بسم الله الرحمن الرحیم

وزارت راه و شهرسازی

مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی

سازمان مجری ساختمان‌ها و تاسیسات دولتی و عمومی

گزارش نهایی مطالعات پروژه

ضوابط کنترل کیفی و چک‌لیست‌های پذیرش بتن آمادهٔ مصرفی و اجزای آن (مواد افزودنی شیمیایی) در شرایط اقلیمی مختلف مصرفی در پروژه‌های عمرانی

کارفرما

سازمان مجری ساختمان‌ها و تاسیسات دولتی و عمومی وزارت راه، مسکن و شهرسازی

مجری

مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی

مهر ۱۳۹۳

مدیران پروژه

دکتر جعفر سبحانی

مهندس علیرضا پورخورشیدی

اعضاء کمیته فنی پروژه‌های پژوهشی سازمان مجری وزارت راه، مسکن و شهرسازی

۱- مهندس رضا اخباری

۲- مهندس خالد خیری

۳- مهندس داوود سازگاری

۴- مهندس خسرو شادمهر

اعضاء کمیته تدوین

۱- دکتر جعفر سبحانی

۲- مهندس علیرضا پورخورشیدی

۳- دکتر محسن تدین

کارشناسان مسئول پروژه

۱- مریم لطفی

۲- شیلا مردانیان

همکاران پروژه

۱- مهندس بابک احمدی

۲- مهندس پوریا عاشوری

۳- مهندس پرهام حیاتی

۴- دکتر حسام مدنی

۵- دکتر پیلتن طباطبایی

فهرست مطالب

عنوان.....صفحه

فصل اول ۲۰

تعاریف و کلیات ۲۰

مقدمه ۲۰

۱-۱ سنگدانه‌ها ۲۰

۱-۱-۱ کلیات سنگدانه‌های مصرفی ۲۰

۱-۱-۲ تعاریف سنگدانه‌های مصرفی ۲۱

۱-۲ سیمان ۲۲

۱-۲-۱ کلیات سیمان و مواد سیمانی مصرفی ۲۲

۱-۲-۴ تعاریف ۲۶

۱-۳ آب ۲۸

۱-۳-۱ کلیات ۲۸

۱-۳-۲ تعاریف ۳۰

۱-٤ مواد افزودنی شیمیایی ۳۰

۱-۴-۱ کلیات ۳۱

۱-۴-۲ تعاریف اولیه ۳۲

۱-۴-۳ کلیات مواد افزودنی شیمیایی ۳۳

۱-۴-۳-۲ فوق‌روان‌کننده‌ها (فوق‌کاهنده‌های آب) ۳۶

۱-۴-۳-۳ تسریع‌کننده‌های گیرش و سخت‌شدگی ۳۹

۱-۴-۳-۴ دیرگیرکننده‌ها (کندگیرکننده‌ها) ۴۴

۱-۴-۳-۵ مواد حباب‌زا (حباب‌ساز) ۴۶

فصل دوم ۵۲

استانداردها و آیین‌نامه‌های سنگدانه‌های مصرفی در بتن آماده ۵۲

مقدمه ۵۲

۲-۱ استانداردهای سنگدانه‌ها ۵٤

۲-۲ الزامات و کنترل کیفی سنگدانه‌های مصرفی در بتن آماده ۵۵

۲-۲-۱ الزامات دانه‌بندی ۵۵

۲-۲-۲ الزامات مواد زیان‌آور در سنگدانه‌های ریز و درشت ۵۶
۲-۲-۳ الزامات سنگدانه‌های پولکی و سوزنی شکل ۵۸
۲-۲-۴ سایر مشخصات الزامی و اختیاری سنگدانه‌ها ۵۸

فصل سوم ۶۲

استانداردها و آیین‌نامه‌های سیمان و مواد سیمانی مصرفی در بتن آماده ۶۲

مقدمه ۶۲

۳-۳ استانداردهای کنترل کیفی سیمان ۶۳

۳-٤ الزامات و کنترل کیفی سیمان و مواد سیمانی جایگزین در بتن آماده ٦٥

۳-٥ الزامات و کنترل کیفی پوزولان و میکروسیلیس ٦٧

فصل چهارم ٦٩

استانداردها و آیین‌نامه‌های آب مصرفی در بتن آماده ٦٩

مقدمه ٦٩

٤-۱ محدودیت مواد مضر در آب مصرفی برای ساخت بتن ٦٩

٤-۲ ارزیابی و کنترل کیفی آب مصرفی در ساخت بتن ۷۱

فصل پنجم ۷۳

استانداردها و آیین‌نامه‌های مواد افزودنی شیمیایی مصرفی در بتن آماده ۷۳

مقدمه ۷۳

۵-۱ استانداردهای ASTM در زمینه افزودنی‌های بتن ۷۳

۵-۱-۱ انواع افزودنی‌های شیمیایی بتن طبق استاندارد ASTM C494 و ویژگی‌های آنها ۷۳
۵-۱-۲ افزودنی‌های شیمیایی بتن طبق استاندارد ASTM C 1017 برای استفاده در ساخت بتن‌های روان (Flowing Concrete) ۷۸
۵-۱-۳ افزودنی‌های هواساز بتن طبق ASTM C260 ۸۰

۵-۲ انواع افزودنی‌های بتن طبق استاندارد EN 934-2 و ۲۹۳۰ ملی ایران ۸۲

۵-۲-۱-الزامات افزودنی‌های بتن طبق EN 934-2 و ۲۹۳۰ ایران ۸۲

۵-۳ مقایسه تطبیقی استانداردهای مورد بررسی ۹۱

۵-۳-۱ مقایسه نحوه کنترل کیفی و یکنواختی استانداردهای ASTM و EN و ۲۹۳۰ ایران ۹۱

۵-۳-۲ مقایسه الزامات عملکردی استانداردهای ASTM و EN ۹۲
۵-۳-۳- نتیجه‌گیری ۹۲

فصل ششم ۱۰۳

دستورالعمل کنترل کیفی مصالح و مواد اولیه مصرفی در بتن آماده و چک لیست‌های مربوطه ۱۰۳

مقدمه ۱۰۳

۶-۱ کنترل کیفی سنگدانه‌های مصرفی ۱۰۳

۶-۲ نمونه‌برداری و کنترل کیفی سیمان و مواد سیمانی ۱۰۸

۶-۲-۱ نمونه‌برداری از محل تسمه نقاله یا لوله انتقال به سیلو . ۱۰۸
۶-۲-۲ نمونه برداری از محل تخلیه از سیلو ۱۰۸
۶-۲-۳ نمونه‌برداری از انبار سیمان فله ۱۰۸
۶-۲-۴ نمونه‌برداری از انبار کیسه‌های سیمان ۱۰۸
۶-۲-۵ نمونه‌برداری از محموله کامیون و سایر موارد ذکر نشده . ۱۰۹
۶-۳ نمونه‌برداری از میکروسیلیس و مواد جایگزین پوزولانی برای آزمون‌های کنترل کیفی ۱۰۹

۶-۴ تواتر نمونه‌برداری از سیمان و مواد مکمل سیمانی ۱۰۹

۶-۵ ضوابط کنترل پذیرش مواد سیمانی ۱۱۰

۶-۶ الزامات تحویل، انبارداری و نگهداری مواد سیمانی و توصیه‌های اجرایی ۱۱۰

۶-۷ چک لیست‌های کنترل سیمان و مواد سیمانی ۱۱۵

۶-۸ نمونه‌برداری و کنترل کیفی آب مصرفی ۱۱۵

۶-۸-۱ تواتر نمونه‌برداری ۱۱۶
۶-۸-۲ آب آشامیدنی ۱۱۶
۶-۸-۳ آب بازیافتی از فرآیند تولید در واحدهای تولید بتن آماده ۱۱۶
۶-۸-۴ آب تامین شده از منابع زیرزمینی، آبهای سطحی طبیعی، و آب بازیافتی از پساب‌های صنعتی ۱۱۶

۶-۹ ارزیابی و کنترل کیفی آب مصرفی در ساخت بتن ۱۱۶

۶-۱۰ ضوابط استفاده از آب مشکوک در تولید بتن ۱۱۷

۶-۱۱ چک لیست‌های کنترل آب مصرفی ۱۱۹

۶-۱۲ نمونه‌برداری و کنترل کیفی مواد افزودنی بتن ۱۱۹

۶-۱۲-۱ افزودنی‌های پودری (بسته‌بندی شده کیسه‌ای) ۱۱۹

۶-۱۲-۲ افزودنی‌های مایع ۱۲۰
۶-۱۲-۳ برگ گزارش کنترل کیفی ۱۲۱
۶-۱۳ چک لیست‌های کنترل مواد افزودنی شیمیایی ۱۲۲
فصل هفتم ۱۲۷
طرح نسبت‌های مخلوط بتن آماده ۱۲۷
۷-۱ کلیات ۱۲۷
۷-۲ مبانی طرح اختلاط بتن ۱۳۰
۷-۳ دامنهٔ کاربرد ۱۳۱
۷-٤ حاشیه ایمنی مقاومت ۱۳۱
۷-۵ اندازه‌گیری روانی ۱۳۲
۷-٦ آب آزاد ۱۳۲
۷-۷ نوع سنگدانه‌ها ۱۳۳
۷-۸ دانه‌بندی سنگدانه ۱۳۳
۷-۹ سیمان مصرفی ۱۳۳
۷-۱۰ تعیین انحراف معیار و مقاومت فشاری متوسط لازم ۱۳٤
۷-۱۰-۱ مقاومت فشاری متوسط لازم ۱۳۴
۷-۱۰-۲ تعیین انحراف معیار ۱۳۴
۷-۱۱ فرآیند طرح اختلاط بتن آماده، بر مبنای روش ملی طرح مخلوط بتن ۱۳۷
۷-۱۱-۱ گام اول: تعیین نسبت آب به سیمان ۱۳۸
۷-۱۱-۲ گام دوم: انتخاب منحنی سنگدانه ۱۳۹
۷-۱۱-۳ گام سوم: تعیین مقدار آب آزاد بتن ۱۴۳
۷-۱۱-۴ گام چهارم – تعیین مقدار سیمان در بتن ۱۴۵
۷-۱۱-۵ گام پنجم – تعیین مقدار سنگدانه در بتن ۱۴۸
۷-۱۲ ملاحظات خاص در طرح مخلوط بتن‌های پمپی ۱۴۹
فصل هشتم ۱۵۱
فرآیند بچینگ، اختلاط، سفارش، حمل و تحویل بتن آماده ۱۵۱

۸-۱ مقدمه ۱۵۱
۸-۲ بچینگ (پیمانه زنی) ۱۵۲
۸-۳ اختلاط بتن ۱۵۳
۸-٤ بچینگ ایستگاهی ۱۵٤
۸-۵ بتن آماده ۱۵۸
۸-٦ بچینگ بتن در حال حرکت (مخلوط‌کن متحرک) ۱٦۰
۸-۷ مخلوط کردن دوبارهٔ بتن ۱٦۲
۸-۸ حمل و کار با بتن ۱٦۳
۸-۸-۱ تاخیر ۱٦۳
۸-۸-۲ خشک شدگی و سخت شدگی زودهنگام ۱٦۴
۸-۸-۳ جداشدگی ۱٦۴
۸-۹ روش‌ها و تجهیزات برای حمل، جابجایی و کار با بتن ۱٦٤
۸-۱۰ انتخاب مناسب‌ترین روش ۱۷٦
۸-۱۱ کار در بالا و یا در زیر سطح زمین ۱۷٦
۸-۱۲ کار در بالای سطح زمین ۱۷۸
۸-۱۳ برنامهٔ سفارش بتن آماده و کارهای نظارتی ۱۸۰
فصل نهم ۱۹۲
نمونه‌برداری و آزمایش بتن آماده و ضوابط پذیرش ۱۹۲
۹-۱ نمونه‌برداری از بتن آماده ۱۹۲
۹-۲ عوامل موثر بر نمونه‌برداری در شرایط استاندارد ۱۹۳
۹-۳ اعتبارسنجی نتایج و کنترل‌های ساده ۱۹۵
۹-٤ اهمیت ارتباط بین کاربر و تولید کننده ۱۹٦
۹-۵ بررسی‌های چشمی و کنترل نمونه‌های مورد آزمایش ۱۹٦
۹-٦ بررسی و پذیرش بتن از نظر مقاومت فشاری ۱۹۹

۹-۷ ضوابط پذیرش بتن ۲۰۰
۹-۸ شرایط عدم پذیرش بتن ۲۰۱
۹-۹ شرایط بتن مشکوک ۲۰۱
۹-۱۰ ضوابط پذیرش طبق استاندارد اروپایی ۲۰۲
۹-۱۱ اقدامات مربوط به عدم پذیرش ۲۰۵
۹-۱۲ اصول مغزه‌گیری و بررسی مقاومت بتن در سازهٔ اجرا شده ۲۰۵
۹-۱۳ تفسیر نتایج مغزه‌های اخذ شده از سازه ۲۰۶
۹-۱٤ استفاده از آزمایشات غیر مخرب ۲۰۷
۹-۱۵ ارائهٔ راهکار برای بتن مردود ۲۰۷
۹-۱٦ راه‌کارهای افزایش مقاومت و دوام بتن در یک سازه ۲۰۷
۹-۱۷ کنترل مقادیر یا نسبت‌های طرح مخلوط ۲۰۸
۹-۱۸ بررسی و آنالیز بتن تازه ۲۰۸
۹-۱۹ آنالیز شیمیایی بتن سخت شده ۲۰۹
فصل دهم ۲۱۱
کنترل کیفیت ۲۱۱
۱۰-۱ کلیات ۲۱۱
۱۰-۲ کنترل مقدماتی ۲۱۲
۱۰-۳ کنترل لحظه‌ای ۲۱٤
۱۰-٤ کنترل‌های باز نگرانه ۲۱٤
۱۰-۵ پایش کیفیت ۲۱٤
فصل یازدهم ۲۱۸
تولید، تحویل، و تضمین کیفیت ۲۱۸
۱۱-۱ روش‌های تولید ۲۱۸

۱۱-۱-۱ انواع مصالح ۲۱۹
۱۱-۱-۲ ظرفیت ذخیره‌سازی ۲۱۹
۱۱-۱-۳ توالی عملیات ۲۲۰
۱۱-۱-۴ گنجایش و توان عملیاتی کامیون‌های مخلوط‌کن ۲۲۴
۱۱-۱-۵ الزامات برنامه‌ریزی ۲۲۴
۱۱-۱-۶ الزامات کنترل کیفی ۲۲۴
۱۱-۱-۷ تداوم عملیات ۲۲۵
۱۱-۱-۸ ایمنی و سلامت ۲۲۵

۱۱-۲ سازماندهی تولید و تحویل ۲۲۶

۱۱-۳ تحویل ۲۲۸

۱۱-۳-۱ کامیون‌های مخلوط‌کن ۲۲۸
۱۱-۳-۲ کامیون‌های کمپرسی بتن آماده ۲۳۴
۱۱-۳-۳ تسمه نقاله‌ها ۲۳۵

۱۱-۴ تضمین کیفیت ۲۳۶

فصل دوازدهم ۲۳۷

بتن آماده در کارگاه ۲۳۷

۱۲-۱ انتخاب بتن آماده ۲۳۷

۱۲-۱-۱ هزینه‌های اختلاط در کارگاه ۲۳۷
۱۲-۱-۲ بتن آماده در مقایسه با تولید بتن در کارگاه ۲۳۹
۱۲-۱-۳ دستگاه‌های تولید بتن آماده در کارگاه ۲۳۹

۱۲-۲ آماده سازی کارگاه برای بتن آماده ۲۴۰

۱۲-۲-۱ ارتباط تولید کننده و کارگاه ۲۴۰
۱۲-۲-۲ مقررات تولید بتن ۲۴۰
۱۲-۲-۳ برنامه‌ریزی تحویل بتن ۲۴۱

۱۲-۳ بتن آماده در کارگاه ۲۴۲

۱۲-۳-۱ برگهٔ تحویل ۲۴۲
۱۲-۳-۲ افزودن آب در کارگاه ۲۴۳
۱۲-۳-۳ ایمنی ۲۴۴
۱۲-۳-۴ تأخیر ۲۴۵

۱۲-۴ چک لیست‌های کنترل تجهیزات ۲۴۶

۱۲-۵ بتن‌ریزی ۲۵۰
۱۲-٦ متراکم کردن بتن ۲۵۳
۱۲-۷ عمل‌آوری بتن ۲۵۳
۱۲-۸ پمپ کردن بتن ۲۵۳
۱۲-۸-۱ پیمانکار ۲۵۳
۱۲-۸-۲ مسئول پمپاژ ۲۵۴
۱۲-۸-۳ تولید کننده بتن آماده ۲۵۵
فصل سیزدهم ۲۵۷
بتن آماده در شرایط آب و هوایی سرد ۲۵۷
۱۳-۱ کلیات ۲۵۷
۱۳-۲ تاثیر هوای سرد بر خواص بتن ۲۵۷
۱۳-۳ تعیین دمای بتن ۲۵۹
۱۳-٤ توصیه‌هایی برای تولید بتن و بتن‌ریزی در هوای سرد ۲٦۰
۱۳-۴-۱ اجزای مخلوط بتن ۲۶۰
۱۳-۴-۱-۱ سیمان ۲۶۰
۱۳-۴-۱-۲ سنگدانه‌ها ۲۶۱
۱۳-۴-۳ آب مخلوط ۲۶۲
۱۳-۴-۴ ماده افزودنی حباب ساز ۲۶۳
۱۳-۴-۵ ماده افزودنی زودگیر کننده ۲۶۴
۱۳-۵ مخلوط کردن وانتقال بتن در هوای سرد ۲٦٤
۱۳-٦ بتن‌ریزی ۲٦٤
۱۳-۷ حفاظت از وسایل کار در هوای سرد ۲٦٥
۱۳-۸ محافظت پس از بتن ریزی ۲٦٥
فصل چهاردهم ۲٦٦
بتن آماده در شرایط آب و هوایی گرم ۲٦٦
۱٤-۱ کلیات ۲٦٦

۱۴-۲ تاثیر هوای گرم بر خواص بتن ۲۶۶
۱۴-۲-۱ تاثیر هوای گرم بر خواص بتن تازه ۲۶۷
۱۴-۲-۲ تاثیر هوای گرم بر خواص بتن سخت شده ۲۶۷
۱۴-۳ عوامل مؤثر در تشدید خسارات ناشی از هوای گرم ۲۶۸
۱۴-۴ جمع شدگی خمیری ۲۶۸
۱۴-۵ تخمین دمای بتن و کاهش دمای مصالح ۲۷۲
۱۴-۶ توصیه‌هایی برای تولید بتن و عملیات بتن‌ریزی در هوای گرم ۲۷۳
۱۴-۶-۱ تمهیدات اعمالی بر مصالح مصرفی ۲۷۳
۱۴-۷ تولید بتن ۲۷۵
۱۴-۷-۱ آب پاشی متناوب بر روی توده سنگدانه‌ها ۲۷۵
۱۴-۷-۲ استفاده از آب خنک یا سرد ۲۷۵
۱۴-۷-۳ استفاده از یخ ۲۷۶
۱۴-۸ حمل و تحویل بتن ۲۷۸
۱۴-۹ کنترل دمای بتن پس از بتن‌ریزی ۲۷۹
فصل پانزدهم ۲۸۱
بتن آماده در شرایط محیطی خلیج فارس و دریای عمان ۲۸۱
۱۵-۱ کلیات ۲۸۱
۱۵-۲ دمای محیط ۲۸۳
۱۵-۳ رطوبت هوا ۲۸۳
۱۵-۴ وزش باد ۲۸۳
۱۵-۵ دمای هوا در هنگام شب ۲۸۴
۱۵-۶ توصیه‌های کاربردی در شرایط محیطی خلیج فارس و دریای عمان بر خواص بتن ۲۸۴
۱۵-۶-۱ مصالح سنگی ۲۸۴
۱۵-۶-۲ سیمان ۲۸۵
۱۵-۶-۳ آب مصرفی ۲۸۶
۱۵-۶-۴ نسبت آب به سیمان ۲۸۷

۱۵-۷ ختلاط و بتن‌ریزی ۲۸۷

۱۵-۸ عمل آوردن بتن ۲۸۸

۱۵-۹ میلگردها و حفاظت از آنها در مقابل خوردگی ۲۸۹

۱۵-۱۰ توصیه‌هایی برای تولید و اجرای بتن در شرایط محیطی خلیج فارس و دریای عمان ۲۸۹

۱۵-۱۰-۱ تابش اشعه خورشید ۲۸۹

ضمیمه ۲۹۱

دستورالعمل کنترل مضاعف بتن توسط سازمان مجری ساختمان‌ها و تاسیسات دولتی و عمومی ۲۹۱

مقدمه ۲۹۱

کنترل مضاعف اجزاء بتن ۲۹۲

سیمان ۲۹۲

مواد جایگزین سیمان ۲۹۲

مصالح سنگی ۲۹۳

آب ۲۹۳

افزودنیهای شیمیایی ۲۹۴

کنترل مضاعف بتن ۲۹۵

بتن در حال اجرا ۲۹۵

بتن سخت شده ۲۹۵

چک لیست‌های کنترلی چک‌لیست کنترل سنگدانه ۲۹۷

چک‌لیست کنترل سنگدانه ۲۹۸

چک‌لیست کنترل سیمان ۲۹۹

چک لیست مقدماتی آب مصرفی در تولید بتن آماده ۳۰۰

چک‌لیست کنترل آب ۳۰۱

چک لیست بازدید از انبار نگهداری محصول نهایی ۳۰۲

چک لیست بازدید و تحویل محصول نهایی ۳۰۳

چک لیست بازدید از آزمایشگاه کنترل کیفیت ۳۰٤

چک لیست استعلام و سفارشات بتن آماده _____ ۳۰۶

چک لیست استعلام/سفارش _____ ۳۰۷

چک لیست ثبت پیمانه روزانه _____ ۳۰۸

چک لیست طرح مخلوط _____ ۳۰۹

چک لیست تأیید نمونه‌گیری و آزمایش _____ ۳۱۰

چک لیست تهیه و عمل‌آوری نمونه‌ها در کارگاه _____ ۳۱۱

چک لیست آزمایش نمونه‌های مقاومت فشاری _____ ۳۱۲

چک لیست های مربوط به تولید _____ ۳۱۳

چک لیست کارت پیمانه _____ ۳۱۸

چک لیست مراقبتی روزانه دستگاه‌ها و تجهیزات _____ ۳۱۹

چک لیست مراقبتی هفتگی دستگاه‌ها و تجهیزات _____ ۳۲۰

کنترل مراقبتی ماهیانه دستگاه‌ها و تجهیزات _____ ۳۲۲

چک لیست مراقبتی ماهیانه دستگاه‌ها و تجهیزات _____ ۳۲۴

مراجع و منابع _____ ۳۲۵

فهرست شکل‌ها

عنوان.....صفحه

شکل ۶-۱ طرز انبار مصالح در سیلو.....۱۱۴

شکل ۶-۲ نحوه نگهداری صحیح پاکت‌های سیمان.....۱۱۴

شکل ۷-۱ رابطه بین نسبت آب به سیمان و مقاومت فشاری بتن در سن ۲ روزه: برگرفته از روش ملی طرح مخلوط بتن.....۱۳۹

شکل ۷-۲ منحنی‌های دانه‌بندی مخلوط سنگدانه‌های ریز و درشت، با حداکثر اندازه ۹/۵ میلی‌متر: برگرفته از روش ملی طرح مخلوط بتن.....۱۴۱

شکل ۷-۳ منحنی‌های دانه‌بندی مخلوط سنگدانه‌های ریز و درشت، با حداکثر اندازه ۱۹ میلی‌متر: برگرفته از روش ملی طرح مخلوط بتن.....۱۴۲

شکل ۷-۴ منحنی‌های دانه‌بندی مخلوط سنگدانه‌های ریز و درشت، با حداکثر اندازه ۲۵ میلی‌متر: برگرفته از روش ملی طرح مخلوط بتن.....۱۴۲

شکل ۷-۵ منحنی‌های دانه‌بندی مخلوط سنگدانه‌های ریز و درشت، با حداکثر اندازه ۳۷/۵ میلی‌متر: برگرفته از روش ملی طرح مخلوط بتن.....۱۴۳

شکل ۷-۶ مقدار آب مورد نیاز بتن بر حسب مقدار روانی و مدول نرمی سنگدانه‌ها (سنگدانه‌هایی که به دلیل شکل و بافت خود، به آب کمی نیاز دارند): برگرفته از روش ملی طرح مخلوط بتن.....۱۴۴

شکل ۷-۷ مقدار آب مورد نیاز بتن بر اساس مقدار روانی و مدول نرمی سنگدانه‌ها (سنگدانه‌هایی که به دلیل شکل و بافت خود به آب زیادی نیاز دارند): برگرفته از روش ملی طرح مخلوط بتن.....۱۴۵

شکل ۸-۱ اتاق کنترل برای تجهزات توزین عملیات بچینگ در یک واحد تولید بتن آماده.....۱۵۳

شکل ۸-۲ بتن می‌تواند در یک واحد مخلوط‌کن مرکزی در محل کارگاه ساختمانی تولید شود.....۱۵۶

شکل ۸-۳ اختلاط مرکزی در یک مخلوط‌کن مرکزی از نوع دیگ کج شونده که توسط کامیون با قابلیت همزنی حمل می‌شود.....۱۵۷

شکل ۸-۴ کامیون‌های مجهز به همزن امکان تحویل بتن با حجم محدود و فواصل طولانی‌تر را فراهم می‌نماید.....۱۵۷

شکل ۸-۵ کامیون غیر همزن که در واحد تولید بتن مرکزی در مسافت‌های کوتاه مورد استفاده قرار گرفته و تخلیهٔ سریع بتن امکان تخلیهٔ حجم انبوهی از بتن را فراهم می‌کند..... ۱۵۸

شکل ۸-۶ بتن آماده توسط کامیون بتن ساز (مخلوط‌کن) ۱۵۹

شکل ۸-۸ مخلوط‌کن متحرک مصالح را به روش حجمی اندازه‌گیری نموده و بطور پیوسته اجزاء خشک آب بتن و مواد افزودنی را به تدریج و بطور پیوسته در انتهای کامیون با یکدیگر مخلوط می‌کند ۱۶۱

شکل ۸-۹ نمای کلی از اجزای یک مخلوط‌کن متحرک..... ۱۶۲

شکل ۸-۱۰ فرغون موتوری می‌تواند با انعطاف زیاد انواع بتن را از کامیون بتن آماده در فواصل کوتاه حمل نماید..... ۱۷۱

شکل ۸-۱۱ بتن به راحتی به موقعیت نهایی توسط جام وجراثقال منتقل می‌شود..... ۱۷۱

شکل ۸-۱۲ اغلب بتن آماده را می‌توان در موقعیت نهایی بوسیلهٔ تخلیهٔ مستقیم توسط شوت از کامیون مخلوط‌کن ریخت..... ۱۷۳

شکل ۸-۱۳ در مقایسه با کامیون‌های تخلیه از انتهای مرسوم، کامیون‌های مخلوط‌کن تخلیه از جلو برای راننده، امکان کنترل و تحرکت بیتری در بتن‌ریزی فراهم می‌آورد..... ۱۷۳

شکل ۸-۱۴ تاورکرین و جام می‌تواند بتن را به سادگی برای ساختمان‌سازی آسمانخراش‌ها فراهم کند ۱۷۴

شکل ۸-۱۵ تسمه نقاله یک روش بسیار موثر و روش قابل حملی برای کار با بتن و بتن‌ریزی است. یک شوت پرتابی از جدایش بتن به محض تخلیه از تسمه نقاله جلوگیری کرده و یک جداکننده جلوی از دست رفتن ملات را می‌گیرد..... ۱۷۴

شکل ۸-۱۶ یک تسمه نقالهٔ متصل به کامیون بتن آماده بتن را تا حدود ۱۲ متر ارتفاع و بدون نیاز به تجهیزات اضافی منتقل می‌نماید ۱۷۵

شکل ۸-۱۷ (الف) یک کامیون بتن آماده مجهز به پمپ و بازوی جمع شونده که می‌تواند بتن را بطور عمودی یا افقی به موقعیت دلخواه منتقل نماید. (ب) نمایی از تخلیهٔ بتن از شلنگ انعطاف پذیر متصل به لولهٔ صلب هدایت شده از پمپ. لولهٔ صلب در پمپ‌های بازویی و در خطوط لولهٔ بتن برای حرکت دادن نسبی در فواصل بلندتر استفاده می‌شود. ممکن است شلنگی به درازای ۸ متر به انتهای لولهٔ صلب وصل شود تا امکان بتن ریزی متحرکی را فراهم کند..... ۱۷۵

شکل ۸-۱۸ پخش‌کنندهٔ دورانی تن را به سرعت بر روی سطوح وسیع با ضخامت یکنواخت پخش می‌کند. این وسایل معمولاً در روسازی‌های صلب فرودگاه‌ها بکار گرفته می‌شود ۱۷۶

شکل ۸-۱۹ برای کار در بالای سطح زمین یا در کارگاه‌های غیر قابل دسترس، جام بتن را می‌توان توسط هلیکوپتر بالا برده و برای بتن‌ریزی استفاده نمود..... ۱۷۸

شکل ۸-۲۰ یک بازوی پمپ بتن بر روی دکلی که در نزدیکی کارگاه ساختمانی مستقر است، می‌تواند امکان بتن‌ریزی به نقاط مختلف پروژه را فراهم نماید. به خصوص این روش برای ساختمانهای بلند مرتبه که امکان برپایی تاورکرین وجود ندارد قابل استفاده است. بتن در این پروژه توسط یک کامیون بتن آماده مستقر در سطح زمین تامین و توسط سیستم پمپاژ منتقل می‌شود. صدها مترمکعب بتن را می‌توان بطور عمودی با این روش پمپاژ منتقل نمود..... ۱۷۹

شکل ۸-۲۱ چک لیست استعلام و سفارشات بتن آماده..... ۱۸۱

شکل ۸-۲۲ چک لیست استعلام/سفارش..... ۱۸۲

شکل ۸-۲۳ چک لیست ثبت پیمانه روزانه..... ۱۸۳

شکل ۸-۲۴ چک لیست طرح مخلوط..... ۱۸۴

شکل ۸-۲۵ چک لیست تأیید نمونه‌گیری و آزمایش..... ۱۸۵

شکل ۸-۲۶ چک لیست تهیه و عمل‌آوری نمونه‌ها در کارگاه..... ۱۸۶

شکل ۸-۲۷ چک لیست آزمایش نمونه‌های مقاومت فشاری..... ۱۸۷

شکل ۹-۱ روش استاندارد و جایگزین برای نمونه‌برداری و آزمایش اسلامپ بتن آماده..... ۱۹۴

شکل ۹-۲ دامنهٔ تاثیر تخطی از روش آزمایش در ارزیابی مقاومت..... ۱۹۴

شکل ۹-۳ تاثیر تراکم ناقص- رابطهٔ بین مقدار هوای اضافی و کاهش مقاومت..... ۱۹۵

شکل ۹-۴ الف)- شکست عادی نمونه‌های مکعبی. ب) شکست غیر عادی نمونه‌ها..... ۱۹۸

شکل ۹-۵ ارتباط بین مد شکست و تغییر مقاومت برای نمونه‌های مکعبی قرار گرفته بر روی مرکز در دستگاه آزمایش به همراه ترک کششی در وجه روبروی صفحهٔ بارگذاری..... ۱۹۹

شکل ۹-۶ استفاده از اثر کاغذ کاربن برای کنترل صحت آزمایش مقاومت فشاری..... ۱۹۹

..... ۲۰۶

شکل ۹-۷ رابطهٔ بین مقاومت فشاری در محل و نمونهٔ استاندارد..... ۲۰۶

شکل ۲-۱ آزمایش بتن در محل آزمایشگاه..... ۲۱۱

شکل ۱۰-۲ تجهیزات آزمون بتن در محل کارگاه..... ۲۱۳

شکل ۱۱-۱ سیستم قیف توزین ۲۲۱
شکل ۱۱-۲ یک کارت پیمانه ۲۲۷
شکل ۱۱-۳ یک برگهٔ ارسال ۲۳۲
شکل ۱۱-۴ ابعاد یک کامیون‌های مخلوط‌کن با ظرفیت ۶ متر مکعب ۲۳۴
شکل ۱۱-۵ تسمه نقاله متصل به کامیون بتن آماده ۲۳۵
شکل ۱۱-۶ استفاده از تسمه نقاله در انتقال بتن آماده ۲۳۵
شکل ۱۲-۱ تحویل توسط کامیوهای مخلوط‌کن. ظرفیت مخلوط‌کن ۶ m^3، زمان کلی مسیر ۶۰ دقیقه، زمان بارگیری/ شستشو ۱۵ دقیقه ۲۴۵
شکل ۱۲-۲ چک لیست مراقبتی روزانه دستگاه‌ها و تجهیزات ۲۴۶
شکل ۱۲-۳ چک لیست مراقبتی هفتگی دستگاه‌ها و تجهیزات ۲۴۸
شکل ۱۲-۴ کنترل مراقبتی ماهیانه دستگاه‌ها و تجهیزات ۲۴۸
شکل ۱۲-۵ چک لیست مراقبتی ماهیانه دستگاه‌ها و تجهیزات ۲۴۹
شکل ۱۲-۶ بازهٔ دسترسی پمپ بتن آماده در کارگاه ۲۵۵
شکل ۱۳-۱ آب‌کردن یخ سنگدانه‌ها با دستگاه گازسوز تولیدکننده هوای گرم در زیر پوشش برزنت ۲۶۲
شکل ۱۴-۱ نمودار تخمین مقدار تبخیر آب از سطح بتن ۲۷۰
شکل ۱۴-۲ پاشش آب و ایجاد مِه مصنوعی ۲۷۲
شکل ۱۴-۳ جایگزینی بخشی از آب اختلاط با یخ جهت کاهش دمای بتن ۲۷۸

فهرست جدول‌ها

عنوان.....صفحه

جدول ۱-۱ ترکیبات اصلی سیمان پرتلند (درصد جرمی معمول) ۲۳
جدول ۱-۲ حرارت نسبی هیدراسیون انواع سیمان..... ۲۴
جدول ۱-۳ مقایسهٔ نسبی مقاومت انواع سیمان پرتلند..... ۲۵
جدول ۲-۱ استانداردهای مربوط به تعیین خواص و الزامات سنگدانه‌های مصرفی در بتن..... ۵۴
جدول ۲-۲ الزمات دانه‌بندی درشت دانه..... ۵۵
جدول ۲-۳ الزامات دانه‌بندی ریزدانه‌های مصرفی ۵۶
جدول ۲-۴ مقادیر حداکثر مجاز مواد زیان‌آور در سنگدانه‌های ریز بتن و روش‌های آزمایش..... ۵۶
** ۰/۴ ..... ۵۷
کلریدها بر حسب (Cl^-)..... ۵۷
جدول ۲-۵ مقادیر حداکثر مجاز مواد زیان‌آور در سنگدانه‌های درشت بتن و روش‌های آزمایش ۵۷
جدول ۲-۶ حداکثر مجاز درصد دانه‌های پولکی و سوزنی در سنگدانه‌های درشت ۵۹
جدول ۲-۷ مشخصات الزامی سلامت سنگدانه‌های درشت ۵۹
جدول ۲-۸ مشخصات الزامی سلامت سنگدانه‌های ریز..... ۵۹
جدول ۲-۹ تفسیر نتایج آزمایش سنگدانه‌های مشکوک به واکنش سیلیسی- قلیایی ۶۰
جدول ۳-۱ استانداردهای مربوط به تعیین خواص و الزامات سیمان و مواد جایگزین سیمانی مصرفی در بتن آماده ۶۴
جدول ۳-۲ مشخصات شیمیایی الزامی مواد سیمانی مصرفی در ساخت بتن..... ۶۵
جدول ۳-۴ مشخصات پوزولان طبیعی مصرفی در بتن بر اساس استاندار ۳۴۳۳ ایران ۶۷
جدول۳-۵ مشخصات فیزیکی و شیمیایی الزامی میکرو سیلیس مصرفی در بتن بر اساس استاندار ASTM C1240..... ۶۷
جدول ۴-۱ حداکثر مقدار مواد زیان‌آور در آب مصرفی بتن مطابق مقررات ملی ساختمان و آیین نامه بتن ایران ۷۰

جدول ۴-۲ ارزیابی مقدماتی آب مصرفی در تولید بتن آماده ۷۱
جدول ۴-۳ حداکثر میزان آلودگی زیان‌آور در آب مصرفی بتن ۷۱
جدول ۵-۱ الزامات فیزیکی ۷۶
جدول ۵-۲ آزمایش‌های مورد نیاز سطوح مختلف آزمایش ۷۷
جدول ۵-۳ دانه‌بندی ریزدانه مصرفی جهت ساخت بتن شاهد و آزمایشی ۷۷
جدول ۵-۴ دانه‌بندی شن مصرفی جهت ساخت بتن شاهد و آزمایشی ۷۸
جدول ۵-۵ الزامات فیزیکی ۷۹
جدول ۵-۶ الزامات فیزیکی افزودنی‌های حباب‌زا[الف] ۸۱
جدول ۵-۷ الزامات عمومی ۸۳
جدول ۵-۸ الزامات خاص مواد افزودنی کاهنده آب/ روان‌کننده (با روانی برابر) ۸۴
جدول ۵-۹ الزامات خاص مواد افزودنی فوق‌کاهنده آب/ فوق‌روان‌کننده (با روانی برابر) ۸۴
جدول ۵-۱۰ الزامات خاص مواد افزودنی فوق‌کاهنده آب/ فوق‌روان کننده (در نسبت آب به سیمان برابر) ۸۴
جدول ۵-۱۱ الزامات خاص مواد افزودنی نگهدارنده آب (با روانی برابر) ۸۵
جدول ۵-۱۲ الزامات خاص مواد افزودنی حباب‌زا (در روانی برابر) ۸۵
جدول ۵-۱۳ الزامات خاص مواد افزودنی زودگیرکننده (با روانی برابر) ۸۶
جدول ۵-۱۴ الزامات خاص مواد افزودنی زودسخت‌کننده (تسریع‌کننده زمان سخت شدن) (در روانی‌برابر) ۸۶
جدول ۵-۱۵ الزامات خاص مواد افزودنی کندگیرکننده (در روانی برابر) ۸۶
جدول ۵-۱۶ الزامات خاص مواد افزودنی کاهنده میزان جذب آب (با روانی یا نسبت آب به سیمان برابر) ۸۷
جدول ۵-۱۷ الزامات خاص مواد افزودنی کندگیرکننده/ کاهنده آب/ روان‌کننده (در روانی برابر) ۸۷
جدول ۵-۱۸ الزامات خاص مواد افزودنی کندگیرکننده/ فوق‌کاهنده آب/ فوق‌روان‌کننده (در روانی برابر) ۸۸
جدول ۵-۱۹ الزامات خاص مواد افزودنی کندگیر کننده/ فوق‌کاهنده آب/ فوق‌روان کننده (در نسبت آب به سیمان برابر) ۸۸
جدول ۵-۲۰ الزامات خاص مواد افزودنی زودگیرکننده/ کاهنده آب/ روان‌کننده (در روانی برابر) ۸۸

جدول ۵-۲۱ ویژگیهای سیمان مصرفی ۸۹
جدول ۵-۲۲ محدوده دانه‌بندی سنگدانه مورد مصرف در بتن شاهد ۸۹
جدول ۵-۲۳ مشخصات انواع طرح مخلوط‌های بتن شاهد ۹۰
جدول ۵-۲۴ محدوده دانه‌بندی سنگدانه مورد مصرف در ملات شاهد ۹۱
جدول ۵-۲۵ مقایسه الزامات عملکردی برای مواد کاهنده آب ۹۴
جدول ۵-۲۶ مقایسه الزامات عملکردی برای مواد دیرگیرکننده ۹۵
جدول ۵-۲۷ مقایسه الزامات عملکردی برای مواد تسریع‌کننده ۹۶
جدول ۵-۲۸ مقایسه الزامات عملکردی برای مواد کاهنده آب دیرگیرکننده ۹۷
جدول ۵-۲۹ مقایسه الزامات عملکردی برای مواد کاهنده آب زودگیرکننده ۹۸
جدول ۵-۳۰ مقایسه الزامات عملکردی برای مواد فوق‌کاهنده آب ۹۹
جدول ۵-۳۱ مقایسه الزامات عملکردی برای مواد فوق‌کاهنده آب دیرگیرکننده ۱۰۰
جدول ۵-۳۲ مقایسه الزامات عملکردی برای مواد فوق‌روان‌کننده ۱۰۱
جدول ۵-۳۳ مقایسه الزامات عملکردی برای مواد فوق‌روان‌کننده دیرگیرکننده ۱۰۲
جدول ۶-۱ حداقل مصالح مورد نیاز برای نمونه‌های ارسالی به آزمایشگاه ۱۰۳
جدول ۶-۲ حداقل مصالح مورد نیاز برای آزمایش‌های معمول در کارگاه ۱۰۴
جدول ۶-۳ حداقل تواتر آزمایش‌های سنگدانه برای خصوصیات کلی ۱۰۵
جدول ۶-۴ حداقل تواتر آزمایش‌ها برای خصوصیات مربوط به کاربرد و منابع خاص ۱۰۶
جدول ۶-۵- چک‌لیست کنترل سنگدانه ۱۰۷
جدول ۶-۶ حداقل تواتر نمونه‌برداری از پوزولان طبیعی ۱۰۹
جدول ۶-۷ چک‌لیست کنترل سیمان ۱۱۵
جدول ۶-۸ ارزیابی مقدماتی آب مصرفی در تولید بتن آماده ۱۱۷
جدول ۶-۹ حداکثر میزان آلودگی زیان‌آور در آب مصرفی بتن ۱۱۷
جدول ۶-۱۰ چک‌لیست کنترل آب ۱۱۹

جدول ۶-۱۱ چک لیست بازدید از انبار نگهداری محصول نهایی ۱۲۳
جدول ۶-۱۲ چک لیست بازدید و تحویل محصول نهایی ۱۲۴
جدول ۶-۱۳ چک لیست بازدید از آزمایشگاه کنترل کیفیت ۱۲۴
جدول ۸-۱ روش‌ها و تجهیزات رایج برای حمل، جابجایی و کار با بتن ۱۶۵
ادامه جدول ۸-۱ روش‌ها و تجهیزات ۱۶۶
ادامه جدول ۸-۱ روش‌ها و تجهیزات ۱۶۷
ادامه جدول ۸-۱ روش‌ها و تجهیزات ۱۶۸
ادامه جدول ۸-۱ روش‌ها و تجهیزات ۱۶۹
ادامه جدول ۸-۱ روش‌ها و تجهیزات ۱۷۰
جدول ۹-۱ تاثیر یک دوره عمل آوری خشک بر روی مقاومت ۷ و ۲۸ روزهٔ بتن ۱۹۵
جدول ۹-۵ تغییرات در مقدار نسبت سنگدانه به سیمان توسط آنالیز شیمیایی بتن سخت شده ۲۱۰
جدول۱۰-۱ رابطهٔ بین حاشیهٔ طراحی و نرخ آزمایش ۲۱۷

فصل اول

تعاریف و کلیات

مقدمه

در این فصل، کلیات و تعاریف مواد و مصالح مصرفی در بتن آماده شرح داده شده است. لازم به ذکر است، گرچه مواد و مصالح مصرفی در بتن و بتن آماده مشابه است، اما سعی شده است تا جنبه‌های خاص مصرف مصالح، از دیدگاه صنعت بتن آماده و مصرف آن در پروژه‌های زیرساخت مورد توجه قرار گیرد.

۱-۱ سنگدانه‌ها

۱-۱-۱ کلیات سنگدانه‌های مصرفی

در بتن آماده، کلیات مصرف سنگدانه مشابه با بتن معمولی است تنها باید برخی محدودیت‌ها در مورد مصرف اندازهٔ سنگدانه‌ها به منظور سهولت در پمپاژ بتن آماده رعایت شود. تقریباً سه چهارم حجم بتن متعارف را سنگدانه‌ها تشکیل می‌دهند که شامل مصالحی نظیر شن، ماسه، سنگ شکسته یا روبارهٔ آهن‌گدازی سرد شده می‌باشند. البته در سال‌های اخیر با توجه به اهمیت مسئلهٔ محیط زیست و بازیافت، سنگدانه‌های بازیافتی نیز با رعایت محدودیت‌هایی در ساخت بتن مورد استفاده قرار می‌گیرند. با توجه به اینکه سنگدانه‌ها حجم عمده‌ای از مخلوط بتن را تشکیل می‌دهند، کیفیت آنها نقش عمده‌ای در خواص بتن تازه و سخت شده خواهد داشت. بنابراین قبل از مصرف سنگدانه‌ها باید کیفیت آنها را از جنبه‌های مختلف مورد بررسی و تایید قرار داد. بدین منظور قبل از ارائهٔ توصیه‌ها و الزامات، تاثیر سنگدانه در خواص مختلف بتن بطور اختصار مورد کنکاش قرار می‌گیرد.

در موقع اختلاط بتن، سنگدانه‌ها در خمیر متشکل از سیمان، آب و حباب‌های هوا بطور معلق قرارمی‌گیرند. چگونگی پاسخ این مخلوط معلق، شامل یکنواختی، روانی و قابلیت حمل و جابجایی به عوامل متعددی مانند نوع سنگدانه، مقدار و دانه‌بندی آنها بستگی دارد. بطور کلی برای دستیابی به خواص دلخواه بتن تازه، لازم است که توازن مناسبی بین سنگدانه‌های درشت و ریز برقرار شود تا قابلیت مورد نظر برای بتن جهت حمل، کارایی، و عدم جداشدگی دانه‌ها بدست آید. این توازن باید در موقع طراحی مواد متشکلهٔ بتن یعنی ارائهٔ طرح اختلاط بتن مورد توجه قرار گیرد.

تاثیر دانه‌بندی بر خواص بتن تازه نسبت به سایر پارامترها بیشتر است. کارایی، چسبندگی، قابلیت تراکم، آب انداختگی و پرداخت بتن از جمله خواصی هستند که بیشترین تاثیر را از دانه‌بندی سنگدانه‌ها دارند. از لحاظ تئوری، هدف از اعمال محدودیت بر روی دانه‌بندی سنگدانه‌ها آن است که بتوان حداکثر حجم قابل اشغال توسط سنگدانه‌ها را با حداکثر تراکم بدست آورد. از طرفی محدودیت حداکثر اندازهٔ سنگدانه تنها به دلایل اقتصادی و حداقل سطح جانبی سنگدانه‌ها مورد توجه است. سنگدانه‌های با ابعاد بزرگتر مشکلاتی را در ریختن و جابجایی بین میلگردها و گاهاً افزایش پوشش روی میگردها را بدنبال دارد. مشکل دیگری که با کاربرد مصالح درشت‌تر وجود دارد آن است که این دانه‌ها نیاز به آب کمتری برای تر شدن داشته و سطح کمتری برای ایجاد پیوند با خمیر دارد. بدین ترتیب کنترل حداکثر اندازهٔ سنگدانه تاثیر ویژه‌ای بر خواص بتن تازه از جمله چسبندگی دارد.

۱-۱-۲ تعاریف سنگدانه‌های مصرفی

درشت دانه(شن)

سنگدانه‌هایی که قسمت عمدهٔ آن بر روی الک نمرهٔ ۴ (۴/۷۵ mm) باقی بماند.

ریزدانه (ماسه)

سنگدانه‌های ریزتر از ۴/۷۵ میلی‌متر یا عبور کرده از الک نمره ۴ بطوریکه بخش عمده‌ای از آنها روی الک ۲۰۰ (۷۵ میکرون) باقی بماند، ریز دانه یا ماسه نامیده می‌شود.

سنگدانه‌های پولکی

دانه‌هایی که اندازهٔ کوچکترین بعد آنها کمتر از ۰/۶ برابر میانگین اندازهٔ الک‌ها است.

سنگدانه‌های سوزنی

دانه‌هایی که بزرگترین بعد آنها بیشتر از ۱/۸ برابر میانگین اندازهٔ الک‌ها باشد بنام سنگدانه‌های سوزنی شناخته می‌شود.

در ساخت بتن آماده، استفاده از انواع سیمان برای انواع کاربردها و بر حسب توافق مشتری با تولید کننده و با تایید تصریح کننده مشخصات پروژه قابل استفاده است.

۱-۲ سیمان

۱-۲-۱ کلیات سیمان و مواد سیمانی مصرفی

با توجه به اینکه محصولات هیدراسیون نقش اساسی در مقاومت و دوام بتن داشته و این محصولات در فاز خمیر سیمان تشکیل می‌شوند، لذا سیمان و خمیر سیمان از مهمترین بخش‌های ساختار بوده و نوع سیمان و کیفیت سیمان تعیین کننده مقاومت و دوام بتن خواهد بود.

انواع سیمان و مواد سیمانی تولیدی دارای ترکیبات شیمیایی مخصوص به خود دارند که بر اساس مشخصات مواد خام و ترکیبات شیمیایی اولیهٔ مورد استفاده در تولید سیمان، درجهٔ حرارت پخت، و عوامل متعدد دیگر تغییر می‌کند. بطور کلی انواع سیمان دارای چهار ترکیب اصلی است که می‌توان در آزمایشگاه کنترل کیفی نسبت به تعیین و تطبیق مشخصات با استاندارد مورد استفاده قرار داد.

ترکیبات اصلی مواد سیمانی شامل سه کلسیم و دو کلسیم سیلیکات (C_3S و C_2S)، آلومینات و فروآلومینات کلسیم (به ترتیب C_3A و C_4AF) می‌باشد (در شیمی سیمان، منظور از اختصارات مذکور عبارت است از: $CaO = C$; $Al_2O_3 = A$; $SiO_2 = S$; $H_2O = H$; $Fe_2O_3 = F$ و $So_3 = \overline{S}$) علاوه بر این، برای کنترل سرعت هیدراسیون آلومینات‌ها قبل از آسیاب نمودن، مقداری گچ ($C\overline{S}$) نیز به کلینکر افزوده می‌شود. سایر ترکیبات مانند اکسیدهای سدیم و پتاسیم نیز به مقادیر بسیار کم ولی متغییر در سیمان وجود دارند. جدول (۱-۱) محدودهٔ تغییرات ترکیبات سیمان پرتلند را نشان می‌دهد. برای سایر مواد سیمانی این محدوده‌ها

بسیار متغیر بوده و بر حسب مورد باید توسط آنالیزهای شیمیایی خاصی مورد ارزیابی قرار گیرد. برای تعیین ترکیبات اصلی سیمان و یا مواد سیمانی به منظور انطباق با مشخصات و کنترل کیفی، آزمون‌های استاندارد به شمارهٔ ۱۶۹۲ ایران مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این آزمون می‌توان علاوه بر تعیین ترکیبات سیمان، باقی‌ماندهٔ نامحلول را نیز به عنوان یکی از معیارهای کمی برای کنترل کیفی سیمان تعیین و برای تضمین کیفی مورد استفاده قرار داد.

جدول ۱-۱ ترکیبات اصلی سیمان پرتلند (درصد جرمی معمول)

نام ترکیب	سه کلسیم سیلیکات	دو کلسیم سیلیکات	سه کلسیم آلومینات	فرو آلومینات کلسیم	گچ
علامت اختصاری	C_3S	C_2S	C_3A	C_4AF	$C\overline{S}$
درصد معمول	٪ ۶۰-۴۵	٪ ۳۰-۵	٪ ۱۵-۶	٪ ۸-۶	٪ ۵-۳

واکنش آب با مواد سیمانی نوعی واکنش گرمازا محسوب می‌شود. در صورت هیدراسیون کامل سیمان در حدود cal/g ۱۲۰ حرارت ایجاد می‌شود. در جدول (۱-۲) حرات ایجاد شده در اثر هیدراسیون هر یک از ترکیبات اصلی مواد سیمانی نشان داده شده است. همانگونه که در این جدول نشان داده شده است، هیدراسیون سه کلسیم آلومینات بیشترین گرمای هیدراسیون را تولید می‌کند، لیکن در انواع سیمان‌های معمول، این ترکیب سهم کمتری دارد. فرو آلومینات کلسیم نیز سهم ناجیزی در ترکیبات سیمان داشته و به خودی خود تاثیر کمتری در توسعهٔ حرارتی بتن ایفا می‌کند سه کلسیم سیلیکات و دو کلسیم آلومینا که در انواع مواد سیمانی درصد زیادی از ترکیبات را به خود اختصاص می‌دهد به ترتیب دارای حرارت هیدراسیون ۱۲۰ و ۶۲ کالری بر گرم می‌باشد. بنابراین حرارت هیدراسیون سیمان را می‌توان با تغییر این دو ترکیب کنترل نمود. بدین معنی که در جایی که نیاز به حرارت هیدراسیون کمتر است مانند مناطق گرمسیر، بهتر است از مواد سیمانی با درصد کمتری از سه کلسیم سیلیکات و بر عکس در مناطق سردسیر بهتر است مقدار دو کلسیم سیلیکات در ترکیب سیمان غالب باشد. با این توصیفات، با توجه به ترکیبات انواع سیمان، اگر مقدار حرارت ایجاد شده در حین هیدراسیون ۷ روزهٔ سیمان نوع یک را

۱۰۰٪ فرض کنیم، مقادیر مندرج در جدول (۱-۲) مربوط به انواع دیگر سیمان‌های پرتلند خواهد بود. برای اندازه‌گیری حرارت هیدراسیون سیمان می‌توان از آزمون استاندارد ملی ایران به شمارهٔ ۳۹۴ استفاده کرد.

جدول ۱-۲ حرارت نسبی هیدراسیون انواع سیمان

نوع سیمان	درصد حرارت هیدراسیون نسبت به سیمان نوع یک	توصیه برای کاربرد
نوع دو (پ-۲)	٪۹۴-٪۷۵	کاربرد عمومی/حرارت هیدراسیون متوسط
نوع سه (پ-۳)	≥۱۵۰	زود سخت شونده/حرارت هیدراسیون بالا/ توصیه برای بتن‌ریزی در هوای سرد
نوع چهار (پ-۳)	٪۶۰-٪۴۰	دیرگیر/حرارت هیدراسیون کم/ توصیه برای بتن ریزی در مناطق گرم/بتن‌ریزی‌های حجیم
نوع پنج (پ-۵)	٪۹۰-٪۶۰	ضد سولفات/ حرارت هیدراسیون متوسط

خواصی از سیمان که مرتبط با خصوصیات فیزیکی سیمان مانند ریزی، مقاومت، سلامت، چسبندگی باشد تاثیر عمده‌ای در خواص بتن ساخته شده از آن سیمان خواهد داشت:

(الف) نرمی و ریزی مواد سیمانی (سطح مخصوص بلین)

به علت ریز بودن ذرات سیمان و یا مواد سیمانی، نمی‌توان مشخصات آنها را با استفاده از الک‌ها تعیین نمود. برای این منظور روش‌های دیگری مانند روش نفوذ هوای بلین استفاده می‌شود. ریزی سیمان بر روی ویژگی‌های کسب مقاومت خصوصاً تا سن ۷ روزه تاثیر می‌گذارد. این موضوع برای ساخت بتن آماده در نواحی گرمسیر که کسب مقاومت بتن تسریع می‌شود قابل تامل است. گرچه استانداردها حداقل ریزیی سیمان را محدود می‌کنند، ولی برخی از مشتریان بتن حد بالاتری را برای سیمان مطالبه می‌کنند تا انقباض ناشی از خشک شدن بتن به حداقل برسد. برای اندازه‌گیری این مشخصه از آزمون استاندارد ملی ایران به شمارهٔ ۳۹۰ استفاده می‌شود.

(ب)زمان گیرش اولیه و نهایی

زمان گیرش سیمان در مراحل ابتدایی و نهایی یکی از شاخصه‌های کیفی سیمان است که می‌تواند معیار مناسبی از مقاومت اولیه و نهایی بتن باشد. برای اندازه‌گیری گیرش سیمان در سنین اولیه و سنین نهایی می‌توان از آزمون استاندارد ملی ایران به شمارهٔ ۳۹۲ استفاده کرد.

(ج) مقاومت

یکی از مهمترین شاخص‌های استاندارد که برای کنترل کیفی سیمان مورد استناد قرار می‌گیرد مقاومت ملات‌های استاندارد ساخته شده از این سیمان‌ها است. استانداردهای رایج به منظور آزمایش‌های مقاومت فشاری، مقاومت نمونه‌های مکعبی به ابعاد ۵ سانتی متر با نسبت آب به سیمان ۰/۴۸۵ و با ماسهٔ استاندارد را مورد ارزیابی قرار می‌دهند. برای مقایسه مقاومت پنج نوع سیمان پرتلند در جدول (۱-۳) ارائه شده است. توجه شود که در این جدول مقاومت سیمان نوع یک در هر سن ۱۰۰٪ در نظر گرفته شده است.

جدول ۱-۳ مقایسهٔ نسبی مقاومت انواع سیمان پرتلند

مقادیر مقاومت فشاری نسبت به مقاومت سیمان نوع یک (٪)				
نوع سیمان	سن نمونه			
	۳	۷	۲۸	۹۰
پ-۱	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰
پ-۲	۸۵	۸۹	۹۶	۱۰۰
پ-۳	۱۹۵	۱۲۰	۱۱۰	۱۰۰
پ-۴	--	۳۶	۶۲	۱۰۰
پ-۵	۶۷	۷۹	۸۵	۱۰۰

(د) انبساط در آزمایش اتوکلاو

هدف از این استاندارد تعیین انبساط اتوکلاو سیمان بر روی آزمونه‌هایی از خمیر سیمان می‌باشد. این آزمون شاخصی از پتانسیل انبساط تاخیری سیمان را تعیین می‌کند که به واسطهٔ جذب اکسید کلسیم یا اکسید منیزیم و یا هر دوی آنها می‌باشد. توجه شود پوزولان‌هایی که حاوی کوارتز ریزدانه هستند، موجب انبساط بیش از اندازه در شرایط آزمون اتوکلاو می‌باشد. سبب این انبساط بیش از اندازه به سبب واکنش‌های قلیایی-سیلیسی است که در شرایط معمول اتفاق نمی‌افتد. در این حالت توصیه می‌شود آزمونه‌های برای قابلیت واکنش قلیایی-سیلیسی مورد ارزیابی قرار گیرند.

(ه) افت وزنی ناشی از سرخ شدن

برای تعیین این شاخص که بیانگر کل رطوبت و کربن دی اکسید موجود در سیمان می‌باشد، نمونه سیمان در کورهای با دمای مشخص حرارت داده می‌شود. افت وزنی بدست آمده میزان کل رطوبت و کربن دی اکسید موجود در سیمان را نشان می‌دهد. این روش برای تعیین افت وزنی سیمانهای پرتلند سربارهای و سیمان‌های سربارهای مناسب نمیباشد. برای چنین سیمانهایی باید تصحیحی را برای لحاظ نمودن اکسایش سولفیدها که معمولاً در سیمان‌های سربارهای وجود دارد مطابق استاندارد اعمال نمود. در این مورد، استاندارد ملی ایران به شمارهٔ ۱۶۹۲ ملاک عمل است.

(و) باقی مانده نامحلول

اندازه‌گیری میزان مواد نامحلول یکی از معیارهای کنترل کیفی سیمان است. در این روش برای اندازه گیری باقی مانده نامحلول، ابتدا سیمان را در اسید هیدروکلریک حل کرده، پس از صاف کردن برای انحلال بیشتر از هیدروکسید سدیم استفاده می‌شود. پس از صاف کردن مجدد، سوزاندن، ووزن نمودن، مقدار باقی ماندهٔ نامحلول بدست می آید. این روش محدودیت‌هایی دارد که آن را بیشتر به عنوان یک روش تجربی مطرح می‌کند چرا که نتایج بدست آمده از آن به نوع شناساگرها، زمان و دمای انحلال بستگی دارد. به هر حال در این مورد استاندارد ملی ایران به شمارهٔ ۱۶۹۲ ملاک عمل است.

۱-۲-٤ تعاریف

سیمان پرتلند

سیمان پرتلند، سیمان آبی است که از آسیاب کردن کلینکر، به همراه مقدار مناسبی سنگ گچ یا سولفات کلسیم متبلور خام بدست می‌آید. انواع مختلف این نوع سیمان بر اساس استاندارد ملی ایران به شمارهٔ ۳۸۹ عبارتند از:

(الف) سیمان پرتلند نوع یک (پ-۱) شامل انواع ۳۲۵-۱، ۴۲۵-۱، و ۵۲۵-۱ می‌باشد. این نوع سیمان به عنوان سیمان پرتلند معمولی برای مصارف عمومی در ساخت ملات یا بتن بکار می‌رود .

(ب) سیمان پرتلند اصلاح شده یا نوع دو (پ-۲). به عنوان سیمان پرتلند اصلاح شده مصرف ویژه آن در ساخت بتن‌هائی است که حرارت هیدراسیون متوسط برای آنها ضرورت داشته و حمله سولفات‌ها به آنها در حد متوسط باشد .

(ج) سیمان پرتلند نوع سه (پ-۳). به عنوان سیمان پرتلند با مقاومت اولیه زیاد در شرایطی که مقاومت اولیه زیاد مورد نظر باشد بکار میرود .

(د) سیمان پرتلند نوع چهار (پ-۴). به عنوان سیمان پرتلند با حرارت کم در شرایطی که حرارت هیدراسیون کم بتن موردنظر باشد بکار میرود .

(ه) سیمان پرتلند نوع پنج (پ-۵). به عنوان سیمان پرتلند ضد سولفات در شرایطی که مقاومت زیاد بتن در برابر سولفات‌ها موردنظر باشد بکار میرود.

سیمان پرتلند سفید

سیمان پرتلند سفید از آسیا کردن کینگر سیمان سفید با نسبت معینی سنگ گچ طبیعی ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$) حاصل می‌شود (استاندارد شمارهٔ ۲۹۳۱ ایران).

سیمان پرتلند رنگی

این سیمان از افزودن مواد رنگی معدنی که از لحاظ شیمیایی بی اثر هستند به سیمان پرتلند معمولی و یا سفید به دست می‌آید.

سیمان پرتلند پوزولانی

سیمان پرتلند پوزولانی (پ.پ)، مخلوطی کامل، یکنواخت و همگنی از سیمان پرتلند و پوزولان و سنگ گچ آسیاب شده تشکیل شده است و دارای دو نوع معولی و ویژه می‌باشد (استاندارد شمارهٔ ۳۴۳۲ ایران).

سیمان پرتلند روباره‌ای یا سرباره‌ای

سیمانی است که از آسیاب نمودن مخلوط کلینکر سیمان پرتلند و سرباره دانه شده و یا از مخلوط نمودن سیمان پرتلند و پودر سرباره , به نسبت‌های تعیین شده در استاندارد ملی ایران به شمارهٔ ۳۵۱۷ بدست می‌آید.

پوزولان‌ها

پوزولان‌ها مواد سیلیسی یا سیلیسی آلومین داری است که به خودی خود خاصیت چسبانندگی کمی داشته و یا ندارد ولی بصورت گرد نرم در مجاورت رطوبت و در دمای معمولی با هیدروکسید سدیم واکنش شیمیایی نشان داده و ترکیباتی با خواص سیمانی بوجود می‌آورد.

دوده سیلیس

دودهٔ سیلیس (میکرو سیلیس)، نوعی مصالح پوزولانی مصنوعی فوق‌العاده ریزی هستند که از فرآورده‌های جانبی صنایع فلز سیلیسی و فرو سیلیسی می‌باشند که عمدتاً از ذرات سیلیسی بی‌شکل تشکیل یافته است.

۱-۳ آب

۱-۳-۱ کلیات

آب به عنوان یکی از مواد اولیه بتن، ممکن است به سه شکل مورد استفاده قرار گیرد: آب مصرفی برای شستشوی سنگدانه‌ها، آب برای ساخت بتن، و آب جهت عمل آوری آن پس از ساخت. در این فصل منظور، کنترل کیفیت آبی است که برای شستشوی سنگدانه‌ها و همچنین آبی که برای ساخت بتن مورد استفاده قرار خواهد گرفت. مطالعات نشان داده است که در صورت استفاده از آب نامناسب، با اثرات زیانباری بر رفتار بتن تازه، سخت شده و همچنین دوام دراز مدت بتن مواجه خواهیم بود.

آبی که برای اختلاط بتن استفاده می‌شود، باید عاری از هرگونه ناخالصی باشد که ممکن است اثرات نامطلوبی بر فرآیند هیدراسیون داشته باشد. هر گونه اخلال در فرآیند هیدراسیون سیمان، اثرات منفی برخواص بتن بر جای خواهد گذارد.

به عنوان مثال، برخی از عناصر زیستی باعث کند شدن گیرش می‌شود؛ حال آنکه ناخالصی‌های کلرایدی موجب تسریع گیرش سیمان و افزایش سرعت سخت شدن بتن شده و همچنین موجب بروز خوردگی در

آرماتورهای مدفون در بتن می‌شود. سایر ترکیبات شیمیایی مانند سولفات‌های محلول، و اسیدها ممکن است اثرات درازمدت مانند تضعیف خمیر سیمان و سایر خواص مقاومتی و دوام بتن داشته باشند.

با این اوصاف اهمیت کنترل کیفیت آب مصرفی برای مراحل مختلف تولید بتن مشخص می‌شود. بنابراین اگرچنانچه از آب مورد استفاده برای تولید بتن از منابع ناشناخته‌ای همانند آب استخر، و یا چاه تامین شده باشد، باید قبل از استفاده از کیفیت آن اطمینان حاصل شود.

برای ساخت بتن آب آشامیدنی که از منابع آب شرب محلی تامین شده باشد مناسب است. اما استفاده از منابع آب بازیافتی از تاسسیات شهری نیز با توجه به کاهش اثرات زیست محیطی صنعت بتن و اهمیت توسعهٔ پایدار در صنعت ساختمان، به سرعت جای خود را در تولید و فرآوری بتن باز کرده است. البته آب استحصال شده از دریا نیز به عنوان گزینهٔ مناسبی برای تولید بتن‌هایی که در بتن ریزی‌های حجیم مانند سدهای بتنی که در آنها از آرماتور استفاده نمی‌شود، مطرح است. البته استفاده از آب دریا بطور طبیعی مقاومت بتن ساخته شده از سیمان پرتلند را تحت تاثیر قرار نمی‌دهد، اما در صورت استفاده از هر نوع فولاد برای تسلیح بتن، نباید از آب دریا استفاده نمود چرا که در این صورت خطر بروز خوردگی، سازه‌های بتنی را تهدید خواهد کرد. البته استفاده از آب دریا برای بتن‌هایی که غیر مسلح بوده و به عنوان نمای ساختمان استفاده می‌شود نیز ممنوع است. دلیل این ممنوعیت بروز شوره‌زدگی در سطح بتن است که کاربرد آن را با اشکالات معماری مواجه می‌کند.

درصورتی که تامین آب آشامیدنی غیر ممکن و یا از لحاظ اقتصادی به صرفه نباشد، می‌توان از آب غیر آشامیدنی که اثرات زیانباری بر خواص بتن تازه و یا خواص بتن سخت شده نداشته باشد، استفاده نمود. به هر حال آبی که برای ارائهٔ طرح اختلاط بتن مورد استفاده قرار می‌گیرد باید دقیقا از همان نوع آب و منبعی باشد که قرار است در کارگاه از آن برای ساخت بتن استفاده کرد.

علاوه بر این، میزان ذرات معلق و همچنین مواد محلول در آب باید در یک حد مشخصی برای انواع شرایط محیطی مختلف در معرض بتن کنترل شود. از طرف دیگر حضور یون‌های کلر و سولفات که ممکن است در آب مصرفی بتن وجود داشته باشد می‌تواند اثرات مخربی بر رفتار بتن سخت شده و همچمنین دوام بلند مدت بتن،

خصوصاً سازه‌های بتن مسلح داشته باشد. در این مورد نیز باید میزان یون‌های مخرب موجود در آب کنترل و پایش شود.

۱-۳-۲ تعاریف

آب آشامیدنی

در تولید بتن، آبی که قابل آشامیدن بوده و مزه یا بوی خاصی نداشته و تا حدودی صاف و تمیز باشد به عنوان آب آشامیدنی شناخته می‌شود.

آب غیر آشامیدنی

معمولاً آبی که غیر قابل شرب، دارای بو، مزه و غیر زلال بوده و تا حدودی دارای خاصیت قلیاییت و یا خاصیت اسیدی باشد به عنوان آب غیر آشامیدنی تلقی می‌شود.

آب دریا یا آب شور

آب با درجهٔ شوری و یا قلیایی که منبع آن آب دریا باشد.

آب بازیافت شده

آب بازیافت شده از فرآیند تولید در کارخانه‌های تولید بتن آماده.

آب ترکیبی

آب ترکیبی مخلوطی از آب بازیافتی و آب تامین شده از منابع دیگر است.

قلیایی معادل

منظور از قلیایی معادل، میزان وزنی اکسیدهای قلیایی ($Na_2O+0.658K_2O$) موجود در آب مصرفی در بتن است.

عدد *ppm*

منظور از ppm ، غلظت بر حسب قسمت در میلیون (وزنی) است که اگر عدد مربوطه بر حسب ppm در 10^{-4} ضرب شود، غلظت بر حسب درصد وزنی به دست می‌آید.

۱-٤ مواد افزودنی شیمیایی

۱-٤-۱ کلیات

پیشرفت‌هایی که طی چند دهه اخیر در فناوری بتن بوجود آمده است، بی‌تردید با پیدایش افزودنی‌ها، کاربرد آنها و نوآوری‌های بسیار در این گستره ارتباط دارد. ریشه این پیوند را می‌توان در دستیابی به برتری‌های فنی در خواص و مشخصات بتن، تسهیل در اجرای آن و صرفه‌جویی در انرژی، نیروی کار و ... شناسایی کرد.

کشف، تولید و مصرف مواد افزودنی در بتن، محصول نیازهای فنی و اجرایی است. زیرا کاربرد این مواد به دلیل ساختارهای شیمیایی متفاوت و متنوعی که دارند، علاوه بر تأمین تسهیلات اجرایی در کارهای بتنی موجب دستیابی به برتری‌ها و امتیازات فنی جدیدی در خواص اصلی بتن تازه و سخت شده می‌شوند که حصول آنها از طریق روشهای معمول و متداول طرح و اجرای بتن امکان‌پذیر نبوده و اگر باشد، از نظر اقتصادی به صرفه نیست.

اندیشه تحقیق و مطالعه درباره افزودنی‌ها، بعد از کشف و تولید صنعتی سیمان در نیمه دوم قرن نوزدهم و شناخت ترکیبات و فرایند هیدراسیون سیمان، ابتدا در مراکز علمی، پژوهشی مورد بررسی قرار گرفت و بتدریج کاربرد آنها در عملیات اجرایی رواج یافت.

افزودنی‌های شیمیایی متداول مصرفی در بتن، شامل روان‌کننده‌ها، زودگیرکننده‌ها، دیرگیرکننده‌ها و حباب‌هواسازها در نخستین سالهای دهه سوم قرن بیستم اختراع شدند. قدیمی‌ترین مأخذ علمی و فنی معتبر نشان می‌دهد که روان‌کننده‌ها بر پایه نفتالین‌فرمالدئیدسولفونات، اولین ترکیب آلی است که در سال ۱۹۳۲ توسط یک شرکت آمریکایی اختراع و ثبت شد و در طول سالهای ۴۰-۱۹۳۰، مصرف روان‌کننده‌های دیگر که اساس آنها لیگنوسولفونات‌ها بودند رواج یافت و در حدود سالهای ۱۹۵۰ به بعد مشتقات آلی دیگری نظیر هیدروکسی‌کربوکسیلیک‌ها، اسیدهای چرب و ترکیبات پلیمری نیز رواج یافتند. بعضی از مواد افزودنی نیز مانند حباب هواسازها، بصورت اتفاقی با مشاهده و بررسی دوام بعضی رویه‌های بتنی در شمال آمریکا کشف شد. برخی از این سطوح بتنی دوام بهتری داشتند و آزمایش‌ها نشان داد که در تهیه سیمان آنها، از چربی‌های حیوانی به منظور کمک به عملیات سایش و آسیاب کردن کلینکر استفاده شده است. بررسی‌های بیشتر نشان داد که این سیمان‌ها به دلیل تولید حباب‌های هوا موجب افزایش دوام بتن شده‌اند.

انتشار گزارش‌های علمی و تحقیقاتی و آزمایشگاهی و مقالات فنی ویژه افزودنی‌های شیمیایی و بررسی اثرات آنها روی خواص بتن، توسط مجامع و مراکز تخصصی بتن در سالهای دهه ۴۰ میلادی آغاز شد که

می‌توان به نخستین گزارش تفصیلی کمیته فنی شماره ۲۱۲ مؤسسه ACI در سال ۱۹۴۴ و اولین گردهمایی بین‌المللی ASTM، با عنوان اثر افزودنی‌های کاهنده آب و کنترل گیرش روی خواص بتن در سال ۱۹۵۹ اشاره کرد و در واقع متعاقب این گردهمایی، مؤسسه ASTM، استاندارد افزودنی‌های شیمیایی بتن را با شماره C494 در سال ۱۹۶۲ تدوین نمود، اگر چه این مؤسسه در سال ۱۹۴۸ آیین‌نامه افزودنی‌های حباب‌هواساز بتن را نیز تدوین کرده بود.

با بررسی مقالات ارائه شده در کنفرانس‌های بین‌المللی و مجلات معتبر، به راحتی می‌توان گفت که امروزه در کشورهای صنعتی مانند ژاپن، آلمان و ...، بیش از ۹۰ درصد بتن‌ها با استفاده از این مواد ساخته می‌شوند.

با توجه به مزایای مطلوبی که این مواد در ساخت بتن‌های بادوام ایفا می‌کنند، شناخت اثرات آنها و نحوه مصرف صحیح آنها مورد لزوم می‌نماید. همچنین با توجه به مقدار مصرف آن و پتانسیل تولید آن در کشور می‌تواند بعنوان یک کالای صادراتی با ارزش افزوده مناسب مطرح گردد.

۱-٤-۲ تعاریف اولیه

مادهٔ افزودنی بتن

مواد افزودنی بتن، موادی هستند که علاوه بر آب، سیمان و سنگدانه، به مقدار بسیار کم بصورت درصد وزنی سیمان، در زمان اختلاط به بتن اضافه شده و موجب اصلاح برخی از خواص بتن تازه یا سخت شده می‌شوند.

ماده افزودنی تک منظوره

مواد افزودنی که تنها یکی از خواص بتن تازه یا سخت شده را اصلاح می‌کند.

ماده افزودنی چند منظوره

مواد افزودنی که بر روی چند خاصیت بتن تازه یا سخت شده اثر می‌گذارند.

عملکرد

قابلیت یک ماده افزودنی برای ایجاد خواص لازم بدون اثرات زیان آور.

عملکرد اصلی

یکی از عملکردهای ماده افزودنی چند منظوره که توسط تولید کننده به عنوان عملکرد اصلی مشخص شده است.

عملکرد ثانویه

عملکردهای دیگر ماده افزودنی چند منظوره که علاوه بر عملکرد اصلی آن مشخص شده است.

میزان مصرف مجاز

میزان مصرف ماده افزودنی، بر حسب درصد وزن سیمان که توسط تولید کننده مشخص می‌شود.

محدوده مصرف

محدوده مصرف ماده افزودنی، بر حسب درصد وزن سیمان، بر اساس آزمون‌های انجام شده توسط تولید کننده توصیه می‌شود که میزان مصرف مجاز باید در محدوده مصرف توصیه شده باشد.

حداکثر میزان مصرف توصیه شده

حداکثر میزان مصرف توصیه شده توسط تولید کننده.

۱-٤-۳ کلیات مواد افزودنی شیمیایی

روان‌کننده‌های معمولی (کاهنده‌های آب معمولی)

روان‌کننده‌ها (کاهنده‌های آب) موادی هستند که می‌توانند مقدار آب لازم مخلوط بتن یا ملات را برای رسیدن به یک کارایی معین در مقایسه با بتن یا ملات شاهد کاهش دهند. همچنین قادر هستند مقدار کارایی مخلوط را بدون نیاز به تغییر در نسبت آب به سیمان افزایش دهند. این افزودنی‌ها، کیفیت بتن یا ملات را برای رسیدن به یک مقاومت مشخصه و با مقدار سیمان کمتری بهبود می‌بخشند. در صورت استفاده از این مواد به عنوان کاهنده آب، خواص بتن بهبود پیدا کرده و بتن‌ریزی (تراکم) آسان‌تر خواهد شد.

اصلی‌ترین مواد مورد مصرف و افزودنی‌های روان‌کننده (کاهنده آب) عبارتند از:

- اسیدهای لیگنوسولفونیک و نمک‌های آنها

- اسیدهای لیگنوسولفونیک اصلاح شده و مشتقات آنها و نمک‌های این اسیدها
- اسیدهای هیدروکسیلات کربوکسیلیک و نمک‌های آنها
- اسیدهای هیدروکسیلات کربوکسیلیک اصلاح شده و مشتقات آنها و نمک‌های این اسیدها
- موادی مانند نمک‌های روی، فسفات‌ها، کلرایدها، کربوهیدرات‌ها، پلی‌ساکاریدها و ترکیبات قندی
- ترکیبات پلیمری، مشتقات ملامین، مشتقات نفتالین

سیستم خمیر سیمان، معمولاً به شکل توده‌های ذرات جامد است که تمایل دارد به شکل زنجیره‌های خوشه‌ای شکل متراکم درآید. با افزودن مواد روان‌کننده (کاهنده آب) نیروی جذب بین این ذرات کاهش می‌یابد و در نتیجه زنجیره‌ها شکسته می‌شوند و ذرات، قابلیت حرکت بیشتری می‌یابند و مخلوط روان‌تر می‌گردد.

اثرات مواد متفاوت و انواع افزودنی‌های روان‌کننده (کاهنده آب) بستگی به ترکیب شیمیایی آنها دارد. همچنین غلظت آنها نیز عامل مؤثری در عملکرد این مواد است. مقدار بیشتر این مواد نیز اثر روان‌کنندگی و کاهندگی آب بیشتری خواهد داشت. گرچه مقدار زیاد از حد ممکن است گاهی نه تنها اثر بیشتری نداشته باشد بلکه باعث اثرات جانبی مانند افزایش احتمال آب انداختگی، جدا شدگی و یا دیرگیری شدید گردد.

ترکیب شیمیایی و مشخصات فیزیکی سیمان نیز ممکن است بر روی عملکرد ماده افزودنی روان‌کننده، تأثیر بگذارد. تحقیقات نشان داده است نسبت C_3A به C_3S و همچنین مقدار C_3A بر روی عملکرد مواد افزودنی روان‌کننده مؤثر است. همچنین مواد پوزولانی مانند سرباره‌ها، خاکستر بادی و دوده سیلیس در مقایسه با سیمان معمولی نیاز به مصرف بیشتری از این مواد جهت رسیدن به یک اسلامپ معین دارند.

در بعضی موارد، دانه‌بندی، شکل، بافت و خواص فیزیکی و ترکیبات معدنی سنگدانه‌ها ممکن است بر روی عملکرد این مواد اثر داشته باشند.

دمای هوا و دمای ساخت بتن بر روی عملکرد این مواد تأثیر دارد، لذا قبل از مصرف، باید مقدار دقیق مصرف آنها در شرایط محیطی واقعی تعیین گردد.

بعضی از انواع روان‌کننده‌ها بسته به غلظت و نوع ترکیب در حدود دو الی شش درصد هوا وارد بتن می‌کند، در عین حال مقادیر بیشتر ورود هوا نیز گزارش شده است. مقدار هوای ناخواسته به بتن با تغییر ترکیب نسبت اجزای بتن تا حدی قابل کنترل است.

در صورت استفاده از این مواد بعنوان افزودنی‌های کاهنده آب، وزن مخصوص بتن می‌تواند افزایش یابد.

استفاده از افزودنی‌های روان‌کننده باعث افزایش کارایی مخلوط بتن با حفظ نسبت آب به سیمان می‌گردد. همچنین با کاهش مقدار آب در مخلوط، می‌توان به یک اسلامپ مشابه با مخلوط بتن دست یافت.

در صورت مصرف این مواد بعنوان مواد کاهنده آب، آب انداختگی کاهش می‌یابد. در صورت استفاده از این مواد بعنوان روان‌کننده، اگر نسبت‌های اجزاء مخلوط بتن مناسب انتخاب نشده باشد و یا دانه‌بندی سنگدانه‌ها مناسب نباشد، احتمال افزایش آب انداختگی وجود دارد.

همچنین افزودنی‌های کاهنده آب از نوع اسیدهای هیدروکسیلات‌کربوکسیلیک، تمایل به آب انداختگی دارند و لذا استفاده از آنها در بتن‌های با اسلامپ زیاد، دقت زیادی می‌طلبد. افزودنی‌های با پایه لیگنوسولفونات‌ها عملکرد بهتری دارند، زیرا خاصیت هوازایی نیز دارند که باعث کنترل آب‌انداختگی می‌شود. در مقدار معمول مصرف این نوع افزودنی‌ها (از نوع lignin) مقدار هوا در بتن حدود ۱ تا ۲ درصد افزایش می‌یابد.

سرعت افت اسلامپ در اثر استفاده از مواد افزودنی روان‌کننده/کاهنده آب ممکن است افزایش یابد. به همین دلیل بهتر است این مواد در کارگاه افزوده شوند. مدت زمان کارکردن با بتن به عوامل زیادی بستگی دارد که میزان مصرف این مواد، استفاده از سایر مواد افزودنی، مشخصات سیمان، نسبت آب به سیمان، درجه حرارت بتن و مدت زمان مخلوط شدن بتن در هنگام افزودن این مواد را شامل می‌شود.

کلیه بتن‌های حاوی افزودنی کاهنده آب، معمولاً اسلامپ خود را در مقایسه با بتن شاهد به سرعت از دست می‌دهند. همچنین بسیاری از افزودنی‌های کاهنده آب تمایل به دیرگیرکردن بتن دارند.

اگر نسبت آب به سیمان و روانی بتن و ملات را ثابت نگه داریم، با توجه به خاصیت کاهش آب که توسط این مواد ایجاد می‌شود، می‌توان عیار سیمان را به همان نسبت کاهش داد. لذا جمع‌شدگی و احتمال ترک‌خوردگی در مرحله خمیری و همچنین در بتن سخت‌شده نیز کاهش می‌یابد. این کاهش عیار سیمان در واقع باعث افزایش

مقاومت و پایایی بتن و کاهش نفوذپذیری بتن می‌شود. علاوه بر این ممکن است کاهش عیار سیمان به عنوان یک هدف برای کاهش گرمازایی بتن باشد و یا یک هدف اقتصادی محسوب گردد.

۱-٤-۳-۲ فوق‌روان‌کننده‌ها (فوق‌کاهنده‌های آب)

فوق‌روان‌کننده‌ها (فوق‌کاهنده‌های آب)، موادی هستند که امکان افزایش کارایی یک مخلوط بتنی را در نسبت آب به سیمان ثابت، و یا امکان کاهش مقدار آب را برای رسیدن به یک مقدار روانی مشابه با مخلوط شاهد را با تأثیر بیشتر در مقایسه با روان‌کننده‌ها فراهم می‌کنند. مدت اثر این مواد موقتی است و طول مدت اثر آن بسته به نوع و ترکیب شیمیایی این مواد متغیر می‌باشد.

فوق‌روان‌کننده‌های (فوق‌کاهنده‌های آب) موجود و مورد مصرف را بطور کلی بر اساس ترکیبات شیمیایی موجود در آنها می‌توان در گروه‌های اصلی زیر طبقه‌بندی کرد:

- بتانفتالین سولفونات فرمالدئید تغلیظ شده
- ملامین سولفونات فرمالدئید تغلیظ شده
- لیگنوسولفونات‌های اصلاح شده
- استرهای اسیدهای سولفونیک
- نمک اسیدهای کربوکسیلیک/هیدروکربوکسیلیک
- اسیدهای پلی‌کربوکسیلیک

اگرچه انواع بسیاری از مواد با ترکیبات شیمیایی متفاوت نیز وجود دارد و ادعا شده است که قابلیت ایجاد روانی را در مخلوط‌های بتنی دارند، اما هنوز به لحاظ تجاری نمی‌توان آنها را در دسته‌های اصلی ذکر شده جای داد.

مکانیزم کار افزودنی‌های فوق‌کاهنده آب با اساس نفتالین و ملامین بر پایه جذب سطحی قسمت آنیونی افزودنی و سطح تماس آن با آب خالص است. سر غیرقطبی پلیمر قسمتی است که باعث جذب سطح سیمان می‌شود و آب‌دوست بودن این قسمت سبب میل مخلوط به سوی انحلال می‌شود. تأثیر اساسی را افزایش بار منفی روی دانه‌های سیمان می‌گذارد، بدین ترتیب که ذرات سیمان یکدیگر را دفع می‌کنند (دافعه

الکترواستاتیکی) و پراکندگی بوجود می‌آید، بنابراین نیاز به آب کمتر می‌شود که این خاصیت برای تهیه بتن با کارایی مناسب یک عامل مطلوب محسوب می‌شود. بدون استفاده از افزودنی‌های فوق‌کاهنده آب، این ذرات ریز، گرایش به لخته شدن دارند که این پدیده، اقتضای جاذبه نیروهای مخالف سطح ذرات مجاور است. افزودنی‌های فوق‌کاهنده آب با اساس کربوکسیلیک، بیش از افزودنی‌های فوق‌کاهنده آب با اساس نفتالین یا ملامین، مکانیزم دوگانه الکترواستاتیک و دافعه را تقویت می‌نمایند و پراکندگی سیمان را کنترل می‌کنند. همچنین علاوه بر دافعه الکترواستاتیک، طرز قرار گرفتن مولکول‌ها و زنجیره فواصل آنها را نیز تنظیم می‌کند (طرز استقرار اجزاء اتم در فضا به واسطه دافعه) و این عامل به طور فیزیکی کمک می‌کند تا ذرات سیمان جدا از یکدیگر بمانند و این اجازه می‌دهد تا آب، سطح تماس بیشتری از سیمان را احاطه کند.

مکانیزم عملکرد مواد فوق‌روان‌کننده (فوق‌کاهنده آب) اساساً به قابلیت آنها در جذب سطحی ذرات سیمان و اصلاح خواص و رفتار رئولوژی ماتریس سیمان مربوط است. همچنین مقدار و قدرت جذب سطحی این مواد بستگی به ترکیب شیمیایی و معدنی سیمان، ریزی آن و نیز مقدار فاز C_3A دارد.

تحقیقات نشان داده است که آلومینات‌کلسیم موجود در سیمان، به سرعت، مولکول‌های افزودنی فوق‌روان‌کننده (فوق‌کاهنده آب) را جذب می‌کند، حال آنکه سیلیکات‌های‌کلسیم در ساعات اولیه هیدراسیون فقط مقدار کمی از این مواد را به خود جذب می‌کنند.

افزایش روانی و کارایی بتن که با استفاده از این مواد بدست می‌آید را می‌توان به علل زیر مربوط دانست:

– به مقدار پتانسیل زتا (zeta) در لایه دوگانه الکتریکی که در سطح ذرات سیمان توسط گروه‌های قطبی زنجیره‌های فوق‌روان‌کننده جذب شده شکل گرفته است.

– به وزن مولکولی ماده افزودنی فوق‌روان‌کننده (فوق‌کاهنده آب)

افت کارایی در مخلوط به روند کند کردن هیدراسیون سیمان بوسیله این مواد مربوط می‌شود. با کند شدن هیدراسیون، افت کارایی کمتری در بتن تازه رخ می‌دهد.

مواد فوق‌روان‌کننده (فوق‌کاهنده آب)، می‌توانند در دو حالت مورد استفاده قرار بگیرند. در یک حالت می‌توانند روانی بیشتری را در یک نسبت آب به سیمان ثابت در مقایسه با بتن شاهد ایجاد کنند (فوق‌روان‌کننده)

و در حال دیگر باید قادر باشند تا یک روانی ثابت را در مقایسه با یک بتن شاهد با کاهش آب مخلوط فراهم کنند (فوق‌کاهنده آب). وقتی این مواد در هر یک از این حالات مورد استفاده قرار گیرند، دارای اثراتی بر خواص بتن تازه و سخت شده هستند که در ادامه شرح داده می‌شود.

وزن مخصوص بتن تازه در حالتی که از این مواد بعنوان فوق‌کاهنده آب استفاده شود، معمولاً افزایش می‌یابد. مواد فوق‌روان‌کننده بطور چشمگیری، قابلیت سیالیت و روانی بتن را افزایش می‌دهند. زمانی که یک افزودنی فوق‌روان‌کننده به بتن با مقدار آب ثابت اضافه می‌شود، اسلامپ افزایش می‌یابد. هر چه مقدار افزودنی بیشتر باشد، اسلامپ نیز بیشتر می‌شود. معمولاً برای مقادیر بیش از مقدار توصیه شده توسط سازندگان، این افزودنی‌ها اثری در افزایش اسلامپ ندارند و حتی ممکن است باعث ایجاد مشکلاتی مانند جداشدگی با آب‌انداختگی شوند. مقدار مورد نیاز برای تولید بتن با روانی متفاوت به ویژگی‌های سیمان، اسلامپ اولیه، نسبت آب به مواد سیمانی (w/cm)، دما، زمان افزودن و مقادیر اجزاء بتن بستگی دارد.

