جمهوری اسلامی ایران
سازمان برنامه و بودجه

بتن در مناطق گرمسیر

(ارائه شده در سمینار بندرسازی)

نشریه شماره ۱۸۴

معاونت امور فنی
دفتر امور فنی و تدوین معیارها

چاپ دوم
۱۳۷۸

انتشارات سازمان برنامه و بودجه ۷۲/۰۰/۷۸

فهرستبرگه

سازمان برنامه و بودجه. دفتر امور فنی و تدوین معیارها

بتن در مناطق گرمسیری (ارائه شده در سمینار بندرسازی)/ معاونت امور فنی، دفتر امور فنی و تدوین معیارها.- تهران: سازمان برنامه و بودجه، مرکز مدارک اقتصادی - اجتماعی و انتشارات، ۱۳۷۸.

۱۲۰ص.: مصور.- (سازمان برنامه و بودجه. دفتر امور فنی و تدوین معیارها؛ نشریه شماره ۱۸٤)(انتشارات سازمان برنامه و بودجه؛ ۷۲/۰۰/۷۸)

ISBN 964-425-180-6

یکبار نیز در سال ۱۳٦۵ منتشر شده است.

تهیه شده توسط اکبر هاشمی و فریدون علی پناه برای ارائه در سمینار بندرسازی، دفتر تحقیقات و معیارهای فنی، ٤-٦ بهمن ماه ۱۳٦۵.

مربوط به بخشنامه شماره ۵۴/۵۰۹۳-۵٤/٦۰۱۹-۱۰۲ مورخ ۱۳۷۸/۹/۲۷

کتابنامه: ص. ۱۲۰

۱. بتون. ۲. بتون - تأثیر آب و هوا. الف. سازمان برنامه و بودجه. مرکز مدارک اقتصادی - اجتماعی و انتشارات. ب. عنوان. ج. فروست.

ش.۱۸٤ ۲س/۳٦۸ TA

شابک ۶-۱۸۰-۴۲۵-۹۶۴ ISBN 964-425-180-6

بتن در مناطق گرمسیری (ارائه شده در سمینار بندرسازی)

تهیه کننده: معاونت امور فنی، دفتر امور فنی و تدوین معیارها

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

چاپ دوم: ۲۰۰۰ نسخه، ۱۳۷۸

قیمت: ۸۵۰۰ ریال

چاپ و صحافی: مؤسسه زحل چاپ

همه حقوق برای ناشر محفوظ است.

جمهوری اسلامی ایران
سازمان برنامه و بودجه
دفتر رئیس

تاریخ : .....
شماره : .....
پیوست : .....

بسمه تعالی

به: تمامی دستگاههای اجرایی و مشاوران	شماره: ۱۰۲/۶۰۱۹ـ۵۴/۵۰۹۳ تاریخ: ۱۳۷۸/۹/۲۷

موضوع: بتن در مناطق گرمسیر

به‌استناد ماده ۲۳ قانون برنامه و بودجه و آئین‌نامه استانداردهای اجرائی طرح‌های عمرانی به پیوست نشریه شماره ۱۸۴ دفترامورفنی وتدوین معیارهای این سازمان با عنوان "بتن در مناطق گرمسیر" از نوع گروه دوم ابلاغ می‌گردد.

تاریخ اجرای این دستورالعمل ۱۳۷۹/۲/۱ است.

دستگاههای اجرایی و مشاوران می‌توانند مفاد نشریه یاد شده و ضوابط و معیارهای مندرج در آن را ضمن تطبیق با شرایط کار خود در طرح‌های عمرانی مورد استفاده قرار دهند.

محمدعلی نجفی
معاون رییس جمهور و رییس
سازمان برنامه و بودجه

کدپستی: ۱۱۴۹۴، آدرس تلگرافی: تهران‌برنامه
تلفن ۳۳۲۱
شماره فکس: فارسی ۲۱۶۱۰۳، لاتین ۲۱۲۶۴۲

پیشگفتار چاپ دوم

همانطور که خوانندگان محترم مطلع هستند چاپ اول نشریه حاضر در سال ۱۳۶۵ از سوی سازمان برنامه و بودجه منتشر شد. در این فاصله نهادهای قانونی مسئول، دانشگاه‌ها و کارشناسان محقق در داخل و خارج از کشور مطالعات وسیع و گسترده‌ای را در ارتباط با ویژگی‌های بتن و مصالح متشکله آن انجام داده‌اند که نتایج مطالعات به شکل‌های مختلف چاپ و منتشر شده است، از این میان جزوه‌هایی که حاصل کار محققان در مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن است، آیین‌نامه بتن ایران، نشریه شماره ۱۵۲ دفتر امور فنی و تدوین معیارهای سازمان برنامه و بودجه و مجموعه مقالات چند کنفرانس که در کشورهای منطقه خلیج فارس طی دهه گذشته بر پا شده، قابل ذکر است. در آیین‌نامه‌های معتبر بین‌المللی نیز بلحاظ اهمیت موضوع بخشهایی به بحث درباره ویژگیهای بتن در مناطق گرمسیر اختصاص یافته است.

با این وجود از آنجا که نشریه حاضر در بردارنده اعداد و ارقامی بعنوان راهنماست و دستورالعمل‌های اجرایی معینی را مورد تاکید قرار داده، با گذشت بیش از ۱۵ سال از تهیه مطالب آن، همچنان جذابیت و کارآیی خود را حفظ نموده و تقاضای تجدید چاپ آن از طرق مختلف مطرح شده است.

در بازنگری‌هایی که به منظور آماده‌سازی نشریه برای چاپ مجدد صورت پذیرفته است تلاش شده که واژه‌های معادل فارسی تا حد امکان با موارد مندرج در واژه‌نامه بتن، که از ضمائم آیین‌نامه بتن ایران است، تطبیق داده شود.

در پایان توصیه می‌شود مطالب نشریه حاضر در کنار بخش اول آیین‌نامه بتن ایران (نشریه شماره ۱۲۰ دفتر امور فنی و تدوین معیارهای سازمان برنامه و بودجه) مورد مطالعه قرار گیرد تا کمبودهای احتمالی آن از این طریق جبران گردد.

در پایان لازم است از راهنمایی‌های آقایان دکتر فامیلی و دکتر قالیبافیان در امر بازنگری و نیز از زحمات آقای سیدعلی هاشمی که با مطالعه دقیق متن قبلی و مقابله آن با مندرجات بخش اول آیین‌نامه بتن ایران بر صحت و دقت مطالب نشریه افزودند تشکر و قدردانی نماید. این دفتر مانند همیشه از اظهارنظرها و راهنمایی‌های مفید خوانندگان استقبال می‌نماید.

آماده‌سازی و صفحه‌آرایی چاپ دوم توسط شرکت آرادسیستم صورت پذیرفته است که لازم می‌داند از ایشان نیز تشکر و قدردانی بعمل آید.

دفتر امور فنی و تدوین معیارها

زمستان ۷۸

پیشگفتار چاپ اول

مقاله "بتن در مناطق گرمسیر" که توسط آقایان سیداکبر هاشمی و فریدون علی پناه کارشناسان واحد اجرایی سازمان بنادر و کشتیرانی در اولین سمینار بندرسازی دفتر تحقیقات و معیارهای فنی وزارت برنامه و بودجه ارائه گردید، برگردان جزوه‌ای بنام concrete in hot countries است که مطالب آن با تکیه بر تجربیات اجرایی نگارندان در پروژه‌های مختلف تکمیل گردیده است. با عنایت به اینکه آثار اقلیمی و محیطی صفحات گرمسیر جنوب کشور ما بر بتن، که مصالحی مناسب برای برپایی سازه‌ها به ویژه سازه‌های دریایی است، در حال حاضر مورد توجه خاص مشاوران، پیمانکاران و دستگاه‌های اجرایی درگیر با اینگونه پروژه‌ها می‌باشد، این مقاله می‌تواند تا حدود راهگشا باشد.

با توجه به مراتب بالا، دفتر تحقیقات و معیارهای فنی بر آن شد تا این مقاله را در سطح وسیعتری منتشر نموده و در اختیار علاقه‌مندان قرار دهد.

در پایان، از زحمات آقایان هاشمی و علی پناه قدردانی و سپاسگزاری می‌شود و امید است با پشتکار بیشتر خدمات ارزنده‌تری به جامعه فنی کشور عرضه نمایند.

دفتر تحقیقات و معیارهای فنی

وزارت برنامه و بودجه

بهمن ماه ۱۳۶۵

مقدمه

از آنجا که حجم قابل توجهی از کارهای زیربنایی در کشور ما بـاید در صفحـات محـروم جنوبـی انجام پذیرد و این مناطق از جمله نواحی گرمسیر جهان محسوب می‌شوند بر آن شدیم که جزوه بتـن در کشورهای گرمسیر که با تکیه بر تجربیات حاصل از اجرای کارهای بتنی در اینگونه منـاطق برشـته تحریر درآمده به فارسی برگردانیم.

در نگارش این مقاله هـدف اصلـی تـاکید بـر بکـار بسـتن تدابـیری اسـت کـه در سـایه آن پایـایی سازه‌های بتنی ارتقا یابد.

به هر حال امید است مطالب مورد توجه صاحبنظران، علاقمندان و دسـت‌اندرکاران قـرار گرفتـه و مترجمین را در جهت تکمیل مندرجات مقاله یاری فرمایند.

در پایان باینوسیله از راهنمایی‌های جناب آقای دکتر قالیبافیان و همکاری آقای دکـتر لیتکوهـی در تکمیل مطالب و سرکار خانم صولتی در تایپ و تکثیر جزوه سپاسگزاری می‌شود.

تهران- مردادماه ۱۳۶۵

فریدون علی پناه- سیداکبر هاشمی

پیشگفتار

در حال حاضر تعداد قابل توجهی از پروژه‌های زیر بنایی در کشورهای گرمسیر در دست اجرا می‌باشند. پیمانکاران و مشاوران معروفی از کشورهای صنعتی بنوعی با اجرای این پروژه‌ها مرتبط هستند. در سالهای اخیر این نواحی بازارهای مهمی برای عرضه کالا و ارائه خدمات بوده‌اند، این مسئله در منطقه خلیج فارس و خاورمیانه از اهمیتی بسزا برخوردار است. با بررسی واقعیات مشخص می‌شود که پیمانکاران و مشاوران اهمیت و تاثیر شرایط محلی را در تهیه و ساخت بتن بخوبی درک نکرده‌اند.

تجربه نشان داده است که بدون درک صحیح و عمیق شرایط حاکم بر ساخت و تهیه بتن امکان اجرای صحیح و اقتصادی کارهای بتنی وجود ندارد.

در سایه تجربیات حاصل از اجرای سازه‌های بتنی در نواحی گرمسیر، گروهی از مشاوران و پیمانکاران اطلاعاتی با ارزش در این خصوص کسب نموده‌اند. در حال حاضر این آگاهی‌ها می‌تواند چراغی فرا راه سایر دست اندرکاران بوده به نحوی که بتنی با کیفیتی خوب و قابل قبول تهیه گردد.

از اینرو در کشور هلند کمیته‌ای به منظور رسیدگی به این امر و ارائه نظریات اصلاحی برای اجرای سازه‌های بتنی در نواحی گرمسیر تعیین گردید (STUVO) کمیته مذکور عضو انجمن بین‌المللی پیش‌تنیدگی (FIP) به شمار می‌آید.

کمیته که متشکل از کارشناسان مجربی بوده وظیفه خود را بنحو احسن انجام داده که نتایج کار عبارتست از مقالاتی در مجله هلندی "سیمان". عوامل موثر بر پایایی[1] بتن در هفت بخش مجزا مورد بررسی قرار گرفته‌اند، که عبارتند از:

- تاثیر عوامل بیرونی
- تاثیر نوع سیمان
- مناسب بودن مصالح سنگی

۱- پایا - پایدار - جاوید - با دوام

- مواد معین[1] یا چاشنی‌ها، عامل کمکی در ساخت بتن

- اجرای کارهای ساختمانی

- کنترل کیفیت و اطمینان از کیفیت

- توصیه‌ها

امید است ارائه این مطالب منجر به تهیه دقیقتر دفترچه مشخصات فنی و آنالیز بهای این گونه کارها باشد که خود می‌تواند تاثیر بسزایی در تهیه مدارک و اسناد پیمان در انطباق با شرایط محیطی واقعی بمنظور ساخت بتنی بهتر با پایایی قابل قبول، باشد.

۱- مواد معین یا چاشنی‌ها (ADMIXIURES) عبارتند از مواد شیمیایی که به مقدار کم به مخلوط اضافه می‌شوند و در توزین و تعیین نسبت‌های اختلاط به حساب نمی‌آیند.

فهرست عناوین

عنوان	صفحه
۱- تاثیر عوامل بیرونی بر پایایی بتن	**۱۵**
۱-۱- مقدمه	۱۵
۱-۲- درجه حرارت و رطوبت در نواحی گرمسیر	۱۵
۱-۳- تاثیر آب و هوا در ساخت بتن	۱۸
۱-۴- تاثیر درجه حرارت بر روند تخریب بتن سخت شده	۲۱
۱-۵- تاثیر رطوبت بر روند تخریب بتن سخت شده	۲۳
۱-۶- آبهای مجاور سازه	۲۵
۱-۷- حملات زیستی (بیولوژیکی)	۲۵
۱-۸- سایش و فرسایش	۲۶
۱-۹- نتیجه	۲۶
۲- تاثیر نوع سیمان بر پایایی بتن	**۲۷**
۲-۱- مقدمه	۲۷
۲-۲- مسئله پایایی بتن در ارتباط با نوع سیمان	۲۷
۲-۳- خوردگی آرماتور در اثر نفوذ کلرورها	۲۸
۲-۴- حمله سولفات‌ها	۳۱
۲-۵- تاثیر قلیایی‌های موجود در سیمان بر مصالح سنگی	۳۳
۲-۶- تغییر شکل‌های حرارتی	۳۶
۲-۷- انبار کردن سیمان	۳۷
۲-۸- نتایج و توصیه‌ها	۳۷
۳- مناسب بودن مصالح سنگی	**۴۱**
۳-۱- مقدمه	۴۱
۳-۲- انواع سنگ	۴۱
۳-۳- سنگ‌های سیلیسی فعال در قبال قلیایی‌ها	۴۳
۳-۴- سنگ‌های کربناتی فعال در قبال قلیایی‌ها	۴۷
۳-۵- آلودگی ناشی از نمک‌ها	۴۸
۳-۵-۱- مصالح سنگی درشت دانه	۴۸
۳-۵-۲- مصالح سنگی ریزدانه	۴۹
۳-۶- آلودگی ناشی از وجود رس، میکا (طلق) و گرد و غبار	۴۹

فهرست عناوین

عنوان	صفحه
۳-۷- دانه‌بندی و شکل دانه‌ها	۵۰
۳-۷-۱- مصالح سنگی درشت دانه	۵۰
۳-۷-۲- مصالح سنگی ریزدانه	۵۰
۳-۸- سایر عوامل موثر بر پایایی بتن	۵۱
۳-۹- نتایج، الزامات و چاره‌جوییها	۵۳
۴- مواد افزودنی یا چاشنی‌ها، عامل کمکی در ساخت بتن	**۵۵**
۴-۱- مقدمه	۵۵
۴-۲- قوانین بین‌المللی و توصیه‌ها	۵۵
۴-۳- ترکیب بتن و مواد افزودنی	۵۸
۴-۴- تغییرات کیفیت بتن در ارتباط با نوع سیمان	۶۰
۴-۵- تغییرات حرارت	۶۱
۴-۶- تغییرات نسبت آب به سیمان	۶۲
۴-۷- مواد افزودنی، عامل کمکی در ساخت بتن	۶۲
۴-۸- تجربیات	۶۴
۴-۸-۱- پل شط‌العرب در عراق	۶۴
۴-۸-۲- واحدهای مسکونی در عربستان سعودی	۶۵
۴-۸-۳- دیوارهای پیش‌ساخته در عربستان سعودی	۶۷
۴-۸-۴- دیوارهای اسکله بندر شهید رجایی در ایران	۶۹
۴-۸-۵- راه ارتباطی بحرین- عربستان سعودی	۷۰
۴-۹- نتایج	۷۱
۵- اجرای کار	**۷۳**
۵-۱- مقدمه	۷۳
۵-۲- پروژه	۷۳
۵-۳- مناقصه	۷۴
۵-۴- پیمان	۷۶
۵-۵- اوضاع محیطی و شرایط کاری	۷۶
۵-۶- دستگاه‌ها و ماشین‌آلات	۷۶
۵-۷- مصالح	۷۷

فهرست عناوین

عنوان | صفحه

۵-۷-۱- سیمان ۷۷
۵-۷-۲- مصالح سنگی ۷۸
۵-۷-۳- آب ۷۹
۵-۷-۴- فولاد ۷۹
۵-۸- ساخت یا تولید بتن ۸۱
۵-۸-۱- آب ۸۳
۵-۸-۲- شن و ماسه ۸۳
۵-۸-۳- سیمان ۸۴
۵-۸-۴- دستگاه‌ها و ماشین‌آلات ۸۴
۵-۸-۵- سایر نکات ۸۵
۵-۸-۶- رفتار یا نحوه عمل فولاد ۸۶
۵-۸-۷- قالب‌بندی ۸۶
۵-۹- تولید بتن در نواحی دورافتاده با امکانات محدود ۸۷
۵-۱۰- عمل آوردن (مراقبت) بتن ۸۷
۵-۱۱- نتایج ۸۹

۶- اطمینان از کیفیت ۹۱
۶-۱- مقدمه ۹۱
۶-۲- کنترل کیفیت یا اطمینان از کیفیت ۹۴
۶-۳- کنترل کیفیت در دوره ساختمان ۹۴
۶-۴- تهیه یک پروژه ساختمانی ۹۵
۶-۵- تعیین عوامل مشخص کننده کیفیت ۹۶
۶-۶- انتخاب مصالح ۹۸
۶-۷- شروع یک کار ساختمانی ۹۸
۶-۸- کنترل‌های متداول ۱۰۲
۶-۹- ارزیابی‌های فنی ادواری ۱۰۳
۶-۱۰- عوامل فنی در رابطه با تحویل ۱۰۴
۶-۱۱- لزوم تبادل اطلاعات بین دفتر مرکزی و کارگاه ۱۰۴
۶-۱۲- نتایج ۱۰۶

فهرست عناوین

عنوان	صفحه
۷- توصیه‌ها	۱۰۷
۷-۱- مقدمه	۱۰۷
۷-۲- سیمان	۱۰۸
۷-۳- مصالح سنگی	۱۱۱
۷-۴- آب	۱۱۳
۷-۵- ترکیب بتن (نسبت‌های اختلاط)	۱۱۴
۷-۶- تهیه بتن و بتن‌ریزی	۱۱۵
۷-۷- عمل آوردن بتن	۱۱۶
۷-۸- فولاد	۱۱۷
۷-۸-۱- فولاد با پوششهای اپوکسی	۱۱۸
۷-۸-۲- فولاد آبکاری شده (گالوانیزه)	۱۱۸
۷-۸-۳- فولاد ضد زنگ	۱۱۸
۷-۹- پوشش بتن	۱۱۹
۷-۱۰- جزئیات	۱۱۹
۷-۱۱- فهرست مراجع	۱۲۰

۱ تاثیر عوامل بیرونی بر پایایی بتن

۱-۱ مقدمه

ساخت بتن پایا در کشورهای گرمسیر در قیاس با شرایط گرمایی کشورهای اروپایی معمولاً دارای مساتل بیشتری است. تجربیات سالهای اخیر در این زمینه هشداردهنده است. مواردی از خرابیهای جدی که در پنجسال اخیر مشاهده شده‌اند استثنایی نمی‌باشند، این بدین معنی است که اشکالات کلی نیازمند بررسی‌های ویژه است و بعنوان استثنا نباید به سادگی از کنار آن گذشت.

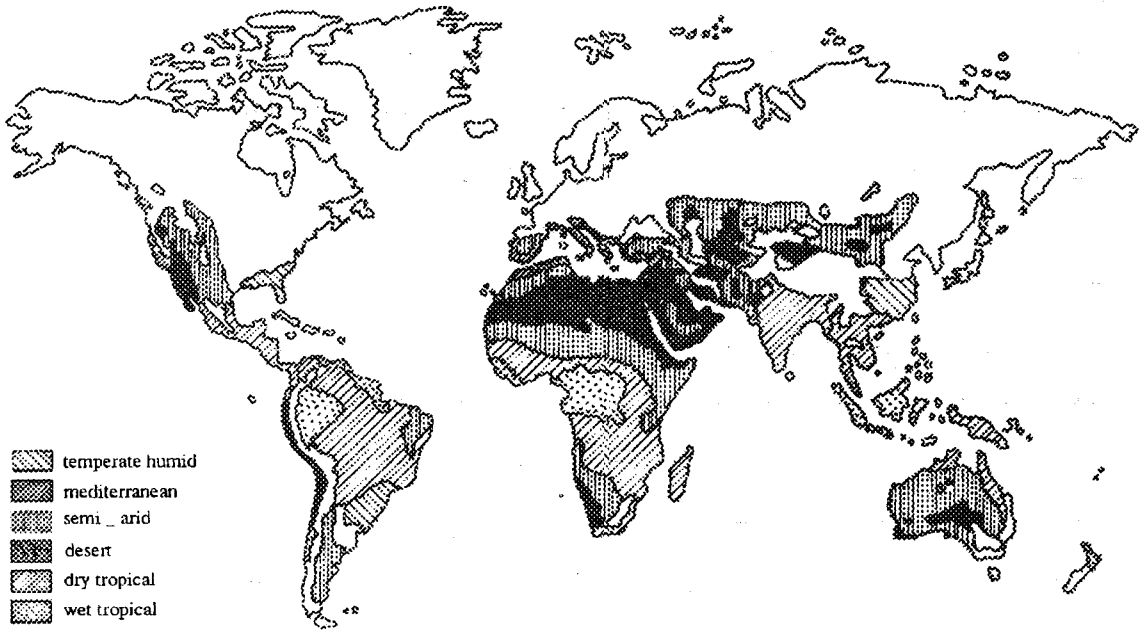
علل این قبیل خرابیها که اغلب با آن مواجه هستیم در قیاس با شرایط اروپا به شرح جدول ۱-۱- است. در این جدول عوامل بیرونی و درونی از یکدیگر متمایز شده‌اند. در این فصل عوامل بیرونی مورد بررسی واقع شده و در فصل‌های بعد عوامل درونی مور ارزیابی قرار گرفته‌اند.

داشتن تصوری صحیح از این آثار ما را قادر به تهیه مصالحی مناسب برای ساخت بتنی با کیفیت مرغوب می‌سازد. در این فصل فقط عواملی مورد بحث قرار گرفته‌اند که به نظر نگارنده خاص مناطق گرمسیر بوده است.

۱-۲ درجه حرارت و رطوبت در نواحی گرمسیر

در شکل ۱-۱- در طرفین خط استوا دو نوع آب و هوای متفاوت گرم و مرطوب و خشک نشان داده شده است. در آب و هوای نوع اول ریزش باران بیش از تبخیر آن و در مورد آب و هوای نوع دوم قضیه برعکس است. بین شرایط آب و هوایی فوق حالات مختلف دیگری نظیر نواحی معتدل، نواحی خشک و ... وجود دارد. از نظر متوسط درجه حرارت سالانه تفاوت زیادی بین نواحی گرم و مرطوب و گرم و خشک وجود ندارد. در نواحی گرم و خشک تغییرات درجه حرارت شبانه روز ممکن است به ۲۵ تا ۳۵ درجه سانتیگراد برسد حال آنکه تغییرات درجه حرارت در شبانه‌روز در نواحی گرم و مرطوب به نسبت پایین است. در اقلیم‌های گرم و مرطوب متوسط درصد رطوبت بسیار بالا بوده و در نواحی گرم وخشک درصد رطوبت متوسط خیلی پایین است، گر چه میزان رطوبت در سال دستخوش تغییرات بزرگی می‌باشد. به علاوه در نواحی گرم و خشک اختلاف‌های قابل ملاحظه‌ای بین رطوبت نسبی نواحی ساحلی و غیر ساحلی وجود دارد. در شکل‌های ۱-۲- الف و ۱-۲-ب تغییرات درجه حرارت و رطوبت نسبی شهرهای دهران و ریاض که یکی در ساحل خلیج فارس و دیگری در داخل خاک عربستان

قرار دارد، نشان داده شده است.

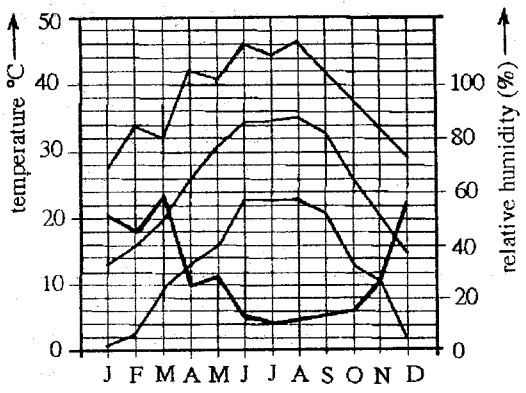


شکل ۱-۱

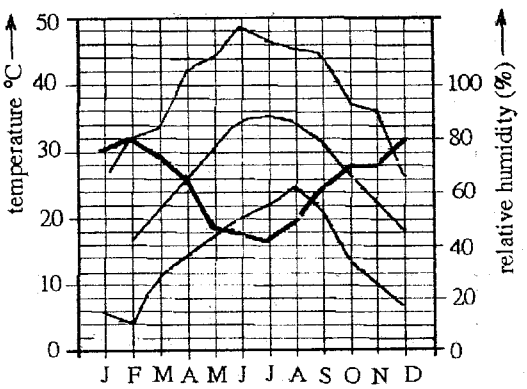
جدول شماره ۱-۱- دلایل خرابی سریع ساختمانهای بتنی در کشورهای گرمسیر

عوامل موثر			تاثیر بر بتن
عوامل بیرونی		درجه حرارت زیاد وکاهش و افزایش متناوب میزان رطوبت	- کاهش قابلیت کاربرد بتن هنگام بتن‌ریزی - ترک ناشی از جمع‌شدن در اثر خشک شدن - نفوذ سریع یون‌های خورنده حاصل از کلرورها، سولفات‌ها، اسید کربنیک و ... - آغاز سریع خوردگی و افزایش سرعت آن
		آب موجود در اطراف بتن، آب زیرزمینی، آب دریا و آب‌های نرم*	- آغاز خوردگی توسط یون کلر - خرابی سطح به علت رسوب نمک‌های منبسط شونده - شسته شدن عمقی بتن بوسیله آبهای نرم در نواحی گرم و مرطوب
		حملات بیوشیمیایی ناشی ازوجود نرم تنان روی سازه‌های دریایی	- کاهش پوشش موثر بتن روی میلگردها - آغاز سریعتر خوردگی به واسطه یون کلر
		طوفان ماسه	- سایش - ترک
عوامل درونی	انتخاب مصالح	سیمان پرتلند ضد سولفات	- مقاومت کم در قبال نفوذ یون کلر
		شن و ماسه متخلخل	- کاهش قابلیت کاربرد بتن هنگام بتن ریزی - نفوذ بیشتر یون‌های خورنده - افزایش میزان جمع شدن در اثر خشک شدن و خزش بتن - پایداری شکل کم در اثر خرابی سریع سطح بتن ناشی از رسوب نمک‌ها
		مصالح سنگی غبارآلود	- افزایش مقدار آب مورد نیاز که نتیجه آن عبارت است از: افزایش میزان جمع‌شدگی در اثر خشک شدن، افزایش میزان خزش ، کم بودن مقاومت و نفوذپذیری زیاد
		شن و ماسه حاوی کلرور و سولفات	- آغاز خوردگی در اثر یون کلر - خرابی سطوح در اثر رسوب نمک‌های منبسط شونده
		شن و ماسه تیزگوشه و یکنواخت	- از دست رفتن شیره بتن - جمع شدن در اثر خشک شدن (پلاستیکی) - نیاز به آب فراوان که نتیجه آن تخلخل بیشتر بتن است
		مصالح سنگی حساس در قبال قلیایی‌ها	- ترک و طبله کردن و در نتیجه کاهش پوشش موثر فولاد
	خطاهای اجرایی	انبار کردن ناصحیح مصالح	- چنانچه فولاد قبل از مصرف در معرض رسوب املاح قرار گیرد پس از جاگذاری آن در بتن علاوه بر خورده شدن فولاد، املاح خود را به سطح بتن رسانده موجب بروز خرابی می‌شوند.
		تراکم نامناسب	- وجود حفره‌ها و فضاهای خالی که موجب نفوذ سریعتر عوامل خورنده می‌گردد
		عمل‌آوری نامناسب	- نفوذپذیری زیاد - عمل آوردن با آب حاوی املاح که خود موجب نفوذ سریع یون کلر می‌گردد
		مسائل دیگر مانند خرابکاری در ساخت بتن	

* منظور از آبهای نرم آبهایی است که املاح موجود در آنها کمتر از املاح موجود در آب قابل شرب است.



شکل ۱-۲-الف



شکل ۱-۲-ب

۱-۳ تاثیر آب و هوا بر ساخت بتن

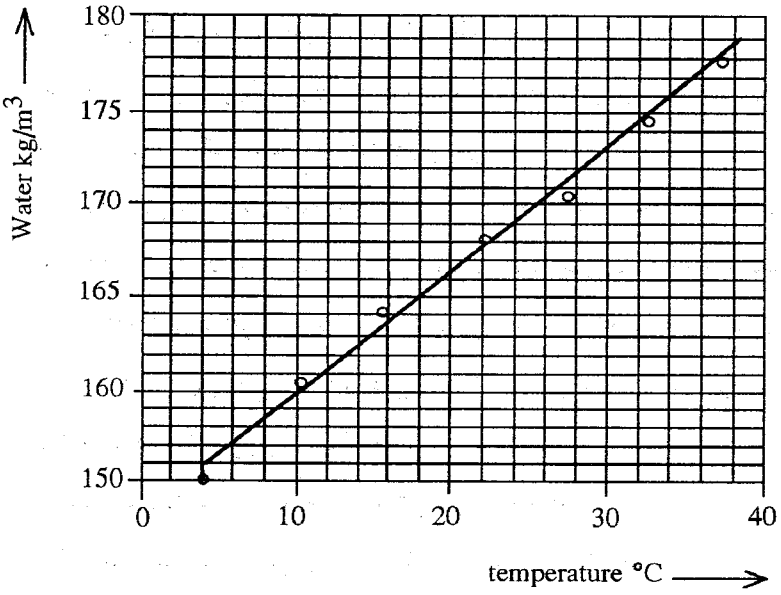
هنگامی که درجه حرارت بتن تازه بالا رود، آثار زیر بروز می‌نماید:

میزان آب مورد نیاز برای حصول قابلیت کاربرد مشخص افزایش می‌یابد. به عبارت دیگر نسبت آب به سیمان و یا سیمان بیشتری مورد نیاز خواهد بود. این موضوع در شکل ۱-۳ نشان داده شده است.

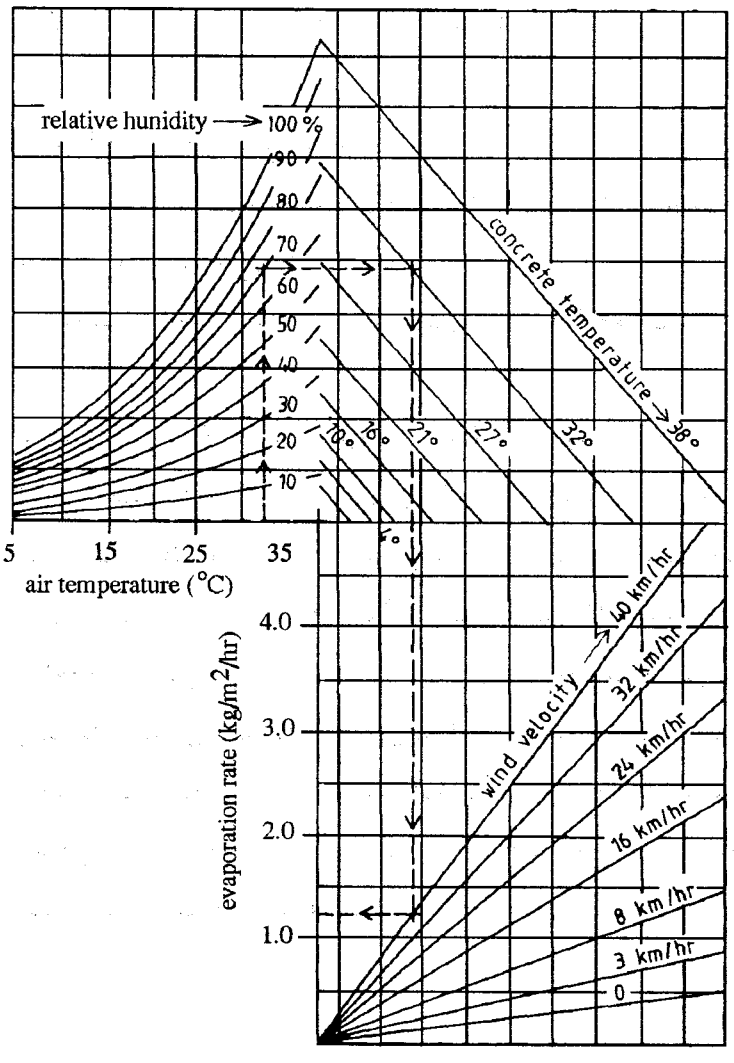
- قابلیت کاربرد بتن تازه خیلی سریع کاهش می‌یابد. نتیجه این امر بروز اشکال در قابلیت کاربرد و تراکم بتن خواهد بود، در نتیجه افزایش آب که همانا افزایش نسبت آب به سیمان است ضرورت خواهد داشت.

هر دو عامل یعنی تراکم نامناسب یا نسبت آب به سیمان بالاتر بر پایایی بتن اثر نامطلوب دارد. به علاوه اوضاع جوی بر عوامل زیر تاثیر دارد:

-احتمال ترک در سطح بتن به لحاظ جمع شدن در اثر خشک شدن، این احتمال در نواحی گرم و خشک افزایش می‌یابد. درجه حرارت بتن و هوای اطراف، رطوبت نسبی و سرعت باد از عوامل اصلی موثر بر این پدیده هستند. در نمودار ۱-۴ سرعت تبخیر آب در سطح بتن به روش ترسیمی نشان داده شده است. چنانچه سرعت از یک کیلوگرم در متر مربع در ساعت تجاوز نماید لازم است اقداماتی به منظور جلوگیری از بروز ترک به عمل آید. این امر همیشه در نواحی گرم و خشک مصداق می‌یابد.


Water kg/m3
180
175
170
165
160
150
0
10
20
30
40
temperature °C

شکل ۳-۱


relative hunidity
100 %
90
80
70
60
50
40
30
20
10
5
15
25
35
air temperature (°C)
concrete temperature
38°
32°
27°
21°
16°
10°
4°
evaporation rate (kg/m2/hr)
4.0
3.0
2.0
1.0
wind velocity
40 km/hr
32 km/hr
24 km/hr
16 km/hr
8 km/hr
3 km/hr
0

شکل ۴-۱

- بسط و انتشار درجه حرارت در اثر آبگیری سیمان

این امر موجب افزایش درجه حرارت بتن‌های تازه می‌گردد که در نتیجه آن احتمال ایجاد ترک (در اثر خشک شدن) فزونی می‌یابد.

- تشکیل لایه‌ای نرم و متخلخل در سطح بتن در نتیجه تبخیر سریع آب

اقدامات لازم برای جلوگیری از آثار مخرب پدیده‌های یاد شده عبارتند از:

- استفاده از مواد افزودنی که میزان آب مورد نیاز را کاهش می‌دهند (روان‌کننده‌ها). از آنجا که اثر این نوع مواد افزودنی زود از بین می‌رود توصیه می‌شود که از آنها بلافاصله قبل از بتن‌ریزی استفاده شود.

