

مقایسه روسازی های بتنی و آسفالتی در تونل ها

فریدون مقدس نژاد
مشاور عالی شرکت ملی ساختمان
استاد دانشگاه صنعتی امیر کبیر

روسازی بتنی

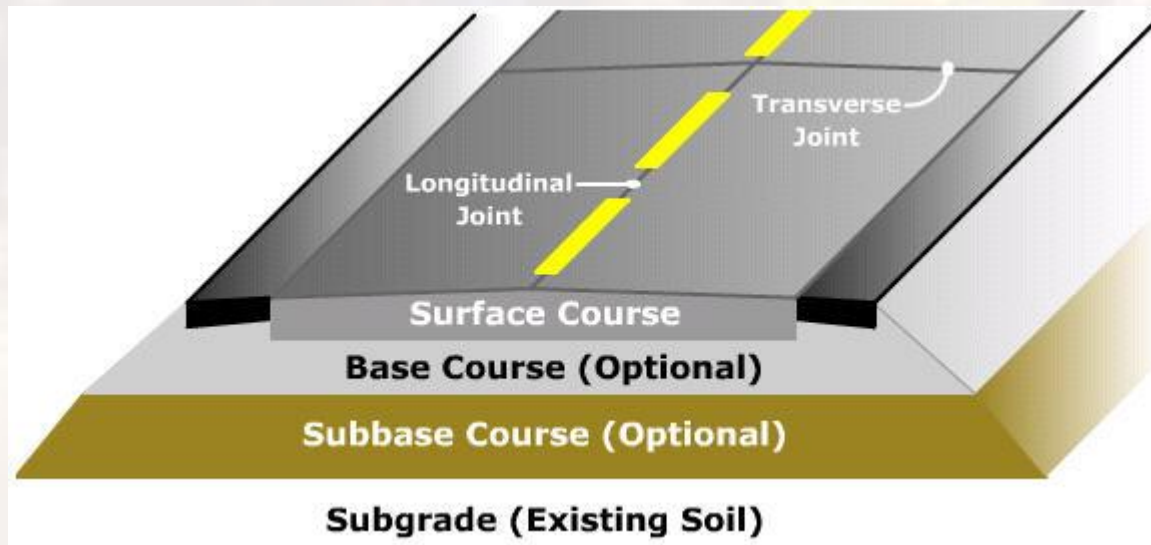
ساختار

■ رویه بتنی

■ اساس

■ زیراساس

■ بستر



روسازی بتنی

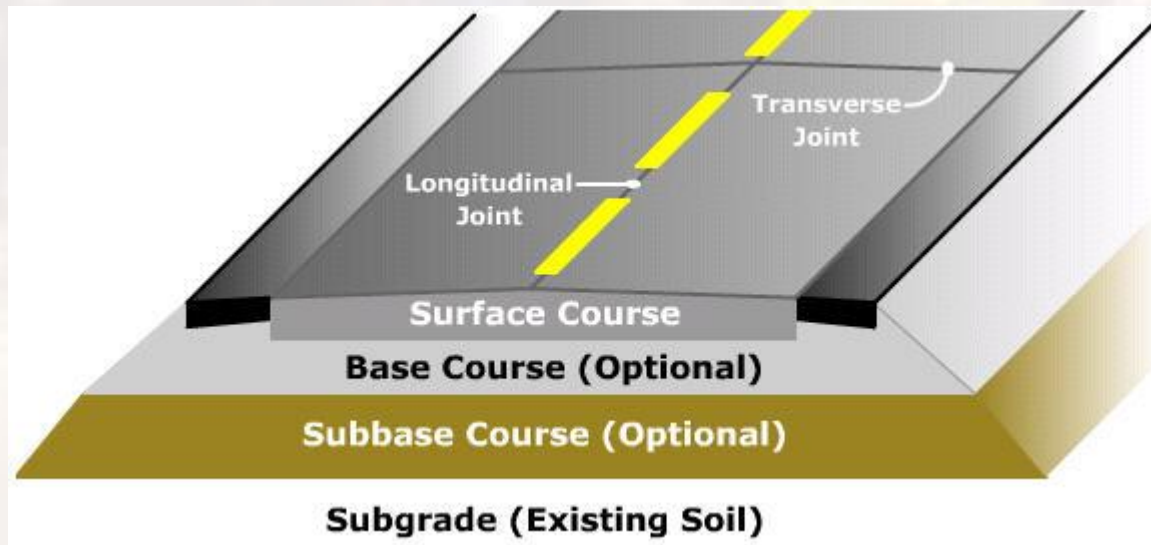
ساختار

■ رویه بتنی

■ اساس

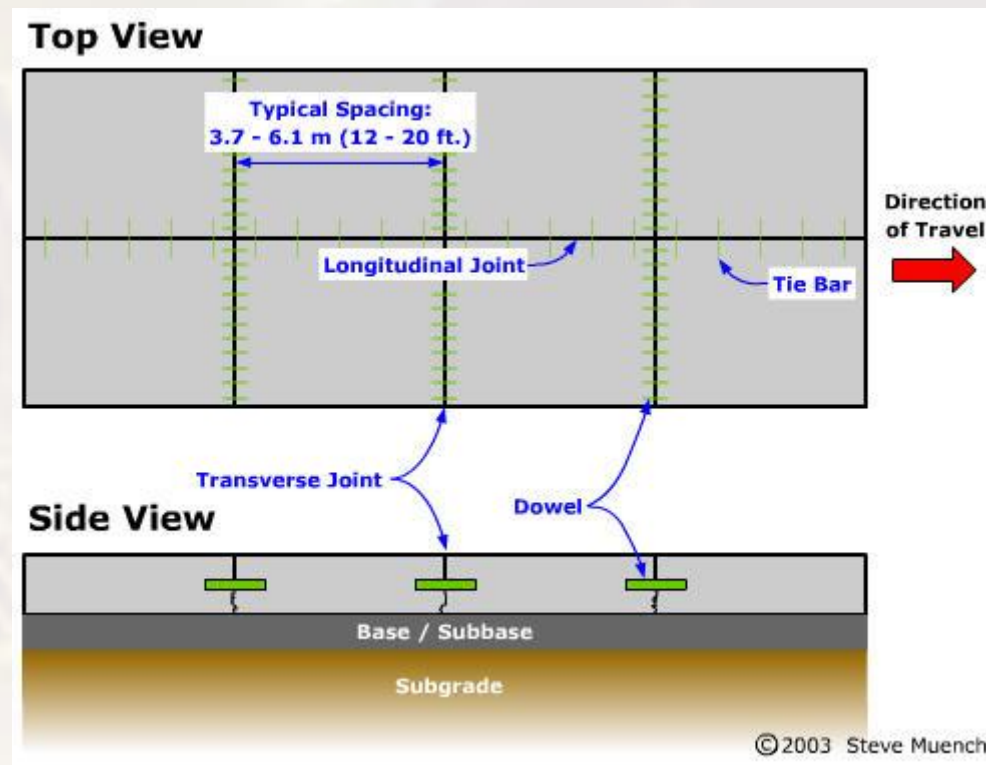
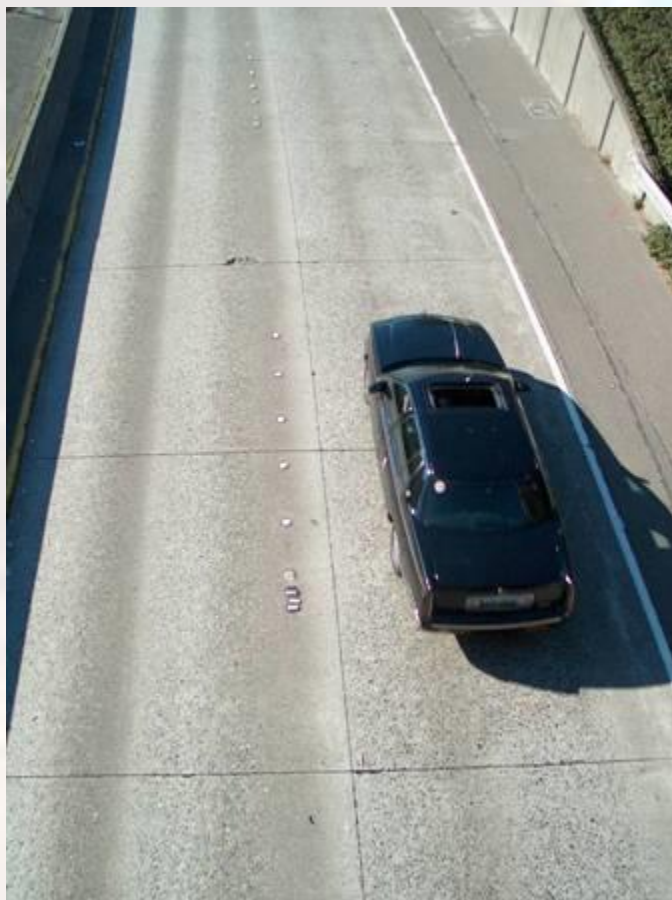
■ زیراساس

■ بستر

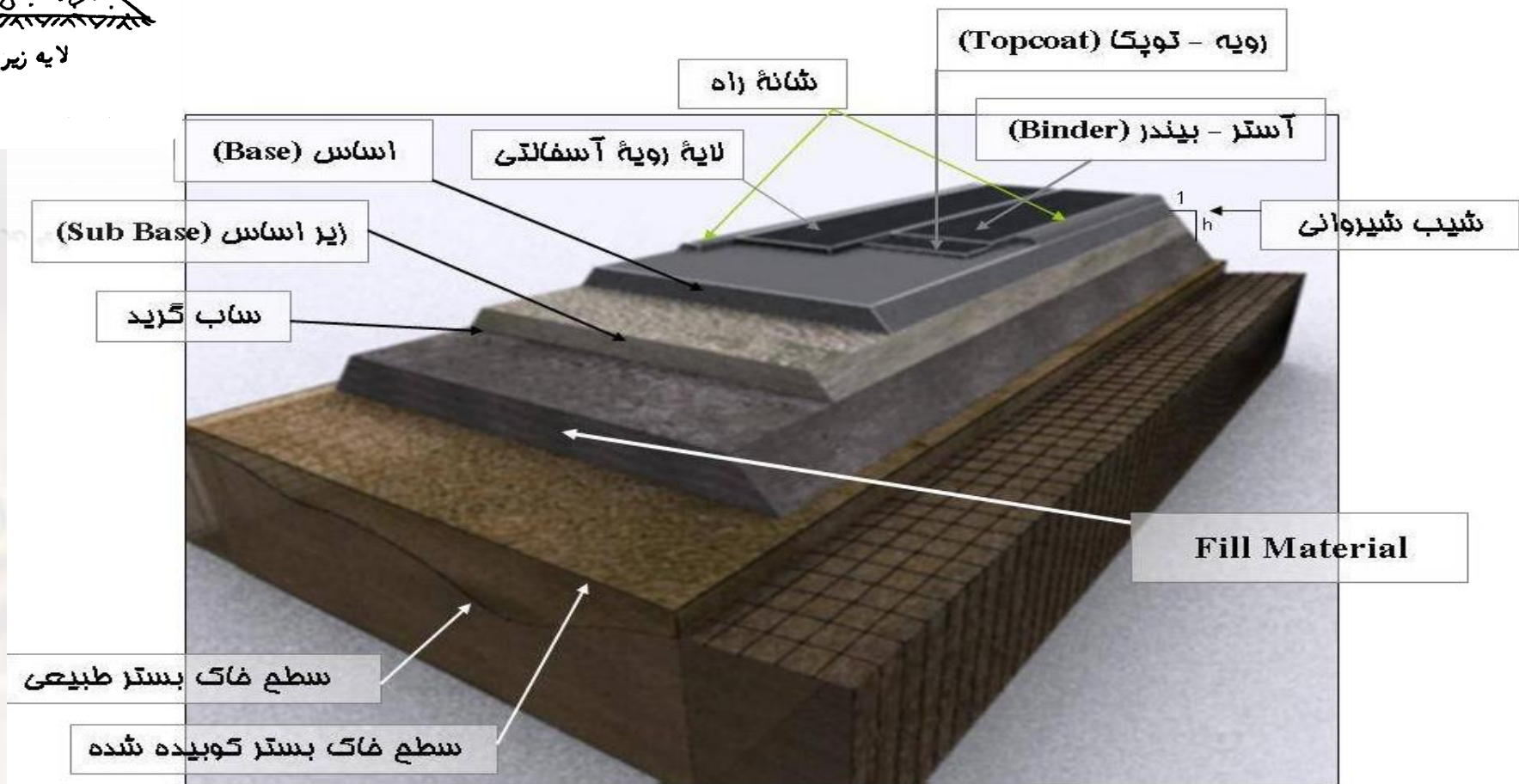
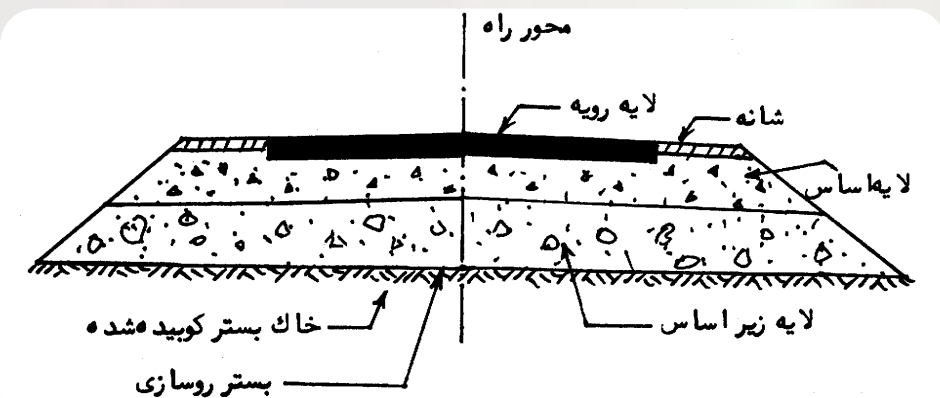


انواع روسازی های بتنی

- روسازی بتنی درز دار (JPCP)
- روسازی بتنی درز دار مسلح (JRCP)



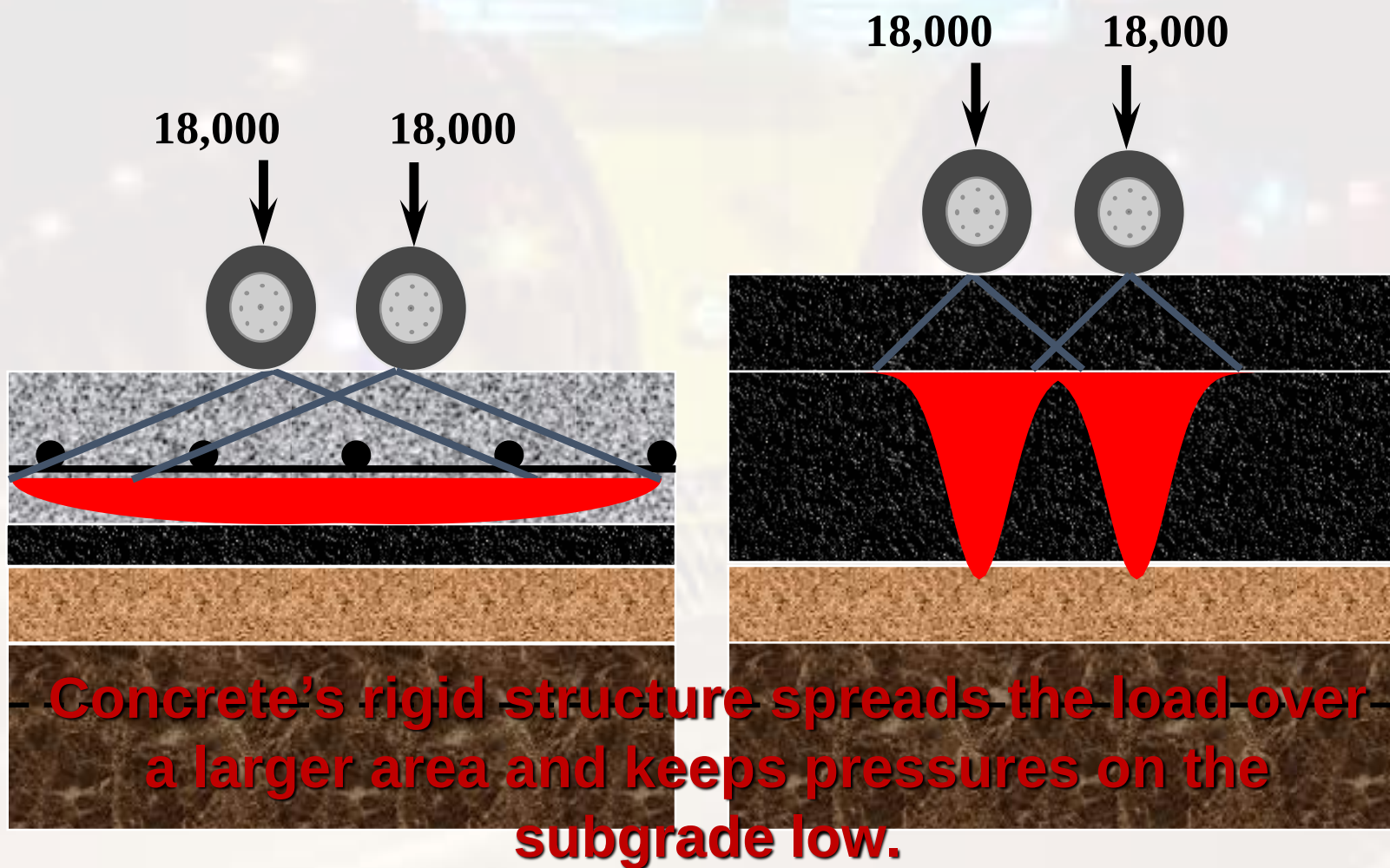
روسازی های آسفالتی



انواع روسازی های آسفالتی

- آسفالت HMA
- آسفالت گرم WMA،
- آسفالت با دانه بندی باز Open Graded Asphalt
- آسفالت سنگدانه ای SMA،
- آسفالت با پودر لاستیک،
- آسفالت پلیمری و
-

تفاوت بین روسازی بتنی و آسفالتی



مقایسه بین روسازی بتنی و آسفالتی

مزایای روسازی بتنی

- نشست کمتر
- نگهداری کمتر
- نیاز به روکش کمتر
- ایمنی بهتر (مسافت ترمز کمتر-انعکاس نور کمتر-تصادف کمتر)

