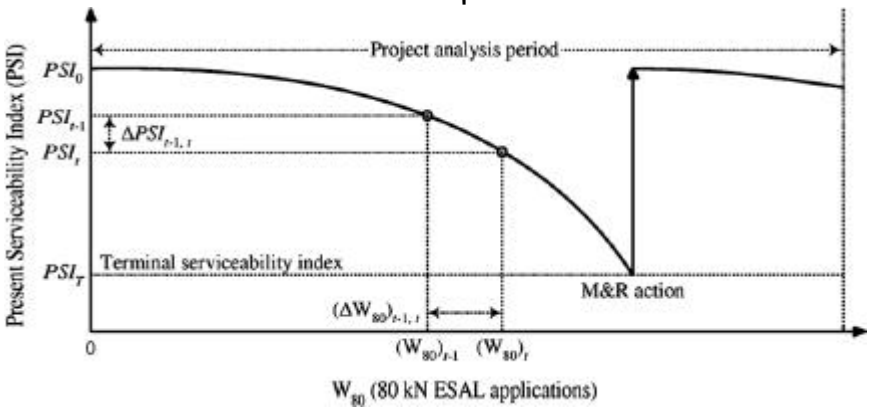
Ali Reza Ghanizadeh, Ph.D | ghanizadeh@sirjantech.ac.ir

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

Pavement Engineering

مفهوم نشانه خدمت کنونی (PSI)

- قابلیت سرویس‌دهی روسازی‌ها، تحت عنوان شاخص سرویس‌دهی کنونی **(PSI)** بیان می‌شود. عدد **PSI** با اندازه‌گیری ناهمواری‌ها و خرابی‌های راه در زمان‌های بخصوص و در طول عمر طراحی راه تعیین می‌شود. در محاسبه **PSI** ، ناهمواری راه مهم‌ترین عامل است



مفهوم نشانه خدمت کنونی (PSI)

- شاخص سرویس‌دهی نهایی نیز در واقع پایین‌ترین سطح قابل‌قبول سرویس‌دهی است که بعدازآن روسازی باشد ترمیم، روکش و یا بازسازی شود. مقدار این شاخص در اغلب اوقات عددی بین ۲ تا ۳ است که برای بزرگراه‌ها، راه‌های اصلی و راه‌های فرعی به ترتیب برابر با ۳، ۲/۵ و ۲ در نظر گرفته می‌شود. شاخص سرویس‌دهی نهایی روسازی به‌نوعی مستقیماً به رضایت رانندگان از کیفیت رانندگی روی جاده بستگی دارد.
- مقدار شاخص سرویس‌دهی اولیه (p_0)، کیفیت واقعی رانندگی را در روسازی که تازه اجازه عبور ترافیک از روی آن صادر شده است، نشان می‌دهد. ازاین‌رو مسلم است که نمی‌توان در هنگام طراحی این عدد را تعیین کرد .معمولاً فرض می‌شود که شاخص سرویس‌دهی راه تازه اجراشده بین ۴/۲ تا ۴/۵ قرار دارد .

$$\Delta PSI = \rho_0 - \rho_t$$

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

Pavement Engineering

عمر طراحی روسازی

طبقه‌بندی راه	عمر طراحی پیشنهادی (سال)
آزادراه	۲۰ تا ۳۰
راه اصلی	۲۰ تا ۳۰
شریانی	۱۵ تا ۲۵
جمع کننده و پخش‌کننده	۱۰ تا ۲۵
محلی	۱۰ تا ۲۰
پارکینگ وسایل نقلیه سنگین	۱۰ تا ۲۰
پارکینگ برای مناطق پرمسافر	۱۰ تا ۲۰
پارکینگ برای مناطق کم تردد	۱۰ تا ۱۵

ترافیک طراحی

- ✓ برای استفاده از روش اشتو در طراحی روسازی‌ها باید تعداد عبور محور استاندارد در عمر طراحی روسازی تعیین شود. ازاین‌رو لازم است تا تمام محورهای عبوری از راه به محور منفرد هم‌ارز ۸۰ کیلو نیوتنی (۸/۲ تنی)، تبدیل شوند..

نکته اول، معادل‌سازی بار محورهای عبوری با محور استاندارد باید به‌دقت انجام شود، زیرا بی‌دقتی در این خصوص سبب تخمین غیردقیق خرابی ایجادشده در روسازی در اثر عبور محور موردنظر می‌شود.

نکته دوم، دقت در برآورد حجم ترافیک و وزن محورهای عبوری است.

نکته سوم، دقت در تخمین تعداد عبور کل محورهای استاندارد در طول عمر طراحی روسازی است.

نکته چهارم، لزوم در نظر گرفتن اندرکنش عمر روسازی و ترافیک عبوری است. زیرا نحوه این اندرکنش بر روی تغییرات PSI تأثیرگذار است.

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

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

Pavement Engineering

قابلیت اطمینان و انحراف معیار کلی (مطابق AASHTO)

طبقه‌بندی راه	قابلیت اطمینان پیشنهادی	
	شهری	بین‌شهری
آزادراه	۹۰ تا ۹۹/۹	۸۵ تا ۹۹/۹
راه اصلی	۸۵ تا ۹۹	۸۰ تا ۹۵
راه شریانی	۸۰ تا ۹۹	۷۵ تا ۹۵
راه جمع کننده و پخش‌کننده	۸۰ تا ۹۵	۷۵ تا ۹۵
راه محلی	۵۰ تا ۸۰	۵۰ تا ۸۰
پارکینگ وسایل نقلیه سنگین	۸۰ تا ۹۵	۷۵ تا ۹۵
پارکینگ با تردد زیاد مسافر	۷۵ تا ۹۵	۷۵ تا ۹۰
پارکینگ کم تردد یا مسکونی	۵۰ تا ۸۰	۵۰ تا ۷۵

R%

S_0=0.45

قابلیت اطمینان و انحراف معیار کلی (نشریه ۲۳۴)

نوع راه (برون شهری)	سطح قابلیت اطمینان (R)	انحراف معیار نرمال (Z_R)
آزادراه و بزرگراه	۸۰–۹۵	−۱/۶۴۵ تا −۰/۸۴۱
راه اصلی	۷۵–۹۵	−۱/۶۴۵ تا −۰/۶۷۴
راه فرعی درجه ۱	۷۰–۹۰	−۱/۲۸۲ تا −۰/۵۲۴
راه فرعی درجه ۲	۵۰–۸۰	−۰/۸۴۱ تا ۰

- انحراف معیار کلی, (S_0) برابر با ۰/۳۵ در نظر گرفته می‌شود.
- قابلیت اطمینان برای بزرگ‌راه‌ها و آزادراه‌ها برابر با ۹۰ درصد در نظر گرفته می‌شود.
- قابلیت اطمینان برای راه‌های اصلی برابر با ۸۰ درصد در نظر گرفته می‌شود.

