



وزارت علوم، تحقیقات و فناوری
دانشگاه صنعتی سیرجان

تحلیل و طراحی پیشرفته روسازی

فصل 7. طراحی روسازی های انعطاف پذیر

علیرضا غنی زاده

دانشیار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی سیرجان

مقدمه



✓ منظور از طراحی روسازی، تعیین ضخامت هر یک از لایه های تشکیل دهنده روسازی به طوری است که تنش ها و کرنش ها به اندازه قابل تحمل خاک بستر و همچنین سایر لایه های 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 لایه های 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 هزینه های دوره عمر در آینده** می باشند.

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.

دانشگاه صنعتی سیرجان

تحلیل و طراحی روسازی پیشرفته

۳

روش‌های طراحی روسازی



روش‌های طراحی روسازی‌های انعطاف‌پذیر به سه دسته قابل تقسیم می‌باشند:

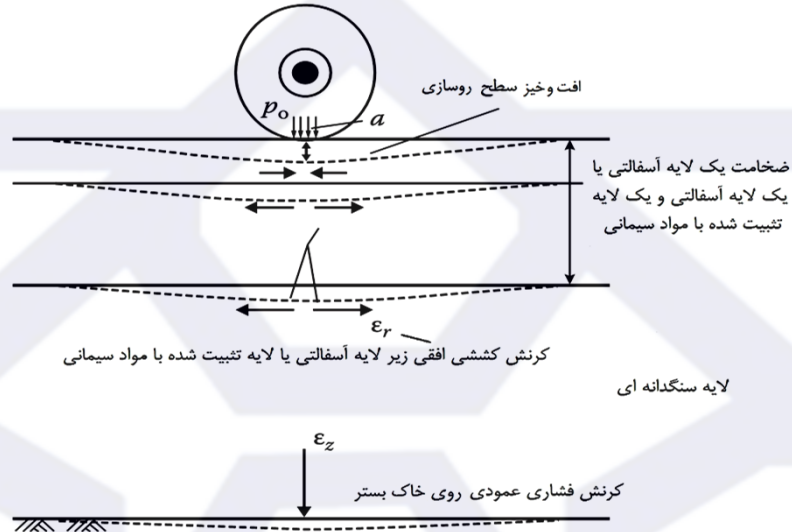
- ✓ روش‌های تجربی
- ✓ روش‌های نیمه تحلیلی
- ✓ روش‌های تحلیلی

دانشگاه صنعتی سیرجان

تحلیل و طراحی روسازی پیشرفته

۴

معیارهای طراحی روسازی آسفالتی



دانشگاه صنعتی سیرجان

تحلیل و طراحی روسازی پیشرفته

۵

معیارهای خستگی لایه بتن آسفالتی



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

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)

دانشگاه صنعتی سیرجان

تحلیل و طراحی روسازی پیشرفته

۶

معیار خستگی لایه تثبیت شده با مواد سیمانی



Austrroads

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

در این رابطه، N تعداد عبور مجاز محور ۸/۲ تنی (۸۰ کیلو نیوتن) استاندارد به صورت تجمعی، RF ضریب اطمینان (به عنوان مثال برای پروژه‌های که ضریب اطمینان آن ۹۷/۵٪ است ضریب RF برابر ۰/۵ قرار داده می‌شود)، E مدول ارتجاعی مصالح سیمانی بر حسب مگا پاسکال و ϵ نیز کرنش ایجاد شده بر اساس میکرو کرنش (10^{-6}) است.

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

دانشگاه صنعتی سیرجان

تحلیل و طراحی روسازی پیشرفته

۷

معیار تغییر شکل برگشت ناپذیر خاک بستر



$$N_d = f_4(\epsilon_c)^{-f_3}$$

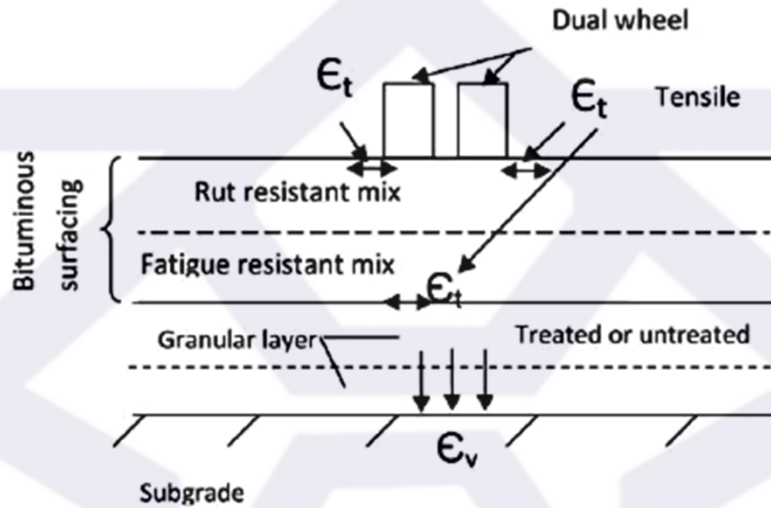
No.	Organization	f3	f4
1	Asphalt Institute	1.365E-09	4.477
2	Shell Research	6.15E-07	4
3	US Army Corps of Engineers	1.81E-15	6.527
4	Belgian Road Research Center	3.05E-09	4.35
5	Transport and Road Research Laboratory	1.13E-06	3.75

