

ویژه نامه

صنعت بتن آماده، قطعات بتنی و صنایع وابسته

تیرماه ۱۴۰۳

کانون سراسری انجمن های صنفی کارفرمایی
تولید کنندگان بتن آماده و قطعات بتنی

بتون ماشین

ساخت بتن خوب و حمل خوب بتن

برآورنده الزامات استاندارد ملی ۶۰۴۴

کیفیت + سرعت + دوام

خدمات ویژه

- ارتقاء کیفیت و ظرفیت ایستگاههای بتن آماده قدیمی یا خشک و نصب یا جایگزینی دیگ (paddle mixer) و اتوماسیون به روز
- طرح سراسری تعویض پره برای کلیه میکسرهای موجود که به دلیل طراحی غلط پره از اختلاط همگن بتن عاجزند

محصولات

- بچینگ پلانتهای فوق سریع mini dragon , double dragon
- با قابلیت تولید بتن بدون اسلامپ RCC تا بتن فوق روان SCC
- تراک میکسر، ۴ الی ۱۲ و تریلی میکسر ۱۲ الی ۱۵ متر مکعبی
- اتومیکسر، وانت میکسر و دامپر در ظرفیت های مختلف

ارتباط با ما

۰۹۳۵ - ۱۰۸۴۷۲۳
beton.machine
betonmachine.com

کارخانه: نظرآباد، روبروی کارخانه سیمان آبیک
۰۲۶ - ۴۵۳۸۳۸۷۴
۰۹۱۲ - ۲۱۸۶۵۲۰





بتن سبحان



تولید کننده انواع بتن غیر سازه ای و سازه ای تا رده مقاوتی C90

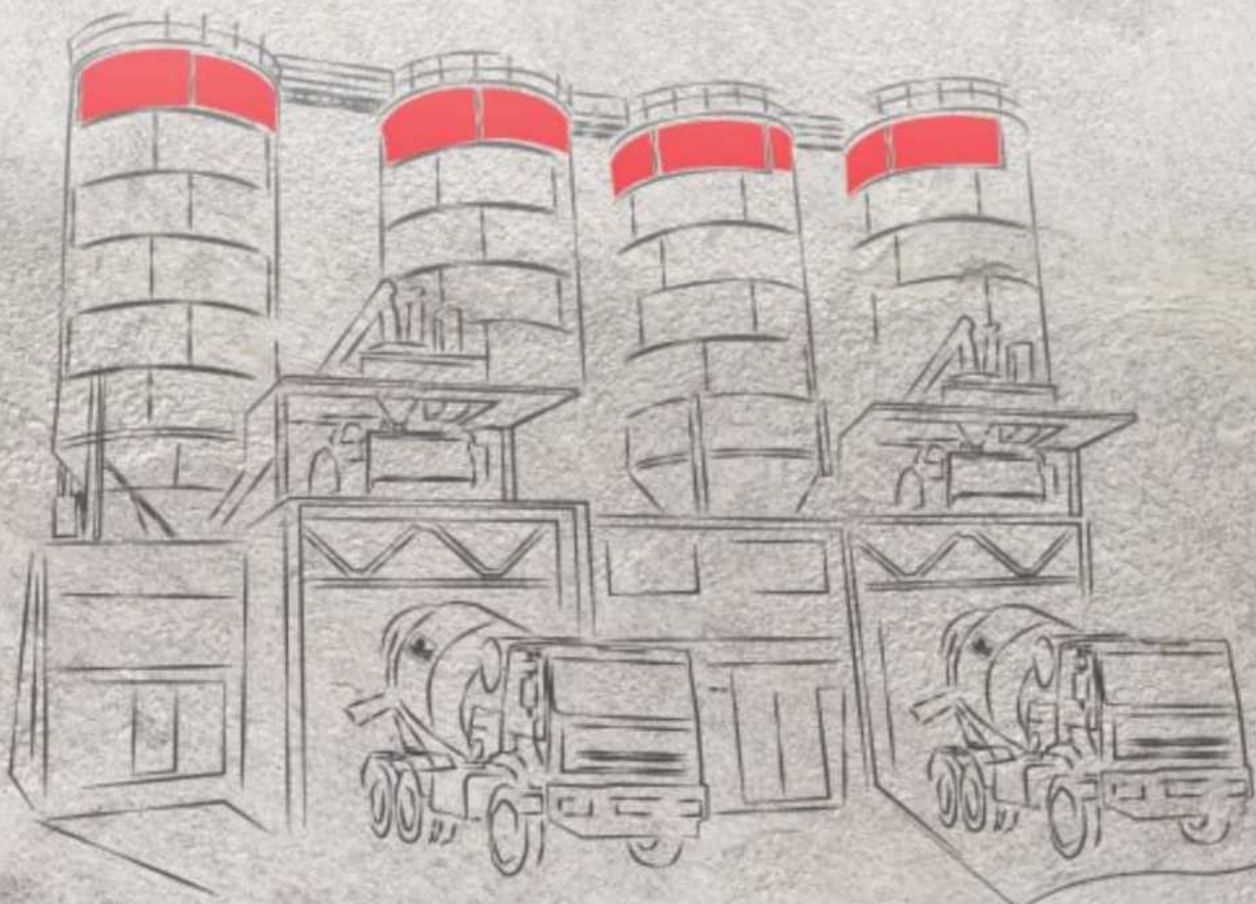
- بتن الیافی
- بتن رنگی
- بتن آب بند
- بتن متخلخل
- بتن پر مقاومت
- بتن سنگین
- بتن سبک
- بتن شفاف و ...

 www.sobhanbeton.com

 [sobhan.beton](https://www.instagram.com/sobhan.beton)

 اتوبان شهید بابایی، بتن سبحان

 22940044





Industries co.
lma
Beton Markazi Arak

شرکت بتن مرکزی اراک

طراحی و ساخت ماشین آلات تولید بتن

مدیر فروش محمدی: ۰۹۱۲۱۰۲۸۶۶۰



تلفن: ۰۸۶ - ۳۴۱۳۰۰۶۳

فکس: ۰۸۶ - ۳۴۱۳۰۰۹۳



تولید انواع بتن
آماده؛ حمل و پمپاژ

**بتن
جلالی**



JALALI

آدرس: شعبه ۱: دوکوهک /
کیلومتر ۵ جاده فجر
شعبه ۲: شیراز / کمر بندی /
بخش همت جنوبی /
خیابان شهید رودکی
تماس با بخش فروش:

۰۹۱۷۱۲۱۳۴۷۵

مهندس نیاکان

www.Jalaligroup.ir

instagram: Jalaligroup





بتن آماده سنگ شکن غرب

بزرگترین کارخانه بتن در خاورمیانه



بتن آماده سنگ شکن غرب با بیش از سه دهه فعالیت در عرصه تولید بتن امروز به عنوان بزرگترین کارخانه بتن در خاورمیانه در خدمت صنعت ساختمان در کلان شهر تهران به خصوص غرب، شمال غرب و ... می باشد که با توانایی تولید ۷۲۰ متر مکعب بتن در ساعت با رده های مختلف آمادگی ارائه خدمات به مشتریان عزیز با بهترین کیفیت، ماشین آلات و پرسنل با تجربه را دارد.



این کارخانه همچنین تنها تولیدکننده رده مقاومتی استاندارد C10 تا C50 در منطقه و تولید بتن های HSC , SCC , RCC می باشد. کارخانه سنگ شکن دارای پیشرفته ترین بچینگ پلانت توین شافت 3D به ابعاد ۴،۵ متری، سیلوی ذخیره سیمان به حجم ۳۰۰۰ تن، سیلوهای پوزولان برای بتن ریزی حجیم و بتن های ویژه، دو باسکول ۱۰۰ تنی مجزا جهت صدور بارنامه بتن و تسریع خروج تراک میکسر ها، آزمایشگاه های مجهز و پیشرفته کنترل کیفیت QC و تحقیق و توسعه R&D، آزمایشگاه مجهز بتن و سیمان و سنگدانه و سیستم گرمایش و سرمایش اجزا برای کنترل دمای نهایی بتن می باشد.

گروه فنی مهندسی

شاهپور شوئینگ

Shahpoor SCHWING

- ارائه دهنده انواع قطعات یدکی پمپ بتن و میکسر
- خرید و فروش انواع پمپ بتن و میکسر
- تعمیرات تخصصی هیدرولیک
- سیستم های ریموت کنترل



با مدیریت مهندس علیرضا عرب

راه های ارتباطی:

۰۹۱۳۴۰۹۵۵۷۴

www.sh-schwing.ir

اصفهان
شهرک صنعتی امیرکبیر
(شاپور جدید)
میدان صنعتگران





CAPCO

شرکت همگرایان تولید

- رزین پلی کربوکسیلات •
- افزودنی های بتن •
- مواد شیمیایی صنعت ساختمان •
- واتراستاپ •



تهران، خیابان شهید دکتر بهشتی، خیابان سهروردی شمالی،
خیابان شهرتاش، پلاک ۷۴، واحدهای ۱۶، ۱۵، ۴، ۳
تلفن: ۸۹۳۳۱ (۰۲۱) www.capco.co.ir info@capco.co.ir



گروه نرم افزاری نویان



نرم افزار یکپارچه بتن آماده و قطعات بتنی نرم افزار یکپارچه شن و ماسه و آسفالت

- انبار
- خزانه داری
- پلاک خوان
- برنامه ریزی تولید
- پیام رسان
- فروش آسفالت
- فروش قطعات بتنی
- اتوماسیون تولید بتن
- اتصال به سامانه بارانه
- اتصال به سامانه حمل و نقل شهرداری
- آزمایشگاه بتن و مصالح
- اتصال به سامانه سایه
- حسابداری مالی
- برنامه ریزی تولید
- فروش شن و ماسه
- فروش بتن آماده
- سامانه اسناد الکترونیک نویان



تابش بتون

تأسیس: ۱۳۶۷

برند برتر صنایع پیش ساخته بتنی



📍 **کارخانه:** اراک، شهرک صنعتی خیرآباد، فاز دوم خیابان نام آوران غربی، جنب تصفیه خانه

📍 **دفتر مرکزی:** اراک، بلوار قدوسی، ساختمان مهندسی سامان، طبقه ۸، واحد ۸۰۴

☎ ۰۸۶ - ۳۳۸۰۳

🌐 www.tabeshbeton.com



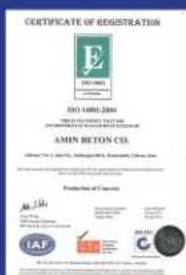
امین بتن قرن

(سهامی خاص)

آدرس: تهران، بلوار ارتش، ابتدای
جاده لوسان، ضلع شرقی انبار نفت

تلفن: ۰۲۹۸۳۱۱۴-۱۶

همراه: ۰۹۱۲۸۷۰۵۷۰۵





وِثَرِه نامہ صنعتِ بتن آمادہ، قطعاتِ بتنی و صنایع وابستہ

- تہیہ و تنظیم: ماہنامہ علمی تخصصی فن آوری سیمان
- آدرس: تهران، سیدخندان، ساختمان ۱۰۰۰، بلوک ۳، واحد ۴
- تلفن: ۲۲۸۹۱۵۹۳ و ۲۲۸۸۳۳۰۶ و ۲۲۸۶۱۳۴۳
- با مشارکت: کانون سراسری انجمن‌های صنفی کارفرمایی تولیدکنندگان بتن آمادہ و قطعات بتنی کشور



■ مهندس علی صادقی

رئیس هیات مدیره کانون سراسری انجمن‌های
صنعتی تولیدکنندگان بتن آماده و قطعات بتنی کشور

یادداشت

صنعت بزرگ بتن آماده نقش بسزائی در توسعه و ساخت و ساز کشور دارا می باشد و همچنین اهمیت آن به لحاظ کمی و کیفی تاثیر مستقیم بر توسعه پایدار کشور و زیرساخت های این مرز و بوم دارد. در همین راستا تولیدکنندگان بتن آماده در قالب کانون سراسری انجمن‌های صنعتی تولیدکنندگان بتن آماده و قطعات بتنی کشور اولین هدف خود را بر افزایش سطح کیفی بتن آماده گذاشته و با برگزاری نمایشگاه ها، همایش ها و دوره های آموزشی تخصصی برای همه دست اندرکاران صنعت بتن آماده و ساخت و ساز کشور اعم از مهندسین، ناظرین، تولیدکنندگان بتن آماده، مسئولین کنترل کیفیت کارخانه های تولید بتن آماده و سیمان و شن و ماسه، رانندگان تراک میکسر و اپراتورهای پمپ انتقال بتن و ... سعی بر ارتقاء سطح علمی و کیفی این صنعت را داشته است.

از دیگر اهداف کانون سراسری می توان به موارد ذیل اشاره کرد:

- شناسایی مشکلات تولیدکنندگان بتن آماده و ارائه راهکار و کمک به حل آن در سطح ملی
 - همکاری با استان های فاقد انجمن صنعتی، برای راه اندازی انجمن های صنعتی
 - تقویت جایگاه انجمن استان ها
 - یکپارچه سازی تصمیمات تاثیرگذار صنعت بتن آماده در سطح ملی و اطلاع رسانی قوانین و تصمیمات به انجمن های استانی
 - شناساندن جایگاه واقعی صنعت بتن آماده در کشور
 - ارتقاء سطح کیفیت بتن آماده در کشور
 - بروز رسانی کارخانه های تولید بتن آماده و تامین کنندگان مصالح از لحاظ علمی و معرفی تکنولوژی های نوین سخت افزاری و نرم افزاری
 - ایجاد تفاهم با تامین کنندگان اصلی صنعت بتن آماده اعم از صنعت سیمان و سنگدانه و افزودنی
 - کمک به دستگاه های اجرایی جهت نظارت و بازرسی بر واحدهای استاندارد و اعمال قانون و هدایت واحدهای غیراستاندارد
 - کمک به واحدهای غیراستاندارد جهت استانداردسازی و اخذ نشان استاندارد
 - برگزاری دوره های آموزشی برای تمام ارکان وابسته به تولید، توزیع و مصرف بتن آماده
 - همکاری با سازمان ملی استاندارد ایران جهت ارتقاء، تدوین و بازنگری استاندارد های بتن آماده، سیمان، سنگدانه و افزودنی.
- کانون سراسری انجمن های صنعتی تولیدکنندگان بتن آماده و قطعات بتنی کشور آمادگی برای همکاری با همه استان ها در راستای تحقق اهداف فوق در سراسر کشور دارد.



■ محرم کریمی
دبیر کانون

یادداشت

کانون سراسری انجمن های صنفی کارفرمایی تولید کنندگان بتن آماده و قطعات بتنی

اولین گردهمایی تولید کنندگان بتن آماده و قطعات بتنی کشور در ۷۱ اردیبهشت سال ۱۴۰۲ به مناسبت روز صنعت بتن آماده در هتل المپیک تهران و با حضور میهمانانی از ۲۵ استان کشور برگزار گردید که در نوع خود موفقیت آمیز بود. پس از آن اقدام به برگزاری با شکوه اولین نمایشگاه صنعت بتن آماده، قطعات بتنی و صنایع وابسته از هفتم تا دهم شهریور سال ۲۰۴۱ در شهرک نمایشگاهی شهر آفتاب با حضور بازدید کنندگانی از ۲۷ استان برگزار شد و با توجه به استقبال بسیار خوب از نمایشگاه مذکور، مجدداً برگزاری گردهمایی در ۹ بهمن ۱۴۰۲ در هتل المپیک تهران در دستور کار قرار گرفت که در این گردهمایی تولید کنندگان بتن آماده و قطعات بتنی از ۰۳ استان کشور حضور پیدا کردند که این خود باعث انرژی مضاعف برای دست اندرکاران کانون سراسری بتن آماده برای ادامه مسیر در جهت اهداف تعریف شده برای معرفی و ارتقا جایگاه صنعت بتن آماده گردید.

در سال ۱۴۰۳ و در ۱۶ اردیبهشت ماه، گرامی داشت روز صنعت بتن آماده به همت کانون و انجمن صنفی تولید کنندگان بتن آماده در شهر شیراز و در تالار احسان و با حضور مقامات کشوری و لشکری و اساتید و متخصصین و میهمانانی از ۱۵ استان کشور برگزار شد.

نمایشگاه صنعت بتن آماده و قطعات بتنی از ۲۹ خرداد تا اول تیر سال جاری در شهرک نمایشگاهی شهر آفتاب، در دو سالن و ۱۵۰۰۰ مترمربع مساحت برگزار خواهد شد که تمامی فعالیت های فوق التوصیف در جهت معرفی و ارتقا جایگاه صنعت بتن آماده و طبعاً ارتقا کیفیت بتن آماده تولیدی توسط ۱۲۷۰ کارخانه تولید بتن آماده دارای نشان استاندارد در سطح کشور است که ارتقا کیفیت بتن آماده ظرف یک سال گذشته کاملاً محسوس است هر چند تا رسیدن به نقطه مطلوب فاصله زیادی وجود دارد. از جمله اقدامات بسیار موثر در ارتقا کیفیت بتن آماده، مراجعه حضوری به شهرها و استان های مختلف برای تبیین اهداف کانون و مهم تر از آن برگزاری دوره های آموزشی می باشد. در مراجعه به استان ها در سال گذشته برای ۴ استان انجمن صنفی تولید کنندگان بتن آماده تاسیس شده و در ۳ استان نیز در شرف تاسیس است و قریب ۵۰ دوره آموزشی برگزار شده است.



■ علیرضا رحمتی

رئیس کمیته فنی کانون سراسری انجمن‌های
صنعی تولیدکنندگان بتن آماده و قطعات بتنی کشور

یادداشت

بتن آماده پایه توسعه ساخت و ساز کشور معرفی اجمالی کمیته فنی

تشکیل کانون سراسری انجمن های صنفی کارفرمایی تولیدکنندگان بتن آماده و قطعات بتنی کشور ثمره نزدیک به دو دهه تلاش پیشکسوتان این صنعت جهت ایجاد یک شکل رسمی و ملی واحد و یکپارچه برای بتن آماده در کشور است.

اعضای کانون طبق قانون ، انجمن های صنفی تولید کنندگان بتن آماده و قطعات بتنی استان های مختلف کشور هستند که پس از برگزاری مجمع هیات مدیره ای از بین آنان برای کانون انتخاب می گردد. پیگیری مصوبات هیات مدیره و مدیریت امور اجرایی نیز توسط دبیر محترم کانون انجام می گردد.

این تشکل با توصیف مختصر فوق اهداف مختلفی را با توجه به اساسنامه و نیازهای اعضا دنبال میکند. پیرو این امر کمیته فنی کانون تشکیل شده است که اعضای آن را نمایندگان متخصص استان ها از صنعت بتن آماده و سنگدانه و سیمان و افزودنی های بتن تشکیل داده اند و متولی رسیدگی به مسایل فنی مورد نیاز این صنعت است و اهداف کلی زیر برای آن تعریف شده است :

- بررسی، تجدید نظر فنی و آموزش نکات فنی، استانداردها، آیین نامه های مربوط به مواد اولیه مثل سیمان و سنگدانه و آب و افزودنی های شیمیایی مایع و پودری و مواد مکمل سیمانی طبیعی و صنعتی و امثالهم

- آموزش و توسعه دانش فن آوری (تکنولوژی) بتن بر اساس نیاز ساخت و ساز حال و آینده کشور

- آموزش و بررسی موارد فنی و کیفی مربوط به ماشین آلات تولید و حمل و انتقال بتن (پمپاژ بتن)

بر این اساس ۱۷ هدف تعریف شده است که در قالب ۶ کار گروه تخصصی با شرح وظایف مشخص شده در اساسنامه کمیته فنی طبقه بندی شده اند.

محل رسمی تشکیل جلسات کمیته فنی دفتر کانون در تهران می باشد و در صورت لزوم این جلسات به شکل دوره ای در استان ها نیز می تواند تشکیل گردد.



تولید سیمان در ایران بیش از نود سال قدمت دارد

یادداشت

■ حسین چهرگانی

مدیر عامل شرکت سیمان پیوند گلستان
مدیر مسئول ماهنامه فن آوری سیمان

دی ماه ۱۴۰۲، صنعت سیمان در ایران نود ساله شد؛ هرچند سالروز نود سالگی تولد این صنعت در ایران غریبانه سپری شد. ۱۰ سال پیش به مناسبت هشتاد سالگی این صنعت «کتاب هشتاد سال صنعت سیمان در ایران» را مشتمل بر تاریخچه صنعت سیمان در جهان و ایران با معرفی کاملی از این صنعت در کشورمان، به رشته تحریر درآوردیم.

زمان شروع مصرف سیمان پرتلند به شکل کنونی در ایران به صورت کنونی کاملاً مشخص نیست، لیکن ورود سیمان به ایران، توسط خارجی‌ان صورت گرفت که از آن برای ساختن بناهایی نظیر کلیسا، سفارتخانه و تأسیسات بندری استفاده شده است. مصالح ساختمانی قدیمی برای ساخت زیربنای اقتصادی با روش مدرن امروزی کارایی و استقامت لازم را نداشتند، بنابراین نیاز به مصالح ساختمانی جدید اجتناب‌ناپذیر گردید که یکی از مهم‌ترین مصالح ساختمانی برای ساخت این بناها، سیمان بود. اجرای پروژه‌های جدید از قبیل خطوط و ساختمان راه‌آهن، پل‌ها، و تونل‌ها و سایر ابنیه نیاز مبرم به مقدار زیادی سیمان داشت، بنابراین دولت اقدام به واردات سیمان نمود و هر ساله بر حجم واردات اضافه می‌گردید به طوری که در سال ۱۳۱۴ ایران چهارمین کشور وارد کننده سیمان در جهان به شمار می‌رفت.

کشورمان ایران از لحاظ جغرافیایی در منطقه‌ای واقع شده که سلسله کوه‌های آهکی در اقصی نقاط دیده می‌شود، در نتیجه مواد اولیه برای تولید سیمان در داخل کشور به وفور یافت می‌شود. بنابراین در سال ۱۳۰۷ مطالعات و بررسی‌های لازم برای ایجاد اولین کارخانه سیمان و همچنین برآورد ذخایر مواد اولیه مورد نیاز این پروژه آغاز شد و در سال ۱۳۰۹ قراردادی با شرکت دانمارکی افال اسمیت جهت ایجاد این کارخانه موسوم به سیمان ری با ظرفیت تولید ۱۰۰ تن سیمان در روز و با سرمایه دولتی معادل ۱۳۳۸۰۰ لیتر انگلیس برای تأمین ماشین‌آلات و ۶۶۹۰۰ لیتر انگلیس جهت تأمین تجهیزات نیروگاه برق مورد نیاز آن منعقد شد. سرمایه این کارخانه توسط دولت و از محل عایدات قند و شکر تأمین گردید و بهای آن به صورت خشکبار و سایر فراورده‌های کشاورزی به دانمارک پرداخت شد. بهای تمام شده این کارخانه ۱۵ میلیون ریال بود.

پس از خرید ماشین‌آلات، کارهای ساختمانی آن از شهریور ۱۳۱۱ توسط شرکت طنس آلمان شروع گردید و در ۸ دی ماه ۱۳۱۱ اولین کوره سیمان ایران با ظرفیت ۱۰۰ تن در روز در هفت کیلومتری جنوب تهران نزدیک به کوه‌های بی بی شهربانو و کوه سرسره در شهر ری به بهره‌برداری رسید. مدیریت این پروژه را مهندس علی قلی خان بر عهده داشت.

۹۰ سال از زمان افتتاح این کارخانه سپری شده است و طی این مدت صنعت سیمان رشد چشمگیری یافته و علاوه بر بازارهای داخلی، به بازارهای بین‌المللی نیز راه یافته است؛ بطوریکه در مقاطعی بزرگترین صادرکننده جهانی سیمان و کلینکر شناخته شد. سیمان خمیرمایه توسعه و سازندگی کشور است و نقش بی‌بدیلی در عمران و آبادانی دارد. لازم است علاوه بر صیانت و مراقبت از این صنعت که این روزها تحت فشار موانع متعددی همچون محدودیت در تأمین برق، سوخت، قطعات، مقررات مانع‌زا و ... قرار دارد، نگاه جدیدی منطبق با ضروریات جهانی در همراهی با کاهش انتشار دی اکسید کربن و تولید سیمان سبز داشته باشیم. شاید بتوان گفت این صنعت ناگزیر به تغییر جدی در جهت تولید سیمان‌های با حداقل کلینکر و انواع سیمان جدید توسعه یافته در جهت حفاظت بیشتر از محیط زیست کره زمین خواهد بود. هرچند این صنعت از پتانسیل و توان بسیار خوبی در جهت مصرف مواد زاید و آلوده در جهت حفاظت از محیط زیست برخوردار است که لازم است مورد توجه قرار گیرد.

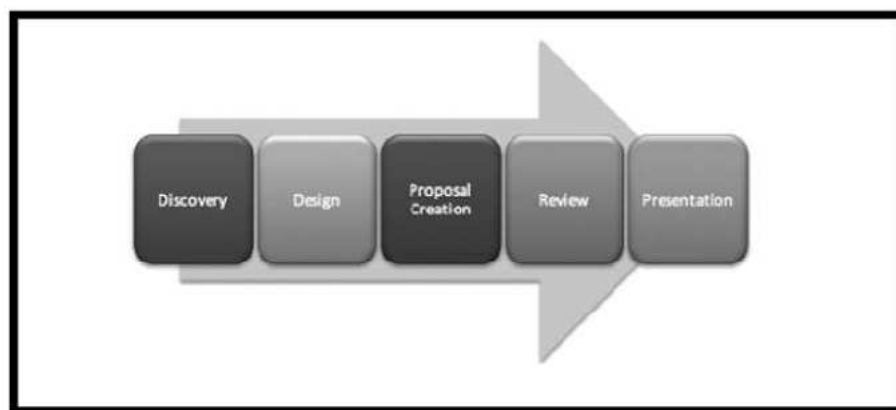
ضرورت نگاه استراتژیک به جایگاه مهندسی فروش در صنعت سیمان کشور

■ سید علی عظیمی

مدیرعامل شرکت سیمان آرتا اردبیل، هلدینگ اسپندار

عمرانی کلان، آنها را ناگزیر به بالا بردن توان کمی و کیفی صنعت سیمان خود کرده است. با تکیه بر همین پارادایم های نظری و اندیشه ورزی، در شرایط فعلی و آینده ساخت و ساز در کشور، بازکاوی و بازاندیشی صاحب نظران عرصه سیمان و بتن در چرخه تولید، بهره برداری و فروش سیمان امری لازم و اجتناب ناپذیر است. در این راستا توجه مجدد درون فرآیندهای سیستماتیک تصمیم سازی در صنعت سیمان، اهتمامی ضروری است. به نظر می رسد جهت ارتقا توان مدیریتی در این صنعت وجود مفهوم مهندسی فروش روزبه روز افزایش می یابد. جایگاهی که آنچنان در صنعت سیمان کشور جدی گرفته نشده است. سرعت تغییرات ایجاد شده در این کسب و کار، رقابت شدید بین رقبا و ضرورت ارتقا توان تولید باکیفیت، منجر به نیازمندی صنعت سیمان به مفهومی به نام مهندسی فروش شده است. در واقع می توان گفت مهندسی فروش حلقه واسط و رابط میان تولیدکننده و مصرف کننده است. پژوهش ها و تامل در بازار نشان می دهند که دوران بازاریابی در صنعت سیمان و بتن رو به اتمام است و زمان در حال تولد مفهومی به نام بازاریابی است. تولیدکنندگان روزبه روز به نزدیک تر

امروزه اهمیت، ضرورت و گستردگی صنعت سیمان و اثرگذاری آن بر روند ساخت و ساز بر کسی پوشیده نیست، این امر آن چنان لازم و ضروری است که هر ساله قسمت عمده طراحی های استراتژیک اقتصادی و کلان دولت و مجلس و طبعاً تدوین برنامه و بودجه سالیانه کشور به این مهم اختصاص می یابد. افت و خیز در جریان سیال تولید، فروش و بهره برداری از سیمان در، دومینوی تغییرات متعدد در صنعت ساخت و ساز کشور را در بر می گیرد. این صنعت عظیم با فعالیت ۷۰ کارخانه تولید سیمان و گردش مالی قریب ۸۰ هزار میلیارد تومان در سال، نقش بی بدیل را در پیشبرد برنامه کلان عمرانی کشور ایفا می کند. از سویی تمامی صنایع وابسته به سیمان همچون واحدهای تولید کننده بتن آماده و قطعات بتنی ضریب پیچیدگی و گستردگی صنعت سیمان را افزایش داده است. بررسی ها و واکاوی صنعت سیمان در بعد بین الملل نشانگر توجهات بسیار زیاد کشورها به این مقوله می باشد. در میان همسایگان کشور، ترکیه و عربستان سرمایه گذاری جدی را بر روی افزایش کمی کارخانجات تولید سیمان و نیز بالا بردن کیفیت تولیدی سیمان ها داشته اند. برنامه ریزی و طراحی برای ساخت شهرها و پروژه های



5 Phases of Sales Engineering

میزان فروش و بالطبع افزایش دامنه رضایتمندی مشتریان در پرتو تمرکز بر مسیر مهندسی فروش میسر می باشد و چنانچه واحد تولیدی از این پارادایم نظری و مقوله ی فنی و تخصصی غفلت نماید، پیشاپیش میدان را برای رقبای خود فراخ تر ساخته است. گفت و گو و مشاهدات نشان می دهند که، امروزه در کشورهای توسعه یافته بدون تحلیل اطلاعات در جلسات مهندسی فروش و بدون آنکه نیاز واقعی مشتریان شناسایی و بررسی شود، امکان تغییر در استراتژی های تولید، کیفی و حتی فروش، وجود ندارد. اهمیت این امر آنچنان بالاست که میزان سودآوری اقتصادی واحدهای تولیدی در ارتباط مستقیم با مهندسی فروش تعریف و مشخص می شود. در واقع اگر بخواهیم از سکوی پرش کیفی و اقتصادی در یک واحد تولیدی نام ببریم، ناگزیر باید از مفهوم مهندسی فروش یاد کنیم.

از سویی مهندسی فروش صرفاً یک نگاه اداری و یا سازمانی در جهت نیل به اهداف کیفی و اقتصادی نیست، بلکه می توان برای این مفهوم رسالتی اجتماعی را تعریف نمود. رسالتی که از بطن آینده نگری و احساس مسئولیت در قبال توسعه و پیشرفت کشور ناشی می شود. رسالتی بس عظیم و سترگ. مهندسی فروش دیده بان محکم برای ارتقا کیفیت خدمات مهندسی است. توسعه متوازن کشور در گرو رصد دایمی، پویا، لحظه ای و برنامه ریزی بلندمدت می باشد که این مهم از طریق خدمات مهندسی فروش ممکن می شود. در غیاب مهندسی فروش در بخش های گوناگون

شدن با مشتری نیازمند هستند، آنها بدون نگاه به خواسته ها و نیازهای مشتریان همیشه یک گام عقب خواهند بود. ارتباط با مشتری جای خود را به اتصال با مشتری داده است. یک فرآیند کامل و یکپارچه از نقطه شروع تولید سیمان تا نقطه انتهایی مصرف سیمان در واحدهای تولید بتن آماده و پروژه های عمرانی.

تعاملات فی مابین کارخانجات تولید سیمان و کارخانجات تولیدکننده بتن آماده به عنوان یکی از پرمصرف ترین مشتریان سیمانی، دیگر مانند سابق یک وجهی نیست و ابعاد فنی و تخصصی گسترده ای پیدا کرده است. بررسی موضوعات مطرح شده با مشتریان، گاها از چنان عمقی برخوردار است که لاجرم مدیران چندین دپارتمان کارخانه سیمان را درگیر فرآیند پاسخگویی می کند. بر این اساس یکی از مهمترین ملاحظات در تطبیق سیاست ها و برنامه های مهندسی فروش با استراتژی های کلان کارخانه، ایجاد فضایی فنی و تخصصی متشکل از واحدهای مختلف کارخانه برای پایش و ارزیابی نهایی اطلاعات واصله از مشتریان است. در واقع انتخاب و طراحی چابک ترین و کارآمدترین روش پاسخگویی به نیاز مشتری از داخل گفت و گوهای میان واحدی در جلسات مهندسی فروش خارج خواهد شد. پیمایش نقاط ضعف داخلی در سیستم تولید و کیفیت و ترفیع این نقاط ضعف، بر مبنای تحلیل اطلاعات مهندسی فروش است. به نظر می رسد مقوله مهندسی فروش پازل تکمیل کننده فرآیند تصمیم سازی و تصمیم گیری در واحدهای تولیدی است. کما اینکه افزایش

به مطالبات و شکایات مشتریان، نقش خود را در رعایت الگوهای محیط زیستی ایفا نماید. مهندسی فروش با آرایه اطلاعات صحیح و دقیق و در نزدیک ترین زمان ممکن، مانع از اتلاف انرژی زیست محیطی و نیز توان متخصصین و نیروها خواهد شد.

در حال حاضر و بنا بر مقتضیات زیست محیطی، اقتصادی، انرژی و کیفیتی، تعدادی از کارخانجات سیمان کشور همچون سایر کارخانجات سیمانی در کشورهای توسعه یافته به دنبال پایین آوردن میزان کلینکر مصرفی در سیمان و هم چنین تولید سیمان های آمیخته^۱ با ویژگی دوام و ماندگاری بیشتر و نیز با خاصیت ضد خوردگی در برابر یون کلرید و سولفات هستند، که همین کاهش کلینکر اثرات متعددی در حوزه های کیفی و دوام بر جای می گذارد. وظیفه تیم مهندسی فروش ایفای نقش آگاهی بخشی به مصرف کنندگان و ارتقا سطح دانش مشتریان می باشد. در حقیقت انتقال صحیح اندیشه های فنی و تخصصی تیم تولید و کیفی به مصرف کنندگان و آموزش مصرف اصولی محصولات جدید از وظایف مهندسی فروش می باشد. در مجموع باید گفت، مهندسی های فروش می توانند یک بازوی توانا در بدنه ی مدیریتی کارخانجات تولید سیمان و همراه همیشگی مصرف کننده و محل تلاقی تولید و مصرف با نگاه به منافع و مصالح کشور باشند.

۱- شرکت سیمان آرتا اردبیل هم اکنون بیش از هفتصد هزار تن، سیمان آمیخته (پرتلند مرکب) در سال تولید می کند.

صنعت ساختمان، رشد و توسعه کاریکاتوری خواهد بود. بدون توجه به افق های پیش رو و بدون مدنظر قرار دادن نیازهای جامعه مخاطب و بدون توجه به مسایل اقتصادی خرد و کلان مملکت، توسعه در بخش ساختمان ناقص، بدون جهت و غیرمتوازن می گردد، لذا اهمیت مقوله مهندسی فروش روزافزون می باشد. در نتیجه توجه کارخانجات تولید سیمان و هم چنین واحدهای تولید کننده بتن آماده به شکل گیری کمیته مهندسی فروش ضمن آنکه منافع تولیدکننده و مصرف کننده را تامین می کند، منافع بلند مدت کشور را در بخش های اقتصادی، اجتماعی، انرژی و زیست محیطی را متضمن می شود.

در نگاهی دیگر توسعه پایدار که یکی از پارادایم های محوری سازمان ملل متحد برای کشورها می باشد، در واقع تامین نیازهای نسل فعلی بدون درخطر افتادن نیازهای نسل آینده است، و در این راستا تمام کشورها موظف هستند با نگاه به آینده، رسالت خود در محافظت از منابع طبیعی و انرژی را ایفا نمایند. همگان می دانند که صنایع سیمانی یکی از منابع مصرف حامل های انرژی در کشور می باشند که ضرورت توجه به منابع آبی، برقی و گازی و بهره گیری از روش های کاهش مصرف انرژی در کارخانجات تولید سیمان و به طبع آن پایین آوردن میزان آلودگی محیط زیست، از جمله اولویت های کاری این صنایع می باشند. مهندسی فروش می تواند با نگاهی کلان و اندیشه ورزی ارکان تولید و مصرف و انطباق نیازهای مصرف با ضرورت های تولید و نیز پاسخ گویی سریع

اولویت های فنی صنعت بتن آماده (بخش اول)

■ علیرضا رحمتی

رئیس کمیته فنی کانون، مدرس دانشگاه، عضو کمیسیون های
تدوین آیین نامه ها و استانداردهای ملی کشور

صنعت بزرگ بتن آماده کشور با بیش از ۱۵۰۰ واحد صنعتی طی نیم قرن فعالیت حرفه ای در کشور همواره در حال رشد و پیشرفت کمی و کیفی بوده است. در حال حاضر این صنعت در بسیاری از نقاط کشور دارای پتانسیل های علمی و زیرساختی مناسبی است و رشد آتی آن نیازمند شناسایی اولویت ها و برنامه ریزی برای آن است، این صنعت قطعا در سایر حوزه ها مانند مدیریت در بخش های مختلف مالی و منابع انسانی و ماشین آلات و غیره نیز نیازمند توسعه است ولی در اینجا به چند نکته در حوزه های صرفا فنی اشاره می شود.

۱- مواد اولیه

الف- سیمان

شناخت صحیح و کامل خصوصیات شیمیایی و فیزیکی انواع سیمان و اثر آنها بر ویژگی های مختلف بتن تازه و سخت شده از ضروری ترین اولویت های فنی این صنعت جهت ارتقا کیفیت بتن های تولیدی حال حاضر و توسعه هر چه بیشتر سبد متنوع محصولات بتن آماده در کشور است. این موضوع نیازمند ارتباط صحیح و تنگاتنگ با صنعت سیمان و کارخانجات و متخصصان مربوطه و آموزش های کاربردی و در عین حال ساده سازی شده می باشد که نزدیک به دو دهه است که با توجه به ادبیات فنی و نیازهای کشور ابداع کرده ایم و در حال انجام است.

کنترل کیفی نهایی سیمان در بتن مفهوم اصلی خویش را پیدا میکند در دنیا نیز هلدینگ های بزرگ سیمانی با خود دارای کارخانجات بتن می باشند و بازخورد های فنی

لازم را از بتن اینگونه میگیرند و یا از آزمایشگاههای بتن بیرونی یا داخلی خودشان برای کنترل کیفی نهایی استفاده می کنند زیرا صرفا آزمایشات شیمیایی و فیزیکی سیمان طبق استاندارد که بشکل سنتی در ایران مرسوم است به تنهایی نشاندهنده عملکرد واقعی سیمان در بتن نیست و سیمان خوب سیمانی است که با طرح مخلوط صحیح در بتن عملکرد خصوصیات بتن تازه و عملکرد دوامی و مقاومتی مناسبی داشته باشد.

در ایران نیز با تلاش ما طی پانزده سال گذشته چند کارخانه سیمان از دهها کارخانه سیمان کشور تاکنون چنین آزمایشگاههای بتنی را مانند کارخانجات سیمان کشورهای پیشرفته تاسیس کرده اند که منجر به بهبود قابل توجه کیفیت از دیدگاه مصرف کنندگان سیمان شده است.

در اکثریت کشورهای دنیا سیمان پرتلند خالص با این سرانه مصرف و بشکلی که در کشور ما عرضه میشود وجود

مشخصات فیزیکی از قبیل دانه بندی مطلوب و شستشوی مناسب که در بسیاری از نقاط کشور متاسفانه چنین سنگدانه های مطلوبی در دسترس نیست در حالیکه عمدتاً با اصلاحات ساده در خطوط خردایش و دانه بندی موجود تا حد زیادی این موضوع قابل اصلاح است زیرا اکثر معادن سنگدانه بتن چیدمان خط تولید سنتی و غیر حرفه ای دارند و دوم مشخصات شیمیایی از قبیل آلودگی به املاح و یون های مختلف که منجر به آسیب به دوام و مقاومت بتن می شوند که اصولاً اجازه برداشت از چنین معادنی نباید داده شود و همچنین عدم وجود اطلس معادن سنگدانه مستعد واکنش قلیایی سنگدانه ها در بتن (سرطان بتن) که باعث شده نا آگاهانه روزانه مقادیر زیادی بتن با این سنگدانه ها در ساخت و ساز شهری و روستایی مصرف گردد و آینده نزدیک زیرساخت های کشور را با خطرات جدی روبرو کند البته در برخی پروژه های ملی در کشور این مسایل بخوبی شناسایی و مدیریت شده اند.

ج- افزودنی های شیمیایی بتن

در حال حاضر دهها واحد تولیدی این فرآورده ها دارای نشان استاندارد اجباری بشماره ۲۹۳۰ در گستره کشور فعالیت دارند و البته تعدادی واحد های غیر مجاز فاقد نشان استاندارد نیز فعالیت دارند که با توجه به الزام قانونی دارا بودن نشان استاندارد می بایست شناسایی و به سازمان های نظارتی ذیربط معرفی گردند. تعداد تولیدکنندگان روان کننده ها و فوق روان کننده های دارای نشان استاندارد که برای صنعت بتن آماده از جهات مختلف مطلوب باشند بسیار کم است زیرا استانداردها اصولاً حداقل کیفیت را تعریف می کنند و در صنعت بتن آماده ویژگی هایی نظیر حفظ روانی ایجاد شده برای مدت طولانی بیش از یک ساعت با استفاده از پایه های شیمیایی پیشرفته (نه با مکانیزم ایجاد حباب هوا و امثالهم) و توانایی کاهش مناسب نسبت آب به سیمان در دماهای مختلف و فصول مختلف سال در بتن های ساخته شده با انواع سیمان های متنوع کشور و حفظ انسجام و لزجت بتن در مقادیر روانی زیاد و عدم ایجاد حباب هوای ناخواسته و استفاده از مواد نگهدارنده مجاز جهت حفظ سلامت پرسنل تولید و مصرف بتن از جمله مشکلات این حوزه است که باید با همکاری مشترک دست اندرکاران صنعت مواد شیمیایی و

ندارد بلکه اساساً عمده سیمان تحویلی به مصرف کنندگان از انواع سیمان های آمیخته می باشد.

سیمان آمیخته در کنار منافع کلان ملی زیست محیطی و انرژی بشکل مستقیم در کشور، منافع کیفی و دوامی و اقتصادی برای تولیدکنندگان بتن آماده و مصرف کنندگان این کالا دارد که بحث بسیار مفصلی است ولی میتوان به اختصار به بهبود خواص پمپ پذیری و کارپذیری بتن تازه، بهبود انسجام و ریولوژی بتن تازه، کاهش جداشگی و آب انداختگی، کاهش حرارت هیدراته شدن و در نتیجه کاهش دمای بتن در ساعات و روزهای ابتدایی، کاهش نفوذپذیری و افزایش دوام در برابر یون های مهاجم، کاهش پتانسیل فعالیت سنگدانه های مستعد واکنش قلیایی (سرطان بتن)، افزایش دوام در برابر سیکل های ذوب و یخبندان و افزایش مقاومت دراز مدت اشاره کرد.

در کشور ما عمدتاً سیمان آمیخته پرتلند مرکب توسط چند کارخانه سیمان در حال عرضه محدود است و مطالعات تولید انبوه در سایر کارخانجات نیز در حال انجام است و بزودی اکثریت کارخانجات سیمان کشور به سوی تولید صد درصدی این سیمان خواهند رفت. بنابراین شناخت صحیح این سیمان پرتلند مرکب پیشرفته و سودمند و تهیه طرح مخلوط های لازم با توجه به نیاز جامعه مصرف بتن آماده از ضروریات صنعت است.

توصیه می شود در صورت امکان این سیمان به همراه افزودنی های کاهنده آب مصرفی در حین ساخت (روان کننده یا فوق روان کننده) مصرف گردد تا با کاهش نسبت آب به سیمان در طرح مخلوط از حداکثر منافع این سیمان در بتن بهره برد.

طی نامه سازمان ملی استاندارد مورخه نهم اسفند ۱۴۰۲، استانداردهای ملی سیمان پرتلند پوزولانی بشماره ۳۴۳۲ و سیمان پرتلند آهکی بشماره ۴۲۲۰ و سیمان سرباره ای بشماره ۳۵۱۷ و سیمان پرتلند زیولیتی بشماره ۱۶۴۱۸ باطل اعلام گردید و استاندارد ملی «سیمان های هیدرولیکی آمیخته- ویژگی ها» بشماره ۲۳۴۰۲ جایگزین آنها شده است. در ضمن استاندارد ملی ۱۷۵۱۸ نیز در این زمینه قابل استفاده است.

ب- سنگدانه

در مورد سنگدانه ها دو مورد اهمیت اساسی دارند اول

را با ملاحظات حجم حمل استاندارد و تناژ مجاز در هر سرویس داشته باشند.

پمپ های بتن نیز به همین ترتیب علاوه بر امکان فیزیکی نصب پمپ بتن از نظر طول شاسی و ارتفاع و ابعاد اتاق و امثالهم نیاز به خودروهای با توان مناسب موتور اصلی دارند تا نیروی لازم برای بکار انداختن سیستم هیدرولیک پمپ تامین گردد و در پمپاژ دچار ناتوانی و استهلاک بی مورد نگردد. بدیهی است که نیاز به واردات پمپ های بتن مدرن و توانمند کاملاً وجود دارد تا ناوگان پمپاژ بتن کشور نوسازی گردد.

۳- آموزش

در این حوزه نیز متولیان فنی مصرف بتن در ساخت و ساز شهری که مهندسان عزیز عضو سازمان های نظام مهندسی ساختمان در جایگاه طراح، ناظر یا مجری هستند، میبایست با تجدید نظر در عنوان دوره های تمدید و ارتقا پایه پروانه اشتغال مهندسی، تحت آموزش های تخصصی نحوه طراحی صحیح سازه با قابلیت عبور پذیری مناسب بتن و تعریف مشخصات فنی و سفارش و عقد قرارداد و روش تحویل گرفتن و انتقال و جابجایی و تراکم و عمل آوری صحیح قرار بگیرند و نهایتاً قابلیت تفسیر صحیح نتایج را در حوزه آزمون های بتن تازه و سخت شده داشته باشند و آشنایی کافی و لازم با آزمایشات بتن تازه و بتن سخت شده نمونه گیری شده و بتن سخت شده سازه را بر اساس مبحث نهم مقررات ملی ساختمان و آیین نامه بتن ایران آبا و نهایتاً تعیین تکلیف کالای بتن آماده تحویلی به پروژه و همچنین سازه بتنی را داشته باشند.

از سوی دیگر کارخانجات بتن آماده کشور نیز باید بر اساس قانون مدیر کنترل کیفیت تمام وقت و آموزش دیده و آزمایشگاه مجهز در محل واحد تولیدی داشته باشند تا امکان تولید و کنترل کیفیت صحیح بتن آماده بر اساس استاندارد ملی ۶۰۴۴ و نیاز مشتری را داشته باشند.

کانون بتن آماده کشور مورد بررسی قرار بگیرند.

زیرا تولید بتن های توانمند دارای دوام و مقاومت زیاد بشکل گسترده و افزایش مصرف انواع سیمان های آمیخته با داشتن مواد شیمیایی مناسب صنعت بتن آماده انجام خواهد گردید.

۲- ماشین آلات تولید و حمل و پمپاژ

بدلائل محدودیت های دسترسی به ماشین آلات مناسب از یکسو و بعضاً کمبود دانش فنی مورد نیاز جهت درک کامل و جامع اهمیت این موضوع، در حوزه ماشین آلات با مشکلات متعددی روبرو هستیم.

طبق استاندارد ملی بتن آماده کشور بشماره ۶۰۴۴ واحد تولیدی بتن آماده باید دارای بچینگ باشد که سیستم توزین و سیستم مخلوط کردن بتن (همزن) داشته باشد و آن چیزی که در بسیاری از نقاط کشور متأسفانه تحت عنوان نادرست بچینگ خشک وجود دارد که اختلاط بتن صرفاً داخل دیگ تراک میکسر انجام میشود مغایر با متن صریح قانون و استاندارد ملی مربوطه (۶۰۴۴) است.

