Articles

سیویلرن

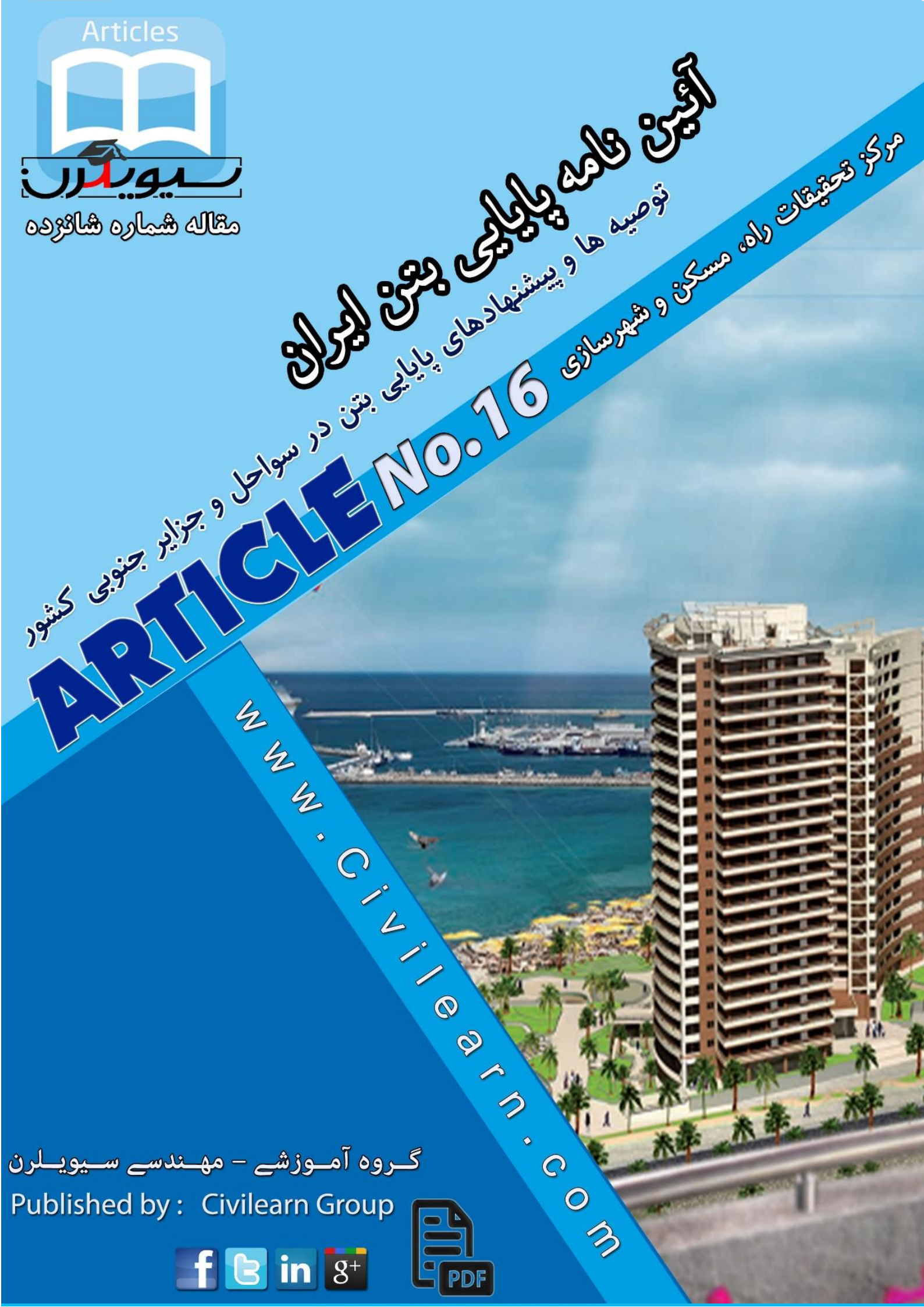
مقاله شماره شانزده

آئین نامه پایایی بتن ایران

توصیه ها و پیشنهادهای پایایی بتن در سواحل و جزایر جنوبی کشور

مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی

ARTICLE No.16



www.Civilearn.com

گروه آموزشی - مهندسی سیویلرن

Published by : Civilearn Group

PDF

طراحی سریع و هوشمند انواع سقفهای متداول در ایران

SAZESAGHF

Arshia Iranian Software Group (A I G S)

نرم افزار سازه سقف اولین نرم افزار

هوشمند برای محاسبات انواع سقفهای متداول در ایران

(کامپوزیت عرشه فولادی- کامپوزیت معمولی- تیرچه بتنی و تیرچه کرومیت)

همراه با گزارش ریز محاسبات و متره کامل

- اعضای محترم سازمان نظام مهندسی کشور
- مهندسین مشاور گرامی
- دفاتر فنی پیمانکاران محترم
- شرکت های محترمی که در ساخت و اجرای سقف های فوق فعالیت دارید

نرم افزار سازه سقف ، نرم افزاری است کاملا هوشمند و با طرز کار بسیار آسان که تمامی نکات آیین نامه ای برای طراحی کامل انواع سقف های متداول در ایران را در محاسبات شما در نظر می گیرد

تلفیق هنر و تکنولوژی برای شما که با دانش روز حرکت می کنید

تلفن سفارش : ۰۹۱۲ ۸۸ ۷۶ ۱۰۰

Arshia Iranian Software Group (A I S G)

کارامحاسب

ابزار کار یک محاسب

- ابزارهای بسیار کاربردی
- آئین نامه ۲۸۰۰ ویرایش سوم و چهارم
- ترکیبات بارگذاری آئین نامه ایران
- سازه ای کنترلهای هوشمند

www.Karamohaseb.com

☎ 021-77480262

ETABS 7 CONTROL

Assistant of Structure Designer

ETABS 2015 - ETABS 9.7

نرم افـزار تخصصـی کنترل طراحی سـازه ها

قابلیـت افزودن مشـخصات محاسب و دفتر طراحی جهت چاپ در خروجی

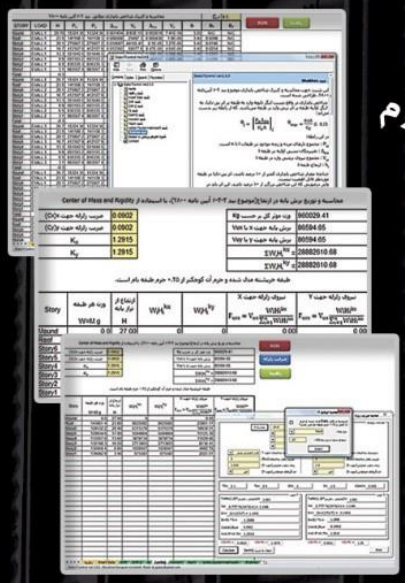
قابلیـت افزودن مشـخصات پروژه در کاور خروجی

ایجـاد دفترچه محاسـبه با خروجی های شـکیل و آماده ارائه به نظام مهندسـی

بـر اسـاس آخریـن ویرایـش مقررات ملـی و ویرایـش چهارم اسـتاندارد ۲۸۰۰

۷ کنتـرل متـداول طراحـی سـازه بـا اسـتفاده از خروجـی های ETABS

- کنترل تغییر مکان نسبی سازه طبق آیین نامه ۲۸۰۰ ویرایش چهارم
- محاسبه ضریب بزرگنمایی (Aj) و کنترل نا منظمی پیچشی طبق آیین نامه ۲۸۰۰ ویرایش چهارم
- محاسبه و توزیع برش پایه ناشی از زلزله طبق آیین نامه ۲۸۰۰ ویرایش چهارم
- محاسبه و کنترل لنگر واژگونی ناشی از زلزله طبق آیین نامه ۲۸۰۰ ویرایش چهارم
- کنترل منظم بودن سازه از نظر جرم در ارتفاع و اعمال پیچش اتفاقی طبق آیین نامه ۲۸۰۰ ویرایش چهارم
- کنترل مهار شده بودن سازه از طریق محاسبه ضریب پایداری طبق مبحث ۹
- محاسبه و کنترل شاخص پایداری سازه طبق آیین نامه ۲۸۰۰ ویرایش چهارم



فهرست مطالب

پیشگفتار ۱

فصل اول: مسائل و دستورالعمل‌های بتن ریزی در هوای گرم با توجه به شرایط محیطی منطقه

مقدمه ۳
۱-۱- تابش اشعه خورشید ۵
۱-۲- دمای محیط ۵
۱ -۳- رطوبت هوا ۶
۱-۴- وزش باد ۶
۱-۵- دمای هوا در هنگام شب ۶
۱-۶- نمک‌های آب دریا ۷

فصل دوم : ویژگیهای مصالح

۲-۱- سنگدانه ۹
۲-۱-۱ - ملاحظات کلی ۹
۲-۱-۲ – دستورالعمل‌ها ۱۰
۲-۲ – سیمان ۱۳
۲-۲-۱ - ملاحظات کلی ۱۳
۲-۲-۲- دستورالعمل‌های کلی ۱۷
۲-۲-۳ – توصیه‌های خاص ۱۸
۲-۳ – آب ۲۲
۲-۳-۱- ملاحظات کلی ۲۲
۲-۳-۲ – دستورالعمل‌های کلی ۲۲
۲-۴ – افزودنیهای شیمیایی ۲۳
۲-۴-۱ - ملاحظات کلی ۲۳
۲-۴-۲- دستورالعمل‌های کلی ۲۶
۲-۵ - میلگردها ۲۸
۲-۵-۱- ملاحظات کلی ۲۸
۲-۵-۲- دستورالعمل‌ها ۲۹
۲-۶ – فاصله‌نگهدارها (لقمه‌ها) ۳۱
۲-۶-۱- ملاحظات کلی ۳۱
۲-۶-۲– دستورالعمل‌ها ۳۱
۲-۷- قالبها ۳۳
۲-۷-۱- ملاحظات کلی ۳۳
۲-۷-۲ – دستورالعمل‌های کلی ۳۳

فصل سوم : نسبتهای مخلوط بتن با دوام

مقدمه ۳۶
۳-۱- نسبت آب به سیمان ۳۶

www.Civilearn.com

۳-۲- مقدار سیمان ۳۷
۳-۳- مصالح سنگی ۳۷

فصل چهارم : اجرای بتن(ساخت ، حمل ، ریختن ، تراکم، پرداخت و عمل آوری بتن)
۴-۱- ساخت بتن ۴۲
۴-۱-۱- ملاحظات کلی ۴۲
۴-۱-۲- دستورالعمل‌ها ۴۲
۴-۲ - حمل بتن ۴۴
۴-۲-۱- ملاحظات کلی ۴۴
۴-۲-۲- دستورالعمل‌ها ۴۵
۴-۳- ریختن بتن ۴۶
۴-۳-۱- ملاحظات کلی ۴۶
۴-۳-۲- دستورالعمل‌ها ۴۷
۴-۴- تراکم بتن ۵۰
۴-۴-۱- ملاحظات کلی ۵۰
۴-۴-۲- دستورالعمل‌ها ۵۱
۴-۵- پرداخت سطح بتن ۵۲
۴-۵-۱- ملاحظات کلی ۵۲
۴-۵-۲- دستورالعمل‌ها ۵۳
۴-۶- عمل آوری ۵۴
۴-۶-۱- ملاحظات کلی ۵۴
۴-۶-۲- دستورالعمل‌ها ۵۵
۴-۷- علل و مرمت عیوب ایجاد شده در هنگام اجرا و ساخت ۵۷
۴-۷-۱- انواع ترک‌های غیر سازه ای ۵۸
۴-۷-۲- معایب در سطوح بر اثر اجرا ۶۱

۴-۷-۳-راهکارهایی برای ترمیم عیوب به وجود آمده ۶۴

فصل پنجم : پوششهای سطحی بتن
۵-۱ - ملاحظات کلی ۶۶
۵-۲-انواع حفاظت های سطحی ۶۶
۵-۲-۱ - نفوذکننده ها ۶۶
۵-۲-۲ - درزگیرها و پوششها ۶۶
۵-۲-۳- مسدود کننده های منافذ ۶۷
۵-۲-۴ - روکش های سطح ۶۸
۵-۳-انتخاب پوشش ۶۸
۵-۴ - دستورالعمل‌های کلی به منظور انتخاب مواد حفاظتی ۷۰
۵-۵ – دستورالعمل‌های خاص به منظور انتخاب مواد حفاظتی مناسب ۷۱

www.Civilearn.com

فصل ششم : پیشنهاد طراحی بر اساس دوام سازه‌های بتنی در سواحل جنوبی کشور

مقدمه ۷۵
۶-۱- عوامل مؤثر بر دوام سازه‌های بتنی در محیط دریایی ۷۵
۶-۲- آزمایشهای تعیین دوام ۷۷
۶-۳- دستورالعمل اعمال پارامتر دوام در طراحی سازه‌های بتنی مسلح در کوتاه مدت ۷۷
۶-۴- توصیه طراحی بر اساس دوام در بلند مدت ۷۹
مراجع ۸۲

www.Civilearn.com

پیشگفتار

با گسترش فعالیتهای عمرانی در نوار ساحلی جنوب و سرمایه‌گذاریهای کلانی که در این زمینه به منظور ایجاد قطبهای صنعتی و مناطق آزاد صورت گرفته است و توجه ویژه به این منطقه بعنوان منطقه‌ای برای ترانزیت کالا و با توجه به ویژگیهای آب و هوایی آن، احداث انواع سازه‌های بتنی با کاربری‌های متنوع در این ناحیه گسترش فراوانی پیدا کرده است و کلیه پیمانکاران، سازندگان و مشاوران با در نظر داشتن این پیش فرض کلی که دوام بتن بسیار زیاد بوده است، بسرعت و بدون نظارت و آگاهی کافی شروع به ساخت سازه‌های بتنی در این مناطق نمودند.

مطالعات انجام شده توسط تیمهای کارشناسی(CIRIA)[1] نشان می‌دهد که از سال ۱۹۸۰ تاکنون، کیفیت سازه‌های بتنی و عمر مفید آنها در مناطق عربی حاشیه خلیج‌فارس کاملاً افزایش یافته است. این پیشرفت احتمالاً با پیش‌بینی اطلاعات و راهنماییهای جامع در خصوص نیازها و روشهای مورد لزوم در انتخاب مصالح مناسب و روش‌های طراحی و اجرا شکل گرفته است. متأسفانه طی همین مدت، مشاهدات و گزارشها نشان می‌دهد که در ناحیه جنوبی کشور ما، هنوز سازه‌هایی با کیفیت اجرای ضعیف و عدم دقت در مراحل انتخاب مصالح و روشهای ساخت و بدون توجه به شرایط آب و هوایی منطقه احداث می شود و این عوامل باعث تخریب بسیاری از سازه‌ها، حتی قبل از زمان بهره‌برداری شده است، به گونه‌ای که، سالیانه سرمایه‌های هنگفتی در این منطقه بر اثر ساخت و ساز نامناسب به هدر می رود . از طرف دیگر، شرایط خاص آب و هوایی منطقه (دما و رطوبت زیاد) باعث می شود که کارآیی عوامل اجرا و نظارت کاسته شده و توجه لازم برای ساخت بتن با کیفیت مطلوب کاهش یابد. همچنین آلودگی مصالح منطقه با مواد مضر و زیان آور برای بتن، خود عامل مهم دیگری در خرابی سازه‌های بتنی این منطقه می باشد. از طرف دیگر، بررسی‌های جامع به منظور تعیین علت انواع خرابیهای سازه های بتنی در منطقه و نیز گزارشهای عملکرد انواع سازه‌ها با انتخاب انواع مواد و مصالح متفاوت صورت نگرفته است تا از نتایج آن به صورت مستند بتوان استفاده نمود.

مسلماً آنچه حایز اهمیت است، تهیه دستورالعمل و توصیه‌نامه‌ای به منظور ساخت بتن با دوام بیشتر در این نواحی است که احتیاج به یک برنامه تحقیقاتی کلی و درازمدت و همه‌جانبه دارد. بدین منظور از سال ۱۳۶۸ تاکنون طی یک برنامه مطالعاتی جامع، پروژه‌های متعددی با عنوان اصلی دوام بتن در شرایط محیطی جنوب انجام شده است که نتایج آن می‌تواند در تهیه دستورالعمل ساخت بتن با دوام بیشتر مورد استفاده قرار گیرد. در همین راستا آیین‌نامه‌ها ودستورالعمل‌های ساخت بتن در کشورهایی که دارای شرایط آب و هوایی مشابه خلیج‌فارس هستند، مورد مطالعه قرار گرفت و مقالات متعددی در همین زمینه بررسی گردید. توصیه‌های کلی دوام بتن نیز در آئین‌نامه‌های معتبر بررسی شد.

با جمع‌بندی و هماهنگی و مقایسه نتایج پروژه‌های انجام گرفته و دستورالعمل‌های سایر کشورها در این زمینه (ساخت بتن با دوام بیشتر در شرایط آب و هوایی گرم و مرطوب و محیط خورنده) و همچنین مطالب تدوین شده در آیین‌نامه بتن ایران، آیین‌نامه‌ای برای پایایی بتن در سواحل جنوبی کشور تهیه گردیده است.

[1] (Construction Industry Research and Information Association)

www.Civilearn.com

فصل اول:

مسائل و دستورالعمل‌های بتن‌ریزی در هوای گرم با توجه به شرایط محیطی منطقه

www.Civilearn.com

مقدمه

از دیدگاه مسائل و مشکلات اجرای ساخت سازه‌های بتنی، هوای گرم ترکیبی از دمای زیاد هوا و بتن، رطوبت نسبی کم و سرعت زیاد باد است که بر کیفیت بتن تازه و سخت شده اثر نامطلوب دارد. عوامل محیطی در طول مدت سال و بسته به شرایط جغرافیایی و منطقه تغییر می کند. درصورتی که در هنگام ساخت بتن، شرایط بتن‌ریزی در هوای گرم (بر اساس عوامل محیطی مانند دما، باد و رطوبت) محرز گردیده باشد، تمهیدات ذکر شده دراین توصیه نامه می‌تواند در پایداری خواص بتن تازه و سخت شده و نیز بهبود کیفیت مراحل ساخت کمک نماید. تمهیدات مذکور در هنگامی که رطوبت نسبی در حد کم و یا دمای هوا در حد زیاد است و یا در صورت وجود هر دو عامل الزامی است. اثرات هوای گرم (دمای زیاد و رطوبت کم) با افزایش سرعت باد بحرانی‌تر می‌شود . اثرات هوای گرم بر بتن را بطور خلاصه می‌توان در بندهای زیر ذکر کرد:

۱- افزایش سرعت هیدراتاسیون سیمان که درنتیجه سرعت گیرش افزایش می‌یابد. افزایش سرعت گیرش، عملیات انتقال، تراکم و پرداخت بتن را با مشکل روبرو می‌کند. از طرف دیگر، افزایش سرعت گیرش باعث می‌شود که محصولات هیدراتاسیون به شکل نامنظم و کاملاً تصادفی شکل بگیرند و این باعث کاهش مقاومت بتن در دراز مدت خواهد شد.

۲- کاهش اسلامپ بتن که سبب تراکم نامطلوب آن می‌شود و در نتیجه از مقاومت و دوام بتن کاسته می‌شود.

۳- افزایش تبخیر رطوبت از سطح بتن که منجر به ترک خوردگی ناشی از جمع شدگی خمیری می‌شود.

از طرف دیگر، هنگام انتخاب نوع مصالح و طرح نسبت‌های اختلاط بتن و یا در مراحل ساخت و ساز بخصوص درکرانه‌های جنوبی کشور، بکارگیری تمهیدات بتن ریزی در هوای گرم کافی نمی‌باشد. زیرا شرایط محیطی مناطق مذکور از نوع گرم و مهاجم و خورنده است. این محیط برای آسیب رساندن به بتن، بسیار خطرناک محسوب می‌شود، زیرا محیط آلوده به کلرید است و کلرید از عوامل مؤثر در فرآیند خوردگی می‌باشد. اثرات محیط گرم و نمکی علاوه بر مسائلی که در مورد محیط گرم ذکر شد شامل موارد زیر نیز هست :

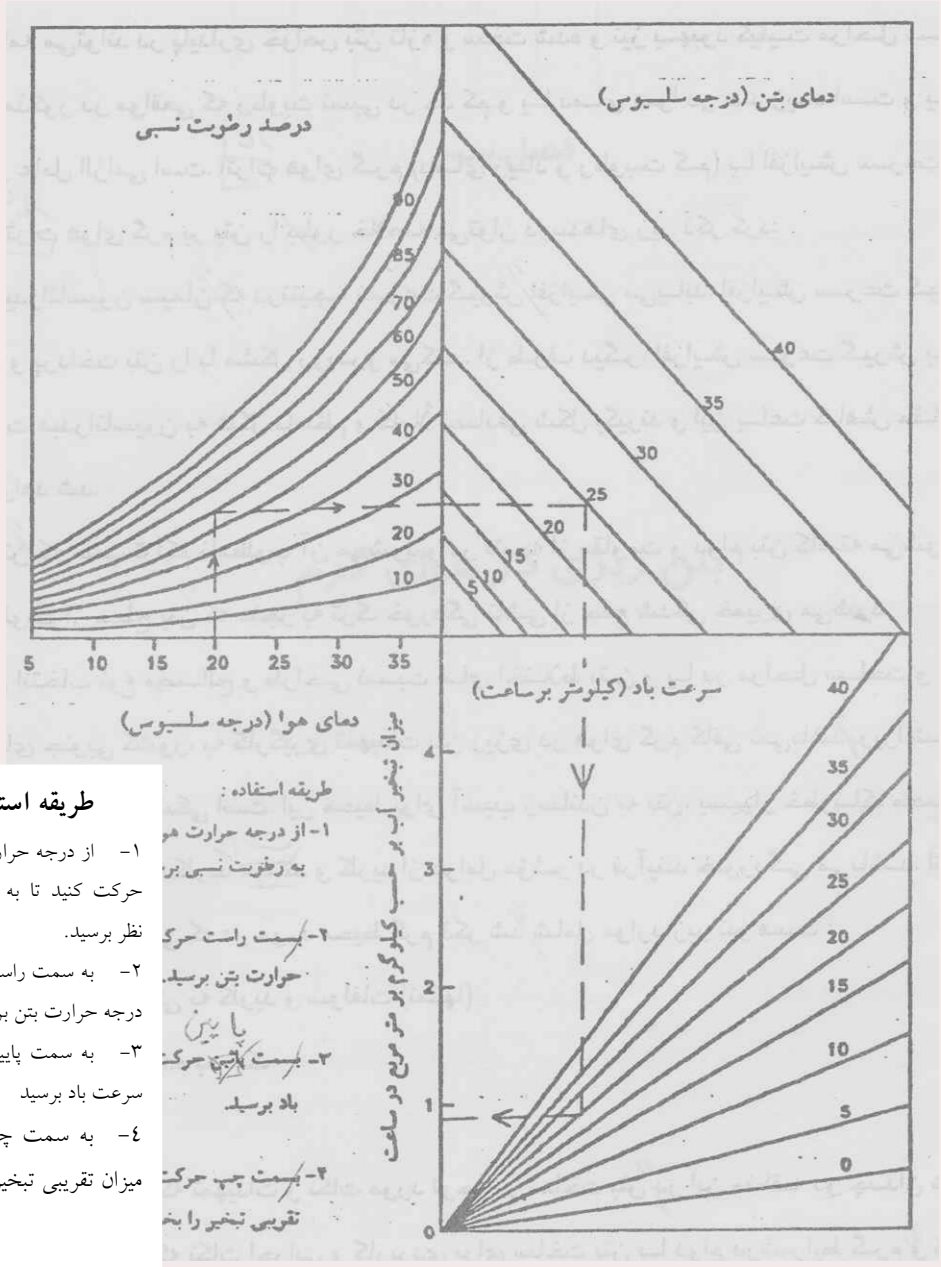
- احتمال آلوده بودن سنگدانه‌ها به کلرید و سولفات (نمکها)
- وجود آب زیرزمینی و خاک آلوده به نمک
- وجود یون‌های کلرید در جو

نکات ذکر شده، باعث خواهند شد که تمهیدات و نکات مورد توجه در ساخت بتن در این منطقه دو چندان شود. دراین توصیه نامه سعی می‌شود که نکات اجرایی و کاربردی برای ساخت بتن با دوام درشرایط گرم و مهاجم منطقه جنوب ارائه گردد.

باید توجه داشت که شرایط مناسب محیطی برای بتن ریزی در دمای بین ۲۰-۲۲ درجه سلسیوس، رطوبت نسبی ۵۰ درصد یا بیشتر و سرعت وزش باد کم حاصل می‌شود. بر اثر افزایش دما، کاهش رطوبت و افزایش سرعت باد و یا هرگونه ترکیبی از این عوامل، پایایی و دوام بتن کاهش می‌یابد و لذا اقداماتی به منظور کاهش آثار مخرب این عوامل ضروری است.

در صورتی که ترکیب آثار درجه حرارت هوا وبتن ، رطوبت نسبی و سرعت باد بر اساس نمودار (۱-۳) بیش از ۰/۵ کیلوگرم بر مترمربع در ساعت باشد، شرایط بتن‌ریزی در هوای گرم محرز شده و پیش‌بینی‌ها و اقداماتی برای جلوگیری از آثار زیانبار این عوامل در خواص بتن تازه و سخت شده الزامی است. در صورتی که مقدار تبخیر بیش از ۱ کیلوگرم بر مترمربع در ساعت باشد، ترک‌خوردگی حتمی است.

www.Civilearn.com



نمودار ۱-۱- ترکیب اثر دمای محیط، دمای بتن، رطوبت نسبی و سرعت وزش باد بر میزان تبخیر آب از سطح آزاد بتن

به طور کلی شرایط محیطی در مناطق گرمسیر که در روی خواص بتن تازه و سخت شده مؤثر است، عبارتند از:

۱-۱- تابش اشعه خورشید

عامل اشعه خورشید به مقدار قابل توجهی بر دمای مصالح انبار شده تأثیر دارد. حرارت جذب شده توسط مصالح بر اثر تابش خورشید در طول روز، ممکن است در هنگام شب به طور کامل از دست نرود و در نتیجه، دمای مصالح بتدریج به مقداری

www.Civilearn.com

برسد که باعث شود دمای بتن از حد قابل قبول تجاوز نماید. همچنین دستگاه‌های تولید، حمل و ریختن بتن با توجه به جنس خود، معمولاً بر اثر تابش خورشید بسرعت گرم شده و دمای خود را به بتن تازه منتقل می‌کنند.

دمای بالای بتن سبب کاهش کارایی، مشکلاتی حین ریختن و تراکم ونیز کاهش مقاومت بتن در دراز مدت و قابلیت بیشتر ترک خوردگی بر اثر جمع‌شدگی می‌گردد. همچنین دستگاه‌های تولید، حمل و ریختن بتن با توجه به جنس خود، معمولاً بر اثر تابش خورشید بسرعت گرم می‌شوند و دمای خود را به بتن تازه منتقل می‌کنند.

۱-۲- دمای محیط

دمای زیاد هوا می‌تواند آب موجود در بتن را هنگام ساخت، حمل، ریختن و پرداخت تبخیر نماید. تبخیر بیش از حد باعث از دست رفتن خواص مطلوب بتن تازه و نیز ترک خوردن سطح بتن بر اثر جمع‌شدگی می‌گردد. بنابراین، در مناطق گرمسیر باید بتن ریزی در ساعاتی که هوا خنک است، یعنی صبح زود و یا در طول شب انجام شود.

بتن‌ریزی با بتنی که دمای زیادی را داراست، مجاز نیست این دما برای مناطق جنوبی کشور ^{o}C ۳۰ توصیه می‌شود و بهر حال نباید در زمان گیرش اولیه از ^{o}C ۳۲ تجاوز نماید. مسلماً دمای بتن در هنگام ریختن در هوای گرم از دمای ساخت بتن بیشتر است و در ساخت بتن رعایت دمای مورد نظر با توجه به تبادل گرمایی در حمل بتن ضروری است. هر چه دمای هوا بیشتر باشد، مسلماً دمای بتن نیز افزایش می‌یابد، مگر اینکه با تمهیدات خاص، دمای بتن را با کاهش دمای اجزاء آن یا بکارگیری پودر یخ کاهش دهیم. معمولاً اگر دمای هوا از ^{o}C ۳۲ تجاوز کند احتمال اینکه دمای بتن در هنگام ریختن از ^{o}C ۳۰ تجاوز نماید زیاد خواهد بود و رعایت تمهیداتی برای کاهش دما ضرورت خواهد داشت. دمای زیاد بتن درهنگام ریختن آن هر چند به افزایش مقاومت اولیه آن منجر می‌شود اما در درازمدت کاهش مقاومتی را در مقایسه با زمانی که بتن خنک در قالب ریخته می‌شود شاهد خواهیم بود. بویژه اگر قالب و میلگرد نیز گرم و داغ باشند مشکل تشدید می‌شود. شکل‌گیری غیرهمگن بلورهای حاصله در خمیر سیمان سخت شده به افزایش نفوذپذیری بتن، بویژه در برابر نفوذ یون کلرید منجر می‌شود و مقاومت الکتریکی بتن کاهش می‌یابد. اگر این امر با افزایش دما در هنگام عمل آوری نیز همراه گردد (که معمولاً در این مناطق این همراهی وجود دارد) مشکل موجود دوچندان می‌شود. ایجاد درز سرد از جمله خسارات دیگر بتن‌ریزی با دمای زیاد یا در دمای زیاد می‌باشد که در هر صورت شروع خوردگی سریعتر میلگردها را شاهد خواهیم بود.