نقطه ضعف روسازی بتنی

- هزینه اولیه بیشتر

مقایسه بین روسازی بتنی و آسفالتی



ترافیک کمتر و شرایط بستر بهتر -
روسازی آسفالتی مناسب تر

ترافیک سنگین و شرایط بستر
ضعیف - روسازی بتنی مناسب تر

تفاوت بین روسازی بتنی و آسفالتی

Conventional Wisdom

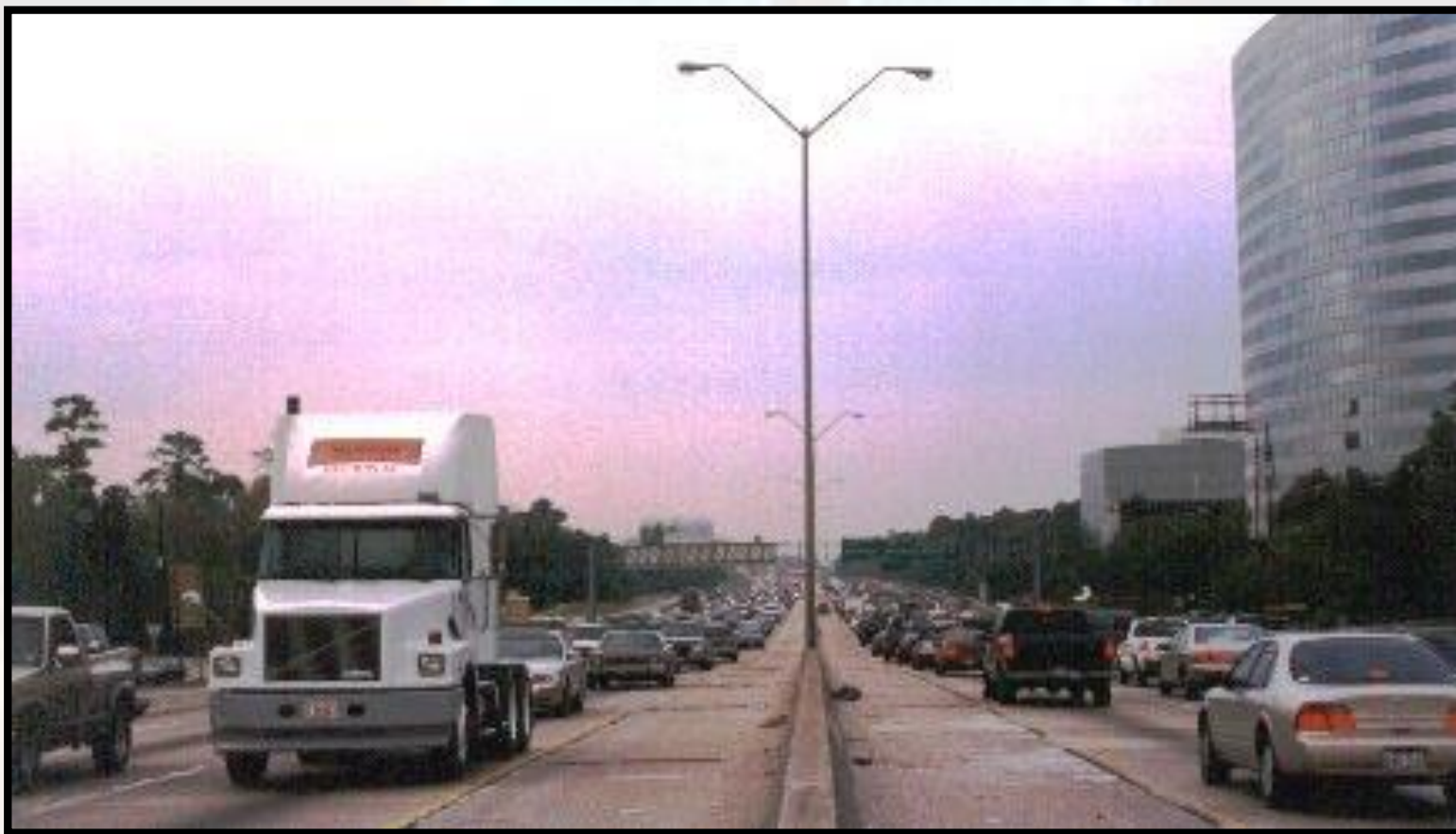


Asphalt pavements are better suited for lower volumes and lighter loads.



Concrete pavements are better suited for higher volumes and heavier loads.

روسازی بتنی در هوستون آمریکا بعد از ۴۰ سال - ضخامت ۲۰ سانتی متر



کاهش مصرف سوخت و آلودگی هوا

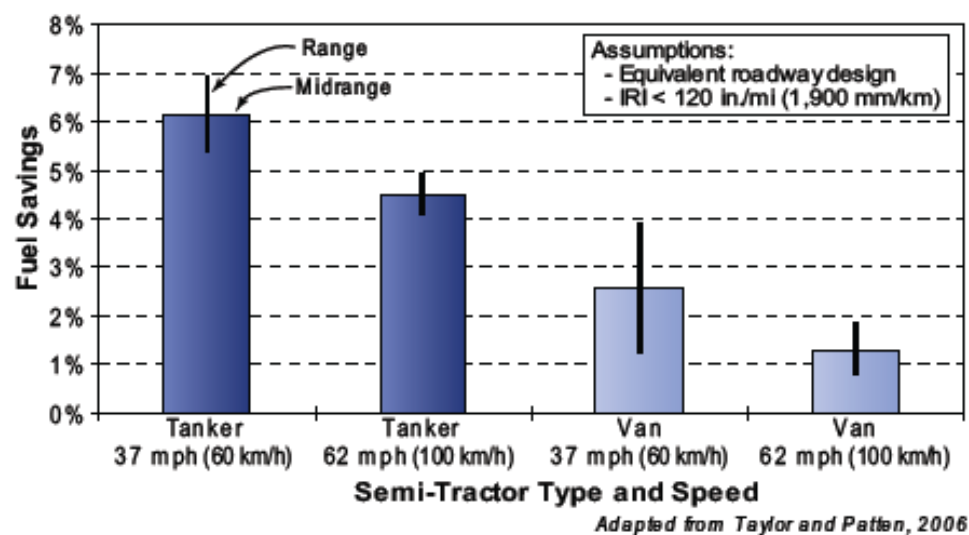
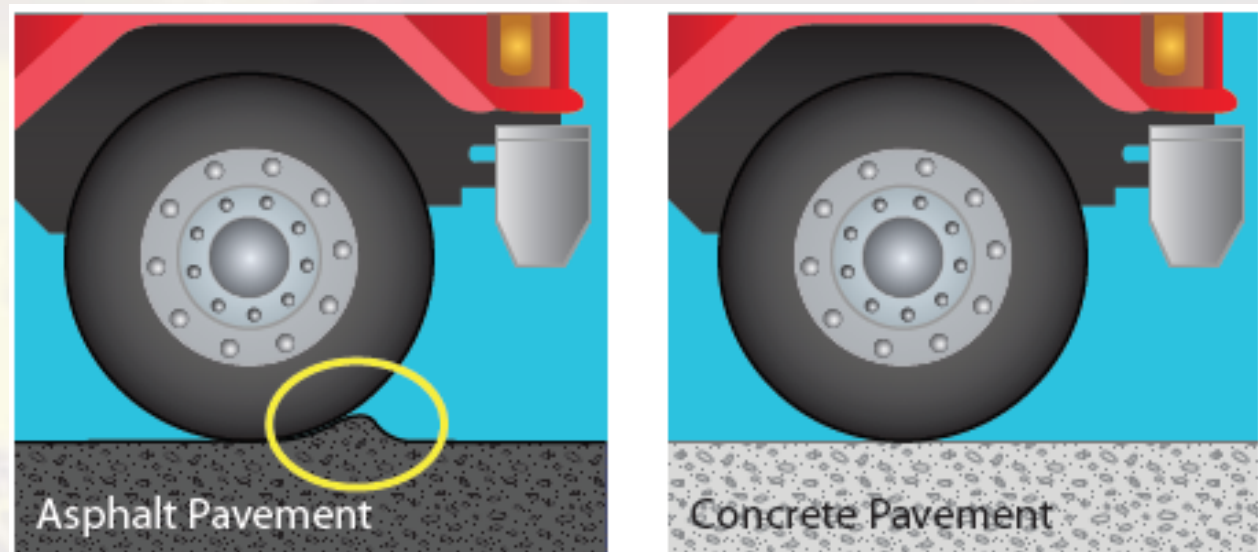


Figure 3. Fuel savings with concrete versus asphalt pavement



صرفه جویی بین ۱ تا ۶ درصد

جدول ۱: صرف جویی سالیانه در مصرف سوخت یک تریلی در ۱۶۰ هزار کیلومتر
 جدول ۲: صرفه جویی سالیانه در ۱۰۰ کیلومتر یک شاهراه با ۲۰۰ هزار وسیله نقلیه در روز و ۱۵ درصد کامیون کاهش CO₂ یک آزاد راه ۱۰۰ کیلومتری در ۳۰ سال سه برابر تولید سیمان مور نیاز است.

Table 1. Yearly potential savings in cost, CO₂, NO_x, and SO₂ per tractor trailer

Fuel Savings (%)	Fuel Saved [gal (l)]	Fuel Cost Saved (dollars)	CO ₂ [tons (metric tons)]	NO _x [lb (kg)]	SO ₂ [lb (kg)]
Minimum: 0.80	145 (549)	\$435	1.66 (1.50)	37.2 (16.9)	4.80 (2.18)
Average: 3.85	700 (2,650)	\$2,100	8.06 (7.31)	182 (82.6)	23.0 (10.4)
Maximum: 6.90	1,250 (4,730)	\$3,760	14.4 (13.0)	327 (148)	41.3 (18.7)

Note: CO₂ = carbon dioxide equivalent (includes carbon dioxide, methane, and nitrous oxide), NO_x = nitrogen oxides, SO₂ = sulfur dioxide.

Table 2. Yearly potential savings in cost, CO₂, NO_x, and SO₂ for a typical major arterial highway

Fuel Savings (%)	Fuel Saved [gal (l)]	Fuel Cost Saved (dollars)	CO ₂ [tons (metric tons)]	NO _x [lb (kg)]	SO ₂ [lb (kg)]
Minimum: 0.80	99,500 (377,000)	\$298,000	1,150 (1,040)	25,900 (11,700)	3,280 (1,490)
Average: 3.85	479,000 (1,810,000)	\$1,430,000	5,510 (5,000)	125,000 (56,700)	15,800 (7,170)
Maximum: 6.90	858,000 (3,250,000)	\$2,570,000	9,880 (8,960)	224,000 (102,000)	28,300 (12,800)

Note: CO₂ = carbon dioxide equivalent (includes carbon dioxide, methane, and nitrous oxide), NO_x = nitrogen oxides, SO₂ = sulfur dioxide.

کاهش نیاز به سوخت در اجرای روسازی

- مصرف اسفالت: ۱۲ لیتر در تن
- مصرف بتن: ۴.۹ لیتر در متر مکعب
- جدول مقایسه برای روسازی های با ضخامت یکسان (ضخامت بتن ۱ تا ۳ برابر کمتر و نیاز به ضخامت کمتر اساس)، مصرف کمتر از یک پنجم برای هر کیلومتر خط

Table 3. Construction fuel demand for asphalt versus concrete pavement

Pavement type	Thickness	Construction Fuel Demand
Asphalt	10 in. (250 mm)	10,718 gal (40,572 l)
Concrete	10 in. (250 mm)	1,916 gal (7,252 l)

Assumptions: Asphalt density = 140 lb/yd³ (83 kg/m³). Fuel usage factors: Asphalt – 2.90 gal/ton (12 l/metric ton), Concrete – 0.98 gal/cy (4.9 l/m³) from FHWA T 5080.3, Attachment 1.

کاهش نیاز به سوخت در اجرای روسازی

➤ در مصرف سالیانه ۴۵۰ میلیون تن آسفالت، ۴.۵ میلیارد لیتر کاهش مصرف سوخت گازوییل (FHWA 2007)

➤ ۱۲.۱ میلیون تن کاهش سالیانه تولید CO_2 (EPA 1997)

➤ اگر هر اتومبیل سالیانه ۴.۵ تن CO_2 تولید کند، این به معنی خارج کردن سالیانه ۲.۷ میلیون اتومبیل از جاده ها است!

قابلیت بازیافت بتن

- قطعه ۱۰-۱ آزادراه SAN BERNARDINO در جنوب لوس آنجلس در سال ۱۹۴۶ ساخته شد در سالهای ۱۹۶۵، ۱۹۸۴ و ۱۹۹۷ سه بار سایش الماسه (DIMOND GRINDING) شد و اکنون بعد از ۷۰ سال روزی ۲۰۰ هزار وسیله نقلیه را عبور می دهد!!
- ۱۰۰ درصد قابل بازیافت (خاکریزها، اساس و زیر اساس) و همچنین در روسازی جدید
- در سال ۲۰۰۴ مقدار ۱۱۸ تا ۱۲۷ میلیون تن بتن باز یافت گردیده (کاهش تقاضا منابع تجدید ناپذیر و مسافت حمل)



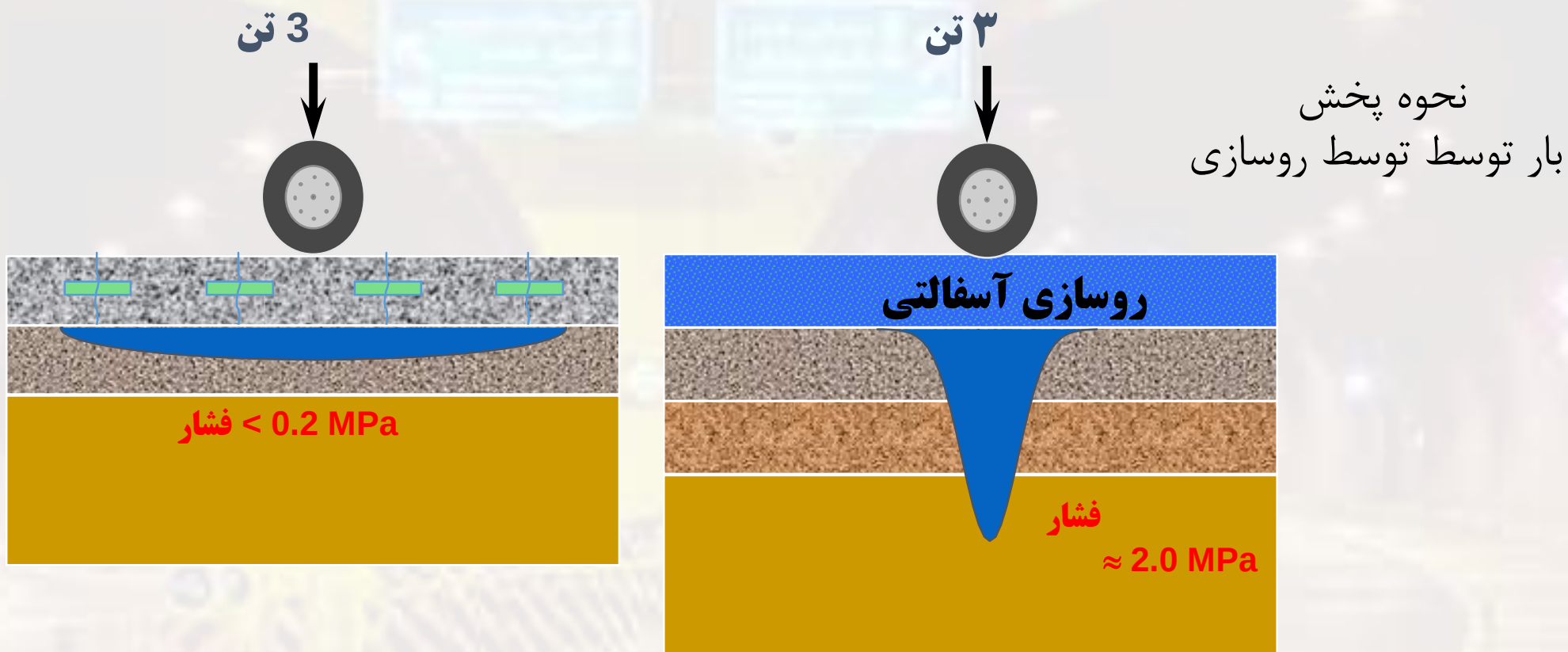
Figure 4. Paradigm in-place concrete recycling equipment in operation in Oklahoma (photo courtesy of Duit Construction)

قابلیت بازیافت آسفالت

- بازیافت سرد و گرم در محل اسفالت موجود CIR و HIR ، بازیافت تمام عمق FDR ، بازیافت گرم و سرد کارخانه ای



کاهش استفاده از منابع طبیعی



روسازی بتنی بار را در سطح وسیع تری پخش کرده لذا شدت اعمال تنش روی بستر کمتر می گردد
بنابراین اسفالت برای فشار اعمالی یکسان نیاز به لایه های ضخیم تر اساس و زیر اساس دارد



روسازی های آسفالتی در بستر های ضعیف تقریبا نیاز به ۲ برابر مصالح سنگی بیشتر دارند. این به معنی مصرف سوخت بیشتر برای استخراج و حمل مصالح و در نتیجه تولید CO2 بیشتر و صد البته مصرف معادن تجدید ناپذیر!

