جمهوری اسلامی ایران
سازمان برنامه و بودجه

راهنمای اجرای بتن
در مناطق گرمسیر

نشریه شماره ۱۵۲

معاونت امور فنی
دفتر تحقیقات و معیارهای فنی

انتشارات سازمان برنامه و بودجه ۷۵/۰۰/۶۳

۱۳۷۵

فهرستبرگه

سازمان برنامه و بودجه. دفتر تحقیقات و معیارهای فنی

راهنمای اجرای بتن در مناطق گرمسیر/ معاونت امور فنی، دفتر تحقیقات و معیارهای فنی؛ [مهندسین مشاور تهران بوستن].- تهران: سازمان برنامه و بودجه، مرکز مدارک اقتصادی - اجتماعی و انتشارات، ۱۳۷۵.

۱ج. (شماره گذاری گوناگون).: مصور (برخی رنگی).- (سازمان برنامه و بودجه. دفتر تحقیقات و معیارهای فنی؛ نشریه شماره ۱۵۲)(انتشارات سازمان برنامه و بودجه؛ ۷۵/۰۰/۶۳)

کتابنامه

۱. بتون - تأثیر آب و هوا. ۲. بتون - خوردگی. ۳. مصالح ساختمانی - دوام. ٤. خاکدانه‌ها - دانه‌بندی. الف. مهندسین مشاور تهران - بوستن. ب. سازمان برنامه و بودجه. مرکز مدارک اقتصادی - اجتماعی و انتشارات. ج. عنوان. د. فروست.

ش.۱۵۲ ۲س/۳۶۸ TA

راهنمای اجرای بتن در مناطق گرمسیر

تهیه کننده: دفتر تحقیقات و معیارهای فنی

ناشر: سازمان برنامه و بودجه. مرکز مدارک اقتصادی - اجتماعی و انتشارات

چاپ اول: ۱۰۰۰ نسخه، ۱۳۷۵

قیمت: ۱۰۰۰۰ ریال

چاپ و صحافی: مؤسسه زحل چاپ

همهٔ حقوق برای ناشر محفوظ است.

مقدمه

صنعت ساختمان در سالهای اخیر پیشرفت چشمگیری در سراسر دنیا داشته و این رخداد تا حدود زیادی مدیون پیشرفت و تحول در شاخه اصلی این صنعت یعنی بتن می‌باشد. رشد روزافزون تکنولوژی بتن چشم‌انداز کاملاً نوینی را در دیدگاه کارشناسان این رشته گشوده است و در حال حاضر در سراسر جهان همه ساله با برگزاری سمینارها و کنفرانسهای متعدد درباره دوام و پایداری، مصالح، مقاومت، روشهای اجرا و نگهداری بتن تحقیقات وسیعی صورت می‌گیرد.

عوامل و عناصر جوی و اقلیمی از قبیل دما و رطوبت هوا و مصالح تشکیل دهنده بتن تاثیر مستقیمی بر ساخت و دوام سازه‌های بتنی دارند. مناطق گرم و مرطوب مانند شهرهای حاشیه خلیج فارس بعلت دمای زیاد، کیفیت پایین مصالح و وجود عوامل خورنده از قبیل سولفاتها و کلریدها دارای بیشترین مقدار خوردگیها و خرابیهای بتن می‌باشند.

پیشگیری از ایجاد خرابی یک سازه بتنی بمراتب اقتصادی‌تر از تعمیر آن است. برای این منظور باید مفاد ضوابط، آیین‌نامه‌ها، دستورالعملها و توصیه‌ها در طراحی و اجرای سازه‌های بتنی در مناطق گرمسیری و بهره‌برداری و نگهداری صحیح و اصولی از آنها در طرحهای عمرانی رعایت گردد.

مشکلات مشهود در رابطه با ساخت و پایایی سازه‌های بتنی در مناطق گرمسیری ایران، دفتر تحقیقات و معیارهای فنی را بر آن داشت که برای حل این معضل اقدام نموده و در نهایت این مجموعه را تهیه نماید.

آنچه پیش رو دارید نتیجه تحقیقات و بررسیهای انجام شده توسط گروه کارشناسان و مهندسان تهران- بوستن است که آقای مهندس یوسف رضاپوریوسف‌لو هماهنگی مندرجات آن با اهداف دفتر تحقیقات و معیارهای فنی را عهده‌دار بوده‌اند.

ویرایش فنی متن توسط آقای مهندس سیداکبر هاشمی صورت گرفته و پردازش کامپیوتری و صفحه‌آرائی نشریه را نیز شرکت آرادسیستم عهده‌دار بوده است.

دفتر تحقیقات و معیارهای فنی از تمامی دست‌اندرکاران تهیه این نشریه تشکر و قدردانی نموده، امیدوار است مطالب مورد توجه و استفاده صاحبنظران واقع شود، این دفتر همچون گذشته در انتظار راهنمایی‌ها و اظهارنظرهای سازنده خوانندگان برای ارتقای سطح محتوای نشریات خود خواهد بود.

دفتر تحقیقات و معیارهای فنی

پاییز ۱۳۷۵

راهنمای اجرای بتن در مناطق گرمسیر

مقدمه و کلیات

صنعت ساختمان در سالهای اخیر در سراسر دنیا پیشرفت‌های چشم‌گیری داشته و تولید بتن نیز به مثابه یکی از مصالح مهم ساختمانی از این قاعده مستثنی نبوده است.

در حال حاضر کارشناسان و محققانیکه دست‌اندرکار طراحی و اجرای ساختمانهای بتنی هستند بطور مستمر سرگرم تحقیق و نوآوری درباره دوام و پایداری، مصالح متشکله، مقاومت، روشهای اجرا و نگهداری ساختمانهای بتنی می‌باشند.

دفتر تحقیقات و معیارهای فنی سازمان برنامه و بودجه در مقام یکی از پیشگامان و مشوقان امر تحقیق در راستای تدوین ضوابط و معیارهای فنی سازه‌های بتن‌آرمه در مناطق گرمسیری کشور، طی نامه شماره ۵۰/۲۴۸۳۲ مورخ ۷۲/۱۲/۲ «طرح مطالعات بتن در مناطق گرمسیری» را به مهندسین مشاور تهران- بوستن ارجاع نمود.

این مطالعات در ابتدا با مراجع مشخصی که کارفرما اعلام کرده بود آغاز شد اما در ادامه بطور اجتناب‌ناپذیری گسترش و وسعت یافت. تمامی فصل‌های این نشریه پس از تهیه در چندین نوبت مورد بررسی کارشناسان سازمان برنامه و بودجه قرار گرفت. گزارش حاضر پس از اعمال اصلاحات لازم در هشت فصل به شرح زیر گردآوری و تنظیم شده است:

۱- فصل اول- طبقه‌بندی‌های اقلیمی: در این فصل ابتدا عناصر اقلیمی از دیدگاه کارشناسی بتن تشریح و سپس پهنه‌بندی اقلیمی کشور تبیین شده است، در پایان فصل نیز مطالبی در تعریف اصطلاح ریز اقلیم‌ها ارائه شده است.

۲- فصل دوم- مکانیزمهای خرابی: در این فصل ابتدا مسائل خاص مناطق گرمسیری در مورد خرابی سازه‌های بتن آرمه عنوان و سپس مکانیزم انواع خرابی‌های بتن، شامل کربناتی شدن، خوردگی کلروری، حمله سولفاتها و واکنش قلیائی و کربناتی سنگدانه‌ها به تفصیل بیان شده است.

۳- فصل سوم- مصالح: در این فصل با توجه به اهمیت ویژگی مصالح تشکیل‌دهنده بتن و اثر آن بر دوام و پایائی بتن در مناطق گرمسیری، خواص فیزیکی و شیمیائی مصالح تشریح شده است. در این قسمت نقش سنگدانه‌ها، آب، سیمان، مواد افزودنی و فولاد و تنوع آنها بررسی شده است.

۴- فصل چهارم- روشهای اجرا و توصیه‌ها : روشهای اجرا بر ویژگیهای بتن نقش تعیین‌کننده دارند. در این فصل با توجه به شرایط خاص بتن در مناطق گرمسیری توصیه‌های اجرائی برای طراحی، ساخت و عمل‌آوری بتن صورت گرفته است.

۵- فصل پنجم- بهره‌برداری و نگهداری از سازه‌های بتنی: عمر مفید هر سازه بتنی به نحوه بهره‌برداری و نگهداری از آن بستگی دارد.

در این فصل اصول نگهداری، بهره‌برداری و تعمیرات به منظور تامین شرایط لازم برای افزایش عمر مفید سازه‌های بتنی مورد بحث قرار گرفته است.

۶- فصل ششم- مشاهدات و تجربیات: این فصل به شرح مسایل سه پروژه بزرگ بتن‌آرمه در منطقه اختصاص یافته است. این پروژه‌ها در ایران، پاکستان و خلیج فارس اجرا شده‌اند.

۷- فصل هفتم- بتن‌های ویژه: پیشرفتهای علمی و فنی در صنعت سیمان ضعفها و کاستی‌هایی را در کاربرد سیمان پرتلند بعنوان ماده چسباننده بتن آشکار ساخته است، از اینرو با توجه به نیازهای فنی و اقتصادی نوین، بتن‌های ویژه‌ای برای کاربردهای مخصوص تولید شده‌اند. در این فصل پس از طبقه‌بندی بتنهای ویژه درباره کاربرد هر یک از آنها نیز بحث شده است.

۸- فصل هشتم- آزمایشها و استانداردها: در این فصل آزمایشهای رایج روی مصالح، بتن تازه و بتن سخت شده معرفی شده‌اند در پایان جدولهایی برای بازسازی به نقل از کمیته ۳۶۴ ACI ارائه شده است.

فصـــل اول

طبقه‌بندی اقلیمی

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
فصل اول – طبقه‌بندی‌های اقلیمی	
۱-۱- مقدمه	۱
۱-۲- عناصر اقلیمی	۱
۱-۲-۱- دمای محیط	۱
۱-۲-۲- رطوبت	۲
۱-۲-۳- تابش خورشید	۳
۱-۲-۴- باد	۴
۱-۲-۵- خاک	۴
۱-۳- پهنه‌بندی اقلیمی	۵
۱-۳-۱- اقلیم گرم و مرطوب	۵
۱-۳-۲- اقلیم گرم و خشک	۶
۱-۳-۳- ریز اقلیم‌ها	۸
۱-۴- نتیجه‌گیری	۹
فهرست مراجع و منابع	۱۱

فصل اول- طبقه‌بندی‌های اقلیمی

۱-۱ مقدمه

توجه به ویژگیهای اقلیمی و تاثیر آنها بر سازه‌های بتنی بویژه بر سازه‌های بتن آرمه از نظر افزایش دوام و در نتیجه عمر مفید سازه، حائز اهمیت فراوان است.

موقعیت و وضعیت خاص طبیعی- جغرافیائی ایران با اختلاف حدود ۱۵ درجه عرض جغرافیائی بین شمالی‌ترین و جنوبی‌ترین نقاط کشور و اختلاف ارتفاع بیش از ۲۵۰۰ متر بین مرتفع‌ترین و پست‌ترین مناطق شهری، وجود رشته کوههای بلند و یکپارچه مانند کوههای البرز در شمال و کوههای مرتفع زاگرس در امتداد شمال غربی- جنوب شرقی و وجود دریای مازندران در مرز شمالی و خلیج فارس و دریای عمان در مرز جنوبی، شرایط آب و هوائی کاملاً متفاوتی را در نقاط مختلف این کشور پهناور پدید آورده است. بدیهی است برای حفاظت سازه‌های بتنی در هر یک از مناطق اقلیمی متفاوت باید تدابیری ویژه اتخاذ شود.

۱-۲- عناصر اقلیمی

دمای هوا، رطوبت، تابش آفتاب، جریان هوا و خاک پنج عنصر اصلی اقلیم هستند که بر اساس آنها، طبقه‌بندی‌های اقلیمی صورت می‌گیرند. این عناصر هر کدام تاثیرهایی بر بتن دارند که در زیر به نقش هر یک از آنها اشاره می‌شود:

۱-۲-۱- دمای محیط

دمای خشک یا دمای هوا، رقمی است که در سایه بوسیله دما سنج برداشت می‌شود.

دمای هوا و نوسانات آن، آثار زیادی در ساختمانها، سازه‌های بتنی و خود بتن دارد. بعنوان مثال هنگامیکه درجه حرارت بتن تازه بالا می‌رود، آثار زیر بروز می‌نماید:

الف- میزان آب مورد نیاز برای حصول کارآیی[1] معین، افزایش یافته و در نتیجه نسبت آب به سیمان تغییر می‌نماید.

ب- کارآیی بتن تازه بسرعت کاهش یافته و موجب بروز اشکال در جارفتن[2] و تراکم بتن می‌گردد.

هر دو عامل یاد شده یعنی تراکم نامناسب و نسبت آب به سیمان زیاد بر پایایی[3] بتن اثر نامطلوب دارند.

پ- احتمال ترک‌خوردگی[4] در سطح بتن بلحاظ جمع‌شدگی[5] در اثر خشک شدن سطح افزایش می‌یابد، البته این احتمال در نواحی گرم و خشک بیشتر است. علاوه بر درجه حرارت هوا عوامل دیگری مانند : درجه حرارت بتن، رطوبت نسبی و سرعت باد در ایجاد این پدیده موثر هستند. این عوامل سرعت تبخیر از سطح بتن را تعیین کرده و چنانچه سرعت تبخیر از یک کیلوگرم آب در متر مربع در ساعت تجاوز نماید، باید اقداماتی برای جلوگیری از بروز ترک‌خوردگی بعمل آید. این امر همیشه در نواحی گرم و خشک مطرح است.

بعلاوه دمای زیاد روند واکنش‌های شیمیائی را تسریع می‌کند بطوریکه تقریباً بازای هر ۱۰ درجه سلسیوس افزایش درجه حرارت، سرعت واکنش‌های شیمیائی دو برابر می‌شود. در مورد این واکنشها در فصول بعدی بحث خواهد شد.

۱-۲-۲- رطوبت

رطوبت هوا را می‌توان به صورت رطوبت مطلق یعنی مقدار واقعی رطوبت موجود

1 Workability
2 Placing
3 Durability
4 Craking
5 Shrinkage

در هر واحد وزن یا حجم هوا نشان داد.

مقدار رطوبتی که هوا می‌تواند در خود نگاهدارد به دمای آن بستگی دارد. رطوبت نسبی عبارت است از مقدار واقعی رطوبت موجود در هوا به مقدار رطوبتی که آن هوا می‌تواند در همان دما در خود نگهدارد، که به صورت درصد بیان می‌شود.

جمع‌شدگی بتن و همچنین سرعت تبخیر از سطح آن به میزان رطوبت نسبی هوا بستگی دارد. برای انجام هر گونه واکنش شیمیائی از قبیل سولفاتی، کلروری، قلیائی و غیره (که در فصل دوم تشریح خواهند شد) وجود رطوبت لازم است. بطور کلی عمر سازه‌های بتنی در نقاط گرم و مرطوب کمتر از عمر آنها در نقاط گرم و خشک است و برای گسترش خوردگی فولاد در بتن تقریباً بین ۷۰ تا ۸۵ درصد رطوبت مورد نیاز می‌باشد. بنابراین در نواحی گرم و خشک غیر ساحلی مسئله خوردگی کمتر بروز می‌نماید لیکن در نواحی ساحلی بعلت بالا بودن میزان رطوبت محیط، شرایط مساعدتری برای بروز خوردگی فراهم است.

۱-۲-۳- تابش خورشید

مقادیر متوسط روزانه انرژی ناشی از تابش آفتاب (برحسب مگاژول بر متر مربع در روز) برای هر ماه از سال که شامل تغییرات فصلی است، نشانه مناسبی از شرایط اقلیمی می‌باشد، موقعیت ظاهری و لحظه‌ای خورشید در هر نقطه از سطح زمین، تابع زمان و عرض جغرافیائی آن نقطه است بطوریکه هر چه عرض جغرافیائی یک محل کمتر باشد تابش خورشید به خط عمود نزدیک‌تر است و اشعه با شدت بیشتری بر آن محل می‌تابد.

تغییرات قابل ملاحظه درجه حرارت در نواحی گرم و خشک و تابش مستقیم و شدید نور خورشید ممکن است نهایتاً موجب ترک خوردگی سازه‌های بتنی گردد. بنابراین لازم است حتی‌الامکان از قرار دادن سازه بتنی در معرض تابش مستقیم نور آفتاب پرهیز نمود و با ایجاد سایه و تغییر جهت سازه در موارد ممکن، پوشش لایه‌های حفاظتی،

درزهای انبساط و پوششهای سفیدرنگ، آثار تابش را کاهش داد.

۱-۲-۴- باد

باد عبارتست از جابجائی هوا، سرعت باد به وسیله باد سنجهای پیاله‌ای یا پروانه‌ای اندازه‌گیری شده و جهت وزش آن نیز بوسیله بادنما تعیین می‌گردد. باد می‌تواند گرد و غبار و رطوبت نیز بهمراه داشته باشد و یا موجب جابجائی خاک و دانه‌های ریزسنگی گردد.

وزش باد هنگام بتن‌ریزی موجب کاهش رطوبت و تبخیر سطحی بتن تازه شده که این شرایط افزایش نفوذپذیری سطح بتن و کاهش پایایی آن را به دنبال دارد. بنابراین هنگام وزش بادهای شدید یا باید بتن‌ریزی قطع گردد و یا با تعبیه بادشکن و عمل‌آوری[1] فوری پس از بتن‌ریزی، آثار وزش باد کاهش داده شود.

۱-۲-۵- خاک

عموماً خاک منطقه در طبقه بندی‌های کلاسیک عناصر اقلیمی بعنوان عنصر اقلیمی منظور نمی‌گردد، ولی از آنجا که آثار قابل توجهی بر سازه‌های بتنی دارد، در این بررسی بعنوان یکی از عناصر مهم اقلیمی از آن یاد شده است.

مشخصات شیمیائی خاک منطقه بطور مستقیم و موثر بر سازه‌های بتنی مجاور خاک اثر میگذارد. بعنوان مثال خاکهایی که در آنها نمکهای کلرید و سولفات بیش از حد هستند در خوردگی سازه‌های مجاور خود نقش اصلی و مستقیم را بعهده دارند.

آثار غیر مستقیم مشخصات شیمیائی خاک منطقه را می‌توان در آلوده ساختن آبهای سطحی و زیرزمینی منطقه، که بنحوی با سازه‌ها در تماس هستند جستجو نمود. خاکهای ریزدانه که حاوی املاح مضر برای بتن هستند، بسادگی در بادهای شدید بصورت غبار

1 Curing

جابجا شده و سطوح بتنی سازه‌ها را دچار آلودگی می‌سازند. در ایران بطور عموم خاکهای سواحل خلیج فارس و دریای عمان حاوی املاح کلرید و سولفات می‌باشند، به هر حال هنگام طراحی در مناطق گرمسیری، باید بدقت مشخصات شیمیایی و فیزیکی خاک محل مورد آزمایش و شناسائی قرار گیرد تا بر اساس نتایج بدست آمده، تدابیر لازم اتخاذ گردد.

۱-۳- پهنه‌بندی اقلیمی

همانطور که اشاره شد کشور پهناور ایران دارای شرایط اقلیمی متنوعی است. با توجه به عوارض طبیعی و تاثیر دریاها، آقای دکتر گنجی در سال ۱۹۵۵، تقسیم‌بندی کلی اقلیمی زیر را برای ایران پیشنهاد کرده‌اند:

الف- اقلیم معتدل و مرطوب (سواحل جنوبی دریای خزر).

ب- اقلیم سرد (کوهستانهای غربی کشور).

پ- اقلیم گرم و خشک (فلات مرکزی).

ت- اقلیم گرم و مرطوب (سواحل جنوبی ایران).

صرفنظر از تقسیم‌بندی یاد شده در طراحی، اجرا و بهره‌برداری از سازه‌های بتنی در نقاط گرمسیری ایران می‌توان دو اقلیم متمایز، گرم و خشک و گرم و مرطوب در نظر گرفت.

۱-۳-۱- اقلیم گرم و مرطوب

در این نوع آب و هوا معمولاً ریزش بازان بیش از تبخیر است، تغییرات درجه حرارت در شبانه روز نسبتاً کم، و متوسط درصد رطوبت بسیار بالا است. این اقلیم در نواحی گرم ایران و درجائی که دریا به توده عظیمی از خشکی متصل می‌شود، وجود دارد. دمای هوا، بطور متوسط به حداکثر ۳۸ درجه سلسیوس می‌رسد اما در فصل سرد این دما بطور متوسط بین ۲۱ و ۲۶ درجه سلسیوس باقی می‌ماند.

متوسط حداقل دمای هوا در شب، در فصل تابستان بین ۲۴ و ۳۰ درجه سلسیوس متغیر است. بیشترین نوسان در فصل زمستان اتفاق می‌افتد. رطوبت نسبی دائماً زیاد و عموماً بین ۵۰ و ۹۰ درصد می‌باشد. اما این رطوبت به باران تبدیل نشده و در هوا معلق می‌ماند و شرایط بسیار نامساعدی را ایجاد می‌کند. بارندگی در این مناطق مانند تمامی مناطق بیابانی کم و تابش آفتاب بسیار شدید است. بادها معمولاً محلی و ساحلی هستند و در نتیجه اختلاف دمای سطح آب و سطح خشکی، ایجاد می‌شود.

این بادها در روز از دریا به خشکی و در شب در جهت عکس می‌وزند. در این مناطق ممکن است، گرد و غبار و توفان ماسه نیز اتفاق افتد.

مناطق حاشیه خلیج فارس و جزایر آن دارای این اقلیم هستند و به سبب وجود رطوبت، گرما و املاح خورنده (نمکهای سولفاتی و کلروری) در آب، خاک و جو این مناطق، سازه‌های بتنی این نواحی غالباً دچار خوردگی شده‌اند. بنابراین تاکید نشریه حاضر و تدابیر احتیاطی و توصیه‌های آن بیشتر مربوط به این نواحی (گرم و مرطوب) است. از آنجا که تاسیسات زیر بنائی فراوانی نظیر بنادر، نیروگاه‌ها و مجتمع‌های صنعتی در این نواحی قرار دارند بلحاظ حساسیت موضوع باید از تمامی تجربیات موجود برای تهیه، ساخت، عمل‌آوری و نگهداری بتن و نیز تعمیر و نگهداری سازه‌های بتنی این نواحی بهره‌گیری شود.

۱-۳-۲- اقلیم گرم و خشک

در این اقلیم ریزش باران کمتر از تبخیر است و تغییرات درجه حرارت شبانه‌روز ممکن است به ۲۵ درجه سلسیوس برسد. در این اقلیم دو فصل مشخص وجود دارد که یکی کاملاً گرم و دیگری سرد است. دمای هوا، در سایه بعد از طلوع آفتاب، بسرعت افزایش می‌یابد و متوسط حداکثر آن در روز به ۴۳ تا ۴۹ درجه سلسیوس می‌رسد. در فصل زمستان، متوسط حداکثر دمای هوا بین ۲۷ تا ۳۲ درجه سلسیوس است.

رطوبت نسبی بین ۱۰ تا ۵۵ درصد تغییر می‌کند. افت دمای مرطوب خیلی زیاد است و تبخیر خیلی سریع رخ می‌دهد. مقدار بارندگی کم و در طول سال متغیر است.

تابش آفتاب در طول روز بسیار شدید است. اما فقدان ابر، براحتی امکان بازتاب حرارت ذخیره شده در طول روز را به صورت اشعه موج بلند به آسمان خنک در شب، فراهم می‌سازد. بادها معمولاً محلی هستند. گرم شدن هوای واقع در روی زمین داغ باعث وارونگی دما می‌شود و چون توده‌های سرد عبور می‌کنند، اغلب گردبادهای محلی بوجود می‌آیند.

بادها گرم بوده و بهمراه خود گرد و غبار و ماسه حمل می‌کنند و اغلب به توفان ماسه تبدیل می‌شوند و می‌توانند باعث سائیده شدن سطح بتن گردند. سطح آبهای زیرزمینی بسیار پائین و خاک معمولاً غبارآلود و خیلی خشک است.

بطور کلی این اقلیم برای انجام کارهای بتنی مناسب نمی‌باشد، چون در اثر گرما و تبخیر سریع، زمان گیرش[1] و مقاومت سطحی بتن و در نتیجه دوام[2] آن در این شرایط کاهش می‌یابد. از طرف دیگر نمکهای خورنده خاک بنا به خاصیت موئینگی همراه رطوبت خود را به سطح زمین در اطراف سازه بتنی رسانده و موجب خوردگی در قسمت‌های مجاور خاک می‌شوند.

اما از آنجا که، رطوبت نسبی در این اقلیم معمولاً کم است میزان خوردگی نیز غالباً پائین می‌باشد.

همچنین بعلت اختلاف شدید درجه حرارت شبانه‌روز و بویژه تابش شدید نور خورشید در روز، امکان ترک‌خوردگی مصالح از جمله، بتن در این اقلیم وجود دارد، که باید تا حد امکان با ایجاد سایه، اجرای پوشش و رنگ بر روی سازه‌های بتنی بویژه با استفاده از رنگ سفید و نیز طراحی مناسب سازه برای اختلاف درجه حرارت مذکور، این آثار مخرب را کاهش داد.

1 Setting time

2 Durability

۱-۳-۳- ریز اقلیم‌ها

ریز اقلیم یا اقلیم خرد می‌تواند هرگونه تغییر عمده نسبت به اقلیم یک محدوده بزرگ با هر مقیاس را شامل شود.

در مورد بتن، می‌توان بطور کلی ریز اقلیم را بشرح زیر تعریف نمود:

ریز اقلیم عبارت از محدوده‌ای است بسیار کوچک در درون یک اقلیم فراگیر که در آن بطور موضعی و در مقیاسی کوچک، شرایط ویژه اقلیمی دیگری فراهم آمده باشد. فراهم شدن شرایط اقلیم گرم و خشک در یک منطقه معتدل مانند محوطه کوره‌های ریخته‌گری و یا فراهم شدن شرایط سردسیری مرطوب در یک منطقه گرم و خشک مانند سردخانه‌ها مثالهایی برای ریز اقلیم‌ها هستند.

مطلب مهم در ارتباط با بتن مسئله "ریز اقلیم‌های خورنده" است. در این مناطق در مقیاس بسیار کوچک شرایطی مشابه اقلیم‌های گرم و مرطوب بوجود آمده و مثلاً خوردگی آرماتور در داخل بتن رخ می‌دهد، البته ریز اقلیم‌ها در صنایع از تنوع زیادی برخوردارند و شناخت کامل و رده‌بندی شرایط موضعی هر یک از آنها نیاز به بررسی‌های ویژه و گسترده دارد که از حوصله این نشریه خارج است.

برای کاهش آثار زیانبار ریز اقلیم‌های خورنده بر بتن و بتن آرمه لازم است توصیه‌های کلی مندرج در ادامه کتاب بویژه در فصل چهارم، رعایت گردد، با وجود این بیان دو نکته برای مقابله با خوردگی آرماتورها در این نواحی (که متداول‌ترین نوع خوردگی است) لازم به نظر می‌رسد:

الف- حتی‌المقدور باید شرایط در نقاط مختلف قطعات بتن‌آرمه یکسان باشند. زیرا هر گونه عدم تجانس شرایط فیزیکی، شیمیائی و مکانیکی بین نقاط مختلف به بروز و تشدید خوردگی الکتروشیمیائی منجر می‌شود.

ب- باید سعی شود قطعات همیشه خشک و یا مستغرق باشند چون تر و خشک‌شدنهای متناوب، احتمال بروز این نوع خوردگی‌ها را افزایش می‌دهد.

چنانچه احتراز از موارد یاد شده میسر نباشد می‌توان از توصیه‌های فصل چهارم بهره جست.

۱-۴- نتیجه‌گیری

عوامل و عناصر جوی و اقلیمی بر ساخت و دوام سازه‌های بتنی بویژه بر سازه‌های بتن‌آرمه تاثیری بسزا دارند. از مهمترین این عوامل دما و رطوبت هوا را می‌توان نام برد که در نحوه تولید و ساخت و نیز عمر مفید بتن موثرند.

ایران در مقیاس جهانی جزو اقلیمهای گرم و خشک محسوب می‌شود. اما در تقسیم‌بندی منطقه‌ای دارای مناطق متنوع آب و هوائی است و نقاط گرمسیر آنرا می‌توان به دو منطقه گرم و خشک و گرم مرطوب تقسیم نمود.

جزایر و حاشیه‌های خلیج فارس و دریای عمان جزو نقاط گرم و مرطوب و سایر نواحی گرمسیری کشور، جزو نقاط گرم و خشک محسوب می‌شوند.

بخش عمده خوردگیها و خرابیهای بتن، مربوط به نقاط گرم و مرطوب ایران است. وجود دو عامل عمده گرما و رطوبت زیاد و نیز نمکهای سولفاتی و کلروری که در آب دریا، خاک و آبهای زیرزمینی این مناطق بوفور یافت می‌شوند، خوردگی و خرابی در بتن و فولاد داخل آن را موجب می‌شوند.

علاوه بر تقسیم‌بندی‌های کلی لازم است به اقلیم‌های خرد و آثار آن بر سازه‌های بتنی چه در نقاط ساحلی و چه غیر ساحلی (حتی در اقلیم‌های معتدل و خشک) توجه ویژه مبذول گردد. در واقع پیش از تعیین طرح اختلاط بتن و اتخاذ تدابیر احتیاطی برای مقابله با خرابیها و خوردگیها و در نتیجه تخمین عمر مفید سازه بتنی، لازم است ابتدا اقلیمی که سازه در آن بنا می‌گردد و سپس ریز اقلیم مربوطه (چه برای سازه و چه برای اعضای غیر سازه‌ای) مورد شناسائی و ارزیابی قرار گیرد. تعیین ضخامت پوشش بتنی روی میلگردها، انتخاب نوع سیمان و سنگدانه‌ها و اتخاذ سایر تدابیر احتیاطی برای مقابله

با انواع خرابیهای شیمیائی و فیزیکی باید همواره مد نظر قرار گیرد.

در فصل‌های بعد با شناسائی علل و مکانیزمهای خرابی، بررسی ویژگی‌های مصالح بتن، روشهای اجرا، بهره‌برداری و نگهداری سازه‌های بتنی، بیان مشاهدات و تجربیات در مورد سازه‌های بتنی پایا[1] در منطقه، بررسی مشخصات بتن‌های ویژه و آزمایش‌های لازم برای بررسی کیفیت بتن‌ها، علل و مکانیزم خرابیها تشریح و نحوه مقابله با آنها همراه با تدابیر احتیاطی و توصیه‌های مربوطه بیان می‌گردد.

1 Durable

فهرست مراجع و منابع

الف- مراجع فارسی :

۱- بتن در مناطق گرمسیر، معاونت فنی دفتر تحقیقات و معیارهای فنی سازمان برنامه و بودجه.

۲- مجموعه مقالات کنفرانس بین‌المللی بتن (۱۳۷۱)، سازمان برنامه و بودجه- دفتر تحقیقات و معیارهای فنی، دانشکده فنی، دانشگاه تهران.

۳- پهنه‌بندی اقلیمی ایران، مسکن و محیط‌های مسکونی، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، مهندس مرتضی کسمائی.

۴- راهنمای طراحی اقلیمی، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، ترجمه مهندس مرتضی کسمائی.

۵- ریز اقلیمهای خورنده و ضرورت ملحوظ داشتن آنها در طراحی بمنظور احتراز از خوردگی، از مجله پیام آبادگران شماره ۹۹، از سخنرانی آقای دکتر مهدی قالیبافیان در سمینار ساخت و ساز در مناطق گرم و مرطوب جنوب ایران.

ب- مراجع انگلیسی

1. Deterioration and pepair of reinforced concrete in the persian gulf, proceedings of 4th international conferece, volume 1.

2. Concrete in hot climates, proceedings of the third international rilem conference.

فصـــل دوم

مکانیزمهای خرابی

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
فصل دوم – مکانیزمهای خرابی	
۲-۱- مقدمه	۱
۲-۲- مسائل خاص مناطق گرمسیر	۳
۲-۲-۱- تاثیر درجه حرارت زیاد بر زمان اختلاط بتن و خواص آن	۵
۲-۲-۲- تاثیر حرارت بر روند تخریب بتن سخت شده	۷
۲-۳- انواع خرابی‌های بتن	۷
۲-۳-۱- کربناتی شدن	۱۰
۲-۳-۲- خوردگی کلروری	۱۲
۲-۳-۳- حمله سولفاتها	۲۱
۲-۳-۴- واکنش قلیایی و کربناتی سنگدانه‌ها	۲۶
فهرست منابع و مراجع	۲۸

فصل دوم- مکانیزمهای خرابی

۲-۱ مقدمه

بتن سالهاست که بعنوان مصالحی پایا و با دوام شناخته شده است. متاسفانه در پاره‌ای موارد استفاده از مصالح نامناسب و ساخت غیر اصولی و رها کردن آن بعد از ساخت در محیطهای گرم و خورنده سبب خرابی زودرس و کوتاهی عمر مفید بعضی از ساختمانهای بتنی شده است.

خرابیهای بتن را می‌توان به دو گروه شیمیایی و فیزیکی تقسیم نمود. در گروه خرابیهای شیمیایی، خرابیهای ناشی از حمله سولفاتها و کلرورها، کربناتی شدن[1] و واکنش قلیایی سنگ دانه‌ها[2] با اهمیت‌ترند. در گروه خرابیهای فیزیکی مسئله یخ زدن و آب شدن[3]، سایش[4]، فرسایش[5]، و خلازایی[6] قابل ذکر می‌باشد.

بطور کلی تمامی این خرابیها تحت اثر عوامل بیرونی و درونی حادث میگردند. در گروه عوامل بیرونی می‌توان از درجه حرارت زیاد محیط و کاهش و افزایش متناوب رطوبت نسبی آن، آب و خاک موجود در اطراف بتنهای ساخته شده که اغلب حاوی املاح مهاجم[7] برای بتن می‌باشند، انتقال یونهای گزندبار توسط جریان هوا، طوفانهای ماسه و حملات بیوشیمیایی نام برد.

در گروه عوامل درونی میتوان از مصالح تشکیل‌دهنده بتن یعنی مصالح سنگی نامناسب و دارای املاح و غبار زیاد، آب نامناسب و حاوی املاح گزندبار برای بتن، سیمانهای غیر استاندارد و نامناسب برای شرایط محیطی مختلف، فولاد نامناسب و

1 Carbonation
2 Alkali-Aggregate reaction
3 Free zing and thawing
4 Abrasion
5 Erosion
6 Cavitation
7 Aggressive

همچنین از نگهداری غیر صحیح مصالح یاد شده، طرح اختلاط نادرست، عدم رعایت پوشش کافی روی آرماتور و عمل‌آوری نامناسب، نام برد. طبقه‌بندی عوامل یاد شده و تاثیر هر کدام روی بتن در جدول شماره ۲-۱ خلاصه شده است.

جدول شماره ۲-۱- دلایل خرابی سریع ساختمانهای بتنی در مناطق گرمسیر

عوامل موثر		تاثیر بر بتن
عوامل بیرونی	درجه حرارت زیاد و تغییرات متناوب میزان رطوبت	- کاهش قابلیت کاربرد بتن هنگام بتن‌ریزی - ترک ناشی از جمع‌شدگی در اثر خشک شدن - نفوذ سریع یونهای خورنده حاصل از کلرورها و سولفاتها و اسیدکربنیک و .... - آغاز سریع خوردگی و افزایش سرعت آن
	آب موجود در اطراف بتن، آب زیرزمینی، آب‌دریا و آبهای‌سبک*	- آغاز خوردگی توسط یون کلر موجود در آبهای زیرزمینی و آب دریاها - خرابی سطح بعلت رسوب نمکهای منبسط شونده - شسته شدن عمقی بتن بوسیله آبهای سبک در نواحی گرم و مرطوب
	حملات‌بیوشیمیایی ناشی‌از وجود نرم‌تنان روی سازه‌های دریایی	آغاز سریعتر خوردگی توسط یون کلر به علت کاهش پوشش موثر
	توفان ماسه	- سایش - ترک‌خوردگی
عوامل درونی و انتخاب مصالح نامناسب	سیمان پرتلند ضد سولفات	- مقاومت کم در قبال نفوذ یون کلر
	شن و ماسه متخلخل	- کاهش قابلیت کاربرد بتن هنگام بتن‌ریزی - نفوذ بیشتر یونهای خورنده - افزایش‌میزان‌جمع‌شدگی‌در اثرخشک شدن و خزش بتن - پایداری ظاهری کمتر در اثر خرابی سریع سطح بتن ناشی از رسوب نمکها
	مصالح سنگی غبارآلود (آلوده به خاک رس، لای و گرد و خاک)	- افزایش‌مقدارآب‌موردنیازکه‌نتیجه‌آن‌عبارت‌است‌از: افزایش میزان جمع‌شدگی در اثر خشک شدن، افزایش‌میزان‌خزش، کاهش‌مقاومت و نفوذپذیری‌زیاد

* منظور از آبهای سبک آبهاییست که املاح موجود در آنها کمتر از املاح موجود در آبهای آشامیدنی است.

ادامه جدول شماره ۲-۱

عوامل موثر		تاثیر بر بتن
خطاهای اجرایی	شن و ماسه حاوی کلراید و سولفات	- آغازخوردگی در اثر یون کلر - خرابی سطوح در اثر رسوب نمکهای منبسط شونده
	شن و ماسه تیزگوشه با دانه‌بندی یکنواخت	- از دست رفتن شیره بتن - جمع‌شدگی در اثر خشک شدن (خمیری) - نیاز به آب فراوان که نتیجه آن تخلخل بیشتر بتن است.
	مصالح سنگی حساس در برابر قلیایی‌ها	- ترک، طبله کردن و در نتیجه کاهش پوشش موثر فولاد
	انبار کردن ناصحیح مصالح	- چنانچه مصالح سنگی و فولاد قبل از مصرف در معرض سولفاتها و کلرایدها قرار گیرد پس از جاگذاری آن در بتن علاوه بر خورده شدن فولاد، املاح خود را بسطح بتن رسانده موجب بروز خرابی می‌شود.
	تراکم نامناسب	- وجود حفره‌ها و فضاهای خالی که موجب نفوذ سریعتر عوامل خورنده می‌گردد.
	عمل آوردن نامناسب	- نفوذپذیری زیاد - عمل‌آوردن با آب حاوی املاح کلراید که خود موجب نفوذ سریع یون کلر می‌گردد.
	مسائل دیگر مانند خرابکاری در ساخت بتن	

❑ ۲-۲- مسائل خاص مناطق گرمسیر

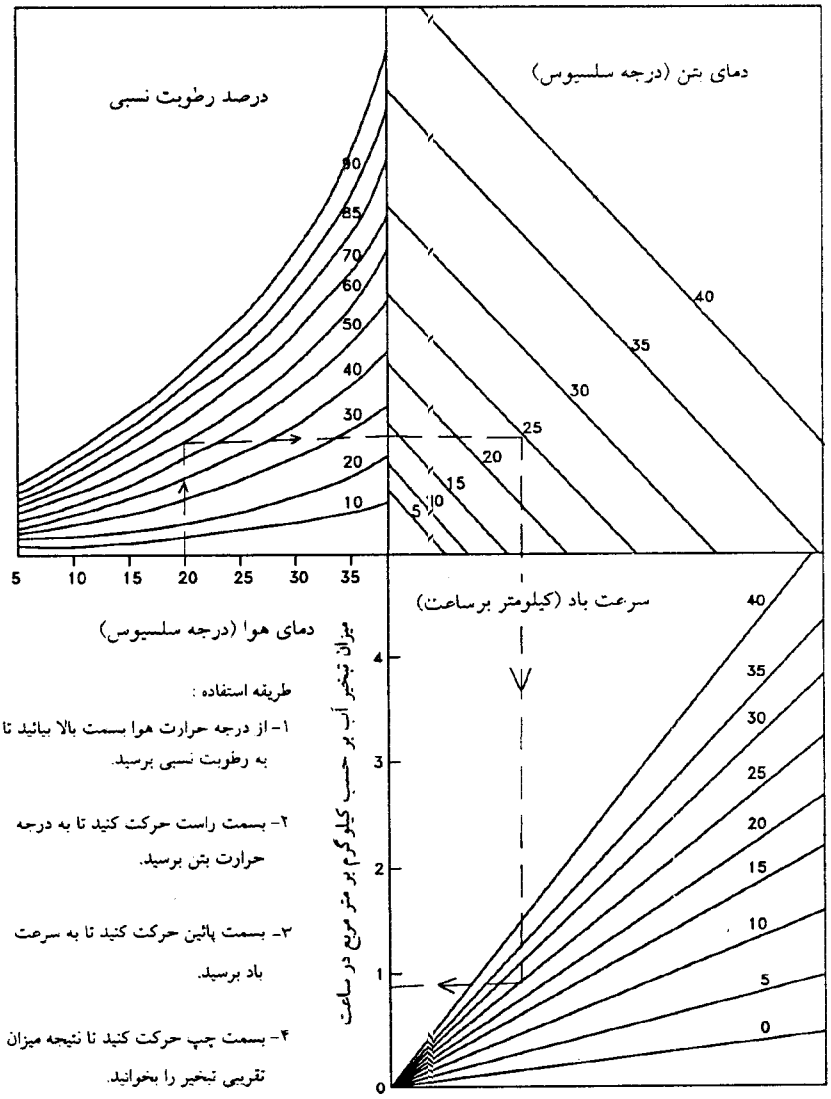
کنترل دما و میزان تبخیر بتن، از مهمترین عوامل در ساخت بتن مقاوم و پایا در مناطق گرمسیر است.

هوای گرم و درجه حرارت زیاد می‌تواند مشکلاتی را در بتن تازه و بتن سخت شده ایجاد نماید. افزایش نیاز به آب، کاهش سریع اسلامپ و کارایی بتن، افزایش سرعت گیرش که منجر به مشکلاتی در تهیه، پرداخت و عمل‌آوری بتن گردیده و موجب کاهش مقاومت و پایائی آن می‌گردد افزایش امکان پیدایش ترکخوردگی‌های خمیری[1] در اثر تبخیر آب از سطح، بروز اشکال در کنترل مقدار حبابهای هوا و نیاز شدید به عمل‌آوری سریع از جمله مشکلاتیست که در ارتباط با بتن تازه بروز می‌کند. سه عامل یعنی دمای

1 Plastic Cracking

زیاد بتن، رطوبت کم و سرعت زیاد باد، شدت و خـامت مشـکلات یـاد شـده را افزایـش می‌دهند.

شکل شماره ۲-۱- ترکیب آثار عوامل مذکور را نشان می‌دهد.



شکل شماره ۲-۱- ترکیب آثار درجه حرارت هوا و بتن، رطوبت نسبی و سرعت باد بر تبخیر آب از سطح آزاد بتن. میزان تبخیر بیش از نیم کیلوگرم بر متر مربع در ساعت غالباً پیش‌بینی‌هایی برای مقابله با خشک شدن زودرس را الزامی می‌سازد.

۲-۲-۱- تاثیر درجه حرارت زیاد بر زمان اختلاط بتن و خواص آن

الف- کارآیی

افزایش حرارت بتن سبب افت سریع کارآیی آن می‌گردد، بطوریکه میزان اسلامپ در مخلوطهای با نسبت آب به سیمان ثابت، با بالا رفتن دمای بتن کاهش می‌یابد.

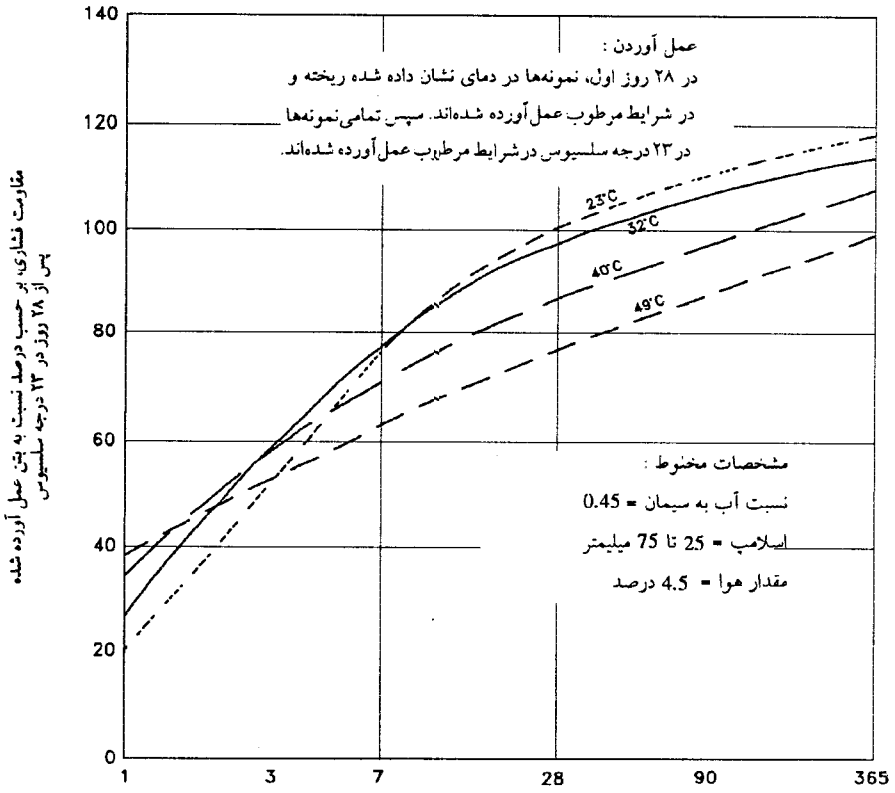
برای حفظ کارآیی بتن و ثابت نگهداشتن میزان اسلامپ در دماهای زیاد باید آب اضافی در بتن مصرف نمود.

ب- کاهش زمان لازم بین ساختن و تراکم بتن.

بعلت افت کارآیی بتن در حرارت زیاد زمان لازم برای ساختن، حمل، ریختن و تراکم بتن قبل از سخت شدن آن کاهش می‌یابد. توصیه می‌شود با انتخاب وسایل مناسب و نیروی انسانی ماهر فاصله زمانی بین ساختن تا تراکم بتن به ۲۰ دقیقه و کمتر محدود شود.

ج- تاثیر درجه حرارت بر مقاومت

معمولاً دمای زیاد بتن در مرحله بتن‌ریزی سرعت کسب مقاومت اولیه را فزونی می‌بخشد، در صورتیکه این امر بطور نسبی و در درازمدت منجر به حصول مقاومت کمتر خواهد شد. اثر دمای زیاد بتن روی مقاومت فشاری آن در شکل ۲-۲ نشان داده شده است.



شکل شماره ۲-۲- اثر دمای زیاد بر مقاومت فشاری بتن در سنین گوناگون

د- ترکهای جمع‌شدگی خمیری[1]

در مناطق گرم و خشک، تبخیر سریع آب بتن تازه، در صورتیکه کاملاً محافظت نشده باشد، اغلب سبب ایجاد ترکهای موسوم به ترکهای جمع‌شدگی خمیری می‌شود. علاوه بر این، تبخیر سریع سبب توقف فرآیند آبگیری[2] سیمان شده و افزایش نفوذپذیری بتن و کاهش مقاومت درازمدت بتن را نیز در پی خواهد داشت. چنانچه سرعت تبخیر

1 Plastic shrinkage cracks

2 Hydration

آب که به دما، رطوبت محیط، دمای بتن و سرعت باد بستگی دارد از یک کیلوگرم در متر مربع در ساعت تجاوز نماید احتمال بروز ترکهای خمیری وجود دارد و باید اقدامات موثری برای جلوگیری از وقوع آن بعمل آورد. در مناطق گرم و خشک باید همواره در انتظار سرعت تبخیر بیش از حد مجاز، بود.

۲-۲-۲- تاثیر حرارت بر روند تخریب بتن سخت شده[1]

الف- کاهش مقاومت بتن در اثر مصرف آب بیشتر در حرارت زیاد

از آنجا که در حرارت زیاد برای حفظ کارآیی آب بیشتری هنگام اختلاط بتن مصرف می‌گردد، نسبت آب به سیمان افزایش یافته و این امر موجب کاهش مقاومت بتن سخت شده میگردد.

ب- افزایش نفوذپذیری[2]

در این مورد نیز مصرف آب بیشتر برای حصول کارایی در دمای بالا، نفوذپذیری بتن سخت شده را در اثر تبخیر آب اضافی افزایش داده که این امر ورود املاح مضر را بدرون بتن سخت شده، تسهیل نموده و سبب ایجاد خرابیهای گوناگون خواهد شد.

❑ ۲-۳- انواع خرابی‌های بتن

اصولاً خرابیهای بتن را می‌توان به دو نوع کلی فیزیکی و شیمیایی تقسیم نمود. هر دو نوع خرابی ناشی از تاثیر عوامل درونی یا بیرونی بتن می‌باشند. در جدول شماره ۲-۱ دلایل خرابی سریع ساختمانهای بتنی در مناطق گرمسیر بطور خلاصه درج گردیده است.

الف- خرابیهای فیزیکی

غیر از خرابیهای ناشی از یخ زدن و آب شدن[3] که مخصوص مناطق با آب و هوای

1 Hardened concrete
2 Permeability
3 Freezing and Thwing

سرد است، پدیده‌های سایش[1] و فرسایش[2] و خلاءزایی[3] نیز می‌توانند در بتن خرابی ایجاد کنند.

سایش اغلب در اثر اصطکاک بین اجسام سخت و چرخها روی روسازیهای بتنی و کفهای صنعتی اتفاق می‌افتد. سیمان سخت شده مقاومت کمی در مقابل سایش، بخصوص زیر اثر بارهای متناوب دارد. بتن‌های با تخلخل زیاد و مقاومت کم نیز در مقابل سایش، بسیار ضعیف هستند. رابطه مشخصی بین نسبت آب به سیمان و مقاومت بتن در برابر سایش وجود دارد. انتخاب نسبت آب به سیمان کم دانه‌بندی مناسب شن و ماسه (حداکثر اندازه ۲۵ میلیمتر)، کارآیی مناسب و حداقل منافذ در بتن می‌توانند مقاومت بتن را نسبت به سایش بالا برده و آثار ناشی از آنرا کاهش دهند.

فرسایش بتن اغلب در اثر تماس ذرات معلق و مواد ریز جامد داخل آب با بتن کانالها، سرریزها، لوله‌های انتقال آب و فاضلاب ایجاد می‌شود. میزان فرسایش به تخلخل، مقاومت فشاری بتن، اندازه، شکل، چگالی، سختی و بالاخره سرعت مواد جامد در کانال بستگی دارد. بعنوان مثال وجود لای در کانالهای بتنی آبیاری در سرعتهای تا ۱/۸ متر برثانیه فرسایش قابل ملاحظه‌ای ایجاد نمی‌کند. در مواردیکه سایش و فرسایش شدید مطرح باشد توصیه می‌شود علاوه بر استفاده از سنگدانه‌های سخت، بتن بکار رفته دارای مقاومت فشاری ۲۸ روزه‌ای حداقل معادل ۴۲ مگاپاسکال بوده و حداقل ۷ روز تحت عمل‌آوری مرطوب قرار گیرد. به منظور مقاوم نمودن سطوح بتنی در مقابل سایش و فرسایش بهتر است پرداخت بتن بعد از آب انداختن[4] و تبخیر آن صورت پذیرد. در کفهای صنعتی یا روسازیهای بتنی بهتر است قشر فوقانی به ضخامت ۲۵ الی ۷۵ میلیمتر با نسبت آب به سیمان کم و سنگدانه‌های سخت با حداکثر اندازه ۱۲ میلیمتر ساخته و ریخته شود. برای کارآیی مناسب و کاهش نسبت آب به سیمان می‌توان از روان‌کننده‌های قوی استفاده نمود.

1 Abrasion
2 Erosion
3 Cavitation
4 Bleeding

استفاده از مواد پوزولانی نظیر میکروسیلیس، سختی زیادی به سطح می‌دهد. مـوادی نظیر سیلیکات سدیم و ترکیبات سیلیکاتی روی و منیزیم می‌توانند با هیدروکسـید کلسیم سیمان پرتلند ترکیب و مواد غیر محلول سختی در سطح ایجاد نمایند.

خلاءزایی پدیده ایست که در کانالهای رو باز در سرعتهای بیشتر از ۱۲ متر بـر ثانیـه و در کانالهای بسته در سرعتهای کم اتفاق می‌افتد.

در اثر خلاء زایی سطح بتن دچار خوردگی‌های موضعی و کندگـی نـامنظم می‌شـود. که از خرابی ناشی از فرسایش که صاف است کاملاً متمایز می‌باشـد. بـر خـلاف خرابـی ناشی از سایش و فرسایش، حتی بتن‌های قـوی و بـا مقـاومت زیـاد نمی‌تواننـد در مقـابل خرابی ناشی از پدیده خلاءزایی مقاومت نمایند. بهترین راه‌حل ، حذف عوامل ایجادکننده خلاءزائی یعنی جلوگـیری از ایجـاد سـطوح ناصـاف و یـا تغییـرات شـدید در مسـیر آب می‌باشد. استفاده از بتن با مقاومت فشاری زیاد و بکار بردن سنگدانه‌هایی با قطـر حداکـثر ۲۰ میلیمتر تا حـدی بـه مقـاومت بتـن درمقـابل خـلاء زائـی کمـک می‌نمـاید. اسـتفاده از پلیمرهای مختلف و یا بتن الیافی[1] نیز تا حدی مقاومت بتن را در مقابل پدیـده خلاءزائـی بالا خواهد برد. پوشش‌های نئوپرن و پلی‌یورتین که محکم به بتـن بچسـبند نـیز می‌تواننـد موجب افزایش مقاومت بتن در مقابل پدیده خلاءزایی شوند.

خرابیهای فیزیکی دیگری نیز غیر از موارد فوق وجـود دارنـد کـه مهمـترین آنهـا در مناطق گرمسیری، نفوذ نمکها در بتن است. این پدیده بر اثر نفوذ و ته‌نشین‌شدن نمکهـا در خلل و فرج و ترکهای سطح بتن توسط رطوبت، آبهای زیرزمینی و یا باد ایجـاد می‌گـردد. نمکها در داخل بتن به علت تشکیل بلور و افزایش حجم، فشار زیـادی را ایجـاد نمـوده و موجب خرابی سطح بتن می‌گردند[2]. در اثر این پدیده غیر از خرابی سـطح بتـن خوردگـی میلگردها و زنگ‌زدگی داخل بتن نیز ایجاد می‌شود.

در شمار خرابیهای فیزیکی می‌توان از حریق، ضربه، آثارجوی و محیطی‌وهمچنین از باکتریهایی‌نام‌برد که سازه‌های‌دریائی را باسوراخ‌کردن تحت‌تاثیر قرار می‌دهند. البته هرکدام ازاین‌خرابیهای‌فیزیکی‌نهایتاً می‌تواندموجبات‌خرابیهای‌شیمیایی‌را نیزفراهم‌آورند.

1 Fiber-Reinforced Concrete
2 Salt weathering

ب- خرابی‌های شیمیایی

خرابیهای شیمیایی عموماً براثر واکنش شیمیایی اجزای متشکله بتن با عوامل بیرونی و یا بین خود آنها پدیدار می‌گردد.

بطور کلی برای بروز خرابی‌های مزبور، سه عامل رطوبت، اکسیژن و حرارت لازم است. البته حضور دو عامل اصلی رطوبت و اکسیژن برای انجام واکنشها ضروری بوده و حرارت موجب تسریع واکنش‌های شیمیایی می‌گردد. خرابیهای عمده شیمیایی بتن عبارتند از:

- کربناتی شدن[1]
- خوردگی[2] کلروری
- حمله سولفاتی[3]
- واکنش قلیایی و کربناتی سنگدانه‌ها[4]

۲-۳-۱- کربناتی شدن

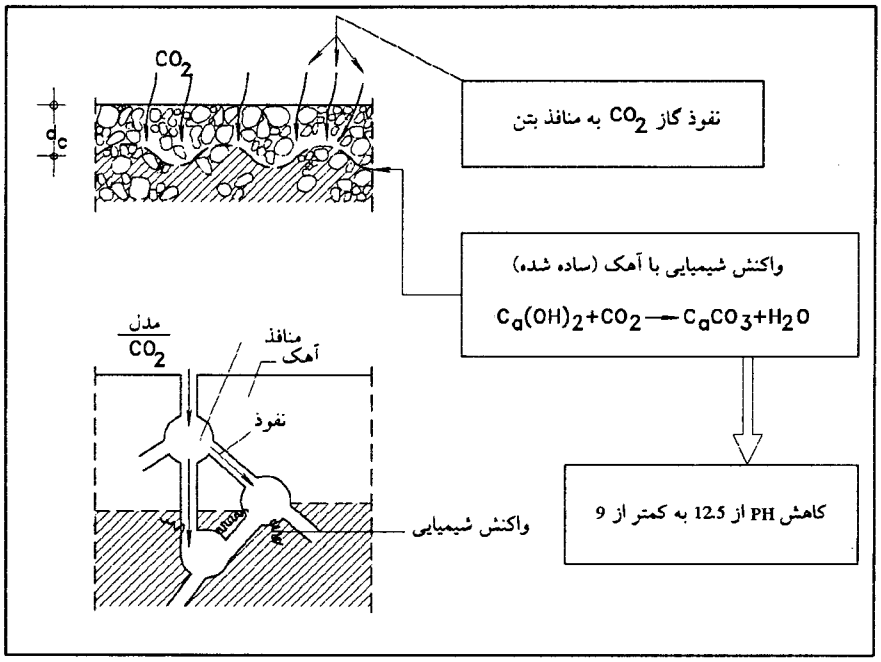
بر اثر نفوذ گاز دی‌اکسیدکربن (CO_2) به جسم بتن و ترکیب آن با هیدروکسید کلسیم ($Ca(OH)_2$) فعل و انفعال شیمیایی زیر صورت می‌گیرد که حاصل آن کربنات کلسیم است، در اثر این فعل و انفعال بتن کربناتی شده و PH آن به کمتر از ۹ می‌رسد.

$$Ca(OH)_2 + CO_2 \rightarrow CaCO_3 + H_2O$$

در صورتیکه بتن روی آرماتورها تماماً کربناتی شده و کربنات به سطح میلگردها برسد، لایه محافظ روی میلگرد (لایه پاسیو) از بین رفته و زنگ‌زدگی میلگرد در مجاورت رطوبت و اکسیژن آغاز خواهد شد (شکل ۲-۳).

1 Carbonation
2 Corrosion
3 Sulfate attack
4 Alkali-Aggregate reaction and carbonate-Aggregate reaction

کربناتی شدن بتن



شکل شماره ۲-۳

برای جلوگیری از پدیده کربناتی شدن بتن، همانند سایر خرابیهای شیمیایی لازم است، بتن دارای نفوذ پذیری کم باشد که این امر با ساخت بتن با نسبت آب به سیمان کم، تراکم خوب آن و عمل آوردن مناسب امکان‌پذیر است. از عوامل مهم دیگر، ضخامت پوشش روی میلگردهاست، از آنجا که هر یک میلیمتر افزایش ضخامت پوشش، ممکن است سالها صدمات ناشی از کربناتی شدن را به تاخیر اندازد، تامین پوشش کافی امری ضروری است.

۲-۳-۲- خوردگی کلروری

۲-۳-۲-۱- مکانیزم نفوذ کلر و عملکرد آن

خوردگی فولاد در ساختمانهای بتنی، پلها و سازه‌های بتنی مجاور و نزدیک سواحل دریا بعنوان مهمترین مسائل سازه‌های بتن آرمه در سالهای اخیر شناخته شده است. مهمترین عامل زنگ‌زدگی و خوردگی آرماتور وجود و یا نفوذ یون کلرید به داخل بتن است. بتن از نظر شیمیایی محیطی قلیایی با PH تا ۱۲/۵ است. در این وضعیت فولاد حالت رویین[1] داشته و یک غشاء محافظ اکسید آهن در اطراف آن شکل می‌گیرد. این عمل باعث حفاظت فولاد در مقابل خوردگی می‌گردد.

غیر از دی‌اکسید کربن، در ایجاد پدیده کربناتی شدن یون کلرید نیز عامل دیگری است که باعث از بین رفتن لایه محافظ فولاد می‌گردد و دفاع میلگردها را در مقابل عوامل مخرب از بین می‌برد. این خوردگی دارای خصلت الکتروشیمیایی است. بدین صورت که نقطه‌ای از فولاد که پوشش خود را از دست داده به قطب مثبت (آند) تبدیل و بقیه قسمتها به صورت قطب منفی (کاتد) باقی می‌مانند. اختلاف پتانسیل موجود در مخلوط بتن که عامل آن اختلاف تمرکز یون‌ها در نقاط مختلف بتن است، با توجه به محیط قلیایی آن بعنوان الکترولیت، جریان الکتریسیته را بین این دو قطب ایجاد و رابطه الکتروشیمیایی بین دو قطب برقرار می‌گردد.

یون آهن که بر اثر از بین رفتن پوشش محافظ فولاد بوجود می‌آید در قطب مثبت قرار گرفته با یون هیدروکسید (OH) که از تبدیل ذرات آب و اکسیژن داخل الکترولیت بوسیله جریان الکتریکی به طرف آند هدایت می‌گردد، ترکیب و اکسید آهن را به شکل زنگ در قسمت آند تشکیل می‌دهند.

این عمل تا زمانیکه اختلاف پتانسیل بین دو قطب مذکور برقرار و اکسیژن کافی در مخلوط موجود است ادامه یافته و تا حد از بین رفتن کامل قطب مثبت (میلگرد) پیش

1 Passive

می‌رود.

واکنشهای شیمیایی ناشی از خوردگی فولاد در بتن بدون حضور یون کلر بصورت زیر خلاصه می‌گردد: (شکل شماره ۲-۴).

در آند $Fe \rightarrow Fe^{++} + 2\,e^{-}$

در کاتد $\frac{1}{2} O_2 + H_2O + 2\,e^{-} \rightarrow 2\,(OH)^{-}$

در آند $Fe^{++} + 2\,(OH)^{-} \rightarrow Fe\,(OH)2$

واکنش با تداوم وجود اکسیژن و رطوبت به شکل زیر ادامه خواهد یافت.