- پایین نگهداشتن درجه حرارت بتن تازه تا حد امکان

اغلب مشخصات فنی برای اجرای کارهای بتنی در مناطق گرمسیر حداکثر درجه حرارت بتن تازه را ۳۰ درجه سانتیگراد ذکر کرده‌اند. به این منظور استفاده از خنک‌کننده‌ها ضرورت می‌یابد. بهترین روش‌ها برای حصول این نقطه نظر عبارتند از :

- استفاده از خرده‌های یخ در بتن

- ممانعت از تابش مستقیم نور خورشید ووزش باد، از طریق پوشاندن بتن (سایبان) و نصب موانع (بادشکن).

- ممانعت از تبخیر آب برای حداقل چهارده روز یا تا حصول ۷۰ درصد مقاومت فشاری.

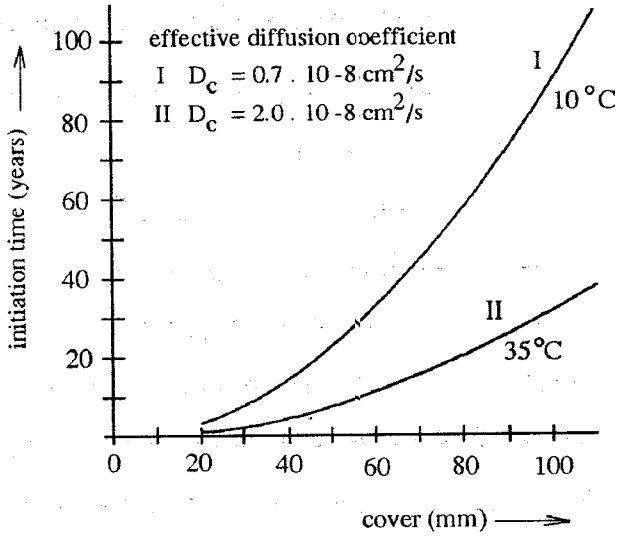
توضیح: یکی از نکات مهم در ارتباط با استفاده از سیمان در مناطق گرمسیر عبارت است از کهنه شدن سیمان در زمان انبار کردن و نگهداری سیمان. علت این امر عبارتست از تاثیر قبل از موعود آب بر سیمان، در این حالت ذرات سیمان مانند زمان جذب آب می‌شکفند، در نتیجه سرعت افزایش مقاومت فشاری به نحو قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌یابد. این تاثیر بیشتر زمانی حادث می‌گردد که سیمان در پاکت‌های کاغذی و یا بسته‌بندی‌های نفوذپذیر عرضه می‌گردد. این پدیده قبل از آنکه بر پایایی بتن اثر سوء داشته باشد بر سرعت افزایش مقاومت تاثیر دارد. بنابراین از شروط فوق (زمان چهارده روز یا ۷۰ درصد مقاومت فشاری) هر یک که بیشتر باشد ملاک عمل خواهد بود.

۱-۴ تاثیر حرارت بر روند خرابی بتن سخت شده

بالا بودن قابل توجه درجه حرارت در نواحی گرمسیر در قیاس با اروپا موجب تفاوت‌های بزرگی در شدت خوردگی بتن و فولاد می‌باشد. نفوذ عوامل خورنده از قبیل ین کلر، گاز دی اکسید کربن، ین‌های منیزیم و ین‌های سولفات در مناطق گرمسیر با سرعت بیشتری صورت می‌پذیرد. در شکل ۱-۵ تاثیر درجه حرارت محیط بر میزان نفوذ ین کلر در بتن نشان داده شده است. همانگونه که از شکل پیداست زمان لازم برای آغاز خوردگی فولاد در ۳۰ درجه سانتیگراد یک سوم زمان نظیر در ۱۰ درجه سانتیگراد است. چنانچه تحول خوردگی بنیاد گذارده شود در درجه حرارت‌های بالاتر سرعت پیشرفت آن به مراتب بیشتر خواهد بود. برای مثال با توجه به مشاهدات و اطلاعات ناکافی موجود می‌توان گفت سرعت نشر خرابی در مناطق گرمسیر دو تا سه بار بیشتر از رقم نظیر در کشور هلند خواهد بود. باید توجه داشت که سرعت خوردگی تاحدود زیادی‌بستگی به میزان‌رطوبت جسم بتن‌نیزدارد.

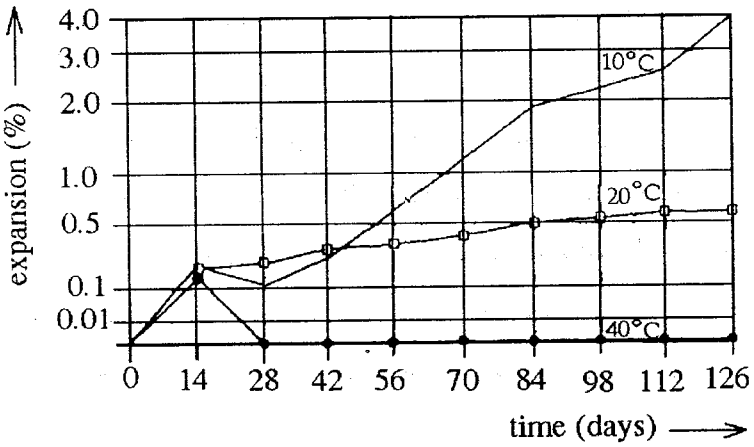
از نقطه نظر خوردگی بتن در اثر نمکهای مضاعفی نظیر[۱] Ettringite و Thaumasite آسیب‌پذیری در درجه حرارت‌های بالاتر، کمتر است و خوردگی بعلت عدم انبساط نمکهای سولفات ممکن است اصلا بروز ننماید. توجیه این امر از این قرار است که میزان حلالیت هیدروکسید کلسیم در درجه حرارت، بالا، کمتر است در حالیکه در مورد سولفات کلسیم، Ettringite و یا دیگر نمک‌های مضاعف میزان حلالیت با بالا رفتن درجه حرارت افزایش می‌یابد (به عبارت دیگر در درجه حرارت‌های پایین غلظت هیدروکسید کلسیم محلول بالاتر خواهد بود).

۱- Ettringite یا کلسیم سولفو آلومینات از املاح اسید آلومینیک (H_3AlO_3) است و فرمول شیمیایی آن عبارتست از:
$Ca_6 Al_2 (SO_4)_3 (OH)_{12}+26 H_2O$



شکل ۱-۵

بنابراین نمکهای مضاعف در حرارت‌های زیاد رسوب نموده و اثر مخرب انبساطی نخواهند داشت.

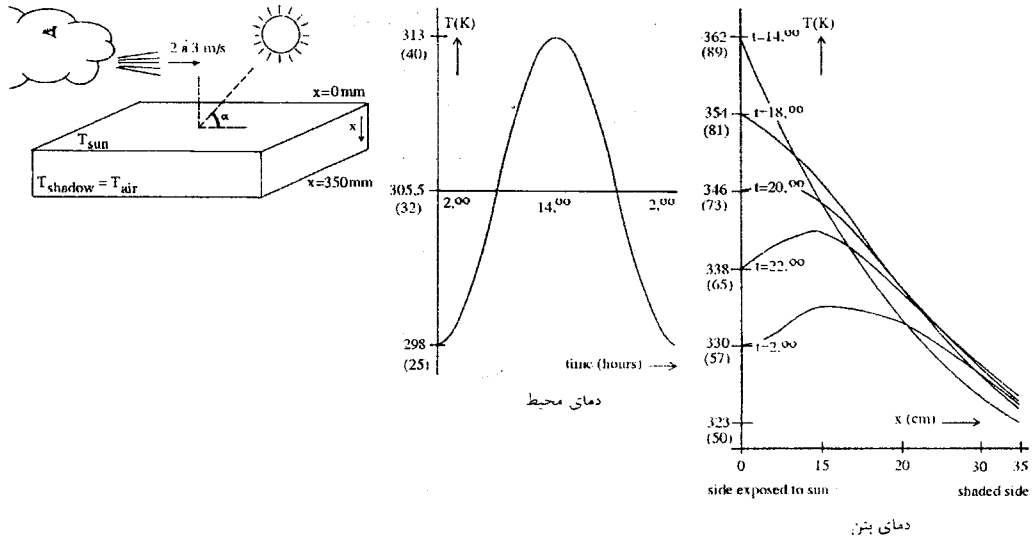


شکل ۱-۶

گر چه این نوع انبساط سولفات‌ها در کشورهای گرمسیر از اهمیت کمتری برخوردار است، استفاده از سیمان پرتلند ضد سولفات (سیمان پرتلند حاوی کمتر از ۳ درصد تری‌کلسیم آلومینات) در این ممالک فزونی یافته است. ترکیب این سیمان طوری است که مانع از تشکیل Ettringite می‌شود. متاسفانه سیمان پرتلند ضد سولفات مقاومت کمی در قبال حمله ین کلر دارد. بنابراین استفاده از این نوع سیمان در کشورهای گرمسیر نمی‌تواند راه حل موثری تلقی گردد. از آنجا که اطلاعات کافی در مورد تاثیر درجه حرارت بر دیگر عوامل مخرب نظیر شسته شدن

بتن توسط آب، جانشین شدن ین کلسیم موجود در خمیر سیمان با ین منیزیم موجود در آب دریا که منجر به انهدام خمیر سیمان سخت شده می‌گردد، در دست نیست، می‌توان فرض نمود که تحول خرابی و انهدام بتن با بالا رفتن درجه حرارت محیط تسریع می‌گردد.

تغییرات قابل ملاحظه درجه حرارت در نواحی گرم و خشک و تابش مستقیم و شدید نور خورشید ممکن است در نهایت موجب ترک خوردگی ساختمانهای بتنی گردد. شکل ۱-۷ نشان‌دهنده تنشهای کششی ایجاد شده در یک دال بتنی افقی می‌باشد. تنش‌ها بطور مشخص از مقاومت کششی بتن تجاوز می‌نمایند. در مورد تغییر شکل‌هایی که در قطعات بتنی درگیر (قطعاتی که به علت اتصال به سایر قسمت‌ها امکان تغییر شکل آزادانه از آنها سلب شده) رخ می‌دهد، بروز ترک اجتناب‌ناپذیر خواهد بود.



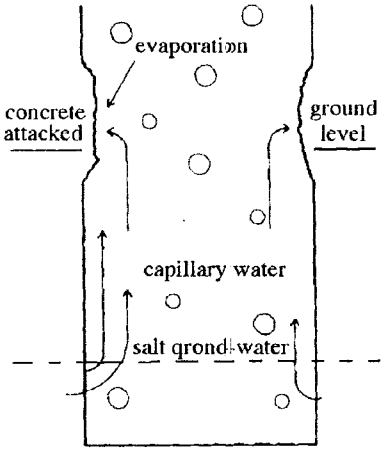
شکل ۱-۷

۱-۵ تاثیر رطوبت بر روند خرابی بتن سخت شده

رطوبت بتن از عوامل مهمی است که از جنبه‌های فیزیکی و مکانیکی بر پایایی بتن اثر می‌گذارد. تقریباً تمام عوامل مخرب بمنظور ورود در فعل و انفعالات تخریبی به آب احتیاج دارند. بدون آب بتنی وجود ندارد. اهمیت نسبت آب به سیمان و عمل‌آوری بتن از جمله مسائلی است که بر هیچ یک از متخصصین فن پوشیده نیست، لیکن وجود آب در خلل و فرج بتن عاملی است برای شکل‌گیری فعل و انفعالات شیمیایی مخرب. بتن سعی دارد به لحاظ میزان رطوبت با محیط اطراف

خود به تعادل برسد. حصول تعادل به کندی صورت می‌گیرد، از این رو تغییرات روزانه رطوبت بتن قابل ملاحظه نیست. بهنگام رویارویی با آب مثلاً در ناحیه ترشحات آب دریا و یا بهنگام بارندگی جسم بتن بسرعت خیس می‌شود. لیکن خشک شدن آن به کندی صورت گرفته و مستلزم زمان بیشتری خواهد بود و این امر امکان انجام فعل و انفعالات شیمیایی را برای زمان بیشتری فراهم می‌سازد.

در نواحی گرم و خشک نمک‌های مخرب موجود در خاک بنا به خاصیت لوله‌های موئین همراه رطوبت خود را به سطوح بتن در اطراف زمین رسانده و موجب تخریب می‌گردند. تخریب بوسیله نمک‌های مخرب در نقاطی که بتن با آب شور در تماس باشد نیز صورت می‌گیرد. این پدیده مانند شکل ۱-۸ اتفاق می‌افتد.



شکل ۱-۸

رسوب املاحی نظیر گچ و سولفات سدیم متبلور توام با انبساط است. بنابراین، این تحول مخرب هیچ ارتباطی با تشکیل Ettringite و Thaumasite ندارد. تحول تخریبی مشابهی در اثر رسوب املاح در سطح بتن در ناحیه ترشحات آب دریا در سازه‌های دریایی بروز می‌نماید.

رطوبت علاوه بر اینکه موجب خوردگی بتن می‌شود، فولاد را نیز تحت تاثیر قرار می‌دهد. حتی اگر فولاد به علت تشکیل کربنات‌ها پتانسیل خوردگی را نیز داشته باشد در صورتی که درصد رطوبت کم باشد این عمل اتفاق نمی‌افتد، زیرا مقاومت الکتریکی بتن بسیار زیاد است. مشخص شده است که درصد رطوبت لازم برای توسعه خوردگی بین ۷۰ تا ۸۵٪ درصد است. بنابر این در نواحی گرم و خشک غیر ساحلی مسئله خوردگی کمتر بروز می‌نماید اما در نواحی ساحلی به علت درصد رطوبت زیاد محیط شرایط مساعد برای بروز خوردگی فراهم است.

۱-۶ آب احاطه کننده (اطراف)

در اراضی پست نواحی گرم و خشک، خاک اغلب حاوی نمک است زیرا نمک موجود در آب زیرزمینی ممکن است بسطح زمین برسد، در نواحی ساحلی سولفات‌ها و کلرورها املاح اصلی هستند و میزان سولفات‌ها نسبت به نواحی غیر ساحلی بیشتر می‌باشد.

همانطور که قبلاً گفته شد حضور این املاح ممکن است موجب بروز خرابی سطوح بیرونی بتن در تراز سطح زمین گردند، و چنانچه کلرور بین املاح وجود داشته باشد ممکن است خوردگی فولاد آغاز شود. بطور کلی بمنظور جلوگیری از این پدیده‌ها توصیه می‌شود پی و قسمتهایی از ساختمان که در درون زمین واقع می‌شوند با لایه‌های غیر قابل نفوذ (نظیر پوشش‌های پلاستیکی یا قیراندود) پوشانیده شوند.

در مجاورت آب دریا سطح بتن تحت تاثیر یون‌های خورنده موجود در آب شسته می‌شود. سپس در اثر خورده شدن آهک حفره‌هایی در سطح بتن ظاهر می‌شود. در مورد بتن متراکم که خوب عمل آورده شده باشد این تاثیر سطحی و محدود خواهد بود. سیمان سرباره به دلیل میزان آهک کمتر و سخت‌تر بودن خمیر آن مقاومت بیشتری در مقابل حملات یاد شده دارد.

در مورد ساختمان‌های دریایی مناطق گرمسیر در قیاس با نقاط معتدل، آبهای مجاور ساختمان گرمتر و غالباً حاوی مقادیر بیشتر نمک هستند. در این نواحی گرچه غلظت نمک زیادتر است، تاثیر درجه حرارت نیز باید بعنوان عاملی جدی تلقی شود. در نواحی گرمسیر مجاورت آب شیرین و بتن ممکن است موجب شسته شدن سطح بتن گردد. معمولاً آبهای نرم دارای خاصیت خورندگی بیشتری هستند زیرا غلظت نمک‌های محلول آنها کمتر بوده و حاوی اسید کربنیک بیشتری هستند.

۱-۷ حملات زیستی (بیولوژیکی)

در نواحی گرم و مرطوب رشد جلبک‌ها و خزه‌ها روی سطوح بتن شدیدتر از نواحی معتدل است. اگر بتن از کیفیت خوبی برخوردار باشد تاثیر مخرب این قبیل روئیدنیها کمتر خواهد بود. حتی شاید در بعضی موارد بتوان گفت این روئیدنیها پایایی بتن را افزایش نیز می‌دهند، برای مثال، مصرف اکسیژن توسط این سبزینه‌ها می‌تواند سرعت خوردگی را کاهش دهد. بتن در سازه‌های دریایی ممکن است تحت تاثیر مخرب انواع معینی از صدف‌ها و اسفنج‌ها واقع گردد. این جانوران که

معمولا سنگ آهک را سوراخ می‌کنند ممکن است در بتن حفره‌هایی ایجاد نموده باعث تضعیف آن گردند. برای مثال حفره‌هایی با عمق پانزده و قطر یک سانتیمتر در بتن مشاهده شده که تنش فشاری وارده بر بتن در آنها برابر ۳۵۰ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع بوده است. این حفره‌ها از داخل به یکدیگر مرتبط هستند. ساختمان بیولوژیکی این جانوران چنان است که می‌توانند با سرعتی معادل یک سانتیمتر در سال در بتن نفوذ نمایند. این نوع حملات معمولاً در فاصله بین آب پائین تا سه متر پائین‌تر از آن صورت می‌پذیرد، گر چه ممکن است این آثار در تراز پائین تر نیز ظاهر گردد.

بتن‌های مورد بررسی غالباً با شن و ماسه آهکی تهیه شده بود. بعید نیست که این امر در مورد بتن‌های ساخته شده با مصالح سنگی حاوی مقادیر کمتر آهک مانند گرانیت، گابرو و نظائر آن کمتر مطرح گردد.

۸-۱ سایش و فرسایش

در نواحی گرم و خشک پوسته خارجی بتن ممکن است در اثر توفان‌های ماسه سائیده شود، نتیجه امر تا حدود زیادی با ماسه پاشی (SAND BLASTING) قابل مقایسه است. بنظر نمی‌رسد این امر بطور مشخص بر دوام بتن آسیبی وارد نماید. گر چه ممکن است توفان‌های ماسه گرد و خاک را روی زوایا و فرورفتگی‌های ساختمان بنشاند. از آنجا که این گردو غبار حاوی املاح خورنده است، خوردگی بتن در نقاطی رخ می‌دهد که انتظار نمی‌رود. در اتصالات و مفاصل رسوب گرد و خاک ممکن است آزادی حرکت قطعه بتنی را سلب نماید که در نتیجه آن تنش‌های ناشی از تغییر شکل‌های پیش‌بینی نشده موجب خرابی می‌گردد.

۹-۱ نتیجه

در این فصل سعی شد تاثیر شرایط اقلیمی، خاک و آب بر پایایی بتن مورد بررسی قرار گیرد. توجه به این عوامل قبل از طرح و احداث سازه‌های بتنی در این مناطق هدف اصلی این بررسیهاست.

مطالعه مقدماتی همه جانبه شرایط محلی، طرح و محاسبات ایستایی به منظور ایجاد سازه‌ای پایا و پایدار، دقت در انتخاب مصالح مناسب در دسترس و انتخاب روش‌های ساختمانی، پیش شرط‌هایی هستند که لازمه ایجاد سازه‌های بتنی در این قبیل نواحی بشمار می‌آیند. برای کسانی که می‌خواهند وارد این مقوله شوند بهترین پیام این است که : "قبل از درگیر شدن همه جوانب را بسنجید."

۲ تاثیر نوع سیمان بر پایایی بتن

۲-۱ مقدمه

در بخش قبل خاطر نشان شد که خرابی سازه‌های بتنی در مناطق با آب و هوای گرم رخداد متداولی است. این قبیل خرابی‌ها اساساً ناشی از عوامل درونی یا بیرونی هستند. در این فصل یکی از عوامل درونی، یعنی سیمان، در ارتباط با آب و هوا و اقلیم مورد بررسی قرار می‌گیرد. در غالب ساختمان‌هایی که در مناطق گرمسیر ساخته می‌شوند تاثیر مشخصات سیمان بر پایایی بتن در قیاس با دیگر عوامل از اهمیت درجه دوم برخوردار است. گر چه در مورد سازه‌هایی که با آب و هوای دریایی روبرو بوده و با اشکال خاصی از تهاجمات مواجه‌اند ممکن است خصوصیات سیمان اثر قطعی بر پایایی بتن داشته باشد. در این فصل سیمان سرباره (با درصد بالایی از پس مانده کوره‌ها) بعنوان بهترین نوع سیمان از نقطه نظر فن‌آوری ساخت و پایایی بتن، در کشورهای گرمسیر، مورد بحث قرار گرفته است.
در مناطق گرمسیر بخش قابل توجهی از سیمان مورد نیاز وارداتی است. صادرات عمده سیمان به این کشورها معمولاً از جانب ممالکی نظیر اسپانیا، ژاپن، یونان، کره جنوبی و ترکیه صورت می‌گیرد. کیفیت سیمان‌های صادر شده از این کشورها و سیمانهای محلی مورد بحث این مقاله نیست. این سیمان‌ها بطور عمده شامل انواع زیر هستند:

- سیمان پرتلند معمولی (OPC) که مطابق (ASTM) آنرا سیمان نوع یک گویند.
- سیمان پرتلند ضد سولفات (SRPC) که مطابق (ASTM) آنرا سیمان نوع پنج گویند.
- سیمان پوزولانی یا پوزولان طبیعی

سیمان پرتلند سرباره نیز گهگاه مورد استفاده قرار می‌گیرد. افزودن سرباره آسیاب شده کوره‌ها یا مواد پوزولانی حاصل از خاکستر سرد شده آتش‌فشانها به سیمان پرتلند نیز بندرت در کارگاه صورت می‌پذیرد.

۲-۲ مسئله پایایی بتن در ارتباط با نوع سیمان

مسایل اساسی مرتبط با پایایی بتن که به نوع سیمان مربوط می‌شود عبارتند از:

- خوردگی فولاد به واسطه نفوذ کلرور
- حمله سولفات‌ها
- اثر متقابل مواد قلیایی موجود در سیمان و مصالح سنگی

- تغییر شکل‌های حرارتی ضمن سخت شدن بتن

مسائلی که کمتر تحت تاثیر نوع سیمان هستند عبارتند از:

- زمان گیرش
- جمع شدن پلاستیکی و جمع شدن در اثر خشک شدن
- ریختن و متراکم ساختن بتن تازه
- تاثیر حرارت اعم از تغییرات فصلی و تغییرات شبانه‌روزی

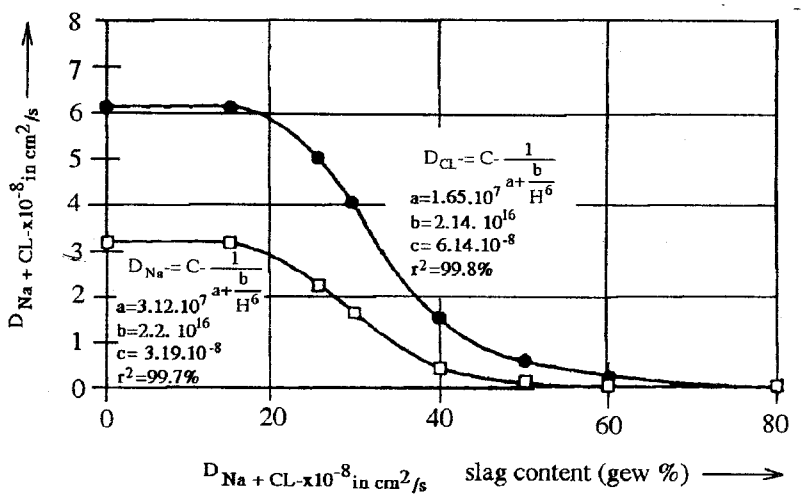
چگونگی کنترل عوامل یاد شده در بخش‌های بعدی مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

۲-۳ خوردگی فولاد به واسطه نفوذ کلرور

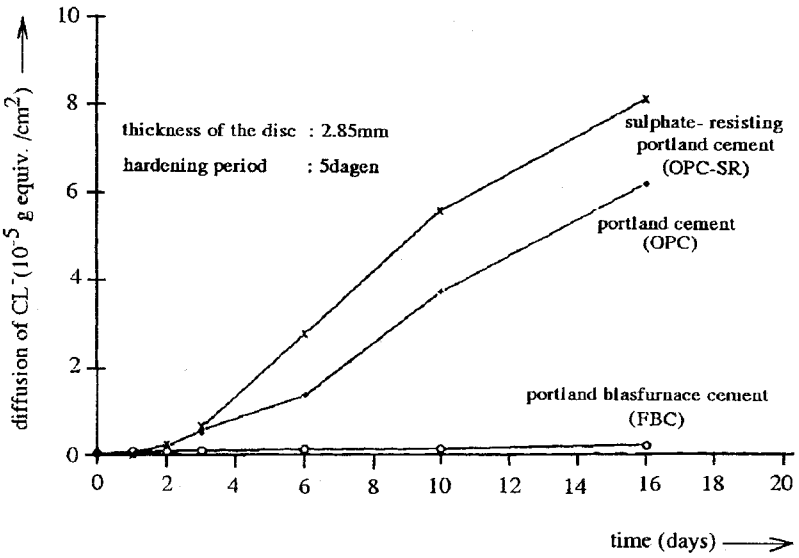
بطور معمول خرابی سازه‌های بتن آرمه در نواحی گرمسیر بواسطه نفوذ کلرورها و خوردگی فولاد رخ می‌دهد. سطوح بتن‌هایی که در هوای مرطوب واقع می‌شوند در اثر وزش باد یا تابش خورشید فقط تا عمق چند میلیمتر خشک می‌شوند بنابراین قبل از اینکه نفوذ کلرورها به جسم بتن از طریق لوله‌های موئین صورت پذیرد، از طریق ذرات آب موجود در جسم آن رخ می‌دهد، از این رو باید گفت مسئله نفوذ کلرور بسرعت انتشار ین کلر در خمیر سخت شده سیمان بستگی دارد.

تاثیر نوع سیمان بر سرعت انتشار ین کلرور در خمیر سیمان سخت شده و ملات سیمان توسط محققین مختلفی مورد بررسی قرار گرفته است. "برادسن" نشان داد که سرعت انتشار یون‌های مخرب در درون خمیر سیمان سخت شده با افزایش درصد سرباره به میزان قابل توجهی کاهش می‌یابد (شکل ۲-۱).

"بیکر" نمونه‌های مختلفی را که از سیمان پرتلند معمولی، سیمان ضد سولفات و سیمان سرباره ساخته شده بود با سنین مختلف مورد آزمایش قرار داد و نتیجه گرفت که سرعت انتشار ین کلر در خمیر سیمان پرتلند معمولی به مراتب بیشتر است تا سیمان پرتلند سرباره. این مطلب در شکل ۲-۲ نشان داده شده است.



شکل ۲-۱



شکل ۲-۲

در مورد سیمان پرتلند ضد سولفات که در مناطق گرمسیر به مقیاس وسیعی مورد استفاده است، سرعت انتشار ین مخرب کلر به میزان قابل توجهی بیشتر از سیمان پرتلند معمولی است.

بررسی‌های انجام شده توسط "نیل" در نواحی گرم و مرطوب مشخص ساخت که بتن ساخته شده با سیمان سرباره مقاومت بیشتری در قبال نفوذ کلرورها دارد (جدول ۲-۱).

جدول ۲-۱- تاثیر نوع سیمان بر سرعت نفوذ کلرور در بتن برای مناطق مجاور دریا در ۳۰ درجه سانتیگراد

عوامل متشکله	شرح	پس از ۳ ماه	پس از ۶ ماه	پس از ۹ ماه	پس از ۱۲ماه	پس از۱۵ماه
سیمان سرباره* + شن و ماسه اروپا	نفوذ کلرور	۷ میلیمتر	۸ میلیمتر	۹ میلیمتر	۱۰ میلیمتر	۱۰-۱۵میلیمتر
	خورندگی	-	-	-	-	-
سیمان ضد سولفات+ شن و ماسه اروپا	نفوذ کلرور	۲۰-۲۵ میلیمتر	بیش از ۳۰ میلیمتر	بیش از ۳۰ میلیمتر	معمولی کامل	کامل
	خورندگی	-	-	-	-	-
سیمان سرباره* + شن و ماسه خاورمیانه	نفوذ کلرور	۸ میلیمتر	۱۳ میلیمتر	۱۵ میلیمتر	۲۰ میلیمتر	۲۰-۳۰ میلیمتر
	خورندگی	-	-	-	-	-
سیمان ضد سولفات+ شن و ماسه خاورمیانه	نفوذ کلرور	کامل	کامل	کامل	کامل	کامل
	خورندگی	لکه‌های نمک	آثاری از خوردگی	خوردگی متوسط و در بعضی نقاط عمیق		

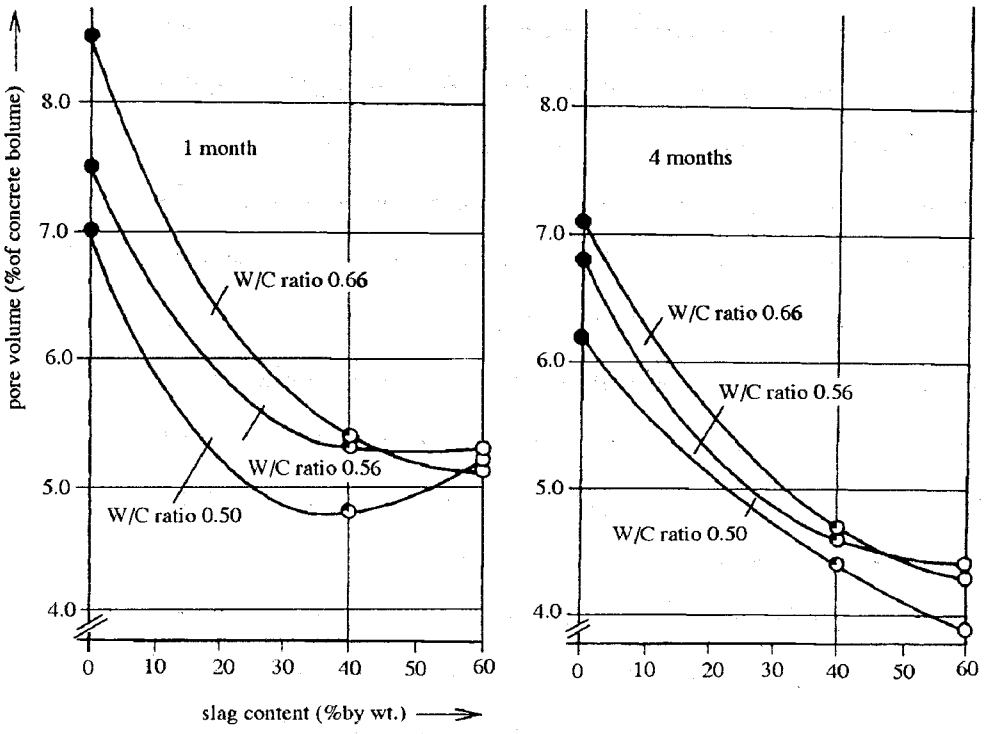
* سیمان سرباره با ۷۰ درصد تفاله کوره آهنگدازی

برای تشریح رفتار مناسب سیمان پرتلند سرباره لازم است به سرعت نشر یون کلر درون خمیر سیمان توجه شود. این سرعت علاوه بر درجه حرارت تابع عوامل زیر است:

- میزان یون‌های کلر آزاد که با خمیر سیمان پیوند ندارند
- وزن مخصوص و تخلخل بتن

چنانچه در سیمان پرتلند درصد تری کلسیم آلومینات(C_3A) کمتر از سه باشد آن را ضد سولفات تلقی می‌کنند. مقدار کم تری کلسیم آلومینات باعث می‌شود یون کلر کمتر محدود شوند، از اینرو خوردگی فولاد احتمالاً زودتر رخ می‌دهد. بنابر این مقدار کم تری کلسیم آلومینات که می‌تواند در مقابله با سولفات‌ها موثر باشد نقطه ضعفی است در قبال تهاجم کلرورها. چنانچه بدلائلی استفاده از سیمان پرتلند ضروری باشد باید راه حل مناسبی برگزیده شود. این راه ممکن است استفاده از سیمان نوع دو ASTM با درصد تری کلسیم آلومینات بین ۵ تا۸ باشد.

وزن مخصوص بتن تحت تاثیر عواملی نظیر نسبت آب به سیمان، تراکم، درجه جذب آب سیمان و نوع سیمان است. میزان سرباره تا حد قابل توجهی بر وزن مخصوص بتن اثر دارد، این موضوع در شکل ۲-۳ نشان داده شده است. وزن مخصوص زیاد بتن‌هایی که با سیمان سرباره ساخته می‌شوند عاملی است در کاهش سرعت نفوذ یون‌های کلر به جسم بتن.



شکل ۲-۳

تجربیات عملی و آزمایشگاهی نشان داده است که استفاده از سیمان سرباره تا حد قابل ملاحظه‌ای بر بهبود پایایی بتن در نواحی گرمسیر و مجاور آب دریا اثر دارد و حتی ممکن است آنرا پیش شرط تهیه بتن پایا بحساب آورد.

می‌توان بجای استفاده از سیمان پرتلند سرباره از مخلوط سیمان پرتلند و سرباره آسیاب شده کوره در کارگاه استفاده نمود. میزان سرباره‌ای که به سیمان اضافه می‌شود مقدار کمی نبوده و تاثیر آن بمنظور افزایش وزن مخصوص بتن هنگامی قابل ملاحظه است که نسبت سرباره به سیمان بیش از ۶۵ درصد باشد. اثر عمل اختلاط سیمان با سرباره آسیاب شده کوره به نسبت زیاد، با توجه به کیفیت سرباره متفاوت خواهد بود.

بتن ساخته شده با سیمان پرتلند سرباره در مراحل اولیه سخت شدن نسبت به عوامل گزند بار بیرونی حساس تر از سیمان پرتلند معمولی است، بنابر این مسئله عمل آوری بتن‌هایی که با سیمان پرتلند سرباره ساخته می‌شوند از اهمیتی بسزا بر خوردار است.

۲-۴ حمله سولفات‌ها

تاثیر سولفات‌ها بر بتن ساخته شده با سیمان پرتلند معمولی و سیمان پرتلند سرباره

ناشی از فعل و انفعالی است که بین تری کلسیم آلومینات و سولفات صورت می‌گیرد. این فعل و انفعال منجر به تشکیل کلسیم سولفو آلومینات می‌شود.که از نمک‌های مضاعف اسید آلومینیک بوده و بدان Ettringite نیز اطلاق می‌شود. تشکیل این نمک مضاعف حجیم که در ساختمان آن مقدار زیادی آب وجود دارد دلیل ترک و انهدام بتن است. در بخش یک نشان داده شد که انبساط ناشی از وجود سولفات‌ها در مناطق گرمسیر در درجه دوم اهمیت قرار دارد.

در سیمان پرتلند ضد سولفات مقاومت در قبال تهاجم سولفات‌ها بر مبنایی کاملا" متفاوت با سیمان پرتلند سرباره قرار دارد. سیمان ضد سولفات مقاومت خود را از تقلیل مقدار تری کلسیم آلومینات (C_3A) بدست می‌آورد. وقتی مقدار C_3A موجود در سیمان کم است مواد حاصل از جذب آب سیمان که نسبت به سولفات‌ها حساسند شکل می‌گیرند ولی قادر به ترکیب با سولفات‌ها و تشکیل کلسیم سولفو آلومینات نیستند. در مشخصات استاندارد مختلف حد مجاز تری کلسیم آلومینات در سیمان پرتلند ضد سولفات، مشخص شده است. (جدول ۲-۲)

جدول ۲-۲- مشخصات استاندارد لازم با توجه به حمله سولفات‌ها، تاثیر قلیایی‌ها و گرمای آبگیری سیمان

شرح / استاندارد		آیین‌نامه هلند (NEN)	آیین‌نامه آلمان (DIN)	آیین‌نامه‌انگلیس (BS)	آیین‌نامه آمریکا (ASTM)
تهاجم سولفات	سیمان پرتلند	C_3A کمتراز۳٪	C_3A کمتراز۳٪	C_3A کمتراز۳/۵٪	در سیمان‌نوع‌دو C_3Aکمتراز۸٪
	سیمان پرتلند سرباره	درصد سرباره بیش از ۶۵٪	درصد سرباره بیش از ۷۰٪	-	در سیمان‌نوع۵ C_3Aکمتراز۵٪
اثر قلیایی‌ها	سیمان پرتلند معمولی	-	- معادل Na_2O کمتر از ۰/۶٪ - درصد سرباره بیش از ۶۵٪		معادل Na_2o کمتر از۰/۶٪
	سیمان پرتلند سرباره	-	- معادل اکسید سدیم‌کمتراز ۲٪ - درصد سرباره بیش از ۵۰٪	-	-
گرمایی آبگیری سیمان	سیمان‌کم‌حرارت (پس‌ازهفت‌روز)	کمتر از ۲۷۰ ژول برگرم	کمتر از ۲۷۰ ژول بر گرم	کمتر از ۲۵۰ ژول بر گرم	نوع دو کمتر از ۲۹۰ ژول بر گرم نوع چهار کمتر از ۲۵۰ ژول برگرم

سیمان پرتلند سرباره عملا" سیمان مقاوم در برابر سولفات‌ها است، درست مانند سیمان پرتلند با درصد کم تری کلسیم آلومینات، لیکن نسبت مقاومت سیمان سرباره متناسب است با درصد سرباره موجود در آن. مقاومت در برابر تهاجم

سولفات‌ها موقعی آغاز می‌شود که نسبت سرباره بیشتر از ۶۵ درصد باشد. برای مقادیر کمتر سرباره مقاومت تا حدودی به نسبت تری کلسیم آلومینات بستگی پیدا می‌کند. برای سیمان سرباره ضد سولفات درصد سرباره بین ۶۵ تا ۷۰ تعیین شده است.