دانشگاه صنعتی سیرجان

تحلیل و طراحی روسازی پیشرفته

۸

طراحی روسازی به روش مکانیستیک-تجربی

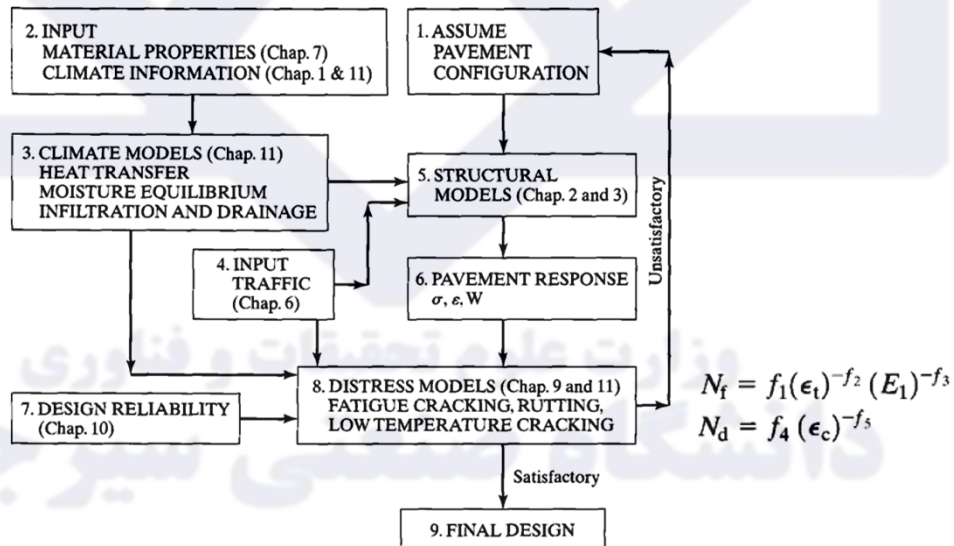


دانشگاه صنعتی سیرجان

تحلیل و طراحی روسازی پیشرفته

۹

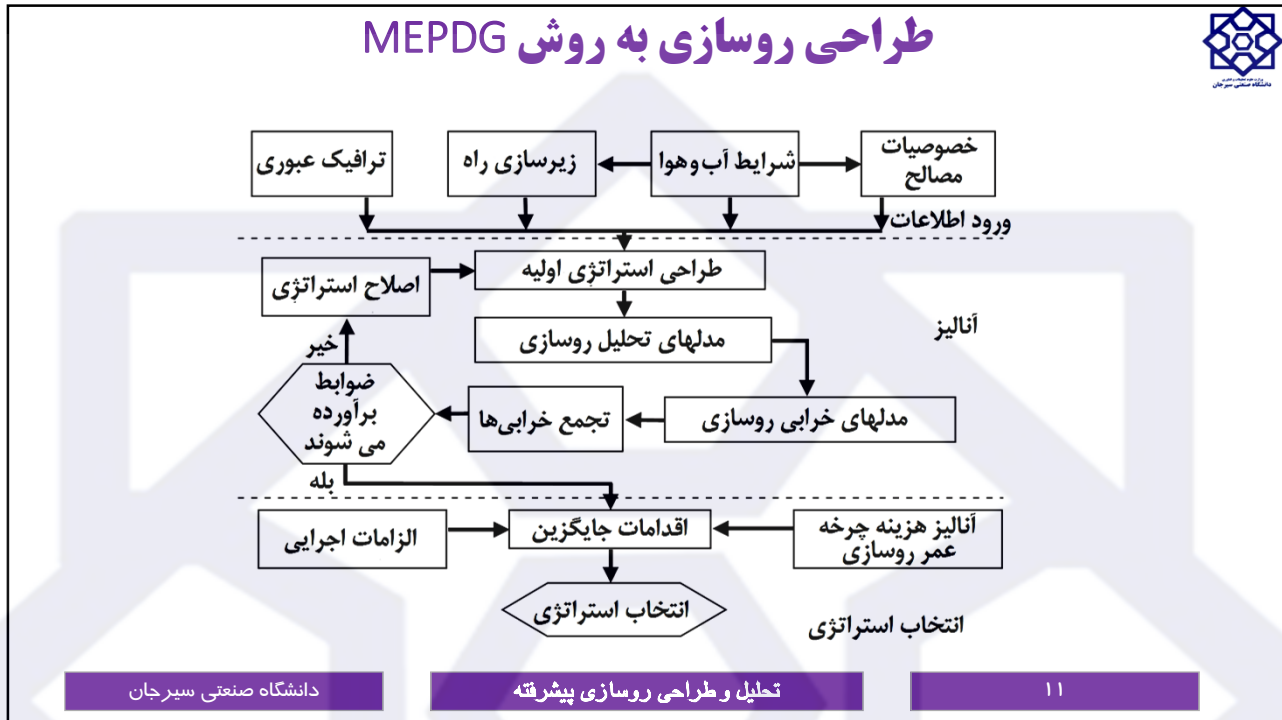
طراحی روسازی به روش مکانیستیک-تجربی



دانشگاه صنعتی سیرجان

تحلیل و طراحی روسازی پیشرفته

۱۰



کلیات روش طراحی اش تو

- ✓ در سال ۱۹۵۶ اش تو با ساخت یک مسیر آزمایشی در شهر اتاوا ایالت ایلینوی آمریکا و صرف ۲۷ میلیون دلار بودجه، پروژه 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 انعطاف پذیر و بتنی تشکیل می دادند.
- ✓ نقطه اشتراک تمام این مقاطع حضور یک نوع خاک بستر بود. نوع این خاک بستر برحسب طبقه بندی اش تو از نوع A-6 بود. این نوع خاک از انواع رس لای دار 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 به کارگیری در بستر متوسط تا ضعیف است.

دانشگاه صنعتی سیرجان

تحلیل و طراحی روسازی پیشرفته

۱۲

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. از این رو سه ضخامت مختلف برای هر کدام از این لایه‌ها مدنظر قرار گرفت که حالت‌های ترکیبی این ضخامت‌ها در مجموع $(3 \times 3 \times 3 = 27)$ مقطع را شامل شد. ضخامت‌های بکار گرفته شده 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 شیارشدگی‌ها مشاهده و ثبت شدند.

دانشگاه صنعتی سیرجان

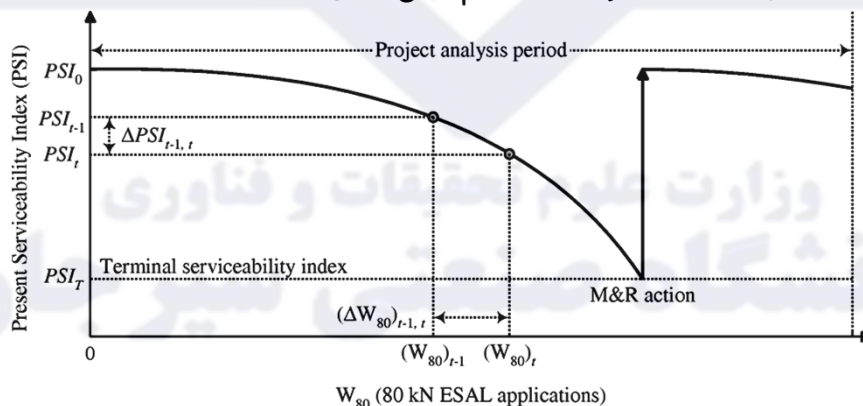
تحلیل و طراحی روسازی پیشرفته

۱۳

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



دانشگاه صنعتی سیرجان

تحلیل و طراحی روسازی پیشرفته

۱۴



مفهوم نشانه خدمت کنونی (PSI)