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

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

Pavement Engineering

مقاومت خاک بستر

- مقاومت خاک بستر با پارامتر مدول برجهندگی خاک بستر (M_R) مشخص می‌شود. مقدار این پارامتر یا در آزمایشگاه با استفاده از استانداردهای ASTM D4123 یا AASHTO T274 و یا با به‌کارگیری نتایج آزمون‌های غیر مخرب تعیین می‌شود.

برحسب مگا پاسکال $M_R = 10.3 \times (CBR)$

برحسب پوند بر اینچ مربع $M_R = 1500 \times (CBR)$

- لازم به ذکر است که این معادلات برای مصالح سنگ‌دانه‌ای لایه اساس و زیراساس صادق نیستند. این معادله‌ها برای خاک‌هایی معتبر هستند که مدول برجهندگی آن‌ها کمتر از ۲۰۷ مگاپاسکال باشد و طبقه‌بندی آن‌ها در سیستم یونیفاید (ASTM D2487)، CL، CH، ML، SC، SM و یا SP باشد

ضریب قشر مصالح زیراساس

نوع مصالح لایه	ضریب قشر
لایه زیراساس (a_3)	
شن ماسه‌ای	۰/۱۱
رس ماسه دار	۰/۰۸ (بین ۰/۰۵ تا ۰/۱)
خاک تثبیت‌شده با آهک	۰/۱۱
رس تثبیت‌شده با آهک	۰/۱۶ (۰/۱۴ تا ۰/۱۸)
سنگ شکسته	۰/۱۴ (۰/۰۸ تا ۰/۱۴)

$$a_3 = 0.277 \times (\log_{10} M_R) - 0.839$$

مدول برجهندگی لایهٔ زیراساس برحسب پوند بر اینچ مربع است

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

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

Pavement Engineering

ضریب قشر مصالح اساس

نوع مصالح لایه	ضریب قشر
لایه اساس (a_2)	
سنگ شکسته	۰/۱۴ (۰/۰۸ تا ۰/۱۴)
شن ماسه‌ای	۰/۰۷
اساس پوزولانی	۰/۲۸ (۰/۲۵ تا ۰/۳)
اساس تثبیت‌شده با آهک	۰/۲۲ (۰/۱۵ تا ۰/۳)
اساس تثبیت‌شده با سیمان	۰/۲۷
مخلوط خاک سیمان	۰/۲
اساس قیری با دانه‌بندی درشت	۰/۳۴
اساس قیری با دانه‌بندی ماسه‌ای	۰/۳
مخلوط بازیافتی درجا	۰/۲
مخلوط بازیافتی کارخانه‌ای	۰/۴ (۰/۴ تا ۰/۴۴)
مخلوط آسفالت گرم با دانه‌بندی متراکم	۰/۴۴
مدول برجهندگی لایهٔ اساس برحسب پوند بر اینچ مربع است	$a_2 = 0.279\times(\log_{10} M_R) - 0.977$

ضریب قشر مصالح بتن آسفالتی

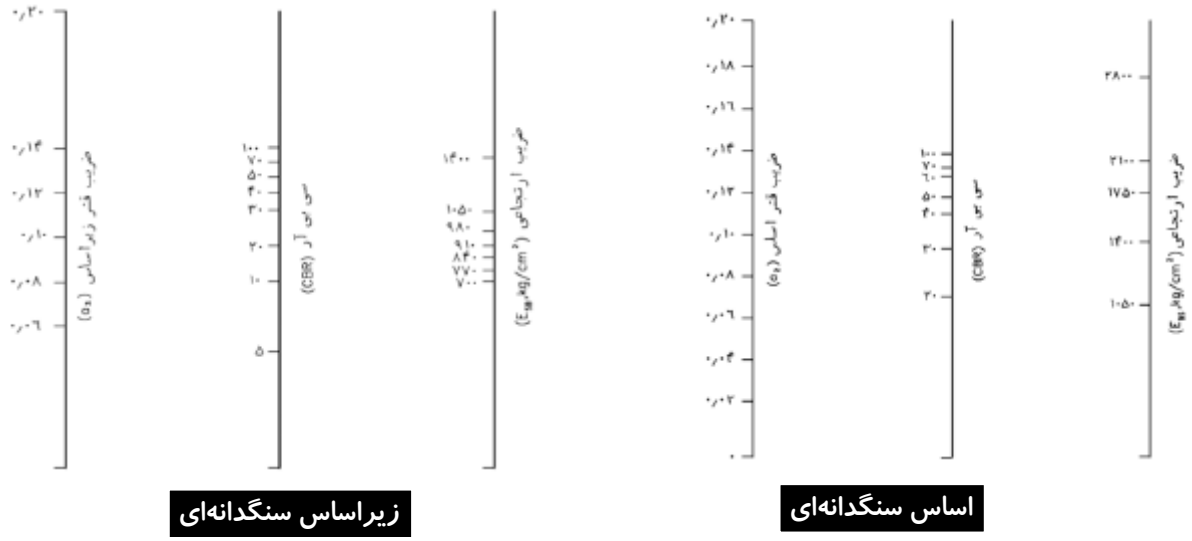
نوع مصالح لایه	ضریب قشر
مخلوط آسفالتی	
مخلوط آسفالتی با دانه‌بندی متراکم	۰/۴۴
ماسه آسفالت	۰/۴
مخلوط بازیافتی درجا	۰/۲
مخلوط بازیافتی کارخانه‌ای	۰/۴ (۰/۴ تا ۰/۴۴)

