جمهوری اسلامی ایران

معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رییس جمهور

# راهنمای طراحی و اجرای بتن غلتکی در روسازی راههای کشور

## نشریه شماره ۳۵۴

معاونت نظارت راهبردی
دفتر نظام فنی اجرایی

http://tec.mporg.ir/

وزارت راه و ترابری
پژوهشکده حمل و نقل

http://tri.gov.ir/

۱۳۸۸

دکتر بتن
DrBeton.ir
مرکز توسعه بتن ایران

بسمه تعالی

**ریاست جمهوری**
معاون برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رییس جمهور

| | | |
|---|---|---|
| بخشنامه به دستگاه‌های اجرایی، مهندسان مشاور و پیمانکاران | شماره: | ۱۰۰/۱۲۰۱۱ |
| | تاریخ: | ۱۳۸۸/۲/۱۴ |

موضوع:
**راهنمای طراحی و اجرای بتن غلتکی در روسازی راه‌های کشور**

به استناد آیین‌نامه استانداردهای اجرایی طرح‌های عمرانی، موضوع ماده (۲۳) قانون برنامه و بودجه و در چارچوب نظام فنی و اجرایی کشور (مصوبه شماره ۴۲۳۳۹/ت۳۳۴۹۷هـ مورخ ۱۳۸۵/۴/۲۰ هیأت محترم وزیران)، به پیوست نشریه شماره ۳۵۴ دفتر نظام فنی اجرایی، با عنوان «**راهنمای طراحی و اجرای بتن غلتکی در روسازی راه‌های کشور**» از نوع گروه سوم ابلاغ می‌شود.

دستگاه‌های اجرایی، مهندسان مشاور، پیمانکاران و عوامل دیگر می‌توانند از این نشریه به عنوان راهنما استفاده کنند و در صورتی که روش‌ها، دستورالعمل‌ها و راهنمای بهتری در اختیار داشته باشند، رعایت مفاد این بخشنامه الزامی نیست.

عوامل یاد شده باید نسخه‌ای از دستورالعمل‌ها، روش‌ها یا راهنماهای جایگزین را به دفتر نظام فنی اجرایی ارسال کنند.

امیرمنصور برقعی
معاون برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رییس جمهور

۵۹۹۱۳۴

# اصلاح مدارک فنی

## خواننده گرامی

دفتر نظام فنی اجرایی معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رییس جمهور، با استفاده از نظر کارشناسان برجسته مبادرت به تهیه این نشریه کرده و آن را برای استفاده به جامعه مهندسی کشور عرضه نموده است. با وجود تلاش فراوان، این اثر مصون از ایرادهایی نظیر غلطهای مفهومی، فنی، ابهام، ایهام و اشکالات موضوعی نیست.

*از این‌رو، از شما خواننده گرامی صمیمانه تقاضا دارد در صورت مشاهده هرگونه ایراد و اشکال فنی مراتب را به صورت زیر گزارش فرمایید:*

۱- *شماره بند و صفحه موضوع مورد نظر را مشخص کنید.*

۲- *ایراد مورد نظر را به صورت خلاصه بیان دارید.*

۳- *در صورت امکان متن اصلاح شده را برای جایگزینی ارسال نمایید.*

٤- *نشانی خود را برای تماس احتمالی ذکر فرمایید.*

کارشناسان این دفتر نظرهای دریافتی را به دقت مطالعه نموده و اقدام مقتضی را معمول خواهند داشت.

پیشاپیش از همکاری و دقت نظر جنابعالی قدردانی می‌شود.

***نشانی برای مکاتبه:*** تهران، میدان بهارستان، خیابان صفی‌علی‌شاه، مرکز تلفن ۳۳۲۷۱، دفتر نظام فنی اجرایی

**Email: tsb.dta@mporg.ir** **web: http://tec.mporg.ir/**

**بسمه تعالی**

## پیشگفتار

بهره‌گیری از ضوابط، معیارها و استانداردهای ملی در تمامی مراحل طراحی، اجرا، بهره‌برداری و نگهداری طرحهای عمرانی با رویکرد کاهش هزینه، زمان و ارتقاء کیفیت، از اهمیتی ویژه برخوردار بوده و در نظام فنی و اجرایی کشور، مورد تأکید جدی قرار گرفته است.

براساس مفاد ماده ۲۳ قانون برنامه و بودجه، سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، موظف به تهیه و ابلاغ ضوابط، مشخصات فنی، آیین‌نامه‌ها و استانداردهای مورد نیاز طرحهای عمرانی می‌باشد. با توجه به تنوع و گستردگی طرحهای عمرانی، طی سالهای اخیر سعی شده است در تهیه و تدوین اینگونه مدارک علمی، از مراکز تحقیقاتی دستگاههای اجرایی ذیربط استفاده شود. در این راستا مقرر شده است، معاونت آموزش، تحقیقات و فناوری وزارت راه و ترابری در تدوین ضوابط و معیارهای فنی بخش راه و ترابری عهده‌دار این مهم باشد.

سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور نیز در راستای وظـایف و مسئولیتهای قانونی و به منظور هماهنگی و همگامی با فناوریهای جدید، اقدام به تدوین این نشریه با عنوان «راهنمای طراحی و اجرای بتن غلطکی در روسازی راههای کشور» نموده است. این دستورالعمل به منظور ایجاد هماهنگی و یکنواختی در طرح و اجرای پروژه‌های احداث راه در کشور و همچنین رعایت اصول، روشها و فنون اجرایی متناسب با امکانات موجود و سازگار با شرایط و مقتضیات اقلیمی کشور، تهیه و تدوین شده است.

بتن غلتکی که اجرای آن به عنوان یک فن آوری در حال رشد و توسعه محسوب می‌شود، دارای دو کاربرد عمده در سـد سـازی و روسازی راه‌ها می‌باشد. در این پروژه به کاربرد و اجرای این محصول در راهسازی پرداخته می‌شود.

دستورالعمل حاضر برگرفته از منابع ، مراجع و مطالعات و تحقیقات داخلی و خارجی می‌باشد. امیدواریم که کارشناسان و متخصصان با مطالعه دقیق و ارائه پیشنهادات اصلاحی و اظهار نظرات سازنده در تکمیل و رفع کمبودها در این پروژه مشارکت نمایند.

در پایان، از تلاش و جدیت مدیرکل محترم دفتر نظام فنی اجرایی، سرکار خانم مهندس بهناز پورسید و کارشناسان این دفتر، پژوهشکدهٔ حمل و نقل وزارت راه و ترابری و متخصصان همکار در امر تهیه و نهایی نمودن این نشریه، تشکر و قدردانی می‌نماید. امید است شاهد توفیق روزافزون همه‌ی این بزرگواران در خدمت به مردم شریف ایران اسلامی باشیم.

**معاون نظارت راهبردی**

**۱۳۸۸**

## ترکیب اعضای تهیه‌کننده، کمیته و ناظران تخصصی

این راهنما در پژوهشکدهٔ حمل و نقل وزارت راه و ترابری و با همکاری افراد زیر تهیه شده است. اسامی این افراد به ترتیب حروف الفبا به شرح زیر است:

کارشناسان مجری (تهیه‌کننده):

دکتر علیرضا باقری

دکتر منصور فخری

ناظر بر تدوین:

دکتر ابوالفضل حسنی

همکاران پژوهشکده حمل و نقل وزارت راه و ترابری:

دکتر محمود عامری

مهندس کیاندخت کدخدازاده

دکتر احمد منصوریان

مهندس امیرسعید نکوئی

گروه مدیریت و راهبری پروژه در معاونت نظارت راهبردی:

مهندس بهناز پورسید

مهندس علی تبار

مهندس طاهر فتح‌اللهی

مهندس بابک آقابابازاده

## فهرست مطالب


| عنوان | صفحه |
|---|---|
| **فصل اول: کلیات و تاریخچه** | **۱** |
| ۱-۱- معرفی و کلیات | ۳ |
| ۱-۲- سابقه و تاریخچه | ۴ |
| مراجع | ۶ |
| **فصل دوم: انواع روسازی های بتنی و جایگاه روسازی بتن غلتکی** | **۷** |
| ۲-۱- مقدمه | ۹ |
| ۲-۲- استفاده از لایه اساس | ۱۰ |
| ۲-۳- انواع روسازی های بتنی | ۱۱ |
| ۲-۳-۱- روسازی بتنی ساده درز دار(JPCP) | ۱۱ |
| ۲-۳-۲- روسازی بتنی مسلح درز دار(JRCP) | ۱۱ |
| ۲-۳-۳- روسازی بتنی پیوسته (CRCP) | ۱۲ |
| ۲-۳-۴- روسازی بتنی پیش شده ( PCP ) | ۱۳ |
| ۲-۴- روسازی های مختلط | ۱۳ |
| ۲-۵- مقایسه روسازی‌های بتنی و آسفالتی | ۱۳ |
| ۲-۵-۱- مزیت رویه‌های بتنی در مقایسه با آسفالتی | ۱۳ |
| ۲-۵-۲- معایب رویه‌های بتنی در مقایسه با لایه‌های آسفالتی | ۱۴ |
| ۲-۵-۳- موارد کاربرد رویه های بتنی | ۱۴ |
| ۲-۶- جایگاه بتن غلتکی در روسازی های بتنی | ۱۴ |
| مراجع | ۱۵ |
| **فصل سوم: خواص و عملکرد روسازی های بتن غلتکی** | **۱۷** |
| ۳-۱- کلیات | ۱۹ |
| ۳-۲- خواص | ۱۹ |
| ۳-۲-۱- کارآیی | ۱۹ |
| ۳-۲-۲- جداشدگی | ۲۰ |
| ۳-۲-۳- آب انداختگی | ۲۱ |
| ۳-۲-۴- جرم حجمی و درجه تراکم | ۲۱ |
| ۳-۲-۵- مقاومت فشاری | ۲۳ |

۳-۲-۶- مقاومت خمشی ۲۶
۳-۲-۷- مقاومت کششی برزیلی ۲۷
۳-۲-۸- مدول الاستیسته ۲۷
۳-۲-۹- خستگی ۲۸
۳-۲-۱۰- جذب آب ۳۰
۳-۲-۱۱- جمع شدگی ناشی از خشک شدن ۳۰
۳-۲-۱۲- دوام در برابر سولفات ها ۳۰
۳-۲-۱۳- دوام در برابر ذوب و انجماد ۳۱
۳-۳- عملکرد ۳۱
۳-۳-۱- انتقال بار از درزها ۳۱
۳-۳-۲- اتصال بین لایه ها ۳۲
۳-۳-۳- مقاومت در برابر لغزش ۳۳
۳-۳-۴- مسطح بودن سطح یا همواری ۳۷
۳-۳-۵- کیفیت تردد ۳۸
۳-۳-۶- مقاومت در برابر سایش ۴۱
مراجع ۴۲
**فصل چهارم: زمینه های کاربرد بتن غلتکی ٤٣**
۴-۱- کلیات ۴۵
۴-۲- کاربرد جهت روسازی کف انبارهای سر پوشیده و روباز و محوطه‌های دپو ۴۵
۴-۳- روسازی ترمینالهای بار، باراندازها و بندرگاهها ۴۶
۴-۴- روسازی جاده های ویژه وسایل نقلیه سنگین کم سرعت و وسایل نقلیه نظامی زنجیردار ۴۹
۴-۵- جاده های با شیب زیاد ۵۰
۴-۶- روسازی راه‌های با تردد و سرعت کم و خیابان های شهری و بین شهری ۵۰
۴-۷- پارکینگ اتومبیل ها و راه های تردد داخل سازمانها ۵۲
۴-۸- کاربرد در فرودگاه ۵۲
مراجع ۵۴
**فصل پنجم: طرح اختلاط و مصالح مصرفی در بتن غلتکی روسازی راه ۵۵**
۵-۱- مواد و مصالح مصرفی ۵۷
۵-۲- طرح اختلاط بتن غلتکی روسازی راه ۶۰

۵-۲-۱- روش گام به گام طرح اختلاط با استفاده از آزمایشهای روانی بتن ۶۳
۵-۲-۲- طرح اختلاط با استفاده از روشهای تراکم خاک ۶۶
۵-۲-۳- ساخت نمونه‌های آزمایشگاهی ۶۹
مراجع ۷۰
**فصل ششم: روشهای ساخت و اجرای روسازی بتن غلتکی** **۷۱**
۶-۱- کلیات ۷۳
۶-۲- آماده سازی لایه های اساس و زیر اساس ۷۳
۶-۳- ساخت مخلوط بتن و حمل آن ۷۳
۶-۴- بتن ریزی ۷۴
۶-۵- تراکم ۷۶
۶-۶- ساخت درزها ۷۶
۶-۶-۱- درزهای تازه ۷۷
۶-۶-۲- درزهای اجرایی ۷۷
۶-۶-۳- درزهای انقباضی ۷۹
۶-۷- عمل آوری و مراقبت از سطح ۷۹
مراجع ۸۲
**فصل هفتم: بررسی معیارهای بارگذاری و روشهای طراحی روسازی های بتن غلتکی** **۸۳**
۷-۱- مقدمه ۸۵
۷-۲- درزهای انقباضی و تاثیر آنها در انتقال بار در روسازی‌های بتن غلتکی ۸۵
۷-۳- روشهای طراحی روسازی‌های بتن غلتکی ۸۷
۷-۳-۱- روش PCA ۸۷
۷-۳-۱-۱- مقاومت ۸۸
۷-۳-۱-۲- مدول الاستیسیته ۸۸
۷-۳-۱-۳- مقادیر طراحی ۸۸
۷-۳-۱-۴- رفتار خستگی ۸۹
۷-۳-۱-۵- اصول طراحی ۹۰
۷-۳-۱-۶- بار وسایل نقلیه ۹۲
۷-۳-۱-۷- مقاومت خمشی طراحی ۹۳
۷-۳-۱-۸- تنش مجاز روسازی ۹۳
۷-۳-۱-۹- گرافهای تعیین ضخامت ۹۴

۷-۳-۱-۱۰- مثال طراحی برای محور منفرد ۹۵
۷-۳-۱-۱۱- مثال طراحی برای محور دوگانه ۹۵
۷-۳-۱-۱۲- مراحل طراحی برای حالت ترافیک ترکیبی ۹۶
۷-۳-۱-۱۳- تصحیحات لازم برای حالت محور دوگانه ۹۷
۷-۳-۱-۱۴- تأثیر مدول الاستیسیته ۹۷
۷-۳-۲- روش گروه مهندسین ارتش آمریکا برای روسازیهای بتن غلتکی ۹۷
۷-۳-۲-۱- مراحل تفصیلی روش گروه مهندسین ارتش آمریکا ۹۹
۷-۳-۲-۱-۱- مبنای طراحی ۹۹
۷-۳-۲-۱-۱-۱- متغیرهای طراحی ۹۹
۷-۳-۲-۱-۱-۲- روسازی های صلب ۹۹
۷-۳-۲-۱-۲- ترافیک ۹۹
۷-۳-۲-۱-۲-۱- تأثیر ترافیک بر طراحی روسازی ۹۹
۷-۳-۲-۱-۲-۲- ارزیابی ترافیک ۱۰۰
۷-۳-۲-۲- طراحی چند لایه بر روی هم ۱۰۳
۷-۳-۳- روشهای طراحی دیگر ۱۰۵
مراجع ۱۰۷
**فصل هشتم: تحلیل امکان سنجی فنی اقتصادی ساخت روسازی بتنی RCC در ایران ۱۰۹**
۸-۱- مقدمه ۱۱۱
۸-۲- معیارهای ارزیابی ۱۱۱
۸-۲-۱- معیارهای فنی و اجرایی ۱۱۱
۸-۲-۲- معیارهای اقتصادی ۱۱۱
۸-۲-۲-۱- هزینه ساخت ۱۱۱
۸-۲-۲-۲- هزینه نگهداری ۱۱۲
۸-۲-۲-۳- هزینه استفاده کنندگان از راه ۱۱۴
۸-۳- روشهای طرح روسازی ۱۱۵
۸-۴- مقایسه اقتصادی و هزینه‌ای روسازی‌های مختلف ۱۱۶
۸-۴-۱- طراحی روسازی‌های آسفالتی به روش آشتو ۱۱۶
۸-۴-۲- طراحی روسازی RCC به روش PCA و گروه مهندسین ارتش آمریکا ۱۲۰
۸-۴-۳- آنالیز اقتصادی ۱۲۶

۸-۵- نتیجه‌گیری ۱۳۲
مراجع ۱۳۳
**فصل ۹- ضوابط مواد و مصالح، طرح اختلاط، اجرا و کنترل کیفیت روسازی های بتن غلتکی ۱۳۵**
۹-۱- مقدمه ۱۳۷
۹-۲- مواد و مصالح ۱۳۷
۹-۲-۱- سیمان ۱۳۷
۹-۲-۲- سنگدانه‌ها ۱۳۸
۹-۲-۳- آب ۱۳۸
۹-۲-۴- مواد افزودنی شیمیایی ۱۳۸
۹-۲-۵- مواد افزودنی معدنی ۱۳۹
۹-۳- طرح اختلاط ۱۳۹
۹-۴- اجرا (تولید، انتقال، ریختن، متراکم کردن، عمل آوری و ایجاد درزها) ۱۴۱
۹-۴-۱- تولید بتن غلتکی ۱۴۱
۹-۴-۲- انتقال بتن غلتکی ۱۴۱
۹-۴-۳- ریختن ۱۴۱
۹-۴-۴- ضخامت لایه ۱۴۲
۹-۵- متراکم نمودن ۱۴۲
۹-۵-۱- نحوه غلتک‌زنی ۱۴۲
۹-۵-۲- نحوه اجرای درزهای تازه ۱۴۳
۹-۵-۳- نحوه اجرای درزهای سرد ۱۴۴
۹-۵-۴- تراکم بخش پایان یک باند ۱۴۵
۹-۶- عمل آوری ۱۴۵
۹-۷- تحت بار قرار گرفتن روسازی بتن غلتکی در سنین اولیه ۱۴۵
۹-۸- ایجاد درزهای انقباض ۱۴۵
۹-۹- وسایل انتقال بار از بین ترک ۱۴۶
۹-۱۰- کنترل کیفیت ۱۴۶
۹-۱۰-۱- کنترل کیفیت پیش از ساخت ۱۴۶
۹-۱۰-۱-۱- مقطع آزمایشی ۱۴۷
۹-۱۰-۲- کنترل کیفیت درحین ساخت ۱۴۸
۹-۱۰-۳- کنترل کیفیت پس ازساخت ۱۴۸

مراجع ۱۴۹
**فصل ۱۰- جمع بندی** **۱۵۱**

# فصل اول

## کلیات و تاریخچه

# فصل اول

# کلیات و تاریخچه

## ۱-۱- معرفی و کلیات

بتن غلتکی در دو زمینه کاملا مختلف مورد استفاده قرار می گیرد که بایستی تفاوت‌های آنها مورد توجه قرار گیرند. اولین زمینه استفاده از بتن غلتکی در ساخت سدها می‌باشد. این نوع بتن دارای سیمان کم بوده و مقاومت فشاری آن معمولا کمتر از بتن معمولی می باشد. اندازه حد اکثر سنگدانه بتن‌های غلتکی سد سازی درشت‌تر از بتن معمولی بوده و از ۵۰ میلیمتر تا بیش از ۱۰۰ میلیمتر می باشد. بتن غلتکی ویژه روسازی راه (RCCP)[1] دارای مقدار سیمان زیاد، مقاومت فشاری معمولا بالاتر از ۳۰ مگا پاسگال و طرح اختلاط با اندازه و دانه بندی مصالح کنترل شده در یک محدوده مشخص می باشد. در روسازی راه، بتن غلتکی می‌تواند به عنوان رویه اصلی برای تامین استقامت باربری سازه روسازی مورد استفاده قرار گیرد .طرح روسازی بتن غلتکی مشابه پروسه طراحی روسازی بتنی درزدار غیر مسلح با درزهای انقباظی یا درزهای ساخت بدون داول می باشد . اختلاف اصلی بین بتن غلتکی و بتن معمولی در ارتباط با روش ساخت روسازی , فواصل درزها و ظاهر رویه می باشد [۲]. این راهنما فقط محدود به استفاده از بتن غلتکی در روسازی راهها بوده و هیچگونه اشاره ای به کاربرد آن در سدها ندارد. طبق تعریف بتن غلتکی روسازی راه عبارت است از مخلوط سفت و نسبتا خشکی از سنگ دانه ها (با اندازه حد اکثر ۱۹ میلیمتر), مواد سیمانی و آب که توسط دستگاههای متداول روسازی آسفالتی (فینیشر) پخش و پس از آن توسط غلتک ویبره ای کوبیده و متراکم می‌گردد و سرانجام بعد از سخت‌شدن در اثر واکنش هیدراتاسیون سیمان به بتن تبدیل می‌گردد [۴و۱]. مواد تشکیل دهنده بتن غلتکی در داخل مخلوط کن به یک مخلوط همگن تبدیل می شود و دارای کار آیی و ظاهر مشابه با مخلوط شن نمدار و یا بتن با اسلامپ صفر می باشد . این مخلوط ها توسط تجهیزات ساخت روسازی آسفالتی (در مواردی با برخی اصلاحات) در لایه‌هایی که ضخامت حداکثر آنها در وضعیت متراکم شده از ۲۵ سانتی متر تجاوز نمی کند پخش و سپس متراکم می شوند . لایه‌ها با غلتکهای فولادی ویبره‌ای متراکم می‌گردند . در مواردی جهت دستیابی به کیفیت بهترسطح از غلتک های چرخ لاستیکی برای تراکم نهایی لایه‌ها استفاده می شود . پس از تراکم، عملیات عمل‌آوری و مرطوب نگهداشتن سطح بتن آغاز می گردد تا امکان دستیابی به روسازی با سطح سخت و با دوام فراهم آید .معمولا از روسازی بتن غلتکی به عنوان سطح نهایی سواره‌رو استفاده می‌شود. هر چند در موارد معدودی نیز جهت بهبود کیفیت سطح و یا برای بهسازی بتن غلتکی از یک لایه رویه آسفالت گرم استفاده شده است .از روسازی بتن غلتکی جهت اجرای پروژه های مختلف و متعددی استفاده شده است . با توجه به دشواری‌هایی که در دستیابی به الزامات صافی سطح روسازی ( هموار بودن ) با این نوع روسازی خصوصا در سالهای اولیه توسعه وجود داشت سابقه کاربرد روسازی بتن غلتکی عمدتاً جهت جاده ها و یا روسازیهای با سرعت ترافیک پائین بوده است هر چند که امروزه با پیشرفت تکنولوژی و ساخت فینیشرهای با کارآیی بالاتر و قدرت تراکم بیشتر امکان استفاده از آن برای سرعت‌های بالاتر فراهم شده است . تا کنون عمده کاربرد روسازی بتن غلتکی در محوطه های روباز کارخانجات , جاده‌های دسترسی معادن , سطوح محوطه‌های بارانداز بنادر، ترمینالهای وسایل نقلیه سنگین و نظامی, محوطه‌های پارکینگ اتومبیل‌ها و کامیون‌ها و سطوح انبارها، محل پارکینگ هواپیماها درفرودگاهها، جاده‌های فرعی و یا خیابان های با سرعت پائین و متوسط بوده است [۱]. لازم به ذکر است که تکنولوژی روسازی بتن غلتکی به عنوان یک فن‌آوری در حال

1 -RCCP:Roller Compacted Concrete Pavement

رشد و توسعه محسوب می‌گردد و کشورهای مختلف دنیا در زمینه های مختلف این نوع روسازی در حال انجـام کارهـای تحقیقـاتی برای تکامل آن می‌باشند .

## ۱-۲- سابقه وتاریخچه

ساخت روسازی بتن غلتکی روشی نوین در راستای توسعه و تکامل مصالحی نظیرخاک تثبیت شده با سیمان[1] و یا اساس اصـلاح شده با سیمان ( CTB ) می باشد که مدتهای مدیدی به عنوان زیراساس و اساس در طراحی و ساخت روسازیها کـاربرد داشـته‌انـد . این گونه کابردهای اولیه بتن غلتکی در بسیاری ازکشورها قبل از جنگ جهانی اول نیز صـورت گرفتـه‌اسـت . مهندسـین کانـادایی در ایالت بریتیش کلمبیا[2] در سال ۱۹۷۰ به منظور ایجاد لایه‌های اساس با کیفیت بالاتر کاربرد سـنگدانه بـا مقـدار بـالاتری از سـیمان را آغاز کردند. گام بعدی در نظرگرفتن روسازی بتن غلتکی به عنوان روسازی کامل و بدون نیـاز بـه لایـه روکـش بـود. اولـین کـاربرد روسازی بتن غلتکی بدین شکل در ساخت محوطه‌ای برای کارخانجات چوب و الوار با بارگذاری سنگین در ونکوور در سال ۱۹۷۰ بـود. عملکرد روسازی بتن غلتکی در این محوطه که تحت بارگذاری سنگین و همچنین سایش شدید بود بسیار موفقیت آمیز بود به نحـوی که از آن زمان روسازی بتن غلتکی برای ساخت روسازی محوطه‌های صـنعتی کـاربرد وسـیعی در کانـادا داشـته‌اسـت. اولـین نمونـه استفاده از روسازی بتن غلتکی در اروپا در سال ۱۹۷۰ در جاده‌های با حجم ترافیکی کم در اسپانیا و اولین کاربرد آن در امریکا سـاخت موفقیت آمیز یک جاده دسترسی به صورت آزمایشی در ایستگاه مطالعاتی ارتـش امریکـا در میسیسـیپی در سـال ۱۹۷۵ بـوده اسـت . لیکن اولین کاربرد واقعی و مهم RCCP در امریکا احداث محوطه وسیع پارکینگ برای تانک‌هـا و وسـایل نقلیـه نظـامی سـنگین در پایگاه هود در تگزاس در سال ۱۹۸۴ بوده‌است . بعد از این کاربرد موفقیت‌آمیز تعداد قابل توجهی روسازی برای بارهای سنگین توسـط بخش دولتی، نظامی و همچنین بخش خصوصی در آمریکا صورت گرفت. این کاربردها شامل روسازی پارکینگ وسایل نقلیـه نظـامی سنگین، روسازی بندرگاهها و پایانه‌های مبادله بارهای کانتینری بوده‌است . از این میان دو پروژه بـزرگ کـه در سـال هـای ۱۹۸۹ تـا ۱۹۹۰ اجرا شدند یکی روسازی جاده و محل پارکینگ وسایل نقلیه چرخ زنجیـری بـه مسـاحت ۳۲۴۰۰۰ متـر مربـع در پایگـاه درام[3] نزدیک نیویورک و دومی روسازی پارکینگ اتومبیل برای شرکت جنرال موتور در تنسی بـه مسـاحت ۴۰۵۰۰۰ متـر مربـع قابـل ذکـر است. در سال ۱۹۹۲ نیز شرکت سیف‌وی[4] برای روسازی محوطه انبار خود در کالیفرنیا ۲۲۶۰۰۰ متر مربع روسازی بتن غلتکی را اجـرا نمود. دلیل این انتخاب هزینه اولیه پائین، سرعت ساخت بالا، دوام خـوب تحـت بارهـای سـنگین و هزینـه نگهـداری پـائین بـود. در اندونزی اولین روسازی بتن غلتکی در سال ۱۹۸۵ ساخته شد و علی رغم رضایت بخش نبودن اولین تجربه آنها تا سال ۱۹۹۰ بیش از ۵۵۰,۰۰۰ متر مربع از این نوع روسازی در آن کشور ساخته شد. در ژاپن اولین روسازی بتن غلتکی در سـال ۱۹۸۷ بـه بهـره بـرداری رسید و تا سال ۱۹۹۷ حدود ۱, ۸۰۰,۰۰۰ متر مربع روسازی بتن غلتکی در این کشور ساخته شد [۳]. در مالزی نیز اولین روسازی بتن غلتکی در سال ۱۹۹۰ برای یک جاده ایالتی و بطور آزمایشی ساخته شد.

علاوه بر کشورهای فوق کشورهای فرانسه، نروژ، فنلاند، دانمارک، آلمان، استرالیا و آرژانتین از بعد از سال ۱۹۸۰ شروع به ساخت روسازی بتن غلتکی نمودند که استفاده هریک از آنها در حدود ۱۰۰,۰۰۰ متر مربع است. در هفـت کشـور شـیلی، اروگوئـه، مکزیـک،

1 - Soil Cement
2 - British Colombia
3 - Drum
4 - Safeway

کلمبیا، اکوادور، ایسلند و آفریقای جنوبی نیز کاربرد بتن غلتکی به میزان محدود و یا به صورت آزمایشی صورت گرفته است . تا پایان سال ۱۹۹۰ سطح کل روسازی بتن غلتکی دردنیا از مرز ۱۲,۰۰۰,۰۰۰ مترمربع تجاوز نمود که بیش از نصف آن در اسپانیا ساخته شد. در حدود ۱,۵۰۰,۰۰۰ متر مربع از این سطح برای بزرگراهها و راههای اصلی مورد استفاده قرار گرفت . در این راهها یک لایه آسفالت در بالای لایه بتن غلتکی جهت بهبود کیفیت سطح به کار رفت و باقیمانده ۱۰,۵۰۰,۰۰۰ متر مربع آن در روسازی های با سرعت کم نظیر راههای درجه دو و نواحی صنعتی و نظامی بدون اینکه برروی روسازی بتن غلتکی پوشش دیگری قرار گیرد مورد استفاده قرار گرفت [۵].

## مراجع:

1-ACI 325.10 "State of art Report on Roller Compacted Concrete Pavements," American concrete Institute report ACI 325.10-95, 2000.

2-Hodgkinson J.R, "Design and Construction of Roller Compacted concrete (RCC) Pavement ,Cement and Concrete Association of Australia, 1991.

3-Kagata, etal, "Retarder Application to Longitudinal Roller compacted in Concrete pavement Joints , 9 th International Symposium in Concrete Roads , 1998,Portugal.

4-Naik, T.R. etal, "strength and durability of roller compacted HVFA concrete pavements" Practice periodical on structural design and construction, November 2001, pp 154-165.

5-Piarc Technical Committee on Concrete Roads,"The use of Roller Compacted Concrete for Roads", 1993.

# فصل دوم

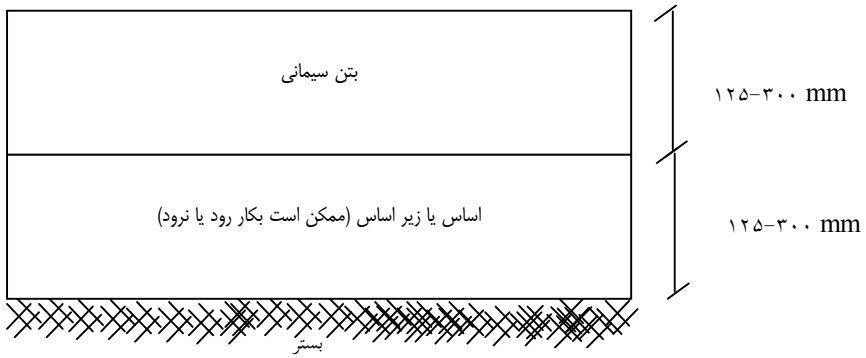
## انواع روسازی‌های بتنی و
## جایگاه روسازی بتن غلتکی

# فصل دوم

# انواع روسازی‌های بتنی و جایگاه روسازی بتن غلتکی

## ۲-۱- مقدمه

روسازی بتنی از بتن حاوی سیمان پرتلند ساخته می‌شود . اولین روسازی بتنی در دیترویت میشیگان در آمریکا در سال ۱۹۰۸ ساخته شد . برای طراحی روسازی بتنی بجای تئوری لایه‌ها که در طراحی روسازی انعطاف پذیر (آسفالتی) استفاده می‌شود از تئوری صفحات استفاده می‌گردد . تئوری صفحه در واقع همان حالت ساده شده تئوری لایه‌ها است که فرض می‌کند دال بتنی یک صفحه تقریباً ضخیم است که قبل از خمش وارده به آن مسطح[1] بوده و پس از خمش نیز به حالت مسطح باقی خواهد ماند . اگر چنانچه بارگذاری ناشی از بارهای چرخ فقط در قسمت میانی یک دال اعمال گردد هم تئوری لایه ها و هم تئوری صفحه میتواند مورد استفاده قرار گیرد و بایستی هر دو منجر به مقادیر مشابهی کرنش یا تنش خمشی گردند . اگر چنانچه بار چرخ نزدیک کناره‌های دال و در فاصله‌ای کمتر از ۰/۶ متر(۲ فوت) از لبه دال وارد شود، تنها تئوری صفحه می تواند برای روسازی بتنی مورد استفاده قرار گیرد . زیرا تئوری لایه‌ها تنها برای روسازی انعطاف پذیر مورد استفاده قرار گرفته و در روسازی بتنی قابل استفاده نیست و به این دلیل است که PCC[2] خیلی سخت تر از HMA[3] بوده و بار را در سطح خیلی وسیع‌تری پخش می‌کند . بنابراین یک فاصله ۰/۶ متری (۲ فوتی) از کناره‌ها در یک روسازی انعطاف پذیر کاملا دور محسوب می گردد در حالیکه برای یک روسازی سخت دور نیست. وجود درزها نیز در روسازی بتنی استفاده از تئوری لایه‌ها را غیر ممکن می‌سازد . شکل زیر تیپ یک روسازی بتنی را در حالت کلی نشان می دهد، همان طور که در شکل دیده می‌شود در زیر دال بتنی اساس و یا زیر اساس ممکن است قرار گیرد و یا اینکه دال بتنی مستقیماً برروی سابگرید قرار داده شود .




**شکل ۲-۱ تیپ یک روسازی بتنی**

1- Plane
2 - Portland Cement Concrete
3- Hot Mix Asphalt

## ۲-۲- استفاده از لایه اساس

درگذشته روسازی بتنی مستقیما برروی بستر ساخته می‌شد ولی با افزایش حجم و وزن ترافیک و بوجود آمدن پدیده پامپینگ[1] استفاده از اساس دانه‌ای کاملا متداول شده‌است . زمانی که روسازی تحت تأثیر تعداد زیادی از بار 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 می‌گردد. اگر چه استفاده از لایه اساس مقدار تنش بحرانی را در روسازی بتنی کاهش می‌دهد 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 اساس، 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 پامپینگ : پامپینگ عبارت است از خروج آب وخاک 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[2] 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[3] به سمت بالا[4] حرکت می کند باعث ایجاد مکش گردیده و مصالح ریز دانه از زیر دال جلویی مکیده می‌شوند .

کنترل یخ زدگی : اثر یخ زدگی برروی عملکرد روسازی زیان آور است . این عمل منجر به تورم در اثر یخبندان می‌شود 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 می‌تواند به بیش از ۳۰ سانتیمتر (یک فوت) برسد.

بهبود زهکشی : زمانی که سطح آب زیر زمینی بالا و نزدیک به سطح زمین است. یک لایه اساس می‌تواند 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 (بار زنده) برای کاهش مقدار انقباض و تورم عمل نماید . یک لایه اساس تثبیت شده یا دانه‌بندی توپر می‌تواند به عنوان یک لایه ضد آب عمل نموده و یک لایه اساس با دانه بندی باز می‌تواند بعنوان یک لایه زهکشی عمل نماید . بنابراین کاهش آب وارد شده به خاک بستر نهایتاً امکان بالقوه انقباض و تورم را پائین می‌آورد .

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

---

1- Pumping
2- Temperature Curling
3- Trailing Slab
4- Rebound

## ۲-۳- انواع روسازیهای بتنی

روسازیهای بتنی به چهار دسته تقسیم می شوند :

روسازی بتنی غیر مسلح درز دار[1] JPCP

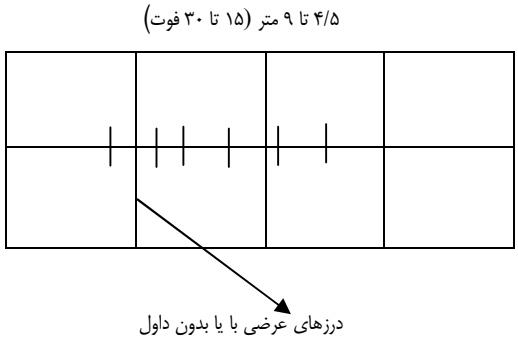
روسازی بتنی مسلح پیوسته[2] CRCP

روسازی بتنی مسلح درز دار[3] JRCP

روسازی بتنی پیش‌تنیده[4] PCP

### ۲-۳-۱- روسازی بتنی ساده درز دار (JPCP)

یک روسازی بتنی غیر مسلح درزدار بایستی با درزهای انقباض با فواصل نزدیک به هم ساخته شود. داول (میلگرد اتصال ) یا قفل‌وبست سنگدانه‌ای ممکن است برای انتقال بار در عرض درزها مورد استفاده قرار گیرد. 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 بین ۴/۵ تا ۹ متر(۱۵ تا ۳۰ فوت) مورد استفاده قرار گرفته است. در صورت افزایش فاصله درزها قفل‌وبست سنگدانه‌ای کاهش یافته و ریسک بوجود آمدن ترک افزایش می‌یابد. 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 ۴/۵ متر(۱۵ فوت) برای درزهای بدون داول توصیه شده است.



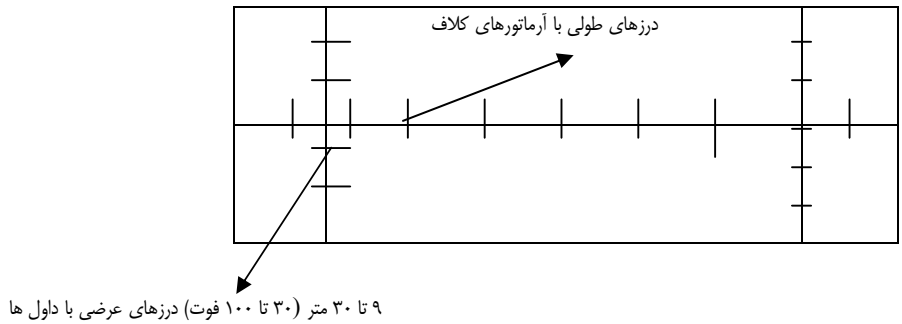

**شکل ۲-۲ تیپ روسازی بتنی ساده درزدار**

### ۲-۳-۲- روسازی بتنی مسلح درز دار (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 می‌شوند . 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 افرایش فاصله درزها افزایش می‌یابد. در هر حال هزینه تعداد درزها و داول‌ها با افزایش فاصله درزها کاهش می‌یابد. براساس هزینه

1- Jointed Plain Concrete Pavement
2- Continuous Reinforced Concrete Pavement
3- Jointed Reinforced Concrete Pavement
4- Prestressed Concrete Pavement

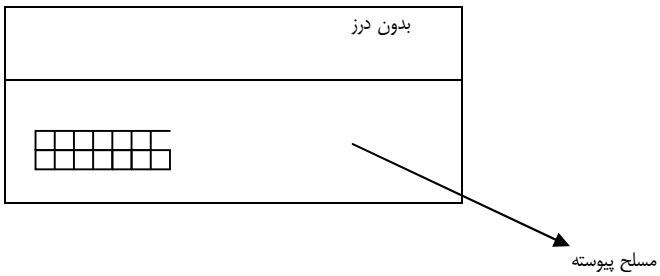
های اره کردن، مش، داول ها و پرکننده‌های درزها، تحقیقات بعمل آمده در سال ۱۹۷۸ نشان داد که اقتصادی‌ترین فاصله درزها در حدود ۱۲ متر(۴۰ فوت) است. از آنجا که هزینه نگهداری بطور کلی با افزایش فاصله درزها افزایش می‌یابد حداکثر فاصله درز ۱۲ متر(۴۰ فوت) توصیه می‌گردد.




**شکل ۲-۳ تیپ روسازی بتنی مسلح درزدار**

## ۲-۳-۳- روسازی بتنی پیوسته (CRCP)

اولین بار این نوع روسازی بتنی که در آن درزها حذف می‌گردد 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 می‌شود. ضخامت CRCP بطور تجربی از ۲۵ تا ۵۰ میلیمتر(۱ تا ۱۲ اینچ) کمتر وتقریبا در حدود ۷۰٪ تا ۸۰٪ ضخامت روسازی معمولی می‌باشد.




**شکل ۳-۱ تیپ روسازی بتنی پیوسته**

تشکیل ترک‌های عرضی در فواصل نزدیک به عنوان یک مشخصه بارز CRCP محسوب می‌گردد. این ترک‌ها کاملاً توسط آرماتورها کنترل شده و تا زمانیکه بصورت فواصل یکسان هستند بعنوان خطر محسوب نمی‌گردند. خرابی‌ای که بطور مکرر در CRCP اتفاق می‌افتد برش در کناره‌های روسازی است . این نوع خرابی یا بین دو ترک عرضی که بطور تصادفی موازی هم هستند و یا در تقاطع‌های[1] Y شکل اتفاق می‌افتد.

1- Intersections

اگر خرابی بجای درز، در کنارهٔ 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 JRCP و CRCP پیشنهاد می‌کند. در هر حال ضرائب انتقال بار برای CRCP کمی کوچکتر از ضرائب مربوط به JPCP وJRCP می‌باشد 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.

### ۲-۳-٤- روسازی بتنی پیش تنیده ( PCP )

بتن در کشش ضعیف و در فشار قوی است. ضخامت لازم برای روسازی بتنی بر اساس مدول گسیختگی و مقاومت کششی بتن تعیین می‌شود . 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 می‌شود.کاهش احتمال بوجود آمدن ترک و پیدایش درزهای عرضی در روسازی‌های بتن پیش تنیده، منجر به کاهش هزینه نگهداری و افزایش عمر روسازی می‌گردد. اولین روسازی پیش تنیده در ایالات متحده آمریکا در یک روسازی ۱۰۰ متری(۳۰۰ فوتی) در سال ۱۹۷۱ دردلویر[1] ساخته شد. بعد از آن در همان سال یک پروژه آزمایشی بطول ۳۲۰۰ فوت (۹۷۶ متر) بعنوان راه دسترسی در فرودگاه بین المللی دالاس ساخته شد .

## ۲-٤- روسازی های مختلط[2]

در یک روسازی مختلط هم از HMA[3] و هم از PCC[4] استفاده می‌شود. استفاده از PCC در لایه پائینی و HMA در لایه بالایی تشکیل یک روسازی ایده‌آل را می‌دهد که بیشترین مشخصات و خصوصیات مورد انتظار از یک روسازی را دارا می‌باشد. لایهٔ PCC یک لایه اساس مستحکم را فراهم نموده وHMA یک سطح صاف را بوجود می‌آورد. در هر حال این نوع روسازی خیلی پر هزینه بوده و بندرت بعنوان یک روسازی جدید مورد استفاده قرار می‌گیرد. طراحی روسازی‌های مختلط به روش تئوری صفحه صورت می‌گیرد به این دلیل که بتن جزء اصلی سازهٔ باربر روسازی را تشکیل می‌دهد[۱].

## ۲-۵- مقایسه روسازی‌های بتنی (صلب) و آسفالتی (انعطاف پذیر)

### ۲-۵-۱- مزیت رویه‌های بتنی در مقایسه با آسفالتی:

رویه های بتنی در نواحی با مقاومت بستر کم و ترافیک سنگین نسبت به روسازی آسفالتی ارجحیت دارد.

هزینه‌های تعمیر و نگهداری روسازی بتنی در مقایسه با آسفالتی کمتر است .

عمر مفید رویه‌های بتنی بیشتر از روسازی‌های آسفالتی است. (۴۰ تا ۵۰ سال در مقایسه با ۱۵ تا ۲۰ سال)

بدلیل فراهم ساختن دید بیشتر در شب برای استفاده‌کنندگان، روسازی بتنی از نظر ایمنی نسبت به آسفالتی ارجح‌تر است .

ضخامت روسازی بتنی در مقایسه با روسازی آسفالتی کمتر است و در نتیجه در نواحی که محدودیت ضخامت وجود دارد ارجحیت داشته و در عین حال در مصرف مصالح نیز صرفه جویی می‌گردد.

بدلیل صرفه جویی در بکارگیری مصالح در لایه‌های بتنی تخریب منابع طبیعی و محیط زیست کمتر صورت می‌گیرد .

---

1- Delware
2- Composite Pavements
3- Hot Mix Asphalt
4 -Portland Cement Concrete

در مناطق شیب‌دار و کوهستانی با تعداد زیاد وسایل نقلیه سنگین که روسازی آسفالتی جوابگو نمی‌باشد، روسازی بتنی می‌تواند بعنوان گزینه خوبی مد نظر قرار گیرد .

در شرایط محیطی با دمای زیاد عملکرد روسازی بتنی بهتر از آسفالتی است.

### ۲-۵-۲- معایب رویه‌های بتنی در مقایسه با لایه‌های آسفالتی

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

اجرای تعمیرات و عملیات ترمیم در روسازی بتنی مشکل‌تر است .

وجود درزهای انبساط بعنوان یکی از نقاط ضعف رویه‌های بتنی محسوب می‌گردد 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 ضعف‌های روسازی بتنی محسوب می‌گردد.

دانش فنی و تجربه ساخت روسازهای آسفالتی درمیان پیمانکاران در مقایسه با روسازی‌های بتنی بسیار بیشتر است، از این رو اجرای رویه‌های بتنی بدلیل نیاز به ماشین آلات پیشرفته و جدیدتر و عدم مهارت‌های فنی و تجربه‌های عملی مشکل‌تر است .

### ۲-۵-۳- موارد کاربرد رویه های بتنی

در جاده‌های واقع در مناطق گرمسیر با حجم ترافیک سنگین بخصوص در شیب‌های تند وگردنه‌ها 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 می‌شود.

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 اپرون‌ها استفاده از رویه بتنی ارجحیت دارد.

## ۲-٦- جایگاه، بتن غلتکی در روسازی های بتنی

روسازی بتن غلتکی RCC بعنوان یک نوع روسازی بتنی محسوب می‌گردد که جزء دسته اول یعنی روسازی بتنی غیرمسلح درزدار قرار می‌گیرد. در واقع پروسهٔ طراحی روسازی بتنی RCC شبیه به طراحی روسازی بتنی غیرمسلح درزدار با درز انبساط یا درزهای اجرایی بدون داول می‌باشد. در عین حال باید توجه نمود که تفاوت‌های عمده‌ای بین روسازی RCC و روسازی بتنی معمولی JPCP بدون داول در ارتباط با شیوه ساخت روسازی، فواصل درزها، عملکرد درزها از نظر انتقال بار و خصوصیات ظاهری و سطحی آنها وجود دارد که در فصول مختلف این گزارش سعی شده ویژگیهای روسازی‌های بتن غلتکی تشریح گردد.

## مراجع :

1-Yang .H. Huang, Pavement Analysis and Design, 1994.

# فصل سوم

## خواص و عملکرد روسازی‌های  بتن غلتکی

# فصل سوم

# خواص و عملکرد روسازی‌های بتن غلتکی

## ۳-۱- کلیات

بتن غلتکی جهت کاربرد به عنوان روسازی راه (RCCP) , در حالت تازه با بتن معمولی متفاوت بوده و بسیار سفت‌تر و کارآیی آن به مراتب کمتر می‌باشد . با توجه به اهمیت کارآیی بتن و تاثیر آن روی تراکم پذیری، بحث خواص بتن غلتکی روسازی در حالت تازه در بخشهای بعدی این گزارش تشریح شده‌است. در حالت سخت شده بتن غلتکی روسازی از بسیاری جهات مشابه بتن معمولی است و پارامترهای اصلی تاثیرگذار روی خواص بتن‌های معمول نظیر نسبت آب به سیمان (w/c) و میزان تراکم، تاثیر مشابه روی خواص بتن غلتکی روسازی دارند . در عین حال باید توجه داشت به علت کارآیی بسیار پائین این نوع بتن‌ها روش‌های تهیه آزمونه‌ها جهت بررسی خواص آنها با بتن‌های معمولی تفاوت دارد . آزمونه‌های بتن غلتکی از طریق روش‌های ویژه نظیر کوبش با چکش‌های بادی مخصوص و یا روش‌های ارتعاشی تحت سر بار و یا از طریق اجرای مقطع آزمایشی و بریدن نمونه‌های لازم و یا مغزه گیری صورت می گیرد. در زیر اطلاعات درخصوص خواص مخلوطهای بتن غلتکی روسازی ارائه شده است. علاوه بر خواص مخلوطهای بتن غلتکی به عملکرد روسازی‌های بتن غلتکی ازنقطه نظرکیفیت سطح ودوام نیز پرداخته شده‌است.

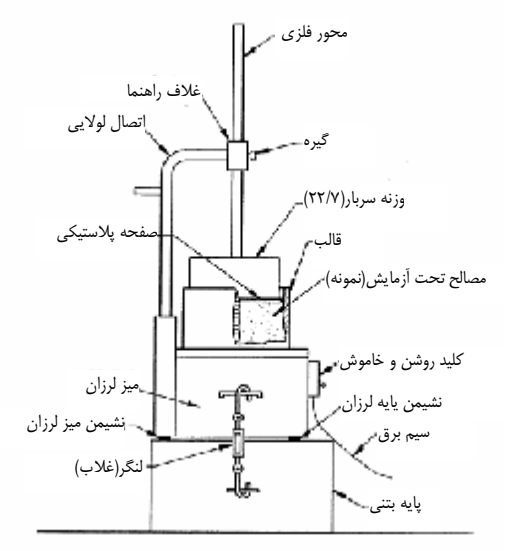
## ۳-۲- خـــــواص

### ۳-۲-۱- کارآیی[1]

بتن غلتکی در حالت تازه باید قابلیت تحمل وزن غلتک را جهت تراکم آن داشته‌باشد، از اینرو بتنی است بسیار سفت و خشک که میزان آب آن بسیار کمتر از بتن‌های معمولی است. لذا روش‌های معمول تعیین روانی و کارآیی نظیر آزمایش اسلامپ برای این نوع بتن قابل کاربرد نیست. روشی که برای اندازه گیری کارایی بتن غلتکی توسعه یافته‌است روش تعیین روانی با آزمایش وی بی اصلاح شده است[۲۰].در این آزمایش از دستگاه وی بی استاندارد همراه با یک سربار استفاده می‌شود . میزان این سربار بسته به مراجع مختلف متغیر بوده و از ۱۳/۳ تا ۲۲/۷۱ کیلوگرم در نظر گرفته می شود[۲].

نحوه انجام آزمایش به این شکل است که بتن غلتکی داخل ظرف استوانه‌ای فلزی که روی میز قابل ارتعاش قرار دارد ریخته می شود و وزنه استوانه‌ای فلزی که قطر آن کوچکتر از قطر ظرف بوده و امکان رویت بخش محیطی بتن غلتکی را فراهم می‌آورد روی آن قرار داده می‌شود سپس میز مرتعش کننده روشن شده و زمان لازم از شروع ارتعاش تحت سربار تا رویت خمیر سیمان بیرون آمده از بتن غلتکی در محیط وزنه استوانه‌ای اندازه‌گیری می‌شود که این به منزله دستیابی به تراکم مناسب است. روش استاندارد انجام آزمایش زمان وی بی اصلاح شده در استاندارد ASTM C1170 تشریح شده‌است. هر چند که برای بتن‌های غلتکی سد سازی زمان مناسب وی بی اصلاح شده تحت سر بار ۲۲/۷ کیلوگرم حدود ۲۰ ثانیه [۶] و برای بتن‌های غلتکی روسازی زمان وی بی اصلاح شده تحت سر بار بین ۳۰ تا ۴۵ ثانیه توصیه شده‌است [۲].در شکل ۳-۱ تجهیزات اندازه گیری زمان وی بی اصلاح شده به صورت شماتیک ارائه شده‌است .

1- Workability




**شکل ۳-۱ تجهیزات اندازه گیری کارآیی بتن غلتکی به روش وی بی اصلاح شده**

شایان ذکر است که برخی مراجع نیز زمان‌های در حد ۴۵ تا ۶۵ ثانیه را برای روسازی بتن غلتکی مناسب گزارش کرده‌اند [۸]. البته به نظر می رسد روش انجام آزمایش قدری متفاوت با روش استاندارد فوق الذکر در ASTM C1170 بوده وسربار به کار رفته به جای ۲۲/۷ کیلوگرم مطابق روش استاندارد ASTM،در حدود ۱۳ کیلوگرم بوده است .

مسئله کاهش کارایی بتن غلتکی پس از ساخت مخلوط در طی زمان وشروع گیرش بتن از مسائل مهم در بتن غلتکی است. در بعضی از کشورها روش‌هایی برای تعیین فرصت کاری و زمان گیرش مخلوط‌های بتن غلتکی ارائه گردیده‌است. دراین نوع روش‌ها از امواج مافوق صوت استفاده می‌شود. درفرانسه زمان عبور پالسهای مافوق صوت درمیان یک نمونه مخلوط بتنی درطی زمان گیرش بطور پیوسته ثبت می‌گردد. فرض می‌شود که فرصت کاری یک مخلوط موقعی به پایان می‌رسد که زمان عبور پالسها به ۶۰ درصد مقدار اولیه خود کاهش یابد[۱۵].روش دیگری که در اسپانیا گسترش یافته است اندازه‌گیری انرژی امواج مافوق صوت است که به ظاهر نتایج دقیقتری را به دست می‌دهد. فرصت کاری بستگی زیادی به شرایط دما دارد؛ بنابراین آزمایش‌ها باید درکابینتهای مجهز به کنترل کننده درجه حرارت، انجام گیرد. دربعضی موارد روان کننده ها[1] جهت افزایش کارایی وکندگیرکننده‌ها[2] جهت افزایش فرصت کاری مورد استفاده قرارگرفته‌اند.

## ۳-۲-۲ – جداشدگی[3]

جلوگیری از پدیده جداشدگی سنگدانه‌ها از بتن برای بتن‌های غلتکی پروژه‌های سد سازی از مسائل بسیار مهم و از الزامات اصلی در طرح اختلاط این نوع بتن‌ها است. علاوه بر خشک بودن مخلوط، پائین بودن مقدار مواد سیمانی به لحاظ کنترل مسائل حرارتی و همچنین درشت بودن اندازه حداکثر سنگدانه‌ها – حدود ۷۶ میلیمتر(۳ اینچ) – از عوامل تشدید کننده جداشدگی در این نوع بتن ها

1- Plasticizer
2- Retarders
3- Segregation

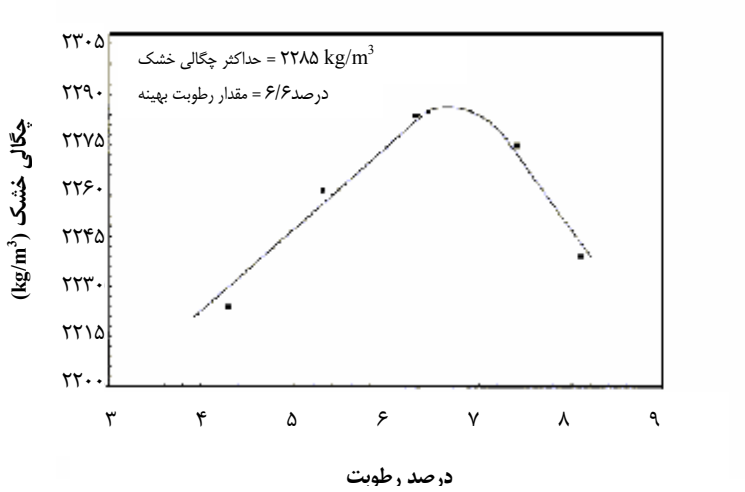
هستند. در مخلوطهای بتن غلتکی روسازی اندازه حداکثر سنگدانه بسیار کمتر بوده و به جهت بهبود کیفیت سطوح روسازی بـه کمتـر از ۱۹ میلیمتر محدود می‌گردد و همچنین مقدار مواد سیمانی دراین نوع بتن‌های غلتکی بسـیار بیشـتر از آنچـه در بـتن‌هـای غلتکـی سدسازی به کار می‌رود است، از اینرو اگر چه مخلوطهای بتن غلتکی روسازی بسیار خشک هستند اما مسائل جداشدگی در ایـن نـوع بتن‌ها کمتر از آنچه درباره بتن‌های غلتکی سدسازی مطرح شد مشکل‌زاست.

### ۳-۲-۳- آب انداختگی[1]

مسئله امکان آب انداختگی در بتن‌های معمولی و روسازی‌های بتن معمولی از مواردی است که باید مد نظر قـرار گرفتـه و کنتـرل شود. در بتن‌های غلتکی به علت کم بودن آب اختلاط پدیده آب انداختگی رخ نمی‌دهد لذا مشکلات ناشی از ایجاد لایه ضـعیف روی سطح بتن به دلیل آب انداختگی در این نوع بتن‌ها مسئله‌ساز نبوده و می‌تواند از مزایای این نوع بتن‌ها در نظر گرفته شود [۳].

### ۳-۲-٤- جرم حجمی و درجه تراکم

هر چند در حالت تازه بتن غلتکی ظاهری شبیه خاک نم دار را دارد لیکن در حالت سخت شده مشابه بتنهـای معمـولی بـوده و بـا توجه به مقدار کمتر آب در این نوع مخلوطها در صورت تراکم مناسب جرم حجمی آنها قدری بیشتر از بـتن‌هـای معمـول مـی‌شـود . جرم حجمی حدود ۲۴۰۰ تا ۲۵۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب برای بتن‌های غلتکی روسازی مقادیری متعارف است. بـا توجـه بـه خشـکی مخلوطهای بتن غلتکی , میزان تراکم تاثیر بسیار مهمی بر جرم حجمی آنها دارد . براین اساس رفتار بتن غلتکی در حالت تـازه تحـت انرژی تراکم مشابه رفتار خاک می‌تواند فرض شود و مبانی ژئوتکنیکی چگالی حداکثر و درصد رطوبت بهینه بـرای بـتن‌هـای غلتکـی قابل اعمال خواهد بود. در شکل (۳-۲) رابطه کلی چگالی – درصد رطوبت برای مخلوط بتن غلتکی ارائه شده اسـت و همـانطور کـه مشخص است در درصد رطوبت کمتر از مقدار بهینه، امکان تراکم کامل نمونه با انرژی تراکم مشـخص، فـراهم نمـی‌آیـد و افـت در جرم حجمی مشاهده می‌گردد. با افزایش درصد رطوبت و تا رسیدن به در صد رطوبت بهینه چگالی بتن غلتکی افزایش می‌یابد.




**شکل ۳-۲ رابطه چگالی - درصد رطوبت برای بتن های غلتکی**

1- Bleeding

با افزایش بیشتر درصد رطوبت همانند آنچه در خاک‌ها مشاهده می‌گردد ، چگالی بتن غلتکی تازه متراکم شده مجددا افت می‌نماید. روش تعیین درصد رطوبت بهینه مخلوط بتن غلتکی یکی از مبانی در طرح اختلاط این نوع بتن‌ها می‌باشد و این مقدار از طریق کاربرد تجهیزات تراکم پراکتور اصلاح شده طبق ASTM D1557 تعیین می‌گردد. پس از مشخص شدن درصد رطوبت بهینه مخلوط و طرح اختلاط می‌توان از چگالی خشک بتن غلتکی به عنوان پارامتری برای کنترل کیفیت بتن غلتکی اجرا شده در کارگاه استفاده کرد . بدیهی است در صورتی که انرژی تراکم اعمال شده در اجرای بتن غلتکی کافی نبوده و یا درصد رطوبت مخلوط بتن غلتکی بیشتر و یا کمتر از مقدار بهینه تعیین شده باشد ، جرم حجمی خشک بتن غلتکی کمتر از جرم حجمی بتن غلتکی ساخته شده بارطوبت بهینه و انرژی تراکم استاندارد پراکتور خواهد بود .از اینرو از پارامتر درجه تراکم Rd به عنوان شاخص مناسب بودن بتن اجرا شده می‌توان استفاده نمود[۳].

$$Rd = \frac{\delta df}{\delta dmf} \times 100$$

Rd =درجه تراکم بر حسب درصد

$\delta df$= جرم حجمی خشک بتن غلتکی متراکم شده در حالت تازه در کارگاه

$\delta dmf$=جرم حجمی خشک بتن غلتکی متراکم شده با انرژی تراکم پراکتور اصلاح شده در حالت تازه

نکته‌ای که نیاز به توجه دارد این است که به علت واکنش هیدراتاسیون سیمان در بتن غلتکی در طی زمان ، بخشی از آب مخلوط ترکیب شده و در حین خشک شدن نمونه خارج نخواهد شد و لذا جرم حجمی بتن غلتکی پس از پیشرفت واکنش هیدراتاسیون قدری بالاتر از آنچه در حالت تازه بوده است تعیین می‌گردد. بدین منظور در صورتی که تعیین جرم حجمی بتن غلتکی مدتی پس از شروع واکنش صورت گیرد لازم است تصحیحی اعمال گردد. به این شکل که میزان آن بر روی مغزه بتن غلتکی گرفته شده در ۲۸ روز که ۱/۴ تا ۱/۷ درصد است به صورت منفی به جرم حجمی اندازه‌گیری شده اعمال می‌گردد.

$$Rc = \frac{-c\alpha K}{\delta dcs} \times 100$$

Rc = تصحیح برای آب ترکیب شده با سیمان بر حسب درصد

c= مقدار سیمان در مخلوط بر حسب کیلوگرم بر متر مکعب

$\alpha$= درجه پیشرفت واکنش در زمان انجام آزمایش تعیین جرم حجمی خشک بتن غلتکی

K= نسبت آب ترکیب شده در سیمان کاملا هیدراته که عموما ۰/۲۵ در نظر گرفته می‌شود

$\delta dcs$= جرم حجمی خشک نمونه بتن غلتکی بر حسب کیلوگرم بر متر مکعب

به طور مثال اگر بتن غلتکی پس از ۱۴ روز مغزه‌گیری شده و جرم حجمی خشک آن اندازه‌گیری شود درصد تصحیح به شرح ذیل خواهد بود .