✓ شاخص سرویس دهی نهایی نیز در واقع پایین ترین سطح قابل قبول سرویس دهی است که بعد از آن 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 سرویس دهی نهایی روسازی به نوعی مستقیماً به رضایت رانندگان از کیفیت رانندگی روی جاده بستگی دارد.

✓ مقدار شاخص سرویس دهی اولیه (ρ_0)، کیفیت واقعی رانندگی را در روسازی که تازه اجازه عبور ترافیک از روی آن صادر شده است، نشان می‌دهد. از این رو مسلم است که نمی‌توان در هنگام طراحی این عدد را تعیین کرد. معمولاً فرض می‌شود که شاخص سرویس دهی راه تازه اجرا شده بین ۴/۲ تا ۴/۵ قرار دارد.

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

دانشگاه صنعتی سیرجان

تحلیل و طراحی روسازی پیشرفته

۱۵



عمر طراحی روسازی

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

دانشگاه صنعتی سیرجان

تحلیل و طراحی روسازی پیشرفته

۱۶

ترافیک طراحی



✓ برای استفاده از روش اشتو در طراحی روسازیها باید تعداد عبور محور استاندارد در عمر طراحی روسازی تعیین شود. از این رو لازم است تا تمام محورهای عبوری از راه به محور منفرد هم‌ارز ۸۰ کیلو نیوتنی (۲/۸ 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 ایجاد شده 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.

دانشگاه صنعتی سیرجان

تحلیل و طراحی روسازی پیشرفته

۱۷

قابلیت اطمینان و انحراف معیار کلی



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

$$S_0 = 0.45$$

دانشگاه صنعتی سیرجان

تحلیل و طراحی روسازی پیشرفته

۱۸



سطح قابلیت اطمینان و انحراف معیار نرمال (معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رئیس‌جمهور ۱۳۹۰).

