

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشگاه آزاد اسلامی کرمان  
دانشکده فنی و مهندسی  
گروه عمران

موضوع:

## آسفالت بتنی

(معایب، محاسن، روش های اجرا و استفاده)



گردآورنده: امین فردوسی

تابستان ۱۳۹۱

## فهرست

۴.....	مقدمه.....
۵.....	تاریخچه و معرفی روسازی بتنی.....
۷.....	معایب آسفالت.....
۱۱.....	معایب رویه های بتنی در مقایسه با لایه های آسفالتی.....
۱۲.....	موارد کاربرد رویه های بتنی.....
۱۳.....	دلایل استفاده از اساس در روسازی بتنی.....
۱۴.....	انواع روسازی بتنی.....
۱۴.....	روسازی بتنی غیر مسلح (ساده) درز دار.....
۱۵.....	روسازی بتنی مسلح درز دار.....
۱۶.....	روسازی بتنی بدون درز (پیوسته).....
۱۷.....	روسازی بتنی مسلح با الیاف.....
۱۸.....	روسازی بتنی مسلح پیش تنیده.....
۱۸.....	روسازی بتنی غلتکی.....
۱۹.....	تاریخچه روسازی بتن غلتکی.....
۲۱.....	مصالح و نسبت های اختلاط برای RCC.....
۲۳.....	عملکرد روسازی های RCC.....
۲۵.....	روسازی بتنی بلوکی.....
۲۶.....	مقایسه روسازی بلوکی با روسازی بتن سیمانی.....
۲۹.....	استفاده از روسازی بلوکی در روسازی فرودگاه.....
۳۱.....	مصالح روسازی بلوک بتنی فرودگاه.....
۳۶.....	روسازی مرکب.....
۳۶.....	دلایل اجرای روسازی مرکب.....
۳۸.....	فاکتورهای عملکردی.....
۳۹.....	منابع.....

## مقدمه:

با توجه به افزایش سطح تولید سیمان در کشور و روند رو به افزایش آن و توجه به اینکه امکان صادرات کامل محصول مازاد سیمان کشور به سهولت میسر نیست، لازم است در زمینه کاربردهای جدید سیمان در کشور بازاندیشی نماییم تا بتوانیم برای سیمان اضافی موجود در بازار در حال و آینده زمینه مصرف مناسبی فراهم آوریم. یکی از زمینه های کاربرد پر مصرف سیمان، که در کشور ما از آن استفاده نشده است، کاربرد سیمان در جاده سازی و به عبارت دیگر احداث جاده های بتنی است. با توجه به عملکرد نامناسب آسفالت در بسیاری از جاده های کشور به نظر می رسد مطالعه و بررسی در این زمینه ضروری باشد.

## ورود:

ارزانی و فراوانی سیمان، همراه با گران شدن قیر و کیفیت پائین آسفالت جاده ها، این فرصت را بوجود آورده است تا بتوان بتن راجایگزین (همراه) آسفالت نمود.

## سابقه:

با نگاه به تاریخ جاده سازی در جهان و به خصوص در ایران و بررسی کیفیت جاده هایی که از سنگ و ساروج ساخته شده بودند، همگی حکایت از دوام و کارایی آن در شرایط متفاوت آب و هوایی می کرد.

## تعریف بتن:

اختلاط، با ترکیب مناسبی از سیمان، سنگدانه و آب را بتن گویند.

## تعریف آسفالت:

اختلاط، با ترکیب مناسبی از قیر و سنگدانه را آسفالت گویند.

ملاحظه می شود که با همه تفاوت هایی که از حیث تامین مواد اولیه و فراوری آنها وجود دارد، اما از بسیاری جهات شبیه یکدیگرند. امروزه بتن و محصولات آن، سنگ با اشکال گوناگون، آسفالت با انواع خواص در احداث جاده ها و خیابان ها، در بزرگراهها و پیاده روها، گاه حضوری پایاپای و مکمل هم دارند.

متأسفانه در کشور ما ایران، در تمام سالهای سازندگی، بعلت کمبود و گرانی سیمان و همزمان ارزانی و فراوانی قیر و گازوییل، همراه با سهولت اجرا، باعث گردید تا بجای استفاده صحیح و مناسب از سه عنصر عمده راهسازی، عملاً فقط آسفالت را تنها بکار بگیریم. اما واقعیت این است که راهسازی، بدون استفاده از بتن و سنگدانه (شکسته و یا شکل داده) ناقص و فاقد کارایی است. نتیجه همین است که امروز انواع آسیب ها و نقصان ها را در تمام جاده ها و معابر برون شهری و درون شهری ملاحظه می نماییم.

## تاریخچه و معرفی روسازی بتنی

تاریخ استفاده از روسازی بتنی به راه های ساخته شده در امپراطوری روم و ایران برمی گردد. آنها بلوک های پوششی که به ندرت برای این کار مناسب بودند را بر روی اساس دانه ای قرار می دادند. استفاده از رویه های سنگی به عنوان روسازی در قرون هفدهم، هجدهم و نوزدهم در ایران و اروپا رواج داشت. به عنوان مثال یکی از سیاحان اروپایی به نام کن هربرست که در سال ۱۶۲۲-۱۶۲۷ در ایران بود مسافرت خود را از قزوین به اصفهان این گونه توصیف می کند، تمام مسیر را از راه سنگ فرش شده ای گذشتیم که عرض آن برای عبور ده اسب کافی بود. این جاده با زحمت و مرارت زیاد و صرف هزینه های سرسام آور در قسمتی از صحرای بزرگ بنا شده و همچنین در همان زمان دریالت مازندران به تنهایی ۲۷۰ کیلومتر از این نوع جاده وجود داشت. تا اینکه در قرن بیستم نوع جدید این روسازی ها که از جنس بتن با یک رواداری دقیق به منظور حصول اطمینان از قفل شدگی بود، ساخته شد. در هلند، در اواخر سال ۱۹۴۰ میلادی پوشش های بتنی توسعه پیدا کرد و جایگزین آجرهای رسی که برای فرش کردن خیابان ها استفاده می شد، گردید.

آداب و رسوم قدیمی و چند هزار ساله استفاده از سنگ فرش مانع از گسترش سریع روسازی بتنی بود. اما اکنون استفاده از این نوع روسازی بتنی تبدیل به امری عادی گشته که سالانه میلیون ها متر مربع از این گونه روسازی ساخته می شود.

ورود رویه های بتنی از نوع بلوک های قفل شونده به آمریکای شمالی در سال ۱۹۷۰ میلادی بوده است. در آمریکا این رویه ها را به طور موفقیت آمیز در تعدادی از مناطق مسکونی، تجاری، تسهیلات شهری نظیر پیاده روها و خیابان ها، بنادر و فرودگاه ها به کار برده شده است.

هدف:

هدف از طراحی روسازی فراهم آوردن یک ترکیب سازه ای بر روی مسیر حرکت جهت انتقال ترافیک عبوری به صورت ایمن، یکنواخت و کارآمد می باشد. به طور کلی روسازی ها به سه دسته: صلب، انعطاف پذیر و مرکب تقسیم می شوند.

مهندسی روسازی در بر گیرنده مباحث زیر می باشد :

۱- مواد تشکیل دهنده لایه های روسازی

۲- تحلیل سازه ای روسازی

۳- طراحی روسازی

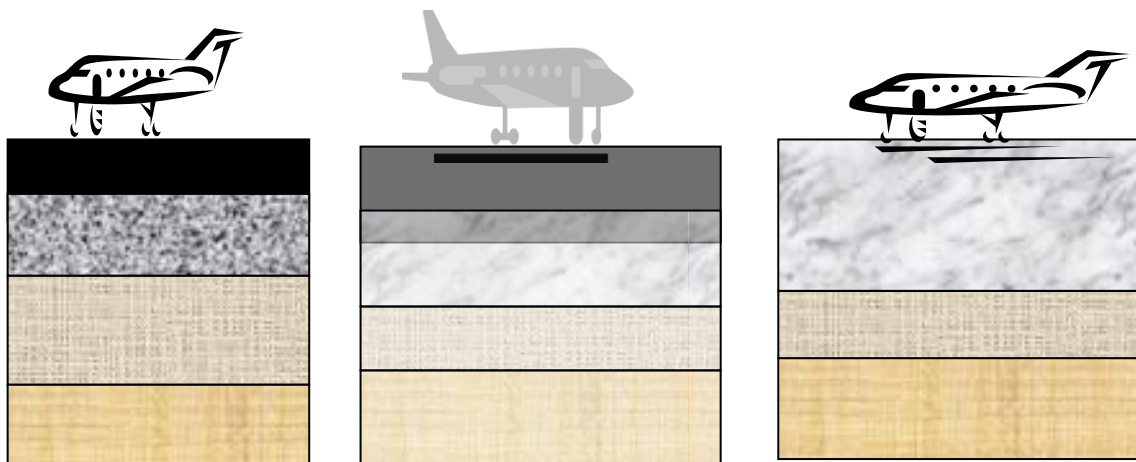
۴- نگهداری و نوسازی روسازی

۵- سیستم های مدیریت روسازی

اجزای تشکیل دهنده روسازی صلب از بالا به پایین شامل : رویه بتنی ، زیر اساس تثبیت شده و بسترتثبیت شده می باشد . که در شکل ۱ نشان داده شده است .

اجزای تشکیل دهنده روسازی انعطاف پذیر شامل : رویه بتن آسفالتی ، اساس تثبیت شده ، زیر اساس تثبیت شده و بسترتثبیت شده می باشد . که در شکل ۲ نشان داده شده است .

اجزای تشکیل دهنده روسازی مرکب شامل : روکش آسفالتی بر روی یک سیستم صلب می باشد . که در شکل ۳ نشان داده شده است .



شکل ۱- سیستم صلب

شکل ۲- سیستم انعطاف پذیر

شکل ۳- سیستم مرکب

## معایب آسفالت:

نشست، ترک، روراندگی، موج برداشتن، روان شدن قیر، جدا شدن سنگدانه، قیر رفتگی، آسفالت کندگی، چاله شدن، آبگرفتگی، خشن شدن سطوح جاده ها و غیره که این معایب خود باعث:

از دست رفتن منابع ملی، استهلاک سریع وسایط نقلیه و ناوگان حمل و نقل، مخاطرات و تصادفات جاده ای، کندی حرکت و افزایش بار ترافیکی، افزایش هزینه های نگهداری و غیره که همگی ناشی از چنین روش اجرایی و سهل انگاری در روش اجرایی است. طبعاً آثار و عواقب اقتصادی و اجتماعی آن غیر قابل محاسبه و جبران است. کاربرد بتن و سنگ، کارایی و دوام آسفالت را دو چندان و بسیاری از عیوب آنرا مرتفع می سازد.