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

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

Pavement Engineering

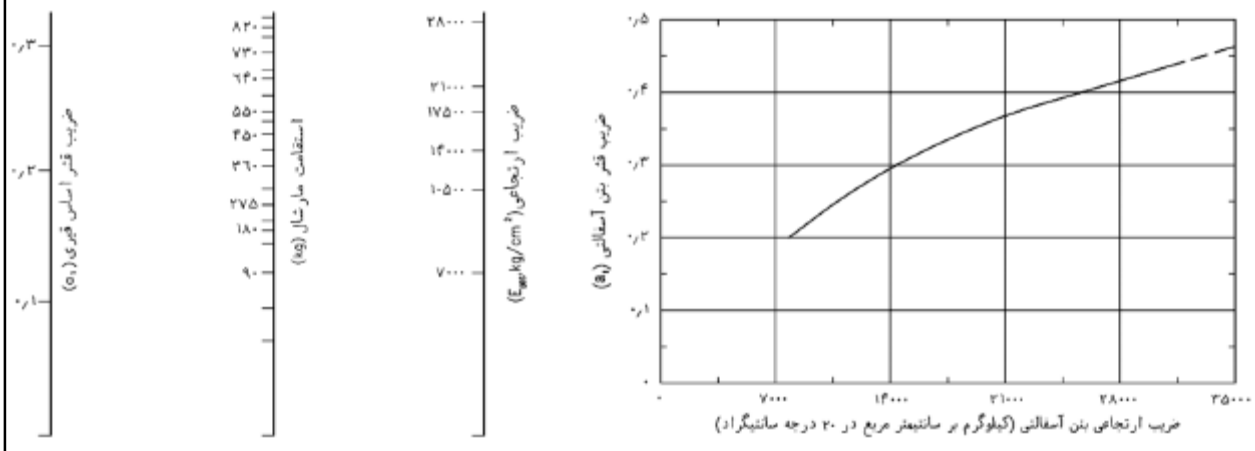
ضریب قشر لایه‌های اساس و زیراساس



اساس سنگدانه‌ای

زیراساس سنگدانه‌ای

ضریب قشر لایه‌های آسفالتی



بتن آسفالتی

اساس قیری

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

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

Pavement Engineering

ضریب زهکشی لایه‌های اساس و زیراساس

کیفیت زهکشی لایه	مدت‌زمان لازم برای خروج آب
عالی	۲ ساعت
خوب	۲۴ ساعت
متوسط	۱ هفته
ضعیف	۴ هفته
خیلی ضعیف	بی‌نهایت (عدم قابلیت زهکشی)

ضریب زهکشی لایه‌های اساس و زیراساس (مطابق AASHTO)

کیفیت زهکشی لایه	درصدی از سال که رطوبت سازه روسازی به حد اشباع می‌رسد.			
	<۱	۱ تا ۵	۵ تا ۲۵	>۲۵
عالی	۱/۳۵ تا ۱/۴	۱/۳ تا ۱/۳۵	۱/۲ تا ۱/۳	۱/۲
خوب	۱/۲۵ تا ۱/۳۵	۱/۱۵ تا ۱/۲۵	۱ تا ۱/۱۵	۱
متوسط	۱/۱۵ تا ۱/۲۵	۱/۰۵ تا ۱/۱۵	۰/۸ تا ۱	۰/۸
ضعیف	۱/۰۵ تا ۱/۱۵	۰/۸ تا ۱/۰۵	۰/۶ تا ۰/۸	۰/۶
خیلی ضعیف	۰/۹۵ تا ۱/۰۵	۰/۷۵ تا ۰/۹۵	۰/۴ تا ۰/۷۵	۰/۴

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

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

Pavement Engineering

ضریب زهکشی لایه‌های اساس و زیراساس (مطابق نشریه ۲۳۴)

ردیف	کیفیت زهکشی	درصد زمانی که رطوبت مصالح در حدود اشباع است		
		تا ۵ درصد[1] (منطقه خشک)	۲۵-۵ درصد[1] (منطقه معتدل)	بیشتراز ۲۵ درصد[1] (منطقه با بارندگی زیاد)
۱	عالی	۱/۳ - ۱/۴	۱/۲ - ۱/۳	۱/۲
۲	خوب	۱/۱۵ - ۱/۳۵	۱ - ۱/۱۵	۱/۰
۳	قابل قبول	۱/۰۵ - ۱/۲۵	۰/۸ - ۱/۰	۰/۸
۴	ضعیف	۰/۸ - ۱/۱۵	۰/۶ - ۰/۸	۰/۶
۵	خیلی ضعیف	۰/۷۵ - ۱/۱۵	۰/۴ - ۰/۷۵	۰/۴

۱- میزان بارندگی سالانه در این آئین‌نامه برای مناطق خشک، حداکثر ۲۵۰ میلیمتر، برای مناطق معتدل، بین ۵۰۰- ۲۵۰ میلیمتر و مناطق با بارندگی زیاد، بیش از ۵۰۰ میلیمتر تعیین شده است.

