



جمهوری اسلامی ایران
Islamic Republic of Iran

سازمان ملی استاندارد ایران

Iranian National Standardization Organization



استاندارد ملی ایران

۱۴۸۳۰

چاپ اول

دی ۱۳۹۱

INSO

14830

1st. Edition

Jan.2013

بتن - بتن غلتکی در روسازی راه‌های کشور -

راهنمای طراحی و اجرا

**Concrete- Rolled Compacted Concrete
Pavements- Guideline
For Design and Construction**

ICS:91.100

به نام خدا

آشنایی با سازمان ملی استاندارد ایران

مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران به موجب بند یک ماده ۳ قانون اصلاح قوانین و مقررات مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، مصوب بهمن ماه ۱۳۷۱ تنها مرجع رسمی کشور است که وظیفه تعیین، تدوین و نشر استانداردهای ملی (رسمی) ایران را به عهده دارد.

نام موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران به موجب یکصد و پنجاه و دومین جلسه شورای عالی اداری مورخ ۹۰/۶/۲۹ به سازمان ملی استاندارد ایران تغییر و طی نامه شماره ۲۰۶/۳۵۸۳۸ مورخ ۹۰/۷/۲۴ جهت اجرا ابلاغ شده است.

تدوین استاندارد در حوزه های مختلف در کمیسیون های فنی مرکب از کارشناسان سازمان، صاحب نظران مراکز و مؤسسات علمی، پژوهشی، تولیدی و اقتصادی آگاه و مرتبط انجام می شود و کوششی همگام با مصالح ملی و با توجه به شرایط تولیدی، فناوری و تجاری است که از مشارکت آگاهانه و منصفانه صاحبان حق و نفع، شامل تولیدکنندگان، مصرف کنندگان، صادرکنندگان و وارد کنندگان، مراکز علمی و تخصصی، نهادها، سازمان های دولتی و غیر دولتی حاصل می شود. پیش نویس استانداردهای ملی ایران برای نظرخواهی به مراجع ذی نفع و اعضای کمیسیون های فنی مربوط ارسال می شود و پس از دریافت نظرها و پیشنهادات در کمیته ملی مرتبط با آن رشته طرح و در صورت تصویب به عنوان استاندارد ملی (رسمی) ایران چاپ و منتشر می شود.

پیش نویس استانداردهایی که مؤسسات و سازمان های علاقه مند و ذی صلاح نیز با رعایت ضوابط تعیین شده تهیه می کنند در کمیته ملی طرح و بررسی و در صورت تصویب، به عنوان استاندارد ملی ایران چاپ و منتشر می شود. بدین ترتیب، استانداردهایی ملی تلقی می شوند که بر اساس مفاد نوشته شده در استاندارد ملی ایران شماره ۵ تدوین و در کمیته ملی استاندارد مربوط که سازمان ملی استاندارد ایران تشکیل می دهد به تصویب رسیده باشد.

سازمان ملی استاندارد ایران از اعضای اصلی سازمان بین المللی استاندارد (ISO)^۱، کمیسیون بین المللی الکتروتکنیک (IEC)^۲ و سازمان بین المللی اندازه شناسی قانونی (OIML)^۳ است و به عنوان تنها رابط^۴ کمیسیون کدکس غذایی (CAC)^۵ در کشور فعالیت می کند. در تدوین استانداردهای ملی ایران ضمن توجه به شرایط کلی و نیازمندی های خاص کشور، از آخرین پیشرفت های علمی، فنی و صنعتی جهان و استانداردهای بین المللی بهره گیری می شود.

سازمان ملی استاندارد ایران می تواند با رعایت موازین پیش بینی شده در قانون، برای حمایت از مصرف کنندگان، حفظ سلامت و ایمنی فردی و عمومی، حصول اطمینان از کیفیت محصولات و ملاحظات زیست محیطی و اقتصادی، اجرای بعضی از استانداردهای ملی ایران را برای محصولات تولیدی داخل کشور و/یا اقلام وارداتی، با تصویب شورای عالی استاندارد، اجباری نماید. سازمان می تواند به منظور حفظ بازارهای بین المللی برای محصولات کشور، اجرای استاندارد کالاهای صادراتی و درجه بندی آن را اجباری نماید. همچنین برای اطمینان بخشیدن به استفاده کنندگان از خدمات سازمان ها و مؤسسات فعال در زمینه مشاوره، آموزش، بازرسی، ممیزی و صدور گواهی سیستم های مدیریت کیفیت و مدیریت زیست محیطی، آزمایشگاه ها و مراکز کالیبراسیون (واسنجی) وسایل سنجش، سازمان ملی استاندارد ایران این گونه سازمان ها و مؤسسات را بر اساس ضوابط نظام تأیید صلاحیت ایران ارزیابی می کند و در صورت احراز شرایط لازم، گواهینامه تأیید صلاحیت به آن ها اعطا و بر عملکرد آن ها نظارت می کند. ترویج دستگاه بین المللی یکاها، کالیبراسیون (واسنجی) وسایل سنجش، تعیین عیار فلزات گرانبها و انجام تحقیقات کاربردی برای ارتقای سطح استانداردهای ملی ایران از دیگر وظایف این سازمان است.

1- International Organization for Standardization

2 - International Electrotechnical Commission

3- International Organization of Legal Metrology (Organisation Internationale de Metrologie Legale)

4 - Contact point

5 - Codex Alimentarius Commission

کمیسیون فنی تدوین استاندارد

«بتن - بتن غلتکی در روسازی راه‌های کشور - راهنمای طراحی و اجرا»

رئیس:

سمت و/ یا نمایندگی

دانشگاه شهید بهشتی

شرقی، عبدالعلی

(دکترای مهندسی عمران)

دبیر:

سازمان ملی استاندارد

مجتبوی، سیدعلیرضا

(کارشناس مهندسی مواد- سرامیک)

اعضا: (اسامی به ترتیب حروف الفبا)

پژوهشگاه استاندارد

سامانیان، حمید

(کارشناس ارشد مهندسی مواد- سرامیک)

سازمان ملی استاندارد

عباسی رزگله، محمدحسین

(کارشناس مهندسی مواد- سرامیک)

مرکز آموزش عالی انقلاب اسلامی

عباسی، محمدرضا

(کارشناس ارشد مهندسی عمران)

پژوهشگاه استاندارد

قهری، هما

(کارشناس ارشد شیمی محض)

اداره کل استاندارد استان یزد

گلبخش، محمد حسین

(کارشناس مهندسی عمران)

اداره کل استاندارد استان فارس

محرری، حسن

(کارشناس مهندسی عمران)

پژوهشگاه استاندارد

مرشدی، عبدالرضا

(کارشناس شیمی محض)

دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره)

میر هادی، بهمن

(دکترای مهندسی مواد- سرامیک)

کارشناس رسمی استاندارد

نوری، عباس

(کارشناس مهندسی معدن)

فهرست مندرجات

صفحه	عنوان
ب	آشنایی با سازمان ملی استاندارد
ج	کمیسیون فنی تدوین استاندارد
د	پیش گفتار
ه	مقدمه
۱	۱ هدف و دامنه کاربرد
۱	۲ مراجع الزامی
۲	۳ انواع روسازی‌های بتنی و جایگاه روسازی بتن غلتکی
۲	۱-۳ کلیات
۲	۲-۳ استفاده از لایه اساس
۳	۳-۳ انواع روسازی‌های بتنی
۶	۴-۳ روسازی‌های مختلط
۶	۵-۳ مقایسه روسازی‌های بتنی و آسفالتی
۷	۶-۳ جایگاه بتن غلتکی در روسازی‌های بتنی
۸	۴ خواص و عملکرد روسازی‌های بتن غلتکی
۸	۱-۴ کلیات
۸	۲-۴ خواص
۲۱	۳-۴ عملکرد
۳۳	۵ زمینه‌های کاربرد بتن غلتکی
۳۳	۱-۵ کلیات
۳۳	۲-۵ کاربرد جهت روسازی کف انبارهای سرپوشیده و روباز و محوطه‌های دیو
۳۴	۳-۵ روسازی ترمینال‌های بار، بار اندازه‌ها و بندرگاه‌ها
۳۶	۴-۵ روسازی جاده‌های ویژه وسایل نقلیه سنگین کم سرعت و وسایل نقلیه نظامی زنجیردار
۳۷	۵-۵ جاده‌های با شیب زیاد
۳۸	۶-۵ روسازی راه‌های با تردد و سرعت کم و خیابان‌های شهری و بین شهری
۳۹	۷-۵ پارکینگ اتومبیل‌ها و راه‌های تردد داخل سازمان‌ها
۳۹	۸-۵ کاربرد در فرودگاه
۴۱	۶ طرح اختلاط و مصالح مصرفی در بتن غلتکی روسازی راه
۴۱	۱-۶ مواد و مصالح مصرفی
۴۵	۲-۶ طرح اختلاط بتن غلتکی روسازی راه
۵۵	۷ روش‌های ساخت و اجرای روسازی بتن غلتکی
۵۵	۱-۷ کلیات
۵۵	۲-۷ آماده سازی لایه‌های اساس و زیراساس
۵۵	۳-۷ ساخت مخلوط بتن و حمل آن
۵۷	۴-۷ بتن‌ریزی
۵۸	۵-۷ تراکم

۵۹	۶-۷	ساخت درزها
۶۲	۷-۷	عمل‌آوری و مراقبت از سطح
۶۴	۸	بررسی معیارهای بارگذاری و روش‌های طراحی روسازی‌های بتن غلتکی
۶۴	۱-۸	مقدمه
۶۴	۲-۸	درزهای انقباضی و تاثیر آنها در انتقال بار در روسازی‌های بتن غلتکی
۶۷	۳-۸	روش‌های طراحی روسازی‌های بتن غلتکی
۸۸	۹	تحلیل امکان سنجی فنی اقتصادی ساخت روسازی بتنی RCC در ایران
۸۸	۱-۹	مقدمه
۸۸	۲-۹	معیارهای ارزیابی
۹۳	۳-۹	روش‌های طرح روسازی
۹۳	۴-۹	مقایسه اقتصادی و هزینه‌ای روسازی‌های مختلف
۱۰۵	۱۰	ضوابط مواد و مصالح، طرح اختلاط، اجرا و کنترل کیفیت روسازی‌های بتن غلتکی
۱۰۵	۱-۱۰	مقدمه
۱۰۶	۲-۱۰	مواد و مصالح
۱۰۷	۳-۱۰	طرح اختلاط
۱۰۹	۴-۱۰	اجرا
۱۱۱	۵-۱۰	متراکم نمودن
۱۱۵	۶-۱۰	عمل‌آوری
۱۱۵	۷-۱۰	تحت بار قرار گرفتن روسازی بتن غلتکی در سنین اولیه
۱۱۵	۸-۱۰	ایجاد درزهای انقباض
۱۱۶	۹-۱۰	وسایل انتقال بار از بین ترک
۱۱۶	۱۰-۱۰	کنترل کیفیت

پیش‌گفتار

استاندارد "بتن- بتن غلتکی در روسازی راه‌های کشور- راهنمای طراحی و اجرا" که پیش‌نویس آن در کمیسیون‌های مربوط توسط سازمان استاندارد ملی تهیه و تدوین شده و در سیصد و هشتاد و نهمین اجلاس کمیته ملی استاندارد مهندسی ساختمان و مصالح و فرآورده‌های ساختمانی مورخ ۹۱/۹/۱۱ مورد تصویب قرار گرفته است، اینک به استناد بند یک ماده ۳ قانون اصلاح قوانین و مقررات مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، مصوب بهمن ماه ۱۳۷۱، به عنوان استاندارد ملی ایران منتشر می‌شود. برای حفظ همگامی و هماهنگی با تحولات و پیشرفت‌های ملی و جهانی در زمینه صنایع، علوم و خدمات، استانداردهای ملی ایران در مواقع لزوم تجدید نظر خواهد شد و هر پیشنهادی که برای اصلاح و تکمیل این استانداردها ارائه شود، هنگام تجدید نظر در کمیسیون فنی مربوط مورد توجه قرار خواهد گرفت. بنابراین، باید همواره از آخرین تجدیدنظر استانداردهای ملی استفاده کرد.

منبع و مأخذی که برای تهیه این استاندارد مورد استفاده قرار گرفته به شرح زیر است:
نشریه ۳۵۴ معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی ریاست جمهوری: راهنمای طراحی و اجرای بتن غلتکی در روسازی راه‌های کشور، سال ۱۳۸۸

مقدمه

الف- مقدمه‌ای در خصوص مرجع استاندارد

دفتر نظام فنی اجرایی معاونت برنامه ریزی و نظارت راهبردی رییس جمهور، با استفاده از نظر کارشناسان برجسته مبادرت به تهیه نشریه شماره ۳۵۴ تحت عنوان راهنمای طراحی و اجرای بتن غلتکی در روسازی راه‌های کشور، کرده و آن را برای استفاده به جامعه مهندسی کشور عرضه نموده است. نشریه مذکور در پژوهشکده حمل و نقل وزارت راه و ترابری و با همکاری افراد زیر تهیه شده است:

کارشناسان مجری (تهیه کنندگان):

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 کیاندرخت کدخدازاده

دکتر احمد منصوریان

مهندس امیر سعید نکویی

گروه مدیریت و راهبری پروژه در معاونت نظارت راهبردی:

مهندس بهناز پور سید

مهندس علی تبار

مهندس طاهر فتح‌اللهی

مهندس بابک آقا بابازاده

ب- مقدمه‌ای بر استاندارد

بتن غلتکی در دو زمینه کاملاً مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرد که باید 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 معمولاً کمتر از بتن معمولی می‌باشد. اندازه حداکثر سنگدانه بتن‌های غلتکی سد سازی درشت‌تر از بتن معمولی بوده و از ۵۰ میلی‌متر تا بیش از ۱۰۰ میلی‌متر می‌باشد. بتن غلتکی ویژه روسازی راه (RCCP)^۱ دارای مقدار سیمان زیاد، مقاومت فشاری معمولاً بالاتر از ۳۰ مگاپاسگال و طرح اختلاط با اندازه و دانه‌بندی مصالح کنترل شده در یک محدوده مشخص می‌باشد. 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 فرآیند طراحی روسازی بتنی درزدار غیر مسلح با درزهای انقباضی یا درزهای ساخت بدون

1- Roller Compacted Concrete Pavement

داول می‌باشد. اختلاف اصلی بین بتن غلتکی و بتن معمولی در ارتباط با روش ساخت روسازی، فواصل درزها و ظاهر رویه می‌باشد. این راهنما فقط محدود به استفاده از بتن غلتکی در روسازی راه‌ها بوده و هیچگونه اشاره‌ای به کاربرد آن در سدها ندارد. طبق تعریف بتن غلتکی روسازی راه عبارت است از مخلوط سفت و نسبتاً خشکی از سنگ دانه‌ها (با اندازه حداکثر ۱۹ میلی‌متر)، مواد سیمانی و آب که توسط دستگاه‌های متداول روسازی آسفالتی (فینیشر) پخش و پس از آن توسط غلتک ویبره‌ای، کوبیده و متراکم می‌گردد و سرانجام بعد از سخت شدن در اثر واکنش هیدراتاسیون سیمان به بتن تبدیل می‌گردد. مواد تشکیل دهنده بتن غلتکی در داخل مخلوط کن به یک مخلوط همگن تبدیل می‌شود و دارای کارآیی و ظاهر مشابه با مخلوط شن‌نمدار و یا بتن با اسلامپ صفر می‌باشد. این مخلوط‌ها توسط تجهیزات ساخت روسازی آسفالتی (در مواردی با برخی اصلاحات) در لایه‌هایی که ضخامت حداکثر آنها در وضعیت متراکم شده از ۲۵ سانتی‌متر تجاوز نمی‌کند، پخش و سپس متراکم می‌شوند. لایه‌ها با غلتک‌های فولادی ویبره‌ای متراکم می‌گردند. در مواردی جهت دستیابی به کیفیت بهتر سطح از غلتک‌های چرخ لاستیکی برای تراکم نهایی لایه‌ها استفاده می‌شود. پس از تراکم، عملیات عمل‌آوری و مرطوب نگه‌داشتن سطح بتن آغاز می‌گردد تا امکان دستیابی به روسازی با سطح سخت و با دوام فراهم آید. معمولاً 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 پروژه‌های مختلف و متعددی استفاده شده است. با توجه به دشواری‌هایی که در دستیابی به الزامات صافی سطح روسازی (هموار بودن) با این نوع روسازی خصوصاً در سال‌های اولیه توسعه وجود داشت سابقه کاربرد روسازی بتن غلتکی عمدتاً جهت جاده‌ها 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. تاکنون عمده کاربرد روسازی بتن غلتکی در محوطه‌های 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 در فرودگاه‌ها، جاده‌های فرعی و یا خیابان‌های با سرعت پائین و متوسط بوده است. لازم به ذکر است که تکنولوژی روسازی بتن غلتکی به عنوان یک فن‌آوری در حال رشد و توسعه محسوب می‌گردد و کشورهای مختلف دنیا در زمینه‌های مختلف این نوع روسازی در حال انجام کارهای تحقیقاتی برای تکامل آن می‌باشند.

سابقه و تاریخچه

ساخت روسازی بتن غلتکی روشی نوین در راستای توسعه و تکامل مصالحی نظیر خاک تثبیت شده با سیمان و یا اساس اصلاح شده با سیمان (CTB) می‌باشد که مدت‌های مدیدی به عنوان زیراساس و اساس در طراحی و ساخت روسازی‌ها کاربرد داشته‌اند. این گونه کاربردهای اولیه بتن غلتکی در بسیاری از کشورها قبل از جنگ جهانی اول نیز صورت گرفته است. مهندسی کانادایی در ایالت بریتیش کلمبیا در سال ۱۹۷۰ به منظور ایجاد لایه‌های اساس با کیفیت بالاتر کاربرد سنگدانه با مقدار بالاتری از سیمان را آغاز کردند. گام بعدی در نظرگرفتن روسازی بتن غلتکی به عنوان روسازی کامل و بدون نیاز به لایه روکش بود. اولین

کاربرد روسازی بتن غلتکی بدین شکل در ساخت محوطه‌های برای کارخانجات چوب و الوار با بارگذاری سنگین در ونکوور در سال ۱۹۷۰ بود.

عملکرد روسازی بتن غلتکی در این محوطه که تحت بارگذاری سنگین و همچنین سایش شدید بود بسیار موفقیت آمیز بود به نحوی که از آن زمان روسازی بتن غلتکی برای ساخت محوطه‌های صنعتی کاربرد وسیعی در کانادا داشته است. اولین نمونه استفاده از روسازی بتن غلتکی در اروپا در سال ۱۹۷۰ در جاده‌های با حجم ترافیکی کم در اسپانیا و اولین کاربرد آن در آمریکا ساخت موفقیت آمیز یک جاده دسترسی به صورت آزمایشی در ایستگاه مطالعاتی ارتش آمریکا در میسیسیپی در سال ۱۹۷۵ بوده است.

لیکن اولین کاربرد واقعی و مهم بتن غلتکی در آمریکا احداث محوطه وسیع پارکینگ برای تانک‌ها و وسایل نقلیه نظامی سنگین پایگاه هود در تگزاس در سال ۱۹۸۴ بوده است. بعد از این کاربرد موفقیت آمیز تعداد قابل توجهی روسازی برای بارهای سنگین توسط بخش دولتی، نظامی و همچنین بخش خصوصی در آمریکا صورت گرفت. این کاربردها شامل روسازی پارکینگ وسایل نقلیه نظامی سنگین، روسازی بندرگاه‌ها و پایانه‌های مبادله بارهای کانتینری بوده است. از این میان دو پروژه بزرگ که در سال‌های ۱۹۸۹ تا ۱۹۹۰ اجرا شدند یکی روسازی جاده و محل پارکینگ وسایل نقلیه چرخ زنجیری به مساحت ۳۲۴۰۰۰ متر مربع در پایگاه هودرام نزدیک نیویورک و دومی روسازی پارکینگ اتومبیل برای شرکت جنرال موتور در تنسی به مساحت ۴۰۵۰۰۰ مترمربع قابل ذکر است. در سال ۱۹۹۲ نیز شرکت سیف وی برای روسازی محوطه انبار خود در کالیفرنیا ۲۲۶۰۰۰ مترمربع روسازی بتن غلتکی را اجرا نمود. دلیل این انتخاب هزینه اولیه پائین، سرعت ساخت بالا، دوام خوب تحت بارهای سنگین و هزینه نگهداری پائین بود. در آندونزی اولین روسازی بتن غلتکی در سال ۱۹۸۵ ساخته شد و علی‌رغم رضایت بخش نبودن اولین تجربه آنها تا سال ۱۹۹۰ بیش از ۵۵۰۰۰۰ مترمربع از این نوع روسازی در آن کشور ساخته شد. در ژاپن اولین روسازی بتن غلتکی در سال ۱۹۸۷ به بهره برداری رسید و تا سال ۱۹۹۷ حدود ۱۸۰۰۰۰۰ متر مربع روسازی بتن غلتکی در این کشور ساخته شد. 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 هر یک از آنها در حدود ۱۰۰۰۰۰۰ مترمربع است. در هفت کشور شیلی، اروگوئه، مکزیک، 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 در دنیا از مرز ۱۲۰۰۰۰۰۰ مترمربع تجاوز نمود که بیش از نصف آن در اسپانیا ساخته شد. در حدود ۱۵۰۰۰۰۰ مترمربع 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 ۱۰۵۰۰۰۰۰ مترمربع آن در روسازی‌های با سرعت کم نظیر راه‌های درجه دو و نواحی صنعتی و نظامی بدون اینکه بر روی روسازی بتن غلتکی پوشش دیگری قرار گیرد مورد استفاده قرار گرفت.

بتن - بتن غلتکی در روسازی راه‌های کشور - راهنمای طراحی و اجرا

۱ هدف و دامنه کاربرد

هدف از تدوین این استاندارد ارائه راهنمای طراحی و اجرای بتن غلتکی در روسازی راه‌های کشور است.

۲ مراجع الزامی

مدارک الزامی زیر حاوی مقرراتی است که در متن این استاندارد ملی ایران به آن‌ها ارجاع داده شده است. بدین ترتیب آن مقررات جزئی از این استاندارد ملی ایران محسوب می‌شود. در صورتی که به مدرکی با ذکر تاریخ انتشار ارجاع داده شده باشد اصلاحیه‌ها و تجدیدنظرهای بعدی آن مورد نظر نیست. در مورد مدارکی که بدون ذکر تاریخ انتشار به آن‌ها ارجاع داده شده است، همواره آخرین تجدیدنظر و اصلاحیه‌های بعدی آن‌ها مورد نظر است.

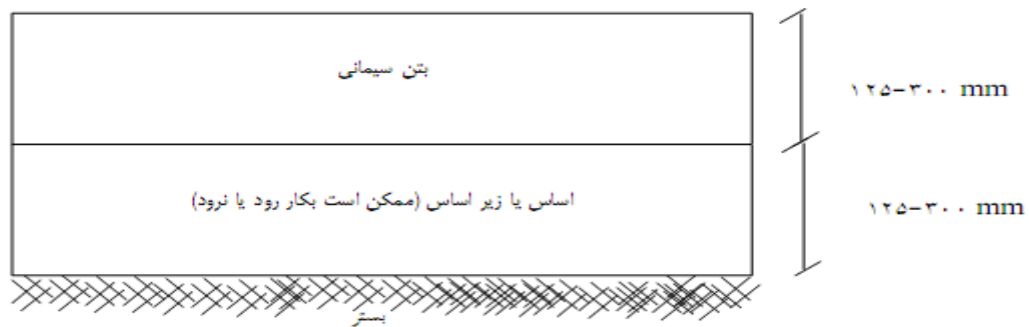
استفاده از مراجع زیر برای این استاندارد اجباری است:

- 2-1 ASTM C1170 :2008, Standard Test Method for Determining Consistency and Density of Roller-Compacted Concrete Using a Vibrating Table
- 2-2 ASTM D1557:2003, Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Modified Effort
- 2-3 ASTM C666 :2003, Standard Test Method for Resistance of Concrete to Rapid Freezing and Thawing
- 2-4 ASTM E274 :2011, Standard Test Method for Skid Resistance of Paved Surfaces Using a Full-Scale Tire
- 2-5 ASTM C1274 :2003, Standard Test Method for Measuring Pavement Roughness Using a Profilograph
- 2-6 ASTM C128 :2012, Standard Test Method for Density, Relative Density (Specific Gravity), and Absorption of Fine Aggregate
- 2-7 ACI 201.2R :2008, Guide To Durable Concrete
- 2-8 ACI 304R :2008, Guide For Measuring, Mixing, Transporting, & Placing Concrete
- 2-9 ACI 221R :1996, Guide For Use Of Normal Weight & Heavyweight Aggregates In Concrete
- 2-10 ACI 225R :1999, Guide To The Selection & Use Of Hydraulic Cements
- 2-11 ACI 207.5R :2011, Report On Roller-Compacted Mass Concrete
- 2-12 ASTM C1176 :2008, Standard Practice for Making Roller-Compacted Concrete in Cylinder Molds Using a Vibrating Table
- 2-13 ASTM C78 :2010, Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam with Third-Point Loading)
- 2-14 ASTM C469 :2010, Standard Test Method for Static Modulus of Elasticity and Poisson's Ratio of Concrete in Compression
- 2-15 ASTM C989 :2012, Standard Specification for Slag Cement for Use in Concrete and Mortars
- 2-16 ASTM C618 :2012, Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use in Concrete
- 2-17 ACI 504R :1990, Guide To Sealing Joints In Concrete Structures

۳ انواع روسازی‌های بتنی و جایگاه روسازی بتن غلتکی

۱-۳ کلیات

روسازی بتنی از بتن حاوی سیمان پرتلند ساخته می‌شود. ولین روسازی بتنی در دیترویت میشیگان در آمریکا در سال ۱۹۰۸ ساخته شد. برای طراحی روسازی بتنی بجای تئوری لایه‌ها که در طراحی روسازی انعطاف‌پذیر (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 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 لایه‌ها 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 فاصله‌ای کمتر از ۰٫۶ متر (۲ فوت) از لبه دال وارد شود، تنها تئوری صفحه می‌تواند برای روسازی بتنی مورد استفاده قرار گیرد. زیرا تئوری لایه‌ها تنها برای روسازی انعطاف‌پذیر مورد استفاده قرار گرفته و در روسازی بتنی قابل استفاده نیست و به این دلیل است که PCC^۱ خیلی سخت‌تر از HMA^۲ بوده و بار را در سطح خیلی وسیع‌تری پخش می‌کند. بنابراین یک فاصله ۰٫۶ متری از کناره‌ها در یک روسازی انعطاف‌پذیر کاملاً دور محسوب می‌گردد در حالی که 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 می‌دهد، همان‌طور که در شکل دیده می‌شود در زیر دال بتنی اساس و یا زیر اساس ممکن است قرار گیرد و یا اینکه دال بتنی مستقیماً بر روی ساب‌گرید قرار داده شود



شکل ۱- تیپ یک روسازی بتنی

۲-۳ استفاده از لایه اساس

در گذشته روسازی بتنی مستقیماً بر روی بستر ساخته می‌شد ولی با افزایش حجم و وزن ترافیک و بوجود آمدن پدیده پامپینگ استفاده از اساس دانه‌ای کاملاً متداول شده است. زمانی که روسازی تحت تأثیر تعداد

1-Portland Cement concrete

2-Hot Mix Asphalt

زیادی از بار چرخ بسیار سنگین قرار می‌گیرد و لایه اساس نیز در مجاورت سطح آب زیرزمینی قرار داشته و یا حتی امکان شسته شدن مصالح دانه‌ای از طریق عملکرد آب وجود دارد، استفاده از اساس آسفالتی و یا سیمانی به عنوان یک روش متداول محسوب می‌شود. 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 می‌توان 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 می‌باشد:

کنترل پدیده پامپینگ- پامپینگ عبارت است از خروج آب و خاک بستر از میان درزها، ترک‌ها و در طول کناره‌های روسازی که در اثر حرکت دال بتنی به سمت پایین به موجب بارهای محوری سنگین رخ می‌دهد. تاثیرات تکرار و تناوب این عمل که باعث پدیده پامپینگ می‌شود عبارتند از بوجود آمدن فضای خالی در زیر روسازی بواسطه پدیده تابیدگی بتن در اثر حرارت و تغییر شکل پلاستیک در بستر، عبور آب، خروج آب گل آلود، افزایش فضای خالی و سرانجام گسیختگی و ایجاد ترک در دال جلویی که در زیر ترافیک قرار دارد. پدیده پامپینگ در زیر قسمت جلویی دال اتفاق می‌افتد و در هنگامی که قسمت عقبی دال به سمت بالا حرکت می‌کند باعث ایجاد مکش گردیده و مصالح ریز دانه از زیر دال جلویی مکیده می‌شوند.

کنترل یخ زدگی- اثر یخ زدگی بر روی عملکرد روسازی زبان 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 می‌شود. 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 می‌کند یک لایه اساس با دانه‌بندی باز می‌تواند 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 می‌تواند 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 دانه‌بندی باز می‌تواند بعنوان یک لایه زهکشی عمل نماید. بنابراین کاهش آب وارد شده به خاک بستر نهایتاً امکان بالقوه انقباض و تورم را پایین می‌آورد.

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

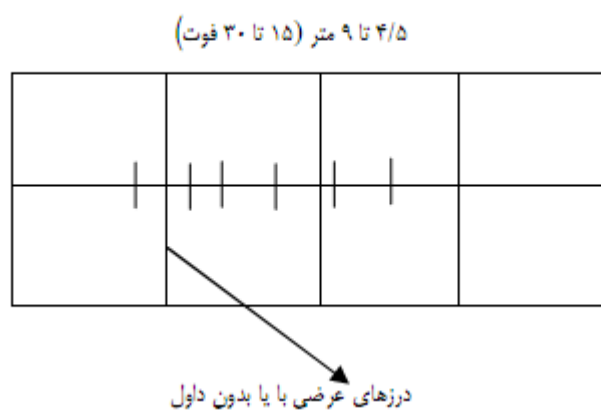
۳-۳ انواع روسازی‌های بتنی

روسازی‌های بتنی به چهار دسته تقسیم می‌شوند:

- روسازی بتنی غیر مسلح درز دار JPCP^۱؛
- روسازی بتنی مسلح پیوسته CRCP^۲؛
- روسازی بتنی مسلح درز دار JRCP^۳؛
- روسازی بتنی پیش تنیده PCP^۴.

۳-۳-۱ روسازی بتنی ساده درز دار (JPCP)

یک روسازی بتنی غیر مسلح درز دار باید با درزهای انقباض با فواصل نزدیک به هم ساخته شود. داول (میلگرد اتصال) یا قفل وبست سنگدانه‌ای ممکن است برای انتقال بار در عرض درزها مورد استفاده قرار گیرد. کاربرد استفاده یا عدم استفاده از داولها 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 قفل وبست 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 ۴٫۵ متر (۱۵ فوت) برای درزهای بدون داول توصیه شده است.



شکل ۲- تیپ روسازی بتنی ساده درز دار

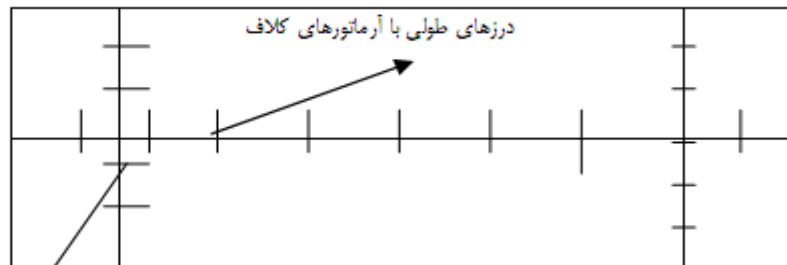
۳-۳-۲ روسازی بتنی مسلح درز دار (JRCP)

در این نوع روسازی آرماتورهای فولادی بکار رفته بر خلاف شبکه‌های سیمی یا میلگردهای آجدار نه به منظور افزایش مقاومت سازه‌ای 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 داولها برای انتقال بار در عرض درزها قرار داده شوند. مقدار توزیع فولاد در JRCP با افزایش فاصله درزها افزایش می‌یابد. در هر حال هزینه تعداد درزها و داولها با افزایش

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

فاصله درزها کاهش می‌یابد. براساس هزینه‌های ااره کردن، مش، داول‌ها 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.