(زنگ آهن) $2Fe\,(OH)\,2 + \frac{1}{2}\,O2 + H_2O \rightarrow 2Fe\,(OH)\,3$

مجموعه دوئیدرکسیدآهن به شکل زیر تجزیه می‌شوند:

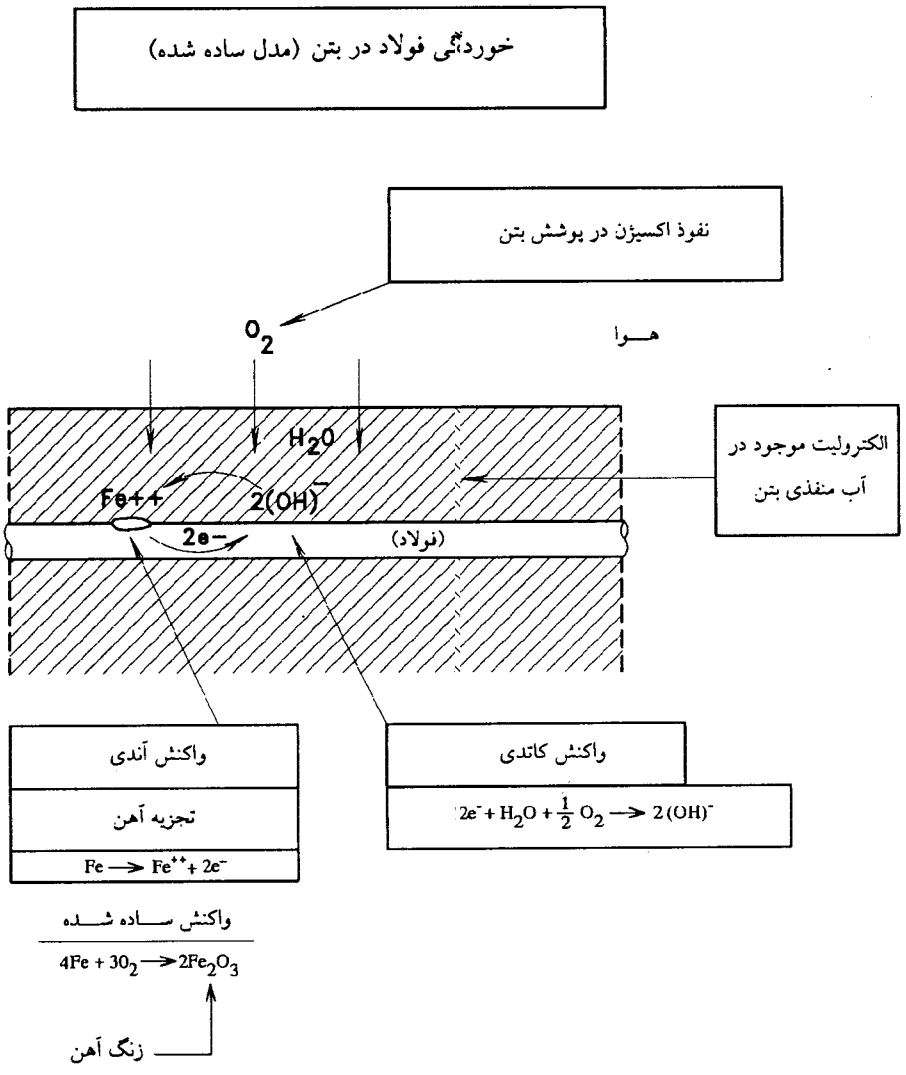
$$Fe\,(OH)\,3\,,\,Fe\,(OH)\,2 \Longrightarrow Fe203\,,\,Fe304$$

این واکنش‌ها، درصورت وجود یون کلر و نفوذ آن بداخل بتن بصورت زیر درخواهد آمد:

$$Fe + 2c1^{-} \rightarrow Fe\,C1_2 + 2e^{-} = Fe^{++} + 2c1^{-} + 2e^{-}$$

$$\frac{1}{2} O_2 + H_2O + 2e^{-} \rightarrow 2\,(OH)^{-}$$

$$Fe^{++} + 2\,(OH)^{-} \rightarrow Fe\,(OH)\,2$$


خوردگی فولاد در بتن (مدل ساده شده)
نفوذ اکسیژن در پوشش بتن
O_2
هـــوا
H_2O
Fe++
2(OH)⁻
2e⁻
(فولاد)
الکترولیت موجود در
آب منفذی بتن
واکنش آندی
تجزیه آهن
$Fe \rightarrow Fe^{++} + 2e^-$
واکنش کاتدی
$2e^- + H_2O + \frac{1}{2} O_2 \rightarrow 2(OH)^-$
واکنش ســـاده شـــده
$4Fe + 3O_2 \rightarrow 2Fe_2O_3$
زنگ آهن

شکل شماره ۲-۴

اکثر محققین معتقدند که واکنش خوردگی توسط یون کلرید با از بین بردن لایه نازک اکسید طبیعی موجود در سطح آرماتور شروع می‌شود. اما لزومی ندارد که این عمل مستقیماً در اثر واکنش یونهای کلرید و کاهش خاصیت قلیایی الکترولیت صورت بگیرد.

گروهی از محققین نیز واکنش‌های یون کلرید و آهن را به صورت زیر بیان می‌کنند.

$$2\,Fe + 6Cl^- \rightarrow 2FeCl_3 + 6e^-$$
$$FeCl_3 + 3OH^- \rightarrow Fe^3\,(OH)_3 + 3Cl^-$$

یون کلرید در واکنش خوردگی فوق نقش کاتالیزور را به عهده دارد و با اکسید کردن آهن، یون مرکب و ناپایدار $FeCl_3$ را تولید می‌کند که در آب محلول است. با حل شدن $FeCl_3$ در آب و انجام واکنش با یونهای هیدروکسید موجود در آب $Fe\,(OH)_2$ تولید می‌شود. در اثر این واکنش یون Cl آزاد شده و آماده واکنش مجدد می‌گردد. همچنین در این واکنش یونهای هیدروکسید مصرف و از قلیاییت بتن کاسته می‌شود. الکترونهای تولید شده در معادله اول از طریق آرماتورها به سطح کاتد جریان می‌یابند. در اثر تمرکز یون‌های کلرید و کاهش موضعی PH خوردگی ایجاد می‌گردد.

هیدروکسید آهن تولید شده، $Fe\,(OH)_2$، با دریافت مقدار ناچیزی اکسیژن که معمولاً در خود بتن نیز یافت می‌شود به حالت پایدار $Fe\,(OH)_3$ می‌رسد که به آن زنگ فولاد[1] گویند. با جذب بیشتر اکسیژن ترکیبات Fe203 ، Fe304 نیز بوجود می‌آیند.

با توجه به روابط ذکر شده، خوردگی در بتن کاملاً خشک و در بتن اشباع شده از آب اتفاق نخواهد افتاد زیرا در حالت اول پیل الکتریکی بعلت عدم وجود الکترولیت (آب)، تشکیل نخواهد شد و در حالت دوم بعلت فقدان اکسیژن فرآیند الکتروشیمیایی انجام نمی‌گردد. این مطلب حتی در صورت انهدام لایه مقاوم روی میلگرد نیز صادق است.

بطور کلی عوامل زیر در شدت بخشیدن به خوردگی فوق موثرند:

الف- استفاده از تسریع کننده‌های گیرش حاوی کلر مانند کلراید سدیم یا کلراید

1 Rust

کلسیم در بتن که غلظت یون کلرید اطراف آرماتور را افزایش می‌دهند.

ب- نفوذپذیری زیاد بتن در مقابل آب و یون کلرید.

پ- پایین بودن درجه قلیایی بتن بعلت مصرف سیمان با ترکیبات قلیایی کم و یا ایجاد پدیده کربناتی شدن.

ت- پوشش نازک بتن روی میلگرد.

ث- وجود ترک در بتن بعلل حرارتی.

ج- تقلیل میزان تری‌کلسیم آلومینات، (C3A) در سیمان (نوع سیمان مصرفی) که سبب نفوذپذیری بیشتر خمیر سیمان می‌شود.

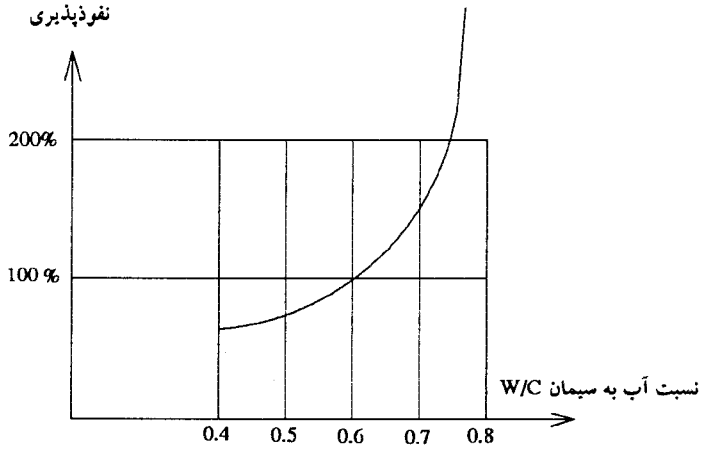
در خصوص عوامل یادشده نفوذپذیری بتن از همه مهمتر و موثرتر است برای مثال چنانچه بتن متخلخل، غیر متجانس و یا ترکدار باشد در این حال نوع سیمان مصرفی (بلحاظ میزان C3A) تاثیر بسزائی در جلوگیری از نفوذ یون کلرید بداخل بتن نداشته و نیز پوشش زیاد روی میلگرد در صورت نفوذپذیری زیاد بتن به تنهائی تاثیری قابل توجه در جلوگیری از خوردگی نخواهد داشت.

بطور کلی عامل مهم در ارتباط با خوردگی و حفاظت میلگرد «کیفیت پوشش بتن روی آرماتور» هاست و این کیفیت بستگی مستقیم به نفوذپذیری و ضخامت پوشش دارد.

البته تر و خشک شدن متناوب سطح بتن در تمرکز یون کلرید اثر زیادی دارد بدین ترتیب که بر اثر پدیده «مکش موئینگی»[1] مقدار زیادی آب حاوی یون کلرید بداخل بتن وارد و بر اثر خشک شدن و تبخیر آن، تمرکز یون کلرید بشدت افزایش می‌یابد.

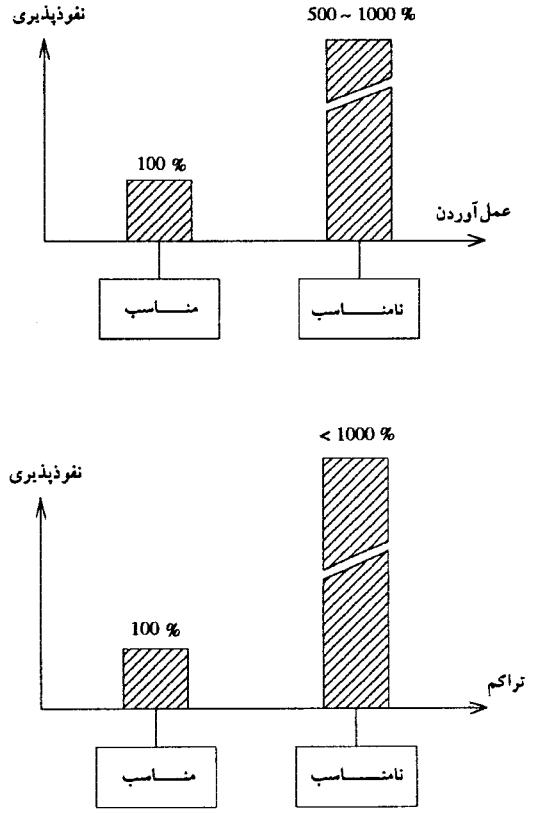
1 Capillary suction

نفوذپذیری بتن که درباره اهمیت آن در ایجاد خوردگی میلگرد بحث شد، خود متاثر از عوامل گوناگونی است. از جمله این عوامل نسبت آب به سیمان (W/C) بوده که ازدیاد آن نفوذپذیری بتن را افزایش می‌دهد. بویژه در نسبت‌های آب به سیمان بیشتر از ۰/۶ بر اثر تخلخل موئینگی، نفوذپذیری بطور قابل ملاحظه‌ای افزایش می‌یابد. در شکل شماره ۲-۵ رابطه نفوذپذیری و نسبت آب به سیمان نشان داده شده است.



شکل شماره ۲-۵- اثر نسبت آب به سیمان بر نفوذپذیری. برای W/C= 0.6 ، نفوذپذیری معادل ۱۰۰ در نظر گرفته شده است.

از عوامل موثر دیگر عمل آوردن است که در نفوذ پذیری سطح بتن تاثیری بسزا دارد. باد و درجه حرارت زیاد از عوامل مهم و منفی در عمل‌آوری بشمار می‌روند. اثر عمل‌آوری و تراکم خوب و بد در شکل شماره ۲-۶ نشان داده شده است.

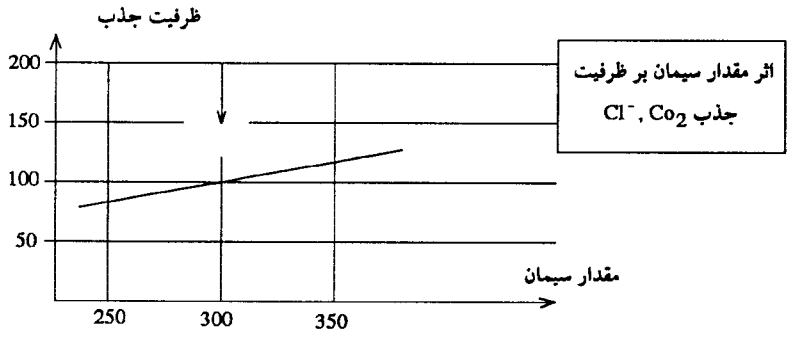


شکل شماره ۲-۶- اثر عمل‌آوری و تراکم بتن بر نفوذپذیری آن

یکی دیگر از عوامل مهم و موثر در نفوذپذیری بتن، مقدار سیمان است. با افزایش میزان سیمان ظرفیت جذب یون کلرید و دی‌اکسیدکربن افزایش می‌یابد. با این وجود برای مقادیر متعارف سیمان در بتن، درجه نفوذ یون کلرید یا دی‌اکسید کربن، به نسبت آب به سیمان، کیفیت تراکم و عمل‌آوری بتن بیشتر از میزان سیمان، بستگی دارد.

البته میزان سیمان بر کارآیی بتن نیز تاثیر دارد. برای حصول کارآیی مناسب میزان سیمان نباید کمتر از ۳۰۰ کیلوگرم در متر مکعب بتن باشد. شکل شماره ۲-۷ اثر میزان سیمان مصرفی بر ظرفیت جذب یون کلر را نشان می‌دهد.

اثر مقدار سیمان به ظرفیت جذب Co_2 , Cl^-



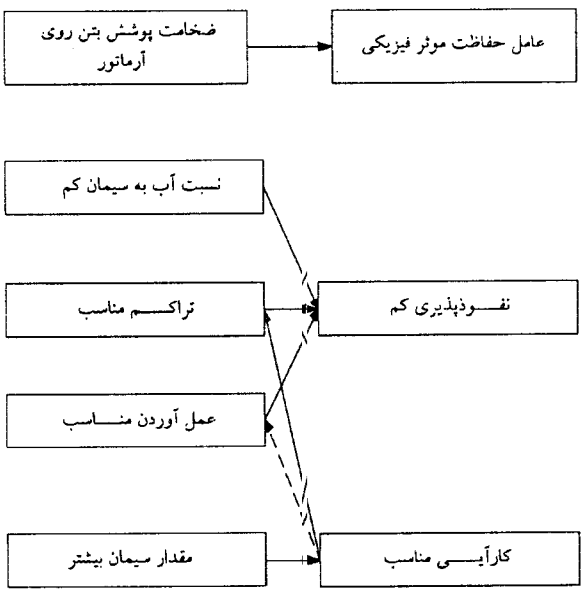
شکل شماره ۲-۷

نوع سیمان نیز در نفوذ یون کلر و خورگی کلروری موثر است. برای مثال سیمان ضد سولفات (سیمان پرتلند حاوی کمتر از ۵ درصد تری‌کلسیم آلومینات) که استفاده از آن در نواحی گرمسیری بسیار متداول است مقاومت کمی در قبال حمله یون کلرید دارد. بنابراین استفاده از این نوع سیمان در این نواحی نمی‌تواند راه حل موثری تلقی گردد. در این مناطق که عموماً خطر حمله توام سولفاتها و کلریدها وجود دارد استفاده از سیمان نوع دو موثرتر از سیمان نوع پنج است. البته در شرایطی که شدت حمله سولفاتها زیاد باشد، لازم است تدابیر ویژه دیگری نظیر استفاده از سیمانهای آمیخته[1] با مواد ثانوی، چون سیمانهای پوزولانی[2]، روباره‌ای[3]، خاکستر بادی[4] و یا میکروسیلیس[5]، اتخاذ گردد. البته در بعضی موارد اجرای پوشش حفاظتی نهائی نیز ضرورت دارد که از جمله می‌توان در مناطق دریائی از ناحیه تر و خشک شدن متناوب سازه و ترشح آب[6] نام برد.

1 Blended cement
2 Pozzolanic Cement
3 Slag Cement
4 Flyash = Pulverized fuel ahs
5 Micro Silica
6 Splash Zone

توصیه می‌شود در این قسمتها از پوشش مقاوم در مقابل حمله و نفوذ سولفاتها و کلرورها نظیر پوشش های اپوکسی استفاده شود. در مورد بتن‌های ویژه و سیمانهای آمیخته که یکی از دلایل کاربرد آنها دوام بالاترشان نسبت به سیمان و بتن معمولی است، در بخش بتن‌های ویژه (فصل هفتم) به تفصیل سخن گفته خواهد شد.

بلحاظ اهمیت این نوع خوردگی در نواحی گرمسیری، نتایج بدست آمده در شکل شماره ۲-۸ نشان داده شده است.

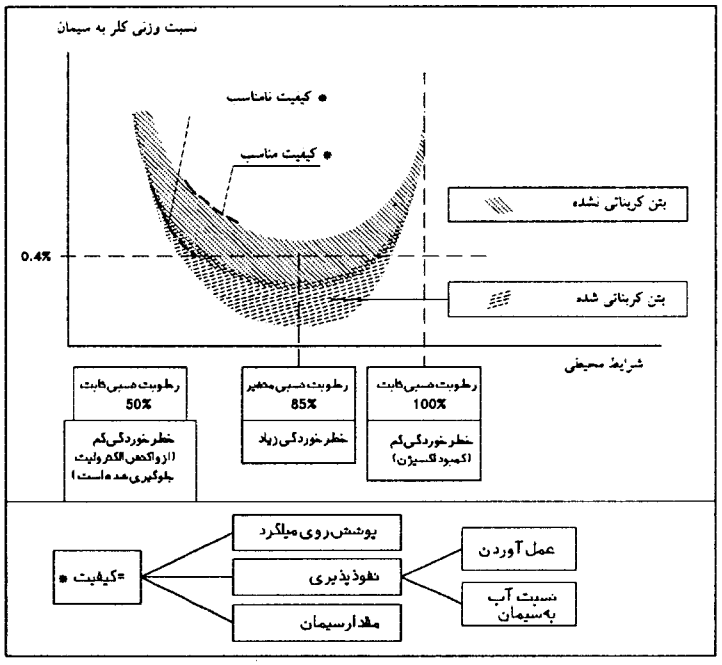


شکل شماره ۲-۸

۲-۳-۲-۲- درصد بحرانی یون کلر

درصد بحرانی یون کلر که نشاندهنده آستانه خوردگی میلگرد در بتن است به عوامل متعددی بستگی دارد، بنابراین نمی‌توان مقدار مشخص را برای درصد بحرانی یون کلر تعیین کرد. این مطلب در شکل شماره ۲-۹ نشان داده شده است. همانطوریکه در شکل مشاهده می‌شود اگر بتن کربناتی نشده باشد ۰/۴ درصد وزن سیمان برای درصد بحرانی

یون کلر، فرض مناسبی است. همانطور که روی شکل نشان داده شده بسته به ویژگی‌های بتن این حد می‌تواند خیلی بیشتر یا کمتر باشد. حداکثر مجاز یون کلرید در بتن در آئین‌نامه بتن ایران برحسب نوع قطعه بتنی مشخص شده است این مقادیر بشرح جدول شماره ۲-۲ است.



شکل ۲-۹

جدول ۲-۲- حداکثر مجاز یون کلرید از نظر خوردگی

نوع قطعه بتنی	حداکثر کلرید قابل حل در آب در بتن، درصد نسبت به وزن سیمان
بتن پیش تنیده	۰/۰۶
بتن‌آرمه‌ای که در زمان بهره‌برداری در معرض رطوبت و کلریدها قرار گیرد.	۰/۱۵
بتن‌آرمه‌ای که در زمان بهره‌برداری درحالت خشک باشد یا از رطوبت محافظت شود.	۱/۰۰
سایر سازه‌های بتن‌آرمه	۰/۳۰

۲-۳-۳- حمله سولفاتها[1]

۲-۳-۳-۱- مکانیزم حمله سولفاتها

خرابی سولفاتی که از دیر باز شناخته شده، بر اثر ترکیب یون سولفات و تری‌کلسیم آلومینات (C3A) در بتن‌های ساخته شده با سیمان پرتلند بوجود می‌آید و مکانیزم آن بدین ترتیب است که بر اثر واکنش مذکور، «سولفوآلومینات کلسیم[2] آبدار، یا به گفته اروپائیان میکرب سیمان» حاصل می‌شود که از نمک‌های مضاعف اسید آلومینیک می‌باشد. این نمک مضاعف حجیم حاوی مقدار زیادی آب است که سبب انبساط و در نتیجه ترک‌خوردگی بتن و انهدام آن می‌گردد. بعنوان مثال فعل و انفعالات سولفات سدیم با هیدروکسید کلسیم بشرح زیراست:

$$Ca(OH)_2 + Na_2SO_4 + 10H_2O \rightarrow CaSO_4.2H_2O + 2NaOH + 8H_2O$$

$$2(3CaO.Al_2O_3.12H_2O) + 3(Na_2SO_4.10H_2O) \rightarrow 3CaSO_4.31H_2O + 3CaO.Al_2O_3 + 2Al(OH)_2 + 6NaOH + 17H_2O.$$

محصولات و آثار واکنشهای فوق بشرح زیر است:

الف- گچ ($CaSO_4 . 2H_2O$) که حدود ۱۲۴ درصد افزایش حجم ایجاد کرده و موجب ضعف و انهدام بتن و کاهش مقاومت آن می‌گردد.

ب- سولفوآلومینات کلسیم ($3CaO . Al_2O_3 . 3CaSO_4 . 31H_2O$) که باعث افزایش حجم حدود ۲۳۰ درصد در بتن می‌گردد بر اثر این افزایش حجم سطح بتن دچار ترک‌خوردگی[3] و پکیدگی[4] می‌شود. سایر سولفاتها نیز آثار تخریبی مشابهی را بر جای می‌گذارند از جمله سولفات کلسیم که فقط با هیدروآلومینات کلسیم ترکیب شده و نتیجه آن سولفوآلومینات کلسیم[5] است. اثر تخریبی سولفات منیزیم به مراتب شدیدتر از سایر سولفاتهاست و علاوه بر هیدروکسیدکلسیم و هیدروآلومینات کلسیم

1 Sulfate a ttack
2 Ettringite [$Ca_6Al_2(SO_4)_3(OH)_{12} . 26H_2O$]
3 Cracking
4 Spalling
5 Ettringite

روی سایر ترکیبات آبدیده[1] نیز تاثیر می‌گذارد.

شدت اثر سولفات بستگی به غلظت محلول آن دارد. تر و خشک شدن سطح بتن، این اثر را شدت می‌بخشد. بتن‌هایی که در معرض حمله سولفاتها قرار می‌گیرند معمولاً با سطحی سفید رنگ مشخص می‌شوند. در این موارد خرابی بتن معمولاً از لبه‌ها و گوشه‌ها شروع شده و با پیشرفت خرابی ترک و پکیدن حادث می‌گردد.

۲-۳-۳-۲- مکانیزم حمله سولفاتها توسط آب دریا

آب دریا حاوی انواع سولفاتها بوده و بطریقی که قبلاً تشریح شد، بر بتن اثر می‌گذارد. علاوه بر واکنش شیمیایی، تشکیل بلور املاح در منافذ بتن و فشارهای ناشی از آن نیز، ممکن است باعث گسیختگی[2] بتن سازه‌های دریایی گردد. چون تبلور در نقطه تبخیر آب صورت می‌گیرد، این عمل در بتنی که بالای سطح آب قرار دارد رخ می‌دهد. البته نمکهای محلول بر اثر خاصیت موئینگی بطرف بالا حرکت کرده و در بالای سطح آب نیز امکان تبلور را فراهم می‌کنند. بنابراین نفوذپذیری بتن در این نوع حملات نیز نقش بسزائی را ایفا می‌کند. بتنی که در محدوده تراز جزر و مد آب دریا واقع است و بطور متناوب تر و خشک می‌شود بشدت مورد حمله قرار می‌گیرد. در حالیکه بتن‌هایی که همیشه زیر تراز آب قرار می‌گیرند کمترین صدمات را متحمل می‌شوند. پیشرفت حمله سولفاتی توسط آب دریا در ابتدا سریع بوده و سپس بر اثر پر شدن منافذ بتن با رسوبات هیدروکسید منیزیم، کند می‌گردد ولی در آب و هوای حاره‌ای فعل و انفعالات یاد شده با سرعت بیشتری رخ می‌دهند. بر خلاف حمله نمکهای سولفاتی موجود در خاک و آب زیرزمینی، حمله شیمیایی آب دریا موجب انبساط بتن نخواهد شد. این امر عمدتاً ناشی از وجود مقادیر زیاد کلریدها در آب دریاست، که سبب انحلال بیشتر گچ و سولفوآلومینات کلسیم در مقایسه با آب معمولی خواهد شد. از این راه مواد فوق‌الذکر

1 Hydrated
2 Rupture

بخارج بتن راه می‌یابند.

۲-۳-۳-۳- عملکرد پوزولانها در مقابله با خرابی سولفاتی

اصولاً اکثر مواد پوزولانی مقاومت بتن را در مقابل حمله سولفاتها افزایش می‌دهند. اما مکانیزم این پدیده هنوز مورد پرسش است. ساده‌ترین توجیه این است که با استفاده از پوزولان بجای بخشی از سیمان پرتلند، مقدار سیمان مصرفی و در نتیجه درصد C3A در کل مخلوط کاهش می‌یابد.

بعلاوه مصرف پوزولانها در بتن، سبب کاهش نفوذپذیری آن می‌گردد. بدین صورت که ژل سیلیکات کلسیم آبدیده که در اثر واکنش بین پوزولان و هیدروکسید کلسیم بوجود می‌آید. بصورت پوششی عایق گونه روی سطوح فازهای آلومین تهنشین شده و باعث افزایش مقاومت در مقابل انحلال ناشی از حمله سولفاتها می‌گردد.

۲-۳-۳-۴- روشهای پیشگیری و مقابله با حمله سولفاتی

مقاومت سیمان در مقابل حمله سولفاتها را می‌توان با افزودن مواد پوزولانی مانند پوزولان‌های طبیعی روباره آهن‌گدازی[1]، میکروسیلیس و خاکستری بادی به آن و یا حتی جایگزین نمودن بخشی از سیمان با مواد پوزولانی افزایش داد.

در ضمن آسیب‌پذیری بتن در مقابل حمله سولفاتها را می‌توان با مصرف سیمانی که سه کلسیم آلومینات[2] (C3A) آن کم باشد، کاهش داد. از لحاظ عملکرد در آبهای حاوی سولفات سیمان با ۷ درصد سه کلسیم آلومینات[3] در مرز تقریبی بین سیمانهای خوب و ضعیف قرار می‌گیرد ولی بنظر می‌رسد که هنوز عوامل ناشناخته دیگری در ارتباط با مقاومت سیمان در برابر حملات سولفاتها وجود داشته باشد. در آئین‌نامه‌ها میزان سه کلسیم آلومینات سیمان بلحاظ حمله سولفاتها محدود می‌شود. در استاندارد ایران که بر

1 Blast-furnace slag
2 Triealcium Aluminate (C3A)

اساس ASTM-C150 تدوین شده، میزان C3A در سیمان ضد سولفات (نوع ۵) به ۵ درصد، کل مقدار چهارکلسیم آلومینوفریت (C4AF) بعلاوه دو برابر سه کلسیم آلومینات (C3A) به ۲۰ درصد و مقدار منیزیم نیز به ۶ درصد محدود شده است. در آئین‌نامه بتن ایران توصیه‌هائی در مورد حمله سولفاتها بعمل آمده و مقادیر مجاز سولفات در سنگدانه‌ها و آب اختلاط در جداول فصل سوم آیین‌نامه، و خاک و آب مجاور بتن همراه با تدابیر احتیاطی و توصیه‌ها در جداول فصل ششم آیین‌نامه، ارائه شده است.

یکی از روشهای اساسی برای کند یا متوقف ساختن حمله سولفاتها غیر قابل نفوذ کردن بتن است. عوامل موثر در نفوذ پذیری بتن در بخش خرابی کلروری به تفصیل مورد بحث قرار گرفت، نسبت آب به سیمان کم، تراکم زیاد و عمل‌آوری مناسب و کافی مهمترین نکاتیست که باید همواره مدنظر قرار گیرد.

اگر بتن قبل از آنکه در معرض سولفاتها قرار گیرد، خشک شود مقاومت آن در برابر حمله سولفاتها افزایش می‌یابد. در این فرصت تشکیل قشری از کربنات کلسیم (در اثر واکنش دی اکسید کربن با آهک) منافذ را پر نموده در نتیجه نفوذپذیری لایه سطحی بتن کاهش می‌یابد. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که بتن پیش‌ساخته، کمتر از بتن درجا، در برابر حمله سولفاتها آسیب‌پذیر است.

علیرغم مقاومت خوب سیمان ضد سولفات (نوع ۵) در مقابل سولفاتها باید توجه داشت که کاهش میزان سه کلسیم آلومینات در این نوع سیمان، مقاومت آنرا در مقابل خوردگی کاهش می‌دهد که این امر ناشی از خاصیت جذب یون کلرید توسط سه کلسیم آلومینات است. بنابراین استفاده از این نوع سیمان با مقدار کم C3A در نقاط گرمسیری جنوب کشور که یون کلرید در آب و خاک بوفور یافت می‌شود راه حل مناسبی نبوده و بسته به مورد، استفاده از سیمان با مقدار سه کلسیم آلومینات بین ۵ تا ۸ درصد و در صورت زیادی یون سولفات، بکار بردن سیمان پوزولانی راه حل موثرتری خواهد بود. در ضمن باید توجه داشت که در درجه حرارتهای زیاد، آسیب‌پذیری بتن در اثر نمکهای

3 Tetraedlcium Aluminoferrite (C4AF)

مضاعف مانند "اترینگایت" کمتر است، علت این امر کاهش حلالیت اترینگایت در درجه حرارتهای زیاد است که موجب رسوب و عدم انبساط آن خواهد شد.

تجربه عملی در بررسی سازه‌های تخریب شده بر اثر حملات شیمیایی در حاشیه خلیج فارس حاکی از آنست که خرابیها در این نقاط عمدتاً بلحاظ خوردگی کلریدی است که بر خلاف خرابی سولفاتی، شدت آن با افزایش درجه حرارت محیط افزایش می‌یابد، و متاسفانه سیمان ضد سولفات (نوع ۵) با درصد کم C3A در تسریع این نوع خرابی موثر است. البته همانطوریکه ذکر شد عامل عمده در کاهش سرعت یا متوقف کردن خرابی‌ها اعم از کلریدی و سولفاتی در درجه اول نفوذناپذیری بتن است و نوع سیمان در درجه دوم اهمیت قرار دارد.

۲-۳-۴- واکنش قلیایی و کربناتی سنگدانه‌ها

بعضی سنگ‌ها و مواد معدنی مانند برخی چرت‌ها و سنگ آهکهای دولومیتی با قلیایی‌های سیمان (K_2O , Na_2O) از خود واکنش نشان می‌دهند، این واکنش‌ها با انبساط همراهند و موجب ترک‌خوردگی سطح بتن می‌گردند. غیر از دوعامل مهم واکنش قلیایی سنگدانه‌ها و زیاد بودن قلیاییت سیمان، رطوبت بتن و دمای محیط (بین ۱۰ تا ۳۰ درجه سلسیوس) نیز به ترتیب برای وقوع و شدت بخشیدن به این واکنش‌ها ضروری هستند. تر و خشک شدن متناوب نیز سرعت و شدت فعل و انفعالات را افزایش می‌دهد. پدیده مذکور باعث خرابی‌های وسیع سازه‌های بتنی بویژه پل‌ها در کشورهای اروپائی شده است. چنانچه شرایط زیر برقرار باشند تدابیر ویژه‌ای برای پیشگیری از بروز این نوع خرابی لازم نیست:

الف- از سنگدانه‌های معادن شناخته شده‌ای استفاده شود که مصرف آنها حتی با سیمانهای حاوی مقادیر زیاد و مواد قلیایی موجب هیچگونه خرابی نشده باشد.

ب- بتن در محیط خشک قرار گیرد.

پ- سنگدانه‌ها فاقد سیلیس فعال باشند.

سنگدانه‌هائی که از سنگهای کربناتی فعال تشکیل شده باشند با قلیاییهای سیمان ترکیب می‌شوند، گرچه این واکنش منحصر به مناطق گرمسیر نیست، لیکن در این مناطق آثار تخریبی انبساط بعلت درجه حرارت زیاد محیط سریعتر و مشخص‌تر ظاهر می‌گردد.

این سنگها عموماً با ترکیباتی از رس، کلسیت و دولومیت (معدنی فعال) و یا سنگ آهک دولومیتی همراه با رس (سنگهای با معدنی فعال) می‌باشند.

سنگهائی که در این مورد غیرفعال هستند عبارتند از سنگهای ماگمائی، سنگهای فاقد کلسیت و دولومیت و همچنین سنگ آهک خالص و سنگ آهک دولومیتی بدون رس. در صورتیکه از سنگدانه‌ها سابقه‌ای در دست نباشد و تردیدی در سالم بودن آنها از نظر شیمیایی وجود داشته باشد، انجام آزمایشهای شیمیایی و سنگ نگاری[1] الزامی است. در اینحالت توصیه میشود که حداکثر مقدار اکسیدهای قلیایی سیمان به ۰/۶ درصد وزن سیمان محدود شوند. استفاده از مواد پوزولانی همراه با سیمان بعنوان بخشی از مواد چسباننده[2] نیز نتایج مطلوبی ببار آورده است. بعنوان مثال با مصرف میکروسیلیس بجای قسمتی از سیمان مصرفی نه تنها درصد اکسیدهای قلیایی در مخلوط بر اثر کم شدن مقدار سیمان کاهش می‌یابد. بلکه ترکیب میکروسیلیس با قلیایی‌های سیمان، خطر ترکیب آنها را با سیلیس سنگدانه‌ها بمیزان قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌دهد.

1 Petrography

2 Bonding dgent

فهرست مراجع و منابع

الف- مراجع فارسی

۱- بتن در مناطق گرمسیر، معاونت فنی دفتر تحقیقات و معیارهای فنی سازمان برنامه و بودجه.

۲- بتن شناسی (خواص بتن) تالیف پروفسور نویل، ترجمه دکتر هرمز فامیلی.

۳- مجموعه مقالات سمینار بین‌المللی بتن سالهای ۷۱،۶۹،۶۷ سازمان برنامه و بودجه - دفتر تحقیقات و معیارهای فنی.

۴- گزارش مرحله اول طرح تعمیرات بتن در تصفیه‌خانه‌های مرغزار و سربندر، مهندسین مشاور تهران- بوستن.

ب- مراجع انگلیسی

1. Dr.P.Schiebl
Protection of reinforcement,
First version,CEB-Working Guide for Durable concrete structures,CEB-Rilem international workshop.

2. Deterioration and repair of reinforced concrete in the Persian gulf, proceeding of 2nd & 4th international conference.

3. Steel corrosion in concrete, causes and restraints, ACI , SP-102.

4. ACI manual of concrete practice, 1988 . Part.1 (MCP-1)

5. Dr.A.A.Ramazanianpour , A study of the concrete deterioration in the south coasts of iran, international conference on diagnosis of concrete structures. Rilem , sept, 1991 Bratislava.

فصل سوم

مصالح

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
فصل سوم – مصالح	
۳-۱- مقدمه	۱
۳-۱-۱- نقش و اهمیت سنگدانه‌ها در بتن	۱
۳-۱-۲- مواد زیان‌آور در سنگدانه‌ها	۲
۳-۱-۳- دمای سنگدانه‌ها و تاثیر آن بر بتن‌ریزی	۸
۳-۱-۴- دانه‌بندی مصالح سنگی	۸
۳-۱-۵- خواص فیزیکی و مکانیکی سنگدانه‌ها	۸
۳-۲- آب	۱۰
۳-۲-۱- آب مناسب برای اختلاط بتن	۱۰
۳-۲-۲- آثار برخی ناخالصیهای آب اختلاط بر کیفیت بتن	۱۱
۳-۲-۳- مقدار مجاز مواد محلول در آب	۱۳
۳-۲-۴- دمای آب و آثار آن بر بتن‌ریزی در مناطق گرمسیر	۱۵
۳-۲-۵- میزان آب مصرفی در بتن	۱۸
۳-۳- سیمان پرتلند	۲۱
۳-۳-۱- انواع سیمانهای پرتلند	۲۱
۳-۳-۲- نقش میزان کلسیم آلومینات سیمان در رویارویی با سولفاتها و کلرورها	۲۶

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
۳-۳-۳- انبار کردن سیمان در مناطق گرم و مرطوب	۲۷
۳-۴- مواد پوزولانی	۲۸
۳-۴-۱- پوزولانهای طبیعی	۲۹
۳-۴-۲- کلیاتی درباره پوزولانهای مصنوعی	۳۰
۳-۵- مواد افزودنی	۳۵
۳-۵-۱- انواع مواد افزودنی و تاثیر آنها بر ویژگیهای بتنی	۳۵
۳-۵-۲- توصیه‌هایی برای استفاده از مواد افزودنی	۳۸
۳-۵-۳- کاربرد توام مواد افزودنی با یکدیگر	۳۹
۳-۵-۴- کاربرد روانسازها و روان‌کننده‌های قوی	۴۰
۳-۶- فولاد	۴۰
۳-۶-۱- کلیات	۴۰
۳-۶-۲- فولادهای گالوانیزه	۴۱
۳-۶-۳- فولادهای با پوشش اپوکسی	۴۲
۳-۶-۴- فولادهای آلیاژی و ضدزنگ	۴۳
نتیجه‌گیری	۴۴
فهرست‌مراجع و منابع	۴۵

فصل سوم- مصالـــح

مقدمه

ویژگی‌های مصالح تشکیل‌دهنده بتن نقشی تعیین کننده در پایایی بتن در مناطق گرمسیری دارند. خواص فیزیکی، شیمیائی، الکتروشیمیائی و مکانیکی مصالح در این ارتباط اهمیت فراوان دارند. میزان ناخالصی‌ها بویژه در سنگدانه‌ها و آب نکاتی است که باید در بررسی و انتخاب مصالح مدنظر باشد.

در این فصل ویژگی‌های مصالح بتن و بتن‌آرمه یعنی سنگدانه‌ها، سیمان، آب، مواد افزودنی و فولاد، مورد بحث قرار می‌گیرند.

❑ ۳-۱ سنگدانه‌ها

۳-۱-۱- نقش و اهمیت سنگدانه‌ها در بتن

سنگدانه‌های بتن تقریباً سه چهارم حجم آن را تشکیل می‌دهند. از این رو کیفیت آنها از اهمیتی ویژه برخوردار است. سنگدانه‌ها نه تنها در مقاومت بتن بسیار موثرند، بلکه دوام و پایداری بتن نیز، تا حد زیادی تحت تاثیر ویژگی این مواد قرار می‌گیرد.

از نظر اقتصادی مصرف هر چه بیشتر سنگدانه در بتن که نتیجه آن کم کردن مصرف سیمان خواهد بود سودمند می‌باشد. جنبه اقتصادی نسبت‌های اختلاط باید با ویژگی‌های بتن تازه و سخت شده، سازگار باشد.

دانه‌های سنگی طبیعی معمولاً در اثر هوازدگی و فرسایش و یا بطور مصنوعی از طریق خرد کردن سنگهای مادر حاصل می‌شوند.

بنابراین بسیاری از خواص سنگدانه‌ها نظیر ترکیبات شیمیایی و کانی‌های تشکیل دهنده، طبقه‌بندی و مشخصات از نظر سنگ‌شناسی، جرم واحد حجم[1]، سختی[2] و مقاومت[3]، پایداری[4] فیزیکی و شیمیایی، تخلخل[5]، رنگ و خواص دیگر بستگی به خصوصیات سنگ مادر دارد. بعلاوه خواص دیگری مانند شکل و اندازه دانه‌ها، بافت[6] و جذب سطحی[7] در سنگدانه‌ها مطرح است که ارتباطی به سنگ مادر ندارد. تمامی این ویژگی‌ها آثار قابل ملاحظه‌ای بر کیفیت بتن تازه و سخت شده خواهند داشت.

۳-۱-۲- مواد زیان‌آور[8] در سنگدانه‌ها

بطور کلی مواد زیان‌آور در سنگدانه‌ها ممکن است بیکی از شکل‌های زیر ظاهر شوند:

الف- ناخالصیهایی که در فرآیند آبگیری[9] سیمان دخالت می‌کنند.

ب- قشرهای پوششی که مانع از چسبندگی[10] کامل بین سنگدانه‌ها و خمیر سیمان می‌شوند.

پ- سنگدانه‌هایی که بخودی خود ضعیف و ناسالم می‌باشند.

سنگدانه‌های طبیعی ممکن است خود به اندازه کافی سخت بوده و در مقابل سایش مقاوم باشند، ولی چنانچه بعضی ناخالصیهای آلی که در واکنشهای شیمیایی آبگیری سیمان موثرند دارای نقاط ضعیفی باشند، مصرف آنها در بتن موجب بروز اشکالاتی خواهد شد.

مواد آلی که در سنگدانه‌ها یافت می‌شوند، معمولاً حاصل پوسیدن مواد نباتی

1 Density
2 Stiffness
3 Strength
4 Stability
5 Porosity
6 Texture
7 Adsorption
8 Impurities
9 Hydration
10 Adhesion = Bond = Cohesion

(عمدتا" اسید تانیک و مشتقات آن) می‌باشند. احتمال وجود چنین موادی در ماسه بیشتر از سنگدانه‌های درشت است که به آسانی قابل شستشو هستند.

همچنین امکان دارد خاک رس بصورت قشرهایی روی سطح سنگدانه‌ها موجود باشد که در اینصورت مانع چسبندگی دانه‌ها و خمیر سیمان خواهد شد.

لای و گرد و خاک سنگ شکن، نوع دیگری از مواد ریزدانه زیان‌آور است که با شستشوی کافی از بین می‌رود.

مواد نرم دیگر را نیز که خوب به دانه‌ها نچسبیده‌اند می‌توان در جریان مراحل تولید سنگدانه‌ها از بین برد، ولی نمی‌توان موادی که کاملا" به دانه‌ها چسبیده‌اند بدین طریق از میان برداشت. اگر این مواد در واکنش‌های شیمیایی گیرش سیمان شرکت نداشته و فاقد هرگونه اثر زیان‌آور باشند، ایرادی در مصرف سنگدانه‌های حاوی این مواد وجود نخواهد داشت.

در این مورد تنها امکان افزایش جمع‌شدگی[1] بتن وجود دارد. اما سنگدانه‌هایی که روی آنها قشرهایی از مواد شیمیایی فعال وجود داشته باشد، حتی اگر از لحاظ فیزیکی با ثبات نیز باشند، می‌توانند سبب ایجاد مسائل جدی در بتن گردند.

ماسه‌ای که از دریا و یا مصب روخانه‌ها استخراج می‌شود، حاوی املاح گوناگون است و باید قبل از مصرف، عملیاتی روی آن صورت گیرد. ضروری‌ترین کار آن است که این نوع ماسه‌ها با آب آشامیدنی شسته شوند. اما در مورد لایه‌هایی که درست در بالای تراز مد قرار گرفته‌اند و ممکن است مقدار املاح آنها در بعضی مواقع بیش از ۶ درصد وزن ماسه باشد دقت ویژه لازم است. اگر املاح ماسه جدا نشوند، پس از مصرف در بتن رطوبت هوا را جذب کرده و سبب ایجاد سفیدک در سطح بتن می‌شوند. این شرایط ممکن است باعث خوردگی آرماتورهای داخل بتن شود.

سنگ رسی و دانه‌های دیگر با وزن مخصوص کم و همچنین ذرات سست مانند

1 Shrinkage

کلوخه‌های خاک رس، چوب و ذغال جزو مواد ناسالم محسوب می‌شوند. این مواد زیان‌آور سبب آبله رویی[1] و پوسته شدن[2] بتن می‌گردند. اگر مقادیر زیادی (بیش از ۲ تا ۵ درصد وزنی) از این ذرات در سنگدانه‌ها وجود داشته باشند، مقاومت بتن کاهش پیدا می‌کند که این امر در بتن‌هایی که در معرض سایش قرار می‌گیرند، قطعاً ایجاد اشکال خواهد کرد. دانه‌های درشت ذغال علاوه بر اینکه سست و کم مقاومت هستند بعلت تورم[3] سبب گسیختگی بتن می‌گردند. در صورتی که دانه‌های ذغال بصورت پودر باشند فرآیند سخت شدن سیمان دچار اختلال خواهد شد.

وجود میکا در سنگدانه‌ها بدلایل مشروح زیر نامطلوب است:

اولاً میکا در حضور عوامل شیمیایی فعالی که در جریان آبگیری سیمان تولید می‌شوند، به شکلهای دیگری تغییر می‌یابد. ثانیاً وجود میکای آزاد در سنگدانه‌های ریز حتی در مقادیر بسیار کم، مقدار آب لازم برای اختلاط بتن را افزایش داده موجب کاهش مقاومت و افزایش نفوذپذیری خواهد شد.

گچ و سایر سولفاتها نیز نباید در سنگدانه‌ها وجود داشته باشند. وجود این مواد در بسیاری از سنگدانه‌های خاورمیانه از جمله ایران باعث بروز مشکلاتی شده است. لیکن میزان SO3 تا حد ۵ درصد وزن سیمان اغلب در این مناطق مجاز تلقی می‌شود. پیریت‌های آهن و مارکازیت متداولترین ذرات منبسط شونده در سنگدانه‌ها می‌باشند. این سولفیدها با آب و اکسیژن هوا ترکیب شده سولفات آهن ایجاد می‌کنند که سرانجام به هیدروکسید تبدیل می‌شوند.

یونهای سولفات با آلومینات کلسیم موجود در سیمان ترکیب می‌شوند، این فعل و انفعالات در محیطهای گرم و مرطوب سطح بتن را لکه‌دار می‌کنند و ممکن است باعث از هم پاشیدگی[4] خمیر سیمان و قلوه کن شدن[5] سطح بتن گردند.

1 Pitting
2 Scalling = peeling
3 Swelling
4 Decomposition
5 Spaliing

آئین‌نامه بتن ایران وضعیت مواد زیان‌آور در سنگدانه‌ها و اثر آنها بر ویژگیهای بتن و روشهای آزمایش را ارائه نموده است.

حداکثر مقادیر مجاز مواد زیان‌آور در سنگدانه‌های ریز و درشت در جدول‌های ۳-۱، ۳-۲ و ۳-۳ ارائه شده است.

جدول ۳-۱- مواد زیان‌آور در سنگدانه‌ها

مواد زیان‌آور	ویژگی‌های تاثیرپذیر بتن و اثر نهایی	روش آزمایش (آیین‌نامه بتن ایران)
ناخالصی‌های آلی	گیرش سیمان و روند کسب مقاومت، خرابی احتمالی	دت ۲۱۶ دت ۲۱۷
دانه‌های ریزتر از الک شماره ۲۰۰ (۰/۰۷۵ میلیمتر)	چسبندگی، افزایش مقدار آب لازم	دت ۲۱۸
ذغال‌سنگ، لیگنیت یا سایر مصالح سبک	پایایی، لکه دار شدن و بیرون‌پریدگی در بعضی قسمتها	دت ۲۱۹
دانه‌های نرم	پایایی	دت ۲۲۳
کلوخه‌های رسی و دانه‌های سست	کارآیی و پایایی، بیرون‌پریدگی احتمالی بعضی قسمتها	دت ۲۲۱
چرت‌هایی که براحتی از هم پاشیده می‌شوند یا چگالی کمتر از ۲/۳۵ دارند.	پایایی، بیرون‌پریدگی احتمالی بعضی قسمتها	دت ۲۱۹ دت ۲۰۵
سنگدانه‌های با واکنش قلیایی	انبساط غیر عادی، ترک‌های ریز سطحی بیرون‌پریدگی بعضی قسمتها، پایایی بتن	دت ۲۲۴ و ۲۲۶ و ۲۰۵ و ۲۲۷ و ۲۲۸

جدول ۳-۲- حداکثر مقادیر مجاز برای مواد زیان‌آور در سنگدانه‌های ریز بتن و روشهای آزمایش.

نوع ماده زیان‌آور	روش آزمایش	حداکثر درصد وزنی در کل نمونه
کلوخه‌های رسی و دانه‌های سست	دت ۲۲۱	۳
دانه‌های گذشته از الک شماره ۲۰۰ (۰/۰۷۵ میلیمتر).	دت ۲۱۸	
- بتن تحت سایش		۳ *
- سایر بتن‌ها		۵ *
ذغال سنگ، لیگنیت، یا سایر مصالح سبک:	دت ۲۱۹	
- هنگامی که نمای ظاهری بتن حائز اهمیت است.		۰/۵
- سایر بتن‌ها		۱
میکا	-	۱
سولفات‌ها برحسب (SO_3^{--})	دت ۲۳۰	۰/۴ **
کلریدها بر حسب (Cl^-)	دت ۲۳۱	۰/۰۴۰ ***

* در مورد ماسه شکسته، اگر دانه‌های گذشته از الک شماره ۲۰۰ متشکل از پودر سنگ و عاری از رس یا شیل باشند، می‌توان این مقادیر را به ترتیب به ۵ و ۷ درصد افزایش داد.

** مقدار کل سولفات قابل حل در آب بر حسب SO_3^{--} در مخلوط بتن و با احتساب مقدار SO_3^{--} موجود در سیمان، نباید از ۴ درصد بیشتر باشد و بهرحال مقدار کل سولفات موجود نباید از ۵ درصد وزن سیمان تجاوز کند.

*** مقدار کلرید قابل حل در آب در مخلوط بتن، بر حسب درصد وزن سیمان، نباید از مقادیر حداکثر مجاز داده شده در جدول ۶-۳-۳-۶ (آیین‌نامه بتن ایران) تجاوز کند.

جدول ۳-۳- حداکثر مقادیر مجاز برای مواد زیان‌آور در سنگدانه‌های درشت بتن و روشهای آزمایش.

نوع ماده زیان‌آور	روش آزمایش	حداکثر درصد وزنی در کل نمونه
کلوخه‌های رسی	دت ۲۲۱	۰/۲۵
دانه‌های نرم *	دت ۲۲۳	۵
چرت بصورت ناخالصی **		
- در معرض شرایط محیطی شدید		۱
- در معرض شرایط محیطی متوسط		۳
- در معرض شرایط محیطی ملایم		۵
دانه‌های گذشته از الک شماره ۲۰۰ (۰/۰۷۵ میلیمتر) (۷۵ میکرون)	دت ۲۱۸	۱ ***
زغال سنگ، لیگنیت، یا سایر مصالح سبک :		
- هنگامی که نمای ظاهر بتن حائز اهمیت است.	دت ۲۱۹	۰/۵
- سایر بتن‌ها		۱
دانه‌های سست شامل مجموع کلوخه‌های رسی، دانه‌های نرم، چرت هوازده، شیل‌ها و شیست‌های متورق هوازده:		
- بتن نمایان	-	۳
- بتن تحت سایش		۵
- سایر بتن‌ها		۷
سولفات‌ها بر حسب (SO_3^{--})	دت ۲۳۰	۰/۴ +
کلریدها بر حسب (CL^-)	دت ۲۳۱	۰/۰۲ ++

توضیحات جدول ۳-۳ :

* این محدودیت فقط در مواردی حاکم است که نرمی هر یک از دانه‌های درشت به تنهایی با توجه به عملکرد بتن جنبه بحرانی دارد، از قبیل کفهای پر تردد یا سایر مواردی که سختی سطح اهمیتی ویژه دارد.

** این گونه چرت در ۵ سیکل در آزمایش سلامت یا ۵۰ سیکل در آزمایش یخ زدن و آب شدن (۰ تا ۴ درجه سلسیوس) از هم می‌پاشند 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 آزمایش‌های عینی اطلاق می‌شود. این محدودیتها فقط در مورد سنگدانه‌هایی حاکم است که چرت به عنوان ناخالصی آنها تلقی شود و در مورد سنگهایی 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. برای ملاحظه طبقه‌بندی شرایط محیطی به زیر بند ۸-۳-۹-۱ (آیین‌نامه بتن ایران) رجوع شود.

*** در مورد دانه‌های شکسته، اگر دانه‌های گذشته از الک شماره ۲۰۰ متشکل از پودر و سنگ و عاری از رس یا شیل باشند، می‌توان این درصد را به ۱/۵ افزایش داد.

\+ مقدار کل سولفات قابل حل در آب بر حسب SO_3^{--} در مخلوط بتن و با احتساب SO_3^{--} موجود در سیمان، نباید از ۴ درصد بیشتر باشد، و بهرحال مقدار کل سولفات موجود نباید از ۵ درصد وزن سیمان تجاوز کند.

++ مقدار کلرید قابل حل در آب در مخلوط بتن، بر حسب درصد وزن سیمان، نباید از مقادیر حداکثر مجاز داده شده در جدول ۶-۳-۳-۶ (آیین‌نامه بتن ایران) تجاوز کند.

۳-۱-۳- دمای سنگدانه‌ها و تاثیر آن بر بتن‌ریزی

دمای سنگدانه‌ها اثر قابل توجهی بر دمای بتن تازه دارد، زیرا سنگدانه‌ها ۶۰ الـی ۸۰ درصد کل وزن بتن را تشکیل می‌دهند. در این تناسب گرمائی به منظور کاهش دمـای بتـن به مقدار ۵/۶درجه سلسیوس لازم است دمای دانـه‌ها فقـط ۹/۴ درجـه سلسـیوس کـاهش یابد.

می‌توان با روش‌های ساده دانه‌ها را خنک نمود. ممانعت از تـابش مسـتقیم خورشـید بر سنگدانه‌ها و مرطوب نگاهداشتن آنها آسانترین روشهاست.

غرقاب کردن دانه‌ها در مخازن آب سرد، یا عبور هوای خنک از میان انبـار دانـه‌ها از طریق تونل‌های عایق شده روش‌های دیگری برای خنک نگاهداشتن دانه‌هاست.

۳-۱-۴- دانه‌بندی مصالح سنگی

دانه‌بندی عبارتست از تفکیک دانه‌ها در اندازه‌های گونـاگون بـا اسـتفاده از الک‌هـای استاندارد و اختلاط آنها به مقادیر معین. دانه‌بندی و حداکثر اندازه دانه‌ها بر مقدار سیمان و آب، کارآیی، اقتصادی بودن، تخلخل، جمع‌شدگی و دوام بتن اثر دارد. ماسه‌های خیلی ریز اغلب غیر اقتصادی‌اند و ماسه‌های خیلی درشت بوجود آورنـده مخلوطهـای خشـن بـدون کـارآیی می‌باشـند. بطـور کلـی مصـالحی که دارای منحنـی دانـه‌بندی پیوسـته‌ای هسـتند رضایت‌بخش‌ترین نتایج را بدست می‌دهند.

۳-۱-۵- خواص فیزیکی و مکانیکی سنگدانه‌ها

خواص فیزیکی و مکانیکی سنگدانه‌ها بر کیفیت بتن تاثیر اساسی دارند. این ویژگیها عبارتند از:

الف- مقاومت فشاری

مقاومت فشاری بتن هیچگاه بیشتر از مقـاومت فشـاری سـنگدانه‌های مصـرف شـده نخواهد بود. بدست آوردن مقاومت فشاری سنگدانه‌ها به تنهائی مشـکل اسـت و معمـولا" اطلاعات لازم را باید از آزمایشهای غیر مستقیم مانند مقـاومت فشـاری نمونـه‌های سـنگی

خرد شده، ضریب خرد شدن انبوه سنگدانه‌ها و عملکرد سنگدانه‌ها در بتن بدست آورد. بطور کلی مقاومت سنگدانه‌ها به ترکیبات، بافت سطحی و ساختمان آنها بستگی دارد. کمی مقاومت سنگدانه‌ها می‌تواند ناشی از ضعیف بودن ذرات تشکیل دهنده آنها، بافت[1] مصالح و یا ضعف ماده چسباننده ذرات باشد.

ب- طاقت[2]

طاقت یکی از خواص مکانیکی سنگدانه‌هاست که بیانگر مقاومت دانه‌ها در برابر گسیختگی ناشی از بارهای ضربه‌ای است.

پ- سختی[3]

سختی یا مقاومت در برابر سایش بیانگر مقاومت بتن مصرف شده در جاده‌ها و کف‌هاییست که در معرض رفت و آمد زیاد قرار می‌گیرند.

ت- جرم واحد حجم[4]

از آنجا که سنگدانه‌ها عمدتاً حاوی فضای خالی قابل نفوذ و غیر قابل نفوذ می‌باشد، برایشان چند نوع جرم واحد حجم تعریف می‌شود.

اگر حجم مواد جامد با احتساب فضای خالی غیر قابل نفوذ در نظر گرفته شود، جرم مخصوص منتجه را جرم مخصوص ظاهری گویند. جرم مخصوص ظاهری سنگدانه‌ها به جرم واحد حجم کانی‌هائی که دانه‌های سنگی از آن ساخته شده‌اند و همچنین به مقدار فضای خالی داخل آنها بستگی دارد. اکثر سنگدانه‌های طبیعی دارای جرم مخصوص ظاهری بین ۲/۶ و ۲/۷ گرم بر سانتیمتر مکعب می‌باشند. در مواردی که سنگدانه‌ها عملاً بصورت حجمی پیمانه می‌شوند، دانستن وزن سنگدانه‌هایی که پیمانه واحد حجم را پر می‌کنند، ضروری خواهد بود. این کمیت بعنوان جرم مخصوص انبوهی شناخته می‌شود و از آن برای تبدیل مقادیر وزنی به مقادیر حجمی استفاده می‌شود.

1 Texture
2 Toughness
3 Stiffness
4 Density

ث- تخلخل و جذب آب

تخلخل، نفوذپذیری و جذب آب سنگدانه‌ها بر چسبندگی مصالح به خمیر سیمان، مقاومت بتن در برابر یخ زدن و آب شدن و همچنین بر ثبات شیمیایی و مقاومت در برابر سایش اثر دارد. قسمتی از فضای خالی سنگدانه‌ها کاملاً در داخل جسم جامد قرار می‌گیرند و بعضی دیگر در نزدیک سطح واقع شده و به خارج راه دارند.

خمیر سیمان بعلت لزجتی که دارد، نمی‌تواند بجز در مورد منافذ بزرگ سنگدانه‌ها، تا عمق زیادی نفوذ نماید. از اینرو بمنظور محاسبه میزان سنگدانه‌ها در بتن از حجم ناخالص سنگدانه‌ها که بصورت توپر در نظر گرفته می‌شوند، استفاده می‌شود. آب می‌تواند بداخل منافذ راه یابد، آهنگ نفوذ آب به اندازه، پیوستگی و کل حجم فضاهای خالی بستگی دارد.

❑ ۳-۲- آب

۳-۲-۱- آب مناسب برای اختلاط بتن

تقریباً آبهای قابل آشامیدن که فاقد مزه و بوی مشخص باشند را می‌توان به عنوان آب اختلاط برای ساختن بتن بکار برد. آبی را که مناسب بودن آن مورد تردید است، می‌توان برای ساختن بتن مصرف کرد، به شرطی که نمونه مکعبی ملات ساخته شده با آن دارای مقاومت ۷ روزه و ۲۸ روزه‌ای برابر با حداقل ۹۰ درصد مقاومت نمونه‌های مشابه ساخته شده با آب قابل شرب باشد. مکعب‌های ملات سیمان باید طبق آزمایش ASTM- C109 ساخته و آزمایش شوند. همچنین آزمایش سوزن ویکا طبق ASTM-C191 نیز باید انجام گیرد تا اطمینان حاصل شود که ناخالصی‌های آب اختلاط، زمان گیرش سیمان را بطور زیان‌آوری کاهش یا افزایش نمی‌دهند.

بعنوان یک قاعده کلی هر آبی که PH (درجه اسیدیته) آن بین ۶ تا ۸ باشد و طعم شور نداشته باشد می‌تواند برای بتن مصرف شود. رنگ تیره و بو در آب لزوماً وجود مواد

مضر در آب را به اثبات نمی‌رسانند.

آبهای طبیعی که کمی اسیدی باشند، برای بتن ضرری ندارند، لیکن آبی که دارای اسید هیومیک یا اسیدهای آلی دیگر باشد، بر سخت شدن بتن اثر نامطلوب دارد. لازم است این نوع آبها و نیز آبهای بادرجه قلیایی زیاد برای مصرف در بتن آزمایش شوند.

در پاره‌ای موارد به ناچار از آب دریا در مخلوط بتن استفاده شده است. آب دریا با داشتن حدود ۳/۵ درصد املاح محلول، مقاومت اولیه را بالا می‌برد ولی در دراز مدت موجب افت مقاومت بتن در حدود ۱۵ درصد می‌گردد. در مناطق گرمسیری مرطوب استفاده از آب دریا در بتن، خطر خوردگی فولاد را بشدت بالا می‌برد، از اینرو استفاده از آب دریا به هیچ عنوان در این مناطق مجاز نمی‌باشد.

در جدول شماره ۳-۴ نتایج تجزیه شش نمونه آب مصرفی شهر و آب دریا نشان داده شده است.

جدول ۳-۴- نتایج تجزیه کیفی آب مصرفی شهر و آب دریا (ارقام بر حسب قسمت در میلیون ppm)

شماره / تجزیه مواد	1	2	3	4	5	6	آب دریا *
سیلیس (SiO2)	2.4	0.0	6.5	9.4	22.0	3.0	-
آهن (Fe)	0.1	0.0	0.0	0.2	0.1	0.0	-
کلسیم (Ca)	5.8	15.3	29.5	96.0	3.0	1.3	50 - 480
منیزیم (Mg)	1.4	5.5	7.6	27.0	2.4	0.3	260 - 1410
سدیم (Na)	1.7	16.1	2.3	183.0	215.0	1.4	2190 - 12200
پتاسیم (K)	0.7	0.0	1.6	18.0	9.8	0.2	70 - 550
بی‌کربنات (HCO3)	14.0	35.8	122.0	334.0	549.0	4.1	-
سولفات (SO4)	9.7	59.9	5.3	121.0	11.0	2.6	580 - 2810
کلر (Cl)	2.0	3.0	1.4	280.0	22.0	1.0	3960 - 20000
نیترات (NO3)	0.5	0.0	1.6	0.2	0.5	0.0	-
کل ذرات محلول	31.0	250.0	125.0	983.0	564.0	19.0	35000

* دریاهای مختلف، حاوی مقادیر متفاوتی نمکهای محلول هستند.

۳-۲-۲- آثار برخی ناخالصیهای آب اختلاط برکیفیت بتن

ناخالصیهای آب اختلاط می‌توانند آثار نامطلوبی بر کیفیت بتن داشته باشند. زمان گیرش مقاومت و ثبات حجمی بتن از جمله ویژگیهایی هستند که تحت تاثیر کیفیت آب

قرار می‌گیرند. همچنین مصرف آبهای حاوی املاح موجب پیدایش شوره در سطح بتن و یا بروز خوردگی در آرماتور می‌شود. باید تا حد امکان از مصرف آبی که غلظت مواد محلول آن زیاد است خودداری شود. مقدار مجاز مواد زیان‌آور آب در بخش بعد مورد بررسی قرار خواهد گرفت. ذارت جامد معلق بیش از مقادیر مجاز، ممکن است اثری بر مقاومت نداشته باشند اما بهرحال سایر خواص بعضی از مخلوطهای بتن را تحت تاثیر قرار خواهند داد. آب گل‌آلود را باید قبل از مصرف از حوضچه‌های ته‌نشینی عبور داد یا به روش‌های دیگر تصفیه کرد تا مقدار لای و رس آن کاهش یابد.

آب خزه دار برای ساختن بتن مناسب نیست. زیرا خزه‌ها می‌توانند با تاثیر بر آبگیری سیمان یا ایجاد مقدار زیادی هوا در بتن، مقاومت را بسیار کاهش دهند. خزه‌ها ممکن است روی سنگدانه‌ها نیز موجود باشند که در این صورت چسبندگی بین خمیر سیمان و سنگدانه‌ها تقلیل می‌یابد. کربنات‌ها و بی‌کربنات‌های سدیم و پتاسیم آثار متفاوتی بر زمان گیرش سیمان‌های گوناگون دارند. کربنات سدیم می‌تواند باعث گیرش خیلی سریع شود و بی‌کربنات‌ها می‌توانند گیرش را تسریع یا کند نمایند. وجود این نمک‌ها با غلظت‌های زیاد می‌تواند مقاومت بتن را به گونه‌ای چشمگیر پایین آورد. زمانی که کل نمکهای محلول بیش از 1000PPM باشد باید برای تعیین آثار آنها بر زمان گیرش و مقاومت ۲۸ روزه آزمایشهایی صورت گیرد.

غلظت کربنات‌های کلسیم و منیزیم در آب چندان نیست که تاثیر قابل ملاحظه‌ای بر مقاومت بتن داشته باشد. در بعضی از آبها ممکن است بی‌کربناتهای کلسیم و منیزیم موجود باشند که تا حد ۴۰۰ قسمت در میلیون زیانی در بر ندارند.

مقدار کلرید زیاد در آب، عمدتا" به علت آثار زیان‌آور یون کلر بر خوردگی میلگردها یا کابلهای پیش‌تنیدگی باید به دقت تحت بررسی قرار گیرد. بهمین دلیل مقدار مجاز کلرید در آب مصرفی برای بتن بدون آرماتور بیشتر از کلرید مجاز برای آب مصرفی در بتن آرمه است.