در این مناطق تغییرات دما در شبانه روز و در طول سال نیز بسیار متفاوت است، به گونه‌ای که طی سردترین ماه سال،حداقل دمای هوا در ۲۴ ساعت تقریبا از ۱۰ تا ۱۵ درجه سانتیگراد و طی گرمترین ماه سال، حداکثر دمای هوا تقریباً از ۳۵ تا ۴۵ درجه سانتیگراد متغیر است. البته تشعشع مستقیم نور خورشید دمای موثر در سطح بتن را به حدود ۷۰ تا ۷۵ درجه سانتیگراد افزایش می‌دهد.

۱-۳- رطوبت هوا

کاهش رطوبت نسبی از حدود ۹۰ درصد به ۵۰ درصد، بدون اینکه تغییری در سایر شرایط محیطی و دمای بتن داشته باشد، میزان تبخیر آب از بتن محافظت نشده را تا بیش از ۴ برابر افزایش می‌دهد. خوشبختانه در بسیاری از نواحی حاشیه خلیج فارس رطوبت نسبی زیاد است . اگر چه دربعضی از مناطق دور از دریا، نواحی با رطوبت نسبی کم نیز وجود دارد. همچنین

www.Civilearn.com

وزش باد درکاهش رطوبت نسبی هوا بسیار مؤثر است و معمولاً هنگام وزش باد از رطوبت موجود در هوا بشدت کاسته می‌شود. لذا در رطوبت نسبی کم (در صورتی که میزان تبخیر زیاد باشد) باید بتن ریزی با تدابیری همراه باشد تا از تبخیر زودرس آب بتن جلوگیری شود.

رطوبت نسبی هوا نیز در منطقه خلیج فارس در ماه‌های مختلف سال متغیر است. برای مثال، در بندرعباس رطوبت نسبی بین ۴۸ تا ۸۱ درصد تغییر می‌کند.

۱-۴- وزش باد

وزش باد نیز از مؤثرترین عوامل بر میزان تبخیر آب از بتن تازه و در حال گیرش است. به طور مثال، در هنگامی که نسیمی با سرعت ۱۵ کیلومتر در ساعت می‌وزد، میزان تبخیر آب حدود ۴ برابر میزان تبخیر در هوای ساکن است و میزان تبخیر هنگامی که سرعت وزش باد به ۴۰ کیلومتر در ساعت می‌رسد، ۹ برابر میزان تبخیر در هوای ساکن می‌گردد.

در مناطق حاشیه خلیج‌فارس وزش باد در ماه های دی، بهمن، اسفند و فروردین معمولاً شدیدتر است. همچنین باد نمک‌های موجود در اتمسفر را با خود حمل کرده و منبع دیگری را برای آلودگی بتن به یون کلرید تشکیل می‌دهد. غلظت کلرید موجود دراتمسفر منطقه خلیج فارس حدود $5\ mg/m^3$ است. چنین مقدار زیاد نمک در اتمسفر به دلیل وجود یون‌های کلرید در آب خلیج فارس و راه یافتن به اتمسفر براثر تبخیر آب دریاست.

۱-۵- دمای هوا در هنگام شب

درمناطق گرمسیر بویژه درنواحی دور از دریا که رطوبت هوا کمتر است، دمای هوا در هنگام شب اختلاف زیادی با دمای هوا در طول روز دارد. کاهش ناگهانی دما تأثیر نامطلوبی برخواص بتن، که در مراحل اولیه سخت شدن قرار دارد و محافظت کافی از آن به عمل نیامده است، می‌گذارد. در این حالت، سطوحی از بتن که در تماس با هوای آزاد است حرارت خود را از دست می‌دهد. اما قسمتهای داخلی به علت هدایت حرارتی کم بتن هنوز دارای دمای بالایی است و این اختلاف دما باعث ایجاد تنشهای حرارتی در بتن درحال گیرش شده و ترکهای حرارتی در آن به وجود می‌آورد. این ترکها باعث افزایش نفوذپذیری بتن، در برابر عوامل مهاجم و خورنده به داخل آن می‌گردد.

۱-۶- نمک‌های آب دریا

مطالعات و بررسی‌های آزمایشگاهی نشان داده است که املاح موجود در این آب از اغلب آبهای جهان بیشتر است. زیاد بودن غلظت کلرید در آب خلیج فارس باعث تخریب انواع سازه‌های ساحلی و دریایی در این منطقه شده است. مقدار کلرید در آب خلیج فارس در حدود ۲۲۰۰۰PPM و میزان سولفات در آن حدود ۳۰۰۰ PPM است. چنانچه با آب خلیج فارس بتنی با نسبت آب به سیمان ۰/۵ و مقدار سیمان ۴۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب ساخته شود، مقدار کلرید محلول در آب حدود ۱/۱ درصد برحسب وزن سیمان و حدود ۰/۲ درصد برحسب وزن بتن خواهد بود، در حالی که اگر همین بتن با آب تصفیه شده آشامیدنی ساخته شود مقدار کلرید محلول در آب بین ۰/۰۱ تا ۰/۰۳ درصد وزنی بتن خواهد بود. با دانستن این نکته که مقدار مجاز

www.Civilearn.com

کلرید محلول در آب در بتن کمتر از ۰/۴ درصد وزنی سیمان و یا ۰/۰۶ درصد وزنی بتن است، معلوم خواهد شد که مقدار آلودگی بتن ساخته شده با آب خلیج فارس بسیار شدید است.

در سواحل خلیج فارس نیز آبهای زیرزمینی شدیداً آلوده به یون کلرید و سولفات هستند. منبع دیگر آلودگی بتن به عناصر کلرید و سولفات از طریق نفوذ مستقیم آب دریاست که در مورد کلیه سازه‌های قرار گرفته در شرایط جزر و مدی دریا و یا در معرض پاشش آب دریا یا مغروق در دریا دیده می‌شود.

با توجه به توضیحاتی که گذشت، می‌توان نتیجه گرفت که شرایط محیطی خلیج فارس از دیدگاه پایایی و دوام سازه‌های بتنی مسلح دارای شرایط بسیار مهاجم و خورنده‌ای است. برای افزایش عمر مفید سازه‌های بتنی، در این منطقه بایستی نکات موثر در جلوگیری از خوردگی و اثرگذار در دوام بتن را شناخت و آنها را به کار بست. با توجه به زیاد بودن هزینه‌های تعمیر سازه‌های بتنی مسلح آسیب دیده می‌توان در هنگام ساخت با رعایت این نکات و صرف هزینه‌های لازم که قطعاً بسیار کمتر از هزینه‌های تعمیرات خواهد بود عمر مفید سازه‌ها را افزایش داد.

www.Civilearn.com

فصل دوم:

ویژگیهای مصالح

www.Civilearn.com

۲-۱- سنگدانه

۲-۱-۱ - ملاحظات کلی

ویژگی سنگدانه‌ها نقش مهمی در دوام بتن در رویارویی با شرایط مهاجم دارند، زیرا سنگدانه‌ها حدود سه‌چهارم حجم بتن را تشکیل می‌دهند، بنابراین کیفیت آنها از اهمیتی ویژه برخوردار است.

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

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

مشکلات عمده در مورد سنگدانه ها در نواحی جنوب کشور عبارتند از :

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

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

در صورت تصمیم بر استفاده از این نوع مصالح در بتن مسلح، باید به منظور کاهش میزان املاح، سنگدانه‌ها کاملاً شسته شود و در محلی با زهکش مناسب انبار گردد تا از رسوب مجدد نمک‌ها جلوگیری گردد. شستشو باید توسط آب شیرین صورت گیرد. همچنین در سازه‌هایی که در معرض آب دریا هستند، به علت رشد جلبک‌ها و خزه‌ها روی سطح بتن، صدفها و اسفنج‌ها در

www.Civilearn.com

میان آنها ساکن می‌شوند. به علت اینکه این جانوران از آهک تغذیه می‌کنند، در صورتی که از سنگدانه‌های آهکی استفاده شده باشد، باعث تشکیل حفره‌هایی در سطح بتن می‌شود و باعث افزایش سرعت تخریب بتن می‌گردند.

در مورد ماسه‌های طبیعی مورد استفاده در این منطقه اعم از ماسه‌های ساحلی و غیرساحلی نیز میزان نمک زیاد است و لزوم شستشوی این نوع مصالح حتی از شستشوی مصالح درشت هم بیشتر است.

ماسه‌های دریایی نیز از بقایای پوسیده ارگانیسم‌های دریایی که به تازگی از بین رفته‌اند تشکیل می‌شوند. این ماسه‌ها معمولاً از مقادیر زیادی صدف تشکیل شده‌اند، که قابلیت کربناتی شدن بسیار بالایی دارند. ماسه‌های دریایی علاوه بر اینکه معمولاً آلوده به نمک هستند، حاوی مقادیر قابل توجهی ذرات پولکی با فضای خالی زیاد می‌باشند. درصد بالایی از این مصالح، صدفها و بقایای جانوران دریایی هستند که غالباً توخالی بوده و دارای ساختمان پولکی و مسطح هستند که در مورد استفاده از آنها باید دقت شود.

همچنین به علت هوای گرم و مرطوب در این مناطق، سنگدانه‌های شامل مقادیر زیاد میکا مناسب نمی باشد، زیرا باعث کاهش کیفیت سنگدانه بتن می‌گردد.

باید توجه داشت که سنگدانه‌های مصرفی دارای سیلیس یا کربنات فعال نباشند. سیلیس یا کربنات فعال می‌تواند با سیمان واکنش قلیایی انجام دهد و ترکیب شیمیایی حاصل از آن باعث انبساط شدید بتن و ترک خوردن آن گردد.

از مصرف سنگدانه های پولکی و طویل و ترد، متورق، مصالح نرم و رسی و متخلخل باید ممانعت کرد.

۲-۱-۲ – دستورالعمل‌ها

- **مشخصات سنگدانه‌ها باید با استانداردهای مندرج در آبا و استاندارد ۳۰۲ ایران مطابقت داشته باشد.**

- **مشخصات سنگدانه مورد مصرف در بتن باید مطابق استاندارد دت ۲۰۱ باشد.**

- **سنگدانه‌ها باید سخت، محکم و با دوام بوده و از هر گونه مواد زیان آور عاری باشد. ویژگیهای سنگدانه‌های مصرفی باید طبق جدول (۱-۲) باشد.**

www.Civilearn.com

جدول ۲-۱- محدودیت های پیشنهادی برای میزان مواد مضر در سنگدانه‌ها برای ساخت بتن مسلح در منطقه خلیج فارس

نوع ماده زیان اور	روش ازمایش	نوع مصالح	حداکثر مجاز* (درصد)
مواد ریز رسی و گردوغبار	روش تر با استفاده از الک شماره ۲۰۰ (دت ۲۱۸)	**درشت دانه**	۱
		ریزدانه	۳
کلوخه‌های رسی و ذرات سست و نرم	(دت ۲۲۱)	**درشت دانه**	۲
		ریزدانه	۳
کلرید Cl^-	(دت ۲۳۱)	**درشت دانه**	۰/۰۲
		ریزدانه	۰/۰۴
سولفات SO_3^{--}	(دت ۲۳۰)	**درشت دانه**	۰/۴
		ریزدانه	۰/۴

- **همچنین مقادیرحداکثر کلرید و سولفات محلول در آب در بتن سخت شده ۲۸ روزه (ناشی از کل مواد تشکیل‌دهنده) باید طبق محدودیت‌های ذکر شده در آیین‌نامه آبا باشد.**
- * **به توضیحات ذیل جداول مربوطه دراستاندارد ۳۰۲ ایران مراجعه شود.**

کنترل دانه بندی شن وماسه و انطباق آن با منحنی استاندارد

در جدول (۲-۲) محدودیت های پیشنهادی برای خواص فیزیکی و مکانیکی سنگدانه های مصرفی در ساخت بتن در مناطق حاشیه خلیج فارس ارائه شده است.

جدول ۲-۲- محدودیت‌های پیشنهادی برای خواص فیزیکی و مکانیکی سنگدانه ها ی مصرفی

ویژگی		**محدودیت**	
		درشت دانه	ریزدانه
دانه بندی (بر اساس استاندارد ایران)		جدول (۴-۳) فصل ۳	جدول (۳-۳) فصل ۳
میزان جذب آب بر اساس (دت ۲۱۰ و دت ۲۱۱)		کمتر از ۲/۵٪وزنی	کمتر از ۳٪ وزنی
سلامت مصالح (دت ۲۱۲)	افت وزنی در ۵ سیکل با $MgSO_4$	کمتر از ۱۵٪	کمتر از ۱۵٪
	افت وزنی در ۵ سیکل با Na_2SO_4	کمتر از ۱۲٪	کمتر از ۱۰٪
مقاومت در برابر سایش (آزمایش لس‌آنجلس) (دت ۲۱۵)	در حالت عادی بدون سایش و فرسایش	کمتر از ۴۰٪	کمتر از ۴۰٪
	در صورتیکه در معرض سایش یا ضربه باشد	کمتر از ۳۰٪	کمتر از ۳۰٪

www.Civilearn.com

- به منظورجلوگیری از تابش مستقیم نور خورشید و افزایش دمای سنگدانه بهتر است مصالح سنگی در مکانهای سر پوشیده انبار شوند، محل انبار باید طوری ساخته شود تا مشکلاتی در حمل و جابجایی مصالح به وجود نیاید.

- استفاده از ماسه‌های دریایی در سازه‌های بتنی مسلح به هیچ وجه توصیه نمی‌شود. در صورت تصمیم بر استفاده از این نوع ماسه‌ها باشد، باید آنها را کاملاً شست تا این اطمینان حاصل شود که میزان نمک در آنها به سطح قابل قبول کاهش یافته است. همچنین اثر آنها را در تغییرات خواص بتن به علت پوکی باید در نظر گرفت.

- میزان نمک زیاد در ماسه‌ها را نمی‌توان تنها با شستن کاهش داد. به منظور صرفه‌جویی در هزینه آب می‌توان درابتدا برای شستن گل و لای و نیز کاهش میزان درصد نمک سنگدانه از آب دریا استفاده نمود، اما شستشوی نهایی را باید با آب آشامیدنی (شیرین) صورت داد.

- در صورت زیاد بودن دمای سنگدانه می‌توان با پاشیدن آب، دمای آن را کاهش داد. از آنجا که پاشیدن آب درصد رطوبت مصالح را تغییر می‌دهد باید این کار را با تأیید مهندس ناظر انجام داد، تا نسبت‌های اختلاط بر حسب رطوبت تغییر یافته اصلاح گردد. البته در صورتیکه رطوبت هوا زیاد باشد این روش کارآیی چندانی ندارد.

- لازم است تا با ایجاد سایه روی دپوی مصالح از تابش مستقیم نور خورشید به آنها جلوگیری شود. در صورت عدم امکان باید مصالح را از زیر تل (دپو مصالح) برداشت کرد زیرا به لحاظ عدم تابش نور خورشید معمولاً خنک‌تر می‌باشد.

- سنگدانه ها باید در برابر وزش باد شدید محافظت گردد.

- در جابجایی سنگدانه‌های دانه‌بندی شده باید کاملاً مراقب بود تا مصالح دانه‌بندی خود را حفظ کند. توصیه می‌شود در صورتیکه حداکثر اندازه سنگدانه بیش از ۲۰ میلیمتر باشد، سنگدانه‌ها بصورت تک‌اندازه دپو شود.

- سنگدانه‌هایی که در مراحل مختلف به کارگاه حمل می‌شوند، باید مرتباً با تواتر مشخص شده مورد آزمایش قرار گرفته و ویژگیهای آن مطابق با مشخصات باشد.

www.Civilearn.com

۲-۲ – سیمان

۲-۲-۱ - ملاحظات کلی

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

همچنین میزان C_3A در سیمان نقش مهمی در عدم نفوذ کلرید در بتن دارد. C_3A با کلرید موجود دربتن ترکیب شده و به شکل کلرور آلومینات کلسیم در می‌آید. کلرید پیوند یافته در فرآیند خوردگی نقشی ندارد، بلکه یونهای کلرید آزاد هستند که باعث توسعه خوردگی می شوند، لذا با افزایش مقدار C_3A درسیمان به ظرفیت سیمان برای پیوند با کلرید افزوده می شود. از طرف دیگر، وجود C_3A در سیمان، آسیب دیدگی بتن در برابر سولفاتها را افزایش می‌دهد. سولفاتها با هیدروآلومینات کلسیم که ناشی از هیدراتاسیون C_3A است واکنش می‌دهند و ترکیبات سست انبساط‌زا تولید می‌کنند. لذا انتخاب نوع سیمان بسته به شرایط محیط مهاجم عامل اساسی در دوام بتن است. در نواحی خلیج فارس، آب زیرزمینی و خاک، آلوده به کلرید و سولفات هستند، اما دربخش روسازه (بالای تراز زمین) تهاجم کلر شدید می‌باشد. لذا در قسمتهای زیرسازه (در تماس با خاک و آب زیرزمینی) استفاده از سیمان های نوع ۲ با میزان C_3A کنترل شده مناسب است. اما در قسمت های روسازه می‌توان از سیمانهای با مقادیر بالاتر C_3A (مانند سیمان نوع ۱) نیز استفاده کرد. در جدول۲-۳ مشخصات سیمان‌های پرتلند طبق استاندارد ایران ارائه شده است.

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

جایگزین‌های سیمان به دو گروه عمده تقسیم می‌شوند :

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

۲- مواد سیمانی مانند روباره

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

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

www.Civilearn.com

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

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

♦ روباره [۲]

روباره محصول فرعی کوره بلند آهنگدازی می‌باشد. استفاده از روباره در مخلوط منجر به ایجاد ساختاری با حفره‌های ریزتر و تغییرات ریزساختار در فصل مشترک سنگدانه و سیمان می‌شود که در مجموع باعث کاهش نفوذپذیری می‌گردد. همچنین بعلت ظرفیت پیوندی این ماده سرعت نفوذپذیری یون کلرید در بتن کاهش می‌یابد. تحقیقات بسیار متعددی در مورد عملکرد این نوع ماده در بتن انجام شده است که در اکثر آنها بهبود دوام بتن به اثبات رسیده است. گرچه گاه نتایج متناقضی نیز گزارش شده است.

در صورت تصمیم بر استفاده از روباره تولید داخل باید از استاندارد بودن آن کاملاً اطمینان داشت. به غیر از نتایج چند مورد طرح تحقیقاتی در مورد خواص روباره تولیدی در ایران، مشاهدات کافی از عملکرد این نوع ماده در مناطق خورنده وجود ندارد.

♦ دوده سیلیسی (میکروسیلیس) [۳]

دوده سیلیسی ناشی از بازیافت غبار در کارخانه های تولید آلیاژ فروسیلیس است. دوده سیلیسی عمدتاً از ذرات سیلیس بی‌شکل و بسیار ریز تشکیل شده است و مقدار سیلیس فعال آن باید حداقل ۸۵ درصد باشد. استفاده از دوده سیلیسی در بسیاری از پروژه‌های عمرانی در منطقه جنوب کشور رایج گردیده است. در ذیل به بعضی از آثار این ماده بر خواص بتن تازه و سخت شده اشاره می‌شود:

□خواص بتن تازه با دوده سیلیسی

جایگزین نمودن دوده‌سیلیسی بجای سیمان باعث افزایش سرعت هیدراتاسیون می‌گردد و بعلت ریزی زیاد این ماده مخلوط چسبنده شده و برای روانی مناسب احتیاج به آب بیشتری خواهد داشت. به علت تأثیر نامطلوب افزایش نسبت آب به سیمان بر روی دوام بتن معمولاً لازم است تا روانی چنین مخلوط‌هایی با استفاده از روان‌کننده و یا فوق‌روان‌کننده افزایش داده شود. همچنین جایگزین کردن مقداری از این ماده به جای سیمان باعث کاهش تمایل به آب انداختن و جداشدگی مخلوط می‌گردد. مخلوط بتن تازه که هنوز گیرش کامل نیافته ، مستعد ترک‌خوردگی سطحی ناشی از انقباض خمیری بتن است. این پدیده در شرایط هوای گرم ، هنگامی که میزان تبخیر از سطح بتن بیش از مقدار آب انتقال یافته از داخل بتن به سطح آن باشد ، حادتر است. لذا از آنجاییکه در بتن با دوده سیلیسی پدیده آب انداختن بسیار کم است ، گزارشهای زیادی از حساسیت این نوع بتن

---

[2] - Slag

[3] - - (Silica fume) Microsilica

www.Civilearn.com

به ترک خوردگی ناشی از انقباض خمیری وجود دارد. لذا در مورد این نوع بتن پس از ریختن و متراکم کردن آن ، باید بلافاصله از تبخیر آب از سطح بتن جلوگیری نمود.

اثر دوده سیلیسی بر دوام بتن

استفاده از دوده سیلیسی در بتن منجر به ایجاد ساختاری با حفره‌های ریزتر می‌گردد که باعث کاهش نفوذپذیری می‌شود. از طرف دیگر، حذف پدیده آب افتادگی باعث پیوستگی بهتر در ناحیه انتقال خمیر سیمان و سنگدانه می‌شود و در نتیجه افزایش مقاومت بتن را به دنبال دارد. علاوه بر این، جایگزین نمودن مقداری از این ماده به جای سیمان بعلت افزایش مقاومت الکتریکی بتن باعث کاهش نفوذپذیری در مقابل نفوذ یون کلرید می‌گردد. باید توجه کرد که استفاده از این ماده در محیط‌های در معرض سولفات منیزیم عملکرد مطلوبی ندارد.

در تحقیقات صورت گرفته ، مقدار جایگزینی ۶ - ۸ درصد این ماده به جای سیمان نتایج مطلوبی داشته است. نکته بسیار مهمی که در مورد استفاده از این ماده وجود دارد، این است که، قبل از استفاده باید کاملاً به صورت دوغاب درآید. دوغاب باید کاملاً روان و عاری از ذرات بهم چسبیده دوده سیلیسی باشد. بدین منظور لازم است که از بهم‌زن مکانیکی با دور تند استفاده نمود. چسبیدن این مواد به یکدیگر با توجه به ریزی بسیار زیادی که دارد، به عنوان سیلیس فعال در واکنش با قلیاییها عمل کرده و باعث خرابی ناشی از واکنش سیلیسی قلیایی می‌گردد.

- **پوزولان‌های طبیعی**

پوزولانهای طبیعی در حقیقت پوکه سنگها و خاکسترهای غیر کریستالی باقیمانده از فعالیت های آتشفشانی است. ذخایر بزرگی از پوزولانهای طبیعی در نقاط مختلف کشور وجود دارد که از جمله آنها می‌توان تراس جاجرود، پوکه سنگ هراز (دماوند)، پوکه سنگ سهند و پوکه سنگ تفتان را نام برد . طی تحقیقات صورت گرفته بر روی پوزولانهای طبیعی ایران، مشاهدات زیر صورت گرفته است.

۱- افزایش مقاومت در دراز مدت

۲- عملکرد مناسب دربرابر تهاجم یون کلرید و سولفات

۳- کاهش تخلخل و نفوذپذیری در صورت انتخاب نسبت کم آب به سیمان با کاهش میزان آب و استفاده از روان‌کننده‌ها

در صورت انطباق ویژگی‌های این ماده با مشخصات استاندارد، جایگزینی ۱۵ تا ۴۰ درصد بجای سیمان مقدار مناسبی است.

- **خاکستر بادی [۴]**

خاکستر بادی ماده‌ای است که از سوختن زغال‌سنگ حاصل می‌گردد و توسط فیلترهای مخصوص، به صورت غبار جمع‌آوری می‌شود. حدود ۸۵ درصد ذرات این ماده از اکسیدهای سیلیسیم، آلومینیم، آهن، کلسیم و منیزیم تشکیل می‌شود. آثار مطلوب این ماده در بهبود خواص بتن تازه و سخت شده باعث مصرف روزافزون آن در دنیا شده است.

مصرف این ماده باعث افزایش کارایی بتن تازه می‌گردد. همچنین افزایش دمای اولیه بتن به میزان قابل توجهی کاهش می‌یابد. لذا مصرف آن در بتن ریزیهای حجیم رایج است. همچنین عملکرد این ماده در افزایش دوام بتن درمقابل محیط‌های مهاجم

[4] - Fly ash

www.Civilearn.com

اثبات شده است. نفوذپذیری کمتر، عملکرد مناسب در برابر پدیده کربناتاسیون، مقاومت در برابر سولفات و کلرید و نیز کنترل واکنش قلیایی سنگدانه‌ها از مزایای استفاده از این ماده به جای سیمان است. گر چه تمام مزایای ذکر شده تحت تأثیر انتخاب مناسب نسبت آب به سیمان، عمل آوری کافی، کیفیت مطلوب خاکستر بادی و میزان مناسب جایگزین این ماده به جای سیمان است. در صورت انطباق مشخصات این ماده با الزامات استاندارد مقدار جایگزینی ۲۰ تا ۵۰ درصد انتخاب مناسبی است، گرچه در بعضی موارد جایگزینی با مقادیر بیشتر نیز بکار میرود.

در کشور ما نیز با توجه به وجود معادن زغال سنگ پتانسیل خوبی برای تولید این ماده وجود دارد و در آینده نزدیک کاربرد خواهد داشت.

امروزه استفاده از انواع سیمانهای آمیخته و مواد جایگزین سیمان در بهبود ویژگیهای مربوط به دوام بتن با تحقیقات و مطالعات متعددی که در سطح جهان و در مراکز علمی و تحقیقاتی و دانشگاهی معتبر صورت گرفته است، تا حدی روشن گشته است.

در جدول (۴-۲) مشخصات لازم برای دوده سیلیسی ارائه شده است. همچنین خواص فیزیکی و شیمیایی سیمانهای روباره‌ای و پوزولانی طبق استاندارد ایران در جداول (۵-۲) و (۶-۲) آمده است.

۲-۲-۲- دستورالعمل‌های کلی

- **لازم است، آزمایشهای لازم روی سیمانهای مصرفی به منظور تعیین ویژگیهای شیمیایی و فیزیکی آنها قبل از استفاده و تطابق آنها با ضوابط استاندارد صورت بگیرد.**

- **سیمان نباید بعد از ۴ ماه از تاریخ تولید در کارخانه مصرف گردد. همچنین طول دوره مجاز برای انبار کردن سیمان ۲ ماه می‌باشد. در طول دوره مجاز نیز تنها در صورتی که آزمایشهای لازم روی آن انجام گیرد و مشخصات آن با ویژگیهای استاندارد مطابقت داشته باشد، قابل استفاده است. شرایط انبار کردن سیمان باید مطابق با الزامات استاندارد ایران باشد.**

- **به علت شرایط آب و هوایی گرم و مرطوب حاشیه خلیج فارس، سیمان بسرعت فاسد و کلوخه شده و خواص خود را از دست می دهد بدین منظور لازم است که انبار سیمان دارای سیستم خنک‌کننده بصورت خشک باشد.**

- **درصورت تصمیم و تشخیص برای استفاده از هر نوع پوزولان بخصوص پوزولانهای تولیدی در ایران باید آثار و خواص آن بر روی بتن در آزمایشگاه مورد بررسی و ارزیابی قرار گیرد تا عملکرد آن تأیید شود یا عملکرد مطلوب آنها در سازه، در درازمدت، باید به اثبات رسیده باشد.**

www.Civilearn.com

- سیمانهای پاکتی باید در انبار سرپوشیده که کف و دیوارهای آن دارای عایق رطوبتی است، نگهداری شود. کیسه‌ها بهتر است روی تخته‌های چوبی که از زمین مقداری فاصله دارند چیده شوند. کیسه‌ها به صورت چسبیده بهم انبار گردد و با دیوار در تماس نباشند. ارتفاع چیدن کیسه‌ها رویهم نباید بیش از ۱/۲ متر باشد . همچنین باید روی آنها با نایلون و پوشش‌های ضد رطوبت پوشانده شود.

- در صورتی که دمای سیمان بیشتر از $60\ ^oC$ باشد، ممکن است مشکلاتی در کیفیت بتن به وجود آید . بنابراین دمای سیمان هنگام مصرف نباید بیش از $60\ ^oC$ باشد. لذا انبار سیمان باید مسقف باشد تا از تابش مستقیم نور خورشید محافظت شده باشد. در صورت استفاده از سیلوهای فلزی بهتر است این سیلوها دارای سایبان باشند و با رنگ روشن پوشش داده شوند.

- اگر در آزمایش واکنش قلیایی سنگدانه‌های مصرفی، مستعد بودن آنها به واکنش‌زایی تأیید شود، مقدار قلیایی معادل نهایی سیمان ($Na_2O+0.658\ K_2O$) نباید از ۰/۶ درصد تجاوز کند.

۲-۲-۳ - توصیه های خاص

- استفاده از سیمانهای زود سخت شونده تنها در موارد خاص و تحت نظر مهندسان و تأیید آنان مجاز است.

- از مصرف سیمان ضد سولفات برای بتن مسلح در محیط‌های رویارو با یون کلرید اجتناب گردد. در مناطقی که عوامل خورنده املاح سولفاتی و کلریدی هستند استفاده از سیمان نوع ۲ با C_3A بین ۵ تا ۸ درصد توصیه می‌گردد.

- در صورت تصمیم بر استفاده از دوده سیلیسی، میزان ۶-۸ درصد وزنی جایگزین سیمان به همراه سیمان نوع ۲ به عنوان محدوده پیشنهادی پس از تأیید نتایج آزمایشهای لازم توصیه می شود.