با فرض:

C = ۳۴۰kg/m$^3$

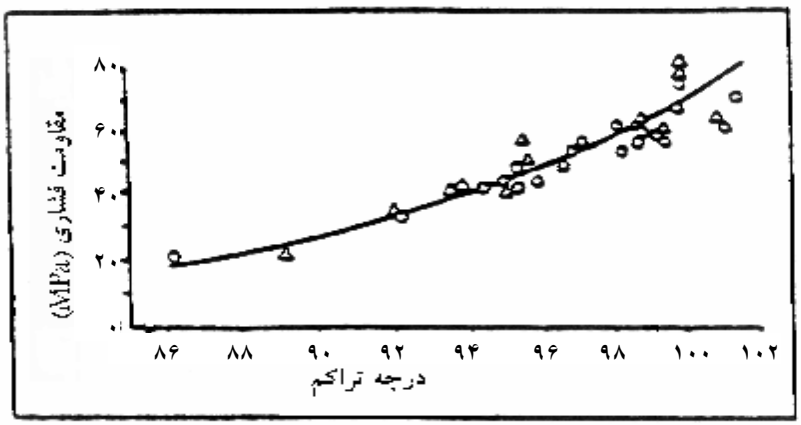
$\alpha$ = ۰/۵( با فرض اینکه نیمی از واکنش کل در ۱۴ روز صورت گرفته است )

K=۰/۲۵

مقدار اندازه گیری شده برابر $\delta dcs$ =۲۴۴۰kg/m$^3$

Rc=(-۳۴۰×۰/۵×۰/۲۵/۲۴۴۰)×۱۰۰= -۱/۷۴

بنابراین اگر درجه تراکم برای مغزه بتن غلتکی ۹۹ درصد اندازه گیری شده باشد در واقع تراکم حاصله ۹۷/۳ درصد است .درجه تراکم عاملی مؤثر در خواص بتن‌های غلتکی است و در صورت عدم دستیابی به تراکم مناسب پارامترهای مقاومتی و دوام بتن غلتکی تنزل خواهد نمود. در شکل ۳-۳ تاثیر درجه تراکم روی مقاومت فشاری برای یک مخلوط تهیه شده در محدوده رطوبت بهینه آن ارائه شده است[۳].




**شکل ۳-۳ تاثیر درجه تراکم روی مقاومت فشاری بتن غلتکی [۳]**

شایان ذکر است که جرم حجمی بتن غلتکی اجرا شده با روشهای سریع نظیر چگالی سنج هسته‌ای[1] نیز قابل تعیین است.

### ۳-۲-۵- مقاومت فشاری

مقاومت فشاری مورد نظر برای بتن غلتکی جهت ساخت روسازی به میزان قابل توجهی بیشتر از مقاومت‌های در نظر گرفته شده برای بتن‌های غلتکی مورد استفاده در سد سازی است . در بتن‌های غلتکی سد سازی با توجه به اهمیت ویژه مسائل حرارتی سعی بر این است که مقدار سیمان به حداقل لازم محدود گردد. همچنین با توجه به عدم نیاز به مقاومت بالا در بتن‌های حجیم سدسازی, نسبت آب به سیمان در این بتن‌ها عمدتاً بالا بوده و اغلب بین ۰/۵ تا ۱ تعیین می‌گردد.

در زمینه روسازی راه خصوصاً وقتی از بتن غلتکی به عنوان سطح نهایی تردد استفاده می‌شود،تهیه بتن غلتکی با دوام و مقاومت فشاری بالا مد نظر قرار می‌گیرد و این در حالی است که با توجه به ضخامت کم روسازی بتن غلتکی و امکان اتلاف نسبتاً آسان حرارت تولید شده در بتن‌های غلتکی روسازی راه، مسئله حرارت زائی و پایین نگهداشتن مقدار سیمان چندان حائز اهمیت نیست. لذا مقدار مواد سیمانی در این نوع بتن‌های غلتکی به میزان قابل توجهی بیشتر از مقادیر معمول در بتن‌های غلتکی پروژه‌های سد سازی می‌باشد.

1- Nuclear Density Gauge

در آمریکا مقدار حداقل مقاومت فشاری برای روسازی بتن غلتکی عمدتاً در مشخصات فنی بیش از ۲۷/۶ مگاپاسکال (۴۰۰۰ پوند بر اینچ مربع[1]) قید می‌گردد [۲]. جدول ۳-۱ مقاومت فشاری تعیین شده روی تعدادی مغزه‌های گرفته شده از برخی پروژه‌های اجرا شده در آمریکا را نشان می‌دهد :

**جدول۳-۱ مقاومت فشاری مغزه‌های بتنی گرفته شده از برخی پروژه های RCCP در آمریکا**

| ردیف پروژه | سن بتن ( ماه) | ضخامت اسمی لایه (میلیمتر) | مقاومت فشاری طراحی (مگاپاسکال) | مقاومت فشاری مغزه بتن (مگاپاسکال) |
|---|---|---|---|---|
| A | ۹ | ۱۷۸ | ۳۱ | ۴۸/۵ |
| B | ۱۹ | ۱۶۵ | ۳۴/۵ | ۳۲/۷ |
| C | ۱۹ | ۲۱۶ | ۳۴/۵ | ۲۶/۵ |
| D | ۱۸ | ۲۱۶ | ۲۵/۳ | ۴۸/۵ |
| E | ۱۲ | ۲۵۴ | ۱۳/۸ | ۲۴ |
| F | ۲۸ | ۱۷۸ | ۳۱ | ۳۱ |
| G | ۳۲ | ۲۱۶ | ۳۴/۵ | ۴۱ |

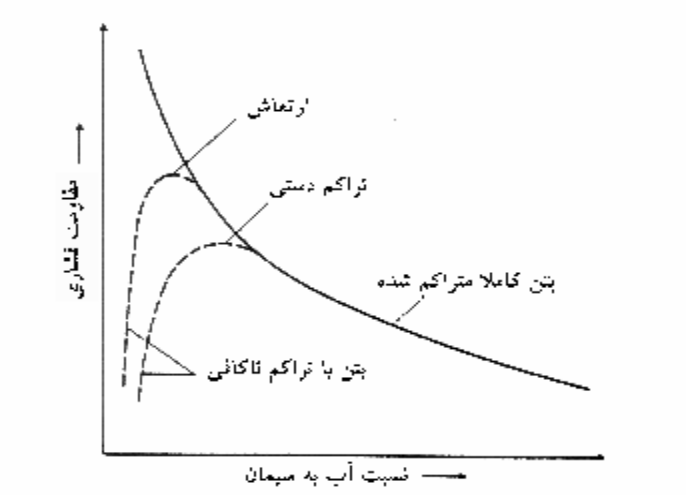
در کشورهایی نظیر سوئد که الزامات بارگذاری و یا شرایط جوی شدیدتری حاکم است, مقاومت بالاتری مد نظر قرار گرفته می‌شود. در این کشور بتن غلتکی روسازی باید دارای حداقل مقاومت فشاری ۴۰ مگاپاسکال در ۲۸ روز و دوام مناسب در برابر ذوب و انجماد و سایش باشد. با توجه به تاثیر نسبت آب به مواد سیمانی روی مقاومت فشاری و دوام بتن , جهت حصول الزامات فوق‌الذکر، درصد مواد سیمانی نسبت به وزن کل بتن غلتکی حداقل ۱۴ درصد در نظر گرفته می‌شود[۳].

در یک تحقیق انجام شده در داخل کشور، مقاومت متوسط ۴۵ مگاپاسکال از نمونه‌های استوانه‌ای با ابعاد ۳۰ × ۱۵ سانتیمتر، تحت شرایط عمل آوری مرطوب حاصل گردید [باقری، ۱۳۸۴]. نسبت آب به سیمان این مخلوط ۰/۴ ( درصد وزنی سیمان به وزن کل بتن غلتکی ۱۴/۶ درصد) بوده است. نتیجه فوق نشانگر امکان تولید بتن غلتکی با مصالح داخل کشور منطبق با الزامات فنی کشورهای مختلف برای بتن غلتکی با مصالح روسازی راه است. همچنین تحقیق فوق‌الذکر نشانگر تأثیر بسیار قابل توجه شرایط عمل‌آوری روی طراحی بتن غلتکی است. درصورت عدم اعمال عمل‌آوری مرطوب و نگهداری نمونه بتن غلتکی روسازی در شرایط محیطی آزمایشگاه با رطوبت نسبی ۴۰٪، میزان افت مقاومت فشاری حدود ۵۰ درصد مشاهده شده است. شایان توجه است که اعمال عمل‌آوری با پوششهای غشایی به تنهایی تأثیر نسبتاً کمی در بهبود وضعیت داشته و نسبت به حالت عمل‌آوری مرطوب،افت حدود ۳۵ درصد در مقاومت فشاری دیده شده است.

در خصوص پارامترهای تاثیرگذار روی مقاومت بتن غلتکی , همان‌طور که در بخش (۳-۲-۴) ذکر شد, درجه تراکم دارای اهمیت زیادی است و لذا درصد رطوبت مخلوط از دیدگاه ژئوتکنیکی باید نزدیک به درصد رطوبت بهینه آن باشد تا منجر به تراکم حداکثر و در نتیجه مقاومت مناسب گردد. رابطه رطوبت بهینه و دانسیته حداکثر که به منزله تراکم حداکثر است در شکل ۳-۲ از بخش (۳-۲-۴) و رابطه درجه تراکم و مقاومت فشاری نیز در شکل ۳-۳ از همان بخش ارائه شده است.

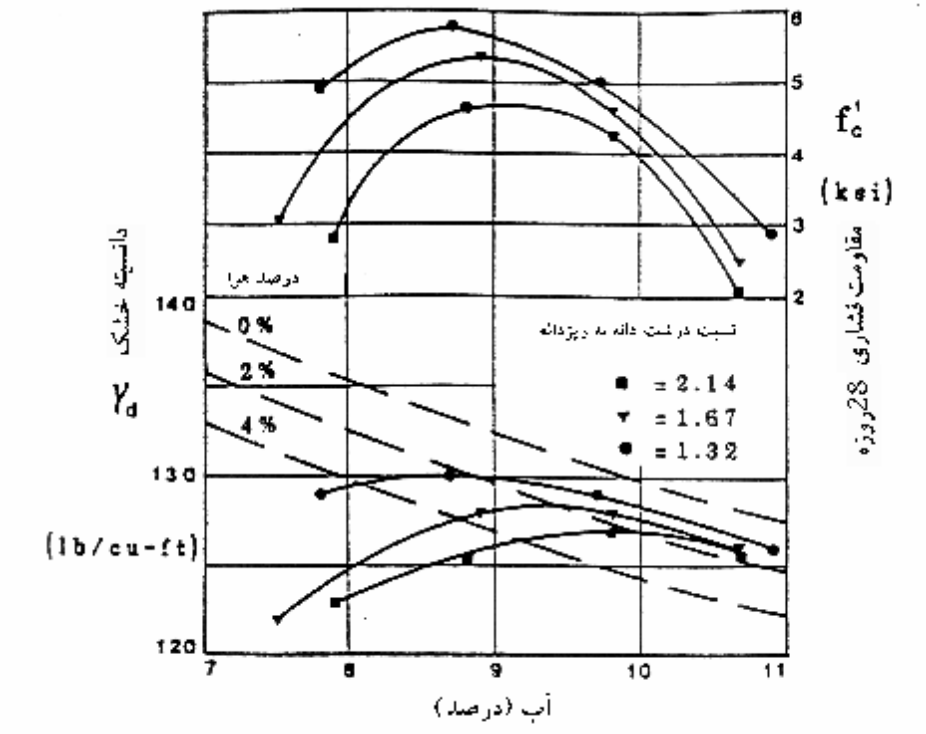
1 - Psi

نکته‌ای که در خصوص بتن غلتکی باید در نظر داشت این است که در این نوع از مصالح بر خلاف خاک‌ها ماده ای با قابلیت واکنش هیدراتاسیون و کسب مقاومت در طی زمان، یعنی سیمان نیز موجود است. لذا مقاومت بتن‌های غلتکی همانند بتن‌های معمولی به پارامتر نسبت آب به سیمان(w/c) نیز بستگی دارد. با کاهش (w/c) مقاومت فشاری بتن افزایش می‌یابد. البته موضوع اخیر با فرض کافی بودن درصد رطوبت جهت تراکم مطلوب بتن غلتکی است. اندرکنش دو پارامتر اخیر در شکل۳-۴ ارائه شده است.




**شکل ۳-٤ رابطه مقاومت فشاری مخلوط با نسبت W/C و درصد رطوبت**

از اینرو حداکثر مقاومت یک مخلوط بتن غلتکی عمدتاً در مقدار آب متناظر با درصد رطوبت بهینه آن حاصل می‌گردد ,این مهم در شکل ۳-۵ نشان داده شده است .




**شکل ۳-۵ رابطه مقاومت فشاری و دانسیته خشک مخلوط بتن غلتکی با مقدار آب (درصد رطوبت) مخلوط[۱۲].**

بدیهی است برای یک مخلوط بتن غلتکی با افزایش مقدار مواد سیمانی که منجر به کاهش نسبت آب به مواد سیمانی می‌گردد مقاومت مخلوط افزایش می‌یابد. نکته دیگری که شایان توجه است, مسئله افزایش مقاومت بتن غلتکی در طی زمان است که مشابه با بتن‌های معمولی به علت توسعه فرایند هیدراتاسیون سیمان صورت می‌گیرد. برای بتن‌های غلتکی حاوی سیمان پرتلند نوع I, این روند مشابه بتن معمولی است. در صورت کاربرد مواد پوزولانی و یا سرباره‌ای بسته به نوع پوزولان و یا سرباره و مقدار استفاده, روند کسب مقاومت کندتر از بتن معمولی خواهد شد. در بتن‌های غلتکی سد سازی جهت کنترل مسائل حرارتی و تامین ریزدانه اغلب از پوزولان به مقدار زیاد استفاده می‌شود در حالی‌که در بتن‌های غلتکی روسازی به علت اهمیت کمتر مسائل حرارتی از پوزولان کمتری استفاده می‌شود. لذا روند کسب مقاومت این نوع بتن‌ها شباهت بیشتری به بتن‌های معمولی دارد.

### ۳-۲-٦- مقاومت خمشی

هر چند مقاومت خمشی بتن غلتکی به عنوان پارامتر مهمی در طراحی روسازی در نظر گرفته می‌شود ولی تهیه نمونه‌های خمشی در آزماشگاه یا بریدن نمونه‌های منشوری لازم از بتن درجا اجرا شده جهت تعیین این پارامتر دشوار است. در جدول ۳-۲ اطلاعاتی از تعدادی پروژه اجرا شده در آمریکا ارائه شده است .

**جدول ۳-۲ نتایج مقاومت خمشی و مقاومت کششی برزیلی مربوط به برخی پروژه ها در آمریکا**

| پروژه | سن بتن (روز) | مقاومت خمشی (Mpa) | مقاومت کششی برزیلی (Mpa) |
|---|---|---|---|
| پایگاه استورت[1] | ۹۰ | ۷/۲ | — |
| پایگاه هود[2] | ۷ | ۴/۷ | — |
| | ۲۸ | ۵/۹ | — |
| پایگاه هاروی[3] | ۷ | — | ۲/۴ |
| | ۲۸ | ۵/۶ | ۲/۹ |
| پایگاه کمپبل[4] | ۷ | ۴/۶ | ۲/۸ |
| | ۲۸ | — | — |
| پایگاه ابردن[5] | ۷ | ۴/۰ | ۲/۷ |
| | ۲۸ | ۴/۵ | ۳/۲ |

شایان توجه است که همانند مقاومت فشاری پارامترهایی نظیر نسبت w/c و درجه تراکم روی مقاومت خمشی بتن‌های غلتکی تاثیر قابل توجهی دارند و در صورتی که به علت مناسب نبودن درصد رطوبت و یا انرژی تراکم مناسب صورت نگیرد افت مقاومت

1- Stewart
2- Hood
3- Harvey
4- Campbell
5- Aberdeen

خمشی ایجاد خواهد شد. مالیش[1] اشاره دارد که اجرای زیرسازی مناسب در ساخت روسازی بتن غلتکی حائز اهمیت است. در غیر این صورت روسازی بتن غلتکی تراکم مناسب نخواهد یافت و جرم حجمی و مقاومت آن کاهش می‌یابد [۱۰].

همچنین در استرالیا برای پیش بینی مقاومت خمشی ۲۸ روز از مقاومت فشاری از رابطه زیر که توسط NAASRA پیشنهاد گردیده استفاده می‌شود [۷].

$f'_{cf} = 0.75\sqrt{f'c}$

$f'_{cf}$ = مقاومت خمشی ۲۸ روزه

$f'_c$ = مقاومت فشاری

این رابطه به منظور طراحی اولیه و محافظه کارانه استفاده می‌گردد . برای متوسط مقاومت فشاری ۲۸ و ۹۰ روزه با مقادیر ۳۵ تا ۴۰ مگا پاسگال, مقاومت خمشی متوسط به ترتیب برابر با ۴/۵ و ۴/۷۵ مگاپاسگال محاسبه می‌گردد. اطلاعات محدود موجود از تجربه ساخت روسازی بتن غلتکی در استرالیا نشان می‌دهد که مقاومت خمشی بر اساس مقاومت فشاری ۳۵ تا ۴۰ مگاپاسکال بیشتر از مقداری است که از رابطه NAASRA بدست می‌آید. بنابراین درکارهای مهم، یک برنامه تست آزمایشگاهی برای بوجود آوردن رابطه واقعی بین دو پارامتر توصیه می‌گردد [۷].

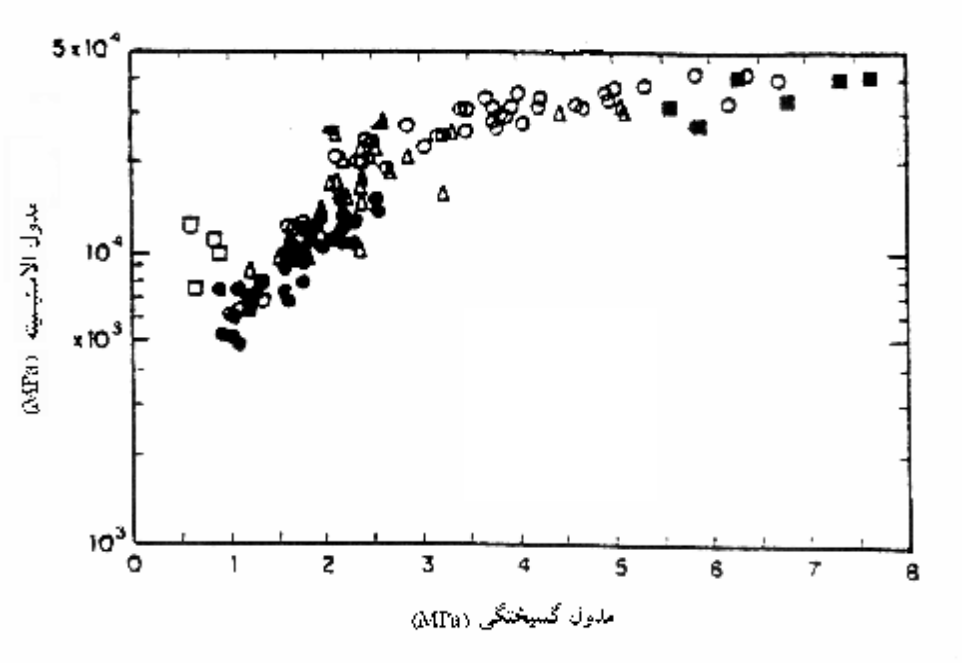
### ۳-۲-۷- مقاومت کششی برزیلی

مقاومت کششی برزیلی با آزمایش بر روی نمونه‌های استوانه‌ای تهیه شده از مخلوط بتن غلتکی یا روی نمونه‌های مغزه گرفته شده از بتن غلتکی اجرا شده قابل تعیین است. مقاومت کششی برخی پروژه‌های اجرا شده در آمریکا در جدول ۳-۲ ارائه شده است و نتایج محدود موجود نشانه مشابه بودن روابط مقاومت کششی برزیلی و مقاومت خمشی بتن‌های غلتکی روسازی با بتن‌های معمول است.

### ۳-۲-۸- مدول الاستیسیته (ارتجاعی)

اطلاعات کمی که در خصوص مدول الاستیسیته بتن‌های غلتکی روسازی در دست است حکایت از آن دارد که مدول الاستیسیته بتن‌های غلتکی روسازی مشابه و یا قدری بالاتر از مدول الاستیسیته بتن‌های معمولی با مقدار سیمان مشابه است. همچنین مدول الاستیسته Rccp رابطه ای با مقاومت خمشی دارد(شکل۳-۶)که نظیر همان رابطه‌ای است که برای بتن‌های معمولی روسازی وجود دارد[۱۵].

1- Malish




**شکل ۳-٦ رابطه بین مدول الاستیسته و مقاومت خمشی بتن‌های RCCP**

## ۳-۲-۹- خستگی[1]

ترک خوردگی ناشی از خستگی یکی از دلایل از بین رفتن قابلیت خدمت دهی روسازی‌های بتنی محسوب می‌گردد. این نوع ترک نشان دهنده نقطه شروع یک فازخرابی سازه‌ای است که باعث تغییر حالت تنش‌ها وتغییر شکل‌های بوجود آمده در سیستم لایه‌های تشکیل دهنده سازه‌های روسازی می‌شوند. خستگی یک پروسه در حال پیشرفت و دائمی تغییرات در داخل مصالح تحت تکرار تنش توسط نیروهای خارجی و یا تغییرات درجه حرارت است[۲۲]. در۳۰سال گذشته تلاشهای زیادی برای درک مکانیزم خستگی انجام گرفته است.

گسیختگی ناشی از خستگی در در دو مرحله بوجود می‌آید: در مرحله اول ایجاد ترک‌های مویی بین خمیر سیمان و سنگدانه‌ها اتفاق می‌افتد و در مرحله دوم ترک‌های مویی رشد نموده و تشکیل ترک‌ها را می‌دهند. در نتیجه ضعف تدریجی در مصالح اتفاق افتاده و اگر تعداد بارهای تکراری اعمال شده زیاد باشد، باعث تخریب می‌گردد .

تحقیقات گسترده‌ای که در برزیل در خصوص رفتار خستگی روسازی بتن غلتکی انجام گرفت، نشان داد که روسازی RCCP[2] دارای رفتار خستگی شبیه به روسازی بتنی است . البته می توان انتظار داشت که برای مقادیر درصد سیمان مشابه، روسازیRCCP دارای مقاومت بیشتری در برابر خستگی باشد زیرا که نسبت آب به سیمان در اینگونه مخلوطها بطور قابل ملاحظه‌ای کمتر است. همچنین این تحقیقات نشان داده است که دانه‌بندی سنگدانه نقش نسبتاً مهمی در رفتار خستگی دارد . در مخلوطهای با درصد سنگدانه درشت‌تر مشاهده گردیده است که پس از گذشت زمانی برابر ۴۵٪ عمر خستگی ترکها شروع به رشد می‌کنند در حالی‌که در مخلوطهای با سنگدانه ریزتر ترکها دیرتر وکندتر رشد می‌کنند بطوریکه شروع آن در حدود ۶۵٪ عمر خستگی است .

1- Fatigue
2 -Roller Compacted Concrete Pavement

در هر حال چنین مخلوطهایی زمانیکه با مخلوطهای با دانه‌بندی سنگدانه درشت‌تر مقایسه می‌گردند نیاز به درصد سیمان بیشتری برای رسیدن به مقاومت کششی مورد نظر دارند. بنابراین باید تعادلی بین هزینه مخلوط و رفتارخستگی مورد انتظار در نظر گرفته شود .

همچنین این تحقیق نشان داد که با داشتن درصد سیمان مشابه , تراکم مخلوط نقش مهمی بروی رفتار خستگی بتن دارد و باید در هنگام اجرا بخوبی کنترل گردد تا عمر خستگی موردنظر در پروژه حاصل شود[۲۲] .

دیگر تحقیقات انجام گرفته توسط کایمین و کینگوان[۱۴] نشان می‌دهد که به دلیل تفاوت زیاد ترکیب مصالح و پروسه اجرا بین PCC[1] و RCCP تفاوتهایی نیز در رفتار خستگی آنها به وجود می‌آید.

بررسی آزمایشگاهی توسط سان و همکاران [۲۱] روی عملکرد خستگی بتن غلتکی روسازی با درصدهای مختلف خاکستر بادی صورت گرفت که نتایج در قیاس با بتن معمولی روسازی در جدول ۳-۳ ارائه شده است . نتایج جدول نشانگر عملکرد بهتر بتن غلتکی (F0 تا F45) نسبت به بتن معمولی روسازی PCC است. البته بخشی از این عملکرد بهتر به علت مقاومت بالاتر مخلوطهای بتن غلتکی فوق نسبت به بتن معمولی ارائه شده در جدول است لیکن می توان استنتاج نمود که عملکرد خستگی روسازی بتن غلتکی مشابه و یا بهتر از بتن‌های معمولی است[۲۱]. همچنین گزارش انجمن بتن آمریکا [۲] نیز اشاره دارد که نتایج محدود نشانگر عملکرد روسازی بتن غلتکی مشابه با بتن معمولی از نظر خستگی است.

**جدول ۳-۳ مقایسه خواص بتن های غلتکی با درصد های مختلف خاکستر بادی بتن معمولی روسازی [۲۱]**

| شماره مخلوط | مقدار سیمان $kg/m^3$ | مقدار خاکستربادی $kg/m^3$ | مقدار آب $kg/m^3$ | مقاومت خمشی ۹۰ روزه $Mpa$ | مقدارتخریب ناشی از خستگی[2] |
|---|---|---|---|---|---|
| **F0** | ۳۰۰ | ۰ | ۱۱۴ | ۶/۷ | ۴۳ |
| **F15** | ۲۷۰ | ۴۵ | ۱۱۳ | ۷/۰۸ | ۴۳/۳ |
| **F30** | ۲۴۰ | ۹۰ | ۱۱۳ | ۷/۶۸ | ۴۳/۶ |
| **F45** | ۲۱۰ | ۱۳۵ | ۱۱۳ | ۷/۶۲ | ۴۳/۶ |
| **PCC** | ۳۳۰ | ۰ | ۱۴۱ | ۵/۲۹ | ۵۱/۸ |

1 -Portland Cement Concrete
2- Fatigue-damage-extent

### ۳-۲-۱۰- جذب آب

جذب آب بتن از خواص مهم آن به ویژه از نقطه نظر امکان نفوذ مواد و املاح خورنده و یا اشباع شدن آن است.در مطالعه غفوری درصد جذب آب مخلوطهای بتن غلتکی روسازی که بطور آزمایشگاهی و با مقادیر سیمان به صورت درصد وزنی مصالح خشک برابر ۹ درصد , ۱۲ درصد , ۱۵ درصد ساخته شده بودند, تعیین و به ترتیب مقادیر ۳ درصد , ۲/۵ درصد و ۲ درصد گزارش شده‌اند[۵]. شایان ذکر است که مقادیر جذب آب بتن معمولی، معمولا زیر ۵ درصد است که بر این اساس مقادیر فوق الذکر نشانگر جذب آب کم مخلوطهای بتن غلتکی روسازی است .

مطالعه دیگری که روی نمونه‌های مغزه تهیه شده از روسازی آزمایشی بتن غلتکی اجرا شده انجام گردید مقدار جذب آب حدود ۳/۵ درصد را گزارش نموده است[۴]. در این مخلوط مقدار مواد سیمانی ۱۰ تا ۱۲ درصد وزن مصالح خشک در نظر گرفته شده بودکه این نیز تأییدی بر نتایج آزمایش غفوری است.

### ۳-۲-۱۱- جمع شدگی ناشی از خشک شدن

جمع شدگی ناشی از خشک شدن از ویژگی‌های مواد و مصالح پایه سیمانی منجمله انواع بتن‌ها است و برای بتن‌های معمولی میزان جمع شدگی نهایی ناشی از خشک شدن عمدتاً در محدوده $۲۰۰\times۱۰^{-۶}$ تا $۱۲۰۰\times۱۰^{-۶}$ است. با توجه به مقدار قابل توجه جمع شدگی در روسازی‌های بتن معمولی جهت مقابله با ترک‌خوردگی تصادفی ناشی از آن، درزهای با فواصل ۴ تا ۶/۸ متر حدود ۲۴ ساعت بعد از اجرای روسازی بتنی ایجاد می‌گردد .در روسازی‌های بتن غلتکی که کاربرد آن عمدتاً جهت روسازی برای عبور بارهای سنگین بوده و در نتیجه بریدن درزها مشکلاتی در خصوص خرد شدن لبه درزها ایجاد می‌کند اغلب از بریدن درزها پرهیز شده و اجازه داده می‌شود تا ترکها به صورت تصادفی ایجاد شوند. فواصل بین ترکها قابل توجه بوده و از حدود ۱۰ تا ۲۵ متر و حتی برای برخی روسازی‌های ضخیم‌تر، فواصل طولانی‌تری گزارش شده است. با توجه به افزایش کاربرد روسازی بتن غلتکی در جاده‌ها, مسئله پیش‌بینی فواصل ترکها حائز اهمیت است که این مسئله نیز به خصوصیات جمع‌شدگی این نوع بتن‌ها مربوط می‌شود . بررسی آزمایشگاهی انجام شده روی تعدادی مخلوط بتن غلتکی روسازی میانگین جمع‌شدگی دراز مدت این نوع مخلوطها حدود $۳۷۰\times۱۰^{-۶}$ است که این مقدار قدری کمتر ازمیزان همین پارامتر برای بتن‌های معمولی است[۱۶ و۱۷] .

### ۳-۲-۱۲- دوام در برابر سولفات ها

بررسی آزمایشگاهی انجام شده توسط غفوری[1] و ژنگ[2] [۵] نشانگر آن است که با کاربرد سیمان نوع V (ضدسولفات) بتن‌های غلتکی روسازی دوام مناسبی در برابر محیطهای سولفاتی خواهند داشت. نتایج نشان می‌دهد که حتی مخلوطهای با مقدار سیمان برابر ۹ درصد وزن مصالح خشک که در محلول سولفات ۵٪ از سن ۲۸ روزه تا ۶ ماه نگهداری شدند در مقایسه با نمونه‌های شاهد نگهداری شده در آب تنها ۵ تا ۹ درصد افت مقاومت یافته‌اند. همچنین بررسی نشان می‌دهد که عملکرد بتن غلتکی در این خصوص با افزایش مقدار مواد سیمانی ۱۲تا ۱۵ درصد بهبود می‌یابد .

1- Ghafoori
2- Zhang

### ۳-۲-۱۳- دوام در برابر ذوب و انجماد

به علت روش ساخت بتن غلتکی ایجاد هوازایی جهت مقاوم سازی آن در برابرشرایط ذوب و انجماد دشوار است و لذا در پروژه های اجرا شده هوازایی در عمده موارد انجام نگرفته است[۲]. البته مطالعات آزمایشگاهی نتایج امیدوارکننده‌ای را در خصوص امکان هوازایی بدست داده‌اند لیکن مقدار مواد هوازا باید بسیار بیشتر از آنچه برای بتن‌های معمولی متداول است (بیش از ۵ برابر) به کار روند. شکل حبابهای هوای ایجاد شده نیز کروی شکل نخواهد بود[۱۱]. مطالعات میدانی حاکی از عملکرد خوب روسازی‌های بتن غلتکی در شرایط ذوب و انجماد متوسط است، لیکن در شرایط ذوب و انجماد شدید اطلاعات کافی در خصوص عملکرد میدانی روسازی‌های بتن غلتکی در دسترس نیست و آزمایش‌های تعیین دوام در برابر ذوب و انجماد انجام شده به روش آزمایشگاهی ASTMC666 روی مغزه‌های گرفته شده از روسازی‌های بتن غلتکی نشانگر ضعیف بودن آنها در برابر شرایط ذوب و انجماد است هر چند عملکرد میدانی آنها نسبتاً مناسب بوده است. لذا ممکن است آزمایشASTMC666 برای سنجش عملکرد بتن‌های غلتکی روسازی آزمایش مناسبی نباشد[۲] . در این ارتباط همچنین باید اشاره گردد که با توجه به رفتار و نتایج بدست آمده از آزمایش‌های با مقیاس بزرگ[1] پذیرفته است که RCC بعنوان یک گزینه برای روسازی در هر شرایط آب و هوایی قابل قبول است [۱۵] .

## ۳-۳- عملکرد

### ۳-۳-۱- انتقال بار از درزها[2]

انتقال بار در روسازی‌های بتنی به مقدار بار تحمل شده توسط یک دال بتنی بارگذاری نشده اطلاق می‌گردد که به علت بار اعمال شده بر روی دال بتنی مجاور بر آن ...می‌شود. انتقال بار در طراحی روسازی‌های بتنی دارای اهمیت است زیرا از ایجاد تنشهای زیاد در روسازی در نزدیکی محل درز می‌کاهد و لذا ضخامت طراحی روسازی را کاهش می‌دهد .

آیین‌نامه مهندسین ارتش آمریکا و آیین‌نامه سازمان هوانوردی آمریکا برای طراحی ضخامت روسازی‌های بتنی حداقل ۲۵ درصد انتقال نیرو درمحل درز را در نظر می‌گیرند. در روسازی بتنی معمولی انتقال بار در محل درزهای از پیش تعیین شده عمدتاً از طریق داول‌ها (میله‌های اتصال) و یا برش‌گیرها[3] صورت می‌گیرد. اگر روسازی بتن معمولی بدون داول و برش‌گیر باشد آنگاه با کاهش فواصل درزهای بریده شده عرض درز محدود می‌گردد و لذا انتقال نیرو از طریق درگیرشدن سنگدانه‌ها در دو طرف درز صورت می‌گیرد.

در روسازی های بتن غلتکی امکان ایجاد داول یا برش‌گیر وجود ندارد. از سوی دیگر بریدن درز در این نوع روسازی‌ها کمتر متداول است و عمدتا اجازه می‌دهند ترکها به صورت طبیعی ایجاد شوند که منجر به فواصل نسبتاً طولانی ترک و هم چنین متغیر بودن این فواصل می‌گردد . بر این اساس امکان بازشدگی ترک در این نوع روسازی‌ها بیش از روسازی‌های بتن معمولی است . لذا آئین‌نامه‌های طراحی فوق الذکر مقدار انتقال بار را در درزها برای روسازی‌های بتن غلتکی برابر صفر در نظر می‌گیرند[۲]. این برخورد محافظه‌کارانه می تواند منجر به ضخامت بیشتر روسازی بتن غلتکی در مقایسه با روسازی بتن معمولی گردد . بررسی به

1- Full-scale Test
2- Load transfer
3- keyway

عمل آمده توسط پیتمن[1] [۱۷] نشانگر این است که در روسازی های بتن غلتکی اجرا شده مقدار انتقال بار در محل درزها از ۴ تا ۳۲ درصد متغیر بوده و مقدار ۱۰٪ به صورت محافظه کارانه‌ای می‌تواند جهت انتقال بار برای این نوع روسازی‌ها در نظرگرفته شود . طبق بررسی پیتمن [۱۷]،درصورت در نظرگرفتن۱۰ تا ۱۵ درصد انتقال بار برای روسازی‌های بتن غلتکی ضخامت طراحی این نوع روسازی۸ تا ۱۷ درصد کاهش می‌یابد.

### ۳-۳-۲- اتصال بین لایه ها (مقاومت چسبندگی بین لایه ها)

اتصال بین لایه‌های بتن غلتکی در مواردی که روسازی بتن غلتکی در بیش از یک لایه اجرا شود تاثیر قابل توجهی بر ظرفیت باربری و عملکرد روسازی خواهد داشت. اگر اتصال سرد بین لایه‌ها اتفاق بیفتد مقاومت چسبندگی بین لایه‌ها اندک خواهد بود. نسبت مقاومت چسبندگی بین دو لایه بتن غلتکی به مقاومت کششی بتن در خود لایه‌ها بایدکافی باشد. گزارش انجمن بتن آمریکا حداقل این مقدار را برابر ۵۰٪ توصیه می‌کند[۲]. بررسی آزمایش‌های انجام شده روی پروژه‌های مختلف در آمریکا نشانگر آن است که در اکثر موارد مقاومت چسبندگی در حد قابل قبول بوده است . بدیهی است فاصله زمانی بین اجرای لایه‌ها, شرایط محیطی و نوع مخلوط بتن غلتکی تأثیر بسزایی در مقاومت چسبندگی بین لایه‌ها دارند. شایان توجه است که برخی نتایج روی بتن‌های اجرا شده حاکی از آن است که اتصال بین لایه‌ها در نزدیکی لبه روسازی بتن غلتکی در امتداد طولی که امکان تراکم مناسب آن با غلتک فراهم نیست ضعیف‌تر از اتصال در بخش‌های داخل بتن غلتکی است[۲].

در خصوص ضرورت چسبندگی بین لایه‌ها که کاملاً بستگی به فواصل زمانی بین اجرای چند لایه متوالی و تا حد امکان کوتاه نمودن این فواصل دارد , انجمن مهندسین ارتش آمریکا پیشنهاد می‌نماید در ماههای سردتر سال چنانچه زمان تاخیر از یک ساعت تجاوز ننماید یا در ماههای گرم‌تر سال این تاخیر بیشتر از چهل و پنج دقیقه نشود، لایه‌ها به یکدیگر خواهند چسبید[۷]. جهت اتصال بین لایه‌ها می‌توان از روش‌هایی نظیر زبرکردن سطح لایه استفاده کرد. در این روش لازم است که قبل از اینکه مصالح بتنی در قسمت سطحی اجرا گردد عمل زبر نمودن کامل گردد. استفاده کنترل شده از مواد کندگیر ممکن است باعث افزایش این فاصله زمانی گردد که در هر حال این موضوع نیاز به ارزیابی شرایط خاص پروژه دارد .

در جایی‌که چسبندگی بیشتری نیاز باشد از تکنیکهای مختلفی نظیر بافت دار کردن سطح از طریق دندانه‌دارکردن[2] آنها به کمک غلتکهای پاچه‌بزی انجام می شود[۷]. بهترین تکنیک در حال حاضر با وجود سیر تکاملی آن, استفاده از دوغاب سیمان – آب[3] در سطح به محض تمام شدن روسازی است . معمولا دوغاب سیمانی طوری استفاده می‌گردد که یک پوشش سیمانی ۲ کیلوگرم بر متر مربع را تشکیل دهد . این نکته حائز اهمیت است که دوغاب سیمانی تا قبل از ریختن لایه دوم شروع به خشک شدن ننماید . اگر چنین امری به وقوع نپیوندد، جدا شدگی بین لایه‌ها به احتمال زیاد رخ خواهد داد هم چنین باید به این موضوع توجه گردد که در حالی که یک فاصله زمانی کوتاه بین اجرای لایه‌ها مد نظر است باید اطمینان حاصل شود که هر لایه به اندازه کافی کوبیده شده و سپس لایه بعدی اجرا گردد .

1- Pittman
2- Indentation
3- Cement-water-slurry

### ۳-۳-۳- مقاومت در برابر لغزش[۱]

در جاده‌های با حجم ترافیک بالا و یا سرعت بالای ترافیک و همچنین در باند فرودگاه‌ها مساله مقاومت کافی سطح در برابر لغزندگی از اهمیت بسزایی برخوردار است. در روسازی‌های بتنی معمولی جهت بهبود مقاومت در برابر لغزش برای کاربردهای فوق الذکر لازم است بافت زبری روی سطح بتن ایجاد گردد که به این کار ایجاد بافت[۲] می‌گویند. ایجاد بافت عموماً روی روسازی‌های بتن معمولی در حالت تازه و از طریق کشیدن جارو یا گونی خیس یا برس‌های خاص روی سطح بتن انجام می‌گیرد. در صورتیکه سطح روسازی بتن سخت شده دارای بافت نبوده و یا بافت ایجاد شده فرسوده گردد، می‌توان با کاربرد تیغه‌های گردنده شیارزن بافت زبر مورد نظر را روی سطح روسازی بتنی ایجاد نمود[۱].

اوایل دوره کاربرد روسازی‌های بتن غلتکی که استفاده از آن محدود به روسازی‌های تحت بارهای سنگین و سرعت پائین ترافیک بود مسئله مقاومت در برابر لغزش اهمیت زیادی نداشت . لیکن هم اکنون با توسعه کاربرد این نوع روسازی‌ها در جاده‌های با سرعت بالا بررسی این پارامترها اهمیت بیشتری پیدا کرده است.

مقاومت در برابر لغزش روسازی بتن غلتکی در تعدادی از پروژه‌های اجرا شده ارزیابی شده که در زیر نتایج به تفصیل بیان شده است . لغزندگی سطح روسازی بتن غلتکی در جاده دسترس تیوزکنی‌وی[۳] در شهر آستین در تگزاس باروشASTM E67087 توسط دستگاه اندازه‌گیری اصطکاک[۴] در هر دو شرایط تر و خشک اندازه‌گیری شد که به علت انحنای موجود در جاده, حد اکثر سرعت آزمایش به ۶۴ کیلومتر در ساعت (۴۰ مایل بر ساعت) محدود شد. نتایج حاصل از این آزمایش مقادیر متوسط ۰/۷۲ در شرایط خشک و ۰/۴ درشرایط مرطوب را نشان می‌دهد این نتایج بر اساس ملاک‌های ارزیابی مقاومت در برابر لغزش برای نیروی هوایی[۵] ( AFWL-TR-73-165) در رده شرایط سطحی ضعیف تا مرزی دسته‌بندی می شوند دلیل این عملکرد ضعیف هر دو وضعیت بافت درشت[۶] و بافت ریز[۷]سطح روسازی ذکر شده است . در روسازی بتن معمولی بافت درشت سطح روسازی از طریق ایجاد بافت زبر و شیاردار در روی سطح بتن حاصل می‌گردد. بافت سطح روسازی‌های بتن غلتکی عمدتاً غیر مرتبط و با فضاهای خالی ونسبتاً باز هستند که البته وضعیت بافت به نوع مخلوط و روش ریختن و تراکم بستگی دارد . بررسی انجام شده فوق الذکر نشان می‌دهد که عدم اتصال فضاهای خالی باز سطحی, مانع از امکان رد شدن کامل آب از بین لاستیک و سطح روسازی بوده و لذا موجب سرخوردن روی لایه آب[۸]می‌گردد. همچنین بافت ریز بتن غلتکی که نشانگر وضعیت سطح بتن در بین فضاهای خالی فوق الذکر است, مقاومت زیادی در برابر لغزش لاستیک ندارد [۲] .

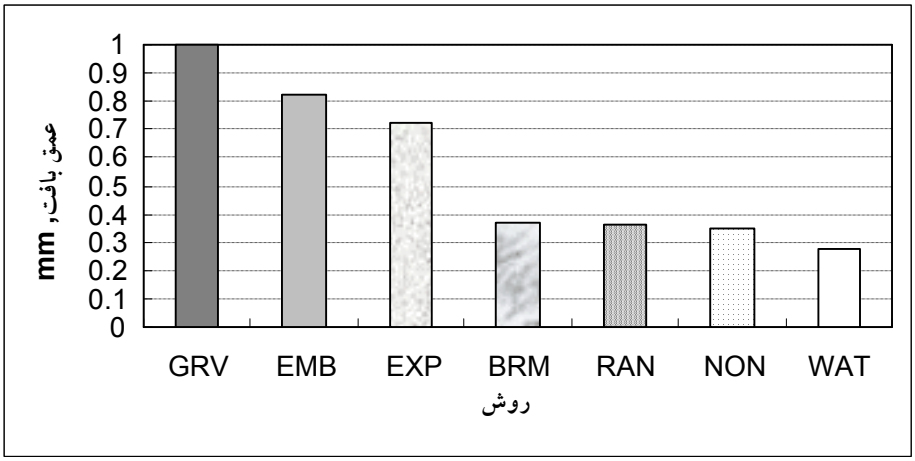
در استرالیا نیز آزمایش‌های تعیین اصطکاک سطحی روسازی بتن غلتکی در جاده ولز رد[۹] در سی‌فورد[10] انجام پذیرفت. آزمایش‌ها در سرعت‌های ۵۱ تا ۸۰ کیلومتر بر ساعت (۳۲ تا ۵۰ مایل بر ساعت) انجام شد. نتایج ضریب نیرو جانبی در محدوده ۴۵ تا ۶۲ را برای محدوده پائین سرعت فوق و ۳۸ تا ۵۱ را برای محدوده بالای سرعت فوق نشان می‌دهد.این مقادیر به میزان قابل توجهی کمتر

1- Skid Resistance
2- texturing
3- Tuscany way
4- Mu-Meter
5- Airforce Skid Resistance Criteria
6- Macro-texture
7- Microtexture
8- Hydro Planning
9- Road Wells
10 - Seaford

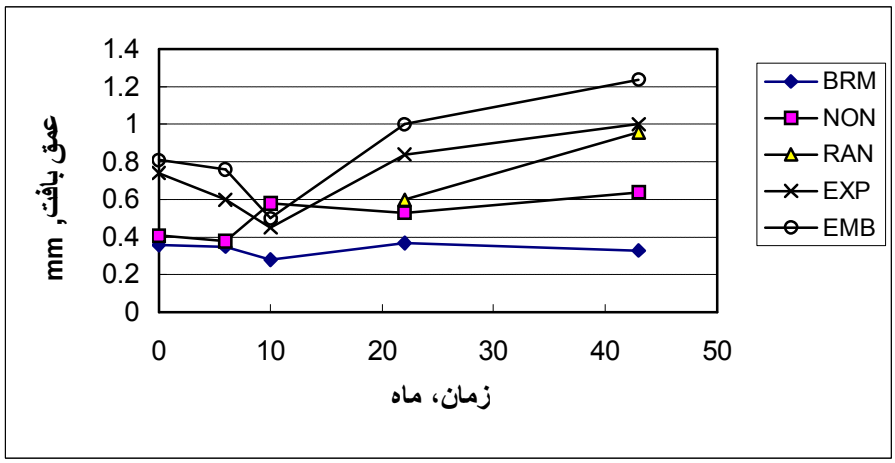
از مقادیر متعارف این پارامتر ویژه روسازی آسفالتی است [۲]. همچنین بررسی انجام شده روی روسازی غلتکی درتیتری رد[1] در تاسمانیا در استرالیا که با دستگاه اندازه‌گیری انگلیسی مقاومت لغزندگی سطح انجام شد،مقدار متوسط ۵۸/۵ درصد را نشان می‌دهد. این نتیجه در معیار سنجش U.S. airfield skid resistance در محدوده ضعیف تا مرزی قرار دارد[۲]. تجربیات و بررسی‌های صورت گرفته در سوئد که توسط اندرسون[2] [۳] گزارش شده است حاکی از آن است که بافت درشت سطح روسازی بتن غلتکی دارای زبری کافی نیست و مقادیر اندازه‌گیری شده در آزمایش عمق ماسه پرکننده زبری کمتر از ۰/۶ میلیمتر بوده است. لذا سطح روسازی بتن غلتکی را برای ترافیک با سرعت بالا مناسب ندانسته‌اند و ذکر شده است که اگر در نظر باشد روسازی بتن غلتکی برای ترافیک با سرعت بالا به کار رود باید سطح آن زبر شود که این کار با ایجاد بافت سطحی توسط تجهیزاتی نظیر کلدپلنر[3] می تواند انجام گیرد.

بررسی اصطکاک سطحی روسازی بتن غلتکی در آمریکا توسط نانی[4] با روش چرخ خودرو[5] طبق ASTM E 274-90 صورت گرفت[۱۲]. در این بررسی نیروی اصطکاک بین چرخ و جاده مبنای محاسبه عدد مقاومت لغزش قرار گرفت. نتایج در محدوده ۴۳ تا ۶۴ بوده است . شایان توجه است که نانی اعداد متعارف برای روسازی بتن معمولی را به طور متوسط ۴۷ گزارش می کند و لذا نتیجه‌گیری می‌نماید که مقاومت در برابر لغزش برای بتن غلتکی حداقل برابر و یا کمی بهتر از روسازی بتن معمولی است . البته لازم به ذکر است که روسازی بتن معمولی دارای مقاومت کافی در برابر لغزش نیست و در صورتی که برای ترافیک با سرعت بالا مد نظر قرار گیرد، باید نسبت به ایجاد بافت سطحی زبر روی آن اقدام شود. لذا نتایج نانی نیز با نتایج دیگر محققین در خصوص عملکرد نسبتاً ضعیف روسازی بتن‌غلتکی در برابر لغزش مطابقت دارد. در چین لیو[6] [۹] نیز نمونه‌های صحرایی زیادی را برای بررسی اثرات روش‌های مختلف بافت رویه نظیر نمایان سازی سنگدانه با استفاده از مواد کندگیر, فشار آب , نشاندن و جای دادن سنگدانه در سطح روسازی بتن غلتکی با استفاده از غلتک و شیار دادن سطح مورد آزمایش قرار داد . شکل ۳-۷ میزان احتمالی عمق بافت روش‌های مختلف را در زمان کامل شدن اجرای روسازی بتن غلتکی نشان می‌دهد. از شکل فوق می توان مشاهده نمود که شیار دادن[7] (GRV) بهترین روش است . بعد از آن نشاندن سنگدانه در سطح[8] (EMB) و نمایان ساختن سنگدانه با مواد کندگیر[9] (EXP), جاروکردن[10](BRM), شستن با باران[11](RAN) و عدم اصلاح (Non) در درجات بعدی قرار می‌گیرند. اصلاح به روش پاشیدن آب[12] (WAT) بدترین روش است . تغییرات عمق بافت[13] (TD) برای روش‌های مختلف اصلاح در اشکال ۳-۷ تا ۳-۹ رسم گردیده است.

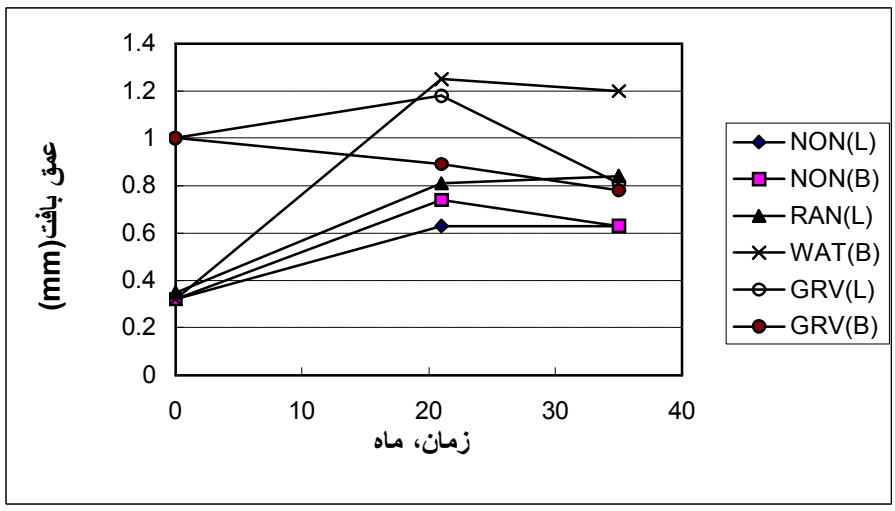
1- Teatree Road
2- Anderson
3- Cold planer
4- Nanni
5- Automotive tire
6- Liu
7- Grooving
8- Embending
9- Exposure-by-retarding-agent
10- Brooming
11- Rain-encounter
12- Water-Spray
13- Texture-depth



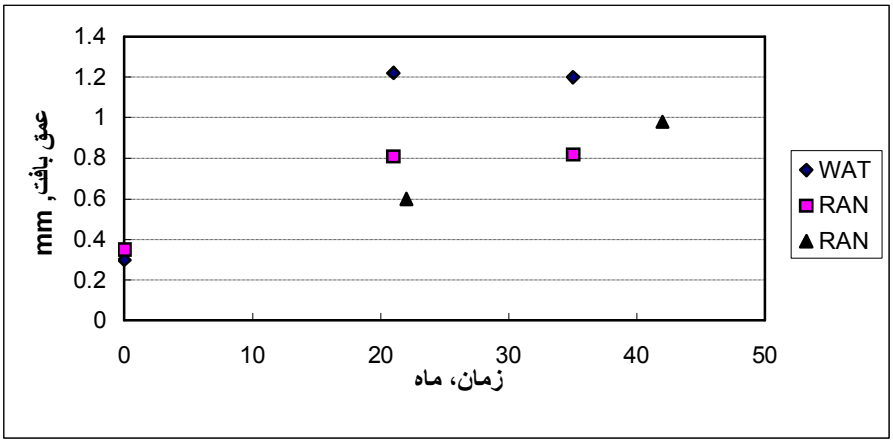

شکل ۳-۷ مقدار عمق بافت (TD)روشهای مختلف در زمان تکمیل پروژه




شکل ۳-۸ تغییرات عمق بافت (TD) نسبت به زمان در پروژه تانینانگ




شکل ۳-۹ تغییرات عمق بافت (TD) نسبت به زمان در پروژه ذویان




**شکل ۳-۱۰ گسترش عمق بافت (TD) در بخشهای پاشیدن آب و باران شستگی**

بطور کلی مقادیر عمق بافت در اغلب قسمت‌ها افزایش نشان می‌دهد.عمق بافت بخش مربوط به پاشیدن آب یا باران شستگی دارای قابلیت افزایش زیادی است همانطور که در شکل ۳-۱۰ نشان داده شده است عمق بافت در این روش می‌تواند از ۰/۳ میلیمتر تا ۰/۸ میلیمتر در حدود یکسال افزایش یابد ولی از نرخ افزایش پس از آن کاسته می‌شود. تحقیقات نشان داد که استفاده از شن بر روی روسازی در افزایش عمق بافت اثر بیشتری دارد . روسازی راه‌های روستایی که دارای کلاس پائین‌تری هستند بوسیله ذرات ماسه پوشیده شده و این ذرات بعنوان یک نوع عامل سایش باعث سرعت بخشیدن به عریان شدگی مواد سیمانی می‌شوند[۹].

مشاهدات مربوط به ضرائب نیروی جانبی[۱] وعدد پاندولم[۲] برای یک محدوده زمانی ۳ ساله انجام شد تا افزایش اصطکاک بر روی RCCP مورد بررسی قرار گیرد . اندازه‌گیری‌های مربوط به اصطکاک و عدد PN در جاده آزمایشی ژویون در جدول ۳-۴ نشان داده شده است که از این جدول مشاهده می‌گردد که هر دو مقدار PN , SFC با زمان کاهش می‌یابند ولی کاهش PN بیشتر است.

مشاهدات و داده‌های بدست آمده نشان می‌دهد که برای انواع اصلاحات انجام گرفته روند کلی SFC و PN رو به کاهش است . از جدول ۳-۴ می‌توان دید که SFC و PN دوباره پس از دوسال ترمیم می‌شوند و این وضعیت ممکن است که برای روسازی آسفالتی و بتن معمولی رخ ندهد. نتایج آزمایشات مشابه در استرالیا پدیده‌ای مشابه را نشان می‌دهد که SFC ابتدا با گذشت زمان کاهش می‌یابد ولی پس از ۴ سال SFC به اندازه مقدار اولیه خود می‌رسد . بازیابی بافت که بوسیله پدیده شن زدگی انجام می‌گیرد دلیل اصلی این موضوع است .

تحقیقات انجام گرفته در چین را می‌توان بطور خلاصه به این شکل بیان نمود کهRCCP غیر اصلاح شده دارای بافت ضعیف است. برای داشتن بافت کافی برایRCCP باید در مراحل پایانی اجرا تمهیداتی بکار برده شود. راه عملی این کار شامل نمایان کردن سنگدانه با استفاده از مواد کندگیر و شیاردار کردن است. پروسه و اثر شیار دادن برروی RCCP شبیه به بتن معمولی است. روش نمایان کردن سنگدانه با استفاده از مواد کندگیر اقتصادی, معقول و موثر است. عمق بافت این نوع اصلاح در حدود ۰/۶ تا ۰/۸ میلیمتر در زمان کامل شدن اجرا بوده ولی کنترل کیفیت سطح در زمان جدا شدن سنگدانه و یا زمانیکه اندازه سنگدانه خیلی کوچک است در هنگام اجرا مشکل است.

1- SFC
2- Pendulum Number

جدول ۳-٤ تغییرات PN و SFC با مرور زمان

| روش | نوع سنگدانه | روش اندازه‌گیری | سطح اصطکاک(Friction Level) | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | ۰ | ۲۲ | ۳۵ |
| | | | ماه | | |
| NON | بازالت | PN | ۶۳ | ۳۹ | ۴۸ |
| | | SFC | ۶۳ | ۵۰ | ۵۳ |
| | سنگ آهک | PN | ۵۷ | ۴۱ | ۴۶ |
| | | SFC | ۶۰ | ۵۱ | ۵۴ |
| WAT | بازالت | PN | ۶۴ | ۳۸ | ۵۱ |
| | | SFC | ۶۴ | ۵۰ | ۵۳ |
| RAN | سنگ آهک | PN | ۶۳ | ۳۷ | ۴۶ |
| | | SFC | ۵۹ | ۴۸ | ۵۰ |
| GRV | بازالت | PN | ۷۳ | ۵۰ | ۶۰ |
| | | SFC | ۶۱ | ۴۸ | ۵۵ |
| | سنگ آهک | PN | ۷۳ | ۴۸ | ۵۸ |
| | | SFC | ۶۱ | ۵۲ | ۵۵ |

## ۳-۳-٤- مسطح بودن سطح یا همواری[1]

مسطح بودن یا صافی سطح معیاری از عدم وجود پستی و بلندی و موجدار بودن در سطح روسازی است. هر قدر سرعت ترافیک مورد نظر برای یک سطح روسازی بیشتر باشد مقادیر بالاتری از معیار مسطح بودن اعمال می‌گردد تا کیفیت قابل قبول تردد روی سطح حاصل شود .دستیابی به سطوح صاف با روش روسازی بتن غلتکی خصوصا در اوایل توسعه آن دشوار بوده است و لذا کاربرد این نوع روسازی عمدتاً در روسازی‌های ویژه ترافیک با سرعت پائین و وسایط نقلیه سنگین رایج بوده است . به نظر می رسد مشکل اصلی ناصافی در هنگام کوبش با غلتک رخ می‌دهد و در صورتی که بخش قابل توجهی از تراکم پس از ریختن بتن روسازی توسط دستگاههای روسازی برای غلتک باقی بماند ناصافی تشدید می‌گردد . پس از سال ۱۹۸۵ که تجهیزات اجرای روسازی آسفالتی جهت اجرای روسازی‌های بتن غلتکی اصلاح شده و مجهز به میله های کوبنده[2] نیز گردید کیفیت صافی سطح این نوع روسازی‌ها بهبود یافت. این تجهیزات بعضاً قابلیت تراکم تا ۹۵٪ تراکم به روش استاندارد پراکتور را داشته و لذا میزان تراکم کمی برای مرحله غلتک زنی باقی مانده و کیفیت صافی سطح بهبود می یابد[۲].