از طرفی تعریف مشخصات صحیح بچینگ تولید بتن آماده نیز در صنعت احتیاج به ترویج و توسعه دارد تا این دستگاه بشکل کامل و صحیح و با دقت و عملکرد مناسب ساخته و نصب و بهره برداری گردد.

در مورد تراک میکسر نیز در دسترس بودن کامیون های با قدرت و ایمنی مناسب و نیاز حداقل به تعمیر و نگهداری با توجه به حمل این کالای حساس در حداقل زمان ممکن، بسیار ضروری است البته از نظر کمیت حمل بتن در هر سرویس با توجه به موضوع حداقل میزان تردد با حداکثر مقدار حمل جهت کاهش ترافیک و آلودگی و امثالهم در اکثر استان ها نیاز به خودروهای ۸ در ۴ می باشد به این معنی که خودرو چهار محوری نیاز است علاوه بر امکان فیزیکی مناسب نصب دیگ تراک میکسر، دارای دو محور عقب محرک دارای دیفرانسیل باشند تا توانایی حمل ایمن حدود ۸ یا ۹ متر مکعب بتن آماده

Cement Technology Magazine

ماهنامه
علمی تخصصی
فناوری سیمان

اطلاع رسانی تخصصی در
ماهنامه فن آوری سیمان
با مباحثی از قبیل:

- ← تکنولوژی تولید سیمان
- ← بهره‌برداری از واحدهای تولیدی
- ← کنترل کیفیت در صنعت سیمان
- ← ایمنی و محیط زیست
- ← معدن و معدنکاری در صنعت سیمان
- ← تعمیر و نگهداری مکانیکی
- ← تعمیر و نگهداری برقی
- ← تکنولوژیهای جدید و تجهیزات
- ← کالبراسیون و اتوماسیون
- ← نسوز و عایق کاری
- ← انرژی در صنعت سیمان
- ← بسته‌بندی، بارگیری و حمل
- ← انواع سیمان و استانداردها
- ← کاربرد سیمان
- ← بازرگانی و اقتصاد صنعت سیمان
- ← سیستم‌های مدیریت و استانداردهای ISO
- ← و ...

گستره توزیع:

کلیه کارخانجات سیمان، پروژه‌های در دست احداث
شرکتهای مرتبط با صنعت سیمان و تامین کنندگان قطعات و
تجهیزات برای این صنعت، کارشناسان، مدیران و متخصصین
صنعت سیمان، موسسات، سازمانها و نهادهای صنعتی، بازرگانی
(دولتی و خصوصی) دانشگاهها و موسسات آموزش عالی ...



تلفکسی سازمان آگهی‌ها: ۲۲۸۸۳۳۰۶ - ۲۲۸۶۱۳۴۳

www.cementtechnology.ir

در مجله متخصصین صنعت سیمان آگهی شما گم نمی‌شود



آنچه که باید درباره سنگدانه‌های بتن بدانیم

■ محمود رفیعی
ماهانامه فن‌آوری سیمان

۱- مقدمه

با توجه به اینکه تقریباً $3/4$ حجم بتن را سنگدانه تشکیل می‌دهد، ما را بر آن می‌دارد تا با نگاه به این موضوع، توجه موشکافانه‌تری را نسبت به این بخش مهم بتن داشته باشیم. بتن در سازه بتنی در واقع نوعی سنگ مصنوعی بزرگ بشکل دلخواه است که از چسباندن سنگدانه‌های ریزتر با خمیر سیمان بدست می‌آید.

مطالب اشاره شده در این مقاله، برای بسیاری از این دست اندرکاران، نکات جدیدی نیست. علیرغم این مهم، باید اشاره داشت که بسیاری از همین بدیهیات در ساخت و تولید بتن مد نظر قرار نمی‌گیرند. و لذا به جرات می‌توان گفت که بخش قابل توجهی از مشکلات بتن ناشی از همین عدم توجه است.

بر این اساس پیشنهاد می‌شود که خوانندگان محترم با تاملی بیشتر، این مطالب را مدافقه نظر قرار دهند تا حداقل معایب و مشکلات بتنی ناشی از اثرات منفی این بخش از بتن به حداقل برسد. با این وصف مشاهده می‌شود که توجه دست اندرکاران تولید و مصرف بتن، آنچنان که باید و شاید به مصالح سنگی زیاد نیست.

۲- معرفی اولیه سنگدانه‌ها از دیدگاه ابعادی

در یک دسته بندی کلی، سنگدانه‌ها را می‌توان به دو دسته ماسه (کوچکتر از $4/75$ میلیمتر) و بالاتر از آن برای

شن، تقسیم نمود. دانه‌های ماسه‌ای باید بزرگتر از 75 میکرون باشد. دانه‌های بین 2 و 75 میکرون را لای یا سیلت می‌گویند. دانه‌های کوچکتر از 2 میکرون را رس می‌نامند.

۳- موارد غیر مجاز برای مصارف سنگدانه

استفاده از رس و سیلیت در بتن مجاز نیست. اما چون نمی‌توان آنها را بطور کامل حذف نمود، بر اساس آئین نامه بتن و استاندارد ملی 302 ، درصد مجازی برای آن در نظر گرفته شده است. همچنین مصرف سنگدانه‌های مشکوک به آلودگی کلریدها و سولفات‌ها و قلیاها و ... در بتن توصیه نمی‌شود.

۴- دسته‌بندی سنگدانه‌ها

سنگدانه‌ها با توجه به منشأ آن به سه دسته آذرین، رسوبی و دگرگونی تقسیم می‌شوند.

الف) سنگدانه‌های آذرین نظیر گرانیت و ریولیت که از سرد شدن مواد مذاب شکل می‌گیرد.

ب) سنگ‌های رسوبی نظیر برخی انواع سنگ آهک و سنگ دولومیتی که از انباشته شدن رسوبات در آب یا بوسیله باد تشکیل می‌شود، به هیچ وجه توصیه نمی‌شود.

ج) سنگ‌های دگرگونی نظیر شیست و سیلت و کوارتزیت و مرمر که در اثر فشار و حرارت ممتد طی دوره‌های زمین

شناسی از انواع سنگ های دیگر تولید می شود.

میلیمتر است.

(ز) شن یا سنگدانه درشت

(ح) سنگدانه طبیعی با منشاء رودخانه ای / آبرفتی با دانه

بندی ۰-۸ میلیمتر

(ح) شن ها در اصطلاح عام به دو دسته نخودی (۴/۷۵ -

۹/۵) میلیمتر و بادامی (۲۵-۹/۵) میلیمتر معمولاً تقسیم می شوند.

سنگدانه ها را براساس (استاندارد EN ۱۲۶۲۰) می توان به

۸ دسته تقسیم نمود:

(الف) سنگدانه های سنگین وزن نظیر باریت و سنگ آهن و سنگ های معدنی که دانسیته بالاتر از ۳ گرم بر سانتی متر مکعب دارند و در تولید بتن های سنگین نظیر دیواره های محافظ مقابل تشعشع مصرف می گردد

(ب) سنگدانه های سبک وزن نظیر سنگ پا (اسکوریا) و پلی استایرن که دانسیته کمتر از ۲ گرم بر سانتیمتر مربع است و در تولید بتن های سبک و عایق مصرف می شود.

(ج) سنگدانه های سخت نظیر کوارتز یا کربوراندوم با دانسیته بیشتر از ۲ گرم بر سانتی متر مکعب که برای بتن های ضد سایش استفاده می شود

(د) سنگدانه های برگشتی با دانسیته ۲/۴ گرم بر سانتی متر مکعب که معمولاً از خرد نمودن بتن های قدیمی به دست می آیند.

(ه) سنگدانه های فیلری (پودری) کوچک تر از ۶۳ میکرون که عمدتاً به منظور بهبود خواص کارپذیری به بتن افزوده می شود.

(و) ماسه یا سنگدانه ریز که بزرگترین جزء کوچک تر از ۴

۶- دانه بندی سنگدانه ها

الک های این استاندارد برای محدوده ماسه عبارتند از: ۱/۵

۰، ۰/۳، ۰/۶، ۱/۱۸، ۲/۳۶، ۴/۷۵ میلیمتر

الک های این استاندارد برای محدوده شن عبارتند از: ۹/۵

۱۲/۵، ۱۹، ۲۵، ۳۷/۵، ۵۰، ۶۳ میلیمتر

برای ارزیابی دانه بندی سنگدانه ها، پس از انجام آزمون الک

، جدولی به شرح جدول ۱ آماده می شود:

شکل ۱ نمونه هایی از منحنی های دانه بندی سنگدانه را

نشان می دهد.

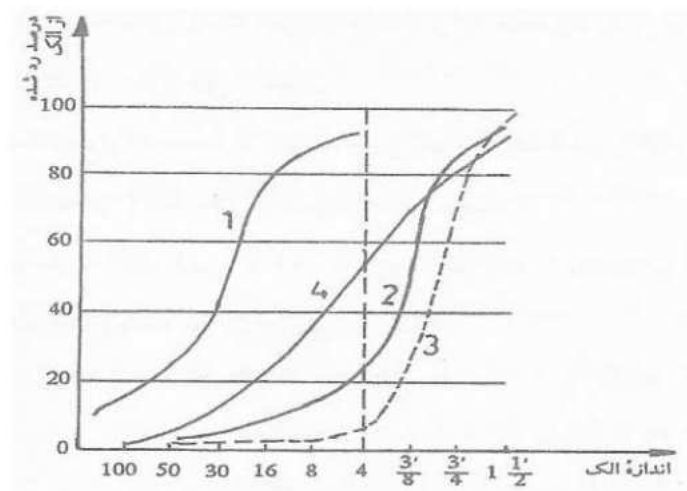
منحنی شماره ۱ در محدوده ماسه است و در محدوده شن

و ماسه پیوسته نیست ولی در محدوده ماسه پیوسته است.

منحنی شماره ۲، در محدوده شن پیوسته است، اما در محدوده

جدول ۱: جدول داده های دانه بندی

شماره الک	وزن باقیمانده روی الک	درصد وزنی تجمعی مانده بر روی الک	درصد وزنی تجمعی عبور کرده از هر الک



شکل ۱: منحنی های متفاوت سنگدانه بر اساس پیوستگی و گسستگی

جدول ۲: الزامات دانه بندی و نرمی سنگدانه ریز بر اساس استاندارد ملی ایران- ویرایش ۱۳۹۹

درصد جرمی عبور کرده			اندازه الک به میلی متر (نمره الک)
ویژه بتن خودتراکم	رده ۲	رده ۱	
۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۹.۵ mm (۸ □ ۳ اینچ)
۱۰۰ تا ۹۰	۱۰۰ تا ۸۵	۱۰۰ تا ۹۵	۴.۷۵ mm (نمره ۴)
۱۰۰ تا ۶۵	۱۰۰ تا ۶۰	۱۰۰ تا ۸۰	۲.۳۶ mm (نمره ۸)
۸۰ تا ۴۵	۸۰ تا ۳۵	۸۵ تا ۵۰	۱.۱۸ mm (نمره ۱۶)
۶۰ تا ۳۰	۵۰ تا ۲۰	۶۰ تا ۲۵	۶۰۰ μm (نمره ۳۰)
۴۰ تا ۱۵	۳۰ تا ۵	۳۰ تا ۵	۳۰۰ μm (نمره ۵۰)
۲۰ تا ۱۰	۱۰ تا ۲	۱۰ تا ۰	۱۵۰ μm (نمره ۱۰۰)
۵۰ تا ۲۰	۳۰ تا ۰	۳۰ تا ۰	۷۵ μm (نمره ۲۰۰) الف
ضریب نرمی			
۳.۱ تا ۲.۳	۳.۷ تا ۲.۳	۳.۱ تا ۲.۳	ضریب نرمی
الف) برای بتنی که تحت تأثیر سایش قرار نمی گیرد، حداکثر مواد عبوری از الک ۷۵ μm برای سنگدانه ریز رده ۱ و ۲ می تواند برابر با ۵۰٪ و برای سنگدانه ریز ویژه بتن خودتراکم ۷۰٪ باشد. برای سنگدانه ریز شکسته، اگر ذرات ریزتر از الک ۷۵ μm عاری از رس یا شیل باشد: این حد برای سنگدانه ریز شکسته رده ۱ و ۲ مورد مصرف در بتن تحت تأثیر سایش ۵۰٪ و سایر بتن ها ۷۰٪ می باشد و برای سنگدانه ریز شکسته ویژه بتن خودتراکم مورد مصرف در بتن تحت تأثیر سایش ۹۰٪ و سایر بتن ها ۱۶۰٪ می باشد.			

مورد مصرف در بتن تحت تأثیر سایش ۹ درصد و سایر بتن ها، ۱۶ درصد می باشد.

بدیهی است رده ۱، توزیع به مراتب مناسب تری برای بتن است و انطباق بیشتری با استاندارد های بین المللی دارد، اما امروزه بیشتر تولید کنندگان بتنی از دانه بندی رده ۲ استفاده می نمایند که ابداع استاندارد ایران است زیرا دسترسی به سنگدانه با کیفیت تر رده ۱ در کشور بندرت امکان پذیر است.

ضریب نرمی (مدول نرمی) (FM)، عبارت است از مجموع درصدهای تجمعی مانده بر روی الک های استاندارد، تقسیم بر صد. این مدول می تواند بین صفر تا ۹ تغییر کند. در هر صورت تأکید بر آن است که تفاوت مدول نرمی سنگدانه های ارسالی در پارتهای مختلف ارسالی از حدی معین بیشتر نباشد، هرچه مدول نرمی بزرگتر باشد، مخلوط درشت دانه تر و به هر میزان کوچکتر باشد، مخلوط (مصلح) ریزدانه تر است. محدوده مناسب مدول نرمی برای مصالح ریزدانه، ۲/۳ تا ۳/۱ است. جدول ۳ الزام دانه بندی سنگدانه درشت (شن) را بر اساس استاندارد ۳۰۲ ویرایش ۱۳۹۹ ارائه نموده است.

شکل ۲، یک نمونه از توزیع دانه بندیهای مجاز برای سنگدانه های ریز و درشت و مخلوط را ارائه نموده است.

شن و ماسه گسسته است. منحنی شماره ۳ دارای شن و ماسه است اما در محدوده کوچکی (از الک ۳/۴ تا ۳/۸) اینچ در حدود ۶۰ درصد کل دانه ها قرار گرفته اند، یعنی بعضی از ابعاد دانه ها به صورت چشم گیر نسبت به سایر ابعاد دانه ها بیشتر هستند. (این منحنی گسسته است). منحنی شماره ۴ یک منحنی دانه بندی است که در محدوده شن و ماسه پیوسته بوده و دارای تمام ابعاد دانه ها هستند.

بر اساس استاندارد ملی ایران، ورژن ۱۳۹۹، الزامات دانه بندی و ضریب نرمی سنگدانه ریز (ماسه) بر اساس جدول ۲ می باشد:

در این الزام، چارچوب های زیر مد نظر قرار می گیرد:

۱) برای بتنی که تحت تأثیر سایش قرار نمی گیرد حداکثر مواد عبوری از الک ۷۵ میکرون برای سنگدانه ریز رده ۱ و ۲ می تواند برابر با ۵ درصد و برای سنگدانه ریز ویژه بتن خود تراکم ۷ درصد باشد.

۲) برای سنگدانه ریز شکسته، ذرات ریزتر از الک ۷۵ میکرون، عاری از رس یا شیل باشد.

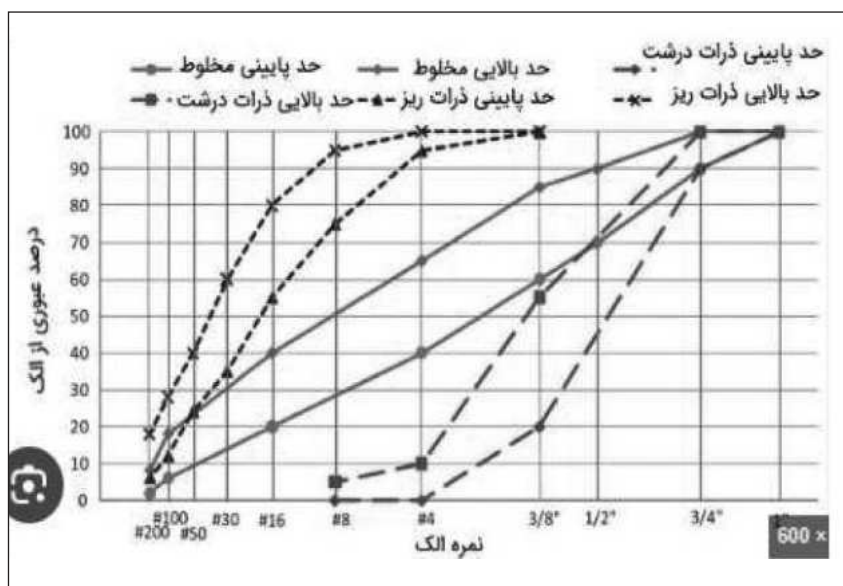
۳) این حد برای سنگدانه ریز شکسته رده ۱ و ۲ مورد مصرف در بتن تحت تأثیر سایش ۵ درصد و سایر بتن ها ۷ درصد می باشد و برای سنگدانه ریز شکسته ویژه بتن خودتراکم

جدول ۳- الزام دانه بندی سنگدانه درشت (شن) را بر اساس استاندارد ۳۰۲ ویرایش ۱۳۹۹

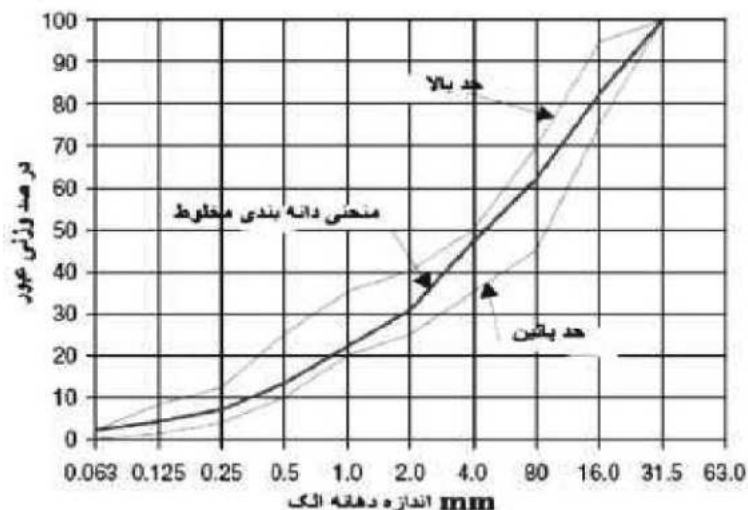
شماره رده دانه بندی	محدوده اندازه اسمی mm	۱۰۰ mm	۹۰ mm	۷۵ mm	۶۳ mm	۵۰ mm	۳۷.۵ mm	۲۵ mm	۱۹ mm	۱۲ mm	۹.۵ mm	۴.۷۵ mm	۲.۳۶ mm	۱.۱۸ mm	۳۰۰ μm
۱	۳۷.۵ تا ۹۰	۱۰۰	۱۰۰ تا ۹۰	-	۶۰ تا ۳۵	-	۱۵ تا ۰	-	۵ تا ۰	-	-	-	-	-	-
۲	۳۷.۵ تا ۶۳	-	-	۱۰۰	۱۰۰ تا ۹۰	۷۰ تا ۳۵	۱۵ تا ۰	-	۵ تا ۰	-	-	-	-	-	-
۳	۲۵۰ تا ۵۰	-	-	-	۱۰۰	۷۰ تا ۳۵	۱۵ تا ۰	-	۵ تا ۰	-	-	-	-	-	-
۳.۵۷	۴.۷۵ تا ۵۰	-	-	-	۱۰۰	۷۰ تا ۳۵	-	۱۰۰ تا ۹۵	-	۳۰ تا ۱۰	-	۵ تا ۰	-	-	-
۴	۱۹ تا ۳۷.۵	-	-	-	-	۱۰۰	۱۰۰ تا ۹۰	۵۵ تا ۳۰	۱۵ تا ۰	-	۵ تا ۰	-	-	-	-
۴.۶۷	۴.۷۵ تا ۳۷.۵	-	-	-	-	۱۰۰	۱۰۰ تا ۹۵	-	۷۰ تا ۳۵	-	۳۰ تا ۱۰	۵ تا ۰	-	-	-
۵	۱۲.۵ تا ۲۵	-	-	-	-	-	۱۰۰	۱۰۰ تا ۹۰	۵۵ تا ۳۰	۱۰ تا ۰	۵ تا ۰	-	-	-	-
۵.۶	۹.۵ تا ۲۵	-	-	-	-	-	-	۱۰۰ تا ۹۰	۸۵ تا ۴۰	۴۰ تا ۱۰	۱۵ تا ۰	۵ تا ۰	-	-	-
۵.۷	۴.۷۵ تا ۲۵	-	-	-	-	-	-	۱۰۰ تا ۹۵	-	۶۰ تا ۳۵	-	۱۰ تا ۰	۵ تا ۰	-	-
۶	۹.۵ تا ۱۹	-	-	-	-	-	-	-	۱۰۰ تا ۹۰	۵۵ تا ۳۰	۱۵ تا ۰	۵ تا ۰	-	-	-
۶.۷	۴.۷۵ تا ۱۹	-	-	-	-	-	-	-	۱۰۰ تا ۹۰	-	۵۵ تا ۳۰	۱۰ تا ۰	۵ تا ۰	-	-
۷	۴.۷۵ تا ۱۲.۵	-	-	-	-	-	-	-	-	۱۰۰ تا ۹۰	۷۰ تا ۴۰	۱۵ تا ۰	۵ تا ۰	-	-
۸	۲.۳۶ تا ۹.۵	-	-	-	-	-	-	-	-	-	۱۰۰ تا ۸۵	۳۰ تا ۱۰	۱۰ تا ۰	۵ تا ۰	-
۸.۹	۱.۱۸ تا ۹.۵	-	-	-	-	-	-	-	-	-	۱۰۰ تا ۹۰	۵۵ تا ۳۰	۳۰ تا ۱۰	۱۰ تا ۰	۵ تا ۰
۹	۱.۱۸ تا ۴.۷۵	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	۱۰۰ تا ۸۵	۴۰ تا ۱۰	۱۰ تا ۰	۵ تا ۰

۱- هر چند شماره رده دانه بندی ۹ در استاندارد ASTM C125 به عنوان سنگدانه ریز تعریف شده است، ولی در این استاندارد، سنگدانه مذکور به عنوان سنگدانه درشت محسوب می شود. این سنگدانه با سنگدانه دارای رده دانه بندی ۸ ترکیب می شود تا سنگدانه با رده دانه بندی ۸.۹ را بسازد.

یادآوری- محدوده هایی که در جدول ۳ نشان داده شده برای برآورده سازی شرایط کل کشور بسیار گسترده است. تولیدکننده برای کنترل کیفیت هر کاربرد خاص باید یک محدوده دانه بندی برای منبع معین و تجهیزات تولید، مشخص کند و دانه بندی را بین رواداری های قابل قبول از این محدوده کنترل نماید. به طور کلی هنگامی که شماره رده دانه بندی شن به صورت دو رقمی یا سه رقمی می باشد، این شن ها در هنگام بارگیری و تخلیه و انبارش، مستعد جداشدگی هستند و اکیداً توصیه می شود به صورت دو یا سه اندازه ی جداگانه تولید، حمل و انبار شوند.



شکل ۲: توزیع دانه بندی های مجاز برای سنگدانه های ریز و درشت و مخلوط



شکل ۳: استاندارد سنگدانه EN-۳۸۰، محدوده های مجاز برای سنگدانه

موضوع را می توان به هیدراته شدن آنها نسبت داد. به علاوه ذرات آهن متالیک در این سربراره ها در صورت اکسید شدن و نزدیکی به سطح بتن می تواند باعث ایجاد حفره های کوچک و لکه شود.

۸- مفهوم اندازه و شکل و بافت سطحی در تعیین سنگدانه ها

بزرگترین اندازه اسمی سنگدانه عبارت است از اندازه بزرگترین الکی که کمتر از ۱۰ درصد سنگدانه ها روی آن باقی بماند. به عبارت دیگر می بایست بیش از ۹۰ درصد دانه ها از آن الک عبور نمایند. قابل ذکر است که مصرف آب و سیمان بر اساس اندازه بزرگترین دانه تعیین می شوند.

شکل و بافت سطحی سنگدانه بر روی خصوصیات بتن تازه بیشتر از بتن سخت شده تاثیر گذار است. سنگ ها را می توان به دسته های گرد گوشه، نامنظم، گوشه دار، پولکی و سوزنی تقسیم نمود. شکل ۴، می تواند یک وجه تمایز بین اشکال سنگدانه ها باشد. اما این وجه افتراق برای سنگدانه ها به اینصورت هرگز قابل تشخیص نیست. در یک تعریف ساده، انواع دانه ها را می توان به شرح جدول ۴ تعریف نمود.

اصولاً در بتن سازی از سنگدانه های گرد، نامنظم، گوشه دار استفاده می شود و بکارگیری دانه های پولکی و سوزنی شکل در ساخت بتن مجاز نیست. زیرا اگر کل جسم بتن تحت تنش قرار گیرد، سنگدانه مربوطه از میانه می شکند. به همین دلیل نیز حداکثر جمع دانه های پولکی و سوزنی، نباید از ۱۵ درصد تجاوز کند.

قطعاً این محدوده با توجه به اقلیم و نوع سنگدانه ها متفاوت است. به عنوان مثال در استاندارد سنگدانه EN-480 محدوده های مجاز برای سنگدانه را بصورت شکل ۳ ارائه نموده است.

۷- معایب سنگدانه های خیلی ریز و زیان آور

سنگدانه های کمتر از ۳۰۰ میکرون، محدودیت هائی را ایجاد می کند. از یکطرف افزایش این سنگدانه ها باعث ایجاد روانی در بتن شده و از طرف دیگر مصرف سیمان را در بتن افزایش می دهند. لذا بسته به تشخیص کارشناس و شرایط مصرف، بتن ساز می تواند مقادیر این سنگدانه ها را کم و زیاد کند.

در مورد سنگدانه های ریز شکسته، به منظور پرهیز از گردهای ناشی از شکستن سنگ ریزتر از ۲ میکرون، باید به موضوع کانی های رسی با دقت بیشتری توجه شود. تحقیقات نشان داده است که سنگدانه های ریز شکسته ای که سنگدانه هائی که عبوری از الک ۷۵ میکرون آنها، حداکثر ۴ درصد است، برای این کار مناسب بوده و حاوی مقدار کمتری از رس می باشند. تست متیلن بلو می تواند جهت ارزیابی رس موجود در سنگدانه مد نظر قرار گیرد. و جذب آن می بایست کمتر از ۵ میلی گرم به ازای هر گرم باشد.

مواد زیان آور در سنگدانه ها می تواند مانع از تماس مناسب بین سنگدانه و سیمان شوند (پوشش رسی مانند لای و رسوبات). چنانچه از سربراره به عنوان مصالح بتنی استفاده شود، باید دقت نمود که ممکن است که اکسیدهای کلسیم و منیزیوم، موجب آلودگی مصالح سنگی شود که علت این

جدول ۴: دسته بندی سنگدانه ها بر اساس اشکال

ردیف	شکل	شرح
۱	گرد	دانه هایی که در اثر فرسایش در طبیعت شکل آنها گرد و سطح آنها صاف شده است.
۲	نامنظم	معمولاً دارای سطح صاف و صیقلی هستند، ولی شکل آنها کاملاً گرد نیست.
۳	گوشه دار	دارای سطح صاف نیستند، شکل هندسی مشخصی نداشته و اکثراً گوشه دار و تیز هستند.
۴	پولکی	ضخامت آنها نسبت به دو بعد دیگر کمتر است.
۵	سوزنی	طول آنها نسبت به دو بعد دیگر به میزان قابل توجهی، بیشتر است.



سنگدانه پهن



سنگدانه پولکی



سنگدانه گوشه دار



سنگدانه گرد

شکل ۴: وجه افتراق شکلی سنگدانه ها

درگیرشدن بین آنها، مقاومت بتن بهتر است. به همین دلیل در کارهایی که به مقاومت نهائی خیلی بالا (۳۵۰ تا ۴۵۰ کیلوگرم بر سانتی متر مربع) نیاز است، از سنگدانه های گوشه دار استفاده می شود.

اصولاً بهترین ماسه گرد گوشه است و بهترین شن یا درشت دانه باید شکسته باشد. همچنین وضعیت سطحی بافت سنگدانه (مانند زبری و صیقلی بودن) بر خواص بتن تاثیرگذار است.

در بتن سازی، دانه های گرد در مقایسه با دانه های نامنظم و گوشه دار، کمترین مصرف سیمان را دارد. زیرا سطح ظاهری سنگدانه های گرد نسبت به سطح ظاهری سنگدانه های نامنظم و گوشه دار کمتر است. و چون خمیر سیمان می بایست تمامی سطح ظاهری سنگدانه را بپوشاند، لذا به سیمان کمتری نیاز دارد.

از نظر مقاومت نهائی بتن، اصولاً بتنی که با سنگدانه های گوشه دار ساخته می شوند، به دلیل اصطکاک بهتر و

کاهش اثرات حباب زائی مواد حباب زای مورد استفاده شده ، می گردد و این امر برای بتن در شرایط یخ و ذوب شدن متوالی ، مناسب نیست.

چنانچه عملیات ذوب و یخ متوالی در مصالح سنگی موجود در بتن ، ناشی از شرایط حد اشباع بحرانی (عدم فضای خالی مناسب) ، رخ دهد، معمولاً قلوه کنی بتن اتفاق می افتد. قلوه کن شدن، یعنی اینکه قسمت کوچکی از بتن در اثر نیروی کششی بیش از اندازه ، می شکند . این نیروی کششی توسط افزایش حجم درشت دانه ه معمولاً ایجاد می شود.

نتیجه قلوه کنی، به جا ماندن حفره های مخروطی شکل در سطح بتن است. این عمل در هر سطحی از بتن که در معرض سیکل های متوالی ذوب و یخ قرار می گیرد ، محتمل است. البته این قلوه کنی تنها ناشی از سیکل ذوب و یخ متوالی نیست، بلکه واکنش های سیلیسی-قلیائی نیز می تواند باعث بروز آن شود.

همچنین اکسیدهای آهنی در سنگ آهن و یا سنگ های آهنی و شیل ها می توانند موجب قلوه کن کردن بتن و لکه دار کردن آن شوند. گاهی اوقات در روسازی بتنی بزرگراهها و فرودگاه ها ، ترک های موازی در لبه قطعات صفحه ای در دالهای مسطح ایجاد می شود. این عمل می تواند ناشی از توالی سیکل های ذوب و یخبندان باشد.

این پدیده بیشتر در بتن هائی رخ می دهد که حاوی سنگدانه های آهنی، دولومیت ، شیل و سنگ ماسه ای باشد.

۹- چگالی، رطوبت و جذب سطحی سنگدانه ها

چگالی سنگدانه عبارت است از نسبت وزن سنگدانه به وزن آبی که همان حجم را داشته باشد. چگالی اکثر سنگدانه ها بین $2/4$ تا $2/9$ و جرم حجمی متناظر با آن 2400 تا 2900 کیلوگرم بر مترمکعب است. بطور کلی سنگدانه ها از نظر رطوبت سطحی و جذب آب، به ۴ دسته تقسیم می شود:

در طرح اختلاط بتن ، همواره فرض می شود که سنگدانه در حالت اشباع با سطح خشک (SSD) می باشد.

۱۰- سنگدانه ها و تخریب های بتنی

اگر سنگدانه ها در حد بحرانی، اشباع از آب نباشند. می تواند در برابر یخ و ذوب متوالی نسبتاً مقاوم باشد. یک سنگدانه زمانی در حد اشباع بحرانی است که فضای خالی مناسبی جهت خنثی سازی افزایش حجم ناشی از یخ زدگی آب نداشته باشد.

مشاهدات میدانی و مطالعات آزمایشگاهی نشان می دهد که برای سنگدانه ها یک حد بحرانی اشباع وجود دارد و اگر اشباع سنگ دانه بیشتر از آن باشد. سنگ دانه در برابر یخ زدن و آب شدن های متوالی، دچار شکست خواهد شد. این حد بحرانی تابع ساختار منفذی، نفوذپذیری، مقاومت کششی سنگدانه است.

سنگدانه های ریز در معرض تخریب ناشی از یخ و ذوب شدن متوالی قرار می گیرد. مقدار زیاد سنگدانه ریز باعث

نام فارسی	نام لاتین	تعریف
سنگدانه کاملاً خشک	Oven-dry	سنگدانه هائی که در کوره ۱۰۰ تا ۱۱۰ درجه ، حرارت دیده و کاملاً خشک شده باشد .
سنگدانه خشک	dry	در داخل بعضی از حفره های میانی ، آب وجود دارد، (رطوبت داخلی) اما حفره های مجاور سطح خارجی، فاقد آب می باشند.
سنگدانه های اشباع با سطح خشک	SSD Saturated surface dry	دانه هائی که کلیه حفره ها و خلل و فرج های آنها از آب پر باشد ، لکن سطح دانه ها خشک است.
سنگدانه های مرطوب (کاملاً خیس)	wet	سنگدانه هائی که خلل و فرج داخلی آنها اشباع از آب بوده و از طرفی سطح آنها نیز خیس باشد. (سنگدانه هائی که پس از ۲۴ ساعت عوطه وری در آب، از آب بیرون آورده شود، سنگدانه های خیس محسوب می شود).

و پتاسیم سیمان معمولاً ، رخ می دهد. نشانه های ناشی از این واکنش در بتن به شرح ذیل است. البته این نشانه ها می تواند در اثر حملات سولفات ها نیز اتفاق افتد:

الف) تراوش ژل قلیائی - سیلیسی از منفذهای بتن

ب) ترک خوردگی

ج) قلوه شکن شدن بتن

اشکال ۵ نمونه هایی از این واکنش که منجر به تخریب بتن می شود، را نشان می دهد.

سنگدانه هایی که پتانسیل بیشتری برای این امر دارند ، عبارتند از: چرت ها، سنگ آهک های سیلیسی، دولومیت ها، کوارتزها، رویولیت ها، داکیت ها، شیل ها، شیست ها، ... لازم به ذکر است که در برخی از موارد ، از خرده شیشه های بطری های ضایعاتی به عنوان سنگدانه بتن استفاده می شود که این امر بعضاً موجب تخریب بتن با مکانیزم فوق شده و نباید بدون انجام آزمایشات به عنوان سنگدانه بتن استفاده شود.

عواملی که باعث تشدید واکنش قلیایی - سیلیسی در بتن می گردد، عبارتند از:

الف) طبیعت مواد واکنش زا در سنگدانه

ب) اندازه مواد واکنش زا در سنگدانه

ج) مقدار مواد قلیائی محلول در بتن که از طریق سیمان وارد شده است.

د) میزان دسترسی به آب

البته ضرورتاً این سنگدانه ها باعث قلوه کنی نمی شود ، بلکه پتانسیل شرائط رخداد این مهم را فراهم می سازد.

پدیده دیگری که می تواند زمینه قلوه کنی بتن را بوجود آورد، تر و خشک شدن سنگدانه های موجود در بتن است که دارای منافذی می باشند. البته تخریب اینچنینی بتن به شدت تخریب ناشی از توالی ذوب و یخ نیست .

اما به هر حال این عمل نیز می تواند موجب تورم سنگدانه با سوراخهای ریز به علت دریافت رطوبت و تحت فشار قرار گرفتن خمیر سیمان موجود در بتن شود.

یکی از اساسی ترین مشکلات سنگدانه ها ، واکنش مخرب شیمیائی آنها با قلیائی های سیمان است. تمامی مصالح سنگی، هنگامی که وارد بتن می شوند، می تواند با اجزاء سیمان وارد واکنش شوند ، اما میزان این واکنش در سنگدانه ها متفاوت است.

سنگدانه ها اساساً باید در بتن خنثی باشند و با هیچ بخشی وارد واکنش نشوند. برخی از این واکنش ها اثرات مثبتی در بتن ایجاد می کند، اما اگر این واکنش موجب انبساط بتن شود، واکنش تخریبی نامیده می شود. دو عاملی که بر سرعت این واکنش می تواند تاثیر گذار باشد، رطوبت و دمای بتن است.

تا به حال دو واکنش بین سنگدانه ها و قلیائی های سیمان شناسائی شده اند:

الف) واکنش قلیائی - سیلیسی

ب) واکنش قلیائی - کربناتی

واکنش قلیائی - سیلیسی در اثر واکنش انبساطی بین اجزای سیلیسی فعال برخی از سنگدانه ها و اکسیدهای سدیم



شکل ۵- نمونه هایی از آثار تخریبی بتن ناشی از انبساط قلیائی - سیلیسی

یا هردو نیز می تواند منشاء پیدایش این واکنش باشد. رس می تواند از طریق واکنش ساختار های دولومیت در فرایند انبساط شرکت نمایند.

دقت شود که اگر در مصالح سنگی، سنگ گچ وجود داشته باشد، می تواند به صورت یک لایه نازک بر روی شن و ماسه نشست و باعث ایجاد هوازدگی درازمدت و نهایتاً تخریب بتن شود. این امر معمولاً زمانی اتفاق می افتد که از بازیافت خرده سنگها و پاره آجرهای ساختمان، به عنوان سنگدانه استفاده شود.

باید اطمینان حاصل کرد که سنگدانه های کشور با مشخص کردن معادن دارای پتانسیل واکنش قلیایی سنگدانه ها در بتن تهیه گردد و در این مکانها استفاده از سیمان تیپ ممنوع گردد و الزام به استفاده از سیمان آمیخته بشود.

۱۱- مقاومت سنگدانه ها در برابر سایش

موضوع دیگری که در مورد سنگدانه های بتن قابل تامل می باشد، مقاومت در برابر سایش است. اساساً مقاومت در برابر سایش و اثرات ضربه متمرکز بر بتن، تابع خمیر سیمان و سنگ دانه ای که در نزدیک سطح بتن قرار گرفته دارد. اگر عمق سایش زیاد مدنظر نباشد، با داشتن یک خمیر سیمان مناسب و یک سنگدانه ریز (با کیفیت مناسب)، می توان مقاومت در برابر سایش را تامین نمود.

بطور معمول سنگدانه های درشت، اثر زیادی بر مقاومت سایش ندارد. زیرا به راحتی سائیده نمی شود. به همین دلیل در بزرگراه ها، مکان هایی که از وسائل چرخ زنجیری و یا ماشین آلاتی با لاستیک گل میخ دار، از این سنگدانه ها استفاده می شود. اما در کف مکان های صنعتی و برخی از سازه های هیدرولیکی از ریزدانه های خاص استفاده می شود. آزمایش

عوامل زیر می تواند مانع ایجاد یا توسعه واکنش سیلیسی-قلیائی شود:

الف) عدم استفاده از سنگدانه های واکنش زا (اگرچه این مهم در بعد عملیاتی ممکن نیست، اما باید در آزمایشات، از سنگدانه هایی استفاده شود که پس از تعیین درجه واکنش زائی، مجوز استفاده داده شود).

ب) اعمال محدودیت های مناسب در مورد قلیائی های معادل سیمان به ۰/۴ درصد

ج) استفاده از یک پوزولان موثر یا یک سرپاره و یا هر ترکیب دیگر برای کاهش پتانسیل واکنش زائی مراجعه به (ACI 201.2R)، سیمان های آمیخته (ASTM C441)

د) جابجائی بخشی از سنگ دانه ها با سنگدانه های آهکی غیر واکنش زا.

آیا استفاده از سیمان با میزان قلیائی کم، خطر واکنش قلیائی-سیلیسی را از بین می برد؟ پاسخ آن است که خیر، زیرا ممکن است که که یک مخلوط باعیار سیمان بالا و در عین حال قلیائی کم، در واحد حجم بتن، همان اثری را داشته باشد که یک مخلوط با عیار سیمان کم ولی میزان قلیائی زیاد. لذا ممکن است که این واکنش مخرب، حتی در زمان استفاده از سیمان های با قلیائی کم نیز رخ دهد.

چگونه ممکن است که حتی در صورت استفاده از سیمان با قلیائی کم، نیز امکان بروز واکنش مخرب سیلیسی-قلیائی، رخ دهد؟ پاسخ آن است که حرکت رطوبت و خشک شدگی، می تواند تمرکز نقطه ای قلیائی ها را بصورت نقطه ای در نواحی مختلف بتن ایجاد نماید. (ترک خوردگی پنجه غازی) که نمونه آن را در شکل ۶ مشاهده می کنید.

منشاء پیدایش واکنش های قلیائی-کربناتی، عمدتاً سنگ های دولومیتی هستند. البته سنگ های حاوی رس و سیلت و



شکل ۶- ترک خوردگی پنجه غازی

میلیمتر)، مقاومت بتن کاهش می یابد. این تاثیر پذیری عمدتاً ناشی از اثرات سایش سنگدانه بر آب مصرفی است و نه سیمان. اما ببینیم که مصالح سنگدانه ای موجود در بتن در برابر اسیدها چه واکنشی نشان می دهند؟

اگر سنگدانه ها از نوع سیلیسی (کوارتز، گرانیت و غیره) باشد، در برابر محیط اسیدیته شدید، مقاوم هستند. اما اگر از نوع کربناتی (سنگ آهک و دولومیت) باشد، اکثراً در محیط اسیدیته شدید با اسیدها واکنش می دهد. در این شرایط بهتر است تا از یک لایه اپوکسی (ضد اسید) استفاده شود. خودخمیر سیمان هم با اسیدها واکنش می دهد.

با این وصف، بررسیها نشان می دهد که تحت شرایط اسیدی ملایم، سنگدانه های کربناتی، مقاومت بیشتری در برابر اسیدها دارند. چرا؟ چون در این شرایط، مصالح کربناتی خردشده و جلوی آسیب دیدن خمیر سیمان را می گیرد و لذا به میزان قابل توجهی عمر بتن را افزایش می دهند.

۱۲- اثر سنگدانه ها بر جمع شدگی های بتنی

یکی از جمع شدگی های بتن، ناشی از خشک شدگی بتن است که در نهایت باعث ترک خوردگی بتن می شود. علت عمده این امر به خمیر سیمان بازمی گردد. اما سنگدانه ها اثرات متفاوتی بر ترک خوردگی بتن ناشی از خشک شدگی دارند. مثلاً سنگدانه های آهکی، دولومیتی، گرانیتی، بازالتی، در هنگام خشک شدگی بتن، جمع شدگی کمی را ایجاد می نمایند. لکن ماسه سنگ، شیل سنگ های متورق، بازالت، جمع شدگی بیشتری را در بتن ایجاد می کنند.

بر اساس تحقیقات نویل، برخی از سنگ های دولومیتی نیز می تواند سبب ایجاد جمع شدگی در بتن شوند. بطور کلی سنگدانه های با جذب آب بالا، پتانسیل جمع شدگی بتن ناشی از خشک شدگی را بالا می برد.

این متن بشکل بسیار خلاصه و کلی و مقدماتی به موضوع نقش سنگدانه در بتن پرداخته است و بسیاری از مطالب احتیاج به توضیحات دقیق تر و مشخص تری دارد که در آینده ارایه خواهد شد.

مراجع:

- ۱- تکنولوژی بتن، دکتر مستوفی نژاد
- ۲) دانش مهندسی سیمان، مهندس منوچهر بکائیان
- ۳- استفاده از سنگدانه های بتن، مهندس داوود توکلی

سنجش مقاومت سنگدانه در برابر سایش، لس آنجلس است. که در آن ضربات شدید و متمایل به شکست به سنگدانه ها اعمال می شود و این در حالی است که در حالت عادی بهره برداری، ممکن است که شکسته نشود. آیا این آزمایش، معیار مناسبی برای ارزیابی مقاومت سنگدانه ها در برابر سایش است؟ خیر، تجربه نشان داده است که ارتباط ضعیفی بین درصد سایش حاصله از نتیجه این آزمایش با شرایط واقعی دوام بتن برقرار است. این آزمایش تنها می تواند سنگدانه های نامرغوب را شناسائی نماید که قادر است تا در هنگام بهره برداری به بتن آسیب بزنند.

سختی سنگدانه ها، تنها و مهمترین مشخصه ای است که می تواند سایش مصالح سنگی را کنترل کند.

استانداردهای مناسب برای کنترل سایش سنگدانه، - ASTM C 418-779-944-1138، است.

۱۲- نقش سنگدانه ها در مقاومت بتن، مقاومت در برابر اسید

مقاومت بتن به سه عامل بستگی دارد:

الف) مقاومت خمیر سیمان

ب) مقاومت سنگدانه ها

ج) اتصال بین خمیر و سنگ دانه ها

ما در این بخش تنها به اثرات سنگدانه ها بر مقاومت بتن اشاره می کنیم. چه ویژگی های مهمی از سنگدانه در مقاومت بتن تاثیرگذارتر است؟

الف) تمیزی مصالح سنگدانه که در نحوه اتصال باخمیر سیمان موثر است.

ب) یک سطح سنگدانه با بافت خشن، بهتر از یک سطح با بافت صیقلی، اتصال برقرار می کند.

ج) پوشش هایی که در حین اختلاط بتن، از سنگدانه جدا می شود، باعث ازدیاد مواد ریز در بتن می شود.

د) سنگدانه های گوشه دار تیز درشت منجر به مقاومت فشاری بیشتری می شود.

ه) اگر سنگدانه های پولکی و سوزنی موجود باشد، آب بیشتری نیاز است، افت مقاومت بتن، به علت افزایش آب محتمل است.

و) نسبت سنگدانه ها ریز و درشت در طرح اختلاط بتن

ز) دانه بندی خوب مصالح سنگی

در یک نسبت آب به سیمان ثابت، با افزایش اندازه بزرگترین سنگدانه به مقادیر بالاتر (بویژه بالاتر از ۳۷/۵

بررسی عوامل تاثیرگذار بر کیفیت فوق روان کننده پلی کربوکسیلات و تاثیرات آن در بتن

■ علی صادقی

مدیر عامل شرکت مبین بتن شیراز

چکیده:

امروزه بتن به عنوان یکی از مهم ترین و پر مصرف ترین مصالح ساختمانی جایگاه ویژه ای در ساخت و سازها دارد. ویژگیهای منحصر بفرد فنی و اقتصادی بتن سبب گسترش روز افزون استفاده از آن شده است. بخش بسیار مهم در تولید بتن مربوط به کارایی و روانی جهت سهولت در پمپ پذیری و اجرا (ویژگی های چهارگانه بتن تازه) میباشد. در این مقاله تعدادی از فوق روان کننده های پلی کربوکسیلات مورد استفاده در پروژه های استان فارس مورد بررسی قرار گرفت و تاثیر هرکدام بر مقاومت و وزن مخصوص مورد بررسی قرار گرفت. طرح مخلوط براساس روش طرح مخلوط ملی ایران انجام گرفت و تمامی مصالح مصرفی (شن، ماسه، سیمان، آب) در بتن مربوط به استان فارس می باشد. میزان مصرف فوق روان کننده براساس عیار سیمان مشخص می گردد.

رابطه مقاومت فشاری و درصد هوای غیر عمد بتن

در تمام نمونه های آزمایش شده به این نتیجه رسیدیم که با افزایش درصد هوای بتن، مقاومت فشاری بتن کاهش پیدا کرد. از این رو انتخاب آنتی فوم مناسب جهت کاهش هوای تولید شده در بتن از اهمیت بالایی برخوردار است. میزان مجاز استاندارد برای هوای غیر عمد بتن با افزودنی ۲ درصد بیشتر از نمونه شاهد می باشد.

رابطه وزن مخصوص و درصد هوای بتن غیر عمد

با افزایش درصد هوای غیر عمد بتن وزن مخصوص آزمونه ها کمتر خواهد شد. علت این اتفاق افزایش هوا و فضا خالی بیشتر نسبت به نمونه بدون افزودنی میباشد. این کاهش وزن با بیشتر شدن دوز مصرفی نیز افزایش یافت.