- دوده سیلیسی مورد استفاده باید طبق ویژگیهای استاندارد باشد. برای توزیع همگن مخلوط، توصیه می‌شود دوده سیلیسی را قبل از اضافه نمودن توسط مقداری از آب لازم و یا با مقداری روان‌کننده یا فوق‌روان‌کننده در طرح به صورت دوغاب درآورد و سپس به مخلوط اضافه نمود.

www.Civilearn.com

- در صورتیکه کنترل مقدار آب و کاهش مقداری از آب که برای دوغاب کردن دوده‌سیلیسی بکار رفته، از کل مقدار آب لازم در طرح، امکان نداشت، بهتر است دوده‌سیلیسی را با مقداری از روان‌کننده و یا فوق‌روان‌کننده مصرفی بصورت دوغاب درآورد و بقیه افزودنی را هنگام ساخت مخلوط به آن اضافه نمود.
- استفاده از سیمانهای آمیخته با دوده سیلیسی (تولیدی در کارخانه) به علت مشکلات کمتر در اجرا و در مخلوط کردن توصیه می‌شود.
- استفاده ازسیمانهای پرتلند روباره‌ای (در صورتی که طبق ویژگیهای استاندارد باشد) به همراه ۵ درصد دوده سیلیسی نیز از لحاظ کاهش میزان نفوذپذیری و کنترل واکنش قلیایی سیلیسی نتایج خوبی داشته است.

جدول ۲-۳- سیمان‌های پرتلند طبق استاندارد ایران

آزمایشهای شیمیایی	ویژگیهای شیمیایی استاندارد ۳۸۹ ایران					
	حدود تعیین شده	* نوع ۱	نوع ۲	نوع ۳	نوع ۴	نوع ۵
SiO_2	حداقل (٪)	–	۲۰/–	–	–	–
Al_2O_3	حداکثر (٪)	–	۶/–	–	–	–
Fe_2O_3	حداکثر (٪)	–	۶/–	–	۶/۵	–
MgO	حداکثر (٪)	۵/–	۵/–	۵/–	۵/–	۵/–
CaO		–	–	–	–	–
SO_3	حداکثر (٪)					
$C_3A < 8$		۳/–	۳/–	۳/۵	۲/۳۰	۲/۳۰
$C_3A > 8$		۳/۵	–	۴/۵	–	–
کسر وزن بر اثر سرخ شدن	حداکثر (٪)	۳/–	۳/–	۳/–	۲/۵	۳/–
باقی‌مانده نامحلول	حداکثر (٪)	۰/۷۵	۰/۷۵	۰/۷۵	۰/۷۵	۰/۷۵
C_3S	حداکثر (٪)	–	–	–	۳۵/–	–
C_2S	حداقل (٪)	–	–	–	۴۰/–	–
C_3A	حداکثر (٪)	–	۸/–	۱۵/–	۷/–	۵/–
$C_4AF + 2C_3A$ یا $C_4AF + C_2F$	حداکثر (٪)	–	–	–	–	۲۵/–
آهک آزاد	(٪)	–	–	–	–	–
$Na_2O + 0.658\ K_2O$	حداکثر (٪)	۰/۶	۰/۶	۰/۶	۰/۶	۰/۶

* برای هر سه رده ۳۲۵-۱ ، ۴۲۵-۱ و ۵۲۵-۱

آزمایشهای فیزیکی	ویژگیهای فیزیکی استاندارد ۳۸۹ ایران						
	حدود	نوع ۳۲۵-۱	نوع ۴۲۵-۱	نوع ۵۲۵-۱	نوع ۲	نوع ۳	نوع ۴	نوع ۵
سطح مخصوص(بلین) cm^2/gr	حداقل	۲۸۰۰	۲۸۰۰	۲۸۰۰	۲۸۰۰	۲۸۰۰	۲۸۰۰	۲۸۰۰
انبساط در آزمایش اتوکلاو	حداکثر (٪)	۰/۸۰	۰/۸۰	۰/۸۰	۰/۸۰	۰/۸۰	۰/۸۰	۰/۸۰
زمان گیرش به وسیله سوزن ویکات								
ابتدایی دقیقه	حداقل	۴۵	۴۵	۴۵	۴۵	۴۵	۴۵	۴۵
انتهایی ساعت	حداکثر	۶	۶	۶	۶	۶	۶	۶
مقاومت فشاری kg/cm^2								
یک روزه	حداقل	–	–	–	–	۱۲۵	–	–
۳ روزه	حداقل	۱۲۰	–	–	۱۰۰	۲۴۰	–	۸۵
۷ روزه	حداقل	۲۰۰	–	–	۱۷۵	–	۷۰	۱۵۰
۲۸ روزه	حداقل	۳۲۵	۴۲۵	۵۲۵	۳۱۵	–	۱۸۰	۲۷۰
هیدراتاسیون Cal/gr								
۷ روزه	حداکثر	–	–	–	۷۰	–	۶۰	–
۲۸ روزه	حداکثر	–	–	–	–	–	۷۰	–

www.Civilearn.com

جدول ۲-۴- خواص شیمیایی لازم برای دوده سیلیسی

کاهش وزن در اثر خشک شدن	K_2O	Na_2O	S	SO_3	Fe_2O_3	MgO	CaO	Al_2O_3	SiO_2	ترکیبات ٪
۱	۰/۵	۰/۳	۰/۲	-	۱/۵	۰/۵	۱	۱	۹۰	دوده سیلیسی

جدول ۲-۵- ویژگی‌های سیمان پرتلند پوزولانی طبق استاندارد ایران (شماره ۳۴۳۲)

نوع / ویژگی		سیمان پرتلند پوزولانی (پ پ)	سیمان پرتلند پوزولانی ویژه (پ پ و)	روش آزمایش
مقدار پوزولان (درصد وزنی)		≤۱۵ ≥ ۵	≤۴۰ ≥ ۱۵	
MgO (حداکثر درصد وزنی)		۶	۶	دت ۱۶۹۲
SO_3 (حداکثر درصد وزنی)		۴	۴	دت ۱۶۹۲
افت حرارتی (حداکثر درصد وزنی)		۵	۵	دت ۱۶۹۲
یون کلرید Cl^-		۰/۱	۰/۱	ASTM C-114
نرمی حداقل (cm^2/gr) (بلین)		۳۰۰۰	۳۲۰۰	دت ۳۹۰
انبساط با آزمایش اتوکلاو(حداکثر درصد)		۰/۸	۰/۸	دت ۳۹۱
انقباض با آزمایش اتوکلاو(حداکثر درصد)		۰/۲	۰/۲	دت ۳۹۱
زمان گیرش	اولیه (حداقل به دقیقه)	۶۰	۶۰	دت ۳۹۲
	نهایی(حداکثر به ساعت)	۷	۷	دت ۳۹۳
حداقل مقاومت فشاری (kg/cm^2)	۳ روزه	۱۰۰	-	دت ۳۹۳
	۷ روزه	۱۷۵	۱۵۰	
	۲۸ روزه	۳۰۰	۲۷۵	

*چنانچه تولید کننده بنا به درخواست خریدار ملزم به اعلام نتایج ترکیبات شیمیایی سیمان پرتلند پوزولانی باشد، رواداری ترکیبات شیمیایی باید مطابق جدول زیر باشد.

ترکیبات شیمیایی	CaO	Al_2O_3	SiO_2
رواداری قابل قبول	± ٪۳	± ٪۲	± ٪۳

www.Civilearn.com

جدول ۲-۶- ویژگی‌های سیمان سرباره‌ای طبق استاندارد ایران (شماره ۳۵۱۷)

ویژگی / نوع		سیمان سرباره‌ای (پ س)	پرتلند	سیمان پرتلند سرباره‌ای ضد سولفاتی (پ س ۵)	سیمان سرباره‌ای (س)	روش آزمایش
مقدار وزنی سرباره (درصد)		< ۲۵		≤ ۷۰ ≥ ۲۵	> ۷۰	
حداکثر درصد SO_3^{--}		۳		۳	۴	
حداکثر درصد S^{--}		۳		۲	۲	
باقیمانده نامحلول (حداکثر درصد)		۱		۱	۱	دت ۱۶۹۲
افت حرارتی (حداکثر درصد)		۳		۳	۴	
قلیایی های قابل حل در آب (حداکثر درصد)		–		–	۰/۰۳	
نرمی حداقل (cm^2/gr)		۲۸۰۰		۲۸۰۰	۲۸۰۰	دت ۳۹۰
انبساط با آزمایش اتوکلاو(حداکثر درصد)		۰/۵		۰/۵	۰/۵	دت ۳۹۱
انقباض با آزمایش اتوکلاو(حداکثر درصد)		۰/۲		۰/۲	۰/۲	دت ۳۹۱
زمان گیرش	اولیه (حداقل به دقیقه)	۴۵		۴۵	۴۵	دت ۳۹۲
	نهایی (حداکثر به ساعت)	۷		۷	۷	
حداقل مقاومت فشاری (kg/cm^2)	۳ روزه	۱۲۰		۱۰۰	–	دت ۳۹۳
	۷ روزه	۲۰۰		۱۸۰	۱۰۰	
	۲۸ روزه	۳۲۰		۳۰۰	۲۲۰	
حداکثر حرارت هیدراتاسیون (cal/gr)	۷ روزه	۷۰		۷۰	۷۰	دت ۳۹۴
	۲۸ روزه	۸۰		۸۰	۸۰	

*چنانچه تولید کننده بنا به درخواست خریدار ملزم به اعلام نتایج ترکیبات شیمیایی سیمان سرباره‌ای باشد، رواداری ترکیبات شیمیایی باید مطابق جدول زیر باشد.

ترکیبات شیمیایی	CaO	Al_2O_3	SiO_2
رواداری قابل قبول	٪۳ ±	٪۲ ±	٪۳ ±

www.Civilearn.com

۲-۳ – آب

۲-۳-۱- ملاحظات کلی

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

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

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

ج) باعث تسریع در خوردگی آرماتورها و آسیب دیدن پوشش بتنی روی آرماتور می‌گردد.

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

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

۲-۳-۲ – دستورالعمل‌های کلی

- **آبی که برای ساخت بتن استفاده می‌شود باید تمیز و عاری از مواد زیان آور نظیر روغنها، اسیدها، بازها، نمکها و مواد آلی و قندی باشد. به طور کلی مصرف آب آشامیدنی برای ساخت و عمل‌آوری بتن مناسب است.**

- **به علت درصد بالای املاح سولفات و کلرید در آب خلیج فارس و دریای عمان، این آب به هیچ وجه مناسب برای ساخت بتن مسلح نمی باشد. مقدار بالای یون کلرید و سولفات در آب باعث از بین رفتن پوشش بتنی، خوردگی و زنگ زدگی و افزایش حجم میلگردها و در نتیجه ترک خوردن و ریزش پوشش می‌گردد.**

- **در خصوص ساخت بتن غیر مسلح با آبهای مذکور در صورت عدم تأثیر منفی در زمان گیرش بتن و ویژگیهای بتن می توان با تأیید مهندس ناظر و تحت نظر او اقدام کرد.**

- **آب مصرفی باید دارای pH بین ۵ تا ۸/۵ باشد.**

مناسب بودن آب مصرفی از نظر املاح مجاز بویژه کلرید و سولفات محلول در آن، مقادیر مجاز املاح و سایر مواد در آب در جدول ۲-۷ آمده است.

www.Civilearn.com

جدول ۲-۷– حداکثر مقادیر مجاز مواد زیان آور در آب مصرفی بتن

نوع ماده زیان آور	شرح	روش آزمایش	حداکثر غلظت مجاز (ppm)
ذرات جامد معلق	-بتن‌آرمه در شرایط محیطی شدید و بتن پیش‌تنیده - بتن‌آرمه در شرایط محیطی ملایم و بتن بدون آرماتور	دت ۳۰۵	۱۰۰۰ ۲۰۰۰
مواد محلول	-بتن آرمه در شرایط محیطی شدید و بتن پیش تنیده - بتن آرمه در شرایط محیطی ملایم - بتن بدون آرماتور و بدون اقلام فلزی	دت ۳۰۵	۱۰۰۰ ۲۰۰۰ ۳۵،۰۰۰
کلرید (Cl^-)	-بتن آرمه در شرایط محیطی شدید و بتن پیش تنیده و بتن عرشه پلها - سایر موارد بتن آرمه، در شرایط مرطوب، یا دارای مواد آلومینیمی یا فلزات غیر مشابه، یا دارای قالبهای گالوانیزه دایمی - بتن بدون آرماتور و بدون اقلام فلزی مدفون	دت ۳۰۶	۵۰۰ ۱۰۰۰ ۱۰،۰۰۰
سولفات (SO_4^{--})	-بتن آرمه , بتن پیش تنیده - بتن بدون آرماتور و بدون اقلام فلزی مدفون	دت ۳۰۷	۱۰۰۰ ۳۰۰۰
قلیاییها	$(Na_2O + 0.658K_2O)$	دت ۳۰۴	۶۰۰

□در صورت ذخیره آب در مخازن یا تانکرها، این مخازن باید کاملاً تمیز بوده و توسط رنگ روشن پوشانده شود. در صورت امکان از تابش مستقیم نور خورشید به آن جلوگیری کرد.

۲-۴ – افزودنیهای شیمیایی

۲-۴-۱ - ملاحظات کلی

امروزه استفاده از انواع افزودنیهای شیمیایی در ساخت بتن این امکان را مهیا نموده است تا خواص موردنظر بتن تازه یا سخت‌شده را به راحتی بتوان تامین کرد.

افزودنیهای شیمیایی مورد استفاده باید طبق استانداردهای ذکر شده در آبا ، ASTM ، EN و یا BS باشد. افزودنیها را می‌توان در ۵ گروه اصلی زیر تقسیم بندی نمود.

□گروه اول : روان کننده‌ها و فوق روان کننده‌ها (کاهنده‌های آب)

www.Civilearn.com

موادی هستند که اگر به بتن اضافه شوند، بدون اینکه نیازی به افزایش آب باشد، باعث می‌شود کارایی بتن تازه افزایش یابد. همچنین با استفاده از آنها می‌توان با حفظ کارآیی، نسبت آب به سیمان و مقدار سیمان مصرفی را کاهش داد و یا با یک مقدار مناسب بصورت بهینه به هر سه این خواص دست یافت.

روان‌کننده‌ها از متداولترین افزودنیهای مورد مصرف در ساخت بتن در نواحی جنوب کشور است. این مواد معمولاً بر پایه شیمیایی لیگنوسولفوناتها هستند که باعث عملکرد روان کننده می‌شوند و در صورتی که با کربوهیدراتها نیز فرآوری شوند، خاصیت کندگیر کنندگی و گاهی حباب زا بودن را نیز فراهم می‌کنند.

بسته به مشخصات این نوع افزودنیها کاهش حدود ۵ تا ۱۵ درصد در مقدار آب را بر اثر مصرف آنها می‌توان انتظار داشت.

مصرف فوق‌روان‌کننده‌ها نیز در منطقه حاشیه خلیج فارس رواج زیادی پیدا کرده است. این مواد نسبت به روان‌کننده‌ها عملکرد اولیه و قدرت روان‌کنندگی بهتری دارند و کارایی ایجاد شده را برای مدت بیشتری حفظ می‌کنند هرچند برخی از انواع آنها افت شدید کارآیی را بصورت ناگهانی بدنبال خواهند داشت. این مواد نیز بر پایه مواد آلی، ملامین، نفتالین، پلی‌کربوکسیلیک یا لیگنوسولفوناتهای تصفیه شده در ترکیب با کربوهیدراتها یا آکریلاتها ساخته می شوند.

گروه دوم : کندگیرکننده‌ها (دیرگیرکننده‌ها)

این مواد درصورتی که به بتن اضافه شوند، زمان گیرش بتن را به تأخیر می‌اندازند. از این مواد در بتن‌ریزیهای حجیم و برای جلوگیری از تنشهای حرارتی استفاده می‌شود. پایه این مواد معمولاً کربوهیدراتها، لیگنوسولفونات‌ها و یا برخی از مواد معدنی هستند. در مناطق گرم و خشک استفاده از دیرگیرکننده‌ها به مقدار زیاد به علت طولانی شدن مرحله خمیری بتن تازه، ممکن است موجب افزایش انقباض خمیری بتن و در نتیجه ترک خوردگی ناشی از آن شود. در مناطق جنوبی کشور با توجه به میزان رطوبت زیاد، تبخیر کمتر بوده و مواد دیرگیرکننده می‌تواند به منظور تأخیر در گیرش بویژه در زمان حمل و ریختن استفاده شود.

گروه سوم : زودگیرکننده‌ها (تسریع‌کننده‌ها)

این نوع مواد افزودنی باعث می‌شود تا سخت‌شدن بتن با سرعت بیشتری صورت گیرد. موادی مانند کلرید کلسیم، کلرید سدیم، کلرید باریم و کلرید آلومینیم دارای خاصیت تسریع کنندگی هستند. به علت تأثیر سوء کلریدها روی خوردگی آرماتورها و نیز کاهش مقاومت بتن در برابر حمله سولفاتها استفاده از آنها محدود شده است. به طور کلی در سازه‌های آبی و سازه‌های پیش‌تنیده، استفاده از زودگیرکننده‌ها با پایه کلریدی مجاز نمی‌باشد. در منطقه حاشیه خلیج‌فارس نیز در کلیه سازه‌ها استفاده از زودگیرکننده‌های کلریدی مجاز نمی‌باشد. مواد تسریع کننده با پایه کربناتی، بی‌کربناتی و فلوئورها نیز وجود دارد.

www.Civilearn.com

گروه چهارم : موادافزودنی حباب‌زا

این مواد باعث می‌شود تا حبابهای بسیار ریز هوا (کمتر از ۰/۰۵ میلیمتر) در بتن ایجاد گردد. کاربرد عمده این مواد در مناطق سرد و دارای یخبندان است. زیرا در این مناطق آبی که داخل بتن نفوذ می‌کند، بر اثر یخ زدن و افزایش حجم به ساختار بتن به علت وجود حبابها آسیب نمی‌رساند. همچنین این مواد مقاومت بتن را در برابر تروخشک شدن‌های متوالی افزایش می‌دهد، زیرا بتنی که مرتباً در معرض شرایط تروخشک قرار دارد، میزان انبساط آن دائم در حال تغییر است و وجود این حبابها باعث می‌شود که کاهش و افزایش حجم متوالی در بتن باعث ترک خوردن بتن نشود. استفاده از این مواد با ثابت بودن نسبت آب به سیمان مقاومت بتن را تا حدی کاهش می‌دهد اما روانی و کارایی و آب‌انداختگی بتن را بهبود می‌بخشد و آب‌بندی و نم‌بندی بهتری ایجاد می‌کنند. باید توجه کرد که کنترل مقدار حباب و اندازه آنها در شرایط هوای گرم با مشکلات زیادی همراه است.

گروه پنجم : افزودنیهای بازدارنده خوردگی

استفاده از مواد بازدارنده خوردگی نیز به تازگی در ساخت سازه‌های بتنی مسلح در منطقه حاشیه خلیج‌فارس رواج پیدا کرده است. این مواد در دو نوع اصلی تولید می شود. بازدارنده‌های آندی که معمولاً بر پایه نیتریت کلسیم ساخته می شوند و مدت زیادی از تولید و استفاده آنها در دنیا می‌گذرد و نیز بازدارنده‌های آندی-کاتدی که جدیدتر است بر پایه مشتقات آمین ساخته می شود. برخی از این افزودنیها دارای خاصیت کاهش نفوذپذیری بتن نیز هستند. تحقیقات زیادی در مورد عملکرد این مواد صورت گرفته است و دربسیاری از موارد تأثیر مثبت آنها در حفاظت در برابر خوردگی نیز به اثبات رسیده است گر چه دربعضی موارد نیز، نتایج چندان مطلوب نبوده است.

تحقیقات نشان می‌دهد که عملکرد نیتریت کلسیم در کاهش شدت خوردگی در شرایط شبیه سازی شده خلیج‌فارس مانند شرایط اقلیمی معمولی (دما و رطوبت معمولی) نبوده است و چندان شدت خوردگی را کاهش نمی‌دهد. لذا شرایط محیطی بر روی عملکرد این مواد بسیار اثرگذار است.

همچنین تحقیقات نشان می‌دهد که استفاده از این مواد بخصوص در مواردی که از مواد مکمل سیمان (مواد مضاف معدنی) نیز استفاده می‌شود، خواص و تأثیرات آنها را تا حد زیادی کاهش می‌دهد. لذا باید قبل از تصمیم در مورد استفاده از این مواد از آثار اندرکنش این مواد بر روی خواص نهایی بتن آگاه بود.

با توجه به گستردگی انواع این افزودنیها و ترکیبات خاص و متفاوت هر یک و آثار مخصوص منحصر بفرد آنها، پرداختن به میزان تأثیر هر یک بر کلیه ویژگیهای بتن غیر ممکن است. لذا در این قسمت تنها به دستورالعمل‌های کلی در مورد مصرف این مواد اشاره می شود.

www.Civilearn.com

۲-۴-۲- دستورالعمل‌های کلی

- **افزودنیهای مورد مصرف باید دارای اطلاعات کامل مشخصات شیمیایی و فیزیکی بوده و آثار مصرف آن بر روی بتن تازه و سخت شده توسط سازنده ذکر گردد.**

- **باید اطلاعات کافی به شرح زیر از طرف سازنده مواد افزودنی به مصرف کننده ارائه گردد :**

- نام و علامت سازنده
- رنگ و یکنواختی
- محدوده مقدار مجاز مصرف
- پایه شیمیایی ماده و ترکیبات مؤثر
- چگالی نسبی و مقدار pH و مقدار قلیاییت معادل
- تأییدیه عدم وجود کلرید در ماده و یا ذکر مقدار کلرید
- شرایط نگهداری ماده شامل دما و مدت انبارکردن
- مدارک مبنی بر اثر ماده درخواص بتن مانند کارایی، مقاومت، زمان گیرش و سایر خواص مورد نیاز دستگاه نظارت

- **اکیداً توصیه می گردد به منظور تعیین دقیق میزان مصرف این مواد، بعد از اینکه در آزمایشگاه مقدار مناسب افزودنی برای رسیدن به خواص مطلوب بدست آمد، مخلوط‌های آزمایشی با مصالح مورد مصرف در محل کارگاه و در شرایط محیطی واقعی ساخته شود و ویژگیهای بتن تازه ساخته شده اعم از میزان کارایی، زمان شروع و خاتمه گیرش اندازه گیری گردد.**

- **باید توجه داشت که اثر این مواد روی ویژگیهای بتن تازه، با توجه به تغییرات دمای محیط، کاملاً متفاوت است و لذا لازم است درمواقعی که تغییرات دما کاملاً محسوس می‌باشد، میزان مصرف آنها و تغییرات در میزان مصرف کنترل گردد. به طور مثال، میزان به تعویق افتادن زمان گیرش بر اثر استفاده از مواد دیرگیرکننده در دمای بالاتر کاهش می‌یابد و نیز اثر مواد حباب‌زا با افزایش دما کاهش پیدا می‌کند. همچنین، در مورد بعضی مواد روان‌کننده اثر روان کنندگی طی زمان با افزایش دما کاهش می یابد.**

- **باید به این نکته توجه داشت که افزایش مقدار ناچیزی از افزودنی‌ها (بیش از مقدار لازم)، دارای آثار منفی همچون آب انداختن بتن تازه، جدا شدن دانه ها و در نتیجه افت کیفیت بتن می گردد که لزوم تعیین دقیق میزان مصرف این مواد را بیشتر روشن می کند.**

www.Civilearn.com

- در بعضی از افزودنی‌ها خاصیت حباب‌زایی وجود دارد که در صورت مصرف بیش از حد آنها باعث کاهش مقاومت بتن به مقدار قابل ملاحظه‌ای می‌گردد.

- استفاده از دیرگیرکننده‌ها به میزان بیش از حد لازم، باعث تأخیر بیش از حد در گیرش و جداشدگی می‌شود.

- استفاده از ماده افزودنی دیرگیرکننده در هوای گرم و خشک نیاز به تدابیر خاصی دارد، زیرا احتمال افزایش جمع‌شدگی خمیری وجود دارد. استفاده از مواد افزودنی کاهنده آب (روان‌کننده و فوق‌روان کننده) با خاصیت کندگیرکنندگی در صورتی که تأثیر نامطلوبی بر جمع‌شدگی بتن نداشته باشد، بلامانع است.

- مصرف روان کننده‌ها و فوق‌روان‌کننده‌ها به میزان لازم، امکان کاهش نسبت آب به سیمان را فراهم کرده که در نتیجه آن بهبود مقاومتی ایجاد می گردد و از طرف دیگر، قابلیت کار با بتن را افزایش داده و ریختن و متراکم کردن بتن داخل قالب راحت‌تر صورت می گیرد.

- برخی از فوق‌روان‌کننده‌ها باعث افت شدید روانی مخلوط بتن بعد از زمان مشخصی می‌شوند که هنگام انتخاب آنها باید به این موضوع توجه داشت.

- بار دیگر ذکر می گردد که مصرف این مواد باید به دقت صورت گیرد. در صورتی که این مواد به اندازه دقیق مصرف شود، احتمال تأمین خواص مورد نظر را افزایش می‌دهد، اما مصرف بیش از حد مجاز آن ولو به میزان ناچیز آثار منفی احتمالاً زیانباری بر جای می‌گذارد.

- حتی‌الامکان از دستگاه‌های خودکار برای اندازه‌گیری میزان مواد افزودنی و اضافه نمودن آن به بتن استفاده شود.

- فوق‌روان‌کننده‌هایی که باعث افت اسلامپ می‌شوند، در مرحله نهایی و قبل از ریختن بتن به آن اضافه شود.

- در صورت استفاده توأم از مواد افزودنی با خواص متفاوت باید قبلاً از اثر اندرکنش آنها آگاه بود.

www.Civilearn.com

۲-۵ - میلگردها

۲-۵-۱- ملاحظات کلی

یکی از معمولترین علل تخریب سازه‌های بتن مسلح، خوردگی میلگرد است. خوردگی میلگردهای داخل بتن به علت نفوذ اکسیژن، آب، دی اکسید کربن، کلریدها و دیگر نمکها می‌باشد. از طرف دیگر، چنانچه سطح میلگردها دارای زنگ‌زدگی باشد، میزان پیوستگی آنها با بتن کاهش می‌یابد. اگر چه یک لایه زنگ‌زدگی سطحی تا حدودی می‌تواند باعث پیوستگی بهتر میلگردها با بتن شود. ولی به علت اینکه تشخیص این مقدار زنگ‌زدگی میلگرد در کارگاه شاید میسر نباشد و نیز به علت شرایط آب و هوایی مهاجم درمنطقه، بهتر است که میلگردها دارای زنگ‌زدگی نباشند.

در مناطق گرم و مرطوب، تمیز بودن آرماتورها و عاری بودن آنها از هرگونه مواد مضر و زیان آوری هنگام بتن‌ریزی ضروری است. لذا باید فولاد قبل از مصرف و هنگام نگهداری در معرض عوامل مهاجم و خورنده واقع نشود.

همچنین میلگردهای با مقاومت زیاد و بویژه سرد نورد شده از حساسیت بیشتری در برابر خوردگی و زنگ‌زدگی برخوردارند. حتی بخشهایی از میلگردهای معمولی نیز که خم شده‌اند، زودتر از سایر بخشهای صاف و خم نشده زنگ‌زده می‌شوند. بنابراین در صورتیکه نیاز به بکارگیری میلگردهایی از نوع بالاتر از S ۴۰۰ وجود دارد، بویژه در صورتیکه سرد نورد شده و یا بصورت سرد پیچانده و اصلاح شده باشد، توصیه می‌شود از پوشش بتنی مناسب و یا پوشش‌های اپوکسی یا اپوکسی‌های غنی‌شده با روی استفاده شود تا شروع خوردگی تسریع و آهنگ خوردگی تشدید نگردد.

به غیر از میلگردهای معمولی، گاهی از انواع میلگردهای ضدزنگ ، گالوانیزه ، دارای پوشش اپوکسی و ... در منطقه حاشیه خلیج‌فارس به منظور دوام مطلوبتر استفاده می‌شود که البته استفاده از آنها بدون توجه به ویژگیهایی که دارا می‌باشند ممکن است باعث مشکلاتی شود. در ذیل به بعضی از ویژگیهای آنها اشاره می‌شود.

میلگردهای فولادی گالوانیزه شده گاهی در بعضی از پروژه‌های عمرانی در منطقه (بخصوص در کشورهای عربی) مورد استفاده قرار گرفته است. این نوع میلگردها معمولاً توسط فلز روی (Zn) پوشانده می‌شوند. نتایج آزمایشگاهی، عملکرد مطلوب آنها را در برابر پدیده کربناتاسیون نشان می‌دهد، اما عملکرد چندان مطلوبی از این میلگردها در درازمدت در محیط های کلریدی دیده نشده است.

جدیداً در بعضی از پروژه ها از میلگردهای دارای پوشش اپوکسی نیز استفاده گردیده است. این نوع میلگردها دارای عملکرد خوبی در برابر تهاجم کلریدها هستند. به دلیل شکننده بودن پوشش آنها، این نوع میلگردها نسبت به میلگردهای معمولی احتیاج به مراقبت بیشتری دارند. حمل و نقل و جابجایی این میلگردها باید با استفاده از برزنت و اتصال به طناب در چند نقطه و بدون اینکه خم شدگی قابل توجهی در آنها صورت گیرد، انجام شود و از زنجیر یا طناب سیمی برای بلند کردن آنها استفاده نشود. در بعضی از تحقیقات انجام گرفته اشکالات استفاده از اپوکسی برای پوشش میلگردها گاه با بکارگیری اپوکسی‌های غنی شده با روی مرتفع می‌گردد. امروزه برخی از این پوشش‌ها بکار می‌رود که ایجاد خراش و یا از بین رفتن بخش جزئی از آن از روی میلگرد مشکلی را بوجود نمی‌آورد و وجود روی در این پوشش‌ها از مناطق کوچک فولاد سخت و بدون پوشش در برابر خوردگی محافظت می‌کند و به خوردگی موضعی و نقطه‌ای نمی‌انجامد، البته نتایج این تحقیقات هنوز نیازمند بررسی‌های جامعتری می‌باشد.

www.Civilearn.com

میلگردهای ضد زنگ نیز گزینه دیگری برای سازه‌های در معرض حملات کلرید در مناطق خورنده حاشیه خلیج‌فارس است که البته باید هزینه استفاده از آنها را درپروژه در نظر داشت.