با استفاده از مواد فوق‌کاهنده آب، چسبندگی مخلوط به مقدار زیادی بهبود می‌یابد که این در نتیجه کاهش مقدار آب در مخلوط بتن است.

مقدار هوا در مخلوط‌های دارای فوق‌روان‌کننده، ممکن است به مقدار کمی افزایش یابد، بخصوص در مواردی که از فوق‌روان‌کننده به مقدار زیاد استفاده شود.

در یک کارایی اولیه مشابه، افت اسلامپ در یک مخلوط بتنی دارای فوق‌کاهنده آب، ممکن است بیش از مخلوط شاهد باشد. در نسبت آب به سیمان مشابه، نیز، افت اسلامپ در یک مخلوط دارای فوق‌روان‌کننده ممکن است بیشتر و یا کمتر از مخلوط شاهد باشد و این بستگی به عملکرد فوق‌روان‌کننده مصرفی دارد.

پمپاژپذیری بتن با استفاده از فوق‌روان‌کننده‌ها و فوق‌کاهنده‌های آب افزایش می‌یابد که این در نتیجه افزایش کارایی و ناشی از چسبندگی بهتر در مواردی است که از فوق‌کاهنده‌ها استفاده می‌گردد.

جدایی در اثر استفاده از افزودنی‌های فوق‌روان‌کننده یا فوق‌کاهنده آب مشروط به اینکه نسبت‌های اجزاء مخلوط بتن بطور مناسب و صحیح طرح شده باشد، کاهش می‌یابد.

بطور کلی، افزودنی‌های فوق‌روان‌کننده به مقدار ناچیزی ممکن است زمان گیرش بتن را به تأخیر اندازند. در حالیکه این افزودنی بعنوان فوق‌کاهنده آب و یا مقدار مصرف معمول مورد استفاده قرار گیرند، اثر قابل ملاحظه‌ای بر گیرش ندارند.

ترک‌خوردگی ناشی از جمع‌شدگی پلاستیک در صورت استفاده از مواد فوق‌کاهنده آب و در شرایطی که تبخیر از سطح بتن زیاد باشد، ممکن است بیشتر شود. زیرا در اثر استفاده از این مواد، آب‌انداختگی در سطح بتن کاهش می‌یابد و سرعت تبخیر از سطح از مقدار آب‌انداختگی بیشتر خواهد شد.

آب‌انداختگی در صورت استفاده از مواد فوق‌کاهنده آب کاهش می‌یابد. در صورتیکه از این مواد بعنوان فوق‌روان‌کننده استفاده شود و در مخلوط بتنی، دانه‌بندی سنگدانه مناسب نباشد، آب‌انداختگی می‌تواند افزایش یابد.

در صورت استفاده از این مواد بعنوان فوق‌کاهنده آب، به دلیل کاهش نسبت آب به سیمان در مخلوط، مقاومت بتن بطور قابل توجهی افزایش می‌یابد. در حالیکه از این مواد بعنوان فوق‌روان‌کننده استفاده شود در خواص مقاومتی بتن تغییری عمده و قابل توجه حاصل نمی‌شود، اما افزایش جزئی مقاومت گزارش شده است که به دلیل پخش و توزیع بهتر سیمان در بتن، منطقی و قابل توجیه است.

جذب مویینه بتن در صورت استفاده از مواد افزودنی به عنوان فوق‌کاهنده آب، بشدت کاهش می‌یابد.

نفوذپذیری بتن بطور مستقیم با جذب مویینه که متأثر از نسبت آب به سیمان است، ارتباط دارد. لذا با استفاده از مواد افزودنی فوق‌کاهنده آب، نفوذپذیری بتن به مقدار زیادی کاهش می‌یابد.

۱-٤-۳-۳ تسریع‌کننده‌های گیرش و سخت‌شدگی

تسریع‌کننده‌های گیرش و سخت‌شدگی موادی هستند که نرخ کسب مقاومت بتن را در سنین اولیه افزایش می‌دهند که در این حالت با نام زودسخت‌کننده شناخته می‌شوند و یا زمان گیرش را کاهش می‌دهند که در این حالت زودگیرکننده نامیده می‌شوند و یا هر دو اثر را ایجاد می‌کنند.

تسریع‌کننده‌ها، اولین بار در عملیات بتن‌ریزی در هوای سرد مورد استفاده قرار گرفتند. اما اکنون در کلیه شرایطی که کاهش زمان گیرش و کسب مقاومت اولیه نیاز باشد استفاده می‌شوند. همچنین در بتن ریزی در هوای سرد، زودگیرکننده‌ها می‌توانند زمان گیرش را به حالت عادی‌تر برگردانند و از کاهش شدید مقاومت اولیه تا حدودی جلوگیری نمایند و مدت عمل‌آوری و قالب‌برداری را کاهش دهند.

در ساخت قطعات پیش‌ساخته و پیش‌تنیده برای افزایش مقاومت اولیه و قالب‌برداری یا اعمال پیش‌تنیدگی بویژه در قطعات پیش‌کشیده می توان از این افزودنی‌ها را بکار برد.

نکته‌ای که باید به آن توجه شود این است که این مواد نقطه انجماد آب داخل بتن را به میزان چشمگیری کاهش نمی‌دهند و لذا اطلاق نام افزودنی "ضد یخ" به آنها کاملاً غلط می‌باشد.

اغلب تسریع‌کننده‌های سخت‌شدگی مقاومت اولیه را بهبود می‌بخشند، زیرا نرخ هیدراسیون C_3S , C_2S را افزایش می‌دهند. این مواد تأثیری در مقاومت درازمدت بتن ندارند مگر در صورتیکه با مواد کاهش دهنده آب ترکیب شده باشند.

مواد مورد استفاده بعنوان تسریع‌کننده‌های بتن شامل هیدروکسیدهای قلیایی، سیلیکات‌ها، فلوروسیلیکات‌ها، نیتریت کلسیم، نیترات کلسیم، تیوسولفات سدیم یا کلسیم، تیوسیانات سدیم یا کلسیم، کلرید آلومینیوم، پتاسیم، کربنات لیتیم یا سدیم، کلرید سدیم، کلرید کلسیم و ترکیبات آلی مانند تری‌اتانول‌آمین، فرمالدئید و فرمات‌کلسیم هستند.

تا چندی پیش، کلریدکلسیم یا تسریع‌کننده‌هایی که کلریدکلسیم یکی از اجزاء اصلی ترکیبات آن بود، بعنوان اصلی‌ترین مواد افزودنی تسریع‌کننده مورد استفاده قرار گرفت. کلریدکلسیم بعلت مزایای زیادی که در افزایش نرخ کسب مقاومت اولیه و کاهش زمان گیرش دارد، بعنوان رایج‌ترین تسریع‌کنندگی گیرش مطرح بود. در طی سالهای اخیر به دلیل شناخت اثر وجود یون کلرید در بتن مسلح بر روی خوردگی میلگردها، تسریع‌کننده‌های دیگر غیرکلریدی بر پایه فرمات کلسیم، نیتریت کلسیم، نیترات کلسیم، تیوسیانات سدیم یا کلسیم یا تری‌اتانول‌آمین رواج یافتند که مشکلات خوردگی را ایجاد نمی‌کنند. همچنین مواد آلی محلول در آب متعلق به

اسیدهای کربوکسیلیک نیز دسته دیگری از این مواد هستند. با این توضیحات می‌توان تسریع‌کننده‌ها را به دو دسته اصلی تقسیم نمود.

۱- تسریع‌کننده‌های با پایه کلریدی

۲- تسریع‌کننده‌های غیرکلریدی

اگرچه در بعضی از منابع، تقسیم‌بندی دیگری وجود دارد که این مواد را به ۴ دسته اصلی شامل نمک‌های محلول غیرآلی، ترکیبات محلول آلی، افزودنی‌های با گیرش سریع و آنی مخصوص بتن پاشیدنی و افزودنی‌های جامد متفرقه دسته‌بندی کرده است. با توجه به اینکه از نمک‌های حلال غیرآلی بیشتر از کلرید کلسیم استفاده می‌شود، لذا دسته‌بندی کلی تسریع‌کننده‌ها با پایه کلریدی و غیرکلریدی جامع‌تر است.

کلریدکلسیم معمول‌ترین و اصلی‌ترین تسریع‌کننده‌ها است. از این ماده اولین بار در سال ۱۸۸۵ در بتن استفاده شد. از آن به بعد، این تسریع‌کننده به تنهایی یا به عنوان یک ترکیب اصلی در دیگر تسریع‌کننده‌ها بطور وسیعی کاربرد پیدا کرد. اثر تسریع‌کنندگی کلریدکلسیم بر روی سیمان، اساساً مربوط به اثر آن بر روی فاز C_3S می‌باشد. کلرید کلسیم فقط نرخ هیدراسیون مواد معدنی سیمان را اصلاح نمی‌کند، بلکه ممکن است با آن نیز ترکیب شود و لذا بر روی خواص مقاومت، ترکیبات شیمیایی، سطح و تخلخل محصولات هیدراسیون نیز اثر بگذارد. افزایش مقاومت در سنین اولیه با افزایش مقدار محصولات هیدراسیون ایجاد می‌شود. کلرید کلسیم همچنین نرخ هیدراسیون C_2S را تسریع می‌کند. اگر چه مکانیزم تأثیر آن مشابه با اثر آن بر روی C_3S است، اما فعالیت آن بر روی C_2S بسیار جزئی و با سرعت بسیار کمتر صورت می‌گیرد و لذا معمولاً این اثر در نظر گرفته نمی‌شود.

همچنین کلریدکلسیم واکنش بین C_3A و گچ را نیز تسریع می‌کند. بعد از اینکه گچ در واکنش با C_3A مصرف گردید، کلرید کلسیم با C_3A وارد واکنش می‌شود و به شکل کلرورآلومینات در می‌آید. اثر کلرید کلسیم بر روی هیدراسیون C_4AF نیز مشابه اثر آن بر روی C_3A است.

به دلیل محدودیت استفاده از تسریع‌کننده‌های کلریدی، استفاده از افزودنی‌های تسریع‌کننده غیرکلریدی رو به افزایش است. معمول‌ترین تسریع‌کننده‌های این دسته، فرمات کلسیم و تری‌اتانول‌آمین هستند که اغلب جهت

خنثی‌کردن اثرات دیرگیرکنندگی افزودنی‌های کاهش‌دهنده آب استفاده می‌شوند. همچنین در مواردی که به دلیل مشکلات خوردگی، استفاده از تسریع‌کننده‌های کلریدی مجاز نمی‌باشد از این تسریع‌کننده‌ها استفاده می‌شود.

اگرچه تعدادی از ترکیبات آلی دیگر مانند اوره، اسید اکسالیک، آمین‌ها و فرمالدئیدها هستند که زمان گیرش را در سیمان تسریع می‌کنند، اما از این ترکیبات به صورت تجاری به عنوان تسریع‌کننده استفاده نمی‌شود.

فرمات‌کلسیم، هیدراسیون فاز C_3S سیمان را تسریع می‌کند، اگر چه اثر آن مشابه کلرید کلسیم نمی‌باشد. تری‌اتانول‌آمین نیز هیدراسیون فاز C_3A را در سیمان تسریع می‌کند، اما هیدراسیون C_3S و C_2S را به تأخیر می‌اندازد، لذا اغلب بعنوان یک تسریع‌کننده گیرش مطرح است. همچنین از این ماده جهت خنثی کردن اثر دیرگیرکنندگی سایر افزودنی‌ها استفاده می‌شود.

از تسریع‌کننده‌های غیرکلریدی، متعلقات مربوط به اسیدهای کربوکسیلیک نیز در هیدراسیون سیلیکات‌های سیمان بصورت کاتالیزور عمل می‌کنند.

همانطور که گفته شد، کلرید کلسیم در افزایش مقاومت اولیه و کاهش زمان گیرش اولیه و نهایی بسیار مؤثر است. مقدار بهینه مصرف کلرید کلسیم در بتن غیرمسلح بین ۱ تا ۴ درصد وزنی سیمان است، اگرچه توصیه می‌شود که مقدار مصرف آن به۲ درصد وزنی سیمان محدود شود.

اثر تسریع‌کننده‌ها به ترکیب شیمیایی سیمان مصرفی بخصوص مقدار گچ موجود در آن بستگی دارد. بطور مثال کلرید کلسیم در سیمان‌های پرتلند معمولی بسیار مؤثرتر از سیمان‌های زودگیر عمل می‌کند. همچنین کلرید کلسیم دارای اثر تسریع‌کنندگی در هیدراسیون سیمان پوزولانی می‌باشد. در سیمان‌های سرباره‌ای کلرید کلسیم در دماهای زیاد دارای اثر تسریع‌کنندگی است.

تسریع‌کننده فرمات کلسیم نیز در سیمان‌های پرتلند دارای مقدار کم گچ، دارای اثر تسریع‌کنندگی در مقاومت است و تنها در سیمان‌هایی مؤثر عمل می‌کند که نسبت C_3A به SO_3 بزرگتر از ۴ باشد.

دما نیز نمی‌تواند اثر قابل توجهی در عملکرد تسریع‌کننده‌ها داشته باشد. بطور مثال تحقیقات نشان داده است که اثر تسریع‌کنندگی کلرید کلسیم در دمای ۰ تا ۵ درجه سلسیوس بیشتر از دمای $^{\circ}$۲۰ درجه سلسیوس است.

تسریع‌کننده‌ها دارای اثر قابل ملاحظه‌ای بر روی کارایی نیستند. اگرچه بعضی از تسریع‌کننده‌ها مانند کلرید کلسیم مقدار کارایی را به مقدار ناچیزی افزایش می‌دهد و مقدار نیاز آب را برای حصول به یک کارایی مشابه با بتن شاهد به مقدار کمی کاهش می‌دهد.

تسریع کننده‌های گیرش (زودگیرکننده‌ها)، زمان گیرش بتن را کاهش می‌دهند در نتیجه افت روانی به مقدار ناچیزی بیشتر از یک بتن شاهد خواهد بود.

تسریع‌کننده‌های گیرش مانند کلرید کلسیم زمان گیرش اولیه و ثانویه را بطور قابل توجهی کاهش می‌دهند. تسریع‌کننده‌ها نرخ هیدراسیون سیمان را افزایش می‌دهند و لذا نرخ گرمای آزاد شده افزایش می‌یابد.

تسریع کننده‌های گیرش و سخت‌شدگی به دلیل اینکه باعث می‌شوند واکنش‌های هیدراسیون و زمان مرحله گیرش سریع‌تر رخ دهد، لذا نرخ و مقدار آب انداختگی را کاهش می‌دهند.

جمع‌شدگی خمیری، در اثر مصرف تسریع‌کننده‌های گیرش تقلیل می‌یابد، اما باعث افزایش ترک‌خوردگی خمیری بتن می‌شود.

معمولاً تسریع‌کننده‌ها نرخ گرمای هیدراسیون را در سنین اولیه سخت شدن افزایش می‌دهند. اما کل گرمای ناشی از هیدراسیون در مقایسه با بتن شاهد تقریباً یکسان خواهد بود. اصلی ترین مزیت استفاده از تسریع کننده‌ها توسعه زیاد مقاومت در سنین اولیه است.

روند کسب مقاومت در سنین مختلف بستگی به نوع تسریع کننده دارد. مثلاً کلرید کلسیم مقاومت اولیه بتن را افزایش می‌دهد. اما مقاومت درازمدت را کم می‌کند. فرمات کلسیم برخلاف کلرید کلسیم مقاومت را تا ۲۸ روز را نیز افزایش می‌دهد. نیتریت کلسیم مقاومت ۱، ۳ و ۲۸ روزه را افزایش می‌دهد. تیوسولفات سدیم و فرمالدئید زمان گیرش را تسریع می‌کند اما مقاومت فشاری را در مقایسه با بتن شاهد مقداری کاهش می‌دهد.

جمع‌شدگی حرارتی با مصرف تسریع‌کننده‌ها تشدید می‌شود. سرعت اولیه‌اش با مصرف تسریع‌کننده‌ها کم می‌شود، زیرا بتن زودتر گرفته و مانع خروج آب از حجم خود می‌شود.

بعضی از تسریع‌کننده‌ها، ممکن است دوام درازمدت بتن را مقداری کاهش دهند. مثلاً استفاده از کلرید کلسیم با مقدار مصرف زیاد مقاومت سولفاتی را کاهش می‌دهد. همچنین مقاومت در برابر یخ زدن و ذوب شدن

متوالی با استفاده از تسریع‌کننده‌ها در سنین اولیه افزایش یافته، اما در دراز مدت کاهش می‌یابد که در این صورت استفاده از مواد حباب هوازا توصیه می‌گردد.

۱-٤-۳-٤ دیرگیرکننده‌ها (کندگیرکننده‌ها)

دیرگیرکننده‌ها موادی هستند که با کنترل و ایجاد تأخیر در هیدراسیون اجزاء سیمان، سرعت گیرش را کاهش داده و سبب افزایش مدت زمان گیرش سیمان می‌شوند. این مواد سبب تأخیر در هیدراسیون سیمان بدون تأثیر بر روی خواص مکانیکی طولانی مدت بتن می‌شوند.

مواد افزودنی دیرگیرکننده در بتن، عمدتاً جهت جبران تأثیر دمای زیاد و از بین بردن اثرات نامطلوب آن استفاده می‌شوند. از این‌رو بیشترین استفاده این مواد برای بتن‌ریزی در هوای گرم است. همچنین این مواد برای حفظ کارایی بتن در طول مدت بتن‌ریزی و یا برای غلبه بر مشکلاتی که هنگام تأخیر بین مرحله اختلاط و بتن‌ریزی رخ می‌دهد، استفاده می‌شوند. این مواد در جلوگیری از بروز ترک در تیرهای باربر، عرشه پل‌ها یا دال‌ها سودمند هستند. همچنین با حفظ کارایی بتن در فواصل قطع بتن‌ریزی از ایجاد درزهای سرد جلوگیری می‌کنند.

استفاده از دیرگیرکننده‌های گیرش در سازه‌های بتنی باعث فراهم کردن شرایط لازم جهت زمان حمل طولانی‌تر، فاصله حمل بیشتر و از بین بردن هزینه‌های جابجایی دستگاه‌های مخلوط‌کن مرکزی می‌شوند. همچنین مدت زمان بیشتری را برای پرداخت سطح در ابتدا و انتهای کار فراهم می‌کنند و به از بین بردن درز سرد در کف‌سازی و در مواقع خرابی دستگاه‌ها کمک می‌کنند. دیرگیرکننده‌ها همچنین برای مقاومت در برابر ترک‌خوردگی ناشی از جمع‌شدگی حاصل تبخیر که در دال‌های افقی احتمال وقوع دارد، مورد استفاده قرار می‌گیرند. از کاربردهای دیگر آنها در بتن‌های پیش‌تنیده می‌باشد که از گیرش بتنی که در تماس با میلگردهاست، قبل از لرزاندن بتن جلوگیری می‌کند، در غیر اینصورت احتمال ترک‌خوردگی در ناحیه تماس میلگردها و بتن افزایش می‌یابد. همچنین این افزودنی‌ها، شرایط استفاده از عمل‌آوری در دمای بالا را در تولید بتن پیش‌تنیده بدون تأثیر بر روی مقاومت درازمدت بتن فراهم می‌کند.

دیرگیرکننده‌های گیرش به سبب داشتن چنین مزایایی، به عنوان یک ترکیب رایج در صنعت بتن به کار می‌روند.

اصلی‌ترین انواع افزودنی‌های دیرگیرکننده عبارتند از:

- دیرگیرکننده‌های غیرآلی (معدنی) نظیر برخی فسفات‌ها، نمک‌های روی، برات‌ها و برخی از کلریدها،
- دیرگیرکننده‌های آلی نظیر شکرها و مشتقات آن‌ها و اسیدهای مربوطه، گلوکونات‌ها بویژه گلوکونات سدیم،
- اسیدهای لیگنوسولفونیک و نمک‌ها و مشتقات اصلاح شده آن‌ها،
- اسیدهای نفتالین سولفونیک و نمک‌های آن‌ها،
- اسیدهای هیدروکسیلات کربوکسیلیک و مشتقات و نمک‌های آن‌ها،

لازم به ذکر است بسیاری از افزودنی‌های دیرگیرکننده، خاصیت روان‌کنندگی نیز دارند. در واقع بسیاری از ترکیبات اصلی که در ساخت روان‌کننده‌ها استفاده می‌شوند، در تولید دیرگیرکننده نیز استفاده می‌شوند. معمولاً از افزودنی‌های دیرگیرکننده به تنهایی استفاده نمی‌شود و افزودنی‌های روان‌کننده/ کاهنده آب دیرگیرکننده مورد استفاده قرار می‌گیرد.

مکانیزم‌های دیرگیرکنندگی، توسط بسیاری از محققین مورد مطالعه قرار گرفته و چندین نظریه برای توضیح این مکانیزم ارائه شده است. نقش ترکیبات دیرگیرکننده به روش ساده‌ای بیان می‌شود. این افزودنی‌ها، یک لایه فیلم نازک بر روی ذرات سیمانی ایجاد می‌کنند (با واکنش با ترکیبات C_3A و C_3S موجود در سیمان) و بنابراین منجر به جلوگیری یا کاهش واکنش آنها با آب می‌شوند. ضخامت این لایه نازک تعیین می‌کند که به چه میزان، سرعت هیدراسیون کند شده است. بعد از مدتی، این فیلم از بین می‌رود و هیدراسیون شروع می‌شود. به هرحال، باید توجه داشت که در بعضی موارد، هنگامی که مقدار افزودنی از یک حد بحرانی بالاتر می‌رود، هیدراسیون ترکیبات سیمان فراتر از مرحلهٔ خاصی نمی‌رود و خمیر سیمان هیچگاه گیرش پیدا نمی‌کند. بنابراین، مهم است تا از استفاده بیش از حد از افزودنی دیرگیرکننده در بتن اجتناب شود.

نوع و مقدار افزودنی و مرحله‌ای که به مخلوط اضافه می‌شود از عوامل تأثیرگذار میزان دیرگیرکنندگی است. سایر عوامل تأثیرگذار بر درجهٔ دیرکنندگی شامل نسبت آب به سیمان، مقدار سیمان، C_3A و مقدار قلیایی موجود در سیمان می‌باشد. تأثیر دیرگیرکننده در صورتی که اضافه کردن آن به بتن تازه با چند دقیقه تأخیر همراه باشد، افزایش پیدا می‌کند.

افزودنی‌های دیرگیرکننده مقدار روانی را برای مدت بیشتری حفظ می‌کنند. در اثر استفاده از این مواد، مقدار هوای بتن افزایش می‌یابد.

همان‌طور که گفته شد اغلب دیرگیرکننده‌ها دارای خاصیت روان‌کنندگی و یا کاهندگی آب هستند. لذا در نسبت آب به سیمان ثابت، افزودن آن‌ها اسلامپ اولیه را افزایش می‌دهد، اما نرخ افت اسلامپ را نیز در مقایسه با بتن شاهد بالاتر خواهد برد.

دیرگیرکننده‌ها بر روی پتانسیل بتن تازه، جهت جداشدگی و آب‌انداختگی اثرات متفاوتی دارند. بعضی از این مواد مانند گلوکونات‌ها آب‌انداختگی را افزایش می‌دهند، اما گلوکزها باعث کاهش آب‌انداختگی می‌شوند. لیگنوسولفونات‌ها معمولاً اثر چندانی ندارند.

استفاده از افزودنی‌های دیرگیرکننده معمولاً باعث تأخیر در گیرش اولیه و نهایی بتن می‌شوند. تأخیر در زمان گیرش به نوع افزودنی و به خصوص به مقدار آن و دمای هوا و دمای بتن بستگی دارد. با مصرف دیرگیرکننده‌ها معمولاً جمع‌شدگی خمیری افزایش می‌یابد.

به علت عمل دیرگیرکنندگی، مقاومت یک روزهٔ بتن کاهش می‌یابد. به هرحال، اثر این مواد در مقاومت درازمدت ناچیز است.

با مصرف دیرگیرکننده‌ها، جمع‌شدگی حرارتی کم می‌شود.

نرخ جمع‌شدگی ناشی از خشک شدن و خزش بتن با استفاده از دیرگیرکننده‌ها ممکن است افزایش پیدا کند، ولی مقادیر آن در درازمدت افزایش پیدا نمی‌کند.

۱-٤-۳-۵ مواد حباب‌زا (حباب‌ساز)

مواد افزودنی حباب‌ساز موادی هستند که سبب ایجاد حباب‌های عمدی ریز هوا در بتن می‌شوند. از دهه ۴۰ میلادی، آثار و خواص افزودنی‌های حباب‌ساز در بتن بتدریج در آمریکا شناخته شد و بکار رفت. برخی کارخانه‌های سیمان در آمریکا، به تجربه دریافته بودند که افزودنی پیه گاو به کلینکر در هنگام آسیاب آن در کارخانه، عمل آسیاب‌کردن را تسهیل می‌بخشد. بعدها دریافتند که بتن‌های ساخته شده با این نوع سیمان‌ها از دوام مناسبی برخوردار بودند، در حالیکه بتن‌های مشابه با همان نسبت آب به سیمان خیلی سریعتر از بین می‌رفتند. این یافته‌ها، بسیار مهم و عجیب تلقی شده و به کشف خواص یا ساختار میکروسکوپی خمیر سیمان حاوی حباب‌ها منجر گردید. امروزه مصرف این مواد بصورتی فراگیر شده است که در اغلب آیین‌نامه‌ها، مصرف این مواد، بویژه زمانی که بتن در معرض چرخه‌های یخزدن و آب‌شدن مکرر قرار دارد، توصیه می‌شود یا الزامی دانسته شده است.

مواد بسیاری قابلیت ایجاد حباب در خمیر سیمان را دارند، اما آنچه در مورد افزودنی‌های حباب‌ساز مهم است، ایجاد حباب‌هایی با ساختار مناسب و پایدار است. امروزه اکثر حباب‌زاهایی که به شکل تجاری در دسترس هستند، در یکی از دسته‌های زیر قرار می‌گیرند.

- نمک‌های صمغ‌های چوب (وینسول)، نمک‌های مواد پروتئینی
- نمک‌های اسیدهای نفتی
- نمک‌های آلی هیدروکربن‌های سولفوناته
- دترجنت‌های مصنوعی
- اسیدهای رزینی و چرب و نمک‌های آن‌ها

معمولاً مواد حباب‌زا با آهک موجود در سیمان در مجاورت آب ترکیب شده و حباب ریز تولید می‌کنند. حباب‌های هوای عمدی ایجاد شده در خمیر سیمان، ریز و پخش هستند. میلیاردها حباب ریز در یک متر مکعب بتن یا ملات توسط این مواد حباب‌زا بوجود می‌آید که کاملاً پخش و توزیع شده‌اند. وقتی بتن یا ملات در برابر چرخه‌های متوالی یخزدن و آب‌شدن پایداری می‌کند که فاصله حباب‌ها از یکدیگر بیش از ۰/۲ میلی متر نباشد.

درصد هوا و توزیع اندازه (دانه‌بندی) حباب‌های تولید شده در بتن حباب‌دار متأثر از تعدادی از عوامل می‌باشد که اهم آنها در زیر می‌آید.

– ماهیت (طبیعت و جنس) و مقدار افزودنی مصرفی

– ماهیت و مقدار مصالح مصرفی در بتن حبابدار

– اسلامپ یا روانی بتن

– روش اختلاط، حمل، تراکم و شرایط اجرایی بتن

نوع افزودنی بکار رفته در نوع حباب ایجاد شده، مقدار حباب ایجاد شده و اندازه حباب‌ها مؤثر است. شکل دانه‌بندی سنگدانه، وجود مواد آلی در سنگدانه، نوع و ریزی سیمان و ناخالصی‌های آب بر میزان مصرف مواد حباب‌زا و میزان حباب‌های ایجاد شده اثرگذار است. استفاده از سنگدانه دارای دانه‌بندی با بافت ریز، مصرف مواد حباب‌زا را برای رسیدن به میزان حباب معین افزایش می‌دهد. تیزگوشه بودن سنگدانه‌ها بخصوص در مورد ماسه‌ها مصرف حباب‌زا را افزایش می‌دهد. وجود مواد آلی در سنگدانه و آب به افزایش حباب‌زایی و کاهش مصرف حباب‌زا منجر می‌گردد.

افزایش در سختی یا قلیایی‌های آب، بر مصرف مواد افزودنی اثرگذار است. افزایش سختی آب موجب کاهش حباب‌زایی و افزایش مصرف مواد حباب‌زا و افزایش قلیایی‌های آب موجب کاهش مصرف مواد حباب‌زا می‌شود.

وقتی ریزی سیمان بیشتر می‌شود، مقدار مصرف ماده حباب‌زا باید بیشتر شود، زیرا حباب هوای کمتری ایجاد می‌شود. سیمان‌های زودگیر و همچنین سیمان‌های حاوی پوزولان و سیمانهای سرباره‌ای، معمولاً مقدار مصرف حباب‌زا را بیشتر می‌کنند. سیمان‌های با قلیایی بالا مقدار مصرف مواد حباب‌زا را کم می‌کند.

وقتی ریزدانه اعم از ماسه ریز یا مواد گذرنده از الک ۷۵ میکرون (مواد ریزدانه) یا میزان سرباره، پوزولان یا پودر سنگ موجود در بتن بیشتر می‌شود، خاصیت حباب‌زایی کم شده و مصرف ماده حباب‌زا بیشتر می‌شود. همچنین مصرف افزودنی کلرید کلسیم حباب‌زایی را بیشتر می‌کند.

با مصرف مواد روان‌کننده معمولی، مقدار مصرف حباب‌زا به میزان یک سوم یا بیشتر کاهش می‌یابد. فوق‌روان‌کننده ممکن است خاصیت معکوس نیز داشته باشند. به هرحال با مصرف هر نوع افزودنی ممکن است کاهش یا افزایش حباب‌زایی را داشته باشیم.

وقتی مقدار سیمان افزایش یابد، مقدار مصرف مواد حباب‌زا افزایش می‌یابد. در عیار سیمان یا مواد سیمانی بیشتر از ۴۰۰ کیلوگرم ممکن است اشکالاتی در حباب‌زایی بوجود آید.

وقتی نسبت آب به سیمان بیشتر شده و یا بعبارتی روانی بتن بالاتر رود، حباب‌زایی بیشتر شده و در نتیجه مصرف مواد حباب‌زا کاهش می‌یابد. البته در بتن‌های خیلی روان نیز ممکن است فاصله حباب‌ها زیاد شود و خاصیت آنها در بتن کم شود. در این حالت حباب‌های درشت‌تری تولید می‌شوند.

اگر دمای بتن یا هوا زیاد شود، مقدار حباب‌ها کم و اندازه آن‌ها بزرگ‌تر می‌شوند و فاصله حباب‌ها از هم زیاد می‌شود و نقص اساسی برای بتن حباب‌دار ایجاد می‌شود. در دمای بتن بیش از ۲۲ درجه و در دمای هوای بیشتر از ۲۶ درجه به تدریج کار کنترل حباب‌ها مشکل شده و مصرف حباب‌زا افزایش می‌یابد، ولی به هرحال حباب‌ها اندازه و فاصله مناسب را نخواهند داشت.

نوع مخلوط‌کن، مقدار بتن مخلوط‌شده و سرعت و زمان (مدت) اختلاط بر حباب‌زایی مؤثر است. حجم کمتر و سرعت بیشتر مخلوط‌کن، حباب‌زایی را بالا می‌برد، اما افزایش مدت اختلاط در ابتدا باعث افزایش حباب‌زایی (۳ تا ۵ دقیقه) و پس از آن به کاهش حباب‌ها منجر می شود. با افزودن آب به مخلوط، ممکن است میزان حباب‌ها تغییر نماید. در مدت حمل بویژه در کامیون مخلوط‌کن، مقدار حباب‌ها کم می‌شود. همچنین پمپ کردن بتن معمولاً مقدار حباب‌ها را کم می‌کند.

همچنین لرزش‌هایی که برای تراکم بتن بکار می‌روند، به تدریج حباب‌های هوا را از بتن خارج می‌کنند، به خصوص اگر مقدار لرزاندن از یک حد تجاوز کند.

با توجه به شرایط محیطی از نظر یخبندان و آب‌شدن یا سایر شرایط موجود در حین بهره‌برداری در آیین‌نامه‌های مختلف، درصد حباب هوای لازم مشخص می‌شود. مقدار حباب هوای لازم در بتن، معمولاً به حداکثر اندازه سنگدانه مصرفی ارتباط دارد. معمولاً هرچقدر خمیر سیمان بتن کمتر باشد، درصد حباب هوای لازم در بتن کمتر می‌شود، در حالی‌که ممکن است عملاً درصد حباب هوا در خمیر سیمان ثابت باشد.

هر چقدر شرایط محیطی حادتر باشد، درصد حباب هوای لازم بتن بیشتر می‌شود. با کاهش حداکثر اندازه سنگدانه بتن، درصد حباب هوای لازم افزایش می‌یابد. معمولاً حداکثر حباب هوای لازم در بتن‌های دارای حداکثر

اندازه سنگدانه ۱۰ میلی‌متر و در شرایط حاد، حداقل ۷/۵ درصد و برای حداکثر اندازه ۱۵۰ میلی‌متر و شرایط متوسط، ۳ درصد می‌باشد. بدیهی است برای حداکثر اندازه‌های ۴/۷۵ یا ۲/۳۸ میلی‌متر برای ملات‌ها ممکن است حباب هوا به حدود ۱۰ درصد برسد و در خمیر سیمان در حدود ۱۵ تا ۲۰ درصد خواهد بود. رواداری مجاز درصد حباب هوای بتن معمولاً ۱ تا ۱/۵ درصد در کارگاه می‌باشد.

مصرف مواد حباب‌زا در یک نسبت آب به سیمان ثابت، کارایی و اسلامپ بتن را بیشتر می‌کند. حتی هنگامی‌که تحت شرایطی، اسلامپ یکسانی وجود دارد، بتن حاوی مواد حباب‌زا دارای کارایی بیشتر و چسبنده‌تر از بتن مشابه و فاقد حباب‌زا است، مگر اینکه عیار سیمان زیاد باشد. جداشدگی و آب‌انداختن بتن تازه با استفاده از مواد حباب‌زا کاهش می‌یابد.

با مصرف مواد حباب‌زا، جمع‌شدگی بتن تازه در هنگام گیرش کاهش می‌یابد و یا حتی انبساط جزئی را به همراه می‌آورد، به هر حال در مجموع جمع‌شدگی خمیری کاهش می‌یابد.

وجود حباب‌های عمدی در بتن همانند وجود حباب‌های غیرعمدی، مقاومت بتن را کاهش می‌دهد، اما مقدار کاهش یکسان نخواهد بود. به ازای هر یک درصد حباب هوای عمدی در بتن معمولاً ۳ درصد مقاومت کاهش می‌یابد، در حالی‌که ازای هر یک درصد حباب هوای غیرعمدی (Entrapped Air) که بدلیل عدم تراکم کافی بوجود می‌آید بیش از ۵ درصد مقاومت کاهش می‌یابد. اگر عیار سیمان در بتن، متوسط تا زیاد باشد، کاهش مقاومت ناشی از وجود حباب هوای عمدی افزایش می‌یابد. هر چند باید گفت، اگر به کمک مواد حباب‌زا بتوانیم مقدار آب را کاهش دهیم، مقدار نسبت آب به سیمان کم و بخشی از این کاهش مقاومت جبران می‌شود (با فرض عیار سیمان و اسلامپ ثابت).

نفوذپذیری بتن سخت شده با وجود حباب‌های ریز و پخش شده در خمیر سیمان کاهش می‌یابد که در افزایش دوام بتن مؤثر است.

جذب آب مویینه بتن حباب‌دار نیز به مراتب کمتر از بتن معمولی است که این عامل نیز در افزایش دوام بتن موثر است.

مهمترین تأثیر مواد حباب‌زا در بتن سخت شده، افزایش پایایی بتن در برابر چرخه‌های متوالی یخزدن و آب‌شدن است. وجود حباب‌های ریز و بسته، نفوذ پذیری را کاهش می‌دهد و همچنین انبساط ناشی از یخزدن آب توسط این حباب‌ها تحمل می‌گردد و تنش‌های قابل توجهی را به خمیر سیمان منتقل نمی‌کند و دوام بتن بالا می‌رود.

وجود حباب باعث افزایش قابلیت نگهداری آب در بتن یا ملات سخت شده می شود و جمع‌شدگی ناشی از خشک‌شدگی آن کاهش می یابد و لذا ترک‌خوردگی کم‌تر می‌گردد و دوام افزایش می‌یابد.

فصل دوم

استانداردها و آیین‌نامه‌های سنگدانه‌های مصرفی در بتن آماده

مقدمه

ویژگی سنگدانه‌های مصرفی نقش مهمی در مقاومت و دوام بتن آماده دارد، زیرا سنگدانه‌ها حدود سه‌چهارم حجم بتن را تشکیل می‌دهند، بنابراین کیفیت آنها از اهمیتی ویژه برخوردار است.

همچنین اندازه، شکل، بافت سطحی و نوع سنگدانه‌ها عامل مؤثری در وضعیت ناحیه انتقال (وجه مشترک خمیر سیمان و سنگدانه) می‌باشد و این منطقه اساساً به علت ساختار ضعیفی که دارد، بر خواص مکانیکی بتن تأثیر مستقیمی دارد. در صورتیکه اندازه سنگدانه‌ها بزرگ باشد، به هنگام جمع‌شدگی در مراحل اولیه گیرش و یا تحت اثر بار، ریزترکهای ایجاد شده در ناحیه انتقالی براحتی گسترش می‌یابند و بهم می‌پیوندند و ترکهای بزرگتری ایجاد می‌کنند و باعث می‌شوند تا نفوذپذیری بتن افزایش یابد. همچنین نوع سنگدانه در میزان پیوستگی خمیر سیمان و سنگدانه مؤثر است. مثلاً سنگدانه‌هایی مانند کوارتز و فلدسپات در مقایسه با سنگدانه‌های آهکی، پیوستگی ضعیف‌تری با خمیر سیمان ایجاد می‌کنند. همچنین شکل و اندازه سنگدانه‌ها و میزان آنها در طرح اختلاط در خواص بتن تازه مانند کارایی، جداشدگی ذرات و نیز آب‌انداختگی مؤثر است.

از طرف دیگر، سنگدانه‌ها می‌توانند عامل انتقال آلودگی به بتن باشند. این موضوع به خصوص در مناطق حاشیه خلیج‌فارس و دریای عمان اهمیت بیشتری دارد. زیرا اکثر مصالح در این مناطق آلوده به یونهای کلرید هستند و حتی در صورتی که مصالح تمیز و عاری از آلودگی باشند، بر اثر انبار کردن در فضای باز به علت وجود یونهای کلرید معلق در هوا و یا در تماس با خاک آلوده به سرعت آلوده می‌گردند.

مشکلات عمده در مورد سنگدانه‌ها در کشور عبارتند از:

- دانه‌بندی نامناسب
- مواد ریزدانه (گذشته از الک نمره ۲۰۰)
- مقدار بیش از حد مجاز نمک‌های زیان‌آور در سنگدانه‌ها
- جذب آب زیاد
- سنگ‌های آهکی حاوی مقادیر رس بیش از حد مجاز
- سنگریزه‌هایی که بر اثر واکنش‌های شیمیایی بهم چسبیده‌اند
- سنگدانه‌های دارای میکا یا پیریت آهن

به طور مثال، اغلب سنگدانه‌های مصرفی در مناطق حاشیه خلیج‌فارس از انواع ماسه سنگ‌ها ، سنگ‌های آهکی و دولومیتی است. به علت تبخیر شدید، نمک‌ها در سطح این سنگها رسوب کرده و لایه‌ای سخت با مقدار زیادی نمک تشکیل می‌شود. زیاد بودن میزان نمک‌ها در این مصالح عاملی برای خوردگی فولاد در حمله عوامل خورنده بر بتن است.

در صورت تصمیم بر استفاده از این نوع مصالح در بتن مسلح، باید به منظور کاهش میزان املاح، سنگدانه‌ها کاملاً شسته شود و در محلی با زهکش مناسب انبار گردد تا از رسوب مجدد نمک‌ها جلوگیری گردد. شستشو باید توسط آب شیرین صورت گیرد. همچنین در سازه‌هایی که در معرض آب دریا هستند، به علت رشد جلبک‌ها و خزه‌ها روی سطح بتن، صدفها و اسفنج‌ها در میان آنها ساکن می‌شوند. به علت اینکه این جانوران از آهک تغذیه می‌کنند، در صورتی که از سنگدانه‌های آهکی استفاده شده باشد، باعث تشکیل حفره‌هایی در سطح بتن می‌شود و باعث افزایش سرعت تخریب بتن می‌گردند.در مورد ماسه‌های طبیعی مورد استفاده در این منطقه اعم از ماسه‌های ساحلی و غیرساحلی نیز میزان نمک زیاد است و لزوم شستشوی این نوع مصالح حتی از شستشوی مصالح درشت هم بیشتر است. باید توجه داشت که سنگدانه‌های مصرفی دارای سیلیس یا کربنات فعال نباشند. سیلیس یا کربنات فعال می‌تواند با سیمان واکنش قلیایی انجام دهد و ترکیب شیمیایی حاصل از آن باعث انبساط شدید بتن و ترک‌خوردن آن گردد.

از مصرف سنگدانه‌های حاوی مقادیر زیاد دانه‌های پولکی و طویل و ترد، متورق، مصالح نرم و رسی و متخلخل باید ممانعت کرد. در این خصوص باید به استانداردهای معتبر مراجعه شود.

بنابراین قبل از مصرف سنگدانه‌ها باید کیفیت آنها را از جنبه‌های مختلف مورد بررسی و تایید قرار داد. بدین منظور قبل از ارائهٔ توصیه‌ها و الزامات، تاثیر سنگدانه در خواص مختلف بتن بطور اختصار مورد کنکاش قرار می‌گیرد.

۲-۱ استانداردهای سنگدانه‌ها

استانداردهای ملی و بین‌المللی برای کنترل کیفی سنگدانه‌های مورد استفاده در ساخت بتن، روش‌های آزمون استانداردی را پیشنهاد می‌دهند که تعدادی از این آزمون‌های استاندارد در جدول (۲-۱) ارائه شده است. این آزمون‌ها، حداقل الزامات مورد نیاز برای تضمین کیفی سنگدانه‌ها را مورد تصریح قرار می‌دهد.

جدول ۲-۱ استانداردهای مربوط به تعیین خواص و الزامات سنگدانه‌های مصرفی در بتن

عنوان آزمون استاندارد	شماره استاندارد ایران	شماره استاندارد مرجع
ویژگی‌های سنگدانه های بتن	ISIRI ۳۰۲	ASTM C 33
اندازه گیری دانه‌های پولکی، دانه‌های طویل یا دانه‌های پولکی و طویل در سنگدانه درشت	ISIRI ۱۱۲۶۹	ASTM D 4791
تعیین درصد شکستگی سنگدانه های درشت	ISIRI ۱۱۵۶۸	ASTM D 5821
تعیین درصد عبوری از الک ۷۵ میکرون	ISIRI ۴۴۶	ASTM C 117
روش آزمون دانه بندی سنگدانه های ریزودرشت توسط الک	ISIRI ۴۹۷۷	ASTM C 136
روش آزمون کلوخه های رسی وذرات خرد شونده در سنگدانه	ISIRI ۴۹۷۸	ASTM C142
روش آزمون ناخالصی های آلی سنگدانه های ریز برای بتن	ISIRI ۴۹۷۸	ASTM C40
روش آزمون تعیین وزن مخصوص انبوهی وجذب آب سنگدانه های ریز	ISIRI ۴۹۸۰	ASTM C128
روش آزمون وزن واحد و فضای خالی سنگدانه ها	ISIRI ۴۹۸۱	ASTM C29
روش آزمون تعیین وزن مخصوص انبوهی وجذب آب سنگدانه های درشت	ISIRI ۴۹۸۲	ASTM C127
روش تعیین رطوبت کل سنگدانه ها	ISIRI۴۹۸۳	ASTM C566
آزمون ذرات سبک در سنگدانه	ISIRI ۴۹۸۴	ASTM C123

ویژگی‌های سنگدانه سبک برای بتن سازه ای	ISIRI ۴۹۸۵	ASTM C330
روش آزمون تعیین رطوبت سطحی در سنگدانه‌های ریز	ISIRI ۶۱۱	ASTM C70
روش آزمون تعیین نمکهای کلریدی محلول در آب	ISIRI۷۱۴۷	ASTM D1411-
اندازه گیری پتانسیل واکنش قلیایی سنگ‌های کربناتی به عنوان سنگدانه بتن با استفاده از روش استوانه سنگی	ISIRI ۷۶۵۶	ASTM C-586
اندازه گیری واکنش قلیایی – سیلیسی به روش شیمیایی	ISIRI ۷۸۸۲	ASTM C289
قابلیت انبساط‌پذیری به روش بررسی تغییر طول منشورهای بتنی، ناشی از واکنش سنگدانه‌ها با قلیائی‌ها	ISIRI ۸۱۴۹	ASTM C1293
تعیین مقاومت سنگدانه های درشت دانه در مقابل سایش و ضربه در دستگاه لوس آنجلس	ISIRI ۴۴۸/۸۴۴۷	ASTM C535
تعیین مقدار سولفات	ISIRI ۸۶۷۲	BS 812-118
قابلیت واکنش سنگدانه ها با قلیائی ها به روش ملات منشوری تسریع شده	ISIRI ۸۷۵۳	ASTM C1260
تعیین نمکهای کلریدی محلول در آب روش آزمون	ISIRI ۷۱۴۷	BS 812-117
مقاومت مصالح سنگی در مقابل عوامل جوی	ISIRI ۴۴۹	ASTM C88

۲-۲ الزامات و کنترل کیفی سنگدانه‌های مصرفی در بتن آماده

۲-۲-۱ الزامات دانه‌بندی

سنگدانه‌های مصرفی در ساخت بتن آماده باید مطابق استاندارد ملی ایران به شماره ۳۰۲ و استاندارد ملی ایران به شمارهٔ ۶۰۴۴ باشد.

محدوده دانه‌بندی الزامی درشت دانه و ریزدانه مورد مصرف در ساخت بتن آماده در جداول (۲-۲) و (۲-۳) ارائه شده است. در صورتی که الزامات نمای بتن نیاز به دانه‌بندی دیگر از آنچه در جداول مذکور ذکر شده است، باید با توافق خریدار، مشاور نسبت به ارائهٔ دانه‌بندی مورد نیاز، اقدام نماید. در این مورد می‌توان جدول (۹-۳-۱۱) مقررات ملی ساختمان را مورد استناد قرار داد. در هر مورد باید دانه‌بندی مطابق با استاندارد ملی ایران به شمارهٔ ۴۹۷۷ مورد استفاده قرار گیرد.

جدول ۲-۲ الزامات دانه‌بندی درشت دانه

اندازه دانه‌ها (میلی‌متر)	درصد وزنی عبوری از هر الک						
	۳۷/۵ میلی‌متر	۲۵ میلی‌متر	۱۹ میلی‌متر	۱۲/۵ میلی‌متر	۹/۵ میلی‌متر	٤/۷۵ میلی‌متر	۲/۳٦ میلی‌متر

۴/۷۵ تا ۱۲/۵	–	–	۱۰۰	۹۰–۱۰۰	۴۰–۷۰	۰–۱۵	۰–۵
۴/۷۵ تا ۱۹	–	۱۰۰	۹۰–۱۰۰	–	۲۰–۵۵	۰–۱۰	۰–۵
۹/۵ تا ۱۹	–	۱۰۰	۹۰–۱۰۰	۲۰–۵۵	۰–۱۵	۰–۵	–
۴/۷۵ تا ۲۵	۱۰۰	۹۵–۱۰۰	–	۲۵–۶۰	–	۰–۱۰	۰–۵
۹/۵ تا ۲۵	۱۰۰	۹۰–۱۰۰	۴۰–۸۵	۱۰–۴۰	۰–۱۵	۰–۵	–
۱۲/۵ تا ۲۵	۱۰۰	۹۰–۱۰۰	۲۰–۵۵	۰–۱۰	۰–۵	–	–

جدول ۲–۳ الزامات دانه‌بندی ریزدانه‌های مصرفی

اندازه الک (میلی‌متر)	الزامات اجباری	الزامات اختیاری *
	درصد وزنی عبوری	درصد وزنی عبوری
۹/۵	۱۰۰	۱۰۰
۴/۷۵	۸۹–۱۰۰	۹۵–۱۰۰
۲/۳۶	۶۰–۱۰۰	۸۰–۱۰۰
۱/۱۸	۳۰–۹۰	۵۰–۸۵
۰/۶	۱۵–۵۴	۲۵–۵۰
۰/۲	۵–۴۰	۵–۳۰
۰/۱۵	۰–۱۵	۰–۱۰

۲–۲–۲ الزامات مواد زیان‌آور در سنگدانه‌های ریز و درشت

درصد مواد زیان‌آور در مواد تشکیل‌دهنده بتن آماده نباید از مقادیر تعیین شده بعنوان حداکثر مجاز در جدول (۲–۴) و (۲–۵) تجاوز کند.

جدول ۲–٤ مقادیر حداکثر مجاز مواد زیان‌آور در سنگدانه‌های ریز بتن و روش‌های آزمایش

نوع ماده زیان‌آور	روش آزمون	حداکثر درصد وزنی مجاز در کل نمونه
کلوخه‌های رسی و دانه‌های سست	ASTM C142 ISIRI ۴۹۷۸	۳
دانه‌های گذشته از الک شماره ۲۰۰ (۰/۷۵ میلیمتر) الف– بتن تحت سایش	ASTM C17 ISIRI۴۴۶	 ۳ *
ب– سایر بتن‌ها		۵
زغال سنگ، لیگنیت، یا سایر مصالح سبک الف– هنگامی که نمای ظاهری بتن حایز اهمیت	ASTM C123	 ۰/۵

است ب- سایر بتن‌ها		۱
سولفات‌ها بر حسب ($SO3^{--}$)	ASTM C516	۰/٤ **
کلریدها بر حسب (Cl^{-})	ASTM D512	۰/۰۴ +

* درمورد ماسه شکسته، اگر دانه‌های گذشته از الک شماره ۲۰۰ متشکل از پودر سنگ و با مقدار رس کم باشند، می توان این مقدار را به ۷ درصد افزایش داد. این درصد بر اساس دانه‌بندی ماسه گذشته از الک ۴/۷۵ میلیمتر (شماره ۴) محاسبه می‌شوند. در صورتی‌که پودر سنگ بصورت جداگانه موجود است، این عدد می‌تواند بیشتر از ۷ درصد باشد.

** مقدار کل سولفات قابل حل در آب بر حسب--SO3 در مخلوط بتن و با احتساب --SO3 موجود در سیمان نباید از ۳ درصد بیشتر باشد و به هر حال مقدار کل سولفات موجود نباید از ۴ درصد وزن سیمان تجاوز کند.

+ مقدار کلرید قابل حل در آب در مخلوط بتن مسلح، نباید از ۰/۱۵ درصد وزن سیمان تجاوز کند.

جدول ۲-۵ مقادیر حداکثر مجاز مواد زیان‌آور در سنگدانه‌های درشت بتن و روش‌های آزمایش

نوع ماده زیان‌آور	روش آزمون	حداکثر درصد وزنی مجاز در کل نمونه
کلوخه‌های رسی	ASTM C142 ISIRI ۴۹۷۸	۰/۲۵
دانه‌های نرم *	ASTM C854 ASTM C235	۵
چرت به صورت ناخالصی ** الف- در معرض شرایط محیطی شدید ب- در معرض شرایط محیطی متوسط ج - در معرض شرایط محیطی ملایم	ASTM C88	 ۱ ۳ ۵

دانه‌های گذشته از الک شماره ۲۰۰ (۰/۰۷۵ میلیمتر)	ASTM C117 ISIRI ۴۴۶	۱ [+]
زغال سنگ، لیگنیت، یا سایر مصالح سبک		۱
دانه‌های سست شامل مجموع کلوخه‌های رسی، دانه‌های نرم، چرت هوازده، گلسنگ (شیل) و شیستهای متورق هوازده الف- بتن نمایان ب- بتن تحت سایش ج- سایر بتن‌ها	ASTM C142 ISIRI ۴۹۷۸	 ۳ ۵ ۷
سولفاتها ($SO3^{--}$)	ASTM C516 ISIRI ۸۶۷۲	۰/۴ [++]
کلریدها (Cl^-)	ASTM D512 ISIRI ۷۱۴۷	۰/۰۲ [+++]

[*] این محدودیت فقط در مواردی حاکم است که نرمی هر یک از دانه‌های درشت به تنهایی با توجه به عملکرد بتن جنبه بحرانی دارد.

[**] این گونه چرت در ۵ سیکل در آزمایش سلامت یا ۵۰ سیکل یخ زدن و آب شدن (صفر تا ۴ درجه سلسیوس) از هم می‌پاشد، یا چگالی آن در حالت اشباع با سطح خشک، از ۲/۳۵ کمتر است. از هم پاشیدن به شکسته یا تکه شدن واقعی بر اساس ازمایش‌های عینی اطلاق می‌شود. این محدودیت‌ها فقط در مورد سنگدانه‌هایی حاکم‌اند که چرت به عنوان ناخالصی آنها تلقی شود و در مورد شنهایی که بیشتر از چرت تشکیل یافته‌اند، قابل اعمال نیست.

محدودیت‌های مربوط به سلامت سنگدانه‌ها باید بر سوابق بهره‌برداری از آنها در محیط مورد نظر استوار باشد.

[+] این حد در حالات زیر قابل افزایش است: ۱- اگر مواد ریزتر از الک ۷۵ میکرون (شماره ۲۰۰) اساساً عاری از رس یا شیل باشد، حد ۱/۵ درصد مجاز است. ۲- اگر مشخص شده است که منبع سنگدانه ریز مورد استفاده در بتن دارای مواد ریزتر از الک ۷۵ میکرون کمتر از حداکثر مجاز برای سنگدانه ریز (جدول ۲-۴) است، حداکثر درصد (L) آن در سنگدانه درشت تا حد $L=1+[(P)/(100-P)](T-A)$ مجاز است افزایش یابد که در آن P برابر با درصد ماسه در بتن به صورت درصدی ازکل سنگدانه، T برابر با حد مقدار مجاز در سنگدانه ریز (جدول ۲-۴) و A مقدار کل در سنگدانه ریز است. طبق این محاسبه حداکثر مقدار مواد ریزتر از الک ۷۵ میکرون در سنگدانه درشت طوری تعیین می‌شود که مجموع این مواد در بتن از مقدار موجود برای حالتی که هم سنگدانه ریز و هم سنگدانه درشت مقدار حداکثر مجاز مواد ریزتر از ۷۵ میکرون را دارا هستند بیشتر نشود.

[++] مقدار کل سولفات قابل حل در آب بر حسب $SO3^{--}$ در مخلوط بتن و با احتساب $SO3^{--}$ موجود در سیمان، نباید از ۳ درصد بیشتر باشد، و به هر حال مقدار کل سولفات موجود نباید از ۴ درصد وزن سیمان تجاوز کند.

[+++] مقدار کلرید قابل حل در آب در مخلوط بتن مسلح، نباید از ۰/۱۵ درصد وزن سیمان تجاوز کند.

۲-۲-۳ الزامات سنگدانه‌های پولکی و سوزنی شکل

درصد دانه‌های پولکی و سوزنی در سنگدانه‌های درشت نباید از مقادیر داده شده در جدول (۲-۶) تجاوز کند.

۲-۲-٤ سایر مشخصات الزامی و اختیاری سنگدانه‌ها

برخی دیگر از مشخصات الزامی سنگدانه‌های مصرفی در بتن در جدول (۲-۷) و جدول (۲-۸) ارائه شده است که شامل میزان افت وزنی سنگدانه‌ها در اثر سایش و یا آزمایش سلامت سنگدانه‌ها می‌باشد.

جدول ۲-٦ حداکثر مجاز درصد دانه‌های پولکی و سوزنی در سنگدانه‌های درشت

نوع سنگدانه	روش آزمون	حداکثر درصد وزنی مجاز
دانه‌های پولکی: سنگدانه‌های مانده روی الک ۶/۳ میلیمتر ۰/۲۵اینچ	ASTM D4791 ISIRI ۱۱۲۶۹	۳۰
دانه‌های سوزنی: سنگدانه‌های با حداکثر اندازه ۶۳ و یا ۵۰ میلیمتر (۲/۵و یا ۲ اینچ) سنگدانه‌های با حداکثر اندازه ۳۸ و یا ۲۵ و یا ۱۹ میلیمتر (۱/۵و یا ۱ و یا ۰/۷۵ اینچ) سنگدانه‌های با حداکثر اندازه ۱۲/۵ و یا ۹/۵ میلیمتر (۰/۵ و یا $\frac{۳}{۸}$ اینچ)	ASTM D4791 ISIRI ۱۱۲۶۹	۳۵ ۴۰ ۴۵

جدول ۲-۷ مشخصات الزامی سلامت سنگدانه‌های درشت

نوع آزمایش برای تعیین افت وزنی (درصد)	روش آزمون	حداکثر مجاز
میزان کاهش وزن در آزمایش لس آنجلس	ASTM C535 ISIRI ۴۴۸/۸۴۴۷	۵۰
میزان کاهش وزن در آزمایش سلامت با سولفات سدیم	ASTM C88 ISIRI ۴۴۹	۱۲
میزان کاهش وزن در آزمایش سلامت با سولفات منیزیم	ASTM C88 ISIRI ۴۴۹	۱۸

جدول ۲-۸ مشخصات الزامی سلامت سنگدانه‌های ریز

نوع آزمایش برای تعیین افت وزنی (درصد)	روش آزمون	حداکثر مجاز
میزان کاهش وزن در آزمایش سلامت با سولفات سدیم	ASTM C88 ISIRI ۴۴۹	۱۰
میزان کاهش وزن در آزمایش سلامت با سولفات منیزیم	ASTM C88 ISIRI ۴۴۹	۱۲

همانگونه که در این جداول مشاهده می‌شود، محدودیت‌های افت وزنی برای سنگدانه‌های درشت و ریز متفاوت است. اما به هر حال، میزان کاهش وزن در آزمایش لس‌آنجلس نباید بیشتر از ۵۰ درصد باشد. در مواردی که سایش بتن مورد استفاده حائز اهمیت است، این مقدار باید کاهش یابد.

همانگونه که قبلاً گفته شد، بعضی از انواع سنگدانه‌ها با قلیایی موجود در سیمان واکنش شیمیایی انجام می دهند و درنتیجه بتن، منبسط شده (سرطان بتن) و تخریب می‌گردد. این تخریب به‌خصوص برای مصرف در بتنی که در معرض خیس‌شدگی، رویارویی زیاد در برابر شرایط جوی مرطوب یا در معرض تماس با زمین مرطوب قرار خواهد گرفت، بیشتر مشکل‌ساز است. تشخیص فعال بودن سنگدانه‌ها فقط با تعیین نوع سنگدانه و یا با مشاهده ظاهری سنگدانه امکان پذیر نیست، بلکه باید آزمایش‌هایی بر روی سنگدانه‌ها انجام گردد. در صورت عدم وسایل انجام دادن آزمایش، بهترین روش استفاده از سنگدانه‌هایی است که قبلاً مورد استفاده ویا آزمایش قرار گرفته‌اند. این روش نتایج نشان می‌دهد که سنگدانه‌های معدن مذکور واکنش‌زا نیست، اما به هر حال باید از سیمان با قلیائی کم استفاده نمود. در جدول (۲-۹) توصیه‌هایی در ارتباط با بررسی قابلیت واکنش سیلیسی-قلیایی سنگدانه‌ها تفسیر آن‌ها بر اساس استاندارد ملی ایران به شمارهٔ ۸۷۵۳ ارائه شده است.

جدول ۲-۹ تفسیر نتایج آزمایش سنگدانه‌های مشکوک به واکنش سیلیسی- قلیایی

میزان انبساط در آزمون تسریع شده به روش استاندارد ۸۷۵۳ ایران پس از ۱۶ روز (درصد)	تفسیر	توصیه
کمتر از ۰/۱	عدم فعالیت	در عمل برخی از گنایس‌ها و متابازها دارای انبساط مخربی هستند. اگر پس از ۱۶ روز از زمان قالب گیری انبساط کمتر از ۰/۱ درصد باشد باید عملکرد سازه مورد بررسی قرار گیرد و یا از سیمان با قلیایی کم استفاده شود
بیش از ۰/۲	قابلیت انبساط مخرب	استفاده از این سنگدانه توصیه نمی‌شود
بین ۰/۱ و ۰/۲	مشکوک به فعالیت	ادامهٔ آزمایش تا ۲۸ روز

فصل سوم

استانداردها و آیین‌نامه‌های سیمان و مواد سیمانی مصرفی در بتن آماده

مقدمه

خمیر سیمان یکی از مهمترین بخشهای ساختار بتن را تشکیل می‌دهد. خمیر سیمان شامل محصولات هیدراتاسیون، ذرات هیدراته نشده و منافذ و آب موجود درمنافذ می‌باشد. محصولات هیدراتاسیون بر اثر ترکیب شدن آب مخلوط با ترکیبات سیمان تولید می‌شوند. عمده محصولات هیدراتاسیون از واکنش C_3S و C_2S با آب حاصل می‌گردد. این واکنشها منجر به تشکیل سیلیکات کلسیم هیدراته شده (C-S-H) و هیدروکسید کلسیم می‌گردد. واکنش C_2S با آب منجر به شکل‌گیری مقدار بیشتری C-S-H و مقدار کمتری هیدروکسیدکلسیم در مقایسه با واکنش C_3S و آب می‌گردد. بلورهای C-S-H به علت خواص فیزیکی و مکانیکی نقش مؤثرتری در مقاومت و دوام بتن ایفا می‌کند. لذا اهمیت C_2S نسبت به C_3S در افزایش مقاومت درازمدت بیشتر است. اگر چه به دلیل سرعت زیاد واکنش C_3S نسبت به C_2S، مقاومت درسنین اولیه تابع C_3S است. از طرف دیگر، وجود هیدروکسید کلسیم سبب کاهش مقاومت بتن در برابر آسیب‌پذیری بتن ناشی از تهاجم سولفات‌هاست و لذا سیمان با مقدار بیشتر C_2S در مقایسه با سیمان با مقدار بیشتر C_3S از دوام بیشتری برخوردار است.

همچنین میزان C_3A در سیمان نقش مهمی در عدم نفوذ کلرید در بتن دارد. C_3A با کلرید موجود دربتن ترکیب شده و به شکل کلرور آلومینات کلسیم درمی‌آید. کلرید پیوند یافته در فرآیند خوردگی نقشی ندارد، بلکه یونهای کلرید آزاد هستند که باعث توسعه خوردگی می‌شوند، لذا با افزایش مقدار C_3A در سیمان به ظرفیت سیمان برای پیوند با کلرید افزوده می‌شود. از طرف دیگر، وجود C_3A در سیمان، آسیب‌دیدگی بتن در برابر سولفاتها را افزایش می‌دهد. سولفاتها با هیدروآلومینات کلسیم که ناشی از هیدراتاسیون C_3A است واکنش

می‌دهند و ترکیبات سست انبساطزا تولید می‌کنند. لذا انتخاب نوع سیمان بسته به شرایط محیط مهاجم عامل اساسی در دوام بتن است. در نواحی خلیج فارس، آب زیرزمینی و خاک، آلوده به کلرید و سولفات هستند، اما دربخش روسازه (بالای تراز زمین) تهاجم کلر شدید می‌باشد. لذا در قسمتهای زیرسازه (در تماس با خاک و آب زیرزمینی) استفاده از سیمان‌های نوع ۲ با میزان C_3A کنترل شده مناسب است. اما در قسمت‌های روسازه می‌توان از سیمانهای با مقادیر بالاتر C_3A (مانند سیمان نوع ۱) نیز استفاده کرد.

همچنین، استفاده از مواد جایگزین سیمان به منظور بالا بردن دوام سازه‌های بتنی بخصوص درمناطق گرم و خورنده بسیار متداول شده است.

جایگزین‌های سیمان به دو گروه عمده تقسیم می‌شوند:

۱- مواد پوزولانی مانند تراس (پوزولان طبیعی) یا دوده سیلیسی (پوزولان مصنوعی)

۲- مواد سیمانی مانند روباره

بعضی از آثار پوزولانها بر روی خواص بتن به شرح زیر است:

۱- افزودن پوزولان به بتن باعث تبدیل منافذ بزرگ به کوچک شده و در نتیجه از نفوذپذیری بتن کاسته می‌شود. علت این فرآیند تبدیل هیدروکسید کلسیم با منافذ بزرگ به ژل C-S-H با منافذ کوچکتر است.

۲- فعالیت پوزولانی سبب می‌شود که هیدروکسیدکلسیم موجود در خمیر سیمان مصرف شده و در نتیجه از مقدار آهک که عامل مهمی در آسیب‌دیدگی ناشی از تهاجم سولفاتها محسوب می‌شود، کاسته شود. البته این مواد تا حدی باعث کاهش قلیاییت خمیر سیمان می‌شوند.

۳- پوزولان، منطقه انتقالی بتن (وجه مشترک سنگدانه و خمیر) را با تبدیل آهک به C-S-H تقویت کرده و در نتیجه باعث بهبود خواص بتن می‌گردد.

۳-۳ استانداردهای کنترل کیفی سیمان

استانداردهای ملی و بین‌المللی برای کنترل کیفی سیمان مورد استفاده در ساخت بتن، روش‌های آزمون استانداردی را پیشنهاد می‌دهند که تعدادی از این آزمون‌های استاندارد در جدول (۳-۱) ارائه شده است. این

آزمون‌های حداقل الزمات مورد نیاز برای تضمین کیفی سیمان و مواد جایگزین سیمان را مورد تصریح قرار می‌دهد.

جدول ۳-۱ استانداردهای مربوط به تعیین خواص و الزامات سیمان و مواد جایگزین سیمانی مصرفی در بتن آماده

عنوان آزمون استاندارد	شماره استاندارد ایران	شماره استاندارد مرجع
روشهای آزمون شیمیایی سیمان‌های هیدرولیکی: اندازه‌گیری عناصر اصلی	ISIRI 1692	ASTM C114 ISO 680 DIN-EN 196
روش‌های آزمون شیمیایی سیمان‌های هیدرولیکی –اندازه‌گیری عناصر فرعی	ISIRI 1693-1	ASTM C114
روش‌های آزمون شیمیایی سیمان‌های هیدرولیکی ـ اندازه‌گیری کلسیم اکسید آزاد	ISIRI 1693-2	ASTM C114
روشهای آزمون شیمیایی سیمان‌های هیدرولیکی ـ اندازه‌گیری گوگرد به صورت سولفید	ISIRI 1694	ASTM C114
روشهای آزمون شیمیایی سیمان‌های هیدرولیکی ـ تعیین سدیم اکسید و پتاسیم اکسید	ISIRI 1695	ASTM C114
ویژگی‌ها و روش‌های آزمون سیمان پرتلند سفید	ISIRI 2931	--
ماسه مرجع مورد مصرف در تعیین مقاومت خمشی و فشاری سیمان	ISIRI 3040	ISO 679
ویژگی‌های سیمان پرتلند پوزولانی	ISIRI 3432	ASTM C595
ویژگی‌های سیمان‌های سرباره‌ای	ISIRI 3517	ASTM C595
ویژگیهای سیمان پرتلند	ISIRI 389	ASTM C150
تعیین نرمی سیمان پرتلند	ISIRI 390	ASTM C204

تعیین زمان گیرش سیمان پرتلند	ISIRI 392	ASTM C204
تعیین مقاومت فشاری و خمشی سیمان	ISIRI 393	ISO 679
تعیین حرارت هیدراسیون سیمان پرتلند	ISIRI 393	ASTM C186
ویژگیهای پوزولان‌های طبیعی	ISIRI 3433	ASTM C618
ویژگی‌های میکرو سیلیس در مخلوطهای بتنی	---	ASTM C1240
افت سرخ شدن سیمان پرتلندی و سیمان‌های سرباره‌ای	ISIRI 1692	ASTM C114 ISO 680 DIN-EN 196

۳-٤ الزامات و کنترل کیفی سیمان و مواد سیمانی جایگزین در بتن آماده

مشخصات سیمان و مواد سیمانی جایگزین مصرفی در ساخت بتن آماده باید مطابق با بندهای زیر باشد:

- مواد سیمانی و پوزولانی مصرفی باید با استانداردهای ملی ایران به شماره ۳۸۹ (سیمان پرتلند)، ۳۵۱۷ (سیمان سرباره‌ای) و ۳۴۳۲ (سیمان پرتلند پوزولانی) مطابقت داشته باشند. مشخصات شیمیایی الزامی سیمان‌های پرتلند در جدول (۳-۲) ارائه شده است. همچنین مشخصات فیزیکی باید با مندرجات جدول (۳-۳) توافق داشته باشد.
- در صورت نیاز به کنترل و آزمایش مشخصات، از سایر روش‌های استانداردهای مرتبط ارائه شده در جدول (۳-۲) استفاده کرد. در هر صورت باید از انطباق ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی سیمان مورد مصرف مطابق استاندارد ملی ایران اطمینان حاصل کرد.

جدول ۳-۲ مشخصات شیمیایی الزامی مواد سیمانی مصرفی در ساخت بتن

ویژگی شیمیایی (حداکثر مقدار مجاز بر حسب درصد وزنی)	نوع سیمان یا مادهٔ سیمانی جایگزین							
	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible] سفید	[illegible]
شماره استاندارد ملی ایران	۱۲۶۲	۱۲۶۲	۱۲۶۲	۱۲۶۲	۱۲۶۲	۳۴۳۲	۲۹۳۱	۳۵۱۷
C_3S	--	--	--	--	۳۵	--	--	--
C_2S	--	--	--	--	۴۰	--	--	--

C_3A		--	۸	۱۵	۷	۵	--	--	--
$2\,C_3A + C_4AF$		--	--	--	--	۲۵	--	--	--
افت وزنی ناشی از سرخ شدن		۳/۰	۳/۰	۳/۰	۲/۵	۳/۰	۵/۰	۳/۰	۴/۰
میزان باقی‌ماندهٔ نا محلول		۰/۷۵	۰/۷۵	۰/۷۵	۰/۷۵	۰/۷۵	--	۰/۷۵	۱/۰۰
SiO_2		--	۲۰	--	--	--	--	--	--
Al_2O_3		--	۶	--	--	--	--	--	--
Fe_2O_3		--	۶/۰	--	۶/۵	--	--	--	--
MgO		۵	۵	۵	۵	۵	۶	۵	--
SO_3	$C3A \leq 8\%$	۳/۰	۳/۰	۳/۵	۲/۳	۲/۳	۴	--	۳/۰
	$C3A > 8\%$	۳/۵	--	۳/۵	--	--	۴	--	--
گوگرد بصورت سولفید (S^{2-})		--	--	--	--	--	--	--	۳/۰
Cl^-		--	--	--	--	--	۰/۱	--	--
قلیایی‌های قابل حل در آب		--	--	--	--	--	--	--	۰/۰۳

جدول ۳-۳ مشخصات فیزیکی الزامی مواد سیمانی مصرفی در ساخت بتن (↓: محدودیت حداقل ↑: محدودیت حداکثر)

ویژگی فیزیکی (استاندارد ۳۸۹ ایران)		محدودیت	نوع مادهٔ سیمانی						
			پ‌آ ۵۲۵-۳۲۵	پ-۲	پ-۳	پ-۴	پ-۵	پ‌سفید+	پ‌پ (معمولی ویژه)	پ‌س+
			حدود تعیین شده							
سطح مخصوص بلین (m^2/gr)		↓	۰/۲۸	۰/۲۸	۰/۲۸	۰/۲۸	۰/۲۸	۰/۳۰	-۰/۳۰ ۰/۳۲	۰/۲۸
انبساط در آزمایش اتوکلاو		↑	۰/۸	۰/۸	۰/۸	۰/۸	۰/۸	۰/۸	۰/۸	۰/۵
انقباض در آزمایش اتوکلاو		↑	--	--	--	--	--	--	۰/۲۰	۰/۲۰
زمان گیرش توسط سوزن ویکات	ابتدایی (دقیقه)	↓	۴۵	۴۵	۴۵	۴۵	۴۵	۴۵	۶۰	۴۵
	انتهایی (ساعت)	↑	۶	۶	۶	۶	۶	۸	۷	۷
مقاومت فشاری (سن آزمون) (N/mm^2)	۱	↓	--	--	۱۲/۵	--	--	--	--	
	۲	↑	۲۰-۱۰	--	--	--	--	۱۱	--	
	۳	↓	۱۲	۱۰/۰	۲۴/۰	--	۸/۵	--	۱۰	-۱۲ ۱۰
	۷	↓	۲۰/۰	۱۷/۵	--	۷/۰	۱۵/۰	۱۷/۵	-۱۵ ۱۷/۵	-۲۰ ۱۰
	۲۸	↓	-۳۲/۵ ۳۵/۵	۳۱/۵	--	۱۸/۰	۲۷/۰	۳۱/۵	-۳۰ ۲۷/۵	-۳۲ ۲۲

		↑	−۵۲/۵ ۶۲/۵	--	--	--	--	--	--	--
حرارت هیدراسیون (سن) (Cal/gr)	۷	↑	--	۷۰	--	۶۰	--	--	--	--
	۲۸	↑	--	--	--	۷۰	--	--	--	--
انبساط سولفات (سن)	۱۴	↑	--	--	--	--	۰/۰۴		--	--

۳-۵ الزامات و کنترل کیفی پوزولان و میکروسیلیس

پوزولان مصرفی مورد استفاده در ساخت بتن آماده باید به ترتیب با استاندارد ملی ایران به شمارهٔ ۳۴۳۳ منطبق باشد. تا زمان تدوین استاندارد ملی برای تعیین مشخصات میکروسیلیس می‌توان از استاندارد آمریکا به شمارهٔ ASTM C1240 استفاده کرد. مشخصات الزامی پوزولان طبیعی و میکرو سیلیس مصرفی در ساخت بتن به ترتیب در جداول (۳-۴) و (۳-۵) ارائه شده است.

جدول ۳-٤ مشخصات پوزولان طبیعی مصرفی در بتن بر اساس استاندار ۳٤۳۳ ایران

ویژگی پوزولان طبیعی (روش آزمون ۱۲٦۲ ایران)	محدودیت استاندار (درصد وزنی)		نوع الزام
مجموع درصد وزنی	حداقل	حداکثر	
$SiO_2+Al_2O_3+Fe_2O_3$	۷۰	--	اجباری
سولفیت (SO_3^{2-})	--	۴	اجباری
گوگرد (S^{2-})	--	۳	اجباری
رطوبت	--	۳	اجباری
افت وزنی سرخ شدن	--	۱۰	اجباری
مجموع قلیایی‌های پوزولان (بر حسب Na_2O)	--	$(Na_2O+0.65K_2O)$ ۱/۵	اختیاری

جدول۳-۵ مشخصات فیزیکی و شیمیایی الزامی میکرو سیلیس مصرفی در بتن بر اساس استاندار ASTM C1240

ویژگی میکرو سیلیس	محدودیت استاندارد (٪)	

	حداقل	حداکثر
SiO_2	۸۵/۰	--
میزان رطوبت	--	۳/۰
افت وزنی سرخ شدن	--	۶/۰
باقی‌مانده بر روی الک ۴۵ میکرون	--	۱۰
سطح مخصوص (m^2/g)	۱۵	--

فصل چهارم

استانداردها و آیین‌نامه‌های آب مصرفی در بتن آماده

مقدمه

آب نقش اصلی در عمل هیدراتاسیون سیمان دارد. لذا استفاده از آب مناسب در بتن الزامی است. استفاده از آب نامناسب در ساخت بتن به طور خلاصه مشکلات زیر را به همراه دارد:

الف) باعث می‌شود تا زمان گیرش سیمان و روند کسب مقاومت بتن دچار اختلال شود.

ب) باعث افت مقاومت نهایی بتن می‌شود (گاهی مقدار این افت تا بیش از ۴۰ درصد نیز می‌رسد).

ج) باعث تسریع در خوردگی میلگردها و آسیب دیدن پوشش بتنی روی میلگرد می‌گردد.

د) سطح بتن‌هایی که به عنوان نما قرار می‌گیرد لکه‌دار می‌شود.

به طور کلی آب قابل آشامیدن که فاقد مزه و بوی مشخص باشد را می‌توان به عنوان آب مناسب در ساختن بتن به کار برد.

٤-١ محدودیت مواد مضر در آب مصرفی برای ساخت بتن

آیین‌نامهٔ بتن ایران توصیه می‌کند که آب مصرفی برای شستشوی سنگدانه‌ها باید تمیز و صاف باشد. علاوه براین آب مورد استفاده باید عاری از هر نوع مادهٔ زیان بار برای بتن از جمله هرگونه روغن‌ها، اسیدها، قلیایی‌ها، املاح، مواد قندی، و مواد آلی که قادر به صدمه زدن به بتن و یا میلگرد بوده و باید از مصرف اینگونه آبها در شستشوی سنگدانه‌ها خوددراری کرد.

در جدول (۴-۱)، محدودیت مواد آلودگی‌های زیان‌آور در آب مصرفی بتن مطابق با استانداردها و آیین‌نامه‌ها، ارائه شده است. رعایت این محدودیت‌ها می‌تواند یکی از الزامات تضمین کیفی بتن تولید شده

محسوب شود. در صورت مشکوک بودن به آلودگی بیشتر، نیاز است که آزمون‌های کنترل گیرش و یا مقاومت با آب مشکوک انجام شود.

جدول ٤-١ حداکثر مقدار مواد زیان‌آور در آب مصرفی بتن مطابق مقررات ملی ساختمان و آیین نامه بتن ایران

نوع ماده زیان‌آور	شرح مصرف	حداکثر مقدار مجاز (وزنی) (ppm)
ذرات معلق جامد	۱- بتن پیش تنیده در هر شرایط محیطی	۱۰۰۰
	۲- بتن غیر مسلح و بدون آرماتور	۲۰۰۰
	۳- بتن آرمه در شرایط محیطی ملایم و متوسط	۲۰۰۰
	۴- بتن آرمه در شرایط محیطی شدید و بسیار شدید و فوق‌العاده شدید	۱۰۰۰
کل مواد محلول در آب	۵- بتن پیش تنیده در هر شرایط محیطی	۱۰۰۰
	۶- بتن غیر مسلح و بدون اقلام فلزی مدفون	۳۵۰۰
	۷- بتن آرمه در شرایط محیطی ملایم و متوسط	۲۰۰۰
	۸- بتن آرمه در شرایط محیطی شدید و بسیار شدید و فوق‌العاده شدید	۱۰۰۰
کل یون کلرید (Cl^-)	۹- بتن پیش تنیده در هر شرایط محیطی	۵۰۰
	۱۰- بتن غیر مسلح و بدون آرماتور و بدون اقلام فلزی مدفون	۱۰۰۰۰
	۱۱- بتن آرمه در شرایط محیطی شدید و بسیار شدید و فوق‌العاده شدید	۵۰۰
	۱۲- بتن آرمه در شرایط محیطی ملایم و متوسط	۱۰۰۰
	۱۳- بتن غیر مسلح و بدون آرماتور، ولی دارای مواد آلومینیمی یا فلزات غیر مشابه، یا دارای قالب‌های گالوانیزه	۱۰۰۰
کل یون سولفات ($SO4^{--}$)	۱۴- بتن پیش تنیده در هر شرایط محیطی	۱۰۰۰
	۱۵- بتن آرمه در هر شرایط محیطی	۱۰۰۰
	۱۶- بتن غیر مسلح بدون آرماتور و بدون اقلام فلزی مدفون	۳۰۰۰
قلیایی معادل	۱۷- در تمامی انواع بتن‌ها	۶۰۰

توضیح ۱- در ردیف های ۹ تا ۱۲، علاوه بر برآورده شدن ضوابط این جدول، میزان یون کلرید آب نیز باید به میزانی باشد که وزن کل کلراید قابل حل در آب در حجم معینی از بتن (که منبع آن می‌تواند از هر یک از اجزاء بتن یا از محیط باشد)، بر حسب درصدی از وزن سیمان همان حجم بتن، از مقادیر مندرج در جدول ۶-۳-۳-۶ تجاوز نکند.

توضیح ۲- در ردیف‌های ۱۴ تا ۱۶، علاوه بر برآورده شدن ضوابط این جدول، میزان یون سولفات آب نیز باید به میزانی باشد که وزن کل سولفات قابل حل در آب در حجم معینی از بتن (که منبع آن می‌تواند از هر یک از اجزاء بتن، از جمله سیمان، یا از محیط باشد)، بر حسب درصدی از وزن سیمان همان حجم بتن از ۴ درصد، و وزن کل سولفات موجود در حجم معینی از بتن، بر حسب درصدی از وزن سیمان همان حجم از بتن از ۵ درصد بیشتر نباشد.

توضیح ۳- آزمایش ضوابط مندرج در این جدول، تا قبل از تدوین استاندارد ملی ایران باید مطابق با یکی از استانداردهای معتبر بین‌المللی صورت گیرد.

توضیح ۴- رعایت مفاد ردیف ۱۷ جدول فوق در مواردی که سنگدانه فعال باشد الزامی است.

٤-٢ ارزیابی و کنترل کیفی آب مصرفی در ساخت بتن

آب مصرفی را باید بطور مقدماتی و بصورت کیفی بر اساس جدول (۴-۲) مورد ارزیابی مقدماتی قرار داد. آبی که مشخصات مذکور در این جدول را برآورده نسازد در صورتی که در مشخصات گیرش و مقاومتی بتن اخلال ایجاد نکند قابل استفاده خواهد بود.

به عنوان مهمترین آلودگی آب، میزان یون کلر نیز بر حسب نوع کاربرد نهایی بتن باید مطابق جدول (۴-۳) باشد. در صورت عدم تطابق آب مورد نظر غیر قابل استفاده تلقی می‌شود. علاوه بر این، مواد زیان‌آور دیگر در آب مصرفی باید از محدودیت‌های این جدول تبعیت کند. در غیر این صورت، باید مشخصات مکانیکی و خواص بتن ساخته شده با این نوع آب کنترل شود.

جدول ٤-٢ ارزیابی مقدماتی آب مصرفی در تولید بتن آماده

شاخص	الزامات
روغن و مواد چربی	بیش از مقدار قابل مشاهده نباشد. بطور کمی از ۲/۵ درصد وزن سیمان مصرفی در همان حجم از بتن بیشتر نباشد.
مواد شوینده	هر گونه حباب باید ظرف ۲ دقیقه ناپدید شود
رنگ	اگر از منابع مطمئن تامین نشده، رنگ آن نباید بطور کیفی به رنگ زرد یا زرد کم رنگ باشد
زباله	اگر از منابع مطمئن تامین نشده باشد، باید پس از اضافه کردن اسید هیدروکلریک، بوی سولفید هیدروژن ندهد.
اسیدی	$pH \geq ۴$
اسیدهای آلی	بطور کیفی، رنگ آب نباید پس از اضافه کردن سود (NaOH) به رنگ زرد، قهوه‌ای متمایل شود

جدول ٤-٣ حداکثر میزان آلودگی زیان‌آور در آب مصرفی بتن

کاربرد نهایی		حداکثر میزان آلودگی زیان‌بار (mg/l)
یون کلر	بتن پیش‌تنیده یا گروت	۵۰۰
	بتن با فولادهای مسلح کنندهٔ مدفون در آن	۱۰۰۰
	بتن بدون فولادهای مسلح کنندهٔ مدفون در آن	۴۵۰۰
شکر		۱۰۰

فسفات بصورت P_2O_5	۱۰۰
نیترات بصورت NO_3^-	۵۰۰
سرب بصورت Pb^{2+}	۱۰۰
روی بصورت Zn^{2+}	۱۰۰
سولفات بصورت SO_4^{2-}	۲۰۰۰

+ برای اندازه‌گیری مواد زیانبار، ترجیحاً از استانداردهای ملی استفاده شود.

فصل پنجم

استانداردها و آیین‌نامه‌های مواد افزودنی شیمیایی مصرفی در بتن آماده

مقدمه

با بررسی مقالات و تحقیقات انجام شده در زمینه افزودنی‌های بتن و مراجع آن‌ها، مشخص است که قدیمی‌ترین و پرکاربردترین استانداردهای افزودنی‌های شیمیایی بتن BS 5075، ASTM C494، ASTM C1017 و ASTM C260 هستند. استاندارد اروپایی جدیدی برای افزودنی‌ها با شماره EN 934-2 تدوین گردیده که جایگزین استانداردهای DIN در آلمان، AFNOR در فرانسه و BS 5075 در انگلستان گردیده است. این استاندارد، اکنون به یکی از استانداردهای جامع و فنی در زمینه طبقه‌بندی و الزامات انواع افزودنی‌های مورد مصرف در بتن بدل گردیده است و هم‌اکنون بسیاری از تولیدکنندگان معتبر، مواد افزودنی را بر پایه این استاندارد تولید می‌نمایند. در این فصل با تشریح جزئیات این استانداردها، نگرش فنی آنها روشن خواهد شد. استاندارد EN 934-2 همچنین به عنوان مرجع استاندارد ملی ایران برای افزودنی‌های مصرفی در بتن، ملات و دوغاب قرار گرفته است که با شماره ۲۹۳۰ ISIRI منتشر گردیده و در دسترس است.

تفاوت‌ها در الزامات استانداردهای معتبر موجود برای انواع افزودنی‌ها اندک است و محصولات مناسب تجاری که دارای انطباق با استانداردهای EN 934-2، ASTM C260 ، ASTM C1017 و ASTM C494 و استاندارد ملی ایران به شماره ۲۹۳۰می‌باشند، کاملاً قابل استفاده‌اند.

در ادامه این فصل این استانداردها تشریح و با یکدیگر مقایسه می‌گردند.

۵-۱ استانداردهای ASTM در زمینه افزودنی‌های بتن

۵-۱-۱ انواع افزودنی‌های شیمیایی بتن طبق استاندارد ASTM C494 و ویژگی‌های آنها

این استاندارد، افزودنی‌های شیمیایی را که به مخلوط‌های بتن (با سیمان هیدرولیکی) برای یک یا تعدادی از اهداف مشخص شده در زیر اضافه می‌شوند، پوشش می‌دهد (جدول ۵-۱).

- نوع A: افزودنی‌های کاهنده آب
- نوع B: افزودنی‌های دیرگیرکننده
- نوع C: افزودنی‌های تسریع‌کننده گیرش و سخت‌شدگی[۱]
- نوع D: افزودنی‌های کاهنده آب و دیرگیرکننده
- نوع E: افزودنی‌های کاهنده آب و تسریع‌کننده
- نوع F: افزودنی‌های فوق‌کاهنده آب
- نوع G: افزودنی‌های فوق‌کاهنده آب و دیرگیرکننده

در این استاندارد تعاریف زیر برای توصیف این نوع از افزودنی‌ها بکار رفته است:

۱-افزودنی‌های تسریع‌کننده: افزودنی است که گیرش و کسب مقاومت اولیه بتن را تسریع می‌کند.

۲-افزودنی‌های دیرگیرکننده: افزودنی است که گیرش بتن را به تأخیر می‌اندازد.

۳-افزودنی‌های کاهنده آب: افزودنی است که مقدار آب مورد نیاز برای یک روانی معین را کاهش می‌دهد (حداقل ۵ درصد).

۴-افزودنی‌های فوق‌کاهنده آب: افزودنی است که مقدار آب مورد نیاز برای یک روانی معین را (حداقل ۱۲ درصد) کاهش می‌دهد.

۵-افزودنی‌های کاهنده آب و تسریع کننده: افزودنی است که مقدار آب مورد نیاز برای یک روانی معین را کاهش می‌دهد (حداقل ۵ درصد) و گیرش و کسب مقاومت اولیه بتن را تسریع می‌کند.

۶-افزودنی‌های کاهنده آب و دیرگیرکننده: افزودنی است که مقدار آب مورد نیاز برای یک روانی معین را کاهش می‌دهد (حداقل ۵ درصد) و گیرش بتن را به تأخیر می‌اندازد.

۷-افزودنی‌های فوق‌کاهنده آب و دیرگیرکننده: افزودنی است که مقدار آب مورد نیاز برای یک روانی معین را (حداقل ۱۲ درصد) کاهش می‌دهد و گیرش بتن را به تأخیر می‌اندازد.

این استاندارد، سه سطح آزمایش را برای بررسی عملکرد و خصوصیات افزودنی‌ها مشخص می‌کند (جدول ۵-۲):

---

[۱] در متن به عنوان تسریع‌کننده گیرش نامیده شده است، اما با مطالعه خواص مربوطه مشخص گردید که تسریع سخت‌شدگی نیز مورد نظر بوده است.

الف–سطح ۱: آزمایش‌های پذیرش اولیه (مقدماتی): آزمایش‌های این سطح، برای پذیرش اولیه و تطابق افزودنی با الزامات ارائه شده بکار می‌روند. در صورتیکه افزودنی، الزامات این آزمایش‌ها را برآورده سازد، نمونه افزودنی مورد پذیرش اولیه است. آزمایش‌های مورد نیاز این سطح در جدول (۵–۲) ارائه گردیده است.