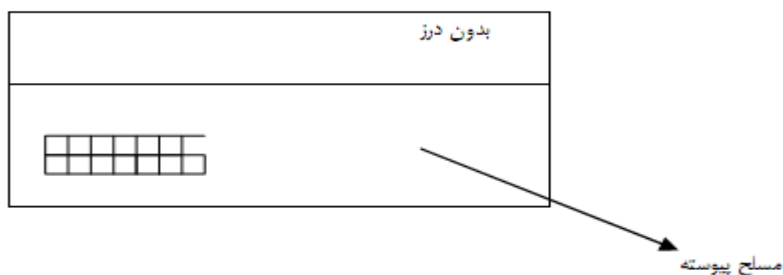


۹ تا ۳۰ متر (۳۰ تا ۱۰۰ فوت) درزهای عرضی با داول‌ها

شکل ۳- تیپ روسازی بتنی مسلح درزدار

۳-۳-۳ 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 کمتر و تقریباً در حدود ۷۰ درصد تا ۸۰ درصد ضخامت روسازی معمولی می‌باشد.



شکل ۴- 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 زمانی که 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 Y شکل اتفاق می‌افتد.

اگر خرابی بجای درز، در کناره‌ی 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 JRCP و JPCP می‌باشد که ممکن است منجر به ضخامت کمتری برای CRCP شود. مقدار آرماتور طولی باید برای کنترل کردن فاصله و عرض ترک و حداکثر تنش در فولاد محاسبه گردد.

۳-۳-۴ 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 در سال ۱۹۷۱ در دلویر ساخته شد. بعد از آن در همان سال یک پروژه آزمایشی بطول ۹۷۶ متر بعنوان راه دسترسی در فرودگاه بین المللی دالاس ساخته شد.

۳-۴ روسازی‌های مختلط

در یک روسازی مختلط هم از HMA و هم از PCC 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. لایه PCC یک لایه اساس مستحکم را فراهم نموده و HMA 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 سازه باربر روسازی را تشکیل می‌دهد.

۳-۵ مقایسه روسازی‌های بتنی (صلب) و آسفالتی (انعطاف پذیر)

۳-۵-۱ مزیت رویه‌های بتنی در مقایسه با آسفالتی

رویه‌های 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 سال تا ۵۰ سال در مقایسه با ۱۵ سال 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 صرفه‌جویی در بکارگیری مصالح در لایه‌های بتنی تخریب منابع طبیعی و محیط زیست کمتر صورت می‌گیرد.

در مناطق شیب دار 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.

۳-۵-۲ معایب رویه‌های بتنی در مقایسه با لایه‌های آسفالتی

هزینه اولیه ساخت روسازی بتنی در مقایسه با روسازی آسفالتی بیشتر و اجرای تعمیرات و عملیات ترمیم در روسازی بتنی مشکل تر 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 در میان 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 مشکل تر است.

۳-۵-۳ موارد کاربرد رویه‌های بتنی

در جاده‌های واقع در مناطق گرمسیر با حجم ترافیک سنگین بخصوص در شیب‌های تند و گردنه‌ها که سرعت وسایل نقلیه سنگین کم است.

در قسمت‌هایی 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.

۳-۶ جایگاه، بتن غلتکی در روسازی‌های بتنی

روسازی بتنی غلتکی RCC بعنوان یک نوع روسازی بتنی محسوب می‌گردد که جزء دسته اول یعنی روسازی بتنی غیرمسلح درزدار قرار می‌گیرد. در واقع پروسه طراحی روسازی بتنی و 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.

۴ خواص و عملکرد روسازی‌های بتن غلتکی

۱-۴ کلیات

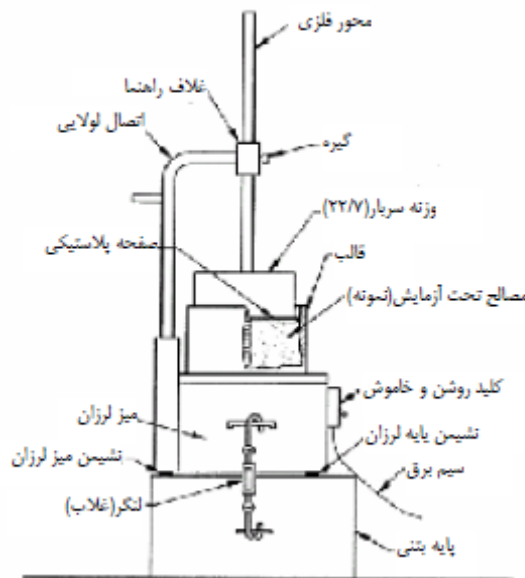
بتن غلتکی جهت کاربرد به عنوان روسازی را (RCCP) در حالت تازه با بتن معمولی متفاوت بوده و بسیار سفت‌تر و کارآیی آن به مراتب کمتر می‌باشد. با توجه به اهمیت کارآیی بتن و تاثیر آن روی تراکم پذیری، بحث خواص بتن غلتکی روسازی در حالت تازه در بخش‌های بعدی این گزارش تشریح شده است. در حالت سخت شده بتن غلتکی روسازی از بسیاری جهات مشابه بتن معمولی است و پارامترهای اصلی تاثیرگذار روی خواص بتن‌های معمول نظیر نسبت آب به سیما (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 آزمون‌ها جهت بررسی خواص آنها با بتن‌های معمولی تفاوت دارد. آزمون‌های بتن غلتکی از طریق روش‌های ویژه نظیر کوبش با چکش‌های بادی مخصوص و یا روش‌های ارتعاشی تحت سربار و یا از طریق اجرای مقطع آزمایشی و بریدن نمونه‌های لازم و یا مغزه‌گیری صورت می‌گیرد. در زیر اطلاعات درخصوص خواص مخلوط‌های بتن غلتکی روسازی ارائه شده است. علاوه بر خواص مخلوط‌های بتن غلتکی به عملکرد روسازی‌های بتن غلتکی از نقطه نظر کیفیت سطح و دوام نیز پرداخته شده است.

۲-۴ خواص

۱-۲-۴ کارآیی

بتن غلتکی در حالت تازه باید قابلیت تحمل وزن غلتک را جهت تراکم آن داشته باشد، 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 آزمون اسلامپ برای این نوع بتن قابل کاربرد نیست. روشی که برای اندازه‌گیری کارآیی بتن غلتکی توسعه یافته است روش تعیین روانی با آزمون وی بی اصلاح شده است. در این آزمون از دستگای 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 می‌شود.

نحوه انجام آزمون به این شکل است که بتن غلتکی داخل ظرف استوانه‌ای فلزی که روی میز قابل ارتعاش قرار دارد ریخته می‌شود 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 آزمون زمان وی بی اصلاح شده در استاندارد ASTM C 1170 تشریح شده است. هر چند که برای بتن‌های غلتکی سازی زمان مناسب وی بی اصلاح شده تحت سربار ۲۲/۷ کیلوگرم حدود ۲۰ ثانیه و برای بتن‌های غلتکی روسازی زمان وی بی اصلاح شده تحت سربار بین ۳۰ تا ۴۵ ثانیه توصیه شده است. در شکل ۵ تجهیزات اندازه‌گیری زمان وی بی اصلاح شده به صورت شماتیک ارائه شده است.



شکل ۵- تجهیزات اندازه‌گیری 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. البته به نظر می‌رسد روش انجام آزمون قدری متفاوت با روش استاندارد فوق الذکر در ASTM C 1170 بوده و سربار به کار رفته به جای ۲۲۷ کیلوگرم حدود ۱۳ کیلوگرم بوده است. مسئله کاهش کارایی بتن غلتکی پس از ساخت مخلوط در طی زمان و شروع 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 گردیده است. در این نوع روش‌ها از امواج مافوق صوت استفاده می‌شود. در فرانسه زمان عبور پالس‌های مافوق صوت در میان یک نمونه مخلوط بتنی در طی 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 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 آزمون‌ها باید در کابینت‌های مجهز به کنترل کننده درجه حرارت، انجام گیرد. در بعضی موارد روان کننده‌ها جهت افزایش کارایی و کندگیرکننده‌ها جهت افزایش فرصت کاری مورد استفاده قرار گرفته‌اند.

۴-۲-۲ جداسدگی

جلوگیری از پدیده جداسدگی سنگدانه‌ها از بتن برای بتن‌های غلتکی پروژه‌های سدسازی 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 از عوامل تشدید کننده جداسدگی در این نوع بتن‌ها هستند. در مخلوط‌های بتن غلتکی روسازی اندازه حداکثر سنگدانه بسیار کمتر بوده و به جهت بهبود کیفیت سطوح روسازی به کمتر از ۱۹ میلی‌متر

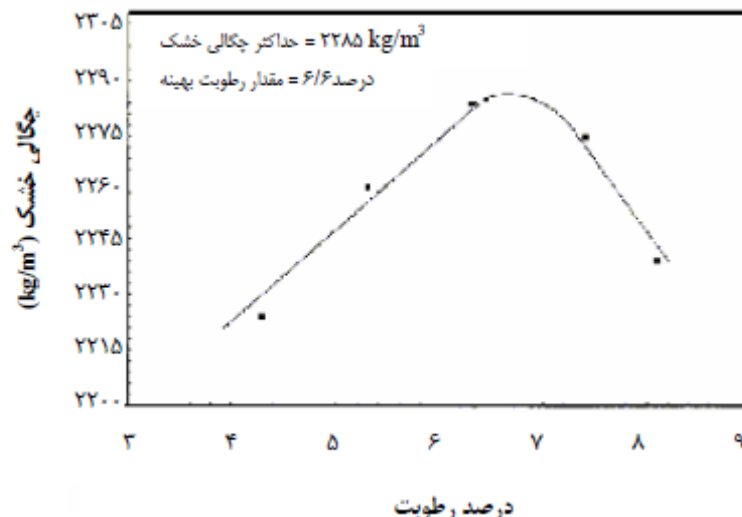
محدود می‌گردد و همچنین مقدار مواد سیمانی در این نوع بتن‌های غلتکی بسیار بیشتر از آنچه در بتن‌های غلتکی سدسازی به کار می‌رود است، از این رو اگر چه مخلوط‌های بتن غلتکی روسازی بسیار خشک هستند اما مسائل جداسازی در این نوع بتن‌ها کمتر از آنچه درباره بتن‌های غلتکی سدسازی مطرح شد مشکل ساز است.

۴-۲-۳ آب انداختگی

امکان آب انداختگی در بتن‌های معمولی و روسازی‌های بتن معمولی از مواردی است که باید مد نظر قرار گرفته و کنترل شود. در بتن‌های غلتکی به علت کم بودن آب اختلاط پدیده آب انداختگی رخ نمی‌دهد لذا مشکلات ناشی از ایجاد لایه ضعیف روی سطح بتن به دلیل آب انداختگی در این نوع بتن‌ها مسئله‌ساز نبوده و می‌تواند از مزایای این نوع بتن‌ها در نظر گرفته شود.

۴-۲-۴ جرم حجمی و درجه تراکم

هر چند در حالت تازه بتن غلتکی ظاهری شبیه خاک نمدار را دارد لیکن در حالت سخت شده مشابه بتن‌های معمولی بوده و با توجه به مقدار کمتر آب در این نوع مخلوط‌ها در صورت تراکم مناسب جرم حجمی آنها قدری بیشتر از بتن‌های معمول می‌شود. جرم حجمی حدود ۲۴۰۰ تا ۲۵۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب برای بتن‌های غلتکی روسازی مقادیری متعارف است. با توجه به خشکی مخلوط‌های بتن غلتکی، میزان تراکم تاثیر بسیار مهمی بر جرم حجمی آنها دارد. براین اساس رفتار بتن غلتکی در حالت تازه تحت انرژی تراکم مشابه رفتار خاک می‌تواند فرض شود و مبنای ژئوتکنیکی چگالی حداکثر و درصد رطوبت بهینه برای بتن‌های غلتکی قابل اعمال خواهد بود. در شکل ۶ رابطه کلی چگالی - درصد رطوبت برای مخلوط بتن غلتکی ارائه شده است و همانطور که مشخص است در درصد رطوبت کمتر از مقدار بهینه، امکان تراکم کامل نمونه با انرژی تراکم مشخص، فراهم نمی‌آید و افت در جرم حجمی مشاهده می‌گردد. با افزایش درصد رطوبت و تا رسیدن به درصد رطوبت بهینه چگالی بتن غلتکی افزایش می‌یابد.



شکل ۶ - رابطه چگالی - درصد رطوبت برای بتن‌های غلتکی

با افزایش بیشتر درصد رطوبت همانند آنچه در خاک‌ها مشاهده می‌گردد، چگالی بتن غلتکی تازه متراکم شده مجدداً 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 D 1557 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 با رطوبت بهینه و انرژی تراکم استاندارد پراکتور خواهد بود. از این‌رو از پارامتر درجه تراکم R_d به عنوان شاخص مناسب بودن بتن اجرا شده می‌توان استفاده نمود.

$$R_d = \frac{\delta df}{\delta dm f} \times 100$$

که در آن:

R_d درجه تراکم بر حسب درصد؛

δdf جرم حجمی خشک بتن غلتکی متراکم شده در حالت تازه در کارگاه؛

$\delta dm f$ 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.

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

که در آن:

R_c تصحیح برای آب ترکیب شده با سیمان بر حسب درصد؛

C مقدار سیمان در مخلوط بر حسب کیلوگرم بر متر مکعب؛

a درجه پیشرفت واکنش در زمان انجام آزمون تعیین جرم حجمی خشک بتن غلتکی؛

K نسبت آب ترکیب شده در سیمان کاملاً هیدراته که عموماً ۰/۲۵ در نظر گرفته میشود؛

δdcs 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:

$$C = 340 \text{ kg/m}^3$$

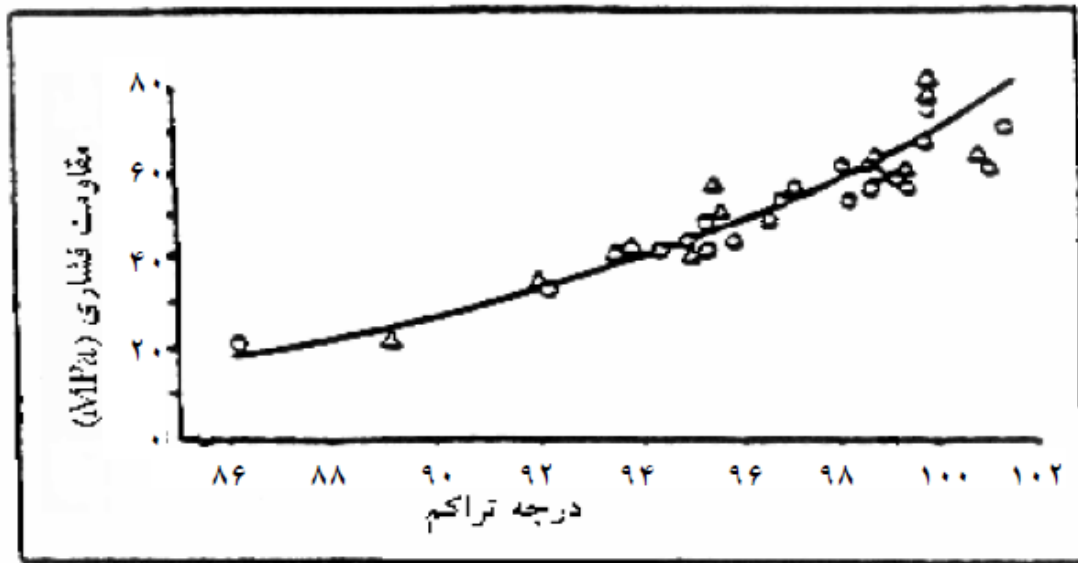
$$a = 0.5 \text{ (با فرض اینکه نیمی از واکنش کل در ۱۴ روز صورت گرفته است)}$$

$$K = 0.25$$

$$\delta dcs = 2440 \text{ kg/m}^3 \text{ مقدار اندازه‌گیری شده برابر}$$

$$R_c = (-340 \times 0.5 \times 0.25 / 2440) \times 100 = -1.74$$

بنابراین اگر درجه تراکم برای مغزه بتن غلتکی ۹۹ درصد اندازه‌گیری 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 ۷ تاثیر درجه تراکم روی مقاومت فشاری برای یک مخلوط تهیه شده در محدوده رطوبت بهینه آن ارائه شده است.



شکل ۷- تاثیر درجه تراکم روی مقاومت فشاری بتن غلتکی

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

۵-۲-۴ 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 سدسازی است. در بتن‌های غلتکی سدسازی 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 زایی 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.

در آمریکا مقدار حداقل مقاومت فشاری برای روسازی بتن غلتکی عمدتاً در مشخصات فنی بیش از ۲۷٫۶ مگاپاسکال قید می‌گردد. جدول ۱ مقاومت فشاری تعیین شده روی تعدادی مغزه‌های گرفته شده از برخی پروژه‌های اجرا شده در آمریکا را نشان می‌دهد:

جدول ۱- مقاومت فشاری مغزه های بتنی گرفته شده از برخی پروژه‌های 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

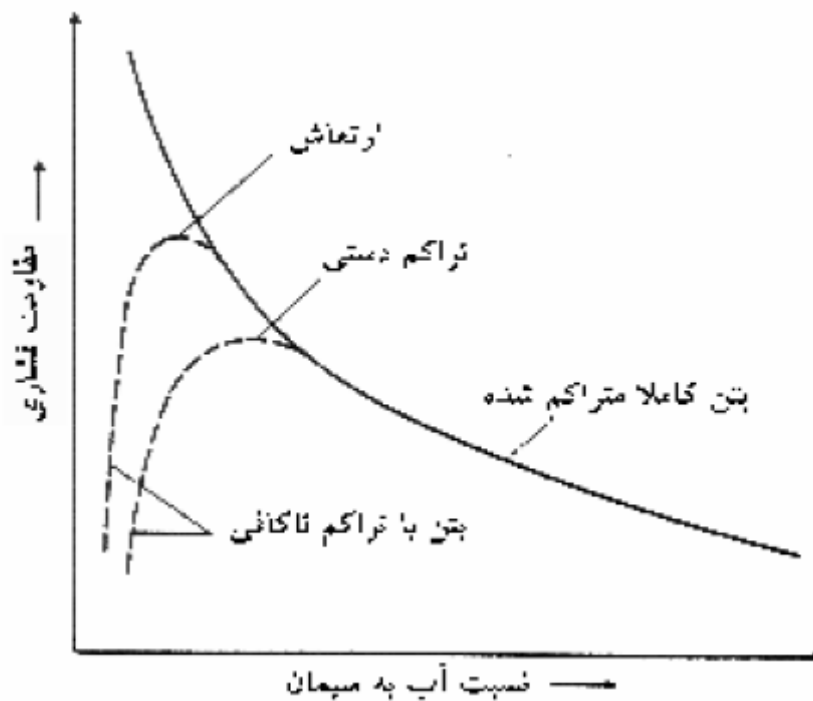
در کشورهایی نظیر سوئد که الزامات بارگذاری و یا شرایط جوی شدیدتری حاکم است، مقاومت بالاتری مد نظر قرار گرفته می‌شود. در این کشور بتن غلتکی روسازی باید دارای حداقل مقاومت فشاری ۴۰ مگاپاسکال در ۲۸ روز و دوام مناسب در برابر ذوب و انجماد و سایش باشد. با توجه به تاثیر نسبت آب به مواد سیمانی روی مقاومت فشاری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

در یک تحقیق انجام شده در داخل کشور، مقاومت متوسط ۴۵ مگاپاسکال از نمونه‌های استوانه ای با ابعاد ۳۰×۱۵ سانتی‌متر تحت شرایط عمل آوری مرطوب حاصل گردید. 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 تاثیر بسیار قابل توجه شرایط عمل آوری روی طراحی بتن غلتکی است. در صورت عدم اعمال عمل آوری مرطوب و نگهداری نمونه بتن غلتکی روسازی در شرایط محیطی آزمایشگاه با رطوبت نسبی ۴۰ درصد، میزان افت مقاومت فشاری حدود ۵۰ درصد مشاهده شده است. شایان توجه است که اعمال عمل آوری با پوشش‌های غشایی به تنهایی تأثیر نسبتاً کمی در بهبود وضعیت داشته و نسبت به حالت عمل آوری مرطوب، افت حدود ۳۵ درصد در مقاومت فشاری دیده شده است.

در خصوص پارامترهای تاثیر گذار روی مقاومت بتن غلتکی، همان‌طور که در بند ۴-۲-۴ 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 ۶ و رابطه درجه تراکم و مقاومت فشاری نیز در شکل ۸ ارائه شده است.

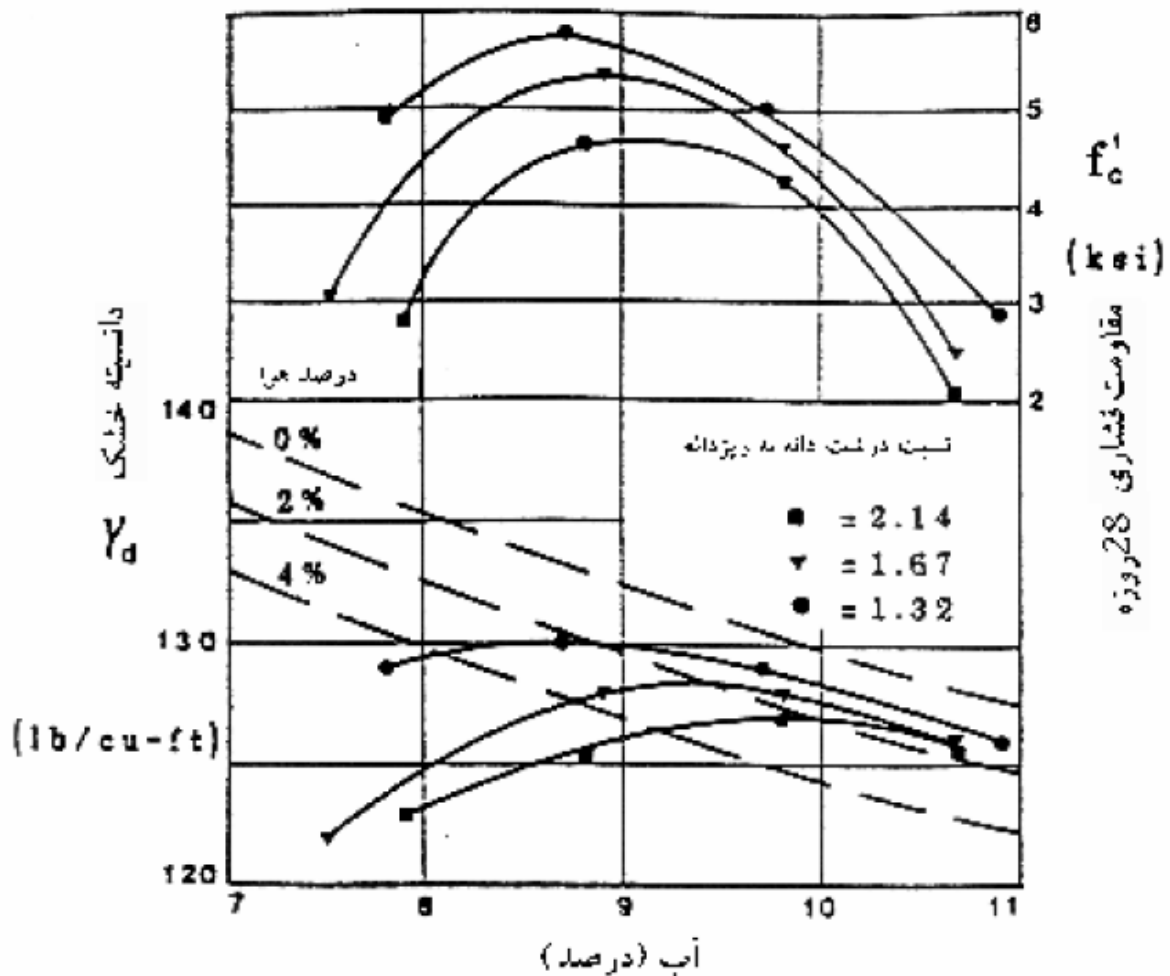
نکته‌ای که در خصوص بتن غلتکی با ید در نظر داشت این است که در این نوع از مصالح برخلاف خاک‌ها ماده‌ای با قابلیت واکنش هیدراتاسیون و کسب مقاومت در طی زمان، یعنی سیمان نیز موجود است. لذا مقاومت بتن‌های غلتکی همانند بتن‌های معمولی به پارامتر نسبت آب به سیمان (W/C) نیز بستگی دارد. با

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 شکل ۸ ارائه شده است.



شکل ۸- 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 ۹ نشان داده شده است.



شکل ۹- رابطه مقاومت فشاری و دانسیته خشک مخلوط بتن غلتکی با مقدار آب (درصد رطوبت) مخلوط

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 فرآیند هیدراتاسیون سیمان صورت می‌گیرد. برای بتن‌های غلتکی حاوی سیمان پرتلند نوع یک، 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 سدسازی جهت کنترل مسائل حرارتی و تامین ریزدانه اغلب از پوزولان به مقدار زیاد استفاده می‌شود در حالی که 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.

۶-۲-۴ مقاومت خمشی

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

جدول ۲- نتایج مقاومت خمشی و مقاومت کششی برزیلی مربوط به برخی پروژه‌ها در آمریکا

پروژه	سن بتن (روز)	مقاومت خمشی (Mpa)	مقاومت کششی برزیلی (Mpa)
پایگاه استورت	۹۰	۷/۲	—
پایگاه هود	۷	۴/۷	—
	۲۸	۵/۹	—
پایگاه هاروی	۷	—	۲/۴
	۲۸	۵/۶	۲/۹
پایگاه کمپبل	۷	۴/۶	۲/۸
	۲۸	—	—
پایگاه ابردن	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 خمشی ایجاد خواهد شد. مالیش 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. همچنین در استرالیا برای پیش بینی مقاومت خمشی ۲۸ روز از مقاومت فشاری از رابطه زیر که توسط ناسر پیشنهاد گردیده استفاده می‌شود.

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

$$f'_{cf} = \text{مقاومت خمشی ۲۸ روزه}$$

$$f'_c = \text{مقاومت فشاری}$$

این رابطه به منظور طراحی اولیه و محافظه کارانه استفاده می‌گردد. برای متوسط مقاومت فشاری ۲۸ و ۹۰ روزه با مقادیر ۳۵ تا ۴۰ مگاپاسگال مقاومت خمشی متوسط به ترتیب برابر با ۴/۵ و ۴/۷۵ مگاپاسگال

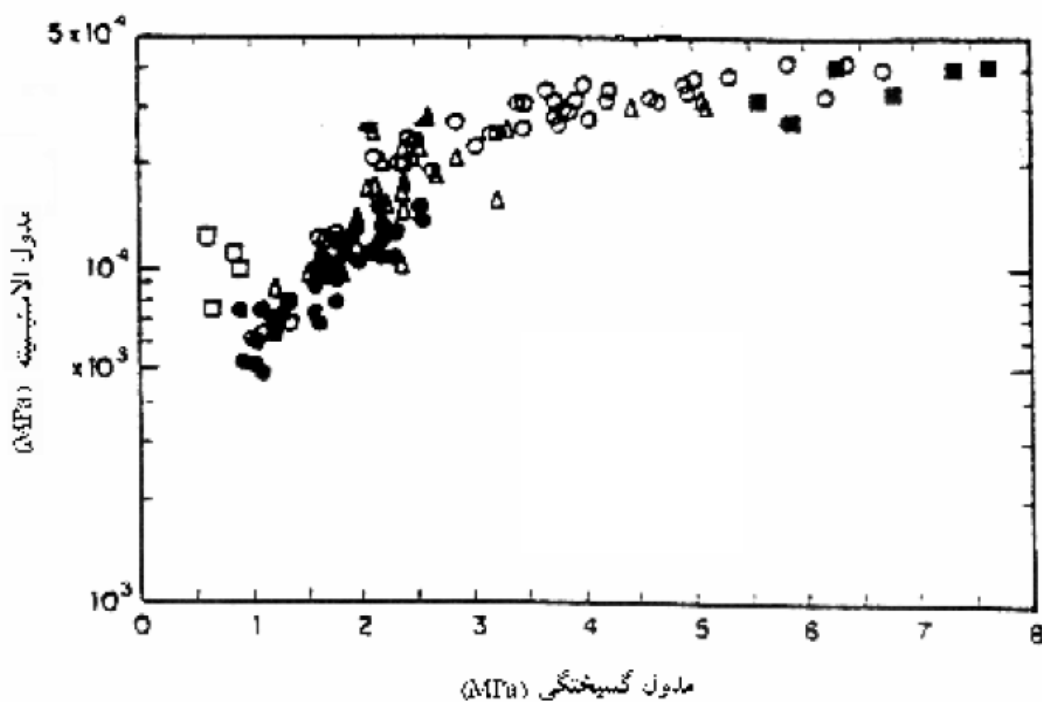
محاسبه می‌گردد. اطلاعات محدود موجود از تجربه ساخت روسازی بتن غلتکی در استرالیا نشان می‌دهد که مقاومت خمشی براساس مقاومت فشاری ۳۵ تا ۴۰ مگاپاسکال بیشتر از مقداری است که از رابطه ناسر بدست می‌آید. بنابراین درکارهای مهم، یک برنامه آزمون برای بوجود آوردن رابطه واقعی بین دو پارامتر توصیه می‌گردد.

۷-۲-۴ مقاومت کششی برزیلی

مقاومت کششی برزیلی با آزمون 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 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.

۸-۲-۴ 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 الاستیسیته RCCP رابطه‌ای با مقاومت خمشی دارد (شکل ۱۰) که نظیر همان رابطه‌ای است که برای بتن‌های معمولی روسازی وجود دارد.



شکل ۱۰- رابطه بین مدول الاستیسیته و مقاومت خمشی بتن‌های RCCP

۹-۲-۴ خستگی

ترک خوردگی ناشی از خستگی یکی از دلایل از بین رفتن قابلیت خدمت‌دهی روسازی‌های بتنی محسوب می‌گردد. این نوع ترک نشان دهنده نقطه شروع یک فازخرابی سازه‌ای است که باعث تغییر حالت تنش‌ها و تغییر شکل‌های بوجو د 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. در ۳۰ سال گذشته تلاش‌های زیادی برای درک مکانیزم خستگی انجام گرفته است.

گسیختگی ناشی از خستگی در درد و مرحله بوجو د 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 دارای رفتار خستگی شبیه به روسازی بتنی است. البته می‌توان انتظار داشت که برای مقادیر درصد سیمان مشابه، روسازی RCCP 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 درصد عمر خستگی ترک‌ها شروع به رشد می‌کنند در حالی که در مخلوط‌های با سنگدانه ریزتر ترک‌ها دیرتر و کندتر رشد می‌کنند به طوری که شروع آن در حدود ۶۵ درصد عمر خستگی است.

در هر حال چنین مخلوط‌هایی زمانی که 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 رفتار خستگی 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. دیگر تحقیقات انجام گرفته توسط کایمین و کینگوان نشان می‌دهد که به دلیل تفاوت زیاد ترکیب مصالح و پروسه اجرا بین تفاوت‌هایی نیز در رفتار خستگی آنها به وجود می‌آید.

RCCP و PCC بررسی آزمایشگاهی روی عملکرد خستگی بتن غلتکی روسازی با درصد‌های مختلف خاکستر بادی صورت گرفت که نتایج در قیاس با بتن معمولی روسازی در جدول 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 می‌توان استنتاج نمود که عملکرد خستگی روسازی بتن غلتکی مشابه و یا بهتر از بتن‌های معمولی است. همچنین گزارش انجمن بتن آمریکا نیز اشاره دارد که نتایج محدود نشانگر عملکرد روسازی بتن غلتکی مشابه با بتن معمولی از نظر خستگی است.

جدول ۳ - مقایسه خواص بتن‌های غلتکی با درصد‌های مختلف خاکستر بادی بتن معمولی روسازی

شماره مخلوط	مقدار سیمان kg / m^3	مقدار خاکستر بادی kg / m^3	مقدار آب kg / m^3	مقاومت خمشی ۹۰ روزه Mpa	مقدار تخریب ناشی از خستگی
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

۴-۲-۱۰ 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، شایان ذکر است که مقادیر جذب آب بتن معمولی، معمولاً زیر ۵ درصد است که بر این اساس مقادیر فوق‌الذکر 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. در این مخلوط مقدار مواد سیمانی ۱۰ تا ۱۲ درصد وزن مصالح خشک در نظر گرفته شده بود.

۴-۲-۱۱ 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 $10^{-6} \times 2000$ تا $10^{-6} \times 1200$ است. با توجه به مقدار قابل توجه جمع شدگی در روسازی‌های بتن معمولی جهت مقابله با ترک خوردگی 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 حایز 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 370×10^{-6} است که این مقدار قدری کمتر از میزان همین پارامتر برای بتن‌های معمولی است.