از میلگردهای غیر آهنی از جمله میلگردهای ساخته شده از الیاف شیشه، الیاف کربن و الیاف آرامید که در محیط‌های خورنده کلریدی عملکرد مطلوبی دارند، نیز باید نام برد. البته نتایج آزمایشگاهی بلندمدت در مورد استفاده از آنها وجود ندارد و استاندارد مدون نیز در مورد آنها تهیه نشده است. تاکنون درسطح بسیار محدودی از آنها استفاده شده است و هزینه نسبتاً زیادی نیز دارند. انتظار می رود در آینده‌ای نزدیک با کامل تر شدن نتایج آزمایشگاهی در مورد خواص و عملکرد آنها استفاده از آنها گسترش یابد.

۲-۵-۲- دستورالعمل‌ها

- **قبل از استفاده از میلگرد ضروری است آزمایشهایی نظیر اندازه گیری مقاومت کششی، مقاومت گسیختگی و میزان ازدیاد طول در هنگام گسیختگی روی آنها انجام شده باشد و قبل از اطمینان از استاندارد بودن آنها از به کار بردن آن جلوگیری نمود.**

- **میلگردها باید در محلی انبار شوند که از تماس مستقیم با مواد خورنده و زیان آور با آن جلوگیری گردد. از افزایش دمای میلگردهای داخل قالب‌ها در اثر تابش مستقیم نور خورشید قبل از بتن‌ریزی جلوگیری شود و باید قبل از بتن‌ریزی توسط آب‌پاشی دمای آنها کاهش یابد.**

- **میلگردها باید در محلی انبار شوند که در معرض مستقیم رطوبت نباشند. همچنین میلگردها باید در برابر وزش باد محافظت گردند.**

- **اکیداً توصیه می‌شود که میلگردها بر روی خاک قرار نگیرند. در غیر اینصورت در تماس با خاک و نیز موادی که دارای املاح خورنده است، آلوده شده و استفاده از میلگردهای آلوده باعث جذب رطوبت توسط املاح روی آن شده و خوردگی را در بتن موجب می شود.**

- **میلگردها باید طوری انبار شوند که حداقل ۱۵ سانتیمتر از سطح زمین فاصله داشته باشند.**

- **میلگردها را باید بر حسب نوع و قطر آنها تفکیک و انبار نمود. در صورت وجود میلگردهایی با قطرهای مشابه اما با مقاومت و مشخصات مکانیکی متفاوت، باید آنها را در محل‌های جداگانه و با علامتگذاری انبار کرد.**

www.Civilearn.com

- میلگردهای آلوده به خاک، املاح و مواد زیان آور که از راه تماس با زمین و یا به علل دیگر دچار آلودگی شده‌اند، باید قبل از مصرف کاملاً تمیز شده و زنگ آن زدوده شود. این میلگردها تنها در صورتی قابل استفاده هستند که خواص فیزیکی، مکانیکی و شیمیایی آن تغییر نکرده و طبق ویژگیهای استاندارد باشد.

- نکته بسیار مهمی که معمولاً به آن توجهی نمی شود، ویژگیهای سیم آرماتوربندی است. سیم آرماتوربندی باید کاملاً تمیز، عاری از زنگ‌زدگی و دارای ویژگیهای استاندارد باشد. قطر سیمهای آرماتوربندی باید در حدود ۱/۶ میلیمتر باشد. هنگام بتن ریزی باید دقت شود تا میزان پوشش در نظر گرفته شده روی میلگردها تأمین گردد و انتهای سیمها داخل پوشش قرار نگیرد.

- هنگام بتن‌ریزی ممکن است روی سطح میلگردها، قشری از ملات حاصل از بتن‌ریزی قبلی وجود داشته باشد. چنانچه فاصله زمانی بین بتن‌ریزی قبلی و بعدی حداکثر تا ۳-۲ ساعت باشد، نیاز به پاک کردن قشر ملات از سطح میلگرد نمی‌باشد. اما در غیر اینصورت باید قشر ملات سخت شده از روی سطح میلگردها زدوده شود.

- خم انتهای میلگردها باید به سمت داخل بتن باشد، طوریکه داخل منطقه پوشش قرار نگیرد.

- میلگردهای انتظار باید حتی‌الامکان طوری خم شوند تا مجدداً نیاز به بازکردن خم آنها وجود نداشته باشد.

۲-۶ – فاصله‌نگهدارها (لقمه‌ها)

۲-۶-۱- ملاحظات کلی

فاصله‌نگهدارها برای تنظیم و حفظ فاصله میلگردها تا سطح قالب یا بتن در حین نصب و بتن‌ریزی و تراکم تا زمانیکه امکان جابجایی آن در داخل بتن وجود داشته باشد، بکار می‌رود. در واقع بخشی از سطح بتن عملاً توسط فاصله‌نگهدار (لقمه) اشغال می‌شود و بنابراین کیفیت آن مانند بتن در قسمت سطحی بعنوان پوشش روی میلگرد حائز اهمیت است. هماهنگی و شباهت عملکرد آن بویژه در برابر تغییر رطوبت و تغییر دما با بتن اصلی می‌تواند کمک مؤثری در بالا رفتن دوام بتن و سازه بتنی باشد. همچنین تردد افراد و حرکت وسایل بر روی میلگردها درهنگام بتن‌ریزی می‌تواند به ایجاد ترک در محاذات میلگردها بیانجامد و فاصله‌نگهدارهای متصل به میلگردها و مقاوم در برابر نیروهای وارده باعث کاهش این لرزشها و تغییر شکل میلگردها می‌گردد، بشرط آنکه این فاصله‌نگهدارها در فواصل مناسب نصب شود.

www.Civilearn.com

۲-۶-۲- دستورالعمل‌ها

- فاصله‌نگهدارها باید محکم و با دوام باشند بطوری که باعث خوردگی و نیز از بین رفتن پوشش بتنی نگردند.
- فاصله‌نگهدارها باید قبل و بعد از بتن ریزی زیر بارهای وارده تغییر شکل ندهند.
- فاصله‌نگهدارها باید طوری انتخاب شوند تا پیوستگی بتن را حفظ نمایند.
- فاصله‌نگهدارها و میلگردها باید کاملاً در موقعیت خود تثبیت شده باشند و بتن ریزی سبب حرکت آنها نگردد.

- فاصله‌نگهدارهایی که در محل کارگاه ساخته می شوند (توسط سیمان و سنگدانه های مناسب) باید با دوام و بدون تخلخل بوده و مقاومت آن در حدود مقاومت بتن احاطه کننده اطراف باشد. این نوع فاصله‌نگهدارها پس از ساخت باید طبق ضوابط آیین‌نامه آبا عمل آوری شوند. نسبت آب به سیمان مخلوط مورد استفاده در ساخت فاصله‌نگهدارها نباید بیشتر از مخلوط بتن باشد. میزان جذب آب این فاصله‌نگهدارها باید پس از ۳۰ دقیقه کمتر از ۳/۵ درصد وزنی آنها باشد.

- معمولاً در هنگام ساخت فاصله‌نگهدارها با مخلوط سیمان و سنگدانه مناسب، حداکثر اندازه سنگدانه باید به مراتب کوچکتر از ضخامت پوشش روی میلگردها باشد و توصیه می‌شود به یک سوم ضخامت پوشش محدود گردد. در این حالت برای دستیابی به نسبت آب به سیمان مورد نظر در بتن اصلی میزان مصرف سیمان و آب برای تأمین روانی مناسب افزایش می‌یابد. بکارگیری روان‌کننده در ساخت این بتن یا ملات برای پرهیز از افزایش آب و سیمان توصیه می شود.

- در ساخت فاصله‌نگهدارها گاه برای بستن لقمه به میلگرد از سیم آرماتوربندی استفاده می‌شود. باید توجه داشت فاصله سر سیم در لقمه تاسطح قالب (بتن) از میزان حداکثر پوشش مجاز تجاوز نکند.

- فاصله نگهدارهای پلاستیکی و یا ساخته شده از مواد دیگر، باید طوری انتخاب شوند تا باعث نفوذ مواد مضر به داخل بتن نگردند. در مورد عملکرد فاصله‌اندازهای پلاستیکی بعلت تفاوت زیاد ضریب انبساط حرارتی آن با بتن تردید وجود دارد.

- فواصل فاصله‌نگهدارها از هم باید طوری باشد تا با کارایی بتن هماهنگ بوده به طوری که بتن اطراف آنها را کاملاً فرا گیرد و پیوستگی بتن از بین نرود.

www.Civilearn.com

- **در کارگاه‌های کوچک و برای کارهای کم‌اهمیت، گاهی به جای فاصله‌نگهدارها از تکه‌سنگهای برش‌خورده استفاده می گردد که این روش توصیه نمی‌گردد، زیرا در اثر تفاوت خواص و بافت این سنگ‌ها با سنگدانه‌های مورد استفاده در بتن، امکان نفوذ از این نقاط وجود دارد.**

۲-۷- قالبها

۲-۷-۱- ملاحظات کلی

کیفیت سطحی بتن در رویارویی با شرایط محیط‌های خورنده اهمیت زیادی دارد. تمیزی و همواری سطح قالب می‌تواند کیفیت بهتری را بوجود آورد. هر چند جنس قالب بخودی خود در این شرایط تعیین‌کننده نیست، اما معمولاً درهوای گرم استفاده از قالب چوبی توصیه می‌شود. بهرحال در صورتیکه استفاده از قالب فلزی در دستور کار باشد، لازمست قالب‌ها خنک شود. آب‌پاشی با آب خنک به سطح داخلی یا حتی خارجی قالب فلزی باعث کاهش دمای آن می‌گردد. قالب داغ کیفیت بتن مجاور را کاهش می‌دهد و بر نمای آن نیز اثر بدی باقی می‌گذارد و ممکن است باعث تغییر رنگ شود که نشانهٔ مطلوبی محسوب نمی‌شود. مسلماً قالب فلزی نمای بهتر و صاف‌تری را بوجود می‌آورد، اما به دلیل عدم جذب آب ممکن است مک‌های سطحی **(surface air voids)** کوچک یا بزرگ را بر جای گذارد که نمی‌تواند به پایایی بتن کمک نماید و چه بسا مشکلاتی را در پایایی بوجود آورد. استفاده از روغن‌های مخصوص قالب (مواد رهاساز مناسب) با لزجت کم و صلبیت مناسب قالب، کاهش این حفرات سطحی را باعث می‌گردد.

۲-۷-۲ – دستورالعمل‌های کلی

- **قالبها باید کاملاً محکم بوده و بخوبی مهاربندی شده باشند. تعبیه پشت‌بندها و تقویت‌کننده‌های طولی و عرضی به منظور افزایش پایداری و استقامت قالب و داربست ضروری است.**

- **قالب‌ها باید طوری بهم جفت شوند تا از خارج شدن شیره بتن از درز آنها جلوگیری گردد.**

- **در مورد قالبهای فلزی باید به تغییرات دما و اختلاف زیاد دما در سطح داخلی قالب و بتن ریخته شده توجه داشت. لازم است این‌گونه قالب ها را در جاهای مناسب و در زیر سایه انبار کرد تا از تابش مستقیم نور خورشید محافظت گردند تا دمای آنها بالا نرود، در اینصورت باید توسط آب‌پاشی دمای آنها کاهش یابد. همچنین پس از بتن‌ریزی نیز باید سطوح خارجی قالب فلزی از تابش مستقیم نور خورشید محافظت شود. همچنین بهتر است تا سطوح خارجی قالب‌ها را با رنگ سفید رنگ‌آمیزی نمود.**

www.Civilearn.com

- **استفاده از قالب‌های چوبی ساخته شده با تخته چندلا نسبت به قالبهای فلزی ارجحیت دارد. در مورد این قالبها باید به میزان جذب آب آنها توجه شود. لازم است این قالبها قبل از بتن ریزی کاملاً چرب و روغنکاری شده باشند. در صورتی که مدت زیادی از روغنکاری قالبها گذشته باشد، ممکن است گردوغبار زیادی به خود جذب کرده باشند که لازم است تمیز گردند.**

- **روغن مصرفی باید باعث تغییر کیفیت سطح بتن نشود.**

روغنکاری قالب برای جلوگیری از اشکالات زیر انجام می‌شود :

۱- هنگامی که هوا بین سطح بتن و قالب محبوس می‌شود، حفره‌های کوچک در سطح تماس در بتن به وجود می‌آید.

۲- در صورت جذب نامنظم آب بتن توسط قالب، بر سطح بتن رنگ غیر یکنواخت پدید می‌آید.

۳- در هنگام قالب برداری، جدا شدن قالب از سطح بتن به سختی انجام می‌پذیرد و امکان صدمه خوردن سطح بتن وجود دارد.

- **سطوح قالب باید بطور یکنواخت و کامل روغنکاری شود، البته نه آنقدر که از سطوح قالب چکه کند. روغن مصرفی بهتر است دارای ویسکوزیته پایین باشد.**

- **در مورد قالب بندی و قالب برداری به آبا مراجعه شود.**

- **باز کردن قالبها با توجه به زمان لازم برای عمل آوری بتن صورت گیرد. لذا لازم است قالبها تا حد امکان سریع تر و بدون اینکه خسارتی به بتن وارد آید شل گردند و سپس آب در سطوح نمایان بالایی ریخته شده تا از سطوح جانبی بتن به پایین سرازیر گردد. بویژه در دیوار یا ستون لازم است رطوبت مورد نیاز را از فاصله قالب و بتن (با آزاد کردن قالب) به بتن رسانید تا کیفیت سطحی بتن آسیب نبیند.**

- **در صورت استفاده از قالب های فلزی توصیه می‌شود تا در حداقل زمان ممکن باز شوند و عمل‌آوری مرطوب در مورد قطعه اجرا شده ادامه یابد.**

- **قالبهای چوبی نمی توانند از تبخیر آب جلوگیری کنند و در صورت استفاده از این نوع قالب ها باید آنها را با پوشش مناسب و مرطوب حفاظت کرد.**

- **داخل قالبها قبل از بتن‌ریزی باید کاملاً تمیز و عاری از هرگونه مواد زائد باشد. وجود مواد زائد مانند دانه‌های سنگی، ضایعات میلگرد، سیم و میخ قالب بندی و تکه‌های چوب باعث اثرات نامطلوب بر روی بتن خواهد شد.**

www.Civilearn.com

فصل سوم:

نسبتهای مخلوط بتن با دوام

www.Civilearn.com

مقدمه

بتن از مصالح متخلخل و نفوذپذیر محسوب می‌شود. نفوذپذیری بتن در مقاومت آن در برابر تهاجم عناصر مخرب مانند Cl^-, CO_2, SO_3^{--} و ... اثر می‌گذارد. نفوذپذیری بتن تحت تأثیر ماهیت منافذ از نظر اندازه و ارتباط بین منافذ است. با افزایش اندازه منافذ و ارتباط بیشتر منافذ، به نفوذپذیری بتن افزوده می‌شود. منافذ مویینه و منافذ هوای ناخواسته (تا حدود ۳ میلیمتر) اثر چشمگیری در نفوذپذیری بتن دارند.

مهمترین عوامل اثرگذار در نفوذپذیری بتن، نسبت آب به سیمان، مقدار سیمان و دانه بندی مصالح سنگی است. البته نوع سیمان، میزان تراکم و نحوه آن و نیز عمل‌آوری از عوامل اثرگذار در نفوذپذیری بتن می‌باشند که درقسمت های مربوط در مورد آنها مطالبی آورده شده است.

۳-۱- نسبت آب به سیمان

بتنی که دارای مقاومت کافی باشد و به نحو صحیح ساخته، ریخته و عمل‌آوری شده باشد، در شرایط معمولی دوام کافی خواهد داشت. اما در صورتی که به لحاظ شرایط محیطی، دوام بتن اهمیت زیادی پیدا می‌کند، نسبت آب به سیمان یکی از عوامل تأثیرگذار در دوام خواهد بود. نسبت آب به سیمان، تعیین کننده نفوذپذیری بتن است و همان‌طوری که قبلاً ذکر شد، نفوذپذیری نقش اصلی و تأثیر قابل ملاحظه‌ای در برابر حمله مواد مهاجم به عهده دارد.

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

الف) بهبود خواص مکانیکی بتن

ب) کاهش نفوذپذیری بتن

ج) افزایش دوام بتن در برابر تهاجم عوامل خورنده محیطی

د) چسبندگی مطلوبتر بین بتن و میلگرد

ه) کاهش اثر تغییرات حجمی بر اثر تروخشک شدن

لذا هر قدر که آب کمتری در اختلاط بتن طرح شود ، کیفیت بتن بهتر خواهد شد، به شرطی که بتوان آن را به طور صحیح متراکم نمود. زیرا هر چه میزان آب کمتر باشد مخلوط ناکاراتری به دست خواهد آمد که برای جا دادن آن درون قالب و بین میلگرد به انرژی تراکمی و ارتعاشی بیشتری نیاز است.

در مناطق گرمسیر با افزایش دمای بتن، سرعت افت اسلامپ افزایش می‌یابد و برای جبران این افت، به دلیل عدم آگاهی در مورد اثرات نامطلوب افزایش نسبت آب به سیمان روی خواص بتن در کارگاه، آب بیشتری به مخلوط اضافه می‌کنند. افزودن آب روی خواص بتن اثر نامطلوب دارد. کاهش مقاومت، افزایش نفوذپذیری، افزایش تمایل به جمع‌شدگی خمیری در بتن تازه و جمع‌شدگی ناشی از خشک شدن در بتن سخت‌شده و ترک خوردن بتن بر اثر آن و عملکرد نامطلوب در برابر حمله مواد مهاجم از جمله این آثار است.

www.Civilearn.com

بنابراین نسبت آب به سیمان برای بتن ریزی درمناطق گرم و خورنده باید کاملاً محدود و تحت کنترل باشد. از طرف دیگر، نسبت کم آب به سیمان و بتن با کارایی کم، باعث مشکلات اجرایی بتن‌ریزی در این مناطق است. بنابراین در این مناطق باید با تدابیر خاص مثلاً استفاده از روان‌کننده‌ها و فوق‌روان‌کننده‌ها برای حصول کارایی و روانی اقدام نمود.

بنابراین در مواردی که بتن، در معرض تهاجم عوامل خورنده است، باید نسبت آب به سیمان را به کمترین حد ممکن رساند، به نحوی که بتوان بیشترین تراکم را بدست آورد.

۳-۲- مقدار سیمان

شرایط محیطی خورنده در مناطق حاشیه خلیج فارس ایجاب می‌کند که غیر از محدودیت در نسبت آب به سیمان، حداقل مقدار سیمان نیز محدود گردد. مقدار مناسب سیمان در بتن با نسبت کم آب به سیمان باعث می‌شود تا غلظت خمیرسیمان بیشتر گردد و فضای کمتری برای آب موجود باشد و در نتیجهٔ نزدیک شدن ذرات سیمان به یکدیگر، پس از هیدراتاسیون، منافذ ریزتری در بتن ایجاد گردد که بر اثر ادامه واکنش هیدراتاسیون این منافذ ریز هم مسدود می‌گردد. از طرف دیگر، مقدار مناسب سیمان در مخلوط سبب تراکم بهتر و عدم جداشدگی دانه‌ها می‌شود و نفوذپذیری کاهش می‌یابد.

گر چه باید در نظر داشت که نباید مقدار سیمان آنقدر زیاد باشد که باعث جمع‌شدگی در مقاطع نازک و تنش‌های حرارتی در مقاطع ضخیم بشود. مقدار زیاد سیمان با وجود نسبت آب به سیمان ثابت موجب افزایش مقدار آب و حجم خمیر سیمان در بتن می‌شود و بدلیل جمع‌شدگی بیشتر و افزایش حجم حفرات مویینه در واحد حجم بتن، نفوذپذیری افزایش می‌یابد و از دوام و مقاومت آن می‌کاهد.

۳-۳- مصالح سنگی

خصوصیات فیزیکی سنگدانه‌ها مانند حداکثر اندازه و شکل سنگدانه‌ها نقش مهمی در میزان نفوذپذیری بتن دارد. سنگدانه‌ها در مقابل جمع‌شدگی خمیر سیمان قید ایجاد می‌کنند و در نتیجه در وجه مشترک خمیر سیمان و سنگدانه‌ها (فاز انتقالی) ترکهای میکروسکوپی به وجود می‌آید. هر چه اندازه سنگدانه‌ها افزایش یابد، ترک‌های بزرگتری ایجاد می‌گردد، زیرا قید بیشتری در مقابل جمع شدگی به وجود می‌آید. با ثابت بودن نسبت آب به سیمان، افزایش نسبت سنگدانه به سیمان تأثیر زیادی در افزایش دوام بتن دارد. همچنین نسبت ریزدانه به کل سنگدانه‌ها بر کارایی، تراکم، آب‌انداختگی و جداشدگی ذرات بتن تأثیر بسیار زیادی دارد. درصورتی که مقدار ماسه در حد مناسب نباشد، کارایی بتن کاهش می‌یابد. مقدار ماسه بیش از حد بهینه، نیاز به آب یا سیمان بیشتری دارد تا کارایی لازم به دست آید و مقدار ماسه کمتر از مقدار بهینه، باعث جداشدگی دانه‌ها می‌گردد. بنابراین تعیین نسبت صحیح ماسه و شن در طرح اختلاط برای کاهش نفوذپذیری بسیار با اهمیت است. همچنین وجود رس و مواد گذشته از الک شماره ۲۰۰ تأثیر بسزایی در میزان کارایی، جمع شدگی و دوام بتن دارد و ضمناً می‌تواند اثرات نامطلوبی نیز بر مقاومت داشته باشد. لذا مقادیر این مواد نیز باید محدود به مقادیر مجاز در آیین نامه‌ها باشد.

ارائه یک نسبت مخلوط کلی و عمومی برای انواع سازه‌های بتنی، در شرایط مختلف محیطی در منطقه خلیج فارس شاید غیرممکن باشد. به دلیل اینکه خواص بتن تازه و سخت شده متأثر از عوامل متعددی است که گاه کنترل بعضی از آنها غیر

www.Civilearn.com

ممکن می‌نماید و نیز بسته به نوع کاربری سازه و میزان باربری مورد نظر در طراحی، پارامترهای زیادی را می‌توان تغییر داد تا به خواص معین و مطلوب رسید. لذا ارائه یک نسبت اختلاط عمومی شاید دور از ذهن باشد. از طرف دیگر، ارائه نسبت اختلاط مناسب برای انواع سازه‌ها و بخصوص با در نظر داشتن دوام بتن در شرایط خورنده، نیازمند تحقیقات جامع و مشاهدات کافی است که متأسفانه در کشور ما چنین رویکردی وجود ندارد. البته از مدتی قبل توسط مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، مطالعاتی به منظور ارائه طرح اختلاط بتن با دوام در شرایط محیطی خلیج فارس آغاز شده و هنوز ادامه دارد. بر اساس نتایج این تحقیقات و مقایسه آن با محدودیت‌های طرح اختلاط بتن در شرایط گرم و خورنده در آیین‌نامه‌های معتبر دیگر با شرایط محیطی مشابه منطقه خلیج فارس، در جدول (۲-۳) یکسری از محدودیت‌ها در انتخاب مقدار سیمان و نسبت آب به سیمان و میزان پوشش بتن با توجه به شرایط محیطی که سازه در معرض آن قرار می‌گیرد(جدول ۳-۱) ، ارائه شده است. مقادیر این جدول بر اساس دانه‌بندی با حداکثر اندازه ۲۵-۲۰ میلیمتر ارائه شده است. دانه بندی با حداکثر اندازه ۲۰ میلیمتر در بتن‌های مسلح معمولی در این مناطق انتخاب مناسبی است. البته آیین‌نامه آبا استفاده از سنگدانه با حداکثر اندازه ۳۸ میلیمتر را در بتن مسلح مجاز دانسته است. همچنین براساس جدول (۳-۳) و (۳-۴) ، محدوده دانه‌بندی درشت دانه و ریزدانه بر اساس استاندارد ملی ایران پیشنهاد گردیده است. باید توجه داشت که نوع دانه‌بندی و میزان ریزدانه و درشت دانه، اثر زیادی در خواص فیزیکی و مکانیکی بتن دارد و لذا بسته به مشخصات طراحی می‌تواند تغییر نماید. حتی نوع سنگدانه‌ها نیز بر خواص بتن تازه و سخت شده مؤثر است. لذا ارائه یک محدوده خاص در میزان ریزدانه و درشت دانه و با توجه به نوع دانه‌بندی کاربردی نخواهد بود و طراح باید با توجه به خواص سنگدانه‌ها و نیز محدودیت های طراحی و روشهای مناسب طرح اختلاط و بر اساس مخلوط‌های آزمایشی، محدوده دانه‌بندی و میزان سنگدانه‌ها را معین کند.

توصیه می‌شود در طرح اختلاط بتن، بافت دانه‌بندی مخلوط درشت نباشد تا جداشدگی و آب‌انداختگی و جمع‌شدگی کاهش یابد.

جدول ۳-۱- دسته بندی شرایط محیطی که سازه در معرض آن قرار دارد .

طبقه‌بندی	دسته بندی	شرایط
متوسط	A	سازه‌های روزمینی که در معرض خطر نفوذ یون کلرید بر اثر وزش بادهای دارای یونهای نمک نیستند.
شدید	B	سازه‌های روزمینی درنواحی نزدیک به ساحل و در معرض وزش بادهای حاوی یونهای کلرید.
شدید	C	قسمتهایی از سازه که در تماس با خاک است و بالای ناحیه موییننگی خاک واقع شده است (به علت فشار کم آب یا وجود سیستم زهکشی، خطر نفوذ شدید آب از سطح به داخل بتن وجود ندارد) و یا قسمت‌هایی که دائماً در زیر آب دریا واقع‌اند.
فوق‌العاده شدید	D	قسمتهایی از سازه که درتماس با خاک مهاجم است و در زیر سطح آب زیرزمینی واقع شده است (آب براحتی می‌تواند از سطح به داخل نفوذ پیدا کند).
فوق‌العاده شدید	E	سازه‌های دریایی (دارای قسمتهایی در ناحیه جزرومدی و ناحیه پاشش)
فوق‌العاده شدید	F	سازه‌های نگهدارنده‌های آب و تصفیه‌خانه فاضلاب

- **طبقه‌بندی بر اساس آبا با در نظر گرفتن شرایط منطقه تقسیم‌بندی شده است.**

www.Civilearn.com

جدول ۳-۲ - حداقل مقدار سیمان، نوع سیمان، نسبت آب به سیمان و حداقل میزان پوشش با توجه به دسته‌بندی شرایط محیطی

شرایط	نوع سیمان انتخابی	حداقل مقدار مواد سیمانی (kg/m^3)	حداکثر نسبت آب به مواد سیمانی	حداقل میزان پوشش روی میلگرد (mm)				حداقل رده بتن
				تیر و ستون	دال	دیوارها و پوسته‌ها	شالوده‌ها	
A	سیمان پرتلند نوع (۱) و (۲) و یا به همراه مواد جایگزین سیمان*	۳۰۰	۰/۵	۴۵	۳۰	۲۵	-	C۳۰
B	سیمان پرتلند نوع (۱) و (۲) و یا به همراه مواد جایگزین سیمان	۳۲۵	۰/۴۵	۵۰	۳۵	۳۰	-	C۳۰
C	سیمان پرتلند نوع (۱) و (۲) و یا به همراه مواد جایگزین سیمان	۳۵۰	۰/۴۵	۵۰	۳۵	۳۰	۶۰	C۳۵
D	سیمان پرتلند نوع (۲) به همراه مواد جایگزین سیمان	۳۵۰	۰/۴	۷۵	۶۰	۵۵	۹۰	C۳۵
FوE	سیمان پرتلند نوع (۲) به همراه مواد جایگزین سیمان	۳۷۵	۰/۴	۷۵	۶۰	۵۵	۹۰	C۴۰

*مواد جایگزین سیمان شامل دوده سیلیس، روباره، خاکستر بادی و پوزولانهای طبیعی یا مصنوعی هستند که باید مشخصات آنها و عملکرد آنها قبل از مصرف تأیید شده باشد.

- در صورتی که حفاظت های سطحی اعمال شود، از مقادیر ذکر شده می‌توان تا **۲۰ mm** کاهش داد.
- اگر ردهٔ بتن به اندازهٔ ۵ مگاپاسکال بالاتر از حداقل رده باشد، می‌توان ۵ میلیمتر از مقدار پوشش کاهش داد. مشروط بر اینکه اندازهٔ پوشش میلگرد از ۲۵ میلیمتر در محیط متوسط، ۳۵ میلیمتر در محیط شدید و ۵۰ میلیمتر در محیط فوق‌العاده شدید کمتر نشود.
- برای میلگرد با قطر بیش از ۳۶ میلیمتر مقادیر پوشش باید ۱۰ میلیمتر اضافه شود.
- در صورت مصرف حباب‌زا می‌توان حداقل رده بتن را ۵ مگاپاسکال کاهش داد.