کاهش روشنای مورد نیاز

- روسازی بتنی به علت رنگ روشن تر موجب ایمنی بیشتر در شب و کاهش مصرف انرژی روشنایی می گردد.
- کاهش مصرف انرژی (۲۵ درصد) و در نتیجه تیر برق کمتر (۲۵ درصد کاهش هزینه ساخت و نگهداری تیر برق ها)

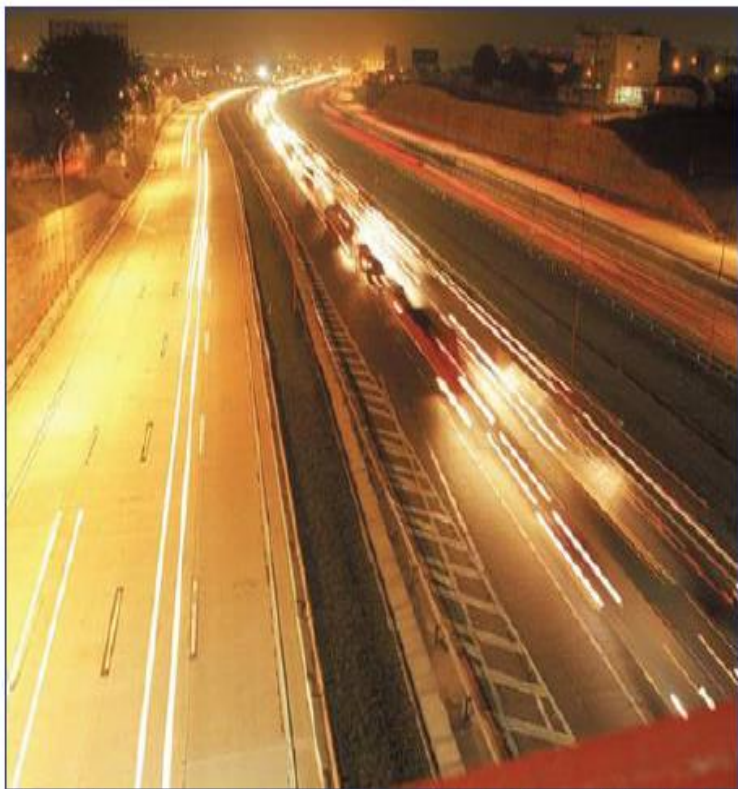


Figure 5. Brazil roadway illustrating concrete (left) vs. asphalt albedo

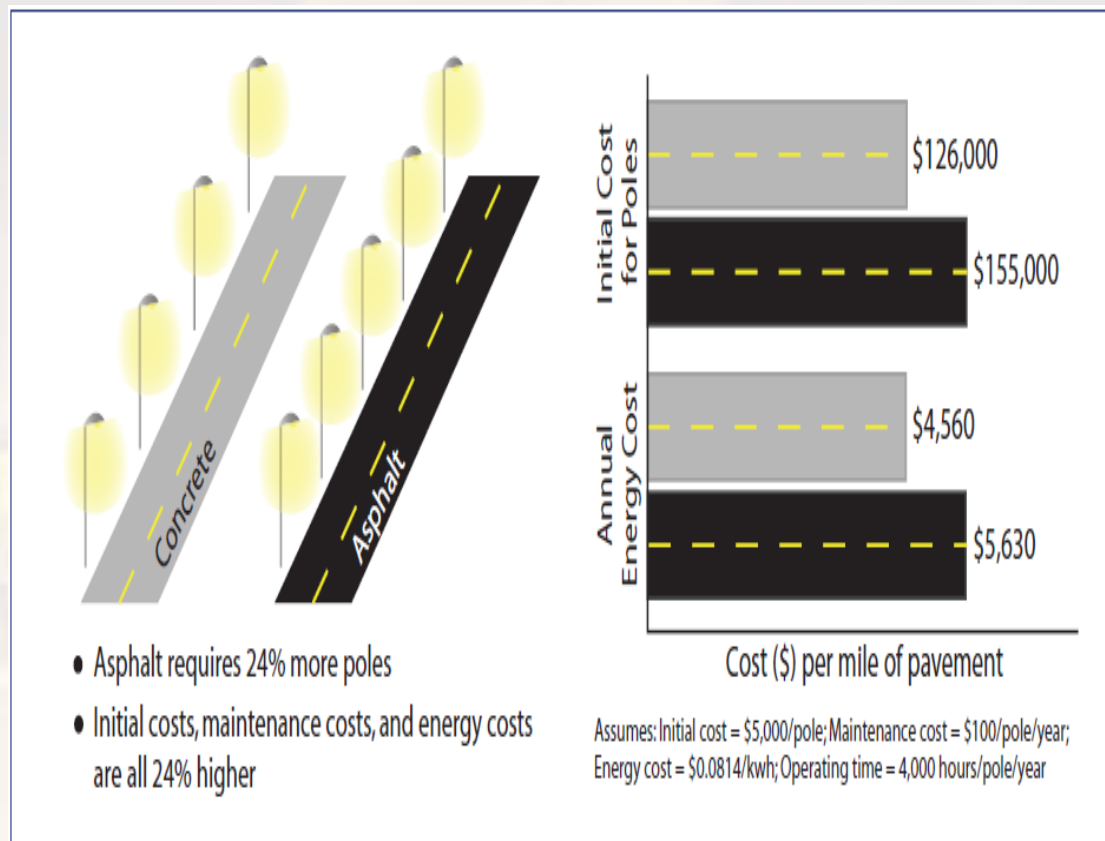


Figure 6. The need for additional light fixtures leads to higher annual energy costs for roads paved with asphalt



کاهش روشنای مورد نیاز

- طرفداران اسفالت بر این عقیده اند که استفاده از مصالح سفید رنگ همراه با قیر های با اسفالتین کمتر یا قیر های با رزین های مصنوعی می توان این مشکل را حل کرد
- در مقابل به علت تیره بودن رنگ اسفالت علایم زرد و سفید رنگ ترافیکی روی اسفالت کنتراست بهتری دارند.

صدای NOISE

- در روسازی آسفالتی خاص مثل SMA و یا اسفالت لایه نازک می توان صدا را کاهش داد
- روسازی های بتنی به علت صلبیت بیشتر عموماً صدای بیشتری تولید می شود، البته میزان آن را از طریق ایجاد شیارهای طولی GRINDING می توان کاهش داد



- در روسازی های بتنی متداول با فاصله ۵ متر درز های عرضی، ضربات دینامیکی منجر به صدای بیشتر می شود

کاهش جزایر گرمایی

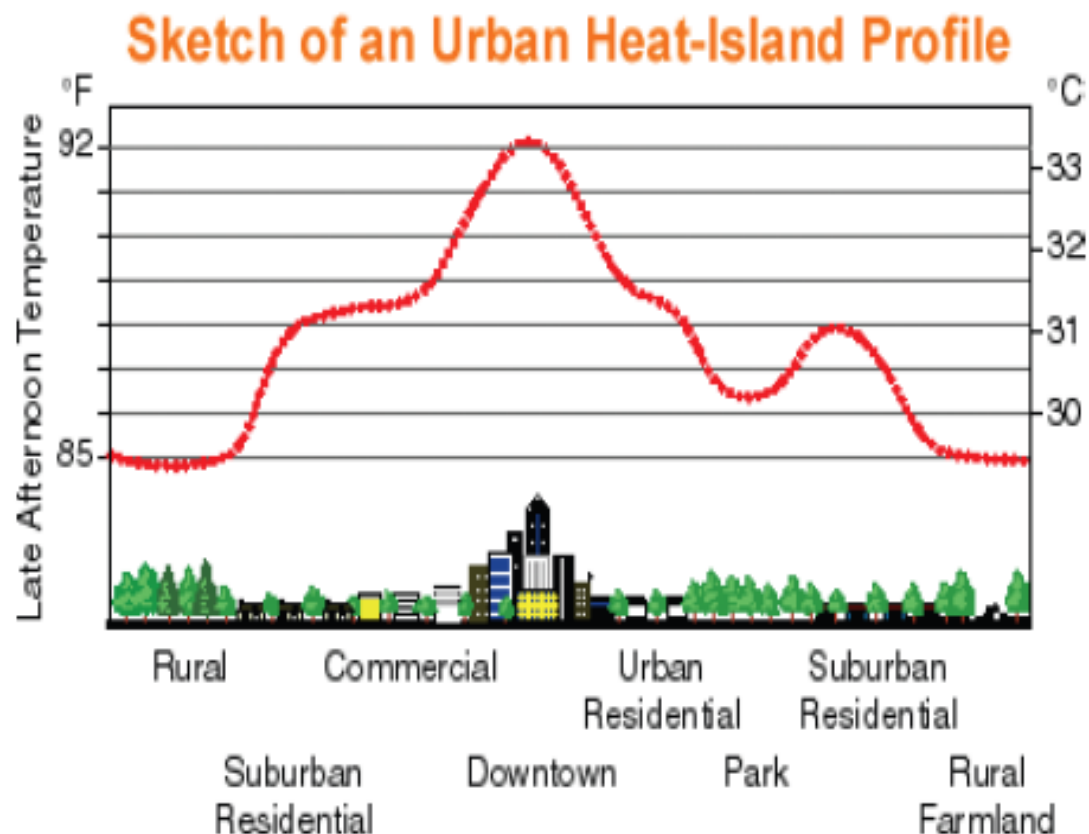


Figure 7. EPA illustration of an urban heat-island profile

➤ انرژی گرمایی جذب شده بیشتر توسط روسازی
 آسفالتی منجر به افزایش دمای آن (۱۲ درجه
 بیشتر در مقایسه با روسازی بتنی) و در نتیجه
 دمای محیط اطراف تا ۵ درجه می گردد (پدیده
 جزیره گرمایی)

➤ این امر موجب افزایش انرژی برودتی مورد نیاز در
 شهرها (۵ تا ۱۰٪) و هزینه بیشتر و همچنین تولید
 گازهای گلخانه ای بیشتر می گردد

کاهش جزایر گرمایی

- تحقیقات ها در لوس آنجلس نشان می دهد تبدیل روسای بتنی به اسفالتی برای ۱۲۵۰ کیلومتر روسازی معابر، منجر به صرفه جویی سالیانه ۱۵ میلیون دلار هزینه انرژی برودتی می گردد

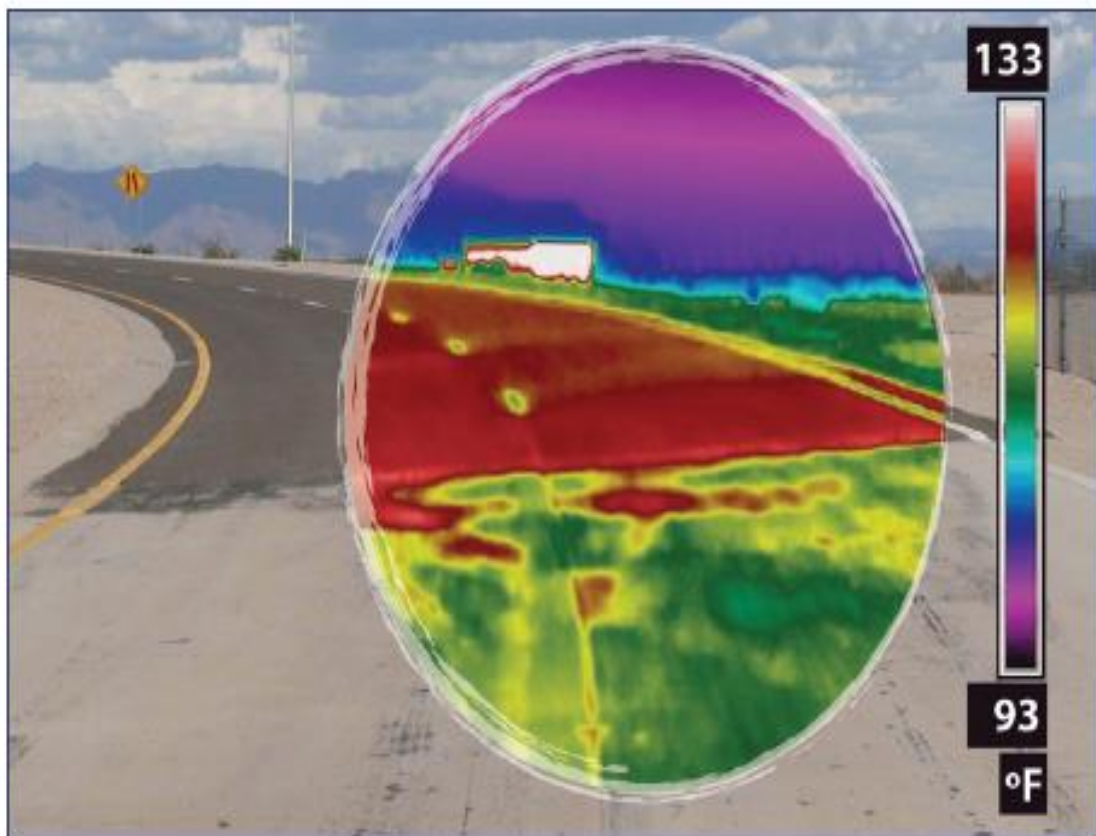
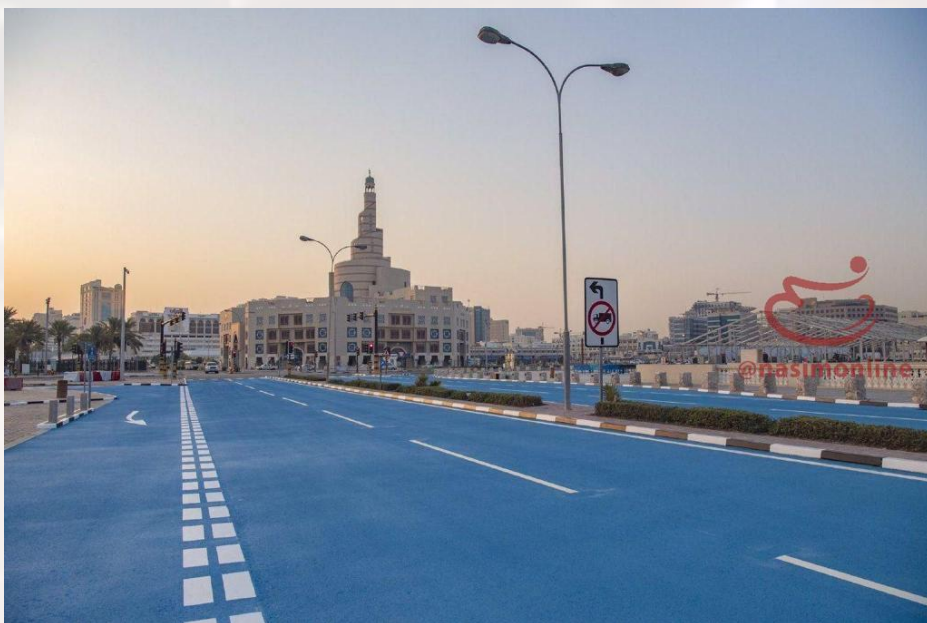


Figure 8. Thermal image of a pavement in Mesa, Arizona (note the temperature difference between the concrete pavement (foreground) and the asphalt pavement (background))

کاهش جزایر گرمایی

- استفاده از آسفالت آبی رنگ در قطر با هدف کاهش گرمای شدید این کشور، دولت قطر خیابان هوشمند آبی رنگ که از منطقه عبدالله بن جاسم تا بازار واقف می باشد را افتتاح کرد. رنگ و مواد به کار رفته در آسفالت این خیابان باعث میشود تا گرمای متصاعد شده از آسفالت کف خیابان تا ۱۵ درجه کمتر شود و به خنکی هوا کمک کند



کاهش انرژی

- منظور انرژی مورد نیاز برای تولید، حمل، اجرا و نگهداری راه برای یک زمان مشخص است (چرخه عمر) که شامل انرژی مورد نیاز برای تهیه مواد اولیه مثل قیر و مصالح سنگی هم می باشد (Feedstock).

- تحقیقات اخیر نشان دهنده این است که آسفالت ۲ تا ۵ برابر مصرف انرژی بیشتر از روسازی بتنی معادل دارد که این خود به معنی افزایش گازهای گلخانه ای است.

(در شکل هزینه مصرف انرژی وسایط نقلیه و اثر کاهش انرژی ناشی از روشنی رنگ لحاظ نگردیده است)

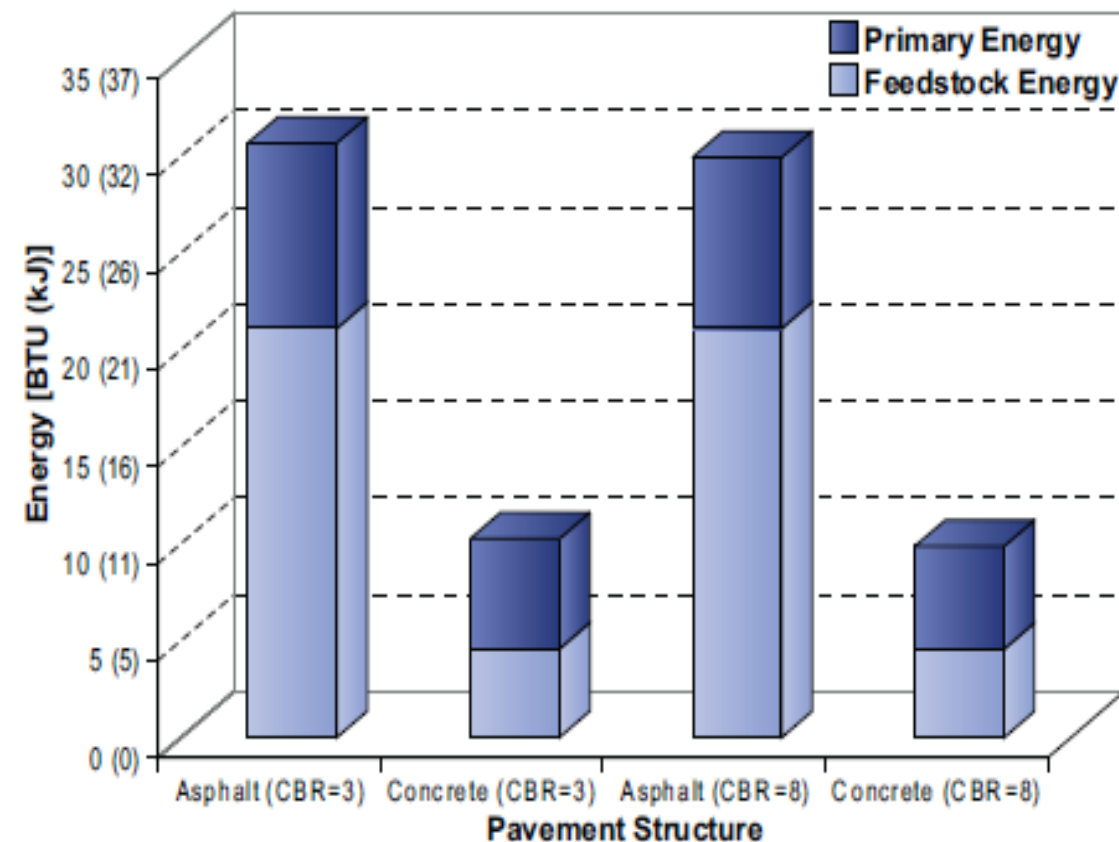


Figure 9. Comparison of embodied primary energy for high-volume roadways (0% RAP)

تجربیات روسازی بتنی در ایران

- باند پرواز فرودگاه تبریز
- باند پرواز فرودگاه رامسر
- بهسازی باند راست فرودگاه مهراباد
- آزاد راه تهران - شمال
- آزاد راه شیراز - اصفهان (در دست احداث)
- راه بیرجند - قاین (در دست احداث)

تجربیات روسازی بتنی در تونل ها در ایران

- تونل های قطعه یک آزاد راه تهران - شمال
- تونل کندوان ۱۸۵۰ متر
- تونل گلستان (محور سیرجان بندر عباس) ۶۵۰ متر
- امامزاده هاشم (آبشار) محور هراز بیش از ۱۰۰۰ متر
- تونل راهدار محور فیروزکوه و
-

وضعیت تونل ها در ایران

سال										واحد	
98	97	96	95	94	93	92	91	90	89		
379	392	340	321	317	302	297	286	284	256	تعداد	تونل های در حال بهره برداری در کشور
199	181	171	157	154	142	142	133	132	124	کیلومتر	طول کل تونل های موجود

وضعیت تونل ها در ایران

۴-۱-۱- مشخصات تونل های در حال بهره برداری در جاده های کشور →

۴-۱-۱-۱- مشخصات تونل های در حال بهره برداری در جاده های کشور تا پایان سال ۱۳۹۸

نام استان	کل تونل ها		تونل های مجهز به سیستم تهویه	
	تعداد	طول (متر)	تعداد	طول (متر)
آذربایجان شرقی	۱۳	۸۲۹۹	۳	۵۱۰۰
اردبیل	۱۴	۵۴۵۲	۰	۰
اصفهان	۳	۶۴۰	۰	۰
آلبرز	۱۳	۶۹۵۶	۳	۴۰۴۵
ایلام	۱۰	۶۳۸۹	۱	۲۵۰۰
بوشهر	۱۲	۶۴۶۲	۰	۰
تهران	۵۵	۳۷۵۲۵	۶	۱۷۶۶۹
چهارمحال و بختیاری	۱۵	۸۵۰۰	۱	۱۳۸۶
خراسان رضوی	۵	۳۹۵۶	۱	۱۰۸۰
خراسان شمالی	۳	۷۳۸	۰	۰
خوزستان	۱۲	۳۶۷۱	۰	۰
سیستان و بلوچستان	۵	۱۱۳۶	۰	۰
فارس	۲۸	۱۷۳۲۲	۰	۰
قزوین	۱۳	۵۹۳۰	۱	۹۵۰
کردستان	۱۰	۳۴۰۰	۰	۰
کرمان	۳۰	۶۸۳۴	۰	۰
کرمانشاه	۱۵	۳۹۴۶	۰	۰
کهگیلویه و بویراحمد	۲۹	۱۴۵۸۱	۰	۰
گلستان	۱	۱۰۵	۰	۰
گیلان	۱۶	۵۹۲۲	۱	۷۱۷
لرستان	۳۵	۲۵۸۶۲	۰	۰
مازندران	۴۵	۳۳۱۷۰	۳	۵۴۴۶
هرمزگان	۹	۳۲۵۴	۳	۲۰۱۵
همدان	۱	۷۷۷	۰	۰
جمع	۳۷۹	۱۹۸۶۹۷	۲۰	۴۰۸۰۸

مأخذ: دفتر نگهداری ابنیه فنی راه سازمان راهداری و حمل و نقل جاده ای
توضیح: ۱- استان هایی که در جدول بالا نیستند، فاقد تونل می باشند.