در خصوص معیارهای مسطح بودن سطح, آیین نامه مهندسین ارتش آمریکا (USACE) حداکثر انحراف از صافی سطح برای روسازی بتنی فرودگاهی و تاکسی‌وی[3]ها را به ۳ میلیمتر در طول ۳ متر محدود می‌کند . برای روسازی با سرعت کمتر نظیر پارکینگ‌ها و محوطه تردد وسایل نقلیه سنگین نظامی آیین‌نامه اخیرالذکر حداکثر انحراف صافی از سطح را به ۶میلیمتر در ۳ متر

1- Smoothness
2- Tamping rods
3- Taxiway

محدود می‌نماید همچنین برای روسازی بتنی غلتکی با توجه به مشکلات موجود در دستیابی به صافی سطح برای کاربرد مشابه با موارد اخیر الذکر در این نوع روسازی حداکثر انحراف از صافی برابر۹/۵ میلیمتر در ۳/۷ متر را مجاز می‌شمرد .

اطلاعات در خصوص میزان مسطح بودن روسازی‌های بتن غلتکی به شرح ذیل گزارش شده است :

پیت‌من[۱۶] مقدار انحراف از مسطح بودن روسازی محوطه نظامی در پارکینگ تانک در پایگاهی در آلمان را در امتداد طولی ۵ میلیمتر و درامتداد عرضی ۶ میلیمتر اندازه‌گیری نمود. همچنین هس[1] گزارش نموده است که در پایگاه تولـه[2] در آمریکا میزان, انحراف از مسطح بودن روسازی محوطه پارکینگ نظامی در ۸۲ درصد موارد اندازه‌گیری شده از ۶ میلیمتر کمتر بوده است. همچنین در روسازی محوطه پارکینگ وسایط نقلیه سنگین در پایگاه اف.تی لویز[3] مقادیر انحراف از مسطح بودن در امتداد طولی ۶ میلیمتر و در امتداد عرضی ۳ میلیمتر گزارش شده است [۲].

عواملی که می‌توانند باعث تشدید عدم صافی سطح شوند عبارتند از ضخامت زیاد لایه بتن غلتکی , عدم تراکم کافی توسط دستگاه فینیشر و ماندن بخش قابل توجهی از تراکم برای غلتک ویبره‌ای و ضعیف بودن زیر سازی, لذا کنترل عوامل فوق در بهبود صافی سطح موثر خواهد بود[ ۱۰].

اندرسون ذکر می‌کند که صافی سطح به تجهیزات به کار رفته و ضخامت لایه اجرا شده بستگی دارد لذا زمانی که کیفیت بهتری از صافی سطح مد نظراست،می‌توان با اجرای روسازی بتن غلتکی در دولایه و محدود کردن ضخامت لایه رویی اجرا شده به این امر دست یافت.

### ۳-۳-۵- کیفیت تردد[4]

کیفیت تردد و یا ناصافی روسازی به صورت میزان راحتی و یا عدم راحتی فرد در خودرو در حین راندن روی روسازی مورد نظر تعریف می‌گردد.مطالعات، نشان داده است که پروفیل طولی سطح روسازی در مسیر چرخ خودرو خصوصا دامنه و فرکانس پروفیل طولی جاده بیشترین تأثیر را در میزان راحتی فرد دارا می‌باشد. برای تعیین ناصافی، تجهیزات مختلفی وجود دارد که یا مقدار تجمعی پستی و بلندی جاده در کیلومتر یا مایل طول جاده را اندازه‌گیری می‌کنند و یا دفعاتی که میزان پستی و بلندی در طول کیلومتر یا مایل از حد مشخصی بیشتر می‌شود را ثبت می‌کنند.برخی انواع این تجهیزات عبارتند از: جاده سنج[5] ،ناصافی‌سنج[6] و یا پروفیل‌سنج[7].

نتیجه بررسی انجام شده روی روسازی‌های بتن غلتکی اجرا شده در استرالیا در جدول ۳-۵ ارائه شده است . این نتایج به صورت تعداد دفعاتی که درکیلومترطول ارتفاع دو نقطه از دستگاه پروفیل سنج از ۱۵/۲ میلیمتر بیشتر شده است را به صورت عدد ناصافی ارائه شده‌اند.طبق ضوابط اداره راهها در استرالیا برای راههای اصلی تازه احداث شده[8] حداکثر مجاز عدد ناصافی ۷۰ است و اگرعدد ناصافی از ۱۵۰ بیشتر شود جاده نیاز به بهسازی دارد.

1- Hess
2- Toole
3- Ft.lewis
4- Ride Abilit
5- Road meter
6- Roughometer
7- Profilometer
8- Main Roads

**جدول ۳-۵ نتایج آزمایش تعیین میزان ناصافی روسازی های بتن غلتکی در استرالیا [۱۱]**

| میزان ناصافی(تعداد در کیلومتر) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| موقعیت | وسیله اندازه‌گیری | میانگین | محدوده | انحراف معیار | ضریب تغییرات (درصد) |
| Duncan Road Tasmania | NAASRA roughness meter | ۱۴۳ | ۲۵۳-۷۷ | ۳۷ | ۲۶ |
| Tea Tree Road Tasmania | NAASRA roughness meter | ۱۱۹ | ۱۵۳-۸۶ | ۱۹ | ۱۶ |
| Wells Road Victoria Lane1 | ARRB | ۸۱ | ۱۱۲-۵۴ | ۲۰ | ۲۴ |
| Wells Road Victoria Lane 2 | Profilometer | ۸۷ | ۱۱۰-۶۱ | ۱۸ | ۲۱ |
| Wells Road Victoria Lane 1 | Profile beam | ۸۷ | ۹۷-۷۴ | ۷ | ۸ |
| Wells Road Victoria Lane 2 | Profile beam | ۸۷ | ۱۰۹-۷۴ | ۱۰ | ۱۲ |

نتایج اعداد ۸۱ تا ۱۴۳ را نشان می‌دهد که نمایانگر آنست که این روسازی‌ها الزامات صافی را برای جاده تازه احداث شده برآورده نمی‌سازند ولی نسبت به جاده‌ای که نیاز به بهسازی دارد از وضعیت بهتری برخوردار هستند. شایان توجه است که این تحقیق ذکر می‌کند شواهد حاکی از آن است که با کسب تجربه بیشتر در اجرای این نوع روسازی‌ها کیفیت آنها بهبود خواهد یافت بطوریکه قرائتهای ۵۴ الی ۵۸ که برای طول محدودی از جاده ولز[1] بدست آمده شاهد این مدعی است.

نانی پارامترهای موثر در کیفیت تردد در روسازی‌های بتن‌های غلتکی را با استفاده از دستگاه پروفیلوگرافر[2] و طبقASTM-E1274-88 مورد مطالعه قرارداده و نتایج را به صورت مقدار تجمعی پستی و بلندی های سطح در امتداد یک کیلومتر طول مسیر جاده به دست آورده است. با توجه به اینکه در جاده آزمایشی مورد نظر متغیرهایی نظیر فواصل درزها و برخی پارامترهای دیگر در نظر گرفته شده بود امکان بررسی تاثیر این موارد روی ناصافی روسازی فراهم آمد که به شرح جدول ۳-۶ گزارش شده است.

1- Wells Road
2- Profilographer

**جدول ۳-٦ نتایج آزمایش ناصافی سطح به طریق پروفیل سنج برای روسازی بتن غلتکی [۱۲]**

| شاخص وضعیت سرویس‌دهی (PSI) | پروفیل‌سنجی (mm/km) | طول (متر) | فاصله درزها (متر) | تعدادپاسهای غلتک | | سرعت حرکت دستگاه روسازی (متر دردقیقه) | تعداد خط عبور |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | ارتعاشی | استاتیکی | | |
| <۲,۵۰ | ۱۲۶۷ | ۱۲/۲ | ۶/۱ | - | ۲ | ۲/۱ | I |
| <۲,۵۰ | ۱۱۲۰ | ۷۵ | ۶/۱ | | | | |
| ۲,۸۹ | ۶۹۰ | ۳۶ | ۱۸ | | | | |
| ۲,۸۱ | ۷۲۰ | ۳۶ | ۱۸ | - | ۲ | ۲/۸ | |
| ۳,۳۹ | ۳۷۵ | ۳۶ | ۳۱ | | | | |
| ۴,۳۸ | ۹/۲ | ۲۷ | ۳۱ | - | ۲ | ۳/۷ | |
| <۲,۵۰ | ۲۳۷ | ۱۲ | ۶ | ۲ | ۴ | ۲/۶ | II |
| ۳,۱۱ | ۶۰ | ۷۵ | ۱۲ | | | | |
| ۳,۲۴ | ۵۵ | ۳۶ | ۱۸ | | | | |
| ۳,۷۹ | ۳۳ | ۱۱۰ | ۱۸ | - | ۴ | | |
| ۳,۷۱ | ۳۶ | ۲۵ | ۲۵ | | | | |
| ۳,۵۸ | ۴۱ | ۶ | ۶ | | | | |
| ۳,۳۷ | ۳۷۵ | ۳۰ | ۳۱ | | | | |
| ۳,۳۹ | ۴۹ | ۳ | ۲۸ | | | | |
| ۳,۶۱ | ۴۰ | ۲۵ | ۲۸ | - | ۴ | ۵/۵ | |
| <۲,۵۰ | ۱۱۰ | ۲/۳ | ۲/۳ | | | | |

فواصل درزها تاثیر مهمی روی ناصافی داشته و با افزایش فواصل بین درزها عدد پروفیل کاهش می‌یابد که به معنی کیفیت بهتر تردد است. به طور مثال برای فاصله درزها برابر ۶/۱ متر عدد قرائت شده ۱۲۶۷ میلیمتر بر کیلومتر بوده است. لیکن با افزایش فاصله درزها به۳۱ متر این عدد به ۳۷۵ میلیمتر بر کیلومتر کاهش یافته است. لذا نانی توصیه دارد که فواصل درزها طولانی در نظر گرفته شود زیرا ترکهای ایجاد شده بین درزها تاثیر منفی زیادی روی ناصافی جاده ندارد . همچنین جهت امکان مقایسه نتایج ناصافی حاصل شده روی روسازی بتن غلتکی با معیارهای متداول سنجش کیفیت سطح، نانی نتایج پروفیل سنج را از طریق رابطه ای به شاخص وضعیت سرویس‌دهی جاده‌ها(PSI)[1] تبدیل نموده است که این شاخص بین صفر و ۵ بوده و ۵ به منزله سرویس دهی عالی و شاخص۲/۵ و کمتر به منزله لزوم بازسازی سطح روسازی است.

همانطور که مشخص است نتایج در محدوده کمتر از ۲/۵ تا حدود ۴/۳۸ متغیر است که عمده موارد بین ۲/۵ و ۳/۵ قرار گرفته‌اند.

1- Pavement-Serviceability-index

### ۳-۳-۶- مقاومت در برابر سایش

طبق تعریف سائیدگی یا فرسودگی به خارج شدن غیر عمدی ذرات جامد از یک سطح مشخص اطلاق می‌گردد [۱۹]. این خاصیت شامل دو نوع خرابی است یکی سایش و دیگری فرسایش. مقاومت در برابر سایش و فرسایش در سازه‌های هیدرولیکی و روسازی از اهمیت خاص برخوردار است . اصطلاح سائیدگی معمولا به سایش در حالت خشک بین سطوح اطلاق می‌شود و اصطلاح فرسایش بطور کلی برای تشریح سایش سطحی به وجود آمده توسط سیالاتی که شامل ذرات جامد معلق هستند بکارمی‌رود. بتن استفاده شده در روسازی باید مقاومت کافی در برابر سایش حاصل از ترافیک عبوری انواع وسایل نقلیه را داشته باشد. از آنجا که بیشتر حجم بتن از سنگدانه‌ها تشکیل گردیده است سنگدانه به عنوان جزء اصلی برای جلوگیری از خرابی بتن تحت تاثیر سایش قرار می‌گیرد و با وجودی که نوع سنگدانه درمقاومت سطح در برابر سائیدگی مهم است مقاومت مکانیکی نیز به عنوان یک فاکتور مهم محسوب می‌گردد. معمولاً مقاومت در برابر سائیدگی با افزایش مقاومت فشاری افزایش می‌یابد به همین دلیل در زمانی که بتن تحت تاثیر سایش سطحی قرار می‌گیرد توصیه‌هایی در خصوص حداقل مقاومت فشاری برابر ۳۰ تا ۴۰ مگا پاسکال انجام گرفته است . تحقیقات انجام گرفته در زمینه اثر فاکتورهایی نظیر نوع سنگدانه و مقدار سیمان موجود در بتن نشان می‌دهد که مقاومت در برابر سائیدگی RCC با توجه به شرایط اندازه‌گیری شده رضایت بخش بوده و تاثیر نوع سنگدانه در مقایسه با تاثیر درصد سیمان موجود در بتن در مقدار مقاومت سائیدگی RCC بیشتر است. همچنین مطالعات نشان می‌دهد که مقاومت در برابر سایش RCCو بتن معمولی مشابه است[۱۹]. همچنین دیگر تحقیقات انجام گرفته نشان می‌دهد که درصد سیمان, نسبت آب به سیمان, کارآیی, درصد هوا, نوع اجرا و عمل‌آوری در مشخصات لایه موثر است . از آنجائیکه این فاکتورها بر روی مقاومت فشاری بتن نیز تاثیر می‌گذارند این مطلب مورد قبول است که مقاومت بتن به عنوان یک معیار برای ارزیابی مقاوت در برابر سائیدگی مورد استفاده قرار گیرد در این راستا بررسی محققین دیگر نشان داده است که تغییرات در عملیات اجرای نهایی سطح[1] [۲۲] یا تغییر در نوع عمل‌آوری[۱۳] تاثیر قابل ملاحظه‌ای در مقاومت در برابر سائیدگی RCC دارد . تاثیر تکنیک ساخت و مخصوصاً نوع اجرای نهایی سطح در تغییر مقاومت سایشی RCC برای نمونه‌های ساخته شده در آزمایشگاه و در روسازی واقعی نیز قابل توجه است. تحقیقات فوق همچنین نشان می‌دهد که تحت شرایط مشابه ( شرایط رطوبت یکسان ) مقاومت در برابر سائیدگی نمونه های آزمایشگاهی تقریبا ۳۰ درصد کمتر از نمونه های ساخته شده در سایت است. این نتیجه قابل انتظار است زیرا گرچه خصوصیات توده‌ای مخلوط نظیر دانسیته و مقاومت خیلی شبیه بهم است اما خصوصیات موضعی بین دو نوع رویه متفاوت است. علاوه بر این نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که نوع عمل‌آوری بروی خصوصیات سطحی نظیر مقاومت در برابر سایش تاثیر بیشتری دارد تا برروی خصوصیات توده‌ای نظیر مقاومت فشاری .عمل‌آوری یک روزه در مقایسه با عمل‌آوری ۲۵ روزه می‌تواند مقاومت در برابر سایش را ۷۲ درصد کاهش دهد در حالی‌که کاهش در مقاومت فشاری در شرایط مشابه منجر به کاهش ۲۶ درصدی می‌گردد[۱۳]. تحقیقات انجام گرفته در استرالیا نیز با نتایج تحقیقات فوق الذکر مشابه بوده و نشان دهنده این است که مقاومت در برابر سایش بتن غلتکی قابل قبول بوده و عمل‌آوری بتن غلتکی در مقایسه با بتن معمولی از اهمیت بیشتری برخوردار است و عمل آوری ناکافی منجر به یک رویه سطحی ضعیف می‌گردد. این تحقیقات نشان می‌دهد که در عین حال مقاومت در برابر سایش بتن غلتکی با افزایش مقاومت فشاری بطور قابل ملاحظه‌ای افزایش می‌یابد [۱۵] .

1- Surface finish

## مراجع

1-ACI 325.6 R-88 (Reap proved 1997), Texturing Concrete Pavements, American Concrete Institute, 2000

2-ACI 325.10 "State of art Report on Roller Compacted Concrete Pavements," American Concrete Institute Report ACI 325.10-95, 2000

3-Anderson, R, "Swedish Experience with RCC, Concrete International, Feb 1987, pp, 18-24.

4-Dela grave, A, et al, "Deicer Salt Scaling Resistance of Roller Compacted Concrete Pavements", ACI – Materials Journal, March-April, 1997.

5-Ghaffori, N., Zhang, Z, "Sulfate Resistance of Roller Compacted Concrete", ACI Materials Journals, July – August 1998, PP 347-355

6-Hansen, K, Reinheardt, W.Roller Compacted Concrete Dams, McGraw Hill, 1991.

7-Hodgkinson, J.R., "Design and Construction of Roller Compacted Concrete (RCC) Pavement", Cement and Concrete Association of Australia, 1991.

8-Hutchinson, R.L. , Ragan , S.A., Pittman ,D.W. ,"Heavy Duty Pavements", Concrete International , Vol. 9 , No. 2 ,Feb 1987 , pp 55-61.

9-Liu, Q., "Surface Texture of Roller Compacted Concrete Pavements", 8 th International Symposium on Concrete Roads, Theme II, Portugal, 1998.

10-Malish, W. R.,"Roller Compacted Concrete Pavements", Concrete Construction, Jan 1988, pp 13-17.

11-Naik, T.R. et al, "Strength and Durability of Roller Compacted HVFA Concrete Pavements" Practice Periodical on Structural Design and Construction, November , 2001 pp 154-165.

12-Nanni, A., Ludwig, D. and Shoenberger, J., "Roller Compacted Concrete for Highway Pavement", Concrete International, May 1996, pp 33-32.

13-Nanni Antonio, "Abrasion Resistance of Roller Compacted Concrete" ACI Materials Journal, 1989.

14-Niu Kaimin, Lia Qingquan,"The Actuality and Prospect of RCCP in China", 8 th International Symposium on Concrete Roads, Theme III, Portugal, 1998.

15-Piarc Technical Committee on Concrete Roads, "The Use of Roller Compacted Concrete for Roads", 1993.

16-Pittman, D.W., "Factors Affecting Joints Efficiency of Roller Compacted Concrete Pavement Joints and Cracks", Transportation Research Record Sept 1996-pp 10-20.

17-Pittman, D.W., Load Transfer Characteristics of Roller Compacted Concrete Pavement Joint and Cracks", Transportation Research Record Sept 1996-pp 10-20.

18-Pittman, D.W., Ragan, S.A". Drying Shrinkage of Roller Compacted Concrete for Pavement Application", ACI Materials Journal, Jan-Feb 1998, pp 19-26

19-Ribeiro A.B., Vale J., "Abrasion Resistance of Roller Compacted Concrete (RCC)", 8 th International Symposium on Concrete Roads, Theme II, Portugal, 1998.

20-"Standard Test Method for Determining Consistency and Density of Roller Compacted Concrete Using a Vibrating Table" ASTM C1170, 1991.

21-Sun, w. , et al , "Fatigue Performance and Equations of Roller Compacted Concrete with Fly Ash", Cement and Concrete Reference, Vol. 28, No 2, pp 309-315 ,1996.

22-Tricbes , G , "The Fatigue Behavior of Rolled Compacted Concrete", 8th International Symposium on Concrete Roads , Theme II , Portugal ,1998.

# فصل چهارم

## زمینه‌های کاربرد روسازی بتن غلتکی

# فصل چهارم

# زمینه‌های کاربرد روسازی بتن غلتکی[1]

## ٤-١-کلیات

همانطور که در فصل ۲ ذکر شد روسازی بتن غلتکی در واقع نوعی روسازی بتنی است. مزیت اصلی روسازی بتن غلتکی نسبت به روسازی بتن معمولی سرعت ساخت بیشتر و هزینه ساخت کمتر آن است که معمولا حدود ۳۰٪ صرفه جویی اقتصادی در بردارد. حتی در مواردی که امکان مقایسه باشد RCCP از نظر اقتصادی با روسازی آسفالتی با باربری برابر قابل رقابت بوده است .

RCCP خصوصاً برای کاربرد به عنوان روسازی تحت بارهای سنگین مناسب بوده و در این گونه کاربردها عملکرد آن به خوبی روسازی بتنی معمولی است .

در عین حال باید توجه کرد که دستیابی به صافی سطح[2] جهت سرعتهای بالا با روسازی بتن غلتکی دشوار بوده و لذا کاربرد این نوع روسازی‌ها برای سرعتهای پائین مناسب است . با بهبود روش‌ها و تجهیزات اجرا , امکان ساخت روسازی بتن غلتکی با رواداری های قابل دستیابی با بتن معمولی فراهم شده و توسعه کاربرد این نوع روسازی در جاده‌های با سرعت بالا نیز مطرح گردیده است[۶]. در زیر به زمینه‌های کاربرد روسازی‌های بتن غلتکی همراه با مثالهای کاربردی پرداخته شده است .

## ٤-٢- کاربرد جهت روسازی کف انبار های سرپوشیده و روباز ومحوطه های دپو کردن چوب و الوار و ذغال سنگ و غیره

اولین کاربرد روسازی بتن غلتکی در کانادا در سال ۱۹۷۶ در محوطه انبارسازی و تفکیک کارخانه چوب و الوار در ونکوور بوده است . این روسازی بتن غلتکی به ضخامت ۱۵سانتیمتر(۶ اینچ) روی یک لایه اساس ازمخلوط تثبیت شده با سیمان به ضخامت ۲۰سانتیمتر(۸ اینچ) قرار گرفت.این سیستم جدید جایگزین سیستم قبلی متداول در کانادا گردید که شامل ساخت یک لایه اساس از مخلوط تثبیت شده به ضخامت ۳۵سانتیمتر(۱۴اینچ) و اجرای روسازی آسفالتی روی آن بود . دلیل آن هم بهبود دوام روسازی اجرا شده با روش جدید بتن غلتکی در برابر بارهای سنگین اعمال شده، بود[۱۴].

مجموعه سطوح اجرا شده در این پروژه حدود ۴۰ هزار متر مربع بود. بعد از این کاربرد اولیه بتن غلتکی, ساخت محوطه‌های انبار کارخانه‌های چوب و الوار در کانادا با روسازی بتن غلتکی توسعه شایانی یافت. در سال ۱۹۸۵ در ونکوور محوطه انبار صنایع الوار که روسازی قبلی آسفالتی آن کاملاً تخریب شده بود با روسازی بتن غلتکی به ضخامت ۲۹سانتیمتر(۱۱/۵ اینچ) بازسازی شد [۱۴].در سال ۱۹۸۶ در ادمونتون کانادا ۲۰ هزار مترمربع روسازی بتن غلتکی برای محوطه انبار روباز صنایع الوار اجرا شد که پیرو عملکرد مثبت آن ۶۵ هزار مترمربع محوطه دیگر نیز با این روش ساخته شد. در سال ۱۹۸۶ در نزدیکی آلبرتای کانادا روسازی بتن غلتکی با ضخامت ۲۵سانتیمتر(ده اینچ) جهت ساخت محوطه انبار به مساحت ۶۲۰ هزار متر مربع به کار رفت. نسبت وزن سیمان به وزن خشک کل مصالح ۱۲٪ , اندازه حداکثر سنگدانه بکار رفته ۱۹میلیمتر و مقاومت خمشی بتن غلتکی ۳/۸ Mpa گزارش شده است[۸].

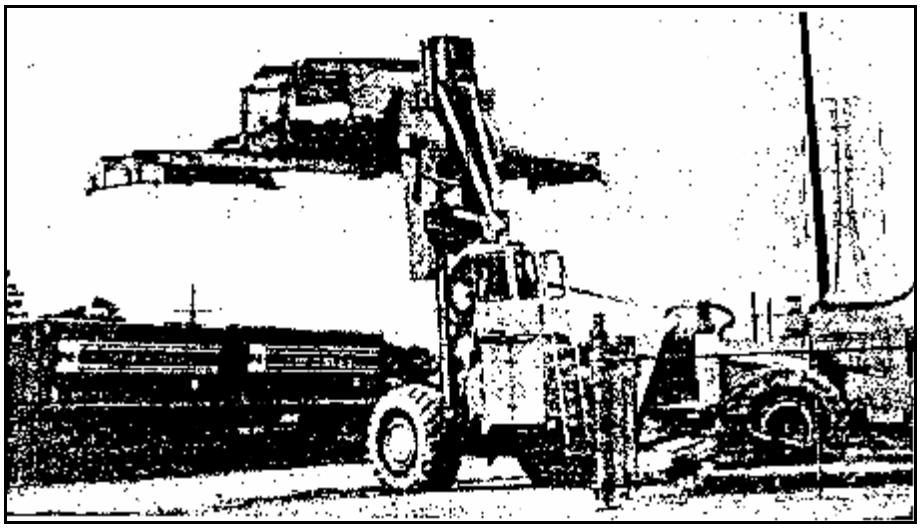
در سال ۱۹۸۳ در کانادا جاده دسترسی معدن ذغال سنگ به طول ۲۰ کیلومتر با بارگذاری وسایل نقلیه سنگین با روسازی بتن غلتکی به ضخامت۱۸سانتیمتر (۷ اینچ) احداث گردید. به علت درشتی اندازه حداکثر سنگدانه به کار رفته برابر ۴۰ میلیمتر, کیفیت تردد پایین

1- RCCP
2- Planeness

و سطح جاده ناهموار بود و لذا جهت بهبود وضعیت روی بتن غلتکی یک لایه آسفالتی به ضخامت ۴۰ میلیمتر اجرا گردید[۱۴]. همچنین محوطه بارگیری ذغال سنگ در کنار جاده به مساحت ۱۶ هزار مترمربع احداث شد که ضخامت آن۲۳سانتیمتر(۹ اینچ) بوده است. منطقه دارای زمستان‌های بسیار شدید با عمق یخ زدگی ۲/۴ متر گزارش شده است. بررسی عملکرد روسازی جاده طی سالها نشانگر برخی خرابی‌ها بوده که با بررسی به عمل آمده مشخص شد که طراحی ضخامت روسازی برای بار کامیونها که بالغ بر ۶۰ تن می بود ناکافی بوده و لذا روسازی بتن غلتکی تحت بارگذاری بیش از حد قرار گرفته است . در محوطه بارگیری که ضخامت روسازی بتن غلتکی۲۳سانتیمتر(۹ اینچ) بوده است خرابی‌های فوق الذکر مشاهد نشده و عملکرد روسازی قابل قبول بوده است . همچنین عملکرد روسازی بتن غلتکی در شرایط ذوب و انجماد خوب گزارش شده است [۱۴] .

## ٤-۳- روسازی ترمینالهای بار، بار اندازها و بندرگاهها

عملکرد خوب روسازی بتن غلتکی تحت بارهای سنگین باعث استفاده از آن در باراندازها و محوطه‌های تبادل بار در ترمینال‌ها شده است . در سال ۱۹۸۹ در هوستون ایالات تگزاس اولین روسازی بتن غلتکی تحت بارهای سنگین توسط بخش خصوصی در آمریکا ساخته شد . این روسازی‌ها به مساحت ۴۵۰۰۰ مترمربع برای ایجاد محوطه تبادل بار ریلی و کامیونی ساخته شد. بارهای وارده شامل۴۸۹ کیلونیوتون و فشار تایر برابر ۰/۷ مگاپاسکال در سطح ۷۰۳۲ سانتیمترمربع بوده است. در شکل ۴-۱ ، تجهیزات بارگیری نشان داده شده است[۹].



**شکل٤-۱ :تجهیزات بارگیری بکار رفته روی روسازی بتن‌غلتکی در ترمینال بار هوستون تگزاس[۹]**

چهار گزینه روسازی آسفالتی و دو گزینه روسازی بتنی از نوع روسازی بتن غلتکی جهت این پروژه مورد بررسی قرار گرفتند که نهایتاً روسازی بتن غلتکی به علت اقتصادی بودن برگزیده شد .

الزامات روسازی بتن غلتکی به شرح زیر بوده است :

اندازه حداکثر سنگدانه ۲۵ میلیمتر

مقاومت خمشی ۲۸ روزه ۳ مگاپاسگال

مقاومت فشاری ۲۸ روزه ۲۸ مگاپاسکال

ضخامت روسازی۴۶سانتیمتر(۱۸ اینچ)

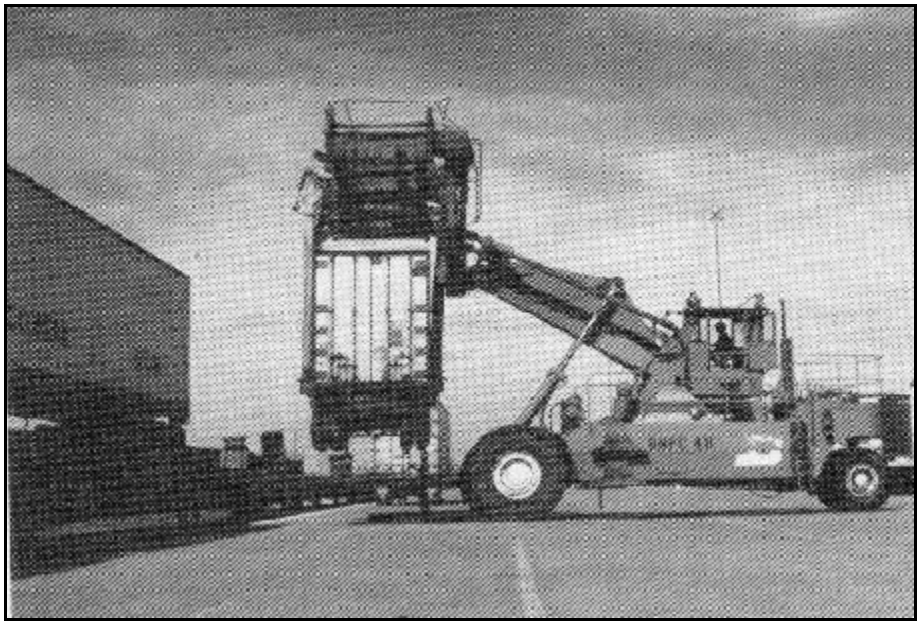
عملکرد روسازی فوق خوب ارزیابی شد،اما به علت کاربرد سنگدانه نسبتاً درشت ۲۵میلیمتر، کیفیت سطح خیلی مناسب ارزیابی نگردید و توصیه شد برای پروژه‌های بعدی اندازه حداکثر مقداری کوچکتر انتخاب گردد.

در سال ۱۹۸۵در ونکوورکانادا نیز ترمینال کامیون با روسازی بتن غلتکی به مساحت۴۰۰۰ مترمربع و ضخامت ۲۳ سانتیمتر ( ۹ اینچ) احداث شد [۱۴] .

در سال ۱۹۸۶ شرکت راه‌آهن بورلینگتون[1]، به دنبال کاربرد موفقیت‌آمیز روسازی بتن غلتکی در ترمینال مبادله بار راه‌آهن و جاده در شهر هوستون تگزاس، پروژه دیگری را با روسازی RCC در شهر دنور کلرادو به اجرا در آورد. مساحت روسازی ساخته شده ۱۱۰۰۰۰ مترمربع بود که برای بار چرخ ۵۰ تن طراحی شد.تجهیزات بارگیری در شکل ۴-۲ نشان داده شده است.

الزامات طراحی برای روسازی بتن غلتکی این پروژه به شرح ذیل بوده است :

مقاومت فشاری ۳۴/۵ مگاپاسکال، مقاومت خمشی ۴/۸ و اندازه حداکثر سنگدانه به ۱۹محدودگردید و ضخامت لایه روسازی بتن غلتکی ۳۸سانتیمتر(۱۵اینچ) در نظر گرفته شد۰ این ضخامت برای بخش‌های نزدیک به لبه و کنار ریل راه‌آهن به ۵۱ سانتیمتر (۲۰ اینچ) افزایش داده شد. ارزیابی عملکرد این روسازی که در سال ۱۹۸۷ گزارش گردید رضایت بخش بوده است . تنها مشکلات مشاهده شده ایجاد ترکهایی به پهنای حداکثر۳میلیمتر به فواصل از ۱۴ تا ۷۵ متر بوده که بتن در نزدیکی ترکها و درزهای اجرایی نیز قدری دچار اشکال و لب پریدگی گردیده بود. همچنین در بخشهای کناری خطوط که امکان تراکم مناسب آنها وجود نداشته است،ضعف بیشتری نسبت به بخشهای میانی مشاهده گردیده است[۱۳].



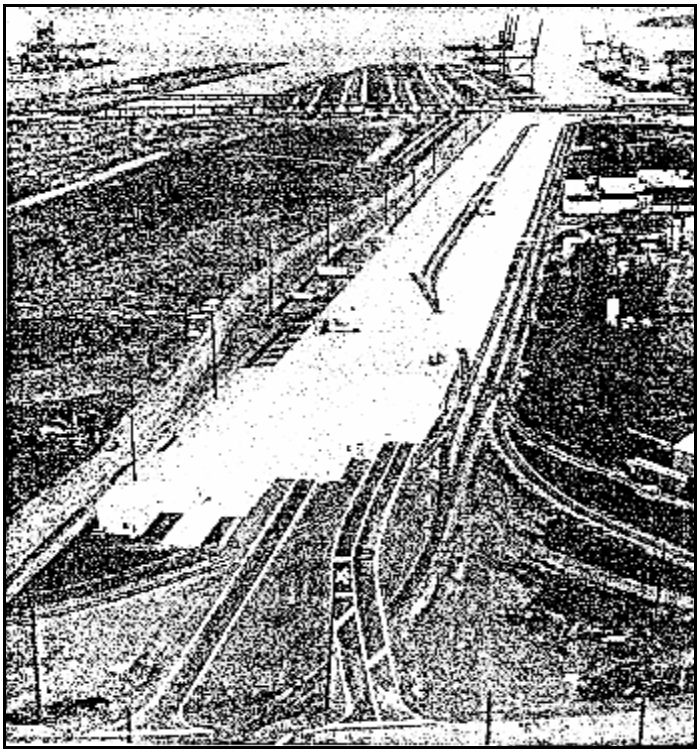
**شکل ٤-۲- تجهیزات بارگیری در ترمینال بار کلرادو روی روسازی بتن غلتکی[۲]**

1- Burlington

در سال ۱۹۸۷ در شهرآستین[1] از ایالت تگزاس، ترمینال باری شرکت سنترال فریت[2] جهت محوطه مانور و بارگیری تریلی‌ها و کامیون‌ها با روسازی بتن غلتکی ساخته شد . ضخامت این روسازی۱۷۸ میلیمتر بود که روی لایه اساس خاک تثبیت شده با آهک به ضخامت ۱۵۲ میلیمتر احداث گردید [۱۴] .

علاوه بر روسازی ترمینال بار ، بتن غلتکی کاربرد گسترده‌ای جهت ساخت روسازی بارانداز بندرها داشته است. در سال ۱۹۸۴ در کانادا جادهٔ آزمایشی در بندرگاه شهر فرازر[3] به ضخامت ۲۳سانتیمتر(۹ اینچ) ساخته شد. نسبت وزن سیمان در این بتن ۱۲ درصد در نظر گرفته شده و عملکرد چند سالهٔ آن که در سال ۱۹۸۷ گزارش گردیده خوب بوده است . به علت عملکرد خوب این جاده آزمایشی سازمان بنادر منطقه فرازر در طرح توسعه بندرگاه در سال ۱۹۸۶، ساخت محوطه‌ای معادل ۲۰۰۰۰ مترمربع را با روسازی بتن غلتکی مد نظر قرار داد[۱۴] . در سوئد نیز در سال۱۹۸۵روسازی بتن غلتکی با ضخامت۱۶۰ میلیمتر در بندر اوتربادن[4] به مساحت ۴۰۰۰ مترمربع اجرا گردید[۵].

طی سال ۱۹۸۵،در بندر تاکوما در ایالت واشنگتن که ششمین بندر بزرگ در آمریکا و کانادا است،روسازی محوطه بارگیری جنوبی به مساحت ۷۰۰۰۰ مترمربع با بتن غلتکی اجرا گردید به دنبال آن محوطه بارگیری شمالی بندر نیز به مساحت ۴۱۰۰۰ مترمربع باروسازی بتن غلتکی ساخته شد. دلیل انتخاب روسازی بتن غلتکی، سرعت ساخت بیشتر، هزینه کمتر و قابلیت تحمل بارهای سنگین بوده است . در شکل ۴-۳ نمایی کلی از محوطه بارانداز بندر تاکوما ارائه شده است[۸].



**شکل ٤-۳ نمای کلی روسازی بتن غلتکی در محوطه بار انداز بندر تاکوما**

1- Austin
2- Central freight
3- Frazer
4- Otterbaden

صافی سطح تعیین شده برای روسازی بتن غلتکی بندر تاکوما با توجه به سرعت کم وسایط نقلیه سنگین ، برابر۹ میلیمتر در ۳متر طول بوده و ضخامت طراحی برای محوطه عمومی بارانداز ۳۰/۵سانتیمتر(۱۲ اینچ) و برای محوطه بارگیری ۴۳سانتیمتر(۱۷اینچ) بوده است . نسبت وزنی مواد سیمانی در این پروژه ۱۳ درصد تعیین گردید که به صورت ۲۶۷ کیلوگرم بر مترمکعب سیمان پرتلند نوع II و۵۹ کیلوگرم بر مترمکعب خاکستر بادی[1] به مصرف رسید. اندازه حداکثر سنگدانه از ۱۶ میلیمتر و مقاومت طراحی خمشی بتن‌غلتکی ۴/۸ مگاپاسکال بوده است[۸].

طی سالهای ۱۹۸۶ تا ۱۹۸۸ سطوح وسیعی از روسازی بتن غلتکی در ترمینال‌های بار در شهر بوستن اجرا گردید. در این پروژه انتخاب این نوع روسازی به علت قابلیت باربری بالا و همچنین صرفه اقتصادی آن بوده است .به نحوی که حداقل مقاومت خمشی ۲۸ روزه روی تیرهای بریده شده از بتن غلتکی برابر ۴/۹ مگاپاسکال تعیین گردیده بود. مساحت روسازی در این پروژه۶۵۰۰۰ مترمربع بوده است. نکته قابل توجه اینکه روسازی بتن غلتکی علیرغم وجود شرایط ذوب و انجماد شدید در منطقه به کار گرفته شد که این تصمیم با تکیه بر نتایج خوب ناشی از آزمایشات انجام شده توسط اداره مهندسی ارتش امریکا(USACE) و به در خواست سازمان بنادر ماساچوست گرفته شد.

## ٤-٤- روسازی جاده های ویژه وسایل نقلیه سنگین کم سرعت و وسایل نقلیه نظامی زنجیردار

در آمریکا در اویل دهه ۱۹۸۰ گروه مهندسین ارتش امریکا (USACE )، روسازی آزمایشی بتن غلتکی را در پادگان اف.تی.استوارت[2] ، به ضخامت ۲۳ تا ۳۳سانتیمتر (۹ تا ۱۳ اینچ) برای تردد وسایل نقیله نظامی زنجیردار نظیر زره پوش احداث کردند و در همان سال جاده آزمایش تانک به ضخامت ۲۵ تا ۳۳سانتیمتر (۱۰ تا ۱۳ اینچ) در اف.تی.گردن[3] ساخته شد عملکرد روسازی بتن غلتکی برای عبور این گونه وسایل خوب ارزیابی شد و تنها در درزهای سرد اجرا شده[4] ، قدری خرابی درز مشاهده گردیده است[۷].

در سال ۱۹۸۴ در اف.تی.هود[5] در ایالت تگزاس۱۷۰۰۰ مترمربع روسازی بتن غلتکی با ضخامت ۲۵سانتیمتر(۱۰اینچ) با مقاومت خمشی ۵/۵ مگاپاسکال جهت توقفگاه وسایل نظامی سنگین(۵۵ تن ) ساخته شد . ارزیابی روسازی بتن غلتکی در اف.تی.هود بعد از دو سال نشانگر عملکرد خوب آن بود هر چند مقداری خرابی در بتن در لبه درزها و ترکها مشاهده شد[۷].

در سال۱۹۸۶گروه مهندسین ارتش امریکا در اف.تی.لویز[6] ،۲۲۰۰۰ مترمربع روسازی بتن غلتکی به ضخامت۲۱/۵سانتیمتر (۸/۵اینچ) جهت توقفگاه وسایل نقلیه زنجیردار احداث کردند . از دیگر موارد عمده کاربرد روسازی غلتکی ، اجرای۲۰۰۰۰ مترمربع روسازی به ضخامت هرلایه ۱۹ میلیمتردر اف.تی.بنینگ[7] بوده است . مقاومت خمشی ۷ روزه این بتن۴/۵ مگاپاسکال،مقاومت ۱۴ روزه آن۴/۸ مگاپاسکال تعیین شده بود . درشکل ۴-۴ بتن غلتکی اجرا شده در اف.تی.بنینگ نشان داده شده است .

1- Fly ash
2- Ft. Stewart
3- Ft. Gorden
4- Cold Joint
5- Ft. Hood
6- Ft. lewis
7- Ft.benning

**شکل ٤-٤- بتن غلتکی در اف.تی.بنینگ**

با توجه به عملکرد مناسب در پروژه های قبلی در سالهای ۱۹۸۸ و ۱۹۸۹در اف.تی.درام[1]نزدیک نیویورک روسازی جهت پارک کردن و تردد وسایل نقلیه نظامی سنگین نظیر تانکها به مساحت ۳۴۰۰۰۰ مترمربع ساخته شد . ضخامت بخش عمدهٔ این روسازی۲۵سانتیمتر(۱۰ اینچ) بود[۱۱].

## ٤-٥- جاده‌های با شیب زیاد

روسازی بتن غلتکی و اصولاً روسازی‌های بتنی، در شیب‌ها دارای عملکرد خوبی هستند.از روسازی بتن غلتکی در جاده‌های دسترسی سازه‌های زیرزمینی در سوئد که در سال ۱۹۸۸ برای مقاصد هسته‌ای به عمق ۵۰ متر زیر کف دریا ساخته شده‌اند ، با شیب جاده حدود ۱۲/۶ درصد استفاده شده است[۵].

## ٤-٦- روسازی راه‌های با تردد و سرعت کم و خیابان‌های شهری و بین شهری

علاوه بر روسازی‌های با باربری سنگین ، توجه فزاینده‌ای به کاربرد روسازی بتن غلتکی برای خیابان‌های با ترافیک کم تا متوسط و راه‌های بین شهری درجه۲ [2] شده است . همچنین ساخت خیابان‌های شهری با روسازی بتن غلتکی در شهرهای متعددی نظیر پرتلند، آرگون، رجینا، آستین و ساسکا تجوان گزارش شده است[۱۴]. در زیر به برخی موارد کاربرد اشاره می‌گردد:

در سال ۱۹۸۵ در شهر ارگون[3] آمریکا اولین روسازی بتن غلتکی شهری به صورت آزمایشی به طول حدود ۱۵۰ متر و پهنای ۸ متر با ضخامت ۱۸سانتیمتر(۷ اینچ) اجرا گردید. این روسازی توسط دستگاه اجرای روسازی آسفالتی که علاوه بر شمشه‌های لرزنده[4] به میله‌های ضربه‌ای[5] نیز مجهز شده بود ، متراکم گردید. بتن اجرا شده به این شکل به تراکمی برابر ۹۵ درصد تراکم آزمایشگاهی

1- Ft.Drum
2- Secondary highway
3- Oregon
4- Vibrating screed
5- Tamping rod

آن باروش پراکتور اصلاح شده رسید. پس از تراکم با غلتک ویبره ای ۱۰ تن، میزان تراکم به ۹۸ درصد تـراکم آزمایشـگاهی افـزایش یافت. در نهایت با کاربرد غلتک چرخ لاستیکی بافت سطحی روسازی نیز قدری بسته‌تر شد. عملکرد این روسازی خوب گزارش شـده است[۲].

در سال ۱۹۸۷ در شهر آستین تگزاس، روسازی خیابان توسکانی‌وی[1] اجرا گردید . قیمت تمام شدهٔ این روسـازی بـتن غلتکـی بـه طول ۸۰۰ متر و پنهای ۲۰متر از قیمت گزینه آسفالتی که متشکل از۲۵/۵سانتیمتر(۱۰ اینچ) لایه اساس سـنگ آهـک خـرد شـده روی ۱۵سانتیمتر(۶ اینچ) اساس تثبیت شده و پوشش۶۳/۵سانتیمتر(۲/۵ اینچ) آسفالت گرم بود ، ارزانتر ارزیابی گردیـد . بـرای اجـرای ایـن روسازی بتن مورد نظر درایستگاه مرکزی بتن ساخته و سپس با کامیون دامپر به محل پروژه حمل و در ورودی تغذیه[2] دستگاه اجـرای روسازی ریخته و اجرا گردید . بتن ریخته شده با عبور غلتک ویبره‌ای متراکم و با غلتک چرخ لاستیکی سطح آن بسته شد . ضـخامت روسازی بتن غلتکی برابر۱۸سانتیمتر(۷ اینچ) بود که روی۱۵سانتیمتر(۶ اینچ) زیر اساس اجرا گردید . شـایان ذکـر اسـت کـه درزهـای اجرایی در روسازی اعمال نشد و اجازه داده شد که ترک‌های انقباضی به صورت طبیعـی اتفـاق بیفتنـد . فواصـل ترکهـای انقباضـی حدود ۲۵ تا ۱۰۰ متر بوده است که جهت بالا بردن دوام، ترکهای با پهنای بیشتر از۳ میلیمتر پـس از تمیـز نمـودن بـا یـک درزگیـر الاستومر پر شدند[۴] .

اولین کاربری روسازی بتن غلتکی در استرالیا در تاسمانیا در سال ۱۹۸۶ به صورت روسازی راه دسترسی معـدن ذغـال سـنگ بـه طول ۳/۵ کیلومتر است. عملکرد این روسازی درسال ۱۹۹۱ یعنی پس از ۵ سال بارگذاری سنگین و ذوب و انجمـاد، مناسـب ارزیـابی شده است .

همچنین در سال ۱۹۹۱ جاده‌های آزمایشی در حومه استرالیا به طول۱ کیلومتر و پهنای ۷/۷ متر جهت تردد ترافیـک بـا سـرعت بالای۱۰۰ کیلومتر بر ساعت احداث شده است که عملکرد آن تحت بررسی است . این پروژه توسط اداره تحقیقات راه اسـترالیا جهـت کسب اطلاعات در خصوص کرنش‌ها، درزها، مقاومت در برابر لغزش، کیفیت تردد ، کیفیت سطح، دوام و عملکرد کلی روسـازی بـتن غلتکی در جاده‌های سرعت بالا احداث شده است[۱].

تحقیقات در خصوص RCCP در اوایل دهه ۸۰ در چین آغاز گردید . تست‌های آزمایشگاهی در سال ۱۹۸۱ شروع و به دنبـال آن اولین بخش آزمایش‌های صحرایی مربوط به آن در سال ۱۹۸۲ انجام گرفت . درسالهای اخیر با گسترش سریع راههای با کلاس بـالا، تجهیزات پیشرفته بیشتری نظیر فینیشرهای با تراکم بالا و غلتک‌های ویبره‌ای مورد استفاده قرار گرفته که فرصـت جدیـدی را بـرای پیشرفت و توسعه RCCP بوجود آورده‌اند. به نازکی یک پروژه تحقیقاتی در خصوص تحقیقات در مصالح روسازی سـیمانی و کـاربرد آن در روسازی‌های با کلاس بالا در حال انجام است که بخش مهمی از آن به تحقیق در زمینـه تکنولـوژی بـرای RCCP اختصـاص یافته‌است که زیر نظر انیستیتو تحقیقات راه وزارت ارتباطات (MOC ) انجام می‌گیرد. هدف تحقیقات معطوف به احداث راه با کـلاس بالا است که بطور سیستماتیک در زمینه‌های مختلف شامل مصالح ، تکنیک‌های ساخت ، مقاومـت دربرابـر لغزنـدگی و تکنیـک‌هـای مربوط به درزها به بررسی می‌پردازد .

بطور خلاصه مطالعات فوق نشان داده که با استفاده از فینیشرهای آسفالت با قدرت تراکم بـالا و بـا شمشـه‌هـای بـا قـدرت بـالا زمینه‌های ساخت روسازی RCCP در چین برای روسازی راههای مهم (کلاس بالا) فراهم است [۱۲].

1- Tuscany way
2- Feed hopper

## ٤-٧- پارکینگ اتومبیل‌ها و راه‌های تردد داخلی سازمانها

در سال ۱۹۸۹ یک شرکت خودروسازی در نزدیکی شهر اسپرینگ‌هیل[1] ایالت تنسی ، محوطه‌های پارکینگ اتومبیل به مساحت ۵۴۵۰۰۰ مترمربع را با روسازی بتن غلتکی به ضخامت ۱۸ تا ۲۵ سانتیمتر (۷ تا ۸ اینچ) احداث نمود. بتن غلتکی در این پروژه نسبت به دیگر گزینه‌ها اقتصادی‌ترین گزینه ارزیابی گردید[۳و۴] .

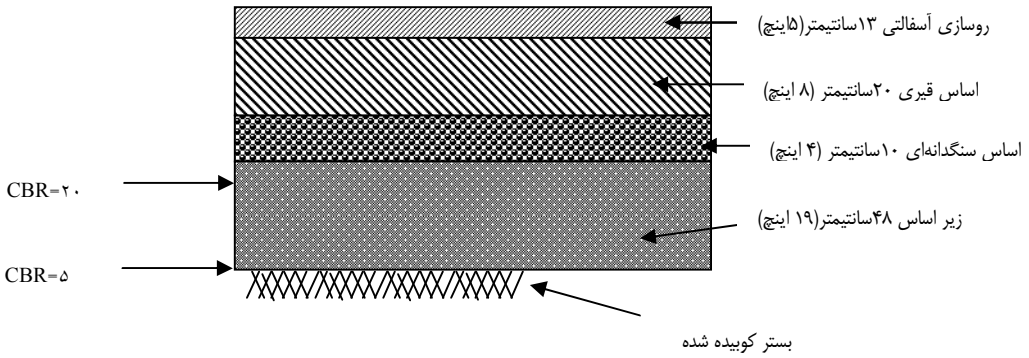
در سال ۱۹۹۲ شرکت سیف‌وی[2] از روسازی بتن غلتکی جهت اجرای روسازی انبارهای خود درشهر تریسی[3] ایالت کالیفرنیا، به مساحت ۲۲۶۰۰۰ مترمربع استفاده کرد. ضخامت روسازی از ۱۸ تا ۲۰سانتیمتر بوده است. دلیل انتخاب روسازی بتن غلتکی در این پروژه، سرعت بالای ساخت ، هزینه پایین ، دوام در برابر شرایط آب و هوایی مختلف، قابلیت تحمل بار سنگین و عمر طولانی همراه با هزینه‌های پایین نگهداری بوده است[۱۱].

## ٤-٨- کاربرد در فرودگاهها

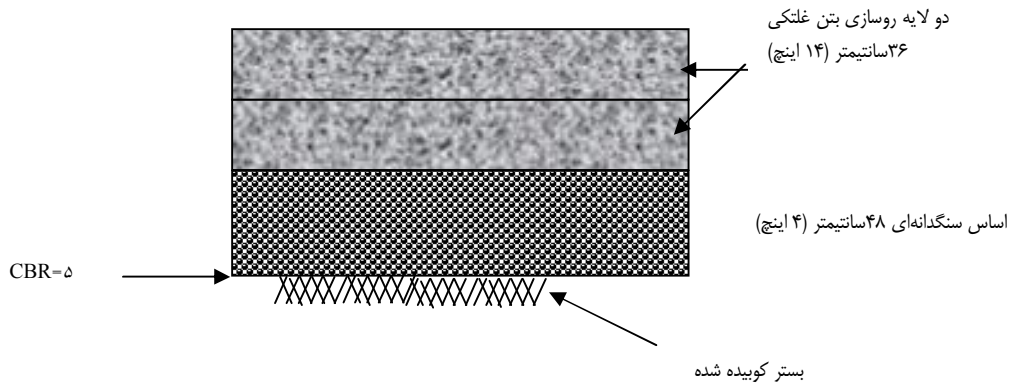
یکی از اولین کاربردهای روسازی بتن غلتکی در ساخت باند فرودگاهی در یاکیما[4] در ایالت واشنگتن توسط گروه مهندسین ارتش آمریکا درسال ۱۹۴۲ بوده است [۳].

در سال ۱۹۸۵ روسازی بتن غلتکی جهت توقفگاه هواپیما به مساحت ۳۶۰۰۰ مترمربع در فرودگاه بین‌المللی پرتلند اجرا شد. مزایایی که منجر به انتخاب روسازی بتن غلتکی در پارکینگ این فرودگاه شد عبارتند از حساسیت کمتر بتن به روغن‌های ریخته شده، هزینه نگهداری کمتر، نداشتن مشکلات ناشی از نشست بعدی و همچنین مزیت اقتصادی. برای فرودگاه شهر پرتلند ، دو گزینه روسازی آسفالتی و روسازی بتن غلتکی مورد ارزیابی قرار گرفت که بررسی اقتصادی انجام شده نشانگر کاهش هزینه‌های اجرا به میزان ۳۲ درصد در صورت انتخاب گزینه بتن غلتکی بوده است. در شکل ۴- ۵ ، مقایسه طراحی روسازی بتن غلتکی با روسازی آسفالتی با باربری برابر ارائه شده است. ضخامت روسازی بتن غلتکی برابر با ۳۵۶ میلیمتر بود که در دو لایه اجرا شد و فاصله زمانی حداکثر بین لایه‌ها نیز به یک ساعت محدود گشت. مقاومت خمشی طراحی برای روسازی بتن غلتکی در این پروژه ۴/۸ مگاپاسکال بوده است. ترکهای جمع‌شدگی به فواصل ۹۲ متر و با پهنای حداکثر۶ مترمشاهده شدند که با استفاده از اپوکسی و ماسه، ترکها پر شدند و مشکلی در این خصوص ایجاد نگردید[۲].

1- Springhill
2- Safeway
3- Tracy
4- Yakima




**مقطع روساری آسفالتی**




**مقطع روسازی بتن‌غلتکی**

**شکل ٤-٥ مقایسه ضخامت طراحی روسازی در فرودگاه پرتلند با گزینه های آسفالتی و بتن غلتکی[۲]**

درسال ۱۹۸۹ نیز بتن غلتکی برای اجرای روسازی توقفگاه هواپیما در پایگاه نظامی اندروز نزدیک شهر واشنگتن به کار رفت. ضخامت این روسازی۳۶سانتیمتر(۱۴ اینچ) و سطوح اجرا شده شامل ۱۳۰۰۰ مترمربع توقفگاه سرپوشیده، ۵۴۰۰۰ مترمربع اپرون و ۱۷۰۰۰ مترمربع توقفگاه روباز بوده است [۱۱].

قسمت مربوط به اپرون فرودگاه واونیا[1]در سریلانکا نیز با استفاده ازRCC ساخته شده است . در این فرودگاه در اغلب موارد RCC برروی اساس با خاک متراکم شده ساخته شد. در بعضی از نواحی نیز RCC بر روی اساس سنگدانه‌ای و پس ازپوشانیدن سطح آن با پریمکت ساخته شده از امولسیون css-1 به مقدار یک لیتر بر مترمربع، اجرا گردید. اجرای RCC در اپرون فرودگاه واونیا موفقیت‌آمیز گزارش گردیده است گرچه اشکالاتی نیز از نظر سازه‌ای در این ناحیه وجود داشته که ناشی از مشکلات و ضعف در اجرا بوده است[۱۰].

1- Vavunya

## مراجع

1-AASHTO International Transportation Observer, Rolled Concrete Used in Australia, July 1991, pp5-60.

2-Abrams , J.M and Jacksha , J.L. , "An Airport Apron and County Roads", Concrete International, Feb 1987 , pp 30-36.

3-ACI 325.10 "State of Art Report on Roller Compacted Concrete Pavements", American Concrete Institute Report ACI 325.10-95,2000.

4-American Society of Civil Engineers,"RCC Paves Municipal Street", A.S.C.E; Civil Engineering, Vol. 57. No II, 1987, p 14.

5-Anderson, R , "Swedish Experience with RCC , Concrete International , Feb 1987 ,pp,18-24.

6-Dobrowolsky , Concrete Construction Hand Book : section 27.2.2; RCC Pavements , pp 27.11-27.20, McGraw Hill ,1998.

7-Hutchinson, R.L. , Ragan , S.A., Pittman ,D.W. ,"Heavy Duty Pavements", Concrete International, Vol. 9 , No. 2 ,Feb 1987 , pp 55-61.

8-Larson ,J.L, "Concrete Kaleidoscope", Concrete International , Feb 1987, pp 62-67.

9-Logie , C.V. and Oliverson ,J.E. , "Burlington Northern Railroad International Freight Terminal" Concrete International , Feb 1987 , pp 37-41.

10-Mallawaratchie , D.P., et al , "Use of Roller Compacted Concrete in Road and Airport Pavement Construction in Srilanka", 9 th International Symposium on Concrete Roads, 1998 , Portugal.

11-Nanni , A., Ludwig, D. and Shoenberger ,J. , "Roller Compacted Concrete for Highway Pavement", Concrete International , May 1996 , pp 33-39.

12-Niu Kaimin , Lia Qingquan ,"The Actuality and Prospect of RCCP in China" , 8 th International Symposium on Concrete Roads, Theme III , Portugal ,1998.

13-Palmer , W.D. "One Tough Pavement" , Concrete International ,Feb 1987,pp 25-29

14-Piggot . R.W. " Ten Years of Heavy Duty Pavement in Western Canada", Concrete International, Feb 198-7, pp 49-54.

# فصل پنجم

## طرح اختلاط و
## مصالح مصرفی در بتن غلتکی روسازی راه

# فصل پنجم

# طرح اختلاط و مصالح مصرفی در بتن غلتکی روسازی راه

## ۵-۱- مواد و مصالح مصرفی

لزوم تأمین مقاومت و دوام در طراحی روسازی، انتخاب مصالح برای مخلوط‌های بتن غلتکی را تحت تأثیر قرار می‌دهد. مصالح اساسی مورد استفاده در بتن غلتکی شامل آب، مواد سیمانی (سیمان و پوزولان)، ریزدانه و درشت‌دانه است.

قبل از حمل مصالح به کارگاه لازم است تا کیفیت آنها مورد بررسی قرارگرفته و در صورتیکه الزامات و ویژگی‌های مطلوب را داشته باشند به کارگاه حمل گردند. منبع تأمین مصالح باید از لحاظ کیفیت و کمیت بتواند، نیازهای طرح را برآورده سازد[۱]. در این بخش ویژگی‌های مطلوب برای هر یک مصالح مورد استفاده در بتن غلتکی روسازی راه مورد بررسی قرار می‌گیرند:

**الف) سنگدانه‌ها:** همچون سایر انواع بتن، انتخاب منبع مناسب سنگدانه یکی از مهمترین فاکتورهای مؤثر در کیفیت و هزینه بتن غلتکی است [۸].سنگدانه‌ها حدود ۷۵ تا ۸۵ درصد از حجم مخلوط بتن غلتکی روسازی را تشکیل می‌دهند و لذا تأثیر قابل ملاحظه‌ای بر خواص بتن سخت شده و بتن تازه دارند. انتخاب سنگدانه مناسب باعث صرفه اقتصادی بیشتر و بهره‌برداری بهتر از روسازی راه خواهد شد.

خواص سنگدانه بر کارآیی، پتانسیل جداشدگی و سهولت تراکم بتن غلتکی تازه تأثیرگذار است. مقاومت، مدول الاستیسیته، خواص حرارتی و دوام بتن سخت شده نیز متأثر از خواص سنگدانه است. سنگدانه مورد استفاده در مخلوط‌های بتن غلتکی روسازی شامل ریزدانه(سنگدانه ریزتر ازmm ۴/۷۵ (الک No.4 )) و درشت‌دانه (سنگدانه درشت‌تر ازmm ۴/۷۵) است. درشت‌دانه معمولاً شامل شن شکسته یا طبیعی و یا ترکیبی از آنها است. ریزدانه نیز ممکن است شامل ماسه طبیعی، ماسه شکسته و یا ترکیبی از آن دو باشد[۳]. وجود ذرات بسیار ریز غیر پلاستیک نظیر سیلت در ماسه به عنوان پرکننده[1] سبب کاهش مقدار سیمان مورد نیاز خواهد شد. اما همراه بودن مقدار رس بیش از حد نیز، آب مورد نیاز مخلوط را بیشتر کرده و در نتیجه مسائل جمع‌شدگی، ایجاد ترک و کاهش مقاومت را در پی خواهد داشت. تعیین چگالی ویژه و جذب آب ماسه‌های حاوی مقادیر زیاد پرکننده مطابق استاندارد ASTM C128, Note 3 انجام می‌شود[۸]. همچنین با پیروی از توصیه‌های ACI 201.2R از واکنش‌های سیلیسی- قلیایی سنگدانه‌ها می‌توان جلوگیری نمود[۱]. شایان ذکر است که در مواردی طبق نظر طراح پروژه که بتن‌غلتکی با کیفیت پایین‌تر مورد قبول است، سنگدانه‌هایی که برخی الزامات استانداردهای اخیرالذکر را ارضا نمی‌کنند نیز ممکن است برای پروژه قابل قبول باشند.