□حداکثر مقدار مواد سیمانی به ۴۲۵ کیلوگرم در متر مکعب محدود می‌گردد. در صورت لزوم استفاده از مواد سیمانی به مقدار بیش از حداکثر مقدار مجاز باید اقدامهای لازم به منظور جلوگیری از ترک خوردن ناشی از خشک شدن و جمع‌شدگی حرارتی در قطعات ضخیم اعمال گردد و کیفیت کار توسط مهندس ناظر تأیید گردد.

www.Civilearn.com

جدول ۳-۳ - الزامات اجباری دانه بندی سنگدانه ریز برای بتن

درصد وزنی عبور کرده	اندازه الک به میلیمتر (نمره الک)
۱۰۰	۹/۵ (۳/۸ اینچ)
۸۹-۱۰۰	۴/۷۵ (نمره ۴)
۶۰-۱۰۰	۲/۳۶ (نمره ۸)
۳۰-۹۰	۱/۱۸ (نمره ۱۶)
۱۵-۵۴	۰/۶ (نمره ۳۰)
۵-۴۰	۰/۳ (نمره ۵۰)
۰-۱۵	۰/۱۵ (نمره ۱۰۰)

جدول ۳-۴ – محدوده دانه بندی سنگدانه درشت (درصد رد شده) برای ساخت بتن مسلح معمولی سازه ای در منطقه

اندازه الک به میلیمتر (نمره الک)	**درشت دانه**			
	حداکثر اندازه دانه			
	۴۰ mm	۲۰ mm	۱۵ mm	۱۰ mm
۵۰ (۲ اینچ)	۱۰۰			
۳۷/۵ (۱/۵ اینچ)	۸۵-۱۰۰	۱۰۰		
۱۹ (۰/۷۵ اینچ)	۰-۲۵	۸۵-۱۰۰	۱۰۰	
۱۲/۵ (۰/۵ اینچ)			۸۵-۱۰۰	۱۰۰
۹/۵ (۳/۸ اینچ)	۰-۵	۰-۲۵	۰-۲۵	۸۵-۱۰۰
۴/۷۵ (الک نمره ۴)		۰-۵	۰-۱۰	۰-۲۵
۲/۳۶ (الک نمره ۸)				۰-۵

* جدول فوق بر اساس الزامات ذکر شده در استاندارد ملی ایران تنظیم شده است.

www.Civilearn.com

فصل چهارم:

اجرای بتن

(ساخت، حمل، ریختن، تراکم، پرداخت و عمل‌آوری بتن)

www.Civilearn.com

۴-۱- ساخت بتن

۴-۱-۱- ملاحظات کلی

ساخت بتن شامل مراحل توزین و پیمانه کردن و همچنین اختلاط اجزاء آن می‌باشد. رعایت نسبت‌ها و مقادیر اجزاء بتن (طرح مخلوط بتن) با توجه به رواداری‌های مورد نظر در آبا ضرورت دارد. مهمترین نکته در اختلاط، همگنی بتن و رسیدن آب به سطح دانه‌های سیمان و مصالح می‌باشد و استفاده از اختلاط دستی در شرایط محیطی مورد نظر ابداً جایز نمی‌باشد. حفظ همگنی در تمام مراحل تخلیه مخلوط‌کن، حمل، ریختن و تراکم بتن از مهمترین اصول اجرای بتن است. ایجاد همگنی، تأمین دمای مناسب و در حد مجاز پس از اتمام اختلاط، عدم آلودگی به مواد خارجی و دستیابی به حجم بتن مورد نیاز در زمان تعیین شده از جمله نکاتی است که در انتخاب و بکارگیری مصالح با دمای مناسب و حجم یا نوع مخلوط‌کن باید بدان توجه نمود.

۴-۱-۲- دستورالعمل‌ها

- **به منظور ساخت بتن با کیفیت مطلوب باید همه مصالح به صورت همگن پخش شوند. مشخصات بتن تازه باید مطابق با آزمایشهای تعیین یکنواختی اختلاط (دت ۵۰۱ و دت ۵۱۷) باشد.**

- **اختلاط بتن باید مطابق با موارد ذکر شده در فصل هفتم آبا اجرا گردد.**

- **ساخت بتن باید به صورتی انجام گیرد که کلیه سنگدانه‌ها و سیمان به طور یکنواخت با هم مخلوط شوند. ناظر کارگاه باید دقت کند و مطمئن شود که توزیع دانه‌ها در همه قسمت‌های بتن، یکنواخت است. این اطمینان معمولاً به صورت چشمی و با تجربه و بررسی درجا امکان پذیر است.**

- **اختلاط بتن باید تا زمانی که توزیع یکنواختی از مصالح ایجاد گردد ادامه یابد و قبل از پر کردن مجدد مخلوط‌کن باید آن را کاملاً تخلیه نمود.**

- **لازم است در اختلاط اجزای بتن از مخلوط‌کن و یا کارخانه بتن آماده استفاده شود.**

- **مخلوط کن باید با سرعت توصیه شده از طرف کارخانه سازنده آن چرخانده شود.**

www.Civilearn.com

- عمل اختلاط باید حداقل ۱/۵ دقیقه پس از ریختن کلیه مواد به داخل مخلوط کن ادامه یابد، مگر آنکه توسط ناظر کارگاه قبلاً بر اساس آزمایشهای مربوطه برای ساخت بتن با مشخصات خاص، زمان کوتاهتری در نظر گرفته شده باشد.

- باید از زمانهای اختلاط بیش از حد طولانی اجتناب نمود تا باعث افزایش دمای بتن نگردد و از سایش سنگدانه‌ها جلوگیری شود.

- بکارگیری کامیون مخلوط‌کن با رعایت اصول حاکم بر آن جهت اختلاط اولیه بتن مانعی ندارد و به چرخش ۷۰ تا ۱۰۰ دور با دور تند (۷ تا ۱۳ دور در دقیقه) نیازمند است مشروط بر اینکه :
  - حجم بتن ساخته شده از دو سوم حجم اسمی دیگ اختلاط تجاوز نکند.
  - حداکثر اندازه سنگدانه‌ها از ۵۰ میلیمتر بیشتر نباشد.
  - دیگ و پره‌های متصل به آن بصورت صحیح و طبق استانداردهای معتبر ساخته شده باشد.
  - اسلامپ بتن کمتر از ۵ سانتیمتر و چسبندگی بتن خیلی زیاد نباشد.
  - دوده سیلیسی بصورت گرد خشک، بخشی از مصالح بکار رفته نباشد (بکارگیری دوغاب دوده‌سیلیسی در این حالت توصیه می‌شود).

- پس از ساخت مخلوط، باید تعدادی نمونه از قسمت‌های مختلف مخلوط گرفته شود. این نمونه‌های گرفته شده از قسمت‌های مختلف برای یک نوبت ساخت بتن، الزاماً باید از نظر اختلاف وزن مخصوص، مقدار هوا، اسلامپ و مقدار دانه‌های درشت در محدوده رواداری‌های مجاز طبق آیین‌نامه آبا باشد.

- توصیه می‌شود که بتن‌ریزی هنگام نیمه‌شب یا صبح زود که دمای محیط و مصالح به حداقل می‌رسد، انجام شود.

- در صورت لزوم کاهش میزان دمای آب، توسط اضافه کردن یخ، مقدار یخ مصرفی و کنترل میزان آب لازم همراه آن، باید تحت نظر مهندس ناظر و تأیید او انجام گیرد.

- در یک مخلوط‌کن تمیز، هنگام ساخت اولین مخلوط، مقداری از سیمان و ماسه به دیواره‌ها و تیغه‌های مخلوط‌کن می‌چسبد و معمولاً اولین مخلوط، زبرتر و دارای سیمان و ریزدانه کمتری نسبت به مخلوط‌های بعدی است. لذا بهتر است در ساخت اولین مخلوط مقداری از درشت‌دانه کاهش یابد و یا به مقادیر سیمان، آب و ماسه مقدار کمی اضافه شود.

www.Civilearn.com

- بهتر این است که ابتدا درشت دانه و مقداری از آب داخل مخلوط کن ریخته شود و سپس سیمان و بعد از آن ریزدانه و بقیه آب اضافه گردد.

- در فواصل زمانی مناسب باید سرعت مخلوط‌کن با مقادیر ذکر شده در کاتالوگ دستگاه تطبیق داده شود.

- استفاده از مخلوط‌کن‌هایی که جام آنها هنگام تخلیه کج می‌شود و مخلوط را به سرعت تخلیه می‌کند، برای مخلوط‌های با کارایی کم و مصالح سنگی درشت که امکان جداشدن دانه‌ها وجود دارد، مناسب است.

- برای مخلوط‌های مستعد جداشدگی دانه‌ها، استفاده از مخلوط‌کن‌هایی که تخلیه مخلوط با سرعت کم (تخلیه با معکوس کردن حرکت جام انجام میشود) صورت می‌گیرد، مناسب نمی‌باشد.

- در هنگام ساخت مخلوط‌های بتنی با سنگدانه درشت، امکان اختلاط غیریکنواخت وجود دارد. در این صورت باید به نحو مناسبی، مخلوط را قبل از ریختن داخل قالب کاملاً یکنواخت مخلوط کرد. در این حالت بهتر است تا مخلوط را یکجا از مخلوط‌کن تخلیه نمود.

- رواداری نسبت آب به سیمان ۰/۰۲ ± و رواداری اسلامپ ۳۰٪ اسلامپ متوسط طرح توصیه می‌شود.

۴-۲ - حمل بتن

۴-۲-۱- ملاحظات کلی

در مرحله حمل بتن، عدم جداشدگی، عدم آلودگی به مواد زیان آور ، عدم تغییر شدید دما و کارآیی بتن از مهمترین اصول است. بدیهی است انتخاب نوع وسیله حمل با توجه به شرایط حاکم بر پروژه و محیط کارگاه، دسترسی به وسایل مورد نظر و اقتصادی بودن یا مقرون به صرفه بودن آن صورت می‌گیرد و باید حجم بتن مورد نظر را در مدت زمان پیش‌بینی شده منتقل نماید و انواع وسایل حمل با رعایت نکات مطروحه می‌تواند بکار گرفته شود، هر چند برخی وسایل حمل ممکن است از مزیت‌هایی نسبت به سایر وسایل برخوردار باشند. تسریع در حمل بتن همواره می‌تواند مفید باشد و پوشاندن سطح بتن در طول حمل برای کاهش تبخیر توصیه می‌شود. مسلماً سرعت حمل بتن و حجم آن باید به نحوی باشد تا از بروز درز سرد در بین لایه‌های بتن ریخته شده جلوگیری نماید.

www.Civilearn.com

۴-۲-۲- دستورالعمل‌ها

- در مرحله انتقال بتن با هر وسیله‌ای که صورت می‌گیرد از جمله فرغون، جام، دمپر، تسمه نقاله، پمپاژ، کامیون حمل بتن و کامیون مخلوط‌کن باید زمان انتقال از محل ساخت به محل بتن ریزی به حداقل ممکن برسد تا از افت زیاد اسلامپ و افزایش دمای بتن جلوگیری گردد.

- انتقال بتن باید مطابق با موارد ذکر شده در فصل هفتم آبا اجرا گردد.

- هنگامی که از کامیون مخلوط‌کن برای حمل بتن استفاده می‌شود، در صورت طولانی بودن مسیر انتقال، پیشنهاد می‌گردد تا امکاناتی فراهم شود تا آب مخلوط درمحل کارگاه (محل بتن ریزی) به مخلوط بتن افزوده شود.

- در صورت حمل بتن با کامیونهای مخلوط‌کن در شرایط اقلیمی معمولی، حداکثر مدت زمان انتقال بتن آماده تا محل بتن‌ریزی بعد از اضافه نمودن آب به مخلوط، ۱/۵ ساعت (با حداکثر سرعت ۶ دور در دقیقه برای مخلوط‌کن) می‌باشد. در شرایط اقلیمی گرم، زمان انتقال حداکثر ۳۰ تا ۴۵ دقیقه (با حداکثر سرعت ۳تا ۴ دور در دقیقه برای مخلوط‌کن) توصیه می‌شود. این زمان حمل برای مسیرهای صاف و هموار می‌باشد. بهر حال فاصلهٔ زمانی حمل باید به مراتب کمتر از زمان گیرش اولیه بتن باشد.

- وسایل انتقال بتن از مخلوط‌کن به محل نهایی بتن‌ریزی باید به گونه‌ای امکان رساندن بتن به محل بتن‌ریزی را مهیا سازند که مواد تشکیل‌دهنده جدا نشود و نیز از ایجاد وقفه‌هایی که سبب از دست رفتن حالت خمیری بتن بین بتن‌ریزی‌های متوالی می شود، جلوگیری نماید.

- هر مرحله از جابجا نمودن و انتقال بتن به کنترل دقیق نیاز دارد تا یکنواختی موجود در یک نوبت ساخت بتن و همچنین یکنواختی بین نوبت‌های متوالی حفظ شود. جلوگیری از جدا شدن مصالح درشت‌دانه از ملات و آلودگی بتن الزامی است.

- در صورتی که از پمپ بتن و لوله برای انتقال استفاده می‌شود، باید کاملاً توجه داشت که جنس لوله‌ها و اتصالات طوری نباشد تا با مواد سیمان واکنش داده و باعث تغییر مشخصات و خواص بتن گردد (مثلاً اگر لوله

www.Civilearn.com

ها از جنس آلومینیوم باشد، بر اثر واکنش شیمیایی بین آهک آزاد سیمان و آلومینیومی که از سطح داخلی لوله خورده شده، گاز هیدروژن تولید می شود و باعث افت کیفیت بتن می گردد).

- در صورتی که بتن ریزی با پمپ انجام می شود، بتن‌ریزی را در دورترین نقطه از پمپ شروع کرده و سپس به طرف عقب حرکت داده شود و بتدریج با جدا کردن قسمت هایی از لوله از طول آن کاسته گردد.

- در مورد مسائل مربوط به حمل و ریختن بتن با پمپ به نکات مربوط در آبا مراجعه شود (حداکثر اندازه سنگدانه تیز گوشه یک سوم قطر داخلی لوله و گرد گوشه ۰/۴ قطر داخلی لوله- اسلامپ توصیه شده برای مناطق مورد نظر ۷/۵ تا ۱۵ سانتیمتر- بکارگیری اسلامپ بیشتر در صورت اطمینان از عدم جداشدگی و آب‌انداختن بویژه به کمک مواد اصلاح‌کننده لزجت یا مواد پودری ریز مانند دوده سیلیسی- خنک کردن جداره خارجی لوله پمپ با پاشیدن آب خنک و یا استفاده از گونی خیس مشروط بر اینکه رطوبت محیط زیاد نباشد و آب بتواند با آهنگ مناسبی تبخیر شود).

- پرهیز از بکارگیری پمپ در هوای گرم بویژه در مسیرهای طولانی‌تر از ۱۰۰ متر بخاطر افزایش دمای بتن در اثر اصطکاک با جداره لوله و گیرش زودهنگام لایه مرزی بتن و لوله توصیه می‌شود. جهت رفع مشکلات فوق و برای کاهش اصطکاک استفاده از سنگدانه‌های گردگوشه‌تر، بویژه در مورد ماسه، کارآیی بیشتر با چسبندگی مناسب و متوسط، مصرف عیار سیمان بیش از ۳۰۰ کیلوگرم و کمتر از ۴۲۵ کیلوگرم در هر مترمکعب بتن، کاهش مصرف سیمان در صورت بکارگیری دوده سیلیسی تا حد ۳۷۵ کیلوگرم در هر مترمکعب بتن، محدود کردن دوده سیلیسی به میزان ۷/۵ درصد وزن سیمان، بکارگیری بافت ریز در مخلوط سنگدانه و پرهیز از ریزی بسیار زیاد در مخلوط با افزایش شدید ماسه، بکارگیری روان‌کننده یا فوق‌روان‌کننده مناسب برای ایجاد روانی مطلوب ضمن حفظ همگنی.

۴-۳- ریختن بتن

۴-۳-۱- ملاحظات کلی

در مرحله بتن‌ریزی نیز عدم جداشدگی، عدم آلودگی به مواد زیان‌آور و تسریع در کار از اهمیت زیادی بر خوردار است. عدم ایجاد درز سرد نیز در ریختن بتن یک اصل مهم تلقی می‌شود.

همچنین هنگام ریختن بتن، هر عملی که به جداشدگی بیانجامد قطعاً مردود است، هر چند در آیین‌نامه‌ها و دستورالعمل‌های معتبر در مورد آنها بحثی به میان نیامده باشد. ویژگی‌های بتن می‌تواند استعداد جداشدگی را باعث شود، اما در طول حمل و ریختن و تراکم، این استعداد بالقوه با انجام برخی کارهای نادرست بصورت بالفعل درمی‌آید. بنابراین باید توجه داشت

www.Civilearn.com

توصیه‌هایی مانند ارتفاع شره کردن (سرازیر شدن) بتن بصورت آزاد ممکن است در عمل کاملاً صحیح از آب درنیاید و نظارت مستمر را در حین ریختن می‌طلبد. مسلماً برخورد بتن با قالب یا میلگردها و یا افزایش ارتفاع سقوط آزاد بتن احتمال جداشدگی را افزایش می‌دهد و ترجیحاً باید در این موارد با حساسیت بیشتری عمل نمود.

۴-۳-۲- دستورالعمل‌ها

- **مهمترین مسئله در هنگام ریختن بتن، امکان جدا شدن دانه‌ها می‌باشد. ناظر باید کاملاً مراقب باشد تا هنگام ریختن بتن، از عواملی که سبب جدا شدن دانه‌ها می‌شود، احتراز نمایند.**

- **بتن‌ریزی باید مطابق با موارد ذکر شده در فصل هفتم آبا اجرا گردد.**

- **بتن باید حتی‌الامکان در محل نهایی خود ریخته شود تا از جدا شدن اجزای تشکیل دهنده آن بر اثر جابجایی مجدد جلوگیری شود.**

- **سرعت بتن‌ریزی باید به گونه‌ای باشد که بتن، همواره حالت خمیری خود را حفظ کرده و بتواند به سهولت به داخل فضای بین میلگردها جریان یابد.**

- **بتنی که پس از گیرش اولیه دوباره مخلوط شده است نباید به کار برود. بتنی که مجدداً آب بدان اضافه شده تا روان شود (در صورت عدم گیرش اولیه)، میتواند با تأیید مهندس ناظر استفاده شود. در صورت افت اسلامپ، نباید به بتن آب افزوده شود. در صورت نیاز به افزایش اسلامپ میتوان با تأیید مهندس ناظر، خمیر سیمان (آب و سیمان) را افزایش داد.**

- **توصیه می‌شود که فاصله قرارگیری محلی که بتن ریخته می‌شود با محل سرازیر شدن بتن، حتی‌المقدور کم بوده و از ۲۰۰ سانتیمتر تجاوز نکند**

- **اگر بتن‌ریزی بر روی سطح زمین انجام می‌شود، سطح زمین باید عاری از هر گونه مواد زائد باشد. همچنین در این حالت رطوبت سطح زمین باید بصورت اشباع با سطح خشک باشد.**

- **در بتن‌ریزیهایی که در ارتفاع انجام می گیرد مانند ستونها، باید از شوت سقوطی یا لوله هادی استفاده شود.**

www.Civilearn.com

- در بتن‌ریزیهایی نظیر بتن‌ریزی ستون که امکان عبور دادن لوله پمپ به داخل قالب و تنظیم ارتفاع مناسب بتن ریزی میسر نباشد بهتر است که در قالب و در فواصل مناسب (تا ۱/۵ متری) دریچه‌هایی را تعبیه نموده و بتن‌ریزی را از طریق این دریچه‌ها انجام داد.

- ضخامت لایه‌های بتن‌ریزی نباید کمتر از ۱۵۰ میلیمتر (به استثنای دالها) و بیشتر از ۶۰۰ میلیمتر باشد.

- در صورتیکه بین بتن‌ریزی جدید و قبلی، فاصله زمانی طولانی وجود دارد، باید حتماً محل درز اجرایی را پیش‌بینی نمود. در این حالت هنگام بتن‌ریزی جدید باید سطح لایه قبلی کاملاً زبر و کاملاً اشباع باشد.

در این هنگام باید به نکات زیر توجه نمود :

- توصیه می‌شود در صورت پیش‌بینی محل درز اجرایی، هنگام ریختن آخرین لایه بتن‌ریزی، برای زبرکردن سطح بعد از ۲ تا ۴ ساعت بعد از عمل تراکم، توسط برس اقدام کرد. زبرکردن سطح لایه قدیمی بعد از مرحله سخت‌شدن، مشکل و هزینه‌بر است.

- سطح لایه بتن‌ریزی قدیم به هنگام بتن‌ریزی باید کاملاً اشباع با سطح خشک باشد.

- در صورتیکه روی سطح لایه بتن قدیم، یک لایه ضعیف خمیر سیمان به سبب آب‌انداختگی ایجاد شده باشد، باید حتماً قبل از بتن‌ریزی این لایه جدا شود. همچنین در صورتیکه روی سطح قبلی سنگدانه‌های لق وجود دارد، حتماً باید از بتن قدیمی جدا شوند.

- هنگام بتن‌ریزی درکفها، نباید بتن را به صورت توده بزرگی خالی کرد و سپس با حرکت افقی آن را جابجا کرده و قالب را پر کرد، زیرا این کار سبب جدایی دانه‌ها می‌شود.

- بتن‌ریزی در کفها و دال‌ها باید به گونه‌ای انجام شود که بتن ریخته شده تحت تراکم وسیله تخلیه بتن (مانند فرغون) و یا عوامل کارگاهی قرار نگیرد، زیرا این امر سبب آب‌انداختن بتن می شود. لذا باید راههای دسترسی به محل تخلیه، بدون اینکه به شبکه آرماتورها نیز فشار وارد شود، از قبل ایجاد نمود.

www.Civilearn.com

- توصیه می‌شود بتن‌ریزی سطوح شیبدار از پایین به طرف بالا انجام شود تا وزن بتن بالایی به تراکم بتن پایین کمک کند. در این حالت باید بتن‌ریزی با سرعت کمتری انجام شود تا بتن قسمت پایین سفت شده باشد.

- هنگام بروز وقفه قابل ملاحظه بین عملیات بتن‌ریزی و پرداخت، بتن باید با پوششهای موقتی مانند نایلون محافظت شود.

- توصیه کلی این است که همیشه گروه بتن‌ریزی منتظر بتن باشد تا اینکه بتن منتظر گروه بتن‌ریزی، لذا باید برنامه‌ریزی ساخت و حمل و ریختن بتن بر اساس این توصیه صورت گیرد.

- هنگام بتن‌ریزی، نباید دمای بتن بیشتر از ۳۰ درجه سانتیگراد باشد. در غیر این صورت باید با خنک کردن مصالح بویژه آب یا استفاده از یخ بعنوان جایگزین بخشی از آب مصرفی ، دمای بتن را کاهش داد.

- قبل از ریختن بتن جدید روی بتن سخت شده قبلی ، باید لایه ضعیف سطح بتن قبلی زدوده شود و سطح لایه بتن زبر گردد و شرایط رطوبتی سطح بتن قدیمی بصورت اشباع با سطح خشک باشد.

- تخلیه بدون کنترل ممکن است باعث مشکلاتی شود، زیرا تخلیه سریع باعث جابجایی میلگرد می‌شود و بتن‌ریزی در مقاطع کوچک نیز با مشکل مواجه می‌گردد.

- در دالها، تخلیه سریع باعث ناهموار شدن سطح می گردد و بهتر است برای پخش یکنواخت از تعداد کارگر بیشتر و با سرعت مناسب استفاده کرد.

- در مخلوطهای بتنی دارای دوده سیلیسی یا روباره، در صورتی که هنگام بتن‌ریزی از پمپ بتن استفاده می‌شود، باید با استفاده از موادروان‌کننده و یا فوق‌روان‌کننده اسلامپ را افزایش داد. در غیر این صورت چسبندگی این مخلوطها باعث مشکلاتی در حین پمپ کردن خواهد شد.

- نکته قابل توجه این است که میزان اسلامپ در مرحله نهایی ریختن بتن باید در مد نظر باشد و معمولاً بسته به فاصله بین محل بتن‌سازی و بتن‌ریزی، اسلامپ تا حدود ۲۰ درصد افت خواهد نمود و لذا میزان این افت را باید درطراحی مخلوط در نظر گرفت. اخیراً افزودنیهای جدیدی ساخته شده که می‌توانند کارآیی ایجاد شده

www.Civilearn.com

را برای مدت طولانی‌تر نیز حفظ کنند. در صورت تصمیم بر استفاده از آنها باید از کارکرد این گونه افزودنیها مطمئن بود.

- **در صورتی که ارتفاع بتن‌ریزی را به عللی مانند مشکلات اجرایی نتوان کاهش داد، می‌توان با تغییر در طرح اختلاط و استفاده از افزودنیهای معدنی، مانند روباره و دوده‌سیلیسی، جداشدگی و آب انداختگی بر اثر ریختن بتن از ارتفاع زیاد را کاهش داد. همچنین افزایش جزئی در مقدار ماسه و کاهش حداکثر اندازه سنگدانه در طرح اختلاط می‌تواند باعث کنترل جداشدگی و آب‌انداختگی گردد.**

۴-۴- تراکم بتن

۴-۴-۱- ملاحظات کلی

تراکم مطلوب بتن، نقش مؤثری درکاهش منافذ هوا در داخل بتن دارد. در هنگام ساخت بتن و مخلوط کردن و ریختن آن، مقداری هوا در بتن باقی می‌ماند. در صورتی که تراکم به خوبی صورت گیرد، اکثر این منافذی که هوا داخل آن وجود دارد، پر شده و هوا از بتن خارج می‌گردد.

همچنین با توجه به اینکه درطرح اختلاط بتن در مناطق گرم و خورنده، نسبت آب به سیمان در حد پایین انتخاب می‌شود، لذا متراکم کردن بتن به دلیل کارایی کم مخلوط بتن مشکلتر است و دقت بیشتری را می‌طلبد. در این نوع بتن‌ها در صورتی که تراکم مطلوب نباشد، ممکن است نفوذپذیری بتن حتی از بتنی که دارای نسبت آب به سیمان بالاتری است، اما تراکم آن بخوبی صورت گرفته، بیشتر باشد.

۴-۴-۲- دستورالعمل‌ها

- **با توجه به توصیه استفاده از نسبت کم آب به سیمان، باید در متراکم نمودن بتن، بخصوص در گوشه قالب‌ها و اطراف میلگردها و نیز جاهایی که قالب با ازدیاد میلگرد روبروست دقت کافی نمود تا بتن به خوبی متراکم شود.**

- **لرزاندن مجدد بتن ریخته شده و متراکم شده، در صورتی که بتن گیرش پیدا کرده است، مجاز نیست.**

- **هنگام استفاده از لرزاننده‌های خرطومی، اجازه دهید تا قسمت لرزاننده تحت وزن خودش سریعاً به طرف لایه‌های پایینی برسد. برای حذف مؤثر هوا، لرزاننده باید سریعاً داخل بتن وارد گردد و با حرکت ملایم بالا و پایین به آهستگی خارج گردد.**

www.Civilearn.com

- زمان دقیق لرزاندن بر حسب نوع بتن و ظاهر شدن خمیر سیمان بر سطح بتن تعیین می‌شود. زمان نفوذ لرزاننده معمولاً بین ۵ تا ۱۵ ثانیه می‌باشد. اگر زمان لرزش کم باشد، سنگدانه‌ها به سمت بالا حرکت می‌کنند، اما ملات فرصت کافی برای جاری شدن ندارد، لذا بتن متخلخل می شود. اگر زمان لرزاندن زیاد باشد، مقدار زیادی شیره بتن به سطح آمده و جداشدگی اتفاق می‌افتد.

- لرزاننده باید بصورت عمودی و در فواصل یکنواخت به داخل بتن فرو برده شود. فواصل باید براساس شعاع عمل لرزاننده و همپوشانی سطح عمل تعیین شود. اما بطور معمول این فاصله حدود ۴۵۰ تا حداکثر ۷۵۰ میلیمتر است.

- باید به این نکته توجه داشت که بتن با نسبت زیاد آب به سیمان و با تراکم خوب در مقایسه با بتن با نسبت کم آب به سیمان، و با تراکم ناکافی بسیار بهتر عمل می کند، لذا پس از حمل و ریختن بتن باید در تراکم مناسب بتن کاملاً دقت داشت.

- در سطوح بزرگ، مانند دالها استفاده از لرزاننده‌های سطحی که بر روی سطوح بتن حرکت می‌کنند و یا استفاده از شمشمه مجهز به لرزاننده که همزمان عمل تراکم و تراز کردن را انجام می دهد، بسیار مناسب‌اند.

- لرزاندن بتن در اطراف قالب درناحیه پوشش بسیار با اهمیت است. در این حالت بهتر است از لرزاننده‌های خرطومی با حداکثر قطر ۲۵ میلیمتراستفاده شود، گرچه باید دقت نمود تا لرزاننده با بدنه قالب تماس پیدا نکند .