مراحل طراحی روسازی‌های آسفالتی با روش اشتو

مراحل طراحی روسازی بر اساس روش اشتو به‌صورت زیر قابل‌بیان است:

- تعیین پارامترهای قابلیت اطمینان و انحراف معیار برای طراحی روسازی
- تعیین تعداد محورهای هم‌ارز ۸/۲ تنی که در طول عمر روسازی از روی آن عبور می‌کنند ($W_{8.2}$).
- تعیین مدول برجهندگی خاک بستر (M_R)
- تعیین مقدار کاهش قابلیت سرویس‌دهی برای روسازی (ΔPSI)
- تعیین ضریب قشر لایه‌ها و ضرایب زهکشی لایه‌های اساس و زیراساس
- با استفاده از پارامترهای تعیین‌شده و نمودار مربوطه، عدد سازه‌ای موردنیاز برای روسازی تعیین می‌شود.
- با داشتن عدد سازه‌ای کل روسازی، ضخامت لایه‌ها به‌گونه‌ای انتخاب می‌شود که رابطه زیر برقرار شود.

$$SN=\frac{1}{2.5}(D_1a_1+D_2a_2m_2+D_3a_3m_3)$$

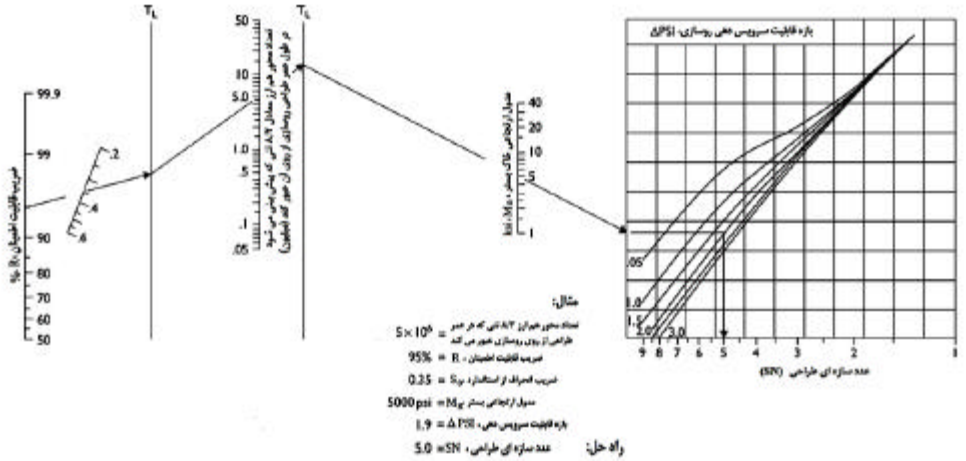
Ali Reza Ghanizadeh, Ph.D | ghanizadeh@sirjantech.ac.ir

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

Pavement Engineering

تعیین عدد سازه‌ای روسازی

$$\log_{10}(W_{18}) = Z_R S_o + 9.36 \log_{10}(SN+1) - 0.20 + \frac{\log_{10}\left[\frac{\Delta PSI}{4.2-1.5}\right]}{0.40 + \frac{1094}{(SN+1)^{5.19}}} + 2.32 \log_{10}(M_R) - 8.07$$



حداقل ضخامت مجاز قشر رویه آسفالتی و اساس سنگدانه‌ای

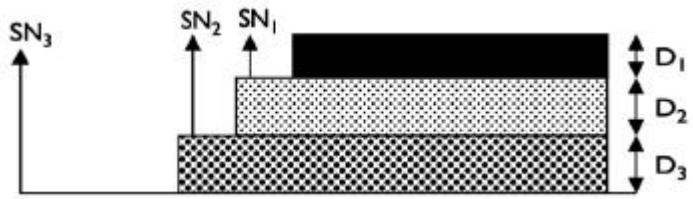
محور هم‌ارز عبوری (ESALs)	مخلوط آسفالتی با دانه‌بندی متراکم (میلی‌متر)	اساس سنگدانه‌ای (میلی‌متر)
۵۰۰۰۰>	۲۵	۱۰۰
۱۵۰۰۰۰ -۵۰۰۰۰	۵۰	۱۰۰
۵۰۰۰۰۰ -۱۵۰۰۰۰	۶۵	۱۰۰
۲۰۰۰۰۰۰ -۵۰۰۰۰۰	۷۵	۱۵۰
۷۰۰۰۰۰۰ -۲۰۰۰۰۰۰	۹۰	۱۵۰
۷۰۰۰۰۰۰<	۱۰۰	۱۵۰

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

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

Pavement Engineering

روابط ون‌تیل برای محاسبه ضخامت لایه‌ها



$$D_1^* \geq \frac{2.5 \times SN_1}{a_1}$$

$$SN_1^* = \frac{a_1 D_1^*}{2.5} \geq SN_1$$

$$D_2^* \geq \frac{2.5(SN_2 - SN_1^*)}{a_2 m_2}$$

$$SN_2^* = \frac{a_1 D_1^* + a_2 m_2 D_2^*}{2.5} \geq SN_2$$

$$D_3^* \geq \frac{2.5(SN_3 - SN_2^*)}{a_3 m_3}$$

مثال روش طراحی اشتو

ضخامت لایه‌های یک روسازی آسفالتی که قرار است به‌عنوان یک پارکینگ بزرگ مورداستفاده قرار گیرد را با در اختیار داشتن اطلاعات زیر به دست آورید.

- روسازی در عمر طراحی خود در معرض عبور ۲۰۰۰۰۰۰ محور استاندارد هم‌ارز ۸/۲ تنی (ESAL) قرار می‌گیرد.
- قابلیت اطمینان طرح ۹۰ درصد و انحراف معیار ۰/۴۵ فرض می‌شود.
- شاخص سرویس‌دهی اولیه ۴/۵ و شاخص سرویس‌دهی نهایی ۲ در نظر گرفته می‌شود.
- لایه رویه از مخلوط آسفالتی با دانه‌بندی متراکم و لایه اساس از سنگ شکسته که مستقیماً روی خاک بستر اجرا گردیده، تشکیل شده است.
- CBR خاک بستر ۳/۳ درصد گزارش شده است.
- لایه زیراساس اجرا نمی‌شود.
- کیفیت اساس از لحاظ زهکشی خوب طبقه‌بندی می‌شود. شرایط محیطی نیز به‌گونه‌ای است که در ۲۰٪ مدت‌زمان هرسال رطوبت خاک در حالت اشباع قرار دارد.