رابطه های بین درصد ماده خشک افزودنی با وزن مخصوص افزودنی و دوز مصرفی افزودنی

یکی از اشتباهات رایج بین مصرف کنندگان فوق روان کننده بتن توجه به میزان ماده خشک و وزن مخصوص افزودنی جهت انتخاب کیفیت مناسب تر میباشد. این موضوع به طور کامل اشتباه می باشد زیرا با نتایج بدست آمده مشخص گردید بعضی از فوق روان کننده ها که دارای وزن مخصوص و ماده خشک بیشتری بودند دوز مصرفی بالاتر نسبت به دیگر رقبا داشتند علت این اتفاق استفاده کردن از مواد خنثی (عدم تاثیر در ایجاد روانی) یا استفاده از روان کننده های دیگر مانند لیگنو سولفونات در ترکیبات اولیه میباشد که موجب اثرات نامطلوب در بتن می گردد.

کلید واژگان: بتن، مقاومت فشاری، عیار سیمان، روانی برابر، ماسه، شن، فوق روان کننده بتن، درصد هوای بتن، ماده خشک افزودنی، دوز مصرفی افزودنی، وزن مخصوص

مقدمه

از دهه ۹۰ میلادی تا کنون، افزودنی‌ها رکن اصلی ساخت بتن در کشورهای توسعه‌یافته بوده‌اند. کاربرد افزودنی‌ها در ساخت بتن با کیفیت بالا به منظور غلبه بر عوامل آب و هوایی و مشکلات اجرایی، ضرورت انکارناپذیر می‌باشد. افزودنی‌های بتن، کاربردهایی نظیر کاهش مقدار آب به منظور افزایش مقاومت بتن، ایجاد حباب‌های هوا به منظور افزایش دوام بتن در برابر یخبندان، دیرگیر کردن بتن به منظور بتن‌ریزی‌های حجیم و تسریع سخت‌شدگی جهت کسب مقاومت اولیه سریع‌تر دارند. از اینرو افزودنی‌ها هم در کنترل فرایند هیدراسیون سیمان در بتن نقش داشته و هم سبب بهبود خواص دوام بتن می‌گردند.

امروزه به علت شناخت و تولید افزودنی‌های مناسب برای دستیابی به خواص و مشخصات مطلوب و دوام و مقاومت مناسب، کاربرد این مواد رو به افزایش است. از این رو در این مقاله تلاش کردیم عوامل تاثیر گذار بر فوق روان کننده پلی کربوکسیلات که از مهمترین و اصلی ترین افزودنی مورد استفاده در بتن آماده می‌باشد را مورد بررسی قرار دهیم.

تاریخچه

پیشرفت‌هایی که طی چند دهه اخیر در فناوری بتن بوجود آمده است، بی‌تردید با پیدایش افزودنی‌ها، کاربرد آنها و نوآوری‌های بسیار در این گستره ارتباط دارد. ریشه این پیوند را می‌توان در دستیابی به برتری‌های فنی در خواص و مشخصات بتن، تسهیل در اجرای آن و صرفه‌جویی در انرژی، نیروی کار و ... شناسایی کرد. کشف، تولید و مصرف مواد افزودنی در بتن، محصول نیازهای فنی و اجرایی است. زیرا کاربرد این مواد به دلیل ساختارهای شیمیایی متفاوت و متنوعی که دارند، علاوه بر تأمین تسهیلات اجرایی در کارهای بتنی موجب دستیابی به برتری‌ها و امتیازات فنی جدیدی در خواص اصلی بتن تازه و سخت شده می‌شوند که حصول آنها از طریق روشهای معمول و متداول طرح و اجرای بتن امکان‌پذیر نبوده و اگر باشد، از نظر اقتصادی به صرفه نیست. اندیشه تحقیق و مطالعه درباره افزودنی‌ها، بعد از کشف و تولید صنعتی سیمان در نیمه دوم قرن نوزدهم و

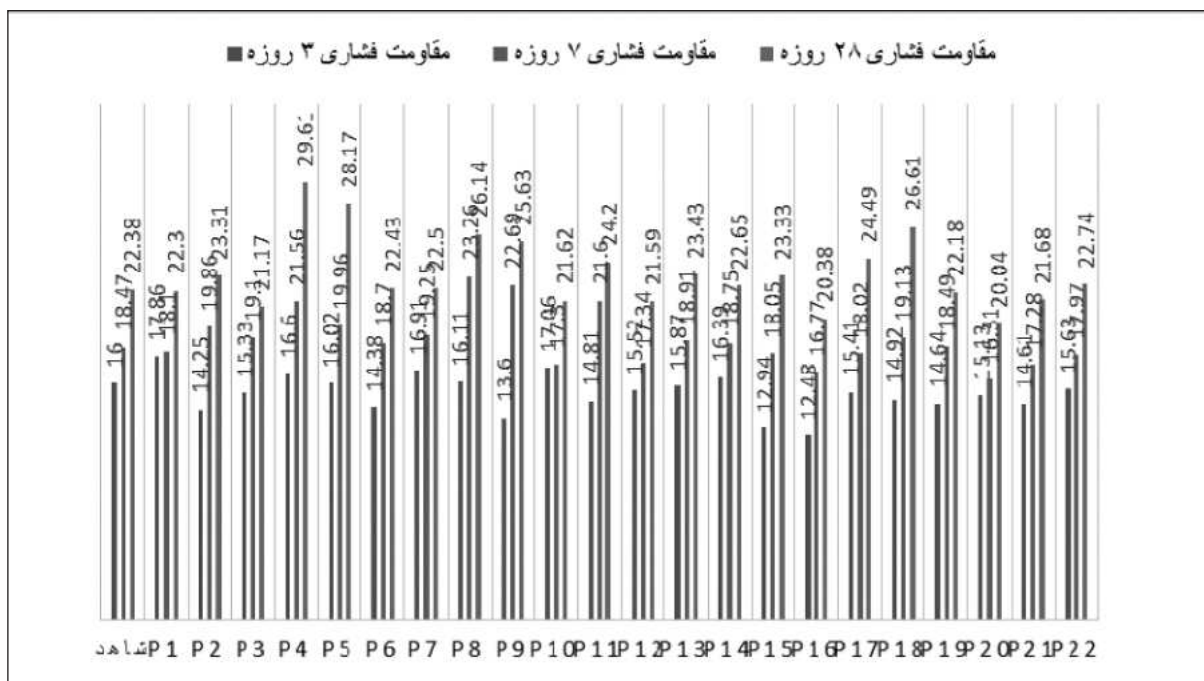
شناخت ترکیبات و فرایند هیدراسیون سیمان، ابتدا در مراکز علمی، پژوهشی مورد بررسی قرار گرفت و بتدریج کاربرد آنها در عملیات اجرایی رواج یافت. افزودنی‌های شیمیایی متداول مصرفی در بتن، شامل روان‌کننده‌ها، زودگیرکننده‌ها، دیرگیرکننده‌ها و حباب‌هواسازها در نخستین سالهای دهه سوم قرن بیستم اختراع شدند. قدیمی‌ترین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

بررسی عوامل تاثیر گذار بر کیفیت فوق روان کننده پلی کربوکسیلات و تاثیرات آن در بتن

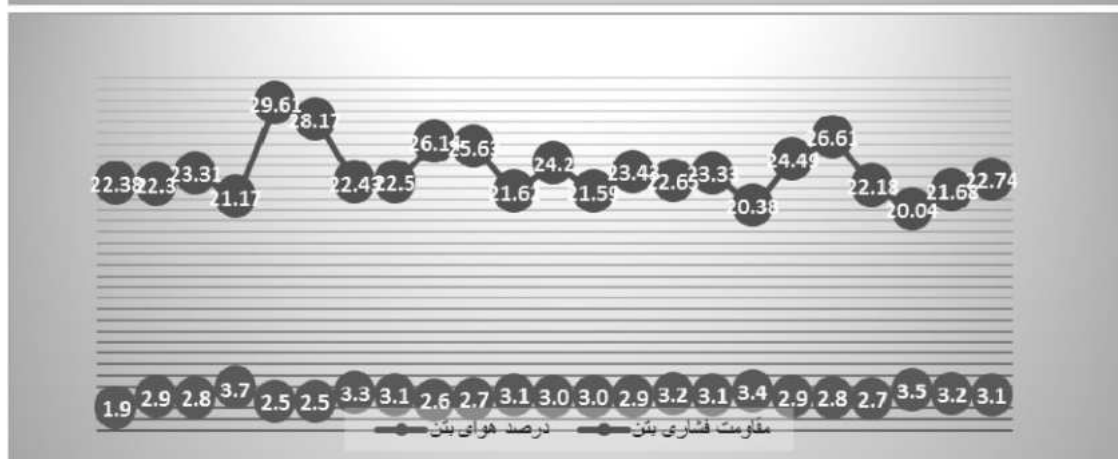
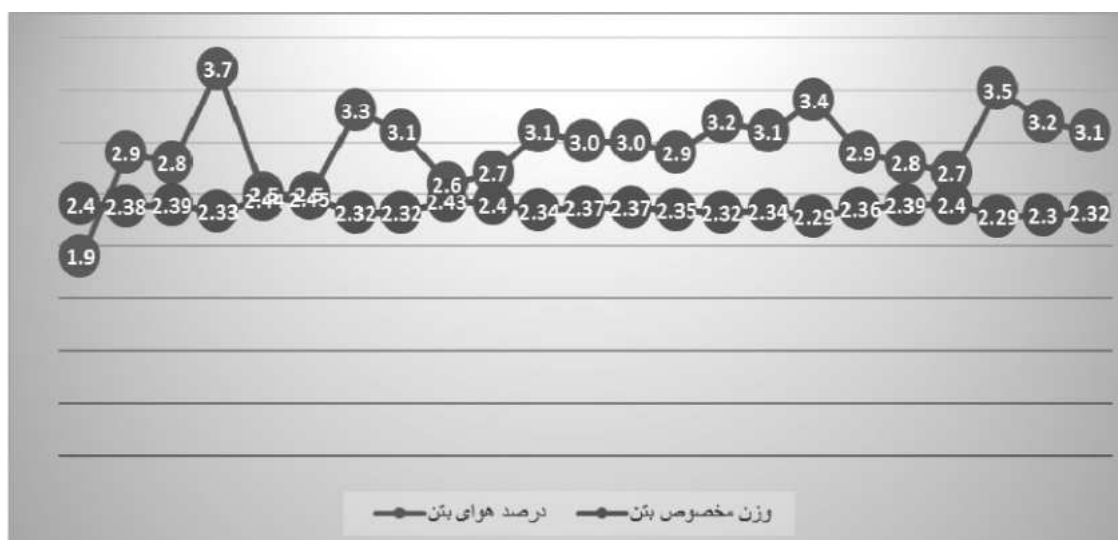
در این مقاله از روش ملی طرح مخوط بتن جهت طرح اولیه استفاده شده است سعی شد از چندین شرکت که بیشترین فروش در استان فارس داشتند خرید انجام گیرد و عوامل تاثیر گذار بر کیفیت افزودنی (فوق روان کننده پلی کربوکسیلات) و در انتها تاثیر در مقاومت فشاری بتن آماده مورد بررسی قرار گیرد. اسلامپ اولیه و اسلامپ بعد از اضافه کردن افزودنی در تمام نمونه‌ها ثابت است و تنها میزان مصرف افزودنی براساس کیفیت متغیر می‌باشد.

رابطه مقاومت فشاری و وزن مخصوص بتن با درصد هوای غیر عمد بتن

ردیف	نام محصول	نسب درصد سیلیس دوز مصرفی بر اسلامپ mm	درصد هوا در بتن	مقاومت استوانه ای میانگین مگا پاسکال			وزن مخصوص میانگین گرم بر سانتیمتر مکعب		
				۳ روزه	۷ روزه	۲۸ روزه	۳ روزه	۷ روزه	۲۸ روزه
۱	p1	۰/۰۰	۹۰	۱/۹	۱۶	۱۸/۴۷	۲۲/۳۸	۲/۳۱	۲/۳۲
۲	p2	۰/۲	۱۶۰	۲/۹	۱۷/۸۶	۱۸/۱	۲۲/۳	۲/۳۵	۲/۳۶
۳	p3	۰/۲	۱۶۰	۲/۸	۱۴/۲۵	۱۹/۸۶	۲۳/۳۱	۲/۳۴	۲/۳۸
۴	p4	۰/۲	۱۶۰	۳/۷	۱۵/۳۳	۱۹/۱	۲۱/۱۷	۲/۲۴	۲/۲۶
۵	p5	۰/۲	۱۶۰	۲/۵	۱۶/۶	۲۱/۵۶	۲۹/۶۱	۲/۴	۲/۴۲
۶	p6	۰/۲	۱۶۰	۲/۵	۱۶/۰۲	۱۹/۹۶	۲۸/۱۷	۲/۳۹	۲/۴۲
۷	p7	۰/۲۲	۱۶۰	۳/۳	۱۴/۳۸	۱۸/۷	۲۲/۴۳	۲/۲۸	۲/۳
۸	p8	۰/۲۳	۱۶۰	۳/۱	۱۶/۹۱	۱۹/۲۵	۲۲/۵	۲/۳۱	۲/۳۱
۹	p9	۰/۲۶	۱۶۰	۲/۶	۱۶/۱۱	۲۳/۲۶	۲۶/۱۴	۲/۳۸	۲/۴۱
۱۰	p10	۰/۲۷	۱۶۰	۲/۷	۱۳/۶	۲۲/۶۹	۲۵/۶۳	۲/۳	۲/۳۵
۱۱	p11	۰/۲۷	۱۶۰	۳/۱	۱۷/۰۶	۱۷/۳	۲۱/۶۲	۲/۳	۲/۳۲
۱۲	p12	۰/۳	۱۶۰	۳	۱۴/۸۱	۲۱/۶	۲۴/۲	۲/۳	۲/۳۵
۱۳	p13	۰/۳۲	۱۶۰	۳	۱۵/۵۲	۱۷/۳۴	۲۱/۵۹	۲/۲۸	۲/۳۲
۱۴	p14	۰/۳۴	۱۶۰	۲/۹	۱۵/۸۷	۱۸/۹۱	۲۳/۴۳	۲/۳۲	۲/۳۴
۱۵	p15	۰/۳۵	۱۶۰	۳/۲	۱۶/۳۹	۱۸/۷۵	۲۲/۶۵	۲/۲۷	۲/۲۹
۱۶	p16	۰/۳۸	۱۶۰	۳/۱	۱۲/۹۴	۱۸/۰۵	۲۳/۳۳	۲/۳	۲/۳۲
۱۷	p17	۰/۳۸	۱۶۰	۳/۴	۱۲/۴۸	۱۶/۷۷	۲۰/۳۸	۲/۲۵	۲/۲۸
۱۸	p18	۰/۳۸	۱۶۰	۲/۹	۱۵/۴۱	۱۸/۰۲	۲۴/۴۹	۲/۳۲	۲/۳۴
۱۹	p19	۰/۴	۱۶۰	۲/۸	۱۴/۹۲	۱۹/۱۳	۲۶/۶۱	۲/۳۴	۲/۳۶
۲۰	p20	۰/۴	۱۶۰	۲/۷	۱۴/۶۴	۱۸/۴۹	۲۲/۱۸	۲/۳۶	۲/۳۸
۲۱	p21	۰/۴	۱۶۰	۳/۵	۱۵/۱۳	۱۶/۳۱	۲۰/۰۴	۲/۲۶	۲/۲۸
۲۲	p22	۰/۴	۱۶۰	۳/۲	۱۴/۶۱	۱۷/۲۸	۲۱/۶۸	۲/۲۳	۲/۲۶
۲۳	p23	۰/۵	۱۶۰	۳/۱	۱۵/۶۳	۱۷/۹۷	۲۲/۷۴	۲/۲۵	۲/۲۸



نمودار رشد مقاومت فشاری بتن در سنین مختلف



ردیف	نام محصول	درصد وزن سیلان	دور بصرف شده	رنگ	یکپارختی	شدن قبل خشک	شدن بعد خشک	درصد ماده خشک	نشانه ظرفی تا	وزن افزودنی تا	نشانه ظرفی تا	وزن آب مقطر تا	افزودنی	وزن مخصوص	افزودنی	پH
۱	p1	۰/۰۰	۰/۰۰	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
۲	p2	۰/۲۰	۰/۲۰	بی رنگ متماثل به زرد	مورد قبول	۸۳/۵	۳۹/۶	۴۹/۰	۱۰۹/۶	۹۸/۹	۱/۱۱	۶				
۳	p3	۰/۲۰	۰/۲۰	بی رنگ متماثل به زرد	مورد قبول	۵۹/۴	۲۹/۷	۵۰/۰	۱۰۸/۰	۹۸/۹	۱/۱	۴/۸				
۴	p4	۰/۲۰	۰/۲۰	بی رنگ متماثل به زرد	مورد قبول	۶۹/۱	۳۴/۳	۴۹/۰	۱۰۷/۴	۹۸/۹	۱/۰۹	۴/۸				
۵	p5	۰/۲۰	۰/۲۰	قهوه ای روشن	مورد قبول	۵۰/۶	۲۵/۱	۴۹/۰	۱۰۸/۵	۹۸/۹	۱/۱	۵/۹				
۶	p6	۰/۲۰	۰/۲۰	بی رنگ متماثل به زرد	مورد قبول	۸۳/۷	۳۹/۸	۵۰/۰	۱۰۹/۵	۹۸/۹	۱/۱۱	۶				
۷	p7	۰/۲۲	۰/۲۲	قهوه ای روشن	مورد قبول	۸۱/۵	۳۷/۶	۴۶/۰	۱۰۸/۴	۹۸/۹	۱/۰۸	۵/۱				
۸	p8	۰/۲۳	۰/۲۳	قهوه ای	مورد قبول	۱۱۸/۰	۳۸/۲	۴۴/۰	۱۰۹/۴	۹۸/۹	۱/۰۸	۶				
۹	p9	۰/۲۶	۰/۲۶	قهوه ای روشن	مورد قبول	۵۰/۹	۱۹/۹	۳۹/۰	۱۰۶/۸	۹۸/۹	۱/۰۶	۳/۴				
۱۰	p10	۰/۲۷	۰/۲۷	بی رنگ متماثل به زرد	مورد قبول	۵۶/۷	۲۲/۳	۳۹/۰	۱۰۹/۱	۹۸/۹	۱/۰۶	۴/۲				
۱۱	p11	۰/۲۷	۰/۲۷	بی رنگ متماثل به زرد	مورد قبول	۴۹/۰	۱۹/۴	۳۹/۰	۱۰۹/۷	۹۸/۹	۱/۰۶	۶/۳۳				
۱۲	p12	۰/۳۰	۰/۳۰	قهوه ای تیره	مورد قبول	۸۷/۶	۳۷/۶	۴۳/۰	۱۱۲/۸	۹۸/۹	۱/۱۴	۴/۵۸				
۱۳	p13	۰/۳۲	۰/۳۲	سبز	مورد قبول	۵۶/۲	۱۸/۱	۳۲/۰	۱۰۷/۵	۹۸/۹	۱/۰۵	۴/۷				
۱۴	p14	۰/۳۴	۰/۳۴	قهوه ای	مورد قبول	۷۷/۲	۲۲/۹	۳۰/۰	۱۰۳/۲	۹۸/۹	۱/۰۵	۳/۴				
۱۵	p15	۰/۳۵	۰/۳۵	قهوه ای	مورد قبول	۷۷/۴	۲۳/۱	۳۰/۰	۱۰۴/۲	۹۸/۹	۱/۰۴	۵				
۱۶	p16	۰/۳۸	۰/۳۸	قهوه ای تیره	مورد قبول	۱۱۵/۰	۲۴/۶	۲۲/۰	۱۱۲/۳	۹۸/۹	۱/۱۳	۴/۵۲				
۱۷	p17	۰/۳۸	۰/۳۸	قهوه ای تیره	مورد قبول	۷۹/۸	۳۱/۳	۴۰/۰	۱۱۷/۱	۹۸/۹	۱/۱۸	۴/۴۳				
۱۸	p18	۰/۳۸	۰/۳۸	قهوه ای کم رنگ	مورد قبول	۶۵/۲	۱۶/۴	۲۲/۰	۱۰۳/۴	۹۸/۹	۱/۰۳	۵/۶				
۱۹	p19	۰/۴۰	۰/۴۰	قهوه ای روشن	مورد قبول	۵۳/۲	۱۲/۲	۲۰/۰	۱۰۲/۷	۹۸/۹	۱/۰۲	۴/۸۵				
۲۰	p20	۰/۴۰	۰/۴۰	قهوه ای	مورد قبول	۵۱/۲	۱۰/۲	۱۷/۰	۱۰۱/۴	۹۸/۹	۱/۰۱	۴/۱				
۲۱	p21	۰/۴۰	۰/۴۰	قهوه ای کم رنگ	مورد قبول	۷۱/۰	۱۱/۱	۱۷/۰	۱۰۲/۴	۹۸/۹	۱/۰۱	۵/۴				
۲۲	p22	۰/۴۰	۰/۴۰	قهوه ای تیره	مورد قبول	۸۱/۲	۳۵/۲	۴۴/۰	۱۰۸/۲	۹۸/۹	۱/۱	۴/۵				
۲۳	p23	۰/۵۰	۰/۵۰	قهوه ای	مورد قبول	۵۵/۳	۱۱/۰	۲۲/۰	۱۰۲/۲	۹۸/۹	۱/۰۱	۵				

بعضی از این مشخصات در تمامی محصولات تعیین گردد با توجه به نتایج در اکثر افزودنی ها تست شده با افزایش وزن مخصوص افزودنی میزان مصرف افزودنی کاهش پیدا کرد اما این رابطه صددرصدی نیست زیرا همانطور که در قبل اعلام شد ممکن است افزایش وزن مخصوص به وسیله لیگنوسولفونات یا هر ماده خنثی دیگر انجام گرفته باشد که موجب مصرف بیشتر افزودنی جهت رسیدن به اسلامپ مورد نظر می گردد.

جهت کنترل افزودنی فوق روان کننده در بتن آماده دارای اهمیت ویژه می باشد.

بررسی مشخصات الزامات مشترک مطابق با استاندارد ملی ایران ۲۹۳۰-۱

با توجه به اینکه الزامات مشترک افزودنی در بتن از اهمیت بالایی برخوردار میباشد سعی گردید مطابق استاندارد ۲۹۳۰

درصد ماده خشک

0.0 49.050.049.049.050.046.044.039.039.039.043.032.030.030.022.040.022.020.017.017.044.022.0

وزن مخصوص افزودنی

0.0 1.11.11.091.11.11.081.081.061.061.061.141.051.051.041.131.181.031.021.011.011.11.01

دوز مصرفی

0.000.200.200.200.200.200.220.230.260.270.270.300.320.340.350.380.380.380.400.400.400.400.50

ای در بتن پیدا کرده اند بایستی توجه کرد که ماده خشک و وزن مخصوص افزودنی مایع نمیتواند عامل اصلی جهت کیفیت افزودنی پلی کربوکسیلات باشد زیرا با توجه به نتایج مشخص شد بعضی از این افزودنی ها از مواد غیر اکتیو و لیگنو سولفونات (جهت حفظ اسلامپ) جهت بالا بردن ماده خشک و افزایش غلظت استفاده کرده بودند و این امر موجب کاهش مصرف افزودنی در بتن نشده است از طرفی با توجه به رابطه مستقیم درصد هوای بتن با وزن مخصوص آن و مقاومت فشاری بتن ، حتما درصد مجاز هوای بتن دارای افزودنی نسبت به نمونه شاهد کنترل گردد زیرا این افزایش هوا موجب کاهش مقاومت و در بلند مدت در دوام بتن تاثیرگذار است. شکل ملکولی پلی کربوکسیلات و اصلاحات آن در تکنولوژی های جدید به همراه استفاده از رزین های خاص به گونه ای تغییر کرده که صرف نظر از مقدار ماده خشک یا وزن مخصوص افزودنی، قابلیت افزودنی در افزایش روانی و حفظ اسلامپ به شکل چشم گیری افزایش پیدا کرده بنابراین با اندازه گیری این پارامتر های ذکر شده به غیر از اندازه گیری عملکرد واقعی افزودنی در بتن نمیتوان به کیفیت واقعی آن پی برد.

در نتایج به دست آمده درصد هوا تاثیر مستقیم بر وزن مخصوص بتن داشت به این صورت که با افزایش درصد هوا در بتن وزن مخصوص کاهش پیدا میکرد این موضوع میتواند به علت ایجاد فضای هوا تشکیل شده بیشتر در حجم بتن باشد و همچنین افزایش هوا موجب کاهش مقاومت فشاری بتن شد از این رو آزمایش درصد هوای بتن همچنین مشخص شد که در اغلب محصولات با افزایش درصد ماده خشک دوز مصرفی کاهش می یابد اما این رابطه در تعدادی از محصولات هم خوانی نداشت زیرا در تعدادی از محصولات جهت بالا بردن ماده خشک از مواد غیر اکتیو استفاده شده بود که تاثیر در روانی نداشتند و در برخی دیگر لیگنو سولفونات به افزودنی های پلی کربوکسیلات اضافه شده بود که میتواند هوازایی بیشتر در بتن ایجاد کند با بررسی های انجام گرفته مشخص گردید رابطه مستقیمی بین وزن مخصوص با درصد ماده خشک برقرار میباشد و این رابطه همیشه برقرار می باشد.

نتیجه گیری

با توجه به اینکه محصولات پلی کربوکسیلات جایگاه ویژه

بررسی پروفایل دمایی بتن (تأثیرات، کنترل و بهینه‌سازی)

■ فرزین مدنی
دکتری سازه

تاریخچه تحقیقات گذشته

تحقیقات در زمینه پروفایل دمایی بتن و تأثیر آن بر خواص و عملکرد بتن از اوایل قرن بیستم آغاز شده و با گذشت زمان به طور قابل توجهی توسعه یافته است.

در اوایل قرن بیستم، تحقیقات اولیه، بیشتر بر روی ترکیب و خواص مکانیکی بتن متمرکز بود. محققان به تدریج متوجه شدند که دما نقش مهمی در فرآیند هیدراتاسیون سیمان و خواص نهایی بتن ایفا می‌کند. با این حال، ابزارها و فناوری‌های موجود برای مطالعه دقیق دما و کنترل آن محدود بودند.

در دهه ۱۹۵۰، نیاز به تحقیق در مورد تأثیر دما بر بتن به دلیل پروژه‌های بزرگ ساختمانی، مانند سدسازی، افزایش یافت. محققانی مانند والتر [۲] و بروکس [۳] شروع به بررسی تأثیرات دما بر زمان گیرش و مقاومت نهایی بتن کردند. آنها از آزمایش‌های میدانی و آزمایشگاهی برای درک بهتر این پدیده استفاده کردند. این مطالعات نشان داد که دما می‌تواند به طور قابل توجهی بر سرعت هیدراتاسیون سیمان و خواص مکانیکی بتن تأثیر بگذارد.

در دهه ۱۹۷۰، پیشرفت‌های فناوری به محققان این امکان را داد که مطالعات دقیق‌تری انجام دهند. میهان و جان تی. سیلمان [۴] با استفاده از سنسورهای دما و روش‌های پیشرفته‌تر نظارت، تحقیقات خود را بر روی کنترل دما در طول فرآیندهای بتن‌ریزی متمرکز کردند. نتایج این تحقیقات به توسعه روش‌های جدید برای مدیریت دما در پروژه‌های بتنی بزرگ، مانند سدها و پل‌ها، منجر شد.

مقدمه

در عصر حاضر، بتن به عنوان یکی از مواد ساختمانی بسیار مهم و پرکاربرد در صنعت ساخت و ساز شناخته می‌شود. این ماده با ترکیبی از سیمان، آب، سنگدانه‌ها و مواد افزودنی، به یک ماده مقاوم و پایدار تبدیل می‌شود که در ساخت و ساز سازه‌های مختلف، از جمله پل‌ها، سدها، و ساختمان‌ها، استفاده می‌شود. اما یکی از جنبه‌های حیاتی در فرآیند تولید و استفاده از بتن، کنترل و بررسی دما در مراحل مختلف آن است. دما به عنوان یک عامل کلیدی، تأثیر زیادی بر خواص و عملکرد بتن تازه و سخت شده دارد. از تأثیرات مهم آن می‌توان به نسبت آب به سیمان لازم برای رسیدن به یک روانی معین و در نتیجه اثر مقاومتی دما و تغییرات در سرعت واکنش‌های شیمیایی، مقاومت نهایی بتن، و کیفیت آب‌بندی اشاره کرد. بنابراین، شناخت دقیق و کنترل دمای بتن در طول فرآیندهای بتن‌ریزی و ساخت سازه‌های بتنی، از اهمیت بسیاری برخوردار است. [۱]

در این مقاله، به بررسی جنبه‌های مختلف پروفایل دمایی بتن پرداخته می‌شود. از جمله موضوعاتی که مورد بررسی قرار می‌گیرند، تأثیرات دما بر خواص بتن، عوامل مؤثر بر پروفایل دمایی، روش‌های اندازه‌گیری و کنترل دما، و بهینه‌سازی شرایط دمایی در فرآیندهای بتن‌ریزی و ساخت سازه‌های بتنی است. هدف از این بررسی، ارائه یک دید جامع و کاربردی از نقش دما در کیفیت و عملکرد بتن و ارائه راهکارهایی برای بهینه‌سازی شرایط دمایی در این فرآیندها می‌باشد.

در دماهای بالا، میزان تبخیر آب بیشتر می شود که می تواند به کاهش کیفیت آب بندی و افزایش خطر ترک های سطحی منجر شود.

- در دماهای پایین، می تواند به تشکیل یخبندان در داخل ساختار بتن و افزایش خطر انفجار یخبندانی (کاهش دوام و مقاومت در اثر چرخه ذوب و یخبندان) در بتن منجر شود که ممکن است باعث تخریب ساختمان شود.

ب- دوام بتن:

- دما می تواند بر دوام بتن نیز تأثیرگذار باشد. دماهای بالا می توانند باعث کاهش دوام بتن شده و افزایش فرسایش و خوردگی در طول زمان شود.

- از سوی دیگر، دماهای پایین نیز می توانند به خطراتی مانند تشکیل یخبندان و انفجار یخبندانی منجر شود که ممکن است به تخریب ساختمان منجر شود.

به طور کلی، درک دقیق از تأثیرات دما بر خواص بتن اساسی برای بهینه سازی فرآیندهای تولید و کاربرد بتن و همچنین افزایش دوام و عمر مفید ساختمان های بتنی است. [۸]

عوامل مؤثر بر پروفایل دمایی بتن

عوامل مؤثر بر پروفایل دمایی بتن می توانند متنوع باشند و از جنبه های مختلفی می توانند تأثیر گذار باشند. در اینجا، به برخی از این عوامل پررنگ تر توجه شده است:

۱- شرایط محیطی:

- دما: دمای محیط بر فرآیند هیدراتاسیون سیمان و دمای بتن تأثیر گذار است. دماهای بالا می توانند فرآیند هیدراتاسیون را تسریع کنند، در حالی که دماهای پایین این فرآیند را کندتر می کنند.

- رطوبت: رطوبت نیز می تواند بر دمای بتن تأثیر بگذارد. بتن در شرایط رطوبت بالا ممکن است به دلیل حفظ رطوبت، دمای بالاتری داشته باشد.

۲- نوع سیمان:

- نوع سیمان مورد استفاده نیز می تواند بر پروفایل دمایی بتن تأثیر گذار باشد. برخی از انواع سیمان ها حرارت هیدراته شدن بیشتری در واحد زمان دارند که ممکن است منجر به افزایش دمای بتن شود.

۳- نوع مواد افزودنی:

- استفاده از مواد افزودنی مختلف می تواند به کنترل دمای

در دهه ۱۹۹۰، توجه محققان به استفاده از مواد افزودنی و تکنیک های نوین برای کنترل دمای بتن جلب شد. چانگ [۵] و چارست [۶] به بررسی انواع مختلف مواد افزودنی و تأثیر آنها بر پروفایل دمایی بتن پرداختند. تحقیقات آنها نشان داد که مواد افزودنی می توانند به طور مؤثری دما را کنترل کرده و خواص نهایی بتن را بهبود بخشند.

تحقیقات در دهه های اخیر با استفاده از فناوری های پیشرفته تر ادامه یافت. دکتر میلر و همکاران [۷] با استفاده از هوش مصنوعی، اینترنت اشیا (IoT)، و مدل سازی کامپیوتری به بررسی تأثیرات دما بر خواص بتن پرداختند. این فناوری ها امکان نظارت و کنترل دقیق تر دما در طول زمان و پیش بینی تأثیرات آن بر خواص نهایی بتن را فراهم کرده اند. مطالعات جدیدتر نشان داده اند که استفاده از این فناوری ها می تواند به بهبود قابل توجهی در کیفیت و دوام سازه های بتنی منجر شود.

به طور کلی، تاریخچه تحقیقات در زمینه پروفایل دمایی بتن نشان می دهد که کنترل دقیق دما در طول فرآیندهای بتن ریزی و ساخت سازه های بتنی از اهمیت بالایی برخوردار است. با پیشرفت فناوری و ادامه تحقیقات، محققان توانسته اند روش های مؤثرتری برای مدیریت دما و بهبود کیفیت و دوام بتن ارائه دهند.

تأثیرات دما بر خواص بتن

دما به عنوان یکی از عوامل کلیدی در فرآیند هیدراتاسیون سیمان و تشکیل ساختار بتن، تأثیر قابل توجهی بر خواص نهایی بتن دارد. این تأثیرات می توانند در سطوح مختلف، از جمله مقاومت مکانیکی، جذب آب، و دوام بتن مشاهده شوند.

مقاومت مکانیکی:

- در دماهای بالا، فرآیند هیدراتاسیون سریع تر اتفاق می افتد که می تواند منجر به افزایش سریع مقاومت فشاری و کششی بتن شود. اما در دماهای بسیار بالا، ممکن است باعث کاهش مقاومت بتن و حتی تشکیل ترک های ناشی از تغییرات حجمی شود.

- از طرف دیگر، در دماهای پایین، فرآیند هیدراتاسیون کندتر اتفاق می افتد که می تواند به افزایش زمان لازم برای رسیدن به مقاومت نهایی بتن و (افزایش ترک خوردگی سطحی) منجر شود.

الف- جذب آب:

- دما نیز می تواند بر فرآیند جذب آب در بتن تأثیر بگذارد.

کرد یا از تجهیزات فوق استفاده کرد تا دمای بتن را در طول فرآیند کنترل کند. این روش معمولاً در شرایطی مانند دماهای بسیار بالا یا پایین مورد استفاده قرار می‌گیرد.

۴- مدیریت منابع آب:

- استفاده از سیستم‌های مدیریت منابع آب برای کنترل دما در بتن‌ریزی. به این ترتیب، میزان آب مورد استفاده و شرایط محیطی می‌توانند به منظور کنترل دما بهینه‌سازی شوند.

۵- مطالعات نمونه‌ای و آزمایشگاهی:

- انجام مطالعات نمونه‌ای و آزمایشگاهی برای بررسی تأثیرات مختلف دما بر خواص بتن و ارائه راهکارهایی برای بهبود کنترل دما و بهینه‌سازی فرآیندهای بتن‌ریزی.

۶- استفاده از نرم‌افزارهای مدل‌سازی:

- استفاده از نرم‌افزارهای مدل‌سازی و شبیه‌سازی برای تخمین و پیش‌بینی پروفایل دمایی بتن و ارائه راهکارهایی برای بهبود کنترل دما و بهینه‌سازی فرآیندهای بتن‌ریزی.

با استفاده از این روش‌ها و ابزارها، می‌توان به کنترل دقیق و بهینه دمای بتن در طول فرآیندهای بتن‌ریزی و ساخت سازه‌های بتنی پرداخت و کیفیت و دوام بتن را بهبود بخشید. [۱۰]

بهینه‌سازی شرایط دمایی در فرآیندهای بتن‌ریزی و ساخت سازه‌های بتنی

بهینه‌سازی شرایط دمایی در فرآیندهای بتن‌ریزی و ساخت سازه‌های بتنی یکی از عوامل کلیدی برای تضمین کیفیت، دوام، و عملکرد نهایی بتن است. در این بخش، به توضیحات و راهکارهایی برای بهینه‌سازی شرایط دمایی در این فرآیندها پرداخته می‌شود. [۱۱]

۱- انتخاب مواد اولیه مناسب

- نوع سیمان: انتخاب سیمان با نرخ هیدراتاسیون مناسب برای شرایط آب و هوایی خاص می‌تواند به کنترل دمای بتن کمک کند. سیمان‌های با هیدراتاسیون آهسته‌تر برای مناطق گرمسیری و سیمان‌های با هیدراتاسیون سریع‌تر برای مناطق سردسیر مناسب‌تر هستند.

- مواد افزودنی: استفاده از مواد افزودنی مانند مواد کاهنده دما (retarders) یا تسریع‌کننده‌ها (accelerators) می‌تواند به تنظیم دمای بتن در طول زمان کمک کند.

۲- کنترل دما در طول فرآیند بتن‌ریزی

بتن کمک کند. برخی از مواد افزودنی می‌توانند آزاد سازی حرارت در بتن را کند کنند و دمای بتن کنترل شود در حالی که برخی دیگر ممکن است باعث افزایش آن شوند.

۴- طرح مخلوط بتن:

- ترکیب مواد مختلف در مخلوط بتن می‌تواند بر پروفایل دمایی بتن تأثیرگذار باشد. نسبت‌های مواد مختلف، نحوه مخلوط شدن، و نوع مواد افزودنی ممکن است تأثیر مهمی بر دمای بتن داشته باشند.

۵- روش‌های اجرایی:

- روش‌های مختلف اجرایی، مانند روش‌های گرمایش و خنک‌کنی، نحوه نصب قالب‌ها، و سرعت بتن‌ریزی می‌توانند بر دمای بتن تأثیرگذار باشند.

۶- ویژگی‌های سازه:

- ویژگی‌های سازه مانند حجم، ضخامت، و موقعیت مکانی می‌توانند بر پروفایل دمایی بتن تأثیرگذار باشند.

به طور کلی، شناخت دقیق از این عوامل و تأثیرات آنها بر پروفایل دمایی بتن، اساسی برای بهبود کیفیت و عملکرد بتن در ساخت و ساز سازه‌های بتنی است. [۹]

روش‌های اندازه‌گیری و کنترل دما

برای اندازه‌گیری و کنترل دما در فرآیندهای بتن‌ریزی و ساخت سازه‌های بتنی، می‌توان از روش‌ها و ابزارهای مختلفی استفاده کرد که به طور کلی شامل موارد زیر می‌شود:

۱- سنسورهای دما (مدفون و سطحی):

- استفاده از سنسورهای دما در داخل بتن برای اندازه‌گیری دمای بتن در طول فرآیند بتن‌ریزی و سخت شدن. این سنسورها معمولاً به صورت توده‌ای در مخلوط بتن قرار می‌گیرند و دما را به دقت زمانی ثبت می‌کنند.

۲- سیستم‌های نظارت و کنترل هوشمند:

- استفاده از سیستم‌های هوشمند نظارت و کنترل بر فرآیندهای بتن‌ریزی که دما را در طول زمان رصد و کنترل می‌کنند. این سیستم‌ها می‌توانند از سنسورها، فرستنده‌ها و تجهیزات هوشمند دیگر برای اندازه‌گیری و کنترل دما استفاده کنند.

۳- استفاده از مواد کندگیرکننده یا تندگیرکننده یا تجهیزات سرما دهی یا گرما دهی به بتن :

- در صورت نیاز، می‌توان از مواد فوق به مخلوط بتن اضافه

در فرآیند هیدراتاسیون سیمان و تشکیل ساختار بتن، تأثیر بسزایی بر خواص نهایی بتن دارد. کنترل دقیق و بهینه دما در طول فرآیندهای بتن‌ریزی و ساخت سازه‌های بتنی، می‌تواند بهبود قابل توجهی در کیفیت، دوام، و عملکرد نهایی سازه‌های بتنی به همراه داشته باشد.

منابع:

- 1- Neville AM. Properties of concrete: Longman London; 1995.
- 2- Price WH, Factors influencing concrete strength. Journal Proceedings; 1951.
- 3- Eren O, Brooks JJ, Çelik T. Setting times of fly ash and slag-cement concretes as affected by curing temperature. Cement, Concrete, and Aggregates. 1995;17(1):11-7.
- 4- Rzepecka MA, Hamid M, Soliman AH. Monitoring of concrete curing process by microwave terminal measurements. IEEE Transactions on Industrial Electronics and Control Instrumentation. 1972(4):120-5.
- 5- Fu X, Chung D. Effect of Admixtures On Thermal and Thermomechanical. ACI Materials Journal. 1999;96. (4)
- 6- Charest B, Korhonen C, Romisch K. Developing new low-temperature admixtures for concrete: a field evaluation. 1997.
- 7- Miller D, Ho N-M, Talebian N, Javanbakht Z. Real-time monitoring of early-age compressive strength of concrete using an IoT-enabled monitoring system: an investigative study. Innovative Infrastructure Solutions. 2023;8(2):75.
- 8- Khan M. Factors affecting the thermal properties of concrete and applicability of its prediction models. Building and Environment. 2002;37(6):607-14.
- 9- Kim J-K, Han SH, Song YC. Effect of temperature and aging on the mechanical properties of concrete: Part I. Experimental results. Cement and Concrete research. 2002;32(7):1087-94.
- 10- Mohammad Kheradmand MA, Romeu Vicente, Jose L.B. de Aguiar. An innovative approach for temperature control of massive concrete structures at early ages based on post-cooling: Proof of concept. Journal of Building Engineering. 2020;32.
- 11- De Larrard F, Sedran T. Optimization of ultra-high-performance concrete by the use of a packing model. Cement and concrete research. 1009-997: (6) 24; 1994

- خنک کردن اجزای بتن: در شرایط آب و هوایی گرم، می‌توان اجزای بتن مانند آب، شن، و ماسه را قبل از مخلوط کردن خنک کرد. استفاده از آب سرد یا یخ می‌تواند به کاهش دمای مخلوط بتن کمک کند.

- استفاده از سیستم‌های خنک‌کننده: در پروژه‌های بزرگ، استفاده از سیستم‌های خنک‌کننده فعال مانند لوله‌های خنک‌کننده که در داخل قالب‌ها قرار می‌گیرند، می‌تواند دمای بتن را در طول فرآیند گیرش کنترل کند.

۳- روش‌های اجرایی مناسب

- زمان‌بندی بتن‌ریزی: بتن‌ریزی در ساعات خنک‌تر روز، مانند اوایل صبح یا اواخر شب، می‌تواند به کاهش دمای بتن کمک کند. این روش به ویژه در مناطق با دمای بالا کاربرد دارد.

- محافظت از بتن تازه ریخته‌شده: استفاده از پوشش‌های محافظتی مانند ورق‌های پلاستیکی، پارچه‌های مرطوب، یا اسپری‌های حفظ رطوبت می‌تواند از افزایش دمای بتن جلوگیری کند.

۴- نظارت و کنترل هوشمند

- سنسورهای دما و سیستم‌های نظارت: استفاده از سنسورهای دما برای نظارت بر دمای بتن در زمان واقعی و سیستم‌های هوشمند برای کنترل خودکار فرآیندهای خنک‌کننده و گرم‌کننده می‌تواند به بهینه‌سازی شرایط دمایی کمک کند.

- مدل‌سازی و شبیه‌سازی کامپیوتری: استفاده از نرم‌افزارهای مدل‌سازی برای پیش‌بینی رفتار دمایی بتن در شرایط مختلف و طراحی بهترین استراتژی‌های کنترل دما.

۵- آموزش و آگاهی‌بخشی

- آموزش کارکنان: آموزش کارکنان در مورد اهمیت کنترل دما و استفاده صحیح از تجهیزات و مواد افزودنی می‌تواند به بهبود عملکرد و کیفیت بتن کمک کند.

- استانداردها و دستورالعمل‌ها: تدوین و استفاده از استانداردها و دستورالعمل‌های جامع برای کنترل دما در پروژه‌های بتنی می‌تواند به اجرای بهتر این روش‌ها کمک کند.

نتیجه‌گیری

در این مقاله، نقش محوری دما در کیفیت و عملکرد بتن به‌طور کلی بررسی شد. دما به‌عنوان یکی از عوامل کلیدی

بررسی الزامات ساخت و اجرای بتن در هوای سرد مطابق با استانداردهای ملی و بین‌المللی و مطالعه بر روی پارامترهای موثر بر گیرش بتن در هوای سرد

■ علیرضا رحمتی

رئیس کمیته فنی کانون سراسری انجمن های صنعتی
تولیدکنندگان بتن کشور و مدرس دانشگاه شهید بهشتی

■ مهدی ساکی

کارشناسی ارشد شیمی آلی، کارشناس آزمایشگاه بتن شرکت سیمان نیزار قم

■ مجید لک

کارشناسی مهندسی بهره برداری سیمان، رئیس فنی آزمایشگاه بتن

■ حامد شایسته نام

دانشجوی دکتری مدیریت صنعتی، مدیر فروش و بازاریابی شرکت سیمان نیزار قم

چکیده:

بتن بعد از آب پر مصرف‌ترین فرآورده در جهان است. توسعه زیر ساخت ها و پیشرفت هر کشور با مصرف و تولید بتن های باکیفیت رابطه مستقیم دارد. در نتیجه توجه به کیفیت نهایی این محصول بسیار حائز اهمیت است. یکی از مهمترین پارامترهای موثر بر کیفیت بتن، دمای بتن در هنگام مصرف و در دوره عمل آوری می باشد. در این پژوهش عوامل موثر بر کیفیت بتن در ساخت و اجرای بتن در هوای سرد با توجه به استاندارد های ملی و بین المللی و آیین نامه های داخلی بررسی شده است. از آنجایی که عدم رعایت الزامات بتن ریزی در هوای سرد، بشدت می تواند بر خواص بتن سخت شده و یا در حال سخت شدن تاثیر نامطلوب ایجاد نماید بنابراین، برای تامین خواص مورد نیاز بتن بر اساس الزامات فنی پروژه، انجام یک سری تدابیر و تمهیدات ضروری است که در این پژوهش آمده است. همچنین نتایج آزمون های ساخت بتن با دماهای مختلف نشان می دهد که با کاهش دمای بتن در لحظه ساخت (در محدوده مورد مطالعه) نتایج بتن تازه و سخت شده به طور چشمگیری بهبود می یابند. آزمون های تعیین زمان گیرش بتن نشان می دهد که در شرایط بتن ریزی در هوای سرد احتمال رویارویی زود هنگام بتن در حال سخت شدن با شرایط یخبندان افزایش می یابد و ممکن است به آن آسیب برساند. علاوه شرایط هوای سرد آهنگ کسب مقاومت بتن را کند میکند.

