بسم الله الرحمن الرحیم

جمهوری اسلامی ایران
وزارت راه و شهرسازی

وزارت راه و شهرسازی
مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی

دستورالعمل اجرایی و کنترل کیفی روسازی بتن غلتکی

ویرایش دوم

دی ماه ۱۳۹۳

کمیته تدوین:

دکتر طیبه پرهیزکار	عضو هیئت علمی مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی
دکتر جعفر سبحانی	عضو هیئت علمی مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی
مهندس امیرمازیار رئیس‌قاسمی	کارشناس ارشد مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی
مهندس علیرضا پورخورشیدی	عضو هیئت علمی مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی
دکتر سیدحسام مدنی	عضو هیئت علمی دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی کرمان
دکتر علیرضا باقری	عضو هیئت علمی دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

کمیته بازبینی:

دکتر محمد شکرچی‌زاده	رئیس مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی
دکتر طیبه پرهیزکار	عضو هیئت علمی مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی
دکتر جعفر سبحانی	عضو هیئت علمی مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی
مهندس امیرمازیار رئیس‌قاسمی	کارشناس ارشد مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی
مهندس علیرضا پورخورشیدی	عضو هیئت علمی مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی
دکتر علیرضا باقری	عضو هیئت علمی دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
دکتر محسن تدین	عضو هیئت علمی دانشگاه بوعلی سینا
دکتر مهدی چینی	مشاور مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی
دکتر سیدحسام مدنی	عضو هیئت علمی دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی کرمان
مهندس جاوید خطیبی	عضو هیئت مدیره انجمن علمی بتن ایران

پیشگفتار

استفاده از انواع رویه‌های بتنی در ساخت راه‌های جدید و یا تعمیر روسازی‌های موجود در کشورهای دیگر بسیار متداول است و کاربرد آن نیز در حال گسترش است. اما در کشور ما علی‌رغم وجود مصالح کافی، به دلیل ارزان بودن قیر، معرفی نشدن گزینه‌های مناسب جایگزین و در مواردی نبود دانش فنی- اجرایی و تجهیزات مورد نیاز، اجرا و ساخت این نوع روسازی‌ها متداول نشده است. با توجه به آزادشدن حامل‌های انرژی و افزایش قیمت ناشی از حذف یارانه‌ها و همچنین افزایش شدید قیمت قیر، مزیت اقتصادی این نوع روسازی‌ها نسبت به روسازی‌های آسفالتی انکارناپذیر است.

انواع روسازی‌های بتنی دارای مزایایی مانند عمر بیشتر، هزینه کمتر، سرعت اجرای بیشتر و هزینه تعمیرات و نگهداری پایین‌تری در مقایسه با روسازی‌های آسفالتی می‌باشند.

در این راستا، وزارت راه و شهرسازی، گسترش استفاده از رویه‌های بتنی تا ۱۰ درصد از راه‌های کشور را تا پایان سال ۱۳۹۵ در دستور کار خود قرار داده است.

یکی از انواع روسازی‌های بتنی، رویه‌های بتن غلتکی می‌باشد که در بسیاری از کشورهای توسعه‌یافته بطور موفقیت‌آمیزی اجرا گردیده است و در حال حاضر نیز تحقیقات وسیعی در این رابطه در حال انجام است. با توجه به وضعیت تولید سیمان در کشور و شرایط اقلیمی، این نوع روسازی‌ها می‌تواند در بسیاری از راه‌های فرعی، خیابان‌ها و محوطه‌سازی‌ها مورد استفاده قرار گیرد.

مجموعه حاضر، برگرفته شده از آخرین دستورالعمل‌ها و ضوابط ملی و بین‌المللی می‌باشد که الزامات اجرایی این نوع روسازی‌ها را برای کاربرد آن در راه‌های فرعی و محوطه‌سازی با حداکثر مجاز سرعت ۵۰ کیلومتر بر ساعت ارائه کرده است. فصل اول تا چهارم این دستورالعمل شامل انتخاب مصالح مناسب و ضوابط اجرای روسازی‌های بتن غلتکی است و در فصل پنجم بازرسی و کنترل کیفی این نوع روسازی شرح داده شده است. لازم به ذکر است، در مواردی که در این دستورالعمل به آنها اشاره‌ای نشده است، نشریه شماره ۳۵۴، دفتر نظام فنی اجرایی معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی ریاست جمهوری با عنوان "راهنمای طراحی و اجرای بتن غلتکی در روسازی راه‌های کشور" ملاک عمل خواهد بود. امید است این مجموعه گامی موثر در توسعه روش‌های نوین ساخت منطبق با شرایط اجرایی و اقلیمی کشور باشد و بتواند یک راهنما مورد استفاده مشاوران و پیمانکاران اجرای این نوع روسازی در کشور قرار گیرد تا با اجرای مناسب و نظارت دقیق، ارتقاء کیفی و دوام این نوع روسازی‌ها را تضمین و منابع ارزشمند این مرز و بوم را در جهت اهداف توسعه پایدار صرف نمود.

محمد شکرچی‌زاده

رئیس مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی

دکتر بتن
DrBeton.ir
مرکز توسعه بتن ایران

فهرست مطالب

۱ فصل اول کلیات ۱
۱-۱ هدف ۱
۱-۲ دامنه کاربرد ۱
۱-۳ تعاریف و اصطلاحات ۱
۲ فصل دوم مشخصات مصالح و خواص بتن غلتکی ۴
۲-۱ کلیات ۴
۲-۲ سنگدانه‌ها ۴
۲-۳ سیمان و مواد مکمل سیمانی ۶
۲-۴ آب ۷
۲-۵ افزودنی‌های شیمیایی ۸
۳ فصل سوم طراحی روسازی و اصول روش طرح مخلوط ۹
۳-۱ طراحی روسازی بتن غلتکی ۹
۳-۲ طراحی درزها ۱۰
۳-۲-۱ کلیات ۱۰
۳-۲-۲ درز اجرایی طولی و عرضی ۱۰
۳-۲-۳ درز انقباض (جمع شدگی) ۱۲
۳-۲-۴ کنترل ترک ۱۲
۳-۳ اصول روش طرح مخلوط بتن غلتکی ۱۴
۳-۳-۱ کلیات ۱۴

۳-۳-۲ الزامات کلی ۱۵
۳-۳-۳ روش‌های طرح مخلوط بتن غلتکی ۱۶
۳-۳-۴ مثال‌های طرح مخلوط بتن غلتکی ۲۸
۴ فصل چهارم ماشین‌آلات و اصول اجرایی ۳۴
۴-۱ کلیات ۳۴
۴-۲ ماشین آلات و تجهیزات ۳۴
۴-۲-۱ تجهیزات تولید (مخلوط کن) ۳۴
۴-۲-۲ انتقال بتن غلتکی ۳۷
۴-۲-۳ پخش (ریختن) بتن غلتکی ۳۸
۴-۲-۴ تراکم بتن غلتکی ۳۹
۴-۳ اصول اجرایی ۴۰
۴-۳-۱ عملیات قبل از اجرای روسازی ۴۰
۴-۳-۲ مواد و مصالح و تولید، اجرا و تراکم ۴۱
۴-۳-۳ عمل‌آوری ۴۷
۵ فصل پنجم بازرسی، کنترل کیفیت و پذیرش ۵۱
۵-۱ کلیات ۵۱
۵-۲ کنترل کیفیت ۵۱
۵-۲-۴ کنترل مصالح ۵۲
۵-۲-۵ کنترل تجهیزات ۵۳
۵-۲-۶ کنترل روند تولید ۵۴
۵-۳ اجرای قطعه (نوار) آزمایشی ۵۵
۵-۴ اجرای روسازی ۵۶

۵-۴-۱ قبل از شروع بتن‌ریزی ۵۶
۵-۴-۲ در طی عملیات بتن‌ریزی ۵۷
۵-۴-۳ بعد از بتن‌ریزی ۵۸
۵-۴-۴- پذیرش ضخامت و مقاومت بتن روسازی ۵۸
۵-۵ اقدامات اصلاحی و ترمیمی ۶۰
۵-۶ بازگشایی ۶۱
۵-۷ تضمین و بیمه کردن کیفیت کار ۶۲
۵-۸ جریمه ۶۲

فهرست شکل‌ها

شکل ۳-۱ برش لبه‌های روسازی که به عنوان درز سرد، برای اجرای قسمت دوم باید برش داده و جدا شوند ۱۲

شکل ۳-۲ کرگیری و آب بندی در اطراف یک منهول گرد..... ۱۳

شکل ۳-۳ پارامترهای ملات بهینه در RCC ۱۷

شکل۳-۴ محدوده دانه‌بندی پیشنهادی و منحنی توان ۰/۴۵..... ۱۹

شکل۳-۵ نمونه‌ای از منحنی رطوبت- چگالی..... ۲۰

شکل۳-۶ ساخت نمونه‌های آزمایشی RCCP با استفاده از چکش ضربه‌ای..... ۲۲

شکل۳-۷ نمونه‌ای از رابطه مقاومت با درصد مواد سیمانی، حاصل از آزمایش..... ۲۲

شکل ۴-۱ (سمت راست) یک نمونه مخلوط‌کن دو محوره و پیوسته، مخصوص تولید بتن غلتکی، و (سمت چپ) یک نمونه مخلوط‌کن استوانه‌ای کج شونده (غیر پیوسته)..... ۳۵

شکل ۴-۲ نمایی از فینیشرهای مخصوص رویه بتن غلتکی..... ۳۸

شکل ۴-۳ استفاده از دیوار جدا کننده در نگهداری سنگدانه‌ها..... ۴۳

شکل ۴-۴ استفاده از چادر برزنتی برای محافظت سنگدانه‌ها در برابر باران، برف و برگ درخت‌ها..... ۴۴

شکل ۴-۵ استفاده از قیف در انتهای تسمه نقاله..... ۴۵

شکل ۴-۶ (سمت چپ) استفاده از غلتک چرخ لاستیکی در تراکم RCCP (غلتک چرخ لاستیکی برای بهبود کیفیت بافت سطحی بتن غلتکی استفاده میشود)، (سمت راست) یک نمونه غلتک فلزی با دو درام..... ۴۶

فهرست جداول

جدول ۴-۱ حداقل زمان عمل‌آوری بتن (برحسب روز) ۴۹

جدول ۵-۱ کنترل مصالح مصرفی..... ۵۳

جدول ۵-۲ کنترل تجهیزات ۵۴

جدول ۵-۳ کنترل مخلوط بتن ۵۵

جدول ۵-۴ پذیرش میانگین مقاومت و میانگین کاهش ضخامت (بصورت توأم) برای هر مغزه..... ۵۷

جدول ۵-۵ پذیرش میانگین مقاومت و میانگین کاهش ضخامت (بصورت توأم) برای همه مغزه‌ها..... ۵۷

فصـــــــل اول

کلیات

۱-۱ هدف

هدف از این دستورالعمل، ارائه حداقل ضوابط و مقرراتی برای روسازی‌های بتن غلتکی است که با رعایت آن‌ها میزان مناسبی از ایمنی، آسایش تردد و قابلیت بهره‌برداری در معابر داخل محدوده‌های شهری، راه های فرعی و محوطه سازی تامین گردد.

۱-۲ دامنه کاربرد

ضوابط و مقررات این دستورالعمل باید در طرح، محاسبه، اجرا، کنترل مشخصات مواد تشکیل‌دهنده و کیفیت اجرای روسازی‌های بتن غلتکی که در معابر و خیابان‌های داخل محدوده شهرک‌های مسکونی و صنعتی و راه‌های فرعی با سرعت تردد حداکثر ۵۰ km/h به کار می‌روند، رعایت شود.

۱-۳ تعاریف و اصطلاحات

۱-۳-۱ بتن غلتکی[1]: بتن غلتکی یکی از انواع بتن‌های بدون اسلامپ می‌باشد که برای کاربردهایی همچون سدسازی و یا راه‌سازی مورد استفاده قرار می‌گیرد. میزان روانی بسیار کم بتن غلتکی، اجازه می‌دهد تا عملیات تراکم، بوسیله غلتک‌های سنگین فلزی و چرخ لاستیکی انجام شود. استفاده از غلتک برای تراکم،

[1] Roller Compacted Concrete (RCC)

سبب افزایش سرعت اجرا می‌شود، در واقع، از مزیتی که غلتک در تراکم عملیات خاکی دارد، در این روش نیز بهره گرفته شده‌است، که باعث افزایش سرعت اجرا، در مقایسه با روش جایدهی بتن‌های معمولی که با ویبراتور متراکم می‌شوند، می‌شود.

۱-۳-۲ رویه‌های بتن غلتکی[1]: این نوع رویه‌ها به روش‌های مختلف و بر اساس طراحی مخلوط‌های بتن‌های خشک و بدون اسلامپ ساخته می‌شوند. این نوع رویه‌ها را معمولاً با تجهیزات پخش آسفالت (با تغییراتی در شمشه، مخزن و ...) جایدهی، و با غلتک متراکم می‌کنند.

۱-۳-۳ دستگاه پخش بتن روسازی یا فینیشر[2] : تجهیزات ویژه برای پخش و جایدهی بتن غلتکی بر روی بستر آماده شده.

۱-۳-۴ داول[3] : قطعات فولادی است که معمولاً به شکل میل‌گرد ساده یا پوشش داده شده برای اتصال دو قطعه بتنی مجاور امتداد داده می‌شود. داول معمولاً برای اتصال رویه‌های بتنی یا دال‌های بتنی به منظور انتقال بارهای برشی استفاده می‌شود.

۱-۳-۵ وی بی اصلاح شده[4]: وسیلهٔ آزمایشگاهی که بر اساس اصلاح دستگاه وی بی معمولی برای اندازه‌گیری کارایی بتن‌های با اسلامپ بسیار پایین یا بتن‌های بدون اسلامپ شامل یک میز لرزان، یک مخزن استوانه‌ای، سربار و سایر ملحقات که امکان اندازه‌گیری زمان (زمان وی بی) مورد نیاز برای تراکم بتن در قالب و نمونه‌سازی (مطابق استاندارد ASTM C1170&C1176)، را داشته باشد.

۱-۳-۶ سیستم مخلوط‌کن پیوسته[5] : نوعی مخلوط‌کن بتن که دارای یک استوانه ثابت برای مخلوط کردن اجزای بتن بدون اسلامپ و غلتکی استفاده می‌شود. این نوع مخلوط‌کن دارای محور استوانه افقی و یک یا چند شفت افقی دوار است که توسط تیغه‌های چسبیده به آن عمل اختلاط را به‌طور پیوسته انجام می‌دهد.

[1] Roller Compacted Concrete Pavement (RCCP)
[2] Finisher/Paver
[3] dowel
[4] Modified Vebe
[5] Continuous-mixing Pugmill

۱-۳-۷ بیرون‌زدگی مایعات یا خمیر یا گل[1] : پدیدهٔ خروج آب یا مواد جامد به همراه آب به صورت رس یا سیلت از میان درزهای افقی و ترک‌ها در طول لبه‌های روسازی که به واسطهٔ حرکت رو به پایین دال، ناشی از بارهای عبوری بر روی روسازی بعد از تجمع آب آزاد بر روی آن و یا ناشی از لایه‌های اساس و زیر اساس به‌وجود می‌آید.

۱-۳-۸ مواد عمل‌آوری[2] : نوعی مایع که بر روی سطح بتن تازه اعمال می‌شود تا از کاهش آب آن جلوگیری نماید. در صورتی که این مایع به همراه رنگدانه باشد، می‌تواند تابش آفتاب را منعکس نماید.

۱-۳-۹ قطعه (نوار) آزمایشی[3] : طول مشخصی از مسیر، که به صورت آزمایشی توسط بتن غلتکی با مشخصاتی (مقاومت، ضخامت، عرض و ...) مطابق نقشه‌ها و مشخصات قرارداد اجرا می‌شود. این قطعه جهت اطمینان از کیفیت طرح مخلوط بتن غلتکی، روش‌های اجرایی و کنترل روند تراکم به مورد اجرا گذاشته می‌شود.

[1] Pumping
[2] Curing Compound
[3] Test Strip

فصـــــــل دوم

مشخصات مصالح و خواص بتن غلتکی

۲-۱ کلیات

بتن غلتکی نیز مشابه بتن‌های معمولی، از: سیمان، مواد جایگزین سیمان، سنگدانه، آب و مواد افزودنی شیمیایی تشکیل شده است. اگرچه از نظر نوع، شباهت‌هایی بین مواد اصلی روسازی بتن غلتکی و بتن معمولی وجود دارد، ولی برخی از مشخصات مواد تشکیل دهنده، ممکن است متفاوت باشند. همچنین اهمیت تراکم در روسازی بتن غلتکی با وجود رطوبت کم، نیاز به افزایش حجم ریزدانه‌ها را بدنبال دارد، در نتیجه انتخاب سنگدانه ریز (ماسه) مناسب و وجود فیلر کافی از اهمیت بسیار زیادی برخوردار است.

از آنجا که سنگدانه‌ها حجم عمده‌ای از این نوع بتن را تشکیل می‌دهند، کیفیت و نوع آنها نقش عمده‌ای در دوام بتن خواهد داشت. از طرفی نوع و مقدار سیمان و همچنین نسبت آب به مواد سیمانی نیز نقش اساسی در مقاومت و دوام رویه‌های بتن غلتکی دارند.

۲-۲ سنگدانه‌ها

۲-۲-۱ سنگدانه‌ها حجم عمده‌ای از مخلوط بتن غلتکی را تشکیل می‌دهند. به طور مثال، حدود ۶۰ تا ۷۰ درصد از حجم بتن‌های معمولی را سنگدانه‌ها تشکیل می‌دهد، در حالی‌که در روسازی بتن غلتکی این مقدار به ۷۵ تا ۸۵ درصد حجم بتن افزایش پیدا می‌کند. لذا خواص و مشخصات سنگدانه‌ها تاثیر بیشتری در دوام و خواص مکانیکی بتن غلتکی دارد.

۲-۲-۲ به‌طور کلی مشخصات سنگدانه‌های مصرفی به جز مواردی که در این دستورالعمل مشخصات خاصی توصیه یا الزام شده است باید مطابق با الزامات استاندارد ملی ایران به شماره ۳۰۲ باشد. در خصوص سنگدانه‌های مورد مصرف در روسازی بتن غلتکی موارد ذیل حائز اهمیت است:

۲-۲-۲-۱ توصیه می‌شود حداکثر اندازه سنگدانه‌ها از ۱۹ میلی‌متر تجاوز ننماید.

۲-۲-۲-۲ در ریزدانه‌ها، ناخالصی‌های آلی و موادی که امکان دارد بر کیفیت RCCP اثر منفی داشته باشد یا عکس‌العمل مخرب نشان دهد، باید در حد مجاز مندرج در استاندارد ملی ایران به شماره ۳۰۲ باشد.