۴-۲-۱۲ دوام در برابر سولفات‌ها

بررسی آزمایشگاهی انجام شده توسط غفوری و ژنگ ضدسولفات نشانگر آن است که با کاربرد سیمان نوع V (ضد سولفات) 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 درصد 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 ۱۲ تا ۱۵ درصد بهبود می‌یابد.

۴-۲-۱۳ دوام در برابر ذوب و انجماد

به علت روش ساخت بتن غلتکی ایجاد هوازایی جهت مقاوم سازی آن در برابر شرایط ذوب و انجماد دشوار است و لذا در پروژه‌های اجرا شده هوازایی در عمده موارد انجام نگرفته است. 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. 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 آزمون‌های تعیین دوام در برابر ذوب و انجماد انجام شده به روش آزمایشگاهی ASTM C 666 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 آزمون ASTM C 666 برای سنجش عملکرد بتن‌های غلتکی روسازی آزمون مناسبی نباشد. در این ارتباط همچنین باید اشاره گردد که با توجه به رفتار و نتایج بدست آمده از آزمون‌های با مقیاس بزرگ پذیرفته است که RCC بعنوان یک گزینه برای روسازی در هر شرایط آب و هوایی قابل قبول است.

۴-۳ عملکرد

۴-۳-۱ انتقال بار از درزها

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 مهندسين ارتش آمريكا و آيين‌نامه سازمان هوانوردی آمريكا برای طراحی ضخامت روسازی‌های بتنی حداقل ۲۵ درصد انتقال نیرو در محل 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 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 روسازی‌های بتن غلتکی امکان ایجاد داول یا برش‌گیر وجود ندارد. از سوی دیگر بریدن درز در این نوع روسازی‌ها کمتر متداول است و عمدتاً اجازه می‌دهند ترک‌ها به صورت طبیعی ایجاد شوند که منجر به فواصل نسبتاً طولانی ترک و همچنین متغیر بودن این فواصل می‌گردد. بر این اساس امکان بازشدگی ترک در این نوع روسازی‌ها بیش از روسازی‌های بتن معمولی است. لذا آیین‌نامه‌های طراحی فوق‌الذکر مقدار انتقال بار را در درزها برای روسازی‌های بتن غلتکی برابر صفر در نظر می‌گیرند. این برخورد محافظه‌کارانه می‌تواند منجر به ضخامت بیشتر روسازی بتن غلتکی در مقایسه با روسازی بتن معمولی گردد. بررسی به عمل آمده توسط پیت‌من نشانگر این است که در روسازی‌های بتن غلتکی اجرا شده مقدار انتقال بار در محل درزها از ۴ تا ۳۲ درصد متغیر بوده و مقدار ۱۰ درصد به صورت محافظه‌کارانه‌ای می‌تواند جهت انتقال بار برای این نوع روسازی‌ها در نظر گرفته شود. طبق بررسی پیت‌من، در صورت در نظر گرفتن ۱۰ تا ۱۵ درصد انتقال بار برای روسازی‌های بتن غلتکی ضخامت طراحی این نوع روسازی ۸ تا ۱۷ درصد کاهش می‌یابد.

۴-۳-۲ اتصال بین لایه‌ها (مقاومت چسبندگی بین لایه‌ها)

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 باید کافی باشد. گزارش انجمن بتن آمريكا حداقل این مقدار را برابر ۵۰ درصد توصیه می‌کند. بررسی آزمون‌های انجام شده روی پروژه‌های مختلف در آمريكا 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.

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 مهندسين ارتش آمريكا 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. جهت اتصال بین لایه‌ها می‌توان از روش‌هایی نظیر زیر کردن سطح لایه استفاده کرد. در این روش لازم است که قبل از این که 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. درجایی که چسبندگی بیشتری نیاز باشد از تکنیک‌های مختلفی نظیر بافت دار کردن سطح از طریق دندان‌دار کردن آنها به کمک غلتک‌های پاچه‌بزی انجام می‌شود. بهترین تکنیک در حال حاضر با وجود سیر تکاملی آن، استفاده از دوغاب سیمان - آب در سطح به محض تمام شدن روسازی است. معمولاً دوغاب سیمانی طوری استفاده می‌گردد که یک پوشش سیمانی ۲ کیلوگرم بر مترمربع 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.

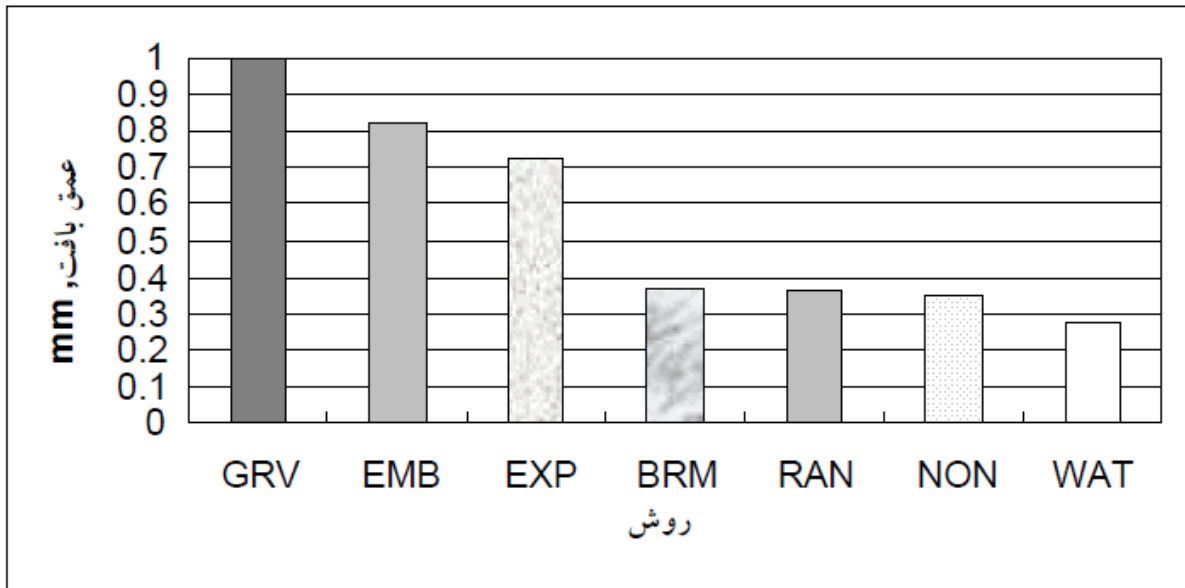
۳-۳-۴ مقاومت در برابر لغزش

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 فوق‌الذکر لازم است بافت زبری روی سطح بتن ایجاد گردد که به این کار ایجاد بافت 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 صورتی که سطح روسازی بتن سخت شده دارای بافت نبوده و یا بافت ایجاد شده فرسوده گردد، می‌توان با کاربرد تیغه‌های گردنده شیپارزن بافت زبر مورد نظر را روی سطح روسازی بتنی ایجاد نمود. 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 هم‌اکنون 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 در شهر آستین در تگزاس باروش ASTM E 67087 توسط دستگاه اندازه‌گیری اصطکاک در هر دو شرایط تر و خشک اندازه‌گیری شد که به علت انحنای موجود در جاده، حد اکثر سرعت آزمون به ۶۴ کیلومتر در ساعت محدود شد. نتایج حاصل از این آزمون مقادیر متوسط ۰٫۷۲ در شرایط خشک و ۰٫۴ در شرایط مرطوب را نشان می‌دهد این نتایج بر اساس ملاک‌های ارزیابی مقاومت در برابر لغزش در رده شرایط سطحی ضعیف تا مرزی دسته‌بندی می‌شوند دلیل این عملکرد ضعیف هر دو وضعیت بافت درشت و بافت ریز سطح روسازی ذکر شده است. در روسازی بتن معمولی بافت درشت سطح روسازی از طریق ایجاد بافت زبر و شیپاردر روی سطح بتن حاصل می‌گردد. بافت سطح روسازی‌های بتن غلتکی عمدتاً غیر مرتبط و با فضاهای خالی و نسبتاً باز هستند که البته وضعیت بافت به نوع مخلوط و روش ریختن و تراکم بستگی دارد. بررسی انجام

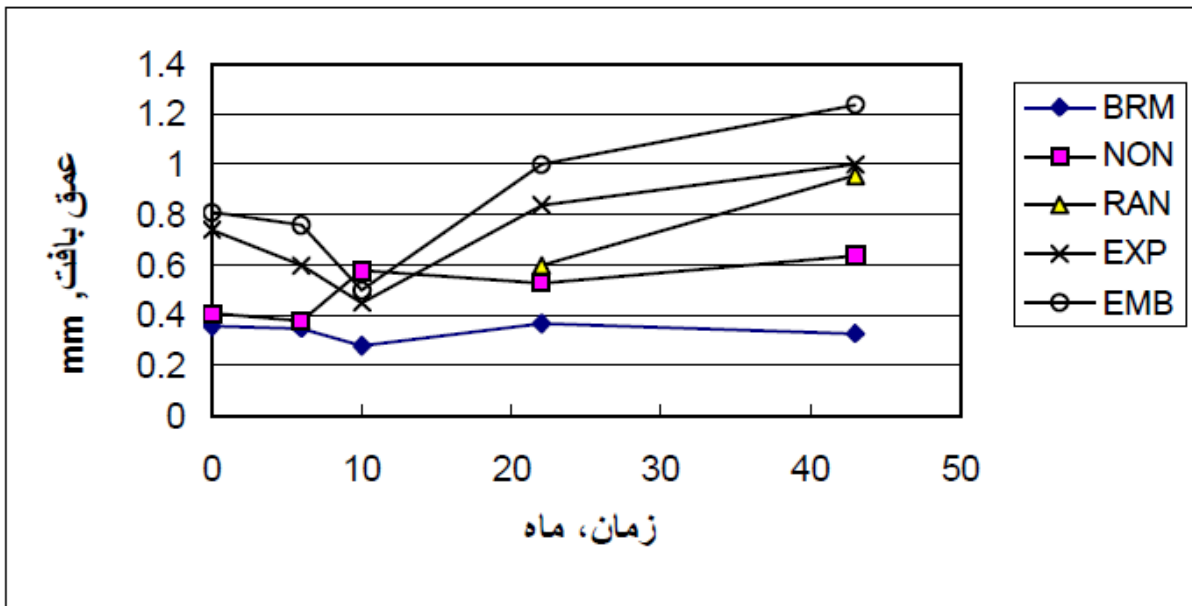
شده فوق الذکر نشان می‌دهد که عدم اتصال فضاهای خالی باز سطحی، مانع از امکان رد شدن کامل آب از بین لاستیک و سطح روسازی بوده و لذا موجب سرخوردن روی لایه آب می‌گردد. همچنین بافت ریز بتن غلتکی که نشانگر وضعیت سطح بتن در بین فضاهای خالی فوق‌الذکر است، مقاومت زیادی در برابر لغزش لاستیک ندارد.

در استرالیا نیز آزمون‌های تعیین اصطکاک سطحی روسازی بتن غلتکی در جاده ولزرد در سیفورد انجام پذیرفت. آزمون‌ها در سرعت‌های ۵۱ تا ۸۰ کیلومتر 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 از مقادیر متعارف این پارامتر ویژه روسازی آسفالتی است. همچنین بررسی انجام شده روی روسازی غلتکی در تیترورد 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 سنچس U.S. airfield skid resistance در محدوده ضعیف تا مرزی قرار دارد. تجربیات و بررسی‌های صورت گرفته در سوئد که توسط اندرسون گزارش شده است حاکی از آن است که بافت درشت سطح روسازی بتن غلتکی دارای زبری کافی نیست و مقادیر اندازه‌گیری شده در آزمون 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 می‌تواند انجام گیرد.

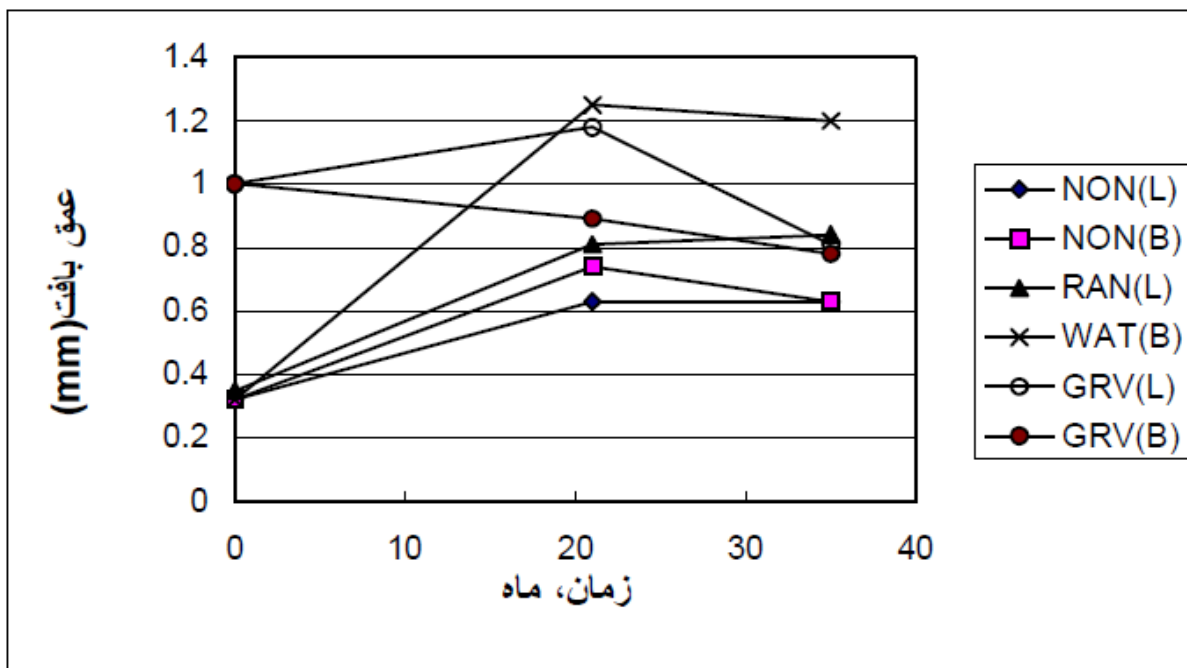
بررسی اصطکاک سطحی روسازی بتن غلتکی در آمریکا توسط نانی با روش چرخ خودرو طبق ASTM E 274 صورت گرفت. در این بررسی نیروی اصطکاک بین چرخ و جاده مبنای محاسبه عدد مقاومت لغزش قرار گرفت. نتایج در محدوده ۴۳ تا ۶۴ بوده است. شایان توجه است که نانی اعداد متعارف برای روسازی بتن معمولی را به طور متوسط ۴۷ گزارش می‌کند 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 بتن غلتکی در برابر لغزش مطابقت دارد. در چین لیو 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 آزمون قرار داد. میزان احتمالی عمق بافت روش‌های مختلف را در زمان کامل شدن اجرای روسازی بتن غلتکی نشان می‌دهد. از شکل فوق می‌توان مشاهده نمود که شیار دادن بهترین روش است بعد از آن نشاندن سنگدانه در سطح نمایان و ساختن سنگدانه با مواد کندگیر، جاروکردن، شستن با باران و عدم اصلاح در درجات بعدی قرار می‌گیرند. اصلاح به روش پاشیدن آب بدترین روش است. تغییرات عمق بافت برای روش‌های مختلف اصلاح در شکل‌های ۱۱ تا ۱۳ رسم گردیده است.



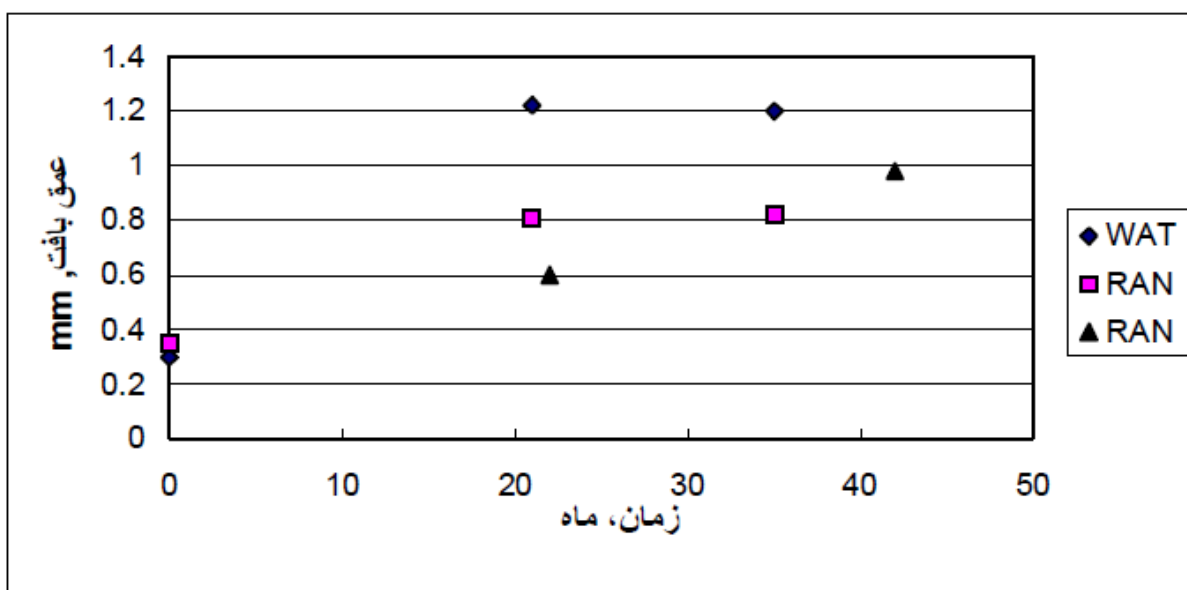
شکل ۱۱- مقدار عمق بافت (TD) روش‌های مختلف در زمان تکمیل پروژه



شکل ۱۲- تغییرات عمق بافت (TD) نسبت به زمان در پروژه تانینانگ



شکل ۱۳- تغییرات عمق بافت (TD) نسبت به زمان در پروژه ذویان



شکل ۱۴- 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 ۱۴ 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 جریان شدگی مواد سیمانی می‌شوند. مشاهدات مربوط به ضرائب نیروی جانبی و عدد پاندولم 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^۱ در جاده آزمایشی ژویون در جدول ۴ نشان داده است. که از این جدول مشاهده می‌گردد که هر دو مقدار SFC و PN با زمان کاهش می‌یابند ولی کاهش PN بیشتر است. شده 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 ۴ می‌توان دید که PN و SFC دوباره پس از دو سال ترمیم می‌شوند و این وضعیت ممکن است که برای روسازی آسفالتی و بتن معمولی رخ ندهد. نتایج آزمون‌های مشابه در استرالیا پدیده‌های 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 شن‌زدگی انجام می‌گیرد دلیل اصلی این موضوع است. تحقیقات انجام گرفته در چین را می‌توان بطور خلاصه به این شکل بیان نمود که RCCP غیر اصلاح شده دارای بافت ضعیف است برای داشتن بافت کافی برای RCCP باید در مراحل پایانی اجرا تمهیداتی بکار برده شود. راه عملی این کار شامل نمایان کردن سنگدانه با استفاده از مواد کندگیر و شیا ردار کردن است. پروسه و اثر شیار دادن بر روی 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 زمانی که اندازه سنگدانه خیلی کوچک است در هنگام اجرا مشکل است.

جدول ۴- تغییرات SFC و PN با مرور زمان

روش	نوع سنگدانه	روش اندازه‌گیری	سطح اصطکاکی (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

۴-۳-۴ مسطح بودن سطح یا همواری

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 عمدتا در روسازی‌های ویژه ترافیک با سرعت پائین و وسایط نقلیه سنگین رایج بوده است. به نظر می‌رسد 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 میله‌های کوبنده نیز گردید کیفیت صافی سطح این نوع روسازی‌ها بهبود یافت. این تجهیزات بعضا قابلیت تراکم تا ۹۵ درصد تراکم به روش استاندارد پراکتور را داشته و لذا میزان تراکم کمی برای مرحله غلتک‌زنی باقی مانده و کیفیت صافی سطح بهبود می‌یابد.

در خصوص معیارهای مسطح بودن سطح، آیین نامه مهندسی ارتش آمریکا (USACE) حداکثر انحراف از صافی سطح برای روسازی بتنی فرودگاهی و تاکسی‌وی‌ها 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 ۶ میلی‌متر در ۳ متر 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 برابر ۹/۵ میلی‌متر در ۳/۷ میلی‌متر را مجاز می‌شمرد. متر در اطلاعات در خصوص میزان مسطح بودن روسازی‌های بتن غلتکی به شرح ذیل گزارش شده است:

پیت‌من مقدار انحراف از مسطح بودن روسازی محوطه نظامی در پارکینگ تانک در پایگاهی در آلمان را در امتداد طولی ۵ میلی‌متر و در امتداد عرضی ۶ میلی‌متر اندازه‌گیری نمود. همچنین هس گزارش نموده است که در پایگاه توله 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 مقادیر انحراف از مسطح بودن در امتداد طولی ۶ میلی‌متر و در امتداد عرضی ۳ میلی‌متر گزارش شده است.

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 و بیرهای و ضعیف بودن زیر سازی، لذا کنترل عوامل فوق در بهبود صافی سطح موثر خواهد بود.

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 نظر است، می‌توان با اجرای روسازی بتن غلتکی در دولایه و محدود کردن ضخامت لایه رویی اجرا شده به این امر دست یافت.

۴-۳-۵ کیفیت تردد

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 خصوصاً دامنه و فرکانس پروفیل طولی جاده بیشترین تأثیر را در میزان راحتی فرد دارد. برای تعیین ناصافی، تجهیزات مختلفی وجود دارد که یا مقدار تجمعی پستی و بلندی جاده در کیلومتری یا میل طول جاده را اندازه‌گیری می‌کنند و یا دفعاتی که میزان پستی و بلندی در طول کیلومتر یا میل از حد مشخصی بیشتر می‌شود را ثبت می‌کنند. برخی انواع این تجهیزات عبارتند از: جاده سنج، ناصافی سنج و یا پروفیل سنج.

نتیجه بررسی انجام شده روی روسازی‌های بتن غلتکی اجرا شده در استرالیا در جدول ۵ ارائه شده است. این نتایج به صورت تعداد دفعاتی که در کیلومتر طول 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 حداکثر مجاز عدد ناصافی ۷۰ است و اگر عدد ناصافی از ۱۵۰ بیشتر شود جاده نیاز به بهسازی دارد.

جدول ۵- نتایج آزمون تعیین میزان ناصافی روسازی‌های بتن غلتکی در استرالیا

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 Lane 1	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 جاده‌های 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 بدست آمده شاهد این مدعی است.

نانی پارامترهای موثر در کیفیت تردد در روسازی‌های بتن‌های غلتکی را با استفاده از دستگا ه پروفیلوگرافر و ASTM E1274 طبق مورد مطالعه قراردادده و نتایج را به صورت مقدار تجمعی پستی و بلندی‌های 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 ۶ گزارش شده است.

جدول ۶ - نتایج آزمون ناصافی سطح به طریق پروفیل سنج برای روسازی بتن غلتکی

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

فواصل درزها تاثیر مهمی روی ناصافی داشته و با افزایش فواصل بین درزها عدد پروفیل کاهش می یابد که به معنی کیفیت بهتر تردد است. به طور مثال برای فاصله درزها برابر ۶/۱ متر عدد قرائت شده ۱۲۶۷ میلی - متر بر کیلومتر بوده است. لیکن با افزایش فاصله درزها به ۳۱ متر این عدد به ۳۷۵ میلی متر بر کیلومتر کاهش یافته است. لذا نانی توصیه دارد که فواصل درزها طولانی در نظر گرفته شود زیرا ترک های 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 سرویس دهی جاده ها (PSI) تبدیل نموده است که این شاخص بین صفر و ۵ بوده و ۵ به منزله سرویس دهی عالی و شاخص ۲/۵ 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 گرفته اند.

۴-۳-۶ مقاومت در برابر سایش

طبق تعریف سائیدگی یا فرسودگی به خارج شدن غیر عمدی ذرات جامد از یک سطح مشخص اطلاق می‌گردد. این خاصیت شامل دو نوع خرابی است یکی سایش و دیگری فرسایش است. مقاومت در برابر سایش و فرسایش در سازه‌های هیدرولیکی و روسازی از اهمیت خاص برخوردار است. اصطلاح سائیدگی معمولاً 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 بکار می‌رود. 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 در مقاومت 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 فاکتورهای 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 RCC و بتن معمولی مشابه است. همچنین دیگر تحقیقات انجام گرفته نشان می‌دهد که درصد سیمان، نسبت آب به سیمان، کارایی، درصد هوا، نوع اجرا و عمل‌آوری در مشخصات لایه موثر است. از آنجائی که این فاکتورها بر روی مقاومت فشاری بتن نیز تاثیر می‌گذارند این مطلب مورد قبول است که مقاومت بتن به عنوان یک معیار برای ارزیابی مقاومت در برابر سائیدگی مورد استفاده قرار گیرد در این راستا بررسی محققین دیگر نشان داده است که تغییرات در عملیات اجرای نهایی سطح یا تغییر در نوع عمل‌آوری 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 نمونه‌های آزمایشگاهی تقریباً ۳۰ درصد کمتر از نمونه‌های 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 بر روی 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 حالی که کاهش در مقاومت فشاری در شرایط مشابه منجر به کاهش ۲۶ درصدی می‌گردد. 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.

۵ زمینه‌های کاربرد روسازی بتن غلتکی

۱-۵ کلیات

همانطور که در بند ۳ 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 معمولاً حدود ۳۰ درصد 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 عمل کرد آن به خوبی روسازی بتنی معمولی است.

در عین حال باید توجه کرد که دستیابی به صافی سطح 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 رواداری‌های قابل دستیابی با بتن معمولی فراهم شده و توسعه کاربرد این نوع روسازی در جاده‌های با سرعت بالا نیز مطرح گردیده است در زیر به زمینه‌های کاربرد روسازی‌های بتن غلتکی همراه با مثال‌های کاربردی پرداخته شده است.

۲-۵ کاربرد جهت روسازی کف انبارهای سرپوشیده و روباز و محوطه‌های دیو 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 ۱۵ سانتی‌متر روی یک لایه اساس از مخلوط تثبیت شده با سیمان به ضخامت ۲۰ سانتی‌متر قرار گرفت. این سیستم جدید جایگزین سیستم قبلی متداول در کانادا گردید که شامل ساخت یک لایه اساس از مخلوط تثبیت شده به ضخامت ۳۵ سانتی‌متر 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.

مجموعه سطوح اجرا شده در این پروژه حدود ۴۰ هزار مترمربع 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 ۲۹ سانتی‌متر بازسازی شد. در سال ۱۹۸۶ در ادمنتون 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 ۲۵ سانتی‌متر جهت ساخت محوطه انبار به مساحت ۶۲۰ هزار متر مربع به کار رفت. نسبت وزن سیمان به وزن خشک کل مصالح ۱۲ درصد اندازه حداکثر سنگدانه بکار رفته ۱۹ میلی‌متر و

مقاومت خمشی بتن غلتکی ۳/۸ مگاپاسکال گزارش شده است. در سال ۱۹۸۳ در کانادا جاده دسترسی معدن ذغال سنگ به طول ۲۰ کیلومتر با بارگذاری وسایل نقلیه سنگین با روسازی بتن غلتکی به ضخامت ۱۸ سانتی‌متر احداث گردید. به علت درشتی اندازه حداکثر سنگ‌دانه به کار رفته برابر ۴۰ میلی‌متر، کیفیت تردد پایین و سطح جاده ناهموار بود و لذا جهت بهبود وضعیت روی بتن غلتکی یک لایه آسفالتی به ضخامت ۴۰ میلی‌متر اجرا گردید همچنین محوطه بارگیری ذغال سنگ در کنار جاده به مساحت ۱۶ هزار مترمربع احداث شد که ضخامت آن ۲۳ سانتی‌متر بوده است. منطقه دارای زمستان‌های بسیار شدید با عمق یخ زدگی ۲/۴ متر گزارش شده است. بررسی عملکرد روسازی جاده طی سال‌ها شانگر برخی خرابی‌ها بوده که با بررسی به عمل آمده مشخص شد که طراحی ضخامت روسازی برای بار کامیون‌ها که بالغ بر ۶۰ تن بوده، ناکافی است و لذا روسازی بتن غلتکی تحت بارگذاری بیش از حد قرار گرفته است. در محوطه بارگیری که ضخامت روسازی بتن غلتکی ۲۳ سانتی‌متر بوده است خرابی‌های فوق‌الذکر مشاهده نشده و عملکرد روسازی قابل قبول بوده است. همچنین عملکرد روسازی بتن غلتکی در شرایط ذوب و انجماد خوب گزارش شده است.

۳-۵ روسازی ترمینال‌های بار، بار اندازه‌ها 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 شامل ۴۸۹ کیلونیوتن و فشار تایر برابر ۰/۷ مگاپاسکال در سطح ۷۰۳۲ سانتی‌مترمربع بوده است.

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 مگاپاسکال؛

مقاومت فشاری ۲۸ روزه ۲۸ مگاپاسکال؛

ضخامت روسازی ۴۶ سانتی‌متر.

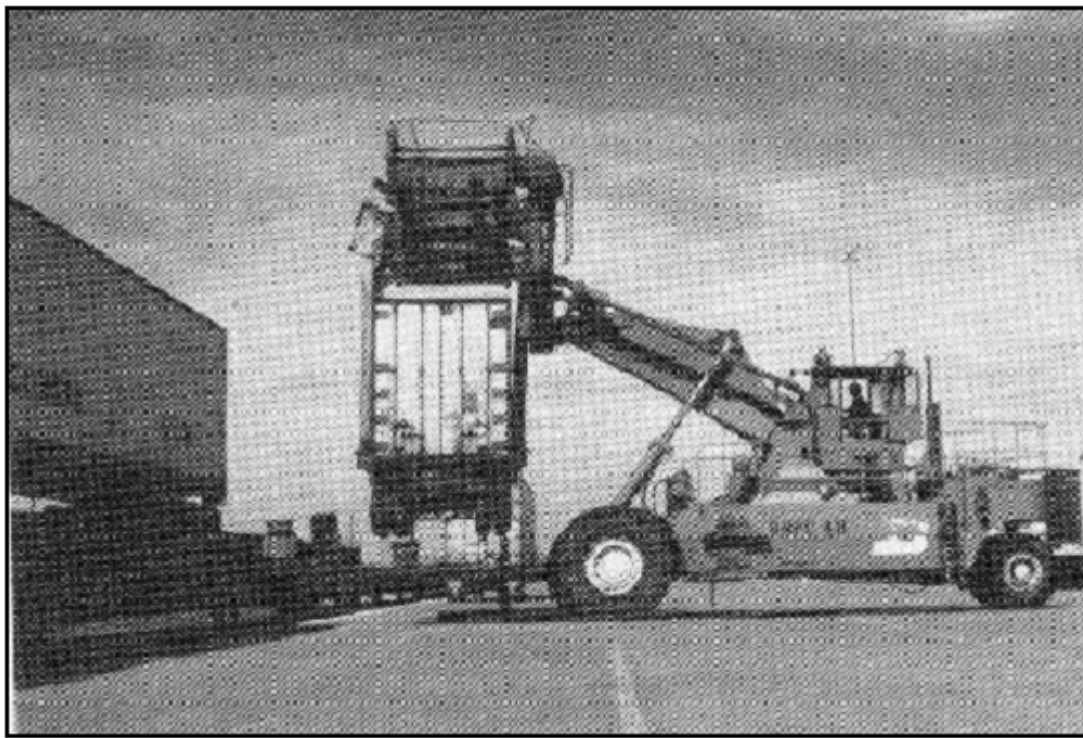
عملکرد روسازی فوق‌الذکر خوب ارزیابی شد، اما به علت کاربرد سنگ‌دانه نسبتاً درشت ۲۵ میلی‌متر، کیفیت سطح خیلی مناسب ارزیابی نگردید و توصیه شد برای پروژه‌های بعدی اندازه حداکثر مقداری کوچکتر انتخاب گردد.

در سال ۱۹۸۵ در ونکوور کانادا نیز ترمینال کامیون با روسازی بتن غلتکی به مساحت ۴۰۰۰ مترمربع و ضخامت ۲۳ سانتی‌متر احداث شد.

در سال ۱۹۸۶ شرکت راه آهن بورلینگتون، 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 درآورد. مساحت روسازی ساخته شده ۱۱۰۰۰۰ مترمربع بود که برای بار چرخ ۵۰ تن طراحی شد. تجهیزات بارگیری در شکل ۱۴ نشان داده شده است.