وجود یون سولفات در آب نیز از آنجا که در بتن باعث تشکیل سولفات کلسیم و

سولفوآلومینات کلسیم شده و با ازدیاد حجم بتن موجب ترک‌خوردگی و تخریب می‌شود، دارای اهمیت است. آبی که از نظر مقادیر مجاز سولفات‌ها مورد تردید باشد، باید تحت آزمایش قرار گیرد. هر آبی که سخت و بسیار تلخ مزه باشد، باید از نظر در برداشتن سولفات‌ها با غلظت زیاد مشکوک تلقی شود.

۳-۲-۳- مقدار مجاز مواد محلول در آب

آب مورد مصرف برای ساختن بتن باید تمیز و صاف باشد. از مصرف آبی که حاوی مقادیر زیاد مواد مضر برای بتن یا آرماتور باشد باید جداً خودداری شود. این مواد مضر عبارتند از، روغنها، اسیدها، قلیاییها، املاح، مواد قندی و مواد آلی.

معمولاً کلرید سدیم و سولفات سدیم در آبهای طبیعی بیشتر از سایر املاح یافت می‌شوند. بطور کلی مقادیر مواد زیان‌آور در آب مورد مصرف در بتن نباید از مقادیر حداکثر مجاز ارائه شده در جداول شماره ۳-۵ و ۳-۵-۱ تجاوز کند.

جدول ۳-۵-[1] حداکثر مقادیر مجاز مواد زیان‌آور در آب مصرفی بتن و روشهای آزمایش

نوع مواد زیان‌آور		روش آزمایش	حداکثر غلظت مجاز (قسمت در میلیون)
ذرات جامد معلق	- بتن آرمه در شرایط محیطی[2] شدید، و بتن پیش‌تنیده	دت ۳۰۵	۱۰۰۰
	- بتن‌آرمه در شرایط محیطی ملایم و بتن بدون آرماتور		۲۰۰۰
مواد محلول	- بتن‌آرمه در شرایط محیطی شدید، و بتن پیش‌تنیده	دت ۳۰۵	۱۰۰۰
	- بتن آرمه در شرایط محیطی ملایم		۲۰۰۰
	- بتن بدون آرماتور و بدون اقلام فلزی مدفون		۳۵۰۰۰
کلرید (Cl)	- بتن‌آرمه در شرایط محیطی شدید، بتن پیش‌تنیده، و بتن عرشه پلها	دت ۳۰۶	۵۰۰[3]
	- سایر موارد بتن آرمه، در شرایط مرطوب، یا دارای مواد آلومینیومی یا فلزات غیر مشابه، یا دارای قالبهای گالوانیزه دائمی		۱۰۰۰[3]
	- بتن بدون آرماتور و بدون اقلام فلزی مدفون		۱۰۰۰
سولفات (SO4)	- بتن آرمه و بتن پیش‌تنیده	دت ۳۰۷	۱۰۰۰[3]
	- بتن بدون آرماتور و بدون اقلام فلزی مدفون		۳۰۰۰[4]
قلیایی‌ها	(Na 2O + 0.658 K2O)	دت ۳۰۴	۶۰۰

توضیحات :

۱- ماخذ آئین‌نامه بتن ایران، بخش اول

۲- در مورد شرایط محیطی به فصل ششم از بخش اول آیین‌نامه بتن ایران مراجعه شود.

۳- مقدار کل یون کلرید قابل حل در آب در مخلوط بتن بر حسب درصدی از وزن سیمان نباید از مقادیر حداکثر مجاز داده شده در جدول ۶-۳-۳-۶ (آیین‌نامه بتن ایران) تجاوز کند.

۴- مقدار کل سولفات قابل حل در آب بر حسب $So3^{--}$ در مخلوط بتن و با احتساب $So3^{--}$ موجود در سیمان نباید از ۴ درصد بیشتر باشد و بهرحال مقدار کل سولفات موجود نباید از ۵ درصد وزن سیمان تجاوز کند و نیز به جدول ۶-۳-۳-۳ (آیین‌نامه بتن ایران) در مورد بتن در معرض سولفات‌ها در شرایط گوناگون محیطی رجوع شود.

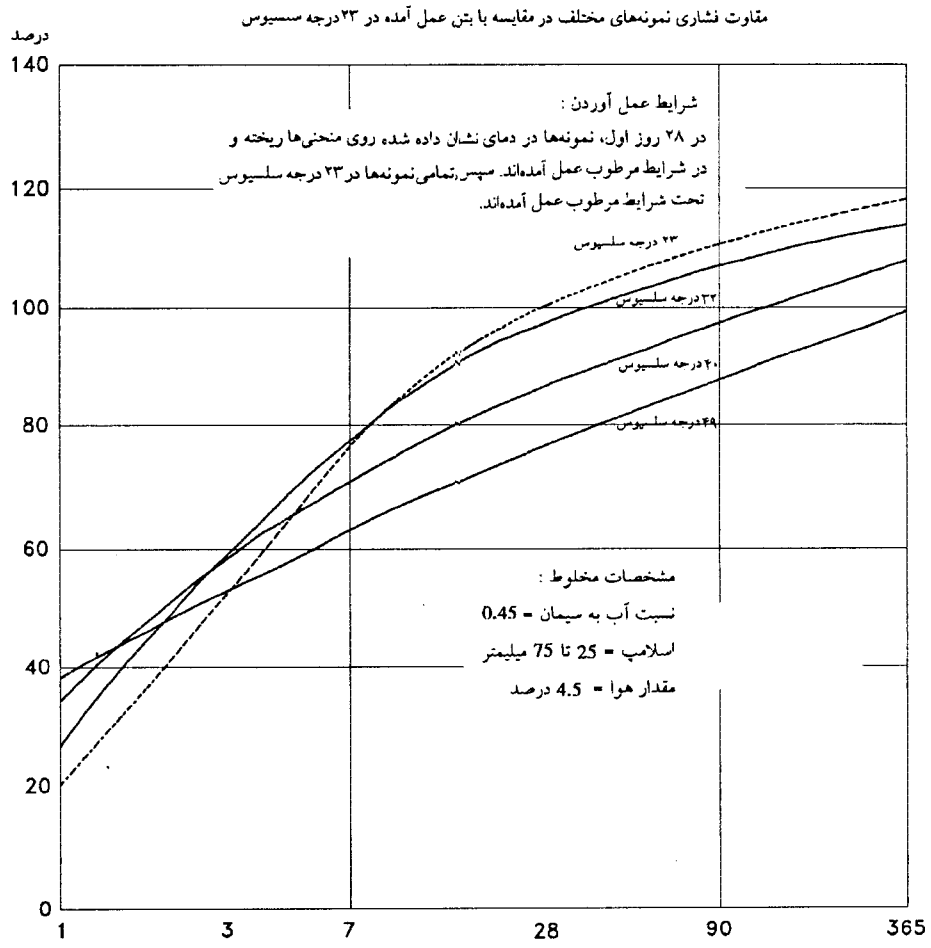
جدول ۳-۵-۱- حدود برخی مواد زیان‌آور در آب اختلاط

مواد زیان آور	حداکثر غلظت قسمت در میلیون	ملاحظات
کربنات‌ها	۱۰۰	کاهش زمان گیرش
بی‌کربنات‌ها	۴۰۰ تا ۱۰۰۰	۴۰۰ برای بی‌کربنات‌های کلسیم و منیزیم
فسفات‌ها، آرسنات‌ها، برات‌ها	۵۰۰	افزایش زمان گیرش
نمکهای روی، مس، سرب، منگنز، قلع	۵۰۰	افزایش زمان گیرش
سولفور سدیم	۱۰۰	بتن باید مورد آزمایش قرار گیرد

مأخذ : تفسیر آئین‌نامه بتن ایران بخش اول

۳-۲-۴- دمای آب و آثار آن بر بتن‌ریزی در مناطق گرمسیر

مناسب‌ترین دما برای بتن تازه در هوای گرم، معمولاً پایین‌تر از دمایی است که بدون خنک کردن مصنوعی قابل حصول است. دمای مطلوب بتن ۱۰ تا ۱۶ درجه سلسیوس است. در بسیاری از مشخصات فنی، حداکثر دمای محیط در زمان ریختن بتن به ۲۹ تا ۳۲ درجه سلسیوس محدود می‌شود. برای بسیاری از کارهای بتنی، محدود کردن حداکثر دمای بتن هنگام بتن‌ریزی بعلت تغییر شرایط محیطی، غیر عملی است، شکل ۳-۱ اثر دمای زیاد بتن را بر مقاومت فشاری نشان می‌دهد. در این بررسی دمای بتن ضمن بتن‌ریزی و عمل‌آوری تا ۲۸ روز، ۲۳ ، ۳۲، ۴۰ و ۴۹ درجه سلسیوس بوده است. بعد از ۲۸ روز نمونه‌ها در شرایط مرطوب در ۲۳ درجه سلسیوس تا زمان آزمایش تحت مراقبت قرارگرفته‌اند. آزمایش‌هایی که با استفاده از بتن‌های مشابه و نسبتهای آب به سیمان یکسان انجام شده بودند، نشان میدهند که اگر چه در درجه حرارت‌های بالاتر، مقاومت اولیه بالاتری در مقایسه با بتن در دمای ۲۳ درجه بدست میآید، لیکن در سنین بعدی مقاومت نهایی پایین‌تری حاصل می‌شود. چنانچه برای ثابت نگهداشتن اسلامپ مقدار آب بدون افزایش مقدار سیمان افزایش یابد، کاهش مقاومت بیشتر از مقدار نشان داده شده در شکل خواهد بود.



شکل شماره ۳-۱- آثار دما بر مقاومت فشار بتن در سنین گوناگون

علاوه بر کاهش مقاومت، دمای زیاد بتن آثار زیان‌آور دیگری نظیر افزایش آب اختلاط دارد، که در فصل قبل به تفصیل مورد بحث قرار گرفت. بمنظور جلوگیری از این آثار باید تدابیر اجرایی ویژه‌ای اتخاذ گردد. یکی از این راه‌حلها خنک نگهداشتن مصالح است. در هوای گرم سنگ دانه‌ها و آب باید تا حد امکان خنک نگهداشته شوند.

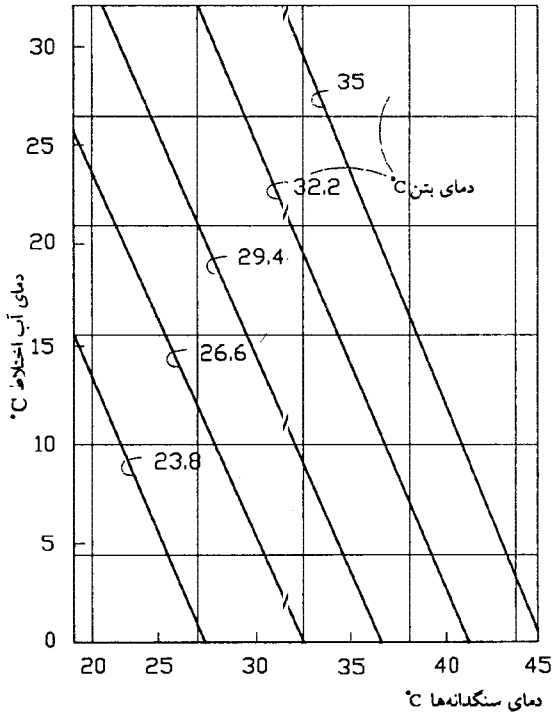
سهم هر یک از مصالح موجود در مخلوط بتن در افزایش یا کاهش دمای اولیه بتن

به درجه حرارت، گرمای ویژه و مقدار هر یک از مصالح بستگی دارد. شکل شماره ۳-۲ بطور ترسیمی اثر دمای مصالح را بر دمای بتن تازه نشان می‌دهد.

بطوریکه پیداست گرچه دمای بتن تا حدود زیادی به دمای سنگ‌دانه‌ها بستگی دارد، لیکن دمای بتن را می‌توان بطور موثری با آب اختلاط خنک پائین آورد.

از میان مصالح موجود در بتن، آب آسانتر از بقیه خنک می‌شود. گرچه آب در مقایسه با دیگر اجزای متشکله بتن وزن کمتری دارد لیکن بعلت زیاد بودن گرمای ویژه آب تاثیر آن بر کاهش دمای بتن قابل توجه است. آب اختلاط باید از منبعی خنک تامین شود. آب باید در منابعی ذخیره شود که در معرض تابش مستقیم خورشید قرار نگیرند. برای نگهداری آب در پائین‌ترین دمای ممکن منابع و لوله‌های انتقال آب اختلاط باید مدفون، عایق‌بندی شده، دارای سایه‌بان و یا حداقل به رنگ سفید باشند. می‌توان آب را به وسیله آب سردکن‌های حاوی نیتروژن مایع یا یخ خرد شده خنک کرد. یخ بعنوان قسمتی از آب اختلاط می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد، مشروط بر اینکه در زمان خاتمه اختلاط کاملاً ذوب شده باشد.

مقدار آب و یخ نباید از کل آب اختلاط مورد نیاز بیشتر باشد.



شکل شماره ۳-۲- اثر دمای آب و مصالح سنگی بر دمای بتن تازه

۳-۲-۵- میزان آب مصرفی در بتن

کیفیت بتن تا حد زیادی به کیفیت خمیر سیمان بستگی دارد. برای مصالح و شرایط عمل‌آوری معین، کیفیت بتن سخت شده به نسبت آب به سیمان[1] بستگی دارد.

بتنی که دارای مقاومت نسبتاً زیاد بوده و به نحو صحیح تهیه و ریخته شده باشد، در شرایط معمولی دوام کافی خواهد داشت. اما در مواردی که به لحاظ شرایط محیطی[2] دوام بتن نسبت به مقاومت آن از اهمیت بیشتری برخوردار می‌باشد، نسبت آب به سیمان اهمیت بیشتری پیدا می‌کند. نسبت آب به سیمان تعیین کننده نفوذپذیری[3] خمیر سیمان و

1 Water-cement ratio
2 Exposure conditions
3 Permeability

تا حدود زیادی دوام بتن است. همانگونه که قبلاً ذکر شد، نفوذپذیری نقش اصلی و قابل ملاحظه‌ای درمقابله با خرابیهای‌شیمیایی اعم از سولفاتی، کلروری و کربناتی را بعهده دارد.

برخی مزایای ناشی از کاهش مقدار آب بتن و در نتیجه کاهش نسبت آب به سیمان به شرح زیر است:

۱- افزایش مقاومت فشاری و خمشی بتن.

۲- کاهش نفوذپذیری بتن.

۳- افزایش دوام و مقاومت نسبت به عوامل مخرب جوی و شرایط محیطی.

۴- چسبندگی[1] بهتر بین بتن و میلگرد

۵- کاهش تغییرات حجمی در اثر تر و خشک شدن.

هر قدر آب کمتری مورد استفاده قرار گیرد کیفیت بتن بهتر خواهد بود به شرطی که بتوان آن را بطور صحیح متراکم کرد. با مقادیر کمتر آب، مخلوطهای سفت‌تری بدست می‌آید که برای جا دادن آن درون قالب به انرژی و ارتعاش بیشتری نیاز خواهد بود.

در مناطق گرمسیر، با افزایش دمای بتن، اسلامپ کاهش می‌یابد که برای جبران آن غالباً و بی‌درنگ از روی ناآگاهی در کارگاه آب بیشتری به مخلوط اضافه می‌شود. علاوه بر افزایش نیاز به آب و کاهش سریعتر و شدیدتر اسلامپ در این مناطق عوارض دیگری چون افزایش سرعت گیرش، افزایش امکان ایجاد ترکهای خمیری و نیاز شدید به عمل‌آوری سریع نیز کاملاً مشهود است. افزودن آب در کارگاه روی خواص بتن سخت شده اثر نامطلوب دارد، کاهش مقاومت[2]، کاهش دوام[3]، افزایش نفوذپذیری[4]، سطح ظاهری غیر یکنواخت، افزایش تمایل به جمع‌شدگی[5] در حین خشک شدن و ترک‌خوردگی ناشی از اختلاف دما از جمله عوارض افزایش میزان آب است. همانطور که در شکل ۳-۳ نشان

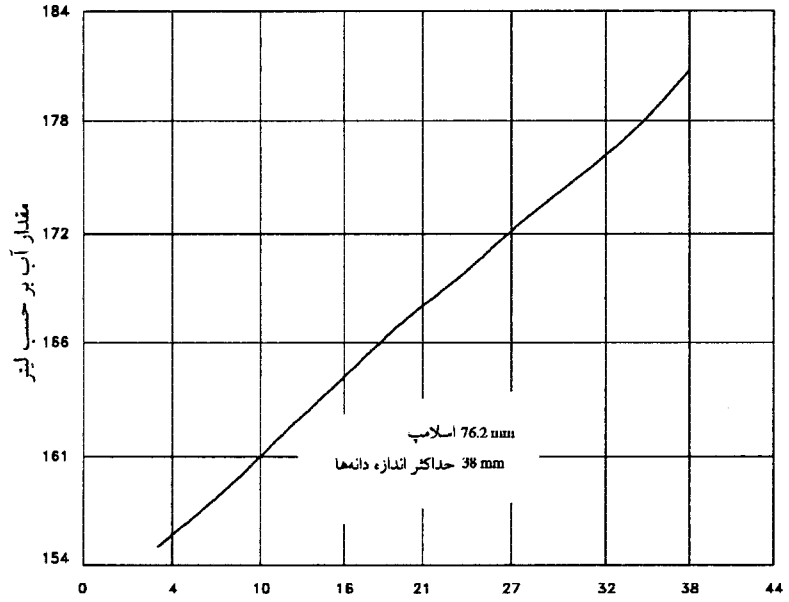
1 Bond
2 Strength
3 Durability
4 Permeability
5 Shrinkage

داده شده است، اگر دمای بتن از ۱۰ به ۳۰ درجه سلسیوس افزایش یابد، حدود ۲۰ لیتر آب اضافی در هر متر مکعب بتن برای حفظ اسلامپ[1] در حد ۷۶/۲ میلیمتر مورد نیاز است. افزایش ۲۰ لیتر آب در هر متر مکعب بتن می‌تواند مقاومت را ۱۲ تا ۲۵ درصد کاهش داده و تاثیر قابل توجهی بر پایایی بتن داشته باشد. نسبت آب به سیمان برای بتن‌ریزی در مناطق خورنده[2] باید بشدت، محدود و تحت کنترل باشد و این امر سر آغاز بروز مشکلات اجرایی بتن‌ریزی در مناطق گرمسیر است.

باین ترتیب در مناطق گرمسیر باید با اتخاذ تدابیر گوناگون، غیر از افزایش مقدار آب، کارآیی[3] بتن را فزونی بخشید.

خنک کردن مصالح تاحدی این مشکل را مرتفع می‌سازد اما غالبا[4] استفاده از مواد افزودنی[4] نظیر روان‌کننده‌ها[5] برای حصول کارآیی و روانی[6] مطلوب به منظور بتن‌ریزی در مناطق گرمسیر ضروری است. از این طریق علاوه بر تهیه بتن غیر قابل نفوذ[7] توپر[8] با نسبت آب به سیمان کم ریختن، تراکم و پرداخت بتن بدرستی و با سهولت امکان‌پذیر خواهد بود.

1 Slump
2 Corrosive Ared
3 Workability
4 Admixture
5 Plasticizer
6 Consistency
7 Impermeable
8 Dense



شکل شماره ۳-۳- تغییرات آب مورد نیاز بتن بر حسب دمای بتن، برای ثابت نگهداشتن اسلامپ

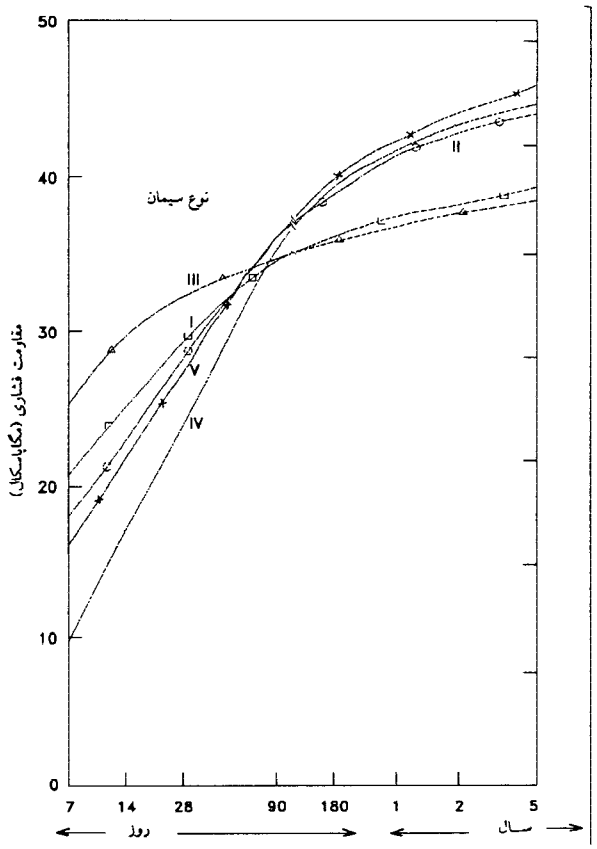
❑ ۳-۳- سیمان پرتلند

۳-۳-۱- انواع سیمان‌های پرتلند

سیمانهایی که با ترکیبات مختلف شیمیایی ساخته می‌شوند خواص متفاوتی دارند. با انتخاب مواد خام مناسب، می‌توان انواع سیمان با ویژگی‌های مورد نظر را تهیه کرد. امروزه چندین نوع سیمان پرتلند و نیز سیمانهای خاص برای مصارف ویژه ساخته می‌شوند. این سیمانها غالباً برای ساخت بتنی با دوام در شرایط مختلف محیطی تولید شده‌اند. باین ترتیب با توجه به شرایط می‌توان جواب کاملی برای حل مسئله دوام بتن ارائه نمود. خواص فیزیکی و مکانیکی بتن سخت شده نظیر مقاومت، جمع‌شدگی، نفوذپذیری، مقاومت در مقابل هوازدگی[1] و خزش[2] علاوه بر سیمان و ترکیبات آن به عوامل دیگری نیز بستگی دارند. اما جنس سیمان نقش عمده‌ای را ایفا می‌کند.

1 Weathering
2 Creep

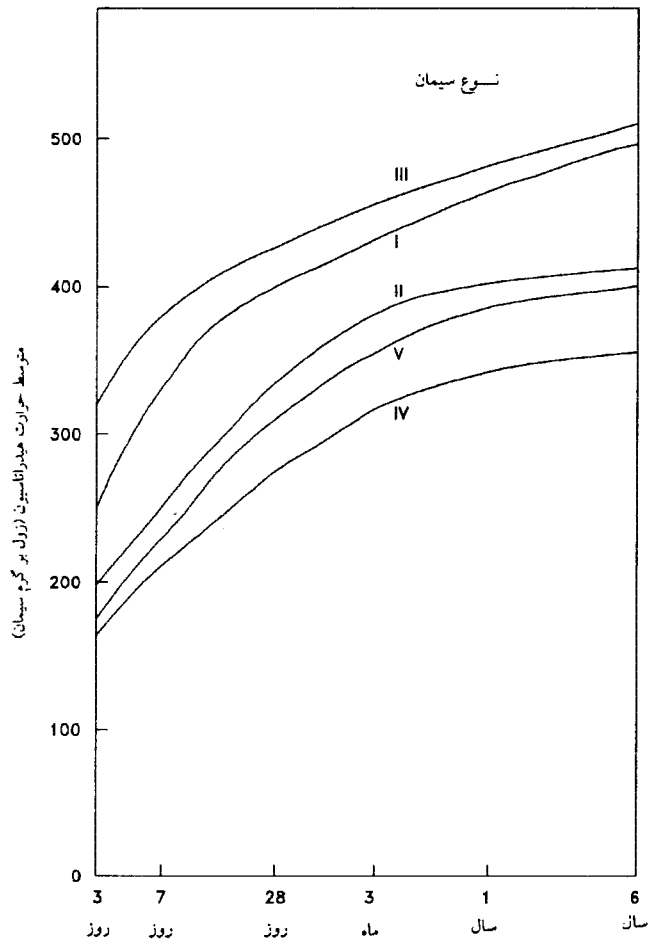
در شکل شماره ۳-۴- روند افزایش مقاومت بتن‌های ساخته شده از انواع سیمانهای پرتلند نشان داده شده است.



شکل شماره ۳-۴- روند افزایش مقاومت بتن‌های ساخته شده با ۳۳۵ کیلوگرم سیمانهای مختلف در متر مکعب بتن.

سیمان پرتلند معمولی (نوع ۱) سیمان اصلاح شده (نوع ۲).
سیمان زود سخت شونده (نوع ۳) سیمان با گرمازایی کم (نوع ۴) و سیمان ضد سولفات (نوع ۵)

در شکل ۳-۵- روند افزایش گرمای آبگیری سیمانهای پرتلند در سنین مختلف نشان داده شده است.



شکل شماره ۳-۵- روند افزایش گرمای آبگیری سیمانهای پرتلند نگهداری شده در ۲۱ درجه سلسیوس، نسبت آب به سیمان در تمامی نمونه‌ها ۰/۴ است.

با توجه به ویژگیهای فزیکی و شیمیایی انواع سیمانهای پرتلند، کاربردهای متفـاوتی بشرح زیر برای آنها وجود دارد.

الف- سیمان پرتلند نوع ۱ : این سیمان برای مصارف عمومی که نیـازمند ویژگیهـای

سایر انواع سیمان نباشد، مناسب است. در مواردی که سیمان یا بتن، تحت شرایط محیطی ویژه مانند حمله سولفات‌های خاک و آب، یا ازدیاد دمای ناشی از حرارت آزاد شده از آبگیری نباشد، می‌توان این نوع سیمان را بکار برد. بیشترین مصرف آن در ساختمانهای بتن‌آرمه، پلها، جاده‌ها، پیاده‌روها، مخازن، آبروها، لوله‌های آب و سازه‌های بنایی است.

ب- سیمان پرتلند نوع ۲ : این سیمان در مواردی مصرف می‌شود که اقدام احتیاطی برای جلوگیری از حمله سولفاتها لازم باشد. در سازه‌های مجاور آبهای زیرزمینی که غلظت سولفات در آنها کمی بیش از آبهای معمولی است، از این نوع سیمان استفاده می‌شود سیمان نوع ۲ هنگام آبگیری در مقایسه با سیمان نوع ۱ گرمای کمتری آزاد می‌کند، باین ترتیب استفاده از آن برای سازه‌های نسبتاً حجیم مانند پایه‌های بزرگ پل‌ها، کوله‌ها و دیوارهای حائل سنگین مناسب است، بهمین دلیل برای جلوگیری از افزایش دمای بتن در هوای گرم، استفاده از این نوع سیمان مناسب است.

پ- سیمان پرتلند نوع ۳ : در بتن‌های ساخته شده، این نوع سیمان فرآیند کسب مقاومت با سرعت بیشتری صورت می‌گیرد. بهمین دلیل این نوع سیمان به سیمان زود سخت شونده موسوم است. این نوع سیمان در مواردی بکار می‌رود که قالبها باید تا حد امکان زود باز شوند یا سازه باید به سرعت مورد بهره‌برداری قرار گیرد. استفاده از این نوع سیمان در اجرای سازه‌هائی مانند سیلوها که به کمک قالب‌های لغزان احداث می‌شوند بسیارمفید است. مصرف آن در فصل‌سرما و هوای‌سرد، دوره‌عمل‌آوردن بتن‌راتقلیل‌می‌دهد.

ت- سیمان نوع ۴ : یا سیمان کم حرارت در مواردی به مصرف می‌رسد که سرعت و میزان گرمای آزاد شده در فرآیند آبگیری‌اهمیت داشته باشد. در این نوع سیمان روند کسب مقاومت نسبت به سیمان نوع ۱ کندتر است. سیمان پرتلند نوع ۴ در سازه‌های بتنی حجیم مانند سدهای وزنی بزرگ بکار می‌رود، در چنین سازه‌هائی افزایش دما بر اثر گرمای ایجاد شده از آبگیری سیمان عاملی بحرانی به شمار می‌آید.

ث- سیمان پرتلند نوع ۵ : این سیمان در مقابل حمله سولفاتها مقاوم است. از این نوع سیمان هنگامی استفاده می‌شود که بتن در معرض حمله شدید سولفاتها قرار گرفته

باشد و یا خاک و آبهای زیرزمینی مجاور بتن حاوی مقدار زیادی سولفات باشند. در مواردی که حمله سولفاتها شدید و حاد باشد، استفاده از این نوع سیمان الزامی است. باید خاطر نشان کرد که بین مقاومت سیمان در مقابل سولفاتها و مقدار تری‌کلسیم آلومینات (C3A) موجود در سیمان رابطه‌ای نزدیک وجود دارد. این مقدار برای سیمان نوع ۵ بطور معمول ۵ درصد است. مقدار سه کلسیم آلومینات برای سیمان نوع ۲ که در مقابل سولفاتها مقاومتی متوسط دارد، می‌تواند به ۸ درصد افزایش یابد.

بعلاوه شواهدی در دست است که نشان می‌دهد درصد زیاد تتراکلسیم آلومینوفریت (C4AF) هم اثر منفی در مقابله با سولفاتها دارد. بهرحال برای سیمان نوع ۵ مقدار C4AF + 2C3A نباید از ۲۰ درصد تجاوز کند.

ج- سیمانهای پرتلند روباره آهن‌گدازی[1] و سیمانهای پرتلند پوزولانی[2] جزو سیمانهای آبی آمیخته[3] به شمار می‌آیند.

مقدار روباره بین ۲۵ تا ۶۵ درصد وزن سیمان و مقدار پوزولان بین ۱۵ تا ۴۰ درصد آن است. هر کدام از این دو نوع سیمان خود انواع مختلفی دارند. اینگونه سیمانها هنگام آبگیری گرمای کمتری آزاد می‌کنند و در مقابل سولفاتها مقاومتی متوسط دارند.

مقاومت ۲۸ روزه بتن ساخته شده با این سیمانها نسبت به سیمانهای نظیر که فاقد روباره یا پوزولان میباشند کمتر است. اگر مقاومت زیاد در روزهای اولیه مورد نیاز نباشد، می‌توان انواع سیمان‌های پوزولانی را در اجرای سازه‌هایی نظیر شالوده‌های حجیم، سدها و پایه‌های پلها بکار برد. درباره انواع مواد پوزولانی و تاثیر آنها بر خواص بتن در بخش مستقلی بحث خواهد شد. علاوه بر سیمانهای یاد شده انواع دیگری هم وجود دارند که در شرایط خاص می‌توان از آنها استفاده کرد. در ایران، چندسالی است که سیمان "روباره ضد سولفات" با استفاده از روباره کارخانه ذوب آهن اصفهان توسط شرکتهای سیمان

1 Portland blast- furnace slag cement
2 Portland - pozzolan cement
3 Blended cement

اصفهان و سپاهان تولید می‌شود.

۳-۳-۲- نقش میزان سه کلسیم آلومینات سیمان در رویارویی با سولفاتها و کلرورها

وجود کلرید یکی از مسائل بسیار مهم و مشکل‌ساز مناطق جنوبی کشور است که آب و هوای گرم و مرطوب نیز بر شدت آن می‌افزاید.

هنگام استفاده از سیمان ضد سولفات (نوع ۵) کم بودن مقدار تری‌کلسیم آلومینات موجب آزادی عمل یون کلرید میشود که این امر به خوردگی آرماتور می‌انجامد. در واقع مطالعات مربوط به پایایی بتن در شرایط مهاجم[1] نشان داده که با استفاده از سیمانهای محتوی ۵ تا ۸ درصد تری کلسیم آلومینات خرابی ناشی از خوردگی فولاد کمتر از هنگامی است که سیمان حاوی کمتر از ۵ درصد از این ماده باشد. باین ترتیب وقتی مسئله پایایی بتن از نظر سولفاتها و کلریدها بطور همزمان مطرح باشد، استفاده از سیمان پرتلند نوع ۲ می‌تواند موثر واقع شود. تجارب بدست آمده در برخی مناطق کویری خاورمیانه نشان داده است، هنگامی که بتن در معرض تهاجم شدید سولفاتهای خاک قرار می‌گیرد. استفاده از سیمان ضد سولفات و نیز نگاه داشتن مقدار یون کلرید در حدی بسیار کم در مخلوط بتن ضروری است. ولی چنانچه بعلت استفاده از سنگدانه‌های موجود محلی، نتوان کلرید مخلوط بتن را محدود ساخت، در بسیاری موارد بکار بردن سیمانی با مقاومت متوسط در مقابل سولفاتها، مانند سیمان نوع ۲، می‌تواند راه حل خوبی بشمار آید و از نظر خوردگی آرماتور در اثر تهاجم کلریدها حاشیه ایمنی مناسبی را فراهم سازد.

1 Aggressive

۳-۳-۳- انبار کردن سیمان در مناطق گرم و مرطوب

سیمان پرتلند ماده‌ای حساس در مقابل رطوبت است. چنانچه بصورت خشک نگهداری شود، بمدت زیادی کیفیت خود را حفظ می‌کند. سیمان پرتلندی که در انبار مرطوب نگهداری شود، دارای گیرش کند است و نسبت به سیمانی که بصورت خشک نگهداری شده، مقاومت کمتری دارد. رطوبت نسبی محلی که برای انبار سیمان مورد استفاده قرار میگیرد. باید تا حد امکان پایین باشد. تمامی ترکها و سوراخها در دیوارها و سقفها باید بسته باشند. کیسه‌های سیمان نباید روی کفهای مرطوب انبار شوند، بلکه باید روی تخته‌های چوبی قرار گیرند. کیسه‌ها باید نزدیک به یکدیگر قرار گیرند تا از جریان هوا در میان کیسه‌ها کاسته شود، اما هرگز نباید کیسه‌ها را در مجاورت دیوارهای خارجی قرار داد.

کیسه‌هایی که برای مدت زیادی انبار می‌شوند، باید با نایلون یا سایر روکشهای ضد آب پوشانیده شوند. در کارگاههای کوچکتر که سایه‌بان در دسترس نیست، کیسه‌ها باید روی سکوهای چوبی بالاتر از سطح زمین قرار گیرند. روکشهای ضد آب باید روی کیسه‌ها کشیده‌شوند و تاروی لبه‌سکوها ادامه‌یابند تا از نفوذ باران به سیمان‌جلوگیری شود.

سیمانی که برای مدت زیادی انبار می‌شود، ممکن است دچار حالت "فشردگی انبار" شود، این پدیده را می‌توان با غلتاندن کیسه‌ها روی کف اصلاح نمود. هنگام مصرف، سیمان باید بصورت پودر و عاری از کلوخه باشد. چنانچه کلوخه‌ها به سهولت شکسته نشوند، سیمان مورد نیاز کارهای مهم باید قبل از مصرف آزمایش شود. چنانچه کیفیت سیمان مورد تردید باشد، انجام آزمایش‌های مقاومت یا افت حرارتی[1] الزامی است.

سیمان فله باید در سیلوهای فلزی یا بتنی که آب در آنها نفوذ نمی‌کند، انبار شود. میل ترکیبی سیمان با بخار آب موجود در جو در درجه حرارتهای زیاد افزایش می‌یابد، اگر سیلو مدت مدیدی در معرض تابش شدید خورشید قرار گیرد، سیمان گرما را جذب

1 Ignition loss

خواهد کرد. بنابراین سیلوها باید در مقابل گرما محافظت شوند. بهتر است برای محافظت از تابش آفتاب سیلوها در سایه قرار گیرند، دارای سایبان باشند یا با پوششی از رنگ سفید و یا سایر رنگهای منعکس‌کننده، رنگ‌آمیزی شوند.

❑ ۳-۴- مواد پوزولانی

پس از کشف نوعی خاکستر آتشفشانی تحکیم یافته در حوالی پوزولی (Pozzuli) ایتالیا، واژه پوزولان به هر نوع ماده‌ای با خاصیت مشابه ترکیبات یاد شده، صرفنظر از منشاء زمین‌شناسی آن اطلاق گردید. در ASTM 618 پوزولان دارای تعریف زیر است:

" ماده سیلیسی یا سیلیس آلومیناتی که به تنهائی ارزش چسباننده[1] ندارد، اما به شکل ذرات بسیار ریز و در مجاورت رطوبت در درجات حرارت معمولی با هیدروکسیدکلسیم، واکنش شیمیایی داشته و ترکیباتی را بوجود می‌آورد که خاصیت چسبانندگی دارند".

پوزولانها حاوی سیلیس فعال هستند و باید به شکل پودر باشند تا سیلیس آنها در حضور آب، با آهک حاصل از آبگیری سیمان پرتلند، سیلیکاتهای کلسیم پایدار را که دارای خواص چسبانندگی هستند تشکیل دهند. یکی از مزایای عمده پوزولانها، آبگیری کند آنهاست، که حرارت کمی را ضمن گیرش[2] آزاد می‌نمایند. این خاصیت در بتن‌ریزیهای حجیم از اهمیتی بسزا برخوردار است.

سیمانهای پرتلند پوزولانی مخلوطهایی هستند که از اختلاط سیمان پرتلند و مواد پوزولانی بدست می‌آیند. این نوع سیمانها در مقابل حمله سولفاتها و بعضی دیگر از عوامل مخرب مقاومت خوبی از خود نشان می‌دهند، علت این امر آن است که واکنش پوزولانی مقدار کمتری آهک آزاد بر جای گذارده و نفوذپذیری بتن را کاهش می‌دهد.

از اینرو در مناطق گرمسیر و خورنده دریایی می‌توان از مواد پوزولانی بنحوی

1 Binder , Bonder

2 Setting

گسترده استفاده نمود. مواد پوزولانی باید قبل از مصرف آزمایش شوند، بعلت کندی واکنشهای شیمیایی پوزولانها باید فرآیند عمل آوردن بتنهای ساخته شده با آنها، در مقایسه با سیمانهای معمولی از استمرار بیشتری برخوردار باشد.

پوزولانها با توجه به منشاء وجودی‌شان به پوزولانهای طبیعی و مصنوعی تقسیم می‌شوند.

۳-۴-۱- پوزولانهای طبیعی

پوزولانهای طبیعی شامل خاکهای دیاتمه، چرتهای اپالینی، شیلها، توفها و خاکسترهای آتشفشانی می‌باشند. بیشتر استانداردها از جمله ASTM 618 مجموع سه اکسید اصلی شامل SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 را در پوزولانهای طبیعی حداقل ۷۰ درصد وزن پوزولان اعلام کرده‌اند. در ایران با توجه به وجود آتشفشانهای مختلف پوزولانهای طبیعی فراوانی یافت می‌شود. شرح ویژگیهای برخی پوزولانهای ایران در جدول شماره ۳-۶ ارائه شده است. درباره پوزولانهای طبیعی ذکر دو نکته ضروری است، اول آنکه استفاده از پوزولانها باید پس از انجام آزمایشهای لازم و بررسی تمام جوانب از جمله آثار درازمدت آنهادر دستور کار قرار گیرد، دوم آنکه استفاده از پوزولانهای طبیعی در مخلوط بتن مستلزم افزایش میزان آب اختلاط است که این عمل باعث افزایش تخلخل و کاهش مقاومت بتن می‌گردد، برای اجتناب از این نارسایی‌ها باید از مواد روان‌کننده[1] یا تقلیل دهنده آب[2] استفاده شود. با توجه به کندی فعل و انفعالات شیمیایی پوزولانها، مقاومت مورد نظر نسبت به بتن معمولی در زمان طولانی‌تری حاصل می‌شود، از اینرو عمل‌آوری این نوع بتن‌ها از حساسیت و اهمیت بیشتری برخوردار بوده و باید عمل آوردن در رطوبت و دمای مناسب بمدتی بیشتر از حد معمول ادامه یابد.

1 Plasticizer

2 Water- reducing admixture

جدول ۳-۶- برخی پوزولانها طبیعی در نقاط مختلف ایران

نوع پوزولان	منطقه
دیاتمه (معمولاً حاوی سیلیس بی‌شکل و دارای ناخالصی‌های نمک طعام، آلبیت، سرسیت و کلسیت می‌باشد)	ممقان آذرشهر
نوع پامیس با ترکیب ریولیت‌تاتراکیت که علاوه بر دیوتیت، سانیدین‌های آن بهتر مشخص است.	سبلان
نوعی پامیس با ترکیب ریولیت تاتراکیت که در آن کانیهای دوتیت با چشم غیر مسلح دیده می‌شود.	سبلان
توف آتشفشانی حاوی کانیهای بیوتیت، کلریت و همچنین فلدسپاتها با منشاء توف سبز کرج و پتاسیم تجزیه شده.	جاجرود (تراس)
سنگ آذرین درونی در حد سینیتهای کوارتزدار که بشدت تجزیه شده ولی هنوز فلدسپات و دیوتیت در آن دیده می‌شود و زئولیت از تجزیه این کانیها بوجود می‌آید.	میانه
پامیس متخلخل و سبک	تفتان

۳-۴-۲- کلیاتی درباره پوزولانهای مصنوعی

پوزولانهای مصنوعی امروزه در بعضی کشورها تولید و بعنوان بخشی از سیمان پرتلند در بتن مورد استفاده قرار می‌گیرند و مانند پوزولانهای طبیعی سبب بهبود خواص بتن می‌شوند.

منابع اصلی پوزولانهای مصنوعی عبارتند از نیروگاههای با سوخت ذغال سنگ و کوره‌های تولیدکننده آهن خام، فولاد، مس، نیکل، سرب، سیلیس و آلیاژهای فروسیلیس. در این بخش سه نوع پوزولانهای مصنوعی شامل میکروسیلیس[1]، روباره‌آهن‌گدازی[2]، خاکستر پوسته برنج و خاکستر بادی[3] مورد بحث قرار می‌گیرند.

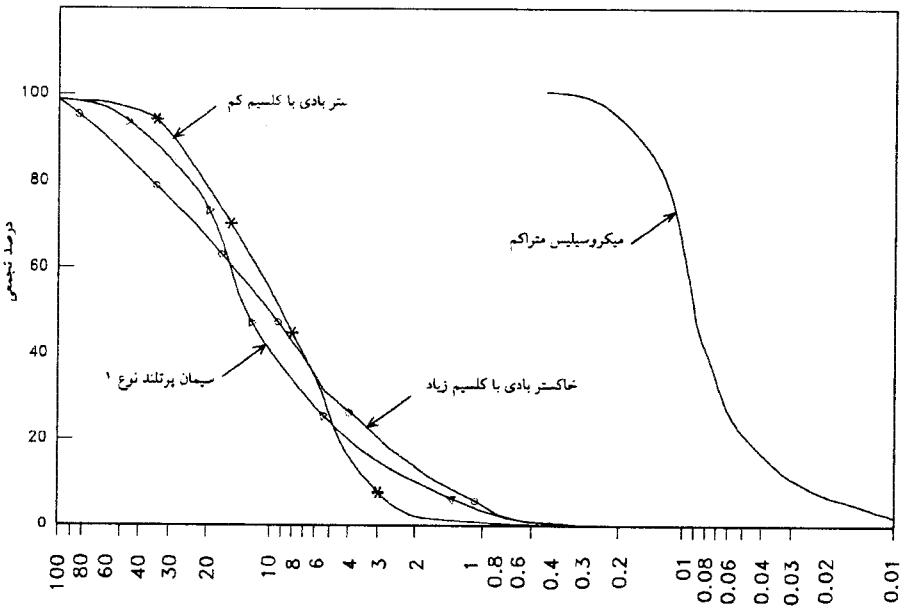
۳-۴-۲-۱- میکروسیلیس

میکروسیلیس یکی از محصولات فرعی کوره‌های قوسی- الکتریکی است که در جریان تولید سیلیس یا آلیاژهای سیلیس، بویژه آلیاژهای فروسیلیس تولید می‌شود. این

1 Microsilica
2 Blast-furnace slag
3 Fly Ash

ماده با داشتن بیش از ۸۰ درصد سیلیس به حالت غیر بلوری و بشکل ذرات بی‌نهایت ریز با قطر متوسط یک ده‌هزارم میلی‌متر، دارای خواص مواد پوزولانی است. این محصول برای استفاده بعنوان ماده چسباننده[1] در بتن بسیار مناسب است. در شکل شماره ۳-۶ دانه‌بندی ذرات میکروسیلیس در مقایسه با سیمان پرتلند معمولی و انواع خاکستری بادی نشان داده شده است.

میکروسیلیس یکی از فعال‌ترین مواد پوزولانی است و وجود آن در بتن، ویژگیهای بتن سخت شده را بهبود می‌بخشد. مکانیزم عمل باین ترتیب است که ضمن آبگیری سیمان پرتلند، میکروسیلیس در ترکیب با بلورهای هیدروکسیدکلسیم ناپایدار، ژل سیلیکات کلسیم آبدار پایدار تولید می‌کند.



شکل شماره ۳-۶- دانه‌بندی ذرات میکروسیلیس‌درمقایسه با سیمان‌پرتلندمعمولی و انواع خاکسترِبادی.

1 Binder , Bonder

کاهش نفوذپذیری که باعث افزایش مقاومت بتن در مقابل حمله املاح گزندبار[1] است از مهمترین پیامدهای مصرف میکروسیلیس بشمار می‌آید. افزایش روانی و قوام[2] مخلوط بتن و کاهش تمایل به آب انداختن[3] و جداشدگی[4] مخلوط، از خواص دیگر بتن تولید شده با میکروسیلیس است. بطور کلی میزان معمول جایگزینی میکروسیلیس با سیمان حدود ۱۰ الی ۲۰ درصد وزن سیمان می‌باشد.

گزارش‌های زیادی درباره حساسیت بتن‌های ساخته شده با میکروسیلیس، به ترک‌خوردگی خمیری[5] ناشی از انقباض برجود دارد، که این پدیده در هوای گرم شدت بیشتری پیدا می‌کند. برای رفع این مشکل باید تدابیری ویژه اتخاذ گردد تا از افت سریع رطوبت سطح بتن جلوگیری شود.

۳-۴-۲-۲- روباره کوره آهن‌گدازی[6]

روباره‌ها محصولات فرعی صنایع ذوب فلز هستند. هنگام تولید آهن خام در کوره بلند آهن‌گدازی، ناخالصیهای موجود در سنگ آهن و سوخت به کمک ماده گدازآور از آهن خام جدا می‌شود که آنرا سرباره می‌نامند. اجزای تشکیل دهنده روباره عمدتاً آهک، سیلیس و آلومین هستند که شباهت بسیار زیادی به ترکیبات سیمان پرتلند دارند.

روباره دانه‌ای را که از سرد کردن ناگهانی روباره مذاب بدست می‌آید در ساخت سیمانهای روباره‌ای مورد استفاده قرار می‌دهند نسبت وزنی روباره در سیمانهای روباره‌ای ۲۵ تا ۶۵ درصد است. همانطور که قبلاً بیان شد، واکنش اولیه سیمان روباره‌ای با آب کندتر از سیمان پرتلند معمولی است که در نتیجه آهنگ کسب مقاومت اولیه نیز کندتر خواهد بود. اما در درازمدت مقاومت افزایش می‌یابد. همانند سایر پوزولانها، روباره نیز

1 Aggressive
2 Consistency
3 Bleeding
4 Segregation
5 Plastic Cracking
6 Blast-furnace slag

نقش شگرفی در افزایش دوام بتن و مقابله با خرابیها دارد. ثابت شده است که بتن حاوی روباره دانه‌ای آسیاب شده، دارای مقاومت بیشتری در مقابل حملات سولفاتها و آب دریا نسبت به بتن ساخته شده با سیمان پرتلند معمولی است. البته بنا به عقیده برخی محققین، مقاومت در مقابل سولفاتها و کلرورها زمانی موثر است که میزان روباره بیش از ۶۵ درصد وزن سیمان باشد. در واقع بر اثر ترکیب عناصر تشکیل دهنده سرباره و هیدروکسید کلسیم در فرآیند آبگیری سیمان تراکم بسیار زیادی در خمیر سیمان ایجاد می‌گردد، بطوریکه نفوذپذیری بتن بشدت کاهش یافته و فعل و انفعالات شیمیایی زیانبار از سوی عوامل مهاجم، با مقاومت بیشتری روبرو می‌شود. همچنین در سیمانهای روباره‌ای، سرعت انتشار یونهای کلر با افزایش درصد روباره به میزان زیادی کاهش می‌یابد. بررسیهای انجام شده در مورد بتنهای ساخته شده با سیمان روباره‌ای با میزان ۷۰ درصد روباره آهن‌گدازی در نواحی گرم و مرطوب، حاکی از افزایش مقاومت در مقابل نفوذ یونهای کلر می‌باشد.

۳-۴-۲-۳- خاکستر پوسته برنج

پوسته برنج یکی از پس مانده‌های کشاورزی است که در حد وسیعی تولید می‌شود. خاکستر بجامانده از سوزاندن پوسته برنج تحت شرایط کنترل شده دارای خواص پوزولانی بسیار خوب است که می‌توان از آن در مخلوط آهک- پوزولان و جایگزینی بجای سیمان استفاده نمود. خاکسترپوسته برنج عمدتاً از سیلیس (درحدود۹۲ درصد) تشکیل‌شده است. از هر ۱۰۰۰ کیلوگرم پوسته برنج بعد از سوزاندن ۲۰۰ کیلوگرم‌خاکستر حاصل می‌شود.

خاکستر بلوری و غیر بلوری پوسته برنج را می‌توان در تولید آهک- خاکستر، سیمان- خاکستر یا بعنوان جایگزین بخشی از سیمان معمولی در بتن بکار برد.

۳-۴-۲-۴- خاکستر بادی[1]

خاکستر بادی که پس‌مانده‌های بسیار ریز حاصل از احتراق زغال سنگ است، دارای مقادیر متغیری کربن، سیلیس، قلیایی‌ها، سولفور و سایر ترکیبات می‌باشد. مقدار بیش از حد برخی از این ترکیبات می‌تواند اثر مخرب بر مقاومت، تخلخل و پایایی بتن داشته باشد.

خاکستر بادی یا هر ماده پوزولانی دیگری که به عنوان ماده افزودنی بکار می‌رود باید با "مشخصات خاکستر بادی و پوزولان طبیعی خام یا تشکیل شده برای استفاده به عنوان ماده افزودنی معدنی در بتن سیمان پرتلند" (استاندارد ASTM C618 مطابق با آزمایش استاندارد دت ۴۰۳ آیین‌نامه بتن ایران) مطابقت داشته باشد.

با جایگزینی خاکستر بادی بجای سیمان (تا حدود ۲۰ درصد) پایایی بتن بویژه مقاومت در مقابل سولفاتها، نفوذ کلرورها و سایر املاح بهبود می‌یابد. در سالهای اخیر بتن‌هایی با مقادیر زیاد خاکستر بادی ساخته شده، در این بتن‌ها استفاده از روان‌کننده‌های قوی و نسبت آب به سیمان کمتر از 0.4، به ساخت بتن‌های پایا با مقاومت و کارآیی‌های بسیار بالا[2] منتهی شده که مورد توجه ویژه سازندگان آسمانخراشها واقع شده است. در ایران نیز در طرح احداث پالایشگاه هشتم بندر عباس از خاکستر بادی برای تهیه بتن به میزان حدود ۲۰ درصد وزن سیمان استفاده و نتایج خوبی بدست آمده است.

از آنجا که خاکستر بادی در ایران تولید نمی‌شود و وارد کردن آن پرهزینه است استفاده از آن بجز در طرحهای مهم قابل توجیه نمی‌باشد.

1 Fly Ash = Pulverized Fuel Ash)PFA)

2 High Strength and high performance concrete

۳-۵- مواد افزودنی[1]

معمولاً بجای استفاده از نوع خاصی از سیمان این امکان وجود دارد که بعضی خواص سیمانهای معمولی مورد مصرف را با استفاده از یک ماده افزودنی تغییر داد. به عبارت دیگر در اغلب موارد مصرف مواد افزودنی بهترین راه رسیدن به خواص مطلوب است. مصرف این مواد، عمدتاً به منظور بهبود و ارتقای کیفیت بتن، افزایش روانی[2] و کارآیی[3] بتن تازه، بالا بردن مقاومت بتن سخت شده، و افزایش پایایی بتن در مقابل یخبندان و سایر عوامل جوی، در دستور کار قرار می‌گیرد. تقلیل نفوذپذیری و تراوایی بتن و سرانجام تغییر بعضی ویژگیها مانند کاهش زمان لازم برای گیرش و سخت شدن آن از دیگر دلائل استفاده از مواد افزودنی است.

۳-۵-۱- انواع مواد افزودنی و تاثیر آنها بر ویژگیهای بتن

مواد افزودنی عموماً بر اساس عملکرد اصلی‌شان در بتن رده‌بندی می‌شوند. منظور از عملکرد اصلی ماده افزودنی عمده‌ترین اثری است که از مصرف ماده مزبور در بتن تازه یا بتن سخت شده بوجود می‌آید. البته مواد افزودنی ممکن است دارای عملکرد ثانوی نیز باشند که اهمیت آن کمتر از عملکرد اصلی آنها است. گاهی آثار جنبی، مطلوب و مورد نظر نیستند ولی قابل اجتناب نیز نمی‌باشند، بنابراین باید در مصرف مواد افزودنی این آثار نیز مدنظر قرار گیرند.

مهمترین انواع مواد افزودنی عبارتند از:

الف- ماده افزودنی تسریع کننده[4]

تسریع کننده ماده‌ایست که به منظور تسریع در گیرش بتن، یا تسریع در کسب مقاومت در سن کمتر یا به هر دو منظور بکار می‌رود. یکی از مواد افزودنی تندگیرکننده،

1 Admixtures
2 Consistency
3 Workability
4 Accelerating Admixture

کربنات سدیم است که بمنظور گیرش سریع اندودهای سیمانی نماها بکار مـی‌رود و آثـار منفی در مقاومت بجای می‌گذارد، ولی با ایجاد گیرش سریع، کارهای تعمیراتی را سـرعت می‌بخشد. کلرور آلومینیوم کربنات پتاسیم، فلوئورورسدیم، آلومینات سدیم و نمکهای آهن نمونه‌های دیگری از افزودنیهای تندگیرکننده هستند که هیچیک از آنها نباید بـدون مطالعـه کامل مورد استفاده قرار گیرند.

معمول ترین تسریع‌کننده‌ها کلرید کلسیم است که مقاومت اولیه بتن را بـالا می‌بـرد. این افزودنی در مواقعی که بتن‌ریزی در دماهـای پـایین (۲ تـا ۴ درجـه سلسـیوس) انجـام می‌شود یا در مواقعی که انجام کارهای تعمیراتی فوری مد نظر است، مـورد اسـتفاده قـرار می‌گیرد، در این موارد سرعت ایجاد گرما در ساعات اولیه بعد از اختلاط بتـن بـالا مـیرود. مقدار کلرید کلسیم اضافه شده به مخلوط بتن هیچگاه نباید از ۲ درصد وزن سیمان تجاوز نماید.

به موجب مندرجات آیین‌نامه بتن ایران استفاده از کلرید کلسیم فقـط در بتـن بـدون آرماتور مجاز است. در اینصورت مشخصات کلرید کلسیم باید مطابق اسـتاندارد دت ۴۰۴ آیین‌نامه بتن ایران باشد.

ب- ماده افزودنی کندگیرکننده[1]

کندگیرکننده ماده‌ایست که گیرش بتن را به تاخیر می‌اندازد. کندگیرکننده‌ها در هـوای خیلی گرم که گیرش بتن سریع است و نـیز بـرای جلوگـیری از ایجـاد ترکهـای ناشـی از گیرش در بتن‌ریزی‌های متوالی مفید می‌باشند.

معمولاً با استفاده از ماده افزودنی کندگیر کننده سخت شـدن بتـن باتـاخیر صـورت می‌گیرد و این خاصیتی است که برای ایجاد سطوح پرداخت شده مفید می‌باشد.

در عمل معمولاً از کندگیرکننده‌هایی که در عین حال کاهش‌دهنده آب[2] هم هسـتند،

1 Retarder

2 Water- reducing Admixture

استفاده می‌شود. در مقایسه با بتنی که در آن از افزودنی دیرگیرکننده استفاده نشده، استفاده از دیرگیرکننده‌ها به علت طولانی شدن مرحله خمیری بتن تازه، ممکن است موجب افزایش انقباض خمیری بتن شوند، لیکن انقباض ناشی از خشک شدن ناچیز می‌گردد.

پ- ماده افزودنی کاهنده آب[1]

ماده افزودنی کاهنده آب به منظور تقلیل مقدار آب مصرفی در شرایط یکسان روانی بتن یا افزایش روانی بتن در شرایط یکسان از نظر میزان آب مصرفی بکار می‌رود.

بدلیل اهمیت کاربرد این مواد در مناطق گرمسیر مکانیزم تاثیر آنها بر بتن در بخش ۳-۵-۴ به تفصیل مورد بررسی قرار می‌گیرد.

ت- مواد افزودنی حباب‌ساز[2]

عملکرد اصلی ماده افزودنی حباب‌ساز، ایجاد حجم کنترل شده‌ای از حبابهای ریز میکروسکوپی هوا و توزیع یکنواخت آنها در حجم بتن و ملات است. این حبابها را نباید با حبابهای ناخواسته کوچک و بزرگ که هنگام اختلاط با شکل‌ها و ابعاد و بصورت نامنظم در حجم بتن پراکنده شده‌اند، اشتباه کرد. مواد حباب‌ساز از نوع مواد آلی با سطح فعال هستند که دارای پایداری خوبی بوده و در موقع حمل، ریختن و جا دادن بهم نپیوسته و از مخلوط خارج نمی‌شوند، بطوری که بتن ساخته شده، پس از گرفتن و سخت شدن دارای درصدی هوا بصورت حبابهای بسیار ریز به فواصل حدود ۵۰ میکرون از یکدیگر است.

حبابها در لابلای دانه‌ها نظیر ساچمه‌های بلبرینگ عمل کرده، روانی مخلوط و در نتیجه کارآیی بتن را افزایش داده ومانند مواد کاهش دهنده آب با حفظ کارآیی، نسبت آب به سیمان را تقلیل می‌دهند نظر به اینکه حبابها بسته بوده و با یکدیگر ارتباط ندارند،

1 Water Reducing Agent
2 Air- entraininy agent

قابلیت نفوذ بتن سخت شده حبابدار کمتر از بتن مشابه و بدون حباب است. بتن حاصله نسبت به یخبندان نیز پس از سخت شدن بسیار مقاوم است.

تذکر مهم : مشخصات تمامی موارد افزودنی باید با "مشخصات مواد افزودنی شیمیایی برای بتن" طبق استاندارد دت ۴۰۱ آیین‌نامه بتن ایران، مطابقت داشته باشد.

۳-۵-۲- توصیه‌هایی برای استفاده از مواد افزودنی

اگر مواد افزودنی خوب تولید شده و بطور مناسب بکار برده شوند، اهدافی را که در بخش قبل مورد بحث قرار گرفت، بنحوی موثر تامین می‌نمایند، اما کاربرد بی‌ضابطه و ناآگاهانه آنها ممکن است به نتایجی نامطلوب منجر شود.

اطلاعات کافی و قابل اعتماد در مورد امکانات، نقش، شرایط و موارد احتراز از مصرف مواد افزودنی باید از سوی تولیدکنندگان در دسترس مصرف‌کنندگان قرار گیرد.

تاجائی که بتوان از طریق تعیین بهترین نسبتهای اختلاط و با استفاده از امکانات و تجهیزات متعارف، بتنی با کیفیت و ویژگی مورد نظر تهیه کرد، کاربرد مواد افزودنی بلحاظ فنی و اقتصادی فاقد توجیه است. مصرف این مواد اساساً وقتی موجه است که معضلات موجود در عملیات اجرائی را بر طرف سازد و یا ویژگیهایی را موجب شود که بدون استفاده از مواد افزودنی دست‌یابی به آنها میسر نباشد. به عنوان یک اصل کلی، مصرف ماده افزودنی نباید به مشخصات فیزیکی، شیمیائی و مکانیکی بتن لطمه وارد آورد. همچنین ماده افزودنی نباید به میلگردهای معمولی یا کابلهای پیش‌تنیدگی صدمه بزند.

هر ماده افزودنی باید با رعایت شرایط ویژه‌ای که توسط کارخانه سازنده و بر اساس استانداردهای ذیربط تعیین می‌شود، بکار برده شود تا نتیجه مطلوب از آن حاصل گردد. با این وجود دستورالعمل‌های کلی و ضوابط فراگیر و مشترکی در مورد مصرف مواد

افزودنی وجود دارد که عبارتند از:

الف) انتخاب صحیح مواد افزودنی و تهیه آن از منابع شناخته شده و مورد اعتماد.

ب) کنترل کیفیت مواد افزودنی شامل کنترل انطباق مشخصات با کاتالوگ سازنده و انجام آزمایش‌های کامل کنترل کیفیت.

پ) انبار کردن طبق مشخصات، در محل مناسب و طبق توصیه‌های کارخانه سازنده.

ت) پیش‌بینی وسیله دقیق و مناسب برای توزین یا پیمانه کردن

ث) تعیین مقدار مصرف بر اساس توصیه کارخانه سازنده و جرح و تعدیل آن از طریق انجام آزمایشهای لازم.

ج) اختلاط با بتن بطور یکنواخت و اعمال کنترل مستمر.

چ) پرهیز از اختلاط مواد افزودنی مختلف بدون بررسی قبلی و حصول اطمینان از سازگاری آنها با یکدیگر

ح) استفاده از مواد در محدوده زمانی که توسط سازنده تعیین شده است.

۳-۵-۳- کاربرد توام مواد افزودنی با یکدیگر

اگر دو یا چند ماده افزودنی ناسازگار توام با یکدیگر مصرف شوند ممکن است در عمل بجای ارتقای کیفیت بتن، مشکلاتی نیز بروز نماید از اینرو باید حتی‌المقدور از اختلاط و مصرف مواد افزودنی مختلف احتراز گردد، مگر کارخانه سازنده اختلاط آنها را با یکدیگر پیش‌بینی کرده و مجاز دانسته باشد. در صورتی که مصرف همزمان دو یا چند ماده افزودنی مورد نظر باشد، باید پیشاپیش از طریق آزمایش از عملکرد صحیح آنها پس از اختلاط، اطمینان حاصل شود. در صورتیکه سابقه قبلی در این مورد وجود نداشته باشد، باید از کارخانه سازنده نظرخواهی شود.

عمدتاً مواد افزودنی محلول نمکهائی هستند که در آب یونیزه می‌شوند و در صورت اختلاط مواد افزودنی با هم، ممکن است فعالیتهای یونهای مختلف با هم در آمیخته و حضور برخی یونها، فعالیت یونهایی را تشدید و فعالیت بعضی دیگر را محدود

و حتی متوقف سازد. بعلاوه درجه حرارت مخلوط نیز ممکن است به تشدید یا تضعیف فعالیت یونها کمک نماید و مجموع این عوامل به تغییر عملکرد مواد افزودنی مخلوط شده منجر گردد.

۳-۵-۴- کاربرد روانسازها[1] و روان‌کننده‌های قوی[2]

استانداردهای مختلف برای جلوگیری از بروز خوردگی فولاد و تخریب بتن در شرایط حاد محیطی و مخرب نسبت آب به سیمان مصرفی در بتن را شدیداً محدود می‌نمایند، این محدودیت باعث تولید مخلوط بتن خشن[3] می‌شود، در شرایط آب و هوای گرم افت شدید اسلامپ نیز مشکلات اجرایی را تشدید می‌نمایند. خنک کردن مصالح تا حدی این موضوع را بدون افزایش آب بهبود می‌بخشد، ولی غالباً استفاده از مواد افزودنی روان‌کننده برای مقابله جدی با افزایش آب مورد نیاز و حصول کارآیی و روانی مطلوب از ضرورتهای اساسی است تا بتوان علاوه بر تولید بتن غیر قابل نفوذ و متراکم با نسبت آب به سیمان کم، مراحل تهیه، حمل، ریختن، تراکم و پرداخت بتن را انجام داد. باید توجه داشت که اثر روان‌کنندگی این مواد به ۳۰ تا ۶۰ دقیقه پس از مصرف آنها محدود می‌شود. بهمین دلیل لازم است روان‌کننده‌های قوی را درست قبل از بتن‌ریزی به مخلوط اضافه نمود.

☐ ۳-۶- فولاد

۳-۶-۱- کلیات

مقاومت کششی بتن بسیار کم است، از اینرو برای تحمل تنشهای کششی در اعضا و قطعات سازه‌ای بتنی باید در آنها فولاد تعبیه نمود.