آتش در تونل



آمار حریق و نتایج آن در تونل های مختلف اروپا

کشور	آتش سوزی	نوع تونل	سال	مدت زمان و دما (درجه سانتیگراد)	تعداد کشته شدگان	وسائل نقلیه آسیب دیده
سوئیس	St. Gotthard	جاده (۱) قلو، ۱۶/۳ کیلومتر	۲۰۰۱	۲۴ ساعت، ۱۲۰۰ درجه	۱۱	۱۰ سواری، ۲۳ کامیون
اتریش	Gleinalm	جاده (۱) قلو، ۸۳ کیلومتر	۲۰۰۱	۲۷ دقیقه	۵	۲ سواری
اتریش	Kitzsteinhorn	راه آهن دو طرفه، ۳/۲ کیلومتر	۲۰۰۰	مشخص نیست	۱۵۵	۱ قطار
اتریش	Tauren	جاده (۱) قلو، ۶/۴ کیلومتر	۱۹۹۹	۱۴ ساعت، ۱۲۰۰ درجه	۱۲	۲۶ سواری، ۱۴ کامیون
فرانسه - ایتالیا	Mont-Blanc	جاده (۱) قلو، ۱۱/۶ کیلومتر	۱۹۹۹	۵۲ ساعت، ۱۰۰۰ درجه	۲۹	۱۰ سواری، ۲۳ کامیون
ایتالیا	Palermo	جاده	۱۹۹۹	مشخص نیست	۵	۱۹ سواری، ۱ واگن راه آهن
فرانسه	Eurotunnel Channel	راه آهن، ۵۲ کیلومتر	۱۹۹۶	۱۰ ساعت، ۱۱۰۰ درجه	۲	۱ قطار



- تجربیات تونل های St. Gotthard و Mont-Blanc نشان داد که در آتش کل ضخامت رویه اسفالتی ۱۰ سانتی متری سوخت
- در هنگام سوختن چسبندگی قیر از بین رفته و تردد دشوار می گردد، مشکل دیگر دود و گازهای سمی بود که در این دو تونل منجر به خفه شدن اکثر قربانیان گردید



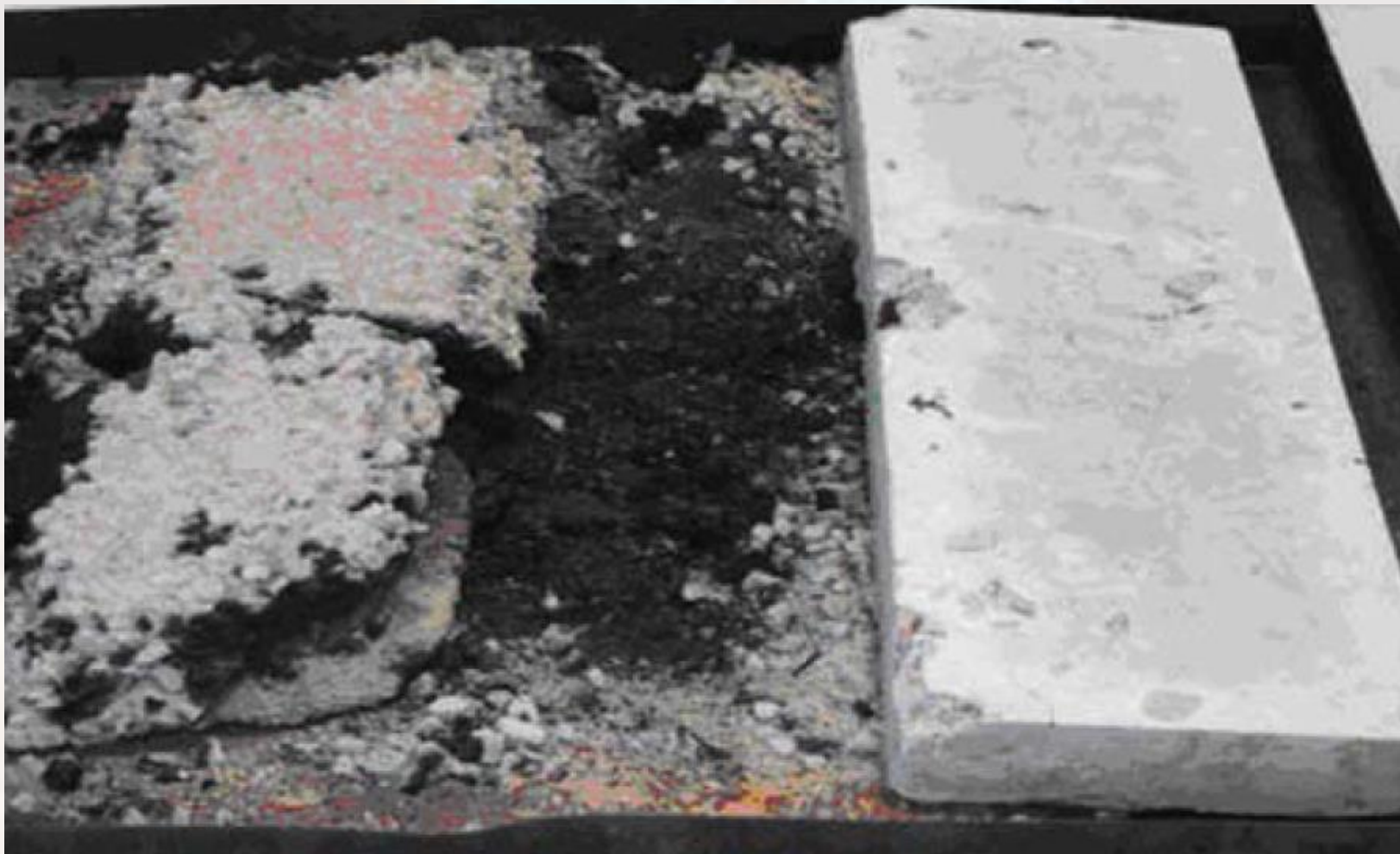
- در یک تونل آزمایشی در مرکز تحقیقات آتش و تهویه تونل ها در اسپانیا، تست های متعدد آتش روی روسازی بتنی صورت گرفت که نتایج رضایت بخش بود.
- تجربه آتش سوزی ساختمان بتنی Windsor در مادرید نشان داد که بعد از ۲۴ ساعت حریق و دمای ۱۰۰۰ درجه، سازه ساختمان پایدار ماند.
- معمولاً بررسی آتش را با منحنی آتش (ISO 834) می سنجند که تغییرات دما بر حسب زمان است. اگر چه منحنی های دیگری در اروپا رایج شده است HYDROCARBON CURVE, RABT-ZTV CURVE

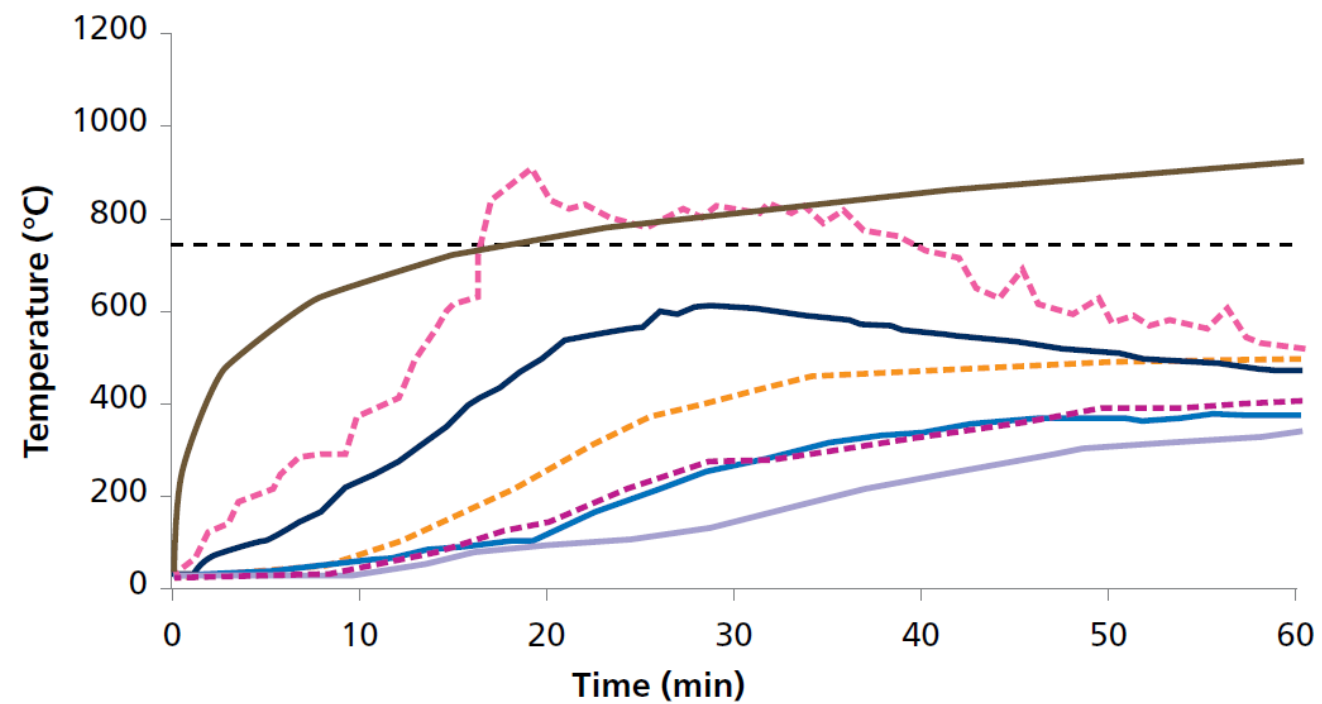
- در آزمایش سوزاندن قیر که برای تعیین درصد قیر انجام میشود ASTM D6307 و EN 12697 می توان درجه سوختن قیر را بدست آورد که معمولا بین ۴۰۰ تا ۵۵۰ درجه سانتیگراد است که پایین تر از منحنی های دمایی آتش در تونل ها است.
- جدول زیر دمای تولید شده در بدنه تونل ها برای وسایط نقلیه مختلف را نشان می دهد

وسایل نقلیه	قدرت حرارتی (mw)	بیشینه دما در دیواره تونل (درجه سانتیگراد)	انتشار دود ($\frac{m^3}{s}$)
سواری	۲/۵-۵	۴۰۰	۲۰
سواری گروه ۲ و ۳	۸	-	۳۰
ون	۱۵	-	۵۰
واگن راه آهن	۲۰	۸۰۰	۶۰-۹۰
کامیون	۲۰-۳۰	۱۰۰۰	۶۰-۹۰
تانکر	۱۰۰-۳۰۰	۱۲۰۰-۱۴۰۰	>۱۰۰

- تحقیقات انجام شده در دانشگاه GERGY-PONTISE فرانسه نشان داد که:
- رویه بتنی اشتعال ناپذیر بوده و مشارکتی در گسترش بار آتش ندارد
- رویه اسفالتی بین ۴۲۸ تا ۵۳۰ درجه مشتعل می گردد و مشخصات مکانیکی خود را از دست می دهد
- رویه اسفالتی در مقایسه با بتنی به سرعت به دمای حداکثر خود می رسد
- اسفالت بعد از ۵ دقیق داغ شدن گازهای سمی و خفه کننده مانند دی اکسی کربن، متانل، استن، بنزن، تولون، دی اکسی سولفور و استاد اسید متصاعد می کند







- | | | |
|------------------------------------|-------------------------------------|------------------------------------|
| — Thermocouple concrete middle | --- Thermocouple asphalt middle | — Thermocouple concrete interface |
| — Thermocouple concrete upper face | --- Thermocouple asphalt upper face | --- Thermocouple asphalt interface |
| — Fire ISO curve | --- Target maximum temperature | |

- در تحقیق که در مرکز تحقیقات راه فدرال آلمان BAST بر روی حادثه تونل Mont-Blanc صورت گرفت نکته جالبی را نشان داد. ۸ اتومبیل در فاصله ۳۰۰ متری از محل آتش سوخته بودند در حالیکه هیچ علامتی از خرابی در سقف و دیواره های تونل مشاهد نمی شد! محققین نتیجه گیری کردند که سوختن اتومبیل ها ناشی گسترش آتش در در رویه اسفالتی تونل بوده است.

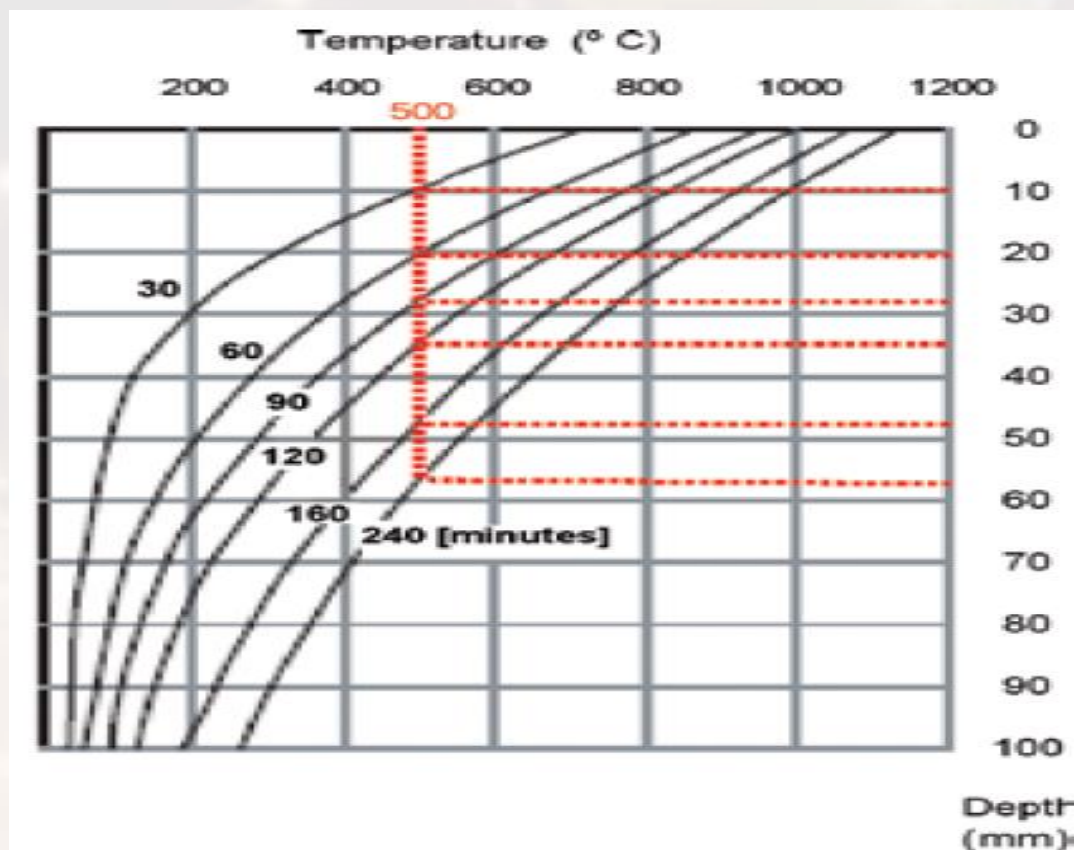
- در تحقیق دیگری در مرکز علوم و تکنولوژی ساختمان فرانسه CSTB انجام گردید نمونه های اسفالتی در جریان حرارتی بین 200 و 500 KW/M^2 قرار گرفتند و تا 300 درجه گرم گردیدند، در این دما که کمتر از دمای احتراق قیر است اگرچه پوسته ای در سطح نمونه ها وجود داشت لیکن چسبندگی قیر در داخل نمونه ها کاهش یافته بود.
- نتیجه دیگر این تحقیق نشان داد که دود های تیره و متراکم حاصل از این تست ها بود
- در تحقیقی دیگر SAMARIS بین سالهای 2002 تا 2005 که بودجه آن از اتحادیه اروپا تامین گردید مطالعات مفصلی روی اثر آتش روی اسفالت صورت گرفت در این تحقیق اشتعال اسفالت در 21 KW/M^2 ایجاد شد که اگر چه دو برابر معیار استاندارد EN1-13501 بود و همین موضوع مورد تاکید طرفداران اسفالت است، لیکن حامیان بتن معتقدند این معیار برای مقاومت در مقابل دمای آتش در تونل کافی نیست!