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

دانشگاه صنعتی سیرجان

تحلیل و طراحی روسازی پیشرفته

۱۹

مقاومت خاک بستر



✓ مقاومت خاک بستر با پارامتر مدول برجهنگی 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.

$$\text{برحسب مگا پاسکال} \quad M_R = 10.3 \times (\text{CBR})$$

$$\text{برحسب پوند بر اینچ مربع} \quad M_R = 1500 \times (\text{CBR})$$

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

دانشگاه صنعتی سیرجان

تحلیل و طراحی روسازی پیشرفته

۲۰

مدول برجهندگی موثر خاک بستر



$$u_f = (1.18 \times 10^8) \times M_R^{-2.32}$$

$$M_R = 2.32 \sqrt[2.32]{\frac{1.18 \times 10^8}{u_f}}$$

دانشگاه صنعتی سیرجان

تحلیل و طراحی روسازی پیشرفته

۲۱

مدول برجهندگی موثر خاک بستر



ضریب برجهندگی خاک	ضریب برجهندگی خاک	ماه
۰/۵۱۵	۳۸۰	فروردین
۰/۳۰۷	۳۵۰	فروردین
۰/۳۰۷	۳۵۰	اردیبهشت
۰/۳۰۷	۳۵۰	اردیبهشت
۰/۳۰۷	۳۵۰	خرداد
۰/۳۰۷	۳۵۰	خرداد
۰/۳۰۷	۳۵۰	تیر
۰/۱۶۷	۴۵۵	تیر
۰/۱۶۷	۴۵۵	مرداد
۰/۱۶۷	۴۵۵	مرداد
۰/۱۶۷	۴۵۵	شهریور
۰/۱۶۷	۴۵۵	شهریور
۰/۱۶۷	۴۵۵	مهر
۰/۱۶۷	۴۵۵	مهر
۰/۳۰۷	۳۵۰	آبان
۰/۳۰۷	۳۵۰	آبان
۰/۳۰۷	۳۵۰	آذر
۰/۳۰۷	۳۵۰	آذر
۰/۱۶۷	۴۵۵	دی
۰/۱۶۷	۴۵۵	دی
۰/۱۶۷	۴۵۵	بهمن
۰/۱۶۷	۴۵۵	بهمن
۰/۱۲۲	۱۴۰۰	اسفند
۰/۱۲۲	۱۴۰۰	اسفند

$$u_f = (1.18 \times 10^8) \times M_R^{-2.32}$$

$$M_R = 2.32 \sqrt[2.32]{\frac{1.18 \times 10^8}{u_f}}$$

$$\sum U_f = 5.446$$

$$\bar{U} = \frac{\sum U_f}{24} = \frac{5.446}{24} = 0.227$$

$$M_R = 210 \times (0.227)^{-0.431} = 400 \text{ کیلوگرم بر متر مربع}$$

دانشگاه صنعتی سیرجان

تحلیل و طراحی روسازی پیشرفته

۲۲



ضریب قشر مصالح زیراساس

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

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

مدول برجهندگی لایه زیراساس برحسب پوند بر اینچ مربع است

دانشگاه صنعتی سیرجان

تحلیل و طراحی روسازی پیشرفته

۲۳



ضریب قشر مصالح اساس

ضریب قشر	نوع مصالح لایه
	لایه اساس (a_2)
۰/۱۴ (۰/۰۸ تا ۰/۱۴)	سنگ شکسته
۰/۰۷	شن ماسه‌ای
۰/۲۸ (۰/۲۵ تا ۰/۳)	اساس پوزولانی
۰/۲۲ (۰/۱۵ تا ۰/۳)	اساس تثبیت شده با آهک
۰/۲۷	اساس تثبیت شده با سیمان
۰/۲	مخلوط خاک سیمان
۰/۳۴	اساس قیری با دانه بندی درشت
۰/۳	اساس قیری با دانه بندی ماسه‌ای
۰/۲	مخلوط بازیافتی درجا
۰/۴ (۰/۴ تا ۰/۴۴)	مخلوط بازیافتی کارخانه‌ای
۰/۴۴	مخلوط آسفالت گرم با دانه بندی متراکم

$$a_2 = 0.279 \times (\log_{10} M_R) - 0.977$$

مدول برجهندگی لایه اساس برحسب پوند بر اینچ مربع است

دانشگاه صنعتی سیرجان

تحلیل و طراحی روسازی پیشرفته

۲۴

ضریب قشر مصالح بتن آسفالتی



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

دانشگاه صنعتی سیرجان

تحلیل و طراحی روسازی پیشرفته

۲۵

ضریب قشر لایه‌های اساس و زیراساس



مدت زمان لازم برای خروج آب	کیفیت زهکشی لایه
۲ ساعت	عالی
۲۴ ساعت	خوب
۱ هفته	متوسط
۴ هفته	ضعیف
بی نهایت (عدم قابلیت زهکشی)	خیلی ضعیف

دانشگاه صنعتی سیرجان

تحلیل و طراحی روسازی پیشرفته

۲۶



ضریب زهکشی لایه‌های اساس و زیراساس



درصدی از سال که رطوبت سازه روسازی به حد اشباع

می‌رسد.				کیفیت زهکشی لایه
>۲۵	۲۵ تا ۵	۵ تا ۱	<۱	
۱/۲	۱/۳ تا ۱/۲	۱/۳۵ تا ۱/۳	۱/۴ تا ۱/۳۵	عالی
۱	۱/۱۵ تا ۱	۱/۲۵ تا ۱/۱۵	۱/۳۵ تا ۱/۲۵	خوب
۰/۸	۱ تا ۰/۸	۱/۱۵ تا ۱/۰۵	۱/۲۵ تا ۱/۱۵	متوسط
۰/۶	۰/۸ تا ۰/۶	۱/۰۵ تا ۰/۸	۱/۱۵ تا ۱/۰۵	ضعیف
۰/۴	۰/۷۵ تا ۰/۴	۰/۹۵ تا ۰/۷۵	۱/۰۵ تا ۰/۹۵	خیلی ضعیف