۲-۲-۲-۳ با توجه به اینکه در طرح مخلوط‌های بتن مورد مصرف در روسازی‌های بتن غلتکی نیاز به فیلر (مواد پرکننده) بیشتری می‌باشد، لذا توصیه می‌شود درصد عبوری از الک ۷۵ میکرون برای به ۹ درصد کل سنگدانه ها محدود شده و یا با اضافه‌نمودن پودر سنگ به صورت مجزا، این نیاز برآورده گردد. بدیهی است این مواد پرکننده باید تا حد امکان عاری از رس و شیل بوده و خواص سایشی بتن غلتکی به طور جدی تحت تاثیر قرار نگیرد.

۲-۲-۲-۴ با توجه به اینکه در طراحی روسازی‌ها مقاومت خمشی حائز اهمیت است، لذا استفاده از سنگدانه‌های درشت شکسته (شن شکسته) توصیه می‌شود.

۲-۲-۲-۵ در سنگدانه‌های درشت باید حداکثر مجاز دانه‌های پولکی به ۲۰ درصد و دانه‌های سوزنی به ۳۰ درصد محدود شود.

۲-۲-۲-۶ میزان کاهش وزن در آزمایش لس‌آنجلس نباید بیشتر از ۳۵ درصد باشد.

۲-۲-۲-۷ دوام سنگدانه‌ها در برابر چرخه‌های یخزدن وآب شدن، باید توسط آزمایش سلامت سنگدانه بررسی و تائید گردد.

۲-۲-۲-۸ کنترل واکنش قلیایی سنگدانه‌ها، باید مطابق با الزامات استاندارد ملی ایران به شماره ۳۰۲ بررسی شود.

۲-۳ سیمان و مواد مکمل سیمانی

۲-۳-۱ با توجه به اینکه محصولات هیدراته شدن نقش اساسی در مقاومت و دوام بتن دارند و این محصولات در فاز خمیر سیمان تشکیل می‌شوند، لذا سیمان و خمیر سیمان از مهمترین بخش‌های ساختار بتن است و نوع سیمان و کیفیت سیمان در مقاومت و دوام بتن تاثیر خواهند داشت.

۲-۳-۲ به‌طور کلی مشخصات سیمان و مواد سیمانی مکمل مصرفی باید مطابق با استانداردهای ذیل باشد:

۲-۳-۲-۱ سیمان پرتلند: استاندارد ملی ایران به شماره ۳۸۹

۲-۳-۲-۲ سیمان سرباره‌ای: استاندارد ملی ایران به شماره ۳۵۱۷

۲-۳-۲-۳ سیمان پرتلند پوزولانی: استاندارد ملی ایران به شماره ۳۴۳۲

۲-۳-۲-۴ سیمان پرتلند سرباره‌ای: استاندارد ملی ایران به شماره ۳۵۱۷

۲-۳-۲-۵ سیمان پرتلند مرکب الف۳۲/۵: استاندارد ملی ایران به شماره ۱-۱۱۵۷۱

۲-۳-۲-۶ سیمان پرتلند آهکی: استاندارد ملی ایران به شماره ۴۲۲۰

۲-۳-۲-۷ پوزولان طبیعی: استاندارد ملی ایران به شماره ۳۴۳۳

۲-۳-۲-۸ دوده سیلیس: استاندارد ملی ایران به شماره ۱۳۲۷۸

۲-۳-۲-۹ سیمان زئولیتی: استاندارد ملی ایران به شماره ۱۶۴۸۱

۲-۳-۳ با درنظر گرفتن شرایط محیطی اجرای روسازی بتن غلتکی، امکان استفاده از انواع سیمان‌ها وجود دارد. بهرحال در بیشتر موارد توصیه می‌شود از سیمان پرتلند نوع ۱، ۲ و ۵ استفاده شود.

۲-۳-۴ توصیه می‌شود، در صورت نیاز به استفاده از دوده‌سیلیس، مقدار آن به ۱۰ درصد وزن سیمان محدود شود. در صورت استفاده از سرباره کوره آهن‌گدازی باید مقدار آن به ۳۵ درصد وزن موادسیمانی محدود گردد.

۲-۳-۵ انتخاب نوع پوزولان مناسب برای روسازی بتن غلتکی بستگی به عملکرد مورد انتظار و در دسترس بودن آن در محل دارد.

۲-۳-۶ در صورتی‌که از خاکستر بادی به عنوان ماده جایگزین سیمان استفاده شود، باید خاکستر بادی مطابق استاندارد ASTM C618 در رده F یا C انتخاب شود و مقدار آن از ۲۵ درصد وزن سیمان تجاوز نکند.

۲-۳-۷ جهت تولید بتن غلتکی لازم است، طرح مخلوط با هدف بهینه‌کردن مصرف سیمان بهینه و در راستای افزایش مشخصات مکانیکی و دوام (به‌ویژه دوام در برابر چرخه‌های یخ زدن و آب‌شدن متوالی) و همچنین بهبود خواص فیزیکی از جمله مشخصات سایشی مناسب در صورت عدم اجرای لایه آسفالتی و کاهش جمع‌شدگی و ترک خوردگی انقباضی، با انجام آزمایش به‌دست آید. لیکن به طور معمول میزان مصرف سیمان در این نوع بتن بین۲۵۰ تا ۳۷۵ کیلوگرم بر متر مکعب است. مقدار بیشتر سیمان منجر به افزایش جمع‌شدگی و ترک‌خوردگی و افزایش هزینه‌ها خواهد شد بدون اینکه خواص مکانیکی و دوام را بهبود دهد.

۲-۳-۸ در صورت استفاده از پوزولان‌های طبیعی، خاکستر بادی، دوده سیلیس، زئولیت و مواد شبه سیمانی (روباره‌های آهن‌گدازی) بعنوان افزودنی‌های معدنی، باید آزمایش‌های لازم برای تأیید و پذیرش آنها انجام گیرد. همچنین مخلوط ساخته شده باید از لحاظ خواص بتن تازه و سخت شده، مورد آزمایش قرار گیرد.

۲-۳-۹ در صورت تماس رویه بتن غلتکی با خاک و یا آب حاوی سولفات، رعایت الزامات آیین‌نامه بتن ایران در این خصوص الزامی است.

۲-۴ آب

۲-۴-۱ کیفیت آب مورد استفاده در ساخت و عمل آوری، مشابه بتن معمولی است و باید الزامات ارائه شده در مبحث پنجم مقررات ملی ساختمان یا آئین نامه بتن ایران را برآورده نماید. شایان ذکر است، با توجه

به اینکه بتن غلتکی معمولاً دارای میلگرد یا داول نمی‌باشد، الزامات مربوط به آلودگی ناشی از کلراید مشابه بتن‌های غیر مسلح می‌باشد.

۲-۵ افزودنی‌های شیمیایی

۲-۵-۱ استفاده از مواد کاهنده آب، کندگیرکننده، فوق روان کننده‌ها، زودگیرکننده و حباب‌ساز در روسازی بتن غلتکی به شرطی مجاز می‌باشد که مطابق با الزامات استاندارد ملی ایران به شماره ۲۹۳۰ بوده و عملکرد آن در قطعه آزمایشی مورد تائید قرارگرفته شده باشد.

۲-۵-۲ کاربرد مؤثر مواد حباب‌ساز در بهبود دوام روسازی‌های بتن غلتکی مورد تردید است.

۲-۵-۳ در بتن غلتکی، مواد کاهنده آب، فوق کاهنده آب و کندگیرکننده تاکنون استفاده محدودی داشته‌اند، اما بررسی‌های آزمایشگاهی نشان می‌دهد که توانایی افزودنی‌های کاهنده و فوق کاهنده آب در کاهش مقدار آب بستگی به مقدار و نوع سنگدانه‌های ریزتر از ۷۵ میکرون دارد.

فصـــل ســـوم

طراحی روسازی و اصول روش طرح مخلوط

۳-۱ طراحی روسازی بتن غلتکی

۳-۱-۱ با توجه به تشابه خواص مهندسی روسازی‌های بتن غلتکی با روسازی‌های بتنی معمولی، اصول مشابهی بر طراحی این دو نوع رویه، به جز جمع شدگی کمتر روسازی بتن غلتکی نسبت به روسازی بتن معمولی و عدم استفاده از داول در روسازی بتن غلتکی، حاکم است.

۳-۱-۲ برای محاسبه ضخامت در این نوع بتن‌ها باید مشابه با روسازی بتن معمولی، تنش خمشی روسازی و آسیب‌های ناشی از عبور ترافیک در محدوده مجاز قرار گیرد.

۳-۱-۳ در طراحی روسازی بتنی ضخامت روسازی تابعی از بارگذاری، مشخصات مقاومتی بتن (مدول گسیختگی)، و مشخصات مکانیکی خاک می‌باشد. حداقل ضخامت روسازی بتن غلتکی پس از تراکم، باید ۱۰۰ میلیمتر بوده و حداکثر ضخامت در هر لایه به ۲۰۰ میلیمتر محدود شود.

۳-۱-۴ فرآیند طراحی ضخامت رویه بتن غلتکی با توجه به مقاومت خمشی، خستگی ناشی از تنش‌های خمشی و کنترل نسبت تنش خمشی بحرانی به مقاومت خمشی، برای دامنه کاربرد این دستورالعمل، باید مطابق با نشریه ۳۵۴ سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور باشد.

۳-۲ طراحی درزها

۳-۲-۱ کلیات

در روسازی‌های بتن غلتکی مشابه با روسازی‌های متداول بتنی، معمولاً انواع مختلفی از درزها به مورد اجرا گذاشته می‌شود،که عبارت‌اند از: درزهای اجرایی، درزهای انقباضی (برش خورده)، درزهای انقطاع و درزهای انبساط. در روسازی بتنی معمولی، انتقال بار در محل درزهای از پیش تعیین‌شده و عمدتاً از طریق داول‌ها (میله‌های اتصال) و یا برش‌گیرها صورت می‌گیرد، اما در روسازی‌های بتن غلتکی معمولاً امکان ایجاد داول یا برش‌گیر وجود ندارد. درصورتی‌که درزها در روسازی بتن غلتکی اجرا نشوند، ترک‌ها به صورت طبیعی ایجاد خواهند شد که این امر می‌تواند منجر به فواصل نامنظم و نسبتاً طولانی ترک‌ها و امکان بازشدگی بیشتر ترک در این قبیل روسازی‌ها نسبت به روسازی‌های بتن معمولی گردد. به همین دلیل در آئین نامه‌های طراحی، عموماً 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.

همان‌گونه که اشاره شد، در روسازی‌های بتن غلتکی معمولاً دو نوع درز اجرایی وجود دارد: درز اجرایی طولی و درز اجرایی عرضی؛ که هر کدام از این درزها می‌تواند بصورت درز تازه یا سرد، حسب اجرا تلقی گردد.

۳-۲-۲ درز اجرایی طولی و عرضی

۳-۲-۲-۱ درزهای اجرایی طولی

درزهای اجرایی طولی مابین خطوط روسازی مجاور در راستای روسازی ایجاد می‌شود. درز اجرایی تازه بین خطوط متوالی زمانی شکل می‌گیرد که فاصلهٔ زمانی بین جایدهی و تراکم خطوط به قدر کافی کوتاه باشد تا اجازه بدهد، خطوط درز با یکدیگر طوری متراکم شود که پیوستگی یکنواختی را ایجاد نماید. در

صورتی که از مواد دیرگیر کننده بتن استفاده نشود، بازهٔ زمانی معمولاً در حدود ۹۰ دقیقه پس از شروع اختلاط، بسته به نوع مخلوط و شرایط آب و هوایی می‌باشد.

۳-۲-۲-۲ درزهای اجرایی عرضی

درز اجرایی عرضی در انتهای خطوط عمود بر جهت روسازی اجرا می‌شود. این درزها به طور معمول در روسازی بتن غلتکی وجود ندارد چراکه عملیات ساخت پس از طی طول مسیر مشخص متوقف می‌شود. اغلب این درزها به شکل درز سرد و با انجام برش‌کاری صورت می‌گیرد.

۳-۲-۲-۳ درز اجرایی تازه

چنانچه کمتر از ۹۰ دقیقه از ساخت (اختلاط) بتن غلتکی ریخته شده مجاور (قبلی) گذشته باشد، درز طولی تازه وجود دارد. بدیهی است این زمان تابع شرایط محیطی، نوع سیمان و افزودنی‌های مصرفی می‌باشد. این درز باید به صورت عمودی (قائم) باشد. همچنین باید اطمینان حاصل شود که سطح تماس مرطوب بوده و در آن جداشدگی وجود ندارد. قبل از غلتک‌زدن، سطح درز عمودی باید سریعاً و قبل از آنکه فینشر یک سطح سختی را بوجود آورد، به صورت دستی پرداخت شود. در هنگام تراکم، باید محدوده‌ای بین ۳۰۰ تا ۳۵۰ میلیمتر از بتن غلتکی ریخته شده مجاور به صورت متراکم نشده حفظ شود. پس از آن، لبهٔ متراکم نشده برای تنظیم ارتفاع نوار غلتک برای انجام روسازی مسیر مجاور مورد استفاده قرار می‌گیرد. بعد از ریخته شدن مسیر مجاور، عملیات تراکم آن و قسمتی از درز مسیر قبل که متراکم نشده، توسط غلتک به‌صورت همزمان متراکم می‌شود. در صورت نیاز می‌توان برای دستیابی به چگالی مورد نیاز و یا همواری در نواحی مجاور به غلتک‌زنی ادامه داد.

۳-۲-۲-۴ درز اجرایی سرد

در صورتی که درز طولی در طی مدت حداکثر ۹۰ دقیقه پس از شروع اختلاط، بتن‌ریزی و متراکم نشود، درز سرد طولی ایجاد می‌گردد. در این موارد قبل از اجرای بتن مسیر مجاور، باید آماده سازی لبه درز سرد انجام شود. بدین منظور لبهٔ بتن ریخته شده قبلی برای رسیدن به بتن غلتکی سالم با اره به عرض حداقل ۳۰۰ میلیمتر برش داده شود تا یک لبه قائم شکل گیرد. اگر برش لبه درز، قبل از پایان روز کاری و در زمان قبل از گرفتن بتن انجام شود (شکل ۳-۱)، می‌توان با تیغه گریدر نسبت به این امر اقدام کرد، در

غیر اینصورت باید با دستگاه برش، نسبت به بریدن و حذف لبه متراکم نشده اقدام نمود. توجه شود، قبل از جایدهی بتن غلتکی در درز اجرایی طولی سرد، درز باید کاملاً تمیز شده و عاری از هرگونه مواد خارجی باشد. وجه داخلی درز سرد قبل از بتن ریزی باید مرطوب شود.

شکل ۳-۱ برش لبه‌های روسازی که به عنوان درز سرد، برای اجرای قسمت دوم باید برش داده و جدا شوند

۳-۲-۳ درز جمع شدگی (انقباض)

درزهای انقباض باید در کمترین زمان بعد از بتن‌ریزی بدون آسیب زدن به روسازی بر اساس برنامه از پیش تعیین شده توسط مهندس مشاور طراح و تایید مهندس ناظر اجرا شوند. در غیر این صورت، باید درزها در بازه‌هایی به فواصل حداکثر ۹ متر به مورد اجرا گذاشته شود.

۳-۲-۴ کنترل ترک

توصیه می‌شود به خصوص در روسازی‌های معابر شهری از درز انقباض برای کنترل ترک استفاده شود. اجرای درز انقباض باید حداکثر پس از ۱۲ تا ۱۶ ساعت پس از اضافه کردن آب به مواد سیمانی، انجام شود. البته این فاصله زمانی به شرایط آب و هوایی و مشخصات بتن، بستگی دارد. تمامی عملیات برش‌کاری باید

در صورت بروز ترک یا بیرون پریدگی سنگدانه‌ها (ناشی از عدم دستیابی به مقاومت کافی) متوقف شود. بدین منظور با دستگاه برش معمولاً درزی به عرض ۶ میلیمتر و عمق برشی بین یک چهارم تا یک سوم ضخامت اسمی روسازی اجرا می‌شود.

الگوی برش‌کاری باید مواردی نظیر دریچه آدم‌روها، آدم‌روهای فاضلابی و سر شیرفلکه‌ها را در نظر داشته باشد (شکل ۳-۲). قبل از اعمال آب‌بندی، درز باید توسط ماسه پاشی یا جت آب یا هوا تمیز شود. هندسهٔ درز و کاربرد مواد آب‌بند باید مطابق دستورالعمل‌های تولید کننده انجام شود.

شکل ۳-۲ مغزه‌گیری و آب بندی در اطراف یک دریچه آدم‌رو دایره‌ای

در صورت استفاده از لایهٔ آسفالتی، درزها در روسازی بتن غلتکی باید توسط درزبندهای مناسب پر گردد.

۳-۳ اصول روش طرح مخلوط بتن غلتکی

۳-۳-۱ کلیات

به طور کلی، تعیین نسبت اجزا مخلوط بتن غلتکی یکی از مهمترین مراحل اجرای روسازی‌های بتنی می‌باشد. در تعیین نسبت اجزا مخلوط بتن غلتکی، با توجه به محدودیت‌های موجود (مانند وجود آب کمتر، کم بودن میزان خمیر و ریزدانه بودن توزیع ذرات سنگدانه، مشکلات اجرایی استفاده از مواد حباب‌ساز و ...) و همچنین اهمیت دستیابی به تراکم مورد نظر با توجه به سفت بودن بتن، روش طرح مخلوط بتن از اهمیت زیادی برخوردار می‌باشد. علاوه بر موارد فوق، محدودیت‌هایی که عموماً در تامین سنگدانه‌هایی با دانه‌بندی مناسب در کشور وجود داشته و تنوع اقلیمی مختلف، لزوم نگرش مهندسی و متمرکز در بحث طرح مخلوط بتن را ایجاب می‌نماید. در این خصوص استفاده از تجارب گذشته و بهره‌بردن از امکانات آزمایشگاهی و تخصصی در بحث طرح مخلوط بتن از اهمیت زیادی برخوردار می‌باشد.

فرآیند تعیین نسبت‌های اختلاط اجزا بتن غلتکی نیز مانند بتن معمولی تابع پارامترهای مختلفی می‌باشد، و به همین دلیل اکثر روش‌ها، جنبه راهنمایی داشته و الزامی نمی‌باشند. از آن‌جایی‌که از روش‌های رایج برای تعیین نسبت‌های اختلاط بتن‌های معمولی، نمی‌توان بطور مستقیم برای بتن غلتکی، استفاده نمود، گزارش شماره ACI325.10R انجمن بتن آمریکا روش‌هایی را برای تعیین نسبت‌های اختلاط اجزا بتن غلتکی ارائه کرده است. این روش‌ها بر اساس نگرش‌های مختلف توسعه داده شده و با موفقیت نیز بکار گرفته شده‌اند. اساس این روش‌ها بر رویکرد تجربی استوار بوده و بدین لحاظ، نیاز به ساخت مخلوط‌های آزمایشی زیادی دارند، تا طرح اختلاط بهینه جهت برآورده نمودن الزامات مورد نیاز بدست آید. در سال‌های اخیر تلاش‌هایی برای ابداع روش‌های تئوری انجام شده است. در این روش‌ها تأثیر هر یک از پارامترها بر خواص بتن تازه و سخت شده به راحتی قابل درک بوده و عموماً با ساخت یک طرح اختلاط آزمایشی می‌توان به طرح نهایی دست یافت.