ب–سطح ۲: این آزمایش‌ها، انطباق پیوسته (یکنواختی تولید) افزودنی با الزامات مورد نیاز را مورد بررسی قرار می‌دهد. نتایج آزمایش‌های این سطح نیز باید مطابق الزامات فیزیکی ارائه شده در جدول (۵–۲) باشد. در این حالت الزامات عملکردی نیز باید مطابق جدول ۲ بررسی گردد. نتایج آزمایش‌های سطح ۱ (آزمایش‌های اولیه) به عنوان مرجع برای مقایسه در این سطح استفاده می‌گردند.

ج– سطح ۳: جهت پذیرش و یکنواختی یک محموله و یا چند محموله، هنگامی که خریدار درخواست می‌کند، آزمایش‌های این سطح باید انجام گیرد. در این حالت الزامات آزمایش‌های ارائه شده در جدول (۵–۲) باید تأیید گردد.

جدول ۵-۱ الزامات فیزیکی

	نوع A	نوع B	نوع C	نوع D	نوع E	نوع F	نوع G
حداکثر مقدار آب، درصد از نمونه شاهد	۹۵	–	–	۹۵	۹۵	۸۸	۸۸
زمان‌گیرش، انحراف (اختلاف) مجاز نسبت به مخلوط شاهد (بر حسب ساعت و دقیقه)							
گیرش اولیه : حداقل	–	۱ساعت دیرتر	۱ساعت زودتر	۱ساعت دیرتر	۱ساعت زودتر	–	۱ساعت دیرتر
نه بیشتر از :	۱ساعت زودتر نه دیرتر از ۱/۵ساعت	۳/۵ساعت دیرتر	۳/۵ساعت زودتر	۳/۵ساعت دیرتر	۳/۵ساعت زودتر	۱ساعت زودتر نه دیرتر از ۱/۵ساعت	۳/۵ساعت دیرتر
گیرش نهایی: حداقل	–	–	۱ساعت زودتر	–	۱ساعت زودتر	–	–
نه بیشتر از	۱ساعت زودتر نه از ۱/۵ساعت دیرتر	۳/۵ساعت دیرتر	–	۳/۵ساعت دیرتر	–	۱ساعت زودتر نه از ۱/۵ساعت دیرتر	۳/۵ساعت دیرتر
حداقل مقاومت فشاری، درصد نسبت به نمونه شاهد [ب]							
۱روزه	–	–	–	–	–	۱۴۰	۱۲۵
۳ روزه	۱۱۰	۹۰	۱۲۵	۱۱۰	۱۲۵	۱۲۵	۱۲۵
۷ روزه	۱۱۰	۹۰	۱۰۰	۱۱۰	۱۱۰	۱۱۵	۱۱۵
۲۸ روزه	۱۱۰	۹۰	۱۰۰	۱۱۰	۱۱۰	۱۱۰	۱۱۰
۶ماهه	۱۰۰	۹۰	۹۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰
۱ساله	۱۰۰	۹۰	۹۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰
حداقل مقاومت خمشی، درصد نسبت به نمونه شاهد [ب]							
۳ روزه	۱۰۰	۹۰	۱۱۰	۱۰۰	۱۱۰	۱۱۰	۱۱۰
۷ روزه	۱۰۰	۹۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰
۲۸ روزه	۱۰۰	۹۰	۹۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰
تغییر طول، حداکثر جمع‌شدگی (الزامات جایگزین) [پ]							
درصد از نمونه (شاهد)	۱۳۵	۱۳۵	۱۳۵	۱۳۵	۱۳۵	۱۳۵	۱۳۵
افزایش بیش از نمونه شاهد، درصد	۰/۰۱۰	۰/۰۱۰	۰/۰۱۰	۰/۰۱۰	۰/۰۱۰	۰/۰۱۰	۰/۰۱۰
حداقل ضریب دوام نسبی [ت]	۸۰	۸۰	۸۰	۸۰	۸۰	۸۰	۸۰

الف-مقادیر جدول شامل مقادیر مجاز برای توزیع نرمال نتایج آزمایش است. بعنوان مثال هدف از ۹۰٪ مقاومت فشاری برای یک افزودنی نوع B، سطح عملکرد قابل مقایسه با بتن مرجع است.

ب-مقاومت فشاری و خمشی بتن ساخته شده با افزودنی در هر سن آزمایش نباید کمتر از ۹۰٪ مقدار متناظر در هر سن قبلی آزمایش شده باشد. بعبارت بهتر، مقاومت فشاری و خمشی بتن ساخته شده با افزودنی نباید در طی زمان کاهش یابند.

پ-در الزامات جایگزین، درصد از نمونه کنترل (شاهد) وقتی بکار می رود که تغییر طول نمونه شاهد ۰/۰۳۰٪ یا بیشتر است. افزایش بیش از حد نمونه شاهد هنگامی بکار می‌رود که تغییر طول نمونه شاهد کمتر از ۰/۰۳۰٪ است.

ت- این الزامات فقط وقتی به کار می‌رود که افزودنی دارای مواد حباب‌زا (که در مناطق تحت یخ زدن و آب شدن بکار می رود) باشد.

جدول ۵-۲ آزمایش‌های مورد نیاز سطوح مختلف آزمایش

نام آزمایش سطح آزمایش	آنالیز مادون قرمز	مقدار باقیمانده با خشک کردن در آون[1]	وزن مخصوص[2]	مقدار آب بتن تازه	الزامات ارائه شده در جدول ۱
سطح ۱	✓	✓	✓	–	✓
سطح ۲	✓	✓	✓	✓	تنها مقاومت فشاری ۳، ۷ و ۲۸ روزه و زمان گیرش
سطح ۳	✓	✓	✓	–	–

۱- برای افزودنی‌های پودری، تفاوت نمونه‌های این آزمایش با نمونه مرجع (نمونه اولیه) نباید بیشتر از ۴٪ ± باشد. برای افزودنی‌های مایع، مقادیر باقیمانده ناشی از خشک‌شدن نمونه‌ها باید در محدوده ۱۲٪ ± مقدار میانی محدوده ارائه شده توسط تولیدکننده باشند. بعنوان مثال، برای یک افزودنی که با محدوده باقیمانده خشک ۲۷ تا ۳۵٪ تولید می‌شود، تولیدکننده، محدوده قابل قبول ۲۷/۳ تا ۳۴/۷٪ را تأمین می‌کند که ۱۲٪± از مقدار میانی را ارائه می دهد (مقدار میانی ۳۱٪ است که ۱۲٪ آن برابر ۳/۷ می‌باشد).

۲-وزن مخصوص نمونه‌ها نباید از وزن مخصوص نمونه مرجع (نمونه اولیه)، بیشتر از ۱۰٪ اختلاف بین وزن مخصوص نمونه اولیه و آب معرف در دمای یکسان اختلاف داشته باشد. اگر ۱۰٪ اختلاف بین وزن مخصوص نمونه اولیه و آب کمتر از ۰/۰۱ باشد، مقدار ۰/۰۱ بعنوان حداکثر اختلاف مجاز بکار برده می شود. آب معرف مطابق مشخصات ASTM D1193 نوع III یا IV است.

در این استاندارد تأکید شده است که در صورتی که عملکرد مواد افزودنی برای یک استفاده مشخص و با مصالح خاص مدنظر باشد، باید مواد افزودنی با همان شرایط و با همان نسبت‌های مخلوط و مصالح معین آزمایش گردند. در صورتی که عملکرد کلی افزودنی موردنظر است، باید طرح مخلوط آزمایشی و شاهد، مطابق دانه‌بندی و نسبت‌های مخلوط ارائه شده در این استاندارد باشد. در این حالت دانه‌بندی ریزدانه و درشت دانه مخلوط‌های شاهد و آزمایشی باید مطابق با جدول (۵-۳) و (۵-۴) باشد.

مقدار سیمان در طرح مخلوط آزمایشی و شاهد باید $۳۰۷ \pm ۳\ kg/m^3$ در نظر گرفته شود و مقدار آب طوری تنظیم گردد تا اسلامپ ۱۵± ۹۰ میلی‌متر بدست آید.

جدول ۵-۳ دانه‌بندی ریزدانه مصرفی جهت ساخت بتن شاهد و آزمایشی

الک	درصد وزنی عبوری
(# ۴) (۴/۷۵mm)	۱۰۰
(# ۱۶) (۱/۱۸mm)	۶۵-۷۵
(# ۵۰) (۳۰۰µm)	۱۲-۲۰
(# ۱۰۰) (۱۵۰µm)	۲-۵

جدول ۵-٤ دانه‌بندی شن مصرفی جهت ساخت بتن شاهد و آزمایشی

الک	درصد وزنی عبوری
(۳۷/۵mm)	۱۰۰
(۲۵mm)	۹۵-۱۰۰
(۱۲/۵mm)	۲۵-۶۰
(۴/۷۵mm)	۰-۱۰
(۲/۳۶mm)	۰-۵

طبق این استاندارد، نمونه‌گیری که جهت آزمایش‌های کیفی و یکنواختی انجام می‌شود، یا بصورت تک‌برداشت (grab) است یا بصورت نمونه‌های ترکیبی (composite) می‌باشد. نمونه تک‌برداشت، نمونه‌ای منحصر است که از یک قسمت محموله برداشته می‌شود و نمونه ترکیبی نمونه‌ای است که از ترکیب ۳ یا بیشتر نمونه تک‌برداشت (از قسمت‌های مختلف محموله) بدست می‌آید.

نمونه‌هایی که به‌منظور آزمایش‌های کیفی برداشته می‌شوند، باید نمونه ترکیبی از نمونه‌های تک‌برداشت باشند که از مکان‌های مناسب و با تعداد کافی جهت اطمینان از اینکه این نمونه ترکیبی، نماینده این محموله است گرفته شده باشد.

هنگامی که آزمایش‌های یکنواختی یک محموله یا بین چند محموله توسط خریدار درخواست می‌گردد، برای بررسی یکنواختی یک محموله، باید نمونه تک‌برداشت مورد استفاده قرار گیرد و برای بررسی یکنواختی بین چند محموله باید از نمونه‌های ترکیبی استفاده شود.

برای افزودنی‌های مایع، به ازاء هر محموله تولیدی، یک نمونه تک‌برداشت به حجم حداقل ۰/۵ لیتر گرفته می‌شود و حداقل ۳ نمونه تک‌برداشت لازم است. نمونه ترکیبی از مخلوط کردن نمونه‌های تک‌برداشت گرفته‌شده بدست می‌آید و باید حداقل ۴ لیتر باشد.

برای افزودنی‌های غیرمایع به ازاء هر ۲۰۰۰ کیلوگرم یک نمونه تک‌برداشت به وزن حداقل ۱ کیلوگرم برداشت می‌شود و حداقل ۴ نمونه تک‌برداشت باید گرفته شود. نمونه ترکیبی نیز از مخلوط کردن نمونه‌های تک‌برداشت بدست می‌آید و باید حداقل ۲/۵ کیلوگرم باشد.

۵-۱-۲ افزودنی‌های شیمیایی بتن طبق استاندارد ASTM C 1017 برای استفاده در ساخت بتن‌های روان (Flowing Concrete)

این استاندارد دو نوع از افزودنی‌های شیمیایی که به منظور ساخت بتن‌های روان بکار می‌روند را پوشش می‌دهد. این دو نوع افزودنی عبارتند از:

الف) نوع I: روان‌کننده ب) نوع II: روان‌کننده دیرگیرکننده

بتن‌های روان، طبق تعریف این استاندارد، به بتن‌هایی اطلاق می‌شود که اسلامپ آنها بیشتر از ۱۹۰ میلی‌متر باشد.

این استاندارد نیز مشابه استاندارد ASTM C 494، ۳ سطح آزمایش را برای ۳ هدف خاص تعریف می‌کند.

الف- سطح ۱: جهت مراحل اولیه پذیرش ماده افزودنی که تطابق آن با الزامات فیزیکی شرح داده شده در جدول (۵-۵) انجام می‌گیرد.

جدول ۵-۵ الزامات فیزیکی

	نوع ۱ روان‌کننده	**نوع ۲ روان‌کننده دیرگیرکننده**
زمان گیرش و انحراف مجاز با نمونه شاهد (بر حسب ساعت)		
اولیه: حداقل و نه بیشتر از	نه زودتر از ۱ ساعت و نه دیرتر از ۱/۵ ساعت	حداقل ۱ ساعت بعد و نه بیشتر از ۳/۵ ساعت بعد
نهایی: حداقل و نه بیشتر از	نه زودتر از ۱ ساعت و نه دیرتر از ۱/۵ ساعت	نه بیشتر از ۳/۵ ساعت بعد
حداقل افزایش در اسلامپ (میلی متر)	۹۰	۹۰
حداقل مقاومت فشاری (درصد نسبت به نمونه شاهد)		
۳ روز	۹۰	۹۰
۷ روز	۹۰	۹۰
۲۸ روز	۹۰	۹۰
۶ ماه	۹۰	۹۰
۱ سال	۹۰	۹۰
حداقل مقاومت خمشی (درصد نسبت به نمونه شاهد)		
۳ روز	۹۰	۹۰
۷ روز	۹۰	۹۰
۲۸ روز	۹۰	۹۰
حداقل جمع‌شدگی ناشی از خشک شدن در ۱۴ روز (درصد نسبت به نمونه مرجع)	۱۳۵	۱۳۵
افزایش نسبت به نمونه مرجع، درصد	۰/۰۱	۰/۰۱
حداقل ضریب دوام نسبی	۸۰	۸۰

ب- سطح ۲: آزمایش‌های محدود مجدد که ممکن است توسط خریدار در فواصل مختلف درخواست شود. این آزمایش‌های محدود مجدد، شامل خواص فیزیکی و عملکرد افزودنی است. آزمایش‌های مجدد خواص فیزیکی، شامل یکنواختی آنالیز مادون قرمز IR، باقیمانده خشک و وزن مخصوص می‌باشد. آزمایش‌های محدود مجدد مربوط به خواص عملکردی، شامل مقدار آب بتن تازه، زمان گیرش و مقاومت فشاری ۳، ۷ و ۲۸ روزه می‌باشد. در زمانی که خریدار درخواست سطح ۲ آزمایش‌ها را می‌کند، باید مقدار مصرف را برای استفاده در هر کار مشخص با شرایط مربوطه جهت انجام آزمایش مطابق با این استاندارد ارائه دهد.

پ- سطح ۳: جهت پذیرش و یکنواختی یک محموله و یا چند محموله هنگامی که خریدار درخواست می‌کند که در این صورت باید بر اساس الزامات زیر عمل گردد:

- آنالیز IR، طیف جذب یک نمونه اولیه و نمونه آزمایش بعد از آن باید الزاماً شبیه هم باشد.

- باقیمانده ناشی از خشک شدن در آون برای افزودنی‌های مایع برای یک نمونه اولیه و نمونه‌های بعدی آن نباید بیشتر از ۵ درصد با مقدار نمونه اولیه تفاوت کند.

- باقیمانده ناشی از خشک شدن در آون برای افزودنی‌های پودری برای نمونه اولیه و نمونه‌های بعدی آن نباید بیشتر از ۴ درصد با نمونه اولیه تفاوت داشته باشد.

- وزن مخصوص نمونه‌های متوالی نباید با وزن مخصوص نمونه اولیه بیشتر از ۱۰ درصد تفاوت کند.

استاندارد ASTM C1017 و استاندارد ASTM C494، برای مقادیر کلرید محلول در افزودنی هیچگونه محدودیتی ذکر نکرده و فقط اشاره کرده است که در صورتی که این افزودنی دارای مقدار زیاد کلرید باشد، هیچ‌گونه تضمینی توسط این استاندارد جهت استفاده از آن در بتن‌های پیش تنیده ارائه نمی‌شود. همچنین تولیدکننده فقط ملزم است مقدار کلرید موجود در افزودنی را اعلام نماید.

همچنین در مورد مقدار قلیایی نیز محدودیتی ذکر نشده و اشاره شده است که در صورتی که افزودنی دارای مقدار زیاد قلیایی باشد و از سنگدانه‌های فعال واکنش‌زا با قلیایی در بتن استفاده شود، این استاندارد تضمینی را ارائه نمی‌کند.

استاندارد ASTM C1017 نیز در مورد ساخت مخلوط‌های شاهد و آزمایشی مشابه با استاندارد ASTM C494 می‌باشد و دانه‌بندی ریزدانه و درشت دانه مطابق جداول (۵-۳) (۵-۴) است، اما فقط مقدار سیمان در ساخت مخلوط‌های شاهد و آزمایشی $۳۳۵ \pm ۳ \ kg/m^3$ درنظر گرفته شده است.

همچنین برای افزودنی‌های مایع به ازاء هر ۹۵۰۰ لیتر یک نمونه تک‌برداشت به حجم حداقل ۱ لیتر گرفته می‌شود و برای افزودنی‌های غیرمایع به ازاء هر ۱۸۰۰ کیلوگرم یک نمونه تک‌برداشت به وزن حداقل ۱ کیلوگرم برداشت می‌شود. نمونه ترکیبی برای افزودنی‌های غیرمایع نیز که از مخلوط کردن نمونه‌های تک‌برداشت بدست می‌آید، باید حداقل ۲/۳ کیلوگرم باشد.

۵-۱-۳ افزودنی‌های هواساز بتن طبق ASTM C260

این استاندارد، موادی را که برای استفاده به عنوان افزودنی‌های حباب‌زا به مخلوط‌های بتنی درکارگاه اضافه می‌شوند، پوشش می‌دهد. در این استاندارد نیز مشابه استانداردهای ASTM C494 و ASTM C1017 آزمایش های کنترل کیفی در سطوح

انطباق اولیه و انطباق یکنواختی بررسی می‌شود. عملکرد افزودنی‌های حباب‌زا جهت انطباق اولیه باید مطابق الزامات ارائه شده در جدول (۵-۶) بررسی شوند.

جدول ۵-٦ الزامات فیزیکی افزودنی‌های حباب‌زا(الف)

زمان گیرش، اختلاف مجاز با نمونه شاهد (ساعت و دقیقه)	
– گیرش اولیه	نه ۱:۱۵ زودتر از نمونه شاهد و نه ۱:۱۵ دیرتر از آن
– گیرش نهایی	نه ۱:۱۵ زودتر از نمونه شاهد و نه ۱:۱۵ دیرتر از آن
مقاومت فشاری،حداقل، درصد از نمونه شاهد	
– ۳ روزه	۹۰
– ۷ روزه	۹۰
– ۲۸ روزه	۹۰
مقاومت خمشی، حداقل، درصد از نمونه شاهد (ب)	
– ۳ روزه	۹۰
– ۷ روزه	۹۰
– ۲۸ روزه	۹۰
تغییر طول،جمع‌شدگی حداکثر (الزامات جایگزین) (ب) و (پ)	
– درصد از نمونه شاهد	۱۲۰
– افزایش بیشتر از نمونه شاهد، درصد (ت)	۰/۰۰۶
– ضریب دوام نسبی، حداقل	۸۰
– آب انداختگی آب خالص مخلوط، حداکثر درصد بیشتر از نمونه شاهد (ث)	۲

الف- مقادیر جدول شامل مقادیر مجاز برای توزیع نرمال در نتایج آزمایش است. هدف از ۹۰ درصد مقاومت فشاری برای افزودنی‌های حباب‌زا، سطح عملکرد قابل مقایسه با بتن مرجع است.
ب- فقط هنگامی که بوسیله خریدار درخواست گردد، این آزمایش انجام می‌شود.
پ- الزامات جایگزین مربوط به درصد از نمونه شاهد، هنگامی بکار می‌رود که تغییر طول نمونه شاهد ۰/۰۳٪ یا بیشتر است و افزایش بیش از نمونه شاهد هنگامی بکار می‌رود که تغییر طول نمونه شاهد کمتر از ۰/۰۳٪ است.
ت- هنگامی که جمع‌شدگی بتن شاهد کمتر از ۰/۰۳٪ است، کاربرد دارد.
ث- آب‌انداختگی به عنوان درصدی از آب آزاد مخلوط بتن محاسبه می‌شود. آب آزاد مخلوط، آب اضافه بر مقدار جذب شده بوسیله سنگدانه‌ها است. بعنوان مثال، یک مخلوط بتنی که دارای ۴/۶۵ کیلوگرم آب آزاد است و آب انداختگی ۰/۲۹ کیلوگرم ایجاد می‌کند، ۶/۲۴ درصد آب انداختگی نسبت به آب آزاد (به صورت جرمی) دارد. اگر یک مخلوط شاهد با ۷/۰۵ درصد آب انداختگی تولید شد، تغییر در آب انداختگی بین مخلوط بتنی آزمون و شاهد ۰/۸۱- درصد خواهد بود.

همچنین یکنواختی افزودنی‌های حباب‌زا باید مطابق الزامات زیر بررسی شوند.

تولیدکننده باید یک محدوده قابل قبول pH را که از ۲ تجاوز نکند، ارائه دهد. pH نمونه‌هایی که آزمایش می‌شوند، باید در این محدوده باشند.

درصد هوا در ملات‌های آماده شده بر اساس استاندارد ASTM C 185، نباید بیشتر از ۲ درصد با نمونه قابل قبول تفاوت داشته باشد.

تولیدکننده باید محدوده‌های قابل قبولی را برای مقدار باقیمانده ارائه دهد، بصورتیکه حد بالا و پایینی محدوده، از ۱۲٪ ± نقطه میانی محدوده تجاوز نکند. مقدار باقیمانده نمونه‌های آزمایش شده باید در این محدوده‌ها قرار گیرد.

در این استاندارد عملکرد نمونه افزودنی باید با افزودنی مرجع Vinsol resin خنثی شده مقایسه گردد. طرح مخلوط شاهد باید دارای ریزدانه مطابق استاندارد ASTM C 33 باشد و درشت‌دانه مطابق دانه‌بندی مشابه با جدول (۵-۴) باشد. مقدار سیمان نیز kg/m^3 ۳ ±۳۰۷ درنظر گرفته شده است و مقدار آب هم مشابه استانداردهای ASTM که پیشتر اشاره شد، برای رسیدن به اسلامپ ۱۵ ±۹۰ میلیمتر تنظیم می‌گردد.

در این استاندارد، تعریف نمونه‌برداری و تعداد آنها نیز مشابه استاندارد ASTM C 1017 جهت انجام آزمایش‌های کیفی و تعیین یکنواختی می باشد.

۵-۲ انواع افزودنی‌های بتن طبق استاندارد EN 934-2 و ۲۹۳۰ ملی ایران[۲]

استاندارد EN 934-2 و ۲۹۳۰ ملی ایران، افزودنی‌های بتن را بصورت زیر تقسیم‌بندی نموده‌اند:

- روان‌کننده‌ها/ کاهنده‌های آب
- فوق‌روان‌کننده‌ها/ فوق‌کاهنده‌های آب
- نگهدارنده‌های آب (جهت کنترل آب‌انداختگی)
- کاهنده‌های جذب آب (ضدآب‌کننده‌ها)
- حباب حباب‌زاها
- تسریع‌کننده‌های سخت‌شدگی
- دیرگیرکننده‌ها
- روان‌کننده‌ها/ کاهنده‌های آب دیرگیرکننده
- فوق‌روان‌کننده‌ها/ فوق‌کاهنده‌های آب دیرگیرکننده
- روان‌کننده‌ها/ کاهنده‌های آب تسریع‌کننده گیرش

۵-۲-۱-الزامات افزودنی‌های بتن طبق EN 934-2 و ۲۹۳۰ ایران

عملکرد افزودنی‌های بتن در استاندارد EN 934-2 و ۲۹۳۰ ملی ایران، براساس الزامات اولیه خاص مربوط به عملکرد اصلی آن، برای افزودنی‌های تک‌کاره (تک‌منظوره) و همچنین نیازها و الزامات اولیه و ثانویه خاص برای افزودنی‌های چندمنظوره کنترل

۱- استاندارد ۲۹۳۰ ملی ایران(ویرایش جدید) برگرفته از استاندارد EN934-2 می‌باشد.

می‌شوند. بعلاوه، الزامات عملکردی عمومی نیز در رابطه با کلیه افزودنی‌ها کنترل می‌شود که عبارتند از اثرات بر روی زمان گیرش، اثرات بر روی خوردگی، مقدار کلرید محلول در آب، مقدار قلیایی معادل Na_2O و ....

جدول ۵-۷ الزامات عمومی

خواص	روش آزمون	الزامات
یکنواختی[۱]	چشمی	در هنگام استفاده باید یکنواخت باشد. ضمنا جداشدگی آن بیشتر از محدوده‌ای که تولید کننده مشخص کرده است نباشد
رنگ[۱]	چشمی	رنگ و یکنواختی آن مطابق با توصیف تولیدکننده باشد
ترکیبات مؤثر	EN 480-6[۲]	اختلاف زیادی با نمونه طیف مرجع که تولید کننده ارائه کرده است، نداشته باشد
PH[۱]	ISIRI 3178-18	۱ ± مقدار مشخص شده توسط تولید کننده یا در محدوده مشخص شده توسط تولید کننده باشد
وزن مخصوص فقط برای افزودنی‌های مایع[۱]	ISIRI 898	اگر D> ۱/۱ : D ± ۰/۰۳ اگر D≤ ۱/۱ : D ± ۰/۰۲ D: وزن مخصوص مشخص شده توسط تولید کننده
مقدار مواد خشک[۱]	EN 480-8[۳]	اگر T≥ ٪۲۰ : ۰/۹۵T≤x< ۱/۰۵T اگر T< ٪۲۰ : ۰/۹ T≤x< ۱/۱T T: مقدار مشخص شده توسط تولید کننده (برحسب درصد وزنی) X: نتیجه آزمون (بر حسب درصد وزنی)
تأثیر روی گیرش در هنگام مصرف به میزان حداکثر	حداکثر میزان مجاز مصرف در ملات ساخته شده با ۴ سیمان مختلف مطابق بخش □ دوم	گزارش نتایج
کل کلرین (کلر)[۱و۴]	ISO 1158	از ۰/۱ درصد وزنی بیشتر نباشد
کلرید محلول در آب[۱] (Cl^-)	EN 480-10	از ۰/۱ درصد وزنی بیشتر نباشد
قلیائیت[۱] (معادل Na_2O)	EN 480-12	از مقدار حداکثر مشخص شده توسط تولیدکننده بیشتر نباشد
رفتار خوردگی	(۴)	هیچ اثری از پیشرفت خوردگی فولاد در بتن نباید دیده شود

(۱) این مقادیر را باید توسط تولید کننده مشخص کرده و به صورت اطلاعات فنی به مصرف کننده ارائه کند.
(۲) در صورت مناسب نبودن این روش آزمون می‌توان از روش جایگزین که تولید کننده توصیه کرده است، استفاده کرد.
(۳) اگر مقدار کل کلرین(کلر) و کلرید محلول در آب اختلاف زیادی با هم نداشته باشند می‌توان در آزمون‌های بعدی فقط کلرید محلول در آب را تعیین کرد.
(۴) برای آزمون، باید از سیمان پرتلند استاندارد با مقدار C_3A کمتر از پنج درصد جرمی استفاده شود.

الزامات عمومی افزودنی‌ها در جدول (۵-۷) ارائه شده است. همچنین در جداول (۵-۸) تا (۵-۲۰)، الزامات خاص برای انواع افزودنی‌ها طبق این استاندارد ارائه شده است. عملکرد اصلی و خاص افزودنی‌ها براساس مشخصات یک بتن شاهد سنجیده

می‌شود. یک مخلوط آزمایشی (دارای افزودنی) با یک مخلوط شاهد (بدون افزودنی) مورد مقایسه قرار می‌گیرد. روش آزمون طبق استانداردهای سری EN 480-1 انجام می‌گیرد.

جدول ۵-۸ الزامات خاص مواد افزودنی کاهنده آب/ روان‌کننده (با روانی برابر)

ردیف	خواص	بتن شاهد	الزامات
۱	کاهش آب	بتن شاهد I	میزان کاهش آب مخلوط آزمایشی نباید کمتر ۵ درصد میزان آب مخلوط شاهد باشد.
۲	مقاومت فشاری	بتن شاهد I	مقاومت فشاری۷ روزه و ۲۸ روزه مخلوط آزمایشی نباید کمتر از ۱۱۰ درصد مقاومت فشاری مخلوط شاهد باشد.
۳	مقدار هوای بتن	بتن شاهد I	مقدار هوای مخلوط آزمایشی، می‌تواند حداکثر ۲ درصد حجمی بیش از مقدار هوای مخلوط شاهد باشد، مگر تولید کننده مقدار دیگری را مشخص کرده باشد.

جدول ۵-۹ الزامات خاص مواد افزودنی فوق‌کاهنده آب/ فوق‌روان‌کننده (با روانی برابر)

ردیف	خواص	بتن شاهد	الزامات
۱	کاهش آب	بتن شاهد I	میزان کاهش آب مخلوط آزمایشی نباید کمتر از ۱۲ درصد کاهش آب مخلوط شاهد باشد.
۲	مقاومت فشاری	بتن شاهد I	مقاومت فشاری۱ روزه مخلوط آزمایشی نباید کمتر از ۱۴۰ درصد مقاومت فشاری مخلوط شاهد باشد. مقاومت فشاری ۲۸ روزه مخلوط آزمایشی نباید کمتر از ۱۱۵ درصد مقاومت فشاری مخلوط شاهد باشد.
۳	مقدار هوای بتن	بتن شاهد I	مقدار هوای مخلوط آزمایشی، می‌تواند حداکثر ۲ درصد حجمی بیش از مقدار هوای مخلوط شاهد باشد، مگر اینکه تولیدکننده مقدار دیگری را مشخص کرده باشد.

جدول ۵-۱۰ الزامات خاص مواد افزودنی فوق‌کاهنده آب/ فوق‌روان کننده (در نسبت آب به سیمان برابر)

ردیف	خواص	بتن شاهد	الزامات
۱	افزایش روانی	بتن شاهد IV	افزایش نسبت به اسلامپ اولیه بیشتر از ۱۲۰ mm (اسلامپ اولیه ۳۰± ۱۰mm)
۲	روانی تاخیری	بتن شاهد IV	۳۰ دقیقه پس از اختلاط، روانی مخلوط آزمایشی نباید کمتر از روانی اولیه مخلوط شاهد باشد.
۳	مقاومت فشاری	بتن شاهد IV	مقاومت فشاری ۲۸ روزه مخلوط آزمایشی نباید کمتر از ۹۰ درصد مقاومت فشاری مخلوط شاهد باشد.
۴	مقدار هوای بتن تازه	بتن شاهد IV	مقدار هوای مخلوط آزمایشی، می‌تواند حداکثر ۲ درصد حجمی بیش از مقدار هوای مخلوط شاهد باشد، مگر تولیدکننده مقدار دیگری را مشخص کرده باشد.

جدول ۵-۱۱ الزامات خاص مواد افزودنی نگهدارنده آب (با روانی برابر)

ردیف	خواص	بتن شاهد	الزامات
۱	آب انداختگی	بتن شاهد II	آب انداختگی مخلوط آزمایشی نباید بیشتراز ۵۰ درصد آب انداختگی مخلوط شاهد باشد.
۲	مقاومت فشاری	بتن شاهد II	مقاومت فشاری ۲۸ روزه مخلوط آزمایشی نباید کمتر از۸۰ درصد مقاومت فشاری مخلوط شاهد باشد.
۳	مقدار هوای بتن تازه	بتن شاهد II	مقدار هوای مخلوط آزمایشی، می‌تواند حداکثر ۲ درصد حجمی بیش از مقدار هوای مخلوط شاهد باشد، مگر تولید کننده مقدار دیگری را مشخص کرده باشد.

جدول ۵-۱۲ الزامات خاص مواد افزودنی حباب‌زا (در روانی برابر)

ردیف	خواص	بتن شاهد	الزامات
۱	مقدار هوای بتن تازه	بتن شاهد III	مقدار هوای مخلوط آزمایشی نباید کمتر از ۲/۵ درصد حجمی بیش ازمقدار هوای مخلوط شاهد باشد. کل مقدار هوا: ۴٪ تا ۶٪ حجمی [۲]
۲	تخلخل (میزان هوای خواسته در بتن سخت شده	بتن شاهد III	ضریب فاصله (Spacing factor)در بتن آزمایشی نباید بیشتر از ۰/۲۰۰ میلیمتر باشد.[۳]
۳	مقاومت فشاری	بتن شاهد III مطابق بخش دوم	مقاومت فشاری۲۸ روزه مخلوط آزمایشی نباید کمتر از ۷۵ درصد مقاومت فشاری مخلوط شاهد باشد.

(۱) میزان مصرف مجاز، مقداری می‌باشد که امکان ایجاد درصد هوای تعیین شده را فراهم نماید.

(۲) این روش آزمایش، روش مرجع می‌باشد. روش‌های جایگزین دیگر، در صورتی که دقیقاً همان نتایج را بدهند، می‌توانند بکار روند.

(۳) آزمایش یخزدن و آب شدن طبق ASTM C666 بعنوان جایگزین بکار می رود.

جدول ۵-۱۳ الزامات خاص مواد افزودنی زودگیرکننده (با روانی برابر)

ردیف	خواص	بتن شاهد	الزامات
۱	زمان گیرش اولیه	ملات شاهد	زمان گیرش اولیهٔ مخلوط آزمایشی در دمای ۲۰ درجه سلسیوس نباید کمتر از ۳۰ دقیقه باشد. زمان گیرش اولیهٔ مخلوط آزمایشی در دمای۵ درجه سلسیوس نباید بیشتر از ۶۰ درصد زمان گیرش اولیه مخلوط شاهد باشد.
۲	مقاومت فشاری	بتن شاهد I	مقاومت فشاری ۲۸ روزه مخلوط آزمایشی نباید کمتر از ۸۰ درصد مقاومت فشاری مخلوط شاهد باشد. مقاومت فشاری ۹۰ روزه مخلوط آزمایشی نباید کمتر از مقاومت فشاری ۲۸ روزه مخلوط شاهد باشد.
۳	میزان هوای بتن تازه	بتن شاهد I	مقدار هوای مخلوط آزمایشی، می‌تواند حداکثر ۲ درصد حجمی بیش از مخلوط شاهد باشد، مگر تولید کننده مقدار دیگری را مشخص کرده باشد.

جدول ۵-۱٤ الزامات خاص مواد افزودنی زودسخت‌کننده (تسریع‌کننده زمان سخت شدن) (در روانی‌برابر)

ردیف	خواص	بتن شاهد	الزامات
۱	مقاومت فشاری	بتن شاهد I	در ۲۰ درجه سلسیوس و ۲۴ ساعت، مقاومت فشاری مخلوط آزمایشی نباید کمتر از۱۲۰ درصد مقاومت فشاری مخلوط شاهد باشد. در ۲۰ درجه سلسیوس و ۲۸ روز، مقاومت فشاری مخلوط آزمایشی نباید کمتر از ۹۰ درصد مقاومت فشاری مخلوط شاهد باشد. در ۵ درجه سلسیوس و ۴۸ ساعت، مقاومت فشاری مخلوط آزمایشی نباید کمتر از ۱۳۰ درصد مقاومت فشاری مخلوط شاهد باشد.
۲	مقدار هوای بتن تازه	بتن شاهد I	مقدار هوای مخلوط آزمایشی می‌تواند حداکثر ۲ درصد حجمی بیش از مخلوط شاهد باشد مگر تولید کننده مقدار دیگری را مشخص کرده باشد.

جدول ۵-۱۵ الزامات خاص مواد افزودنی کندگیرکننده (در روانی برابر)

ردیف	خواص	بتن شاهد	الزامات
۱	زمان گیرش	ملات شاهد	زمان گیرش اولیه مخلوط آزمایشی باید حداقل ۹۰ دقیقه بیشتر از زمان گیرش اولیه مخلوط شاهد باشد. زمان گیرش نهایی مخلوط آزمایشی باید حداکثر ۳۶۰ دقیقه بیشتر از زمان گیرش نهایی مخلوط شاهد باشد.
۲	مقاومت فشاری	بتن شاهد I	مقاومت فشاری ۷ روزه مخلوط آزمایشی نباید کمتر از ۸۰ درصد مقاومت فشاری مخلوط شاهد باشد. مقاومت فشاری ۲۸ روزه مخلوط آزمایشی نباید کمتر از ۹۰ درصد مقاومت فشاری مخلوط شاهد باشد.
۳	مقدار هوای بتن تازه	بتن شاهد I	مقدار هوای مخلوط آزمایشی، می‌تواند حداکثر ۲ درصد حجمی بیش از مخلوط شاهد باشد، مگر تولیدکننده مقدار دیگری را مشخص نکرده باشد.

جدول ۵-۱۶ الزامات خاص مواد افزودنی کاهنده میزان جذب آب (با روانی یا نسبت آب به سیمان برابر)

ردیف	خواص	بتن شاهد	الزامات
۱	جذب مویینه	ملات	انجام آزمایش ۷ روزه بعد از ۷ روز عمل‌آوری: جذب مویینه مخلوط آزمایشی نباید بیشتر از ۵۰ درصد وزنی جذب مویینه مخلوط شاهد باشد. انجام آزمایش ۲۸ روزه بعد از ۹۰ روز عمل‌آوری: جذب مویینه مخلوط آزمایشی نباید بیشتر از ۶۰ درصد وزنی جذب مویینه مخلوط شاهد باشد.
۲	مقاومت فشاری	بتن شاهد I	مقاومت فشاری ۲۸ روزه مخلوط آزمایشی نباید کمتر از ۸۵ درصد مقاومت فشاری مخلوط شاهد باشد.
۳	مقدار هوای بتن تازه	بتن شاهد I	مقدار هوای مخلوط آزمایشی، می‌تواند حداکثر ۲ درصد حجمی بیش از مخلوط شاهد باشد، مگر تولید کننده مقدار دیگری را مشخص کرده باشد.

جدول ۵-۱۷ الزامات خاص مواد افزودنی کندگیرکننده/ کاهنده آب/ روان‌کننده (در روانی برابر)

ردیف	خواص	بتن شاهد	الزامات
۱	مقاومت فشاری	بتن شاهد I	مقاومت فشاری ۲۸ روزه مخلوط آزمایشی، نباید کمتر از ۱۰۰درصد مقاومت فشاری مخلوط شاهد باشد.
۲	زمان گیرش	ملات شاهد	زمان گیرش اولیه مخلوط آزمایشی باید حداقل ۹۰ دقیقه بیشتر از زمان گیرش اولیه مخلوط شاهد باشد. زمان گیرش نهایی مخلوط آزمایشی باید حداکثر۳۶۰ دقیقه بیشتر از زمان گیرش نهایی مخلوط شاهد باشد.
۳	کاهش آب	بتن شاهد I	کاهش آب مخلوط آزمایشی، نباید کمتر از ۵ درصد در مقایسه با مخلوط شاهد باشد.
۴	مقدار هوای بتن تازه	بتن شاهد I	مقدار هوای مخلوط آزمایشی، می‌تواند حداکثر۲ درصد حجمی بیش از مخلوط شاهد باشد، مگر تولید کننده مقدار دیگری را مشخص کرده باشد.

جدول ۵-۱۸ الزامات خاص مواد افزودنی کندگیرکننده/ فوق‌کاهنده آب/ فوق‌روان‌کننده (در روانی برابر)

ردیف	خواص	بتن شاهد	الزامات
۱	مقاومت فشاری	بتن شاهد I	مقاومت فشاری۷ روزه مخلوط آزمایشی نباید کمتر از ۱۰۰ درصد مقاومت فشاری مخلوط شاهد باشد. مقاومت فشاری ۲۸ روزه مخلوط آزمایشی نباید کمتر از ۱۱۵ درصد مقاومت فشاری مخلوط شاهد باشد.
۲	زمان گیرش	ملات شاهد	زمان گیرش اولیه مخلوط آزمایشی باید حداقل ۹۰ دقیقه بیشتر از زمان گیرش اولیه مخلوط شاهد باشد. زمان گیرش نهایی مخلوط آزمایشی باید حداکثر ۳۶۰ دقیقه بیشتر از زمان گیرش نهایی مخلوط شاهد باشد.
۳	کاهش آب	بتن شاهد I	کاهش آب مخلوط آزمایشی نباید کمتر از ۱۲درصد در مقایسه با مخلوط شاهد باشد.
۴	مقدار هوای بتن تازه	بتن شاهد I	مقدار هوای مخلوط آزمایشی، می‌تواند حداکثر ۲ درصد حجمی بیش از مخلوط شاهد باشد، مگر تولید کننده مقدار دیگری را مشخص کرده باشد.

جدول ۵-۱۹ الزامات خاص مواد افزودنی کندگیر کننده/ فوق‌کاهنده آب/ فوق‌روان کننده (در نسبت آب به سیمان برابر)

ردیف	خواص	بتن شاهد	الزامات
۱	روانی تاخیری	بتن شاهد IV	۶۰ دقیقه بعد از اختلاط روانی مخلوط آزمایشی نباید کمتر از روانی اولیه مخلوط شاهد باشد.
۲	مقاومت فشاری	بتن شاهد IV	مقاومت فشاری ۲۸ روزه مخلوط آزمایشی نباید کمتر از ۹۰ درصد مقاومت فشاری مخلوط شاهد باشد.
۳	مقدار هوای بتن تازه	بتن شاهد I	مقدارهوای مخلوط آزمایشی، می‌تواند حداکثر۲ درصد حجمی بیش از مخلوط شاهد باشد، مگر تولیدکننده مقدار دیگری رامشخص کرده باشد.

جدول ۵-۲۰ الزامات خاص مواد افزودنی زودگیرکننده/ کاهنده آب/ روان‌کننده (در روانی برابر)

ردیف	خواص	بتن شاهد	الزامات
۱	مقاومت فشاری	بتن شاهد I	مقاومت فشاری۲۸ روزه مخلوط آزمایشی نباید کمتر از ۱۰۰درصد مقاومت فشاری مخلوط شاهد باشد.
۲	زمان گیرش اولیه	ملات	در دمای ۲۰ درجه سلسیوس زمان گیرش اولیه مخلوط آزمایشی نباید کمتراز۳۰ دقیقه باشد. در دمای ۵ درجه سلسیوس زمان گیرش اولیه مخلوط آزمایشی نباید بیشتر از ۶۰ درصد مخلوط شاهد باشد.
۳	کاهش آب	بتن شاهد I	کاهش آب مخلوط آزمایشی نباید کمتر از ۵ درصد در مقایسه با مخلوط شاهد باشد.
۴	مقدار هوای بتن تازه	بتن شاهد I	مقدار هوای مخلوط آزمایشی، می‌تواند حداکثر ۲ درصد حجمی بیش ازمخلوط شاهد باشد، مگر تولیدکننده مقدار دیگری را مشخص کرده باشد.

طرح مخلوط و ویژگی‌های مصالح مصرفی بتن شاهد برای بررسی عملکرد افزودنی‌ها باید طبق استاندارد EN 480-1 باشد. براساس این استاندارد، ویژگی‌های سیمان مصرفی برای ساخت مخلوط بتن شاهد، باید مطابق با الزامات جدول (۵-۲۱) باشد.

جدول ۵-۲۱ ویژگیهای سیمان مصرفی

نوع سیمان	میزان C_3A (٪)	سطح ویژه (cm^2/gr)	مقاومت فشاری (N/mm^2)		زمان گیرش اولیه (دقیقه)	انبساط (mm)
			۲ روزه	۲۸ روزه		
- پرتلند معمولی - پرتلند آمیخته - سرباره‌ای - پوزولان	۷-۱۰	۳۲۰۰-۴۰۰۰	بیشتر یا مساوی ۱۰	بین ۴۲/۵ و ۶۲/۵	بیشتر یا مساوی ۶۰	کمتر یا مساوی ۱۰

جدول ۵-۲۲ محدوده دانه‌بندی سنگدانه مورد مصرف در بتن شاهد

اندازه الک (میلیمتر)	درصد عبوری از الک (وزنی)
۳۷/۵	۱۰۰
۲۵	۹۳ تا ۹۸
۱۹	۸۴ تا ۹۷
۱۲/۵	۷۰ تا ۸۵
۹/۵	۶۱ تا ۷۷
۴/۷۵	۴۴ تا ۵۴
۲/۳۶	۳۲ تا ۴۳
۱/۱۸	۲۳ تا ۳۳
۰/۶	۱۳ تا ۲۴
۰/۳	۶ تا ۱۲
۰/۱۵	۳ تا ۵

سنگدانه‌های مورد مصرف نیز باید دارای جذب آب کمتر از ۲ درصد باشند. در جدول (۵-۲۲)، محدوده دانه‌بندی مورد استفاده در ساخت بتن شاهد طبق EN 480-1 ارائه گردیده است. براساس EN 480-1، مقدار سیمان مصرفی و مشخصات طرح مخلوط بتن شاهد، در حالت استفاده از فوق‌روان‌کننده (با روانی برابر) باید مطابق طرح مخلوط بتن شاهد I و در حالت W/C برابر، باید مطابق طرح مخلوط بتن شاهد IV باشد.

الزامات این دو نوع مخلوط در جدول (۵-۲۳) ذکر شده است. همچنین روش ساخت نمونه‌ها نیز باید مطابق استاندارد EN 480-1 انجام گیرد.

جدول ۵-۲۳ مشخصات انواع طرح مخلوط‌های بتن شاهد

بتن شاهد	نوع ماده افزودنی مورد آزمایش	مقدار سیمان (kg/m^3)	اسلامپ (mm)
I	روان‌کننده/کاهنده آب	۳۵۰ ± ۵	۷۰ ± ۱۰
	فوق‌روان‌کننده/فوق‌کاهنده آب		
	دیرگیرکننده		
	تسریع‌کننده زمان سخت‌شدگی		
	زودگیرکننده		
	کاهنده جذب آب		
II	نگهدارنده آب	۳۰۰ ± ۵	۱۲۰ ± ۲۰
III	حباب هواساز	۳۵۰ ± ۵	۵۰ ± ۱۰
IV	فوق‌روان‌کننده/فوق‌کاهنده آب	۳۵۰ ± ۵	۳۰ ± ۱۰

طریقه ساخت مخلوط بتن شاهد طبق EN 480-1 به شرح زیر می‌باشد:

ابتدا تمامی سنگدانه‌ها و نیمی از آب لازم در مخلوط‌کن ریخته می‌شود و بعد از ۲ دقیقه اختلاط اولیه و ۲ دقیقه انتظار برای جذب آب، سیمان در فاصله ۳۰ ثانیه، و بقیه آب نیز طی ۳۰ ثانیه بعدی افزوده می‌گردد و سپس مخلوط بتن به مدت ۲ دقیقه بطور کامل مخلوط می‌گردد. دمای مصالح قبل از اختلاط باید ۲ ± ۲۰ درجه سلسیوس باشد.

همچنین طبق EN 480-1، مشخصات ملات شاهد مورد نظر در حالت W/C برابر (ذکر شده در جدول ۵-۲۳) باید دارای ویژگیهای دانه‌بندی مطابق جدول (۵-۲۴) باشد.

نسبت‌های مخلوط ملات شاهد باید بصورت یک قسمت وزنی سیمان، ۳ قسمت وزنی ماسه استاندارد و ۲ قسمت وزنی آب باشد. مقدار آب باید بصورت دقیق برای رسیدن به اسلامپ ۱۰± ۳۰ اضافه شود.

روش ساخت مخلوط ملات شاهد استاندارد به شرح زیر است:

ابتدا ماسه و سیمان به مدت ۳۰ ثانیه داخل مخلوط‌کن کاملاً مخلوط می‌شوند. در ۳۰ ثانیه بعدی همه آب به همراه ماده افزودنی اضافه می‌گردند. سپس عمل اختلاط به مدت ۶۰ ثانیه با سرعت پایین (سرعت تیغه ۵± ۱۴۰ دور در دقیقه) انجام شود. به مدت ۳۰ ثانیه عمل اختلاط متوقف شده و در این مدت مصالح چسبیده به ظرف و تیغه‌ها جدا شوند. سپس اختلاط مجدداً به مدت ۶۰ ثانیه با سرعت بالا (سرعت تیغه۱۰± ۲۸۵ دور در دقیقه) انجام شود.

جدول ۵-۲٤ محدوده دانه‌بندی سنگدانه مورد مصرف در ملات شاهد

اندازه الک (میلیمتر)	درصد عبوری از الک (وزنی)
۲/۳۶	۱۰۰
۱/۶۰	۸۸ تا ۹۸
۱/۱۸	۷۲ تا ۸۲
۰/۶	۳۷ تا ۴۸
۰/۳	۲۰ تا ۳۰
۰/۱۵	۸ تا ۱۸
۰/۰۷۵	۰ تا ۲

۵-۳ مقایسه تطبیقی استانداردهای مورد بررسی

در بندهای قبل، استانداردهای معتبر در زمینه افزودنی‌های شیمیایی بتن تشریح گردید و روند کنترل کیفی توسط هر یک از این استانداردها ارائه شد. در این قسمت، الزامات این استانداردها با یکدیگر مقایسه می‌شود تا تفاوت‌ها، شباهت‌ها و نقاط ضعف و قوت هر یک از این استانداردها از لحاظ نحوه کنترل کیفی و یکنواختی افزودنی‌ها مشخص گردد.

گرچه همانطور که در ادامه تشریح می‌شود، به دلیل تفاوت در نگرش‌های تدوین استانداردهای مختلف، مقایسه دقیق امکان‌پذیر نمی‌باشد. همچنین در استانداردهای محصولات افزودنی شیمیایی بتن، عملکرد این مواد نسبت به یک مخلوط شاهد سنجیده می‌شود و در استانداردهای گوناگون، مشخصات طرح مخلوط شاهد هم با یکدیگر تفاوت دارد و لذا شاید نتوان مقایسه دقیقی انجام داد. به هر حال سعی خواهد شد تا در ادامه با یک دید کلی و همه‌جانبه، الزامات این استانداردها را مقایسه نمود.

۵-۳-۱ مقایسه نحوه کنترل کیفی و یکنواختی استانداردهای ASTM و EN و ۲۹۳۰ ایران [۳]

همانطور که اشاره شد، استانداردهای ASTM جهت کنترل کیفی و یکنواختی افزودنی‌های شیمیایی بتن سه سطح آزمایش را ارائه کرده‌اند. در این سه سطح آزمایش، علاوه بر الزامات عملکردی جهت انطباق و پذیرش اولیه، نحوه کنترل کیفی و یکنواختی محصول نیز مورد توجه قرار می‌گیرد. اما استاندارد EN، بطور کلی عملکرد افزودنی‌ها را کنترل می‌کند. با توجه به اصول استاندارد EN، مشخص است که این استاندارد، فقط روند کنترل کیفی و یکنواختی محصول را برای تولیدکننده و در حین روند تولید ارائه کرده است، اما استاندارد ASTM می‌تواند برای خریدار هم براحتی امکان کنترل کیفی و یکنواختی را فراهم کند. گرچه الزامات

[۳]- استاندارد ۲۹۳۰ ملی ایران برگرفته از استاندارد EN934-8 است.

ارائه شده در EN می‌تواند برای خریدار هم مورد استفاده قرار گیرد، اما در صورتیکه تنها انطباق و یکنواختی محصول مورد نظر باشد، لازم به انجام کلیه آزمایش‌ها نمی‌باشد و می‌توان با یکسری از آزمایش‌های ساده‌تر و کوتاه مدت، انطباق محصول را با محصول اولیه سنجید و لذا استاندارد ASTM از این لحاظ ارجح‌تر است. در استاندارد ASTM مشخص است که وقتی خریدار، یک محصول افزودنی را از تولیدکننده خریداری می‌کند، تولیدکننده ملزم است انطباق کلیه الزامات را به خریدار ارائه دهد، اما خریدار می‌تواند یکنواختی چند محموله و یا محموله‌های بعدی را با یکسری از آزمایش‌های محدودتر کنترل کند که در استاندارد EN این امکان فراهم نشده است.

در واقع استاندارد ASTM روند کنترل یکنواختی را در طول روند تولید برای خریدار در نظر گرفته است.

۵-۳-۲ مقایسه الزامات عملکردی استانداردهای ASTM و EN

برای مقایسه الزامات عملکردی استانداردهای ASTM و EN، باید با توجه به تعریف هر یک از افزودنی‌ها طبق این استانداردها این مقایسه را انجام داد. بطور مثال، استاندارد ASTM C494، فقط برای مواد افزودنی کاهنده آب الزاماتی تعریف کرده است، در حالی که در استاندارد EN 934-2، مواد افزودنی کاهنده آب می‌تواند به عنوان روان‌کننده نیز بکار روند. به نظر می‌رسد از این لحاظ تعریف استاندارد EN 934 جامع‌تر باشد، زیرا این مواد می‌توانند در هر دو حالت بکار روند.

همچنین استاندارد EN برای کلیه افزودنی‌ها یک سری الزامات عمومی را مطرح کرده است که در استاندارد ASTM تنها تعدادی از این الزامات (فقط برای کنترل یکنواختی) وجود دارد.

یکی از ویژگی‌هایی که در استاندارد EN به آن اشاره شده است و برای آن محدودیت ذکر شده است، مقادیر کلرید و قلیایی در افزودنی‌ها است که استاندارد ASTM به آن توجه نداشته است و تنها به ذکر این نکته اکتفا کرده است که تولیدکننده باید در مواردی که از این مواد در قطعات بتنی پیش‌تنیده استفاده می‌شود، مقادیر آن را ارائه دهد. همچنین در استاندارد EN، اشاره شده است که ماده افزودنی باید از لحاظ عملکرد در برابر خوردگی مناسب باشد و مدارک مربوطه به آن وجود داشته باشد در حالیکه در ASTM این شفافیت به چشم نمی‌خورد.

در جداول (۵-۲۵) تا (۵-۳۳)، مقایسه کامل و جامع این استانداردها مطابق با تعریف آنها از هر یک از این نوع مواد ارائه شده است.

۵-۳-۳- نتیجه‌گیری

با مقایسه جداول (۵-۲۵) تا (۵-۳۳)، مشخص است که استاندارد EN و ISIRI به لحاظ عدم تعریف کنترل یکنواختی در طول روند تولید نسبت به استاندارد ASTM دارای ضعف است، اما از لحاظ الزامات عملکردی بنظر جامع‌تر است. الزامات عمومی که در این استاندارد تعریف شده است، به مراتب کامل‌تر از الزامات ارائه شده در ASTM است. همچنین الزامات فیزیکی تعریف شده در استاندارد EN، ساده‌تر و کاربردی‌تر به نظر می‌رسد.

در مجموع با توجه به الزامات عمومی و خاص، در مجموع استاندارد EN 934-2 و ISIRI 2930 کامل‌تر و در عین حال ساده‌تر و قابل استفاده‌تر می‌باشد و بعنوان مبنای دستورالعمل صدور گواهینامه فنی در نظر گرفته می‌شود. در عین حال سطوح آزمایش در نظر گرفته شده در ASTM جهت روند کنترل کیفی تولید در مراحل انتظار و اعتبار تعریف می‌گردد.

جدول ۵-۲۵ مقایسه الزامات عملکردی برای مواد کاهنده آب

استاندارد	تعریف	ویژگی‌ها (در مقایسه با بتن شاهد)																
		مقدار کاهش آب	افزایش مقدار هوا	مقاومت فشاری (درصد نسبت به مخلوط شاهد)									مقاومت خمشی (درصد نسبت به مخلوط شاهد)			زمان گیرش (اختلاف نسبت به مخلوط شاهد)			
				۱ روز	۳ روز	۷ روز	۲۸ روز	٦ ماه	۱ سال	۳ روز	۷ روز	۲۸ روز	اولیه		نهایی			
													حداقل	حداکثر	حداقل	حداکثر	حداقل	حداکثر
ASTM C494	نوع A (افزودنی‌های کاهنده آب)	حداقل ۵ درصد	–	–	۱۱۰	۱۱۰	۱۱۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	–	نه زودتر از ۱ ساعت و نه دیرتر از ۱/۵ ساعت	–	نه زودتر از ۱ ساعت و نه دیرتر از ۱/۵ ساعت		
EN 934-2 و ISIRI 2930	کاهنده آب/روان‌کننده (با روانی برابر)	حداقل ۵ درصد	حداکثر ۲ درصد	–	–	۱۱۰	۱۱۰	–	–	–	–	–	تأثیر بر روی زمان گیرش جز الزامات عمومی بوده، ولی هیچ‌گونه محدودیتی برای آن ذکر نشده است.					

جدول ۵-۲۶ مقایسه الزامات عملکردی برای مواد دیرگیرکننده

استاندارد	تعریف	ویژگی‌ها											
		افزایش مقدار هوا	مقاومت فشاری (درصد نسبت به مخلوط شاهد)							مقاومت خمشی (درصد نسبت به مخلوط شاهد)			زمان گیرش (اختلاف نسبت به مخلوط شاهد)			
			۱ روز	۳ روز	۷ روز	۲۸ روز	۶ ماه	۱ سال		۳ روز	۷ روز	۲۸ روز	اولیه		نهایی	
													حداقل	حداکثر	حداقل	حداکثر
ASTM C494	نوع B (افزودنی‌های دیرگیرکننده)	–	–	۹۰	۹۰	۹۰	۹۰	۹۰		۹۰	۹۰	۹۰	۱ ساعت دیرتر	۳/۵ ساعت دیرتر	–	۳/۵ ساعت دیرتر
EN 934-2 و ISIRI 2930	دیرگیرکننده (در روانی برابر)	حداکثر ۲ درصد	–	–	۸۰	۹۰	–	–		–	–	–	۱/۵ ساعت دیرتر	–	–	۶ ساعت دیرتر

جدول ۵-۲۷ مقایسه الزامات عملکردی برای مواد تسریع‌کننده

استاندارد	تعریف	ویژگی‌ها											
		افزایش مقدار هوا	مقاومت فشاری (درصد نسبت به مخلوط شاهد)						مقاومت خمشی (درصد نسبت به مخلوط شاهد)			زمان گیرش (اختلاف نسبت به مخلوط شاهد)	
			۱ روز	۳ روز	۷ روز	۲۸ روز	٦ ماه	۱ سال	۳ روز	۷ روز	۲۸ روز	اولیه	نهایی
												حداقل / حداکثر	حداقل / حداکثر
ASTM C494	نوع C (افزودنی‌های تسریع‌کننده گیرش و سخت‌شدگی)	–	–	۱۲۵	۱۰۰	۱۰۰	۹۰	۹۰	۱۱۰	۱۰۰	۹۰	۱ ساعت زودتر / ۳/۵ ساعت زودتر	۱ ساعت زودتر / –
EN 934-2 و ISIRI 2930	زودگیرکننده (با روانی برابر)	حداکثر ۲ درصد	–	–	–	۸۰	–	–	–	–	–	زمان گیرش اولیه مخلوط آزمایش در دمای ۲۰ درجه‌سانتیگراد کمتر از ۳۰ دقیقه باشد	زمان گیرش اولیه مخلوط آزمایش در دمای ۵ درجه‌سانتیگراد نباید بیشتر از ۶۰ درصد زمان گیرش اولیه مخلوط شاهد باشد
EN 934-2 و ISIRI 2930	زود سخت‌کننده (با روانی برابر)	حداکثر ۲ درصد	در ۲۰ درجه‌سلسیوس و ۲۴ ساعت، مقاومت فشاری مخلوط آزمایشی نباید کمتر از ۱۲۰ درصد مقاومت فشاری مخلوط شاهد باشد.						–	–	–	تأثیر بر روی زمان گیرش جز الزامات عمومی بوده، ولی هیچ‌گونه محدودیتی برای آن ذکر نشده است.	

		در ۵ درجه‌سلسیوس و ۴۸ ساعت، مقاومت فشاری مخلوط آزمایشی نباید کمتر از ۱۳۰ درصد مقاومت فشاری مخلوط شاهد باشد. در ۲۰ درجه‌سلسیوس و ۲۸ روز، مقاومت فشاری مخلوط آزمایشی نباید کمتر از ۹۰ درصد مقاومت فشاری مخلوط شاهد باشد.				

جدول ۵-۲۸ مقایسه الزامات عملکردی برای مواد کاهنده آب دیرگیرکننده

استاندارد	تعریف	ویژگی‌ها													
		مقدار کاهش آب	افزایش مقدار هوا	مقاومت فشاری (درصد نسبت به مخلوط شاهد)							مقاومت خمشی (درصد نسبت به مخلوط شاهد)			زمان گیرش (اختلاف نسبت به مخلوط شاهد)			
				۱ روز	۳ روز	۷ روز	۲۸ روز	۶ ماه	۱ سال	۳ روز	۷ روز	۲۸ روز	اولیه		نهایی	
													حداقل	حداکثر	حداقل	حداکثر
ASTM C494	نوع D (افزودنی‌های کاهنده آب و دیرگیرکننده)	حداقل ۵ درصد	–	–	۱۱۰	۱۱۰	۱۱۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱ ساعت دیرتر	۳/۵ ساعت دیرتر	–	۳/۵ ساعت دیرتر
EN 934-2 و ISIRI 2930	کاهنده آب دیرگیرکننده (با روانی برابر)	حداقل ۵ درصد	حداکثر ۲ درصد	–	–	–	۱۰۰	–	–	–	–	–	۱/۵ ساعت دیرتر	–	–	۶ ساعت دیرتر

جدول ۵-۲۹ مقایسه الزامات عملکردی برای مواد کاهنده آب زودگیرکننده

استاندارد	تعریف	ویژگی‌ها														
		مقدار کاهش آب	مقدار هوا	مقاومت فشاری (درصد نسبت به مخلوط شاهد)							مقاومت خمشی (درصد نسبت به مخلوط شاهد)			زمان گیرش (اختلاف نسبت به مخلوط شاهد)			
				۱ روز	۳ روز	۷ روز	۲۸ روز	٦ ماه	۱ سال	۳ روز	۷ روز	۲۸ روز	اولیه		نهایی	
													حداقل	حداکثر	حداقل	حداکثر
ASTM C494	نوع E (افزودنی‌های کاهنده آب و تسریع‌کننده)	حداقل ۵ درصد	–	–	۱۲۵	۱۱۰	۱۱۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۱۰	۱۰۰	۱۰۰	۱ ساعت زودتر	۳/۵ ساعت زودتر	۱ ساعت زودتر	–
EN 934-2 و ISIRI 2930	زودگیرکننده کاهنده آب/روان‌کننده (در روانی برابر)	حداقل ۵ درصد	حداکثر ۲ درصد	–	–	–	۱۰۰	–	–	–	–	–	در دمای ۲۰ درجه‌سلسیوس، زمان گیرش اولیه نباید کمتر ۳۰ دقیقه باشد. در دمای ۵ درجه‌سلسیوس، زمان گیرش اولیه مخلوط آزمایشی نباید بیشتر از ۶۰ درصد مخلوط شاهد باشد.				

جدول ۵-۳۰ مقایسه الزامات عملکردی برای مواد فوق‌کاهنده آب

استاندارد	تعریف	ویژگی‌ها															
		مقدار کاهش آب	افزایش مقدار هوا	مقاومت فشاری (درصد نسبت به مخلوط شاهد)							مقاومت خمشی (درصد نسبت به مخلوط شاهد)			زمان گیرش (اختلاف نسبت به مخلوط شاهد)			
				۱ روز	۳ روز	۷ روز	۲۸ روز	٦ ماه	۱ سال		۳ روز	۷ روز	۲۸ روز	اولیه		نهایی	
														حداقل	حداکثر	حداقل	حداکثر
ASTM C494	نوع F (افزودنی‌های فوق‌کاهنده آب)	حداقل ۱۲ درصد	–	۱۴۰	۱۲۵	۱۱۵	۱۱۰	۱۰۰	۱۰۰		۱۱۰	۱۰۰	۱۰۰	–	نه زودتر از ۱ ساعت و نه دیرتر از ۱/۵ ساعت	–	نه زودتر از ۱ ساعت و نه دیرتر از ۱/۵ ساعت
EN 934-2 و ISIRI 2930	فوق کاهنده آب (با روانی برابر)	حداقل ۱۲ درصد	حداکثر ۲ درصد	۱۴۰	–	–	۱۱۵	–	–		–	–	–	تأثیر بر روی زمان گیرش جز الزامات عمومی بوده، ولی هیچ‌گونه محدودیتی برای آن ذکر نشده است.			

جدول ۵-۳۱ مقایسه الزامات عملکردی برای مواد فوق‌کاهنده آب دیرگیرکننده

استاندارد	تعریف	ویژگی‌ها															
		مقدار آب	مقدار هوا	مقاومت فشاری (درصد نسبت به مخلوط شاهد)								مقاومت خمشی (درصد نسبت به مخلوط شاهد)			زمان گیرش (اختلاف نسبت به مخلوط شاهد)			
				۱ روز	۳ روز	۷ روز	۲۸ روز	۶ ماه	۱ سال	۳ روز	۷ روز	۲۸ روز	اولیه		نهایی	
													حداقل	حداکثر	حداقل	حداکثر
ASTM C494	نوع G (افزودنی‌های فوق‌کاهنده‌آب و دیرگیرکننده)	حداقل ۱۲ درصد	–	۱۲۵	۱۲۵	۱۱۵	۱۱۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۱۰	۱۰۰	۱۰۰	۱ ساعت دیرتر	۳/۵ ساعت دیرتر	–	۳/۵ ساعت دیرتر
EN 934-2 و ISIRI 2930	دیرگیرکننده فوق‌کاهنده آب (با روانی برابر)	حداقل ۱۲ درصد	حداکثر ۲ درصد	–	–	۱۰۰	۱۱۵	–	–	–	–	–	۱/۵ ساعت دیرتر	–	–	۶ ساعت دیرتر

جدول ۵-۳۲ مقایسه الزامات عملکردی برای مواد فوق‌روان‌کننده

استاندارد	تعریف	ویژگی‌ها												
		افزایش اسلامپ	مقاومت فشاری (درصد نسبت به مخلوط شاهد)						مقاومت خمشی (درصد نسبت به مخلوط شاهد)			زمان گیرش (اختلاف نسبت به مخلوط شاهد)		
			۱ روز	۳ روز	۷ روز	۲۸ روز	۶ ماه	۱ سال	۳ روز	۷ روز	۲۸ روز	اولیه		نهایی
												حداقل	حداکثر	حداقل	حداکثر
ASTM C1017	نوع I (روان‌کننده)	حداقل ۹۰ میلیمتر نسبت به اسلامپ اولیه ۱۵±۹۰ میلیمتر	–	۹۰	۹۰	۹۰	۹۰	۹۰	۹۰	۹۰	۹۰	–	نه زودتر از ۱ ساعت و نه دیرتر از ۱/۵ ساعت	–	نه زودتر از ۱ ساعت و نه دیرتر از ۱/۵ ساعت
EN 934-2 و ISIRI 2930	فوق‌روان‌کننده (در نسبت آب به سیمان برابر)	حداقل ۱۲۰ میلیمتر نسبت به اسلامپ اولیه ۱۰±۳۰ میلیمتر همچنین پس از ۳۰ دقیقه، اسلامپ کمتر از ۱۰±۳۰ میلیمتر نباشد	–	–	–	۹۰	–	–	–	–	–	تأثیر بر روی زمان گیرش جز الزامات عمومی بوده، ولی هیچ‌گونه محدودیتی برای آن ذکر نشده است.			

جدول ۵-۳۳ مقایسه الزامات عملکردی برای مواد فوق‌روان‌کننده دیرگیرکننده

استاندارد	تعریف	ویژگی‌ها												
		افزایش اسلامپ	مقاومت فشاری (درصد نسبت به مخلوط شاهد)							مقاومت خمشی (درصد نسبت به مخلوط شاهد)			زمان گیرش (اختلاف نسبت به مخلوط شاهد)	
			۱ روز	۳ روز	۷ روز	۲۸ روز	۶ ماه	۱ سال		۳ روز	۷ روز	۲۸ روز	اولیه	نهایی
													حداقل / حداکثر	حداقل / حداکثر
ASTM C1017	نوع II (روان‌کننده دیرگیرکننده)	حداقل ۹۰ میلیمتر نسبت به اسلامپ اولیه ۱۵±۹۰ میلیمتر	–	۹۰	۹۰	۹۰	۹۰	۹۰		۹۰	۹۰	۹۰	۱ ساعت دیرتر / ۳/۵ ساعت دیرتر	– / ۳/۵ ساعت دیرتر
EN 934-2 و ISIRI 2930	دیرگیرکننده فوق‌روان‌کننده (در نسبت آب به سیمان برابر)	۶۰ دقیقه بعد از اختلاط نباید کمتر از ۱۰±۳۰ میلیمتر نباشد	–	–	–	۹۰	–	–		–	–	–	تأثیر بر روی زمان گیرش جز الزامات عمومی بوده، ولی هیچ‌گونه محدودیتی برای آن ذکر نشده است.	

فصل ششم

دستورالعمل کنترل کیفی مصالح و مواد اولیه مصرفی در بتن آماده و چک لیست‌های مربوطه

مقدمه

کنترل کیفی مواد اولیه مصرفی در بتن آماده، مهمترین قسمت از روند کنترل کیفی این محصول مهم می‌باشد. به منظور فراهم‌ساختن زیرساخت‌های کنترل کیفی دقیق، نیاز به یک نظام جامع کنترل کیفی می‌باشد. در این فصل چک لیست‌های مربوط به کنترل کیفی مواد اولیه مصرفی ارائه شده است. استفاده از این چک‌لیست‌ها در فرآیند تولید و مصرف بتن آماده می‌تواند باعث اطمینان از کیفیت محصول و انطباق آن با مشخصات مورد نظر باشد.

٦-١ کنترل کیفی سنگدانه‌های مصرفی

جهت انجام کنترل کیفی بر روی سنگدانه‌های مصرفی در بتن آماده، لازم است حداقل نمونه‌ای مطابق با جدول (۶-۱) مورد نیاز است.

جدول ٦-١ حداقل مصالح مورد نیاز برای نمونه‌های ارسالی به آزمایشگاه

نوع مصالح	دانه‌بندی	حداقل وزن نمونه‌برداری (kg)
مصالح سنگی ریزدانه (ماسه)	----	۱۳
مصالح سنگی درشت‌دانه	برای حداکثر اندازه ۲۰ میلی‌متر	۲۵
	برای حداکثر اندازه ۴۰ میلی‌متر	۵۰

- چنانچه نمونه برای ساختن مخلوط‌های مختلف (روش آزمون و خطا) مورد استفاده قرار می‌گیرد، نیاز به مقدار بیشتری نمونه است که توسط دستگاه نظارت تعیین می‌شود.

- جهت انجام آزمایش‌های معمول در کارگاه، مقدار کمتری از مصالح لازم است به عنوان مثال برای آزمایش دانه‌بندی، حداقل مقدار مورد نیاز به شرح جدول (۶-۲) می‌باشد:

جدول ٦-۲ حداقل مصالح مورد نیاز برای آزمایش‌های معمول در کارگاه

مصالح سنگی ریزدانه	۰/۲ kg
مصالح سنگی درشت دانه، حداکثر اندازه ۲۰ mm	۲ kg

- اگر تنوع در اندازه دانه‌های مصالح سنگی زیاد است، نیاز به مقدار بیشتری از نمونه است تا تمام اندازه‌های مختلف دانه‌ها را شامل گردند.
- برای آنکه نمونه‌گیری به نحو مطلوبی انجام پذیرد، روش کاهش در اندازه که به روش تربیع موسوم است باید استفاده گردد.
- تواتر نمونه‌برداری از سنگدانه‌ها در جدول (۶-۳) و (۶-۴) ارائه شده است. نمونه‌گیری از سنگدانه‌ها باید به نحو مناسب و بصورتی انجام شود که بتواند بیانگر وضعیت واقعی سنگدانه‌ها باشد.
- جدول (۶-۵) چک لیست کنترل سنگدانه‌های مصرفی در بتن آماده را ارائه می‌دهد.

جدول ٦-٣ حداقل تواتر آزمایش‌های سنگدانه برای خصوصیات کلی

شاخص*	ملاحظات	حداقل تواتر آزمایش
بازرسی چشمی	--	هر محموله یا هر منبع و قرضه
دانه‌بندی	--	۱ بار در هفته، بصورت کلی: اولین محموله از یک منبع، درصورت هر گونه شک و تردید و یک بار در هر هفته (در بیشتر موارد شرایط محل قرضه نیز تعیین‌کننده است)
شکل درشت دانه‌ها	این تواتر آزمایش برای سنگدانه‌های شکسته بکار می‌رود. تواتر برای شن شکسته بستگی به منبع دارد و ممکن است کاهش یابد.	۱ بار در ماه
آزمایش‌های جدول (۲-۴) و (۲-۵)	--	هر محموله وارده به کارگاه
درصد سنگدانه‌های پولکی و سوزنی	--	هر محموله وارده به کارگاه
سایش لس‌آنجلس	-	هر محموله وارده به کارگاه
چگالی ذرات و جذب آب	--	هر محموله وارده به کارگاه
تعیین درصد رطوبت سنگدانه‌ها	--	هر روز هنگام عملیات ساخت
واکنش قلیایی سیلیسی	--	وقتی که بر اساس الزامات کارگاه نیاز باشد و در مواقع مشکوک
پتروگرافی	--	۱ بار در ۳ سال و در صورت تغییر معدن سنگدانه

* چنانچه استاندارد ملی ایران برای هرکدام از موارد تدوین شده باشد، روش انجام آزمون باید مطابق استاندارد ایران باشد، در غیر اینصورت باید از استانداردهای معتبر نظیر ASTM و EN استفاده نمود.

جدول ٦-٤ حداقل تواتر آزمایش‌ها برای خصوصیات مربوط به کاربرد و منابع خاص

خصوصیت	ملاحظات	روش آزمایش*	حداقل تواتر آزمایش
مقاومت در برابر خرد شدن	برای بتن با مقاومت بالا	EN1097-2	۲ بار در سال
مقاومت در برابر سایش	سنگدانه‌های مورد کاربرد در لایه‌های رویی	EN1097-1	۱ بار در ۲ سال
مقاومت در برابر پولیش	--	EN1097-8	۱ بار در ۲ سال
مقاومت در برابر سایش سطح	--	EN1097-8, annex A	۱ بار در ۲ سال
مقاومت در برابر سایش تایر میخ‌دار	فقط در مناطقی که آزمایش تایر میخ‌دار بکار می‌رود	EN1097-9	۱ بار در ۲ سال
مقاومت در برابر یخ زدن و آب شدن	--	EN1367-1, N1367-2	۱ بار در ۲ سال
کلرید موجود	برای سنگدانه‌های دریایی	EN1744-1, Clause 7	بسته به کاربرد و منبع از ۱بار در هفته تا ۱ بار در سال متغیر است.
صدف (shell) موجود	درشت دانه‌های با سرچشمه دریایی	EN933-7	۱ بار در سال
کربنات کلسیم موجود	ریزدانه‌ها برای لایه‌های رویی	EN 1744-3.1, 12 EN196-21, clause 5	۱ بار در ۲ سال
پایداری حجمی- جمع‌شدگی ناشی از خشک شدن	--	EN1367-4	۱ بار در ۵ سال

* چنانچه استاندارد ملی ایران برای هرکدام از موارد تدوین شده باشد، روش انجام آزمون باید مطابق استاندارد ایران باشد، در غیر اینصورت از مراجع ارائه شده استفاده گردد.

جدول ٦-٥- چک‌لیست کنترل سنگدانه

نام معدن سنگدانه؟ نوع سنگدانه؟
آیا بازرسی چشمی انجام می‌شود؟ بلی ☐ خیر ☐ تواتر بازرسی‌های چشمی؟
آیا دانه‌بندی کنترل می‌شود؟ بلی ☐ خیر ☐ تواتر دانه‌بندی؟ آیا نتایج این آزمون‌ها موجود است؟
آیا میزان ناخالصی‌ها و ذرات پولکی (شکل درشت دانه‌ها) کنترل می‌شود؟ بلی ☐ خیر ☐ تواتر کنترل میزان ناخالصی ها؟ آیا نتایج این آزمونها موجود است؟
آیا میزان رسها و کیفیت آنها کنترل می‌شود؟ بلی ☐ خیر ☐ تواتر کنترل میزان رس‌ها؟ آیا نتایج این آزمون‌ها موجود است؟
آیا میزان سولفاتها در سنگدانه ها کنترل می‌شود؟ بلی ☐ خیر ☐ آیا نتایج این آزمون‌ها موجود است؟
آیا میزان کلریدها در سنگدانه ها کنترل می‌شود؟ بلی ☐ خیر ☐ آیا نتایج این آزمون‌ها موجود است؟
آیا آزمایش تعیین درصد رطوبت سنگدانه انجام می‌شود؟ بلی ☐ خیر ☐ تواتر آزمایش تعیین درصد رطوبت سنگدانه؟
آیا آزمایش اندازه‌گیری وزن مخصوص سنگدانه انجام می‌شود؟ بلی ☐ خیر ☐ تواتر آزمایش اندازه‌گیری وزن مخصوص سنگدانه؟
محل نگهداری سنگدانه؟
آیا بازرسی چشمی از محل نگهداری سنگدانه انجام می‌شود؟ بلی ☐ خیر ☐ تواتر بازرسی‌های چشمی؟
حداکثر اندازه درشت دانه‌ها؟
روش حمل سنگدانه به محل مصرف (ساخت بتن)؟
آیا در هنگام حمل مسائلی چون افزایش درجه حرارت در اثر تابش خورشید، تغییرات رطوبت و تغییر دانه‌بندی اتفاق می‌افتد؟
نسبت حداکثر اندازه اسمی سنگدانه درشت به حداقل اندازه اسمی آن؟ - برای سنگدانه درشت تر از ۲۰mm ۲ و کمتر ☐ بیشتر از ۲ ☐ - برای سنگدانه‌های ریزتر از ۲۰mm ۴ و کمتر ☐ بیشتر از ۴ ☐
روش نمونه‌گیری؟
وسیله نمونه‌گیری از مصالح؟ سرطاس ☐ بیلچه ☐ جعبه نمونه گیری ☐ قاب نمونه گیری ☐ نمونه گیر نیزه ای ☐ دیگر وسایل ☐
آیا از روش خاصی برای تبدیل نمونه به نمونه آزمایشگاهی استفاده می‌شود؟ چهاربخش سازی ☐ استفاده از مقسم جعبه ای ☐ استفاده از مقسم دورانی ☐ غیره ☐

٦-٢ نمونه‌برداری و کنترل کیفی سیمان و مواد سیمانی

برای انجام آزمون‌های کنترل کیفی لازم است نمونه‌هایی از سیمان و یا مواد سیمانی جایگزین برای ساخت بتن آماده حداقل ماهی یکبار تهیه شود. نمونه برداری از سیمان و یا بطور کلی مواد سیمانی باید به یکی از روشهای مندرج زیر انجام گیرد.

٦-٢-١ نمونه‌برداری از محل تسمه نقاله یا لوله انتقال به سیلو .

در این نمونه‌برداری، وزن نمونه برای هر ۴۰ تن سیمان (یا بخشی از آن) در حال انتقال به سیلو ۵ کیلوگرم می‌باشد. این نمونه را می‌توان به صورت پیوسته یا ناپیوسته برداشت نمود.

٦-٢-٢ نمونه برداری از محل تخلیه از سیلو

در فرآیند نمونه‌برداری، از جریان سیمان در لوله تخلیه و به فاصله‌های زمانی معین به ازای هر یکصد تن سیمان داخل سیلو مقدار ۵ کیلوگرم سیمان بعنوان نمونه برداشت می‌شود.

٦-٢-٣ نمونه‌برداری از انبار سیمان فله

در انجام نمونه‌برداری، چنانچه عمق انباشته سیمان موجود در انبار از ۲ متر کمتر باشد، نمونه را می‌توان با ابزار ویژه نمونه‌برداری تهیه نمود .

٦-٢-٤ نمونه‌برداری از انبار کیسه‌های سیمان

در این نمونه‌برداری، به ازای هر پنج تن یا بخشی از آن یک کیسه سیمان انتخاب می‌شود و مقدار لازم برای نمونه توسط ابزار ویژه نمونه‌برداری تهیه می‌شود.

٦-۲-۵ نمونه‌برداری از محموله کامیون و سایر موارد ذکر نشده .

در این نمونه‌برداری، از سه نقطه مختلف محموله برداشت می‌شود و چنانچه در چندین کامیون باشد بشرط آنکه محموله‌ها از سیلوی مشخص و در یک روز بارگیری شده باشد, نمونه‌های برداشت شده از کامیون‌ها را می‌توان مخلوط نمود.

٦-۳ نمونه‌برداری از میکروسیلیس و مواد جایگزین پوزولانی برای آزمون‌های کنترل کیفی

برای مواد پوزلانی و میکرو سیلیس، باید نمونه‌های تهیه شده نمایندهٔ کل مواد جایگزین سیمانی باشند. تا زمان تدوین استانداردهای مربوطه می‌توان از این ضوابط مربوط به نمونه‌برداری سیمان و یا ضوابط استاندارد ASTM C311/618 و یا ACI 232.1 استفاده نمود.

٦-٤ تواتر نمونه‌برداری از سیمان و مواد مکمل سیمانی

هر یک نمونه تهیه شده به یکی از روشهای مذکور باید به دو بخش تقسیم شود. یک بخش برای آزمون و بررسی به آزمایشگاه واحد کنترل کیفی تحویل شود و بخش دوم به عنوان نمونه شاهد در بسته‌بندی محکم و مقاوم نسبت به رطوبت لاک و مهر شده و در یک مکان مورد اعتماد نگهداری شود. برای کنترل سیمان یا میکرو سیلیس مورد استفاده در ساخت بتن، نمونه‌برداری ماهیانه کافی است اما برای مواد پوزولانی باید نمونه‌هایی را در بازه‌های زمانی ذکر شده در جدول (۶-۶) برای آزمون‌های مربوط تهیه نمود (استاندارد ملی ۶۷۱۳ یا ASTM C311).

جدول ٦-٦ حداقل تواتر نمونه‌برداری از پوزولان طبیعی

آزمایش	تغییر کارگاه یا منبع جدید	منابع شناخته شده
افت وزنی سرخ شدن	روزانه از هر ۱۰۰ تن	روزانه از هر ۴۰۰ تن
نرمی، وزن مخصوص و سایر آزمون‌ها	هر ماه یا از هر ۲۰۰۰ تن یکبار	هر ماه یا از هر ۳۲۰۰ تن یکبار

٦-٥ ضوابط کنترل پذیرش مواد سیمانی

با استناد با الزامات ارائه شده در بخش‌های قبل، سیمان پرتلند (و یا سایر مواد جایگزین) زمانی قابل قبول تلقی می‌شود که نتایج حاصل از یک آزمونه یا میانگین نتایج حاصله از دو آزمونهٔ متوالی، ضوابط مربوط به ویژگی‌های فیزیکی یا شیمیایی را برآورده سازد.

٦-٦ الزامات تحویل، انبارداری و نگهداری مواد سیمانی و توصیه‌های اجرایی

برای تضمین کیفی سیمان مورد نیاز در تولید بتن آماده لازم است تهمیداتی در جهت انبارداری، نگهداری و نحوهٔ تحویل سیمان اتخاذ شود. بطور خلاصه موارد زیر در این زمینه توصیه می‌شود:

- تولید کننده باید مشخصات سیمان را طبق استانداردهای ملی ایران برای کلیه محموله‌های سیمان که از کارخانه تحویل می‌گیرد، تهیه و بایگانی نماید.
- 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.
- دمای سیمان نباید هنگام مصرف بیش از ۶۰ درجه سلسیوس باشد.
- استفاده از انواع پوزولان‌ها و جایگزین‌های سیمان تنها در صورتی که طبق مشخصات استاندارد باشند و عملکرد آنها پس از انجام کلیه آزمایش‌های مقاومتی و دوام در شرایط واقعی محیطی به اثبات رسیده باشد، قابل استفاده است.
- درصورت استفاده از پوزولان‌های طبیعی، خاکستر بادی، دوده سیلیس 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 و سایر خواص از قبیل واکنش قلیایی سنگدانه‌ها، نفوذناپذیری، و در نهایت پایایی بتن مورد آزمایش قرار گیرد.

- در صورتیکه از پوزولان‌های طبیعی، خاکستر بادی و روباره‌ها استفاده می‌شود، به دلیل سرعت آهسته و تدریجی فعالیت پوزولانی و سیمان روباره، عمل‌آوری طولانی‌تری (در حدود ۱/۵ برابر عمل‌آوری معمولی) باید انجام شود.
- سیمان باید بصورت خشک نگهداری شود و از کلوخه شدن سیمان در اثر رطوبت باید جلوگیری کرد. به عنوان راهنمایی کلی، چنانچه کلوخه‌های سیمانی بین انگشتان دست به آسانی خرد نشوند، مصرف آن برای بتن توصیه نمی‌شود. بصورت کلی اگر سیمان هواخورده قابل مصرف تشخیص داده شود، به علت کاهش مقاومت، مقدار آن در مخلوط بتن باید بین ۱۰ تا ۲۰ درصد افزایش یابد.

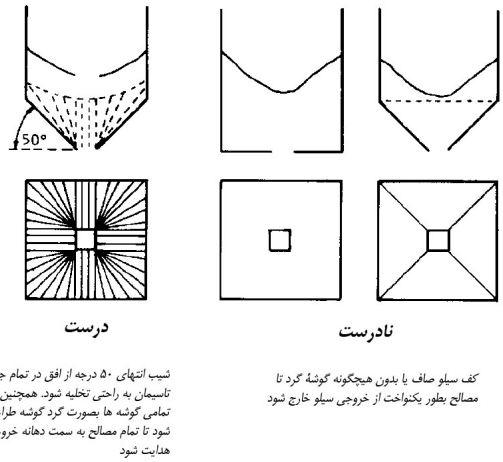
با توجه به آنکه در کارگاه، سیمان بصورت فله‌ای نگهداری و مصرف می‌شود، برای انبار کردن آن رعایت نکات زیر توصیه می‌شود:

- 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. به مرور زمان ذرات سیمان به دیواره اطراف سیلو می‌چسبد که بهتر است هر چند وقت یکبار با فشار ملایم باد، سیلو را پاک و تمیز کرد. شکل (۳-۱)، شکل هندسی سیلو را به صورت غلط و صحیح نشان می‌دهد.
- سیمان فله را باید در سیلوهای فلزی استاندارد انبار کرد. لازم است از انبار کردن سیمان فله‌ای در انبارهای غیر استاندارد و ساخته شده با مصالح بنایی خودداری نمود.
- باید تمام قسمت‌های متحرک سیلو عاری از اندود سیمان باشد و در پایان هر روز تمیز شوند. باید اطمینان حاصل کرد که اهرم‌ها و دستگیره‌ها خم نشده باشند.

- قیف سیلو باید هر روز تمیز شود، خارج و داخل قیف باید از مواد زاید و سیمان چسبنده زدوده شود، در غیر اینصورت دستگاه اندازه‌گیر مقدار واقعی سیمان را نشان نمی‌دهد. همچنین با استفاده از وزنه‌های مختلف، دقت مکانیزم اندازه‌گیری مورد آزمایش قرار گیرد.
- انتهای قیف باید حدود ۱/۵ متر از زمین فاصله داشته باشد و قطر آن حدود ۲۰ سانتیمتر باشد.
- 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.
- در بالای سیلو باید یک هواکش کلاهک‌دار تعبیه شود تا هوای سیلو در هنگام بارگیری تخلیه گردد.
- حداقل ضخامت ورق فولادی سیلو در پایین ۵ میلیمتر بوده و می‌توان بتدریج آن را در بالا به ۳ میلیمتر کاهش داد.
- برای کنترل ارتفاع سیمان و هواکش، سیلو باید دارای نردبان فلزی باشد.
- توصیه می‌شود سیستم هوادهی برای ایجاد تلاطم در توده تحتانی سیمان جهت جلوگیری از کلوخه شدن زود هنگام آن به کار گرفته شود.
- توصیه می‌شود از انباشتن سیمان‌های داغ در سیلو خودداری شود، زیرا باعث کاهش کیفیت آن می‌گردد.
- کامیون‌های حامل سیمان فله، سیمان را با فشار وارد سیلو می‌کنند. هر یک تن سیمان نیاز به هوایی درحدود ۲۰ مترمکعب دارد تا با فشار وارد سیلو شود. این مقدار هوا باید قادر به خارج شدن از سیلو باشد. برای آنکه با این مقدار هوا اجازه خروج داده شود بدون آنکه ایجاد گرد و خاک کند باید از فیلتر هوای داخل سیلو استفاده کرد. این فیلترهای هوا بعد از خروج سیمان باید پاک و تمیز گردند، در غیر اینصورت غیرقابل استفاده خواهند بود.
- روش‌های مختلفی برای تمیز کردن فیلتر موجود است که بهترین روش آن لرزاندن ماده فیلتر است.