بتن غلتکی حاوی شن طبیعی عموماً مقدار آب کمتری نسبت به بتن‌غلتکی حاوی شن شکسته برای رسیدن به یک مقدار روانی مفروض، لازم دارد. بتن‌غلتکی ساخته شده با شن شکسته به انرژی بیشتری برای تراکم نیاز خواهد داشت و لیکن جداشدگی در آن کمتر اتفاق می‌افتد. همچنین بتن غلتکی حاوی شن شکسته معمولاً مقاومت خمشی بیشتری بدست می‌دهد. اساساً میزان انسجام و چسبندگی[2] مخلوطهای بتن غلتکی به اندازه بتن معمولی نیست، لذا مسأله جداشدگی سنگدانه در مورد آنها، بیشتر حائز اهمیت است.

1- Filler
2- Cohesiveness

استفاده از سنگدانه با اندازه حداکثر اسمی(NMSA) بزرگتر سبب اقتصادی‌تر شدن طرح می‌شود. چرا که با افزایش NMSA میزان فضای خالی بین سنگدانه‌ها کاهش یافته و لذا مقدار خمیر سیمان کمتری مورد نیاز خواهد بود. لیکن به منظور ایجاد یک سطح نسبتاً صاف در روسازی راه، مقدار NMSA نباید از ۱۹ میلیمتر(۳/۴اینچ) تجاوز نماید.

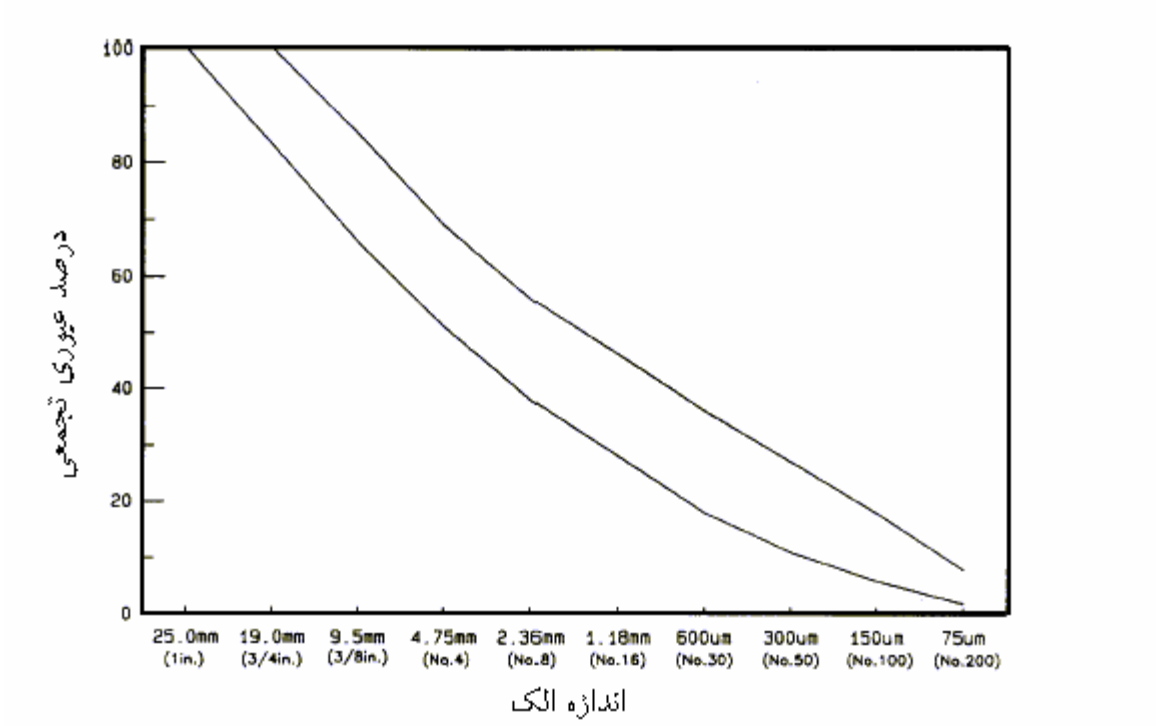
در صورتیکه درشت‌دانه و ریزدانه بصورت مخلوط با هم دپو شده باشند، مسأله جدا شدگی ذرات ریز و درشت از یکدیگر، کنترل دانه‌بندی را مشکل خواهد ساخت و لذا دقت مضاعفی در نحوه ایجاد دپوها باید صورت پذیرد [۳]. یکی از روشهای انبار (دپو) کردن درشت‌دانه به منظور جلوگیری از جداشدگی، دپوکردن آنها بصورت لایه‌های افقی متوالی به ارتفاع کمتر از ۲ متر است. در این روش، هر لایه بعد از تکمیل شدن لایه زیرین، در کل سطح دپو، ریخته می‌شود. جزئیات مربوط به نحوه دپوی مناسب سنگدانه‌ها در ACI 304R و ACI 221R ارائه شده است[۱].

در صورتیکه سطحی صاف و مسطح در روسازی راه مد نظر باشد، درشت‌دانه و ریزدانه باید به نحوی با یکدیگر مخلوط شوند که یک دانه‌بندی ترکیبی مناسب را ایجاد نماید. در شکل ۵-۱ محدوده‌های دانه‌بندی توصیه شده توسط یکی از مراجع برای تولید مخلوطهای بتن غلتکی روسازی راه ارائه شده است[۳]. همچنین جدول ۵-۱ نیز مقادیر عددی این محدودیت‌ها را نشان می‌دهد[۲]. بتن‌های معمولی، غالباً با ترکیب دو گروه سنگدانه ریز و درشت ساخته می‌شوند، لیکن در مورد بتن غلتکی دستیابی به دانه‌بندی مناسب نشان داده شده در شکل ۵-۱، با استفاده از دو گروه اندازه‌ای سنگدانه به دلیل مسأله جداشدگی ممکن است مشکل باشد. استفاده از بیش از دو گروه اندازه‌ای سنگدانه، قابلیت بیشتری برای کنترل دانه‌بندی و مسأله جداشدگی ایجاد می‌کند[۸].

کاربرد سنگدانه‌های ریزتر از ۷۵ میکرومتر (الک NO.200) در صورتیکه غیرپلاستیک باشند، می‌تواند راهکار سودمندی برای کاهش فضای خالی بین ریزدانه‌ها باشد. البته اثر این ذرات بر خواص بتن غلتکی تازه و سخت شده در مطالعات طرح اختلاط باید مورد ارزیابی قرار گیرد. معمولاً حدود ۲ تا ۸ درصد سنگدانه ریزتر از ۷۵ میکرومتر در بتن‌غلتکی روسازی راه متداول است[۲].

**جدول ۵-۱ الزامات دانه‌بندی ترکیبی برای بتن غلتکی روسازی راه [۲]**

| درصد تجمعی عبوری از الک | اندازه الک بر حسب میلیمتر |
|---|---|
| ۱۰۰ | ۲۵/۴ |
| ۸۳–۱۰۰ | ۱۹ |
| ۷۲–۹۳ | ۱۲/۴ |
| ۶۶–۸۵ | ۹/۵ |
| ۵۱–۶۹ | ۴/۷۵ |
| ۳۸–۵۶ | ۲/۳۸ |
| ۲۸–۴۶ | ۱/۲ |
| ۱۸–۳۶ | ۰/۶ |
| ۱۱–۲۷ | ۰/۳ |
| ۶–۱۸ | ۰/۱۵ |
| ۲–۸ | ۰/۰۷۵ |




**شکل ۵-۱ محدوده دانه‌بندی ترکیبی ارائه شده برای بتن غلتکی روسازی راه [۲]**

**ب)مواد سیمانی:** مواد سیمانی مورد استفاده در بتن غلتکی روسازی شامل سیمان پرتلند یا سیمان پرتلند آمیخته و گاهی سیمان به همراه پوزولان یا سرباره اضافه شده به صورت مجزا است. انتخاب نوع سیمان بر اساس مقاومت طرح و سنی که برای مقاومت طرح در نظر گرفته شده است، صورت می‌گیرد. بطور کلی الزامات ترکیبات شیمیایی سیمان برای قرارگرفتن در معرض شرایط محیطی مختلف و واکنش‌های قلیایی باید مطابق استانداردهای موجود باشد. جزئیات بیشتر در مورد نحوه انتخاب نوع سیمان‌های هیدرولیکی برای مصارف و شرایط مختلف در ACI 225R آمده است. در بسیاری از روسازی‌های بتن غلتکی ساخته شده تا کنون، از سیمان پرتلند نوع I یا II و خاکستر بادی کلاس F یا C استفاده شده است [۳]. سیمان پرتلند مورد استفاده باید الزامات استاندارد ASTM C150 را ارضا نماید. از سیمان پرتلند نوعIII (زود سخت‌شونده) به دلیل عدم فرصت کافی برای کار با بتن در بتن غلتکی استفاده نشده است [۸]. انتخاب هر نوع پوزولان برای استفاده در بتن غلتکی باید بر اساس مطابقت با استانداردها، عملکرد در بتن و در دسترس بودن برای پروژه مورد نظر، انجام گیرد. در ACI 226R توصیه‌ها و راهنمایی‌های لازم در مورد استفاده از پوزولان‌ها و سایر مواد افزودنی معدنی در بتن ارائه شده است. استفاده از خاکستر بادی در بتن غلتکی راهکار مؤثری برای تأمین ذرات ریز مورد نیاز برای تراکم کامل است. مقدار خاکستر بادی معمولاً بین ۱۵ تا ۲۰ درصد کل حجم مواد سیمانی در نظر گرفته می‌شود.

**ج)آب:** کیفیت و الزامات آب مورد استفاده در بتن غلتکی روسازی مشابه آب مصرفی برای بتن معمولی است.

**د)مواد افزودنی:** برای پیشگیری از خرابی ناشی از یخزدگی در بتن، استفاده از مواد هوازا در مخلوط بتن امری متداول است. مواد افزونی هوازا کاربرد عملی محدودی در مخلوط‌های بتن غلتکی روسازی داشته‌اند. تحقیقات آزمایشگاهی انجام شده در موسسه ایوز[1] آمریکا نشان داده است که در مخلوطهای بتن غلتکی روسازی به خوبی می‌توان از مواد هوازا به میزان ۵ تا ۱۰ برابر بیش از

1- AEWES: US Army Engineer Waterways Experiment Station

مقداری که برای بتن معمولی بکار می‌رود، جهت ایجاد هوازایی مورد نظر در بتن استفاده نمود. البته عملی بودن تولید بتن غلتکی هوازایی شده در کارگاه تاکنون تجربه نشده است [۳]. شیوه متداول برای کاهش خرابی ناشی از ذوب و انجماد در بتن غلتکی روسازی، ایجاد نسبت آب به سیمان پایین در طرح اختلاط و اعمال انرژی تراکم زیاد به مخلوط بتن غلتکی است. بدین ترتیب بتن اجرا شده، حداقل میزان آب قابل انجماد را در حفرات موئین خواهد داشت. ضمن اینکه نفوذپذیری آن نیز کاهش می‌یابد و رسیدن آن به حد اشباع بحرانی مشکل می‌شود. درصورتی که بتن غلتکی تا حد بحرانی اشباع نشود، در معرض خرابی ناشی از انجماد قرار نمی‌گیرد. استفاده از یک لایه زهکش زیر لایه بتن غلتکی روسازی، از اشباع شدن آن جلوگیری می‌کند.

افزودنی‌های شیمیایی مانند روان‌کننده‌ها و کندگیرکننده‌ها کاربردهای محدودی در بتن غلتکی داشته‌اند و عموماً در تحقیقات آزمایشگاهی مورد مطالعه قرار گرفته‌اند. تأثیر این مواد در ارتقاء خواص بتن غلتکی نسبت به بتن معمولی کمتر است چرا که این مواد، مقدار خمیر سیمان را تحت تأثیر قرار می‌دهند و در بتن غلتکی مقدار خمیر سیمان نسبت به بتن معمولی کمتر است[۸].

عملکرد مواد روان کننده در کاهش مقدار آب مورد نیاز یک مخلوط بتن غلتکی، تا حدودی وابسته به مقدار و نوع سنگدانه‌های ریزتر از ۷۵ میکرومتر است. استفاده از کندگیرکننده‌ها در بتن غلتکی روسازی در به تأخیر انداختن زمان گیرش و در نتیجه ایجاد تراکم کافی و چسبندگی مناسب بین لایه‌های مجاور هم، مؤثر خواهد بود. در صورتیکه کاربرد مواد روان‌کننده و دیرگیرکننده در بتن غلتکی مد نظر باشد، میزان تأثیر آنها در خواص بتن با توجه به هزینه اضافی مواد به کار رفته باید مورد مطالعه قرار گیرد[۳].

## ۵-۲- طرح اختلاط بتن غلتکی روسازی راه

روشهای طرح اختلاط بتن غلتکی بدلیل سفت‌تر بودن مخلوط و نیز دانه‌بندی متمایز آن، با روشهای بکار رفته برای بتن‌های معمولی متفاوت است. تفاوت‌های اصلی در مخلوطهای بتن غلتکی روسازی راه با مخلوطهای روسازی بتنی معمولی عبارت است از :

- بتن غلتکی عموماً هوازایی نمی‌شود.
- بتن غلتکی مقدار آب کمتری دارد.
- بتن غلتکی مقدار خمیر سیمان کمتری دارد.

بتن غلتکی به مقدار ریزدانه بیشتری برای دستیابی به دانه‌بندی مناسب و برای عملکرد مناسب تحت تراکم با غلتک ارتعاشی، نیاز دارد. به منظور حداقل‌سازی جداشدگی و حصول سطح صاف در بتن غلتکی روسازی راه، معمولاً اندازه حداکثر سنگدانه در آن از۱۹میلیمتر (۳/۴ اینچ) تجاوز نمی‌کند.

کاربرد مقادیر مواد سیمانی زیادتر و سنگدانه‌های با کیفیت بهتر در بتن غلتکی آن را نسبت به مخلوطهای خاک - سیمان متمایز می‌سازد. به منظور ایجاد تراکم کافی در بتن غلتکی لازم است تا این بتن به اندازه کافی خشک باشد تا بتواند وزن غلتک ارتعاشی را که از روی آن عبور می‌کند تحمل نماید. همچنین لازم است تا به اندازه کافی مرطوب باشد تا خمیر سیمان در هنگام اختلاط و در حین تراکم بتواند بخوبی در بین ذرات سنگدانه پخش شود.

بتنی که برای تراکم با غلتک‌های ارتعاشی مناسب است از نظر ظاهری نیز با بتن‌های دیگر که اسلامپ قابل اندازه‌گیری دارند متفاوت است، بتن غلتکی ظاهری خشک دارد و تا قبل از متراکم شدن، خمیر سیمان در آن چندان قابل مشاهده نیست. البته مخلوطهای بتن غلتکی باید خمیر کافی برای پر کردن حفرات بین سنگدانه‌ها داشته باشند. جدول ۵-۲ نسبت‌های اجزای مخلوطهای بتن غلتکی مورد استفاده در چند پروژه مختلف را نشان می‌دهد[۸].

**جدول ۵-۲ طرح اختلاط برخی مخلوطهای بتن غلتکی مورد استفاده در پروژه‌های روسازی راه**

| موقعیت | ناحیه | سیمان | | خاکسترپادی | | آب (کیلوگرم بر مترمکعب) | W/ (C+F) | مقاومت خمشی (مگاپاسکال) | درشت‌دانه | | ریزدانه | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | نوع | مقدار (کیلوگرم بر مترمکعب) | کلاس | مقدار (کیلوگرم بر مترمکعب) | | | | بزرگترین اندازه (میلیمتر) | مقدار (کیلوگرم بر مترمکعب) | بزرگترین اندازه | مقدار (کیلوگرم بر مترمکعب) |
| **Austin, Texas** | **Central Freight** | 1 | 154 | C | 154 | 108 | 0.35 | 3.8 | 19 | 956 | No. 4 | 956 |
| | **Tuscany** | 1 | 154 | C | 154 | 108 | 0.35 | 3.8 | 19 | 956 | No. 4 | 956 |
| **Ft. Campbell, Kentucky** | **63 rd Chem. Co.** | 1 | 237 | F | 125 | 121 | 0.34 | 5.2 | 19 | 1060 | No. 4 | 870 |
| **Ft.Drum, New York** | **PN69A** | 1 | 267 | F | 89 | 124 | 0.35 | 5.6 | 19 | 1378 | NYDOT 1B | 586 |
| | PN69B | 1 | 267 | F | 89 | 124 | 0.35 | 5.6 | 19 | 1378 | NYDOT 1B | 586 |
| | PN187 | 1 | 267 | F | 89 | 124 | 0.35 | 5.6 | 19 | 1378 | NYDOT 1B | 586 |
| | PN203 | 1 | 267 | F | 89 | 124 | 0.35 | 5.6 | 19 | 1378 | NYDOT 1B | 586 |
| **Ft.Hood, Texas** | Bldg 26027<br>Mix 1<br>Mix 2 | <br>1<br>1 | <br>185<br>223 | <br>C<br>C | <br>92<br>110 | <br>93<br>77 | <br>0.34<br>0.23 | <br>5.7<br>5.7 | <br>38<br>19 | <br>1351<br>1286 | <br>No. 4<br>No. 4 | <br>814<br>811 |
| | Bldg 38033 | 1 | 174 | F | 86 | 104 | 0.40 | 5.5 | 22 | 1191 | - | - |
| | Wash Rack | 1 | 174 | F | 86 | 104 | 0.40 | 5.5 | 22 | 1191 | No. 4 | 991 |
| | Tank Trial | 1 | 174 | F | 86 | 104 | 0.40 | 5.5 | 22 | 1191 | No. 4 | 991 |
| **Spring Hill, Tennesy** | Zenith Road | 1 | 237 | F | 89 | 114 | 0.35 | 4.1 | 19 | 1122 | No. 4 | 920 |

روشهای مختلفی برای طرح اختلاط مخلوط‌های بتن غلتکی روسازی ارائه شده است. این روشها را می‌توان به دو دسته کلی زیر تقسیم نمود:

- طرح اختلاط با استفاده از آزمایشهای روانی بتن (روش بتنی)
- طرح اختلاط با استفاده از آزمایشهای تراکم خاک (روش خاکی)

در کلیه روش‌های بتنی جهت دستیابی به مقاومت فشاری طرح (و یا الزامات دوام) نسبت آب به مواد سیمانی مدنظر قرار می‌گیرد و همچنین اجزاء مخلوط به گونه‌ای تعیین می‌شوند که کارآیی مخلوط جهت تراکم با غلتک ویبره‌ای مناسب باشد. این کارآیی بر پایه انجام آزمایش روانی به روش تعیین زمان لازم جهت تراکم نمونه تحت سربار و درحالت ارتعاشی(زمان وی‌بی[1] اصلاح شده) تعیین می‌گردد.

آزمایش تعیین زمان وی‌بی اصلاح شده شامل کاربرد تجهیزات استاندارد VeBe که با فرکانس ۳۶۰۰ دور در دقیقه است. مخلوط بتن‌غلتکی را در ظرف استوانه‌ای استاندارد به حجم ۹ لیتر ریخته و سپس سربار به وزن ۲۲/۷ کیلوگرم(طبق استانداردUSBR) روی آن قرار داده می‌شود و ارتعاش آغاز می‌گردد(در استاندارد USACE وزن سربار۱۳/۳ کیلوگرم است). مدت زمان وی‌بی، زمانی است که از شروع ارتعاش تا بیرون آمدن خمیر از داخل بتن و ظاهر شدن آن پیرامون صفحه تراکم به طول می‌انجامد. جزئیات این آزمایش در ASTM C1170 [۵] ارائه شده است.

مدت زمان ارتعاش لازم تحت سربار جهت دستیابی به تراکم مطلوب، تحت تأثیر پارامترهایی نظیر مقدار آب، دانه‌بندی سنگدانه، اندازه حداکثر سنگدانه، مقدار ماسه و مقدار ذرات ریزتر از۷۵ میکرومتر(الک نمره ۲۰۰) است. به طور مثال در خصوص تأثیر اندازه حداکثر سنگدانه روی مدت زمان ارتعاش لازم، مخلوط‌های بتن غلتکی سدسازی با اندازه حداکثر سنگدانه۷۶-۳۸ میلیمتر(۳-۱/۵اینچ)، برای رسیدن به تراکم کامل به ۲۰ تا ۳۰ ثانیه زمان وی‌بی اصلاح شده احتیاج دارند لیکن این مقادیر برای بتن غلتکی روسازی، پایین است و مخلوط روسازی را خیلی مرطوب و شل خواهد ساخت. تحقیقات آزمایشگاهی با سربار۲۲/۷ کیلوگرم زمان وی‌بی اصلاح شده ۳۰ تا ۵۵ ثانیه را برای مخلوط بتن غلتکی روسازی مناسب نشان داده است.

پس از تعیین زمان وی‌بی اصلاح شده برای یک مخلوط بتن غلتکی، باید این مقدار با نتایج آزمایشات تراکم کارگاهی مقایسه شده و در صورت نیاز اصلاحات لازم در نسبت‌های اجزای بتن صورت پذیرد.

در روشهای طرح اختلاط با استفاده از آزمایشات روانی، معمولاً کلیه پارامترهای مخلوط به غیر از یکی از آنها مانند مقدار آب، مواد سیمانی یا مقدار سنگدانه، ثابت نگه داشته شده و با انجام آزمایشهای لازم، مقدار ماده متغیر تعیین می‌گردد تا روانی مناسب و سایر خواص مورد نظر تأمین‌گردد. بدین ترتیب مقدار بهینه هر یک از اجزای بتن به منظور دستیابی به خواص مورد نظر بتن غلتکی تازه و سخت شده، حاصل می‌شود.

یکی از ملاحظات اساسی به هنگام استفاده از روشهای طرح اختلاط شرح داده شده در ACI 207.5R، که از آزمایشات روانی استفاده می‌کنند، انتخاب صحیح نسبت حجم خمیر به حجم ملات ($Pv^2$) است. مخلوط‌های بتن غلتکی روسازی باید دارای حجم خمیر کافی برای پرکردن فضای خالی بین ذرات سنگدانه باشند. مقدار Pv قابلیت تراکم مخلوط و همچنین صافی نهایی سطح روسازی را تحت تأثیر قرار می‌دهد.

1- VeBe
2 -Past Volume

### ۵-۲-۱- روش گام به گام طرح اختلاط با استفاده از آزمایشهای روانی بتن

فهرست و علائم بکار رفته در مراحل طرح اختلاط در جدول زیر ارائه شده است.

p/c: نسبت حجمی پوزولان به سیمان

PT: مقدار حداقل خمیر مواد سیمانی(حجم)

Pv: نسبت حجم خمیر بدون هوا به حجم ملات بدون هوا

VCA: حجم درشت‌دانه

VA: حجم هوای داخل مخلوط

CV: حجم بتن

VP: حجم خمیر بدون هوا

VMT: حجم کل ملات (ماسه+ خمیر سیمان)

Vm: حجم ملات بدون هوا

VFA: حجم ریزدانه

VW: حجم آب

VC: حجم سیمان

VF: حجم پوزولان

برای سهولت انجام محاسبات طرح اختلاط، روش گام به گام زیر توصیه می‌شود:

گام ۱- نسبت‌های حجمی پوزولان به سیمان(p/c)و آب به مواد سیمانی(w/c+p) با توجه به الزامات طرح و به کمک شکل ۵-۲ برای تولید مخلوط‌های ملات و بتن انتخاب می‌گردد.

گام۲- حداقل حجم خمیر (PT) مورد نیاز مطابق روش زیر تعیین می‌شود:

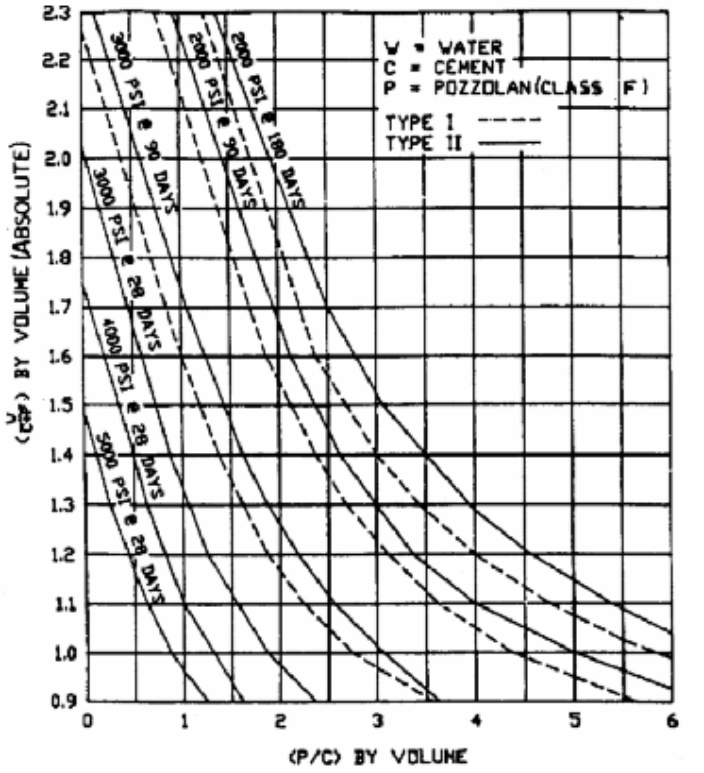
الف- از درصد w/c+p تعیین شده در طرح اختلاط جهت ساخت خمیر سیمان استفاده می‌گردد و نمونه‌های ملات با مقادیر مختلف مقدار ریز دانه ساخته می‌شوند. سپس چگالی نمونه‌های ملات را که با روش‌های تراکم خاک‌ها مانند ASTM D1557 و یا ویبره ساخته شده‌اند، اندازه گرفته می‌شود.

ب- نمودار چگالی ملات به ازای حجم‌های مختلف خمیر، رسم می‌گردد.

ج- حجم خمیر ملاتی که بیشترین چگالی را دارد تعیین می‌گردد.

این مقدار حجم خمیر تعیین شده، بعنوان نسبتی از کل حجم ملات، باید به میزان ۵ تا ۱۰ درصد در طراحی مخلوط بتن‌غلتکی افزایش داده شود.

درصورت عدم انجام آزمایش‌های مورد اشاره در فوق، درصدحجم خمیر بدون هوا نسبت به حجم ملات بدون هوا (Pv)، بین ۰/۳۸ تا ۰/۴۶ انتخاب می‌شود.




**شکل ۵-۲ رابطه بین مقاومت فشاری بتن‌غلتکی و نسبت آب به مواد سیمانی، به ازای نسبت‌های مختلف پوزولان به سیمان**

گام ۳- تعیین حجم درشت‌دانه VCA:

مقدار درشت‌دانه باید به گونه‌ای باشد که ضمن به حداقل رساندن مقدار ملات لازم در مخلوط، امکان تراکم مناسب و پرشدن منافذ خالی آن توسط ملات را فراهم آورد. فضای خالی بین ذرات درشت‌دانه و در نتیجه حجم خمیر لازم در بتن‌غلتکی بستگی به دانه‌بندی، شکل و اندازه حداکثر درشت‌دانه دارد. لذا توصیه بر این است که دانه‌بندی درشت‌دانه به سمت تراکم حداکثر تنظیم شود. در انتخاب مقدار مناسب درشت‌دانه، روش توصیه شده به این شکل است که نسبت‌های مختلف حجمی درشت‌دانه و ملات با یکدیگر ادغام شده و زمان وی‌بی اصلاح شده بتن‌غلتکی حاصله اندازه‌گیری گردد. بدیهی است نسبت‌های اجزای ملات یا به عبارتی طرح اختلاط ملات در کلیه مخلوطها ثابت نگه داشته می‌شود و تنها حجم ملات نسبت به واحد حجم بتن تغییر داده می‌شود. مقدار مناسب درشت‌دانه مقداری است که مخلوطی با زمان وی‌بی مورد نظر پروژه بدست دهد. در جدول۵-۳ برای اندازه حداکثرهای مختلف درشت‌دانه، محدوده‌های درصدهای حجمی توصیه شده ارائه شده‌اند که به عنوان نقطه شروع می‌توانند در تعیین مقدار بهینه درشت‌دانه مورد استفاده قرار گیرند.

**جدول ۵-۳ درصد حجمی درشت‌دانه در واحد حجم بتن [۲]**

| اندازه حداکثر سنگدانه | ۹/۵میلیمتر (۳/۸ اینچ) | ۱۹میلیمتر (۳/٤ اینچ) | ۳۸میلیمتر (۱/۵ اینچ) | ۷٦میلیمتر (۳ اینچ) | ۱۱٤میلیمتر (٤/۵ اینچ) | ۱۵۲میلیمتر (٦ اینچ) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| حجم مطلق درشت‌دانه (درصد) | ۴۲-۴۸ | ۴۶-۵۲ | ۵۲-۵۶ | ۵۷-۶۱ | ۶۱-۶۳ | ۶۳-۶۴ |

گام۴- مقدار هوای داخل بتن بین ۱ تا ۲ درصد حجم کل بتن در نظر گرفته می‌شود و مقدار حجم هوای داخل مخلوط بتن با فرمول زیر محاسبه می‌شود:

$$VA = (\text{مقدار هوا}/۱۰۰) \times CV$$

گام۵- محاسبه حجم خمیر سیمان ($VP$) (بدون هوا):

$$V_P = (\frac{P_T}{100} \times V_{MT}) - V_A$$

محاسبه حجم کل ملات ($V_{MT}$):

$$V_{MT} = C_V - V_{CA}$$

و یا اگر برای $P_V$ مطابق روش دوم در گام ۲، مقداری انتخاب شود، می‌توان حجم خمیر سیمان را از فرمول زیر بدست آورد:

$$V_P = V_m \times P_V$$

محاسبه حجم ملات بدون هوا ($V_M$ ):

$$V_m = C_V - V_{CA} - V_A$$

گام ۶- تعیین حجم ریزدانه ($V_{FA}$):

$$V_{FA} = C_V - V_{CA} - V_P - V_A$$

و یا

$$V_{FA} = V_m(1 - P_V)$$

گام۷- تعیین حجم آب ($V_W$):

$$V_W = \frac{V_P \times (\frac{w}{c+p})}{1 + \frac{w}{c+p}}$$

که در آن $\frac{w}{c+p}$ نسبت حجمی آب به مواد سیمانی است.

گام۸- تعیین حجم سیمان ($V_C$):

$$V_C = \frac{V_W}{\frac{w}{c+p}(1 + \frac{p}{c})}$$

گام ۹- تعیین حجم پوزولان($V_P$):

$$V_p = V_C \times (\frac{p}{c})$$

گام ۱۰- محاسبه جرم مصالح با ضرب نمودن حجم آنها درجرم حجمی هر یک.

گام ۱۱- انجام آزمایشهای روانی مطابق روش ذکر شده در بخش ۵-۲-۱ برای دستیابی به زمان وی‌بی اصلاح شده مورد نظر و یا تعیین کمترین زمان وی‌بی برای رسیدن به بیشترین تراکم.

گام ۱۲- بعد از انتخاب نهایی حجم سنگدانه‌ها، لازم است حداقل دو اختلاط آزمایشی یکی با w/c+p بیشتر و یکی با w/c+p کمتر از مقدار تعیین شده ساخته شود. آنگاه نمودار مقاومت به ازای w/c+p را رسم و نسبتهای نهایی اختلاط تعیین می‌گردد. لازم به ذکر است که ساخت نمونه‌های استوانه‌ای استاندارد جهت آزمایش مقاومت فشاری با روش تراکم ویبره‌ای تحت سربار صورت می‌گیرد. قطر نمونه‌ها ۱۵ سانتیمتر(۶ اینچ) و ارتفاع آنها ۳۰ سانتیمتر(۱۲اینچ) می‌باشد. جزئیات روش ساخت نمونه‌ها در استاندارد ASTM C1176 [۴] ارائه شده است.

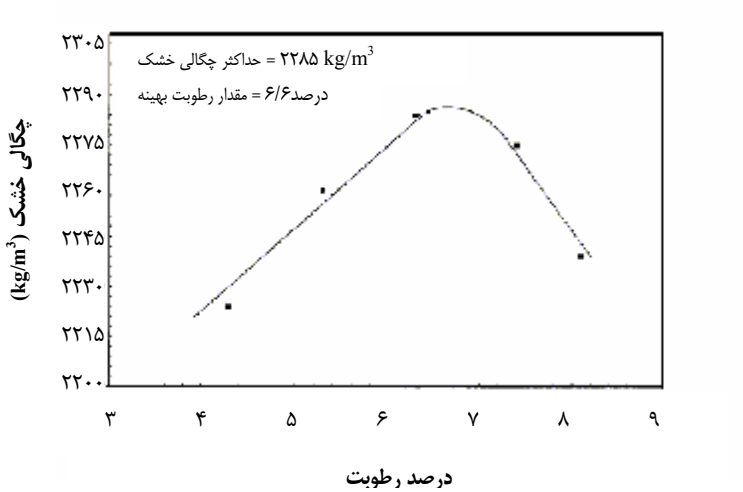
### ۵-۲-۲- طرح اختلاط با استفاده از روشهای تراکم خاک

روشهایی که در آنها از آزمایشات مشابه تراکم خاک استفاده می‌شود، شامل تعیین رابطه بین چگالی خشک (یا تر) نمونه با مقدار رطوبت آن هستند که از طریق تراکم نمونه‌ها با مقادیر رطوبت مختلف و تعیین چگالی آنها، انجام می‌شود. این کار مشابه روشهایی است که برای تعیین رابطه بین مقدار رطوبت و چگالی خاکها یا مخلوطهای خاک - سنگدانه بکار می‌رود. تجهیزات و میزان انرژی تراکم برای تهیه نمونه‌های آزمایش رطوبت -چگالی در استاندارد ASTM D1557 [۶] شرح داده شده است.

مقدار مواد سیمانی بر اساس الزامات مقاومت و دوام مورد نظر در روسازی، تعیین می‌شود و غالباً بصورت درصدی از جرم کل مصالح خشک (سنگدانه و مواد سیمانی) بیان می‌گردد. مقدار مواد سیمانی بین ۱۰ تا ۱۷ درصد جرم مصالح خشک در مخلوطهای بتن‌غلتکی روسازی تغییر می‌کند، این مقدار برابر با ۲۰۸ کیلوگرم بر مترمکعب تا ۳۵۶ کیلوگرم بر مترمکعب (۳۵۰ پوند بر یاردمکعب تا ۶۰۰ پوند بر یاردمکعب) است.

ریزدانه و درشت‌دانه، چنانکه قبلاً شرح داده شد، به نحوی انتخاب می‌شوند که ترکیبی با دانه‌بندی مناسب ایجاد کنند. مقدار حجم ریزدانه و درشت‌دانه در واحد حجم بتن غلتکی پس از محاسبه مقدار رطوبت بهینه، تعیین می‌شود. مقدار بهینه رطوبت مخلوط، مقدار متناظر با نقطه پیک منحنی رطوبت - چگالی است که بستگی به خواص سنگدانه‌های مصرفی و مقدار مواد سیمانی دارد. در مخلوطی که مقدار رطوبت آن کمتر از مقدار بهینه است، به دلیل ایجاد فضای خالی بین سنگدانه‌ها، مقاومت کاهش پیدا می‌کند. همچنین در صورتیکه مقدار رطوبت بیشتر از مقدار بهینه باشد نیز به دلیل افزایش نسبت آب به مواد سیمانی(w/c+p)، مقاومت کاهش پیدا می‌کند.

معمولاً چند منحنی رطوبت - چگالی به ازای مقادیر مختلف مواد سیمانی رسم می‌شود و از بین آنها مقدار حداقل مواد سیمانی به نحوی انتخاب می‌گردد که الزامات طرح را ارضا کند، شکل ۵-۳، [۳].




**شکل ۵-۳ منحنی رطوبت - چگالی**

## گام‌های طراحی

گام۱: درشت‌دانه و ریزدانه خشک را با یکدیگر ترکیب کرده تا دانه‌بندی با محدودیت‌های ذکر شده در جدول ۵-۱ حاصل شود. حدود ۹ کیلوگرم سنگدانه ترکیبی برای هر آزمایش چگالی- رطوبت مورد نیاز خواهد بود.

گام۲: بر اساس مقاومت خمشی و فشاری مورد نیاز، مقدار مواد سیمانی (c+p) انتخاب می‌شود. برای بتن غلتکی روسازی که مقاومتی خمشی بین ۴ مگاپاسکال تا ۵ مگاپاسکال (اندازه‌گیری شده مطابق ASTM C78) لازم داشته باشد، مقدار c+p بین ۱۲ تا ۱۶ درصد وزن سنگدانه خشک، تغییر خواهد کرد.

گام۳: مطابق روش D ذکر شده در استاندارد ASTM D1557 [۶] با استفاده از مقادیر تعیین شده سنگدانه و مواد سیمانی مقدار رطوبت بهینه محاسبه می‌شود. برای آزمایش چگالی - رطوبت لازم است حداقل چهار نمونه مخلوط با مقادیر مختلف آب ساخته شود. سپس منحنی چگالی به ازای رطوبت‌های مختلف رسم شده و نقطه پیک منحنی به عنوان نقطه دارای رطوبت بهینه تعیین گردد (مشابه شکل۵-۳).

گام۴: مقدار هوای داخل بتن، ۲ درصد فرض می‌گردد ( مقدار واقعی می تواند از نتایج آزمایش تراکم و منحنی فضای خالی صفر[1]، بدست آید).

گام۵: با استفاده از مقادیر رطوبت بهینه، مواد سیمانی انتخاب شده و مقدار هوا، حجم‌های مطلق و وزن مصالح برای واحد حجم بتن محاسبه می‌شوند.

گام۶: گام‌های ۲ تا ۵ را با استفاده از مقادیر بالاتر و پایین‌تر مواد سیمانی تکرار شده و بعد از آماده‌سازی مخلوط‌های آزمایشی، منحنی مقاومت به ازای مقادیر مواد سیمانی رسم شده و مقادیر نهایی نسبت‌های اختلاط تعیین می‌گردد. سپس گام‌های ۲تا ۵ را با مقدار انتخاب شده مواد سیمانی تکرار شده و مقدار رطوبت بهینه تعیین می‌شود و حجم‌های مطلق و وزن مصالح دوباره محاسبه می‌گردد [۱].

1- Zero air-viod curve

## مثال:

برای روسازی انبار یک ترمینال درمنطقه‌ای معتدل بتن غلتکی با مقاومت خمشی ۴/۵ مگاپاسکال در ۲۸ روز، مورد نیاز است. بر اساس تجهیزات موجود، اندازه حداکثر سنگدانه ۸۶میلیمتر (۳/۴ اینچ) در نظر گرفته می‌شود. سیمان تیپ I و خاکستر بادی کلاس F مورد استفاده قرار می‌گیرد و فضای خالی بتن از ۲ درصد بیشتر نخواهد بود.

## حل مثال:

گام۱: اندازه سنگدانه‌ها در دو دسته (No.4 – 19mm و No.4 - No.200) قرار می‌گیرد. آزمایش‌ها نیز نشان می‌دهند که در صورت ترکیب ۴۶ درصد درشت‌دانه با ۵۴ درصد ریزدانه، دانه‌بندی ترکیبی ایده‌آل مطابق محدودیتهای جدول ۵-۱ بدست خواهد آمد. پیمانه‌های ۹ کیلوگرمی از سنگدانه‌های خشک ترکیبی برای هر اختلاط آزمایشی انتخاب می‌شوند.

گام۲: مقدار اولیه مواد سیمانی c+p، ۱۴ درصد وزن خشک سنگدانه‌ها انتخاب شده و مقدار ۲۵ درصد حجمی خاکستر بادی نسبت به مقدار کل مواد سیمانی فرض می‌شود (تغییرات c+p با تغییر در مقدار خاکستر بادی در ضمن مطالعه طرح اختلاط باید مورد توجه قرار گیرد).

گام۳: آزمایش‌های تراکم مطابق روش D استاندارد ASTM D1557 [۶] با مقادیر مختلف رطوبت انجام می‌شود. نقطه پیک منحنی رطوبت-چگالی، مقدار ۵/۸ درصد را برای رطوبت بهینه و چگالی خشک حداکثر را معادل ۲۳۴۶ کیلوگرم بر مترمکعب نشان می‌دهد.

گام‌های ۴ و ۵ : جرم هر یک از مصالح با توجه به جرم حجمی آنها محاسبه می‌شود:

| مصالح | سیمان | خاکستربادی | سنگدانه No.4-No.200 | سنگدانه No.4- 19mm. | آب |
|---|---|---|---|---|---|
| جرم حجمی (کیلوگرم بر مترمکعب) | ۳۱۳۹ | ۲۴۴۹ | ۲۷۱۵ | ۲۶۲۲ | ۱۰۰۰ |

سنگدانه No.4-No.200 =۹ kg×۰/۵۴ =۴/۸۶ kg(۰/۰۰۱۸ $m^3$)

سنگدانه No.4- 3/4 in =۹ kg×۰/۴۶ =۴/۱۴ kg(۰/۰۰۱۵۷ $m^3$)

حجم مواد سیمانی = (۹ kg×۰/۱۴) ÷۳۱۳۹ = ۰/۰۰۰۴ $m^3$

سیمان = (۰/۰۰۰۴×۰/۷۵) ×۳۱۳۹ = ۰/۹۵ kg(۰/۰۰۰۳۰ $m^3$)

خاکستربادی = (۰/۰۰۰۴×۰/۲۵) ×۲۴۴۹= ۰/۲۴ kg (۰/۰۰۰۱۰ $m^3$)

آب = ۹ kg×۰/۰۵۸ = ۰/۵۲۲ kg(۰/۰۰۰۵۲ $m^3$)

کل حجم پیمانه = ۰/۰۰۴۶۹ $m^3$

برای ۱ مترمکعب بتن، حجم هر یک از مصالح در عدد زیر ضرب می‌شود:

(با فرض ۲ درصد هوا در بتن)

(۱ - ۰/۰۲) ÷ ۰/۰۰۴۶۹ =۲۰۸/۹۵

سنگدانه No.4-No.200 =۰/۳۷۶ $m^3$ (۱۰۲۰/۸ kg)

سنگدانه No.4- 19mm =۰/۳۲۸ $m^3$ (۸۶۲/۶ kg)

سیمان = ۰/۰۶۲۶ $m^3$ (۱۹۶/۵ kg)

خاکستربادی = ۰/۰۲۰۸ $m^3$ (۵۰/۹ kg)

آب = ۰/۱۰۸ $m^3$ (۱۰۸ kg)

هوا =۰/۰۲ $m^3$

گام۶: با انتخاب مقدار سیمانی c+p بیشتر و کمتر از مقدار بدست آمده، مراحل ۲تا ۵ را تکرار کرده و هربار نمونه‌های آزمایشی با مقدار آب بهینه ساخته می‌شود و آزمایش مقاومت خمشی روی آنها انجام شده، سپس منحنی مقاومت خمشی به ازای مقدار مواد سیمانی رسم شده و مقدار جدید مواد سیمانی با توجه به منحنی انتخاب می‌گردد. دوباره مراحل ۲ تا۵ را با مقدار c+p انتخابی برای تعیین مقدار رطوبت بهینه تکرار کرده و حجم مطلق مصالح و وزن آنها محاسبه می‌شود [۲].

### ۵-۲-۳- ساخت نمونه‌های آزمایشگاهی

به دلیل سفت‌تر بودن بتن غلتکی در مقایسه با بتن معمولی، روش ساخت نمونه‌های بتن غلتکی با روش ساخت نمونه بتن معمولی متفاوت است. روشهایی که تا کنون به کار رفته‌اند شامل دو دسته کلی هستند. در یک روش نمونه بتن غلتکی در داخل قالب و روی میز ارتعاش، تحت وزن سربار و در چند لایه متراکم می‌شود. استاندارد ASTM C1176 [۴] جزئیات این روش را بیان می‌کند. در روش دیگر نمونه‌ها به وسیله ضربات کوبه، در چند لایه، مطابق روش ذکر شده در ASTM D1557 [۶] ساخته می‌شوند.

در تحقیقات مختلف طبق روش نخست (تراکم با میز ارتعاشی) تعداد لایه‌ها بین ۱ تا ۳ لایه متفاوت بوده است. وزن سربار نیز بین(۲۵ پوند تا ۲۰۰ پوند)(۱۱/۳ کیلوگرم تا ۹۰/۷ کیلوگرم) یا تقریباً (۱ پوند بر اینچ‌مربع تا ۷ پوند بر اینچ‌مربع)(۰/۰۰۶۹ مگاپاسکال تا ۰/۰۴۸۳مگاپاسکال)، بسته به نوع نمونه‌ها متفاوت بوده است.

ایجاد تراکم کامل در نمونه بتن غلتکی با استفاده از میز ارتعاشی مشکل است و غالباً در مقایسه با مغزه‌های گرفته شده از روسازی راه، نمونه‌های آزمایشی ساخته شده توسط میز ارتعاشی، چگالی کمتری داشته‌اند. این میزان تراکم کمتر در آزمایشگاه بویژه هنگامی که یک میز ارتعاشی با دامنه کم، تحت سربار استفاده می‌شود شایع‌تر است.

میز ارتعاشی مورد استفاده باید الزامات استانداردهای ASTM D4253 و ASTM D4254 یا استاندارد ASTM C192 را ارضا نماید.

نمونه‌های متراکم شده توسط کوبه می‌توانند چگالی مشابه نمونه‌های اخذ شده از روسازی را دارا باشند که البته در این صورت هنگام ساخت نمونه تعداد ضربات قابل توجهی باید بکار برد. تعداد ضربات و ارتفاع رها شدن کوبه برای کلیه نمونه‌ها بایستی ثابت باشد تا نتایج یکنواخت و قابل اتکایی بدست آید. نمونه‌های استوانه‌ای مانند استوانه به قطر ۱۵cm جهت تراکم با کوبه مناسب‌اند، لیکن برای نمونه‌های خمشی که دارای سطح قابل توجه هستند کاربرد روش تراکم کوبه‌ای عمدتاً غیر عملی است و روشهای تراکم ارتعاشی تحت سربار عملی‌تر هستند.

## مراجع

1-American Concrete Institute,"Concrete Pavements and Bases", ACI 325.9R, 1999

2-American Concrete Institute,"Guide for Selecting Porportions for No-Slump Concrete", ACI 211.3R -1997

3-American Concrete Institute,"Roller Compacted Concrete Pavements", ACI 325.10R, 1999

4-American Society for Testing and Materials, "Standard Practice for Making Roller Compacted Concrete in Cylinder Molds Using a Vibrating Table", ASTM C1176, year 1992

5-American Society for Testing and Materials,"Standard Test Method for Determining Consistency and Density of Roller Compacted Concrete Using a Vibrating Table", ASTM C1170, page 615, year 1991

6-American Society for Testing and Materials,"Test Method for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Modified Effort ", ASTM D1557, year 1991

7-Choi, Y.K. and J.L. Groom ," RCC Mixes Design- Soils Approach", Journal of Materials in Civil Engineering, ASCE, Jan/Feb 2001 , pp 71-76

8-Engineering and Design,"Roller Compacted Concrete Pavement, Design and Construction", ETL 1110-3-475, 1995

9-US Army Corps of Engineers,"Standard Practice for Concrete", Engineer Manual, EM 1110-2-2000, Feb 1994

# فصل ششم

## روش‌های ساخت و
## اجرای روسازی بتن غلتکی

# فصل ششم

# روش‌های ساخت و اجرای روسازی بتن غلتکی

## ٦-١- کلیات

ساخت روسازی بتن غلتکی شامل ریختن و متراکم نمودن مخلوط خیلی سفت بتن به وسیله تجهیزات و تکنیک‌های مشابه با ساخت روسازی آسفالتی است. در نتیجه حجم نسبتاً زیادی از روسازی بتن‌غلتکی را می‌توان به سرعت و با حداقل تعداد کارگر و تجهیزات اجرا نمود.

در روسازی بتن غلتکی از داول (میله‌های اتصال)، آرماتور و قالب‌بندی استفاده نمی‌شود. این مسأله سبب می‌شود که به طور معمول صرفه‌جویی قابل ملاحظه‌ای در هزینه‌ها در مقایسه با روسازی بتنی ایجاد شود. عموماً ساخت روسازی بتن‌غلتکی شامل آماده‌سازی لایه‌های اساس و زیر اساس، ساخت و حمل مخلوط، بتن‌ریزی، متراکم نمودن، ایجاد درزها و عمل‌آوری است.

## ٦-٢- آماده‌سازی لایه‌های اساس و زیر اساس

لایه‌های اساس و زیر اساس در روسازی بتن غلتکی باید همان الزاماتی را که در روسازی بتنی معمولی وجود دارد، دارا باشند. همچنین این لایه‌ها به منظور تأمین استحکام کافی به هنگام تراکم در زیر لایه روسازی بتن‌غلتکی ایجاد می‌شوند.

لایه اساس در جاهائیکه سطح لایه روسازی در معرض سیکلهای یخ زدن و آب‌شدن قرار دارد، غالباً نقش یک زهکش را برای جلوگیری از اشباع شدن این لایه ، ایفا می‌کند. در روسازی‌هایی که صاف و هموار بودن سطح نهایی مطرح است، مسطح بودن لایه اساس از الزامات روسازی است. به منظور جلوگیری از جذب آب بتن لازم است تا حتماً قبل از بتن‌ریزی لایه اساس مرطوب شود.

عموماً خطوط راهنما[1] بر روی لایه اساس به منظور تنظیم ضخامت لایه روسازی و هدایت تجهیزات بتن‌ریزی در راستای مورد نظر ایجاد می‌گردد.

## ٦-٣- ساخت مخلوط بتن و حمل آن

تولید بتن غلتکی با توجه به میزان آب اندک اختلاط، نیازمند نیروی بسیار زیادی برای ساخت مخلوطی همگن است. در تولید بتن غلتکی هم سیستم مخلوط‌کن پیوسته[2] و هم سیستم مخلوط‌کن‌های تغاری[3] به خوبی مورد استفاده قرار گرفته است.

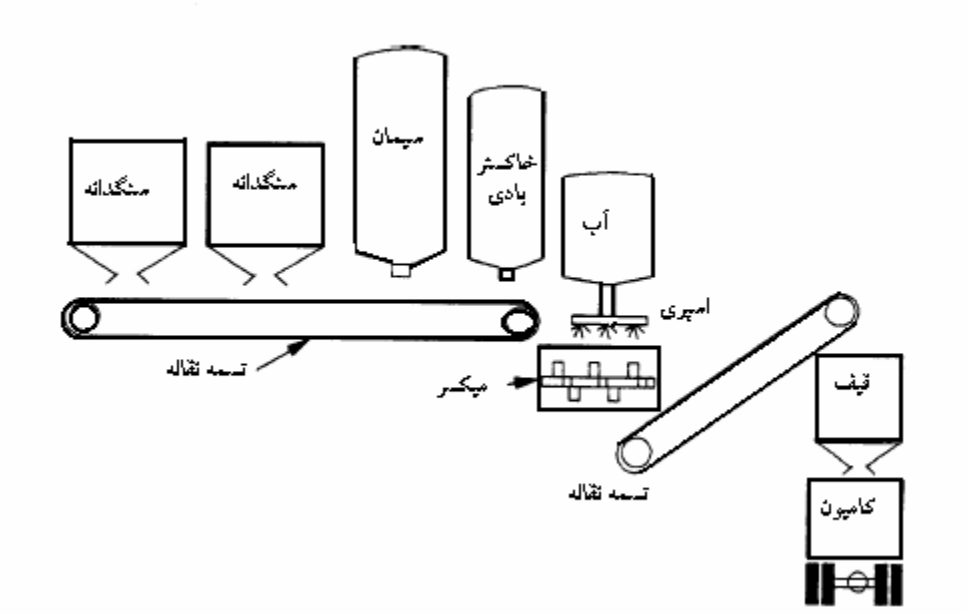
البته سیستم تولید پیوسته به دلیل سهولت حمل و نقل و نصب در کارگاه، داشتن ظرفیت نسبتاً زیاد تولید و راندمان اختلاط[4] خوب، بیشتر متداول است (شکل ۶-۱).

در مخلوط‌کن‌های تغاری که در آنها تولید بتن داخل یک ظرف مخلوط‌کن با ظرفیت‌های مختلف (معمولاً با حجم یک متر مکعب) انجام می‌شود، کنترل نسبت اجزای مخلوط دقیق‌تر صورت می‌گیرد. لیکن ظرفیت تولید بتن ممکن است برای پروژه‌های بزرگ راهسازی که باید به طور پیوسته بتن‌ریزی شود، مناسب نباشد. در پروژه‌های بزرگ روسازی از سیستم پیوسته تولید بتن با ظرفیت تولید ۲۵۰ تن در ساعت و بیشتر استفاده شده است. در سیستم پیوسته تولید بتن یک قیف بزرگ در انتهای تسمه نقاله برای

1- String Lines
2- Continuous-Mixing Pug Mill
3- Pan Mixers
4- Mixing Efficiency

کاهش ارتفاع ریزش بتن و در نتیجه کاهش جداشدگی به کار می‌رود. این قیف همچنین برای نگهداشتن موقت بتن هنگام تعویض کامیون‌های حمل بتن ضروری است. حداقل ظرفیت مخلوط‌کن باید۱۰۰ مترمکعب بر ساعت باشد، مگر در مواردی که حجم کار کم است (سطح روسازی کمتر از۱۰۰۰مترمربع)، [۸].

در پروژه‌های کوچک که نصب سیستم تولید بتن با ظرفیت بالا توجیه‌پذیر نیست یک سیستم محلی اصلاح شده تولید بتن به صورت غیر پیوسته (توزین مصالح در هر متر مکعب[1]) با ظرفیت حدود ۴۶ مترمکعب در ساعت به همراه تراک میکسرهای متداول بتن‌ریزی قابل قبول خواهد بود.




**شکل٦-۱ سیستم تولید پیوسته بتن غلتکی**

عموماً کارگاه ساخت بتن تا حد ممکن نزدیک به محل بتن‌ریزی احداث می‌شود تا مدت زمان حمل بتن به حداقل برسد. مدت زمان حمل بتن غلتکی از محل تولید تا دستگاه فینیشر بتن نباید بیشتر از ۱۵ دقیقه گردد.

از دامپ تراک برای انتقال و ریختن بتن به دستگاه روسازی[2] استفاده می‌شود. گاهی با توجه به شرایط برای پیشگیری از تأثیر عوامل محیطی همچون باران، باد، سرما و یا گرما بر روی مخلوط بتن، لازم است تا روی این تراکها پوشانده شود. بتن بطور مستقیم از داخل دامپ تراک به قیف دستگاه فینیشر ریخته می‌شود.

## ٦-٤- بتن‌ریزی

معمولاً بتن غلتکی توسط دستگاه پخش آسفالت که برای پخش مقادیر زیاد مصالح، کمی اصلاح شده است پخش می‌گردد. این اصلاحات مشتمل بر بزرگ کردن دریچه بین قیف تغذیه و اسکرید[3] و همچنین تنظیم پیچهای جلوی اسکرید[1] برای اطمینان از پخش یکنواخت بتن در راستای محور جاده است که مشابه هنگامی است که آسفالت داغ ریخته می‌شود.

1- Weight-Batch
2- Paver
3- Screed

دستگاههای پخش آسفالت معمولاً به تجهیزات اتوماتیک کنترل انحراف از سطح تراز مانند اسکی یا وسایل الکترونیکی کنترل انحراف مجهز هستند. به منظور دستیابی به بهترین همواری سطح برای اولین مسیر از یک مسیر راهنما[۲] در هر دو طرف اسکرید استفاده می‌شود. برای مسیرهای بعدی از لبه تمام شده مسیر قبلی در یک سمت و از مسیر راهنما به عنوان راهنما و تراز در سمت دیگر استفاده می‌شود. حرکت بدون وقفه و پیوسته دستگاه پخش آسفالت به سمت جلو باعث می‌گردد تا از ایجاد دست‌انداز و یا تورفتگی در سطح نهایی جلوگیری شود. این مسأله با تنظیم سرعت حرکت دستگاه با مقدار بتنی که داخل آن ریخته می‌شود قابل دستیابی است.

فینیشرها عموماً مجهز به اسکریدهای ارتعاشی هستند که تا حدی باعث ایجاد تراکم اولیه بتن می‌شود. مدلهای جدید فینیشرها شامل یک یا چند میله کوبه‌ای متصل به قسمت ارتعاشی هستند که سبب افزایش انرژی تراکم و در نتیجه تأثیر مثبت در همواری سطح نهایی و افزایش دانسیته می‌شود.

علیرغم افزایش انرژی تراکم گاهی بر روی سطح روسازی در پشت اسکریدهای سنگین برخی ترکهای سطحی دیده می‌شود. این ترکها ممکن است به طور کامل بعد از عبور غلتک، از بین بروند. شکل این ترکها به مقدار رطوبت مخلوط بتن غلتکی و میزان فشار وارد آمده از اسکرید به سطح بتن بستگی دارد.

برخی از انواع فینیشرها خود قادرند تا حدود ۹۵ درصد دانسیته مورد نظر را ایجاد کنند لذا عملیات غلتک‌زنی تسهیل شده و انحرافات طولی یا عرضی از تراز مورد نظر بسیار کاهش می‌یابد[۱].

قبل از ریختن بتن‌غلتکی سطح لایه اساس باید مرطوب گردد تا باعث جذب رطوبت از بتن غلتکی تازه ریخته شده نگردد. مدت زمان بتن‌ریزی و تراکم هر مسیر روسازی به منظور دستیابی به دانسیته و صافی سطح مطلوب، باید مدنظر قرار گیرد. بسته به شرایط محیطی تا حدود ۴۵ و گاهی تا ۹۰ دقیقه پس از افزودن آب به مخلوط، بتن می‌تواند تازه و تراکم‌پذیر باشد. این محدودیت زمانی برای تراکم بتن، فاصله زمانی بین بتن‌ریزی مسیرهای متوالی را تحت تأثیر قرار می‌دهد. یک روش برای ایجاد هماهنگی زمانی بین بتن‌ریزی مسیرهای متوالی، محدود کردن طول مسیرهای بتن‌ریزی است. همچنین استفاده از دو یا چند فینیشر با اجرای پلکانی به کاهش زمان اجرای بین مسیرهای متوالی کمک خواهد کرد. بسیاری از دستورالعمل‌ها حداکثر فاصله زمانی بین تولید بتن و اتمام عملیات تراکم را ۴۵ دقیقه تعیین می‌کنند [۸].

جوی‌های آب، لبه پیاده‌روها و مسیرهای فاضلاب ممکن است قبل و یا بعد از اجرای بتن غلتکی ساخته شوند. هنگامیکه این موارد قبل از بتن‌ریزی اجرا شوند، تراکم لبه‌های روسازی با محدودیت مواجه خواهد شد و در صورت اجرا پس از بتن‌ریزی، تنظیم ارتفاع آنها با ارتفاع سطح روسازی خیلی راحت‌تر خواهد بود.

اجرای جوی‌های آب و منهول‌ها[۳] در روسازی بتن غلتکی به سادگی امکان‌پذیر است. بدین منظور یک روز بعد از بتن‌ریزی می‌توان بتن قسمت مربوطه را تخریب کرد و جوی یا منهول را تا تراز مورد نظر ساخت و با استفاده از بتن معمولی فضاهای خالی پشت دیواره جوی را پر نمود.

---

1- Spreading Screws
2- String Line
3- Manhole

## ٦-٥- تراکم

بتن غلتکی را معمولاً بلافاصله پس از ریختن، توسط یک غلتک ارتعاش دوتایی ۱۰ تنی[1] متراکم می‌کنند. ابتدا غلتک به صورت استاتیک (بدون ارتعاش)، دو عبور روی بتن ریخته شده خواهد داشت تا سطح بتن صاف و آماده شود (یک حرکت رفت و برگشت غلتک معادل دو عبور است). سپس چند عبور ارتعاشی انجام می‌شود تا دانسیته مشخص شده حاصل شود که معمولاً پس از چهار عبور و یا بیشتر به دانسیته مطلوب می‌توان دست یافت. پس از آن به منظور کاهش حفرات و بستن درزهای سطحی، معمولاً چند پاس حرکتی نیز توسط غلتک چرخ لاستیکی ۱۰ تا ۲۰ تنی انجام می‌شود. نهایتاً نیز ممکن است دوباره از غلتک بدون ارتعاش برای از بین بردن اثر غلتک چرخ لاستیکی یا غلتک ارتعاشی بر سطح بتن استفاده شود.