1 Plasticizer
2 Super plasticizer
3 Harshmixture

یکی از معمول‌ترین علل تخریب سازه‌های بتن آرمه خوردگی میلگردهاست. خوردگی میلگردهای موجود در بتن اساساً بعلت نفوذ اکسیژن، آب، دی‌اکسید کربن، کلرورها و دیگر نمکهای آسیب‌رسان[1] و اثر آن بر میلگردها است. چنانچه سطح آرماتورهای مورد استفاده در بتن زنگ‌زده باشد، پیوستگی میلگردها با بتن ضعیف و لایه سطحی آرماتور از یکنواختی و خواص فیزیکی- شیمیایی مطلوب برخوردار نبوده و فولاد در مقابل عوامل خورنده مانند یون کلرید، ضعیف عمل خواهد کرد. حتی آرماتورهایی که سطوح تمیز و عاری از زنگ دارند. در محیطهای خورنده و هنگام وجود عوامل مهاجم مانند آب، اکسیژن، یون کلرید و یا بر اثر پدیده کربناتی شدن به سبب پائین آمدن PH بتن، لایه محافظ خود را از دست داده و دچار خوردگی می‌شوند. یکی از روشهایی که با آن می‌توان آرماتورها را در مقابل خوردگی کلروری مقاوم نمود، ایجاد پوشش‌های مقاوم است. استفاده از آرماتورهای گالوانیزه و ایجاد پوشش اپوکسی برای میلگردها از جمله روشهای اجرایی متداول است که در زیر نقاط ضعف و قوت آنها مورد بررسی قرار می‌گیرد.

۳-۶-۲- فولادهای گالوانیزه

با استفاده از فلز روی و بطرق مختلف از جمله غوطه‌وری گرم و پوشش الکترولیتی لایه محافظی برای آرماتورها ایجاد شده است. رایج‌ترین روش برای گالوانیزه کردن میلگردهای فولادی غوطه‌وری گرم است.

کارآیی این نوع حفاظت به آنالیز شیمیایی ساخت فولاد و PH بتن بخصوص در زمان حمله یون کلر بستگی دارد.

1 Aggressive

در بتن‌هاییکه عاری از کلرید هستند، وقتی تمام ضخامت پوشش بتن کربناتی شود آرماتور گالوانیزه مقاومت خوبی از خود نشان می‌دهد، لیکن در بتن‌هاییکه به میزان زیادی کلرید دارند (بیشتر از یک درصد وزنی سیمان) خوردگی بطور جدی اتفاق می‌افتد. تحقیقات در این مورد نشان داده است که در محیطهای دریایی بعد از دو سال لایه روی بوسیله یونهای کلرید دچار آسیب گردیده و بعد از پنج سال تخریب قابل ملاحظه‌ای رخ داده است.

در اثر واکنشهای شیمیایی که بین روی و مواد حاصل از فرآیند آبگیری سیمان اتفاق می‌افتد، اتصال بین آرماتور گالوانیزه و بتن ضعیف‌تر از حالت معمولی است. برای رفع این مشکل معمولاً آرماتور گالوانیزه را کروماته می‌کنند. همچنین مطالعات انجام شده نشان می‌دهد که آرماتورهای گالوانیزه در بتن دچار خوردگی موضعی نیز می‌شوند.

با توجه به موارد ذکر شده و اینکه هنوز برخی آزمایش‌ها دلالت بر مقاومت مطلوب آرماتورهای گالوانیزه در مقابل خوردگی دارند، باید در انتخاب این روش بعنوان حفاظت در برابر خوردگی دقت لازم بعمل آمده و شرایط بتن، آرماتور و محیط دقیقاً در نظر گرفته شود.

۳-۶-۳- فولادهای با پوشش اپوکسی

آزمایشهای کوتاه مدت در آمریکا بیانگر کارآیی مطلوب این نوع پوشش بوده بطوریکه در سال ۱۹۸۷ بالغ بر ۱۸۰ هزار تن آرماتور با پوشش اپوکسی در آمریکا به مصرف رسیده است، ولی پس از استفاده زیاد از این آرماتورها بخصوص در آمریکا و انگلستان اخیراً خوردگیهای پیشرفته‌ای در محیطهای دریایی مشاهده شده است.

مشاهدات میکروسکوپی نشان داده که در ساخت میلگردهای با پوشش اپوکسی اشکالاتی وجود داشته است.

ترکهای میکروسکوپی روی پوشش‌های اپوکسی حاکی از آن است که ترک‌ها مربوط به زمان تولید این مصالح است. در جایی که آرماتورها خم شده‌اند نیز جدا شدن پوشش اپوکسی مشاهده شده است. بنابراین در انتخاب نوع و کار با پوشش‌های اپوکسی باید دقت کافی مبذول گردد.

۳-۶-۴- فولادهای آلیاژی و ضد زنگ

آرماتورهایی که معمولاً برای تقویت بتن بکار می‌روند، از جنس فولادهای ساختمانی کم کربن می‌باشند که در مقابل خوردگی ناشی از کلرید بسیار ضعیف عمل می‌کنند. لیکن یافتن فولادی که بتواند در عین داشتن خواص مطلوب به لحاظ خوردگی، از نظر قیمت نیز با فولادهای کم کربن ساختمانی رقابت نماید، بسیار مشکل بنظر می‌رسد.

اخیراً آرماتورهایی از فولادهای آلیاژی خاص برای استفاده در سازه‌های بتن آرمه ساخته شده که در مقابل خوردگی مقاومت خوبی دارند و به تولید انبوه نیز رسیده‌اند.

این آرماتورها بویژه برای مناطق دریایی مناسب می‌باشند، مقاومت آنها در برابر خوردگی ۲ تا ۵ برابر بیشتر از آرماتورهای معمولی است و در عین حال خواص مکانیکی‌شان مشابه آرماتورهای معمولی است.

فولادهای آلیاژ نیکل، کرم، نقره و قلع عموماً در مقابل خوردگی کلریدی مقاومت خوبی نشان داده و از مقاومت مکانیکی قابل توجهی نیز برخوردار بوده‌اند.

از آنجا که فولادهای ضد زنگ به مراتب گرانتر از فولادهای معمولی هستند استفاده از آنها به سازه‌های خاص محدود می‌شود.

نتیجه‌گیری

با در نظرگرفتن مندرجات آیین‌نامه بتن ایران و توصیه‌های ارائه شده در مورد مصالح تشکیل دهنده بتن و بکار گرفتن مواد افزودنی، مصالح جایگزین سیمان نظیر پوزولانهای طبیعی و مصنوعی، فولادهای خاص و روشهای جدید می‌توان تا حدود زیادی با آثار زیانبار شرایط محیطی نقاط گرمسیری بویژه حضور کلرورها و سولفاتها، مقابله نموده و پایایی بتن را به میزانی قابل توجه افزایش داد. در واقع شرط اول حصول پایایی مطلوب، بکار بردن مصالح سالم و استاندارد با نسبت‌های توصیه شده است و سایر تدابیر از قبیل کاربرد مواد افزودنی، افزایش ضخامت پوششها، حفاظت کاتدیک و نظایر آن در درجه دوم اهمیت قرار دارند.

مراجع و منابع مورد استفاده

الف- مراجع فارسی

۱- آیین‌نامه بتن ایران- بخش اول- نشریه شماره ۱۲۰ سازمان برنامه و بودجه ، دفتر تحقیقات و معیارهای فنی.

۲- بتن شناسی (خواص بتن)، تالیف پروفسور نویل، ترجمه دکتر هرمز فامیلی.

۳- بتن در مناطق گرمسیر، سازمان برنامه و بودجه، دفتر تحقیقات و معیارهای فنی.

۴- مجموعه مقالات کنفرانس بین‌المللی بتن ۷۱، سازمان برنامه و بودجه ، دفتر تحقیقات و معیارهای فنی.

۵- توصیه‌ها و پیشنهادهایی درباره پایایی بتن در سواحل و جزایر جنوبی کشور، نشریه شماره ۱۵۶ مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن.

ب- مراجع انگلیسی

1. V.Malhotra
Fly Ash , Slag , Silica fume, and rice-Husk ash in concrete: A review ACI Concrete international, april 1993

2. P.Fidjestol,
The use of microsilica and slag to prevent deterioration of concrete deterioration and repair of reinforced concrete in the persian gulf, proceedings, 4th international conference

3. N.S.Berke,F.Gianetti, P.G.Tourney , Z.G.Matta, The use of calcium nitrite corrosion inhibitor to improve the durability of reinforced concrete in the persian Gulf, Deterioration and repair of reinforced concrete in the persian gulf, proceedins, 4th international coference.

4. Rasheeduzzafer, S.E.Hussain.
Durablity mechanisms of blended cement concretes deterioration and repair of reinforced concrete in the persian gulf, proceedings, 4th international conference.

5. H.Saricimen
Concrete durablity problems in the persian gulf region-a review deterioration and repair of reinforced concrete in the persian gulf, proceeings, 4th international conference.

6. P.J.Svenkerud.K.Knusten,
The use of microsilica concrete in the persian gulf, deterioration and repair of reinforced concrete in the persian gulf, proceedings, 4th international conference.

فصـــل چهارم

روشهای اجرایی و توصیه‌ها

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
فصل چهارم – روشهای اجرایی و توصیه‌ها	
۴-۱- مقدمه	۱
۴-۲- مسائل و اشتباهات اجرایی	۲
۴-۳- ویژگیهای بتن در مناطق گرمسیر	۳
۴-۳-۱- تابش و تشعشع خورشید	۴
۴-۳-۲- دمای محیط	۵
۴-۳-۳- رطوبت	۵
۴-۳-۴- باد	۶
۴-۳-۵- دمای شب	۶
۴-۴- ویژگیهای اجزای متشکله بتن و نحوه اجرا	۷
۴-۴-۱- سیمان	۷
۴-۴-۲- سنگدانه‌ها	۹
۴-۴-۳- آب	۱۰
۴-۴-۴- میلگرد	۱۱
۴-۴-۵- قالب	۲۰
۴-۴-۶- مواد مضاف	۲۲

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
۴-۴-۷- بتن‌ریزی	۲۶
۴-۴-۸- عمل‌آوردن	۳۱
۴-۵- نتیجه‌گیری و توصیه‌ها	۳۵
۴-۵-۱- نکات طراحی	۳۵
۴-۵-۲- نکات اجرایی	۴۰
۴-۵-۳- کنترل کیفیت و اطمینان از کیفیت	۴۳
فهرست منابع و مراجع	۴۶

فصل چهارم- روشهای اجرایی و توصیه‌ها

۴-۱ مقدمه

در مناطق گرمسیر بویژه در نواحی مرطوب مانند سواحل خلیج فارس و دریای عمان، عواملی چون هوای گرم، وزش باد، رطوبت، تغییرات زیاد درجه حرارت در شبانه روز و عوامل خورنده شیمیایی نظیر کلرورها و سولفاتهای موجود در آب، خاک و حتی هوا پایایی و دوام بتن را مورد مخاطره قرار می‌دهند.

خرابیها در چنین مناطقی بسیار سریع اتفاق می‌افتند بر پایه شواهد موجود سازه‌هایی با پیش‌بینی عمر مفید ۳۰ الی ۴۰ سال، در ۵ سال اول عمر خود دچار خرابیهای وسیع شده‌اند. باین ترتیب لازم است در فرآیندهای طراحی، اجرا و بهره‌برداری از ساختمانهای بتنی در این قبیل مناطق دقت فراوان مبذول گردد.

ترمیم و بازسازی ساختمانهای آسیب‌دیده علاوه بر تحمیل هزینه‌های مستقیم، بدلیل اختلالاتی که در روند فعالیتهای متصرفین بوجود می‌آید، ضرر و زیانهای عدیده‌ای را بدنبال دارد. از اینرو تلاش و دقت در طراحی و ساخت و صرف هزینه‌هایی برای بهبود کیفیت و کنترل آن هنگام اجرا با هدف افزایش عمر و دوام سازه‌های بتنی، کاملاً منطقی و اقتصادی است. برای تامین دوام و پایایی، توجه به تمامی مراحل از طراحی تا اجرا شامل طرح اختلاط بتن، آرماتوربندی، قالب‌بندی، بتن‌ریزی، عمل‌آوری و مراقبت ضروری است. در این فصل جزئیات موارد یاد شده و روشها و توصیه‌های اجرایی ویژه این مناطق تشریح خواهد شد.

۴-۲- مسایل و اشتباهات اجرایی

بدلیل نقش و اهمیت اشتباهات فاحش اجرایی در بروز اکثر خرابیهای زودرس در مناطق گرمسیری، در ابتدای این فصل به مهمترین این موارد اشاره می‌شود.

نکته اساسی آنست که بروز اکثر خرابیهای جدی ناشی از عدم توجه به ویژگیهای مصالح مورد مصرف، ضخامت پوشش بتن روی میلگردها و عدم رعایت دستورالعمل‌های اجرایی پیش‌بینی شده در مشخصات فنی است.

در این فصل به تمامی عوامل موثر در پایایی بتن اشاره خواهد شد. گرچه در آیین‌نامه بتن ایران و مشخصات فنی عمومی کارهای ساختمانی، بخش بتن و بتن آرمه، تمامی این نکات مورد تاکید قرار گرفته است، اما بدلیل اهمیت در این قسمت به پاره‌ای از اشتباهات فاحش اجرایی اشاره می‌شود. اشتباهات مزبور را نمی‌توان از طریق آیین‌نامه‌ها و دستورالعمل‌ها برطرف نمود، بلکه باید با آموزش، ارتقای دانش فنی، ایجاد نظام کنترل کیفیت[1] و اطمینان از کیفیت[2] به حل آنها مبادرت نمود.

مثالهای زیر نشاندهنده پاره‌ای اشتباهات معمول است که در عمل مشاهده شده است:

- پوشش ۵ میلیمتری بتن روی میلگردها بجای ۵۰ میلیمتر.
- مصرف ۱۵۰ کیلوگرم سیمان در متر مکعب بتن بجای ۳۵۰ کیلوگرم.
- نسبت آب به سیمان برابر ۰/۷۵ بجای ۰/۴۵ (که متاسفانه بسیار معمول بوده و از مهمترین عوامل افزایش نفوذپذیری بتن و در نتیجه کاهش بسیار زیاد پایایی آن می‌باشد).
- اشتباهات طراحی و اجرایی در مورد مقدار ناکافی میلگردها که بسیار خطرناک است.
- توصیه یا مصرف نوع سیمان نادرست مانند توصیه مصرف سیمان پرتلند نوع پنج در مناطقی که یون کلر و رطوبت بمقدار زیاد وجود دارد.

باید توجه داشت که اگر اجرای کارهای بتنی در تمام مراحل اعم از تولید مصالح،

1 Quality control
2 Quality Assurance

اختلاط، حمل، ریختن، مراقبت و عمل آوردن توسط افراد صاحب صلاحیت و با کیفیت مناسب انجام نگیرد تمامی تدابیر و مقاصد طراحی و آیین‌نامه‌ها با شکست مواجه خواهد شد.

باید توجه نمود که در مناقصه‌ها پایین‌ترین پیشنهاد قیمت لزوماً مناسبترین پیشنهاد نیست. اجرای کار در مناطق گرمسیر مستلزم بکار گرفتن نیروی انسانی با صلاحیت و صاحب تجربه در این زمینه است. کارفرما نیز باید با درک عمیق شرایط حاکم بر اجرا هزینه‌های واقعی را پس از تجزیه و تحلیل تمامی جوانب بپذیرد تا پیمانکار بتواند با اتخاذ تمامی تدابیر لازم و با اطمینان از دریافت حق‌الزحمه خود نسبت به اجرای صحیح اقدام نماید.

ضرورت آموزش نیروی انسانی دست‌اندرکار اجرا و تربیت صحیح تکنسین‌های آینده در مراکز معتبر فنی و حرفه‌ای از دیگر نکاتیست که باید مورد توجه قرار گیرد. این افراد را میتوان پس از طی دوره‌های فنی و حرفه‌ای و امتحانات مربوطه تعیین صلاحیت نمود. بازآموزی تکنسین‌ها و مهندسین برپایی سمینارها، سخنرانیها و کارگاههای تخصصی برای ارتقای دانش فنی نیز بسیار مهم و ضروری است.

❑ ۴-۳- ویژگیهای بتن در مناطق گرمسیر

بتنی که در ماههای گرم سال در این قبیل مناطق ریخته می‌شود در معرض شرایطی قرار می‌گیرد که بر خواص بتن تازه و سخت شده تاثیر مستقیم دارد. اهم ویژگی‌های بتن در این شرایط عبارتند از :

الف- نیاز به آب بیشتر

ب- افزایش آهنگ گیرش یا کاهش سریع اسلامپ بتن تازه.

پ- ایجاد و افزایش ترکهای ناشی از جمع‌شدگی خمیری بتن تازه و افت ناشی از خشک شدن در بتن سخت شده.

ت- مشکل کنترل مقدار هوای محبوس در بتن.

ث- مقاومت فشاری نهایی کمتر.

ج- افزایش سرعت واکنش‌های شیمیایی گزندبار و کاهش پایایی بتن.

چ- ظاهر ناخوش‌آیند سطح تمام شده بتن.

باید توجه داشت که شرایط مناسب محیطی برای بتن‌ریزی عبارت است از: درجه حرارت بین ۲۰ تا ۲۲ درجه سلسیوس، رطوبت نسبی ۵۰ درصد یا بیشتر و سرعت باد کم (به شکل ۲-۲ فصل دوم مراجعه شود)، با شروع افزایش درجه حرارت، کاهش رطوبت، افزایش سرعت باد و یا هرگونه ترکیبی از این عوامل، پایایی بتن به خطر افتاده و تدابیر احتیاطی برای کاهش آثار زیانبار، ضروری می‌باشد. بموجب قوانین حاکم بر علم شیمی میزان و اکنش‌های شیمیایی، عموماً بازاء هر ۱۰ درجه سلسیوس افزایش دما دو برابر می‌شوند. بطور کلی شرایط محیطی بر بتن در مناطق گرمسیری تاثیر بسزایی دارند که عبارتند از:

۴-۳-۱- تابش و تشعشع خورشید

این عامل بمقدار قابل توجهی بر درجه حرارت مصالح انبار شده تاثیر دارد. حرارت جذب شده در اثر تابش خورشید در طول روز، ممکن است در شب تماماً از دست نرود، در نتیجه، درجه حرارت جسم دانه‌های سنگی انبار شده ممکن است بتدریج به اندازه‌ای برسد که گرمای بتن از حد قابل قبول تجاوز نماید.

دستگاه‌های تولید، حمل و ریختن بتن معمولاً ظرفیت حرارتی کمی دارند، باین ترتیب ماشین‌آلات در شب سرد می‌شوند اما، در روز با توجه به جنس خود بسرعت گرم شده و انرژی گرمائی ذخیره شده خود را به بتن تازه منتقل می‌نمایند.

قالب و آرماتور نیز باید قبل از بتن‌ریزی علاوه بر دیگر وارسی‌ها از نظر دما مورد بررسی قرار گیرند.

برای بتن‌ریزی پی نیز باید دقت فراوان بعمل آید ریختن بتن روی زمین گرم و خشک، سبب جذب و کاهش آب بتن و تقلیل پایایی آن خواهد شد.

بنابراین لازم است با ایجاد سایه روی : سنگدانه‌ها، قالب‌ها، آرماتورها و ماشین‌ها و وسائل مربوط به بتن‌ریزی (مخلوط کن، تراک میکسر، پمپ بتن و آب، ویبراتور، سیلوی ذخیره سیمان، تانک آب .....) آنها را از تابش خورشید حفظ نمود و با آبپاشی موجب خنک شدن و کاهش دمای آنها شد. اجرای رنگ سفید روی ماشین‌آلات و قالب‌ها باعث کاهش جذب انرژی گرمایی خورشید خواهد شد. منطقه بتن‌ریزی نیز باید حتی‌الامکان در زیر سایه موقت قرار گیرد.

۴-۳-۲- دمای محیط

هوا ظرفیت حرارتی کمی دارد و در صورت سکون، هدایت حرارتی آن ضعیف است، با این وجود آهنگ جذب بخار آب هوا، با دمای آن افزایش می‌یابد.

دمای زیاد هوا می‌تواند آب موجود در بتن را هنگام ساختن، حمل، جادادن یا گرفتن و سخت شدن تبخیر نماید. چنانچه دمای بتن و آب ۲۰ درجه سلسیوس باشد. میزان از دست رفتن آب از راه تبخیر دو برابر زمانی است که دمای آنها ۱۰ درجه باشد.

بنابراین در مناطق گرمسیر باید بتن‌ریزی در ساعات خنک یعنی صبح زود، غروب و یا در صورت امکان هنگام شب انجام شود. مطابق توصیه اکثر آیین‌نامه‌ها نباید در دمای بیش از ۳۲ و در موارد استثنایی در دمای بیش از ۳۸ درجه سلسیوس مبادرت به بتن‌ریزی نمود. همچنین دمای بتن نیز نباید از ۳۰ درجه تجاوز کند. این امر با بکار بردن یخ در آب بتن و خنک کردن سایر اجزای متشکله آن امکان‌پذیر است.

۴-۳-۳- رطوبت

بر خلاف آنکه پایین بودن میزان رطوبت در محل انبار کردن سیمان، به طول عمر آن

کمک می‌کند، این نکته هیچ اثر مفیدی بر بتن ندارد. کاهش رطوبت نسبی از ۹۰ به ۵۰ درصد، بدون تغییر در سایر شرایط، میزان تبخیر آب از بتن محافظت نشده را پنج برابر افزایش می‌دهد.

خوشبختانه در بسیاری از نقاط گرمسیری ایران، بویژه حواشی خلیج فارس، رطوبت نسبی زیاد است، با این وجود همانطور که در فصل اول (طبقه‌بندیهای اقلیمی) اشاره شد نقاط گرمسیر با رطوبت نسبی کم (مناطق کویری و صحرایی) نیز در ایران وجود دارد. بتن‌ریزی در این شرایط باید با تدابیری ویژه همراه باشد تا از تبخیر زودرس آب بتن، بویژه در صورت وزش باد، جلوگیری شود.

۴-۳-۴- باد

همانطور که در بخش قبل اشاره شد، میزان جابجایی هوا (باد) یکی از عواملی است که بیشترین اشکالات را در ارتباط با بتن‌ریزی در آب و هوای خشک بوجود می‌آورد. هوای ساکن بسهولت از بخار آب اشباع می‌شود و وزش سبکترین نسیم، باعث می‌شود که آب موجود در بتن محافظت نشده بسرعت تبخیر گردد.

بعنوان مثال در نسیمی بسرعت ۱۵ کیلومتر در ساعت میزان تبخیر آب ۴ برابر میزان تبخیر در هوای ساکن است و در بادی با سرعت ۴۰ کیلومتر در ساعت میزان تبخیر به ۹ برابر زمانی که هوا بی حرکت است می‌رسد.

بطور کلی در دمای یکسان تدابیر احتیاطی روزهای مرطوب بدون باد کمتر از روزهای خشک بادی است.

۴-۳-۵- دمای شب

کاهش دمای هوای شب که بعضی اوقات در مناطق دور از دریا بوقوع می‌پیوندد بلحاظ کاهش دمای ذخیره شده مصالح در طول روز و سرد شدن ماشین‌آلات تهیه، حمل

و ریختن بتن، در بردارنده محاسن زیادی است، اما کاهش دما شدیداً بر بتن محافظت نشده که در مراحل اولیه سخت شدن است تاثیر نامطلوب دارد. در این هنگام سیمان که در مرحله آبگیری و آزاد کردن حرارت است دچار شوک حرارتی می‌شود.

چنانچه بتن محافظت نشده باشد، سطح آن حرارت خود را به محیط سرد اطراف می‌دهد و همراه با این عمل منقبض می‌شود. با توجه به قابلیت هدایت حرارتی نسبتاً کم بتن، درجه حرارت و ابعاد قسمتهای درونی توده بتن بهمان صورت اولیه باقی می‌ماند و تنش کششی بوجود آمده در سطح بیرونی بتن بواسطه تشکیل ترک‌ها آزاد می‌گردد. ترک‌های مزبور از اهمیت سازه‌ای برخوردار نیستند، اما نمای بتن را خدشه دار نموده و راهی برای ورود مواد مهاجم و خورنده بویژه کلر بوجود می‌آورند که خود مقدمه‌ایست برای خوردگی و فساد آرماتورها و بتن.

❑ ۴-۴- ویژگیهای اجزای متشکله بتن و نحوه اجرا

توصیه‌ها، تدابیر احتیاطی، آزمایش های کنترل کیفیت و سایر مشخصات فنی متعارف برای اجزای تشکیل‌دهنده بتن در آب و هوای معمولی و شرایط محیطی متعارف، در آیین‌نامه بتن ایران[1]، (نشریه شماره ۱۲۰) مشخصات فنی عمومی کارهای ساختمانی[2] (بخش بتن و بتن آرمه- نشریه شماره ۵۵)، مشخصات فنی عمومی مخازن آب[3] (نشریه شماره ۱۲۴) و سایر آیین‌نامه‌ها و مشخصات فنی درج شده است. توصیه می‌شود برای مناطق گرمسیر دستورالعمل‌های مشروح زیر در مورد اجزای تشکیل‌دهنده بتن مورد توجه قرار گیرد.

۴-۴-۱- سیمان

در هوای گرم توجه به دمای سیمان هنگام اختلاط بسیار مهم است زیاد بودن دمای

۱ و ۲ و ۳- تماماً از نشریات دفتر تحقیقات و معیارهای فنی سازمان برنامه و بودجه.

سیمان، درجه حرارت بتن تهیه شده را افزایش می‌دهد، این امر موجب تسریع عمل آبگیری سفت شدن فوری و افزایش نیاز به آب شده و نهایتا" آثار نامطلوبی را بر مقاومت و جمع‌شدگی خمیری بتن خواهد داشت. بنابراین دمای سیمان هنگام اختلاط نباید از ۵۰ درجه سلسیوس تجاوز نماید.

نکته دیگر انتخاب نوع سیمان مصرفی در این مناطق است.

با توجه به وفور سولفاتها و کلرورها بهتر است از سیمان نوع دو برای بتن‌هایی که در معرض کلرور و سولفات هستند (با توجه به میزان متوسط سولفاتها) استفاده شود. در مناطقی که فقط سولفاتها به مقدار زیاد وجود دارند استفاده از سیمان نوع پنج مناسب تر است. در مناطقی که سولفاتها و کلرورها تواما" و به مقدار زیاد وجود دارند بهترین نوع سیمان، سیمان روباره‌ای با درصد بالای سرباره کوره بلند (تا ۷۰ درصد) است. البته استفاده از سیمان نوع یک همراه باخاکستر بادی[1] (۳۰ درصد) ، میکروسیلیس[2] (حدود ۱۰ الی ۱۵ درصد) و یا پوزولانهای طبیعی با کیفیت و درصد مناسب، کارساز خواهد بود. در این شرایط (وجود توام کلرورها و سولفاتها به میزان زیاد) نکته مهم قبل از انتخاب نوع سیمان ساخت و اجرای بتن با نفوذپذیری کم است به ترتیبی که از ورود املاح مذکور تا حد امکان جلوگیری شود.

برای ساخت بتن پایا در مناطق گرمسیر حداقل میزان سیمان مصرفی نیز بسیار مهم است. این مقدار در آیین‌نامه‌های مختلف بسته به شرایط محیطی از ۳۲۰ تا ۴۴۰ کیلوگرم در متر مکعب توصیه شده است (برای قسمتهای زیرزمین، ۳۸۵ تا ۴۴۰ کیلوگرم، برای قسمتهای بالاتر از سطح زمین که در معرض نفوذ کلرور و سولفات قرار دارند ۳۸۵ تا ۴۲۰ کیلوگرم و برای قسمتهای بالاتر از سطح زمین که در معرض نفوذ کلرور و سولفات قرار ندارند ۳۳۰ تا ۳۸۵ کیلوگرم، در متر مکعب بتن). مصرف زیادتر سیمان، بویژه در سازه‌های حجیم و یا به مقدار بیش از ۵۰۰ کیلوگرم در متر مکعب با توجه به گرمایی که

1 Fly Ash
2 Micro silica

در اثر فعل و انفعالات شیمیایی آزاد می‌شود، مجاز نمی‌باشد.

مصرف سیمان نوع دو بلحاظ خاصیت حرارت زایی کمتر، نسبت به سیمان نوع یک مرجح است.

۴-۴-۲- سنگدانه‌ها

دانه‌بندی مناسب شن و ماسه و نسبت‌های بهینه اختلاط برای تهیه بتنی متراکم، نفوذناپذیر و در نتیجه با پایایی مطلوب، از اهمیتی ویژه برخوردار است. مشخصات شن و ماسه مانند شکل و جنس دانه‌ها، درصد مجاز کلرورها، سولفاتها و سایر مواد زیان‌آور مصالح سنگی در فصل سوم (مصالح) به تفصیل مورد بحث قرار گرفت.

از دیگر نکات مهم در مناطق گرمسیر، تامین کارآیی بتن است. از آنجا که برای بدست آوردن بتنی با حداقل نفوذپذیری باید نسبت آب به سیمان را تا حد امکان کم اختیار کرد (حداکثر ۰/۴۵) ، لازم است کارآیی مناسب بطرق دیگری تامین شود. استفاده از مصالح سنگی رودخانه‌ای (گردگوشه) در ساخت بتن یکی از روشهای موثر در تامین کارآیی مورد نظر است.

در ارتباط با نفوذپذیری باید توجه داشت که سنگدانه‌های آهکی موجود حاشیه خلیج فارس، معمولاً جاذب آب، نرم، آلوده به خاک و نمکهای کلروری و سولفاتی هستند. در مورد اندازه سنگدانه‌ها باید توجه داشت که سنگدانه‌های بزرگ بر نفوذپذیری بتن و در نتیجه پایایی آن اثر نامطلوب دارند کاهش اندازه سنگدانه‌ها، نفوذپذیری بتن را کاهش می‌دهد. بدین منظور بعضی پژوهشگران، حداکثر اندازه سنگدانه را برای سازه‌های بتنی در منطقه خلیج فارس ۲۰ میلیمتر پیشنهاد می‌کنند. شستشوی سنگدانه‌ها با آب شیرین برای زدودن کلرورها، سولفات‌ها، ناخالصیهای آلی، رسها، چرت‌ها و سایر مواد زیان‌آور، ضروری است. در محیط‌های حاوی املاح خورنده باید مراقب بود که سنگدانه‌های انبار شده آلوده به املاح نشوند، بهتر است سنگدانه‌ها روی سطوح تمیز و ترجیحاً دالهای بتنی انباشته شوند واز لایه زیرین مصالح، بدلیل آنکه عناصر آلوده‌کننده در

این لایه جمع می‌شوند، استفاده نشود. اصولاً ماسه‌های خاکدار موجب کاهش کارآیی و مقاومت بتن شده و شستشوی آنها به منظور کنترل ارزش ماسه‌ای[1] مصالح ضروری است.

همانطور که در بخش ۴-۳ درج شد، کاهش دمای دانه‌های سنگی انبار شده، بیشترین تاثیر را بر تقلیل درجه حرارت بتن تازه دارد، بنابراین جلوگیری از تابش مستقیم خورشید به مصالح می‌تواند در این مورد نتیجه بخش باشد. در این مورد ایجاد سایه‌بان برای مصالح انبار شده مناسب ترین راه حل است. در صورتی که آب بمیزان کافی در دسترس باشد می‌توان با آبپاشی، درجه حرارت سنگدانه‌ها را کاهش داد. چنانچه آب بصورت قطرات بسیار ریز و پیوسته بر روی توده دانه‌های سنگی پاشیده شود، نتیجه بهتری بدست خواهد آمد.

۴-۴-۳- آب

مشخصات آب مصرفی نیز همانند سیمان و سنگدانه‌ها باید مطابق مندرجات آیین‌نامه بتن ایران و عاری از ناخالصی و مواد زیان‌آور باشد. از آب دریا نباید برای ساخت بتن استفاده شود. استفاده از یخ در کاهش دمای آب بسیار موثر است، در این مورد در بخش ۴-۴ به تفصیل بحث شده است. در صورت نبودن یخ بهتر است از آبی که مستقیماً از منبع اصلی شهر گرفته می‌شود و تا حدودی خنک است استفاده شود. چنانچه لوله حاوی آب روی سطح زمین قرار گرفته باشد، آب، گرما را از لوله می‌گیرد، بهتر آنست که لوله‌ها مدفون بوده و مخازن آب بنحوی از تابش مستقیم خورشید محافظت شوند.

از دیگر روشهای سردکردن آب استفاده از نیتروژن مایع است. در این روش که بطور رضایت‌بخشی بکار رفته، می‌توان دمای آب را تا ۰/۵ درجه سانتیگراد پایین آورد. کاربرد نیتروژن مایع سبب برفاب شدن آب می‌گردد و می‌توان از مایع حاصله بمنظور

1 Sand equivalent = S.E.

کاهش دمای سنگدانه‌ها و بتن استفاده نمود. صرفه اقتصادی این روش باید با توجه به شرایط محل اجرای پروژه مورد بررسی قرار گیرد.

درباره میزان آب مصرفی و ضرورت کنترل آن در این نشریه و سایر مراجع تاکید شده است. بطور خلاصه مصرف آب زیادتر از آنچه در طرح اختلاط بتن آمده است سبب کاهش مقاومت، دوام، نفوذناپذیری و سایر مشخصات مطلوب آن خواهد شد. با وجودی که این نکته مهم برای بتن در همه شرایط صادق است، کنترل کیفیت، دما و میزان آب در مناطق گرمسیر نیازمند بذل توجه ویژه است. رعایت حداکثر نسبت آب به سیمان مجاز، توجه به مشخصات فنی عمومی اجرایی، استفاده از ماشین‌آلات و تجهیزات مناسب برای تولید، حمل و ریختن بتن، بهره‌گیری از مواد کاهنده آب و آموزش نیروی انسانی از مهمترین مسایل کارهای بتنی در مناطق گرمسیر است.

۴-۴-۴- میلگرد

میلگردهای مورد مصرف در مناطق معتدل و گرمسیر تفاوتی با یکدیگر ندارند. لیکن همانند سایر اجزای بتن آرمه، رعایت، موارد ویژه‌ای برای میلگردها نیز موجب افزایش دوام و پایایی بتن آرمه خواهد شد. از فولادهای ضد زنگ، گالوانیزه و آغشته به رنگهای اپوکسی در برخی پروژه‌های مهم و در محیط‌های بسیار خورنده استفاده می‌شود. بهرحال مصرف این نوع فولادها باید با بررسی همه جانبه صورت گیرد، بویژه فولادهای گالوانیزه و آغشته به اپوکسی را باید با دقت زیادی مصرف نمود. در پاره‌ای مقالات و نوشته‌ها مطالبی درباره خوردگی این نوع فولادها گزارش شده است.

۴-۴-۴-۱- پاکیزگی و نگهداری میلگردها

در مناطق گرم و مرطوب، تمیز بودن میلگردها و عاری بودن آنها از هر گونه مواد مضر و نامطلوب هنگام بتن‌ریزی ضروری است. میلگردهایی که در فضای باز انبار شده‌اند ممکن است در اثر تجمع کلرور بر روی آنها، آلوده شوند. بعنوان مثال چنانچه میزان

آلودگی میلگردها ۱۰ گرم کلرور بر متر مربع باشد، پس از قرار گرفتن در بتن در آستانه خوردگی قرار میگیرد. این خوردگی ممکن است بصورت حفره‌ای[1] بروز کند.

از اینرو باید فولاد قبل از مصرف و هنگام نگهداری در انبار در معرض تاثیر عوامل خورنده واقع نشود. بدین منظور باید میلگردهای تحویل شده و خم شده در انبارهای مسقف با رعایت فاصله از کف نگهداری شوند. میلگردهایی که بنا به دلایل مختلف در معرض رطوبت هوا قرار می‌گیرند و یا بطور موقت یا دایم از بتن بیرون می‌مانند، باید با روش مناسبی پوشیده شوند، در این موارد استفاده از پوشینه‌های غیر قابل نفوذ مانند نایلون بسیار مناسب است. فولادهایی که برای ایجاد پیش‌تنیدگی بکار می‌روند باید قبل از مصرف در بسته‌بندی‌هایی که هوا نتواند در آنها نفوذ کند باقی بمانند و بعد از قرار گرفتن در محل اصلی بلافاصله تنیده شده و اطراف آنها و درون غلاف‌ها توسط دوغاب سیمان پر شود.

۴-۴-۴-۲- کارگذاشتن میلگردها و پوشش بتن[2] روی آنها

هنگام نصب، میلگردها باید عاری از هر گونه آلودگی نظیر گرد و خاک، زنگ‌زدگی، گل، چربی، دوغاب سیمان خشک شده، زنگ پوسته شده، رنگ و ذرات خارجی که مانع چسبندگی[3] بتن و میلگرد می‌گردد، باشند. تحقیقات سالهای اخیر نشان داده است که پیوستگی[3] مناسب و کامل بتن اطراف به میلگرد، از نفوذ کلر و از بین رفتن لایه مقاوم (پاسیو) روی آرماتور تا حد زیادی جلوگیری می‌نماید، تمامی آلودگی‌ها باید قبل از نصب و کارگذاردن میلگردها زدوده شوند و تدابیری اتخاذ گردد که میلگردها تا قبل از بتن‌ریزی از آلودگی‌ها محفوظ بمانند.

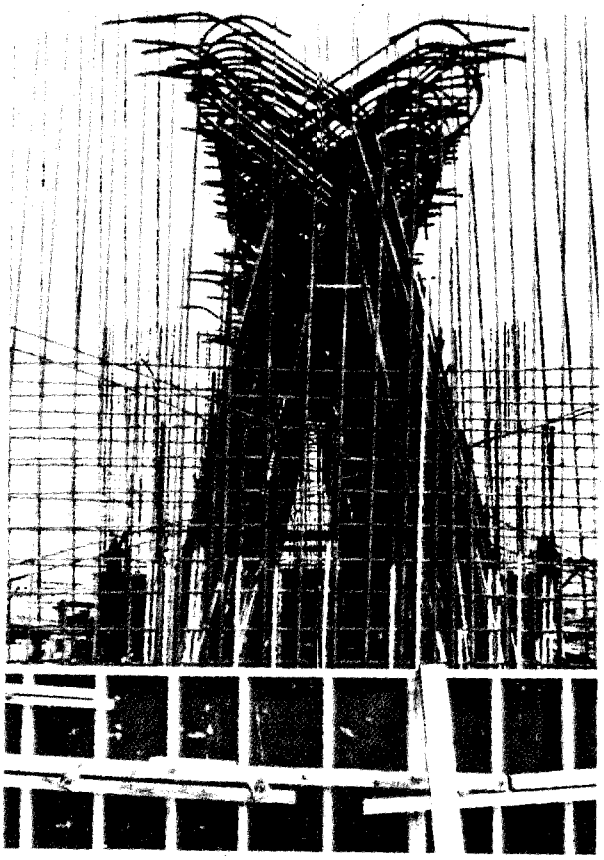
برای زدودن زنگ میلگردها، می‌توان از ماسه‌پاشی[4] که بر روشهای دیگر ارجح است، استفاده نمود.

1 Pittiny corrosion
2 Cover
3 Bond
4 Sand Blasting

به منظور تامین و کنترل ضخامت پوشش بتن ترجیحاً باید از خرکها[1]، فاصله‌دهنده‌ها[2] و لقمه‌های[2] پلاستیکی یا فلزی به ابعاد، مقاومت و مقدار لازم استفاده شود. لقمه‌های بتنی که در اکثر کارگاه‌ها ساخته می‌شوند در هوای آزاد، در معرض تابش خورشید و در مجاورت خاک و آب آلوده قرار دارد که خود نقطه ضعفی برای پایایی بتن بویژه در مناطق گرمسیری به حساب می‌آیند. شکل ۴-۱ نمونه‌ای از این نوع لقمه‌هاست که روی خاک نگهداری شده‌اند. میزان تراکم میلگردها از نکات مهم دیگری است که باید مورد توجه قرار گیرد. اعضا و قطعات بتن آرمه با درصد زیاد میلگرد مشکلاتی را برای ریختن بتن ایجاد می‌کنند، بدین ترتیب که اجزای تشکیل‌دهنده بتن در اثر برخورد با میلگردهای متراکم، غربال و از یکدیگر جدا می‌شوند[3] که نتیجه آن تراکم نامناسب بتن، کرمو شدن سطح آن، کاهش پایایی و عمر مفید سازه است. بنابراین باید تا حد امکان از طراحی مقاطع بتنی نازک با درصد زیاد میلگرد پرهیز شود. شکل ۴-۲ یک عضو بتنی با درصد زیاد میلگرد را نشان می‌دهد.

شکل ۴-۱- تولید لقمه‌های بتنی با کیفیت غیر قابل قبول روی زمین و زیر نور آفتاب (که احتمالاً نقطه ضعفی برای دوام سازه بتنی خواهند بود).

1 Chair
2 Cover Block
3 Segregaion



شکل ۴-۲- درصدزیاد میلگردها که موجب مشکلات بتن‌ریزی و کاهش کیفیت سطح بتن خواهد شد.

مطلب قابل توجه دیگری در مورد خوردگی میلگردها و یا قطعات فلزی که برای اتصال به قسمتهای دیگر بطور کمکی درون بتن واقع شده‌اند وجود دارد. در این قطعات قسمت مدفون در بتن در فرآیند خوردگی بعنوان کاتد و قسمت بیرونی بعنوان آند عمل می‌کند. در صورتی که قسمت درونی این قطعات در تماس با سایر میلگردها باشند خوردگی در قسمت بیرونی به سرعت اتفاق می‌افتد. بنابراین لازم است از تماس قسمت درونی این قطعات با سایر میلگردها جلوگیری شود. عایق کردن قسمت تماس باید با

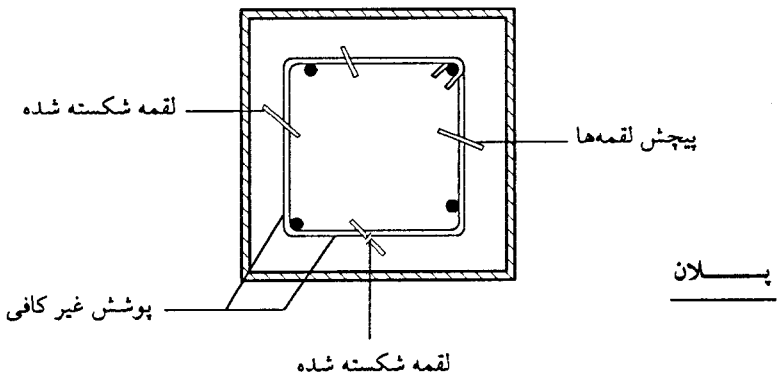
پوشش رنگ، مانند اپوکسی یا ضد زنگ، و یا بروشهای مطمئن دیگری صورت پذیرد.

در مورد میزان پوشش بتن روی میلگردها باید از پوشش با ضخامت بیش از ۷۵ میلیمتر پرهیز شود، در مورد حداقل ضخامت پوشش با توجه به شرایط محیطی، رعایت مندرجات آیین‌نامه بتن ایران الزامی است. بار دیگر یادآوری می‌نماید که کیفیت یعنی تراکم و نفوذناپذیری پوشش مهمتر از ضخامت آن است. توصیه‌هایی در مورد رعایت میزان پوشش در شکل‌های ۴-۳ تا ۴-۶ با توضیحات مربوطه ارائه شده است.

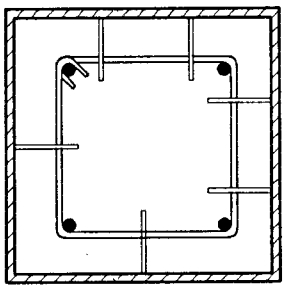
در نقاط گرمسیری باید از افزایش درجه حرارت میلگردها بر اثر تابش مستقیم نور خورشید جلوگیری شود. اگر این دما بترتیبی حین بتن‌ریزی کاهش نیابد آب بتن اطراف میلگردها تبخیر شده و افت خمیری بتن موجب ترک در دالها و کاهش چسبندگی بتن و میلگردها خواهد شد. بنابراین لازم است با تعبیه سایه‌بان از تابش مستقیم نور خورشید بر آرماتورها جلوگیری شود و یا با آبپاشی آنها دمای سطح بلافاصله پیش از بتن‌ریزی کاهش داده شود.

در ارتباط با پوشش اپوکسی میلگردها نظریه‌های موافق و مخالف زیادی توسط محققین ابراز شده است.نکته مسلم این است که در صورت کیفیت مناسب پوشش و اجرای خوب آن، فرآیند الکترو شیمیایی متوقف شده و حتی در صورت وجود کلر زیاد، خوردگی میلگردها صورت نخواهد گرفت. بهرحال اجرای پوشش در کارگاه با مشکلاتی مواجه است و هنگام حمل و نقل میلگردهای پوشش شده با اپوکسی و کارگذاری آنها، احتمال صدمه بر پوشش وجود دارد و در صورت وجود یون کلرید و یا پدیده کربناتی شدن خوردگی با شدت در منطقه آسیب‌دیده انتشار می‌یابد. البته می‌توان با اجرای پوشش تکمیلی در محل کارگذاری میلگرد و یا با اجرای پوشش در کارخانه تا حدود زیادی قسمتهای آسیب دیده را ترمیم نمود.

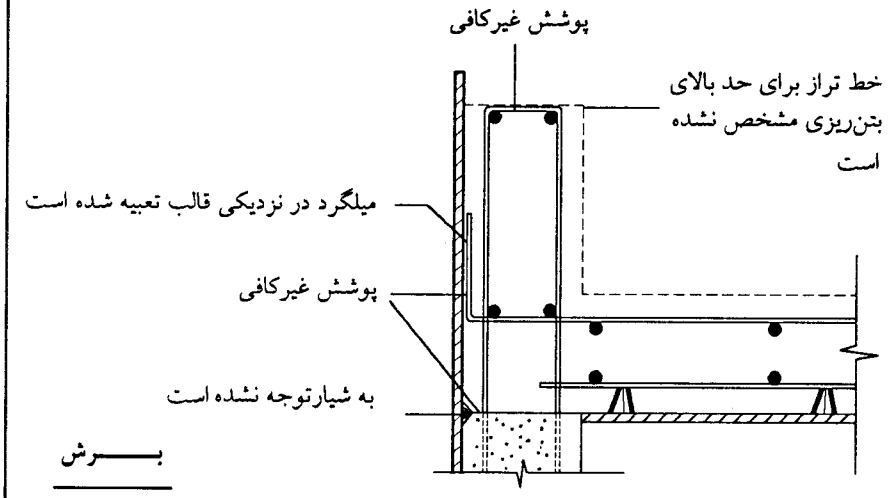
اشکال : پیچش لقمه نگهدارنده



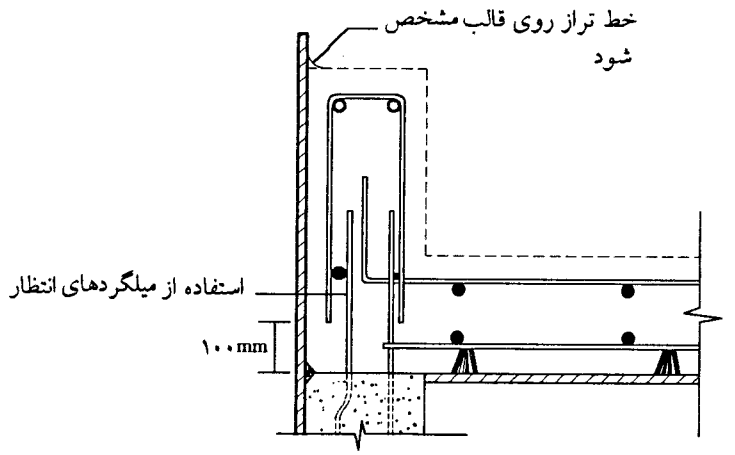
راه حل: استفاده از لقمه‌های اضافی در گوشه‌ها



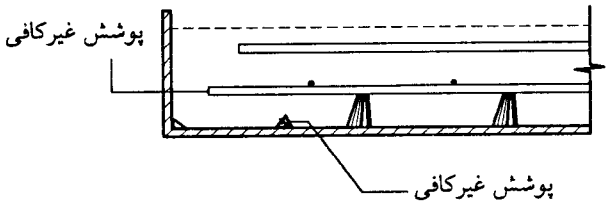
اشکال : عدم وجود خط تراز، آرماتورگذاری غیرصحیح،پوشش مجاور شیارها



راه حل: استفاده از میلگرد انتظار، مشخص کردن خط تراز بتن، کنترل وضعیت میلگردها قبل از بستن آنها

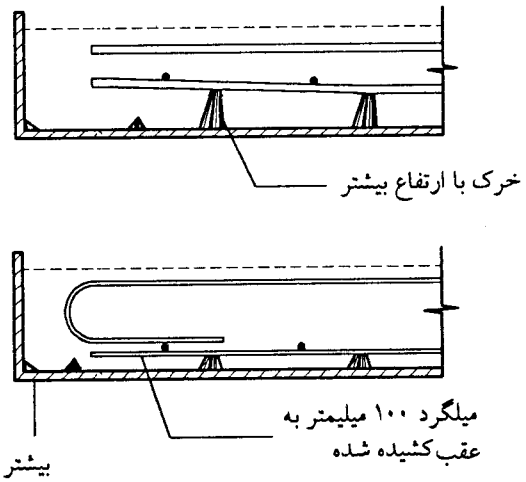


اشکال : پوشش در شیارها

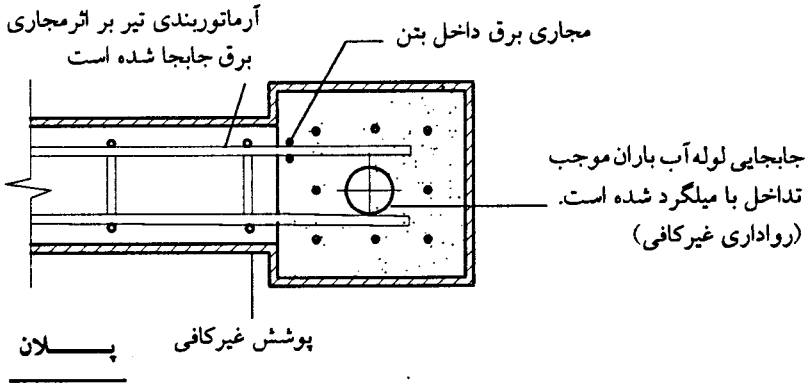


بـــــرش

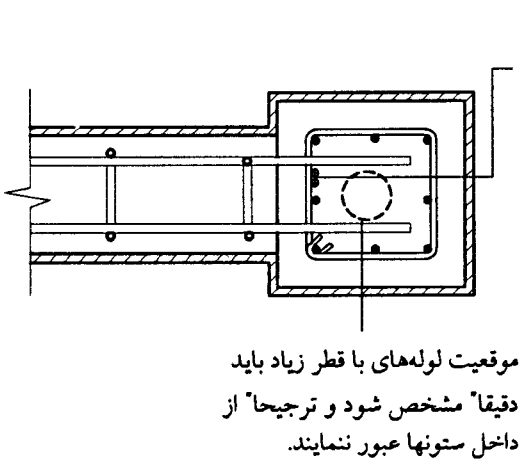
راه حل: خرک با ارتفاع بیشتر، عقب کشیدن میلگرد از لبه



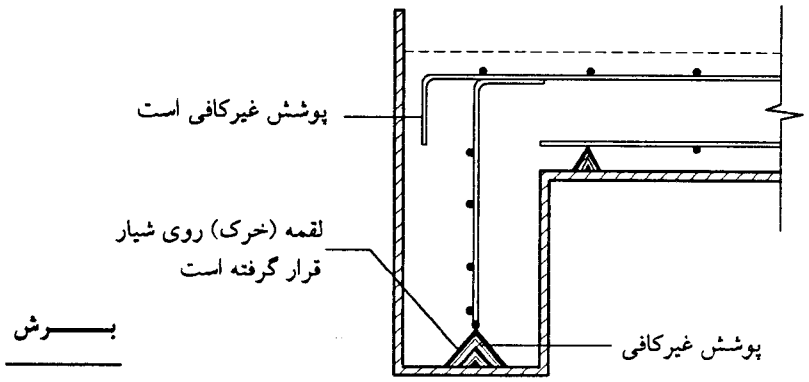
اشکال : تداخل میلگردها با لوله و مجاری



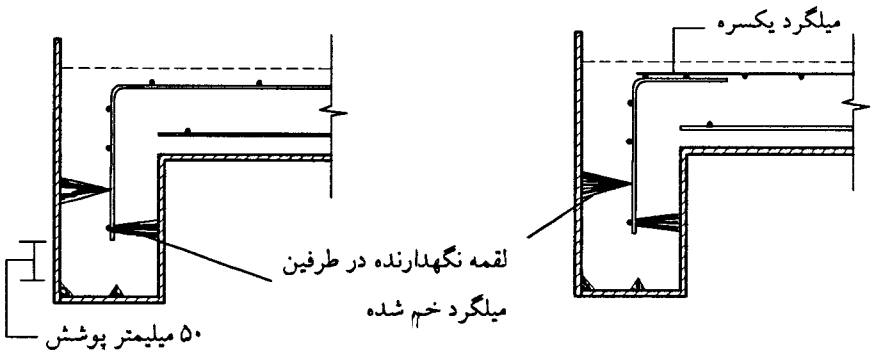
راه حل: مشخص کردن موقعیت دقیق مجاری و لوله‌ها



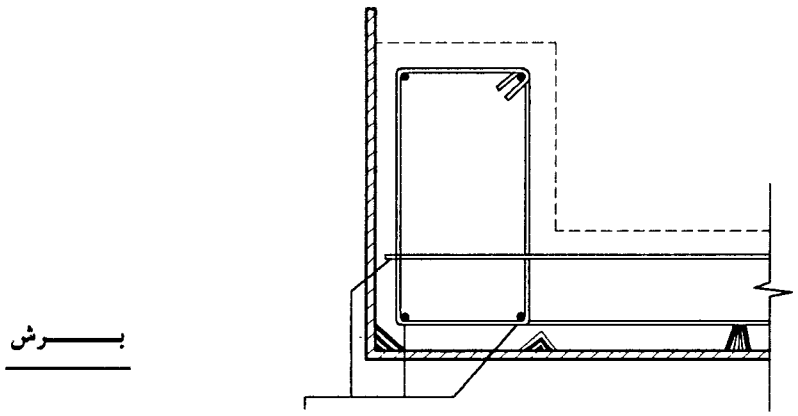
اشکال : لقمه (خرک) روی شیار (آبچکان) در زیر تیر قرار گرفته است



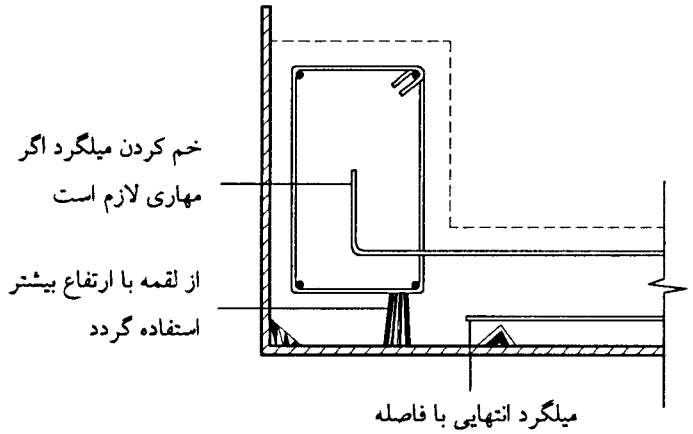
راه حل: لقمه نگهدارنده در طرفین میلگرد خم و میلگرد یکسره



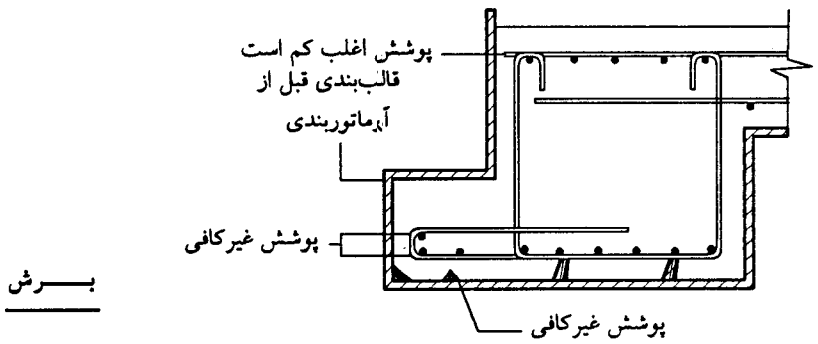
اشکال : پوشش کم در شیارها و پخ‌ها در تیرها



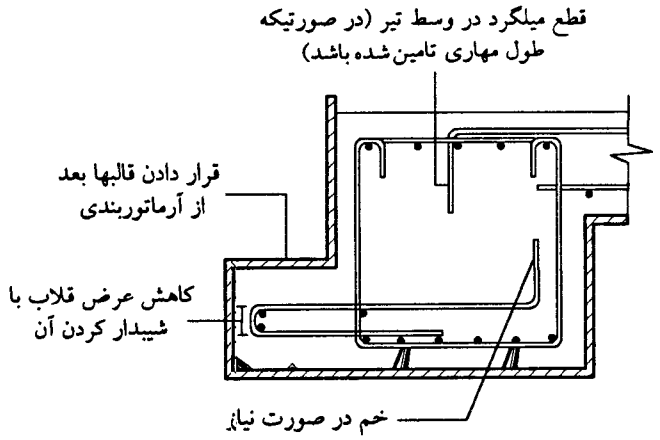
راه حل: بالا بردن قفس آرماتوربندی تیر



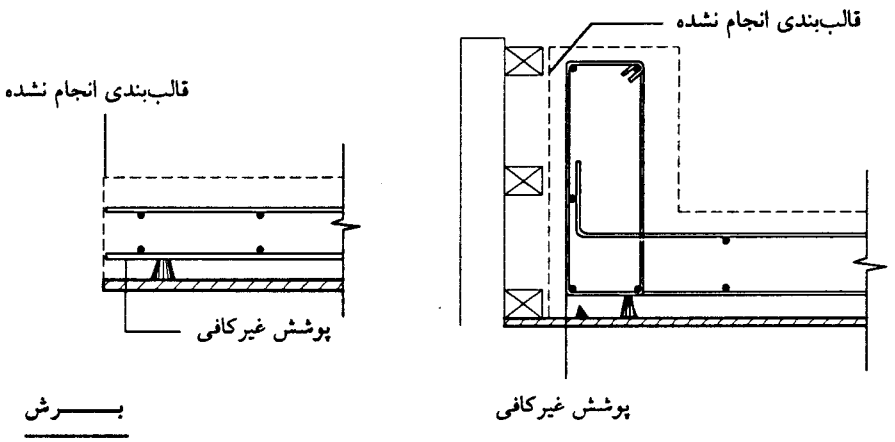
اشکال : دسترسی مشکل، پوشش کم در شیارها و پخ‌ها



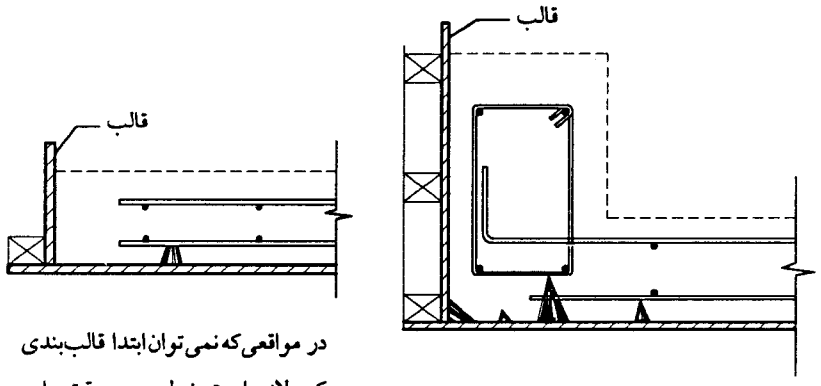
راه حل: قطع میلگرد در وسط تیر (در صورتیکه طول مهاری تامین شده باشد)



اشکال : خط تراز و مرجع غیر صحیح یا فراموش شده



راه حل : قراردادن قالبها قبل از آرماتوربندی



در مواقعی که نمی‌توان ابتدا قالب‌بندی کرد لازم است خط مرجع دقیق داده شود.

یکی از معایب پوشش‌های اپوکسی، کاهش چسبندگی بین بتن و میلگرد است، که میزان آن تا حدود چهل درصد نیز گزارش شده است. از اینرو طول گیرایی[1] و روی هم‌افتادگی[2] میلگردها افزایش یافته و در مواردی نیز لازم است ابعاد عضو بتنی افزایش داده شود.

توصیه می‌شود در طراحی جزئیات آرماتوربندی نکات زیر رعایت شود. لازم است میلگردها با قطر کم و تعداد زیاد در نظر گرفته شده بنحوی که فاصله آنها از ۳۰ سانتیمتر بیشتر نشود و عرض ترک نیز از مقدار مجاز در شرایط محیطی مختلف تجاوز ننماید.

طبق آیین‌نامه ACI، عرض مجاز ترک برای سازه‌هایی که در معرض هوا و خاک مرطوب هستند برابر با ۰/۳ میلیمتر و برای سازه‌هایی که در معرض نمک (یون کلرید) می‌باشند ۰/۱۸ میلیمتر تعیین شده است. تراکم میلگردها مثلاً استفاده از دسته میلگرد[3] می‌تواند باعث جدی‌تر شدن اثر خوردگی گردد. در مقاطع نازک بویژه در نزدیک سطح بتن نباید از میلگردهای با قطر زیاد استفاده شود. تعبیه میلگردهای کافی برای مقابله با اثر وادادگی[4]، خزش[5] و تغییرات درجه حرارت با توجه به طول اعضا بویژه در دالها و دیوارها از اهمیتی بسزا برخوردار است که باید به آن توجه شود.

۴-۴-۵- قالب

توصیه می‌شود در قالب‌بندی اجزای سازه‌های بتنی پایا بویژه در مناطق گرمسیر به موارد مشروح زیر توجه شود:

الف- استفاده از قالب‌های چوبی ساخته شده با تخته چندلایی[6] نسبت به سایر قالب‌ها از جمله قالب فلزی مرجح است. قالب‌های فلزی گرمای خورشید بویژه تابش

1 Development length
2 Lap length
3 Bundled bars
4 Relaxation
5 Creep
6 Plywood

مستقیم آن را بسرعت به سطح و جسم بتن تازه هدایت می‌کنند، از اینرو استفاده از قالب‌های فلزی جز در مواردی که بتوان آنها را عایق کرد یا از سایه‌بان استفاده نمود و یا دمای آنها را قبل از بتن‌ریزی کاهش داد، جایز نمی‌باشد.

ب- لازم است قالب‌ها کاملا" آب‌بند بوده و قطعات آنها طوری جذب و جفت شوند که از هدر رفتن شیره بتن میان درزها جلوگیری شود. تعبیه پشت‌بندها و تقویت کننده‌های[1] طولی و عرضی به منظور افزایش پایداری و استقامت قالب و داربست ضروری است.

ج- در طرح و اجرای قالب باید از ایجاد گوشه‌های تیز پرهیز و بجای آنها از گوشه‌های گرد استفاده شود و یا حداقل با تعبیه پخی[2]، از اثر تیزی گوشه‌ها تا حدودی کاسته شود.

د- زمان قالب‌برداری در مناطق گرمسیر کمتر از نقاط معتدل و سردسیر است. حداقل زمان لازم برای قالب‌برداری هر یک از اعضا و قطعات در آیین‌نامه بتن ایران قید شده است. باید توجه داشت که وجود قالب، تا حدود زیادی از تبخیر سطح بتن جلوگیری می‌نماید و نیاز به عمل آوردن را کاهش می‌دهد اما در مورد سطوح باز بدون قالب از جمله قسمت فوقانی دیوارها، ستونها، تیرها و دالها لازم است بلافاصله پس از بتن‌ریزی برای جلوگیری از تبخیر عمل‌آوری و مراقبت بمدت کافی صورت گیرد.