## خواص مطلوب آسفالت:

- ۱- نرمی در حرکت و آسایش راننده
- ۲- روانی حرکت خودرو و سهولت چرخش و حرکت لاستیک، همراه با استهلاک کمتر
- ۳- تجانس قیر با آسفالت
- ۴- انعطاف و شکل پذیری (الاستو پلاستیسیته) در زیر عبور چرخ

## خواص مطلوب بتن و سنگ:

- ۱- مقاومت مکانیکی و تحمل فشار و بار ترافیکی
- ۲- مقاومت مکانیکی و تحمل کشش ناشی از تحرک و جابجایی زیر سازی
- ۳- عدم جدا شدن سیمان و سنگدانه، در صورت طرح اختلاط درست و اجرای مطلوب
- ۴- چسبندگی خوب با زیر سازی، بعلا تجانس با خاک
- ۵- مقاومت خوب حرارتی در نوسانات حرارتی شب و روز و در طول سال (ظرفیت حرارتی بالا)

## ضعف آسفالت:

- ۱- شکنندگی قیر در سرمای زیاد و روانی در گرمای زیاد و آسیب آسفالت در هر دو حالت (ظرفیت حرارتی کم)
- ۲- چسبندگی کم به زیر سازی (قیر پاشی کفایت از این ضعف نمی آند)
- ۳- مقاومت کم مکانیکی در تحمل فشار و کشش بار ترافیکی
- ۴- مقاومت کم مکانیکی در تحمل کشش ناشی از جابجایی زیر سازی

**ضعف بتن:**

- ۱- لزوم طرح اختلاط و اجرای مناسب با شرایط آب و هوایی و جلوگیری از ترک خوردگی
- ۲- روانی کم در حرکت خودرو و لغزیدن لاستیک

چنانچه به موارد ضعف و مطلوبیت آسفالت و بتن توجه شود، بیشتر به مکمل بودن و لزوم کاربرد همزمان آنها در راهسازی متوجه می شویم.

امروزه با استفاده از بتن و سیمان، ضمن افزایش کارایی آسفالت، با استفاده از افزودنی ها، کیفیت های ویژه به آسفالت داده اند. عدم پاشش آب به اطراف و بخصوص اتومبیل های پشت سر که موجب کاهش دید می گردد، از نوآوری های مهم در تحقیقات و کاربرد آسفالت و بتن بوده است.

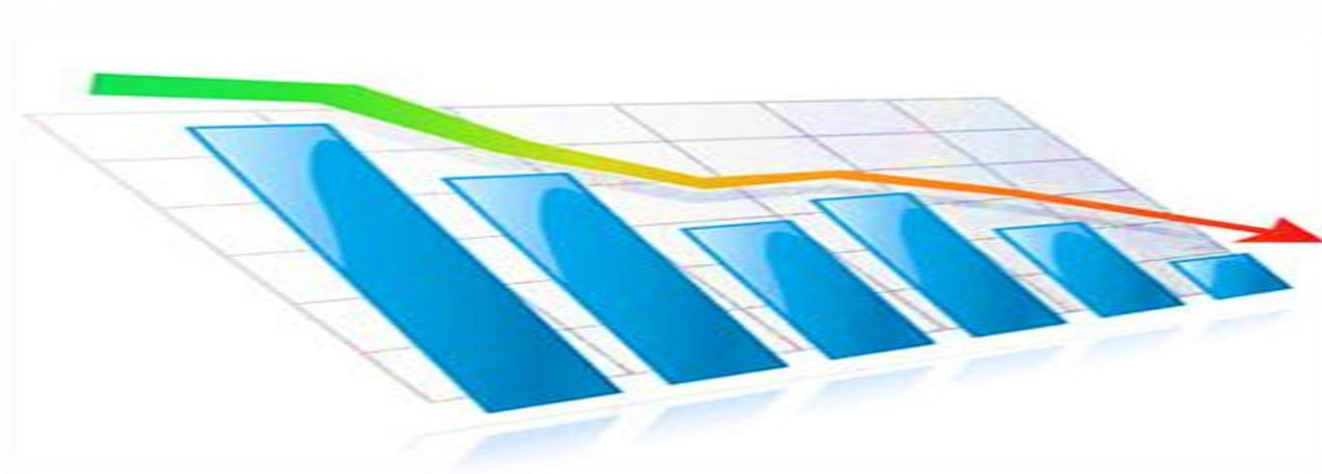
ملاحظه می شود، استفاده از بتن در راهسازی، تنها نقش مقاومت مکانیکی نداشته، بلکه نقش تکیه گاهی و اصطلاحاً پاخوری (Pad) برای آسفالت بسی مهمتر است.

متأسفانه، در ایران بجای نگرش درست به دلایل آسیب های آسفالت، با آسفالت مجدد آنرا ترمیم میکنند که طبعاً ثمری در بر ندارد.

امروزه، در اجرای بزرگراه ها و راه های درجه یک، ترکیبی از لایه به ضخامت ۲۵ سانتیمتر بتن و سپس یک یا دو لایه نازک آسفالت راه با کارایی و کیفیت مطلوب آماده بهره برداری می گردد.

**مقایسه اقتصادی:**

حال که امروز، سیمان فراوان و ارزان را در مقابل قیر و گازوئیل کم و گران داریم، خوب است با یک محاسبه اقتصادی و هزینه ای، آخرین بهانه را در کاربرد بتن در راه سازی مورد ارزیابی قرار دهیم.





در اینجا و برای سهولت، دو طرح راه سازی زیر برآورد شده اند:

طرح آسفالت شامل:

- ۱- آسفالت رویه (توپکا) ۵ سانتیمتر
- ۲- بیندر (آستر) ۸ سانتیمتر
- ۳- اساس ۱۲ سانتیمتر
- ۴- زیر اساس ۲۰ سانتیمتر
- ۵- سنگ شکسته ۱۵ سانتیمتر

طرح بتنی شامل:

- ۱- آسفالت رویه ۲ سانتیمتر
- ۲- صفحه بتن با عیار ۲۵۰ به ضخامت ۲۵ سانتیمتر
- ۳- زیر اساس ۱۰ سانتیمتر
- ۴- سنگ شکسته ۱۰ سانتیمتر

محاسبات اقتصادی، برای طرح های فوق را برای یک متر مربع راهسازی با استفاده از فهرست بهای راهسازی و با حذف جزییات انجام می دهیم.

الف- هزینه طرح آسفالتی

۱	آسفالت رویه	۲۶۵۰۰ ریال =	1*5(cm)*5300 Rial/cm
۲	آسفالت آستر	۳۸۸۸۰ ریال =	1*8(cm)*4860 Rial/cm
۳	اساس	۷۷۴۰ ریال =	1*0.12*64500 Rial/ m <sup>3</sup>
۴	زیر اساس	۳۵۲۰ ریال =	1*0.2*17600 Rial/ m <sup>3</sup>
۵	سنگ شکسته	۱۴۴۹ ریال =	1*0.15*9660 Rial/ m <sup>3</sup>
جمع کل ۷۸۰۹۰ ریال			

## ب- هزینه طرح بتنی

۱	آسفالت رویه	= ۱۰۶۰۰ ریال	$1*2(\text{cm})*5300 \text{ Rial/cm}$
۲	صفحه بتن ۲۵۰	= ۵۷۸۷۵ ریال	$1*0.25(\text{cm})*231500 \text{ Rial/ m}^3$
۳	زیراساس	= ۶۴۵۰ ریال	$1*0.1*64500 \text{ Rial/ m}^3$
۴	سنگ شکسته	= ۹۶۶ ریال	$1*0.1*9660 \text{ Rial/ m}^3$
جمع کل ۷۵۸۹۱ ریال			

بدیهی است اگر در محاسبات فوق، ضرایب و تعدیل را هم برآورد نماییم، اختلاف بسی بیشتر می گردد. برای درک بهتر از شرایط، هزینه های فوق را با قیمت های روز محاسبه می کنیم.

## الف- هزینه طرح آسفالتی

۱	آسفالت رویه	= ۸۵۰۰۰ ریال	$5(\text{cm})*17000 \text{ Rial/cm}^2$
۲	آسفالت آستر	= ۱۳۲۰۰۰ ریال	$8(\text{cm})*16500 \text{ Rial/cm}^2$
۳	اساس	= ۳۳۶۰۰ ریال	$12(\text{cm})*2800 \text{ Rial/cm}^2$
۴	زیراساس	= ۵۲۰۰۰ ریال	$20(\text{cm})*2600 \text{ Rial/cm}^2$
۵	سنگ شکسته	= ۲۱۶۰۰ ریال	$15(\text{cm})*1440 \text{ Rial/cm}^2$
جمع کل ۳۲۴۲۰۰ ریال			

ب-هزینه طرح بتنی

۱	آسفالت رویه	= ۴۰۰۰۰ ریال	$2(\text{cm}) * 20000 \text{ Rial}/\text{cm}^2$
۲	صفحه بتن ۲۵۰	= ۱۷۰۰۰۰ ریال	$25(\text{cm}) * 6800 \text{ Rial}/\text{cm}^2$
۳	زیراساس	= ۲۶۰۰۰ ریال	$10(\text{cm}) * 2600 \text{ Rial}/\text{cm}^2$
۴	سنگ شکسته	= ۱۴۴۰۰ ریال	$10(\text{cm}) * 1440 \text{ Rial}/\text{cm}^2$
جمع کل 250400 ریال			

**نتیجه:**

ملاحظه می شود، راهسازی با استفاده از صفحه بتنی، علاوه بر همه مزایای فنی و مهندسی، از نظر اقتصادی نیز کاملاً باصرفه تر است. شایان ذکر است که اصولاً و با عنایت به توضیحات بالا، دوام و عمر بتن، حدود ۱.۵ تا ۲ برابر آسفالت است. بنابراین از ارزش اقتصادی، فنی و اجتماعی بسیار بیشتری برخوردار است.

**معایب رویه های بتنی در مقایسه با لایه های آسفالتی**

\*هزینه اولیه ساخت روسازی بتنی در مقایسه با روسازی آسفالتی بیشتر است.

\*اجرای تعمیرات و عملیات ترمیم در روسازی بتنی مشکل تر است.

\*وجود درزهای انبساط بعنوان یکی از نقاط ضعف رویه های بتنی محسوب می گردد که در تشدید خرابیها و تخریب بتن نقش مهمی دارد به نحوی که مشکل نگهداری و مرمت محل درزهای انبساط به لحاظ پکیدن بتن وجود دارد.

\*بروز پدیده پامپینگ و خارج شدن مصالح ریزدانه از محل درزهای انبساط در صورت عدم استفاده از مصالح زهکش بعنوان یکی از ضعف های روسازی بتنی محسوب می گردد.

\*دانش فنی و تجربه ساخت روسازهای آسفالتی درمیان پیمانکاران در مقایسه با روسازیهای بتنی بسیار بیشتر است ، از این رو اجرای رویه های بتنی بدلیل نیاز به ماشین آلات پیشرفته و جدیدتر و عدم مهارت های فنی و تجرب همای عملی مشکل تر است

### موارد کاربرد رویه های بتنی

\*در جاده های واقع در مناطق گرمسیر با حجم ترافیک س ن گین بخصوص در شی بهای تند و گردن ه ه ا که سرعت وسایل نقلیه سنگین کم است.