- پژوهش انجام شده در دانشگاه ادینبورگ انگلستان نشان داد که در جریان حرارتی Heat Flow معادل 40 kw/m^2 آسفالت مشتعل می گردد که کمتر از حرارت ایجاد شده در تونل ها در اثر آتش است. حرارت تولید شده در آتش سوزی تونل Runehamar در کف تونل به 280 kw/m^2 هم رسید
- اشتعال خود آسفالت منجر به تولید حرارت بیشتر می گردد

در آتش سوزی تونل چه اتفاقی در رویه بتنی می افتد؟

- در دمای ۱۰۰ درجه سانتیگراد آب آزاد و کاپیلاری بتن تبخیر می گردد که باعث تاخیر در کند شدن بعدی گرم شدن بتن می گردد
- در دمای بین ۱۰۰ تا ۳۰۰ درجه بدون کاهش قابل ملاحظه در مقاومت بتن، ازدست دادن آب کامل می شود
- در دمای بین ۳۰۰ تا ۴۰۰ ژل سیمان آب خود را از دست داده و اولین ترک در بتن ظاهر می شود
- در دمای ۴۰۰ درجه بخشی از هیدروکسید کلسیم ناشی از هیدراسیون سیلیکات ها تبدیل به آهک آزاد می شود
- در دمای ۶۰۰ درجه مصالح سنگی منبسط شده و تنش های ایجاد شده ناشی از این انبساط (که در مصالح سیلیسی با ضریب انبساط حرارتی بیشتر از ۳۰ درصد، بیشتر از آهکی است) موجب افت کیفیت بتن می گردد. لذا آیین نامه طراحی در اسپانیا ضخامت بعد از ۵۰۰ درجه را طراحی سازه ای در نظر می گیرند
- توجه شود که این اعداد دمای بتن می باشد نه محیط اطراف
- لیکن نکته مهم این است که در بتن به علت هدایت حرارتی (Conductivity) کم آن، بخش داخلی روسازی به اندازه سطح گرم نشده و غیر از چند سانتیمتر سطح بتن بقیه مقطع کاهش مقاومت ندارد

- دمای روسازی بتنی در عمق ۲ و ۴ سانتی متری از سطح بترتیب ۴۰۰ و ۶۰۰ درجه کمتر از سطح می باشد. هنگامی که دمای سطح ۸۵۰ درجه باشد، دمای دو سانتیمتر فوقانی روسازی ۵۰۰ درجه خواهد بود



Spalling در روسازی بتنی



- عوامل spalling در بتن:
- افزایش فشار منفذی بر اثر تبخیر آب و خروج بخار هنگام افزایش دما، متعاقب آن حجمی بتن که در بتن های با مقاومت بالا منجر به تنش های فشاری در آن میگردد
- این مورد در بتن های با مقاومت بالا بصورت انفجاری رخ می دهد
- می توان با فزودن فیبر های پلی پروپیلین با درجه ذوب ۱۶۰ درجه که در آتش سوزی کانال هایی برای فرار رطوبت ایجاد می کنند، ویا استفاده از افزودنی حباب زا که با ایجاد تعداد زیادی سلول های هوای میکروسکوپی، باعث کاهش تنش های ایجاد شده می شوند استفاده کرد

- البته در مورد روسازی های بتنی چون فشار محدود کننده از اطراف وجود ندارد این معضل کمتر است

- مشاهدات نشان داده است که این پدیده سقف و بدنه تونل که از بتن با مقاومت 80 mps استفاده شده بیشتر از روسازی بوده است . بطور مثال در تونل های Mont-Blanc و St. Gottard که از بتن با مقاومت کمتر در دیواره ها و سقف استفاده شد ای معضل کمتر بود

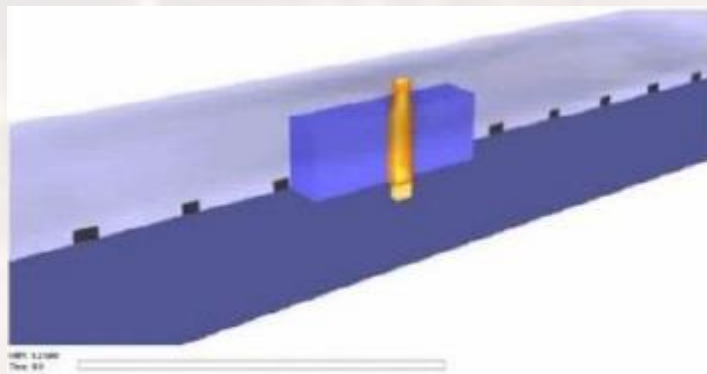
- تحقیقات انجام شده در سال ۲۰۰۶ در فرانسه نشان داد که برای بتن های به مقاومت کمتر از 60 Mpa، spalling در آزمایشات ISO 834 قابل ملاحظه نیست، لذا در مقاومت های متداول روسازی بتنی (۲۵ تا ۴۵) دغدغه مهمی نمی باشد.

دینامیک آتش در تونل

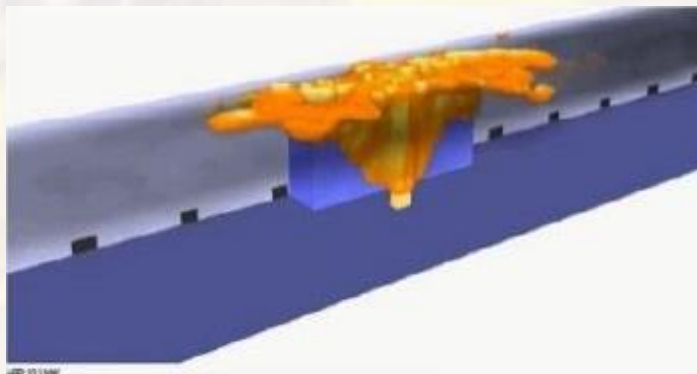
• **مرحله اول:** در این فاز گازهای تولید شده به سمت سقف حرکت می کنند. کف تونل عاری از دود و حرارت بوده و امکان تخلیه افراد وجود دارد

مرحله دوم: در این مرحله گازها از محل ایجاد آتش بسرعت بصورت نمایی گسترش پیدا کرده تا اینکه سرد شده و بسمت پایین حرکت می کنند. در این مرحله تخلیه افراد مشکل گردیده، آتش در دو جهت حرکت کرده و وودما بصورت پیوسته گسترش می یابد. وقتی توان حرارتی به MW30 می رسد عملاً تیم اطفاء حریق قادر به عمل نخواهد بود و آتش نشان می تواند برای مدت کوتاهی تا ۱۰ متری محل آتش برسد و شانس خاموش نمودن آتش کاهش می یابد

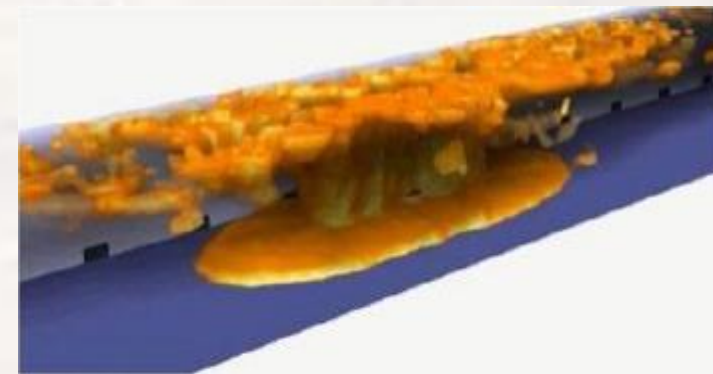
- **مرحله سوم:** در این مرحله وقتی انرژی حرارتی به $MW\ 40$ میرسد سیستم تهویه مصنوعی تونل از کار می افتد. سطح روسازی بتنی بخشی از حرارت را جذب کرده و نقشی در گسترش آتش و تولید دود نخواهد داشت. وقتی انرژی حرارتی به بیش از $MW30$ می رسد دمای روسازی به بیش از 300 درجه سانتیگراد می رسد و روسازی های بتنی و آسفالتی رفتار کاملاً متفاوتی بروز می دهند



Initial spreading stage



Exponential spreading stage

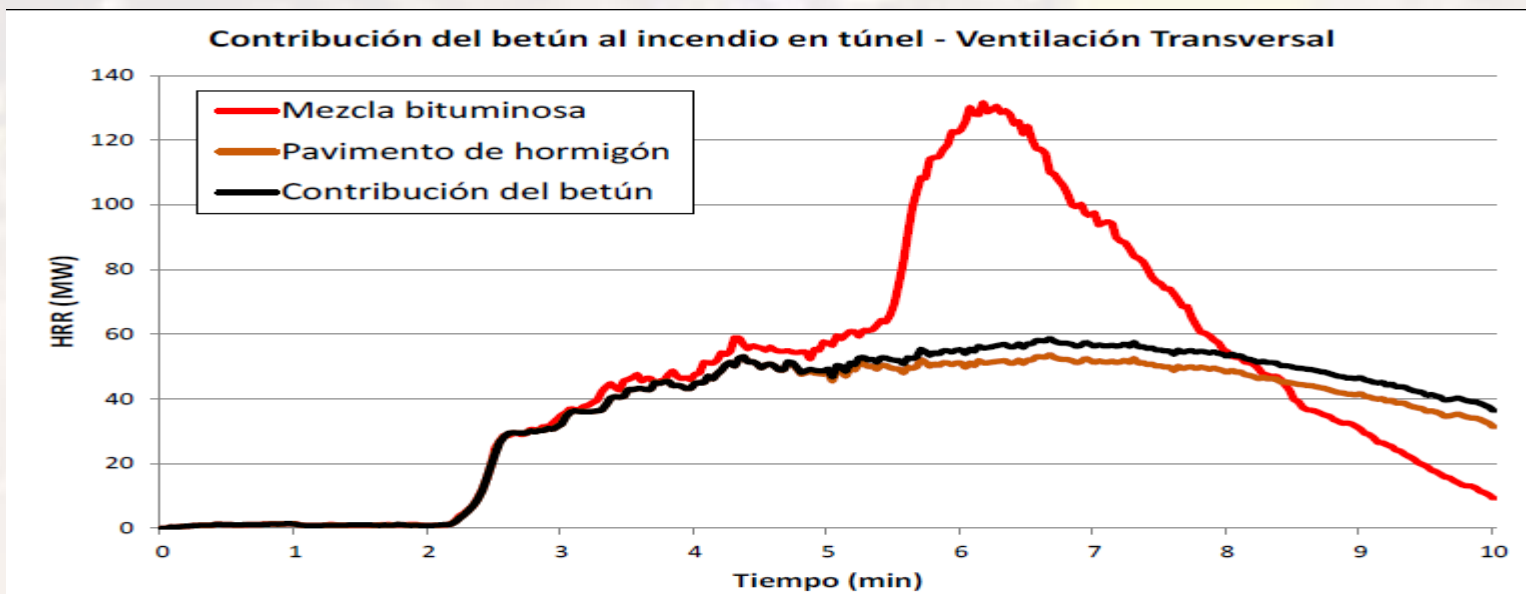


Progressing stage

• اگر چه روسازی اسفالتی زیر ۴۸۵ درجه مشتعل نمی شود لیکن حرارت ایجاد شده در سطح روسازی و کف تونل موجب گسترش ناگهانی و سریع انرژی آتش می گردد. خود این امر باعث افزایش دود و گازهای ناشی از مشتعل شدن اسفالت می گردد. در نتیجه روسازی می سوزد. شرایط بحرانی شده و ایمنی تیم اطفاء حریق به مخاطره می افتد.

• انرژی حرارتی بیش از MW50 باعث گسترش آتش به وسایط نقلیه مجاور شده که این خود موجب افزایش بیشتر انرژی حرارتی شده و تیم اطفاء حریق در این بین گیر می افتد و و چون نیاز به فاصله ۲۰ متر برای عمل دارد عملاً عملکرد آن مختل می گردد. مضاف بر اینکه افزایش دمای اسفالت در کف تونل موجب ایجاد دشواری برای تیم می گردد.

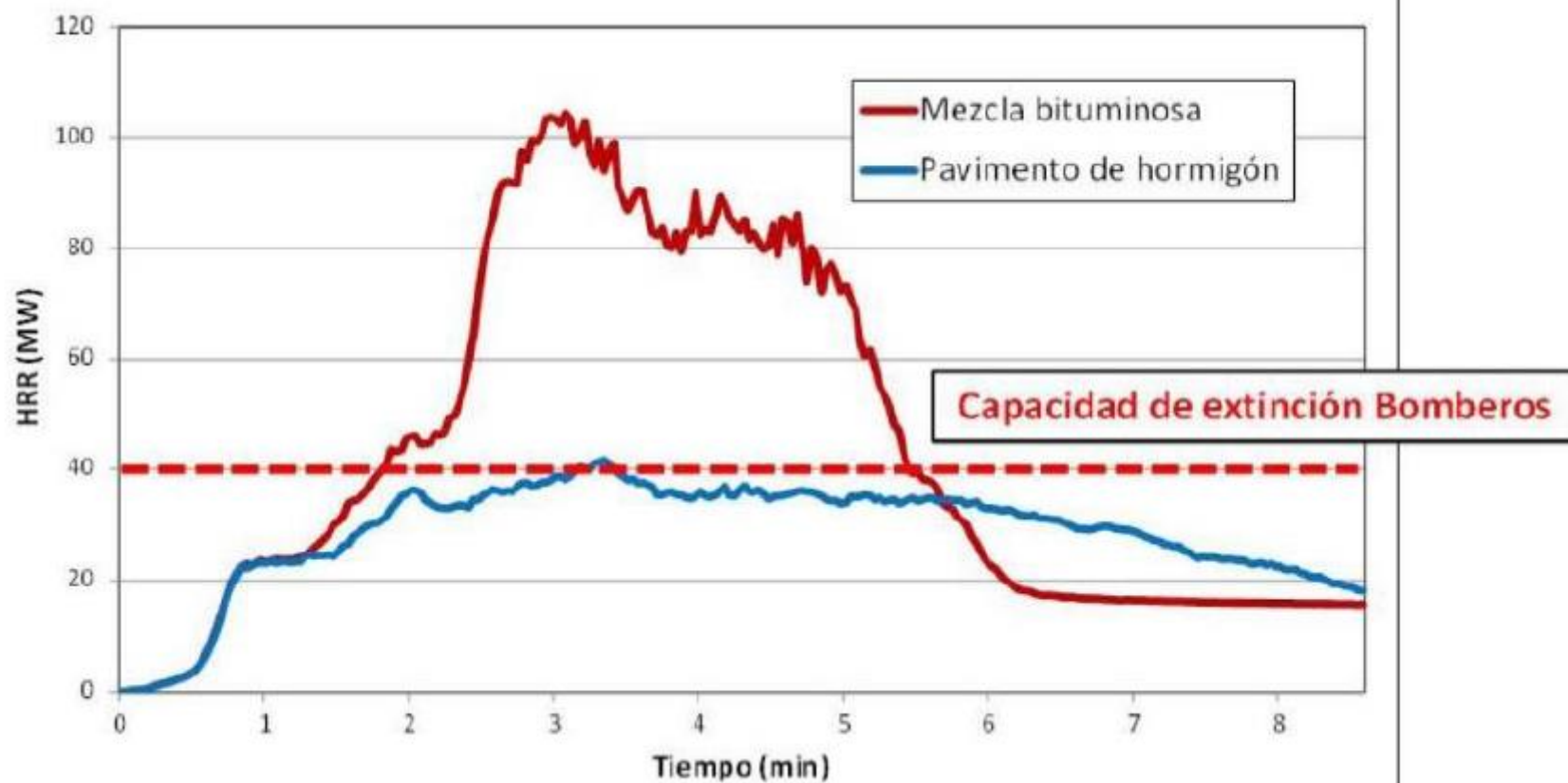
• اسفالت یک ماده ترمو پلاستیک است و ویسکوزیته آن در دمای بین ۱۵۰ تا ۱۸۰ درجه بشدت افت می کند. این دما ظرف ۵ دقیقه از شروع آتش و تا فاصله ۴۵ متری از محل آتش ایجاد می شود که بیش از مسافت لازم برای کار تیم است



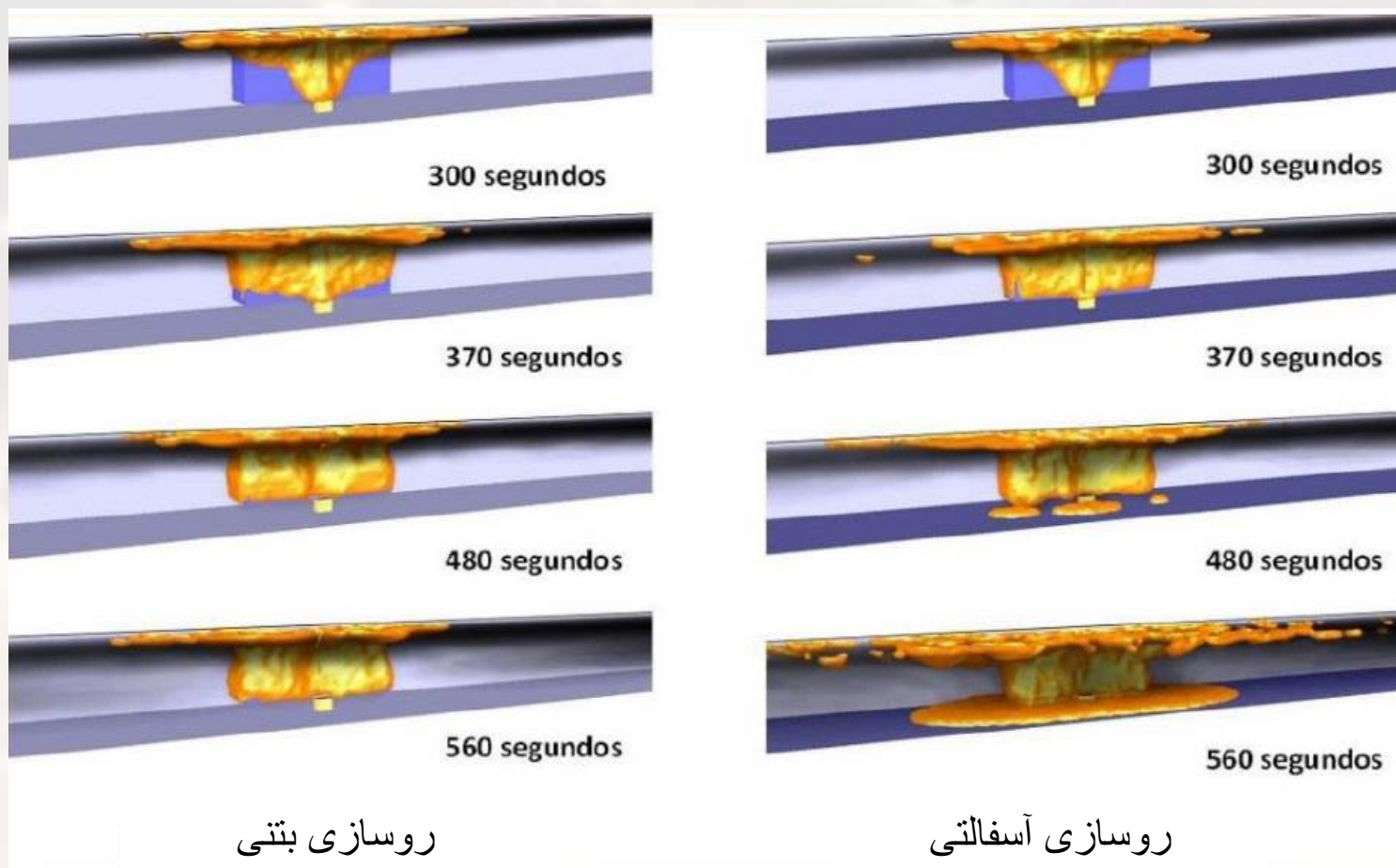
شرایط کاری آتش نشان ها

- نکته مهم رسیدن تیم اطفاء حریق قبل از این است که انرژی حرارتی از ظرفیت کاری تیم تجاوز ننماید
- در یک تحقیق، مطالعه عددی روی یک تونل صورت گرفت، طول مورد بررسی ۲۵۰ متر (۱۲۵ متر از هر طرف محل آتش) و متغیر اصلی انرژی حرارتی بود، انواع سیستمهای تهویه لحاظ گردید، و دو نوع روسازی مورد مطالعه قرار گرفت
- نتایج تحلیل نشان می دهد که افزایش انرژی حرارتی در روسازی بتنی خیلی کمتر از آسفالت و در نتیجه تیم زمان بیشتری در محل آتش داشته و شرایط کاری مطلوب تر است

Emisión de calor - Incendio de vehículo pesado en túnel

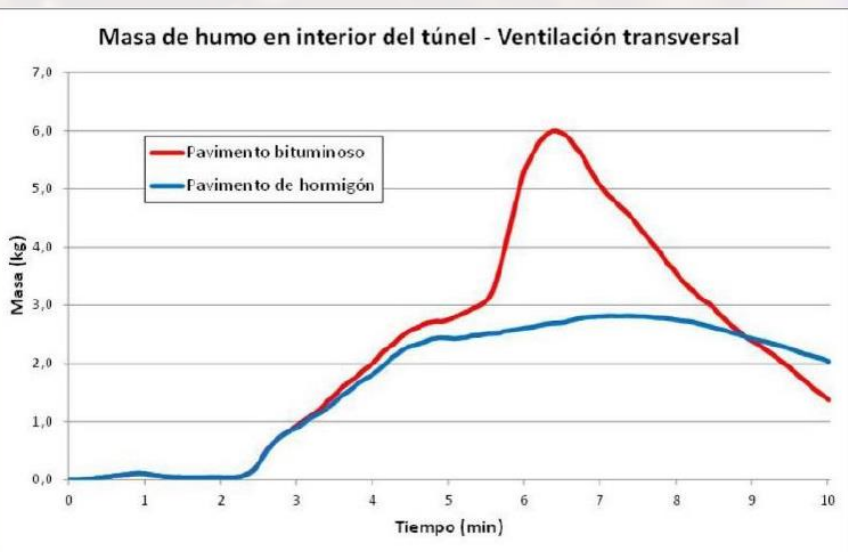


- نتیجه دیگر این تحقیق مراحل احتراق در تونل برای دو نوع روسازی بود.
- همانطور که از شکل مشاهده می شود در حالت روسازی آسفالتی نقش روسازی در حرارت تولید شده در کف تونل و اطراف وسیله نقلیه مشتعل کاملاً مشهود است.