در کلیه روش‌ها، جهت دستیابی به مقاومت فشاری مشخصه (و یا الزامات دوام)، محاسبه نسبت آب به مواد سیمانی از اهمیت برخوردار است. همچنین اجزا مخلوط به گونه‌ای تعیین می‌شوند که کارآیی مخلوط جهت تراکم با غلتک ویبره‌ای، مناسب باشد. این کارآیی بر پایه انجام آزمایش روانی به روش تعیین زمان

لازم جهت تراکم نمونه تحت سربار(سربار ۲۲/۷ kg) و درحالت ارتعاشی (زمان وی بی اصلاح شده روش A ASTM C1170) تعیین می‌گردد.

۳-۳-۲ الزامات کلی

الزامات ارائه شده در این بخش تنها مربوط به بتن غلتکی مورد استفاده در محوطه‌سازی و روسازی کوچه‌ها و خیابان‌ها و راه‌های فرعی و محلی می‌باشد.

۳-۳-۲-۱ اگرچه الزام خاصی در خصوص کاربرد روش‌های ارائه شده در این دستورالعمل وجود ندارد، ولی روش طرح مخلوط بکار رفته، باید یک مخلوط بتن غلتکی با حداکثر تراکم و مناسب‌ترین کارایی را بدست دهد.

۳-۳-۲-۲ مشخصات بتن غلتکی باید فارغ از روش طرح مخلوط، قبل از اجرا، در آزمایشگاه و در قطعه (نوار) آزمایشی مورد بررسی قرار گیرد. بدین منظور باید خواص بتن در حالت تازه (کارایی و چگالی طبق روش وی بی اصلاح شده ASTM C1170 و یا چکش ضربه‌ای ASTM C1435 و یا با استفاده از دستگاه Gyrotary) و در حالت سخت شده (مقاومت فشاری، خمشی یا کششی و دوام)، جهت اطمینان از انطباق مشخصات با الزامات فنی مورد نیاز انجام شوند. نمونه‌های استوانه ای بایستی بر اساس استانداردها ASTM C1176 یا ASTM C1435 تهیه شوند.

۳-۳-۲-۳ علاوه بر این، توصیه می‌شود کارایی بتن در فواصل زمانی ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۴۵ دقیقه بعد از اضافه نمودن آب، به روش وی بی اصلاح‌شده و با در نظر گرفتن شرایط اقلیمی در هنگام اجرا، نیز تعیین شود.

۳-۳-۲-۴ مقاومت فشاری یا مقاومت خمشی، باید بر اساس مقاومت بکار رفته در طراحی و با در نظر گرفتن ملاحظات دوام باشد که بر اساس الزامات و مشخصات فنی تعیین می‌شود، ولی در هیچ حالت، نباید مقاومت فشاری مشخصه ۲۸ روزه کمتر از ۲۵ مگاپاسکال (۲۵۰ کیلوگرم بر سانتی‌مترمربع) در نظر گرفته شود.

۳-۳-۲-۵ برای کسب خواص مناسب دوام به خصوص در شرایطی که بتن در معرض عوامل محیطی مهاجم و شدید (یخزدن و آب‌شدن) است، توصیه می‌شود نسبت آب به مواد سیمانی کمتر از ۰/۴ باشد.

۳-۳-۲-۶ توصیه می‌شود، روانی بتن (مطابق با روش A استاندارد ASTM C1170 ، وی بی اصلاح‌شده با وزنه ۲۲/۷ کیلوگرم)، در پای کار بین ۲۰ تا ۴۰ ثانیه باشد.

۳-۳-۲-۷ عیار سیمان به‌طور معمول به ۲۵۰ تا ۳۷۵ کیلوگرم بر مترمکعب محدود می‌شود.

۳-۳-۳ روش‌های طرح مخلوط بتن غلتکی

روش‌های مرسوم در طرح مخلوط را می‌توان به سه گروه مجزا طبقه‌بندی کرد: تجربی، نیمه تجربی و تئوری، که در ادامه به بررسی هر یک از آن‌ها پرداخته شده‌است.

۳-۳-۳-۱ روش‌های تجربی

اولین روش‌های طرح مخلوط بتن غلتکی، بر اساس اصول تجربی استوار بودند. مشخصه اصلی این دیدگاه، زیاد بودن تعداد مخلوط‌های آزمایشی برای دستیابی به بتن غلتکی با مشخصات مورد نظر، می‌باشد. در روش‌های تجربی برای دستیابی به طرح مخلوط مناسب لازم است تعداد قابل توجه مخلوط آزمایشی، معمولا تا بیش از ۲۵ طرح ساخته شود. علاوه بر این، مخلوط باید در کارگاه نیز ساخته شود تا کارایی آن تنظیم شود. با این وجود، این روش‌ها عموماً ساده و به نسبت مؤثر می‌باشند. اما ضعف آن‌ها، انعطاف‌پذیری کم و صرف انرژی و وقت زیاد برای دستیابی به طرح مورد نظر می‌باشد. در گزارش ۳۲۵.۱۰R انجمن بتن آمریکا، دو روش طرح مخلوط ارائه شده که هر دو روش بر اساس اصول تجربی استوار می‌باشد.

- طرح‌های مبتنی بر محدودیت‌های کارایی
- طرح‌های مبتنی بر روش‌های ژئوتکنیکی

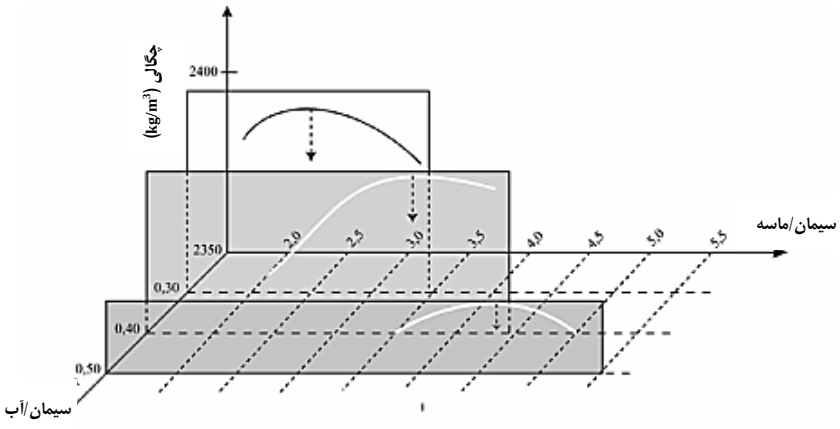
۳-۳-۳-۱-۱ طرح مخلوط مبتنی بر محدودیت‌های کارایی

این روش برای ساخت RCC در محدوده کارایی مورد نظر، مناسب می‌باشد. اگرچه از این روش بیشتر برای بتن‌های غلتکی مورد استفاده در سدسازی استفاده شده ولی امکان کاربرد آن برای RCCP نیز بلامانع می‌باشد. روش طرح مخلوط در سه گام خلاصه می‌شود.

گام اول، شامل ساخت مخلوط‌های اولیه با نسبت‌های آب به سیمان و نسبت‌های ماسه به سیمان متفاوت برای تعیین حداقل مقدار حجم خمیر می‌باشد. در این مرحله چگالی هر مخلوط تعیین می‌شود. همان‌گونه که در شکل ۳-۳ ملاحظه می‌شود، ارتباط نسبت آب به سیمان انتخاب شده به نسبت ماسه به سیمان، به حداکثر چگالی منتج می‌شود.

گام دوم، شامل انتخاب نسبت آب به مواد سیمانی برای دستیابی به خواص مکانیکی مورد نظر است.

در گام سوم، نسبت اختلاط سنگدانه‌های ریز به درشت، جهت دستیابی به کارایی مورد نظر انتخاب می‌شود.



شکل ۳-۳ پارامترهای ملات بهینه در RCC

۳-۳-۳-۱-۲ *طرح اختلاط مبتنی بر اصول ژئوتکنیک (تراکم خاک)*

این روش که در گزارش ACI 325.10R انجمن بتن آمریکا آورده شده است، بر اساس روش تراکم خاک بوده و در آن رابطه چگالی خشک RCCP و مقدار آب، معیار طراحی است. این روش به خصوص

زمانی که از سنگدانه‌های ریزتر (حداکثر اندازه کوچکتر) به همراه مقدار مواد سیمانی نسبتاً زیاد استفاده می‌شود، مناسب است.

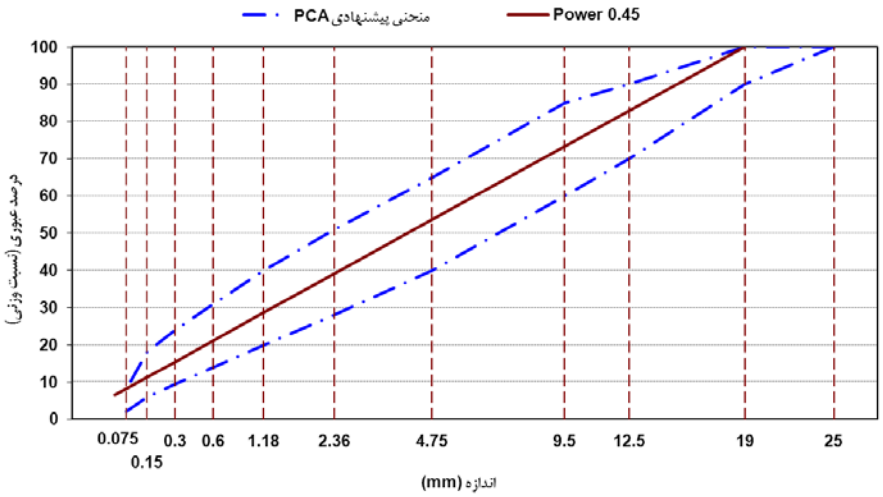
روش تعیین نسبت‌های اختلاط بر اساس فلسفه تراکم خاک، شامل گام‌های زیر است:

۱- انتخاب سنگدانه‌هایی با دانه‌بندی مناسب؛
۲- انتخاب درصد مصالح سیمانی در حد متوسط؛
۳- رسم رابطه بین رطوبت و چگالی؛
۴- تهیه آزمونه‌های مقاومت فشاری؛
۵- آزمایش آزمونه‌ها و انتخاب میزان مصالح سیمانی مورد نیاز؛
۶- محاسبه نسبت‌های مخلوط بتن غلتکی روسازی.

گام ۱، انتخاب سنگدانه‌هایی با دانه‌بندی مناسب

اولین گام بهینه کردن سنگدانه‌ها از نظر دانه‌بندی، مقاومت در برابر جداشدگی و تراکم‌پذیری است. دانه‌بندی ترکیب سنگدانه‌ها باید با دیدگاه دستیابی به حداکثر چگالی انتخاب شوند. شکل۳-۴ منحنی‌های دانه‌بندی پیشنهادی برای RCC را نشان می‌دهد، در این شکل یک محدوده مناسب به همراه منحنی به توان ۰/۴۵[1] برای سنگدانه‌هایی با حداکثر اندازه ۱۹ میلی‌متر ارائه شده‌است. منحنی توان ۰/۴۵، روشی است که برای دستیابی به حداکثر چگالی و برای هر اندازه سنگدانه به‌کار می‌رود. محدوده پیشنهادی نیز بر اساس توصیه «Production of Roller-Compacted Concrete (PCA) 2006» ارایه شده، ولی در آن حداکثر عبوری از الک ۴/۷۵ میلی‌متر، افزایش یافته است.

1- The 0.45 Power curve



شکل۳-۴ محدوده دانه‌بندی پیشنهادی PCA و منحنی توان ۰/۴۵

به‌طور معمول، بتنی که در آن از سنگدانه‌هایی با دانه‌بندی مطابق با محدوده پیشنهادی، استفاده شده است، دارای بیشترین تراکم می‌باشد. قابل توجه است که محدوده پیشنهادی، و منحنی توان ۰/۴۵ بسیار مشابه به هم می‌باشند، به عبارت دیگر منحنی توان ۰/۴۵، تقریباً وسط محدوده پیشنهادی (به جز برای دانه‌های کوچکتر از الک ۷۵ میکرومتر) می‌باشد.

گام دوم، انتخاب میزان سیمان متوسط

انتخاب مصالح سیمانی، باید بر اساس مشخصات پروژه، ملاحظات اقتصادی، در دسترس بودن و مسایل مربوط به تولید، انتخاب شود. با در نظر گرفتن مسایل اجرایی، نقطه شروع مناسب می‌تواند، بین ۱۱ تا ۱۴ درصد وزن سیمان، به غیر از مواد جایگزین باشد. در مواردی که احتمال خرابی ناشی از چرخه‌های یخزدن و آب شدن یا پوسته‌شدن سطحی ناشی از یخزدن توام با نمک وجود دارد، مقدار سیمان می‌تواند بین ۱۴ تا ۱۷ درصد، انتخاب شود.

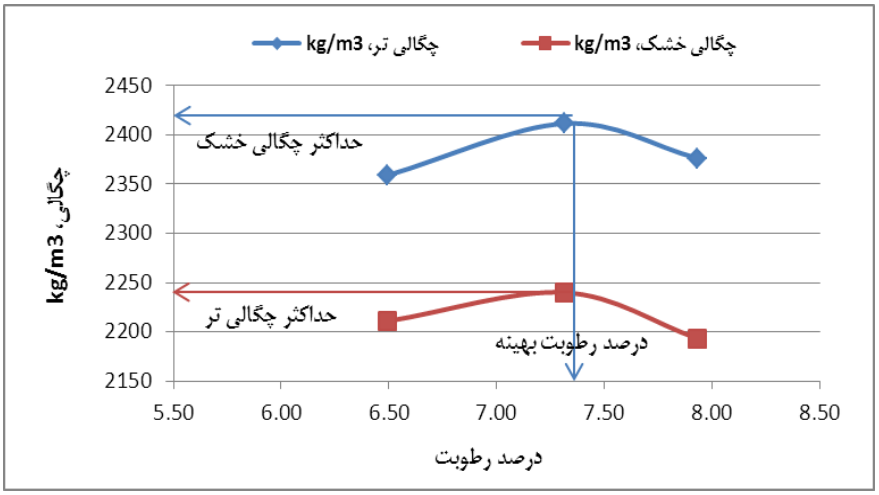
میزان مواد سیمانی با استفاده از رابطه زیر و بر اساس وزن خشک کل مصالح، محاسبه می‌شود:

$$\text{مقدار مواد سیمانی}(\%) = \frac{\text{وزن مواد سیمانی}}{\text{وزن سنگدانه‌های خشک آونی} + \text{وزن مواد سیمانی}} \times 100$$

گام سوم، تعیین رابطه چگالی و رطوبت

با یک درصد مشخص از مواد سیمانی، مقدار رطوبت‌های مختلف انتخاب و سپس چگالی متراکم بتن، تعیین می‌شود، به‌گونه‌ای که منحنی رابطه بین رطوبت و چگالی (مانند شکل۳-۵) قابل رسم شود. رطوبت بهینه، متناظر با حداکثر چگالی خشک (یا مرطوب) می‌باشد، که برای اغلب سنگدانه‌ها، رطوبت بهینه در محدوده‌ای بین ۵ تا ۹ درصد بدست می‌آید. بدین لحاظ توصیه می‌شود، چگالی بتن با تغییر رطوبت در محدوده‌ای بین ۴/۵ تا ۹/۵ درصد تعیین شود. درصد رطوبت با استفاده از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$\text{مقدار رطوبت}(\%) = \frac{\text{وزن آب}}{\text{وزن سنگدانه های خشک آونی} + \text{وزن مواد سیمانی}} \times 100$$



شکل۳-۵ نمونه‌ای از منحنی رطوبت- چگالی

برای هر یک از مقادیر مواد سیمانی، حداکثر چگالی خشک و درصد رطوبت بهینه، مطابق با روش استاندارد تراکم آزمایشگاهی خاک با تلاش اصلاح شده (Modified Proctor ASTM D1557 یا ISIRI 1158) قابل تعیین می‌باشد. در مواردی‌که از سنگدانه‌های ضعیف استفاده می‌شود، برای جلوگیری از

خرد شدن مصالح در حین آزمایش، باید از روش تراکم خاک (Proctor Test ASTM D698) استفاده کرد. روش دیگری که برای تعیین رطوبت بهینه می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد، روش تعیین روانی و چگالی RCCP با استفاده از میز لرزان وی بی مطابق با استاندارد ASTM C1170 می‌باشد. توصیه می‌شود، برای تعیین نقطه بهینه، حداقل چهار آزمایش با رطوبت‌های مختلف و برای هر یک از سه درصد مختلف مواد سیمانی انجام شود. بطور معمول سه نسبت ۱۱، ۱۳ و ۱۵ درصد مواد سیمانی مورد آزمایش قرار می‌گیرند.

گام چهارم، ساخت آزمونه‌های مقاومت فشاری

آزمونه‌هایی که برای تعیین مقاومت فشاری با درصدهای مختلف مواد سیمانی ساخته می‌شوند، با استفاده از چکش ضربه‌ای مطابق استاندارد ASTM C1435 (شکل۳-۶) و یا با استفاده از میز وی بی مطابق استاندارد ASTM C1176، متراکم می‌شوند. تمام آزمونه‌های ساخته شده باید با رطوبت بهینه بدست آمده برای هر یک از درصدهای مواد سیمانی، ساخته شوند.

گام پنجم، انجام آزمایش و تعیین مقدار مواد سیمانی

مقاومت فشاری آزمونه‌هایی که با مقادیر مختلف مواد سیمانی ساخته شده‌اند، بدست آمده و رابطه بین بین مواد سیمانی و مقاومت فشاری رسم می‌شود (مشابه شکل۳-۷). بر اساس رابطه بدست آمده مقدار مواد سیمانی متناظر با مقاومت فشاری مورد نیاز (هدف)، انتخاب می‌شود. مقاومت فشاری میانگین هدف (f'_{cr})، برابر است با مقاومت فشاری مشخصه (f'_c) بتن بعلاوه حاشیه ایمنی که بر اساس مدارک و مستندات تعیین شده، بدست می‌آید.