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

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

Pavement Engineering

مثال روش طراحی اشتو

- قابلیت اطمینان، $R = ٪۹۰$
- انحراف از استاندارد، $S_0 = ۰/۴۵$
- تعداد عبور محور استاندارد ۸/۲ تنی، $W_{18} = ۲۰۰۰۰۰۰$ ESAL
- مدول برجهندگی، $M_R = ۱۵۰۰(CBR) = ۱۵۰۰(۳/۳) = ۵۰۰۰$ psi (۳۴/۵ مگا پاسکال)
- شاخص سرویس‌دهی، $\Delta PSI = p_0 - p_t = ۴/۵ - ۲ = ۲/۵$

با در نظر گرفتن مقادیر فوق و به‌کارگیری نمودار شکل (۳-۲)، عدد سازه‌ای مورد نیاز برای بستر روسازی حدود ۴/۵ به دست می‌آید. همچنین با در نظر گرفتن پارامترهای فوق و در نظر گرفتن مدول برجهندگی قشر اساس (حدود ۲۱۴ مگاپاسکال) به جای بستر، عدد سازه‌ای مورد نیاز برای قشر اساس برابر با ۲/۴ به دست می‌آید.

از جدول (۳-۳) ضریب قشر برای مخلوط آسفالتی گرم (a_1)، مقدار ۰/۴۴ و برای اساس سنگدانه‌ای (a_2)، برابر با ۰/۱۴ به دست می‌آید. از جدول (۳-۴) و (۳-۵) نیز پارامتر m_2، ۱/۰۵ به دست می‌آید. حال بایستی با استفاده از معادلات (۳-۲۳) تا (۳-۲۷) ضخامت لایه‌ها را به دست آورد.

مثال روش طراحی اشتو

$$D_1 \geq \frac{2.5 \times SN_1}{a_1} = \frac{2.5 \times 2.4}{0.44} = 13.77 \Rightarrow D_1^* = 14\text{cm}$$

$$SN_1^* = \frac{a_1 D_1^*}{2.5} = 2.46 \geq 2.4$$

محاسبه ضخامت لایه اساس با در نظر گرفتن عدد سازه‌ای لایه آسفالتی:

$$D_2 = \frac{SN_2 - SN_1^*}{a_2 m_2} \times 2.5 = \frac{4.5 - 2.46}{(0.14)(1.05)} \times 2.5 = 34.69 \Rightarrow D_2^* = 45\text{cm}$$

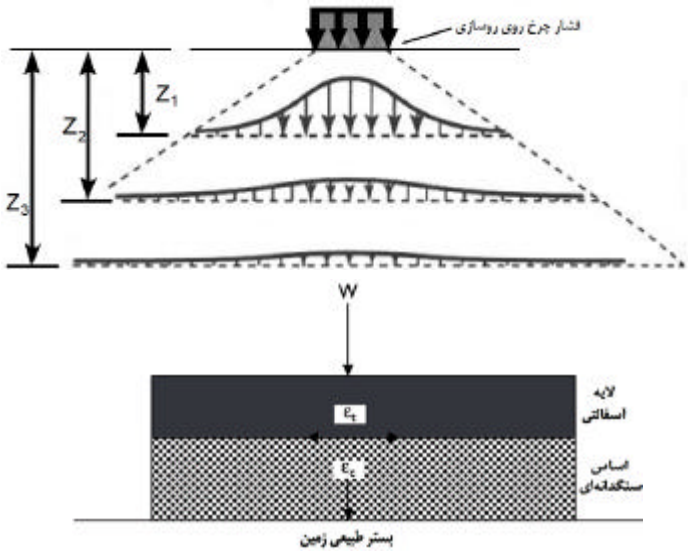
بنابراین ضخامت قشر آسفالت (مجموع بیندر و توپکا) برابر با ۱۴ سانتی‌متر و ضخامت قشر اساس سنگدانه‌ای برابر با ۴۵ سانتی‌متر انتخاب می‌شود.

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

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

Pavement Engineering

روش انستیتو آسفالت



$$N_f = 0.0796(\varepsilon_t)^{-3.291}|E^*|^{-0.854}$$

$$N_d = 1.365(\varepsilon_c)^{-4.477}$$

روش انستیتو آسفالت

- تعداد محورهای منفرد هم‌ارز عبوری (ESALs)
- خصوصیات مصالح لایه‌های مختلف روسازی به‌خصوص مدول برجهندگی خاک بستر
- دمای متوسط سالیانه روسازی (MAAT)
- نوع مصالح بکار رفته در اساس (اساس سنگدانه‌ای یا اساس قیری)

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

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

Pavement Engineering

مشخصات خاک بستر

- در طراحی روسازی به روش انستیتو آسفالت، مدول برجهندگی خاک بستر (M_R) پارامتری است که مقاومت و توانایی زیرسازی روسازی را در طراحی لحاظ می‌کند.
- مدول برجهندگی خاک تابعی از وضعیت تنش است. لذا در هنگام آزمایش، تنش همه‌جانبه و تنش انحرافی که به نمونه وارد می‌شود باید با آنچه در محل پروژه رخ می‌دهد مطابقت داشته باشد. اگر پیش‌بینی و تعیین تنش همه‌جانبه و تنش انحرافی برای خاک موجود در پروژه امکان‌پذیر نباشد می‌توان تنش همه‌جانبه را برابر با ۱۴ کیلو پاسکال و تنش انحرافی را برابر با ۴۱ کیلو پاسکال در نظر گرفت.
- در صورت عدم امکان تعیین مدول برجهندگی در آزمایشگاه، می‌توان مقدار مدول برجهندگی را با در اختیار داشتن مقدار CBR به دست می‌آید.

مشخصات خاک بستر

- انتظار می‌رود مصالح بستر تا عمق ۰/۵ متری از سطح خاک موردبررسی قرار گیرند. اگر قرار باشد در محل پروژه عملیات خاک‌ریزی صورت گیرد، آنگاه خاک قرضه باید تحت آزمایش قرار گیرد. خاکی که برای خاک‌ریزی در محل پروژه استفاده می‌شود باید حداقل حدود رواداری را برآورده کند.
- اگر در طول مسیر پروژه، تغییرات بخصوصی در نوع خاک محل پروژه مشاهده نشود، باید در نواحی مرزی که نوع خاک محل پروژه تغییر می‌کند، اقدام به نمونه‌گیری از خاک شود. اما اگر نوع خاک بستر به‌دفعات دچار تغییر شود، بایستی راه به قطعات کوچک‌تری تقسیم و مقاومت بستر در هر بخش به‌صورت جداگانه بررسی شود، تا امکان طراحی روسازی در هر قطعه فراهم باشد. ازاین‌رو باید در هنگام نمونه‌برداری از بستر، تعداد مناسبی نمونه از خاک محل پروژه اخذ شود. درصورتی‌که طول مسیر زیاد نباشد، کم مقاومت‌ترین نوع خاک برای طراحی و اجرای روسازی در کل طول مسیر راه در نظر گرفته می‌شود.