- لرزاندن مجدد حداکثر بعد از ۲ ساعت از بتن‌ریزی، در صورتی که لایه‌های بتن‌ریزی دارای عمق زیادی باشند، برای جلوگیری و از بین بردن ترکهای پلاستیک، و در صورتیکه بتن هنوز گیرش پیدا نکرده، مجاز است. این روش تنها قبل از گیرش اولیه بتن مجاز است و با توجه به سرعت گیرش بالا در هوای گرم باید به آن توجه کرد. این روش بخصوص در بتن‌هایی که دارای مقادیری روباره یا پوزولان هستند و زمان گیرش اولیه بیشتری دارند قابل استفاده است. همچنین ضربه‌زدن توسط ماله به سطح بتن نیز روش مناسبی است.

www.Civilearn.com

۴-۵- پرداخت سطح بتن

۴-۵-۱- ملاحظات کلی

پس از اتمام بتن‌ریزی و تراکم بتن ، عملیات پرداخت سطح بتن آغاز می‌گردد. پرداخت سطح بتن معمولاً شامل مراحل زیر است :

الف) شمشه یا تراز کردن ب) ماله کشی با ماله دسته بلند و کوتاه ج) تعبیه درزها د) ماله کشی مجدد ه) پرداخت نهایی .

شمشه‌کاری به منظور حذف بتن اضافی و تراز کردن سطح بتن به ارتفاع مورد نظر انجام می‌گیرد. عمل ماله‌کشی باید بلافاصله پس از شمشه‌کردن صورت گیرد و قبل از آنکه آب‌انداختگی در سطح بتن مشاهده گردد باید به اتمام برسد. برای بتن های معمولی استفاده از ماله‌های چوبی مناسبتر است، زیرا چوب ملات سیمان را بر روی سطح حرکت داده و در نتیجه آب‌انداختگی شدت نمی‌یابد.

گاهی اوقات عملیات پرداخت پس از ماله‌کشی به اتمام می‌رسد. ولی در بعضی موارد، عملیات تعبیه درزها و ماله‌کشی مجدد نیز صورت می‌گیرد. در صورت وقفه در عملیات پرداخت ، ممکن است در سطح بتن آب‌انداختگی به وجود آید. در این هنگام زمان مناسب برای ادامه عملیات پرداخت پس از تبخیر آب حاصل از آب‌آوری است. براساس ACI هنگامی که فشار پا بر روی بتن فقط ۵ میلیمتر اثر می‌گذارد، زمان مناسب برای ادامه عملیات پرداخت است.

بهرحال پرداخت سطح بتن نباید در زمان آب‌انداختن انجام شود، زیرا سبب ضعیف شدن لایه سطحی بتن شده و مقاومت سایشی و دوام بتن کاهش می‌یابد. بنابراین عملیات پرداخت سطح بتن، در هنگام مشاهده آب‌انداختگی باید متوقف گردد و ترجیحاً پس از اتمام آب‌انداختگی و از بین رفتن لایه آب تشکیل شده بر سطح بتن آغاز شود.

۴-۵-۲- دستورالعمل‌ها

- **عملیات شمشه‌گیری سطح بتن باید قبل از شروع آب انداختن بتن و عملیات ماله‌کشی پس از اتمام آب‌انداختن انجام شود. لازم است از پرداخت سطح بتن در هنگام آب انداختن بتن اجتناب گردد.**

- **توصیه می‌شود برای افزایش مقاومت سایشی سطح بتن، عملیات پرداخت با ماله فولادی مناسب انجام گردد.**

- **نباید برای حذف آب ناشی از آب انداختن، پودر سیمان بر روی سطح ریخته شود. بلکه می‌توان با استفاده از گونی چتایی و گذاشتن آن بر روی سطح بتن نسبت به حذف آب از سطح بتن اقدام نمود. همچنین می توان با استفاده از اسفنج و یا پمپ با فیلتر مخصوص، آب سطح بتن را حذف کرد.**

www.Civilearn.com

- **چنانچه پس از عملیات پرداخت در سطح بتن، ترکهای ناشی از جمع شدگی پلاستیک مشاهده شود، می‌توان با ویبره کردن مجدد نسبت به حذف ترک‌ها اقدام نمود. اما عملیات ویبره مجدد نباید بیشتر از ۲ ساعت پس از ریختن بتن باشد.**

- **برای جلوگیری از ترک‌خوردگی ناشی از جمع‌شدگی خمیری، می‌توان روشهای مرطوب کردن سنگدانه‌ها، استفاده از آب سرد شده در ساخت بتن و مهمتر از آن محافظت از سطح بتن در برابر وزش باد و نیز تراکم مجدد بتن قبل از گیرش نهایی را بکار برد.**

- **در صورت استفاده از دوده‌سیلیسی در طرح اختلاط به علت جذب آب بالایی که دارد، آب انداختگی در آن کمتر است و احتمالاً سرعت تبخیر از سرعت آب انداختن بالاتر خواهد بود، لذا جمع شدگی بیشتر و با سرعت بیشتری رخ می‌دهد. در این حالت، محافظت از سطح بتن برای جلوگیری از تبخیر بلافاصله بعد از جایگذاری بتن باید آغاز شود. در مورد انواع دیگر سیمان‌ها، محافظت از سطح بتن حداکثر تا ۳۰ دقیقه بعد از بتن‌ریزی باید آغاز گردد.**

۴-۶- عمل آوری

۴-۶-۱- ملاحظات کلی

پس از ریختن بتن، آب مخلوط بر اثر تبخیر از سطح کاهش می‌یابد. وقتی رطوبت نسبی در بتن کمتر از ۸۰ درصد گردد، هیدراتاسیون سیمان بسیار کند و تقریباً متوقف می‌شود و کسب مقاومت ادامه نمی‌یابد. لذا عمل‌آوری بتن به منظور رسیدن به ویژگیهای مورد نظر بتن سخت شده بسیار مؤثر است و این امر در مواردی که نسبت آب به سیمان کم است و یا شرایط اقلیمی بسیار گرم است و روند کسب مقاومت بسیار سریع است و یا هنگامی که در طرح اختلاط از انواع مواد مکمل سیمان (روباره یا پوزولانها) استفاده می‌شود اهمیت بیشتری می‌یابد.

برای حصول اطمینان از شرایط لازم برای حداکثر فرآیند هیدراتاسیون، حفظ یا افزایش رطوبت موجود در بتن بسیار ضروری است. لذا محافظت و عمل‌آوری بتن باید بلافاصله بعد از تراکم و پرداخت شروع شود.

روشهای معمول که برای عمل‌آوری بتن مورد استفاده قرار می‌گیرند به دو گروه تقسیم می شوند :

۱- عمل آوری با آب

در این روش، رطوبت همواره به بتن اعمال شده و از افت رطوبت نیز جلوگیری می‌شود. برای اعمال آب به سطح بتن، از ایجاد حوضچه یا افشاندن و یا از پوششهای اشباع از آب استفاده می‌شود. ایجاد حوضچه عبارت است از ریختن آب بر روی سطح افقی به نحوی که تا مدت مورد نظر، یک لایه از آب روی سطح باقی بماند. در مواردی که آب مناسب به اندازه کافی در

www.Civilearn.com

دسترس است می توان از روش افشاندن آب روی سطوح افقی و قائم استفاده کرد. پوششهای جاذب و نگهدارنده رطوبت، معمولترین روش عمل آوری با آب است. در عمل‌آوری مرطوب در صورتی که به خوبی اعمال شود، رطوبت نسبی بتن همواره در حدود ۱۰۰ درصد باقی می‌ماند و هیدراتاسیون به خوبی صورت می‌گیرد. در این روش آب مورد مصرف در عمل‌آوری نباید بیش از ۱۱ درجه‌سانتیگراد با دمای سطح بتن اختلاف داشته باشد.

۲- عمل‌آوری توسط عایق

در این روش، از افت رطوبت بتن جلوگیری می‌شود. معمولاً از ورقهای پلاستیک و یا مواد شیمیایی غشایی می‌توان برای جلوگیری از کاهش رطوبت بتن استفاده کرد. مواد شیمیایی غشایی به صورت محلول یا امولسیون از رزینها ساخته و روی سطح اعمال می‌شوند که پس از تبخیر حلال یک لایه تقریباً غیرقابل نفوذ روی سطح باقی می‌ماند و بتن را در برابر افت رطوبت عایق می کند. در عمل‌آوری با عایق، سیمان آب لازم را برای هیدراتاسیون توسط کشش سطحی از منافذ مویینه تأمین می‌کند و رطوبت نسبی بتن کاهش می‌یابد و پس از مدتی سرعت هیدراتاسیون بسیار کاهش می‌یابد و در صورتی که درجه اشباع داخل بتن کمتر از ۸۰ درصد شود هیدراتاسیون کند می‌شود و جمع‌شدگی افزایش می‌یابد.

تحقیقات نشان داده است که در منطقه جنوب کشور، عمل آوری مرطوب بسیار مؤثرتر از عمل‌آوری توسط عایق است. این موضوع بخصوص در مواردی که از دوده‌سیلیسی استفاده شود، تأثیر بیشتری دارد. همچنین عمل‌آوری توسط عایق باعث اختلال تبادل حرارتی می‌شود و دمای بتن بالا رفته و محصولات هیدراتاسیون به صورت غیر یکنواخت شکل می‌گیرد و باعث ایجاد نواحی ضعیف در بتن می‌شود، اما در عمل‌آوری مرطوب امکان تبادل حرارتی وجود دارد.

۴-۶-۲- دستورالعمل‌ها

- **کلیات عمل‌آوری بتن باید مطابق موارد ذکر شده در فصل هفتم آبا باشد.**
- **روش عمل‌آوری مرطوب با توجه به مزایای آن در منطقه توصیه می‌شود.**
- **لازم است بلافاصله بعد از پرداخت بتن برای جلوگیری از ایجاد ترکهای پلاستیک نگهداری و عمل‌آوری بتن آغاز شود.**
- **متداولترین و ارزانترین شیوه عمل‌آوری مرطوب، پوشاندن بتن با گونی و برزنت است که همواره توسط آب‌پاشی در فواصل زمانی مناسب باید سطح آن مرطوب نگه داشته شود. عمل‌آوری به مدت حداقل ۷ روز باید ادامه یابد.**

www.Civilearn.com

- گونی‌ها اعم از اینکه نو یا مستعمل باشند، باید قبل از مصرف توسط آب بخوبی شسته شود.

- به هیچ وجه نباید اجازه خشک شدن گونی داده شود، بلکه گونی همواره باید خیس نگه داشته شود. با استفاده از نایلون یا ورق پلاستیک بر روی گونی می‌توان از تبخیر سریع آب گونی جلوگیری کرد. فقط باید دقت نمود که هوا در حد فاصل پوشش نایلونی و گونی‌ها در جریان نباشد.

- توصیه می شود از چند لایه گونی بر روی هم به منظور عمل‌آوری استفاده شود تا دیرتر خشک شوند.

- باید دقت شود که درز بین گونی‌ها، کاملاً همپوشانی داشته باشند و درز بین گونی‌ها باز و در معرض هوا نماند.

- در زمانهایی که وزش باد شدید است ، لازم است تا گونیها در طول مدت عمل‌آوری به طور مرتب خیس شوند (چندین بار در طول روز و دوبار در هنگام شب). همچنین با گذاشتن جسم سنگین در منطقه همپوشانی باید دقت کرد تا گونی‌ها از جای خود بلند نشوند.

- آب مصرفی عمل‌آوری باید تمیز و عاری از آلودگی های شیمیایی باشد و بهتر است از آب آشامیدنی برای این منظور استفاده شود.

- آب مصرفی عمل‌آوری باید دارای درجه حرارت محیط باشد و از ریختن آب سرد روی بتن به علت ایجاد شوک حرارتی خودداری شود. اختلاف درجه حرارت آب و بتن نباید بیش از ۱۱ درجه سانتیگراد باشد.

- در محیط‌هایی که احتمال نفوذ یون کلرید و سولفات وجود دارد ، عمل‌آوری باید به مدت ۱۴ روز ادامه یابد. این مورد در هنگام استفاده از انواع سیمان های پوزولانی اکیداً توصیه می‌شود.

- در محیط‌هایی که احتمال نفوذ یون کلرید و سولفات وجود دارد و امکان عمل‌آوری به مدت ۱۴ روز میسر نیست، پس از حداقل ۷ روز عمل‌آوری با آب می‌توان از مواد امولسیونی بر روی سطح بتن استفاده کرد.

- در صورت دستیابی به ۷۰ درصد مقاومت مشخصه ۲۸ روزه می‌توان عمل‌آوری را خاتمه داد. برای این منظور لازم است از نمونه‌های آگاهی که در شرایط عمل‌آوری واقعی قطعه نگهداری می‌شود، استفاده نمود.

www.Civilearn.com

- در صورتی که میلگردهای انتظار از سطح بتن بیرون آمده باشد، باید سطح بتن محصور شده بین میلگردها را نیز به هر طریق مرطوب نگه داشت. استفاده از گونی‌های مرطوب و جا دادن آنها بین میلگردها روی سطح بتن در این حالت توصیه می‌شود.

- زمان مناسب برای پوشاندن قطعات برای سطوح عمودی، پس از قالب برداری و برای سطوح افقی، مانند دالها و تیرها، بلافاصله پس از اینکه بتن به اندازه کافی سخت شد، می‌باشد. البته در مورد ستونها و قطعات عمودی باید تا وقتی که قالبها برداشته نشده، قسمت باز آن مانند سر ستون با پوشش مرطوب پوشانده شود.

- با توجه به اینکه عملکرد مناسب انواع سیمان های آمیخته استاندارد در شرایط مهاجم، در اکثر تحقیقاتی که صورت گرفته تایید شده است، در صورت تصمیم بر استفاده از این مواد در طرح و برای شرایط محیطی متفاوت از لحاظ نفوذ املاح شیمیایی توصیه می شود که عمل‌آوری حداقل به مدت ۱۴ روز ادامه یابد.

- در مورد عمل‌آوری در دمای زیاد (با بخار) برای قطعات پیش‌ساخته ، توصیه می‌شود دمای بتن از ۶۰ درجه‌سانتیگراد بیشتر نشود و درصورتیکه SO_3 موجود در سیمان بیش از ۲ درصد باشد، بهتر است دمای بتن را به ۵۰ درجه‌سانتیگراد محدود نمود. در مورد سیمان های حاوی پوزولان یا سرباره زیاد ممکن است بتوان دمای عمل‌آوری را افزایش داد.

- توصیه می‌شود آهنگ افزایش دمای بتن هنگام گرم کردن از ۲۰ درجه‌سانتیگراد در هر ساعت بیشتر نشود و در هنگام خنک‌کردن آهنگ کاهش دما برای قطعات نازک کمتر از ۲۰ درجه‌سانتیگراد بر ساعت و برای قطعات حجیم کمتر از ۱۰ درجه‌سانتیگراد بر ساعت باشد. همچنین برای قطعات حجیم اختلاف دمای سطح و مغز بتن از ۲۰ درجه‌سانتیگراد تجاوز نکند.

۴-۷- علل و مرمت عیوب ایجاد شده در هنگام اجرا و ساخت

در این قسمت، بر روی نقایص و خرابیهایی که در مراحل ساخت و یا بعد از آن در یک سازه به علت عدم دقت در مراحل کار و عدم پیش‌بینی‌های لازم بروز می‌کند به طور خلاصه اشاره می شود.

اشکالاتی مانند درزهای سرد و ترکهای ناشی از جمع‌شدگی پلاستیک در این منطقه به علت دمای زیاد هوا و بر اثر وزش باد معمولترند. همچنین پوشش کم روی میلگرد و نیز عدم تراکم مطلوب بتن می‌تواند سبب نفوذ سریعتر رطوبت، اکسیژن و نمکها به داخل بتن شده و خوردگی میلگردها را در کوتاه مدت فراهم نماید.

www.Civilearn.com

۴-۷-۱- انواع ترک‌های غیر سازه‌ای

ترکها و الگوی آنها می‌تواند مشخصات متفاوت آنها را بسته به مکانیزم شکل‌گیری ارائه دهد. انواع مختلف ترکها در زمانهای مختلفی از عمر بتن ظاهر می‌شوند و شکل و الگوی این ترکها و به خصوص زمان اولین پیدایش در تشخیص علت بروز آنها بسیار اهمیت دارد. اطلاعات نسبتاً جامعی در ACI224.1R در زمینه حالتهای عمومی ترکها و راهکارهایی برای جلوگیری از آنها ارائه شده است. این اطلاعات در جدول (۱-۴) فهرست بندی شده اند. سریعترین ترکها از لحاظ زمان پیدایش عبارت از ترکهای ناشی از جمع‌شدگی پلاستیک و نیز ترکهای ناشی از نشست خمیری بتن است که معمولاً بعد از چند ساعت از زمان ریختن و جا دادن بتن، ظاهر می‌شوند.

جدول ۴-۱- انواع ترک خوردگیهای غیر سازه‌ای بتن و زمان بروز آنها

زمان پیدایش	نوع ترک
- ساعات اولیه	- حرکت و تکان‌خوردن میلگردها
- بین ۱۰ دقیقه تا ۳ ساعت بعد از ریختن	- ترک خوردگی ناشی از نشست خمیری بتن
- بین ۳۰ دقیقه تا ۶ ساعت بعد از جای دادن بتن	- ترک خوردگی ناشی از جمع شدگی پلاستیک
- ۱ روز تا ۲ یا ۳ هفته بعد از بتن ریزی	- ترکهای ناشی از انقباض حرارتی در کوتاه مدت
- بین چند هفته تا چند ماه بعد از بتن ریزی	- ترکهای ناشی از جمع شدگی در اثر خشک شدن در دراز مدت

- **ترکهای ناشی از جمع‌شدگی پلاستیک**

در هنگام ریختن بتن، به علت اینکه هنوز خاصیت خمیری دارد، آب در آن به راحتی حرکت می‌کند. لذا مواد سنگین تمایل به ته‌نشینی دارند و لذا آب بیشتری نسبت به حالت یکنواخت بر روی مخلوط باقی می‌ماند. در دمای هوای بالا و بخصوص هنگام وزش باد، تبخیر شدیدی از سطح بتن صورت می‌گیرد. بر اثر این تبخیر لایه سطحی خشک شده و حجم آن کمتر می‌شود. این تغییر حجم در لایه سطحی باعث ایجاد تنش‌های کششی و گسترش آن در لایه سطحی شده و در حالتی که بتن هنوز حالت خمیری و مقاومت خیلی کمی دارد، باعث ترک‌خوردگی می‌گردد. درصورتی که سرعت تبخیر بیش از ۱ کیلوگرم بر مترمربع در ساعت باشد، احتمال ترک‌خوردگی کاملاً وجود دارد.

این نوع ترکها بین ۱ تا ۲ میلیمتر عرض و ۳۰۰ تا ۵۰۰ میلیمتر طول و ۲ تا ۵۰ میلیمتر عمق دارند. معمولاً الگوی شکل گیری آنها تصادفی است ولی گاهی ممکن است جهت آنها در جهتی که بتن پرداخت شده است، تغییر کند.

تشکیل این نوع ترکها در بتن، درحالی که هنوز خاصیت خمیری دارد، از میان خمیر خواهد بود. این نوع ترکها هم در سازه‌های بتنی مسلح و هم در سازه‌های بتنی غیر مسلح ایجاد می‌گردد.

www.Civilearn.com

♦ **ترکهای ناشی از نشست خمیری بتن**

نوع دیگری از ترک خوردگی وجود دارد که ناشی از حرکت ذرات سنگدانه به سمت پایین و بالا آمدن ذرات سیمان به بالا و جایگزین شدن آن با سنگدانه‌ها در سطح است. حرکت رو به بالای آب می‌تواند باعث ترک‌خوردگی ناشی از نشست خمیری بتن شود. ته نشینی و حرکت مواد با وزن مخصوص بیشتر به سمت پایین با قید شبکه میلگردها و یا قالبها ممانعت می‌گردد. بتن خمیری می‌تواند با تشکیل قوسهایی روی هر میلگرد سطح را با کشش همراه کند. ترکهایی می‌تواند در ارتباط با فضاهای خالی و حفره‌های زیر میلگرد نیز تشکیل شود. هنگامی که میلگردها با فاصله کمی نسبت بهم قرار می‌گیرند، کل بتن روی آنها به صورت قوس درآمده و بتن زیر نشست می‌کند. این حالت می‌تواند سبب ایجاد جدایی و گسستگی زیر میلگردها گردد.

الگوی این ترک‌خوردگی معمولاً بستگی به مانعی که در برابر حرکت رو به پایین و ته نشست مواد ایجاد می‌شود، دارد. معمولترین قید و مانع توسط لایه‌های فوقانی شبکه میلگردها در دالها ایجاد می‌شود. ترکهای ایجاد شده و گسترش یافته در سطوح فوقانی ظاهر شده و معمولاً در امتداد میلگردها ادامه می‌یابند و گاه تشکیل خطوط موازی با هم در راستای میلگردها می‌دهند. البته گاهی ترکهای کوچکی نیز در جهت مخالف بوجود می‌آید. ترکهای ناشی از نشست خمیری معمولاً از سطح بتن تا میلگردها ادامه دارند و معمولاً حدود ۱ میلیمتر عرض دارند و گاهی می‌توانند عریض‌تر هم باشند.

برای جلوگیری از این ترک‌خوردگی، استفاده از دوده‌سیلیسی برای چسبندگی بیشتر مخلوط و نیز طرح مناسب دانه‌بندی، اختلاط و تراکم مجدد بتن، بعد از جایگذاری آن و قبل از گیرش نهایی بتن متداول است.

♦ **ترک خوردگی ناشی از انقباض حرارتی**

عمل هیدراتاسیون بین آب و سیمان یک واکنش گرمازا می‌باشد، بدین معنی که تولید حرارت می‌کند. میزان حرارت تولید شده خصوصاً بستگی به نوع سیمان دارد. همچنین میزان حرارت بستگی به شرایط محیطی و نیز شکل هندسی اعضا و ابعاد آن، حتی نوع قالبها دارد. دمای بالای محیط، سرعت واکنش را افزایش می‌دهد. دالها که دارای سطح تماس زیادی با محیط هستند تبادل گرمایی بیشتری نسبت به عضوهای کوچکتر دارند. اجزایی که دارای ابعاد بزرگتری هستند گرمای بیشتری نسبت به مقاطع کوچکتر در آنها حبس می‌گردد، در حالی که مقاطع کوچکتر برای از دست دادن گرما آمادگی بیشتری دارند.

همچنین قالبهای چوبی در هنگام تبادل گرمایی با محیط، خاصیت عایق‌بندی حرارتی بیشتری نسبت به قالبهای فولادی دارند، لذا میزان بیشینه دما در قالبهای چوبی بالاتر می‌باشد.

به هر حال، وقتی که بتن بر اثر هیدراتاسیون گرم می‌شود، شروع به انبساط می‌کند. اگر هرگونه مقاومتی در برابر این انبساط صورت گیرد (برای مثال، از طرف قسمتهای ریخته شده قبلی) تنش‌های فشاری تولید می‌شود. بعد از رسیدن به دمای بیشینه، بتن شروع به سرد شدن می‌کند و حجمش کاهش می‌یابد. مقاومت در برابر این جمع‌شدگی باعث ایجاد تنش‌های کششی می‌شود. در این مرحله که معمولاً چند روز بعد از ریختن بتن آغاز می‌شود، بتن مقاومت کمی داشته و هنوز آمادگی تحمل این تنشهای کششی را ندارد و لذا احتمال ترک‌خوردن در اثر جمع‌شدگی وجود دارد.

www.Civilearn.com

از انواع ترکهای حرارتی میتوان به ترکهایی اشاره کرد که در دیوارها و روی پی‌های نواری که از زمان ریختن آنها چند روز می‌گذرد، به وجود می‌آید. در این حالت، ترکهای عمودی از پایه دیوارها در وسط دیوار شروع می‌شود و از مقطع آن می‌گذرند و در کناره دیوار دارای یک زاویه ۴۵ درجه می‌شوند. عرض شکاف و عمق آن بستگی به میزان میلگردها دارد و معمولاً در روشهای طراحی کنترل حداقل میلگرد به منظور کنترل این ترکها صورت می‌گیرد.

- **ترکهای ناشی از جمع‌شدگی بر اثر خشک شدن در دراز مدت**

معمولاً مقدار آب موجود در مخلوط بتن، بیشتر از آنچه که برای عمل هیدراتاسیون لازم است، می‌باشد. اگر بتن در شرایطی قرار گیرد که رطوبت نسبی محیط کم باشد، رطوبت بتن از طریق سطح کاهش می‌یابد.

از دست رفتن رطوبت موجب کاهش حجم شده که به انقباض ناشی از خشک شدن تعبیر می‌گردد. اگر عمل انقباض و جمع شدن با قید خارجی یا داخلی روبرو شود، تنشهای کششی ایجاد شده، باعث ترک خوردن بتن خواهد شد. اجزای نازک و دارای سطوح بزرگ، مانند دال‌ها مستعد این نوع ترک‌خوردگی هستند. زمان پیدایش این ترک‌خوردگی بستگی به میزان خشک‌شدن که آن را هم شرایط محیط تعیین می‌کند، دارد. ولی معمولاً چندین ماه پس از ریختن بتن به وقوع می‌پیوندد و این ترک خوردگی در سطح بتن ظاهر می‌شود، زیرا خشک شدن از لایه سطحی صورت می‌گیرد.

خشک شدن لایه سطحی و کاهش حجم آن و مقاومت در برابر تغییر حجم توسط لایه‌های زیرین باعث ترک خوردن در لایه سطحی در دالها با سطوح بزرگ می‌شود. معمولاً در گوشه دالها اولین ترک ها ظاهر می‌شود، زیرا از ۳ طرف خشک شدن صورت می‌گیرد. الگوی مشخصی از ترکهای ناشی از جمع‌شدگی بر اثر خشک شدن وجود ندارد. عرض این ترکها نیز بستگی به میزان خشک شدن بتن، هندسه عضو و نیز فاصله بین قیدهای خارجی دارد. برای مثال، در دالهایی که بر روی زمین قرار می‌گیرند و یک بعد آن از بعد دیگر بزرگتر است، ترکها در قسمت میانی و به موازات بعد کوچکتر شکل می‌گیرند و ترکهایی نیز به طور مورب در گوشه‌ها ایجاد می‌شود. همچنین در دالهای یک طرفه یا دو طرفه نیز این وضعیت ایجاد می‌شود. ترکهایی در گوشه قسمت‌های خالی دال که مثلاً برای پله‌ها در نظر گرفته شده نیز به وجود می‌آیند.

۴-۷-۲- معایب در سطوح بر اثر اجرا

به طور کلی، سطوح بتنی نمایان می‌تواند ترک‌خوردگی‌ها و عیب‌های ناشی از مشکلات اجرایی را نشان دهند. گاهی ممکن است بعضی از این مشکلات بسیار به نظر رسد، اما در روند کلی و مسائل مربوط به دوام اثر چندانی نداشته باشند. گاهی نیز این ترک ها و عیبها در عین اینکه محدود هستند و به سختی به چشم می‌آیند قابلیت زیادی برای تخریب سازه در برابر مسائل مربوط به دوام دارا هستند.

در جدول (۲-۴) تعدادی از این عیوب و علل احتمالی آنها ذکر شده است.

جدول ۴-۲- عیوب ظاهری بتن و دلایل آن

www.Civilearn.com

از طرف دیگر، یک سری مشکلات ساختاری نیز وجود دارد که با بررسی های سطحی مشهود نخواهند بود. به طور مثال میتوان اندازه کم پوشش بتنی روی میلگرد یا عمل آوری ضعیف را نام برد. هرچند در صورت پوشش کم بتن و محیط مساعد خوردگی ، پس از مدتی در سطح بتن تغییرات رنگ ناشی از زنگ زدگی میلگردها مشاهده خواهد شد.

۴-۷-۳-راهکارهایی برای ترمیم عیوب به وجود آمده

نخستین قدم به منظور برطرف کردن نقص‌ها و عیب‌های به وجود آمده در سازه، سنجیدن علت و وسعت آن عیوب است. همچنین تأثیرات این عیوب بخصوص در دوام و بهره‌برداری سازه باید در مد نظر قرار گیرد. به طور خلاصه نکات مقدماتی در مواجهه با عیوب ایجاد شده در ساخت سازه‌های بتنی را می‌توان به ۴ گروه تقسیم نمود:

۱- بررسی و تحقیق در مورد مشکلات ایجاد شده

۲- مشخص نمودن اهمیت مشکل و عدم تطابق لازم با مشخصات فنی

۳- تصمیم در مورد عملیات ترمیمی مناسب

۴- جلوگیری از تکرار مشکل

باید توجه داشت که همه انواع بتن پتانسیل ترک‌خوردگی را دارا می‌باشند. این تصور که بتن مسلح دچار ترک‌خوردگی نمی‌شود، ناشی از برداشت اشتباه از این ماده می‌باشد. امروزه در روشهای طراحی بر اساس دوام نیز امکان این ترک‌خوردگی در نظر گرفته می‌شود.

ترک‌خوردگی ناشی از جمع‌شدگی پلاستیک در سازه‌های اجرا شده در منطقه بعلت شرایط خاص آب و هوایی بسیار شایع است. بعضی از ترکها احتیاج به ترمیم در زمانهای اولیه دارند زیرا تا سطح میلگردها ادامه پیدا می‌کنند. به طور مثال، ترکهای ناشی از نشست خمیری از این نوع هستند. موضوع دیگری که باید در مد نظر قرار گیرد، تمایل این ترکها به گسترش یافتن است.

امروزه انواع مواد ترمیم کننده در بازار وجود دارد که در شرایط مختلف و به منظورهای مختلف می‌توان آنها را به کار برد. قبل از مصرف این مواد باید از کارکرد آنها در شرایط محیطی مورد نظر اطمینان حاصل کرد.