\*در قسمت هایی از مسیر راه یا باند فرودگاه که مقاومت بستر آن ضعیف است.

\*در تقاطعها و میادین که نیروهای شدید برشی ناشی از ترمز به روسازی راه وارد م ی شود.

\*در مناطقی که دسترسی به مصالح شن و ماسه و معادن سنگ مناسب و سخت کم است و یا محدودیت حجم وجود دارد

\*در مناطقی که فاصله حمل و هزینه حمل مصالح سنگی به محل کار غیراقتصادی است.

\*در ابتدا و انتهای باندهای فرودگاه، تاکسی روها و ایرون ها استفاده از رویه بتنی ارجحیت دارد.

در گذشته روسازی بتنی مستقیماً بر روی بستر ساخته میشد ولی با افزایش حجم و وزن ترافیک و بوجود آمدن پدیده ه پامپینگ استفاده از اساس دانه ای کاملاً متداول شده است.

زمانی که روسازی تحت تأثیر تعداد زیادی از با چرخ بسیار سنگین قرار می گیرد و لایه اساس نیز در مجاورت سطح آب زیر زمینی قرار داشته و یا حتی امکان شسته شدن مصالح دانه ای از طریق عملکرد آب وجود دارد، استفاده از اساس آسفالتی و یا سیمانی به عنوان یک روش متداول محسوب م ی گردد . اگر چه استفاده از لایه اساس مقدار تنش بحرانی را در روسازی بتنی کاهش م ی دهد ولی بدلیل اینکه مقاومت بتن خیلی بیشتر از مقاومت لایه اساس است با کمی افزایش در ضخامت بتن می توان تنش بحرانی را کاهش داد . لذا استفاده از لایه اس اس، تنها به منظور کاهش تنش در لایه بتن از نظر اقتصادی مقرون به صرفه نیست

دلایل استفاده از اساس در روسازی بتنی به قرار زیر می باشد:

کنترل پدیده پام پینگ : پامپینگ عبارت است از خروج آب و خاک بستر از میان درزها ، ترکها و در طول کناره های روسازی که در اثر حرکت دال بتنی به سمت پایین به موجب بارهای محوری سنگین رخ میدهد .تاثیرات تکرار و تناوب این عمل که باعث پدیده پامپینگ میشود عبارتند از:

بوجود آمدن فضای خالی در زیر روسازی بواسطه پدیده تابیدگی بتن در اثر حرارت و تغییر شکل پلاستیک در بستر، عبور آب ، خروج آب گل آلود ، افزایش فضای خالی و سرانجام گسیختگی و ایجاد ترک در دال جلویی که در زیر ترافیک قرار دارد . پدیده پامپینگ در زیر قسمت جلویی دال اتفاق میافتد و در هنگامی که قسمت عقبی دال به سمت بالا حرکت می کند باعث ایجاد مکش گردیده و مصالح ریز دانه از زیر دال جلویی مکیده میشوند

کنترل یخ زدگی : اثر یخ زدگی بر روی عملکرد روسازی زیان آور است . این عمل منجر به تورم در اثر یخبندان می شود که باعث شکسته شدن دال بتنی و نرم شدن بستر در دوره ذوب - یخبندان می شود . در آب و هوای سرد ، تورم در اثر یخبندان می تواند به بیش از 30 سانتیمتر برسد.

بهبود زهکشی : زمانی که سطح آب زیر زمینی بالا و نزدیک به سطح زمین است .یک لایه اساس می تواند روسازی را تا سطح مورد نظراز بالای سطح آب زیر زمینی بالا آورد . وقتی که آب از میان ترکها و درزهای روسازی نفوذ می کند یک لایه اساس با دانه بندی باز می تواند آب را از بدنه روسازی به اطراف جاده هدایت نماید

کنترل انقباض و تورم:

تغییرات رطوبت باعث انقباض و متورم شدن خاک بستر شده و لایه اساس می تواند به عنوان یک سربار برای کاهش مقدار انقباض و تورم عمل نماید . یک لایه اساس تثبیت شده یا دانه بندی توپر می تواند به عنوان یک لایه ضد آب عمل نموده و یک لایه اساس با دانه بندی باز می تواند بعنوان یک لایه زهکشی عمل نماید . بنابراین کاهش آب وارد شده به خاک بستر نهایتاً امکان بالقوه انقباض و تورم را پائین می آورد.

سهولت و تسریع در عملیات ساخت : یک لایه اساس می تواند بعنوان یک سکو برای وسایل سنگین مورد استفاده قرار گیرد.در هنگامیکه شرایط هوا نامساعد است یک لایه اساس می تواند سطح را خشک و تمیز نموده و کار ساخت را تسهیل نماید

### انواع روسازی بتنی:

- روسازی بتنی غیرمسلح درزدار (JPCP)

- روسازی بتنی مسلح درزدار (JRCP)

- روسازی بتنی مسلح بدون درز (CRCP)

- روسازی بتنی مسلح با الیاف

- روسازی بتنی مسلح پیش تنیده (PCP)

- روسازی بتنی غلتکی (RCCP)

- روسازی بتنی بلوکی (ICBP)

### روسازی بتنی غیرمسلح (ساده) درز دار: JPCP (Jointed Plain Concrete Pavement)

یک روسازی بتنی غیر مسلح درز دار بایستی با درزهای انقباض با فواصل نزدیک به هم ساخته شود .

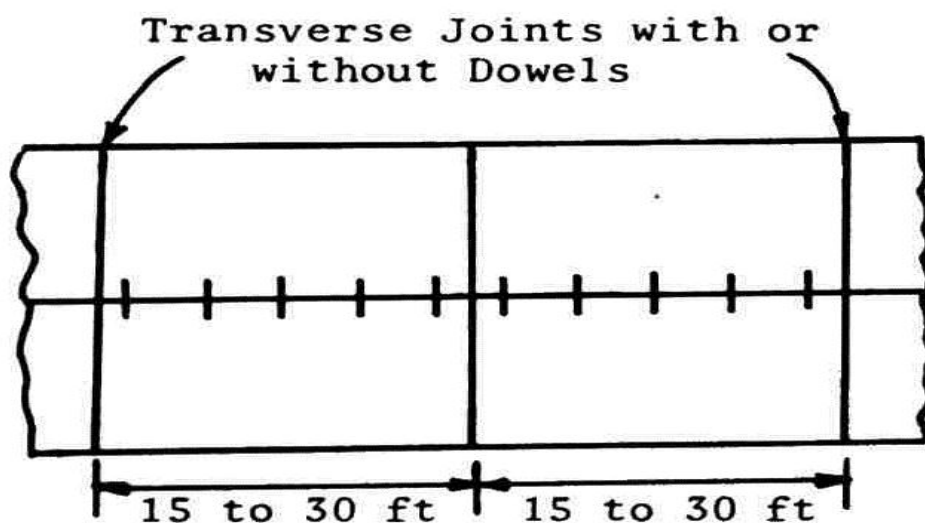
داول (میلگرد اتصال ) یا قفل وبست سنگدانه ای ممکن است برای انتقال بار درعرض درزها مورد استفاده قرارگیرد .

کاربرد استفاده یا عدم استفاده از داول ها با توجه به مناطق جغرافیایی مختلف با یکدیگر متفاوتند . بسته به نوع سنگدانه، آب و هوا و تجارب قبلی

، فاصله بین درزها معمولا ۴ تا ۹ متر ( ۱۵ تا ۳۰ فوت ) مورد استفاده قرار گرفته است.

در صورت افزایش فاصله درزها قفل وبست سنگدانه ای کاهش یافته و ریسک بوجود آمدن ترک افزایش می یابد.

بر اساس تحقیقات به عمل آمده در سال ۱۹۷۸ توسط تعدادی از محققین حداکثر فاصله درزها ۶ متر ( ۲۰ فوت) برای درزهای داول دار و ۵/۴ متر ( ۱۵ فوت) برای درزهای بدون داول توصیه شده است.



روسازی بتنی درز دار غیر مسلح

### روسازی بتنی مسلح درز دار: Jointed Reinforced Concrete Pavement (JRCP)

در این نوع روسازی آرماتورهای فولادی بکار رفته بر خلاف شبکه های سیمی یا میلگردهای آجدار نه به منظور افزایش مقاومت سازه ای

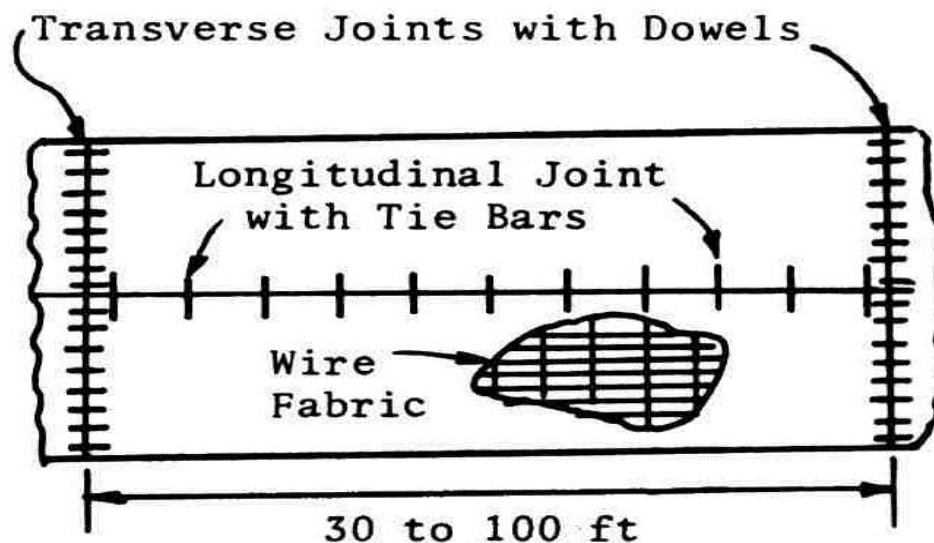
روسازی بلکه به جهت افزایش فاصله درزها تعبیه می شوند. فواصل درزها از ۹ تا ۳۰ متر ( ۳۰ تا ۱۰۰ فوت ) متغیر است .

بدلیل افزایش طول پانلها، لازم است داول ها برای انتقال بار در عرض درزها قرار داده شوند .

مقدار توزیع فولاد در JRCP با افزایش فاصله درزها افزایش می یابد. در هر حال هزینه تعداد درزها و داول ها با افزایش فاصله درزها کاهش می یابد.

براساس هزینه های اره کردن ، مش ، داول ها و پرکننده های درزها، تحقیقات بعمل آمده در سال ۱۹۷۸ نشان داد که اقتصادی ترین فاصله درزها در حدود ۱۲ متر ( ۴۰ فوت ) است.

از آنجا که هزینه نگهداری بطور کلی با افزایش فاصله درزها افزایش می یابد حداکثر فاصله درز ۱۲ متر ( ۴۰ فوت ) توصیه میگردد.