در برخی پروژه‌ها ممکن است به جای استفاده از غلتک ارتعاشی، تعداد عبورهای غلتک استاتیکی اضافه شود. همچنین در بعضی پروژه‌ها نیز از غلتک‌های ارتعاشی فولادی با پوشش لاستیکی استفاده شده است.

با مشاهده رفتار بتن تازه، هنگامی که تحت بار حرکت غلتک استاتیکی (بدون ارتعاش) قرار دارد، می‌توان کارایی آن را مورد بررسی قرار داد. بتن غلتکی با کارایی مناسب برای تراکم‌پذیری، تحت عبور غلتک به طور یکنواخت متراکم می‌شود. در صورتیکه بتن غلتکی بیش از حد مرطوب باشد، سطح ایجاد شده بعد از تراکم خیلی صاف و صیقلی خواهد بود و بتن تحت حرکت غلتک و یا حتی حرکت انسان روی سطح راه، رفتاری روان از خود نشان می‌دهد. در صورتیکه بتن غلتکی خیلی خشک باشد سطح آن بصورت دانه‌دانه خواهد بود و حتی ترکهای برشی افقی در آن ایجاد خواهد شد. در این شرایط رسیدن به دانسیته مورد نظر طرح مشکل است. لذا تنها اصلاح مقدار آب مخلوط و یا یک طرح اختلاط جدید راهگشا خواهد بود.

علاوه بر یک لایه اساس کاملاً متراکم، نحوه عملیات غلتک‌زنی به منظور رسیدن به دانسیته مطلوب و همواری لازم بسیار حائز اهمیت است. لذا مهارت اپراتور غلتک نقش کلیدی در رسیدن به کیفیت مطلوب دارد. در هنگام تراکم ارتعاشی، اپراتور غلتک نباید بر روی روسازی توقف کند. بهترین تراکم با فرکانس کم و دامنه ارتعاش زیاد و با سرعت حداکثر ۲ متر بر ساعت(۳/۲کیلومتر بر ساعت) ایجاد می‌شود. برخی مراجع نیز سرعت ۲/۴ کیلومتر بر ساعت را پیشنهاد کرده‌اند [۸]. همچنین به منظور پیشگیری از ایجاد تورفتگی در عرض روسازی پاسهای متوالی غلتک باید به طور مستمر اجرا شود. لبه کناری هر مسیر بتن‌ریزی به صورت غلتک نخورده باقی می‌ماند. این قسمت قبل از بتن ریزی مسیر بعدی برداشته می‌شود.

باتوجه به مقدار کم آب موجود در بتن غلتکی، شرایط جوی در هنگام تراکم بتن حائز اهمیت است. وزش باد و دمای زیاد هوا می‌تواند موجب خشک شدن مخلوط و عدم تراکم مناسب آن شود. این مسأله را می‌توان با در نظر گرفتن تمهیداتی در طرح اختلاط طرح پیش‌بینی نمود [۱].

## ٦-٦- ساخت درزها

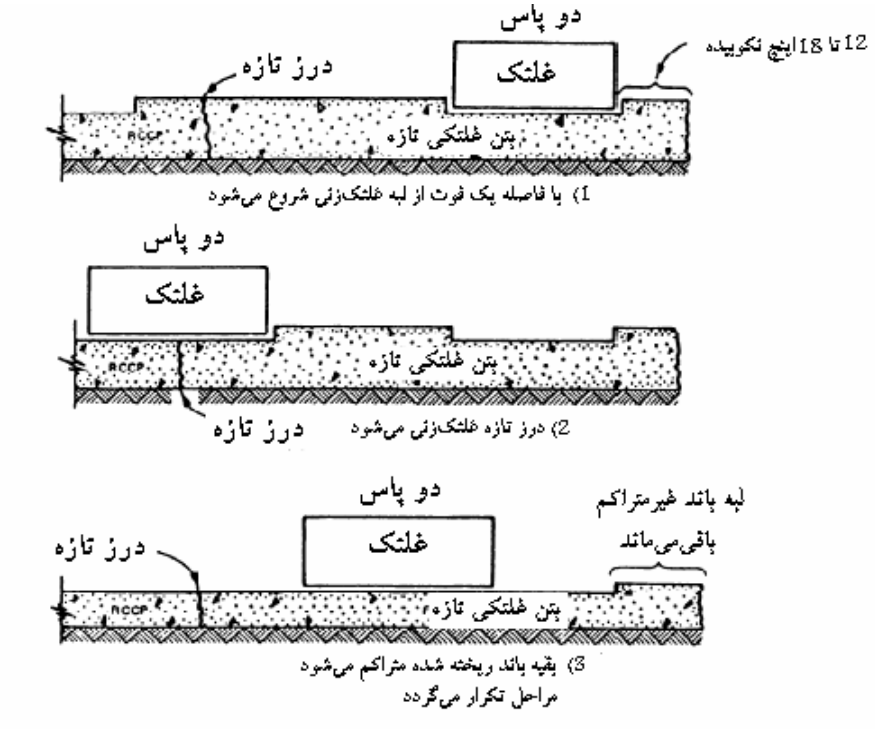
محل درزها در روسازی بتن غلتکی از اهمیت زیادی در دستیابی به سطحی هموار و متراکم برخوردار است. درزهای طولی بین خطوط بتن‌ریزی در مسیر طولی جاده و درزهای عرضی در انتهای هر خط طولی، به صورت عمود بر مسیر طولی جاده تشکیل می‌شوند.

1- Dual-Drum

## ٦-٦-١- درزهای تازه[1]

هنگامیکه فاصله زمانی بین بتن‌ریزی و متراکم سازی دو مسیر متوالی بتن‌ریزی به اندازه کافی کوتاه باشد که بتوان دو مسیر را با یکدیگر متراکم ساخت و به سطحی یکپارچه دست یافت، درز ایجاد شده را درز تازه گویند. این فاصله زمانی معمولاً در حدود یک ساعت است که بسته به دما، باد و رطوبت محیط ممکن است اندکی بیشتر یا کمتر شود.

برای ساخت درزهای طولی تازه باید لبه کناری مسیر بتن‌ریزی شده به عرض ۳۰ تا ۴۰ سانتیمتر هنگام غلتک‌زنی، متراکم نشود و پس از بتن‌ریزی مسیر مجاور، با قرار گرفتن مرکز غلتک برروی درز، محل درز متراکم شده و پیوستگی بین دو مسیر کناری ایجاد شود (شکل ۶-۲). در محل درزها برای رسیدن به دانسیته و همواری مناسب سطح، گاهی لازم است تا غلتک، عبورهای بیشتری انجام دهد.




**شکل ٦-٢ نحوه اجرای درزهای تازه در روسازی بتن غلتکی**

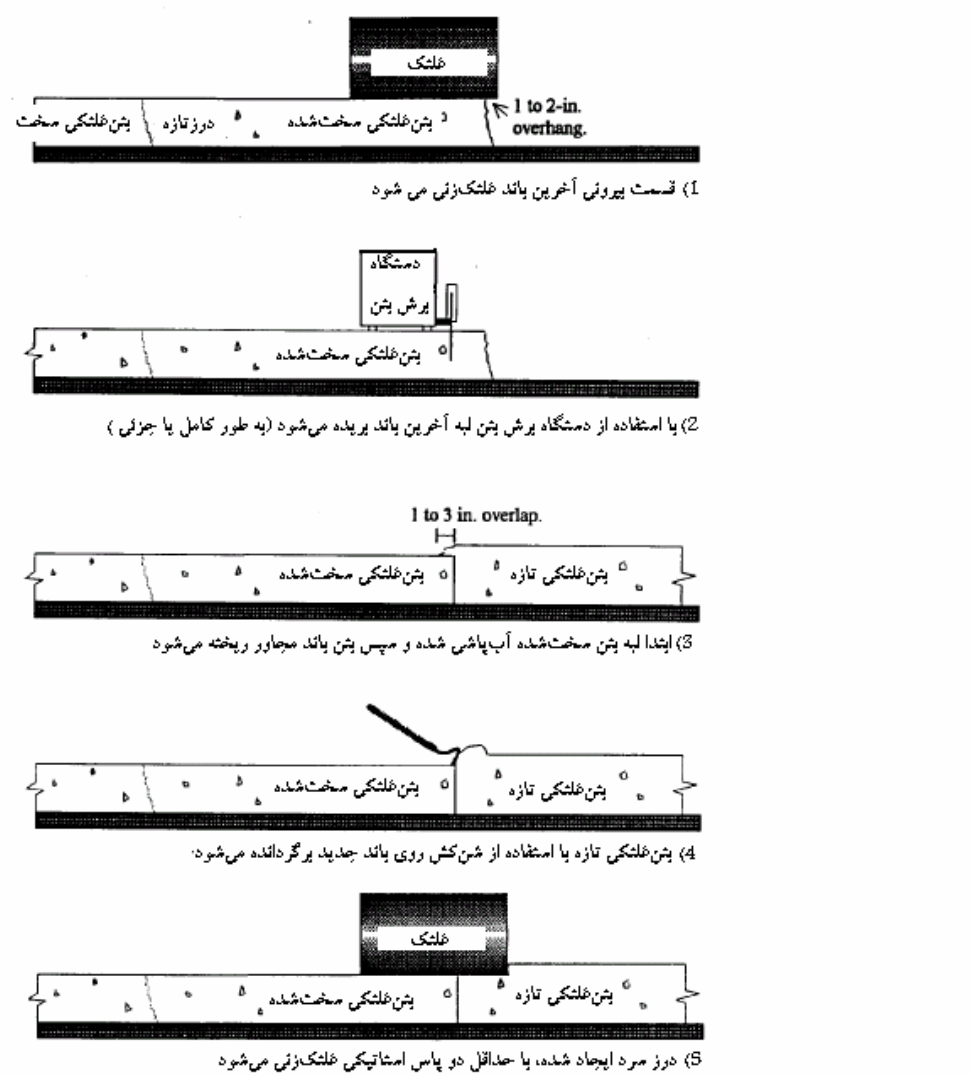
استفاده از مواد افزودنی دیرگیرکننده در مخلوط بتنی که در قسمت درزهای طولی ریخته می‌شود به منظور به تأخیر انداختن زمان گیرش بتن در این ناحیه توصیه شده است. بدین ترتیب درز طولی را می‌توان تا ۳ ساعت به صورت تازه نگه داشت [۵].

## ٦-٦-٢- درزهای اجرایی[1]

درزهای اجرایی که اغلب درز سرد[2] نامیده می‌شوند هنگامی تشکیل می‌گردند که در دو مسیر متوالی بتن‌ریزی، بتن لایه قدیمی‌تر به قدری سفت شده باشد که به همراه لایه جدید نتوان آن را متراکم نمود. برای ساختن درزهای اجرایی، کناره‌های یک باند که قرار است به صورت درز سرد اجرا گردند توسط غلتک به نحوی که ۲۵ تا ۵۰ میلیمتر از استوانه غلتک از روی بتن‌غلتکی

1- Fresh Joint
2 -Cold Joints

بیرون بزند، متراکم می‌شود. لبهٔ لایه ریخته‌شده به وسیله یک دستگاه برش بتن در تمام ضخامت به صورت عمودی بریده شده و پس از حصول یک لبه عمودی و مرطوب کردن آن، بتن‌ریزی لایه مجاور انجام می‌شود. دستگاه فینیشر در اجرای باند دوم باید ارتفاع اضافی لایه جهت جبران افت ارتفاع ناشی از تراکم را در نظر بگیرد. در ضمن باید ۲۵ تا ۷۵ میلیمتر بتن روی باند اول هم ریخته شود. بتن اضافی ریخته شده روی باند اول به روی باند دوم هل داده می‌شود به نحوی که هیچ بتن اضافی روی بتن سخت شده باند اول نماند. سپس غلتک باید در حالت استاتیک بتن قدیم و حدود ۳۰ سانتیمتر از بتن جدید را با دو یا دفعات بیشتر عبور متراکم نماید (شکل ۶-۳). در ساخت روسازی‌های عریض مانند اتوبانها، می‌توان از چند دستگاه روسازی [۱] با حرکت پله‌ای [۲] استفاده کرد. بدین‌ترتیب تعداد درزهای سرد طولی نیز به حداقل می‌رسد[۴].




**شکل ٦-۳ نحوه اجرای درزهای سرد در روسازی بتن‌غلتکی**

### ٦-٦-٣- درزهای انقباضی[1]

در ابتدا بتن‌های غلتکی روسازی عمدتاً بدون درز انقباضی اجرا می‌شدند و اجازه ترک‌خوردگی به صورت طبیعی به بتن داده می‌شد تا در هزینه‌ها صرفه‌جویی شود.در نهایت مشخص شد که این امر موجب ایجاد ترکهای بزرگ می‌شود که شکستگی لبه‌های این ترکها هزینه‌های اضافی نگهداری و مرمت را به پروژه تحمیل می‌کند. لذا امروزه درزهای انقباضی در روسازی‌های بتن غلتکی نیز بریده می‌شوند. بریدن بتن توسط اره بتن با تیغه حدود ۳ میلیمترصورت می‌گیرد. عمق برش باید حداقل یک‌چهارم ضخامت روسازی بتنی باشد.

بریدن درزها باید زمانی انجام شود که بتن به مقادیر کافی مقاومت رسیده باشد تا ایجاد برش بدون لب‌پریدگی ویا بیرون‌پریدگی سنگدانه‌ها انجام شود. این زمان توسط مراجع مختلف از ۴ تا ۲۰ ساعت و از چند ساعت تا ۴۸ ساعت ذکر شده است[۸و۳].

فواصل درزهای بریده شده نباید بیشتر از ۱۲متر در نظر گرفته شود، مگر آنکه اطلاعات لازم جهت توجیه فواصل بیشتر موجود باشد. درزهای بریده شده باید توسط مواد پرکننده پر شوند تا از ورود مواد جامد که می‌توانند جلو حرکت و عملکرد درز را بگیرند، جلوگیری گردد. همچنین مواد پرکننده درز از ورود رطوبت به لایه‌های زیرین جلوگیری می‌کند تا رطوبت باعث آب شکستگی مواد ریز در لایه اساس و کاهش باربری زیر لبه‌های روسازی نشود.

درزهای بریده شده باید توسط مواد درزگیر مناسب طبق مشخصات فنی پروژه پر شوند. ابتدا داخل درزها باید تمیز شده و مواد خارجی احتمالی داخل آنها نظیر خرده‌سنگ‌ها و غیره خارج شوند. انتخاب مواد درزگیر می‌تواند بر اساس توصیه‌های منابعی مانند IACI 504 [۲] صورت گیرد. نئوپرین، سیلیکون و پلی‌سولفید مثالهایی از مواد درزگیر هستند.

## ٦-٧- عمل‌آوری و مراقبت از سطح

از آنجا که بتن غلتکی مقدار آب نسبتاً کمی دارد لذا در اغلب پروژه‌ها پس از بتن‌ریزی عمل‌آوری مرطوب صورت می‌گیرد. عمل‌آوری مرطوب باعث پیشرفت روند کسب مقاومت طرح و جلوگیری از پوسته‌ای شدن سطح بتن سخت شده می‌شود. حداقل مدت عمل‌آوری عموماً ۷ روز است. در روز نخست لازم است توسط یک تانکر مجهز به اسپری آب‌پاشی، سطح بتن مرطوب نگه داشته شود. در ادامه مدت عمل‌آوری نیز می‌توان از سیستم‌های نصب شدهٔ آب‌پاشی، گونی خیس و یا تانکرهای آب‌پاشی استفاده کرد. با توجه به شرایط آب و هوایی گاهی ممکن است تانکرهای مجهز به آب‌پاشی توان کافی برای مرطوب نگه داشتن سطوح را نداشته باشند.

در کانادا و اروپا استفاده از امولسیون قیری جهت عمل‌آوری بتن غلتکی روسازی کاربرد موفقی داشته است، البته استفاده از این روش عموماً در مواردی است که در آینده سطح روسازی با یک لایه نازک آسفالت پوشانده خواهد شد. عبور کلیه وسایل نقلیه به جز تانکرهای آب پاش تا قبل از ۱۴ روز از سطح بتن‌ریزی شده مجاز نیست. در اروپا به روسازیهای بتن غلتکی که جهت جلوگیری از سایش سطح از یک لایه آسفالتی روی آنها استفاده شده است، بعد از ۲۴ ساعت اجازه عبور ترافیک داده می‌شود. استفاده از لایه آسفالتی بر روی سطح بتن، پایداری بتن غلتکی روسازی را در برابر سایش ایجاد شده در اثر ترافیک، افزایش می‌دهد اما تأثیر بارگذاری در سنین پایین بر دوام و خستگی این نوع بتن هنوز مشخص نشده است. ساخت بتن غلتکی در محیط با رطوبت زیاد و یا

1- paver
2- Contraction Joints

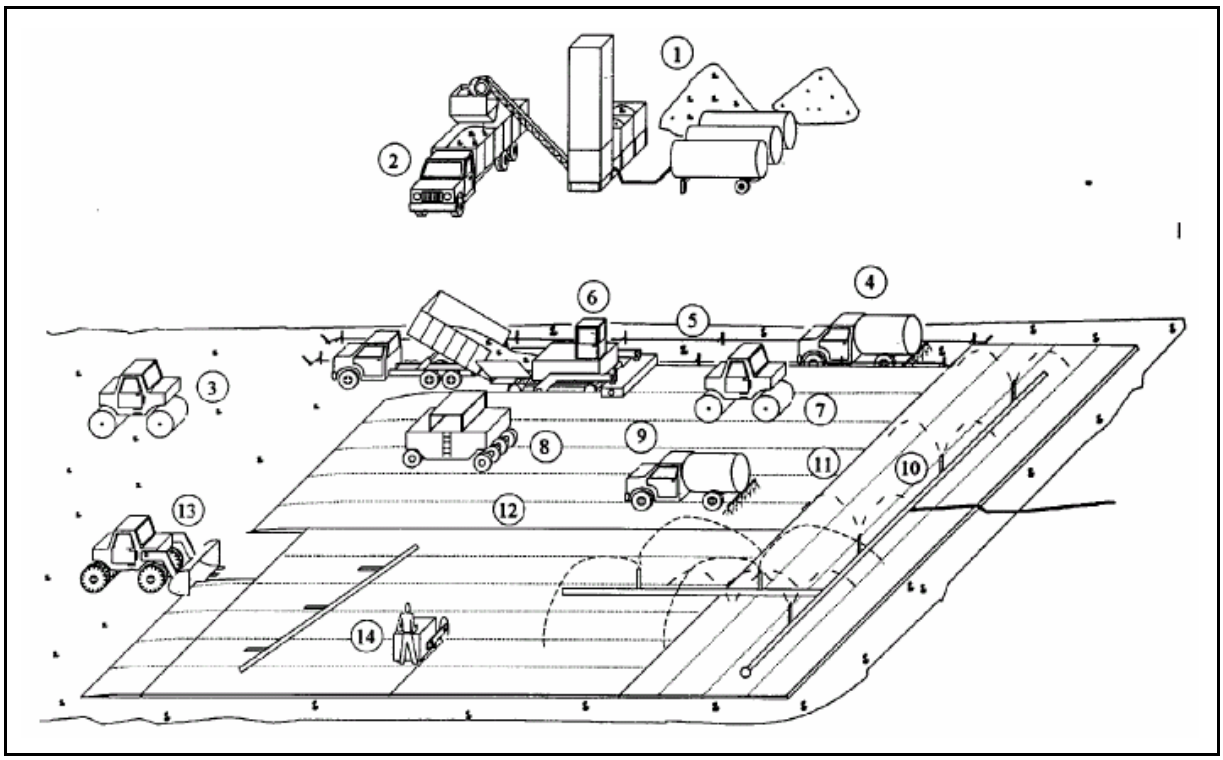
در فضای مه‌آلود تأثیر اندکی بر بافت نهایی سطح می‌گذارد. بارش باران در زمان تراکم بتن باعث افزایش نسبت آب به سیمان و یا فرسایش در سطح بتن و جدا شدن سنگدانه‌ها می‌شود. در شرایط محیطی خیلی گرم (بیشتر از۳۰درجه سانتیگراد) و یا خیلی سرد (کمتر از ۴/۴درجه سانتیگراد) مراقبتهای مشابه روشهای ذکر شده برای روسازی بتنی معمولی پیشنهاد می‌گردد. در شرایط محیطی گرم و خشک و یا در شرایط وزش باد زیاد، مرطوب نگه داشتن سطح در دوره عمل‌آوری از اهمیت مضاعفی برخوردار است.

مخلوطهای بتن غلتکی با مقدار سیمان کمتر (نسبت آب به سیمان بالا) در صورتیکه به موقع عمل‌آوری نشوند بیشتر تحت تأثیر کاهش مقاومت فشاری قرار می‌گیرند. عمل‌آوری بتن غلتکی در صورتیکه به موقع و به اندازه کافی صورت نگیرد علاوه بر کاهش مقاومت، خرابی سطح را نیز در پی خواهد داشت. چنین سطحی در معرض شرایط محیطی و یا حرکت وسایل نقلیه دچار فرسایش می‌شود. عمل‌آوری در روزهای نخست ساخت روسازی بتن غلتکی بیشتر حائز اهمیت است در تحقیق آزمایشگاهی نانی[1] کاهش مقاومت ۵۰ درصدی بین نمونه‌های عمل‌آوری شده در ۲۸ روز و نمونه‌های بدون عمل‌آوری مشاهده شده است. همچنین برای نمونه‌هایی‌که تنها روز اول پس از ساخت نمونه‌ها، عمل‌آوری شده بودند کاهش مقاومت درحدود ۲۵ درصد بوده است [۷].

برای عمل‌آوری مرطوب، در ۲۴ ساعت نخست، بهتر است عمل‌آوری با ایجاد قطرات ریز آب بصورت مه انجام پذیرد، چرا که سطح بتن هنوز گیرش کافی پیدا نکرده و ممکن است اسپری آب بر روی آن باعث شسته شدن سنگدانه‌ها در سطح شود[۱]. برخی محققین عمل‌آوری مرطوب و آب‌دهی سطح بتن غلتکی روسازی را بدلیل آنکه ممکن است آب به لایه‌های اساس و زیراساس نیز نفوذ کرده و باعث تضعیف آن شود پیشنهاد نمی‌کنند و برای پیشگیری از این مشکل استفاده از مواد عمل‌آوری[2] را توصیه می‌کنند.اسپری کردن مواد عمل‌آوری روی سطح باید در دو لایه عمود بر هم انجام شود. مقدار استفاده از مواد عمل‌آوری در روسازی بتن غلتکی با توجه به نوع بافت سطحی آن، در مقایسه با روسازی بتن معمولی کمی بیشتر است [۶].

در خصوص تأثیر روش عمل آوری بر خواص بتن‌های غلتکی روسازی، تحقیق آزمایشگاهی انجام شده در داخل کشور نشانگر کاهش ۵۰ درصدی مقاومت در صورت عدم اعمال عمل‌آوری مرطوب و نگهداری نمونه‌ها در شرایط رطوبت نسبی ۴۰ درصدی است [۱۰]. در تحقیق فوق‌الذکر کاربرد مواد ترکیبی عمل آوری غشایی به تنهایی و بدون عمل‌آوری مرطوب اولیه تأثیر نسبتاً کمی در بهبود وضعیت دارند و مشاهدات کاهش ۳۵ درصدی در مقاومت نسبت به وضعیت عمل‌آوری مرطوب را نشان می‌دهد. شایان توجه است که برخی مدارک فنی معتبر نیز کاربرد ترکیبات غشایی عمل‌آوری را به عنوان تنها روش عمل‌آوری مجاز ندانسته و کاربرد این روش را تنها پس از اعمال عمل‌آوری مرطوب حداقل به مدت ۲۴ ساعت قابل قبول می‌دانند[۱۰و۳]. در شکل ۶-۴ نحوه اجرای مناسب بتن غلتکی روسازی راه به صورت شماتیک نشان داده شده است.

1- Nanni
2- Curing Compound




**شکل ٦-٤ نحوه اجرای مناسب روسازی بتن‌غلتکی**

## مراجع

1-Abrams, M. Jacksha, L., "An Airport Apron and County Road", Concrete International, February 1987

2-American Concrete Institute,"Guide for Joint Sealants for Concrete Structures", ACI 504R, 1996

3-American Concrete Institute,"Roller Compacted Concrete Pavements", ACI 325.10R, 1999

4-Hutchinson, R.L., Ragan, S.A., Pittman, D.W. "Heavy-Duty Pavements", Concrete International, February 1987

5-Kagata, M., Kodama, T., Watanabe, N., "Retarder Application to Longitudinal Roller Compacted Concrete Pavement Joints", 9th International Symposium on Concrete Road, 1998, Portugal

6-Malisch, W.R., "Roller Compacted Concrete Pavements", Concrete Construction, January 1988

7-Nanni, A., "Curing of Roller Compacted Concrete: Strength Development", Journal of Transportation Engineering, vol. 114, No.6, November, 1988

8-U.S.A.C.E, "Roller Compacted Concrete Pavement Design and Construction , United States Army Corps of Engineers, Technical Letter No. ETL 110-3-475, Oct 1995.

10-U.S.Army, T.M 5-822-7 "Standard Practice for Concrete Pavements" Appendix D: Roller Compacted Concrete Pavements, Aug 1987

۱۰- باقری علیرضا، فخری منصور، « دستورالعمل طراحی و اجرای بتن غلتکی در روسازی راههای کشور»، گزارش پروژه تحقیقاتی، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، کارفرما: مرکز تحقیقات و آموزش وزارت راه و ترابری، ۱۳۸۴

# فصل هفتم

## بررسی معیارهای بارگذاری و
## روش‌های طراحی روسازی‌های بتن غلتکی

# فصل هفتم

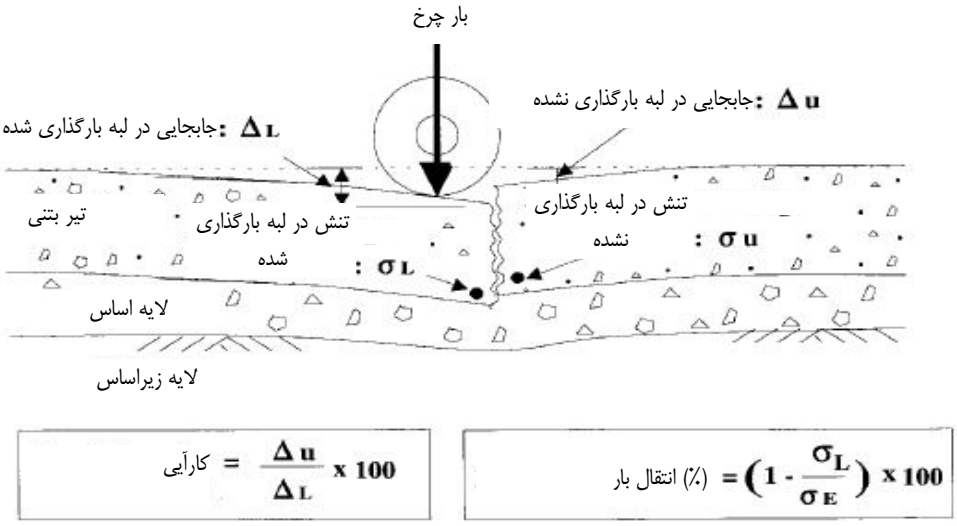
# بررسی معیارهای بارگذاری و روش‌های طراحی روسازی‌های بتن غلتکی

## ۷-۱- مقدمه

همانطور که در فصل ۲ تشریح شد روسازی بتن غلتکی نوع خاصی از روسازی بتنی است که از میان انواع مختلف روسازی بتنی می‌توان آن را در گروه روسازیهای بتنی ساده (غیرمسلح) درزدار[1] (JPCP) در نظر گرفت. لذا روشهای طراحی روسازی بتن غلتکی به صورت کلی مشابه روسازیهای بتنی ساده درزدار و به صورت بدون داول آن است. البته تفاوتهای قابل توجهی بین RCCP و روسازی بتنی معمولی (JPCP )بدون داول وجود دارد که عمدتاً مربوط به فواصل درزها و عملکرد آنها از نظر انتقال بار است. با توجه به تأثیر مهم عوامل اخیرالذکر در طراحی روسازی قبل از ارائه روشهای طراحی روسازی بتن غلتکی، درزها و عملکرد آنها در روسازهای بتنی غلتکی تشریح می‌گردد.

## ۷-۲- درزهای انقباضی و تأثیر آنها در انتقال بار در روسازیهای بتن غلتکی

درزهای انقباضی در روسازیهای بتن معمولی به دلیل تأثیر عواملی نظیر انقباض ناشی از جمع‌شدگی خشک‌شدگی در بتن و یا تغییر شکلهای حرارتی ایجاد می‌گردند. تنشهای خمشی در روسازیهای بتنی در نزدیکی لبه‌های آزاد روسازی بیشتر شده و لذا می‌تواند منجر به طراحی ضخامتهای بیشتر گردد. جهت کنترل این امر در روسازیهای بتنی معمولی سعی می‌شود توسط مکانیزمهایی میزان انتقال بار توسط درز افزایش داده شود تا تنشهای خمشی فوق‌الذکر کاهش یابند. انتقال بار عبارت است از مقدار باری (به درصد) که به دال بتنی بارگذاری نشده در اثر بار وارد به دال مجاور وارد می‌شود. انتقال تنش به دال بارگذاری نشده از طریق عملکرد برشی در وجه مشترک قائم بین درزهای دو دال انجام می‌گیرد (شکل ۷-۱).




**شکل ۷-۱ مکانیسم انتقال بار و کارآیی از قفل و بست بین دانه‌ای[۳]**

1- Jointed Plain Concrete Pavement

در روسازیهای بتنی معمولی انتقال بار از بین درز در بسیاری موارد از طریق کاربرد داولها و یا برش‌گیرها[1] صورت می‌گیرد. در صورت عدم استفاده از داولها یا برش گیرها انتقال بار از درز از طریق قفل و بست بین سنگدانه‌ها صورت می‌گیرد. بدیهی است با افزایش عرض درز (یا ترک) میزان قفل و بست بین سنگدانه‌ها و در نتیجه میزان انتقال بار توسط درز کاهش می‌یابد. لذا فاصله حداکثر بین درزهای انقباض داول‌دار یا دارای برش‌گیر برای روسازیهای بتن معمولی از ۴/۶ متر تا ۹ متر در نظر گرفته می‌شود و لیکن اگر انتقال بار در این نوع روسازیها تنها از طریق قفل و بست دانه‌ای باشد حداکثر فاصله ۴/۶ متر توصیه شده است [۵].

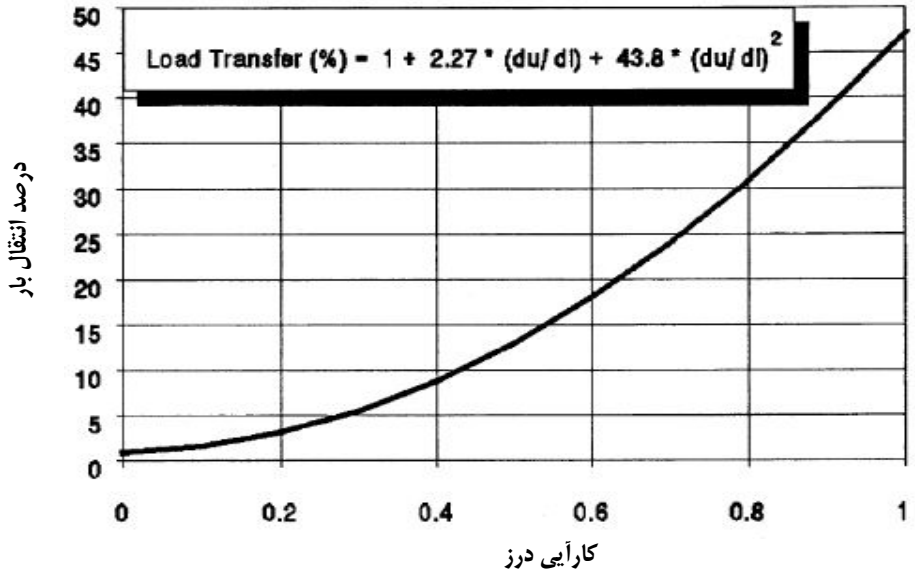
در روسازیهای بتن غلتکی چون امکان تعبیه و یا اجرای داولها و برش‌گیرها میسر نیست لذا تنها مکانیزمی که برای انتقال بار بین درز یا ترک انقباضی وجود دارد قفل و بست بین سنگدانه‌ای است. البته باید در نظر داشت که بدلیل مشکلات اجرایی و ملاحظات اقتصادی معمولاً در روسازیهای بتن غلتکی درزهای انقباضی ایجاد نمی‌گردند و یا اینکه فواصل بین آنها طوری در نظر گرفته می‌شود که اجازه داده می‌شود ترکها به صورتی تصادفی ایجاد گردند. بررسی پروژه‌های مختلف روسازی بتن غلتکی اجرا شده نشان داده است که فواصل بین ترکهای تصادفی عمدتاً از ۱۰ تا ۲۵ و بعضاً تا ۷۵ الی ۱۰۰ متر نیز مشاهده شده است. لذا با فواصل نسبتاً طولانی فوق بدیهی است عرض این ترکها بیشتر از درزهای بریده شده با فواصل کوتاه‌تر است و لذا انتقال بار کمتری را از ترکهای تصادفی روسازیهای بتن غلتکی نسبت به درزهای با فواصل محدود روسازیهای بتنی معمولی می‌توان انتظار داشت.

بررسی انجام شده توسط پیت‌من[2] نشان داده است که مقدار انتقال بار در ترکهای تصادفی روسازیهای بتنی غلتکی از ۴ تا ۳۲ درصد متغیر بوده است. دلیل اختلاف قابل توجه مقادیر اخیرالذکر این است که عرض ترک بسته به فصل سال، تابش آفتاب، فواصل ترکها و دیگر عوامل، متغیر بوده و لذا میزان انتقال بار نیز متغیر است. روشهای طراحی روسازیهای بتنی غلتکی عموماً به صورت محافظه‌کارانه میزان انتقال بار را در درزها، صفر در نظر می‌گیرند[۶].

در خصوص میزان انتقال بار از بین درزها در روسازیها شایان ذکر است که اندازه گیری مستقیم انتقال بار به دلیل دشوار بودن تعیین مقدار تنش و کرنش در سطوح معوج کار دشواری است . اما انتقال بار را از طریق اندازه گرفتن خیز دال در طرفین درز دال بارگذاری شده می‌توان تخمین زد. نسبت خیز در دال بارگذاری نشده به خیز دال بارگذاری شده را کارآیی درز می‌نامند. رابطه بین کارآیی درز و انتقال بار که توسط تحلیل به روش اجزاء محدود حاصل شده در شکل ۷-۲ ارائه شده است.

ملاحظه می‌شود که وقتی کارآیی از ۰ تا ۱۰۰ درصد تغییر می‌کند، انتقال بار از ۰ درصد تا ۵۰ درصد تغییر می‌کند و نصف بار یا تنش توسط لبه مجاور تحمل می‌شود.

1- Shear Keys
2- Pitman




**شکل ۷-۲ رابطه بین کار آیی درز و انتقال بار(روش انجمن مهندسین ارتش آمریکا)**

## ۷-۳- روشهای طراحی روسازی‌های بتنی غلتکی

عموماً طراحی روسازی RCC بر اساس محدود کردن تنش‌های خمشی و خرابی ناشی از خستگی در اثر بار انجام می‌گیرد. معمولاً بار چرخها در لبه روسازی، تنش‌های بزرگتری در مقایسه با حالتی که بار در داخل و دور از لبه روسازی قرار می‌گیرد، ایجاد می‌کند. دو روش مهم برای طراحی روسازی RCC در حال حاضر وجود دارد. یکی روش PCA و دیگری روش گروه مهندسین ارتش آمریکا است.

### ۷-۳-۱- روش PCA

روش طراحی روسازی PCA بیشتر برای روسازی‌های صنعتی مورد استفاده قرار می‌گیرد ولی از آن به جهت مقاصد دیگر نیز می‌توان بهره جست. برای استفاده از روش PCA داشتن اطلاعات زیر لازم است:

داشتن مقاومت بستر یا زیر اساس و اساس

مشخصات وسایل نقلیه شامل:

بار چرخ ها

فاصله چرخ ها

مشخصات تایر

تعداد تکرار بار در دوره عمر روسازی

مقاومت خمشی RCC

مدول الاستسیته RCC

این روش از محاسبات تنش داخلی وسترگارد (ناشی از بار چرخ) برای پیدا کردن تنش‌های بحرانی استفاده می‌کند, لذا از هر گونه انتقال بار در ترکهای طبیعی و یا درزهای اجرایی صرف نظر می‌کند. روش PCA هیچ پیشنهادی درباره فواصل درزهای انقباضی ندارد.

### ۷-۳-۱-۱- مقاومت

به خاطر مقدار کم آب مصرفی RCC معمولاً مقاومت مشابه یا بالاتری نسبت به بتن‌های متداول دارد. بسته به مقدار سیمان مصرفی، مقاومت فشاری ۲۸ روزه می‌تواند در محدوده ۳۵۰۰ تا ۵۰۰۰ پوند بر اینچ مربع (۲۴ تا ۳۵ مگاپاسکال) و مقاومت خمشی در محدوده ۵۰۰ تا ۷۰۰ پوند بر اینچ مربع (۳/۵ تا ۴/۸ مگاپاسکال) تغییر کند.

نتایج بدست آمده از مغزه ها و تیرهای بریده شده نشان می‌دهد که رابطه بین مقاومت خمشی و مقاومت فشاری ۲۸ روزه را می‌توان به صورت زیر بیان کرد:

$$f_r = C\sqrt{f_c'}$$

که در آن

$f_r =$ مقاومت خمشی برحسب پوند بر اینچ مربع[1] ، اندازه گیری شده به وسیله تیر با بارگذاری ۴ نقطه ای

$f_c' =$ مقاومت فشاری بر حسب پوند بر اینچ مربع

$C =$ ثابت عددی که بسته به طرح مخلوط RCC مقداری حدود ۹/۴ تا ۱۰/۸دارد.

توصیه می‌شود که از مقاومت خمشی۹۰ روزه استفاده شود که معمولاً حدود ۱۰درصد بیشتر از مقاومت ۲۸ روزه است.

### ۷-۳-۱-۲- مدول الاستیسیته

آزمایشهای انجام شده نشان می‌دهد که ارتباط بین مقاومت فشاری با مدول الاستیسیته را می‌توان به صورت زیر فرض کرد:

$$E = C\sqrt{f_c'}$$

که مقدار C بسته به مخلوط RCC، از ۵۹۰۰۰ تا ۶۷۰۰۰ تغییر می‌کند.

### ۷-۳-۱-۳- مقادیر طراحی

مقادیر ضرائب C که در بالا اشاره شد از تعداد محدودی آزمایش بدست آمده است. در عمل برای طراحی از روابط زیر استفاده می‌شود:

$$f_r = 9\sqrt{f_c'} \qquad \text{و} \qquad E = 57000\sqrt{f_c'}$$

در این روابط پارامترها برحسب پوند بر اینچ مربع می‌باشند.

---

۱- هر پوند بر اینچ مربع برابر ۰/۰۰۶۹ مگاپاسکال است

جدول۷-۱ مقادیر مقاومت خمشی و مدول الاستیسیته را بر حسب مقاومت فشاری نشان می دهد:

**جدول ۷-۱ رابطه بین مقاومت فشاری با مدول الاستیسیته و مقاومت خمشی**

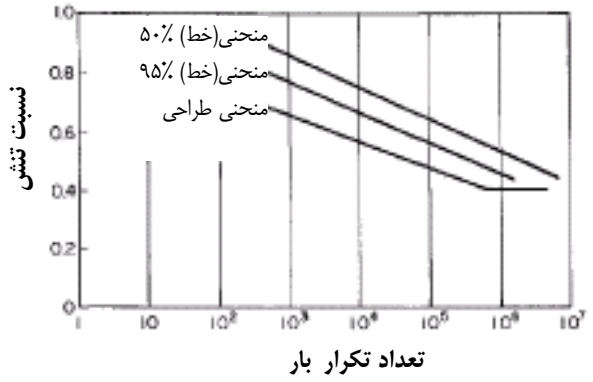
| مدول الاستیسیته Psi(Mpa) | مقاومت خمشی Psi(Mpa) | مقاومت فشاری Psi(Mpa) |
|---|---|---|
| ۳۱۰۰۰۰۰(۲۱۴۰۰) | ۴۵۰(۳/۱) | ۳۰۰۰(۲۰/۷) |
| ۳۴۰۰۰۰۰(۲۳۵۰۰) | ۵۳۰(۳/۷) | ۳۵۰۰(۲۴/۱) |
| ۳۶۰۰۰۰۰(۲۴۸۰۰) | ۵۷۰(۳/۹) | ۴۰۰۰(۲۷/۶) |
| ۳۸۰۰۰۰۰(۲۶۲۰۰) | ۶۰۰(۴/۱) | ۴۵۰۰(۳۱/۰) |
| ۴۰۰۰۰۰۰(۲۷۶۰۰) | ۶۴۰(۴/۴) | ۵۰۰۰(۳۴/۵) |

### ۷-۳-۱-٤- رفتار خستگی

خستگی هنگامی اتفاق می‌افتد که در اثر تکرار بار تنش وارده بیشتر از مقاومت گسیختگی مصالح باشد. با توجه به اینکه تنش بحرانی در RCC تنش خمشی است، لذا از خستگی ناشی از تنش خمشی برای طراحی ضخامت RCC استفاده می‌کنیم. در این حالت برای آنالیز عمر خستگی, از اصطلاحی به نام نسبت تنش استفاده می‌شود. نسبت تنش عبارت است از نسبت تنش بار طراحی به مقاومت خمشی بتن RCC مورد استفاده در روسازی. به عنوان نمونه اگر بار چرخ ها باعث ایجاد تنش خمشی ۲/۷۶ مگاپاسکال (۴۰۰ psi) شود و مقاومت خمشی RCC نیز ۴/۴۸ مگاپاسکال (۶۵۰ پوند بر اینچ مربع) باشد، خواهیم داشت :

نسبت تنش = (۲/۷۶÷۴/۴۸) =۰/۶۲

نتایج آزمایشهای خستگی نشان داده است که رفتار RCC در مقابل خستگی مشابه بتن های معمولی است. شکل ۷-۳ نتایج آزمایشات خستگی بدست آمده از نمونه های بریده شده را نشان می دهد. خط ۵۰٪ بهترین خط گذرنده است و خط ۹۵٪ خطی است که ۹۵ ٪ داده‌ها را تحت پوشش قرار داده است و خط پایینی منحنی طراحی محافظه کارانه‌ای برای RCC است که درجه اطمینان آن برابر مقداری است که در روسازی‌های بتنی معمولی استفاده می‌شود. داده‌های این منحنی طراحی در جدول شماره ۷-۲ آمده است که در هنگام طراحی می‌توان از آن بهره جست.




**شکل ۷-۳ رابطه بین نسبت تنش و تعداد تکرار بار تا نقطه گسیختگی**

جدول۷-۲ نسبت تنش و تکرار بار

| تعداد مجاز تکرار بار | نسبت تنش | تعداد مجاز تکرار بار | نسبت تنش |
|---|---|---|---|
| ۹۷۰۰ | ۰/۵۶ | ۴۶۵۰۰۰ | ۰/۴۱ |
| ۷۵۰۰ | ۰/۵۷ | ۳۶۰۰۰۰ | ۰/۴۲ |
| ۵۸۰۰ | ۰/۵۸ | ۲۸۰۰۰۰ | ۰/۴۳ |
| ۴۵۰۰ | ۰/۵۹ | ۲۱۰۰۰۰ | ۰/۴۴ |
| ۳۵۰۰ | ۰/۶۰ | ۱۶۵۰۰۰ | ۰/۴۵ |
| ۲۷۰۰ | ۰/۶۱ | ۱۳۰۰۰۰ | ۰/۴۶ |
| ۲۱۰۰ | ۰/۶۲ | ۱۰۰۰۰۰ | ۰/۴۷ |
| ۱۶۰۰ | ۰/۶۳ | ۷۶۰۰۰ | ۰/۴۸ |
| ۱۲۰۰ | ۰/۶۴ | ۵۹۰۰۰ | ۰/۴۹ |
| ۹۵۰ | ۰/۶۵ | ۴۶۰۰۰ | ۰/۵۰ |
| ۷۴۰ | ۰/۶۶ | ۳۵۰۰۰ | ۰/۵۱ |
| ۵۷۰ | ۰/۶۷ | ۲۷۰۰۰ | ۰/۵۲ |
| ۴۴۰ | ۰/۶۸ | ۲۱۰۰۰ | ۰/۵۳ |
| ۳۴۰ | ۰/۶۹ | ۱۶۰۰۰ | ۰/۵۴ |
| ۲۶۰ | ۰/۷۰ | ۱۲۰۰۰ | ۰/۵۵ |

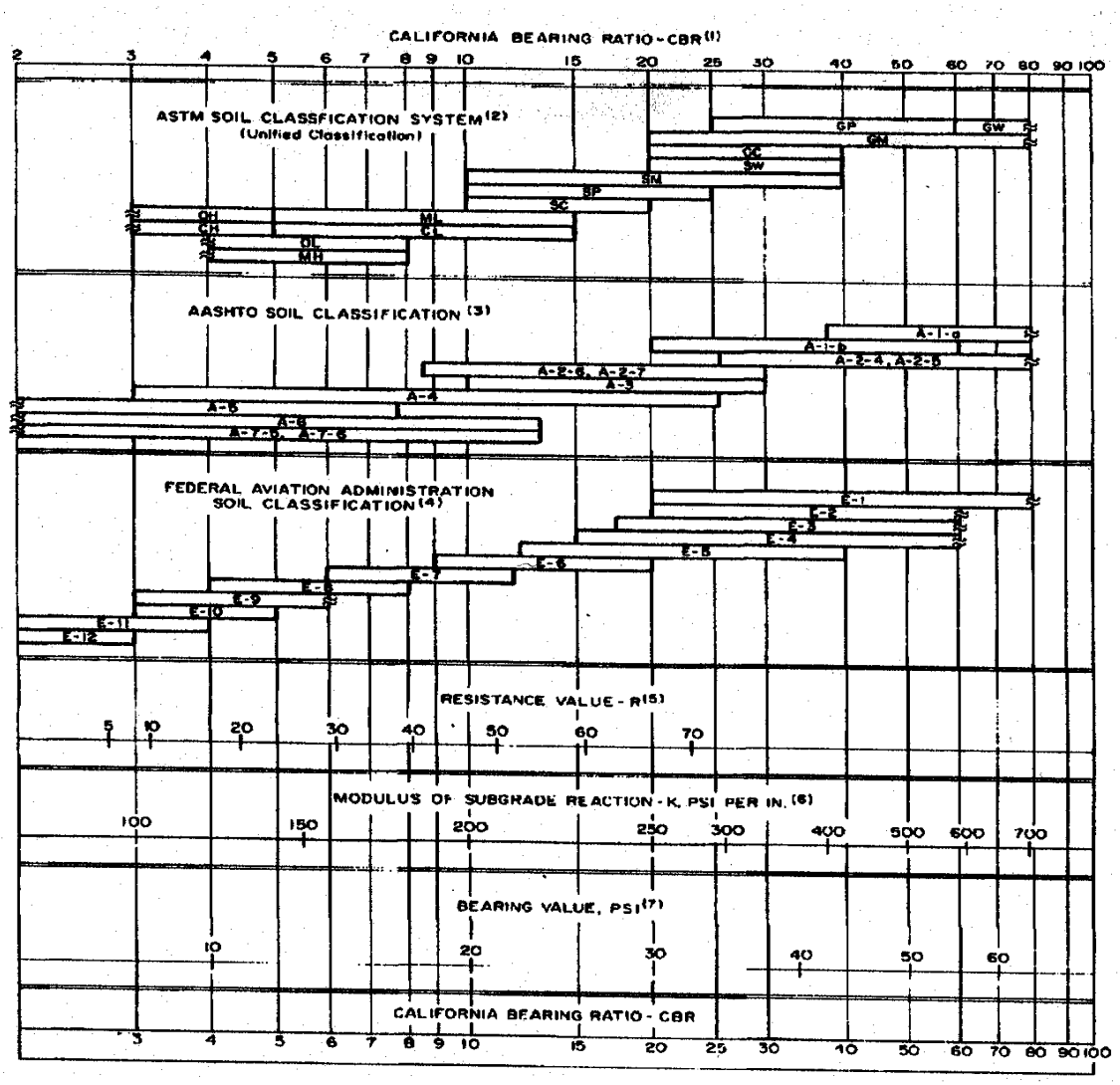
### ۷-۳-۱-۵- اصول طراحی

مقاومت خمشی و مقاومت در برابر خستگی از جمله مهمترین پارامترهای موثر بر ضخامت طراحی محسوب می‌گردند. مقادیر تنش‌ها و خستگی بستگی به محل قرار گرفتن بار چرخ دارد، به طوری که هرچه به لبه نزدیک می‌شویم این مقادیر افزایش می‌یابد. برای طراحی روسازی راه، برخلاف روسازی‌های صنعتی، حرکت بار در نزدیکی لبه، حالت بحرانی ایجاد می‌کند. به طوری که در حالاتی که احتمال قرارگرفتن بار در لبه‌های روسازی زیاد است، ضخامت لبه ها باید ۲۰ درصد اضافه شود. روسازی های RCC با ضخامت بیشتر از ۲۵ سانتیمتر تا۳۰ سانتیمتر باید در چند لایه ریخته شوند. باید توجه گردد که سطح لایه زیرین تا ریختن لایه رویی تمیز و مرطوب نگهداشته شود و تأخیر زمانی ریختن لایه رویی زیاد نباشد، درغیر اینصورت سطح لایه زیرین باید با دوغاب ماسه سیمان اندود شود تا از چسبندگی بین دو لایه اطمینان حاصل گردد.

قابلیت تحمل بار بستر و زیراساس توسط مدول عکس‌العمل بستر (k) بیان می‌شود. مقدار k توسط آزمایش صفحه که زیر بار غیر تکراری قرار می‌گیرد، تعیین می‌شود و برابر است با بار بر حسب پوند بر اینچ مربع ( $lb/in^2$ ) وارد برصفحه به قطر ۳۰ اینچ تقسیم

بر خیز حادث شده بر حسب اینچ، برای بار مربوطه یا کل بار بر حسب پوند تقسیم برکل تغییر شکل حجمی بـر حسـب ایـنچ مکعـب. مقدار k بر حسب پوند بر اینچ مکعب (pci) بیان می‌شود.

در صورتی که زمان و تجهیزات برای انجام آزمایش صفحه در دسترس نیست، از شکل ۷-۴ می‌توان استفاده کرد. در حـالتی کـه از زیر اساس استفاده شود، زیراساس باعث افزایش در مقدار k می‌شود، مقدار این افزایش را به طور تقریبـی از جـدول ۷-۳ مـی‌تـوان بدست آورد.




**شکل ۷-٤ رابطه بین مقدار CBRبستر و مقدار k بستر**

**جدول ۷-۳ اثر ضخامت زیر اساس در افزایش مدول عکس العمل[۲]**

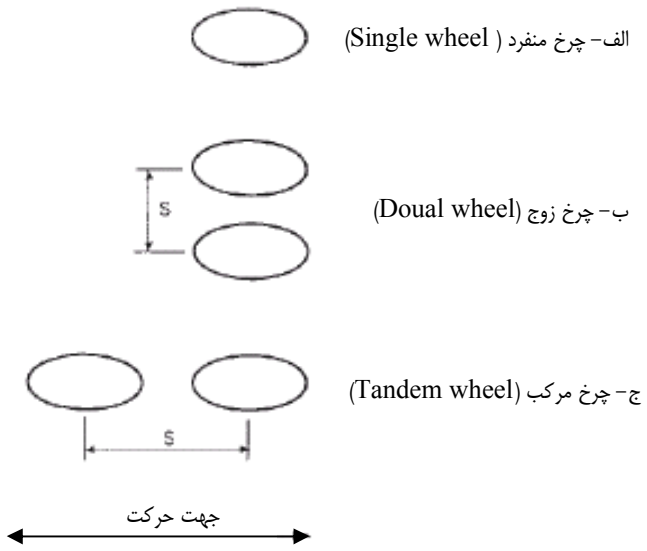
| مدول عکس العمل بستر (Mpa)psi | مدول عکس العمل بستر افزایش یافته با توجه به ضخامت زیر اساس | | | |
|---|---|---|---|---|
| | ٤in(۱۰۰mm) | ٦in(۱۵۱mm) | ۹in(۳۳۰mm) | ۱۲in(۳۰۵mm) |
| **۵۰(۰/۳۵)** | ۶۵(۰/۴۵) | ۷۵(۰/۵۲) | ۸۵(۰/۵۹) | ۱۱۰(۰/۷۶) |
| **۱۰۰(۰/۷)** | ۱۳۰(۰/۹۰) | ۱۴۰(۰/۹۷) | ۱۶۰(۱/۱۰) | ۱۹۰(۱/۳۱) |
| **۲۰۰(۱/٤)** | ۲۲۰(۱/۵۱) | ۲۳۰(۱/۵۸) | ۲۷۰(۱/۸۶) | ۳۲۰(۲/۲۱) |
| **۳۰۰(۲/۱)** | ۳۲۰(۲/۲۱) | ۳۳۰(۲/۲۸) | ۳۷۰(۲/۵۵) | ۴۳۰(۲/۹۶) |

### ۷-۳-۱-٦- بار وسایل نقلیه

تخمین ترافیک عبوری، فاکتور مهمی در طراحی روسازی است. اطلاعات ترافیکی لازم شامل بزرگی بار چرخ، آرایش چرخها و فرکانس وارده از طرف سنگین‌ترین وسیله نقلیه عبوری از روسازی است. در صورت امکان از لیست کاملی از انواع وسایل نقلیه عبوری باید استفاده شود. معمولاً وسیله نقلیه دارای سنگین‌ترین بار نقش کنترلی در طراحی دارد، در عین حال باید سایر وسایل عبوری و تکرار عبور آنها در طراحی مد نظر قرار گیرد.

ماکزیمم بار چرخ عبارتست از نصف بار سنگین‌ترین محور سنگین‌ترین وسیله نقلیه، که این اطلاعات معمولاً توسط کارخانجات سازنده وسایل نقلیه ارائه می‌شود.

مساحت بار تماسی که در گراف‌ها استفاده می‌شود عبارتست از مساحت تماسی هر تایری که ماکزیمم بار را تحمل می‌کند، که آنرا از تقسیم بار چرخ بر فشار باد چرخ می‌توان تخمین زد.




**شکل ۷-۵ نحوه قرارگیری چرخها**

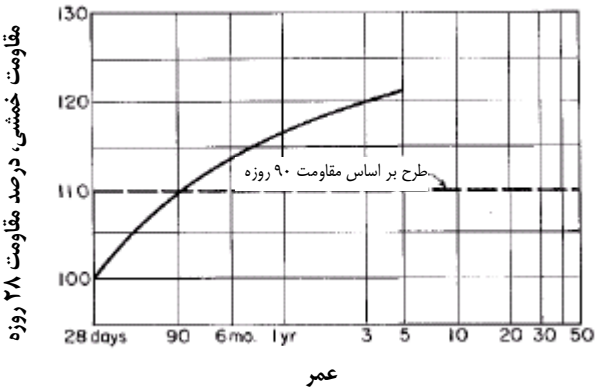
مساحت تماسی که در برخی مواقع استفاده می‌شود، مساحت ناخالص کل ناشی از تماس رویه تایر در نظر گرفته می‌شود.فاصله بین چرخ های وسیله نقلیه نیز عامل مهمی در طرح است. اگر فاصله چرخ ها کمتر از ۳ برابر شعاع سختی نسبی باشد، لازم خواهد بود که تأثیر بیش از یک بار چرخ درمحاسبات تنش در نظر گرفته شود. با وجود این، آرایش چرخ‌ها در اغلب وسایل نقلیه سنگین در ترمینال ها و انبارها، به صورت محور منفرد ( یک چرخ در هر طرف محور)، یا محور منفرد دارای دوچرخ (دو چرخ در هرطرف محور، که در این حالت که دو چرخ کاملاً نزدیک بهم قرار دارند، تأثیر ترکیبی آنها بایستی در تنش لحاظ شود)،است.

بار وارده توسط محور منفرد با چرخ زوج نسبت به حالتی که همان بار توسط یک محور منفرد با چرخ تکی وارد می‌شود،تنش کمتری ایجاد می‌کند. به همین دلیل، منحنی‌های جداگانه‌ای برای محور منفرد تک چرخ و منفرد زوج چرخ در نظرگرفته شده است. برای بعضی وسایل نقلیه باری دارای محور دوگانه، گراف حالت محور منفرد با چرخ زوج با کمی تصحیح، که بدان اشاره خواهد شد، مورد استفاده قرار می گیرد.

### ۷-۳-۱-۷- مقاومت خمشی طراحی

مقاومت خمشی ۹۰ روزه که در طراحی روسازی فرودگاه‌ها و نواحی صنعتی، استفاده می‌شود برای روسازی RCC نیز توصیه می‌شود.

مقاومت ۹۰ روزه از آن جهت پیشنهاد می‌شود که تکرار بار در ماه‌های اول بارگذاری در مقایسه با کل تکرار باری که روسازی در دوره عمر خود تحمل خواهد کرد، مقدار قابل توجهی نیست. مقاومت RCCمانند بتن معمولی به مرور زمان افزایش می‌یابد، بطوری که مقاومت آن در درازمدت به مقاومت ۹۰ روزه رسیده و افزایش نیز می‌یابد. (شکل ۷-۶).




**شکل ۷-٦ نمودار افزایش مقاومت بتن با افزایش سن**

### ۷-۳-۱-۸- تنش مجاز روسازی

ضخامت انتخاب شده برای طراحی باید طوری باشد که تنش ایجاد شده در روسازی کمتر از تنش مجاز روسازی شود. تنش مجاز روسازی به تعداد تکرار بار وارده بر روسازی در دوره عمر روسازی بستگی دارد. با داشتن تعداد تکرار بار در دوره عمر روسازی نسبت تنش مجاز (SR) را از جدول ذکر شده می توان بدست آورد. سپس تنش مجاز را از رابطه زیر می‌توان محاسبه کرد:

مقاومت خمشی ۹۰ روزه × نسبت تنش = تنش مجاز

### ۷-۳-۱-۹- گرافهای تعیین ضخامت

در شکل‌های ۷-۷ و ۷-۸، به ترتیب یکی برای محاسبه تنش ناشی از بارگذاری محور منفرد تک چرخ و دیگری برای محاسبه تنش ناشی از بارگذاری محور منفرد دوچرخ و محور دوگانه ارائه شده است. برای آرایش های پیچیده بارگذاری، از برنامه های کامپیوتری می توان استفاده کرد.