کلمات کلیدی: بتن، هوای سرد، گیرش، مقاومت فشاری، سیمان

بتن، حاصل واکنش شیمیایی آب و سیمان است. بشکل بسیار ساده شده طی این واکنش ابتدا سیمان با آب، یک ترکیب ژله ای ایجاد می کند. این ترکیب، حالت سیال ویسکوزی را به وجود می آورد که سنگدانه ها در آن فضا معلق می شوند و با توسعه واکنش شیمیایی، تدریجاً این بخش ژله ای سخت شده و در این راستا سنگدانه ها را به یکدیگر چسبانده و باعث سختی بتن می گردد. این واکنش به واکنش هیدراتاسیون (هیدراته شدن یا آبگیری) معروف است. دمای پایین باعث می شود تا سرعت واکنش هیدراتاسیون در مخلوط آب و سیمان کاهش یابد و گیرش بتن را با مشکلات جدی رو به رو نماید. بتنی که در چنین شرایطی عمل آوری شود، ویژگی هایی که برای آن پیش بینی شده و طراحی شده را ممکن است بدست نیاورد. اگر آب در قسمت هایی از بتن یخ بزند، واکنش هیدراتاسیون در آن قسمت ها به طور کلی متوقف می شود و در نتیجه بتن در آن قسمت دچار ضعف های جدی می شود. بنابراین می بایست تدابیری اندیشیده شود تا در هنگام بتن ریزی در هوای سرد، بتن با دمای مناسب تهیه گردد و محافظت های لازم از بتن پس از ریخته شدن انجام شود و بتن بتواند با سرعت مناسبی سخت شود و برای مقاومت و ویژگی های نهایی آن مشکلی ایجاد نشود. بر اساس تعریف ارائه شده در مقررات ملی ساختمان، بتن ریزی در هوای سرد به مواردی اطلاق می شود که بتن در دمای محیطی کمتر از ۵ درجه سلسیوس ریخته و نگهداری می شود. در این موارد باید تمهیدات خاص، هم برای ریختن و هم برای عمل آوردن، به کار گرفته شوند، تا از شرایط یخ زدگی جلوگیری شده و شرایط مناسب برای کسب مقاومت مطلوب تامین شوند. [۱]

مطابق تعریف آیین نامه بتن ایران (آبا)، در مواردی که دمای هوا کمتر از ۵+ درجه سلسیوس باشد و یا احتمال برود که در مدت حفاظت از بتن، دمای هوا به کمتر از این مقدار برسد، شرایط هوای سرد به وجود می آید و باید الزامات این بخش رعایت گردد. در صورتی که شرایط آب و هوایی مطابق با تعاریف ذکر شده باشد می توان گفت، بتن های جوان ممکن است در معرض چرخه ذوب و یخبندان قرار بگیرند. این چرخه باعث تغییر حجم بتن و در نتیجه ترک خوردگی و تخریب بتن جوان می گردد. این تخریب ناشی از انبساط خمیر سیمان به دلیل چرخه یخ زدگی و آب شدن پی در پی می باشد. بیشترین تاثیر هوای سرد بر روی گیرش بتن می باشد. چنانچه یخ زدن بتن در ساعت های ابتدایی بتن ریزی صورت گیرد این احتمال وجود دارد که، گیرش بتن انجام نشود. [۲]

۲- الزامات تولید و اجرای بتن ریزی در هوای سرد

مطابق آیین نامه های ملی و بین المللی الزامات بتن ریزی در هوای سرد می بایست انجام گیرد. این الزامات مربوط به، قبل از بتن ریزی، بعد از بتن ریزی، رعایت دمای بتن در هنگام ریختن و عمل آوری، محاسبه طرح مخلوط بتن و مصالح مصرفی می باشد که در ادامه توضیح داده شده است.

۲-۱- الزامات قبل از بتن ریزی

کلیه وسایل و تجهیزات بتن ریزی در هوای سرد باید در کارگاه موجود باشد. این موارد شامل دماسنج، پوشش محافظتی برای بتن و در صورت لزوم وسایلی برای محفوظ کردن فضای اطراف بتن و وسایل گرمایشی است. همچنین قبل از بتن ریزی باید شرایط آرماتور ها و قالب ها مورد بازرسی قرار گیرند و نباید یخ و برف در سطح آنها مشاهده شود. همچنین دمای هر نوع فلزی که در تماس با بتن قرار می گیرد، باید قبل از بتن ریزی بیش از صفر درجه ی سلسیوس باشد. باید به این نکته توجه داشت که از ریختن بتن روی زمین یا بتن یخ زده اجتناب شود و دمای آنها قبل از بتن ریزی به بیش از صفر درجه ی سلسیوس افزایش یابد. آب یخ زده روی میلگردها یا قطعات فولادی می تواند به کاهش چسبندگی بتن به فولاد منجر شود. [۲]

۲-۲- الزامات پس از بتن ریزی

در هوای سرد، آب ناشی از آب انداختن به مدت طولانی تری بر سطح بتن باقی می ماند. عملیات پرداخت سطح در هوای سرد باید با دقت بیشتری، به ویژه برای سطوحی که بعدها دارای تردد و سایش هستند، انجام پذیرد. بلافاصله پس از بتن ریزی، باید حفاظت از بتن با پوشش عایق رطوبتی و حرارتی (مانند پشم شیشه درون پوشش نایلون) یا گرم کردن آغاز شود. در صورتیکه لازم باشد از روش گرم کردن برای محافظت بتن استفاده شود، نیاز به ایجاد فضای بسته در اطراف بتن خواهد بود. در این موارد باید از روشن کردن آتش بر روی عضو بتنی اجتناب شود. در مواردی که از وسایل گرمازا استفاده میشود و گاز دی اکسیدکربن تولید می گردد، گازهای تولید شده باید با روش یا وسیله ی مناسب، نظیر لوله ی دودکش، به بیرون از فضای بسته اطراف بتن، هدایت شود. برای مقایسه دمای بتن در طی مدت حفاظت با حداقل دمای دوره ی حفاظت که در جدول شماره (۱) ارائه شده، لازم است دمای سطح بتن، به ویژه در نواحی بحرانی نظیر سطوح قالب بندی نشده یا لبه ها و گوشه ها، حداقل دو بار در هر شبانه روز اندازه گیری و ثبت گردد. [۲]

۳-۲- حدافل دمای بتن تازه

۲-۳-۲- افت دمای بتن هنگام تحویل

افت دمای بتن، جهت تحویل یک ساعته مطابق با روابط شماره ۲ الی ۴ می باشد:

$$T_d = 0.25 (t_r - t_a) \quad (\text{برای میکسر های درام گردان})$$

معادله (۲)

$$T_d = 0.10 (t_r - t_a) \quad (\text{برای بدنه عایق دار و پوشیده شده})$$

معادله (۳)

$$T_d = 0.20 (t_r - t_a) \quad (\text{برای بدنه رو باز})$$

معادله (۴)

مثال:

اگر بتن مطابق معادله ۲ در میکسر درام گردان باشد، و دمای هوا ۷- درجه سانتیگراد، و دمای تحویل بتن ۱۰ درجه سانتیگراد در محل پروژه باشد، از رابطه شماره ۵ افت دما را محاسبه می کنیم:

$$T_d = 0.25 (10 - (-7)) = 4.2^\circ\text{C} \quad (7.5^\circ) \quad (\text{معادله } ۵)$$

با توجه به شرایط تحویل بتن، در می یابیم که دمای بتن باید حدوداً ۱۴ درجه سانتیگراد باشد. با محاسبه افت دمای بتن (۴ درجه سانتیگراد) بتن با دمای ۱۰ درجه سانتیگراد تحویل می شود. [۴]

حداقل دمای مجاز مخلوط بتن تابع دمای هوا و حداقل اندازه ی مقطع عضو بتنی است. در جدول شماره (۱) حداقل دمای مخلوط بتن در هنگام مخلوط کردن، در زمان بتن ریزی و در دوره حفاظت ارایه شده است. بتن ریزی نباید در دمای کمتر از (۱۵-) درجه سلسیوس، انجام شود، مگر آنکه دستگاه نظارت با رعایت تمهیدات خاص آن را مجاز بداند. دمای مخلوط بتن در هنگام بتن ریزی نباید بیش از 11°C از دماهای ذکر شده در ردیف ۱ جدول (۱) بیشتر باشد و همچنین دمای بتن پس از مخلوط کردن نباید بیش از 8°C از دماهای ذکر شده در ردیف ۲ جدول (۱)، بالاتر باشد. حداقل دمای مجاز بتن هنگام اختلاط، ریختن و نگهداری و نیز حداکثر مجاز افت تدریجی دما در ۲۴ ساعت اولیه پس از خاتمه دوره عمل آوری بتن مطابق جدول ۱ می باشد. [۲]

۲-۳-۱- محاسبه دمای مخلوط

اگر وزن، دمای همه اجزای سازنده، رطوبت سنگدانه ها در بتن تعیین شده باشد می توانیم با معادله شماره ۱ دمای بتن را تخمین بزنیم. [۴]

معادله (۱)

$$T = \frac{[0.22 (T_s W_s + T_a W_a + T_c W_c) + T_w W_w + T_{ws} W_{ws} + T_{wa} W_{wa}]}{[0.22 (W_s + W_a + W_c) + W_w + W_{wa} + W_{ws}]}$$

جدول ۱ - حداقل دمای بتن، درجه سلسیوس [۲]

حداقل اندازه مقطع عضو بتنی، متر				شرایط
کمتر از ۰/۳	بین ۰/۳ تا ۰/۹	بین ۰/۹ تا ۱/۸	بیش از ۱/۸	
۱۳	۱۰	۷	۵	حداقل دمای بتن در هنگام بتن ریزی و در دوره ی حفاظت
۱۶	۱۳	۱۰	۷	* برای دمای هوا بیش از صفر درجه
۱۸	۱۶	۱۳	۱۰	حدافل دمای بتن پس از مخلوط کردن: بین صفر تا ۱۵- درجه سانتیگراد
۲۰	۱۸	۱۵	۱۲	کمتر از ۱۵- درجه سانتیگراد

رسیدن به دمای مناسب در بتن به دمای بیشتر از 15°C برای سنگدانه نیاز است. برف و توده های یخ همراه مصالح را با گرم کردن از بین ببرید زیرا اغلب توده هایی به بزرگی ۷۶ میلیمتر در مخلوط بتن حالت خود را حفظ می کنند و باز نمی شوند. یکی از کارآمدترین روش های گرم کردن مصالح و جلوگیری از یخ زدن آنها استفاده از لوله های آب گرم در زیر دپوی مصالح بخصوص مصالح ریزدانه می باشد. نمودار (۱) آزمون گیرش بتن را نشان می دهد این آزمون در آزمایشگاه بتن شرکت سیمان نیزار قم انجام شده است.

۳- نکات مربوط به حمل و ریختن بتن

حمل و ریختن بتن باید به نحوی باشد که بتن تازه، دمای خود را از دست ندهد. بتن باید در حد امکان در وسایل و ماشین آلات سر بسته و عایق بندی شده حمل گردد. (عایق کردن بدنه تراک میکسر ها با گونی یا عایق حرارتی خشک!). لازم به ذکر است که قبل از بتن ریزی باید میلگردها، قالب، سطح بتن سخت شده قبلی و زمین از هر نوع یخ زدگی زوده شود. [۲]

۴- عمل آوری

عمل آوری اولیه یا محافظت مربوط به مرحله ای است که بتن، سخت نشده است یا مراحل ابتدایی سخت شدن را می گذراند در این مرحله بتن ممکن است تحت اثر آسیب ها و اثرات نامطلوب، مانند: شسته شدن با جریان آب یا رگبار، خشک شدگی اولیه در اثر وزش باد یا تابش مستقیم آفتاب، یخ زدن سریع در هوای بسیار سرد و لرزش و ضربه ناگهانی قرار گیرد. شرط مقاومتی مدت حفاظت از بتن در هوای سرد رسیدن به مقاومت ۵ مگاپاسکال در بتن غیر اشباع یا ۲۵ مگاپاسکال در حالت اشباع است. عمل آوری نهایی یا مراقبت مربوط به زمان پس از گیرش بتن و در مرحله سخت شدن است، که در آن باید: رطوبت سطحی و حداقل دمای لازم برای هیدراته شدن سیمان فراهم شود. بنابراین رعایت نکات زیر در عمل آوری نهایی ضروری و لازم می باشد:

۱- نباید اجازه داده شود بتن غیر اشباع تا قبل از رسیدن به مقاومت فشاری ۵ مگاپاسکال، یخ بزند.

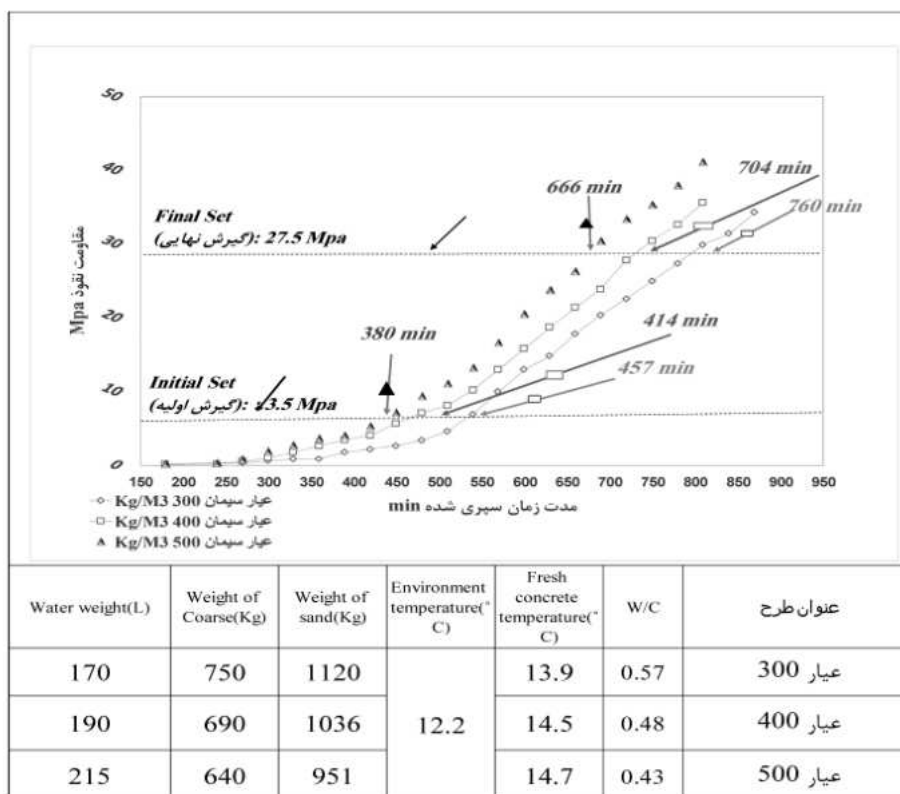
۲- در شرایط هوای سرد اصل بر این است که عمل آوری به روش عایقی (پوشاندن با نایلون یا مواد غشاساز) برای حفظ رطوبت درون بتن انجام گردد و از عمل آوری مرطوب اجتناب گردد.

۳- نباید اجازه داده شود بتن اشباع تا قبل از رسیدن به

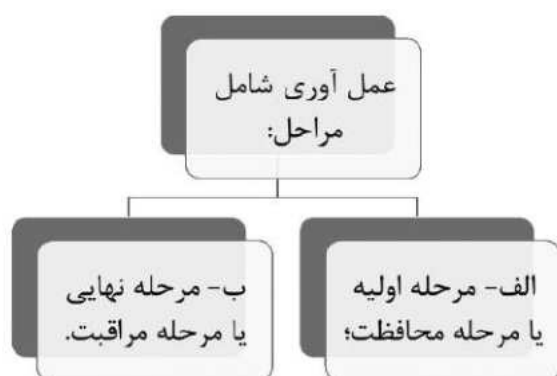
یکی از نکات مهم در شرایط بتن ریزی در هوای سرد این است که از سیمان های پوزولانی و آمیخته به دلیل حرارت هیدراتاسیون کمتر استفاده نشود. این عمل می تواند احتمال یخ زدن بتن را تشدید کند. استفاده از مقادیر بیشتر سیمان پرتلند (عیار سیمان) در بتن بدلیل افزایش حرارت ناشی از هیدراته شدن سیمان و کاهش نسبت آب به سیمان باعث افزایش حرارت بتن و کاهش زمان گیرش بتن (افزایش سرعت سخت شدن) در قالب خواهد شد بدین منظور سه طرح مخلوط بتن در آزمایشگاه بتن شرکت سیمان نیزار قم با شرایط کاملاً یکسان ساخته شد که تنها تفاوت آنها در عیار سیمان بود (۳۰۰، ۴۰۰ و ۵۰۰ کیلوگرم در متر مکعب). آزمون گیرش بتن مطابق استاندارد ملی ایران به شماره ۶۰۴۶ بر روی آزمونه ها انجام شد. نتایج نشان می دهد که با افزایش عیار سیمان زمان گیرش بتن به طور قابل ملاحظه ای کاهش می یابد. نمودار (۱) تفاوت ساخت بتن با عیار های مختلف را نشان می دهد. در تولید بتن جهت تامین دمای مناسب می بایست از آب گرم برای تهیه بتن استفاده گردد. باید توجه داشت که از تماس مستقیم آب با دمای بالای ۴۰ درجه سانتیگراد با سیمان اجتناب شود. آب گرم می تواند به مصالح سنگدانه ای اضافه و سپس سیمان مخلوط شود. در استاندارد ملی افزودنی های شیمیایی بتن ایران واژه ای بنام ضد یخ وجود ندارد و استفاده از این کلمه توصیه نمی گردد و در صورت لزوم (فوق) روان کننده زودگیر کننده فاقد یون کلر می تواند مصرف گردد. استفاده از مواد افزودنی فاقد نشان استاندارد ممنوع است و زود گیر کننده های دارای یون کلر صرفاً در بتن غیر مسلح قابل استفاده هستند.

با کاهش میزان آب مصرفی در هنگام ساخت بتن با کمک روان کننده ها یا فوق روان کننده های حاوی زودگیر کننده های استاندارد کمک مهمی به کاهش ریسک یخ زدگی بتن جوان می شود. اضافه کردن ۵ تا ۱۰ لیتر آب در یک متر مکعب بتن تقریباً بین نیم تا ۲ ساعت گیرش بتن را به تاخیر می اندازد. سنگدانه ها نباید قبل از استفاده با برف و یخ ترکیب شده باشند. معمولاً ماسه از شن مرطوب تر و احتمال یخ زدن در آن بیشتر است. بنابراین اغلب گرم کردن ماسه ضرورت پیدا می کند.

از آنجا که گرمای ویژه آب بیشتر از مصالح دیگر است توصیه می شود ابتدا آب مصرفی مخلوط بتن گرم شود همچنین گرم کردن آب از نظر اجرایی آسان تر از مصالح دیگر است. معمولاً اگر دمای آب مخلوط، حدود 60°C باشد، جهت



نمودار ۱- تعیین زمان گیرش اولیه و نهایی بتن مطابق استاندارد ملی ایران شماره ۶۰۴۶/۳



نمودار ۲- مراحل عمل آوری بتن

مقاومت فشاری ۲۵ مگاپاسکال، یخ بزند

۴- بتن تازه باید در مقابل وزش باد، به ویژه پس از برداشتن پوشش ها محافظت گردد. باید توجه داشت که از تبخیر زیاد آب و بروز پدیده کربناسیون در سطوح بتن بر اثر احتراق مواد سوختی برای گرم کردن آن جلوگیری شود.

۵- لازم به ذکر است که در صورتی که از افزودنی حباب زا در هنگام ساخت بتن استفاده نماییم دستیابی به مقاومت ۲۵ مگاپاسکال در بتن اشباع ضرورتی ندارد. [۲]

نمودار (۲) مراحل مختلف عمل آوری را نشان می دهد.

۵- محافظت بتن سخت شده

مطابق الزامات اجرایی آیین نامه بتن ایران، پس از بتن ریزی لازم است دمای بتن برای مدت حداقل ۳ روز، با دمای حداقل برابر با دمای ردیف یک در جدول (۱) نگهداری شود. این عمل را می توان توسط پوشش مناسب و در صورت لزوم ایجاد محفظه ی بسته و اعمال گرمایش، تامین کرد. در صورتیکه با استفاده از نمونه های آگاهی یا بلوغ سنجی و یا روشهای غیر مخرب، بتوان نشان داد که بتن به مقاومت ۵ مگاپاسکال رسیده است، میتوان محافظت را خاتمه داد. [۲] در هنگام گرم کردن بتن باید از خشکی زدگی سریع آن (ناشی از تبخیر) اجتناب و

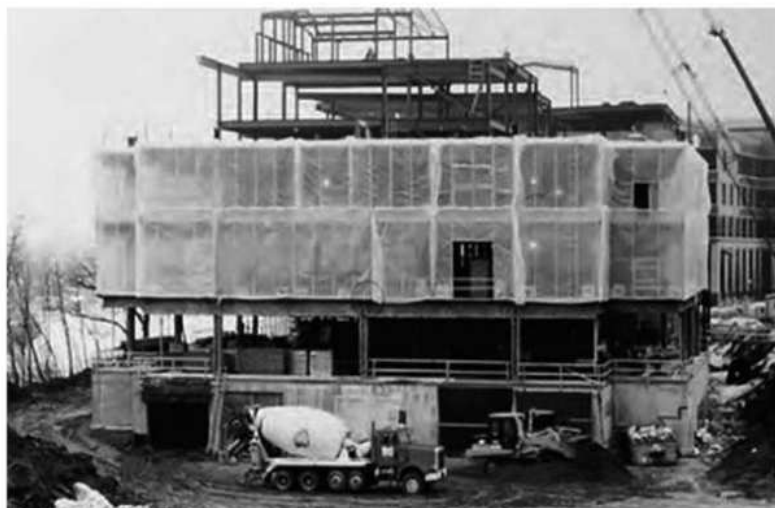
گرما به صورت یکنواخت بر سطح بتن اعمال شود. شکل (۱) نمونه ای از محافظت بتن در برابر یخ زدگی را نشان می دهد.

۶- افت دما پس از دوره حفاظت

پس از اتمام دوره حفاظت از بتن، در طی مدت حداقل ۲۴ ساعت باید به تدریج از حفاظت کاسته شود تا بتن، در معرض تغییرات ناگهانی دما قرار نگیرد. حداکثر مجاز افت دما پس از ۲۴ ساعت باید با توجه به حداقل بُعد عضو بتنی مطابق با جدول (۲) باشد. [۲]

حداقل بُعد عضو بتنی، متر	حداکثر مجاز افت دما، درجه سلسیوس
کمتر از ۰/۳	۲۸
۰/۳ تا ۰/۹	۲۲
۰/۹ تا ۱/۸	۱۷
بیشتر از ۱/۸ متر	۱۱

جدول ۲- حداکثر افت دمای بتن، ۲۴ ساعت پس از خاتمه حفاظت [۲]



شکل ۱- نمونه ای از محافظت بتن در برابر یخ زدگی

جدول ۳- مشخصات طرح مخلوط بتن و نتایج بتن تازه با رده مقاومتی C۳۰

کد نمونه	عنوان طرح	سیمان دانه (Kg)	درشت دانه (Kg)	ریز دانه (Kg)	آب (Lit)	نسبت آب به مواد سیمانی	اسلامپ (mm)	هوای بتن (%)	وزن مخصوص بتن تازه (Kg/Cm3)	دمای بتن تازه (°C)
۱۳۴۵	بتن با دمای ۵۵ درجه سانتیگراد	۴۰۰	۷۶۰	۹۲۰	۲۳۰	۰/۵۳	۱۰۰	۱/۶	۲۳۵۲	۵۵
۱۳۵۵	بتن با دمای ۴۵ درجه سانتیگراد	۴۰۰	۷۸۰	۹۴۵	۲۱۴	۰/۴۹		۱/۷	۲۳۵۴	۴۵
۱۳۵۸	بتن با دمای ۳۵ درجه سانتیگراد	۴۰۰	۷۹۰	۹۶۰	۲۰۵	۰/۴۷		۱/۵	۲۳۵۸	۳۵
۱۳۶۵	بتن با دمای ۲۵ درجه سانتیگراد	۴۰۰	۷۶۵	۱۰۱۰	۲۰۰	۰/۴۴		۱/۵	۲۳۶۶	۲۵
۱۳۷۶	بتن با دمای ۱۵ درجه سانتیگراد	۴۰۰	۸۰۰	۹۷۰	۱۹۵	۰/۴۴		۱/۶	۲۳۷۹	۱۵
۱۳۷۴	بتن با دمای ۵ درجه سانتیگراد	۴۰۰	۸۰۰	۹۷۰	۲۰۰	۰/۴۵		۱/۶	۲۳۷۹	۵

آب به سیمان و مقاومت های ۷ و ۲۸ روزه بررسی گردید. نتایج نشان می دهد که با کاهش دما نسبت آب به سیمان به طور قابل توجهی کاهش پیدا می کند. و بدیهی است که این کاهش مصرف آب در هنگام ساخت بتن منجر به افزایش مقاومت خواهد شد. این تحقیق در آزمایشگاه بتن (همکار سازمان ملی استاندارد) شرکت سیمان نیاز قم انجام شده و طرح اختلاط آن و مشخصات بتن تازه در جدول (۳) آمده است. [۲]

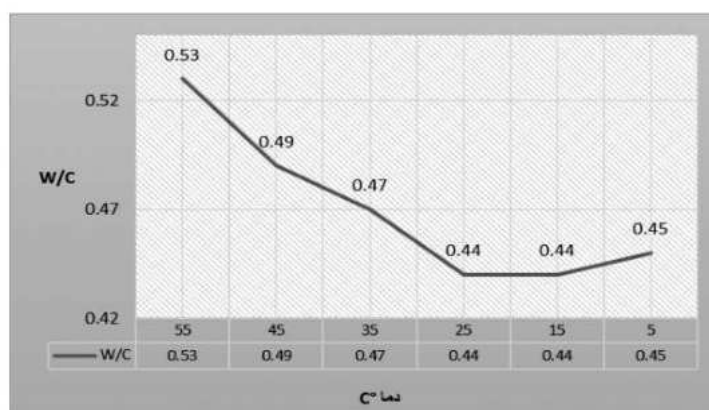
۷- نتایج آزمایشگاهی و تجربی

با توجه به اهمیت دمای مصالح در لحظه ساخت بتن، شش طرح مخلوط با دماهای ۵، ۱۵، ۲۵، ۳۵، ۴۵ و ۵۵ درجه سانتیگراد ساخته شد. تمامی مصالح و مراحل نمونه گیری برای همه نمونه ها در شرایط یکسان بود و شاخص اسلامپ ۱۰۰ میلیمتر برای همه طرح مخلوط ها در نظر گرفته شد. در این مطالعه تاثیر دمای مصالح مصرفی بر تغییرات طرح اختلاط به ویژه نسبت

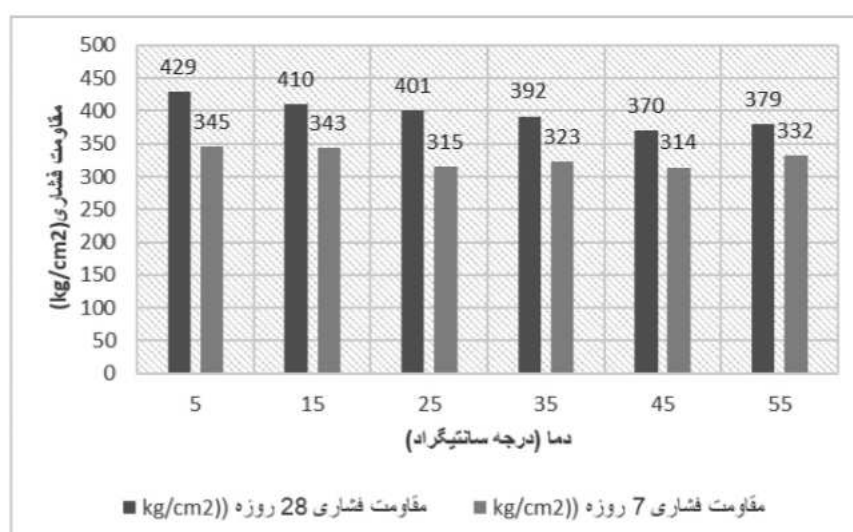
۸- نتایج

به سیمان نیز کاهش می یابد. این در حالی است که میزان روانی ثابت است و در این تحقیق ۱۰۰ میلیمتر در نظر گرفته شده است.

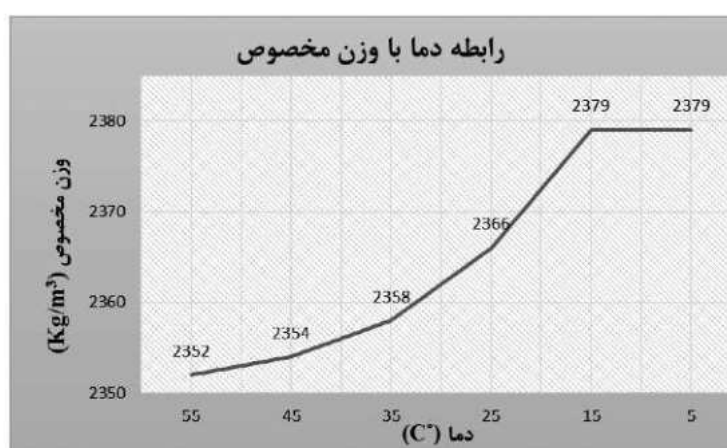
نمودار ۳ رابطه نسبت آب به سیمان با دما را نشان می دهد. نتایج نشان می دهد که با کاهش دمای بتن، نسبت آب



نمودار ۳- رابطه نسبت آب به سیمان با دما (با روانی برابر)



نمودار ۴- تاثیر دما بر مقاومت فشاری



نمودار ۵- رابطه دما با وزن مخصوص بتن تازه

Tw = temperature of added mixing water, °F (°C)
 Wa = saturated surface-dry weight of coarse aggregate, lb (kg)
 Wc = weight of cement lb (kg)
 Ws = saturated surface-dry weight of fine aggregate, lb (kg)
 Ww = weight of mixing water, lb (kg)
 Wwa = weight of free water on coarse aggregate, lb (kg)
 Wws = weight of free water on fine aggregate, lb (kg)

۱۱- منابع

- ۱- مبحث نهم مقررات ملی ساختمان، طرح و اجرای ساختمان های بتن آرمه، ویرایش پنجم، نشر توسعه ایران (۱۳۹۹)
- ۲- آیین نامه بتن ایران آبا، تجدید نظر دوم، انتشارات سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور (۱۳۹۹)
- ۳- مجموعه فعالیت های آزمایشگاهی و تحقیقاتی سیمان و بتن در مرکز تحقیقات بتن شرکت سیمان نيزار قم
- [4] ACI 306, Guide to Cold Weather Concreting, First Printing September (2016)
- [5] ASTM C94 / C94M: 2017a, Standard Specification for Ready-Mixed Concrete
- ۴- استاندارد ملی ایران، بتن آماده-ویژگی ها، شماره ۶۰۴۴، تجدید نظر دوم، ۱۳۹۷
- ۵- استاندارد ملی ایران، بتن سخت شده- روش آزمون، شماره ۱۶۰۸-۳
- ۶- مکرمیان، محمدرضا، ۱۴۰۱، ارزیابی بتن، ساخت بتن و بتن ریزی در آب و هوای سرد، کنفرانس بین المللی پیشرفت های اخیر در مهندسی، نوآوری و تکنولوژی <https://civilica.com/doc/۱۴۶۵۵۴۹> ،
- ۷- اسعدی، سعید، ۱۳۸۸، بتن ریزی در هوای سرد و اقدامات اصلاحی در جهت کاهش مدت زمان اجرای اسکلت بتنی با سیستم قالب تونلی، سومین کنفرانس بین المللی بتن و توسعه، تهران، ۶۰۶۰۱ <https://civilica.com/doc/۶۰۶۰۱>
- ۸- شهرکی، مهتاب، ۱۴۰۲، بتن ریزی در هوای گرم و راهکارهای مقابله با اثرات هیدراتاسیون در دمای بالا، اولین همایش بین المللی معماری، عمران، علوم زمین و محیط زیست سالم، همدان، ۱۷۱۶۸۶۷ <https://civilica.com/doc/۱۷۱۶۸۶۷>

نمودار ۴ رابطه دما با مقاومت فشاری را نشان می دهد. نتایج نشان می دهد که با کاهش دما حین ساخت بتن مقاومت فشاری افزایش می یابد.

نمودار ۵ رابطه وزن مخصوص بتن تازه را با دمای بتن نشان می دهد. نتایج نشان می دهد که با کاهش دمای بتن در حین ساخت وزن مخصوص بتن تازه افزایش می یابد که این امر به دلیل کاهش نسبت آب به سیمان و در واقع کاهش آب مصرفی حین ساخت می باشد.

۹- نتیجه گیری

دمای بتن در هنگام تولید و در محل پروژه باید با حداقل های ذکر شده تطبیق داشته باشد. همچنین می بایست جهت کاهش آب و آسیب یخ زدگی احتمالی آن، بتن با نسبت آب به سیمان کم (روانی اولیه پایین) تولید گردد و تامین روانی لازم با مصرف افزودنی فوق روان کننده زودگیر فراهم گردد. در فصول سرد سال در طرح اختلاط از عیار سیمان بیشتر استفاده نماییم تا بتوان مقاومت فشاری بالاتری در سنین اولیه جهت کاهش زمان قالب برداری به دست آوریم و از حرارت هیدراتاسیون سیمان برای حفظ دمای بتن و کاهش زمان گیرش آن نیز بهره ببریم. نمودار ۱ به درستی این موضوع را نشان می دهد. لازم است پس از ریختن بتن، الزامات و مراحل مختلف عمل آوری را رعایت کنیم. برای تعیین زمان قالب برداری نیز می بایست مطابق جداول آیین نامه بتن ایران (آبا) و مبحث نهم مقررات ملی ساختمان عمل نماییم.

۱۰- ضمائم

M = maturity factor, deg-h
 ta = ambient air temperature, °F (°C)
 tr = concrete temperature upon delivery to the jobsite, °F (°C)
 T = concrete temperature, °F (°C)
 Ta = coarse aggregate temperature, °F (°C)
 Tc = cement temperature, °F (°C)
 Td = drop in temperature to be expected during a 1-hour delivery time, °F (°C). (This value should be added to tr to determine the recommended temperature of concrete at the plant after batching.)
 To = datum temperature, °F (°C)
 Ts = fine aggregate temperature, °F (°C)

آنچه که باید جامعه مهندسی و مصرف کنندگان سیمان در مورد آن بدانند

■ مهندس محمود رفیعی

ماهانما فن آوری سیمان

۱- مقدمه

علیرغم اهمیت نقش سیمان در بتن، به نظر می‌رسد که شناخت مشتریان، از جمله تولید کنندگان بتن آماده و قطعات بتنی در مورد این فراورده، آنچنان کافی نیست. اطلاعات حوزه سیمانی طیف گسترده‌ای را در بر می‌گیرد که قطعاً همه آنها برای مشتریان آن جذاب نبوده و اساساً نیازی به آن ندارند. لکن به نظر می‌رسد که آن بخش از اطلاعات سیمانی که بتواند نیازهای انواع محصولات و خواص کاربردی آن را مشخص سازد و به علاوه خواص و ویژگیهای کیفی این سیمانها را در قالب استانداردهای مدون مطرح سازد، برای مشتریان این محصول استراتژیک ارزشمند باشد. به علاوه از آنجا که تست ها و آزمایشات کیفی سیمان مرتبط با نیازمندیهای مشتریان می باشد، لذا در این مقاله بطور مختصر به هر دوی این موضوعات اشاره شده است.

۲- سیمان چیست؟ و چگونه بوجود می‌آید؟

سیمان ماده‌ای چسباننده است که از ترکیب مصالح آهکی، رس، سیلیس و اکسیدهای معدنی دردمای حدود ۱۴۵۰ درجه و در نوع سفید تا بالاتر از ۱۶۰۰ درجه سانتیگراد پخت شده و قابلیت چسبانیدن ذرات به یکدیگر و بوجود آوردن جسم یکپارچه را داراست.

بطور کاملاً خلاصه و مجمل در باره فرایند تولید این محصول، باید اشاره داشت که مواد اولیه مذکور پس از خردایش ابتدائی از طریق سنگ شکنی و عملیات تنظیم کیفی مواد مطابق

نیازانواع سیمانها، وارد آسیاب مواد خام می‌شود تا از این طریق ابعاد و اندازه‌های مواد برای ورود به سیستم پخت فراهم شود. سپس این مواد وارد سیستم پخت سیمان می‌شود. سیستم پخت سیمان مرکب از پیشگرمکن، به منظور انجام حرارت دهی اولیه و انجام بخش عمده‌ای از عملیات کلسیناسیون (تجزیه سنگ آهک به آهک) و تجزیه ترکیبات رسی، کوره جهت انجام واکنش‌های شیمیائی بین ترکیبات بالاخره کولر جهت خنک سازی کلینکر می‌باشد.

محصول خروجی از کولر، کلینکر نام دارد که این ماده به همراه گچ و یا سایر اجزاء معدنی مورد نیاز (بسته به نوع سیمان)، وارد آسیاب سیمان شده و تا حد نرمی مورد نیاز سایش می‌شود. لازم به ذکر است که استفاده از گچ به منظور کنترل عملیات گیرش صورت می‌پذیرد. از آنجا که برخی از فازهای کلینکر دارای واکنش سریع با آب بوده و گیرش سریع به سیمان می‌دهد، لذا عملاً استفاده سیمان را برای مصرف کننده غیر ممکن می‌سازد. به همین منظور استفاده از گچ به منظور تاخیر در گیرش و تنظیم آن در دستور کار سایش توامان با کلینکر در دستور کار قرار می‌گیرد.

۳- استاندارد سیمان های تیپ

سیمان های تیپ، سیمانهای هستند که از سایش بخش عمده کلینکر (حدود ۹۵-۹۷٪) و بخش اندکی گچ (حدود ۳-۵٪)، تولید می‌شوند. این سیمانها با نام سیمان پرتلند نیز

جدول ۱: دسته بندی سیمان پرتلند بر اساس جدیدترین ویرایش استاندارد ملی ایران (سال تصویب: ۱۳۹۹)

ردیف	نوع سیمان	نماد	کاربرد
۱	پرتلند نوع ۱	پ ۱	برای کاربردهای عمومی، زمانی که مشخصات ویژه ای مطابق آنچه که برای دیگر انواع سیمانها مشخص شده، مطرح نباشد.
۲	پرتلند نوع ۱ هوازا	پ ۱ ه	مشابه سیمان نوع ۱ و در جایی که ایجاد هوای عمدی مورد نظر است.
۳	پرتلند نوع ۲	پ ۲	برای کاربردهای عمومی، به خصوص در مواردیکه مقاومت متوسط در برابر حملات سولفات ها مد نظر است.
۴	پرتلند نوع ۲ هوازا	پ ۲ ه	مشابه سیمان نوع ۲ و در جایی که ایجاد هوای عمدی مورد نظر است.
۵	پرتلند نوع ۲ با گرمای هیدراته شدن متوسط	پ ۲ گ	برای کاربرد عمومی و بطور خاص هنگامی که گرمای هیدراته شدن متوسط و مقاومت متوسط در برابر حمله سولفات ها مورد نیاز است.
۶	پرتلند نوع ۲ هوازا با گرمای هیدراته شدن متوسط	پ ۲ ه گ	مشابه پرتلند نوع ۲ با گرمای هیدراته شدن متوسط و در جایی که ایجاد هوای عمدی مورد نظر است.
۷	پرتلند نوع ۲ دریائی	پ ۲ د	برای کاربردهای عمومی و دریائی، به خصوص در مواردی که مقاومت شیمیائی همزمان در برابر حملات یونهای کلرید و سولفات مد نظر است.
۸	پرتلند نوع ۳	پ ۳	برای کاربردهائی که به مقاومت فشاری اولیه زیادی نیاز دارد
۹	پرتلند نوع ۳ هوازا	پ ۳ ه	مشابه پرتلند نوع ۳ و در جایی که ایجاد هوای عمدی مورد نظر است
۱۰	پرتلند نوع ۴	پ ۴	برای کاربردهائی که نیاز به گرمای هیدراتاسیون کم مدنظر است
۱۱	پرتلند نوع ۵	پ ۵	برای کاربردهائی که به مقدار زیاد در برابر حملات سولفات، مقاوم است

شناخته می شوند. بر اساس استاندارد ملی ایران شماره ۳۸۹ (تجدید نظر چهارم)، سال ۱۳۹۹، سیمان پرتلند به ۱۱ نوع به شرح جدول ۱ تقسیم می شود:

بر اساس این استاندارد، سیمان به چهاررده مقاومتی ۳۲/۵، ۴۲/۵، ۵۲/۵، ۶۲/۵ مگا پاسکال (یا ۳۲۵، ۴۲۵، ۵۲۵، ۶۲۵ کیلوگرم بر سانتی مترمربع) رده بندی می شود. که شاخصی بر حداقل مقاومت ۲۸ روزه ملات سیمان است. (این ویژگی در ادامه مورد بررسی قرار می گیرد) همچنین اجزاء تشکیل دهنده این سیمانها نمی بایست حاوی هیچ ماده ای به جز مواد تشکیل دهنده ذیل باشد.

الف) کلینکر سیمان پرتلند

ب) سولفات کلسیم (گچ)، در صورتیکه الزامات این استاندارد را برآورده کند.

ج) آب (رطوبت) در صورتیکه الزامات این استاندارد را برآورده کند.

د) سنگ آهک (حداکثر ۵ درصد وزنی سیمان)، در صورتیکه الزامات استاندارد سیمان های تیپ را برای خواص فیزیکی و شیمیائی مندرج در این استاندارد برآورده کند.

ه) افزودنی های فرایندی غیرآلی که مصرف آن نباید بیش

از ۵ درصد جرم سیمان باشد. (افزودنی های فرایندی آلی که مصرف آن نباید بیش از ۱ درصد جرم سیمان باشد.)

ز) افزودنی های هوازا برای سیمان های هوازا

ویژگیهای شیمیائی الزامی این سیمانها به شرح مندرجات جدول ۲ است. ویژگیهای فیزیکی الزامی این سیمانها به شرح مندرج در جدول ۳ است. ویژگیهای مکانیکی الزامی این سیمانها به شرح مندرج در جدول ۴ است.

۴- استاندارد سیمان های آمیخته

سیمان های آمیخته، سیمانهای هستند که علاوه بر کلینکر و گچ، دارای یک یا چند جزء افزودنی معدنی دیگر نیز می باشند. این افزودنیها که می تواند شامل پوزولان، آهک، سرباره، خاکستر بادی، باشند، در بخش نهائی فرایند تولید سیمان (یعنی آسیاب سیمان) به مخلوط کلینکر و گچ اضافه شده و نتیجتاً به هر میزان که این افزودنیها اضافه شود، از سهم کلینکر کاسته می گردد.

برخلاف تصور مشتریان که تصور می کنند که این سیمانها دارای خواص کیفی نازلی هستند، اتفاقاً همانگونه که در ادامه

جدول ۲- ویژگیهای الزامی شیمیائی سیمان های پرتلند بر اساس استاندارد ملی ایران (۳۸۹) بازنگری ۱۳۹۹

نوع سیمان ^۱							روش آزمون	ویژگی
پ ۵	پ ۴	پ ۳ و پ ۳هـ	پ ۲	پ ۲گ- پ ۲هـگ	پ ۲- پ ۲هـ	پ ۱ و پ ۱هـ	ASTM C114	آلومینیوم اکسید (Al_2O_3)، بیشینه %
-	-	-	-	۶۰	۶۰	-		آهن اکسید (Fe_2O_3)، بیشینه %
-	۶۵	-	-	۶۰ ^b	۶۰ ^b	-		منیزیم اکسید (MgO)، بیشینه %
۶۰	۶۰	۶۰	۶۰	۶۰	۶۰	۶۰		تری گوگرد اکسید (C_3A) ^c مساوی یا کمتر از ۸ %
۲,۳	۲,۳	۳,۵	۳,۰	۳,۰	۳,۰	۳,۰		بیشینه % (SO_3) ^d
۴	۴	۴,۵	۴	۴	۴	۳,۵		(C_3A) ^e بیش از ۸ %
۳,۰	۲,۵	۳,۰	۳,۰	۳,۰	۳,۰	۳,۰		افت ناشی از سرخ شدن، حداکثر %
۳,۵	۳,۵	۳,۵	۳,۵	۳,۵	۳,۵	۳,۵		در صورت عدم استفاده از سنگ آهک
۱,۵	۱,۵	۱,۵	۱,۵	۱,۵	۱,۵	۱,۵		در صورت استفاده از سنگ آهک
g	g	g	g	g	g	g		باقی مانده نامحلول، بیشینه %
-	۳۵ ^c	-	-	-	-	-	پوشش آهن	معادل قلیایی ها ($Na_2O+0.658 K_2O$)، %
-	۴۰ ^c	-	-	-	-	-		تری کلسیم سیلیکات (C_3S)، بیشینه %
۵ ^b	۷ ^c	۱۵	۱۰	۸	۸	-		دی کلسیم سیلیکات، (C_2S) ^e کمینه %
-	-	-	۶	-	-	-		تری کلسیم آلومینات، (C_3A) ^e %
-	-	-	-	-	-	-		بیشینه
-	-	-	-	-	-	-		کمینه
-	-	-	-	۱۰۰	-	-		مجموع تری کلسیم سیلیکات (C_3S) و تری کلسیم آلومینات، (C_3A) ^e بیشینه %
۲۵ ^b	-	-	-	-	-	-		۴,۷۵ %
-	-	-	-	-	-	-		تتراکلسیم آلومینات فریت به علاوه دو تا تری کلسیم آلومینات ($C_4AF + 2(C_3A)$) یا محلول جامد ($C_4AF + C_2F$) بسته به مورد، بیشینه %
-	-	-	-	-	-	-		

^a به یادآوری بند ۴ مراجعه شود.

^b در مواردی که مقاومت در برابر سولفات مطابق با جدول ۴ محدود شده است، نباید اعمال شود.

^c در مواردی که گرمای هیدراته شدن مطابق با جدول ۴ محدود شده است، نباید اعمال شود.

^d امکان تجاوز از مقادیر ارائه شده برای SO_3 وجود دارد، به شرط آن که با انجام آزمون ASTM C1038 نشان داده شود سیمانی با مقدار SO_3 بیش از حد مجاز، دارای پتانسیل اتساعی بیش از ۰,۰۲۰ درصد در ۱۴ روز نخواهد بود. در صورتی که تولید کننده، سیمانی با این مشخصه را عرضه کند، باید اطلاعات تکمیلی مبنی بر عملکرد مناسب آن را نیز به خریدار ارائه کند. به یادآوری ۲ زیربند ۸-۱ مراجعه شود.

^e برای انجام محاسبات، به پیوست الف مراجعه شود.

^f قابل اعمال نیست.

^g معادل قلیایی ها به عنوان بخشی از گواهی تولیدکننده گزارش شود. به یادآوری بند ۵ مراجعه شود.

^h به یادآوری بند ۴ مراجعه شود.

ⁱ علاوه بر این، حداقل هر شش ماه باید آزمون تعیین گرمایی هیدراته شدن سه روزه مطابق استاندارد ASTM C1702 انجام شود. این نوع آزمون ها اگرچه نباید برای رد یا پذیرش سیمان مورد استفاده قرار گیرد، ولی باید به عنوان اطلاعات تکمیلی گزارش شوند.

که رعایت آن برای کلیه تولید کنندگان سیمان لازم الاجرا است.

این مقاله اشاره خواهد شد، بعضاً این محصولات دارای خواص ویژه ای می باشند که سیمانهای تیپ فاقد آن می باشند.

در ضمن در اسفند ماه ۱۴۰۲ نیز تعدادی از استانداردهای انواع سیمانهای پرتلند پوزولانی و پرتلند آهکی و سیمان های سرباره ای و... نیز باطل گردیده اند و استاندارد فوق الذکر جایگزین آنها شده است.