روسازی بتنی مسلح درزدار

### روسازی بتنی بدون درز (پیوسته): (CRCP) Continuous Reinforced Concrete Pavement

اولین بار این نوع روسازی بتنی که در آن درزها حذف می گردد در سال ۱۹۲۱ در نزدیکی واشنگتن مورد استفاده قرار گرفت. بدلیل مزایای آن در بیش از ۲۴ ایالت آمریکا در حدود ۳۲۰۰۰ کیلومتر (۲۰۰۰۰ مایل) راه دو خطه با این نوع روسازی مورد استفاده قرار گرفته است. یکی از دلایل استفاده از این روسازی حذف درزها بعنوان نقطه ضعف در روسازی است که حذف آن منجر به کاهش ضخامت مورد نیاز می شود. ضخامت CRCP بطور تجربی از ۲۵ تا ۵۰ میلیمتر (۱ تا ۱۲ اینچ) کمتر و تقریباً در حدود ۷۰٪ تا ۸۰٪ ضخامت روسازی معمولی می باشد. تشکیل ترکهای عرضی در فواصل نزدیک به عنوان یک مشخصه بارز CRCP محسوب می گردد.

این ترک ها کاملاً توسط آرماتورها کنترل شده و تا زمانیکه بصورت فواصل یکسان هستند بعنوان خطر محسوب نمی گردند. خرابی ای که بطور مکرر در CRCP اتفاق می افتد برش در کناره های روسازی است.

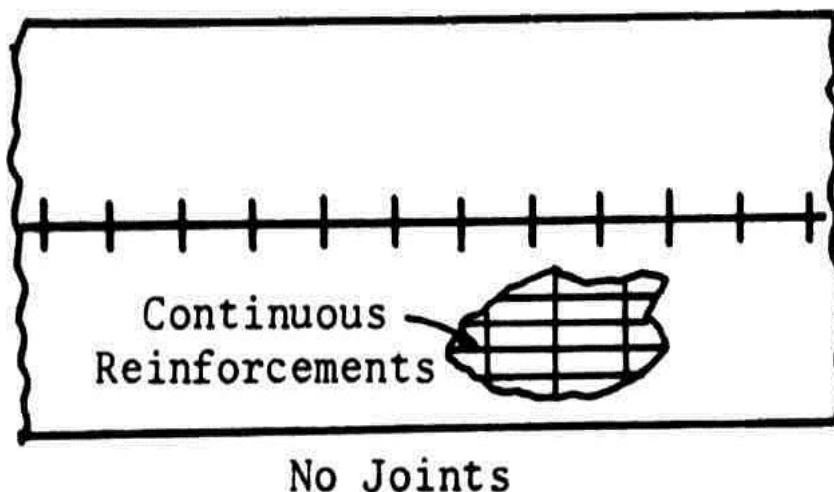
این نوع خرابی یا بین دو ترک عرضی که بطور تصادفی موازی هم هستند و یا در تقاطع های Y شکل اتفاق می افتد.

اگر خرابی بجای درز، در کناره روسازی اتفاق بیفتد دلیلی برای استفاده از CRCP با ضخامت کمتر وجود ندارد. راهنمای آشتو ۱۹۸۶ استفاده از یک معادله یا گراف را برای تعیین ضخامت CRCP و JRCP پیشنهاد می کند.



در هر حال ضرائب انتقال بار برای CRCP کمی کوچکتر از ضرائب مربوط به JRCP و JPCP می باشد که ممکن است منجر به ضخامت کمتری برای CRCP شود.

مقدار آرماتور طولی بایستی برای کنترل کردن فاصله و عرض ترک و حداکثر تنش در فولاد محاسبه گردد.



تیپ روسازی بتنی پیوسته

### روسازی بتنی مسلح با الیاف:

بتن معمولی در مقایسه با بتن الیافی ترد و شکننده بوده و مقاومت کمتری از خود نشان می دهد.

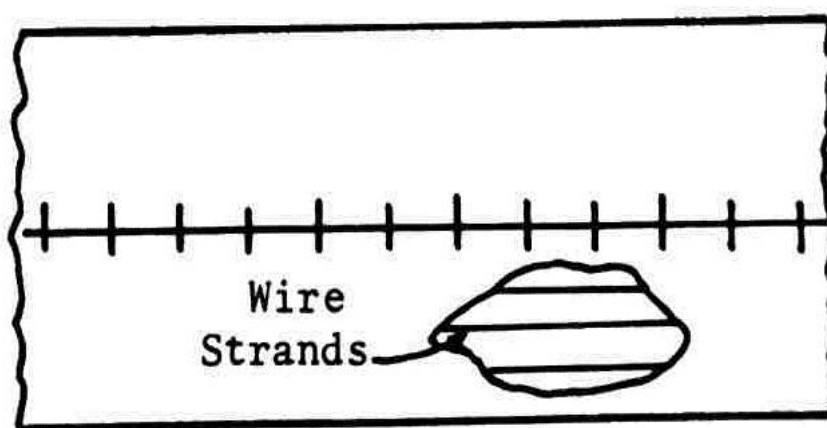
از مزایای بتن الیافی به موارد زیر می توان اشاره کرد:

- کاهش ضخامت دال بتنی
- کنترل آب افتادگی
- ایجاد جسم همگن
- کاهش عرض ترکها
- جلوگیری از نشست پلاستیک
- سهولت در اجرا

### روسازی بتنی مسلح پیش تنیده: Prestressed Concrete Pavement -PCP

بتن در کشش ضعیف و در فشار قوی است.

ضخامت لازم برای روسازی بتنی بر اساس مدول گسیختگی و مقاومت کششی بتن تعیین می شود. اعمال یک تنش فشاری قبلی به بتن، تنش کششی بوجود آمده در بتن بوسیله بارهای ترافیک را بسیار کاهش داده بنابراین باعث کاهش ضخامت بتن مورد نیاز می شود. کاهش احتمال بوجود آمدن ترک و پیدایش درزهای عرضی در روسازی های بتن پیش تنیده، منجر به کاهش هزینه نگهداری و افزایش عمر روسازی می گردد. اولین روسازی پیش تنیده در ایالات متحده آمریکا در یک روسازی ۱۰۰ متری (۳۰۰ فوتی) در سال ۱۹۷۱ در دلویر ساخته شد.



Slab Length 300 to 700 ft

روسازی بتنی پیش تنیده

### روسازی بتنی غلتکی: Roller Compacted Concrete Pavement-RCCP

روسازی بتن غلتکی مخلوطی از مصالح سنگی دانه بندی شده، سیمان پرتلند و مقدار کمی آب است که روی سطح راه پخش شده و توسط وسایل متداول راهسازی متراکم می شود. کیفیت بتن به دلیل کاهش نسبت آب به سیمان، مناسب است اما به دلیل موارد زیر استفاده از این نوع روسازی محدود شده است:

- هموار و صاف کردن سطح روسازی بسیار مشکل است بدست آوردن زبری مناسب جهت تامین اصطکاک مورد نیاز برای ترمزگیری مشکل است.

➤ اطمینان از پایداری کیفی روسازی امری مشکل است.

این روش ساخت روسازی برای جاده های دارای ترافیک سنگین (با سرعت کم) مورد استفاده برای حمل و نقل همانند محوطه های صنعتی، پایانه های بار و نواحی توقف وسایل نقلیه سنگین، ساخت پارکینگها، شانه راههای با ترافیک سنگین و نیز برای توقفگاه (Apron) و باند خزش (Taxiway) فرودگاهها مناسب می باشد

### تاریخچه روسازی بتن غلتکی:

روسازی بتن غلتکی (RCCP) عمدتاً "به علت بحران نفتی دهه 70 میلادی که باعث افزایش هزینه های اجرای روسازی های آسفالتی در سطح

جهان شد، توسعه یافت و کشورهای بسیاری استفاده از آن را برای راههای نظامی و نواحی صنعتی، زمینهای فرودگاهی و نیز جاده ها آغاز نمودند. این فن آوری جدید سبب کاهش هزینه های اجرائی به میزان 30 درصد شده است اولین روسازی بتن غلتکی سال 1976 در محوطه تخلیه بار کایکوس واقع در جزیره ونکوور بریتیش کلمبیا ساخته شده که تاکنون به طور مداوم مورد استفاده قرار دارد اخیراً در برخی کشورها از جمله بلژیک تحقیقاتی در زمینه اجرای روسازی های بتن غلتکی با استفاده از الیاف برای روسازی های بتنی پیوسته انجام شده است، فرآیند ساخت بتن غلتکی با الیاف شامل ترکیب بتن سیمانی متراکم شده مسلح شده با الیاف فولادی می باشد.

در خصوص کاربرد بتن غلتکی (بتن متراکم شده با غلتک یا RCC، می توان بتن غلتکی را به عنوان ترکیبی از مصالح اصلاح شده با سیمان و بتن ویبره در نظر گرفت. بتن غلتکی با همان دستگاههایی که برای ساخت اساس های اصلاح شده با سیمان به کار می روند، ساخته می شود. در بتن غلتکی نیز مانند اساس اصلاح شده با سیمان، از مصالح خشک استفاده می شود که رطوبت آنها به منظور امکان پذیر ساختن عمل تراکم با استفاده از غلتک (شکل ۱) کاهش داده شده است. برعکس، میزان سیمان و سایر خصوصیات آن مشابه بتن ویبره است که به طور معمول در روسازی به کار می رود. بنابراین، روسازی های RCC می توانند مستقیماً بارهای وارد بر روی سطح تمام شده را تحمل کنند که چنین امکانی در اساس های اصلاح شده با سیمان وجود ندارد.

روسازی های RCC به هیچ عنوان یک روش جدید راهسازی محسوب نمی شوند. اولین گزارش مربوط به ساخت روسازی بتنی به سال ۱۸۶۵ در اسکاتلند بر می گردد، در حالی که استفاده از بتن ویبره ۵۰ سال بعد از آن آغاز گردید. بنابراین، قبل و بعد از جنگ جهانی اول در بسیاری از کشورها روسازی های بتنی با استفاده از

غلطک متراکم می‌شدند [۱]. در دهه ۳۰، وبیره کردن بتن به تدریج در تمام زمینه‌های مهندسی عمران ارایه گردید، از جمله، در ساخت روسازی‌ها که در آن عمل تراکم با استفاده از غلتک‌ها متوقف شده بود. زیرا دستگاه‌های موجود در آن زمان قادر به تضمین کیفیتی به خوبی آنچه از طریق لرزش حاصل می‌شد، نبودند. با وجود این، در ساخت‌سازهای اصلاح‌شده با سیمان همچنان برای متراکم کردن از غلتک استفاده می‌شد. پیشرفت‌های انجام شده در این زمینه کمک ارزنده‌ای به ایجاد تحولات جدید در روسازی‌های RCC در دهه ۷۰ نمود، زمانی که افزایش قیمت قیر تمایلی تازه در استفاده از مواد جایگزین ایجاد نمود و استفاده از قیر را کاهش داد.