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

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

Pavement Engineering

مشخصات خاک بستر

- نمونه‌گیری از خاک باید به تعداد کافی انجام شود. معمولاً با پیمایش مسیر جاده، بـه ازای هر نوع خاک بستر، ۶ تا ۸ نمونه اخذ می‌شود. برداشت بیش از ۹ نمونه از هـر نـوع خـاک بستر، امری غیرضروری است.
- اگر نتیجه آزمایش یکی از نمونه‌ها، ضعف شدید خاک آن محل را نشان داد، آنگاه باید از همان منطقه بار دیگر نمونه‌های بیشتری اخذ شود تا مرزهای منطقه‌ای کـه خـاک سسـتی دارد، معلوم شود. معمولاً سه راهکار عملی در خصوص ساخت روسازی در مناطق بـا بسـتر ضعیف پیشنهاد می‌شود که عبارت‌اند از:
  - ضخامت لایه‌های روسازی در آن محل افزایش داده شود.
  - خاک ضعیف از آن محل جمع‌آوری‌شده و با خاک مرغوب جایگزین گردد.
  - تثبیت خاک بستر با موادی مانند سیمان و یا آهک.

انتخاب مدول طرح خاک بستر

ترافیک عبوری برحسب ESAL	درصد مدول بستر جهت طراحی
<۱۰۰۰۰	۶۰
۱۰۰۰۰ تا ۱۰۰۰۰۰۰	۷۵
>۱۰۰۰۰۰۰	۸۷/۵

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

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

Pavement Engineering

مثال ۲

مدول برجهندگی نمونه‌های خاک بستر که در طول یک خیابان برداشت شده‌اند، به‌صورت ۷۲، ۶۲، ۸۲، ۴۱، ۶۲، ۹۳، ۵۲ و ۱۰۳ مگا پاسکال تعیین شده است. مدول برجهندگی طراحی را درصورتی‌که پیش‌بینی شود ترافیک عبوری از خیابان معادل عبور ۸۰۰۰ محور ساده هم‌ارز باشد، تعیین کنید.

مدول برجهندگی (مگا پاسکال)	تعداد نمونه‌های با مدول بزرگ‌تر یا مساوی	درصدی از نمونه‌ها که مدول آن‌ها بزرگ‌تر یا مساوی با این نمونه است
۱۰۳	۱	٪ ۵/۱۲ =(۸/۱)
۹۳	۲	٪ ۲۵ =(۸/۲)
۸۲	۳	٪ ۵/۳۷ =(۸/۳)
۷۲	۴	٪ ۵۰ =(۸/۴)
۶۲	۶	٪ ۷۵ =(۸/۶)
۶۲	۶	٪ ۷۵ =(۸/۶)
۵۲	۷	٪ ۵/۸۷ =(۸/۷)
۴۱	۸	٪ ۱۰۰ =(۸/۸)

مثال ۲

مدول برجهندگی نمونه‌های خاک بستر که در طول یک خیابان برداشت شده‌اند، به‌صورت ۷۲، ۶۲، ۸۲، ۴۱، ۶۲، ۹۳، ۵۲ و ۱۰۳ مگا پاسکال تعیین شده است. مدول برجهندگی طراحی را درصورتی‌که پیش‌بینی شود ترافیک عبوری از خیابان معادل عبور ۸۰۰۰ محور ساده هم‌ارز باشد، تعیین کنید.

مدول برجهندگی (مگا پاسکال)	تعداد نمونه‌های با مدول بزرگ‌تر یا مساوی	درصدی از نمونه‌ها که مدول آن‌ها بزرگ‌تر یا مساوی با این نمونه است
۱۰۳	۱	٪ ۱۲/۵ =(۱/۸)
۹۳	۲	٪ ۲۵ =(۲/۸)
۸۲	۳	٪ ۳۵/۵ =(۳/۸)
۷۲	۴	٪ ۵۰ =(۴/۸)
۶۲	۶	٪ ۷۵ =(۶/۸)
۶۲	۶	٪ ۷۵ =(۶/۸)
۵۲	۷	٪ ۸۷/۵ =(۷/۸)
۴۱	۸	٪ ۱۰۰ =(۸/۸)

مدول برجهندگی که معادل با ۶۰ درصد باشد، حدود ۶۸ مگا پاسکال به دست می‌آید

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

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

Pavement Engineering

مشخصات مصالح اساس و زیراساس

آزمایش	حداقل مجاز	
	اساس	زیراساس
CBR، حداقل (٪)	۸۰	۲۰
حد روانی، حداکثر (٪)	۲۵	۲۵
شاخص خمیری، حداکثر (٪)	غیر پلاستیک	۶
هم‌ارز ماسه، حداقل (٪)	۳۵	۲۵
درصد خاک عبوری از الک شماره ۲۰۰، حداکثر	۷	۱۵

مشخصات مصالح بتن آسفالتی

- نمودارهای مربوط به تعیین ضخامت لایه‌های روسازی در روش انستیتو آسفالت، بر اساس این فرض ارائه شده‌اند که لایه رویه از جنس مخلوط آسفالتی با دانه‌بندی متراکم تشکیل شده است.
- این نمودارها از مطالعات گسترده‌ای که روی روابط بین مدول دینامیکی و دما صورت گرفته است، به دست آمده‌اند.
- حداقل ۵۰ درصد سنگ‌دانه‌های لایه آسفالتی از سنگ شکسته تشکیل شده باشد.
- حداکثر درصد فضای خالی مخلوط آسفالتی پس از تراکم، ۸ درصد باشد.