برای استفاده از گراف طراحی محور دوگانه نیاز به داشتن مقدار سختی نسبی،( l ) است که از رابطه زیر بدست می آید:

$$l = \left[ \frac{Eh^3}{12(1-\mu^2)k} \right]^{0.25}$$

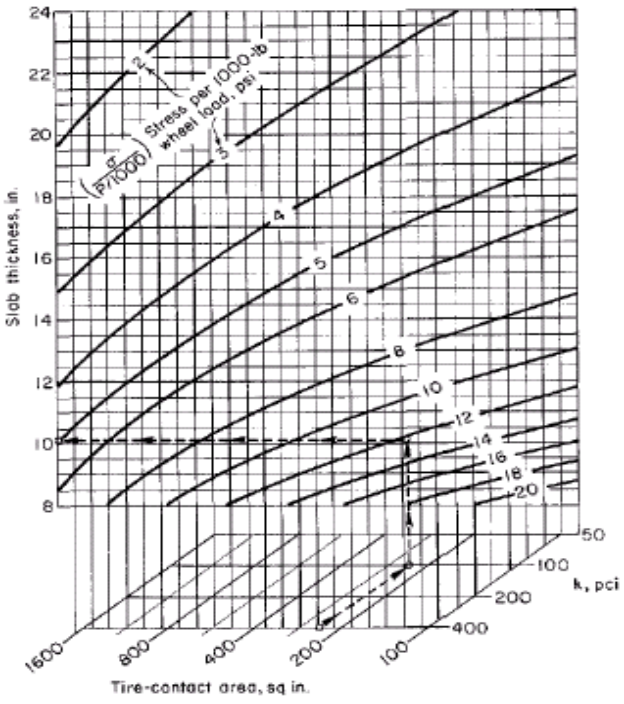
که در آن،

E : مدول الاستیسیته بر حسب پوند بر اینچ مربع ( psi )

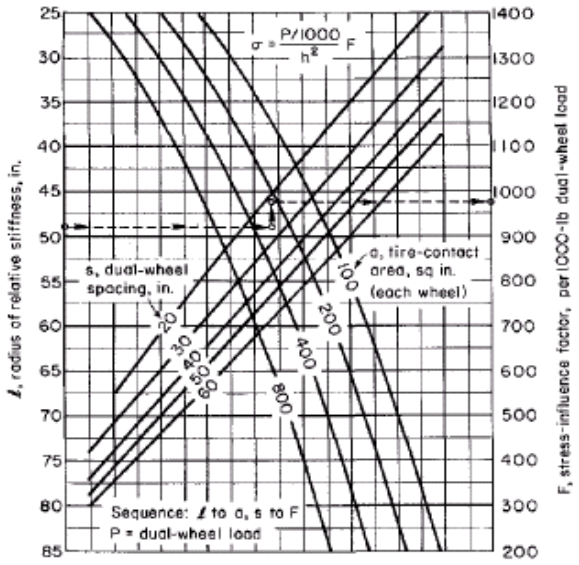
h : ضخامت روسازی بر حسب اینچ

$\mu$: ضریب پواسن، که معمولاً ۰/۱۵ فرض می‌شود.

k : مدول عکس‌العمل بستر بر حسب پوند بر اینچ مکعب (pci)




**شکل ۷-۷ گراف طراحی برای محور منفرد تک چرخ[۲ ]**




**شکل۷-۸ گراف طراحی برای محور منفرد زوج چرخ و محور دوگانه[۲]**

### ۷-۳-۱-۱۰- مثال طراحی برای محور منفرد

محاسبه ضخامت دال RCC با در دست داشتن اطلاعات زیر مد نظر است:

نوع وسیله نقلیه: استرادل کریر دارای ۴ چرخ حداکثر بار چرخ منفرد و برابر ۲۶۰۰۰ پوند(P =۲۶۰۰۰lb )

فشار تایر برابر ۱۰۰ پوند بر اینچ مربع (۱۰۰psi)

مساحت تماسی تایر برابر ۲۶۰ اینچ مربع ($۲۶۰in^2$)

مقاومت خمشی RCC برابر ۷۰۰ پوند بر اینچ مربع (۷۰۰psi)

مدول عکس‌العمل بستر برابر ۱۰۰۰ پوند بر اینچ مکعب (۱۰۰۰pci) و دوره عمر طراحی برابر ۲۰ سال و ترافیک روزانه برابر ۲۰

حل:

ترافیک کل در طول ۲۰ سال = ۲۰×۳۶۵× ۲۰ = ۱۴۶۰۰۰

از جدول مربوطه، ۰/۴۵ = SR بدست می‌آید. پس تنش مجاز برابر است با:

$\sigma = f_r \times SR =$ ۷۰۰ × ۰/۴۵ = ۳۱۵ psi

تنش مجاز در ۱۰۰۰ پوند = $\sigma$ /(p/ ۱۰۰۰ ) =۳۱۵/۲۶ = ۱۲/۱ Psi/kip

با توجه به گراف محور منفرد، ضخامت دال ۱۰/۱ اینچ بدست می آید.

### ۷-۳-۱-۱۱- مثال طراحی برای محور دوگانه

محاسبه ضخامت دال RCC با در دست داشتن اطلاعات زیر مد نظر است:

بار توسط جرثقیلی با ۶ چرخ (۲ چرخ فرمان) با مشخصات زیر وارد می‌شود:

ماکزیمم بار وارده از طرف ۴ چرخ حرکتی، ۶۵۰۰۰ پوند در هر محور دوگانه است.

فاصله چرخها از یکدیگر برابر ۲۱ اینچ (مرکز به مرکز)

فشار تایر برابر ۱۱۰پوند بر اینچ مربع

پس، مساحت تماس برابر است با :

۶۵۰۰۰/(۲×۱۱۰)= برای هر تایر : ۲۹۵ اینچ مربع

مقاومت خمشیRcc:۷۰۰ پوند بر اینچ مربع

مدول عکس‌العمل بستر : ۲۰۰ پوند بر اینچ مربع

تعداد بار ترافیکی روزانه : ۴۰ وسیله در روز

تعداد بار وارده در دوره طرح ۲۰ سال =۴۰×۲۰×۳۶۵=۲۹۲۰۰۰

از جدول ۷-۲ : SR=۰/۴۳

تنش مجاز : $\sigma = f_s \times SR$=۷۰۰×۰/۴۳= ۳۰۱ پوند بر اینچ مربع

۱. گام اول، انتخاب یک ضخامت فرضی اولیه است که آنرا in ۱۵ در نظر می‌گیریم

۲. با توجه به ضخامت ۱۵اینچ ، k=۲۰۰ ، l=۴۹ بدست می‌آید.

۳. با توجه به مقدار شعاع سختی نسبی، و از منحنی مربوطه، مقدار فاکتور F , ۹۸۰ بدست می‌آید.

۴. محاسبه تنش ناشی از بار وارده:

$$\sigma = \frac{\text{بار چرخ دوگانه}}{۱۰۰۰} \times \frac{۱}{\text{ضخامت دال}^{۲}} \times F = (۶۵۰۰۰ \div ۱۰۰۰) \times (۱ \div ۱۵^{۲}) \times ۹۸۰ = \text{۲۸۳ پوند بر اینچ مربع}$$

۵. این روند را برای سایر ضخامتهای انتخابی، انجام می‌دهیم:

| ضخامت فرضی (اینچ) | سختی نسبی (I) | F | تنش (پوند بر اینچ‌مربع) |
|---|---|---|---|
| ۱۵ | ۴۹ | ۹۸۰ | ۲۸۳ |
| ۱۴ | ۴۶/۵ | ۹۵۵ | ۳۱۷ |
| ۱۴/۵ | ۴۷/۸ | ۹۶۵ | ۲۹۸ |

۶. با توجه به جدول بالا و اینکه تنش مجاز ما، ۳۰۱ پوند بر اینچ مربع است، ضخامت ۱۴/۵اینچ که دارای تنش کمتری از تنش مجاز است، انتخاب می‌شود.

### ۷-۳-۱-۱۲- مراحل طراحی برای حالت ترافیک ترکیبی

در صورتی که ترافیک ترکیبی از وسایل نقلیه متفاوت باشد، لازم است که خرابی خستگی تجمعی ناشی از ترافیک محاسبه شود. بدین منظور از مراحل گام به گام زیر می‌توان استفاده کرد:

گام۱: اتنخاب مقداری اولیه برای ضخامت دال.

گام۲: محاسبه تنش( $\sigma$ ) با استفاده از گرافهای طراحی برای هر نوع وسیله نقلیه موجود در ترکیب ترافیکی.

گام۳: محاسبه نسبت تنش، (SR ) برای هر نوع وسیله نقلیه موجود در ترکیب ترافیکی.

گام۴: تعیین تعداد مجاز تکرار بار، ( $N_{a1}$ ) برای هر نوع وسیله نقلیه موجود در ترکیب ترافیکی با استفاده از جدول۷-۲.

گام۵: تعیین سهم خستگی، برای هر نوع وسیله نقلیه موجود در ترکیب ترافیکی به صورت زیر:

$$F_n = \frac{N_{e,n}}{N_{a,n}} \times ۱۰۰$$

که درآن،

$F_n$ : سهم خستگی ناشی از بار چرخ n، به درصد

$N_{e,n}$ : تعداد تکرار بار مورد انتظار ناشی از بار چرخ n، در دوره طرح

$N_{a,n}$ : تعداد مجاز تکرار بار n( بدست آمده در گام ۴)

گام ۶: اضافه کردن خستگی به تمام بارها

در صورتی که خستگی، بیشتر از ٪۱۰۰ یا کمتر از ٪ ۱۰۰ باشد بسته به مورد، گام های ۲ تا ۶ را با ضخامت بزرگتر یا کوچکتر تکرار می‌شود. ضخامت طراحی یکی از حالاتی است که خستگی کل برابر ٪۱۰۰ یا کمتر است.

### ۷-۳-۱-۱۳- تصحیحات لازم برای حالت محور دوگانه

گراف چرخ دوگانه را با تصحیحاتی در مقادیر تنش، با همان شرایط، برای محور سه‌گانه می‌توان استفاده کرد. آنالیز کامپیوتری نشان می‌دهد که از ضرائب تصحیح جدول ۷-۴، که بر مبنای سطح تماس تایر به عنوان یک فاکتور مؤثرتنظیم شده است، می‌توان استفاده کرد. برای محور دوگانه، تعداد تکرار بار دو برابر منظور نمی‌شود، یک عبور مجموعه دوگانه (۲ چرخ)، یک تکرار محسوب می‌شود.

**جدول ۷-٤ ضریب تصحیح برای محور دوگانه[۲]**

| ضریب تنش | سطح تماس (اینچ مربع) |
|---|---|
| ۱/۰۶۷ | ۱۰۰ |
| ۱/۰۶۹ | ۲۰۰ |
| ۱/۰۷۳ | ۴۰۰ |
| ۱/۰۸۰ | ۸۰۰ |
| ۱/۰۸۷ | ۱۲۰۰ |

### ۷-۳-۱-۱٤- تأثیر مدول الاستیسیته

در محاسبات تنش، مدول الاستیسیته کمترین تأثیر را دارد. در گراف‌های طراحی مدول الاستیسیته، ۴۰۰۰۰۰۰ پوند بر اینچ‌مربع در نظر گرفته شده است، که برای یک روسازی RCC که دارای خواص سازه ای مشابه روسازی PCC است،مقداری مناسب است. در صورتی که مقدار E کمتر یا بیشتر از ۴۰۰۰۰۰۰ پوند بر اینچ‌مربع باشد، تصحیحاتی مطابق جدول ۷-۵ باید صورت گیرد. در صورتی که مقدار آن توسط آزمایش (ASTM C469) تعیین نشود، مقدار E را می توان از روابط و جدولی استفاده کرد که در بخش طراحی به آن اشاره شده است.

**جدول ۷-۵ ضرائب تصحیح E برای حالاتی که مقدار آن برابر ٤۰۰۰۰۰۰ پوند بر اینچ‌مربع نیست[۲]**

| برای محور دوگانه | برای محور منفرد | مقدار E (پوند بر اینچ‌مربع) |
|---|---|---|
| ۱/۰۴۶ | ۱/۰۳۸ | ۳۰۰۰۰۰۰ |
| ۰/۹۶۸ | ۰/۹۷۲ | ۵۰۰۰۰۰۰ |

## ۷-۳-۲- روش گروه مهندسین ارتش آمریکا [٤] برای روسازیهای بتن غلتکی

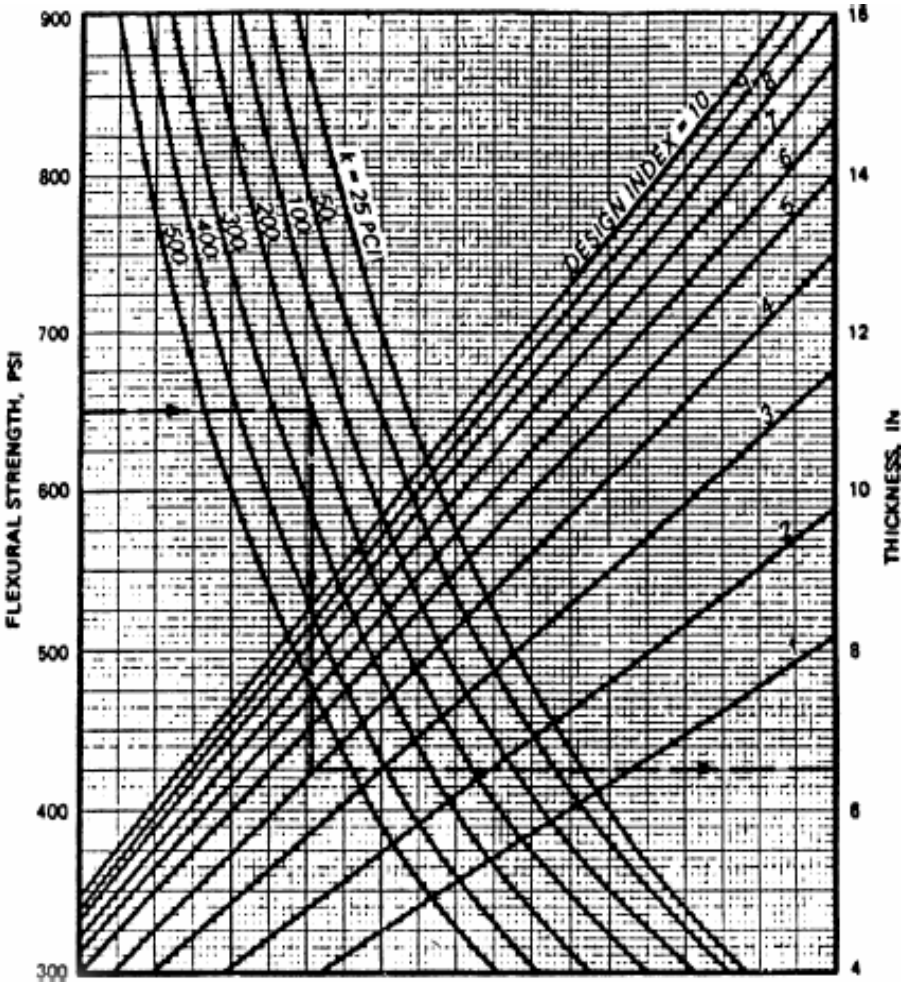
دراین روش به طور محافظه‌کارانه‌ای و با در نظر گرفتن عدم انتقال بار در درزها از نمودارها و ضوابط طراحی بتن معمولی استفاده می‌شود. تنش‌های کششی طراحی با استفاده از معادلات تنش وسترگارد برای لبه آزاد محاسبه می‌شود. در این روش حداقل ضخامت روسازی RCC , ۴ اینچ و حداکثر آن برای امکان تراکم پذیری ۱۰ اینچ است. برای روسازی‌های ضخیم‌تر از ۱۰ اینچ سه حالت در نظر گرفته می‌شود:

تمام چسبنده[1]: هنگامی که دو لایه به فاصله زمانی کمتر از ۱ ساعت از هم ریخته و متراکم شوند و یا یک لایه نازک دوغاب بین دو لایه اجرا گردد. در این حالت کل ضخامت بصورت یک دال یکپارچه و از نمودار و معادلات مربوطه طرح می‌شود.

چسبندگی جزیی[2] : هنگامی که دو لایه به فاصله زمانی بیشتر از ۱ ساعت از هم ریخته شوند در این حالت ضخامت به مانند حالت روکش صلب روی اساس صلب با چسبندگی طرح می‌شود.

بدون چسبندگی[3]: هنگامی که لایه‌ای بین دو لایه مانند امولوسیون قیر حائل شود در این حالت ضخامت به مانند حالت روکش صلب بدون چسبندگی طرح می‌شود.

برای طراحی به روش گروه مهندسین ارتش آمریکا، ابتدا گروه ترافیکی مشخص می‌شود و سپس برای تأثیر دادن تکرار بارها از جدول مربوطه، یک نشانه طراحی[4] انتخاب می‌شود، ضخامت لایه RCCP از نمودار زیر با توجه به نشانه طراحی و مقاومت خمشی RCC بدست می‌آید.




**شکل ۷-۹ گراف طراحی گروه مهندسین ارتش آمریکا [٤]**

1- Full Bond
2- Partial Bond
3- Non Bond
4-Index Design

**۷-۳-۲-۱- مراحل تفصیلی روش گروه مهندسین ارتش آمریکا [٤]**

**۷-۳-۲-۱-۱- مبنای طراحی**

**۷-۳-۲-۱-۱-۱- متغیرهای طراحی**

یکی از فاکتورهای اصلی و مؤثر در طراحی سازه‌ای روسازی، ظرفیت باربری لازم است، ضخامت روسازی باید ظرفیت باربری لازم را که تابعی از عوامل زیر است تأمین کند:

- بار چرخ یا بار محور وسیله نقلیه
- آرایش چرخ های وسیله نقلیه
- حجم ترافیک عبوری در دوره عمر روسازی
- مقاومت خاک
- مدول گسیختگی( مقاومت خمشی) بتن روسازی

**۷-۳-۲-۱-۱-۲- روسازی های صلب**

فرآیند ارائه شده برای طراحی روسازی، بر اساس معیار تنش کششی ایجاد شده در دال استوار است. مقایسه تئوری با مدلهای مطالعاتی و ترافیکی واقعی، نشان می‌دهد که ماکزیمم تنش کششی روسازی هنگامی اتفاق می‌افتد که چرخها در کنار لبه روسازی قرار گیرند. تنش‌های دیگری ناشی از انبساط و انقباض حرارتی روسازی و تنش‌های تابیدگی ناشی از رطوبت و درجه حرارت نیز در روسازی ایجاد می‌شوند[۴].

**۷-۳-۲-۱-۲- ترافیک**

**۷-۳-۲-۱-۲-۱- تأثیر ترافیک بر طراحی روسازی**

ضخامت روسازی، باید طوری باشد که در برابر ترافیک که بر حسب نوع و وزن وسایل نقلیه طبقه‌بندی می‌شوند و به صورت متوسط حجم روزانه[1] (ADT) برای هر یک از وسایل نقلیه عبوری در دوره عمر روسازی بیان می‌شود، مقاومت کند. برای اغلب روسازی‌ها، تأثیر بار محوری، بیشتر از تأثیر رشد وزن وسایل نقلیه تایر پنیوماتیکی است، چرا که فاصله محورها، عموماً به اندازه‌ای بزرگ است که اندرکنش چرخ‌های یک محور بر محور دیگر خیلی کوچک است. لذا، برای حالت وسایل نقلیه با فواصل مساوی محورها، افزایش مقدار تکرار بار ناشی از کامیونهای ۴ یا ۵ محوره در مقایسه با کامیونهای۲ یا ۳ محوره و نیز خستگی ناشی از افزایش مقدار تکرار بار برای هر وسیله نقلیه، بیشتر است. برای جرثقیل های چنگک‌دار که بارگذاری بیشتر روی یک محور متمرکز است و وسایل نقلیه چرخ زنجیری که بار بین زوج چرخ زنجیر تقسیم می‌شود، شدت بارگذاری تابعی از رشد وزن وسایل نقلیه و فرکانس بارگذاری است. ارتباط بین تکرار بار و ضخامت روسازی لازم، با توجه به آزمایشهایی که در این زمینه انجام شده است، نشان می‌دهد که برای هر نوع وسیله نقلیه‌ای، افزایش وزن ۱۰ درصدی، معادل افزایش حجم ترافیک ۳۰۰ تا ۴۰۰ درصدی است. بر این اساس، مقدار بار وسایل نقلیه فاکتور مهمتری نسبت به تعداد کل وسیله نقلیه طراحی در طراحی روسازی است[۴].

1- Annual Daily Traffic

### ۷-۳-۲-۱-۲-۲- ارزیابی ترافیک

فرآیند ارزیابی ترافیک و انتخاب اندیس طراحی شامل مراحل زیر است:

الف) وسایل نقلیه پنیوماتیکی

این نوع وسایل نقلیه به ۳ گروه تقسیم بندی می شوند:

گروه ۱) وسایل نقلیه مسافری(PC) [1]

گروه ۲) کامیون های ۲ محوره

گروه ۳) کامیون های ۳، ۴ و ۵ محوره

وزن طراحی از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

(متوسط وزن ـ وزن مجاز ماکزیمم) × ۰/۲۵ + متوسط وزن وسایل نقلیه تایر پنیوماتیکی= وزن طراحی

برای گروه‌های ۲و۳، ماکزیمم وزن مجاز برای ۱ محوره، ۱۸۰۰۰ پوند و برای ۲ محوره، ۳۲۰۰۰ پوند است.

ترافیک وسایل نقلیه تایر پنیوماتیکی، به ۵ گروه ترافیکی مرکب، تقسیم می شوند:

کلاس آ) ترافیک عبوری شامل گروه ۱ و گروه ۲ کمتر از ۱ درصد.

کلاس ب) ترافیک عبوری شامل گروه ۱ و گروه ۲ کمتر از ۱۰ درصد، بدون ترافیک گروه ۳

کلاس ج) ترافیک عبوری شامل بیش از ۱۵ درصدترافیک کامیون، ولی نه بیشتر از ۱ درصد کل ترافیک گروه ۳

کلاس د) ترافیک شامل کامیون بیش از ۲۵ درصد ولی نه بیشتر از۱۰درصد کل ترافیک گروه ۳

کلاس ه) ترافیک عبوری شامل بیش از ۲۵ درصد کامیون

ب) لیفت تراک ها و وسایل نقلیه تراکتوری

تراکتورهای با وزن کمتر از۱۵۰۰۰ پوند و لیفت‌تراک‌های با وزن کمتر از ۶۰۰۰ پوند، تأثیری به مانند کامیون‌های ۲ محوره دارند.

تراکتورهای با وزن بیش از۱۵۰۰۰ پوند و کمتر از۴۰۰۰۰ پوند و تراکتورهای با وزن بیش از۶۰۰۰ پوند و کمتر از ۱۰۰۰۰پوند، تأثیری مشابه وسایل نقلیه ترافیکی گروه ۳ دارند.

ترافیک ترکیبی شامل لیفت تراک های با وزن بیش از۱۰۰۰۰پوند و تراکتورهای با وزن بیش از ۴۰۰۰۰ پوند به سه گروه زیر تقسیم بندی می شوند:

**جدول ۷-٦ تقسیم‌بندی گروه ترافیکی ترکیب لیفت‌تراک و تراکتور**

| لیفت تراک ها (پوند) | وسایل نقلیه تراکتوری (پوند) | گروه ترافیکی |
|---|---|---|
| ۱۵۰۰۰ | ۶۰۰۰۰ | (و) |
| ۲۵۰۰۰ | ۹۰۰۰۰ | (ز) |
| – | ۱۲۰۰۰۰ | (ح) |

1- Panel trucks ،Pick up Trucks

پ) انتخاب اندیس طراحی

طرح روسازی برای راهها و ... بر مبنای اندیس طراحی است که تأثیر ترکیبی گروه‌های بار ترافیکی تعریف شده را بیان می‌کند. این اندیس با توجه به نیاز روسازی از ۱ تا ۱۰ تغییر می‌کند. جدول صفحه بعد، نشانه طراحی مناسب را برای ۸ گروه ترافیکی با توجه به توزیع ترافیک، نوع وسیله نقلیه در ۶ طبقه‌بندی نشان می‌دهد. به عنوان مثال، با فرض ترافیک روزانه ۲۰۰۰ از گروه ۱، که شامل ۱۰۰ کامیون ۲ محوره (گروه ۲) است و فرض منطقه مورد مطالعه،در شرایط هموار. ابتدا با توجه به نسبت کامیون به ترافیک گروه برابر ۵ درصد (۱۰۰/۲۰۰۰)، کلاس ترافیکی مربوطه، (ب) تعیین می‌شود، با توجه به نوع منطقه، کلاس D انتخاب می‌شود. سپس با توجه به جدول ۷-۷، اندیس طراحی، ۲ بدست می آید.

**جدول ۷-۷ تعیین اندیس طراحی**

| طبقه بندی ترافیکی | اندیس طراحی | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | A | B | C | D | E | F |
| آ | ۲ | ۲ | ۲ | ۱ | ۱ | ۱ |
| ب | ۳ | ۲ | ۲ | ۲ | ۲ | ۱ |
| ج | ۴ | ۴ | ۴ | ۳ | ۳ | ۲ |
| ذ | ۵ | ۵ | ۵ | ۴ | ۴ | ۳ |
| ه | ۶ | ۶ | ۶ | ۵ | ۵ | ۴ |
| و | ۷ | ۷ | ۷ | ۷ | ۷ | * |
| ۵۰۰ وسیله نقلیه در روز | ۶ | ۶ | ۶ | ۶ | ۶ | * |
| ۲۰۰ وسیله نقلیه در روز | ۶ | ۶ | ۶ | ۶ | ۶ | * |
| ۱۰۰وسیله نقلیه در روز | ۶ | ۶ | ۶ | ۶ | ۶ | ۶ |
| ٤۰ وسیله نقلیه در روز | ۶ | ۶ | ۶ | ۵ | ۵ | ۵ |
| ۱۰ وسیله نقلیه در روز | ۵ | ۵ | ۵ | ۵ | ۵ | ۵ |
| ٤ وسیله نقلیه در روز | ۵ | ۵ | ۵ | ۵ | ۴ | ۴ |
| ۱ وسیله نقلیه در روز | ۵ | ۵ | ۵ | ۴ | ۴ | ۴ |
| ز | | | | | | |
| ۲۰۰ وسیله نقلیه در روز | ۶ | ۹ | ۹ | ۹ | ۹ | * |
| ۱۰۰ وسیله نقلیه در روز | ۸ | ۸ | ۸ | ۸ | ۸ | ۸ |
| ٤۰ وسیله نقلیه در روز | ۷ | ۷ | ۷ | ۷ | ۷ | ۷ |
| ۱۰ وسیله نقلیه در روز | ۶ | ۶ | ۶ | ۶ | ۶ | ۶ |
| ٤ وسیله نقلیه در روز | ۶ | ۶ | ۶ | ۶ | ۶ | ۶ |
| ۱ وسیله نقلیه در روز | ۵ | ۵ | ۵ | ۵ | ۵ | ۵ |
| ۱وسیله نقلیه در هفته | ۵ | ۵ | ۵ | ۵ | ۵ | ۵ |
| ح | | | | | | |
| ۱۰۰وسیلهنقلیه درهفته | ۱۰ | ۱۰ | ۱۰ | ۱۰ | ۱۰ | ۱۰ |
| ٤۰وسیله نقلیه در هفته | ۹ | ۹ | ۹ | ۹ | ۹ | ۹ |
| ۱۰وسیله نقلیه در هفته | ۸ | ۸ | ۸ | ۸ | ۸ | ۸ |
| ٤وسیله نقلیه در هفته | ۷ | ۷ | ۷ | ۷ | ۷ | ۷ |
| ۱وسیله نقلیه در هفته | ۶ | ۶ | ۶ | ۶ | ۶ | ۶ |
| ۱وسیله نقلیه در هفته | ۵ | ۵ | ۵ | ۵ | ۵ | ۵ |

### ۷-۳-۲-۲- طراحی چند لایه بر روی هم[1]

حداکثر ضخامت لایه به طوری که در حد قابل قبولی متراکم شود و صافی و تراکم کافی برای حصول دانسیته یکسان را داشته باشد، ۲۵ سانتیمتر(۱۰ اینچ) است. لذا در صورتی که ضخامت طراحی RCC بیشتر از۲۵ سانتیمتر(۱۰ اینچ) است. دو لایه یا بیشتر برای رسیدن به ضخامت طراحی، لازم خواهد بود. در صورت امکان، لایه فوقانی، باید کمترین ضخامت راه، یعنی چیزی در حدود یک سوم ضخامت کل و نه کمتر از۱۰سانتیمتر(۴ اینچ) را داشته باشد، تا یک سطح صاف و پرداخت‌پذیر بدست آید. نوع چسبندگی بین لایه ها تابعی از دوره ساخت، زمان و روش انتخابی برای طراحی ضخامت لایه ها است. سه نوع شرایط چسبندگی برای طراحی ضخامت RCCP در نظر گرفته می‌شود که عبارتند از : چسبندگی کامل[2]، چسبندگی نسبی[3] و بدون چسبندگی[4]

حال به توضیح مختصر هر کدام می پردازیم:

چسبندگی کامل : اگر لایه ها در فاصله زمانی ۱ ساعت از هم ریخته و متراکم شوند و یا اگر یک لایه نازک دوغاب بین دو لایه روی هم اجرا گردد، می‌توان حالت چسبندگی کامل فرض کرد. سطح پایین‌ترین لایه باید تمیز و مرطوب باشد سپس لایه بالایی ریخته شود و نباید با غلتک چرخ لاستیکی غلتک شود. در این حالت، طرح ضخامت، با فرض وجود یک دال یکپارچه، بدون در نظر گرفتن هیچ درزی بین لایه ها در محاسبات طراحی، انجام می‌گیرد.

چسبندگی نسبی : در حالتی که فاصله زمانی بین بتن‌ریزی و تراکم لایه ها بیش از ۱ ساعت شود، می‌توان حالت چسبندگی را نسبی فرض کرد. در این حالت سطح پایین ترین لایه باید قبل از ریختن لایه بعدی تمیز و مرطوب شود. طرح ضخامت در این حالت، به صورت یک روکش صلب، روی اساس صلب با چسبندگی انجام می‌گیرد.

بدون چسبندگی : در حالتی که بین لایه ها از موا د مانع چسبندگی مانند مواد نگهدارنده یا اسپری امولسیون آسفالتی بر روی سطح لایه پایینی استفاده شود، هیچ چسبندگی بین لایه‌ها وجود ندارد. طراحی ضخامت در این حالت مشابه طراحی روکش صلب، بر روی اساس صلب بدون چسبندگی است.

معادلا ت طراحی مورد استفاده برای سه حالت عبارتند از:

الف- حالت چسبندگی کامل

$$h_0 = h_d - h_g$$

ب- حالت چسبندگی نسبی

$$h_0 = \sqrt[1.4]{h_d^{1.4} - c(\frac{h_d}{h_0} * h_g)^{1.4}}$$

ج- حالت بدون چسبندگی

$$h_0 = \sqrt[2.0]{h_d^{2.0} - c(\frac{h_d}{h_0} * h_g)^{2.0}}$$

1 - Design Of Multilift Pavement
2 -Full Bond
3 - Partial Bond
4 - No Bond

که در این روابط:

$c$ : فاکتور وضعیت برای لایه اول

$h_0$ :ضخامت لایه دوم (لایه رویی)

$h_g$ : ضخامت لایه اول

$h_d$ : ضخامت کل با توجه به مقاومت خمشی لایه دوم

برای طراحی لایه رویی، مدول عکس‌العمل لایه اول و نشانه طراحی آن، لازم خواهد بود.

برای روسازی با شرایط خوب که بدون ترک سازه‌ای ناشی از بارگذاری و یا در حد کم است. $c$ برابر ۱ در نظر گرفته می‌شود.

برای روسازی دارای ترک سازه‌ای اولیه و نه پیشرفته $c$ برابر ۰/۷۵ در نظر گرفته می‌شود.

اگر لایه اول دارای ترک‌های پیشرفته ناشی از بارگذاری، گسیختگی ترک، شن زدگی و ... باشد $c$ برابر۰/۳۵در نظر گزفته می‌شود.

برای روسازی RCC با توجه به اینکه دولایه درفاصله زمانی کمی ازهم ریخته می‌شوند، شرایط را می‌توان خوب و $c$ را برابر ۱ فرض کرد.

لایه اساس ممکن است به جهت تأمین مقاصد ذیل استفاده شود:

- افزایش مقاومت سازه ای روسازی
- تأمین سطح یکنواخت بارپذیری برای روسازی
- محافظت از بستر در مقابل یخ زدگی
- زهکشی

مشخصات دانه بندی لایه اساس به قرار زیر است:

درصد عبوری از الک شماره ۱۰، کمتر از ٪۸۵

درصد عبوری از الک شماره ۲۰، کمتر از ۱۵٪ و PI≤۶

حداقل درجه تراکم لایه اساس ٪۹۵ درصد چگالی ماکزیمم است.

لایه بستر : برای بسترهای از نوع CH، OH، CL، MH، ML و OL، باید حداقل ضخامت اساس ۱۰ سانتیمتر باشد تا از پدیده پامپینگ۱ (جاری شدن خاک های رسی) جلوگیری کند.

مدول عکس‌العمل بستر، از جدول زیر می تواند انتخاب شود:

1 -Pumping

**جدول ۷-۸ مقادیر k بستر برای طراحی روسازی صلب**

| نوع مصالح | مقدار درصد رطوبت | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | ۱-٤ | ٥ -۸ | ۹-۱۲ | ۱۳-۱٦ | ۱۷-۲۰ | ۲۱-۲٤ | ۲٥-۲۸ | بالای ۲٥ |
| لای و رس (OH,CH,MH) LL≥٥٠ | | ۱۷٥ | ۱٥٠ | ۱۲٥ | ۱۰۰ | ۷٥ | ٥٠ | ۲٥ |
| لای و رس (OL,CL,ML) LL≤٥٠ | | ۲۰۰ | ۱۷٥ | ۱٥٠ | ۱۲٥ | ۱۲٥ | ۷٥ | ٥٠ |
| ماسه رسی و لای دار (SM,SC) | ۳۰۰ | ۲٥٠ | ۲٥ | ۲۰۰ | ۱٥٠ | ۱٥٠ | | |
| ماسه و ماسه شن دار (SW,SP) | ۳٥٠ | ۳۰۰ | ۲٥٠ | | | | | |
| شن رسی و لای دار (GM, GC) | ۴۰۰ | ۳٥٠ | ۳۰۰ | ۲٥٠ | | | | |
| شن و شن ماسه دار (GW,GP) | ٥۰۰ | ۴٥٠ | | | | | | |

توجه: مقادیر k در جدول برای مصالح دارای چگالی خشک ۹۰ تا ۹۵ درصد،ماکزیمم است و برای مصالح دارای چگالی خشک کمتر از ۹۵ درصد ماکزیمم، مقادیر باید ۵۰ پوند بر اینچ مربع کاهش داده شود، به غیر از مواردی که k مینیمم ۲۵ برای طراحی استفاده شود.

مقادیر ذکر شده در جدول ، در صورتی که چگالی بیشتر از ۹۵ در صد ماکزیمم باشد، مقدار کمی افزایش می‌یابد، به غیر از حالتی که k ماکزیمم برابر ۵۰۰ برای طراحی استفاده شود.

## ۷-۳-۳- روش‌های طراحی دیگر

روش های طراحی دیگری نیز بر طبق آیین‌نامه‌های کشورهایی نظیر فرانسه, اسپانیا مورد استفاده قرار گرفته است [۱].

آیین نامه فرانسه از جدولی مطابق جدول زیر استفاده می‌کند [۱] .

**جدول ۷-۱۰ مقاطع روسازی مطابق آیین نامه فرانسه برایRCC**

| طبقه‌بندی ترافیکی | T2 | | | T3 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| وسیله نقلیه تجاری در روز* | 150-300 | | | 50-150 | | |
| لایه روکش+RCC | ۲۲۰ | ۲۲۰ | ۲۲۰ | ۲۲۰ | ۲۲۰ | ۲۸۰** |
| RCC | ۱۸۰ | ۱٥۰ | ۱٥۰ | ۱۸۰ | ۱٥۰ | – |
| کلاس بستر | PF1 | PF2 | PF3 | PF1 | PF2 | PF3 |

* ترافیک سال شروع بهره برداری

* * ضخامت ها به میلیمتر می باشد.

آیین نامه اسپانیا از جدولی مطابق زیر استفاده می‌کند:

**جدول ۷-۹ مقاطع روسازی مطابق آیین نامه اسپانیا برای RCC [۱]**

| طبقه‌بندی ترافیکی | TO | T1 | T2 | | | T3 | | T4 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| وسیله نقلیه تجاری در روز * | >۲۰۰۰ | ۲۰۰۰-۸۰۰ | ۲۰۰-۸۰۰ | | | ۵۰-۲۰۰ | | <۵۰ | |
| ضخامت آسفالت | ۸۰** | ۸۰** | ۸۰** | ۸۰** | ۸۰** | *** | *** | *** | *** |
| RCC | ۲۲۰ | ۲۲۰ | ۲۲۰ | ۲۰۰ | ۲۰۰ | ۲۰۰ | ۲۰۰ | ۲۰۰ | ۲۰۰ |
| خاک تثبیت شده با سیمان | ۲۰۰ | ۲۰۰ | ۲۰۰ | ۲۰۰ | ۱۵۰ | ۱۵۰ | -- | -- | -- |
| اساس غیرچسبنده | -- | -- | ۲۰۰ | -- | -- | -- | -- | ۲۰۰ | -- |
| کلاس بستر | E2-E3 | E2-E3 | E1 | E2 | E3 | E1-E2 | E3 | E1-E2 | E3 |

* ترافیک سال شروع بهره برداری  کلاس بستر: E1: 5≤CBR<10

E2: 10≤C BR<20

E3 : CBR≥20

** ۱۰۰ میلیمتر در صورتی که بخواهیم از درز و ترکهای انعکاسی جلوگیری کنیم.

*** لایه رویی: روکش یا ۴۰ میلیمتر آسفالت

ضخامت ها به میلیمتر می باشد.

## مراجع

1-Piarc Technical Committee on Concrete Roads, "The Use of Roller Compacted Concrete for Roads", 1995.

2-Portland Cement Association, "Structural Design of Roller-Compacted Concrete for Pavements" Concrete Information IS233-012, Skokie (Illinois, 1987).

3-U.S. Army Corps of Engineers, Roller Compacted Concrete (RCC) Pavements for Airfields, Roads, Streets, and Parking lots". Corps of Engineers Guide Specification CEGS-02520, Vicksburg (Mississippi), January 1988.

4-USACE, TMS-822-S, "Pavement Design for Roads, Streets, Walks, and open Storage Areas, 1992.

5-Yang, H. Huang, "Pavement Analysis and Design, 1994".

6-American Concrete Institute,"Roller Compacted Concrete Pavements", ACI 325.10R, 1999

# فصل هشتم

## تحلیل امکان‌سنجی فنی اقتصادی ساخت روسازی بتنی RCC در ایران

## فصل هشتم

# تحلیل امکان‌سنجی فنی اقتصادی ساخت روسازی بتنی RCC در ایران

## ۸-۱- مقدمه

استفاده از رویه‌های بتنی در کشورهای دیگر متداول است، اما در کشور ما علیرغم وجود مصالح کافی، به دلیل ارزان بودن قیر، معرفی نشدن گزینه‌های مناسب جایگزین و در مواردی نبود دانش فنی- اجرایی و بعضی تجهیزات خاص، اجرا و ساخت این نوع رویه‌ها مورد توجه نبوده است. از بین این رویه‌های بتنی، روسازی RCC ، حائز شرائط بهینه‌ای نسبت به سایر روسازیهای بتنی است. لذا در این بخش ابتدا معیارهای ارزیابی روسازیها را ذکر کرده و سپس روشهای مختلف آیین‌نامه‌ای را معرفی کرده و در نهایت با ارائه طرح‌های مختلف برای شرائط بارگذاری مختلف، به آنالیز و مقایسه اقتصادی روسازیهای مختلف می‌پردازیم.

## ۸-۲- معیارهای ارزیابی

معیارهای ارزیابی عبارتند از :

- معیارهای فنی و اجرایی
- معیارهای اقتصادی

### ۸-۲-۱- معیارهای فنی و اجرایی

معیارهای فنی و اجرایی روسازی RCC در فصلهای سوم و پنجم و ششم و همچنین مزایا و معایب سایر روسازیهای بتنی و آسفالتی در بندهای ۲-۵-۱ و۲-۵-۲ مورد بررسی قرار گرفته است. در مورد مشکلات اجرایی و مزایا و معایب روسازیها، باید ذکر کرد که با توجه به اینکه تنها روسازی که در کشور استفاده شده است روسازی آسفالتی است، لذا برای مقایسه انواع روسازیها، بناچار از داده‌ها و اطلاعات و بررسی‌های انجام گرفته در خارج کشور استفاده شده است.

### ۸-۲-۲- معیارهای اقتصادی

یکی از عوامل مؤثر در ارزیابی پروژه‌های مهندسی، پارامترهای اقتصادی است. هزینه‌های روسازی را به صورت زیر می‌توان طبقه‌بندی کرد:

- هزینه ساخت و اجرا
- هزینه تعمیرات و نگهداری
- هزینه استفاده‌کنندگان (استهلاک وسیله نقلیه و تایرها، زمان صرف شده برای مسافرت، هزینه صرف شده در صورت وقوع تصادف به دلیل عملکرد ناقص رویه، هزینه مصرف سوخت و ...)

#### ۸-۲-۲-۱- هزینه ساخت

هزینه ساخت شامل هزینه برنامه‌ریزی، طراحی و اجرای روسازی است. برای این منظور در این نوشتار چند نمونه روسازی بتنی و آسفالتی و RCC با محورهای معادل مختلف (ترافیک سبک و سنگین) طراحی شده و هزینه ساخت آنها مورد محاسبه قرار می‌گیرد.جدول ۸-۱ هزینه مصالح برای ساخت روسازیهای مختلف را نشان می‌دهد:

**جدول ۸-۱ هزینه مصالح در روسازی** [٦]

| نوع مصالح | هزینه مصالح | هزینه تمام شده روسازی |
|---|---|---|
| سیمان پرتلند | ۱۸-۱۴(دلار بر یارد مکعب) | ۳۶-۲۸(دلار بر یارد مکعب) |
| آسفالت | ۱۰-۸(دلار بر تن) | ۱۵-۱۱(دلار بر تن) |
| سنگ شکسته | ۵-۳(دلار بر تن) | ۸-۵(دلار بر تن) |
| اساس دانه‌ای | ۴-۲(دلار بر تن) | ۶-۳ (دلار بر تن) |
| مصالح قرضه برای پر کردن | ۲-۱(دلار بر یارد مکعب) | ۳-۲(دلار بر یارد مکعب) |

ملاحظه می‌شود که هزینه مصالح، حدود دو سوم هزینه کل روسازی را تشکیل می‌دهد. لازم به ذکر است که هزینه‌های ذکرشده در جدول مربوط به سالهای گذشته بوده ولی نسبت هزینه‌ها که از جدول نتیجه‌گیری می‌گردد قابل قبول است.

### ۸-۲-۲-۲- هزینه نگهداری

برای جلوگیری از خرابیهای زودرس و تخریب سازه‌ای روسازی عملیات نگهداری انجام می‌گیرد که در ایران با توجه به اینکه هیچ برنامه مدیریتی سیستماتیک برای تعمیر و نگهداری راه تاکنون وجود نداشته و از طرف دیگر برآورد هزینه تعمیر و نگهداری انواع راهها (راههای شنی، اصلی و فرعی) با روسازیهای مختلف (آسفالتی، بتنی) نیازمند داشتن داده‌های متناوب سالیانه است که این داده‌ها نیز موجود نیست، لذا در مورد هزینه تعمیر و نگهداری روسازیها به برآوردها و بررسی‌های انجام شده در خارج از ایران استناد شده است. موارد نگهداری را می‌توان چنین برشمرد:

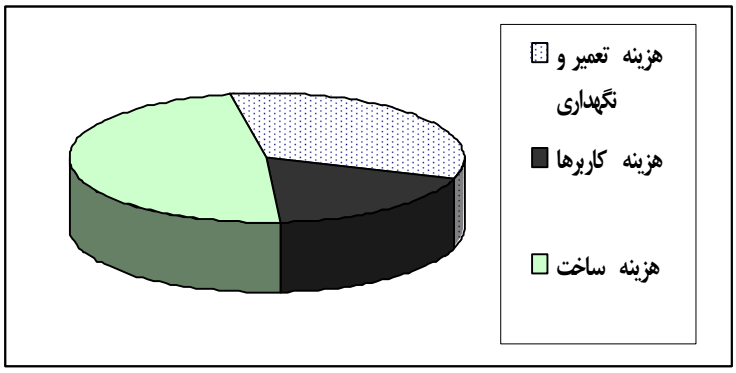
- بازدید از درزها و تمیز کردن آنها از هرگونه شیء خارجی
- تعمیرات ابنیه فنی
- بوته کنی
- پرکردن ترکهای طولی و عرضی با انجام لکه‌گیری و اجرای روکشی موضعی
- ترمیم شیارافتادگی[1] بوجود آمده در سطح راه
- ترمیم شن زدگی
- تأمین و ترمیم روشنایی در طول راه مخصوصاً در سر قوسهای با دید کم و منطقه‌های مه گیر
- تعویض و ترمیم علائم ترافیکی کنار و خط کشی روی روسازی
- افزایش و بازنگری اقدامات ایمنی در راه برای افزایش امنیت استفاده‌کنندگان در نقاط حادثه خیز مانند ترمیم یا اضافه کردن گاردریل، بلوکهای بتنی جداکننده مسیرهای ترافیکی یا ایجاد جزیره‌های ترافیکی و ...

1 -Rutting

چنانکه ملاحظه می‌شود، روشنایی راه‌ها از موارد تعمیر و نگهداری است. یکی از تفاوت‌های روسازی‌های بتنی با آسفالتی روشن‌تر بودن سطح این روسازی‌ها است که به خاطر بالاتر رفتن انعکاس‌پذیری سطح روسازی، چراغ کمتری برای روشنایی نیاز خواهند داشت که این امر موجب کاهش هزینه در این خصوص می‌گردد.

از موارد دیگر می‌توان به اجرای روکش موضعی اشاره کرد که به دلیل گود افتادگی لازم می‌شود و در روسازی‌های بتنی به خاطر صلبیت سطحی چنین پدیده‌ای اتفاق نمی افتد.

در شکل ۸-۱ نسبت هزینه‌های ساخت، تعمیر و نگهداری و هزینه کاربرها را برای یک روسازی بتنی در انگلستان نشان می‌دهد.



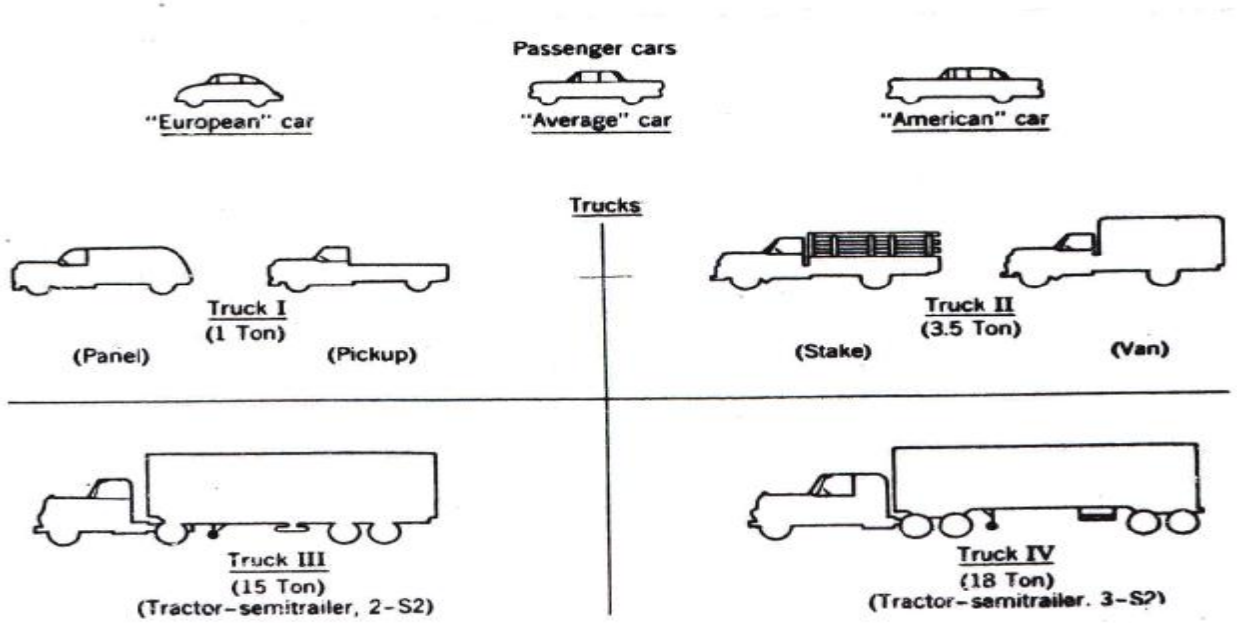

**شکل ۸-۱ نسبت هزینه در طی عمر روسازی بتنی[۳]**

چنانکه ملاحظه می‌شود، به ترتیب هزینه ساخت، هزینه تعمیر و نگهداری و هزینه کاربرها بیشترین هزینه راه را دارند. ملاحظه می‌شود که هزینه نگهداری روسازی بتنی تقریباً نصف هزینه ساخت آن است. در مثال‌های چندی که در کتاب روسازی یودر[1] برای تخمین هزینه نگهداری روسازی‌های آسفالتی بیان شده، هزینه تعمیر و نگهداری این نوع روسازی‌ها بیشتر و یا هم‌ارز هزینه ساخت برآورد شده است [۵].

1 -Yoder

### ۸-۲-۲-۳- هزینه استفاده کنندگان از راه

جداول۸-۲و۸-۳ هزینه استفاده‌کنندگان از راه را در آمریکا برای وسایل نقلیه مختلف (شکل۸-۲) و انواع روسازیها نشان می‌دهد.




**جدول۸-۲ هزینه وسایل نقلیه سبک [٦]**

| | سواری اروپایی | | | سواری معمولی | | | سواری آمریکایی | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | راه روسازی شده | شنی | راه خاکی | راه روسازی شده | شنی | راه خاکی | راه روسازی شده | شنی | راه خاکی |
| سرعت(کیلومتر بر ساعت) | ۸۸ | ۷۲ | ۶۴ | ۸۸ | ۷۲ | ۶۴ | ۸۸ | ۷۲ | ۶۴ |
| هزینه(دلار بر هزارکیلومتر) | ۱۹/۲۱ | ۲۴/۱۷ | ۳۰/۹۰ | ۲۵/۲۵ | ۳۱/۷۷ | ۴۰/۷۷ | ۳۹/۳۴ | ۳۹/۳۴ | ۵۰/۵۹ |
| سرعت(کیلومتر بر ساعت) | ۸۰ | ۶۴ | ۵۶ | ۸۰ | ۶۴ | ۵۶ | ۶۴ | ۶۴ | ۵۶ |
| هزینه(دلار بر هزارکیلومتر) | ۱۹/۸۴ | ۲۵/۴۹ | ۳۲/۵۹ | ۲۶/۱۰ | ۳۳/۴۸ | ۴۲/۶۵ | ۴۱/۳۴ | ۴۱/۳۴ | ۵۳/۲۱ |
| سرعت(کیلومتر بر ساعت) | ۷۲ | ۵۶ | ۴۸ | ۷۲ | ۵۶ | ۴۸ | ۵۶ | ۵۶ | ۴۸ |
| هزینه(دلار بر هزارکیلومتر) | ۲۰/۶۴ | ۲۷/۰۶ | ۳۵/۰۴ | ۲۷/۱۰ | ۳۵/۴۲ | ۴۶/۰ | ۴۳/۷۱ | ۴۳/۷۱ | ۵۶/۹۱ |
| سرعت(کیلومتر بر ساعت) | ۶۴ | ۴۸ | ۴۰ | ۶۴ | ۴۸ | ۴۰ | ۴۸ | ۴۸ | ۴۰ |
| هزینه(دلار بر هزارکیلومتر) | ۲۲/۰۴ | ۲۹/۵۳ | ۳۸/۶۵ | ۲۸/۸۷ | ۳۸/۴۹ | ۵۰/۴۴ | ۴۷/۶۱ | ۴۷/۶۱ | ۶۲/۲۴ |

جدول۸-۳ هزینه وسایل نقلیه سنگین [٦]

| | کامیون نوعII | | | کامیون نوعIII | | | کامیون نوعIV | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | راه روسازی شده | شنی | راه خاکی | راه روسازی شده | شنی | راه خاکی | راه روسازی شده | شنی | راه خاکی |
| سرعت(کیلومتر بر ساعت) | ۸۰ | ۶۴ | ۵۶ | ۸۰ | ۶۴ | ۵۶ | ۸۰ | ۶۴ | ۵۶ |
| هزینه(دلار بر هزارکیلومتر) | ۵۲/۲۳ | ۷۳/۵۲ | ۱۱۵/۵۱ | ۸۴/۹۲ | ۱۲۲/۲ | ۲۰۲/۱۲ | ۸۲/۴۶ | ۱۲۷/۰ | ۲۱۶/۴۵ |
| سرعت(کیلومتر بر ساعت) | ۷۲ | ۵۶ | ۴۸ | ۷۲ | ۵۶ | ۴۸ | ۷۲ | ۵۶ | ۴۸ |
| هزینه(دلار بر هزارکیلومتر) | ۵۱/۳۳ | ۷۴/۶۵ | ۱۱۷/۹ | ۷۹/۱۵ | ۱۲۱/۹ | ۲۰۵/۲۹ | ۷۷/۷۶ | ۱۲۴/۰ | ۲۱۹/۰۱ |
| سرعت(کیلومتر بر ساعت) | ۶۴ | ۴۸ | ۴۰ | ۶۴ | ۴۸ | ۴۰ | ۶۴ | ۴۸ | ۴۰ |
| هزینه(دلار بر هزارکیلومتر) | ۵۱/۳۹ | ۷۳/۴۵ | ۱۲۱/۲۱ | ۷۷/۷۷ | ۱۲۴/۳ | ۲۱۰/۰۴ | ۸۷/۴۱ | ۱۲۶/۴ | ۲۲۷/۴۸ |
| سرعت(کیلومتر بر ساعت) | ۵۶ | ۴۰ | ۳۲ | ۵۶ | ۴۰ | ۳۲ | ۵۶ | ۴۰ | ۳۲ |
| هزینه(دلار بر هزارکیلومتر) | ۵۲/۴۵ | ۷۹/۹۰ | ۱۲۷/۴۱ | ۷۷/۶۱ | ۱۲۹/۱ | ۲۲۰/۵۱ | ۷۸/۱۴ | ۱۲۹/۸ | ۲۳۳/۸۳ |

با توجه به جداول ۸-۲ و ۸-۳ می‌توان دریافت که، هزینه استفاده کنندگان در راههای شنی و خاکی به مراتب بیشتر (تا دو برابر) از راههای روسازی شده است. در ضمن می‌توان ملاحظه کرد که هزینه برای وسیله نقلیه سبک با افزایش سرعت، کاهش می یابد . در بخش بعدی ابتدا روشهای آیین نامه ای طرح روسازی بیان شده و سپس برای حالت های مختلف بارگذاری نمونه های طراحی شده ارایه و در آخر مقایسه فنی و اقتصادی بین روسازیهای مختلف انجام می گیرد.

## ۸-۳- روشهای طرح روسازی

روشهای آیین نامه ای معتبر طرح روسازی عبارتند از:

- روش آشتو برای روسازیهای انعطاف پذیر و بتنی
- روش PCA برای روسازیهای بتنی و RCC
- روش انستیتو آسفالت برای روسازیهای انعطاف پذیر
- روش گروه مهندسین ارتش آمریکا برای روسازیهای بتنی و آسفالتی و RCC

معیارهای طراحی برای همه روشهای فوق را می‌توان به اختصار چنین بیان کرد:

- ترافیک و بارگذاری (بار محورها یا بارهای وارده، سطح تماس تایر، سرعت وسیله نقلیه)

- شرایط آب و هوایی (درجه حرارت، بارندگی و رطوبت)
- معیار خرابی (با توجه به انواع خرابیهای مورد انتظار)
- سیستم مدیریت روسازی شامل هزینه ساخت و نگهداری

در مورد روشهای مختلف آیین نامه‌ای طراحی، با توجه به اینکه تجربه نشان داده است که روش انستیتو آسفالت نتایج محافظه‌کارانه‌ای بدست می‌دهد و هم اینکه از انعطاف پذیری کمتری برخوردار است و با توجه به اینکه در کشور ما اغلب از روش آشتو استفاده می‌شود، روشهای آیین‌نامه‌ای آشتو برای روسازیهای انعطاف پذیر و صلب و روش PCA و روش گروه مهندسین ارتش آمریکا در طراحی روسازیهای صلب استفاده شده است.

## ۸-٤- مقایسه اقتصادی و هزینه‌ای روسازی‌های مختلف

### ۸-٤-۱- طراحی روسازی‌های آسفالتی به روش آشتو

برای طراحی، ۷ ترکیب بار ترافیکی در نظرگرفته شده است که متناظر با محورهای معادل $۰/۵\times۱۰^{۶}$، $۱\times۱۰^{۶}$، $۲\times۱۰^{۶}$، $۳\times۱۰^{۶}$، $۵\times۱۰^{۶}$، $۷\times۱۰^{۶}$، $۹\times۱۰^{۶}$ است. مشخصات وزنی محورهای وسایل نقلیه مختلف و ترکیب ترافیکی در جداول۸- ۴ و۸-۵ آمده است:

**جدول ۸-٤ وزن محورهای وسایل نقلیه**

| کامیون پنج محور | کامیون چهار محور | کامیون سه محور | کامیون دو محور | اتوبوس | مینی بوس | کامیونت | سواری | وزن محور (تن) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | یک عدد | | دو عدد | ۰/۹ |
| | | | | | | یک عدد | | ۲ |
| | | | | یک عدد | یک عدد زوج (Dual) | یک عدد | | ۳ |
| | | | یک عدد | | | | | ۳/٦ |
| یک عدد | | | | | | | | ٤ |
| | یک عدد | یک عدد | | یک عدد | | | | ٦ |
| | یک عدد | | | | | | | ۱۰ |
| | | | یک عدد زوج (Dual) | | | | | ۱۵ |
| | یک عدد زوج (Dual) | | | | | | | ۱۳ مرکب(Tandem) |

**جدول۸-۵ ترافیک روزانه بر حسب محور معادل استاندارد[1]**

| تعداد محور معادل در دوره طرح | ترافیک روزانه | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | کامیون پنج | کامیون چهار | کامیون سه | کامیون دو | اتوبوس | مینی بوس | کامیونت | سواری |
| ۵,۰E+۰۵ | محور | محور | محور | محور | ۲۰ | ۲۰ | ۳۵ | ۵۰ |
| ۱,۰E+۰۶ | ۲۵ | ۲۵ | ۱۴ | ۱۲ | ۵۰ | ۶۵ | ۱۰۰ | ۲۰۰ |
| ۲,۰E+۰۶ | ۴۰ | ۳۵ | ۳۵ | ۲۶ | ۶۵ | ۵۰ | ۲۰۰ | ۴۰۰ |
| ۳,۰E+۰۶ | ۴۰ | ۳۵ | ۴۴ | ۴۵ | ۶۶ | ۹۰ | ۲۰۰ | ۲۲۰ |
| ۵,۰E+۰۶ | ۱۰۰ | ۱۰۰ | ۸۰ | ۸۲ | ۱۲۰ | ۱۰۰ | ۲۰۰ | ۶۰۰ |
| ۷,۰E+۰۶ | ۱۵۰ | ۱۵۰ | ۱۰۰ | ۱۱۵ | ۲۰۰ | ۲۰۰ | ۳۰۰ | ۱۰۰۰ |
| ۹,۰E+۰۶ | ۱۵۰ | ۱۵۰ | ۲۰۰ | ۱۵۰ | ۲۰۰ | ۲۰۰ | ۲۵۰ | ۹۰۰ |

و مشخصات لایه ها به قرار زیراست:

ضریب باربری کالیفرنیا:

اساس $CBR = ٪۸۰$ زیراساس $CBR = ٪۶۰$ سابگرید $CBR = ٪۶$

ضرائب لایه ها:

$a_{base} = ۰/۱۳۲$ $a_{sub_base} = ۰/۱۲۳$ $a_{asphalt} = ۰/۴۲$

مدول لایه ها:

$E_{base} = ۲۸۰۰۰\ psi$ $E_{sub_base} = ۱۸۰۰۰\ psi$ $E_{asplahlt} = ۴۰۰۰۰۰\ psi$

$E_{subgrade} = ۱۵۰۰\ CBR = ۹۰۰۰\ psi$

سایر پیش فرضها در محاسبات به قرار زیر است:

$S_0 = ۰/۳۵$ $P_t = ۴/۴$ $P_i = ۲/۵$ $\Delta PSI = ۱/۷$ $R = ٪۹۰$ $Z_R = -۱/۲۸۲$

نتایج محاسبات ضخامت لایه ها به روش آشتو در جدول ۸-۶ و ۸-۷ آمده است:

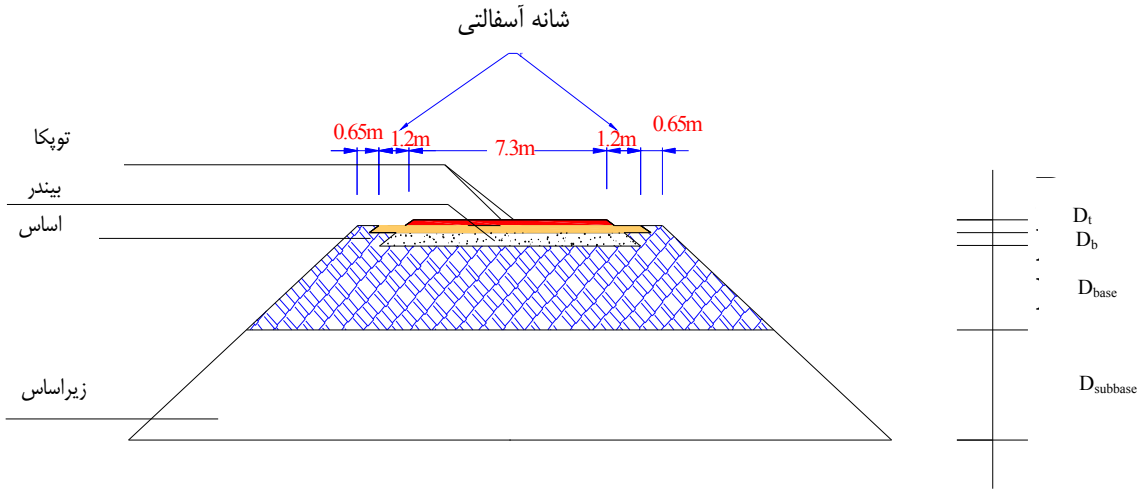
1 -ESAL :Equivalent Standard Axle Load

جدول۸-۶ ضخامتهای بدست آمده به روش آشتو

| ضخامت زیر اساس (سانتیمتر) | ضخامت اساس (سانتیمتر) | ضخامت آسفالت (سانتیمتر) | عدد ضخامت (SN) | تعداد محور معادل استاندارد |
|---|---|---|---|---|
| ۱۰ | ۱۰ | ۱۰ | ۲/۷۵ | ۵۰E+۰۵ |
| ۱۵ | ۱۵ | ۱۲ | ۳/۰۹ | ۱۰E+۰۶ |
| ۱۵ | ۱۵ | ۱۴ | ۳/۴۶ | ۲۰E+۰۶ |
| ۱۵ | ۱۵ | ۱۵ | ۳/۶۹ | ۳۰E+۰۶ |
| ۱۵ | ۱۵ | ۱۶ | ۴/۰۰ | ۵۰E+۰۶ |
| ۱۵ | ۱۵ | ۱۷ | ۴/۲۲ | ۷۰E+۰۶ |
| ۱۵ | ۱۵ | ۱۷ | ۴/۳۹ | ۹۰E+۰۶ |

جدول۸- ۷ حداقل ضخامت مطابق آشتو

| ترافیک (بر حسب محور معادل استاندارد) | ضخامت آسفالت (سانتیمتر) | ضخامت اساس (سانتیمتر) |
|---|---|---|
| کمتر از ۵۰,۰۰۰ | ۲/۵ | ۱۰ |
| ۵۰,۰۰۰ – ۱۵۰,۰۰۰ | ۵ | ۱۰ |
| ۱۵,۰۰۱ – ۵۰۰,۰۰۰ | ۶/۵ | ۱۰ |
| ۵۰۰,۰۰۱ – ۲,۰۰۰,۰۰۰ | ۷/۵ | ۱۵ |
| ۲۰,۰۰۰,۰۰۱ -۷,۰۰۰,۰۰۰ | ۹ | ۱۵ |
| بیشتر از۷,۰۰۰,۰۰۰ | ۱۰ | ۱۵ |




**شکل۸- ۳ تیپ مقطع روسازی با رویه آسفالتی**

سطح توپکا رویی در صورت وجود = $D_{tt}(7.3+D_{tt})$

سطح توپکا پایینی+ شانه آسفالتی = $D_{tb}(9.7+D_{tb})$

سطح بیندر = $D_b\times 7.3+D_b(D_a+D_t)$ و $D_a=D_t+D_b$ و $D_t=D_{tt}+D_{tb}$

سطح اساس = $\{7.3+2D_a+D_{Base}\}D_{Base}+1.85(D_a+D_{Base}-D_{tb})$

سطح زیر اساس = $11D_{s_base}+D_{s_base}(2D_a+2D_{Base}+D_{s_base})$

سطح شانه = $2\times 1.85D_a$

عرض اندود نفوذی = $7.3+2D_a$

عرض اندود سطحی = $9.7+2D_a$

در روابط بالا $D_i$ برحسب متر است وشیب شیروانی ۱ به ۱ فرض شده است.