هـ - استفاده از قالب‌بندی نفوذپذیر کنترل شده[3] بویژه در سطوح شیبدار و بتن‌هایی که در معرض آب دریا قرار دارند توصیه می‌گردد. در این روش روکشی ویژه روی سطح داخلی قالب مجاور بتن مورد استفاده واقع می‌شود که خروج هوای حبس شده درون بتن را در سطح، سهولت بخشیده و موجب افزایش کیفیت سطح بتن و کاهش نفوذپذیری آن می‌گردد؛ در این روش سطوح با حداقل خلل و فرج و نمایی مناسب و صاف ایجاد می‌شود. بایدتوجه‌داشت‌که این روش‌نسبتا"پرهزینه بوده و در مواردخاص‌بکار برده‌می‌شود.

1 Stiffener
2 Chamfer
3 Controlled permeable formwork= C.P.F

۴-۴-۶- مواد مضاف[1]

مواد مضاف اغلب برای بهبود یا افزایش خواص مطلوب بتن تازه و یا سخت شده مورد استفاده قرار می‌گیرند این مواد را می‌توان به دو گروه بشرح زیر تقسیم نمود.

۴-۴-۶-۱- افزونه‌ها[2]

افزونه‌ها مانند خاکستر بادی[3]، روباره آهنگدازی[4]، دوده سیلیسی[5] و پوزولانها[6] به مقدار قابل توجه، همراه با سیمان بعنوان بخشی از مواد چسباننده بتن نفوذناپذیر، بادوام و مقاومت زیاد مورد استفاده واقع می‌شوند. در تعیین نسبت‌های اختلاط وزن این مواد بحساب می‌آیند. افزودن این مواد به بتن خطر جدا شدن[7] مواد متشکله بتن را کاهش می‌دهد. در بتن‌های ساخته شده با مواد مزبور گرمای حاصل از آبگیری کل مواد چسباننده کاهش یافته و بتن در مقابل آسیب‌های ناشی از انبساط حاصل از حمله سولفاتها و واکنش سنگدانه‌های فعال با قلیایی‌های سیمان، مقاوم‌تر می‌گردد. بنابراین توصیه می‌شود برای ساخت بتنی پایا که در شرایط محیطی گزندبار[8] پایدار باشد، از مواد یاد شده استفاده شود. ویژگیهای این مواد و عملکرد آنها، در فصل‌های سوم و ششم به تفصیل شرح داده شده است.

۴-۴-۶-۲- مواد افزودنی[9]

مواد افزودنی به مواد معین یا چاشنی‌ها نیز معروفند، همانطور که از این نامها بر می‌آید مواد افزودنی به مقادیر بسیار جزیی مورد استفاده قرار می‌گیرد و وزن آنها در تعیین

1 Additives
2 Additions
3 Fly ash
4 Blast-Furndce slag
5 Silica fume
6 Pozzolan
7 Segregation
8 Aggressive
9 Admixtures

نسبت‌های اختلاط بحساب نمی‌آیند. مهمترین این مواد عبارتند از:

۴-۴-۶-۲-۱- مواد کاهنده آب

روان‌کننده‌ها و دیرگیرکننده‌ها رایج‌ترین مواد افزودنی مورد مصرف در نقاط گرمسیری هستند. مواد کاهنده آب و روان‌کننده‌ها، ساخت بتن با کارآیی مناسب با نسبت آب به سیمان کم را ممکن می‌سازند، البته از دیرگیرکننده‌ها به تنهایی و یا بهمراه هر یک از مواد فوق نیز می‌توان برای به تعویق انداختن زمان گیرش و افزایش کارآیی استفاده نمود. در واقع این مواد مدت زمان لازم برای حمل، بتن‌ریزی و تراکم را افزایش میدهند.

۴-۴-۶-۲-۲- مواد حباب‌ساز

مواد حباب‌ساز نیز می‌توانند از طریق ایجاد منافذی که به یکدیگر راه ندارند، باعث کاهش نفوذپذیری و در نتیجه افزایش پایایی بتن گردند. این مواد همچنین موجب افزایش کارآیی بتن شده و می‌توان از آنها برای کاهش نسبت آب به سیمان و در نتیجه افزایش مقاومت فشاری بتن استفاده نمود.

۴-۴-۶-۲-۳- پوششهای حفاظتی بتن

غیر از آنچه به بتن تازه افزوده و با آن مخلوط می‌گردد، می‌توان از مواد دیگری مانند ترکیبات عمل‌آورنده[1] و پوشینه‌های مراقبت[2] که به ترتیب روی سطح خارجی بتن تازه و سخت شده، بکار برده می‌شوند، نام برد. ترکیبات عمل آورنده در بخش عمل‌آوری و مراقبت بتن به تفصیل مورد بحث قرار خواهند گرفت. در مورد پوششهای حفاظتی از قبیل رنگها، روکش‌ها و غیره تجربه نشان داده است که این مواد توان و خاصیت محافظت

1 Curing compounds
2 Curing blanket

درازمدت بتن را ندارند و نسبت به انواع غشاهای مراقبت[1] از قبیل ورقه‌های پلی‌اتیلن آغشته به مواد قیری بویژه در مجاورت خاک، ضعیف‌تر عمل می‌کنند. در نقاطی که لازم است بتن در مقابل حملات کلریدها محافظت شود و یا در مواردی که پوشش روی میلگردها باندازه کافی تامین نگردیده، می‌توان با اجرای روکش‌ها و یا رنگ‌ها تا حدودی از بتن محافظت نمود. این مواد باید چسبندگی خوبی با بتن داشته قادر باشند ترک‌های در حال گسترش را محدود نمایند. آماده‌سازی سطح بتن و عاری بودن آن از مواد آلی، رنگ، چربی، گل، گرد و خاک و دوغاب سیمان موجب افزایش چسبندگی پوشش‌های فوق به بتن می‌گردد. در صورتیکه پوششهای مذکور خاصیت ارتجاعی داشته باشند، می‌توانند روی ترکهای ایجاد شده پل زده و از ورود دی‌اکسیدکربن، رطوبت، کلریدها، سولفات‌ها، اکسیژن و سایر مواد جلوگیری نمایند. توصیه می‌شود که از پوششهای حفاظتی نظیر اپوکسی و پولی‌یورتین در محدوده جزر و مد سازه‌های[2] دریایی خلیج فارس استفاده شود. از این پوشش در محافظت پایه‌های پل نهد[3] در خلیج فارس و دیواره‌های T شکل اسکله بندر شهید رجائی در تراز جزر و مد استفاده شده است. عمر این پوششها معمولا" چهار سال بوده و پس از آن نیاز به تجدید پوشش مطرح می‌شود.

۴-۴-۶-۲-۴- پوششهای حفاظتی میلگردها

در مورد پوششهای اپوکسی میلگردها، نظریات متفاوتی ابراز شده است، اما باید توجه داشت که این نوع پوشش در صورتی که بطور کامل و عاری از منفذ اجرا شود، مانع موثری در مقابل حمله کلریدها می‌باشد. بنابراین هنگام حمل، خم کردن و کارگذاردن باید نهایت دقت بعمل آید تا از آسیب دیدن پوشش جلوگیری شود ودر صورت نیاز برای ترمیم پوشش باید از مصالح مورد تایید استفاده شود. در برخی آیین‌نامه‌ها استفاده از

1 Curing membrane

2 Tidal zone

۳ پل ارتباطی بحرین عربستان سعودی به طول ۲۴ کیلومتر.

این نوع میلگردها برای تمامی سازه‌های زیرزمینی توصیه شده است. در مورد ضخامت این نوع پوشش‌ها باید به توصیه سازندگان و تولیدکنندگان آنها توجه شود.

۴-۴-۶-۲-۵- مواد بازدارنده خوردگی

نیتریت کلسیم ماده شناخته شده مناسبی برای جلوگیری از خوردگی فولاد در بتن می‌باشد و بیش از ۱۴ سال است که در سرتاسر جهان با موفقیت از آن استفاده می‌شود. بررسیهای آزمایشگاهی و کارگاهی مقدار نیتریت کلسیم لازم برای مقابله با میزان کلرید در بتن را تعیین کرده است. در واقع این ماده با تاثیر بر انرژی جنبشی یا ترمودینامیکی واکنش‌های الکتروشیمیایی، سرعت روند خوردگی را تغییر می‌دهد، و واکنش‌های آندی یا کاتدی و یا هر دوی آنها را کند می‌کند. برای تعیین مقدار نیتریت کلسیم مورد نیاز باید کیفیت بتن، پوشش روی میلگردها، طول عمر مورد نظر سازه و شرایط محیطی کاملاً مشخص باشد. بعنوان نمونه برای شمع‌های مربع شکل اسکله‌ای در خلیج فارس که در معرض جزر و مد قرار داشته، با فرض پوشش ۷۵ میلیمتر، نسبت آب به سیمان ۰/۴ یا کمتر و در نظر داشتن عمر مفید ۲۵ ساله، باید از مواد افزودنی پوزولانی نظیر میکروسیلیس و یا نیتریت کلسیم به میزان ۳۳ لیتر در متر مکعب بتن استفاده شود. در صورتیکه طول عمر ۵۰ سال مد نظر باشد علاوه بر نیتریت کلسیم (به میزان ۱۵ الی ۳۳ لیتر در متر مکعب بتن) باید از پوزولانها برای کاهش نفوذپذیری استفاده شود. شایان ذکر است که برای طول عمرهای ۵۰ سال و بیشتر می‌توان از روش حفاظت کاتدیک نیز بهره جست، البته مصرف نیتریت کلسیم در این حالت نیز مفید بوده و این ماده بر هدایت الکتریکی فولاد تاثیر نمی‌گذارد.

بهرحال با توجه به اینکه عملکرد درازمدت نیتریت کلسیم هنوز تحت بررسی و تحقیق است، استفاده از آن باید با احتیاط، بررسی و آزمایش همراه باشد.

۴-۴-۷- بتن‌ریزی

۴-۴-۷-۱- کلیات

در هوای گرم، آهنگ گیرش بتن تازه تسریع شده و اسلامپ آن بشدت کم می‌شود، پیامد این امر افزایش نیاز به آب اختلاط و در نتیجه ترک خوردن در اثر جمع شدگی حاصل از خشک شدن است. در بیشتر مشخصات فنی و نیز آیین‌نامه بتن ایران حداکثر درجه حرارت بتن در زمان بتن‌ریزی ۳۰°درجه سلسیوس تعیین شده است.

این حد در آیین‌نامه بتن عربستان سعودی به ۲۵ درجه سلسیوس محدود شده است.

۴-۴-۷-۲- اقدامات قبل و ضمن بتن‌ریزی

همانطور که در بخش‌های پیشین اشاره شد وسائل تهیه، ساخت، حمل، تراکم و اجرای بتن وهمچنین قالبها و میلگردها باید قبل از بتن‌ریزی از طریق پاشیدن آب، و یا با اتخاذ تدابیر دیگر خنک شوند. بهتر است مصالح سنگی برای ساخت بتن را از قسمت‌های زیرین توده مصالح برداشت نمود که بلحاظ عدم تابش مستقیم خورشید، به این نواحی مرطوب‌تر و خنک‌تر خواهند بود[1].

بتن‌ریزی باید تا حد امکان در ساعات خنک‌تر شبانه‌روز (صبح زود، غروب و یا شب) انجام شود، بتن‌ریزی هنگام غروب و عصر مرجح است زیرا حداکثر حرارت ناشی از آبگیری سیمان تقریباً در صبح روز بعد و موقعی که هوا نسبتاً خنک‌تر است رخ می‌دهد و در نتیجه اختلاف درجه حرارت بین بتن در حال سخت شدن و محیط به حداقل کاهش می‌یابد.

از موارد دیگری که باید به آن توجه شود جلوگیری از وقفه بین ساخت و جا دادن بتن در قالب است. بتنی که مدت مدیدی در مخلوط کن رها شده باشد، ممکن است علاوه بر کسب انرژی گرمایی از منبع بیرونی نظیر خورشید، از اصطکاک درونی نیز دچار

---

۱ در مباحث قبل گفته شد که تجمع املاح خورنده در قسمت‌های زیرین مصالح سنگی انبار شده بیشتر است بنابراین هنگام استفاده از مصالح در فصل گرما باید هر دو نکته مورد توجه قرار گیرد.

افزایش دما شود و آب خود را بر اثر تبخیر از دست بدهد. گرچه کاهش قابلیت کاربرد را غالباً با افزودن آب پیش از خالی کردن بتن در قالب، جبران می‌نمایند ولی باید توجه داشت که افزایش نسبت آب به سیمان می‌تواند آثار غیر قابل جبرانی را در برابر سایش و دوام ایجاد کند. استفاده از مواد افزودنی مانند دیرگیرکننده‌ها می‌تواند برای به تعویق انداختن زمان گیرش مفید واقع شود. علیرغم مقاومت و خودداری کارفرمایان به بهانه افزایش هزینه‌های اجرایی باید اذعان نمود که مصرف مواد افزودنی برای بهبود کارآیی بتن از لحاظ اقتصادی و از دیدگاه سرمایه‌گذاری درازمدت، نسبت به روش‌های نادرستی نظیر افزودن آب به صرفه و صلاح نزدیکتر است.

۴-۴-۷-۳- درجه حرارت مخلوط بتن

همانطور که بیان شد، دمای مخلوط بتن تهیه شده در کارگاه یا تحویل شده به آن باید تا حد امکان پایین و حداکثر ۳۰ درجه سلسیوس باشد.

درجه حرارت بتن تازه مخلوط شده را می‌توان بسادگی و به کمک درجه حرارت اجزای تشکیل دهنده آن از رابطه زیر بدست آورد:

$$T = \frac{0.22\,(Ta\,Wa + Tc\,Wc) + Tw\,Ww + Ta\,Wwa}{0.22\,(Wa + Wc) + Ww + Wwa} \qquad \text{(رابطه ۴-۱)}$$

در این رابطه "T" ، دمای بتن و اجزای آن بر حسب درجه سلسیوس، "W" جرم اجزای متشکله بتن برای یک مترمکعب و پسوندهای a , C , W , Wa بترتیب بیانگر سنگدانه، سیمان، آب اختلاط و آب جذب شده توسط سنگدانه‌ها می‌باشند.

با توجه به اینکه کنترل درجه حرارت بعضی از اجزای بتن، امکان‌پذیر است، بررسی تاثیر نسبی دمای آنها بر دمای مخلوط بتن، میسر خواهد بود. بطور مثال در مخلوطی با نسبت آب به سیمان ۰/۵ و نسبت سنگدانه‌ها به سیمان ۵/۶ برای کاهش دمای سیمان باندازه ۹ درجه سلسیوس باید از دمای آب به میزان ۳/۶ درجه و یا از دمای سنگدانه‌ها به میزان ۱/۶ درجه سلسیوس کاسته شود. سرد کردن آب اختلاط بسیار آسانتر از کاهش

دادن دمای سیمان و سنگدانه‌هاست.

چنانچه از یخ بعنوان بخشی از آب اختلاط استفاده شود درجه حرارت بتن تازه از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$T = \frac{0.22\,(Ta\,Wa + Tc\,Wc) + Tw\,Ww + Ta\,Wwa - LWiT}{0.22\,(Wa + Wc) + Ww + Wwa + Wi} \qquad \text{(رابطه ۴-۲)}$$

در رابطه اخیر جرم کل آب اضافه شده به مخلوط برابر با جمع جرم آب (Ww) و جرم یخ (Wi) است. L نسبت گرمای نهان یخ به گرمای ویژه آب و برابر با ۸۰ است. هنگام استفاده یخ باید کل یخ مصرف شده پیش از اتمام عملیات مخلوط کردن، ذوب شده باشد.

برای کاهش اثر مخرب گرما باید در تهیه طرح اختلاط مناسب، مقدار سیمان تا حد امکان کم اختیار شود تا گرمای آبگیری کاهش یابد. به منظور پرهیز از کاهش کارآیی، نوع و دانه‌بندی سنگدانه‌ها باید چنان انتخاب شود که مخلوط از قوام و روانی لازم برخوردار باشد. ناخالصی‌ها و آلودگیهای مصالح از قبیل سولفاتها علاوه بر مشکلاتی که بطور معمول بوجود می‌آورند از جهت ایجاد گیرش کاذب و سریع نیز مضر می‌باشند.

به منظور حصول کارآیی مطلوب و افزایش زمان گیرش، می‌توان از دیرگیرکننده‌ها استفاده نمود. این مواد از پیدایش اتصال سرد و ناپیوسته[1] در بتن‌ریزیهای مرحله‌ای جلوگیری می‌کند.

۴-۴-۷-۴- تراکم[2]

تراکم بتن نیز در کیفیت نهایی آن نقش بسزایی دارد. خوردگی و انهدام سازه‌های بتنی در نواحی گرمسیر بویژه در حاشیه خلیج فارس عمدتاً گریبانگیر بتنهاییست که نفوذپذیری‌شان زیاد است. درباره تاثیر تراکم بتن برخوردگی میلگردها تحقیقاتی صورت گرفته، نتایج بدست آمده حاکی از آنست که با کاهش میزان تراکم تا حدود ۴۰ ، ۶۰ و ۸۰

1 Cold Joint
2 Compaction

درصد تراکم کامل، زمان شروع خوردگی میلگردها به ترتیب به مقدار ۶۰، ۷۷ و ۹۵ درصد مدت زمان مربوطه در نمونه‌های بتنی با تراکم کامل، کاهش می‌یابد و در اثر تراکم به میزان ۳۰ و ۶۰ درصد تراکم کامل، شدت تخریب سولفاتی ۳ و ۱/۹ برابر افزایش خواهد یافت. منظور از تراکم کامل خارج شدن هوای حبس شده در بتن و ظهور قشر نازکی از خمیر سیمان بر روی سطح بتن است. تراکم با لرزاننده‌های[1] موتوری و بادی، میزهای لرزاننده (برای قطعات پیش‌ساخته) و لرزاننده‌های قالب یا ترکیبی از آنها میسر است. همواره باید حداقل یک لرزاننده یدکی هنگام بتن‌ریزی در کارگاه موجود باشد.

۴-۴-۷-۵- آثار باد بر بتن‌ریزی

جلوگیری از تبخیر آب سطح بتن بر اثر باد بسیار مهم است. در اثر باد، سطح بتن منقبض شده و چون بتن خمیری نمی‌تواند در مقابل تنش کششی بوجود آمده مقاومت نماید، پس از جا دادن بتن ممکن است ترکها تشکیل شوند.

اغلب می‌توان با تراکم مجدد سطحی، و هنگامی که هنوز بتن خمیری است، به آسانی ترکها را بر طرف نمود، این ترکها گاهی تا عمق بتن نفوذ کرده و در صورت رسیدن به سطح میلگردها، باعث خوردگی زودرس آنها می‌شوند. تعبیه بادشکن‌های موقت و عمل آوردن بامه[2] برای بالا بردن رطوبت هوایی که در تماس با بتن است می‌تواند در رفع این مشکل موثر واقع شود. بهرحال لازم است با پیش‌بینی روکشهایی که بلافاصله پس از جا دادن بتن قابل نصب باشند، تبخیر بطور موثری کاهش داده شود.

بطور خلاصه، اختلاط، حمل، ریختن، تراکم و عمل آوردن بتن که در بخش بعد به تفصیل مورد بحث قرار می‌گیرند مراحل مهمی هستند که به طور قابل ملاحظه‌ای بر نفوذ پذیری بتن تاثیر می‌گذارند، این مراحل باید بگونه‌ای انجام شوند که از جداشدگی[3] اجزای

1 Vibrator
2 Fog Curing
3 Segregation

بتن و آب انداختن[1] بیش از حد آن جلوگیری شده و یکنواختی مخلوط حفظ شود. جداشدگی اجزای بتن می‌تواند سبب پوکی و تخلخل آن شود که بویژه در اطراف میلگردها خطر آفرین است.

۴-۴-۷-۶- سطح تمام شده بتن.

سطح تمام شده بتن باید پس از تراکم پرداخت شود بطوریکه سطحی یکنواخت، متراکم و بدون خلل و فرج بوجود آید. عمده‌ترین نواقصی که در سطح بتن بوجود می‌آید عبارتند از : کرمو شدن سطح[2] بتن، خلل و فرج زیاد ناشی از حبابهای حبس شده هوا و پیدا شدن ماسه عریان[3] در اثر آب انداختن، که جزئیات هر یک از آنها بشرح زیر است :

الف- کرمو شدن سطح بتن: این حالت وقتی ایجاد می‌شود که ملات فضای بین دانه‌های درشت را پر نکرده باشد، عموماً عدم اجرای صحیح و لرزاندن ناکافی بتن در ایجاد این حالت نقش اصلی را ایفا می‌کند. عوامل دیگری نیز می‌توانند در این مورد نقش داشته باشند که عبارتند از :

ناکافی بودن دوغاب برای پرکردن بین دانه‌ها، نسبت نادرست ماسه به کل سنگدانه‌ها، دانه‌بندی نادرست سنگدانه‌ها، اسلامپ نامناسب و یا فاصله ناکافی بین میلگردها که مورد اخیر باید ضمن طراحی اعضا و قطعات مورد توجه باشد.

ب- خلل و فرج زیاد ناشی از حبابهای حبس شده هوا: حذف کامل این خلل و فرج تقریباً غیر ممکن و فراوانی آنها عمدتاً تابع وسیله و نحوه تراکم است، اما عوامل دیگری از قبیل خواص مخلوط و شیوه جا دادن بتن نیز بر آن اثر دارند. برای رفع این نقیصه لازم است فواصل بین فرو بردن ویبراتور بدرون بتن کاهش یافته و زمان تراکم افزایش یابد. روغن‌های قالب با غلظت یا ضخامت زیاد نیز موجب حبس هوا و حباب

1 Bleeding
2 Honeycombiny
3 Sand streak

می‌شوند و باید از بکار بردن این نوع روغن‌ها پرهیز نمود. نوع و مشخصات لرزاننده‌ها نیز می‌تواند در کاهش اندازه و تعداد حباب های حبس شده موثر باشند.

پ- ماسه عریان[1] : پیدا شدن ماسه عریان در سطح بتن ناشی از آب انداختن زیاد است که به نوع و نسبت‌های مصالح و روش جا دادن بتن در قالب بستگی دارد.

مخلوطهای خشن[2] و مرطوب با سیمان کم و دانه‌بندی نادرست بویژه آنهائی که در محدوده الکهای نمره ۵۰ و ریزتر از آن کمبود دارند، ممکن است با پدیده ماسه عریان مواجه شوند. ریختن بتن روی میلگردها در لایه‌های ضخیم و تراکم ناکافی نیز می‌تواند سبب پیدایش رگه‌های ماسه شود. در قالبهای غیر آب‌بند، اتصال لرزاننده به بدنه قالب موجب عمل پمپاژ و کاهش ماسه‌های ریز و ورود هوا بداخل درزهای قالب خواهد شد.

ت- خطوط ریختن بتن: خطوط ریختن بتن در سطح بتن قالب‌بندی شده بر اثر توالی بتن‌ریزی بوجود می‌آیند. این خطوط عموماً نشاندهنده اینست که هنگام تراکم یک لایه بتن، لرزاننده باندازه کافی برای نفوذ در لایه زیرین پایین برده نشده است.

۴-۴-۸- عمل آوردن

۴-۴-۸-۱- کلیات

عمل آوردن فرآیندی است که طی آن از افت رطوبت بتن جلوگیری می‌گردد. عمل آوردن صحیح تاثیر بسزایی در ایجاد ویژگیهای مطلوب از جمله کاهش نفوذپذیری و افزایش دوام و پایایی دارد. عمل آوردن باید بلافاصله پس از پرداخت سطح بتن آغاز شود تا بتن از گزند عوامل زیانبار محافظت شود.

در هوای گرم و بویژه هنگام وزش باد، آب سطوح بتن تازه شروع به تبخیر می‌نماید. اگر از این تبخیر جلوگیری نشود، جمع‌شدگی در اثر خشک شدن (جمع‌شدگی خمیری)، ترک و تخلخل در سطح بتن ایجاد می‌شود. همانطوریکه در بخشهای قبل اشاره

1 Sand streak
2 Harsh mixture

شد، چنانچه میزان تبخیر سطحی بیش از یک کیلوگرم بر متر مربع در ساعت باشد. باید تدابیر لازم برای جلوگیری از تبخیر اتخاذ شود، در غیر اینصورت، ترکهای خمیری در سطح بتن ایجاد خواهند شد، در مناطق گرمسیر بویژه در نقاط با رطوبت کم و همراه با وزش باد، همیشه باید با در نظر گرفتن حاشیه اطمینان فرض کرد که تبخیر به میزان یاد شده خواهد رسید و تدابیر لازم را در این مورد اتخاذ نمود. باید توجه داشت که هرگونه کوتاهی در عمل آوردن بتن که در شرایط عادی تاثیر جزئی بر خواص بتن دارد در شرایط آب و هوایی گرمسیری می‌تواند بر کیفیت پوسته بتن آسیب برساند. آسیب مزبور، نفوذ کلریدها، سولفات‌ها، آب، دی‌اکسید کربن و اکسیژن را بدرون جسم بتن تسهیل می‌نماید.

۴-۴-۸-۲- روشهای عمل آوردن بتن

عمل آوردن بتن در هوای گرم باید بلافاصله پس از تراکم بتن شروع شود، این هدف به یکی از روشهای زیر قابل دسترسی است:

الف- عمل آوردن بوسیله آب

این کار با جاری نمودن آب روی بتن و یا آبپاشی مداوم بطوریکه سطح بتن همواره خیس باشد، انجام می‌گیرد. اعمال این روش در دالها بیشتر موثر است و می‌توان با ایجاد لبه‌های برجسته به ارتفاع حدود دو سانتیمتر، سطح روی دال را همیشه خیس نگاهداشت. در آبپاشی باید دقت شود که سطح بتن تازه دچار فرسایش نگردد. درجه حرارت آب نیز باید حتی‌الامکان نزدیک به درجه حرارت بتن باشد تا از تبادل قابل توجه حرارت جلوگیری شود. این اختلاف دما نباید از ۱۰ درجه سلسیوس تجاوز نماید. آب مورد استفاده باید عاری از املاح کلر و سولفات باشد و نباید از آب شور یا آب دریا برای عمل آوردن استفاده شود. بهرحال توصیه میشود آب مورد مصرف برای عمل آوردن، خواص آب اختلاط را دارا باشد.

ب- عمل آوردن با پوشینه‌های مراقبت[1]

پس از آنکه سطح بتن باندازه کافی سخت شد (در هوای گرم پس از تراکم سطح بتن به سرعت سخت می‌شود) آن را به نحوی که آسیب نبیند با مصالحی نظیر ماسه، خاک اره، کاه، کرباس، حصیر، نمد و یا گونی می‌پوشانند. خاک اره و ماسه باید از مواد مضر نظیر کلر و سولفات و دانه‌های درشت عاری باشند. ضخامت پوشش با این مصالح حدود ۵ سانتیمتر است و پوشش باید یکنواخت بوده و بلافاصله پس از پخش بطور مداوم خیس نگهداشته شود.

کاه یا علف خیس و مرطوب باید در لایه‌ای به ضخامت حداقل ۱۵ سانتیمتر پخش شده و با وسائلی نظیر تور سیمی در برابر وزش باد محافظت شوند. گونی و کرباس و مصالح مشابه، باید قبلاً خوب شسته شده باشند تا از ایجاد لک روی سطح بتن جلوگیری شود. گونی‌های مصرفی باید به حد کافی ضخیم بوده و مرتباً مرطوب شوند. این روش بیش از روشهای دیگر در مناطق گرمسیر متداول و موثر است.

پ- عمل آوردن با غشای مراقبت[2]

در این روش بدون استفاده از آب با ایجاد سطحی کاملاً نفوذ ناپذیر و عایق، از تبخیر سطحی آب بتن جلوگیری می‌شود. این عمل به کمک کاغذ نفوذناپذیر، ورق‌های نازک پلی‌اتیلن (که اصطلاحاً بعنوان نایلن از آنها نام برده می‌شود) و ترکیبات عمل آورنده[3] انجام می‌گیرد. دو مورد اول پس از مرطوب کردن سطح بتن قابل اجراست. ضخامت ورقهای پلی‌اتیلن حداقل یک دهم میلیمتر می‌باشد. ممکن است یکطرف ورق پلی‌اتیلن با کرباس پوشیده شود.

نکته مهم در این روش اینست که نباید فاصله‌ای بین سطح بتن و غشای مراقبت بوجود آید تا سطح بتن در معرض جریان هوا قرار نگیرد. استفاده نادرست از غشای

1 Curing blanket
2 Curing membrane
3 Curing compounds

مراقبت ممکن است در بتن ترک‌خوردگی خمیری ایجاد نماید.

ترکیبات عمل آورنده در نقاطی که آب در دسترس نیست می‌توانند مفید واقع شوند، باید توجه داشت که در نقاط گرمسیر اثر ترکیبات عمل‌آورنده کمتر از سایر روشهاست. عمل آوردن با گونی و حصیر خیس و مرطوب معمولاً بهترین نتیجه را در پی دارد. این ترکیبات روی سطح بتن پاشیده می‌شوند، نحوه اجرا و میزان مصرف این مواد باید طبق دستورات کارخانه تولیدکننده باشد. هنگام سفارش باید مشخص شود که این مواد روی سطوح قائم بکار برده خواهند شد یا روی سطوح افقی.

برای انعکاس نور خورشید و جلوگیری از جذب گرمای آن، توصیه می‌شود از ترکیبات عمل‌آورنده سفیدرنگ استفاده شود. معمولاً ترکیبات ویژه مناطق گرمسیر، با مواد مورد مصرف در سایر نقاط متفاوت است و هنگام سفارش باید به این مطلب اشاره شود. در صورتی که قرار است سطح نهایی بتن رنگ‌آمیزی شود باید قبل از اجرای رنگ یا پوشش نهایی ترکیبات عمل‌آورنده را از سطح مورد نظر کاملاً پاک کرد. انواعی از مواد و ترکیبات عمل‌آورنده در طول زمان تجزیه شده و از بین می‌روند و سپس براحتی با آب قابل شستشو میباشند. هر چند زمان مناسب استفاده از این مواد هنگامی است که درخشش آب سطح بتن از بین رفته باشد، ولی باید در نظر داشت که ممکن است تا این زمان شرایط نامساعد محیطی موجب تبخیر مقادیر نامطلوبی از آب بتن شده باشد. از اینرو تدارک پوشش‌های موقت از ورقه‌های غیر قابل نفوذ در فاصله زمانی مذکور بسیار کارساز خواهد بود. میزان مصرف این مواد بستگی به شرایط محیطی و زبری سطح دارد و حدوداً بین ۰/۴ الی ۰/۳ لیتر برای هر متر مربع است. بهرحال در هر مورد باید توصیه‌ها و دستورالعمل‌های کارخانه سازنده بدقت مراعات گردد.

۴-۴-۸-۳- مدت عمل آوردن

مدت زمان مناسب عمل آوردن به نوع سیمان، شرایط محیطی و دمای بتن طی دوران مراقبت، بستگی دارد. حداقل زمان عمل آوردن در جدول شماره ۷-۵-۳ بخش اول

آیین‌نامه بتن ایران درج شده است. بهرحال توصیه می‌شود در نقاط گرمسیر بویژه با رطوبت کم حداقل زمان عمل آوردن برای سیمان نوع یک، ۷ روز و برای سیمانهای نوع دو و پنج، ۱۴ روز در نظر گرفته شود. در مناطق گرمسیر زمان عمل آوردن بتن با سیمان روباره‌ای، میکروسیلیس، خاکستر بادی و پوزولانهای طبیعی نیز باید حداقل ۱۴ و ترجیحاً ۲۱ روز باشد. در این موارد باید عمل آوردن با دقت هر چه تمامتر انجام گیرد. بهر صورت توصیه می‌شود دوره عمل آوردن بویژه در نقاط گرمسیر و خشک تا حد امکان طولانی باشد زیرا معمولاً خواص مطلوب بتن با عمل آوردن بهبود یافته و دوام و پایایی بتن افزایش پیدا می‌کند.

❑ ۴-۵- نتیجه‌گیری و توصیه‌ها

همانطوریکه در بخش‌های قبل اشاره شد حصول بتن پایا و با دوام در نقاط گرمسیر بویژه در حاشیه‌های خلیج فارس، بستگی به عوامل متعددی دارد. از عمده‌ترین این عوامل می‌توان طراحی، اجرا، کنترل کیفیت و اطمینان از کیفیت را نام برد. در قسمت‌های بعد هر یک از این عوامل مورد بحث قرار می‌گیرند.

۴-۵-۱- نکات طراحی

طراحان باید برای سازه‌های مناطق گرمسیر به موارد زیر توجه داشته باشند:

الف- مهندسان محاسب، طراح، معمار و مدیران فنی پروژه‌ها باید با دوام و پایایی ساختمانهای بتن آرمه و بویژه با عواملی که موجب افزایش دوام می‌شود، آشنا باشند. در واقع همانطوریکه مهندس ساختمان یا معمار باید با پدیده زمین لرزه و طراحی شکل و جزئیات اعضای سازه‌ای برای ایستایی در برابر این پدیده طبیعی، آشنا باشد، طراحی سازه‌های بتن آرمه در نواحی گرمسیر نیز مستلزم آشنایی کامل با مکانیزمهای خوردگی و مقوله دوام بتن است. توصیه می‌شود در این ارتباط با کارشناسان دوام و پایایی بتن در مناطق گرمسیر مشورت‌های لازم صورت پذیرد.

ب- جانمائی ساختمانها باید با توجه به وضعیت تابش خورشید و جهت وزش باد صورت گیرد. تابش مستقیم خورشید موجب افزایش دمای سطح بتن و تنش‌های حرارتی شده که ممکن است منجر به ترکخوردگی گردد. تنشهای کششی ایجاد شده دال بتنی بر اثر تابش مستقیم نور خورشید می‌تواند به ۹ مگاپاسکال برسد که بمراتب از مقاومت کششی بتن بیشتر است، بنابراین توصیه می‌شود با تعبیه سایه‌بان روی دالهای بتنی بالاتر از سطح زمین تا حد امکان از افزایش دما جلوگیری شود. وزش بادهای ساحلی و ترشح آب شور دریا به سطوح بتنی نزدیک سواحل موجب نفوذ یون کلرید بداخل بتن و زنگ‌زدگی میلگردها می‌شود، بنابراین بهتر است تا حد امکان سطح مجاور وزش باد در این نواحی کاهش یافته و یا بنحوی در مقابل آثار زیانباری که بدان اشاره شد محافظت شوند، بدین منظور می‌توان در این قسمتها با اجرای بتن نفوذ ناپذیر با کیفیت و عملکرد مناسب و یا پوشاندن این سطوح با پوششهای حفاظتی به مقابله با مشکل پرداخت.

پ- باید تا حد امکان از اجرای گوشه‌های تیز در اعضای بتنی پرهیز نمود. گرد کردن گوشه‌ها و یا ایجاد پخی در لبه‌ها از این لحاظ حاشیه اطمینان بیشتری را فراهم می‌سازد. بطور کلی از نظر شکل استفاده از سطوح یکنواخت بدون زائده مانند دالهای تخت بجای تیر و دال و دوری از طرح جزئیات پیچیده قالب‌بندی و زوایای تیز گوشه به کاهش میزان مشکلات کمک می‌کند.

ت- پیش‌ساختگی در کارهای بتنی می‌تواند به دوام سازه کمک کند. امکان کنترل کیفیت در ساخت قطعات پیش‌ساخته بیشتر است. در این روش مسایلی نظیر جاگذاری میلگردها، تامین پوشش کافی، بتن‌ریزی در شرایط و دمای کنترل شده و تراکم مناسب با استفاده از انواع روشها با دقت بیشتری امکان‌پذیر است. از نمونه‌های موفق پیش‌ساختگی در شرایط محیطی خورنده خلیج فارس، پل ارتباطی عربستان سعودی و بحرین است که در آن از شمع، سرشمع و تیرهای پیش‌ساخته بتنی استفاده شده است. توصیه می‌شود در دست‌اندازهای بتنی پلها نیز از قطعات پیش‌ساخته استفاده شود زیرا این اعضا در معرض برخورد آب و گرد و خاک آلوده بوده و همراه با عرشه، زودتر از سایر اعضای پل دچار

خوردگی می‌شوند. استفاده از پیش‌ساختگی در این قسمت، سبب دوام بیشتر و جایگزینی آسانتر آنها پس از خرابی می‌باشد.

ث- توصیه می‌شود از طرح و اجرای مقاطع نازک و لاغر با میلگردهای زیاد در نقاط گرمسیر و خورنده جداً پرهیز شود. تراکم بیش از حد میلگرد در اعضا و قطعات بتن آرمه، تراکم بتن را با دشواری‌هایی مواجه می‌سازد. حتی‌الامکان باید از گروه میلگردها[1] پرهیز و میلگردها بطور یکنواخت در مقاطع توزیع شوند.

ج- بهتراست در نقشه‌ها و جداول آرماتوربندی، خرکهای[2] تامین‌کننده پوشش میلگرد دالها و خرک تنظیم‌کننده فاصله دو شبکه مجاور در شالوده، دیوار و دیگر مقاطع نشان داده شده و منظور گردند. این قطعات همراه با فاصله‌نگهدارهای[3] پلاستیکی و یا بتنی زیر میلگردها، نقش مهمی در تامین میزان پوشش ایفا می‌کنند.

چ- تخلیه آبهای سطحی از روی سطوح بتنی بویژه سطوح افقی از اهمیتی بسزا برخوردار است. اصولاً رطوبت زمینه را برای بروز واکنش‌های شیمیایی (کلروری، سولفاتی، قلیایی و غیره) فراهم می‌سازد و حذف آن به دوام سازه کمک می‌نماید، بطوریکه آیین‌نامه بتن ایران و ACI میزان مجاز یون کلرید را در بتن‌هایی که هنگام بهره‌برداری در معرض رطوبت نیستند یک درصد وزن سیمان و در شرایطی که در معرض رطوبت و کلریدها هستند ۰/۱۵ درصد وزن سیمان قید کرده‌اند. در این مورد می‌توان با تامین شیب‌های عرضی و طولی در سطوح افقی مانند، سقف‌ها، عرشه پلها و اسکله‌ها، دالهای روی خاک، سقف مخازن، موجبات دفع سریع آبهای سطحی را فراهم نمود.

روشهای دیگر کاهش رطوبت عبارتند از، اجرای روکشها و رنگهای حفاظتی و یا پلی‌تن، قیر و گونی و سایر عایقهای رطوبتی.

استفاده از مواد و مصالح مذکور باید با توجه به توصیه‌های تولیدکننده و مقاومت آنها در مقابل سرما و گرما، سایش ناشی از رفت و آمد وسائل نقلیه در پلها، جریان آب

1 Bundled bars
2 Chair
3 Spdcer

در سازه‌های هیدرولیکی و عبور و مرور روی کف‌های بتنی کارخانه‌ها و بویژه چسبندگی کافی آنها به سطح بتن، صورت گیرد. البته حفاظت، نگهداری و تجدید این پوششها باید همواره مد نظر بوده و براحتی امکان‌پذیر باشد. در این باره می‌توان از تجربه اجرای روکش پلهای بتنی در آمریکا با بتنهای پلیمری اصلاح شده به ضخامت دو سانتیمتر برای کاهش آثار زیانبار نمکهای ذوب یخ و یا از غشاهای خاص که در انواع مختلف برای مواردی نظیر عرشه پلها و کف پارکینگهای بتنی تولید و بکار برده شده است، نام برد.

ح- توصیه می‌شود در سازه‌های بتنی مناطق گرمسیر و اقلیمهای خورنده از روش تنش‌های مجاز برای محاسبه مقاطع بتن آرمه استفاده و ضرایب اطمینان محاسبات حتی‌الامکان بزرگتر اختیار شوند، البته با اعمال ضرائب پایایی در روش مقاومت نهایی نیز می‌توان این هدف را تحقق بخشید.

ضرائب پایایی در فصل چهارم نشریه شماره ۱۲۳ دفتر تحقیقات و معیارهای فنی سازمان برنامه و بودجه با عنوان ضوابط و معیارهای طرح و محاسبه مخازن آب زمینی، درج شده است.

خ- توصیه می‌شود از بتن ساده بدون میلگرد یا بتنهای حجیم با درصد کم میلگرد حرارتی در سطح، بجای بتن‌های با مقاطع نازک و درصد زیاد میلگرد استفاده شود. بعنوان مثال چنانچه مشخصه‌های مهندسی خاک اجازه دهد استفاده از دیوارهای ساحلی وزنی بر دیوارهای حایل بتن‌آرمه ارجح است.

د- سازه باید چنان طراحی شود که مقابله با آثار ناشی از وادادگی[1]، خزش[2] و تغییرات دما امکان‌پذیر بوده و عرض ترک‌ها با تعبیه درزهای انبساط[3] و انقباض[4] کنترل شود. همچنین باید توجه نمود که آرماتوربندی مناسب یعنی استفاده از میلگردهای با قطر و فواصل کم از اهمیتی ویژه برخوردار است. در این مورد می‌توان به آیین‌نامه بتن ایران و

1 Relaxation
2 Creep
3 Expantion Joint
4 Contraction Joint

یا نشریه شماره ۱۲۳ دفتر تحقیقات و معیارهای فنی سازمان برنامه و بودجه مراجعه نمود. باید توجه داشت که معمولاً خوردگی میلگردها بویژه در پلها به سبب جمع‌شدن گرد و خاک، آب، نمک، سولفات و سایر املاح، در اطراف درزها رخ می‌دهد، از اینرو توصیه می‌شود حتی‌الامکان از ایجاد درزهای انبساط پرهیز شود و در صورت تعبیه آن با ارائه جزئیات کامل و مناسب از بروز معایب مذکور جلوگیری شود.

ذ- توصیه می‌شود با اتخاذ تدابیر ویژه برای مقابله با خوردگیهای مختلف و منظور نمودن آنها در مدارک، نقشه‌ها و مشخصات فنی اقدام شود. با استفاده از مواد افزودنی مانند روان‌کننده‌های قوی، دیرگیرکننده‌ها و بازدارنده‌های خوردگی مثل نیتریت کلسیم و یا استفاده از موادی نظیر خاکستر بادی، میکروسیلیس، سرباره و پوزولانهای طبیعی به مثابه بخشی از مصالح چسباننده، می‌توان نسبت به ایجاد خواص مطلوب در بتن و افزایش عمر مفید سازه اقدام نمود. با توجه به میزان کاهش چسبندگی، محدودیتها و دقت‌های اجرایی لازم می‌توان از پوششهای اپوکسی برای افزایش مقاومت میلگردها در مقابل خوردگی استفاده کرد. همچنین می‌توان از این مواد برای پوشش سطح بتن‌های سخت شده مجاور آب و خاک شور بهره‌گیری و عمر مفید ساختمانها را افزایش داد.

استفاده از غشاهای پلاستیکی برای قالب‌بندی نفوذ پذیر کنترل شده[1] و یا حفاظت کاتدیک[2] نیز در سازه‌های آبی متداول است. روش حفاظت کاتدیک مطابق نظر کارشناسان تنها راه حل قطعی برای مقابله با خوردگی میلگردها در بتن بر اثر یون کلرید و یا کربناتی شدن می‌باشد. در روش حفاظت کاتدیک باید از ابتدا با اتخاذ تدابیر لازم و طراحی جزئیات اجرایی مناسب، اتصال میلگردها را برای عبور جریان برق تامین نمود. تا چنانچه در مراحلی از بهره‌برداری نیاز به استفاده از این روش احساس شود امکان اجرای آن فراهم باشد، در سازه‌های مهم باید با تعبیه صفحاتی در بتن و اتصال آنها به میلگردها، امکان بررسی میزان جریان خوردگی را بکمک سیستمهای ثبت و اندازه‌گیری[3] فراهم

1 Controlled permeable formwork = C.P.F
2 Cathodic protection = C.P.
3 Monitoring System

نمود. در اینصورت با بررسی جریان خوردگی می‌توان نسبت به حفاظت کاتدیک سازه اقدام نمود.

از آند فنا شونده که در سازه‌های فلزی دریایی و خطوط لوله برای جلوگیری از خوردگی در آب و خاک حاوی املاح خورنده از دیرباز کاربرد داشته می‌توان در سازه‌های بتن آرمه بهره جست، در فرآیند خوردگی، آندهای فناشونده بجای میلگرد خورده شده و از بین می‌روند.

بازدید آندهای فناشونده و تعویض آنها پس از زمان مقرر ضروری است. در منطقه خلیج فارس در سکوهای استخراج نفت، خطوط انتقال نفت، گاز، آب و نیز در یک کانال بتن‌آرمه حاوی آب شور دریا در عربستان، از آند فناشونده با موفقیت استفاده شده است.

۴-۵-۲- نکات اجرایی

برای تهیه بتن با خواص مطلوب و پایایی و دوام مورد نیاز، رعایت مشخصات فنی و دستورالعملهای مربوط به بتن‌ریزی در مناطق گرمسیر مانند آئین‌نامه بتن ایران، مشخصات فنی عمومی کارهای ساختمانی، دستورالعمل بتن‌ریزی در مناطق گرمسیری منتشر شده توسط موسسه ACI، مقاله بتن در مناطق گرمسیر ارائه شده و در اولین سمینار بندرسازی ایران و مطالب مندرج در این کتاب بویژه فصل حاضر از اهمیت فراوان برخوردار است. رعایت دستورالعمل‌های اجرایی بمراتب از طراحی و کنترل کیفیت موثرترند و اکثر خرابیها چه بلحاظ فیزیکی و چه از نظر شیمیایی بطور مستقیم یا غیر مستقیم به کیفیت اجرا بستگی داشته است.

مقوله اجرا خود به دو بخش عمده عوامل اجرایی و مسایل اجرایی قابل تقسیم است که در قسمتهای بعد به تفصیل درباره آنها بحث خواهد شد. توصیه‌های ارائه شده در واقع جمع‌بندی بخش‌های پیشین همین فصل است.

۴-۵-۲-۱- عوامل اجرایی

شرکتهای ساختمانی، سازمانهای مسئول و افرادی که دست‌اندرکار اجرای پروژه‌های بتنی در نقاط گرمسیر هستند باید به نکات زیر توجه داشته باشند.

الف- لازم است سازمانهای ذیربط از جمله سازمان برنامه و بودجه مسئله آموزش فنی عوامل اجرایی پیمانکاران مجری کارهای بتنی در مناطق گرمسیری را مورد توجه قرار داده و این نکته مهم را در رتبه‌بندی شرکتها در نظر گیرد. این آموزش را می‌توان به مهندسین مشاور صاحب صلاحیت در این مورد محول نمود. کیفیت کارهای بتنی اجرا شده توسط پیمانکاران نیز باید در رتبه‌بندی تاثیر داده شود تا بتدریج با این بررسیها، شرکتهای صاحب صلاحیت برای اجرای پروژه‌ها در مناطق گرمسیر شناخته شوند.

ب- بازآموزی کارگران ماهر و نیمه ماهر، تکنیسین‌ها و مهندسین با هدف ارتقای دانش‌فنی این افراد برای اجرای هر چه بهتر کارهای بتنی باید در دستور کار نهادهای مسئول قرار گیرد. در این مورد می‌توان با آموزش، آزمون و ارائه گواهینامه، همانند وزارت مسکن و شهرسازی در مورد مهندسین ناظر و محاسب اقدام نمود.

پ- برگزاری سمینارهای تخصصی بویژه در مناطق گرمسیر برای آشنایی مجریان، مشاوران، پیمانکاران و سایر دست‌اندرکاران پروژه‌های بتنی.

ت- تهیه و تدوین، ترجمه، چاپ و انتشار کتب و مجلات مربوط به طرح و اجرای کارهای بتنی در مناطق گرمسیر توسط سازمانهای ذیربط و مراکز آموزشی و بها دادن به این مطلب در امر آموزش بویژه در دانشگاهها با انجام کارهای تحقیقاتی، ارتباط با سایر مراکز تحقیقاتی دنیا برای مبادله دانش فنی و استفاده از دستاوردهای نوین بترتیبی که دانش عوامل فنی و اجرایی کشور به روز باشد.

ث- انجام تحقیقات همه جانبه و مستمر درباره سیمان و بتن در منطقه با کمک سازمانها و نهادهای ذیربط با هدف بهبود کیفیت مصالح و روشهای ساخت.

۴-۵-۲-۲- مسائل اجرایی و توصیه‌ها

مواردی که بویژه در نقاط گرمسیر جنوب ایران باید مورد توجه قرار گیرد در بخشهای مختلف این فصل مورد بحث و بررسی قرار گرفت، با توجه به اهمیت موضوع چکیده مطالب بشرح زیر جمع‌بندی می‌شود.

الف- کاهش اثر گرما و تابش مستقیم نور خورشید در مناطق گرمسیر هنگام بتن‌ریزی با تغییر زمان اجرای کار به ساعات خنک شبانه‌روز، در سایه قراردادن ماشین‌آلات و لوازم بتن‌ریزی، مصالح، مخازن آب و سیمان و خنک کردن آنها با روشهای گوناگون پیش از بتن‌ریزی بهمراه استفاده از یخ بطوریکه درجه حرارت هیچ نقطه‌ای از بتن تازه از ۳۰ درجه سلسیوس تجاوز ننماید، استفاده از بادشکن در نواحی گرمسیری بادخیز از جمله نکاتیست که باید مورد توجه قرار گیرد.

ب- بکار بستن تمامی تدابیری که برای حصول بتن با نفوذپذیری کم لازم است باید در دستور کار قرار گیرد، این تدابیر عبارتند از:

- کاهش نسبت آب به سیمان بطوریکه در هیچ مورد این نسبت از ۰/۴۵ تجاوز نکند. این نسبت در شرایط بسیار خورنده دریایی مثلاً در منطقه جزر و مد آب دریا یا خاکهای بسیار شور و خورنده مرطوب باید به ۰/۴ کاهش یابد.

- تهیه طرح اختلاط در آزمایشگاه و کارگاه بنحوی که بتن علاوه بر قوام[1]، روانی[1] و کارآیی[2] مناسب دارای حداقل تخلخل[3] و نفوذپذیری[4] نیز باشد.

- استفاده از مواد افزودنی پس از آزمایش و اطمینان از تاثیر مثبت آن بر افزایش روانی و کاهش آب مورد نیاز برای اختلاط، دیرگیرکردن بتن بویژه در پروژه‌هایی که فاصله زمانی غیرمتعارف بین تهیه و ساخت و ریختن بتن وجود دارد، استفاده از مواد حباب‌ساز که برای روانی و کاهش نفوذپذیری مناسب است. استفاده از مواد پوزولانی از قبیل میکروسیلیس رویاره و پوزولانهای طبیعی با کیفیت مناسب.

1 Consistency
2 Workability
3 Porosity
4 Permedbility

- تراکم کافی بتن به شیوه‌های مناسب، بطوریکه در عین حصول بتنی متراکم از جدا شدگی[1] دانه‌ها و آب انداختن[2] بتن جلوگیری گردد.

پ- نگهداری و انبار کردن شن و ماسه، سیمان و میلگردها در نقاط سرپوشیده و بدون تماس با رطوبت و خاک، جلوگیری از آلوده شدن آنها به نمک و املاح مضر موجود در محیط و اطمینان از عدم آلودگی آنها به یونهای کلرید و سولفات پیش از مصرف در بتن و رفع آن در صورت وجود با شستشوی سنگدانه‌ها و ماسه‌پاشی[3] و برس زدن میلگردها.

ت- تامین پوشش[4] بتن روی میلگردها بمیزان توصیه شده در این نشریه، آیین‌نامه بتن ایران و نیز نقشه‌ها و مشخصات فنی خصوصی در شرایط محیطی مختلف با لقمه‌ها[5] و آرماتوربندی مناسب و محکم با استفاده از خرک[6] و سیم‌های اتصال کافی بنحوی که هنگام بتن‌ریزی و تراکم بتن، شبکه میلگردها جابجا نشده و پوشش بتن روی میلگرد در همه شرایط تامین گردد.

ث- مراقبت و نگهداری از بتن جوان[7] و جلوگیری از آلودگی آن به خاک و آب آلوده هنگام اجرا و پس از سخت شدن، تخلیه آبهای زائد، انجام زهکشی و عایقکاری و استفاده از پوششهای حفاظتی، در دوران بهره‌برداری، استفاده از اپوکسیها برای ناحیه مجاور جزر و مد آب دریا و یا نقاطی که در تماس با خاک و آب زیرزمینی آلوده به املاح سولفات و کلر می‌باشند. استفاده از قیر یا قیر و گونی برای نقاط مجاور خاک و سطح شالوده‌ها و بویژه در سطوح مجاور فصل مشترک خاک و هوا.

1 Segregation
2 Bleeding
3 Sandblasting
4 Cover
5 Bolster
6 Chair
7 Green concrete

۴-۵-۳- کنترل کیفیت[1] و اطمینان از کیفیت[2]

اطمینان از کیفیت به تمامی اقدامات برنامه‌ریزی شده و سازمان یافته به منظور کسب اطمینان و اعتماد از عملکرد سازه برای پاسخگویی به ضوابط مورد نظر، اطلاق می‌شود.

کنترل کیفیت یکی از مراحل مهم اطمینان از کیفیت کار اجرا شده است. نظارت، بازرسی و تائید سازگاری روش‌های اجرایی، با کیفیت مورد نظر، لازمه کنترل کیفیت است.

در کارهای ساختمانی بخش کنترل کیفیت مسئولیت کامل آزمایشگاه و نظارت بر تولید بتن را عهده‌دار است. صدور تائیدیه‌های فنی، تنظیم گزارش آزمایش‌ها و سایر مدارک مربوطه از دیگر مسئولیت‌های این بخش بشمار می‌آید. مسئولین این بخش باید با عمر مفید و اقتصادی سازه، شرایط محیطی موثر بر آن و آیین‌نامه‌ها و استانداردهای حاکم آشنایی و به آنها توجه کامل داشته باشند. کنترل کیفیت بتن شامل سه مرحله است:

الف- آزمایشهای اولیه بمنظور بررسی انطباق ویژگیهای مصالح و ماشین‌آلات با مندرجات مشخصات فنی عمومی و خصوصی.

ب- آزمایشهای مربوط به کنترل کیفیت بتن.

پ- تعیین خصوصیات بتن.

تکرر آزمایش‌های مصالح سنگی در جدول ۴-۱ نشان داده شده است. آزمایشهای جاری در مورد سیمان (فیزیکی، مکانیکی و شیمیایی) باید بلافاصله پس از رسیدن محموله به کارگاه شروع و تا مصرف کامل ادامه یابند.

1 Quality control
2 Quality Assuranca

جدول شماره ۴-۱- تکرر آزمایش‌های مصالح سنگی

نوع مصالح / آزمایشها	مصالح سنگی				
	دانه‌بندی نشده	شن		ماسه	
	مرحله اول	مرحله اول	مرحله دوم	مرحله اول	مرحله دوم
دانه‌بندی	هر ۱۴ روز	هر ۳ روز	روزانه	روزانه	روزانه
تعیین میزان کلرور	هر ۱۴ روز	هر ۳ روز	روزانه	روزانه	روزانه
تعیین مقدار لای		هر ۳ روز	روزانه	روزانه	روزانه
شکل ذرات		درمواقع‌نامعین	روزانه	روزانه	روزانه
جذب آب		هر ۱۰۰۰۰مترمکعب	روزانه	هر۵۰۰۰ مترمکعب	
سختی		درمواقع‌نامعین	روزانه	—	
وزن مخصوص		هر۱۰۰۰۰ مترمکعب	روزانه	هر۵۰۰۰ مترمکعب	
وزن مخصوص حجمی		هر ۳ روز	روزانه	هفتگی	
سلامت مصالح		درمواقع‌نامعین	روزانه	در مواقع نامعین	
درصد دانه‌های پولکی			روزانه	—	
بررسیهای عینی (چشمی)			روزانه	—	
درصد رطوبت			روزانه	روزانه	روزانه

باید بر نحوه مراقبت از سیمان انبار شده در کارگاه نظارت دقیق اعمال شود. همانطور که قبلاً ذکر شد کاهش مقاومت سیمانهای پاکتی انبار شده در نواحی ساحلی خلیج فارس که تا شش ردیف روی هم چیده شده باشند، بویژه در ماههای تابستان که دما و رطوبت زیاد است، قابل توجه می‌باشد. در صورت کلوخه‌شدن سیمانها باید ضمن کنترل نحوه‌نگهداری و انبارکردن، از کیفیت‌سیمان پیش ازساختن‌بتن، اطمینان حاصل شود.

با انجام آزمایشهای مربوط به کنترل کیفیت مخلوط بتن تازه و با توجه به وضعیت کارگاه، فاصله حمل و زمان انتظار باید نسبت به سازماندهی کار اقدام شود.

همواره باید بین نتایج حاصل از آزمایش و کیفیت کار تمام شده توازن برقرار باشد، لازمه این کار پردازش نتایج آزمایشها و ارزیابی فنی و ادواری کار است.

کنترل کیفیت و اطمینان از کیفیت شرط اول بتن‌ریزی در نقاط گرمسیر است که حصول اطمینان از انطباق ویژگیهای بتن با مشخصات فنی عمومی و اجرایی مهمترین هدف آن است.

فهرست منابع و مراجع

الف- منابع فارسی

۱- بتن در مناطق گرمسیر از انتشارات دفتر تحقیقات و معیارهای فنی سازمان برنامه و بودجه.

۲- مجموعه مقالات کنفرانس بین‌المللی بتن (۱۳۷۱) از انتشارات سازمان برنامه و بودجه- دفتر تحقیقات و معیارهای فنی، دانشکده فنی- دانشگاه تهران.

۳- آیین‌نامه بتن ایران (بخش اول)- نشریه شماره ۱۲۰ دفتر تحقیقات و معیارهای فنی سازمان برنامه و بودجه.

۴- مشخصات فنی عمومی کارهای ساختمانی. بخش بتن و بتن آرمه نشریه شماره ۵۵ از انتشارات سازمان برنامه و بودجه.

۵- بتن‌ریزی در هوای گرم از انتشارات دفتر آموزشی موسسه یونسکو ترجمه مهندس حسن تابش. ناشر : مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن ۱۳۵۹.

۶- توصیه‌ها و پیشنهادهای پایایی بتن در سواحل و جزایر جنوبی کشور- نشریه شماره ۱۵۶ مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن. مولف دکتر علی‌اکبر رمضانیانپور.

۷- نشریات شماره ۱۲۳ و ۱۲۴ دفتر تحقیقات و معیارهای فنی سازمان برنامه و بودجه (مخازن آب زمینی).

ب- منابع انگلیسی

1. K.C. Hover, evaporation of surface moisture : a problem in concrete technology and human physiology, concrete in hot climates, proceedings of the third international rilem conference.

2. S.E. Hussain, I.S.Paul & M.S. Basherini , performance and design aspects for durable concrete in the gulf region,
Deterioration and repair of reinforced concrete in the persian gulf.

3. A.P.Van Vugt, IR., Chemical processes related to concrete including biological actions,
Durabilty of concrete structures, CEB-rilem international workshop.

4. L.Hjorth, M.SC., Cement specifications for concrete exposed to chlorides and sulphates,
Durability of concrete structures, CEB-rilem international worshop.

5. Marine concrete (London Conference 1986).

فصـــل پنجم

بهره‌برداری و نگهداری از سازه‌های بتنی

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
فصل پنجم – بهره‌برداری و نگهداری از سازه‌های بتنی	
۵-۱- مقدمه	۱
۵-۲- اصول نگهداری و بهره‌برداری	۲
۵-۲-۱- بازرسی‌های ادواری	۲
۵-۲-۲- زهکشی، شستشو و تمیزکاری	۵
۵-۲-۳- تجدید رنگ، پوشش و روکش	۶
۵-۳- تعمیرات	۷
۵-۳-۱- ارزیابی سازه و انجام آزمایش‌ها	۷
۵-۳-۲- مواد مورد مصرف برای انجام تعمیرات	۸
۵-۳-۳- اجرای تعمیرات بتن	۱۲
۵-۴- نتیجه‌گیری	۱۷
فهرست مراجع و منابع	۱۸

فصل پنجم- بهره‌برداری و نگهداری از سازه‌های بتنی

۵-۱ مقدمه

بنابر یک اصل کلی، پیشگیری از ایجاد خرابی در ساختمانهای بتن آرمه همیشه اقتصادی تر از تعمیر آن است، در حال حاضر سالانه برای ترمیم خرابی‌های بتن، خوردگی آرماتورها و خسارات ناشی از آن میلیاردها دلار در سراسر دنیا هزینه می‌شود.

پیشگیری شامل دو بخش عمده است: بخش اول رعایت و بکار بستن ضوابط، آیین‌نامه، دستورالعملها و توصیه‌ها در طراحی و اجرای سازه‌های بتنی در مناطق گرمسیر و بخش دوم شامل بهره‌برداری و نگهداری صحیح واصولی از آنها.

در سایر فصل‌های این نشریه بویژه در فصل چهارم، روشهای اجرایی و توصیه‌ها، به تفصیل در مورد بخش اول، بحث و بررسی شده است. در این فصل به بخش دوم یعنی بهره‌برداری، نگهداری و تعمیرات ساختمانها و ابنیه بتن آرمه مبادرت می‌شود.

بطور کلی باید اصول و روشهای بهره‌برداری و نگهداری صحیح از سازه‌های بتن آرمه در بین دست‌اندرکاران امر ساختمان اشاعه یابد. این هدف با آموزش مستمر در دانشگاه‌ها، دستگاههای اجرایی و کارگاهها امکان‌پذیر است. اهمیت این مطلب با تشریح صعوبت اجرا و مخارج تعمیرات سازه‌های بتنی و نقش آن در اقتصاد ملی بیشتر روشن می‌شود.

اصول و روشهای بهره‌برداری و نگهداری با توجه به نوع سازه‌های بتن آرمه و شرایط اقلیمی متفاوت است و دستورالعمل‌های مربوط باید توسط افراد صاحب صلاحیت تهیه شود.

۵-۲- اصول نگهداری و بهره‌برداری

همانطورکه در فصل‌های گذشته اشاره شد، به سبب وجود شرایط محیطی حاد و خورنده در مناطق گرمسیری ایران، سازه‌های بتن آرمه در معرض ابتلا به انواع خرابیها قرار دارند که عمده‌ترین آنها عبارتند از خوردگی میلگرد در بتن، خرابی سولفاتی، واکنش قلیایی سنگدانه‌ها و کربناتی شدن، که شایع‌ترین مورد خوردگی فولاد در بتن است.

برای کاهش احتمال بروز خرابیهای مذکور با توجه به اهمیت و نوع سازه، رعایت موارد زیر الزامی است.

۵-۲-۱- بازرسی‌های ادواری

تمامی ساختمانهای بتن آرمه باید در فواصل زمانی مشخص توسط افراد متخصص و با تجربه مورد بازرسی قرار گیرند. فواصل زمانی بازرسی‌ها و نکاتی که باید ضمن بازرسی‌ها مد نظر قرار گیرند، با توجه به اهمیت سازه متفاوت خواهند بود.

چنانچه اجرای کار توسط پیمانکار صورت گرفته باشد، پیش از پایان دوره تضمین باید با انجام بازدیدهای مکرر و بازرسی‌های چشمی[1] و در صورت لزوم بازرسی‌های ابزاری، نواقص و خرابیهای احتمالی جستجو و مورد بررسی قرار گیرند تا پیمانکار نسبت به رفع آنها اقدام نماید.

پس از انقضای دوره تضمین، نگهداری ساختمانها بعهده دستگاه بهره‌بردار خواهد بود و لازم است بازدیدهای مذکور ادامه یافته و نسبت به رفع نواقص و انجام تعمیرات اقدام گردد.

نکاتی که باید ضمن بازدیدها مورد توجه قرار گیرند عبارتند از :

الف- بازرسی چشمی و ابزاری سطوح برای بررسی خرابیها که ضمن آن باید هرگونه علائم و آثار خرابی از قبیل ترکهای سطحی و عمقی، آثار زنگ‌زدگی میلگردها،

1 Visual Inspection

تغییر رنگ سطح، ریزش و تورق بتن، شوره زدگی سطحی، سایش و فرسایش و نیز خمیدگی ستونها، افتادگی تیرها و دالها به میزان بیش از حد مجاز مورد بررسی قرار گیرد و در صورت لزوم مقادیر خرابیها ثبت شود تا در بررسی‌های بعد گسترش و یا توقف آنها قابل اندازه‌گیری باشد و نسبت به ترمیم آنها اقدام شود.

ب- ضمن بازرسی باید درزهای انبساط، انقباض، کنترل، اجرایی و نشست با وارسی شکل ظاهری درزها، بررسی وضعیت مواد درزبند در صورت وجود و نیز کنترل عرض درز و امکان نشت آب از مخازن و سازه‌های آبی بدقت صورت گیرد.