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

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

Pavement Engineering

دمای متوسط هوا برای طراحی روسازی

متوسط دمای هوای سالیانه (MAAT)	امکان بروز پدیده یخبندان
۷ درجهٔ سانتی‌گراد >	بله
۱۵/۵ درجهٔ سانتی‌گراد	محتمل
۲۴ درجهٔ سانتی‌گراد <	خیر

مراحل طراحی روسازی با روش انستیتو آسفالت

- ✓ تعیین تعداد محورهای هم‌ارز استاندارد ۸/۲ تنی که در مدت‌زمان عمر طراحی راه، از روی آن عبور می‌کنند.
- ✓ تعیین مدول برجهندگی (M_R) خاک بستر پروژه.
- ✓ تعیین اینکه آیا روسازی تمام آسفالتی است و یا لایه‌های سنگ‌دانه‌ای نیز به‌عنوان اساس و زیراساس در آن وجود دارد. در این روش طراحی، ضخامت لایه‌های اساس و زیراساس تثبیت نشده به‌صورت مجموع محاسبه می‌شود.
- ✓ تعیین اینکه کدام‌یک از سه بازه دمایی (MAAT) بیانگر شرایط محل اجرای روسازی است.
- ✓ اگر برای راه از اساس سنگ‌دانه‌ای استفاده شود، حداقل ضخامت لایه آسفالتی از جدول (۳-۱۱) تعیین می‌شود. در خصوص روسازی‌های تمام آسفالتی، حداقل ضخامت رویه آسفالتی از جدول (۳-۱۰) قابل‌تعیین است.
- ✓ تعیین اینکه برحسب متوسط دمای سالیانه (MAAT)، نوع مصالح اساس (سنگ‌دانه‌ای تثبیت نشده و یا آسفالتی) و ضخامت اساس سنگ‌دانه‌ای از کدام نمودار انستیتو آسفالت باید استفاده کرد.
- ✓ تعیین حداقل ضخامت لایه آسفالتی با توجه به تعداد محور استاندارد هم‌ارز عبوری (ESALs) و مدول برجهندگی بستر (M_R).
- ✓ ارزیابی ضخامت به‌دست‌آمده از لحاظ اقتصادی بودن و شرایط اجرایی، امکان بهبود مدول برجهندگی خاک بستر و عمر طراحی راه و سایر ملاحظات طراحی.

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

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

Pavement Engineering

حداقل ضخامت لایه بتن آسفالتی

وضعیت ترافیک	تعداد محور استاندارد عبوری (ESALs)	حداقل ضخامت لایه آسفالتی (mm)
پارکینگ‌ها و راه‌های بین‌شهری	۱۰۰۰۰ >	۲۵
راه‌های با عبور کامیون متوسط	۱۰۰۰۰ تا ۱۰۰۰۰۰۰	۴۰
راه‌های با عبور کامیون زیاد	۱۰۰۰۰۰۰ <	۵۰

حداقل ضخامت لایه آسفالت

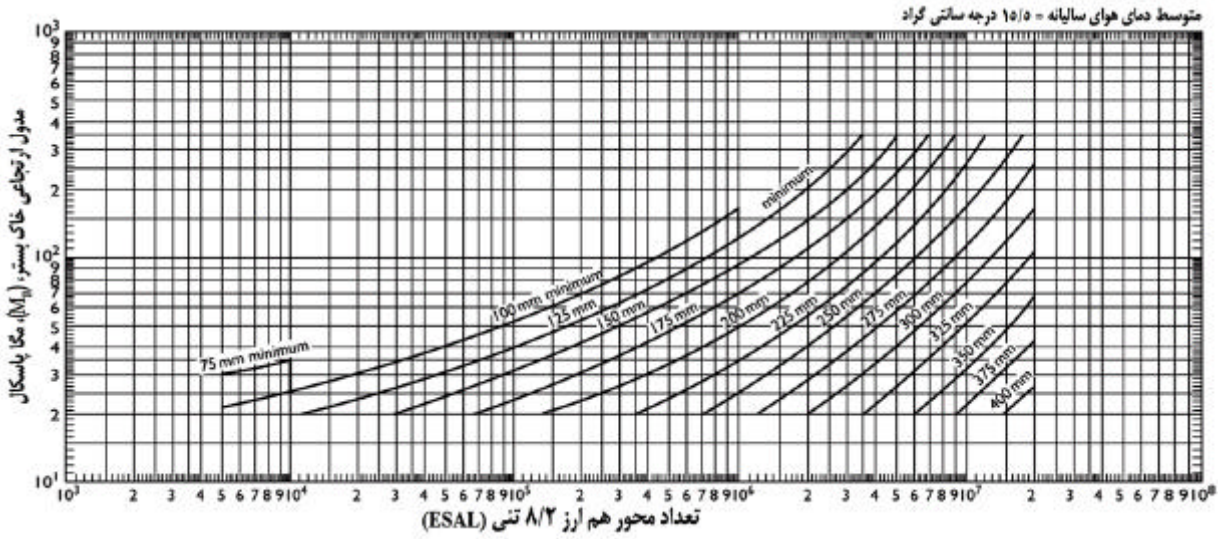
وضعیت ترافیک	تعداد محور استاندارد عبوری (ESALs)	حداقل ضخامت آسفالت (mm)
پارکینگ‌ها و راه‌های بین‌شهری	۱۰۰۰۰ >	۷۵
راه‌های با عبور کامیون متوسط	۱۰۰۰۰ تا ۱۰۰۰۰۰۰	۱۰۰
راه‌های با عبور کامیون زیاد	۱۰۰۰۰۰۰ <	۱۲۵