اگرچه استاندارد این سیمانها در طی سه دهه اخیر بطور جداگانه تصویب و به مورد اجراء گذاشته شده است، اما اخیراً (بهمن ماه ۱۴۰۲) در یک بازنگری کلی، استاندارد واحدی با شماره ۲۳۴۰۲ برای سیمانهای هیدرولیکی آمیخته تهیه شده

جدول ۳- ویژگیهای الزامی فیزیکی سیمان های پرتلند بر اساس استاندارد ملی ایران (۳۸۹)

نوع سیمان ^۱											روش آزمون	ویژگی	
پ ۵	پ ۴	پ ۳ هـ	پ ۳	پ ۲ د	پ ۲ هـ گ	پ ۲ گ	پ ۲ هـ	پ ۲	پ ۱ هـ	پ ۱		بیشینه	هوای ملات، درصد حجمی
-	-	۲۲	-	-	۲۲	-	۲۲	-	۲۲	-	ASTM C185		
-	-	۱۶	-	-	۱۶	-	۱۶	-	۱۶	-	ASTM C204	کمینه	نرمی، سطح ویژه، بر
۲۶۰	۲۶۰	-	-	۲۶۰	۲۶۰	۴۶۰	۲۶۰	۲۶۰	۲۶۰	۲۶۰	ASTM C204	بیشینه	اساس روش بلین m ² /kg
۳۶۰ ^د	۳۶۰ ^ع	-	-	۳۶۰ ^ع	۳۶۰ ^ع	۳۶۰ ^ع	۳۶۰ ^ع	۳۶۰ ^ع	۳۶۰ ^ع	۳۶۰ ^ع	ASTM C151	بیشینه	اتساع در اتوکلاو، حداکثر درصد
۰.۸۰	۰.۸۰	۰.۸۰	۰.۸۰	۰.۸۰	۰.۸۰	۰.۸۰	۰.۸۰	۰.۸۰	۰.۸۰	۰.۸۰	ASTM C191	کمینه	زمان گیرش، بر اساس
۴۵	۴۵	۴۵	۴۵	۴۵	۴۵	۴۵	۴۵	۴۵	۴۵	۴۵	ASTM C191	بیشینه	آزمون ویکت ^۲ ، دقیقه
-	۲۰۰ ^ف (۵۰)	-	-	-	۳۵۵ ^ف (۸۰)	(۸۰) ۳۵۵ ^ف	-	-	-	-	ASTM C1702	۳ روزه	گرمای هیدراته شدن، روش گرماسنجی، بیشینه، [cal/g] kJ/kg
-	۲۲۵ ^ف (۵۵)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	ASTM C1702	۷ روزه	

^ا به یادآوری بند ۴ مراجعه شود.

^ب در مواردی که مجموع C₃S+4.75C₃A کمتر یا برابر با ۹۰ است، نیاز به رعایت بیشینه میزان نرمی نمی‌باشد.

^د در صورتی که رده ۴۲.۵ و ۵۲.۵ به کار رود محدودیت بیشینه نرمی به ۴۰۰ محدود می‌شود.

^ع زمان گیرش در استاندارد ASTM C191 بعنوان زمان گیرش اولیه در نظر گرفته شده است.

^ف در مواردی که بیشینه دمای هیدراته شدن محدود می‌شود، این الزام باید جایگزین الزامات مربوط به C₃S، C₃A، Fe₂O₃ و Fe₂O₃ ارائه شده در جدول ۱ شود.

جدول ۴- ویژگیهای الزامی مکانیکی سیمان های پرتلند بر اساس استاندارد ملی ایران (۳۸۹)، بازنگری ۱۳۹۹

مقاومت فشاری انواع سیمان MPa						روش آزمون	رده مقاومتی	
پ ۵	پ ۴	پ ۳ هـ	پ ۲ د	پ ۲ هـ گ	پ ۱ هـ		۷ روزه، حداقل	۲۲.۵
۱۲.۰	۱۰.۰	-	-	-	-	EN 196-1	۲۸ روزه، حداقل	
۲۲.۵	۲۲.۵	-	-	-	-		۲۸ روزه، حداکثر	
۴۲.۵	۳۲.۵	-	-	-	-		۲ روزه، حداقل	۳۲.۵
-	-	۱۰.۰	-	-	-		۷ روزه، حداقل	
۱۶.۰	-	-	۱۸.۰	۱۸.۰	۲۰.۰		۲۸ روزه، حداقل	
۳۲.۵	-	۳۲.۵	۳۲.۵	۳۲.۵	۳۲.۵		۲۸ روزه، حداکثر	
۵۲.۵	-	۵۲.۵	۵۲.۵	۵۲.۵	۵۲.۵		۲ روزه، حداقل	۴۲.۵
۱۰.۰	-	۲۰.۰	۱۰.۰	۱۰.۰	۱۰.۰		۲۸ روزه، حداقل	
۴۲.۵	-	۴۲.۵	۴۲.۵	۴۲.۵	۴۲.۵		۲۸ روزه، حداکثر	
۶۲.۵	-	۶۲.۵	۶۲.۵	۶۲.۵	۶۲.۵		۲ روزه، حداقل	۵۲.۵
-	-	۳۰.۰	۲۰.۰	۲۰.۰	۲۰.۰		۲۸ روزه، حداقل	
-	-	۵۲.۵	۵۲.۵	۵۲.۵	۵۲.۵		۲۸ روزه، حداکثر	

جدول ۵- دسته‌بندی سیمان‌های آمیخته هیدرولیکی براساس استاندارد ۲۳۴۰۲

نماد	شرح
IS	سیمان پرتلند سرباره ای
IPN	سیمان پرتلند پوزولانی طبیعی
IL	سیمان پرتلند سنگ آهکی
IPM	سیمان پرتلند دوده سیلیسی
IPZ	سیمان پرتلند زئولیتی
IT	سیمان‌های آمیخته سه جزئی
$S > 70$	سرباره بیشتر ۷۰ درصد
$IT(P \geq S)$	سیمان مرکب که در آن درصد پوزولان بیشتر از سرباره است.
$IT(L \geq P)$	سیمان مرکب که در آن درصد سنگ آهک بیشتر از پوزولان است.
$IT(L < S < 70)$	سیمان مرکب که در آن درصد آهک کمتر از سرباره و مجموع کمتر از ۷۰ درصد است
$IT(P < S < 70)$	سیمان مرکب که در آن درصد پوزولان کمتر از سرباره و مجموع کمتر از ۷۰ درصد است.

باید متذکر شد که افزودن آهک تا میزان حداکثر ۵ درصد در سیمان‌های تیپ (پرتلند) نمی‌بایست خواص الزامی این سیمان‌ها را بر اساس استاندارد ۳۸۹، ویرایش ۱۳۹۹، تغییر دهد و در غیر اینصورت مجاز به استفاده از آن نمی‌باشیم. اما در سیمان آمیخته ای که از سنگ آهک به عنوان افزودنی استفاده می‌شود، مقادیر بالاتری از سنگ آهک استفاده می‌شود که نتیجتاً خواص و ویژگیهای آن متفاوت با استاندارد مذکور بوده و در دسته بندی استاندارد سیمان‌های آمیخته، جای می‌گیرد.

نمادهای سیمان‌های آمیخته براساس این استاندارد به

جدول ۶- طبقه بندی سیمان‌های آمیخته براساس خواص کاربردی مطابق استاندارد ۲۳۴۰۲

پسوند	برای سیمان‌های:
MH	با حرارت هیدراته شدن متوسط
MS	با مقاومت متوسط در برابر سولفات
HS	با مقاومت زیاد در برابر سولفات
LH	با حرارت هیدراته شدن کم
HE	با مقاومت اولیه زیاد

در این استاندارد، ویژگی‌های سیمان‌های هیدرولیکی آمیخته برای کاربردها عمومی و کاربردهای ویژه که از ترکیب سرباره یا پوزولان یا سنگ آهک یا مخلوطی از آنها، با سیمان پرتلند یا کلینکر سیمان پرتلند یا سرباره و آهک هیدراته، تولید می‌شود، مورد بررسی قرار گرفته است.

بر اساس این استاندارد، سیمان‌های آمیخته به دو دسته:

۱- سیمان‌های آمیخته دو جزئی

۲- سیمان‌های آمیخته سه جزئی

تقسیم می‌شوند.

سیمان‌های آمیخته دو جزئی، نوعی سیمان هیدرولیکی آمیخته شامل مخلوط سیمان پرتلند یا کلینکر سیمان پرتلند با یک نوع سرباره یا یک نوع پوزولان یا یک نوع سنگ آهک است.

سیمان‌های آمیخته سه جزئی، نوعی سیمان هیدرولیکی آمیخته شامل سیمان پرتلند یا کلینکر سیمان پرتلند با مخلوطی از دو نوع مواد جایگزین مختلف، مانند، سرباره و یک نوع پوزولان، یک نوع پوزولان و یک سنگ آهک یا یک سرباره و یک سنگ آهک یا دو نوع پوزولان است.

شاید این سوال از سوی خوانندگان مطرح شود که افزایش آهک تا ۵ درصد در استاندارد سیمان‌های پرتلند (تیپ) چه تفاوتی با افزودن آهک در سیمان‌های آمیخته دارد. در پاسخ

جدول ۷- ویژگیهای شیمیائی سیمان های هیدرولیکی آمیخته بر اساس استاندارد ۲۳۴۰۲

نوع سیمان - ویژگی‌ها				روش آزمون (استاندارد)	ترکیب‌های شیمیایی
IL, IT(L≥S), IT(L≥P)	IP, IT(P≥S), IT(P≥L)	IS(≥70), IT(S≥70)	IS(<70), IT(P<S<70), IT(L<S<70)		
NR ^ت	۶۰	NR ^ت	NR ^ت	ASTM C114	منیزیم اکسید (MgO)، حداکثر درصد
۳۰	۴۰	۴۰	۳۰		سولفات به صورت SO ₃ ^{الف} ، حداکثر درصد
NR ^ت	NR ^ت	۲۰	۲۰		سولفید به صورت S ^{۲-} ، حداکثر، درصد
NR ^ت	NR ^ت	۱٫۵	۱٫۵		باقی‌مانده نامحلول ^ب ، حداکثر، درصد
۱۰۰	۵۰ ^ب	۴۰ ^ب	۳۰ ^ب		افت سرخ شدن، حداکثر، درصد
الف به شرطی که از طریق استاندارد ASTM C1038/ASTM C1038M نشان داده شود که سیمان با SO ₃ زیاد، انبساطی را بیش از ۰٫۰۲۰٪ در ۱۴ روز ایجاد نخواهد کرد، تجاوز از مقادیر SO ₃ ارایه شده، بلامانع است. هنگامی که تولیدکننده، سیمان را با رعایت مقدار این استاندارد تأمین کند، باید اطلاعات مستند به خریدار ارائه کند. به یادآوری زیربند ۸-۱ مراجعه شود.					
ب حداکثر مقدار باقی‌مانده نامحلول برای سیمان‌های آمیخته سه‌جزئی، کاربرد ندارد.					
ج برای سیمان‌های آمیخته سه‌جزئی دارای سنگ آهک، حداکثر افت سرخ شدن ۱۰٫۰٪ جرمی است.					
ت غیر الزامی است.					

جدول ۸: ویژگی های فیزیکی سیمان های هیدرولیکی آمیخته بر اساس استاندارد ۲۳۴۰۲

خواص	روش آزمون	IL, IP, IS(<70), IT(S<70), IS(≥70), IT(S≥70)
نرمی	ASTM C204 ASTM C430 ASTM C1891	الف
چگالی	ASTM C188	الف
انبساط به روش اتوکلاو ^ب ، حداکثر، درصد	ASTM C151	۰.۸۰
انقباض به روش اتوکلاو ^ب ، حداکثر، درصد		۰.۲۰
زمان گیرش اولیه، به روش ویکات:	ASTM C191	۶۰
		۷
غلظت خمیر نرمال، حداکثر، درصد	ASTM C187	۳۰
^{الف} مقدار باقی مانده روی الک ۴۵ μm (شماره ۳۲۵) به روش خشک یا تر یا سطح مخصوص اندازه گیری شده با دستگاه نفوذپذیری هوا (روش بلین)، m ² /kg، و چگالی، g/cm ³ ، باید در تمام گزارشهای مربوط به آزمونهای کارخانه در مواردی که در بند ۱۳-۳ مشخص شده، گزارش شود. ^ب آزمونها باید محکم و سفت باقی بمانند و هنگامی که آزمون انبساط به روش اتوکلاو روی آنها انجام شود، نشانههایی از تغییر شکل، ترک خوردگی، ریز ترک، حفره یا خردشدگی در آنها دیده نشود.		

۵-۱- پوزولان

شرح جدول ۵ می باشد:

پوزولانها مواد سیلیسی یا سیلیسی-آلومینائی هستند که تشکیل دهنده اصلی این مواد، سیلیس آمورف فعال به میزان حداقل ۲۵ درصد وزنی و آلومین در کنار اکسید آهن و سایر اکسیدهای فرعی است. سهم CaO فعال برای سخت شدن در این مواد ناچیز است. اما هنگامی که در مجاورت با آب در داخل ملات قرار بگیرند، با Ca(OH)_2 (حاصل از واکنش آب با سیمان)، ترکیب شده و تولید C-S-H (هیدروکسید سیلیکات کلسیم) می کنند. این محصول دارای خواص سیمانی و چسباننده است.

انواع مصنوعی آنها عبارتند از خاکستر سبک، میکروسیلیس، رس های کلسینه شده (یا متاکائولن)، شیل ها و خاکستر برنج، روباره. و انواع طبیعی آن عبارتند از خاکسترهای آتشفشانی، توف های آتشفشانی، تراس، ژئولیت ها. تشکیل دهنده های اصلی پوزولان طبیعی بعد از سیلیس آمورف، فلدسپات های قلیائی، گچ و کوارتز است.

۵-۲- سرباره

سرباره، محصول فرعی کوره بلند ذوب آهن است. در این

در این استاندارد، علاوه بر طبقه بندی مندرج در جدول ۵، طبقه بندی جدول ۶ نیز براساس خواص عملکردی سیمان های آمیخته مد نظر قرار گرفته است. ویژگیهای شیمیائی این سیمانها به شرح جدول ۷ است. ویژگیهای فیزیکی این سیمانها بر اساس استاندارد مذکور به شرح جدول ۸ است: ویژگیهای مکانیکی این سیمانها براساس استاندارد ۲۳۴۰۲ به شرح جدول ۹ است.

۵- انواع افزودنی های معدنی مورد استفاده در سیمان های پرتلند آمیخته

اگرچه در استاندارد سیمان های پرتلند آمیخته، به بخشی از افزودنی های مورد استفاده نظیر پوزولان، سنگ آهک، سرباره، دوده سیلیسی، ژئولیت اشاره شد، اما افزودنی های متعددی در منابع و استانداردهای سیمانی دیگر وجود دارد. ما در این بخش به منظور آشنائی خوانندگان، بطور خلاصه به تشریح هریک از این افزودنی ها می پردازیم:

جدول ۹: خواص مکانیکی سیمان های پرتلند آمیخته بر اساس استاندارد ۲۳۴۰۲

مقاومت فشاری انواع سیمان ^{الف} مگا پاسکال							روش آزمون	رده مقاومتی	
IT (S<70)	IS, IT (S≥70)	IS (S<70)	IPZ	IPM	IPN	IL			
-	۶,۰	-	-	-	-	-	EN 196-1	۷ روز، حداقل	۱۲,۵
	۱۲,۵							۲۸ روز، حداقل	
	۲۲,۵							۲۸ روز، حداکثر	
۱۰,۰	۱۰,۰	۱۰,۰	-	-	۱۰,۰	-		۷ روز، حداقل	۲۲,۵
۲۲,۵	۲۲,۵	۲۲,۵			۲۲,۵			۲۸ روز، حداقل	
۳۲,۵	۳۲,۵	۳۲,۵			۳۲,۵			۲۸ روز، حداکثر	
۱۶,۰	-	۱۶,۰	۱۶,۰	۲۰,۰	۱۶,۰	۱۶,۰		۷ روز، حداقل	۳۲,۵
۳۲,۵		۳۲,۵	۳۲,۵	۳۲,۵	۳۲,۵	۳۲,۵		۲۸ روز، حداقل	
۵۲,۵		۵۲,۵	۵۲,۵	۵۲,۵	۵۲,۵	۵۲,۵		۲۸ روز، حداکثر	
۱۰,۰	-	۱۰,۰	۱۰,۰	۲۰,۰	۱۰,۰	۱۰,۰	EN 196-1	۲ روز، حداقل	۴۲,۵
۴۲,۵		۴۲,۵	۴۲,۵	۴۲,۵	۴۲,۵	۴۲,۵		۲۸ روز، حداقل	
۶۲,۵		۶۲,۵	۶۲,۵	۶۲,۵	۶۲,۵	۶۲,۵		۲۸ روز، حداکثر	
-	-	-	-	۳۰,۰	-	-		۲ روز، حداقل	۵۲,۵
				۵۲,۵				۲۸ روز، حداقل	

الف) مواردی که با خط تیره مشخص شده است ، مجاز به تولید و عرضه نمی باشند.

الف مواردی که با خط تیره مشخص شده است، مجاز به تولید و عرضه نمی باشند.

شود که محصول فرعی تولید سیلیکون یا ریخته گری فروآلیاژها و نیز تولید فلز سیلیسیم در کوره های قوس الکتریکی است. دانه بندی این ماده بسیار نرم و در حدود ۱/۰ میکرون و حدود ۱۰۰ مرتبه ریزتر از متوسط دانه بندی سیمان است و دارای باقیمانده روی الک ۴۵ میکرون ، ۳/۷ درصد می باشد. سطح ویژه آن نیز ۳۰۰۰ تا ۸۰۰۰ سانتیمتر مربع برگرم است. به علت چسبندگی زیاد و نرمی فوق العاده، لازم است تا به همراه مواد ضدانعقاد یا متفرق کننده استفاده شود.

فعالیت پوزولانی این ماده که سفید تا خاکستری تیره است ، بسیار بیشتر از سایر مواد پوزولانی است.

۴-۵- خاکستر بادی

خاکستر بادی یا Fly-ash یا پودر خاکستر سوخته شده ، محصول فرعی غبارگیرهای نیروگاهی زغال سوز است. ترکیب این ماده به آنالیز زغال سنگ مصرفی بستگی دارد. اگرچه در ایران دو نیروگاه کوچک در مناطق زرد کرمان و طبس نزدیک به معادن زغال سنگ وجود دارند، اما این ماده هنوز در ایران بازیابی نمی شود. بلکه تنها برای برخی مصارف خاص و بر اساس نظر مشاوران سازه ، با هزینه گزاف از خارج از کشور تامین می شود.

بر اساس استاندارد کانادا (CSA) ، این ماده به دو کلاس C (حاصل از احتراق زغال سنگ های نامرغوب و لینیت یا PFA) و کلاس F حاصل از زغال سنگ های مرغوب قیری، تقسیم می شوند.

معمولاً خاکستر سبک کلاس C، آهک بیشتر و آهن کمتری دارد. میزان مواد شیشه ای (فعال) این ماده ۷۰ تا ۹۰ درصد می باشد. توزیع دانه بندی این ماده اکثراً ۱-۵۰ میکرون است. و تعدادی ذرات ۱۰۰ میکرونی نیز به همراه دارد. سطح مخصوص این ماده حدود ۳۰۰۰ تا ۵۰۰۰ سانتی مترمربع برگرم است.

۵-۵- سنگ آهک

شاید در دسترس ترین و مقرون به صرفه ترین ماده افزودنی معدنی در دسترس برای تولید سیمان های آمیخته ، سنگ آهک باشد. به منظور اضافه کردن این ماده به سیمان، میزان کربنات کلسیم محاسبه شده از روی اکسید کلسیم اندازه گیری شده ، باید حداقل ۷۵ درصد باشد.

اگرچه این ماده هیچگونه خاصیت پوزولانی یا هیدرولیکی ندارد، اما حضور دانه های نرم سنگ آهک ، سرعت هیدراتاسیون فاز آلایت (C₃S) را افزایش داده و مقاومت های اولیه خوبی

فرایند ، به منظور جذب ناخالصی سنگ آهن مصرفی ، به ویژه سیلیس ، سنگ آهک افزوده می شود. در اثر این کار ، بر روی مذاب تولید شده در کوره ، کف ایجاد می شود. اگر این کف از کوره خارج شده و سریعاً سرد شود ، به علت داشتن سیلیس شیشه ای ، دارای خاصیت هیدرولیکی خواهد بود. ضمن اینکه به علت بالا بودن درصد آهک ، آنالیزی نزدیک به سیمان نیز دارد. اما اگر این ماده آهسته خنک شود ، دارای این خاصیت نیست و در آنصورت صرفاً می تواند بصورت سنگدانه قابل مصرف باشد. در کشور ما با تولید حدود ۲۰ میلیون تن فولاد ، حداکثر حدود ۵ میلیون تن روبراره تولید می شود که ۲ میلیون تن آن مربوط به کوره های ذوب فولاد بوده و برای این منظور قابلیت مصرف ندارند. اگرچه ۳ میلیون تن باقیمانده بطور بالقوه قابل استفاده در سیمان های روبراره ای هستند ، اما تولید واقعی این ماده در کشورمان عملاً به حدود ۶۰۰،۰۰۰ تن در سال فعلاً محدود می شود.

روباره مصرفی در این راه عمدتاً از شیشه آلومینو سیلیکات کلسیم تشکیل شده است براساس استاندارد ملی ایران ، سرباره مصرفی باید دارای ویژگی زیر باشد.

$$\frac{CaO+MgO}{SiO_2} \geq 1$$

بر اساس استاندارد BS، علاوه بر این رابطه ، باید مجموع این سه اکسید برابر دو سوم وزن کل باشند.

روباره دارای فعالیت هیدرولیکی نهان است که فعالیت آن با افزایش میزان شیشه ، افزایش می یابد. بطور معمول میزان اکسید آلومینیوم موجود در سرباره حدود ۱۲ تا ۱۳ درصد است. با افزایش این اکسید در سرباره ، به علت افزایش اترنجیت ، مقاومت اولیه رشد می یابد. همچنین با افزایش CaO یا افزایش MgO تا ۱۰ برابر CaO ، امکان افزایش فعالیت هیدرولیکی سرباره میسر است. سردکردن سریع سرباره از شروط اساسی در فعال نمودن آن است. افزایش نرمی سرباره ، فعالیت هیدرولیکی آن را افزایش می دهد. اما انباشت طولانی مدت سرباره ، فعالیت هیدرولیکی آن را کاهش می دهد.

با استفاده از فعال کننده هائی نظیر هیدروکسید کلسیم، سود سوز آور ، پتاس ، سیمان پرتلند ، کربنات سدیم ، می توان فعالیت هیدرولیکی آن را افزایش داد.

۵-۳- دوده سیلیسی (میکروسیلیس)

این ماده که به آن دوده سیلیسی یا سیلیکافیوم اطلاق می شود، از دانه های بسیار ریز گرد شیشه ای SiO₂ تشکیل می

۲- پروژه های سدسازی

۳- بتن ریزی های حجیم

۴- ساخت اسکله و بنادر

اگرچه سیمان های پرتلند پوزولانی درمقایسه با سیمان های تیپ دارای مقاومت اولیه پائین تری می باشند. فلذا مقاومت اولیه بتنی که با این سیمان ساخته می شود، پائین تر است. اما این کاهش مقاومت تا ۱۵ یا ۲۰ درصد پوزولان آنچنان که باید و شاید زیاد نیست و با استفاده از افزودنی های شیمیایی بتن جبران میشود و بتن اقتصادی تری ساخته می شود.

مقدار جذب آب سیمانهای پوزولانی نیز بسته به کیفیت پوزولان مصرفی، تا ۱۵ درصد پوزولان، می تواند اندکی بیشتر از سیمانهای تیپ باشد. در یک نسبت آب به سیمان ثابت، کاهش این امر، کارائی بتن را اندکی کاهش می دهد. اما در مصارف بالاتر پوزولان، شدت جذب آب و کاهش کارائی بتن بیشتر شده و لزوم به استفاده افزودنی های روان ساز فزونی می یابد. متخصصین بتن توصیه می کنند که این کاهش روانی از طریق آب جبران نشود و به همین دلیل نیز در استاندارد ASTM C 595، سقف مجاز برای نسبت آب به سیمان برای این بکارگیری این سیمان مشخص شده است. برخی از تحقیقات نشان می دهد که انقباض یا جمع شدگی بتن های ساخته شده با این سیمان محتمل تر از سیمانهای تیپ است. و به همین دلیل در استاندارد مذکور، درصد جمع شدگی در اثر خشک شدن، حداکثر ۰/۱۵ در نظر گرفته شده است.

اگرچه آزمایشات نشان داده است که تا ۱۵ درصد پوزولان، مصرف آب بالا و جمع شدگی (انقباض) سیمان های پوزولانی اثر چندانی ندارد و تقریباً مشابه سیمان های تیپ عمل می نماید.

سیمانهای پرتلند پوزولانی دارای محاسنی است که سیمان های تیپ فاقد آن می باشند. از آن جمله می توان به موارد زیر اشاره داشت:

الف) مقاومت بهتر در بتن های حاوی سنگدانه های واکنش زا که ایجاد واکنشهای قلیائی- سیلیسی می کنند. (سرطان بتن). این ویژگی با توجه به کیفیت نامطلوب بخش قابل توجهی از سنگدانه های مصرفی کشور، یک امتیاز اساسی محسوب می شود.

ب) کاهش حرارت هیدراتاسیون خصوصاً در سنین اولیه تا ۷ روز.

را تامین می نماید. بسیاری از کارخانجات سیمان حداکثر تا حدود ۵ درصد از آن به عنوان پرکننده (فیلر) به سیمان تیپ، اضافه می کنند.

درحالی که بخش اعظم سولفات کلسیم بصورت اترنجیت حضور دارد ولی در اثر واکنش بخشی از سنگ آهک با فاز آلومینات، مونو کربنات و همی کربنات نیز ایجاد می شوند. این ترکیبات ضمن پرمودن حفره های باز، باعث افزایش دوام و افزایش نسبی مقاومت بتن و کاهش زمان گیرش می شوند.

۵-۶- متاکاؤلن

این ماده به عنوان رقیب اصلی دوده سیلیسی (میکروسیلیس) در مواد پوزولانی مطرح است. سطح ویژه آن ۱۵۰،۰۰۰ سانتیمترمربع برگرم است و متوسط دانه بندی آن ۱-۲ میکرون می باشد. سرعت هیدراته شدن این ماده در محیط سیمانی، تابع نوع و میزان سیمان است و به علت داشتن آلومینای بالا، فعالیت پوزولانی آن افزایش می یابد.

۶- تشریح مختصر سیمان های هیدرولیکی آمیخته و کاربردهای آن

در این بخش با توجه به تشریح افزودنیهای معدنی مورد استفاده برای تولید سیمانهای آمیخته هیدرولیکی، به تشریح مختصر هر یک از سیمان های آمیخته هیدرولیکی و کاربردهای آن می پردازیم:

۶-۱- سیمان پرتلند پوزولانی

در استاندارد ملی سیمان ایران (که پیش از استاندارد ۲۳۴۰۲ مصوب و جاری بوده است)، این نوع سیمان به دو دسته معمولی (تا ۱۵ درصد پوزولان به عنوان جایگزین کلینکر در سایش آسیاب سیمان) و ویژه (از ۱۵-۴۰ درصد) دسته بندی شده بود. اما در استاندارد جدید با شماره ۲۳۴۰۲، یک نوع سیمان پرتلند پوزولانی طبیعی تعریف شده است که باید جزء تشکیل دهنده پوزولان طبیعی، حداکثر ۴۰ درصد جرمی سیمان آمیخته باشد. نکته قابل توجه در تحقیقات و تدوین این سیمان در ایران، آن است که در استاندارد جدید سیمان های آمیخته، خواص کاربردی و عملیاتی سیمان مورد بررسی قرار گرفته است. کاربرد های اصلی این نوع سیمان عبارتند از:

۱- تهیه بتن معمولی

پرتلند می باشد.

(۸) مقاومت بیشتر در برابر عوامل یخ زدا در جاده ها و پل های بتنی که عوامل یخ زدا استفاده می شود، این مواد از تخلخل های بتن وارد شده و باعث تخریب بتن می شوند اما بتن ساخته شده از این سیمان کمتر دارای این تخلخل هاست.

(۹) چنانچه بلین این سیمان به ۳۸۰۰ تا ۴۰۰۰ سانتی مترمربع بر گرم برسد، علاوه بر مزایای خوب مذکور، نتایج سیمانی در بتن به لحاظ مقاومتی نیز مطلوب و مقبول خواهد شد.

(۱۰) تحقیقات نشان داده است که حضور دانه های نرم سنگ آهک، سرعت هیدراته شدن آلیت را در سیمان افزایش می دهد و این عمل باعث بهبود مقاومت اولیه سیمان پرتلند آهکی می شود.

(۱۱) مطالعات نشان می دهد که این سیمان از خواص دوامی بالایی برخوردار است. هرچند که به علت تشکیل تامازیت و تاثیر آن در شکنندگی و تخریب بتن، مقابله آن با حمله سولفات ها تا حدودی موردتأیید است.

(۱۲) علت افزایش دوام بتن ساخته شده با این سیمان را می توان به واکنش بخشی از سنگ آهک با فاز آلومینات سیمان و تشکیل منوکربنات و همی کربنات ذکر نمود که این ترکیبات حفره های باز بتن را پر نموده و دوام بتن را افزایش می دهد.

(۱۳) در برخی از مقالات اشاره شده که این امر موجب تسریع در گیرش نیز می شود.

۳-۶- سیمان پرتلند سرباره ای

سیمان پرتلند سرباره ای کوره بلند آهک گدازی، بر اساس تعریف استاندارد ۲۳۴۰۲، نوعی سیمان هیدرولیکی است که در آن جزء تشکیل دهنده سرباره، ۹۵ درصد جرمی سیمان آمیخته است. در صورتیکه سرباره به میزان بیش از ۷۰ درصد اضافه شود، می توان از آهک هیدراته استفاده نمود.

براساس استاندارد ASTM C989 که به منظور ارزیابی اندیس فعالیت روباره، انجام شده مقاومت فشاری مخلوط ۵۰/۵۰ آن با سیمان پرتلند و روباره نرم شده، با دانه بندی مشابه سیمان خالص، نتایج ذیل را به دنبال داشته است:

مقاومت ۳ روزه: ۴-۶ درصد سیمان خالص

مقاومت ۷ روزه: ۵۰-۷۰ درصد سیمان خالص

مقاومت ۲۸ روزه: ۷۰-۱۱۰ درصد سیمان خالص

این موضوع به خصوص در بتن ریزیها در هوای گرم که ساخت و اختلاط و گیرش سیمان دچار مشکل می شود، اهمیت دوچندانی می یابد. همچنین عدم توجه به افزایش حرارت هیدراته به خصوص در بتن ریزی های حجیم موجب ایجاد ترک های وسیع می شود.

(ج) افزایش دوام بتن در محیط های حاوی یون کلر و سولفات و نیز نفوذ پذیری کمتر (خواص دوامی بهتر بتن) به عنوان مثال اگر میزان سولفات های قابل حل در آب بیشتر از ۱۰۰۰۰ ppm باشد و یا سولفات محلول در آب بیشتر از ۲ درصد باشد، دیگر سیمان تیپ ۵ جوابگو نیست و می بایست حتماً از سیمان پوزولانی استفاده شود.

(د) یکی دیگر از مزایای برجسته سیمان های پرتلند پوزولانی، آن است که از ایجاد تنش اضافی در بتن جلوگیری می کند. زیرا از خصوصیات پوزولان، پوک بودن آن است که می تواند از افزایش حجم ناشی از حمله سولفات ها تا حدی جلوگیری کند.

۲-۶- سیمان پرتلند آهکی

امروزه استفاده از سنگ آهک حداقل با خلوص ۷۵ درصد به عنوان یک افزودنی مناسب معدنی به سیمان و تولید سیمان پرتلند آهکی، در بسیاری از نقاط جهان مرسوم است. مثلاً در انگلستان، مصرف تا حدود ۳۰ درصد انواع سنگ آهک بادرجه خلوص بالای آن با عنوان سیمان پرتلند آهکی در تولید بتن آماده و قطعات پیش ساخته، کاربرد گسترده ای دارد. به گونه ای یک چهارم بازار سیمان این کشور را به خود اختصاص می دهد. از جمله امتیازات این سیمان عبارتند از:

(۱) کاهش آب انداختن بتن ناشی از حالت خمیری این سیمان در بتن

(۲) انقباض کنترل شده بتن (جمع شدگی کمتر) به دلیل تشکیل حالت خمیری این سیمان در بتن در مقایسه با سیمان پرتلند

(۳) ایجاد سطح یکنواخت بتن

(۴) ماله خوری مطلوب آن

(۵) مقاومت در برابر سیکلهای یخ زدن و آب شدن به علت کاهش تخلخل بتن ساخته شده با این سیمان

(۶) قابلیت پمپ شدن بهتر به علت روان سازی بهتر

(۷) نیاز به آب آزاد کمتر به دلیل حالت خمیری بیشتر بتن ساخته شده با این سیمان نسبت به بتن ساخته شده با سیمان

جدول ۱۰ - تشریح مختصر خواص کیفی سیمان

ردیف	ویژگی	تشریح مختصر
۱	گیرش سیمان	- یک ویژگی رفتاری ملات سیمان است که نشان دهنده تبدیل حالت پلاستیک به حالت جامد است. - مورد قبول ترین تست برای ارزیابی این ویژگی ، آزمایش سوزن ویکات است. - دو زمان برای گیرش ملات سیمان ذکر می شود. الف) گیرش اولیه که سوزن، دیگر نتواند به آسانی در خمیر سیمان فرو رود. (بسته به استاندارد، کمتر از ۶۰-۳۰ دقیقه) ب) گیرش نهائی که سوزن، اصلاً نتواند در خمیر سیمان فرورود. (بسته به استاندارد، نباید کمتر از ۱۲-۸ ساعت کمتر باشد) موضوع بسیار مهم در گیرش سیمان، جلوگیری از نامنظم بودن آن است. - مهمترین ماده در منظم بودن گیرش، گچ است. - در صورت کم بودن گچ در سیمان، گیرش سریع رخ می دهد. - این امر همچنین موجب افت مقاومت نیز می شود. - اگر مقدار گچ در سیمان بیشتر باشد، گیرش به تاخیر می افتد. - اگر گچ در اثر افزایش دمای آسیاب دھیدراته شده باشد (از دست دادن دو مولکول آب گچ)، گیرش کاذب رخ می دهد. نشانه آن این است که در میکسر ، ملات در همان دقایق اولیه ابتدا سفت می شود و در ادامه که سرعت میکسر روی دورتند قرار می گیرد، روال عادی گیرش و استحکام طبیعی رخ می دهد. - میزان متعارف SO₃ برای گیرش عادی ، ۳-۱ درصد است. - عوامل متعددی بر کاهش زمان گیرش ، تاثیر پذیر است: الف) افزایش دمای محیط ، موجب کاهش زمان گیرش می شود. ب) ترکیب شیمیائی کلینکر، افزایش آلیت و آلومینات و میزان قلیائی های سیمان، می تواند باعث کاهش زمان گیرش شود. ج) افزایش نرمی سیمان نیز باعث کاهش زمان گیرش سیمان می شود. بطور سرانگشتی ، هر ۱۰۰۰ واحد افزایش بلین، زمان گیرش را ۰/۵ تا ۱ ساعت کاهش می دهد (به عبارت دیگر ۵/۰ تا ۱ درصد گچ می بایست اضافه شود). د) گیرش سیمان های آمیخته ، آهسته تر از سیمان های خالص می باشد. ه) به عنوان یک قاعده سرانگشتی ، هر ۲۰ تا ۴۰ درصد افزودنی، می تواند ۱-۲ ساعت گیرش سیمان را طولانی تر کند. و) سنگ آهک هم می تواند پسان گچ ، نقش کندکنندگی در گیرش داشته باشد.
۲	استحکام (مقاومت)	- مهمترین ویژگی کیفی سیمان، استحکام (مقاومت) است. - مقاومت سیمان بسته به استاندارد می تواند در ایام مختلف تعریف شود ، مثلاً ۳ روزه ، ۳ روزه ، ۷ روزه ، ۲۸ روزه - عوامل مختلفی بر نتایج مقاومت سیمان تاثیرگذار می باشد. الف) مثلاً فازهای آلیت و آلومینات کلینکر بر مقاومت اولیه سیمان تاثیرگذار می باشند. ب) بطور سرانگشتی می توان گفت که به ازاء هر ۱۰ درصد افزایش مقدار فاز آلیت ، حدود ۱۰۰ کیلوگرم بر سانتی مترمربع ، افزایش مقاومت برای تمامی رده ها از سن ۱ تا ۲۸ روزه خواهیم داشت. ج) مقدار فاز آلیت سیمان ، برای سیمان های معمولی ، ۴۵ تا ۵۲ یا ۵۳ درصد است. د) افزایش فازهای قلیائی (K₂O و Na₂O) در کلینکر (سیمان)، اگرچه مقاومت اولیه (تا ۳ روز) را افزایش می دهد، اما مقاومت ۲۸ روزه را کاهش می دهد. حتی این موضوع می تواند به اندازه فاز آلیت موثر باشد. ه) اثرات گچ نیز بر همه رده های مقاومتی موثر است. و) میزان بهینه SO₃ در سیمان ۳-۳/۵ درصد است. ز) آب گیری از گچ در هنگام آسیاب شدگی سیمان می تواند عاملی بر افزایش مقاومت سیمان باشد ، اما این امر موجب ایجاد گیرش کاذب نیز می شود. ه) بطور سرانگشتی، افزایش بلین ، به میزان ۱۰۰۰ واحد، افزایش ۸۰ کیلوگرم بر سانتی مترمربع در مقاومت های ۷-۲ روزه و افزایش ۶۰ کیلوگرم بر سانتی مترمربع در مقاومت های اولیه ۱ و ۲۸ روزه ملات سیمان دارد. و) بر اساس توصیه VDZ، حداقل میزان ذرات بین ۳۰-۳ میکرون سیمان، باید ۴۵ درصد باشد. اگر این میزان به ۶۵ درصد برسد،

		سیمان مرغوب و اگر به ۷۵ درصد برسد، به آن سیمان بسیار مرغوب می گویند. (ز) البته این تأثیرات در بهبود مقاومت ملات سیمان مشهود است، زیرا در ارزیابی مقاومت ملات در آزمایشگاه سیمان، نسبت آب به سیمان ثابت است. اما در بتن با افزایش بلین و درصد ذرات ۳۰-۳ میکرون، به علت افزایش آب مصرفی می تواند باعث افت مقاومت بتن شود. (ح) مواردی نظیر ذخیره کردن سیمان بسیار داغ در سیلو، افزایش آب مصرفی در اسباب، قرار گرفتن کلینکر به مدت زیاد در محوطه، باعث افت مقاومت می شود.
۳	سلامت سیمان	- این پارامتر نشان دهنده میزان انبساط ملات سیمان پس از انجام واکنش های هیدراتاسیون است. - اگر میزان این پارامتر بالاتر از حد استاندارد شود، به علت گسترش ترک، می تواند باعث کاهش مقاومت و دوام ملات سیمان شود. - عوامل زیر می تواند موجب افزایش انبساط در ملات سیمان شود. الف) انبساط ناشی از SO_3 گچ به علت تشکیل اترنجیت از آلومینات و SO_3 ب) انبساط ناشی از هیدراته شدن آهک آزاد بسیار حرارت دیده در کوره (Dead-burnt) ج) انبساط ناشی از هیدراته شدن اکسید منیزیم بسیار حرارت دیده (پری کلاز) د) آنالیز شیمیایی نیز می تواند در کنار آزمایش انبساط ملات سیمان، به منظور اطمینان از سلامت سیمان، مورد استفاده قرار گیرد. ه) برای پائین نگاه داشتن انبساط ملات سیمان، باید اکسیدهای منیزیم، کلسیم، گوگرد و فاز آلومینات، پائین نگاه داشته شوند. و) در مورد محدودیت گوگرد، باید اشاره داشت که این محدودیت تابع اکسیدهای قلیائی است. لذا حداکثر مجاز SO_3 تابع میزان قلیائی ها در سیمان است. ز) افزایش ترمی سیمان می تواند، میزان انبساط سیمان را پائین بیاورد. ز) میزان آهک آزاد (CaO-Free) موجود در سیمان، برای جلوگیری از انبساط، برابر استاندارد ملی ایران حداکثر ۲ درصد است. اما در صورت حضور آن بصورت $Ca(OH)_2$، میزان آهک آزاد تا ۵ درصد هم، مشکل انبساط را بوجود نمی آورد.
۴	گرمای هیدراتاسیون	- واکنش بین سیمان و آب، یک واکنش گرمازا است و این امر در برخی از موارد می تواند باعث بروز مشکلاتی در بتن شود. - بالا بودن بیش از اندازه فازهای آلیت و آلومینات در سیمان، باعث افزایش گرمای هیدراتاسیون می شود. - به همین دلیل استفاده از سیمان تیپ ۱ در مناطق گرمسیری پیشنهاد نمی شود. چون علاوه بر گرمای بالای محیط، گرمای هیدراتاسیون بالای واکنش نیز مزید بر علت برای تخریب بتن می شود. - گرمای هیدراتاسیون بالا برای مناطق سردسیر مفید است. - گرمای هیدراتاسیون بالا برای بتن ریزیهای حجیم مضر است. - در این شرایط توصیه می شود تا از سیمان های آمیخته که گرمای هیدراتاسیون پائینی دارند، استفاده شود.
۵	دوام بتن (نفوذ کلریدها) دوام بتن (ریسک واکنش قلیا-سیلیس) دوام (مقاومت در برابر حملات سولفات ها)	- افزایش فاز آلومینات سیمان (C_3A) و کاهش فاز آلومینو فریت (C_4AF)، باعث کاهش نفوذ کلریدها در بتن می شود. - افزایش یکنواختی توزیع دانه بندی سیمان (n در توزیع روزین رامیرل)، باعث افزایش نفوذ یونهای کلرید در بتن می شوند. - مصارف روباره، خاکستر سبک، میکروسیلیس، متاکائولن، باعث کاهش نفوذ یونهای کلرید در بتن می شوند. - افزایش میزان قلیائی های سیمان، ریسک واکنش قلیا-سیلیس را در بتن افزایش می دهد. - افزایش سیمان در بتن، ریسک واکنش قلیا-سیلیس را در بتن افزایش می دهد. - مصارف روباره، خاکستر سبک، میکروسیلیس، متاکائولن، باعث کاهش ریسک قلیا-سیلیس در بتن می شود. - افزایش فاز آلومینات (C_3A) و کاهش فاز آلومینو فریت (C_4AF)، مقاومت در برابر حملات سولفات را کاهش می دهد. - افزایش میزان سیمان در بتن، سبب افزایش مقاومت بتن در برابر حملات سولفات می شود. - مصارف روباره، خاکستر سبک، میکروسیلیس، متاکائولن، باعث کاهش مقاومت بتن در برابر حملات سولفات خواهد شد.

از جمله ویژگیهای کاربردی برای سیمان سرباره ای را می توان به موارد ذیل نسبت داد:

(ج) مطالعات نشان داده که رشد مقاومت اولیه این سیمان در مقایسه با مقاومت نهائی آن به مراتب سریعتر می باشد.

۴-۶- سیمان پرتلند (دوده سیلیسی) میکروسیلیسی

سیمان پرتلند میکروسیلیسی، مخلوطی از سیمان پرتلند و

الف) در مواردی که گرمای هیدراتاسیون پائینی مد نظر باشد (مانند سدها، بتن ریزی های حجیم)

ب) انتظار مقاومت بالاتر در برابر تهاجم شیمیائی

از سیمانی با مقاومت ۴۰۰ تا ۵۰۰ کیلوگرم بر سانتی متر مربع در این موارد، ضمن حیف و میل انرژی، محیط زیست، اتلاف منابع مالی مصرف کننده را به دنبال دارد. به همین دلیل استفاده از این سیمان برای مصارفی غیر از فونداسیونها، نظیر اندودکاریها، نصب کاشی و سرامیک و دیوارهای غیر باربر، با توجه به قیمت به مراتب پایین تر آن نسبت به سیمانهای تیپ توصیه می شود.

۷- تشریح مختصر تست های سیمانی و بتنی و نتایج حاصله

به منظور آشنائی بیشتر خوانندگان، با پارامترهای سیمانی، در این بخش و در جدول ۱۰ به تشریح مختصر خواص کیفی سیمان می پردازیم.

مقدار ۸ درصد دوده سیلیس (میکروسیلیس) می باشد. یکی از ضرورت های سیمان پرتلند میکروسیلیسی، مصرف توام فوق روان کننده مناسب می باشد. زیرا میکروسیلیس موجب افت شدید کارائی و روانی بتن تازه درست شده می باشد. از جمله خواص این سیمان، عبارت است از:

(۱) آب انداختگی آن کمتر از بتن ساخته شده با سیمان معمولی است (در حد کم و بسیار ناچیز)

(۲) کاهش نفوذپذیری

(۳) کاهش خوردگی آرماتورها ناشی از تحرک یونهای کلر کمتر

(۴) مقاومت بهتر در برابر حملات شیمیائی در مقایسه با سیمانهای تیپ

۶-۵- سیمان بنائی

سیمان بنائی برای چسباندن آجر و سنگ درکارهای بنائی و اندودکاری نماهای درونی و بیرونی بناها مصرف می شود. از آنجائی که در این موارد نیاز به مقاومت بالا نیاز نیست، لذا این سیمان دارای مقاومت فشاری بالائی نیست.

به عبارت دیگر در بسیاری از موارد مصرف، حداکثر بار اعمالی، حدود ۲۰ کیلوگرم بر سانتی متر مربع است و استفاده

مراجع:

- ۱- دانش مهندسی سیمان، مهندس منوچهر بکائیان
- ۲- بررسی بازار مصرف سیمان های تیپ و آمیخته در بازار سیمان تهران، پروژه تحقیقاتی دکتر محمود رضا تاجیک
- ۳) سیمان های هیدرولیکی آمیخته: مهندس تدین
- ۴) سایر پژوهش های صنعت سیمان و بتن کشور



بچینگ موبایلی میکسو تبریز

در دو تیپ یک متری و دو متری توئین شافت

کیفیت صادرات

تبریز، آذرشهر، روبروی پادگان
شهید قاضی هاشمی
تلفن: ۰۴۱-۳۴۲۱۵۳۷۴
همراه: ۰۹۱۲۲۵۷۲۱۰۴
مسعود یارعلی

www.mixo-co.co
mixo.yarali@
Mixomasoodiyarali@gmail.com







یادداشت

تاریخچه تولید سیمان در ایران

بخش دوم: سیمان فارس و درود (سیمان فارس و خوزستان)

■ محرم کریمی
دبیر کانون

۱- سیمان فارس

در سال ۷۲۳۱ سهامداران شرکت سیمان فارس که سهامداران اصلی آن خانواده نمازی بودند، کارخانه تولید سیمانی را با ظرفیت تولید ۲۰۰ تن در روز از شرکت های وستینگهاوس و کندی ونسان آمریکایی خریداری می نمایند که پس از حمل و نصب، در سال ۱۳۳۴ شروع به بهره برداری و تولید می شود. در این خصوص یک نکته مهم وجود دارد که جانمایی اولیه کارخانه نزدیک مقبره شیخ اجل سعدی شیرازی بوده که مرحوم آقای سالور محل کارخانه را به دو علت تغییر و به ۱۷ کیلومتری شیراز منتقل می کند. علت اول این که پیش بینی می کند که با گسترش شهر شیراز، کارخانه در محدوده شهر واقع خواهد شد و علت دوم نیز جلوگیری از صدمه و... به مقبره سعدی بوده است.

۲- سیمان درود

سیمان درود که در اصل برای تامین سیمان مورد نیاز احداث سد دز بوده است در سال ۱۳۳۸ تحت مدیریت سازمان برنامه وقت احداث و در سال ۱۳۳۹ با موافقت دولت، مجلس شورای ملی و مجلس سنا به شرکت سیمان فارس واگذار و بدین ترتیب شرکت سیمان فارس و خوزستان با مشارکت کارخانه سیمان فارس و کارخانه سیمان درود تاسیس می شود.