شرایط تخلیه تونل در هنگام حریق

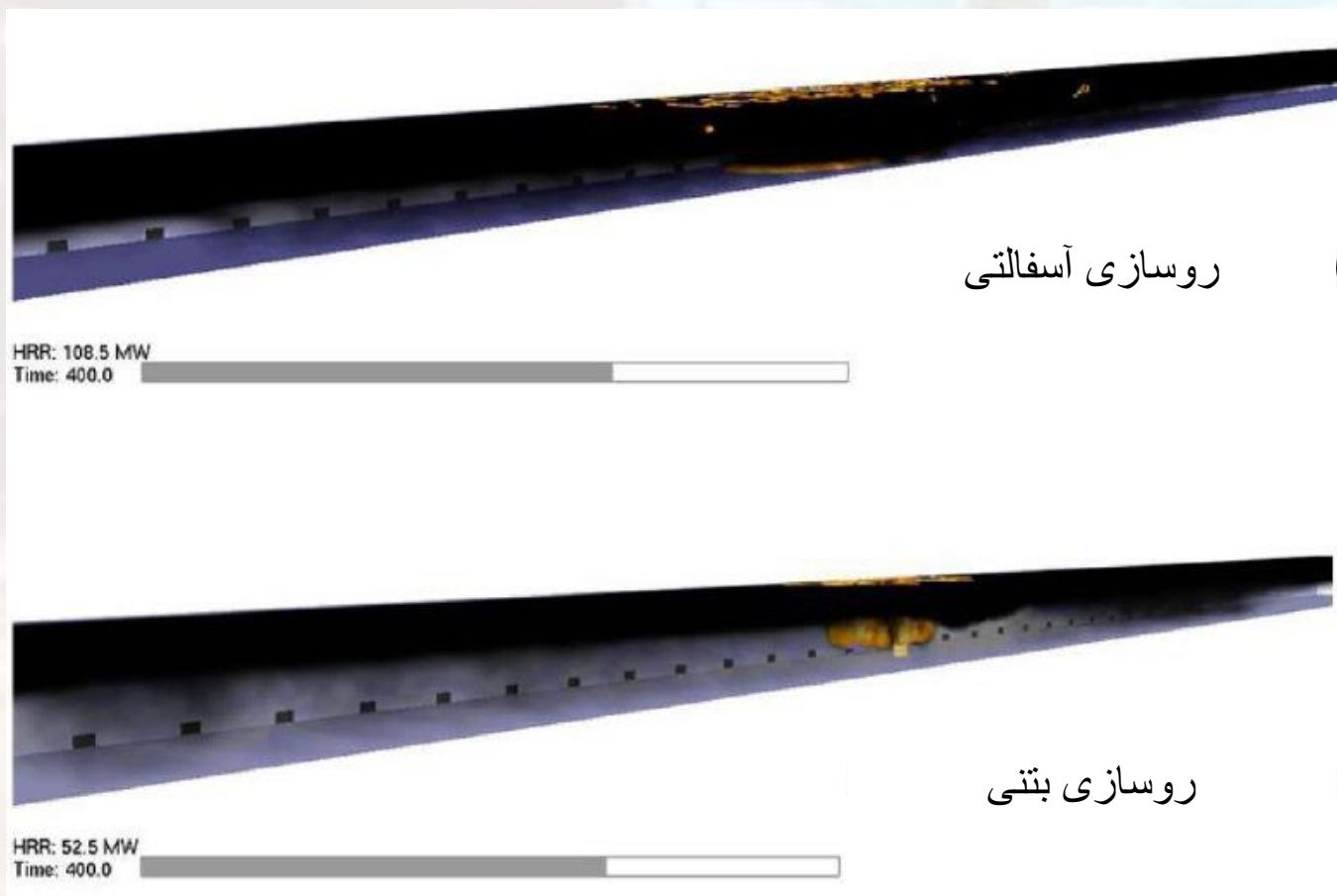
- هدف اصلی از سیستم های تهویه حفظ شرایط محیطی مطلوب در داخل تونل برای تخلیه افراد در وضعیت ایمن است، پارامتر های مهم در این رابطه محدود کردن گاز های سمی، قابلیت دید، دما و تشعشع های دمایی Radiation می باشد
- در شکل زیر میزان دود داخل تونل هنگامی که توان حرارتی اتش MW 40 می باشد نشان می دهد. میزان دود تولیدی هنگامی که آسفالت می سوزد بشدت افزایش می یابد و در حالت روسازی بتنی سیستم تهویه بطور موثر کار خود را ادامه می دهد



Smoke mass inside the tunnel

میزان دید

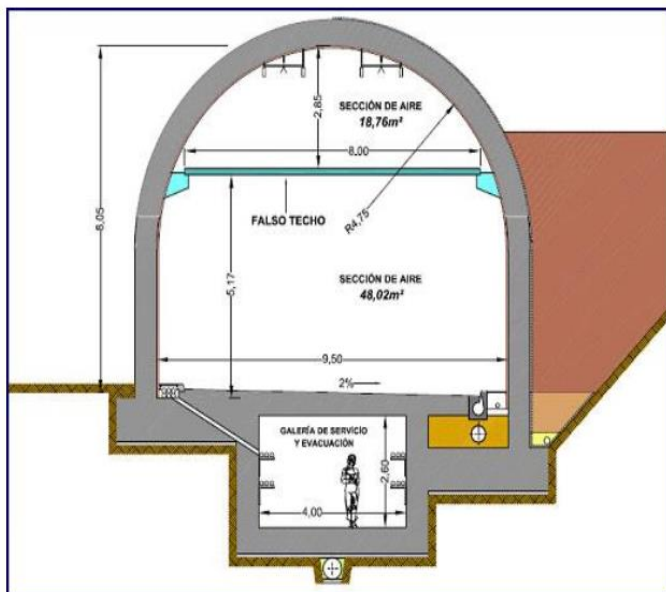
- شکل زیر میزان قابلیت دید بعد از ۴۰۰ ثانیه از شروع آتش در کف تونل نشان می دهد (با سیستم تهویه یکسان).



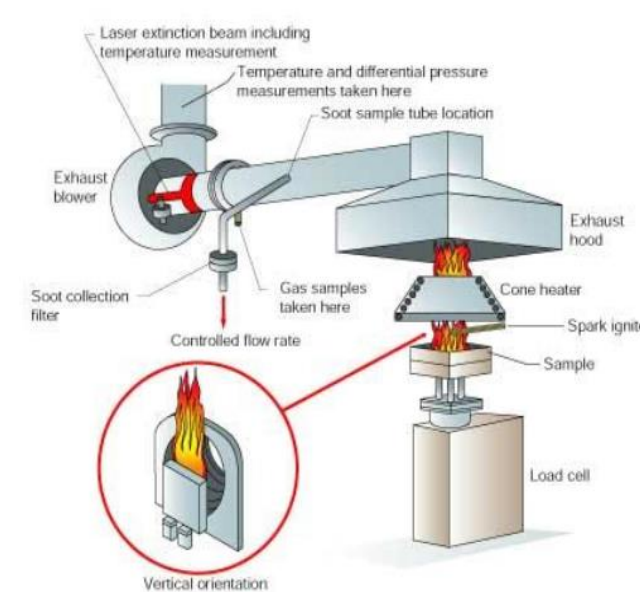
Differences in visibility depending on the type of pavement

پروژه PAVIREX : مقیاس عملکرد اسفالت های اصلاح شده در برابر آتش مخلوطهای آسفالتی

* ارزیابی عملکرد مقاومت در برابر آتش مخلوطهای آسفالتی در مقیاسهای آزمایشگاهی و میدانی در تونل آزمایشی *San Pedro de Anes test* در اسپانیا در یک دوره مطالعاتی 4 ساله جهت ارزیابی مقاومت روسازی آسفالتی در برابر آتش و نیز استفاده از مواد افزودنی مقاوم کننده در برابر آتش



نمای تونل آزمایشی و مقطع عرضی آن

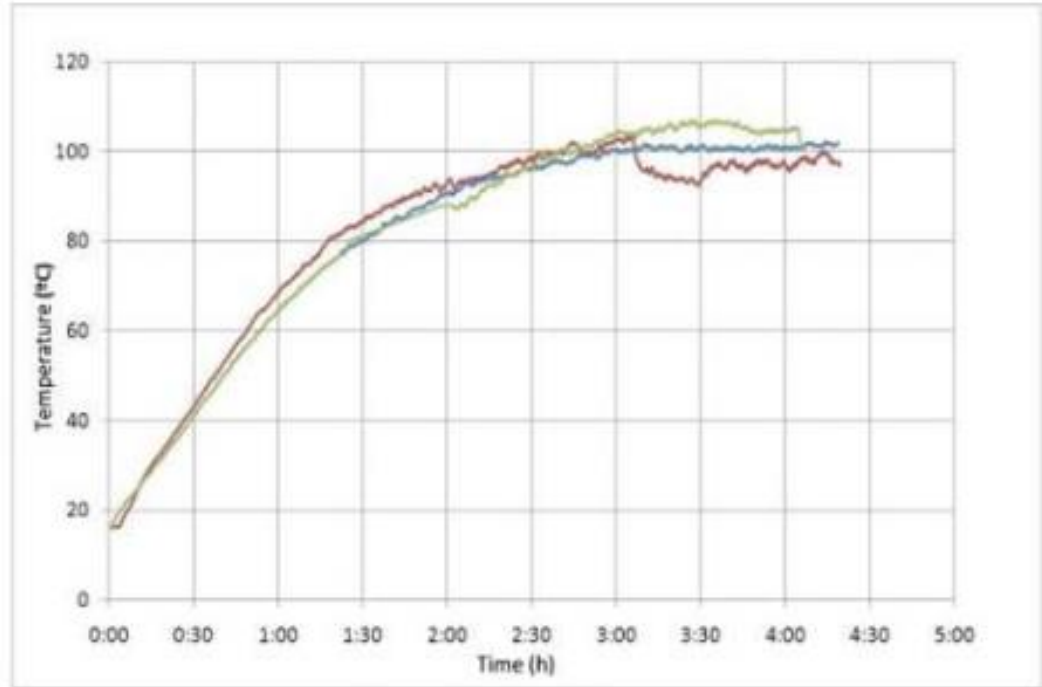
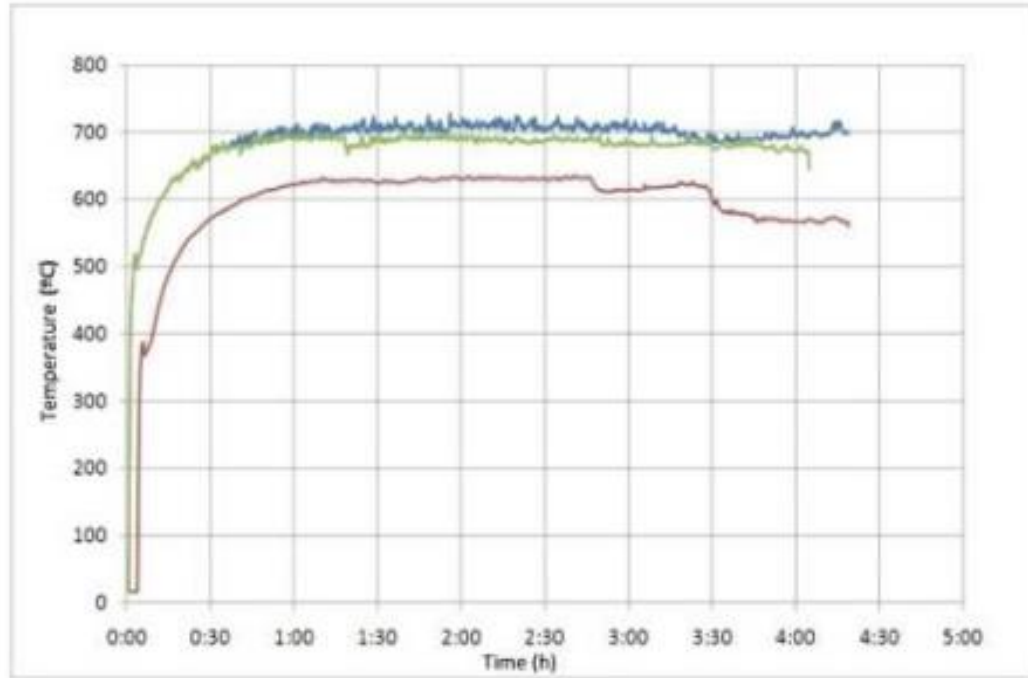


دستگاه تست cone calorimeter

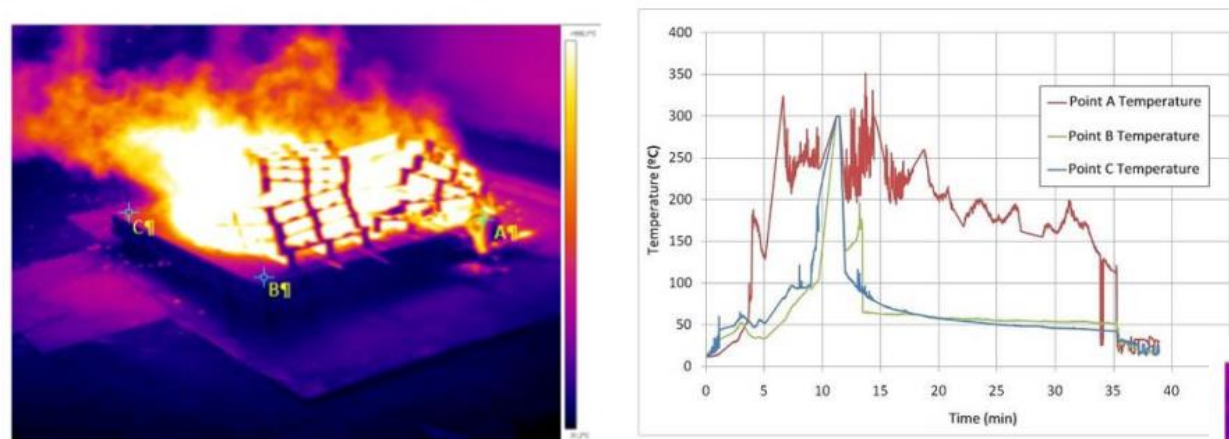
اهداف مطالعه : ارزیابی عملکرد مواد ضد آتش در روسازیهای آسفالتی و شناخت تاثیر آتش بر روسازیهای آسفالتی

پارامترهای مورد مطالعه:
تأثیر منبع آتش بر پارامترهای گسترش آتش در تونل
نرخ رهایش حرارتی و بیشترین میزان رهایش حرارت زمان شروع سوختن
نرخ افت وزنی و میزان بیشترین کاهش وزن نهایی
میزان گسترش حرارت
میزان و نوع دود حاصله





Temperature vs time. Nearest flame sensor (left) and No. 5 sensor (right). Additive-free sample (red), additive 1.0% (blue) and additive 1.4% (green).



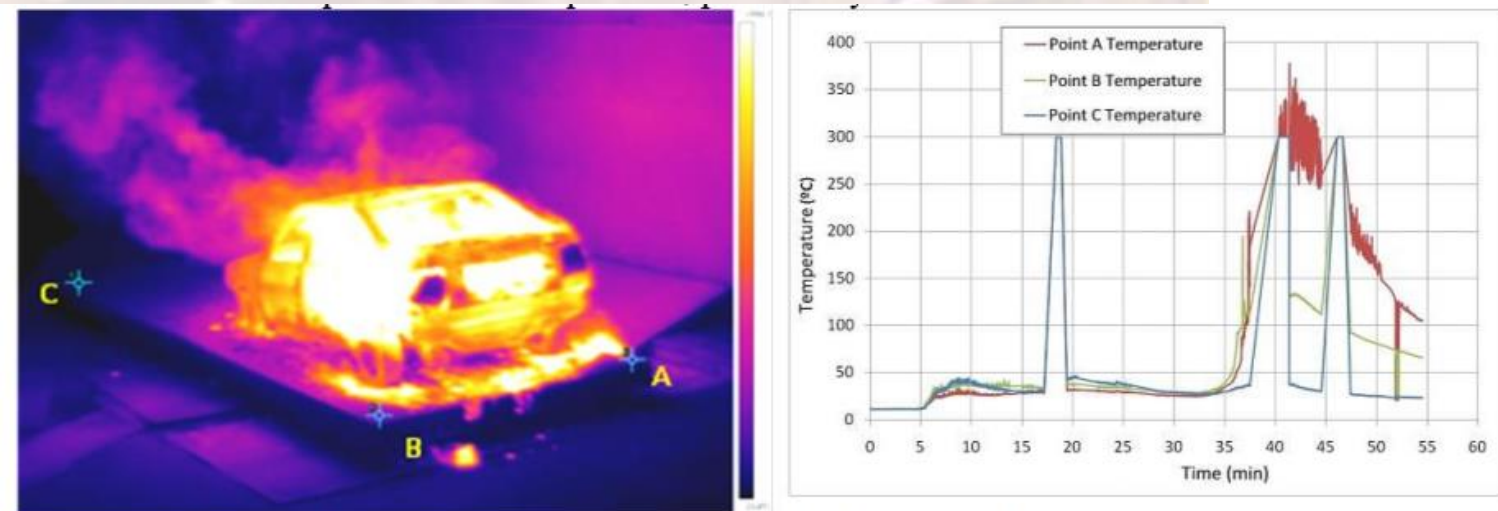
Evolution of the surface temperature of the sample with no fire retardant



منبع آتش بار چوب



Evolution of the surface temperature of sample.