دانشگاه صنعتی سیرجان

تحلیل و طراحی روسازی پیشرفته

۲

مراحل طراحی روسازی‌های آسفالتی با روش اشتو



مراحل طراحی روسازی بر اساس روش اشتو به صورت زیر قابل بیان 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_{18}).
- 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 تعیین شده و نمودار مربوطه، عدد سازه‌ای موردنیاز برای روسازی تعیین می‌شود.
- با داشتن عدد سازه‌ای کل روسازی، ضخامت لایه‌ها به گونه‌ای انتخاب می‌شود که رابطه زیر برقرار شود.


$$SN = \frac{1}{2.5} (D_1 a_1 + D_2 a_2 m_2 + D_3 a_3 m_3)$$

دانشگاه صنعتی سیرجان

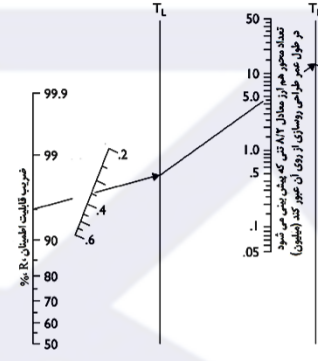
تحلیل و طراحی روسازی پیشرفته

۳۰

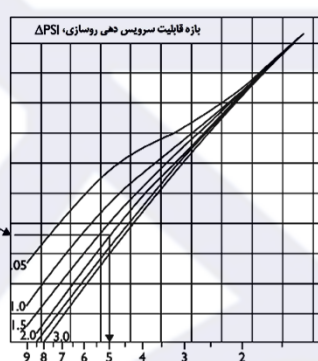
تعیین عدد سازه‌های روسازی



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



تعداد محور هم‌ارز معادل A17 تنی که پیش‌بینی می‌شود در طول عمر طراحی روسازی از روی آن عبور کند (میلیون)



بازه قابلیت سرویس دهی روسازی، ΔPSI

مثال:

- تعداد محور هم‌ارز A17 تنی که در عمر طراحی از روی روسازی عبور می‌کند = 5×10^6
- ضریب قابلیت اطمینان، R = 95%
- ضریب انحراف از استاندارد، S_o = 0.35
- مدول ارتجاعی بستر یو M = 5000 psi
- بازه قابلیت سرویس دهی، ΔPSI = 1.9
- عدد سازه ای طراحی، SN = 5.0

راه حل:

دانشگاه صنعتی سیرجان

تحلیل و طراحی روسازی پیشرفته

۳۱

حداقل ضخامت مجاز قشر رویه آسفالتی و اساس سنگدانه‌ای



اساس سنگدانه‌ای (میلی‌متر)	مخلوط آسفالتی با دانه‌بندی متراکم (میلی‌متر)	محور هم‌ارز عبوری (ESALs)
۱۰۰	۲۵	۵۰۰۰۰ >
۱۰۰	۵۰	۱۵۰۰۰۰ - ۵۰۰۰۰
۱۰۰	۶۵	۵۰۰۰۰۰ - ۱۵۰۰۰۰
۱۵۰	۷۵	۲۰۰۰۰۰۰ - ۵۰۰۰۰۰۰
۱۵۰	۹۰	۷۰۰۰۰۰۰ - ۲۰۰۰۰۰۰
۱۵۰	۱۰۰	۷۰۰۰۰۰۰ <

دانشگاه صنعتی سیرجان

تحلیل و طراحی روسازی پیشرفته

۳۲

روابط ون تیل برای محاسبه ضخامت لایه‌ها



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

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

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

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

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

دانشگاه صنعتی سیرجان

تحلیل و طراحی روسازی پیشرفته

۳۳

مثال روش طراحی اشتو



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

✓ روسازی در عمر طراحی خود در معرض عبور ۲۰۰۰۰۰۰ محور استاندارد هم‌ارز ۲/۸ 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 به گونه‌ای است که در ۲۰٪ مدت‌زمان هر سال رطوبت خاک در حالت اشباع قرار دارد.

دانشگاه صنعتی سیرجان

تحلیل و طراحی روسازی پیشرفته

۳۴



مثال روش طراحی اش تو

- قابلیت اطمینان، $R = 90\%$
 - انحراف از استاندارد، $S_0 = 0.45$
 - تعداد عبور محور استاندارد ۸/۲ تنی، $W_{18} = 2,000,000$ ESAL
 - مدول برجهندگی، $M_R = 1500 \text{ (CBR)} = 1500 \text{ (} 3/3 \text{)} = 5000$ psi (۳۴/۵ مگا پاسکال)
 - شاخص سرویس دهی، $\Delta PSI = p_0 - p_t = 4/5 - 2 = 2/5$
 با در نظر گرفتن مقادیر فوق و به کارگیری نمودار شکل (۲-۳)، 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 (a1)، مقدار ۰/۴۴ و برای اساس سنگدانه‌ای (a2)، برابر با ۰/۱۴ به دست می‌آید. از جدول (۴-۳) و (۵-۳) نیز پارامتر m_2 به ۱/۰۵ به دست می‌آید. حال بایستی با استفاده از معادلات (۲۳-۳) تا (۲۷-۳) ضخامت لایه‌ها را به دست آورد.