جمع شدن آب، املاح و مواد زائد در مجاورت و درون درزها باید به دقت بررسی شده و نسبت به تمیز کردن آنها اقدام شود، زیرا احتمال بروز خوردگی در مجاورت درزها بیش از سایر نقاط است.

پ- در مواردیکه بدلایل مختلف تمام یا بخشی از سطوح بتن دارای پوشش می‌باشند، بازدید از این پوششهای حفاظتی بتن شامل رنگها، مواد و پوشینه‌های عایقکاری و روکش‌ها ضرورت دارد. ترکخوردگی[1]، ریزش[2]، پکیدن[3]، بیرون‌پریدگی[4] بتن از سطح و شواهدی نظیر آن باید مورد بررسی واقع شده و نسبت به رفع معایب اقدام گردد.

ت- بازرسی نقاط آسیب‌پذیر بناها مانند محل کارگذاردن ناودان و لوله‌های زهکشی بویژه در پلها، دیوار و کف مجاری در تصفیه‌خانه‌ها، سطوح مجاور ناحیه جزر و مد[5] و برخورد آب دریا[6] در اسکله‌ها و دیوارهای ساحلی، کف و دیواره کانالهای آب، انرژی شکن‌ها، سرریز سدها و هر قسمتی که در معرض سایش و فرسایش ناشی از حرکت آب و یا خلاءزایی، باید همواره در برنامه کار قرار داشته باشد. نقاط اطراف لوله‌ها، میل مهارها، ورقهای فلزی و سایر اجسام نیمه مدفون در بتن بلحاظ زنگ‌زدگی و خوردگی

1 Cracking
2 Falling
3 Spalling
4 Popout
5 Tidal zone
6 Splash zone

بویژه در محل فصل مشترکشان با بتن، و بطور کلی هر نقطه‌ای که امکان رطوبت و املاح خورنده در مجاور آن وجود داشته باشد، باید در فواصل زمانی معیین مورد بازرسی قرار گیرند.

ث- بازرسی بتن تعمیر شده که شامل وضعیت ظاهری بویژه چسبندگی کامل قسمتهای جدید به بتن قدیمی می‌باشد ضروری است، ضمن بازرسی باید آثار تورق، جداشدگی، طبله شدن، ریزش، زنگ‌زدگی میلگردها و ترک خوردگی ثبت شده و مورد بررسی قرار گیرد.

ج- بازرسی و حصول اطمینان از عملکرد سیستمهای حفاظت کاتدیک در سازه‌های مجهز به آن و کنترل و آزمایش جریان موثر بطور ماهانه یا در فواصل زمانی مشخص که شامل: جریان خروجی، مصرف برق و علائم نشاندهنده کارکرد رضایتبخش سیستم، می‌باشد و همچنین بازرسی تمام تجهیزات حفاظتی سیستم ضروری است. این بازرسی شامل کنترل اتصالات الکتریکی، اتصال زمین، دقت کنتور، بازده یکسوکننده جریان برق و مقاومت مدار می‌باشد.

راهبری، تعمیر و نگهداری این سیستم باید به افراد متخصص و باتجربه سپرده شود. بازرسی سیستمهای اعلام خطر که در آنها با اندازه گیری اختلاف پتانسیل میلگردها در نقاط مختلف بتن، میزان خوردگی میلگردها مشخص می‌شود، کمک موثری در پی بردن به نقاط ضعف ساختمان است. این سیستم باید در زمان اجرای ساختمان نصب و توسط افراد مجرب مورد بازرسی قرار گیرد. سیستمهای یاد شده صرفاً در سازه‌های با اهمیت و در شرایط محیطی خورنده بکار برده می‌شوند و نگهداری و استفاده از آنها نیاز به تجربه و تخصص دارد.

پس از انجام بازدیدهای ادواری باید نسبت به نتیجه‌گیری و برنامه‌ریزی لازم برای رفع نواقص احتمالی اقدام نمود. در بعضی موارد برای انجام بازرسی‌های تکمیلی باید از دستگاههای اندازه‌گیری و افراد مجرب استفاده کرد.

نکته مهم در این مرحله تشخیص سریع نقص و رفع فوری آن است.

۵-۲-۲- زهکشی، شستشو و تمیزکاری

از آنجا که رطوبت یکی از عوامل اصلی در واکنش‌های شیمیایی است باید با دفع سریع آبهای سطحی و جلوگیری از تجمع و نفوذ آن در بتن بر دوام ساختمانهای بتن آرمه افزود.

برای دفع آبها، خاکریزها و محوطه‌ها باید دارای شیب مناسب بوده و سیستم‌های جمع‌آوری و تخلیه، ورودیها، لوله‌های انتقال و سایر اجزا بخوبی طراحی و اجرا شده و نگهداری و بازدید مستمر از تاسیسات مربوطه به عمل آید، بطوریکه آب بسهولت دفع شده، ورودی و مسیر انتقال همیشه تمیز و عاری از آلودگی، املاح، مواد زائد و لجن باشد.

پیشنهاد می‌شود لوله‌های انتقال از نوع گالوانیزه، پلی‌اتیلن و یا با پوششهای اپوکسی انتخاب شود.

جمع‌آوری و تخلیه آب اطراف سازه‌های بتن آرمه و زهکشی آنها بویژه در دال پلها، کف بالکن‌ها، کف پارکینگ‌ها و سالن‌ها، بام‌ها ، سقف مخازن و روسازیهای بتنی مطرح است. بازدید از مسیر زهکشی و ادوات مربوطه به طور مستمر لازم بوده و تمیزکاری مسیر لوله‌ها، ورودیها و خروجیها باید بطور منظم انجام گیرد.

شستشو و تمیزکاری نیز از مسائل مهم در نگهداری و دوام سازه‌های بتن آرمه است. معمولاً املاح کلروری و سولفاتی همراه لجن و گرد و خاک روی قسمت‌هایی از ساختمانهای بتنی رسوب و در اثر تبخیرهای متوالی، نمکها بدرون بتن نفوذ کرده و موجبات بروز انواع خوردگی از جمله کلروری و سولفاتی را فراهم می‌نمایند. بنابراین شستشوی قسمتهایی از سازه‌ها که در معرض این املاح و رسوبات مربوطه قرار دارند، کمک شایانی به دوام و پایایی آنها می‌نماید.

شستشوی درزها، گوشه‌ها، ورودیها، اطراف حفره‌ها و محلهایی که بیشتر در مجاورت املاح هستند باید با دقت بیشتری صورت گیرد.

۵-۲-۳- تجدید رنگ، پوشش و روکش

همانطور که پیش از این بیان شد، رنگها، پوششها و روکش‌ها نقش مهمی در جلوگیری از نفوذ رطوبت، املاح و تا حدودی اکسیژن بدرون بتن دارند. در سازه‌هایی که بخشی از حفاظت آنها بروش‌های یاد شده انجام می‌شود، لازم است نسبت به بازدید، نگهداری، تعمیر و تجدید این پوشش‌ها اقدام شود. باید توجه داشت که عمر رنگها و پوششها بسته به کیفیت، نحوه اجرا ، شرایط محیطی و نگهداری آنها متفاوت و محدود است.

بنابراین در صورت مشاهده تغییر رنگ، پوسته شدن، تورق و طبله کردن و ریزش آنها، باید نسبت به تجدید روکش و پوشش بطور موضعی یا کامل اقدام شود، برای مثال در شمع‌ها، دیوارها و پیشانی اسکله‌ها در ناحیه جزر و مد، رنگ و پوششهای اپوکسی کاربرد زیادی داشته و با توجه به شرایط حاد محیطی معمولاً هر دو سال یکبار نیاز به تجدید رنگ دارند. سازگاری پوشش‌ها با بتن و مواد تعمیری نیز مهم است و باید مدنظر باشد. نکته مهم دیگری که در مورد پوششها باید مورد توجه قرار گیرد، داشتن خاصیت ارتجاعی برای عملکرد بهتر روی ترکهای بوجود آمده در بتن و خاصیت دفع رطوبت از داخل بتن به خارج است، زیرا در غیر اینصورت فشار رطوبت، باعث جدا شدن پوشش شده و خوردگی بتن از این نقاط شروع می‌شود. اجرای پوششهای آب‌بند روی بتن‌هایی که میزان یون کلرید درون آنها از حد مجاز بیشتر است، بی‌ثمر بوده و ممکن است حتی باعث افزایش سرعت خوردگی آرماتورها گردد. در این گونه موارد با توجه به شدت خوردگی و میزان خرابیهای حاصله باید با اجرای سیستم‌های حفاظت کاتدیک و انجام تعمیرات مطابق بند ۵-۳ نسبت به حفاظت سازه اقدام شود.

❑ ۵-۳- تعمیرات

هر ساختمان بتنی نیازمند تعمیر از آغاز تا پایان مراحل مشروح زیر را از سرگذرانده است:

الف- مرحله طراحی واجرا

ب- مرحله آغاز خرابیهای ناشی از خوردگی

پ- مرحله انتشار خرابیهای ناشی از خوردگی

ت- مرحله خرابیهای گسترش یافته و پیشرفته در اثر خوردگی

بر اساس بررسیهای بعمل آمده چنانچه هزینه‌ها و مخارج لازم برای جلوگیری از خرابی در مرحله «الف» یک ریال باشد، هزینه‌های نظیر در مراحل «ب» ، «پ» و «ت» بترتیب ۵ ، ۲۵ و ۱۲۵ ریال خواهد بود.

بنابراین منطقی‌تر و اقتصادی‌تر آن است که همه دست‌اندرکاران کارهای بتن آرمه اعم از کارفرما، پیمانکار، مشاور و دستگاه بهره‌بردار تمام سعی خود را در مراحل «الف و ب» بکار گیرند.

۵-۳-۱- ارزیابی سازه و انجام آزمایشها

برای کاهش هزینه‌های نگهداری و تعمیرات، باید با انجام بازدیدها و بررسی‌های به موقع برای مشخص کردن خرابیهای احتمالی و یا عدم عملکرد مناسب سازه، ارزیابیهایی انجام شود. بازرسیها باید در دو مرحله انجام گیرد. در مرحله اول بازرسیهایی مطابق شرح بند ۵-۲-۱ و در مرحله دوم بررسی‌های تفصیلی با نمونه‌گیری برای جمع‌آوری اطلاعات مشروح زیر انجام می‌شود:

- عمق کربناتی شدن پوشش بتن روی میلگردها
- پروفیل نفوذ کلر در پوشش بتن روی میلگردها

- تعیین وضعیت پتانسیل الکتریکی سطح بتن به روش نیم پیلی[1].

- مغزه گیری شامل آنالیز میکروسکوپی و سنگ‌نگاری مقاطع نازک برای مشخص کردن کیفیت بتن شامل تراکم، شرایط عمل‌آوری، بررسی وضع ترکهای بسیار ریز، نسبت آب به سیمان، درصد هوا، واکنش قلیایی دانه‌ها و غیره.

- ضربات متوالی به سطح بتن با چکش یا میله برای آشکار کردن مناطقی که متورق شده است.

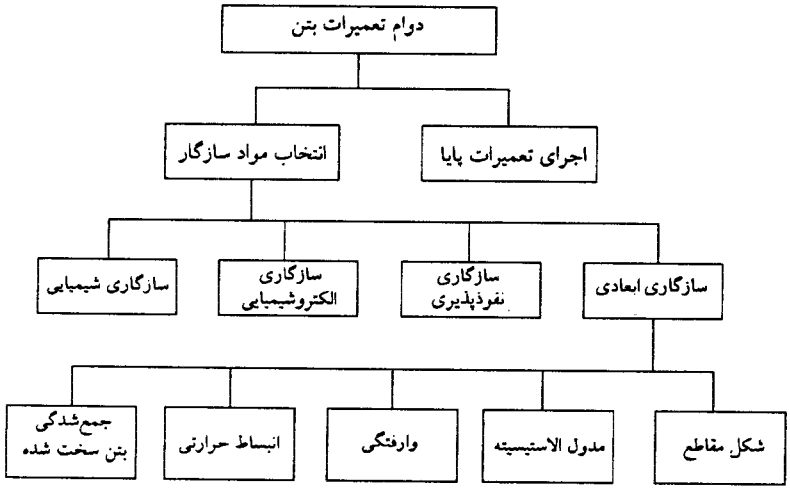
با انجام آزمایشهای یاد شده می‌توان قبل از ظهور و انتشار خرابیهای آشکار، به وجود آنها پی برده و تدابیر لازم را اتخاذ نمود. در اکثر موارد هزینه این آزمایشها بسیار کمتر از تعمیرات پس از آشکار شدن و گسترش خرابیها می‌باشد.

۵-۳-۲- مواد مورد مصرف برای انجام تعمیرات

عمر مفید کارهای انجام شده ضمن تعمیر بستگی به انتخاب و استفاده صحیح مواد و مصالح دارد. در شکل ۵-۱ عواملی که در دوام تعمیرات بتن تاثیر دارند نشان داده شده است. همانطور که مشخص شده یکی از عوامل عمده انتخاب مواد سازگاری شیمیایی، الکتروشیمیایی، نفوذپذیری و ابعادی[2] با بتن اصلی است.

1 Half cell potential

2 Dimentional



شکل شماره ۵-۱- عوامل موثر در دوام تعمیرات بتن

سازگاری خواص شیمیایی شامل میزان قلیایی‌ها، سه کلسیم آلومینات، کلرید و غیره می‌باشد. سازگاری الکتروشیمیایی شامل مقاومت الکتریکی، PH و غیره است. عدم سازگاری در این موارد می‌تواند بر دوام تعمیرات اثر سوء داشته باشد.

بعنوان مثال وقتی بتن در دست تعمیر دارای سنگدانه‌های واکنش زا باشد، باید از مواد تعمیری کم قلیا استفاده شود. نظر به اینکه مواد تعمیری با PH کمتر از حد متوسط حفاظت کمی برای میلگردهای صدمه دیده فراهم می‌نمایند، باید از مواد تعمیری با PH زیاد استفاده شود.

خواصی از مصالح که بر سازگاری ابعادی تاثیر دارند عبارتند از جمع‌شدگی بتن سخت شده، انبساط حرارتی، مدول الاستیسیته و وارفتگی، تغییرات حجم که ناشی از تغییرات رطوبت و دما می‌باشد، موجب انقباض بتن و در نتیجه ترک‌خوردگی و جدا شدن قسمت تعمیری می‌شود، بنابراین مواد تعمیری باید با بتن موجود سازگاری بعدی داشته باشند تا امکان ترک‌خوردگی و طبله کردن مواد تعمیری بر اثر انقباض به حداقل ممکن برسد.

جمع‌شدگی بتن سخت شده از مهمترین موارد سازگاری ابعادی است. بر اثر جمع‌شدگی بتن، تنشهای کششی در قسمت تعمیری بوجود می‌آید، در صورت تجاوز این تنش‌ها از مقاومت کششی مواد تعمیری ترک‌خوردگی بوجود می‌آید.

چنانچه مواد تعمیری بر اثر جمع‌شدگی، کاملاً حجم مورد نظر را پر نکرده باشند، ظرفیت باربری کاهش خواهد یافت. گرچه میزان جمع‌شدگی متناسب با مقدار سیمان و کل آب اختلاط است ولی با محدود کردن نسبت آب به سیمان به تنهایی نمی‌توان جمع‌شدگی را محدود نمود. هرچند مصرف زیاد سیمان بر افزایش مقاومت فشاری موثر است، توصیه می‌شود تا حد امکان از مصرف زیاد سیمان در بتن‌های تعمیری پرهیز شود.

مواد قیری گوناگونی برای کارهای تعمیراتی وجود دارندکه در هر مورد باید به دستورالعمل‌های تولیدکننده توجه شود. ملاتهای تهیه شده با رزین اپوکسی برای ضخامت‌های کم و چسبندگی و دوام زیاد بکار می‌روند و نسبتاً گران هستند. بتن‌های پلیمری یا پلیمری اصلاح شده برای ضخامت بیشتر (حدود ۱۰ سانتیمتر) کاربرد بیشتری دارند. ملاتها و بتن‌های پلیمری اصلاح شده برای تعمیرات بزرگ مناسب هستند، چسبندگی آنها به بتن موجود خوب است، افت کم، ضریب الاستیسیته پایین‌تر از بتن، نفوذپذیری کم، و مقاومت خوب در مقابل مواد مضر از دیگر محاسن آنهاست و نیاز به عمل آوری کمتری نسبت به بتن معمولی دارند. از جمله این مواد می‌توان از استایرین بوتادین رابر و آکریلیک نام برد. توضیحات بیشتر در فصل هفتم با عنوان «بتنهای ویژه» درج شده است. استفاده از الیاف پشم شیشه در بتنهای تعمیری و یا میکروسیلیس بویژه در بتن‌پاشی[1] سطوح بزرگ برای ایجاد چسبندگی بیشتر، نفوذپذیری کمتر و نیز کاهش میزان برجهندگی[2] هنگام بتن‌پاشی، متداول است. در سالهای اخیر استفاده از مواد وصله‌کاری[3] آماده در پاکتهای تا ۵۰ کیلوگرم رواج یافته است. این پاکتها محتوی سنگدانه،

1 Shot creting
2 Rebound
3 Patching material

سیمان، پلیمر، روان‌کننده و سایر مواد افزودنی بصورت جامد بوده و در کارگاه پس از افزودن آب بکار برده می‌شوند.

استفاده ازاین نوع مواد آماده برای وصله‌های کوچک در شرایط ویژه، اقتصادی بوده و کاربرد دارد. در مناطق گرمسیر در بتن‌های تعمیری همانند بتن معمولی از مواد افزودنی بویژه روان‌کننده‌های قوی و دیرگیرکننده‌ها استفاده می‌شود. در بعضی تجارب استفاده از بتن یا ملات معمولی با نسبت آب به سیمان کم و بکارگیری روان‌کننده قوی در تعمیرات نتایج خوبی را بهمراه داشته است.

در تعمیرات علاوه بر مواد افزودنی که به بتن یا ملات اضافه می‌شوند. استفاده از موادی نظیر چسبهای بتن و پوشش روی میلگردها متداول است. چسبهای بتن با انواع مختلف اپوکسیها و پلیمرها ساخته شده و بکار می‌روند. نکته مهم در مورد چسبهای بتن اینست که چسبهای یاد شده بسته به دمای هوا در مدت زمان نسبتاً کوتاهی (حدود ۲۰ دقیقه تا ۲ ساعت) خشک می‌شوند. بتن‌ریزی باید قبل از خشک شدن چسب و هنگامیکه هنوز حالت چسبناکی از بین نرفته انجام شود، در غیر اینصورت چسب به لایه‌ای جداکننده تبدیل شده و نتیجه معکوس ببار خواهد آورد. نکته دیگر اینست که لاتکس‌ها[1] را نباید به تنهایی بعنوان چسب‌بتن مصرف نمود بلکه باید آنها را با سیمان و آب با نسبت‌های مشخص، مخلوط و روی سطح بتن بکار برد. تحقیقات بعمل آمده نشان داده که در پاره‌ای موارد چسبندگی دوغاب سیمان از چسبهای لاتکسی بیشتر است.

استفاده درست از پوششهای اپوکسی علیرغم کاهش چسبندگی میلگردها به بتن سبب کاهش جریان خوردگی از نواحی مجاور بداخل قسمت تعمیری شده و در نتیجه احتمال وقوع خوردگی جدید در فصل مشترک بتن جدید و قدیم کاهش می‌یابد. در صورت ناقص بودن پوشش میلگردها، خوردگی قسمتهای فاقد پوشش تشدید می‌شود.

۱ لاتکس = امولسیون آبی لاستیک مصنوعی.

بطور کلی مواد تعمیراتی باید از هر نظر با بتن اصلی سازگار باشند، طرح اختلاط مناسب و سنگدانه‌های تمیز و عاری از مواد آلی و املاح از دیگر ویژگیهای مهم مواد و مصالح مورد مصرف در کار تعمیر است، مواد افزودنی نیز باید با توجه به نوع تعمیرات و سازگاری آن با مواد متشکله بتن بر اساس توصیه‌های کارخانه سازنده و صلاحدید افراد مجرب و متخصص انتخاب و بکار برده شوند.

۵-۳-۳- اجرای تعمیرات بتن

تعمیرات بتن در سازه‌های مختلف با روشها و مواد گوناگون انجام می‌گیرد. تعمیرات در سازه‌های، غیرمتعارف نیاز به تجربه و تخصص ویژه و روشهای غیر متعارف دارد. در تعمیر سازه‌های متعارف، روشهایی بشرح زیر متداول است.

- نحوه انجام تعمیرات در سطوح کوچک و بزرگ متفاوت است.

- بتن‌ریزی سطوح کوچک را می‌توان مانند سیمانکاری انجام داد، به این نحو که پس از آماده کردن ملات در بتونیر باید آنرا با ماله و در ضخامت‌های کم در لایه‌های متوالی در محل مورد نظر مالیده و متراکم نمود.

- در سطوح بزرگ استفاده از قالب‌بندی و یا بتن‌پاشی اقتصادی‌تر و معمول است.

مراحل مختلف تعمیر بشرح زیر است:

الف- آماده‌سازی سطح

پس از مشخص شدن محدوده تعمیرات و علل خرابیها، لازم است محدوده خرابی را با اره مخصوص تا عمق حدود دو سانتیمتر در اشکال منظم هندسی بریده سپس با کمک چکشهای برقی یا بادی سبک وزن (حدود ۱۰ کیلوگرم) قسمتهای آسیب‌دیده را جدا کرده و با ماسه‌پاشی[1] یا آب با فشار[2] زیاد نسبت به تخریب و برداشتن بتن اقدام نمود. عمق تخریب با توجه به نتایج آزمایشها و وسعت خرابی (میزان نفوذ کلر) تعیین

1 Sand blasting
2 Waterjet

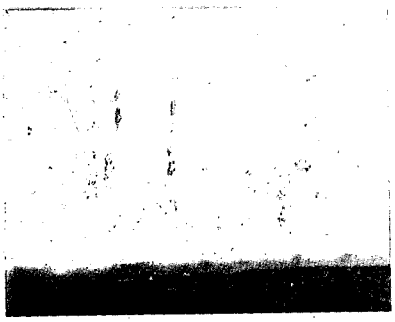
می‌شود. در نقاطی که زنگ‌زدگی میلگرد وجود دارد لازم است تخریب تا حدود ۲/۵ سانتیمتر پشت میلگردها ادامه یابد. ماسه‌پاشی یا آبپاشی با فشار برای زدودن زنگ میلگردها و آثار آنها و همچنین برداشتن دانه‌های سست از سطح بتن بسیار مفید است. در صورتیکه میلگردها دچار زنگ‌زدگی شدید شده باشند باید نسبت به تعویض یا تقویت آنها اقدام و با پوشش اپوکسی آنها را اندود کرد. توصیه می‌شود ۲۴ ساعت قبل از بتن‌ریزی سطح بتن خیس شود.

بدین ترتیب آماده‌سازی سطح بتن و میلگردها انجام شده و می‌توان نسبت به بتن‌ریزی اقدام نمود. در شکل ۵-۲ مراحل مختلف آماده کردن سطح بتن و میلگردها نشان داده شده است.

شکل ۵-۲- مراحل مختلف آماده‌سازی سطح و میلگردها

1

3



2

4

ادامه شکل ۵-۲

5

6

7

8

ب- اجرای بتن تعمیری

پس از آماده کردن سطح بتن و اطمینان از عدم وجود گرد و خاک، مواد زائد، روغن و ذرات آب، می‌توان نسبت به اجرای چسب بتن (در صورت نیاز) و بتن‌ریزی اقدام نمود. در تعمیرات موضعی برای سطوح کوچک، چسب بتن در لایه‌های متوالی بکار گرفته می‌شود. در این روش پس از اجرای بتن تا سطح مورد نظر و تامین پوشش کافی برای میلگردها، نسبت به عمل آوردن بتن با روشهای متداول اقدام می‌شود. عمل آوردن در تعمیرات باید با دقت و مدت بیشتری نسبت به بتن معمولی انجام گیرد. رعایت تمامی شرایط بتن‌ریزی در هوای گرم با دقت، هرچه تمامتر در مورد کارهای تعمیراتی نیز ضروری است. مراحل مختلف تهیه بتن و اجرای آن با روش دستی در شکل ۵-۳ نشان داده شده است، توصیه می‌شود تعمیرات در هوای گرم انجام نشود، بطور کلی انجام کار در ساعات مناسب شبانه‌روز نتایج بهتری را در پی دارد، همچنین بهتر است بتن‌ریزی در سایه و در روزهایی که باد نمی‌وزد انجام شود. در انجام کارهای تعمیراتی باید از افراد مجرب استفاده شود.

پ- اجرای پوشش نهایی

پس از لکه‌گیری‌های موضعی باید پوششی روی تمامی نقاط تعمیر شده و مجاور آن اجرا شود. این کار برای یکنواخت کردن ظاهر تمامی سطح و ایجاد سدی در مقابل نفوذ رطوبت و املاح و جلوگیری از خوردگیهای آتی ضرورت دارد.

اجرای پوشش باید حدود یکماه پس از لکه‌گیری و بتن‌ریزی‌های تعمیری صورت گیرد تا ضمن این مدت بخش عمده جمع‌شدگی بتن پشت سرگذارده شده باشد. پیش از پوشش، سطح بتن را باید از گرد و خاک، روغن، ترکیبات عمل‌آورنده و سایر آلودگی‌ها با کمک فشار آب، ماسه‌پاشی و یا روشهای دیگر کاملاً پاک نمود.

شکل ۵-۳- مراحل اجرایی بتن تعمیری وصله‌ای با دست و عمل‌آوری آن

1

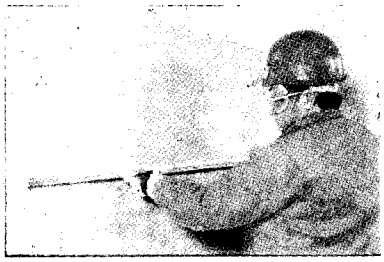
2

3

4

ادامه شکل ۵-۳

5



6

7

8

۵-۳-۵- نگهداری تعمیرات

نگهداری از بتن‌های تعمیری باید مانند سایر بتن‌ها ولی با دقتی بیشتر انجام گیرد. اصولاً در تعمیرات بزرگ، دوره‌های تضمین سه تا پنج سال است. توصیه می‌شود یکسال پس از انجام تعمیرات و همچنین پیش از پایان دوره تضمین بازدید کلی انجام گیرد. دوره‌های تناوب بازدیدهای آتی معمولاً بستگی به وسعت تعمیرات انجام شده و یافته‌های مطالعات مراحل قبل از اجرا دارد.

❑ ۵-۴- نتیجه‌گیری

همانطوریکه بیان شد بکمک بازرسی، تشخیص خرابیها و تعمیرات بموقع می‌توان از صرف هزینه‌های زیاد جلوگیری نمود. بطور کلی نگهداری شامل موارد زیر است:

الف- تمیزکاری و شستشوی تجهیزات، دفع آب آن برای جلوگیری از جمع شدن آب و کاهش هر چه بیشتر نفوذ یونهای مخرب بویژه یون کلرید به جسم بتن.

ب- درزبندی درزهای انبساط، انقباض، سایر زوایای بسته و ترمیم ترکها برای کاهش احتمال نفوذ و تماس آب و یون کلرید با میلگردها، اعضای فلزی نیمه مدفون داخل بتن و تکیه‌گاه‌ها[1].

پ- استفاده از مواد آب‌بند[2]، پوششها و غشاهای ضد آب[3]

سطوح بتنی که در تماس با آب و یون کلرید قرار دارند باید بطور مستمر مورد بازدید قرار گیرند و پوششها و غشاهای آب‌بند آنها بدقت نگهداری شده و درصورت نیاز تجدید شوند.

1 Bearings
2 Sealants
3 Water proof membrane

ت- سازه‌های بتن آرمه باید بطور منظم برای دفع آلودگی‌هایی نظیر گرد و خاک، خاک چرخ وسایل نقلیه و کلرید و یونهای مخرب موجود در جو بویژه در نقاط ساحلی شسته شوند.

برای سازه‌های مهم مانند پلهای بزرگ پیش تنیده، نیروگاههای اتمی، سدها، تونلها و سیلوها باید تدابیری ویژه اتخاذ گردد، معمولاً برای بهره‌برداری از این قبیل سازه‌ها دستورالعمل‌های مخصوص توسط مهندس مشاور طراح، تهیه و ابلاغ می‌شود.

فهرست مراجع و منابع

الف- مراجع فارسی

۱- بتن در مناطق گرمسیر، معاونت فنی دفتر تحقیقات و معیارهای فنی سازمان برنامه و بودجه.

۲- مجموعه مقالات کنفرانس بین‌المللی بتن (۱۳۷۱) سازمان برنامه و بودجه- دفتر تحقیقات و معیارهای فنی، دانشکده فنی دانشگاه تهران.

ب- مراجع انگلیسی

1. Concrete : Surface preparation, coating and lining , and inspection, compiled by nace group committee T-6 on protective coatings and linings.

2. ACI concrete international, sep.1993.

3. Concrete repair basics,ACI seminar, course , manual SCM-24 (91).

4. Repairing concrete bridges, ACI seminar, seminar background materials, SCM-27 (93).

فصـــل ششم

مشاهدات و تجربیات

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
فصل ششم- مشاهدات و تجربیات	
۶-۱- مقدمه	۱
۶-۲- پل ارتباطی بحرین و عربستان سعودی در خلیج فارس	۲
۶-۳- دیوارهای اسکله در بندرعباس	۶
۶-۴- تولید قطعات پیش‌ساخته تعادل وزن برای آب‌بند سوکور در پاکستان	۹
۶-۵- نتیجه‌گیری	۱۳
فهرست مراجع و منابع	۱۵

فصل ششم- مشاهدات و تجربیات

۶-۱ مقدمه

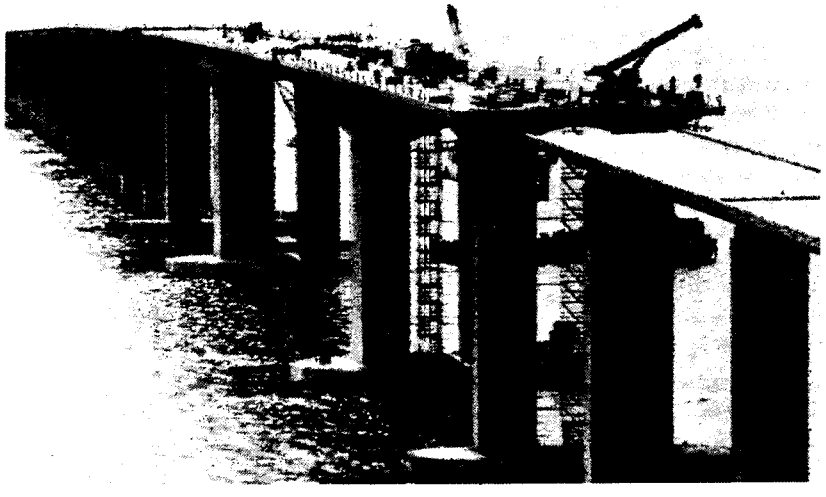
مشکلاتی که سازه‌های بتنی نواحی گرمسیری با آن مواجه‌اند عمدتا" ناشی از شرایط دشوار جوی مانند دمای زیاد، تغییرات زیاد دما در شبانه‌روز، رطوبت زیاد در بعضی نواحی، وزش باد، طوفان ماسه وجود عوامل آسیب‌رسان[1] از قبیل کلرورها، سولفاتها و سایر املاح خورنده می‌باشد. کمبود نیروی انسانی متخصص و کارگر ماهر برای اجرا، عمل آوردن، و کنترل کیفیت و اطمینان از کیفیت بتن نیز مزید برعلت شده، ازاینرو اکثر سازه‌های بتنی در این نواحی، بویژه سازه‌های دریایی و نزدیک به سواحل خلیج فارس دچار خرابیهای زودرس شده‌اند. در اکثر موارد خوردگی ناشی از ورود کلرورها به جسم بتن یا از طریق مصالح تشکیل‌دهنده و یا پس از بهره‌برداری از راه نفوذ بدرون بتن سخت شده رخ داده است. باین ترتیب تعداد زیادی از این سازه‌ها در کمتر از ده سال، و حتی در مواردی ظرف مدت دوسال پس از ساخت، دچار خرابی و محتاج تعمیر و بهسازی شده‌اند.

در سالهای اخیر شناخت مکانیزم‌های خوردگی، ارتقای دانش فنی ساخت و عمل‌آوری بتن در شرایط مختلف، بهبود شیوه‌های کنترل کیفیت و انجام آزمایشهای مختلف موجب احداث سازه‌های بتنی با کیفیت خوب و دوام زیاد شده است. این تجارب ارزنده حاکی از این واقعیت است که با وجود شرایط محیطی گزندباری مانند سواحل خلیج فارس ساخت بتن پایا امکان پذیر است. در این فصل مشخصات تعدادی از طرحهای موفق ارائه شده است.

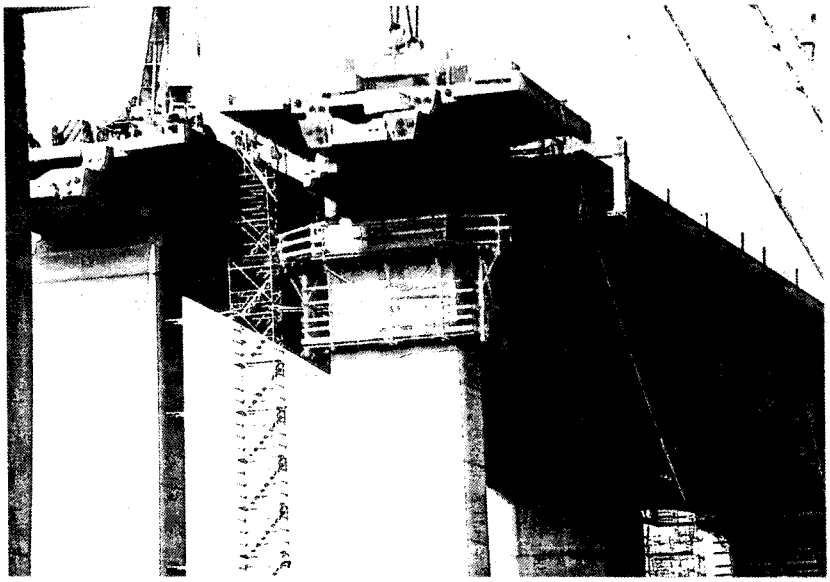
1 Aggressive

۶-۲- پل ارتباطی بحرین وعربستان سعودی در خلیج فارس

این پل در مسیر ارتباطی ۲۵ کیلومتری عربستان سعودی و بحرین در خلیج فارس، واقع و از ۵ قطعه جمعاً به طول ۱۲ کیلومتر تشکیل شده است. اکثر قطعات پل شامل شمع‌ها، سرشمع‌ها و دال‌ها از بتن پیش‌ساخته است. بر اساس طرح اولیه قرار بود پل فلزی باشد، اما شرایط اقلیمی و خورندگی محیط که مخارج تعمیر و نگهداری سنگینی را بدنبال داشت، موجب گردید پیمانکار هلندی راه حل استفاده از بتن پیش‌تنیده را مطرح سازد. در شکل شماره ۱-۶ نمایی از دهانه اصلی پل نشان داده شده است. در این سازه با توجه به شرایط خورنده خلیج فارس عمر مفید سازه ۷۵ سال در نظر گرفته شده است، باین ترتیب تعیین ضوابط و معیارهای مناسب برای انتخاب مصالح، طراحی، اجرای صحیح و کنترل کیفیت از اهمیتی بسزا برخوردار بود. با تکیه بر تجارب بدست آمده در منطقه خلیج فارس علل اصلی خرابی و کوتاهی عمر ساختمانهای بتن آرمه بشرح زیر طبقه‌بندی شده‌اند:



شکل شماره ۱-۶- نمای دور و نزدیک پل بزرگراه فهد در حال ساخت



ادامه شکل شماره ۱-۶

- زیاد بودن نسبت آب به سیمان، و نامناسب بودن عیار و نوع سیمان
- ناکافی و نامناسب بودن شرایط عمل آوری بتن
- وجود بیش از حد یون کلراید
- زیاد بودن تنش‌های حرارتی بعلت تغییرات زیاد دما در ساعات شبانه‌روز
- کربناتی شدن بتن تا عمق نسبتاً زیاد بعلت نفوذپذیری بتن
- حملات سولفاتی و کلریدی بعلت وجود یونهای سولفات و کلرید در محیط
- ناکافی بودن پوشش بتن روی میلگردها
- وجود نرم تنان و اسفنج‌های دریایی که موجب سوراخ شدن بتن می‌شوند.

با توجه به موارد یاد شده و الزامات طرح برای ساخت بتن پایا، تصمیم‌های زیر اتخاذ گردید:

- استفاده از سیمان ضد سولفات حاوی ۷۰ تا ۷۳ درصد روباره کوره آهنگدازی بسیار نرم و ریز و ۳۰ تا ۲۷ درصد سیمان پرتلند معمولی نوع یک.

- مصرف سنگدانه‌های درشت از سنگهای آذرین آتشفشانی از نوع گابرو، با جذب آب کم، چگالی زیاد و آلودگی کم که از امارات متحده عربی تهیه شده است.

- بکار بردن ماسه نرم و دریایی حاصل از لایروبی حاوی کوارتز بعنوان سنگدانه ریز که قبل از استفاده الک و کاملاً شسته شده است. درصد سنگدانه ریز به کل مصالح سنگی ۳۳ و درصد سنگدانه درشت در دو نوع معادل ۶۷ درصد کل مصالح سنگی تعیین گردیده است.

- نسبت آب به سیمان ۰/۳۸ و عیار سیمان ۴۰۰ کیلوگرم در متر مکعب بتن بوده و از روان‌کننده قوی به مقدار ۶ کیلوگرم و از دیرگیرکننده به میزان ۰/۵ لیتر در متر مکعب بتن استفاده شده است.

- حداقل پوشش بتنی روی میلگردها در تمامی قسمتها برابر ۷۵ میلیمتر در نظر گرفته شده است.

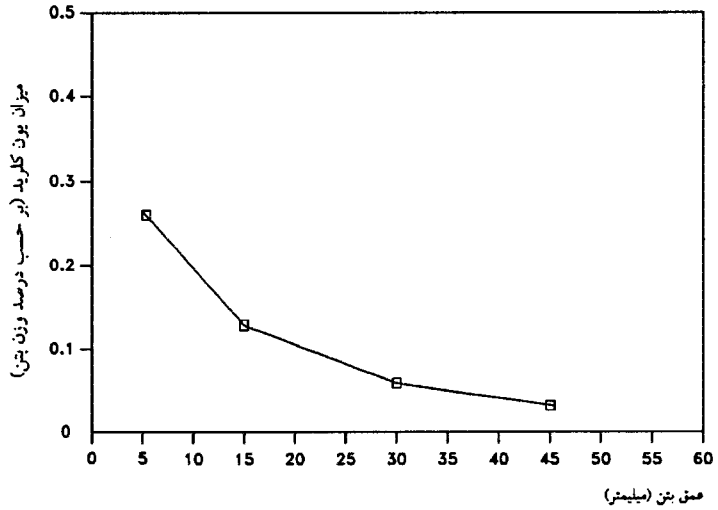
در نتیجه بتنی با ثبات و یکنواخت با اسلامپ زیاد بمیزان ۱۹۵ میلیمتر و مقاومت متوسط فشاری روی نمونه استوانه‌ای ۷ روزه به میزان ۴۰ و ۲۸ روزه معادل ۵۰ مگاپاسکال بدست آمد. برای بررسی عملکرد بتن پس از ۷ سال بهره‌برداری از قسمتهای با آسیب سطحی (متورق)، مغزه‌هایی[1] گرفته شده و آزمایش‌های فیزیکی و شیمیایی روی آنها انجام شده است. نتایج این بررسی‌ها به قرار زیر است:

- قسمت عمده بتن‌ها سالم و متراکم بوده و در برابر نفوذ یونها مقاومت بسیار خوبی داشته است. تراکم و کیفیت بالای بتن با روش اندازه‌گیری میزان منافذ موجود در بتن تائید شده است.

1 Core

- لایه سطحی و ضعیف بتن‌هایی که دائماً با آب رویارو نیستند نسبت به قسمت اعظم بتن در تماس با آب، دارای خلل و فرج بیشتری است و در بعضی نقاط، عمق این لایه ضعیف تا ۱۵ میلیمتر می‌رسد. عمق کربناتی شدن پایه‌ها و نقاط بالای تراز آب بین ۶ الی ۱۳ میلیمتر و در زیر آب برای بتن‌های اندود شده با اپوکسی، بسیار کمتر و بین ۱ تا ۲ میلیمتر است. پوشش اپوکسی از بالای سر شمع‌ها یعنی دو متر پائین‌تر از سطح متوسط آب دریا[1] تا ۴ متر بالاتر از سطح متوسط آب دریا یعنی تراز بالایی مد، اجرا شده است.

در شکل شماره ۶-۲ منحنی تغییرات میزان یون کلرید در عمق بتن از سطح نشان داده شده است. به این ترتیب لزوم رعایت حداقل ضخامت پوشش بتنی روی میلگردها برای جلوگیری از تاثیر یون کلرید بر میلگردها کاملاً محسوس است.



شکل شماره ۶-۲- پروفیل میزان یون کلرید در عمق بتن

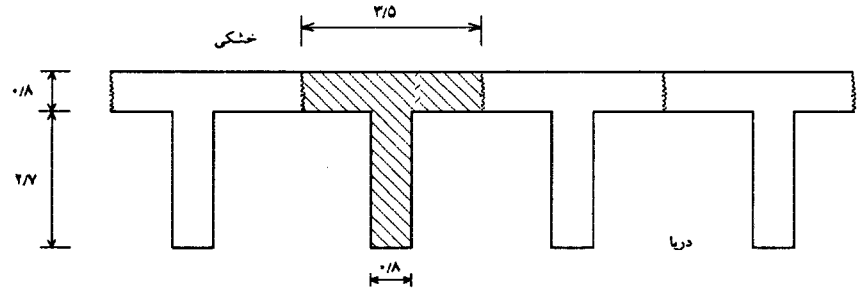
1 Mean sea level (MSL)

- بر اثر تشکیل بلور[1] نمکها در خلل و فرج سطح بتن و انبساط ناشی از آن، بتن در سطح لایه لایه و ورقه ورقه شده است.

- آسیب‌هایی جزیی در قسمت بالای شمع‌های اندود شده با اپوکسی و عمدتاً در ناحیه جزر و مد[2] مشاهده و مرمت شده یعنی پوشش اپوکسی تا ۴ متر بالای متوسط سطح آب دریا ادامه یافته است.

۶-۳- دیوارهای اسکله در بندرعباس

برای ایجاد خطوط پهلوگیری در مجتمع بندرشهیدرجایی واقع در بندرعباس از دیواره‌ای متشکل از مقاطع T شکل بابعادی مطابق شکل زیر استفاده شده است:



ارتفاع دیوارها تا ۳۰ متر نیز می‌رسد. بتن مورد نیاز از نوع B-۳۰۰ و کارآیی[3] لازم بدلیل بتن‌ریزی بروش لوله ترمی[4] بسیار زیاد بوده است.

مطابق شرایط پیمان سیمان باید از بازار محلی تامین می‌شد، سیمانهای مصرف شده در پروژه نوع یک، نوع پنج و روباره‌ای بوده‌اند.

با توجه به اینکه سیمان روباره در آن زمان در کارخانجات داخلی تولید نمی‌شد و تضمینی نیز در مورد تامین سیمان نوع پنج مطابق برنامه وجود نداشت، مسئله سیمان

1 Cristalization
2 Tidal zone
3 Workability
4 Tremie pipe Method

بعنوان یکی از مشکلات پروژه مطرح بود. خوشبختانه دستگاه نظارت که کمی پس از این مرحله وارد کار شد توانست کارفرما را در مورد مصرف سیمان روباره‌ای اروپایی بعلاوه روان‌کننده قوی[1] متقاعد سازد، مصرف توام سیمان روباره و روان‌کننده موجب تهیه بتنی متراکم می‌گردید که در محیط بسیار خورنده بندرعباس از میزان نفوذکلرورها به جسم بتن می‌کاست.

بمنظور پرهیز از اشتباه در مصرف انواع دیگر سیمان در دیوار اسکله‌ها مقرر شد تمامی سیمان مصرفی پروژه، سیمان روباره‌ای باشد. یکی از مزایای مصرف این نوع سیمان، روشنی رنگ ساختمانهای بتنی است.

از آنجا که مشخصات فنی، هیچ محدودیتی برای درجه حرارت اولیه بتن تازه قائل نشده بود، به روانی و قوام[2] مخلوط در آزمایشهای تهیه بتن توجهی ویژه مبذول گردید. در آزمایش‌ها از روان‌کننده‌ای قوی حاوی مواد کندگیرکننده استفاده شد.

پس از انجام آزمایشهای متعدد نسبتهای اختلاط زیر بدست آمد:

- نوع سیمان : سیمان پرتلند روباره‌ای.
- میزان سیمان: ۳۵۰ کیلوگرم در متر مکعب بتن.
- نسبت آب به سیمان: ۰/۵۱.
- اسلامپ بتن ساخته شده با مواد معین[3]: ۲۰۰-۱۸۰ میلیمتر.
- روان‌کننده قوی: ۱/۷ درصد وزن سیمان.
- مصالح سنگی: سنگ آهکی شکسته.
- حداکثر اندازه دانه‌های سنگی : ۲۵ میلیمتر.

نتایج آزمایشهای مقاومت فشاری روی نمونه‌های مکعبی:

- تعداد نمونه‌ها: ۳۵۳ عدد.
- متوسط مقاومت فشاری : ۳۸ مگاپاسکال.

1 Superplasticizer
2 Consistency
3 Admixtures

- انحراف معیار : ۲/۵ مگاپاسکال.

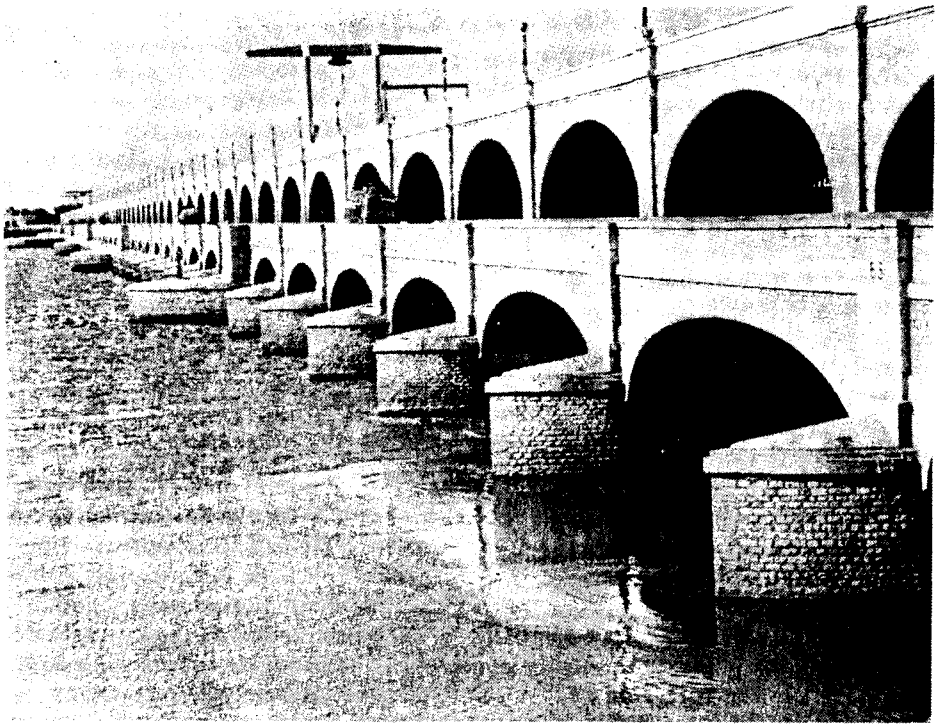
- مقاومت مبنا با توجه به روشهای آماری : ۳۵ مگاپاسکال.

در این طرح، پیشانی دیوارهای مذکور که در ناحیه تر و خشک شدن‌های[1] متوالی قرار دارند، ظرف مدت کوتاهی پس از ساخت، دچار تورق و زنگ‌زدگی آرماتورها شدند. تعمیرات با مواد خارجی آماده انجام و تمام سطح با روکش محافظتی پوشانیده شد. قرار بود پوشش‌ها هر دو سال یکبار تجدید شوند، پس از گذشت چهار سال از انجام تعمیرات پوششها در بعضی نقاط صدمه دیده و زنگ‌زدگی آرماتورها مجدداً شروع شد و نیاز به تعمیرات بیشتری احساس شد. در زمان تدوین این مطالب، این مسئله مهم در دست مطالعه و بررسی بود.

۶-۴- تولید قطعات پیش‌ساخته تعادل‌وزن برای آب‌بند سوکور در پاکستان

آب‌بند سوکور روی رودخانه ایندوس در استان سند پاکستان واقع و شامل پایه‌های آجری و طاقهای قوسی از بتن آرمه به طول ۱/۵ کیلومتر است. پیش‌بینی پیامدهای ناشی از سقوط دریچه‌های فولادی خورده شده در سال ۱۹۸۲ منجر به آغاز پروژه بازسازی بزرگی شد. در شکل ۶-۳ نمایی از آب‌بند سوکور نشان داده شده است.

1 Splash zone



شکل شماره ۶-۳- آببندی سوکور در پاکستان

با بررسیهای انجام شده قرار شد وزنه‌های تعادلی دریچه‌ها که متشکل از جعبه‌های فولادی پر شده با بالاست سنگی بودند با وزنه‌های بتنی معادل جایگزین گردند. این راه حل بلحاظ فنی (دوام) و اقتصادی دارای توجیه بود.

با آزمایشهای بعمل آمده در حوالی آب‌بند مذکور از بررسی بتن‌های موجود نتایج زیر بدست آمد:

- عمق کربناتی شدن : تا ۱۰۰ میلیمتر
- مقدار کلرید : تا ۳ درصد وزن سیمان
- خوردگی میلگردها: زیاد شدید نبود که علت آن احتمالاً رطوبت نسبی بسیار کم در اکثر مواقع سال بوده است.

دمای محیط در ۸ ماه از سال زیاد تر از ۴۰ و در پاره‌ای موارد به ۵۰ درجه سلسیوس نیز می‌رسد.

با توجه به نتایج یاد شده، ساخت بتن پایا و متراکم با نفوذپذیری کم در دستور کار قرار گرفت. برای رسیدن به این هدف مهم موارد زیر مورد بررسی و در طرح و اجرا مد نظر قرار گرفت.

۶-۴-۱- تقلیل درجه حرارت اولیه بتن

برای بهبود کارآیی و جلوگیری از افزایش بیش از حد دمای بتن قرار شد درجه حرارت بتن تازه از ۳۰ درجه سلسیوس تجاوز نکند. برای دستیابی به این منظور و با توجه به اینکه بازسازی در ماههای گرم انجام می‌شد، مقرر شد موارد زیر در اجرا مد نظر قرار گیرد:

- سیمان : سیمان در فضای تهویه شده، ذخیره و قبل از مصرف خنک گردد بطوریکه سیمان تازه و گرم با درجه حرارت بالای ۶۰ درجه سلسیوس مورد استفاده قرار نگیرد. خنک کردن سیمان تا ۲۵ درجه سلسیوس در مشخصات فنی قید شد.

- آب اختلاط: آب مصرفی در منابع عایق‌کاری شده سفیدرنگ ذخیره و با استفاده از خرده‌های یخ، خنک گردد به نحوی که دمای آب از ۱۶ درجه سلسیوس تجاوز ننماید.

- سنگدانه‌ها : مصالح سنگی در مقابل تابش خورشید حفاظت شده و سنگدانه‌های درشت با آب خنک شوند.

۶-۴-۲- سیمان

از سیمان پرتلند معمولی که در کارخانه محلی تولید می‌شد، استفاده گردید. آزمایشهای شیمیایی و مکانیکی روی این سیمان حاکی از انطباق مشخصات سیمان با

موازین استاندارد[1] بود.

۶-۴-۳- سنگدانه‌ها

سنگدانه‌های درشت از سنگ آهک دولومیتی تهنشین شده در بستر رودخانه تهیه گردید که حاوی مقداری سنگ گچ بود. با این وجود بلحاظ مطابقت دانه‌بندی، وزن مخصوص و یکنواختی با موازین استاندارد[2] مصالح سنگی مورد تایید قرار گرفت. سنگدانه ریز (ماسه) نیز از سنگهای آهکی و کوارتز و حاوی مقدار کمی چرت بود و بلحاظ واکنش با قلیایی‌ها، غیر فعال تشخیص داده شد.

۶-۴-۴- آب

آب آشامیدنی در دسترس نبود، از اینرو با حفر چاه در کارگاه، آب مورد نیاز تامین و بر طبق معیارهای BS 3148 مورد آزمایش و بررسی قرار گرفت.

۶-۴-۵- مواد افزودنی

از نوعی ماده کندگیر و روان‌کننده وارداتی مطابق با استاندارد BS 5075 استفاده شد.

۶-۴-۶- میلگردها

میلگردها وارداتی و هنگام ورود به کارگاه، آلودگی آنها به نمک مشخص بود. آلودگی میلگردها با ماسه‌پاشی برطرف گردید.

---

۱ استاندارد BS 12

۲ استاندارد BS 882

۶-۴-۷- بتن

قرار بود دمای بتن تازه پس از اختلاط بین ۱۶ تا ۳۰ درجه سلسیوس باشد و بتن‌ریزی در دمای بیش از ۳۰ درجه سلسیوس، صورت نگیرد، همچنین مقرر گردید کارهای اجرایی بتن پیش‌ساخته وزنه‌ها تماما" در محل سرپوشیده و در خنک‌ترین ساعات روز یعنی ۴ تا ۸ صبح انجام گردد.

۶-۴-۸- عمل آوردن

عمل‌آوری بتن با دقت و بمدت ۱۲ روز بشرح زیر در سه مرحله انجام پذیرفت:

- قبل از بازشدن قالب‌ها، سطوح نمایان بتن تا زمان گیرش اولیه توسط ورقه‌های پلی‌اتیلن پوشانده می‌شد.
- قسمت فوقانی و روباز بتن به وسیله گونی که دائما" خیس نگهداشته می‌شد، پوشانده و زیر یک پوشش پلی‌اتیلن سفیدرنگ که ایجاد سایه نموده و محیطی با رطوبت نسبی زیاد فراهم می‌نمود، قرار می‌گرفت.
- بعد از قالب‌برداری یعنی پس از ۲۴ ساعت، کل سطح بتن توسط گونی خیس تا ۱۱ روز پوشانده می‌شد.

۶-۴-۹- طرح اختلاط

طرح اختلاط آزمایشی در سه مرحله انجام گرفت. طرح اختلاط اولیه، طرح اختلاط روی پنلهای با اندازه کوچکتر و طرح اختلاط روی پنلهای واقعی در محل، در هر مرحله مقاومت فشاری، نمای ظاهری، اسلامپ، ،:رجه حرارت اجزای منشکله بتن و بتن تازه و نیز آثار مواد افزودنی مورد بررسی واقع شد و سرانجام طرح اختلاط نهایی تعیین گردید.

۶-۵- نتیجه‌گیری

بررسی مشاهدات عینی و تجارب داخلی و خارجی در ساخت سازه‌های بتن آرمه در حوزه خلیج فارس، باور امکان ساخت بتن پایا، در این منطقه را تقویت می‌نماید. بررسی جزئیات این تجربیات و طرحهای موفق حاکی از لزوم دقت و بذل توجه به تمامی موارد جزئی و کلی طرح و رعایت کامل مشخصات فنی عمومی و خصوصی در این زمینه است. بطور کلی از بدو طراحی پروژه‌ها تا اجرا و عمل‌آوری بتن و حفاظت آنها در مقابل عوامل محیطی ضمن بهره‌برداری باید پایایی بتن مد نظر بوده و تدابیر ویژه مطرح شده در این نشریه و سایر مراجع ذیربط بدقت مورد توجه قرار گیرد زیرا سستی هر یک از حلقه‌های این زنجیر موجب گسستگی آن در کوتاه مدت حتی پیش از بهره‌برداری خواهد شد.

مهمترین این تدابیر عبارتند از:

- طراحی مناسب و توجه به پایایی بتن از بدو امر در تعیین نوع سازه، سیستم سازه‌ای، شکل و هندسه اعضا و قطعات، آرماتوربندی و ضخامت پوشش بتنی روی آن، مقاومت، وادادگی[1] و خزش[2] بتن، درزهای انقباض و انبساط و میلگردهای حرارتی، لازم است و باید بدقت مورد بررسی قرار گیرد.

- طرح اختلاط مناسب مبتنی بر آزمایشهای دوام مصالح و تعیین درصد کلر و سولفات و کنترل طرحهای اختلاط در کارگاه با توجه به شرایط محلی در جهت حصول بتن با نفوذپذیری کم با حداقل نسبت آب به سیمان می‌تواند بسیاری از مشکلات را بر طرف نماید. تامین روانی مورد نیاز برای جا دادن و تراکم بهینه بتن باید همواره مدنظر باشد. بنابراین نباید از نقش مواد افزودنی در تهیه طرح اختلاط بهینه چشم‌پوشی شود. نوع سیمان و مواد جایگزین سیمان نیز در تهیه طرح اختلاط بتن پایا از اهمیتی بسزا برخوردار است.

1 Relaxation

2 Creep = وارفتگی

- اجرا و عمل‌آوری دقیق و رعایت مشخصات فنی مربوطه شامل بتن‌ریزی در ساعات خنک شبانه‌روز، تراکم مناسب بتن تازه، آرماتوربندی دقیق با رعایت پوشش لازم و عمل‌آوری بمدت کافی با اتخاذ تدابیر ویژه، الزامی است.

- بازرسی، نگهداری و تعمیرات بموقع ابنیه و مستحدثات در حین بهره‌برداری باید مورد توجه قرار گیرد.

فهرست مراجع و منابع

الف- مراجع فارسی

۱- بتن در مناطق گرمسیر از انتشارات دفتر تحقیقات و معیارهای فنی.

ب- مراجع انگلیسی

1. L.Christian & F.Ingerslev, construction of the Bahrain causeway, ACI concrete international, may 1990.

2. Concrete in hot climates, proceeding of the third international rilem conference.

3. A.AI Rabiah , performance of the largest slag cement concrete structure in the persian gulf marine environment deterioration and repair of reinforced concrete in the persian gulf, proceedings, 4th international conference.

فصـــل هفتم

بتن‌های ویژه

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
فصل هفتم – بتنهای ویژه	
۷-۱- مقدمه	۱
۷-۲- طبقه‌بندی بتنهای ویژه	۲
۷-۲-۱- بتن با کیفیت بالا (HPC)	۳
۷-۲-۱-۱- بتن روان	۵
۷-۲-۱-۲- بتن با درصد زیاد خاکستر بادی	۶
۷-۲-۱-۳- بتن با درصد زیادرو باره	۸
۷-۲-۱-۴- بتن با مقاومت زیاد	۱۰
۷-۲-۱-۵- بتن سبک با مقاومت زیاد	۱۳
۷-۲-۱-۶- بتن پلیمری	۱۵
۷-۲-۱-۷- بتن بارور شده با پلیمر	۱۷
۷-۲-۲- سایر بتنهای ویژه	۱۸
۷-۲-۲-۱- بتن الیافی	۱۸
۷-۲-۲-۲- بتن با میکروسیلیس	۱۹
۷-۳- نتیجه‌گیری	۲۴
فهرست مراجع و منابع	۲۵

فصل هفتم- بتن‌های ویـژه

۷-۱ مقدمه

افزایش دانـش و مهـارت فنـی و بررسـی‌های انجـام شـده در دهـه اخـیر، ضعفهـا و کاستی‌هایی را در کاربرد سیمان پرتلند بعنوان ماده چسباننده بتن آشکار ساخته است. ایـن موارد بطور عمده از یک سو شامل ضعفهای مکانیکی و شیمیایی بتن و از دیگر سو شامل هزینه نسبتاً زیاد تولید سیمان، در حدود ۱۰۰ دلار برای هـر تـن در آمریکـای شـمالی در سال ۱۹۹۳ و افزایش چشم‌گیر میزان گازهـای دی‌اکسـید کربـن و منواکسـید ازت در جـو بعلت تولید سیمان می‌باشد.

ویژگی سازه‌های جدید نـیز چنـان اسـت کـه از نظـر سـاختمانی بتن‌هـای جدیـد و ویژه‌ای را طلب می‌کند. بعنوان مثال آسمانخراشهای جدید بتنی با ارتفاعهـای بسـیار زیـاد، نیازمند بتن با مقاومت بسیار زیاد یعنی ۸۰ مگاپاسکال و بیشـتر بـوده کـه تنهـا بـا افـزودن میزان سیمان قابل تولید نمی‌باشد. سکوهای نفتی در دریاهای عمیق با املاح خورنـده نـیز احتیاج به بتن‌های ویژه دارند که دارای مقاومت و پایایی بسیار خوبی باشـند. بـرای نمونـه سکوی نفتی در دریای شمال به ارتفاع حدود ۳۱۲ متر بطور دائم در معرض ضربـات آب، تر و خشک شدن‌های متوالی و حملات کلریدها، سولفاتها و سایر املاح مضر قرار دارد.

در منطقه خلیج فارس نیز دمای زیاد، کیفیت نـه چنـدان مناسـب سـنگدانه‌ها، وجـود عوامل گزندبار از قبیل سولفات و کلرید در سـنگدانه‌ها، آب اختـلاط و محیـط منطقـه بـه مقدار زیاد، شرایط نامساعدی را برای سازه‌های بتنی بویژه سازه‌های بتن‌آرمه فراهم نمـوده است. از اینرو در این منطقه لازم است از بتن‌های ویژه برای مقابلـه بـا عوامـل یـاد شـده، استفاده نمـود. یکـی از بهـترین و کم‌هزینـه‌ترین روشـهای مقابلـه بـا خرابیهـای سـازه‌های

بتن‌آرمه، تهیه و ساخت بتن متراکم با حداقل خلل و فرج است که نسبت به حمله عناصر و نمکهای گزندبار مقاوم باشد.

بنابراین در تمام نقاط جهان از جمله ایران و بخصوص در منطقه خلیج فارس کاربرد بتن‌های ویژه برای بهبود کیفیت سازه‌ها رو به افزایش است.

بطور کلی تعریف حدود مشخصی برای بتن‌های ویژه وجود ندارد، شاید بتوان هر بتنی را که با بتن معمولی در یک یا چند عامل موثر بر کیفیت و مشخصات مانند کارآیی، مقاومت و اجزای تشکیل‌دهنده تفاوت اساسی داشته باشد، بتن ویژه نامید. بتنهای ویژه تاکنون در موارد خاص و سازه‌های ویژه کاربرد داشته‌اند لیکن بمرور و در آینده این نوع بتن‌ها جایگزین بتن‌های معمولی خواهند شد. با پیشرفت دانش و مهارت فنی این نوع بتن‌ها بلحاظ اقتصادی نیز مقرون بصرفه خواهند بود. با توجه به نکات یاد شده پیش‌بینی می‌شود در آینده نزدیک سیمان بعنوان ماده چسباننده اصلی بتن، جای خود را به مواد دیگری داده و خود بعنوان افزونه[1] بکار گرفته شود.

❑ ۷-۲- طبقه‌بندی بتن‌های ویژه

همانطور که اشاره شد انواع گوناگونی از بتن‌ها را می‌توان در شمار بتن‌های ویژه منظور نمود، از اینرو طبقه‌بندیهای متعددی را نیز می‌توان از دیدگاههای گوناگون بکار گرفت. در این نشریه بتن‌های ویژه به دو گروه کلی تقسیم می‌شوند:

الف- بتن با کیفیت بالا[2] (بتن با عملکرد برجسته)

ب- سایر بتن‌های ویژه از قبیل بتن الیافی[3]، بتن پلیمری[4] و بتن سبک[5].