محققین سعی کرده‌اند علل مقاومت سیمان سرباره با درصد سرباره زیاد در قبال سولفات‌ها را تشریح نمایند. این مقاومت به علت وجود هیدروکسید کلسیم و ترکیبات ناشی از جذب آب سیمان بوجود می آید (CZERNIN,BICZOK,RICHARTZ) اخیراً بررسی‌هایی بر مبنای ساخت بتن از سیمان سرباره با وزن مخصوص زیاد صورت گرفته است. بررسی‌های مربوط به رفتار سیمان بر تهاجم سولفات، رفتار سیمان پرتلند سرباره در قبال نفوذ کلرورها و تاثیر قلیایی‌های سیمان بر شن و ماسه استوار است. هنگامی که درصد سرباره از ۷۰ - ۶۵ تجاوز می‌نماید خمیر سخت شده سیمان بنحوی متراکم می‌گردد که فعل و انفعالات خطرناک نمی‌تواند صورت پذیرد. شکل بخصوصی از تهاجم سولفات از اسید سولفوریک ناشی می‌شود که برای مثال در فاضلاب‌ها وجود دارد. در فاضلاب هیدرژن سولفوره وجود دارد که در مکان‌های سربسته با تهویه نا مناسب قابلیت تبدیل به اسید سولفوریک را دارا بوده و بر بتن اثر خورنده دارد. در این قبیل موارد لازم است بتن را به روش‌های گوناگون، مثلاً به کمک پوشش‌های مقاوم، از گزند مواد خورنده حفاظت نمود.

۲-۵ تاثیر قلیایی‌های موجود در سیمان بر مصالح سنگی (واکنش‌زایی قلیایی سنگدانه‌ها)

مصالح سنگی که ممکن است تحت تاثیر قلیایی‌های سیمان قرار گیرند به دو گروه زیر تقسیم می‌شوند:

- سنگهای سیلیسی
- سنگهای کربناتی

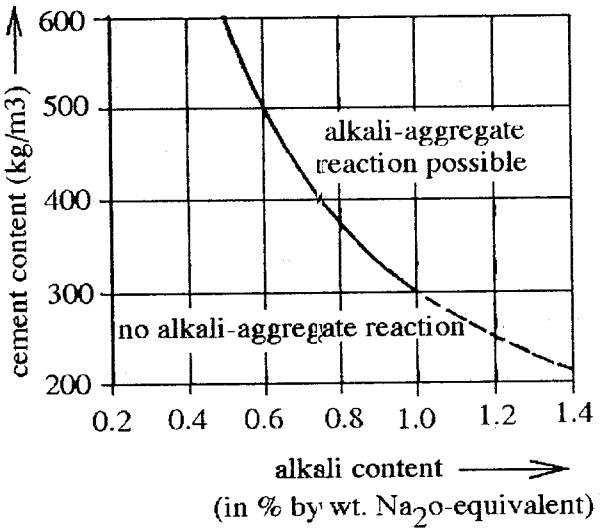
مجاورت سنگهای سیلیسی و کربناتی با آب و سیمان موجب انجام فعل و انفعالاتی می‌شود که نتیجه آن در هر دو مورد افزایش حجم، بروز ترک و انهدام بتن است.

میزان انبساط و افزایش حجم بستگی به درجه حرارتی دارد که فعل و انفعال در آن صورت می‌گیرد. عوامل موثر بر فعل و انفعالات بین شن و ماسه و قلیایی‌های سیمان در فصل بعد مورد بحث قرار خواهند گرفت.

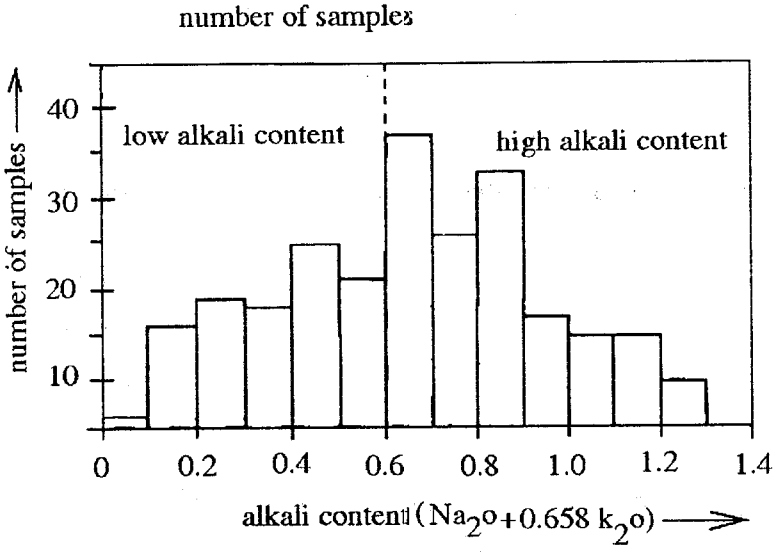
از اینرو استفاده از نوعی سیمان که از فعل و انفعالات مضر بین مصالح سنگی و

قلیایی‌ها جلوگیری نماید شدیداً تجویز می‌گردد. در مورد سیمان پرتلند بستگی شدیدی بین میزان قلیایی‌های سیمان و میزان انبساط سنگ‌های سیلیسی و کربناتی وجود دارد.

در شکل ۲-۴ حد مجاز قلیایی‌های سیمان در ارتباط با مقدار سیمان در مترمکعب بتن نشان داده شده است.



شکل ۲-۴



شکل ۲-۵

برای مثال در مورد بتن با عیار ۳۰۰ کیلوگرم سیمان در متر مکعب چنانچه درصد قلیایی‌های معادل Na_2O موجود در سیمان کمتر از یک درصد وزن سیمان باشد فعل و انفعالی بین مصالح سنگی و قلیایی‌ها صورت نمی‌پذیرد و چنانچه مقدار

قلیایی‌ها بیش از یک درصد باشد امکان بروز فعل و انفعالات مضر بین مصالح سنگی و قلیایی‌های سیمان وجود خواهد داشت. تمام قلیایی‌های موجود در سیمان هنگام جذب آب سیمان (HYDRATION) بصورت محلول در آمده و مصالح سنگی امکان فعل و انفعالات شیمیایی را با آنها بدست خواهند آورد. چنانچه میزان قلیایی‌های موجود در سیمان کمتر از ۰/۶ درصد وزن سیمان باشد فعل و انفعالات مخربی رخ نخواهد داد، میزان قلیایی‌های موجود در سیمان بر مبنای Na_2O وK_2O از رابطه $Na_2O+0/658\ K_2O$ محاسبه می‌شود. "سمیز" و "پول" دریافتند که سیمانهای مورد مصرف در خاورمیانه بلحاظ میزان قلیایی موجود بسیار متفاوتند (شکل ۲-۵). چنانچه سیمان با درصد قلیایی کم مورد نظر باشد باید در مشخصات فنی بوضوح ذکر گردد.

در سیمان پرتلند سرباره مقدار مجاز قلیایی‌ها، با توجه به میزان سرباره بیشتر خواهد بود (جدول ۲-۳).

جدول ۲-۳- میزان مجاز قلیایی‌ها با توجه به مقدار سرباره در سیمانهای مختلف

شرح / نوع سیمان	میزان مجاز قلیایی‌ها بر حسب درصد وزن سیمان (معادل Na_2O)	میزان سرباره بر حسب درصد وزن سیمان
سیمان پرتلند	۰/۶	-
سیمان پرتلند سرباره	۰/۹	۵۰
	۲	۶۵

اگر میزان سرباره بیش از ۶۵ درصد باشد، حداکثر ۲ درصد معادل Na_2O قلیایی ذکر شده در جدول اهمیت تعیین کننده نخواهد داشت زیرا مقاومت این نوع سیمان تنها به محدود کردن میزان قلیایی‌ها وابسته نبوده و علت مقاومت خوب سیمان پرتلند سرباره را باید در وزن مخصوص بالای خمیر سیمان تشکیل شده جستجو نمود.

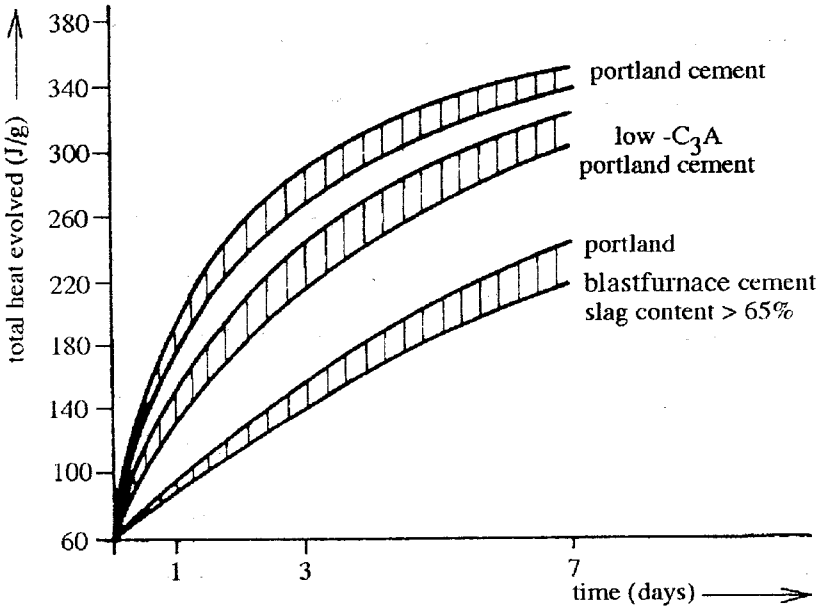
سرعت انتشار یون‌های قلیایی در ملات سیمان پرتلند سرباره، با ۷۵ درصد سرباره ضمن بستگی به سن ملات، پنج تا پانزده بار کمتر از سرعت انتشار یون‌ها در ملات سیمان پرتلند معمولی خواهد بود. علاوه بر کم بودن سرعت انتشار قلیایی‌ها، قابلیت نفوذ کم خمیر سیمان پرتلند سرباره، از میزان فعل و انفعالات مخرب می‌کاهد. به این دلائل در سیمان پرتلند سرباره میزان انبساطی که حادث می‌شود صد تا هزار برابر کمتر از بتنهایی است که با سیمان معمولی ساخته می‌شوند.

۲-۶ تغییر شکل‌های حرارتی

در مناطق گرمسیر اختلاف درجه حرارت زیادی بین ساعات شبانه روز وجود دارد. در نقاط گرم و خشک ممکن است اختلاف درجه حرارت شب و روز به ۳۵ تا ۴۰ درجه سانتیگراد برسد. این اختلاف درجه حرارت موجب تغییر شکل در ساختمان‌های بتنی می‌شود. به منظور جلوگیری از ترک‌های ناشی از این اختلاف درجه حرارت لازم است قبل از هر چیز نکات ویژه‌ای در طراحی و اجرا مدنظر قرار گیرد.

بعلاوه ممکن است حرارت ناشی از جذب آب سیمان بهنگام گیرش و سخت شدن موجب نوعی تغییر شکل حرارتی گردد. هر قدر درجه حرارت اولیه بتن تازه بیشتر باشد گرمای حاصل از جذب آب سیمان زودتر آزاد می‌شود. این امر موجب اختلاف فاحش درجه حرارت بین بتن جوان و محیط اطراف می‌گردد. این تاثیر در کنار اختلاف فاحش درجه حرارت شب و روز تشدید می‌گردد.

اختلاف درجه حرارت را می‌توان بکمک عایق بندی حرارتی قالب‌ها و کاهش درجه حرارت حاصل از فعل و انفعالات شیمیایی آب و سیمان محدود کرد. حداکثر درجه حرارت بتن هنگام سخت شدن، با کاهش درجه حرارت بتن تازه یا خنک کردن بتن هنگام سخت شدن قابل کنترل است. این امر با انتخاب مناسب نوع و عیار سیمان میسر خواهد بود. حرارت حاصل از جذب آب سیمان‌های مختلف در شکل ۲-۶ نشان داده شده است. از این شکل چنین نتیجه می‌شود که جذب آب سیمان سرباره حرارت کمتری را آزاد می‌سازد که در نهایت اختلاف درجه حرارت کمتری را موجب می‌گردد، از اینرو به سیمان سرباره سیمان کم حرارت (LOW HEAT CEMENT) نیز گفته می‌شود. این موضوع طبق استانداردهای مختلف در جدول ۲-۲ آمده است.



شکل ۲-۶

۲-۷ انبار کردن سیمان

در استانداردهای مختلف به مسئله انبار کردن سیمان در نقاط گرمسیر کمتر توجه شده است. بر اساس استاندارد ACI-305R-77 استفاده از سیمانی که درجه حرارت آن به بیش از ۷۷ درجه سانتیگراد رسیده باشد مجاز نمی‌باشد. اگر سیمان بخوبی یعنی دور از رطوبت، در سیلوها، زاغه‌ها یا پاکتهای بزرگ انبار شود مقاومت و مدت زمان گیرش آن تغییری نخواهد کرد (منظور از پاکت‌های بزرگ، پاکتهای پلاستیکی است که گنجایش ۱۵۰۰ کیلوگرم سیمان را دارا می‌باشد). سیمان‌هایی که در بسته‌بندی‌های کاغذی پنجاه کیلویی عرضه می‌گردند پس از سه تا شش ماه در اثر رطوبت ۲۰ تا ۳۰ درصد از مقاومت خود را از دست می‌دهند. این امر همچنین موجب کاهش سطح مخصوص و نرمی سیمان خواهد شد. بطور خلاصه چنانچه سیمان بخوبی انبار شود هیچ مسئله‌ای بروز نخواهد کرد. در مورد کیسه‌های پلاستیکی شفاف بدلیل آثار زیان بار تابش خورشید، بر سیمان توصیه می‌شود از نگهداری این نوع کیسه‌ها در مقابل نور مستقیم خورشید خودداری شود.

۲-۸ نتایج و توصیه‌ها

در پاره‌ای موارد تاثیر مشخصات سیمان بر طول عمر و پایایی سازه‌های بتنی در مناطق گرمسیر از اهمیتی ویژه بر خوردار است. در بیشتر موارد انتخاب نوع سیمان هنگام نوشتن مشخصات فنی صورت می‌پذیرد. برای انتخاب صحیح نوع سیمان

وقوف به شرایط محلی از ضروریات است. صرفنظر از شرایط محلی و طبیعت ساختمان، در مناطق گرمسیر توجه به دو عامل زیر از اهمیتی به سزا برخوردار است:

- درجه حرارت زیاد محیط
- امکان تاثیر قلیایی‌های سیمان بر مصالح سنگی

از این رو باید در مشخصات فنی حدی برای حرارت حاصل از جذب آب سیمان مشخص نمود، برای مثال ۲۷۰ ژول بر گرم سیمان[1]. برای سیمان پرتلند معمولی حداکثر میزان قلیایی مجاز و برای سیمان پرتلند سرباره حداقل میزان سرباره باید مشخص گردد.

چنانچه تهاجم سولفات‌ها محتمل باشد برای افزایش مقاومت در قبال آن باید تدابیری اندیشید. برای سیمان پرتلند حداکثر میزان تری‌کلسیم آلومینات برابر سه درصد خواهد بود.

در آب و هوای گرم و مرطوب، مجاور دریاها خوردگی فولاد در اثر نفوذ کلرورها از علل اصلی خرابی به شمار می‌آید. تنها راه برای بهبود پایایی سازه‌های بتنی که در این گونه اقلیم‌ها بنا می‌شوند عبارتست از استفاده از سیمان پرتلند سرباره با حداقل ۶۵ درصد سرباره یا اعمال معیارهایی مناسب برای محافظت از بتن یا فولاد.

در مناطق گرمسیر قابلیت دست‌یابی به سیمانهای یاد شده خود مسئله‌ای قابل بحث است. در این نقاط بطور معمول سیمان پرتلند معمولی و سیمان پرتلند ضد سولفات قابل حصول است اما سیمان پرتلند با مقدار کم تری کلسیم آلومینات و قلیایی‌ها به آسانی در دسترس نیست، به علاوه در کارخانجات محلی سیمان پرتلند سرباره تولید نمی‌شود.

سیمان وارداتی نیز اشکالاتی را تولید می‌نماید زیرا در اغلب موارد حجم سیمان مورد نیاز کم بوده و اضافه هزینه‌های سیمان وارداتی موجب افزایش هزینه‌ها می‌گردد. از طرف دیگر مقامات محلی در این کشورها استفاده از سیمان‌های محلی را به مشاوران و پیمانکاران تحمیل می‌نمایند. به علاوه استفاده از سیمان پرتلند سرباره به دلیل عدم شناسایی با آن در بسیاری از کشورها با مشکلاتی همراه است.

از طرف دیگر در اروپای غربی، به ویژه در هلند تجربیات ارزشمندی در اثر استفاده از این نوع سیمان بدست آمده است. امروزه در هلند استفاده از سیمان پرتلند

۱- یک کالری $\frac{۱}{۴/۱۸}$ ژول یا یک ژول برابر با ۴/۱۸ کالری است. بنابراین یک ژول بر گرم برابر است با ۴/۱۸ کالری برگرم.

سرباره در سازه‌های واقع در دریا یا مجاور دریا یک اصل تغییرناپذیر تلقی می‌شود. مطابق استانداد BS-146 و ASTM-C 595 میزان سرباره سیمان پرتلند سرباره به ۶۵ درصد محدود شده است. مقادیر زیاد سرباره فقط برای سیمانهای کم حرارت (LOW-HEAT CEMENT) مطابق BS-4546 و سیمانهای سرباره (SLAG SEMENT) مطابق ASTM-C 595 مجاز می‌باشد. همچنین طبق BS-146 حداکثر میزان اکسیدمنیزیم در سیمان هفت درصد تعیین شده است. علت این محدودیت انبساط اکسیدمنیزیم در اثر جذب آب است که می‌تواند آثار زیان‌بار و مخربی را در سیمانهای پرتلند معمولی در پی داشته باشد اما در مورد سیمان پرتلند سرباره این مطلب مسئله حادی را ایجاد نخواهد کرد.

استانداردهای آلمان DIN-1164 و هلند، NEN- 3550 حداکثر مقدار اکسید منیزیم در سیمان پرتلند سرباره را پنج درصد تعیین کرده‌اند.

متاسفانه سیمانهای وارداتی یا تولید شده در کشورهای گرمسیر خیلی مناسب نبوده یا در بعضی موارد برای منظورهای مصرف شده نامناسب نیز بوده‌اند. پیداست که حمله کلرورها در قیاس با سولفات‌ها بسیار گسترده‌تر و مخرب‌تر بوده و بر پایایی بتن آثار جبران‌ناپذیری دارد. سیمان پرتلند ضد سولفات، که اغلب استفاده از آن در مشخصات فنی قید می‌گردد، مقاومت کمی در قبال نفوذ کلرورها ایجاد می‌نماید. استفاده از سیمان پرتلند سرباره، با حداقل ۶۵ درصد سرباره، می‌تواند کمک بزرگی در بهبود و افزایش پایایی سازه‌های بتن در مناطق گرمسیر به شمار آید.

۳ مناسب بودن مصالح سنگی

۳-۱ مقدمه

در دو فصل قبل به پاره‌ای از عوامل موثر بر پایایی بتن اشاره شد، این عوامل عبارت بودند از عوامل بیرونی نظیر آب و هوا و وضعیت خاک و اولین عامل درونی یعنی، سیمان، در این بخش یکی دیگر از عوامل درونی موثر بر پایایی بتن یعنی مصالح سنگی مورد بحث قرار می‌گیرد. همچنین در این بخش به روشهای آزمایش برای مشخص ساختن وضعیت مصالح اشاره خواهد شد.

در این مناطق نوع سنگها با مورد مصرف در اروپا تفاوت‌های کلی دارد. از آنجا که اطلاع از طبیعت و منشاء سنگهای مورد مصرف لازمه ارزیابی آنهاست، ابتدا به این امر مبادرت می‌گردد.

۳-۲ انواع سنگ‌ها

گرچه از نقطه نظر منشاء تشکیل سنگها تفاوتی بین کشورهای گرمسیر و کشورهای اروپایی وجود ندارد ولی شباهتی نیز میان سنگهای رسوبی کشورهای گرمسیر و کشورهای اروپایی به چشم نمی‌خورد. به علاوه این سنگها بلحاظ هوازدگی در شرایط متفاوتی نسبت به یکدیگر واقع هستند. هوازدگی از یک طرف به تشکیل مصالح سنگی مرغوب کمک می‌رساند و از طرف دیگر بعضی سنگهای خوب را تحت تاثیر سوء قرار می‌دهد. شن و ماسه رودخانه‌ای مثالی از عمل مساعد هوازدگی است که نتیجه آن مصالحی مناسب است. فرسایش و انحلال عناصر ضعیف ضمن حرکت مصالح در رودخانه موجب بر جای ماندن مصالح پایا و مرغوب می‌گردد. در نواحی گرم و خشک در فصول بارانی و در دامنه کوهها، تپه‌ها و نهرهای سنگی، شن و ماسه رسوب می‌نماید. روند فرسایشی که شن و ماسه تحمل می‌نماید منجر به خرد شدن قطعات بزرگ سنگ می‌شود. در بیشتر موارد مصالح مناسب از سرند کردن مصالح طبیعی و خرد کردن سنگهای بزرگتر بدست می‌آید.

سنگهای رسوبی جوان در مناطق گرم و خشک کمتر برای کارهای بتنی مناسب هستند. در خاورمیانه منابع وسیعی از ماسه سنگها، سنگهای آهکی و سنگهای دولومیتی نرم و نیمه سخت وجود دارد. به علت تبخیر شدید و رسوب نمک در سطح اینگونه سنگها تغییرات عمده‌ای بروز می‌نماید که بر تشکیل لایه‌ای سخت در سطح لایه‌های سنگی اثر نامطلوب دارد.

آلودگی‌هایی که در اثـر املاح بـروز می‌نمـاید منجـر بـه تشـکیل لایـه‌ای سسـت و متخلخل می‌گردد. اینگونه مصالح برای مصرف در بتن نسبتا" نامناسـب هسـتند (بـه بخش آلودگی ناشی از املاح رجوع شود).

در نواحی گرمسیر و نیمه گرمسیر با دوره‌های زمانی طولانی رطوبـت، نظـیر هنـد و ساوانا، سنگهایی به وجود می‌آید که دارای منشاء رسـی بـوده و تحـت تـاثیر هـوای گرم و مربوط شکل می‌گیرد. منشاء داخلی آنهـا سـنگهای آذریـن و دارای ترکیبـات بازی است، بطور عمده شامل هیدروکسیدهای آهـن و آلومینیـوم، تیتـانیوم و منگـنز هستند که در نهایت به بوکسیت، تبدیل می‌گردند. سیلیکات‌ها و قلیایی‌هـای حـاصل از این سنگها شسته شده است. ترکیب مصالح باقیمانده بستگی به سـنگ اولیـه دارد که ممکن است از سنگهای مغناطیسی دگرگونی یا رسـوبی باشـد. قـدر مسـلم ایـن است که برای تهیه بتن خوب باید از مصالح سنگی سخت‌تر استفاده نمـود. از آنجـا که سنگهای یاد شده به وفور در کشورهای گرمسیر یـافت می‌شـوند و حمـل دیگـر انواع سنگ هزینه‌های فراوانی را بدنبال دارد، بـه ناچـار اینگونـه سـنگها بـه مقیـاس وسیعی مورد استفاده واقع می‌شوند. بعضی سنگها حاوی ترکیباتی است که موجـب انبساط و تخریب بتن می‌گردند که آنها را مصالح سنگی حساس در قبـال قلیایی‌هـا می‌نامیم. استفاده از این نوع مصالح در بتن موجب ترک و طبله کردن موضعـی بتـن در محل دانه‌های سنگی (مانند مخروط‌های دهانـه آتش‌فشـان در مقیـاس کوچـک) می‌گردد. بطور کلی دو نوع مصالح سنگی فعال در قبال قلیایی‌ها وجود دارد:

- سنگهای سیلیسی فعال در قبال قلیایی‌ها
- سنگهای کربناتی فعال در قبال قلیایی‌ها

گرچه حساسیت نشان دادن مصالح سنگی در قبال قلیایی‌ها منحصر به نقاط گرمسیر نیست، اما در این مناطق آثار تخریبی انبساط به موجب درجه حرارت بـالاتر محیـط سریعتر و مشخص‌تر ظاهر می‌گردد.

علاوه بر تاثیر قلیایی‌ها بر این نوع مصالح عوامل زیر نیز بر پایایی بتن اثر نـامطلوب دارد:

- حضور نمکها، به ویژه کلرورها و سولفات‌ها
- حضور رسهای معدنی، گرد و خاک، طلق (میکا) و غیره
- دانه‌بندی نامناسب و یکنواخت مصالح سنگی
- شکل نامناسب ذرات که بطور عمده عبارتست از درصد زیاد دانـه‌های مسـطح و سوزنی در ماسه‌های دریایی و ساحلی

- مصالح سنگی متخلخل
- تنش‌های داخلی بتن ناشی از تغییر شکل‌ها و انبساط‌های حاصل از تغییر درجه حرارت

۳-۳ سنگهای سیلیسی فعال در قبال قلیایی‌ها

در خصوص خرابی‌هایی که دراثر انبساط‌های مخرب مصالح سنگی حساس در قبال قلیایی‌ها حادث می‌گردد بررسی‌های وسیع و دامنه‌داری صورت گرفته است، این امر ناشی از فعل و انفعالاتی است که بین ذرات بی‌شکل یا بلورین سیلیس (SiO_2) صورت می‌پذیرد. نتیجه امر عبارتست از تشکیل نوعی سیلیکات قلیایی آب‌دار که میل ترکیبی شدیدی با آب دارد و موجب افزایش فشار اسمزی در جسم بتن می‌گردد. این فشار اسمزی روی بتن اطراف اثر کرده موجب انبساط می‌گردد و چنانچه تنشهای کششی ایجاد شده در بتن از تاب کششی بتن تجاوز نماید ترک ایجاد می‌شود. عوامل زیر در انهدام بتن نقش دارند:

- فعال بودن مصالح سنگی

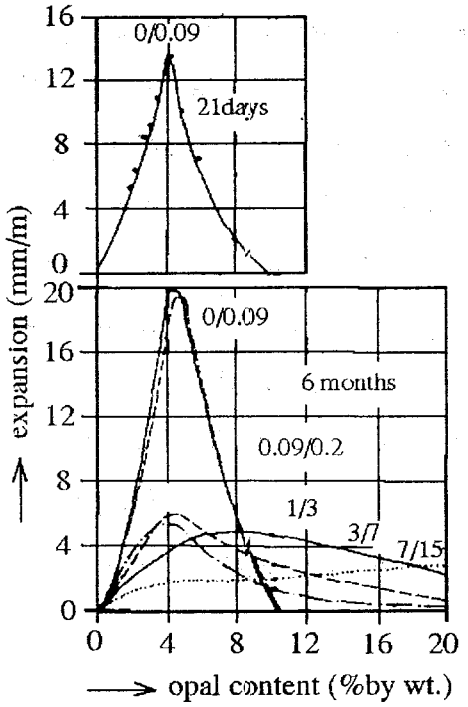
میزان فعال بودن سنگها در قبال قلیایی‌ها، این مطلب طی جدول ۳-۱مشخص شده است.

جدول ۳-۱- مصالح فعال و غیر فعال در قبال قلیایی‌ها

معدنی فعال	سنگهای با معدنی فعال	سنگهای غیرفعال (به شرط عدم وجود ناخالصی)
سنگهای سیلیسی که در قبال قلیایی‌ها عکس‌العمل نشان می‌دهند - اوپال - کلسدونی - تریدیمیت - کریستوبالیت	- کوارتزیت - گنایس - ریولیت - فیلیت - هورنبلاند - آندزیت - ماسه سنگ	- بازالت - گابرو - پروفیری - اسلات
سنگهای کربناتی که در قبال قلیایی‌ها عکس‌العمل نشان می‌دهند - ترکیباتی از رس، کلسیت ودولومیت	- سنگ آهک دولومیتی همراه با رس	- همه سنگهای ماگمایی، سنگهایی که حاوی کلسیت و دولومیت نیستند همچنین سنگ آهک خالص و سنگ آهک دولومیتی که حاوی رس نباشند

- دانه‌بندی مصالح سنگی و نسبتهای اختلاط

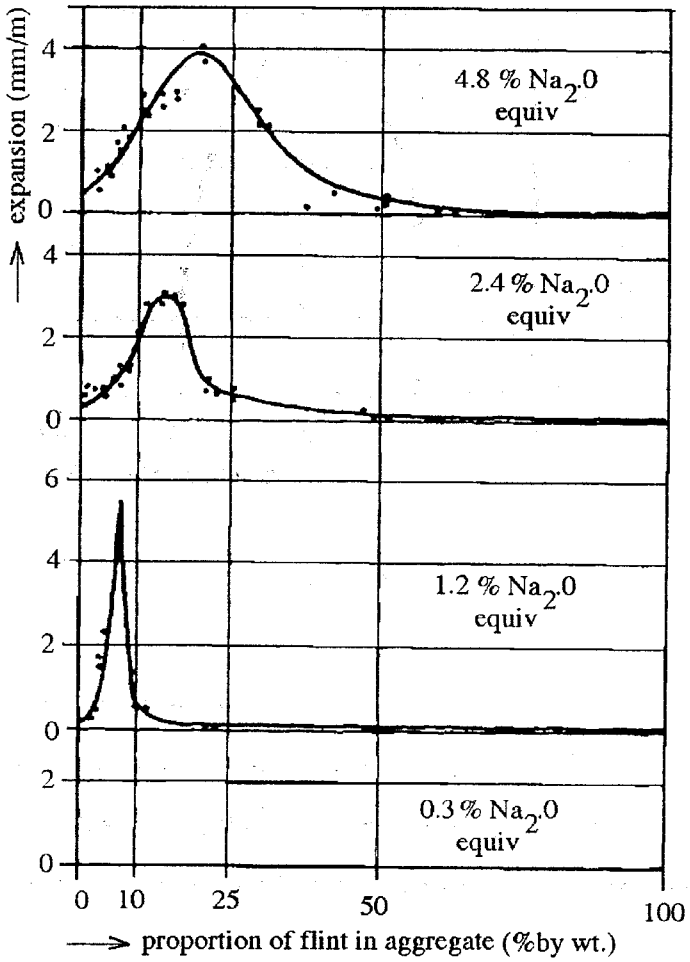
علاوه بر میزان فعال بودن مصالح در قبال قلیایی‌ها، دانه‌بندی و نسبت‌های اختلاط مصالح سنگی نیز از اهمیتی ویژه برخوردار است. برای مقادیر معینی از عناصر فعال در قبال قلیایی‌ها میزان انبساط به بیشترین مقدار خود می‌رسد شکل ۳-۱ بیانگر جزئیات امر است.



شکل ۳-۱

- قلیایی‌های فعال

قلیایی‌هایی که تاثیر مخرب بر مصالح سنگی دارند لزوماً نباید از سیمان منشاء گرفته باشند. برای مثال املاح سدیم و پتاسیم موجود در خاک، شالوده‌ها و رویه‌های بتنی راهها را تحت تاثیر قرار می‌دهند. نقل مکان قلیایی‌های سیمان در درون بتن نیز می‌تواند غلظت این مواد را بطور موضعی در نقاط مشخصی از جسم بتن افزایش دهد، در شکل ۳-۲ انبساط بتن بر حسب درصد قلیایی و میزان سنگ چخماق که نوعی معدنی فعال در قبال قلیایی‌ها است مشخص شده است.



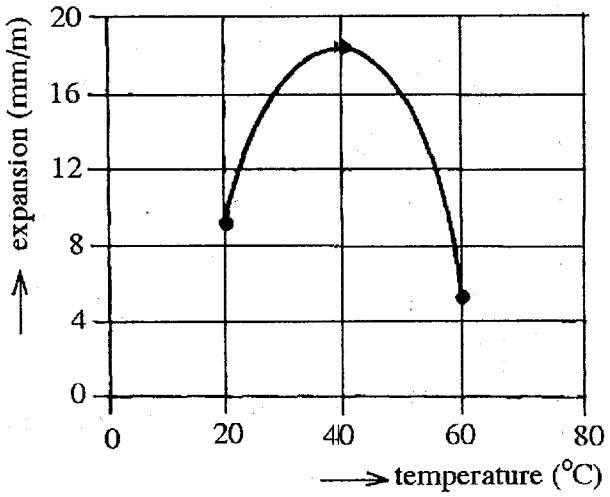
شکل ۳-۲

- رطوبت

انهدام بتن در اثر وجود مصالح فعال در قبال قلیایی‌ها تنها هنگامی صورت می‌پذیرد که رطوبت کافی وجود داشته باشد. بنابراین این امر اصولاً در مناطق مرطوب که رطوبت نسبی حداقل ۸۵ درصد باشد رخ خواهد داد. در مناطق گرم و خشک فعل و انفعال بین سنگهای سیلیسی و قلیایی‌ها به ندرت مشاهده شده است.

-درجه حرارت

درجه حرارت محیط از عوامل مهم در میزان انبساط بتن است. مطابق شکل ۳-۳ انبساط بتن تا ۴۰ درجه سانتیگراد رو به فزونی است. از اینرو احتمال دارد یکی از دلایل انهدام بتن به واسطه بروز فعل و انفعال بین سنگهای سیلیسی و قلیایی‌ها، که در مناطق گرمسیر بسیار متداول است، زیاد بودن درجه حرارت باشد.



شکل ۳-۳

- نسبت آب به سیمان

حداکثر انبساط برای نسبت آب به سیمان بین ۰/۴ تا ۰/۴۵ پیش می‌آید. در جدول ۳-۲ معیارهایی برای جلوگیری و خنثی کردن انبساط ارائه شده است. آثار مثبت استفاده از سرباره آسیاب شده و مواد پوزولانی در سیمان بطور مفصل در فصل قبل مورد بحث قرار گرفت.

جدول ۳-۲- معیارهایی برای جلوگیری از تاثیر قلیایی‌های سیمان بر مصالح سنگی

اجزای متشکله و شرایط	شرح
سیمان	۱- سیمان پرتلند با حداکثر ۰/۶ درصد (وزنی) قلیایی (معادل Na_2O) ۲- سیمان پرتلند سرباره یا سیمان پرتلند مخلوط با سرباره آسیاب شده کوره شامل: الف- حداکثر قلیایی ۱/۱ درصد، حداکثر سرباره ۵۰ درصد ب- حداکثر قلیایی ۲ درصد، حداقل سرباره ۶۵ درصد ۳- سیمان پرتلند حاصل از خاکستر کوره‌ها یا سیمان پرتلند مخلوط با خاکستر کوره‌ها که حداقل میزان خاکستر در آن ۲۵ درصد و حداکثر مقدار قلیایی آن معادل ۳ کیلوگرم Na_2O در مترمکعب بتن باشد.
مصالح سنگی	۱- مصالح سنگی غیرفعال در قبال قلیایی‌های سیمان
وضعیت سازه	۱- از تماس ساختمان با هر منبع رطوبت خارجی جلوگیری شود.