مثال روش طراحی اش تو

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

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

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.

روش انستیتو آسفالت

فشار چرخ روی روسازی

Z_1
 Z_2
 Z_3

w

ϵ_c
 ϵ_c

لایه آسفالتی
اساس سنگدانه‌ای
بستر طبیعی زمین

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

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

دانشگاه صنعتی سیرجان

تحلیل و طراحی روسازی پیشرفته

۳۷

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)

دانشگاه صنعتی سیرجان

تحلیل و طراحی روسازی پیشرفته

۳۸

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.

دانشگاه صنعتی سیرجان

تحلیل و طراحی روسازی پیشرفته

۳۹

مشخصات خاک بستر



✓ انتظار می‌رود مصالح بستر تا عمق ۰/۵ متری از سطح خاک مورد بررسی قرار گیرند. اگر قرار باشد در محل پروژه عملیات خاک‌ریزی صورت گیرد، آنگاه خاک قرصه 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 به دفعات دچار تغییر شود، بایستی راه به قطعات کوچک‌تری تقسیم و مقاومت بستر در هر بخش به صورت جداگانه بررسی شود، تا امکان طراحی روسازی در هر قطعه فراهم باشد. از این رو باید در هنگام نمونه‌برداری از بستر، تعداد مناسبی نمونه از خاک محل پروژه اخذ شود. در صورتی که طول مسیر زیاد نباشد، کم مقاومت‌ترین نوع خاک برای طراحی و اجرای روسازی در کل طول مسیر راه در نظر گرفته می‌شود.

دانشگاه صنعتی سیرجان

تحلیل و طراحی روسازی پیشرفته

۴۰

مشخصات خاک بستر



✓ نمونه‌گیری از خاک باید به تعداد کافی انجام شود. معمولاً با پیمایش مسیر جاده، به ازای هر نوع خاک بستر، ۶ تا ۸ نمونه اخذ می‌شود. برداشت بیش از ۹ نمونه از هر نوع خاک بستر، امری غیر ضروری 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 که خاک سستی دارد، معلوم شود. معمولاً سه راهکار عملی در خصوص ساخت روسازی در مناطق با بستر ضعیف پیشنهاد می‌شود که عبارت‌اند از:

- ضخامت لایه‌های روسازی در آن محل افزایش داده شود.
- خاک ضعیف از آن محل جمع‌آوری شده و با خاک مرغوب جایگزین گردد.
- تثبیت خاک بستر با موادی مانند سیمان و یا آهک.

دانشگاه صنعتی سیرجان

تحلیل و طراحی روسازی پیشرفته

۴۱

انتخاب مدول طرح خاک بستر



درصد مدول بستر جهت طراحی	ترافیک عبوری بر حسب ESAL
۶۰	< ۱۰۰۰۰
۷۵	۱۰۰۰۰ تا ۱۰۰۰۰۰
۸۷/۵	> ۱۰۰۰۰۰۰

دانشگاه صنعتی سیرجان

تحلیل و طراحی روسازی پیشرفته

۴۲

مثال ۲



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

مدول برجهنگی (مگا پاسکال)	تعداد نمونه‌های با مدول بزرگ‌تر یا مساوی	درصدی از نمونه‌ها که مدول آن‌ها بزرگ‌تر یا مساوی با این نمونه است
۱۰۳	۱	$\frac{1}{8} = 12.5\%$
۹۳	۲	$\frac{2}{8} = 25\%$
۸۲	۳	$\frac{3}{8} = 37.5\%$
۷۲	۴	$\frac{4}{8} = 50\%$
۶۲	۶	$\frac{6}{8} = 75\%$
۶۲	۶	$\frac{6}{8} = 75\%$
۵۲	۷	$\frac{7}{8} = 87.5\%$
۴۱	۸	$\frac{8}{8} = 100\%$

دانشگاه صنعتی سیرجان

تحلیل و طراحی روسازی پیشرفته

۴۳

مثال ۲



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

مدول برجهنگی (مگا پاسکال)	تعداد نمونه‌های با مدول بزرگ‌تر یا مساوی	درصدی از نمونه‌ها که مدول آن‌ها بزرگ‌تر یا مساوی با این نمونه است
۱۰۳	۱	$\frac{1}{8} = 12.5\%$
۹۳	۲	$\frac{2}{8} = 25\%$
۸۲	۳	$\frac{3}{8} = 37.5\%$
۷۲	۴	$\frac{4}{8} = 50\%$
۶۲	۶	$\frac{6}{8} = 75\%$
۶۲	۶	$\frac{6}{8} = 75\%$
۵۲	۷	$\frac{7}{8} = 87.5\%$
۴۱	۸	$\frac{8}{8} = 100\%$

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

دانشگاه صنعتی سیرجان

تحلیل و طراحی روسازی پیشرفته

۴۴

ضخامت مصالح اساس و زیراساس



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

دانشگاه صنعتی سیرجان

تحلیل و طراحی روسازی پیشرفته

۴۵

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.