بسته به نوع ترکها ممکن است این مواد بر روی سطح پاشیده شود و یا لازم است درون ترکها تزریق شود. به طور معمول ترکهای با عمق بیش از ۲۰ میلیمتر لازم است توسط تزریق پر شوند. در صورتی که ترکها تمایل به گسترش دارند، باید در قسمتهای انتهایی آنها بتن را جدا کرد و سپس توسط یک پرکننده مناسب ترمیم نمود.

در بعضی از این ترکها، مثلاً در ترکهای ناشی از نشست خمیری که با افزایش آب در سطح بتن همراه است، این ناحیه از بتن ضعیف خواهد بود که در این شرایط باید بتن ارزیابی شده و در صورت لزوم بتن روی میلگرد را برداشت سپس قالب‌بندی و بتن‌ریزی مجدد نمود. به هر حال انتخاب روش ترمیم مناسب به نوع ترکها و مشخصات و میزان تأثیر آن در بهره برداری بلند مدت از سازه و مقاومت آن در برابر هجوم عوامل مهاجم خورنده بستگی دارد.

www.Civilearn.com

فصل پنجم:

پوششهای سطحی بتن

www.Civilearn.com

۵-۱ - ملاحظات کلی

با توجه به توسعه و کاربرد روز افزون محافظ های سطحی برای جلوگیری از شروع آسیب دیدگی بر اثر نفوذ مواد زیان‌آور و یا برای متوقف نمودن آسیب دیدگی بیشتر سازه هایی که در معرض مواد مهاجم واقع شده‌اند، در این جا به صورت مستقل به این مواد و انواع آن پرداخته می‌شود. با در نظر داشتن این نکته که استفاده از این مواد، در کشور مدت چندانی نمی گذرد و جدیداً استفاده از آنها متداول شده است، ابتدا مختصری راجع به انواع این مواد و نوع کاربرد آنها اشاره می‌شود و سپس به توصیه هایی مبنی بر کاربرد آنها اشاره می‌شود.

۵-۲- انواع حفاظت های سطحی

تنوع در تقسیم بندی حفاظت های سطحی زیاد است، یک نوع تقسیم بندی بر اساس اندرکنش بین ماده حفاظتی و بتن می باشد که بر این اساس به چهار گروه به شرح زیر تقسیم می‌شوند :

- نفوذ کننده ها [۵]
- درزگیرها و پوششها [۶]
- مسدود کننده های منافذ [۷]
- روکشهای سطح [۸]

۵-۲-۱ - نفوذکننده ها

نفوذکننده ها، همان طور که از نامشان مشخص است، معمولاً به صورت محلول با ویسکوزیته کم تولید می‌شوند. بنابراین قادرند که به داخل بتن نفوذ کنند و دیواره منافذ را پوشش دهند. نفوذکننده‌ها، منافذ بتن را مسدود نمی‌کنند بلکه با تغییر جهت کشش سطحی مانع از نفوذ رطوبت و مواد مضر به داخل بتن می‌گردند و بنابراین بخار آب و گازهای مضر می توانند از بتن به خارج راه یابند و در نتیجه عمل تنفس انجام گردد. مهمترین ترکیبات در این گروه سیلن‌ها و سیلوکسان‌ها می‌باشند.

۵-۲-۲ - درزگیرها و پوششها

درزگیرها و پوششها، لایه‌ای محافظ بر سطح بتن ایجاد و از نفوذ مواد مضر مانند CO_2 جلوگیری می کنند. معمولاً مواد درزگیر به داخل منافذ بتن تا عمق کم نفوذ می‌کنند. درزگیرها و پوششها در دو یا چند لایه اعمال می‌شوند و ضخامت آنها بین ۱۰۰ تا ۳۰۰ میکرومتر است. عملکرد پوششها به اجزای تشکیل دهنده آنها بستگی دارد. مهمترین جزء این مواد، چسب[۹] است. چسب‌ها مواد پلیمری می‌باشند و در واقع انواع پوششها و درزگیرها بر اساس نوع چسب تقسیم بندی می‌شوند.

چسب‌هایی که برای بتن مورد استفاده قرار می‌گیرند، شامل اپکسی‌ها، پلی استرها، اکریلیک‌ها، پلی‌یوریتان‌ها، بوتادین‌ها، قیرها و روغن بزرک است. اپکسی‌ها به صورت محلول در حلال‌های آلی یا آبی به کار می روند. مقاومت آنها در مقابل نفوذ عناصر

---

[5] penetrants
[6] - sealers and coating
[7] pore blockers
[8] renderings
[9] Binder

www.Civilearn.com

مخرب مناسب ودارای مقاومت سایشی خوبی هستند و چسبندگی آنها به سطح بتن در حد مطلوب می باشد. برای تطابق دادن ضریب انبساط حرارتی اپکسی با بتن معمولاً از پرکننده‌ها، مانند الیاف استفاده می‌شود. مقاومت اپکسی‌ها در مقابل نور ماورای بنفش کم است.

مواد آکریلیکی بر پایه آکریلیک یا اسید متاآکریلیک است. این مواد، معمولاً به صورت لاتکس (ذرات ریز پراکنده مونومرها در محلول آبی) استفاده می شوند. وقتی که آکریلیک ها با رنگدانه به کار می‌روند، مقاومت بتن را در مقابل نفوذ دی اکسید کربن تا حد قابل ملاحظه ای افزایش می‌دهند.

یوریتان‌ها معمولاً به صورت سیستم دو جزئی (رزین و ماده عمل‌آوری) عرضه می‌گردد. مقاومت در برابر سایش و مقاومت در مقابل اسیدها در این مواد بیشتر از اپکسی است، اما مقاومت یوریتان ها در محیط قلیایی کمتر از اپکسی است. بنابراین لازم است که ابتدا با یک پوشش مقاوم در برابر قلیایی سطح بتن اندود گردد و سپس ماده یوریتان اعمال شود. برخی از انواع یوریتان‌ها دارای مقاومت چسبندگی کمی به بتن هستند و مقاومت آنها در مقابل نور ماورای بنفش کم است.

مواد قیری شامل قیرهای خالص و قطران زغال سنگ [0]است . قیرها در محیط هایی که از نظر تهاجم متوسط محسوب می شوند، مقاومت مناسبی دارند، اما حل شدن آنها در حلال‌ها به سختی انجام می‌گیرد. پوششهای قیری معمولاً در پی‌ها و زیر زمینها مورد استفاده قرار می گیرند. پوشش قطران زغال سنگ در مقابل نفوذ آب بهتر از پوشش های قیری عمل می کند و در شرایط رطوبت مداوم مناسب است. وقتی که این مواد در معرض دمای زیاد و نور ماورای بنفش قرار می گیرند ترک خورده و جدا می شوند. قطران زغال سنگ معمولاً برای حفاظت خطوط لوله زیر زمین استفاده می‌شود. سیستم اپکسی-قطران بسیار با دوام است. مهمترین عیب سیستم های قیری ظاهر نامطلوب آنهاست.

۵-۲-۳- مسدود کننده های منافذ

مسدود کننده ها موادی را شامل می شوند که به داخل منافذ بتن نفوذ کرده و با اجزای بتن واکنش نشان می‌دهند. معمولترین نوع این گروه، مواد محلول سیلیکات و محلول سیلیکوفلوریت است. این مواد، جزیی از سیستم‌های تعمیر و حفاظتی است که به صورت دوغاب [1]استفاده می شود.

۵-۲-۴ - روکش های سطح

روکش های سطح، اندود ضخیم سیمانی می باشند که معمولاً به وسیله ماله بر سطح بتن اعمال می شوند. به طور کلی این مواد شامل ملات سیمانی اصلاح شده با لاتکس های پلیمری است. در نتیجه یک لایه ضخیم محافظ بر سطح بتن ایجاد می شود و همچنین چسبندگی مواد به سطح بتن بهبود می یابد. به عبارت دیگر، ترکیب ملات سیمانی با پلیمر سبب بهبود چسبندگی می گردد.

۵-۳- انتخاب پوشش

[0] Coal-tars
[1] slurry

www.Civilearn.com

انتخاب پوشش سطحی بسیار مهم است و تابع نیازهای سازه و شرایط محیطی است. خواص انواع مشابه ژنریک پوشش‌ها ممکن است بسیار متفاوت باشد. بنابراین، اطلاعات راجع به جزئیات پوشش بسیار حایز اهمیت است. معیارهای انتخاب پوشش به شرح زیر است :

- مقاومت در مقابل نفوذ آب
- مقاومت در مقابل انتشار دی اکسید کربن
- مقاومت در مقابل نفوذ کلریدها
- مقاومت در مقابل انتشار بخار آب
- مقاومت در مقابل نور ماورای بنفش
- قابلیت پل زدن ترک
- مقاومت شیمیایی
- مقاومت سایشی
- سهولت در اعمال پوشش
- عمر مفید طولانی
- ظاهر مطلوب

برای یک سازه خاص ممکن است نیاز به چندین خاصیت یاد شده باشد که احتمالاً فقط یک پوشش قادر به تأمین آن نباشد.

مهمترین مرحله برای اعمال پوشش ها، آماده کردن سطح بتن است، که شامل پاک کردن سطح از تمام موادی است که بر چسبندگی پوشش ها اثر می گذارد. عوامل متعددی در عملکرد پوشش ها و چسبندگی آنها مؤثر است که بعضی از آن عوامل به شرح زیر است :

۱ – سن بتن پایه
۲ – شرایط رطوبت بتن پایه
۳ – دما و رطوبت
۴ – شرایط سطح بتن پایه
۵ – وجود پوشش بر سطح

سطح بتن، در سنین اولیه بسیار قلیایی است و معمولاً رطوبت آن زیاد است. بنابراین فشار بخار، اختلاف رطوبت و همچنین فشار هیدرواستاتیک می تواند سبب تخریب زودرس پوشش گردد. در نتیجه باید به بتن اجازه داده شود که به سن معینی برسد و سپس پوشش اعمال گردد. معمولاً در دمای $20\ ^\circ C$ ، سن ۲۸ روزه بتن برای اعمال پوشش مناسب است. هر چند این مدت تابع رطوبت نسبی، ضخامت بتن و سرعت باد می باشد.

در مورد درزگیرها و پوششها اگر سطح بتن مرطوب است، چسبندگی پوشش ضعیف خواهد بود، بخصوص اگر پوشش از نوع غیر تنفسی است (اجازه تنفس به بتن نمی دهد). مقدار رطوبت را می توان با استفاده از الکترودهای مخصوص یا ورق پلاستیکی تعیین کرد. در روش ورق پلاستیک، بر روی سطح بتن پلاستیک قرار داده می شود و پس از مدت معین (بر مبنای مدت عمل آوری پوشش)، مقدار رطوبت در زیر ورق پلاستیک قابل مشاهده خواهد بود. زمانی که آب در زیر ورق پلاستیک جمع می گردد، باید از زمان عمل‌آوری پوشش بیشتر باشد. دمای هوا، سطح بتن و ماده حفاظتی باید در هنگام اعمال پوشش در نظر گرفته شود. اکثر پوشش‌ها باید در دمای بین ۱۰ تا $30\ ^\circ C$ اعمال شوند و در هیچ شرایطی نباید رطوبت نسبی بیشتر از ۹۰ درصد باشد.

شرایط سطح بتن نیز بر عملکرد پوشش ها اثر بسزایی می گذارد. منافذ بزرگ در سطح بتن باید با پرکننده مناسب ترمیم گردد و سپس پوشش بر روی سطح اعمال شود. برای پر کردن منافذ می توان از ملات با پایه سیمانی اصلاح شده با پلیمر یا رزین

www.Civilearn.com

Articles

های پلیمری استفاده کرد. بطور کلی تمام حفره ها و ترک های موجود در سطح بتن باید قبل از اعمال مواد حفاظتی تعمیر شوند. سطح بتن باید عاری از گردوخاک، روغن، اسید و مواد زائد دیگر باشد. اگر پارچه‌ای تیره رنگ بر روی سطح بتن کشیده شود، پودر باقیمانده بر روی پارچه، نشان دهنده وجود خاک بر روی سطح بتن است. چنانچه بر روی سطح بتن آب پاشیده شود، در صورت باقی ماندن آب به شکل قطرات، آلودگی سطح بتن به روغن را نشان می دهد. همچنین با استفاده از کاغذ معرف pH ، می‌توان شرایط سطح بتن را از نظر آلودگی به اسید بررسی کرد. pH کمتر از ۴ ، نشان دهنده آلوده بودن سطح به اسید است.

آزمایش مقاومت سطح بتن [۲]بخصوص تا عمق ۶ میلی‌متری برای اعمال پوشش ها مانند اپکسی و پلی استر ضروری است. زیرا این گونه پوشش ها معمولاً به علت کافی نبودن چسبندگی تخریب می شود. گسیختگی در چسبندگی هنگامی رخ می دهد که مقاومت کششی بتن، کمتر از تنش های داخلی مواد پوششی است. مقاومت چسبندگی [۳]سطح بتن باید حدود $1/2\ N/mm^2$ باشد و برای سطوح منابع آب حدود $2\ N/mm^2$ ضروری است.

هنگام استفاده از سیلان و سیلوکسان چون این مواد برای واکنش نیاز به رطوبت دارند بنابراین باید سطح بتن مرطوب باشد. در هنگام اعمال مسدودکننده‌های منافذ و روکش‌ها سطح بتن باید خشک باشد و بتن دوره عمل‌آوری خود را گذرانده باشد و توصیه می‌شود سن بتن در هنگام اعمال این مواد بیش از ۲۸ روز باشد. به طور کلی شرایط رطوبت بتن پایه باید مطابق با توصیه های سازنده مواد باشد.

۴-۵ - دستورالعمل‌های کلی به منظور انتخاب مواد حفاظتی

این احتمال کاملاً وجود دارد که مواد حفاظت سطحی با پایه شیمیایی یکسان دارای عملکرد متفاوت باشند. به علاوه، روش اعمال، حساسیت به رطوبت سطح بتن و محدوده دمای اعمال در عملکرد مواد اثر می گذارند. نوع و ضخامت مورد نیاز عایق، بسته به شدت تهاجم محیط دارد. انتخاب عایق باید بر اساس آزمایش و تجربه گذشته انجام گردد. اگر قرار باشد که آزمایش انجام شود، باید قبل از در معرض قرار دادن نمونه های بتنی، مواد حفاظتی بر روی آنها به طور کامل اعمال گردد، سپس نمونه ها در معرض شرایط واقعی و یا شرایط شبیه سازی شده قرار داده شوند.

- **نماینده سازنده باید، مدارک کاملی مبنی بر آن که سیستم انتخاب شده قادر بوده است بتن را در همان شرایط محیطی و یا شرایط مشابه حفاظت کند، ارائه دهد. انتخاب کارخانه سازنده و مجری اعمال پوشش ها به اندازه مواد حفاظتی اهمیت دارد.**

[1] bond test
[1] Tensile adhesion
[2]
[3]

www.Civilearn.com

- در مورد این پوششها باید به این نکته اشاره شود که بسیاری از آنها در شرایط محیطی با دمای بالا و رطوبت زیاد و قرارگیری در معرض تابش اشعه خورشید و نیز در تماس با کلریدها بلافاصله بعد از اعمال، خواص خود را از دست می دهند و عملکرد مطلوبی نخواهند داشت و عدم کارایی مناسب بسیاری از این پوششها که در منطقه و در مورد سازه های بتنی انجام گرفته به همین علت است. لذا باید به هنگام مصرف و اعمال آنها کلیه نکات لازم در عمل‌آوری آنها را رعایت نمود.

- قبل از انتخاب و اعمال هر گونه مواد حفاظتی باید شرایط فعلی سازه، بتن پایه، تاریخچه ساخت و سرویس‌دهی و شرایط رویارویی سازه در محیط و سازگاری آن با عملکرد ماده بطور دقیق مورد بررسی قرار گیرد.

- قبل از شروع اعمال مواد حفاظتی، باید ابتدا محل آسیب دیدگی ناشی از خوردگی آرماتور، واکنش قلیایی سیلیسی و تهاجم سولفاتی و یا هر گونه خرابی دیگر، بطور کامل تحت تعمیر قرار گیرد یا تمهیدات مقتضی بکار گرفته شود. بطوریکه امکان مجدد آسیب‌دیدگی توسط این عوامل بصورت کامل از بین رفته باشد.

- اکثر انواع پوشش‌ها با رطوبت موجود در بتن پایه (بخصوص در انواع سازه‌های دریایی) سازگاری ندارد. بنابراین باید همواره هنگام انتخاب مواد، از شرایط رطوبت بتن پایه اطلاع دقیق داشت و عملکرد مطلوب ماده حفاظتی را هنگام اعمال در این شرایط در نظر گرفت.

- به منظور آماده سازی سطح مورد نظر برای اعمال پوشش باید به نکات زیر توجه کرد :

۱- در صورت آلوده بودن سطح به روغن و چربی بهتر است از روش شیمیایی و یا بخاردهی استفاده شود. در روش شیمیایی از محلول سودسوزآور یا تری‌سدیم‌فسفات می توان استفاده کرد. این مواد باید همراه با ساییدن با برس و مالش شدید در سطح بکار روند و بلافاصله با پاشیدن آب مناسب و تمیز کرد،ن تمام مواد شوینده و آلودگیها را پاک نمود.

www.Civilearn.com

۲- در صورتیکه یک لایه ضخیم از مواد سست یا مواد زائد در سطح وجود دارد، باید برای برداشتن این لایه از تیغه مکانیکی استفاده نمود و پس از تیغه‌زنی، توسط ماسه‌پاشی یا پاشیدن آب با فشار سطح را کاملاً تمیز نمود.

۳- در صورتیکه سطح بتن آلوده به شیره ضعیف بتن، گردوخاک، شوره‌زدگی سطحی و یا یک لایه ضعیف در سطح است، مؤثرترین روش ماسه‌پاشی است. البته در صورتیکه آلودگی بسیار ناچیز باشد می‌توان از آب‌پاشی با فشار زیاد نیز استفاده کرد. در هر صورت انتخاب هر یک از این روشها تابع موثر بودن آنهاست.

۵-۵ – دستورالعمل‌های خاص به منظور انتخاب مواد حفاظتی مناسب

حفاظت سطحی بتن فقط تابع نوع مواد حفاظتی نیست بلکه کیفیت بتن نیز نقش مهمی دارد. به عبارت دیگر بتن با کیفیت نامطلوب با نسبت زیاد آب به سیمان حتی با یک نوع ماده حفاظتی مناسب، عملکرد در حد انتظار نخواهد داشت. باید به این نکته توجه داشت که یک ماده حفاظتی حتی اگر مناسب باشد، قادر به جلوگیری کامل نفوذ مواد زیان آور نیست بلکه شدت نفوذ را کاهش می‌دهد. همچنین این نکته قابل توجه است که عملکرد مواد در شرایط مختلف محیطی ممکن است به صورت متفاوت باشد.

- **قابلیت تنفسی ماده حفاظتی و اجازه خروج رطوبت از میان ماده حفاظتی باید معلوم باشد و یا توسط تولیدکننده، اسناد معتبر آن ارائه شده باشد تا در هنگام انتخاب مورد توجه قرار گیرد.**

- **معمولاً اپوکسی‌های دو جزئی، عملکرد مناسبی در برابر تابش نور خورشید ندارند. اما بعضی از انواع پلی‌یوریتان‌ها و آکریلیک‌ها و نیز سیلن-سیلوکسان‌ها در برابر اشعه خورشید مقاومت خوبی دارند.**

- **معمولاً موادی که دارای جزء قیری و قطران هستند، در مقابل رطوبت زیاد محیط و نیز تابش خورشید عملکرد مناسبی ندارند. بنابراین باید هنگام کاربرد این مواد به شرایط محیطی توجه شود.**

- **در قسمتهایی از سازه که بالای سطح زمین قرار دارند و در معرض آفتاب و رطوبت نباشند، می‌توان از لاتکس های پلیمری و مواد سیمانی بر پایه آب و نیز آلکیدها استفاده نمود.**

www.Civilearn.com

- در قسمت‌ها و قطعاتی از سازه که در تماس با خاک و نفوذ آب زیرزمینی قرار دارند، پلیمرهای دو جزئی یا تک‌جزئی بسته به عملکرد آنها می‌تواند انتخاب مناسبی باشد. در صورتیکه رطوبت خاک در تماس کم است، می‌توان از لاتکس‌های پلیمری نیز استفاده نمود. البته باید توجه داشت که آب زیرزمینی در صورتیکه دارای آلودگی کلر یا سولفات باشد باید اثرات آن بر عملکرد مواد حفاظتی نیز مورد بررسی قرار گیرد.

- در صورتیکه بتن با مواد زیان‌آور مهاجم مانند کلریدها آلوده شده باشد و مقدار آلودگی کاملاً عمقی و شدید باشد، ممکن است اعمال ماده حفاظتی بر روی بتن حتی باعث تشدید خرابی در سازه گردد. در اینصورت باید قبل از اعمال هر گونه پوشش با کارشناسان و متخصصان امر مشورت کرد.

- در مقابل نفوذ کلرید و خوردگی آرماتور مواد بشرح زیر می‌توانند مؤثر باشند. این مواد بر روی بتن با نسبت کم آب به سیمان حدود (۰/۴) با میکروسیلیس و بدون میکروسیلیس قادر به کاهش نفوذ کلریدها می‌باشند :

  - ماده ترکیبی سیلن + سیلوکسان همراه با اندود نهایی آکریلیک
  - پلی یوریتان
  - اپکسی

- در مقابل تهاجم سولفات‌ها، مواد حفاظتی بشرح زیر با بتن بدون میکروسیلیس با نسبت آب به سیمان، مساوی و یا کمتر از ۰/۴، در حد مطلوب عمل می‌کند. اما در هنگام استفاده از این مواد بر روی بتن حاوی میکروسیلیس باید احتیاط گردد و آزمایش‌های مربوط (آزمایش‌های تهاجم سولفات در شرایط خاص محیطی) انجام گردد.

  - ماده ترکیبی سیلن + سیلوکسان همراه با اندود نهایی آکریلیک
  - پلی یوریتان
  - اپکسی
  - اپکسی – قطران (ماده ترکیبی)

- با توجه به موارد ذکر شده دراین بخش، در هنگام استفاده از یک نوع ماده حفاظت سطحی بر روی یک نوع بتن خاص، باید با مدارک کامل و مستند دال بر عملکرد مطلوب آنها، نسبت به اعمال این مواد بر روی بتن

www.Civilearn.com

اقدام گردد. در صورت عدم وجود چنین مدارکی باید آزمایش های مربوط به دوام به منظور تأیید عملکرد این مواد در همان شرایط محیطی صورت بگیرد.

باید به این نکته توجه داشت که اطلاق لفظ کلی در مورد این مواد، دلیل بر عملکرد مطلوب همه آنها نمی‌باشد. بطور مثال چه بسا نوعی از پلی یوریتان وجود داشته باشد که در برابر اشعه خورشید عملکرد خوبی نیز داشته باشد، در صورتیکه اکثر پلی‌یوریتان‌ها در برابر اشعه خورشید مقاومت مناسبی ندارند. لذا قبل از انتخاب مواد باید از عملکرد آنها کاملاً اطمینان پیدا کرد.

www.Civilearn.com

فصل ششم:

پیشنهاد طراحی بر اساس دوام سازه‌های بتنی در سواحل جنوبی کشور

www.Civilearn.com

مقدمه

طراحی سازه‌های بتنی مسلح، بدون در نظرگیری مسئله دوام و عملکرد آن، در درازمدت بویژه در مناطق با خورندگی شدید و شرایط محیطی مهاجم، خرابیهای عظیمی را به بار آورده است. بیشتر روشهای طراحی براساس مقاومت بتن به عنوان مشخصه اصلی پایه‌گذاری شده و بدون در نظر گرفتن شرایط محیطی که بتن در آن قرار خواهد گرفت، طرحهای نسبتاً یکسانی ارائه شده است.

توجه به مسئله دوام بتن، در سالهای اخیر منجر به ارائه دستورالعملها و آیین‌نامه‌هایی شده است که اغلب آنها به صورت توصیه‌ای با اعمال پاره‌ای محدودیتها می‌باشد. در اکثر این مشخصات و دستورالعملها مواردی چون محدودیتهای کاربرد نسبت آب به سیمان در مخلوط بتن، در نظرگیری نوع و میزان سیمان، ضخامت های پوشش بتن روی میلگرد و غیره آورده شده و حتی به کیفیت بتن پوشش نیز اشاره‌ای نشده است. مسئله مهمتر اندازه‌گیری و کنترل این مشخصات در عمل و اجراست که جز در موارد خاص، مشکلاتی به همراه داشته و گاه توصیه‌های دوام را غیرمؤثر ساخته است.

در سالهای اخیر، روشهای گوناگون طراحی بر اساس دوام که مبتنی بر بررسیهای آماری و روشهای حدی است، در دستور کار دست اندرکاران بتن بوده و نتایجی نیز حاصل شده است. موارد مهمی که در این روشها در نظر گرفته می‌شود، شامل مسائل محیطی و آثار محیط های خورنده، سازوکار و مدلهای خرابی در سازه‌های بتنی و بالاخره خواص مواد ومصالح در سازه ساخته شده است.

۶-۱- عوامل مؤثر بر دوام سازه‌های بتنی در محیط دریایی

خرابی سازه‌های بتنی مسلح در محیط‌های دریایی ، غالباً بر اثر نفوذ یونهای کلرید از خارج به داخل بتن و رسیدن آن به میزان لازم در سطح میلگردها ، خوردگی آنها و ترک و ریختن بتن صورت می‌پذیرد. با توجه به اینکه دوام بتن مسلح وابستگی به پوشش بتنی روی میلگرد به عنوان محافظ اصلی میلگردها دارد، لذا می‌توان عوامل تأثیرگذار بر دوام را مشخص‌تر نمود. این عوامل عمدتاً شامل نوع بتن، ضخامت پوشش بتن روی میلگرد، اجرای بتن و شدت عوامل محیطی است. نوع بتنی که برای حفاظت میلگردها بکار می‌رود، تأثیر عمده‌ای بر دوام دارد، زیرا این مصالح تشکیل دهنده است که سرعت نفوذ یونهای مخرب از پوشش بتنی را کنترل می‌کند. اغلب دستورالعملها و مشخصات، تاکنون، پدیده نفوذ را یک پدیده فیزیکی انگاشته و با کنترل نمودن مقاومت و رده بتن و گاه نفوذپذیری، دوام را در نظر گرفته‌اند، در حالی که این پدیده توأم نفوذ و ترکیب و انجام واکنشها را در مخلوطهای مختلف بتنی نشان می‌دهد و پاره‌ای از مخلوطها و مواد داخل بتن نظیر پوزولانها قدرت پیوند بیشتر با یونهای کلرید را داشته و مقاومت به نفوذ آنها از سیمانهای معمولی بیشتر است.

پوشش بتنی مناسب و کافی و تأمین آن در عمل نیز از عوامل مهمی است که می‌تواند سبب افزایش دوام بتن در محیطهای خورنده شود. برای ایجاد حفاظت کافی میلگردها در محیط‌های دریایی و خورنده، ضخامت پوششهای ۵۰ تا ۷۵ میلیمتر در اغلب آیین نامه‌ها توصیه شده است. ضخامت‌های کم پوشش حتی با بتن های با کیفیت مناسب می‌تواند غیر مطمئن بوده و

www.Civilearn.com

درجه خطر پذیری را افزایش دهد، زیرا ایجاد ترک می‌تواند راه عبور یونهای مخرب را هموار سازد. همچنین تأمین ضخامت پوشش بیش از ۷۵ میلیمتر بویژه در قطعات خمشی می‌تواند سبب ایجاد و افزایش عرض ترکها گردد و اغلب تأمین آن نیز عملی نیست.

اجرای نامناسب و ضعیف بتن بویژه در ارتباط با ریختن، تراکم و عمل آوری آن می‌تواند مزایای طراحی خوب و انتخاب مصالح مناسب را بی اثر سازد و دوام مورد نظر به هیچوجه تأمین نگردد. نتایج عملی اجرای خوب و عمل‌آوری مناسب در بهبود خواص بتن پوشش و دوام سازه‌های بتنی به اثبات رسیده است. البته پیشنهادهایی در مشخصات فنی و بعضی آیین نامه‌ها برای کنترل مسائل اجرایی فوق در کارگاهها ارائه شده است، ولی هنوز سیستم نظارت کافی حین ساخت و روشهای مناسب کنترل و تطبیق با مشخصات اعمال نمی‌گردد. عدم توانایی در کنترل و تأمین کیفیت مناسب بتن به طور مستمر، در عمل، دلیل بارز ادامه روند خرابیها در سازه‌های بتنی و کاهش دوام آنها می‌باشد.

از مسائل مهمی که در طراحی بر اساس دوام یک سازه بتنی باید در نظر گرفته شود، شرایط محیطی است که سازه در آن قرار می گیرد. به علت تغییرات این شرایط حتی در مقیاس کوچک و به صورت موضعی خرابی می‌تواند در بعضی از عناصر سازه بتنی با سرعت بیشتری آغاز گردد. جهت قرارگیری و موقعیت سازه و آثار رطوبتی و دما و نیز یونهای مخرب موجود در جو، همگی در خرابی تأثیر دارند. یک عضو سازه‌ای در مناطق ساحلی دریا می‌تواند در حالتهای کاملاً مغروق، تروخشک، پاشش و محیط خشک کنار ساحل در فواصل مختلف قرار گیرد و در نتیجه قسمتهای مختلف عضو در مقابل خورندگی آب و محیط دریایی واکنشهای مختلف نشان دهند.