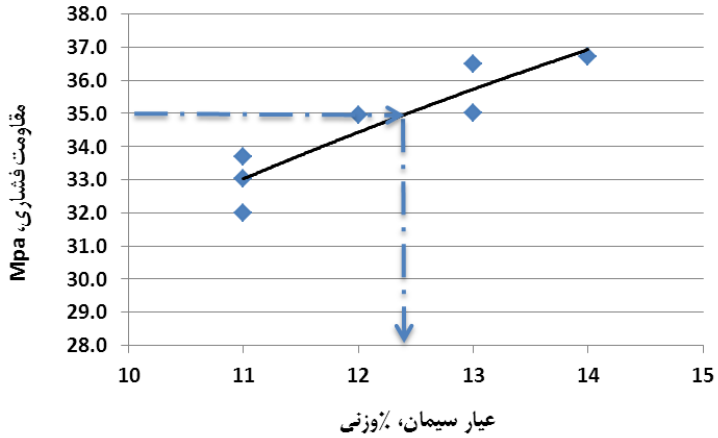
گام ششم، محاسبه مقادیر اجزا مخلوط

اگر مقدار مواد سیمانی مورد نیاز، با مقادیر مورد آزمایش، تفاوت زیادی داشته باشد، ممکن است لازم باشد تا رابطه چگالی- رطوبت دیگری را برای تعیین درصد رطوبت بهینه در مقدار سیمان مورد نیاز، مورد

آزمایش قرار داد. چنانچه مقدار سیمان مورد نیاز، با درصد سیمان‌های مورد آزمایش تفاوت زیادی نداشته باشد، می‌توان با برون‌یابی، مقدار سیمان مورد نیاز را تخمین زد.

پس از تعیین مقدار سیمان مورد نیاز و رطوبت بهینه، نسبت‌های اختلاط نهایی مصالح، قابل محاسبه می‌باشد. برای تعیین وزن و حجم سنگدانه‌ها، باید شرایط اشباع با سطح خشک مصالح مد نظر قرار گیرد.

شکل۳-۶ ساخت نمونه‌های آزمایشی RCCP با استفاده از چکش ضربه‌ای



شکل۳-۷ نمونه‌ای از رابطه مقاومت با درصد مواد سیمانی، حاصل از آزمایش

در عمل، روش طرح مخلوطی که نزدیک به روش «محدودیت کارایی» می‌باشد یا به عبارت دیگر، از اصول حداکثر تراکم به همراه میزان کارایی استفاده می‌کند، نسبت به دو روش ارائه شده در فوق، بیشتر

مورد استفاده قرار می‌گیرد. زیرا که در روش مبتنی بر اصول ژئوتکنیک اگرچه مقاومت‌های مناسبی بدست می‌آید ولی بدلیل این‌که در فرآیند طرح مخلوط روانی بتن مورد توجه نمی‌باشد، در اغلب موارد، طرح‌های بدست آمده بهینه و اجرایی نیستند. همچنین منحنی‌های دانه‌بندی از پیش تعریف‌شده (مانند آن چه که در شکل ۳-۴ ارائه شده است)، تجربی و بر اساس میانگین مقادیر بدست آمده از تعداد زیادی آزمایش می‌باشد، بنابراین، نمی‌توانند در تمام موارد و به خصوص در محدوده‌های بالایی و پایینی منحنی، دارای دقت لازم باشند.

هر یک از دو روش که استفاده شوند، نیاز به ساخت تعداد زیادی مخلوط آزمایشی برای دستیابی به مخلوط بهینه است. در صورت استفاده از هر یک از روش‌ها نیاز به مطالعات آزمایشگاهی مستدل روی RCCP وجود دارد. همچنین در صورتی‌که تعدد مواد اولیه وجود داشته باشد، مدت زمان دستیابی به طرح مخلوط قابل توجه خواهد بود.

۳-۳-۳-۲ روش نیمه تجربی

بنابه تعریف، روش نیمه تجربی مبتنی بر داده‌های تجربی و فرمول‌های تئوری است. روش حجم خمیر بهینه، نمونه‌ای از روش مبتنی بر روش نیمه تجربه‌ای است. در این روش، طرح RCCP بر اساس نسبت حجم خمیر به حجم فضای خالی، محاسبه می‌شود.

در این نگرش لازم است تا تعداد محدودی مخلوط آزمایشگاهی ساخته شود. در این روش فرض می‌شود که مخلوط RCCP باید به اندازه‌ای خمیر داشته باشد که فضاهای بین دانه‌ها را که پس از تراکم سنگدانه‌ها، در حداکثر تراکم، همچنان خالی است، پُر کند. این روش طرح مخلوط بر اساس نگرش حجمی است. اگر حجم خمیر کمتر از حجم مورد نیاز باشد، بعد از تراکم همچنان فضای خالی باقی می‌ماند، که باعث کاهش خواص مکانیکی و همچنین افزایش نفوذپذیری می‌شود. از جهت دیگر، افزایش حجم خمیر، باعث افزایش روانی، جمع شدگی و همچنین افزایش هزینه‌ها (در صورت افزایش مقدار سیمان) می‌شود، بدون آنکه تأثیر قابل ملاحظه‌ای روی افزایش خواص مکانیکی یا کاهش نفوذپذیری داشته باشد. در حال حاضر روش حجم خمیر بهینه فقط برای مخلوط‌هایی کاربرد دارد که در آن از حباب‌ساز استفاده نشده است.

تلاش برای طراحی RCCP دارای حباب‌ساز، با این روش مشکل است زیرا حباب‌های هوای عمدی تأثیر قابل ملاحظه‌ای بر کارایی و خواص مکانیکی دارد. این روش را می‌توان در سه گام کلی خلاصه نمود:

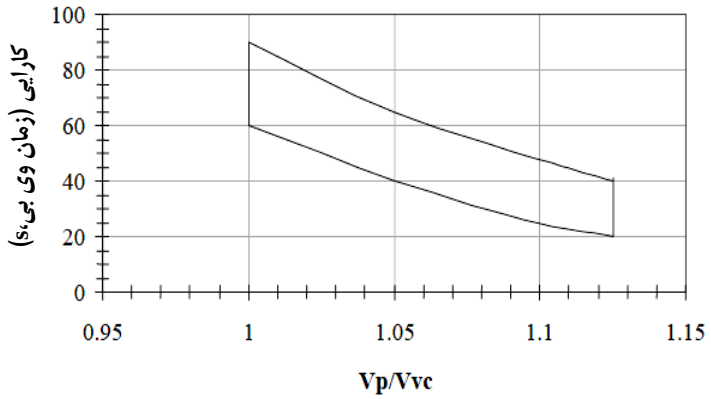
گام اول: انتخاب توزیع اندازه ذرات بهینه و محاسبه حجم فضای خالی

این گام شامل انتخاب نسبت اختلاط سنگدانه‌ها با دانه‌بندی‌های مختلف برای دستیابی به ساختاری با حداقل فضای خالی است. بطور معمول از منحنی اصلاح شده فولر–تامسون استفاده می‌شود. در راهنمای طرح ملی مخلوط بتن ایران محدوده‌های دانه بندی اصلاح شده فولر–تامپسون برای توان های مختلف ارائه شده است. برای دستیابی به ساختار متراکم، نیاز به ۱۵ تا ۲۰ درصد مواد عبوری از ۷۵ میکرومتر، است. این مقدار شامل همه مواد پرکننده (فیلر) سنگدانه و مواد سیمانی است.

گام دوم: تعیین حجم خمیر برای رده کارایی مورد نظر

در این مرحله حجم خمیر مورد نیاز برای دستیابی به کارایی مورد نظر تعیین می‌شود. نتایج مطالعات آزمایشگاهی زیادی دلالت بر ارتباط بین کارایی RCCP بدون مواد حباب هواساز و نسبت حجم خمیر (V_P) به حجم منافذ بعد از تراکم (V_{vc}) دارد. شکل ۳-۸ رابطه تجربی بین کارایی و نسبت خمیر به منافذ را نشان می‌دهد. این یک روش تقریبی است و دقت آن به روش اندازه‌گیری V_{vc} و خواص رئولوژیکی خمیر، بستگی دارد. از شکل ۳-۸ می‌توان برای تعیین حجم خمیر (L/m^3) مورد نیاز برای دستیابی به کارایی مورد نظر استفاده کرد. اگر امکان تعیین فضای خالی ساختار سنگدانه (V_{VC}) مقدور نباشد، به طور تقریبی این مقدار بین L/m^3 ۱۷۰ برای سنگدانه‌های کاملاً متراکم تا L/m^3 ۲۱۰ برای سنگدانه‌هایی با ساختار باز و متخلخل‌تر، متغییر است.

به‌طور معمول، ساخت یک یا دو مخلوط آزمایشی جهت تعیین دقیق حجم خمیر مورد نیاز برای دستیابی به کارایی مشخص شده، مورد نیاز است.

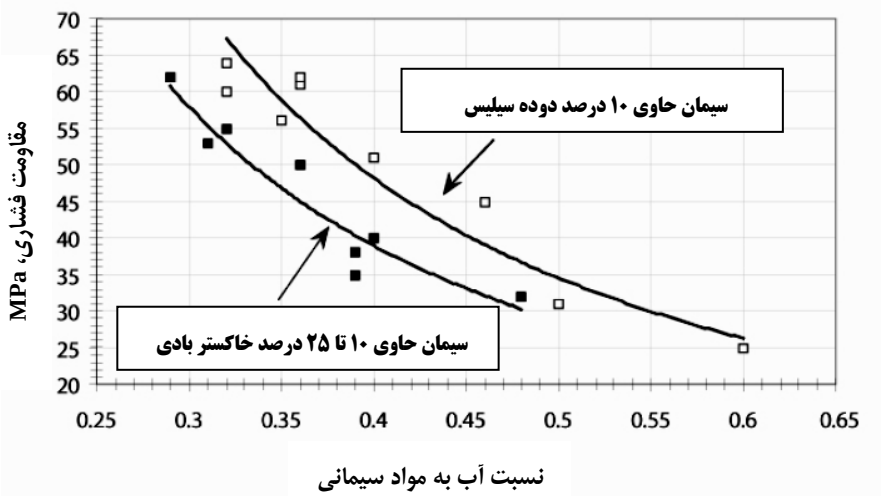


شکل ۳-۸ رابطه همبستگی تجربی بین کارایی و نسبت خمیر به فضای خالی،برای بتن غلتکی بدون مواد حباب‌ساز

گام سوم: انتخاب نسبت آب به مواد سیمانی بسته به مقاومت فشاری مورد نیاز

در مرحله قبل حجم خمیر برای کارایی مورد نظر تعیین شد. در مرحله آخر نسبت آب به مواد سیمانی (w/cm)، جهت دستیابی به مقاومت مکانیکی مشخص شده، بدست می‌آید. در شکل ۳-۹، رابطه بین مقاومت فشاری ۲۸ روز و نسبت آب به مواد سیمانی، در مخلوط‌های حاوی مواد جایگزین سیمان (خاکستر بادی یا دوده‌سیلیس)، ارائه شده‌است. شایان ذکر است، منحنی‌ها بر اساس نتایج تجربی بدست آمده از مقالات و گزارش‌های فنی، رسم شده است و باید برای انواع سیمان‌های مختلف با رده‌های مقاومتی متفاوت، این نمودار اصلاح گردد.

نسبت آب به مواد سیمانی که نشان دهنده عملکرد خواص مکانیکی است، به خواص فیزیکی و شیمیایی مواد سیمانی و مشخصات سنگدانه بستگی دارد. با این وجود، ساخت دو یا سه مخلوط آزمایشی برای تعیین نسبت آب به مواد سیمانی بهینه، جهت دستیابی به مقاومت خمشی مشخصه در طراحی روسازی‌های صلب، مورد نیاز است. همچنین الزامات دوام نیز ممکن است در انتخاب نسبت آب به مواد سیمانی تأثیرگذار باشد.



شکل ۳-۹ نمونه‌ایی از رابطه بین نسبت آب به مواد سیمانی و مقاومت فشاری ۲۸ روز در مخلوط‌های RCCP (بدون مواد حباب هواساز)

۳-۳-۳-۳ روش تئوری

روش‌های مبتنی بر اصول تئوری، بر پایه حداقل کردن تخلخل (یا حداکثر کردن تراکم) سنگدانه‌ها با توجه به مشخصات و دانه‌بندی‌های مختلف دانه‌ها (شامل:سنگدانه‌های ریز و درشت، سیمان، فیلر و مواد جایگزین سیمان)، استوار می‌باشند. مزیت روش‌های تئوری، در نظر گرفتن تاثیر پارامترهای موثر بر خواص بتن تازه و سخت شده است. مدل چگالی انباشتگی (CPM[1]) که به «مدل سوسپانسیون ذرات» نیز معروف می‌باشد، توسط آزمایشگاه Laboratoire Central des Ponts et Chaussées (LCPC) در فرانسه بهبود و توسعه یافته است. در این روش تمرکز روی تراکم هرچه بیشتر سنگدانه‌ها به منظور دستیابی به طرح بهینه می‌باشد. از این مدل برای طراحی بتن‌های معمولی، توانمند و خودتراکم، با موفقیت استفاده شده‌است. مرکز تحقیقاتی دانشگاه Laval کانادا این مدل را برای بتن غلتکی نیز سازگار کرده است. عملکرد موفق این مدل، هم در آزمایشگاه و هم در تعدادی از پروژه‌های روسازی، در بخش شرقی کانادا و آمریکا به اثبات رسیده است. از آن‌جائی‌که اصول این روش بر روابط ریاضی استوار است، به‌راحتی امکان برنامه نویسی و تهیه نرم‌افزار آن فراهم می‌باشد.

1 - Compressible Packing Model

امکان کاربرد این روش برای طراحی روسازی بتن غلتکی مورد استفاده در جاهایی که در معرض بارهای دینامیکی زیادی هستند، وجود دارد. با بهینه‌کردن مقدار مواد سیمانی، می‌توان از این روش برای کاربردهای دیگر، به خصوص راه‌های درون شهری و بین شهری و حتی روستایی که به طور معمول در معرض بارهای کمتری هستند، نیز استفاده نمود. با توجه به انعطاف‌پذیری این روش، امکان اصلاح سریع طرح در زمان‌هایی که مشخصات مصالح در طی زمان تغییر می‌کند، وجود دارد. همچنین ساخت مخلوط‌های آزمایشگاهی به حداقل ممکن کاهش می‌یابد.

این روش بر بهینه کردن تراکم ذراتی با اندازه‌های مختلف که می‌تواند مستقیماً بر تخلخل تاثیرگذار باشد، استوار است. همچنین امکان ترکیب مواد خشک برای دستیابی به بیشترین تراکم با کارایی مورد نظر را به وجود می‌آورد. بنابراین بتنی را می‌توان ساخت که ضمن کاهش مواد سیمانی، عملکرد مکانیکی آن قابل توجه بوده و بدین دلیل، بروز ترک ناشی از جمع‌شدگی هم وجود نخواهد داشت. میزان تراکم‌پذیری مخلوط سنگدانه‌ها به عواملی همچون، نحوه توزیع ذرات (دانه‌بندی)، شکل ذرات و اثر متقابل ذرات بر یکدیگر بستگی دارد.

اطلاعاتی که در خصوص هر یک از اجزاء تشکیل دهنده (از جمله: سیمان، مواد پوزولانی، فیلر و سنگدانه‌ها)، برای استفاده در این مدل مورد نیاز است، شامل منحنی دانه‌بندی، وزن مخصوص و اندیس فضای خالی آن‌ها است. با استفاده از این مدل، بسیاری از سنگدانه‌ها را می‌توان به‌کار برد. در واقع این مدل، نسبت بهینه اختلاط سنگدانه‌های ریز و درشت، برای یک مقدار خمیر مشخص و نسبت آب به مواد سیمانی معلوم، را بدست می‌آید.

نتایج حاصل از بسیاری تحقیقات آزمایشگاهی و کارهای انجام شده، مؤید پتانسیل بسیار زیاد و تطبیق‌پذیری این روش می‌باشد. مدل چگالی انباشتگی، روشی را برای تعیین مقادیر بهینه مواد و مصالح، در حداقل زمان فراهم می‌کند. در کارگاه، این امر یک مزیت بسیار زیاد محسوب می‌شود، چرا که با تغییر در مشخصات مصالح، امکان اصلاح سریع طرح، امکان پذیر می‌باشد.

۳-۳-۴ مثال‌های طرح مخلوط بتن غلتکی

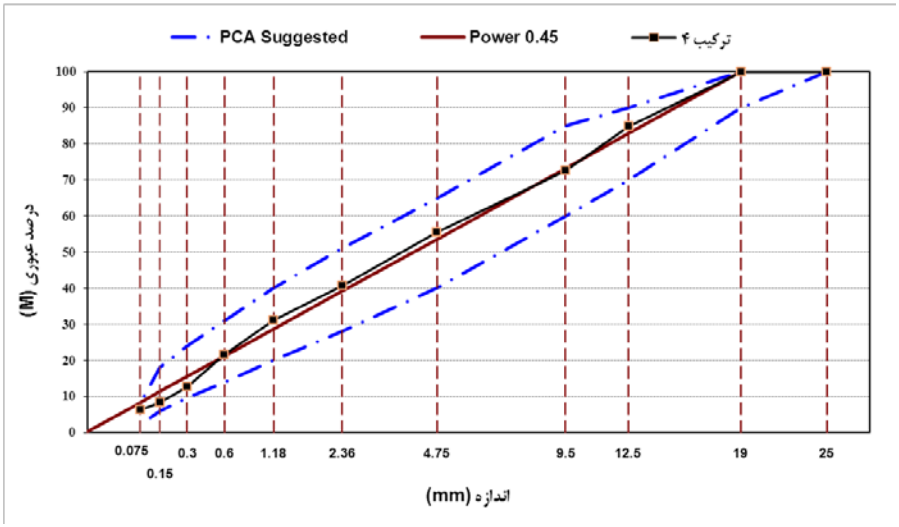
با توجه به اینکه از میان روش‌های ارائه شده در بندهای قبل، روش مبتنی بر اصول ژئوتکنیک و روش حجم خمیر بهینه، بیشتر مورد استفاده قرار گرفته و اجرایی‌تر می‌باشند، در این بخش به ذکر دو مثال از هر یک از روش‌های فوق پرداخته شده‌است.

۳-۳-۴-۱ مثال طراحی به روش ژئوتکنیک

در این مثال، طرح مخلوطی بر اساس مشخصات مصالح پیش فرض، برای دستیابی به بتنی با مشخصات زیر ارائه شده است:

- سیمان: نوع ۱ یا ۲
- از مواد حباب‌ساز استفاده نمی‌شود
- مقاومت فشاری ۲۸ روزه، معادل ۳۵ MPa
- حداکثر اندازه سنگدانه، ۱۹ mm
- کارایی حدود ۲۰ ثانیه بر اساس وی بی اصلاح شده.