با توجه به جدول ضخامتهای بدست آمده و تیپ مقطع فرضی فوق خواهیم داشت:

**جدول۸- ۸ ضخامت روسازی آسفالتی**

| شماره | ESAL | $D_a$ (m) | $D_t$ (m) | $D_{tt}$ (m) | $D_{tb}$ (m) | $D_b$ (m) | $D_{base}$ (m) | $D_{subbase}$ (m) | سطح آسفالت | سطح اساس | سطح زیراساس | سطح شانه‌ها | عرض متوسط بیندر | عرض متوسط توپکا | عرض اندود نفوذی | عرض اندود سطحی |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ۱ | ۵E+۰۵ | ۰/۱۰ | ۰/۰۴ | ۰ | ۰/۰۴ | ۰/۰۶ | ۰/۱۰ | ۰/۱۰ | ۰/۸۴ | ۱/۰۶ | ۱/۱۵ | ۰/۳۷ | ۷/۴۴ | ۹/۸۲ | ۷/۵۰ | ۹/۹ |
| ۲ | ۱E+۰۶ | ۰/۱۲ | ۰/۰۵ | ۰ | ۰/۰۵ | ۰/۰۷ | ۰/۱۵ | ۰/۱۵ | ۱/۰۲ | ۱/۵۶ | ۱/۷۵ | ۰/۴۴ | ۷/۴۷ | ۹/۸۵ | ۷/۵۴ | ۹/۹۴ |
| ۳ | ۲E+۰۶ | ۰/۱۴ | ۰/۰۵ | ۰ | ۰/۰۵ | ۰/۰۹ | ۰/۱۵ | ۰/۱۵ | ۱/۱۷ | ۱/۶۰ | ۱/۷۶ | ۰/۵۲ | ۷/۴۹ | ۹/۸۵ | ۷/۵۸ | ۹/۹۸ |
| ۴ | ۳E+۰۶ | ۰/۱۵ | ۰/۰۸ | ۰/۰۴ | ۰/۰۴ | ۰/۰۷ | ۰/۱۵ | ۰/۱۵ | ۱/۲۲ | ۱/۶۴ | ۱/۷۶ | ۰/۵۶ | ۷/۵۳ | ۸/۶۲ | ۷/۶۰ | ۱۰/۰۰ |
| ۵ | ۵E+۰۶ | ۰/۱۶ | ۰/۰۸ | ۰/۰۴ | ۰/۰۴ | ۰/۰۸ | ۰/۱۵ | ۰/۱۵ | ۱/۲۹ | ۱/۶۷ | ۱/۷۷ | ۰/۵۹ | ۷/۵۴ | ۸/۶۲ | ۷/۶۲ | ۱۰/۰۲ |
| ۶ | ۷E+۰۶ | ۰/۱۷ | ۰/۰۸ | ۰/۰۴ | ۰/۰۴ | ۰/۰۹ | ۰/۱۵ | ۰/۱۵ | ۱/۳۷ | ۱/۶۹ | ۱/۷۷ | ۰/۶۳ | ۷/۵۵ | ۸/۶۲ | ۷/۶۴ | ۱۰/۰۴ |
| ۷ | ۹E+۰۶ | ۰/۱۷ | ۰/۰۸ | ۰/۰۴ | ۰/۰۴ | ۰/۰۹ | ۰/۱۵ | ۰/۱۵ | ۱/۳۷ | ۱/۶۹ | ۱/۷۷ | ۰/۶۳ | ۷/۵۵ | ۸/۶۲ | ۷/۶۴ | ۱۰/۰۴ |

## ۸-٤-۲- طراحی روسازی RCC به روش PCA و گروه مهندسین ارتش آمریکا

حال با توجه به شرحی که درباره روش طرح PCA و گروه مهندسین ارتش آمریکا، داده شده است با توجه به ترافیک ۷ طرح مورد نظر، محاسبات را برای هر کدام انجام می دهیم، فرضیات در این محاسبات به شرح زیر است:

$$f_c' = 4000\,psi \implies E = 57000\sqrt{f_c'} = 3.6E6\,psi$$

$$f_r = 9\sqrt{f_c'} = 9\sqrt{4000} = 570\,psi \quad \text{و} \quad \sigma = f_r \times SR$$

در محاسبات بالا،ضریب پواسن بتن ۰/۱۵ فرض شده است ودوره طرح ۲۰سال در نظر گرفته شده است. با توجه به شکل ۷-۴ برای CBR برابر۶ درصد، مقدار پارامتر k برابر۱۶۰پوند بر اینچ مکعب بدست می‌آید که مقدار افزایش یافته آن برای حالتی که ضخامت زیراساس ۴ اینچ است، از جدول ۷-۳ برابر ۱۸۰پوند بر اینچ مکعب و برای حالتی که ضخامت زیراساس ۶ اینچ است، ۲۰۰ پوند بر اینچ مکعب بدست می‌آید. مقدارشعاع سختی نیز با استفاده از جدول زیر ، بدست آمده است:

**جدول۸- ۹ شعاع سختی نسبی**

| | شعاع سختی(l) $E=۳,۶E۶$ و $v=۰,۱۵$ | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| h(in) | k=۱۵۰ | k=۱۶۰ | k=۱۷۰ | k=۱۸۰ | k=۱۹۰ | k=۲۰۰ | k=۲۱۰ | k=۲۲۰ | k=۲۳۰ | k=۲۴۰ |
| ۶ | ۲۵/۸ | ۲۵/۴ | ۲۵/۰ | ۲۴/۶ | ۲۴/۳ | ۲۴/۰ | ۲۳/۷ | ۲۳/۴ | ۲۳/۲ | ۲۲/۹ |
| ۶/۲ | ۲۶/۴ | ۲۶/۰ | ۲۵/۶ | ۲۵/۲ | ۲۴/۹ | ۲۴/۶ | ۲۴/۳ | ۲۴/۰ | ۲۳/۷ | ۲۳/۵ |
| ۶/۳ | ۲۶/۷ | ۲۶/۳ | ۲۵/۹ | ۲۵/۶ | ۲۵/۲ | ۲۴/۹ | ۲۴/۶ | ۲۴/۳ | ۲۴/۰ | ۲۳/۸ |
| ۶/۴ | ۲۷/۱ | ۲۶/۶ | ۲۶/۲ | ۲۵/۹ | ۲۵/۵ | ۲۵/۲ | ۲۴/۹ | ۲۴/۶ | ۲۴/۳ | ۲۴/۱ |
| ۶/۵ | ۲۷/۴ | ۲۶/۹ | ۲۶/۵ | ۲۶/۲ | ۲۵/۸ | ۲۵/۵ | ۲۵/۲ | ۲۴/۹ | ۲۴/۶ | ۲۴/۳ |
| ۶/۸ | ۲۸/۳ | ۲۷/۹ | ۲۷/۴ | ۲۷/۱ | ۲۶/۷ | ۲۶/۴ | ۲۶/۰ | ۲۵/۷ | ۲۵/۵ | ۲۵/۲ |
| ۷ | ۲۸/۹ | ۲۸/۵ | ۲۸/۱ | ۲۷/۷ | ۲۷/۳ | ۲۶/۹ | ۲۶/۶ | ۲۶/۳ | ۲۶/۰ | ۲۵/۷ |
| ۷/۲ | ۲۹/۶ | ۲۹/۱ | ۲۸/۷ | ۲۸/۲ | ۲۷/۹ | ۲۷/۵ | ۲۷/۲ | ۲۶/۹ | ۲۶/۶ | ۲۶/۳ |
| ۷/۵ | ۳۰/۵ | ۳۰/۰ | ۲۹/۵ | ۲۹/۱ | ۲۸/۷ | ۲۸/۴ | ۲۸/۰ | ۲۷/۷ | ۲۷/۴ | ۲۷/۱ |
| ۷/۸ | ۳۱/۴ | ۳۰/۹ | ۳۰/۴ | ۳۰/۰ | ۲۹/۶ | ۲۹/۲ | ۲۸/۹ | ۲۸/۵ | ۲۸/۲ | ۲۷/۹ |
| ۸ | ۳۲/۰ | ۳۱/۵ | ۳۱/۰ | ۳۰/۶ | ۳۰/۲ | ۲۹/۸ | ۲۹/۴ | ۲۹/۱ | ۲۸/۷ | ۲۸/۴ |
| ۸/۱ | ۳۲/۳ | ۳۱/۸ | ۳۱/۳ | ۳۰/۹ | ۳۰/۴ | ۳۰/۱ | ۲۹/۷ | ۲۹/۳ | ۲۹/۰ | ۲۸/۷ |
| ۸/۲ | ۳۲/۶ | ۳۲/۱ | ۳۱/۶ | ۳۱/۱ | ۳۰/۷ | ۳۰/۳ | ۳۰/۰ | ۲۹/۶ | ۲۹/۳ | ۲۹/۰ |
| ۸/۵ | ۳۳/۵ | ۳۲/۹ | ۳۲/۴ | ۳۲/۰ | ۳۱/۶ | ۳۱/۲ | ۳۰/۸ | ۳۰/۴ | ۳۰/۱ | ۲۹/۸ |
| ۹ | ۳۴/۹ | ۳۴/۴ | ۳۳/۹ | ۳۳/۴ | ۳۲/۹ | ۳۲/۵ | ۳۲/۱ | ۳۱/۸ | ۳۱/۴ | ۳۱/۱ |

فرمول محاسبه شعاع سختی نسبی :

$$l = \left[\frac{Eh^3}{12(1-\mu^2)k}\right]^{0.25}$$

که در آن:

h : ضخامت دال به اینچ

k : مدول بستر بر حسب پوند بر اینچ مکعب

$\mu$ : ضریب پواسن

l : شعاع سختی نسبی

E : مدول الاستیسیته بتن بر حسب پوند بر اینچ مربع $E = 57000\sqrt{f'_c}$

برای طرح به روش گروه مهندسین ارتش آمریکا، با توجه به توزیع ترافیک خواهیم داشت:

**جدول ۸-۱۰ اندیس طراحی**

| شماره | بار محوری معادل به روش آشتو | گروه ترافیکی | اندیس طراحی |
|---|---|---|---|
| ۱ | ۵/E+۰۵ | ج | ۴ |
| ۲ | ۱/E+۰۶ | ج | ۴ |
| ۳ | ۲/E+۰۶ | د | ۵ |
| ۴ | ۳/E+۰۶ | د | ۵ |
| ۵ | ۵/E+۰۶ | د | ۵ |
| ۶ | ۷/E+۰۶ | ه | ۶ |
| ۷ | ۹/E+۰۶ | ه | ۶ |

ضخامت بدست آمده از دو روش فوق در جدول زیر آمده است:

**جدول۸-۱۱ مقایسه ضخامت**

| شماره | بار محوری معادل به روش آشتو | ضخامت بدست آمده به روش PCA (سانتیمتر) | | ضخامت بدست آمده به روش گروه مهندسین ارتش آمریکا (سانتیمتر) | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | زیراساس | بتن | زیراساس | بتن |
| ۱ | ۵/E+۰۵ | ۱۵/۰۰ | ۱۷/۰۰ | ۱۰/۰۰ | ۱۸/۰۰ |
| ۲ | ۱/E+۰۶ | ۱۵/۰۰ | ۱۸/۰۰ | ۱۰/۰۰ | ۱۸/۰۰ |
| ۳ | ۲/E+۰۶ | ۱۵/۰۰ | ۱۸/۰۰ | ۱۵/۰۰ | ۱۹/۰۰ |
| ۴ | ۳/E+۰۶ | ۱۵/۰۰ | ۲۰/۰۰ | ۱۵/۰۰ | ۱۹/۰۰ |
| ۵ | ۵/E+۰۶ | ۱۵/۰۰ | ۲۰/۰۰ | ۱۵/۰۰ | ۱۹/۰۰ |
| ۶ | ۷/E+۰۶ | ۱۵/۰۰ | ۲۰/۰۰ | ۱۵/۰۰ | ۲۱/۰۰ |
| ۷ | ۹/E+۰۶ | ۱۵/۰۰ | ۲۰/۰۰ | ۱۵/۰۰ | ۲۱/۰۰ |

برای محاسبه ضخامت روسازی به روش PCA اطلاع از فشار تایر وسایل نقلیه مختلف، مورد نیاز است، که با توجه به وسایل نقلیه موجود در کشور و کارخانه های سازنده تایر از اطلاعات زیر استفاده شده است:

**جدول۸- ۱۲ فشار تایر**

| نوع وسیله نقلیه | فشار تایر های جلو |
|---|---|
| پراید (کویر تایر) | ۹۰۸ Lb(۴۱۲kg) Max ۴۴ psi |
| پژو ۴۰۵ ( تایر Goldstone) | (۴۷۰kg ) ۳۲ psi |
| ماتیز | ۳۲ psi |

**جدول۸- ۱۳ فشار تایر بام‌و(BMW)**

| سال ساخت | مدل | فشار تایر | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | پوند بر اینچ مربع | | کیلوپاسکال | |
| | | جلو | عقب | جلو | عقب |
| ۲۰۰۰-۱۹۹۹ | 333i | ۲۹ | ۳۵ | ۲۰۰ | ۲۴۱ |
| ۱۹۹۹-۱۹۹۸ | 318i | ۲۹ | ۳۴ | ۲۰۰ | ۲۳۴ |
| | 318i,-is,-ti Sedan,Convt. | ۲۹ | ۳۲ | ۲۰۰ | ۲۲۱ |
| ۱۹۹۷ | 316i | ۳۲ | ۲۹ | ۲۲۱ | ۲۰۰ |
| ۱۹۹۷-۱۹۹۴ | 318i,-is,-ti | ۲۹ | ۳۵ | ۲۰۰ | ۲۴۱ |
| | 320i | ۲۹ | ۳۲ | ۲۰۰ | ۲۲۱ |
| ۱۹۹۳ | All | ۲۹ | ۳۲ | ۲۰۰ | ۲۲۱ |
| ۱۹۹۲ | All | ۳۰ | ۳۶ | ۲۰۷ | ۲۴۸ |
| ۱۹۹۱ | All | ۳۰ | ۳۶ | ۲۰۷ | ۲۴۸ |
| ۱۹۸۵ | All | ۲۷ | ۳۵ | ۲۰۰ | ۲۴۱ |
| ۱۹۸۴-۱۹۸۰ | All | ۲۷ | ۲۷ | ۱۸۶ | ۱۸۶ |
| 325,325e,325es | | | | | |
| ۱۹۸۸-۱۹۸۵ | All | ۳۲ | ۳۶ | ۲۲۱ | ۲۴۸ |

ملاحظه می توان کرد که فشار تایر برای اکثر وسایل نقلیه سواری که در کشور ما نیز مورد استفاده قرار می گیرد حدود ۲۸ تا ۳۶ پوند بر اینچ مربع است. برای کامیونها و تریلی های مختلف که در کشور نیز مورد استفاده دارد، از جداولی که در ادامه می‌آید به عنوان راهنما استفاده شده است:

**جدول ۸-۱٤ فشار تایروسایل نقلیه سنگین**

| اندازه تایر | حداکثر سرعت (MPH) | (D)زوج (S)منفرد | PSI - فشار باد تایر | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 65 | 70 | 75 | 80 | 85 | 90 | 95 | 100 | 105 | 110 | 115 | 120 |
| 8R19.5 | 75 | D<br>S | 2350<br>2410 | 2460<br>2540 | 2610<br>2680 | 2755<br>2835 | 2865<br>2955 | 2975<br>3075 | 3085<br>3195 | 3195<br>3305 | 3305<br>3415 | **3415(F)**<br>**3525(F)** | | |
| 225/70R19.5 | 75 | D<br>S | | 2720<br>2895 | 2860<br>3040 | 3000<br>3195 | 3115<br>3315 | 3245<br>3450 | **3415(F)**<br>**3640(F)** | 3490<br>3715 | 3615<br>3815 | **3750(G)**<br>**3970(G)** | | |
| 245/70R19.5 | 75 | D<br>S | | 3415<br>3640 | 3515<br>3740 | 3655<br>3890 | **3970(F)**<br>**4080(F)** | 4115<br>4190 | 4265<br>4335 | **4410(G)**<br>**4540(G)** | | | | |
| 265/70R19.5 | 75 | D<br>S | | | | 3750<br>3970 | 3930<br>4180 | 4095<br>4355 | 4300<br>4540 | 4405<br>4685 | 4560<br>4850 | 4805<br>5070 | 4860<br>5170 | **5070(G)**<br>**5355(G)** |
| 9R22.5<br>G159 | 65 | D<br>S | 3120<br>3190 | 3270<br>3370 | 3410<br>3560 | 3550<br>3730 | 3690<br>3890 | 3820<br>4050 | 3950<br>4210 | 4150<br>4350 | **4300(F)**<br>**4540(F)** | | | |

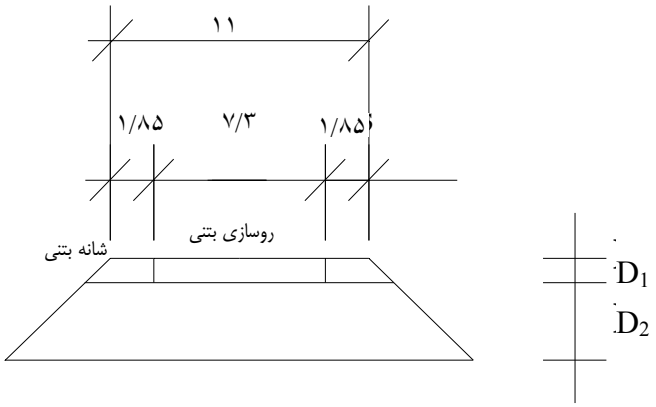
**جدول۸-۱۵ فشار تایر وسایل نقلیه سنگین**

| اندازه تایر | حداکثر سرعت (MPH) | (D)زوج (S)منفرد | PSI - فشار باد تایر | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 70 | 75 | 80 | 85 | 90 | 95 | 100 | 105 | 110 | 115 | 120 | 125 |
| 295/75R22.5 | 75 | D<br>S | | 4690<br>4725 | 4885<br>4945 | 5070<br>5155 | 5260<br>5370 | 5440<br>5510 | **5675(G)**<br>5780 | 5800<br>5980 | **6005(H)**<br>**6175(G)** | 6370 | **6610(H)** | |
| 295/80R22.5 | 75 | D<br>S | | | 4855<br>5480 | 5100<br>5750 | 5335<br>6020 | 5570<br>6285 | 5805<br>6550 | 6035<br>6810 | 6265<br>7070 | 6490<br>7320 | 6720<br>7580 | **6940(H)**<br>**7830(H)** |
| 315/80R22.5<br>G409 MBA | 75 | D<br>S | | | | 5840<br>6415 | 6070<br>6670 | 6395<br>6940 | 6540<br>7190 | 6770<br>7440 | 6940<br>7610 | 7210<br>7920 | **7610(J)**<br>**8270(J)** | |
| 315/80R22.5<br>G291 | 75 | D<br>S | | | | 5840<br>6415 | 6070<br>6670 | 6395<br>6940 | 6540<br>7190 | 6770<br>7440 | 6940<br>7610 | 7210<br>7920 | **7610(J)**<br>**8270(J)** | |
| 11R24.5<br>G159 | 75 | D<br>S | | | 5070<br>5310 | 5260<br>5550 | 5450<br>5780 | 5640<br>6000 | 5820<br>6210 | **6005(G)**<br>**6610(G)** | 6170<br>6790 | 6405<br>6970 | **6610(H)**<br>**7160(H)** | |
| 11R24.5<br>G357 | 75 | D<br>S | | | 5070<br>5310 | 5260<br>5550 | 5510<br>5840 | 5675<br>6095 | 5840<br>6350 | **6005(G)**<br>**6610(G)** | | | | |
| 285/75R24.5 | 75 | D<br>S | | 4740<br>4770 | 4930<br>4990 | 5205<br>5210 | 5310<br>5420 | 5495<br>5675 | **5675(G)**<br>5835 | 6040 | **6175(G)** | | | |

**جدول ۸-۱٦ فشار تایر وسایل نقلیه سنگین**

| اندازه تایر | حداکثر سرعت (MPH) | (D)زوج (S)منفرد | PSI -فشار باد تایر | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 70 | 75 | 80 | 85 | 90 | 95 | 100 | 105 | 110 | 115 | 120 | 125 |
| 255/70R22.5<br>G169 RSA | 75 | D<br>S | | | 3970<br>4190 | 4110<br>4370 | 4275<br>4550 | 4410<br>4675 | 4455<br>4895 | 4610<br>5065 | 4675<br>5205 | 4915<br>5400 | **5070(H)**<br>**5510(H)** | |
| 265/75R22.5 | 75 | D<br>S | | 4040<br>4070 | 4205<br>4255 | 4370<br>4440 | 4525<br>4620 | 4685<br>4800 | **4805(G)**<br>4975 | 5150 | **5205(G)** | | | |
| 275/70R22.5<br>G169 RSA<br>G670 RV | 75 | D<br>S | | | | 4770<br>5170 | 4980<br>5400 | 5180<br>5630 | 5390<br>5850 | 5590<br>6070 | 5800<br>6290 | 6000<br>6510 | 6200<br>6730 | **6395(H)**<br>**6940(H)** |
| 275/80R22.5 | 75 | D<br>S | | | | 4855<br>5265 | 5080<br>5515 | 5305<br>5755 | 5525<br>6000 | 5745<br>6235 | 5965<br>6475 | 6180<br>6710 | **6395(H)**<br>**6940(H)** | |

تیپ مقطع فرضی برای روسازی PCC, RCC




**شکل۸-٤ تیپ مقطع روسازی با رویه بتنی (ابعاد بر حسب متر)**

سطح رویه بتنی = $D_1 \times 7.3$

سطح زیر اساس = $[11+(2D_1+D_2)]\times D_2$

سطح شانه ها = $2\times D_1(1.85+D_1)$

در روابط بالا $D_1, D_2$ برحسب متر بوده و شیب شیروانی ۱ به ۱ فرض شده است.

برای مقایسه، روسازی بتنی PCC غیر مسلح نیز برای حالات فوق به روش آشتو مورد محاسبه قرار گرفته است.

محاسبات را با $f'_c$ برابر ۳۵۰ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع (۵۰۰۰ پوند بر اینچ مربع) انجام می دهیم:

**جدول ۸-۱۷ ضخامت‌های روسازی PCC**

| ضخامت | | ترافیک روزانه | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| بتن (سانتیمتر) | زیراساس (سانتیمتر) | محور معادل استاندارد دردوره طرح | کامیون پنج محور | کامیون چهار محور | کامیون سه محور | کامیون دو محور | اتوبوس | مینی بوس | کامیونت | سواری |
| ۱۶ | ۱۵ | ۰۶E+۱/۰۸ | ۰ | ۸ | ۱۲ | ۶ | ۲۰ | ۲۰ | ۳۵ | ۵۰ |
| ۱۸/۵ | ۱۵ | ۰۶E+۲/۱۶ | ۲۵ | ۲۵ | ۱۴ | ۱۲ | ۵۰ | ۶۵ | ۱۰۰ | ۲۰۰ |
| ۲۰ | ۱۵ | ۰۶E+۴/۵۴ | ۴۰ | ۳۵ | ۳۵ | ۲۶ | ۶۵ | ۵۰ | ۲۰۰ | ۴۰۰ |
| ۲۱/۵ | ۱۵ | ۰۶E+۶/۱۸ | ۴۰ | ۳۵ | ۴۴ | ۴۵ | ۶۶ | ۹۰ | ۲۰۰ | ۲۲۰ |
| ۲۴ | ۱۵ | ۰۷E+۱/۳۳ | ۱۰۰ | ۱۰۰ | ۸۰ | ۸۲ | ۱۲۰ | ۱۰۰ | ۲۰۰ | ۶۰۰ |
| ۲۵ | ۱۵ | ۰۷E+۱/۸۲ | ۱۵۰ | ۱۵۰ | ۱۰۰ | ۱۱۵ | ۲۰۰ | ۲۰۰ | ۳۰۰ | ۱۰۰۰ |
| ۲۶ | ۱۵ | ۰۷E+۲/۷۰ | ۱۵۰ | ۱۵۰ | ۲۰۰ | ۱۵۰ | ۲۰۰ | ۲۰۰ | ۲۵۰ | ۹۰۰ |

فرمول آشتو برای روسازیهای صلب به صورت زیر است:

$$LogW = ZS_0 - 0.06 + 7.35Log(D+1) + \frac{Log\left(\frac{\Delta PSI}{4.5-1.5}\right)}{1+1.624*10^7/(D+1)^{8.46}}$$

$$+(4.22-P_t)Log\left\{\frac{S_cC_d(D^{0.75}-1.132)}{2.1563J(D^{0.75}-18.42/(E/k)^{0.25}}\right\}$$

که در آن :

W : تعداد محورهای منفرد

Sc : مدول گسیختگی بتن

$$Z = \frac{E}{K}$$

$S_o$ : انحراف معیار

D : ضخامت دال بتنی بر حسب اینچ

$\Delta$PSI : کاهش قابلیت خدمت

پیش فرضهایی که در محاسبات در نظر گرفته شده است به قرار زیر است:

J : ضریب انتقال بار، که برابر ۳/۲ فرض شده است.

$C_d$ : ضریب زهکشی که برابر ۱ فرض شده است.

E : مدول الاستیسیته بتن که برابر $۳/۶\times۱۰^{۶}$ پوند بر اینچ مربع و $۴\times۱۰^{۶}$ پوند بر اینچ مربع در نظر گرفته شده است.

K : مدول بستر که برابر ۲۰۰پوند براینچ مکعب در نظرگرفته شده است.

**جدول۸-۱۸ مقایسه ضخامت روسازی RCC و PCC**

| شماره | Fc=4000psi (280Kg/cm2) | | Fc=4000psi (280Kg/cm2) | | Fc=5000psi (350Kg/cm2) | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | ضخامت RCC (سانتیمتر) | | ضخامت PCC (سانتیمتر) | | ضخامت PCC (سانتیمتر) | |
| | زیراساس | بتن | زیراساس | بتن | زیراساس | بتن |
| ۱ | ۱۵/۰۰ | ۱۸/۰۰ | ۱۵/۰۰ | ۱۸/۰۰ | ۱۵/۰۰ | ۱۶/۰۰ |
| ۲ | ۱۵/۰۰ | ۱۸/۰۰ | ۱۵/۰۰ | ۲۰/۰۰ | ۱۵/۰۰ | ۱۸/۵۰ |
| ۳ | ۱۵/۰۰ | ۱۹/۰۰ | ۱۵/۰۰ | ۲۴/۰۰ | ۱۵/۰۰ | ۲۰/۰۰ |
| ۴ | ۱۵/۰۰ | ۱۹/۰۰ | ۱۵/۰۰ | ۲۴/۰۰ | ۱۵/۰۰ | ۲۱/۵۰ |
| ۵ | ۱۵/۰۰ | ۱۹/۰۰ | ۱۵/۰۰ | ۲۶/۰۰ | ۱۵/۰۰ | ۲۴/۰۰ |
| ۶ | ۱۵/۰۰ | ۲۱/۰۰ | ۱۵/۰۰ | ۲۸/۰۰ | ۱۵/۰۰ | ۲۵/۰۰ |
| ۷ | ۱۵/۰۰ | ۲۱/۰۰ | ۱۵/۰۰ | ۳۰/۰۰ | ۱۵/۰۰ | ۲۶/۰۰ |

جدول۸- ۱۹ جزئیات روسازی RCC

| شماره | ضخامت RCC (سانتیمتر) | | سطح بتن (متر مربع) | سطح زیر اساس (متر مربع) | سطح شانه بتنی (متر مربع) |
|---|---|---|---|---|---|
| | زیر اساس | بتن | | | |
| ۱ | ۱۵ | ۱۸ | ۱/۳۱ | ۱/۷۳ | ۰/۷۳ |
| ۲ | ۱۵ | ۱۸ | ۱/۳۱ | ۱/۷۴ | ۰/۷۳ |
| ۳ | ۱۵ | ۱۹ | ۱/۳۹ | ۱/۷۵ | ۰/۷۸ |
| ۴ | ۱۵ | ۱۹ | ۱/۳۹ | ۱/۷۶ | ۰/۷۸ |
| ۵ | ۱۵ | ۱۹ | ۱/۳۹ | ۱/۷۷ | ۰/۷۸ |
| ۶ | ۱۵ | ۲۱ | ۱/۵۳ | ۱/۷۴ | ۰/۸۷ |
| ۷ | ۱۵ | ۲۱ | ۱/۵۳ | ۱/۷۴ | ۰/۸۷ |

جدول۸-۲۰ جزئیات روسازی PCC

| شماره | Fc=۵۰۰۰psi (۳۵۰Kg/cm2) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | ضخامت PCC (سانتیمتر) | | سطح بتن (متر مربع) | سطح زیر اساس (متر مربع) | سطح شانه بتنی (متر مربع) |
| | زیر اساس | بتن | | | |
| ۱ | ۱۵ | ۱۶/۰ | ۱/۱۷ | ۱/۷۲ | ۰/۶۴ |
| ۲ | ۱۵ | ۱۸/۵ | ۱/۳۵ | ۱/۷۳ | ۰/۷۵ |
| ۳ | ۱۵ | ۲۰/۰ | ۱/۴۶ | ۱/۷۳ | ۰/۸۲ |
| ۴ | ۱۵ | ۲۱/۵ | ۱/۵۷ | ۱/۷۴ | ۰/۸۹ |
| ۵ | ۱۵ | ۲۴/۰ | ۱/۷۵ | ۱/۷۴ | ۱/۰۰ |
| ۶ | ۱۵ | ۲۵/۰ | ۱/۸۳ | ۱/۷۵ | ۱/۰۵ |
| ۷ | ۱۵ | ۲۶/۰ | ۱/۹۰ | ۱/۷۵ | ۱/۱۰ |

ملاحظه می‌شود که به خاطر حداقل‌های آیین‌نامه‌ای و ضعیف بودن بستر، ضخامت زیراساس برای همه موارد ۱۵سانتیمتر بدست آمده است به طوری که تاثیری که بستر بر ضخامت بتن رویه دارد، خیلی بیشتر از تأثیر زیراساس بر ضخامت طراحی است و نیز می‌توان ملاحظه کرد که تفاوت ضخامت بتن RCC با PCC در ترافیکهای بالا مشهودتر است.

## ۸-٤-۳- آنالیز اقتصادی

حال دراین بخش داده‌های طراحی بدست آمده را بر اساس فهرست بهای ۱۳۸۲ راه و باند سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، برآورد اقتصادی می‌کنیم، پیش‌فرضهایی که در این برآورد درنظرگرفته شده است به قرار زیر است:

- فاصله حمل آب لازم برای کوبیدن اساس و زیر اساس و بتن ۱۹ کیلومتر فرض شده است.
- فاصله حمل ۳۵کیلومتر برای مصالح آسفالتی، مشتمل است بر۱۰ کیلومتر از معدن به کارخانه و ۲۵کیلومتر از کارخانه به کارگاه.
- در محاسبات فاصله حمل مصالح اساس روسازی آسفالتی و زیراساس روسازی بتنی،۱۰کیلومتر فرض شده است.
- عیار سیمان برای روسازی بتنی PCC برابر۳۵۰ کیلوگرم بر مترمکعب و برای روسازی بتنی RCC ۲۸۰ کیلوگرم بر متر مکعب، فرض شده است. نتایج برآوردهای انجام شده را در جداول زیر می توان خلاصه کرد:

**جدول ۸-۲۱ مقایسه قیمتهای روسازیهای مختلف**

| تعداد بار محوری استاندارد | قیمت روسازی بتنی RCC (ریال) | قیمت روسازی بتنی PCC (ریال) | قیمت روسازی آسفالتی AC (ریال) |
|---|---|---|---|
| 5.E+05 | ۲۹۴,۸۰۸,۹۱۰ | ۲۹۷,۲۸۴,۴۳۰ | ۲۴۰,۳۳۳,۷۸۲ |
| 1.E+06 | ۲۹۴,۸۰۸,۹۱۰ | ۳۴۲,۰۰۵,۶۰۲ | ۳۰۳,۸۰۳,۰۹۴ |
| 2.E+06 | ۳۱۰,۵۷۹,۲۷۱ | ۳۶۹,۰۲۱,۵۷۴ | ۳۱۲,۸۷۳,۸۲۶ |
| 3.E+06 | ۳۱۰,۵۷۹,۲۷۱ | ۳۹۶,۱۷۴,۹۹۷ | ۳۴۶,۲۰۳,۹۵۳ |
| 5.E+06 | ۳۱۰,۵۷۹,۲۷۱ | ۴۴۱,۷۳۶,۱۵۰ | ۳۷۳,۷۵۳,۹۱۷ |
| 7.E+06 | ۳۴۲,۲۸۰,۸۳۰ | ۴۶۰,۰۶۷,۵۱۸ | ۳۷۶,۳۸۳,۵۰۳ |
| 9.E+06 | ۳۴۲,۲۸۰,۸۳۰ | ۴۷۸,۴۵۹,۹۷۵ | ۳۷۶,۳۸۳,۵۰۳ |

**جدول ۸-۲۲ مقایسه مقدار آب مصرفی روسازیهای مختلف**

| مقدار آب مصرفی روسازی AC (متر مکعب) | مقدار آب مصرفی روسازیRCC (متر مکعب) | مقدار آب مصرفی روسازی PCC (متر مکعب) |
|---|---|---|
| ۲۲۱ | ۷۸۶ | ۱۰۷۸ |
| ۳۳۱ | ۷۸۶ | ۱۲۲۵ |
| ۳۳۶ | ۸۲۲ | ۱۳۱۳ |
| ۳۴۱ | ۸۲۲ | ۱۴۰۲ |
| ۳۴۳ | ۸۲۲ | ۱۵۵۲ |
| ۳۴۶ | ۸۹۳ | ۱۶۱۲ |
| ۳۴۶ | ۸۹۳ | ۱۶۷۳ |

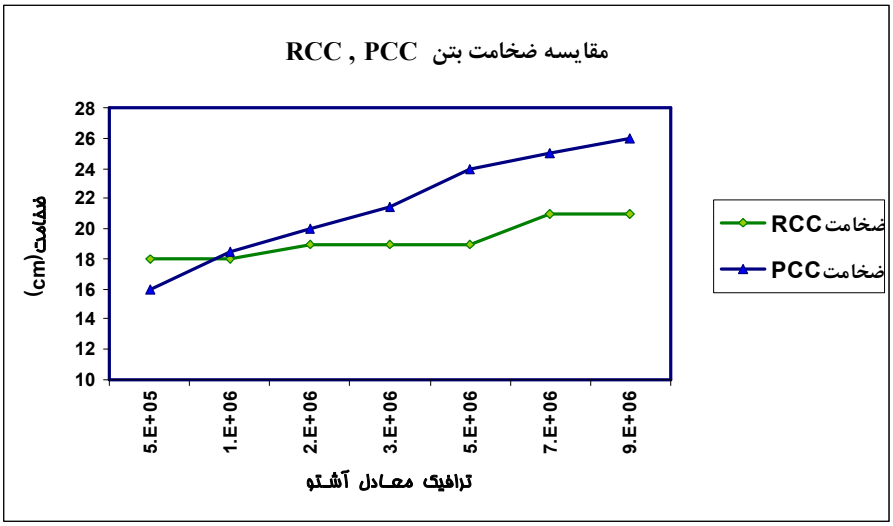
**جدول ۸-۲۳ مقایسه مقدار مصالح مصرفی روسازیهای مختلف**

| حجم مصالح مصرفی روسازیPCC (متر مکعب) | حجم مصالح مصرفی روسازیRCC (متر مکعب) | حجم مصالح مصرفی روسازی AC (متر مکعب) |
|---|---|---|
| ۳۵۳۲ | ۳۷۷۱ | ۳۰۴۵ |
| ۳۸۳۱ | ۳۷۷۱ | ۴۳۲۹ |
| ۴۰۱۳ | ۳۸۹۲ | ۴۵۳۰ |
| ۴۱۹۴ | ۳۸۹۲ | ۴۶۲۳ |
| ۴۵۰۰ | ۳۸۹۲ | ۴۷۲۳ |
| ۴۶۲۳ | ۴۱۳۴ | ۴۸۲۴ |
| ۴۷۴۶ | ۴۱۳۴ | ۴۸۲۴ |

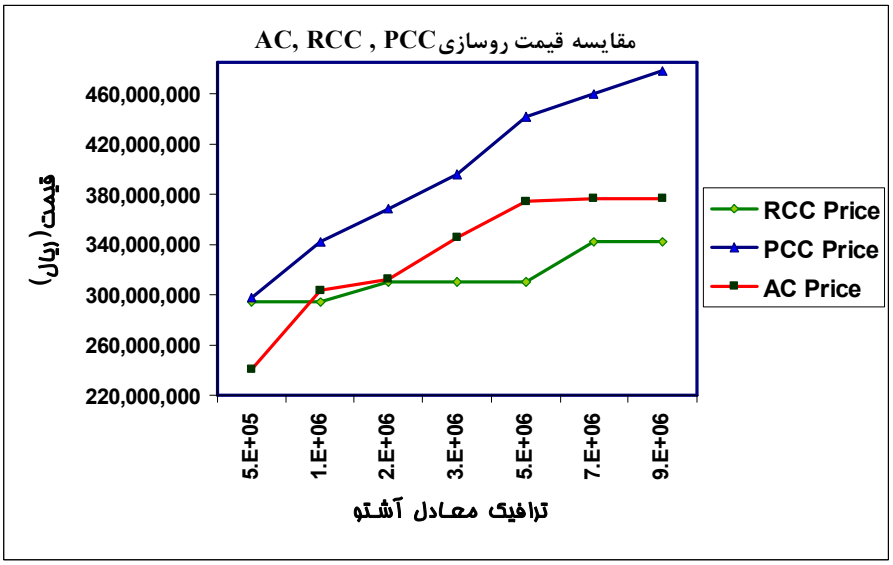
**جدول ۸-۲٤ مقایسه مقدار بتن وسیمان مصرفی روسازیهای مختلف**

| مقدار سیمان مصرفی روسازی PCC (تن) | مقدار سیمان مصرفی روسازی RCC (تن) | مقدار بتن مصرفی روسازی PCC (متر مکعب) | مقدار بتن مصرفی روسازی RCC (متر مکعب) |
|---|---|---|---|
| ۶۳۴ | ۵۷۳ | ۱۸۱۱ | ۲۰۴۵ |
| ۷۳۶ | ۵۷۳ | ۲۱۰۳ | ۲۰۴۵ |
| ۷۹۸ | ۶۰۵ | ۲۲۸۰ | ۲۱۶۲ |
| ۸۶۰ | ۶۰۵ | ۲۴۵۷ | ۲۱۶۲ |
| ۹۶۴ | ۶۰۵ | ۲۷۵۵ | ۲۱۶۲ |
| ۱۰۰۶ | ۶۷۱ | ۲۸۷۵ | ۲۳۹۸ |
| ۱۰۴۸ | ۶۷۱ | ۲۹۹۵ | ۲۳۹۸ |

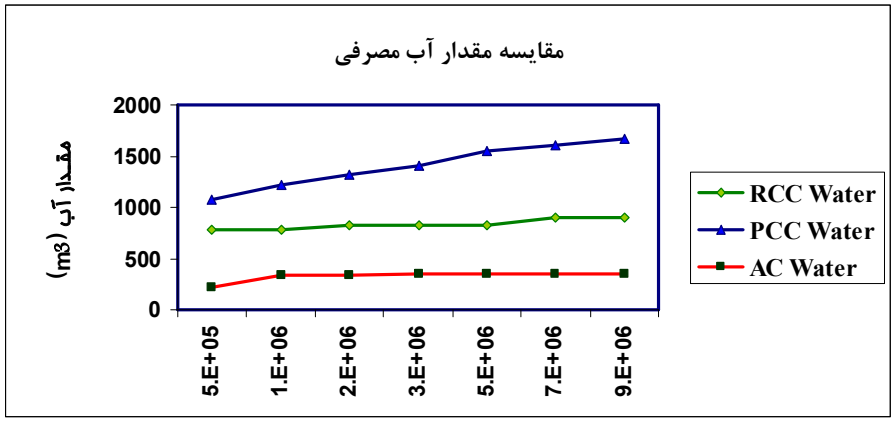
مقایسه مقادیر برآورد شده در گرافهای زیر به صورت شماتیک آمده است:



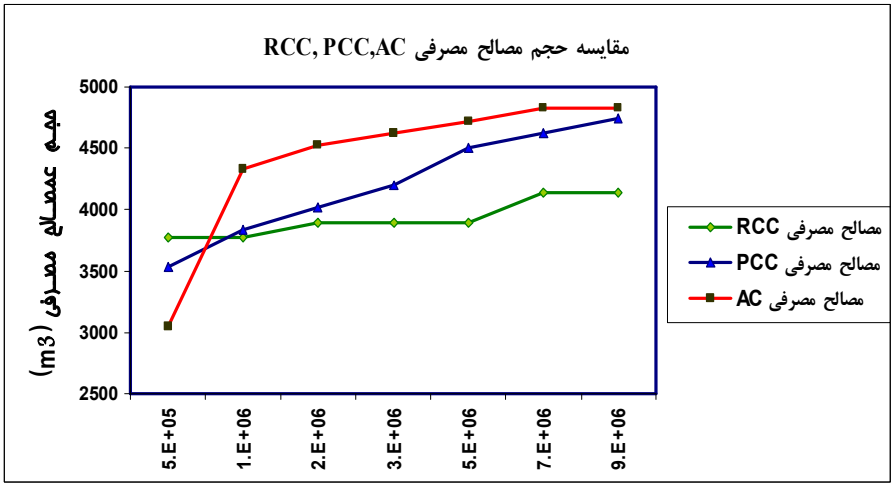

**شکل ۸-۵ مقایسه ضخامت بتن در روسازی RCC و PCC در ترافیک تفاوت**



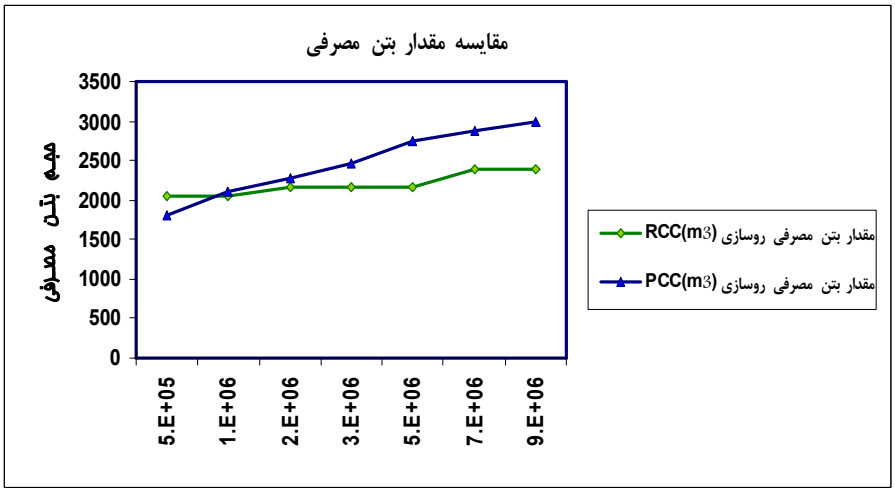

**شکل ۸-٦ مقایسه قیمت برای سه نوع روسازی AC و RCC و PCC**



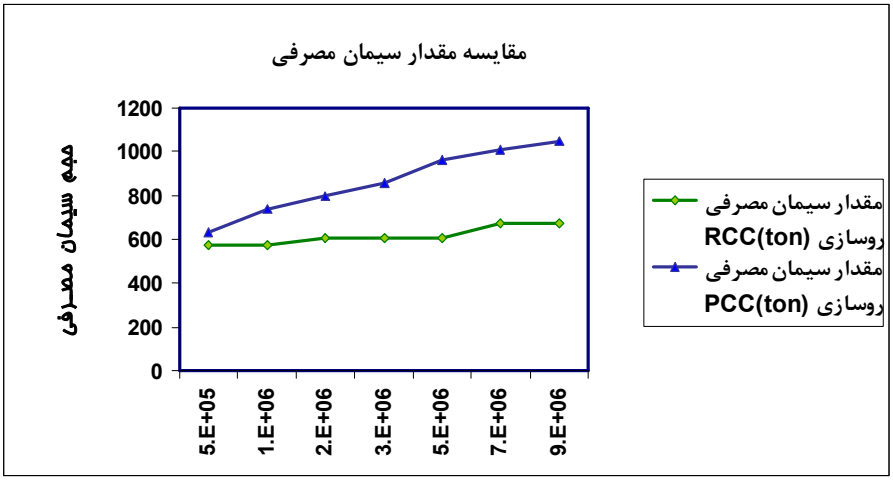

شکل ۸-۷ مقایسه مقدار آب مصرفی برای سه نوع روسازی AC و RCC و PCC




شکل ۸-۸ مقایسه حجم مصالح مصرفی در روسازی AC و RCC و PCC




شکل ۸-۹ مقایسه مقدار بتن مصرفی برای دو نوع روسازی RCC و PCC




**شکل ۸-۱۰ مقایسه مقدار سیمان مصرفی برای دو نوع روسازی RCC و PCC**

در جدول ۸-۸ ضخامت روسازی آسفالتی با توجه به ۷ حالت مختلف تعداد محورهای استاندارد ESAL محاسبه گردیده است. در جدول ۸-۱۷ نیز ضخامت روسازی PCC برای ۷ حالت مختلف ترافیک روزانه محاسبه شده است. در جدول ۸-۱۸ مقایسه‌ای بین ضخامت روسازی RCC و PCC انجام گرفته است و جداول ۸-۱۹ و ۸-۲۰ جزئیات روسازی RCC و PCC را برای هفت حالت مختلف ترافیکی نشان می‌دهد. با توجه به ضخامتهای بدست آمده در طراحی هزینه یک کیلومتر راه روسازی آسفالتی و روسازی RCC و روسازی PCC بر طبق فهرست بهای سازمان برنامه و بودجه ۱۳۸۲ محاسبه گردیده است. سپس مقایسه‌ای بین روسازی‌های RCC و PCC و آسفالتی از نظر قیمت ساخت و اجرای آنها، مقدار آب مصرفی، مقدار مصالح مصرفی، مقدار بتن و سیمان مصرفی انجام گرفته که در جداول ۸-۲۱، ۸-۲۲، ۸-۲۳ و ۸-۲۴ آورده شده است. همچنین این مقایسه بصورت منحنی در اشکال ۸-۵ الی ۸-۱۰ ارائه گردیده است.

نکته‌ای که لازم است ذکر گردد این است که در این مقایسه همانگونه که اشاره شد از هفت ترکیب مختلف ترافیکی استفاده گردیده است و با توجه به این ترکیب خاص و فرضی، ضخامت PCC مقداری کمتر از ضخامت RCC بدست آمده است و این در حالیست که معمولاً ضخامت روسازیهای RCC و PCC برای شرایط مشابه یکسان هستند. دلایلی که در اینجا می‌توان به آن اشاره کرد این است که اولاً اگر یک ترکیب ترافیکی دیگری در نظر گرفته شود ممکن است این ضخامتها برای RCC و PCC یکسان گردد.

ثانیاً روسازی RCC چون بیشتر برای روسازیهای صنعتی و با تعداد ترافیک کمتر استفاده می‌شود لذا روش طراحی و گرافهای طراحی بکار رفته جهت طراحی آن کاملاً با روسازی PCC متفاوت است و همانطور که در شکل ۸-۵ دیده می‌شود برای ترافیک تا $۱۰^{۶}$ تکرار بار محوری ضخامت RCC مساوی و یا بیشتر از ضخامت PCC شده و از $۱۰^{۶}$ به بالاتر ضخامت RCC کمتر شده است. در هر حال چنانچه ضخامت PCC و RCC حتی یکسان هم فرض گردد به دلیل استفاده سیمان کمتر در RCC و عدم نیاز به قالب‌بندی و اجرای درزها و همچنین استفاده از ماشین‌آلات معمول مورد استفاده در روسازی‌های آسفالتی نظیر فینیشر و غلتک نهایتاً استفاده از روسازی RCC مقرون به صرفه است. همچنین باید توجه گردد که کلیه هزینه‌های فوق‌الذکر برای CBR طراحی برابر با ۶ انجام گرفته است.

## ۸-۵- نتیجه‌گیری

آنالیز اقتصادی روسازیهای PCC و RCC ،آسفالتی برای هفت ترکیب ترافیکی متفاوت بدون در نظر گرفتن هزینه دورهٔ عمر آن بدلیل نداشتن ارقام و اعداد آن در ایران، نشان می‌دهد که هزینه تمام شده روسازی RCC در مقایسه با روسازیهای PCC و آسفالتی ارزان‌تر است. همانطور که نتایج آنالیز و نمودارها نشان می‌دهند قیمت روسازی RCC حدود ۲۰٪ کمتر از روسازی آسفالتی است که این مقدار صرفه‌جویی با نتایج بدست آمده در کشورهای دیگر دنیا که از روسازی RCC استفاده کرده و رقم ۲۵ تا ۳۰٪ صرفه‌جویی را گزارش داده‌اند مطابقت دارد. اگر چنانچه هزینه چرخه کل عمر روسازی را در نظر بگیریم گرچه که آنالیز آن بدلیل عدم اجرای روسازی RCC و بتنی در ایران امکان‌پذیر نیست ولی شواهد و قرائن موجود از تجربه کشورهای دنیا نشان می‌دهد که بدلیل عمر طولانی‌تر روسازی بتنی و هزینه تعمیر و نگهداری کمتر آن نسبت به روسازی آسفالتی، هزینه کلی روسازی RCC در مقایسه با روسازی آسفالتی کمتر خواهد بود. لذا توصیه می‌گردد که روسازی RCC در ابتدا در مناطق با شیبهای تند و آب و هوای گرم با بارگذاری سنگین و کند که روسازیهای آسفالتی دچار مشکل بوده و جوابگو نیستند مورد استفاده قرار گیرد.

## مراجع

1- Huang, yang, "Pavement Analysis and Design", University of Kentucky publish, 1993.

2- PCA, "Structural Design of Roller-Compacted Concrete for industrial Pavements", 1987.

3- Piarc, "The use of Roller compacted concrete pavements", 1993

4- TM 5-822-3-1/AFM 88-7-CHAPTER 1, Pavement design for roads, streets, walks and open storage areas.

5- Witczak, Yoder, "Prenciple of Pavement Design", John Willy & sons, 1975.

6- Yang, N., "Design of Functional Pavement", Mc Graw Hill Publish, 1972.

# فصل نهم

## ضوابط مواد، مصالح، طرح اختلاط، اجرا و کنترل کیفیت روسازی‌های بتن غلتکی

# فصل نهم

# ضوابط مواد، مصالح، طرح اختلاط، اجرا و کنترل کیفیت روسازی‌های بتن غلتکی

## ۹-۱- مقدمه

در این فصل بر اساس مطالب تفصیلی ارائه شده در فصول قبلی گزارش سعی شده است جمع‌بندی از مطالب در چارچوب ضوابط و دستورالعمل برای مواد و مصالح، طرح اختلاط، ساخت و اجرا و کنترل کیفی روسازی‌های بتن غلتکی ارائه گردد.

شایان توجه است که هر چند بتن غلتکی علاوه بر ساخت روسازی راه در ساخت سدهای بتن غلتکی نیز کاربرد دارد، لیکن الزامات بتن غلتکی مورد استفاده در سدسازی با الزامات بتن غلتکی روسازی متفاوت بوده و بسیاری از مواردی که برای بتن غلتکی سدسازی صادق است برای بتن غلتکی راه‌سازی قابل اعمال نخواهد بود. به طور مثال برای بتن‌های غلتکی سدسازی با توجه به ابعاد بزرگ سازه، مسأله حرارت‌زایی از ملاحظات عمده بوده و در بسیاری موارد از درصدهای بالای مواد پوزولانی جهت کاهش حرارت زایی استفاده می‌شود. لیکن ضخامت روسازی بتن غلتکی محدود بوده و حرارت‌زایی کم جزء الزامات اصلی طراحی آن نیست و لذا جهت امکان دستیابی به روند قابل قبول کسب مقاومت درصد مواد پوزولانی در صورت استفاده به ۱۵ تا ۲۰ درصد مواد سیمانی محدود می‌گردد [۵].

همچنین بتن‌های غلتکی سدسازی در بسیاری موارد دارای الزامات مقاومتی پایینی هستند (خصوصاً انواع با خمیر سیمان کم و متوسط[1]) و جهت دستیابی به الزامات دوام برای سد، رویه ضخیمی از بتن معمولی، بخش داخلی بتن غلتکی را پوشش می‌دهد. به همین دلیل در بتن‌های غلتکی سدسازی در مواردی مشخصات فنی پروژه‌ها اجازه کاربرد مصالح سنگی با محدودیتهای کمتری نسبت به آنچه برای بتن معمولی متعارف است را می‌پذیرند. لیکن برای بتن‌های غلتکی روسازی الزامات مقاومتی و دوام قابل توجهی مورد نیاز است و لذا الزامات کیفی سنگدانه‌ها در حد سنگدانه‌های بتن معمولی است.

## ۹-۲- مواد و مصالح

در بتن‌های غلتکی روسازی همانند بتن‌های معمولی اجزاء تشکیل‌دهنده عمدتاً شامل سیمان، سنگدانه‌ها و آب است. همچنین مواد افزودنی معدنی به عنوان مواد مکمل سیمان و مواد افزودنی شیمیایی جهت اصلاح خواص در مواردی به کار می روند. ذیلاً ضوابط کیفیت مواد و مصالح ارائه شده است.

### ۹-۲-۱- سیمان

همه انواع سیمان پرتلند بجز سیمان نوع III (سیمان با روند سریع سخت‌شدن)، می‌توانند در ساخت مخلوطهای بتن غلتکی به کار روند. سیمان نوع III به علت گیرش سریع‌تر نسبت به دیگر انواع سیمان برای ساخت روسازی بتن غلتکی مناسب نبوده و نباید به کار رود [۵و۱۲]. ضمناً در کاربرد سیمانهای پرتلند آمیخته حاوی پوزولان یا سرباره، روند کندتر کسب مقاومت این نوع سیمان‌ها باید با توجه به ملاحظاتی نظیر مدت زمان عمل‌آوری لازم و همچنین زمان بهره‌برداری از روسازی مد نظر قرار گیرند. به هر حال مقاومتهای تعیین شده در مقاطع زمانی مورد نظر باید توسط بتن غلتکی ساخته شده با سیمان مورد استفاده حاصل گردد. سیمان مصرفی باید الزامات استاندارد ایران و یا استاندارد ASTM را برای نوع سیمان مورد نظر ارضا نماید.

1- Low & Medium Paste RCC

در صورتی که آب و یا خاک تماس با روسازی بتن غلتکی حاوی املاح سولفاتی باشد لازم است بسته به شرایط از سیمان نوع II و یا سیمان نوع V استفاده شود. ضوابط ذکر شده در آیین‌نامه بتن ایران برای انتخاب نوع سیمان مصرفی در شرایط سولفاتی (جداول ۶-۳-۳-۳ الف و ب آیین‌نامه بتن ایران [آبا]) می‌توانند به عنوان راهنما مدنظر قرار گیرند.

### ۹-۲-۲- سنگدانه‌ها

سنگدانه‌های مصرفی در ساخت روسازی بتن غلتکی باید دارای کیفیت و دانه‌بندی مناسب باشند. سنگدانه‌ها به صورت طبیعی یا شکسته و یا مخلوطی از این دو می‌توانند مورد استفاده قرار گیرند. سنگدانه‌های به کار رفته در بتن غلتکی روسازی باید دارای بخش ماسه به صورت مجزا و بخش شن به صورت مجزا باشند [۱۱].

الزامات عمومی سنگدانه‌ها باید مطابق الزامات استاندارد ۳۰۲ ایران و یا استاندارد آمریکا ASTM C33 باشند. علاوه بر موارد ذکر شده در استانداردهای فوق‌الذکر سنگدانه‌های مصرفی باید الزامات ذیل را نیز ارضا نمایند:

- اندازه حداکثر شن مصرفی باید به ۲۰ میلیمتر محدود گردد تا امکان دستیابی به کیفیت مطلوب سطح فراهم آید [۱۲].
- هر چند ASTM C33 مقدار حداکثر عبوری از الک شماره ۲۰۰ را به ۵ درصد وزن ماسه محدود کرده است، لیکن در صورتی که مواد عبوری از الک شماره ۲۰۰ برای ماسه، غیر پلاستیک باشند، مقادیر بالاتر نیز مجاز است. بالا بودن مواد بسیار ریز غیرپلاستیک به عنوان یک پرکننده معدنی می‌تواند در بتن غلتکی مفید باشد و مقدار خمیر[1] را در مخلوط افزایش دهد. لذا در صورت غیرپلاستیک بودن مواد عبوری از الک شماره ۲۰۰ حداکثر مقدار این مواد به صورت درصدی از وزن کل سنگدانه ها می تواند تا حداکثر ۸ درصد مجاز تلقی گردد [۱۱و ۵ و۱۳]

### ۹-۲-۳- آب

کیفیت آب برای ساخت بتن غلتکی روسازی باید مشابه کیفیت آب برای بتن‌های معمولی باشد.