- فیلترهای هوای سیلو باید حداقل هر ۱۲ ماه باید تعویض شوند.
- 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.
- سیلوها باید مانع دخول آب باشند و میعان داخل سیلو را باید به حداقل رساند. معمولاً سیمانی که مدت طولانی در سیلو مانده باشد، یک لایه نازک سخت در بالای سطح آن به وجود می‌آید، و باید دقت نمود تا از این لایه برای ساخت بتن استفاده نشود.
- در هنگام استفاده از سیمان‌های پاکتی باید به نکات زیر توجه نمود:
- سیمان‌های پاکتی باید در انبار مسقف و عایق رطوبت نگهداری شوند.
- کف انبار باید بین ۸۰ تا ۱۲۰ سانتیمتر از سطح زمین بالاتر باشد تا از ورود آب، نشت برف انبار شده در پشت دیوارها و حرکت نم رو به بالا، حتی‌الامکان محافظت گردد. همچنین با این کار، تخلیه سیمان از تریلی حامل پاکت سیمان ساده‌تر خواهد بود.
- سیمان پرتلند نباید در تماس با رطوبت انبار شود، بلکه باید به صورت خشک نگهداری شود تا از فساد آن جلوگیری به عمل آید. در مناطق خشک، در زمان‌های کوتاه مدت می‌توان حداکثر ۱۲ پاکت سیمان را روی‌هم انبار کرد، در حالی‌که مناطق مرطوب می‌توان ۸ پاکت سیمان را روی‌هم انبار کرد.
- روی پاکت‌هایی که به مدت طولانی انبار می‌شوند باید با نایلون یا سایر روکش‌های ضدآب پوشانده شود. نمونه‌ای از نحوه صحیح انبار سیمان‌های پاکتی در شکل (۳-۲) نشان داده شده است.
- سیمان‌هایی که شامل کلوخه‌هایی هستند را می‌توان با غلتاندن پاکتها روی کف خرد کرد. به هر حال سیمان باید در زمان مصرف به صورت پودر فاقد کلوخه باشد. در صورتیکه کلوخه‌ها به سهولت خرد نشوند، باید سیمان را قبل از مصرف مورد آزمایشهای استاندارد قرار داد. هرگاه

کیفیت سیمان مشکوک باشد، باید نسبت به آزمایش مقاومت فشاری ملات ماسه‌سیمان استاندارد یا آزمایش افت وزنی ناشی از سرخ‌شدن مبادرت نمود.



شکل ٦-١ طرز انبار مصالح در سیلو

شکل ٦-٢ نحوه نگهداری صحیح پاکت‌های سیمان

٦-٧ چک لیست‌های کنترل سیمان و مواد سیمانی

جدول (۶-۷) چک لیست کنترل سیمان را ارائه می‌دهد.

جدول ٦-٧ چک‌لیست کنترل سیمان

نوع سیمان؟ محل تولید سیمان؟
آیا مشخصات سیمان در کارخانه کنترل می‌شود؟
روش نگهداری سیمان پاکتی ☐ سیلو ☐ حجم سیلو ☐ ارتفاع سیلو ☐ آیا سیلو هواکش دارد؟
آیا بازرسی چشمی محل انبار سیمان انجام می‌شود؟ بلی ☐ خیر☐ تواتر بازرسی‌های چشمی؟
حداکثر زمان انبار سیمان (سیمان حداکثر تا چه زمانی ممکن است در انبار بماند)
حداکثر زمان مصرف سیمان از زمان تولید آن (حداکثر عمر سیمان مصرفی)
آیا انبار سیمان‌ها عایق رطوبت هست؟
تواتر کنترل سیمان؟
آیا سیمانهای کلوخه شده استفاده می شوند؟
آیا نتایج آزمون‌های انجام شده روی سیمان‌ها رضایت بخش بوده است؟
آیا سابقه نتایج آزمون روی سیمان‌ها بایگانی می‌شود؟
آیا دمای سیمان هنگام مصرف اندازه‌گیری می‌شود؟
دمای سیمان هنگام مصرف؟
آیا از پوزولان نیز استفاده می شود؟
آیا پوزولان مصرفی کنترل می شود؟

٦-٨ نمونه‌برداری و کنترل کیفی آب مصرفی

نمونه مورد نیاز برای آزمون‌های کنترل کیفی آب نباید کمتر از ۵ لیتر باشد. نمونه‌ها باید به درستی شماره‌گذاری شده و باید نمایندهٔ همان نوع آبی باشد که برای تولید بتن استفاده می‌شود. همچنین به تاثیرات فصلی در کیفیت آب نیز توجه شود. نمونه‌های اخذ شده باید در مکان تمیز و مخازن سر بستهٔ مناسبی نگهداری شود. نمونهٔ آب تهیه شده باید ظرف کمتر از دو هفته از نمونه‌برداری آزمایش شود.

٦-٨-١ تواتر نمونه‌برداری

بطور کلی برای کنترل کیفی باید حداقل در ابتدای کار و پس از هر بار تغییر منبع تامین از آب مصرفی نمونه‌برداری شود. همچنین برای انواع مختلف آب مصرفی، باید تواتر نمونه‌برداری زیر رعایت شود:

٦-٨-٢ آب آشامیدنی

حداقل نمونه‌برداری.

٦-٨-٣ آب بازیافتی از فرآیند تولید در واحدهای تولید بتن آماده

حداقل نمونه‌برداری

٦-٨-٤ آب تامین شده از منابع زیرزمینی، آبهای سطحی طبیعی، و آب بازیافتی از پساب‌های صنعتی

حداقل نمونه‌برداری و انجام آزمون کنترل کیفی قبل از استفاده برای بار اول، و پس از آن هر ماه تا هر زمان که تغییرات کیفی آب به یک مقدار مشخص تثبیت شود. از آن پس می‌توان تواترهای کمتری را مد نظر قرار داد.

٦-٩ ارزیابی و کنترل کیفی آب مصرفی در ساخت بتن

آب مصرفی را باید بطور مقدماتی و بصورت کیفی بر اساس جدول (۶-۸) مورد ارزیابی مقدماتی قرار داد. آبی که مشخصات مذکور در این جدول را برآورده نسازد در صورتی که در مشخصات گیرش و مقاومتی بتن اخلال ایجاد نکند قابل استفاده خواهد بود. به عنوان مهمترین آلودگی آب، میزان یون کلر نیز بر حسب نوع کاربرد نهایی بتن باید مطابق جدول (۶-۹) باشد. در صورت عدم تطابق آب مورد نظر غیر قابل استفاده تلقی می‌شود. علاوه بر این، مواد زیان‌آور دیگر در آب مصرفی باید از محدودیت‌های این جدول تبعیت کند. در غیر این صورت، باید مشخصات مکانیکی و خواص بتن ساخته شده با این نوع آب کنترل شود.

جدول ٦-٨ ارزیابی مقدماتی آب مصرفی در تولید بتن آماده

شاخص	الزامات
روغن و مواد چربی	بیش از مقدار قابل مشاهده نباشد. بطور کمی از ۲/۵ درصد وزن سیمان مصرفی در همان حجم از بتن بیشتر نباشد.
مواد شوینده	هر گونه حباب باید ظرف ۲ دقیقه ناپدید شود
رنگ	اگر از منابع مطمئن تامین نشده، رنگ آن نباید بطور کیفی به رنگ زرد یا زرد کم رنگ باشد
زباله	اگر از منابع مطمئن تامین نشده باشد، باید پس از اضافه کردن اسید هیدروکلریک، بوی سولفید هیدروژن ندهد.
اسیدی	$pH \geq ۴$
اسیدهای آلی	بطور کیفی، رنگ آب نباید پس از اضافه کردن سود ($NaOH$) به رنگ زرد، قهوه‌ای متمایل شود

جدول ٦-٩ حداکثر میزان آلودگی زیان‌آور در آب مصرفی بتن

کاربرد نهایی		حداکثر میزان آلودگی زیان‌بار (mg/l)
یون کلر	بتن پیش‌تنیده یا گروت	۵۰۰
	بتن با فولادهای مسلح کنندهٔ مدفون در آن	۱۰۰۰
	بتن بدون فولادهای مسلح کنندهٔ مدفون در آن	۴۵۰۰
شکر		۱۰۰
فسفات بصورت P_2O_5		۱۰۰
نیترات بصورت NO_3^-		۵۰۰
سرب بصورت Pb^{2+}		۱۰۰
روی بصورت Zn^{2+}		۱۰۰
سولفات بصورت SO_4^{2-}		۲۰۰۰

+ برای اندازه‌گیری مواد زیانبار، ترجیحاً از استانداردهای ملی استفاده شود.

٦-١٠ ضوابط استفاده از آب مشکوک در تولید بتن

آبی که برای کاربرد در تولید بتن مشکوک شناخته شده ولی از نظر آلودگی به یون کلر الزامات جدول (۶-۹) را برآورده سازد، برای استفاده در تولید بتن باید تمام مشخصات فنی زیر را برآورده سازد:

(الف) کنترل درجهٔ قلیایی یا اسیدی آب مصرفی:

$$8.5 \leq pH \leq 5$$

(ب) کنترل مقاومت فشاری ملات با آب مشکوک:

$$\bar{f}_d \geq 0.9 \times f_{ms}$$

بطوریکه

$\bar{f}_d$ = مقاومت فشاری ۷ روزه (یا ۲۸ روزه) آزمونه‌های ملات ساخته شده با آب مقطر،

f_{ms} = مقاومت فشاری ۷ روزه (یا ۲۸ روزه) آزمونه‌های ملات ساخته شده با آب مشکوک می‌باشد.

(ج) کنترل زمان گیرش با آب مشکوک:

$$ST_d + 60\ \text{min} \leq ST_{ms} \leq ST_d - 60\ \text{min}$$

بطوریکه

ST_d = زمان گیرش اولیهٔ خمیر سیمان ساخته شده با آب مقطر،

ST_{ms} = زمان گیرش اولیهٔ خمیر سیمان ساخته شده با آب مشکوک می‌باشد.

(د) انبساط حجمی در آزمایش سلامت سیمان:

$$S_{ms} \leq S_d$$

بطوریکه

S_d = میزان انبساط حجمی سیمان بدست آمده از آزمایش سلامت با آب مقطر،

S_{ms} = میزان انبساط حجمی سیمان بدست آمده از آزمایش سلامت با آب مشکوک می‌باشد.

٦-١١ چک لیست‌های کنترل آب مصرفی

جدول (۶-۱۰) چک لیست مربوط به کنترل کیفی آب مصرفی را ارائه می‌دهد.

جدول ٦-١٠ چک‌لیست کنترل آب

محل تأمین آب؟
آیا مشخصات آب کنترل می‌شود بلی ☐ خیر ☐
آیا میزان مواد محلول در آب کنترل می‌شود؟ بلی ☐ خیر ☐ آیا میزان کلریدها در آب کنترل می‌شود؟ بلی ☐ خیر ☐ آیا میزان سولفاتها در آب کنترل می‌شود؟ بلی ☐ خیر ☐ آیا میزان قلیاییها در آب کنترل می‌شود؟ بلی ☐ خیر ☐ آیا میزان ذرات جامد معلق در آب کنترل می‌شود؟ بلی ☐ خیر ☐ آیا نتایج این آزمون‌ها موجود است؟
PH آب؟
طریقه نگهداری آب؟
آیا به تمیزی محل نگهداری آب توجه می‌شود؟
تواتر نمونه‌برداری از آب؟
آیا سابقه نتایج آزمون بایگانی می‌شود؟

٦-١٢ نمونه‌برداری و کنترل کیفی مواد افزودنی بتن

- نمونه‌برداری از مواد افزودنی باید به طریقی انجام شود که نماینده محموله مورد بررسی باشد.
- در صورتیکه تولید بصورت پیوسته انجام شود، از هر حداکثر ۲۵ تن مواد افزودنی حداقل یک نمونه باید گرفته شود.

٦-١٢-١ افزودنی‌های پودری (بسته‌بندی شده کیسه‌ای)

- نمونه توده‌ای انبوهی، باید ترکیبی از نمونه‌های گرفته شده از ۶ کیسه (پاکت) باشد، مگر آنکه تعداد کل کیسه‌ها کمتر از ۶ عدد باشد که در آن صورت نمونه از زیر نمونه‌های کل کیسه‌ها تشکیل می‌شود.
- کیسه‌هایی که زیر نمونه‌ها از آنها گرفته می‌شوند، باید بصورت تصادفی انتخاب شوند.

- در صورتی که محتویات یک کیسه، حداکثر ۵۰۰ گرم باشد، کل مقادیر آن به عنوان زیر نمونه انتخاب می‌شود.
- در صورتی که محتویات یک کیسه، بیش از ۵۰۰ گرم باشد، با یک لوله مخصوص نمونه‌گیری که قطر داخلی آن نباید کمتر از ۲۵ میلی‌متر باشد، زیرنمونه برداشته می‌شود.
- در صورتی که لوله مخصوص نمونه‌گیری در دسترس نباشد، کیسه را روی یک سطح تمیز خالی کرده، خوب مخلوط کرده، بصورت توده‌ای درآورده و حداقل از ۳ جای آن به مقدار حداقل ۱۲۵ گرم نمونه‌گیری می‌کنیم.
- در صورتیکه نمونه توده‌ای انبوهی بیش از ۳ کیلوگرم باشد، باید آن را با روش چهار قسمتی یا با استفاده از مقسم به ۳ کیلوگرم کاهش داد.
- نمونه توده‌ای انبوهی که به ۳ کیلوگرم کاهش یافته است را باید به ۳ قسمت ۱ کیلوگرمی تقسیم نمود و در ظرف تمیز، کاملاً بسته‌بندی (هوابندی) و علامت‌گذاری نمود.
- حداقل یک نمونه ۱ کیلوگرمی، باید به عنوان مرجع به مدت یکسال یا مدت زمان کوتاه‌تری که تاریخ مصرف ماده است نگه‌داری شود.

٦-۱۲-۲ افزودنی‌های مایع

(الف) افزودنی‌های مایع بسته‌بندی شده (داخل ظرف)

- نمونه توده‌ای انبوهی باید از ترکیب زیرنمونه‌های گرفته شده از ۶ ظرف ایجاد شود، مگر آنکه تعداد کل ظرف‌ها کمتر از ۶ عدد باشد که در آن‌صورت، نمونه، از زیرنمونه‌های کل ظرف‌ها تشکیل می‌شود.
- ظرف‌هایی که زیرنمونه‌ها از آنها گرفته می‌شوند، باید بصورت تصادفی انتخاب شوند.
- قبل از نمونه‌گیری، باید محتویات داخل ظرف را کاملاً به هم زد تا در صورت ته‌نشینی کاملاً یکنواخت گردد.
- در صورتی که حجم ظرف افزودنی حداکثر ۰/۵ لیتر باشد، کل آن برداشته می‌شود.

- در صورتی که حجم ظرف افزودنی بیش از ۰/۵ لیتر باشد، ۰/۵ لیتر از آن برداشته می‌شود.
- زیرنمونه‌ها باید به خوبی با هم مخلوط شوند تا یک توده انبوهی بدست آید.
- توده انبوهی نمونه، باید به ۳ قسمت مساوی تقسیم شود و در ظرف تمیز، دارای درپوش و بصورت علامت‌گذاری شده نگهداری شود.
- حداقل یکی از نمونه‌ها باید به عنوان مرجع به مدت یک سال یا زمان کوتاه‌تری که تاریخ مصرف ماده است، نگهداری شود.
- کلیه ظروف نمونه‌ها باید از گرما، نور و یخزدگی محافظت شوند.

(ب) افزودنی‌های مایع داخل مخزن (تانک)

- برای هر مخزن باید از هر حداکثر ۲۵۰۰۰ لیتر، یک نمونه برداشته شود.
- نمونه توده‌ای باید حداقل ۳ لیتر باشد و از ۳ زیرنمونه تشکیل شود.
- یکی از زیرنمونه‌ها باید از بخش روی مخزن، یکی از ۳۰۰ ± میلی‌متری قسمت میانی مخزن و یکی از ۴۰۰ میلی‌متری بالاتر از کف مخزن گرفته شود.
- زیرنمونه‌ها باید به خوبی با هم مخلوط شوند تا یک توده انبوهی نمونه بدست آید.
- توده انبوهی نمونه باید به ۳ قسمت مساوی تقسیم شود و در ظرف تمیز، دارای درپوش و علامت‌گذاری شده نگهداری شود.
- حداقل یکی از نمونه‌ها باید به عنوان مرجع به مدت یک سال یا زمان کوتاه‌تری که تاریخ مصرف ماده است، نگهداری شود.
- کلیه ظروف نمونه‌ها باید از گرما، نور و یخزدگی محافظت شوند.

٦-۱۲-۳ برگ گزارش کنترل کیفی

کلیهٔ اطلاعات مربوط به نمونه‌برداری، به خصوص موارد زیر، باید گزارش گردد:

(الف) تاریخ نمونه‌برداری

(ب) نام تجاری محصول

(ج) نوع افزودنی

(د) نام تولیدکننده

(ه) شماره مشخصه محموله (سری ساخت)

(و) مقدار محموله، که نمونه، نماینده آن است

(ز) حالت فیزیکی ماده

(ح) رنگ

(ط) شرایط نگهداری

(ی) نام و سمت افراد نمونه‌برداری کننده

۶-۱۳ چک لیست‌های کنترل مواد افزودنی شیمیایی

در جداول (۶-۱۱) تا (۶-۱۳) چک لیست کنترل مواد افزودنی شیمیایی ارائه شده است.

جدول ٦-١١ چک لیست بازدید از انبار نگهداری محصول نهایی

نام شرکت: آدرس کارخانه:			تاریخ بازدید: نام بازدید کنندگان:	
نام انبار: محل انبار: نام افزودنی‌های موجود در انبار:				
وضعیت انبار نگهداری محصول نهایی		تأیید	رد	توضیحات
نگهداری	سرپوشیده بودن محل			
	وجود تابلوی نشان دهنده محل			
	نبودن در معرض جریان شدید باد، گردو غبار، ریزش باران			
	عایق بودن انبار از نظر رطوبت			
	تهویه مناسب انبار			
	مجهز بودن به تأسیسات گرمایشی فصول سرد برای جلوگیری از یخ زدن			
	وجود دستگاه‌های اندازه‌گیری دما و رطوبت			
	نگهداری روی طبق‌های چوبی، عدم امکان سقوط			
بسته‌بندی	بسته‌بندی در کیسه‌های مناسب			
	عدم آسیب‌دیدگی بسته‌بندی			
برچسب	نام ماده افزودنی			
	تاریخ تولید			
	تاریخ مصرف			
	وزن			
	درجه			
	نام کارخانه سازنده			
	مقدار مجاز مصرف			
	میزان و نحوه متداول مصرف			
	نحوه نگهداری			
	علامت کارخانه			
تاریخ مصرف	معتبر بودن تاریخ مصرف افزودنی‌های موجود در انبار			
ایمنی	انبار نگهداری محصول نهایی به تجهیزات ایمنی کامل مجهز است؟			

جدول ٦-۱۲ چک لیست بازدید و تحویل محصول نهایی

نام شرکت: آدرس کارخانه:			تاریخ بازدید: نام بازدید کنندگان:	
وضعیت تحویل محصول		تأیید	رد	توضیحات
کیفیت ظاهری	یکنواختی رنگ (همگنی)			
تایید نهایی محصول	انجام آزمون‌های جداول پیوست دوم بر روی محصول نهایی بسته به نوع افزودنی			
	چاپ مشخصات محصول نهایی مطابق با فرمت مرکز بر روی کیسه‌ها			
	مناسب بودن زمان انتقال محصول تولید شده از کارگاه به انبار			
	وجود مهر یا برچسب تأییدیه کنترل کیفیت بر روی هر کیسه یا ظرف			
نحوه حمل و تحویل	حمل محصول جهت تحویل به مشتری صحیح انجام می‌شود؟			
	نحوه نگهداری محصول برای مشتری معلوم است؟			

جدول ٦-۱۳ چک لیست بازدید از آزمایشگاه کنترل کیفیت

نام شرکت: آدرس کارخانه:			تاریخ بازدید: نام بازدید کنندگان:	
نام آزمایشگاه: محل آزمایشگاه:				
وضعیت آزمایشگاه کنترل کیفی		تأیید	رد	توضیحات
وضعیت عمومی آزمایشگاه	استقرار آزمایشگاه در فضایی مناسب			
	مناسب بودن فضای آزمایشگاه			
	وجود شرایط دمایی کنترل شده			
	قفسه‌بندی و کابینت‌بندی مناسب			
	بایگانی اسناد و مدارک آزمون آزمونه‌ها			
	وجود پرسنل ماهر در آزمایشگاه با تحصیلات مرتبط			
	دارا بودن تحصیلات مرتبط و کافی پرسنل			
	حضور مسئول آزمایشگاه کنترل کیفیت			

تجهیزات	دماسنج برای ثبت دمای آزمایشگاه با دقت ۱ درجه سلسیوس و رطوبت‌سنج			
	دستگاه تعیین چگالی نسبی برای افزودنی‌های مایع			
	دستگاه تعیین مقدار مواد خشک			
	pH سنج			
	دستگاه تعیین مقدار کلرید			
	ترازو با دقت ۰/۰۰۰۱ گرم			
	دستگاه تعیین چگالی			
	وجود گرمخانه مناسب			
	وجود فضای مناسب برای آماده‌سازی آزمونه‌ها قبل از آزمون			
	وجود تجهیزات اندازه‌گیری مقاومت فشاری			
	وجود تجهیزات اندازه‌گیری جذب موئینه			
	وجود تجهیزات تعیین مقدار قلیائیت			
	وجود تجهیزات اندازه‌گیری اسلامپ			
	وجود تجهیزات اندازه‌گیری زمان گیرش			
	وجود تجهیزات اندازه‌گیری مقدار هوای بتن تازه			
	وجود تجهیزات اندازه‌گیری مقدار هوای بتن سخت شده			
تجهیزات ایمنی	آزمایشگاه به تجهیزات ایمنی کامل مجهز است؟			
مدارک و مستندات	وجود مستندات مربوط به آزمون			
	وجود مستندات مربوط به آزمون دانسیته			
	وجود مستندات مربوط به آزمون مقاومت فشاری			
	وجود مستندات مربوط به آزمون‌های جذب موئینه، زمان گیرش، مقدار هوای بتن تازه و سخت شده			
	وجود مستندات مربوط به مقدار مواد خشک			

یادآوری ۱: کلیه تجهیزات باید دارای برچسب کالیبراسیون معتبر باشند.

یادآوری ۲: در صورت تغییر در فرمولاسیون وجود مستندات الزامی است.

یادآوری ۳: آخرین نتایج و دوره‌های انجام آزمون‌های ذکر شده در جدول باید بررسی شود.

یادآوری ٤: مستندات مربوط به نتایج آزمون‌ها حداقل به مدت ۵ سال و آزمونه‌ها، پس از انجام آزمون، حداقل به مدت ۲ ماه باید نگهداری شوند.

فصل هفتم

طرح نسبت‌های مخلوط بتن آماده

۷-۱ کلیات

طرح نسبت‌های مخلوط بتن، در یک مفهوم کلی، تعیین نسبت‌های مصالح مصرفی برای ساخت ۱ متر مکعب بتن می‌باشد، به نحوی که بتن تولیدشده، علاوه بر اینکه از لحاظ هزینه، اقتصادی باشد، بتواند الزامات مورد نیاز مانند کارایی، مقاومت و یا دوام را برآورده کند.

قبل از طراحی نسبت‌های مخلوط بتن آماده و یا هر نوع بتن بدون در نظر داشتن روند تولید آن، موضوعی که باید حتماً توجه شود، انطباق ویژگی‌های هر یک از مصالح مصرفی با الزامات استانداردهای مربوطه است. برای مثال اگر از سیمان نامناسب در رابطه با شرایط حاکم بر محیط مجاور بتن استفاده نماییم، ممکن است سازه یا قطعه دارای دوام مطلوبی نباشد و قبل از پایان عمر مفید آن دچار خرابی شود و خسارات عمده‌ای وارد گردد. بنابراین وقتی مرحله کمی طرح مخلوط بتن به طور صحیح انجام می‌پذیرد که در مرحله کیفی دچار اشتباه و خطای فاحش نشویم. بکارگیری سنگدانه مناسب از نظر شکل، دانه‌بندی و بافت سطحی یا از نظر مقدار مواد ریزدانه (گذشته از الک ۷۵ میکرون) و حداکثر اندازه بسیار مهم است و متأسفانه گاه اهمیت این موارد نادیده گرفته می‌شود و توجه بیشتری به تعیین نسبت‌های مخلوط بتن معطوف می‌گردد که اساس طرح مخلوط را سست می‌نماید. استفاده از آب نامناسب و یا بکارگیری افزودنی‌هایی که چندان تناسبی با خواسته‌های بهره‌برداری و اجرا ندارد، می‌تواند لطمه شدیدی را به بتن و پروژه وارد نماید. در خصوص ویژگی‌های لازم مصالح مصرفی و الزامات

آن‌ها بطور کامل در گزارش مرحلهٔ اول پرداخته شد. در واقع انطباق ویژگی‌های مصالح مصرفی با استانداردهای مربوط، پیش‌نیاز طراحی نسبت‌های مخلوط می‌باشد که در این فصل ارائه می‌شود.

مسلماً، خواسته‌های مختلفی در ارتباط با بتن مورد نیاز مطرح می‌باشد که باید در چارچوب طرح مخلوط بتن برآورده گردد. بخشی از این خواسته‌ها با انتخاب اجزای مناسب برآورده می‌شود، اما بخش عمده‌ای از این خواسته‌ها در مرحله تعیین مقادیر و نسبت‌های اجزاء بتن تأمین می‌گردد.

البته لازم است قبل از ارائه طرح‌ها و توصیه‌های لازم، به این نکته اشاره شود که طرح نسبت‌های مخلوط یک طرح آزمایشگاهی است و در حالی که اطلاعات و داده‌های اجزاء بتن از طریق آزمایش بدست می‌آید و هم‌چنین مخلوط اولیه بدست آمده بر اساس طراحی‌های نظری باید در آزمایشگاه ساخته شود و سپس آزمون‌های لازم بر روی آن انجام گردد. حتی مشاهدات چشمی نیز پس از ساخت بتن از اهمیت برخوردار است که ممکن است منجر به تعدیل طرح مخلوط گردد. پس، می‌توان گفت طرح مخلوط بتن یک عملیات تجربی ـ آزمایشگاهی است که در آن از برخی اطلاعات و داده‌های راهنما که در روش طرح مخلوط مورد نظر ارائه می‌شود، استفاده می‌گردد. پس می‌توان اجازه داد که مهندسین یا طراح مخلوط بتن بر اساس تجربه در تعیین نسبت آب به سیمان یا مقدار آب و یا محدوده دانه‌بندی مطلوب مخلوط سنگدانه استفاده نمایند.

با توجه به این‌که کارگاه‌های تولید بتن آماده، معمولاً، تأمین‌کننده بتن مورد نیاز در ساخت‌وسازهای شخصی هستند، لذا تمرکز اصلی در این بخش بر روی طرح مخلوط‌های بتن آماده در این‌گونه مصارف هستند. زیرا در پروژه‌های خاص و یا پروژه‌هایی که دارای کارفرمای دولتی هستند، معمولاً مشاور بر کار پیمانکار نظارت دارد و پیمانکار هم دارای واحد تولید بتن در محل کارگاه است و طرح مخلوط بتن مشخص، بر اساس الزامات طراحی و اجرا و ویژگی‌های مصالح موجود بر مبنای کار آزمایشگاهی از قبل تهیه می‌شود و در اختیار واحد تولید بتن قرار می‌گیرد.

در واقع توصیه‌ها و محدودیت‌های ارائه‌شده در این فصل، بر مبنای ۲ نوع نحوه سفارش مشتری به کارگاه تولید بتن آماده که در استاندارد ملی بتن آماده به شماره ۶۰۴۴ نیز پیش‌بینی شده است، متمرکز می‌گردد. اگرچه بر اساس روش دوم پیش‌بینی شده در استاندارد ۶۰۴۴ ملی ایران ، مشتری می‌تواند فقط طرح درخواستی را بر

اساس عیار سیمان سفارش دهد و این نحوه سفارش، اساس تعیین قیمت بتن است، اما قطعاً این نحوه سفارش، به هیچ نحو، نمی‌تواند تضمین‌کننده کیفیت بتن باشد و با توجه به این‌که معمولاً می‌توان با رعایت روش‌های کنترل کیفی و اصول اجرایی در تولید بتن آماده با مقادیر کمتر از درخواست مشتری نیز به مقاومت طراحی دست یافت و از این نظر، این نحوه سفارش و مبنا قرار دادن آن در تولید بتن آماده از مصادیق عدم رعایت الگوی صحیح مصرف سیمان است.

بنابراین، در این فصل، سعی شده است طرح‌های پیشنهادی هم الزامات مقاومتی را پوشش دهد و هم بر اساس عیار سیمان مصرفی، مشتری بتواند تخمین مناسبی نیز از مقاومت بتن خریداری شده داشته باشد. این نحوه سفارش و خرید از یک طرف تولیدکننده را ملزم به رعایت و استقرار حداقل‌های لازم در کنترل کیفی تولید خواهد کرد و هم گام بزرگی در راه ارتقای کیفی سازه‌های بتنی به همراه رعایت الگوی صحیح مصرف سیمان خواهد شد.

هدف از انجام طرح اختلاط بتن، دستیابی به مناسبترین ترکیب از مصالح اولیهٔ بتن با کمترین هزینه به گونه‌ای که با برآورده کردن تمامی مشخصات فنی تصریح شده در قرارداد (شامل مشخصات بتن در حالت تازه و سخت شده)، بتواند با داشتن کارایی مناسب، ضمن راحتی در امر بتن‌ریزی و تراکم، بتواند رده‌های مقاومت فشاری مشخصه را برآورده نماید.

به طور کلی، فرآیند طرح اختلاط، به چند مرحلهٔ اساسی تقسیم می‌شود که عبارتند از:

(الف) انتخاب مصالح اولیه

انتخاب مصالحی که از نظر اقتصادی برای کاربردهای مورد نظر مناسب بوده و الزامات هر مورد را تامین نماید.

(ب) تعیین نسبت اختلاط

انتخاب نسبت ترکیب مصالح تشکیل دهندهٔ بتن، به گونه‌ای که بتواند طیف وسیعی از ویژگی‌ها و کاربردهای محتمل را پوشش دهد،

تعیین مقادیر کل مصالح جهت اطمینان از حصول حجم بتن سفارش داده شده،

ارائهٔ داده‌های یک پیمانه برای تولید طیف کاملی از انواع اختلاط‌ها و مطابق با حجم سفارشات مورد درخواست،

ارائهٔ جزئیات طرح اختلاط، جهت اطمینان از اینکه مخلوط‌های طراحی شده با سهولت و در کمترین زمان ساخته شوند.

(ج) انتخاب مخلوط مناسب

انتخاب مناسبترین طرح اختلاط، جهت برآورده کردن الزامات مشخص شده برای کاربرد مورد نظر، با در نظر گرفتن آخرین معیارهای سیستم‌های کنترل کیفی،

فراهم آوردن اطلاعات بیشتر برای طرح مخلوط‌های خاصی که در موارد فوق موجود نیست.

۲-۷ مبانی طرح اختلاط بتن

معمولاً تعیین نسبت‌های اجزای بتن بر اساس روابط تجربی انجام می‌شود. طرح مخلوط به مفهوم فرآیندی است که در طی آن ترکیب مناسب اجزای بتن، طبق مشخصات فنی داده شده، و مطابق با الزامات خریدار تعیین می‌شود. طرح اختلاط بتن، فرآیندی بسیار پیچیده است که باید با توجه به اصول کاملاً علمی و بر مبنای تجربه انجام شود چراکه، با تغییر دادن یک متغیر ممکن است خواص بتن به صورت متضاد تحت تأثیر قرار بگیرد. به همین علت، برخی متخصصین از این فرآیند، به عنوان هنر طرح اختلاط بتن یاد می‌کنند. برای مثال، افزودن آب به مخلوط بتن با کارایی کم، ممکن است روانی را افزایش دهد، اما مقاومت را کم می‌کند. در حقیقت، کارایی خود از دو مؤلفه اصلی تشکیل یافته است، که شامل روانی (آسانی در جاری شدن) و چسبندگی (مقاومت در مقابل جداشدگی ذرات) می‌باشد که وقتی به مخلوط آب افزوده می‌شود، ممکن است این دو مشخصه، عملکردی مخالف یکدیگر نشان دهند.

در هر حال، روش‌های طرح مخلوط برای انتخاب اولیه نسبت‌ها مفید می‌باشند، اما به خصوص در مورد طرح اختلاط بتن آماده که دارای یک سیستم کنترل کیفی است، برای تعیین نسبت‌های نهایی نیاز به ساخت مخلوط‌های آزمایشی و نهایتاً تنظیم نسبت‌ها وجود دارد. روابط تجربی، به طور معمول به عنوان راهنما مورد

استفاده قرار می‌گیرند و مخلوط‌های آزمایشی بر اساس این روابط ساخته می‌شوند. در صورت مغایر بودن مشخصه بتن تازه و سخت شده مخلوط‌های آزمایشی با مشخصه مورد نظر، باید در طرح مخلوط تجدید نظر به‌عمل آید.

روشی که در این فصل تحت عنوان روش طرح اختلاط بتن آماده، مطرح می‌شود، منطبق بر روش ملی طرح مخلوط بتن (نشریهٔ ض-۴۷۹ مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن) می‌باشد در برخی موارد به منظور هماهنگی با شرایط حاکم، اصلاحات جزئی بر آن اعمال شده است. در اینجا باید بار دیگر متذکر شود که روش ارائه شده، به عنوان راهنمای اولیه طرح مخلوط به کار می‌رود و باید مخلوط‌های آزمایشی در آزمایشگاه و همچنین مطابق با شرایط کارخانهٔ تولید بتن آماده و سطح کنترل کیفی اعمال شده بر فرآیند تولید، ساخته شده و پس از بررسی نتایج مقاومت فشاری و دیگر الزامات طرح، نسبت‌های مخلوط نهایی شوند.

۷-۳ دامنهٔ کاربرد

دامنه کاربرد این روش به شرح زیر است:

- تعیین نسبت‌های اختلاط اجزای بتن‌های معمولی برای استفاده در کارخانه‌های تولید بتن آماده و مورد مصرف در ساختمان‌ها و سازه‌های بتنی متعارف،
- دستیابی به مشخصات فنی مورد انتظار از بتن، که این مشخصات فنی مورد نظر معمولاً بر اساس آیین‌نامه‌های معتبر، تعیین و ملاک عمل قرارمی‌گیرند. مشخصات فنی می‌توانند شامل مقاومت مشخصه فشاری، پارامترهای دوام، حداکثر اندازه سنگدانه، پوشش روی میلگردها و ... باشند.
- این روش، برای طرح مخلوط بتن‌های ویژه نظیر: بتن‌های حجیم، بتن‌های با مقاومت زیاد، بتن‌های سبک و سنگین، بتن‌های حاوی مواد پوزولانی و یا حباب هواساز تدوین نشده است. برای طراحی این نوع بتن‌ها باید حسب مورد، اصلاحاتی در روش ارائه شده اعمال شود.

۷-٤ حاشیه ایمنی مقاومت

به دلیل تغییرات در مقدار مقاومت بتن به سبب غیریکنواختی احتمالی در مصالح، اجزای بتن، ساختن، ریختن، تراکم، عمل‌آوری و ...، مخلوط بتن باید طوری طرح گردد که از مقاومت میانگین بیشتری نسبت به مقاومت مورد نظر برخوردار باشد. بنابراین، مقاومت مشخصه، که در واقع همان مقاومت مورد نظر در طراحی و

ساخت سازه می‌باشد، باید به اندازه حاشیه ایمنی افزایش داده شود (مقاومت فشاری متوسط لازم). حاشیه ایمنی مقاومت بر اساس اطلاعات آماری تعیین می‌گردد.

۷-۵ اندازه‌گیری روانی

در روش طرح مخلوط ارائه شده نیز برای سنجش روانی بتن، از آزمایش اسلامپ استفاده شده است. طبقه‌بندی روانی بتن تازه در این روش مطابق استاندارد ملی ایران به شماره ۳۵۱۹، در نظر گرفته شده است جدول (۷-۱).

جدول ۷-۱ طبقه‌بندی بتن تازه بر اساس مقدار اسلامپ

طبقه‌بندی		اسلامپ (mm)
S1	سفت	۱۰ تا ۴۰
S2	خمیری	۵۰ تا۹۰
S3	روان	۱۰۰ تا ۱۵۰
S4	خیلی روان (سیال)	بزرگتر یا مساوی ۱۶۰

*در صورتی که اسلامپ بتن تازه کمتر از ۱۰ میلی‌متر و یا بیشتر از ۲۱۰ میلی‌متر باشد، آزمایش اسلامپ دقت مناسبی نخواهد داشت.

۷-٦ آب آزاد

کل آب مخلوط بتن شامل آب جذب شده توسط سنگدانه، برای رسیدن به شرایط اشباع با سطح خشک و همچنین آب آزاد برای انجام شدن هیدراسیون سیمان و تامین کارایی می‌باشد. چنانچه در شرایط واقعی، مقدار رطوبت سنگدانه‌ها در حد کمتر از حالت اشباع با سطح خشک باشد، باید مقدار آب مورد نیاز برای رساندن سنگدانه به حالت اشباع با سطح خشک تعیین و به مقدار آب اختلاط افزوده شود و در صورتی که مقدار رطوبت سنگدانه‌ها بیش از رطوبت سنگدانه در حالت اشباع با سطح خشک باشد، باید مقدار آب معادل رطوبت اضافی از آب اختلاط کم شود.

در روش ارائه شده، نسبت آب به سیمان، به‌صورت نسبت آب آزاد به سیمان در نظر گرفته شده، و مقدار آب آزاد نیز بر اساس رطوبت سنگدانه‌ها در حالت اشباع با سطح خشک منظور شده است.

۷-۷ نوع سنگدانه‌ها

همانگونه که قبلاً گفته شد، دو عامل بسیار مهم که از ویژگی‌های سنگدانه است و در مشخصه‌های بتن (تازه و سخت شده) اثر می‌گذارد، شکل ذرات و بافت سطحی سنگدانه است. شکل ذرات عامل مهمی در کارایی مخلوط است و بافت سطحی در پیوستگی بین خمیر سیمان و سنگدانه و مقاومت بتن مؤثر است. در روش ملی طرح مخلوط بتن، سنگدانه از نظر شکل به دو نوع، گردگوشه و گوشه‌دار (تیزگوشه) تقسیم شده است.

به طور کلی، سنگدانه شکسته شامل ذرات غیرمنظم و تیزگوشه است و معمولاً بافت سطحی دانه‌ها نیز زبر می‌باشد. بنابراین کارایی مخلوط کاهش می‌یابد، اما معمولاً مقاومت آن نسبت به مخلوط با سنگدانه گردگوشه بیشتر است. لذا انتخاب نوع سنگدانه برای بتن با مقاومت‌های نسبتاً زیاد از اهمیت بیشتری برخوردار است و بهتر است که از سنگدانه‌های شکسته استفاده شود. شایان ذکر است، تأثیر شکل و بافت درشت‌دانه‌ها در این خصوص بیشتر از ریزدانه‌ها می‌باشد.

۷-۸ دانه‌بندی سنگدانه

معمولاً محدوده دانه‌بندی طوری در نظر گرفته می‌شود که از یک طرف از حجم فضای خالی بین سنگدانه‌ها تا آنجا که امکان دارد، کاسته شود و از طرف دیگر، کارایی مناسبی برای بتن تأمین گردد. زیرا اگرچه می‌توان منحنی دانه‌بندی و محدوده آن را طوری ارائه کرد که حداقل فضای منافذ به دست آید، اما ممکن است چنین مخلوطی دارای کارایی مناسبی نباشد.

در روش ملی طرح مخلوط بتن، منحنی‌های ترکیب شن و ماسه با حداکثر اندازه سنگدانه‌های ۹/۵، ۱۹، ۲۵ و ۳۷/۵ میلی‌متر در نظر گرفته شده است، به گونه‌ای که با انتخاب درصد مناسب سنگدانه ریز و درشت استاندارد (استاندارد ملی ایران ۳۰۲)، توزیع دانه‌ها مطابق محدوده منحنی‌های ارائه شده حاصل می‌شود.

۷-۹ سیمان مصرفی

انواع مختلف سیمان و رده مقاومت سیمان در آهنگ کسب مقاومت بتن و خواص بتن اثر مستقیم دارد. در این روش طرح مخلوط، نوع سیمان مصرفی پرتلند با رده‌های مقاومتی ۳۲۵، ۴۲۵ و ۵۲۵ کیلوگرم بر

سانتیمترمربع (طبق استاندارد ایران) در نظر گرفته شده است. در صورتی که از انواع دیگر سیمان پرتلند استفاده شود، باید روند کسب مقاومت و مقدار مقاومت آن بر اساس آزمایش‌های مربوط تعیین و با رده‌بندی انتخاب شده در این طرح مطابقت داده شود.

۷-۱۰ تعیین انحراف معیار و مقاومت فشاری متوسط لازم

۷-۱۰-۱ مقاومت فشاری متوسط لازم

مطابق با آیین‌نامه بتن ایران، مقاومت فشاری متوسط لازم باید برابر با بزرگترین مقدار به دست آمده از هر یک از دو رابطه زیر در نظر گرفته شود:

$$f_{cm} = f_c + 1.34\sigma + 1.5 \ \text{N/mm}^2 \qquad (۱-۷)$$

$$f_{cm} = f_c + 2.33\sigma - 4 \ \text{N/mm}^2 \qquad (۲-۷)$$

بطوریکه

f_{cm} = مقاومت فشاری متوسط بتن، N/mm^2

f_c = مقاومت فشاری مشخصه بتن بر اساس آزمونه‌های استوانه‌ای، N/mm^2

σ = انحراف استاندارد مقاومت فشاری آزمونه‌ها، N/mm^2 می‌باشد.

۷-۱۰-۲ تعیین انحراف معیار

اگر از نتایج آماری پروژه‌های مشابه قبلی استفاده می‌شود، باید مطابق با (۱-۱۰-۲-۱) انحراف معیار محاسبه گردد.

منظور از پروژه‌های مشابه، پروژه‌هایی است که:

مصالح مصرفی به کار رفته در آن و پروژه موجود از نظر نوع و مشخصات فنی تشابه داشته باشند.

شرایط نظارت و کنترل کیفیت آنها و پروژه موجود تشابه داشته باشند.

مقدار تفاوت در مقاومت فشاری مشخصه بتن در آنها و پروژه موجود از N/mm^2 ۷ بیشتر نباشد.

در غیر این صورت برای مواردی که اطلاعات آماری وجود ندارد، از روش ارائه شده در بند (۱-۱۰-۲-۲) استفاده می‌شود.

۷-۱۰-۲-۱ محاسبه انحراف معیار بر اساس نتایج سوابق تجربیات مشابه قبلی

در این روش باید بر اساس نتایج مقاومت فشاری آزمونه‌ها که از پرونده آزمایش‌های پروژه‌های مشابه به دست آمده است، انحراف معیار را با استفاده از رابطه (۷-۳) محاسبه کرد.

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \qquad (۳-۷)$$

بطوریکه

σ = انحراف معیار،

x_i = مقاومت فشاری آزمونهٔ i-ام،

$\bar{x}$ = میانگین مقاومت فشاری آزمونه‌ها، و

n = تعداد آزمونه‌ها می‌باشد.

نتایج آزمایش حداقل ۳۰ نمونه متوالی باید از پروژه مشابه قبلی موجود باشد. اگر کمتر از ۳۰ نتیجه آزمایش موجود باشد، باید بر اساس رابطه (۷-۴)، ضریب اصلاحی برای انحراف معیار محاسبه گردد:

$$R = \left[0.75 + \left(\frac{2}{\mathrm{n}}\right)^{\frac{1}{2}}\right] \qquad (٤-۷)$$

بطوریکه در آن:

R = ضریب اصلاحی انحراف معیار،

n = تعداد آزمونه‌ها می‌باشد.

چنانچه نتایج آزمایش حداقل ۳۰ نمونه متوالی موجود نباشد، می‌توان از دو گروه نمونه‌های متوالی با مجموع حداقل ۳۰ آزمایش استفاده کرد. در چنین حالتی باید انحراف معیار دو گروه آزمایش بر اساس رابطه (۷-۵) به صورت میانگین آماری محاسبه گردد:

$$\bar{\sigma} = \left[\frac{(n_1 - 1) \times \sigma_1^2 + (n_2 - 1) \times \sigma_2^2}{n_1 + n_2 - 2} \right]^{\frac{1}{2}} \qquad (۵-۷)$$

بطوریکه

$\bar{\sigma}$ = میانگین آماری انحراف معیار در گروه نمونه‌های متوالی،

σ_1 و σ_2 = انحراف معیار محاسبه شده از دو گروه نمونه‌های متوالی،

n_1 و n_2 = تعداد نمونه‌ها در دو گروه متوالی می‌باشد.

اگر از روش محاسبه انحراف معیار بر اساس سوابق تجربیات قبلی استفاده می‌شود، باید موارد زیر در نظر گرفته شود:

مقدار انحراف معیار فرض شده باید پس از کسب اطلاعات کافی در حین اجرای پروژه، بر اساس انحراف معیار واقعی اصلاح گردد، و

در هیچ شرایطی نباید انحراف معیار کمتر از N/mm^2 ۳ در نظر گرفته شود.

۷-۱۰-۲-۲ تعیین انحراف معیار در صورت عدم دسترسی به اطلاعات آماری

در مواردی عدم دسترسی به نتایج مقاومت فشاری آزمونه‌ها از نتایج آماری پروژه‌های قبلی، می‌توان بر اساس سطح نظارت و سطح کنترل کیفی اعمالی در کارخانهٔ تولید بتن آماده و یا کارگاه ساختمانی و بر حسب مقاومت مشخصه بتن، مقدار انحراف معیار را از جدول (۷-۲) تخمین زد.

جدول ۷-۲ انحراف معیار بر اساس رتبه‌بندی کارگاه و مقاومت مشخصه بتن: برگرفته از روش ملی طرح مخلوط بتن

رتبه‌بندی کارگاه ساختمانی یا کارخانهٔ تولید بتن آماده	مقاومت مشخصه بتن (N/mm^2)				
	۱۰ و کمتر	۱۱ تا ۲۰	۲۱ تا ۳۰	۳۱ تا ۴۰	۴۱ و بیشتر
الف	۴	۴/۵	۵	۵/۵	۶
ب	۵	۵/۵	۶/۵	۷	۷
ج	۵/۵	۶	۷/۵	۸	۸

رتبه‌بندی کارگاه به شرایط تولید، نظارت و کنترل کیفیت بستگی دارد. به طور کلی کارگاه‌های ساختمانی برای تولید بتن در کارگاه یا کارخانه‌های تولید بتن آماده، به ۳ درجه الف، ب و ج تقسیم می‌شوند. برای تعیین رتبه، باید از اطلاعات ارائه شده در جدول (۷-۳) استفاده کرد.

جدول ۷-۳ رتبه‌بندی کارگاه‌ها و کارخانه‌های تولید بتن آماده، بر اساس وضعیت تولید بتن، نظارت و کنترل کیفیت: برگرفته و اصلاح شده از روش ملی طرح مخلوط بتن

شرایط تولید و کنترل	وضعیت کنترل کیفیت		
	الف	ب	ج
توزین یا پیمانه کردن سیمان	وزنی	وزنی	حجمی
توزین یا پیمانه کردن سنگدانه	وزنی	حجمی	حجمی
کنترل دانه‌بندی سنگدانه	کنترل شده	کنترل شده	بدون کنترل
کنترل رطوبت سنگدانه	کنترل شده	کنترل شده	بدون کنترل
نظارت بر تولید	در سطح عالی	در سطح خوب	درسطح ضعیف
امکانات آزمایشگاهی	موجود است	موجود است	در سطح محدود
تداوم در آزمایش	مداوم	گاهی اوقات	در سطح محدود
سیستم کنترل کیفی	عالی	متوسط	ضعیف
نیروی متخصص تولید بتن	وجود دارد	وجود دارد	در سطح محدود

۷-۱۱ فرآیند طرح اختلاط بتن آماده، بر مبنای روش ملی طرح مخلوط بتن

بر اساس روش ملی طرح مخلوط بتن، طرح اختلاط بتن بر اساس موارد ذیل انجام می‌شود:

- **نسبت آب به سیمان (یا نسبت آب به مواد سیمانی)،**
- **مشخصات و خصوصیات سنگدانه (شکل، بافت و حداکثر اندازه سنگدانه)،**
- **مقاومت،**
- **کارایی،**
- **دوام.**

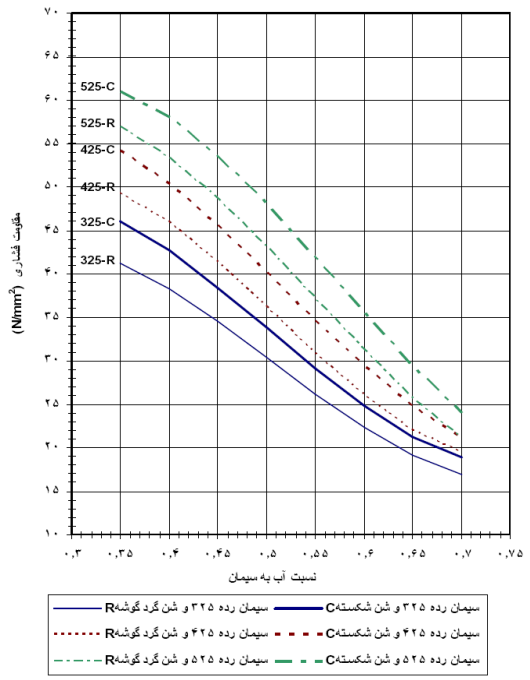
توجه شود که همه این عوامل با در نظر گرفتن مواردی مانند نوع سیمان، مواد افزودنی، مقدار هوای بتن و ... تغییر می‌نماید.

۷-۱۱-۱ گام اول: تعیین نسبت آب به سیمان

نسبت مؤثر آب به سیمان به مفهوم نسبت مقدار آب آزاد به مقدار سیمان در بتن تازه است. ارتباط بین نسبت آب به سیمان و مقاومت بتن بر این اساس است که افزایش نسبت آب به سیمان سبب افزایش منافذ مویینه در بتن می‌شود. بنابراین با کاهش نسبت آب به سیمان به مقاومت بتن افزوده می‌شود. نسبت آب به سیمان اثر قابل توجهی در مقاومت بتن دارد. از همه مهمتر این که وقتی مقدار سیمان تغییر داده می شود و مقدار آب ثابت نگه داشته می‌شود، روانی بتن به همان نسبت تغییر نمی‌کند. به‌عبارت دیگر، افزایش مقدار سیمان تا حد معینی، مقاومت فشاری را افزایش می‌دهد، زیرا از نسبت آب به سیمان کاسته می‌شود، اما روانی تقریباً بدون تغییر می‌ماند. از طرف دیگر، وقتی که مقدار سیمان ثابت نگه داشته می‌شود و مقدار آب تغییر می‌کند، روانی بتن در حدی قابل توجه تغییر می‌کند. اگر روانی بتن در حد سفت باشد، امکان دارد به دلیل عدم تراکم مطلوب، مقاومت فشاری کاهش یابد.

با استفاده از شکل (۷-۱) بر اساس مقاومت ملات استاندارد سیمان (رده مقاومتی سیمان) و مقاومت فشاری متوسط بتن، نسبت آب به سیمان تعیین می‌گردد. در منحنی‌های شکل (۷-۱)، مقدار هوای ناخواسته در بتن ۱ تا ۲ درصد فرض شده است. همچنین در ارائه منحنی‌ها، حداکثر اندازه سنگدانه‌ها ۱۹ تا ۲۵ میلی‌متر، فرض شده و در یک نسبت آب به سیمان برابر، با کاهش حداکثر اندازه سنگدانه، مقاومت فشاری افزایش می‌یابد. در صورت استفاده از مواد حباب‌ساز، به ازای هر یک درصد حباب هوای عمدی، باید ۳ درصد از نسبت آب به سیمان (تعیین شده از شکل ۷-۱) کاسته شود تا مقاومت فشاری مورد نظر حاصل گردد. در این منحنی‌ها رده‌بندی سیمان‌ها بر اساس مقاومت استاندارد آنها و همچنین شکل سنگدانه‌های درشت از نظر تیزگوشه یا گردگوشه بودن در نظر گرفته شده است. به این نکته باید دقت کرد که در طرح مخلوط بتن‌هایی که، فقط معیار مقاومت و روانی باید کنترل شوند، استفاده از درشت‌دانه‌های تیزگوشه و یا گردگوشه چندان تفاوتی ندارد، اما اگر نسبت آب به سیمان به عنوان معیار دوام محدود شده باشد، مخلوط بتن با سنگدانه گردگوشه نیاز به سیمان کمتری دارد.

همچنین به طور کلی حباب هوای عمدی موجود در بتن باعث کاهش آب آزاد برای تأمین کارایی می‌گردد. به ازای هر یک درصد حباب هوای عمدی (مازاد بر هوای ناخواسته)، ۲/۵ درصد از آب آزاد مورد نیاز در مخلوط کاسته می‌شود.



شکل ۷-۱ رابطه بین نسبت آب به سیمان و مقاومت فشاری بتن در سن ۲ روزه: برگرفته از روش ملی طرح مخلوط بتن

۷-۱۱-۲ گام دوم: انتخاب منحنی سنگدانه

برای ساخت بتن همگن، ضروری است که سنگدانه‌های ریز و درشت به گونه‌ای با یکدیگر مخلوط شوند که ضمن ایجاد انسجام کافی، بتن نیز دارای کارایی مناسب باشد. بدین منظور بر اساس منحنی‌های ارائه شده در شکل‌های (۷-۲) تا (۷-۵) برای حداکثر اندازه سنگدانه‌های ۹/۵ ، ۱۹ ، ۲۵ ، ۳۷/۵ میلی‌متر، نسبت اختلاط ریزدانه‌ها و درشت‌دانه‌ها تعیین می‌شود. سپس به منظور محاسبه مقدار آب لازم (گام سوم)، مدول نرمی

سنگدانه‌ها محاسبه می‌شود. برای محاسبه مدول نرمی، باید، مجموع تجمعی وزنی سنگدانه‌های مانده روی الک‌های ۳۷/۵ ، ۱۹، ۹/۵، ۴/۷۵، ۲/۳۶، ۱/۱۸، ۰/۶، ۰/۳ و ۰/۱۵ میلیمتر، را بر عدد ۱۰۰ تقسیم کرد.

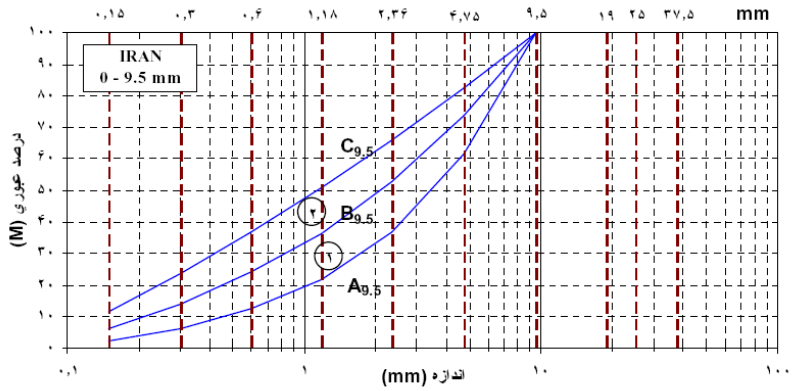
بطور کلی اهمیت دانه‌بندی را از نقطه نظر ارائهٔطرح مخلوط بتن، می‌توان به این صورت بیان کرد که مقدار خمیر سیمان در بتن، تابع فضای خالی بین سنگدانه‌ها و کل مساحت سطح سنگدانه‌ها می‌باشد، زیرا منافذ بین سنگدانه‌ها توسط خمیر سیمان اشغال می‌گردد و سطح سنگدانه‌ها باید با خمیر سیمان اندود شود. وقتی که اندازه سنگدانه یکنواخت باشد، حجم منافذ بین سنگدانه‌ها افزایش می‌یابد. اما اگر از سنگدانه‌هایی با اندازه مختلف استفاده شود، ذرات کوچکتر بین دانه‌های بزرگتر قرار می‌گیرند و به این ترتیب، منافذ کاهش می‌یابند و از مقدار مورد نیاز خمیر سیمان کاسته می‌شود. به طور نظری می‌توان برای هر حداکثر اندازه سنگدانه، یک منحنی دانه‌بندی با حداقل فضای منافذ را به دست آورد. اما چنین توزیع اندازه نمی‌تواند بتن با کارایی مناسب تولید کند، بنابراین باید بین کارایی و اقتصاد تعادل برقرار نمود.

معمولاً تولید سنگدانه‌ها به نحوی است که دانه‌بندی آنها کاملاً با دانه‌بندی استاندارد مطابقت ندارند. لذا ضروری است که سنگدانه‌ها با دانه‌بندی‌های مختلف به گونه‌ای اصلاح شوند که در محدوده‌های استاندارد سنگدانه‌های ریز یا درشت و یا مخلوط آنها قرار گیرند.

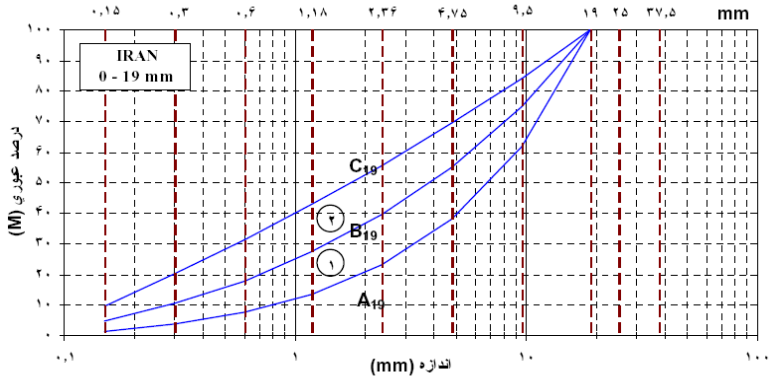
مقاومت بتن‌ها با نسبت یکسان آب به سیمان، بویژه در مقادیر کم آن، با کاهش اندازه حداکثر سنگدانه، معمولاً افزایش می‌یابد. دلیل این پدیده احتمالاً این است که مقاومت پیوستگی بین خمیر سیمان و ذرات سنگدانه بزرگ، کمتر از سنگدانه کوچک می‌باشد، زیرا مساحت ویژه سنگدانه بزرگ، کمتر از سنگدانه کوچک است. از طرف دیگر، افزایش اندازه حداکثر سنگدانه، مقدار آب مورد نیاز مخلوط را برای کارایی مشخص کاهش می‌دهد. در نتیجه نسبت آب به سیمان کاهش و مقاومت افزایش می‌یابد، بنابراین، افزایش اندازه سنگدانه دو اثر متضاد دارد. بر اساس حداکثر اندازه سنگدانه مصرفی در بتن، می‌توان از شکل‌های (۷-۲) تا (۷-۵) منحنی مورد نظر را انتخاب نمود. در شکل‌های مذکور حروف A ، B و C نشان‌دهنده محدوده دانه‌بندی درشت، متوسط و دانه‌بندی ریز است. چنانچه دانه‌بندی سنگدانه در محدوده ۱ قرار بگیرد، منحنی دانه‌بندی درشت و اگر دانه‌بندی مطابق با محدوده ۲ باشد، منحنی دانه‌بندی ریز محسوب می‌گردد. در واقع تمایل به سمت فوقانی منحنی، باعث می‌شود

که مخلوط دارای بافت ریزتر، چسبنده‌تر بوده و در مواقعی که قرار است بتن آماده توسط پمپ منتقل شود مناسب‌تر می‌باشد.

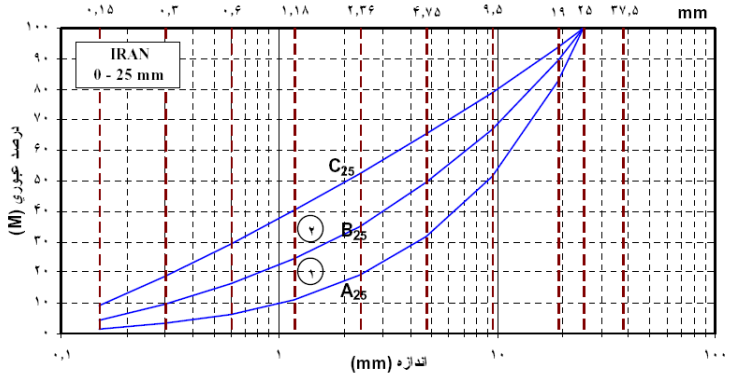
توجه شود که منحنی‌های دانه‌بندی در شکل‌های (۷-۲) تا (۷-۵)، درصد تجمعی گذشته از هر الک را بر حسب حجم نشان می‌دهد. اگر چگالی ذرات سنگدانه‌ها با اندازه‌های مختلف، یکسان باشد، می‌توان منحنی‌ها را به عنوان درصدهای تجمعی وزنی در نظر گرفت.



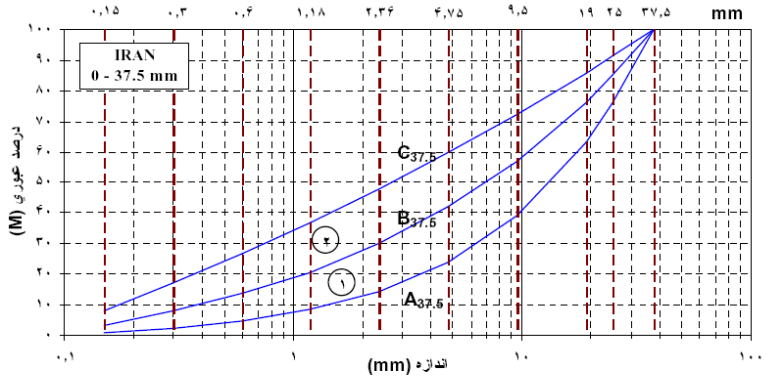
شکل ۷-۲ منحنی‌های دانه‌بندی مخلوط سنگدانه‌های ریز و درشت، با حداکثر اندازه ۹/۵ میلی‌متر: برگرفته از روش ملی طرح مخلوط بتن



شکل ۷-۳ منحنی‌های دانه‌بندی مخلوط سنگدانه‌های ریز و درشت، با حداکثر اندازه ۱۹ میلی‌متر: برگرفته از روش ملی طرح مخلوط بتن



شکل ۷-٤ منحنی‌های دانه‌بندی مخلوط سنگدانه‌های ریز و درشت، با حداکثر اندازه ۲۵ میلی‌متر: برگرفته از روش ملی طرح مخلوط بتن



شکل ۷-۵ منحنی‌های دانه‌بندی مخلوط سنگدانه‌های ریز و درشت، با حداکثر اندازه ۳۷/۵ میلی‌متر: برگرفته از روش ملی طرح مخلوط بتن

۷-۱۱-۳ گام سوم: تعیین مقدار آب آزاد بتن

مقدار آب آزاد بتن، تابع عوامل متعددی مانند کارایی مورد نظر، حداکثر اندازه سنگدانه، دانه‌بندی و نوع سنگدانه‌های مصرفی از نظر بافت و شکل است. مقدار آب، مهمترین عامل تأثیرگذار در کارایی بتن می‌باشد. افزایش مقدار آب باعث افزایش سهولت بتن‌ریزی و تراکم‌پذیری آن می‌شود. هرچند، افزایش آب، غیر از کاهش مقاومت، منجر به جداشدگی ذرات و آب انداختن می‌شود.

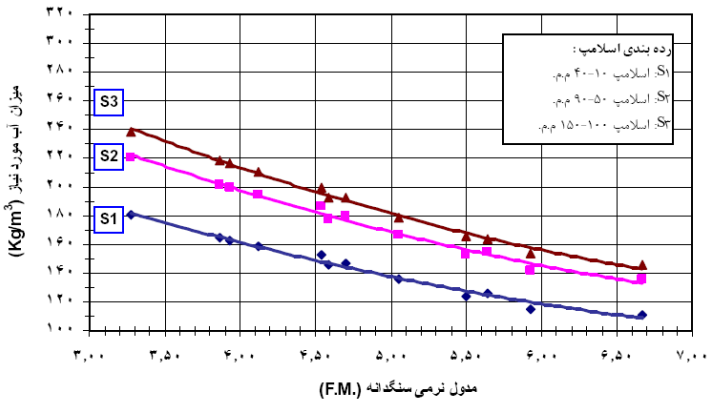
مقدار آب مخلوط باید در حدی باشد که جذب ذرات سنگدانه شده و سپس فضای بین ذرات سنگدانه را اشغال کند تا با ایجاد لایه‌ای از دوغاب سیمان بر روی سنگدانه‌ها حالت روغنکاری را به وجود آورد. بر همین اساس، ذرات ریزتر نیاز به آب بیشتری دارند. از طرف دیگر، در صورت کمبود ذرات ریز (فیلر یا پرکننده)، بتن نمی‌تواند حالت خمیری نشان دهد، بنابراین نمی‌توان مقدار آب مخلوط را مستقل از دانه‌بندی سنگدانه در نظر گرفت.

با استفاده از منحنی‌های شکل‌های (۷-۶) و (۷-۷) و بر اساس روانی مورد نظر و حداکثر اندازه سنگدانه می‌توان مقدار آب آزاد بتن را بر حسب کیلوگرم بر مترمکعب تعیین نمود.

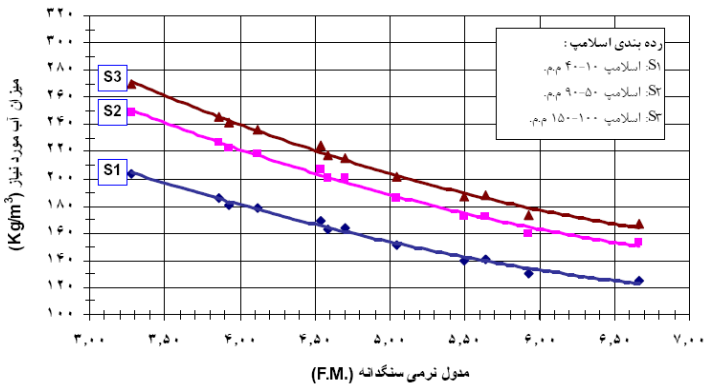
شکل (۷-۶) را برای سنگدانه‌هایی که به مقدار نسبتاً کمی آب نیاز دارند، می‌توان ملاک قرار داد (سنگدانه‌هایی گردگوشه با بافت سطحی کاملاً صیقلی).

شکل (۷-۷)، در مواردی که سنگدانه‌ها به مقدار نسبتاً زیادی آب نیاز دارد، به کار برده می‌شود (سنگدانه‌های شکسته و با بافت سطحی زبر). همان گونه که مشاهده می‌شود هرچه مدول نرمی بیشتر شود، مقدار آب کمتری در طرح لازم است.

در این شکل‌های (۷-۶) و (۷-۷)، توجه شود که به دلیل حساسیت کم منحنی برای اسلامپ رده S4، مقدار آب برای این رده براساس ساخت مخلوط‌های آزمایشی تعیین می‌شود.



شکل ۷-۶ مقدار آب مورد نیاز بتن بر حسب مقدار روانی و مدول نرمی سنگدانه‌ها (سنگدانه‌هایی که به دلیل شکل و بافت خود، به آب کمی نیاز دارند): برگرفته از روش ملی طرح مخلوط بتن



شکل ۷-۷ مقدار آب مورد نیاز بتن بر اساس مقدار روانی و مدول نرمی سنگدانه‌ها (سنگدانه‌هایی که به دلیل شکل و بافت خود به آب زیادی نیاز دارند): برگرفته از روش ملی طرح مخلوط بتن

این منحنی‌ها برای بتن‌هایی با عیار سیمان $۳۵۰kg/m^3$ تهیه شده است، در صورتیکه عیار سیمان دیگری بکار رود، لازم است به ازاء هر $۱۰ kg/m^3$ سیمان $۳ kg/m^3$ آب را در همان جهت تغییر داد.

در مواردی که از ماده شیمیایی روان‌کننده یا فوق‌روان‌کننده در مخلوط بتن استفاده می‌شود، می‌توان مقدار آب مخلوط را حدود ۱۰ تا ۳۰ درصد کاهش داد، بدون آنکه در مقدار اسلامپ مورد نظر تغییری حاصل شود.

مقدار آب مورد نیاز برای رساندن رطوبت سنگدانه‌ها از حالت خشک یا مرطوب به حالت اشباع با سطح خشک باید نسبت به آب آزاد اصلاح شود.

در مخلوط‌های با عیار کم سیمان ($۳۰۰kg/m^3$)، ممکن است مخلوط طراحی شده به علت کمبود ذرات ریز، خشن گردد. لذا در این موارد توصیه می‌شود از مواد زیر برای جبران کمبود ذرات ریز استفاده شود:

- پوزولان استاندارد (استاندارد ملی ایران ۳۴۳۳)
- پودر سنگ آهک استاندارد

۷-۱۱-٤ گام چهارم – تعیین مقدار سیمان در بتن

پس از تعیین مقدار آب آزاد و نسبت آب به سیمان می‌توان مقدار سیمان (C) را بر حسب kg/m^3 از رابطهٔ (۷-۶) محاسبه کرد.

$$C = \frac{W_f}{(W/C)} \qquad (۶-۷)$$

بطوریکه

C = مقدار سیمان،

W_f = مقدار آب آزاد،

W/C = نسبت آب به سیمان می‌باشد.

مقدار سیمانی که از رابطه (۷-۶) محاسبه می‌گردد، باید با مقدار حداکثر یا حداقل اعلام شده در مشخصات فنی و یا الزامات دوام مقایسه گردد. چنانچه مقدار سیمان محاسبه شده بیشتر یا کمتر از مقدار مورد نظر باشد، باید آن مقدار مورد نظر انتخاب گردد.

در صورتیکه از مواد افزودنی معدنی جایگزین سیمان (دودهٔ سیلیسی و یا خاکستر بادی) استفاده می‌شود، باید مقدار آب مورد نیاز و مواد سیمانی با در نظر گرفتن ضریب K مؤثر محاسبه گردد.

اثر ضریب K در تعیین دو عامل زیر در نظر گرفته می‌شود :

(الف) در تعیین نسبت آب به مواد سیمانی (نسبت آب به سیمان به صورت (مواد افزودنی × K + c)/ w مطرح می‌شود).

(ب) در محاسبه حداقل مقدار مواد سیمانی

۷-۱۱-٤-۱ ضریب K برای خاکستر بادی

حداکثر مقدار خاکستر بادی باید مساوی و کمتر از ۳۳ درصد وزنی سیمان باشد. چنانچه مقدار جایگزینی بیشتر از ۳۳ درصد وزنی سیمان باشد، مقدار مازاد در تعیین رابطه $w/(c + \kappa f)$ و محاسبه حداقل مقدار مواد سیمانی منظور نمی‌گردد. در جدول (۷-۴) مقادیر K برحسب نوع سیمان مصرفی مشخص گردیده است.

جدول ۷-٤ مقادیر K برحسب رده مقاومتی سیمان برای جایگزینی خاکستر بادی به جای سیمان بر اساس روش ملی طرح مخلوط بتن

برای سیمان‌های با رده مقاومتی ۳۲۵	K = ۰/۲
برای سیمان‌های با رده مقاومتی ۴۲۵ و بیشتر	K = ۰/۴

در مواردی که حداقل مقدار مواد سیمانی با در نظر داشتن ویژگی‌های دوام تعیین می‌گردد، اجازه داده می‌شود حداکثر به مقدار$kg/m3$ [(۲۰۰- حداقل مواد سیمانی) × K]، از مقدار سیمان کاسته شود، به شرط اینکه مقدار مواد سیمانی (سیمان + خاکستر بادی) کمتر از حداقل مقدار سیمان تعیین شده بر اساس دوام نباشد.

۷-۱۱-٤-۲ فاکتور K برای دوده سیلیسی

حداکثر مقدار دودهٔ سیلیسی باید مساوی و کمتر از ۱۱ درصد وزنی سیمان باشد. چنانچه مقدار جایگزینی دوده سیلیسی بیش از ۱۱ درصد باشد، مقدار مازاد در تعیین رابطه $w/(c + KS)$ و تعیین حداقل مقدار مواد سیمانی منظور نمی‌گردد. در جدول (۷-۵) مقادیر فاکتور K بر حسب نسبت آب به سیمان مشخص گردیده است.

جدول ۷-۵ مقادیر K بر حسب مقدار آب به سیمان برای جایگزینی دوده‌سیلیسی به جای سیمان بر اساس روش ملی طرح مخلوط بتن

نسبت آب به سیمان	فاکتور K	توضیحات
کوچکتر یا مساوی ۰/۴۵	۲	-
بزرگتر از ۰/۴۵	۲	در مواردی که احتمال خوردگی ناشی از کربناتاسیون و تهاجم ناشی از یخزدن و آب شدن بدون استفاده از مواد حباب‌ساز وجود داشته باشد، باید مقدار K مساوی ۱ در نظر گرفته شود.

مقدار (سیمان + K × دوده سیلیسی) نباید کمتر از حداقل سیمان مورد نیاز برای شرایط دوام باشد. در مواردی که به علت الزامات دوام، مقدار حداقل سیمان، مساوی یا کمتر از ۳۰۰kg/m^3 در نظر گرفته شود، نباید، مقدار کاهش سیمان محاسبه شده، در جایگزینی با دوده سیلیسی بیشتر از ۳۰ کیلوگرم بر متر مکعب در نظر گرفته شود.

۷-۱۱-۵ گام پنجم – تعیین مقدار سنگدانه در بتن

مقدار سنگدانه‌های اشباع با سطح خشک آخرین جزء مجهول بتن در این روش طرح مخلوط می‌باشد که طبق فرمول (۷-۷) تعیین می‌گردد.

$$V_{A_{SSD}} = 1000 - \left(\frac{C}{\rho_c} + \frac{w_f}{\rho_w} + \frac{D}{\rho_D} + V_a \right) \qquad (۷-۷)$$

بطوریکه

$V_{A_{SSD}}$ = جرم کل سنگدانه‌های اشباع با سطح خشک بر حسب kg/m3

C = جرم سیمان بر حسب kg/m3

w_f = جرم آب آزاد بر حسب kg/m3

D = جرم مواد جایگزین سیمان بر حسب kg/m3

V_a = حجم هوای موجود دربتن (عمدی و ناخواسته) بر حسب dm3

ρ_c = جرم مخصوص سیمان بر حسب g/cm3

ρ_w = جرم مخصوص آب بر حسب g/cm3 که معادل ۱ منظور می‌شود

ρ_D = جرم مخصوص افزودنی معدنی بر حسب g/cm3 می‌باشد.

در جدول (۷-۶) مقدار هوای موجود در بتن (V_a) بر اساس حداکثر اندازه سنگدانه به عنوان راهنما، ارائه شده است.

جدول ۷-٦ مقدار هوای ناخواسته در بتن (Va)

حداکثر اندازه سنگدانه (mm)	۹/۵	۱۲/۵	۱۹	۲۵	۳۸	۵۱
درصد هوای ناخواسته	۳-۱/۵	۲/۵-۱/۲۵	۲-۱	۱/۵-۰/۷۵	۱-۰/۵	۰/۵-۰/۲۵

کارایی بتن یکی از پارامترهای مؤثر در مقدار هوای ناخواسته می‌باشد، لذا جهت تعیین درصد هوا با توجه به محدوده‌های ارائه شده در جدول (۷-۶)، چنانچه کارایی نسبتاً زیاد باشد از مقادیر کم هوا و اگر کارایی در حد کم باشد، باید از مقادیر زیاد هوا استفاده گردد.

۷-۱۲ ملاحظات خاص در طرح مخلوط بتن‌های پمپی

برخی محدودیت‌ها برای بتن پمپی وجود دارد که در آیین‌نامه‌ها یا مشخصات فنی بدان اشاره می‌شود. این محدودیت‌ها شامل ارتباط هندسی حداکثر اندازه سنگدانه و قطر داخلی لوله پمپ، روانی بتن، حداقل و حداکثر عیار سیمان، بافت دانه‌بندی و شکل سنگدانه‌ها می‌باشد.

حداکثر اندازه سنگدانه بتن پمپی نباید بیشتر از یک سوم قطر داخلی لوله پمپ باشد (با رعایت سایر محدودیت‌های هندسی معمول). اسلامپ بتن پمپی بهتر است بیشتر از ۹۰ میلی متر باشد، هرچند بتن‌هایی با اسلامپ کمتر نیز قابل پمپ کردن است.

حداقل عیار سیمان برای بتن پمپی رده C16 و بیشتر با حداکثر اندازه اسمی سنگدانه ۲۵ میلی متر، $۲۷۵kg/m^3$ و حداکثر عیار سیمان (مواد سیمانی) در این حالت kg/m^3 ۴۲۵ توصیه می‌شود. در صورتی که حداکثر اندازه سنگدانه کوچکتر شود مقدار سیمان افزایش می‌یابد. برای حداکثر اندازه ۲۵ میلی متر بهتر است مجموع ذرات کوچکتر از ۰/۳ میلی متر در بتن (شامل ماسه، مواد ریزدانه، سیمان و مواد پودری معدنی) در حالت عادی کمتر از ۴۲۵ و بیشتر از kg/m^3 ۵۲۵ نباشد. با کوچکتر شدن حداکثر اندازه سنگدانه و افزایش روانی، مقادیر ذکر شده افزایش می‌یابد. بهتر است سنگدانه‌های ریز، گردگوشه باشد. سنگدانه‌های درشت می‌تواند گردگوشه یا تیزگوشه باشد. هم چنین برای بهتر پمپ کردن بتن با حداکثر اندازه فوق توصیه می شود از مقدار ذرات با اندازه میانی (۱۲/۵- ۴/۷۵ میلی متر) کاسته شود تا حدی که به جداشدگی بتن منجر نگردد و در محدوده دانه‌بندی مطلوب نیز واقع شود.

در پمپ کردن، وجود ذرات ریز چسبنده مانند سیمان و دوده سیلیسی ضروری است، اما افزایش بیش از حد آن‌ها پمپ کردن را مشکل می‌کند. اگر دوده سیلیسی در طرح مخلوط وجود دارد، بهتر است حداکثر مواد سیمانی به ۴۰۰ محدود شود (برای حداکثر اندازه ۲۵ میلی متر). ذرات ریز غیرچسبنده مانند ماسه‌های ریز و پودر سنگ، کمک بزرگی به پمپ کردن بتن می‌نماید. بافت دانه‌بندی بتن پمپی نباید خیلی درشت یا خیلی ریز باشد. در روش ملی، چنان چه دانه‌بندی سنگدانه بتن در وسط ناحیه (۱) و تاحدی نزدیک تر به منحنی B (n از ۰/۴ تا ۰/۵) قرار گیرد بتن پمپی بهتری حاصل می‌شود. به هرحال می توان بتن‌هایی با بافت دانه‌بندی ریزتر یا درشت تر را نیز پمپ کرد. استفاده از مواد روان کننده برای بتن پمپی توصیه می‌گردد. بهتر است این مواد بتواند روانی را به مدت بیشتری حفظ نماید. به هرحال با رعایت این موارد طرح مخلوط بتن پمپی با سایر بتن‌های معمولی تفاوت عمده‌ای ندارد.

فصل هشتم

فرآیند بچینگ، اختلاط، سفارش، حمل و تحویل بتن آماده

۸-۱ مقدمه

تعیین مشخصات بتن، تولید و تحویل آن به طرق مختلفی قابل انجام است که در این فصل روش‌های مرسوم و مدرن برای این منظور مورد بحث و بررسی قرار خواهد گرفت.

استاندارد ملی ایران به شمارهٔ ۶۰۴۴[1] ویژگی‌های استاندارد بتن آماده برای ساخت، و تحویل را مشخص کرده است که بر اساس این استاندارد، بطور کلی برای تعیین مشخصات، سفارش و خرید بتن آماده سه گزینه وجود دارد که عبارتند از:

۱- گزینهٔ «**الف**» عملکرد را مبنای عمل قرار می‌دهد. در این گزینه تنها کاری که باید خریدار انجام دهد آن است که مقاومت فشاری را مشخص نماید؛ در حالی که تولید کننده موظف است نسبت‌های اختلاط بتن را طوری تعیین کند که مقاومت فشاری مورد درخواست مشتری تامین شود.

۲- گزینهٔ «**ب**» مبنا را بر نسخهٔ تجویزی می‌گذارد. در این گزینه خریدار نسبت‌های اختلاط شامل سیمان، آب، و مقدار مواد افزودنی را تعیین می‌نماید.

۳- گزینهٔ «**ج**» ترکیبی از دو گزینهٔ فوق است. در این حالت، لازم است که تولید کننده نسبت‌های اختلاط را با توجه حداقل عیار سیمان مجاز و مقاومت مشخصهٔ تصریح شده توسط خریدار انتخاب و تعیین نماید.

۱- مرجع اصلی استاندارد ٦٠٤٤، استاندارد ASTM C94 است که در این فصل استناد به آخرین ویرایش این استاندارد است.

۸-۲ بچینگ (پیمانه زنی)

بچینگ به مجموعهٔ عملیاتی اطلاق می‌شود که برای تولید بتن لازم است. این عملیات شامل توزین و اندازه‌گیری ترکیبات مخلوط‌های بتن توسط روش‌های وزنی یا حجمی و سپس تحویل آن به مخلوط‌کن انجام می‌شود.

برای تولید بتن با کیفیت یکنواخت، مصالح اولیهٔ بتن باید به دقت برای هر پیمانه توزین و اندازه‌گیری شود. اغلب بچینگ‌ها توسط روش وزنی انجام می‌شود تا روش حجمی. می‌توان آب و افزودنی‌های مایع را به دقت توسط هر یک از روش‌های وزنی یا حجمی توزین نمود. معمولاً بچینگ بتن در مخلوط‌کن‌های پیوسته توسط روش حجمی انجام می‌شود (استاندارد شمارهٔ ۶۰۴۳).

معمولاً مشخصات الزامی بتن آماده، مقرر می‌کند که مصالح مورد استفاده برای پیمانه‌های جداگانه با درصد دقت‌های زیر توزین شوند:

مصالح سیمانی و مواد مکمل سیمانی: ۱ ٪ ±

سنگدانه‌ها و مصالح سنگی پرکننده: ۲ ٪ ±

آب: ۱ ٪ ±

مواد افزودنی: ۱ ٪ ±

تجهیزات مورد استفاده در فرآیند توزین مصالح باید قادر باشند که کمترین پیمانهٔ روزانه را با همان رواداری‌هایی مقرر برای پیمانه‌های بزرگتر توزین نمایند (شکل ۸-۱). دقت وزنه‌ها و تجهیزات بچینگ باید بطور منظم کنترل شده و هر زمان که مورد نیاز باشد باید دوباره کالیبره و تنظیم شوند.

شکل ۸-۱ اتاق کنترل برای تجهزات توزین عملیات بچینگ در یک واحد تولید بتن آماده

مواد افزودنی مایع را باید به حالت آبی به داخل مخلوط کن ریخت. چنانچه حجم مایع قابل توجه باشد، باید از مقدار آب مخلوط کم شود. انواعی از مواد افزودنی که نمی‌توان به صورت محلول به مخلوط اضافه نمود را می‌توان با توزین وزنی و یا حجمی با توجه به راهنمای مصرف مورد استفاده قرار گیرد. پخش کننده‌های مواد افزودنی را باید به منظور بررسی خطاهای احتمالی در توزیع مناسب کنترل کرد، چرا که عدم پخش مناسب این مواد و یا مصرف بیش از مقدار لازم، ممکن است منجر به بروز مسائل نامطلوب در خواص بتن تازه و یا سخت شده شود.

۸-۳ اختلاط بتن

تمامی انواع بتن را باید تا زمان ایجاد یکنواختی مناسب، بطور کامل مخلوط نمود تا تمامی اجزای بتن بطور یکسان در مخلوط توزیع شود. از مخلوط‌کن‌ها نباید بیش از ظرفیت مجاز استفاده کرد و باید با سرعت توصیه شده توسط سازنده بکار گرفته شوند. برای افزایش ظرفیت تولید، باید از مخلوط‌کن‌های بزرگتر استفاده نمود و یا اینکه تعداد مخلوط‌کن‌های بیشتری را به کار گرفت. اگر تیغه‌های مخلوط‌کن‌ها سائیده شده و یا با لایه‌ای از بتن سخت

شده پوشانده شده باشد، در این صورت بازده تولید به مراتب کاهش پیدا خواهد نمود. چنین مشکلاتی باید هر چه سریعتر مرتفع شوند.

اگر بتن به قدر کافی مخلوط شده باشد، در این صورت، نمونه‌های اخذ شده از جاهای مختلف مخلوط، باید دارای تراکم، میزان هوا، اسلامپ (قوام) و مقدار سنگدانهٔ درشت یکسان و یکنواختی باشند. حداکثر رواداری مجاز ارزیابی شده برای یکنواختی در داخل یک مخلوط بتن آماده باید مطابق با استاندارد ملی ایران به شمارهٔ ۶۰۴۴ ایران یا AASHTO M157 برای کارهای راه‌سازی باشد.

در مورد بتن سازه‌ای کم چگالی (بتن سبک)، می‌توان همان شیوه‌ای را که برای بتن نرمال گفته شد پیگیری نمود. البته به شرط آنکه سنگدانه‌های مورد استفاده، دارای جذب وزنی کل کمتر از ۱۰ درصد بوده یا وقتی که درصد جذب پس از طی اولین ساعت غوطه‌وری در آب کمتر از ۲ درصد باشد.

۸-٤ بچینگ ایستگاهی

گاهی اوقات، در محل کارگاه ساختمانی، بتن در یک واحد مخلوط‌کن ایستگاهی تولید می‌شود (شکل ۲-۲). مخلوط‌کن‌های ایستگاهی شامل دو نوع مخطوط‌کن می‌باشد: مخلوط‌کن کارگاهی و مخلوط‌کن مرکزی در یک واحد تولید بتن آماده. این دو نوع مخلوط‌کن در اندازه‌های ۹ متر مکعب در دسترس بوده و می‌تواند به دو صورت کج شونده[1] و یا غیر کج‌شونده[2] یا از نوع تیغهٔ گردان بازشونده از بالا یا از نوع پدالی باشند. تمامی این انواع ممکن است دارای جام تغذیه کننده[3] و برخی ممکن است مجهز به شوت تخلیهٔ تاب خورنده[4] شده باشند. بسیاری از مخلوط‌کن‌های ایستگاهی دارای امکانات زمان‌بندی هستند. بعضی از انواع این نوع مخلوط‌کن‌ها می‌توانند طوری تنظیم شوند که در یک بازهٔ زمانی از پیش تعیین شده، عمل اختلاط را انجام داده و سپس عملیات بچینگ را قفل

1- Tilting
2- Non-tilting
3- Loading skips
4- Swinging discharge chute

نمایند. در این صورت تا زمانی که مدت زمان مقرر برای عملیات اختلاط به پایان نرسید، نمی‌توان مخطوط بتن را تخلیه نمود.

باید در مورد زمان مورد نیاز برای عملیات اختلاط، احتیاط بیشتری به خرج داد. بسیاری از مشخصات فنی حداقل زمان مخلوط‌کردن معادل یک دقیقه به علاوهٔ ۱۵ ثانیه را برای هر مترمکعب کافی می‌دانند، مگر آنکه آزمایش عملکردِ مخلوط‌کن نشان دهد که بازهٔزمانی کوتاه‌تری قابل قبول بوده و می‌تواند مخلوط بتن یکنواختی را تولید کند. زمان‌های اختلاط کوتاه می‌تواند به مخلوط‌های غیر همگن منجر شده و توزیع نامناسب حباب‌های هوا را موجب شود که به خوی خود مقاومت در مقابل یخ زدن را کاهش می‌دهد. همچنین زمان اختلاط کم می‌تواند در کسب مقاومت اخلال ایجاد کرده و موجب کسب مقاومت پایین و سخت شدگی زود هنگام شود. بازهٔ زمانی اختلاط بایستی از زمانی که تمام سیمان و سنگدانه‌ها در داخل دیگ مخلوط‌کن ریخته می‌شود سنجیده شود، البته به شرطی که تمام آب قبل یا پس از طی شدن یک چارم زمان کل اختلاط به آن اضافه شده باشد.

تحت شرایط عادی، تا حدود ۱۰ درصد از آبِ مخلوط باید قبل از آنکه مصالح جامد به آن اضافه شود، در داخل دیگ ریخته شده باشد. پس از آن باید آب را به تدریج همراه با سایر مصالح جامد به مخلوط اضافه کرد. پس از اینکه تمامی مصالح جامد به داخل دیگ ریخته شد، ۱۰ درصد از آب مخلوط باقی‌مانده را باید به کل مواد اضافه نمود.

هر زمان که از مقداری آب گرم در هوای سرد استفاده شود، ترتیب گفته شده در قبل نیاز به اصلاح مختصری دارد. این اصلاح به منظور جلوگیری از سخت شدگی سریع که به هنگام ترکیب آب گرم با سیمان بروز می‌کند انجام می‌شود. در این حالت اضافه کردن مصالح سیمانی باید تا زمان ریخته شدن تمامی سنگدانه‌ها و أب و ممزوج شدن آنها با یکدیگردر داخل دیگ گردان، به تاخیر انداخته شود. هر جایی که مخلوط‌کن مستقیماً از واحد بچینگ تغذیه شود، مصالح باید بطور همزمان و با سرعت‌های تقریبی یکسانی به مخلوط اضافه شود. اگر مواد سیمانی مکملی در طرح اختلاط استفاده شده باشد، این مواد باید پس از اضافه کردن سیمان به مخوط اضافه شود.