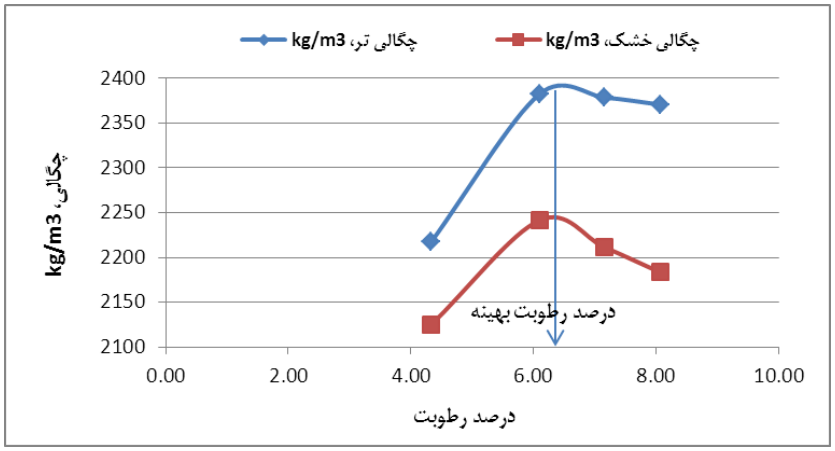
گام اول تعیین نسبت اختلاط سنگدانه ریز و درشت بر اساس منحنی ارائه شده در شکل۳-۴ است. در این مثال با توجه به دانه‌بندی سنگدانه‌ای درشت، ریز و فیلر، و با توجه به شکل۳-۱۰، نسبت اختلاط سنگدانه‌ها: ۱۹ درصد شن درشت، ۲۵ درصد شن ریز، ۴۴ درصد ماسه و ۱۲ درصد فیلر انتخاب شده است.



شکل۳-۱۰ منحنی دانه‌بندی مصالح و مقایسه آن با منحنی PCA و توان ۰/۴۵

در گام دوم، عیار سیمان برای مخلوط آزمایشی سری اول ۱۱ درصد انتخاب می‌شود (در مراحل بعدی مخلوط‌هایی با ۱۳ و ۱۴ درصد سیمان نیز ساخته می‌شود). سیمان مورد مصرف سیمان نوع ۲ است.

در گام سوم، درصد رطوبت بهینه برای دستیابی به حداکثر چگالی مخلوط‌هایی ساخته شده و با استفاده از روش استاندارد تراکم ازمایشگاهی خاک با تلاش اصلاح شده تعیین می‌شود. بدین منظور ۱۰ کیلوگرم مصالح (مجموع سنگدانه، فیلر و سیمان) با درصدهای مختلفی آب ساخته و تراکم آن‌ها تعیین می‌شود. در شکل۳-۱۱ نتایج آن ارائه شده‌است. همان‌گونه که مشخص است، رطوبت بهینه برای نسبت اختلاط مورد نظر ۶/۳ درصد می‌باشد.



شکل۳-۱۱ رابطه بین رطوبت و چگالی بتن تر و خشک

برای تعیین رطوبت بهینه در طرح‌هایی با درصد مواد سیمانی دیگر، طرح‌هایی با ۱۳ و ۱۴ درصد سیمان نیز ساخته و درصد رطوبت بهینه محاسبه می‌گردد.

در گام چهارم مخلوط‌هایی با درصد سیمان ۱۱، ۱۳ و ۱۴ و درصد رطوبت‌های بهینه (حاصل از گام ۳) ساخته، و مقاومت فشاری یا خمشی آن‌ها تعیین می‌گردد.

در گام پنجم، بر اساس نتایج مقاومت فشاری بدست آمده در گام چهارم، رابطه مقاومت فشاری و درصد مواد سیمانی (سیمان)، محاسبه شده و چنان‌چه همچون شکل ۳-۷، بتوان مقاومت فشاری هدف را از طریق درون‌یابی بدست آورد، درصد مواد سیمانی مورد نیاز بدست می‌آید، در غیر این‌صورت، چنان‌چه مقدار سیمان مورد نیاز با مقادیر آزمایش شده، تفاوت زیادی داشته باشد، باید رطوبت بهینه برای مقادیر مورد نیاز محاسبه شود.

در گام ششم، مخلوط نهایی برای اصلاح وزن مخصوص ساخته و طرح، نهایی می‌شود. توجه شود

۳-۳-۴-۲ مثال طراحی به روش حجم خمیر بهینه

در این مثال، روش محاسبه حجمی خمیر، بر اساس اطلاعات زیر، بدست می‌آید.

- سیمان: نوع ۱ به همراه ۱۰ درصد دوده‌سیلیس
- از مواد جباب‌ساز استفاده نمی‌شود
- مقاومت فشاری ۲۸ روزه، معادل ۶۰ MPa
- حداکثر اندازه سنگدانه، ۲۰ mm
- کارایی حدود ۶۰ ثانیه در زمان اجرای RCCP

توزیع ذرات سنگدانه، مطابق منحنی فولر و تامسون مطلوب با حداکثر اندازه ۲۰ میلی‌متر می‌باشد که می‌تواند از ترکیب دو نوع سنگدانه درشت و سنگدانه ریز طبیعی (گردگوشه) حاصل شود. حجم فضای خالی سنگدانه‌های متراکم (V_{vc}) معادل ۱۹۰ L/m^3 می‌باشد.

مطابق شکل ۳-۸، میانگین V_p/V_{vc} مورد نیاز برای دستیابی به کارایی ۶۰ ثانیه، باید ۱/۰۵ شود. از آن‌جایی‌که V_{vc} برابر با ۱۹۰ L/m^3می‌باشد، لذا مقدار V_p نیز برابر با ۲۰۰ L/m^3 بدست می‌آید (۱۹۰×۱/۰۵). نسبت آب به مواد سیمانی، برای دستیابی به مقاومت ۶۰ MPa با سیمان آمیخته حاوی ۱۰ درصد دوده‌سیلیس بر اساس شکل ۳-۹، حدود ۰/۳۵ خواهد بود.

روابط ۳ و ۴، مقدار مواد سیمانی و میزان آب را بر حسب متر مکعب بدست می‌دهد:

$$M_B = \frac{V_P}{\frac{w}{b} + \frac{1}{d_B}} \quad (۳$$

$$Mw = \frac{w}{b} \times M_B \quad (۴$$

که در آن:

w/b: نسبت وزنی آب به مواد سیمانی

V_P : حجم خمیر (L/m^3)

d_B: چگالی مواد سیمانی

M_B: مقدار مواد سیمانی (kg/m^3)

M_w: مقدار آب (kg/m^3)

بنابراین با جای‌گذاری مقادیر V_P، w/b و با فرض $d_B=3.05$ (با توجه به نوع سیمان) در روابط ۳ و ۴ مقادیر مواد سیمانی و آب بدست می‌آید:

$M_B=295\ kg/m^3 =97\ L/m^3$

$M_W=103\ kg/m^3 =103\ L/m^3$

اصلاح طرح بر اساس نتایج زیر که حاصل از ساخت مخلوط آزمایشی اول بوده‌است، عبارت است از:

- زمان وی بی بدست آمده: ۳۵ ثانیه
- مقاومت فشاری بدست آمده: ۵۶ مگاپاسکال

کارایی مخلوط آزمایشی، کمتر از میزان مشخص شده می‌باشد. زمان وی بی می‌تواند با همان نسبت w/b ولی با کاهش حجم خمیر به L/m^3 ۱۹۰ بدست آید. با جای‌گذاری در روابط ۳ و ۴:

$M_B=280\ kg/m^3 =92\ L/m^3$

$M_W=98\ kg/m^3 =98\ L/m^3$

اصلاح طرح بر اساس نتایج زیر که حاصل از ساخت مخلوط آزمایشی دوم بوده‌است، عبارت است از:

- زمان وی بی بدست آمده: ۶۵ ثانیه
- مقاومت فشاری بدست آمده: ۵۴ مگاپاسکال

اگرچه میزان کارایی مخلوط دوم با مقدار مورد نظر انطباق دارد ولی از نظر مقاومت فشاری به مقاومت مشخصه ۶۰ مگاپاسکال نرسیده است. در مخلوط سوم، باید کمی نسبت آب به مواد سیمانی را کاهش داد در حالی‌که میزان خمیر ثابت بماند. بنابراین $V_P=92\ L/m^3$ و $w/b=0.32$ در نظر گرفته می‌شود. با جای‌گذاری در روابط ۳ و ۴، داریم:

M_B=292 kg/m^3 =96 L/m^3

M_W=94 kg/m^3 =94 L/m^3

اصلاح طرح بر اساس نتایج زیر که حاصل از ساخت مخلوط آزمایشی سوم بوده است، عبارت است از:

- زمان وی بی بدست آمده: ۶۰ ثانیه
- مقاومت فشاری بدست آمده: ۶۲ مگاپاسکال

در این مثال سه مخلوط آزمایشی برای دستیابی به الزامات مورد نیاز ساخته شد.

فصـــل چهـــارم

ماشین‌آلات و اصول اجرایی

۴-۱ کلیات

برای تولید بتن مناسب جهت رویه‌های بتن غلتکی، علاوه بر استفاده از مصالح مناسب، نیاز به استفاده از تجهیزات، ماشین آلات و نیروی ماهر جهت ساخت بتن امری ضروری است و باید به اجرای صحیح مراحل ساخت و همچنین استفاده از یک سیستم عمل‌آوری مناسب در کنار مصالح مناسب دقت شود.

۴-۲ ماشین آلات و تجهیزات

در اجرای روسازی بتن غلتکی، باید مشخصات فنی ماشین‌آلات و تجهیزات، به‌گونه‌ای باشد که روند تولید و اجرای روسازی به‌صورت پیوسته و یکنواخت بوده و با مشخصات فنی تعیین شده، انطباق داشته باشد. به منظور تامین الزامات مذکور، نیاز است نسبت به کالیبراسیون تجهیزات تولید در موقع استقرار و به صورت ادواری اقدام شود.

۴-۲-۱ تجهیزات تولید (مخلوط‌کن)

۴-۲-۱-۱ از آن‌جایی‌که در ساخت بتن غلتکی از آب کمی استفاده می‌شود، جهت اختلاط مناسب نیاز به توان زیادی می‌باشد تا مخلوطی همگن حاصل شود.

۴-۲-۱-۲ در انتخاب مخلوط‌کن مناسب، باید دو نکته اصلی مورد توجه قرار گیرد، الف) نوع مخلوط‌کن؛ ب) حداقل ظرفیت مورد نیاز بر اساس ابعاد روسازی و حجم بتن و همچنین ماشین‌آلات و تجهیزات پخش و متراکم کردن، زیرا تامین بتن بدون تاخیر در فرآیند حمل، پخش و تراکم، جهت جلوگیری از ایجاد درز سرد، از اهمیت زیادی برخوردار است..

۴-۲-۱-۳ به طور عمده در تولید بتن غلتکی از دو نوع مخلوط‌کن پیوسته[1] و ناپیوسته، اعم از ثابت یا متحرک، استفاده می شود. به هر حال بکارگیری کامیون مخلوط‌کن در اختلاط و تولید بتن غلتکی مجاز نمی‌باشد.

۴-۲-۱-۴ بدلیل سهولت حمل و نقل و نصب در کارگاه، داشتن ظرفیت نسبتاً زیاد تولید و راندمان اختلاط خوب، استفاده از سیستم تولید پیوسته توصیه می‌شود (شکل ۴-۱ سمت راست).

شکل ۴-۱ (سمت راست) یک نمونه مخلوط‌کن دو محوره و پیوسته، مخصوص تولید بتن غلتکی، و (سمت چپ) یک نمونه مخلوط‌کن استوانه‌ای کج شونده (غیر پیوسته)

۴-۲-۱-۵ در انتخاب ظرفیت مخلوط‌کن، حجم روسازی، ماشین‌آلات حمل، پخش و تراکم، موثر هستند. در این خصوص، الزامات و توصیه‌هایی به شرح آتی باید مورد توجه قرار گیرد:

1 - Continuous-mixing Pugmill

۴-۲-۱-۵-۱ برای روسازی‌هایی با حجم کمتر از ۳۵۰ متر مکعب در روز (حدود ۸۵۰ تن در روز)، حداقل ظرفیت واقعی مخلوط‌کن باید ۴۵ مترمکعب در ساعت(حدود ۱۲۰ تن در ساعت) باشد. در این پروژه‌ها که نصب سیستم تولید بتن با ظرفیت زیاد توجیه‌پذیر نیست، یک سیستم تولید بتن مرکزی معمولی (به صورت غیر پیوسته) ولی با قابلیت پیمانه وزنی و با سیستم چرخش سیاره‌ای[1] نیز می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد.

۴-۲-۱-۵-۲ توصیه می‌شود در پروژه‌های با حجم بین ۳۵۰ تا ۶۰۰ مترمکعب در روز (حدود ۸۵۰ تا ۱۵۰۰ تن در روز)، از سیستم پیوسته تولید بتن استفاده شود. در این حالت، مخلوط‌کن بایستی ظرفیت واقعی تولید حداقل ۶۰ متر مکعب (حدود ۱۵۰ تن در ساعت) را داشته باشد.

۴-۲-۱-۵-۳ توصیه می‌شود در پروژه‌های با حجم بیش از ۶۰۰ مترمکعب در روز (حدود ۱۵۰۰ تن در روز)، از سیستم پیوسته تولید بتن و یا چند مخلوط‌کن ناپیوسته به طور همزمان استفاده شود.

۴-۲-۱-۶ باید توجه داشت، لازم به ذکر است که ظرفیت واقعی مخلوط‌کن‌ها برای تولید بتن غلتکی به مراتب کمتر از ظرفیت اسمی آنها برای تولید بتن‌های معمولی می‌باشد. درصد کاهش بر اساس نوع و توان مخلوط‌کن متفاوت می‌باشد.

۴-۲-۱-۷ استفاده از سیستم پیمانه وزنی، دقت در نسبت اختلاط را افزایش و نوسان در کیفیت را کاهش می‌دهد، لذا توصیه می‌شود از سیستم توزین، به جای پیمانه حجمی استفاده شود.

۴-۲-۱-۸ عموماً محل ساخت بتن تا حد ممکن نزدیک به محل بتن‌ریزی انتخاب شود تا مدت زمان حمل بتن به حداقل برسد.

۴-۲-۱-۹ رواداری توزین هریک از اجزای تشکیل دهنده بتن باید به شرح زیر می‌باشد:

۴-۲-۱-۹-۱ رواداری توزین سیمان، آب مواد افزودنی ۳± درصد؛

۴-۲-۱-۹-۲ رواداری توزین سنگدانه‌ها ۳± درصد؛

۴-۲-۱-۹-۳ رواداری دقت و حساسیت ترازوها و سایر قسمت‌های توزین ۰/۴± درصد کل ظرفیت دستگاه.

۴-۲-۱-۱۰ سیستم تولید بتن باید به‌گونه‌ای باشد که توزیع سنگدانه‌ها و سیمان در کل مخلوط یکسان و یکنواخت باشد.

---

1 -Planetary Mixer

۴-۲-۱-۱۱ در سیستم اختلاط ناپیوسته، برای اختلاط بتن غلتکی نسبت به بتن معمولی نیاز به صرف زمان بیشتری می‌باشد. بطور کلی بتن غلتکی نیاز به ۲ دقیقه زمان بیشتر برای اختلاط یک پیمانه، نسبت به بتن معمولی دارد، به عبارتی زمان اختلاط به دو برابر افزایش پیدا می‌کند. در مخلوط‌کن‌های غیرگرانشی، ممکن است بتوان مدت کمتری را برای اختلاط درنظر گرفت.

۴-۲-۱-۱۲ عمل اختلاط باید تا زمانی که توزیع یکنواخت سنگدانه‌ها و سیمان ایجاد گردد، ادامه یابد.

۴-۲-۱-۱۳ باید تمهیداتی به منظور جلوگیری از جداشدگی بتن غلتکی در موقع بارگیری کامیون‌ها و انتقال مخلوط صورت گیرد. بدین منظور، در سیستم تولید بتن به روش پیوسته، یک قیف بزرگ در انتهای تسمه نقاله باید قرار داده شود، تا با کاهش ارتفاع ریزش، از جداشدگی بتن جلوگیری گردد. این قیف همچنین برای نگهداشتن موقت بتن هنگام تعویض کامیون‌های حمل ضروری است.

۴-۲-۲ انتقال بتن غلتکی

۴-۲-۲-۱ معمولاً از کامیون کمپرسی[1] برای انتقال و ریختن بتن به دستگاه پخش بتن روسازی (فینیشر) استفاده می‌شود.

۴-۲-۲-۲ برای پیشگیری از تأثیر عوامل محیطی، همچون: باران، باد، سرما و یا گرما بر روی مخلوط بتن، لازم است تا روی کامیون‌های حمل بتن با پوشش مناسب مانند برزنت پوشانده شود.

۴-۲-۲-۳ در برخی مواقع می‌توان از انواع مواد کاهنده تبخیر نیز که به طور مستقیم و به صورت اسپری بر روی محموله داخل کامیون پاشیده می‌شوند، استفاده نمود.

1- Dump truck

۴-۲-۳ پخش (ریختن) بتن غلتکی

۴-۲-۳-۱ برای پخش بتن غلتکی می‌توان از فینشرهای معمولی (مشابه فینشرهای آسفالت) یا فینشرهایی با چگالی زیاد استفاده کرد. اگرچه جهت افزایش تراکم، جلوگیری از جداشدگی و همچنین کاهش احتمال درز سرد، باید اصلاحاتی روی فینیشرهای آسفالت انجام شود (شکل ۴-۲).

شکل ۴-۲ نمایی از فینیشنرهای مخصوص رویه بتن غلتکی

۴-۲-۳-۲ در صورت استفاده از فینیشرهای آسفالت برای پخش بتن، اصلاحات فینیشر، شامل: بزرگ کردن دریچه بین قیف تغذیه و اسکرید[1] و همچنین تنظیم پیچ‌های جلوی اسکرید برای اطمینان از پخش یکنواخت بتن در راستای محور جاده، الزامی است. به علاوه لازم است اصلاحاتی در سیستم تشخیص ارتفاع و ضخامت به منظور هماهنگی و یکنواختی سطح روسازی انجام گیرد.

۴-۲-۳-۳ فینشرهای مورد استفاده، باید قادر باشند تا ضمن پخش بتن، در روسازی های با ضخامت طراحی بین ۱۰ تا ۱۵ سانتیمتر تراکمی حداقل برابر ۸۰ درصد چگالی مرطوب مرجع و در روسازی های با ضخامت طراحی ۱۵ تا ۲۰ سانتیمتر تراکمی حداقل برابر با ۸۵ درصد چگالی مرطوب مرجع را قبل از غلتک-زنی برآورده نمایند.

1 - Screed

۴-۲-۳-۴ فینیشرهای جدید و مخصوص RCCP 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 چگالی می‌شود. این نوع از فینیشرها قادرند تا حدود ۹۵ درصد چگالی مورد نظر را ایجاد کنند، لذا عملیات غلتک‌زنی تسهیل شده و انحرافات طولی یا عرضی از تراز مورد نظر بسیار کاهش می‌یابد.

۴-۲-۳-۵ ظرفیت جایدهی دستگاه فینیشر باید حداقل ۱/۵ برابر ظرفیت اسمی سیستم تولید بتن باشد.