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

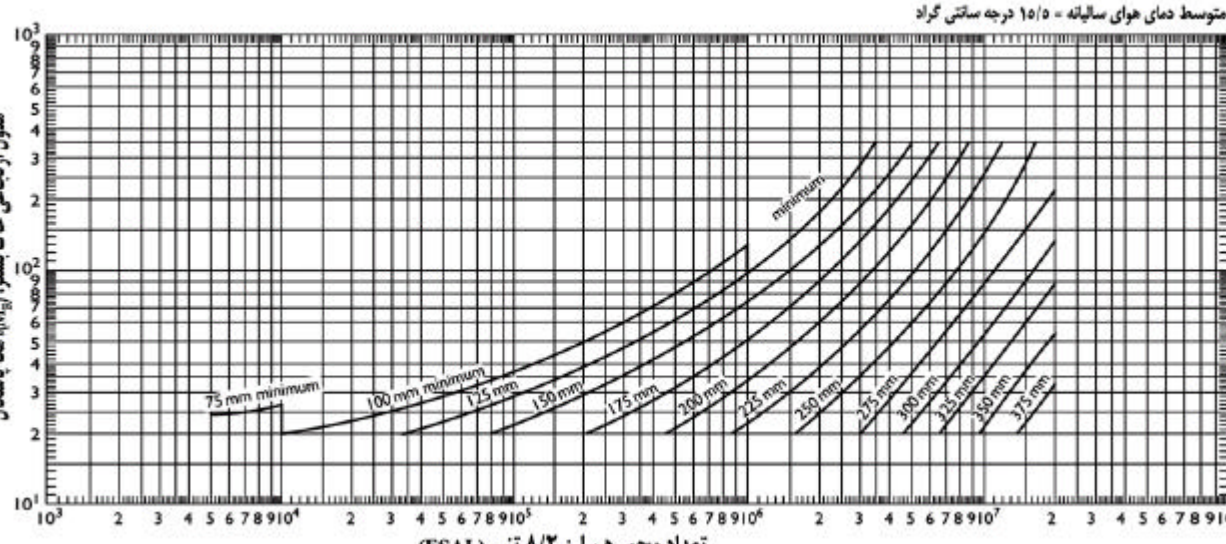
Associate Professor, Department of Civil Engineering, Sirjan University of Technology

Pavement Engineering

روسازی متشکل از یک لایه بتن آسفالتی و یک لایه اساس به ضخامت ۱۵ سانتیمتر



روسازی متشکل از یک لایه بتن آسفالتی و یک لایه اساس به ضخامت ۳۰ سانتیمتر

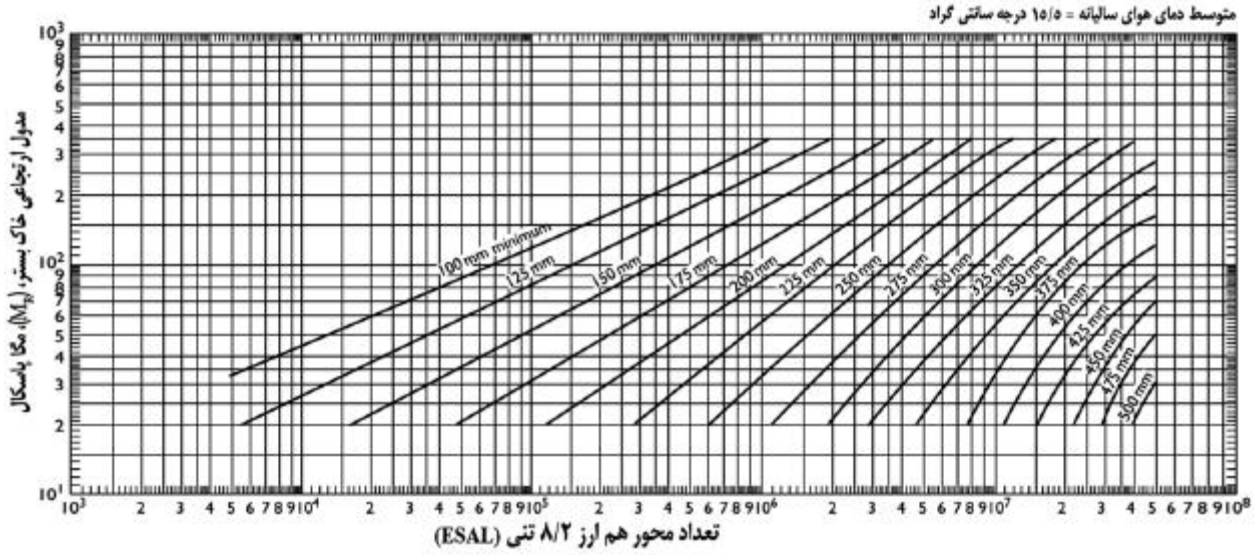


Ali Reza Ghanizadeh, Ph.D | ghanizadeh@sirjantech.ac.ir

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

Pavement Engineering

روسازی تمام آسفالتی



طراحی روسازی برای راه‌های کم تردد و پارکینگ‌ها

ترافیک پارکینگ	شرایط خاک بستر		
	عالی/خوب	متوسط	بد
ضخامت روسازی تمام آسفالتی (میلی‌متر)			
راه‌های مناطق مسکونی	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰
پارکینگ با کمتر از ۲۰۰ توقف در روز	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰
پارکینگ با ۲۰۰ تا ۵۰۰ توقف در روز	۱۰۰	۱۰۰	۱۲۰
پارکینگ با بیش از ۵۰۰ توقف یا توقف بیش از ۲۰ کامیون در روز	۱۰۰	۱۴۰	۱۹۰
محل تخلیه بار کامیون‌ها	۲۲۰	۲۶۰	۳۲۰
ضخامت لایه اساس و رویه آسفالتی(اساس/ آسفالت)(میلی‌متر)			
راه‌های مناطق مسکونی	۵۰/۱۲۰	۵۰/۱۵۰	۵۰/۱۵۰
پارکینگ با کمتر از ۲۰۰ توقف در روز	۶۰/۱۵۰	۶۰/۱۵۰	۶۰/۱۸۰
پارکینگ با ۲۰۰ تا ۵۰۰ توقف در روز	۷۵/۱۸۰	۷۵/۲۳۰	۱۰۰/۳۰۰
پارکینگ با بیش از ۵۰۰ توقف یا توقف بیش از ۲۰ کامیون در روز	۷۵/۱۵۰	۱۰۰/۱۵۰	۱۲۰/۲۲۰
محل تخلیه بار کامیون‌ها	۱۲۰/۳۰۰	۱۵۰/۳۵۰	۱۸۰/۲۲۰

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

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