اگر از مواد افزودنی دیرگیرکننده و یا کاهندهٔ آب استفاده شود، این مواد باید در هر سیکل تغذیه، به ترتیب مشابهی به مخلوط اضافه شود. اگر این ترتیب مراعات نشود، ممکن است به بروز تغییرات چشمگیری در زمان گیرش اولیه و درصد حباب هوای اضافه شده منجر شود. اضافه کردن مواد افزودنی، باید ظرف یک دقیقه پس از پایان اضافه کردن آب سیمان به اتمام برسد یا قبل از شروع آخرین سه چهارم سیکل عملیات اختلاط، هر کدام که زودتر بود به انجام برسد. اگر دو یا بیش از دو نوع مادهٔ افزودنی در مخلوط بتن مشابه در نظر گرفته شده باشد، باید هر کدام بطور جداگانه اضافه شود. این عمل به این منظور انجام می‌شود که از بروز هر گونه اندرکنش عملکردی متناقض که ممکن است اثر سوئی بر خواص بتن داشته باشد جلوگیری شود. به علاوه ترتیب اضافه کردن هر نوع مادهٔ افزودنی نیز می‌تواند مهم باشد.

شکل ۸-۲ بتن می‌تواند در یک واحد مخلوط‌کن مرکزی در محل کارگاه ساختمانی تولید شود

شکل ۸-۳ اختلاط مرکزی در یک مخلوط‌کن مرکزی از نوع دیگ کج شونده که توسط کامیون با قابلیت همزنی حمل می‌شود

شکل ۸-٤ کامیون‌های مجهز به همزن امکان تحویل بتن با حجم محدود و فواصل طولانی‌تر را فراهم می‌نماید

شکل ۸-۵ کامیون غیر همزن که در واحد تولید بتن مرکزی در مسافت‌های کوتاه مورد استفاده قرار گرفته و تخلیهٔ سریع بتن امکان تخلیهٔ حجم انبوهی از بتن را فراهم می‌کند

۸-۵ بتن آماده

بتن آماده، در خارج از کارگاه ساختمانی پروژه طرح و مخلوط می‌شود و سپس به محل کارگاه ساختمانی در حالت تازه و غیر سخت شده به محل مصرف منتقل می‌شود. بتن آماده را می‌توان به طرق زیر تهیه کرد:

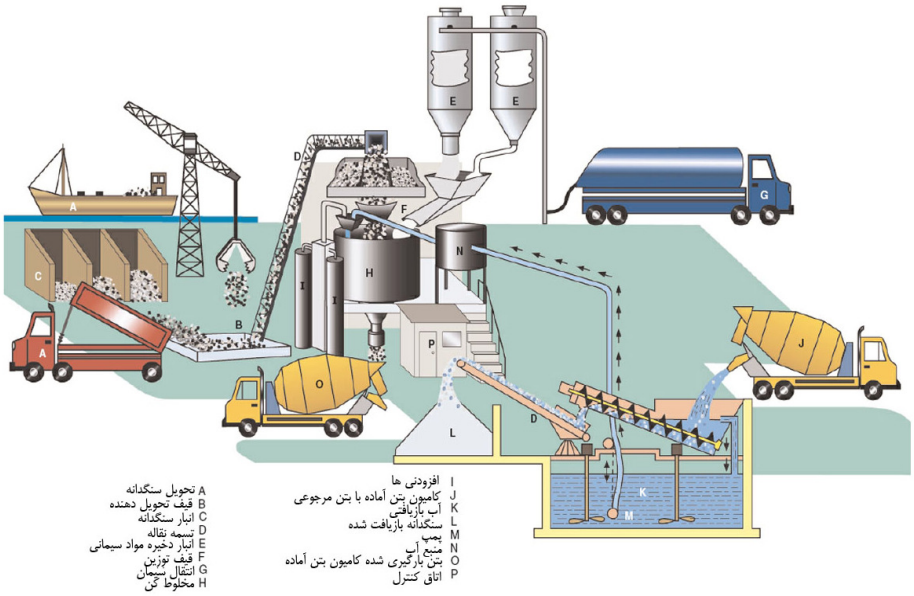
شکل ۸-٦ بتن آماده توسط کامیون بتن ساز (مخلوط‌کن)

(الف) بتن مخلوط شده در ایستگاه مرکزی که به طور کامل در مخلوط‌کن مرکزی مخلوط شده است (شکل ۸-۳). پس از آن بتن تهیه شده یا توسط کامیون همزن (شکل ۸-۴)، کامیون همزن با سرعت همزنی[1] یا کامیون غیر همزن (شکل ۸-۵) تحویل داده می‌شود. شکل (۸-۵) یک کارخانهٔ بتن آمادهٔ مرکزی را نشان می‌دهد.

(ب) بتن نیمه مخلوط شده که بخشی از آن در واحد مرکزی مخلوط می‌شود و کار مخلوط‌کردن توسط کامیون مخلوط‌کن تا رسیدن به محل کارگاه ساختمانی تکمیل می‌شود.

(ج) بتن مخلوط شده در کامیون بتن‌ساز که کار مخلوط کردن بتن، بطور کامل در داخل کامیون انجام می‌شود.

1- Agitating speed



شکل ۸-۷ نمای کلی از یک کارخانه تولید بتن آماده

وقتی از کامیون مخلوط‌کن استفاده می‌شود، استاندارد ۶۰۴۴ زمان بین پیمانه‌زنی و تخلیهٔ کامل بتن را در محل عملیات ساختانی را محدود نموده است. در این استاندارد، این مدت یک و نیم ساعت یا قبل از اتمام گردش دیگ به تعداد ۳۰۰ بار پس از اضافه کردن آب به مخلوط سیمان و سنگدانه یا سیمان به سنگدانه‌ها، مقرر شده است. همواره باید مخلوط‌کن‌ها و همزن‌ها در محدودهٔ حجمی و سرعت دوران مقرر توسط سازندهٔ تجهیزات کار کند. شکل (۸-۷) بطور شماتیک فرآیند تولید بتن در یک کارخانهٔ بتن آماده را نشان می‌دهد.

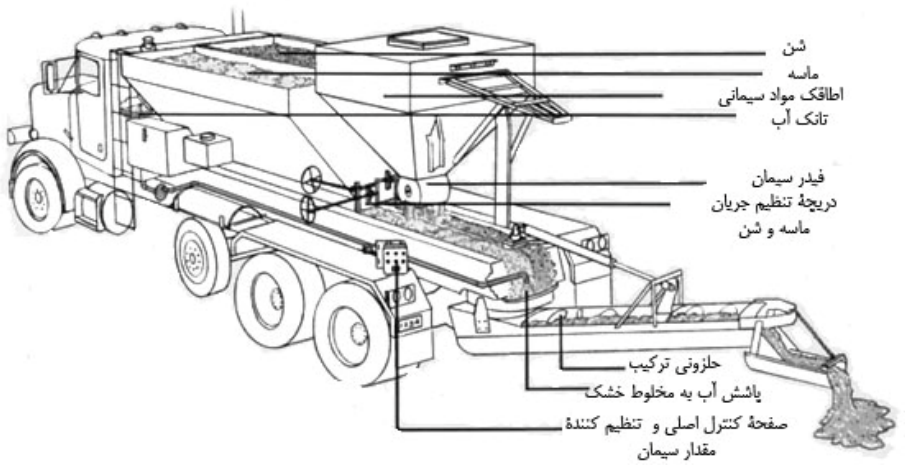
۸-۶ بچینگ بتن در حال حرکت (مخلوط‌کن متحرک)

مخلوط‌کن‌های متحرک حجمی[1] نوع خاصی از کامیون‌های بتن آماده (شکل ۸-۸) هستند که بصورت حجمی مخلوط را پیمانه کرده و بطور پیوسته بتن را بصورت اجزای بتن خشک مخلوط می‌نماید. در این نوع

1. Mobile volumetric mixers

سیستم، آب، و مواد افزودنی بصورت پیوسته از طریق تشطک شبیه به سیستم متهٔ مارپیچ به داخل مخلوط تغذیه می‌شود. بتن باید الزامات استاندارد ۶۰۴۳ ایران را برآورده نموده و در محل کارگاه بر حسب مقادیر مورد نیاز مخلوط گردد. همچنین در این حالت می‌توان بر حسب شرایط آب و هوایی و نحوه بتن‌ریزی طرح مخلوط بتن را تنظیم نمود. در شکل (۸-۹) اجزای مختلف این سیستم نشان داده شده است.

شکل ۸-۸ مخلوط‌کن متحرک مصالح را به روش حجمی اندازه‌گیری نموده و بطور پیوسته اجزاء خشک آب بتن و مواد افزودنی را به تدریج و بطور پیوسته در انتهای کامیون با یکدیگر مخلوط می‌کند



شکل ۸-۹ نمای کلی از اجزای یک مخلوط‌کن متحرک

۸-۷ مخلوط کردن دوبارهٔ بتن

بتن تازه‌ای که در دیگ مخلوط‌کن به منظور هم زدن باقی مانده است، تمایل دارد که قبل از توسعهٔ گیرش اولیه، سخت شود.

ممکن است این نوع بتن‌ها به محض اختلاط دوباره به حالت خمیری اولیه برگردند، بطوریکه بتوان آنها را در قالب ریخته و متراکم نمود. استاندارد ۶۰۴۴ ایران اجازه می‌دهد زمانی که کامیون مخلوط‌کن به محل کارگاه ساختمانی رسیده و میزان اسلامپ آن از مقدار مقرر کمتر باشد با توجه به شروط زیر، جهت اختلاط مجدد، مقداری آب به آن اضافه نماید:

(الف) با احتساب آب سطحی بر روی سنگدانه‌ها به همراه آب اختلاط و آب اضافه شده در محل کارگاه، از حداکثر نسبت آب به سیمان تعیین شده در مشخصات فنی بیشتر نشود،

(ب) از حداکثر اسلامپ مجاز تجاوز نکند،

(ج) حداکثر زمان مجاز برای اختلاط و هم زدن (یا گردش دیگ) تخطی نشود،

(د) بتن حداقل تا ۳۰ دور با سرعت مخلوط کردن یا تا زمان دستیابی به یکنواختی مقرر در استاندارد ۶۰۴۴ مجدداً مخلوط شود.

آب نباید فقط به قسمتی از محمولهٔ بتن اضافه شود. اگر گیرش زودهنگام بتن یکی از مشکلات همیشگی و اصلی در کار باشد، ممکن است برای کنترل هیدراسیون زودهنگام از مادهٔ افزودنی کندگیر کننده استفاده شود. این حالت به ویژه در مورد مخلوطهای با عیار بالای سیمان و شرایط آب و هوایی گرم قابل ملاحظه است. تعدیل مخلوطها در محل کارگاه برای میزان هوا و اضافه نمودن سایر مواد افزودنی مجاز با اختلاط مناسب مجاز شناخته شده است.

اضافه کردن بی‌رویهٔ آب برای روانتر کردن بتن، به سبب کاهش کیفیت بتن و البته کاهش مقاومت و دوام آن مجاز نیست. اضافه کردن آب برای اختلاط مجدد جهت بازگرداندن مخلوط به حالت طبیعی، می‌تواند به کاهش جدی در مقاومت بتن شود.

۸-۸ حمل و کار با بتن

داشتن برنامه‌ریزی مناسب از قبل می‌تواند در انتخاب روش درست بتن‌ریزی و کار با بتن کمک شایانی نماید. باید برای عملیات بتن ریزی و کار با بتن، سه حالت زیر را که معمولاً در کار پیش می‌آید را مورد توجه قرار داد. عدم توجه به این موارد ممکن است منجر به کاهش کیفیت قابل توجه در کار نهایی شود:

۸-۸-۱ تاخیر

هدف از برنامه‌ریزی و زمانبندی در اجرای کارهای ساختمانی عبارت است از انجام کار با سرعت بالا، توسط بهترین و کارآزموده‌ترین نیروی کارگری و تجهیزات مناسب موجود و در دسترس است. توجه شود که روز به روز ماشین‌آلات حمل و انتقال بتن در حال توسعه و پیشرفت هستند و بنابراین حداکثر بهره‌وری زمانی بدست خواهد آمد که با برنامه‌ریزی مناسب، بهترین پرسنل و تجهیزات برای کار ساختمانی انتخاب شود تا بتواند تاخیر در طی عملیات بتن‌ریزی را به حداقل رساند.

۸-۸-۲ خشک شدگی و سخت شدگی زودهنگام

بتن به محض اختلاط مواد سیمانی و آب شروع به سخت شدن می‌کند، اما میزان و سرعت سخت شدگی که در حدود نیم ساعت اول بتن‌ریزی اتفاق می‌افتد معمولاً مشکل حادی محسوب نمی‌شود زیرا معمولاً بتنی را که در حال هم‌زدن باشد می‌توان در بازهٔ زمانی یک و نیم ساعت پس از اختلاط ریخته و متراکم کرد، مگر در حالتی که با آب و هوای گرم مواجه بوده و یا از عیار سیمان بالایی در طرح اختلاط بتن استفاده شده باشد. هر دو حالت اخیر می‌تواند سرعت هیدراسیون و نهایتاً سرعت سخت شدگی بتن را به شدت افزایش دهد.

برنامه‌ریزی باید طوری انجام شود که متغیرهایی که ممکن است به سخت شدگی بتن انجامیده و کار ریختن و تراکم بتن را با سختی مواجه کند، حذف یا تقلیل نماید. معمولاً در شرایطی مانند آب و هوای گرم، استفاده از تسریع کننده‌ها و استفاده از آب گرم شده، که سخت شدگی بتن بسیار تسریع شده و زمان اندکی برای تصمیم‌گیری و برنامه‌ریزی وجود خواهد داشت. بنابراین در این موارد استفاده از اینگونه مواد افزودنی مجاز نیست.

۸-۸-۳ جداشدگی

جداشدگی عبارت است از تمایل سنگدانه‌های درشت برای جدا شدن از ملات سیمان و ماسه. بروز این حالت در قسمت‌هایی از مخلوط که دارای سنگدانه‌های درشت کمتری نسبت به مابقی سنگدانه‌ها هستند، احتمال بیشتری دارد. در حالت اخیر احتمال شکل‌گیری انقباض و ترک خوردگی بیشتری وجود داشته و بتن تولیدی مقاومت سایشی کمتری خواهد داشت. مضافاً اینکه این نوع بتن ممکن است برای تراکم و پرداخت نهایی بسیار سفت و خشن باشد که می‌تواند یکی از دلایل رایج برای بروز آسیب‌های لانه‌زنبوری در بتن باشد. از طرفی، تجهیزات و روش بکار گرفته شده برای حمل و نقل و کار با بتن نباید به جدایی مصالح بتن منجر شود.

۸-۹ روش‌ها و تجهیزات برای حمل، جابجایی و کار با بتن

در جدول (۸-۱) خلاصه‌ای از انواع روش‌ها و تجهیزات رایج مورد استفاده برای حمل، جابجایی و کار با بتن خلاصه شده است.

جدول ۸-۱ روش‌ها و تجهیزات رایج برای حمل، جابجایی و کار با بتن

تجهیزات	نوع و دامنهٔ کاربرد برای استفاده از تجهیزات	مزایا	احتیاطات و ملاحظات
تسمه نقاله	برای انتقال بتن در جهت افقی، یا به سطح بالاتر یا پایین‌تر. معمولاً بین محل تخلیهٔ اصلی و نقطهٔ تخلیهٔ ثانویه مستقر می‌شود.	تسمه نقاله دارای امکان دسترسی قابل تنظیم، تغییر مسیر حرکت، و سرعت متغییر در هر دو سمت رو به جلو و رو به عقب است. امکان ریختن بتن با حجم بالا در محل‌های با دسترسی محدود و با سرعت زیاد	چیدمان انتهای محل تخلیهٔ نهایی باید طوری باشد که از جدایش دانه‌ها و از تجمع ملات بر روی انتهای برگشت تسمه جلوگیری شود. در شرایط آب و هوایی نامساعد (کرم و بادی)، ناحیه دسترسی تسمه پوشش داده شود.
تسمه نقاله‌های سوار شده به کامیون‌های مخلوط‌کن	برای انتقال بتن به یک سطح پایین‌تر، افقی یا بالاتر	وسایل انتقال بتن با محمولهٔ بتن همراه است. دسترسی قابل تنظیم و سرعت متغییر	لازم است چیدمان محل تخلیهٔ نهایی بتن به منظور جلوگیری از جدایش دانه‌ها و چسبیدن ملات به تسمهٔ بازگشت جلوگیری شود.
باکت‌ها (جام)	برای کارهای ساختمانی و سدها به همراه جراثقال‌ها، کابل نقاله‌ها[1]، و یا هلیکوپترها بکار برده می‌شود. انتقال بتن بطور مستقیم از محل تخلیهٔ مرکزی به قالب‌ها یا محل تخلیهٔ ثانویه	امکان استفاده از تمامی امکانات و قابلیت‌های و انعطاف پذیری جراثقال‌ها، کابل نقاله‌ها و هلیکوپترها را فراهم می‌نماید. تخلیهٔ تمیز و بدون اشکال. دامنهٔ وسیعی از امکانات و قابلیت‌ها	ظرفیت باکت‌ها را طوری انتخاب نمایید که با احجام مخلوط‌ها وحجم بتن‌ریزیو همچنین ظرفیت ماشین‌آلات بتن‌ریزی مطابقت داشته باشد. تخلیه باید قابل کنترل باشد.

1– Cable-ways

ادامه جدول ۸-۱ روش‌ها و تجهیزات ....

تجهیزات	نوع و دامنهٔ ...	مزایا	احتیاطات و ...
شوت‌های سوار بر کامیون‌های مخلوط‌کن	برای انتقال بتن به یک سطح پایین‌تر، معمولاً زیر سطح زمین، بر روی تمام انواع ساختمان‌های بتنی	هزینهٔ کم و قابلیت مانور بالا. نیاز به هیچگونه نیرویی نسیت و نیروی جاذبه تمام کار را انجام می‌دهد.	شیب‌ها باید بین ۱ تا ۲ و ۱ تا ۳ متغیر بوده و شوت‌ها باید در تمام جهات نهکداری شوند. رعایت چیدمان محل تخلیهٔ نهایی (لوله‌های ناودانی) به منظورممانعت از جدایش مصالح.
چراثقال و جام	تجهیزات مناسب جهت کارهای بالاتر از سطح زمین	می‌تواند امکان کار با بتن، آرماتور، قالب و اقلام متفرقه در سکوها و ساختمان‌های بتنی را فراهم آورد.	تنها یک قلاب دارد. زمان‌بندی دقیقی بین آمد و رفت و عملیات لازم است تا جراثقال همواره مشغول باشد.
شوت‌های پرتابی[1]	قابل کابرد برای بتن ریزی در قالب‌های عمودی از هر نوع. برخی از شوت‌ها مجرای یک تکه هستند که از پارچهٔ کتان لاستیکی یا پلاستیکی ساخته شده و انواع دیگر از استوانه‌های فلزی بندبند ساخته می‌شود (لوله خرطومی).	شوت‌های پرتابی بتن را به سمت قالب کار هدایت می‌کند و آن را به انتهای قالب‌ها بدون آنکه هیچگونه جدایشی بروز کند منتقل می‌نماید. استفاده از این تجهیزات از تراوش گروت و بتن بر سطح میلگردها و سطوح قالب‌ها جلوگیری می‌کند. همچنین این وسایل از جدایش جلوگیری می‌کند.	شوت‌های پرتابی باید دارای بازشوهای بزرگ و پخ داری باشند تا بتن بدون ریزش و پخش شدن تخلیه شود. سطح مقطع شوت‌های پرتابی باید طوری انتخاب شود تا بتواند بدون مزاحمت میلگردها به داخل قالب‌ها وارد شوند.

1. Dropchute

ادامه جدول ۸-۱ روش‌ها و تجهیزات ....

تجهیزات	نوع و دامنهٔ ...	مزایا	احتیاطات و ...
مخلوط‌کن متحرک[1]	قابل استفاده برای تولید بتن متناوت در کارگاه ساختمانی، یا هر جایی که نیاز به حجم محدودی از بتن‌ریزی باشد	یک سیستم ترکیبی برای حمل مصالح، و بچینگ و اختلاط متحرک برای تسهیم سریع و دقیق بتن مورد نیاز با مشخصات مشخص. نیاز به یک نفر برای عملیات.	عملیات بدون دردسر و چیشگیری از تعمیرات نیازمند یک برنامهٔ نگهداری منظم است. مصالح باید باید دقیقاً از همان نوعی باشند که در طرح اختلاط اصلی مشخص شده است.
کامیون‌های غیر همزن	قابل استفاده برای بتن ریزی در مسافت‌های کوتاه بر روی یک جادهٔ هموار	هزینهٔ سرمایه‌گذاری اولیه تجهیزات غیر همزن نسبت به کامیون‌های همزن یا مخلوط‌کن کمتر است.	پمپ بتن باید محدود شود. امکان بروز جدایش. نیاز به ارتفاع به منظور بلند کردن کامیون در موقع تخلیه است.
تفنگ‌های پنوماتیکی (شاتکریت)	قابل استفاده در جاهائیکه بتن در موقعیت مورد نظر به سختی ریخته می‌شود و یا به بتن ریزی در مقاطع نازک و سطح وسعی لازم است.	ایدآل برای بتن ریزی در شکل‌های دلخواه، برای تعمیرات سازه‌ها، برای پوشش‌های حفاظتی، و برای بتن‌ریزی دیوارهای ساختمانی با قالب یطرفه	کیفیت کار به مهارت افرادی که از این تجهیرات استفاده می‌کنند بستگی دارد. باید فقط کارگران هدایت کنندهٔ نازل باتجربه بکار گرفته شوند.

1. Mobile batchermixer

ادامه جدول ۸-۱ روش‌ها و تجهیزات ....

تجهیزات	نوع و دامنهٔ ...	مزایا	احتیاطات و ...
پخش کنندهٔ مارپیچی[1]	قابل استفاده برای پخش بتن بر روی سطوح صاف وسیع از قبیل روسازی‌ها و عرشهٔ پل‌ها	با استفاده از یک پخش کنندهٔ مارپیچی، می‌توان مخلوطی از بتن تخلیه شده از یک جام یا کامیون را به سرعت بر روی یک سطح وسیع پخش نمود تا عمق یکنواختی بدست آید. بتن پخش شده یکنواختی تراکم خوبی قبل از ویبره کردن که برای تراکم نهایی استفاده می‌شود خواهد داشت.	پخش کنندهٔ مارپیچی معمولاً بخشی از یک قطار روسازی می‌باشد. این تجهیزات باید قبل از تراکم برای پخش کردن مورد استفاده قرار گیرد.
پمپ	مناسب برای هدایت مستقیم بتن از محل تخلیهٔ مرکزی در کارگاه به قالب یا به محل تخلیهٔ تانویه	خطوط لوله فضای کمی اشغال کرده و می‌توان آنها را بلادرنگ باز نمود. انتقال بتن با یک جریان پیوسته. پمپ می‌تواند بتن را در هر دو جهت افقی و عمودی انتقال دهد. می‌توان پمپ‌هایی که بر روی کامیون‌های مخلوط‌کن نصب هستند را هر جا که لازم باشد در پروژه‌های کوچک استفاده کرد. جرائقال برجی مجهز به پمپ می‌توانند برای بتن‌ریزی ساختمانهای بلند مرتبه مورد استفاده قرار گیرند.	تامین پیوستهٔ بتن تازه با یکنواختی متوسط و بدون هر گونه تمایل به جدایش مورد نیاز است. بایستی احتیاطاتی را در مورد استفاده از خطوط لوله اتخاذ کرد تا از جریان یکنواخت اظمیان حاصل نموده و در پایان کار آنها را تمیز نمود. پمپ عمودی بتن در اطراف انحناها و از طریق شلنگ‌های انعطاف‌پذیر بطور چشمگیری فاصلهٔ پمپ را کاهش می‌دهد.

1. Screw spreader

ادامه جدول ۸-۱ روش‌ها و تجهیزات ....

تجهیزات	نوع و دامنهٔ ...	مزایا	احتیاطات و ...
ترمی‌ها (لوله و قیف)	برای بتن‌ریزی زیرآب.	می‌تواند برای هدایت بتن به زیر آب برای بتن‌ریزی فونداسیون یا سایر قسمت‌های سازه‌ای که در زیر آب ساخته می‌شود مورد استفاده قرار داد.	احتیاطاتی به منظور اطمینان از اینکه انتهای تخلیهٔ ترمی همیشه در داخل بتن قرار داشته باشد لازم است بطوریکه آب بندی مناسبی بین تودهٔ بتن و آب فراهم شود.قطر ترمی باید ۲۵۰ mm تا ۳۰۰ باشد (۱۰-۱۲ in) مگر آنکه فشار موجود باشد. مخلوط بتن نیاز به مقدار سیمان بالایی دارد؛ ۳۹۰ kg/m^3 و اسلامپ بیشتر ۱۵۰-۲۳۰mm زیرا باید بتن روان بوده و بدون هرگونه ویبره به راحتی متراکم شود.
کامیون همزن	برای انتقال بتن به تمامی انواع مختلف روسازی‌ها، سازه‌ها، و ساختمان‌ها قابل استفاده است. مسافت‌ای حمل باید امکان تخلیهٔ بتن ظرف ۱/۵ ساعت را فراهم نماید، لیکن در برخی شرایط این قانون چشم پوشی می‌شود.	کامیون‌های همزن معمولاً از واحد بتن آمادهٔ مرکزی به کار می‌افتد که درآنجا بتن در شرایط کنترل شده تولید می‌شود. تخلیه از همزن به خوبی کنترل می‌شود. به موقع تخلیه بتن دارای کیفیت و یکنواختی مناسبی است.	زمان‌بندی تحویل بتن باید مطابق با میل کارفرما باشد. کارگران بتن‌ریز و تجهیرات باید در محل کارگاه ساختمانی برای کار با بتن آماده باشند.

ادامه جدول ۸-۱ روش‌ها و تجهیزات ....

تجهیزات	نوع و دامنهٔ ...	مزایا	احتیاطات و ...
کامیون مخلوط‌کن	برای حمل بتن برای استفاده در روسازی، سازه‌ها و ساختمان‌ها بکار گرفته می‌شود. مسافت‌ه‌ای حمل باید امکان تخلیهٔ بتن ظرف ۱/۵ ساعت را فراهم نماید، لیکن در برخی شرایط این قانون چشم پوشی می‌شود.	نیاز به کارخانهٔ مرکزی اختلاط نیست و از آنجائیکه بتن بطورکامل در کامیون مخلوط می‌شود، تنها نیاز به یک واحد بچینگ است. تخلیه به مانند کامیون همزن است.	زمان‌بندی تحویل بتن باید مطابق با میل کارفرما باشد. کارگران بتن‌ریز و تجهیرات باید در محل کارگاه ساختمانی برای کار با بتن آماده باشند. کنترل کیفیت بتن به خوبی بتن مخلوط شده در واحد مرکزی نیست.
فرغون[1] و چرخ‌ماشینی[2]	قابل استفاده برای مسافت‌های کوتاه و هموار برای بتن‌ریزی تمامی کارهای بتن‌ریزی ساختمانی، به ویژه هر جائیکه دسترسی به محل کار با محدودیت مواجه باشد.	بسیار انعطاف‌پذیر بوده و از این رو برای کار داخل مجموعهٔ ساختمانی، جائیکه شرایط بتن‌ریزی همواره در حال تغییر است ایدآل می‌باشد.	کند بوده و نیاز به کار کارگری زیاد دارد.

در طی ۷۵ سال اخیر به جز چند مورد، تغییرات بسیار اساسی در اصول حمل بتن اتفاق نیفتاده است. آنچه در تغییرات شاهد بوده‌ایم تنها به توسعهٔ فناوری‌های این صنعت و افزایش بهره‌وری آنها مربوط است. هنوز هم استفاده از فرغون و چرخ در کارگاه‌ها مرسوم است و تنها قوای محرکه آنها به نیروی موتور مجهز شده است (شکل ۸-۱۰). جام و قرقره جای خود را به جام و جرثقال داده (شکل ۸-۱۱) و واگن‌هایی که با اسب کشیده می‌شدند، جای خود را به کامیون‌های بتن آماده داده‌اند (شکل ۸-۱۲ و ۸-۱۳).

1.Wheelbarrow
2.Buggie

شکل ۸-۱۰ فرغون موتوری می‌تواند با انعطاف زیاد انواع بتن را از کامیون بتن آماده در فواصل کوتاه حمل نماید

شکل ۸-۱۱ بتن به راحتی به موقعیت نهایی توسط جام وجراثقال منتقل می‌شود

در سالهای گذشته، بتن در سازه‌های بتنی مسلح توسط یک برجک و شوت بلند ریخته می‌شد. این برجک‌ها نوعی برجهای مهارشده‌ای بودند که بطور مرکزی بر روی کارگاه ساختمانی به همراه یک جام تاب خورنده در بالای محلی که باید بتن ریخته شود، مستقر می‌شدند. مجموعه‌ای از شوت‌ها که از برج آویزان بود اجازه بتن ریزی مستقیم به موقعیت مورد نظر را توسط نیروی جاذبه فراهم می‌نمود. به مرور زمان، ساختمان‌های بتنی بلندتر شده و در نتیجه نیاز به بالا بردن میلگردها و قالب‌ها به همراه بتن به سطوح بالاتر احساس می‌شد که در نهایت منجر به توسعهٔ فناوری جراثقال‌های گردان اطاق‌دار[1] (تاورکرین) امروزی شد که منظرهٔ آشنایی برای افق دید ساختمان‌های امروزی است (شکل ۸-۱۴). این روش سریع و انعطاف پذیر است اما در موقع کار با این سیستم باید دقت شود که این سیستم تنها دارای یک قلاب است و بنابراین باید این موضوع در موقع برنامه‌ریزی برای عملیات مد نظر قرار گیرد.

استفاده از تسمه نقاله یک روش قدیمی محسوب می‌شود و تغییرات بسیار در طی سالهای گذشته به خود دیده است (شکل ۸-۱۵). اخیراً کامیون‌های بتن آماده مجهز به تسمه نقاله‌ها به کار گرفته شده است که نمونه ای از آن در شکل ۲-۱۶ نشان داده شده است. سیستم پنوماتیکی روش شاتکریت[2] در سال ۱۹۱۱ ابداع شده و تقریبا تا به حال تغییر چندانی پیدا ننموده است. اولین پمپ مکانیکی بتن در سال ۱۹۳۰ میلادی و اولین پمپ هیدرولیکی در حدود سال‌های ۱۹۵۰ توسعه یافته است. پمپ‌های هیدرولیکی پیشرفتهٔ بتن با قابلیت بازوی جمع شونده (شکل ۸-۱۷)، احتمالاً تنها پیشرفت جدی در تجهیزات کار با بتن محسوب می‌شود. بسته به شرایط کارگاه، این سیستم برای انواع بتن‌ریزی‌های محدود و حجیم، روش بسیار مناسب و اقتصادی محسوب می‌شود. برای پروژه‌های کوچک تا متوسط، ترکیبی از کامیون‌های بتن آماده و پمپ می‌تواند راهکار مناسبی برای انتقال بتن باشد. پخش کنندهٔ مارپیچی (شکل ۸-۱۸) یکی از موثرترین روش‌های بتن‌ریزی و پخش آن در روسازی‌های بتنی و عرشهٔ پل‌های بتن مسلح می‌باشد. این روش بتن را با ضخامت یکنواخت و با سرعت مناسب و موثری می‌ریزد.

1- Towe crane
1- Shotcrete

شکل ۸-۱۲ اغلب بتن آماده را می‌توان در موقعیت نهایی بوسیلهٔ تخلیهٔ مستقیم توسط شوت از کامیون مخلوط‌کن ریخت

شکل ۸-۱۳ در مقایسه با کامیون‌های تخلیه از انتهای مرسوم، کامیون‌های مخلوط‌کن تخلیه از جلو برای راننده، امکان کنترل و تحرکت بیتری در بتن‌ریزی فراهم می‌آورد

شکل ۸-۱٤ تاورکرین و جام می‌تواند بتن را به سادگی برای ساختمان‌سازی آسمانخراش‌ها فراهم کند

شکل ۸-۱۵ تسمه نقاله یک روش بسیار موثر و روش قابل حملی برای کار با بتن و بتن‌ریزی است. یک شوت پرتابی از جدایش بتن به محض تخلیه از تسمه نقاله جلوگیری کرده و یک جداکننده جلوی از دست رفتن ملات را می‌گیرد.

شکل ۸-۱۶ یک تسمه نقالهٔ متصل به کامیون بتن آماده بتن را تا حدود ۱۲ متر ارتفاع و بدون نیاز به تجهیزات اضافی منتقل می‌نماید

(الف)

(ب)

شکل ۸-۱۷ (الف) یک کامیون بتن آماده مجهز به پمپ و بازوی جمع شونده که می‌تواند بتن را بطور عمودی یا افقی به موقعیت دلخواه منتقل نماید. (ب) نمایی از تخلیهٔ بتن از شلنگ انعطاف پذیر متصل به لولهٔ صلب هدایت شده از پمپ. لولهٔ صلب در پمپ‌های بازویی و در خطوط لولهٔ بتن برای حرکت دادن نسبی در فواصل بلندتر استفاده می‌شود. ممکن است شلنگی به درازای ۸ متر به انتهای لولهٔ صلب وصل شود تا امکان بتن ریزی متحرکی را فراهم کند

شکل ۸-۱۸ پخش‌کنندهٔ دورانی تن را به سرعت بر روی سطوح وسیع با ضخامت یکنواخت پخش می‌کند. این وسایل معمولاً در روسازی‌های صلب فرودگاه‌ها بکار گرفته می‌شود

۸-۱۰ انتخاب مناسب‌ترین روش

اولین مواردی که باید بدان توجه نمود عبارت است از نوع کار، ابعاد فیزیکی آن، مجموع مقدار بتنی که باید ریخته شود، و زمانبندی اجرا کار. بررسی بیشتر پروژه نشان خواهد داد که چه مقدار کار در روی سطح، زیر و بالای سطح زمین وجود دارد. این بررسی به انتخاب نحوهٔ بتن ریزی و تجهیزات مورد نیاز برای ریختن بتن در سطوح مختلف کمک شایانی خواهد نمود. به هر حال، بتن باید به سرعت و بدون بروز هیچگونه جدایی و از دست رفتن اجزای مصالح، از مخلوط‌کن (به هر شکل آن) به نقطهٔ مورد نظر جهت بتن ریزی منتقل شود. حمل و نقل و تجهیزات کار با بتن باید دارای ظرفیت کافی برای انتقال بتن بدون ایجاد درز سرد در پروژه باشند.

۸-۱۱ کار در بالا و یا در زیر سطح زمین

در یک پروژه عادی، معمولاً بزرگترین احجام کارهای بتنی به هر دو حالت روی سطح زمین و هم زیر سطح زمین مربوط می‌شود. بدین ترتیب می‌توان آنها را با روش‌های متفاوتی نسبت به آنچه در مورد روسازه انجام می‌شود به مورد اجرا قرار داد. کارهای بتنی در زیر سطح زمین می‌تواند بطور چشمگیری متغیر باشد که از پرکردن شمع‌های حفر شده با قطر زیاد یا فونداسیون‌های گسترده گرفته تا کارهای بسیار پیچیده‌ای که مربوط به دیوارهای طبقهٔ زیرین و دیوارهای زیر زمین را شامل می‌شود. از جراثقل‌ها و بالابرها می‌توان برای کار با

قالب‌ها، میلگردهای فولادی، و بتن استفاده نمود. هرچند از جراثقال‌ها می‌توان برای برپایی قالب‌ها و آرماتورها قبل از انجام بتن‌ریزی استفاده کرد، لیکن می‌توان برای بتن‌ریزی‌های حجیم از روش‌های موثر دیگری در کمترین زمان بهره‌برداری نمود.

در بتن‌ریزی با استفاده از کامیون‌های بتن آماده، امکان استفاده از شوت‌ها برای انتقال مستقیم بتن از کامیون به موقعیت بتن‌ریزی فراهم است. شوت‌ها باید از نوع فلزی یا دارای پوشش فلزی باشند. این شوت‌ها نباید دراای شیب بزرگتر از ۱ عمودی و ۲ افقی یا کمتر از ۱ عمودی و ۳ افقی باشند. شوت‌های بلند بزرگتر از ۶ متر، یا آنهایی که استاندارد شیب را تامین ننمایند، بایستی توسط فرغون یا چرخ موتوری به محل توزیع مورد نظر منتقل و سپس توزیع شود.

به طریق دیگر، بتن را می‌توان توسط پمپ به نقطهٔ نهایی جهت ریخته شدن منتقل نمود (شکل ۸-۱۷). پمپ‌ها باید دارای ظرفیت کافی بوده و قادر به جابجا نمودن بتن بدون جدایی باشند. افت اسلامپ ناشی ازفشار هدایت آب اختلاط به درون سنگدانه‌ها در حین رانده شدن مخلوط از مخزن پمپ به محل تخلیهٔ نهایی باید به حداقل برسد که این افت نباید کمتر از ۵۰ mm باشد. بطور کلی میزان حباب‌های هوا نباید بیش از ۲ درصد در طی پمپاژ بتن کاهش یابد. افت هوای بیش از این مقدار، ممکن است به سبب وضعیت آرایش پمپ بروز نماید.

شکل ۸-۱۹ برای کار در بالای سطح زمین یا در کارگاه‌های غیر قابل دسترس، جام بتن را می‌توان توسط هلیکوپتر بالا برده و برای بتن‌ریزی استفاده نمود

از این منظر، مشخصات میزان هوا و اسلامپ باید در موقع تخلیه از پمپ تامین شده باشد. خطوط لولهٔ پمپ بتن را نباید از جنس آلومینیوم یا آلیاژهای آلومینیومی انتخاب کرد تا از ایجاد حباب هوای بیشتر در بتن ممانعت به عمل آید. آلومینیوم می‌تواند با هیدرواکسیدهای قلیایی سیمان واکنش داده و گاز هیدروژن تولید نماید که این خود باعث کاهش قابل توجهی در مقاومت فشاری بتن خواهد شد.

برای کارهای نزدیک سطح زمین، تسمه نقاله گزینهٔ مناسبی برای انتقال بتن محسوب می‌شود. از آنجائیکه بتن‌ریزی زیر سطح زمین از نیروی جاذبه کمک می‌گیرد، نقاله‌های قابل حمل سبک را می‌توان برای بازده بالاتر و هزینهٔ نسبی پایین مورد استفاده قرار داد.

۸-۱۲ کار در بالای سطح زمین

برای بالا بردن بتن به موقعیت بتن ریزی در بالای سطح زمین، می‌توان از تسمه نقاله، جام و جراثقال، بالابر، پمپ یا هلیکوپتر استفاده کرد (شکل ۸-۱۹). تاورکرین (شکل ۸-۱۴) و بازوی پمپاژ بتن (شکل ۸-۲۰)

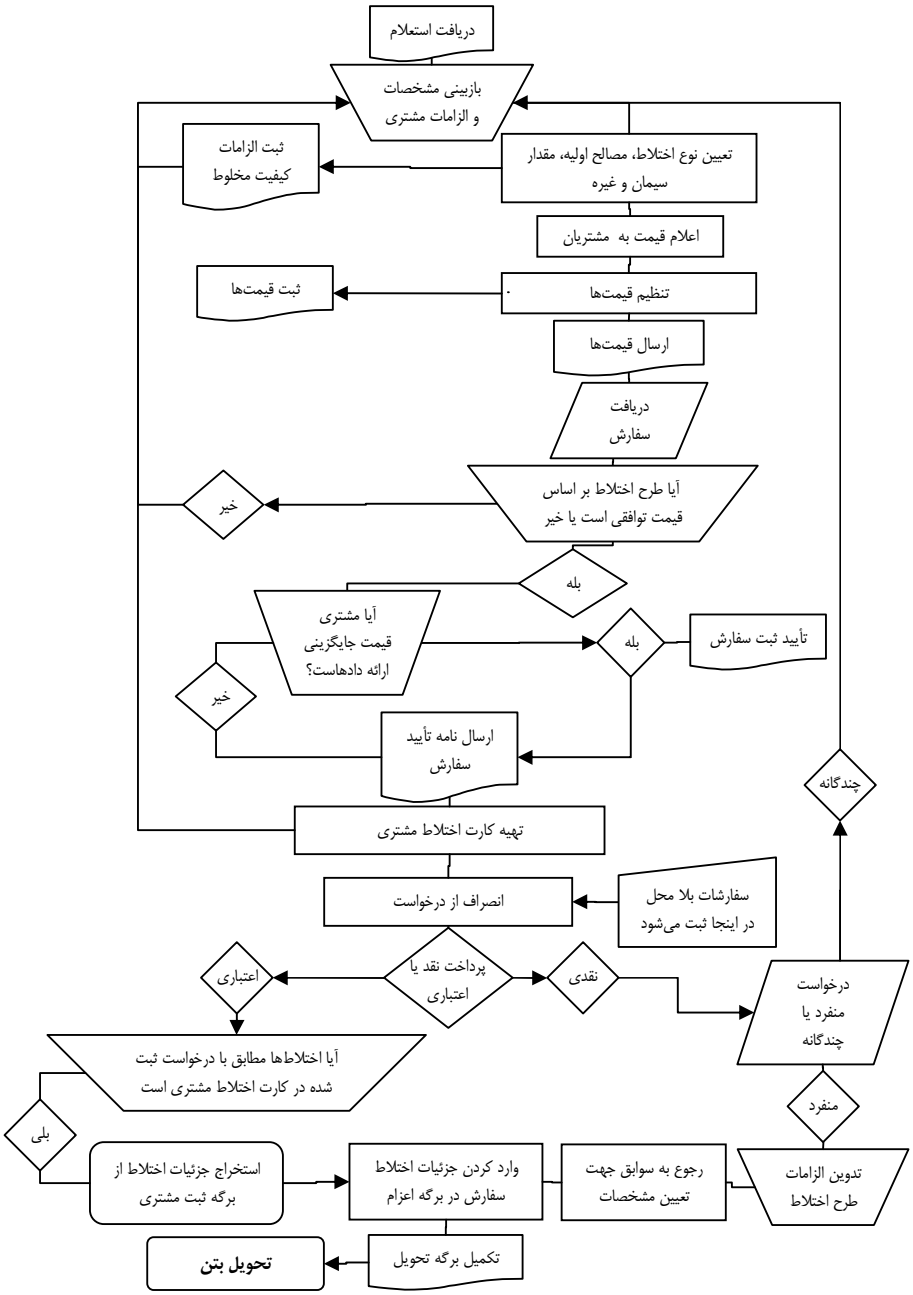
وسیلهٔ مناسبی برای ساختمانهای بلند مرتبه است. حجم بتن مورد نیاز برای هر کف و همچنین جایابی بازوی متحرک و طول پمپ از عوامل تاثیرگذار بر روی استفاده از سیستم پمپاژ بتن است؛ حجم بالای بتن جابجایی خطوط لوله را در ارتباط با میزان خروجی به حداقل می‌رساند.

شکل ۸-۲۰ یک بازوی پمپ بتن بر روی دکلی که در نزدیکی کارگاه ساختمانی مستقر است، می‌تواند امکان بتن‌ریزی به نقاط مختلف پروژه را فراهم نماید. به خصوص این روش برای ساختمانهای بلند مرتبه که امکان برپایی تاورکرین وجود ندارد قابل استفاده است. بتن در این پروژه توسط یک کامیون بتن آماده مستقر در سطح زمین تامین و توسط سیستم پمپاژ منتقل می‌شود. صدها مترمکعب بتن را می‌توان بطور عمودی با این روش پمپاژ منتقل نمود.

مشخصات و عملکرد تجهیزات حمل و کار با بتن بطور پیوسته توسعه و رشد پیدا می‌کند. بهترین و کم هزینه ترین نتیجه زمانی حاصل می‌شود که پروژه با یک برنامه‌ریزی مناسب از امکانات و تجهیزات موجو به نحو بهینه و بطور اقتصادی بهره‌برداری نماید. بنابراین باید راهکاری را برای استفادهٔ موثر و اقتصادی از بهترین گزینه‌ها و روش‌های مجود برای اجرای پروژه اندیشید.

۸-۱۳ برنامهٔ سفارش بتن آماده و کارهای نظارتی

برای سفارش و خرید بتن آماده، لازم است بین خریدار و تولید کننده مکاتباتی انجام شده و پس از توافق بر سر قیمت و مشخصات، تولید کننده موظف به تحویل بتن مورد نظر و مطابق با شرایط توافق شده است. روند پردازش استعلام و سفارشات خریدار از طرف تولید کننده در شکل (۸-۲۱) ارائه شده است. همچنین برای راحتی در امر سفارش‌دهی و هماهنگی بین خریدار و تولید کننده، برگه‌هایی با فرمت مشخص، جهت تدوین برنامهٔ استعلام و سفارش در شکل (۸-۲۲)، ثبت برنامهٔ پیمانهٔ روزانه، در شکل (۸-۲۳)، و طرح اختلاط ارائه در شکل (۸-۲۴) ارائه شده است. علاوه بر این برای هماهنگی در امور نظارتی و کنترلی، فرم‌های نمونه‌ای برای تنظیم برگهٔ تایید نمونه‌گیری و آزمایش که نمونه‌ای از آن در شکل (۸-۲۵)، و عمل آوری در شکل (۸-۲۶) پیشنهاد شده است. در نهایت در شکل (۸-۲۷) نمونه‌ای از برگهٔ گزارش و تایید آزمایش مقاومت فشاری (نمونه‌های مکعبی یا استوانه‌ای) نشان داده شده است.



شکل ۸-۲۱ چک لیست استعلام و سفارشات بتن آماده

چک لیست بازبینی استعلام/سفارش

پروژه: **شماره مرجع:**

الزامات	جزئیات ارائه شده به همراه استعلام/سفارش	ملاحظات
۱ مبانی مشخصات		
۱-۱ مرجع اسناد و مدارک		
۱-۲ کاربرد بتن		
۱-۳		
۲ شرایط کاربری		
۲-۱ شرایط سولفاتی		
۲-۲ شرایط محیطی در معرض		
۲-۳		
۲-٤		
۲-۵ حداقل پوشش میلگرد		
۳ کیفیت ساخت		
۳-۱ کارایی		با ۱-۲ و ۳-۳ کنترل شود
۳-۲ شیوه بتن‌ریزی		
۳-۳برنامه عمل‌آوری		
٤ مواد اولیه		
٤-۱ نوع سیمان		با ۱ و ۳-۲ کنترل شود
٤-۲نوع افزودنی‌ها		با ۱-۲ کنترل شود
٤-۳ حداکثر اندازه اسمی سنگدانه‌ها		با ۲-۵ کنترل شود
٤-٤		
۵ مشخصات اختلاط		
۵-۱ حداکثر نسبت آب به سیمان		با ۲ و ۳-۱ کنترل شود
۵-۲ حداقل میزان سیمان		با ۲ کنترل شود
۵-۳دانه‌بندی		با ۵-۱ و ۵-۲ کنترل شود
٤-۵ توصیه‌ها		
٦ محدودیت‌ها		

شکل ۸-۲۲ چک لیست استعلام/سفارش

چک لیست ثبت پیمانه روزانه

کارخانه: آب و هوا: دمای هوا: °C

تاریخ:

شماره بلیط	شماره گامیون	اختلاط	کمیت m^3	کد اختلاط	نوع سیمان	اسلامپ mm	نوع افزودنی	سیمان تیپ (۱) kg	سیمان تیپ (۲) kg	ماسه m/c	آب اضافه شده	زمان بارگیری	ملاحظات

مصالح اولیه										
موجودی اولیه										
تحویل‌ها										
پیمانه‌ها										
موجودی پایانی										
کنترل چشمی موجودی										

شکل ۸-۲۳ چک لیست ثبت پیمانه روزانه

چک لیست طرح مخلوط

مرجع : تاریخ	جزئیات طرح اختلاط
کارخانه:	اطلاعات مصالح اولیه و طرح اختلاط جهت تامین بتن برای:

مصالح

سیمان			سنگدانه‌ها			سایر مصالح		
نوع	تهیه‌کننده	کارکرد	اندازه و نوع	تهیه کننده	منبع			

جزئیات اختلاط

توضیحات اختلاط				طرح اختلاط						
رده	حداکثر اندازه اسمی سنگدانه‌ها	نوع سیمان	اسلامپ نهایی mm	ساختار اختلاط بر حسب وزن خشک (kg)						حداکثر آب به سیمان
				تولید سیمان	سنگدانه‌ها					
					۱	۲	۳	٤		

جزئیات طرح اختلاط با تغییر خواص مصالح، تغییر می‌کند.

اطلاعات اضافه:

امضاء: تاریخ:

شکل ۸-۲٤ چک لیست طرح مخلوط

چک لیست تأیید نمونه‌گیری و آزمایش			
برگ گواهی نمونه‌گیری و آزمایش بتن تازه			شماره سریال:
مشتری:		کارگاه:	
شماره شناسایی نمونه:	تاریخ:		زمان:
موقعیت استفاده بتن:	دمای پیرامونی:		آب و هوا:
محل نمونه‌گیری:	شمارهٔ برگه تحویل:		
مخلوط:	کارخانه:		
نمونه‌گیری مطابق با استاندارد ملی ایران انجام شده است	نمونه‌گیر:		امضاء:

آزمایش اسلامپ — آزمایش میزان هوا

تعیین:	۱	۲	عدد هواسنج:	نوع:
اسلامپ mm			عامل تصحیح سنگدانه‌ها:	تاریخ کالیبراسیون:
فرم اسلامپ:			اجرا کننده:	
اسلامپ متوسط:	اسلامپ روی برگه:		محل انجام آزمایش:	
زمان:	مکان سنجش اسلامپ:		زمان انجام آزمایش:	
توضیحات:			شیوه تراکم:	
			میزان هوا:	
جزئیات افزودن آب:			توضیحات:	
بازه زمانی میان نمونه‌گیری تا آزمایش:				
آزمایش بر اساس روش فصل چهارم انجام گرفته است			آزمایش بر اساس روش فصل چهارم انجام گرفته است	
آزمایش کننده: امضاء:			آزمایش کننده: امضاء:	

شکل ۸-۲۵ چک لیست **تأیید نمونه‌گیری و آزمایش**

چک لیست تهیه و عمل‌آوری نمونه‌ها در کارگاه			
برگ گواهی تهیه و عمل‌آوری نمونه‌ها			شماره سریال:
شماره شناسایی نمونه:	کارگاه:		
تاریخ نمونه‌گیری:	ساعت:		گواهی دریافت یا عدم دریافت نمونه:
تاریخ باز کردن قالب:	ساعت:		اندازه اسمی نمونه‌ها: mm
روش تراکم: دستی/لرزاندن:	نوع تجهیزات:		تعداد دفعات/مدت زمان:
برچسب شناسایی:			
سن نمونه‌های مورد آزمون(روز):			
مرجع آزمایشگاهی:			
عمل‌آوری در هوای مرطوب:	مکان:	شیوه:	بازه زمانی: حداکثر به حداقل: °C
عمل‌آوری در آب:	زمان غوطه‌وری:	زمان برداشتن:	حداکثر به حداقل: °C
زمان انتقال نمونه‌ها به آزمایشگاه:			
توضیحات:			
نمونه‌ها بر اساس آیین نامه بتن ایران و استاندارد ملی ایران تهیه و عمل‌آوری شده‌اند.	نام: تاریخ:		امضاء:

شکل ۸-۲۶ چک لیست **تهیه و عمل‌آوری نمونه‌ها در کارگاه**

گزارش آزمایش مقاومت فشاری							شماره سریال:	
به:	کارگاه:							
ارسال نسخه دیگر به:	شماره شناسایی نمونه:				تاریخ:		ساعت:	
	تأیید دریافت یا عدم دریافت نمونه							
	تأیید دریافت یا عدم دریافت نمونه تهیه شده و عمل‌آوری شده							
	مخلوط:							
	اسلامپ اندازه‌گیری شده: mm							
	اندازه‌گیری مقدار هوا (در صورت عملی بودن)							
شماره شناسایی نمونه‌های مقاومت فشاری								
مرجع آزمایشگاهی								
تاریخ دریافت در آزمایشگاه								
تاریخ ساخت مکعب‌ها								
تاریخ آزمایش:								
سن نمونه به هنگام آزمایش روز								
ابعاد کنترل شده: اسمی/اندازه‌گیری شده mm								
شکل نمونه:								
شرایط در زمان دریافت:								
شرایط عمل‌آوری در آزمایشگاه:								
شرایط هنگام تست:								
شیوه محاسبه وزن مخصوص:								
جرم نمونه:								
وزن مخصوص: kg/m^3								
حداکثر بار شکست: KN								
مقاومت فشاری: N/mm^2								
ظاهر بتن								
نوع گسیختگی								
توضیحات:								
تأیید انجام تست و عمل‌آوری در آزمایشگاه مطابق با استاندارد	کدهای مورد استفاده برای شرح شرایط نمونه: ظاهر بتن:							
شخص مسئول:	امضاء:						تاریخ:	

شکل ۸-۲۷ چک لیست **آزمایش نمونه‌های مقاومت فشاری**

چک لیست های مربوط به تولید

آیا قیفهای توزین سیمان، سنگدانه‌ها و همچنین آب ومواد افزودنی (در صورتی که بصورت وزنی اندازه‌گیری شوند) از مخزن‌های مناسبی تشکیل شده‌اند که آنها را از ترازوها مجزا نموده و آیا در صورت لزوم با مکانیزم بارگیری و تخلیه تجهیز شده‌اند؟

☐ بله

☐ خیر

آیا در توزین تجمعی مصالح سیمانی، سیمان پرتلند قبل از مصالح سیمانی مکمل وزن می‌شود؟

☐ بله

☐ خیر

آیا قیف‌ها قادر به دریافت حداکثر بار اسمی بدون تماس با مصالح توزین شده توسط مکانیزم بارگیری است؟

☐ بله

☐ خیر

آیا پیمانه‌گیرهای سیمان که توسط درزگیرهای گرد و غبار مابین سیستم تغذیه و قیف مجهز هستند طوری مجزا شده‌اند که اخلالی در دقت توزین بوجود نیاورند؟

☐ بله

☐ خیر

آیا قیف‌های توزین دارای سوراخی برای خروج هوا بدون پخش کردن گرد و غبار سیمانی هستند؟

☐ بله

☐ خیر

آیا قیف‌ها خودتمیز شونده بوده و برای اطمینان از تخلیهٔ کامل جفت و جور شده‌اند؟

☐ بله

☐ خیر

آیا مکانیزم تغذیهٔ قیف‌ها قادر به توقف جریان مصالح برای ثابت نگه‌داشتن تلرانس مجاز مشخص شده در استاندارد ملی ۶۰۴۴ و جلوگیری از افت مصالح در موقع بسته شدن می‌باشد؟

☐ بله

خیر ☐

آیا لرزاننده‌ها یا سایر تجهیزات طوری مستقر شده‌اند که وضعیت توزین را دچار اخلال ننمایند؟

بله ☐

خیر ☐

استفاده نمی‌شود ☐

آیا حفاظهای مربوط به باد/شرایط جوی برای جلوگیری از عدم اخلال در فرآیند توزین کافی می‌باشند؟

تجهیزات بچینگ برای آب

روش ندازه‌گیری آب

حجمی ☐

وزنی ☐

آیا وسیلهٔ اندازه‌گیری آب/پیمانه‌گیر آب توسط وسیلهٔ قطع کننده که قادر به توقف جریان برای کنترل تلرانس مقرر در استاندارد ۶۰۴۴ است؟

بله ☐

خیر ☐

آیا وسیلهٔ قطع کننده در موقع بسته شدن عاری از هر گونه نشتی است؟

بله ☐

خیر ☐

اگر اندازه‌گیری به طریق حجمی است، آیا وسیله‌ای برای تنظیم حجم وجود دارد؟

بله ☐

خیر ☐

آیا سیستم بچینگ مجهز به علامت‌هایی که برای کاربر سیستم توزین به روش حجمی/وزنی قابل مشاهده است، می‌باشد؟

بله ☐

☐ خیر

آیا سیمان بر حسب وزن توزین می‌شود؟

☐ بله

☐ خیر

آیا سیمان و پوزولان از یک قیف توزین بطور مجزا از سایر مواد توزین می‌شود؟

☐ بله

☐ خیر

آیا سیمان قبل از پوزولان توزین می‌شود؟

☐ بله

☐ خیر

در صورتی که مقدار سیمان بیشتر از ۳۰ درصد کل ظرفیت باسکول باشد، آیا مقدار سیمان و مقدار تجمعی سیمان با پوزولان در حدود ۱± درصد وزن مشخصه شده است؟

☐ بله

☐ خیر

آیا سنگدانه‌ها بر اساس وزن توزین می‌شوند؟

☐ بله

☐ خیر

آیا وزن سنگدانه‌ها بر حسب حالت خشک در نظر گرفته می‌شود؟

☐ بله

☐ خیر

آیا مقدار سنگدانه‌های مصرف شده در هر پیمانه بتن که بوسیله باسکول مشخص می‌شود، در حد ۲ ± درصد وزن مشخص شده است؟

☐ بله

☐ خیر

در توزرین تجمعی سنگدانه‌ها، چنانچه پیش از ۳۰ درصد کل ظرفیت باسکول مورد استفاده قرار بگیـرد، آیـا وزن هر مجموع پس از هر توزین متوالی در حد ۱ ± درصد مقدار تجمعی مشخص شده است؟

بله ☐

خیر ☐

آب بر چه اساسی توزین می‌شود؟

بر حسب وزن ☐

بر حسب حجم ☐

آیا دقت اندازه‌گیری در حد مجاز است؟

بله ☐

خیر ☐

فصل نهم

نمونه‌برداری و آزمایش بتن آماده و ضوابط پذیرش

۹-۱ نمونه‌برداری از بتن آماده

برای انجام آزمایش‌های مورد نیاز به منظور پذیرش خواص بتن تازه و خواص سخت شدهٔ بتن آماده، نیازمند تهیهٔ نمونه‌هایی است که نمایندهٔ کل یک مخلوط بتنی باشد که این به معنی تهیهٔ نمونه‌هایی است که به مرور زمان در سرتاسر مدت تخلیهٔ بتن آماده تهیه می‌شود. بنابراین در مورد آزمایش‌های مربوط به کارآیی، ضروری است که کامیون بتن آماده قبل از اینکه یک نتیجهٔ آزمایش قابل استفاده باشد، تخلیه شود تا کیفیت بتن توسط یک فرد مجرب در طی مراحل مختلف تخلیه از بتن ساز؛ از شروع تا انتهای تخلیه مورد بررسی و تایید قرار گیرد. بنابراین، تهیهٔ نمونه و آزمایش بر روی این نمونهٔ نماینده برای استفاده به منظور پذیرش بتن کار بسیار دشوار و پیچیده‌ای می‌نماید.

برای کمک به رفع این مشکل و به منظور استفاده برای مقاصد پذیرش بتن، صنعت بتن آماده روش نمونه برداری ساده‌تری برای آزمایش اسلامپ، پیشنهاد و توسعه داده است. این روش اجازه می‌دهد نمونه‌ای که نمایندهٔ قسمت‌های اولیهٔ محموله پس از تخلیهٔ بخش کوچکی از کل بتن آماده باشد، تهیه شود. دو روشی را که می‌توان برای نمونه‌برداری به منظور استفاده در فرآیند پذیرش بتن آماده مورد استفاده قرار گیرد، در شکل (۹-۱) نشان داده شده است. قابل توجه اینکه برای هر دو روش، نتیجهٔ آزمون، متوسط دو آزمایش می‌باشد. در این مورد، بدلیل

اینکه نمونهٔ مورد استفاده در پذیرش، بطور کامل نمایندهٔ کل بتن نیست، رواداری بیشتری مجاز شناخته شده است. این روش نمونه‌برداری برای استفاده در آزمایش پذیرش برای نمونه‌های مقاومت فشاری مجاز نیست.

۹-۲ عوامل موثر بر نمونه‌برداری در شرایط استاندارد

ویژگی‌های کلیدی در نمونه‌برداری، ساخت مکعب، عمل‌آوری، و آزمایش که از استانداردهای معتبر استخراج شده است عبارتند از:

(الف) نمونه‌گیری معرف از کامیون بتن ساز

(ب) بهم زدن دوبارهٔ نمونه،

(ج) قالب‌های استاندارد و روغن کاری شده،

(د) تراکم درست و کامل هر لایه بتن ریخته شده در قالب،

(ه)نگهداری از نمونه‌ها در قالب در حالت گرم و مرطوب در طول مدت شب،

(و) نگهداری نمونه‌های بیرون آورده شده از قالب در آب و در دمای مناسب تا زمان انتقال به آزمایشگاه،

(ز) نگهداری نمونه‌های مقاومت فشاری در حالت استاندارد در طی انتقال به آزمایشگاه،

(ح) به مانند بند (ه) در آزمایشگاه،

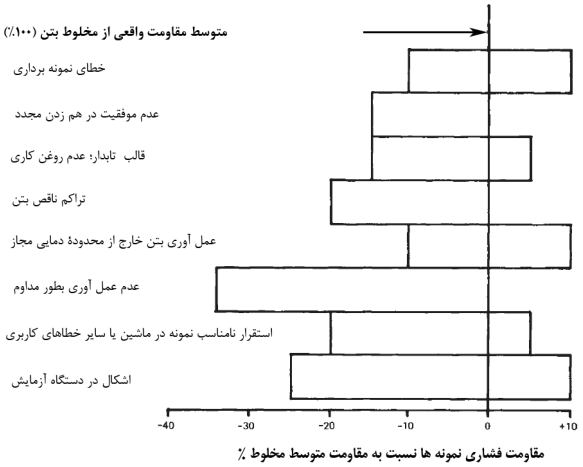
(ط) بازبینی و مشاهدهٔ هر گونه آسیب نمونه‌های مقاومت فشاری، اندازه‌گیری دقیق ابعاد، وزن و حداکثر بار، و محاسبهٔ وزن مخصوص و مقاومت فشاری،

(ی) قرار دادن نمونه‌های مقاومت فشاری در مرکز دستگاه ماشین فشاری،

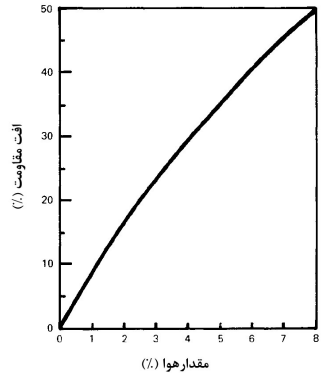
(ک) بدست آوردن مد شکست صحیح نمونه‌های مقاومت فشاری در یک دستگاه پرسی که بطور مناسب نگهداری شده باشد،

تاثیرات تخطی و انحراف از شرایط و الزامات استاندارد در شکل‌های (۹-۲) و (۹-۳) و همچنین در جدول (۹-۱) خلاصه شده است.

شکل ۹-۱ روش استاندارد و جایگزین برای نمونه‌برداری و آزمایش اسلامپ بتن آماده



شکل ۹-۲ دامنهٔ تاثیر تخطی از روش آزمایش در ارزیابی مقاومت



شکل ۹-۳ تاثیر تراکم ناقص- رابطهٔ بین مقدار هوای اضافی و کاهش مقاومت

جدول ۹-۱ تاثیر یک دوره عمل آوری خشک بر روی مقاومت ۷ و ۲۸ روزهٔ بتن

تعداد روز در هوا[×]	افت مقاومت (٪)[××]	
	۷ روزه	۲۸ روزه
۳	۱۰	۴
۶	۲۱	۸

[×] به دنبال آن عمل‌آوری در آب با دمای ۲۰ درجه تا زمان آزمایش
[××] مقایسه شده با نمونه‌های کنترلی عمل‌آوری شده به مدت ۶ و ۲۷ روز در آب با دمای ۲۰ درجه

۹-۳ اعتبارسنجی نتایج و کنترل‌های ساده

چند کنترل ساده برای تعیین اعتبار نتایج مقاومت فشاری وجود دارد که می‌تواند توسط تولید کننده بر روی نمونه‌های کنترلی خود انجام شود. این کنترل‌های ساده نیز توسط مشاور و یا توسط خریدار بر روی نمونه‌هایی که به منظور کسب پذیرش ساخته شده است امکان پذیر است.

متوسط مقادیر دو نتیجه آزمونهٔ مقاومت فشاری از هر مخلوط:

جرم حجمی نمونه‌های مکعبی	مقدار مورد انتظار	±۲۵ kg/m^3
مقاومت فشاری مکعبی ۷ روزه	مقدار مورد انتظار	±۷ N/mm^2
مقاومت فشاری مکعبی ۲۸ روزه	(الف) مقدار مورد انتظار	±۱۰ N/mm^2
	(ب) رتبهٔ بالا -۳	
نسبت مقاومت ۷ روزه به ۲۸ روزه	مقدار مورد انتظار	±۰/۱۵

دامنهٔ دو نتیجهٔ اندازه‌گیری شده از هر مخلوط

جرم حجمی نمونه‌های مکعبی	حداکثر	± ۵۰ kg/m^3
مقاومت فشاری مکعبی ۷ روزه	حداکثر	۱۵٪× متوسط مورد انتظار N/mm^2
مقاومت فشاری مکعبی ۲۸ روزه	حداکثر	۱۵٪× متوسط مورد انتظار N/mm^2

در قراردادهای بزرگ همانند پروژه‌های دولتی و عمومی و نیمه متوسط، به منظور شناسایی مشکلات احتمالی و جلوگیری از گسترش ابعاد آن، مشاور یا خریداران می‌توانند برای کنترل عملکرد تولید از نمودارهای کنترلی استفاده کنند. خریداران می‌توانند دستورالعملی را در مورد مقادیر مورد پیش‌بینی از مقاومت نمونه‌ها از طریق بانک اطلاعاتی تولید کنندهٔ بتن آماده، مطالبه نمایند.

۹-٤ اهمیت ارتباط بین کاربر و تولید کننده

به منظور مقایسهٔ داده‌ها و نهایتاً کاستن از بروز اختلافات احتمالی قبل از بروز هر گونه مشکل جدی در روند تولید، وجود یک کانل ارتباطی بین مقام تصریح کنندهٔ مشخصات، خریدار و تولید کننده از یک طرف و همچنین آزمایشگاه کنترل کیفی از طرف دیگر، بسیار ضروری است.

۹-۵ بررسی‌های چشمی و کنترل نمونه‌های مورد آزمایش

مطابق استاندارد ملی و آیین نامهٔبتن ایران، نمونه‌های مقاومت فشاری استوانه‌ای ۱۵۰×۳۰۰ mm، به عنوان نمونهٔ استاندارد در نظر گرفته می‌شود. البته در عمل از هر دو نوع نمونهٔ مقاومت فشاری مکعبی و استوانه‌ای استفاده می‌شود. برای ارتباط دادن مقاومت نمونه‌های غیر استاندارد استوانه‌ای و مکعبی به نمونه‌های استوانه‌ای استاندارد می‌توان از جداول آیین نامهٔ بتن ایران استفاده کرد.

اما به هر حال استفاده از نمونه‌های مکعبی سهولت بیشتری در کار ایجاد کرده و به لحاظ حجمی نیز نسبت به نمونهٔ استوانه‌ای، دارای حجم کمتری است. اما به هر حال، در هر دو حالت، دستیابی به شکل شکست صحیح نمونه‌ها (شکل ۹-۴)، مؤید قرار گرفتن صحیح نمونه‌ها در زیر فک بارگذاری، اعمال بارگذاری مطابق استاندارد، و در نهایت اعتبار نتایج مقاومت فشاری می‌باشد. بطور طبیعی، مد شکست نمونه‌ها قادر نیست که تعیین کند که آیا دقت اندازه‌گیری بار و یا قرائت و یادداشت آنها درست بوده یا خیر.

مود شکست قابل قبول برای یک نمونهٔ مقاومت فشاری (استوانه‌ای یا مکعبی) که در طی آزمایش بطور عمودی بر روی مرکز صفحهٔ بارگذاری قرار گرفته، در تمام جهات دارای ترک خوردگی مشابهی است. ممکن است در طی آزمایش ترک خوردگی‌های جزئی در سطح تماس صفحهٔ بارگذاری مشاهده شود که این ترک‌ها قابل چشم‌پوشی می‌باشد. البته باید به طریقی از استقرار مرکز نمونه در مرکز صفحهٔ بارگذاری اطمینان حاصل کرد. از طرفی رویهٔ ماله‌کشی شدهٔ نمونه باید یکی از اضلاع عمودی باشد. در مورد نمونه‌های مکعبی، بارگذاری نباید عمود بر سطح رویهٔ ماله کشی شده انجام شود. در مورد نمونه‌های استوانه‌ای چاره‌ای جز استقرار نمونه‌ها بر روی وجه بتن ریزی شده که ممکن است دارای سطح ناهمواری نیز باشد، وجود ندارد.

قابل توجه اینکه در مورد نمونه‌های با مقاومت بالا بروز شکست انفجاری دور از انتظار نیست و امکان دارد طرف عمودی نمونه بطور کامل متلاشی شده و بخش‌هایی که در تماس با صفحهٔ بارگذاری هستند نیز از بین برود. این حالت کاملاً طبیعی بوده و نباید تغییرات قابل توجهی در مقاومت مشاهده شود.

طرح کلی شکست عادی و غیر عادی نمونه‌های مقاومت فشاری در شکل (۹-۴) نشان داده شده است. مد خرابی مشاهده شده، باید در فرم‌های مخصوصی ثبت شود.

مدهای شکست یک طرفه معمولاً با کاهش مقاومت همراه بوده و ممکن است به یک و یا چند دلیل زیر اتفاق افتاده باشد:

(الف) قراردادن نمونه‌ها بصورت خارج از مرکز،

(ب) نقص در قالب‌های نمونه‌های فشاری،

(ج) قفل شدن فک بالایی در نشیمن کروی شکل قبل از جفت شدن یکنواخت نمونه در طی اعمال بار،

(د) دوران فک بالا در نشیمن خود تحت اثر بار،

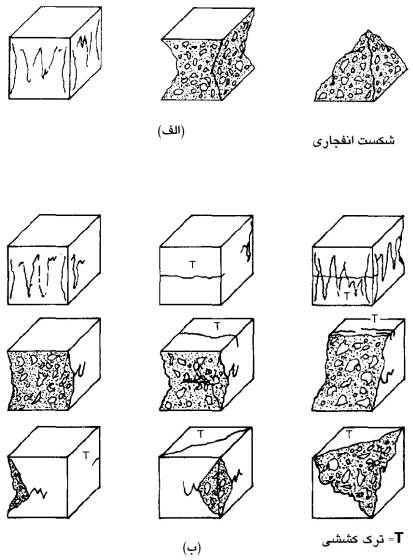
(ه) شل شدن مهرهٔ سر ستون یا نامیزانی اجزای دستگاه،

(و) عدم صافی فک‌ها یا سایر صفحات بارگذاری،

دستیابی یک مود شکست عادی برای نمونه‌های مقاومت فشاری اهمیت زیادی دارد. در این شکل، نمونه‌ها با مقادیر مختلف خروج از مرکزیت آزمایش شده است که با این کار، بطور عمدی شکست‌های غیر عادی بدست

آمده است. همانگونه که ملحظه می‌شود، چنین شکست‌های غیر عادی، باعث کاهش مقاومت فشاری از مقاومت مرجع شده است.

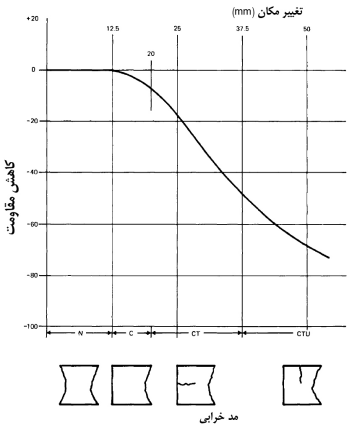
در سراسر دنیا، تحقیقات مفصلی که توسط سازندگان و انجمن‌های بین المللی و صنایع بتن آماده انجام شده است، وضعیت را تا اندازهٔ زیادی بهبود داده است، اما هنوز هم مشکل اصلی پابرجاست. اهمیت این موضوع در مورد بازرسی منظم دستگاه‌های آزمایش به منظور انطباق با دقت اندازه‌گیری بار و حتی کرنش استاندارد بسیار بیشتر است. معمولاً برای انجام کنترل عملکرد دستگاه‌ها از نمونه‌های مقایسه‌ای استاندارد جهت اطمینان از درستی و کنترل خروج از مرکزیت اعمال بار استفاده می‌شود. علاوه بر این با استفاده از آزمونه‌های استاندارد می‌توان سایر خصوصیات و ویژگی‌های دستگاه و همچنین اپراتور آن را کنترل نمود (شکل ۹-۵).



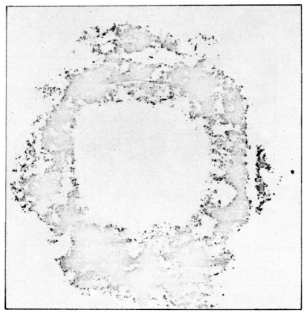
شکل ۹-٤ الف)- شکست عادی نمونه‌های مکعبی. ب) شکست غیر عادی نمونه‌ها

برای کنترل و ارزیابی کیفی دستگاه آزمایش، سازندگان این دستگاه‌ها روش‌های دیگری را برای کنترل دستگاه پیشنهاد داده‌اند. یکی از این روش‌ها، استفاده از اثر کاغذ کاربن است که امکان نوعی کنترل چشمی بر روی صحت آزمایش و سطح تماس بین صفحهٔ بارگذاری و نمونهٔ فشاری را فراهم می‌سازد. نمونه‌ای از این

آزمایش در شکل (۱-۶) نشان داده شده است. البته این روش برای کنترل خمیدگی صفحهٔ‌بارگذاری تحت اثر بار به منظور شناسایی خروج از مرکزیت بار نیز کاربرد دارد.



شکل ۹-۵ ارتباط بین مد شکست و تغییر مقاومت برای نمونه‌های مکعبی قرار گرفته بر روی مرکز در دستگاه آزمایش به همراه ترک کششی در وجه روبروی صفحهٔ بارگذاری



شکل ۹-۶ استفاده از اثر کاغذ کاربن برای کنترل صحت آزمایش مقاومت فشاری

۹-۶ بررسی و پذیرش بتن از نظر مقاومت فشاری

آیین نامه‌های مختلف به خصوص آیین‌نامهٔ کشور انگلستان، بطور گسترده داده‌های زیادی را بر روی تکرارپذیری و قابلیت تکرار (که هر دو جنبهٔ دقت را شامل می‌شود) جمع‌آوری نموده است. اولین موضوع، مربوط به تغییرات وابسته به افراد و تجهیزات مورد استفاده و دومین مورد به تغییرات بین افراد، آزمایشگاه‌ها، و تجهیزات

مربوط می‌شود. داده‌های بدست آمده بر روی دقت، امکان تعیین و اختصاص رواداری‌های مناسب بر روی مشخصات را فرآهم می‌سازد.

دقت نتایج را نمی‌توان از یک آزمایش واحد بدست آورد و این شاید دلیلی بر آن باشد که آیین‌نامه‌های مختلف، استفاده از یک آزمایش واحد را برای تطابق و پذیرش مجاز نمی‌دانند. به علت عدم دقت در برخی از آزمایشات، آیین‌نامه‌ها اصرار دارند که تعدای از نتایج را بصورت مقادیر متوسط نتایج برای پذیرش و تطابق مورد استفاده قرار داد. به همین ترتیب، در اغلب اوقات لازم است که رواداری‌های زیادی را برای حذف و یا کاهش عدم دقت‌ها مورد استفاده قرار داد.

مطابق با استاندارد ملی ۶۰۴۴ (استاندارد ملی بتن آماده)، تولید کننده باید بتن را بر اساس رده‌بندی مقاومت تعیین شده در آیین نامه بتن ایران شامل (C50-C40-C35-C30-C25-C20-C16-C12-C10-C8-C6) مشخص نماید.. اعداد بعد از C بیانگر مقاومت فشاری مشخصه بتن بر حسب نیوتن بر میلی‌متر مربع است. برای آزمایش مقاومت بتن باید حداقل دو نمونه آزمایشی تهیه شود که آزمایش فشاری آنها در سن ۲۸ روزه و یا هر سن مقرر شده دیگری انجام پذیرد. متوسط مقاومت‌های فشاری بدست آمده بعنوان نتیجه نهایی آزمایش منظور می‌شود. برای ارزیابی کیفیت بتن قبل از موعد مقرر می‌توان یک نمونه آزمایشی دیگر هم به منظور انجام آزمایش مقاومت فشاری تهیه کرد. حداقل یک نمونه‌برداری از هر رده بتن در هر روز الزامی می‌باشد و حداقل ۶ نمونه‌برداری از کل هر سازه الزامی است.

۹-۷ ضوابط پذیرش بتن

مطابق با ضوابط آبا، مشخصات مقاومتی بتن وقتی با ردهٔ مورد نظر انطباق دارد و قابل قبول تلقی می‌شود که یکی از دو شرط زیر برقرار باشد.

(الف) هر کدام از نتایج مقاومتی نمونه ها کمتر از مقاومت مشخصه نباشد.

(ب) اگر شرط (الف) بر قرار نبود، شرط (ب) کنترل خواهد شد که یک شرط دوگانه است و هر دو الزام باید برقرار باشد.

(ب-۱) میانگین هر سه نتیجه متوالی، از مقاومت مشخصه به اضافه ۱/۵ مگا پاسکال کمتر باشد.

(ب-۲) کوچکترین مقاومت نمونه‌ها از مقاومت مشخصه منهای ۴ مگا پاسکال کمتر نباشد.

۹-۸ شرایط عدم پذیرش بتن

مشخصات بتن در صورتی غیر قابل قبول خواهد بود که متوسط مقاومت‌های نمونه‌ها از مقاومت مشخصه کمتر باشد یا کوچکترین مقاومت نمونه‌ها از مقاومت مشخصه منهای $4\ N/mm^2$ کمتر باشد و به عبارتی یکی از شرایط زیر حادث شود:

الف: مقاومت فشاری حداقل از مقاومت فشاری مشخصه منهای ۴ کمتر شود یا ب: متوسط سه نمونه از مقاومت مشخصه کمتر باشد.

۹-۹ شرایط بتن مشکوک

اگر بتن از نظر مقاومت فشاری مورد پذیرش قرارد نگیرد ولی از سوی دیگر شرایط عدم پذیرش را هم نداشته باشد، مقاومت بتن مورد تردید خواهد بود به عبارتی در صورتی که رابطهٔ زیر اتفاق بیافتد:

$$f_i \geq f_c - 4.0 \quad \text{و} \quad f_c \leq \bar{f}_{(1,2,3)} \langle f_c + 1.5$$

بروز این حالت در استاندارد ۶۰۴۴ ایران پیش‌بینی نشده است ولی به هر حال در این حالت آبا اجازه می‌دهد طراح پروژه به تشخیص خود و بدون بررسی بتن تولیدی کم مقاومت را از نظر سازه‌ای بپذیرد و قابل قبول تلقی نماید. اما اگر طراح پروژه در این مرحله پذیرش بتن را از نظر سازه ای تشخیص ندهد باید وارد مراحل بررسی بتن کم مقاومت شود.

به نظر می‌رسد چنانچه با چنین شرایط مقاومتی، بررسی بتن کم مقاومت را دنبال کنیم به احتمال قوی در مراحل تحلیلی این بررسی، پذیرش بتن از نظر سازه‌ای حاصل خواهد شد و آبا اجازه چنین پذیرشی را قبل از بررسی بتن کم مقاومت صادر کرده است. طراح پروژه با توجه به درجه اهمیت مقاومت فشاری بتن در قطعه یا منطقه مورد نظر و نحوه اعمال ضرایب ایمنی در تحلیل و طراحی می تواند چنین تشخیصی را داشته باشد.

باید توجه داشت پذیرش بتن از نظر سازه‌ای به معنای انطباق مشخصات بتن بر رده مورد نظر یا مقاومت مشخصه نمی‌باشد. در این حالت تولید کننده بتن، رعایت مشخصات فنی خصوصی پروژه را ننموده است و مستحق دریافت همه وجوه مندرج در قرارداد نمی‌باشد.

در اینجا باتوجه به اهمیت بحث پذیرش بتن، نظریهٔ استاندارد ۲۰۶ اروپا نیز برای حل و فصل برخی از اختلافات احتمالی در صورت عدم پذیرش بتن و یا مشکوک بودن آن ارائه می‌شود. امید است با اصلاح استانداردهای ملی با روشی که در ادامه تشریح می‌شود، مشکلات این صنعت کاهش یابد.

۹-۱۰ ضوابط پذیرش طبق استاندارد اروپایی

نمونه‌ها در آیین نامهٔ اروپایی (BS-EN 206)، طبق روش نمونه‌برداری استاندارد اروپایی (EN12350-1) تهیه می‌شود (جدول ۱-۲). نمونه گیری برای هر نوع بتن بطور جداگانه انجام می‌شود. از نظر تواتر نمونه برداری ضوابط خاص و دیدگاه‌های ویژه‌ای در آیین نامهٔ اروپایی وجود دارد.

نمونه گیری پس از افزایش هر گونه آب یا افزودنی انجام می‌شود، اما اجازه داده شده است قبل از افزایش افزودنی روان کننده و یا فوق روان کننده نیز نمونه‌گیری شود تا تاثیر افزودنی بر بتن مورد ارزیابی قرار گیرد .

در آیین نامهٔ اروپایی، اگر اختلاف نتایج آزمونه ها با میانگین آنها بیش از ۱۵ درصد باشد نتایج این نوبت نمونه گیری باید حذف گردد مگر اینکه بررسی ها نشان دهد دلیل قابل قبولی برای حذف یکی از آزمونه ها وجود دارد و بدین ترتیب مشکل موجود حل می شود.

جدول ۹-۲ حداقل تعداد نمونه‌برداری برای ارزیابی انطباق بتن بر مقاومت مشخصه یا ردهٔ مورد نظر

	حداقل میزان نمونه برداری		
تولید	اولین $50\ m^3$ بتن تولید شده	تولید بتن پس از ۵۰ متر مکعب اولیه *	
		تولید بتن با گواهینامه کنترل تولید	تولید بتن بدون گواهینامه کنترل تولید

تولید اولیه (تا دستیابی به حداقل ۳۵ نتیجه)	۳ نوبت	هر ۲۰۰ متر مکعب یا در هر هفته دوبار	هر ۱۵۰ متر مکعب یا حداقل یک نوبت در روز
تولید مداوم** (وقتی حداقل ۳۵ نتیجه در یکسال در دست باشد)	--	هر ۴۰۰ متر مکعب یا در هر هفته یکبار	

* نمونه گیری باید به نحو تصادفی در طول ساخت بتن توزیع شود اما بیش از یک نوبت نمونه برداری در طی تولید ۲۵ متر مکعب بتن واقع نشود.

** وقتی انحراف معیار ۱۵ نوبت آخر از ۱/۳۷σ تجاوز کند، باید تعداد نمونه‌برداری افزایش یابد.

همانگونه که ملاحظه می‌شود، از دیدگاه آیین نامهٔ اروپایی، داشتن گواهینامه کنترل کیفی تولید، درتعداد نوبت‌های نمونه‌برداری مقاومتی موثر است. همچنین وقتی ۳۵ نتیجه قابل قبول در دست باشد، می توان تواتر را برای بتن‌های دارای گواهینامه تغییر داد به نحوی که تعداد نوبت‌های نمونه برداری عملاً نصف شود. در ضوابط قبلی آیین نامهٔ اروپایی، از هر ۷۵ متر مکعب یک نوبت نمونه‌گیری پیش‌بینی شده بود و اگر چند نوبت جواب مناسب اخذ می‌شد اجازه داده شده بود که از هر ۲۰۰ متر مکعب یک نوبت نمونه‌گیری انجام شود اما به مجرد اینکه جواب مناسب اخذ نمی‌گردید، مجدداً به روال قبل برمی‌گشت.

در این استاندارد، در حالت معمول از نتایج مقاومت ۲۸ روزه استفاده می‌شود مگر اینکه در طراحی سن دیگری برای ارزیابی و پذیرش در نظر گرفته شده باشد. دو ضابطه در این آئین نامه وجود دارد که باید برآورده شود. ضابطه اول برای n نتیجه متوالی f_{cm} و ضابطه دوم برای هر نتیجه f_{ci} است. در واقع در این آئین‌نامه بجای سه نتیجهٔ متوالی، امکان به کارگیری n نتیجه متوالی وجود دارد.

انطباق بتن برای تولید اولیه یا در تداوم وقتی تائید می شود که هر دو ضابطه اول و دوم برآورده شود (جدول ۹-۳ و ۹-۴).

وقتی انطباق بر روی یک نوع بتن ارزیابی می‌شود، ضابطه اول باید برای بتن مرجع با در نظر گرفتن همه نتایج آزمایش‌های قبلی و بعدی آن مجموعه بتن بکار رود و ضابطه دوم باید در مورد نتایج آزمایشهای اصلی اولیه بکار گرفته شود.

برای تأیید هر عضو منفرد متعلق به یک نوع بتن، میانگین همه نتایج آزمایش f_{cm} برای یک عضو باید طبق ضابطه سوم که در جدول زیر ارائه شده است نیز بکار رود. هر بتنی که نتواند این ضابطه را برآورده و ارضاء

کند، باید از مجموعه خارج شده و ارزیابی بصورت منفرد برای انطباق انجام شود. در این جدول، f_{ck} مقاومت مشخصه رده موردنظر می باشد.

جدول ۹-۳ ضوابط و معیارهای انطباق مقاومت بتن با رده مورد نظر

تولید	تعداد n نتیجه برای مقاومت فشاری در یک گروه	ضابطهٔ اول	ضابطهٔ دوم
		میانگین n نتیجه، f_{ck} (N/mm^2)	نتیجه های منفرد f_{ci} (N/mm^2)
اولیه	۳	$\geq f_{ck}+4$	$\geq f_{ck}-4$
مداوم	۱۵	$\geq f_{ck}+1.48\sigma$	$\geq f_{ck}-4$

جدول ۹-٤ ضابطه تائید برای اعضاء یک مجموعه (ضابطهٔ سوم)

تعداد n نتیجه مقاومتی برای یک بتن	ضابطه سوم
	میانگین n نتیجه f_{cm} برای یک عضو منفرد مجموعه (N/mm^2)
۲	$\geq f_{CK}-1.0$
۳	$\geq f_{CK}+1.0$
۴	$\geq f_{CK}+2.0$
۵	$\geq f_{CK}+2.5$
۶	$\geq f_{CK}+3.0$

انحراف معیار باید به کمک حداقل ۳۵ نتیجهٔ متوالی که در محدوده حداکثر ۳ ماهه اخذ شده است، محاسبه شده و بعنوان انحراف معیار تقریبی σ یک مجموعه نتایج در نظر گرفته شود. اگر انحراف معیار ۱۵ نتیجه از آخرین نتایج بیش از ۰/۶۳ وکمتر از ۱/۳۷σ باشد این نتیجه معتبر و پابرجا می‌ماند در غیر اینصورت تخمین جدیدی از انحراف معیار با کمک ۳۵ نتیجه آخر زده شود.

در این مورد هر چند شباهت‌هائی با "آبا" مشاهده می گردد اما به ویژه در مورد نتایج میانگین n نتیجه متوالی تفاوت عمده‌ای دیده می‌شود. به نظر می‌رسد دیدگاه آیین نامهٔ اروپایی با توجه به ماهیت بتن آماده،

می‌تواند نوعی دیدگاه علمی و منطقی محسوب باشد. شاید لازم باشد در بازنگری‌های آیین نامهٔ بتن ایران به این نکته توجه لازم مبذول شود.

۹-۱۱ اقدامات مربوط به عدم پذیرش

در صورتی که بر اساس آزمایش‌های مقاومت، آزمونه‌های عمل آمده در آزمایشگاه بر ردهٔ بتن منطبق نباشد و یا به عبارتی بتن غیر قابل قبول باشد باید تدابیر زیر اتخاذ شود:

تحلیل مجدد سازه با توجه به مقاومت موجود بتن (بتن کم مقاومت)

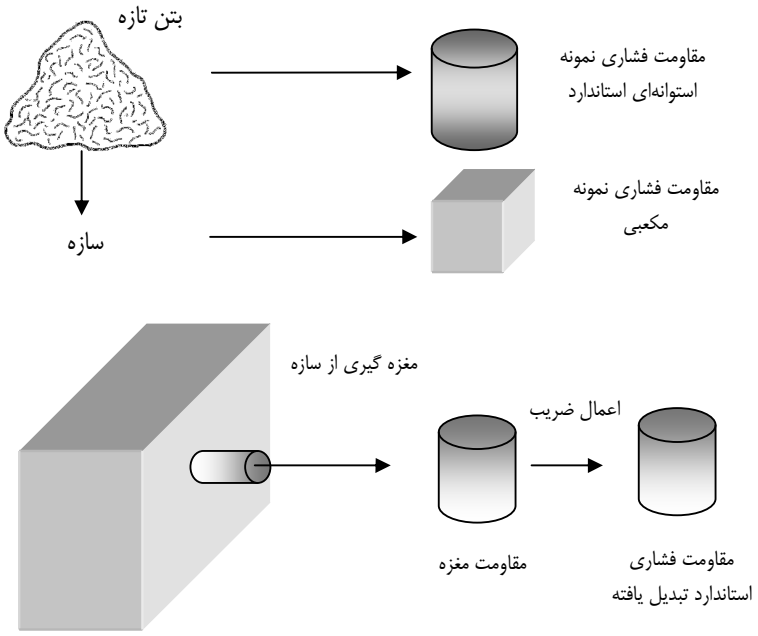
(ب) مغزه گیری از بتن و بررسی انطباق با ضوابط مربوطه

۹-۱۲ اصول مغزه‌گیری و بررسی مقاومت بتن در سازهٔ اجرا شده

هدف از ارزیابی بتن در سازه این است که مشخص شود آیا مقاومت در جای بتن بر اساس الزامات طراحی سازه، برای سن بارگذاری مورد نظر کافی بوده است یا خیر. اگر چنانچه در برخی موارد مقاومت اضافی در مرحلهٔ طراحی مشاهده شود،در این موارد ممکن است حساسیت کمتری در مورد بتن‌های کم مقاومت، در محل‌های دارای تنش پایین داشته و بتن را مورد پذیرش قرار داد.