1 Addition
2 High performance concrete (HPC)
3 Fiber-reinforced concrete (FRC)
4 Polymer concrete
5 Light weight concrete

۷-۲-۱- بتن با کیفیت بالا (بتن با عملکرد برجسته)

بطور کلی منظور از بتن با کیفیت بالا، بتنی است که در طول عمر مفید خود بخوبی و بدون کاستی بلحاظ اجرا، دوام و مقاومت عمل نماید. نباید بتن با کیفیت بالا را با بتن با مقاومت زیاد[1] اشتباه کرد. زیرا بتن با مقاومت زیاد خود یکی از انواع مهم بتن‌های با کیفیت بالاست. باید توجه داشت که تهیه بتن با مقاومت زیاد معمولاً با افزایش میزان سیمان، قابل ساخت است، اما برای اینکه بتن حاصله ویژگیهایی مانند سهولت اجرا، ترک‌نخوردن ناشی از افت در اثر استفاده سیمان زیاد و نفوذپذیری کمتر و دوام را در خود داشته باشد باید تدابیر ویژه‌ای بکار گرفته‌شود که‌در قسمت‌های بعدبه آنهااشاره خواهدشد.

بنابراین در بتن با عملکرد برجسته تاکید بیشتر نه بر مقاومت زیاد بلکه بر ویژگی‌هایی نظیر مدول ارتجاعی زیادتر، تراکم بیشتر، نفوذپذیری کمتر و مقاومت در برابر انواع حملات است.

کاربرد این نوع بتن تا امروز بیشتر در آسمانخراشها، پلها و سازه‌های واقع در شرایط محیطی آسیب‌رسان[2] و سخت بوده است.

مواد مورد مصرف در بتن با کیفیت بالا همانند مواد مصرفی در بتن معمولی است، لیکن در بتن با کیفیت بالا همیشه از مواد افزودنی کاهنده آب[3] و یا روان‌کننده‌های قوی[4] استفاده می‌شود، در صورتیکه در این نوع بتن ممکن است مواد دیگری از قبیل کندگیرکننده‌ها، خاکستر بادی، روباره و میکروسیلیس بکار نروند. در تولید بتن با مقاومت بالا دارا بودن اطلاعات عمیق در مورد خواص مواد تشکیل‌دهنده و اثر متقابل آنها بر یکدیگر بنحویکه بتن بدست آمده در عین کم بودن نسبت آب به سیمان در حدود ۰/۲۲ تا ۰/۴ دارای روانی مورد قبول هنگام تراکم و جا دادن باشد، از اهمیتی بسزا برخوردار است، به همین دلیل حتماً باید از روان‌کننده‌های قوی استفاده شود.

1 High strength concrete (HSC)
2 Aggressive
3 Water-Reducing Admixture
4 Superplasticezer

مهمترین نکات در مورد بتن با کیفیت بالا عبارتند از:

- استفاده از سیمان با گرمازایی کم.
- استفاده از سنگدانه‌های با دوام زیاد.
- استفاده از مواد جایگزین سیمان برای جلوگیری از ترک‌خوردگی.

مواد جایگزینی که بجای قسمتی از سیمان بکار برده می‌شوند عموماً محصولات فرعی کارخانه‌ها و دارای خواص چسبانندگی کافی هستند.

خاکستر بادی با مقدار کمی آهک زنده و روباره کوره آهنگدازی مدت زمانی است که در بازار جهانی وجود دارد لیکن مصرف خاکستر بادی با مقادیر زیاد آهک زنده میکروسیلیس و پوسته برنج نسبتاً جدید است.

درباره خواص این مواد و بتن‌های ساخته شده با آنها در فصل سوم به تفصیل بحث شده است.

باید توجه داشت که در ایران، هنوز سیمان اقتصادی تر از بعضی مواد جایگزین است و افزودن مواد مذکور صرفاً باعث بالا بردن خواص مطلوب بتن نظیر مقاومت و پایایی خواهد شد، و بلحاظ قیمت تمام شده، با بکار بردن مواد مذکور قیمت بتن تولید شده در برخی موارد افزایش نیز می‌یابد. دلیل این امر ارزبری بسیاری از مواد مذکور است مثلاً روان‌کننده‌های قوی باید از خارج کشور وارد شوند. همچنین خاکستر بادی در ایران وجود ندارد و میکروسیلیس نیز علیرغم امکان تهیه آن در داخل، از محصولات فرعی کارخانه‌های مواد اولیه شیشه و فروسیلیس، هنوز با دانه‌بندی مناسب و با خواص مورد نظر برای استفاده در بتن، تولید نمی‌شود. هزینه تهیه هر کیلوگرم میکروسیلیس از خارج کشور حدود یک دلار است و برای استفاده از آن بمیزان هشت درصد وزن سیمان در بتن با عیار ۴۰۰ کیلوگرم سیمان، هر متر مکعب بتن نیاز به ۳۲ کیلو میکروسیلیس و یا بعبارتی ۳۲ دلار ارز خواهد داشت. در کارخانه ذوب آهن اصفهان ضمن فرآیند تولید، روباره بدست می‌آید و کارخانه‌های سیمان سپاهان و اصفهان از آن در تهیه "سیمان ضد سولفات روباره‌ای" استفاده می‌کنند و چندسالی است که این سیمان با قیمت کمی پایین‌تر از

سیمان معمولی به بازار عرضه می‌شود. اظهار نظر درباره این سیمان در تولید بتن پایا، نیازمند آزمایشهای بیشتر و مطالعه درازمدت سازه‌های اجرا شده با این سیمان در جنوب کشور است، بهرحال ذکر این نکته ضروری است که با وجود ارزبری مواد جایگزین سیمان و سایر مواد افزودنی، اقتصادی بودن این نوع بتن را باید در دراز مدت با توجه به عمر و دوام بیشتر آنها مورد بررسی قرار داد و با سایر بتن‌ها مقایسه کرد. انواع بتن‌های با کیفیت بالا بشرح زیرند:

- بتن روان[1]
- بتن با درصد زیاد خاکستر بادی[2]
- بتن با درصد زیاد روباره[3]
- بتن با مقاومت زیاد[4]

بتن سبک با مقاومت زیاد[5]

بتن پلیمری[6]

- بتن بارور شده با پلیمر[7]

۷-۲-۱-۱- بتن روان

بتن روان بیشتر در قسمتهایی که دارای آرماتوربندی فشرده و نزدیک بهم بوده و بتن‌ریزی، جا دادن و تراکم بتن مشکل یا تقریباً غیر ممکن است بکار برده می‌شود. در تیرها یا ستونهای با ابعاد نسبتاً کوچک و درصد آرماتور زیاد بعلت فاصله کم میلگردها، مرتعش کردن بتن یا ممکن نبوده و یا براحتی امکان پذیر نیست، ضمن اینکه احتمال

1 Flowable concrete
2 High flyash concrete
3 High slag concrete
4 High strength concrete
5 High strength light weight concrete
6 Polymerconcrete
7 Polymer Impregnated concrete

جداشدگی دانه‌های سنگی از دوغاب سیمان نیز وجود دارد که این دو عامل موجب بروز نواقصی در سطح و جسم بتن خواهد شد. بنابراین بطور خلاصه بتن روان دارای مزایای مشروح زیر است:

- سهولت جا دادن بتن بعلت روانی زیاد
- تراکم راحت‌تر بدون جداشدگی دانه‌ها از دوغاب با صرف انرژی کمتر.
- زیاد بودن مقاومت و دوام بتن.

مثال جالبی از کاربرد این نوع بتن، تونل جمع‌آوری آبهای سطحی شهر یوکوهامای ژاپن است. در این پروژه مقدار آب اختلاط ۱۶۲، سیمان ۵۱۶ ماسه با دو نوع دانه‌بندی ۹۰۲ و شن ۸۰۱ کیلوگرم در متر مکعب بتن، روان‌کننده قوی ۱/۶ درصد وزن سیمان و مواد هوازا ۰/۰۳ درصد وزن سیمان بوده که در نتیجه بتن با نسبت آب به سیمان ۰/۳۱، مقاومت فشاری ۲۸ روزه روی نمونه‌های استوانه‌ای معادل ۴۰ مگاپاسگال و عدد حاصل از آزمایش جاری شدن[1] بتن ۶۰۰ میلیمتر بوده و نمای بتن بعد از قالب‌برداری بسیار صاف، بدون تخلخل، متراکم و عاری از ترک بوده است.

۷-۲-۱-۲- بتن با درصد زیاد خاکستر بادی

این نوع بتن حاوی خاکستر بادی[2] با مقدار کمی آهک زنده، به میزان ۶۰ درصد وزن سیمان بوده و دارای نسبت آب به کل مواد چسباننده حدود ۰/۲۸ تا ۰/۳۲ است. اسلامپ زیاد (بتن روان و جاری) با استفاده از روان‌کننده‌های قوی قابل حصول است. در این نوع بتن مقاومت فشاری یک روزه معادل ۷ تا ۹ و مقاومت فشاری یکساله ۶۵ الی ۷۰ مگاپاسکال است. غیر از افزایش مقاومت فشاری درازمدت در این نوع بتن، مقاومت در مقابل یخ زدن و آب شدن[3]، حملات شیمیایی و واکنش قلیایی دانه‌های سیلیسی افزایش

1 Flow table test
2 Fly ash
3 Freezing and thawing

یافته و بتن با دوام و پایایی زیاد بدست خواهد آمد.

مثال دیگر مربوط است به اجزای تشکیل دهنده بتن با خاکستر بادی در ساختمانی بلند با ارتفاع حدود ۲۶۰ متر در آمریکا که سال ۱۹۷۵ ساخته شده است. در بتن این ساختمان برخی نسبتهای اختلاط بشرح زیر گزارش شده است:

W/ (F.A.+C) = 0.3
W/C = 0.8
F.A./(F.A.+C) = 0.625

در بعضی قسمتها خاکستر بادی همراه با میکروسیلیس مورد استفاده واقع شده است، بعنوان مثال در یک مورد بتن بدست آمده با نسبت‌های قید شده دارای خواص زیر می‌باشد:

W/(C+SF+F.A.) = 0.22
f_c = 100 Mpa
E = 42 GPa
F_b = 11 Mpa

در مورد مطالب بالا اختصارات بشرح زیر مورد استفاده قرار گرفته است:

W = مقدار آب اختلاط
F.A. = مقدار خاکستر بادی
C = مقدار سیمان
S.F.= مقدار میکروسیلیس (دوده سیلسی)
f_c = مقاومت فشاری ۲۸ روزه روی نمونه استوانه‌ای
E = مدول الاستیسیته
F_b = مقاومت خمشی

بطور خلاصه بتن با درصد بالای خاکستر بادی دارای مزایا و معایب زیر است:

الف- مزایا

- مقاومت زیاد (بویژه در درازمدت).

نفوذپذیری کم که این مطلب با آزمایش سریع نفوذپذیری (مطابق ASTM C 1202) به اثبات رسیده و در این آزمایش شار عبوری حدوداً کمتر از ۵۰۰ کلمب می‌باشد که نشاندهنده نفوذپذیری خیلی کم است.

- مدول الاستیسیته بالاتر از بتن معمولی

- اسلامپ زیاد در اثر مصرف روانکننده‌های قوی که نتیجه آن اجرای آسان و صرف انرژی کم تراکم است.

ب- معایب

- نیاز به عمل‌آوری دقیق بمدت حداقل ۷ روز با رطوبت کامل

- هزینه زیاد تهیه مصالح

- نیاز به کنترل کیفیت بالاتر نسبت به بتن معمولی در طرح اختلاط، جا دادن و عمل آوردن

۷-۲-۱-۳- بتن با درصد زیاد روباره

روباره محصول فرعی کوره‌های بلند آهنگدازی است که وقتی آنرا توسط آب به سرعت سردکنند به شکل شیشه‌ای درآمده و پس از آسیاب شدن، قابل استفاده در بتن می‌باشد. در بعضی موارد روباره را هنگام تولید سیمان در کارخانه با آن مخلوط کرده و به این ترتیب سیمان پرتلند روباره‌ای تولید می‌کنند. همانطور که اشاره شد در ایران در کارخانه‌های سیمان سپاهان و اصفهان، این نوع سیمان تولید می‌گردد که در مقایسه با سیمانهای اروپایی حاوی درصد نسبتاً کمی روباره است. این نوع سیمان در مقایسه با سیمان پرتلند، دارای امتیازهای بسیار زیاد بویژه در محیط‌های دریایی مناطق گرمسیر می‌باشد. مهمترین خواص این نوع سیمان عبارتند از:

- نفوذپذیری کم بتن ساخته شده با این نوع سیمان در مقایسه با سیمان پرتلند معمولی.

- مقاومت در مقابل نفوذ یون کلرید

- هدایت الکتریکی کم

- مقاومت زیاد در برابر انتشار اکسیژن

- کاهش انبساط در صورت وجود سنگدانه‌های واکنش‌زا
- پایین‌بودن گرمای حاصل از آبگیری سیمان
- مقاومت خوب در برابر شسته شدن و حملات بیولوژیکی در محیط‌های دریایی.

بتن حاصل از مخلوط سیمان روباره از نظر کاهش انرژی مصرفی بسیار اقتصادی است، زیرا کل انرژی مصرفی برای تولید روباره، حدود ۲۰ درصد انرژی مورد نیاز برای تولید سیمان است. میزان روباره مصرفی، بویژه در سیمانهای روباره‌ای حدود ۴۰ درصد است هر چند که در اروپا سیمانهای روباره‌ای با درصدهای متفاوت موجود است. تا این زمان تجربیات بدست آمده حاکی از آنست که نسبت روباره به سیمان یک به یک برای بدست آوردن مقاومت بهینه و نسبت روباره به سیمان ۴ به ۱ برای سازه‌های دریایی مناسب است.

آهنگ افزایش مقاومت در این نوع بتن‌ها کند است این امر باید ضمن بتن‌ریزی در نواحی سردسیر و زمان قالب‌برداری اعضا و قطعات بتنی مد نظر باشد، در بتن با درصد زیاد روباره نیز مانند سایر بتنهای ساخته شده با مواد سیمانی آمیخته، عمل آوری کافی و مناسب برای حصول مقاومت اولیه و نهایی ضروری است و باید از خشک شدن بتن در مراحل اولیه جلوگیری بعمل آید. در جدول شماره ۷-۱ مثالهایی از انواع مختلف طرح اختلاط بتن با کیفیت بالا با روباره، خاکستر بادی و میکروسیلیس در سازه‌های اجرا شده ارائه شده است.

جدول شماره ۷-۱- مثالهایی از طرح اختلاط انواع مختلف بتن

شماره نمونه / ویژگی‌ها	۱	۲	۳	۴	۵
مقدار آب. (کیلوگرم به مترمکعب)	۱۹۵	۱۶۵	۱۳۵	۱۴۵	۱۳۰
مقدار سیمان. (کیلوگرم به مترمکعب)	۵۰۵	۴۵۱	۵۰۰	۳۱۵	۵۱۳
مقدار خاکستر بادی. (کیلوگرم به مترمکعب)	۶۰	-	-	-	-
مقدار روباره. (کیلوگرم به مترمکعب)	-	-	-	۱۳۷	-
مقدار میکروسیلیس. (کیلوگرم به مترمکعب)	-	-	۳۰	۳۶	۴۳
مقدار سنگدانه درشت (شن) (کیلوگرم به مترمکعب)	۱۰۳۰	۱۰۳۰	۱۱۰۰	۱۱۳۰	۱۰۸۰
سنگدانه ریز (ماسه). (کیلوگرم به مترمکعب)	۶۳۰	۷۴۵	۷۰۰	۷۴۵	۶۸۵
ماده افزودنی کاهنده آب (لیتر درمترمکعب)	۰/۹۷۵	-	-	۰/۹۰۰	-
ماده افزودنی دیرگیرکننده. (لیتر درمترمکعب)	-	۴/۵	۱/۸	-	-
روان‌کننده قوی . (لیتر درمترمکعب)	-	۱۱/۲۵	۱۴	۵/۹	۱۵/۷
نسبت آب به مجموع سیمان و سایر مواد جایگزین W/(c+m)	۰/۳۵	۰/۳۷	۰/۲۷	۰/۳۱	۰/۲۵
مقاومت فشاری نمونه استوانه‌ای ۲۸ روزه (مگاپاسکال(	۶۵	۸۰	۹۳	۸۳	۱۱۹
مقاومت فشاری استوانه‌ای ۹۱ روزه.	۷۹	۸۷	۱۰۷	۹۳	۱۴۵

۱- ساختمان برج آب در شیکاگو (۱۹۷۵).
۲- پل جویگن در فرانسه (۱۹۸۹).
۳- ساختمان لورنتین در مونترال (۱۹۸۴).
۴- ساختمان اسکوشیاپلازا در تورنتو (۱۹۸۷).
۵- ساختمان دوقلو میدان اتحاد در سیاتل (۱۹۸۸).

۷-۲-۱-۴- بتن با مقاومت زیاد

محققین در چند دهه اخیر تلاش زیادی برای بهبود مشخصات مکانیکی بتن بعمل آورده‌اند که حاصل آن تولید بتن با کیفیت بالا، بتن با مقاومت زیاد و نظایر آنهاست.

بتن با مقاومت زیاد باعث صرفه‌جوئی قابل ملاحظه‌ای در ابعاد قطعات سازه‌ای، حجم مصالح مصرفی و کاهش بارهای دائمی (مرده) سازه‌های بتن آرمه شده است. بعنوان مثال در آسمانخراشهای بتن آرمه با مصرف این نوع بتن ابعاد ستونها کاهش یافته و علاوه

بر صرفه‌جویی در فضاهای مفید طبقات، سایر ابعاد قطعات سازه‌ای نیز کاهش یافته است. با پیدایش بتن‌هایی از این نوع می‌توان پلهای بتن آرمه با دهانه بزرگتر را اجرا نمود.

برای بوجود آوردن بتن با مقاومت زیاد باید نسبت آب به سیمان را کاهش داد (تا ۰/۲۲) و دانه‌بندی مجموعه مصالح سنگی و سیمان را اصلاح نمود. کاهش آب در صورتی قابل انجام است که از روان‌کننده‌های قوی نظیر ترکیب فرمالدئید[1] و ملامین سولفانات یا ترکیب فرمالدئید و نفتالین سولفانات که سازگار با سیمان مصرفی باشد، استفاده نمود. با بکار گرفتن این مواد، دانه‌های سیمان معلق در آب ابعاد اصلی خود را که بین ۵ تا ۵۰ میکرون است بازیافته و آب موجود در کلوخه‌های سیمان نیز خارج میگردد. بنابراین ضمن کاهش آب مورد نیاز، روانی بتن افزایش یافته و مقدار جمع‌شدگی و خزش آن نیز کاهش می‌یابد. اصلاح دانه‌بندی به منظور ایجاد بتنی متراکم و کاهش خلل و فرج بسیار ریز بین ذره‌های ماسه و سیمان را می‌توان با بکار گرفتن برخی مصالح بسیار ریز مانند دوده سیلیسی[2] خاکستر بادی[3]، روباره[4] و یا ترکیبی از آنها تامین نمود.

راه حل اول را می‌توان به تنهایی انجام داد، لیکن روش دوم وقتی کاملاً موثر است که با راه حل اول به صورت همزمان انجام گیرد.

با بکار گرفتن روشهای یاد شده و استفاده از مصالح مرسوم می‌توان به آسانی به مقاومت‌های فشاری بین ۶۰ تا ۸۰ مگاپاسکال دست یافت و با دقت بیشتر در مشخصات مصالح مصرفی و کاربرد همزمان دو روش یاد شده میتوان مقاومت‌هایی در حدود ۹۰ تا ۱۴۰ مگاپاسکال را به دست آورد. اصولاً مقاومت فشاری این نوع بتن‌ها به "نسبت آب به سیمان[5]" بستگی دارد لیکن مقاومت دانه‌های سنگی از عوامل محدودکننده است.

1 HCHO
2 Silica fume
3 Fly Ash
4 Slag
5 Water- cement ratio

بتن با مقاومت زیاد، علاوه بر ایجاد مقاومت فشاری قابل توجه ویژگیهای مطلوب دیگری را نیز در پی دارد، قالب‌برداری سریعتر، سختی، دوام، آب‌بندی و نفوذناپذیری بیشتر از جمله این ویژگیهای مطلوب بشمار می‌آیند.

کاربرد بتن با مقاومت زیاد معایبی را نیز به دنبال دارد که عبارتند از :

- شکل‌پذیری کمتر نسبت به بتن معمولی که این نکته مهم، جزئیات اجرایی و آرماتوربندی را در مناطق زلزله خیز محدود و پیچیده می‌نماید.

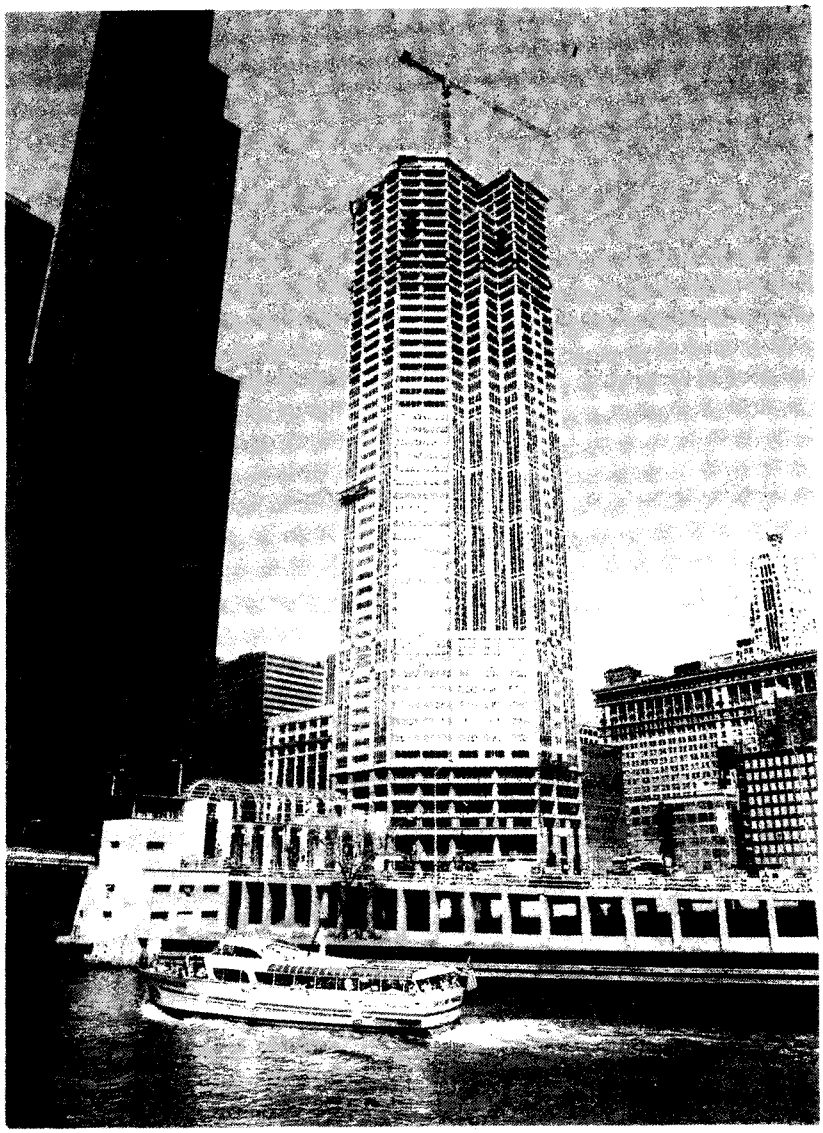
- مقاومت کمتر در مقابل آتش‌سوزی که ناشی از پایین بودن نسبت آب به سیمان است، زیرا پوشش روی میلگردها در این نوع بتن، آسانتر جدا شده فرو می‌ریزند.

مثالهایی از کاربرد بتن با مقاومت زیاد در برخی از پروژه‌های مهم عبارتند از:

- پل پرتویست : مقدار سیمان ۴۰۰ و مقدار پودر سیلیس ۳۰ کیلوگرم در متر مکعب بتن، مقاومت ۲۸ روزه، ۷۸ مگاپاسکال و اسلامپ ۲۰ سانتیمتر.

- ساختمان میدان اتحاد سیاتل : مقدار سیمان ۵۱۳ و مقدار پودر سیلیس ۴۳ کیلوگرم در متر مکعب بتن، مقاومت ۲۸ روزه ۱۱۹ مگاپاسکال.

- آسمانخراش ۷۹ طبقه شیکاگو (۱۹۸۹) : مقدار سیمان ۲۷۲ کیلوگرم در متر مکعب با ماسه و شن آهکی، روان‌کننده قوی، اسلامپ ۲۳ سانتیمتر و مقاومت حدود ۲۸ تا ۸۳ مگاپاسکال. در شکل شماره ۷-۱ آسمانخراش یاد شده در مراحل اجرایی نشان داده شده است.



شکل ۷-۱- آسمانخراش ۷۹ طبقه بتنی شیکاگو در مراحل اجرایی (South Wacker Tower)

۷-۲-۱-۵- بتن سبک با مقاومت زیاد

اصولاً برای تولید بتن سبک سه روش کلی وجود دارد. در روش اول از مصالح متخلخل سبک با وزن ظاهری کم، بجای سنگدانه‌های معمولی[1] استفاده می‌شود. این نوع بتن را عموماً بتن سبک[1] می‌نامند. در روش دوم با ایجاد حفره‌های متعدد در داخل بتن و یا ملات، وزن مخصوص را پایین می‌آورند. این نوع بتن را به نامهای مختلف از قبیل بتن اسفنجی[2]، بتن با حباب هوا[3]، بتن کفی[4]، بتن هواداده[5]، بتن متخلخل[6] و یا بتن گازی[7] می‌شناسند. روش سوم تولید بتن سبک، حذف سنگدانه‌های ریز از مخلوط بتن است، در این روش عموماً از سنگدانه‌های درشت با وزن معمولی استفاده می‌شود. نوع بتن را بتن بدون ریزدانه یا بتن بدون ماسه[8] می‌نامند.

بتن سبک با مقاومت زیاد، با استفاده از روش اول تهیه می‌شود. بتن‌های سبک معمولی با مقاومت‌های متعارف یعنی حداقل ۱۷ مگاپاسکال روی نمونه استوانه‌ای ۲۸ روزه، با وزن مخصوص کمتر از ۱۸۵۰ کیلوگرم بر مترمکعب مطابق استاندارد ASTM C330-77 تهیه شده و بکار میروند. در سالهای اخیر با توجه به کاربرد روزافزون بتن‌های سبک در جهت افزایش مقاومت فشاری آنها برای استفاده بیشتر در سازه‌های مختلف از قبیل پلها، سازه‌های شناور (سکوها)، ساختمانهای پارکینگ و سقفهای سبک قوسی، کوشش و در نتیجه بتن‌های سبک با مقاومت‌های فشاری تا ۹۰ مگاپاسکال تهیه شده است. طرح اختلاط نمونه‌ای از بتن سبک با مقاومت زیاد برای یک متر مکعب بتن در نروژ بشرح زیر گزارش شده است:

1 Light weight concrete
2 Acratedconcrete = cellular concrete
3 Air - entrained concrete
4 Foamed concrete
5 Aerated ocncrete
6 cellular concrete
7 Gas concrete
8 Non-fines concrete

- سیمان	۳۸۵ کیلوگرم در متر مکعب
- میکروسیلیس	۱۵ کیلوگرم در متر مکعب
- ماسه طبیعی (صفر تا ۵ میلیمتر)	۶۵۰ کیلوگرم در متر مکعب
- مصالح سنگی سبک (۴ تا ۸ میلیمتر)	۲۹۰ کیلوگرم در متر مکعب
- مصالح سنگی سبک (۸ تا ۱۶ میلیمتر)	۳۶۰ کیلوگرم در متر مکعب
- آب	۱۷۰ کیلوگرم در متر مکعب
- روان‌کننده قوی (با پایه ملامینی)	۶ لیتر
- مواد حباب ساز	۰/۱۵ لیتر

سنگدانه‌ها رس منبسط شده[1]، مقاومت فشاری بتن برابر ۶۵ مگاپاسکال و وزن مخصوص بتن حاصله ۱۸۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب گزارش شده است.

۷-۲-۱-۶- بتن پلیمری[2]

در این نوع بتن یا ملات، سنگدانه‌ها با پلیمر یا صمغ مصنوعی بجای سیمان به یکدیگر چسبانده می‌شوند، به این ترتیب برای تهیه این نوع بتن به آب نیازی نیست. رزین‌های اپوکسی از متداول‌ترین چسباننده‌ها هستند، رزین‌های پلی‌استر یا فنولی نیز برای این منظور بکار می‌روند. ماده چسباننده از دو بخش رزین[3] و سخت کننده[4] تشکیل می‌شود که پس از مخلوط کردن با هم ترکیب شده و بسرعت سخت می‌شوند. حرارت باعث گیرش سریعتر این نوع بتن شده ولی بتن سخت شده در مقابل شعله و گرمای زیاد مقاومت خوبی ندارد. امتیازات عمده این نوع بتن که به بتن اپوکسی[5] معروف است، عبارتند از، رشد سریع مقاومت، ثبات حجمی (افت ناچیز)، سختی خوب، چسبندگی عالی به بسیاری از مصالح مقاومت در مقابل حملات شیمیایی بسیاری از اسیدها،

1 Leca = Light weight expanded clay aggregate
2 Polymer concrete
3 Resin
4 Hardener
5 Epoxy concrete

قلیایی‌ها، عوامل جوی، سایش و نیز خواص بسیار مناسب بعنوان عایق حرارت و جریان الکتریسیته. این نوع بتن یا ملات در موارد ،شروح زیر کاربرد دارند:

تعمیرات بتن معمولی، اضافه نمودن طول شمع‌ها، چسباندن اعضا و قطعات سازه بتنی بیکدیگر و روکش‌های محافظ.

عیب عمده این نوع بتن، هزینه خیلی زیاد آن است و جز در شرایط خاص مانند خورندگی و حملات شیمیایی شدید بکار نمی‌رود. در این نوع بتن‌ها ویژگیهای اپوکسی باید مطابق استاندارد ASTM -C881 باشد، نوع، درجه و طبقه اپوکسی باید برپایه شرایط کار و نیازها انتخاب شوند.

مصالح سنگی باید با اپوکسی مورد مصرف سازگار باشد، ماسه سیلیسی خالص با درصد رد شده خیلی کم از الک ۱۵۰ میکرون برای ساخت این نوع بتن مناسب است. اندازه بزرگترین دانه‌ها نباید از یک سوم ضخامت بتن بیشتر و رطوبت آنها از نیم درصد کمتر باشد. بتن‌های مذکور را نباید با بتن اصلاح شده یا بتن اصلاح شده لاتکسی اشتباه نمود. در بتن‌های لاتکسی از سیمان و آب ،همراه با لاتکس (پلیمر) استفاده می‌شود. و لاتکس‌هایی که بیشتر بکار برده می‌شوند عبارتند از: استایرین بوتادین‌رابر[1]، آکریلیک[2] و پلی وینیل استات[3]. این نوع بتن یا ملات که از بتن پلیمری ارزانتر است در تعمیرات بتن و برای حصول بتن با نفوذپذیری کم بکار برده می‌شود. در واقع وجود لاتکس در این نوع بتن، باعث کاهش نفوذپذیری و در نتیجه مقاومت بهتر در مقابل سولفاتها و کلرورهای محلول می‌گردد. این نوع بتن، گرانتر از بتن با میکروسیلیس، روباره و خاکستر بادی تمام می‌شود. مزایای بتن‌های پلیمری اصلاح شده عبارتند از : سهولت اختلاط، کارآیی زیاد با وجود نسبت آب به سیمان کم، عمل‌آوری سریع و نیاز به مدت مراقبت کمتر، چسبندگی خوب، مقاومت خوب در مقابل نفوذ آب و گاز و مدول ارتجاعی کمتر از بتن معمولی در

1 Styrene butadiene ruber (SBR)

2 Acrylic

3 Polyvinyl acetat

حدود ۱۵ درصد، که شکل‌پذیری بیشتری را موجب شده و برای تعمیرات بتن مناسب‌تر است.

۷-۲-۱-۷- بتن بارور شده با پلیمر[1]

بارور کردن بتن با پلیمر فرآیندی است که در آن سطح بتن سخت در مقابل حملات شیمیایی، از جمله نفوذ کلرورها، محافظت می‌گردد. در واقع این نوع بتن مانند بتن معمولی با سیمان پرتلند ساخته می‌شود، در رطوبت عمل می‌آید و سپس با یک مونومر مایع یا گاز آغشته می‌گردد که بعداً بوسیله تشعشعات گاما یا روشهای شیمیایی به پلیمر تبدیل می‌شود. با استفاده از اشعه گاما خواص بتن در مقایسه با روشهای شیمیایی بهبود می‌یابد. مقاومت‌های فشاری، کششی و ضربه‌ای بتن‌هایی که از این طریق پلیمری می‌شوند خیلی بیشتر از مقاومت‌های متناظر آنها قبل از واقع شدن تحت این قبیل عملیات اصلاحی می‌باشند. این نوع بتن‌ها در مقابل یخ زدن و آب شدن، سایش و حملات شیمیایی مقاومت بیشتری نسبت به بتن معمولی دارند. این خواص ناشی از تراکم زیاد بتن‌های پلیمری است، بطوریکه نفوذپذیری آنها تقریباً یکصدم نفوذپذیری بتن‌های معمولیست.

در جدول زیر نفوذپذیری این نوع بتن با سایر بتن‌ها که بروش آزمایش میزان شار الکتریکی عبوری (برحسب کلمب) مطابق AASHTO T277 اندازه‌گیری شده، مقایسه می‌شود.

1 Polymer Impregnated concrete

جدول شماره ۷-۲- مقایسه نفوذپذیری بتن‌های مختلف از طریق آزمایش میزان شار الکتریکی عبوری (بر حسب، کلمب).

شارعبوری (کلمب)	نفوذپذیری در مقابل یون کلر	نوع بتن
۴۰۰۰	زیاد	بتن معمولی با نسبت آب به سیمان زیاد (بیشتر از ۰/۶)
۴۰۰۰ تا ۲۰۰۰	متوسط	بتن معمولی با نسبت آب سیمان متوسط (بین ۰/۴ تا ۰/۵)
۲۰۰۰ تا ۱۰۰۰	کم	بتن معمولی با نسبت آب سیمان کم (کمتر از ۰/۴)
۱۰۰۰ تا ۱۰۰	خیلی کم	بتن اصلاح شده پلیمری (لاتکس)
۱۰۰	ناچیز (قابل اغماض)	بتن باررر شده با پلیمر و بتن پلیمری

عیب عمده این نوع بتن‌ها هزینه زیاد آن است و فقط در موارد خاص از قبیل لوله‌های بتنی انتقال آبهای خورنده و یا دستگاههای تبدیل آب شور دریا به آب شیرین مورد توجه و مصرف قرار می‌گیرد.

۷-۲-۲- سایر بتن‌های ویژه

همانطور که اشاره شد بتن‌های ویژه بسیار متنوعند که اهم آنها در بخش گذشته با عنوان بتن با کیفیت بالا مورد بحث واقع شدند.

در ادامه بحث ویژگیهای دو نوع دیگر از این بتن‌ها با توجه به مصرف روزافزونشان تشریح می‌شود:

۷-۲-۲-۱- بتن الیافی[1]

این بتن‌ها شامل خمیر سیمان، ملات یا بتن با الیاف آزبست، شیشه، پلاستیک و یا فولاد بوده و در مواردی که قرار است انرژی زیادی توسط بتن جذب گردد (برای مثال بارهای ناشی از انفجار)، و مقاومت کششی زیاد و کاهش در ترک‌خوردگی مورد نیاز

1 Fiber- reinforced concrete

است و یا حتی در مواردی که به علت شکل عضو بتنی نمی‌توان از بتن‌آرمه معمولی استفاده نمود، کاربرد دارند.

الیاف، مقاومت ضربه‌ای را افزایش داده، توسعه و انتشار ترک را محدود کرده و موجب افزایش ظرفیت تحمل تغییر شکل نسبی بتن (شکل‌پذیری) می‌گردند. مقدار الیاف در بتن مسلح با الیاف شیشه‌ای[1] حدود ۵ الی ۶ درصد وزنی است. الیاف پلاستیکی از نوع پلی‌پروپیلن و پلی‌اتیلن نیز در این نوع بتن مصرف می‌شوند.

الیاف فولادی با اندازه و شکلهای مختلف در بتن مصرف می‌شوند.

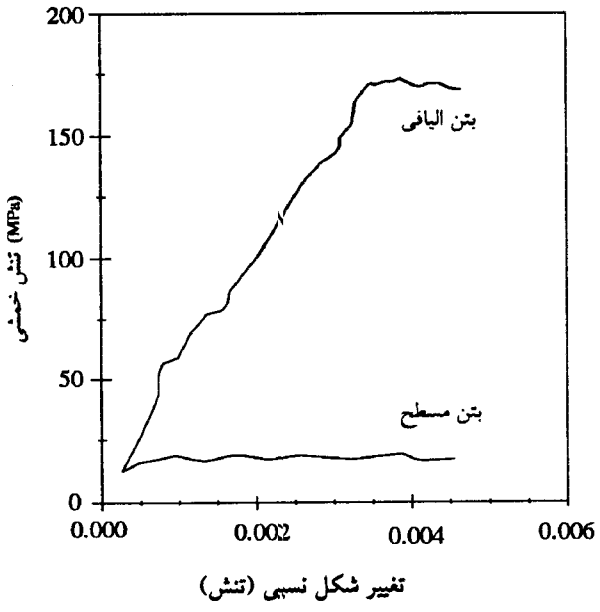
مقدار الیاف فولادی مصرفی بین ۰/۲۵ تا ۲ درصد حجمی بتن است. در اعضای سازه‌ای که تحت اثر تنش کششی ناشی از خمش یا نیروی محوری کششی هستند (مانند تیرها، ستونها و دالها بجز دالهای روی زمین) نباید الیاف به تنهایی و بدون میلگرد بکار روند، بلکه تنش کششی حاصل باید توسط میلگردها تحمل گردد. الیاف در این حالت وظایفی نظیر جلوگیری از ترک‌خوردگی، افزایش مقاومت در مقابل ضربه یا بارهای دینامیکی را بعهده خواهند داشت. در دالهای روی خاک مصرف الیاف موجب کاهش ضخامت دال و افزایش فاصله بین درزهای اجرایی و کنترل خواهد شد. در شکل شماره ۷-۲ رابطه تنش خمشی و تغییر شکل نسبی بتن الیافی با بتن معمولی مقایسه شده است.

از این نوع بتن در سازه‌های مختلف مانند : سازه‌های آبی (سدها، سرریزها و .... برای جلوگیری از خلاء زایی در آنها)، روسازی فرودگاه‌ها و شاهراه‌ها، کفهای صنعتی (برای مقاومت در مقابل سایش، ضربه و شوکهای حرارتی)، دال پلها بعنوان روکش یا لایه محافظ، پوشش حفاظتی تونلها و شیب‌ها از طریق بتن‌پاشی و در سازه‌های مقاوم در مقابل انفجار، استفاده می‌کنند. احتمالاً در آینده در سازه‌های مقاوم در مقابل زلزله نیز از بتن الیافی استفاده خواهد شد.

1 Glass- reinforced concrete

۷-۲-۲-۲- بتن با میکروسیلیس

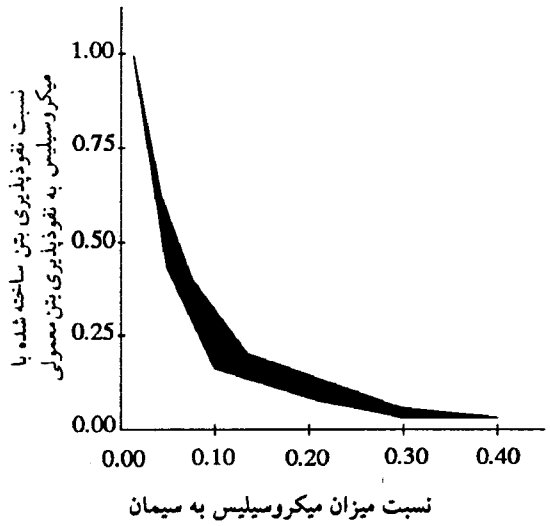
همانطوریکه در فصل سوم اشـاره شـد دوده سیلیسـی محصـول کارخانـه‌های تولیـد سیلیکون، فروسیلیس و سایر آلیاژهای سیلیکون در کوره‌های با قوس الکتریکی غوطـه‌ور، می‌باشد. دوده سیلیسی فشرده وقتی حاوی بیش از ۸۵ درصد سیلیس (SiO_2) باشد، بعنوان میکروسیلیس طبقه‌بندی می‌شود. این فرآورده از ذرات بسیار ریزی تشکیل شده اسـت کـه قطرشان حدود ۰/۱ میکرون است، این ذرات ضمن آنکه خلل و فرج بتن را پر می‌کنند بـا هیدروکسیدکلسیم Ca (OH) 2 اضافی بتن ترکیب می‌شوند، این عمـل بـاعث پدیـد آمـدن بتن با نفوذپذیری کم می‌گردد.



شکل شماره ۷-۲- مقایسه رابطه تنش خمشی و تغییر شکل نسبی بتن الیافی و بتن آرمه معمولی

مقدار شار الکتریکی عبوری این نوع بتن‌ها بین ۱۰۰ الی ۱۰۰۰ کلمب و نشـاندهنده نفوذپذیری بسیار کم آنهاست (جدول شماره ۷-۲ در بخش ۷-۲-۱)

مقدارمیکروسیلیس مصرفی بسته به شرایط محیطی مختلف، متفاوت است مثلاً در سازه‌های پارکینگ مقدار میکروسیلیس حدود ۷/۵ و در شمع سازه‌های دریایی حدود ۱۰ درصد وزنی سیمان می‌باشد. در شکل شماره ۷-۳ اثر میزان میکروسیلیس مصرفی بر نفوذپذیری بتن رسم شده است.



شکل شماره ۷-۳- اثر میزان میکروسیلیس بر نفوذپذیری بتن

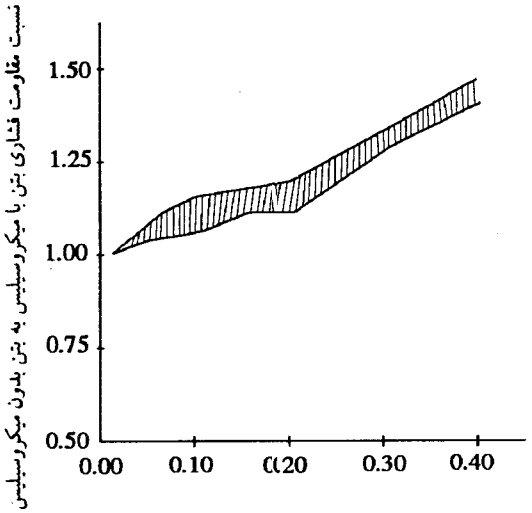
گرچه بتن با میکروسیلیس خیلی ارزانتر از بتن اصلاح شده پلیمری (لاتکسی) است ولی هنوز بطور قابل ملاحظه‌ای گرانتر از بتن معمولی و یا بتن حاوی خاکستر بادی و روباره می‌باشد.

در این نوع بتن به دلیل ریز بودن فوق‌العاده ذرات میکروسیلیس، نیاز به آب افزایش می‌یابد. این اثر را می‌توان با افزودن مواد کاهنده آب خنثی نمود، در این نوع بتن گرایش به جمع‌شدگی پلاستیکی زیاد است، بنابراین برای جلوگیری از کاهش سریع آب و ترک‌خوردگی ، باید احتیاط‌های لازم صورت گیرد. در دالها باید بلافاصله بعد از جادادن و

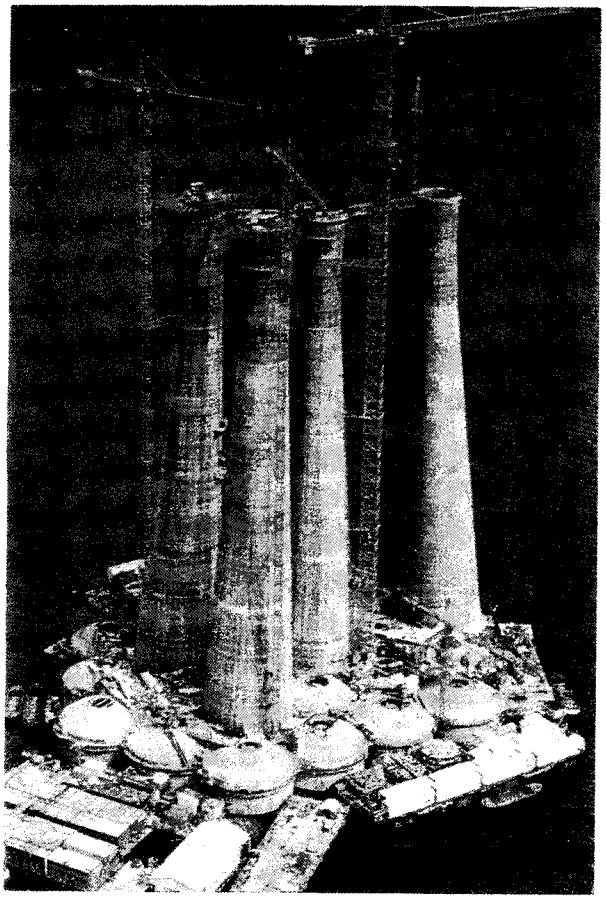
صاف کردن سطح بتن، عمل‌آوری با ترکیبات عمل آورنده شروع و یا سطح بتن با نایلون پوشانده و در مقابل وزش باد محافظت گردد.

بتن ساخته شده با میکروسیلیس موارد استفاده زیادی دارد و بطور کلی برای سازه‌هایی که در معرض حملات توام کلرورها و سولفاتها قرار دارند و همچنین برای استفاده با سنگدانه‌های سیلیسی فعال، موثر می‌باشد. استفاده از میکروسیلیس در روکش‌های نازک پلها در مقایسه با روکش‌های پلیمری یا پلیمری اصلاح شده اقتصادی تر بوده و برای بتن با مقاومت زیاد (۱۲۰ مگاپاسکال در سن ۹۰ روز) همراه با روان‌کننده‌های قوی بکار می‌رود.

شکل شماره ۷-۴- اثر میزان میکروسیلیس مصرفی را بر مقاومت فشاری بتن نشان می‌دهد.



شکل شماره ۷-۴- اثر میزان میکروسیلیس بر مقاومت فشاری بتن



شکل شماره ۷-۵- یکی از سکوهای استخراج نفت دریای شمال (اکوفیسک) در حال ساخت

در پاره‌ای موارد مخلوط میکروسیلیس با روباره یا خاکستر بادی نیز بکار برده می‌شود. باید توجه داشت که میکروسیلیس در میان مواد چسبانده جایگزین سیمان (روباره، خاکستری بادی، خاکستر پوسته برنج ....) دارای بیشترین بازدهی است.

این نوع بتن بلافاصله پس از بتن‌ریزی، برای جلوگیری از جمع‌شدگی پلاستیکی نیاز به دقت و مراقبت بیشتری دارد. در بتن ساخته شده با میکروسیلیس باید از مواد

افزودنی کاهنده آب یا روان‌کننده‌های قوی استفاده شود، بطور کلی این نوع بتن گرانتر از بتن معمولی است. در شکل شماره ۷-۵ یکی از سکوهای استخراج نفت دریای شمال که در تهیه بتن آن از میکروسیلیس و روان‌کننده‌های قوی استفاده شده، نشان داده شده است.

۷-۳- نتیجه‌گیری

مصرف روزافزون و متنوع بتن در سازه‌های مختلف، و ضعف‌های بتن معمولی مانند مقاومت کششی و خمشی کم، جمع‌شدگی، مقاومت فشاری متوسط، دوام و پایایی کم در برابر املاح خورنده و اسیدها، قیمت نسبتاً زیاد تولید سیمان پرتلند و کاربردهای ویژه و جدید بتن‌موجبات هدایت تحقیقات و کوشش‌ها را در تهیه بتن‌های‌ویژه فراهم‌نموده‌است.

در اکثر بتن‌های ویژه بنوعی از مواد افزودنی، مکمل و یا مواد و مصالح جانشین سیمان استفاده می‌شود و بتن حاصله دارای خواص مکانیکی مطلوب‌تر، کاربری آسانتر و در بعضی موارد قیمت تمام شده کمتر از بتن‌های معمولی می‌باشند.

در این فصل سعی شده اهم بتن‌های خاص بویژه بتن با کیفیت بالا (HPC) شرح داده شود. از تشریح بتن‌های ویژه دیگری مانند بتن گوگردی (در نقاطی که مانند ایران گوگرد نسبتاً ارزان باشد)، بتن غلطکی (RCC) در سدها و بتن فروسیمانی که در ساخت کشتی، استخر و سیلوها بکار می‌رود، بجهت کاربرد کم و استثنایی آنها احتراز شده است.

علاوه بر مواردی از بتن‌های ویژه که در این فصل مورد بحث و بررسی واقع شدند، بتن‌هایی مانند بتن گوگردی[1]، بتن غلطکی[2] و بتن فروسیمانی (سیم- سیمان[3]) نیز کاربردهای خاصی دارند که از تشریح جزئیات آنها پرهیز شده است.

1 Sulfocrete

2 Rollcompacted concrete (RCC)

3 Ferrocement

فهرست مراجع و منابع

الف- مراجع فارسی

۱- سخنرانی دکتر مالهوترا در تهران (شعبه ACI ایران) در تیرماه ۱۳۷۳.

۲- مقاله بتن با کیفیت بالا در مجله جاده شماره ۳۱ از دکتر علیرضا رهایی.

۳- بتن شناسی (خواص بتن) تالیف پروفسور نویل ترجمه دکتر هرمز فامیلی.

۴- استراکچرهای بتنی- تعمیر، آب‌بندی و حفاظت تالیف فیلیپ.اچ پرکینز ترجمه پرویز زاهدی.

ب- مراجع انگلیسی

1. V.M.Malhotra, fly ash , slag, silica fume, and rice-husk ash in concrete: a review ACI concrete international, april 1993.

2. Special report No.2 , long-term properties of high strength concretes, ACI concrete international, april 1994.

3. H.A.F.Dehwah, I.A.Basunbul , M.Maslehuddin , G.J.AL-Sulaimani, M.H.Baluch durability performance of repaired reinforced concrete beams ACI materials journal, march-apr. 1994.

4. A.Bisaillon, M.Rivest, V.M.Malhotra, performance of high-volume fly ash concrete in large experimental monoliths
ACI materials journal, march-apr.1994.

5. Celik ozyildirim, laboratory investion of low-permeability concretes containing slag and silica fume. ACI materials journal, march-apr. 1994.

6. Kelly M.Page. pumping high-strength concrete on world, S tallest concrete building, ACI concrete international, january 1990.

7. P.C.Tatnall & L.Kuitenbrouwr, steel fiber reinforced concrete in industrial floors, ACI concrete international, december 1992.

8. Pierre-Claude Aitcin & Adam Neville , High- Performance concrete demystified, ACI concrete international, Jajuary 1993.

9. M.Maslehuddin, H.Saricimen, A.AL-Mana, effect of fly ash addition on the corrosion resisting characteristics of concrete, ACI materials journal, Jan-Feb , 1987.

10. V.Sivasundaram , G.G.Carette, V.M. Malhotra, Selected properties of high-Volume fly ash concrete ACI concrete international, october 1990.

11. L.A.Kuhlmann. Styrene-Butadiene latex-modified concrete, ACI concrete international, october 1990.

12. ACI concrete repair basics, course manual SCM-24 - (91).

13. Marine concrete, london conference, 1986.

فصـــل هشتم

آزمایشها و استانداردها

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
فصل هشتم – آزمایشها و استانداردها	
۸-۱- مقدمه	۱
۸-۲- آزمایشهای سیمان و ملات	۱
۸-۳- آزمایشهای سنگدانه‌ها	۲
۸-۳-۱- آزمایش تعیین قابلیت و اکنش‌زائی قلیایی سنگدانه‌ها (روش شیمیائی)	۲
۸-۳-۲- آزمایش قابلیت واکنش‌زایی ترکیبات سیمان و سنگدانه (روش استوانه سنگی)	۳
۸-۳-۳- آزمایش قابلیت واکنش‌زایی قلیایی سنگهای کربناتی (روش منشور ملات)	۳
۸-۴- آزمایشهای آب	۴
۸-۵- آزمایشهای مواد افزودنی	۴
۸-۶- آزمایشهای بتن تازه	۴
۸-۶-۱- روانی بتن‌های جاری	۵
۸-۷- آزمایشهای بتن سخت شده	۵
۸-۷-۱- آزمایش تخمین سریع نفوذپذیری یون کلر در بتن	۶

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
۸-۸- آزمایشهای فولاد	۶
۸-۹- ارزیابی سازه‌های بتن آرمه	۷
۸-۹-۱- تعیین نیازهای آزمایشگاهی	۷
۸-۹-۲- آزمایش و ارزیابی	۸
۸-۹-۳- روشهای ارزیابی بتن	۸
۸-۹-۴- روشهای ارزیابی میلگرد	۱۰
۸-۹-۵- روشهای بررسی غیر مخرب	۱۰
۸-۱۰- نتیجه‌گیری	۲۱
فهرست مراجع و منابع	۲۲

فصل هشتم- آزمایشها و استانداردها

۸-۱ مقدمه

همانطور که قبلاً بیان شد برای افزایش دوام و پایایی بتن باید با کنترل دقیق کیفیت اجزای تشکیل‌دهنده، روشهای اجرا، عمل‌آوری و نگهداری بتن از کیفیت آن اطمینان حاصل نمود. برای این منظور، انجام آزمایشهای مختلف ضروری است.

آزمایشهای استاندارد بتن آرمه و اجزای متشکله آن و مشخصات هر یک با نامگذاری دفتر تحقیقات و معیارهای فنی سازمان برنامه و بودجه در بخش تفسیر آیین‌نامه بتن ایران، نشریه شماره ۱۲۰ مشخص شده است. این استانداردها عموماً بر اساس مشخصات و آزمایشهای ASTM تهیه شده‌اند. البته استانداردهای معادل آن نیز مطابق ISO,BSI,AASHTO استاندارد ایران و استانداردهای دیگر شامل ACI,CSA ,RILEM/ CEB/FIP و DIN مشخص شده‌اند.

این آزمایشها به تفکیک برای اجزای بتن و ملات شامل سیمان، سنگدانه‌ها، آب، مواد افزودنی، فولاد و نیز برای بتن تازه و سخت شده مشخص شده‌اند.

در این فصل تعدادی آزمایشهای مهم و جدید در مورد دوام بتن ارائه و در پایان، فهرست و شرح مختصری از آزمایشهای لازم و تخصصی برای ارزیابی بتن سخت شده (بویژه قبل از بازسازی و تعمیرات) معرفی خواهند شد.

۸-۲- آزمایشهای سیمان و ملات

فهرست آزمایشهای سیمان و ملات در آیین‌نامه بتن ایران درج شده است. آزمایشهای مذکور شامل : ویژگیهای سیمان‌های پرتلند، روباره‌ای، آمیخته، منبسط شونده و

همچنین تجزیه شیمیایی بهمراه تعیین جرم مخصوص و نرمی سیمان می‌باشد. تعیین زمان گیرش، روانی، مقدار هوا، مقاومت کششی، خمشی، فشاری و آب انداختن ملات نیز در این جداول با ذکر شماره استاندارد آزمایش قید شده است.

برای مطالعه توضیحات این آزمایشها می‌توان به مراجع پیوست این فصل مراجعه نمود.

❑ ۸-۳- آزمایشهای سنگدانه‌ها

فهرست مشروح آزمایشهای سنگدانه‌ها بهمراه استانداردهای مربوطه در آئین‌نامه بتن ایران درج شده است. آزمایشها بطور خلاصه شامل دانه‌بندی، سنگ‌نگاری، مقدار رطوبت، وزن مخصوص، چگالی و جذب آب، سلامت، مقاومت در برابر سایش، ناخالصی‌ها، تعیین مقدار یون سولفات و کلرید در سنگدانه و همچنین تعیین قابلیت واکنش قلیایی و کربناتی سنگدانه‌ها به روشهای مختلف است.

شرح اکثر آزمایشهای یاد شده، در مراجع و منابع قید شده در انتهای این فصل آمده است، با این وجود برای آشنایی بیشتر شرح مختصر چند آزمایش ارائه می‌گردد:

۸-۳-۱- آزمایش تعیین قابلیت واکنش‌زایی قلیایی سنگدانه‌ها (روش شیمیایی)

نتیجه واکنش‌های شیمیایی بین اجزای سیلیسی فعال موجود در سنگدانه‌ها با قلیایی‌ها (عمدتاً قلیایی‌های موجود در سیمان). موجب انبساط و ترک‌خوردگی سطحی گسترده بتن می‌گردد.

برای تعیین قابلیت واکنش‌زایی سنگدانه‌های مورد استفاده در بتن با قلیایی‌ها از روش آزمایش شیمیایی "دت ۲۲۶"[1] می‌توان استفاده نمود.

در این آزمایش سنگدانه مورد نظر به اندازه‌ای شکسته و پودر می‌شود که از الک شماره ۵۰ (۳۰۰ میکرون) عبور کرده و بر روی الک شماره ۱۰۰ (۱۵۰ میکرون) بماند.

۱ برای اطلاع از آزمایشهای هم ارز "دت" در استانداردهای بین‌المللی به بخش اول آئین‌نامه بتن ایران مراجعه شود.

سپس میزان واکنش انجام شده بین محلول هیدرواکسیدسدیم نرمال با مقدار معینی از سنگدانه‌ها پودر شده، در دمای ۸۰ درجه سلسیوس و به مدت ۲۴ ساعت اندازه‌گیری می‌شود. نتایج اندازه‌گیری واکنش‌های شیمیایی با استفاده از نمودار مرجع، (که نتایج بدست آمده از این روش را با روشهای دیگر ارزیابی قابلیت واکنش‌زایی همبسته می‌سازد)، مورد ارزیابی قرار می‌گیرد.

۸-۳-۲- آزمایش قابلیت واکنش‌زایی ترکیبات سیمان- سنگدانه (روش منشور ملات)

برای تعیین آسیب‌پذیری ترکیبات سیمان- سنگدانه در بتن، که ناشی از واکنش شیمیایی بین اجزای سیلیسی فعال در سنگدانه‌ها و قلیایی‌های موجود در سیمان می‌باشد، روش آزمایش "دت ۲۲۴"[1] مورد استفاده قرار می‌گیرد.

در این آزمایش، سنگدانه مظنون در صورت لزوم شکسته می‌شود تا با دانه‌بندی توصیه شده، تطبیق یابد، سپس با استفاده از سیمانی که میزان قلیائیت آن کمتر از ۰/۶ درصد نباشد، منشورهای مخصوصی از ملات ماسه و سیمان ساخته می‌شود. منشورها در محیطی با رطوبت و درجه حرارت معین (در حدود ۳۸ درجه سلسیوس) نگهداری می‌شوند.

اگر منشورها بعد از شش‌ماه بیش از یک دهم درصد (یا پس از سه ماه بیش از پنج صدم درصد) منبسط شوند، ترکیب سیمان سنگدانه مورد آزمایش، مضر تشخیص داده می‌شود.

۸-۳-۳- آزمایش قابلیت واکنش‌زایی قلیایی سنگهای کربناتی (روش استوانه‌سنگی)

برای تشخیص کیفی میزان انبساط سنگدانه‌های بدست آمده از سنگهای کربناتی مشخص، نمونه‌های کوچک استوانه‌ای شکلی از این سنگها تهیه و در محلول قلیایی

۱ برای اطلاع از آزمایشهای هم ارز "دت" در استانداردهای بین‌المللی به بخش اول آیین‌نامه بتن ایران مراجعه شود.

(NaOH) فرو برده می‌شوند. در مدت زمانهای توصیه شده تغییر طولها که نشان دهنده انبساط ناشی از واکنش نمونه سنگ با محلول قلیایی می‌باشد، اندازه‌گیری می‌گردد.

معمولاً اگر پس از یک دوره ۲۸ روزه، انبساطی بیش از یک دهم درصد حاصل شود. باید سنگدانه‌ها را مظنون تلقی کرد.

این روش آزمایش که تحت شماره "دت ۲۲۷" مورد استفاده قرار می‌گیرد، عمدتاً برای مقاصد تحقیقاتی و شناسایی سنگدانه‌ها مناسب می‌باشد و نباید از آن انتظار پیش‌بینی مقدار انبساط بتن حاوی سنگدانه‌های کربناتی را داشت.

❑ ۸-۴- آزمایشهای آب

بطور کلی آزمایشهای آب شامل تعیین میزان کلسیم و منیزیم محلول در آب، ذرات معلق و محلول، یون کلرید و سولفات، تعیین PH و نهایتاً آزمایش کیفیت فیزیکی آب مصرفی در بتن می‌باشد. فهرست آزمایشهای مذکور بهمراه شماره استاندارد مربوطه در آیین‌نامه بتن ایران درج شده است.

❑ ۸-۵- آزمایشهای مواد افزودنی

در این بخش به مشخصات مواد افزودنی شیمیایی و حباب ساز و خاکستر بادی و پوزولانهای طبیعی خام یا تکلیس شده اشاره شده است که فهرست آن در آیین‌نامه بتن ایران وجود دارد.

❑ ۸-۶- آزمایشهای بتن تازه

آزمایشهای بتن تازه در جداول پیوست آیین‌نامه بتن ایران درج شده و شامل نمونه‌برداری، آزمایشهای روانی بتن، ضریب تراکم، وزن مخصوص، مقدار هوا، تجزیه بتن تازه، آب انداختن، زمان گیرش، تغییرات حجمی و عمل‌آوری می‌باشد.

در ادامه آزمایش روانی بتن به اختصار تشریح می‌شود.

۸-۶-۱- روانی بتن‌های جاری

برای بتن‌های با کارآیی فوق‌العاده و جاری که با کمک مواد افزودنی (روان‌کننده‌های قوی) تهیه می‌شوند و بویژه بتن‌هایی که دارای اسلامپ بیش از ۱۷۸ میلیمتر هستند، آزمایش اسلامپ برای تعیین کارآیی چندان دقیق نمی‌باشد. در این قبیل موارد "آزمایش میز روانی"[1] (مطابق استاندارد DIN 1048) نتایج واقعی و رضایتبخش‌تری به دست می‌دهد.

وسائل آزمایش شامل یک مخروط ناقص، یک صفحه پایه و یک صفحه چوبی مربع شکل به ابعاد ۷۰۰ میلیمتر است که از یکطرف به صفحه پایه لولا شده. برای انجام آزمایش، مخروط ناقص را در دو مرحله از بتن تازه پر کرده و بعد از ۳۰ ثانیه، آنرا برداشته و سپس طرف آزاد صفحه زیر بتن را ۴۰ میلیمتر بلند کرده و رها می‌کنند، این عمل پانزده مرتبه و ظرف مدت پانزده ثانیه انجام می‌شود.

میزان روانی از اندازه‌گیری قطر متوسط بتن پخش شده روی صفحه اندازه‌گیری، و بهمراه مشاهدات در مورد جدایی دوغاب و دانه‌های سنگی گزارش می‌شوند.

❑ ۸-۷- آزمایشهای بتن سخت شده

این بخش شامل آزمایشهای مخرب و غیر مخرب روی بتن سخت شده است که فهرست آن در جداول پیوست آیین‌نامه بتن ایران آمده است.

آزمایشها شامل تعیین مقاومت فشاری، کششی و خمشی، جمع‌شدگی، مدول الاستیسیته و نسبت پواسن، چگالی، جذب آب، فضاهای خالی، عیار سیمان، مقاومت در برابر یخ زدن و آب شدن سریع، مقاومت سایشی، پیوستگی با میلگرد، آزمایشهای عدد

1 Flow table test

برجهندگی، مقاومت در برابر نفوذ آزمایش بتن به روش فراصوتی، مقاومت در برابر بیرون‌کشیدن[1]، اندازه‌گیری پوشش، رادیوگرافی با اشعه گاما، پتانسیل الکتریکی بتن، تخمین سریع نفوذپذیری در برابر یون کلر و نفوذپذیری عمومی بتن می‌باشد.

در این بخش آزمایش تخمین سریع نفوذپذیری در مقابل یون کلر ارائه می‌شود و در بخشهای بعد به شرح مختصر تعدادی از آزمایشهای مذکور برای ارزیابی بتن سخت شده و تعیین کیفیت، مبادرت خواهد شد.