ویژگیهای هیدراته شدن (آبگیری) سیمان‌های آمیخته دو جزیی و سه جزیی متشکل از سنگ آهک و پوزولان‌های رسوبی

■ مترجم: حامد شایسته نام
شرکت سیمان نیزار قم

چکیده:

در این مقاله ویژگیهای سیمان آمیخته دوجزیی و سه جزیی متشکل از سنگ-آهک و پوزولان رسوبی به عنوان افزودنی بررسی شده است. سیمان‌های آمیخته هیدراته شده و ترکیبات فاز آنها با استفاده از پراش اشعه ایکس و همچنین ترموگرافی به مدت ۲۸ روز بررسی شدند. مورفولوژی نمونه‌ها نیز تعیین شد. تقاضای آب، زمان‌های گیرش، مقاومت فشاری و خمشی نمونه‌های ملات و بتن تا ۳۶۵ روز تعیین شدند. مطالعات نشان می‌دهد که مقدار پرتلندیت $[Ca(OH)_2]$ به طور قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌یابد در حالیکه تشکیل اترینجیت در نتیجه واکنش‌ها افزایش می‌یابد. تقاضای آب و زمان‌های گیرش سیمان‌های مخلوط از سیمان پرتلند معمولی با مقدار ۵٪ افزودنی کمتر بود اما این فاکتورها با افزایش مقدار افزودنیها بیشتر می‌شود. همچنین نتایج آزمایش‌های مکانیکی نیز نشان داد که میتوان سیمانهای کلاس ۴۲/۵ و ۳۲/۵ را با افزودن دو یا سه جز به ترتیب با مقادیر حداکثر ۱۰ و ۲۰ درصد افزودنی (پودری معدنی) تولید کرد.

۱- مقدمه

در حال حاضر سیمان‌های پرتلند آمیخته به طور فزاینده‌ای با هدف بهبود عملکرد و کاهش اثرات زیست محیطی ناشی از تولید سیمان گسترش یافته است. به طور کلی افزودنی‌ها مانند آهک و پوزولان رسوبی باتوجه به تأثیر مثبتی که بر خواص سیمانی و همچنین ترکیب فازهای ملات سیمان می‌گذارند، شناخته شده اند [۱-۲]. به طور قابل ملاحظه‌ای خواص سیمان مانند مقاومت فشاری، تقاضای آب، کارایی و دوام بهبود می‌یافت [۳-۵].

محققان متعددی گزارش داده‌اند که ذرات سنگ آهک بسیار ریز در واکنشها شرکت کرده و واکنش‌های هیدراتاسیون سیمان را تسریع می‌بخشند. همچنین ممکن است منجر به

افزایش مقاومت‌های اولیه نیز شود [۶-۷-۹-۱۲].

علاوه بر این، آهک خرد شده، توزیع دانه بندی ذرات را بهبود می‌بخشد [۱۱، ۱۲] و با افزایش نرمی سیمان پرتلند یا کاهش نسبت آب به جامد (w/s)، از میزان کاهش مقاومت ناشی از تجمع ذرات سنگ آهک میکاهد. [۱۰-۴]. [۱۳] پوزولان‌ها مقدار $Ca(OH)_2$ آزاد را در سیمان به میزان قابل توجهی کاهش می‌دهد اما واکنش آهسته صورت گرفته و درصد جایگزینی را محدود می‌کند. حضور پوزولان‌ها مقدار کالای آزاد $Ca(OH)_2$ در محصولات سیمان را به میزان قابل توجهی کاهش می‌دهد اما با واکنش آهسته همراه است و درصد تعویض را محدود می‌کند. در محصولاتی که از واکنش پوزولانی تشکیل شده است، تخلخل کاهش

مطالعه تهیه شد. ترکیبات شیمیایی مواد، که توسط اشعه ایکس فلورسانس (XRF) تعیین می شوند، در جدول ۳ آمده است. درحالیکه پوزولان دارای ۶۲٫۱ درصد SiO_2 بود، میزان CaO درسیمان پرتلند و آهک به ترتیب حدود ۵۷٪ و ۴۲٪ اندازه گیری شد. فاز هیدراتاسیون با استفاده از تجزیه و تحلیل XRD و DTA / TG تعیین شد. مورفولوژی نمونه هیدراته با استفاده از میکروسکوپ الکترونی اسکن (SEM) مورد بررسی قرار گرفت.

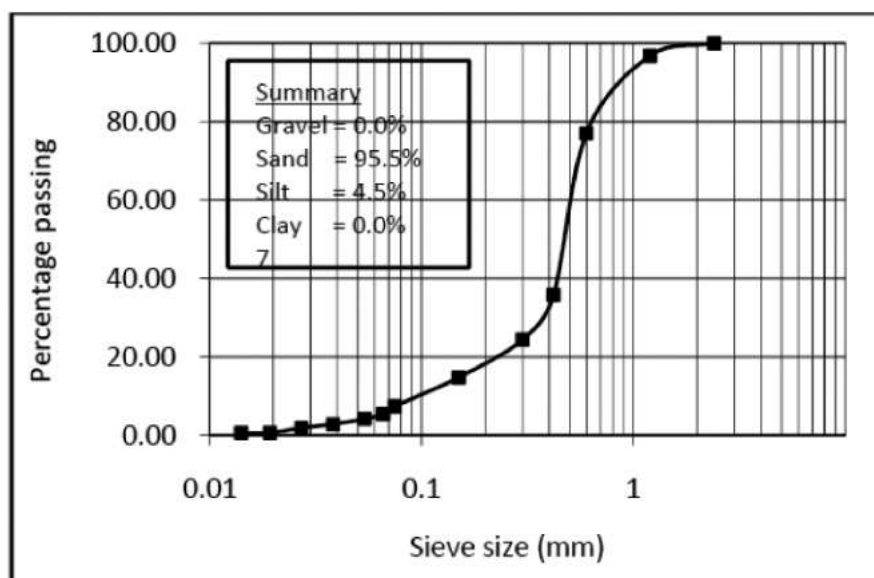
روش ویکات، که توسط [19] EN 196-3 مشخص شده است، برای تعیین تقاضای آب و زمان های گیرش نمونه های شاهد و ملاتهای سیمان استفاده می شود. این روش مقدار آب مورد نیاز برای تولید یک ملات سیمان مقاوم استاندارد و همچنین دارای زمان گیرش مناسب را تعیین می کند. برای انجام آزمون های مقاومت، ملاتهای سیمان با نسبت سیمان به ماسه ۱:۳ و نسبت آب به سیمان ۰/۴ تهیه شد. هر یک از مواد برای هر نمونه ملات به صورت جداگانه مخلوط شدند. سیمان آمیخته با مقدار مشخصی ماسه مخلوط شد.

می یابد و در نتیجه حملات شیمیایی کمتر تاثیر می گذارند [۷-۱۶-۱۸].

هدف از این تحقیق بررسی اثر ترکیب سنگ آهک حاوی کربنات کلسیم کم و پوزولان رسوبی بر هیدراته شدن سیمان و بررسی خواص مکانیکی آنها می باشد.

۲- مواد و روش ها

سیمان پرتلند کلاس ۴۲/۵ (PC)، پوزولان رسوبی (P) تولید شده در ۸۰۰ درجه سانتیگراد و پودر سنگ آهک (L) در این مطالعه مورد استفاده قرار گرفت. به ترتیب، به عنوان دانه های ریز و درشت، شن و سنگ گرانیت خرد شده با حداکثر اندازه ۲۰ میلی متر استفاده شد. منحنی توزیع دانه بندی ذرات شن و ماسه برطبق روش هیدرومتر در شکل ۱ نشان داده شده است همچنین آنالیز الک انجام شده از افزودنیها در جدول ۱ ارائه شده است. افزودنیهای تهیه شده در ترکیب های مختلف تا ۲۰ درصد در سیمان مخلوط شدند (جدول ۲). سپس ملات سیمان و بتن مخلوط با استفاده از میکسرهای مکانیکی برای



شکل ۱: توزیع اندازه ذرات شن و ماسه

جدول ۱: آنالیز ترکیبات از سنگ شکسته

اندازه الک (mm)	۳۷/۵	۲۵/۴	۲۰/۰	۱۹/۰	۱۲/۷	۱۰/۰	۹/۵	۵/۰	۴/۸	۲/۴
درصد عبور	۱۰۰/۰	۱۰۰/۰	۹۸/۰	۹۸/۷	۳۳/۷	۱۴/۰	۱۴/۲	۰/۵	۰/۲	۰/۱

جدول ۲: طراحی مخلوط نمونه های سیمان

نمونه	ترکیب بندی (%)		
	سیمان	پوزولان	سنگ آهک
Rh	۱۰۰	-	-
5P	۹۵	۵	-
5L	۹۵	-	۵
5P5L	۹۰	۵	۵
10L5P	۸۵	۵	۱۰
10L10P	۸۰	۱۰	۱۰

جدول ۳: خواص شیمیایی مواد خام

نمونه	ترکیب (%)						
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	SO ₃	LOI
PC	۱۸/۸	۳/۶۷	۴/۳۶	۱/۸۹	۵۷/۰۴	۰/۸۵	۳/۶
P	۶۲/۱	۷/۲۳	۹/۹۶	۰/۳۱	۵/۰۱	۰/۳۱	۹/۶
L	۱۷/۳	۰/۰۳	۴/۵۸	۰/۰۵	۴۱/۹۷	۰/۲۴	۳۱

به اثر واکنش بین Ca(OH)_2 آزاد شده و افزودنی ها برای تولید بیشتر C-S-H مربوط می شود. جدول ۳ برخی خواص مکانیکی نمونه ها را نشان می دهد. همچنین تقاضای آب در سیمان های آمیخته با افزایش مقدار افزودنی ها نیز افزایش می یابد.

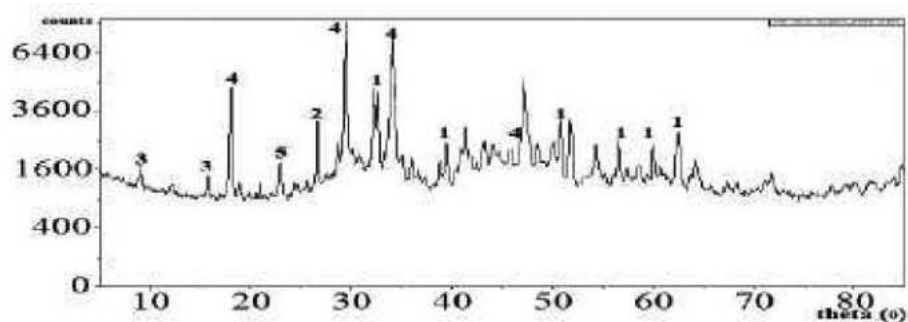
همانطور که انتظار می رفت افزودن میزان کربنات کلسیم و پوزولان موجب افزایش سطح مخصوص و توان جذب آب گردید.

زمانهای گیرش سیمان های مخبوط دو یا سه جزیی با محتوای تا ۱۰٪ به طور چشمگیری تغییر نیافت. در هر صورت افزایش میزان افزودنی در سیمان آمیخته را به تاخیر خواهد انداخت و این به سبب کاهش میزان C_3A خواهد بود. نتایج نشان می دهد که درحالیکه پوزولان کاهنده انبساط می باشد درخصوص آهک این طور نیست. مقاومت های فشاری ملات سیمانهای آمیخته در مقایسه با سیمان پرتلند معمولی کمتر است اما همیشه از حداقل استاندارد اروپا EN197-1 بیشتر است و همچنین ۷۵ درصد از نمونه های شاهد ساخته شده با استاندارد ASTM618 بیشترمی باشد.

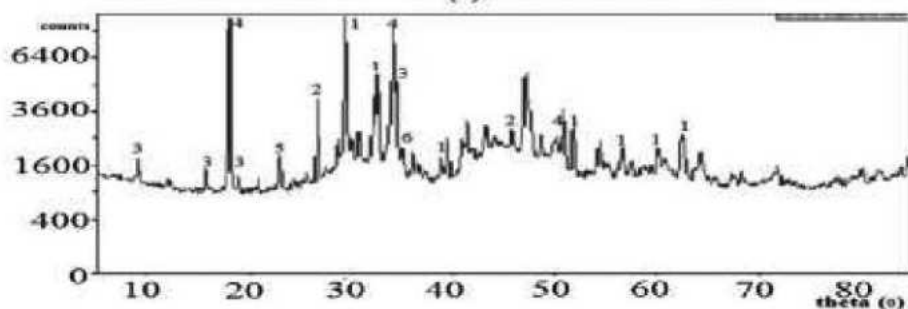
پس از آن مقدار آب مورد نیاز اضافه شد و حدود ۴ دقیقه مخلوط شد. ملات را در قالب های تمیز ریخته و سپس به مدت ۲ دقیقه جهت خروج هوای داخل ملات و بیره گردید. بعد از آن، قالبها با یک ورق فلزی و یک کیسه نمدار پوشیده شد. برای آزمایش بتن، به نسبت ۱:۲:۴ سیمان، سنگدانه های ریز و درشت و نیز با نسبت آب به سیمان ۰,۵۵، برای مقاومت تا ۲۰ MPa در مدت ۲۸ روز نمونه های بتنی تهیه گردید. [۲۰]

۳- بحث و نتایج

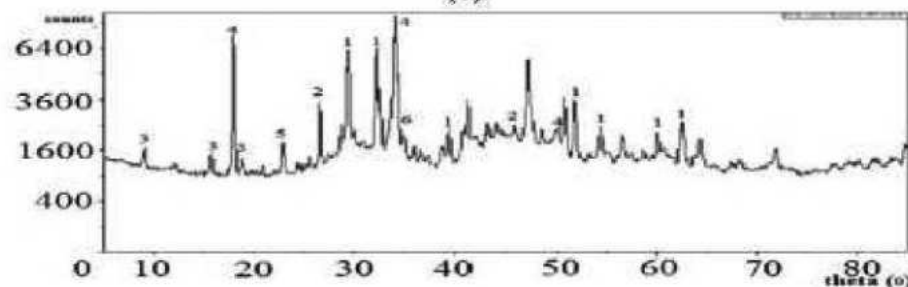
الگوهای XRD که در شکل ۲ نشان داده شده است، نشان دهنده افزایش C_3S تشکیل شده در سیمان آمیخته و کاهش میزان Ca(OH)_2 نسبت به نمونه شاهد است. ترموگرافی نمونه ها از تجزیه و تحلیل DTA و TG در شکل ۳ نشان داده شده است. تجزیه و تحلیل های کمی در شکل های ۲ و ۳ نیز بیانگر کاهش پورتلندیت $[\text{Ca(OH)}_2]$ ۳۶,۹ درصد در سیمان پرتلند معمولی تا ۱۳,۴۰ درصد، ۷,۱۲ درصد و ۸,۸ درصد در انواع نمونه ها می باشد. میزان LOSS نیز در نمونه های دارای افزودنی کاهش یافته است (شکل ۲). این موضوع



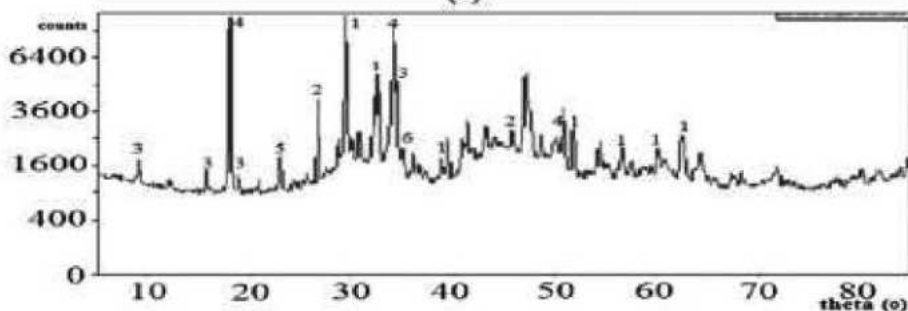
(a)



(b)

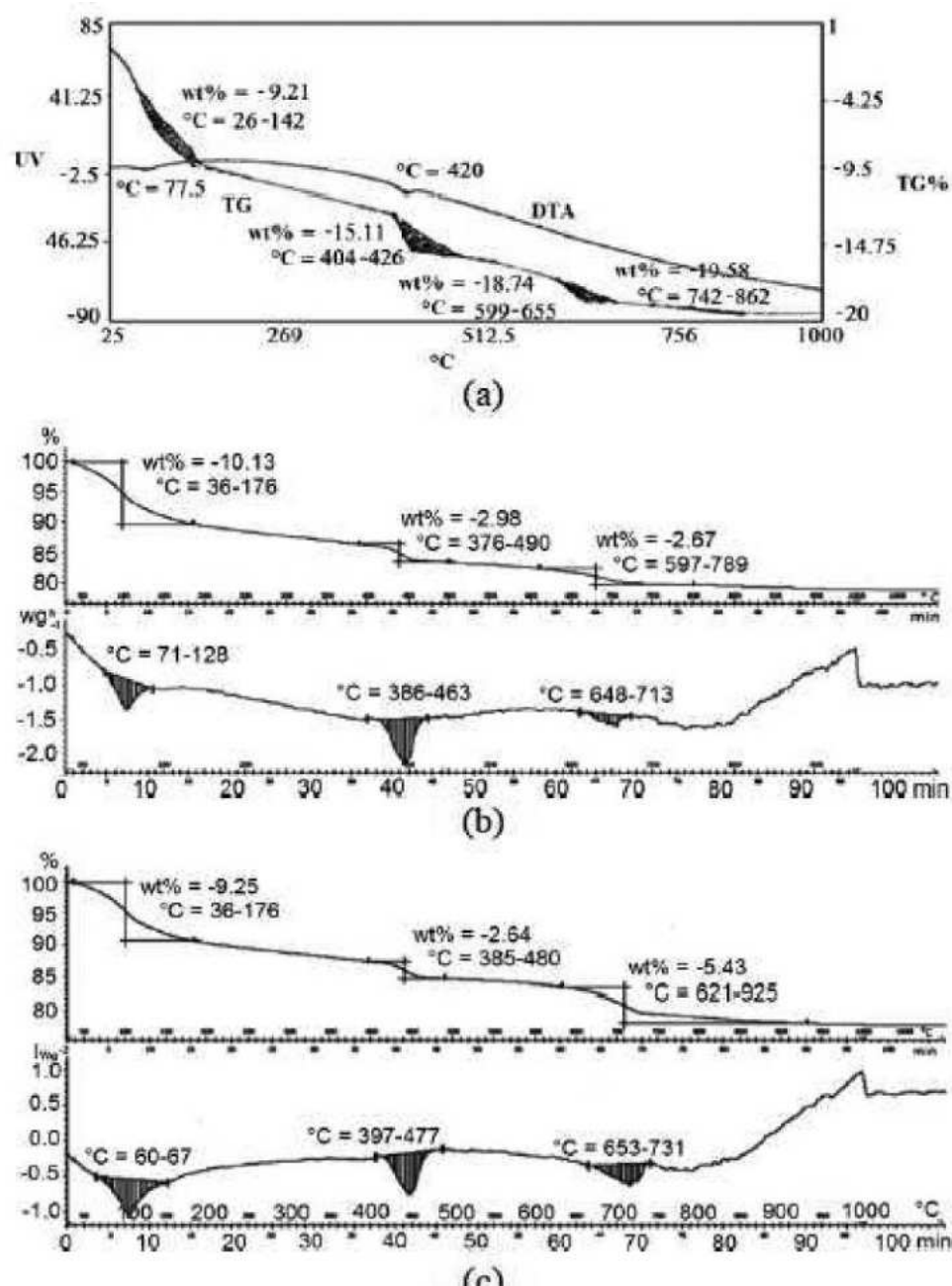


(c)

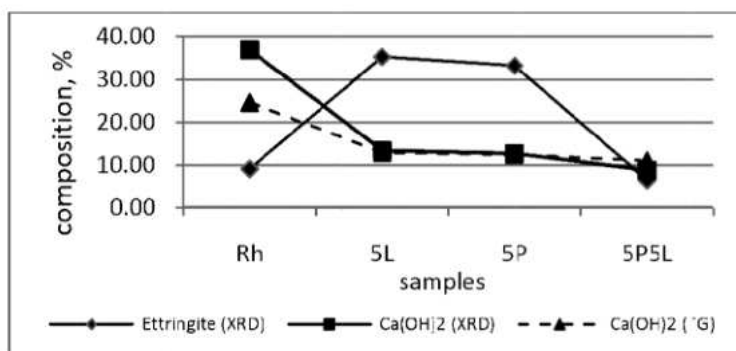


(d)

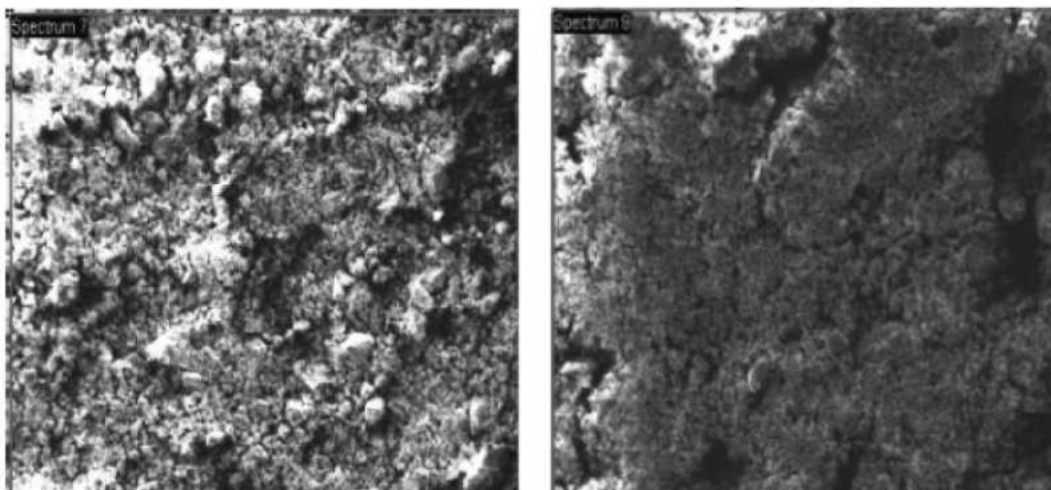
شکل ۲: نمودار XRD از (a) PC (b) ۵ درصد سنگ آهک (ΔL) (c) ۵ درصد پوزولان (ΔP) و (d) ۵ درصد سنگ آهک ۵ درصد پوزولان (ΔLΔP) نمونه سیمان در ۲۸ روز



شکل ۳: ترموگرافی از هیدرات (a) PC، (b) ۵ درصد پوزولان و (c) ۵ درصد آهک ۵ درصد پوزولان نمونه سیمان



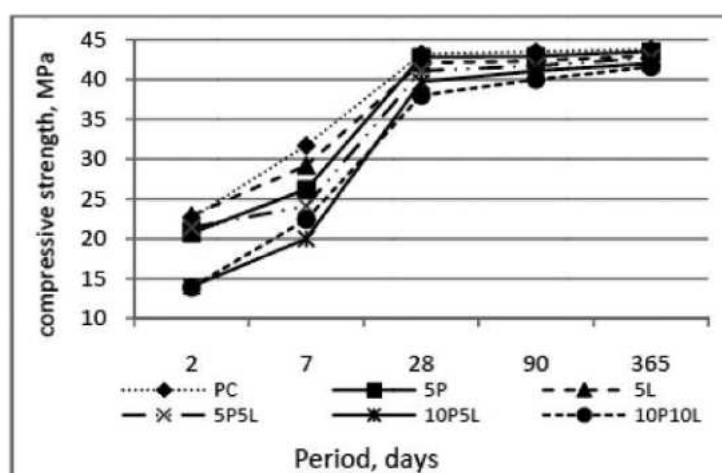
شکل ۴: محتوای پرتلندیت و اترینگیت در نمونه های هیدراته شده سیمان



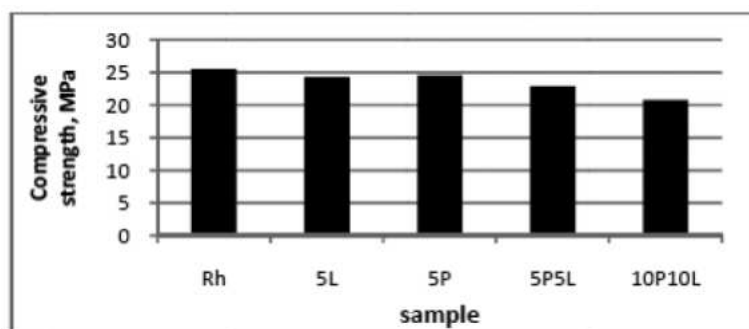
شکل ۵: تصاویر SEM از نمونه PC و ۵P۵L

جدول ۴: مقدار انبساط و انقباض نمونه ها

انقباض (میلیمتر)	وزن مخصوص	زمان تنظیم (دقیقه)		درصد تقاضای آب	نمونه
		نهایی	اولیه		
۱/۲	۳/۱۶	۲۱۰	۱۲۰	۲۶/۰	Rh
۰/۷	۲/۹۷	۱۵۴	۹۵	۲۶/۸	5P
۱/۴	۲/۹۲	۱۵۳	۸۵	۲۶/۰	5L
۱/۸	۲/۹۳	۱۶۱	۱۰۶	۲۸/۰	5P5L
۱/۰	۳/۰۲	۲۱۷	۱۵۷	۳۲/۸	10L5P
۱/۲	۲/۹۸	۲۴۱	۱۲۱	۳۰/۰	10L10P



شکل ۶: توسعه مقاومت ملات سیمان



شکل ۷: مقاومت فشاری ۲۸ روزه بتن سیمان

است. مقدار مقاومت فشاری نمونه های سیمان آمیخته دارای ۵ تا ۱۰ درصد افزودنی، به مقدار سیمان پرتلند معمولی بسیار نزدیک است. همچنین نشان می دهد ترکیبات دارای ۱۰ تا ۲۰ درصد افزودنی میتواند برای تولید سیمان های کلاس ۴۲/۵ و ۳۲/۵ (به ترتیب) برای مصارف معمولی مورد استفاده قرار گیرد.

مرجع:

- Eugene Atiemo, Charles Kwame Kankam, Francis Momade and Kwabena Appiah Boakye. CSIR-Building and Road Research Institute, UST Box 40, Kumasi, Ghana 2. Kwame Nkrumah University of Science and Technology, College of Engineering, Kumasi, Ghana, Journal of Physical Science and Application 4 (5) (2014) 323-327

مقاومت فشاری ۲۸ روزه سیمان های آمیخته دو یا سه جزیی با دارابودن ۱۰% محتوای افزودنی حدود ۴۱ تا ۴۲/۸ MPa را موجب میشود بدین معنی که سیمان معمولی کلاس ۴۲/۵ را پوشش داده است. همچنین سیمان های آمیخته سه جزیی با محتوای ۱۵ تا ۲۰ درصد افزودنی مقاومت ۳۸ تا ۴۰ MPa یعنی بیش از سیمان های معمولی کلاس ۳۲/۵ را بدست می دهد.

۴- نتیجه گیری

آزمایشات انجام شده درخصوص اثر افزودن سنگ آهک و پوزولان بر واکنش هیدراتاسیون بیانگر تاثیر در میزان پرتلندیت و اترنجیت می باشد. مطالعات نشان می دهد که هر دو افزودنی باعث افزایش محتوایی پرتلندیت و کاهش تشکیل اترنجیت شده

پریفاب

پریفاب



پریفاب تولید کننده انواع قطعات پیش ساخته بتنی، بتن آماده و مصالح سنگی

و انواع کف پوش بتنی خیابانی

آدرس کارخانه: تهران/ بزرگراه امام رضا (ع)، جاده غنی آباد، انتهای بلوار مجتمع صنعتی سیمان تهران

تلفن کارخانه: ۰۱۶-۳۳۴۲۱۳۱۰ فکس کارخانه: ۳۳۴۲۱۳۲۱

شرکت پریفاب از شرکتهای زیر مجموعه شرکت سیمان تهران در سال ۱۳۴۷ با همکاری شرکتهای شوک بتن هلند تولید کننده سیستم ها و تجهیزات تولید قطعات پیش ساخته بتنی و شرکت ماکس روٹ آلمان تولید کننده تجهیزات پیش تنیدگی آغاز به کار نمود

این شرکت با بیش از ۴۰ سال تجربه در حال حاضر با ظرفیت تولید ۱۰۰.۰۰۰ مترمکعب انواع فرآورده های بتنی در سال در زمینه های تولید انواع قطعات پیش ساخته بتنی دیوار دور نما، زیر دیواری، نیوجرسی، باکس (کالورت)، ستون انواع کف پوش بتنی، دیوار محوطه، سوله پیش ساخته و همچنین انواع بتن آماده (بتن های معمولی، خود متراکم ضد سایش، سبک و پر مقاومت و غلطکی) و نیز انواع مصالح سنگی (شن، ماسه، بیس، ساب بیس) و ارائه خدمات گسترده فنی و مهندسی در عرصه سازندگی ایران اسلامی فعالیت می نماید





بررسی تاثیر جنس و کیفیت قالب‌های نمونه‌برداری بتن بر مقاومت فشاری و اعوجاج نمونه‌های بتنی

■ سید حسام مدنی

دانشیار دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته کرمان

■ محمد حسین انجم شعاع

کارشناس ارشد مهندسی عمران و مدیر عامل شرکت تعاونی بتن سازان شهر کرمان

■ مصطفی افضلی

کارشناس مهندسی عمران و مدیر آزمایشگاه کنترل کیفیت شرکت تعاونی بتن سازان شهر کرمان

■ هما حقیقی

کارشناس ارشد مهندسی عمران و مسئول مرکز تحقیق و توسعه شرکت تعاونی بتن سازان شهر کرمان

چکیده:

به جهت کنترل بتن آزمایش‌های مختلفی بر روی آن انجام میگردد. یکی از مهمترین این آزمایش‌ها، آزمایش مقاومت فشاری بتن می باشد. به منظور انجام این آزمایش، اقدام به نمونه گیری از بتن در محل آزمایشگاه کنترل کیفیت کارخانه تولید بتن و همچنین کارگاه می گردد. جهت نمونه گیری از بتن، قالب هایی از جنس های مختلف فلزی، دوتکه پلاستیکی و یک-تکه پلاستیکی وجود دارند، که هریک از آنها مزایا و معایب منحصر به فردی دارند. در این تحقیق به بررسی اثر جنس قالب های نمونه برداری بتن بر مقاومت فشاری و اعوجاج نمونه ها پرداخته شده است. در انتها براساس بررسی های انجام گرفته، مشخص گردید، که نمونه های قالب گیری شده در قالب های فلزی نسبت به نمونه های سایر قالب ها از مقاومت فشاری بیشتر و اعوجاج کمتری برخوردار هستند. شایان ذکر است که کمترین میزان مقاومت و بیشترین میزان اعوجاج مربوط به نمونه های قالب گیری شده در قالب های کامپوزیتی بوده است.

کلمات کلیدی: بتن، مقاومت فشاری، نمونه گیری، قالب

۱- مقدمه

امروزه بتن به عنوان یکی از پر مصرف ترین مصالح ساختمانی در جهان شناخته شده است. اقتصادی بودن، سهولت دسترسی به اجزا تشکیل دهنده آن، شکل پذیری و پایداری نسبتا بالای این مخلوط ناهمگن، باعث توجه روز افزون به آن شده است. کاربرد گسترده بتن، لزوم بررسی رفتار و عوامل موثر بر خواص آن را آشکار می سازد. در حقیقت،

بدیهی ترین راهکار جهت ساخت بتن های با کیفیت (دارای خواص مکانیکی و دوامی مناسب)، انتخاب دقیق و هوشمندانه مصالح و طرح اختلاط بهینه، ماشین آلات و تجهیزات ساخت بتن می باشد.

یکی از مهمترین ویژگیهای بتن، مقاومت فشاری آن می باشد. مقاومت مشخصه فشاری بتن در نقشه ها و مشخصات فنی خصوصی هر پروژه درج می گردد. علی القاعده طراح پروژه

(معمولا) از جنس پلی آمید الیاف دار می باشند. شکل کلی قالب از دو تکه اصلی که هر کدام سه وجه مکعب را تشکیل میدهند، ساخته شده است. این قالب ها از طریق ۴ پیچ گوشواره ای با مهره های خروسی به یکدیگر متصل میگردند به گونه ای که نیاز به باز کردن تمام مهره ها نمی باشد و تنها با شل کردن مهره، پیچ گوشواره ای چرخانده شده و قالب به سادگی و در کمترین زمان ممکن باز و یا بسته می شود که این خود از مزایای قالب های پلاستیکی دوتکه می باشد. به علاوه در لبه بالایی قالب، فلز L شکلی تعبیه شده است که نقش مهمی در استحکام قالب ایفا می کند، همچنین سطح داخلی این قالب ها صیقلی بوده و سطح بیرونی آنها (معمولا) مشبک می باشد (شکل ۱- ب). علاوه بر این قالب ها، قالب های یک تکه پلاستیکی نیز وجود دارند که (عمدتا) از جنس فایبرگلاس می باشند (شکل ۱- ج). به طور کلی از مهمترین مزایای قالب های یک تکه و دو تکه پلاستیکی (قالب های کامپوزیتی) میتوان به بهای پایین و وزن بسیار کم آنها نسبت به سایر قالب های مرسوم اشاره کرد. اما گذشته از مزیت های این قالب ها، این نوع قالب ها از عمر و استحکام پایین تری نسبت به قالب های فلزی برخوردار می باشند و عموما برای کاربرانی که نیاز به نمونه گیری های متعدد دارند مناسب نمی باشند. در حقیقت استفاده از قالب های پلاستیکی یک تکه برای مکان هایی مناسب است که امکان دسترسی به کمپرسور باد در کارگاه وجود داشته باشد چراکه در صورتکه در هنگام نمونه گیری از مواد روان کاری استفاده نگردد نمی توان نمونه را به راحتی از قالب جدا کرد. در قسمت تحتانی این قالب ها حفره ای در نظر گرفته شده است تا پس از سفت شدن نمونه بتوان از طریق فشار هوایی که از حفره وارد می شود، نمونه را به راحتی از قالب جدا کرد.

باوجود مزایای قابل تامل قالب های پلاستیکی کماکان استفاده از قالب های فلزی در نمونه برداری از بتن آماده در محل کارگاه ها و آزمایشگاه ها هنوز بعضا مرسوم است. که علت این موضوع را بایستی در ضعف بدنه ی قالب های پلاستیکی جست و جو کرد. در حقیقت بدنه ی قالب های پلاستیکی بسیار سبک است و در نتیجه این قالب ها در طول نمونه گیری به علت سنگینی بتن تا حدی در سمت میانی تغییرشکل خواهند داشت که این تغییرشکل، نمونه را تا حد کمی از حالت مکعب خارج می کند ولی باتوجه به استحکام بسیار بالای قالب های فلزی در صورت نمونه گیری مناسب هرگز شاهد چنین مشکلاتی در آنها نخواهیم بود.

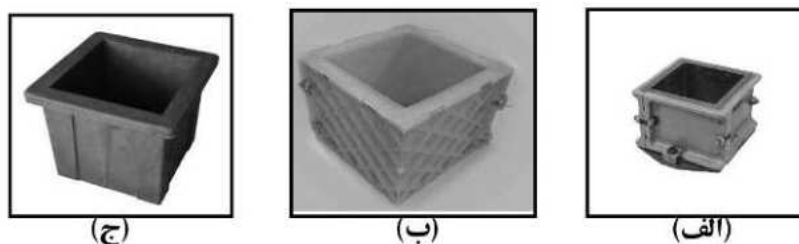
در حقیقت، هر چه مقاومت بتن ها و رده آن ها بالاتر رود

در محاسبات سازه ای از این مقاومت مشخصه بهره گیری نموده است. مقاومت مشخصه بتن یک تعریف آماری دارد که در آئین نامه های مختلف یکسان نیست. این مقاومت مشخصه، دست مایه طراح مخلوط بتن نیز می باشد که با استفاده از آن و با توجه به شرایط حاکم بر مصالح مصرفی و نحوه ساخت، کنترل و نظارت تولید بتن، مقاومت فشاری متوسط لازم برای طرح اختلاط (مقاومت هدف طرح مخلوط) را تعیین می کند و سعی می نماید در آزمایشگاه تقریبا به این مقاومت برسد. از طرفی در هنگام تولید بتن در کارگاه سعی می شود بتنی ساخته شود که انطباق مقاومت آن با مقاومت مشخصه تایید گردد. بنابراین نیاز به کنترل مقاومتی بتن وجود دارد. سعی می شود تهیه آزمون ها و نگهداری آن ها در شرایط استاندارد (آزمایشگاهی) صورت گیرد و طبق استاندارد مربوطه، عمل تعیین مقاومت انجام شود. بدیهی است اگر این موارد به صورت استاندارد انجام نگردد، عمل مقایسه و انطباق با مقاومت مشخصه امری بی معنا خواهد بود. از بتن مورد نظر قبل از ریخته شدن در قطعه، نمونه گیری می شود. بنابراین، شرایط ریختن، جابجایی و تراکم، پرداخت و عمل آوری بتن در قطعه به هیچ وجه در نحوه تهیه قالب آزمون بتنی حاکم نیست و نباید حاکم باشد. هدف از تهیه این آزمون ها، کنترل کیفی بتن ساخته شده قبل از ریختن در قطعه اصلی است [۱].

جهت تهیه آزمون ها به منظور محاسبه مقاومت فشاری بتن تولیدی، استفاده از قالب های مکعبی و استوانه ای با ابعاد استاندارد و جنس های مختلف اعم از فولادی، فلزی، پلاستیکی دوتکه (کامپوزیتی) و پلاستیکی یک تکه مرسوم است که کیفیت و جنس قالب های تهیه آزمون ها یکی از عوامل بسیار مهم در تغییر مقاومت فشاری نمونه های بتنی است.

قالب های نمونه برداری فلزی ابتدا به صورت ریخته گری قالب گیری شده و از طریق انجام عملیات ماشین کاری و سوراخ کاری ابعاد قالب ها به اندازه استاندارد می رسد (شکل ۱- الف). از مزایای منحصر به فرد این قالب ها می توان به استحکام و عمر بسیار بالای آنها و همچنین مقاومت شان در برابر مواد شیمیایی اشاره کرد. این موارد آنها را به گزینه های بسیار مناسبی برای کاربرانی که قصد نمونه گیری های متعدد در طول زمان را دارند، تبدیل کرده است. از معایب آنها بایستی به وزن و بهای سنگین آنها اشاره نمود که این معایب مهندسین را به سمت استفاده از قالب های نمونه برداری پلاستیکی یکتکه و دوتکه سوق داده است.

قالب های نمونه برداری پلاستیکی دوتکه (کامپوزیتی)



شکل ۱- الف: قالب نمونه برداری فلزی، ب: قالب نمونه برداری پلاستیکی دو تکه (کامپوزیتی)، ج: قالب نمونه برداری پلاستیکی یک تکه

قالب های پلاستیکی یک تکه و دو تکه معمولاً در هنگام بارگیری و بویژه در شرایطی که زیر تابش مستقیم آفتاب و یا در معرض تغییرات شدید دمایی قرار گیرند، دچار اعوجاج شده و سطح ناهموار آنها به کاهش شدید مقاومت فشاری منجر می شود [۲].

پس از محاسبه مقاومت فشاری نمونه ها، آزمون ها بایستی مورد بررسی و ارزیابی قرار گیرند، که کار بررسی، ارزیابی و پذیرش بتن طبق آئین نامه و مشخصات فنی و مقررات ملی یک امر حساس و مهم می باشد و صرفاً از عهده مهندسین و تکنیسین های ناظر آشنا به این امر بر می آید و از دخالت افراد ناآشنا و غیرمسئول در این مهم باید پرهیز گردد به ویژه اینکه سلیقه های فردی نیز به کار گرفته شود و از حدود مندرج در آئین نامه و مشخصات فنی یا مقررات ملی تخطی گردد. در آخرین مرحله ارزیابی آزمون ها، بحث پذیرش و یا عدم پذیرش بتن مطرح است.

از جمله تحقیقات انجام شده در رابطه با تاثیر جنس قالب نمونه برداری بر نتایج مقاومت فشاری آزمون ها می توان به تحقیق انجام شده توسط رضایی و همکاران در سال ۱۳۹۷ اشاره کرد. این پژوهشگران به بررسی نتایج مقاومت فشاری بتن های نمونه گیری شده در قالب های پلاستیکی و فلزی پرداختند. نتایج حاصل از پژوهش آنها نشان داد که آزمون های نمونه گیری شده در قالب های پلاستیکی نسبت به آزمون های نمونه گیری شده در قالب های فلزی از مقاومت ۷ روزه و ۲۸ روزه کمتری برخوردار می باشند [۲].

از آنجا که مقاومت فشاری بتن از مهمترین و پرتاثیرترین پارامترها به منظور بررسی کیفیت بتن می باشد و تجهیزات نمونه برداری نیز تاثیر به سزایی در نتایج مقاومت فشاری آزمون ها دارند. در این تحقیق به بررسی تاثیر جنس قالب های فلزی، پلاستیکی یک تکه و دو تکه (کامپوزیتی) بر نتایج مقاومت فشاری

و اعوجاج آزمون های بتنی پرداخته شده است. در ادامه

تاثیر کیفیت و همواری (تخت بودن) آن بر مقاومت فشاری بیشتر می گردد. در واقع، ناهمواری ها باعث می شوند که صفحات بارگذاری در ابتدا با نقاط بالاتر تماس حاصل نموده و بدین ترتیب تنش های بسیار زیادی به صورت موضعی به وجود آیند. تنش های حاصله به ایجاد ترک در اطراف و زیر قسمت برجسته منجر می شوند و باعث می شوند که عقربه اندازه گیری نیرو یا ارقام نمایش داده شده توسط وسیله مشابه دیجیتالی، خیلی زودتر پایین رفته و بدین ترتیب حداکثر بار گسیختگی کاهش یابد [۲].

در مورد قالب استوانه ای، بارگذاری برای تعیین مقاومت فشاری صرفاً از سر و ته قالب انجام می شود. در حالیکه برای قالب مکعبی، امکان بارگذاری در دو جهت عمود بر هم (از هر جهت ممکنه) وجود دارد و این سطوح جانبی برای آزمایش مهم تلقی می شوند [۲].

در آزمایش مقاومت فشاری آزمون های مکعبی بتن، فرض می شود که سطوح در تماس با صفحات بارگذاری دستگاه فشاری همچون صفحات مزبور، سطوحی تخت و هموار هستند و ناهمواری های احتمالی آنها کاملاً محدود شده است. در مورد قالب های استوانه ای بویژه برای سطح فوقانی، ساییدن یا کلاhek گذاری پیش بینی می شود بنابراین همواری و تخت بودن کف قالب به شرط ساییدن یا کلاhek گذاری چندان مهم نیست. بدیهی است برای اینکه این همواری برآورده شود در درجه اول لازم است سطح داخلی قالب مکعبی بتن نیز دارای چنین شرایطی باشد. بنابراین در ساخت قالب ها اعم از فلزی، فولادی یا داری مصالح و مواد دیگر بویژه پلیمری (پلاستیکی سخت یا نرم) باید این شرایط برقرار باشد. معمولاً سازندگان معتبر این قالب ها سعی می کنند در مرحله ساخت قالب با ماشین کاری و صفحه تراشی لازم به چنین همواری دست یابند. اما در مرحله کاربرد این قالب ها معمولاً قالب های فلزی، شکل و همواری خود را حفظ می کنند [۲].

تکه از ۹ آزمایشگاه فعال در صنعت بتن شهر کرمان جمع آوری شد (شکل ۲). شایان ذکر است که تمامی قالب های استفاده شده قالب های مکعبی با ابعاد استاندارد ۱۵۰×۱۵۰ میلی متری بوده است.

پژوهش، پارامتر انحراف معیار برای نتایج مقاومت فشاری و اعوجاج نمونه ها محاسبه شده و پس از آن به بازرسی بتن پرداخته شده است.

۲- مصالح و روش ها

۲-۱- مشخصات قالب ها

طبق بند ۵-۲-۱ استاندارد ملی ایران شماره ۱-۱۶۰۸، قالب نمونه گیری بتن باید از فولاد و یا چدن که مواد مرجع هستند ساخته شود و اگر جنس قالب از مواد دیگری باشد بایستی عملیات صحت سنجی بر روی نتایج مقاومت فشاری آزمونه ها با آزمونه های نمونه برداری شده در قالب های فلزی انجام گردد [۳].

لذا، بر این اساس و به منظور انجام این صحتسنجی و همچنین بررسی تاثیر جنس قالبهای نمونه برداری بر مقاومت فشاری آزمونه ها، در آذرماه سال گذشته در محل آزمایشگاه کنترل کیفیت شرکت تعاونی بتن سازان شهر کرمان تصمیم به انجام این پژوهش گرفته شد. در این راستا و جهت تهیه قالب هایی از جنس های متفاوت، مجموعاً ۵۴ قالب از سه جنس متفاوت فلزی، پلاستیکی دو تکه (کامپوزیتی) و پلاستیکی یک

۲-۲- مشخصات مصالح

۲-۲-۱- سنگدانه ها

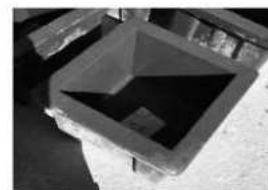
یکی از عوامل مهم برای دستیابی به خواص مناسب بتن تازه، استفاده از سنگدانه با دانه بندی مناسب می باشد. به گونه ای که کوچکترین تغییر در نمودار دانه بندی می تواند باعث تغییر اساسی در خواص بتن تازه و سخت شده گردد. در تولید بتن این پژوهش از سه نوع مصالح سنگی ماسه، شن بادی و شن نخودی استفاده شده است که مشخصات این مصالح به شرح جداول ۱ و ۲ می باشد.

۲-۲-۲- سیمان

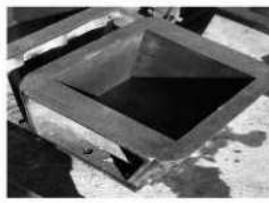
سیمان استفاده شده در تولید بتن این پژوهش از نوع سیمان پرتلند نوع ۲ با چگالی ۳/۱۵ گرم بر سانتی متر مکعب و نرمی (بلین) ۳۰۸۰ سانتی متر مربع بر گرم منطبق بر الزامات استاندارد ملی ایران شماره ۳۸۹ [۴] می باشد که آنالیز



(گروه الف)



(گروه ب)



(گروه ج)

شکل ۲- گروه الف: قالبهای نمونه برداری پلاستیکی دوتکه، گروه ب: قالب های نمونه برداری پلاستیکی یک تکه، گروه ج: قالبهای نمونه برداری فلزی

جدول ۱- نتایج دانه بندی مصالح سنگی مصرفی در بتن

شماره الک	درصد عبوری		
	شن بادی	شن نخودی	ماسه
1"	۱۰۰	۱۰۰	.....
3/4"	۸۷/۴	۱۰۰	.....
1/2"	۷/۷	۹۶/۵	.....
3/8"	۲/۲	۶۶/۳	۱۰۰
3/16"	.....	۲/۸	۹۴/۹
#8	.....	.....	۷۵/۹
#16	.....	.....	۵۲/۸
#30	.....	.....	۳۸
#50	.....	.....	۱۹
#100	.....	.....	۳/۳
#200	.....	.....	۰/۵

جدول ۲- نتایج آزمایش های انجام شده بر روی مصالح سنگی مصرفی در بتن

نوع مصالح	ضریب نرمی	عبوری از الک ۷۵ میکرون (%)	افت وزنی در مقابل سایش به روش لوس انجلس (%)	افت وزنی در مقابل سولفات سدیم (%)	تطویل و تورق		وزن مخصوص (SSD) و جذب آب	
					تطویل (%)	تورق (%)	حقیقی	جذب آب (%)
شن درشت	.....	۰/۴۱	۲۳	۲	۱۸	۲۰	۲/۶۹۶	۰/۵۷
شن ریز	.....	۰/۴۱	.....	۲	۱۴	۱۸	۲/۶۹	۰/۷۸
ماسه	۳/۱	۰/۵	.....	۴	.....	.....	۲/۶۳۰	۲/۰۷

جدول ۳- نتایج آنالیز شیمیایی سیمان پرتلند مصرفی

نام ترکیب	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF
درصد وزنی ترکیب	۶۳/۰۶	۲۰/۷۸	۴/۴۴	۳/۶۳	۱/۲۹	۰/۶۱	۰/۶۱	۵۶	۱۷/۳	۵/۶	۱۱

جدول ۴- نتایج آنالیز شیمیایی آب مصرفی در بتن

آیون ها	meq/lit	mgr/lit	کاتیون ها	meq/lit	mgr/lit	EC (mic.mho)	۱۰۳۰
Cl-	۳	۱۰۶/۵	Ca ++	۱/۵	۳۰	PH	۷/۷
HCO ₃ -	۲/۶	۲۱۹/۶	Mg ++	۰/۷	۸/۵	TDS (ppm)	۶۶۹/۵
CO ₃ -	۰	۰	Na +	۷/۱	۱۶۳/۳	TH (ppm CaCO ₃)	۱۱۰
SO ₄ -	۲/۷	۱۳۰	K +	۰/۰۵	۲	SAR	۶/۸
						Na%	۷۶/۳

جدول ۵- طرح های اختلاط بتن های مصرفی

کد طرح	سیمان Kg/m ³	ماسه Kg/m ³	شن بادی Kg/m ³	شن نخودی Kg/m ³	افزودنی روان کننده (درصد وزنی سیمان)
۱	۳۵۰	۱۰۱۲	۵۶۱	۳۱۲	.....
۲	۴۰۰	۹۹۲	۵۲۱	۲۷۵	.....
۳	۴۵۰	۹۴۸	۵۱۷	۲۵۰	۰/۴



(ج)



(ب)



(الف)

شکل ۳- الف: قالبهای نمونه برداری، ب: فرآیند نمونه برداری، ج: نمونه های آماده شده در قالب

شیمیایی آن در جدول ۳ آمده است.