دانشگاه صنعتی سیرجان

تحلیل و طراحی روسازی پیشرفته

۴۶

دمای متوسط هوا برای طراحی روسازی



متوسط دمای هوای سالیانه (MAAT) امکان بروز پدیده یخبندان

بله	۷ درجه سانتی گراد <
محتمل	۱۵/۵ درجه سانتی گراد
خیر	۲۴ درجه سانتی گراد >

دانشگاه صنعتی سیرجان

تحلیل و طراحی روسازی پیشرفته

۴۷

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) قابل تعیین 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 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.

دانشگاه صنعتی سیرجان

تحلیل و طراحی روسازی پیشرفته

۴۸

حداقل ضخامت لایه بتن آسفالتی



حداقل ضخامت لایه آسفالتی (mm)	تعداد محور استاندارد عبوری (ESALs)	وضعیت ترافیک
۲۵	$10000 >$	پارکینگ‌ها و راه‌های بین شهری
۴۰	$1000000 \text{ تا } 100000$	راه‌های با عبور کامیون متوسط
۵۰	$1000000 <$	راه‌های با عبور کامیون زیاد

دانشگاه صنعتی سیرجان

تحلیل و طراحی روسازی پیشرفته

۴۹

حداقل ضخامت لایه اساس سنگدانه‌ای



حداقل ضخامت لایه اساس (mm)	تعداد محور استاندارد عبوری (ESALs)	وضعیت ترافیک
۷۵	$10000 >$	پارکینگ‌ها و راه‌های بین شهری
۱۰۰	$1000000 \text{ تا } 100000$	راه‌های با عبور کامیون متوسط
۱۲۵	$1000000 <$	راه‌های با عبور کامیون زیاد