### ۹-۲-٤- مواد افزودنی شیمیایی

با توجه به مقدار کم آب در مخلوطهای بتن غلتکی و همچنین پایین بودن کارایی آنها، مواد افزودنی شیمیایی در مقادیر مصرف متعارف، عملکرد مناسبی در بتن‌های غلتکی نداشته‌اند. دستیابی به هوازایی در بتن‌های غلتکی دشوار و نیازمند مقادیر مصرف بسیار بالاتر نسبت به بتن‌های معمولی است. به این دلیل در شرایطی که احتمال ذوب و انجماد بتن‌های غلتکی روسازی می‌رود باید نسبت آب به سیمان مخلوط پایین بوده و همچنین لایه اساس زیر بتن غلتکی دارای زهکشی مناسب باشد، به نحوی که روسازی بتن غلتکی تحت شرایط اشباع قرار نگیرد.

در خصوص مواد روان‌ساز نیز باید توجه داشت که دستیابی به خواص مورد نظر دشوار بوده و نیازمند مصرف مقادیر بالاتر نسبت به بتن‌های متعارف است.

1- Paste

### ۹-۲-۵- مواد افزودنی معدنی

همانطور که در بخش مواد سیمانی ذکر شد، در ساخت بتن‌های غلتکی می‌توان از سیمان پرتلند آمیخته یا از سیمان پرتلند و پوزولان و یا سرباره به صورت مجزا استفاده نمود. در این صورت کیفیت پوزولان یا سرباره مصرفی باید مطابق با الزامات استانداردهای ASTM C989 [۸] و ASTM C618 [۷] باشند.

## ۹-۳- طرح اختلاط

منظور از طرح اختلاط بتن غلتکی، تعیین مقادیر اجزاء بتن شامل درشت‌دانه (شن)، ریزدانه (ماسه)، سیمان، مواد افزودنی معدنی (در صورت استفاده) و آب در واحد حجم بتن غلتکی است. انتخاب مقادیر اجزاء باید به نحوی صورت گیرد که الزامات مورد نظر مکانیکی بتن سخت شده که عمدتاً به صورت مقاومت فشاری یا کششی و یا خمشی در سن یا سنین مشخص تعریف می‌گردند حاصل گردند و الزامات دوام نیز ارضا شوند. همچنین مخلوط باید با کارایی مناسب انجام گردد به نحوی که تراکم مطلوب آن با غلتک ارتعاشی میسر بوده و انسجام کافی مخلوط به نحوی فراهم آید که در حین عملیات اجرایی دچار جداشدگی نگردد. روشهای مختلف توسط سازمانها و مراجع جهت طرح اختلاط بتن غلتکی ارائه شده‌اند. جزئیات دو روش متداول در بخش‌های ۵-۲-۱ و۵-۲-۲ گزارش ارائه گردید که می‌توانند توسط کاربران مورد استفاده قرار گیرند. هر روشی که برای تعیین مقادیر اجزاء بتن غلتکی روسازی در واحد حجم به کار می‌رود باید منجر به تولید بتن غلتکی با خواص مقاومتی، کارایی و دوام مشخص شده برای پروژه مورد نظر شود. در عین حال الزامات کلی ذیل در رابطه با تعیین مقادیر اجزاء بتن غلتکی قابل ارائه است:

مقاومت میانگین که طرح اختلاط برای دستیابی به آن صورت می‌گیرد باید با حاشیه ایمنی مناسبی بیشتر از مقاومت طراحی بتن غلتکی باشد. هر چند عمدتاً مقاومت خمشی مبنای طراحی روسازی‌های بتن غلتکی است، لیکن به علت دشواری‌های موجود در تهیه نمونه‌های خمشی خصوصاً در مرحله کنترل کیفیت بتن‌های غلتکی، در بسیاری موارد رابطه‌ای بین مقاومت خمشی و مقاومت فشاری استوانه‌ای تعیین و یا فرض شده و طرح اختلاط بر مبنای مقاومت فشاری نمونه‌های سیلندری با ابعاد ۳۰×۱۵ سانتیمتر صورت می‌گیرد. روش ساخت نمونه‌های استاندارد تعیین مقاومت فشاری بتن غلتکی در استاندارد ASTM C1170 [۹] تشریح شده است. رابطه ذیل جهت تبدیل مقاومت فشاری($f_c$) و خمشی ($f_b$) می‌تواند به کار رود:

واحد متریک (مگاپاسکال) $f_b = 0.75\sqrt{f_c}$

واحد امریکایی (پوند بر اینچ مربع) $f_b = 9\sqrt{f_c}$

همانطور که ذکر شد به منظور لحاظ کردن شرایط کارگاهی و نحوه کنترل کیفیت، لازم است تا مقاومت فشاری طرح اختلاط $f_m$ (مقاومتی که طرح اختلاط بر اساس آن انجام می‌شود)، بیشتر از مقدار مقاومت فشاری مشخصه (مقاومتی که طراحی مقاومتی بر اساس آن صورت گرفته ($f_c$)) باشد. روابطی که برای بتن‌های معمولی ارائه شده‌اند و برای بتن‌های غلتکی نیز می‌توانند به کار روند عبارتند از [۳] و [۱۴] :

$$f_m = f_c + 1.34\,S$$

$$f_m = f_c + 2.33\,S - 3.445$$

که S انحراف معیار کارگاه است.

برای محاسبه انحراف معیار کارگاه لازم است حداقل تعداد ۳۰ آزمایش با مصالح و شرایط کارگاهی تهیه شده و انحراف از مقدار مقاومت میانگین مشخص گردد. در صورتیکه کمتر از ۳۰ نتیجه آزمایش موجود باشد، ضرایب اصلاحی جدول ۹-۱ در انحراف معیار بدست آمده ضرب خواهد شد.

**جدول ۹-۱ ضرایب اصلاحی انحراف معیار**

| تعداد آزمایشهای انجام شده | ضریب اصلاحی انحراف معیار |
|---|---|
| ۱۵ | ۱/۱۶ |
| ۲۰ | ۱/۰۸ |
| ۲۵ | ۱/۰۳ |
| ۳۰ یا بیشتر | ۱/۰۰ |

هنگامیکه آزمایشات لازم برای محاسبه انحراف معیار کارگاهی موجود نباشد، مقاومت طرح اختلاط با توجه به جدول ۹-۲ محاسبه می‌گردد.

**جدول ۹-۲ محاسبه مقاومت طرح اختلاط بدون محاسبه انحراف معیار کارگاه**

| مقاومت مشخصه ($f_c$) | مقاومت طرح اختلاط ($f_m$) |
|---|---|
| کمتر از ۲۰/۶ مگاپاسکال | $f_c$+۶/۸۹ |
| ۲۰/۶– ۳۴/۴ مگاپاسکال | $f_c$+ ۸/۲۶ |
| بیشتر از ۳۴/۴ مگاپاسکال | $f_c$+ ۹/۶۴ |

مقاومت مشخصه بتن غلتکی در مواردی که به عنوان لایه نهایی روسازی به کار می‌رود نباید کمتر از ۲۷/۵ مگاپاسکال روی نمونه سیلندری استاندارد گردد [۵].

جهت حفظ انسجام مخلوط بتن غلتکی روسازی درصد مواد ریزتر از الک ۷۵ میکرومتر (الک شماره ۲۰۰) به عنوان درصدی ازکل مواد سنگی، باید حداقل ۲ درصد باشد [۵ و ۱۲].

زمان وی‌بی اصلاح شده مخلوط بتن غلتکی با سربار ۲۲/۵ کیلوگرم که به روش ASTM C 1170 [۹] صورت می‌گیرد در محدوده ۳۰ تا حدود ۵۰ ثانیه تنظیم گردد [۵].

اندازه حداکثر اسمی سنگدانه‌ها باید،حدود ۲۰ میلیمتر محدود گردد [۵ و ۱۲ و ۱۱].

## ۹-٤- اجرا (تولید، انتقال، ریختن، متراکم کردن، عمل آوری و ایجاد درزها)

### ۹-٤-۱- تولید بتن غلتکی

با توجه به مقدار کم آب مخلوط، بتن غلتکی نیاز به مخلوط کردن نسبتاً شدید دارد تا بتوان به همگنی و پخش مناسب مواد در بتن دست یافت. مخلوط‌کن‌هایی که معمولاً در تولید آسفالت به کار می‌روند برای این کار مناسب هستند. همچنین مخلوط‌کن‌های تغاری[1] نیز قابلیت اختلاط مناسب این مخلوط‌ها را دارند [۱۲ و ۵]. هر چند از مخلوط‌کن‌های بشکه‌ای نیز در برخی پروژه‌ها استفاده شده است ولی دستیابی به مخلوط همگن با این نوع مخلوط‌کن‌ها مستلزم صرف وقت بیشتر و دقت جهت حصول اطمینان از همگنی مخلوط دارد.

ظرفیت مخلوط‌کن باید در حدی باشد که هیچ‌گونه وقفه‌ای در عملیات ریختن بتن توسط دستگاه ساخت روسازی[2] پیش نیاید. حداقل ظرفیت مخلوط‌کن باید۱۰۰مترمکعب در ساعت باشد مگر در کارهای کوچک(کمتر از۱۰۰۰مترمربع سطح روسازی)[۱۲]. دستگاه بتن‌ساز باید نزدیک محل پروژه بوده و نباید فاصله حمل از محل تولید تا دستگاه روسازی بتن بیشتر از۱۵دقیقه گردد.

### ۹-٤-۲- انتقال بتن غلتکی

انتقال بتن غلتکی روسازی توسط کامیون‌های دامپر صورت می‌گیرد. کامیون‌های دامپر باید دارای پوشش محافظ باشند تا از تبخیر رطوبت بتن غلتکی در حین انتقال جلوگیری کنند.

### ۹-٤-۳- ریختن

بتن غلتکی باید روی سطح آماده شده ریخته شود که این سطح عموماً شامل خاک بستر و یک لایه اساس است. این لایه‌ها مشابه آنچه برای روسازی بتنی معمولی در نظر گرفته می‌شود باید به نحو مناسبی تسطیح و متراکم شده باشند تا یک سطح صاف و مستحکم جهت امکان تراکم لایه بتن غلتکی روسازی بدون نشست فراهم آورند.

قبل از ریختن بتن غلتکی، سطح لایه اساس باید مرطوب گردد تا باعث جذب رطوبت از بتن غلتکی تازه ریخته شده نگردد [۱۲]. بتن غلتکی روسازی باید توسط دستگاه روسازی ریخته شود. دستگاه روسازی باید دارای تجهیزات لازم برای کنترل تراز و امتداد بوده و بتواند روسازی را با دانسیته مورد نظر و صافی سطح یکنواخت اجرا نماید.

دستگاههای اجرای روسازی آسفالتی با اعمال تغییراتی برای اجرای روسازی بتن غلتکی می‌توانند به کار روند. این تغییرات عبارت است از بزرگتر کردن دهانه بین ورودی مواد اولیه و شمشه به نحوی که امکان عبور حجم زیاد مصالح سفت فراهم آید. باید دقت شود که هیچ گاه مخزن ورودی مواد اولیه خالی نماند زیرا منجر به عدم یکنواختی در سطح می‌گردد.

دستگاه آسفالت‌ریز جهت اعمال روسازی بتن غلتکی باید علاوه بر یک شمشه لرزان حداقل دارای یک میله کوبش باشد. بتن باید حداکثر ۴۵ دقیقه بعد از تماس آب با سیمان باید ریخته و کوبیده شود. وقتی بتن غلتکی در باندهای کنار هم ریخته شود بتن جدید باید حداکثر در فاصله زمانی یک ساعت از اجرای بتن قدیم ریخته شود تا بتوان آن را درز تازه[3] و قابل تراکم همزمان و

1- Pan Mixers
2- Paver
3- Fresh Joint

یکپارچه تلقی نمود.در صورت عدم امکان رعایت فاصله زمانی یک ساعت باید روشهای اجرای درزهای سرد (درزهای اجرایی) به کار برده شود. اگر شرایط محیطی نامناسب باشد، فاصله یک ساعت فوق الذکر بایستی کاهش یابد.

در زمان اجرای درز تازه، هنگام ریختن بتن جدید در کنار بتن قدیم، سطح شمشه دستگاه روسازی باید روی سطح بتن غیر متراکم باند کنار آن تنظیم گردد تا دو باند دارای یک ارتفاع باشند و در هنگام تراکم نیز به نحو مناسبی با یکدیگر متراکم شوند.

### ۹-٤-٤- ضخامت لایه

حداکثر ضخامت لایه بستگی به توانایی فینیشر در ایجاد یک لایه روسازی به صورت صاف و پیوسته دارد. حداکثر ضخامت لایه ریخته شده غیر متراکم ۲۵۰ میلیمتر است که بعد از تراکم این ضخامت از ۱۰ تا ۲۰ درصد کاهش می‌یابد. حداقل ضخامت یک لایه بعد از تراکم باید ۱۰۰ میلیمتر باشد.

اگر ارتفاع کلی لایه غیر متراکم روسازی بتن غلتکی از ظرفیت فینیشر بیشتر باشد،آنگاه روسازی باید در دو یا تعداد بیشتر لایه ریخته شود. اتصال کافی باید بین دو لایه ایجاد گردد. حداکثر فاصله زمانی بین اتمام کوبیدن یک لایه و ریختن و متراکم کردن لایه بعدی تا نیم ساعت به شرایط محیطی وابسته است. اگر رعایت فاصله زمانی امکان‌پذیر نباشد ابتدا باید یک ملات اتصال روی لایه اول اعمال شود.

در ساخت بتن غلتکی دولایه، ضخامت غیر کوبیده لایه اول باید حداکثر دوسوم ضخامت کلی غیرکوبیده روسازی و یا حداکثر ضخامت قابل ریختن با فینیشر (هر کدام که کوچکتر است) باشد. ضخامت کمتر لایه رویه باعث ایجاد امکان دستیابی به روسازی با سطح نمایی صاف‌تر می‌گردد.

## ۹-۵- متراکم نمودن

بلافاصله بعد از ریختن بتن غلتکی تازه توسط دستگاه روسازی، بتن غلتکی باید توسط تعداد عبور کافی غلتک دو استوانه‌ای فلزی تا رسیدن به دانسیته مشخص متراکم گردد. تعداد عبور لازم توسط غلتک باید توسط مقطع آزمایشی مشخص گردد. معمولاً حداقل ۴ عبور غلتک ارتعاشی با وزن استاتیکی ۱۰ تن جهت تراکم لازم است. هر رفت و برگشت ۲ عبور حساب می‌شود. بعد از اتمام تراکم توسط غلتک ارتعاشی چرخ فلزی، درزها و ترکهای به جا مانده در سطح باید توسط دو یا بیشتر عبور غلتک چرخ لاستیکی (ترجیحاً۱۰ تا ۲۰ تن) مرتفع شود.

در برخی پروژه‌ها ممکن است برای رفع جای لاستیک و بهبود صافی سطح، عبور غلتک دو استوانه‌ای فلزی در حالت استاتیکی لازم باشد.

تحت هیچ شرایطی نباید بیشتر از ۱۰ دقیقه بین بتن ریزی و شروع تراکم توسط غلتکها فاصله بیفتد. غلتک‌زنی باید طی حداکثر ۴۵ دقیقه از زمانی که سیمان با آب مخلوط شده است تکمیل گردد.

### ۹-۵-۱- نحوه غلتک‌زنی

ابتدا باید دو عبور غلتک به صورت استاتیکی روی تمامی سطح بتن غلتکی غیر از درزها صورت گیرد. سپس در حالت ارتعاشی غلتک باید حداقل ۴ عبور روی کلیه سطح بتن غلتکی به روش تشریح شده در ذیل انجام دهد.

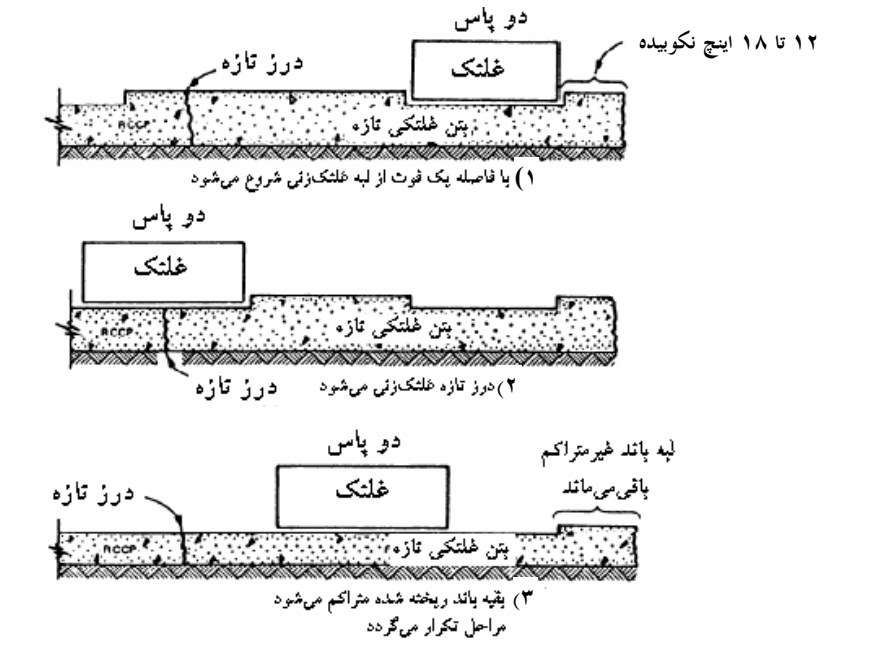
غلتک باید با فرکانس، دامنه ارتعاش و سرعت مناسب حرکت کند. برای تراکم معمولاً فرکانس پایین و دامنه ارتعاش بالا مناسب می‌باشد. سرعت حرکت باید حداکثر ۳/۲ کیلومتر بر ساعت باشد.

غلتک نباید به هیچ وجه در حالت سکون وارد حالت ارتعاشی شده و یا از حالت ارتعاشی خارج شود بلکه باید در حین حرکت این کار صورت گیرد.

جهت تراکم ارتعاشی ابتدا ۲ عبور روی کناره خارجی باند اول یا اگر کل پروژه یک باند است ۲ عبور روی هر دو کناره خارجی آن باند صورت گیرد. این کار به نحوی صورت می گیرد که ۲۵ تا ۵۰ میلیمتر از استوانه غلتک از روی بتن غلتکی بیرون بزند. کناره‌های داخلی که قرار است مجاور باند دیگر قرار گیرد باید با فاصله ۳۰۰ تا ۵۰۰ میلی متر از لبه درز داخلی تازه متراکم گردد (شکل ۹-۱). موارد فوق تکرار شود تا ۴ عبور غلتک روی کل سطح داشته باشیم. اگر به دانسیته مورد نظر نرسیدیم باید تعداد عبور غلتک افزایش یابد.

## ۹-۵-۲- نحوه اجرای درزهای تازه

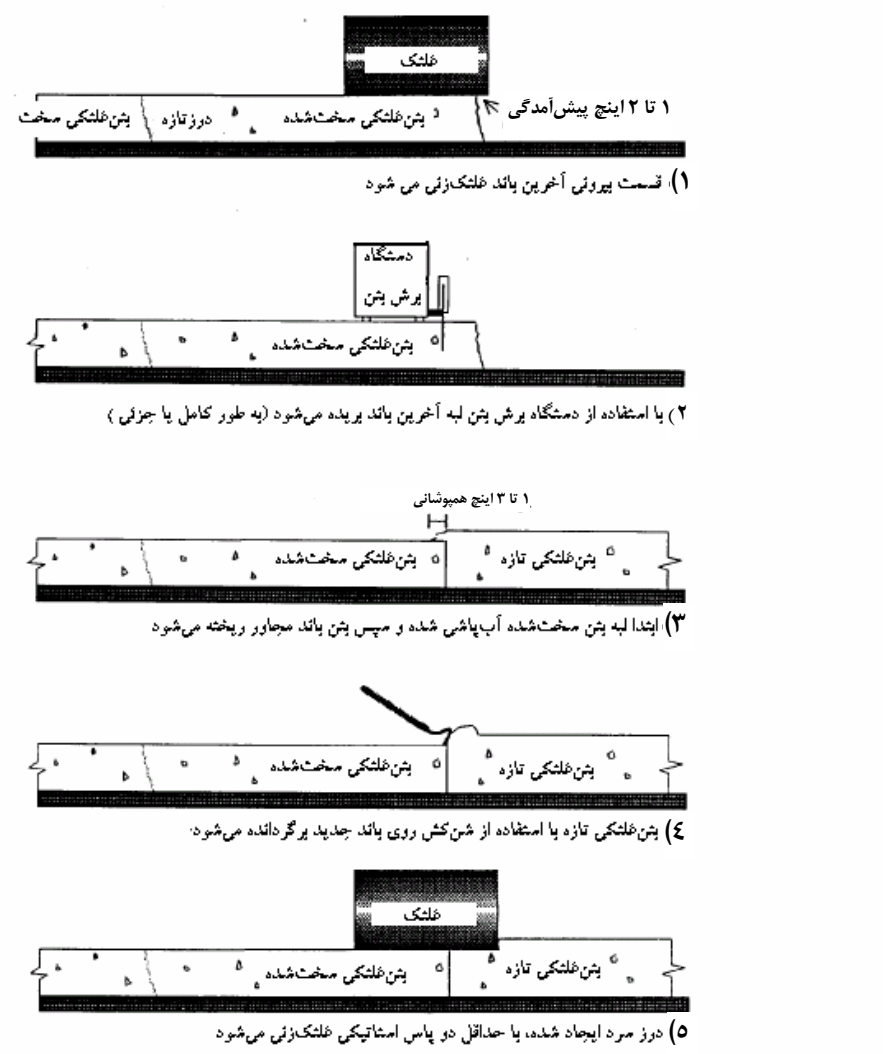
بتن باندی که قرار است در کنار آن باند دیگری ریخته و دو باند با یکدیگر متراکم شده و درز تازه تلقی گردد ، تا فاصله ۳۰۰ تا ۵۰۰ میلیمتر از لبه داخلی توسط غلتک ارتعاشی متراکم می‌گردد.نکته آنکه حداکثر فاصله زمانی بین اجرای دو باند مجاور باید برابر یک ساعت باشد،که در شکل (۹-۱) نشان داده شده است. سپس بتن باند دوم در همان تراز قسمت متراکم نشده باند اول ریخته می‌شود و دو باند با یکدیگر غلتک زده می‌شوند.




**شکل ۹-۱ نحوه اجرای درز تازه**

## ۹-۵-۳- نحوه اجرای درزهای سرد[1]

به این درزها درزهای اجرایی[2] نیز می‌گویند. درزهای بین دو باند که قابل اجرای توأم در فاصله زمانی حداکثر نیستند بناچار به صورت درز سرد اجرا می‌گردند. غلتک‌زنی روی کناره باند اول که قرار است به صورت درز سرد اجرا گردد با یک آویز استوانه حدود ۲۵ تا ۵۰ میلیمتر روی باند انجام می‌گیرد. قبل از ریختن باند دوم در کنار باند اول، ابتدا لبه باند اجرا شده به صورت عمودی در کل ضخامت لایه بریده می‌شود. این لبه عمودی قبل از ریختن باند کناری باید مرطوب گردد. جزئیات در شکل (۹-۲) نشان داده شده است.




**شکل ۹-۲: نحوه اجرای درز سرد (درز اجرایی)**

1- Cold Joint
2- Construction Joint

دستگاه روسازی در اجرای باند دوم باید ارتفاع اضافی لایه جهت جبران افت ارتفاع ناشی از تراکم را در نظر بگیرد. ضمناً باید بتن ۲۵ تا ۷۵ میلیمتر روی باند اول هم ریخته شود. بتن اضافی ریخته شده روی باند اول به روی باند دوم هل داده می‌شود به نحوی که هیچ بتن اضافی روی بتن سخت شده باند اول نماند. سپس غلتک باید در حالت استاتیک بتن قدیم و حدود ۳۰ سانتیمتر از بتن جدید را با دو یا دفعات بیشتر عبور، متراکم نماید.

### ۹-۵-٤- تراکم بخش پایان یک باند

وقتی به انتهای یک باند می‌رسیم غلتک باید از روی بتن عبور کرده و بیرون برود و ایجاد یک لبه شیب‌دار کند. بتن اضافی در شروع بخش شیب‌دار باید توسط اره بتن بریده شود تا یک سطح عمودی و با ضخامت مورد نظر ایجاد گردد. بتن اضافی برداشته شده و ادامه به صورت یک درز سرد اجرا می‌گردد.

## ۹-٦- عمل آوری

با توجه به سطح زبر و بازتر بتن غلتکی نسبت به بتن‌های معمولی، این نوع بتن‌ها خیلی زود خشک می‌شوند و لذا عمل‌آوری سریع در این نوع بتن‌ها حائز اهمیت است. بلافاصله بعد از اتمام عملیات تراکم عمل‌آوری اولیه باید توسط افشاننده‌های آب به صورت اسپری آغاز گردد. عمل‌آوری با پاشش مستقیم آب روی بتن غلتکی تازه توصیه نمی‌شود چون ممکن است موجب شسته‌شدن مواد سیمانی بسیار ریز بتن گردد. بعد از عمل آوری اولیه سطح بتن با استقرار تجهیزات آب‌پاش یا اسپری‌کننده آب روی سطح بتن و یا گونی‌هایی که دائماً خیس نگاه داشته می‌شود حداقل تا ۷ روز و ترجیحاً تا ۱۴ روز بسته به شرایط محیطی باید ادامه پیدا کند. عمل‌آوری توسط ترکیبات عمل‌آوری[1] به عنوان تنها روش عمل آوری توصیه نمی‌شود و تنها پس از عمل آوری مرطوب برای ۲۴ ساعت اولیه می‌تواند اعمال گردد که در این صورت نیز عملکرد مناسب و مقدار مصرف مواد مورد نظر قبل از اعمال روی پروژه باید در مقطع آزمایشی مشخص گردد.

## ۹-۷- تحت بار قرار گرفتن روسازی بتن غلتکی در سنین اولیه

تمامی وسایل نقلیه باید از تردد روی بتن غلتکی تا پایان زمان عمل آوری خودداری کنند. اگر واقعاً غیر قابل اجتناب باشد کامیون اسپری آب می‌تواند روی روسازی تردد نماید ولی باید تردد به حداقل محدود گردد و از دور زدن روی روسازی خودداری گردد.

## ۹-۸- ایجاد درزهای انقباض[2]

بتن‌های غلتکی روسازی عمدتاً بدون درز انقباضی اجرا می‌شدند و اجازه ترک خوردگی به صورت طبیعی به آنها داده می‌شد تا در هزینه‌ها صرفه‌جویی شود. نهایتاً مشخص شد که این امر موجب ایجاد ترکهای بزرگ می‌شود که شکستگی لبه‌های این ترکها هزینه‌های اضافی نگهداری و مرمت را به پروژه تحمیل می‌کند. لذا امروزه درزهای انقباضی در روسازی‌های بتن غلتکی نیز بریده می‌شوند. بریدن بتن توسط اره بتن با تیغه حدود ۳ میلیمتر صورت می‌گیرد. عمق برش باید حداقل یک‌چهارم ضخامت روسازی بتنی باشد.

1- Curing Compound
2- Contraction Joints

زمان بریدن درزها باید زمانی باشد که بتن مقاومت کافی جهت ایجاد برش بدون لب‌پریدگی و یا بیرون‌پریدگی سنگدانه‌ها را کسب کرده باشد. این زمان توسط مراجع مختلف از ۴ تا ۲۰ ساعت و از چند ساعت تا ۴۸ ساعت ذکر شده است [۱۲ و ۵].

فواصل درزهای بریده شده نباید بیشتر از ۱۲متر در نظر گرفته شود، مگر آنکه اطلاعات لازم جهت توجیه فواصل بیشتر موجود باشد. درزهای بریده شده باید توسط مواد پرکننده پر شوند تا از ورود مواد جامد که می‌توانند جلو حرکت و عملکرد درز را بگیرند، جلوگیری گردد. همچنین مواد پرکننده درز، از ورود رطوبت به لایه‌های زیرین که می‌تواند باعث آب شکستگی مواد ریز در لایه اساس شده و باربری زیر لبه‌های روسازی را کاهش دهد، جلوگیری می‌کند.

## ۹-۹- وسایل انتقال بار از بین ترک

کارآیی کم و روش ساخت روسازی بتن غلتکی اجازه کاربرد وسایل انتقال‌دهنده بار از بین درزها نظیر داول‌ها و یا لبه‌های شکل داده شده در بتن دو طرف درز جهت انتقال برش را نمی‌دهد.

## ۹-۱۰- کنترل کیفیت

هدف از کنترل کیفیت اعمال کنترل‌هایی است که منجر به تولید بتن غلتکی با مصالح مطابق مشخصات فنی و با طرح اختلاط تصویب شده گشته و به نحو مناسبی اجرا گردد که مشخصات مقاومتی، دوام وکیفیت سطح وصافی مورد نظر را بدست دهد.

در مرحله طرح اختلاط مقادیر اجزاء بتن غلتکی جهت دستیابی به خواص مقاومتی، دوام و کارائی مورد نظر تعیین می‌گردد. هر چند طراحی روسازی معمولاً بر اساس مقاومت خمشی بتن در سن مشخص صورت می‌گیرد لیکن با توجه به دشواری در ساخت نمونه‌های خمشی، معمولاً نمونه‌های استوانه‌ای استاندارد بتن غلتکی، جهت کنترل دستیابی به خواص مقاومت در نظر گرفته می‌شوند و عموماً مقاومت فشاری و یا کششی غیرمستقیم نمونه‌های استوانه‌ای مبنای طرح اختلاط و کنترل کیفی قرار می‌گیرند. بحث طرح اختلاط در بخش ۹-۳ از الزامات مطرح گردید. پس از مشخص شدن مقادیر اجزاء، بحث کنترل کیفیت بتن غلتکی در سه مرحله پیش از ساخت، در حین ساخت و پس از ساخت مطرح می‌باشد که ذیلاً به این موارد پرداخته شده است.

### ۹-۱۰-۱- کنترل کیفیت پیش از ساخت

این مرحله شامل کنترل کیفی مواد و مصالح، سیستم توزین و پیمانه کردن مصالح، تجهیزات بتن‌سازی، تجهیزات انتقال، اجرا، ساخت و نظارت بر یک مقطع آزمایشی می‌باشد.

- نمونه‌برداری و آزمایش مصالح سنگی، سیمان، آب ومواد افزودنی احتمالی مطابق آنچه برای بتن معمولی صورت می گیرد انجام می یابد.

- روش انتقال و بتن ریزی بررسی می‌گردد تا منجر به جداشدگی نگردد.

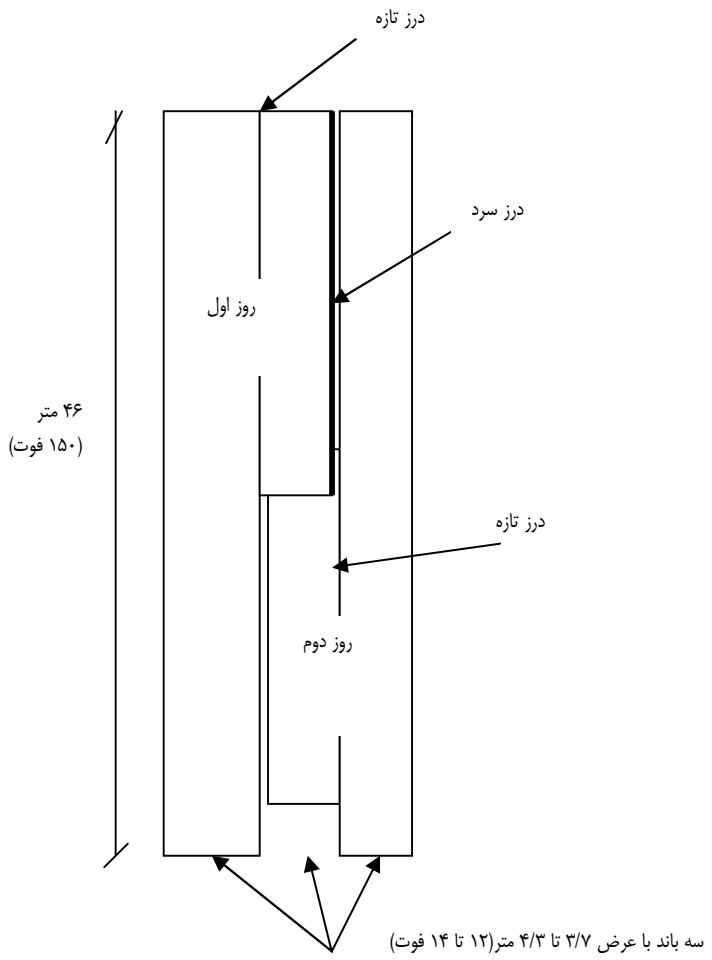
- سیستم بتن ساز مورد بررسی قرار می‌گیرد تا از نظر حجم تولید و قابلیت ایجاد مخلوط همگن قابل قبول باشد. شایان ذکر است هر چند برای روسازی بتن غلتکی مخلوط‌کن‌های پیوسته و یا مخلوط‌کن‌های تغاری قابل قبول می‌باشند، لیکن برای کارهای کوچک، مخلوط‌کن‌های بشکه‌ای نیز می‌توانند قابل قبول باشند.

- تجهیزات اجرائی به لحاظ وضعیت فنی کنترل می‌شوند که شامل دستگاه اجرای روسازی(Paver)، کامیونهای دامپر با تخلیه از عقب، غلتکهای فولادی ارتعاشی و غلتکهای چرخ لاستیکی می شوند.

### ۹-۱۰-۱-۱- مقطع آزمایشی

یک مقطع آزمایشی باید برای هر پروژه بتن غلتکی اجرا گردد تا عملکرد مخلوط بتن غلتکی و همچنین روش ساخت مورد ارزیابی قرار گرفته و در صورت لزوم اصلاحات لازم به مخلوط یا روش اجرا اعمال گردد. این مقطع باید با مصالح و تجهیزات مورد نظر پروژه، در نزدیکی محل احداث روسازی مورد نظر و حداقل ۱۰ روز قبل از شروع ساخت روسازی بتن غلتکی ساخته شود. این مقطع روی یک لایه اساس مورد تائید انجام می‌گیرد. در اجرای مقطع آزمایشی روش‌های اجرای درزهای تازه، درزهای سرد عرضی و طولی و عملیات شروع وخاتمه کنترل می‌گردند. همچنین رابطه بین تعداد عبور غلتک و دانسیته بتن غلتکی با استفاده از دانسیته‌سنج اتمی کالیبره شده، تعیین می‌گردد.

ابعاد مقطع آزمایشی توصیه شده شامل سه باند با عرض باند از ۳/۷ تا ۴/۳ متر، هرکدام به طول حدود ۴۶ متر که ۱/۵ باند روز اول و بقیه روز دوم اجرا می شوند. در شکل ۹-۳ ابعاد مقطع آزمایشی و محل درزهای مورد نظر ارائه شده است.




**شکل ۹-۳ مقطع ازمایشی با موقعیت درزهای مورد نظر [۱۳]**

در شروع ساخت مقطع آزمایشی از مخلوط بتن غلتکی تازه آماده شده به روش استاندارد نمونه‌های استوانه‌ای جهت تعیین مقاومت در زمانهای مورد نظر تهیه می‌گردد.

در حین اجرای مقطع آزمایشی، روشهای انتقال، ریختن، تراکم و اجرای درزها کنترل می‌شوند. توسط دانسیته‌سنج اتمی میزان تراکم حاصله در عمق لایه ریخته شده تعیین و کنترل می‌گردد و تعداد عبورهای غلتک جهت دستیابی به دانسیته لازم، جهت اعمال در پروژه اصلی تعیین می‌شود. به هرحال تعداد عبورها کمتر از ۴ در نظر گرفته نمی‌شود. پس از اتمام مقطع آزمایشی، سطح بتن‌غلتکی اجرا شده به لحاظ بافت سطحی، صافی سطح و عدم وجود ترکها کنترل می‌گردد.

### ۹-۱۰-۲- کنترل کیفیت درحین ساخت

– کنترل کیفی روسازی بتن غلتکی در حین اجرا حداقل توسط دو ناظر صورت می‌گیرد که یکی در محل پیمانه کردن مصالح و تولید بتن و دیگری در محل اجرا مستقر است.

– در محل تولید بتن، مواد و مصالح کنترل می‌شوند. سنگدانه‌ها به لحاظ دانه‌بندی روزی سه بار و یا هر۳۸۲ مترمکعب (۵۰۰ یارد مکعب) –هرکدام که تناوب بیشتری بدهد– کنترل می‌شوند.

– رطوبت سنگدانه ها حداقل روزی یک بار و هر زمان که ناظر تشخیص دهد ، تعیین می‌گردد.

– از بتن غلتکی تهیه شده به ازای هر ۲۲۵ متر مکعب، سیلندرهای ۳۰×۱۵ سانتیمتر استاندارد جهت بررسی مقاومت در سنین مورد نظر در آزمایشگاه تهیه و در شرایط استاندارد نگهداری می‌شود.

– در محل اجرا ناظر کنترل می نماید که لایه اساس دارای خواص و تراز مورد نظر باشد و قبل از ریختن بتن غلتکی مرطوب شده باشد. کنترل می‌گردد که بتن غلتکی در محدوده زمانی مجاز از زمان ساخت، ریخته و متراکم گردد.

– جرم‌حجمی بتن غلتکی پس از اتمام عملیات تراکم به ازای هر۳۰ متر طول در هر باند توسط دانسیته‌سنج هسته‌ای کنترل می‌گردد.

– نحوه اجرای درزها و فواصل زمانی مورد نظر و صافی سطح بتن غلتکی کنترل می‌گردد. صافی سطح توسط یک شمشه صاف با طول ۳/۶ متر (۱۲فوت) کنترل می‌شود. بسته به نوع کاربری روسازی میزان حداکثر عدم صافی سطح معمولا ۶/۴ میلی‌متر (۱/۴اینچ) و در مواردی نیز تا ۹/۵ میلی متر (۳/۸اینچ) مجاز است [۵]. کیفیت سطح نیز کنترل می‌گردد تا عاری از پارگی سطح، ترک‌خوردگی، جداشدگی، توده‌های سنگی، بخشهای فرورفته، خالی یا کشیده‌شدگی سطح یا سنگدانه‌های شل و آزاد و یا سنگدانه‌های بیرون‌زده به علت شسته شدن مواد سیمانی باشد.

– نحوه عمل آوری و مدت زمان اعمال آن روی روسازی توسط ناظر کنترل می‌گردد.

### ۹-۱۰-۳- کنترل کیفیت پس ازساخت

– پس از اجرای روسازی بتن غلتکی عملیات اجرای درزهای انقباظی (بریدن درزها) به لحاظ فواصل درزها و همچنین عمق برش کنترل می‌گردد. همچنین زمان و نحوه بریدن درزها کنترل می‌شود تا منجر به تخریب لبه های درز نگردد.

– مغزه‌گیری از روسازی بتن غلتکی اجرا شده حداقل پس از ۷ روز عمل‌آوری روسازی صورت می‌گیرد. از مغزه‌های گرفته شده برای کنترل ضخامت روسازی استفاده می‌شود. همچنین مغزه‌ها به آزمایشگاه منتقل شده تحت عمل‌آوری مرطوب قرار می‌گیرند و در سن مورد نظر جهت کنترل مقاومت به کار می‌روند. محل مغزه‌ها باید به نحو مناسبی پر شود.

## مراجع

۱- استاندارد شماره ۳۰۲ ایران، ویژگی‌های سنگدانه‌های مصرفی در بتن، موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، ۱۳۸۱

۲- آیین‌نامه بتن ایران، آبا، دفتر امور فنی و تدوین معیارها، سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، نشریه شماره ۱۲۰، تجدیدنظر اول ، ۱۳۷۹

3-American Concrete Institute,"Building Code Requirments for Structural Concrete (ACI 318M-99) and Commentary", ACI 318R –1999

4-American Concrete Institute,"Guide for Selecting Porportions for No-Slump Concrete", ACI 211.3R –1997

5-American Concrete Institute,"Roller Compacted Concrete Pavements", ACI 325.10R, 1999

6-American Society for Testing and Materials,"Standard Specification for Concrete Aggregates", ASTMC33, 1997

7-American Society for Testing and Materials,"Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use as a Mineral Admixture in Concrete", ASTMC618, 1997

8-American Society for Testing and Materials," Standard Specification for Ground Granulated Blast-Furnace Slag for Use in Concrete and Mortars", ASTM C989, 1997

9-American Society for Testing and Materials,"Standard Test Method for Determining Consistency and Density of Roller Compacted Concrete Using a Vibrating Table", ASTMC1170, 1991

10-A.S.C.E., "Roller Compacted Concrete", Technical Engineering Design Guides as Adopted from United States Army Corps of Engineers, No. 5, ASCE 1994.

11-PIARC, Technical Committee on Concrete Roads,"The Use of Roller Compacted Concrete for Roads", 1995

12-U.S.A.C.E, "Roller Compacted Concrete Pavement Design and Construction , United States Army Corps of Engineers, Technical Letter No. ETL 1110-3-475, Oct 1995.

13-U.S.A.C.E, "Standard Practice for Concrete Pavements, United States Army Corps of Engineers, Technical Manual TM 5-822-7, AFM 88-6, Chapter 8, Aug 1987.

14-U.S.A.C.E, "Standard Practice for Concrete, Engineer Manual EM 1110-2000, United States Army Corps of Engineers, 1994.

# فصل دهم

## جمع بندی

# فصل دهم

## جمع بندی

در این فصل چکیده‌ای از مباحث ارائه شده در فصول مختلف این گزارش ارائه شده است. سعی شده به صورت خلاصه تعریف دقیقی از بتن غلتکی برای روسازی راه و جایگاه روسازی بتن غلتکی به عنوان نوعی روسازی بتنی داده شود و مزایای فنی و اقتصادی و همچنین محدودیتهای آن نسبت به سایر انواع روسازی ارائه گردد. همچنین اصول کلی اجرایی و نکات مهم در خصوص دستیابی به روسازی بتن غلتکی با کیفیت مناسب بیان شده است.

بتن غلتکی نوع خاصی از بتن است که جهت ساخت روسازی های بتنی و یا سدهای بتنی به کار می رود. نوع بتن غلتکی مورد استفاده در روسازی راه با بتن غلتکی سدسازی چه به لحاظ مواد و مصالح و چه به لحاظ روش اجرا، دارای تفاوت‌های اساسی است. در بتن غلتکی روسازی راه مقاومت‌های مورد نظر و مقدار سیمان مخلوط به میزان قابل توجهی بیشتر از بتن غلتکی سدسازی است و اندازه حداکثر سنگدانه به ۱۹ میلیمتر محدود می‌گردد در صورتی‌که در بتن غلتکی سدسازی اندازه حداکثر سنگدانه معمولاً حدود ۷۶ میلیمتر است.

طبق تعریف بتن غلتکی روسازی راه عبارت است از مخلوط سفت و نسبتاً خشکی از سنگدانه ها، مواد سیمانی و آب که در مخلوط کن بتن مخلوط شده و همگن می‌گردد و ماده تولید شده دارای کارآیی و ظاهر مشابه با مخلوط شن نمدار و یا بتن با اسلامپ صفر است. مخلوط بتن غلتکی توسط کامیون حمل و با دستگاههای روسازی آسفالتی (فینیشر) که علاوه بر میله لرزشی به میله کوبشی نیز مجهز هستند در لایه‌هایی که ضخامت حداکثر آنها در وضعیت متراکم شده از ۲۵ سانتیمتر تجاوز نمی‌نماید پخش می‌شوند. لایه پخش شده توسط غلتکهای فولادی ویبره ای متراکم می‌گردد. در مواردی جهت بهبود کیفیت سطح از غلتکهای چرخ لاستیکی برای تراکم نهایی لایه ریخته شده استفاده می‌شود. بتن غلتکی روسازی در اثر واکنش هیدراتاسیون سیمان سخت شده و به تدریج کسب مقاومت کرده و به بتن تبدیل می‌گردد.

استفاده از روسازی بتن غلتکی از اواسط دهه ۷۰ میلادی در اروپا، کانادا و آمریکا شروع شد و فناوری آن تا کنون به تدریج در حال توسعه بوده است. روسازی بتن غلتکی در واقع نوعی روسازی بتنی است که از بین انواع مختلف روسازی بتنی که شامل روسازی‌های بتنی غیر مسلح درزدار (JPCP)، روسازی بتنی مسلح پیوسته (CRCP)، روسازی بتنی مسلح درزدار (JPCP) و روسازی بتنی پیش‌تنیده، می‌توان آن را نوعی روسازی بتنی غیر مسلح درزدار در نظر گرفت. لذا این روسازی مزایایی که روسازی‌های بتنی نسبت به روسازی‌های آسفالتی دارند،را دارا می‌باشد که این مزایا عبارتند از: عملکرد بهتر در برابر ترافیک سنگین خصوصاً وقتی مقاومت سابگرید کم است، ضخامت کمتر روسازی و صرفه‌جویی در مصالح، هزینه تعمیر و نگهداری کمتر و عمر مفید بیشتر، رنگ مناسب و دید بهتر در شب و عملکرد بهتر در مناطق شیب‌دار و کوهستانی و یا محیطهای با دمای زیاد. در مقایسه با روسازی بتنی معمولی، روسازی بتن غلتکی دارای مزیت سرعت بالاتر اجرا و هزینه کمتر است لیکن به لحاظ روش اجرای بتن غلتکی روسازی، این نوع روسازی نسبت به روسازی بتنی معمولی دارای کاستی‌هایی به شرح ذیل است.

عدم امکان داول‌گذاری یا تسلیح و لذا عدم انتقال بار در درزها از این طرق، دشواری در دستیابی به هموواری سطح مناسب به لحاظ روش تراکم مورد استفاده که عبارت است از تراکم با غلتک ویبره‌ای، لذا دستیابی به همواری سطح کمتر از ۶ میلیمتر در ۳ متر با این روش بسیار دشوار است. عدم امکان ایجاد بافت سطحی مناسب روی بتن اجرا شده جهت افزایش مقاومت لغزشی از طرقی

نظیر جاروکشی سطح که در روسازی بتن معمولی جهت افزایش مقاومت لغزشی متداول است. لذا مقاومت لغزشی روسازی بتن غلتکی نسبتاً ضعیف است. هر چند تحقیقات و مطالعات در تلاش برای رفع نواقص فوق در نقاط مختلف دنیا در حال انجام است ولی این محدودیتها، زمینه های کاربرد روسازی بتن غلتکی را عمدتاً به موارد ذیل محدود کرده‌اند:

روسازی کف انبارهای سرپوشیده و روباز، ترمینالهای بار، باراندازها و بندرگاهها، جاده‌های ویژه وسایل نقلیه سنگین کم سرعت و وسایل نقلیه زنجیردار نظیر وسایل نقلیه نظامی، جاده‌های با شیب زیاد، روسازی راههای با سرعت کم و خیابان‌های شهری، پارکینگ اتومبیل‌ها و راههای تردد داخلی سازمانها، توقفگاه هواپیماها. به نظر می‌رسد در ایران تا زمان توسعه فناوری ساخت روسازی بتن غلتکی با خواص سطح مناسب، زمینه‌های کاربرد مناسب این نوع روسازی مطابق موارد فوق الذکر باشد و در حال حاضر کاربرد این نوع روسازی به علت عدم همواری لازم سطح و خصوصاً مقاومت لغزشی پایین برای جاده‌های با سرعت بالا قابل توصیه نیست.

همانطور که ذکر شد از الزامات بتن غلتکی روسازی مقاومت قابل توجه آن است و الزامات کشور آمریکا مقاومت حداقل ۲۷/۵ مگاپاسکال روی نمونه سیلندری را مطرح می‌کند. با در نظر گرفتن حاشیه ایمنی متعارف، مقاومت میانگین لازم روی نمونه سیلندری حدود۳۶ مگاپاسکال(مقاومت میانگین روی نمونه مکعبی حدود ۴۵مگاپاسکال) مد نظر است. با توجه به روش اجرا، مقاومت‌های اخیرالذکر قابل توجه هستند. بررسی آزمایشگاهی انجام شده در داخل کشور نشانگر قابلیت دستیابی به الزامات مقاومتی لازم با استفاده از مصالح داخلی و روشهای استاندارد تولید نمونه‌های آزمایشگاهی بتن غلتکی روسازی است. سطح در معرض زیاد و رطوبت کم، مخلوطهای بتن غلتکی روسازی را نسبت به عدم عمل آوری مناسب حساس می نماید. بررسی آزمایشگاهی مذکور نشانگر افت حدود ۵۰ درصد در خواص مقاومتی در صورت عدم عمل‌آوری مناسب نسبت به روش عمل آوری مرطوب است. استفاده از روشهای عمل‌آوری غشایی به عنوان تنها روش عمل‌آوری نیز نتایج مطلوبی در بر نداشت و لازم است حداقل ۲۴ ساعت عمل‌آوری مرطوب قبل از شروع عمل‌آوری با این ترکیبات در نظر گرفته شود. عدم عمل‌آوری مناسب همچنین افت شدید خواص دوام بتن‌های غلتکی را به دنبال خواهد داشت.

جهت حصول اطمینان از دستیابی به روسازی بتن غلتکی با کیفیت مطلوب و خواص مورد نظر لازم است مطابقت مواد و مصالح به کار رفته، با ضوابط مربوطه کنترل شده و تعیین مقادیر اجزا در واحد حجم (طرح اختلاط) به نحو مناسب صورت گیرد. همچنین روش اجرای روسازی بتن غلتکی تاثیر اساسی در کیفیت آن دارد. ضروری است تجهیزات و روش تولید و انتقال بتن غلتکی، ریختن لایه ، نحوه تراکم، ایجاد درزهای تازه و درزهای اجرایی (سرد) به نحو مناسبی صورت گیرند. ضوابط مواد و مصالح و روشهای اجرای روسازی بتن غلتکی در فصل ۹ از این گزارش تشریح شده‌اند. شایان ذکر است که امروزه بریدن درزهای انقباض در فواصل حداکثر ۱۲متر و پر کردن آن توسط مواد پر کننده مناسب توصیه می‌گردد.

ضروری است قبل از اجرای مقطع اصلی روسازی بتن غلتکی، یک مقطع آزمایشی اجرا گردد تا عملکرد مخلوط بتن غلتکی و روش ساخت مورد ارزیابی قرار گرفته و در صورت لزوم اصلاحات لازم روی مخلوط یا روش اجرا اعمال گردند. جزئیات اجرای مقطع آزمایشی در فصل ۹ از گزارش تعیین شده‌اند. پس از دستیابی به مخلوط نهایی و روش مناسب ساخت در مقطع آزمایشی و شروع مرحله اصلی ساخت روسازی بتن غلتکی لازم است روشهای کنترل کیفیت در حین ساخت و پس از ساخت که در فصل ۹ گزارش تشریح شده اند اعمال گردند.

روشهای طراحی روسازی بتنی غلتکی بصورت کلی مشابه روسازی‌های بتنی ساده درزدار و به صورت بدون داول آن است. تفاوت بین روسازی RCCP و روسازی بتنی معمولی JPCP بدون داول در فواصل درزها و عملکرد آنها از نظر انتقال بار است.در

روسازی‌های بتن غلتکی چون تعبیه و یا اجرای داول‌ها و برش‌گیرها میسر نیست لذا تنها مکانیزمی که برای انتقال بار بین درز یا ترک انقباضی وجود دارد قفل و بست بین سنگدانه‌ای است. انتقال بار در درزهای روسازی بتنی غلتکی به طور محافظه کارانه صفر در نظر گرفته می‌شود.

طراحی روسازی RCC بر اساس محدود کردن تنشهای خمشی و خرابی ناشی از خستگی در اثر بار انجام می‌گیرد. بار چرخها در لبه روسازی، تنشهای بزرگتری در مقایسه با بار داخلی ایجاد می‌کند. دو روش مهم برای طراحی روسازی بتن غلتکی RCC وجود دارد که یکی روش PCA و دیگری روش گروه مهندسین ارتش آمریکا است. البته روشهای دیگری نظیر روشهای مکانیستیک که برای روسازیهای بتن معمولی PCC و روسازیهای آسفالتی مورد استفاده قرار بگیرند و مورد اتفاق نظر باشد تاکنون برای روسازی‌های RCC توسعه نیافته است.

در این دستورالعمل از روش PCA برای طراحی روسازی RCC استفاده شده است بدلیل اینکه محافظه‌کارانه‌تر بوده و از ضریب اطمینان بیشتری برخوردار است.

رابطه بین مقاومت خمشی و مقاومت فشاری ۲۸ روزه به صورت زیر بیان می‌شود.

$$f_r = C\sqrt{f_c'}$$

$f_r$ : مقاومت خمشی برحسب پوند بر اینچ مربع، اندازه‌گیری شده به وسیله تیر با بار گذاری ۴ نقطه‌ای

$f_c$ : مقاومت فشاری برحسب پوند بر اینچ مربع

C: ثابت عددی که بسته به طرح مخلوط RCC مقداری حدود ۱۰/۸ تا ۹/۴ دارد.

توصیه می شود که از مقاومت خمشی ۹۰ روزه استفاده شود که معمولاً حدود ۱۰ درصد بیشتر از مقاومت ۲۸ روزه است.

مدول الاستیسیته بتن های غلتکی روسازی مشابه یا قدری بالاتر از مدول الاستیسیته بتن‌های معمولی با مقدار سیمان مشابه می‌باشد. ارتباط بین مقاومت فشاری با مدول الاستیسیته به صورت زیر در نظر گرفته می‌شود.

$$E = C\sqrt{f_c'}$$

مقدار $C$ بسته به مخلوط RCC از ۵۹۰۰۰ تا ۶۷۰۰۰ تغییر می کند.

مقادیر ضرایب $C$ که در بالا اشاره شده از تعداد محدودی آزمایش بدست آمده است. در عمل برای طراحی از روابط زیر استفاده می‌شود:

$$f_r = 9\sqrt{f_c'} \qquad \text{و} \qquad E = 57000\sqrt{f_c'}$$

برای مقادیر درصد سیمان مشابه، روسازی RCCP دارای مقاومت در برابر خستگی بیشتری نسبت به روسازی بتنی معمولی می‌باشد زیرا نسبت آب به سیمان در اینگونه مخلوط ها به طور قابل ملاحظه‌ای کمتر است. تنش بحرانی در RCC تنش خمشی است لذا از خستگی ناشی از تنش خمشی برای طراحی ضخامت RCC استفاده می‌شود. برای آنالیز عمر خستگی از اصطلاحی به نام نسبت تنش استفاده می‌شود.

مقاومت خمشی و مقاومت در برابر خستگی از جمله مهمترین پارامترهای موثر بر ضخامت طراحی محسوب می‌گردند. مقادیر تنش‌ها و خستگی بستگی به محل قرار گرفتن بار چرخ دارد، به طوری که هرچه به لبه نزدیک می‌شویم این مقادیر افزایش می‌یابد.

برای طراحی روسازی راه، برخلاف روسازی‌های صنعتی، حرکت بار در نزدیکی لبه، حالت بحرانی ایجاد می‌کند. به طوری که در حالاتی که احتمال قرارگرفتن بار در لبه‌های روسازی زیاد است، ضخامت لبه ها باید ۲۰ درصد اضافه شود.

تخمین ترافیک عبوری، فاکتور مهمی در طراحی روسازی است. اطلاعات ترافیکی لازم شامل بزرگی بار چرخ، آرایش چرخ‌ها، و فرکانس وارده از طرف سنگین‌ترین وسیله نقلیه عبوری از روسازی است. در صورت امکان از لیست کاملی از انواع وسایل نقلیه عبوری باید استفاده شود. معمولاً وسیله نقلیه دارای سنگین‌ترین بار نقش کنترلی در طراحی دارد، در عین حال طراح باید سایر وسایل نقلیه و تعداد عبور آنها را در طراحی مد نظر قرار دهد.

بار وارده توسط محور منفرد با چرخ زوج نسبت به حالتی که همان بار توسط یک محور منفرد با چرخ تکی وارد شود تنش کمتری، ایجاد می‌کند. به همین دلیل، منحنی‌های جداگانه‌ای برای محور منفرد تک چرخ و منفرد دو چرخ در نظرگرفته شده است.

مقاومت ۹۰ روزه از آن جهت برای روسازی RCC پیشنهاد می‌شود که تکرار بار در ماه های اول بارگذاری در مقایسه با کل تکرار باری که روسازی در دوره عمر خود تحمل می‌کند مقدار قابل توجهی نیست. مقاومت RCC مانند بتن معمولی به مرور زمان افزایش می‌یابد.

آنالیز مقایسه اقتصادی روسازی‌های PCC و RCC ،آسفالتی برای هفت ترکیب ترافیکی متفاوت بدون در نظر گرفتن هزینه دورهٔ عمر آن بدلیل نداشتن ارقام و اعداد آن در ایران، نشان می‌دهد که هزینه تمام شده روسازی RCC در مقایسه با روسازی‌های PCC و آسفالتی ارزان‌تر است. نتایج آنالیز و نمودارها نشان می‌دهند که قیمت روسازی RCC حدود ۲۰ درصد کمتر از روسازی آسفالتی است که این مقدار صرفه‌جویی با نتایج بدست آمده در کشورهای دیگر دنیا که از روسازی RCC استفاده کرده و رقم ۲۵ تا ۳۰ درصد صرفه‌جویی را گزارش داده‌اند مطابقت دارد. اگر چنانچه هزینه چرخه کل عمر روسازی را در نظر بگیریم گرچه که آنالیز آن بدلیل عدم اجرای روسازی RCC و بتنی در ایران امکان‌پذیر نیست ولی شواهد و قرائن موجود از تجربه کشورهای دنیا نشان می‌دهد که بدلیل عمر طولانی‌تر روسازی بتنی و هزینه تعمیر و نگهداری کمتر آن نسبت به روسازی آسفالتی، هزینه کلی روسازی RCC در مقایسه با روسازی آسفالتی کمتر خواهد بود. لذا توصیه می‌گردد که روسازی RCC در مناطق با شیبهای تند و آب و هوای گرم با بارگذاری سنگین و کند که روسازی‌های آسفالتی دچار مشکل بوده و جوابگو نیستند مورد استفاده قرار گیرد.

**خواننده گرامی**

دفتر نظام فنی اجرایی معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رییس جمهور با گذشت بیش از سی سال فعالیت تحقیقاتی و مطالعاتی خود، افزون بر چهارصد عنوان نشریه تخصصی- فنی، در قالب آیین‌نامه، ضابطه، معیار، دستورالعمل، مشخصات فنی عمومی و مقاله، به صورت تالیف و ترجمه، تهیه و ابلاغ کرده است. نشریه حاضر در راستای موارد یاد شده تهیه شده، تا در راه نیل به توسعه و گسترش علوم در کشور و بهبود فعالیت‌های عمرانی به کار برده شود. فهرست نشریات منتشر شده در سال‌های اخیر در سایت اینترنتی **http://tec.mporg.ir** قابل دستیابی می‌باشد.

**دفتر نظام فنی اجرایی**

**Islamic Republic of Iran**
**Vice presidency for strategic planning and supervision**

# Guideline For Design and Construction of Rolled Compacted Concrete Pavements

## No. 354

Office of Deputy for Strategic Supervision
Bureau of Technical Execution Systems
**http://tec.mporg.ir**

Ministry of Roads and Transportation
Deputy of Training; Research and Information Technology
**http://seso.moe.org.ir**

**2009**

## این نشریه

با عنوان « راهنمای طراحی و اجرای بتن غلتکی در روسازی راههای کشور » به منظور ترویج روشهای نو در طرح و اجرای پروژه‌ها تهیه شده‌است. بررسی انواع روسازی‌های بتنی و جایگاه بتن غلتکی، عملکرد روسازی بتن غلتکی، زمینه‌های کاربرد، طرح اختلاط و مصالح مصرفی، روشهای ساخت و اجرا، بررسی معیارهای بارگذاری و روش طراحی، امکان‌سنجی فنی و اقتصادی اجرای بتن غلتکی در ایران و همچنین ضوابط مواد و مصالح، طرح اختلاط و کنترل کیفیت اجرای این نوع روسازی، عمده مباحث این نشریه را تشکیل می‌دهد.