الزامات طراحی برای روسازی بتن غلتکی این پروژه به شرح ذیل بوده است :
مقاومت فشاری ۳۴/۵ مگاپاسکال و مقاومت خمشی ۴/۸ و اندازه حداکثر سنگدانه به ۱۹ محدودگردید و ضخامت لایه روسازی بتن غلتکی ۳۸ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. این ضخامت برای بخش‌های نزدیک به لبه و کنار ریل راه‌آهن به ۵۱ سانتی‌متر 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 حداکثر ۳ میلی‌متر به فواصل از ۱۴ تا ۷۵ متر بوده که بتن در نزدیکی ترک‌ها و درزهای اجرایی نیز قدری دچار اشکال و لب‌پریدگی گردیده بود. همچنین در بخش‌های کناری خطوط که امکان تراکم مناسب آنها وجود نداشته است، ضعف بیشتری نسبت به بخش‌های میانی مشاهده گردیده است .



شکل ۱۴- تجهیزات بارگیری در ترمینال بار کلرادو روی روسازی بتن غلتکی

در سال ۱۹۷۸ در شهر آستین از ایالت تگزاس، ترمینال باری شرکت سنترال فریت جهت محوطه مانور و بارگیری تریلی‌ها و کامیون‌ها با روسازی بتن غلتکی ساخته شد. ضخامت این روسازی ۱۷۸ میلی‌متر بود که روی لایه اساس خاک تثبیت شده با آهک . به ضخامت ۱۵۲ میلی‌متر احداث گردید .

علاوه بر روسازی ترمینال بار، بتن غلتکی کاربرد گسترده‌ای جهت ساخت روسازی بارانداز بندرها داشته است. در سال ۱۹۸۴ در کانادا جاده آزمایشی در بندرگاه شهر فرازر به ضخامت ۲۳ سانتی‌متر ساخته شد. نسبت وزن سیمان در این بتن ۱۲ درصد در نظر گرفته شده و عملکرد چند ساله آن که در سال ۱۹۸۷

گزارش گردیده خوب بوده است. به علت عملکرد خوب این جاده آزمایشی سازمان بنادر منطقه فرارز در طرح توسعه بندرگاه در سال ۱۹۸۶، ساخت محوطه‌ای معادل ۲۰۰۰۰ مترمربع را با روسازی بتن غلتکی مد نظر قرار داد. در سوئد نیز در سال ۱۹۸۵ روسازی بتن غلتکی با ضخامت ۱۶۰ میلی‌متر در بندر اوتربادن به مساحت ۴۰۰۰ مترمربع اجرا گردید.

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 با روسازی بتن غلتکی ساخته شد. دلیل انتخاب روسازی بتن غلتکی، سرعت ساخت بیشتر، هزینه کمتر و قابلیت تحمل بارهای سنگین بوده است.

صافی سطح تعیین شده برای روسازی بتن غلتکی بندر تاکوما با توجه به سرعت کم وسایط نقلیه سنگین، برابر ۹ میلی‌متر در ۳ متر طول بوده و ضخامت طراحی برای محوطه عمومی بارانداز ۳۰/۵ سانتی‌متر و برای محوطه بارگیری ۴۳ سانتی‌متر بوده است. نسبت وزنی مواد سیمانی در این پروژه ۱۳ درصد تعیین گردید که به صورت ۲۶۷ کیلوگرم بر مترمکعب سیمان پرتلند نوع و ۵۹ کیلوگرم بر مترمکعب خاکستر بادی به مصرف رسید. اندازه حداکثر سنگ‌دانه از ۱۶ میلی‌متر و مقاومت طراحی خمشی بتن غلتکی ۴/۸ مگاپاسکال بوده است.

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 پروژه ۶۵۰۰۰ 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 آزمون‌های انجام شده توسط اداره مهندسی ارتش آمریکا و به درخواست سازمان بنادر ماساچوست گرفته شد.

۴-۵ روسازی جاده‌های ویژه وسایل نقلیه سنگین کم سرعت و وسایل نقلیه نظامی زنجیردار

در آمریکا در اوایل دهه ۱۹۸۰ گروه مهندسی ارتش آمریکا روسازی آزمایشی بتن غلتکی را در پادگان اف.تی. استوارت، به ضخامت ۲۳ تا ۳۳ سانتی‌متر برای تردد وسایل نقلیه نظامی زنجیردار نظیر زره پوش احداث کردند و در همان سال جاده آزمایشی تانک به ضخامت ۲۵ تا ۳۳ سانتی‌متر در اف.تی. گردن ساخته شد عملکرد روسازی بتن غلتکی برای عبور این گونه وسایل خوب ارزیابی شد و تنها در درزهای سرد اجرا شده، قدری خرابی درز مشاهده گردیده است.

در سال ۱۹۸۴ در اف.تی. هود در ایالت تگزاس ۱۷۰۰۰ مترمربع روسازی بتن غلتکی با ضخامت ۲۵ سانتی‌متر 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.

در سال ۱۹۸۶ گروه مهندسين ارتش امريكا در اف. تی.لویز ۲۲۰۰۰ مترمربع روسازی بتن غلتکی به ضخامت ۲۱/۵ سانتی‌متر جهت توقفگاه وسایل نقلیه زنجیردار احداث کردند. از دیگر موارد عمده کاربرد روسازی غلتکی، اجرای ۲۰۰۰۰ مترمربع روسازی به ضخامت هرلایه ۱۹ میلی‌متر در اف. تی.بنینگ بوده است. مقاومت خمشی ۷ روزه این بتن ۴/۵ مگاپاسکال، مقاومت ۱۴ روزه ۴/۸ مگاپاسکال تعیین شده بود. در شکل ۱۵ بتن غلتکی اجرا شده در اف. تی.بنینگ نشان داده شده است.



شکل ۱۵- بتن غلتکی در اف. تی.بنینگ

با توجه به عملکرد مناسب در پروژه‌های قبلی در سالهای ۱۹۸۸ و ۱۹۸۹ در اف. تی.درام نزدیک نیویورک روسازی جهت پارک کردن و تردد وسایل نقلیه نظامی سنگین نظیر تانک‌ها به مساحت ۳۴۰۰۰۰ مترمربع ساخته شد. ضخامت بخش عمده این روسازی ۲۵ سانتی‌متر بود.

۵-۵ 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.

۵-۶ 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 درجه ۲ شده است. همچنین ساخت خیابان‌های شهری با روسازی بتن غلتکی در شهرهای متعددی نظیر پرتلند، آرگون، رجینا، آستین و ساسکا‌تجان گزارش شده است. در زیر به برخی موارد کاربرد اشاره می‌گردد:

در سال ۱۹۸۵ در شهر ارگون آمریکا اولین روسازی بتن غلتکی شهری به صورت آزمایشی به طول حدود ۱۵۰ متر و پهنای ۸ متر با ضخامت ۱۸ سانتی‌متر اجرا گردید. این روسازی توسط دستگاه اجرای روسازی آسفالتی که علاوه بر شمشه‌های لرزنده به میله‌های ضربه‌ای نیز مجهز شده بود، متراکم گردید. بتن اجرا شده به این شکل به تراکمی برابر ۹۵ درصد تراکم آزمایشگاهی آن باروش پراکتور اصلاح شده رسید. پس از تراکم با غلتک ویرهای ۱۰ تن، میزان تراکم به ۹۸ درصد تراکم آزمایشگاهی افزایش یافت. در نهایت با کاربرد غلتک چرخ لاستیکی بافت سطحی روسازی نیز قدری بسته‌تر شد. عملکرد این روسازی خوب گزارش شده است.

در سال ۱۹۸۷ در شهر آستین تگزاس، روسازی خیابان توسکانیوی اجرا گردید. قیمت تمام شده این روسازی بتن غلتکی به طول ۸۰۰ متر و پهنای ۲۰ متر از قیمت گزینه آسفالتی که متشکل از ۲۵٫۵ سانتی‌متر لایه اساس سنگ آهک خرد شده روی ۱۵ سانتی‌متر اساس تثبیت شده و پوشش ۶۳٫۵ سانتی‌متر آسفالت گرم بود، ارزان‌تر ارزیابی گردید. برای اجرای این روسازی بتن مورد نظر در ایستگاه مرکزی بتن ساخته و سپس با کامیون دامپر به محل پروژه حمل و در ورودی تغذیه ۲ دستگاه اجرای روسازی ریخته و اجرا گردید. بتن ریخته شده با عبور غلتک ویرهای متراکم و با غلتک چرخ لاستیکی سطح آن بسته شد. ضخامت روسازی بتن غلتکی برابر ۱۸ سانتی‌متر بود که روی ۱۵ سانتی‌متر زیر اساس اجرا گردید. شایان ذکر است که درزهای اجرایی در روسازی اعمال نشد و اجازه داده شد که ترک‌های انقباضی به صورت طبیعی اتفاق بیفتند. فواصل ترک‌های انقباضی حدود ۲۵ تا ۱۰۰ متر بوده است که جهت بالا بردن دوام، ترک‌های با پهنای بیشتر از ۳ میلی‌متر پس از تمیز نمودن با یک درزگیر الاستومر پر شدند.

اولین کاربری روسازی بتن غلتکی در استرالیا در تاسمانیا در سال ۱۹۸۶ به صورت روسازی راه دسترسی معدن ذغال سنگ به طول ۳٫۵ کیلومتر است. عملکرد این روسازی در سال ۱۹۹۱ یعنی پس از ۵ سال بارگذاری سنگین و ذوب و انجماد، مناسب ارزیابی شده است.

همچنین در سال ۱۹۹۱ جاده‌های آزمایشی در حومه استرالیا به طول ۱ کیلومتر و پهنای ۷٫۷ متر جهت تردد ترافیک با سرعت بالای ۱۰۰ کیلومتر بر ساعت احداث شده است که عملکرد آن تحت بررسی است. این پروژه توسط اداره تحقیقات راه استرالیا جهت کسب اطلاعات در خصوص کرنش‌ها، درزها، مقاومت در برابر لغزش، کیفیت تردد، کیفیت سطح، دوام و عملکرد کلی روسازی بتن غلتکی در جاده‌های سرعت بالا احداث شده است.

تحقیقات در خصوص RCCP در اوایل دهه ۸۰ در چین آغاز گردید. آزمون‌های آزمایشگاهی در سال ۱۹۸۱ شروع و به دنبال آن اولین بخش آزمون‌های صحرایی مربوط به آن در سال ۱۹۸۲ انجام گرفت. در سال‌های اخیر با گسترش سریع راه‌های با کلاس بالا، تجهیزات پیشرفته بیشتری نظیر فینیش‌های با تراکم بالا و غلتک‌های ویرهای مورد استفاده قرار گرفته که فرصت جدیدی را برای پیشرفت و توسعه RCCP بوجود آورده‌اند. به نازکی یک پروژه تحقیقاتی در خصوص تحقیقات در مصالح روسازی سیمانی و کاربرد آن در روسازی‌های با کلاس بالا در حال انجام است که بخش مهمی از آن به تحقیق در زمینه تکنولوژی برای RCCP اختصاص یافته است که زیر نظر انیستیتو تحقیقات راه وزارت ارتباطات (MOC) انجام می‌گیرد.

هدف تحقیقات معطوف به احداث راه با کلاس بالا است که بطور سیستماتیک در زمینه‌های مختلف شامل مصالح، تکنیک‌های ساخت، مقاومت در برابر لغزندگی و تکنیک‌های مربوط به درزها به بررسی می‌پردازد. بطور خلاصه مطالعات فوق نشان داده که با استفاده از فینیش‌های آسفالت با قدرت تراکم بالا و با شمشه‌های با قدرت بالا زمینه‌های ساخت روسازی RCCP در چین برای روسازی راه‌های مهم (کلاس بالا) فراهم است.

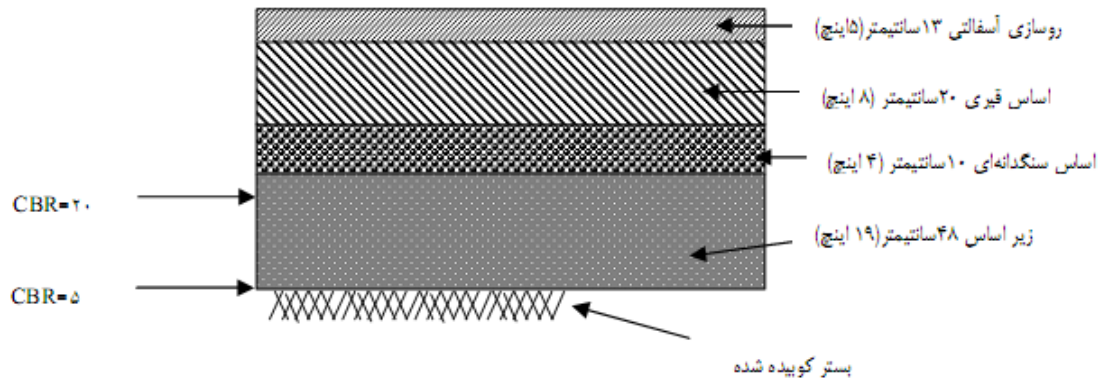
۷-۵ پارکینگ اتومبیل‌ها و راه‌های تردد داخلی سازمان‌ها

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

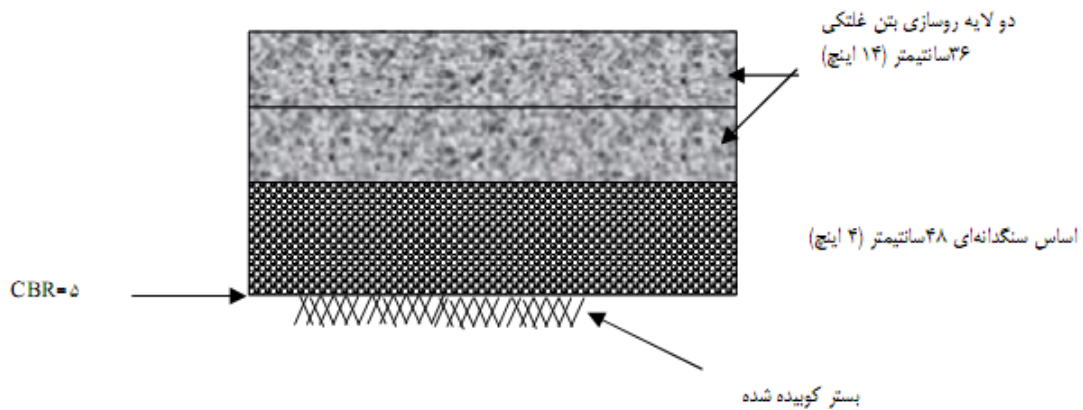
در سال ۱۹۹۲ شرکت سیفوی از روسازی بتن غلتکی جهت اجرای روسازی انبارهای خود در شهر تریسی ایالت کالیفرنیا، به مساحت ۲۲۶۰۰۰ مترمربع استفاده کرد. ضخامت روسازی از ۱۸ تا ۲۰ سانتی‌متر بوده است. دلیل انتخاب روسازی بتن غلتکی در این پروژه، سرعت بالای ساخت، هزینه پایین، دوام در برابر شرایط آب و هوایی مختلف، قابلیت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

۸-۵ کاربرد در فرودگاه‌ها

یکی از اولین کاربردهای روسازی بتن غلتکی در ساخت باند فرودگاهی در یاکیما در ایالت واشنگتن توسط گروه مهندسی ارتش آمریکا در سال ۱۹۴۲ بوده است. در سال ۱۹۸۵ روسازی بتن غلتکی جهت توقفگاه هواپیما به مساحت ۳۶۰۰۰ مترمربع در فرودگاه بین‌المللی پرت لند 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 ۱۶ 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 جمع شدگی به فواصل ۹۲ متر و با پهناهای حداکثر ۶ متر مشاهده شدند که با استفاده از اپوکسی و ماسه، ترک‌ها پر شدند و مشکلی در این خصوص ایجاد نگردید.



مقطع روسازی آسفالتی



مقطع روسازی بتن غلتکی

شکل ۱۶- مقایسه ضخامت طراحی روسازی در فرودگاه پرتلند با گزینه‌های آسفالتی و بتن غلتکی

در سال ۱۹۸۹ نیز بتن غلتکی برای اجرای روسازی توقفگاه هواپیما در پایگاه نظامی اندروز نزدیک شهر واشنگتن به کار رفت. ضخامت این روسازی ۳۶ سانتی‌متر و سطوح اجرا شده شامل ۱۳۰۰۰ مترمربع توقفگاه سرپوشیده، ۵۴۰۰۰ مترمربع اپرون و ۱۷۰۰۰ مترمربع توقفگاه روباز بوده است. قسمت مربوط به اپرون فرودگاه واونیا در سریلانکا نیز با استفاده از RCC ساخته شده است. در این فرودگاه در اغلب موارد RCC بر روی اساس با خاک متراکم شده ساخته شد. در بعضی از نواحی نیز RCC بر روی اساس سنگ‌دانه‌ای و پس از پوشانیدن 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.

۶ طرح اختلاط و مصالح مصرفی در بتن غلتکی روسازی راه

۱-۶ 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 قرار گرفته و در صورتی که 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. 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. 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 کارایی، پتانسیل جداسازی 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 از ۴٫۷۵ میل‌متر) و درشت‌دانه (سنگدانه درشت تر از ۴٫۷۵ میلی‌متر) است درشت دانه 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. وجود ذرات بسیار ریز غیرپلاستیک نظیر سیلت در ماسه به عنوان پرکننده 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 انجام می‌شود. همچنین با پیروی از توصیه‌های ACI 201.2R از واکنش‌های سیلیسی-قلیایی سنگدانه‌ها می‌توان جلوگیری نمود. شایان ذکر است که در مواردی طبق نظر طراح پروژه که بتن غلتکی با کیفیت پایین تر 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 بتن غلتکی حاوی شن شکسته برای رسیدن به یک مقدار روانی مفروض، لازم دارد. بتن غلتکی ساخته شده با شن شکسته به انرژی بیشتری برای تراکم نیاز خواهد داشت و لیکن جداسازی در آن کمتر اتفاق می‌افتد. همچنین بتن غلتکی حاوی شن شکسته معمولاً مقاومت خمشی بیشتری بدست می‌دهد. اساساً میزان انسجام و چسبندگی مخلوط‌های بتن غلتکی به اندازه بتن معمولی نیست، لذا مسأله جداسازی سنگدانه در مورد آنها، بیشتر حائز اهمیت است. استفاده از سنگدانه با اندازه حداکثر اسمی^۱ بزرگتر سبب اقتصادی‌تر شدن طرح می‌شود. چرا که با افزایش اندازه حداکثر اسمی 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 اندازه حداکثر اسمی نباید از ۱۹ میلی‌متر تجاوز نماید.

در صورتی که 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. یکی از روش‌های انبار (دپو) کردن درشت دانه به منظور جلوگیری از جداشدگی، دپو کردن 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. جزییات مربوط به نحوه دپوی مناسب سنگدانه‌ها در ACI 304R و ACI 221R ارائه شده است.

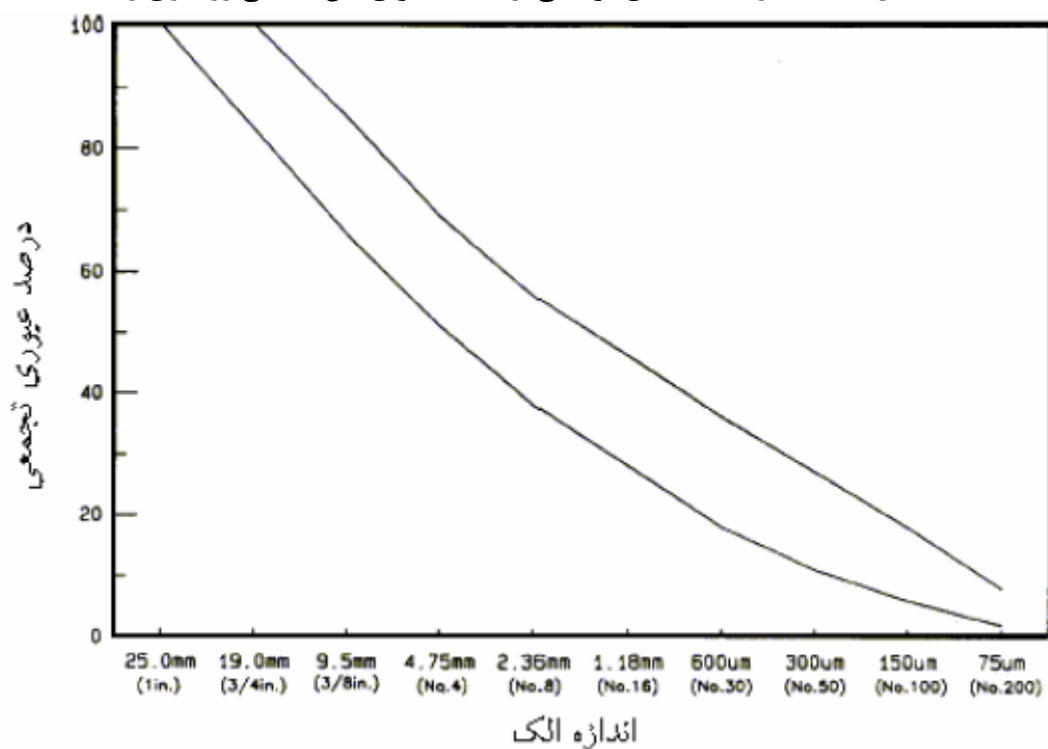
در صورتی که سطحی صاف و مسطح در روسازی راه مد نظر باشد، درشت‌دانه و ریزدانه باید به نحوی با یکدیگر مخلوط شوند که یک دانه‌بندی ترکیبی مناسب را ایجاد نماید. در شکل ۱۷ محدوده‌های دانه‌بندی توصیه شده توسط یکی از مراجع برای تولید مخلوط‌های بتن غلتکی روسازی راه ارائه شده است. همچنین جدول ۷ نیز مقادیر عددی این محدودیت‌ها را نشان می‌دهد. 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 ۱۷، 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.

کاربرد سنگدانه‌های ریزتر از ۷۵ میکرومتر در صورتی که 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 بتن غلتکی روسازی راه متداول است.

جدول ۷- الزامات دانه‌بندی ترکیبی برای بتن غلتکی روسازی راه

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

شکل ۱۷- محدوده دانه‌بندی ترکیبی ارائه شده برای بتن غلتکی روسازی راه



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 واکنش-های 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 دو یا یک و خاکستر بادی کلاس C یا F استفاده شده است. سیمان پرتلند مورد استفاده باید الزامات استاندارد ملی ۳۸۹ مطابقت کند. از سیمان پرتلند نوع سه (زود سخت شونده) به دلیل عدم فرصت کافی برای کار با بتن در بتن غلتکی استفاده نشده است. 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 در 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 یخ زدگی در بتن، استفاده از مواد هوازا در مخلوط بتن امری متداول است. مواد افزودنی هوازا کاربرد عملی محدودی در مخلوط‌های بتن غلتکی روسازی داشته‌اند. تحقیقات آزمایشگاهی انجام شده در موسس هایوز آمریکا نشان داده است که در مخلوط‌های بتن غلتکی روسازی به خوبی می‌توان از مواد هوازا به میزان ۵ تا ۱۰ برابر بیش از 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. 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. در صورتی 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 روان کننده‌ها 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.

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 صورتی که کاربرد مواد روان کننده 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.

۲-۶ 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 از ۱۹ میلی‌متر 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 ۸ نسبت‌های اجزای مخلوط‌های بتن غلتکی مورد استفاده در چند پروژه مختلف را نشان می‌دهد.

جدول ۸- طرح اختلاط برخی مخلوط‌های بتن غلتکی مورد استفاده در پروژه‌های روسازی راه

موقعیت	ناحیه	سیمان		خاکستریادی		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 Mix 1	1	185	C	92	93	0.34	5.7	38	1351	No. 4	814
	Bldg 26027 Mix 2	1	223	C	110	77	0.23	5.7	19	1286	No. 4	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, Tennessee	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 (یا الزامات دوام) نسبت آب به مواد سیمانی مدنظر قرار می‌گیرد و همچنین اجزاء مخلوط به گونه‌ای تعیین می‌شوند که کارایی مخلوط جهت تراکم با غلتک و ببرهای مناسب باشد. این کارایی بر پایه انجام آزمون روانی به روش تعیین زمان لازم جهت تراکم نمونه تحت سربار و درحالت ارتعاشی (زمان وی‌بی اصلاح شده) تعیین می‌گردد.

آزمون تعیین زمان وی‌بی اصلاح شده شامل کاربرد تجهیزات استاندارد وی‌بی که با فرکانس ۳۶۰۰ دور در دقیقه است. مخلوط بتن غلتکی را در ظرف استوانه‌ای استاندارد به حجم ۹ لیتر ریخته و سپس سربار به وزن ۲۲۷ کیلوگرم روی آن قرار داده می‌شود و ارتعاش آغاز می‌گردد. 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 آزمون در استاندارد ASTM C 1170 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 از ۷۵ میکرون است. به‌طور مثال در خصوص تأثیر اندازه حداکثر سنگدانه روی مدت زمان ارتعاش لازم، مخلوط‌های بتن غلتکی سدسازی با اندازه حداکثر سنگدانه ۳۸-۷۶ میلی‌متر 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 سربار ۲۲/۷ کیلوگرم زمان وی بی اصلاح شده ۳۰ تا ۵۵ ثانیه را برای مخلوط بتن غلتکی روسازی مناسب نشان داده است. پس از تعیین زمان وی بی اصلاح شده برای یک مخلوط بتن غلتکی، باید این مقدار با نتایج آزمون‌ها تراکم کارگاهی مقایسه شده و در صورت نیاز اصلاحات لازم در نسبت‌های اجزای بتن صورت پذیرد. در روش‌های طرح اختلاط با استفاده از آزمون‌های 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 آزمون‌های لازم، مقدار ماده متغیر تعیین می‌گردد تا روانی مناسب و سایر خواص مورد نظر تأمین گردد. 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 آزمون‌های روانی، استفاده می‌کنند، انتخاب صحیح نسبت حجم خمیر به حجم ملات (Pv) 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.

۱-۲-۶ روش گام به گام طرح اختلاط با استفاده از آزمون‌های 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) آب به مواد سیمانی (w/c+p) با توجه به الزامات طرح و به کمک شکل ۱۸ برای تولید مخلوط‌های ملات و بتن انتخاب می‌گردد.

گام ۲- حداقل حجم خمیر (PT) مورد نیاز مطابق روش زیر تعیین می‌شود:

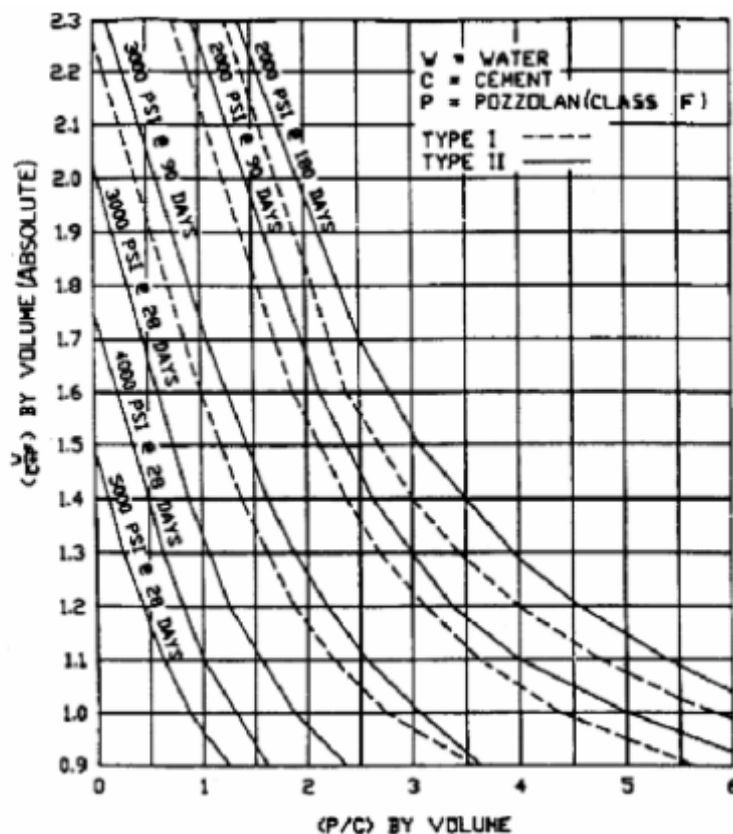
الف- از درصد w/c+p تعیین شده در طرح اختلاط جهت ساخت خمیر سیمان استفاده می‌گردد و نمونه‌های ملات با مقادیر مختلف مقدار ریز دانه ساخته می‌شوند. سپس چگالی نمونه‌های ملات را که با روش‌های تراکم خاک‌ها مانند ASTM D 1557 و یا ویبره ساخته شده‌اند، اندازه گرفته می‌شود.

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 بتن غلتکی افزایش داده شود.

در صورت عدم انجام آزمون‌های مورد اشاره در فوق، درصد حجم خمیر بدون هوا نسبت به حجم ملات بدون هوا (Pv) بین ۰٫۳۸ تا ۰٫۴۶ انتخاب می‌شود.



شکل ۱۸- رابطه بین مقاومت فشاری بتن غلتکی و نسبت آب به مواد سیمانی، به ازای نسبت‌های مختلف پوزولان به سیمان

گام ۳- تعیین حجم درشت دانه VCA:

مقدار درشت دانه 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 درشت دانه و در نتیجه حجم خمیر لازم در بتن غلتکی بستگی به دانه‌بندی، شکل و اندازه حداکثر درشت دانه دارد. لذا توصیه بر این است که دانه‌بندی درشت دانه به سمت تراکم حداکثر تنظیم شود.

در انتخاب مقدار مناسب درشت دانه، روش توصیه شده به این شکل است که نسبت‌های مختلف حجمی درشت دانه و ملات با یکدیگر ادغام شده و زمان وی‌بی اصلاح شده بتن غلتکی 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 درشت دانه مقداری است که مخلوطی با زمان وی‌بی مورد نظر پروژه بدست دهد. در جدول ۹ برای اندازه حداکثرهای مختلف درشت دانه، محدوده‌های درصد‌های حجمی توصیه شده ارائه شده‌اند که به عنوان نقطه شروع می‌توانند در تعیین مقدار بهینه درشت دانه مورد استفاده قرار گیرند.

جدول ۹- درصد حجمی درشت دانه در واحد حجم بتن

اندازه حداکثر سنگدانه	۹/۵ میلی‌متر (اینچ ۳/۸)	۱۹ میلی‌متر (اینچ ۳/۴)	۳۸ میلی‌متر (اینچ ۱/۵)	۷۶ میلی‌متر (اینچ ۳)	۱۱۴ میلی‌متر (اینچ ۴/۵)	۱۵۲ میلی‌متر (اینچ ۶)
حجم مطلق درشت دانه (درصد)	۴۲-۴۸	۴۶-۵۲	۵۲-۵۶	۵۷-۶۱	۶۱-۶۳	۶۳-۶۴

گام ۴- 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:

$$V_A = (100 / \text{مقدار هوا}) \times CV$$

گام ۵- محاسبه حجم خمیر سیمان (V_P) بدون هوا:

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

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

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

گام ۷- تعیین حجم آب (V_W):

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

که در آن:

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

گام ۸- تعیین حجم سیمان (V_C):

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

گام ۹- تعیین حجم پوزولان (V_P):

$$V_p = V_c \times \left(\frac{P}{c}\right)$$

گام ۱۰- محاسبه جرم مصالح با ضرب نمودن حجم آنها در جرم حجمی هر یک.
گام ۱۱- انجام آزمون‌های روانی مطابق روش ذکر شده در بند ۶-۲-۱ 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 آزمون مقاومت فشاری با روش تراکم ویریه‌ای تحت سربار صورت می‌گیرد. قطر نمونه‌ها ۱۵ سانتی‌متر و ارتفاع آنها ۳۰ سانتی‌متر می‌باشد. جزئیات روش ساخت نمونه‌ها در استاندارد ASTM C1176 ارائه شده است.