۸-۷-۱- آزمایش تخمین سریع نفوذپذیری یون کلر در بتن

در این آزمایش نمونه استوانه‌ای شکل بتن با قطر چهار و ضخامت دو اینچ تحت اثر اختلاف پتانسیل ۶۰ ولت در مدت شش ساعت قرار می‌گیرد تا بتوان مقدار بار الکتریکی عبوری از آن را بر حسب کلمب اندازه‌گیری نمود. عوامل مختلف در قرائت مقدار بار عبوری تاثیر دارند و اندازه‌گیری دقیق در این آزمایش مشکل است، اما بهرحال نتایج آزمایش را می‌توان با جدول مقایسه نفوذپذیری بتن‌های مختلف از طریق میزان شار الکتریکی عبوری (جدول شماره ۷-۲) مورد ارزیابی قرار داد. بعنوان مثال بار عبوری بین ۱۰۰ الی ۱۰۰۰ کلمب نشاندهنده بتن با نفوذپذیری "خیلی کم" در مقابل یون کلر است. بتنهای ساخته شده با میکروسلیس در این رده قرار دارند. این آزمایش در استاندارد شماره AASHTO T277 تشریح شده است.

☐ ۸-۸- آزمایشهای فولاد

فهرست این آزمایشها نیز در آیین‌نامه بتن ایران درج شده و شامل آزمایش کششی، خم کردن و باز کردن، پیوستگی میلگرد با بتن، وصله‌های جوش شده میلگرد، خستگی میلگرد و سایر آزمایشهای لازم می‌باشد.

1 Pull - out test

۸-۹- ارزیابی سازه‌های بتن آرمه

در این بخش اطلاعات و روشهای مربوط به ارزیابی وضعیت و خواص سازه‌های بتن آرمه بررسی می‌شود. این روشها شامل بازرسی‌های عینی[1] و آزمایشهای غیر مخرب[2] است که در محل یا در آزمایشگاه انجام می‌گردد.

۸-۹-۱- تعیین نیازهای آزمایشگاهی

ضرورت انجام آزمایشها و نوع آنها، با توجه به اهمیت سازه، روش بهره‌برداری، یافته‌ها و مشاهدات اولیه، بررسی مدارک قابل دسترس و بازسازی مورد نظر تعیین می‌شود.

در صورت کافی بودن مدارک و شواهد برای ارزیابی قطعی، نیازی به انجام آزمایش نیست. یک سازه خاص ممکن است عاری از خرابی بوده و با اندازه‌گیری ابعاد و بررسی آن طی مشاهدات، بتوان آنرا تحلیل و از قابلیت بهره‌برداری آن اطمینان حاصل کرد.

انجام آزمایش در شرایطی لازم است که اطلاعات موجود در مورد مصالح ناکافی بوده یا مصالح فاسد شده باشند. در اینصورت باید هدف از آزمایش، جزئیات لازم و نوع آزمایش‌ها را تعیین نمود. روشهای آزمایشی بستگی به هزینه، قابل اعتماد بودن[3] و پیچیدگی آن دارد.

برخی آزمایش‌ها هیچ نوع اختلالی در بهره‌برداری از سازه ایجاد نمی‌نمایند، در حالیکه پاره‌ای از آزمایش‌ها مخرب بوده و منجر به تخریب قسمتی از سازه می‌گردند. در بعضی مواقع، هزینه آزمایش‌ها از مخارج اجرای تعمیرات زیادتر است.

انتخاب روشهای آزمایش و تعداد و محل آن بستگی به موارد زیر دارد:

1 Visual Inspection
2 Non-destructive test
3 Reliability

الف- نوع سازه و روش بهره‌برداری

ب- تنوع خواص مصالح در سازه

پ- نقاط بحرانی

ت- امکان خطا در نتیجه آزمایش

ث- محدوده‌ای از سازه که در آن یکی از خواص اندازه‌گیری می‌شود.

بعنوان مثال در آزمایش ماوراء صوت، کیفیت متوسط بتن در کل ضخامت عضو مشخص می‌شود در حالیکه درمغزه‌گیری، تنها وضعیت بتن در مغزه آشکار می‌گردد.

۸-۹-۲- آزمایش و ارزیابی

ارزیابی در مورد سازه موجود شامل تصمیم‌گیری درباره مقاومت و کیفیت آن است. ارزیابی کامل سازه توانایی سازه را در تحمل بارگذاری و شرایط محیطی مشخص می‌سازد.

۸-۹-۳- روشهای ارزیابی بتن

بتن در یک سازه به دو صورت ایفای نقش می‌کند، در جایی بعنوان عضو سازه‌ای بر ظرفیت باربری موثر است و در جای دیگر بعنوان پوششی در مقابل آتش‌سوزی و دیگر عوامل محیطی از سازه محافظت می‌کند. پوشش بتن در برابر نفوذ املاح خورنده نیز حفاظت میلگردها را بعهده داشته و در نتیجه دوام سازه بتنی را افزایش می‌دهد. برای عملکرد مناسب اعضا و قطعات باربر سازه‌های بتن‌آرمه سه مشخصه بشرح زیر لازم است:

- مقاومت کافی بتن و میلگرد
- سطح مقطع کافی بتن و میلگرد
- چسبندگی مناسب بین آرماتور و بتن

اگر ترکیب این سه ویژگی مناسب نباشد، سازه بتن آرمه قابل اعتماد نیست. برای اینکه بتن بعنوان پوششی موثر برای میلگردها یا کابلهای پیش‌تنیدگی عمل کند و دوام سازه بتن آرمه را افزایش دهد، باید شرایط زیر برقرار باشد:

الف- نسبتاً متراکم باشد.

ب- غیر متخلخل باشد.

پ- خاصیت موئینگی آن کم باشد.

ت- نفوذپذیری آن کم باشد.

ث- سنگدانه‌ها و سیمان با یکدیگر و محیط، واکنش شیمیایی انجام ندهند.

بعضی از این خواص به مقاومت فشاری بتن بستگی دارد، اما اکثر آنها در صورت کنترل موارد زیر حاصل می‌شوند:

- مقدار و نوع سیمان
- میزان نفوذ هوا
- اسلامپ
- نسبت آب به سیمان
- نوع سنگدانه‌ها، مواد افزودنی و روشهای کنترل شده برای اختلاط
- بتن‌ریزی و عمل‌آوری

موارد یاد شده نشان می‌دهد که خواص بتن و وضعیت فیزیکی آن که در جداول شماره "۸-۱-الف" و "۸-۱-ب" نقل شده را می‌توان برای ارزیابی و پذیرش عملکرد بتن در وضعیت فعلی و آینده، مورد استفاده قرار داد. این جداول و گزارش آن که اخیراً توسط کمیته ACI ۳۶۴ تحت عنوان راهنمای ارزیابی سازه‌های بتنی قبل از بازسازی در نشریه Material & Journal آن موسسه منتشر گردیده باید بعنوان راهنما توسط کارشناسی که بررسیهایش را بر اساس تجارب و قضاوت‌های قبلی، انجام می‌دهد مورد استفاده قرار گیرد.

۸-۹-۴- روشهای ارزیابی میلگرد

نقش میلگرد در سازه‌های بتن آرمه، تحمل نیروهای فشاری و کششی است. بنابراین نه تنها خواص فیزیکی آرماتور برای تحمل نیروها مهم است بلکه نحوه انتقال و توزیع تنشها در سازه بتنی نیز مطرح می‌شود. در جدول ۸-۲ آزمایشهای لازم برای تعیین وضعیت خواص فیزیکی میلگردها و در نتیجه ارزیابی آنها، ارائه شده است.

۸-۹-۵- روشهای بررسی غیر مخرب

روشهای بررسی غیر مخرب که در محل یا در آزمایشگاه برای تعیین خواص فیزیکی مصالح ساختمانی بکار می‌روند در جدول ۸-۳ بطور خلاصه درجه شده و در هر مورد خلاصه روش آزمایش، مزایا و محدودیتهای آن بیان گردیده است.

جدول شماره ۸-۱- الف- آزمایشهای ارزیابی خواص بتن سخت شده

خواص فیزیکی و شیمیایی / روش بررسی و ارزیابی	ضربه صوتی ACOUSTIC IMPACT	آزمایش میزان هوا (ASTM C457)	آزمایش میزان سیمان (ASTM C1084)	آزمایشهای شیمیایی	آزمایش مقاومتگیری (ASTM C42)	اندازه‌گیریهای پتانسیل الکتریکی	اندازه‌گیریهای مقاومت الکتریکی	آزمایشهای غیبی (ASTM C42)	آزمایشهای فیبرسد و ذوب (ASTM C666)	رادیوگرافی با اشعه گاما	رطوبت سنج هسته‌ای	آزمایش نفوذپذیری (CRD C48)	آنالیز سنگ‌نگاری (ASTM C856)	آزمایش بیرون‌کشیدن (ASTM C900)	آزمایش چکشی (ASTM C805)	موج التراسونیک (ASTM C597)	مقاومت در مقابل نفوذ میله (ASTM C803)Windsor probe
اسیدیته				●									●				
میزان هوا		●											●				
واکنش قلیایی کربناتی													●				
واکنش قلیایی سیلیکاتی													●				
میزان سیمان			●	●									●				
ترکیب شیمیایی				●									●				
میزان کلرور				●	●								●				
مقاومت فشاری					●									●	●	●	●
آلودگی سنگدانه				●									●				
آلودگی آب اختلاط				●									●				
خورندگی محیط				●		●							●				
خزش					●												
جرم مخصوص					●					●							
کشیدگی					●												
پخ زدگی اجزا													●				
مدول الاستیسیته					●												●
مدول گسیختگی					●			●									
میزان رطوبت					●		●				●						
نفوذپذیری												●	●				
آزمایش بیرون‌کشیدن														●			
کیفیت مصالح													●				
مقاومت‌در برابر انجمادو ذوب					●				●				●				
سلامتی مصالح					●					●			●				
آزمایش‌کششی‌دو نیم کردن					●												
مقاومت‌درمقابل سولفات				●									●				
مقاومت کششی					●			●									
یکنواختی	●												●		●		●
نسبت آب به سیمان													●				

جدول شماره ۸-۱- ب- آزمایشهای ارزیابی شرایط فیزیکی بتن سخت شده

وضعیت فیزیکی / روش بررسی و ارزیابی	انتشار صوتی	ضربه صوتی	آزمایشهای شیمیایی	مغزه‌گیری (ASTM C42)	تارهای نوری (جدول ۸-۱)	رادیوگرافی با اشعه گاما (جدول ۸-۱)	دستگاههای با اشعه نابودکننده	آزمایش بارگذاری (ACI 437R)	آلتراسونیک سنگ‌نگاری (ASTM C856)	اندازه‌گیری فیزیکی	رادار RADAR	آزمایش چکش (ASTM C803)	موج الترسونیک (ASTM C597)	امکاس موج الترسونیک	مشاهدات بصری (ACI 201.1R) (ASTM C823)	مقاومت در مقابل نفوذ سیله (ASTM C803) Windsor probe
مجاری آب‌اندازی									●						●	
فساد شیمیایی			●						●						●	
خوردگی آرماتور			●	●					●						●	
ترک خوردگی	●	●		●	●		●		●	●	●		●	●	●	
خواص سطح مقطع و ضخامت آن				●		●				●			●			
لایه لایه شدگی		●		●	●	●	●		●		●		●	●	●	
تغییر رنگ			●						●						●	
فروپاشی و تجزیه				●		●	●		●				●		●	
اعوجاج و تابیدگی															●	
شورده زدگی			●						●						●	
فرسایش									●						●	
صدمه ناشی از انجمادوذوب									●						●	
کرمویی				●	●	●	●		●				●		●	
بیرون پریدگی															●	
پوسته شدن															●	
قلوه کن شدن				●		●	●								●	
ورقه ورقه شدن		●			●									●	●	
عملکرد سازهای	●							●							●	
یکنواختی بتن						●			●			●	●		●	●

جدول شماره ۸-۲- آزمایشهای ارزیابی و تعیین وضعیت آرماتورها

روش بررسی و ارزیابی / خواص و شرایط	ضربه صوتی	آنالیز شیمیایی (ASTM A751)	آزمایشهای پوشش (ASTM A755,G12,14,20)	پوشش سطح	اندازه‌گیریهای پتانسیل الکتریکی	رادیوگرافی با اشعه گاما	اندازه‌گیریهای تئوریکی	رادار	آزمایشهای کشش	التکاس موج التراسونیک	بازدید و بررسی‌های عینی
چسبندگی پوشش اپوکسی			●								
مهاری							●				
آزمایش خم شدن							●				
مقاومت در برابر شکستن									●		
میزان کربن		●									
ترکیب شیمیایی		●	●								
خواص پوشش		●									
پوشش بتن				●		●	●	●			
پیوستگی پوشش اپوکسی			●								
خوردگی					●		●				●
خواص سطح مقطع و ضخامت آن							●				
تغییر شکلها							●				●
کشیدگی									●		
نما (وضعیت ظاهری)											●
محل قرار گرفتن آرماتور	●			●		●	●	●			
کاهش سطح مقطع									●		
شکل							●				
مقاومت اتصالات							●				
مقاومت کششی									●		
ضخامت پوشش اپوکسی			●								
مقاومت برشی جوش							●				
مقاومت تسلیم									●		

جدول ۸-۳- تشریح روشهای ارزیابی غیر مخرب بتن

روش	کاربرد	اصول استفاده	تجربه استفاده کنندگان	مزایا	محدودیتها
انتشار صوت (آکوستیک)	مشاهده مداوم سازه در طول عمر مفید آن برای جلوگیری از خسارات احتمالی و مشاهده عملکرد سازه در طول آزمایش	بهنگام گسترش ترک یا تغییر شکلهای پلاستیک، انرژی کرنشی آزاد شده موج صوتی تولید می‌کند که بوسیله سنسورهای حساس در سطح جسم دریافت می‌شود.	برای انجام آزمایش و تفسیر نتایج تجربه زیادی لازم است.	سازه را طی اعمال بار زیر نظر دارد و قادر به تشخیص محل و منبع شکست احتمالی سازه می‌باشد قابل حمل و نقل و دارای طرز عمل آسان و برای بارگذاری مناسب است.	آزمایش پرخرجی است. فقط وقتی قابل استفاده است که سازه بارگذاری شده و ترکها در حال گسترش هستند، تفسیر نتایج احتیاج به یک متخصص دارد. در حال حاضر آزمایش به آزمایشگاه و کار بعدی نیاز دارد.
ضربه آکوستیک	برای تشخیص جداشدگی، تورق، سوراخها و ترکهای موبی.	سطح شیی با وسیله‌ای ضربه می‌خورد فرکانس و نوع استهلاک صدا وجود خرابی را نشان می‌دهد. وسیله ممکن است از چکش معمولی تا ابزار الکترونیکی پیچیده تغییر یابد.	برای سیستم شنوایی سطح تخصص کمی لازم است اما در مورد سیستم الکترونیکی آموزش لازم است.	وسیله قابل حمل است، با سیستم شنوایی راحت اجرا می‌شود. وسیله الکترونیکی نیاز به تجهیزات بیشتر دارد.	شکل هندسی و جرم شیی مورد آزمایش بر نتایج اثر می‌گذارد، در سیستم شنوایی تشخیص ضعیف است، برای آزمایش الکترونیکی احتیاج به استاندارد مرجع است.
مغزه‌گیری (ASTM C12)	تعیین مستقیم مقاومت بتن، ارزیابی نوع و کیفیت سنگدانه‌ها، سیمان و دیگر اجزای بتن	مغزه استوانه‌ای با مته از سازه جدا می‌شود، برای تعیین مقاومت فشاری و کششی و خواص پیچشی و مدول الاستیسیته استاتیک، و غیره، آزمایشهایی روی نمونه صورت می‌گیرد.	برای خراب نکردن مغزه به مهارت خاصی نیاز است. ولی برای انجام و تفسیر نتایج آزمایشها سطح تخصص متوسطی مورد نیاز است.	رایج‌ترین روش قابل قبول برای تعیین مطمئن مقاومت و کیفیت بتن در سازه است. برای امتحان ترکها تعیین محل آرماتورها و نمونه‌گیری برای آزمایشهای شیمیایی مناسب است.	نمونه گیری سازه را خراب کرده و نیاز به تعمیر دارد. آزمایش مخرب است.
مقاومت نفوذی (ASTM C803)	تخمین مقاومت فشاری، یکنواختی و کیفیت بتن قبل از بازکردن قالب.	میله‌هایی از طریق شلیک به درون بتن فرو برده می‌شود، با استفاده از منحنی‌های درجه‌بندی شده، مقاومت بتن بوسیله مقدار عمق نفوذ میله‌ها به درون آن تخمین زده می‌شود.	انجام آن راحت است و می‌تواند توسط افراد کارگاه با کمی آموزش صورت گیرد. برای تامین ایمنی اپراتور باید گواهینامه داشته باشد.	وسیله آسان، با دوام و احتیاج به نگهداری زیادی ندارد. می‌توان کیفیت و مقاومت نسبی بتن را با آن تعیین کرد. خسارت نسبتاً کمی به نمونه وارد می‌کند.	ممکن است تخمین دقیقی از مقاومت بتن بدست ندهد، تفسیر نتایج در ارتباط با منحنیهای همبستگی است. اغلب میله‌ها به هنگام جدا نمودن شکسته شده و به بتن پوشش خسارت وارد می‌شود.
انعکاس موج ماورای صوت	برای تخمین مقاومت فشاری یکنواختی و کیفیت بتن است. محل آرماتور، خرابی‌ها، منافذ و ضخامت بتن را تعیین می‌کند.	بر این اساس است که جهت دامنه و فرکانس موجهای تنشی پخش شده در بتن بوسیله موانعی چون ترکها، اجسام، و مقاطعی که مقاومت اکوستیک متفاوتی دارند تغییر می‌یابد.	برای تفسیر نتایج تخصص بالایی مورد نیاز است، اپراتور باید هم در زمینه الکترونیک و استفاده از وسیله متبحر بوده و هم در زمینه بررسی وضعیت سازه‌های بتنی مهارت داشته باشد.	در صورت دسترسی به دو طرف سطح بتن قابل انجام است. می‌توان با آن داخل بتن را مشاهده کرد.	هنوز در مرحله توسعه و بررسی است و بعنوان یک روش استاندارد پذیرفته نیست. به پیشرفتهایی در معیارهای اندازه‌گیری نیاز دارد. فرآیند علائم دیجیتالی می‌توانند به بهبود تفسیر نتایج کمک کند اما در حال حاضر اطلاعات برای تحلیل باید به آزمایشگاه برگشت داده شود.

ادامه جدول ۸-۳- تشریح روشهای ارزیابی غیر مخرب بتن

روش	کاربرد	اصول استفاده	تجربه استفاده کنندگان	مزایا	محدودیتها
آزمایش، تشدید فرکانس	برای تعیین مدهای ارتعاشی اساسی متنوع و محاسبه مدول در آزمایشگاه بکار می‌رود، در محل برای کشف منافذ و لایه لایه شدگی استفاده می‌شود.	وضعیت فرکانس تشدید شده بین دو سطح منعکس کننده برقرار می‌شود، لرزی از طریق سیستم الکترومغناطیسی آمپلی فایر و نوساتی ضربه چکش ایجاد می‌شود.	برای تفسیر نتایج به تخصص بالایی نیاز است. آموزش اپراتور برای اندازه‌گیری‌های آزمایشگاهی می‌تواند به آسانی انجام شود، زیرا نمونه‌ها دارای شکل هندسی ساده‌ای هستند.	می‌توان با آن داخل سازه بتنی را مشاهده کرد، و تا چند فوت داخل بتن نفوذ نمود. فرستنده و دریافت‌کننده‌ای که جدیداً توسعه یافته می‌تواند نتایج حاصل را با یک شتاب نگار بهبود بخشد.	در دامنه صوت عمل کرده و دقت ماورای صوت را ندارد. هنوز در مراحل توسعه است.
آزمایش قلوه کن‌کردن (Pulll-off test)	تخمین مقاومت فشاری بتن موجود.	میله فولادی دایره شکلی به بتن متصل شده، سپس نیروی کششی بوسیله سیستم مکانیکی قابل حمل تامرحله شکست بتن اعمال می‌شود. در این حالت می‌توان مقاومت فشاری را با استفاده از نمودارهای درجه‌بندی شده تخمین زد.	سطح تخصص بالایی نیاز ندارد.	ساده و ارزان است.	هنوز روش آزمایش استاندارد بدست نیامده است. سوابق بطور محدود ثبت شده است. در محلهایی که نمونه‌برداری شده باید بتن ترمیم شود.
رادار	کشف منافذ درونی و لایه لایه شدگی و اجزای قرار گرفته در داخل بتن، اندازه‌گیری ضخامت بتن روسازی‌ها.	از علایم ضربه‌ای الکترومغناطیسی منتقل شده برای کشف منافذ استفاده می‌کند.	جهت کار با تجهیزات و تفسیر نتایج به سطح تخصص بالایی نیاز است.	با روشهای مناسب می‌توان محل آرماتورها و منافذ را بدون توجه به عمق آنها تعیین نمود. وقتی که فقط یک سطح از بتن قابل دسترس است می‌توان از این روش استفاده کرد.	وسیله گران است در صورت وجود آرماتور اطمینان به تعیین منافذ کاهش می‌یابد، روش آزمایش هنوز در حال پیشرفت است.
رادیوگرافی با اشعه گاما	تخمین محل، اندازه و وضعیت آرماتورها، تخلخل بتن و تراکم آن.	بر این اساس است که درجه جذب اشعه گاما با تراکم و ضخامت نمونه آزمایشی تغییر می‌کند. اشعه گاما از منبع خود منتشر شده، بداخل نمونه نفوذ می‌کند، از سمت مقابل خارج شده و بر روی فیلم ضبط می‌شود.	استفاده از ایزوتوپ‌هایی که اشعه گاما تولید می‌کند شدیداً بوسیله NRC کنترل می‌شود. کار با تجهیزات باید توسط بازرسان دارای گواهینامه انجام شود.	عیوب داخلی را می‌توان کشف نمود. بر روی مصالح متنوع قابل اجرا است بطور دائم روی فیلم ثبت شده و وسیله آن قابل حمل است.	وسیله گران بوده، منبع اشعه گاما برای سلامتی مضر است، نیاز به دسترسی به دو طرف نمونه است.

ادامه جدول ۸-۳- تشریح روشهای ارزیابی غیر مخرب بتن

روش	کاربرد	اصول استفاده	تجربه استفاده کنندگان	مزایا	محدودیتها
تارهای نوری	برای ملاحظه قسمتهایی از سازه که قابل مشاهده نیست.	میله تار نوری شامل تارهای نوری و لنز و سیستم روشنایی است که درون ترک یا سوراخ ایجاد شده در بتن گذاشته می‌شود برای مشاهده قسمتهای داخلی بتن و دیدن نقصهایی چون ترک، منفذ، یا ناپیوستگی سنگدانه‌ها از چشمی میکروسکوپ استفاده می‌شود. معمولاً در محلهای مغزه‌گیری یا گمانه‌زده استفاده می‌شود برای آزمایش منافذ دیوار و سایر حفره‌های موجود در کارهای بنایی مورد استفاده قرار می‌گیرند.	کار کردن با آن آسان است.	تصاویر بدست آمده از اجسام فاصله‌دار کیفیت خوبی دارد و همچنین عکسها را می‌توان ظاهر کرد. لوله قابل انعطاف امکان دید در چند جهت را ایجاد می‌کند.	وسیله گران است، گمانه‌های زیادی جهت حصول دقت کافی مورد نیاز است، ملات موجود در کارهای بنایی مانع مشاهده می‌شود.
دماسنگاری با اشعه مادون قرمز (فرو سرخ)	تشخیص عیبهای داخلی، توسعه ترک، لایه لایه‌شدگی و منافذداخلی.	از فرکانس‌های مشخص اشعه مادون قرمز استفاده می‌شود تا مدلهای گرمایی غیر فعال و متنوعی که مربوط به عیوب مشخصی هستند مشاهده شوند. در روزهای سرد، ترکهای یکسره در بتن و کارهای بنایی را می‌توان مشخص نمود.	به سطح تخصص بالایی جهت تفسیر نتایج نیاز است	می‌تواند به روش نسبتاً ارزان و دقیقی جهت تشخیص خسارات بتن تبدیل شود، مساحتهای بزرگ را براحتی جواب می‌دهد	نیاز به مهارت زیاد و لوازم دارد. در جایی موثر است که اختلاف حرارتی بین سطوح زیاد باشد.
آزمایش بارگذاری (ACI 437R)	تعیین نحوه عملکرد یک سازه با اعمال بارهای مشابه با وضعیت واقعی، با استفاده از ضرایب اضافه بار.	آزمایش بارگذاری مشابه با بارهای طراحی بر سازه اعمال می‌شود.	سطح تخصص بالایی برای قانونمند کردن و اجرای آزمایش و تفسیر نتایج لازم است. همچنین داربست محافظ برای ایمنی مورد نیاز می‌باشد.	می‌توان قابلیت و توانایی عملکرد رضایت‌بخش سازه را در مقابل بارهای مورد نظر، پیش‌بینی کرد.	گران و زمان بر است. آزمایش ممکن است خسارت محدود یا دائمی در قسمتی از سازه یا کل آن ایجاد کند.
رطوبت سنج هسته‌ای (ASTM 3017)	تخمین میزان رطوبت بتن سخت شده.	میزان رطوبت تعیین شده در بتن بر این اصل استوار است که سرعت حرکت نوترونها در آب یا مصالح دیگر مطابق با میزان هیدروژن تولید شده در نمونه آزمایشی کاهش می‌یابد.	باید به وسیله افراد دوره دیده و دارای گواهینامه اجرا شود.	به علت قابلیت حمل میزان رطوبت بتن در محل تخمین زده می‌شود.	وسایل آن پیچیده و گران بوده لیسانس NRC برای اجرای آزمایش لازم است. گرادیان رطوبت در نمونه ممکن است نتایج اشتباهی بدست دهد. نیتروژن موجود در بتن را به همراه نیتروژن آب اندازه‌گیری می‌کند.

ادامه جدول ۸-۳- تشریح روشهای ارزیابی غیر مخرب بتن

روش	کاربرد	اصول استفاده	تجربه استفاده کنندگان	مزایا	محدودیتها
آنالیز سنگنگاری (ASTM C856)	برای تعیین خواص گوناگون نمونه‌های بتن یا ملات که از سازه جدا شده بکار می‌رود. بعضی از این خواص عبارتند از: ۱- تراکم سیمان ۲- یکنواختی بتن ۳- محل ترکها ۴- میزان هوا ۵- نسبت سنگدانه‌ها، سیمان و هوا ۶- عمل آوردن.	در ارتباط با دیگر آزمایشها بکار می‌رود. تحلیل شیمیایی و فیزیکی نمونه‌های بتن به وسیله سنگنگار متخصص انجام می‌شود.	برای انجام و تحلیل آزمایش به سطح تخصص بالایی نیاز است.	اطلاعات قابل اطمینانی از اجزا، خاصیت خمیری، سنگدانه‌ها، عمل‌آوری، خسارات احتمالی و یخ‌زدگی بتن در اختیار می‌گذارد.	نسبتاً گران و زمان‌گیر بوده و نیاز به سنگنگار متخصص دارد.
آزمایش بیرون کشیدن (ASTM C900)	تخمین مقاومت فشاری و کششی بتن موجود.	اندازه‌گیری نیروی لازم برای بیرون‌کشیدن میله‌ای فولادی که دارای انتهای بزرگ است و در بتن کارگذاری می‌شود، نیروی یاد شده تنشهای برشی و کششی در بتن ایجاد می‌کند.	به سطح تخصص کمی نیاز داشته و افراد کارگاهی می‌توانند آزمایش را انجام دهند.	مقاومت بتن را در محل اندازه گیری کرده مقاومت بتن را به درستی پیش‌بینی می‌کند.	وسایل آزمایش باید هنگام ساخت کار گذاشته شوند. ممکن است در حین آزمایش مخروطی از بتن بیرون کشیده شود که نیاز به ترمیم‌های جزئی را الزامی سازد.
چکش ارتجاعی (ASTM C805)	کیفیت بتن را در نقاط مختلف نمونه مقایسه می‌کند. مقاومت بتن را بر اساس منحنی‌های درجه‌بندی شده با دقت محدود تعیین میکند.	به وسیله جسمی که با فنر رانده می‌شود بر سطح بتن ضربه وارد می‌شود و فاصله برگشت جسم برحسب مقادیر R تعیین می‌شود. سختی سطح بتن اندازه‌گیری شده ومقاومت آن از روی منحنیهای درجه‌بندی شده‌ای که توسط سازنده چکش تهیه شده است، بدست می‌آید.	کار با آن آسان بوده و میتواند توسط پرسنل کارگاه انجام شود.	وسیله‌ای سبک، به آسانی قابل استفاده و ارزان است، مقادیر زیادی اطلاعات را می‌توان به سرعت بدست آورد برای تعیین یکنواختی بتن مناسب است.	وضعیت سطح بتن بر نتایج تاثیر می‌گذارد و پیش‌بینی دقیقی در مورد مقاومت بتن ارائه نمی‌دهد تخمین مقاومت باید با دقت انجام شود. تنظیم درجه‌بندی (کالیبراسیون) وسیله ضروری است.
موج ماورای صوت (ASTM C597)	در مورد تخمین یکنواختی، کیفیت و مقاومت فشاری بتن است، محل ناپیوستگی‌های داخلی و اندازه آنها را میتوان تخمین زد. رایج‌ترین شیوه موج تنشی بکار رفته است که در کارگاه استفاده میشود.	عملکرد آن بر این اساس است که سرعت انتشار موج تنشی تحت تاثیر کیفیت بتن قرار دارد، امواج ضربه‌ای در جسم ایجاد شده و زمان رسیدن آن به سطح توسط گیرنده اندازه‌گیری می‌شود.	برای تفسیر نتایج، سطح تخصص متفاوتی مورد نیاز است. اپراتور احتیاج به تجربه نسبتاً زیادی دارد.	وسیله نسبتاً ارزان و به آسانی قابل استفاده است. کیفیت و یکنواختی بتن را با دقت اندازه‌گیری می‌کند. بوسیله ارتباط مقاومت فشاری مغزه‌ها و سرعت موج می‌توان مقاومت بتن را در محل تخمین زد.	اتصال درست گوشی گیرنده و فرستنده و بتن تعیین کننده است. تفسیر نتایج می‌تواند مشکل باشد و تراکم مقدار سنگدانه‌ها، تغییرات رطوبت و وجود آرماتور ممکن است بر نتایج تاثیر بگذارد، استانداردهای درجه‌بندی مورد نیاز است.

ادامه جدول ۸-۳- تشریح روشهای ارزیابی غیر مخرب بتن

روش	کاربرد	اصول استفاده	تجربه استفاده کنندگان	مزایا	محدودیتها
مشاهدات عینی (ACI 201.1R) (ASTM C823)	الف- ارزیابی وضعیت سطح بتن از جمله وضعیت سطح‌نهایی، زبری،خراش،ترک‌وزنگ. ب- تعیین نقص در اتصالات. پ- تعیین تغییر شکلها و حرکتهای نسبی در سازه	بررسی‌های عینی با وسایل نوری، ابزارهای اندازه‌گیری، عکسها یا دیگر وسایل ارزان قیمت، یا بدون آنها، ثبت حرکات نسبی در دوره‌های طولانی با شیوه‌های نقشه‌برداری و دیگر وسایل.	برای تعیین اینکه چه چیزی باید مشاهده و اندازه‌گیری شود، تفسیر شرایط و تشخیص اینکه چه آزمایشی در پی آن باید انجام شود، به تجربه نیاز است.	بطور کلی کم هزینه است و وضعیت بتن را بسرعت ارزیابی می‌کند.	به نیروی کار ماهر احتیاج است، ارزیابی اولیه به سطح سازه محدود می‌باشد.
پوشش سنج (Pacuometer)	پوشش، اندازه و محل قرارگیری آرماتور و قطعات فلزی را در داخل بتن یا کارهای بنایی، تعیین می‌کند.	وجود فولاد در بتن با کارهای بنایی بر میدان مغناطیسی میله اثر می‌گذارد. هر چه فاصله میله به فولاد کمتر باشد اثر بر میدان مغناطیسی بیشتر خواهد بود.	نیاز به تخصص متوسط دارد. کار کردن با آن آسان است، برای تفسیر نتایج تجربه لازم است.	وسیله قابل حمل است، در صورت وجود آرماتور بمیزان کم در بتن نتایج خوبی بدست می‌آید. برای تعیین محل آرماتور، کابلها و سیمهای پیش‌تنیده داخل بتن و جلوگیری از آسیب به آنها در اثر مغزه‌گیری مناسب است.	در صورت وجود آرماتور به میزان زیاد یا توری در بتن تفسیر نتایج مشکل است. در صورتی که پوشش بتن از ۱۰۰ میلیمتر بیشتر باشد قابل اطمینان نیست ، در اکثر موارد سیمهای قالب‌بندی با شاخکهای مهاری اشتباه می‌شود.
اندازه‌گیری‌های پتانسیل الکتریکی	وضعیت آرماتورها را در کارهای بنایی و بتنی نشان می‌دهد. فعالیتهای خوردگی را در روسازیهای بتن‌آرمه مشخص می‌سازد.	پتانسیل الکتریکی بتن احتمال خوردگی را معلوم می‌کند.	سطح تخصص متوسط لازم است، استفاده‌کننده باید قادر به تشخیص مشکلات باشد.	وسیله قابل حمل است. اندازه‌گیریهای محلی آسان بوده و اطلاعات قابل اطمینان است.	اطلاعات مربوط به شدت خوردگی را معلوم نمی‌کند، دسترسی به آرماتورها لازم است.
اندازه‌گیری‌های مقاومت الکتریکی	تعیین میزان رطوبت بتن.	بر اساس تغییرات هدایت الکتریکی بتن میزان رطوبت تعیین می‌شود.	میزان تخصص بالایی برای تفسیر نتایج لازم است گرچه براحتی می‌توان از وسیله استفاده کرد.	وسیله خودکار بوده و کارکردن با آن راحت است.	تجهیزات گران بوده و نیاز به کاربردهای مخصوص با فرکانس بالایی دارد. هدایت الکتریکی به میزان نمک و درجه حرارت نمونه نیز بستگی دارد. در نتیجه در تفسیر نتایج با مشکل مواجه هستیم. نتایج چندان قابل اطمینان نیست.

❑ ۸-۱۰- نتیجه‌گیری

کنترل کیفیت و اطمینان از کیفیت مناسب بتن و سازه‌های بتن آرمه جز با انجام آزمایش روی مصالح تشکیل‌دهنده آن یعنی سیمان، سنگدانه، آب، مواد افزودنی و میلگردها و نیز بتن تازه و بتن سخت شده میسر نمی‌باشد. فهرست آزمایش‌ها در هر مورد با شرح مختصر بعضی از آنها در این فصل ارائه شده است.

ارزیابی هر سازه بتن آرمه نیاز به بررسی‌های خاص خود دارد و عموماً کاری پیچیده و تخصصی است. با این وجود می‌توان از روشهای ارزیابی که بطور اختصار تشریح شده در شناخت و ارزیابی عمومی سازه‌ها استفاده کرد و نتایج مفید و عملی بدست آورد.

فهرست مراجع و منابع

الف- مراجع فارسی

۱- آیین‌نامه بتن ایران (بخش اول)- نشریه شماره ۱۲۰ دفتر تحقیقات و معیارهای فنی سازمان برنامه و بودجه.

۲- مشخصات فنی عمومی مخازن آب زمینی- نشریه شماره ۱۲۴، دفتر تحقیقات و معیارهای فنی سازمان برنامه و بودجه.

۳- بتن‌شناسی (خواص بتن) تالیف پروفسور نویل، ترجمه دکتر هرمز فامیلی.

ب- مراجع انگلیسی

1. O.E.K.Daoud & S.K.Hamdani concrete quality control in the persian gulf, ACI concrete international, dec. 1986.

2. V.M.Malhotra, superplasticized fly ash concrete for structural applications. ACI concrete international , dec. 1986.

3. Guide for evaluation of concrete structures prior to rehabilition ACI material journal, vol. 90 No.5, reported by ACI committee 361.

جمهوری اسلامی ایران

سازمان برنامه و بودجه

دفتر تحقیقات و معیارهای فنّی

فهرست نشریات

پائیز

۱۳۷۵

فهرست نشریات دفتر تحقیقات و معیارهای فنّی

شماره ردیف	عنوان نشریه	شماره نشریه	تاریخ انتشار		ملاحظات
			چاپ اوّل	چاپ آخر	
۱	زلزله‌خیزی ایران (از سال ۱۹۰۰ تا سال ۱۹۶۹)	۱	۱۳۵۰	-	
۲	زلزله هشتم مرداد ماه ۴۹ قرناوه (گنبد کاووس)	۲	۱۳۵۰	-	
۳	بررسی‌های فنی	۳	۱۳۵۰	-	
۴	طرح و محاسبه واجرای رویه‌های بتنی در فرودگاهها	۴	۱۳۵۰	-	
۵	آزمایش لوله‌های تحت فشارسیمان وپنبه‌نسوز درکارگاه‌های لوله‌کشی	۵	۱۳۵۰	-	
۶	ضمائم فنی دستورالعمل طرح، محاسبه واجرای رویه‌های بتنی‌درفرودگاهها	۶	۱۳۵۰	-	
۷	دفترچه تیپ شرح قیمتهای واحد عملیات راههای فرعی	۷	۱۳۵۱	۱۳۵۴	فاقد اعتبار
۸	دفترچه تیپ شرح قیمتهای واحد عملیات راههای اصلی	۸	۱۳۵۱	۱۳۵۴	فاقد اعتبار
۹	مطالعه وبررسی در تعیین ضوابط مربوط به طرح مدارس ابتدائی	۹	۱۳۵۱	-	
۱۰	بررسی‌فنی‌مقدماتی‌زلزله ۲۱فروردین‌ماه۱۳۵۱منطقه قیرو کارزین استان فارس	۱۰	۱۳۵۱	-	
۱۱	برنامه‌ریزی فیزیکی بیمارستانهای عمومی کوچک	۱۱	۱۳۵۱	-	
۱۲	روسازی شنی و حفاظت رویه آن	۱۲	۱۳۵۲	-	
۱۳	زلزله ۱۷ آبانماه بندرعباس	۱۳	۱۳۵۲	-	
۱۴	تجزیه‌وتحلیل‌هزینه‌کارهای‌ساختمانی‌و راهسازی(بخش کارهای‌آجری)	۱۴	۱۳۵۲	۱۳۵۳	
۱۵	تجزیه‌وتحلیل‌هزینه کارهای‌ساختمانی‌ور اهسازی(بخش‌تعیین‌هزینه‌ساعتی‌ماشینهای‌راهسازی)	۱۵	۱۳۵۲	-	فاقد اعتبار
۱۶	شرح قیمتهای واحد تیپ برای کارهای ساختمانی	۱۶	۱۳۵۲	-	فاقد اعتبار
۱۷	برنامه ریزی فیزیکی بیمارستان‌های عمومی از ۱۵۰ تخت تا ۷۲۰ تخت	۱۷	۱۳۵۲	-	
۱۸	مشخصات فنی عمومی لوله‌هاواتصالات‌پی.وی.سی‌سخت برای‌مصارف‌آب‌رسانی	۱۸	۱۳۵۲	-	
۱۹	روش نصب و کارگذاری لوله‌های پی.وی.سی	۱۹	۱۳۵۲	-	
۲۰	جوشکاری در ساختمانهای فولادی	۲۰	۱۳۵۲	۱۳۷۳	
۲۱	تجهیزوسازماندهی کارگاه جوشکاری	۲۱	۱۳۵۲	۱۳۶۳	
۲۲	جوش‌پذیری فولادهای ساختمانی	۲۲	۱۳۵۲	۱۳۶۲	
۲۳	بازرسی و کنترل کیفیت جوش در ساختمانهای فولادی	۲۳	۱۳۵۲	۱۳۷۳	
۲۴	ایمنی در جوشکاری	۲۴	۱۳۵۲	۱۳۷۳	
۲۵	زلزله ۲۳ نوامبر ۱۹۷۲ ماناگوا	۲۵	۱۳۵۲	-	
۲۶	جوشکاری در درجات حرارت پایین	۲۶	۱۳۵۲	۱۳۷۳	
۲۷	مشخصات فنی عمومی لوله‌کشی آب سردو گرم و فاضلاب ساختمان	۲۷	۱۳۵۲	-	

فهرست نشریات دفتر تحقیقات و معیارهای فنّی

شماره ردیف	عنوان نشریه	شماره نشریه	تاریخ انتشار		ملاحظات
			چاپ اوّل	چاپ آخر	
۲۸	تجزیه و تحلیل هزینه کارهای ساختمانی (بخش ملاتها)	۲۸	۱۳۵۳	-	
۲۹	بررسی نحوه توزیع منطقی تخت‌های بیمارستانی کشور	۲۹	۱۳۵۳	-	
۳۰	مشخصات فنی عمومی برای طرح و اجرای انواع شمعها و سپرها	۳۰	۱۳۵۳	۱۳۶۵	
۳۱	تجزیه و تحلیل هزینه کارهای ساختمانی و راهسازی (بخش اندودها، قرنیزها وبندکشی)	۳۱	۱۳۵۳	-	
۳۲	شرح قیمتهای واحد تیپ برای کارهای لوله‌کشی آب و فاضلاب ساختمان	۳۲	۱۳۵۳	-	
۳۳	مشخصات فنی عمومی راههای اصلی	۳۳	۱۳۵۳	-	فاقد اعتبار
۳۴	مشخصات فنی عمومی اسکلت فولادی ساختمان	۳۴	۱۳۵۳	-	فاقد اعتبار
۳۵	مشخصات فنی عمومی کارهای بتنی	۳۵	۱۳۵۳	-	فاقد اعتبار
۳۶	مشخصات فنی عمومی کارهای بنائی	۳۶	۱۳۵۳	-	فاقد اعتبار
۳۷	استانداردهای نقشه‌کشی	۳۷	۱۳۵۳	-	
۳۸	مشخصات فنی عمومی اندودکاری	۳۸	۱۳۵۳	-	فاقد اعتبار
۳۹	شرح قیمتهای واحد تیپ برای‌کارهای‌تاسیسات حرارتی وتهویه‌مطبوع	۳۹	۱۳۵۳		فاقد اعتبار
۴۰	مشخصات فنی عمومی درو پنجره	۴۰	۱۳۵۳	-	فاقد اعتبار
۴۱	مشخصات فنی عمومی شیشه‌کاری در ساختمان	۴۱	۱۳۵۳	-	فاقد اعتبار
۴۲	مشخصات فنی عمومی کاشی‌کاری و کف‌پوش در ساختمان	۴۲	۱۳۵۳	-	فاقد اعتبار
۴۳	تجزیه و تحلیل هزینه کارهای ساختمانی و راهسازی (بخش کاشی کاری، سرامیک کاری، فرش‌کف و عایق‌کاری)	۴۳	۱۳۵۳	-	
۴۴	استاندارد پیشنهادی لوله‌های سخت پی.وی.سی در لوله‌کشی آب آشامیدنی	۴۴	۱۳۵۴		
۴۵	استاندارد پیشنهادی لوله‌های سخت پی.وی.سی در مصارف صنعتی	۴۵	۱۳۵۴		
۴۶	زلزله ۱۶ اسفند ۱۳۵۳ (سرخون بندرعباس)	۴۶	۱۳۵۴		
۴۷	استانداردپیشنهادی‌اتصالهای‌لوله‌های‌تحت‌فشارپی.وی.سی	۴۷	۱۳۵۴		
۴۸	مشخصات فنی عمومی راههای فرعی درجه یک و دو	۴۸	۱۳۵۴		فاقد اعتبار
۴۹	بحثی پیرامون فضا در ساختمانهای اداری	۴۹	۱۳۵۴		
۵۰	گزارش شماره ۱ مربوط به نمودارهای شتاب نگار در ایران	۵۰	۱۳۵۴		
۵۱	مشخصات فنی عمومی کارهای نصب ورقهای پوششی سقف	۵۱	۱۳۵۴		فاقد اعتبار
۵۲	شرح قیمتهای واحد تیپ برای کارهای تاسیسات برق	۵۲	۱۳۵۴		فاقد اعتبار
۵۳	زلزله‌های سال ۱۹۷۰ کشور ایران	۵۳	۱۳۵۴		
۵۴	راهنمای‌طرح‌واجرای‌عملیات‌نصب‌لوله‌های‌سخت پی.وی.سی در لوله‌کشی آب سرد	۵۴	۱۳۵۴		

فهرست نشریات دفتر تحقیقات و معیارهای فنّی

شماره ردیف	عنوان نشریه	شماره نشریه	تاریخ انتشار: چاپ اوّل	تاریخ انتشار: چاپ آخر	ملاحظات
۵۵	مشخصات فنی عمومی کارهای ساختمانی (تجدید نظر اول)	۵۵	۱۳۵۴	۱۳۷۴	تجدید نظر اوّل: چاپ دوّم
۵۶	راهنمای طرح و اجرای عملیات نصب لوله‌های سخت پی.وی.سی	۵۶	۱۳۵۴		
۵۷	شرایط لازم برای طرح و محاسبه ساختمانهای بتن‌آرمه	۵۷	۱۳۵۴		
۵۸	گزارش شماره ۲ مربوط به نمودارهای شتاب‌نگار در ایران	۵۸	۱۳۵۴		
۵۹	شرح قیمتهای واحد تیپ برای خطوط انتقال آب	۵۹	۱۳۵۴		فاقد اعتبار
۶۰	شرح قیمتهای واحد تیپ برای شبکه توزیع آب	۶۰	۱۳۵۵		
۶۱	طرح و محاسبه قابهای شیبدار و قوسی فلزی	۶۱	۱۳۵۵		
۶۲	نگرشی برکارکرد و نارسائیهای کوی نهم آبان	۶۲	۱۳۵۵		
۶۳	زلزله‌های سال ۱۹۶۹ کشور ایران	۶۳	۱۳۵۵		
۶۴	مشخصات فنی عمومی درزهای انبساط	۶۴	۱۳۵۵		فاقد اعتبار
۶۵	نقاشی ساختمانها (آئین کاربرد)	۶۵	۱۳۵۵		فاقد اعتبار
۶۶	تحلیلی برروند دگرگونیهای سکونت در شهرها	۶۶	۱۳۵۵		فاقد اعتبار
۶۷	راهنمائی برای اجرای ساختمان بناهای اداری	۶۷	۱۳۵۵		
۶۸	ضوابط تجزیه و تحلیل قیمتهای واحد اقلام مربوط به خطوط انتقال آب	۶۸	۱۳۵۶		
۶۹	زلزله‌های سال ۱۹۶۸ کشور ایران	۶۹	۱۳۵۶		
۷۰	مجموعه مقالات سمینار سنتو (پیشرفتهای اخیر در کاهش خطرات زلزله، تهران ۲۳-۲۵ آبانماه ۱۳۵۵)	۷۰	۱۳۵۶		
۷۱	محافظت ابنیه فنی آهنی و فولادی در مقابل خورندگی	۷۱	۱۳۵۶		
۷۲	راهنمائی برای تجزیه قیمتهای واحد کارهای تاسیساتی	۷۲	۱۳۵۶		
۷۳	تجزیه و تحلیل هزینه کارهای ساختمانی و راهسازی (بخش عملیات خاکی با وسایل مکانیکی)	۷۳	۱۳۵۶		
۷۴	ضوابطی برای طرح و اجرای ساختمانهای فولادی (براساس آئین نامه AISC)	۷۴	۱۳۵۶		
۷۵	برنامه کامپیوتری مربوط به آنالیز قیمت کارهای ساختمانی وراهسازی	۷۵	۱۳۵۶		
۷۶	مجموعه راهنمای تجزیه‌واحدقیمتهای‌واحدکارهای‌ساختمانی و راهسازی(قسمت‌اول)	۷۶	۱۳۵۶		
۷۷	زلزله ۴ مارس ۱۹۷۷ کشور رومانی	۷۷	۱۳۵۶		
۷۸	راهنمای طرح ساختمانهای فولادی	۷۸	۱۳۵۷	۱۳۶۲	
۷۹	شرح خدمات نقشه‌برداری	۷۹	۱۳۶۰	۱۳۶۴	
۸۰	راهنمای ایجاد بناهای کوچک در مناطق زلزله‌خیز	۸۰	۱۳۶۰		
۸۱	سیستم گازهای طبی دربیمارستانها ـ محاسبات و اجرا	۸۱	۱۳۶۱		

فهرست نشریات دفتر تحقیقات و معیارهای فنّی

شماره ردیف	عنوان نشریه	شماره نشریه	تاریخ انتشار		ملاحظات
			چاپ اوّل	چاپ آخر	
۸۲	راهنمای اجرای سقفهای تیرچه و بلوک	۸۲	۱۳۶۲	۱۳۷۵	ویرایش سوّم: چاپ دوّم
۸۳	نقشه‌های تیپ پلها و آبروها تا دهانه ۸ متر	۸۳	۱۳۶۶	۱۳۷۳	
۸۴	طراحی مسکن برای اشخاص دارای معلولیت (باصندلی چرخدار)	۸۴	۱۳۶۳		
۸۵	معیارهای طرح هندسی راههای اصلی و فرعی	۸۵	۱۳۶۵		
۸۶	معیارهای طرح هندسی راههای روستائی	۸۶	۱۳۶۴		
۸۷	معیارهای طرح هندسی تقاطع‌ها	۸۷	۱۳۶۷		
۸۸	چکیده‌ای از طرح هندسی راهها و تقاطع‌ها	۸۸	۱۳۶۴		
۸۹	مشخصات فنی تاسیسات برق بیمارستان	۸۹	۱۳۶۹	۱۳۷۳	
۹۰	دیوارهای سنگی	۹۰	۱۳۶۳		
۹۱	الفبای کالبد خانه سنتی (یزد)	۹۱	۱۳۶۴		
۹۲	جزئیات معماری ساختمانهای آجری	۹۲	۱۳۶۳	۱۳۷۳	
۹۳	گزارش فنی (ساختمان مرکز بهداشت قم)	۹۳	۱۳۶۳		
۹۴	تیرچه‌های پیش‌ساخته خرپائی (مشخصات فنی، روش طرح و محاسبه، به انضمام جدولهای محاسبه تیرچه‌ها)	۹۴	۱۳۶۶	۱۳۶۷	
۹۵	مشخصات فنی نقشه‌برداری	۹۵	۱۳۶۸		
۹۶	جداول طراحی ساختمانهای بتن فولادی به‌روش حالت حدی	۹۶	۱۳۶۵		
۹۷	ضوابط طراحی فضاهای آموزشگاههای فنی حرفه‌ای (جلداوّل، کارگاههای مربوط به رشته ساختمان)	۹۷	۱۳۶۵		
۹۸	ضریب‌ها و جدولهای تبدیل واحدها و مقیاسها	۹۸	۱۳۶۶	۱۳۶۷	
۹۹	وسایل کنترل ترافیک	۹۹	۱۳۷۰		
۱۰۰	بلوک بتنی و کاربرد آن در دیوار	۱۰۰	۱۳۶۸		
۱۰۱	مشخصات فنی عمومی راه	۱۰۱	۱۳۶۴	۱۳۷۵	چاپ سوّم
۱۰۲	مجموعه نقشه‌های تیپ تابلیه پلها (پیش ساخته، پیش تنیده، درجا) تا دهانه ۲۰ متر	۱۰۲	۱۳۶۶	۱۳۷۳	
۱۰۳	ضوابط و معیارهای فنی شبکه‌های آبیاری و زهکشی (منابع آب و خاک ونحوه بهره‌برداری در گذشته و حال)	۱۰۳	۱۳۶۷	۱۳۷۳	
۱۰۴	ضوابط و معیارهای فنی شبکه‌های آبیاری و زهکشی (هیدرولیک کانالها و مجاری)	۱۰۴	۱۳۶۷	۱۳۷۳	
۱۰۵	ضوابط و معیارهای فنی شبکه‌های آبیاری و زهکشی (هیدرولیک لوله‌ها و مجاری)	۱۰۵	۱۳۶۷	۱۳۷۳	
۱۰۶	ضوابط و معیارهای فنی شبکه‌های آبیاری و زهکشی (اندازه گیرهای جریان)	۱۰۶	۱۳۶۷	۱۳۷۳	
۱۰۷	ضوابط و معیارهای فنی شبکه‌های آبیاری و زهکشی (نقشه‌های تیپ)	۱۰۷	۱۳۶۸	۱۳۷۳	

فهرست نشریات دفتر تحقیقات و معیارهای فنّی

شماره ردیف	عنوان نشریه	شماره نشریه	تاریخ انتشار: چاپ اوّل	تاریخ انتشار: چاپ آخر	ملاحظات
۱۰۸	ضوابط و معیارهای فنی شبکه‌های آبیاری و زهکشی				
	(مشخصات فنی عمومی)	۱۰۸	۱۳۶۸	۱۳۷۳	
۱۰۹	ضوابط و معیارهای فنی شبکه‌های آبیاری وزهکشی(خدمات				
	فنی دوران بهره‌برداری و نگهداری)	۱۰۹	۱۳۶۸	۱۳۷۳	
۱۱۰	مشخصات فنی عمومی واجرائی تاسیسات برقی ساختمان	۱۱۰	۱۳۷۱	۱۳۷۵	چاپ سوّم
۱۱۱	محافظت ساختمان در برابر حریق (بخش اوّل)	۱۱۱	۱۳۶۷	۱۳۷۳	
۱۱۲	محافظت ساختمان در برابر حریق (بخش دوّم)	۱۱۲	۱۳۷۱	۱۳۷۳	
۱۱۳	کتابنامه تونل و تونل سازی	۱۱۳	۱۳۶۸		
۱۱۴	کتابنامه بندر	۱۱۴	۱۳۶۸		
۱۱۵	مشخصات فنی عمومی ساختمانهای گوسفندداری	۱۱۵	۱۳۷۱		
۱۱۶	استاندارد کیفیت آب آشامیدنی	۱۱۶	۱۳۷۱		
۱۱۷	مبانی و ضوابط طراحی طرحهای آبرسانی شهری	۱۱۷	۱۳۷۱		
۱۱۸	مبانی و ضوابط طراحی شبکه‌های جمع‌آوری آبهای سطحی				
	وفاضلاب شهری	۱۱۸	۱۳۷۱		
۱۱۹	دستورالعمل‌های تیپ نقشه‌برداری (مجموعه‌ای شامل ۴ جلد)	۱۱۹	۱۳۷۱		
۱۲۰	آئین‌نامه بتن ایران "آبا" (بخش اوّل)	۱۲۰	۱۳۷۰	۱۳۷۵	ویرایش دوّم
	آئین‌نامه بتن ایران "آبا" (بخش دوّم)	۱۲۰	۱۳۷۲	۱۳۷۵	چاپ سوّم
۱۲۱	ضوابط فنی بررسی و تصویب طرحهای تصفیه آب شهری	۱۲۱	۱۳۷۱		
۱۲۲	مجموعه نقشه‌های تیپ اجرایی ساختمانهای گوسفندداری	۱۲۲	۱۳۷۱		
۱۲۳	ضوابط و معیارهای طرح و محاسبه مخازن آب زمینی	۱۲۳	۱۳۷۴		ویرایش دوّم
۱۲۴	مشخصات فنی عمومی مخازن آب زمینی	۱۲۴	۱۳۷۲		
۱۲۵	مجموعه نقشه‌های تیپ اجرایی مخازن آب زمینی	۱۲۵	۱۳۷۳		
۱۲۶	فهرست مقادیر و آحادبهای مخازن آب زمینی	۱۲۶			زیر چاپ
۱۲۷	آزمایشهای تیپ مکانیک خاک (شناسایی وطبقه‌بندی خاک)	۱۲۷	۱۳۷۲		
۱۲۸	مشخصات فنی عمومی تاسیسات مکانیکی ساختمانها:				
	تاسیسات گرمائی، تعویض هوا و تهویه مطبوع (بخش دوّم)	۱۲۸	۱۳۷۲		
	تاسیسات بهداشتی (بخش سوّم)	۱۲۸	۱۳۷۴		
۱۲۹	ضوابط فنی بررسی و تصویب طرحهای تصفیه فاضلاب				
	شهری	۱۲۹-۳	۱۳۷۲		
۱۳۰	گزارش و آمار روزانه بهره‌برداری ازتصفیه‌خانه‌های آب	۱۳۰-۳	۱۳۷۳		
۱۳۱	راهنمای طرح،اجرا وبهره‌برداری راههای جنگلی	۱۳۱			
۱۳۲	موازین فنی ورزشگاههای کشور(مجموعه‌ای شامل ۴ جلد)	۱۳۲	۱۳۷۴		
۱۳۳	راهنمای نگهداری وتعمیرات تصفیه‌خانه‌های آب و حفاظت و				
	ایمنی تاسیسات	۱۳۳	۱۳۷۴		
۱۳۴	نیروی انسانی در تصفیه‌خانه‌های آب و مراقبت بهداشتی و				
	کنترل سلامت آنها	۱۳۴	۱۳۷۴		

فهرست نشریات دفتر تحقیقات و معیارهای فنّی

شماره ردیف	عنوان نشریه	شماره نشریه	تاریخ انتشار: چاپ اوّل	تاریخ انتشار: چاپ آخر	ملاحظات
۱۳۵	سه مقاله از آقای مهندس مگردیچیان در یک مجلد	۱۳۵	۱۳۷۴		
۱۳۶	طرح جامع مصالح ساختمانی کشور	۱۳۶	-		در دست اقدام
۱۳۷	راهنمای بهره‌برداری و نگهداری از مخازن آب	۱۳۷	۱۳۷۴		
۱۳۸	مهندسی نگهداری ساختمان و تاسیسات	۱۳۸	۱۳۷۴		
۱۳۹	آئین نامه بارگذاری پلها	۱۳۹	۱۳۷۴		
۱۴۰-۱	نقشه‌های تیپ کلینیک و آزمایشگاه درجه یک دامپزشکی	۱۴۰-۱			در دست اقدام
۱۴۰-۲	نقشه‌های تیپ کلینیک و آزمایشگاه درجه دو دامپزشکی	۱۴۰-۲			در دست اقدام
۱۴۰-۳	نقشه‌های تیپ کلینیک مستقل دامپزشکی	۱۴۰-۳			در دست اقدام
۱۴۱	راهنمای طراحی کارگاههای پرورش ماهی‌های گرم آبی	۱۴۱	۱۳۷۵		
۱۴۲	ضوابط طراحی کارگاههای پرورش ماهی‌های گرم آبی	۱۴۲	۱۳۷۵		
۱۴۳	برنامه‌ریزی و طراحی هتل	۱۴۳	۱۳۷۵		
۱۴۴-۱	تسهیلات پیاده‌روی، مبانی فنّی	۱۴۴-۱	۱۳۷۵		
۱۴۴-۲	تسهیلات پیاده‌روی (توصیه‌ها و معیارهای فنّی)	۱۴۴-۲	۱۳۷۵		
۱۴۵-۱	تقاطع‌های هم‌سطح، مبانی فنّی (برنامه‌ریزی، طـــرّاحی و مدیریت)	۱۴۵-۱			در دست‌اقدام
۱۴۵-۲	تقاطع‌های هم‌سطح، توصیه‌ها و معیارهای فنّی (برنامه‌ریزی، طراحی و مدیریت)	۱۴۵-۲			در دست‌اقدام
۱۴۶	آموزش ایمنی تردّد به خردسالان و نوجوانان	۱۴۶	۱۳۷۵		
۱۴۷	ضوابط طرّاحی ساختمانهای پرورش گاو شیری	۱۴۷	۱۳۷۵		
۱۴۸	دستورالعمل تهیه پروژه راههای جنگلی	۱۴۸			در دست‌اقدام
۱۴۹-۱	مقدار تابش کلّی خورشید برتراز افقی در گسترهٔ ایران (قسمت اوّل: تابش خورشید و ابر گرفتگی)	۱۴۹-۱			در دست‌اقدام
۱۵۰	ســـازهای بتنی مهنـدسی محیط‌زیست و آزمـــون آب‌بنـدی سازه‌های بتن‌آرمه	۱۵۰			
۱۵۱	نقشه‌های تیپ ساختمانهای پرورش گاوشیری در اقلیم کاملاً مناسب	۱۵۱			در دست‌اقدام
۱۵۲	راهنمای اجرای بتن در مناطق گرمسیر	۱۵۲	۱۳۷۵		
۱۵۳	دستورالعمل لایه‌بندی خاک در مطالعات زهکشی اراضی	۱۵۳	۱۳۷۵		
۱۵۴	دستورالعمل حفر و تجهیز چاهکهای مشاهده‌ای	۱۵۴	۱۳۷۵		
۱۵۵	دستورالعمل تعیین هدایت هیدرولیک خاک ـ روش چاهک	۱۵۵	۱۳۷۵		

فهرست مجموعه سخنرانیها و مقالات سمینارها و نشریات بدون شماره
دفتر تحقیقات و معیارهای فنی

شماره ردیف	عنوان نشریه	شماره نشریه	تاریخ انتشار		ملاحظات
			چاپ اوّل	چاپ آخر	
۱	مجموعه برگردان مقاله‌های برگزیده از سمینارهای بین‌المللی تونل‌سازی (تونل سازی ۸۵)	-			
۲	مجموعه سخنرانیهای دومین سمینار تونل‌سازی	-			
۳	بتن در مناطق گرمسیر (اولین سمینار بندرسازی)	-	۱۳۶۵		
۴	مجموعه مقاله‌های ارائه‌شده به چهارمین سمپوزیوم آثرودینامیک و تهویه تونلهای راه (انگلستان ۱۹۸۲)	-	۱۳۶۵		
۵	مجموعه مقاله‌های ارائه شده به کنفرانس محافظت ساختمانها در برابر حریق (۲۰-۳۰تیرماه۱۳۶۵)	-	=		
۶	مجموعه سخنرانیهای سومین سمینار تونل‌سازی	-	=		
۷	مجموعه سخنرانیهای اولین سمینار بندرسازی	-	=		
۸	توصیه‌های بین‌المللی متحدالشکل برای محاسبه و اجرای سازه‌های متشکل از پانل‌های بزرگ بهم پیوسته	-	۱۳۶۷		
۹	چهره معماری دزفول در آینه امروز	-			
۱۰	واژه‌نامه بتن (بخشی از آئین‌نامه بتن ایران)		۱۳۶۸	۱۳۷۱	
۱۱	مهندسی زلزله و تحلیل سازه‌ها در برابر زلزله	-	۱۳۶۹		
۱۲	بررسی و تهیه بتن با مقاومت بالا با استفاده از کلینگر	-	۱۳۶۸		
۱۳	مجموعه مقالات کنفرانس بین‌المللی بتن ۶۹	-	۱۳۶۹		
۱۴	مجموعه مقالات سمینار بتن ۶۷	-	۱۳۶۹		
۱۵	گزارش زلزله منجیل ۳۱ خرداد ماه ۱۳۶۹	-	۱۳۶۹		
۱۶	مجموعه مقالات اولین سمینار بین‌المللی مکانیک خاک و مهندسی پی ایران (جلدهای اول و دوم)	-	۱۳۶۹		
۱۷	مجموعه مقالات کنفرانس بین‌المللی بتن ۶۹ (پیوست)		۱۳۷۰		
۱۸	بررسی، ارزیابی و نقد طرحهای مرتع و آبخیزداری	-	۱۳۷۰		
۱۹	بررسی،ارزیابی ونقد طرحهای مرتع و آبخیزداری(جمع‌بندی و نتیجه‌گیری)	-	۱۳۷۰		
۲۰	مجموعه مقالات اولین سمینار بین‌المللی مکانیک خاک و مهندسی پی ایران (جلد سوم)	-	۱۳۷۰		
۲۱	زلزله وشکل‌پذیری سازه‌های بتن‌آرمه	-	۱۳۶۹		
۲۲	خلاصه مقالات کنفرانس بین‌المللی بتن ۷۱	-	۱۳۷۱		
۲۳	مجموعه مقالات کنفرانس بین‌المللی بتن ۷۱ (فارسی)	-	۱۳۷۱		
۲۴	مجموعه مقالات کنفرانس بین‌المللی بتن ۷۱ (انگلیسی)	-	۱۳۷۱		
۲۵	مجموعه مقالات دومین سمینار بین‌المللی مکانیک و مهندسی پی‌ایران(فارسی ـ انگلیسی)	-	۱۳۷۱		
۲۶	مقدمه‌ای بروضع موجود دامداری، تولیدات دامی، بیماری و خدمات دامپزشکی درکشور	-	۱۳۷۲		