۳-۲-۲- آب

ها نگهداری شدند و پس از خارج کردن آزمونه ها از قالب به جهت عمل آوری تا زمان انجام آزمون مقاومت فشاری و اعوجاج، نمونه ها به محفظه رطوبت با دمای $20 \pm 2^\circ\text{C}$ منتقل شدند.

آنالیز شیمیایی آب مصرفی در بتن این پژوهش به شرح جدول ۴ می باشد.

۴-۲- انجام آزمایشهای مقاومت فشاری و اعوجاج

ابعاد (طول، عرض، ارتفاع) و جرم تمامی آزمونه های اخذ شده پس از عمل آوری در سنین ۷ و ۲۸ روزه (۳ نمونه ۷ روزه و ۳ نمونه ۲۸ روزه برای هر نوع طرح اختلاط به ازای هر آزمایشگاه) و قبل از انجام آزمایشهای مقاومت فشاری و اعوجاج، اندازه گیری گردید.

۱-۲-۴- آزمایش مقاومت فشاری

آزمایش مقاومت فشاری بر روی نمونه ها بر طبق استاندارد ملی ایران شماره ۳-۱۶۰۸ با دستگاه جک مقاومت فشاری نیمه اتوماتیک کالیبره شده در محل آزمایشگاه کنترل کیفیت شرکت تعاونی بتن سازان انجام شده است.

۲-۲-۴- آزمایش اعوجاج

به منظور انجام این آزمایش، در ابتدا، گونیا (شکل ۴) بر

۳-۲- طرح مخلوط، ساخت و عمل آوری آزمونه ها

براساس مطالعات آزمایشگاهی و محاسبات صورت گرفته، سه طرح اختلاط متفاوت برای انجام این پژوهش استفاده شد (جدول ۵).

شایان ذکر است که نسبت آب به سیمان در طرح اختلاط های فوق به گونه ای انتخاب گردید که روانی بتن حاصله 120 میلی متر باشد.

سپس بتنهای مورد نیاز براساس طرح اختلاطهای محاسبه شده در بچینگ شرکت تعاونی بتن سازان شهر کرمان تولید و پس از آن، جهت انجام آزمون کارایی و مقاومت فشاری، مطابق با استانداردهای ملی ایران به شماره های ۳-۳۲۰۳ و ۳-۱۶۰۸ [۵ و ۶] به صورت همزمان و تحت شرایط کاملاً یکسان اقدام به نمونه برداری از آنها گردید (شکل ۳).

پس از تهیه آزمونه ها، نمونه ها به مدت ۲۴ ساعت در شرایط کارگاهی و در دمای $20 \pm 2^\circ\text{C}$ در داخل قالب-



شکل ۵- فیلر سنج استفاده شده



شکل ۴- گونیا استفاده شده

۳- نتایج و بحث

۳-۱- مقاومت فشاری و اعوجاج

پس از شکست نمونه‌ها در دستگاه جک مقاومت فشاری نیمه اتوماتیک و محاسبه مقاومت فشاری هر یک از نمونه های مکعبی، مقاومت‌های حاصله بایستی بر طبق بند ۹-۵- ۳-۱ مبحث نهم مقررات ملی ساختمان، به مقاومت نمونه‌های استاندارد استوانه ای تبدیل گردند. لذا این تبدیل مقاومت براساس ضرائب جدول ۹-۵-۳ مبحث نهم مقررات ملی ساختمان (جدول ۶) انجام گردیده است [۷].

شایان ذکر است که به منظور انجام این تبدیل مقاومت،

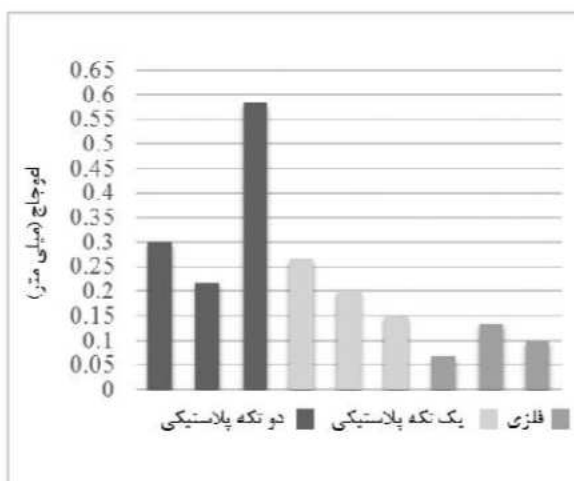
روی سطوح نمونه‌های مکعبی قرار داده شده و سپس با نگاه از روبه رو نمونه مورد ارزیابی قرار می گیرد، اگر بازه نور در بین سطح گونیا و نمونه مکعبی دیده شود، یعنی سطح نمونه دچار اعوجاج است. سپس به منظور اندازه گیری مقدار اعوجاج، فیلر سنج با دقت ۰/۰۵ (شکل ۵) در حد فاصل سطح نمونه مکعبی و گونیا (همان جا که بازه نور مشاهده شده است) قرار داده شده و پره‌های فیلر سنج تا آنجا که پره‌ای با ضخامت بیشتر قابل عبور نباشد، عبور داده میشوند. سپس ضخامت پره فیلر سنج قرائت شده و به عنوان میزان اعوجاج نمونه در نظر گرفته می شود.

جدول ۶- ضرائب تبدیل مقاومت فشاری نمونه های مکعبی به مقاومت فشاری نمونه های استوانه ای [۷]

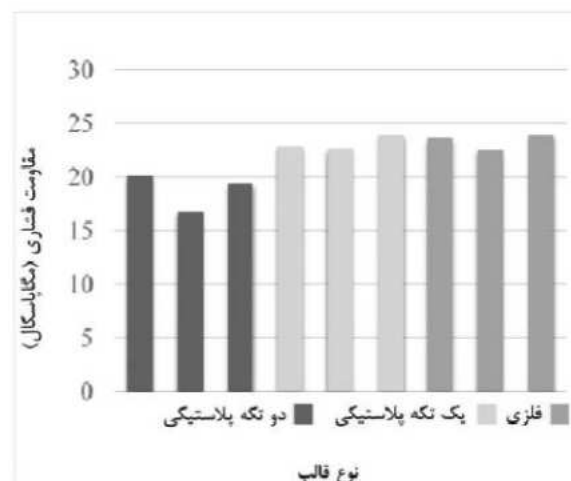
مقاومت فشاری نمونه مکعبی (MPa)	≤۲۵	۳۰	۳۵	۴۰	۴۵	۵۰	۵۵
R_f	۱/۲۵	۱/۲۰	۱/۱۷	۱/۱۴	۱/۱۳	۱/۱۱	۱/۱۰
مقاومت فشاری نمونه استوانه‌ای (MPa)	با توجه به ضریب	۲۵	۳۰	۳۵	۴۰	۴۵	۵۰

جدول ۷- ضرائب تبدیل استفاده شده

ضریب تبدیل مقاومت	رده مقاومتی بتن (MPa)	عیار سیمان (kg/m^3)
۱/۲۰	۳۰	۳۵۰
۱/۱۷	۳۵	۴۰۰
۱/۱۴	۴۰	۴۵۰



شکل ۷- میانگین حداکثر اعوجاج نمونه های ۷ روزه با عیار 350 kg/m^3



شکل ۶- میانگین مقاومت فشاری نمونه های ۷ روزه با عیار 350 kg/m^3

میزان اعوجاج را داشتند.

ضرائب تبدیل بر اساس رده مقاومتی نمونه‌ها انتخاب می گردند (جدول ۷).

۳-۲- ارتباط بین مقاومت فشاری و اعوجاج

به منظور بررسی ارتباط بین مقاومت فشاری و اعوجاج نمونه ها با عیارها و سن های مختلف، نمودار میانگین مقاومت فشاری آزمونه ها بر حسب میانگین اعوجاج آنها در سنین و عیارهای مختلف ترسیم گشت (شکل های ۱۸ تا ۲۳).

از بررسی نمودارهای رگرسیون فوق می توان دریافت که در نمونهای ۷ روزه، با افزایش عیار سیمان، شیب نمودار رگرسیون افزایش چشم گیری دارد این مهم حاکی از آن است که تاثیر اعوجاج با افزایش مقاومت نمونه ها افزایش می یابد.

۳-۳- انحراف معیار

به منظور بررسی میزان پراکندگی مقاومت فشاری نمونه های بتنی در قالبها، سن ها و عیارهای مختلف، ابتدا انحراف معیار برای دادهای اکتسابی از قالبهای هر آزمایشگاه در سن و عیار مشخص محاسبه و سپس نمودارهای مربوطه ترسیم گردیدند (شکل های ۲۴ و ۲۵).

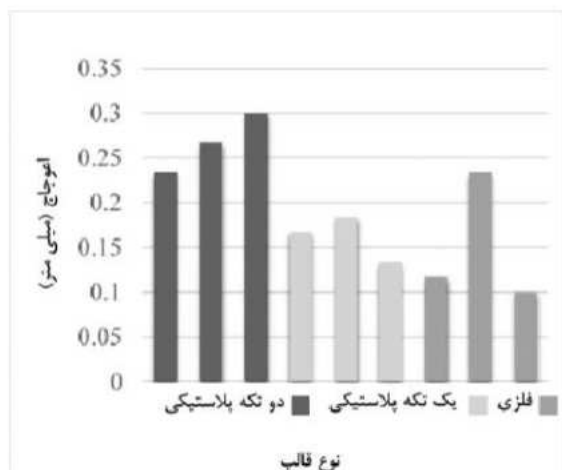
نتایج نمودارهای فوق حاکی از آن است که پراکندگی مقاومت فشاری در نمونهای قالبهای دو تکه پلاستیکی بیشتر از نمونه های قالبهای فلزی و در قالبهای فلزی بیشتر از قالبهای یک تکه پلاستیکی است.

نتایج آزمون مقاومت فشاری و اعوجاج برای نمونهای اخذ شده در قالبهای متفاوت و در سنین و عیارهای مختلف به شرح نمودارهای زیر می باشد (شکل های ۶ تا ۱۷).

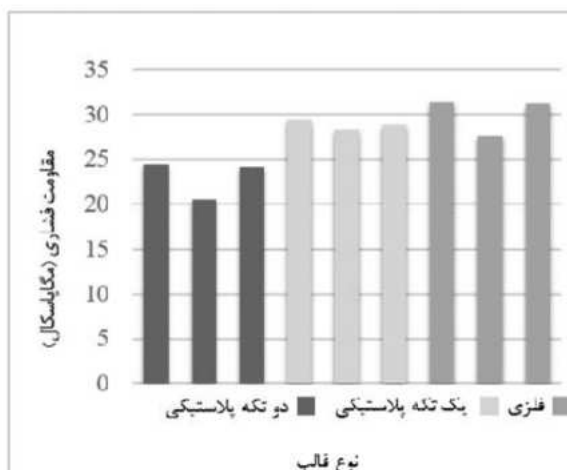
از بررسی نمودارهای فوق، نتایج زیر حاصل می شود.

فارغ از سن و عیار سیمان در نمونه ها، نمونه های بتنی در قالبهای فلزی نسبت به نمونهای بتنی در قالبهای پلاستیکی یک تکه و دو تکه از مقاومت فشاری بیشتری برخوردار می باشند. همچنین با مقایسه مقاومت فشاری نمونهای بتنی در قالبهای پلاستیکی یک تکه و دو تکه می توان دریافت که نمونه های بتنی در قالبهای پلاستیکی یک تکه مقاومت فشاری بیشتری نسبت به نمونه های قالب گیری شده در قالبهای پلاستیکی دو تکه دارند. شایان ذکر است که در تغییر جنس قالب از قالبهای فلزی به قالبهای پلاستیکی یک تکه (در یک سن و عیار مشخص) افت مقاومت کمتری نسبت به تغییر نوع قالب از پلاستیکی یک تکه به پلاستیکی دو تکه مشاهده شده است. نکته حائز اهمیت آنجاست که افزایش سن نمونهای بتنی تاثیر چندانی بر کاهش مقاومت فشاری آنها در هنگام تغییر جنس قالب ندارد. علاوه بر آنچه که ذکر شد، افزایش سن و عیار سیمان سبب افزایش مقاومت فشاری تمامی آزمونه ها می گردد.

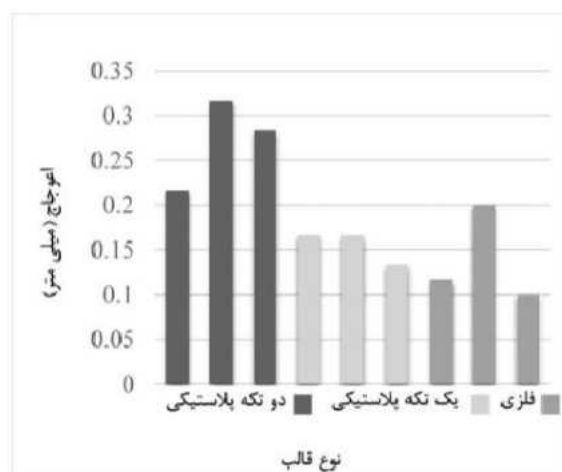
در رابطه با میزان اعوجاج نمونه ها بایستی ذکر گردد که فارغ از سن و عیار نمونه ها، نمونه های قالبهای پلاستیکی دو تکه بیشترین میزان اعوجاج و نمونه های قالبهای فلزی کمترین



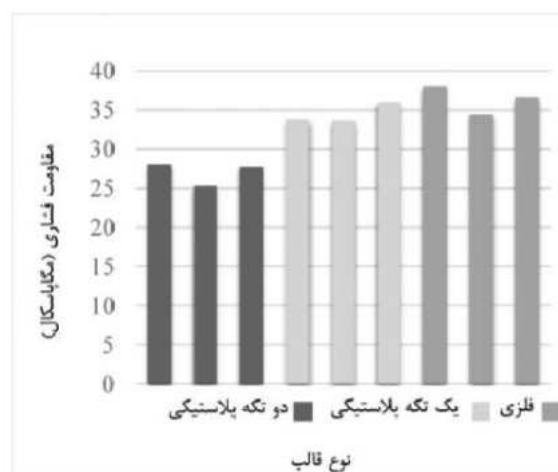
شکل ۹- میانگین حداکثر اعوجاج نمونه های ۷ روزه با عیار 400 kg/m^3



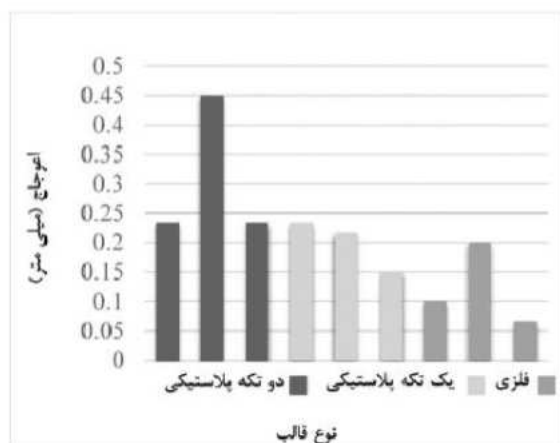
شکل ۸- میانگین مقاومت فشاری نمونه های ۷ روزه با عیار 400 kg/m^3



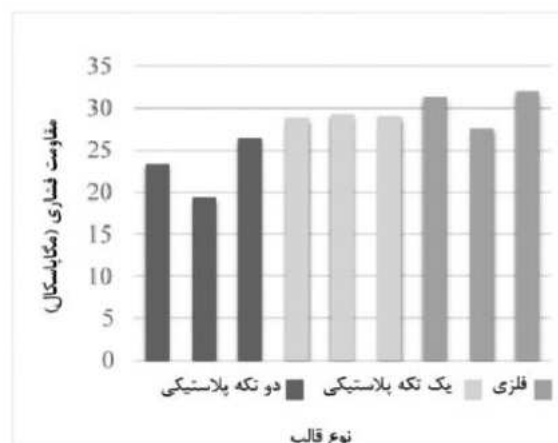
شکل ۱۱- میانگین حداکثر اعوجاج نمونه های ۷ روزه با عیار 450 kg/m^3



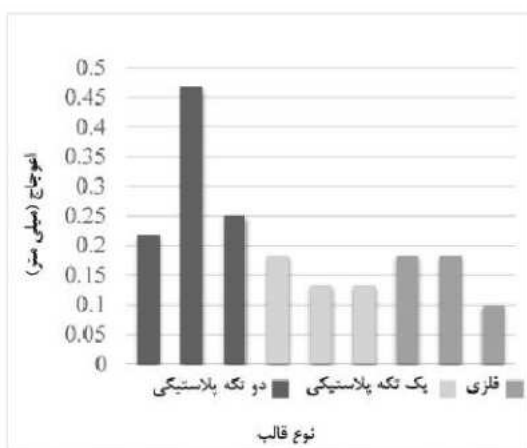
شکل ۱۰- میانگین مقاومت فشاری نمونه های ۷ روزه با عیار 450 kg/m^3



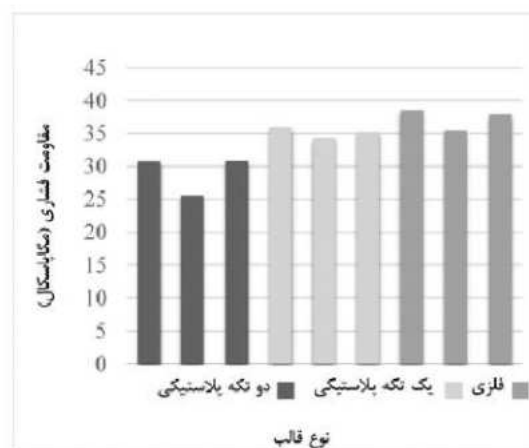
شکل ۱۳- میانگین حداکثر اعوجاج نمونه های ۲۸ روزه با عیار 350 kg/m^3



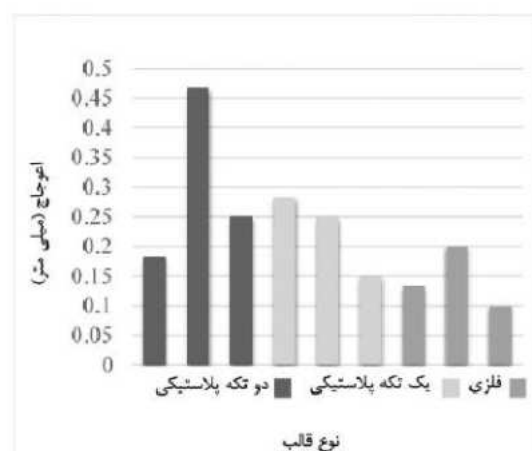
شکل ۱۲- میانگین مقاومت فشاری نمونه های ۲۸ روزه با عیار 350 kg/m^3



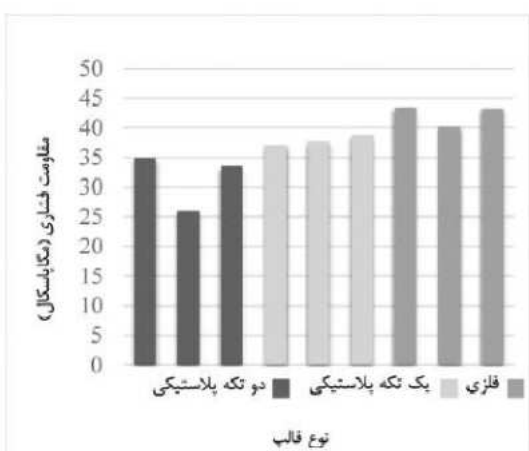
شکل ۱۵- میانگین حداکثر اعوجاج نمونه‌های ۲۸ روزه با عیار 400 kg/m^3



شکل ۱۴- میانگین مقاومت فشاری نمونه‌های ۲۸ روزه با عیار 400 kg/m^3



شکل ۱۷- میانگین حداکثر اعوجاج نمونه‌های ۲۸ روزه با عیار 450 kg/m^3



شکل ۱۶- میانگین مقاومت فشاری نمونه‌های ۲۸ روزه با عیار 450 kg/m^3

۳-۴-۱- مراحل گام به گام ارزیابی مقاومت فشاری بتن ساخته شده

مراحل گام به گام ارزیابی مقاومت فشاری بتن ساخته شده با توجه به ویرایش و سال انتشار منابع ذکر شده (با ویرایش قدیمی آبا و مقررات ملی ساختمان که البته در حال حاضر روابط دیگری حاکم است) به شرح زیر است:

اگر X_2 و X_3 نتایج سه نمونه برداری متوالی باشند. به منظور ارزیابی کیفیت بتن ساخته شده، گامهای زیر طی می شود:

گام اول:

در این گام روابط زیر باید کنترل شود:

$$X_1 \geq f_c$$

و

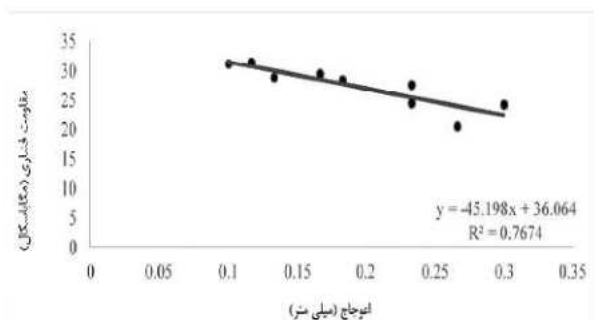
$$X_2 \geq f_c$$

و

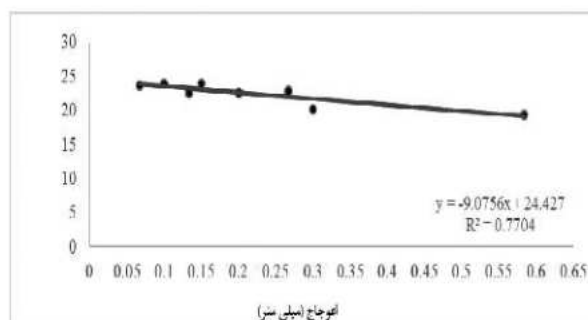
$$X_3 \geq f_c$$

۳-۴-۲- ارزیابی مقاومت فشاری نمونه‌های ساخته شده

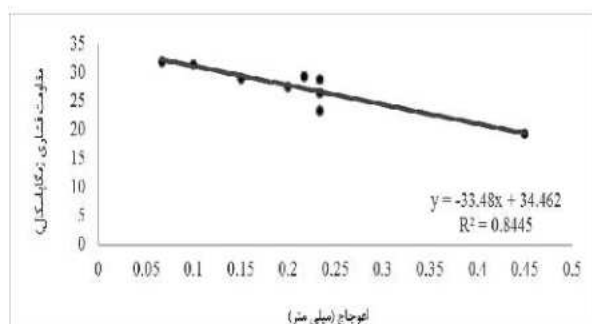
براساس مبحث نهم مقررات ملی ساختمان ایران، به منظور ارزیابی مقاومت بتن ساخته شده، نیاز به نتایج حداقل سه نمونه‌برداری متوالی می باشد که پس از ارزیابی مقاومت بتن ساخته شده، این بتن در یکی از سه رده پذیرشی: ۱- قابل قبول، ۲- غیرقابل قبول و ۳- عدم پذیرش قطعی قرار خواهد گرفت. به جهت انجام این ارزیابی، نتایج مقاومت‌های به دست آمده ی نمونه‌ها، بر اساس آزمون‌های استوانه ای حاصل از آزمایشها با مقاومت فشاری مشخصه بتن (f_c) برحسب مگاپاسکال، مقایسه می شوند. شایان ذکر است که ملاک ارزیابی در این خصوص نمونه‌های استوانه ای است. در صورت استفاده از نمونه‌های مکعبی بایستی نتایج آنها را به مقادیر نظیر نمونه‌های استوانه ای تبدیل کرد [۷].



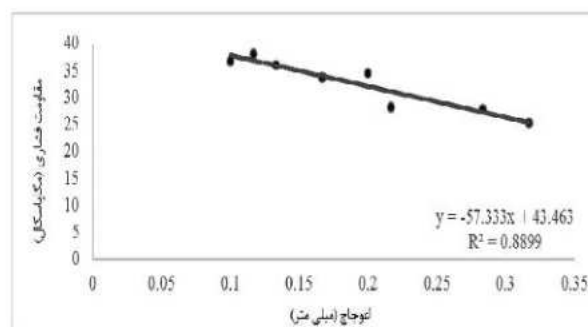
شکل ۱۹- میانگین مقاومت فشاری نمونه های ۷ روزه با عیار 400 kg/m^3 بر حسب میانگین حداکثر اعوجاج آنها



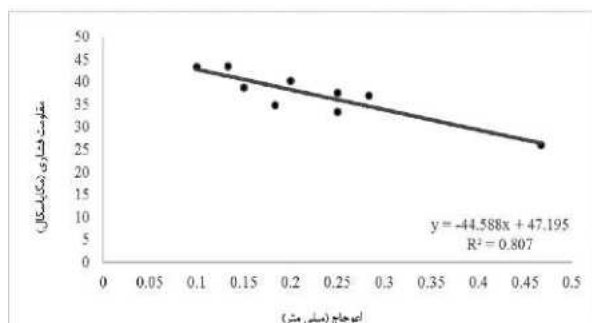
شکل ۱۸- میانگین مقاومت فشاری نمونه های ۷ روزه با عیار 350 kg/m^3 بر حسب میانگین حداکثر اعوجاج آنها



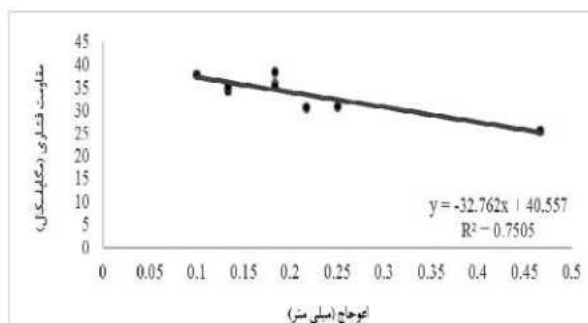
شکل ۲۱- میانگین مقاومت فشاری نمونه های ۲۸ روزه با عیار 350 kg/m^3 بر حسب میانگین حداکثر اعوجاج آنها



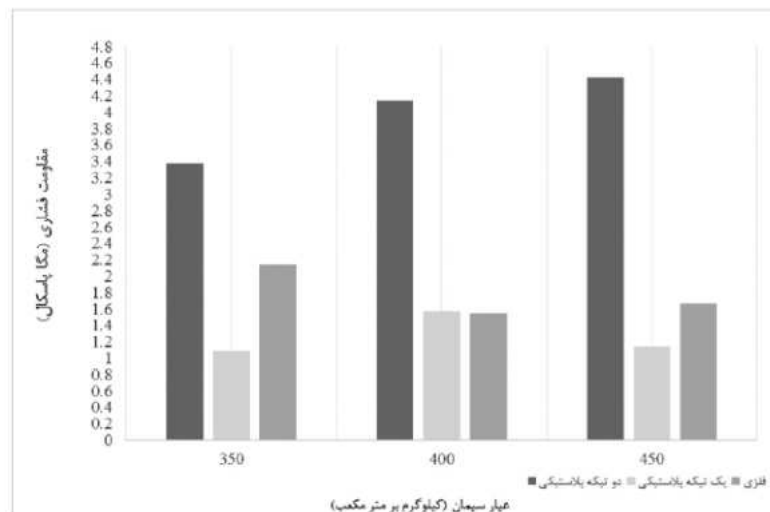
شکل ۲۰- میانگین مقاومت فشاری نمونه های ۷ روزه با عیار 450 kg/m^3 بر حسب میانگین حداکثر اعوجاج آنها



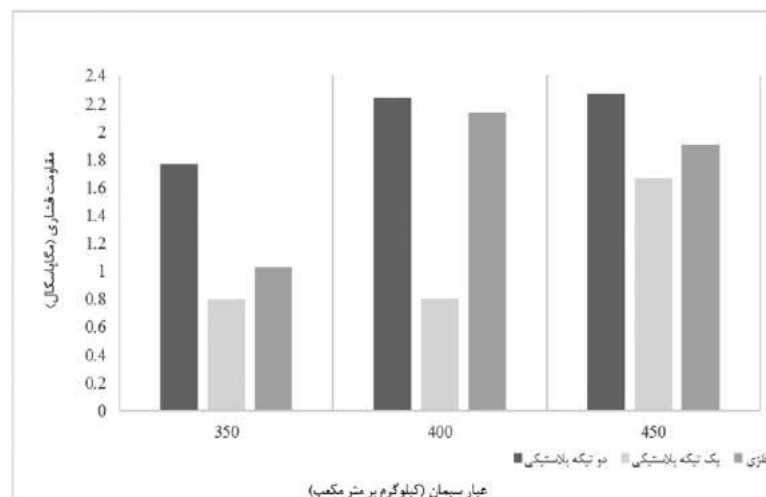
شکل ۲۳- میانگین مقاومت فشاری نمونه های ۲۸ روزه با عیار 450 kg/m^3 بر حسب میانگین حداکثر اعوجاج آنها



شکل ۲۲- میانگین مقاومت فشاری نمونه های ۲۸ روزه با عیار 400 kg/m^3 بر حسب میانگین حداکثر اعوجاج آنها



شکل ۲۴- انحراف معیار مقاومت فشاری نمونه های ۷ روزه با عیارهای سیمان متفاوت



شکل ۲۵- انحراف معیار مقاومت فشاری نمونه های ۲۸ روزه با عیارهای سیمان متفاوت

در صورتی که هر سه رابطه فوق، همزمان برقرار بودند در آن صورت بتن از نظر مقاومت، قابل قبول است. در غیر این صورت، گام سوم مورد بررسی قرار می گیرد. شایان ذکر است که فقط هنگامی می باید گام دوم را کنترل کرد که بتن در گام اول قابل قبول شناخته نشده باشد.

گام دوم: روابط زیر باید کنترل شود:

$$X_{\min} < f_c - 4 \text{ Mpa}$$

$$X_m < f_c^9$$

گام سوم:
روابط زیر باید کنترل شود:

$$X_m = (X_1 + X_2 + X_3) / 3 \geq f_c + 1.5 \text{ Mpa}$$

$$X_{\min} \geq f_c - 4 \text{ Mpa}^9$$

در صورتی که هر دو رابطه اخیر، همزمان برقرار بودند در

موجود برای بررسی کیفیت بتن سخت شده می باشد و به منظور انجام این آزمایش بایستی از بتن تولید شده در واحد تولیدی نمونه برداری به عمل آید و هر عامل موثر در نمونه برداری می تواند بر مقدار مقاومت فشاری آزمونه ها و در نتیجه ارزیابی کلی آن واحد تولیدی اثر گذار باشد، لذا، به عنوان بخشی از پژوهش حاضر تصمیم گرفته شد که با توجه به بندهای موجود در مبحث نهم مقررات ملی ساختمان به ارزیابی بتن آزمایشگاههایی که از قالبهایی با جنسهای متفاوت استفاده کردهاند، پرداخته شود. شایان توجه است که هدف از ارزیابی مقاومت فشاری آزمونه ها بر اساس مبحث نهم مقررات ملی ساختمان، دستیابی به این مهم بود که عواملی از جمله جنس و کیفیت قالب می توانند تاثیر چشمگیر و غیر قابل انکاری بر ارزیابی نهایی بتن تولید شده در یک واحد تولیدی داشته باشند، هر چند که مصالح اولیه و فرآیند تولید بتن آن واحد از کیفیت مطلوبی برخوردار باشند.

۴- نتیجه گیری

باتوجه به نتایج به دست آمده و تحلیلهای صورت

در صورتی که هر دو یا یکی از روابط فوق برقرار باشد، بتن غیرقابل قبول شناخته می شود. در غیر این صورت، بتن عدم پذیرش قطعی شناخته می شود.

شایان توجه است که فقط هنگامی می باید گام سوم را کنترل کرد که بتن در گام های اول و دوم قابل قبول شناخته نشده باشد.

در اینجا، به منظور بررسی وضعیت نتایج هر یک از آزمایشگاهها، ارزیابی نتایج مقاومت فشاری نمونه های ۲۸ روزه با عیارهای مختلف که در قالبهای آزمایشگاههای مختلف نمونه برداری شده اند برای دو رده مقاومتی متوالی، انجام شده است. نتایج ارزیابی مقاومت فشاری نمونههای آزمایشگاههای مختلف حاکی از آن است که بتن نمونه برداری شده در قالب های دو تکه پلاستیکی در عیارهای مختلف غیرقابل قبول می باشند و لذا نتایج مقاومت فشاری آزمایشگاههایی که از این نوع قالبها استفاده میکنند، قابل استناد نمی باشد. این موضوع در حالیکه نتایج مقاومت فشاری آزمونه های بتنی نمونه برداری شده در قالبهای فلزی حتی ردهی مقاومتی بالاتر از خودشان را نیز جوابگو هستند.

از آنجاییکه آزمون مقاومت فشاری از مهمترین معیارهای

جدول ۸- ارزیابی مقاومت فشاری نمونه های ۲۸ روزه آزمایشگاهها با عیار 350 kg/m^3

نتیجه	f_c	مقاومت مینیمم	میانگین	مقاومت سوم	مقاومت دوم	مقاومت اول	نوع قالب	شماره آزمایشگاه
بتن قابل قبول	۲۵	۲۱/۵	۲۳/۴	۲۳/۸	۲۱/۵	۲۴/۹	دوتکه پلاستیکی	۱
بتن غیر قابل قبول	۳۰							
بتن قابل قبول	۲۵	۱۸/۲	۱۹/۳	۱۸/۵	۲۱/۲	۱۸/۲	دوتکه پلاستیکی	۲
بتن غیر قابل قبول	۳۰							
بتن قابل قبول	۲۵	۲۵/۳	۲۶/۵	۲۷/۴	۲۵/۳	۲۶/۷	دوتکه پلاستیکی	۳
بتن غیر قابل قبول	۳۰							
بتن قابل قبول	۲۵	۲۸/۳	۲۸/۸	۲۹/۳	۲۸/۳	۲۸/۸	یک تکه پلاستیکی	۴
بتن غیر قابل قبول	۳۰							
بتن قابل قبول	۲۵	۲۷/۶	۲۹/۲	۳۰/۴	۲۷/۶	۲۹/۷	یک تکه پلاستیکی	۵
بتن غیر قابل قبول	۳۰							
بتن قابل قبول	۲۵	۲۷/۹	۲۹	۲۸/۴	۲۷/۹	۳۰/۷	یک تکه پلاستیکی	۶
بتن غیر قابل قبول	۳۰							
بتن قابل قبول	۲۵	۳۰/۸	۳۱/۴	۳۱/۷	۳۰/۸	۳۱/۷	فلزی	۷
بتن قابل قبول	۳۰							
بتن قابل قبول	۲۵	۲۶/۸	۲۷/۶	۲۶/۸	۲۷/۴	۲۸/۵	فلزی	۸
بتن غیر قابل قبول	۳۰							
بتن قابل قبول	۲۵	۳۱/۳	۳۱/۹	۳۲/۲	۳۲/۳	۳۱/۳	فلزی	۹
بتن قابل قبول	۳۰							

جدول ۹- ارزیابی مقاومت فشاری نمونه های ۲۸ روزه آزمایشگاهها با عیار 400 kg/m^3

شماره آزمایشگاه	نوع قالب	مقاومت اول	مقاومت دوم	مقاومت سوم	میانگین	مقاومت مینیمم	fc	نتیجه
۱	دوتکه پلاستیکی	۳۰/۹	۲۸/۳	۲۳	۳۰/۷	۲۸/۳	۳۰	عدم پذیرش قطعی
							۳۵	بتن غیر قابل قبول
۲	دوتکه پلاستیکی	۲۰/۸	۲۳/۷	۲۲/۳	۲۵/۶	۲۰/۸	۳۰	بتن غیر قابل قبول
							۳۵	بتن غیر قابل قبول
۳	دوتکه پلاستیکی	۳۱	۳۰/۱	۳۱/۴	۳۰/۸	۳۰/۱	۳۰	بتن قابل قبول
							۳۵	بتن غیر قابل قبول
۴	یک تکه پلاستیکی	۳۵/۷	۳۵/۲	۳۶/۸	۳۵/۹	۳۵/۲	۳۰	بتن قابل قبول
							۳۵	بتن قابل قبول
۵	یک تکه پلاستیکی	۳۴/۸	۳۳/۲	۳۵	۳۴/۳	۳۳/۲	۳۰	بتن قابل قبول
							۳۵	بتن غیر قابل قبول
۶	یک تکه پلاستیکی	۳۵/۹	۳۷/۳	۳۲/۴	۳۵/۲	۳۲/۴	۳۰	بتن قابل قبول
							۳۵	عدم پذیرش قطعی
۷	فلزی	۳۹/۱	۳۸	۳۸/۶	۳۸/۶	۳۸	۳۰	بتن قابل قبول
							۳۵	بتن قابل قبول
۸	فلزی	۳۴/۲	۳۵/۹	۳۶/۲	۳۵/۴	۳۴/۲	۳۰	بتن قابل قبول
							۳۵	بتن قابل قبول
۹	فلزی	۳۷/۵	۳۷/۹	۳۸	۳۷/۸	۳۷/۵	۳۰	بتن قابل قبول
							۳۵	بتن قابل قبول

جدول ۱۰- ارزیابی مقاومت فشاری نمونه های ۲۸ روزه آزمایشگاهها با عیار 450 kg/m^3

شماره آزمایشگاه	نوع قالب	مقاومت اول	مقاومت دوم	مقاومت سوم	میانگین	مقاومت مینیمم	fc	نتیجه
۱	دوتکه پلاستیکی	۳۳/۳	۳۵	۳۶/۳	۳۴/۸	۳۳/۳	۳۵	بتن غیر قابل قبول
							۴۰	بتن غیر قابل قبول
۲	دوتکه پلاستیکی	۲۴/۸	۲۸/۹	۲۴/۲	۲۵/۹	۲۴/۲	۳۵	بتن غیر قابل قبول
							۴۰	بتن غیر قابل قبول
۳	دوتکه پلاستیکی	۳۳/۹	۳۳/۹	۳۲/۶	۳۴/۴	۳۲/۶	۳۵	بتن غیر قابل قبول
							۴۰	بتن غیر قابل قبول
۴	یک تکه پلاستیکی	۳۶/۳	۳۶/۳	۳۸/۶	۳۷/۱	۳۶/۳	۳۵	بتن قابل قبول
							۴۰	بتن غیر قابل قبول
۵	یک تکه پلاستیکی	۳۶/۷	۳۷/۹	۳۸/۵	۳۷/۷	۳۶/۷	۳۵	بتن قابل قبول
							۴۰	بتن غیر قابل قبول
۶	یک تکه پلاستیکی	۳۹/۲	۳۸	۳۹/۱	۳۸/۸	۳۸	۳۵	بتن قابل قبول
							۴۰	بتن غیر قابل قبول
۷	فلزی	۴۳/۴	۴۳/۷	۴۳/۴	۴۳/۵	۴۳/۴	۳۵	بتن قابل قبول
							۴۰	بتن قابل قبول
۸	فلزی	۴۱/۱	۳۹/۴	۴۰/۱	۴۰/۲	۳۹/۴	۳۵	بتن قابل قبول
							۴۰	بتن قابل قبول
۹	فلزی	۴۳/۳	۴۳/۴	۴۳/۲	۴۳/۳	۴۳/۲	۳۵	بتن قابل قبول
							۴۰	بتن قابل قبول

پلاستیکی دو تکه استفاده میکنند غیر قابل قبول و نتیجتاً نتایج مقاومت فشاری آزمونه‌های آنها نیز غیر قابل استناد می باشد.

۵- مراجع

[۱] رضایی، محمد جواد؛ مبارکه، مریم؛ بررسی نتایج مقاومت فشاری بتن های نمونه گیری شده در قالب های پلاستیکی و چدنی، کنفرانس بین المللی عمران، معماری و توسعه شهری در ایران، دانشگاه تهران، تهران، ایران، آذر ماه سال ۱۳۹۷

[۲] نشریه ۵۹ فصلنامه انجمن بتن ایران

[۳] استاندارد ملی ایران، موضوع: بتن سخت شده- قسمت اول: شکل، ابعاد و سایر الزامات آزمونه ها و قالب ها، شماره ۱-۱۶۰۸، ویرایش دوم سال ۱۳۹۳

[۴] استاندارد ملی ایران، موضوع ویژگی های سیمان پرتلند، شماره ۳۸۹، ویرایش سوم، چاپ هشتم

[۵] استاندارد ملی ایران، موضوع: بتن تازه- قسمت دوم: تعیین روانی به روش اسلامپ-روش آزمون، شماره ۲-۳۲۰۳، ویرایش دوم

[۶] استاندارد ملی ایران، موضوع: بتن سخت شده- قسمت سوم: تعیین مقاومت فشاری آزمونه ها- روش آزمون، شماره ۳-۱۶۰۸، چاپ اول سال ۱۳۹۳

[۷] مبحث نهم مقررات ملی ساختمان ایران، طرح و اجرای ساختمان های بتن آرمه، ویرایش سال ۱۳۹۲ (توجه در حال حاضر ویرایش سال ۱۳۹۹ حاکم است)

گرفته می توان بیان کرد که در بین آزمونه های نمونه- برداری شده در قالبهای با جنسهای مختلف در این تحقیق، کمترین میزان اعوجاج و بیشترین مقدار مقاومت فشاری مربوط به آزمونه های نمونه برداری شده در قالبهای فلزی و همچنین بیشترین میزان اعوجاج و کمترین مقدار مقاومت فشاری مربوط به آزمونه های نمونه برداری شده در قالبهای پلاستیکی دو تکه (کامپوزیتی) می باشد. این موضوع را میتوان به ضعف موجود در بدنهی قالبهای پلاستیکی دو تکه استفاده شده در این پژوهش و در نتیجه تغییر شکل آنها در حین نمونه برداری نسبت داد. در حقیقت ناهمواری های موجود در سطح آزمونه ها باعث می شوند که صفحات دستگاه بارگذاری در ابتدا با نقاط بالاتر تماس حاصل نمایند و بدین ترتیب موجب ایجاد تنشهای موضعی می شوند. سپس تنشهای حاصله به ایجاد ترک در اطراف و زیر قسمت برجسته تر منجر شده و این مهم سبب می شود که عقربه اندازه گیری نیرو و یا ارقام نمایش داده شده توسط دستگاه خیلی زودتر پایین رفته و حداکثر بار گیسختگی و نتیجتاً مقاومت فشاری آزمونهها کاهش یابد.

علاوه بر آنچه که ذکر شد، در تغییر جنس قالب از قالب های فلزی به قالبهای پلاستیکی یک تکه (در یک سن و عیار مشخص) افت مقاومت کمتری نسبت به تغییر نوع قالب از پلاستیکی یکتکه به پلاستیکی دوتکه مشاهده شده است. این موضوع حاکی از اختلاف چشمگیر (بعضاً تا ۲۰ درصد اختلاف) در بین نتایج مقاومت فشاری نمونههای قالبهای پلاستیکی دو تکه با نمونه های قالبهای فلزی است.

به علاوه با ارزیابی مقاومت فشاری آزمونه های نمونه- برداری شده در قالبهای مختلف این پژوهش مشخص شد که بتن تعدادی از آزمایشگاههای این تحقیق که از قالبهای



سیمان پیوند گلستان

منتخب جایزه ملی کیفیت ایران توسط سازمان ملی

استاندارد ایران در سطح اشتها به کیفیت (یک ستاره)

دفتر مرکزی: تهران، میدان فردوسی، خیابان شهید سروش الدین تقوی، بن بست شهید

انوشیروانی شمالی، پلاک ۵، ساختمان شماره ۲، طبقه دوم: کدپستی: ۱۱۴۵۶۸۷۸۱۳

تلفن: ۶۶۳۴۴۹۳۰ و ۶۶۳۴۴۱۱۸ - ۲۱ نمابر: ۶۶۳۴۴۵۲۴ - ۲۱

کارخانه: استان گلستان، کیلومتر ۵ جاده گالیکش به مشهد، نرسیده به دوراهی کلاله

صندوق پستی: ۱۱۶-۴۹۸۳۱ تلفن: ۳۵۸۰۸۴۱۰ - ۱۷ نمابر: ۳۵۸۰۸۴۶۳ - ۱۷

تلفن فروش: ۷-۳۵۸۰۸۴۷۲ - ۱۷ نمابر فروش: ۳۵۸۰۸۴۷۱ - ۱۷

Website: www.pgcement.ir

Email: pgcement@pgcement.ir

تحلیل نتایج ترموگراویمتری (TGA) بتن و ملات سیمان

■ مهندس سعید نظری

مدیر تولید کارخانه سیمان نیزار قم

■ مهندس مهدی ساکی

سرپرست آزمایشگاه بتن کارخانه سیمان نیزار قم

چکیده:

این مقاله شامل پژوهشی نوین پیرامون کاربرد روش TGA در کنترل کیفیت سیمان و بتن می باشد. هدف از انجام این تحقیق، ترویج روشی است که کمتر شناخته شده و کمتر در زمینه سیمان و بتن در ایران به کار رفته و با صرف زمان و هزینه کمتری همراه است. همچنین تحلیل نتایج حاصل از TGA و بهره گیری از آنها در جهت پیش بینی کیفیت و دوام بتن و ملات سیمان ترکیبات شیمیایی تشکیل شده در نتیجه واکنش های هیدراتاسیون در بتن در سطح ریزساختار را می توان با آنالیز حرارتی (TGA) بررسی کرد. تکنیک TGA کاهش جرم ناشی از تجزیه محصولات هیدراته شدن را اندازه گیری می کند. با محاسبه کاهش جرم ناشی از تجزیه، آب ترکیبی شیمیایی (WB) موجود در محصولات هیدراته شدن، میزان درجه هیدراته شدن را می توان تخمین زد. ناهمگونی سیمان و مواد افزودنی معدنی، استوکیومتری هیدراته شدن سیمان را بسیار پیچیده می کند. به همین دلیل، روش TGA توسط محققان برای درک توسعه فرآیند هیدراته شدن سیمان معمولی (OPC) و همچنین سیمان مرکب استفاده می شود. نتایج نشان می دهد که با استفاده از تکنیک دستگاه TGA می توان ریز ساختار ملات سیمان، بتن و سنگدانه در مدت زمان کوتاهی را از روی پیک های هر کدام تشخیص داد. همچنین پیک های به دست آمده از ملات سیمان نشان می دهد، درجه هیدراته شدن نسبت درصدی بین آب ترکیبی (پیوندی) شیمیایی یک خمیر سیمان معین (در یک سن مشخص) به یک خمیر کاملاً هیدراته است.