اولین نمونه‌های جدید از روسازی‌های RCC در اسپانیا، در حدود سال ۱۹۷۰، در راه‌های کم ترافیک اجرا شد. کانادا در سال ۱۹۷۶ استفاده از این نوع روسازی‌ها را در صنعت چوب آغاز کرد [۳]. پس از سال ۱۹۸۰، حداقل ۱۰ کشور دیگر (فرانسه، آمریکا، نروژ، سوئد، فنلاند، دانمارک، آلمان، استرالیا، آرژانتین و ژاپن) هر کدام بیش از ۱۰۰۰۰۰ m<sup>۲</sup> سازی RCC ساخته‌اند در حالی که در هفت کشور دیگر (شیلی، اوروگوئه، مکزیک، کلمبیا، رو اکوادور، ایرلند و آفریقای جنوبی) از RCC خیلی کمتر و حتی در بعضی موارد فقط به عنوان مناطق تست استفاده شده است.

تا پایان سال ۱۹۹۰ کل سطوح ساخته شده از این نوع روسازی بالغ بر ۱۲,۰۰۰,۰۰۰ متر مربع بوده که نزدیک ۱,۵۰۰,۰۰۰ مترمربع به از آن در اسپانیا واقع شده است. در حدود نیمی از این روسازی‌ها، مربوط به بزرگراه‌ها و جاده‌های اصلی می‌شود که در آنها به منظور بهبود همواری سطح یک لایه آسفالتی بر روی لایه RCC قرار گرفته است.

۱۰,۵۰۰,۰۰۰ مترمربع باقیمانده در روسازی‌های دارای ترافیک کم سرعت، مانند راه‌های درجه دو و نواحی صنعتی و نظامی به کار رفته که در بیشتر موارد روسازی بدون پوشش باقی مانده است.

دلایل بسیاری برای استفاده گسترده از RCC وجود دارند: اولاً، برای ساخت آنها نیاز به دستگاه خاصی نیست و روسازی‌های RCC را می‌توان با دستگاههایی که معمولاً در دسترس هستند و برای مقاصد دیگر نیز به کار می‌روند، اجرا نمود. علاوه بر این، ساده بودن عملیات ساخت، نیاز کمتر به نیروی انسانی و نرخ تولید بالا، منجر به صرفه‌جویی قابل توجهی در مقایسه با سایر انواع روسازی‌ها می‌گردد. همچنین با در نظر گرفتن کاربرد RCC در مقاوم‌سازی روسازی‌های موجود، این روسازی‌ها به علت پایداری و استحکام ساختار مصالح سنگی پس از تراکم، امکان باز کردن سریع راه به روی ترافیک [۵] را فراهم می‌سازند.

همان گونه که انتظار می رود، روسازی های RCC در حال حاضر اشکالاتی دارند. همواری سطح حاصل شده توسط دستگاههای موجود برای ترافیک پرسرعت هنوز رضایت بخش نیست، به طوری که همچنان اجرای یک لایه بتن آسفالتی به ضخامت چند سانتی متر بر روی آنها لازم است. از سوی دیگر، لازم به ذکر است که به کمک دستگاههای جدید بهبود کیفیت رانندگی قابل دستیابی است. به علاوه، عملیات ساخت باید به دقت کنترل شود زیرا عملکرد RCC به تغییرات رطوبت و همچنین تراکم نامناسب بسیار حساس است. کمبود اطلاعات مربوط به عملکرد بلندمدت عامل دیگری است که مانع استفاده از RCC در بعضی از کشورها می گردد.

## مصالح و نسبتهای اختلاط برای RCC

مصالح سنگی :

مصالح سنگی تقریباً 75 تا 85 درصد حجم یک مخلوط روسازی RCC را تشکیل می دهند و بنابراین تأثیر مهمی بر خواص آن در حالت تازه و یا سخت شده دارند. انتخاب درست مصالح من اسب به ساخت اقتصادی تر خواص مصالح سنگی RCC منجر می شود . در حالت مخلوط تازه RCC و خدمت پذیری طولانی تر روسازی های بر کار آیی و قابلیت جداشدگی و تحکیم مناسب تحت اثر غلتکهای لرزاننده مؤثر بوده و در بتن سخت شده مقاومت، ضریب الاستیسیته، خواص حرارتی و دوام در اثر خواص مصالح سنگی تغییر می کند.

مخلوطهای RCC معمولاً چسبندگی مشابه بتن معمولی ندارند و بنابراین جداشدگی مصالح سنگی در آنها یک مسئله خیلی جدی است .

افزایش NMSA (اندازه اسمی بزرگترین دانه مصالح سنگی ) مقدار حفرات مصالح سنگی را افزایش داده و بنابراین خمیر مورد نیاز مخلوط را افزایش می دهد. ولیکن برای حداقل نمودن جداشدگی در هنگام بتن ریزی و پرداخت بتن و ایجاد رویه نسبتاً صاف برای روسازی توصیه شده که NMSA از 19 mm تجاوز نکند .

استفاده از مصالح سنگی ریزدانه تر از الک 75 میکرون (نمره 200) در صورتی که غیر خمیری باشند منجر به کاهش حفرات می شود اما در هر صورت باید اثر آنها بر خواص RCC تازه و سخت شده در مطالعه نسبتهای اختلاط مورد بررسی قرار گیرد.

دانه بندی مصالح سنگی ترکیب شده بایستی منجر به حداقل جداشدگی گردد، کلید کنترل جداشدگی و تهیه مخلوط مناسب و تراکم پذیر، داشتن دانه بندی است که با شرایط اجرایی سازگار بوده و شامل مصالح عبوری از

الک نمرة ۴ (4/75 mm) مثل بتن معمولی باشد اصولاً کاربرد مصالح طویل و پولکی تخت و سوزنی معمولاً نامطلوب است، ولیکن در مخلوطهای RCC تأثیر اجزاء تخت و طویل کمتر از بتن های معمولی است

اخیراً تحقیقاتی در زمینه مصرف مصالح سنگی بازیافت شده از بتن های تخریب شده ( در ساخت بتن غلتکی) انجام گردیده که در آن امکان استفاده از دورریزهای صنعتی همانند انواع سرباره ها ، سرامیکها و مصالح سنگی ناشی از سازه های تخریب شده بتنی بررسی شده است. این تحقیقات نشان می دهد که استفاده از مصالح سنگی بازیافت شده ، در بتن غلتکی کاملاً عملی و اقتصادی می باشد

### ۱. آب

آب مورد استفاده در مخلوطهای بتن غلتکی مطابق معیارهای استاندارد آب مورد استفاده در ساخت بتن های معمولی می باشد

### ۲. سیمان

شامل سیمان پرتلند یا ترکیب شده با سیمان RCC مواد سیمانی مورد استفاده در مخلوطهای روسازی هیدروکسی بوده و ممکن است شامل انواع پوزولان ها باشد . انتخاب نوع سیمان باید بر اساس طرح مقاومت و سنی که لازم است بتن به این مقاومت برسد ، باشد.

### ۳. افزودنی ها

افزودنیهای مرسوم در ساخت بتن معمولی که شامل افزودنی های کاهنده آب و افزودنیهای تأخیر انداز میباشند در RCC نیز استفاده می شوند ، توانایی افزودنی های کاهنده آب برای کم کردن آب مورد نیاز یا ایجاد تراکم پذیری اضافی در یک مخلوط RCC به برخی عوامل همچون مقدار و نوع مصالح سنگی ریزتر از الک نمرة 200، (75 میکرون) بستگی دارد. افزودنی های تأخیر انداز ممکن است به طور مفیدی در تنظیم تأخیر زمان گیرش جهت تراکم مناسب و ایجاد چسبندگی بین درزهای مجاور و یا لایه های جایگزین استفاده شوند

## عملکرد روسازی های RCC

به طور کلی رفتار روسازی های RCC در تمام انواع کاربردهای آن رضایت بخش بوده است. عدم موفقیت های مشاهده شده را می توان به نامناسب بودن عملیات ساخت، مانند تراکم ناکافی یا از دست دادن رطوبت نسبت داد. در روسازی هایی که به درستی اجرا شده اند، معمولاً نمونه های گرفته شده از راه مقاومت بالایی را نشان داده اند. برای مثال، به مقاومت های شکاف خوردگی ۲۸ روزه بین ۵/۲ MPa تا ۴ می توان اشاره کرد. مقاومت های درازمدت بسیار بالا، از جمله مقاومت های فشاری بین ۶۰ تا ۹۵ MPa در بعضی از روسازی های سوئدی با عمر ۵ سال، نیز مشاهده شده است. آزمایش های انجام شده در بعضی از مناطق تست در ژاپن نشان می دهند که افزایش مقاومت تقریباً متناسب با لگاریتم درجه حرارت تجمعی، بر حسب درجه سلیسیوس در ساعت، می باشد [۲۰]. در راه های کم ترافیک که به دلیل ضخامت کم، عمل تراکم به راحتی صورت می گیرد، تراکم و مقاومت های بالایی گزارش شده است.

در خصوص روسازی هایی که در دو یا چند لایه اجرا می شوند، اطلاعات به دست آمده از نمونه های گرفته شده از این راه ها حاکی از آن است که با اجرای صحیح روسازی می توان به مقاومت چسبندگی کافی در فصل مشترک لایه ها دست یافت و در نتیجه روسازی می تواند به عنوان یک لایه یکپارچه عمل کند. مقاومت در برابر ساییدگی نیز رضایت بخش است. ولی، عمل آمدن بتن برای RCC دارای اهمیت بیشتری نسبت به بتن های معمولی است. عمل آمدن نامناسب منجر به ایجاد یک لایه رویه ضعیف می گردد. با وجود این، مقاومت لغزشی در RCC همگام با افزایش مقاومت به طور چشمگیری با گذشت زمان افزایش می یابد.

در ارتباط با ترک خوردگی در روسازی های RCC، وقتی درزها اجرا نشوند، ترک ها در فواصل بسیار متفاوتی، معمولاً بین ۱۰ و ۳۰ متر، ظاهر می شوند. بنابراین، در دال های با طول بلند، شکاف ترک های ایجاد شده به دلیل جابجایی های حرارتی، بسیار اهمیت داشته و انتقال بار به درستی صورت نمی گیرد. به علاوه، لبه ترک ها می تواند تحت ترافیک وارده به شدت خراب شود. این مطالب بر لزوم اجرای درزها تأکید می کند. ولی، باید توجه داشت که وقتی تغییرات درجه حرارت یا رطوبت زیاد باشد، مانند آنچه در مورد روسازی های موجود در شیلی دیده می شود، فاصله ترک ها به ۵ یا حتی ۳ متر کاهش می یابد [۴۰]. برای آب بندی کردن ترک های نامطلوبی که در سطح ظاهر می شوند و محافظت از لبه های شان، اغلب آنها را با آسفالت ماستیکی درزگیری می کنند (پل زدن).