در خصوص آثار محیطی، سالهاست که در کشورهای مختلف برای تعیین عوامل مؤثر در خرابی و تقسیم بندی نواحی و محیط تحقیقاتی صورت گرفته و در حال حاضر در پاره‌ای از دستورالعملها و آیین نامه‌ها تقسیم بندی فوق بر اساس شدت مسئله زوال و خوردگی در بتن و فولاد انجام گرفته است. در استاندارد اخیر اروپا، بر اساس مکانیزم خرابی و شدت آن در بتن و فولاد موجود در بتن، طبقه بندی محیطی صورت گرفته و بر پایه خوردگی بر اثر یون کلرید به عنوان مهمترین نوع اثر محیطی و خرابی بتن بر اثر پدیده‌های دیگر همچون حملات شیمیایی، تقسیمات انجام شده است. با توجه به گستردگی و تغییرات شرایط محیطی دریایی هنوز یک سیستم تقسیم بندی محیطی جامع و منطقی که بیانگر شدت عوامل محیطی و تأثیر آن بر خوردگی است، لازم است تدوین گردد.

۶-۲- آزمایشهای تعیین دوام

از آنجا که نفوذ یونها و گازها و مایعات از سطح بتن به داخل آن مهمترین مشخصه تعیین دوام سازه‌های بتنی در شرایط مختلف از جمله محیط های دریایی می‌باشد، آزمایشها و روشهای مختلفی برای اندازه‌گیری این انتقال ونفوذ در بتن ارائه شده است. پیچیدگی آزمایشها، وسائل و دستگاه‌های پیچیده و مدرن، اندازه گیریهای مختلف و طولانی بودن آزمایشها، از مشکلات

www.Civilearn.com

عمده این روشها برای مدل کردن سازوکار نفوذ بوده است. با همه اطلاعات مفیدی که از بعضی از این روشها در آزمایشگاه و در تحقیقات به دست آمده است، در عمل، به علت محدودیتهای نحوه آزمایش، هنوز اکثر آنها جایی باز نکرده‌اند.

دراندازه‌گیری نفوذپذیری و تعیین نشانه و ضریب دوام باید آزمایش و یا آزمایشهای پیشنهادی، نظیر آزمایش تعیین مقاومت فشاری بتن، ساده و قابل اجرا در آزمایشگاه و گاه در محل باشد. از خصوصیات دیگر این روشهای آزمایش می‌توان به خواصی چون مربوط بودن آزمایش به مسائل نفوذ یونها و مایعات با پایه تئوریکی منطقی، سریع و ساده بودن و عدم نیاز به مهارت‌های خاص، تکرارپذیری و انحراف معیار کم نتایج، آماده سازی حداقل آزمونه‌ها قبل از آزمایش و سادگی آن و بالاخره انجام شدن آن در سنین اولیه اشاره نمود.

از آزمایشهای پیشنهادی تعیین نفوذ و نفوذپذیری، گروهی به جذب آب [۴]و نفوذ آب تحت فشار[۱۵]، گروهی به نفوذ گازها و اکسیژن [۶]و گروهی به نفوذ یا هدایت یون کلرید [۱۷]در حالتهای معمول و تسریع شده اختصاص یافته است. در همه این آزمایشها مشخصه‌های فیزیکی و پارامترهای لازم ، اغلب در کوتاه مدت برای اعمال مسئله دوام تعیین می‌گردد. آزمایشهای مستقیم دوام با روشهای تسریع شده و درازمدت قدم بعدی است که می‌تواند به عنوان معیارها و نشانه‌هایی برای تخمین دوام و طراحی بر اساس دوام صورت پذیرد. به علت طولانی بودن زمان خرابیها در بتن، آزمایشهای تسریع شده لازم می‌باشد. معهذا از آنجا که ممکن است سازوکار خرابی در آزمایشهای تسریع شده و دراز مدت در شرایط واقعی تفاوتهایی داشته باشند، آزمایشهای دراز مدت نیز ضروری است. با تجزیه و تحلیل نتایج آزمایشهای کوتاه مدت و آزمایشهای دراز مدت می‌توان ارتباط بین آنها را برای حالتهای مختلف تعیین نمود و در طراحیهای بعدی با آزمایشهای کوتاه مدت، معیار دوام را در نظر گرفت.

۶-۳- دستورالعمل اعمال پارامتر دوام در طراحی سازه‌های بتنی مسلح در کوتاه مدت

با توجه به ساخت و سازهای روزافزون در مناطق جنوبی و حاشیه دریای عمان و خلیج فارس و لزوم درنظرگیری دوام بتن، معیارهای زیر در کوتاه مدت لازم‌الاجراست. این معیارها بر اساس در نظر گرفتن پارامتر مهم نفوذپذیری بتن در مقابل مایعات و یونهای مخرب بویژه یون کلرید عنوان شده است. از آنجا که پدیده حاکم در این مناطق، نفوذ یون کلرید و خوردگی میلگرد است، اعمال این معیارها می‌تواند افزایش دوام سازه‌های بتنی را به همراه داشته باشد. اساس انتخاب این روشها و معیارهای مربوطه کارهای انجام شده در مناطق جنوبی کشور و نیز پیشنهادهای ارائه شده در مشخصات فنی و دستورالعمل های کشورهایی با شرایط مشابه و نزدیک آب و هوایی منطقه می‌باشد.

باید خاطرنشان ساخت که توصیه‌ها و معیارهای عنوان شده در بخش اول آیین نامه بتن ایران (آبا) و بویژه در قسمت مربوط به " بتن‌ریزی در مناطق ساحلی حاشیه خلیج فارس و دریای عمان " مورد استفاده بوده و توصیه و معیارهای پیشنهادی در این روش بدان اضافه میگردد.

آزمایشهای در نظر گرفته شده در این روش، نسبتاً ساده و در زمان نسبتاً کوتاهی انجام می‌شود. این آزمایشها شامل آزمایش جذب آب بر اساس استاندارد (BS1881part122,1983) ، آزمایش نفوذ آب بر اساس استاندارد (DIN 1048 part 5,

---

[1] -water sorptivity
[1] - water permeability
[1] - oxigen or gas permeability
[1] - chloride diffusion or chloride conductivity

[4]
[5]
[6]
[7]

www.Civilearn.com

1991) یا (BS EN 12390-8: 2000) و آزمایش نفوذ سریع یون کلرید بر اساس استاندارد (ASTMC1202, 1994) است. محدودیت‌های لازم که لازم است به عنوان مشخصات بتن فوق از نظر نفوذپذیری اعمال گردد، در جدول زیر آمده است.

جدول ۶-۱- مقادیر مجاز آزمایش‌های نفوذپذیری بتن مسلح برای اعمال دوام در شرایط محیطی منطقه(طبق جدول۳-۱)

آزمایش	محدوده مجاز		
	شرایط A	شرایط C,B	شرایط D,E,F
۱ – جذب آب نیم‌ساعته (در سن ۲۸ روز) Water absorption test BS 1881,part122,1983	حداکثر ۴ درصد	حداکثر ۳ درصد	حداکثر ۲ درصد
۲- نفوذ آب (در سن ۲۸ روز) Depth of Penetration of water under pressure BS EN 12390-8: 2000 DIN 1048 , Part 5, 1991	حداکثر ۵۰ میلیمتر	حداکثر ۳۰ میلیمتر	حداکثر ۱۰ میلیمتر
۳-نفوذ کلرید (در سن ۲۸ روز) Rapid chloride penetration test ASTM C 1202, 1994	حداکثر ۳۰۰۰ کلمب	حداکثر ۳۰۰۰ کلمب	حداکثر ۲۰۰۰ کلمب

- آزمایشهای فوق در بمنظور ارزیابی در کوتاه‌مدت بکار می‌رود. مسلماً انجام آزمایش‌های فوق در درازمدت قابلیت اعتماد بیشتری دارد.
- انجام آزمایشهای شماره ۱ و ۲ (جذب آب و نفوذ آب) برای کلیه پروژه‌های حاشیه خلیج فارس و دریای عمان الزامی می‌باشد..
- آزمایش شمارهٔ ۳ (نفوذ کلرید) برای تمام سازه‌های دریایی که در معرض مستقیم آب دریا سایر و سازه‌هایی که تا فاصلهٔ ۵۰۰ متر از حاشیهٔ ساحل قرار دارند، اکیداً توصیه می‌گردد.

۶-۴- توصیه طراحی بر اساس دوام در بلند مدت

برای طراحی بر اساس دوام سازه‌های بتنی مسلح در مناطق خورنده بویژه سواحل جنوبی کشور، باید مقاومت در مقابل نفوذ یون کلرید برای پوشش بتنی روی میلگرد به صورت کمی تعیین گردد. این نفوذ عمدتاً در مقابل یون کلرید خواهد بود و آغاز خوردگی زمانی است که یون کلرید به میزان آستانه خوردگی در سطح میلگرد رسیده باشد. در پاره‌ای از طراحی‌ها، زمان ثانویه‌ای که به میزان خوردگی میلگرد و پیشرفت آن تا ترک خوردگی و جدایی بتن از میلگرد، اطلاق می‌شود در نظر گرفته شده است. عمر مفید می‌تواند به زمان اولیه آغاز خوردگی و یا مجموع زمان اولیه و ثانویه ارتباط داده شود.

برای پیش بینی و تعیین نفوذ یون کلرید و مشخص کردن میزان آن از قانون دوم فیک استفاده می‌شود :

$$C_X = C_S\left[1-erf\left(\frac{x}{2\sqrt{D_c t}}\right)\right]$$

www.Civilearn.com

در این رابطه C_x میزان یون کلرید در عمق x در زمان t، C_s میزان یون کلرید درسطح بتن، D_c ضریب نفوذ، x عمق از سطح ، t زمان و erf تابع خطاست.

با توجه به تغییرات ضریب نفوذ D_c در کوتاه‌مدت و بلندمدت، لازم است در کاربرد آن مسئله زمان را در نظر گرفت. با اعمال ضریب کاهشی D_c مؤثر درمعادله فوق می‌توان اثر زمان در تغییرات D_c را در نظر گرفت. برای اعمال روش فوق و تعیین آغاز زمان خوردگی، لازم است مراحل زیر انجام گردد.

الف – طبقه بندی شرایط محیطی

ارزیابی دقیق شرایط محیطی و شدت عوامل مؤثر امری حیاتی است تا بتوان مواد و مصالح و بتن با دوام کافی برای شرایط فوق را مشخص نمود. در دستورالعملهای مختلف شرایط محیطی دریایی از دیدگاه اثر بر سازه‌های بتنی به صور مختلف تعریف و مشخص شده است. در یکی از این دسته‌بندیها، ناحیه جزرومدی و پاشش و ناحیه‌ای که کلرید می‌تواند به سطح بتن در منطقه ساحلی برسد، از یکدیگر جدا شده و ناحیه دریایی به چهار بخش ملایم، شدید، خیلی شدید و فوق‌العاده شدید تقسیم‌بندی شده است. برای کمی کردن شرایط محیطی و در معرض بودن سازه می‌توان از تجربیات گذشته و سازه‌های موجود و نیز قضاوت مهندسی بهره جست.

ب- ملزومات حین بهره برداری

قبل از آغاز طراحی، نیازهای بهره‌برداری و سازه‌ای بایستی مشخص گردند. نیازهای بهره‌برداری و سازه‌ای می‌تواند شامل عمر مفید لازم برای سازه و احتمال تعمیر و شیوه تعمیر باشد. ملاحظات سازه‌ای نیز شامل نوع و حداقل رده بتن، ضخامت پوشش و محدودیت عرض ترک و پایداری ابعادی نظیر پتانسیل جمع‌شدگی و خزش و خطر ترک‌خوردگی در بلند مدت می‌شود.

ج- انتخاب مواد و مصالح بتن

برای انتخاب مواد و مصالح و ساخت بتن و تعیین مشخصه آن می‌توان با آزمایش‌هایی کوتاه‌مدت مقاومت پوشش بتنی در مقابل نفوذ یونهای مهاجم را به دست آورد. این آزمایشها می‌تواند شامل آزمایشهای جذب آب، نفوذ آب و نفوذ و هدایت یون کلرید باشد. نتایج آزمایشهای نفوذ و هدایت یون کلرید می‌تواند به منظور مقایسه بتن‌ها و یا پیش‌بینی ضرایب نفوذ بلندمدت بتن، در محیط‌های خورنده به کار رود. با بررسی ضرایب نفوذ در شرایط واقعی و برروی سازه‌های موجود می‌توان ارتباط بین نتایج آزمایشهای کوتاه مدت و ۲۸ روزه را با نتایج آزمایشهای بلند مدت، تعیین و بدین ترتیب از ضرایب به دست آمده در بلند مدت، در طراحی‌ها استفاده نمود.

د- پیش‌بینی میزان یون کلرید در سطح

برای تعیین میزان یون کلرید در عمق‌های مختلف بتن، از معادله نفوذ لازم است میزان کلرید در سطح تعیین شود. مقدار کلرید در سطح نیز بستگی به نوع بتن و شرایط محیطی و محل قرارگیری سازه در مجاورت دریا دارد. همچنین میزان کلرید سطحی با زمان دارای تغییراتی است. مقدار کلرید سطحی را می‌توان از روی نمونه‌های آزمایشی در محل و نیز سازه‌های

www.Civilearn.com

موجود به دست آورد و پس از اصلاحات لازم برای بتن‌های مختلف در منطقه فوق به کار برد. با مشخص شدن میزان کلرید در سطح C_s و ضریب نفوذ D_c می‌توان میزان کلرید در عمق های مختلف بتن (C_x) را بدست آورد.

ه- تخمین زمان آغاز خوردگی

با تعیین میزان یون کلرید در سطح میلگردها و رسیدن آن به میزان آستانه خوردگی یا مقدار بحرانی، خوردگی آغاز می‌شود. این میزان برای کلیه بتن‌ها و شرایط محیطی، عدد واحدی نبوده و به عوامل متعددی نظیر نوع و مقدار سیمان و مواد مکمل سیمان، تخلخل و ریز ساختار بتن، دما و رطوبت بتن، سطح فولاد و قلیائیت آب حفره‌ای بستگی دارد. به طور متوسط، فعالیت و آغاز خوردگی در مقادیر حدود ۰/۴ درصد کلرید محلول در آب نسبت به وزن سیمان گزارش شده است و میزان خوردگی بیشتر در مقادیر کلرید بالاتر نیز به دست آمده است.

روش فوق به عنوان مدل پیش‌بینی عمر مفید سازه‌های بتنی مسلح درمعرض یون کلرید در کشورهای مختلف در حال بررسی و یا کاربرد می‌باشد که از جمله روش پیشنهادی تحت نام (Life 365) در آمریکا و کانادا و روش مبتنی بر احتمالات و قابلیت اعتماد در اروپا را می‌توان نام برد. در کشور ما نیز گامهای اولیه برای ارائه چنین مدل‌هایی براساس یکسری آزمایشهای واقعی برداشته شده است.

برای معتبر نمودن مدلهای فوق و کاربرد آن در طراحی، لازم است علاوه بر نتایج آزمایشهای آزمایشگاهی در کوتاه‌مدت، آزمایش روی آزمونه‌های در محل در دراز مدت و نیز آزمایش و بررسی سازه‌های بتنی موجود در محل انجام گیرد و نتایج، مقایسه و تجزیه و تحلیل شوند.

در حال حاضر، با آغاز تحقیقات بلندمدت در این زمینه و جمع‌آوری داده‌ها می‌توان مدلهای تقریبی ابتدایی را در محیط‌های مشخص کار شده، ارائه نمود و به طور موقت در پروژه‌های خاص مورد استفاده قرار داد.

www.Civilearn.com

منابع:

۱- رمضانیانپور، علی اکبر- طاحونی، شاپور- پیدایش، منصور- "دستنامه اجرای بتن" - انتشارات علم و ادب - تابستان ۱۳۸۰.

۲- رمضانیانپور ، علی اکبر - پیدایش، منصور. " دوام بتن و نقش سیمانهای پوزولانی "، نشریه شماره ۲۷۴، تهران، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن ، ۱۳۷۶ .

۳- علی اکبر رمضانیانپور، " توصیه ها و پیشنهادهای پایایی بتن در سواحل و جزایر جنوبی کشور" انتشارات مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، تابستان ۱۳۷۱.

۴- راهنمای اجرای بتن در مناطق گرمسیر، دفتر تحقیقات و معیارهای فنی، سازمان برنامه و بودجه ، نشریه ۱۵۲، ۱۳۷۵.

۵- آیین نامه بتن ایران، دفتر تحقیقات و معیارهای فنی، سازمان برنامه و بودجه ، نشریه ۱۲۰.

۶- رمضانیانپور، علی اکبر - پاشایی، رضا " کربناتاسیون در سازه های بتن مسلح " ، تهران، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن ، ۱۳۷۶

۷ - علی اکبر رمضانیانپور، هوشدار تهرانی و پرویز قدوسی، -"بتن واجرای آن " - انتشارات مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، اردیبهشت ۱۳۷۰.

۸- علی اکبر رمضانیانپور، محسن صارمی، "بررسی علل کاهش عمر مفید سازه‌های بتنی مسلح" انتشارات مرکز تحقیقات و مطالعات راه و ترابری، پاییز ۱۳۷۵.

۹- علی اکبر رمضانیانپور، فرامرز مودی "بررسی علل خرابی سازه های بتنی جزیره کیش" مجله بتن، انجمن بتن آمریکا ، آوریل ۱۹۹۵.

۱۰-علی اکبر رمضانیانپور "مکانیزم، روشهای پیشگیری و خرابیهای سازه‌های بتنی"، کنفرانس بین المللی بتن ۱۳۶۷ سازمان برنامه و بودجه، چاپ مجموعه مقالات ۱۳۶۸، تهران-ایران

۱۱- رمضانیانپور ، علی اکبر ، پیدایش، منصور. " بررسی علل تخریب سازه‌های بتنی بوشهر"، کنفرانس بین المللی بتن ۷۱، سازمان برنامه و بودجه، آبان ماه ۱۳۷۱، تهران -ایران .

۱۲- قدوسی ، پرویز. " اثر روشهای اجرا بر دوام سازه‌های بتن مسلح(بررسی موردی سواحل خلیج‌فارس)"، تازه‌های ساختمان و مسکن، سال سوم، شماره ۲و۳ ، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، پاییز و زمستان ۱۳۷۷

۱۳- علی اکبر رمضانیانپور، "عملکرد بتن‌های ساخته شده از سیمانهای پوزولانی و آینده آنها"، دومین کنفرانس بین المللی سیمان ، آبان۱۳۷۶، دانشگاه علم و صنعت ایران .

www.Civilearn.com

۱۴- علی اکبر رمضانیانپور ، فرامرز مودی "نفوذ یون کلرید و خرابی سازه‌های بتنی بندری در جنوب کشور"دومین کنفرانس بین‌المللی سواحل و بنادر و سازه های دریایی، آذر ۱۳۷۵، دانشگاه علم و صنعت ایران .

۱۵- قدوسی، پرویز، پرهیزکار، طیبه، رئیس قاسمی، امیرمازیار، " بررسی انواع حفاظت های سطح بتن " گزارش تحقیقاتی، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، ۱۳۸۱.

16. CIRIA. (2002) Guide to the Construction of Reinforced Concrete in the Arabian Peninsula, Editor : Mike Walker, Published Jointly by CIRIA and the Concrete Society.

National Building Research Institute, Faculty of ," Concrete in hot environments " 17. SOROKA. I. (1993) .Civil Engineering, Technion-Israel Institute of technology

18. RILEM Report. (1988) "Corrosion of Steel in Concrete", Report of the technical committee 60 CSC, RILEM.

19. GJORV, O.E. (1989) "Steel Corrosion in Marine Concrete Structures", An overview, Proceeding of symposium, honoring professor Ben C, Gerwich . Jr., Department of civil engineering, University of California at Berkeley, January 16,17, pp. 77.

20. MEHTA P. K.,.(1989) "Durability of concrete in marine environment", proceeding of a symposium honoring professor BenC. Gerwick, jr., Department of Civil Engineering, University of California at berkeley, january 16,77.

21. Al-AMOUDI, O. S. B. (1993) "The effect of chloride and sulfate ions on reinforcement corrosion", Cement & Concrete Research, vol.23, pp. 139-146.

22. HART, G. (1983) "Durability of Concrete structures", Copenhagen, Technical University of denmark, pp. 179-209.

23. COMMITTEE EURO-INTERNATIONAL DU BETON,CEB (1985) "Guide to durable concrete structure", Copenhagen, 85p.

24. TAKEDA, N. SAKODA, S. (1997) "Penetration of Chloride ions in concrete and corrosion of reinforcing bars exposed to marine environment", Fourth CANMET/ACI International Conference on Durability of Concrete , Sydney, Australia, pp. 95-109.

25. MEHTA, P.K. (1980) "Durability of concrete in marine environment-A Review", ACI Special Publication 65, Editor: V.M. Malhotra, 1980, pp 1-20.

26. MEHTA, P.K. (1988) "Durability of concrete exposed to marine environment-A fresh look", ACI Special Publication 109, Editor: V.M. Malhotra, pp 1-23.

27. RAMEZANIANPOUR, A.A. (1995) 'Effect of curing on the compressive strength, resistance to chloride-ion penetration and porosity of concretes incorporating slag, fly ash or silica fume', Cement and Concrete Composites, pp. 123-133.

28. RAMEZANIANPOUR, A.A. (1991) 'A study of the concrete deterioration in the south coasts of Iran", RILEM International conference of diagnosis of concrete structures. Sept. 1991, Bratislava.

29. RAMEZANIANPOUR, A.A. (1994) 'The use of pozzolanic cements to improve durabilit of concrete in hot climates", 1st International conference on reinforced concrete materials in hot climate, U.A.E.

30. V.M. MALHOTRA, (1998, 1991, 1994, 1997) "Durability of Concrete", Proceedings of the CANMET/ACI International Conference.

www.Civilearn.com

31. Al-AMOUDI O S B, RASHEEDUZZAFAR, MASLEHUDDIN M and ALMUSALLAM. (1993) Improving concrete durability in the Arabian Gulf. Deterioration and repair of reinforced concrete in the Arabian Gulf. ED. Macmillan G. Proceedings of the bahrain Society of Engineers 4th International Conference. 10-13 October 1993. Vol. 2, pp.927-941.

32. BAMFORTH P B. (1995) Improving durability of concrete by the use of mineral additions. Concrete durability in the Arabian Gulf. Ed. Macmillan G. Proceeding of Conference, Bahrain Society of Engineers, pp.67-92.

33. BENJAMIN S E and SYKES J M. (1989) The effect of temperature on the pitting corrosion on iron in OPC mortars. Deterioration and repair of reinforced concrete in the Arabian Gulf. Proceedings of 3rd International Conference Bahrain Society of Engineers, Vol 1 , pp.573-80.

34. BROOMFIELD J P. (1996) Corrosion of steel in concrete. Understanding, investigation and repair. E and .FN Spon, London. 240pp

35. HUSSAIN S E et al. (1995) Factors affecting threshold chloride for reinforcement corrosion in concrete. .Cement and Concrete Research, Vol. 25, No. 7. pp.1543-55

36. MAKHLOUF H M. (1991) Design and specifications of reinforced concrete structures in the Gulf. Damage assessment, repair techniques and strategies for reinforced concrete. Ed. Macmillan G. Proceedings of the Bahrain Society of Engineers Regional Concference. 7-9 December 1991, pp.313-331.

37. WALKER M J. (2000) Durability and durability enhancement of reinforced concrete including renovation. Deterioration and repair of reinforced concrete in the Arabian Gulf. Proceeding of the Bahrain Society of Engineers 6th International Conference. 20-22 November 2000. pp.239-260.

38. ZEIN AL-ABIDEEN H M. (1998) The Arabian Gulf experience-Environmental impact on concrete practice, Part 2. Recommendations for improving hot weather design and construction practices in the Gulf Region. Concrete International, Vol. 20, No. 12, December, pp. 55-57.

39. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS, Philadelphia, USA.

40. BRITISH STANDARDS INSTITUTION, London

41. BUILDING RESEARCH ESTABLISHMENT. (1997) Alkali-silica reaction in concrete. BRE Digest 330, Parts 1-4. BRE, Garston, UK.

42. FOOKES P G and COLLIS L. (1975) Aggregates and the Middle East. Concrete, Vol.9, No.11, November, pp.14-19.

43. SIMS I and BROWN B V. (1997) Concrete aggregates. In: Lea's Chemistry of Cement and Concrete, 4th edition (P Hewlett ed). Edward Arnold Ltd, London.

44. SMITH M K and COLLIS L (eds). (2001) Aggregates : sand, gravel and crushed rock aggregates for construction purposes, (3rd Edition). Engineering Geology Society, London, UK, 340pp.

45. Al-AMOUDI O S B, MASLEHUDDIN M and SAADI M M. (1995) Effect of magnesium sulfate and sodium sulfate in the durability performance of plain and blended cements. ACI Materials Journal, Vol. 92, No. 1, January-February, pp.15-24.

46. AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. (1990) ACI Committee 201, Guide to durable concrete. In: ACI Manual of Concrete Practice (Part 1). ACI (ACI 201. 2R-77) (Reapproved 1992) (ACI 2.11.1-89). MI, USA.

47. SOROKA I. (1993) Concrete in hot climates. E and FN spon, London.

www.Civilearn.com

شانزده شماره

48. CIRIA, (1995) Care and treatment of steel reinforcement and the protection of starter bars. CIRIA Report 147, Construction Industry Research and Information Association, London, 48pp.
49. STANDARDS COUNCIL OF CANADA, Ottawa. CAB/CSA-A23.5-M86. Supplementary cementing materials.
50. ZEIN AL-ABIDEEN H M. (1990) Status of quality-control on ready mixed concrete in KSA. Final Project Report (AR-10-033). King Abdulaziz City for Science and Technology, Directorate for Scientific Research, Kingdom of Saudi Arabia.
51. CIRIA, (1985) Concrete pressure on formwork. Construction Industry Research and Information Association, London, Report 108, 32pp.
52. PRICE W F and WIDDOWS S J. (1992) Durability of concrete in hot climates : benefits from permeable formwork. Concrete in hot climates. Walker M J (ed). Proceedings of 3rd International RILEM Conference, Torquay, September 1992. E and FN spon, London, pp. 207-20.
53. THE CONCRETE SOCIETY . (1989) Spacers for reinforced concrete. Slough, Report CS 101, 30pp.
54. THE CONCRETE SOCIETY. (1995) Formwork- a guide to good practice. Second edition, Special Publication CS030, Slough, 306 pp.
55. AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. (1993) Causes, evaluation and repair of cracks in concrete. ACI 224.1.R. Farmington Hills, MI, USA.
56. AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. (1992) Standard specification for repairing concrete with epoxy mortars. ACI 503.4. Farmington Hills, MI, USA.
57. THE CONCRETE SOCIETY. (1992) Non-structural cracks on concrete. Slough, Technical Report 22, Third edition. 48pp.
58. THE CONCRETE SOCIETY. (1997) Guide to surface treatments for protection and enhancement of concrete. Slough, Technical Report 50, 88pp.
58. DEPARTMENT OF TRANSPORT. (1986) Materials for the for the repair of concrete highway structures. Departmental Standard BD 27/86. 15pp.

www.Civilearn.com

مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن – بخش بتن

پیش‌نویس آیین‌نامه ملی پایایی بتن در محیط خلیج فارس

مجری:

علی اکبر رمضانیانپور (دکترای عمران)	مدیر بخش بتن مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن استاد دانشگاه صنعتی امیرکبیر

همکار :

علیرضا پورخورشیدی (کارشناس ارشد عمران)	کارشناس ارشد مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن

کمیته تخصصی (به ترتیب الفبا):

علیرضا باقری (دکترای عمران)	مشاور مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن عضو هیأت علمی دانشگاه خواجه‌نصیرالدین طوسی
طیبه پرهیزکار (دکترای عمران)	معاون تحقیقات مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن عضو هیأت علمی مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن
محسن تدین (دکترای عمران)	عضو هیأت علمی دانشگاه بوعلی‌سینا
امیرمازیار رئیس‌قاسمی (کارشناس عمران)	کارشناس مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن
هرمز فامیلی (دکترای عمران)	عضو هیأت علمی دانشگاه علم و صنعت ایران
پرویز قدوسی (دکترای عمران)	مشاور مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن عضو هیأت علمی دانشگاه علم و صنعت ایران
امیر طریقت (دکترای عمران)	عضو هیأت علمی دانشگاه شهید رجایی

www.Civilearn.com

گروه آموزشی – مهندسی سیویلرن
مرجه طراحی و محاسبات ساختمان
مرکز آموزشهای علمی – کاربردی مهندسی عمران

www.Civilearn.com
Civilearn@gmail.com
Info@Civilearn.com
+98 912 88 76 100

مدیر مسئول : مهندس اتیلا امینی

سیویلرن در تلگرام (به ما بپیوندید)

گروه سیویلرن ۱ (گروه تخصصی طراحی و محاسبات ساختمان)

https://telegram.me/joinchat/BibZ5DwOZTbB9nSbNVqadw

کانال سیویلرن (انتشار محتوای سایت سیویلرن و اطلاع رسانی‌ها و اخبار مربوطه)

http://www.Telegram.me/Civilearn

همچنین میتوانید در محیط تلگرام تایپ کنید @Civilearn

ارتباط با مدیریت سیویلرن (مهندس امینی) در تلگرام @Atila_Amini

ادرس صفحات سیویلرن در شبکه های اجتماعی

ما را دنبال کنید

https://Facebook.com/Civilearn
https://Instagram.com/Civilearn_Group
https://ir.Linkdin.com/in/Civilearn
https://plus.Google.com/u/0/105826256029539623962
https://Twitter.com/Atila_Amini