۶-۲-۲ طرح اختلاط با استفاده از روش‌های تراکم خاک

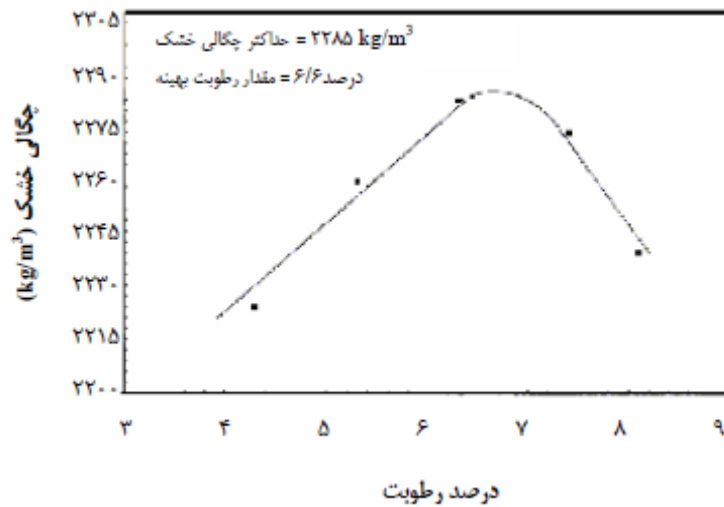
روش‌هایی که در آنها از آزمون‌های مشابه تراکم خاک استفاده می‌شود، شامل تعیین رابطه بین چگالی خشک (یا تر) نمونه با مقدار رطوبت آن هستند که از طریق تراکم نمونه‌ها با مقادیر رطوبت مختلف و تعیین چگالی آنها، انجام می‌شود. این کار مشابه روش‌هایی است که برای تعیین رابطه بین مقدار رطوبت و چگالی خاک‌ها یا مخلوط‌های خاک - سنگدانه بکار می‌رود. تجهیزات و میزان انرژی تراکم برای تهیه آزمون‌های رطوبت-چگالی در استاندارد ASTM D 1557 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 بتن غلتکی روسازی تغییر می‌کند، این مقدار برابر با ۲۰۸ کیلوگرم بر مترمکعب تا ۳۵۶ کیلوگرم بر مترمکعب 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.

مقاومت، همچنین در صورتی که مقدار رطوبت بیشتر از مقدار بهینه باشد نیز به دلیل افزایش نسبت آب به مواد سیمانی ($w/c+p$) 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 برآورده کند، شکل ۱۹.



شکل ۱۹- منحنی رطوبت - چگالی

گام های طراحی

گام ۱- درشت دانه و ریزدانه خشک را با یکدیگر ترکیب کرده تا دانه بندی با محدودیت های ذکر شده در جدول ۷ حاصل شود. حدود ۹ کیلوگرم سنگدانه ترکیبی برای هر آزمون چگالی- رطوبت مورد نیاز خواهد بود.

گام ۲- براساس مقاومت خمشی و فشاری مورد نیاز، مقدار مواد سیمانی (c+p) انتخاب می شود. برای بتن غلتکی روسازی که مقاومتی خمشی بین ۴ مگاپاسکال تا ۵ مگاپاسکال (اندازه گیری شده مطابق با استاندارد ASTM C78) لازم داشته باشد، مقدار c+p بین ۱۲ تا ۱۶ درصد وزن سنگدانه خشک، تغییر خواهد کرد.

گام ۳- مطابق روش D ذکر شده در استاندارد ASTM D 1557 با استفاده از مقادیر تعیین شده سنگدانه و مواد سیمانی مقدار رطوبت بهینه محاسبه می شود. برای آزمون چگالی - رطوبت لازم است حداقل چهار نمونه مخلوط با مقادیر مختلف آب ساخته شود. سپس منحنی چگالی به ازای رطوبت های مختلف رسم شده و نقطه پیک منحنی به عنوان نقطه دارای رطوبت بهینه تعیین گردد (مشابه شکل ۱۹).

گام ۴- مقدار هوای داخل بتن، ۲ درصد فرض می گردد (مقدار واقعی می تواند از نتایج آزمون تراکم و منحنی فضای خالی صفر، بدست آید).

گام ۵- با استفاده از مقادیر رطوبت بهینه، مواد سیمانی انتخاب شده و مقدار هوا، حجم های مطلق و وزن مصالح برای واحد حجم بتن محاسبه می شوند.

گام ۶- گام های ۲ تا ۵ را با استفاده از مقادیر بالاتر و پایین تر مواد سیمانی تکرار شده و بعد از آماده سازی مخلوط های آزمایشی، منحنی مقاومت به ازای مقادیر مواد سیمانی رسم شده و مقادیر نهایی نسبت های اختلاط تعیین می گردد. سپس گام های ۲ تا ۵ را با مقدار انتخاب شده مواد سیمانی تکرار شده و مقدار رطوبت بهینه تعیین می شود و حجم های مطلق و وزن مصالح دوباره محاسبه می گردد.

مثال:

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

حل مثال:

گام ۱- اندازه سنگدانه‌ها در دو دسته (۱۹ میلی‌متر - شماره ۴ و شماره ۴ - شماره ۲۰۰) قرار می‌گیرد. آزمون‌ها نیز نشان می‌دهند که در صورت ترکیب ۴۶ درصد درشت‌دانه با ۵۴ درصد ریزدانه، دانه‌بندی ترکیبی ایده‌آل مطابق محدودیت‌های جدول ۷ بدست خواهد آمد. پیمان‌های ۹ کیلوگرمی از سنگدانه‌های خشک ترکیبی برای هر اختلاط آزمایشی انتخاب می‌شوند.

گام ۲- 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).

گام ۳- آزمون‌های تراکم مطابق روش D استاندارد ASTM D 1557 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	خاکستر بادی	سنگدانه No.4-No.200	سنگدانه No.4- 19mm.	آب
جرم حجمی (کیلوگرم بر مترمکعب)	۳۱۳۹	۲۴۴۹	۲۷۱۵	۲۶۲۲	۱۰۰۰

$$\text{سنگدانه No.4-No.200} = 9 \text{ kg} \times 0.54 = 4.86 \text{ kg} (0.0018 \text{ m}^3)$$

$$\text{سنگدانه No.4- 3/4 in} = 9 \text{ kg} \times 0.46 = 4.14 \text{ kg} (0.00157 \text{ m}^3)$$

$$\text{حجم مواد سیمانی} = (9 \text{ kg} \times 0.14) \div 3139 = 0.0004 \text{ m}^3$$

$$\text{سیمان} = (0.0004 \times 0.75) \times 3139 = 0.95 \text{ kg} (0.00030 \text{ m}^3)$$

$$\text{خاکستر بادی} = (0.0004 \times 0.25) \times 2449 = 0.24 \text{ kg} (0.00010 \text{ m}^3)$$

$$\text{آب} = 9 \text{ kg} \times 0.58 = 5.22 \text{ kg} (0.00052 \text{ m}^3)$$

$$\text{کل حجم پیمان} = 0.00469 \text{ m}^3$$

برای ۱ مترمکعب بتن، حجم هر یک از مصالح در عدد زیر ضرب می‌شود:
(با فرض ۲ درصد هوا در بتن)

$$(1 - 0.02) \div 0.00469 = 208.95$$

$$\text{سنگدانه No.4-No.200} = 0.376 \text{ m}^3 (1020.8 \text{ kg})$$

$$\text{سنگدانه No.4- 19mm} = 0.328 \text{ m}^3 (862.6 \text{ kg})$$

$$\text{سیمان} = 0.626 \text{ m}^3 (196.5 \text{ kg})$$

$$\text{خاکستر بادی} = 0.208 \text{ m}^3 (50.9 \text{ kg})$$

$$\text{آب} = 0.108 \text{ m}^3 (108 \text{ kg})$$

$$\text{هوا} = 0.02 \text{ m}^3$$

گام ۶- با انتخاب مقدار سیمانی c+p بیشتر و کمتر از مقدار بدست آمده، مراحل ۲ تا ۵ را تکرار کرده و هربار نمونه‌ها با مقدار آب بهینه ساخته می‌شود و آزمون 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 تا ۵ را با مقدار c+p انتخابی برای تعیین مقدار رطوبت بهینه تکرار کرده و حجم مطلق مصالح و وزن آنها محاسبه می‌شود.

۳-۲-۶ 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 C 1176 جزئیات این روش را بیان می‌کند. در روش دیگر نمونه‌ها به وسیله ضربات کوبه، در چند لایه، مطابق روش ذکر شده در ASTM D 1557 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 ۱۱/۳ کیلوگرم تا ۹۰/۷ کیلوگرم 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، نمونه‌ها 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 شایع-تر است.

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 ۱۵ سانتی‌متر 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.

۷ روش‌های ساخت و اجرای روسازی بتن غلتکی

۱-۷ 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 بتن غلتکی را می‌توان به سرعت و با حداقل تعداد کارگر و تجهیزات اجرا نمود.

در روسازی بتن غلتکی از داول (میله های 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 بتن غلتکی شامل آماده سازی لایه‌های اساس و زیر اساس، ساخت و حمل مخلوط، بتن‌ریزی، متراکم نمودن، ایجاد درزها و عمل‌آوری است.

۲-۷ آماده سازی 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 زیرلایه روسازی بتن غلتکی ایجاد می‌شوند.

لایه اساس در جاهائی که سطح لایه روسازی در معرض سیکل‌های یخ زدن و آب شدن 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 بر روی لایه اساس به منظور تنظیم ضخامت لایه روسازی و هدایت تجهیزات بتن‌ریزی در راستای مورد نظر ایجاد می‌گردد.

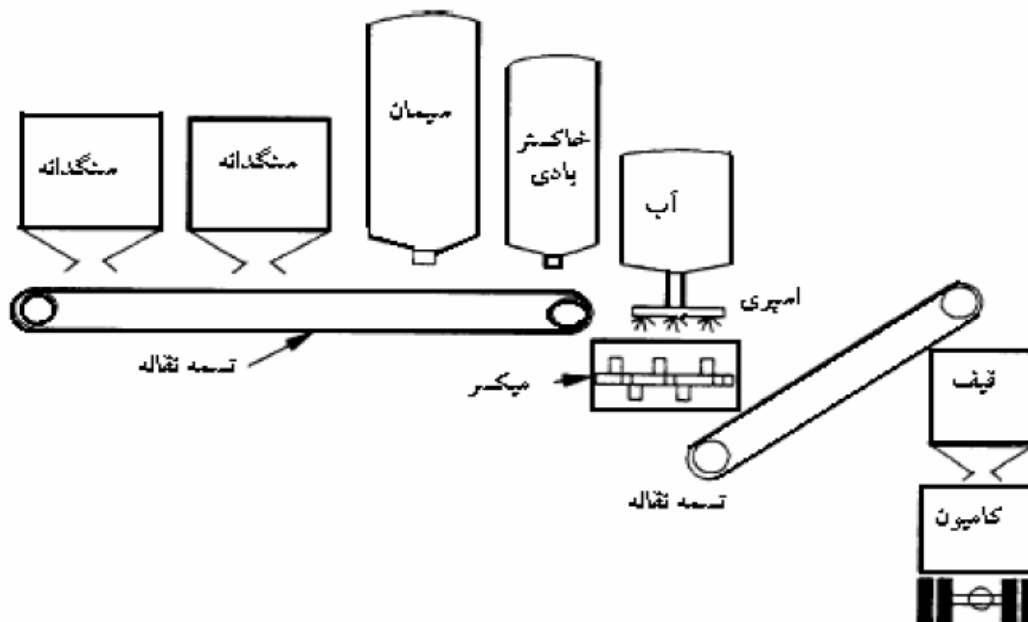
۳-۷ ساخت مخلوط بتن و حمل آن

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 و هم سیستم مخلوط‌کن‌های تغاری 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 خوب، بیشتر متداول است (شکل ۲۰).

در مخلوط‌کن‌های تغاری که در آنها تولید بتن داخل یک ظرف مخلوط‌کن با ظرفیت‌های مختلف (معمولاً با حجم یک مترمکعب) 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 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 باید ۱۰۰ مترمکعب بر ساعت باشد، مگر در مواردی که حجم کار کم است (سطح روسازی کمتر از ۱۰۰۰ مترمربع).

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



شکل ۲۰- 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 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 دامپ‌تراک به قیف دستگاه فینیشر ریخته می‌شود.

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 و همچنین تنظیم پیچ‌های جلوی اسکرید برای اطمینان از پخش یکنواخت بتن در راستای محور جاده است که مشابه هنگامی است که آسفالت داغ ریخته می‌شود.

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 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.

قبل از ریختن بتن غلتکی سطح لایه اساس باید مرطوب گردد تا باعث جذب رطوبت از بتن غلتکی تازه ریخته شده نگردد. مدت زمان بتن ریزی 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 دستورات عمل‌ها حداکثر فاصله زمانی بین تولید بتن و اتمام عملیات تراکم را ۴۵ دقیقه تعیین می‌کنند.

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

اجرای جوی‌های آب و منهول‌ها 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.

۵-۷ تراکم

بتن غلتکی را معمولاً بلافاصله پس از ریختن، توسط یک غلتک ارتعاش دوتایی ۱۰ تنی 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 تراکم پذیری، تحت عبور غلتک به طور یکنواخت متراکم می‌شود. در صورتی که 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 صورتی که بتن غلتکی خیلی خشک باشد سطح آن بصورت دانه دانه 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 ایجاد می‌شود. برخی مراجع نیز سرعت ۲/۴ کیلومتر بر ساعت را پیشنهاد کرده‌اند. 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 بتن‌ریزی 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.

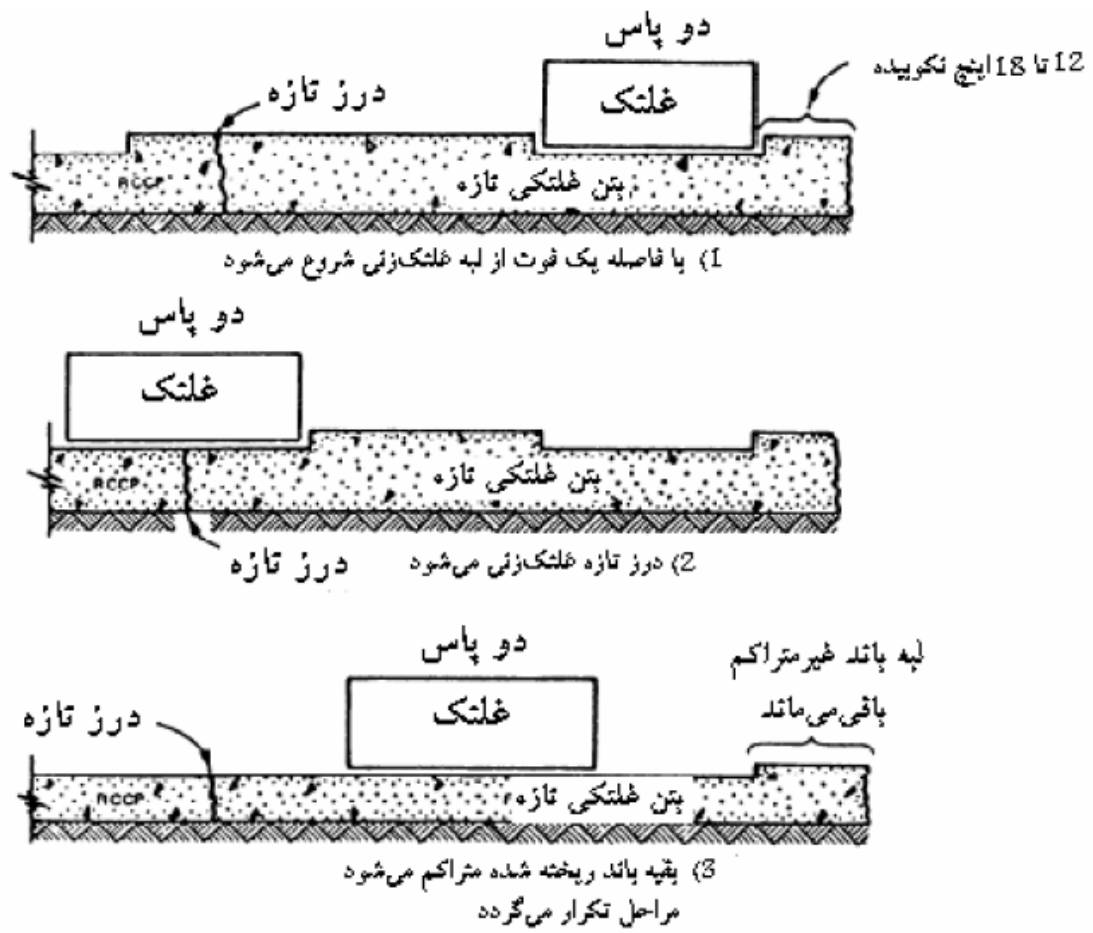
۶-۷ ساخت درزها

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.

۱-۶-۷ درزهای تازه

هنگامی که 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 بر روی درز، محل درز متراکم شده و پیوستگی بین دو مسیر کناری ایجاد شود (شکل ۲۱). در محل درزها برای رسیدن به دانسیته و همواری مناسب سطح، گاهی لازم است تا غلتک، عبورهای بیشتری انجام دهد. 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.

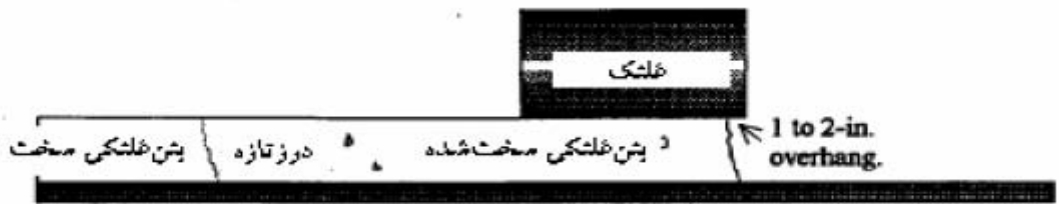


شکل ۲۱- نحوه اجرای درزهای تازه در روسازی بتن غلتکی

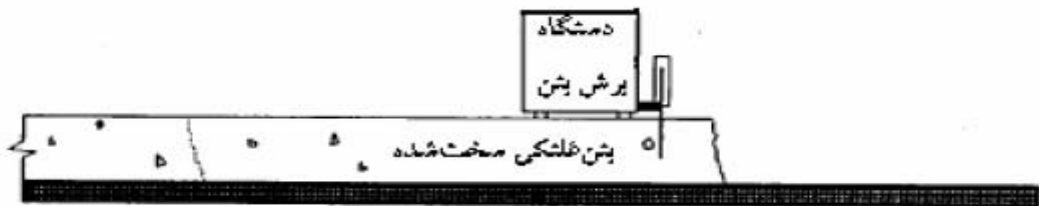
۲-۶-۷ درزهای اجرایی

درزهای اجرایی که اغلب درز سرد نامیده می شوند هنگامی تشکیل می گردند که در دو مسیر متوالی بتن ریزی، بتن لایه قدیمی تر به قدری سفت شده باشد که به همراه لایه جدید نتوان آن را متراکم نمود. برای ساختن درزهای اجرایی، کناره های یک باند که قرار است به صورت درز سرد اجرا گردند توسط غلتک به نحوی که ۲۵ تا ۵۰ میلی متر از استوانه غلتک از روی بتن غلتکی بیرون بزند، متراکم می شود. لبه لایه ریخته شده 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، بتن ریزی لایه مجاور انجام می شود. دستگاه فینیش 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 میلی متر بتن روی باند اول هم ریخته شود. بتن اضافی ریخته شده روی باند اول به روی باند دوم هل داده می شود به نحوی که هیچ بتن اضافی روی بتن سخت شده باند اول نماند. سپس غلتک باید در حالت استاتیک بتن قدیم و حدود ۳۰ سانتی متر از بتن جدید را با دو یا دفعات بیشتر عبور، متراکم نماید (شکل

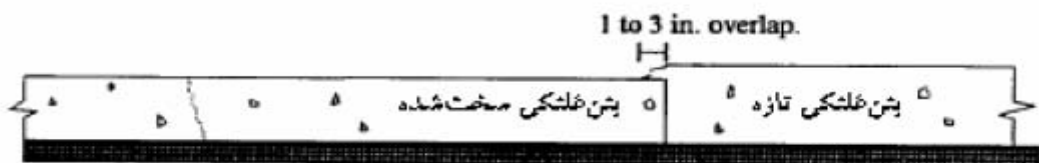
۲۲. در ساخت روسازی‌های عریض مانند اتوبان‌ها، می‌توان از چند دستگاه روسازی با حرکت پله‌ای استفاده کرد. بدین ترتیب تعداد درزهای سرد طولی نیز به حداقل می‌رسد.



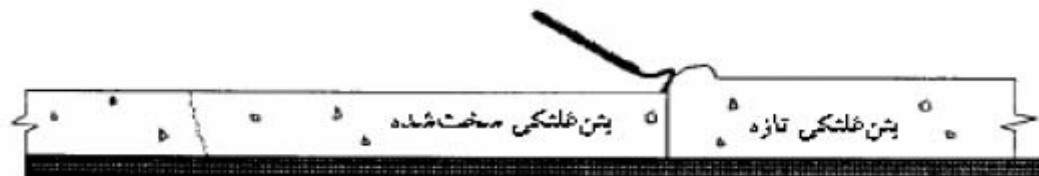
1) قسمت بیرونی آخرین پانل غلنک‌زنی می‌شود



2) یا استفاده از دورنگاه برش پشن لبه آخرین پانل بریده می‌شود (به طور کامل یا جزئی)



3) ابتدا لبه پشن سخت شده آب پاشی شده و سپس پشن می‌باشد مجاور ریخته می‌شود



4) پشن غلنکی تازه با استفاده از شن کش روی پانل جدید برگردانده می‌شود



5) درز سرد ایجاد شده، یا حداقل دو پاس اماتاتیکی غلنک‌زنی می‌شود

شکل ۲۲- نحوه اجرای درزهای سرد در روسازی بتن غلنکی

۳-۶-۷ درزهای انقباضی

در ابتدا بتن های غلتکی روسازی عمدتاً بدون درز انقباضی اجرا می شدند و اجازه ترک خوردگی به صورت طبیعی به بتن داده می شد تا در هزینه ها صرفه جویی شود. در نهایت مشخص شد که این امر موجب ایجاد ترک های بزرگ می شود که شکستگی لبه های این ترک ها هزینه های اضافی نگهداری و مرمت را به پروژه تحمیل می کند. لذا امروزه درزهای انقباضی در روسازی های بتن غلتکی نیز بریده می شوند. بریدن بتن توسط اره بتن با تیغه حدود ۳ میلی متر صورت می گیرد. عمق برش باید حداقل یک چهارم ضخامت روسازی بتنی باشد.

بریدن درزها باید زمانی انجام شود که بتن به مقادیر کافی مقاومت رسیده باشد تا ایجاد برش بدون لب-پریدگی ویا بیرون پریدگی سنگدانه ها انجام شود. این زمان توسط مراجع مختلف از ۴ تا ۲۰ ساعت و از چند ساعت تا ۴۸ ساعت ذکر شده است.

فواصل درزهای بریده شده نباید بیشتر از ۱۲ متر در نظر گرفته شود، مگر آنکه اطلاعات لازم جهت توجیه فواصل بیشتر موجود باشد. درزهای بریده شده با ید توسط مواد پرکننده پر شوند تا از ورود مواد جامد که می توانند جلو حرکت و عملکرد درز را بگیرند، جلوگیری گردد. همچنین مواد پرکننده درز از ورود رطوبت به لایه های زیرین جلوگیری می کند تا رطوبت باعث آب شکستگی مواد ریز در لایه اساس و کاهش باربری زیر لبه های 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 خرده سنگ ها و غیره خارج شوند. انتخاب مواد درزگیر می تواند بر اساس توصیه های منابعی مانند ACI 504 صورت گیرد. نئوپرین، سیلیکون و پلی سولفید مثال هایی از مواد درزگیر هستند.

۷-۷ عمل آوری و مراقبت از سطح

از آنجا که بتن غلتکی مقدار آب نسبتاً کمی دارد لذا در اغلب پروژه ها پس از بتن ریزی عمل آوری مرطوب صورت می گیرد.

عمل آوری مرطوب باعث پیشرفت روند کسب مقاومت طرح و جلوگیری از پوسته ای شدن سطح بتن سخت شده می شود. حداقل مدت عمل آوری عموماً ۷ روز است. در روز نخست لازم است توسط یک تانکر مجهز به اسپری آب پاشی، سطح بتن مرطوب نگه داشته شود. در ادامه مدت عمل آوری نیز می توان از سیستم های نصب شده آب پاشی، گونی خیس و یا تانکرهای آب پاشی استفاده کرد. با توجه به شرایط آب و هوایی گاهی ممکن است تانکرهای مجهز به آب پاشی توان کافی برای مرطوب نگه داشتن سطوح را نداشته باشند.

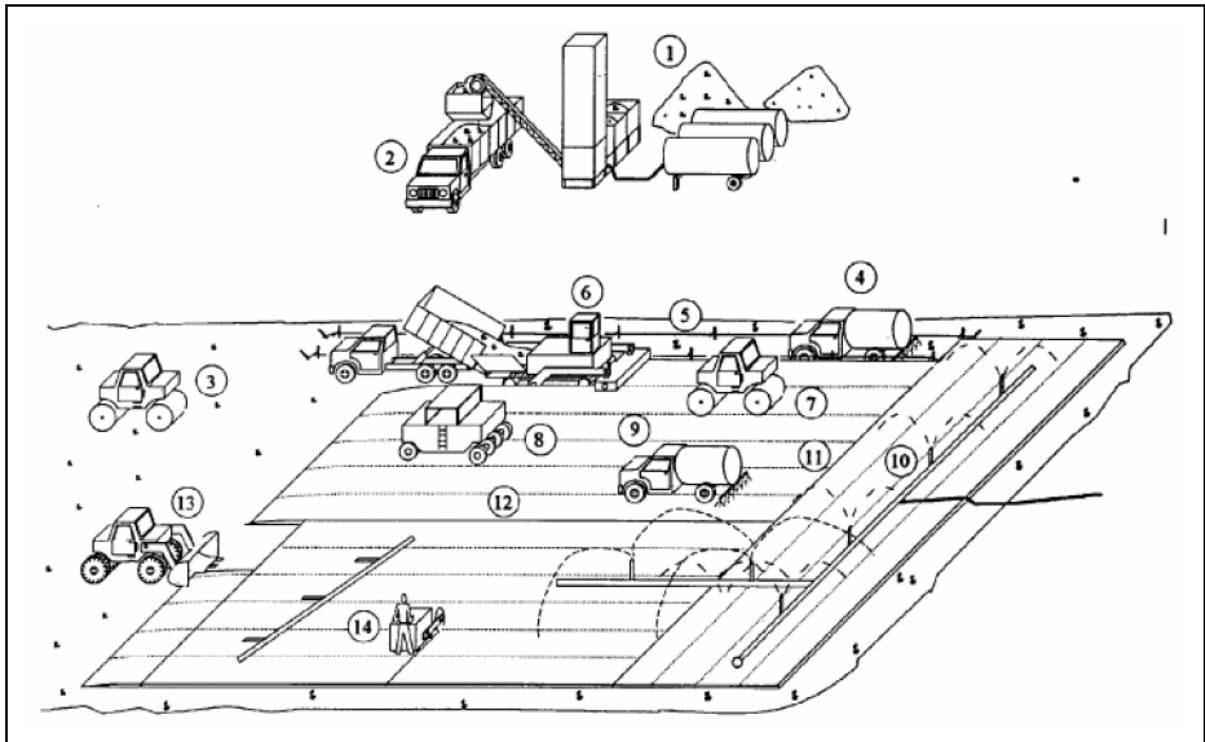
در کانادا و اروپا استفاده از امولسیون قیری جهت عمل آوری بتن غلتکی روسازی کاربرد موفقی داشته است، البته استفاده از این روش عموماً در مواردی است که در آینده سطح روسازی با یک لایه نازک آسفالت پوشانده خواهد شد. عبور کلیه وسایل نقلیه به جز تانکرهای آب پاش تا قبل از ۱۴ روز از سطح بتن ریزی شده مجاز نیست. در اروپا به روسازی های 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 می شود. 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 در فضای مه آلود 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 از ۳۰ درجه سلیسیوس) و یا خیلی سرد (کمتر از ۴/۴ درجه سلیسیوس) 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 نگه‌داشتن سطح در دوره عمل‌آوری از اهمیت مضاعفی برخوردار است.

مخلوط‌های بتن غلتکی با مقدار سیمان کمتر (نسبت آب به سیمان بالا) در صورتی که به موقع عمل‌آوری نشوند بیشتر تحت تأثیر کاهش مقاومت فشاری قرار می‌گیرند. عمل‌آوری بتن غلتکی در صورتی که 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 کاهش مقاومت ۵۰ درصدی بین نمونه‌های عمل‌آوری شده در ۲۸ روز و نمونه‌های بدون عمل‌آوری مشاهده شده است. همچنین برای نمونه‌هایی که تنها روز اول پس از ساخت نمونه‌ها، عمل‌آوری شده بودند کاهش مقاومت در حدود ۲۵ درصد بوده است.

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. برخی محققین عمل‌آوری مرطوب و آب دهی 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 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.

در خصوص تأثیر روش عمل‌آوری 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. در تحقیق فوق‌الذکر کاربرد مواد ترکیبی عمل‌آوری 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 نحوه کاربرد این روش را تنها پس از اعمال عمل‌آوری مرطوب حداقل به مدت ۲۴ ساعت قابل قبول می‌دانند. در شکل ۲۳ اجرای مناسب بتن غلتکی روسازی راه به صورت شماتیک نشان داده شده است.



شکل ۲۳ - نحوه اجرای مناسب روسازی بتن غلتکی

۸ بررسی معیارهای بارگذاری و روش‌های طراحی روسازی‌های بتن غلتکی

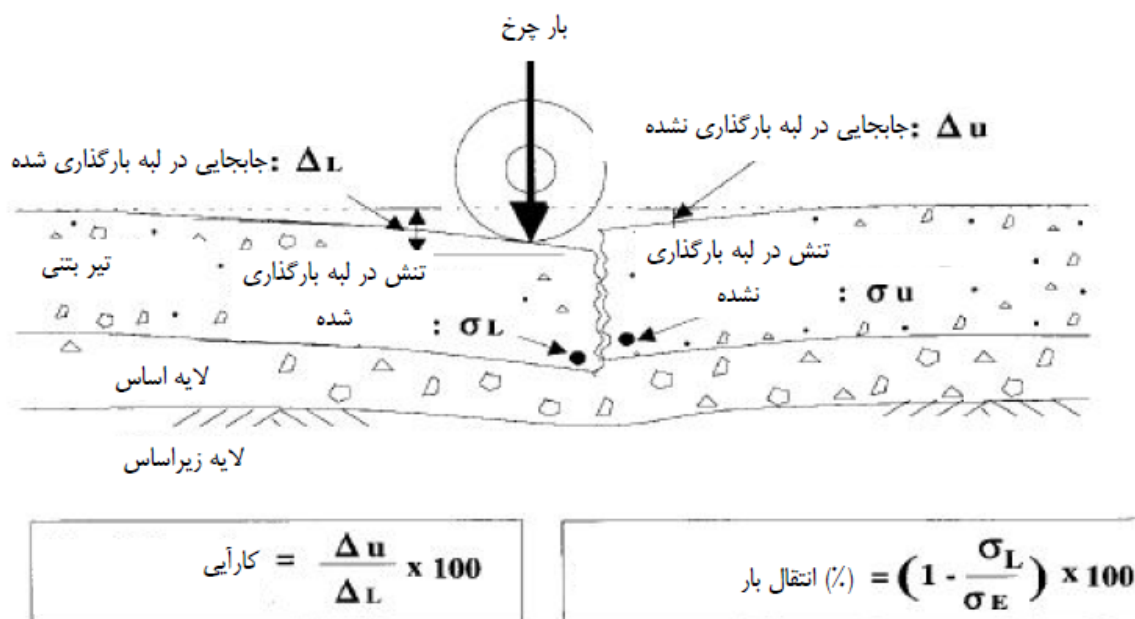
۱-۸ مقدمه

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 (JPCP) در نظر گرفت. لذا روش‌های طراحی روسازی بتن غلتکی به صورت کلی مشابه روسازی‌های بتنی ساده درزدار و به صورت بدون داوول آن است. البته تفاوت‌های قابل توجهی بین RCCP و روسازی بتنی معمولی (JPCP) بدون داوول 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.

۸-۲ 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 جمع شدگی خشک شدگی 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 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 ۲۴).



شکل ۲۴- مکانیسم انتقال بار و کارایی از قفل و بست بین دانه‌ای

در روسازی‌های بتنی معمولی انتقال بار از بین درز در بسیاری موارد از طریق کاربرد داول‌ها و یا برش‌گیرها صورت می‌گیرد. در صورت عدم استفاده از داول‌ها یا برش‌گیرها 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.