به طور کلی، در حال حاضر همواری سطح روسازی RCC شرایط لازم برای ترافیک سریع را برآورده نمی‌سازد، ولی برای سرعت‌های متوسط در راههای معمول و با حجم ترافیک پایین مناسب است. با وجود این، در بیشتر کشورها به نسبت اولین کارهای اجرا شده پیشرفت قابل توجهی در این زمینه دیده شده است، خصوصا از زمانی که شمشه‌های پیش‌تراکم به کار رفته‌اند.

در خصوص مقاومت در برابر یخبندان، رفتار روسازی‌های RCC در نواحی با زمستان‌های سخت (کشورهای اسکندیناوی، کانادا، قسمت‌های شمالی آمریکا) بسیار رضایت‌بخش بوده است.

### روسازی بتنی بلوکی Interlocking Concrete Block Pavements-ICBP

روسازی بتنی بلوکی از تعداد زیادی بلوک آماده بتنی تشکیل شده است که بر بستر آماده ای از ماسه قرار می‌گیرد.

- بلوک های بتنی

بلوک های مورد استفاده در روسازی بلوکی بایستی تمام خواص مهندسی را از دیدگاه مقاومت و تراکم پوشش دهد و همچنین اسلامپ بتن مصرفی برای ساخت بلوک های روسازی تحت بارهای سنگین باید صفر باشد. بلوک های بتنی یکی از اجراء اصلی رویه در این سیستم روسازی می باشد که می تواند شکل های متنوعی داشته باشد که انواع شکل های آن در قسمت های بعد به تفصیل بیان شده است. مشخصات کامل بلوک ها در ASTM C936 آمده است.

- ماسه موجود درمفاصل

ماسه موجود درمفاصل نیز همانند بلوک، جزء اصلی رویه در این سیستم روسازی است و باید دارای کیفیتی بالا بوده و در داخل مفاصل بین بلوک ها که عرضی برابر با ۲ الی ۴ میلی متر دارند را پر نمایند.

- ماسه بستر ساز

ماسه بستر ساز لایه ای است که بین رویه بلوکی و سطح اساس قرار می گیرد که هدف از اجرای این لایه فراهم آوردن سطحی صاف به منظور دریک تراز قراردادن بلوک ها و ایجاد پدیده در هم قفل شدگی می باشد. به طور کلی از خاصیت مقاومتی ماسه بستر ساز صرف نظر می شود.

- سایر اجزای روسازی بلوکی



نظیر اساس و زیر اساس در واقع همان نقشی را بر عهده دارند که در سایر روسازی های متداول بتن سیمانی و بتن آسفالتی دارا می باشند. و جنس اساس می توانند اساس تثبیت شده با قیر، سیمان یا مصالح سنگی شکسته باشند.

– دلایل استفاده از روسازی بلوکی

دلایل اینکه چرا امروزه استفاده از روسازی بلوکی گسترش زیادی پیاده کرده است را شاید بتوان تا حدی با مقایسه سایر سیستم های روسازی دریافت.

– مقایسه روسازی بلوکی با روسازی بتن سیمانی

در روسازی بتنی چه برای فرودگاه ، بندر یا راه نیازمند به ساخت بتن در حجم زیاد است. ساخت بتن دارای ظرفیت های فراوانی است و بسیاری از پارامتر ها و عوامل بایستی کنترل گردد. تا بتوان بتن خوبی را تولید نمود. در صورتی که بلوک های رویه روسازی به صورت پیش ساخته می باشد. علاوه بر این مشکلات ساخت بتن، مشکلات اجرایی آن هم وجود دارد. بدین معنی که بتن را در هر شرایط آب و هوایی نمی توان اجرا نمود ، بلکه بایستی در یک دامنه دمای خاصی این کار صورت گیرد و این موضوع می تواند از سرعت انجام پروژه بکاهد و میلگردهای مسلح کننده نیز بایستی به طور دقیق در جای خود گذاشته شوند.

مشکلات اجرایی متراکم نمودن بتن را هم باید بر سختی اجرای روسازی بتنی افزود در صورتی که به علت پیش ساخته بودن بلوک های روسازی بلوکی این مشکل حل شده است و همچنین در این نوع سیستم از هیچ نوع میلگردی به منظور مسلح کردن رویه استفاده نمی شود. اجرای روسازی بتنی و ساخت آن نیازمند به ماشین آلات و تجهیزات گران قیمتی است اما ماشین آلات اجرای روسازی بلوکی بتنی در مقام مقایسه با ماشین آلات اجرای روسازی بتنی بسیار کوچکتر و ارزان تر هستند.

به غیر از مشکلات مراحل قبلی در روسازی بتنی، مرحله دشوار نگهداری و مراقبت از بتن فرا می رسد. زیرا بتن در این مرحله بایستی به مقاومت مورد نظر برسد و در صورت غفلت و عدم دستیابی بتن به مقاومت طرح، صدمات فراوانی به روسازی در طی دوره بهره برداری وارد می شود.

در این مرحله بایستی انقباض بتن و رسیدن بتن به مقاومت مورد نظر، میزان از دست رفتگی آب بتن و عمل آوری آن به دقت کنترل شود.

ولی روسازی بلوکی از تمام مشکلات اجرایی فوق فارغ می باشد. در روسازی بلوکی بلافاصله پس از اجرا می توان ترافیک را از روی آن عبور داد، اما این مساله تا رسیدن به مقاومت دائم بتن در روسازی های بتنی تقریباً امکان

پذیر نیست. که همین موضوع سبب افزایش زمان پروژه اجرای روسازی بتنی نسبت به روسازی های بلوکی بتنی می شود.

مرمت سیستم روسازی بلوکی نسبتا آسان است، زیرا در هر جا که تخریبی سطح رویه وجود دارد تنها با تعویض بلوک ها و اجرای مجدد لایه ماسه بستر ساز تعمیر صورت می پذیرد، اما در تعمیر و نگهداری روسازی بتنی ساخت بتنی که دارای خواص کامل بتن قبلی باشد، به سادگی امکان پذیر نیست.

### - مقایسه روسازی بلوکی با روسازی آسفالتی

در روسازی آسفالتی نیاز به حرارت دادن برای گرم کردن قیر می باشد . در نتیجه موجب آلودگی هوا خواهد شد که در نهایت این موضوع بر روی محیط زیست اثر نامطلوب دارد.

همچنین پس از بحران نفتی دهه ۷۰ میلادی و گران شدن نفت و مشتقات آن بسیاری از کشورها به سوی کاهش میزان مصرف گام بردمی دارند، پیامد این موضوع ، چراغ سبز به استفاده و توجه بیشتر به روسازی بلوکی بود. در این نوع روسازی نیز بلافاصله پس از اجرا نمی توان ترافیک از روی آن عبور کرد. همچنین، با توجه به خاصیت ویسکو الاستیک قیر دریافت می شود که به مرور زمان، سطح روسازی دچار نشست خواهد شد که این موضوع در روسازی بنادر که بارهای نقطه ای سنگین مثل بار ناشی از پایه کانتینرها برای مدت طولانی در یک جا بایستی بمانند، بسیار حائز اهمیت است.

در صورتی که این مشکل با به کارگیری رویه های بلوکی بتن کاملا حل شده است. یک خاصیت استثنایی یک نوع روسازی بلوکی که سبب شده است مورد حمایت طرفداران محیط زیست قرار گیرد، داشتن خاصیت تصفیه آب های سطحی از گرد و خاک و مواد روغنی، زهکشی و انتقال آن به آب های زیر زمینی است.

### - مزایای روسازی بلوکی

- به علت مقاومت بالای بتن ریال بلوک ها در برابر دوره های یخ زدن و آب شدن ناشی از استفاده نمک در فصل زمستان، مقاوم بوده و همچنین دارای مقاومت سایشی و سرش بالایی می باشد.
- پس از اجرای بلوک ها بلافاصله می توان ترافیک را از روی آن عبور داد.
- یکی از مزایای منحصر به فرد سیستم روسازی بلوکی این است که مدول سختی رویه بلوکی با گذشت زمان و عبور وسایل نقلیه افزایش می یابد.

- فرآیند فوق به این دلیل اتفاق می افتد که با گذشت زمان و در نتیجه افزایش تجمعی بار عبوری ترافیکی، یک عملیات تراکم در سطح رویه بلوکی صورت گرفته و در نتیجه سبب افزایش میزان قفل شدگی بلوک های بتنی نسبت به هم می شود.
  - این کاهش نشست یا افزایش مدول سختی معادل رویه پس از عبور ۱۰۰۰۰ الی ۱۶۰۰۰ بار محور استاندارد معادل حاصل می گردد. که تنها ۰/۵ درصد تعداد محور عبوری کل عمر طرح روسازی بوده است
  - به علت وجود درزهای پر از ماسه که به عنوان ابزاری برای انتقال بار به کار برده می شوند، ترک های ناشی از تنش و غیر یکنواختی به حداقل می رسد.
  - همانند روسازی های انعطاف پذیر آسفالتی ، مصالح دانه ای اساس با مقدار کمی نشست تطبیق داده می شوند بدون اینکه ترکی در سطح ایجاد شود.
  - هزینه های تعمیر و نگهداری کاهش می یابد. زیرا امکان مرمت قسمت های مفروش شده با بلوک های بتنی بدون ایجاد یک سطح جدید وجود دارد.
  - روسازی بلوکی بتنی به علت دارا بودن بافت و ساختار ویژه ، الگوها، رنگ ها، زیبایی منحصر به فردی را به ارمغان می آورند که در مقام مقایسه با سایر شکل های روسازی، توانایی ترکیب و هم گونی چشم گیری با محیط اطراف خود دارد.
  - نصب بلوک های روسازی با ماشین آلات زمان اجرای پروژه را کاهش می دهد.
  - در این نوع روسازی برای تعمیر و باز سازی می توان بلوک های استفاده شده را دوباره به کاربرد که در نتیجه میزان پرت مصالح کاهش می یابد.
  - به طور خلاصه ، با مقایسه روسازی بلوکی با روسازی های متداول بتنی و آسفالتی به مزایای آن از قبیل سرعت اجرای بالا، عدم استفاده از ماشین آلات گران قیمت، هماهنگی با محیط زیست، عدم مشکلات ناشی از کسب مقاومت و پرداخت بتن در روسازی بتنی و مشکلات موجود زیست محیطی روسازی های آسفالتی پی برده می شود.
- در صفحه بعد این نوع روسازی مشاهده می شود. :



روسازی بتنی بلوکی

### استفاده از روسازی بلوکی در روسازی فرودگاه

تسهیلات زمینی بخش لاینفک فرودگاه ها بوده که از جمله مهم ترین آنها، روسازی هستند. از آنجا که بار چرخ های هواپیما مستقیماً بر روی آن اعمال می گردد، رفتار روسازی بر عملکرد ناوگان تاثیر به سزایی دارد. از سیستم روسازی بلوکی به طور گسترده در فرودگاه ها نیز به کار برده می شود، به طوری که امروزه در حدود ۴۰ فرودگاه نظامی و تجاری از این نوع روسازی استفاده می نمایند. در جدول زیر فهرستی از نام کشورها، نوع تسهیلاتی که از این سیستم در آن استفاده شده و همچنین میزان استفاده از آن ذکر شده است.