۳-۴ سنگهای کربناتی فعال در قبال قلیایی‌ها

در سال‌های دهه ۱۹۵۰ مشخص شد که انبساط‌های مخرب در بتن تنها تحت تاثیر قلیایی‌های سیمان بر سنگهای سیلیسی رخ نداده بلکه بعضی سنگهای کربناتی نیز تحت تاثیر قلیایی‌های سیمان واقع شده‌اند. سنگهای مورد بحث عبارتند از سنگهای آهکی دولومیتی حاوی رس با ساختمان ریزدانه.

در زیر معیارهایی مهم برای تشخیص سنگها از روی وضعیت ظاهری آنها ارائه می‌شود:

- تجمع ذرات، با قطر کمتر از ۵۰ میکرون
- فراوانی ذرات دولومیت (کربنات مضاعف کلسیم و منیزیم) بصورت بلورهای ریز
- وجود دولومیت به مثابه خمیر مایه اصلی و بستری برای سایر ذرات
- وجود رس و کوارتز به عنوان خمیر مایه اصلی در جسم سنگ

"هادلی" متوجه این مطلب شد که اساسا" سه عامل زیر موجب بروز انبساط در جسم بتن می‌شوند:

- انبساط دولومیت تحت اثر تجزیه شیمیایی این مدنی
- تورم ذرات رس که طی تجزیه شیمیایی دولومیت صورت می‌پذیرد
- فشار اسمزی در درون رس

پدیده تجزیه شیمیایی دولومیت همچنین در انواعی از سنگهای دولومیتی که حاوی رس نیستند نیز رخ می‌دهد، لیکن تا جایی که می‌دانیم این امر موجب انبساط‌های مخرب نمی‌شود. به ظاهر انبساط در سنگهای حاوی رس با خاصیت اسمزی، از عوامل اصلی بر هم زدن تعادل است.

همانگونه که در مورد تاثیر قلیایی‌ها بر سنگهای سیلیسی گفته شد متغیرهای زیادی بر فعل و انفعال بین سنگهای کربناتی و قلیایی‌ها اثر می‌گذارند. برای مثال در مورد درجه حرارت محیط بیشترین انبساط در ۴۰ درجه سانتیگراد رخ می‌دهد و در قیاس با کشورها اروپایی در نقاط گرم و مرطوب، خرابی زودتر بروز می‌نماید.

معیارهای حفاظتی در ممانعت از بروز خرابی ناشی از اثر قلیایی‌ها بر سنگهای کربناتی مشابه مواردی است که در مورد سنگهای سیلیسی در جدول ۳-۲ بدان اشاره شد.

۳-۵ آلودگی ناشی از نمک‌ها

۳-۵-۱ مصالح سنگی درشت دانه

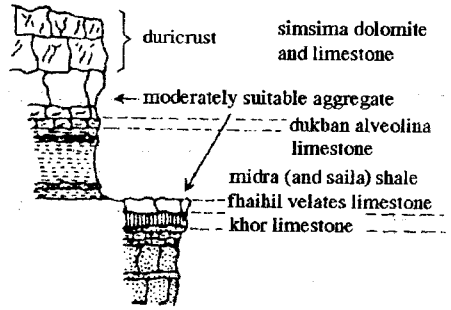
در صحاری مسطح سنگ آهکهای گچی و دولومیتی غالباً در سطح زمین ظاهر می‌شوند. این سنگها معمولاً با لایه‌ای سخت موسوم به DURICRUST[1] که حاوی مقادیر زیادی نمک ا ست، پوشیده می‌شوند. شکل ۳-۴ مقطع تیپ لایه‌ها را نشان می‌دهد. سنگهایی که بلافاصله زیر لایه سخت فوق‌الذکر قرار دارند غالباً نرم و متخلخل هستند.

از این مصالح بعنوان مصالح سنگی بتن در ساختمانهایی که در خاورمیانه و حاشیه خلیج فارس بنا می‌شوند بمقیاس وسیعی استفاده که عواقب آن نیز مشخص شده است. بالا بودن مقدار نمک در این مصالح عاملی است برای خوردگی فولاد و یا حمله عوامل خورنده بر سطح بتن. خوردگی فولاد ممکن است حتی با درصدهای کم کلرور (چند دهم درصد) نیز آغاز شود. حملات سطحی بواسطه نمکهای متبلور محلول در آب هنگامی صورت می‌گیرد که آب از سطح بتن تبخیر شود. تشکیل بلورها که با بالا رفتن فشار همراه است ممکن است موجب بروز ترک در بتن شود، بویژه اگر مصالح سنگی متخلخل باشد.

با این وجود چنانچه استفاده از این نوع سنگها لازم باشد انتخاب معدن مناسب ضرورت کامل دارد، گرچه این امر به تنهایی یک راه حل محسوب نمی‌شود. مصالح شکسته باید، به منظور تقلیل میزان نمک تا حد قابل قبول، شسته شود. لازم است مصالح شسته شده در نقطه‌ای با زهکش مناسب ذخیره شود تا از رسوب مجدد املاح جلوگیری به عمل آید.

بدیهی است شستشو باید ترجیحاً با آب شیرین صورت گیرد، ولی چنانچه این امر میسر نباشد، شستشوی مصالح با آب تمیز دریا غالباً بهتر از نشستن آن است. لازم به یادآوری نیست که زهکشی صحیح هنگامی که شستشوی مصالح با آب شیرین صورت می‌پذیرد از اهمیت بیشتری برخوردار است.

۱- DURICRUSI قشر سطحی سخت شده خاک در اقلیم‌های نیمه خشک در اثر تمرکز املاح آلومینیم، آهن، سیلیس و کلسیم، در فرهنگ دهخدا معادل فارسی این واژه را سله یا سله معنی کرده‌اند که در نواحی مرکزی ایران واژه‌ای متداول است.



Son strata formed in the Lower Eocene period (Tertiary) at Qatar according to Cavelier [10]

شکل ۳-۴

۳-۵-۲ مصاحل سنگی ریزدانه

شاید دانستن این مطلب که، بدست آوردن ماسه خوب برای بتن در نواحی گرم و خشک با صحاری وسیعی از خاکهای ماسه‌ای، امری است دشوار، عجیب به نظر آید. خطر آلوده بودن ماسه در این قبیل نواحی، خصوصاً در اراضی پست، بسیار زیاد است. ماسه این قبیل مناطق اعم از ماسه‌های ساحلی و غیر ساحلی حاوی مقادیر زیاد نمک است. این امر به ویژه در مورد مصالح بدست آمده از لایه فوقانی زمینهای با سطح آب زیرزمینی متغیر صدق می‌کند. لزوم شستشوی این نوع مصالح حتی از شستشوی سنگ شکسته و درشت دانه نیز بیشتر است.

در مورد ماسه‌های ساحلی مسئله مهم یکنواختی اندازه دانه‌ها و ناپیوستگی منحنی دانه‌بندی آنهاست. از طرف دیگر مصرف ماسه دریایی مشروط بر اینکه خوب شسته شود ممکن است نتایج خوبی به همراه داشته باشد. چنانچه ماسه‌های دریایی پس از شستشو خوب زهکشی شوند میزان نمک موجود در آنها کم و به لحاظ دانه‌بندی از ماسه‌های ساحلی مناسب‌ترند. آلودگی مصالح سنگی به املاح مسئله‌ای است که در نواحی غیر گرمسیر بندرت مشاهده می‌شود.

۳-۶ آلودگی مصالح سنگی، ناشی از وجود رس، میکا (طلق) و گرد و غبار

رس ممکن است در تمام انواع سنگ یافت شود. حضور رس‌های معدنی در مصالح سنگی میزان آب بتن مورد نیاز را افزایش و مقاومت بتن سخت شده را کاهش می‌دهد. این کاهش مقاومت حتی هنگامی که نسبت آب به سیمان ثابت نگهداشته شود نیز رخ می‌دهد. در مناطق گرم و مرطوب و گرم و خشک غالباً به ماسه‌های میکایی، که در مجاورت کوههای حاوی سنگ‌های دگرگونی قرار دارند، برخورد می‌شود. ذرات میکا درشت‌تر از ذرات رس هستند ولی دارای اثر مشابه رس

می‌باشند.

گرد و غبارهای چسبنده از هر نوع، نیاز به آب را افزایش می‌دهند. مقدار قابل ملاحظه‌ای از رس و گرد و غبار پس از شستشو از بین می‌رود. در واقع شستشوی مصالح سنگی دو خاصیت دارد: از بین بردن املاح و ذرات ریز. مشخصات و معیارهایی که باید در مورد مصالح سنگی برای حذف رس، میکا و گرد و غبار بکار گرفته شود در جدول ۷-۲ درج شده است (به فصل هفتم رجوع شود).

۳-۷ دانه‌بندی و شکل دانه‌ها

دانه‌بندی و شکل دانه‌ها از نظر قابلیت کاربرد بتن تازه بطور مستقیم و پایایی بتن بطور غیر مستقیم دارای اهمیتی به سزا می‌باشد.

۳-۷-۱ شن درشت دانه

بطور کلی شن درشت دانه مناسب از طریق خرد کردن سنگ تولید می‌شود، شکل دانه به نوع سنگ و سنگ‌شکن بستگی پیدا می‌کند. دانه‌هایی که از شکستن سنگهای سخت یا لایه لایه حاصل می‌شوند ممکن است دارای شکل‌های دلخواه و مکعبی نباشند. روش مناسب برای ارزیابی شکل دانه‌ها در استاندارد BS 812 آمده است. سنگ‌شکن‌های فکی (ضربه‌ای) غالباً بهترین محصول را ارائه می‌دهند. لیکن این نوع سنگ‌شکن‌ها به دلیل میزان اتلاف مصالح برای تقلیل اندازه در سنگهای سخت مناسب نیستند.

برای حصول درجه معینی از قابلیت کاربرد بتن نسبت آب به سیمان در مصالح تیز گوشه (شکسته) بیشتر از مصالح گردگوشه (غلطیده) است.

۳-۷-۲ مصالح سنگی ریزدانه

همانطور که تاکنون گفته شد، مصالح سنگی ریزدانه مناسب در صحاری مناطق مورد بحث به ندرت یافت می‌شود. گذشته از مقدار زیاد نمک، دانه‌بندی ناپیوسته مصالح و شکل نامناسب ذرات از دیگر عوامل نامساعد به حساب می‌آیند. این عوامل موجب افزایش میزان آب لازم و تقلیل روانی (قوام) بتن می‌گردند. این موضوع خطر از دست رفتن شیره بتن را فزونی می‌بخشد.

در خاورمیانه و نواحی اطراف خلیج فارس غالباً از ماسه‌های دریایی برای ساخت بتن استفاده می‌شود. جدا از اینکه اینگونه مصالح معمولاً آلوده به املاح و رس

هستند، حاوی مقادیر قابل توجهی ذرات پولکی با فضای خالی زیاد می‌باشند. درصد بالایی از این مصالح صدف‌ها و بقایای جانوران دریایی هستند. صدف‌ها غالباً توخالی بوده و دارای ساختمان پولکی و مسطح هستند. این مسئله در مورد استفاده از ماسه دریایی در کشورهای اروپایی نظیر انگلستان نیز همواره مطرح می‌باشد. بعضی اوقات حداکثر مقدار مجاز مصالح صدفی در مشخصات فنی ذکر می‌گردد، برای مثال ۳۰ درصد، روشی که برای ارزیابی مقدار صدف‌ها بکار می‌رود عبارتست از اندازه‌گیری کربنات کلسیم، که ممکن است موجب مردود شناخته شدن بعضی ماسه‌های مناسب نظیر ماسه‌های حاوی سنگ آهک و بقایای جانوران دریایی گردد.

در میان تحقیقات انجام شده بررسی‌های RODER و CHAPMAN نشان داده است که صدفها باعث کاهش دوام بتن نمی‌شوند لیکن قابلیت کاربرد را کاهش می‌دهند. ماسه‌هایی مانند ماسه‌های ساحلی نواحی کویری که همراه جریان باد جابجا می‌شوند، از آنجا که به لحاظ شکل و اندازه تقریباً یکنواخت هستند برای ساختن بتن بعلت ایجاد فضای خالی زیاد، مناسب نمی‌باشند. با توجه به نکاتی که درباره ماسه‌های طبیعی گفته شد، ماسه حاصل از خرد کردن سنگها بهترین مصالح برای استفاده در نواحی گرم و خشک به شمار می‌آیند. ماسه مورد بحث در بسیاری از موارد می‌تواند متعاقب تولید سایر مصالح نظیر شن، تولید شود.

اختلاط ماسه طبیعی با ماسه شکسته اغلب نتایج خوبی را بدنبال داشته است. اساساً در مناطق گرم و مرطوب در قیاس با نواحی گرم و خشک از لحاظ آلودگی و شکل دانه‌های ماسه مشکلات کمتری وجود دارد. چنانچه با شستن ماسه ساحلی نسبت به رفع آلودگی آن اطمینان حاصل می‌گردد باید خطر آلودگی مجدد ضمن حمل و انبار کردن مصالح از نظر دور نماند.

۳-۸ سایر عوامل موثر بر پایایی بتن

در فصل اول این مقاله تشریح شد که، رسوب املاح محلول در آب، در سطح بتن می‌تواند منشاء خرابیهای جدی باشد. این خطر در نواحی گرم و خشک تشدید می‌گردد. خمیر سیمان و نیز مصالح سنگی متخلخل بستری مناسب برای ایجاد چنین خرابیهایی به شمار می‌آیند. آزمایش سلامت مصالح بروش ASTM- C 88 یکی از راههایی است که سلامت مصالح سنگی را در رابطه با جذب و رسوب نمک معین می‌سازد. ضمن این آزمایش مصالح سنگی بطور متناوب در مجاورت

سولفات سدیم یا منیزیم قرار گرفته و سپس خشک می‌شود (جدول ۲ بخش ۷)، نتیجه امر افزایش فشار ناشی از تشکیل بلورهای نمک در سطح مصالح است که ممکن است در مصالح نامناسب موجب تخریب و افت وزنی نمونه گردد. آزمایش لوس آنجلس ASTM- C 131 نیز برای تعیین میزان سلامت مصالح بکار می‌رود، این روش بیشتر مشخص کننده مقاومت مصالح در قبال سایش و فرسایش است.

تاثیر زیانبار نرم‌تنان دریایی که در جسم سازه حفره‌هایی ایجاد می‌نمایند در فصل اول مورد بحث قرار گرفت. بعلت تاثیر مخرب این جانوران بر سنگ آهک و دولومیت بهتر است از این مصالح بعنوان مصالح سنگی در ساخت بتن استفاده نشود. چنانچه چاره‌ای جز کاربرد این مصالح نباشد، می‌توان از مواد شیمیایی و یا پوشش‌های حفاظتی استفاده کرد، از میزان پایایی اینگونه پوشش‌های شیمیایی اطلاعی در دست نیست.

یکی ازعوامل موثر بر پایایی بتن که تحقیق و بررسی درباره آن مجدانه در جریان است ترک‌های ایجاد شده در خمیر سخت شده سیمان، خصوصاً ترک‌های ایجاد شده بین خمیر سیمان و دانه‌های سنگی ناشی از اختلاف درجه حرارت بین ساعات مختلف شبانه‌روز است، در جدول ۳-۴ ضریب انبساط طولی پاره‌ای مصالح سنگی و خمیر سخت شده سیمان، که در بعضی موارد دارای تفاوت‌های فاحشی نیز با یکدیگر هستند، درج شده است.

جدول ۳-۴- ضریب انبساط طولی بعضی مصالح (بر حسب 10^{-6} بر درجه سانتیگراد)

نوع سنگ	گرانیت	۱/۸-۱۱/۹
	دولوریت - آندزیت	۴/۱-۱۰/۳
	گابرو - بازالت - دیاباز	۳/۶-۹/۷
	ماسه سنگ	۴/۳-۱۳/۹
	دولومیت	۶/۷-۸/۶
	سنگ آهک	۰/۹-۱۲/۲
	سنگ مرمر (نوعی سنگ آهک)	۱/۱-۱۶
	چرت (نوعی سنگ سیلیس)	۷/۴-۱۳/۱
خمیر سخت شده سیمان		۱۰-۲۰

"VENECANIN" طی محاسباتی مشخص ساخته است که تنش‌های کششی حاصل به آسانی به مرز ۲۰ تا ۳۰ کیلوگرم بر سانیتمتر مربع می‌رسد. تکرار مستمر تغییرات

درجه حرارت در سطح بتن احتمال بروز ترک‌های میکروسکوپی را مطرح می‌سازد. متعاقب این امر نفوذ عوامل خورنده بر جسم بتن، از راه این ترک‌ها، تسریع می‌گردد.

۳-۹ نتایج، الزامات و چاره‌جوییها

برای بدست آوردن بتن پایا باید مشخصات ویژه‌ای برای مصالح سنگی در نظر گرفت. این مشخصات به شرایط اقلیمی بستگی دارد. در نواحی گرم و خشک وجود کلرور در مصالح سنگی دارای اهمیت زیادی نیست. در سازه‌های بتنی مهم که در نواحی مرطوب ساحلی و نواحی گرمسیر بنا می‌شوند رعایت اینگونه مشخصات در قیاس با نواحی معتدل از اهمیت بیشتری برخوردار است. مشخصاتی که برای مصالح سنگی در اینگونه مناطق توصیه می‌شود در جدول ۷-۲ آمده است.

۴ مواد افزودنی، عاملی کمکی در ساخت بتن

۴-۱ مقدمه

بتن یا ملات مخلوطی است از آب، سیمان و مصالح سنگی. نسبت‌های اختلاط و ترکیب این عوامل از مهمترین نکات در حصول بتن و ملات مرغوب می‌باشد.
در مواردی قابلیت کاربرد مطلوب و یا پایایی مناسب بتن تنها با استفاده از این عوامل اصلی بدست نمی‌آید. این امر ممکن است ریشه در نامناسب بودن بعضی مصالح، وضعیت خاص سازه، آثار مخرب عوامل بیرونی و شرایط جوی داشته باشد.
حتی در زمانهای قدیم کوششهای فراوانی درجهت تقویت کیفیت بتن با استفاده از مواد افزودنی بعمل آمده، برای مثال رومی‌ها از خون و آلبومین بعنوان روان‌کننده (PLASTICIZER) و در قرن نوزدهم از آب دریا به مثابه عاملی برای کنترل زمان گیرش استفاده شده است.
در حدود سالهای ۱۹۳۰ چاشنی‌های هوازا (داخل‌کننده هوا) در آمریکا به بازار عرضه شد. استفاده از این مواد در اروپا با تاخیر همراه بوده است. برای مثال استفاده از مواد معین در هلند در اواخر دهه ۶۰ متداول گشت.
تجربیات و اطلاعات کسب شده توسط مهندسان و کارشناسان اروپایی موجب شد استفاده از این مواد افزودنی به کشورهای خاورمیانه نیز تسری داده شود.
پرداختن به آثار شیمیایی این مواد بر آب، سیمان و مصالح سنگی از حوصله و توان این مقاله خارج است لیکن سعی شده نمونه‌های زنده‌ای که خود نشان‌دهنده نتایج حاصل از بکارگیری اینگونه مواد است مورد ارزیابی قرار گیرد.

۴-۲ قواعد بین‌المللی و توصیه‌ها

یکی از آیین‌نامه‌هایی که باید به مقیاس وسیعی مورد استفاده قرار گیرد آیین‌نامه "انجمن آمریکایی آزمایش و مصالح" است (ASTM) در ASTM-C-494-81 مشخصات استاندارد مواد افزودنی شیمیایی بتن به شرح زیر طبقه‌بندی شده است:

- نوع A، روان‌کننده‌ها
- نوع B، دیرگیرکننده‌ها
- نوع C ، زودگیرکننده‌ها
- نوع D، روان‌کننده‌های توام با اثر دیرگیرکننده
- نوع E ، روان‌کننده‌های توام با اثر زودگیرکننده

- نوع F، روان‌کننده‌های قوی
- نوع G ، روان‌کننده‌های قوی با اثر دیرگیرکننده

چاشنی‌های نوع A تا E قبل ازسالهای ۱۹۶۰ مورد استفاده بوده‌انـد. روان‌کننده‌هـای قوی به آن دسته از مواد شیمیایی اطلاق می‌شود که با مصرف آنها می‌تـوان حداقـل ۱۲ درصد از میزان آب مورد نیاز بتن کاست. اولین نوع مواد افزودنـی کـه بصـورت گسترده و تجارتی مورد استفاده قرار گرفت مواد معین هوازا بود که مشخصات آنهـا در ASTM-C-260-77 آمده است.

در جدول ۴-۱ مقایسه‌ای بین مشخصات فیزیکی و مکانیکی بتن‌هـای حـاوی مـواد افزودنـی و بتـن معمولـی (بتـن بـدون مـواد معیـن) صـورت پذیرفتـه اسـت (ASTM-C-494).

جدول ۴-۱ (مبنای مقایسه بتن معمولی، بدون هرگونه ماده معین)

شرح	هدف از افزایش / نوع چاشنی		A	B	C	D	E	F	G
			تقلیل میزان آب	دیرگیر ساختن	زودگیر ساختن	تقلیل میزان آب+ دیرگیرساختن	تقلیل میزان آب+ زودگیرساختن	تقلیل آب به میزان زیاد	تقلیل آب به میزان زیاد+ دیرگیرساختن
حداکثر میزان آب (٪)			۹۵	-	-	۹۵	۹۵	۸۸	۸۸
زمان گیرش،حداکثر تغییر مجاز نسبت به گیرش اولیه بر حسب ساعت	آغاز	حداقل	-	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	-	۱/۰۰
		حداکثر	کمتر از ۱/۰۰	دیرتراز ۳/۳۰	کمتر از ۳/۳۰	دیرتر از ۳/۳۰	کمتر از ۳/۳۰	کمتر از ۱/۰۰	دیرتر از ۳/۳۰
	پایان	حداقل	-	-	کمتر از ۱/۰۰	-	کمتر از ۱/۰۰	-	-
		حداکثر	کمتر از ۱/۰۰	دیرتراز ۳/۳۰	-	دیرتراز ۳/۳۰	-	کمتر از ۱/۰۰	دیرتر از ۳/۳۰
مقاومت فشاری (٪)	یک روزه		-	-	-	-	-	۱۴۰	۱۲۵
	سه روزه		۱۱۰	۹۰	۱۲۵	۱۱۰	۱۲۵	۱۲۵	۱۲۵
	هفت روزه		۱۱۰	۹۰	۱۰۰	۱۱۰	۱۱۰	۱۱۵	۱۱۵
	بیست و هشت روزه		۱۱۰	۹۰	۱۰۰	۱۱۰	۱۱۰	۱۱۰	۱۱۰
	شش ماهه		۱۰۰	۹۰	۹۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰
	یک ساله		۱۰۰	۹۰	۹۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰
مقاومت خمشی (٪)	سه روزه		۱۰۰	۹۰	۱۱۰	۱۰۰	۱۱۰	۱۱۰	۱۱۰
	هفت روزه		۱۰۰	۹۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰
	بیست و هشت روزه		۱۰۰	۹۰	۹۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰
تغییرطول	درصدنسبت‌به‌بتن‌معمولی		۱۳۵	۱۳۵	۱۳۵	۱۳۵	۱۳۵	۱۳۵	۱۳۵
حداکثرجمع شدن در اثر خشک شدن	اضافه جمع شدن نسبت به بتن بدون چاشنی		۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱
حداقل ضریب پایایی نسبی			۰/۸۰	۰/۸۰	۰/۸۰	۰/۸۰	۰/۸۰	۰/۸۰	۰/۸۰

عناصر متشکله اصلی مواد معین، به کمک تجزیه با اشعه مادون قرمز، مواد نامحلول ووزن مخصوص مشخص می‌شوند.

روش مقدماتی برای تعیین مناسب بودن افزودنی‌ها در استانداردها آمده است.

چنانچه برای کار مورد نظر نسبت‌های اختلاط از قبل مشخص نشده باشد لازم است حسب نیاز نمونه‌هایی با توجه به اسلامپ بتن، میزان هوا در بتن، شروع و اختتام گیرش و نسبت آب به سیمان ساخته شود.

درجه حرارت مصالح و محیط آزمایشگاه باید ۱/۷± ۲۳ درجه سانتیگراد باشد. باید نمونه‌های مختلفی برای تعیین خواص بتن نظیر مقاومت فشاری، مقاومت خمشی، مقاومت در قبال یخ زدگی، جمع شدن در اثر خنک شدن و ... ساخته شود.

در ACI-212-2R-81 راهنمایی‌هایی برای استفاده از مواد افزودنی با توجه به هدف بکارگیری آنها و در ACI-212-1R-81 در مورد روشهای حصول نتایج مطلوب و اقدامات احتیاطی در بکارگیری اینگونه مواد صحبت شده است.

مسائل مطرح شده در این استانداردها جنبه کلی داشته و به مسئله کاربرد مواد افزودنی در مناطق گرمسیر بطور اخص نپرداخته‌اند. استاندارد CP-110 انگلیس کاربرد مواد افزودنی را برای ساختمانهای ویژه محدود و برای ساختماهای معمولی ممنوع اعلام می‌دارد.

توجه به اینکه اولا" مراجع استاندارد از پیشرفت‌های سریع تکنولوژیکی بتن عقب‌ترند، ثانیا" تفاوتهایی در نظریات مراجع استاندارد گوناگون وجود دارد برای اجتناب از برداشت غلط، تدوین مشخصات فنی مشروح و روشن برای هر پروژه ساختمانی از اهمیتی ویژه برخوردار است.

از طرف دیگر باید گفت در سالهای اخیر در اثر کوشش سازندگان و تشکیل سمینارهایی در این مورد آگاهی از خواص مورد افزودنی به مقدار زیادی افزایش یافته است.

۴-۳ ترکیب بتن و مواد افزودنی

نامتجانس بودن بتن وعوامل متشکله متغیرهای متعددی را وارد عمل می‌سازد که بر خواص بتن تازه و بتن سخت شده اثر می‌گذارند. محققین درگذشته فرضیه‌هایی بر مبنای ارزیابی ریاضی نتایج حاصل از آزمایش و مشخصات فیزیکی بتن تدوین نموده‌اند. تمام این کوشش‌ها موجب شده است طرح اختلاط بتن در پرده‌ای از ابهام قرار گیرد. از اینرو بسیاری از روشهای ابداع شده مردود شناخته شده است.

قبل از آنکه در سال ۱۹۳۰ "نسبت آب به سیمان" توسط "داف آدامز" مطرح گردد فرضیه عام پذیرفته شده حاکی از این مطلب بود که، بیشترین مقاومت و کمترین نفوذپذیری از بتنی حاصل می‌شود که دارای بیشترین تراکم و وزن مخصوص باشد. زمان زیادی صرف شد تا بهترین دانه‌بندی برای اجتناب از وجود فضای خالی و تخلخل بتن بدست آید.

فرضیه "نسبت آب به سیمان" به تاثیر این عامل بر کیفیت و مقاومت بتن و خمیر سیمان تاکید دارد. بعضی محققین دیگر معتقد بودند که مهمترین عامل میزان سیمان است. محققین در فرضیات اخیر برای وزن مخصوص بتن در قیاس با مقاومت اهمیت بیشتری قائل شده‌اند.

بمنظور خلاصه کردن مسائل فوق، می‌توان چنین اظهار داشت که، طرح اختلاط بتن با استفاده از یک فرمول میسر نیست. طرح بتنی که با استفاده از مصالح موجود و با پایین‌ترین قیمت، مشخصات مطلوبی را بدست دهد، بهترین طرح به حساب می‌آید. گاهی اوقات این امر تنها با انجام آزمایش‌های کارگاهی بمنظور مشخص ساختن تمامی عوامل موثر امکان‌پذیر است. کیفیت بتن می‌تواند تحت تاثیر سه عامل عمده زیر قرار گیرد:

- کیفیت سیمان
- نسبت آب به سیمان
- تراکم یا وزن مخصوص بتن

رابطه بین مقاومت فشاری نمونه مکعبی بتن، مقاومت استاندارد سیمان مصرفی و نسبت آب به سیمان به شرح فرمول تجربی زیر است:

$$B = 0.8\ N + \frac{25}{W} - 45 \qquad \text{(رابطه ۱)}$$

در رابطه فوق B مقاومت فشاری نمونه مکعبی طبق استاندارد DIN-1045 آلمان بر حسب مگاپاسکال[1]، N مقاومت سیمان طبق استاندارد DIN- 1146 آلمان بر حسب مگاپاسکال و W نسبت آب به سیمان است.

چنانچه بخواهیم B و N را بر حسب کیلوگرم بر سانتیمتر مربع منظور نمائیم رابطه فوق به شکل زیر تغییر می‌نماید:

$$B = 0.8\ N + \frac{2500}{g.w} - \frac{4500}{g} \qquad \text{(رابطه ۲)}$$

g عبارتست از شتاب ثقل بر حسب متر بر مجذور ثانیه

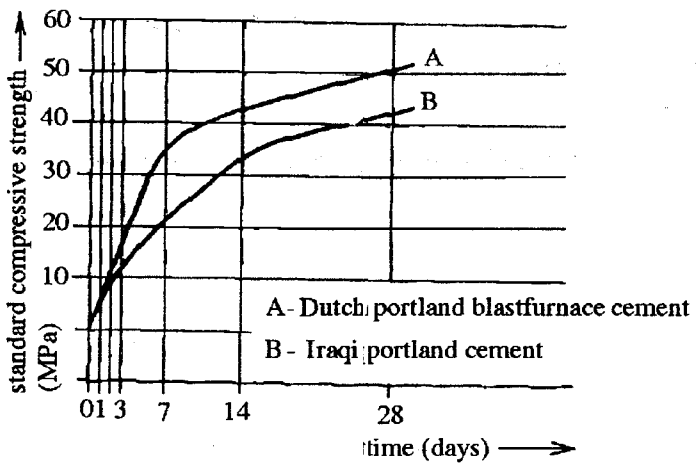
۱- پاسکال واحد فشار است در سیستم MKS علمی و عبارتست از یک نیوتن بر متر مربع (یک مگاپاسکال تقریبا" برابر ۱۰ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع است).

۴-۴ تغییرات کیفیت بتن در ارتباط با نوع سیمان

کیفیت سیمان و درجه‌بندی آن بر حسب مقاومت استاندارد صورت می‌پذیرد. برای سیمان معمولی حدود مقاومت استاندارد بین $\frac{۳۵۰۰}{g}$ تا $\frac{۵۵۰۰}{g}$ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع خواهد بود (بین ۳۵ تا ۵۵ مگاپاسکال، در مقادیر اخیرالذکر g عبارتست از شتاب ثقل زمین بر حسب متر بر مجذور ثانیه). با توجه به ضریب تاثیر ۰/۸ در فرمول‌های ۱ و ۲ برای N (مقاومت استاندارد سیمان) مقاومت بتنی که با این سیمان ساخته شود می‌تواند دامنه تغییراتی برابر $\frac{۱۶۰۰}{g}$ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع یا ۱۶ مگاپاسکال داشته باشد. حتی در مورد سیمانهای با کیفیت ثابت (با انحراف استاندارد آماری ۲/۵ مگاپاسکال) برابر $\frac{۲۵۰}{g}$ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع) مقاومت استاندارد در محدوده مشخص شده ممکن است نسبتاً پایین یا نسبتاً بالا باشد.

شکل ۴-۱ دو نوع سیمان هلندی و عراقی را به لحاظ سرعت کسب مقاومت با یکدیگر مقایسه نموده است. نمونه‌ها هم از لحاظ روند کسب مقاومت و هم از نظر میزان مقاومت حاصل با یکدیگر تفاوت‌هایی دارند.

زمان شروع و اختتام گیرش بر مبنای آزمایش ویکا بصورت استاندارد در آمده است. شروع زمان گیرش نباید کمتر از یک ساعت پس از اختلاط آب و سیمان باشد. در مورد شروع گیرش همه استانداردها (DIN, BS , ASTM) متفق‌القول‌اند اما در مورد پایان گیرش حداکثر زمان توسط ASTM هفت ساعت، BS ده ساعت و DIN دوازده ساعت اعلام شده است.



شکل ۴-۱

تحقیقات وسیع انجام شده در مورد سیمانهای مصرفی در خاورمیانه نشان داده که در این سیمانها زمان شروع گیرش بین ۴ تا ۸ ساعت وزمان اختتام گیرش بین ۵/۵ تا ۹/۵ ساعت بوده است. شروع زمان گیرش سیمانهایی که معمولاً در هلند مصرف می‌شوند ۴ و اختتام گیرش آنها ۵ ساعت می‌باشد.

برآوردن نیازهای مندرج در مشخصات فنی نظیر زمان گیرش و مقاومت استاندارد تولیدکنندگان سیمان را بر آن داشته که پیوسته نحوه تولید را همپای نیازها متحول سازند. بدیهی است سایر نکات نظیر سرعت و میزان گرمای آبگیری سیمان نباید از نظر دور ماند. کیفیت خمیر سیمان سخت شده توسط نوع سیمان مشخص می‌شود. قبلاً در این زمینه به تفصیل صحبت شده اما بطور خلاصه می‌توان گفت انواع سیمانها به هنگام ترکیب با آب مشخصات ویژه خود را دارا هستند.

۴-۵ تغییرات درجه حرارت

علاوه بر احتمال تفاوت‌هایی در کیفیت اجزای متشکله بتن، درجه حرارت اولیه بتن تازه که خود تابعی از درجه حرارت محیط می‌باشد از نکات قابل توجه است.

پیامدهای ناشی از واقع شدن بتن تازه در محیط گرم که عبارتند از سخت شدن زودتر از موعد مقرر و جمع شدن در اثر خشک شدن بیش از حد متعارف، کاملاً روشن است. مسائلی که احتمالاً در این زمینه بروز می‌نماید و طرق پیشگیری و درمان آن به تفصیل در ACI-305-R77 نشر ۱۹۸۲، مورد بحث واقع شده است. در این مواقع فقط استفاده از مواد افزودنی نوع B و D توصیه شده است.

بهتر است علاوه بر آزمایشهای متداول در شرایط مناسب آزمایشگاهی (حرارت ۱/۷± ۲۳ درجه سانتیگراد) تعدادی آزمایش در درجه حرارت‌های بالاتر به منظور بررسی نتایج بتن‌ریزی در گرما نیز صورت پذیرد.

کاربرد مقدار معینی از مواد افزودنی در درجه حرارت معین نتیجه مشخصی را بدنبال خواهد داشت. چنانچه درجه حرارت تغییر نماید اثر مواد افزودنی نیز تغییر می‌کند. مثلاً میزان به تعویق افتادن گیرش در اثر استفاده از مواد دیرگیرکننده در درجه حرارت زیادتر کاهش می‌یابد. اثر مواد افزودنی هوازا نیز با افزایش درجه حرارت از بین می‌رود. همچنین قابلیت کاربرد بتن با افزایش دما به میزان قابل ملاحظه‌ای نقصان پیدا می‌کند.

همه این عوامل باید دقیقاً قبل از کاربرد مواد معین بررسی شود.

۴-۶ تغییرات نسبت آب به سیمان

پایایی بتن می‌تواند مستقیماً با نسبت آب به سیمان مرتبط باشد. آیین‌نامه ACI-211/3-81 در خصوص نسبتهای اختلاط، برای ساخت بتن بدون اسلامپ در محیطهای خورنده حداکثر نسبت‌های آب به سیمان را مطابق جدول ۴-۲ بیان داشته است.

جدول ۴-۲ حداکثر نسبت آب به سیمان برای بتن در شرایط ویژه بر مبنای گزارش کمیته ۲۰۱، ACI با عنوان "پایایی بتن تحت بهره‌برداری" [1]

شرایط اقلیمی / نوع سازه	محیطهای مرطوب یا مناطقی که بطور متناوب در آن یخبندان اتفاق می‌افتد (*)	رویارویی با آب دریا یا سولفات‌ها (**)
دیوارهای نازک و بتن‌های با پوشش کمتر از ۲۵ میلیمتر	۰/۴۵	۰/۴
سایر سازه‌ها	۰/۵	۰/۴۵

* در این موارد استفاده از مواد افزودنی هوازا ضروری است.