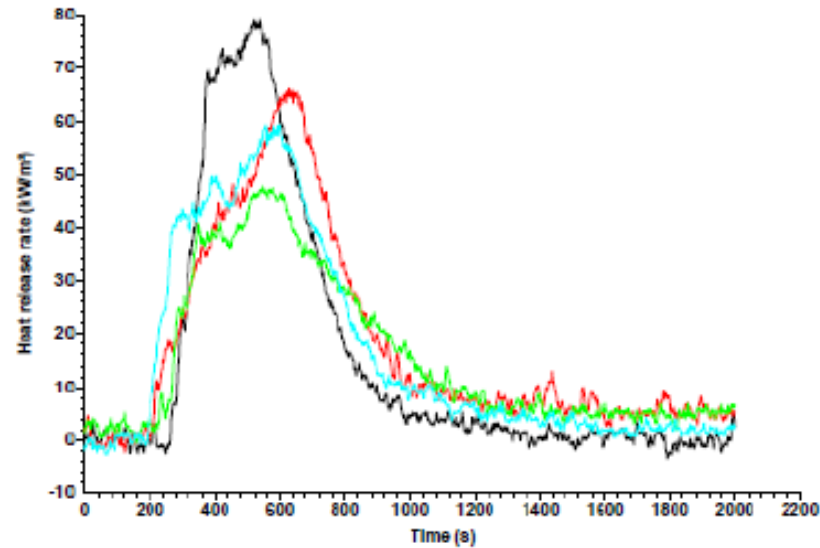


Evolution of the surface temperature of the bituminous mixture in the test with a burning car.



منبع آتش منبع آتش خودرو

حرارت آزاد شده



Heat release rate curves of the reference material (black) and the specimens with different flame retardant dosage: 1.4% (blue), 1% (green) and 0.7% (red).

میزان گاز های تولیدی

Table 1: Smoke density chamber results related to opacity.

Flame retardant Content (%)	t_{ig} (s)	t_{fo} (s)	$DS_{(4min)}$ (dimensionless)	DS_{max} (dimensionless)	Time to DS_{max} (s)	VOF_4 (min)
0.0	-	-	29.1	608.0	797	28.3
0.7	389	END	41.5	343.5	780	44.9
1.0	-	-	45.1	619.8	1200	41.4
1.4	not registered	END	45.0	410.7	914	46.5

Ds Vs Time

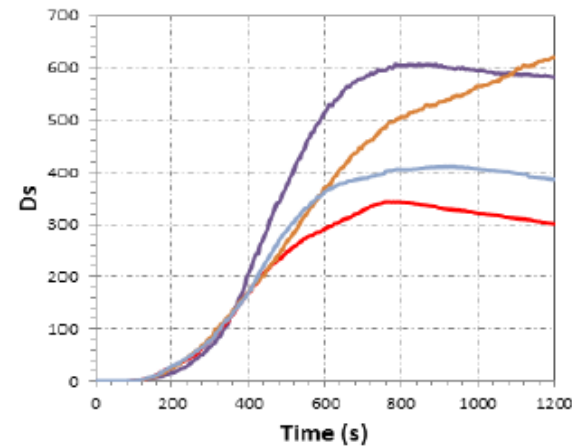


Figure 3: Ds-time curves evolution of the reference material (purple) and the specimens with different flame retardant dosage: 1.4% (blue), 1% (orange) and 0.7% (red).

میزان سمی بودن گاز ه های تولیدی

$$CIT_G = 0,0805 \times \sum_{i=1}^{i=8} \frac{c_i}{C_i}$$

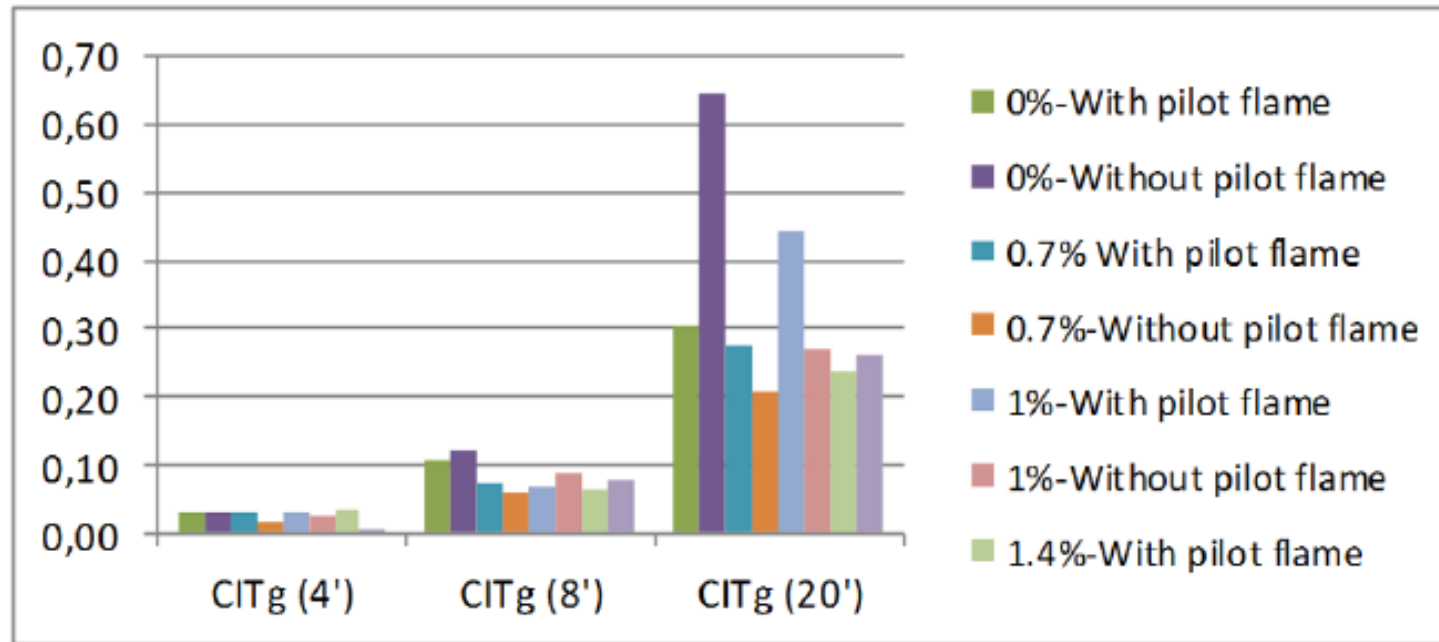


Figure 4: CITg values obtained during combustion process.



پارامترهای مورد مطالعه:

تأثیر مواد کنترل کننده آتش (فوفینات، هیدروکسید منیزیم، هیدروکسید آلومینیوم و پلی فسفریک اسید کاملاً بر کنترل پارامترهای موثر در گسترش آتش سوزی مشهود بود

آسفالتهای دارای مواد افزودنی مقاوم در برابر آتش دچار افت وزنی کمتری در اثر سوختن شده اند.

میزان سمیت گازهای تولیدی در اثر آتش سوزی در حدود رایج و کمتر از بحرانی بود

هیچ گونه گسترش آتش از منبع به محیط اطراف در اثر وجود لایه های آسفالتی مشاهده نگردید

روسازی آسفالتی می تواند گزینه مناسبی برای بکارگیری در روکش جاده های درون تونلها باشد.

توصیه کشورها

- اتریش از سال ۲۰۰۱ استفاده از اسفالت را برای تونل های بیش از یک کیلومتر ممنوع کرده است.
- در مقابل آلمان مدعی است که اتریش دلیل قانع کننده ای برای ممنوعیت استفاده از رویه اسفالت ندارد
- اسپانیا از سال ۲۰۰۶ برای تونل های بیش از ۱۰۰۰ متر استفاده از روسازی بتنی اجباری نموده است (بجز در مواردی که دلایل قانع کننده باشد)
- چین پیشنهاد می کند در صورت استفاده از پوشش اپوکسی می توان رویه اسفالتی را غیر قابل اشتعال کرد

- کمیته تونل انجمن جهانی راه PIARC اظهار می دارد که رویه آسفالتی نقش قابل ملاحظه ای در گسترش آتش در تونل بویژه در فاز اول که تخلیه افراد صورت می گیرد ندارد.
- همچنین انجمن روسازی آسفالتی اروپا بر این عقیده است که طبق استاندارد

EN 13501-1 Fire classification of construction product and building, part 1

آسفالت جزو مصالح مقاوم در مقابل آتش می باشد

طراحی روسازی برای تونل ها

• روال طراحی روسازی متفاوتی با روسازی خارج تونل نمی کند

ملاحظات در طراحی روسازی آسفالتی در تونل

- در روسازی های آسفالتی در صورت وجود بستر سنگی آزمایش FWD می تواند در تعیین مدول بستر مفید باشد
- PG قیر مورد استفاده در تونل ممکن است با آن در خارج از تونل متفاوت باشد
- تعدادی از کشورها جداولی برای طراحی روسازی در تونل ها دارند. بطور مثال اطریش جدول زیر را برای روسازی آسفالتی ارائه می دهد:

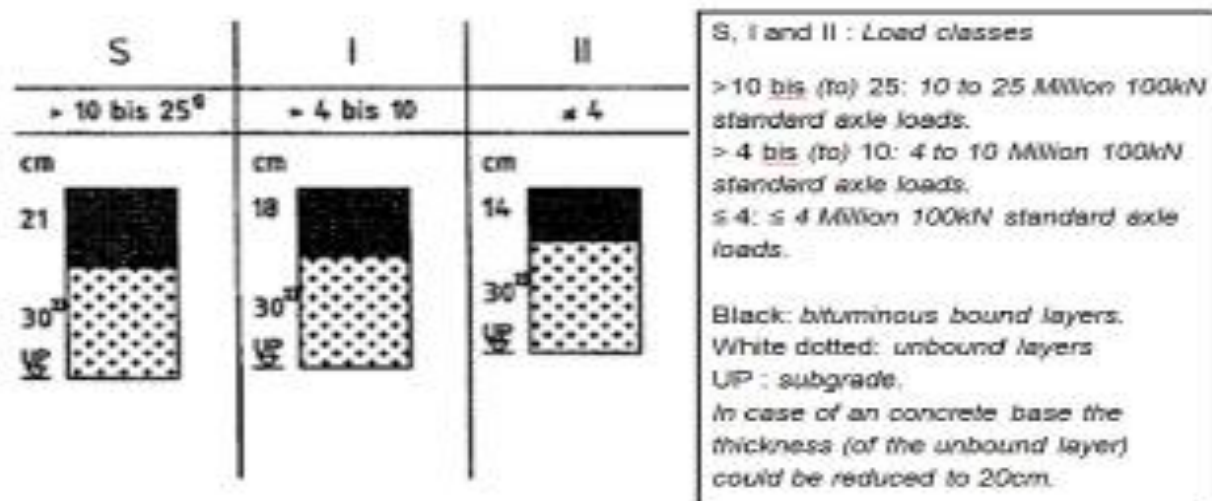
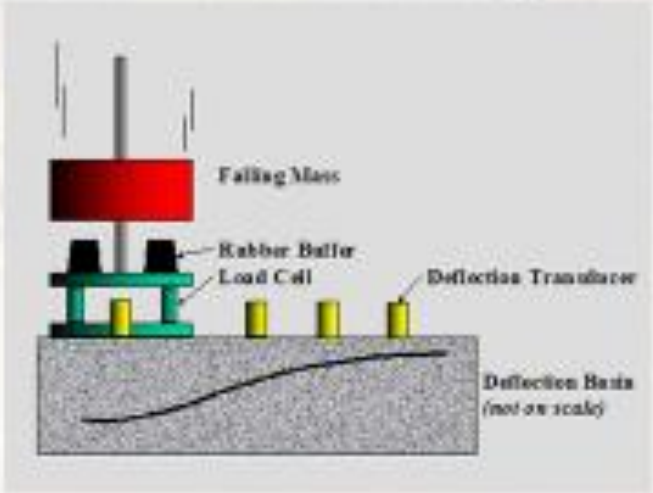
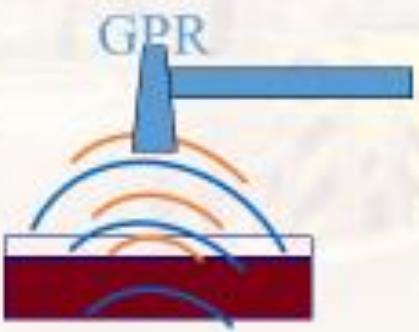


Figure 1: Asphalt layer thicknesses in Tunnels (RVS [2])

The base of the asphalt wearing and base course is an unbound layer of 30cm thickness.

FWD



ملاحظات در طراحی روسازی بتنی در تونل

• با توجه به گرادیان کمتر دما و فقدان بارندگی در داخل تونل ها تنش های ناشی از CURLING و WARPING کاهش می یابد (مگر اینکه سیستم تهویه تونل تاثیر گذار باشد)

• امکان افزایش فاصله درزهای انقباضی در تونل وجود دارد

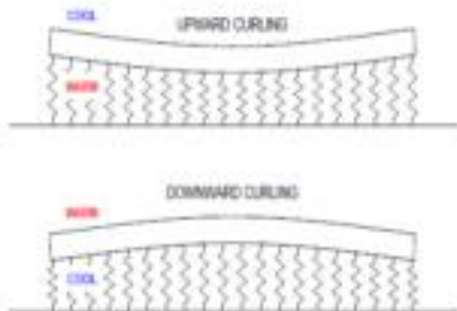
• معمولا به علت سختی بالاتر کف تونل ها نسبت به خارج از تونل، ضخامت روسازی تا ۲۵ درصد کاهش یابد (نمونه: آزاد راه تهران - شمال)

جدول خلاصه نتایج آزمایش بارگذاری صفحه ای						
Km 31 + 800 روی سابگرید اجرا شده		Km 26 + 600 روی سابگرید اجرا شده		Km 22 + 300 روی بتن مگر داخل تونل		کیلومتر
33.06 kg / cm ³	1223 Pci	24.79 kg / cm ³	917 Pci	-	-	1.25 mm نشست
-	-	-	-	28.84 kg / cm ³	1067 Pci	مدول عکس العمل بستر در (۱) 68.9 kPa تنش وارده
31.27 kg / cm ³	1157 Pci	25.10 kg / cm ³	929 Pci	83.67 kg / cm ³	3096 Pci	مدول سکانتی عکس العمل بستر در فشار (۲) 3.5 kg / cm ²
49.65 kg / cm ³	1837 Pci	42.17 kg / cm ³	1560 Pci	166.67 kg / cm ³	6167 Pci	مدول سکانتی عکس العمل بستر در فشار (۳) 7 kg / cm ²

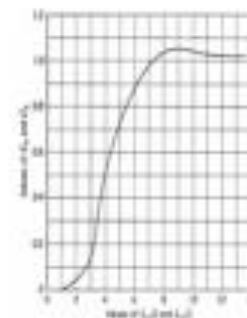
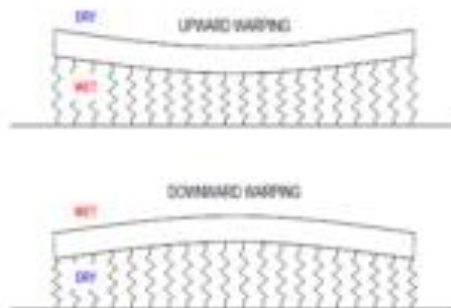
ملاحظات در طراحی روسازی بتنی در تونل

تنش های ناشی از Curling و Warping (رطوبت)

Temperature Curling



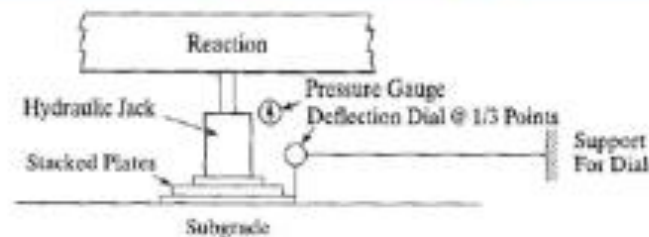
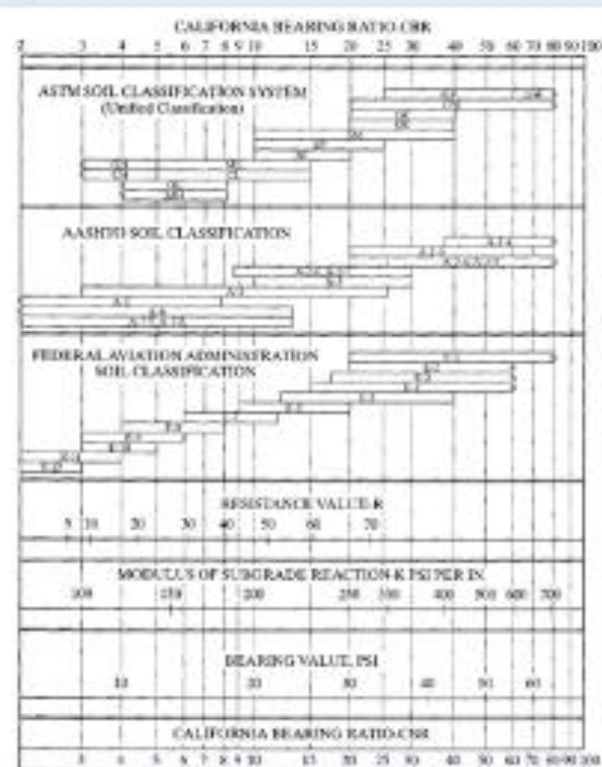
Moisture Warping



$$\sigma_{x,y} = C_1 \frac{E \alpha \Delta T}{2}$$

ملاحظات در طراحی روسازی بتنی در تونل

تعیین ضریب عکس العمل خاک بستر

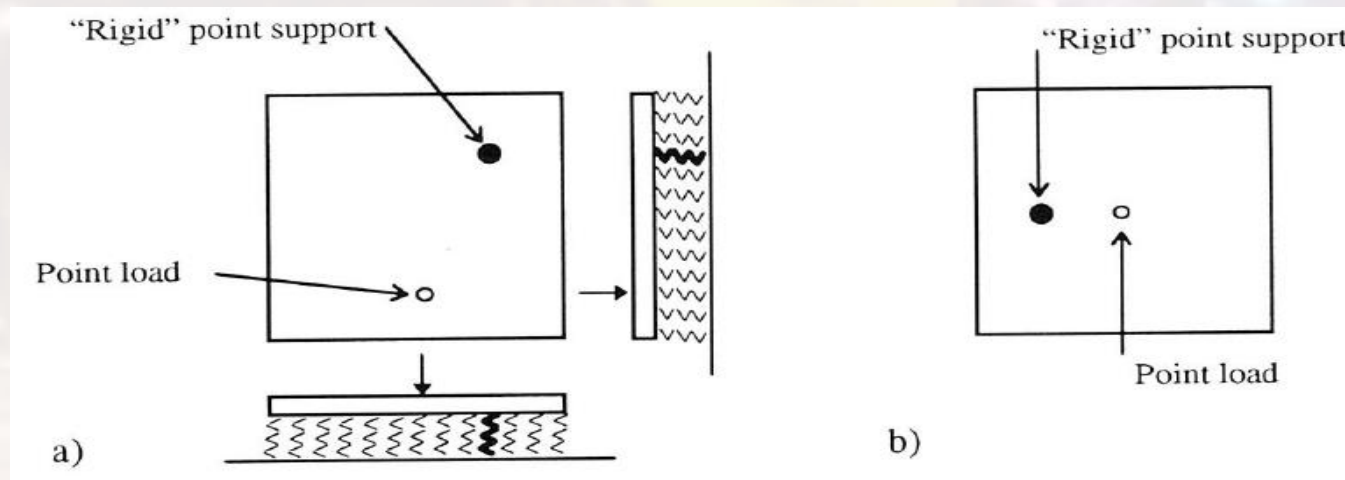


$$k = \frac{P}{\Delta}$$

ملاحظات در طراحی روسازی بتنی در تونل

• تاثیر ناهمواری در کف تونل

- در یک مدل تحلیلی دال بر روی تکیه گاه وینکلر مدل شد و به منظور شبیه سازی برآمدگی بستر، سختی یک فنر ۱۰۰ برابر سختی سایر فنرها فرض گردید و با موقعیت های مختلف چرخ مدلسازی صورت گرفت، تنش در دال از ۳ درصد تجاوز نکرد