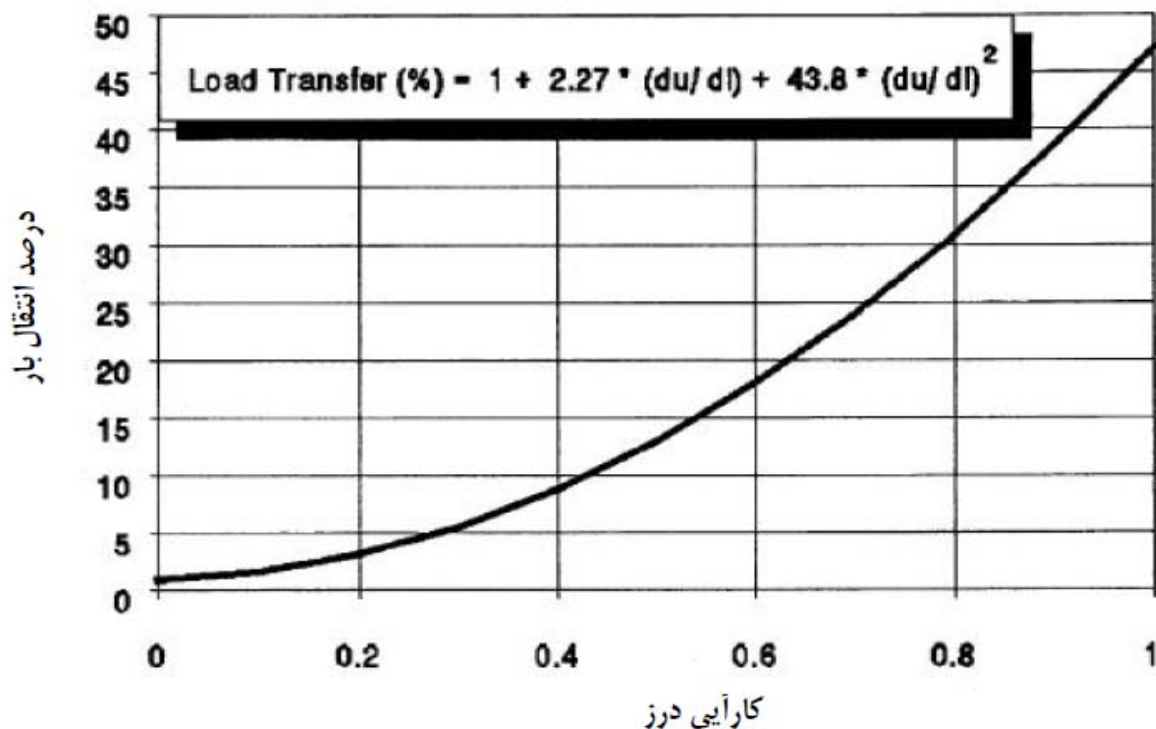
در روسازی‌های بتن غلتکی چون امکان تعبیه و یا اجرای داول‌ها و برش‌گیرها میسر نیست لذا تنها مکانیزمی که برای انتقال بار بین درز یا ترک انقباضی وجود دارد قفل و بست بین سنگدانه‌ای است. البته باید در نظر داشت که بدلیل مشکلات اجرایی و ملاحظات اقتصادی معمولاً در روسازی‌های بتن غلتکی درزهای انقباضی ایجاد نمی‌گردند و یا این که 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 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 محافظه کارانه میزان انتقال بار را در درزها، صفر در نظر می‌گیرند.

در خصوص میزان انتقال بار از بین درزها در روسازی‌ها شایان ذکر است که اندازه‌گیری 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 کارایی درز می‌نامند. رابطه بین کارایی درز و انتقال بار که توسط تحلیل به روش اجزاء محدود حاصل شده در شکل ۲۵ ارائه شده است.

ملاحظه می‌شود که وقتی کارایی 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.



شکل ۲۵- رابطه بین کارایی درز و انتقال بار (روش انجمن مهندسی ارتش آمریکا)

۳-۸ روش‌های طراحی روسازی‌های بتنی غلتکی

عموماً طراحی روسازی RCC براساس 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 مهندسين ارتش آمریکا است.

۱-۳-۸ روش PCA

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

- داشتن مقاومت بستر یا زیر اساس و اساس؛

- مشخصات وسایل نقلیه شامل:

- بار چرخ‌ها؛

- فاصله چرخ‌ها؛

- مشخصات تایر؛

- تعداد تکرار بار در دوره عمر روسازی؛

- مقاومت خمشی RCC؛

- مدول الاستیسیته RCC؛

- کارایی درز؛

- درصد انتقال بار.

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.

۱-۱-۳-۸ 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 تا ۲۴ تا ۳۵ مگاپاسکال و مقاومت خمشی در محدوده ۳/۵ تا ۴/۸ مگاپاسکال تغییر کند.

نتایج بدست آمده از مغزه‌ها 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 بر حسب مگاپاسکال ، اندازه گیری شده به وسیله تیر با بارگذاری ۴ نقطه‌ای ؛
 f'_c مقاومت فشاری بر حسب مگاپاسکال؛

C ثابت عددی که بسته به طرح مخلوط RCC مقداری حدود ۹/۴ تا ۱۰/۸ دارد.
 توصیه می‌شود که از مقاومت خمشی ۹۰ روزه استفاده شود که معمولاً حدود ۱۰ درصد بیشتر از مقاومت ۲۸ روزه است.

۲-۱-۳-۸ مدول الاستیسیته

آزمون‌های 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.

۳-۱-۳-۸ مقادیر طراحی

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

$$f_r = 9\sqrt{f'_c} \quad \text{و} \quad E = 57000\sqrt{f'_c}$$

در این روابط پارامترها بر حسب مگاپاسکال می‌باشند.

جدول ۱۰ مقادیر مقاومت خمشی و مدول الاستیسیته را بر حسب مقاومت فشاری نشان می‌دهد:

جدول ۱۰- رابطه بین مقاومت فشاری با مدول الاستیسیته و مقاومت خمشی

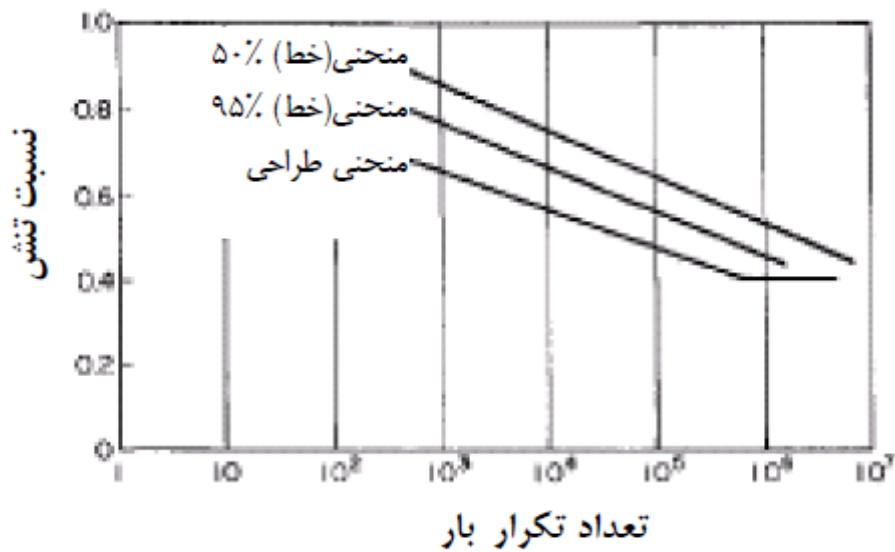
مقاومت فشاری Psi(Mpa)	مقاومت خمشی Psi(Mpa)	مدول الاستیسیته Psi(Mpa)
۳۰۰۰(۲۰/۷)	۴۵۰(۳/۱)	۳۱۰۰۰۰۰(۲۱۴۰۰)
۳۵۰۰(۲۴/۱)	۵۳۰(۳/۷)	۳۴۰۰۰۰۰(۲۳۵۰۰)
۴۰۰۰(۲۷/۶)	۵۷۰(۳/۹)	۳۶۰۰۰۰۰(۲۴۸۰۰)
۴۵۰۰(۳۱/۰)	۶۰۰(۴/۱)	۳۸۰۰۰۰۰(۲۶۲۰۰)
۵۰۰۰(۳۴/۵)	۶۴۰(۴/۴)	۴۰۰۰۰۰۰(۲۷۶۰۰)

۴-۱-۳-۸ رفتار خستگی

خستگی هنگامی اتفاق می‌افتد که در اثر تکرار بار تنش وارده بیشتر از مقاومت گسیختگی مصالح باشد. با توجه به این که تنش بحرانی در RCC تنش خمشی است، لذا از خستگی ناشی از تنش خمشی برای طراحی ضخامت استفاده می‌کنیم. در این RCC 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 چرخ‌ها باعث ایجاد تنش خمشی ۲/۷۶ مگاپاسکال شود و مقاومت خمشی RCC نیز ۴/۴۸ مگاپاسکال باشد، خواهیم داشت:

$$\text{نسبت تنش} = (۲/۷۶ \div ۴/۴۸) = ۰/۶۲$$

نتایج آزمون‌های خستگی نشان داده است که رفتار RCC در مقابل خستگی مشابه بتن‌های معمولی است. شکل ۲۶ نتایج آزمون‌های خستگی بدست آمده از نمونه‌های بریده شده را نشان می‌دهد. خط ۵۰ درصد بهترین خط گذرنده است و خط ۹۵ درصد خطی است که ۹۵ درصد 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 ۱۱ آمده است که در هنگام طراحی می‌توان از آن بهره برد.



شکل ۲۶- رابطه بین نسبت تنش و تعداد تکرار بار تا نقطه گسیختگی

جدول ۱۱- نسبت تنش و تکرار بار

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

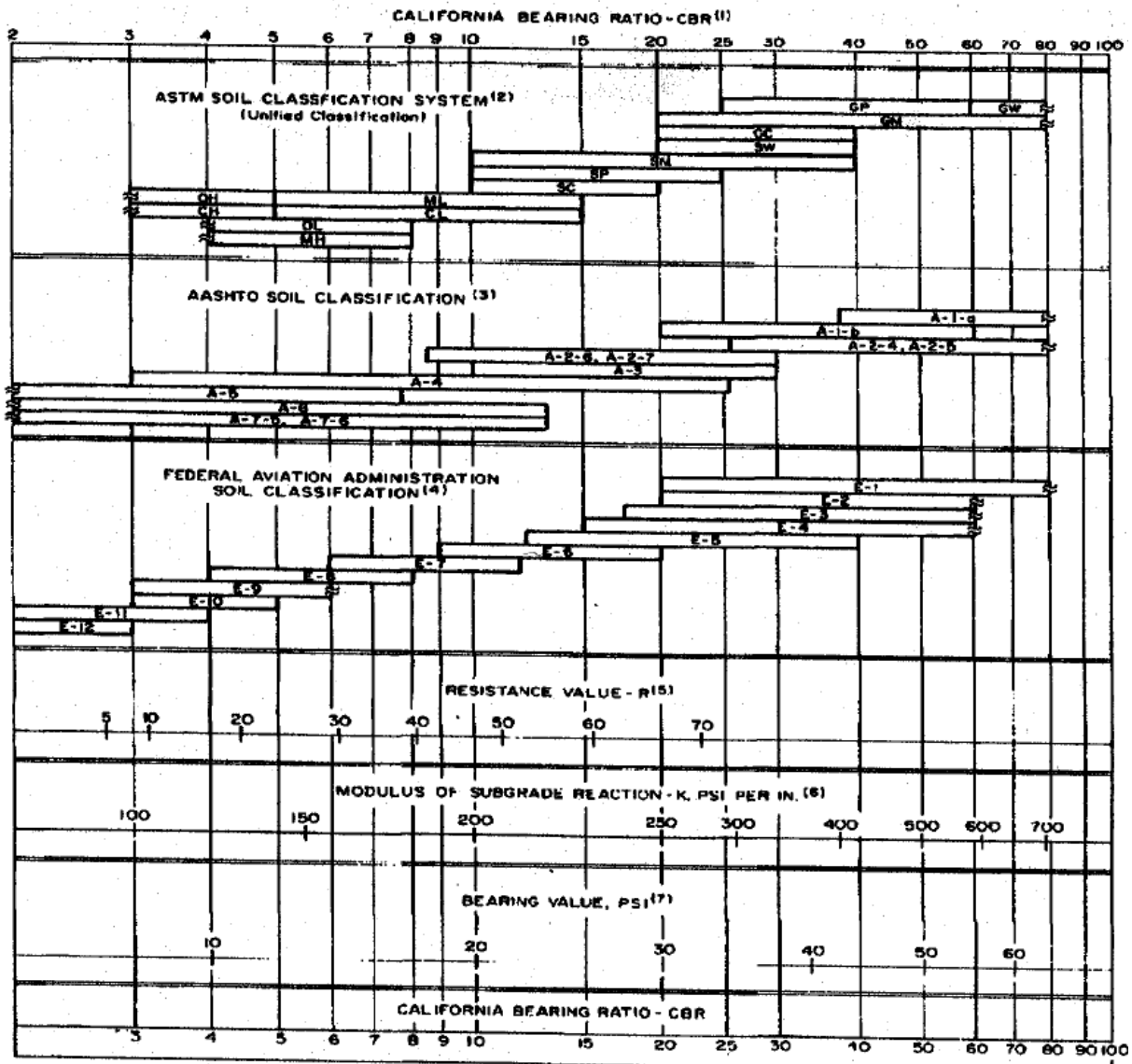
۸-۳-۱-۵ اصول طراحی

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 حالتی که احتمال قرار گرفتن بار در لبه‌های روسازی زیاد است، ضخامت لبه‌ها باید ۲۰ درصد اضافه شود. روسازی‌های RCC با ضخامت بیشتر از ۲۵ سانتی‌متر تا ۳۰ 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، در غیر 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 عکس العمل بستر (k) بیان می‌شود. مقدار k توسط آزمون صفحه که زیر بار غیر تکراری قرار می‌گیرد، تعیین می‌شود و برابر است با بار بر حسب مگاپاسکال وارد بر صفحه به قطر ۳۰ اینچ تقسیم بر خیز حادث شده بر حسب اینچ، برای بار مربوطه یا کل بار بر حسب پوند تقسیم بر کل تغییر شکل حجمی بر حسب اینچ مکعب. مقدار k بر حسب پوند بر اینچ مکعب بیان می‌شود. در صورتی که زمان و تجهیزات برای انجام آزمون صفحه در دسترس نیست، از شکل ۲۶ می‌توان استفاده کرد در حالتی که زیراساس استفاده شود، زیر اساس باعث افزایش در مقدار k می‌شود، مقدار این افزایش را به طور تقریبی از جدول ۱۲ بدست آورد.



شکل ۲۷- رابطه بین مقدار CBR بستر و مقدار k بستر

جدول ۱۲- اثر ضخامت زیراساس در افزایش مدول عکس العمل

مدول عکس العمل بستر (Mpa)psi	مدول عکس العمل بستر افزایش یافته با توجه به ضخامت زیر اساس			
	۸in(۲۰۳mm)	۱۰in(۲۵۴mm)	۱۲in(۳۰۵mm)	۱۴in(۳۵۶mm)
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(۱/۴)	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)

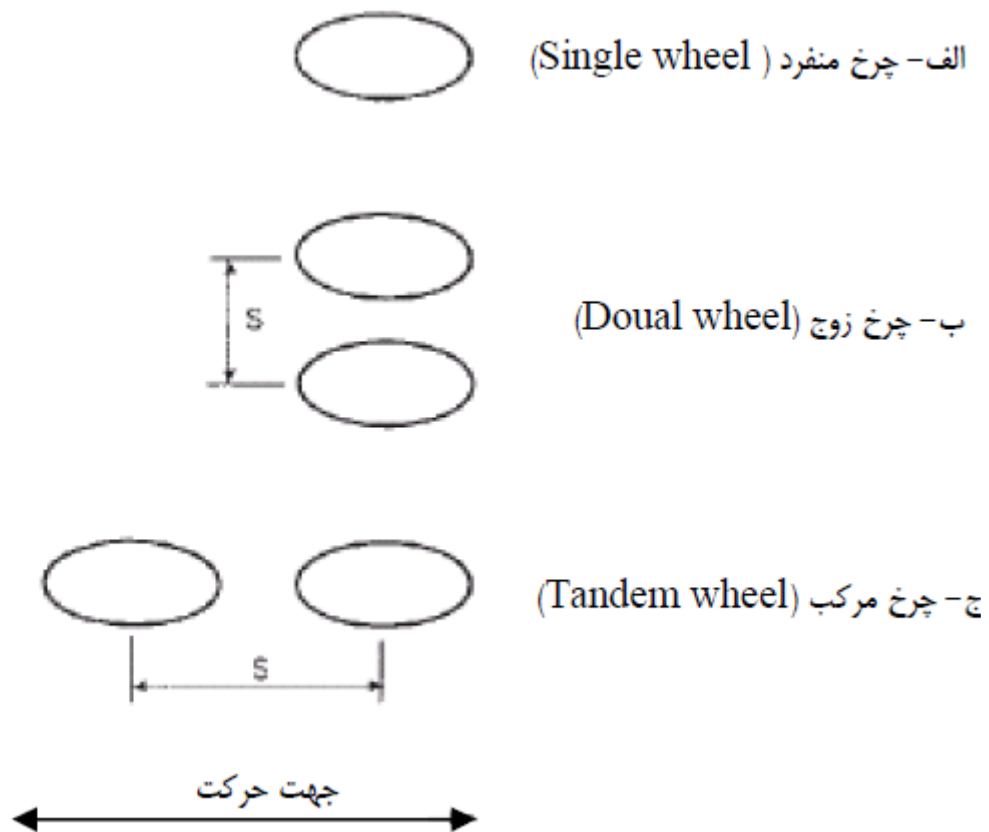
۸-۳-۱-۶ بار وسایل نقلیه

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 عبارت است 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 عبارت است از مساحت تماسی هر تایری که ماکزیمم بار را تحمل می‌کند، که آنرا از تقسیم بار چرخ بر فشار باد چرخ می‌توان تخمین زد.

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

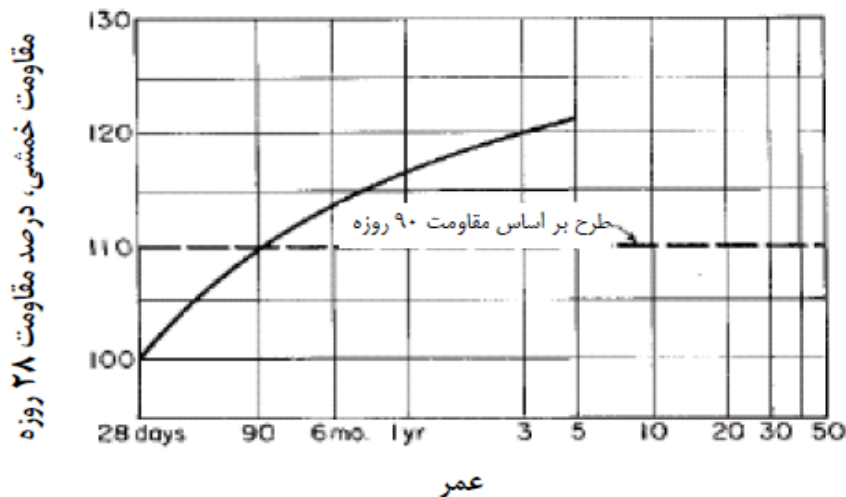


شکل ۲۸- نحوه قرارگیری چرخها

۷-۱-۳-۸ 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 RCC مانند بتن معمولی به مرور زمان افزایش می‌یابد، بطوری که مقاومت آن در درازمدت به مقاومت ۹۰ روزه رسیده و افزایش نیز می‌یابد (شکل ۲۹).



شکل ۲۹- نمودار افزایش مقاومت بتن با افزایش سن

۸-۱-۳-۸ 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 می‌توان بدست آورد. سپس تنش مجاز را از رابطه زیر می‌توان محاسبه کرد:

$$\text{مقاومت خمشی } ۹۰ \text{ روزه} \times \text{نسبت تنش} = \text{تنش مجاز}$$

۹-۱-۳-۸ گراف‌های تعیین ضخامت

در شکل‌های ۳۰ و ۳۱، 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 آرایش‌های پیچیده بارگذاری، از برنامه‌های کامپیوتری می‌توان استفاده کرد. برای استفاده از گراف طراحی محور دوگانه نیاز به داشتن مقدار سختی نسبی، (I) است که از رابطه زیر بدست می‌آید:

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

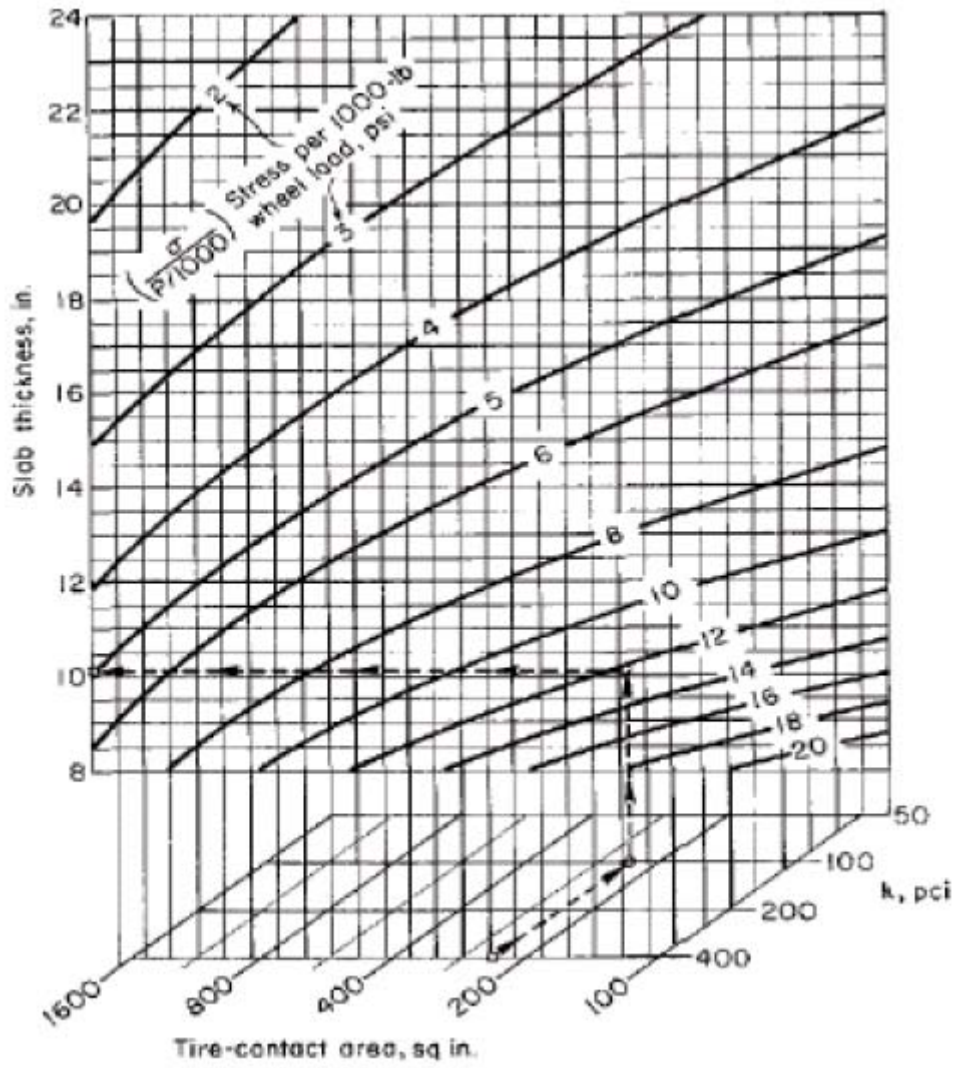
که در آن:

E مدول الاستیسیته بر حسب پوند بر اینچ مربع؛

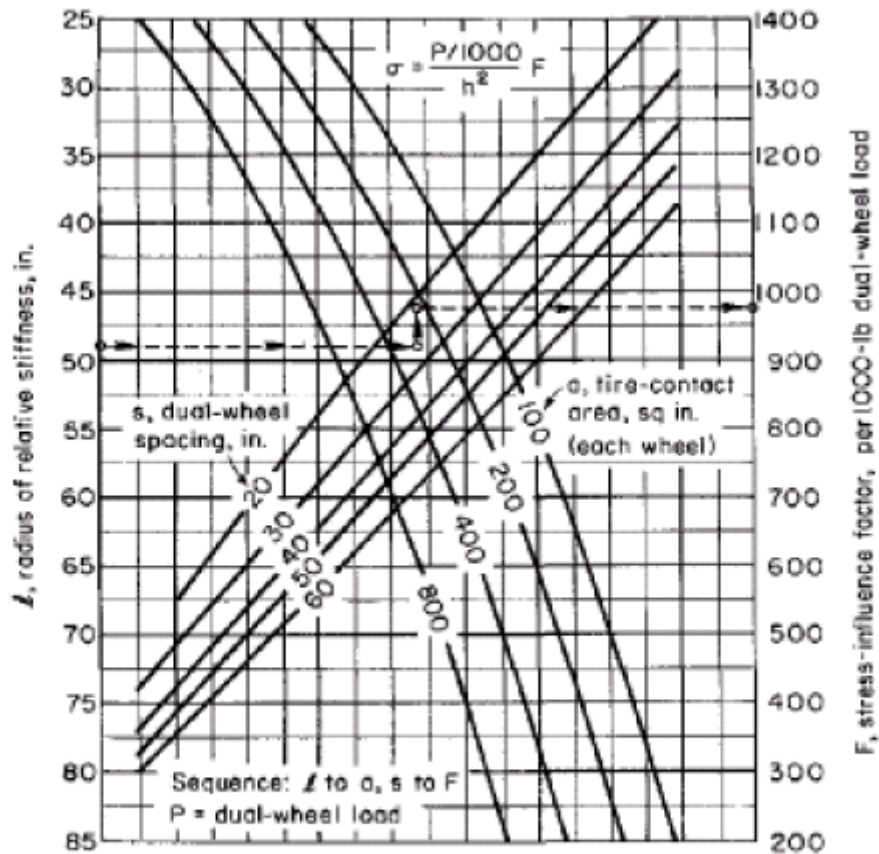
h ضخامت روسازی بر حسب اینچ؛

μ ضریب پواسن، که معمولاً ۰/۱۵ فرض می‌شود؛

k مدول عکس‌العمل بستر بر حسب پوند بر اینچ مکعب.



شکل ۳۰- گراف طراحی برای محور منفرد تک چرخ



شکل ۳۱- گراف طراحی برای محور منفرد زوج چرخ و محور دوگانه

۸-۳-۱۰ 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

فشار تایر برابر ۱۰۰ پوند بر اینچ مربع

مساحت تماسی تایر برابر ۲۶۰ اینچ مربع

مقاومت خمشی RCC برابر ۷۰۰ پوند بر اینچ مربع

مدول عکس العمل بستر برابر ۱۰۰۰ پوند بر اینچ مکعب و دوره عمر طراحی برابر ۲۰ سال و ترافیک روزانه

برابر ۲۰

حل:

$$\text{ترافیک کل در طول ۲۰ سال} = ۲۰ \times ۳۶۵ \times ۲۰ = ۱۴۶۰۰۰$$

از جدول مربوطه، $SR=0.45$ بدست می آید. پس تنش مجاز برابر است با :

$$\sigma = f_r \times SR = 700 \times 0.45 = 315 \text{ psi}$$

$$\text{تنش مجاز در } 1000 \text{ پوند} = \sigma / (p/1000) = 315/26 = 12/1 \text{ Psi/kip}$$

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

۸-۳-۱۱ 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 می شود:

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 ۱۱۰ پوند بر اینچ مربع

پس، مساحت تماس برابر است با :

$$295 \text{ اینچ مربع} = 65000 / (2 \times 110) \text{ برای هر تایر}$$

مقاومت خمشی RCC : ۷۰۰ پوند بر اینچ مربع

مدول عکس العمل بستر : ۲۰۰ پوند بر اینچ مربع

تعداد بار ترافیکی روزانه : ۴۰ وسیله در روز

$$40 \times 20 \times 365 = 292000 = \text{تعداد بار وارده در دوره طرح } 20 \text{ سال}$$

$$SR = 0.43$$

از جدول ۱۱

تنش مجاز:

$$\sigma = f_r \times SR = 700 \times 0.43 = 301 \text{ پوند بر اینچ مربع}$$

۱- گام اول، انتخاب یک ضخامت فرضی اولیه است که آن را ۱۵ اینچ در نظر می گیریم

۲- با توجه به ضخامت ۱۵ اینچ $k=200$ و $a=49$ بدست می آید .

۳- با توجه به مقدار شعاع سختی نسبی، و از منحنی مربوطه، مقدار فاکتور F ، ۹۸۰ بدست می آید .

۴- محاسبه تنش ناشی از بار وارده:

$$\sigma = \frac{\text{بار چرخ دوگانه}}{1000} \times \frac{1}{\text{ضخامت دال}^2} \times F = (65000 \div 1000) \times (1 \div 15^2) \times 980 = 283 \text{ پوند بر اینچ مربع}$$

۵- این روند را برای سایر ضخامت‌های انتخابی، انجام می دهیم:

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

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

۸-۳-۱۲ مراحل طراحی برای حالت ترافیک ترکیبی

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

گام ۱- انتخاب مقداری اولیه برای ضخامت دال.

گام ۲- محاسبه تنش (σ) با استفاده از گرافهای طراحی برای هر نوع وسیله نقلیه موجود در ترکیب ترافیکی .

گام ۳- محاسبه نسبت تنش (S_R) برای هر نوع وسیله نقلیه موجود در ترکیب ترافیکی ،

گام ۴- تعیین تعداد مجاز تکرار بار، (N_{al}) برای هر نوع وسیله نقلیه موجود در ترکیب ترافیکی با استفاده از جدول ۱۱ .

گام ۵- تعیین سهم خستگی، برای هر نوع وسیله نقلیه موجود در ترکیب ترافیکی به صورت زیر:

$$F_n = \frac{N_{e,n}}{N_{a,n}} \times 100$$

که در آن:

F_n ، سهم خستگی ناشی از بار چرخ n به درصد؛

N_{en} تعداد تکرار بار مورد انتظار ناشی از بار چرخ n ، در دوره طرح؛

N_{an} 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 درصد یا کمتر از ۱۰۰ درصد باشد بسته به مورد، گامهای ۲ تا ۶ را با ضخامت بزرگتر یا کوچکتر تکرار می شود. ضخامت طراحی یکی از حالاتی است که خستگی کل برابر ۱۰۰ درصد یا کمتر است.

۸-۳-۱۳ تصحیحات لازم برای حالت محور دوگانه

گراف چرخ دوگانه را با تصحیحاتی در مقادیر تنش، با همان شرایط، برای محور سه گانه می توان استفاده کرد. آنالیز کامپیوتری نشان می دهد، که از ضرائب تصحیح جدول ۱۳ که بر مبنای سطح تماس تایر به عنوان یک فاکتور مؤثر تنظیم شده است، می توان استفاده کرد. برای محور دوگانه، تعداد تکرار بار دو برابر منظور نمی شود، یک عبور مجموعه دوگانه (۲ چرخ)، یک تکرار محسوب می شود.