بسیار مهم است که بدانیم احتمالاً بتن در سازه مقاومت‌های مختلفی نسبت به نمونه‌های بتن استاندارد داشته باشد، حتی اگر چنانچه در شرایط سنی مشابهی مورد ارزیابی واقع شود. دلیل این اختلافات عبارت است از:

(الف) اختلاف در عمل‌آوری، به ویژه در مناطق نزدیک به سطح، (ب) تفاوت در تراکم، (ج) وجود آرماتور در یا نزدیکی نمونهٔ بتن اخذ شده، (د) ته‌نشینی بتن در عمق، (ه) تنش حرارتی و حرکت داخلی، (و) در حالت مغزه‌گیری، عملیات نمونه‌گیری ممکن است به ضعیف شدن سطح برش داده شده منجر شود (شکل ۱-۷).



شکل ۹-۷ رابطهٔ بین مقاومت فشاری در محل و نمونهٔ استاندارد

۹-۱۳ تفسیر نتایج مغزه‌های اخذ شده از سازه

در آیین نامهٔ بتن ایران و مقررات ملی ساختمانی ایران برای ارزیابی بتن‌های با مقاومت کم پیشنهاد شده است که با مغزه‌گیری و برآورد مقاومت مغزه‌ها در مورد باربری سازه‌ای بتن اجرا شده اظهار نظر نمود. استاندارد انگلیس، برای این کار روابطی را ارائه می‌دهد که مقاومت ارزیابی شده در محل را با توجه به تعداد مغزه‌ها، شرایط عمل‌آوری و شرایط عمل‌آوری اصلاح می‌نمایند.

به هر حال بر اساس آیین نامه‌های ایران، در صورتی مقاومت قابل قبول تلقی می‌شود که متوسط سه مغزه حداقل برابر ۰/۸۵ مقاومت مشخصه باشد و به علاوه مقاومت هیچ یک از مغزه‌ها از ۰/۷۵ مقاومت مشخصه کمتر نباشد. البته این آیین نامه‌ها برای کنترل دقت نتایج پیشنهاد می‌کنند مغزه‌گیری به دفعات تکرار شود.

۹-۱۴ استفاده از آزمایشات غیر مخرب

می‌توان از روش‌های غیر مخرب به جای آزمایش مغزه و یا در ترکیب با آزمایش مغزه به طریقی که در بخش قبلی شرح داده شد استفاده کرد. برای برآورد مقاومت بتن با استفاده از آزمایشات غیر مخرب می‌توان از ضوابط نشریهٔ ض-۳۱۶ مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن استفاده کرد.

۹-۱۵ ارائهٔ راهکار برای بتن مردود

زمانی که مقاومت در محل بتن غیر قابل پذیرش شناخته شد، مسئول تعیین کنندهٔ مشخصات می‌تواند یکی از راهکارهای زیر را در پیش گیرد:

(الف) افزایش مقاومت بتن با طرح جدید،

(ب) مقاوم سازی سازه به عنوان مثال با ضخیم کردن قطعه،

(ج) طراحی دوبارهٔ بخش‌های باقی ماندهٔ سازه بر اساس بار کاهش یافته بر روی اعضای ضعیف‌تر،

(د) برداشتن بتن ضعیف و جایگزینی.

مسئول تعیین کنندهٔ مشخصات، معمولاً از متوسل شدن به آخرین نتیجه امتناع می‌کند چرا که به جز زمانیکه سازهٔ معیوب کاملاً مستقل از سایر سازه‌ها باشد، ممکن است در تطبیق ظاهری یا اطمینان از پیوستگی سازه‌ای، بین سطح مقطع‌های پذیرفته شده و جایگزین شدهٔ بتن مشکلاتی بوجود آید.

۹-۱۶ راه‌کارهای افزایش مقاومت و دوام بتن در یک سازه

بسیاری اوقات می‌توان برای بهبود مقاومت و افزایش دوام بتن، به روند طبیعی کسب مقاومت بتنی که به خوبی عمل‌آوری شده، اعتماد نمود. در سایر حالات، ممکن است از روش‌های تسریع شده برای کمک به کسب مقاومت بتن استفاده کرد و یا حتی هیدراسیون متوقف شده را دوباره فعال نمود. در این مورد استفاده از روش‌های آزمایش غیر مخرب برای تایید کسب مقاومت در برخی نقاط خاص از سازه توصیه می‌شود.

۹-۱۷ کنترل مقادیر یا نسبت‌های طرح مخلوط

استانداردهای ملی ایران به شماره‌های ۶۰۴۱ و ۶۰۴۲، روش آزمون تعیین میزان آب و مقدار سیمان بتن آماده را تشریح می‌کند. در مواردی که اختلاف بین تولید کننده و خریدار در مورد رعایت این مقادیر باشد لازم است بر اساس این استانداردها نسبت به تعیین میزان آب و سیمان بتن آماده اقدام شود. علاوه براین، ممکن است نسبت‌های اختلاط یا توسط تولید کننده یا توسط خریدار مطابق با بندهای زیر کنترل شود:

(الف) هر پیمانه

مشاهده و بررسی چشمی اختلاط

ثبت اسناد و پرونده‌های اختلاط (دستی یا خودکار)

آنالیز بتن تازه

آنالیز شیمیایی یتن سخت شده

کنترل غیر مستقیم بر روی نسبت آب به سیمان (اسلامپ، مقاومت نمونه‌ها)

کنترل غبیر مستقیم بر روی عیار سیمان (مقاومت نمونه‌ها)

(ب) کلی

همانند موارد مربوط به هر پیمانه در بند فوق

اصلاح موجودی انبار.

۹-۱۸ بررسی و آنالیز بتن تازه

چند مسئلهٔ عمده وجود دارد که استفاده از روش‌های مختلف آنالیز بتن تازه را محدود می‌کند. این موارد عبارتند از ضرورت استفاده از تکنسین ماهر، گرانی و پیچیده بودن آزمایش‌ها، بی‌دقتی و اشتباه در نمونه‌برداری، عدم دقت آزمایشات، زمان زیاد برای بدست آوردن نتایج آزمایش و عدم کارایی برای کارگاه‌های ساختمانی کوچک (استاندارد ۶۰۴۱ و ۶۰۴۲ ایران).

استانداردهای بین‌المللی، روش‌های مختلفی را برای آنالیز بتن تازه پیشنهاد می‌دهند. لیکن در این زمینه، مشکلات اساسی وجود دارد که از آن جمله می‌توان به فرضیاتی اشاره کرد که برای چنین آنالیزهایی استفاده می‌شود. به عنوان مثال در مورد روش فیزیکی ارزیابی سیمان، بین سیلت و سیمان تفاوتی قائل نمی‌شود. در مورد روش‌های شیمیایی نیز که بر مبنای تعیین آهک استوار است، فرضی برای مقدار نسبت بین سیمان و سنگدانه‌ها در نظر گرفته می‌شود.

آنالیز بتن تازه برای تعداد معدودی از قراردادها به عنوان آزمایش پذیرش بتن بکار گرفته می‌شود اما، در بسیاری از پروژه‌ها بدلیل تاخیر در جواب این آزمایشات، به ندرت به عنوان شرط پذیرش بتن استفاده می‌شود. این آزمایشات یک کاربرد مهم دارد: اظهار نظر در مورد یکنواختی اختلاط مخلوط کن‌های ایستگاهی یا کامیون‌های مخلوط کن هر جا که مقایسهٔ نسبی به جای مقادیر مطلق مورد نظر باشد.

۹-۱۹ آنالیز شیمیایی بتن سخت شده

آنالیز شیمیایی بتن سخت شده نیز با همان مشکلاتی که در آنالیز بتن تازه و خمیری گفته شد محدود می‌شود. علاوه بر این محدودیت‌ها، با وجود مشکلات بیشتری در اطمینان از انتخاب نمونهٔ نماینده، مشکلات بیشتر در عدم دقت در آزمایشات، زمان بیشتر برای اخذ نتیجه و هزینه‌های بیشتر دو چندان می‌شود. در نتیجه، آنالیز شیمیایی بتن سخت شده نه تنها نمی‌تواند معیار مناسبی برای پذیرش بتن محسوب شود، بلکه ممکن است در موقع بروز اختلاف نظر، مباحث زیادی را بوجود آورد (استاندارد ۶۷۱۴ ایران).

برخی از دستورالعمل‌ها، به بروز عدم دقت‌هایی در شرایط ایده‌آل اشاره می‌کنند. تعدادی از تغییرات معمول در آنالیز شیمیایی بتن که ممکن است در عمل پیش آید در جدول (۹-۵) ارائه شده است. آنالیز نمونه‌های فشاری بسیار سر راست بوده و در ضمن پیچیدگی‌های مربوط به سیمان آمیخته، سربارهٔ کورهٔآهن‌گدازی و خاکستر بادی که باعث بروز برخی عدم اعتماد می‌شود را ندارد. مهمترین ویژگی این آزمایش آن است که در مواقعی که وجود و یا عدم وجود مصالح مورد تردید بوده و همچنین زمانی که مرتبهٔ بزرگی نسبت‌های اختلاط مورد نظر است آشکار می‌شود.

جدول ۹-۵ تغییرات در مقدار نسبت سنگدانه به سیمان توسط آنالیز شیمیایی بتن سخت شده

مرجع آزمایش	نسبت وزنی سنگدانه به سیمان
در موقع تهیهٔ نمونه (مرجع)	۸/۰
۱	۱۰/۷
۲	۵/۹
۳	۸/۱
۴	۸/۶
۵	۷/۲
۶	۶/۹
۷	۵/۴
۸	۸/۶
۹	۸/۹
۱۰	۸/۰
۱۱	۸/۸

فصل دهم

کنترل کیفیت

۱۰-۱ کلیات

عبارت "کنترل کیفیت" از دیدگاه افراد مختلف، معانی مختلفی دارد. گاهی اوقات اینگونه تصور می‌شود که این عبارت مترادف با تضمین کیفیت است و یا صرفاً کنترل کیفیت به تحلیل داده‌های آزمایشی محدود می‌شود. تعاریف زیر ممکن است مفهوم و معنای آن را برای بتن آماده بیشتر روشن کند.

در این بخش کنترل کیفی و پایش کیفیت پوشش داده شده و روش‌های مختلف اعمال اینگونه کنترل‌ها نیز مورد بحث قرار خواهد گرفت. کنترل کیفی باید شامل آزمایش‌هایی در آزمایشگاه (شکل ۲-۱) و هم در محل کارگاه ساختمانی باشد (شکل ۲-۲).

شکل ۲-۱ آزمایش بتن در محل آزمایشگاه

کنترل کیفیِ بتن آماده به سه بخش نسبتاً ساده تقسیم می‌شود:

(الف) کنترل مقدماتی[1]

(ب) کنترل لحظه‌ای[2] و

(ج) کنترل بازنگرانه[3].

تمامی این سه مورد متضمن جنبه‌های مختلف فنی و فرآیند تولید می‌شود.

۲-۱۰ کنترل مقدماتی

کنترل مقدماتی و اقدامات اصلاحی متعاقب آن از جنبه‌های ضروری در فرآیند کنترل کیفی محسوب می‌شود.

کنترل مقدماتی موارد زیر را شامل می‌شود:

(الف) انبار مصالح،

جلوگیری از آلودگی مصالح و رعایت شرایط انبارداری استاندارد

سیستم‌های قابل اطمینان انتقال و تغذیه

زهکشی سنگدانه‌ها

جلوگیری از یخ زدگی

جلوگیری از تابش مستقیم آفتاب

(ب) پایش کیفیت مصالح،

بررسی‌های چشمی: تایید قبولی یا رد کیفیت مصالح

نمونه‌برداری: آزمایش آزمایشات کنترل کیفیت

گواهی از فروشنده‌ها: دریافت شرایط و نحوهٔ مصرف به ویژه در مورد مواد افزودنی

اطلاعات و مشخصات اعلام شده از طرف فروشنده‌ها

1- Forward control
2- Immediate control
3- Retrospective control

(ج) اصلاح طرح اختلاط،

(د) تعمیر و نگهداری واحد تولید بتن آماده،

(ه) وسائل و تجهیزات انتقال و توزین،

ترازوهای کالیبره شده

توزین مجزای سیمان

پخش کنندهٔ مواد افزودنی کالیبره شده

(و) مخلوط کن کارخانه‌ای و مخلوط کن کامیون،

وضعیت تیغه‌ها

توان و قدرت مخلوط‌کن‌ها

تعمیر و نگه‌داری.

در مورد مشخصات و ویژگی سنگدانه‌ها، انواع مواد سیمانی، آب، و مواد افزودنی و همچنین کنترل‌های کیفی مربوط به هریک، با انجام چنین بازبینی‌هایی و در فصول مربوط به هر کدام از این مصالح مباحث مفصلی ارائه شد.

شکل ۱۰-۲ تجهیزات آزمون بتن در محل کارگاه

۱۰-۳ کنترل لحظه‌ای

کنترل لحظه‌ای عبارت است از اقدامات فوری برای کنترل کیفیت بتن در مرحلهٔ تولید یا تحویل محموله‌های بتنی تولید شده. این کنترل‌ها شامل موارد زیر است:

(الف) توزین (قرائت صحیح داده‌های مخلوط بتن و توزین دقیق)،

(ب) مشاهدهٔ چشمی بتن در طی فرآیند تولید، حمل و یا در طی نمونه‌برداری و آزمایش بتن تازه (ارزیابی یکنواختی، چسبندگی، کارایی؛ تعدیل میزان آب)،

(ج) استفاده از ابزار اندازه‌گیری در محل کارگاه برای تعیین میزان رطوبت سنگدانه‌ها، به خصوص ریزدانه‌ها، یا کارایی بتن،

(د) اجرای تعدیل‌های متناظر در محل کارگاه بر روی مقادیر طرح اختلاط بطور خودکار یا دستی برای تغییرات قابل مشاهده، اندازه‌گیری شده و یا گزارش شده در کیفیت مصالح و یا بتن تولیدی،

(ه) نظارت و بازرسی بر تحویل بتن توسط راننده‌ها، و مشتریان به منظور رعایت یکنواختی و کارایی؛ اعمال تعدیلات در چهارچوب سیاست کلی شرکت.

۱۰-٤ کنترل‌های باز نگرانه

اینگونه کنترل‌ها شامل موارد زیر است:

(الف) نمونه‌برداری از بتن، آزمایش، و پایش نتایج،

(ب) کنترل توسط باسکول به منظور اطمینان از عدم وجود اضافه بار و یا ظرفیت پایین کامیون‌های حمل کننده،

(ج) کنترل موجودی انبار مصالح،

(د) تشخیص و اصلاح خطاهای شناسایی شده ازشکایات واصله.

۱۰-۵ پایش کیفیت

روش‌های تحلیلی مختلفی برای مقایسهٔ سطوح متوسط و یکنواختی بدست آمده با سطوح هدف و همچنین شناسایی اقدامات لازم مورد استفاده قرار می‌گیرد. روش پایش و تحلیل موسوم به روش مجموع تجمعی[1] نمونه‌ای از روش‌های موثری است که بطور ویژه برای مقاومت بتن مورد استفاده قرار می‌گیرد. البته از این روش می‌توان برای کنترل و پایش سایر خواص بتن مانند اسلامپ، وزن مخصوص و یا هر خاصیت مهم مورد نظر نیز استفاده کرد.

کنترل بازنگرانه می‌تواند بر روی هر خصوصیتی از مصالح و یا بتن تولیدی نظیر دانه‌بندی سنگدانه‌ها، اسلامپ، مقاومت یا میزان حباب هوا اعمال شود. اما این نوع کنترل بطور اختصاصی برای مقاومت ۲۸ روزهٔ نمونه‌های مقاومت فشاری بکار برده می‌شود که بدلیل ماهیت این معیار، نمی‌توان آنرا در مرحلهٔ قبل و یا در جریان تولید اندازه‌گیری و کنترل نمود. بدین ترتیب در دستیابی به این نتایج همواره تاخیر ایجاد می‌شود. این بدان معنی است که اعمال هرگونه اصلاح بر روی محموله‌های اعزامی با کیفیت از پیش تعیین شده با تاخیر چند روزه مواجه خواهد شد.

برای اینکه بتوان تا اندازه‌ای بر این مشکل فائق آمد، صنعت بتن آماده از نوعی سیستم پیش‌بینی کننده استفاده می‌نماید که نتایج آزمون‌های سنین پایین را به نتایج ۲۸ روزه ارتباط می‌دهد. به علت آنکه این مدل پیش‌بینی کننده امکان دارد بطور پیوسته تغییر کند، نیاز است که چنین مدلی بطور پیوسته اصلاح و مورد بازنگری قرار گیرد.

همانطور که در فصول قبل ذکر شد، معمولاً رسم بر آن است که مقاومت سن پایین با آزمایش مقاومت فشاری پس از ۷ روز عمل آوری در شرایط استاندارد ارزیابی شود. ویژگی‌هایی که معمولاً در پایش مقاومت فشاری بتن بکار برده می‌شود عبارتند از:

(الف) مقاومت ۲۸ روزه (سطح متوسط، یکنواختی) و

(ب) ارتباط بین مقاومت سن پایین (۷ روزه) و مقاومت ۲۸ روزه.

1- Cusum

معمولاً دامنهٔ تغییرات بین نتیجهٔ دو آزمونهٔ متوالی که براحتی قابل تبدیل به انحراف استاندارد است ملاک یکنواختی قرار می‌گیرد.

$$\sigma_e = \overline{D}_v \times 0.886 \qquad (۱-۱۰)$$

بطوریکه

σ_e = انحراف استاندارد تخمینی، و

$\overline{D}_v$ = متوسط دامنهٔ تغییرات دو آزمونهٔ متوالی مشاهده شده می‌باشد.

برای راحتی در سیستم‌های کنترل، رابطهٔ زیر را می‌توان مورد استفاده قرار داد:

$$D_{\mathrm{PT}} = \sigma_a \times 1.128 \qquad (۲-۱۰)$$

بطوریکه

σ_a = انحراف استاندارد فرض شده، و

D_{PT} = دامنهٔ تغییرات متوسط هدفِ زوج نمونه‌ها می‌باشد.

در عمل، سیستم‌های کنترل ترجیح می‌دهند که از انحراف استاندارد دست بالای ۸ درصد استفاده کنند. این مقدار حاشیهٔ اطمینانی برای پوشش دادن به تاخیر در شناسایی تغییرات در مقدار متوسط و انحراف استاندارد فراهم می‌سازد.

برای اینکه بتوان از نتایج بدست آمده از مخلوطهای مختلف در همان سیستم کنترل استفاده نمود، ضروری است که بر روی این نتایج تعدیلاتی بر حسب نتایج مخلوط مرکزی که سیستم کنترل بر پایهٔ آن طراحی شده است اعمال شود. این مخلوط کنترل معمولاً بتن با ردهٔ C25، یا C30 با اسلامپ ۵۰mm است که با استفاده از سیمان پرتلند، و سنگدانهٔ با حداکثر اندازهٔ ۲۰ mm و بدون مواد افزودنی ساخته می‌شود. به منظور طراحی، تمامی مخلوطهای دیگر به این مخلوط کنترل ارتباط داده می‌شود اما، معمولاً تنها نتایج مربوط به مخلوطهایی برای استفاده در سیستم کنترل مجاز شناخته می‌شود که با همان نوع سیمان و همان نوع سنگدانه ساخته شده باشند.

برای تضمین کیفی بر اساس مقررات و گواهی‌نامه‌های مربوطه، ممکن است تولید کنندگان بتن آماده هر یک نرخ‌ها و تواترهای متفاوتی را جهت کنترل فرآیند تولید خود استفاده کنند، ولیکن در هر صورت مقداری جریمهٔ حاشیهٔ طراحی وجود دارد که با کاهش تواتر آزمایش افزایش پیدا می‌کند (جدول ۱۰-۱).

جدول۱۰-۱ رابطهٔ بین حاشیهٔ طراحی و نرخ آزمایش

نرخ آزمایش ماهیانه برای مخلوط‌های واجد شرایط برای قرار گرفتن در سیستم کنترل	حاشیهٔ طراحی (N/mm^2)
۱۶ آزمون یا بیشتر	۲× انحراف معیار
۱۲ آزمون	۲/۳۵× انحراف معیار
۸ آزمون	۲/۷× انحراف معیار
۶ آزمون	۲/۹× انحراف معیار
کمتر از ۶ آزمون	غیر مجاز

باید توجه داشت که نرخ آزمایش ارائه شده در جدول تنها مربوط به مخلوط‌هایی است که برای استفاده در سیستم کنترل کیفی قابل استفاده است و معمولاً در عمل لازم است نرخ آزمون بیشتری برای پوشش دادن کامل بتن‌های تولید شده در هر کارگاه انجام شود. در واقع، در برخی موارد، ممکن است بیش از یک سیستم کنترلی در کارگاه جهت پوشش دادن به تمامی ترکیبات مصالح بکار گرفته شود. به عنوان راه حل دیگر برای افزایش حاشیهٔ طراحی، سیستم‌های شناسایی که سرعت بالایی دارند، نیز مجاز شناخته می‌شود.

فصل یازدهم

تولید، تحویل، و تضمین کیفیت

۱۱-۱ روش‌های تولید

در کشورهای مختلف، بتن آماده با روش‌های مختلفی تولید می‌شود، لیکن اساس کار و فرآیندهای اجرایی در اغلب این روش‌ها مشابه است. این فرآیندها شامل دریافت و انبارداری مصالح ورودی، عملیات بچینگ مواد و مصالح اولیه، اختلاط بتن، و بارگیری وسایل حمل بتن می‌باشد. این صنعت در واقع صنعتی بی تحرک نیست، بلکه این صنعت بر حسب نیاز بازار و تقاضای روزافزون برای تامین بتن در پروژه‌های ساختمانی، همواره در حال توسعه و پیشرفت روزافزون است. از آنجایی که زمان مجاز نگهداری بتن بسیار کوتاه است، لذا بهتر است واحدهای تولیدی و کارخانه‌های بتن آماده، هر چه نزدیکتر به محل مصرف احداث و مورد بهره‌برداری قرار گیرد.

برای طراحی یک کارخانهٔ تولید بتن آماده، ضروری است که ابتدا با استفاده از ارزیابی‌های واقع‌گرایانه، وضعیت بازار مصرف مشخص شده و اندازه و حجم مورد نیاز بتن و نوع بتنی که نیازهای محلی را برطرف می‌کند، تشخیص و تعیین شود. بطور کلی در این مقوله، باید موارد زیر مد نظر قرار گیرد:

(الف) انواع مصالح،

(ب) ظرفیت ذخیره‌سازی،

(ج) پردازش توالی عملیات،

(د) ظرفیت و توان عملیاتی کامیون‌های مخلوط‌کن،

(ه) الزامات برنامه‌ریزی،

(و) الزامات کنترل کیفی،

(ز) الزامات تنظیمی،

(ح) تداوم عملیات،

(ط) الزامات ایمنی و سلامت.

۱۱-۱-۱ انواع مصالح

انواع مختلف سیمان برای تولید انواع مختلف بتن مورد نیاز بازار مصرف، به محل کارخانهٔ تولید بتن آماده منتقل و در سیلوهایی که بدین منظور ساخته شده، ذخیره می‌شود. در حالی که انواع سنگدانه‌های به منابع در دسترس محدود است؛ مانند سنگدانه‌های کوهی، آهکی، گرانیتی و سنگ خرد شده. معمولاً سنگدانه‌های با حداکثر اندازهٔ ۱۰ mm و ۲۰ mm بطور جداگانه انبار می‌شود و در برخی کارخانه‌ها و بسته به نیازهای محلی، ممکن است سنگدانه‌هایی تا حداکثر اندازهٔ ۴۰ mm نیز در انبار ذخیره شود.

کارخانه‌هایی که دارای سیلوهای دوقلو برای ذخیرهٔ دو نوع مواد سیمانی، مانند سیمان پرتلند و سیمان سرباره‌ای باشند امکان تولید راحت‌تر بتن معمولی و بتن سرباره‌ای را خواهند داشت.

۱۱-۱-۲ ظرفیت ذخیره‌سازی

دریافت و ذخیره سازی مصالح به شکل انبوه، یک راه حل اقتصادی برای تولید بتن آماده می‌باشد. با توجه به استانداردهای جاده‌سازی، ظرفیت مجاز وسایل نقلیهٔ باری بر مبنای حداکثر ۱۰ تن روی هر محور می‌باشد که این خود مهمترین محدودیت در هزینهٔ حمل سیمان و سنگدانه محسوب می‌شود. در حال حاضر، تانکرهای حمل سیمان تا ۲۰ تن ظرفیت داشته و هر زمان که تقاضا برای تولید بتن آماده بیشتر شود، می‌توانند به ناوگان تانکری تولیدکنندگان سیمان متکی باشند تا از پر کردن سیلوهای خود جلوگیری کند.

کامیون‌های مدرن قادر به حمل حدود ۲۴ تن سنگدانه هستند. کاملاً روشن است که طراحی اعضای انبار، سیلوهای سیمان و سیلوهای سنگدانه، تحت تاثیر ظرفیت وسایل حمل و تحویل مصالح می‌باشند. زمانی که کارخانهٔ تولید بتن آماده در نزدیکی منابع سنگدانه قرار گرفته باشد، در این صورت ظرفیت انبارهای ذخیرهٔ مصالح

سنگی می‌تواند کم و محدود باشد. پایدارسازی درصد رطوبت سنگدانه‌ها، به خصوص ماسه، یکی از مهمترین عوامل تاثیرگذار در ظرفیت و چیدمان انبار ذخیرهٔ مصالح سنگی می‌باشد.

۱۱-۱-۳ توالی عملیات

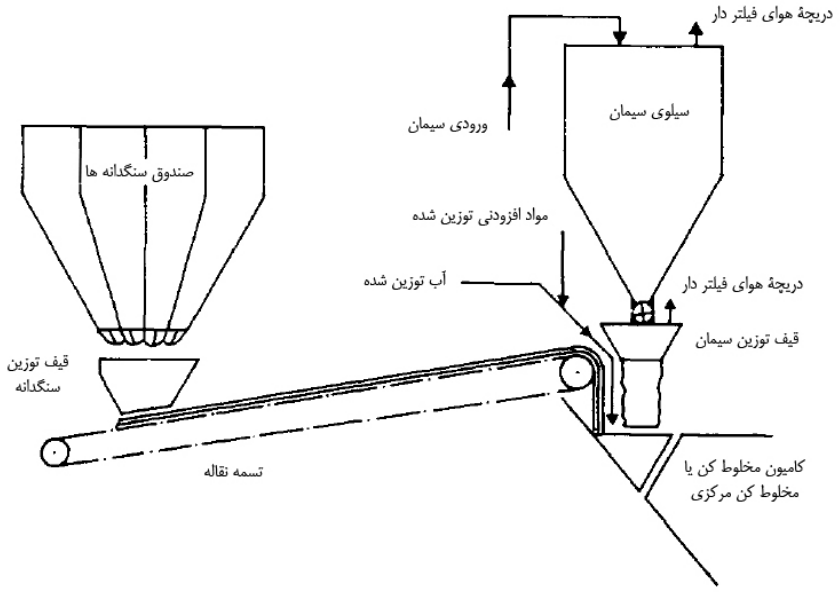
یک کارخانه ممکن است برای

(الف) عملیات بچینگ،

(ب) عملیات بچینگ و اختلاط، یا

(ج) عملیات بچینگ با یک گزینهٔ اختیاری اختلاط طراحی و ساخته شود. حداکثر ابعاد واحد بچینگ، کنترل کنندهٔ نرخ تولید کارخانه است.

در طی سالیان متمادی، توزین دقیق اجزای جامد بتن، اساسی‌ترین الزام برای تولید بتن با کیفیت بوده است، اما در طی سالیان اخیر، اتوماسیون در عملیات بچینگ بطور چشمگیری افزایش پیدا کرده است. قابلیت اعتماد به این سیستم‌ها روز به روز با کمک و دخالت کامپیوترها در تنظیم و کنترل عملیات بچینگ افزایش پیدا نموده است. معمول‌ترین تجهیزات توزین پیوسته، باید توسط شاهین ترازو متعادل شوند، همچنین می‌توان از لودسل نیز برای توزین استفاده کرد. برخی از سیستم‌های توزین پیوسته هنوز هم در حال سرویس‌دهی هستند. کنترل عملیات تخلیه از انبار و قیف (شکل ۱۱-۱) در ورودی اصلی، توسط سیلندرهای هوای فشرده انجام می‌شود.



شکل ۱۱-۱ سیستم قیف توزین

با افزایش تمرکز بر روی کالیبراسیون، نیاز به امکان تنظیم‌ها مطابق روال عادی و کنترل‌های حرفه‌ای بر روی فرآیند توزین با کمترین صعوبت، هر چه بیشتر احساس می‌شود که این امر جایگاه خود را در چیدمان کارخانهٔ بتن آماده خواهد داشت. امروزه استفاده از روش اندازه‌گیری در حال حرکت، تقریباً یک روش فراگیر شده ولی در برخی از واحدها هنوز هم از روش توزین آب استفاده می‌شود. استفاده از پخش کننده‌ها برای توزین مواد افزودنی نیز یک روش مقبول و فراگیر شده است. بار دیگر باید تاکید شود که نیاز به فراهم آوردن قابلیت کالیبراسیون، در فرآیند طراحی و نصب تجهیزات تاثیرگذار است.

از آنجائیکه کامیون‌های مخلوط کنِ بتن آماده، قادرند بطور کامل عملیات اختلاطِ طیف وسیعی از انواع مخلوط‌های بتنی را انجام دهند، بنابراین توجیه برای وجود مخلوط‌کن در توالی فرآیند کار با توجه به نیاز بازار مصرف محلی بتن مشخص و توجیه می‌شود. گاهی اوقات، بتن‌های آمادهٔ نیمه خشک در پشت کامیون کمپرسی جمع‌آوری می‌شود و بنابراین لازم است در داخل کارخانه، مخلوط‌کن برای اختلاط مصالح استقرار یابد.

بطور کلی، کارخانه‌هایی که در آنها تمامی انواع بتن‌ها باید از طریق مخلوط‌کن فرآوری شود، فقط در مناطق شهری مستقر هستند. یک وضعیت قابل قبول این است که دو خط تولید وجود داشته باشد یعنی یک "قسمت خشک" که مصالح مستقیماً به داخل کامیون مخلوط‌کن منتقل شده و یک "قسمت تر" که به داخل مخلوط‌کن منتقل شود. معمولاً چنین مخلوط‌کن‌هایی با "قسمت تر" دارای ظرفیت محدودی هستند.

به علاوه اضافه کردن به هزینه‌های سرمایه‌گذاری یک مخلوط‌کن، به طور قطع الزامات انرژی و هزینه‌های تعمیر و نگهداری کارخانه را افزایش خواهد داد. بنابراین با این حساب، تصمیم گیری بر روی اینکه مخلوط کن وجود داشته باشد و یا یک مخلوط‌کن از فرآیند تولید خارج شود، از لحاظ اقتصادی و توجیه تجاری بسیار حیاتی می‌باشد.

در بیشتر کشورها، معمول‌ترین روش تولید بتن آماده، استفاده از کامیون‌های مخلوط‌کن بتن آماده است. بطوریکه مواد و مصالح بتنی پس از عملیات بچینگ به داخل کامیون‌های مخلوط‌کن منتقل شده و در داخل کامیون، این مواد توسط دیگ گردان با یکدیگر مخلوط می‌شوند. مهمترین عامل در تعیین یکنواختی مخلوط روشی است که برای تغذیهٔ مخلوط‌کن استفاده می‌شود. با افزای تجربه، امکان بهره‌برداری بهینه از مصالح محلی فراهم می‌شود ولی به هر حال اگر بتن به خوبی مخلوط نشده باشد، اولین مورد آن است که توالی بارگیری و فرآیند اضافه کردن آب مورد بازرسی قرار گیرد. گزینه‌های موجود برای بارگیری مخلوط عبارتند از:

(الف) بارگیری با تسمه نقاله،

(ب) سیمان پس بارگیری شده[1]،

(ج) بارگیری ساندیچی[2]،

(د) اختلاط دوغابی[3]،

(ه) بچینگ منفرد[4]،

1- Cement-last loading
2- Sandwich loading
3- Slurry mixing
4- Single batching

(و) بچینگ چندگانه[1].

به علاوه، به منظور کسب یکنواختی مخلوط، توالی عملیات بارگیری باید طوری برنامه‌ریزی شود که از فشرده شدن یا از گلوله شدن سیمان جلوگیری نماید. این حالت موقعی بروز می‌کند که ماسه یا ماسه و سیمانی که در سر دیگ فشرده شده‌اند، در همانجا باقی مانده و در داخل بتن مخلوط نشوند. این مشکل، با کسب اطمینان از اینکه سنگدانه‌های درشت و یا آب تا بخش انتهای پایینی دیگ پایین رفته باشند، از میان خواهد رفت. گلوله‌های سیمان، انباشته‌هایی از سیمان و ماسه (بیشتر ماسه و کمتر سیمان) هستند و در مخلوط‌هایی با تعداد دوران کمتر، احتمال بروز بیشتری دارد.

(الف) *بارگیری توسط تسمه نقاله*: این روش شامل مخلوط کردن سنگدانهٔ درشت، سنگدانهٔ ریز و سیمان در سرتاسر سیکل بارگیری می‌باشد. روش تغذیهٔ آب طوری تغییر داده می‌شود که متناسب با مصالح باشد.

(ب) *سیمان پس بارگیری شده*: ابتدا سنگدانه‌ها بارگیری شده، سپس سیمان به آنها اضافه می‌شود. اگر سیمان بدون چرخشِ دیگ کامیونِ مخلوط‌کن اضافه شود، و آب اختلاط اضافه نشده یا اینکه اختلاط تا قبل از رسیدن به کارگاه انجام نشده باشد، در این صورت، سیمان بسیار کمی مرطوب خواهد شد. این روش زمانی ارجحیت دارد که قرار باشد بتن به مسافت‌های طولانی حمل شود.

(ج) *بارگیری ساندویچی*: در این روش بارگیری، سیمان بین بخش‌های سنگدانه و آب که از روی تسمه عبور می‌کند، به حالت ساندویچی اضافه می‌شود.

(د) *اختلاط دوغابی*: ابتدا آب و به دنبال آن سیمان بارگیری شده و قبل از آنکه سنگدانه‌ها بارگیری شوند، نوعی دوغاب برای دورهٔ زمانی کوتاهی شکل می‌گیرد.

(ه) *بچینگ منفرد*: تمامی مصالح برای یک محمولهٔ توزین شده و در یک سیکل بارگیری می‌شود.

(و) *بچینگ چندگانه*: مصالح برای محموله در دو یا بیش از دو سیکل بسته به ظرفیت سیستم توزین توزین و تحت عملیات بچینگ قرار می‌گیرند.

1-Multiple batching

۱۱-۱-٤ گنجایش و توان عملیاتی کامیون‌های مخلوط‌کن

معمولاً تعداد کامیون‌های مخلوط‌کنی که از یک کارخانه در حال کار هستند، به عنوان یک عامل بحرانی در تعیین توان عملیاتی محسوب شده و باید هم گنجایش کامیون‌های مخلوط‌کن و هم شعاع عملیاتی را در این توان به حساب آورد. در برآورد توان عملیاتی یک کارخانهٔبتن آماده باید مشخص شود که به طور متسط چه تعاد کامیون‌های مخلوط‌کن و در چه شعاعی قادر به ارائهٔ خدمت می‌باشند. هر زمان که تقاضا برای دریافت بتن بالا باشد، باید تعداد کامیون‌های مخلوط‌کن افزایش یابد و هر وقت تقاضا کم شود، فروش بتن به نقاط دورتری نیز گسترده می‌شود.

۱۱-۱-٥ الزامات برنامه‌ریزی

ممکن است الزامات برنامه‌ریزی مورد درخواست مقامات رسمی جهت کسب تاییدیه محل احداث کارخانه بتن آماده، بسته به موقعیت محلی و جغرافیایی فرق نماید. از این منظر مسائل زیست محیطی در اولویت قرار داشته و معمولاً شهرک‌های صنعتی به عنوان مکان احداث کارخانه، از جایگاه مناسبی برخوردارند. لیکن در هر حال داشتن تاییدیه‌های رسمی از سازمان محیط زیست برای دریافت جواز احداث چنین کارخانه‌هایی از الزامات اساسی به حساب می‌آید.

۱۱-۱-٦ الزامات کنترل کیفی

ازدیاد روش‌های مربوط به تعیین مشخصات بتن که تولید کنندگان مسئولیت‌پذیر بتن آماده، که علاقه‌مندند تمامی مطالبات بازار را برآورده سازند، باید دارای یک سیستم کنترل کیفی جامع باشند. الزامات برای نمونه‌برداری، ساخت نمونه‌های مقاومت فشاری، عمل‌آوری، و آزمایش تحت شرایط استاندارد، نیاز به برپایی آزمایشگاهی در داخل محیط کارخانه دارد که داده‌های آزمایشی را جمع‌آوری نموده و بر اساس این داده‌ها، مخلوط‌های نوینی طراحی نماید. هزینهٔ امکانات و تجهیزات کنترل کیفی با استقرار آزمایشگاه‌های مشترک منطقه‌ای برای یک شرکت بزرگ تولید کنندهٔ بتن آماده که توسط مدیریت مرکزی هدایت می‌شود، کاهش خواهد یافت. امکانات و نیروی انسانی مورد نیاز برای نمونه‌برداری سیار و آزمایشگاهی که برای پایش کیفیت مصالح تشکیل دهندهٔ بتن و

برای کسب اطمینان از تامین بتن مطابق با مشخصات مورد درخواست لازم است، از بخش‌های بسیار مهم و حیاتی یک سیستم کنترل کیفی در کارخانهٔ بتن آماده محسوب می‌شود. پس بنابراین، هزینهٔ برپایی سیستم آزمایشگاهی و کنترل نیز از اقلام فوق‌العاده مهم در هزینه‌های احداث کارخانهٔ بتن آماده به حساب می‌آید.

۱۱-۱-۷ تداوم عملیات

زمان پیش‌بینی شده برای ادامهٔ کار یک کارخانه یکی از مهترین عوامل تعیین کننده و تاثیرگذار در تصمیم‌گیری بر روی انتخاب نوع کارخانه‌ای است که قرار است احداث شود. تعداد کمی از کارخانه‌ها بطور کامل سیار هستند ولی، کارخانه‌های قابل حمل، کاملاً مرسوم بوده و بسیاری از کارخانه‌های بتن آماده به منظور تسهیل در امر تامین بتن، واحدهایی را در محل کارگاه‌های ساختمانی بزرگ تاسیس می‌نمایند. به اندازهٔ دورهٔ زمانی که قرار است کارخانه مستقر در کارگاه مورد استفاده قرار گیرد، هزینه‌های قابل توجهی برای نهادهای خدمات رسانی‌ها، برپایی، جمع‌آوری، ساخت جاده‌های دسترسی و محوطه‌سازی، تاسیسات هدایت فاظلاب و شستشو و غیر مورد نیاز است. مهم نیست که دورهٔ استقرار واحد در محل چه قدر طول بکشد، به هر حال باید بتن با کیفت مناسب و همان استانداردها تولید شود.

۱۱-۱-۸ ایمنی و سلامت

در کارخانجات تولید بتن آماده، باید هیأت سلامت و ایمنی تشکیل شده و توصیه‌های زیر را به دقت پیگیری نمایند:

(الف) *حفاظ تسمه نقاله*: حفاظ کافی بر روی تسمه نقاله‌ها و موتورهای نقاله؛ قرار دادن قرقرهٔ انتهایی برای تسهیل در دوران، دسترسی ایمن برای انجام اصلاح و تعمیرات، ردیابی و تنظیم تسمه‌ها در حین حرکت،

(ب) *دسترسی به مخلوط‌کن*: همبند کردن نقاط دسترسی بر روی مخلوط‌کن، به گونه‌ای که از زخمی شدن دست و بازو ممانعت کند،

(ج) *پروسهٔ توقف اضطراری و تعلیق موقت*: استقرار قابل دیدِ جداگرهای تسمه: سیستم تعلیق برای اطمینان از جدایی کارخانه از نیروی محرکه زمانی که حفاظها برای انجام تعمیرات برداشته شده‌اند لازم است،

(د) *کنترل ترافیک*: فرمان دادن به تانکرهای سیمان و کامیون‌های کمپرسی سنگدانهٔ در حال ورود و کامیون‌های بتن آمادهٔ در حال خروج به منظور به حداقل رساندن زمان جلو و عمق کردن وسائل نقیله، اطمیان یافتن از جدایی وسائل نقلیه و افراد پیاده؛ استفاده از سیستم‌های اعلام خطر قابل شندین،

(ه) *نقاط بازرسی*: در نظر گرفتن شبکه‌ها و اسکوب‌هایی در نقاطی از نوک قیف تغذیه زمینی،

(و) *دسترسی ایمن*: تدارک لبه‌های حفاظتی و دسترسی ایمن به تمام بخش‌های کارخانه برای انجام تعمیرات وکارکنان عملیاتی،

(ز) *سیلوها و تانکرها*: تمهید ورود ایمن به داخل سیلوها و تانکرها؛ تهیهٔ تجهیزات ایمنی مربوط، شامل چراغ و مهار،

(ح) *تامین امنیت*: حفظ امنیت در محل کارخانه برای جلوگیری از ورود افراد متفرقه.

۲-۱۱ سازماندهی تولید و تحویل

سازمان‌های موجود در داخل مجموعهٔ شرکت برای عملیاتی کردن و کنترل تولید و زمانبندی تحویل محموله‌ها به محل کارگاه ساختمانی، از شرکتی به شرکت دیگر متفاوت است. برخی از فرآیندهای کنترل عملیات در سطح ایستگاه انجام می‌شود، حال آنکه تعدادی از شرکت‌های متوسط و بزرگ دارای ادارهٔ مرکزی ناوگان حمل و نقل هستند که بازارهای خاصی را تحت پوشش قرار می‌دهند.

برای بهبود سطوح بهره‌وری، با استفاده و کمک کامپیوترها، سیستم‌های مدیریتی جامعی توسعه پیدا کرده است. حوزهٔ کاربرد کامپوترها از شرکتی به یک شرکت دیگر متغیر است. مثلاً در برخی از شرکت‌ها تمامی فرآیندها تحت کنترل کامپیوتر بوده در حالی که در برخی دیگر از شرکت‌ها از کامپیوترهای شخصی برای بخش‌های جداگانهٔ عملیات مانند عملیات تهیهٔ گزارش بچینگ به جای دست نوشته استفاده می‌شود. مثالی از یک کارت پیمانهٔ ساده در شکل (۱۱-۲) نشان داده شده است.

مقدار	سیمان	وزن تجمعی بچ					آب
m^3	kg	شن			ماسه		لیتر
		۴۰ mm	۲۰ mm	۱۰ mm			
		kg	kg	kg	M/C	kg	
۱/۲					٪۶		
					٪۸		
					٪۱۰		
۱					٪۶		
					٪۸		
					٪۱۰		
۱ ۱/۲					٪۶		
					٪۸		
					٪۱۰		
۲					٪۶		
					٪۸		
					٪۱۰		
۲ ۱/۲					٪۶		
					٪۸		
					٪۱۰		
۳					٪۶		
					٪۸		
					٪۱۰		

شکل ۱۱-۲ یک کارت پیمانه

بستهٔ کامل نرم افزاری و سخت افزاری، باید بتواند موارد ذیل را پوشش دهد:

(الف) پذیرش درخواست و سفارش از طرف مشتریان،

(ب) اجرای عملیات تحویل محموله به خریدار شامل کنترل عملیات بچینگ و اختلاط،

(ج) زمان‌بندی و توالی تغذیه و تحویل مصالح سازندهٔ بتن به کارخانه،

(د) مدیریت و صدور صورت حساب.

۱۱-۳ تحویل

۱۱-۳-۱ کامیون‌های مخلوط‌کن

بتن آماده نه تنها یک محصول است، بلکه نوعی سرویس نیز محسوب می‌شود بطوریکه سالانه میلیون‌ها متر مکعب بتن از طریق کامیون‌های مخلوط‌کن به متقاضیان تحویل داده می‌شود. کامیون‌های مخلوط‌کن، از حدود دههٔ ۴۰ میلادی به بعد از یک کارگاه متحرک به یک وسیلهٔ نقلیهٔ متحرک ارتقاء و توسعه یافته است که قادر بود بتن را مخلوط کرده، سپس با یک روش کاملاً اقتصادی، به مشتری تحویل داده و بین کارگاه‌های مختلف ساختمانی توزیع نماید. در حقیقت، امکان ادامهٔ صنعت بتن آماده به استفادهٔ موثر و کارآمد از ناوگان کامیون‌های مخلوط‌کن بستگی خواهد داشت.

۱۱-۳-۱-۱ اختلاط

کامیون‌های بتن آماده می‌توانند در فرآیند تولید به سه طریق اساسی فعالیت داشته باشد:

(الف) *به عنوان مخلوط‌کن در یک کارخانهٔ تولید بتن آماده*: در این حالت، کامیون‌های بتن آماده بصورت مصالح توزین شدهٔ خشک به همراه آب بارگیری شده و بطور کامل در کارخانه، آن را مخلوط می‌نماید. در طی مدت زمان حمل و نقل، دیگ کامیون به آرامی دوران می‌کند تا مخلوط به حالت همزده باقی بماند. در موقع ورود به کارگاه ساختمانی، دیگ کامیون با سرعت مخلوط‌کن به مدت چند دقیقه می‌چرخد تا اینکه قبل از انجام تخلیه، از اختلاط دوباره و کامل بتن اطمینان حاصل شود.

(ب) *به عنوان مخلوط‌کن در محل کارگاه ساختمانی*: در محل کارخانه، کامیون‌های بتن آماده با مصالح خشکِ توزین شده بارگیری شده، سپس در همان حالت خشک به محل کارگاه ساختمانی حمل می‌شود. در زمان ورود و حضور در کارگاه ساختمانی، به این مخلوط خشک، آب اضافه شده و قبل از تخلیه بطور کامل مخلوط می‌شود.

(ج) *به عنوان همزن*: کامیون‌های بتن آماده با بتنِ مخلوط شده و تهیه شده از یک مخلوط‌کن موجود در کارخانه بارگیری می‌شود. در طی مراحل انتقال، دیگ می‌تواند به آرامی بچرخد تا بتن به حالت همزده باقی بماند و سپس در محل کارگاه، دیگ کامیون با سرعت مخلوط‌کن جهت اطمینان از اختلاط کامل قبل از تخلیه دوران می‌نماید.

۱۱-۳-۱-۲ تحویل

هر چند ظرفیت انواع مختلف کامیون‌های بتن آماده بین ۲ تا ۹ مترمکعب بتن متغیر است، ولی در حال حاضرغالباً کامیون‌هایی مشغول به خدمت‌رسانی در صنعت بتن آماده هستند که دارای ظرفیت ۶ تا ۱۲ متر مکعب می‌باشند. با عنایت به عمر مجاز نگهداری بتن آماده تا حدود فقط چند ساعت، ناوگان کامیونیِ بتن آماده، در فواصل کوتاهی در حدود دامنهٔ دسترسی ۸ کیلومتر از ایستگاه مرکزی به محل تحویل فعالیت می‌نمایند. البته تحویل بتن آماده به فواصل دورتر نیز ممکن است ولیکن در این مورد باید از نقطه نظر صرفهٔ اقتصادی حساسیت بیشتری به خرج داد.

۱۱-۳-۱-۳ توزیع

در موقع ورود به کارگاه ساختمانی، کامیون‌های مخلوط‌کنِ استاندارد می‌توانند:

(الف) بتن را مخلوط کرده و با اضافه کردن مقدار آب مشخصی، خصوصیات روانی و خمیری بتن را تنظیم نمایند،

(ب) با استفاده از شوت‌ها و ملحقات آن، بتن را بطور مستقیم به محل مورد استفاده تخلیه نمایند،

(ج) به منظور هماهنگی با الزامات بتن‌ریزی در کارگاه، می‌توانند سرعت تخلیه را کنترل نمایند.

۱۱-۳-۱-٤ نوع وسایل نقلیه

واحد مخلوط‌کنی که بر روی شاسی یک وسیلهٔ نقلیهٔ تجاری سوار شده است، از یک دیگ فولادی ضد سایش ساخته شده است که زاویه 16^{o} نسبت به افق دارد. در وجه داخلی دیگ، تیغه‌هایی جهت مخلوط‌کردن و

به هم زدن تعبیه شده است که وقتی دیگ کامیون در یک جهت بچرخد، برای تخلیه باید در جهت معکوس دوران نماید. نیروی محرکه برای بکار انداختن دیگ می‌تواند، از موتور اصلی کامیون با استفاده از شفت و با نیروی هیدرولیکی تامین شود: یک موتور مجزا با استفاده از یک شفت هیدرولیکی یا یک موتور مجزا با یک سازو کار کوپلینگ به دیگ کامیون. درصورت پوسیدگی یا فرسودگی دیگ، امکان تعویض آن وجود دارد، سرعت فرسودگی بستگی زیادی به اثرات سایشی سنگدانه‌ها دارد ولی اکثر شرکت‌ها چهار سال را برای این مدت در نظر می‌گیرند.

۱۱-۳-۱-۵ روش‌های عملیات و بهره‌برداری

برای ارزیابی دامنهٔ عملیاتی یک کارخانهٔ بتن آماده، باید متوسط تعداد کامیون‌های مخلوط‌کنِ در حال سرویس در بیرون از کارخانه را تعیین کرد. اما به هر حال کامیون‌ها قادرند جهت پاسگویی به نیازها در زمان پیک مصرف، به راحتی از یک ایستگاه به ایستگاه تولیدی دیگری جابجا شوند. وقتی شرکتی در نقاط مختلف یک منطقه، گروهی از ایستگاه‌های تولید بتن آماده را مستقر کرده باشد، علاوه بر اینکه هر ایستگاهی قادر است که کامیون‌های خود را هدایت کند، مدیریت ناوبری کل شرکت می‌تواند از یک سیستم ناوبری مرکزی برای هدایت و استفادهٔ بهینه از خدمات کامیون‌های خود بهره‌مند شود. مثالی از یک برگهٔ پایه برای سیستم ناوبری در شکل (۱۱-۳) ارائه شده است. یک ناوگان می‌تواند از انواع مختلفی از کامیون‌ها با ظرفیت‌های متفاوتی تشکیل شده باشند، ولی معمولاً استفاده از کامیون‌های با گنجایش استانداردِ کامیون‌ها راحتر بوده و مدیریت تحویل بتن را ساده‌تر می‌نماید. بسیاری از کامیون‌های بتن آماده در مالکیت افراد حقیقی هستند که در خدمت یکی از شرکت‌های تامین بتن آماده مشغول خدمات رسانی هستند. این مالکین از طریق انعقاد قراردادهای کوتاه‌مدت، میان مدت و حتی بلند مدت، وظیفهٔ حمل و تحویل بتن آماده را بر عهده خواهند داشت. البته تعداد زیادی از کامیون‌های بتن آماده وجود دارند که بصورت اجاره به شرط تملیک از طرف شرکت در اختیار رانندگان گذاشته می‌شود و رانندگان با عنایت به این موضوع، بهره‌برداری بهینه را از این وسائط نقیله خواهند برد. برخی دیگر از

شرکت‌های تولید کننده بتن آماده تعداد زیادی کامیون بتن آماده در اختیار دارند که برای امور تحویل برای این کامیون‌ها راننگان ذیصلاحی را استخدم می‌نمایند.

برگ ارسال		کارخانه:		تاریخ:		آب و هوا:			دما:		
سفارش	کد	رادیال	نام مشتری	مقدار		مخلوط	اسلامپ	سنگدانه		سیمان	مواد افزودنی	ملاحظات
			موقعیت کارگاه	سفارش داده شده	تحویل داده شده			اندازه	نوع			

شمارهٔ کامیون	۸:۰۰	۷:۳۰	۷:۰۰	۸:۳۰	۹:۰۰	۹:۳۰	۱۰:۰۰	۱۰:۳۰	۱۱:۰۰	۱۱:۳۰	۱۲:۰۰	۱۲:۳۰	۱:۰۰	۱:۳۰	۲:۰۰	۲:۳۰	۳:۰۰	۳:۳۰	۴:۰۰	۴:۳۰	۵:۰۰	۵:۳۰	۶:۰۰	۶:۳۰	۷:۰۰	مجموع کل

شکل ۱۱-۳ یک برگهٔ ارسال

۱۱-۳-۱-٦ نیاز به یک وسیلهٔ تخصصی تحویل

توجیه برای وجود یک وسیلهٔ تخصصی جهت تحویل بتن عبارتند از:

(الف)انتقال سالم، بی‌نقص و بی‌خطری از یک طیف کاملی از مخلوط‌های بتنی مختلف،

(ب) همزنی مخلوط در بین محدودهٔ زمانی مخلوط‌کردن و تخلیه،

(ج) امکان حفظ کارایی بتن تا بتوان در صورت نیاز با اضافه کردن آب کارایی آن را تنظیم نمود،

(د) توزیع بتن در محدودهٔ کارگاه با امکان رانندگی و امکان کنترل عملیات تخلیهٔ بتن با استفاده از شوت‌های دارای دسته و قابلیت افزایش ارتفاع و شعاع،

البته می‌توان از وسائل حمل غیر همزن در صورتی که خطر بروز جدایش سنگدانه‌ها وجود نباشد نیز استفاده کرد.

۱۱-۳-۱-۷ مشخصات و شرایط بهره‌برداری از کامیون‌های مخلوط‌کن

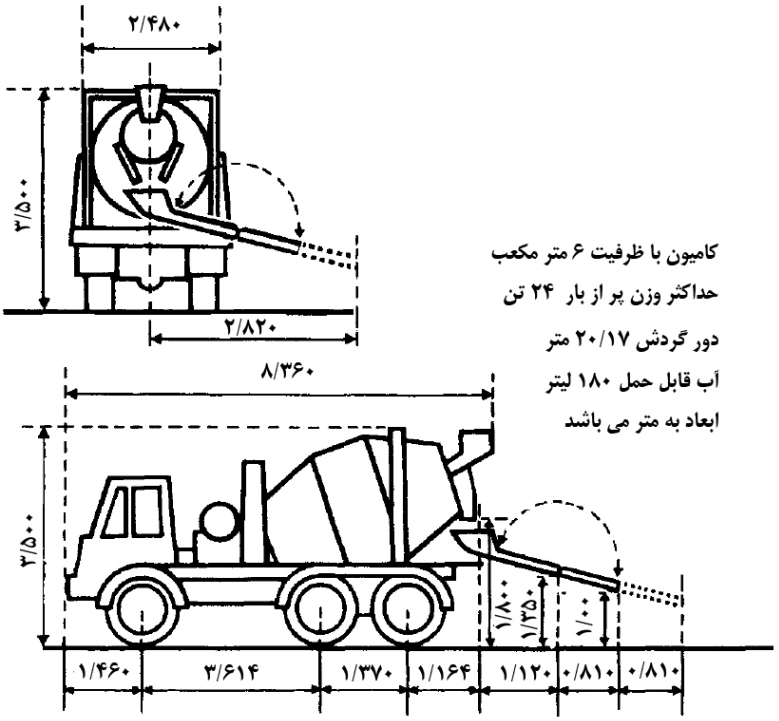
برای خرید بتن آماده جهت برخورداری حداکثری از مزایای تحویل توسط کامیون‌های مخلوط‌کن، لازم است به نکات ذیل توجه شود:

(الف) *دسترسی مناسب و فضای کافی برای حرکت و جابجایی کامیون‌های مخلوط‌کن.* یک کامیون‌های مخلوط‌کن، در حدود ۳/۵ متر ارتفاع و حدود ۲/۵ متر عرض دارد (شکل ۱۱-۴) و وزن آن تا ۲۴ تن نیز می‌رسد. این کامیون‌ها قابلیت استفاده در بیرون از جاده‌ها را دارند ولی اصولاً این کامیون‌ها برای استفاده در جاده ساخته شده‌اند.

(ب) *عملیات حمل و تحویل بتن باید طوری برنامه‌ریزی شود که مناسب شرایط کاربرد باشد.* ارتباط مناسب با کارخانهٔ تولید کننده برای امکان تحویل ۶ متر مکعب بتن در عرض ۵ دقیقه را فراهم می‌نماید.

(ج) *گردش سریع کامیون‌های در کارگاه.* تامین کننده در صورت تاخیر ممکن است با جریمهٔ دیکرد مواجه شود.

(د) امروزه کامیون‌های مدرن بتن آماده، مجهز به سیستم‌های مکانیابی جهانی GPS هستند که با استفاده از این امکانات، تحویل بتن آماده در شهرهای پرترافیک تسهیل می‌یابد.



شکل ۱۱-٤ ابعاد یک کامیون‌های مخلوط‌کن با ظرفیت ٦ متر مکعب

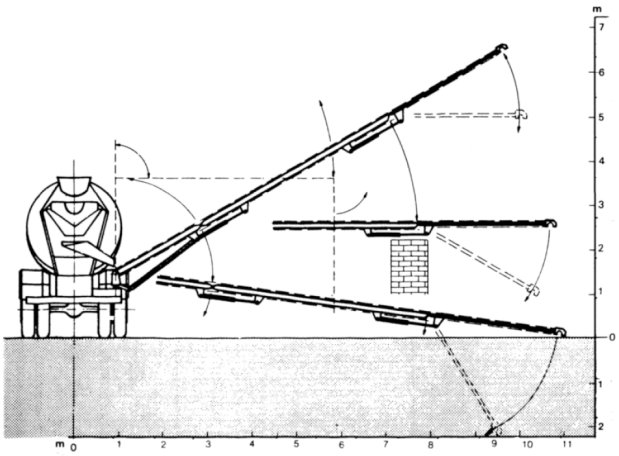
۱۱-۳-۲ کامیون‌های کمپرسی بتن آماده

می‌توان مقادیر قابل توجهی از بتن را بطور مستقیم از کارخانهٔ بتن آماده در داخل کامیون‌های کمپرسی جمع‌آوری نمود. اگر کارخانه از نوع تر باشد، در این صورت، تخلیهٔ بتن مخلوط شده به راحتی و مستقیماً به کامیون کمپرسی انجام می‌شود. وقتی که مخلوط‌کن مرکزی در یک کارخانهٔ وجود نداشته باشد، اجزای بتن پیمانه شده به داخل کامیون مخلوط‌کن منتقل شده و پس از انجام اختلاط از کامیون مخلوط‌کن به داخل کامیون کمپرسی تخلیه می‌شود.

۱۱-۳-۳ تسمه نقاله‌ها

تعداد معدودی از کامیون‌های مخلوط‌کن دارای تسمه نقاله‌هایی هستند که به انتهای آنها متصل شده است (شکل ۱۱-۵). کاربرد تسمه نقاله در شکل (۱۱-۶) نشان داده شده است. این شکل قابلیت‌های این سیستم را برای انتقال بتن به سطوح بالاتر و پایین‌تر از سطح زمین را نشان می‌دهد. می‌توان از کامیون‌مخلوط‌کن دومی برای تغذیهٔ تسمه نقاله استفاده کرد.

شکل ۱۱-۵ تسمه نقاله متصل به کامیون بتن آماده



شکل ۱۱-٦ استفاده از تسمه نقاله در انتقال بتن آماده

۱۱-٤ تضمین کیفیت

برای داشتن تضمین در مورد کیفیت بتن، لازم است که:

(الف) کیفیت مور نیاز برای بتن تازه و سخت شده بطور هدفمند تعریف شده باشد،

(ب) حمل و تحویل و عملیات کارگاهی باید تحت شرایط کنترل شده‌ای انجام شود به طوریکه امکان ردیابی از مرحلهٔ تحویل مصالح تا عمل‌آوری بتن به راحتی انجام شود،

(ج) تمامی آزمایشات انجام شده برای اهداف کنترل و پذیرش کلاملاً معتبر باشد،

بطور کلی تولید بتن آماده و فرآیند تحویل آن بخشی از پروسهٔ تضمین کیفت است، اما با انجام نظام‌مند چنین کاری می‌تواند به تضمین بیشتری از کیفیت محصول کمک شایانی نمود. طرح کلی در ادامه بعدی ارائه می‌شود.

فصل دوازدهم

بتن آماده در کارگاه

۱-۱۲ انتخاب بتن آماده

به طور سنتی، بتن در کارگاه تهیه می‌شد ولی دو نیاز اصلی یعنی کیفیت و هزینه‌های محصولات می‌بایستی با شرایط موجود در کارگاه تطبیق داده شوند. هیچ دو پروژه ساختمانی دقیقاً مثل هم نیستند، بنابراین کیفیت بتن‌های مورد نیاز نیز متغیر است. داشتن تجربه و دانش کافی در مورد ویژگی‌های مصالح تشکیل دهنده بتن، دو رکن اصلی برای دستیابی به اختلاطی متوازن است.

۱-۱-۱۲ هزینه‌های اختلاط در کارگاه

برای تعیین هزینه اختلاط بتن در کارگاه بایستی هزینه‌های زیر را تعیین نمود:

(الف) مصالحی که برای حجم کل بتن ریزی مورد نیاز است،

(ب) دستگاه‌ها و تجهیزاتی که بایستی اجاره شود که دارای استهلاک بوده وهمچنین هزینه‌های مربوط به سوخت و نگهداری ماشین‌آلات،

(ج) نیروی انسانی و کارگری،

(د) کارهای آماده سازی کارگاه برای بتن‌ریزی.

۱۰-۱-۱-۱۲ مصالح

هزینه‌های مصالح بر اساس حجم تحویلی متغیر است ولی در تعیین تناژ مورد نیاز ضروری است که وزن مواد و مصالح اولیه مورد نیاز جهت دستیابی به بتن متراکم محاسبه شود، مثلاً:

سیمان ۲۷۵ کیلوگرم بر متر مکعب

سنگدانه‌های ریز ۷۸۵ کیلوگرم بر متر مکعب

سنگدانه‌های درشت ۱۱۷۵ کیلوگرم بر متر مکعب

در محاسبه کمیت‌های کلی بایستی موارد زیر در نظر گرفته شود:

(الف) ابعاد ساخته شده (در مقایسه با ابعاد قیمت گذاری شده)،

(ب) کمیت‌های حجمی تحویل داده شده،

(ج) ضایعات کارگاه.

۱۲-۱-۱-۲ دستگاه‌ها و تجهیزات

هزینهٔ دستگاه‌ها فقط به زمان تولید بستگی نداشته بلکه به کل مدتی بستگی دارد که در کارگاه مستقر شده است. در محاسبه هزینه‌های مربوط دستگاه بایستی موارد زیر را در نظر داشت:

(الف) دستگاه‌ها و تجهیزات متعلق به خود شرکت: هزینه سرمایه، استهلاک، سود و هزینه‌ها در یک درصد مشخصی که مورد استفاده قرار می‌گیرند،

(ب) دستگاه‌ها و تجهیزات استیجاری: نرخ اجاره بلند مدت یا کوتاه مدت.

همچنین عوارض راه، بیمه، سوخت و عوارض دستگاهی که بایستی در بزرگراه‌های عمومی باید پرداخت شود نیز باید در نظر گرفته شود.

دستگاه‌ها و تجهیزات مورد نیاز در کارهای ساختمانی مختلف می‌تواند متفاوت باشد ولی دستگاه‌های پایه عبارتند از: مخلوط‌کن، دامپر، انبار سیمان (سیلو و/ یا بصورت کیسه‌ای)، منبع آب و مخزن ذخیره سنگدانه‌ها. همچنین هزینه‌های سوخت، روغن قالب، لوازم یدکی به عنوان درصدی از لوازم پایه، نگهداری و دفع ضایعات را نیز بایستی در نظر گرفت.

۱۲-۱-۱-۳ نیروی انسانی و کارگری

تعداد نیروی انسانی و کارگری بر اساس نوع دستگاه‌ها و تجهیزات استفاده شده و سرعت ساخت متفاوت است. اما شامل راننده، اپراتور دستگاه‌ها و کارگران خواهد بود. برای ساعت کاری اضافه بایستی اضافه کاری در نظر گرفته

شود. هزینه نیروی کاری و دستگاه‌های مورد نیاز برای تخلیه مصالح بایستی به عنوان یکی از اقلام اساسی در نظر گرفته شود. زمان مدیریتی و تیم تولید و کنترل کیفی نیز بایستی در هزینه‌های نیروی کار در نظر گرفته شود.

۱۲-۱-۱-٤ الزامات

بایستی تمامی اقلامی که به هزینه‌های تولید بتن مرتبط است، در محاسبهٔ هزینه مد نظر قرار گیرد. انتقال دستگاه‌ها و تجهیزات به کارگاه، نصب و بازگرداندن، کارهای انجام شده در کارگاه، تأمین آب، تأمین برق، انبار سنگدانه‌ها، تحویل، حذف مصالح اضافی و تمیز نمودن محوطه اختلاط نمونه‌هایی از این دست هزینه‌ها می‌باشد. کنترل کیفیت بتن که نیازمند انجام آزمایش و تهیهٔ گزارشات کارگاهی بوده و همچنین شامل آزمایش سنگدانه‌ها، آزمایش بتن، طرح‌های اختلاط، تهیهٔ اختلاط‌های آزمایشی و انجام کالیبراسیون است، به عنوان یک هزینه اجتناب ناپذیز مطرح است.

۱۲-۱-۲ بتن آماده در مقایسه با تولید بتن در کارگاه

در مواردی که اختلاط در کارگاه صورت می‌گیرد اگر دستگاه‌ها دچار نقص شده و یا در تحویل مصالح تأخیری صورت بگیرد، به ناچار تولید متوقف خواهد شد ولیکن هزینه‌ها با وجود اینکه خروجی ثابت است، همچنان زیاد می‌شود و در نتیجه، خروجی حداقل غیر اقتصادی خواهد بود. در عوض، تولید کننده بتن آماده منابع و تخصص فنی کافی برای تولید حجم وسیعی از اختلاط‌های بتن را داشته و به مسئول کارگاه امکان انعطاف‌پذیری در برنامه کاری زمانبندی شده را خواهد داد.

کامیون‌های مخلوط‌کن می‌توانند بتن را به محل مورد نظر انتقال دهند و در نتیجه، هدررفت مصالح نیز وجود ندارد. هزینه‌های بتن آماده فقط نیازمند تهیهٔ برگه استعلامی است که تمامی خواص مورد نیاز را برای تولید کننده مشخص می‌کند. در ضمن ضرورت دارد که از کیفیت مناسب بتن با تهیه آن از یک کارخانه معتبر اطمینان حاصل شود.

۱۲-۱-۳ دستگاه‌های تولید بتن آماده در کارگاه

خیلی از شرکت‌های تولید بتن آماده دستگاه‌ها و تجهیزات قابل حملی دارند که در قراردادهای مهم استفاده می‌شود. مزایای استفاده از تولید کننده بتن آماده بعنوان پیمانکار عبارتند از: بهبود گردش مالی، تقسیم مسئولیت،

کسب تجربه در بکارگیری مصالح تشکیل دهندهٔ بتن، کسب پشتیبانی تخصصی فناوری بتن، بهبود بکارگیری دستگاه‌ها و اطمینان از حصول کیفیت به واسطه طرح کیفی بتن آماده. اگر دستگاه‌ها فقط محدود به تأمین بتن کارگاه باشند چون نمی‌توان استفاده از دستگاه را به حداکثر رساند و هزینه‌های کامیون‌های مخلوط‌کن از فعالیت معمول آن متفاوت است، به نوعی ضرر تولید کننده بتن آماده محسوب می‌شود.

۱۲-۲ آماده سازی کارگاه برای بتن آماده

۱۲-۲-۱ ارتباط تولید کننده و کارگاه

ایجاد رابطه کاری نزدیک میان کارگاه و تولید کننده بتن آماده جهت استفاده مؤثر از بتن امر بسیار مهمی است. گام‌های برقراری یک رابطه خوب میان تولید کننده و کارگاه عبارتند از:

(الف) توافق نمایندگان دو شرکت بر سر اینکه چه کسی مسئول قرارداد کلی است، و تعیین نیازهای روزانه، قبول و امضاء برگه تحویل بتن و برقراری تماس در مواقع ضروری و خارج از ساعت کاری.

(ب) برقراری تسهیلات ارتباط تلفنی در کارگاه

(ج) حضور تولید کننده در جلسات کارگاه.

۱۲-۲-۲ مقررات تولید بتن

به هنگام واگذار کردن تولید بتن، بایستی از حصول توافقات زیر با تولید کننده بتن اطمینان حاصل شود:

(الف) مصالح و اختلاط بتن با مشخصات کاری مورد نیاز همخوانی داشته باشد.

(ب) اختلاط بتن به روشنی تشریح و توضیحات اختلاط تفهیم شده است.

(ج) کارایی و اختلاط برای حمل و نقل، بتن‌ریزی و کارهای پایانی مناسب است.

(د) در صورت نیاز، پشتیبان در نظر گرفته شود.

(ه) فرآیندهای مورد نیاز قرارداد جهت تأیید مصالح، اختلاط‌ها و برنامهٔ انبارداری انجام شده و یا در دست اقدام باشند.

(ح) فرآیندهای کارگاهی برای تأیید شروع بتن‌ریزی (در صورت نیاز) مورد تأیید قرار گرفته و کیفیت کنترل شود.

(ط) تجهیزات و کارکنان آموزش دیده برای نمونه‌گیری و آزمایش بتن در کارگاه موجود باشد.

(ک) آزمایشگاه دارای مجوز و تاییید شده موجود باشد.

(س) برنامه تحویل به موقع بتن به تولید کننده بتن ارائه شده باشد.

(ع) جزئیات تحویل مورد توافق باشد.

۱۲-۲-۳ برنامه‌ریزی تحویل بتن

جهت اطمینان از تحویل مناسب بتن به کارگاه، باید برای تحویل بتن برنامه‌ریزی نمود. همچنین به منظور خدمت رسانی مناسب، تولید کننده بایستی از میزان بتن مورد نیاز کارگاه از پیش آگاهی داشته باشد تا تعداد ماشین‌های مخلوط‌کن و بازه زمانی میان تحویل بارها را مشخص کند. این کار را می‌توان به صورت زیر انجام داد:

(الف) یک برنامه نظارتی تهیه نمود که هفته‌ها و روزهایی را که نقاط اوج تقاضا هستند را مشخص می‌کند،

(ب) به روز رسانی هفتگی برنامه تحویل شامل نحوهٔ حمل و نقل و بتن‌ریزی،

(ج) تأیید روزانه بتن مورد نیاز برای روز آینده.

عوامل کارگاهی اصلی که برای برنامه‌ریزی بایستی در نظر گرفته شوند شامل موارد زیر هستند:

۱۲-۲-۳-۱ آهنگ جا به جایی و بتن‌ریزی

یک ماشین مخلوط‌کن می‌تواند بتن‌ریزی را با آهنگ تقریبی ۰/۵ متر مکعب در دقیقه انجام دهد و در اغلب موارد شیوه‌های حمل، بتن‌ریزی و تراکم در کارگاه، نرخ استفاده از بتن را مشخص می‌کند. نرخ تأمین بستگی به تخلیه سریع مخلوط‌کن‌ها دارد، در حالیکه معمولاً ۲۵ دقیقه حداکثر زمان مجاز معمول است. به عنوان مثال اگر ماشین مخلوط‌کن ۴۵ دقیقه برای تخلیه زمان صرف کند به جای ۵ مرتبه تحویل، ۴ مرتبه می‌تواند این کار را انجام دهند.

۱۲-۲-۳-۲ جابه‌جایی بتن در کارگاه توسط کامیون مخلوط‌کن

کامیون‌های مخلوط‌کن ماشین‌های بزرگی هستند که اگرچه در قسمت‌های غیرآسفالته نیز می‌توانند حرکت کنند، عموماً ماشین‌های جاده هستند. بنابراین جهت دسترسی به زمین نرم و بهبود مانور حرکتی در مکان‌های شیبدار، باید تمهیداتی در نظر گرفته شود.

۱۲-۳ بتن آماده در کارگاه

۱۲-۳-۱ برگهٔ تحویل

قبل از تخلیه بتن در مکان تحویل، تولید کننده بتن بایستی به خریدار یک برگهٔ تحویل از پیش تهیه شده را ارائه دهد. این برگه بایستی توسط متخصصان کارگاه کنترل شود تا محمولهٔ بتن به درستی تحویل داده شده و به کارگاه یا بخش مورد نظر کارگاه به طور صحیح انتقال داده شده است. برگهٔ تحویل سند مهمی است و همه افرادی که با آن سروکار دارند از قبیل مسئول توزین، راننده، نمایندهٔ خریدار در کارگاه، حسابدار و نمایندهٔ کاری باید از آن مراقبت کنند. بایستی توجه شود که این برگه به درستی پر شده و در هر مرحله کنترل و تکمیل شود.

در استاندارد ملی بتن آماده، اقلامی که بایستی در برگ پیمانه آورده شود ذکر شده است. این موارد عبارتند از:

(الف) نام شرکت کننده بتن آماده،

(ب) در صورت دارا بودن پروانهٔ کاربرد علامت استاندارد قید علامت و شماره پروانه استاندارد،

(ج) تاریخ،

(د) شماره وسیله حمل،

(ه) نام خریدار،

(و) آدرس،

(ز) نوع بتن مطابق با مشخصات پروژه،

(ح) مقدار بتن بر حسب متر مکعب،

(ط) زمان بارگیری یا اولین تماس سیمان و سنگدانه‌ها،

(ی) آب اضافه شده توسط تحویل گیرنده بتن از محل تولید بتن و امضای او،

اطلاعات دیگری که توسط خریدار جهت کنترل مجوز مربوطه تعیین شده و طبق مشخصات کار الزامی است نیز باید تهیه گردد. اطلاعات فوق ممکن است بشرح زیر باشد:

(الف) یادداشت شمارش‌گر دوران ظرف در اولین افزایش آب

(ب) نوع سیمان، اسم کارخانه تولید کننده آن و مقدار سیمان

(ج) نوع، اسم کارخانه سازنده افزودنی‌ها

(د) اطلاعات لازم برای محاسبه مقدار کل آب اضافه شده به وسیله تولید کننده

(ه) مقدار کل آب اختلاط که شامل آب آزاد سنگدانه، مقدار آب و یخ اضافه شده در مرکز بتن و آب اضافه شده توسط مسئولان کامیون حمل از منبع آب کامیون

(و) حداکثر اندازه سنگدانه‌ها

(ز) وزن سنگدانه‌های ریز و درشت و نام کارخانجات تولید کننده

(ح) اجزائی که قبلاً مورد تأیید قرار گرفته است.

(ط) مهر و یا امضاء نماینده شرکت تولید بتن آماده

علاوه بر مواردی که در استاندارد ذکر شده است، می‌توان جهت آگاهی عملیاتی بیشتر موارد زیر که در استاندارد ذکر نشده را هم در برگه‌ها ذکر نمود:

(الف) رده و شرح کامل بتن، به همراه مشخصات خاص آن (مانند حداقل میزان سیمان و حداکثر نسبت آب به سیمان)

(ب) کارایی مشخص شده

(ج) زمان رسیدن کامیون

(د) زمان برگشت کامیون

(ه) زمان تخلیه کامل

(و) آب اضافه شده بنابه درخواست خریدار همراه امضای تأییدی

(ز) امضای خریدار یا نماینده وی مبنی بر تحویل بتن

(ح) هشدارهای ایمنی

(ط) شرایط فروش

گاهی برای تسهیل در حسابداری برای فروش‌های نقدی و اعتباری برنامه‌های تحویل جداگانه‌ای در نظر گرفته می‌شود.

۱۲-۳-۲ افزودن آب در کارگاه

معمولاً بتن با کارایی بسیار کمی سفارش داده می‌شود که متراکم کردن کامل آن تحت شرایط موجود در کارگاه به دلایلی مانند فاصلهٔ کم میلگردها یا ناکافی بودن تجهیزات تراکم، ممکن نیست. بنابراین راننده کامیون مخلوط‌کن ممکن است تحت فشار قرار بگیرد تا کارایی بتن را با افزودن آب مجدد افزایش دهد. باور عمومی در

کارگاه این است که بتن کاملاً متراکم شده با نسبت آب به سیمان زیاد بهتر از این است که بتن کرمو داشته باشیم که قادر به تحمل بار یا محافظت از میلگردها نباشد. جهت اطمینان دادن به خریدار و تولید کننده، راننده کامیون مخلوط‌کن بایستی مطمئن شود که در برگه تحویل میزان آب افزودنی توسط خریدار یا نماینده‌اش مشخص و امضاء شده باشد. مسلماً اگر آب بیشتری نسبت به آنچه مشخص شده به بتن افزوده شود خواص اولیه بتن با آنچه طراحی شده متفاوت خواهد بود.

۱۲-۳-۳ ایمنی

به خاطر ماهیت قلیایی سیمان، تماس طولانی مدت با ملات خیس یا بتن می‌تواند سبب ناراحتی‌های خفیف پوستی و در شرایط حاد سبب سوختگی شود. خاصیت ساینده‌گی ماسه می‌تواند شرایط را بدتر کند؛ بنابراین قسمت‌هایی از بدن که در تماس با بتن خیس هستند باید پوشش داشته باشند. در رابطه با ایمنی و حفاظت در حین کار با بتن باید موارد زیر مد نظر باشد:

(الف) از دست‌ها با دستکش‌های ضد آب که دارای مچبند هستند مراقبت شود،

(ب) لباس با آستین بلند پوشیده شود،

(ج) شلوار بلند استفاده شود بخصوص دارای محافظ زانو باشد،

(د) در صورت ورود بتن به چکمه آن را خارج کرده و چکمه کامل شسته شود،

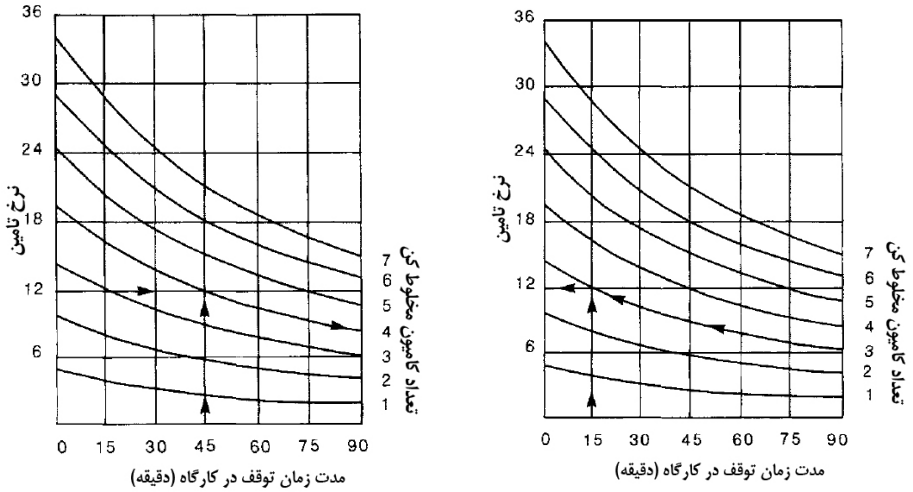
(ه) لباسی که با بتن خیس تماس پیدا کرده بایستی درآورده و کامل شسته شود و پوست بدن نیز به منظور جلوگیری از ناراحتی‌های پوستی تمیز شود،

(ح) بتن خیس را از روی پوست فوراً بشویید و اگر بعد از شستن ناراحتی ادامه یافت، مراقبت پزشکی مورد نیاز است،

(ط) در صورت تماس بتن تازه با چشم آن را به طور کامل با آب تمیز شستشو داده و بدون معطلی مداوای پزشکی صورت بگیرد.

۱۲-۳-٤ تأخیر

تولید بتن آماده هم نوعی فعالیت تولیدی است و هم خدماتی، بنابراین تأخیر می‌تواند برنامه زمانبندی را دچار اختلال کند. تأخیر را می‌توان به دو گروه طبقه‌بندی نمود: تأخیر در کارخانه، تحویل در حمل و نقل و کارگاه.



شکل ۱۲-۱ تحویل توسط کامیوهای مخلوط‌کن. ظرفیت مخلوط‌کن ٦ m^3، زمان کلی مسیر ٦٠ دقیقه، زمان بارگیری/ شستشو ۱۵ دقیقه

در کارخانهٔ تولید بتن آماده، با وجود برنامهٔ تعمیر و نگهداری، ممکن است به کرات شاهد بروز اختلال و از کارافتادگی مکانیکی قطعات و تجهیزات متعدد کارخانه باشیم. در این حالت می‌توان از کارخانه‌های دیگر، بتن مورد نیاز را تامین و تهیه نمود. فهرست کنترل روزانه، هفتگی، ماهانه و فصلی جهت اطمینان از عملیات تعمیر و نگهداری عادی از تجهیزات کارخانه مورد استفاده قرار می‌گیرد (شکل ۱۲-۱). انبارگیری مجدد بخصوص در حجم‌های بالا و زمان‌های کوتاه موجب تأخیر می‌گردد. سفارش زودهنگام، کنترل انبار را تسهیل می‌نماید.

رانندگان کامیون‌های مخلوط‌کن با اطلاع از موقعیت محلی می‌توانند تأخیر ناشی از ترافیک را کاهش دهند. میزان بتن‌رسانی به کارگاه به زمانی که کامیون مخلوط‌کن در کارگاه نگه داشته می‌شود، بستگی دارد. به عنوان مثال، وقتی سه کامیون مخلوط‌کن که هر کدام فقط ۱۵ دقیقه در کارگاه نگه داشته می‌شوند، می‌توانند با نرخ ۱۲ متر مکعب در ساعت بتن‌رسانی کنند. ولی اگر زمان ماندن آنها در کارگاه به ۴۵ دقیقه افزایش یابد به چهار کامیون مخلوط‌کن جهت دستیابی به نرخ بتن‌رسانی مشابهی نیاز است (شکل ۱۲-۱).

برنامه زمانبندی کامیون‌های مخلوط‌کن با تأخیر در کارگاه دچار اخلال می‌شود و اثر تجمعی آن در پایان یک روز پرکار می‌تواند مشکل‌ساز باشد. در مواردی که پیوستگی بتن‌ریزی مورد نیاز است، بایستی میان دفتر حمل و نقل و کارگاه‌ها ارتباط و تفاهم مناسبی وجود داشته باشد.

۱۲-٤ چک لیست‌های کنترل تجهیزات

روال کنترل روزانه

پس از پایان کار علامت بزنید

۱ ظرف توزین را تنظیم کرده و شاخص‌های توزین را تمیز نمایید.							
۲ از خالی بودن قیف بارگیری اطمینان حاصل کنید.							
۳ مخلوط‌کن را بشویید.							
٤ آب جمع‌شده در منافذ هوا را تمیز کنید.							
٥ فیلترهای سیلو را تکان دهید و آنها را در وضعیت کاری مناسبی نگهداری کنید.							
٦ از شسته شدن دیگ مخلوط‌کن اطمینان حاصل کنید.							

امضاء مسئول پیمانه و توزین: **تاریخ**

کنترل شده توسط: **تاریخ**

شکل ۱۲-۲ چک لیست مراقبتی روزانه دستگاه‌ها و تجهیزات

چک لیست کنترل هفتگی

۱	نواحی زیر دستگاه‌ها و تجهیزات را از نظر پاشیدن مصالح کنترل کنید.	
۲	محوطه کف را تمیز نمایید و از پاک بودن چاله‌ها و زهکش‌ها مطمئن شوید.	
۳	مجرای ته نشینی را در وضعیت کاری مناسبی نگهداری کنید.	
٤	از عملکرد مناسب دریچه‌ها و مخازن نگهداری اطمینان حاصل نمایید.	
٥	نقاله‌ها را از نظر حرکت روان و سایش کنترل کنید.	
٦	بیل‌های بارگیری را از نظر سرویس دهی کنترل کنید.	
۷	متراکم کننده‌ها را از نظر سرویس دهی کنترل کنید.	
۸	تمامی قیف‌ها و دریچه‌ها را در وضعیت کاری مناسب نگهداری کنید.	
۹	فیلترهای سیمان را تکان دهید و آنها را در وضعیت کاری مناسب نگهداری کنید.	
۱۰	پوشش گردوغبار قیف‌های سیمان را کنترل کنید.	
۱۱	زبانه‌های تجهیزات توزین را کنترل کنید.	
۱۲	تیغه‌ها و بازوهای مخلوط‌کن را از نظر پوشش، تمیزی و محکمی کنترل کنید.	
۱۳	سیمان یا بتن موجود در مخلوط‌کن را تمیز کنید.	
۱٤	از تنظیم بودن رطوبت‌سنج مطمئن شوید.	
۱٥	سطح روغن را در مجراهای هوا کنترل کنید.	
۱٦	نگه دارنده‌های آب در مجراهای هوا را از نظر نشت کنترل کنید.	
۱۷	مجراهای هوا و چکش‌ها را از نظر نشت کنترل کنید.	
۱۸	لوله‌ها را از نظر نشت و پوشش کنترل کنید.	
۱۹	سیم‌کشی‌ها و ابزار برقی را از نظر عملکردی کنترل کرده و گرم شدن بیش از اندازه را گزارش کنید.	
۲۰	چرخ دنده‌ها و بلبرینگ‌ها را روغنکاری نمایید.	
۲۱	کنترل‌های معمول را بر روی مخلوط کن انجام دهید.	
۲۲	از قرار گرفتن محافظ‌ها در جای خود اطمینان حاصل کنید.	
۲۳	نقایص را گزارش کنید.	

امضاء مسئول پیمانه و توزین: تاریخ

کنترل شده توسط: تاریخ

شکل ۱۲-۳ چک لیست مراقبتی هفتگی دستگاه‌ها و تجهیزات

چک لیست کنترل ماهیانه

۱	تأیید ترازوها
۲	تأیید آب‌سنج‌ها
۳	تأیید توزیع کننده افزودنی‌ها
٤	کنترل سرویس‌دهی بیل های بارگیری
٥	کنترل سرویس‌دهی متراکم کننده‌ها
٦	بازرسی سیلوها
۷	کامیون‌های مخلوط‌کن از نظر سایش تیغه‌ها کنترل شوند
۸	دورشمار کامیون‌های مخلوط‌کن کنترل شود

امضاء مسئول پیمانه و توزین: تاریخ

کنترل شده توسط: تاریخ

شکل ۱۲-٤ کنترل مراقبتی ماهیانه دستگاه‌ها و تجهیزات

چک لیست کنترل فصلی

۱	بازرسی و آزمایش ترازوها در گسترهٔ سرویس‌دهی کلی توسط متخصصین
۲	کنترل مخازن روغن
۳	روغنکاری
٤	کنترل آب‌سنج کامیون‌های مخلوط‌کن

چک لیست ایمنی دستگاه‌ها

همیشه از قرار داشتن محافظ دستگاه‌ها در جای خود و تمیز بودن شیارهای دستگاه اطمینان حاصل کنید.

امضاء مسئول پیمانه و توزین: **تاریخ**

کنترل شده توسط: **تاریخ**

شکل ۱۲-۵ چک لیست مراقبتی ماهیانه دستگاه‌ها و تجهیزات

۱۲-۵ بتن‌ریزی

راننده کامیون مخلوط‌کن، تحت هدایت کارکنان کارگاه می‌توانند کنترل تخلیه بتن از ناودانی را به عهده بگیرند. در بتن‌ریزی اصول زیر بایستی مد نظر قرار گیرد:

(الف) بتن را تا حد ممکن نزدیک به موقعیت نهایی آن تخلیه نمود.

(ب) از محصور شدن هوا در بتن اجتناب کنید.

(ج) بتن‌ریزی را بگونه‌ای انجام دهید که از جداشدگی مصالح جلوگیری شود، یعنی بصورت لایه‌ای بتن‌ریزی شود نه بصورت کپه‌ای.

(د) قبل از بتن‌ریزی لایه بعدی، لایه قبلی را کاملاً متراکم کنید.

(ه) آهنگ تراکم بایستی با آهنگ تخلیه متناسب باشد.

(ح) از تشکیل درز سرد جلوگیری کنید.

در خیلی از بتن‌ریزی‌ها به منظور اجتناب از تشکیل درز سرد، بتن ریزی بایستی پیوسته باشد و بایستی به هنگام سفارش این مورد به تولید کننده اطلاع داده شود.