جدول زیر فهرستی از فرودگاه هایی که از سیستم روسازی بلوکی بتنی در تسهیلات مختلف استفاده نموده اند.

کشور	نام فرودگاه	نوع تسهیلات	مساحت (متر مربع)
آمریکا	فرودگاه بین المللی بوستون	پارکینگ	۲۸۰
آمریکا	فرودگاه بین المللی فورت ورث دالاس	خزشگاه	۲۴۰۰۰
آمریکا	فرودگاه مک آرتور	پارکینگ	۱۳۰۰
آمریکا	فرودگاه سنت آگوستین	پارکینگ	۴۶۰۰
انگلستان	ابینگدن	محوطه سوخت گیری	۱۴۰۰۰
انگلستان	بلک پول	پارکینگ و باند پرواز هلیکوپتر	۵۲۶۰
انگلستان	برایز نورتن (نظامی)	پارکینگ	۳۷۰۰۰
انگلستان	کاونتری	انتهای باند پرواز	۳۰۰۰
انگلستان	دیش فورس (نظامی)	باند پرواز هلیکوپتر	۱۹۰۰۰
انگلستان	دانس فولد	انتهای باند پرواز	۹۰۰
انگلستان	گت ویک	محدوده ایمنی باند پرواز	۳۰۶۰۰
انگلستان	هیتروی	پارکینگ	۴۶۰۰۰
انگلستان	هامبرساید	پارکینگ	۴۴۰۰
انگلستان	لاتن	پارکینگ	۱۴۰۰۰
انگلستان	لینهام (نظامی)	پارکینگ	۶۵۰۰
انگلستان	لورث هولت (نظامی)	پارکینگ	۶۳۰۰۰
کشور	نام فرودگاه	نوع تسهیلات	مساحت (متر مربع)
انگلستان	اسکیلی ایزلس	پارکینگ	۲۰۰۰
انگلستان	ساوث همپتون	پارکینگ	۳۰۰۰۰
انگلستان	استن استد	پارکینگ	۲۸۰۰۰
انگلستان	استورت وی (نظامی)	پارکینگ	۱۴۰۰۰

۱۹۰۰۰	باند پرواز هلیکوپتر	والی (نظامی)	انگلستان
۴۶۰۰	پارکینگ	وود ویل (نظامی)	انگلستان
۱۳۰۰۰	پارکینگ	_____	رژیم اشغالگر قدس
۱۵۰۰۰	توقفگاه هواپیمای جامبو جت	فرودگاه کایرنز	استرالیا
۹۰۰	پارکینگ	فرودگاه کیمین براک	استرالیا
۳۰۰۰۰	خزشگاه، توقفگاه، محوطه سوخت گیری	فوجیره	امارات متحدہ عربی
۳۵۰۰۰۰	پارکینگ	بین المللی هنگ کنگ	هنگ کنگ
۵۶۰۰۰	توقف گاه	جوموکنیاتا	کنیا
۷۲۰۰۰	پارکینگ	کریستین سند	نروژ
۱۲۵۰	پارکینگ	اسلو	نروژ
۱۹۵۰۰	پارکینگ و خزش گیاه	استراونگر / اسلو	نروژ
۶۸۰۰۰	توقفگاه	سوبانگ	مالزی
۲۷۰۰۰	توقفگاه	تراندهیم	مالزی
۱۵۰۰	توقفگاه	ولینگتون	نیوزلند
جمع بر حسب متر مربع: ۱۰۱۵۳۴۰			

از جمله مزایای کاربرد این سیستم روسازی در فرودگاه کاهش هزینه تعمیرات، مقاومت بالا در برابر بارهای سنگین وارده و همچنین غیر حساس بودن نسبت به اثرات مخرب حلال های نفتی نظیر سوخت هواپیما می باشد. به عنوان مثال پس از گذشت شش هفته پس از بهره برداری از سیستم روسازی بلوکی فرودگاه بین المللی کایرنز استرالیا، در اثر یک اتفاق ۶۵۰۰ لیتر سوخت هواپیما بر روی سطح روسازی پاشیده شد که هیچ اثر مخربی روی سطح روسازی مشاهده نگردیده، در صورتی که اگر همین اتفاق برای روسازی آسفالتی پیش می آمد ضرورت داشت که سطح مذکور به مدت یک ماه غیر عملیاتی باشد تا آسفالت مقاومت قبلی خود را باز یابد.

استفاده از این نوع روسازی از نظر اقتصادی نیز مقرون به صرفه می باشد زیرا هزینه ساخت روسازی های بلوکی فرودگاه به میزان ۱۰ الی ۲۰ درصد ارزان تر از روسازی بتنی می باشد.

### – مصالح روسازی بلوک بتنی فرودگاه

در این قسمت مشخصات لازم اجزاء اصلی این سیستم روسازی برای فرودگاه بیان می شود.

#### – بلوک بتنی

بلوک های بتنی جهت استفاده در فرودگاه ها طبق آیین نامه روسازی بلوکی آمریکا بایستی دارای حداقل مقاومت فشاری ۵۵ مگاپاسکال و طبق آیین نامه روسازی بلوکی کانادا ۵۰ مگا پاسکال باشد. بلوک های بتنی بایستی دوام و مقاومت کافی در برابر حرارت زیاد خارج شده از موتور هواپیماهای جت را دارا باشند.

#### – ماسه مفاصل

دانه بندی ماسه مفاصل طبق آیین نامه روسازی بلوکی فرودگاه کانادا و انگلستان در جدول صفحه بعد بیان شده است.

دانه بندی ماسه مفاصل طبق آیین نامه روسازی بلوکی فرودگاه کانادا

اندازه الک	درصد رد شده
۵ میلی متر	۱۰۰
۲/۵ میلی متر	۹۵-۱۰۰
۱/۲۵ میلی متر	۶۰-۱۰۰
۶۰۰ میکرومتر	۳۵-۸۰
۳۰۰ میکرومتر	۱۵-۵۰
۱۵۰ میکرومتر	۲-۱۵

دانه بندی ماسه مفاصل طبق آیین نامه روسازی بلوکی فرودگاه انگلستان.

اندازه الک	درصد رد شده
۲/۳۶ میلی متر	۱۰۰
۱/۱۸ میلی متر	۹۵-۱۰۰
۶۰۰ میکرومتر	۵۵-۱۰۰
۳۰۰ میکرومتر	۱۵-۵۰
۱۵۰ میکرومتر	۰-۱۵
۷۵ میکرومتر	۰-۳

- ماسه بستر ساز

دانه بندی ماسه بستر ساز برای روسازی های بلوکی فرودگاه کشورهای مختلف درجداول ۴ ، ۵ و ۶ ارائه گردیده است.

-دانه بندی ماسه بستر ساز برای روسازی های بلوکی فرودگاه مطابق با آیین نامه آمریکا

اندازه الک	درصد رد شده
۹/۵ میلی متر	۱۰۰
۴/۷۵ میلی متر	۹۵-۱۰۰
۲/۳۶ میلی متر	۸۰-۱۰۰
۱/۱۸ میلی متر	۵۰-۸۵
۶۰ میکرومتر	۲۵-۶۰
۳۰۰ میکرومتر	۱۰-۳۰
۱۵۰ میکرومتر	۲-۱۰
۷۵ میکرومتر	۰-۲



دانه بندی ماسه بستر ساز برای روسازی های بلوکی فرودگاه مطابق با آیین نامه کانادا

اندازه الک	درصد رد شده
۵ میلی متر	۱۰۰
۲/۵ میلی متر	۹۵-۱۰۰
۱/۲۵ میلی متر	۶۰-۱۰۰
۶۰۰ میکرومتر	۳۵-۸۰
۳۰۰ میکرومتر	۱۵-۵۰
۱۵۰ میکرومتر	۲-۱۵

دانه بندی ماسه بستر ساز برای روسازی های بلوکی فرودگاه مطابق با آیین نامه انگلستان

اندازه الک	در مورد شده
۳ میلی متر	۹۰-۱۰۰
۲/۳۶ میلی متر	۷۵-۱۰۰
۶۰۰ میکرومتر	۳۵-۶۰
۳۰۰ میکرومتر	۸-۳۵
۱۵۰ میکرومتر	۰-۱۰
۷۵ میکرومتر	۰-۱

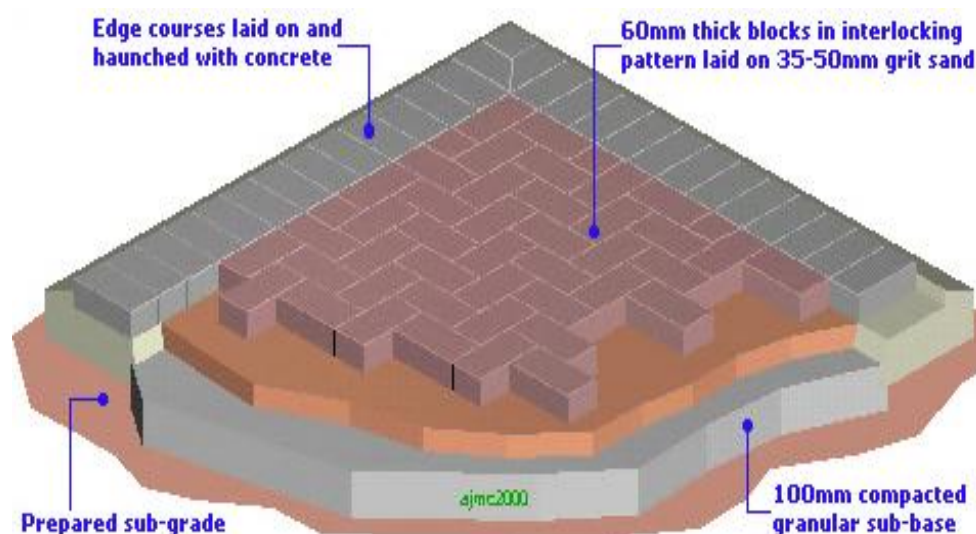
-لایه های اساس و زیر اساس

لایه های اساس و زیر اساس می توانند از جنس مصالح تثبیت شده با قیر (p304) و یا سیمان (p201) باشد.

در صورتی که خاک بستر طبق طبقه بندی یونیفاید GW و GP باشد آن گاه سیستم روسازی نیاز به لایه زیر اساس ندارد. همچنین با استفاده از ضرایب هم ارزی جدول ۷ می توان ضخامت اساس و زیراساس را برحسب مصالح مختلف پیدا نمود.

ضرایب هم ارزی توصیه شده برای اساس و زیر اساس تثبیت شده .