** چنانچه سیمان ضد سولفات مصرف شود نسبت آب به سیمان تا ۰/۵ قابل افزایش است.

۴-۷ مواد افزودنی، عاملی کمکی در ساخت بتن

قبل از این یادآور شدیم که بتن از سیمان، آب و مصالح سنگی ساخته می‌شود. همچنین بیان گردید که مشخصات مصالح و عوامل بیرونی تعیین‌کننده کیفیت نهایی بتن می‌باشند. بطور معمول در اروپای غربی کمتر با موانعی مواجه می‌شویم که کیفیت بتن را تهدید نماید. اما در نقاط دیگر دنیا که این مقاله برای آن نوشته شده است شرایط کاملاً متفاوت می‌باشند بدین معنا که مصالح موجود برای ساختن بتن نظیر سیمانهای تولید داخلی، وجود کلرورها در شن و ماسه، حضور عوامل خورنده مانند آب دریا وزش بادهای مخرب، روشهای اجرایی و .... عواملی هستند که ما را مجبور به رعایت نکات احتیاطی می‌نمایند.

کاربرد مواد افزودنی متعددی که امروزه ساخته می‌شوند بطور معمول می‌توانند ما را در نیل به کیفیت مناسب بتن یاری دهند. انواع اصلی مواد افزودنی و خواص آنها در جدول ۴-۳ درج شده است. در این جدول نتایج عملی حاصل از کاربرد این مواد به ویژه کاربرد روان‌کننده‌ها به همراه یا بدون زودگیرکننده‌ها و دیرگیرکننده‌ها مورد توجه واقع شده است.

1- Durability of concrete in service

جدول ۴-۳- خصوصیات افزودنی‌ها

نوع ماده افزودنی / شرح	روان‌کننده	دیرگیرکننده	زودگیرکننده	روان‌کننده‌های قوی	موادافزودنی هوازا
آثار اولیه	تقلیل نیروی کشش بین ذرات سیمان و یا کاهش کشش سطحی آب	کند ساختن سرعت جذب آب سیمان	افزایش سرعت جذب آب سیمان، بالا بردن سرعت گیرش و بسط و انتشار سریع مقاومت	کاهش شدید نیروی کشش بین ذرات سیمان	تشکیل حبابهای منظم، مجزا و پایدار هوا به قطر ۱۰ تا ۱۰۰ میکرون
آثار عملی	افزایش خاصیت پلاستیکی، تقلیل نسبت آب به سیمان به میزان ۱۰ تا ۱۵٪ که موجب افزایش مقاومت شده و امکان تقلیل سیمان مصرفی را فراهم می‌سازد	افزایش مدت کاربرد بتن و احتمالاً اجتناب از اجرای درزهای ساختمانی	بازکردن زودتر قالبها خصوصاً در کارخانجات قطعات پیش ساخته و نیز برای جبران سرعت کم جذب آب سیمان در دماهای کم	افزایش شدید قابلیت کاربرد که در نتیجه آن میزان آب مصرفی ۲۰ تا ۳۰ درصد کاهش می‌یابد، همچنین مقاومت یک روزه و ۲۸ روزه می‌تواند تا ۵۰ درصد افزایش یابد	قابلیت کاربرد و پایایی بتن افزایش می‌یابد. چنانچه میزان هوا تا ۵ درصد باشد مقاومت در قبال یخبندان ایجاد می‌گردد.
آثار جانبی (ضررها)	افزایش میزان هوا در جسم بتن، ازدست رفتن بیش از حد شیره بتن	لزوم جلوگیری از خشک شدن	وجود کلرور کلسیم که ممکن است موجبات خوردگی را فراهم سازد	محدودیت دوره عملکرد	کاهش مقاومت به میزان ۵ درصد بازاء هر یک درصد هوا، حساس بودن نسبت درجه حرارت محیط و مدت زمان اختلاط
مصرف بیش از حد	دیرگیرشدن بتن (که لزوماً زیان‌بار نیست)، ورود بیش از حد هوا به جسم بتن که موجب کاهش مقاومت به میزان ۵٪ در ازای هر یک درصد هوا خواهد شد.	به تاخیر انداختن گیرش می‌تواند پدیده سخت شدن خمیر سیمان را به تعویق اندازد	گیرش فوق‌العاده سریع	تاخیر در گیرش، از دست رفتن شیره بتن و بهم خوردن پیوستگی بتن بلحاظ دانه‌بندی (جدا شدن دانه‌ها)	افزایش میزان هوا در جسم بتن که منجر به کاهش مقاومت می‌شود.
میزان مصرف نسبت به سیمان (٪)	۰/۲-۰/۴	۰/۵-۱/۵	۱-۲	۰/۶-۲	۰/۱
اضافه هزینه ناشی از مصرف ماده افزودنی نسبت به قیمت تمام شد بتن (٪)	۲/۳	۷/۵	۴/۵	۸/۵	۱/۳

جدول ۴-۴- مشخصات پرتلند عراقی

نرمی سیمان- آزمایش بلین (سانتیمترمربع‌برگرم)	زمان گیرش (دقیقه)		مقاومت فشاری (کیلوگرم بر سانتیمتر مربع)			
	شروع	خاتمه	۲ روزه	۳ روزه	۷ روزه	۲۸ روزه
۳۸۰	۱۳۰	۲۷۰	۱۰۵	۱۳۹	۲۰۸	۴۱۸

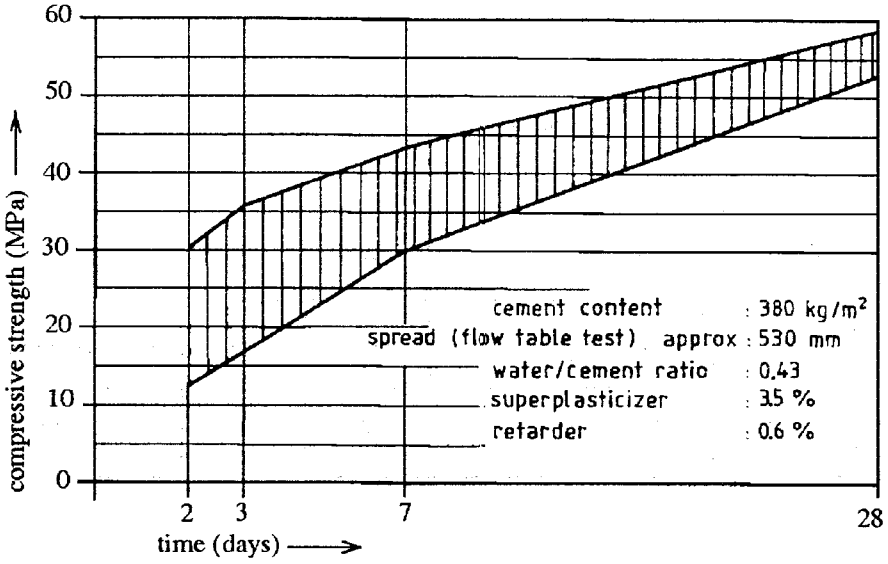
۴-۸ تجربیات بدست آمده

۴-۸-۱ پل رودخانه شطالعرب در عراق

پلی با یک دهانه متحرک طراحی گردید تا جایگزین پل چوبی قدیمی شطالعرب در بصره گردد. برای این پل پیش تنیده ۷۵۰ متری بتن نوع B-۳۵۰ در نظر گرفته شد. برای افزایش سرعت کار مقرر گردید مقاومت فشاری سه روزه بتن کمتر از ۲۴۰ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع نباشد. بهترین سیمانی که در عراق تولید می‌شد از لحاظ حصول مقاومت اولیه مورد نیاز مناسب نبود. از این رو برای ساخت قسمتهای اصلی سازه که یازده‌هزار متر مکعب بتن در آن بکار می‌رفت تقاضای ورود سیمان از اروپا گردید (جدول ۴-۴ حاوی پاره‌ای مشخصات سیمان عراقی مورد بحث است).

مقامات عراقی با ورود سیمان موافقت ننموده و پیمانکار مجبور به ارائه راه حل دیگری گردید. آزمایشهایی در مورد تهیه بتن مناسب با عیار ۳۸۰ کیلوگرم سیمان در متر مکعب صورت گرفت. مصالح سنگی در چهار اندازه و از منابع داخلی تامین می‌شد.

آزمایشهای بر روی بتن بدون مواد افزودنی، بتن با روان‌کننده‌های قوی، بتن با دیرگیرکننده‌ها و بتن‌های با مصرف توام این مواد صورت پذیرفت. نتایج حاصل از سه نمونه با بهترین نسبت‌های اختلاط در جدول‌های ۴-۵ و ۴-۶ و نمودار ۴-۲ درج گردیده است.



شکل ۴-۲

توضیح: نتیجه آزمایش جاری شدن بتن مانند آزمایش اسلامپ بیانگر میزان روانی و قابلیت کاربرد بتن است.

جدول ۴-۵- ویژگی‌های بتن با نسبت‌های مختلف مواد افزودنی

شماره نمونه	ماده افزودنی مورد مصرف		*سرعت‌جریان یافتن و پخش بتن به سانتیمتر	نسبت آب به سیمان	وزن مخصوص کیلوگرم بر لیتر	زمان گیرش (ساعت)	مقاومت فشاری (کیلوگرم‌برسانتیمترمربع)					
	نوع	درصدوزنی نسبت‌به‌سیمان					۱ روزه	۲ روزه	۳ روزه	۵ روزه	۷ روزه	۲۸ روزه
۱	-	-	۴۷	۰/۵۵	۲/۳۶	۲						
۲	روان‌کننده قوی	۲/۵	۴۴	۰/۴۴	۲/۳۸	۶/۴	۹۱	۱۱۸	۱۵۸	۱۹۰	۲۲۵	۳۴۱
	دیرگیر کننده	۱					-	-	-	۲۲۰	۳۴۶	۵۲۵
۳	روان‌کننده قوی	۳/۵	۴۶	۰/۴۵	۲/۳۹	۹	۹۴	۲۳۲	۲۶۹	۳۲۱	۳۷۸	۴۹۴
	دیرگیر کننده	۰/۶										

* طبق آزمایش جاری شدن

۴-۸-۲ احداث منازل مسکونی در عربستان سعودی

بمنظور احداث خانه‌های مسکونی تصمیم گرفته شد از بتن‌ریزی درجا استفاده شود. قالب‌بندی فلزی تونلی همراه با عمل‌آوری سریع به کمک بخار آب با فشار کم برای گردش کار یکروزه (قالب‌بندی، بتن‌ریزی و باز کردن قالب‌ها ظرف مدت یکروز) مناسب تشخیص داده شد. مقاومت مورد نیاز بتن برای باز کردن قالب‌ها که پس از چهارده ساعت انجام می‌گرفت ۱۷۰ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع تعیین شد در حالیکه مقاومت نهایی به ۳۰۰ کیلوگرم بر سانیتمتر مربع می‌رسید.

همه روشهای تسریع سخت شدن خمیر سیمان بادر نظر گرفتن قابلیت پمپاژ، خواص جاری شدن، حساسیت در مقابل ترک خوردن در درجه حرارت زیاد، برای دیوارهای بتنی پانزده سانتیمتری که دو لایه شبکه آرماتور (بشکل توری) در آن قرار می‌گرفت بدقت بوسیله پیمانکار در هلند مورد آزمایش قرار گرفته نتایج آن با شرایط عربستان سعودی تطبیق داده شد.

جدول ۴-۶- نتایج آزمایشهای فیزیکی سیمان در جدول ۴-۶ درج شده است.

نوع سیمان / شرح آزمایش		سیمان ژاپنی		
		حداکثر	حداقل	متوسط
نرمی سیمان- آزمایش بلین (سانتیمتر مربع بر گرم)		۴۳۶۰	۳۵۶۰	۳۸۶۷
زمان گیرش دقیقه	شروع	۳۴۵	۱۳۴	۲۴۰
	پایان	۴۷۰	۲۲۵	۳۸۰
مقاومت فشاری بر حسب کیلوگرم‌برسانتیمتر مربع	سه روزه	۲۹۶	۱۷۱	۲۳۴
	هفت روزه	۳۴۱	۲۷۹	۳۰۵

مصالح سنگی متشکل بود از سنگ آهک و سنگ آتش زنه شکسته که از معدن تهیه می‌شد، اندازه دانه‌ها ۵ تا ۱۰ و ۱۰ تا ۲۰ میلیمتر بوده و از ماسه بادی بعنوان مصالح ریزدانه استفاده می‌شد. ماده افزودنی که در تهیه بتن بکار گرفته شد عبارت بود از روان‌کننده‌ای قوی موسوم به (SULPHONATED MELAMINE FORMALDEHYDE) به میزان ۱ تا ۱/۳ درصد وزن سیمان، نسبت‌های اختلاط در متر مکعب بتن به قرار زیر بوده است:

سیمان	۳۲۵ کیلوگرم
ماسه ۱-۰ میلیمتر	۷۰۵ کیلوگرم
شن ۱۰-۵ میلیمتر	۵۰۵ کیلوگرم
شن ۲۰-۱۰	۶۷۵ کیلوگرم
روان‌کننده قوی	۱/۳-۱ درصد وزن سیمان
نسبت آب به سیمان	۰/۵۱۳-۰/۵۱ با احتساب افزودنی بعنوان مایع
نسبت آب به سیمان	۰/۵ بدون احتساب ماده افزودنی بعنوان مایع

اسلامپ بتن بدون افزودن روان‌کننده ۵۰ میلیمتر

اسلامپ بتن با افزودن روان‌کننده ۱۵۰ میلیمتر

بر روی بتن بکار رفته از نوع B-۳۰۰ با کمک قالب‌های مکعبی ۱۵×۱۵×۱۵ طبق استاندارد BS ۱۸۸۱ آزمایش‌های متعددی صورت گرفت که خلاصه نتایج آن به شرح زیر است:

متوسط مقاومت فشاری	۳۹۸ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع
انحراف معیار نتایج	۳۸ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع
میزان انحراف	۹/۵ درصد

۴-۸-۳ دیوارهای پیش‌ساخته در عربستان سعودی

طبق مشخصات فنی بتنی با مقاومت نهایی فشاری ۳۵۰ و مقاومت ۱۵۰ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع، هنگام باز کردن قالب‌ها برای تولید دیوارهای پیش‌ساخته ۱۵ سانتیمتری مدرسه و منازل مورد نیاز بود. قالب‌های فلزی با لرزاننده‌های صفحه‌ای متصل به قالب برای انجام بتن‌ریزی با گردش کار یکروز بکار گرفته می‌شد. پس از باز کردن قالبها، دیوار بتنی از تونلی برای نماسازی تگری عبور داده می‌شد. برای تامین یکنواختی نما لازم بود که مقاومت دیوارها از ۲۰۰ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع تجاوز ننماید. به دلائل بودجه‌ای امکان عمل آوردن سریع به کمک حمام بخار با توجه به تغییرات درجه حرارت در ساعات مختلف روز که ۳۰ درجه سانتیگراد بود میسر نگردید.

از این رو آزمایش‌های تهیه بتن مناسب تنها بر پایه تنظیم گرمای حاصل از جذب آب سیمان بوسیله انتخاب نوع سیمان، عیار سیمان و نسبت آب به سیمان میسر بود.

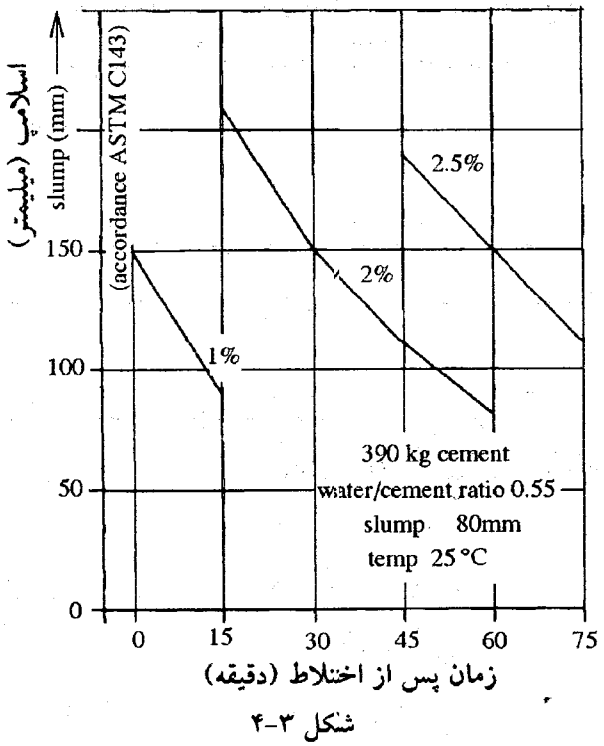
بررسی‌های مربوط به تهیه بتن مناسب به شرح زیر صورت پذیرفت:

۱) سیمان	نوع یک (Z35F طبق استاندارد آلمان)
میزان سیمان	۳۹۰، ۴۲۰ و ۴۵۰ کیلوگرم در متر مکعب
نسبت آب به سیمان	۰/۵۳، ۰/۵۱ و ۰/۴۸
۲) سیمان	نوع سه (Z45F طبق استاندارد آلمان)
میزان سیمان	۳۶۰، ۳۹۰ و ۴۲۰ کیلوگرم در مترمکعب
نسبت آب به سیمان	۰/۵۷، ۰/۵۴ و ۰/۵۳

سپس تاثیر نوعی روان‌کننده قوی (SULPHONATED MELAMINE FORMALDEHYDE) با نسبت‌های ۱/۵، ۲ و ۲/۵ درصد وزنی سیمان مورد بررسی قرار گرفت. همچنین اثر کاهش غلظت، مصرف بیش از اندازه و تاثیر حرارت اولیه مورد ارزیابی قرار گرفت. در جدول ۴-۷ حرارت حاصل از جذب آب بعضی سیمانها و در شکل ۴-۳ کاهش قابلیت کاربرد بتن در اثر مصرف مقادیر مختلف روان‌کننده نشان داده شده است.

جدول ۴-۷

نوع سیمان طبق DIN 1164	حرارت حاصل از جذب آب سیمان (ژول برگرم)			
	یک روزه	سه روزه	هفت روزه	۲۸ روزه
Z25 , Z35 L	۶۰-۱۷۵	۱۲۵-۲۵۰	۱۵۰-۳۰۰	۲۰۰-۳۷۵
Z35F , Z45 L	۱۲۵-۲۰۰	۲۰۰-۲۳۵	۲۷۵-۳۷۵	۳۰۰-۴۲۵
Z45F , Z55	۲۰۰-۲۷۵	۳۰۰-۳۵۰	۳۲۵-۳۷۵	۳۷۵-۴۲۵



شکل ۳-۴

پس از بررسی تمام جوانب، نسبت‌های اختلاط زیر انتخاب گردید:

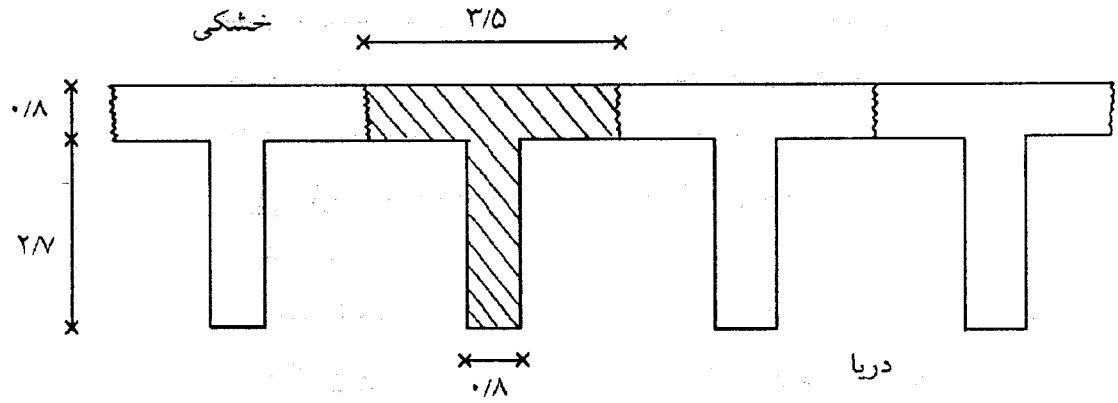
سیمان	نوع ۳ (Z45F طبق استاندارد DIN1164)
مقدار سیمان	۳۹۰ کیلوگرم برمتر مکعب
نسبت آب به سیمان	۰/۴۸
مقدار روان‌کننده	۱/۵ درصدوزن سیمان
نسبت‌های اختلاط مصالح سنگی:	
سنگ بازالت به قطر حداکثر ۲۰ میلیمتر	۵۰ درصد
سنگ بازالت به قطر حداکثر ۱۰ میلیمتر	۲۲ درصد
ماسه بادی به قطر حداکثر ۲ میلیمتر	۲۸ درصد

مقاومت فشاری بدست آمده برای نمونه‌های با سنین مختلف عبارت بود از:

نمونه‌های سه روزه	۴۰۰ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع
نمونه‌های هفت روزه	۴۶۰ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع
نمونه‌های بیست و هشت روزه	۵۱۰ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع

۴-۸-۴ دیوارهای اسکله برای بندر شهید رجایی در ایران

برای ایجاد خطوط پهلوگیری در مجتمع بندری شهید رجائی واقع در بندرعباس مقرر گردید از دیواره‌ای متشکل از مقاطع T شکل به ابعاد زیر استفاده شود:



ارتفاع دیوارها تا ۳۰ متر نیزمی‌رسید. بتن مورد نیاز از نوع B-۳۰۰ و قابلیت کارپرد لازم بدلیل روش بتن‌ریزی، روش لوله ترمی (TREMIE METHOD) بسیاربالابود.

مطابق شرایط پیمان سیمان باید از بازار محلی تامین می‌شد و سیمانهای مصرفی در پروژه عبارت بودند از سیمان نوع یک، نوع پنج و سرباره.

با توجه به اینکه سیمان سرباره در کارخانجات داخلی تولید نمی‌شد و تضمینی نیز در مورد تامین مناسب سیمان نوع پنج وجود نداشت، مسئله سیمان یکی از مسائل پروژه به حساب می‌آمد. خوشبختانه دستگاه نظارت که کمی پس از این مرحله وارد کار شد توانست کارفرما را در مورد مصرف سیمان سرباره اروپایی به علاوه روان‌کننده‌ای قوی متقاعد سازد، مصرف توام این نوع سیمان به همراه روان‌کننده موجب تهیه بتنی متراکم می‌گردید که در محیط بسیار خورنده بندرعباس از میزان نفوذ کلرورهای مخرب به جسم بتن می‌کاست.

به منظور پرهیز از اشتباه در مصرف انواع دیگر سیمان در دیوار اسکله‌های مقرر شد تمامی سیمان مصرفی پروژه، سیمان سرباره باشد. یکی ازمحاسن مصرف این نوع

سیمان روشنی رنگ ساختمانهای بتنی بوده است.

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

پس از آزمایش‌های متعدد نسبت‌های اختلاط زیر بدست آمد:

نوع سیمان	سیمان پرتلند سرباره (مطابق DIN 1164)
میزان سیمان	۳۵۰ کیلوگرم در متر مکعب
نسبت آب به سیمان	۰/۵۱
اسلامپ بتن ساخته شده با مواد افزودنی	۲۰۰-۱۸۰ میلیمتر
مقدار 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
- متوسط مقاومت	۳۸۲ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع
- انحراف معیار	۲۵ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع
- مقاومت مبنا با توجه به روشهای آماری	۳۵۱ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع

۴-۸-۵ پل ارتباطی بحرین و عربستان سعودی

در طرح اولیه برای اتصال بحرین به عربستان سعودی قرار بود از یک پل فلزی استفاده شود، 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. نکته قابل توجه این بود که قطعات پیش ساخته می‌توانست در محل اجرای پروژه، با سرعت قابل ملاحظه‌ای تولید گردد.

مقاومت بتن برای شاه تیرها و ستونها ۴۰۰ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع روی نمونه‌های استوانه‌ای و حداکثر درجه حرارت بتن تازه ۳۲ درجه سانتیگراد تعیین گردید که این خواسته با جانشین ساختن بخشی از آب مورد نیاز با یخ خرد شده تامین گردید. همچنین حداکثر درجه حرارت مجاز برای دوره عمل‌آوری بتن ۷۰ درجه سانتیگراد تعیین شد.

همه این شرایط منجر به استفاده از سیمان پرتلند سرباره، روان‌کننده‌ای قوی و

عمل‌آوری با بخار آب گردید. ضمن تحقیقات توجه خاصی به پایایی سازه و استفاده از مصالح موجود محلی به عمل آمد (برای سازه عمر مفیدی برابر هفتاد و پنج سال در نظر گرفته بودند).

از میان راه‌حلهای گوناگون باتوجه به فن آوری ساخت بتن نسبت‌های زیر برای شاه‌تیرها و شمع‌ها انتخاب شد:

نوع سیمان	سیمان پرتلند سرباره مطابق DIN 1164
میزان سیمان	۴۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب
نسبت آب به سیمان	حداکثر ۰/۳۸
روان‌کننده قوی	۱/۴-۷/۵ درصد وزن سیمان
(SULPHONATED NAPHTHALENE FORMALDEHYDE)	
دیرگیرکننده	۰/۱۲۵-۱ درصد وزن سیمان (فسفات)
مصالح سنگی	۳۳ درصد ماسه نرم (محلی)
	۳۲ تا ۲۷ درصد سنگ گابرو ۱۲ تا ۴ میلیمتر (وارداتی از امارات)
	۴۰ تا ۳۵ درصد سنگ گابرو ۲۵-۱۲ میلیمتر

مقاومت‌های بدست آمده

متوسط مقاومت فشاری ۲۸ روزه روی نمونه‌های استوانه‌ای ۴۹۵ کیلوگرم بر سانتیمترمربع.

۹-۴ نتایج

علت اینکه یک فصل کامل از این مقاله به مسئله افزودنی‌ها تخصیص داده شده این است که مواد معین امروزه به مقیاس وسیعی توسط طراحان و سازندگان ساختمانهای بتنی مورد استفاده قرار می‌گیرند، البته در مورد این مواد هنوز اطلاعات زیادی باید گردآوری گردد.

یکی ازموضوع‌های مورد بررسی وضعیت مصرف این مواد در بازار جهانی است، در جدول ۴-۸ آماری از مصرف روزافزون این مواد تا سال ۱۹۹۰ درج شده است.

طبق نظر محققین این روند فزاینده با توجه به انتشار مشخصات فنی جدید و مسئله کمبود آب تداوم خواهد یافت، که مسئله کمبود آب خود استفاده از مصالح سنگی حاوی نمک را اجتناب‌ناپذیر می‌سازد. هر دو عامل اخیر دلائلی هستند بر استفاده از انواع جدیدی از مواد افزودنی، بنابراین احتیاج نیست در فن ساختمان جای خاصی به این مواد تخصیص داده شود، در مورد فواید آن نباید اغراق گردد، هر جا که استفاده از آن لازم باشد فقط باید از آن بعنوان جزئی از اجزای بتن استفاده نمود، نه

بیشتر نه کمتر.

جدول ۴-۸- روند مصرف افزودنی‌های بتن در جهان

سال	میزان ماده افزودنی مورد مصرف		متوسط قیمت هر تن بر حسب دلار
	وزن (هزار تن)	ارزش (میلیون دلار)	
۱۹۷۵	۷۰۰	۴۰۰	۵۷۱
۱۹۸۰	۱۰۰۰	۱۰۵۰	۱۰۵۰
۱۹۸۵	۱۴۰۰	۱۶۰۰	۱۱۴۳
۱۹۹۰	۲۰۰۰	۶۵۰۰	۳۲۵۰

۵ اجرای کار

۵-۱ مقدمه

در بیشتر موارد تکنولوژی ساخت بتن در اذهان مهندس کارگاهی پیمانکار و مهندس طراح دارای مفاهیم متفاوتی است، بطوریکه مهندس طراحی علاقمند دوام و مقاومت بتن و آن دیگری در پی انجام اقتصادی کار با توجه به امکانات کارگاهی خود است.

مسئله تجهیز کارگاه ساختمانی در مناطق گرمسیر برای پیمانکار از اهم مسائل است. پس از ارائه پیشنهاد و برنده شدن، پیمانکار باید تحت شرایط اقلیمی محیط نسبت به گردآوری منابع لازم مانند نیروی انسانی و ماشین‌آلات با توجه به روشهای ساختمانی اقدام نماید و البته کار باید به لحاظ فنی و اقتصادی با موفقیت انجام پذیرد.

در قسمت اول این بخش شرایط کار در قسمت دوم امکانات لازم برای انجام کار مورد بررسی قرار می‌گیرد.

۵-۲ پروژه

اغلب کارفرمایان اعم از اینکه بخش‌های دولتی (عمومی) یا خصوصی باشند کم و بیش تصویر روشنی از آنچه می‌خواهند بنا کنند، دارند. ایشان در بسیاری موارد نمی‌توانند خواسته‌های خود را بدرستی به طرف مقابل القا نمایند. در این مرحله است که نیاز به خدمات مهندسین مشاور که دارای کارشناسان مسلط باشند مطرح می‌گردد. ارتباط اخیر بین کارفرما و مشاور در اروپا و دیگر کشورها تقریباً" از یک طبیعت برخوردار است، با این تفاوت که در کشورهای غیر اروپایی بطور معمول مشاور و کارفرما از ملیت‌های مختلف‌اند و گذشته‌های تاریخی آنها را به یکدیگر مرتبط می‌سازد. یکی از مسائلی که ممکن است در مرحله طرح و اجرا مطرح شود فاصله قوانین و استانداردها با شرایط محلی است. مهندسین مشاور باید محاسبات و طراحی‌های خود را بر پایه استانداردهای بین‌المللی استوار سازند.

این استانداردها معمولاً" عبارتند از B.S برای مصالح و B.S.P برای کارهای ساختمانی. همچنین استاندارد ASTM برای مصالح و ACI برای کارهای ساختمانی قابل اعمال می‌باشند، استانداردهای آلمان و فرانسه و ژاپن نیز در طراحی‌ها بکار گرفته می‌شوند.

موضوع هنگامی پیچیده‌تر می‌شود که چندین استاندارد مختلف در کنار یکدیگر

بکار گرفته شوند. بسیاری از این معیارهای قانونی علاوه بر تعیین مشخصات اجزای متشکله کارها روشهای اجرایی را نیز بیان می‌دارند، از اینرو دشوار است که پس از عقد قرارداد نسبت به تغییر این موازین و انطباق روشهای اجرایی بر امکانات موجود اقدام نمود.[۱]

۵-۳ مناقصه

شرکت در یک مناقصه بدون اطلاع از شرایط محیط امکان‌پذیر نیست، اطلاعات مورد بحث نباید به آگاهی از شرایط جوی محدود شود، لازم است علاوه بر شرایط جوی از وضعیت راههای ارتباطی، وجود بنادر برای ورود مواد اولیه، امکانات تهیه مصالح از محل، وضعیت خرید، حمل و نقل و گمرک، نیروی انسانی ماهر و ... اطلاع حاصل نمود.

بنابراین لازم است قبل از انجام مناقصه یکی از نمایندگان پیمانکار از محل بازدید بعمل آورد. نکاتی که ضمن اینگونه بازدیدها باید مورد نظر باشد به شرح جدول ۵-۱ است. در بسیاری از موارد بهره‌گیری از اطلاعات همکاران بومی ضرورت کامل دارد.

۱- از آنجا که نگارندگان اصلی این متن کارشناسان خارجی هستند در اینجا ذکری از آیین‌نامه‌ها و دستورالعمل‌های محلی به میان نیاورده‌اند حال آنکه بویژه در کشور ما پس از پیروزی انقلاب اسلامی کارشناسان ایرانی در راستای تهیه و تدوین استانداردهای ملی تلاش فراوانی به خرج داده‌اندکه این امر بسیاری از مشکلات، مورد بحث را از میان بر می‌دارد. (مترجم)

جدول ۵-۱

شرح	نکات قابل توجه
بتن	آیا بتن در منطقه تولید می‌شود؟
	وضعیت بتن به لحاظ نوع و مقاومت (رابطه نسبت‌های اختلاط و مقاومت) چیست؟
	مشخصات مصالح چیست؟
	وضع تولیدکنندگان چگونه است؟
	آیا از مواد معین یا افزودنیها استفاده می‌شود (چه نوع و به چه میزان)؟
	فاصله مرکز تولید بتن تا کارگاه و موانع ترافیکی موجود چیست؟ (زمان رسیدن بتن آماده تا کارگاه چقدر است)؟
	درجه حرارت بتن به چه ترتیب کنترل می‌شود؟
مصالح سنگی	تماس با تولیدکنندگان وبازدید از معادن و قرضه‌ها
	آیا مصالح آماده و انبار شده‌ای وجود دارد؟ مشکلات کسب مجوز بهره‌برداری از معادن چیست؟
	دانه‌بندی مصالح قابل حصول و میزان تمیزی آنها چگونه است؟
	کارگاه تولید مصالح چگونه است و مسائلی که در مورد نگهداری و تعمیر آنها مطرح خواهد شد، چیست؟
	نمونه‌گیری و انجام آزمایش‌های لازم
سیمان	کدامیک از انواع سیمان در محل تولید می‌شود؟
	عرضه سیمان (فله، پاکتی، ...) چگونه است؟
	حداکثر درجه حرارت سیمان تحویل شده چقدر است؟
ساختمانهای اطراف	بررسی وضعیت ساختمانها باتوجه به عمر، خوردگی‌های ایجاد شده و هر مشخصه دیگری که بتواند بیانگر دوام بتن‌های ساخته شده باشد

۵-۴ پیمان

ارائه پایین‌ترین قیمت از جانب پیمانکار با هدف برنده شدن در مناقصه به منزله پایان کار نیست، غالباً سلسله مذاکرات طولانی در مورد مندرجات پیمان صورت خواهد پذیرفت.

بنابراین برنده شدن در مناقصه نه تنها پایان مسائل و مشکلات نبوده بلکه آغاز طرح بسیاری مسائل فنی و اجرایی برای پیمانکار و مشاور خواهد بود.

۵-۵ اوضاع محیطی و شرایط کاری

منظور از اوضاع محیطی تنها شرایط جوی نیست بلکه مقصود تمامی شرایطی است که پیمانکار باید تحت آن شرایط پروژه را اجرا نماید بدون اینکه قادر به تغییر آنها باشد. در وحله اول درجه حرارت محیط است که بر عملکرد نیروی انسانی، مصالح و وضعیت ماشین‌آلات تاثیر دارد.

علاوه بر این در نواحی ساحلی و جنگلهای مناطق حاره رطوبت زیاد باعث فرسایش سریع دستگاه‌ها و ماشین‌آلات می‌گردد. یکی دیگر از نکات قابل توجه بارانهای سیل‌آسا در اینگونه مناطق است که برای مثال در مدت کمی قادرند خسارات جبران‌ناپذیری وارد سازند.

در اجرای یک پروژه ساختمانی همکاری دوائر دولتی محلی از اهمیتی ویژه برخوردار است.

یکی دیگر از مسائل شرایط فنی حاکم بر محل اجرای پروژه است، که می‌تواند موجب تامین بخش قابل توجهی از نیروی انسانی مورد نیاز باشد.

۵-۶ دستگاه‌ها و ماشین‌آلات

انتخاب مصالح و ماشین‌آلات برای اجرای کارها تا حدود زیادی به روش‌های ساختمانی بستگی دارد. شرایط نیروی انسانی محلی مشخص می‌سازد که نقش ماشین‌آلات در کارگاه تا چه حدودی باشد. بدیهی است امکانات اختلاط و تهیه بتن متناسب با ابعاد پروژه خواهد بود.

در یک پروژه بزرگ داشتن چند مرکز کوچک تهیه بتن بهتر است تا یک سیستم بزرگ متمرکز، در این صورت خرابی یکی از دستگاه‌های کوچک تهیه بتن کار پروژه را مختل نخواهد ساخت.

در اغلب پروژه‌های بزرگ بهنگام اختلاط از روش توزین مصالح استفاده می‌شود،

حال آن که در بسیاری از موارد بطریق حجمی اجزای متشکله بتن را اندازه‌گیری و مصرف می‌نمایند. در کشورهای آفریقایی از نوعی ظرف که روی سر کارگران حمل می‌شود و دارای حجم تقریبی ده لیتر است برای جابجایی بتن استفاده می‌کنند، همچنین در اندونزی از وسیله‌ای شبیه زنبه که دارای ۳۵ لیتر حجم است استفاده می‌شود.