جدول ۱۲-۱راهنمای عمل‌آوری بتن درجا

عضو بتنی	مصالح عمل‌آوری	کاربردها
۱- الف) جاده و سنگفرش، (دال مسطح باز) ۱- ب) دال‌های درونی	ترکیبات رنگی رزینی با کارایی بالا صفحات پلی‌اتیلن یا دیگر صفحات ناتراوا	سریعاً بعد از پرداخت استفاده شود در ساعات اولیه با سایه محافظت شود بخصوص در برابر نور آفتاب و بادهای خشک کننده. از عدم شکل‌گیری تونل بادی در زیر صفحات مطمئن شوید.
۲- الف) بالای تیرها، ستون‌ها، ۲- ب) بالای پی سطحی، پایه‌ها	صفحات پلی‌اتیلن یا دیگر صفحات ناتراوا	سریعاً بعد از پایان فرآیندها استفاده شود در ساعات اولیه بوسیله سایه از نور آفتاب و بادهای خشک کننده محافظت شود.
۳) ستونها، دیوارها و غیره که بهسازی روی آنها صورت نمی‌گیرد و در هوای گرم و خشک ریخته می‌شوند	ترکیبات عمل‌آوری رزینی صفحات پلی‌اتینلن یا دیگر مواد صفحه‌ای ناتراوا خود قالب‌بندی	بعد از برداشتن قالب استفاده شود در تماس نزدیک با سطح بتن قرار داده شود. برای حداقل ٤ روز و ترجیحاً ۷ روز دستکاری نشود.
٤) ستونها، دیوارها و غیره که بهسازی روی آنها صورت می‌گیرد و در شرایط معتدل ریخته می‌شوند	صفحات پلی‌اتینلن یا دیگر مواد صفحه‌ای ناتراوا خود قالب‌بندی	بعد از حذف قالب‌بندی در تماس نزدیک با سطح بتن قرار داده شود. حداقل ٤ روز و ترجیحاً ۷ روز دستکاری شود.
٥) بتن سطح خارجی که در هوای سرد ریخته می‌شود	عایق کاری حذف تأخیری قالب‌بندی	به محض برداشتن قالب استفاده شود و برای حداقل ۷ روز نگهداری شود. برای حداقل ۷ روز نگهداری شود.
٦) مقاطع بزرگ بتن با حداقل ضخامت یا عمق بیشتر از ۱ متر	عایق‌بندی سطح فوقانی حذف تأخیری قالب‌بندی یا جایگزینی آن با مواد عایق	سطح عایق را بعد از فرآیند پرداخت نصب کنید. حداقل ۷ روز نگهداری شود یا حداقل تا زمانی که گرادیان دمایی درونی به حداقل برسد.

۱۲-٦ متراکم کردن بتن

قابلیت جاری شدن بتن در قالب‌بندی، اطراف میلگردها و متراکم شدن کامل آن کیفیتی است که تعریف آن دشوار است. در چارچوب محدودیت‌های سفارش، تولید کننده بایستی اختلاطی را طرح کند که از پایداری بتن تا حد ممکن اطمینان حاصل شود. تعیین کارایی بتن بایستی به پیمانکار یا خریدار واگذار شود تا بر اساس شیوه تراکم انتخابی، مشخص شود. این کار از تحویل بتن با کارایی پایین که از میزان مورد نیاز جهت تراکم کامل بتن در شرایط کارگاه کمتر است، جلوگیری می‌کند.

۱۲-۷ عمل‌آوری بتن

بتن جهت رسیدن به مقاومت و دوام بالقوه، به عمل‌آوری نیاز دارد. تولید کننده بتن آماده هیچ مسئولیتی در قبال چگونگی عمل‌آوری بتن ندارد، اما اگر بتنی که به خوبی طرح اختلاط آن ارائه و تولید شده است تحت عمل‌آوری مناسبی قرار نگیرد، ممکن است دچار مشکلاتی شود. جهت دستیابی به عمل‌آوری مناسب بایستی از مواد مناسب استفاده شود.

۱۲-۸ پمپ کردن بتن

همانگونه که قبلاً گفته شد، استفاده از پمپاژ برای بتن‌ریزی روش مفیدی است ولی جهت عملی شدن به برنامه‌ریزی پیمانکار نیاز دارد. همکاری میان کارکنان کارگاه، مسئول پمپاژ و تولیدکننده بتن آماده بایستی کاملاً هماهنگ باشد و هر یک آگاه باشند که موفقیت کل فرآیند به عملکرد همه بستگی دارد. بتن‌ریزی‌های در حجم بالا معمولاً به خوبی برنامه‌ریزی می‌شوند و هماهنگی به شیوهٔ مؤثری انجام می‌شود. بتن‌ریزی‌هایی که بدون همکاری و مستقل انجام شوند برای همه ایجاد مشکل می‌نماید.

۱۲-۸-۱ پیمانکار

نقش پیمانکار را می‌توان در موارد زیر خلاصه نمود:

(الف) هماهنگ سازی کل فعالیت‌ها،

(ب) تعیین تاریخ و ساعت بتن‌ریزی در مشورت با تولید کننده بتن و مسئول پمپاژ،

(ج) نظارت کافی بر فرآیند بتن‌ریزی،

(د) تعیین حداکثر خروجی موردنیاز،

(ه) محقق کردن دستیابی به انعطاف‌پذیری مورد نیاز،

(و) تأیید قابل پمپاژ بودن طرح اختلاط مشخص شده و کسب تأیید تغییرات قبل از سفارش،

(ز) تأیید طرح لوله‌کشی جهت پمپاژ بتن،

(ح) بهینه‌سازی موقعیت‌های قرارگیری پمپ،

(ط) اطمینان از وجود مکان‌هایی برای دور زدن، توقف و شستن کامیون‌های مخلوط‌کن،

(ی) تعیین اندازه قالب بتن‌ریزی و پرداخت،

(ک) اطمینان از وجود تجهیزات تراکم بتن و پرداخت کافی و همچنین تجهیزات یدکی،

(ل) اطمینان از آماده بودن قالب‌ها و میلگردها،

(م) اطمینان از اینکه قالب‌بندی قادر است لرزش ناشی از پمپ کردن و فشارهای بالا در بتن‌ریزی‌های سریع را تحمل کند،

(ن) کسب تأیید، در صورت نیاز به امکانات پشتیبانی.

۱۲-۸-۲ مسئول پمپاژ

پیمانکار پمپاژ مسئولیت‌های زیر را بر عهده دارد:

(الف) اطمینان از اینکه لوله‌کشی دارای حداقل لوله‌های مورد نیاز و شیرها و انواع خم‌ها می‌باشد،

(ب) مشاوره در زمینهٔ بهینه‌سازی مکان‌های استقرار،

(ج) مشاوره در زمینهٔ عملکرد پمپ بر حسب طرح اختلاط سفارش داده شده،

(د) در نظر گرفتن امکانات یدکی،

(ه) اطمینان از نصب به موقع پمپ جهت تحویل طبق برنامه زمانبندی شده.

۱۲-۸-۳ تولید کننده بتن آماده

نقش تولید کننده بتن را می‌توان در موارد زیر خلاصه نمود:

(الف) مشاوره در زمینه قابل پمپاژ بودن طرح اختلاط تعیین شده و پمپ مورد استفاده،

(ب) تأیید پیشنهادات جهت تغییر طرح اختلاط در صورت نیاز،

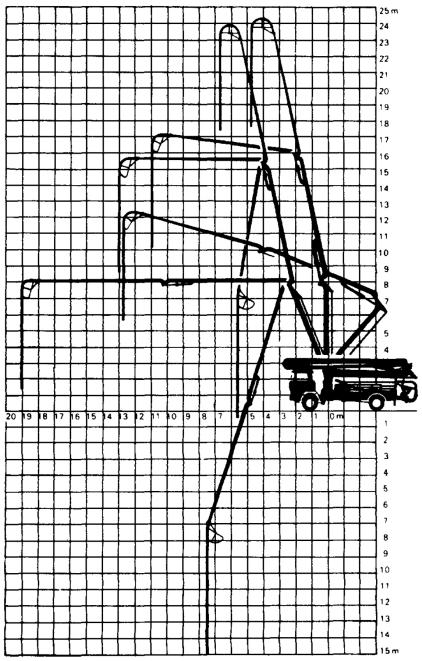
(ج) تأمین بتن سفارش شده،

(د) مشاوره در زمینهٔ تاریخ و ساعت بتن‌ریزی جهت بهینه کردن خدمت رسانی،

مشورت در زمینهٔ آرایش کارگاه جهت تسهیل دسترسی و دور زدن کامیون‌های مخلوط‌کن،

(ه) در نظر گرفتن لوازم یدکی،

(و) تهیه جدول زمانبندی تأمین بتن با هماهنگی با مسئول پمپاژ و پیمانکار.



شکل ۱۲-٦ بازهٔ دسترسی پمپ بتن آماده در کارگاه

فصل سیزدهم

بتن آماده در شرایط آب و هوایی سرد

۱-۱۳ کلیات

مطابق تعریف انجمن بتن آمریکا، هوای سرد عبارت است از دورهٔ زمانی که بیش از سه روز متوالی، میانگین دمای هوا، زیر ۵ درجهٔ سانتیگراد باشد. قابل توجه اینکه متوسط دمای هوای روزانه میانگین دمای حداکثر و حداقل از نیمهٔ شب یک روز تا نیمهٔ شب روز بعد می‌باشد. اگر چنانچه دمای هوا در طی نصف یک دورهٔ ۲۴ ساعته بالای ۱۰ درجهٔ سانتیگراد باشد، در این صورت هوای آن روز را نمی‌توان سرد تلقی نمود.

این تعریف در آیین نامهٔ بتن ایران نیز با کمی اصلاح مورد تایید قرار گرفته و بنابر تعریف آیین‌نامه بتن ایران (آبا)، هوای سرد به وضعیتی اطلاق می‌شود که برای سه روز متوالی شرایط زیر برقرار باشد:

(الف) دمای متوسط هوا در شبانه‌روز کمتر از ^{o}C ۵ باشد (دمای متوسط روزانه میانگین حداکثر و حداقل دمای هوا در فاصله زمانی نیمه‌شب تا نیمه‌روز است).

(ب) دمای هوا برای بیشتر از نصف روز از ^{o}C ۱۰ زیادتر نباشد.

در شرایطی که چنین تعاریفی مصداق داشته باشد باید تمهیدات خاصی در تولید و اجرای بتن اتخاذ شود تا خواص بتن دچار ضعف و نقصان نشده و بتن تولیدی با کیفیت تضمین شده‌ای به دست خریدار برسد. لازم است در طی مراحل حمل و تحویل بتن آماده و همچنین اجرای بتن تمهیدات خاصی برای جلوگیری از افت مقاومتی بتن اندیشیده شود تا از کسب مقاومت منطبق بر ردهٔ مورد توافق با خریدار مطابق با شرایط تصریح شده در قرارداد اطمینان حاصل شود. لذا در ادامه تاثیرات هوای سرد بر خواص بتن مورد بررسی قرار گرفته و راهکارهای اجرایی برای حل مشکلات بتن در هوای سرد ارائه خواهد شد.

۲-۱۳ تاثیر هوای سرد بر خواص بتن

با کاهش دمای بتن، از میزان سخت شدن و کسب مقاومت بتن کاسته شده و در دمای زیر نقطه انجماد روند شیمیایی سخت شدن بتن متوقف می‌شود. وقتی که دمای محیط به کمتر از ^{o}C ۵ می‌رسد، نباید بتن‌ریزی بدون اعمال تمهیدات ذکر شده در این فصل، انجام پذیرد.

به طور کلی، در دمای کم، آهنگ کسب مقاومت بتن کاهش می‌یابد و در نتیجه بتن تازه باید در مقابل آثار مخرب یخ‌بندان محافظت گردد. در مواردی که بتن در چند ساعت اول بعد از بتن‌ریزی و یا قبل از آنکه مقاومت نمونه استوانه‌ای بتن به ۵ مگاپاسکال برسد، در معرض یخبندان قرار گیرد، مقاومت نهایی بتن ممکن است تا ۵۰ درصد کاهش یابد و بتن دچار آسیب دیدگی جدی گردد. اگر بتن در دمایی کمتر از ^{o}C ۵+ قرار گیرد، فرآیند هیدراسیون بسیار کند شده و روند کسب مقاومت بتن عملاً متوقف می‌گردد.

آب خالص در صفر درجه سانتی‌گراد یخ می‌زند، اما آب در داخل بتن به علت وجود املاح مختلف، دارای نقطه انجماد کمتری است و زمانی که آب در بتن یخ می‌زند، حجم آن حدود ۹ درصد بیشتر می‌گردد. از آنجایی که انجماد بتن فرآیند تدریجی است، مقداری آب در منافذ مویین باقی می‌ماند که به علت افزایش حجم یخ، تحت فشار هیدرولیک قرار می‌گیرد. چنانچه این فشار آزاد نگردد، سبب بروز تنش کشش داخلی شده و در نتیجه سبب ترک خوردگی و خرابی بتن می‌شود. با افزایش تعداد چرخه‌های یخ زدن و آب شدن، بر شدت خرابی بتن نیز اضافه می‌گردد.

در صورتی که شرایط هوای سرد طبق تعریف آیین نامه آبا، چه در شرایط تولید بتن و چه در موقع اجرای آن در کارگاه ساختمانی حاکم شود، عملیات تولید و ریختن بتن، باید متوقف شود مگر اینکه تمهیدات لازم به عمل آید. مهمترین نکته برای بتن‌ریزی در هوای سرد، ریختن و عمل‌آوری بتن در دمای بیش از ^{o}C ۵ (معمولاً بیش از ^{o}C ۱۰) به صورت کافی و عدم ایجاد شوک‌های حرارتی است (جدول ۱۳-۱).

جدول ۱۳-۱ دمای توصیه شده* بتن در مراحل مختلف ساخت، بتن‌ریزی و نگهداری

دمای هوا (°C)	حداقل ابعاد مقطع			
	بالای ۱۸۰۰ میلی‌متر	۹۰۰-۱۸۰۰ میلی‌متر	۳۰۰-۹۰۰ میلی‌متر	کمتر از ۳۰۰ میلی‌متر
کمتر از ۵	حداقل دمای بتن درهنگام ریختن و نگهداری °C [۱]			
	۵	۷	۱۰	۱۳
	حداقل دمای بتن در هنگام اختلاط [۲و۳]			
بالای ۱-	۱۶	۱۳	۱۰	۷
۱- تا ۱۸-	۱۸	۱۶	۱۳	۱۰
کمتر از ۱۸-	۲۱	۱۸	۱۶	۱۳

* حداقل دمای مجاز بتن در هنگام ریختن و عمل آوری نباید از ۵+ °C کمتر باشد.

[۱] حداکثر دمای بتن در هنگام ریختن نباید بیش از ۱۱ °C بالاتر از اعداد مندرج در جدول باشد.

[۲] حداکثر دمای بتن بلافاصله پس از اختلاط نباید بیش از ۸ °C بالاتر از اعداد مندرج در جدول باشد.

[۳] اعداد ارائه شده در این قسمت با فرض حمل بتن به مدت یکساعت در کامیون بتن آماده (در حال دوران) بوده و برای مدت زمان حمل کمتر یا بیشتر می‌توان اعداد فوق را به تناسب تغییر داد، اما توصیه می‌شود دمای اختلاط از مقادیر حداقل دمای بتن در هنگام ریختن کمتر نباشد.

۱۳-۳ تعیین دمای بتن

برای تعیین دمای مخلوط بتن می‌توان مستقیماً از حرارت سنج جیوه‌ای یا هر وسیله مناسب دیگر استفاده کرد. همچنین می‌توان با استفاده از رابطه زیر مقدار دمای بتن را محاسبه نمود.

$$T_{conc}=\frac{0.22\left(T_G W_G+T_S W_S+T_C W_C\right)+T_W W_W+T_G W_{WG}+T_S W_{WS}}{0.22\left(W_G+W_S+W_C\right)+W_W+W_{WG}+W_{WS}} \qquad (۱-۱۳)$$

بطوریکه

T_{conc} = دمای مخلوط بتن،

T_C = دمای سیمان، T_G = دمای سنگدانهٔ درشت، T_S = دمای سنگدانهٔ ریز، T_W = دمای آب مخلوط، W_C = وزن سیمان، W_S = وزن سنگدانهٔ ریز، W_G = وزن سنگدانهٔ درشت، W_{WG} = وزن آب در سنگدانهٔ درشت، W_{SG} = وزن آب در سنگدانهٔ ریز می‌باشد.

در رابطهٔ (۱۳-۱)، عدد ۰/۲۲ مقدار ظرفیت گرمایی سیمان و سنگدانه‌ها بر حسب Kcal/kg است و ظرفیت گرمایی آب معادل ۱ Kcal/kg منظور شده است.

آب کل بتن برابر مجموع آب مصرفی و آب موجود در شن وماسه مصرفی است. همان طور که ذکر شد، آب قادر است در حدود پنج برابر سیمان و سنگدانه‌ها، گرما را نگهداری کند و بنابراین با این ملاحظات مشخص می‌شود که آسانترین روش برای افزایش دمای بتن، گرم کردن آب خواهد بود. البته اضافه کردن آب به مخلوط بتن باید طی یک فرایند مشخص انجام شود زیرا به محض تماس مستقیم آب گرم با سیمان، واکنش‌های هیدراسیون سیمان به شدت تسریع یافته و باعث برزو مشکلات بیشتری می‌شود.

۱۳-٤ توصیه‌هایی برای تولید بتن و بتن‌ریزی در هوای سرد

۱۳-٤-۱ اجزای مخلوط بتن

مصالح اولیهٔ مخلوط بتن، نقش مهمی در دمای بتن ایفا می‌کنند که با انتخاب درست آنها می‌توان تولید بتن و همچنین بتن‌ریزی در هوای سرد با کمترین مشکل انجام داد.

۱۳-٤-۱-۱ سیمان

مقدار و نوع سیمان در سرعت کسب مقاومت بتن تاثیر به سزایی دارد. بنابراین افزایش مقدار سیمان و یا استفاده از سیمان پرتلند نوع ۳ (با مقاومت اولیه زیاد) مناسب است، اما الزامی نمی‌باشد، و درصورت امکان، لازم

است در حد مقدور از سرد شدن سیمان جلوگیری شود. به هر حال حرارت دادن به سیمان به نحوی که سیمان داغ تلقی شود، توصیه نمی‌شود.

در مواردی که بر حسب الزامات دوام، از سیمان‌های آمیخته استفاده می‌شود، به دلیل کاهش روند افزایش مقاومتی در اینگونه مخلوط‌ها، باید کنترل‌های لازم انجام شده و عمل‌آوری طولانی‌تری اعمال شود.

۱۳-٤-۱-۲ سنگدانه‌ها

وقتی که دمای هوا بالای صفر درجه سانتی‌گراد بوده و آثاری از یخزدگی در سنگدانه‌ها، مشاهده نمی‌شود می‌توان با حرارت دادن آب مخلوط، دمای مورد نظر را برای مخلوط بتن تامین نمود. برای دمای هوای کمتر از صفر درجه سانتی‌گراد، وقتی که در سنگدانه‌ها یخزدگی مشاهده می‌شود، ممکن است لازم شود با حرارت دادن به سنگدانه‌ها آثار یخزدگی از سنگدانه‌ها زدوده شود. در این خصوص معمولاً ماسه در اولویت است چراکه معمولاً ماسه رطوبت بیشتری از شن دارد و احتمال وجود یخ در آن بیشتر است، بنابراین اغلب گرم کردن ماسه ضرورت پیدا می‌کند. در شکل (۱۳-۱) استفاده از دستگاه تولید کننده هوای گرم برای آب کردن یخ سنگدانه‌ها نشان داده شده است.

شکل ۱۳-۱ آب‌کردن یخ سنگدانه‌ها با دستگاه گازسوز تولیدکننده هوای گرم در زیر پوشش برزنت

انتخاب روش مناسب برای حرارت دادن مصالح سنگی بستگی به امکانات و شرایط اقتصادی دارد. معمولاً از هوای گرم، آب گرم و بخار استفاده می‌شود. به هر حال توصیه می‌گردد در شرایط هوای سرد به خصوص در طول شب، سنگدانه‌ها با پوشش مناسب پوشانده شوند، تا ضمن عدم جذب رطوبت، یخ نزنند.

همچنین حداکثر جذب آب سنگدانه‌های مصرفی بنابر توصیه آئین‌نامه بتن ایران (آبا) برای سنگدانه‌های درشت به ۲/۵ درصد و برای سنگدانه‌های ریز به ۳ درصد محدود می‌شود.

۱۳-٤-۳ آب مخلوط

بطور کلی، آسانترین و ارزانترین روش افزایش دمای مخلوط بتن، افزایش دمای آب است. دمای آب باید کمتر از $60\ ^{o}C$ باشد، زیرا سبب گیرش ناگهانی و کلوخه شدن سیمان می‌گردد و کارایی، مقاومت و دوام بتن را

کاهش می‌دهد. اگر لازم باشد که از آب با دمای بیشتر از ۶۰ ^{o} C استفاده شود، در این حالت باید از تماس مستقیم آب گرم و سیمان جلوگیری شده و این موضوع باید در نحوه ریختن مصالح در مخلوط‌کن رعایت شود. بنابراین توصیه می‌شود که در ابتدا آب با مصالح سنگی مخلوط شده و سپس سیمان به مخلوط افزوده شود.

به چند دلیل گرم کردن آب مخلوط نسبت به گرم کردن سنگدانه مرجح است. زیرا از طرفی، گرم کردن آب آسانتر از مصالح دیگر بوده و از طرف دیگر، آب دارای گرمای ویژه‌ای حدود ۴/۵ تا ۵ برابر گرمای ویژه سیمان و سنگدانه است. گرمای ویژه آب ۱ Kcal/kg است، در حالی که میانگین گرمای ویژه سیمان و سنگدانه ۰/۲۲ Kcal/kg می‌باشد. در دمای زیر یخزدگی، ضروری است که غیر از گرم کردن آب، سنگدانه‌ها به خصوص ماسه گرم شود. اما در دمای بالای یخ زدگی، فقط گرم کردن آب کفایت می‌کند.

۱۳-٤-٤ ماده افزودنی حباب ساز

یکی از مهمترین راهکارهای جلوگیری از آسیب بتن ناشی از دوره‌های یخبندان و آب‌شدگی، استفاده از ماده افزودنی حباب ساز است. این ماده موجب محافظت از بتن در سن اولیه و همچنین در طی مدت بهره‌برداری می‌شود. حباب هوا که بر اثر استفاده از ماده افزودنی در بتن ایجاد می‌گردد با حباب هوای ناخواسته که در نتیجه تراکم نامطلوب بتن به وجود می‌آید، تفاوت دارد. خصوصیت حباب‌های حاصل از ماده افزودنی از دو جنبه با خصوصیات حباب‌های ناخواسته، متفاوت است:

حباب‌های حاصل از ماده افزودنی بین ۱۰ تا ۱۰۰۰ میکرومتر و قطر حباب‌های ناخواسته بیش از ۱۰۰۰ میکرومتر است.

حباب‌های ماده افزودنی به یکدیگر ارتباط ندارند، در صورتی که حباب‌های ناخواسته ممکن است به یکدیگر مربوط باشند.

وجود حباب‌های هوا در بتن سبب می‌گردد تا فضای کافی برای انبساط یخ در بتن ایجاد گردد و درنتیجه از ترک خوردگی وخرابی بتن جلوگیری می‌شود. ماده افزودنی حباب ساز باعث افزایش کارایی بتن نیز می‌شود. در نتیجه می‌توان با ثابت نگه داشتن اسلامپ، مقدار آب مخلوط را کاهش داد.

۱۳-٤-۵ ماده افزودنی زودگیر کننده

مواد افزودنی زودگیر کننده که به غلط در بازار به عنوان مواد ضد یخ بتن یا سیمان نامیده می‌شوند، می‌توانند سرعت هیدراسیون در بتن را افزایش داده و در طول مدت زمان کمتر، به شرط آنکه دمای مناسب (بالاتر از $5\ ^{o}C$+) فراهم شده باشد، بتن مقاومت بیشتری را کسب نماید. با مصرف این مواد به میزان توصیه شده عملاً تغییر چشمگیری در نقطه انجماد آب حاصل نشده و بتن مصون از یخ زدن نمی‌باشد. بنابراین نباید تصور کرد که مصرف این مواد جایگزین روش توصیه شده برای تولید بتن و ریختن و عمل آوری آن خواهد بود. مسلماً در صورت استفاده از اینگونه افزودنی‌ها، باید منطبق با استانداردهای معتبر بوده، و در مقاومت‌های دراز مدت و دوام بتن اثر نامطلوب بیش از حد مجاز باقی نگذارند. بنابراین قبل از مصرف هر نوع ماده افزودنی باید از عملکرد مناسب آن (ترجیحاً با آزمایش) اطمینان حاصل نمود.

۱۳-۵ مخلوط کردن وانتقال بتن در هوای سرد

پس از مخلوط کردن بتن، نباید دمای آن کمتر از اعداد مندرج در جدول (۱۳-۱) باشد. مسلماً در هنگام تولید و اختلاط بتن با توجه به نوع وسیله حمل، مدت حمل و میزان محموله، اتلاف دما خواهیم داشت. بنابراین در جدول (۱۳-۱)، توصیه شده است که دمای بتن پس از اختلاط تا حدودی بیش از حداقل دمای بتن ریزی باشد. بدیهی است که باید سعی شود حمل و ریختن بتن تا حد امکان به سرعت انجام شود. همچنین در طول حمل بتن با کامیون مخلوط‌کن، از چرخش‌های بی مورد و بیش از اندازه خودداری شود.

۱۳-٦ بتن‌ریزی

مخلوط بتن باید در مدت کوتاه جایدهی شود، در غیر این صورت افت دما زیاد خواهد بود. دمای مورد نیاز بتن پس از جایدهی بستگی به حجم آن دارد. توصیه می‌شود که در صورت امکان در بتن‌ریزی هوای سرد از لایه‌های ضخیم تر در هنگام بتن‌ریزی استفاده شود.

۱۳-۷ حفاظت از وسایل کار در هوای سرد

تمام وسایل کار، مانند جام‌ها و فرغون‌ها باید در هنگام عملیات بتن‌ریزی، در مقابل یخ‌زدگی محافظت شوند. حتی‌الامکان سعی شود از سطوح شیب‌دار برای انتقال بتن استفاده نگردد، زیرا بتن در حین انتقال از بالا به پایین سطح، دمای خود را از دست می‌دهد. همچنین محافظت از این نوع سطوح در مقابل یخبندان با دشواری صورت می‌گیرد.

۱۳-۸ محافظت پس از بتن ریزی

خطر جدی در شرایط آب و هوایی سرد، زمانی رخ می‌دهد که آب بتن تازه‌ای که جایدهی شده، یخ بزند. در چنین حالتی ممکن است بتن یخ زده با بتنی که گیرش معمولی دارد، اشتباه شده و عمل قالب برداری انجام شده و در هنگام فرآیند آب شدن، امکان فروپاشی وجود دارد. برای اجتناب از آن، در هیچ مورد نباید دمای بتن در قالب کمتر از $5\ ^{o}C$ باشد و تا زمانی که بتن سخت شود، این دما باید حفظ شود. تحقیقات نشان می‌دهد که وقتی مقاومت نمونه استوانه‌ای به ۵ مگاپاسکال می‌رسد، مقاومت لازم در مقابل آسیب دیدگی ناشی از یخ زدن را کسب کرده است. به طور کلی اگر برای ۴۸ ساعت، دمای بتن بیشتر از $5\ ^{o}C$ حفظ شود، مقاومت مذکور را کسب می‌کند. روشهای مختلف محافظت بتن پس از جایدهی شامل پوشش مناسب یا حرارت دادن در فضای مسدود است. اعضای نازک بتن نیاز به مدت زمان محافظت بیشتری دارند، اما بتن‌های حجیم به خصوص در سنین اولیه نیاز به محافظت ندارند (به شرطی که دمای هیدراسیون جبران کنندهٔ دمای بتن باشد). درهنگام هوای سرد باید از عمل‌آوری با آب اجتناب و به روش عایقی (استفاده از پوشش برای جلوگیری از تبخیر آب) اکتفا کرد. درعمل‌آوری حرارتی (پروراندن) نباید خشک‌شدگی موضعی حاصل شود و گازهای حاصل از سوزاندن مواد مختلف در تماس با بتن جوان و نارس قرار گیرد. استفاده از بخار آب در عمل‌آوری حرارتی امکان رطوبت رسانی را فراهم می‌آورد.

فصل چهاردهم

بتن آماده در شرایط آب و هوایی گرم

۱۴-۱ کلیات

دمای زیاد باعث افت اسلامپ شده و با کاهش کاریی، موجب کاهش خواص بتن سخت شده خواهد شد. در این فصل نکاتی از شرایط تولید، حمل و بتن‌ریزی در شرایط آب و هوایی گرم مورد تاکید قرار گرفته و همچنین راهکارهای عملی و اجرایی برای تولید و بتن ریزی در چنین شرایطی بیان خواهد شد.

۱۴-۲ تاثیر هوای گرم بر خواص بتن

هوای گرم سبب مشکلات در تولید، جایدهی و عمل‌آوری بتن شده و اثر نامطلوب در خواص و بهره‌برداری بتن دارد. عمده این مشکلات از افزایش نرخ هیدراسیون سیمان در دماهای بالاتر و همچنین افزایش نرخ تبخیر بتن تازه ناشی می‌شود.

هوای گرم عبارت است از هر ترکیبی از پنج عامل (الف) دمای زیاد هوا، (ب) رطوبت نسبی کم، (ج) سرعت باد، (د) دمای زیاد بتن و (ه) تشعشع خورشید که با تسریع نرخ هیدراسیون سیمان و یا کاهش رطوبت، در کیفیت بتن تازه یا سخت شده اثر گذاشته و سبب بروز خواص نامطلوب در بتن می‌شود.

به طور کلی اگر دمای بتن بیشتر از ۳۰ درجه سانتی‌گراد باشد، هوای گرم محسوب شده و باید از تمهیدات ارائه شده در این فصل استفاده شود. در شرایط هوای گرم، لازم است از بتن‌ریزی خودداری گردد. در چنین مواردی بهتر است زمان تولید و اجرای بتن را از اواسط روز، به در اوایل صبح و یا در شب هنگام، تغییر داد.

همانگونه که در فصول گذشته گفته شد، هوای گرم آثار نامطلوب زیادی بر خواص بتن تازه و سخت شده دارد و چنانچه تمهیدات خاصی برا حذف یا کاهش این موارد اندیشیده نشود، کیفیت مورد نظر بتن حاصل نمی‌شود.

۱۴-۲-۱ تاثیر هوای گرم بر خواص بتن تازه

بطور کلی، آثار نامطلوب هوای گرم در بتن تازه (در حالت خمیری) به شرح زیر است:

(الف) افزایش سرعت افت اسلامپ که متعاقب آن، تمایل به افزودن آب به مخلوط در کارگاه نیز افزایش می‌یابد،

(ب) افزایش سرعت گیرش بتن که درنتیجه آن، مشکلاتی مثل انتقال، پرداخت و عمل‌آوری بتن پیش آمده و امکان به وجود آمدن درز سرد افزایش می‌یابد،

(ج) افزایش احتمال ترک خوردگی پلاستیک،

(د) کنترل حباب هوای ایجاد شده (توسط مواد حباب زا) در بتن تازه مشکل می‌شود.

۱۴-۲-۲ تاثیر هوای گرم بر خواص بتن سخت شده

آثار نامطلوب هوای گرم در بتن درحالت سخت شده، شامل موارد زیر است:

(الف) کاهش مقاومت بتن به سبب افزایش مقدار آب مخلوط بتن،

(ب) افزایش دمای بتن باعث کاهش مقاومت درازمدت بتن می‌شود. به طور کلی هوای گرم سبب افزایش مقاومت فشاری زود هنگام بتن می‌شود، اما مقاومت نهایی کمتر از مقاومت آن در شرایط معمولی خواهد بود،

(ج) احتمال ترک خوردگی ناشی از جمع شدگی (از نوع خشک شدگی) افزایش می‌یابد،

(د) به دلیل افزایش نسبت آب به سیمان (به دلیل تمایل افزودن آب مخلوط) دوام بتن کاهش می‌یابد،

(ه) نفوذپذیری بتن به دلیل رشد سریع بلورهای حاصل افزایش می‌یابد،

(و) به احتمال زیاد، پیوستگی بین بتن و میلگرد کاهش می‌یابد،

(ز) احتمال خوردگی میلگردهای بتن در شرایط خورنده (به ویژه سواحل جنوبی کشور) افزایش می‌یابد،

(ح) بروز تغییر رنگ در نمای بتن و ظاهر آن به دلایل مختلف از جمله ایجاد درز سرد، نامطلوب می‌شود.

۱۴-۳ عوامل مؤثر در تشدید خسارات ناشی از هوای گرم

عوامل مؤثر در تشدید خسارات هوای گرم عبارتند از:

(الف) استفاده از سیمان‌های زودگیر یا با سرعت هیدراسیون زیاد،

(ب) استفاده از مواد افزودنی شیمیایی زودگیرکننده و یا مواد افزودنی معدنی که در افزایش سرعت هیدراسیون مؤثر است (نظیر دوده سیلیسی)،

(ج) طراحی بتن با نسبت‌های آب به سیمان کم و بتن‌های پر مقاومت با عیار سیمان زیاد،

(د) ساخت قطعات بتن مسلح نازک و پر میلگرد،

(ه) استفاده از سیمان‌ها و یا مواد افزودنی انبساط زا.

بنابراین ملاحظه می‌شود که کار اجرایی با بتن‌های با دوام که در آنها نسبت آب به سیمان تا حد ۰/۴ پایین آمده، و طبیعتاً عیار سیمان افزایش پیدا می‌کند، در مناطق جنوبی کشور که آب و هوای گرم بر آن حاکم است، تبعاتی را به بار می‌آورد که نیاز به رعایت شرایط بتن ریزی در هوای گرم را دو چندان می‌کند. برای کاهش عیار سیمان در این شرایط نیاز به استفاده از مواد روان کننده به خوبی احساس می‌شود.

۱۴-۴ جمع شدگی خمیری

یکی از مهمترین آثار نامطلوب هوای گرم، افزایش احتمال ترک خوردگی ناشی از جمع شدگی خمیری است. این نوع ترک‌ها به علت تبخیر سریع آب بتن رخ می‌دهد. به عبارت دیگر، چنانچه مقدار تبخیر بیشتر از مقدار آب‌آوری باشد، سبب ترک خوردگی می‌شود. چهار عامل: دمای هوا، رطوبت محیط، سرعت باد و دمای بتن، در مقدار تبخیر آب از سطح بتن اثر دارند. چنانچه مقدار تبخیر آب از سطح بتن بیشتر از ۱ kg/m^2 در ساعت باشد، احتمال ترک خوردگی بسیار زیاد می‌باشد، بنابراین لازم است تمهیدات این فصل دقیقاً اجرا گردد. اما به هر

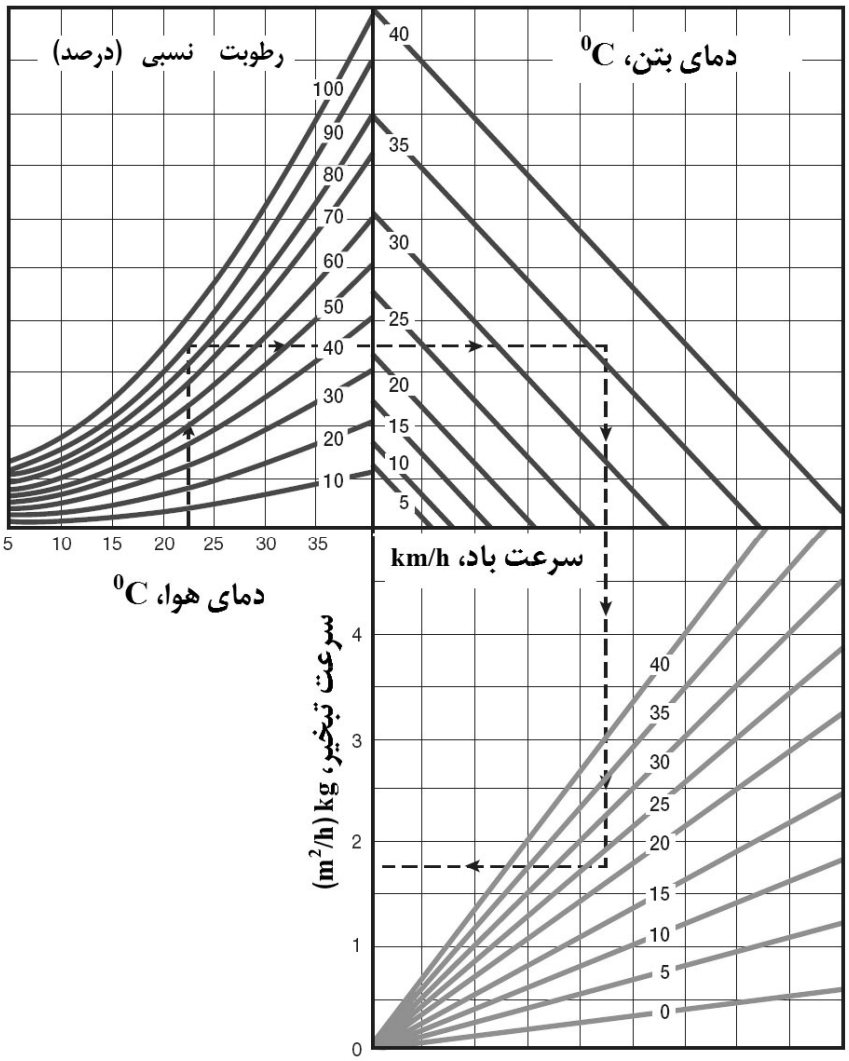
حال وقتی مقدار تبخیر از حد kg/m^2 ۰/۵ درساعت بیشتر می‌شود، توصیه می‌شود تمهیدات ارائه شده در این فصل به کار گرفته شود.

برای تخمین مقدار تبخیر می‌توان از نمودار شکل (۱۴-۱)، استفاده کرد. همان طور که از شکل مشاهده می‌شود نیاز به دانستن رطوبت نسبی محیط، دمای هوا، سرعت باد و دمای بتن است. با استفاده از رطوبت سنج ساده و دماسنج می‌توان رطوبت و دمای محیط و هم چنین دمای بتن را اندازه‌گیری کرد. برای تعیین سرعت وزش باد می‌توان از بروز پدیده‌های ساده‌ای همچون حرکت برگها، شاخه‌ها و درختان و سایر پدیده‌هایی که دراطراف مشاهده می‌شود کمک گرفت و سرعت باد را تخمین زد. برای تقسیم‌بندی بر اساس مشاهدات ظاهری محیط می‌توان موارد زیر را ذکر کرد:

سرعت باد تا km/h ۱۰ (کیلومتر در ساعت) باعث حرکت برگها می‌شود.

سرعت باد تا km/h ۲۰ (کیلومتر در ساعت) درختان کوچک را حرکت می‌دهد.

سرعت باد تا km/h ۳۰ (کیلومتر در ساعت) سبب حرکت شاخه‌های بزرگ می‌شود.



شکل ۱۴-۱ نمودار تخمین مقدار تبخیر آب از سطح بتن

برای چگونگی استفاده از نمودار شکل (۱۴-۱)، به مثال زیر مراجعه شود:

فرض کنید که دمای محیط $23\ ^{o}C$ باشد، در این صورت یک خط عمودی ترسیم می‌شود تا رطوبت نسبی محیط را که ۹۰ درصد را قطع کند. در مرحلهٔ بعد یک خط افقی ترسیم می‌شود تا دمای بتن را که در این مثال، $35\ ^{o}C$ است قطع کند. فرض شده است که سرعت باد $25\ km/h$ باشد، بنابراین یک خط عمودی ترسیم می‌شود تا این مقدار سرعت باد را قطع کند. در آخرین مرحله از نقطه نهایی خطی افقی کشیده می‌شود تا مقدار شدت تبخیر در محور عمودی مشخص شود. در این مثال، مقدار شدت تبخیر نزدیک به $1/7\ kg/(m^2/h)$ است، بنابراین باید حتماً از تمهیدات این فصل برای کاهش مقدار تبخیر استفاده گردد. در غیر این صورت احتمال ترک خوردگی سطح بتن زیاد خواهد بود.

در این مورد راهکارهای ذیل می‌تواند به عنوان اقدامات پیشگیرانه برای کاهش خسارت محسوب شود:

(الف) مرطوب کردن سنگدانه‌هایی که خشک و قابلیت جذب آب داشته باشند،

(ب) پایین نگاه داشتن دمای بتن با سرد کردن سنگدانه‌ها و یا آب مخلوط بتن،

(ج) مرطوب نمودن سطح کار،

(د) پرپایی بادشکن برای کاهش سرعت باد بر روی سطح بتن،

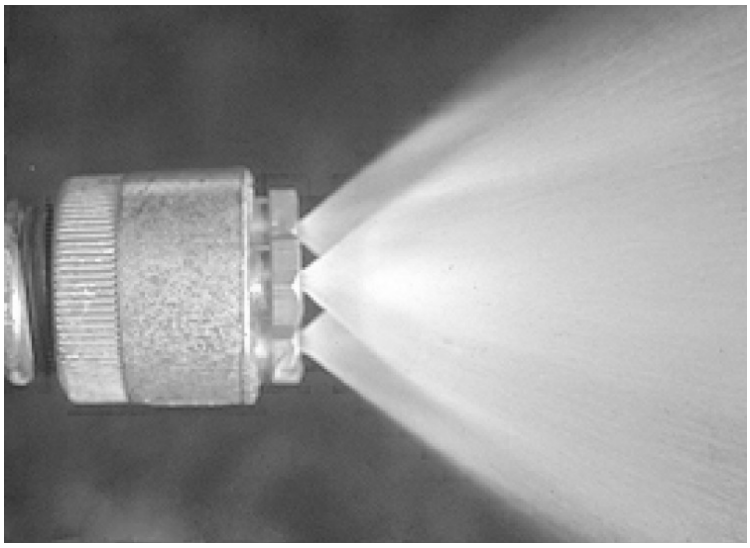
(ه) برپایی سایه‌بان موقت برای کاهش دمای سطح بتن،

(و) مجافظت از بتن با استفاده از پوشش‌های موقت مانند صفحات پلی اتیلنی در طی هر گونه بروز تاخیر در بتن‌ریزی و پرداخت سطح بتن،

(ز) پاشش آب و ایجاد مِه مصنوعی (شکل ۱۴-۲) بر روی دال‌های بتنی پس از بتن‌ریزی و قبل از پرداخت نهایی. البته باید توجه داشت که از تجمع آب بر روی سطح بتن پرهیز شود چرا که این امر باعث کاهش کیفیت بتن خواهد شد،

(ح) افزودن الیافت پلاستیکی به مخلوط بتن جهت کمک به کاهش تشکیل ترک‌های ناشی از جمع شدگی.

همان گونه که مشاهده شد، تبخیر از سطح بتن و دمای بتن در بتن‌ریزی حایز اهمیت است. لذا کاهش دمای بتن در هنگام بتن‌ریزی تا مرحله گیرش و کاهش شدت تبخیر می‌تواند از ایجاد خسارات مختلف که در بالا ذکر شد، جلوگیری نماید.



شکل ١٤-٢ پاشش آب و ایجاد مِه مصنوعی

١٤-٥ تخمین دمای بتن و کاهش دمای مصالح

برای اندازه‌گیری حرارت می‌توان از انواع دماسنج‌های مناسب با دقت کافی استفاده کرد. مثالی از محاسبات مربوط به تخمین دمای اولیهٔ بتن در جدول (۱۴-۱) ارائه شده است.

جدول ١٤-١ نمونه‌ای از برگ محاسبات دمای اولیهٔ‌بتن

مصالح	وزن (kg)	گرمای ویژه (kJ/kg.K)	مقدار ژول برای تغییر دما، ۱ °C	دمای اولیهٔ مصالح (°C)	کل ژول در مصالح
	(۱)	(۲)	(۳) (۲)×(۱)	(۴)	(۵) (۴)×(۳)
سیمان	۳۳۵ (W_C)	۰/۹۲	۳۰۸	۶۶ (T_C)	۲۰۳۲۸
آب	۱۲۳ (W_W)	۴/۱۸۴	۵۱۵	۲۷ (T_W)	۱۳۹۰۵
کل سنگدانه‌ها	(W_a) ۱۸۳۹	۰/۹۲	۱۶۹۲	۲۷ (T_a)	۴۵۶۸۴
جمع کل	--	--	۲۵۱۵	--	۷۹۹۱۷

دمای اولیهٔ بتن = $\frac{79917}{2515} = 31.8\,^{\circ}C$

برای کاهش یک درجه در دمای اولیهٔ‌بتن :

- دمای سیمان باید تا حد $\frac{2515}{308} = 8.2\,^{\circ}C$ کاهش داده شود.
- یا دمای آب باید تا حد $\frac{2515}{315} = 4.9\,^{\circ}C$ کاهش داده شود.
- یا دمای سنگدانه‌ها باید تا حد $\frac{2515}{1692} = 1.5\,^{\circ}C$ کاهش داده شود.

١٤-٦ توصیه‌هایی برای تولید بتن و عملیات بتن‌ریزی در هوای گرم

١٤-٦-١ تمهیدات اعمالی بر مصالح مصرفی

در هوای گرم، باید تمهیدات ذیل را در مورد مصالح مصرفی به کار گرفت:

- **باید از گرم شدن سنگدانه‌ها جلوگیری گردد. بنابراین با انباشتن سنگدانه‌ها در زیر سایبان یا پوشاندن آنها با برزنت در برابر تابش مستقیم آفتاب، از گرم شدن سنگدانه جلوگیری شود. به هر حال در صورتی که سطح توده سنگدانه گرم شده باشد، می‌توان با کنار زدن لایه سطحی سنگدانه‌ها از قسمت‌های زیرین استفاده نمود.**

- دمای سنگدانه مصرفی باید کمتر از ۵۰ درجه سانتی‌گراد باشد. دمای قالب‌ها و میلگردها نیز باید کمتر از ۵۰ درجه سانتی‌گراد باشد.
- حداکثر جذب آب سنگدانه‌های مصرفی بنابر توصیه آئین‌نامه بتن ایران (آبا) برای سنگدانه‌های درشت به ۲/۵ درصد و برای سنگدانه‌های ریز به ۳ درصد محدود می‌شود.
- با توجه به اینکه ۷۰ تا ۸۵٪ از حجم بتن از سنگدانه تشکیل شده است، لذا هر چه دمای سنگدانه‌ها پایین نگاه داشته شود، به همان نسبت دمای بتن کم خواهد شد. برای کاهش ۰/۵ ^{o}C دمای بتن، لازم است دمای سنگدانه‌های درشت بین ۰/۸ ^{o}C تا ۱/۱ ^{o}C کاهش یابد.
- آب اختلاط باید در مخزن‌هایی واقع در زیرزمین نگهداری شود، اگر امکانات، اجازه استفاده از منابع زیرزمینی را نمی‌دهد، باید منابع با رنگ سفید در مقابل نور خورشید محافظت شوند. برای کاهش دمای آب در منابع زمینی و یا هوایی، توصیه می‌شود از عایق بندی استفاده گردد.
- به علت گرمای ویژهٔ پایین سیمان، و همچنین مقدار پایین سیمان در کل مخلوط بتن، دمای سیمان تاثیر ناچیزی در دمای بتن تازه دارد. بطوریکه معمولاً تغییر دمای سیمان به اندازهٔ ۵ ^{o}C، تنها باعث کاهش ۰/۵ ^{o}C در دمای بتن خواهد شد.
- به علت آنکه سیمان گرمای خود را در طی انبار به آرامی از دست می‌دهد، لذا امکان دارد سیمان موقع تحویل هنوز گرم باشد. به علت آنکه دمای سیمان تا حدی دمای بتن تازه را تحت تاثیر قرار می‌دهد، بنابراین برخی از مشخصات قرارداد، محدودیت‌هایی در این مورد اعمال می‌نمایند. این محدودیت بین ۶۶ تا ۸۲ درجهٔ سانتیگراد متغیر است. در ضوابط معمول برای این محدودیت عدد ^{o}C ۶۰ مورد تاکید است. به هر حال نباید از سیمان داغ استفاده شود، زیرا سیمان داغ درهنگام ساخت مخلوط سبب گیرش سریع و کلوخه شدن می‌شود.
- به کارگیری رنگ روشن و منعکس کننده نور خورشید برای سیلوهای سیمان توصیه می‌شود. استفاده از سیلوهای فلزی دو جداره و یا عایق بندی سیلوها راه حل مناسبی برای پیشگیری از داغ شدن سیمان‌ها می باشد. نگهداری پاکت‌های سیمان در انبارهای سرپوشیده نیز توصیه می‌شود.

- **پیش از استفاده افزودنی‌ها، باید اثر آنها در بتن در هوای گرم بررسی شده و چنانچه از فوق روان کننده استفاده می‌شود، توصیه می‌شود دقت کرد که این ماده خاصیت زودگیر کنندگی نداشته باشد.**

۱۴-۷ تولید بتن

در تولید بتن باید تمهیدات خاص به کار گرفته شود، تا دمای بتن کاهش یابد. موارد زیر به تولید بتن با دمای کم کمک می‌کنند.

۱۴-۷-۱ آب پاشی متناوب بر روی توده سنگدانه‌ها

در هوای گرم و خشک و یا نیمه مرطوب، آب پاشی متناوب بر روی توده سنگدانه‌ها مؤثر است، زیرا تبخیر آب از سطح ذرات به خنک شدن سنگدانه‌ها کمک می‌کند. به طور مسلم استفاده از آب خنک اثر بیشتری دارد. اما در هنگام استفاده از این سنگدانه‌ها باید دقت لازم را اعمال نمود چون تغییرات رطوبت سنگدانه‌ها درمقدار آب مخلوط اثر مهمی دارد و باید رطوبت سنگدانه‌ها در طرح مخلوط در نظر گرفته شود. مسلماً در شرایطی که هوا مرطوب باشد، آب پاشی بر روی سنگدانه منجر به تبخیر زود هنگام و کاهش دمای سنگدانه نشده و کنترل نسبت آب به سیمان بتن را دچار مشکلات جدی می‌کند. همچنین دستیابی به دمای مورد نظر بتن را با استفاده از آب خنک و یا یخ به دلیل کم شدن آب مصرفی دشوارتر می‌سازد. قرار دادن سنگدانه‌های مرطوب در مسیر وزش باد برای افزایش تبخیر وکاهش دمای آن بویژه بر روی تسمه نقاله در مناطق خشک یا نیمه خشک کاملاً مؤثر است.

۱۴-۷-۲ استفاده از آب خنک یا سرد

ریختن آب خنک یا دمیدن هوای خنک بر سطح سنگدانه‌ها بویژه بر روی تسمه نقاله می‌تواند در کاهش دمای سنگدانه مؤثر باشد.

آسانترین روش کاهش دمای بتن، استفاده از آب سرد در ساخت بتن می‌باشد. از طرف دیگر، دمای ویژه آب ۴/۵ تا ۵ برابر سیمان و سنگدانه است. برای مثال، در هنگام ساخت مخلوط بتن با ۳۳۶ کیلو سیمان، ۱۸۵۰ کیلو

مصالح سنگی و ۱۷۰ کیلو آب در متر مکعب، با تغییر دادن ۲ درجه سیلسیوس در دمای آب، سبب تغییر دمای بتن به مقدار ۰/۵ درجه سیلسیوس می‌شود. به طور کلی، برای کاهش دمای بتن به مقدار ^{o}C ۱، باید از دمای مصالح سنگی در حدود ^{o}C ۲ و آب در حدود ^{o}C ۴ کاسته شود.

۱۴-۷-۳ استفاده از یخ

استفاده از یخ به عنوان جایگزین قسمتی از آب اختلاط (یا تمام آب اختلاط) درکاهش دمای بتن بسیار موثر است، زیرا وقتی یخ صفر درجه تبدیل به آب می‌شود، نیاز آن به انرژی حرارتی ۸۰ برابر حرارت مورد نیاز برای تغییر دمای آب به میزان ^{o}C ۱ می‌باشد (شکل ۲-۳). به عبارت دیگر، در هنگام ذوب شدن یخ، مقدار دمایی که جذب یخ می‌شود بسیار قابل توجه است. برای مثال، اگرنصف آب مخلوط با یخ صفر درجه جایگزین گردد، دمای بتن در هنگام ذوب شدن یخ به مقدار ^{o}C ۱۱ کاهش می‌یابد و از طرف دیگر، به کمک آب صفر درجه از دمای بتن در حدود ^{o}C ۴ کاسته می‌شود. بنابراین مجموع کاهش دمای بتن به طور تقریبی ^{o}C ۱۵ می‌باشد. گاه در زمانی که تقاضای مصرف سیمان بیش از تولید آن می‌باشد سیمان‌های داغ به خریدار تحویل می‌گردد به نحوی که پس از حمل سیمان در هنگام تخلیه درسیلو، بدنه بونکر آنقدر داغ است که دست را می‌سوزاند. تقارن این ایام با فصول گرم سبب می‌شود که ساخت بتن با دمای مطلوب با مشکل بیشتری همراه گردد. لازم است از مصرف سیمان داغ تحویلی خودداری شود و با نگهداری سیمان در سیلو و افت دمای آن، ساخت بتن تداوم یابد.

مثالی از کاربرد ۴۴ کیلوگرم یخ در کاهش دمای بتن جدول (۱۴-۲) ارائه شده است. با توجه به این جدول ملاحظه می‌شود با استفاده از یخ دمای بتن از ^{o}C ۳۱/۸ به ^{o}C ۲۴/۱ کاهش پیدا می‌کند. البته در این مثال نسبت آب به سیمان با مصرف یخ افزایش پیدا نموده که این مسئله باید در طرح اختلاط بتن مورد ملاحظه قرار داده شود.

جدول ١٤-٢ تاثیر استفاده از یخ (٤٤ kg) بر کاهش دمای بتن تازه

مصالح	وزن (kg)	گرمای ویژه (kJ/kg.K)	مقدار ژول برای تغییر دما، ۱ oC	دمای اولیهٔ مصالح (oC)	کل ژول در مصالح
	(۱)	(۲)	(۳) (۲)×(۱)	(۴)	(۵) (۴)×(۳)
سیمان	۳۳۵ (W_C)	۰/۹۲	۳۰۸	۶۶ (T_C)	۲۰۳۲۸
آب	۱۲۳ (W_W)	۴/۱۸۴	۵۱۵	۲۷ (T_W)	۱۳۹۰۵
کل سنگدانه‌ها	(W_a) ۱۸۳۹	۰/۹۲	۱۶۹۲	۲۷ (T_a)	۴۵۶۸۴
یخ	۴۴ (W_i)	۴/۱۸۴	۱۸۴	۰ (T_i)	۰
مجموع	--	--	۲۶۹۹	--	۷۹۹۱۷
کاهش	گرمای ذوب (۳۳۵*) × ۴۴ (W_i) =				-۱۴۷۴۰ ۶۵۱۷۷

دمای اولیهٔ بتن = $\frac{65177}{2699} = 24.1\,^{o}C$

*گرمای نهان ذوب یخ معادل ۳۳۵ کیلو ژول در هر کیلوگرم است.

بطور کلی موارد ذیل در کاربرد یخ برای کاهش دمای بتن توصیه می‌شود:

(الف) زمان اختلاط به قدری طولانی باشد که تمام قطعات یخ بطور کامل ذوب شوند،

(ب) نباید بیش از ۷۵٪ کل آب مخلوط از یخ استفاده شود،

(ج) حداکثر کاهش دمای بتن با استفاده از یخ به ^{o}C ۱۱ محدود می‌شود،

(د) در صورت نیاز به کاهش بیش از ^{o}C ۱۱، استفاده از تزریق نیتروژن مایع توصیه می‌شود،

شکل ١٤-٣ جایگزینی بخشی از آب اختلاط با یخ جهت کاهش دمای بتن

١٤-٨ حمل و تحویل بتن

در هنگام حمل و نقل و تحویل بتن باید موارد زیر رعایت شود:

- **در هوای گرم، حمل و نقل و عملیات احویل بتن باید سریعاً انجام شود، زیرا تأخیر باعث کاهش اسلامپ و افزایش دمای بتن می‌شود،**
- **در هوای معمولی حداکثر زمان تخلیه برای کامیون حمل بتن آماده ۱/۵ ساعت است یا حداکثر تعداد چرخش دیگ آن باید ۳۰۰ دور باشد، اما در هنگام حمل و تحویل بتن در هوای گرم این زمان باید کاهش یابد و حداکثر ۴۵ دقیقه تا ۱ ساعت باشد. به هر حال چرخش زیاد کامیون حمل بتن آماده، موجب تبادل زیاد حرارتی با محیط خواهد شد و به هیچ وجه توصیه نمی‌شود.**
- **بدنهٔ کامیون حمل بتن آماده باید با استفاده از تمهیدات مناسبی عایق شود تا از تبادل حرارتی با هوای گرم کاسته شود.**
- **تمام ابزار و وسایل حمل بتن، مانند فرغون، قالب‌ها و حتی میلگردها باید خنک شوند.**

۱۴-۹ کنترل دمای بتن پس از بتن‌ریزی

کنترل دمای بتن پس از بتن‌ریزی از دو جنبه حایز اهمیت است. همان طور که در بخش جمع‌شدگی خمیری ذکر شد، کاهش دمای بتن در کاهش مقدار تبخیر و جلوگیری از ترک‌خوردگی، بسیار نقش مهمی دارد. از طرف دیگر، کنترل دمای بتن در کسب مقاومت مورد نظر اثر قابل توجه‌ای دارد. در مواردی که بتن با نسبت کم آب به سیمان (کمتر از ۰/۴۵) مصرف می‌شود و یا ازمیکروسیلیس در مخلوط استفاده می‌شود، به کار بردن تمهیدات زیر اهمیت بیشتری دارد، زیرا این نوع مخلوطها مستعد ترک خوردگی بیشتری است. بنابراین تمهیدات زیر باید اعمال شود:

- **روی سطح میلگرد، قالب‌ها و سطح زمین باید آب پاشی شود تا دمای سطوح کاهش یابد، اما نباید بر روی سطوح مذکور آب اضافی باقی بماند. مسلماً در هوای مرطوب به جهت کاهش تبخیر این عمل اثر مثبت چندانی نخواهد داشت مگر برای آب‌پاشی از آب خنک استفاده نماییم.**
- **در حدود نیم ساعت پس از پرداخت سطح بتن، باید سطح بتن با پوشش نایلون پوشش داده شود. همچنین باید اطمینان حاصل شود که جریان هوا در زیر پوشش وجود دارد، در غیر این صورت دمای بتن افزایش می‌یابد. هنگام عمل‌آوری با آب، دمای آب باید تا حد امکان به دمای بتن نزدیک باشد تا از شوک‌های حرارتی اجتناب شود.**
- **استفاده از سایبان در بالای سطح بتن در کاهش دمای بتن بسیار مؤثر است؛ زیرا از تابش مستقیم آفتاب بر سطح بتن جلوگیری می‌کند.**
- **با ایجاد بادشکن به کمک چتایی یا حصیر می‌توان سرعت باد را کاهش داد. در هوای گرم و خشک چنانچه این بادشکن مرطوب شود، دمای محیط را کاهش و رطوبت نسبی را افزایش می‌دهد، بنابراین پارامترهای مهم تبخیر شامل دمای هوا، رطوبت نسبی و سرعت باد همزمان موجب کاهش تبخیر شده، ضمن آنکه دمای بتن موجود افزایش نمی‌یابد.**
- **بلافاصله پس از سخت شدن باید عمل‌آوری آغاز گردد. در صورت امکان نباید از روشهای عمل‌آوری عایقی استفاده شود (بویژه در مناطق خشک)، بلکه باید با**

استفاده از آب، عمل‌آوری را انجام داد. استفاده از گونی خیس نیز روشی مناسب برای عمل‌آوری محسوب می‌شود، اما گونی به طور مداوم باید خیس شود.

- **قالب‌ها (بویژه قالب چوبی) به صورت عایق عمل می‌کنند و باعث عمل‌آوری بتن می‌شوند. در هوای گرم توصیه می‌شود. قالب‌ها سریع باز شوند و عمل‌آوری با آب انجام گیرد. در صورتی که امکان باز کردن کامل قالب‌ها وجود نداشته باشد، می‌توان آن را شل کرد و آب را به سطح بتن رساند. همچنین در صورت استفاده از قالب چوبی می‌توان با آب پاشی بر روی قالب‌ها از تبخیر آب بتن جلوگیری نمود.**

در صورتی که بر سطح بتن پس از عملیات پرداخت ترک بروز کند که ناشی از جمع‌شدگی خمیری باشد، می‌توان با تراکم مجدد سطح بتن ترک‌ها را حذف کرد. اجرای عملیات تراکم پس از مشاهده ترکها نه تنها باعث حذف ترک‌ها می‌شود، بلکه سبب افزایش مقاومت سایشی لایه سطحی بتن می‌گردد. عملیات تراکم باید قبل از گیرش بتن انجام شود. در غیر این صورت، ساختار بتن تغییر می‌کند و کیفیت آن کاهش می‌یابد.

فصل پانزدهم

بتن آماده در شرایط محیطی خلیج فارس و دریای عمان

۱۵-۱ کلیات

در کرانه‌های جنوبی ایران، در حاشیهٔ خلیج فارس و دریای عمان، شرایط آب و هوایی گرم و مرطوب حاکم است که این شرایط با وجود یون‌های مهاجم کلراید و سولفات همراه است. به عبارتی در این مناطق به لحاظ نزدیکی به ساحل، غلظت یون‌های خورنده‌ای نظیر یون کلراید و یون‌های سولفات بسیار بالا است. در حقیقت می‌توان مدعی شد این شرایط آب و هوایی از جنبه‌های مختلف یکی از شدیدترین و بدترین شرایط محیطی و آب و هوایی محسوب می‌شود. در حقیقت از نظر تولید بتن و اجرای آن در این منطقه علاوه بر تمهیدات و توصیه‌های ذکر شده در شرایط آب و هوایی گرم، باید محدودیت‌های بیشتری را از ابعاد مختلف بر این نوع کارها اعمال نمود.

همانگونه که ذکر شد، از دیدگاه مسائل و مشکلات اجرایی تولید بتن و ساخت سازه‌های بتنی، آب و هوای این مناطق ترکیبی از دمای زیاد هوا، رطوبت نسبی کم و سرعت زیاد باد است که بر کیفیت بتن تازه و سخت شده اثر نامطلوب دارد. عوامل محیطی در طول مدت سال و بسته به شرایط جغرافیایی و منطقه تغییر می‌کند. درصورتیکه در هنگام ساخت بتن شرایط بتن‌ریزی در هوای گرم (بر اساس عوامل محیطی مانند دما، باد و رطوبت) محرز گردیده باشد، تمهیدات ذکر شده دراین توصیه نامه می‌تواند در پایداری خواص بتن تازه و سخت شده و نیز بهبود کیفیت مراحل ساخت کمک نماید. تمهیدات مذکور در مواقعی که رطوبت نسبی در حد کم و یا دمای هوا در حد زیاد است و یا در صورت وجود هر دو عامل الزامی است. اثرات هوای گرم (دمای زیاد و رطوبت

کم) با افزایش سرعت باد بحرانی‌تر می‌شود. بطور کلی این شرایط از لحاظ فنی به نام شرایط محیط گرمِ نمکی یاد می‌شود.

بطور کلی، آثار نامطلوب این شرایط بتن تازه (در حالت خمیری) مشابه با شرایط آب و هوایی گرم می‌باشد. از طرف دیگر هنگام انتخاب نوع مصالح و طراحی نسبت‌های اختلاط بتن، و یا در مراحل ساخت و ساز در کرانه‌های جنوبی کشور، بکارگیری تمهیدات تولید و عملیات بتن‌ریزی در هوای گرم کافی نمی‌باشد. علت این امر آن است که شرایط محیطی در مناطق مذکور از نوع گرمِ نمکی می‌باشد. این محیط از لحاظ آسیب رساندن به بتن بسیار خطرناک است زیرا زمین و جو آلوده به یون‌های کلرید و سولفات بوده و مشخص است که کلرید یکی از مهمترین عوامل مؤثر در فرآیند خوردگی می‌باشد. اثرات محیط گرم و نمکی علاوه بر مسائلی که در مورد محیط گرم ذکر شد، شامل موارد زیر نیز می باشد:

- **احتمال آلوده بودن مصالح سنگی به کلرید و سولفات (نمکها)**
- **وجود آب زیرزمینی و خاک آلوده به نمک**
- **وجود غبار نمکی در جو**

موارد ذکر شده، باعث خواهند شد که تمهیدات و نکات مورد توجه در ساخت بتن در این منطقه دو چندان شود. دراین توصیه نامه سعی می‌شود که نکات اجرایی و کاربردی برای ساخت بتن با دوام درشرایط گرم و نمکی منطقه جنوب ارائه گردد.

باید توجه داشت که شرایط مناسب محیطی برای بتن ریزی دردرجه حرارت بین ۲۲-۲۰ درجه سلسیوس، رطوبت نسبی ۵۰ درصد یا بیشتر و سرعت وزش باد کم حاصل می‌شود. در اثر افزایش درجه حرارت، کاهش رطوبت و افزایش سرعت باد و یا هرگونه ترکیبی از این عوامل، پایایی و دوام بتن کاهش می‌یابد و لذا اقداماتی به منظور کاهش آثار مخرب این عوامل ضروری می‌باشد.

در صورتیکه ترکیب آثار درجه حرارت هوا وبتن ، رطوبت نسبی و سرعت باد بر اساس نمودار (۱۴-۱) بیش از ۰/۵ کیلوگرم بر مترمربع در ساعت باشد، شرایط بتن‌ریزی در هوای گرم محرز شده و پیش بینی‌ها و اقداماتی برای جلوگیری از آثار زیانبار این عوامل در خواص بتن تازه و سخت شده الزامی است.

۱۵-۲ دمای محیط

دمای زیاد هوا می‌تواند آب موجود در بتن را هنگام ساخت، حمل و ریختن و پرداخت تبخیر نماید. تبخیر بیش از حد باعث از دست رفتن خواص مطلوب بتن تازه و نیز ترک خوردن سطح بتن دراثر جمع‌شدگی می‌گردد. بنابراین در این مناطق باید بتن ریزی در ساعاتی که هوا خنک است یعنی صبح زود، هنگام غروب و در صورت امکان در طول شب انجام شود. مطابق توصیه اکثر آئین‌نامه‌ها نباید در دمای بیش از ^{o}C ۳۲ و در مواردداستثنایی دردمای بیش از ^{o}C ۳۸ مبادرت به بتن‌ریزی نمود. همچنین نباید دمای بتن تازه از ^{o}C ۳۰ تجاوز نماید که البته در صورتیکه دمای هوا بالا باشد این امر با بکار بردن یخ بعنوان (آب مصرفی) و خنک کردن سایر اجزای متشکله بتن حاصل می‌شود.

۱۵-۳ رطوبت هوا

کاهش رطوبت نسبی از حدود ۹۰ درصد به ۵۰ درصد، بدون اینکه تغییری در سایر شرایط محیطی و دمای بتن داشته باشیم، میزان تبخیر آب از بتن محافظت نشده را تا بیش از ۴ برابر افزایش می‌دهد. خوشبختانه در بسیاری از نواحی حاشیه خلیج فارس رطوبت نسبی زیاد است . اگر چه دربعضی از مناطق دور از دریا، نواحی با رطوبت نسبی کم نیز وجود دارد. همچنین وزش باد درکاهش رطوبت نسبی هوا بسیار موثر است و معمولاً هنگام وزش باد از رطوبت موجود درهوا بشدت کاسته می‌شود. لذا در رطوبت نسبی کم (در صورتیکه میزان تبخیر زیاد باشد) باید بتن ریزی با تدابیری همراه باشد تا از تبخیر زودرس آب بتن جلوگیری شود که در قسمتهای بعدی بیشتر به آن پرداخته می‌شود.

۱۵-٤ وزش باد

وزش باد نیز از مؤثرترین عوامل بر میزان تبخیر آب از بتن تازه و در حال گیرش می‌باشد. بطور مثال در هنگامیکه نسیمی با سرعت ۱۵ کیلومتر در ساعت می‌وزد، میزان تبخیر آب حدود ۴ برابر میزان تبخیر در هوای

ساکن است ومیزان تبخیر هنگامیکه سرعت وزش باد به ۴۰ کیلومتر در ساعت می‌رسد، ۹ برابر میزان تبخیر در هوای ساکن می‌گردد.

۱۵-۵ دمای هوا در هنگام شب

درمناطق گرمسیر بویژه درنواحی دور از دریا که رطوبت هوا کمتر است، دمای هوا درشب هنگام اختلاف زیادی با دمای هوا در طول روز دارد. کاهش ناگهانی دما تأثیر نامطلوبی برخواص بتن که در مراحل اولیه سخت شدن است و محافظت کافی از آن بعمل نیامده دارد. در این حالت سطوحی از بتن که در تماس با هوای آزاد است، حرارت خود را از دست می‌دهد، اما قسمتهای داخلی بعلت هدایت حرارتی کم بتن هنوز دارای دمای بالایی است و این اختلاف دما باعث ایجاد تنشهای حرارتی در بتن درحال گیرش شده و ترکهای حرارتی در آن بوجود می‌آورد. این ترکها باعث افزایش نفوذپذیری بتن در برابر عوامل مهاجم و خورنده به داخل بتن می‌گردد.

۱۵-٦ توصیه‌های کاربردی در شرایط محیطی خلیج فارس و دریای عمان بر خواص بتن

۱۵-٦-۱ مصالح سنگی

- **سنگدانه‌های مصرفی در بتن شامل مصالح درشت‌دانه و ریزدانه و یا مخلوطی از آنها باید دارای چنان کیفیتی باشند که بتوان از آنها بتنی مرغوب، مقاوم و بادوام ساخت، آنها باید تمیز، سخت و مقاوم بوده و از مواد شیمیایی جذب شده، پوشش‌های رس و مصالح ریز دیگر در مقادیری که روی هیدراته شدن و چسبندگی خمیر سیمان تأثیر می‌گذارند، عاری باشند. مواد زیان‌آور موجود در آنها به ویژه میزان کلر و سولفات نباید از حداکثر مقادیر مجاز مذکور در استانداردها تجاوز کند. مقادیر حداکثر مجاز در آیین‌نامه بتن ایران به تفصیل ذکر شده است که طی فصول قبل یادآور شده است.**
- **شستن دانه‌های سنگی درشت و ریز موجب می‌شود تا گرد سنگ شکسته و لای و سایر مصالح ریز از بین رفته و بتن به صورت یک توده پیوسته و محکمی تولید گردد.**
- **با توجه به داشتن آب و هوای گرم در مناطق دریایی کشور ما لازم است در فصل تابستان، مصالح سنگی را قبل از مصرف در بتن خنک کرد. محدودکردن درجه**

حرارت دانه‌های سنگی بیشترین تأثیر در به حداقل رساندن درجه حرارت بتن تازه را به وجود می‌آورند. جلوگیری از تابش اشعه خورشید توسط سایبانها و خنک کردن آنها توسط آب از بهترین روشهاست. برای بازده حداکثر باید آب را به صورت قطرات بسیار ریز پیوسته بر روی توده دانه‌های سنگی پاشید که بر آب‌پاشی متناوب ترجیح دارد، زیرا در این روش آب قادر است هر یک از دانه‌های سنگی را بوسیله عمل توأم تبخیر و هدایت حرارت مؤثرتر از روش دیگر خنک نماید. البته سایه انداختن و آب‌پاشی توده دانه‌های سنگی انبار شده در اغلب اوقات صرفاً به خاطر ابعادشان غیر عملی است، معهذا می‌توان در بسیار از موارد با محدود کردن مقادیر دانه‌های سنگی به ابعادی عملی کاهش داد. مثلاً مقادیر مورد نیاز جهت مصرف در بتن‌ریزی روز بعد را می‌توان در زیر سایه قرار داد و یا با آب‌پاشی خنک کرد.

- جهت طرح مناسب نسبت‌های اختلاط بتن، باید دانه‌بندی مصالح سنگی با استانداردها مطابقت داشته و چنان نسبت‌هایی از دانه‌های درشت و ریز انتخاب گردد که توده متراکم‌تری را ایجاد نماید.

۱۵-۶-۲ سیمان

- بتنی که در معرض غلظت‌های زیان‌آور سولفات‌های خاک و آب باشد باید با استفاده از یک سیمان مقاوم در برابر سولفات‌ها ساخته شود. آیین‌نامه بتن ایران طی جداول مفصلی انواع سیمان و حداقل عیار سیمان و حداکثر نسبت‌های آب به سیمان را برای شرایط محیطی گوناگون ارائه داده است. در انتخاب سیمانی که بتواند در مقابل سولفات‌ها مقاومت نماید، نکته اصلی میزان سه کلسیم آلومینات است که با تعیین مقدار حداکثر مجاز در شرایط مختلف محدود می‌شود اما نکته بسیار مهم دیگر وجود یون کلرید در بتن است که در مناطق جنوبی ایران که دارای آب و هوای گرم و مرطوب است، می‌تواند مسئله آفرین باشد. سیمان ضد سولفات نوع ۵ به دلیل همین خاصیت پایین بودن سه کلسیم آلومینات در آن احتمالاً موجب آزادی عمل یون کلرید گشته و منجر به خوردگی آرماتور می‌شود. لذا وقتی مسئله پایایی بتن از نظر سولفاتها و کلریدها به طور توأم مطرح باشد، استفاده از یک سیمان متوسط از نظر مقاومت در برابر سولفات‌ها مانند سیمان نوع ۲ می‌تواند یک راه حل خوب بشمار آید و ممکن

است حفاظ بهتری را از جهت خوردگی آرماتور در اثر تهاجم کلریدها ارائه نماید. استفاده از سیمان‌های پوزولانی نیز از راه حل‌های مؤثر می‌باشد که در نتایج به دست آمده از تحقیقات می‌توان نوع و درصد مناسب آن را برای منطقه حاشیه خلیج فارس یافت.

- **از آنجا که سیمان به خوبی و سریعاً با آب ترکیب شده و فعل و انفعالات شیمیایی ایجاد می‌کند، لذا با بخار موجود در محیط میل ترکیبی دارد و درجه حرارت‌های زیاد محیطی سرعت ترکیبات را افزایش می‌دهد، به حدی که بخار مزبور می‌تواند از میان دیواره کیسه سیمان منتشر شده و با محتویات آن ترکیب شود. این مطلب در مورد دی اکسید کربن موجود در جو نیز صادق است. برای جلوگیری از این امر و طولانی کردن عمر انباری سیمان، کیسه‌ها باید در یک انبار تهویه شونده خشک و با کمترین درجه حرارت ممکن نگهداری شود. سیمان فله انبار شده در یک سیلو احتمالاً در مقابل نفوذ بخار آب و دی اکسید کرن بهتر محافظت می‌شود، ولی اگر سیلو مدت مدیدی در معرض تابش شدید خورشید قرار گیرد، سیمان گرما به خود می‌گیرد. بنابراین سیلوها باید در مقابل گرما محافظ شوند و البته بهتر است جهت محافظت از تابش آفتاب، در سایه قرار گیرند یا با پوششی از رنگ سفید و یا سایر رنگ‌های منعکس کننده رنگ‌آمیزی شوند و در موارد ممکن پوشانده شوند.**

۱۵-۶-۳ آب مصرفی

- **آبی که برای بتن استفاده می‌شود، باید تمیز باشد و عاری از مقادیر مضر روغنها، اسیدها، بازها، نمک‌ها، مواد آلی و یا مواد دیگری که ممکن است برای بتن یا آرماتور مضر باشند. عموماً آب آشامیدنی برای ساخت بتن رضایت‌بخش تلقی می‌گردد. به هر حال مقادیر مواد زیان‌آور در آب مصرفی بتن نباید از مقادیر مجاز مذکور در استانداردها بیشتر باشد.**
- **در فصل گرما لازم است که آب اختلاط را سرد نماییم و این امر در منطقه گرم حاشیه خلیج فارس دارای اهیمت ویژه‌ای است. دفن لوله‌های آب‌رسانی در زیر زمین یا عایق کاری آنها و نیز استفاده از یخ خورد شده به عنوان قسمتی از آب اختلاط از روش های بسیار مناسب است. از مصرف آبی که در نتیجه نگهداری**

در مخازن محافظت نشده در مقابل گرما داغ هستند، باید اجتناب کرد. پوشاندن مخازن و قرار دادن آنها در سایه و رنگ‌آمیزی با رنگ سفید از راه حل‌های جلوگیری از گرم شدن آب هستند.

۱۵-۶-٤ نسبت آب به سیمان

- نسبت آب به سیمان یکی از عوامل بسیار مؤثر بر دوام بتن است. در تهیه بتن متراکم باید نسبت آب به سیمان به حداقل ممکن کاهش داده شود. خصوصاً در شرایطی مانند مناطق حاشیه خلیج فارس که حمله سولفات‌ها و کلریدها شدید است، طبق توصیه‌های آیین‌نامه‌ها از ۰/۴ نباید تجاوز نماید. بدیهی است چون در چنین نسبت‌هایی بتن دارای روانی کافی جهت ریختن در قالب و تراکم به میزان لازم نخواهد بود، لذا لازم است از مواد افزودنی کاهش دهنده آب یا روان‌کننده‌های قوی استفاده شود. مواد افزودنی روان‌کننده قوی که هر دو خاصیت تأخیر در گیرش و کاهش آب را توأماً داشته باشند، وجود دارند که می‌توان با استفاده از آنها نسبت آب به سیمان را به میزان لازم پایین نگه داشت. البته تأکید می‌شود که مواد افزودنی نمی‌توانند میزان تخریب آب را در شرایط گرم کاهش دهند و یا امکان توسعه اختلاف درجه حرارت بین داخل و خارج بتن را از بین ببرند و لذا ضروری است که با روش‌های مناسب حفاظت در زمان مخلوط کردن، جا دادن و عمل آوردن تبخیر را به حداقل رسند.

۱۵-۷ ختلاط و بتن‌ریزی

- حتی در شرایط مطلوب نباید تأخیر بی مورد بین ساختن مخلوط بتن و جا دادن آن وجود داشته باشد. در هوای گرم به حداقل رساندن این تأخیرات اهمیت بیشتری دارد، چون ممکن است ترکیب دو عامل تبخیر آب و گیرش سریع بر اثر درجه حرارت‌های زیاد رخ دهد. هیچکدام از این دو عامل را نمی‌توان متوقف کرد و تنها راه مبارزه با آنها جا دادن بتن بلافاصله پس از اختلاط است. لذا کارگران و وسایل کافی به منظور حمل و ریختن بتن بلافاصله پس از اختلاط

است. لذا کارگران و وسایل کافی به منظور حمل و ریختن بتن بلافاصله پس از اختلاط باید در کارگاه در دسترس باشد.

- در هنگام بروز وقفه قابل ملاحظه بین عملیات بتن‌ریزی و پرداخت، بتن باید با پوشش‌های موقتی مانند نایلون محافظت شوند. ماله‌کشی و پرداخت بتن باید بلافاصله پس از ناپدید شدن درخشندگی ناشی از آب انداختن انجام گیرد.

۸-۱۵ عمل آوردن بتن

- تحت هر شرایطی هدف‌های عمل آوردن این است که آب در میان بتن به قسمی محبوس شود که بتواند با سیمان ترکیب گردد و بتن را در درجه حرارتی نگهدارد که عمل ترکیب به میزان قابل قبولی پیشرفت نماید. وجود شرایط خشک کننده (هوای گرم) عمل آوردن لازم را اهمیتی خاص می‌بخشد. بتن باید برای حداقل ۷ روز پس از ریختن در دمای بیش از ۱۰ درجه سانتیگراد و در شرایط مرطوب نگه داشته شود.
- بیشترین نیاز برای مرطوب عمل آوردن کافی در خلال چند ساعت اول بعد از پرداخت است که حداقل تا ۲۴ ساعت باید ادامه یابد. بلافاصله پس از بتن‌ریزی و بعد از اینکه بتن به اندازه کافی سخت گردید، باید سطح بتن را با حصیر، گونی یا برزنت پوشانده و با آب‌پاشی رطوبت کافی برای عمل آوردن تأمین گردد. به عنوان جلوگیری از تبخیر از بعضی روشهای عمل آوردن نظیر پوشش با ماسه نم‌دار یا خاک اره خیس نیز می‌توان استفاده کرد. البته مراقبت دائمی برای محافظت در مقابل خشک شدن لایه‌های محافظ فوق و جلوگیری از بی‌فایده شدن آنها لازم است. درجه حرارت آب استفاده شده باید با دمای بتن اختلاف زیادی نداشته باشد.
- قالب‌های محافظ درجا نمی‌توانند به عنوان جایگزین مناسبی برای عمل آوردن در هوای گرم در نظر گرفته شوند. این قالب‌ها باید تا حدالامکان هر چه سریعتر بدون اینکه خسارتی به بتن وارد آید، شل شوند. سپس آب در سطوح نمایان بالایی اعمال گردد و اجازه داده شود تا از درون قالب‌ها به پایین ریخته شود.

۱۵-۹ میلگردها و حفاظت از آنها در مقابل خوردگی

- **در نگهداری میلگردها در محوطه کارگاه دقت لازم باید به عمل آید به نحوی که مستقیماً بر روی مصالح و خاک آلوده به کلریدها و رطوبت خاک قرار نگیرد و در صورت مشاهده آثار ظاهری و لکه‌های املاح و زنگ‌زدگی اولیه روی سطح آرماتور قبل از مصرف توسط برس از سطح میلگردها زدوده شوند.**
- **میلگردها باید حتی‌الامکان در زیر سایه نگهداری شده و قبل از بتن‌ریزی خنک شوند.**
- **حفاظت از فولاد در بتن در برابر نمک‌ها به نحو قابل ملاحظه‌ای منوط به پوشش بتنی روی آنهاست. به طور کلی در نزدیکی تراز آب دریا، ناحیه ترشح آب، سازه‌های دریایی و دیگر محیط‌های خورنده پوشش بتنی در مقایسه با شرایط عادی مورد نیاز است. برای این قبیل شرایط حداقل پوشش ۷۵ میلی‌متر توصیه می‌شود.**
- **به دلیل مخاطراتی که کلریدها برای بتن مسلح در محیط‌های دریایی ایجاد می‌کنند، توصیه می‌شود مواد متشکله بتن حاوی کلرید نباشند. بدین ترتیب نباید از آب دریا برای ساخت بتن استفاده شود و همچنین نباید سنگدانه‌ها را با اب دریا شستشو داد البته چون کلریدها به وفور در طبیعت یافت می‌شوند، محدود کردن آن در مواد متشکله بتن به صفر عملاً غیر ممکن است. لذا بهترین راه این است که جمع مقدار کلرید موجود در سنگدانه‌ها، سیمان، آب اختلاط و مواد مضاف به میزانی باشد که موجب تسریع در فرایند خوردگی نشود. مقدار مجاز در استانداردها مشخص گردیده است.**

۱۵-۱۰ توصیه‌هایی برای تولید و اجرای بتن در شرایط محیطی خلیج فارس و دریای عمان

بطور کلی تمامی توصیه‌های ذکر شده برای تولید و اجرای بتن در شرایط محیطی گرم در مورد این مناطق نیز صادق است. در ادامه، چند مورد بطور مشخص مورد تاکید قرار می‌گیرد.

۱۵-۱۰-۱ تابش اشعه خورشید

- **این عامل به مقدار قابل توجهی بر درجه حرارت مصالح انبار شده تأثیر دارد. حرارت جذب شده توسط مصالح دراثر تابش خورشید در طول روز، ممکن است در هنگام شب بطور کامل از دست نرود و در نتیجه، درجه حرارت مصالح بتدریج به مقداری برسد که باعث شود درجه حرارت بتن از حد قابل قبول تجاوز نماید.**
- **دمای بالای بتن سبب کاهش کارایی، مشکلاتی حین ریختن و تراکم ونیز کاهش مقاومت بتن در دراز مدت و قابلیت بیشتر ترک خوردگی در اثر جمع‌شدگی می‌گردد.**
- **همچنین دستگاههای تولید، حمل و ریختن بتن با توجه به جنس خود، معمولاً دراثر تابش خورشید بسرعت گرم می‌شوند و دمای خود را به بتن تازه منتقل می‌کنند. بنابراین لازم است تا با ایجاد سایه روی دپوی مصالح، قالبها و کلیه ماشین آلات و وسائل مربوط به ساخت بتن و بتن‌ریزی از تابش مستقیم اشعه خورشید به آنها جلوگیری کرد و با آب پاشی موجب خنک شدن و کاهش دمای آنها شد.**
- **اجرای رنگ سفید روی قالبها و ماشین آلات باعث کاهش جذب انرژی گرمایی خورشید توسط آنها می‌شود. همچنین منطقه بتن‌ریزی در محل کارگاه نیز در صورت امکان زیر سایه موقت قرار گیرد.**

ضمیمه

دستورالعمل کنترل مضاعف بتن توسط سازمان مجری ساختمان‌ها و تاسیسات دولتی و عمومی

مقدمه

در این دستورالعمل، روند کنترل مضاعف بتن توسط سازمان مجری توضیح داده می‌شود. کنترل مضاعف بتن فرایندی تکمیلی برای نظارت بر حسن انجام نظام کنترل کیفیت در کارگاه‌ها است که توسط کارشناسان سازمان مجری انجام می‌پذیرد. به عبارت دیگر، سازمان مجری به عنوان کارفرما، کارشناسانی را به پروژه‌ها اعزام می‌کند تا بر روند تضمین کیفیت اجزاء تشکیل دهنده بتن و کیفیت بتن نظارت کند. به این منظور، در این دستورالعمل، روندی برای کنترل مضاعف توسط کارشناسان سازمان مجری بر اجزاء تشکیل دهنده بتن، بتن در حال اجرا و بتن‌های اجرا شده ارائه می‌شود.

لازم به ذکر است که کنترل مضاعف بتن هیچ‌گونه مسئولیتی را از دستگاه نظارت پروژه‌ها برای انجام آزمایش‌ها و انجام فرایند کنترل کیفیت ساقط نمی‌کند و تمام وظایف دستگاه نظارت باید مطابق با آئین نامه‌ها و استانداردها انجام پذیرد.

در صورتی که در فرآیند کنترل مضاعف، مشخصات فنی اجزاء مورد مصرف بتن یا مقاومت بتن در حال اجرا و اجرا شده مطابق با مندرجات زیر، مردود شود، دستگاه مشاور موظف است موضوع را پی‌گیری و راه حل مشکل مربوطه را به نحو مقتضی مطابق با استانداردها، آئین نامه‌ها و اصول مشخص کند و بر رفع مشکل توسط پیمانکار نظارت کند و همچنین گزارشی فنی در این خصوص به سازمان مجری ارائه دهد.

کنترل مضاعف اجزاء بتن

سیمان

- **در پروژه‌هایی که حجم بتن‌ریزی در آن‌ها بیش از ۱۰۰۰ متر مکعب است، سالانه حداقل یک‌بار از سیمان‌های مورد استفاده در پروژه نمونه‌گیری شود. در صورت استفاده از سیمان پرتلند از استاندارد ملی با عنوان «ویژگی‌های سیمان پرتلند (ISIRI 389)» و در صورت استفاده از سیمان پرتلند پوزولانی، از استاندارد ملی با عنوان «ویژگی‌های سیمان پرتلند پوزولانی (ISIRI 3432)» برای ارزیابی سیمان استفاده شود.**

مواد جایگزین سیمان

- **در صورت استفاده از میکروسیلیس در پروژه‌های با حجم بتن‌ریزی حداقل ۱۰۰۰ متر مکعب، از استاندارد ملی با عنوان «ویژگی‌های میکروسیلیس در مخلوط‌های بتنی (ISIRI 13278)» برای ارزیابی میکروسیلیس استفاده شود.**
- **در صورت استفاده از پوزولان‌های طبیعی در پروژه‌های با حجم بتن‌ریزی حداقل ۱۰۰۰ متر مکعب، از استاندارد ملی با عنوان ویژگی‌های پوزولان‌های طبیعی «(ISIRI 13278)» برای ارزیابی پوزولان‌های طبیعی استفاده شود.**

مصالح سنگی

- **در پروژه‌هایی که حجم بتن‌ریزی در آن‌ها بیش از ۱۰۰۰ متر مکعب است، هر شش ماه حداقل یک‌بار از سنگدانه‌های درشت (شن) و ریز (ماسه) نمونه‌گیری شود. دانه‌بندی سنگدانه‌ها مطابق با استاندارد ملی با عنوان « روش آزمون دانه‌بندی سنگدانه‌های درشت و ریز توسط الک (ISIRI 4977)» و مقدار مصالح عبوری از الک ۷۵ میکرون با استفاده از استاندارد ملی با عنوان « روش تعیین مقدار موادی از سنگدانه که از الک ۷۵ میکرون می‌گذرد (ISIRI 446)» تعیین شود. دانه‌بندی به دست آمده و مقدار مصالح عبوری از الک ۷۵ میکرون با الزامات مندرج در استاندارد ملی با عنوان « سنگدانه‌های بتن ویژگی‌ها (ISIRI 302)» مقایسه شود.**

آب

در پروژه‌هایی که حجم بتن‌ریزی در آن‌ها بیش از ۱۰۰۰ متر مکعب است، آب مورد مصرف در تولید بتن روغن و مواد چربی بیش از مقدار قابل مشاهده نباشد. به طور کلی، آب آشامیدنی برای ساخت بتن مناسب است، مگر آنکه بررسی‌ها و تجربیات گذشته خلاف این موضوع را نشان دهد. آب مرود استفاده باید عاری از لکه‌های چربی، حباب‌های ماندگار ، رنگ و زباله باشد. در صورت مشکوک بودن آب مصرفی در بتن به تشخیص کارشناس سازمان مجری، دو مخلوط بتن مشابه با این تفاوت که در یکی از آب مصرفی و در دیگری از آب مقطر استفاده شده، ساخته شود. مقاومت ۲۸ روزه مخلوط بتن ساخته شده با آب مصرفی باید بیش از ۹۰ درصد مقاومت مخلوط بتن ساخته شده با آب مقطر باشد.