نوع اساس یا زیر اساس	دامنه ضرایب هم ارزی
تثبیت شده با قیر	۱/۷-۲/۳
تثبیت شده با مخلوط سرد قیری	۱/۵-۱/۷
مخلوط درمحل	۱/۵-۱/۷
تثبیت شده با سیمان	۱/۶-۲/۳
خاک تثبیت شده با سیمان	۱/۵-۲
سنگ دانه ای	۱/۴-۲
زیر اساس	۱



## روسازی مرکب (Composite Pavement)

به روسازی‌ای اطلاق می‌شود که شامل دو نوع روسازی، یعنی روسازی آسفالتی (Asphalt Concrete) به (Pavement) به عنوان لایه انعطاف‌پذیر و روسازی بتنی (Portland Cement Concrete Pavement) به عنوان لایه صلب باشد. در برخی موارد از یک لایه میانی جدا کننده بین لایه‌های آسفالتی و بتنی استفاده می‌گردد. استفاده از مصالح بتنی به عنوان لایه زیرین و در نقش لایه اساس، و مصالح آسفالتی به عنوان لایه رویه، ترکیب متداولی است که ویژگی‌هایی همچون مقاومت و سطح هموار را ارائه کرده و بهره‌برداری از یک روسازی ایده‌آل را ممکن می‌سازد. استفاده از مصالح بتنی در نقش لایه رویه و مصالح آسفالتی در نقش لایه اساس گزینه‌ای است که در صورت خرابی کامل لایه آسفالتی مقرون به صرفه خواهد بود. با توجه به هزینه اولیه بالای اجرای این نوع از روسازی‌ها، ساخت آنها به طور محدود صورت گرفته و بیشتر برای رفع معایب روسازی‌های بتنی موجود و به منظور ارتقای کیفیت سطح راه و تأمین سرویس، به صورت روکش آسفالتی بر روی روسازی‌های بتنی موجود به کار می‌روند. روسازی‌های مرکب (لایه انعطاف پذیر بر روی لایه صلب) معمولاً در روسازی‌های قدیمی دیده می‌شود. در این موارد باید روکشی مانند آسفالت گرم، روکش با دانه‌بندی باز، یا آسفالت پلیمری بر روی روسازی‌های بتنی درزدار (Jointed Plane Concrete Pavement- JPCP) یا روسازی‌های بتنی مسلح پیوسته (Continuously Reinforced Concrete Pavement- CRCP) اجرا شود.

## دلایل اجرای روسازی مرکب:

از آنجا که تاریخچه روسازی‌های مرکب به سال‌های اخیر باز می‌گردد، فقط برخی کشورها مزایای چنین طرحی را تجربه کرده‌اند. در حال حاضر، استفاده از روسازی‌های مرکب به جاده‌های با ترافیک سنگین مانند بزرگراه‌ها و شریان‌های اصلی متمرکز شده است. عموماً انتخاب روسازی مرکب تحت تأثیر یکی از عوامل زیر می‌باشد:

- ۱- به علت ترکیب یک لایه بتنی با یک لایه آسفالتی، ظرفیت باربری زیاد و مقاومت در برابر تغییر شکل در اثر عبور زیاد وسایل نقلیه را در کنار بهبود مشخصات سطح و آسان شدن تعمیر و نگهداری روسازی خواهیم داشت؛
- ۲- کم شدن صدای چرخ وسیله نقلیه در حرکت روی جاده با بهره‌گیری از ویژگی‌های آسفالت متخلخل،

۳- اجتناب از تعمیر و نگهداری درز آب‌بند در روسازی‌های بتنی یا به حداقل رساندن آن،

۴- کاهش نفوذ آب و در نتیجه بهتر شدن رفتار بلند مدت سازه روسازی،

۵- تعمیر یا ارتقای کیفیت سطح رو به زوال روسازی بتنی،

۶- کاهش هزینه‌های اضافی در طول طرح برای مسئولان نگهداری راه و استفاده‌کنندگان.

گاهی اوقات نیز برای مطابقت دادن لایه موجود با لایه جدید مثلاً هنگام تعریض، افزایش تعداد خطوط در مجاورت یک روسازی انعطاف پذیر، یا اجرای یک لایه روکش انعطاف پذیر بر روی لایه صلبی که هنوز از نظر سازه‌ای سالم است، می‌توان از روسازی مرکب استفاده کرد.

مقاطع روسازی:

در صورت استفاده از روکش آسفالتی بر روی روسازی بتنی موجود، بخش عمده باربری از طریق لایه بتنی انجام می‌شود. از این رو می‌توان برای طراحی لایه بتنی از تئوری صفحات استفاده کرد. اگر بتوان فرض نمود که چسبندگی لایه آسفالتی به لایه بتنی به طور کامل صورت گرفته است، می‌توان با در نظر گرفتن مقطع معادل از تئوری صفحات به منظور تعیین تنش خمشی دال بتنی بهره جست. در صورتی که محل بار چرخ در نزدیکی لبه یا درز (Joint) لایه بتنی در نظر گرفته شود، روش تئوری صفحات به تنهایی جوابگو است و اگر بار چرخ در وسط و به دور از لبه‌ها یا درزها وارد شود، می‌توان از تئوری لایه‌ها و یا صفحات برای استفاده نمود. روسازی بتنی می‌تواند به صورت بتن غیر مسلح درزدار، بتن مسلح درزدار و یا بتن مسلح پیوسته باشد.

علاوه بر انواع فوق، روسازی‌های مرکب می‌توانند شامل روسازی‌های آسفالتی با اساس تثبیت شده یا تثبیت نشده نیز باشند. برای روسازی‌های آسفالتی با اساس تثبیت نشده، تنش و کرنش بحرانی به صورت کششی است و در زیر لایه آسفالتی قرار دارد؛ در حالی که در روسازی‌های آسفالتی با اساس تثبیت شده موقعیت تنش بحرانی در زیر لایه اساس در نظر گرفته می‌شود.

نحوه طراحی روسازی مرکب با توجه به ترکیب لایه‌ها و نوع مقطع متفاوت خواهد بود. معمولاً لایه آسفالتی مستقیماً بر روی اساس بتنی اجرا نمی‌شود. یکی از معایب اجرای روکش به این روش، انتشار ترک‌های انعکاسی در لایه آسفالتی است که علت آن وجود درز و ترک در اساس بتنی است. شکل (۱) دو مقطع متفاوت که در بیشتر کشورها به عنوان مقطع متداول اجرا می‌گردد را نشان می‌دهد. در صورتی که مانند مقطع (الف) از یک لایه

آسفالتی با دانه‌بندی باز مابین لایه آسفالتی و بتنی استفاده گردد، می‌توان ترک‌های انعکاسی را کاهش داد. مقطع (ب) روش متداول دیگری را نشان می‌دهد که در آن برای جلوگیری از انعکاس ترک‌ها از یک لایه ضخیم مصالح دانه‌بندی شده میان دو لایه آسفالتی و بتنی استفاده شده است. در صورت اجرای این روش می‌توان لایه رویه را در دو بخش آسفالت سطحی به ضخامت ۴۰ میلی‌متر و لایه بیندر به ضخامت ۵۰ میلی‌متر اجرا نمود. وظیفه رویه انعطاف پذیر، عمل کردن به عنوان روکش حرارتی و رطوبتی برای کاهش گرادیان حرارتی و رطوبتی در لایه صلب است تا از این طریق تغییر شکل‌های دال بتنی (curling and warping) کاهش یابد. به علاوه لایه انعطاف پذیر از ساییده شدن لایه صلب در اثر تماس با چرخ خودروها جلوگیری می‌کند.

### روسازی صلب بر روی لایه انعطاف پذیر

از آنجا که حداقل ضخامت مورد نیاز برای لایه صلب ۷/۰ فوت است، تمامی روسازی‌های دارای سطح صلب بر اساس ضوابط و روش‌های مربوط به روسازی‌های صلب طراحی می‌شوند.

### معایب روسازی‌های مرکب

دلیل اینکه از روسازی‌های مرکب کمتر استفاده می‌شود این است که این روسازی‌ها، ترکیبی از معایب روسازی‌های صلب (هزینه اولیه بالاتر) و روسازی‌های انعطاف پذیر (نیاز به نگهداری بیشتر) را دارا هستند.

گاهی از لایه‌های انعطاف پذیر نازک (روکش‌ها) برای بهبود اصطکاک و کیفیت تردد لایه صلب استفاده می‌شود. از آنجا که اصطکاک و کیفیت تردد با خراشاندن سطح لایه صلب موجود نیز امکان پذیر است، باید مطالعات اقتصادی انجام گیرد تا مشخص شود که کدام روش کم هزینه‌تر است.

### خواص روسازی‌های مرکب

خواص روسازی‌های صلب و انعطاف پذیر باید برای روسازی‌های مرکب نیز در نظر گرفته شود. در انتخاب مصالح برای لایه انعطاف پذیر باید دقت شود تا از انتشار ترک‌های انعکاسی لایه صلب جلوگیری کرده، همچنین اجرای لایه انعطاف پذیر که معمولاً نازک می‌باشد نیز تسهیل شود.

## فاکتورهای عملکردی

لایه‌های انعطاف پذیری که بر روی لایه‌های صلب اجرا می‌شوند باید به نحوی طراحی و از مصالحی ساخته شوند که الزامات زیر را برآورده کنند:

۱- ترک‌های انعکاسی: درزها و ترک‌های لایه صلب زیرین نباید در طی زمان بهره‌برداری بر روی لایه انعطاف پذیر اثر بگذارند.

۲- همواری: لایه انعطاف پذیر باید طوری طراحی شود که دارای IRI اولیه برابر ۶۳ اینچ در مایل بوده و در طول زمان بهره‌برداری تا حداکثر IRI برابر با ۱۷۰ اینچ در مایل نگه‌داشته شود.

۳- چسبندگی: اصلی‌ترین عامل در عملکرد و طول عمر لایه انعطاف پذیر، وضعیت چسبندگی بین لایه انعطاف پذیر و لایه صلب است. در حالت چسبندگی خوب بین لایه انعطاف پذیر و لایه صلب، ضخامت لایه انعطاف پذیر نقش مهمی در طول عمر آن ایفا نمی‌کند. از این رو، در کارهای عملی اگر از نظر سازه‌ای به لایه انعطاف پذیر نیاز نباشد، حداقل ضخامت مورد نیاز برای لایه انعطاف پذیر بر اساس مشخصات مصالح از قبیل ساختمان و دانه‌بندی سنگدانه‌ها، نوع بیندر و ... تعیین خواهد شد.

منابع:

- ۱- کاربرد بتن غلتکی در راهسازی دفتر مطالعات فناوری و ایمنی دبیرخانه مجمع جهانی راه (پیارک) در ایران
- 2- RAGAN S.A: "Evaluation of the frost resistance of roller-compacted concrete pavements". Transportation Research Record 1062. Transportation Research Board , Washington, 1986 .
- 3- ROBERT G. PACKARD:"Desing of conceret airport pavement