حتی باهوش‌ترین شمارش کنندگان نیز ممکن است در شمارش مرتکب اشتباه شوند که این امر در بعضی موارد می‌تواند موجب فاصله گرفتن مشخصات کارگاهی بتن از مشخصات طراحی آن باشد، مسئله در مورد میزان آب مصرفی در بتن که غالباً از طریق چشمی پیمانه می‌شود دارای حساسیت بیشتری است.

چنانچه متمرکز ساختن تولید بتن و پیش ساخته نمودن قطعات میسر باشد مستقر ساختن دستگاه بتن مرکزی مدرن به لحاظ امکان کنترل کیفی مطلوب به صرفه و صلاح خواهد بود.

۵-۷ مصالح

مصالح مورد مصرف در ساخت بتن و مشخصات فنی آنها در بخشهای قبلی به تفصیل مورد بررسی واقع گردید. در این قسمت به نکات عملی مربوط به مصالح اشاره خواهد شد.

تهیه این مصالح از منابع محلی مرجح است. ممکن است لازم باشد مصالح سنگی از فواصل دور از طریق دریا و یا خشکی حمل شود.

سیمان اغلب از کشورهای صنعتی وارد می‌شود، گرچه در کشورهای در حال توسعه تولید سیمان پرتلند مرغوب رو به تزاید است.

۵-۷-۱ سیمان

اگر کشوری دارای کارخانجات سیمان باشد ممکن است ملاحظات اقتصادی و سیاسی مصرف سیمان داخلی را ایجاب نماید. در برخی از کشورها سیمان بصورت فله توسط بعضی تجار وارد و در محل کیسه‌گیری و توزیع می‌گردد. در این حالت نام سازنده اصلی سیمان روی پاکت‌ها درج نمی‌شود. چنانچه وارد کننده سیمان همیشه ازیک مبداء سیمان را تهیه و توزیع نماید هیچگاه مشکلی بروز نمی‌نماید. لیکن از آنجا که واردکنندگان همواره در پی خرید ارزانترین محصول هستند منبع تهیه سیمان بطور دایم تغییر کرده و کنترل مشخصات سیمان برای مصرف‌کننده در

عمل غیرممکن خواهد بود.

در پروژه‌های بـزرگ سیمان بطـور معمـول بصـورت فلـه یـا در کیسـه‌های بـزرگ مستقیماً از سازنده خریداری و به کارگاه وارد می‌شود. با ایـن وجـود آزمایش‌هـای ادواری روی سیمان وارداتی لازم خواهد بود. بـه هـر حـال سیمان ضمـن حمـل و نگهداری در انبار جذب رطوبت می‌نماید اما با ظهور اولین علائـم نبـاید سیمان را مردود اعلام نمود. سیمانی که جذب آب نموده دی‌اکسید کربـن موجـود در هـوا را جذب و با آن ترکیب می‌شود. در این شـرایط کهنـه شـدن سیمان رخ خواهـد داد. هنگامی که سیمان حـرارت داده شـود آب و دی‌اکسید کربـن جـذب شـده خـارج خواهند شد. مطابق استانداردهای ASTM و BS افت وزنی در اثر حرارت نبـاید از ۳ درصد تجاوز نماید (این رقم طبق استاندارد BS برای مناطق گرمسیر تا ۴ درصـد نیز مجاز شناخته شده است). در سیمان پرتلند سرباره سرعت کهنه شـدن بیشـتر از سیمان پرتلند معمولی است.

۵-۷-۲ مصالح سنگی

در اروپا که امکان تهیه بتن آماده برای بیشتر کارگاه‌ها فراهم است درک این مطلـب که در کشورهای دیگر پیمانکار باید معدن مصالح اختصاصی داشته و با مشکلات و مصائب فراوان مصالح مورد نیاز خود را تامین نماید، کمی دشوار است. یکی دیگـر از روشهای تهیه مصالح این است که در دامنه تپه‌ها یا حاشیه رودخانـه‌ها اقـدام بـه استخراج مصـالح نمـود. بـرای بدسـت آوردن تصـوری ابتدایـی ازوضعیـت مصـالح می‌توان نظر سایر پیمانکاران ودستگاه‌هایی را که از مصالح محلـی اسـتفاده کرده‌انـد جویا شد و نتایج آزمایش‌های انجام شده روی آنها را مطالعه نمود، که در این مورد به تفصیل در بخش سه صحبت شده است.

در مناطق گرمسیر اغلب از سنگ شکسته بعنوان مصالح سنگی مورد مصرف در بتن استفاده می‌شود. مصالح سنگی بخودی خود گران نیسـتند. امـا هزینـه حمـل و نقـل می‌تواند در پاره‌ای موارد قیمت مصالح سنگی را از قیمت سیمان فراتر برد.

به همین ترتیب ماسه نیز می‌توانـد از شکسـتن سـنگ بدسـت آیـد، اغلـب می‌تـوان مقداری ماسه طبیعی نرم به ماسه شکسته افزود که این موضوع قابلیت کـاربرد بتـن را نیز افزایش می‌دهد. افزودن ماسه طبیعی مرغوب امتیازهـای اقتصـادی نـیز در بـر دارد. چنین وضعیت‌هایی در مناطق گرمسیر و کویری به کرات مطرح می‌گردد.

۵-۷-۳ آب

در کشورهای خاورمیانه آب کمیاب و گران است. به این دلیل بیشتر مواقع از آب شیرین شده دریا استفاده می‌شود که اگر چه به گوارائی آب آشامیدنی نیست ولی آب بسیار مناسبی برای ساخت بتن است. در بیشتر کشورهای گرمسیر آبهای سطحی آلودگی‌های بیولوژیکی دارند. در این مواقع بهتر است از آب چشمه‌ها استفاده شود به شرط آنکه آزمایشهای شیمیایی برای مشخص نمودن آلودگی‌های احتمالی بر روی آن انجام شود. می‌توان آزمایش BS 3148 را برای تشخیص مناسب بودن آب مورد مصرف در بتن انجام داد، اگر چه این آزمایش تاثیر آب بر پایایی بتن را روشن نمی‌سازد.

اغلب محدودیت‌هایی برای میزان کلرورها و سولفات‌های محلول در آب وجود دارد. وجود چنین محدودیتهایی قابل درک می‌باشد و واقع‌بینانه‌تر خواهد بود چنانچه میزان کلرورها و سولفات‌ها در کل عناصر متشکله بتن مورد بررسی قرار گیرد.[۱]

۵-۷-۴ فولاد

طراحی معمولاً بر اساس آیین‌نامه‌های ASTM یا BS صورت می‌پذیرد. ولی همانطور که در جدول ۵-۳ آمده است در مورد خواص مکانیکی انواع فولاد تفاوت‌هایی وجود دارد. به عنوان مثال تفاوت میزان ازدیاد طول هنگام گسیختگی در این آیین‌نامه‌ها قابل ذکرند. همچنین به لحاظ اندازه در مورد آرماتورهای با قطر زیاد هر یک از تولیدکنندگان به روش خاصی عمل می‌کنند. از طرفی برای اجرای کار پیمانکار بطور معمول مجبور است از امکانات داخلی استفاده نماید. اگر مصالح محلی از نظر مشخصات فنی مناسب نباشند پیمانکار مجبور می‌شود که آن را وارد نماید. در این حالت مشخصات فولاد وارداتی ممکن است مطابق آیین‌نامه‌های بکار گرفته شده از جانب طراحان نباشد. بنابراین پیمانکار ناچار است بار دیگر آرماتوربندی را بر اساس آیین‌نامه و یا آیین‌نامه‌های جدید طراحی نماید. برای مثال ممکن است به منظور طراحی رکابی‌ها (تنگ‌ها) تا قطر ۱۲ میلیمتر از DIN 488 برای شالوده‌ها از قطر ۱۶ میلیمتر به بالا از ASTM A 615 و برای بخشهایی از

۱- در مورد ویژگی‌های مصالح مورد مصرف در بتن توجه خوانندگان را به مندرجات بخش اول آیین‌نامه بتن ایران جلب می‌نماید (مترجم)

سازه که بالاتر از شالوده واقعند (SUPER STRUCTURES) از آیین‌نامه BS - 4449 استفاده نماید.

باید هنگامی که فولاد در محل تهیه می‌شود درباره نحوه ساخت آن در کارخانه اطلاعات کافی بدست آورد و سپس آن را بطور دایم آزمایش نموده و نتیجه را با آیین‌نامه‌ای که کارخانه، فولاد را طبق آن می‌سازد کنترل نمود.

آیین‌نامه‌های ملی بیشتر کشورهای خاورمیانه به لحاظ اینکه کیفیت مصالح را فقط پس از ساخت مشخص می‌نمایند مناسب نمی‌باشند.

- خوردگی آرماتور مهمترین عاملی است که پایایی بتن را تهدید می‌نماید. خوردگی در اثر نفوذ کلرورها شروع شده و در نتیجه هوای گرم تشدید می‌شود. علاوه بر کوشش برای ساختن بتن با کیفیت خوب و در نظر گرفتن پوشش کافی، لازم است به فولاد نیز توجه شود. روند خوردگی میل گرد ممکن است هنگام حمل دریایی، نگهداری در بندر و انبارکردن در محل کارگاه شروع شده باشد. زنگ‌زدگی تحت تاثیر رطوبت، کلرورها و گرما شروع شده و به سرعت افزایش می‌یابد. سرعت این روند ممکن است به قدری باشد که بزودی استفاده از فولاد را غیر ممکن سازد. استفاده از فولاد ضد زنگ (گالوانیزه) و فولاد با پوشش اپوکسی توصیه شده است، ولی فولاد گالوانیزه به سرعت حفاظی را که به وسیله گالوانیزه کردن کسب کرده از دست می‌دهد. در مورد آرماتور با پوشش اپوکسی خطر خوردگی متمرکز به نحوی شدیدتر در محل‌های زخمی شده وجود دارد.

جدول ۵-۳- مشخصات مکانیکی فولاد (آرماتور)

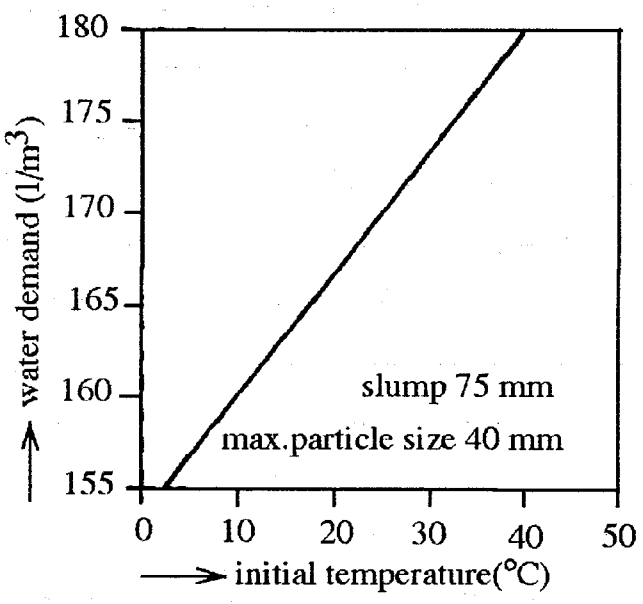
نوع فولاد / مشخصات	BS ۴۴۴۹		BS ۴۴۶۱	ASTM A -۶۱۵	
	حاصل از نورد گرم		حاصل از نورد سرد		
	۲۵۰	۴۶۰	۴۶۰	۴۰	۶۰
تنش حد جاری شدن = fy (کیلوگرم به سانتیمتر مربع)	۲۵۰۰	۴۶۰۰	۴۶۰۰	-	-
حداقل تنش حد جاری شدن (کیلوگرم به سانتیمتر مربع)	-	-	-	۲۸۰۰	۴۲۰۰
حداقل تغییر طول نسبی بهنگام انقطاع (درصد)	۲۲	۱۲	۱۲	۷-۱۱	۷-۹
حداقل شعاع ضمن خم کردن نسبت به قطر	۲	۳	۳	۴-۵	۴-۸

۵-۸ ساخت یا تولید بتن

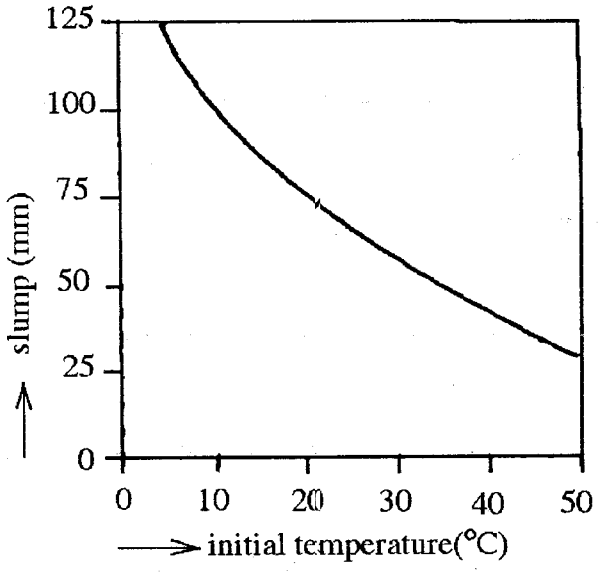
در کشورها و مناطق گرمسیر درجه حرارت اغلب به ۴۵ و در محل‌هایی که در معرض تابش مستقیم نور خورشید قرار دارند به ۷۰ درجه سانتیگراد می‌رسد. این حرارت‌ها بر قابلیت کاربرد، روند سخت شدن، مقاومت نهایی و پایایی بتن تاثیر می‌گذارد.

به این دلیل در بیشتر قراردادها درجه حرارت بتن هنگام ریختن در قالب محدود شده است. این محدودیت اغلب بین ۳۰ تا ۳۲ درجه سانتیگراد می‌باشد که البته به دلخواه انتخاب نشده است. چنانچه درجه حرارت بتن تازه بالای ۳۰ درجه سانتیگراد باشد می‌تواند مشکلاتی در رابطه با ریختن و کاربرد ایجاد نماید.

از آنجا که برای دستیابی به اسلامپ مورد نظر باید آب بیشتری به مخلوط اضافه شود، امکان کاهش سریع قابلیت کاربرد، جمع‌شدن در اثر خشک شدن و ترک خوردگی افزایش می‌یابد (شکل‌های ۵-۲ و ۵-۱) به علاوه درجه حرارت زیاد سخت شدن سریع بتن را که نتیجه آن کسب مقاومت بیشتر در مدت کمتر و نیل به مقاومت نهایی مورد نظر است دچار مخاطره می‌سازد.

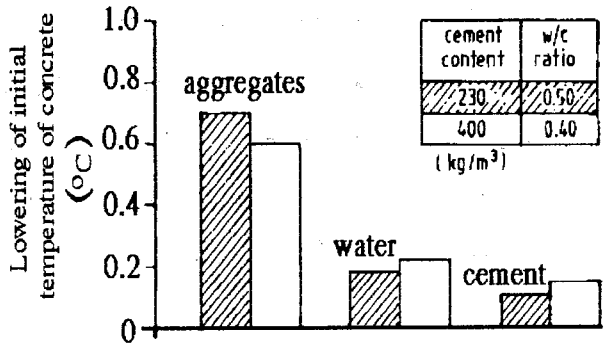


شکل ۵-۱



شکل ۵-۲

پس ا ز ریختن بتن در قالب در نتیجه جذب آب سیمان درجه حرارت آن ممکن است ۳۰ تا ۴۰ درجه افزایش یابد. میزان این افزایش بستگی به نوع سیمان، نسبت‌های اختلاط بتن و ابعاد سازه بتنی دارد. اختلاف درجه حرارت زیاد در یک سازه تازه بتن‌ریزی شده باعث بروز مشکلات زیادی می‌شود. این مسئله خصوصاً در مورد بتن‌ریزی‌های حجیم اهمیت می‌یابد. اگر اختلاف درجه حرارت داخل و خارج بتن بیش از ۲۰ درجه سانتیگراد باشد ترک در اثر تنش‌های کششی سریعاً ایجاد خواهد شد. نکاتی در مورد کنترل حرارت وجود دارد که می‌تواند بهنگام تهیه طرح اختلاط و یا سخت شدن اعمال شود. اگر چه اختلاف درجه حرارت داخل و خارج بتن مهمتر از درجه حرارت ماکزیمم بتن است ولی اغلب به غلط در مشخصات فنی درجه حرارت حداکثر ذکر می‌شود. اگر ابعاد اعضای سازه کم باشد به دلیل امکان تبادل سریع حرارت تفاوت زیادی میان ۳۰ و ۳۵ درجه سانتیگراد وجود ندارد. خصوصاً در مورد سازه‌های پیش‌ساخته که مقاومت زودرس مد نظر است بالا بودن درجه حرارت می‌تواند مفید واقع گردد، در این حالت احتمال بروز ترک باید با عمل‌آوری مناسب مرتفع گردد. به هر حال توجه کافی به روند توسعه حرارت و اقدامات مقتضی جهت کنترل آن لازم خواهد بود. در شکل ۵-۳ تاثیر تقلیل حرارت عوامل متشکله نظیر مصالح سنگی، آب و سیمان به میزان یک درجه سانتیگراد بر درجه حرارت کل مخلوط (بتن تازه) برای دو نوع بتن با عیارهای سیمان متفاوت و نسبتهای آب به سیمان گوناگون ارائه شده است.



شکل ۵-۳

اقدامات اساسی جهت دست‌یابی به این هدف به قرار زیرند:

۵-۸-۱ آب

۵-۸-۱-۱- هنگامی که میزان آب مصرفی کم است می‌توان از مخزن‌های خنک‌کننده استفاده نمود.

۵-۸-۱-۲- هنگامی که مقادیر زیادی آب به کار می‌رود می‌توان از خنک‌کننده‌های برقی کمک گرفت.

۵-۸-۱-۳- اضافه کردن یخ خرد شده به آب و یا مستقیماً به میکسر می‌تواند بسیار موثر واقع شود، مشروط بر آنکه هنگام ریختن بتن در قالب تمامی یخها ذوب شده باشند.

۵-۸-۱-۴- یک روش پیچیده‌تر استفاده از لوله‌های خنک‌کننده است که در مخزن آب نصب می‌گردد.

۵-۸-۲ مصالح سنگی

۵-۸-۲-۱- بهتر است به منظور جلوگیری از تابش مستقیم نور خورشید مصالح سنگی در مکانهای مسقف انبار شوند. گرچه سقف انبار مشکلاتی در حمل و جابجایی مصالح بوجود می‌آورد ولی این کار در پایین نگهداشتن درجه حرارت آن

بسیار موثر است.

۵-۸-۲-۲- درجه حرارت مصالح سنگی درشت دانه می‌تواند با آب پاشی در صبح پایین نگهداشته شود، ضمن روز هنگامی که درجه حرارت افزایش می‌یابد این آب گرمای لازم برای تبخیر را از مصالح سنگی گرفته و مانع از افزایش بیش از حد درجه حرارت می‌شود. از آنجا که پاشیدن آب درصد رطوبت مصالح را دستخوش تغییر می‌نماید ممکن است قابلیت کاربرد بتن ساخته شده متفاوت باشد، که باید بدان توجه داشت.

۵-۸-۳ سیمان

۵-۸-۳-۱- سیمان‌هایی که در پاکت عرضه می‌شوند باید در انبارهای کولردار نگهداری شوند، فقط بخش محدودی از سیمان می‌تواند بصورت فله عرضه شده و در سیلو نگهداری شود.

۵-۸-۳-۲- باید از سیمانی استفاده شود که سخت شدنش به کندی صورت می‌گیرد.

۵-۸-۳-۳- از سیمان داغ یا تازه نباید استفاده کرد. درجه حرارت سیمان هنگام تحویل ممکن است به ۱۰۰ درجه سانتیگراد برسد بنابراین سیمان باید قبل از مصرف سرد شود.

۵-۸-۴ دستگاه‌ها و ماشین‌آلات

۵-۸-۴-۱- دستگاه‌ها از جمله دستگاه تهیه بتن مرکزی باید تا حد امکان در مکانهای مسقف مستقر گردند.

۵-۸-۴-۲- دستگاه‌ها باید با رنگهای روشن و در صورت امکان با رنگ سفید رنگ‌آمیزی شوند.

۵-۸-۴-۳- کامیون‌های حامل بتن بهنگام انتظار برای بارگیری یا تخلیه باید در سایه توقف نمایند.

۵-۸-۴-۴- قسمت گردنده (مخزن) کامیون حمل بتن باید با پوشش پارچه‌ای نظیر چتایی احاطه و بطور دایم خیس نگهداشته شود.

۵-۸-۵ اقدامات دیگر

اگر اجرای همه یا بخشی از موارد یاد شده میسر نباشد باید امکان انجام موارد زیر را بررسی نمود:

۵-۸-۵-۱- بتن‌ریزی هنگام شب یا صبح زود انجام گیرد، مزیتی که این کار در بر دارد این است که حداکثر حرارت ناشی از جذب آب سیمان تقریباً در هنگام روز و موقعی که هوا گرمتر است حادث می‌گردد که در نتیجه اختلاف درجه حرارت بتن در حالت سخت شدن از یکطرف و محیط از طرف دیگر به حداقل کاهش می‌یابد.

۵-۸-۵-۲- باید مصالح سنگی برای ساخت بتن را از قسمت زیرین تل (توده) مصالح برداشت نمود، زیرا بلحاظ عدم تابش نور مستقیم خورشید به این قسمت مصالح همیشه مرطوب و خنک‌تر خواهد بود.

۵-۸-۵-۳- باید مسافتی را که کامیون حامل بتن طی می‌نماید به حداقل کاهش داد تا فاصله زمانی بین ساخت و مصرف بتن کمترین مقدار ممکن باشد.

۵-۸-۵-۴- برای اینکه بتن تخلیه شده همیشه تازه باشد باید زمان تخلیه را کاهش داد بدین منظور بهتر است بتن در حجم‌های کمتر تحویل گردد. بطور کلی بهتر است حمل و نقل بتن طوری برنامه‌ریزی شود که زمان انتظار به حداقل کاهش یابد. به دیگر سخن بهتر است همیشه گروه بتن‌ریزی منتظر بتن بماند تا بتن منتظر گروه بتن‌ریزی.

۵-۸-۵-۵- قالب‌ها و فولاد باید از تابش مستقیم نور خورشید محفوظ بمانند.

۵-۸-۶ توجه به وضعیت فولاد

قبلاً گفته شد که توجه به وضعیت فولاد از اهمیت زیادی برخوردار است. به ویژه در نواحی مرطوب ساحلی لازم است به خوردگی در اثر کلرورها توجه کافی مبذول گردد. دیده شده که کلرورها می‌توانند زیر و یا به همراه پوسته‌های حاصل از زنگ‌زدگی رسوب نمایند.

به همین دلیل لازم است که از فولاد در مرحله انبار کردن حفاظت شود. معنای این دستورالعمل آنست که آرماتورهای تحویل شده و خم شده باید در انبارهای مسقف با رعایت فاصله از کف انبار نگهداری شوند.

اگر مشاهده شود که میل گردهای بسته شده دارای زنگ می‌باشند قبل از بتن‌ریزی باید نسبت به زنگ‌زدایی آنها اقدام نمود. برای عملی نمودن این منظور ماسه پاشی (SAND BLASTING) بر روشهای دیگر ترجیح داده می‌شود.

در خم کردن و بریدن میل‌گردها بدست آوردن اندازه‌های دقیق به منظور اجتناب از مسائل احتمالی و رعایت حداقل پوشش لازم بتن هنگامی که قفسه میلگرد در قالب قرار می‌گیرد، اهمیت فراوان دارد. عدم دستیابی به پوشش لازم بتن مسائل عدیده‌ای را به دنبال خواهد داشت.

۵-۸-۷ قالب

به قالب‌ها نیز باید بیش از اندازه معمول توجه شود. قالب‌ها باید از استحکام لازم برخوردار بوده، بخوبی مهار شوند و شیره بتن از آن خارج نشود. چنانچه قالب فلزی بکار رود مسئله تغییرات درجه حرارت و ایجاد گرمای زیاد در سطح قالب نباید از نظر دور بماند.

در مورد قالبهای چوبی نیز باید به مسئله خشک شدن سریع بتن توجه شود لذا شستشوی کامل و خیس کردن آنها قبل از بتن‌ریزی لازم است. روغنکاری و چرب کردن قالب‌ها چنانچه مدتها قبل از بتن‌ریزی صورت پذیرد مقدار زیادی گرد و غبار بخود می‌گیرد که موجب بروز اشکالاتی خواهد شد. مدت زمانی که برای باز کردن قالبها مورد نظر است همیشه نباید از روی مقاومت لازم تعیین گردد، زیرا قالبها مانع موثری در قبال خشک شدن سریع بتن به حساب می‌آیند. به عبارت دیگر در اغلب مواقع زمان باز کردن قالبها باید با توجه به زمان لازم برای عمل آوردن بتن تعیین گردد.

۵-۹ تولید بتن در نواحی دور افتاده

در نواحی دور افتاده اغلب پیمانکار مجبور است بتن را با امکاناتی محدود و تعدادی کارگران محلی تهیه نماید، ولی انتظار ساخت بتن پایا همچنان پابرجاست. در چنین شرایطی برای سهولت، نسبت‌های حجمی زیر رعایت می‌گردد:

- برای ساختن بتن آب بند نسبت ۱: $\frac{۱}{۲}$ ۱: $\frac{۱}{۲}$ ۲ یا ۵۰ کیلوگرم سیمان، ۶۰ لیتر ماسه و ۱۰۰ لیتر شن
- برای ساختن بتن آرمه نسبت ۳:۲:۱ یا ۵۰ کیلوگرم سیمان، ۸۰ لیتر ماسه و ۱۲۰ لیتر شن
- برای بتن‌های لاغر (مگر) نسبت ۳:۲:۱ یا ۵۰ کیلوگرم سیمان، ۱۲۰ لیتر ماسه و ۲۰۰ لیتر شن

آب به میزانی اضافه می‌شود که بتن با قابلیت کاربرد مناسب بدست آید.

۵-۱۰ عمل آوردن بتن

بلافاصله پس از اینکه بتن در قالب ریخته شد آب سطوح بتن تازه، شروع به تبخیر می‌نماید. اگر از این تبخیر جلوگیری نشود، جمع شدن در اثر خشک شدن (آبرفتگی‌های پلاستیک)، ترک و تخلخل در سطوح ایجاد می‌شود. بنابراین لازم است پس از اینکه عملیات بتن‌ریزی پایان پذیرفت از خشک شدن سطوح جلوگیری شود. برای دستیابی به این منظور به یکی از روشهای زیر عمل می‌شود:

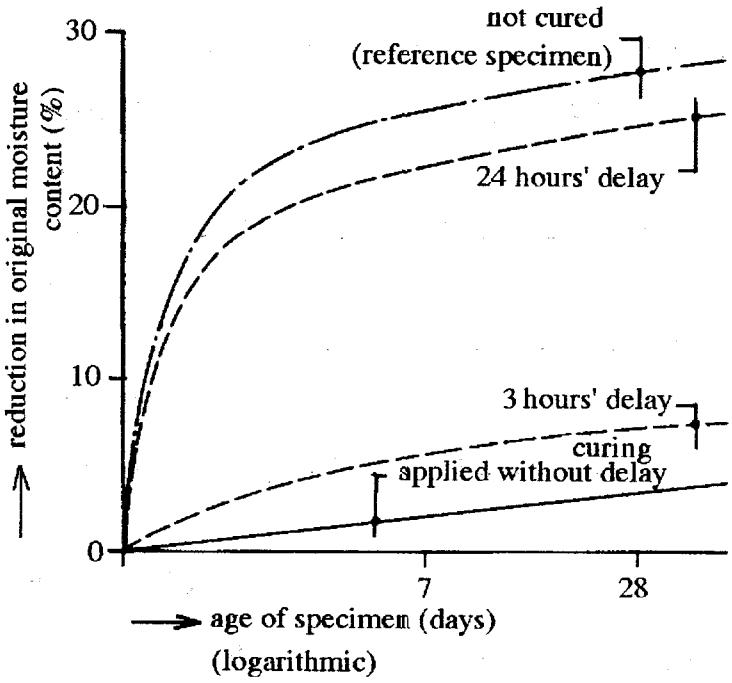
۱- پوشاندن بتن با پارچه یا چتایی و خیس نگهداشتن آن، این عمل بیش از روشهای دیگر متداول است.

۲- پوشاندن بتن با پوشش‌های پلاستیکی بطوریکه هوا نتواند بین پوشش پلاستیکی و بتن جریان یابد.

۳- جاری نمودن آب بر روی بتن و یا پاشیدن مداوم آب بر روی آن بطوریکه بتن همیشه خیس باشد. درجه حرارت آب باید تا حد امکان نزدیک به درجه حرارت بتن باشد تا از تبادلات حرارتی غیرضروری جلوگیری شود. عدم رعایت این موضوع ممکن است صدمات جدی به بتن وارد سازد.

۴- کاربرد یکی از انواع ترکیب‌های عمل‌آورنده (CURING COMPOUND) که موجب تشکیل لایه‌ای بر سطح بتن شده و مانع تبخیر آب می‌گردد در این مورد کمک موثری خواهد بود. انتخاب زمان مناسب برای کاربرد این نوع ترکیبات از اهمیتی به سزا برخوردار است (شکل ۵-۴). چنانچه این مواد زودتر از موقع بکار

روند خاصیت خود را از دست می‌دهند و چنانچه دیرتر از موقع مناسب بکار روند ترک‌ها ایجاد شده‌اند.



شکل ۵-۴

در نقاطی که دارای شبهای سرد هستند باید اقدامات لازم برای ممانعت از رسیدن سرما به جسم بتن بعمل آید. اینکه مدت عمل آوردن چقدر طول خواهد کشید بستگی به نسبتهای اختلاط دارد ولی هدف این است که جذب آب سیمان آنقدر پیشرفت نماید که مقاومت کششی مناسب برای جلوگیری از ترک حاصل گردد.

بتنی با نسبت آب به سیمان کمتر، مدت کوتاهتری عمل آورده می‌شود تا بتنی به نسبت آب به سیمان بیشتر، همچنین بتن با سیمان دیرگیر (SLOW TYPE) برای عمل آوردن به زمان بیشتری نیاز دارد.

هنگامی که ترکیبات عمل آورنده بکار می‌رود باید توجه نمود که این محلول روی میلگردهای مجاور ننشیند زیرا در این صورت این محلولها بصورت لایه‌ای روی میلگرد را گرفته و مانع از چسبندگی بتن با آرماتور می‌گردند. در صورتی که چنین مسئله‌ای رخ دهد باید بوسیله SAND BLASTING لایه مورد بحث را محو نمود.

۵-۱۱ نتایج

سازه‌های بتنی در کشورهای گرمسیر با محدودیت‌های خاصی روبرو می‌باشند. شرایط کار و مصالح موجود کاملاً با آنچه در اروپای غربی متداول است تفاوت دارد. ولی تجربه نشان داده که با درک صحیح شرایط و مسائل به همراه دقت و پیش‌بینی‌های لازم می‌توان سازه بتنی با کیفیت مطلوب بنا نمود، گرچه این امر در آغاز دشوار به نظر برسد.

در این فصل سعی شد بیان شود که کاربرد فن‌آوری بتن در کشورهای گرمسیر کاری نیست که از پشت میز میسر باشد و لازم است رابطه نزدیک بین مسایل نظری و تجربه برقرار گردد. برای روشن نمودن این موضوع مثال‌هایی که بیانگر تفاوت میان تئوری و تجربه است در زیر نقل می‌گردد:

- به لحاظ هوای گرم ممکن است به نظر رسد که می‌توان از نسبت سیمان در مخلوط کاست در حالیکه شکل مصالح سنگی ممکن است مصرف سیمان بیشتر را ایجاب نماید. افزایش نسبت سیمان باعث حرارت بیشتر در عمل جذب آب سیمان می‌شود و حرارت بیشتر جریان سخت شدن را تسریع می‌نماید.

- عوامل پیمانکار بطور کلی از زودتر سخت شدن بتن خشنود می‌شوند زیرا می‌توانند قالبها را باز کرده و مجدداً آنها را بکار برند. در حالیکه سخت شدن سریع بتن احتمال ترک را افزایش داده، از اینرو بسته بودن قالب‌ها را ضروری می‌سازد.

- گرچه در اثر گرما مقاومت زودرس حاصل می‌گردد ولی مقاومت نهایی در مقایسه با شرایط معمولی کمتر است.

واضح است که این مسائل باید با مشورت مهندسین کارگاه مرکزی حل گردد. انجام آزمایش‌های متعدد و گاه استفاده از متخصصین دیگر ضرورت پیدا می‌کند. به کمک این آزمایش‌ها تکنسین‌های دست اندرکار تهیه بتن می‌توانند جهت ساخت بتنی با کیفیت مطلوب توصیه‌های لازم را به مدیران خود و مشاوران بنمایند. بطور کلی هماهنگی تنگاتنگ بین کارگاه و دفتر مرکزی باعث می‌شود که بتن با کیفیت مطلوب و رعایت نکات فنی و اقتصادی تهیه گردد.

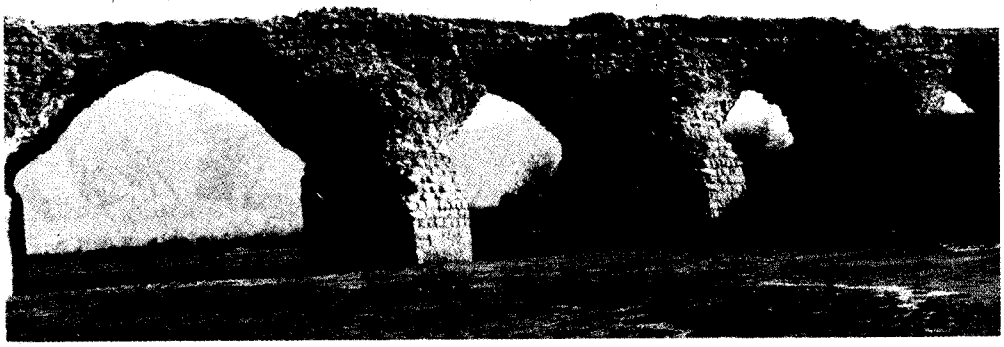
۶ اطمینان از کیفیت

۶-۱ مقدمه

شاپور اول پادشاه ساسانی که در سالهای ۲۴۲ تا ۲۷۳ میلادی فرمانروایی می‌کرد نه تنها پارتیان را در هم کوبید بلکه والرین امپراطور روم را نیز به زانو درآورد. این پیروزی برای او تعداد زیادی اسیر به همراه داشت که منبع ارزانی از کارگران ماهر نیز به حساب می‌آمدند. اسرای رومی این امکان را در اختیار امپراطوری ایران قرار دادند که دولت فاتح از تجربیات گرانقدرشان در امر ساختن شهرها، سدها و پل‌ها بهره جوید.

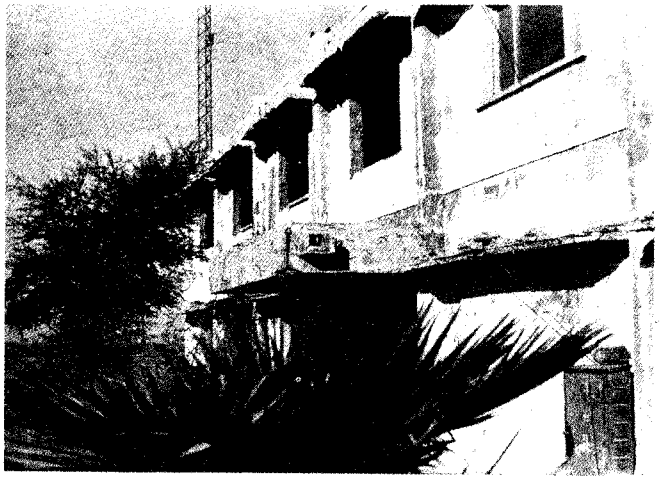
بقایایی از کوششهای این اسیران هنوز هم در گوشه و کنار، از جمله، در جنوب غربی ایران در مسیر راه خاورمیانه به شکل یک پل بنایی شده به چشم می‌خورد.