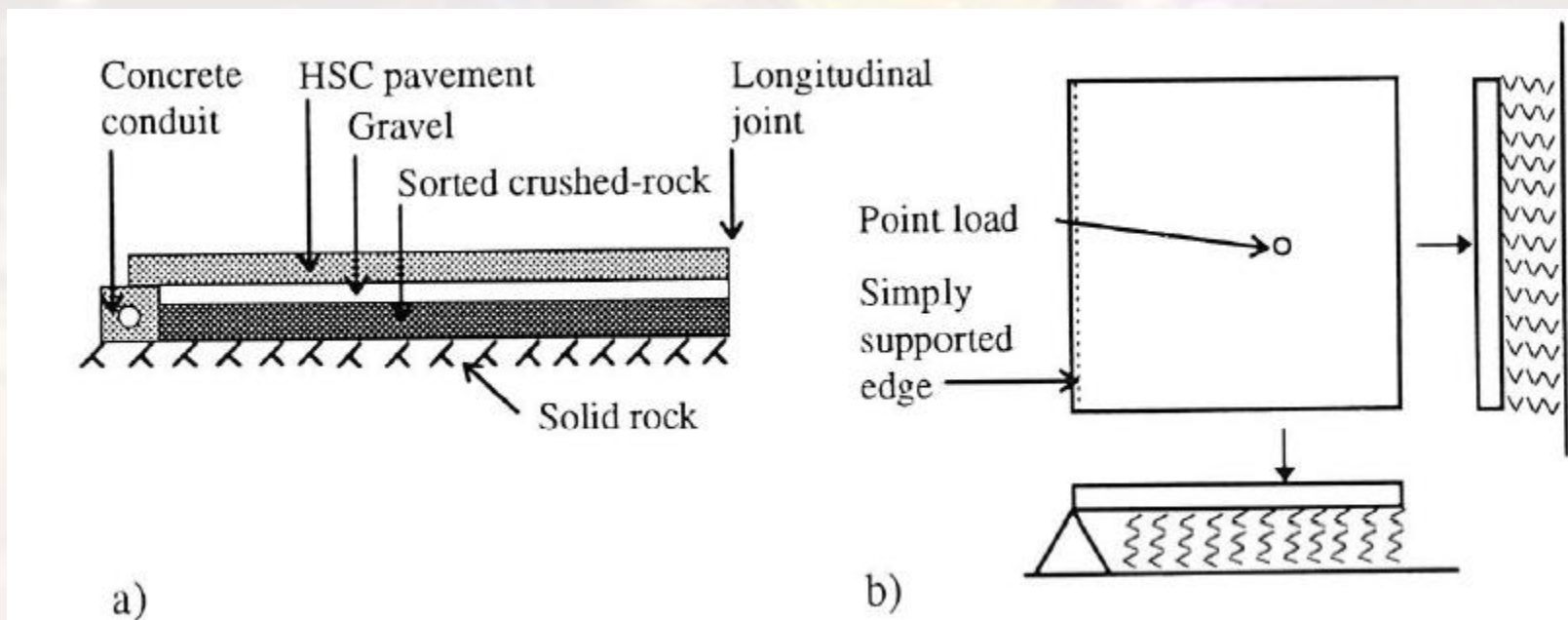


Model of concrete pavement on Winkler foundation (a) and example of load and support location giving 3 % increased flexural stress

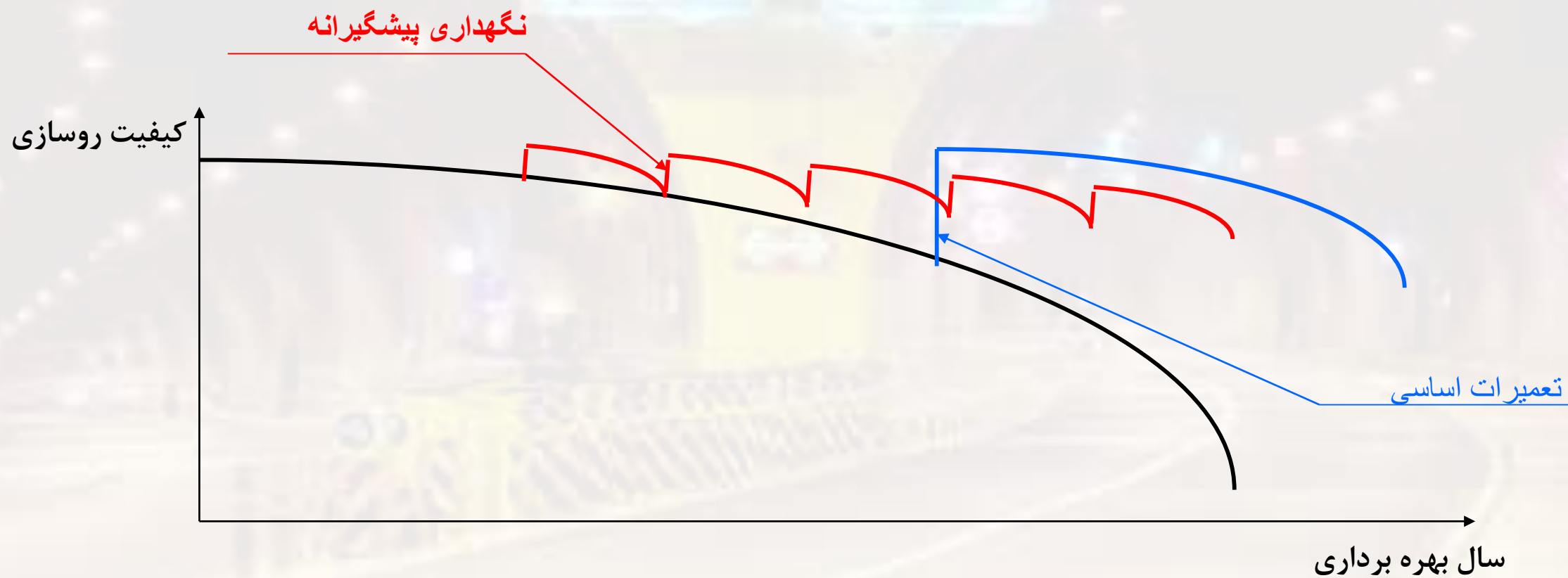
ملاحظات در طراحی روسازی بتنی در تونل

• تاثیر کانال تاسیسات در طراحی روسازی

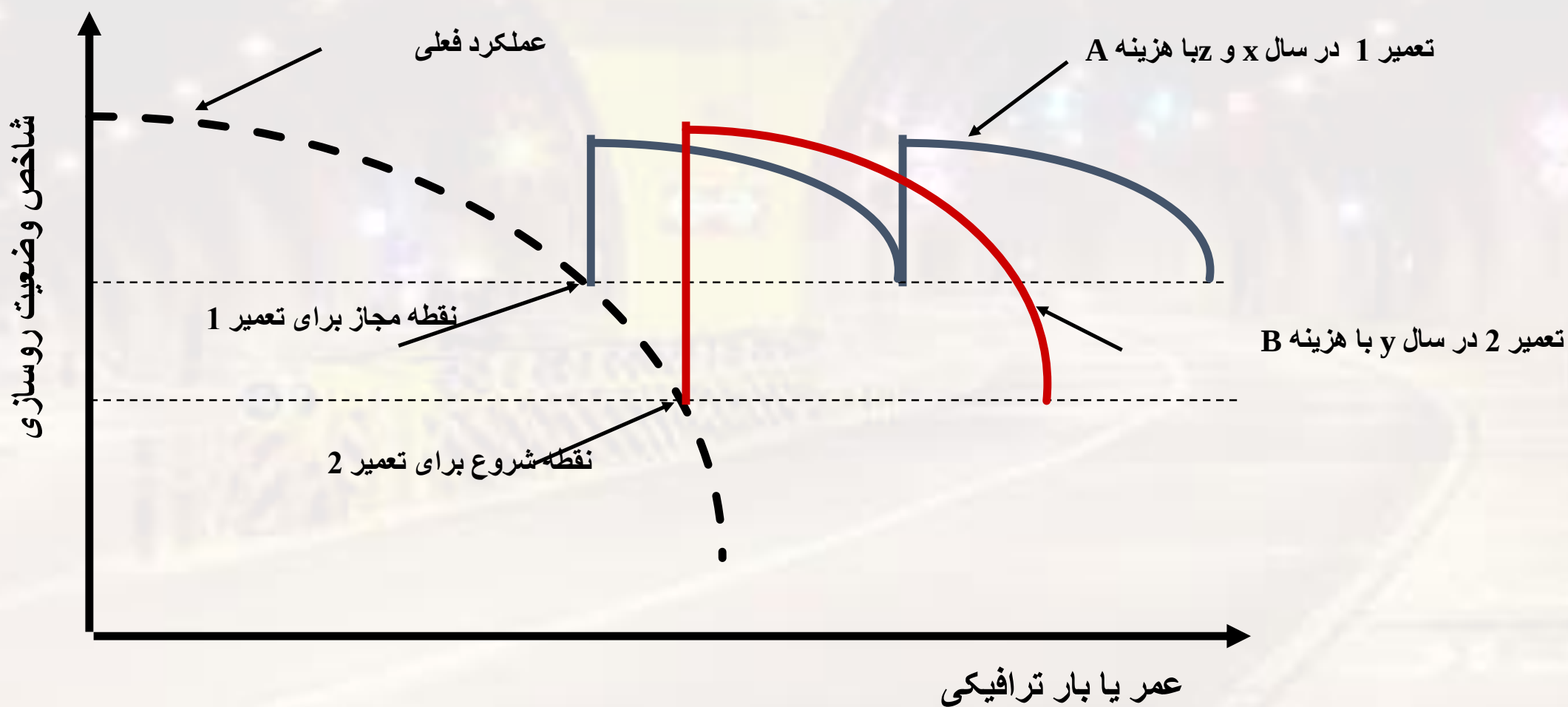
- در استکهلم در یک مدل سازی روسازی بتنی یک سر دال به صورت ساده روی کانال قرار گرفت و بقیه دال بر روی تکیه گاه وینکلر، تغییری در تنش های خمشی حاصل نشد



هزینه چرخه عمر



گزینه های تعمیر در اولویت بندی چندساله



مقایسه هزینه (۹ متر عرض) - هزینه چرخه عمر

هزینه تجمعی	هزینه	فعالیت	بتنی (سال)
153,378	\$153,378	ساخت	0
158,933	5,555	درز گیری	15
175,600	16,667	5 سانتی متر روکش	30
187,100	11,500	درزگیری و سیل کت	40
\$340,478	153,378	بازسازی	45

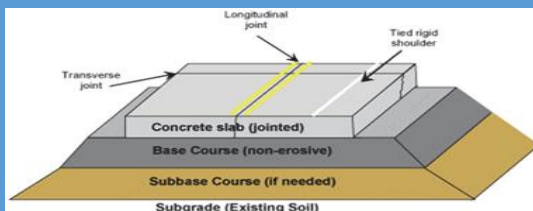
هزینه تجمعی	هزینه	فعالیت	آسفالتی (سال)
\$127,122	\$127,122	ساخت	0
137,122	10,000	درزگیری و سیل کت	8
153,789	16,667	5 سانتی متر روکش	14
165,289	11,500	درزگیری و سیل کت	20
292,411	127,122	بازسازی	24
302,411	10,000	درزگیری و سیل کت	32
319,078	16,667	5 سانتی متر روکش	38
330,578	11,500	درزگیری و سیل کت	44
\$457,700	127,122	باز سازی	48

$$\$P = \$F \times \left(\frac{1}{(1+i)^n} \right)$$

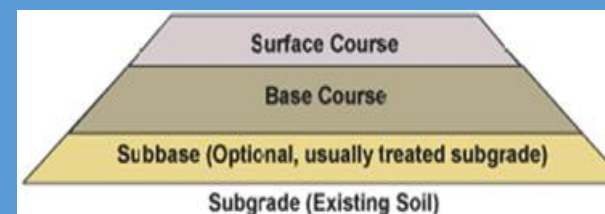
p = ارزش فعلی، F = هزینه فعلی آن بهسازی، i = نرخ تنزیل،

n = سالی که در آن آن بهسازی انجام می شود

روسازیهای آسفالتی



روسازیهای بتنی



هزینه احداث اولیه کمتر و تعمیر و نگهداری بالاتر (سادگی عملیات اجرا)؟؟

هزینه احداث اولیه بالاتر و تعمیر نگهداری کمتر (تخصص و ماشین آلات پیشرفته احداث)

اجرای یکپارچه بدون نیاز به درز و جلوگیری از ورود آب به لایه های زیرین

وجود درزهای اجرایی در اغلب انواع آنها

عمر کوتاه (10 تا 15 سال)

عمر طولانی مدت (30 سال)

امکان بازشدن ترافیک عبوری حداکثر تا 24 ساعت پس از اجرا

زمانبر بودن امکان بازشدن ترافیک در احداث و تعمیر (زمان تکمیل عمل آوری)

عدم قابلیت انعکاس و وضوح در تاریکی و برعکس راحتی چشم به دلیل عدم درخشندگی در آفتاب

قابلیت انعکاس نور بیشتر و وضوح بالاتر در تاریکی و برعکس ایجاد خیرگی و خستگی چشم در شرایط آفتابی/

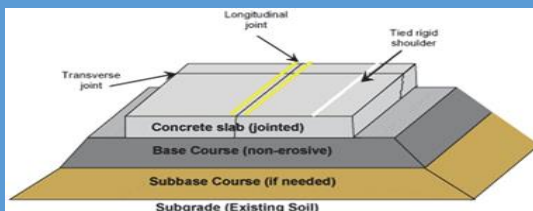
راحتی عملیاتیهای کننده کاری و یا عبور تاسیسات

سختی عملیاتیهای اجرای وصله و یا عبور تاسیسات

ضعف در برابر مواد حلال و سوختی

مقاومت در برابر ریزش سوخت، روغنها و مواد حلال

روسازیهای آسفالتی



تشکیل شده از لایه های متعدد و متنوع

انعکاس نواقص موجود در لایه های تحتانی به سطح

رفتار روسازی در برابر تحمل بار ترافیکی به رفتار اندرکنش سنگدانه ها وابستگی زیادی دارد و وابستگی به کیفیت بستر

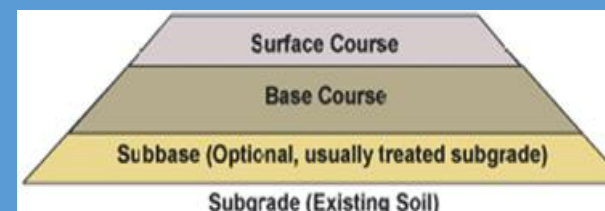
پارامتر اساسی در طراحی ضخامت مقاومت خاک بستر CBR و مدول برجهندگی

تاثیر بسیار زیاد ناهمگنی لایه های در ظرفیت باربری و عملکرد (خطای زیاد در طراحی به دلیل تقریب)

میزان کمتر تاثیر تنشهای حرارتی در وقوع خرابیهای در مقایسه با تاثیر بار نسبت به بتن

امکان خود ترمیمی و یا برگشت تغییر شکلهای موضعی به دلیل رفتار ویسکوز قیر

روسازیهای بتنی



تشکیل شده از لایه های محدود

قابلیت Bridging بر روی خرابیهای تحتانی و پوشش کردن نواقص نشست و حفره در مدت زمانهای نامعین

عملکرد سازه های دال گونه و تحمل بار توسط مکانیسم مقاومت خمشی

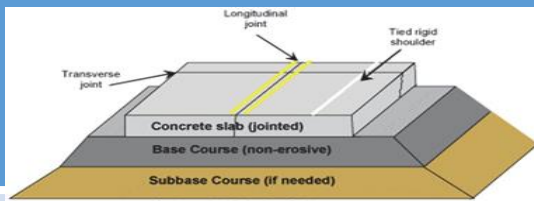
محوریت مقاومت خمشی بتن در طراحی ضخامت (مناسب برای نواحی با خاک بستر نامناسب)

عملکرد صلب پنهانهای روسازی و توزیع بار در نواحی گسترده تر

تاثیر زیادتیر وقوع تنشهای حرارتی بر وقوع خرابیها در مقایسه با اعمال بار ترافیکی (ضرورت کنترل دوام)

عدم برگشت پذیری خرابیها و ماندگاری تغییر شکلهای ایجادى به صورت نشست توام با ترک، خزش، پانچ و یا کنده شدن

روسازیهای آسفالتی

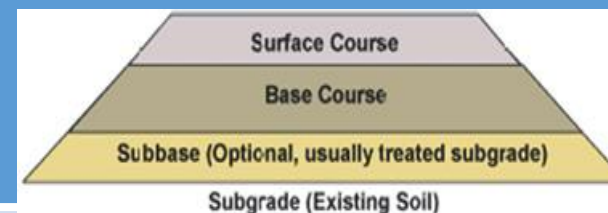


مقاومت لغزندگی و زبری سطح بیشتر (اسفالت های خاص مثل SMA و..)

کیفیت راحتی سواری دهی بیشتر و تولید صدای عبور چرخ کمتر

مقاومت کمتر در مقابل آتش

روسازیهای بتنی



مقاومت لغزندگی کم و کاهش زبری سطح (اصلاح با روش grinding)

کیفیت راحتی سواری دهی کمتر و صدای عبور چرخ بیشتر

مقاومت بالا در مقابل آتش

از حسن توجه شما سپاسگزارم
moghadas@aut.ac.ir