افزودنی‌های شیمیایی

- **در پروژه‌هایی که حجم بتن‌ریزی در آن‌ها بیش از ۱۰۰۰ متر مکعب است، در صورت استفاده از افزودنی‌های شیمیایی، سالانه حداقل یکبار افزودنی‌های شیمیایی بررسی گردند. برای انتخاب افزودنی‌های شیمیایی در پروژه‌ها، باید حداقل سه افزودنی شیمیایی از سه شرکت مختلف تحت نظارت دستگاه مشاور مورد آزمایش قرار گیرد و با روندی منطقی بهترین، گزینه با توجه به معیارهای فنی و اقتصادی انتخاب شود. کارشناس سازمان مجری موظف است که مستندات آزمایش‌های انجام گرفته بر روی افزودنی‌های شیمیایی و روند انتخاب آن در پروژه را بررسی کند و اطمینان حاصل کند که افزودنی در حال مصرف، همان گزینه منتخب در مرحله انجام انتخاب افزودنی شیمیایی است.**

کنترل مضاعف بتن

بتن در حال اجرا

- در تمامی پروژه‌ها باید از هر رده مقاومتی بتن به ازاء هر ۴۰۰ متر مکعب و از تمامی رده‌های مقاومتی بتن مورد مصرف در هر طبقه باید حاقل یک نمونه برداری شامل سه آزمونه انجام شود. آزمایش مقاومت فشاری باید منطبق بر استاندارد ملی با عنوان «بتن-تعیین مقاومت فشاری آزمونه‌های استوانه‌ای- روش آزمون» انجام شود. مقاومت به‌دست آمده باید بیشتر از مقاومت مشخصه بتن باشد.

بتن سخت شده

- در تمامی پروژه‌ها، باید حداقل یک بار از هر رده بتنی در هر طبقه مغزه‌گیری شود. هر مغزه‌گیری باید شامل سه مغزه و منطبق با استاندارد ملی با عنوان « بتن-تهیه و آزمون نمونه های مغزه گیری شده و تیرهای اره شدهٔ بتنی- روش آزمون» باشد. اگر بتن در شرایط بهره‌برداری از ساختمان، خشک باشد باید مغزه‌ها به مدت ۷ روز در هوا با دمای ۱۶ تا ۲۷ درجه سیلیسیوس و رطوبت نسبی کمتر از ۶۰ درصد خشک شوند و سپس مورد آزمایش قرار گیرند. اگر بتن در شرایط بهره‌برداری از ساختمان، مرطوب یا غرقاب باشد، باید مغزه‌ها به مدت حداقل ۴۰ ساعت در آب غوطه‌ور شوند و سپس به صورت مرطوب آزمایش شوند. متوسط مقاومت فشاری سه مغزه باید حداقل برابر با ۰/۸۵

مقاومت فشاری مشخصه باشد و مقاومت هیچ یک از مغزه‌ها از ۰/۷۵ مقاومت فشاری مشخصه کمتر نباشد.

چک لیست‌های کنترلی

چک‌لیست کنترل سنگدانه

نام معدن سنگدانه؟ نوع سنگدانه؟
آیا بازرسی چشمی انجام می‌شود؟ بلی ☐ خیر ☐ تواتر بازرسی‌های چشمی؟
آیا دانه‌بندی کنترل می‌شود؟ بلی ☐ خیر ☐ تواتر دانه‌بندی؟ آیا نتایج این آزمون‌ها موجود است؟
آیا میزان ناخالصی‌ها و ذرات پولکی (شکل درشت دانه‌ها) کنترل می‌شود؟ بلی ☐ خیر ☐ تواتر کنترل میزان ناخالصی ها؟ آیا نتایج این آزمونها موجود است؟
آیا میزان رسها و کیفیت آنها کنترل می‌شود؟ بلی ☐ خیر ☐ تواتر کنترل میزان رس‌ها؟ آیا نتایج این آزمون‌ها موجود است؟
آیا میزان سولفاتها در سنگدانه ها کنترل می‌شود؟ بلی ☐ خیر ☐ آیا نتایج این آزمون‌ها موجود است؟
آیا میزان کلریدها در سنگدانه ها کنترل می‌شود؟ بلی ☐ خیر ☐ آیا نتایج این آزمون‌ها موجود است؟
آیا آزمایش تعیین درصد رطوبت سنگدانه انجام می‌شود؟ بلی ☐ خیر ☐ تواتر آزمایش تعیین درصد رطوبت سنگدانه؟
آیا آزمایش اندازه‌گیری وزن مخصوص سنگدانه انجام می‌شود؟ بلی ☐ خیر ☐ تواتر آزمایش اندازه‌گیری وزن مخصوص سنگدانه؟
محل نگهداری سنگدانه؟
آیا بازرسی چشمی از محل نگهداری سنگدانه انجام می‌شود؟ بلی ☐ خیر ☐ تواتر بازرسی‌های چشمی؟
حداکثر اندازه درشت دانه‌ها؟
روش حمل سنگدانه به محل مصرف (ساخت بتن)؟
آیا در هنگام حمل مسائلی چون افزایش درجه حرارت در اثر تابش خورشید، تغییرات رطوبت و تغییر دانه‌بندی اتفاق می‌افتد؟
نسبت حداکثر اندازه اسمی سنگدانه درشت به حداقل اندازه اسمی آن؟ – برای سنگدانه درشت تر از ۲۰mm ۲ و کمتر ☐ بیشتر از ۲ ☐ – برای سنگدانه‌های ریزتر از ۲۰mm ۴ و کمتر ☐ بیشتر از ۴ ☐
روش نمونه‌گیری؟
وسیله نمونه‌گیری از مصالح؟ سرطاس ☐ بیلچه ☐ جعبه نمونه گیری ☐ قاب نمونه گیری ☐ نمونه گیر نیزه ای ☐ دیگر وسایل ☐
آیا از روش خاصی برای تبدیل نمونه به نمونه آزمایشگاهی استفاده می‌شود؟ چهاربخش سازی ☐ استفاده از مقسم جعبه ای ☐ استفاده از مقسم دورانی ☐ غیره ☐

چک‌لیست کنترل سیمان

نوع سیمان؟ محل تولید سیمان؟
آیا مشخصات سیمان در کارخانه کنترل می‌شود؟
روش نگهداری سیمان پاکتی ☐ سیلو ☐ حجم سیلو ☐ ارتفاع سیلو ☐ آیا سیلو هواکش دارد؟
آیا بازرسی چشمی محل انبار سیمان انجام می‌شود؟ بلی ☐ خیر☐ تواتر بازرسی‌های چشمی؟
حداکثر زمان انبار سیمان (سیمان حداکثر تا چه زمانی ممکن است در انبار بماند)
حداکثر زمان مصرف سیمان از زمان تولید آن (حداکثر عمر سیمان مصرفی)
آیا انبار سیمان‌ها عایق رطوبت هست؟
تواتر کنترل سیمان؟
آیا سیمانهای کلوخه شده استفاده می شوند؟
آیا نتایج آزمون‌های انجام شده روی سیمان‌ها رضایت بخش بوده است؟
آیا سابقه نتایج آزمون روی سیمان‌ها بایگانی می‌شود؟
آیا دمای سیمان هنگام مصرف اندازه‌گیری می‌شود؟
دمای سیمان هنگام مصرف؟
آیا از پوزولان نیز استفاده می شود؟
آیا پوزولان مصرفی کنترل می شود؟

چک لیست مقدماتی آب مصرفی در تولید بتن آماده

شاخص	الزامات
روغن و مواد چربی	بیش از مقدار قابل مشاهده نباشد. بطور کمی از ۲/۵ درصد وزن سیمان مصرفی در همان حجم از بتن بیشتر نباشد.
مواد شوینده	هر گونه حباب باید ظرف ۲ دقیقه ناپدید شود
رنگ	اگر از منابع مطمئن تامین نشده، رنگ آن نباید بطور کیفی به رنگ زرد یا زرد کم رنگ باشد
زباله	اگر از منابع مطمئن تامین نشده باشد، باید پس از اضافه کردن اسید هیدروکلریک، بوی سولفید هیدروژن ندهد.
اسیدی	$pH \geq ۴$
اسیدهای آلی	بطور کیفی، رنگ آب نباید پس از اضافه کردن سود (NaOH) به رنگ زرد، قهوه‌ای متمایل شود

چک‌لیست کنترل آب

محل تأمین آب؟
آیا مشخصات آب کنترل می‌شود بلی ☐ خیر ☐
آیا میزان مواد محلول در آب کنترل می‌شود؟ بلی ☐ خیر ☐ آیا میزان کلریدها در آب کنترل می‌شود؟ بلی ☐ خیر ☐ آیا میزان سولفاتها در آب کنترل می‌شود؟ بلی ☐ خیر ☐ آیا میزان قلیاییها در آب کنترل می‌شود؟ بلی ☐ خیر ☐ آیا میزان ذرات جامد معلق در آب کنترل می‌شود؟ بلی ☐ خیر ☐ آیا نتایج این آزمون‌ها موجود است؟
PH آب؟
طریقه نگهداری آب؟
آیا به تمیزی محل نگهداری آب توجه می‌شود؟
تواتر نمونه‌برداری از آب؟
آیا سابقه نتایج آزمون بایگانی می‌شود؟

چک لیست بازدید از انبار نگهداری محصول نهایی

نام شرکت: آدرس کارخانه:			تاریخ بازدید: نام بازدید کنندگان:	
نام انبار: محل انبار: نام افزودنی‌های موجود در انبار:				
وضعیت انبار نگهداری محصول نهایی		تأیید	رد	توضیحات
نگهداری	سرپوشیده بودن محل			
	وجود تابلوی نشان دهنده محل			
	نبودن در معرض جریان شدید باد، گردو غبار، ریزش باران			
	عایق بودن انبار از نظر رطوبت			
	تهویه مناسب انبار			
	مجهز بودن به تأسیسات گرمایشی فصول سرد برای جلوگیری از یخ زدن			
	وجود دستگاه‌های اندازه‌گیری دما و رطوبت			
	نگهداری روی طبق‌های چوبی، عدم امکان سقوط			
بسته‌بندی	بسته‌بندی در کیسه‌های مناسب			
	عدم آسیب‌دیدگی بسته‌بندی			
برچسب	نام ماده افزودنی			
	تاریخ تولید			
	تاریخ مصرف			
	وزن			
	درجه			
	نام کارخانه سازنده			
	مقدار مجاز مصرف			
	میزان و نحوه متداول مصرف			
	نحوه نگهداری			
	علامت کارخانه			
تاریخ مصرف	معتبر بودن تاریخ مصرف افزودنی‌های موجود در انبار			

ایمنی	انبار نگهداری محصول نهایی به تجهیزات ایمنی کامل مجهز است؟			

چک لیست بازدید و تحویل محصول نهایی

نام شرکت: آدرس کارخانه:		تاریخ بازدید: نام بازدید کنندگان:		
وضعیت تحویل محصول		تأیید	رد	توضیحات
کیفیت ظاهری	یکنواختی رنگ (همگنی)			
تایید نهایی محصول	انجام آزمون‌های جداول پیوست دوم بر روی محصول نهایی بسته به نوع افزودنی			
	چاپ مشخصات محصول نهایی مطابق با فرمت مرکز بر روی کیسه‌ها			
	مناسب بودن زمان انتقال محصول تولید شده از کارگاه به انبار			
	وجود مهر یا برچسب تأییدیه کنترل کیفیت بر روی هر کیسه یا ظرف			
نحوه حمل و تحویل	حمل محصول جهت تحویل به مشتری صحیح انجام می‌شود؟			
	نحوه نگهداری محصول برای مشتری معلوم است؟			

چک لیست بازدید از آزمایشگاه کنترل کیفیت

نام شرکت: آدرس کارخانه:			تاریخ بازدید: نام بازدید کنندگان:	
نام آزمایشگاه: محل آزمایشگاه:				
وضعیت آزمایشگاه کنترل کیفی		تأیید	رد	توضیحات
وضعیت عمومی آزمایشگاه	استقرار آزمایشگاه در فضایی مناسب			
	مناسب بودن فضای آزمایشگاه			
	وجود شرایط دمایی کنترل شده			
	قفسه‌بندی و کابینت‌بندی مناسب			
	بایگانی اسناد و مدارک آزمون آزمونه‌ها			
	وجود پرسنل ماهر در آزمایشگاه با تحصیلات مرتبط			
	دارا بودن تحصیلات مرتبط و کافی پرسنل			
	حضور مسئول آزمایشگاه کنترل کیفیت			
تجهیزات	دماسنج برای ثبت دمای آزمایشگاه با دقت ۱ درجه سلسیوس و رطوبت‌سنج			
	دستگاه تعیین چگالی نسبی برای افزودنی‌های مایع			
	دستگاه تعیین مقدار مواد خشک			
	pH سنج			
	دستگاه تعیین مقدار کلرید			
	ترازو با دقت ۰/۰۰۰۱ گرم			
	دستگاه تعیین چگالی			
	وجود گرمخانه مناسب			
	وجود فضای مناسب برای آماده‌سازی آزمونه‌ها قبل از آزمون			
	وجود تجهیزات اندازه‌گیری مقاومت فشاری			
	وجود تجهیزات اندازه‌گیری جذب موئینه			
	وجود تجهیزات تعیین مقدار قلیائیت			
	وجود تجهیزات اندازه‌گیری اسلامپ			
	وجود تجهیزات اندازه‌گیری زمان گیرش			

	وجود تجهیزات اندازه‌گیری مقدار هوای بتن تازه			
	وجود تجهیزات اندازه‌گیری مقدار هوای بتن سخت شده			
تجهیزات ایمنی	آزمایشگاه به تجهیزات ایمنی کامل مجهز است؟			
مدارک و مستندات	وجود مستندات مربوط به آزمون			
	وجود مستندات مربوط به آزمون دانسیته			
	وجود مستندات مربوط به آزمون مقاومت فشاری			
	وجود مستندات مربوط به آزمون‌های جذب موئینه، زمان گیرش، مقدار هوای بتن تازه و سخت شده			
	وجود مستندات مربوط به مقدار مواد خشک			

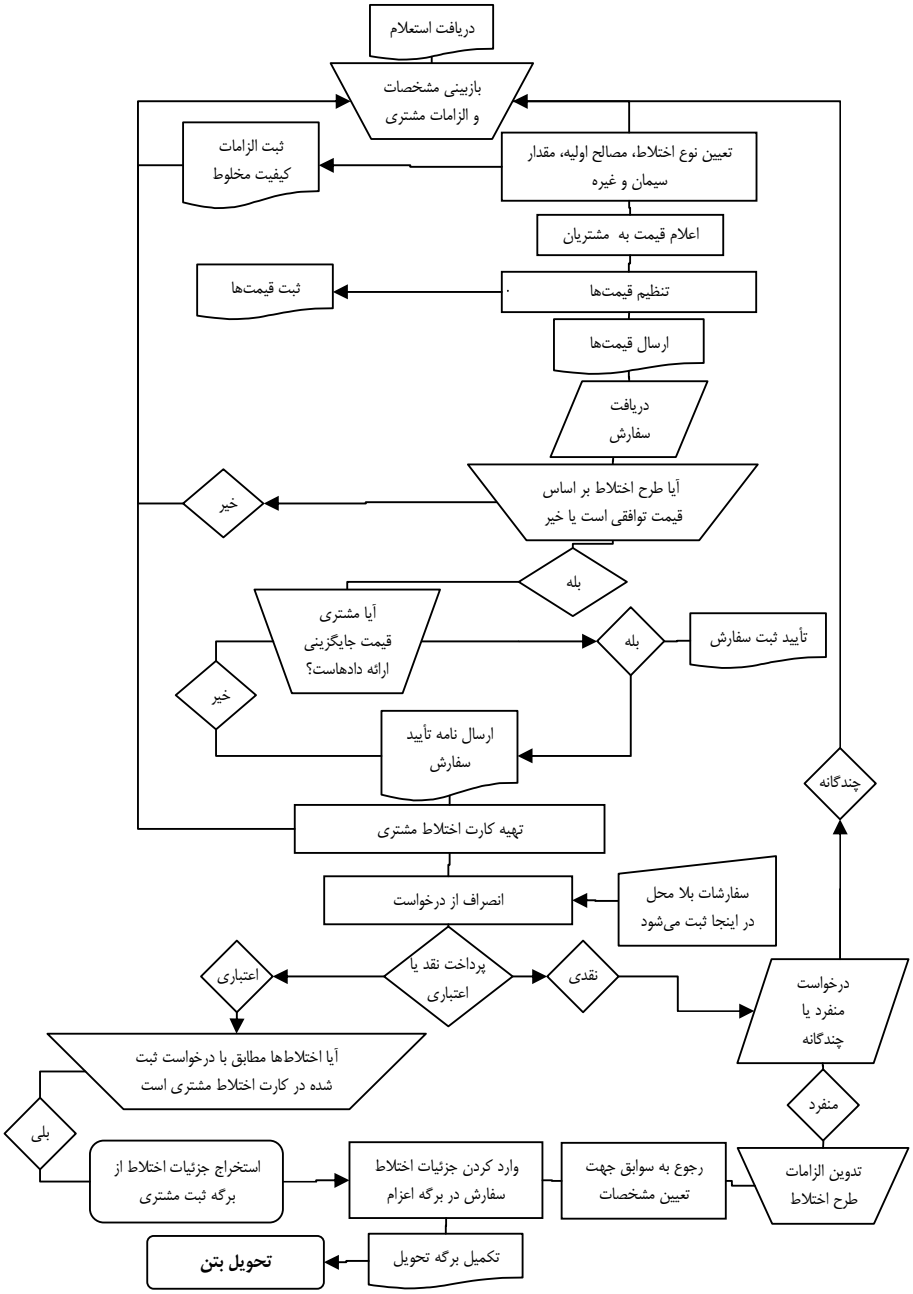
یادآوری ۱: کلیه تجهیزات باید دارای برچسب کالیبراسیون معتبر باشند.

یادآوری ۲: در صورت تغییر در فرمولاسیون وجود مستندات الزامی است.

یادآوری ۳: آخرین نتایج و دوره‌های انجام آزمون‌های ذکر شده در جدول باید بررسی شود.

یادآوری ٤: مستندات مربوط به نتایج آزمون‌ها حداقل به مدت ۵ سال و آزمونه‌ها، پس از انجام آزمون، حداقل به مدت ۲ ماه باید نگهداری شوند.

چک لیست استعلام و سفارشات بتن آماده



چک لیست استعلام/سفارش

پروژه: **شماره مرجع:**

الزامات	جزئیات ارائه شده به همراه استعلام/سفارش	ملاحظات
۱ مبانی مشخصات		
۱-۱ مرجع اسناد و مدارک		
۱-۲ کاربرد بتن		
۱-۳		
۲ شرایط کاربری		
۲-۱ شرایط سولفاتی		
۲-۲ شرایط محیطی در معرض		
۲-۳		
۲-٤		
۲-۵ حداقل پوشش میلگرد		
۳ کیفیت ساخت		
۳-۱ کارایی		با ۱-۲ و ۳-۳ کنترل شود
۳-۲ شیوه بتن‌ریزی		
۳-۳برنامه عمل‌آوری		
٤ مواد اولیه		
٤-۱ نوع سیمان		با ۱ و ۳-۲ کنترل شود
٤-۲نوع افزودنی‌ها		با ۱-۲ کنترل شود
٤-۳ حداکثر اندازه اسمی سنگدانه‌ها		با ۲-۵ کنترل شود
٤-٤		
۵ مشخصات اختلاط		
۵-۱ حداکثر نسبت آب به سیمان		با ۲ و ۳-۱ کنترل شود
۵-۲ حداقل میزان سیمان		با ۲ کنترل شود
۵-۳دانه‌بندی		با ۵-۱ و ۵-۲ کنترل شود
۵-٤ توصیه‌ها		
٦ محدودیت‌ها		

چک لیست ثبت پیمانه روزانه

کارخانه: آب و هوا: دمای هوا: °C

تاریخ:

شماره بلیط	شماره گامیون	اختلاط	کمیت m^3	کد اختلاط	نوع سیمان	اسلامپ mm	نوع افزودنی	سیمان تیپ (۱) kg	سیمان تیپ (۲) kg	ماسه m/c	اب اضافه شده	زمان بارگیری	ملاحظات

مصالح اولیه										
موجودی اولیه										
تحویل‌ها										
پیمانه‌ها										
موجودی پایانی										
کنترل چشمی موجودی										

چک لیست طرح مخلوط

مرجع : تاریخ	جزئیات طرح اختلاط
کارخانه:	اطلاعات مصالح اولیه و طرح اختلاط جهت تامین بتن برای:

مصالح

سیمان			سنگدانه‌ها			سایر مصالح		
نوع	تهیه‌کننده	کارکرد	اندازه و نوع	تهیه کننده	منبع			

جزئیات اختلاط

توضیحات اختلاط				طرح اختلاط					
رده	حداکثر اندازه اسمی سنگدانه‌ها	نوع سیمان	اسلامپ نهایی mm	ساختار اختلاط بر حسب وزن خشک (kg)					حداکثر آب به سیمان
				تولید سیمان	سنگدانه‌ها				
					۱	۲	۳	٤	

جزئیات طرح اختلاط با تغییر خواص مصالح، تغییر می‌کند.

اطلاعات اضافه:

چک لیست تأیید نمونه‌گیری و آزمایش

برگ گواهی نمونه‌گیری و آزمایش بتن تازه			شماره سریال:
مشتری:		کارگاه:	
شماره شناسایی نمونه:		تاریخ:	زمان:
موقعیت استفاده بتن:		دمای پیرامونی:	آب و هوا:
محل نمونه‌گیری:		شمارهٔ برگه تحویل:	
مخلوط:		کارخانه:	
نمونه‌گیری مطابق با استاندارد ملی ایران انجام شده است	نمونه‌گیر:		امضاء:

آزمایش اسلامپ　　آزمایش میزان هوا

تعیین:	۱	۲	عدد هواسنج:	نوع:
اسلامپ mm			عامل تصحیح سنگدانه‌ها:	تاریخ کالیبراسیون:
فرم اسلامپ:			اجرا کننده:	
اسلامپ متوسط:		اسلامپ روی برگه:		محل انجام آزمایش:
زمان:		مکان سنجش اسلامپ:		زمان انجام آزمایش:

توضیحات:	شیوه تراکم:
	میزان هوا:
جزئیات افزودن آب:	توضیحات:
بازه زمانی میان نمونه‌گیری تا آزمایش:	
آزمایش بر اساس روش فصل چهارم انجام گرفته است	آزمایش بر اساس روش فصل چهارم انجام گرفته است
آزمایش کننده: امضاء:	آزمایش کننده: امضاء:

چک لیست تهیه و عمل‌آوری نمونه‌ها در کارگاه

برگ گواهی تهیه و عمل‌آوری نمونه‌ها			شماره سریال:
شماره شناسایی نمونه:	کارگاه:		
تاریخ نمونه‌گیری:	ساعت:		گواهی دریافت یا عدم دریافت نمونه:
تاریخ باز کردن قالب:	ساعت:		اندازه اسمی نمونه‌ها: mm
روش تراکم: دستی/لرزاندن:	نوع تجهیزات:		تعداد دفعات/مدت زمان:
برچسب شناسایی:			
سن نمونه‌های مورد آزمون(روز):			
مرجع آزمایشگاهی:			
عمل‌آوری در هوای مرطوب:	مکان:	شیوه:	بازه زمانی: حداکثر به حداقل: °C
عمل‌آوری در آب:	زمان غوطه‌وری:	زمان برداشتن:	حداکثر به حداقل: °C
زمان انتقال نمونه‌ها به آزمایشگاه:			
توضیحات:			
نمونه‌ها بر اساس آیین نامه بتن ایران و استاندارد ملی ایران تهیه و عمل‌آوری شده‌اند.			

چک لیست آزمایش نمونه‌های مقاومت فشاری

گزارش آزمایش مقاومت فشاری							شماره سریال:		
به:							کارگاه:		
							شماره شناسایی نمونه:	تاریخ:	ساعت:
ارسال نسخه دیگر به:							تأیید دریافت یا عدم دریافت نمونه		
							تأیید دریافت یا عدم دریافت نمونه تهیه شده و عمل‌آوری شده		
							مخلوط:		
							اسلامپ اندازه‌گیری شده: mm		
							اندازه‌گیری مقدار هوا (در صورت عملی بودن)		
شماره شناسایی نمونه‌های مقاومت فشاری									
مرجع آزمایشگاهی									
تاریخ دریافت در آزمایشگاه									
تاریخ ساخت مکعب‌ها									
تاریخ آزمایش:									
سن نمونه به هنگام آزمایش روز									
ابعاد کنترل شده: اسمی/اندازه‌گیری شده mm									
شکل نمونه:									
شرایط در زمان دریافت:									
شرایط عمل‌آوری در آزمایشگاه:									
شرایط هنگام تست:									
شیوه محاسبه وزن مخصوص:									
جرم نمونه:									
وزن مخصوص: kg/m^3									
حداکثر بار شکست: KN									
مقاومت فشاری: N/mm^2									
ظاهر بتن									
نوع گسیختگی									
توضیحات:									
تأیید انجام تست و عمل‌آوری در آزمایشگاه مطابق با استاندارد							کدهای مورد استفاده برای شرح شرایط نمونه: ظاهر بتن:		
شخص مسئول:							امضاء:		تاریخ:

چک لیست های مربوط به تولید

- **آیا قیفهای توزین سیمان، سنگدانه‌ها و همچنین آب ومواد افزودنی (در صورتی که بصورت وزنی اندازه‌گیری شوند) از مخزن‌های مناسبی تشکیل شده‌اند که آنها را از ترازوها مجزا نموده و آیا در صورت لزوم با مکانیزم بارگیری و تخلیه تجهیز شده‌اند؟**

بله ☐

خیر ☐

- **آیا در توزین تجمعی مصالح سیمانی، سیمان پرتلند قبل از مصالح سیمانی مکمل وزن می‌شود؟**

بله ☐

خیر ☐

- **آیا قیف‌ها قادر به دریافت حداکثر بار اسمی بدون تماس با مصالح توزین شده توسط مکانیزم بارگیری است؟**

بله ☐

خیر ☐

- **آیا پیمانه‌گیرهای سیمان که توسط درزگیرهای گرد و غبار مابین سیستم تغذیه و قیف مجهز هستند طوری مجزا شده‌اند که اخلالی در دقت توزین بوجود نیاورند؟**

بله ☐

خیر ☐

- **آیا قیف‌های توزین دارای سوراخی برای خروج هوا بدون پخش کردن گرد و غبار سیمانی هستند؟**

بله ☐

خیر ☐

- **آیا قیف‌ها خودتمیز شونده بوده و برای اطمینان از تخلیهٔ کامل جفت و جور شده‌اند؟**

بله ☐

خیر ☐

- **آیا مکانیزم تغذیهٔ قیف‌ها قادر به توقف جریان مصالح برای ثابت نگه‌داشتن تلرانس مجاز مشخص شده در استاندارد ملی ٦٠٤٤ و جلوگیری از افت مصالح در موقع بسته شدن می‌باشد؟**

بله ☐

خیر ☐

- **آیا لرزاننده‌ها یا سایر تجهیزات طوری مستقر شده‌اند که وضعیت توزین را دچار اخلال ننمایند؟**

بله ☐

خیر ☐

استفاده نمی‌شود ☐

- **آیا حفاظ‌های مربوط به باد/شرایط جوی برای جلوگیری از عدم اخلال در فرآیند توزین کافی می‌باشند؟**

تجهیزات بچینگ

- **روش اندازه‌گیری آب**

حجمی ☐

وزنی ☐

- **آیا وسیلهٔ اندازه‌گیری آب/پیمانه‌گیر آب توسط وسیلهٔ قطع کننده که قادر به توقف جریان برای کنترل تلرانس مقرر در استاندارد ٦٠٤٤ است؟**

بله ☐

خیر ☐

- **آیا وسیلهٔ قطع کننده در موقع بسته شدن عاری از هر گونه نشتی است؟**

بله ☐

خیر ☐

- **اگر اندازه‌گیری به طریق حجمی است، آیا وسیله‌ای برای تنظیم حجم وجود دارد؟**

بله ☐

خیر ☐

- **آیا سیستم بچینگ مجهز به علامت‌هایی که برای کاربر سیستم توزین به روش حجمی/وزنی قابل مشاهده است، می‌باشد؟**

بله ☐

خیر ☐

- **آیا سیمان بر حسب وزن توزین می‌شود؟**

بله ☐

خیر ☐

- **آیا سیمان و پوزولان از یک قیف توزین بطور مجزا از سایر مواد توزین می‌شود؟**

بله ☐

خیر □

- آیا سیمان قبل از پوزولان توزین می‌شود؟

بله □

خیر □

- در صورتی که مقدار سیمان بیشتر از ۳۰ درصد کل ظرفیت باسکول باشد، آیا مقدار سیمان و مقدار تجمعی سیمان با پوزولان در حدود ۱± درصد وزن مشخصه شده است؟

بله □

خیر □

- آیا سنگدانه‌ها بر اساس وزن توزین می‌شوند؟

بله □

خیر □

- آیا وزن سنگدانه‌ها بر حسب حالت خشک در نظر گرفته می‌شود؟

بله □

خیر □

- آیا مقدار سنگدانه‌های مصرف شده در هر پیمانه بتن که بوسیله باسکول مشخص می‌شود، در حد ۲ ± درصد وزن مشخص شده است؟

بله □

خیر □

- در توزرین تجمعی سنگدانه‌ها، چنانچه پیش از ۳۰ درصد کل ظرفیت باسکول مورد استفاده قرار بگیرد، آیا وزن هر مجموع پس از هر توزین متوالی در حد ۱ ± درصد مقدار تجمعی مشخص شده است؟

بله □

خیر □

- **مقدار آب بر چه اساسی توزین می‌شود؟**

بر حسب وزن □
بر حسب حجم □

- **آیا دقت اندازه‌گیری در حد مجاز است؟**

بله □
خیر □

چک لیست کارت پیمانه

مقدار	سیمان	وزن تجمعی بچ					آب
m^3	kg	شن			ماسه		لیتر
		٤٠ mm	٢٠ mm	١٠ mm			
		kg	kg	kg	M/C	kg	
۱/۲					٪٦		
					٪٨		
					٪١٠		
۱					٪٦		
					٪٨		
					٪١٠		
۱ ۱/۲					٪٦		
					٪٨		
					٪١٠		
۲					٪٦		
					٪٨		
					٪١٠		
۲ ۱/۲					٪٦		
					٪٨		
					٪١٠		
۳					٪٦		
					٪٨		
					٪١٠		

چک لیست مراقبتی روزانه دستگاه‌ها و تجهیزات

روال کنترل روزانه

پس از پایان کار علامت بزنید

۱ ظرف توزین را تنظیم کرده و شاخص‌های توزین را تمیز نمایید.							
۲ از خالی بودن قیف بارگیری اطمینان حاصل کنید.							
۳ مخلوط‌کن را بشویید.							
٤ آب جمع‌شده در منافذ هوا را تمیز کنید.							
٥ فیلترهای سیلو را تکان دهید و آنها را در وضعیت کاری مناسبی نگهداری کنید.							
٦ از شسته شدن دیگ مخلوط‌کن اطمینان حاصل کنید.							

امضاء مسئول پیمانه و توزین: تاریخ

کنترل شده توسط: تاریخ

چک لیست مراقبتی هفتگی دستگاه‌ها و تجهیزات

چک لیست کنترل هفتگی

۱	نواحی زیر دستگاه‌ها و تجهیزات را از نظر پاشیدن مصالح کنترل کنید.	
۲	محوطه کف را تمیز نمایید و از پاک بودن چاله‌ها و زهکش‌ها مطمئن شوید.	
۳	مجرای ته نشینی را در وضعیت کاری مناسبی نگهداری کنید.	
٤	از عملکرد مناسب دریچه‌ها و مخازن نگهداری اطمینان حاصل نمایید.	
٥	نقاله‌ها را از نظر حرکت روان و سایش کنترل کنید.	
٦	بیل‌های بارگیری را از نظر سرویس دهی کنترل کنید.	
۷	متراکم کننده‌ها را از نظر سرویس دهی کنترل کنید.	
۸	تمامی قیف‌ها و دریچه‌ها را در وضعیت کاری مناسب نگهداری کنید.	
۹	فیلترهای سیمان را تکان دهید و آنها را در وضعیت کاری مناسب نگهداری کنید.	
۱۰	پوشش گردوغبار قیف‌های سیمان را کنترل کنید.	
۱۱	زبانه‌های تجهیزات توزین را کنترل کنید.	
۱۲	تیغه‌ها و بازوهای مخلوط‌کن را از نظر پوشش، تمیزی و محکمی کنترل کنید.	
۱۳	سیمان یا بتن موجود در مخلوط‌کن را تمیز کنید.	
۱٤	از تنظیم بودن رطوبت‌سنج مطمئن شوید.	
۱٥	سطح روغن را در مجراهای هوا کنترل کنید.	
۱٦	نگه دارنده‌های آب در مجراهای هوا را از نظر نشت کنترل کنید.	
۱۷	مجراهای هوا و چکش‌ها را از نظر نشت کنترل کنید.	
۱۸	لوله‌ها را از نظر نشت و پوشش کنترل کنید.	
۱۹	سیم‌کشی‌ها و ابزار برقی را از نظر عملکردی کنترل کرده و گرم شدن بیش از اندازه را گزارش کنید.	
۲۰	چرخ دنده‌ها و بلبرینگ‌ها را روغنکاری نمایید.	
۲۱	کنترل‌های معمول را بر روی مخلوط کن انجام دهید.	
۲۲	از قرار گرفتن محافظ‌ها در جای خود اطمینان حاصل کنید.	
۲۳	نقایص را گزارش کنید.	

کنترل مراقبتی ماهیانه دستگاه‌ها و تجهیزات

چک لیست کنترل ماهیانه

۱	تأیید ترازوها
۲	تأیید آب‌سنج‌ها
۳	تأیید توزیع کننده افزودنی‌ها
٤	کنترل سرویس‌دهی بیل های بارگیری
٥	کنترل سرویس‌دهی متراکم کننده‌ها
٦	بازرسی سیلوها
۷	کامیون‌های مخلوط‌کن از نظر سایش تیغه‌ها کنترل شوند
۸	دورشمار کامیون‌های مخلوط‌کن کنترل شود

امضاء مسئول پیمانه و توزین: تاریخ

کنترل شده توسط: تاریخ

چک لیست مراقبتی ماهیانه دستگاه‌ها و تجهیزات

چک لیست کنترل فصلی

۱ بازرسی و آزمایش ترازوها در گسترهٔ سرویس‌دهی کلی توسط متخصصین	
۲ کنترل مخازن روغن	
۳ روغنکاری	
٤ کنترل آب‌سنج کامیون‌های مخلوط‌کن	

چک لیست ایمنی دستگاه‌ها

همیشه از قرار داشتن محافظ دستگاه‌ها در جای خود و تمیز بودن شیارهای دستگاه اطمینان حاصل کنید.

امضاء مسئول پیمانه و توزین: **تاریخ**

کنترل شده توسط: **تاریخ**

مراجع و منابع

[۱] سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور. "آیین نامهٔ بتن ایران (آبا)"، نشریهٔ شمارهٔ ۱۲۰، تهران، ۱۳۸۵.

[۲] وزارت مسکن و شهرسازی. "مقررات ملی ساختمان ایران: مبحث نهم طرح و اجرای ساختمان‌های بتن آرمه"، مبحث نهم، تهران، ۱۳۸۵.

[3] Kosmatka, S.H.; Kerkhoff, B., Panarese, W.C. "Design and control of concrete mixtures", 14th Ed., USA, Portland Cement Association, 2003.

[4] Dewar, J.D.; Anderson, R. "Manual of ready mixed concrete", UK, Chapman & Hall, 1992.

[5] Newman, J.; Seng Choo, B. (editors) "Advanced concrete technology: Constituent materials", UK, Elsevier, Butterworth-Heinemann, 2003.

[6] Popovics, S. "Concrete materials Properties, Specifications and Testing", USA, Noyes Publications, 1992.

[۷] رمضانیانپور، علی اکبر؛ قدوسی، پرویز؛ هوشدار تهرانی، محمد حسین. "بتن و اجرای آن"، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، تهران، نشریه شماره ۱۳۰، ۱۳۸۱.

[۸] نویل، ای. ام.؛ بروکس، جی.جی. "تکنولوژی بتن"، ترجمهٔ علی اکبر رمضانیانپور و محمدرضا شاه‌نظری، انتشارات علم و صنعت، تهران ۱۳۷۴.

[۹] دوبروولسکی، و. "دستنامهٔ اجرای بتن"، ترجمهٔ علی اکبر رمضانیانپور،شاپور طاهونی، منصور پیدایش،، انتشارات علم و ادب، تهران ۱۳۸۰.

[۱۰] استاندارد ایران، ۳۰۲. "سنگدانه‌های بتن- ویژگی‌ها"، مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، تهران، ۱۳۸۱.

[۱۱] سبحانی، جعفر، دستنامه تولید و کنترل کیفی بتن آماده، مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی، چاپ اول، ۱۳۹۲.

[۱۲] استاندارد ایران، ۱۱۲۶۹. "اندازه گیری دانه های پولکی،دانه های طویل یا دانه های پولکی و طویل در سنگدانه درشت –روش آزمون" مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، تهران، ۱۳۸۷.

[۱۳] استاندارد ایران، ۱۱۵۶۸. " تعیین درصد شکستگی سنگدانه های درشت –روش آزمون"، مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، تهران، ۱۳۸۷.

[۱۴] استاندارد ایران، ۴۴۶. "روش تعیین مقدار موادی از سنگدانه که از الک ۷۵ میکرون می‌گذرد "، مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، تهران، ۱۳۸۰.

[۱۵] استاندارد ایران، ۴۹۷۷. "روش آزمون دانه بندی سنگدانه های ریزودرشت توسط الک"، مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، تهران، ۱۳۸۷.

[۱۶] استاندارد ایران، ۴۹۸۷. "روش آزمون کلوخه های رسی وذرات خرد شونده در سنگدانه"، مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، تهران، ۱۳۷۹.

[۱۷] استاندارد ایران، ۴۹۸۷. "روش آزمون ناخالصی های آلی سنگدانه های ریز برای بتن"، مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، تهران، ۱۳۷۸.

[۱۸] استاندارد ایران، ۴۹۸۰. "روش آزمون تعیین وزن مخصوص انبوهی وجذب آب سنگدانه‌های ریز"، مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، تهران، ۱۳۷۸.

[۱۹] استاندارد ایران، ۴۹۸۱. "روش آزمون وزن واحد و فضای خالی سنگدانه‌ها"، مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، تهران، ۱۳۷۸.

[۲۰] استاندارد ایران، ۴۹۸۲. "روش آزمون تعیین وزن مخصوص انبوهی وجذب آب سنگدانه‌های درشت"، مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، تهران، ۱۳۷۸.

[۲۱] استاندارد ایران، ۴۹۸۳. "روش تعیین رطوبت کل سنگدانه‌ها"، مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، تهران، ۱۳۷۸.

[۲۲] استاندارد ایران، ۴۹۸۴. "آزمون ذرات سبک در سنگدانه"، مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، تهران، ۱۳۷۸.

[۲۳] استاندارد ایران، ۴۹۸۵. "ویژگی‌های سنگدانه سبک برای بتن سازه‌ای"، مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، تهران، ۱۳۷۸.

[۲۴] استاندارد ایران، ۶۱۱. "روش آزمون تعیین رطوبت سطحی در سنگدانه‌های ریز"، مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، تهران، ۱۳۷۳.

[۲۵] استاندارد ایران، ۷۱۴۷. "روش آزمون تعیین نمک‌های کلریدی محلول در آب"، مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، تهران، ۱۳۸۲.

[۲۶] استاندارد ایران، ۷۶۵۶. " اندازه گیری پتانسیل واکنش قلیایی سنگ‌های کربناتی به عنوان سنگدانه بتن با استفاده از روش استوانه سنگی"، مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، تهران، ۱۳۸۳.

[۲۷] استاندارد ایران، ۷۸۸۲. " اندازه گیری واکنش قلیایی – سیلیسی به روش شیمیایی"، مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، تهران، ۱۳۸۳.

[۲۸] استاندارد ایران، ۸۱۴۹. "قابلیت انبساط‌پذیری به روش بررسی تغییر طول منشورهای بتنی، ناشی از واکنش سنگدانه‌ها با قلیائی‌ها"، مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، تهران، ۱۳۸۴.

[۲۹] استاندارد ایران، ۴۴۸. " روش آزمون برای تعیین سایش مصالح سنگی درشت دانه با استفاده از ماشین لوس‌آنجلس"، مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، تهران، ۱۳۷۵.

[۳۰] استاندارد ایران، ۸۴۴۷. "تعیین مقاومت سنگدانه‌های درشت دانه در مقابل سایش و ضربه در دستگاه لوس آنجلس–روش آزمون"، مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، تهران، ۱۳۸۴.

[۳۱] استاندارد ایران، ۸۶۲۷. "تعیین مقدار سولفات در سنگدانه‌ها–روش آزمون"، مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، تهران، ۱۳۸۴.

[۳۲] استاندارد ایران، ۸۷۵۳. "قابلیت واکنش سنگدانه ها با قلیائی ها به روش ملات منشوری تسریع شده"، مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، تهران، ۱۳۸۵.

[۳۳] استاندارد ایران، ۷۱۴۷. " تعیین نمکهای کلریدی محلول در آب روش آزمون"، مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، تهران، ۱۳۸۲.

[۳۴] استاندارد ایران، ۴۴۹. " مقاومت مصالح سنگی در مقابل عوامل جوی"، مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، تهران، ۱۳۷۰.

[۳۵] استاندارد ایران، ۴۹۷۸. " مقاومت مصالح سنگی در مقابل عوامل جوی"، مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، تهران، ۱۳۷۰.

[36] ACI Committee 304. “Guide for measuring, mixing, transporting, and placing concrete (ACI 304-R-00)”, American Conccret Institue, Manual of Concrete Practice, USA, American Concrete Institute, 2003.

[37] ASTM C33. “Standard specification for concrete aggregates”, American Society for Testing and Materials, Annual Book of ASTM Standards, Vol 04.02., Philadelphia, 2003.

[38] ASTM D4791. “Standard test method for flat particles, elongated particles, or flat and elongated particles in coarse aggregate”, American Society for Testing and Materials, Annual Book of ASTM Standards, Vol 04.03., Philadelphia, 2003.

[39] ASTM D5821. “Standard test method for determining the percentage of fractured particles in coarse aggregate”, American Society for Testing and Materials, Annual Book of ASTM Standards, Vol 04.03., Philadelphia, 2003.

[40] ASTM C117. “Standard test method for materials finer than 75-µm (No. 200) sieve in mineral aggregates by washing”, American Society for Testing and Materials, Annual Book of ASTM Standards, Vol 04.02., Philadelphia, 2003.

[41] ASTM C136. “Standard test method for sieve analysis of fine and coarse aggregates”, American Society for Testing and Materials, Annual Book of ASTM Standards, Vol 04.02., Philadelphia, 2003.

[42] ASTM C142. “Standard test method for clay lumps and friable particles in aggregates”, American Society for Testing and Materials, Annual Book of ASTM Standards, Vol 04.02., Philadelphia, 2003.

[43] ASTM C40. “Standard test method for organic impurities in fine aggregates for concrete”, American Society for Testing and Materials, Annual Book of ASTM Standards, Vol 04.02., Philadelphia, 2003.

[44] ASTM C128. “Standard test method for density, relative density (specific gravity), and absorption of fine aggregate”, American Society for Testing and Materials, Annual Book of ASTM Standards, Vol 04.02., Philadelphia, 2003.

[45] ASTM C29. "Standard test method for bulk density ("unit weight") and voids in aggregate", American Society for Testing and Materials, Annual Book of ASTM Standards, Vol 04.02., Philadelphia, 2003.

[46] ASTM C566. "Standard test method for total evaporable moisture content of aggregate by drying", American Society for Testing and Materials, Annual Book of ASTM Standards, Vol 04.02., Philadelphia, 2003.

[47] ASTM C123. "Standard test method for lightweight particles in aggregate", American Society for Testing and Materials, Annual Book of ASTM Standards, Vol 04.02., Philadelphia, 2003.

[48] ASTM C330. "Standard test method for lightweight particles in aggregate", American Society for Testing and Materials, Annual Book of ASTM Standards, Vol 04.02., Philadelphia, 2003.

[49] ASTM C70. "Standard test method for surface moisture in fine aggregate", Annual Book of ASTM Standards, Vol 04.02., Philadelphia, 2003.

[50] ASTM D1411. "Standard test methods for water-soluble chlorides present as admixtures in graded aggregate road mixes", Annual Book of ASTM Standards, Vol 04.08., Philadelphia, 2003.

[51] ASTM C586. "Standard standard test method forpotential alkali reactivity of carbonate rocks as concrete aggregates (Rock-Cylinder Method)", Annual Book of ASTM Standards, Vol 04.02., Philadelphia, 2003.

[52] ASTM C289. "Standard test method for potential alkali-silica reactivity of aggregates (Chemical Method)", Annual Book of ASTM Standards, Vol 04.02., Philadelphia, 2003.

[53] ASTM C1293. "Standard test method for determination of length change of concrete due to Alkali-Silica Reaction", Annual Book of ASTM Standards, Vol 04.02., Philadelphia, 2003.

[54] ASTM C535. "Standard test method for resistance to degradation of large-size coarse aggregate by abrasion and impact in the Los Angeles Machine", Annual Book of ASTM Standards, Vol 04.02., Philadelphia, 2003.

[55] BS 812-118. "Testing aggregates. Methods for determination of sulphate content", British Standards Institution, 1988.

[56] ASTM C1260. "Standard test method for potential alkali reactivity of aggregates (Mortar-Bar Method)", Annual Book of ASTM Standards, Vol 04.02., Philadelphia, 2003.

[57] BS 812-117. "Testing aggregates -Part 117: Method for determination of water-soluble chloride salts", British Standards Institution, 1988.

[58] ASTM C88. "Standard test method for soundness of aggregates by use of sodium sulfate or magnesium sulfate", Annual Book of ASTM Standards, Vol 04.02., Philadelphia, 2003.

[59] BS EN 1097-2. "Tests for mechanical and physical properties of aggregates. Methods for the determination of resistance to fragmentation", European Committee for Standardization., 1998

[60] BS EN 1097-2. "Tests for mechanical and physical properties of aggregates. Determination of the resistance to wear (micro-Deval)", European Committee for Standardization., 1996

[61] BS EN 1097-8. "Tests for mechanical and physical properties of aggregates. Determination of the polished stone value", European Committee for Standardization., 2000.

[62] BS EN 1097-9. "Tests for mechanical and physical properties of aggregates. Determination of the resistance to wear by abrasion from studded tyres. Nordic test", European Committee for Standardization., 1998.

[63] BS EN 1367-1. "Tests for thermal and weathering properties of aggregates. Determination of resistance to freezing and thawing", European Committee for Standardization., 2000.

[64] BS EN 1744-1. "Tests for chemical properties of aggregates. Chemical analysis", European Committee for Standardization., 1998.

[65] BS EN 933-7. "Tests for geometrical properties of aggregates. Determination of shell content. Percentage of shells in coarse aggregates", European Committee for Standardization., 1998.

[66] BS EN 1744. "Tests for chemical properties of aggregates. Chemical analysis", European Committee for Standardization., 1998.

[67] BS EN 1367-4. "Tests for thermal and weathering properties of aggregates. Determination of drying shrinkage", European Committee for Standardization., 1998.

[۶۸] استاندارد ایران، ۳۸۹. "ویژگیهای سیمان پرتلند "، مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، تهران، ۱۳۷۸.

[۶۹] استاندارد ایران، ۲۹۳۱. "ویژگی‌ها و روش‌های أزمون سیمان پرتلند سفید"، مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، تهران، ۱۳۶۸.

[۷۰] استاندارد ایران، ۳۴۳۲. "ویژگی‌های سیمان پرتلند پوزولانی"، مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، تهران، ۱۳۷۳.

[۷۱] استاندارد ایران، ۳۵۱۷. " ویژگی‌های سیمانهای سرباره‌ای"، مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، تهران، ۱۳۷۳.

[۷۲] استاندارد ایران، ۱۶۹۲. سیمانهای هیدرولیکی ـ روشهای آزمون شیمیایی اندازه گیری عناصر اصلی"، مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، تهران، ۱۳۷۳.

[۷۳] استاندارد ایران، ۳۹۴. سیمان‌های پرتلند"، مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، تهران، ۱۳۶۶.

[۷۴] استاندارد ایران، ۳۹۰. "تعیین نرمی سیمان پرتلند"، مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، تهران، ۱۳۷۰.

[۷۵] استاندارد ایران، ۳۹۲. "سیمان پرتلند"، مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، تهران، ۱۳۷۴.

[۷۶] استاندارد ایران، ۱-۱۶۹۳. "روش‌های آزمون شیمیایی سیمان‌های هیدرولیکی-اندازه‌گیری عناصر فرعی "، مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، تهران، ۱۳۸۱.

[۷۷] استاندارد ایران، ۲-۱۶۹۳. "روش‌های آزمون شیمیایی سیمان‌های هیدرولیکی ـ اندازه‌گیری کلسیم اکسید آزاد"، مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، تهران، ۱۳۸۱.

[۷۸] استاندارد ایران، ۱۶۹۴. "روشهای آزمون شیمیایی سیمان‌های هیدرولیکی ـ اندازه‌گیری گوگرد به صورت سولفید"، مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، تهران، ۱۳۸۱.

[۷۹] استاندارد ایران، ۱۶۹۴. "روشهای آزمون شیمیایی سیمان‌های هیدرولیکی ـ اندازه‌گیری گوگرد به صورت سولفید"، مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، تهران، ۱۳۸۱.

[۸۰] استاندارد ایران، ۱۶۹۵. "روشهای آزمون شیمیایی سیمان‌های هیدرولیکی ـ تعیین سدیم اکسید و پتاسیم اکسید "، مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، تهران، ۱۳۸۱.

[۸۱] استاندارد ایران، ۱۶۹۵. "روشهای آزمون شیمیایی سیمان‌های هیدرولیکی ـ تعیین سدیم اکسید و پتاسیم اکسید "، مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، تهران، ۱۳۸۱.

[۸۲] استاندارد ایران، ۳۹۳. "ماسه مرجع مورد مصرف در تعیین مقاومت خمشی و فشاری سیمان"، مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، تهران، ۱۳۸۳.

[۸۳] استاندارد ایران، ۳۴۳۳. "ویژگی‌های پوزولان‌های طبیعی"، مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، تهران، ۱۳۷۳.

[۸۴] استاندارد ایران، ۳۵۱۷. "ویژگی‌های سیمان‌های سرباره‌ای"، مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، تهران، ۱۳۷۳.

[۸۵] استاندارد ایران، ۳۴۳۳. "افت سرخ شدن سیمان پرتلندی و سیمان‌های سرباره‌ای"، مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، تهران، ۱۳۷۳.

[86] ASTM C114. “Standard test methods for chemical analysis of hydraulic cement”, Annual Book of ASTM Standards, Vol 04.02., Philadelphia, 2003.

[87] ISO 680. “Cement: Test methods- Chemical analysis”, International Organization for Standardization.

[88] DIN EN 196 “Methods of testing cement - Part 9: Heat of hydration - Semi-adiabatic method”, European Committee for Standardization.

[89] ISO 679. “Cement: Test methods -- Determination of strength”, International Organization for Standardization.

[90] ASTM C595. “Standard specification for blended hydraulic cements”, Annual Book of ASTM Standards, Vol 04.04., Philadelphia, 2003.

[91] ASTM C150. “Standard specification for portland cement”, Annual Book of ASTM Standards, Vol 04.04., Philadelphia, 2003.

[92] ASTM C204. “Standard Test Method for Fineness of Hydraulic Cement by Air-Permeability Apparatus”, Annual Book of ASTM Standards, Vol 04.01., Philadelphia, 2003.

[93] ASTM C186. “Standard test method for heat of hydration of hydraulic cement”, Annual Book of ASTM Standards, Vol 04.01., Philadelphia, 2003.

[94] ASTM C618 “Standard specification for coal fly ash and raw or calcined natural pozzolan for use in concrete”, Annual Book of ASTM Standards, Vol 04.02., Philadelphia, 2003.

[95] ASTM C1240 “Standard specification for silica fume used in cementitious mixtures”, Annual Book of ASTM Standards, Vol 04.02., Philadelphia, 2003.

[96] ACI Committee 232. “Use of fly ash in concrete”, American Conccret Institue, Manual of Concrete Practice, USA, American Concrete Institute, 2003.

[97] ACI Committee 232. “Use of raw or processed natural pozzolans in concrete (232.1R-00)”, American Conccret Institue, Manual of Concrete Practice, USA, American Concrete Institute, 2003.

[98] ASTM C311. “Standard Test Methods forSampling and Testing Fly Ash or Natural Pozzolans for Use in Portland-Cement Concrete”, Annual Book of ASTM Standards, Vol 04.02., Philadelphia, 2003.

[99] BS EN 1008. “Mixing water for concrete - Specification for sampling, testing and assessing the suitability of water, including water recovered from processes in the concrete industry, as mixing water for concrete”, European Committee for Standardization.

[100] Blackledge, G.F. "Concrete practice, revised by Binns, R.A.", UK, British Cement Association, Third Edition, 2002.

[101] Wierig, H.J. (editor), "Properties of fresh concrete", UK, Chapman and Hall, Third Edition, 1990.

[102] Day, Ken W., "Concrete mix design, quality control and specification, Third Edition" Oxon, Taylor & Francis, 2006.

[103] Su, N.; Miao, B. and Liu, F.S. "Effect of wash water and underground water on properties of concrete", Cement and Concrete Research, Vol. 32,2002,777-782.

[104] Chatveera, B.; Lertwattanaruk, P. and Makul, N. "Effect of sludge water from ready-mixed concrete plant on properties and durability of concrete", Cement and Concrete Research, Vol. 28,2006,441-450.

[105] Chatveera, B.; Lertwattanaruk, P. and Makul, N. "Use of ready-mixed concrete plant sludge water in concrete containing an additive or admixture", Journal of Environmental Management, Vol. 90,2009,1901–1908.

[106] Kosmatka, S.H.; Kerkhoff, B., Panarese, W.C. "Design and control of concrete mixtures", 14th Ed., USA, Portland Cement Association, 2003.

[107] Rixom, R.; Mailvaganam, N. "Chemical admixtures for concrete", 3th Ed., Taylor & Francis e-Library, 2002.

[108] Vázquez, E. (editor), "Chemical admixtures for concrete: Improvement of properties, RILEM report", UK, Chapman and Hall, 1990.

[109] Concrete Admixture Society, "Guide to chemical admixtures for concrete", Report No. 18, 1980.

[۱۱۰] استاندارد ایران، ۳۲۰۳. " بتن تازه ـ آزمایش روانی (اسلامپ)"، مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، تهران، ۱۳۷۱.

[۱۱۱] استاندارد ایران، ۳۵۲۰. "بتن تازه ـ تعیین مقدار هوای موجود"، مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، تهران، ۱۳۷۳.

[۱۱۲] استاندارد ایران، ۲۳۰۶. " بتن ـ تعیین مقاومت فشاری آزمونه‌های بتن"، مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، تهران، ۱۳۷۱.

[۱۱۳] استاندارد ایران، ۲۳۰۶. "روشهای آزمون زداینده‌ها ـ روش اندازه‌گیری **PH** محلول‌های آبی ـ روش پتانسیدمتری"، مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، تهران، ۱۳۷۳.

[۱۱۴] استاندارد ایران، ۸۹۸. "تعیین وزن مخصوص (دانسیته مایعات در ۲۰ درجه سیلسیوس)"، مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، تهران، ۱۳۷۳.

[115] ASTM C494. "Standard Specification for chemical admixtures for concrete", Annual Book of ASTM Standards, Vol 04.02., Philadelphia, 2003.

[116] BS EN 934-2. "Admixtures for concreter, mortar and grout – Part 2: concrete admixtures- Definitions, requirements, conformity, marking and labeling.", British Standards Institution, 2001.

[117] BS EN 480-2. "Admixtures for concrete, mortar and grout- test methods Part2:Determination of setting time", European Committee for Standardization, 1997.

[118] BS EN 480-4. "Admixtures for concrete, mortar and grout- test methods- Part 4:Determintion of bleeding of concrete", European Committee for Standardization, 1996.

[119] BS EN 480-5. "Admixtures for concrete, mortar and grout- test methods- Part5: Determintion of capillary absorbtion", European Committee for Standardization, 1996.

[120] BS EN 480-8. "Admixtures for concrete, mortar and grout- test methods- Part6: Infrared analysis", European Committee for Standardization, 1996.

[121] BS EN 480-8. "Admixtures for concrete, mortar and grout- test methods- Part6: Infrared analysis", European Committee for Standardization, 1996.

[122] BS EN 480-10. "Admixtures for concrete, mortar and grout- test methods- Part 10: Determintion of the water soluble chloride conternt", European Committee for Standardization, 1996.

[123] BS EN 480-11. "Admixtures for concrete, mortar and grout- test methods- Part 11: Determintion or air void characteristies in hardened concrete", European Committee for Standardization, 1996.

[124] BS EN 480-12. "Admixtures for concrete, mortar and grout- test methods- Part 12: Determintion of the alkali content of admixtures", European Committee for Standardization, 1998.

[125] BS EN 934-6. "Admixtures for concrete, mortar and grout- test methods- Part 12: Determintion of the alkali content of admixtures", European Committee for Standardization, 1998.

[126] BS EN 934-6. "Admixtures for concrete, mortar and grout- test methods- Part 12: Determintion of the alkali content of admixtures", European Committee for Standardization, 2009.

[127] BS EN 934-6. "Admixtures for concrete, mortar and grout- test methods- Part 6: Sampling, conformity control and evaluation of conformatity", European Committee for Standardization, 2009.

[128] BS EN 12350-5. "Testing fresh concrete – Part: Flow table test", European Committee for Standardization, 2000.

[129] ISO 1158. "Plasties- Vinyl chloride homopollymers and copolymers- Determination of chlorine", European Committee for Standardization, 2000.

[130] Kosmatka, S.H.; Kerkhoff, B., Panarese, W.C. "Design and control of concrete mixtures", 14th Ed., USA, Portland Cement Association, 2003.

[131] Dewar, J.D.; Anderson, R. "Manual of ready mixed concrete", UK, Chapman & Hall, 1992.

[132] ASTM C94. "Standard specification for ready-mixed concrete", Annual Book of ASTM Standards, Vol 04.02., Philadelphia, 200

[۱۳۳] "روش ملی طرح مخلوط بتن"، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، نشریه شماره ض-۴۷۹، تهران، ۱۳۸۸.

[۱۳۴] سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور. "آیین نامهٔ بتن ایران (آبا)"، نشریهٔ شمارهٔ ۱۲۰، تهران، ۱۳۸۵.

[۱۳۵] وزارت مسکن و شهرسازی. "مقررات ملی ساختمان ایران: مبحث نهم طرح و اجرای ساختمان‌های بتن آرمه"، مبحث نهم، تهران، ۱۳۸۵.

[136] Kosmatka, S.H.; Kerkhoff, B., Panarese, W.C. "Design and control of concrete mixtures", 14th Ed., USA, Portland Cement Association, 2003.

[137] Dewar, J.D.; Anderson, R. "Manual of ready mixed concrete", UK, Chapman & Hall, 1992.

[138] Newman, J.; Seng Choo, B. (editors) "Advanced concrete technology: Constituent materials", UK, Elsevier, Butterworth-Heinemann, 2003.

[139] Popovics, S. "Concrete materials Properties, Specifications and Testing", USA, Noyes Publications, 1992.

[۱۴۰] رمضانیانپور، علی اکبر؛ قدوسی، پرویز؛ هوشدار تهرانی، محمد حسین. "بتن و اجرای آن"، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، تهران، نشریه شماره ۱۳۰، ۱۳۸۱.

[۱۴۱] نویل، ای. ام.؛ بروکس، جی.جی. "تکنولوژی بتن"، ترجمهٔ علی اکبر رمضانیانپور و محمدرضا شاه‌نظری، انتشارات علم و صنعت، تهران ۱۳۷۴.

[۱۴۲] دوبروولسکی، و. "دستنامهٔ اجرای بتن"، ترجمهٔ علی اکبر رمضانیانپور،شاپور طاهونی، منصور پیدایش،، انتشارات علم و ادب، تهران ۱۳۸۰.

[۱۴۳] استاندارد ایران، ۳۰۲. "سنگدانه‌های بتن- ویژگی‌ها"، مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، تهران، ۱۳۸۱.

[۱۴۴] استاندارد ایران، ۱۱۲۶۹. "اندازه گیری دانه های پولکی،دانه های طویل یا دانه های پولکی و طویل در سنگدانه درشت -روش آزمون" مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، تهران، ۱۳۸۷.

[۱۴۵] استاندارد ایران، ۱۱۵۶۸. " تعیین درصد شکستگی سنگدانه های درشت –روش آزمون"، مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، تهران، ۱۳۸۷.

[۱۴۶] استاندارد ایران، ۴۴۶. "روش تعیین مقدار موادی از سنگدانه که از الک ۷۵ میکرون می‌گذرد "، مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، تهران، ۱۳۸۰.

[۱۴۷] استاندارد ایران، ۴۹۷۷. "روش آزمون دانه بندی سنگدانه های ریزودرشت توسط الک"، مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، تهران، ۱۳۸۷.

[۱۴۸] استاندارد ایران، ۴۹۸۷. "روش آزمون کلوخه های رسی وذرات خرد شونده در سنگدانه"، مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، تهران، ۱۳۷۹.

[۱۴۹] استاندارد ایران، ۴۹۸۷. "روش آزمون ناخالصی های آلی سنگدانه های ریز برای بتن"، مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، تهران، ۱۳۷۸.

[۱۵۰] استاندارد ایران، ۴۹۸۰. "روش آزمون تعیین وزن مخصوص انبوهی وجذب آب سنگدانه‌های ریز"، مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، تهران، ۱۳۷۸.

[۱۵۱] استاندارد ایران، ۴۹۸۱. "روش آزمون وزن واحد و فضای خالی سنگدانه‌ها"، مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، تهران، ۱۳۷۸.

[۱۵۲] استاندارد ایران، ۴۹۸۲. "روش آزمون تعیین وزن مخصوص انبوهی وجذب آب سنگدانه‌های درشت"، مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، تهران، ۱۳۷۸.

[۱۵۳] استاندارد ایران، ۴۹۸۳. "روش تعیین رطوبت کل سنگدانه‌ها"، مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، تهران، ۱۳۷۸.

[۱۵۴] استاندارد ایران، ۴۹۸۴. "آزمون ذرات سبک در سنگدانه"، مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، تهران، ۱۳۷۸.

[۱۵۵] استاندارد ایران، ۴۹۸۵. "ویژگی‌های سنگدانه سبک برای بتن سازه‌ای"، مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، تهران، ۱۳۷۸.

[۱۵۶] استاندارد ایران، ۶۱۱. "روش آزمون تعیین رطوبت سطحی در سنگدانه‌های ریز"، مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، تهران، ۱۳۷۳.

[۱۵۷] استاندارد ایران، ۷۱۴۷. "روش آزمون تعیین نمک‌های کلریدی محلول در آب"، مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، تهران، ۱۳۸۲.

[۱۵۸] استاندارد ایران، ۷۶۵۶. " اندازه گیری پتانسیل واکنش قلیایی سنگ‌های کربناتی به عنوان سنگدانه بتن با استفاده از روش استوانه سنگی"، مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، تهران، ۱۳۸۳.

[۱۵۹] استاندارد ایران، ۷۸۸۲. " اندازه گیری واکنش قلیایی – سیلیسی به روش شیمیایی"، مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، تهران، ۱۳۸۳.

[۱۶۰] استاندارد ایران، ۸۱۴۹. "قابلیت انبساط‌پذیری به روش بررسی تغییر طول منشورهای بتنی، ناشی از واکنش سنگدانه‌ها با قلیائی‌ها"، مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، تهران، ۱۳۸۴.

[۱۶۱] استاندارد ایران، ۴۴۸. " روش آزمون برای تعیین سایش مصالح سنگی درشت دانه با استفاده از ماشین لوس‌آنجلس"، مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، تهران، ۱۳۷۵.

[۱۶۲] استاندارد ایران، ۸۴۴۷. "تعیین مقاومت سنگدانه‌های درشت دانه در مقابل سایش و ضربه در دستگاه لوس آنجلس–روش آزمون"، مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، تهران، ۱۳۸۴.

[۱۶۳] استاندارد ایران، ۸۶۲۷. "تعیین مقدار سولفات در سنگدانه‌ها–روش آزمون"، مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، تهران، ۱۳۸۴.

[۱۶۴] استاندارد ایران، ۸۷۵۳. "قابلیت واکنش سنگدانه ها با قلیائی ها به روش ملات منشوری تسریع شده"، مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، تهران، ۱۳۸۵.

[۱۶۵] استاندارد ایران، ۷۱۴۷. " تعیین نمکهای کلریدی محلول در آب روش آزمون"، مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، تهران، ۱۳۸۲.

[۱۶۶] استاندارد ایران، ۴۴۹. " مقاومت مصالح سنگی در مقابل عوامل جوی"، مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، تهران، ۱۳۷۰.

[۱۶۷] استاندارد ایران، ۴۹۷۸. " مقاومت مصالح سنگی در مقابل عوامل جوی"، مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، تهران، ۱۳۷۰.

[168] ACI Committee 304. “Guide for measuring, mixing, transporting, and placing concrete (ACI 304-R-00)”, American Conccret Institue, Manual of Concrete Practice, USA, American Concrete Institute, 2003.

[169] ASTM C33. “Standard specification for concrete aggregates”, American Society for Testing and Materials, Annual Book of ASTM Standards, Vol 04.02., Philadelphia, 2003.

[170] ASTM D4791. “Standard test method for flat particles, elongated particles, or flat and elongated particles in coarse aggregate”, American Society for Testing and Materials, Annual Book of ASTM Standards, Vol 04.03., Philadelphia, 2003.

[171] ASTM D5821. “Standard test method for determining the percentage of fractured particles in coarse aggregate”, American Society for Testing and Materials, Annual Book of ASTM Standards, Vol 04.03., Philadelphia, 2003.

[172] ASTM C117. “Standard test method for materials finer than 75-µm (No. 200) sieve in mineral aggregates by washing”, American Society for Testing and Materials, Annual Book of ASTM Standards, Vol 04.02., Philadelphia, 2003.

[173] ASTM C136. "Standard test method for sieve analysis of fine and coarse aggregates", American Society for Testing and Materials, Annual Book of ASTM Standards, Vol 04.02., Philadelphia, 2003.

[174] ASTM C142. "Standard test method for clay lumps and friable particles in aggregates", American Society for Testing and Materials, Annual Book of ASTM Standards, Vol 04.02., Philadelphia, 2003.

[175] ASTM C40. "Standard test method for organic impurities in fine aggregates for concrete", American Society for Testing and Materials, Annual Book of ASTM Standards, Vol 04.02., Philadelphia, 2003.

[176] ASTM C128. "Standard test method for density, relative density (specific gravity), and absorption of fine aggregate", American Society for Testing and Materials, Annual Book of ASTM Standards, Vol 04.02., Philadelphia, 2003.

[177] ASTM C29. "Standard test method for bulk density ("unit weight") and voids in aggregate", American Society for Testing and Materials, Annual Book of ASTM Standards, Vol 04.02., Philadelphia, 2003.

[178] ASTM C566. "Standard test method for total evaporable moisture content of aggregate by drying", American Society for Testing and Materials, Annual Book of ASTM Standards, Vol 04.02., Philadelphia, 2003.

[179] ASTM C123. "Standard test method for lightweight particles in aggregate", American Society for Testing and Materials, Annual Book of ASTM Standards, Vol 04.02., Philadelphia, 2003.

[180] ASTM C330. "Standard test method for lightweight particles in aggregate", American Society for Testing and Materials, Annual Book of ASTM Standards, Vol 04.02., Philadelphia, 2003.

[181] ASTM C70. "Standard test method for surface moisture in fine aggregate", Annual Book of ASTM Standards, Vol 04.02., Philadelphia, 2003.

[182] ASTM D1411. "Standard test methods for water-soluble chlorides present as admixtures in graded aggregate road mixes", Annual Book of ASTM Standards, Vol 04.08., Philadelphia, 2003.

[183] ASTM C586. "Standard standard test method forpotential alkali reactivity of carbonate rocks as concrete aggregates (Rock-Cylinder Method)", Annual Book of ASTM Standards, Vol 04.02., Philadelphia, 2003.

[184] ASTM C289. "Standard test method for potential alkali-silica reactivity of aggregates (Chemical Method)", Annual Book of ASTM Standards, Vol 04.02., Philadelphia, 2003.

[185] ASTM C1293. "Standard test method for determination of length change of concrete due to Alkali-Silica Reaction", Annual Book of ASTM Standards, Vol 04.02., Philadelphia, 2003.

[186] ASTM C535. "Standard test method for resistance to degradation of large-size coarse aggregate by abrasion and impact in the Los Angeles Machine", Annual Book of ASTM Standards, Vol 04.02., Philadelphia, 2003.

[187] BS 812-118. "Testing aggregates. Methods for determination of sulphate content", British Standards Institution, 1988.

[188] ASTM C1260. "Standard test method for potential alkali reactivity of aggregates (Mortar-Bar Method)", Annual Book of ASTM Standards, Vol 04.02., Philadelphia, 2003.

[189] BS 812-117. "Testing aggregates -Part 117: Method for determination of water-soluble chloride salts", British Standards Institution, 1988.

[190] ASTM C88. "Standard test method for soundness of aggregates by use of sodium sulfate or magnesium sulfate", Annual Book of ASTM Standards, Vol 04.02., Philadelphia, 2003.

[191] BS EN 1097-2. "Tests for mechanical and physical properties of aggregates. Methods for the determination of resistance to fragmentation", European Committee for Standardization., 1998

[192] BS EN 1097-2. "Tests for mechanical and physical properties of aggregates. Determination of the resistance to wear (micro-Deval)", European Committee for Standardization., 1996

[193] BS EN 1097-8. "Tests for mechanical and physical properties of aggregates. Determination of the polished stone value", European Committee for Standardization., 2000.

[194] BS EN 1097-9. "Tests for mechanical and physical properties of aggregates. Determination of the resistance to wear by abrasion from studded tyres. Nordic test", European Committee for Standardization., 1998.

[195] BS EN 1367-1. "Tests for thermal and weathering properties of aggregates. Determination of resistance to freezing and thawing", European Committee for Standardization., 2000.

[196] BS EN 1744-1. "Tests for chemical properties of aggregates. Chemical analysis", European Committee for Standardization., 1998.

[197] BS EN 933-7. "Tests for geometrical properties of aggregates. Determination of shell content. Percentage of shells in coarse aggregates", European Committee for Standardization., 1998.

[198] BS EN 1744. "Tests for chemical properties of aggregates. Chemical analysis", European Committee for Standardization., 1998.

[199] BS EN 1367-4. “Tests for thermal and weathering properties of aggregates. Determination of drying shrinkage”, European Committee for Standardization., 1998.

[۲۰۰] استاندارد ایران، ۳۸۹. "ویژگیهای سیمان پرتلند "، مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، تهران، ۱۳۷۸.

[۲۰۱] استاندارد ایران، ۲۹۳۱. "ویژگی‌ها و روش‌های أزمون سیمان پرتلند سفید"، مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، تهران، ۱۳۶۸.

[۲۰۲] استاندارد ایران، ۳۴۳۲. "ویژگی‌های سیمان پرتلند پوزولانی"، مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، تهران، ۱۳۷۳.

[۲۰۳] استاندارد ایران، ۳۵۱۷. " ویژگی‌های سیمانهای سرباره‌ای"، مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، تهران، ۱۳۷۳.

[۲۰۴] استاندارد ایران، ۱۶۹۲. سیمانهای هیدرولیکی ـ روشهای آزمون شیمیایی اندازه گیری عناصر اصلی"، مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، تهران، ۱۳۷۳.

[۲۰۵] استاندارد ایران، ۳۹۴. سیمان‌های پرتلند"، مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، تهران، ۱۳۶۶.

[۲۰۶] استاندارد ایران، ۳۹۰. "تعیین نرمی سیمان پرتلند"، مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، تهران، ۱۳۷۰.

[۲۰۷] استاندارد ایران، ۳۹۲. "سیمان پرتلند"، مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، تهران، ۱۳۷۴.

[۲۰۸] استاندارد ایران، ۱-۱۶۹۳. "روش‌های آزمون شیمیایی سیمان‌های هیدرولیکی-اندازه‌گیری عناصر فرعی "، مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، تهران، ۱۳۸۱.

[۲۰۹] استاندارد ایران، ۲-۱۶۹۳. "روش‌های آزمون شیمیایی سیمان‌های هیدرولیکی ـ اندازه‌گیری کلسیم اکسید آزاد"، مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، تهران، ۱۳۸۱.

[۲۱۰] استاندارد ایران، ۱۶۹۴. "روشهای آزمون شیمیایی سیمان‌های هیدرولیکی ـ اندازه‌گیری گوگرد به صورت سولفید"، مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، تهران، ۱۳۸۱.

[۲۱۱] استاندارد ایران، ۱۶۹۴. "روشهای آزمون شیمیایی سیمان‌های هیدرولیکی ـ اندازه‌گیری گوگرد به صورت سولفید"، مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، تهران، ۱۳۸۱.

[۲۱۲] استاندارد ایران، ۱۶۹۵. "روشهای آزمون شیمیایی سیمان‌های هیدرولیکی ـ تعیین سدیم اکسید و پتاسیم اکسید "، مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، تهران، ۱۳۸۱.

[۲۱۳] استاندارد ایران، ۱۶۹۵. "روشهای آزمون شیمیایی سیمان‌های هیدرولیکی ـ تعیین سدیم اکسید و پتاسیم اکسید "، مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، تهران، ۱۳۸۱.

[۲۱۴] استاندارد ایران، ۳۹۳. "ماسه مرجع مورد مصرف در تعیین مقاومت خمشی و فشاری سیمان"، مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، تهران، ۱۳۸۳.

[۲۱۵] استاندارد ایران، ۳۴۳۳. "ویژگی‌های پوزولان‌های طبیعی"، مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، تهران، ۱۳۷۳.

[۲۱۶] استاندارد ایران، ۳۵۱۷. "ویژگی‌های سیمان‌های سرباره‌ای"، مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، تهران، ۱۳۷۳.

[۲۱۷] استاندارد ایران، ۳۴۳۳. "افت سرخ شدن سیمان پرتلندی و سیمان‌های سرباره‌ای"، مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، تهران، ۱۳۷۳.

[218] ASTM C114. “Standard test methods for chemical analysis of hydraulic cement”, Annual Book of ASTM Standards, Vol 04.02., Philadelphia, 2003.

[219] ISO 680. “Cement: Test methods- Chemical analysis”, International Organization for Standardization.

[220] DIN EN 196 “Methods of testing cement - Part 9: Heat of hydration - Semi-adiabatic method”, European Committee for Standardization.

[221] ISO 679. “Cement: Test methods -- Determination of strength”, International Organization for Standardization.

[222] ASTM C595. “Standard specification for blended hydraulic cements”, Annual Book of ASTM Standards, Vol 04.04., Philadelphia, 2003.

[223] ASTM C150. “Standard specification for portland cement”, Annual Book of ASTM Standards, Vol 04.04., Philadelphia, 2003.

[224] ASTM C204. “Standard Test Method for Fineness of Hydraulic Cement by Air-Permeability Apparatus”, Annual Book of ASTM Standards, Vol 04.01., Philadelphia, 2003.

[225] ASTM C186. “Standard test method for heat of hydration of hydraulic cement”, Annual Book of ASTM Standards, Vol 04.01., Philadelphia, 2003.

[226] ASTM C618 “Standard specification for coal fly ash and raw or calcined natural pozzolan for use in concrete”, Annual Book of ASTM Standards, Vol 04.02., Philadelphia, 2003.

[227] ASTM C1240 “Standard specification for silica fume used in cementitious mixtures”, Annual Book of ASTM Standards, Vol 04.02., Philadelphia, 2003.

[228] ACI Committee 232. “Use of fly ash in concrete”, American Conccret Institue, Manual of Concrete Practice, USA, American Concrete Institute, 2003.

[229] ACI Committee 232. "Use of raw or processed natural pozzolans in concrete (232.1R-00)", American Conccret Institue, Manual of Concrete Practice, USA, American Concrete Institute, 2003.

[230] ASTM C311. "Standard Test Methods forSampling and Testing Fly Ash or Natural Pozzolans for Use in Portland-Cement Concrete", Annual Book of ASTM Standards, Vol 04.02., Philadelphia, 2003.

[231] BS EN 1008. "Mixing water for concrete - Specification for sampling, testing and assessing the suitability of water, including water recovered from processes in the concrete industry, as mixing water for concrete", European Committee for Standardization.

[232] Blackledge, G.F. "Concrete practice, revised by Binns, R.A.", UK, British Cement Association, Third Edition, 2002.

[233] Wierig, H.J. (editor), "Properties of fresh concrete", UK, Chapman and Hall, Third Edition, 1990.

[234] Day, Ken W., "Concrete mix design, quality control and specification, Third Edition" Oxon, Taylor & Francis, 2006.

[235] Su, N.; Miao, B. and Liu, F.S. "Effect of wash water and underground water on properties of concrete", Cement and Concrete Research, Vol. 32,2002,777-782.

[236] Chatveera, B.; Lertwattanaruk, P. and Makul, N. "Effect of sludge water from ready-mixed concrete plant on properties and durability of concrete", Cement and Concrete Research, Vol. 28,2006,441-450.

[237] Chatveera, B.; Lertwattanaruk, P. and Makul, N. "Use of ready-mixed concrete plant sludge water in concrete containing an additive or admixture", Journal of Environmental Management, Vol. 90,2009,1901–1908.

[238] Kosmatka, S.H.; Kerkhoff, B., Panarese, W.C. "Design and control of concrete mixtures", 14th Ed., USA, Portland Cement Association, 2003.

[239] Rixom, R.; Mailvaganam, N. "Chemical admixtures for concrete", 3th Ed., Taylor & Francis e-Library, 2002.

[240] Vázquez, E. (editor), "Chemical admixtures for concrete: Improvement of properties, RILEM report", UK, Chapman and Hall, 1990.

[241] Concrete Admixture Society, "Guide to chemical admixtures for concrete", Report No. 18, 1980.

[۲۴۲] استاندارد ایران، ۳۲۰۳. " بتن تازه ـ آزمایش روانی (اسلامپ)"، مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، تهران، ۱۳۷۱.

[۲۴۳] استاندارد ایران، ۳۵۲۰. "بتن تازه ـ تعیین مقدار هوای موجود"، مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، تهران، ۱۳۷۳.

[۲۴۴] استاندارد ایران، ۲۳۰۶. " بتن ـ تعیین مقاومت فشاری آزمونه‌های بتن"، مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، تهران، ۱۳۷۱.

[۲۴۵] استاندارد ایران، ۲۳۰۶. "روشهای آزمون زداینده‌ها ـ روش اندازه‌گیری **PH** محلول‌های آبی ـ روش پتانسیدمتری"، مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، تهران، ۱۳۷۳.

[۲۴۶] استاندارد ایران، ۸۹۸. "تعیین وزن مخصوص (دانسیته مایعات در ۲۰ درجه سیلسیوس)"، مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، تهران، ۱۳۷۳.

[247] ASTM C494. “Standard Specification for chemical admixtures for concrete”, Annual Book of ASTM Standards, Vol 04.02., Philadelphia, 2003.

[248] BS EN 934-2. “Admixtures for concreter, mortar and grout – Part 2: concrete admixtures- Definitions, requirements, conformity, marking and labeling.”, British Standards Institution, 2001.

[249] BS EN 480-2. “Admixtures for concrete, mortar and grout- test methods Part2:Determination of setting time”, European Committee for Standardization, 1997.

[250] BS EN 480-4. “Admixtures for concrete, mortar and grout- test methods- Part 4:Determintion of bleeding of concrete”, European Committee for Standardization, 1996.

[251] BS EN 480-5. “Admixtures for concrete, mortar and grout- test methods- Part5: Determintion of capillary absorbtion”, European Committee for Standardization, 1996.

[252] BS EN 480-8. “Admixtures for concrete, mortar and grout- test methods- Part6: Infrared analysis”, European Committee for Standardization, 1996.

[253] BS EN 480-8. “Admixtures for concrete, mortar and grout- test methods- Part6: Infrared analysis”, European Committee for Standardization, 1996.

[254] BS EN 480-10. “Admixtures for concrete, mortar and grout- test methods- Part 10: Determintion of the water soluble chloride conternt”, European Committee for Standardization, 1996.

[255] BS EN 480-11. “Admixtures for concrete, mortar and grout- test methods- Part 11: Determintion or air void characteristies in hardened concrete”, European Committee for Standardization, 1996.

[256] BS EN 480-12. “Admixtures for concrete, mortar and grout- test methods- Part 12: Determintion of the alkali content of admixtures”, European Committee for Standardization, 1998.

[257] BS EN 934-6. “Admixtures for concrete, mortar and grout- test methods- Part 12: Determintion of the alkali content of admixtures”, European Committee for Standardization, 1998.

[258] BS EN 934-6. "Admixtures for concrete, mortar and grout- test methods- Part 12: Determintion of the alkali content of admixtures", European Committee for Standardization, 2009.

[259] BS EN 934-6. "Admixtures for concrete, mortar and grout- test methods- Part 6: Sampling, conformity control and evaluation of conformatity", European Committee for Standardization, 2009.

[260] BS EN 12350-5. "Testing fresh concrete – Part: Flow table test", European Committee for Standardization, 2000.

[261] ISO 1158. "Plasties- Vinyl chloride homopollymers and copolymers- Determination of chlorine", European Committee for Standardization, 2000.

[۲۶۲] دستنامهٔ اجرای بتن"، ترجمهٔ علی اکبر رمضانیانپور، ،شاپور طاهونی، منصور پیدایش، انتشارات علم و ادب، تهران ۱۳۸۰.

[۲۶۳] رمضانیانپور، علی اکبر؛ قدوسی، پرویز؛ هوشدار تهرانی، محمد حسین. "بتن و اجرای آن"، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، تهران، نشریه شماره ۱۳۰، ۱۳۸۱.

[۲۶۴] سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور. "آیین نامهٔ بتن ایران (آبا)"، نشریهٔ شمارهٔ ۱۲۰، تهران، ۱۳۸۵.

[۲۶۵] وزارت مسکن و شهرسازی. "مقررات ملی ساختمان ایران: مبحث نهم طرح و اجرای ساختمان‌های بتن آرمه"، مبحث نهم، تهران، ۱۳۸۵.

[۲۶۶] نویل، ای. ام.؛ بروکس، جی.جی. "تکنولوژی بتن"، ترجمهٔ علی اکبر رمضانیانپور و محمدرضا شاه‌نظری، انتشارات علم و صنعت، تهران ۱۳۷۴.

[۲۶۷] استاندارد ایران، ۶۰۴۱. " بتن آماده –روش آزمون برای تعیین مقدار آب"، مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، تهران، ۱۳۸۰.

[۲۶۸] استاندارد ایران، ۶۰۴۲. " بتن آماده –روش آزمون برای تعیین مقدار سیمان مخلوط"، مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، تهران، ۱۳۸۰.

[۲۶۹] استاندارد ایران، ۳۲۰۱. "روش نمونه‌برداری از بتن تازه"، موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، تهران، ۱۳۸۰.

[۲۷۰] استاندارد ایران، ۶۰۴۴. "بتن آماده–ویژگی‌ها"، مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، تهران، ۱۳۸۱.

[۲۷۱] استاندارد ایران، ۶۷۱۴. " مقدار سیمان پرتلند در بتن سیمانی سخت شده ـ روش آزمون"، مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، تهران، ۱۳۸۱.

[۲۷۲] استاندارد ایران، ۹۶۰۱. "بتن آماده –فهرست بازرسی و کنترل کیفیت تجهیزات تولید بتن آماده "، مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، تهران، ۱۳۸۶.

[۲۷۳] استاندارد ایران، ۹۶۰۲. "بتن آماده –فهرست بازرسی و کنترل ماشین آلات تحویل بتن آماده"، مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، تهران، ۱۳۸۶.

[274] Dewar, J.D.; Anderson, R. “Manual of ready mixed concrete”, UK, Chapman & Hall, 1992.

[275] Newman, J.; Seng Choo, B. (editors) “Advanced concrete technology: Constituent properties”, UK, Elsevier, Butterworth-Heinemann, 2003.

[276] Newman, J.; Seng Choo, B. (editors) “Advanced concrete technology:
Testing and quality”, UK, Elsevier, Butterworth-Heinemann, 2003.

[277] Day, Ken W., “Concrete mix design, quality control and specification, Third Edition” Oxon, Taylor & Francis, 2006.

[278] Kett, I., “Engineered concrete mix design and test methods” USA, CRC Press, 2000.

[279] Blackledge, G.F. “Concrete practice, revised by Binns, R.A.”, UK, British Cement Association, Third Edition, 2002.

[280] ASTM C94. “Standard specification for ready-mixed concrete”, Annual Book of ASTM Standards, Vol 04.02., Philadelphia, 2003.

[281] ASTM C1084. “Standard Test Method for Portland – Cement Content of Hardened Hydraulic – Cement Concrete”, Annual Book of ASTM Standards, Vol 04.02., Philadelphia, 2

[282] Newman, J.; Seng Choo, B. (editors) "Advanced concrete technology: Testind and quality", UK, Elsevier, Butterworth-Heinemann, 2003.

[283] Dewar, J.D.; Anderson, R. "Computer modelling of concrete mixtures", USA, Taylor & Francis e-Library edition, 2002.

[284] Kosmatka, S.H.; Kerkhoff, B., Panarese, W.C. "Design and control of concrete mixtures", 14th Ed., USA, Portland Cement Association, 2003.

[285] ACI Committee 304. "Placing concrete by pumping methods", American Conccret Institue, Manual of Concrete Practice, USA, American Concrete Institute, 2003.

[286] ASTM C94. "Standard specification for ready-mixed concrete", Annual Book of ASTM Standards, Vol 04.02., Philadelphia, 2003.

[287] ACI Committee 311. "Guide for Concrete Inspection (ACI 311.4R-00)", American Conccret Institue, Manual of Concrete Practice, USA, American Concrete Institute, 2003.

[288] ACI Committee 306. "Cold weather concreting (ACI 306.-88)", American Conccret Institue, Manual of Concrete Practice, USA, American Concrete Institute, 2003.

[289] ACI Committee 306. "Standard specification for cold weather concreting (ACI 306.1-90)", American Conccret Institue, Manual of Concrete Practice, USA, American Concrete Institute, 2003.

[290] Ortiz, J.; et al. "Influence of environmental temperatures on the concrete compressive strength: Simulation of hot and cold weather conditions", Cement and Concrete Research, Vol. 35,2005,1970-1979.

[۲۹۱] سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور.هبشمی، علی اکبر.؛ علی پناه، فریدون. "بتن در مناطق گرمسیر: ارائه شده در سمینار بندرسازی"، نشریهٔ شمارهٔ ۱۸۴، تهران، چاپ دوم، ۱۳۷۸.

[۲۹۲] مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن. "آیین‌نامه ملی پایایی بتن در محیط خلیج فارس و دریای عمان (پیشنهادی)"، نشریه شماره ض-۴۲۸، تهران، ۱۳۸۴.

[۲۹۳] مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن. "توصیه‌هایی برای محافظت سطحی بتن در نواحی جنوبی ایران"، نشریه شماره ض-۵۰۹، تهران، ۱۳۸۷.

[294] Soroka, I.; "Concrete in hot environments", UK, E & FN Spon, An Imprint of Chapman & Hall, 2004.

[295] Kosmatka, S.H.; Kerkhoff, B., Panarese, W.C. “Design and control of concrete mixtures”, 14th Ed., USA, Portland Cement Association, 2003.

[296] Erdogdu, S. “Effect of retempering with superplasticizer admixtures on slump loss and compressive strength of concrete subjected to prolonged mixing”, Cement and Concrete Research, Vol. 35,2005,907-912.

[297] Alhozaimy, A.M. “Effect of retempering on the compressive strength of ready-mixed concrete in hot-dry environments”, Cement and Concrete Research, Vol. 29,2007,124-127.