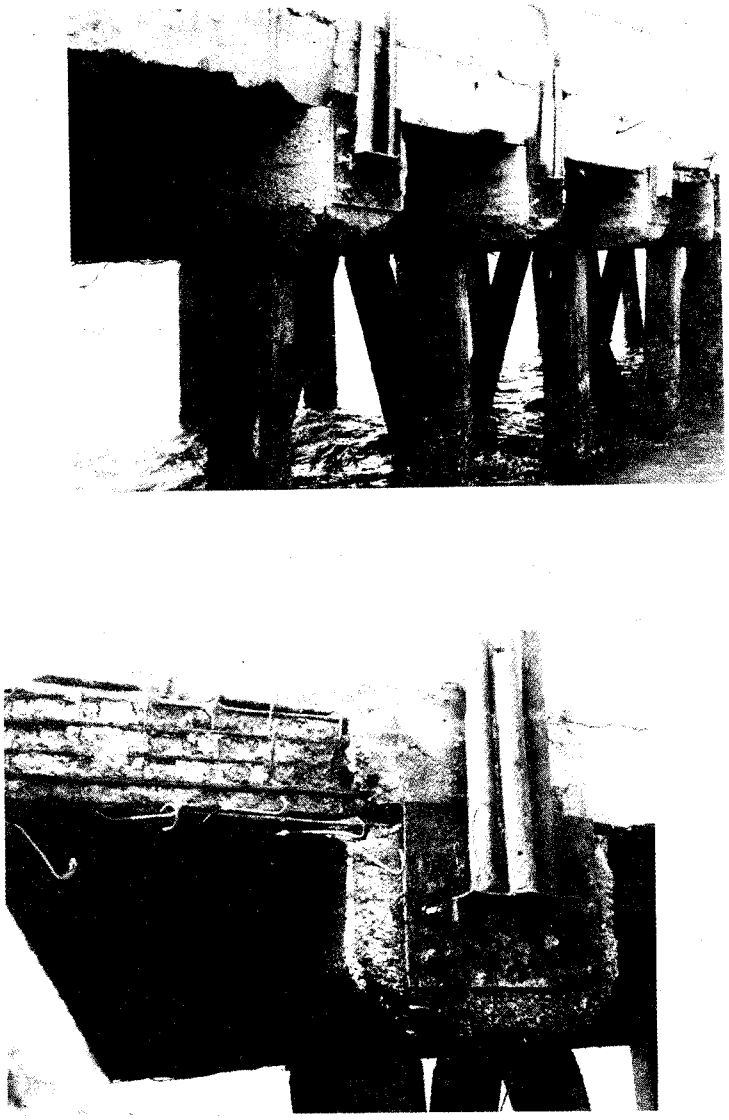
در این پل ملات مصرف شده ترکیبی است از سولفات کلسیم متبلور (گچ) کوارتز (درکوهی) و کربنات کلسیم متبلور (کلسیت)، در قسمتهای بالایی ساختمان پل گچ بیشتری در قیاس با پی به مصرف رسیده که این امر موجب اختلاف پایایی این قسمت‌ها شده، در تصویر این موضوع به بخوبی نشان داده شده است.



شکل ۶-۱- پل بنایی در جنوب ایران که توسط رومیان ساخته شد.

رویارویی سازه با شرایط جوی نامساعد به همراه ناآگاهی‌های نیروی انسانی سازنده از علل عمده پایین آمدن پایایی این ساختمان‌ها به شمار می‌آیند. در شکل ۶-۲ ساختمانها و اسکله‌هایی را مشاهده می‌کنید که به ترتیب پنج و بیست و پنج سال از عمرشان می‌گذرد اما عدم رعایت نکات اساسی در رابطه با خورندگی محیط در عمل موجبات انهدام آنان را فراهم ساخته است.





شکل ۶-۲

به این دلیل اجرای سرسری کارهای ساختمانی در مناطق گرمسیر اغلب مترادف است با بروز مسایلی نظیر خرابی و انهدام سازه که با مشکلات مالی توام خواهد بود. از اینرو در چند دهه اخیر کارشناسان هلندی و دیگر کشورها به نحوی با مسائل ساختمانی در این مناطق مرتبط شده‌اند. با این وجود باید توجه داشت که اهمیت دادن به شرایط ویژه محلی نتایج بهتری را در برخواهد داشت. به علاوه ایجاد زمینه‌ای که ضمن آن کنترل صحیح ودقیقی بر انجام کار حکمفرما باشد از ضروریات است.

۶-۲ کنترل کیفیت یا اطمینان از کیفیت

در این مقوله منظور از کنترل کیفیت اتخاذ تدابیری است که امکان حصول کیفیت مطلوب را فراهم سازد.

کیفیت مطلوبی که باید بدان دست یافت چیست؟

بر چسب اغلب محصولات تجارتی مشخصات استانداردی را که محصول برپایه آن تهیه شده، دستگاهی که آن را مورد آزمایش و کنترل قرار داده و یا مدت زمانی را که محصول می‌تواند بدون بروز اشکالی انبار سازی و نگهداری شود، بیان می‌دارد. با ارائه این اطلاعات، سازنده بر کیفیت محصول خود تاکید ورزیده و مصرف‌کننده را نیز در مورد مصرف آن راهنمایی می‌نماید. هدف از ارائه این اطلاعات ایجاد اطمینان از کیفیت محصول و تشویق مشتری نسبت به خرید آن است.

در مورد استفاده از مصالح چنانچه مصالح از کشور دیگری وارد می‌شود ازآنجایی که شرایط کشور سازنده با شرایط کشوری که مصالح در آن مصرف می‌شود متفاوت است باید به مسئله مناسب بودن مصالح برای شرایطی که از آن استفاده می‌شود توجه داشت.

۶-۳ کنترل کیفیت در کارهای ساختمانی

بطور کلی در کارهای ساختمانی چهار مرحله متمایز به شرح زیر وجود دارد:

- تدارک شامل مطالعات اولیه، تعیین چهارچوب قرارداد و تهیه مشخصات فنی
- اجرا
- تکمیل و تحویل کارها
- استفاده، تعمیر و نگهداری سازه

مسائل مربوط به کارهای اجرایی می‌تواند ازدو زاویه مختلف به شرح زیر مورد توجه واقع شود:

- از جانب کارفرما یا نماینده وی
- از جانب پیمانکار

هر دو طرف یک هدف واحد را تعقیب می‌نمایند، انجام کارها ظرف مهلت مقرر با اعتبار تعیین شده و کیفیت مشخص. این بدین معنی است که کارها باید مطابق قرار داد و بانتایج رضایتبخش مالی پایان پذیرد. بنابراین اعمال کنترل صحیح به معنی حفظ منافع طرفین خواهد بود. علاوه بر مراحل اجرایی کار، دایره کنترل کیفیت به شرح زیر بر انجام امور اثر می‌گذارد:

- بررسی دقیق نتایج حاصل از مطالعات اولیه و یا اسناد مناقصه
- ارائه توصیه‌هایی در ارتباط با مناقصه
- توجه به مشخصات فنی و انتخاب مصالح اعم از مصالح محلی یا وارداتی
- شروع کار
- اعمال کنترل‌های ادواری ضمن انجام کار
- توجه داشتن به نکات فنی در ارتباط با تحویل کارها

سازماندهی دایره کنترل کیفیت به نمودار نیروی انسانی و ظرفیت مشورت‌پذیری مدیریت پروژه بستگی دارد. در کارگاه ساختمانی دایره کنترل کیفیت مسئولیت کامل آزمایشگاه ونظارت بر تولید بتن را عهده‌دار است.

صدور تائیدیه‌های فنی، تنظیم گزارش آزمایش‌ها و سایر مدارک مربوط از دیگر مسئولیت‌های بخش کنترل کیفیت به شمار می‌آید.

یکی از محاسن دایره کنترل کیفیت آنست که به مناسبت آشنایی با پروژه می‌تواند بر فعالیت‌های اجرایی نظارت دقیق و منظم داشته باشد. کمک‌های موثری که مهندس مسئول کنترل کیفیت می‌تواند ضمن اجرای کارهای ساختمانی ارائه نماید در قسمتهای بعدی این فصل خواهد آمد.

۶-۴ تهیه یک پروژه ساختمانی

روش تهیه یک پروژه ساختمانی می‌تواند از یک پروژه به پروژه دیگر تفاوت‌های زیادی داشته باشد. ممکن است تعداد زیادی کارشناس توسط کارفرما برای بررسی‌های اولیه، اقتصادی و فنی فرا خوانده شوند. این مطالعات وبررسیها پایه‌ای است برای تنظیم اسناد مناقصه که عاملی موثر در تعیین قیمت اجزای متشکله کار به شمار می‌آیند.

در این مرحله مقدماتی بررسی دقیق ارتباط قیمت‌ها برای هیچیک از طرفین قرارداد از اهمیت فوق‌العاده‌ای برخوردار نیست، آنچه باید طرفیت بدانند این است که قیمت‌ها بر چه پایه‌ای استوار است، عدم وجود این اطلاعات خسارت‌هایی را مطرح خواهند ساخت که ریشه در عدم شناخت کافی از کمیت‌ها یا کیفیت‌ها دارد.

اطلاعات اساسی که باید قبل از تسلیم پیشنهاد مناقصه از آن آگاهی داشت به شرح زیر است:

- شکل قرارداد (برای مثال کلید گردان TURNKEY، یا سرجمع LUMP-SUM)
- مشخصات فنی عمومی و خصوصی که قرارداد بر پایه آن بسته می‌شود.

- دوره اجرای کارها
- مشخصات فنی شامل، مشخصات فنی خصوصی و دستورالعمل‌های اجرایی کار در انطباق با طرح.

مهندس کنترل کیفیت که با مسائل یاد شده بخوبی آشناست به نکات زیر توجه کامل دارد:

- عمر مفید و اقتصادی سازه
- شرایط محیطی موثر بر سازه
- آیین‌نامه‌ها و استانداردهای حاکم
- اجبار در بهره‌گیری از روشها و نیروی انسانی محلی
- ملیت سازندگان

در بسیاری از موارد لازم است مهندس کنترل‌کننده کیفیت از کشور محل اجرای پروژه قبلاً بازدید بعمل آورد. وضعیت ساختمانهای موجود می‌تواند بخوبی کم و کیف امکانات را مشخص سازد. انجمن بتن آمریکا (ACI) تصویر جامعی از نکات مهم ضمن اینگونه بازدیدها را در دستورالعمل کمیسیون ۲۰۱- ACI ارائه نموده است.

۶-۵ جنبه‌های تعیین کیفیت

همانگونه که خاطر نشان گردید، کیفیت عاملی است که با توجه به عمر مورد انتظار از سازه تعریف می‌گردد. بنابراین کیفیت مطلوب باید با توجه به پایایی مورد انتظار تعیین گردد. در مورد دوام سازه مهمترین نکته شرایط اقلیمی است که سازه را در بر می‌گیرد. این عوامل علاوه بر مراحل قبلی باید ضمن کارهای ساختمانی همواره مدنظر باشند.

اطلاعات مربوط به شرایط آب و هوایی غالب، در کشورها و نواحی مورد نظر معمولاً در مراکز هواشناسی که یک شبکه جهانی را تشکیل می‌دهند گردآوری می‌گردد. توجه به اطلاعات تهیه شده توسط مراکز هواشناسی خاورمیانه اختلاف‌های قابل توجهی را از یک منطقه به منطقه دیگر نشان می‌دهد.

قابلیت دستیابی به مصالح اولیه برای ساختن بتن، آسفالت، راهها و یا موج‌شکن‌ها ممکن است از مراحل بعدی کار باشد. بطور قطع در صورت وجود امکانات متعدد، منابع به لحاظ کمی با یکدیگر دارای تفاوت‌هایی خواهند بود. بطور طبیعی هزینه‌های مربوط به استخراج و فواصل حمل از عوامل مهم در تصمیم‌گیری به

شمار می‌آیند.

تقریباً همه کشورها خواستار این مطلبند که واردات مصالح ساختمانی را به حداقل ممکن کاهش دهند. از اینرو اجبار در مصرف سیمانهای ساخته شده توسط سازندگان داخلی ممکن است یکی از مهمترین مسائل در یک مناقصه به شمار آید. قبل از پذیرش یک کارخانه سیمان محلی به عنوان منبع تهیه سیمان، لازم است اطلاعات دقیقی از مشخصات محصول آن کارخانه، وجود مرکز کنترل کیفیت در کارخانه، سیستم کنترلی حاکم بر کیفیت محصول در خارج از کارخانه (نظیر موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی در کشور ما) و تجربیات سازندگان سیمان کسب گردد. در فصل دوم اشاره شد که چرا استفاده از سیمان پرتلند سرباره با درصد زیاد سرباره در آب و هوای مجاور دریا توصیه می‌شود. از آنجا که این نوع سیمان فقط توسط تعداد معدودی کارخانه در اروپای غربی تهیه می‌شود و تجربه لازم در انحصار آنهاست معمولاً کارفرمایان خارجی با آن آشنایی ندارند. بنابراین وجود یک کارخانه سیمان محلی که امکان سفارش دادن سیمان پرتلند سرباره بدان وجود دارد شاید نتواند مشکل را حل نماید.

تفاوت بین بتن خوب و بتن بد همیشه ناشی از مصالح مصرف شده نیست. کارآیی نیروی انسانی از عوامل است که نتیجه کار را تحت تاثیر قرار می‌دهد. پروژه‌های ساختمانی بزرگ در خاورمیانه اغلب مشارکت هزاران کارگر را اجتناب ناپذیر می‌سازد. سطح آموزش و توانایی‌های اجرایی کارگران بومی و کارگرانی که از خاوردور می‌آیند غالباً پایین‌تر از همتاهای اروپایی آنان است. مسئله برقراری ارتباط، زبان و القای نقطه نظرات به کارگران نیز از جمله مسایل مهم کارگاهی است. از اینرو بکار گماردن افرادی که حداقل قادر به خواندن و نوشتن باشند، در موقعیت‌های کلیدی از اهمیتی ویژه برخوردار است.

ملیت کارگران موضوعی است که می‌توان مقالات جداگانه‌ای را بدان اختصاص داد.

خصوصیات فردی مردم یک کشور و روش آنها برای انجام کاری معین ممکن است روشها و مراحل اجرایی را کامل دگرگون سازد. به این دلیل است که توجه به تمامی مسایل برای تنظیم مشخصات و قراردادی خوب و بدون اشکال ضرورت می‌یابد. ملیت مهندسان مشاور که از جانب کارفرما بخدمت گرفته می‌شوند و همچنین سوابق تاریخی کشور محل اجرای پروژه از عواملی هستند که بر تصمیم‌گیری در مورد انتخاب استانداردها و دستورالعمل‌های حاکم تاثیر دارند. اگر

پیمانکار در مرحله بعدی آیین‌نامه‌های استاندارد کشور خود را جانشین سازد ممکن است آثار سوئی متوجه کیفیت کارها شود. باید گفت در بسیاری موارد در خصوص کارهای ساختمانی در کشورهای گرمسیر هنوز استانداردها و آیین‌نامه‌های جهانی دستورالعملهای خاصی را صادر نکرده‌اند.

۶-۶ انتخاب مصالح

در مرحله تدارک یکی از مهمترین اقدامات انتخاب مصالح است. در اغلب موارد پیمانکار مختار است در چهارچوب قرارداد نسبت به انتخاب مصالح اقدام نماید. به منظور پرهیز از بروز وقفه در عملیات اجرایی، انتخاب تا حد امکان با تکیه بر منابع داخلی صورت می‌پذیرد. به هر حال توصیه می‌شود برای هر یک از مصالح چندین منبع در نظر گرفته شود.

هنگامی که پیمانکار مصالح به خصوصی را انتخاب می‌نماید نمونه‌ای از آن را برای تصویب به نماینده کارفرما (دستگاه نظارت) ارائه می‌نماید. مصالح پیشنهادی با توجه به اوصاف، مشخصات و مراجع استاندارد مربوطه در صورت امکان بصورت نمونه‌هایی ارائه می‌گردند که پس از تصویب مشاور در حکم اسناد و مدارک به حساب خواهند آمد.

از آنجا که سیمان یکی از مهمترین مصالح است در مورد انتخاب آن مباحثات و اظهارنظرهای بیشتری مورد نیاز خواهد بود. متاسفانه روی کیسه‌های سیمان همیشه اطلاعات مربوط به کیفیت سیمان درج نمی‌گردد، حتی اشاره به یکی از مراجع استاندارد مانند BS, ASTM یا DIN روی پاکتهای سیمان تضمینی بر کیفیت مصالح نیست. بنابراین لازم است از کارخانه سیمان بازدید شود و ارزیابی کیفی از مشخصات محصول و مواداولیه مورد مصرف در تهیه آن به عمل آید، اطلاعات حاصل از این طریق می‌تواند راهنمایی باشد برای انتخاب سیمان مناسب.

۶-۷ آغاز یک کار ساختمانی

وظیفه دایره کنترل کیفیت در یک کارگاه ساختمانی عبارتست از مدیریت و نظارت روزانه بر امور آزمایشگاه، تمامی آزمایش‌های لازم که موجب نیل به کیفیت تعیین شده می‌گردد در آنجا صورت می‌پذیرد. وسایل و شیوه سازماندهی آزمایشگاه به نوع کار بستگی دارد. اغلب فعالیت‌های آزمایشگاه در ساختمان اصلی آزمایشگاه صورت می‌پذیرد. البته در مواقع لازم واحدهای کمکی در نقاطی از کارگاه که لازم

باشد حاضر خواهند شد. قبل از آغاز آزمایش‌های مربوط به بتن بهتر است، تصویری کلی از آزمایشهای مختلفی که باید بطور ادواری و ضمن انجام کار صورت پذیرد، تهیه شود.

کنترل کیفیت بتن شامل سه مرحله است:

مرحله اول- آزمایش‌های اولیه به منظور بررسی مناسب بودن مصالح و ماشین‌آلات

مرحله دوم- آزمایش‌های مربوط به کنترل کیفیت بتن

مرحله سوم- تعیین ویژگی‌های بتن

مصالحی که باید کنترل شوند عبارتند از مصالح دانه‌بندی نشده معدن، مصالح درشت دانه، ماسه، سیمان، آب، مواد افزودنی و بتن، ماشین‌آلات و تجهیزات نیز باید کنترل شوند، این کنترلها شامل دستگاه‌های تهیه مصالح سنگی (سنگ‌شکن‌ها، سرندها، ماسه شورها و ...) دستگاه‌های تهیه بتن مرکزی، کامیون‌های مخصوص حمل بتن وسایل لرزاندن و مرتعش کردن بتن و وسایل آزمایشگاه می‌باشد.

جدول ۶-۱- زمان تناوب کنترل‌های مربوط به مصالح سنگی

نوع مصالح / شرح آزمایش	مصالح سنگی					
	دانه‌بندی نشده	۴۰-۲۵-۱۲-۶میلیمتر		۶-۰ میلیمتر		
	مرحله اول	مرحله اول	مرحله دوم	مرحله اول	مرحله دوم
دانه‌بندی	هر۱۴ روز	هر ۳ روز	روزانه	روزانه	روزانه
تعیین میزان کلرور	هر ۱۴ روز	-	روزانه	روزانه	روزانه
تعیین مقدار لای		هر ۳ روز	روزانه	روزانه	روزانه
شکل ذرات		در مواقع نامعین	-	-	-
جذب آب		هر ۱۰۰۰۰ مترمکعب	روزانه	هر ۵۰۰۰ مترمکعب	
سختی		در مواقع نامشخص	-	-	
وزن مخصوص		هر ۱۰۰۰۰ مترمکعب	-	هر ۵۰۰۰ مترمکعب	
وزن مخصوص حجمی		هر ۳ روز	-	هفتگی	
سلامت مصالح		در مواقع نامعین	-	درمواقع‌نامشخص	
درصد دانه‌های پولکی			روزانه	-	
بررسی‌های عینی (چشمی)			روزانه	-	
درصد رطوبت			روزانه	روزانه	روزانه

آزمایش‌های مربوط به مناسب بودن مخلوط بتن تازه باید به بهترین وجه با توجه به وضعیت کارگاه، فاصله حمل، زمان انتظار و ... سازماندهی شود.

ضمن راه‌اندازی آزمایشگاه باید مسئله انتخاب تکنسین‌هایی که قرار است در آنجا خدمت کنند به دقت مورد بررسی قرار گیرد. انتخاب باید بر مبنای دقت، قابلیت و لیاقت افراد صورت پذیرد.

از آنجا که کارکنان آزمایشگاه ضمن بررسی‌های مربوط به مناسب بودن بتن تجربیات فراوانی کسب می‌نمایند می‌توانند افرادی را که در مراحل اولیه کار ساختمانی قرار دارند هدایت و راهنمایی کنند. در همان زمان باید مراقبت به عمل آید که گروه کنترل کیفیت به صورت یک نیروی پلیسی عمل ننماید، زیرا در این صورت رنجش‌های حاصل نتایج معکوس به بار خواهد آورد.

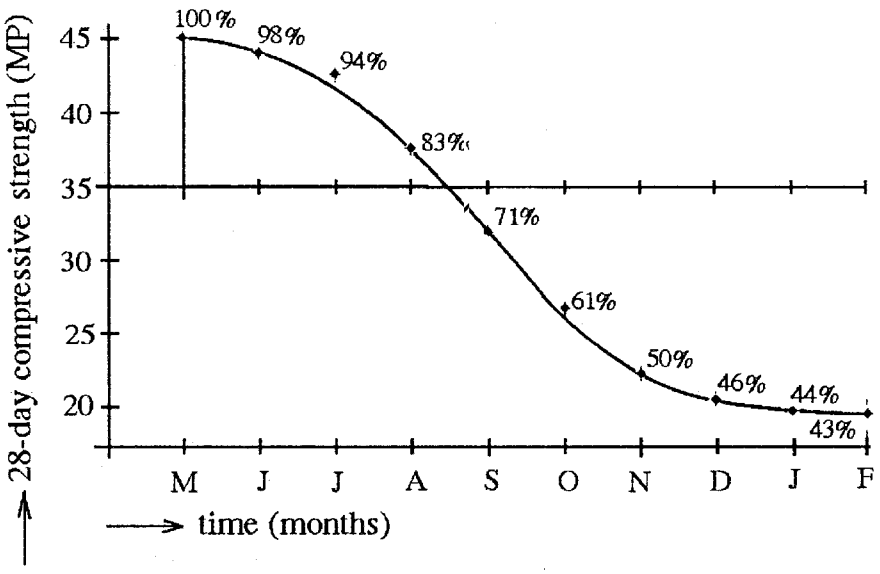
جدول ۶-۲- تصویری کلی از کنترل کیفیت سیمان

نوع بررسی	شرح	کنترل تولید در کارخانه	نظارت بر کیفیت خارج از کارخانه	آزمایشگاه کارگاه	آزمایش‌های جاری سیمان*
فیزیکی	مانده روی الک ۲۰۰ میکرون	×	–	×	×
	آزمایش نرمی سیمان (بلین)	×	×	×	×
	وزن مخصوص	–	–	×	×
	آزمایش‌های مقاومت استاندارد	–	–	×	×
	گیرش اولیه	×	×	×	×
	گیرش نهایی	×	×	×	×
	سلامت (SOUNDNESS)	×	–	–	–
	گیرش کاذب	–	×	×	×
مکانیکی (آزمایش‌های کششی و فشاری)	یک روزه	–/–	–/×	×/×	×/×
	هفت روزه	–/×	–/×	×/×	×/×
	بیست و هشت روزه	–/×	–/×	×/×	×/×
شیمیایی	مواد نامحلول	×	–	–	–
	افت وزنی در اثر حرارت	×	×	–	–
	معادل اکسید سدیم (Na_2O)	×	–	–	–
	SO_3	×	–	–	–
	CO_2	×	–	–	–
	CL	×	×	×	×
	نسبت وزنی سرباره	×	×	–	–
مراقبت از محموله		–	×	×	–
مراقبت از سیمان انبار شده		–	–	×	×

* آزمایش‌های جاری سیمان چهار هفته پس از رسیدن محموله به کارگاه شروع و تا مصرف کامل آن ادامه می‌یابد.
اولین نمونه‌های سیمان توسط آزمایشگاه معتبر هنگام بارگیری محصول در کارخانه و ارسال آن به کارگاه گرفته می‌شود.
دومین نمونه‌ها هنگام ورود محموله به کارگاه اخذ می‌شود. هنگام توقف و راه‌اندازی مجدد خط تولید سیمان در کارخانه نیز باید آزمایش‌های جامعی در باره کنترل کیفیت محصول بعمل آید.

۶-۸ کنترل معمول و متداول

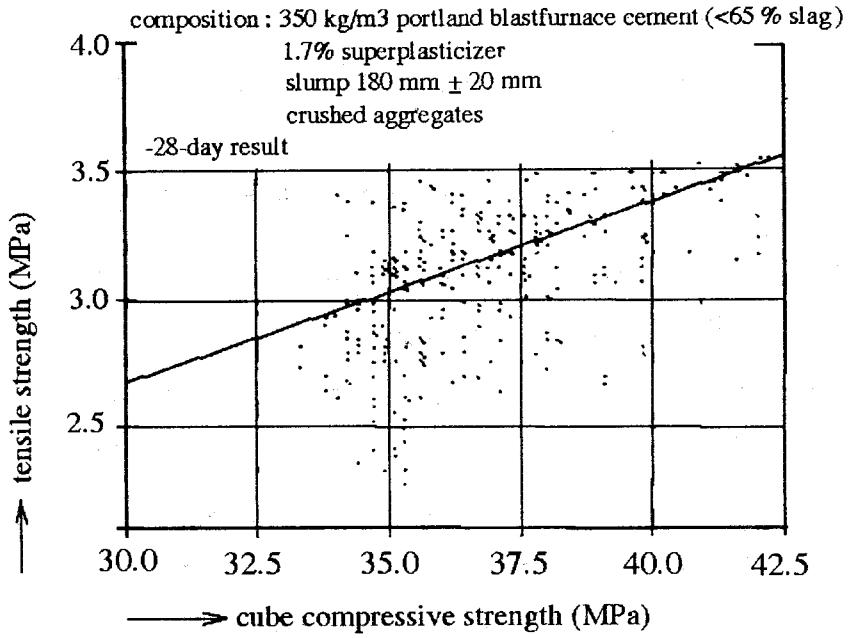
در کارگاه روش‌های کنترلی متداول برای سیمان، با سایر مصالح متفاوت است. تحقیقات تجربی نشان داده است نقصان مقاومت سیمان‌های انبار شده در پاکت‌های کاغذی پنجاه کیلویی که تا شش ردیف روی هم چیده شده‌اند می‌تواند بسیار قابل توجه باشد این امر به ویژه در نواحی ساحلی خلیج فارس از اهمیتی به سزا برخوردار است. در شکل ۶-۳ نقصان مقاومت سیمان پرتلند سرباره در اثر انبار کردن سیمان در هوای بسیار مرطوب نشان داده شده است. مبنای مقایسه در این منحنی (۱۰۰٪) مربوط است به مقاومت فشاری استاندارد سیمان هنگام ورود محموله به کارگاه.



شکل ۶-۳

همانگونه که از شکل پیداست سرعت کاهش مقاومت در ماههای تابستان که حرارت و رطوبت زیاد است بیشتر از ماههای زمستان است.

آزمایش‌های متداول و متعارف در کارگاه عبارتند از آزمایش اسلامپ و آزمایش شکستن نمونه‌های مکعبی. با توجه به نوع و طبقه بتنی که ساخته می‌شود روشی اتخاذ می‌گردد که بتوان مقاومت ۲۸ روزه بتن را پیش‌بینی کرد. برای مثال این کار به کمک اندازه‌گیری مقاومت‌های یک و سه روزه انجام می‌گردد. در موارد خاص ممکن است مقاومت کششی بتن نیز تعیین گردد. در شکل ۶-۴ تصویری از رابطه تقریبی مقاومت‌های کششی و فشاری بتن و همچنین پراکندگی نتایج ارائه می‌گردد.



شکل ۴-۶

۹-۶ ارزیابی فنی ادواری

ارزیابی‌های فنی ادواری شامل موارد زیر است:

- ارزیابی نتایج آزمایش‌ها
- ارزیابی کار انجام شده

همواره باید بین نتایج حاصل از آزمایش و سطح و کیفیت کار تمام شده توازنی برقرار باشد. یک گروه تکنیسین ورزیده آزمایشگاهی در پردازش نتایج حاصل از آزمایش با مشکل چندانی مواجه نخواهد بود ولی آیا این امر بیانگر کیفیت کار تمام شده خواهد بود؟ ارتباطی دائمی با اجرای کارها ضرورت کامل دارد. اگر توازن بین نتایج حاصل از آزمایش و کارهای انجام شده از بین برود باید دلیل آن را ردیابی نمود این امر اغلب به یکی از سه عامل زیر ارتباط پیدا می‌کند:

- نیروی انسانی
- مصالح
- ماشین‌آلات

ارزیابی نتایج حاصل از آزمایش‌ها در گزارش‌های ماهانه‌ای که بطور مرتب به کارفرما ارائه می‌شود، درج می‌گردد. این گزارش‌ها تنها در بردارنده شرح کارهایی

است که باید در قالب قرارداد صورت پذیرند. ارزیابی کارهای پایان‌یافته ضمن بازدید عینی مهندس کنترل کیفیت صورت می‌گیرد. نتایج حاصل از بازدید با مدیر و مهندسان مسئول کارهای اجرایی در میان گذارده می‌شود.

۶-۱۰ جنبه‌های فنی کار در ارتباط با تحویل

در بسیاری از پیمان‌ها قبل از تحویل نهایی یک مرحله تحویل موقت وجود دارد که طی آن پروژه به لحاظ عملیاتی تا حدود ۹۵ درصد پایان یافته است. در این مرحله برداشت دقیقی از وضعیت کار از اهم امور است. به علاوه لازم است کار پایان یافته نیز مورد ارزیابی نهایی قرار گیرد. مدارکی که اطلاعات لازم را در خود داشته باشد به شرح زیرند:

- شرح کلی از کار انجام‌شده شامل نقشه‌های چونساخت (AS BUILT DRAWINGS)
- ماشین‌آلات و مصالح شامل مدارک ارائه شده توسط سازنده، دستورالعمل‌های تعمیر و نگهداری و تائیدیه آزمایش‌ها
- آزمایش‌های کارگاهی مربوط به خاک، بتن، آسفالت و ...
- بازدیدهای عمومی در مورد درصد انجام شده کارها، نواقص، کارهای کامل نشده ...
- سابقه آزمایش‌های انجام شده

۶-۱۱ انتقال اطلاعات به پایگاه اصلی

به منظور تقویت موقعیت مشاور و پیمانکار در میان رقبا و ارتقای دانش فنی و تجربی وی لازم است چگونگی و کیفیت نهایی کارهای انجام شده به نحوی صحیح به دفتر مرکزی گزارش شود. این گزارش حاوی نکات زیر خواهد بود:

- چه موانع و تنگناهایی در انجام کار وجود داشته است؟
- چه جنبه‌هایی جدیدی مستلزم بذل توجه بیشترند؟

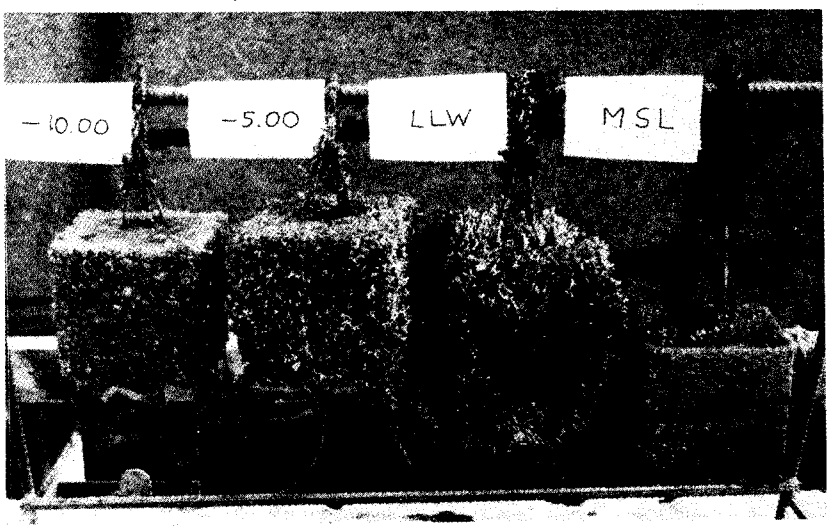
در دست بودن اطلاعات بیشتر موجب اعتماد به نفس بیشتر است. در کنار جمع‌آوری اطلاعات عمومی، مهندس کنترل کیفیت می‌تواند ضمن اقامت خود در نقاط گرمسیر تحقیقات دیگری را نیز آغاز نماید.

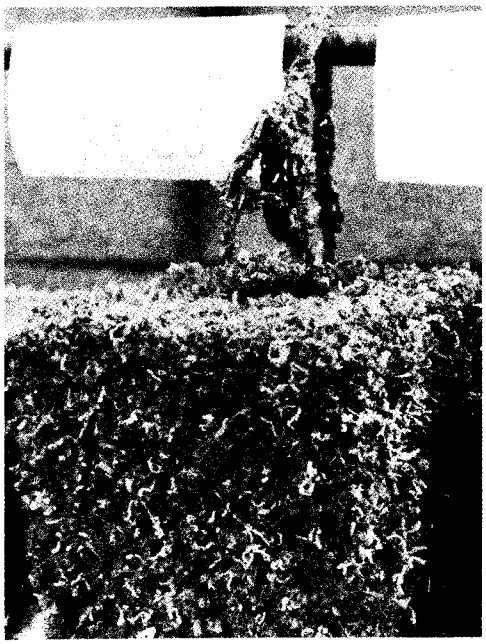
برای بحث در این زمینه گشودن یک فصل کامل لازم است. لیکن در اینجا به ذکر چند نکته توجیهی اکتفا می‌شود.

۱- طبق نظر ASTM درجه حرارت بتن تازه نباید از ۳۲ درجه سانتیگراد فراتر رود.

رعایت این امر مستلزم صرف هزینه‌های قابل توجهی است لیکن مراعات آن ضرورت کامل دارد.

۲- رشد گیاهان و جانوران دریایی، در نقاطی که درجه حرارت در تابستان از ۴۰ درجه سانتیگراد بالاتر می‌رود خیلی سریع صورت می‌گیرد (شکل ۶-۵) باید دید آیا این عوامل مخاطراتی را متوجه بتن می‌سازند یا خیر.





شکل ۶-۵- رشد گیاهان و جانوران دریایی روی بلوک‌های بتنی که برای مدت چهار هفته در اعماق مختلف در مجاورت آب دریا قرار گرفته‌اند.

۳- دوام کارهای تعمیراتی روی بتن‌های واقع در زیر آب باید مورد بحث قرار گرفته و با استفاده از پوشش سنج‌های زیرآبی وضع بتن‌های قدیمی از این نظر روشن شود.

۴- به مسائل غیر مرتبط با بتن نظیر رنگ‌کاری‌های انجام شده در نقاط بسیار مرطوب، نسبت‌های اختلاط آسفالت برای راه‌های با تردد زیاد و ... توجه شود.

۱۲ نتایج

آیا امر ساختمان در کشورهای مناطق گرمسیر همیشه با مسائل عدیده و گرفتاری‌های بی‌شمار همراه است؟ دقیقاً" خیر. اگر تجربیات حاصل از کارها بطور دقیق به طراحان گزارش شود، اگر نسبت به پیشرفت و توسعه علوم و فنون توجه خاص مبذول گردد و اگر آیین‌نامه‌ها و دستورالعمل‌های مربوط به کار بسته شود می‌توان ساختمان‌هایی مناسب برای سالیان متمادی بنا نمود.

طبق تقویم فارسی امسال، سال ۱۳۶۴ است، آیا ساختمان‌های ما تا سال ۱۹۸۵ (!) بخوبی دوام خواهند آورد؟ بدون شک، انشاءالله.