۴-۲-۳-۶ فینیشر باید دارای وزن و تعادل مناسب برای پخش و پرداخت مصالح بتن غلتکی بدون بروز هر گونه جداشدگی تا رسیدن به ضخامت مورد نیاز باشد، در عین حال که بستر کار از صافی مناسبی نیز برخوردار باشد.

۴-۲-۳-۷ عملیات پخش در محل‌هایی که امکان تردد فینیشر وجود نداشته باشد باید مطابق با روش تایید شدهٔ مهندس ناظر، به‌صورت دستی انجام شود. به هر حال حداقل تراکم مورد نیاز باید حاصل گردد.

۴-۲-۳-۸ هر یک از تجهیزاتی که معیوب یا شکسته باشد باید تعویض شود، تا سرعت عملیات جایدهی را کند ننماید.

۴-۲-۳-۹ فینیشر نباید اساس دانه‌ای را سست نموده و یا لایهٔ بتن قبلی را دچار آسیب نماید.

۴-۲-۳-۱۰ هنگامی که شدت بارندگی از ۳ میلی‌متر بر ساعت بیشتر باشد اجرای روسازی بتن غلتکی باید متوقف شود.

۴-۲-۴ تراکم بتن غلتکی

۴-۲-۴-۱ با توجه به نقش بسیار مهم و تعیین کننده عملیات تراکم در خواص بتن غلتکی مانند: چگالی ، مقاومت، نفوذپذیری و صافی روسازی، باید توجه ویژه‌ای نسبت به استفاده از تجهیزات به منظور کسب حداکثر تراکم، مطابق با این دستورالعمل، مبذول گردد.

۴-۲-۴-۲ معمولاً از دو نوع غلتک در عملیات تراکم استفاده می‌شود، الف)غلتک‌های ۱۰ تنی دو استوانه چرخ فلزی با توانایی تراکم استاتیکی و دینامیکی، ب) غلتک‌های ۱۰ تا ۲۰ تنی چرخ لاستیکی.

۴-۲-۴-۳ مشخصات غلتک فلزی به شرح زیر می‌باشد:

۴-۲-۴-۳-۱ هر استوانه غلتک باید به طرز مناسبی مجهز به لیسه و برس عملیاتی باشند.

۴-۲-۴-۳-۲ غلتک‌ها باید بتوانند ضربهٔ دینامیکی را به سطح روسازی از طریق استوانه‌های فلزی به توسط وزنه‌های دورانی، شفت خارج از مرکز یا روش معادل دیگری انتقال دهند.

۴-۲-۴-۳-۳ استوانه غلتک باید دارای قطری بین ۱۲۰ الی ۱۷۰ سانتی‌متر و عرض بین ۱۷۰ الی ۲۵۰ سانتی‌متر باشد.

۴-۲-۴-۳-۴ غلتک‌های مذکور همچنین باید قادر به تولید نیروی دینامیکی به اندازه حداقل ۸۰ نیوتن بر میلی‌متر در فرکانس های ویبره زیاد در حدود ۳۲۰۰-۱۸۰۰ دور در دقیقه و دامنهٔ نوسان کم ۰/۸-۰/۴ میلی‌متر باشند.

۴-۳ اصول اجرایی

به‌طورکلی ضوابط والزامات ارایه شده، شرایط بتن ریزی در هوای گرم، سرد و گزند بار را شامل نشده و در این موارد، باید بر اساس الزامات ارایه شده در مراجع معتبر ملی یا بین‌المللی اقدام شود.

۴-۳-۱ عملیات قبل از اجرای روسازی

۴-۳-۱-۱ یکی از مزایای روسازی بتن غلتکی نیاز کمتر به لایه‌های اساس یا زیراساس است، اما در صورت اجرای لایهٔ اساس و زیر اساس، هر کدام باید بر اساس مطالعات و شناسایی‌های لازم و با طراحی مهندس مشاور و با کنترل مهندس ناظر انجام گیرد.

۴-۳-۱-۲ الزامات آماده سازی اساس و زیر اساس در روسازی بتن غلتکی مشابه روسازی‌های بتنی معمولی می‌باشد.

۴-۳-۱-۳ مشخصات مصالح و روش‌های مورد استفاده در اجرای لایهٔ اساس و زیر اساس باید به گونه‌ای باشد که بتواند عملکردهایی شامل: تعدیل فشارهای وارده و تحمل بارهای وارده از لایه بالایی،

خاصیت تراوایی، تقلیل ضخامت لایهٔ قبل (اساس یا زیر اساس حسب مورد)، کاهش اثر یخبندان و بیرون-زدگی مایعات یا خمیر یا گل از یک لایه [1] را برآورده نماید.

۴-۳-۱-۴ ظرفیت باربری اساس و زیر اساس باید به مقداری باشد که قادر به تحمل بارهای ناشی از تراکم لایه زیرین باشد.

۴-۳-۱-۵ هر دو لایهٔ اساس و زیر اساس باید دارای زهکشی کافی و مناسبی باشند.

۴-۳-۱-۶ از آنجایی‌که بتن غلتکی به رطوبت بستر دانه‌ای حساس است، نواحی که دارای مقادیر بیشتر رطوبت هستند را باید کنده و با مصالح دانه‌ای مناسب جایگزین نمود، در غیر این‌صورت، باید وضعیت را با تامین زهکشی مناسب کنترل نمود.

۴-۳-۱-۷ قبل از ریختن بتن غلتکی سطح لایه اساس باید مرطوب گردد تا باعث جذب رطوبت از بتن غلتکی تازه ریخته شده نگردد.

۴-۳-۲ مواد و مصالح و تولید، اجرا و تراکم

۴-۳-۲-۱ سیمان نباید بعد از ۴ ماه از تاریخ تولید در کارخانه مصرف گردد. طول دوره مجاز برای انبار کردن سیمان با توجه به شرایط محیطی، به ۲ تا ۳ ماه محدود می‌شود و تنها در صورتی در طی این زمان قابل مصرف خواهد بود که ویژگی‌های آن تغییر نکند.

۴-۳-۲-۲ دمای سیمان نباید هنگام مصرف بیش از ۶۰ درجه سلسیوس باشد.

۴-۳-۲-۳ در صورتیکه از پوزولان‌های طبیعی و مصنوعی و سرباره‌ها استفاده می‌شود، عمل‌آوری طولانی‌تری (در حدود ۱/۵ برابر عمل‌آوری معمولی) باید انجام شود.

۴-۳-۲-۴ با توجه به اینکه در اکثر واحدهای تولیدکننده بتن، سیمان بصورت فله‌ای نگهداری و مصرف می‌شود، برای انبار کردن آن رعایت نکات زیر توصیه می‌شود:

1 -Pumping

۴-۳-۲-۴-۱ ارتفاع کف سیلو، شیب قسمت مخروطی و ... باید بطور مناسب طراحی شده باشند و در بالای سیلو نیز هواکش نصب شود تا هوای آن هنگام بارگیری تخلیه شود. سطح داخلی سیلو باید کاملاً صاف باشد تا تخلیه ذرات سیمان به راحتی انجام شود. شیب قسمت مخروطی سیلو باید حداقل ۵۰ درجه باشد.

۴-۳-۲-۴-۲ سیمان فله را باید در سیلوهای فلزی و یا فایبرگلاس استاندارد انبار کرد. لازم است از انبار کردن سیمان فله‌ای در انبارهای غیر استاندارد و ساخته شده با مصالح بنایی خودداری نمود.

۴-۳-۲-۴-۳ باید تمام قسمت‌های متحرک سیلو عاری از کلوخه‌های سیمان باشد و در پایان هر روز تمیز شوند. باید اطمینان حاصل کرد که اهرم‌ها و دستگیره‌ها خم نشده باشند. قیف باید هر روز تمیز شود و همچنین با استفاده از وزنه‌های مختلف، دقت فرآیند اندازه‌گیری مورد آزمایش قرار گیرد.

۴-۳-۲-۴-۴ ارتفاع کل سیلو از سطح زمین باید به ۱۵ متر محدود شود تا بتوان با وسایل موجود آن را پر نمود و فشار وارده بر سیمان‌های زیرین افزایش نیابد.

۴-۳-۲-۴-۵ در بالای سیلو باید یک هواکش کلاهک‌دار تعبیه شود تا هوای سیلو در هنگام بارگیری تخلیه گردد.

۴-۳-۲-۴-۶ توصیه می‌شود سیستم هوادهی برای ایجاد تلاطم در توده تحتانی سیمان جهت جلوگیری از کلوخه شدن زود هنگام آن به کار گرفته شود.

۴-۳-۲-۴-۷ فیلترهای هوای سیلو در فواصل زمانی مناسب بازرسی و در صورت لزوم باید تعویض شوند.

۴-۳-۲-۴-۸ سیمان‌ها باید براساس نوع و به‌طور جداگانه در سیلوهای آب‌بندی و هوابندی‌شده نگهداری شوند. امکان جمع‌شدن و راکد ماندن سیمان نباید در سیلو وجود داشته باشد.

۴-۳-۲-۵ درصورتی‌که به عللی نظیر بارگیری نامناسب، سنگدانه‌ها دچار جداشدگی بودند و دانه‌های درشت و ریز از هم جدا شوند، سنگدانه را قبل از استفاده باید به درستی مخلوط کرد.

۴-۳-۲-۶ یکی از مشکلاتی که در هنگام انباشتن سنگدانه‌ها در کارگاه مشاهده می‌شود، جداشدن ذرات دانه‌های سنگی است. مصالح سنگی دانه‌بندی شده ممکن است در هنگام عملیات انباشتن دچار عارضه جداشدگی دانه‌ها شوند. برای کنترل جداشدگی ذرات مصالح سنگی و به طور کلی انبار کردن صحیح سنگدانه‌ها موارد زیر باید رعایت گردد.

۴-۳-۲-۶-۱ استفاده از سنگدانه‌هایی که در بخش‌های اندازه‌ای مختلف دانه‌بندی و انبار شده باشند، بهترین راه‌حل برای جلوگیری از جداشدگی سنگدانه‌هاست.

۴-۳-۲-۶-۲ سنگدانه‌ها باید روی سطح زمین سخت و خشک انبار شوند. اگر چنین مکانی در کارگاه وجود ندارد، بهتر است که سنگدانه‌ها را بر روی سکوی بتنی به ضخامت ۱۰ سانتیمتر ریخت.

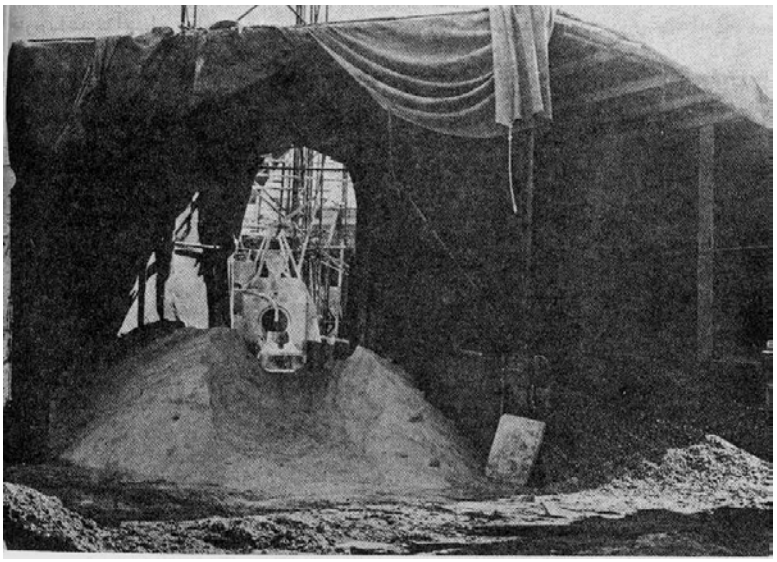
۴-۳-۲-۶-۳ یکی از روش‌های مناسب نگهداری سنگدانه‌ها، استفاده از انباشته‌های بزرگ است. این انباشته‌ها باید حداقل ۲۴ ساعت در جای خود دست نخورده باقی بمانند تا آبهای اضافی زهکشی یا خشک شوند.

۴-۳-۲-۶-۴ انباشته‌های سنگدانه‌های مختلف باید توسط دیوارهای جداکننده از هم جدا نگه داشته شوند. این دیوارها باید به اندازه کافی بلند باشند تا مصالح سنگی با یکدیگر مخلوط نشوند. نمونه‌ای از این دیوارها در شکل ۴-۳ نشان داده شده است.

۴-۳-۲-۶-۵ چنانچه لازم باشد کار بتن‌ریزی برای چند روز متوقف باشد، بهتر است برای حفاظت انباشته سنگدانه‌ها با ورقه‌های پلاستیکی پوشانده شوند. همچنین می‌توان از چادر برزنت استفاده نمود که باعث می‌شود تا باران، برف و برگ درخت‌ها از سنگدانه‌ها دور نگه داشته شود و تا اندازه‌ای نیز در مقابل یخبندان محافظت شود. نمونه‌ای از این کار در شکل ۴-۴ ارائه شده است.

۴-۳-۲-۶-۶ به مسائلی همچون عدم افزایش دمای سنگدانه در اثر تابش خورشید، تغییرات رطوبت سنگدانه‌ها و حفظ دانه‌بندی هنگام انتقال به محل ساخت مخلوط باید توجه شود. لازم است دمای سنگدانه‌ها از ۵۰ درجه سانتی‌گراد تجاوز ننماید.

شکل ۴-۳ استفاده از دیوار جدا کننده در نگهداری سنگدانه‌ها



شکل ۴-۴ استفاده از چادر برزنتی برای محافظت سنگدانه‌ها در برابر باران، برف و برگ درخت‌ها

۴-۳-۲-۷ جهت جلوگیری از تجمع مواد بر روی پره‌های میکسر و عدم ایجاد اخلال در فرآیند تولید، توصیه می‌شود پس از تولید مداوم هر ۱۰۰۰ مترمکعب بتن و یا پس از هر روز کاری، مخلوط‌کن‌ها مورد بازبینی و تمیزکاری قرار گیرند.

۴-۳-۲-۸ تخلیه از قیف، مانع از سقوط آزاد بتن غلتکی می‌گردد و متعاقب آن باعث کاهش پدیدهٔ جداشدگی خواهد شد. حداقل ظرفیت قیف تخلیه باید معادل ۱ تن برای ذخیره‌سازی موقت بتن غلتکی که در انتظار بارگیری به کامیون کمپرسی است باشد.

۴-۳-۲-۹ برای جلوگیری از جداشدگی در طی فرآیند بتن‌ریزی و جایدهی، فینیشر نباید کاملاً تخلیه شود و نباید لبه‌های قیف فینیشر را بالا آورد. همچنین در تمام مدت اجرا، باید محور همزن حلزونی قیف تغذیه از بتن غلتکی پر باشد. به عبارتی دیگر بتن باید روی همزن را در تمام مدت کار پوشانده باشد.

۴-۳-۲-۱۰ 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 حدود ۱۰ تا ۲۰ درصد کاهش می یابد. حداقل ضخامت لایه بعد از تراکم باید ۱۰۰ میلی‌متر و حداکثر ۲۰۰ میلی‌متر باشد.

۴-۳-۲-۱۱ با توجه به این‌که بتن غلتکی استعداد جداشدگی زیادی دارد، باید در طی مراحل بارگیری، حمل و پخش، نکات اجرایی جهت جلوگیری از جداشدگی لحاظ شود. در هنگام بارگیری کامیون، توصیه می‌شود ضمن استفاده از یک قیف مخصوص با بازشو (شکل ۴-۵)، تخلیه در سه مرحله انجام شود، بدین ترتیب که یک سوم بار در قسمت انتهایی محل بارگیری کامیون، یک سوم در قسمت میانی و یک سوم آخر نیز در انتهای آن بارگیری شود.

۴-۳-۲-۱۲ در برخی از پروژه‌های کوچک، ممکن است به جای استفاده از غلتک ارتعاشی، تعداد عبورهای غلتک استاتیکی اضافه شود.

شکل ۴-۵ استفاده از قیف در انتهای تسمه نقاله

۴-۳-۲-۱۳ ابتدا باید غلتک به صورت استاتیک (بدون ارتعاش)، دو عبور روی بتن ریخته‌شده انجام داده تا سطح بتن صاف و آماده شود (یک حرکت رفت و برگشت غلتک معادل دو عبور است). سپس ۴ تا ۶ عبور با غلتک ارتعاشی ۱۰ تنی انجام شود تا چگالی مشخص‌شده حاصل شود (حداقل ۹۸ درصد آزمایش پراکتور اصلاح شده).

شکل ۴-۶ (سمت چپ) استفاده از غلتک چرخ لاستیکی در تراکم RCCP (غلتک چرخ لاستیکی برای بهبود کیفیت بافت سطحی بتن غلتکی استفاده میشود)، (سمت راست) یک نمونه غلتک فلزی با دو استوانه

۴-۳-۲-۱۴ باید از تراکم مازاد یا غلتک‌زنی بیش از حد ممانعت به عمل آید چرا که در غیر این صورت، ممکن است چگالی بخش فوقانی را کاهش دهد.

۴-۳-۲-۱۵ بتن غلتکی باید در اولین فرصت پس از پخش شدن، به ویژه در هوای گرم متراکم شود. باید، عملیات تراکم در عرض ۱۵ دقیقه پس از پخش کردن و حداکثر ۴۵ دقیقه پس از زمان ساخت بتن انجام شود.

۴-۳-۲-۱۶ تحت هیچ شرایطی نباید بیشتر از ۱۵ دقیقه بین ریختن بتن (پخش بتن) و شروع تراکم توسط غلتک‌ها فاصله زمانی وجود داشته باشد.

۴-۳-۲-۱۷ مطابق با توصیه‌ها، یک راه حل برای فائق آمدن بر مسئلهٔ محدودیت زمانی پخش بتن بین خطوط مجاور، محدود کردن طول روسازی می‌باشد. البته استفاده از چند فینیشر که به صورت پلکانی در خطوط مجاور حرکت می‌کنند نیز می‌تواند مسئلهٔ محدودیت زمانی را کاهش دهد.

۴-۳-۲-۱۸ عبورهای غلتک ارتعاشی باید با احتیاط‌هایی انجام گیرد، به ویژه در لبه‌های نوارها زیرا که لرزش اضافی می‌تواند منجر به تخریب لبه شده و پروفیل جاده را به هم ریخته و در نهایت صلبیت آن را دچار اشکال نماید.

۴-۳-۲-۱۹ در صورت نیاز به اجرای لایه‌های مجدد، حداکثر زمان لازم افزودن یک لایه بر لایه دیگر در هوای معتدل ۴۵ دقیقه و در فصول گرم و سرد، بطور متناسب کمتر یا زیادتر می‌باشد. درصورتی‌که به هر دلیلی امکان اعمال لایه رویی بر روی لایه زیرین بتن غلتکی به صورت گرم میسر نشود لایه رویی بایستی در زمانی اجرا شود که لایه زیرین مقاومت کافی را کسب کرده باشد.