جدول ۱۳- ضریب تصحیح برای محور دوگانه

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

۸-۳-۱۴ تأثیر مدول الاستیسیته

در محاسبات تنش، مدول الاستیسیته کمترین تأثیر را دارد. در گراف های طراحی مدول الاستیسیته، ۴۰۰۰۰۰۰ پوند بر اینچ مربع 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 اینچ مربع باشد، تصحیحاتی مطابق جدول ۱۴ باید صورت گیرد. در صورتی که مقدار آن توسط آزمون (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 ۱۴- ضرائب تصحیح E برای حالاتی که مقدار آن برابر ۴۰۰۰۰۰۰ پوند بر اینچ مربع نیست

مقدار E (پوند بر اینچ مربع)	برای محور منفرد	برای محور دوگانه
۳۰۰۰۰۰۰	۱/۰۳۸	۱/۰۴۶
۵۰۰۰۰۰۰	۰/۹۷۲	۰/۹۶۸

۸-۳-۲ روش گروه مهندسین ارتش آمریکا برای روسازی‌های بتن غلتکی

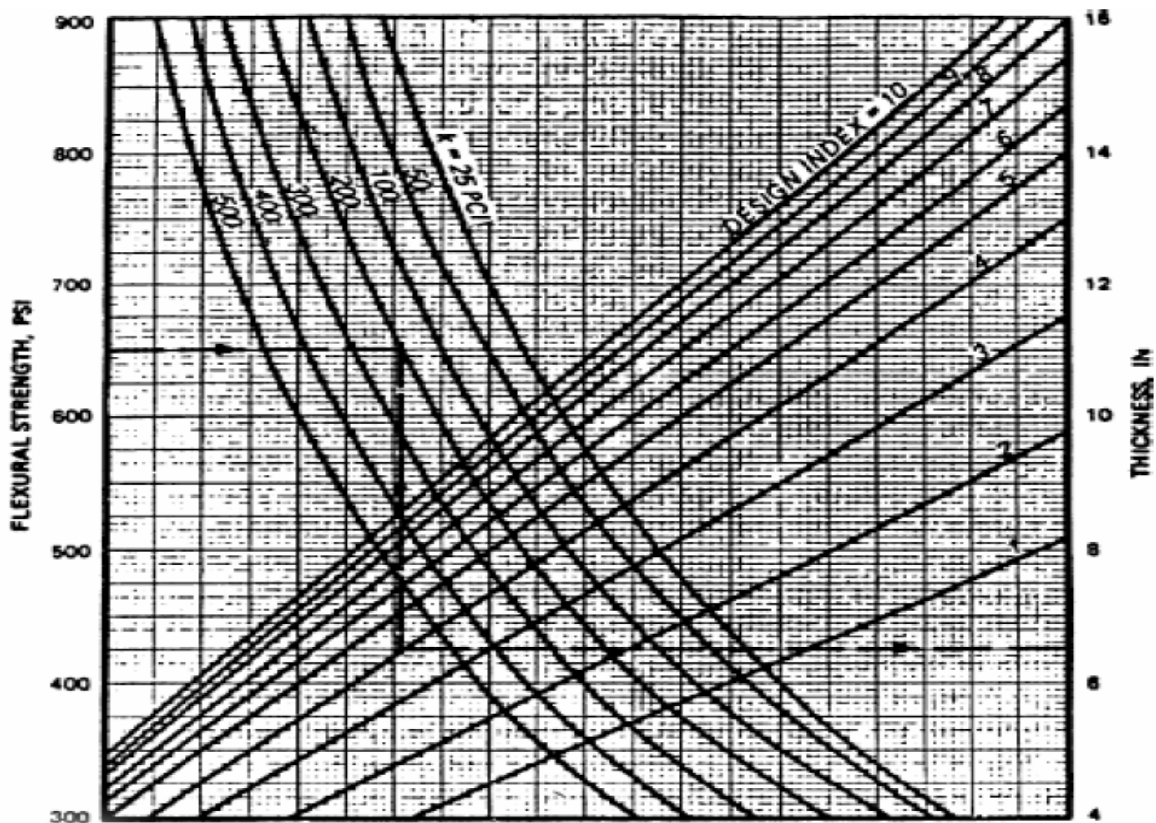
در این روش به طور محافظه کارانه‌ای و با در نظر گرفتن عدم انتقال بار در درزها از نمودارها و ضوابط طراحی بتن معمولی استفاده می‌شود. تنش‌های کششی طراحی با استفاده از معادلات تنش وسترگارد برای لبه آزاد محاسبه می‌شود. در این روش حداقل ضخامت روسازی RCC ۴ اینچ و حداکثر آن برای امکان تراکم پذیری ۱۰ اینچ است.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

تمام چسبنده- 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 جزئی- هنگامی که دو لایه به فاصله زمانی بیشتر از ساعت از هم ریخته شوند در این حالت ضخامت به مانند حالت روکش صلب روی اساس صلب با چسبندگی طرح می‌شود.

بدون چسبندگی ۳- هنگامی که لایه‌ای بین دو لایه مانند امولسیون 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 انتخاب می‌شود، ضخامت لایه RCCP از نمودار زیر با توجه به نشانه طراحی و مقاومت خمشی RCC بدست می‌آید .



شکل ۳۲- گراف طراحی گروه مهندسین ارتش آمریکا

۸-۳-۲-۱ مراحل تفصیلی روش گروه مهندسين ارتش آمريكا

۸-۳-۲-۱-۱ مبنای طراحی

۸-۳-۲-۱-۱-۱ متغیرهای طراحی

یکی از فاکتورهای اصلی و مؤثر در طراحی سازه‌های 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 چرخ‌های وسیله نقلیه

- حجم ترافیک عبوری در دوره عمر روسازی

- مقاومت خاک

- مدول گسیختگی (مقاومت خمشی) بتن روسازی

۸-۳-۲-۱-۲ روسازی‌های 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 انقباض و انقباض حرارتی روسازی و تنش‌های تابیدگی ناشی از رطوبت و درجه حرارت نیز در روسازی ایجاد می‌شوند.

۸-۳-۲-۱-۲ ترافیک

۸-۳-۲-۱-۲-۱ 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 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 تأثیر پنیوماتیکی است، چرا که فاصله محورها، عموماً به اندازه‌های 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 کامیون‌های ۲ یا ۳ محوره و نیز خستگی ناشی از افزایش مقدار تکرار بار برای هر وسیله نقلیه بیشتر است. برای جرثقیل‌های 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 آزمون‌هایی 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.

۸-۳-۲-۱-۲-۲ ارزیابی ترافیک

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

الف) وسایل نقلیه پنیوماتیکی

این نوع وسایل نقلیه به ۳ گروه تقسیم‌بندی می‌شوند:

گروه ۱) وسایل نقلیه مسافری (PC)

گروه ۲) کامیون‌های ۲ محوره

گروه ۳) کامیون‌های ۳ و ۴ و ۵ محوره

وزن طراحی از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

(متوسط وزن - وزن مجاز ماکزیمم) $\times 0.25 +$ متوسط وزن وسایل نقلیه تایر پنیوماتیکی = وزن طراحی

برای گروه‌های ۲ و ۳، 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 می‌شوند:

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 درصد ترافیک کامیون، ولی نه بیشتر از ۱ درصد کل ترافیک

گروه ۳

کلاس د) ترافیک شامل کامیون بیش از ۲۵ درصد ولی نه بیشتر از ۱۰ درصد کل ترافیک گروه ۳

کلاس ه) ترافیک عبوری شامل بیش از ۲۵ درصد کامیون

ب) لیفت تراک‌ها و وسایل نقلیه تراکتوری

تراکتورهای با وزن کمتر از ۱۵۰۰۰ پوند و لیفت‌تراک‌های با وزن کمتر از ۶۰۰۰ پوند، تأثیری به مانند

کامیون‌های ۲ محوره دارند.

تراکتورهای با وزن بیش از ۱۵۰۰۰ پوند و کمتر از ۴۰۰۰۰ پوند و تراکتورهای با وزن بیش از ۶۰۰۰ پوند و

کمتر از ۱۰۰۰۰ پوند، تأثیری مشابه وسایل نقلیه ترافیکی گروه ۳ دارند.

ترافیک ترکیبی شامل لیفت تراک‌های با وزن بیش از ۱۰۰۰۰ پوند و تراکتورهای با وزن بیش از ۴۰۰۰۰

پوند به سه گروه زیر تقسیم‌بندی می‌شوند:

جدول ۱۵- تقسیم‌بندی گروه ترافیکی ترکیب لیفت تراک و تراکتور

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

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 (۱۰۰/۲۰۰) کلاس ترافیکی مربوطه، (ب) تعیین می‌شود، با توجه به نوع منطقه، کلاس D انتخاب می‌شود، سپس با توجه به جدول ۱۶ اندیس طراحی ۲ بدست می‌آید.

جدول ۱۶- 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	*
	۵۰۰ وسیله نقلیه در روز	۶	۶	۶	۶	*
	۲۰۰ وسیله نقلیه در روز	۶	۶	۶	۶	*
	۱۰۰ وسیله نقلیه در روز	۶	۶	۶	۶	۶
	۴۰ وسیله نقلیه در روز	۶	۶	۶	۵	۵
	۱۰ وسیله نقلیه در روز	۵	۵	۵	۵	۵
	۴ وسیله نقلیه در روز	۵	۵	۵	۵	۴
	۱ وسیله نقلیه در روز	۵	۵	۵	۴	۴
ز						
	۲۰۰ وسیله نقلیه در روز	۶	۹	۹	۹	۹
	۱۰۰ وسیله نقلیه در روز	۸	۸	۸	۸	۸
	۴۰ وسیله نقلیه در روز	۷	۷	۷	۷	۷
	۱۰ وسیله نقلیه در روز	۶	۶	۶	۶	۶
	۴ وسیله نقلیه در روز	۶	۶	۶	۶	۶
	۱ وسیله نقلیه در روز	۵	۵	۵	۵	۵
۱ وسیله نقلیه در هفته	۵	۵	۵	۵	۵	
ح						
	۱۰۰ وسیله نقلیه در هفته	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰
	۴۰ وسیله نقلیه در هفته	۹	۹	۹	۹	۹
	۱۰ وسیله نقلیه در هفته	۸	۸	۸	۸	۸
	۴ وسیله نقلیه در هفته	۷	۷	۷	۷	۷
	۱ وسیله نقلیه در هفته	۶	۶	۶	۶	۶
۱ وسیله نقلیه در هفته	۵	۵	۵	۵	۵	

۸-۳-۲-۲ طراحی چند لایه بر روی هم

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 از ۲۵ 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 از ۱۰ سانتی‌متر (۴ اینچ) را داشته باشد، تا یک سطح صاف و پرداخت پذیر بدست آید. نوع چسبندگی بین لایه‌ها تابعی از دوره ساخت، زمان و روش انتخابی برای طراحی ضخامت لایه‌ها است. سه نوع شرایط چسبندگی برای طراحی ضخامت RCCP در نظر گرفته می‌شود که عبارتند از:

۸-۳-۲-۱ چسبندگی کامل

اگر لایه‌ها 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 لایه‌ها در محاسبات طراحی، انجام می‌گیرد.

۸-۳-۲-۲ چسبندگی نسبی

در حالتی که فاصله زمانی بین بتن‌ریزی و تراکم لایه‌ها بیش از ۱ ساعت شود، می‌توان حالت چسبندگی را نسبی فرض کرد. در این حالت سطح پایین‌ترین 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.

۸-۳-۲-۳ بدون چسبندگی

در حالتی که بین لایه‌ها از مواد 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. معادلات طراحی مورد استفاده برای سه حالت عبارتند از:

الف - حالت چسبندگی کامل

$$h_0 = h_d - h_g$$

ب - حالت چسبندگی نسبی

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

ج -حالت بدون چسبندگی

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

که در آن:

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، شن‌زدگی و ... باشد c برابر ۰٫۳۵ در نظر گرفته می‌شود.

برای روسازی RCC با توجه به این که دولایه درفاصله زمانی کمی از هم 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 سازه‌ای روسازی؛

- تأمین سطح یکنواخت بارپذیری برای روسازی؛

- محافظت از بستر در مقابل یخ زدگی؛

- زهکشی.

مشخصات دانه‌بندی لایه اساس به قرار زیر است:

درصد عبوری از الک شماره ۱۰، کمتر از ۸۵ درصد؛

درصد عبوری از الک شماره ۲۰، کمتر از ۱۵ درصد و $PI \leq 6$ ؛

حداقل درجه تراکم لایه اساس ۹۵ درصد چگالی ماکزیمم است.

لایه بستر: برای بسترهای از نوع OL، ML، MH، CL، OH و CH باید حداقل ضخامت اساس ۱۰ سانتی‌متر

باشد تا از پدیده، پامپینگ (جاری شدن خاک‌های رسی) جلوگیری کند.

مدول عکس‌العمل بستر، از جدول زیر می‌تواند انتخاب شود:

جدول ۱۷- بستر برای طراحی روسازی صلب k مقادیر

نوع مصالح	مقدار درصد رطوبت							
	۱-۴	۵-۸	۹-۱۲	۱۳-۱۶	۱۷-۲۰	۲۱-۲۴	۲۵-۲۸	بالای ۲۵
لای و رس (OH,CH,MH) $LL \geq 50$		۱۷۵	۱۵۰	۱۲۵	۱۰۰	۷۵	۵۰	۲۵
لای و رس (OL,CL,ML) $LL \leq 50$		۲۰۰	۱۷۵	۱۵۰	۱۲۵	۱۲۵	۷۵	۵۰
ماسه رسی و لای دار (SM,SC)	۳۰۰	۲۵۰	۲۵	۲۰۰	۱۵۰	۱۵۰		
ماسه و ماسه شن دار (SW,SP)	۳۵۰	۳۰۰	۲۵۰					
شن رسی و لای دار (GM, GC)	۴۰۰	۳۵۰	۳۰۰	۲۵۰				
شن و شن ماسه دار (GW,GP)	۵۰۰	۴۵۰						

یادآوری - 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 اینچمربع 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.

۳-۳-۸ روش‌های طراحی دیگر

روش‌های طراحی دیگری نیز بر طبق آیین‌نامه‌های کشورهای نظیر فرانسه، اسپانیا مورد استفاده قرار گرفته است.

آیین‌نامه فرانسه از جدولی مطابق جدول زیر استفاده می‌کند.

جدول ۱۸- مقاطع روسازی مطابق آیین نامه فرانسه برای RCC

طبقه‌بندی ترافیکی	T2			T3		
	وسیله نقلیه تجاری در روز*	150-300			50-150	
لایه روکش+RCC	۲۲۰	۲۲۰	۲۲۰	۲۲۰	۲۲۰	*۳۸۰*
RCC	۱۸۰	۱۵۰	۱۵۰	۱۸۰	۱۵۰	-
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 می کند:

جدول ۱۹- مقاطع روسازی مطابق آیین نامه اسپانیا برای RCC

طبقه بندی 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

E1: $5 \leq CBR < 10$

E2: $10 \leq CBR < 20$

E3: $CBR \geq 20$

* ترافیک سال شروع بهره برداری کلاس بستر:

** 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.

۹ تحلیل امکان سنجی فنی اقتصادی ساخت روسازی بتنی RCC در ایران

۱-۹ مقدمه

استفاده از رویه های بتنی در کشورهای دیگر متداول است، اما در کشور ما علی رغم وجود مصالح کافی، به دلیل ارزان بودن قیر، معرفی نشدن گزینه های مناسب جایگزین و در مواردی نبود دانش فنی - اجرایی و بعضی تجهیزات خاص، اجرا و ساخت این نوع رویه ها مورد توجه نبوده است. از بین این رویه های بتنی، روسازی RCC حایز شرایط بهینه ای نسبت به سایر روسازی های بتنی است. لذا در این بخش ابتدا معیارهای ارزیابی روسازی ها را ذکر کرده و سپس روش های مختلف آیین نامه ای را معرفی کرده و در نهایت با ارائه طرح های مختلف برای شرایط بارگذاری مختلف، به آنالیز و مقایسه اقتصادی روسازی های مختلف می پردازیم.

۲-۹ معیارهای ارزیابی

معیارهای ارزیابی عبارتند از:

- معیارهای فنی و اجرایی
- معیارهای اقتصادی

۹-۲-۱ معیارهای فنی و اجرایی

معیارهای فنی و اجرایی روسازی RCC در بندهای ۵، ۳ و ۶ و همچنین مزایا و معایب سایر روسازی‌های بتنی و آسفالتی در بندهای ۲-۵-۱ و ۲-۵-۲ مورد بررسی قرار گرفته است. در مورد مشکلات اجرایی و مزایا و معایب روسازی‌ها، باید ذکر کرد که با توجه به این که 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.

۹-۲-۲ 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 استفاده کنندگان (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....).

۹-۲-۲-۱ هزینه ساخت

هزینه ساخت شامل هزینه برنامه‌ریزی، طراحی و اجرای روسازی است. برای این منظور در این نوشتار چند نمونه روسازی بتنی و آسفالتی RCC با محورهای معادل مختلف (ترافیک سبک و سنگین) طراحی شده و هزینه ساخت آنها مورد محاسبه قرار می‌گیرد. جدول ۲۰ هزینه مصالح برای ساخت روسازی‌های مختلف را نشان می‌دهد:

جدول ۲۰- هزینه مصالح در روسازی

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

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

۹-۲-۲-۲ هزینه نگهداری

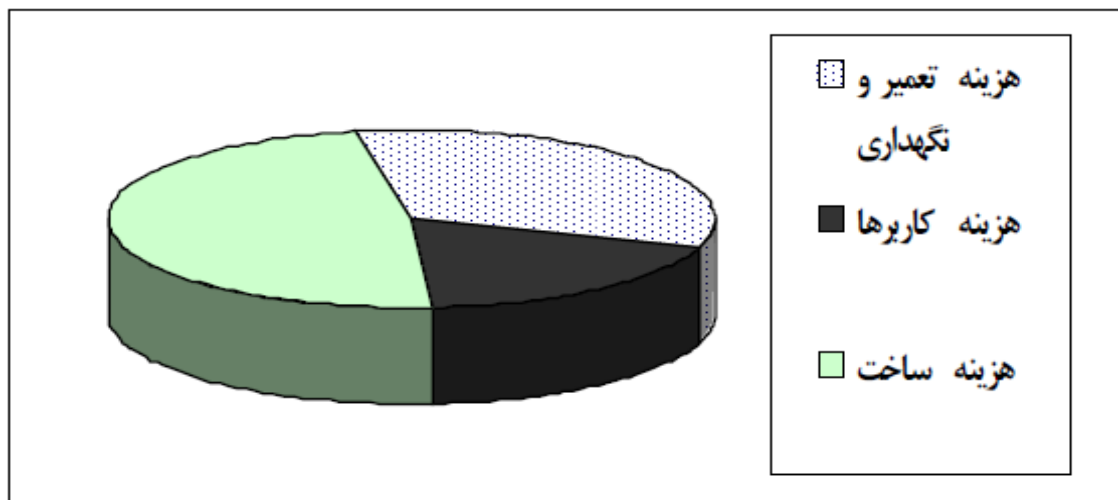
برای جلوگیری از خرابی‌های زودرس و تخریب سازه‌های روسازی عملیات نگهداری انجام می‌گیرد که در ایران با توجه به اینکه هیچ برنامه مدیریتی سیستماتیک برای تعمیر و نگهداری راه تاکنون وجود نداشته و از طرف دیگر برآورد هزینه تعمیر و نگهداری انواع راه‌ها (راه‌های شنی، اصلی و فرعی) با روسازی‌های مختلف (آسفالتی، بتنی) 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
- بوته‌کشی
- پرکردن ترک‌های طولی و عرضی با انجام لکه‌گیری و اجرای روکشی موضعی
- ترمیم شیارافتادگی بوجود آمده در سطح راه
- ترمیم شن‌زدگی
- تأمین و ترمیم روشنایی در طول راه مخصوصاً در سر قوس‌های با دید کم و منطقه‌های مه‌گیر
- تعویض و ترمیم علائم ترافیکی کنار و خط‌کشی روی روسازی
- افزایش و بازنگری اقدامات ایمنی در راه برای افزایش امنیت استفاده‌کنندگان در نقاط حادثه‌خیز مانند ترمیم یا اضافه کردن گاردریل، بلوک‌های بتنی جداکننده مسیرهای ترافیکی یا ایجاد جزیره-های ترافیکی و...

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 نمی‌افتد. در شکل ۳۳ نسبت هزینه‌های ساخت، تعمیر و نگهداری و هزینه کاربرها را برای یک روسازی بتنی در انگلستان نشان می‌دهد.

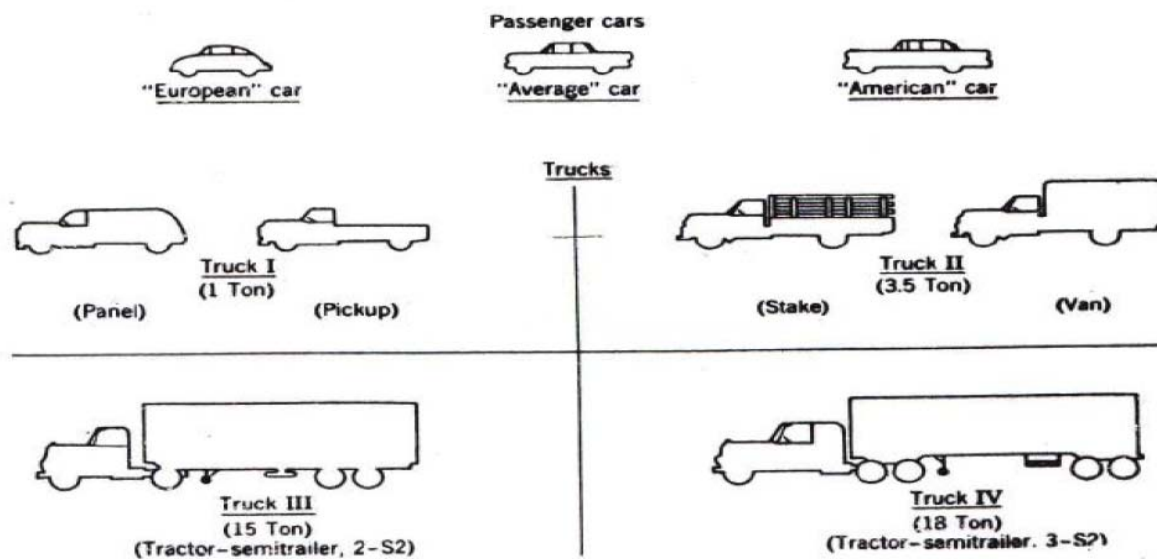
شکل ۳۳ - نسبت هزینه در طی عمر روسازی بتنی



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

۳-۲-۲-۹ هزینه استفاده کنندگان از راه

جداول ۲۱ و ۲۲ هزینه استفاده‌کنندگان از راه را در آمریکا برای وسایل نقلیه مختلف (شکل ۳۴) انواع روسازی‌ها نشان می‌دهد.



شکل ۳۴ - وسایل نقلیه مختلف

جدول ۲۱- هزینه وسایل نقلیه سبک

	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 هزار کیلومتر)	۱۹/۲۱	۳۴/۱۷	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 هزار کیلومتر)	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 هزار کیلومتر)	۲۰/۶۴	۳۷/۰۶	۳۵/۰۴	۳۷/۱۰	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 هزار کیلومتر)	۲۲/۰۴	۲۹/۵۳	۳۸/۶۵	۲۸/۸۷	۳۸/۴۹	۵۰/۴۴	۴۷/۶۱	۴۷/۶۱	۶۲/۲۴

جدول ۲۲- جدول هزینه وسایل نقلیه سنگین

	کامیون نوع II			کامیون نوع III			کامیون نوع IV		
	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 هزار کیلومتر)	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 هزار کیلومتر)	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 هزار کیلومتر)	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 هزار کیلومتر)	۵۲/۴۵	۷۹/۹۰	۱۲۷/۴۱	۷۷/۶۱	۱۲۹/۱	۲۲۰/۵۱	۷۸/۱۴	۱۲۹/۸	۲۳۳/۸۳

با توجه به جداول ۲۱ و ۲۲ 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 می‌یابد. در بخش بعدی ابتدا روش‌های آیین‌نامه‌ای طرح روسازی بیان شده و سپس برای حالت‌های مختلف بارگذاری نمونه‌های طراحی شده ارایه و در آخر مقایسه فنی و اقتصادی بین روسازی‌های مختلف انجام می‌گیرد.

۳-۹ روش‌های طرح روسازی

روش‌های آیین‌نامه‌ای 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 مهندسين 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

۴-۹ مقایسه اقتصادی و هزینه‌ای روسازی‌های مختلف

۱-۴-۹ طراحی روسازی‌های آسفالتی به روش آشتو

برای طراحی، ۷ ترکیب بار ترافیکی در نظر گرفته شده است که متناظر با محورهای معادل $10^6 \times 0.5$ ، $10^6 \times 1$ ، $10^6 \times 2$ ، $10^6 \times 3$ ، $10^6 \times 5$ ، $10^6 \times 7$ ، $10^6 \times 9$ است. مشخصات وزنی محورهای وسایل نقلیه مختلف و ترکیب ترافیکی در جداول ۲۳ و ۲۴ آمده است:

جدول ۲۳- وزن محورهای وسایل نقلیه

وزن محور (تن)	سواری	کامیونت	مینی بوس	اتوبوس	کامیون دو محور	کامیون سه محور	کامیون چهار محور	کامیون پنج محور
۰/۹	دو عدد		یک عدد					
۲		یک عدد						
۳		یک عدد	یک عدد زوج (Dual)	یک عدد				
۳/۶					یک عدد			
۴								یک عدد
۶				یک عدد		یک عدد	یک عدد	
۱۰							یک عدد	
۱۵					یک عدد زوج (Dual)			
۱۳ مرکب (Tandem)							یک عدد زوج (Dual)	

جدول ۲۴- ترافیک روزانه بر حسب محور معادل استاندارد

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

و مشخصات لایه‌ها به قرار زیر است:

ضریب باربری کالیفرنیا:

$$CBR = \%80 \text{ اساس} \quad CBR = \%60 \text{ زیراساس} \quad CBR = \%6 \text{ سابگرید}$$

ضرائب لایه‌ها:

$$a_{base} = 0/132 \quad a_{sub_base} = 0/123 \quad a_{asphalt} = 0/42$$

مدول لایه‌ها:

$$E_{base} = 28000 \text{ psi} \quad E_{sub_base} = 18000 \text{ psi} \quad E_{asphalt} = 400000 \text{ psi}$$

$$E_{subgrade} = 1500 \text{ CBR} = 9000 \text{ psi}$$

سایر پیش فرض‌ها در محاسبات به قرار زیر است:

$$Z_R = -1/282 \quad R = \%90 \quad \Delta PSI = 1/7 \quad P_i = 2/5 \quad P_t = 4/4 \quad S_0 = 0/35$$

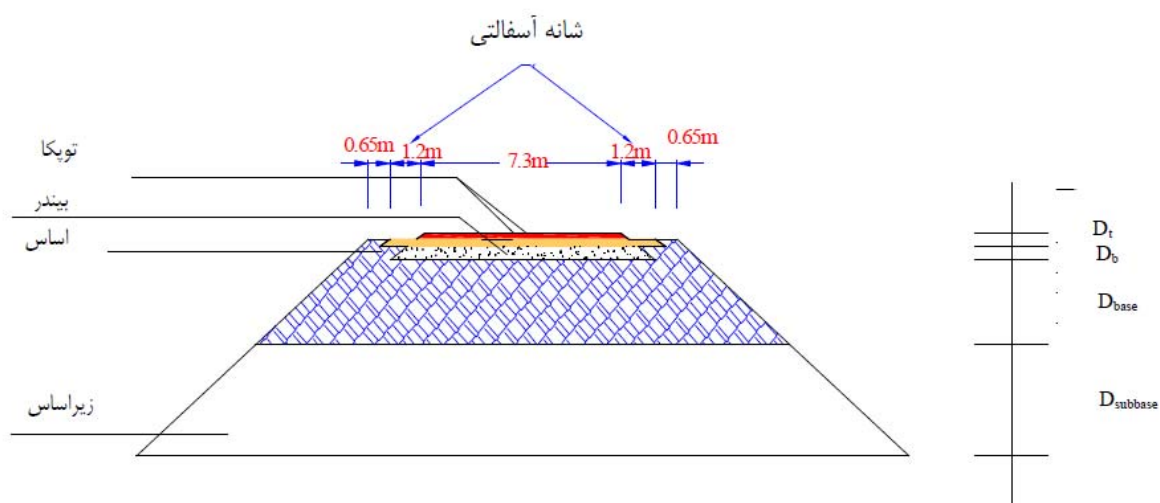
نتایج محاسبات ضخامت لایه‌ها به روش آشتو در جدول ۲۵ و ۲۶ آمده است:

جدول ۲۵ - ضخامت‌های بدست آمده به روش آشتو

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

جدول ۲۶- حداقل ضخامت مطابق آشتو

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



شکل ۳۵- تیپ مقطع روسازی با رویه آسفالتی

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

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

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

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

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

$$\text{سطح شانه} = 2 \times 1.85D_a$$

$$\text{عرض اندود نفوذی} = 7.3 + 2D_a$$

$$\text{عرض اندود سطحی} = 9.7 + 2D_a$$

در روابط بالا D_i بر حسب متر است و شیب شیروانی ۱ به ۱ فرض شده است .
با توجه به جدول ضخامت‌های بدست آمده و تیپ مقطع فرضی فوق خواهیم داشت:

جدول ۲۷- 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

۹-۴-۲ طراحی روسازی RCC به روش PCA و گروه مهندسين ارتش آمريكا
حال با توجه به شرحی که درباره روش طرح PCA و گروه مهندسين ارتش آمريكا، داده شده است با توجه به ترافیک ۷ طرح مورد نظر، محاسبات را برای هر کدام انجام می‌دهیم، فرضیات در این محاسبات به شرح زیر است:

$$f'_c = 4000 \text{ psi} \implies E = 57000\sqrt{f'_c} = 3.6E6 \text{ psi}$$

$$f_r = 9\sqrt{f'_c} = 9\sqrt{4000} = 570 \text{ psi} \quad \sigma = f_r \times SR$$

در محاسبات بالا، ضریب پواسن بتن ۱۵/۱ فرض شده است و دوره طرح ۲۰ سال در نظر گرفته شده است. با توجه به شکل ۲۳ برای CBR برابر ۶ درصد، مقدار پارامتر k برابر ۱۶۰ پوند بر اینچ مکعب بدست می‌آید که مقدار افزایش یافته آن برای حالتی که ضخامت زیراساس ۴ اینچ است، از جدول ۲۲ برابر ۱۸۰ پوند بر اینچ-مکعب و برای حالتی که ضخامت زیراساس ۶ اینچ است، ۲۰۰ پوند بر اینچ مکعب بدست می‌آید. مقدار شعاع سختی نیز با استفاده از جدول زیر، بدست آمده است:

جدول ۲۸- شعاع سختی نسبی

h (in)	شعاع سختی (I)									
	E=۳,۶E۶ و $\nu=۰,۱۵$									
	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:

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

که در آن:

h ضخامت دال به اینچ؛

k مدول بستر بر حسب پوند بر اینچ مکعب؛

μ 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 ۲۹- اندیس طراحی

شماره	بار محوری معادل به روش آشتو	گروه ترافیکی	انديس طراحی
۱	۵/E+۰.۵	ج	۴
۲	۱/E+۰.۶	ج	۴
۳	۲/E+۰.۶	د	۵
۴	۳/E+۰.۶	د	۵
۵	۵/E+۰.۶	د	۵
۶	۷/E+۰.۶	ه	۶
۷	۹/E+۰.۶	ه	۶

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

جدول ۲۰- 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+۰.۵	۱۵/۰۰	۱۷/۰۰	۱۰/۰۰	۱۸/۰۰
۲	۱/E+۰.۶	۱۵/۰۰	۱۸/۰۰	۱۰/۰۰	۱۸/۰۰
۳	۲/E+۰.۶	۱۵/۰۰	۱۸/۰۰	۱۵/۰۰	۱۹/۰۰
۴	۳/E+۰.۶	۱۵/۰۰	۲۰/۰۰	۱۵/۰۰	۱۹/۰۰
۵	۵/E+۰.۶	۱۵/۰۰	۲۰/۰۰	۱۵/۰۰	۱۹/۰۰
۶	۷/E+۰.۶	۱۵/۰۰	۲۰/۰۰	۱۵/۰۰	۲۱/۰۰
۷	۹/E+۰.۶	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 کارخانه‌های سازنده تایر از اطلاعات زیر استفاده شده است:

جدول ۳۱- فشار تایر

فشار تایر های جلو	نوع وسیله نقلیه
۹۰.۸ Lb(۴۱.۲kg) Max ۴۴ psi	پراید (کویر تایر)
(۴۷۰kg) ۳۲ psi	پژو ۴۰۵ (تایر Goldstone)
۳۲ psi	ماتیز

جدول ۳۲- 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,Convrt.	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 می‌توان کرد که فشار تایر برای اکثر وسایل نقلیه سواری که در کشور ما نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد حدود ۲۸ تا ۳۶ پوند بر اینچ مربع است. برای کامیون‌ها و تریلی‌های مختلف که در کشور نیز مورد استفاده دارد، از جداولی که در ادامه می‌آید به عنوان راهنما استفاده شده است:

جدول ۳۳- فشار تایر وسایل نقلیه سنگین

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

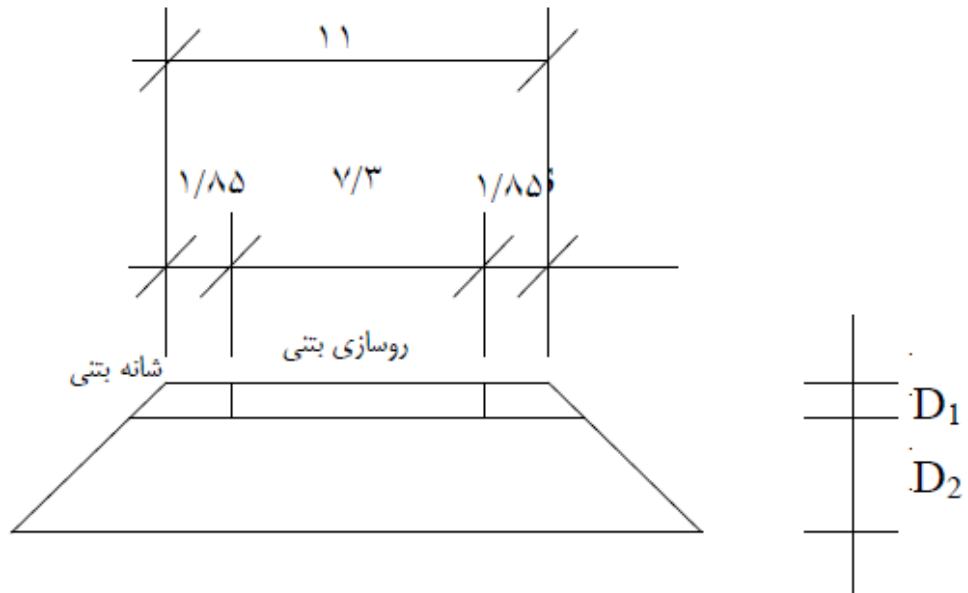
جدول ۳۴- فشار تایر وسایل نقلیه سنگین

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

جدول ۳۵- فشار تایر وسایل نقلیه سنگین

اندازه تایر	حداکثر سرعت (MPH)	زوج (D) منفرد (S)	PSI - فشار باد تایر											
			70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120	125
255/70R22.5 G169 RSA	75	D			3970	4110	4275	4410	4455	4610	4675	4915	5070(H)	
		S			4190	4370	4550	4675	4895	5065	5205	5400	5510(H)	
285/75R22.5	75	D		4040	4205	4370	4525	4685	4805(G)					
		S		4070	4255	4440	4620	4800	4975	5150	5205(G)			
275/70R22.5 G169 RSA G670 RV	75	D			4770	4980	5180	5390	5590	5800	6000	6200	6395(H)	
		S			5170	5400	5630	5850	6070	6290	6510	6730	6940(H)	
275/80R22.5	75	D			4855	5080	5305	5525	5745	5965	6180	6395(H)		
		S			5265	5515	5755	6000	6235	6475	6710	6940(H)		

تیپ مقطع فرضی برای روسازی PCC, RCC



شکل ۳۶- تیپ مقطع روسازی با رویه بتنی (ابعاد بر حسب متر)

$$\text{سطح رویه بتنی} = D_1 \times 7.3$$

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

$$\text{سطح شانه ها} = 2 \times D_1 (1.85 + D_1)$$

در روابط بالا D_1, D_2 بر حسب متر بوده و شیب شیروانی ۱ به ۱ فرض شده است. برای مقایسه، روسازی بتنی PCC غیر مسلح نیز برای حالات فوق به روش آستو مورد محاسبه قرار گرفته است.