دانشگاه صنعتی سیرجان

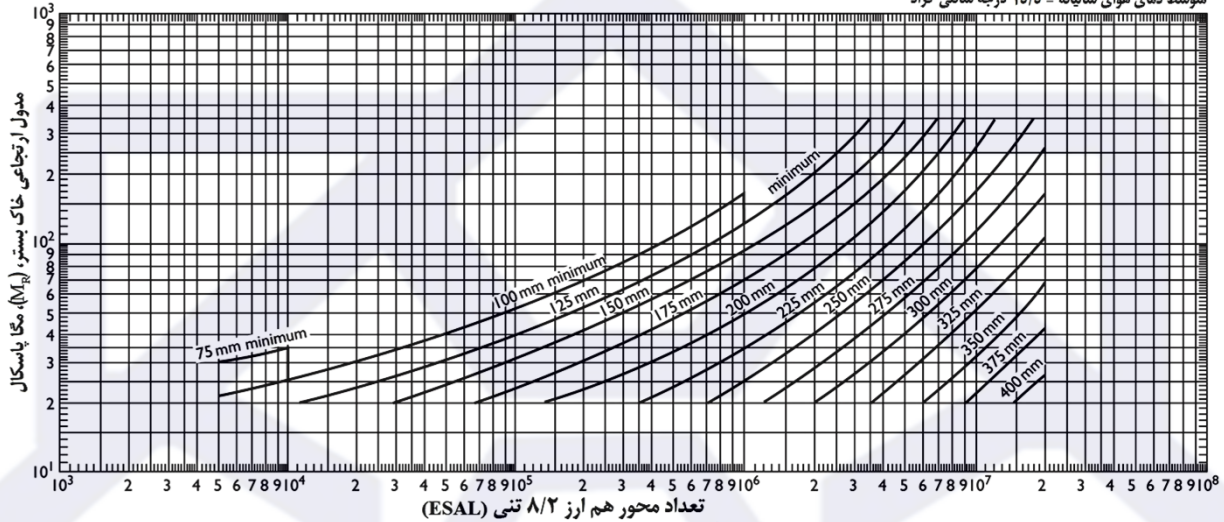
تحلیل و طراحی روسازی پیشرفته

۵۰

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



متوسط دمای هوای سالیانه = ۱۵/۵ درجه سانتی گراد



دانشگاه صنعتی سیرجان

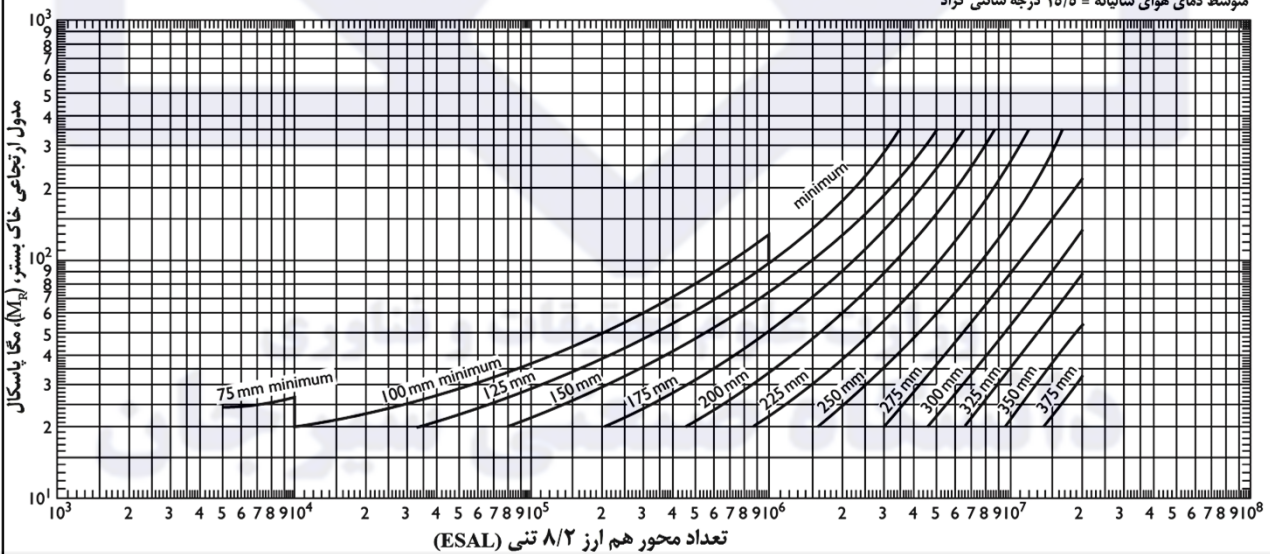
تحلیل و طراحی روسازی پیشرفته

۵۱

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



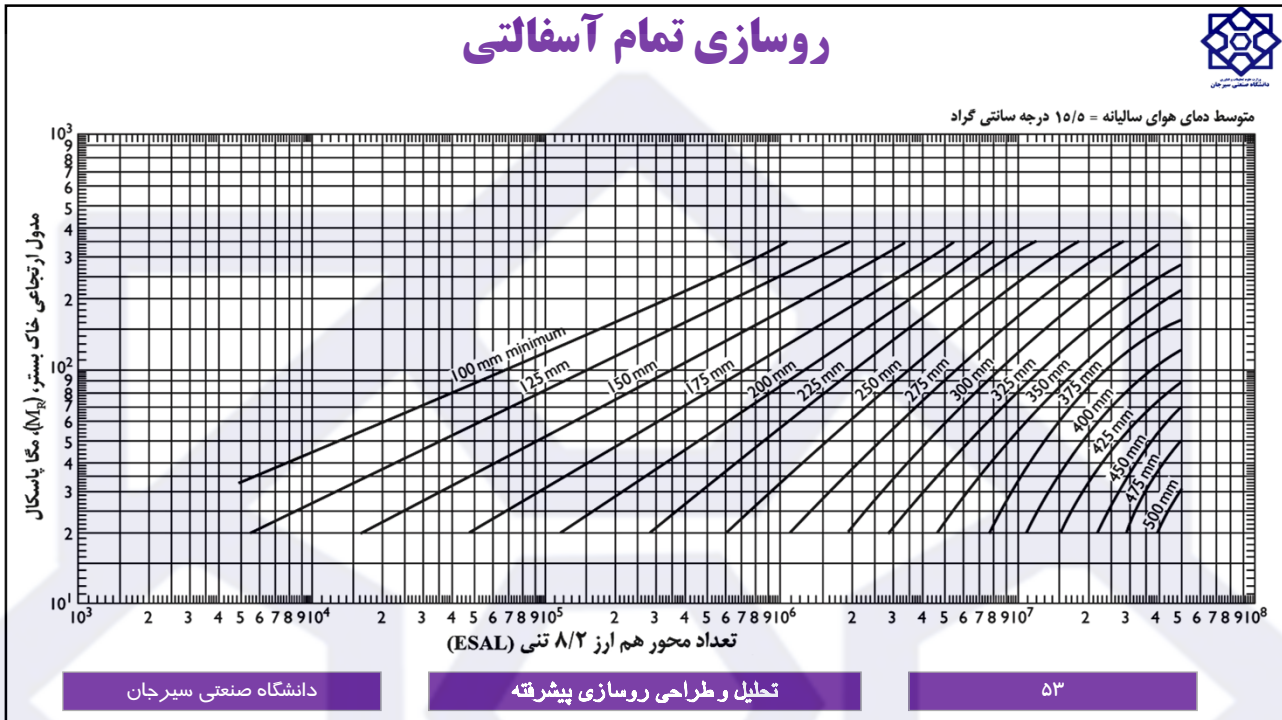
متوسط دمای هوای سالیانه = ۱۵/۵ درجه سانتی گراد



دانشگاه صنعتی سیرجان

تحلیل و طراحی روسازی پیشرفته

۵۲



طراحی روسازی برای راه‌های کم تردد و پارکینگ‌ها

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

دانشگاه صنعتی سیرجان

تحلیل و طراحی روسازی پیشرفته

۵۴