۴-۳-۲-۲۰ توصیه می‌شود، حداکثر زمان بین ساخت تا پخش بتن، ۴۵ تا ۶۰ دقیقه، از زمان اضافه کردن آب به مخلوط بتن باشد. شایان ذکر است این مدت برای بتن ریزی در دمای ۲۵ تا ۳۰ درجه سانتی‌گراد بوده و در هرصورت باید توجه شود که بتن در این مدت دچار افت رطوبت قابل ملاحظه‌ای نشده و در تراکم پذیری آن تاثیر نگذارد. بر این اساس در دمای بیش از ۳۰ درجه، این زمان ۳۰ تا ۴۵ دقیقه و در دماهای کمتر از ۲۵ درجه، بین ۶۰ تا ۷۵ دقیقه، قابل توصیه می‌باشد.

۴-۳-۲-۲۱ به هر حال، باید بتن غلتکی جهت جلوگیری از افت رطوبت بیشتر محافظت شود و تجهیزات اجرا از این امکانات برخوردار باشد. افت رطوبت می‌تواند منجر به مشکلاتی در تراکم، ریختن و عملکرد نهایی گردد. علاوه بر این، مخلوط باید با رطوبت بیشتری نسبت به رطوبت بهینه ساخته شود تا جبران افت رطوبت در زمان حمل را فراهم نماید. کنترل رطوبت بهینه برای دستیابی به تراکم مورد نیاز الزامی است.

۴-۳-۳ عمل‌آوری

۴-۳-۳-۱ عمل‌آوری یکی از پارامترهای موثر بر مقاومت و دوام بتن‌های غلتکی می‌باشد. عمل‌آوری مناسب باعث پیشرفت روند کسب مقاومت، کاهش احتمال پوسته پوسته شدن سطح بتن و افزایش مقاومت سایشی می‌شود. از آن‌جائیکه مقدار آب در بتن‌های غلتکی کم است و آب‌انداختگی نیز اتفاق نمی‌افتد، احتمال بروز ترک‌های پلاستیک و همچنین ناشی از جمع‌شدگی خشک شدن، بسیار زیاد است. بدین منظور باید بلافاصله بعد از اتمام عملیات تراکم، عمل‌آوری آغاز شود.

بطور معمول روش‌های زیر برای عمل‌آوری RCCP متداول است:

- عمل‌آوری مرطوب (با آب)؛
- استفاده از مواد عمل‌آوری؛
- استفاده از امولسیون قیری.

۴-۳-۳-۲ نتایج تحقیقات انجام شده نشان می‌دهد، استفاده از عمل آوری مرطوب و یا مواد عمل‌آوری نسبت به روش دیگر تاثیر بهتری را دارا می‌باشند. اگرچه عمل‌آوری مرطوب مستمر و صحیح می‌تواند نتایج بهتری نسبت به دیگر روش‌های عمل‌آوری مانند استفاده از مواد عمل‌آوری داشته باشد، ولی به دلیل تبخیر زیاد در شرایط اقلیمی گرم و خشک و مشکلات اجرایی در ارتباط با جلوگیری از تر و خشک شدن متوالی سطح بتن، استفاده از مواد عمل‌آوری‌کننده توجیه خواهد داشت. به هر حال استفاده از مواد قیری امولسیونی برای جلوگیری از تبخیر رطوبت سطح بتن متراکم شده رایج می‌باشد به شرط آنکه استفاده از یک لایه آسفالتی بر روی بتن غلتکی در دستور کار باشد.

۴-۳-۳-۳ عبور کلیه وسایل نقلیه به جز تانکرهای آب‌پاش تا قبل از رسیدن به مقاومت کافی (۷۰ درصد مقاومت مشخصه) از سطح بتن مجاز نیست. رعایت موارد به شرح آتی در خصوص عمل‌آوری توصیه می‌شود:

۴-۳-۳-۳ عمل‌آوری مرطوب

۴-۳-۳-۱ مدت مراقبت (عمل‌آوری مرطوب) به عواملی نظیر نوع سیمان، سطح مقاومت مورد نظر، نسبت سطوح نمایان به حجم، نسبت آب به سیمان و شرایط آب و هوایی به هنگام ساخت و ریختن بتن بستگی دارد. حداقل زمان عمل آوری بتن باید مطابق با جدول ۴-۱، باشد.

۴-۳-۳-۲ توصیه می‌شود، در روز اول، عمل‌آوری توسط تانکرهای مجهز به اسپری آب و یا دیگر روش‌های اسپری آب (به صورت مه‌پاش) انجام شود.

۴-۳-۳-۳ توصیه می‌شود، در روزهای بعد عمل‌آوری را به روش‌های دیگری همچون: سیستم‌های نصب شدهٔ آب‌پاش، گونی خیس و یا تانکرهای آب‌پاش ادامه داد. با توجه به شرایط آب و هوایی، گاهی ممکن است، تانکرهای مجهز به آب‌پاش توان کافی برای مرطوب نگه داشتن سطوح را نداشته باشند.

۴-۳-۳-۴ در طول مدت عمل‌آوری هرگز نباید اجازه داد تا قسمتی از رویه خشک بماند، در واقع ترو خشک شدن‌های متوالی در طول مدت عمل آوری، مضر است.

جدول ۴-۱ حداقل زمان عمل‌آوری بتن (برحسب روز)

زمان عمل‌آوری		روند افزایش مقاومت بتن *					
		سریع		متوسط		کند	
دمای متوسط سطح بتن (هوای مجاور) ^0C		۵–۱۰	بالاتر از۱۰	۵ –۱۰	بالاتر از ۱۰	۵ –۱۰	بالاتر از ۱۰
شرایط محیطی**	ضعیف	۶	۵	۱۲	۹	۱۴	۱۲
	متوسط	۶	۵	۹	۶	۱۲	۷
	خوب	۲	۲	۲	۲	۳	۳

* منظور از روند افزایش مقاومت بتن به شرح زیر می‌باشد:

سریع : مانند بتن دارای سیمان‌های زود سخت شونده (مانند پرتلند نوع ۳، تیپ ۴۲۵–۱ و تیپ ۵۲۵–۱)، افزودنی‌های زودگیر کننده، نسبت آب به سیمان بسیار کم و عیار سیمان زیاد است،

متوسط: مانند بتن‌های دارای سیمان‌های تیپ ۳۲۵–۱، تیپ ۲، تیپ ۵ ،پرتلند آهکی، پرتلند پوزولانی و پرتلند سرباره‌ای

کند : مانند بتن‌های دارای سیمان پرتلند پوزولانی ویژه و سیمان سرباره‌ای.

** شرایط محیطی مندرج در این ستون به شرح زیر تعریف می‌شود :

خوب : محیط مرطوب و محافظت شده (رطوبت نسبی بیشتر از ۸۰ درصد و محافظت شده در برابر خورشید و باد).

ضعیف : محیط خشک و محافظت نشده (رطوبت نسبی کمتر از ۵۰ درصد و محافظت نشده در برابر خورشید و باد).

متوسط : شرایطی بین دو حد خوب و ضعیف.

۴–۳–۳–۵ حداقل مدت زمان عمل آوری در شرایط محیطی متوسط و ضعیف نباید کمتر از ۵ روز باشد. همچنین توصیه می‌شود در دمای کمتر از ۱۰ درجه سانتیگراد، از عمل آوری مرطوب اجتناب شود.

۴–۳–۳–۶ کیفیت آب مصرفی برای عمل‌آوری باید مطابق بند ۲–۴ باشد.

۴–۳–۳–۴ استفاده از مواد عمل‌آوری

۴–۳–۳–۴–۱ مواد عمل‌آوری بایستی مطابق با الزامات استاندارد ASTM C309 باشند.

۴–۳–۳–۴–۲ بلافاصله بعد از اتمام عملیات تراکم، باید مواد مورد نظر روی سطح پاشیده شوند.

۴–۳–۳–۴–۳ مواد عمل‌آوری نباید بی‌رنگ باشند تا امکان بازرسی چشمی فراهم شود.

۴-۳-۳-۴-۴ با توجه به سطح نسبتاً زبر RCCP، میزان مصرف مواد حدود ۱/۵ تا ۲ برابر سطح لیسه‌ای و البته مساوی سطح زبر تخته ماله‌ای بتن‌های عادی است. جهت اطمینان از پوشش کامل سطح، توصیه می‌شود، مواد عمل‌آوری در دو لایه عمود بر هم پاشیده شود.

۴-۳-۳-۴-۵ استفاده از مواد عمل آوری می‌تواند سبب تضعیف اتصال بتن به رویه آسفالتی گردد.

۴-۳-۳-۵ امولسیون قیری

۴-۳-۳-۵-۱ استفاده از امولسیون قیری جهت عمل‌آوری بتن غلتکی، در برخی کشورها سابقه موفقی داشته است، البته استفاده از این روش عموماً در مواردی است که سطح روسازی با یک لایه نازک آسفالت پوشانده خواهد شد.

فصـــل پـــنجم

بازرسی، کنترل کیفیت و پذیرش

۵-۱ کلیات

هدف از کنترل کیفیت، اعمال کنترل‌هایی است که منجر به تولید روسازی بتن غلتکی مطابق با مشخصات فنی گشته و به نحو مناسبی اجرا گردد و الزامات مقاومتی، دوام وکیفیت سطح و همواری مورد نظر را بدست دهد. با توجه به اهمیت و گستردگی پروژه‌های روسازی، توصیه می‌شود از دو گروه جدا از هم در بحث بازرسی و کنترل کیفیت استفاده شود، گروه اول در کارگاه تولید بتن، و گروه دوم در محل اجرای روسازی مستقر شوند. بر این اساس فرآیند کنترل کیفیت را به سه مرحله تقسیم می‌کنند: الف) کنترل‌ها و بازرسی‌های قبل از اجرا، ب) کنترل‌ها و بازرسی‌های حین اجرا و ج) کنترل‌ها و بازرسی‌های پس از اجرا.

نظر به آنکه مسئولیت نظارت عالیه پروژه‌های روسازی بتن غلتکی به مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی محول شده است لذا پیمانکاران ملزم هستند که دفترچه طرح اختلاط بتن و نتایج آزمایش‌ها را به مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی ارائه دهند تا مورد بررسی و تأیید قرار گیرد.

۵-۲ کنترل کیفیت

۵-۲-۱ پیمانکار باید تجهیزات و نیروی انسانی مورد نیاز برای تعیین خواص مختلف بتن غلتکی را که در مشخصات فنی قرارداد، الزام شده است را تدارک دیده باشد. کلیه این خواص باید در محدودهٔ این مشخصات فنی قرار گیرد. پیمانکار موظف است، حداقل ۲۴ ساعت قبل از اجرا مجوزهای لازم را از مهندس ناظر اخذ نماید.

۵-۲-۲ آزمایش در محل کارخانه و کارگاه اجرای روسازی از وظایف پیمانکار یا آزمایشگاه همکار می‌باشد که باید توسط مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی مورد تأیید قرار گیرد. پیمانکار باید امکانات و تسهیلات لازم برای دسترسی مهندسین ناظر برای بازرسی و نمونه‌گیری از مراحل اجرای بتن غلتکی و مواد و مصالح مربوطه را در هر دو محل کارخانهٔ تولید و همچنین کارگاه فراهم آورد و باید در امر بازرسی و نمونه‌گیری نهایت همکاری را داشته باشد.

۵-۲-۳ معمولاً، کنترل و بازرسی‌های قبل از اجرا شامل کنترل کیفی مواد و مصالح، سیستم توزین و پیمانه کردن مصالح، تجهیزات تولید بتن، تجهیزات انتقال، اجرا، ساخت و همچنین نظارت بر یک قطعه (نوار) آزمایشی می‌باشد. بر این اساس، کنترل‌های قبل از ساخت را می‌توان به مراحل زیر تقسیم نمود:

۵-۲-۳-۱ نمونه‌برداری و آزمایش مصالح سنگی، سیمان، آب و مواد افزودنی احتمالی مطابق آنچه که برای بتن معمولی صورت می گیرد.

۵-۲-۳-۲ سنگدانه‌ها به لحاظ دانه‌بندی حداقل روزی یک بار و یا برای هر محموله یا منابع قرضه (هرکدام که تناوب بیشتری بدهد)، کنترل می‌شوند.

۵-۲-۳-۳ رطوبت سنگدانه‌ها حداقل روزی یک بار و هر زمان که ناظر تشخیص دهد، تعیین می‌گردد.

۵-۲-۳-۴ تجهیزات ساخت بتن مورد بررسی قرار می‌گیرد تا از نظر حجم تولید و قابلیت ایجاد مخلوط همگن قابل قبول باشد.

۵-۲-۳-۵ تجهیزات اجرایی به لحاظ وضعیت فنی کنترل می‌شوند که شامل دستگاه پخش بتن، کامیون‌های کمپرسی با تخلیه از عقب، غلتک‌های فولادی ارتعاشی و غلتک‌های چرخ لاستیکی می‌باشند.

۵-۲-۴ کنترل مصالح

مطابق با جدول ۵-۱، باید برای کنترل کلیه مصالح مصرفی اقدام نمود.

جدول ۵-۱ کنترل مصالح مصرفی

مصالح	آزمایش	هدف	حداقل مقدار
سیمان	انطباق مشخصات سیمان با الزامات	اطمینان از انطباق سیمان با الزامات استاندارد	هر ۱۰۰۰ تن و حداقل ۲ بار در ماه
سنگدانه	بازرسی چشمی	مقایسه با شکل ظاهری معمولی دانه‌بندی، آلودگی و ناخالصی ظاهری	هر محموله یا هر منبع و قرضه
	دانه‌بندی	جهت ارزیابی انطباق با دانه‌بندی استاندارد	۱- اولین محموله از یک منبع ۲- درصورت هر گونه شک و تردید ۳- یک بار در هر روز (در بیشتر موارد شرایط محل قرضه نیز تعیین‌کننده است)
	درصد رطوبت	جهت تصحیح آب مورد نیاز مخلوط	روزانه در شروع فرایند تولید
سنگدانه	تعیین ناخالصی‌ها	تعیین مقدار ناخالص‌ها و انواع آلودگی سنگدانه	۱-اولین محموله از منبع برداشت ۲-در صورت هر گونه شک و تردید
سنگدانه	سنگدانه‌های پولکی و سوزنی و مقدار مقاومت سایشی	درصد سنگدانه‌های پولکی و سوزنی و تعیین سایش لس‌آنجلس	۱- اولین محموله از منبع برداشت ۲-در صورت هر گونه شک و تردید
افزودنی‌ها	کنترل نتایج	مقایسه نتایج آزمایشگاهی با استانداردها	هر محموله
آب	تجزیه و آنالیز شیمیایی	انطباق با مشخصات و الزامات استاندارد	۱-در صورتیکه آب از منابع توزیع شرب برداشت نشود ۲-هنگامی که برای اولین بار از یک منبع استفاده می‌شود ۳-در صورت هر گونه شک و تردید ۴-دو بار در سال از جائیکه آب از آن منبع برداشت می‌شود

۵-۲-۵ کنترل تجهیزات

به منظور کنترل تجهیزات دستگاه‌ها، باید جدول ۵-۲ مورد استفاده قرار گیرد.

جدول ۵-۲ کنترل تجهیزات

تجهیزات	آزمایش	هدف	حداقل مقدار
انبار	به هر طریق مناسب	جلوگیری از خطر آلودگی	هر هفته
تجهیزات توزین	بازرسی چشمی تطابق با توزین صحیح	اطمینان از صحت عملکرد جلوگیری از توزین غیر صحیح	روزانه ۱-هنگام نصب و راه‌اندازی ۲- دو بار در سال ۳-در صورت هر گونه شک و تردید
تجهیزات نگهداری توزین و توزیع افزودنی‌ها	بازرسی چشمی آزمایش دقت و تطابق	اطمینان از تمیز بودن ظروف و صحت عملکرد تجهیزات مربوطه جلوگیری از توزین و توزیع غیرصحیح	اولین محموله مورد استفاده در هر روز از هر نوع ۱-هنگام نصب و راه‌اندازی ۲-دو بار در سال ۳-در صورت هر گونه شک و تردید
تجهیزات توزین آب	مقایسه مقدار واقعی با مقدار اندازه‌گیری شده	جلوگیری از توزین غیر دقیق	۱-هنگام نصب و راه‌اندازی ۲-دو بار در سال ۳-در صورت هر گونه شک و تردید
سیستم‌های اندازه‌گیری بصورت حجمی	بازرسی چشمی مقایسه جرم واقعی مصالح با جرم اندازه‌گیری شده بر اساس حجم	اطمینان از عملکرد صحیح اطمینان از تطابق	روزانه ۱-هنگام نصب و راه‌اندازی ۲-هر ۳ ماه ۳-در صورت هر گونه شک و تردید
مخلوط کن	بازرسی چشمی	اطمینان از عملکرد مطلوب	هفتگی

۵-۲-۶ کنترل روند تولید

جهت کنترل مخلوط بتنی به منظور انطباق با طرح مخلوط، جدول ۵-۳ ملاک عمل می‌باشد.

جدول ۵-۳ کنترل مخلوط بتن

روند کنترل	آزمایش/بازرسی	حداقل تعداد
نسبت‌های مخلوط	انطباق و اطمینان از نسبت‌های صحیح	روزانه برای هر مخلوط‌کن

۵-۳ اجرای قطعه (نوار) آزمایشی

۵-۳-۱ پیمانکار موظف است برای هر پروژه یک قطعه (نوار) آزمایشی با یک ضخامت معادل با ضخامت و عرض مشخص شده در نقشه‌ها و مشخصات قرارداد، با حداقل ۴۰ مترمکعب بتن غلتکی (عرض ۳/۵ متر و طول حدود ۵۰ متر) اجرا نماید.

۵-۳-۲ برای اجرای نوار آزمایشی، باید عیناً همان تجهیزات مورد استفاده در پروژهٔ اصلی به کار گرفته شود. هدف از اجرای این نوار آزمایشی، بررسی مشکلات احتمالی می‌باشد که ممکن است برای تجهیزات، رفتار مخلوط بتن، خواص مقاومتی یا تراکم پیش آید.

۵-۳-۳ نوار آزمایشی باید در محلی که توسط پیمانکار انتخاب شده، ۴۵ روز قبل از آغاز عملیات روسازی اجرا گردد.

۵-۳-۴ پیمانکار باید توانایی خود را در دستیابی به یک سطح صاف، سخت، و عاری از هرگونه ترک‌خوردگی غیرمجاز، برآمدگی، قلوه‌کن‌شدگی و مصالح سست و شن‌زده به اثبات برساند.

۵-۳-۵ پیمانکار باید نشان دهد که می‌تواند به چگالی ۸۵ درصد از حداکثر چگالی مرطوب طبق استاندارد ASTM D1557 از خروجی فینیشر و همچنین چگالی ۹۸ درصد نسبت به حداکثر دانسیتهٔ تر پس از آخرین غلتک‌زنی دست پیدا نماید.