۷ توصیـــه‌ها

۷-۱ مقدمه

در بخشهای قبلی این مجموعه درباره ساخت بتن پایا در مناطق گرمسیر بحث شد، در این بخش با استفاده از اطلاعات بدست آمده در فصل‌های قبل توصیه‌هایی بویژه در مورد نوشتن مشخصات فنی برای ساخت بتن در نقاط گرمسیر ارائه شده است.

این توصیه‌ها بطور کلی در مورد ساخت بتـن بـرای سـازه‌هایی اسـت کـه در گزنـد بارترین شرایط واقع می‌باشند. البته چنین شرایطی همیشه مصداق پیدا نمی‌کند ولـی باید توجه داشت که تفاوت در شرایط جوی حتی در یک کشور یـا منطقـه موجـب نیاز به مشخصات فنی متفاوت برای ساخت بتن می‌گردد. ایـن حـالت در مـورد دو شهر ریاض و دامن (DAMMAN) که هر دو در عربسـتان سـعودی واقعنـد کـاملاً صادق است. اولی دارای هوای گرم و خشک و دومی دارای هوای گرم و مرطـوب است.

امید است دست‌اندرکاران کارهای بتنی در مناطق گرمسیر به کمک این مقاله بتوانند حدود خورندگی محیطی را کـه در آن کـار می‌کننـد دریافتـه و اقدامـات لازم بـرای پیشگیری را بعمل آورند.

برای بهبود کیفیت سازه بتنی که باید عمری طولانی (حدود پنجاه سال) داشته باشد اقدامات متفاوتی به موازات یکدیگر می‌تواند انجام شود. ولی اینکه بطـور مشـخص چه اقداماتی باید در مورد یک پروژه خاص انجام شود بستگی بـه شـرایط محیطـی، امکانات بودجه‌ای، زمان و عواملی از این نوع دارد.

با توجه به نکات یاد شده در اینمرحله باید موارد زیر مدنظر قرار گیرد:

- مصالح: سیمان، مصالح سنگی، آب و مواد افزودنی
- نسبت‌های اختلاط
- ساختن و ریختن بتن
- عمل آوردن بتن
- آرماتور (فولاد)
- پوشش بتن
- جزئیات

۷-۲ سیمان

بر پایه اطلاعات موجود می‌توان گفت هنگامی کـه سیمان پرتلنـد در نواحـی گـرم دریایی بکار می‌رود، حفاظت از فولاد تنها با پوشش بتـن قـابل تـامین نمی‌باشـد. از اینرو اقداماتی دیگر مانند بکارگیری پوششـهای حفـاظتی روی بتـن یـا فـولاد قـابل توصیه است. حفاظت موثر از آرمـاتور بوسیله بتـن هنگـامی امکـان می‌یـابد کـه از سیمان سرباره برای ساختن بتن استفاده شـود. بـاید توجـه داشـت کـه اطلاعـات و تجربیات در مورد کاربرد سیمان سرباره نیز محدود می‌باشد و سازه‌های بتنـی مـانند پل ارتباطی بحرین عربستان سـعودی و بنـدر شـهیدرجایی در ایـران کـه در آنهـا از سیمان سرباره استفاده شده اخیراً اجرا گردیده‌اند.

موادی مانند دوده سیلیسی[1] نیز در آینده ممکن است نقش مهمی بازی کنند ولی در حال حاضر اطلاعات کمی درباره امکان تولید آن از نظر فنـی و تجـارتی در دسـت است.

هنگامی که اقدامات اضافی مانند پوشاندن بتن و یا استفاده از پوشش برای حفاظت آرماتورها انجام می‌شود، نقشی که سیمان در جهت جلوگیری از نفوذ ین کلر بـازی می‌کند، کاهش می‌یابد. در این حالت استفاده از سیمان معمولـی مناسـب‌تر خواهـد بود. در بیشتر کشـورها اسـتفاده از سیمان ضـد سـولفات، نـوع پنـج، در مجـاورت محیط‌های خورنده بسیار متداول می‌باشد. در حالی که امروزه استفاده از سـیمانهای نوع یک یا دو به جای نوع پنج توصیه می‌شود. علت این امر این است که کلرورهـا با سرعت بیشتری داخل بتن ساخته شده از سیمان ضد سولفات نفوذ می‌نمایند.

همچنیـن لازم نیسـت از سیمان نـوع پنـج در نواحـی گـرم و مرطـوب کـــه دارای سولفات‌های خورنده است استفاده شود، زیرا برای حرارت‌های بالاتر از ۳۰ درجـه سـانتیگراد احتمـال تشـکیل سـولفات‌های مضـاعفی نظـیر ETTRINGITE کـه بـــا انبساط‌های مخرب همراه است خیلی کـم خواهـد بـود. در محیط‌هـایی کـه حـاوی مقادیر کم کـلرور و مقـادیر زیـاد سـولفات هسـتند اسـتفاده از سـیمان پرتلنـد ضـد سولفات چنانچه حرارت در بخـش قـابل توجهـی از ایـام سـال کمـتر از ۲۵ درجـه سانتیگراد باشد، به صرفه و صلاح خواهد بود. حتـی در چنیـن شـرایطی اسـتفاده از سیمان پرتلند سرباره با درصد زیاد سرباره بر سـیمان پرتلنـد ضـد سـولفات ارجـح است.

1- Silicafume

در مورد سیمان در پاره‌ای از موارد توجه به نکات خـاص ضـرورت می‌یـابد. بـرای مثال هنگامی که لازم باشد از مصالح سنگی حاوی مواد قلیایی استفاده شود باید در مشخصات فنی میزان قلیایی‌ها در سیمان و یا بتن محدود گردد.

آیین‌نامه‌ها و استانداردهای موجود برای میزان قلیایی‌های سیمان و بتـن حـدودی را وضع و مشخص کرده‌اند. بررسی‌های اخیر نشان داده است که قلیایی‌های فعال، نـه کل قلیایی‌ها، از عوامل موثر بر تصمیم‌گیری به شمار می‌روند. سیمانهایی که از نظـر کل میزان قلیایی‌ها در وضعیت مشابهی قرار دارند ممکن است با یکدیگر تفاوتهـای قابل توجهی داشته باشند. این مسئله به درجه فعال بودن قلیایی‌های سـیمان مربـوط می‌شود.

همچنین در ارتباط با حرارت حاصل از جذب آب سیمان ممکن است وضع پاره‌ای محدودیتها ضروری باشد. در کشورهای گرمسیر سرعت انتشار حرارت بیشتر بوده، بنابراین ممکن است اختلاف درجه حرارت جسم بتـن بـا محیـط اطـراف بیشـتر از زمانی باشد که همان سیمان در هوای معتدل مورد استفاده قرار می‌گیرد.

استفاده از سیمانهای با سرعت انتشار حرارت کـم مـانند سـیمانهای نـوع دو و پنـج (ASTM-۱۵۰) و سـیمان کـم حـرارت (BS ۱۳۷۰) می‌توانـد کمـک موثـری در جلوگـیری از ترکخوردگـی بتن‌هـای جـوان باشـد. ایـن موضـوع بـه ویژه در مـورد سازه‌های با قطعات بتنی حجیم و سازه‌هایی که پرهیز از تغییر شکلهای حرارتی آنها در سنین کم بتـن لازم اسـت، اهمیتـی بـه سـزا دارد. در جـدول ۷-۱ آیین‌نامـه‌ها و استانداردهای لازم بطور خلاصه درج شده‌اند.

جدول ۷-۱- آیین‌نامه‌ها و استانداردهای قابل اعمال برای سیمان در سازه‌های بتنی مواجه با کلرورها در مناطق گرمسیر

نوع سیمان		استاندارد	طبقه	نکات لازم	نکات اضافی که باید در نظر گرفته شود			
					حمله سولفاتها		قلیاییت مصالح سنگی	
					طبقه	نکات لازم	طبقه	نکات لازم
آرماتوربندی بجز بتن حفاظ دیگری ندارد	سیمان پرتلند سرباره	NEN ۳۵۵۰	A	درصد وزنی سرباره	A	درصد وزنی سرباره	A	
		DIN۱۱۶۴	HOZZ ۳۵	"	HOZZ ۳۵ NW - HS	"	HOZZ ۳۵	معادل وزنی Na_2O ٪ ۲
		BS۱۴۶	-	"	-	"	-	"
		ASTM C۱۱۴-۸۳	سیمان پرتلند سرباره	"	-	"	-	"
آرماتوربندی علاوه بر بتن دارای پوششی نظیر اپوکسی می‌باشد	سیمان پرتلند	NEN ۳۵۵۰	A	-	-	تری کلسیم آلومینات ٪۳	A	معادل وزنی Na_2O ٪ ۰/۶
		ASTM C ۱۵۰	نوع یک	-	-	-	نوع یک	"
		"	نوع دو	-	-	-	نوع دو	"
		"	نوع پنج	-	-	تری کلسیم آلومینات ٪۵	نوع پنج	"
		BS۱۲	سیمان پرتلند معمولی	-	-	-	سیمان پرتلند معمولی	"
		BS ۴۰۲۷	سیمان پرتلند ضدسولفات	-	-	تری کلسیم آلومینات ٪۳/۵	سیمان پرتلند ضدسولفات	"

۳-۷ مصالح سنگی

معیارهایی که باید در مورد مصالح سنگی رعایت شود در فصل سوم مـورد بررسـی واقع ودرجدول ۷-۲ به اختصار نقل شده است. البته گاهی اوقـات مسـایل اجرایـی ممکن است مانع کاربرد این معیارها شود. بعضی از این مسایل در فصل پنجم مورد بحث واقع شد.

معیارهایی که باید در موردی خاص رعایت گردنـد می‌تواننـد بـا توجـه بـه شـرایط تعدیل شوند. بعنوان مثال توجه به تـاثیر قلیایی‌هـا بـر مصـالح سـنگی در اقلیم‌هـای خشک ضروری نمی‌باشد.

در محیط‌های حاوی املاح باید مواظب بود که مصالح سنگی به نمک آلوده نشود و بهتر است این مصالح روی سطوح تمیز و ترجیحـا" بتنـی انباشـته گردنـد و از لایـه زیرین دپو به لحاظ اینکه عنـاصر آلوده‌کننـده در ایـن لایـه جمـع می‌شـوند اسـتفاده نشود.

جدول ۷-۲- مشخصات فنی توصیه شده برای مصالح سنگی مورد مصرف در سازه‌های بتنی در نواحی گرمسیر با اقلیم خورنده

شرح		حدود آیین‌نامه‌ای	آیین‌نامه یا استاندارد
مصالح درشت دانه	تاثیر قلیایی‌ها بر مصالح سنگی	کمتر از ۰/۱۰ درصد انبساط	آزمایش میله بتنی CSAA 23/2-14A
		کمتر از ۰/۱۰ درصد انبساط	آزمایش ASTM C227
	تاثیرکربنات‌ها بر مصالح سنگی	کمتر از ۰/۱۰ درصد انبساط	آزمایش میله بتنی CSAA 23/2-14A
		کمتر از ۰/۱۰ درصد انبساط	آزمایش ASTM C227
	کلرور (CL)	کمتر از ۰/۰۲ درصد وزنی	آزمایش میزان حلالیت در اسید
	سولفات (SO_3)	کمتر از ۰/۴ درصد وزنی	آزمایش میزان حلالیت در اسید
	ذرات کوچکتراز۷۵میکرون	کمتر از ۱ درصد وزنی	ASTM C 117
	جذب آب	کمتر از ۳ درصد وزنی	ASTM C 127
	شکل ذرات	درصد دانه‌های پولکی کمتر از ۳ درصد دانه‌های سوزنی کمتر از ۲۵	۱۹۷۹- قسمت یک BS ۸۱۲
	سلامت‌مصالح‌یامقاومت‌درمقابل عوامل‌جوی (SOUNDNESS)	افت وزنی در پنج سیکل کمتر از ۱۲٪	ASTM C 88 - SO_4Na_2
		افت وزنی در پنج سیکل کمتر از ۱۸٪	ASTM C 88 - SO_4Mg
	مقاومت در قبال سائیدگی	کمتر از ۴۰ درصد وزنی	آزمایش لوس‌آنجلس ASTM C ۱۳۱
	ضریب انبساط طولی	۱۱×۱۰^{-۶} تا ۸×۱۰^{-۶} $\frac{۱}{\text{درجه سانتیگراد}}$	-
مصالح ریزدانه	تاثیر قلیایی‌ها بر مصالح سنگی	کمتر از ۰/۱ درصد انبساط	آزمایش میله بتنی CSAA 23/2-14A
		کمتر از ۰/۱ درصد انبساط	آزمایش ASTM C227
	تاثیر کربناتها بر مصالح سنگی	کمتر از ۰/۱ درصد انبساط	آزمایش میله بتنی CSAA 23/2-14A
		کمتر از ۰/۱ درصد انبساط	آزمایش ASTM C227
	کلرور (CL)	کمتر از ۰/۰۴ درصد وزنی	آزمایش میزان حلالیت در اسید
	سولفات (SO_3)	کمتر از ۰/۴ درصد وزنی	آزمایش میزان حلالیت در اسید
	ذرات کوچکتراز۷۵میکرون	کمتر از ۳ درصد وزنی	ASTM C 117
	جذب آب	کمتر از ۳ درصد وزنی	ASTM C 128
	شکل ذرات	ضریب شکل کمتر از ۵۳ درصد	روش اندیس شکل NCSA
		عدد تیز گوشه بودن کمتر از۹	BS ۸۱۲ قسمت اول- ۱۹۷۵
	میکا	کمتر از یک درصد	آزمایش میکروسکوپی
	سلامت مصالح (SOUNDNESS)	افت وزنی در پنج سیکل کمتر از ۱۰٪	ASTM C 88 - SO_4Na_2
		افت وزنی در پنج سیکل کمتر از ۱۵٪	ASTM C 88 - SO_4Mg

۷-۴ آب و مواد افزودنی

اغلب میزان کلرور مجاز در آب مورد مصرف در ساخت بتن ۶۰۰ میلی‌گرم در لیتر و میزان سولفات مجازدر آن برابر ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر تعیین می‌شود. اما لازم است کلرور و سولفات موجود در آب در ارتباط با دیگر عوامل تشکیل‌دهنده بتن بطور یکجا مورد بررسی قرارگیرد تا مقادیر فوق‌الذکر از ارقام مندرج در جدول۷-۳ تجاوز ننماید.

جدول ۷-۳- توصیه‌هایی اجرایی در ارتباط با نسبت آب به سیمان، درجه حرارت، میزان کلرور، سولفات و قلیایی موجود در بتن در نواحی گرمسیر

نسبت آب به سیمان: برای سازه‌های دور از دریا، نقاط مرطوب و عاری از کلرور: - بالاتر از حوزه تحت تاثیر خاصیت لوله‌های موئین، کمتر از ۰/۵۵ - در حوزه تحت تاثیر خاصیت لوله‌های موئین، کمتر از ۰/۵ برای سواحل دریا و زمین‌های شور: - در حوزه تحت تاثیر خاصیت لوله‌های موئین، کمتر از ۰/۴۵ - در ناحیه جزر و مد و ترشح آب دریا، کمتر از ۰/۴
میزان کلرور (برای بتن‌های مسلح، جمع مقادیر در کل مخلوط) : - برای بتن‌هایی که با سیمان پرتلند معمولی یا سیمان پرتلند سرباره ساخته می‌شوند: ۰/۳ درصد وزن سیمان - برای بتن‌هایی که با سیمان پرتلند ضد سولفات ساخته می‌شوند، ۰/۱۵ درصد وزن سیمان
میزان سولفات: جمع مقادیر در کل بتن با احتساب SO_3 موجود در سیمان، ۴ درصد وزن سیمان
میزان قلیایی (جمع مقادیر در کل بتن): برای بتن‌های ساخته شده از سیمان پرتلند معمولی، ۳ کیلوگرم در متر مکعب برای بتن‌های ساخته شده از سیمان پرتلند سرباره، ۱۰ کیلوگرم در متر مکعب
درجه حرارت: درجه حرارت اولیه بتن تازه حداکثر ۳۲ درجه سانتیگراد

برای بتن پیش‌تنیده، میزان کلرور موجود در آبی که به مصرف بتن یا دوغاب مجاور فولاد پیش تنیده می‌رسد نباید از ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر بیشتر باشد.

به منظور پایین نگاه داشتن نسبت آب به سیمان، بدون اینکه از مقادیر زیادی سیمان استفاده شود، عموماً لازم است از نوعی مواد افزودنی که نقش آن تقلیل میزان آب مصرفی است، استفاده شود. در کارهای مهم ساختمانی از روان‌کننده‌های قوی بدین منظور استفاده می‌شود. باید توجه داشت که استفاده از این نوع مواددر مناطق گرمسیر قابلیت کاربرد بتن تازه را خیلی سریعتر از نقاط معتدل کاهش می‌دهد.

بطور معمول روان‌کننده‌های قوی که به بازار عرضه می‌شوند حاوی مواد دیرگیرکننده می‌باشند، این مواد زمان قابلیت کاربرد مناسب را افزایش داده و عامل زمان را تا اندازه‌ای از حساسیت می‌اندازند. چنانچه روان‌کننده‌ها حاوی مواد دیرگیرکننده نباشند می‌توان این مواد را به آنها افزود.

استفاده از عواملی که مانع از خورندگی شوند بطور روزافزون مطرح است و تاکید بر بکارگیری این تدابیر و درج آنها در مشخصات فنی پایایی بتن را ارتقا می‌بخشد. استفاده از نیترات کلسیم بدین منظور نتایجی رضایتبخش در بر داشته است. در این زمینه در آمریکا و ژاپن تجربیاتی بدست آمده است. عمل مثبت نیترات با تحقیقات آزمایشگاهی ثابت شده است، اما تجربه عملی در استفاده از این مواد هنوز خیلی محدود است.

با این وجود اگر غلظت کلرور از نیترات اضافه شده بیشتر باشد، خورندگی رخ خواهد داد. بنابراین استفاده ا ز اینگونه مواد افزودنی نباید مجوزی باشد برای کم بها دادن به کیفیت بتن.

یکی از مسائل مهم در استفاده از مواد افزودنی این است که در شرایط محیط تا چه زمانی این ترکیبات پایداری و خاصیت خود را حفظ می‌نمایند. بنابراین مدت زمان پایداری این مواد باید دقیقاً معین و معلوم باشد. بطور کلی این زمان (فاصله زمانی بین تاریخ تولید و مصرف مواد یا شده) باید حداقل شش ماه باشد که بطور متوسط چهار تا شش هفته آن صرف رسیدن محصول از کارخانه به محل کارگاه می‌شود.

۵-۷ ترکیب بتن

رابطه بین نفوذپذیری بتن سخت شده و نسبت آب به سیمان در بخشهای قبلی مورد توجه قرار گرفت. رابطه نفوذپذیری و نسبت آب به سیمان حتی نزدیکتر از رابطه مقاومت و نسبت آب به سیمان است. از نظر مسائل متنوعی که در ارتباط با پایایی بتن در آب و هوای گرم و مملو از نمک مطرح است، بهره‌گیری از تمامی

نتایجی که می‌تواند در این رابطه طـراح را یـاری دهـد ضـرورت دارد. نکـات قـابل توصیه در این رابطه به شرح جدول ۷-۳ است.

علاوه بر نسبت آب به سیمان اغلب، مشخصات فنی شرایطی را برای درجه حرارت مجاز اولیه بتن تازه مطرح می‌سازند. غالباً این حد ۳۲ درجه سـانتیگراد اسـت. ایـن درجه حرارت برای حصول قابلیت کاربرد مناسب با توجه به نسبت آب بـه سـیمان منطقی معین شده است، چنانچـه ایـن درجـه حـرارت افزایـش یـابد بـرای حصـول قابلیت کاربرد فوق باید میزان آب را افزایش داد، از طرفـی درجـات حـرارت اولیـه بالاتر سـرعت انتشـار حـرارت حـاصل از جـذب آب سـیمان را افزایـش می‌دهنـد. چنانچه نسبت‌های آب به سیمان مندرج در جدول ۷-۳ رعایت شود نیاز چندانی به تاکید بیش از حدبر درجه حرارت اولیه بتن نیست.

برای سرد کردن بتن تازه روشهای متعددی وجود دارد. یکی از راههای بسیار موثـر افزودن خرده‌های یخ به مثابه جزئی از آب مورد نیاز هنگام اختلاط است.

کل میزان کلرور و سولفات در بتـن بـاید مشـخص گـردد. حـدود توصیـه شـده در جدول شماره ۷-۳ آمده است برای بتن ساخته شده با سیمان پرتلند ضـد سـولفات حد کلرور نصف حالتی است که بتن با سیمان پرتلند معمولـی و یـا سـیمان پرتلنـد سرباره ساخته شود. علت این امر این است کـه ظرفیـت تـری کلسـیم آلومینـات در سیمان نوع پنـج (کـه خـاصیت ضـد سـولفات بـودن بـدان بسـتگی دارد) در خنثـی ساختن ین کلر کمتر از دو نوع سیمان دیگر است.

اگر خطر تاثیر قلیایی‌ها بر مصالح سنگی وجود داشته باشد حداکثر میزان قلیـایی در بتن ساخته شده با سیمان پرتلند معمولی ۳ کیلوگرم بر متر مکعـب خواهـد بـود. در حالتی که از سیمان پرتلند سرباره استفاده می‌شود این حد بـه ۱۰ کیلوگـرم بـر مـتر مکعب بتن می‌رسد. حدود تعیین شده برای کلرور، سـولفات و قلیایی‌هـای موجـود در بتن باید بطور کلی و یکجا مورد توجه قرار گیرد. فقط برای بتن پیش‌تنیده لازم است میزان کلرور در آب مورد مصرف به هیچ عنوان از ۳۰۰ میلیگرم در لیتر تجاوز ننماید.

۶-۷ ساختن و ریختن بتن

مسائلی که ممکن است در ارتباط با ساختن و ریختن بتن درنواحـی گرمسـیر بـروز نماید در فصل پنج مورد بررسی قرار گرفت. پاره‌ای یادآوری‌های مفید برای غلبه بر این مسائل و راهنمایی برای ساخت بتن مطابق مشخصات در آن فصل ارائه گردید.

از نظر تراکم یادآور می‌شود که بتن نباید از درون با ویبراتور مجدداً" لرزانـده شـود، در پاره‌ای مواقع برای کـاهش ترکهـای حـاصل از نشسـت یـا خرابیهـای مشـابه در مناطق معتدل لرزاندن مجدد بتن صورت می‌گیرد. ایـن امـر معمـولاً" آثـار مثبتـی بـر مشخصات بتن دارد اما در حرارتهای زیـاد کـه تحـول سـخت شـدن خیلـی سـریع صورت می‌پذیرد این امر آثار نامطلوبی برجای گذارده و ساختمان درونی بتن را که شکل گرفته است مخدوش می‌سازد. لازم به یادآوری است که لرزانـدن مجـدد بتـن موقعی که درجه حرارت بتن هنگـام ریختـن از ۳۰ درجـه سـانتیگراد بیشـتر اسـت، مجاز نمی‌باشد.

۷-۷ عمل آوردن بتن

اهمیت و تاثیر عمل آوری خوب در پایایی سازه‌های بتنی بطور فزاینده مورد اذعـان قرار گرفته است. نیاز به گفتن نیست که این اهمیت در منـاطق گرمسـیری، بـه ویژه مناطق گرم و خشک صد چندان می‌شود (به فصل یک مراجعه شود). از تبخـیر آب سطح بتن باید تا جایی که ممکن است جلوگیری شود. در این مورد رعایت نکـات زیر ضروری است:

۱- قبل از بتن‌ریزی قالب و آرماتورها بـاید تـا حـد امکـان از تـابش نـور خورشـید مصون نگهداشته شوند.

۲- ضمن بتن‌ریزی باید برای سطوح افقی سـایبان تهیـه شـود. پـس از بتن‌ریـزی و تراکم باید بتن تازه را با پوشـش‌های پلاسـتیکی نفوذنـاپذیر بـه رنـگ روشـن و یـا چتائی خیس پوشاند. باید ازگردش هوا بین بتـن و پوشـش پلاسـتیکی ممـانعت بـه عمل آید. هر نوع ترک حاصل از جمع شدن در اثر خشک شدن که قبل ازپوشـاندن بتن حادث شود باید از بین برود.

۳- بتـن بـاید حداقـل هفـت روز پوشـیده نگهداشـته شـود. اگـر از چتـائی اسـتفاده می‌شود، باید آنرا همیشه خیس نگه داشت (البته بـاید دقـت شـود آبـی کـه پاشـیده می‌شود بتن را به کلرورها آلوده نسازد) در صورت لزوم می‌توان روی چتـائی را بـا پوشش‌های پلاستیکی پوشاند. قسمتهایی از بتن که بـا چتـایی قـابل پوشـش نیسـت می‌تواند بطور مستقیم با آب‌پاشی خیس شود. البته بهتر است تا حـد امکـان از ایـن عمل پرهیز شود زیرا ممکن است اختلاف درجه حرارت جسم بتـن و آب موجـب شوک‌های حرارتی شود. کیفیت آبی که باید بدین منظور مـورد مصـرف قـرار گـیرد مشابه آبی است که برای ساختن بتن بکار رفته است.

۴- پس از باز کردن قالب قسمتهای قائم، روش نگهداری مشابه سطوح افقی است.
۵- پس از هفت روز باید پوشش چتایی برچیده شود و عمل‌آوری با ترکیبات عمل آورنده ادامه یابد. بهتر است این مواد دارای رنگ روشن باشند تا مقدار قابل توجهی از نور خورشید را منعکس ساخته و از آثار گرمایی آن بکاهند.
طبق ASTM C ۳۰۹-۸۱ موادی که بدین منظور بکار می‌روند باید مانعی باشند برای جلوگیری از تبخیر بیش از ۰/۵۵ کیلوگرم آب از هر متر مربع سطح بتن، حد یاد شده با توجه به روش ASTM C 156-80-a معین شده است.
باید توجه داشت که نحوه کاربرد مواد عمل آورنده مهمتر از نوع آنهاست، در مواقعی که استفاده از محلول‌های عمل آورنده امکان‌پذیر نمی‌باشد عمل‌آوری بوسیله آب باید برای هفت روز دیگر ادامه یابد.
۶- بدلیل زیاد بودن درجه حرارت، انتشار مقاومت اولیه بتن در نواحی گرمسیر به سرعت صورت می‌گیرد. به همین ترتیب تاثیر پوشش بتن بر فولاد نیز اهمیت بیشتری می‌یابد. مربوط نگهداشتن سطح بتن برای مدت طولانی اغلب دشوار و پرهزینه است. در نتیجه استفاده از محلولهای عمل آورنده پس از کسب ۷۰ درصد مقاومت ۲۸ روزه مناسبتر است. این مقاومت بعضی اوقات فقط بعد از یک روز حاصل می‌شود.
۷- بهتر است بتن و قالب‌بندی پس از بتن‌ریزی تا مدتی از تابش مستقیم نور خورشید مصون نگاه داشته شوند.

۸-۷ فولاد

در عمل آرماتورهای مورد مصرف در مناطق معتدل و مناطق گرمسیر تفاوت چندانی با یکدیگر ندارند. در مناطق گرم و مرطوب تمیز بودن آرماتورها هنگام بتن‌ریزی از اهم مسائل است. آرماتورهایی که در فضای باز انبار شده‌اند ممکن است بوسیله تجمع قابل توجه کلرور بر روی آنها آلوده شده باشند (برای مثال ۱۰g Cl/m2) که این مسئله موجب بروز خوردگی می‌شود. اگر این فولاد آلوده درون بتن که خود آلودگی ندارد قرار گیرد، زمینه خوردگی حفره‌ای[1] فراهم می‌شود.
آرماتورهایی که بنا به دلایل مختلف از بتن بیرون می‌مانند باید بطور موقت یا دائم

1- Pitting Corrosion

پوشیده شوند.

فولادهایی که برای بتن پیش تنیده بکار می‌روند باید در بسته‌بندی‌هایی کـه هـوا در آنها نفوذ نمی‌کنـد تـا قبـل از مصـرف بـاقی بمـانند و بعـد از قـرار گرفتـن در بتـن بلافاصله تنیده شده و حد فاصل آنها با غلاف توسط دوغاب سیمان پر شود.

۷-۸-۱ فولادهای با پوشش اپوکسی

حفاظت از آرماتور بوسیله پوششهای اپوکسـی بطـور فزاینـده‌ای در منـاطق دریـایی توصیه و در مشـخصات فنـی گنجـانده می‌شـود. معیارهـای اسـتفاده از اپوکسـی در ASTM A 775-81 ارائه شده است. هنوز مواردی از عدم اطمینان در مورد اسـتفاده از پوشش‌های اپوکسی بر روی فولاد وجود دارد، به ویژه اینکه نتـایج آزمایش‌هـای خستگی بر روی آنها درآب دریا خیلی رضایتبخش نمی‌باشند.

اینکه تمامی آرماتورها از جمله رکابیها بـا مـواد اپوکسـی بـه خوبـی پوشـیده شـوند خیلی مهم است زیرا چنانچه یک ارتباط الکتریکی بین فولاد پوشیده شـده و فـولاد پوشیده نشده برقرار شود خوردگی حفره‌ای شدید در محل‌هایی که پوشیدگی دچار خرابی شده ایجاد می‌شود. یکی از مواردی که اغلب اتفاق می‌افتد تمـاس فـولاد بـا پوشش اپوکسی زخمی شده و غلاف گالوانیزه فولادهای پیش تنیده است.

۷-۸-۲ فولاد گالوانیزه (GALVANIZED STEEL)

نظریه‌های متضادی در مورد موثر بودن گالوانیزه کردن به عنوان حفـاظتی در مقـابل تهاجم کلرورها وجود دارد. بنابراین در حال حـاضر توصیـه اکیـد بـرای اسـتفاده از فولاد گالوانیزه، در سازه‌های بتنی در محیط‌هایی که درصد کلرور در آنها زیاد باشد، امکان‌پذیر نیست.

۷-۸-۳ فولاد ضد زنگ (STAINLESS STEEL)

فولادهای ضد زنگ معمولی از نقطه نظر زنـگ‌زدگی در محیطهـای حـاوی کـلرور مقاوم نیستند. ولی بعضی از آلیاژهایی کـه دارای درصـد زیـادی کـرم (بیشـتر از ۱۶ درصد)، نیکل(بیشتر از ۱۰ درصـد) و ترجیحـاً چنـد درصـد مولیبـدن هسـتند ایـن خاصیت را دارا می‌باشند، مثلاً نوعی از فولاد که حاوی ۲۰٪ نیکل و ۴/۵٪ مولیبدن و ۱/۵٪ مس می‌باشد بسیار مرغوب است ولـی ایـن نـوع فـولاد خیلـی گـران تمـام می‌شود و از آنها تاکنون فقط در چند پروژه خاص استفاده شده است.

۷-۹ پوشش بتن

پوشش فولاد در اعضا و قطعات بتن آرمه که در مناطق گـرم دریـایی بکـار مـی‌رود بهتر است بیشتر از میزانی باشد که در مناطق معتدل در نظر گرفته می‌شـود. اهمیـت در نظر گرفتن پوشش بیشتر در فصل قبل بیان گردید. توصیه‌هایی مبنـی بـر در نظـر گرفتن ضخامت پوشش در جدول ۷-۴ بیان شده است. این ارقام تا اندازه زیادی بر مبنای توصیه‌های کمیسیون سازه‌های بتن دریایی[۱] (FIP) استوار است.

منطقه (اقلیم)	شرح	ضخامت پوشش
مناطق غیرساحلی	بتن آرمه	بیش از ۲۵ میلیمتر
	بتن پیش تنیده	بیش از ۵۰ میلیمتر
مناطق مجاوردریاتاارتفاع ۲متر بالاتر از سطح دریا	بتن آرمه	بیش از ۵۰ میلیمتر
	بتن پیش تنیده	بیش از ۷۰ میلیمتر
مناطق مجاوردریادرارتفاع بیش از۲متراز سطح دریا	بتن آرمه	بیش از ۳۰ میلیمتر
	بتن پیش تنیده	بیش از ۵۰ میلیمتر
در دریا	قسمتی‌که‌دائما" زیرآب است، زیرتراز ۲ متراز متوسط سطح‌دریا	بیش از ۶۰ میلیمتر
	ناحیه‌جزرومدوترشحات‌آب‌دریااز۲- تا ۴+ ازمتوسط‌سطح‌دریا	بیش از ۷۵ میلیمتر
	ناحیه‌خارج از آب‌دریا بالاتر از ۴+ نسبت به متوسط سطح‌دریا	بیش از ۶۰ میلیمتر

همچنین لازم است به مصالحی که برای پر کردن درزها به کار می‌رود توجـه شـود. مصالح پلاستیکی که عموما" بدین منظور بکار می‌روند حفاظ خوبی برای آرماتورها در قبال خوردگی به شمار نمی‌آیند. چسبندگی ضعیـف و اختـلاف ضریـب انبسـاط حرارتی بین بتن و این مواد باعث نفوذ عوامل خورنده از اطراف درزها می‌گردد.

۷-۱۰ جزئیات

چنانچه علاوه بر رعایت معیارهایی که به منظور ساخت بتن در منـاطق گرمسـیر در استانداردها بیان گردیده شرایط غالب محلی نیز بـه هنگـام طراحـی در نظـر گرفتـه شود به پایایی بتن به میزان قابل ملاحظه‌ای کمک می‌شود.
بعضی از موارد به قرار زیرند:

۱ - FIP = فدراسیون جهانی پیش‌تنیدگی

۱- اتصالات

باید در نظر داشت که میزان تغییر شکلهای حرارتی، جمع‌شدن در اثر خشک شـدن و خـزش در نواحـی گرمسیربیشـتر از مقـادیر مشـابه در نواحـی معتـدل می‌باشـند. اتصالات باید طوری در نظر گرفته شوند که از آلوده شدن آن بوسـیله آب و گـرد و غبار تا حد امکان جلوگیری به عمل آید. همچنین درزهـای انبسـاط بـاید بـه طریـق مناسبی پر و بسته شوند.

۲- در مورد سازه‌هایی که از یک طرف تحت تاثیر فشـار آب هسـتند مـانند سـدها، تونلها، مخازن آب و غیره سمتی ازبتن که در تماس با آب می‌باشد بـاید بـا لایـه‌ای نفوذناپذیر پوشیده شود. در اجرای چنین لایه‌ای غالبا" با مسائلی از قبیل چسـبندگی لایه با بتن و نیز تشکیل حباب و تاول در زیر لایه پوشش مواجـه خواهیـم بـود. بـا وجود استفاده از چنین لایه‌هایی ساخت بتن مرغوب نباید از نظر دور بماند.

۳- ایجاد فضای خالی در بتن به منظور عبور لوله، کابل و ...

بـاید از قـرار دادن قطعـات فـولادی در بتـن بـه منظـور ایجـاد فضـای خـالی در آن خودداری نمود.

۴- تخلیه آب

لوله‌ها و کانال‌های بتنی که از آنها آب تخلیه می‌شوند، باید طوری طراحی شود کـه از آلودگی آنها بوسیله لای و کثافات جلوگیری بعمل آید.

واضح است که رعایت عوامل یاد شده به تنهایی برای سـاخت بتـن مرغـوب کـافی نیست، اما منظور این است که طراحان به مسایل مربوط به پایایی بتن آشنا شوند.

۱۱-۷ فهرست مراجع

7-11-1- Parts I to VI of the series 'Concrete in hot countries'; Cement (XXXV) No. 12, (XXXVI) Nos. 1,2,4,11,12

7-11-2- The CIRIA Guid to concrete construction in the Gulf region; CIRIA, 1984

7-11-3- ASTM C 156-80a, Standard test method for water retention by concrete curing materials

7-11-4- ASTM C 309-81, Specifications for liquid membrane forming compounds for curing concrete

7-11-5- DSI, Draft for Development : method of test for curing compounds for concrete, Part 1: Solvent - based compounds, July 1984

7-11-6- ACI 308-81, Standard Practice for Curing Concrete : American Concrete Institute, Detroit, July 1968

7-11-7- ASTM Designation A775-81, Standard specification for epoxy coated reinforcing bars

Islamic Republic of Iran
Plan and Budget Organization

Concrete in Hot Countries

No: 184

Office of the Deputy for Technical Affairs
Bureau of Technical Affairs and Standards

1378/2000