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

جدول ۳۶- ضخامت‌های روسازی PCC

ترافیک روزانه								ضخامت		
سواری	کامیونت	میخی بوس	اتوبوس	کامیون دو محور	کامیون سه محور	کامیون چهار محور	کامیون پنج محور	محور معادل استاندارد در دوره طرح	زیراساس (سانتیمتر)	بتن (سانتیمتر)
۵۰	۳۵	۲۰	۲۰	۶	۱۲	۸	۰	$0.6E+1/0.8$	۱۵	۱۶
۲۰۰	۱۰۰	۶۵	۵۰	۱۲	۱۴	۲۵	۲۵	$0.6E+2/1.6$	۱۵	۱۸/۵
۴۰۰	۲۰۰	۵۰	۶۵	۲۶	۳۵	۳۵	۴۰	$0.6E+4/5.4$	۱۵	۲۰
۲۲۰	۲۰۰	۹۰	۶۶	۴۵	۴۴	۳۵	۴۰	$0.6E+6/1.8$	۱۵	۲۱/۵
۶۰۰	۲۰۰	۱۰۰	۱۲۰	۸۲	۸۰	۱۰۰	۱۰۰	$0.7E+1/3.3$	۱۵	۲۴
۱۰۰۰	۳۰۰	۲۰۰	۲۰۰	۱۱۵	۱۰۰	۱۵۰	۱۵۰	$0.7E+1/8.2$	۱۵	۲۵
۹۰۰	۲۵۰	۲۰۰	۲۰۰	۱۵۰	۲۰۰	۱۵۰	۱۵۰	$0.7E+2/7.0$	۱۵	۲۶

فرمول آشتو برای روسازی‌های صلب به صورت زیر است:

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

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

که در آن:

W تعداد محورهای منفرد؛

S_c مدول گسیختگی بتن؛

S_0 انحراف معیار؛

D ضخامت دال بتنی بر حسب اینچ؛

ΔPSI 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 $10^6 \times 3/6$ پوند بر اینچ مربع و $10^6 \times 4$ پوند بر اینچ مربع در نظر گرفته شده است.

K مدول بستر که برابر ۲۰۰ پوند بر اینچ مکعب در نظر گرفته شده است.

جدول ۳۷ - مقایسه ضخامت روسازی PCC و RCC

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

جدول ۳۸ - جزئیات روسازی RCC

شماره	ضخامت RCC (سانتیمتر)		سطح بتن (متر مربع)	سطح زیراساس (متر مربع)	سطح شانه بتنی (متر مربع)
	زیراساس	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

جدول ۳۹- جزئیات روسازی PCC

شماره	Fc=۵۰۰۰psi (۳۵۰Kg/cm ²)				
	ضخامت PCC (سانتیمتر)		سطح بتن (بتر مربع)	سطح زیراساس (بتر مربع)	سطح شانه بتنی (بتر مربع)
	زیراساس	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 آیین‌نامه‌های و ضعیف بودن بستر، ضخامت زیراساس برای همه موارد ۱۵ سانتی‌متر 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 PCC یا RCC در ترافیک‌های بالا مشهودتر است.

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

۱-۱۰ مقدمه

در این بند براساس مطالب تفصیلی ارائه شده در بندهای 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 حرارت‌زایی 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.

همچنین بتن‌های غلتکی سدسازی در بسیاری موارد دارای الزامات مقاومتی پایینی هستند (خصوصاً انواع با خمیر سیمان کم و متوسط) 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.

۱۰-۲ مواد و مصالح

در بتن‌های غلتکی روسازی همانند بتن‌های معمولی اجزاء تشکیل دهنده 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 می‌روند. ذیلاً ضوابط کیفیت مواد و مصالح ارائه شده است.

۱۰-۲-۱ سیمان

همه انواع سیمان پرتلند بجز سیمان نوع سه (سیمان با روند سریع سخت شدن)، می‌توانند در ساخت مخلوط‌های بتن غلتکی به کار روند سیمان سه نوع به علت گیرش سریع تر نسبت به دیگر انواع سیمان برای ساخت روسازی بتن غلتکی مناسب نبوده و نباید به کار رود. ضمناً در کاربرد سیمان‌های پرتلند آمیخته حاوی پوزولان یا سرباره، روند کندتر کسب مقاومت این نوع سیمان‌ها باید با توجه به ملاحظات 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.

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

۱۰-۲-۲ 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. الزامات عمومی سنگدانه‌ها باید مطابق الزامات استاندارد ملی ایران به شماره ۳۰۲ باشند. علاوه بر موارد ذکر شده در استانداردهای فوق‌الذکر سنگدانه‌های مصرفی باید الزامات ذیل را نیز برآورده نمایند:

- اندازه حداکثر شن مصرفی باید به ۲۰ میلی‌متر محدود گردد تا امکان دستیابی به کیفیت مطلوب سطح فراهم آید.

- هر چند در استاندارد ۳۰۲ 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 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 سنگدانه‌ها می‌تواند تا حداکثر ۸ درصد مجاز تلقی گردد.

۱۰-۲-۳ آب

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

۱۰-۲-۴ 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 پایین‌بوده 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 روان ساز نیز باید توجه داشت که دستیابی به خواص مورد نظر دشوار بوده و نیازمند مصرف مقادیر بالاتر نسبت به بتن‌های متعارف است.

۱۰-۲-۵ 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 ASTM C 989 و ASTM C 618 باشند.

۱۰-۳ طرح اختلاط

منظور از طرح اختلاط بتن غلتکی، تعیین مقادیر اجزاء بتن شامل درشت دانه (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 بندهای ۶-۲-۱ و ۶-۲-۲ 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 ارایه 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 بتن-های 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 30×15 سانتی‌متر صورت می‌گیرد. روش ساخت نمونه‌های استاندارد تعیین مقاومت فشاری بتن غلتکی در استاندارد ASTM C 1170 تشریح شده است. رابطه ذیل جهت تبدیل مقاومت فشاری (f_c) و خمشی (f_b) می‌تواند به کار رود:

$$f_b = 0.75\sqrt{f_c} \quad (\text{مگاپاسکال})$$

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 براساس آن صورت گرفته (f_c)) باشد. روابطی که برای بتن-های معمولی ارائه شده اند و برای بتن‌های غلتکی نیز می‌توانند به کار روند عبارتند از:

$$f_m = f_c + 1.34 S$$

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

که S انحراف معیار کارگاه است .

برای محاسبه انحراف معیار کارگاه لازم است حداقل تعداد ۳۰ آزمون با مصالح و شرایط کارگاهی تهیه شده و انحراف از مقدار مقاومت میانگین مشخص گردد. در صورتی که کمتر از ۳۰ نتیجه آزمون موجود باشد، ضرایب اصلاحی جدول ۴۰ در انحراف معیار بدست آمده ضرب خواهد شد.

جدول ۴۰- 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

هنگامی که آزمون‌ها لازم برای محاسبه انحراف معیار کارگاهی موجود نباشد، مقاومت طرح اختلاط با توجه به جدول ۴۱ محاسبه می‌گردد.

جدول ۴۱- 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. جهت حفظ انسجام مخلوط بتن غلتکی روسازی درصد مواد ریزتر از الک ۷۵ میکرومتر (الک شماره ۲۰۰) به عنوان درصدی از کل مواد سنگی، باید حداقل ۲ درصد باشد. زمان وی بی اصلاح شده مخلوط بتن غلتکی با سربار ۲۲/۵ کیلوگرم که به روش ASTM C 22 1170 صورت می‌گیرد در محدوده ۳۰ تا حدود ۵۰ ثانیه تنظیم گردد. اندازه حداکثر اسمی سنگدانه‌ها باید، حدود ۲۰ میلی‌متر محدود گردد.

۴-۱۰ اجرا (تولید، انتقال، ریختن، متراکم کردن، عمل آوری و ایجاد درزها)

۱-۴-۱۰ 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 نیز قابلیت اختلاط مناسب این مخلوط‌ها را دارند. هر

چند از مخلوط کن‌های بشکه‌ای نیز در برخی پروژه‌ها استفاده شده است ولی دستیابی به مخلوط همگن با این نوع مخلوط کن‌ها مستلزم صرف وقت بیشتر و دقت جهت حصول اطمینان از همگنی مخلوط دارد. ظرفیت مخلوط کن باید در حدی باشد که هیچ گونه وقفه‌ای در عملیات ریختن بتن توسط دستگاه ساخت روسازی پیش نیاید. حداقل ظرفیت مخلوط کن باید ۱۰۰ مترمکعب در ساعت باشد مگر در کارهای کوچک (کمتر از ۱۰۰۰ مترمربع سطح روسازی). دستگاه بتن‌ساز باید نزدیک محل پروژه بوده و نباید فاصله حمل از محل تولید تا دستگاه روسازی بتن بیشتر از ۱۵ دقیقه گردد.

۱۰-۴-۲ 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.

۱۰-۴-۳ 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 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 هیچ‌گاه مخزن ورودی مواد اولیه خالی نماند زیرا منجر به عدم یکنواختی در سطح می‌گردد.

دستگاه آسفالت ریز 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 و قابل تراکم همزمان و 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 فوق‌الذکر 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.

۱۰-۴-۴ 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 امکان پذیر 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.

۱۰-۵ 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 (ترجیحاً ۱۰ تا ۲۰ تن) مرتفع شود.

یادآوری- 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 بتن‌ریزی و شروع تراکم توسط غلتک‌ها فاصله بیفتد و غلتک زنی باید طی حداکثر ۴۵ دقیقه از زمانی که سیمان با آب مخلوط شده است تکمیل گردد.

۱۰-۵-۱ نحوه غلتک‌زنی

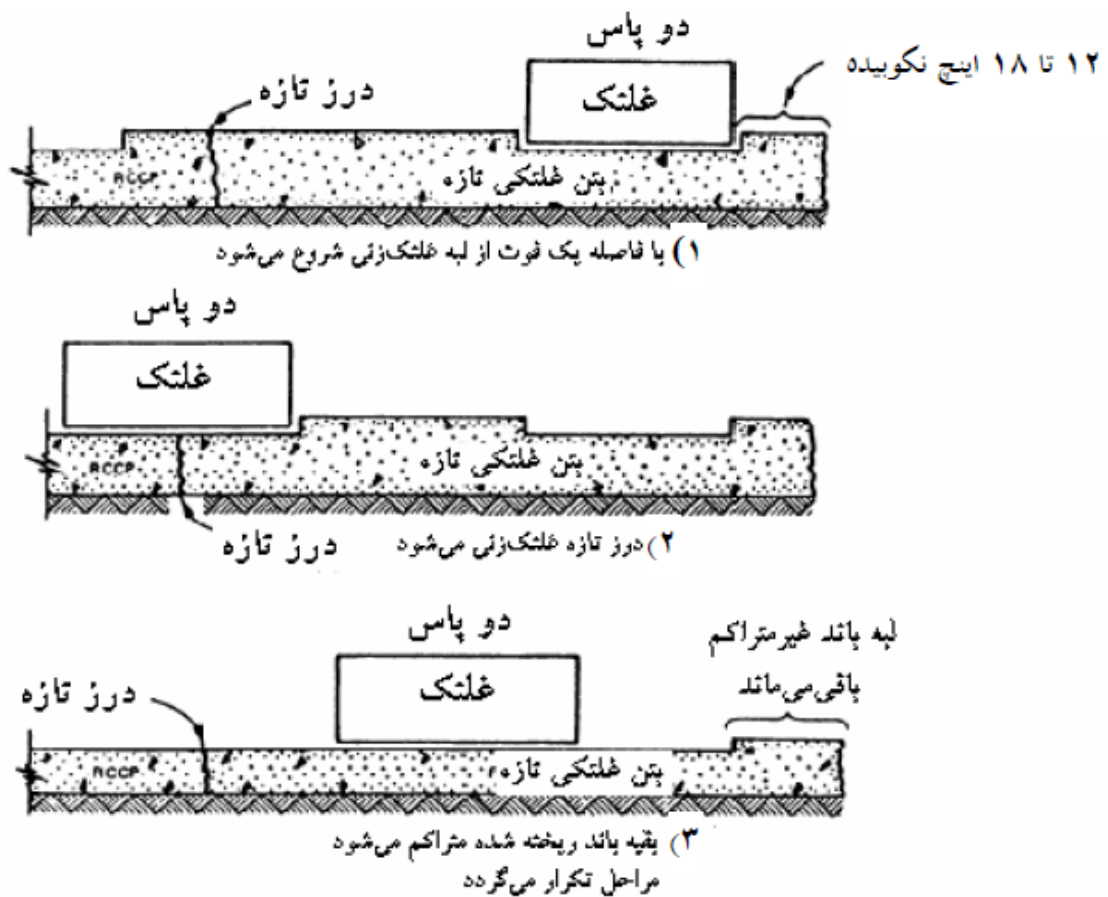
ابتدا باید دو عبور غلتک به صورت استاتیکی روی تمامی سطح بتن غلتکی غیر از درزها صورت گیرد. سپس در حالت ارتعاشی غلتک باید حداقل ۴ عبور روی کلیه سطح بتن غلتکی به روش تشریح شده در ذیل انجام دهد. غلتک باید با فرکانس، دامنه ارتعاش و سرعت مناسب حرکت کند. برای تراکم معمولاً فرکانس پایین و دامنه ارتعاش بالا مناسب، و 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 انجام شود 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 میلی‌متر از لبه درز داخلی تازه متراکم گردد.

موارد فوق تکرار شود تا ۴ عبور غلتک روی کل سطح داشته باشیم و اگر به دانسیته مورد نظر نرسیدیم باید تعداد عبور غلتک افزایش یابد.

۱۰-۵-۲ نحوه اجرای درزهای تازه

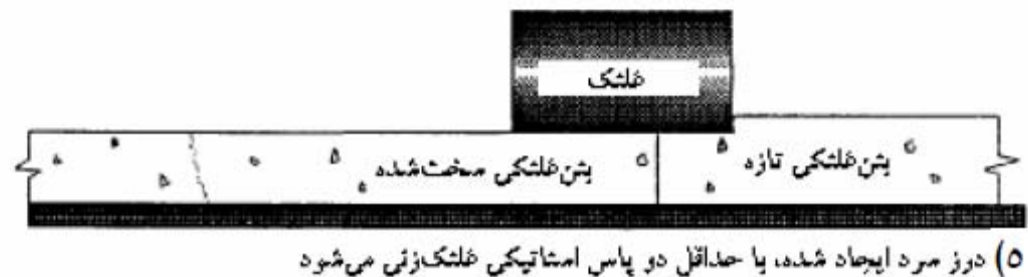
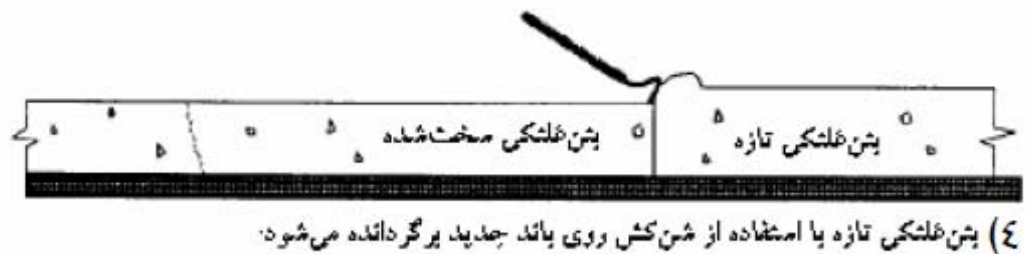
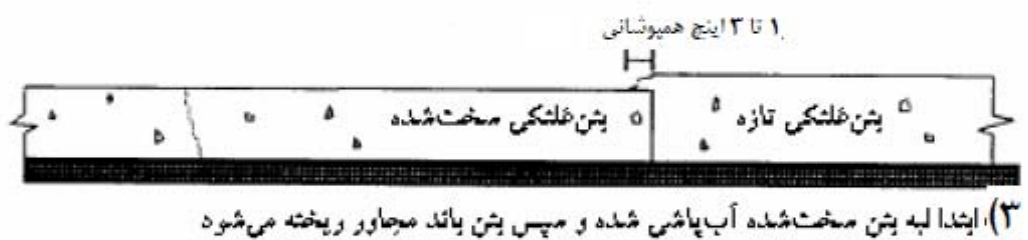
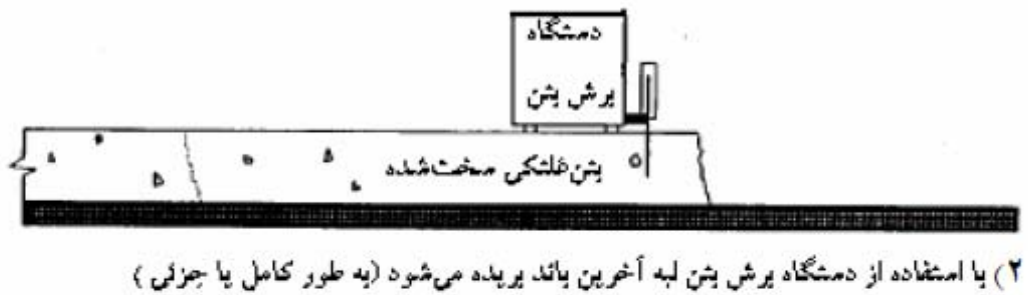
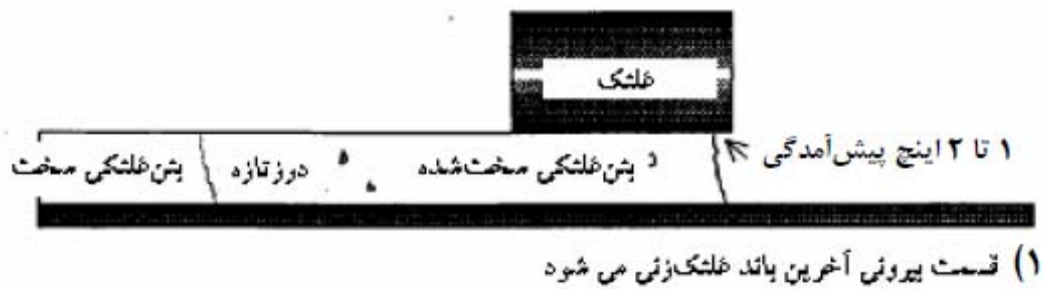
بتن باندی که قرار است در کنار آن باند دیگری ریخته و دو باند با یکدیگر متراکم شده و درز تازه تلقی گردد، تا فاصله ۳۰۰ تا ۵۰۰ میلی‌متر از لبه داخلی توسط غلتک ارتعاشی متراکم می‌گردد. نکته آنکه حداکثر فاصله زمانی بین اجرای دو باند مجاور باید برابر یک ساعت باشد، که در شکل ۳۷ نشان داده شده است. سپس بتن باند دوم در همان تراز قسمت متراکم نشده باند اول ریخته می‌شود و دو باند با یکدیگر غلتک زده می‌شوند.



شکل ۳۷- نحوه اجرای درز تازه

۱۰-۵-۳ نحوه اجرای درزهای سرد

به این درزها درزهای اجرایی نیز می گویند. درزهای بین دو باند که قابل اجرای توأم در فاصله زمانی حداکثر نیستند بناچار به صورت درز سرد اجرا می گردند. غلتک زنی روی کناره باند اول که قرار است به صورت درز سرد اجرا گردد با یک آویز استوانه حدود ۲۵ تا ۵۰ میلی متر روی باند انجام می گیرد. قبل از ریختن باند دوم در کنار باند اول، ابتدا لبه باند اجرا شده به صورت عمودی در کل ضخامت لایه بریده می شود. این لبه عمودی قبل از ریختن باند کناری باید مرطوب گردد. جزئیات در شکل ۳۸ نشان داده شده است.



شکل ۳۸- نحوه اجرای درز سرد درز اجرایی

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.

۱۰-۵-۴ 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 شیب دار کند. بتن اضافی در شروع بخش شیب‌دار باید توسط اهر 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.

۱۰-۶ عمل‌آوری

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 شسته شدن مواد سیمانی بسیار ریز بتن گردد. بعد از عمل‌آوری اولیه سطح بتن با استقرار تجهیزات آب‌پاش یا اسپری کننده 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 به عنوان تنها روش عمل‌آوری توصیه نمی‌شود و تنها پس از عمل‌آوری 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.

۱۰-۷ تحت بار قرار گرفتن روسازی بتن غلتکی در سنین اولیه

تمامی وسایل نقلیه باید از تردد روی بتن غلتکی تا پایان زمان عمل‌آوری خودداری کنند. اگر واقعا 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.

۱۰-۸ ایجاد درزهای انقباض

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. زمان بریدن درزها باید زمانی باشد که بتن مقاومت کافی جهت ایجاد برش بدون لب پریدگی و یا بیرون پریدگی 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.

فواصل درزهای بریده شده نباید بیشتر از ۱۲ متر 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 لایه‌های روسازی را کاهش دهد، جلوگیری می‌کند.

۹-۱۰ وسایل انتقال بار از بین ترک

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

۱۰-۱۰ 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 و کیفیت سطح و صافی 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 بند ۱۰-۳ 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.

۱۰-۱۰-۱۰ کنترل کیفیت پیش از ساخت

این مرحله شامل کنترل کیفی مواد و مصالح، سامانه توزین و پیمانانه کردن مصالح، تجهیزات بتن‌سازی، تجهیزات انتقال، اجراء، ساخت و نظارت بر یک مقطع آزمایشی می‌باشد.

- نمونه‌برداری و آزمون مصالح سنگی، سیمان، آب و مواد افزودنی احتمالی مطابق آنچه برای بتن معمولی صورت می‌گیرد انجام می‌یابد.

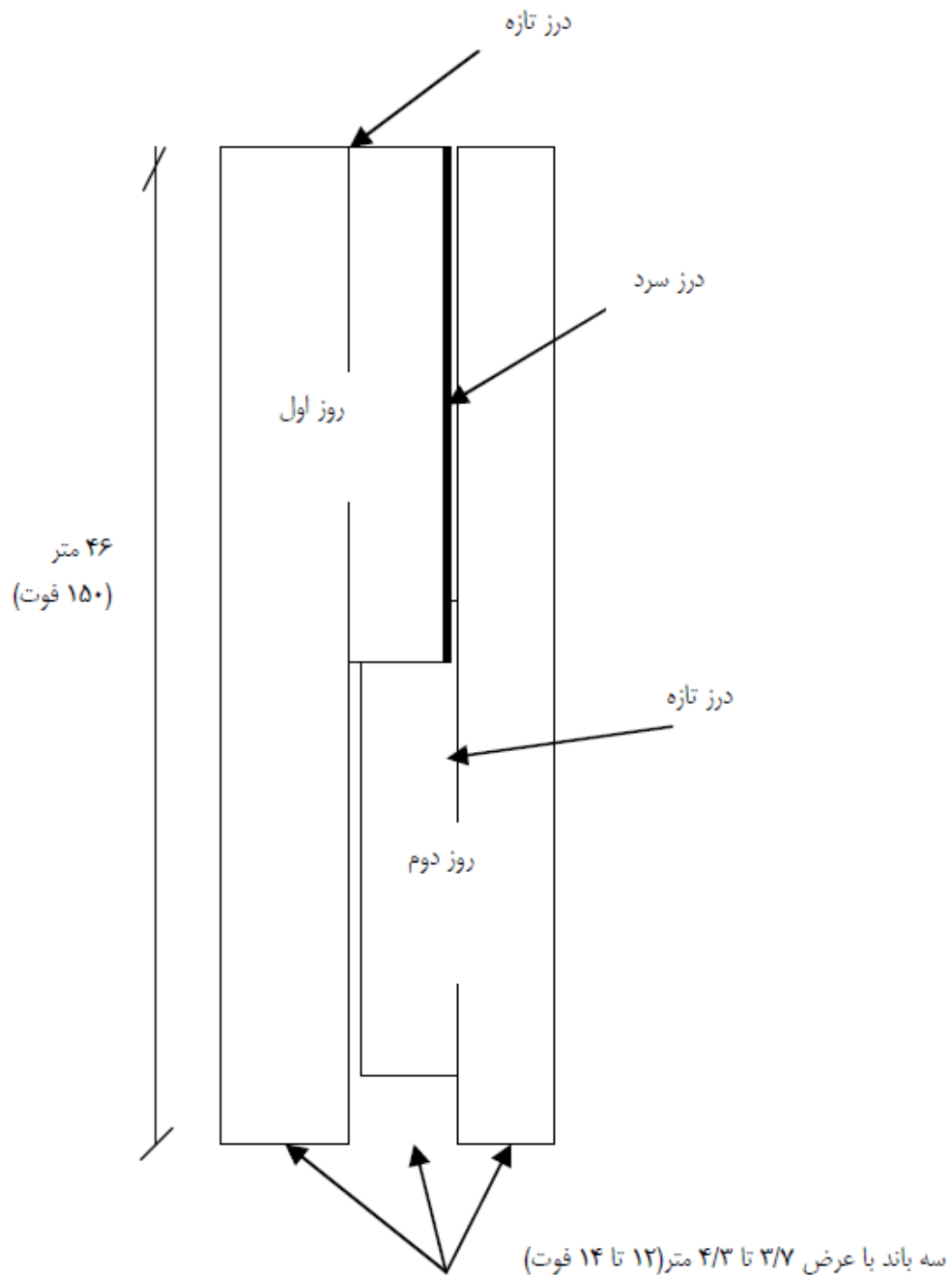
- روش انتقال و بتن ریزی بررسی می‌گردد تا منجر به جداسازی نگردد.
- سیستم بتن ساز مورد بررسی قرار می‌گیرد تا از نظر حجم تولید و قابلیت ایجاد مخلوط همگن قابل قبول باشد. شایان ذکر است هر چند برای روسازی بتن غلتکی مخلوط‌کن‌های پیوسته و یا مخلوط‌کن‌های تغاری قابل قبول می‌باشند، لیکن برای کارهای کوچک، مخلوط‌کن‌های بشکه‌ای نیز می‌توانند قابل قبول باشند.
- تجهیزات اجرائی به لحاظ وضعیت فنی کنترل می‌شوند که شامل دستگاه اجرای روسازی کامیون‌های دامپر با تخلیه از عقب، غلتک‌های فولادی ارتعاشی و غلتک‌های چرخ لاستیکی می‌شوند.

۱۰-۱۰-۱۰-۱۰ 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 تأیید انجام می‌گیرد. در اجرای مقطع آزمایشی روش‌های اجرای درزهای تازه، درزهای سرد عرضی و طولی و عملیات شروع و خاتمه کنترل می‌گردند. همچنین رابطه بین تعداد عبور غلتک و دانسیته بتن غلتکی با استفاده از دانسیته سنج 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 می‌شوند.

در شکل ۳۹ ابعاد مقطع آزمایشی و محل درزهای مورد نظر ارائه شده است.



شکل ۳۹- مقطع آزمایشی با موقعیت درزهای مورد نظر

در شروع ساخت مقطع آزمایشی از مخلوط بتن غلتکی تازه آماده شده به روش استاندارد نمونه‌های استوانه-ای جهت تعیین مقاومت در زمان‌های مورد نظر تهیه می‌گردد. در حین اجرای مقطع آزمایشی، روش‌های انتقال، ریختن، تراکم و اجرای درزها کنترل می‌شوند. توسط دانسیته سنج 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 هر حال تعداد عبورها کمتر از ۴ در نظر گرفته نمی‌شود. پس از اتمام مقطع آزمایشی، سطح بتن غلتکی اجرا شده به لحاظ بافت سطحی، صافی سطح و عدم وجود ترک‌ها کنترل می‌گردد.

۱۰-۱۰-۲ کنترل کیفیت در حین ساخت

- کنترل کیفی روسازی بتن غلتکی در حین اجرا حداقل توسط دو ناظر صورت می‌گیرد که یکی در محل پیمانانه 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 هر ۳۸۲ متر مکعب (۵۰۰ یارد مکعب) هر کدام که تناوب بیشتری بدهد، کنترل می‌شوند.
- رطوبت سنگدانه‌ها 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 ۱۵×۳۰ سانتی‌متر استاندارد جهت بررسی مقاومت در سنین مورد نظر در آزمایشگاه تهیه و در شرایط استاندارد نگهداری می‌شود.
- در محل اجرا ناظر کنترل می‌نماید 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.
- جرم حجمی بتن غلتکی پس از اتمام عملیات تراکم به ازای هر ۳۰ متر طول در هر باند توسط دانسیته سنج 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 کنترل می‌شود. بسته به نوع کاربری روسازی میزان حداکثر عدم صافی سطح معمولاً ۶/۴ میلی‌متر و در مواردی نیز تا ۹/۵ میلی‌متر مجاز است. کیفیت سطح نیز کنترل می‌گردد تا عاری از پارگی سطح ترک خوردگی، جداشدگی، توده‌های سنگی، بخش‌های فرورفته، خالی یا کشیده شدگی سطح یا سنگدانه‌های شل و آزاد و یا سنگدانه‌های بیرون زده به علت شسته شدن مواد سیمانی باشد.
- نحوه عمل‌آوری و مدت زمان اعمال آن روی روسازی توسط ناظر کنترل می‌گردد.

۱۰-۱۰-۳ کنترل کیفیت پس از ساخت

- پس از اجرای روسازی بتن غلتکی عملیات اجرای درزهای انقباضی (بریدن درزها) به لحاظ فواصل درزها و همچنین عمق برش کنترل می‌شود. همچنین زمان و نحوه بریدن درزها کنترل می‌شود تا منجر به تخریب لبه‌های درز نشود.
- 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.