۵-۳-۶ پیمان‌کار باید در طی اجرای نوار آزمایشی، الگوی بهینه برای تراکم و فرایندهای لازم به منظور کسب تراکم با دانسیتهٔ حداقل ۹۸ درصد نسبت به دانسیتهٔ مرطوب حداکثر را پیاده‌سازی نماید.

۵-۳-۷ پس از اتمام نوار آزمایشی، به منظور بررسی و تأیید مخلوط جهت کسب مشخصات لازم طرح (مطابق بند ۵-۴-۴) اقدام به مغزه‌گیری خواهد شد. این امر توسط یک گروه مستقل آزمایشگاهی با هزینهٔ پیمانکار صورت خواهد گرفت.

۵-۳-۸ در طی اجرای نوار آزمایشی، کارشناسان آزمایشگاه، دستگاه تراکم‌سنج هسته‌ای را با نمونه‌ای از طرح مخلوط نوار آزمایشی بر طبق استاندارد ASTM C1040 کالیبره خواهند نمود. قرائت‌های مربوط به گیج رطوبتی باید توسط نمونه‌های خشک شده در آون از مخلوط بتن غلتکی در کارخانهٔ تولید بتن کالیبره شود. پیمانکار نباید عملیات بتن‌ریزی را قبل از اتمام فرآیندهای آزمایشگاهی و تأیید نتایج توسط مشاور و دستگاه نظارت عالیه (مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی) شروع نماید.

۵-۴ اجرای روسازی

۵-۴-۱ قبل از شروع بتن‌ریزی

آزمایشگاه همکار موظف است، بر اساس استاندارد ASTM D 1557، رابطه بین رطوبت-تراکم را برای مصالح واقعی در محل پروژه برقرار نماید و نتایج آن را در اختیار پیمانکار قرار دهد. همچنین لازم است تا رطوبت سنگدانه‌ها (با روش تعیین رطوبت سریع توسط آون میکروویو مطابق AASHTO T318) بصورت مرتب در ابتدای هر روز و در صورت تشخیص تغییر یا هر ۴ ساعت یکبار (بسته به اهمیت کار) مجدداً تعیین شود و رطوبت موجود برای محاسبه مقادیر سنگدانه مرطوب مصرفی و مقدار آب مصرفی (ساخت) بکار رود. این امر باید برای نوار آزمایشی و اجرای اصلی باید انجام شود. میزان رطوبت بهینه و حداکثر دانسیتهٔ مرطوب بدست‌آمده بر روی مصالح واقعی اجرا شده در نوار آزمایشی به همراه منحنی‌های چگالی -رطوبت (مطابق روش بخش ۳-۳)، قبل از شروع مراحل اجرای بتن غلتکی باید به دستگاه نظارت عالیه (مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی) ارائه شود.

۵-۴-۲ در طی عملیات بتن‌ریزی

پیمانکار باید از پیاده‌سازی فرآیند کنترل کیفی در محل کارخانه یا واحد تولید بتن آماده، با کنترل مصالح و اخذ نمونه‌های آزمایشی، از عدم جداشدگی در طی بارگیری و تخلیهٔ کامیون‌ها اطمینان حاصل کند. پیمانکار باید با همراهی آزمایشگاه همکار، اطمینان حاصل کند که مشخصات فنی مربوط به تراکم و محدوده‌های زمانی آن رعایت شود.

۵-۴-۲-۱ ناظر باید کنترل نماید که لایه اساس دارای خواص و تراز مورد نظر باشد و قبل از ریختن بتن غلتکی، مرطوب شده باشد. همچنین باید بتن غلتکی در محدوده زمانی مجاز از زمان ساخت، ریخته و متراکم گردد.

۵-۴-۲-۲ بایستی جرم حجمی بتن غلتکی پس از اتمام عملیات تراکم، توسط دستگاه چگالی سنج هسته‌ای یا روشهای معتبر دیگر کنترل شود.

۵-۴-۲-۳ از بتن تازه قبل از ریختن در محل به کمک چکش تراکم (طبق ASTM C1435) و یا ویبی اصلاح شده (طبق ASTM C1176) نمونه‌برداری می‌شود و نمونه‌ها به آزمایشگاه منتقل و تا سن مورد نظر جهت تعیین مقاومت فشاری نگهداری می‌گردند.

۵-۴-۲-۴ نحوه اجرای درزها و فواصل زمانی مورد نظر و صافی سطح بتن غلتکی کنترل می‌گردد.

۵-۴-۲-۵ نحوه عمل آوری و مدت زمان اعمال آن روی روسازی توسط ناظر کنترل می گردد.

۵-۴-۲-۶ برای تعیین دانسیته کارگاهی، آزمایشگاه همکار، باید فرآیند اندازه‌گیری چگالی بتن غلتکی را مطابق با استاندارد ASTM C1040 بلافاصله پشت سر فینیشر انجام دهد. برای ارزیابی، فقط چگالی مرطوب ملاک خواهد بود. حداقل ۵ آزمون در پشت سر فینیشر و به دنبال تراکم نهایی برای هر بتن ریزی با حجم ۲۰۰ مترمکعب لازم است. پیمان‌کار متعهد به دستیابی به دانسیتهٔ لازم توسط غلتک نهایی است.

۵-۴-۲-۷ برای تعیین دانسیته کارگاهی اگر چنانچه نتایج بدست‌آمده در حین اجرا، الزامات تراکم را برآورده نسازد، پیمانکار باید دلیل بروز مشکل را تعیین و هر چه سریع‌تر به رفع نمودن آن اقدام نماید. در صورتی که مشکل پابرجا ماند، باید عملیات اجرایی متوقف شود.

۵-۴-۳ بعد از بتن‌ریزی

۵-۴-۳-۱ آزمایشگاه همکار، باید حداقل ۹ آزمونه مغزهٔ استوانه‌ای را از هر محدودهٔ روسازی اخذ نماید. مغزه‌گیری باید مطابق با استاندارد شماره ۱۲۳۰۶ ملی ایران صورت گیرد.

۵-۴-۳-۲ محدودهٔ روسازی به محدوده‌ای با مساحت ۳۵۰۰ متر مربع یا محدودهٔ مربوط به هر شیفت بتن‌ریزی روزانه، هر کدام کمتر باشد اطلاق می‌شود.

۵-۴-۳-۳ اندازه‌گیری‌های طولی از مغزه‌ها (معادل ضخامت روسازی) و آزمون مقاومت فشاری باید بر طبق استاندارد ASTM C42 صورت گیرد. مقاومت کششی دو نیم‌شدن (برزیلی) باید مطابق استاندارد ASTM C 496 انجام گیرد.

۵-۴-۳-۴ بررسی آزمونه‌ها باید مطابق بندهای زیر صورت گیرد:

۵-۴-۳-۴-۱ ضخامت: هر ۹ مغزه برای بررسی ضخامت کنترل می‌شوند.

۵-۴-۳-۴-۲ مقاومت فشاری و کششی: سه مغزه برای تعیین مقاومت فشاری ۲۸ روزه در شرایط اشباع‌شده (یا مطابق سن مقرر تعیین‌شده در طراحی) و ۳ مغزه برای مقاومت کششی دو نیم شدن کنترل می‌شوند.

۵-۴-۴- پذیرش ضخامت و مقاومت بتن روسازی (بصورت توأم)

۵-۴-۴-۱- کاهش ضخامت کمتر از ۲/۵ درصد برای هر مغزه مجاز است، به شرط آنکه مقاومت اصلاح شده هر مغزه در سن ۲۸ روزه (یا سن مقرر دیگر) از ۷۵ درصد مقاومت مشخصه کمتر نشود. همچنین کاهش میانگین ضخامت مغزه‌ها به میزان کمتر از ۲/۵ درصد مجاز است، به شرط آنکه میانگین مقاومت اصلاح‌شده مغزه‌ها از ۸۵ درصد مقاومت مشخصه کمتر نگردد.

۵-۴-۴-۲- در صورتی که ضخامت هر یک از مغزه‌ها به میزان ۲/۵ درصد یا بیشتر، کاهش یابد، طبق جدول زیر می‌توان اقدام به پذیرش بتن بدون جریمه نمود.

جدول ۵-۴ پذیرش مقاومت و میانگین کاهش ضخامت (بصورت توأم) برای هر مغزه منفرد

درصد کاهش ضخامت هر مغزه	درصد مقاومت فشاری یا کششی مشخصه برای مقاومت هر مغزه اصلاح‌شده متناظر
۰	۷۵
۲/۵	۸۰
۵	۸۵
۷/۵	۹۰
۱۰	۹۵
۱۲/۵	۱۰۰

۵-۴-۴-۳- در صورتی که ضخامت متوسط مغزه‌ها بطور متوسط کاهشی کمتر از ۲/۵ درصد داشته باشد، مقاومت میانگین اصلاح‌شده مغزه‌ها در سن ۲۸ روز (یا هر سن مقرر دیگر) نباید از ۹۰ درصد مقاومت مشخصه کمتر شود. ضمناً ضوابط بند ۵-۴-۲ برای هر مغزه نیز باید برآورده می‌گردد.

جدول ۵-۵ پذیرش میانگین مقاومت و میانگین کاهش ضخامت (بصورت توأم) برای همه مغزه‌ها

درصد کاهش ضخامت مغزه‌ها	درصد مقاومت فشاری یا کششی مشخصه برای میانگین مغزه‌های اصلاح شده
۰	۸۵
۲/۵	۹۰
۵	۹۵
۷/۵	۱۰۰

۵-۴-۴-۲- در صورتی که کاهش ضخامت هر مغزه، بیشتر از ۱۲/۵ درصد یا کاهش ضخامت متوسط مغزه‌ها بیش از ۷/۵ درصد باشد، پذیرش توسط ناظر مقیم و دستگاه نظارت مشاور انجام نمی‌شود و پذیرش

بتن روسازی منوط به نظر نظارت عالیه (مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی) و بررسی‌های بیشتر و محاسبات کنترل طراحی و مقطع خواهد بود.

۵-۴-۴-۳- در صورتی که پذیرش بتن روسازی طبق بند ۵-۴-۴-۱ انجام شود، جریمه‌ای اخذ نمی‌شود، اما اگر پذیرش بتن روسازی طبق بند ۵-۴-۴-۲ انجام گردد، مشمول جریمه خواهد شد. بهرحال چنانچه پذیرش انجام نشود، تخریب یا اصلاح آن محدوده روسازی در دستور کار قرار می‌گیرد مگر اینکه مجدداً مغزه‌گیری در همان محدوده روسازی انجام شود و مورد پذیرش قرار گیرد.

تبصره: برای مغزه‌گیری جدید، نظارت عالیه محلی مغزه ها را مشخص خواهد نمود.

۵-۴-۴-۴- بدیهی است چنانچه کل محدوده روسازی مورد پذیرش قرار گیرد، اما ناحیه‌ای به جهت نقص در ضخامت یا مقاومت و یا ترکیب آنها نهایتاً مورد تردید یا عدم پذیرش واقع شود، لازم است نظارت عالیه محل مغزه‌های جدید را اعلام نماید و ناحیه ضعیف را پس از مغزه‌گیری‌های جدید مشخص کند. بهرحال ممکن است ناحیه مورد نظر مورد پذیرش قرار گیرد یا دستور تخریب موضعی آن ناحیه صادر شود.

۵-۵ اقدامات اصلاحی و ترمیمی

۵-۵-۱ چنانچه در حین اجراء، قسمتی از رویه به مرحله گیرش اولیه نرسیده و در حالت خمیری باشد می‌توان اصلاحات مورد نظر را بر روی آن انجام داد، به‌شرطی که پیوستگی لازم بین بتن یا ملات ترمیمی با بتن تازه موجود برقرار گردد.

۵-۵-۲ چنانچه نقیصه‌های ظاهری در روسازی مشاهده گردد و حالت خمیری از بین رفته باشد، می‌توان عملیات ترمیمی را طبق مشخصات تعمیر سطوح بتنی انجام داد. بدیهی است برخی تعمیرات پس از ۲۸ روز و عدم پذیرش بتن روسازی مورد نیاز است و ضوابط تعمیر کلی لایه موردنظر در ناحیه یا محدوده روسازی مشخص باید رعایت گردد.

۵-۵-۳ برای عملیات ترمیمی یا تعمیر کلی، بتن سخت شده موردنظر باید با اره بریده شود و بکارگیری وسایل ضربه‌ای مجاز نمی‌باشد. قبل از شروع ترمیم یا تعمیر کلی، ملات یا بتن ترمیمی باید مشخص شود و مورد آزمایش قرار گیرد. بدیهی است بتن یا ملات ترمیمی نباید ضعیف‌تر از بتن اصلی باشد،

و نسبت آب به سیمان (w/c) آن باید مساوی یا کمتر از بتن اصلی (پایه) در نظر گرفته شود. چنانچه ناحیه یا منطقه تعمیری یا ترمیمی، کوچک و محصور در بتن روسازی باشد، کاهش جمع‌شدگی یا حذف آن لازم است. در صورتیکه بتن اصلی در تمام ضخامت لایه بریده شود، لازم است میلگرد داول با استفاده از سوراخ‌کردن بتن پایه و بکارگیری چسب اپوکسی رزین یا ملات انبساطی در بتن پایه نصب شود. پس از دستیابی چسب یا ملات به مقاومت کافی، سطح بتن برش‌خورده و قسمت تحتانی باید قبل از اعمال بتن یا ملات ترمیمی (تعمیری) باید با آب اشباع گردد، اما آب اضافی زدوده گردد.

۵-۵-۴ همچنین می‌توان، سطح بتن پایه را با ماده لاتکس مناسب پوشش داد و سپس ملات یا بتن تعمیری را ریخت. بدیهی است این بتن یا ملات با روش تراکمی مناسب باید متراکم شوند (در سطوح کوچک استفاده از غلتک مجاز نیست)، سپس باید پرداخت مناسب انجام شود.

۵-۵-۵ بتن یا ملات ترمیمی (تعمیری) باید به نحو مقتضی عمل‌آوری شود و پس از تأیید کیفیت سطح توسط مهندس ناظر مورد استفاده قرار گیرد.

۵-۵-۶ در هر صورت مواد و روش کار عملیات ترمیمی یا تعمیر کلی باید به تأییدیه دستگاه نظارت عالیه (مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی) برسد.

۵-۵-۷ در صورتی که کیفیت سطح مورد تأیید نباشد، باید عملیات زبر کردن یا ساییدن (بسته به مورد) انجام شود.

۵-۶ بازگشایی

۵-۶-۱ روسازی بتن غلتکی ممکن است برحسب مشخصات فنی موجود، با شرط کسب ۷۰ درصد مقاومت فشاری یا کششی مشخصه برای نمونه آگاهی یا دستیابی مغزه‌ها به مقاومت ۶۰ درصد مقاومت مشخصه، به روی ترافیک گشوده شود.

۵-۶-۲ بدیهی است عبور وسایلی همچون تانکر آب‌پاش یا وسایل نقلیه سبک جهت انجام آزمون‌ها یا افراد بازدیدکننده در زمان کمتر از یک روز مجاز می‌باشد.

۵-۷ تضمین و بیمه کردن کیفیت کار

پیمانکار باید کیفیت پروژه را تضمین نماید و در صورت لزوم برای مدت معین نیز بیمه کیفیت ارائه دهد.

۵-۸ جریمه

۵-۸-۱ در صورتی که نمونه‌های تهیه شده و عمل‌آوری‌شده در شرایط استاندارد، انطباق با رده را نشان ندهد، پیمانکار جریمه خواهد شد. هم‌چنین در صورتی که طبق ضوابط بند ۵-۴-۴-۱، بتن و ضخامت آن (بصورت ترکیبی) مورد پذیرش قرار نگیرد یا طبق بند ۵-۴-۴-۲ مورد پذیرش قرار گیرد، جریمه متناسبی منظور خواهد شد. بدیهی است صرفاً در یک مورد جریمه کسر می‌شود. بهرحال اگر تخریب یا تعمیر کلی نیاز باشد، هزینه عملیات مربوطه باید توسط پیمانکار تأمین گردد و جریمه‌ای اعمال نمی‌شود و صرفاً طبق مقادیر کار اصلی انجام شده و فهرست بهاء و ضرائب مربوطه، پرداخت به پیمانکار صورت می‌گیرد.

۵-۸-۲ در صورت عدم انطباق با رده، حداکثر مقاومت مشخصه فرضی که انطباق با آن حاصل می‌گردد (fca) مشخص می‌شود نسبت $\frac{f_{ca}}{f_c} = R$ محاسبه می‌گردد و بسته به اهمیت پروژه و حساسیت شرایط محیطی و ترافیکی ضریب K اعمال خواهد شد. مقدار K می‌تواند بین ۱ تا ۳ باشد. ۵-۸-۳ در صورت عدم رویه بتنی طبق بند ۵-۴-۴-۱، به شرطی که طبق بند ۵-۴-۴-۲ پذیرفته شود، مقاومت بتن یا ضخامتی که به عدم پذیرش منتهی شده است مشخص می‌باشد. نسبت‌های این مقاومت یا ضخامت به مقاومت و ضخامت قابل قبول همان R می‌باشد و طبق بند ۵-۸-۲ مقدار K برای پروژه مشخص می‌شود و مطابق همان بند قیمت یا میزان جریمه محاسبه می‌شود. محاسبه جریمه در این بند طبق نظر نظارت عالیه (مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی) خواهد بود.

مراجع

[1] American Concrete Institute, Committee 325, State-of-the-Art Report on Roller-Compacted Concrete Pavements, ACI Report 325.10R-95, Farmington Hills, MI, 2004.

[2] Portland Cement Association, Guide for roller-compacted concrete pavements, National Concrete Pavement Technology Center, Iowa State University, PCA, 2010

[3] Portland Cement Association, Guide Specification for Construction of Roller-Compacted Concrete Pavements. Publication IS009, Skokie, IL, 2004.

[۴] معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رییس‌جمهور، راهنمای طراحی و اجرای بتن غلتکی در روسازی راه‌های کشور، نشریه شماره ۳۵۴، ۱۳۸۸

[5] Portland Cement Association, Structural design for roller-compacted concrete for industrial pavements. Concrete Information. Publication IS233.01. Skokie, Illinois, 1987.

[6] Portland Cement Association. 2002a. RCC-PAVE Computer Program. Item Code MC043. Skokie, IL, 2002.

[7] Portland Cement Association. 2002b. Roller-Compacted Concrete Quality Control Manual. Publication EB215.02. Skokie, IL, 2002.

[8] Portland Cement Association. 2005. Roller-Compacted Concrete Pavements for Highways and Streets. Publication IS328. Skokie, IL, 2005.

[9] Portland Cement Association. 2007a. Paving equipment and RCC: The next generation? Skokie, IL, 2007.

[10] Portland Cement Association. 2007b. Roller-compacted concrete (RCC) performance. Skokie, IL, 2007.