کلمات کلیدی: TGA، ملات سیمان، بتن، سنگدانه، تفسیر پیک

۱- مقدمه

هستند. ترکیبات شیمیایی تشکیل شده در نتیجه واکنش های هیدراتاسیون در بتن در سطح ریزساختار را می توان با آنالیز حرارتی (TGA) بررسی کرد. تکنیک TGA کاهش جرم ناشی از تجزیه محصولات هیدراتاسیون مانند اتریژیت، هیدرات سیلیکات کلسیم (CSH)، هیدروکسید کلسیم (CH) و هیدروکسید کلسیم کربناته را اندازه گیری می کند. با محاسبه

چهار ترکیب اصلی موجود در سیمان پرتلند معمولی (OPC) عبارتند از: تری کلسیم سیلیکات (C_3S)، سیلیکات دی کلسیم (C_2S)، تری کلسیم آلومینات (C_3A) و تتراکلسیم آلومینوفریت (C_4AF). محصولات هیدراتاسیون این ترکیبات، واحدهای پل بین سنگدانه ها و همچنین عوامل مقاومت فشاری

مشق منحنی TGA یعنی DTG تعیین می‌شود. در یک منحنی DTG بین دمای ۴۰۰ درجه سانتیگراد و ۶۰۰ درجه سانتیگراد، حد پایین و حد بالایی فاز Ldx را ارائه می‌دهد. از منحنی‌های DTG، محدوده دما برای فاز Ldx بین ۴۲۰ درجه سانتیگراد و ۵۰۰ درجه سانتیگراد برای اکثر نمونه‌ها مشاهده می‌شود. از این رو، در مطالعه حاضر، محدوده دما برای Ldh، Ldx و Ldc بین ۱۰۵ تا ۴۲۰ درجه سانتیگراد، ۴۲۰ تا ۵۰۰ درجه سانتیگراد و ۵۰۰ تا ۱۰۰۰ درجه سانتیگراد مشخص شده است. ASTM C-1872 در مورد استفاده از TGA برای آنالیز سیمان‌های هیدرولیکی تدوین شده است. [۱] [۲]

مطابق این استاندارد درصد وزنی یک جزء خاص با محدوده دمایی تجزیه باریک را می‌توان بر اساس وزن اولیه، با فرض اینکه جزء، استوکیومتری و خالص است، با استفاده از معادله ۱ محاسبه کرد:

$$P = M\Delta m / C m_0 \times 100 \quad (1)$$

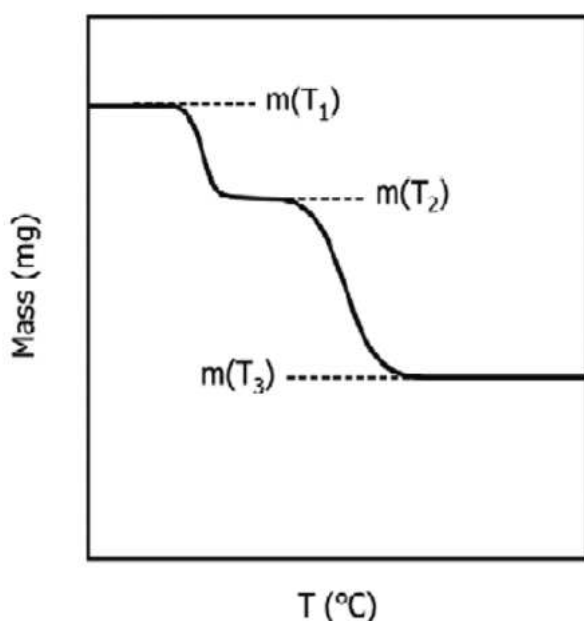
P = درصد وزنی جزء در پودر اصلی

M = جرم مولی جزء استوکیومتری خالص (جدول ۱)

Δm = فاصله عمودی بین خطوط مماس بالا و پایین، همان‌طور که در شکل ۱ نشان داده شده است (g/mol).

C = کاهش وزن به دلیل تجزیه حرارتی، به ازای هر مول جزء استوکیومتری خالص در جدول ۱ (g/mol)

m_0 = وزن اولیه نمونه. (g)



شکل ۱- اختلاف جرم با تغییرات دما

کاهش جرم ناشی از تجزیه آب ترکیبی شیمیایی (WB) موجود در محصولات هیدراتاسیون، میزان هیدراتاسیون را می‌توان تخمین زد. درجه هیدراتاسیون نسبت درصدی بین آب ترکیبی (پیوندی) شیمیایی یک خمیر سیمان معین به یک خمیر کاملاً هیدراته است.

ناهمگونی سیمان و مواد افزودنی معدنی، استوکیومتری هیدراتاسیون سیمان را بسیار پیچیده می‌کند. برای این، روش TGA توسط محققان برای درک توسعه فرآیند هیدراتاسیون سیمان معمولی (OPC) و همچنین سیمان مرکب استفاده می‌شود. علاوه بر این، درجه هیدراتاسیون (α) مواد سیمانی با خواص مکانیکی بتن در ارتباط است و رابطه مستقیمی میان آن با پارامتر مقاومت فشاری مشاهده می‌شود.

سیمان هیدراته کاهش جرم قابل توجهی را تا ۲۰۰ درجه سانتیگراد نشان می‌دهد که به دفع آب سطحی و همچنین از دست دادن آب از لایه‌های ژل C-S-H و از دست دادن آب اترینژیت نسبت داده می‌شود. از دست دادن جرم بیشتر تا حدود ۴۰۰ درجه سانتیگراد نشان دهنده تجزیه حرارتی مداوم مخلوط پیچیده‌ای از ترکیبات هیدراته سیلیکات و آلومینات است. سپس، تجزیه حرارتی پورتلندیت، $Ca(OH)_2$ ، و سپس تجزیه فازهای کربناته و کلسیت ($CaCO_3$) انجام می‌شود.

از روش TGA برای اندازه‌گیری افت جرم ناشی از تجزیه محصولات هیدراتاسیون استفاده می‌شود و متعاقباً α در انواع مختلف بتن برآورد می‌شود. TGA تکنیکی است که تغییر جرم ماده نمونه را به عنوان تابعی از زمان در دمای مشخص (حالت همدما) یا در یک محدوده دما بررسی می‌کند. در این آزمایش، نمونه و مواد مرجع هر دو در یک محیط با سرعت گرمایش یا سرمایش ترجیحی قرار می‌گیرند. خمیر سیمان هیدراته، هنگامی که تحت آزمایش TGA قرار می‌گیرد، تجزیه هیدرات‌های سیمان را می‌توان از منحنی TGA نزولی مشاهده کرد. از دست دادن جرم خمیر سیمان هیدراته شده در دمای ۱۰۵ تا ۱۰۰۰ درجه سانتیگراد در آزمایش TGA برای ارزیابی درجه هیدراتاسیون استفاده می‌شود. اثرات گرماگیر را می‌توان بر اساس تجزیه هیدرات‌های سیمان به سه فاز اصلی تقسیم کرد. فاز اول با دهیدراته شدن (Ldh) اترینژیت و CSH مشخص می‌شود، فاز دوم مربوط به دهیدروکسیلاسیون CH (Ldx) و فاز سوم به دلیل کربن‌زدایی $CaCO_3$ (Ldc) است. دمای اولیه برای فاز دهیدراته ۱۰۵ درجه در نظر گرفته شده است. دمای اولیه برای فاز دهیدراته ۱۰۵ درجه سانتیگراد در نظر گرفته می‌شود. محدوده دما برای فاز Ldx برای هر نمونه از اولین

جدول ۱- محدوده دمایی کسر وزنی مطابق استاندارد ASTM C1872

Component	M g/mol ⁴	C g/mol ⁴	Temperature °C	
			Min (X)	Max (Y)
CaSO ₄ · 0.5 H ₂ O (Bassanite)	145.1	9	90	200
CaSO ₄ · 2 H ₂ O (Gypsum)	172.1	27	100	200
Mg(OH) ₂ (Brucite)	58.3	18	230	330
K ₂ Ca(SO ₄) ₂ · H ₂ O (Syngeite)	328.4	18	250	300
Ca(OH) ₂ (Portlandite)	74.1	18	380	600
MgCO ₃ (Magnesite)	84.3	44	550	800
CaCO ₃ (Calcite)	100.1	44	600	1000
Ca ₃ (SiO ₄) ₂ CO ₃ (Spurrite)	444.6	44	700	850

⁴ Values of M and C assume pure mineral components.

متفاوت است. می‌توان با استفاده از رابطه ۳ مقدار آن را محاسبه نمود. [۴]

$$(W_b)_{T_{\infty}} = 0.24 C_3S + 0.21 C_2S + 0.40 C_3A + 0.37 C_4AF + 0.33 \text{ Free-CaO} \quad (۳)$$

ولی به‌طور کلی مقدار ثابت ۰,۲۴ را برای آن در نظر می‌گیرند.

آب پیوندی شیمیایی (WB) را می‌توان با استفاده از آزمون TGA برای ثبت افت جرمی تجزیه نمونه‌های سیمان در مراحل مختلف به دست آورد. بهاتی نشان داد که W_B را می‌توان مطابق با معادله ۴ محاسبه کرد:

$$W_B = Ldh + Ldx + 0.41(Ldc) \quad (۴)$$

که در آن Ldh , Ldx و Ldc کاهش وزن در نمودارهای TGA در طول دهیدراته شدن ژل C-S-H است که بین ۱۰۵ تا ۴۴۰ درجه سانتیگراد رخ می‌دهد، دهیدروکسیلاسیون هیدروکسید کلسیم بین ۴۴۰ تا ۵۸۰ درجه سانتیگراد و کربن زدایی کربنات‌های تشکیل شده در هنگام قرار گرفتن در معرض هوا بین ۵۸۰ و ۱۰۰۰°C در نمودارهای TGA می‌باشد.

۴- تعیین اثرات افزودن ترکیبات مکمل سیمانی (SCM) بر هیدراتاسیون سیمان

یکی از مهمترین کاربردهای TGA در صنعت سیمان بررسی اثرات افزودنی‌های مختلف بر هیدراتاسیون سیمان می‌باشد. در این مطالعات نمونه‌های خمیر سیمان با نسبت W/C برابر ۰,۵ ساخته می‌شوند و تا سنین مشخص با نسبت‌های مختلف SCM مانند سرباره عمل آوری می‌شوند. محتوای CH نمونه‌ها با استفاده از تکنیک TGA با اختلاف وزن در محدوده بین ۴۵۰ تا ۶۰۰ درجه سانتیگراد تعیین می‌گردد که در آن تجزیه CH انجام می‌شود. بنابراین مقدار CH مصرف شده توسط

۲- رابطه بین درجه هیدراتاسیون و مقاومت فشاری

مقاومت فشاری انواع مختلف بتن ثبت شده در مطالعه حاضر در نمودارهای مختلف داده شده است. صرف نظر از روش، مقدار α تخمینی با افزایش سن عمل‌آوری افزایش می‌یابد. این مشابه روند معمول مقاومت فشاری بتن با افزایش سن است. [۳]

۳- درجه هیدراتاسیون

خواص فیزیکی و مکانیکی بتن مانند تخلخل، مقاومت و خواص جابجایی به شدت به ریزساختار خمیر سیمان و ترکیب بتن وابسته است. توسعه ریزساختار مواد سیمانی تابعی از درجه هیدراتاسیون^۱ آن است. بنابراین، توصیف کمی درجه هیدراتاسیون سیمان در ملات و بتن در درجه اول اهمیت قرار دارد.

اندازه‌گیری محتوای آب غیرقابل تبخیر خمیر سیمان با استفاده از TG روشی جایگزین برای تعیین درجه هیدراتاسیون خمیر سیمان است با استفاده از معادله ۲ این پارامتر به دست می‌آید:

$$\alpha_{TG} = (w_b)_T / (w_b)_{T_{\infty}} \quad (۲)$$

که در آن α_{TG} و $(w_b)_T$ به ترتیب میزان هیدراتاسیون تعیین شده توسط روش TG، میزان آب غیرقابل تبخیر و آب غیرقابل تبخیر نهایی می‌باشد. محتوای آب غیرقابل تبخیر $(w_b)_T$ از نتایج TG تعیین می‌شود. مقدار آب غیرقابل تبخیر نهایی $(w_b)_{T_{\infty}}$ بر طبق محاسبات بوگ، ۰,۲۴ در نظر گرفته می‌شود (هنگامی که سیمان به طور کامل دهیدراته می‌شود، یعنی در درجه هیدراتاسیون ۱۰۰ درصد، ۰,۲۴ قسمت از آب پیوندی با هر قسمت سیمان ترکیب می‌شود). مقدار $(w_b)_{T_{\infty}}$ برای سیمان‌های مختلف

1- degree of hydration

دهنده سیمان پرتلند هیدراته است Ca(OH)_2 . به عنوان محصول جانبی هیدراتاسیون فازهای سیلیکات کلسیم (C_3S) و (C_2S) سیمان پرتلند تشکیل می‌شود. در خمیر سیمان کاملاً هیدراته، Ca(OH)_2 تقریباً ۲۰ تا ۲۵ درصد از حجم مواد را اشغال می‌کند. برخلاف فاز هیدرات سیلیس کلسیم (C-S-H) که عمدتاً آمورف است، Ca(OH)_2 موجود در خمیر سیمان هیدراته تقریباً کاملاً کریستالی است. مقدار Ca(OH)_2 در ماتریس سیمان هیدراته بر خواص مکانیکی و دوام آن تأثیر می‌گذارد. مقدار Ca(OH)_2 موجود در یک ریزساختار معین می‌تواند برای ردیابی پیشرفت هیدراتاسیون سیمان و به عنوان شاخصی از میزان واکنش پوزولانی استفاده شود.

محتوای Ca(OH)_2 در مواد سیمانی را می‌توان با استفاده از روش‌های مختلفی از جمله روش‌های شیمیایی، روش‌های اشعه ایکس و آنالیز حرارتی تعیین کرد. از بین روش‌های مختلف شیمیایی، شناخته شده‌ترین دستورالعمل روش فرانکه است که در آن کلسیم اکسید (CaO) یا Ca(OH)_2 با استفاده از استواستیک استر و ایزوبوتیل الکل به عنوان حلال حل می‌شود. اگرچه روش‌های شیمیایی می‌توانند حتی Ca(OH)_2 آمورف را اندازه‌گیری کنند که با روش‌های دیگر قابل تعیین نیست، اما این نگرانی وجود دارد که اسید ممکن است به فازهای دیگر حمله کند و این روش تا حدودی زمان‌بر است. روش‌های اشعه ایکس شامل آنالیز کمی پراش اشعه ایکس و آنالیز ریتولد از نتایج پراش اشعه ایکس است. این روش‌ها معمولاً مقدار کمتری برای محتوای Ca(OH)_2 می‌دهند، زیرا فقط می‌توانند شکل متبلور آن را تعیین کنند.

روش‌های حرارتی که به طور گسترده برای تعیین محتوای Ca(OH)_2 مورد استفاده قرار می‌گیرند شامل آنالیز گرما وزنی (TGA)، آنالیز حرارتی تفاضلی و کالریمتری اسکن تفاضلی (DSC) می‌باشد.

به طور خاص TGA به دلیل سادگی نسبی و زمان تست کوتاه‌تر در مقایسه با روش‌های دیگر، یکی از پرکاربردترین روش‌ها است. با این حال، هنگام استفاده از این روش، تشخیص فواصل دمایی دقیق مربوط به کاهش وزن ناشی از تجزیه Ca(OH)_2 همیشه آسان نیست، زیرا سایر محصولات هیدراتاسیون نیز ممکن است در همان محدوده دمایی Ca(OH)_2 تجزیه شوند.

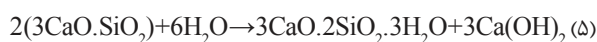
در حال حاضر، محققان از تکنیک‌های مختلف آماده‌سازی نمونه و روش‌های مختلف تفسیر منحنی‌های TGA استفاده می‌کنند، زیرا هیچ روش پذیرفته‌شده جهانی برای تعیین محتوای Ca(OH)_2 وجود ندارد.

هیدراتاسیون سرباره را می‌توان با مقایسه مقدار CH در خمیر سیمان سرباره با مقدار آن در خمیر سیمان پرتلند فاقد سرباره به‌دست آورد. همراه با درجات هیدراتاسیون سرباره در نمونه‌ها، میزان مصرف CH توسط هیدراتاسیون سرباره محاسبه می‌شود. جایگزینی جزئی کلینکر با سرباره هم مقدار CH موجود در خمیر سیمان و هم میانگین نسبت C/S در C-S-H را کاهش می‌دهد. [۵] [۶]

۵- مطالعه میدانی

در راستای بهره‌گیری از نتایج بدست آمده از مطالعات ترموگراویمتری در زمینه هیدراتاسیون خمیر سیمان، چندین نمونه بتن و ملات سیمان در سنین مختلف توسط آزمایشگاه‌های یکی از معتبرترین دانشگاه‌های کشور مورد آزمون قرار گرفت. مطالعات هیدراتاسیون اولیه روی خمیرهای تازه سیمان نوع II با استفاده از تکنیک‌های حرارتی مانند TGA انجام شده است و درجات هیدراتاسیون در فواصل زمانی مختلف بر حسب آب غیرقابل تبخیر و هیدروکسید کلسیم آزاد موجود تخمین زده شده است.

در سیمان پرتلند معمولی، ترکیبات سیلیکات تری کلسیم و سیلیکات دی کلسیم، هنگامی که با آب تماس می‌گیرند، محصولات هیدراتاسیون معادلات شماره ۵ و ۶ را ایجاد می‌کنند:



ترکیب $3\text{CaO} \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ همچنین به عنوان ژل C-S-H شناخته می‌شود. این ماده به عنوان عامل اتصال دهنده و ایجاد کننده مقاومت اولیه در خمیر سیمان در نظر گرفته می‌شود و بیش از ۶۰ درصد وزنی در خمیر سیمان کاملاً هیدراته وجود دارد. ترکیب $3\text{CaO} \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ فقط تقریبی است، زیرا غیر استوکیومتری و کریستالی ضعیف است و بیش از یک نوع C-S-H پس از هیدراتاسیون تشکیل می‌شود.

رشد مقاومت اولیه خمیر سیمان در یک درجه هیدراتاسیون بحرانی، زمانی اتفاق می‌افتد که محصولات هیدراتاسیون به مقدار کافی برای بهم قفل شدن و نشان دادن مقاومت کافی انباشته شده باشند. بر اساس مقادیر آب «آزاد»، آب ترکیبی و هیدروکسید کلسیم آزاد، میزان افزایش مقاومت با افزایش سن ملات ساخته شده قابل مشاهده است.

هیدروکسید کلسیم $[\text{Ca(OH)}_2]$ یکی از اجزای اصلی تشکیل

و یک قله منفی اصلی را برای محدوده دماهای مربوط به تجزیه Ca(OH)_2 نشان می دهد. موقعیت این پیک ها روی محور دما برای تعیین نقطه شروع و پایان برای تجزیه Ca(OH)_2 استفاده می شود. هنگامی که نقطه شروع و پایان مشخص شد، جرم های مربوطه را می توان به دست آورد و از رابطه ۷ می توان برای تعیین محتوای Ca(OH)_2 (CH: Ca(OH)_2 g/g) سیمان دهیدراته استفاده کرد.

$$\text{CH} = \frac{74.1}{18.0} \frac{M_{\text{start}}^s - M_{\text{end}}^s}{M_c} \quad (7)$$

که در آن M_{start} و M_{end} جرم نمونه (g) ثبت شده در طول TGA در نقطه شروع و نقطه پایان است و M_c جرم اولیه (بی آب) سیمان (g) در نمونه TGA است. نسبت ۷۴،۱:۱۸،۰ نسبت وزن مولی Ca(OH)_2 به آب است.

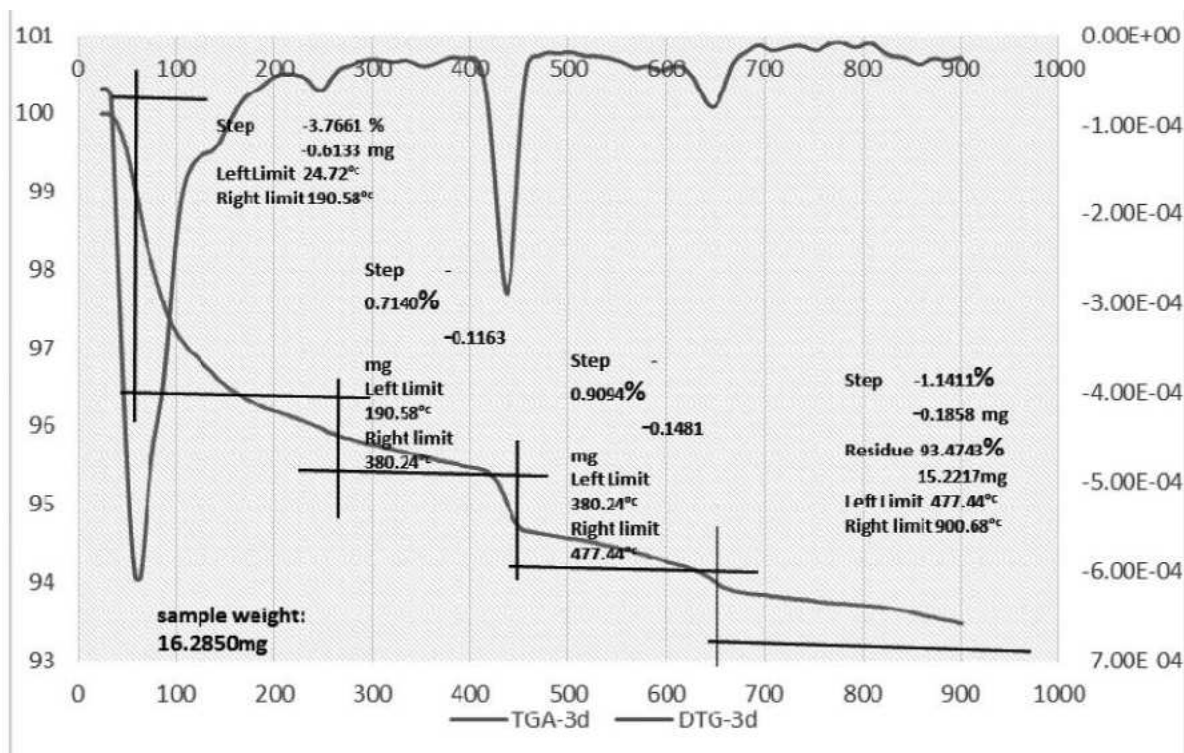
سه نمونه سیمان در سنین ۳، ۷ و ۲۸ روز به روش ترموگراویمتری مورد آزمون قرار گرفت. هر سه نمونه به میزان یکسان حاوی سنگ آهک بودند. شکل های ۲، ۳ و ۴ مقاومت فشاری ۳، ۷ و ۲۸ روزه را نشان می دهد.

در نمودار فوق (نمونه سه روزه) یک پیک در محدوده $200-350^\circ\text{C}$ وجود دارد که با بررسی جداول مرجع این محدوده می تواند مربوط به بروسیت Mg(OH)_2 یا سینجنت $\text{K}_2\text{Ca(SO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ می باشد. این احتمال می رود که سنگ آهک مورد استفاده در این سیمان دارای مقادیری از دولومیت

در سیستم های سیمانی هیدراته روش های مختلف آماده سازی نمونه بر کربناته شدن Ca(OH)_2 تأثیر می گذارد، زیرا جلوگیری از آلودگی نمونه توسط دی اکسید کربن آزاد اتمسفر (CO_2) دشوار است. علاوه بر این، تفسیر نادرست منحنی های TGA می تواند منجر به خطای قابل توجهی در تعیین محتوای Ca(OH)_2 شود. [۷]

به طور گسترده پذیرفته شده است که تجزیه Ca(OH)_2 تقریباً بین 350°C و 550°C درجه سانتیگراد رخ می دهد. با این حال، هیچ روش پذیرفته شده جهانی برای تفسیر منحنی TGA برای اهداف تعیین محتوای Ca(OH)_2 وجود ندارد، حتی اگر انتخاب دمای نقطه شروع و دمای نقطه پایان برای تجزیه Ca(OH)_2 بحرانی باشد. بنابراین، رویکردی که شامل اندازه گیری تغییرات وزن در دمای ثابت می شود، می تواند به ویژه نادرست باشد، زیرا محدوده دمایی تجزیه Ca(OH)_2 به عوامل مختلفی بستگی دارد، مانند نرمی و کمیت نمونه، کریستالی بودن ماده، و فشار در دستگاه. به همین دلیل، روش دمای ثابت برای تعیین محتوای Ca(OH)_2 توصیه نمی شود.

روش سنتی دیگری که برای تعیین نقطه شروع و پایان تجزیه Ca(OH)_2 استفاده می شود، استفاده از منحنی مشتق دوم است که به طور خودکار توسط دستگاه محاسبه می شود. در یک موقعیت معمولی، منحنی مشتق دوم یک قله مثبت اصلی



شکل ۲- مقاومت فشاری ملات سیمان ۳ روزه با دستگاه T_g

جدول مرجع و معادله داده شده در استاندارد ASTM C1872 مطابق معادله ۸ می توان محاسبه نمود:

$$P = M\Delta m / C_m \cdot 100 \times \quad (۸)$$

$$P = (328.40 \times 0.1163 / 18 \times 16.2850) \times 100 = 13.03\%$$

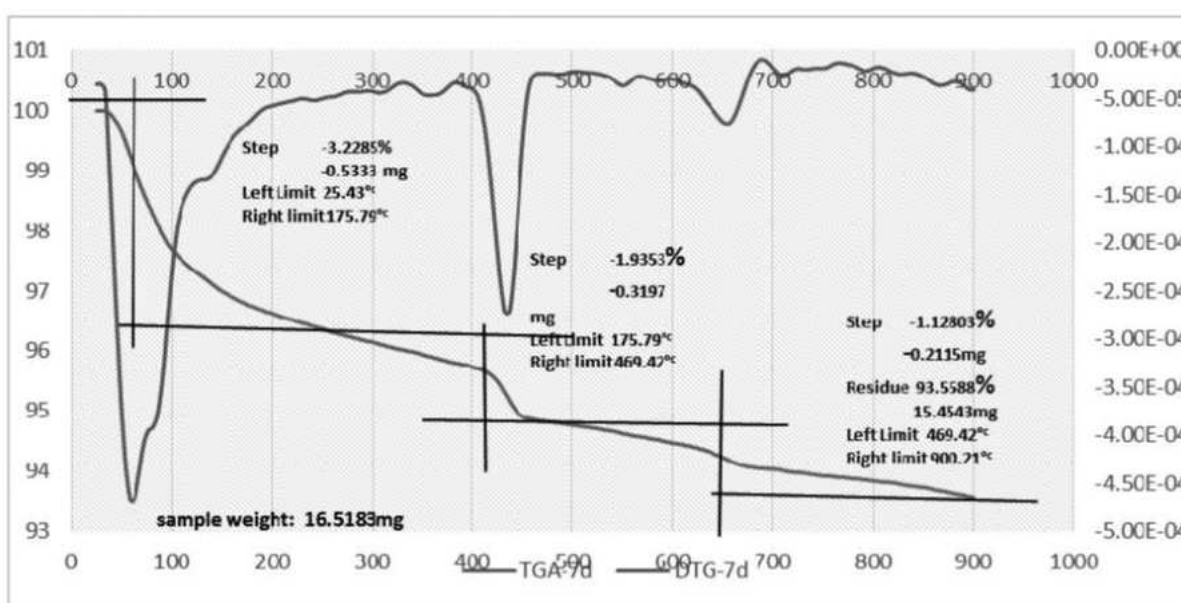
$$M_{\text{syngenite}} = 328.40 \text{ g/mol}$$

فاصله عمودی دو خط مماس در نمودار که بیانگر اتلاف جرم در آن بازه دمایی است.

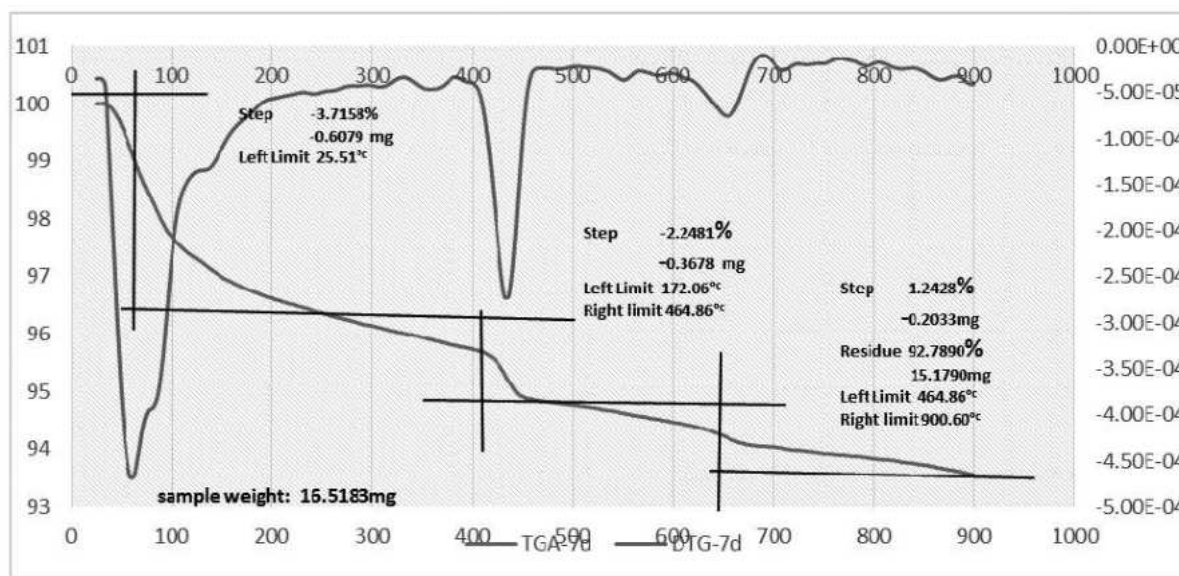
$$\Delta m = 0.1163 \text{ mg}$$

$$m^\circ = 16.2850 \text{ mg}$$

می باشد. در نتیجه یک واکنش قلیایی-کربنات بین Mg^{2+} و پورتلندیت، مقادیر متفاوتی از بروسیت تشکیل می شود که در صورت وجود در مقادیر زیاد، اثر انبساطی مضر روی خمیر سیمان از قبل سخت شده دارد. ولی چون این پیک در سایر نمونه ها وجود نداشت و همچنین در نظر گرفتن شرایط تشکیل و تجزیه بروسیت و سینجنیت احتمال می رود که مربوط به سینجنیت باشد [۸]. در سیمان های با پتاسیم بالا، مقداری پتاسیم در سنن اولیه به صورت سینجنیت $K_2Ca(SO_4)_2 \cdot H_2O$ رسوب می کند که بعداً با مصرف یون های سولفات در واکنش با فازهای آلومینات، دوباره حل می شود. مقدار سینجنیت را با استفاده از



شکل ۳- مقاومت فشاری ملات سیمان ۷ روزه با دستگاه Tg



شکل ۴- مقاومت فشاری ملات سیمان ۲۸ روزه با دستگاه Tg

۶- نتایج ترموگراویمتری بتن و سنگدانه

جهت شناسایی طیف و رفتار دو نوع بتن با رده مقاومتی C25 و C40 و همچنین دینوع سنگدانه که از نظر فیزیکی نسبتاً با هم یکسان بودند، ولی در کسب مقاومت فشاری بسیار با یکدیگر متفاوت هستند، از دستگاه وزن سنج حرارتی (TGA) استفاده گردید. تفاوت این دو رده مقاومتی در نسبت آب به سیمان‌های ۰٫۵۱ و ۰٫۳۹ بوده است. برای مقایسه‌های بهتر و دقیق‌تر دو نوع آزمون ملات نیز پس از کسب مقاومت فشاری عملیات فاین شدن روی آن انجام و سپس برای آزمون TG ارسال گردیدند. اطلاعات آزمون‌هایی که روی آنها آزمون TG انجام شد مطابق جدول ۳ می‌باشد.

با استفاده از نمودارها برای هر کدام از سه نمونه فوق مقادیر آب غیرقابل تبخیر ترکیبی (W_b) که مطابق معادله ۷ برابر است با مجموع کاهش وزن مربوط به سه فرآیند دهیدراتاسیون، دهیدروکسیلاسیون و دکربناسیون و با محاسبه W_b مقدار درجه دهیدراتاسیون (α) محاسبه گردید. مقدار CH با استفاده از مقادیر کاهش وزن طی فرآیند دهیدروکسیلاسیون و با استفاده از روابط ۱ و ۵ نیز برای هر کدام از نمونه‌ها بصورت مجزا تعیین گردید. [۹]

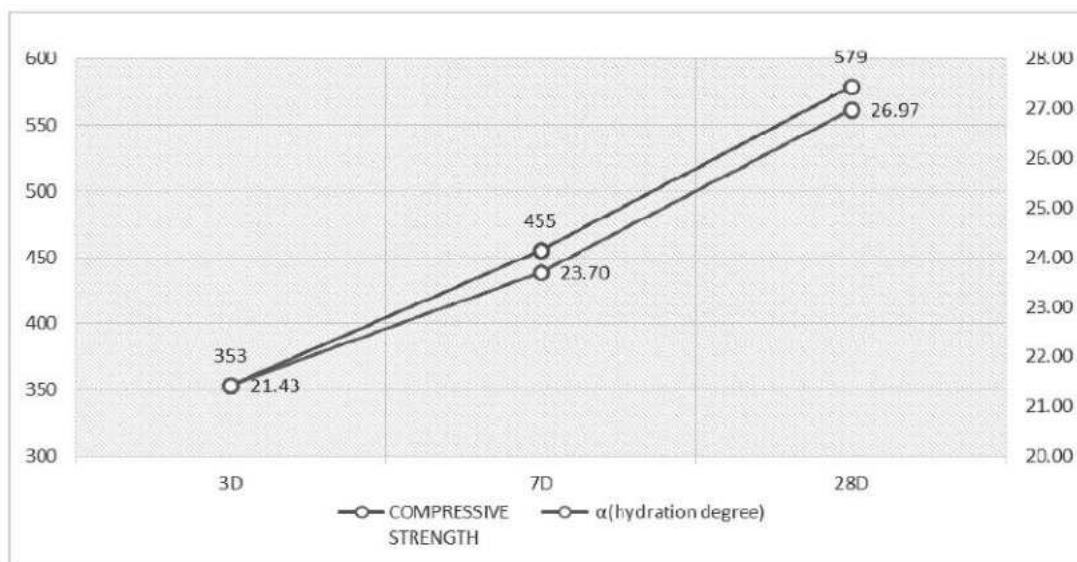
جدول ۲ نتایج ترموگراویمتری ملات سیمان در سنین مختلف را نشان می‌دهد.

همان‌گونه که انتظار می‌رفت مقادیر مربوط به درجه دهیدراتاسیون و CH همانند مقاومت فشاری، با افزایش سن نمونه افزایش داشته است. نمودارهای شکل ۵، ۶ و ۷ مقاومت فشاری و درجه دهیدراتاسیون را نشان می‌دهند.

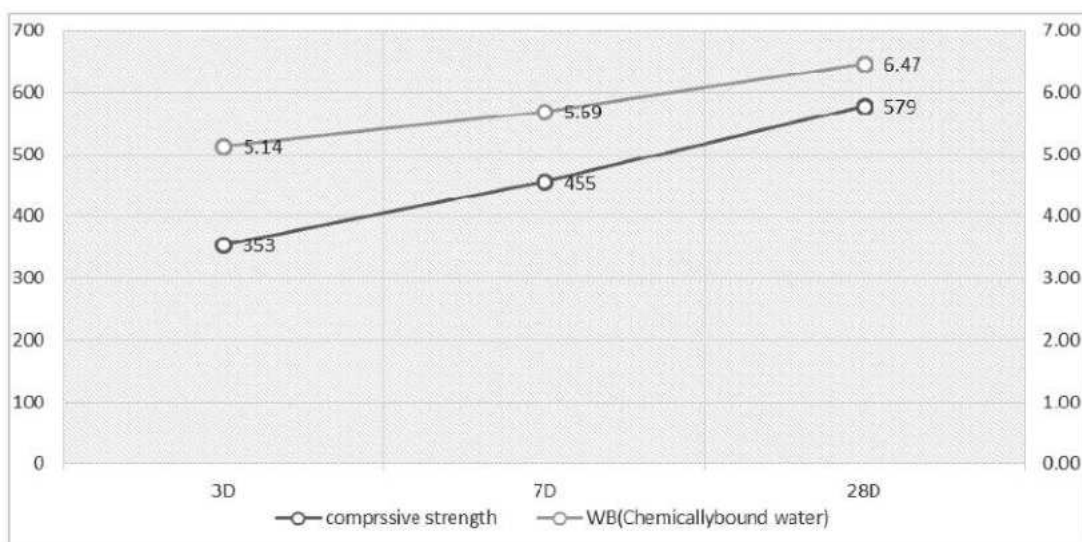
جدول ۲- نتایج ترموگراویمتری ملات سیمان

Title	3D	7D	28D
Ldh(dehydration)	3.7661	3.2285	3.7158
Ldx(dehydroxilation)	0.91	1.94	2.25
Ldc(decarbonation)	1.1411	1.2803	1.2428
WB(Chemicallybound water)	5.14	5.69	6.47
α (hydration degree)	21.43	23.70	26.97
CH[%(CaOH) ₂]	5.65	10.10	11.33
COMPRESSIVE STRENGTH	353	455	579
sample weight	16.2850	16.5183	16.3586
m_{CaCO_3}	0.4223	0.4807	0.4620
$m_{\text{Ca(OH)}_2}$	0.6097	1.3161	1.5141
$\Delta m_{500^\circ\text{C}-900^\circ\text{C}}$	0.1858	0.2115	0.2033
$\Delta m_{400^\circ\text{C}-500^\circ\text{C}}$	0.1481	0.3197	0.3678

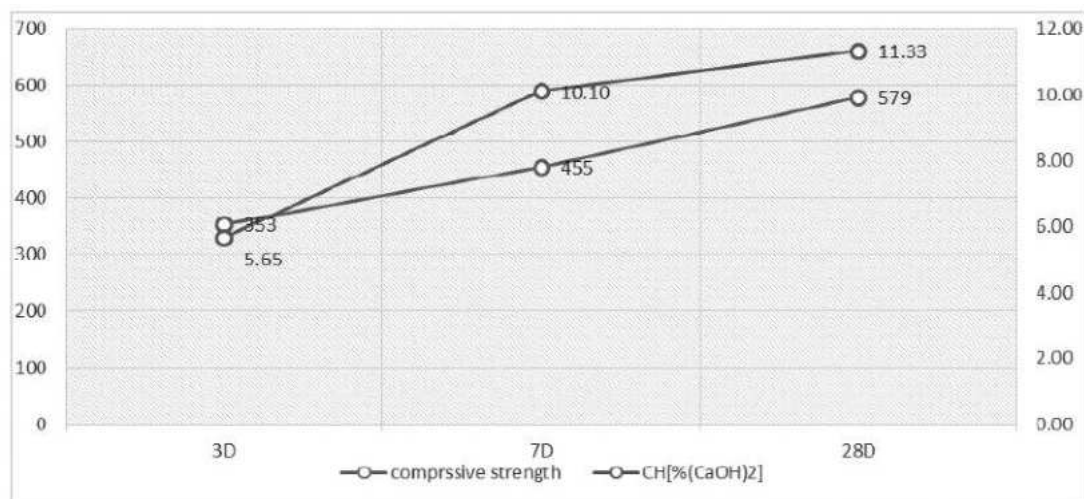
$m_{\text{CaCO}_3} = \Delta m_{500^\circ\text{C}-900^\circ\text{C}} \times M_{\text{CaCO}_3} / M_{\text{CO}_2}$		
$m_{\text{Ca(OH)}_2} = \Delta m_{400^\circ\text{C}-500^\circ\text{C}} \times M_{\text{Ca(OH)}_2} / M_{\text{H}_2\text{O}}$		
$(w_b)_T [\text{Chemically bound water}] = (Ldh + Ldx) + 0.41(Ldc)$		
$CH = 4.11(Ldx) + 1.68(Ldc)$		
$\alpha_{TG} = (w_b)_T / (w_b)_{T-\infty}$		
$(w_b)_{T-\infty} = 0.24$		
$\text{H}_2\text{O}/\text{CO}_2$	18/44	0.41
$\text{Ca(OH)}_2/\text{H}_2\text{O}$	74/18	4.11
$\text{Ca(OH)}_2/\text{CO}_2$	74/44	1.68



شکل ۵- مقاومت فشاری ۳ روزه ملات سیمان و درجه هیدراتاسیون



شکل ۶- مقاومت فشاری ۷ روزه ملات سیمان و درجه هیدراتاسیون



شکل ۷- مقاومت فشاری ۲۸ روزه ملات سیمان و درجه هیدراتاسیون

جدول ۳- اطلاعات کلی نمونه‌ها

کد نمونه	نوع محصول و فرآورده	مقاومت فشاری ۳ روزه (Kg/Cm ²)	مقاومت فشاری ۷ روزه (Kg/Cm ²)	مقاومت فشاری ۲۸ روزه (Kg/Cm ²)	W/C _m	عیار سیمان (kg)	نوع سیمان
C25	بتن	۲۹۳	۳۶۱	۴۴۰	۰,۵۱	۴۲۵	نیزار II
C40	بتن	۴۰۰	۴۵۶	۵۲۲	۰,۳۹	۴۲۵	نیزار II
Sand H	بتن	۲۹۰	۳۵۷	۴۴۷	۰,۵۱	۴۲۵	نیزار II
Sand SH	بتن	۱۹۵	۲۷۹	۳۴۳	۰,۶۱	۴۲۵	نیزار II

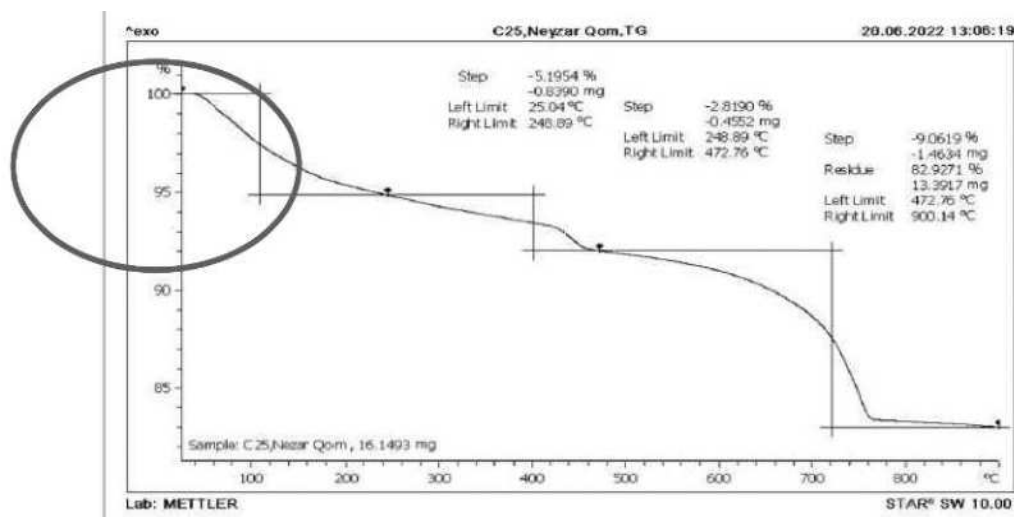
۷- آماده‌سازی نمونه‌ها

آزمونه‌ها پس از خردایش اولیه در دستگاه آسیاب دیسکی به ذرات میکرونیزه تبدیل شدند. سپس از الک ۴۵ میکرون عبور داده شد و جرم عبوری از الک ۴۵ میکرون را برای آزمون TG به آزمایشگاه همکار ارسال گردید.

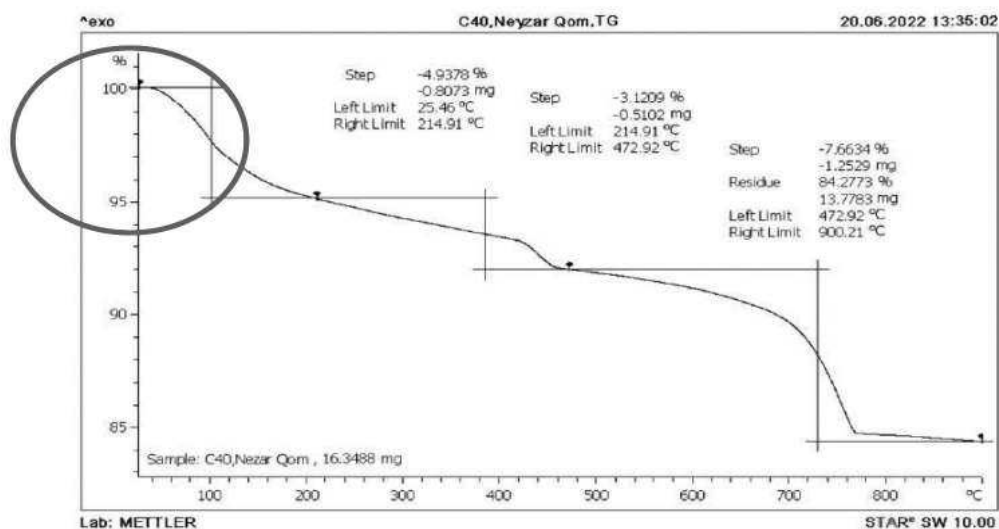
۸- آزمون وزن سنجی آزمونه‌ها

۸-۱- آزمون TG

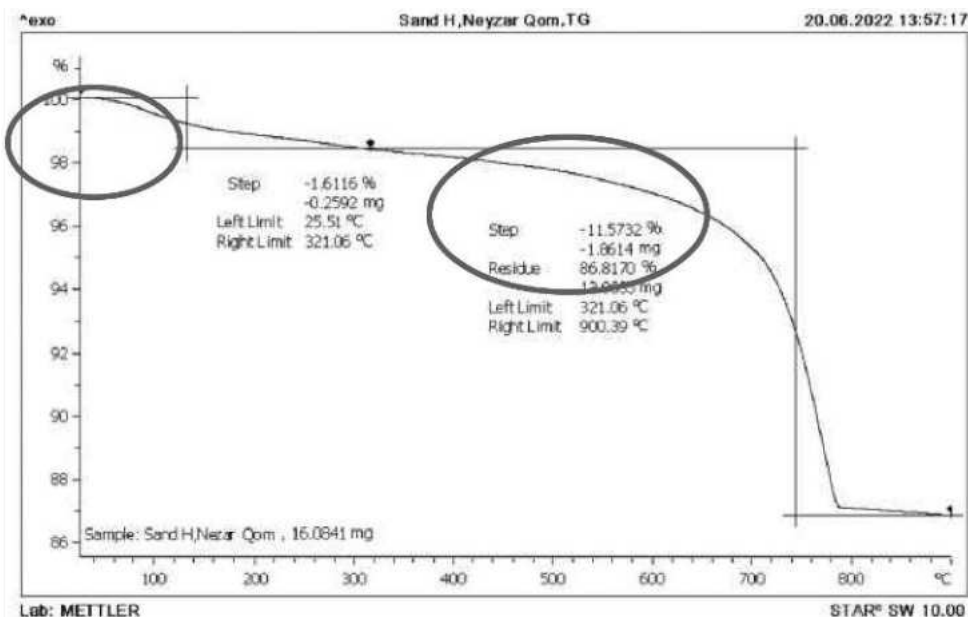
روش تجزیه گرما وزن‌سنجی، جرم یک نمونه در یک جو کنترل شده، به طور پیوسته به صورت تابعی از دما یا زمان ثبت می‌گردد، در حالی که دمای نمونه افزایش داده



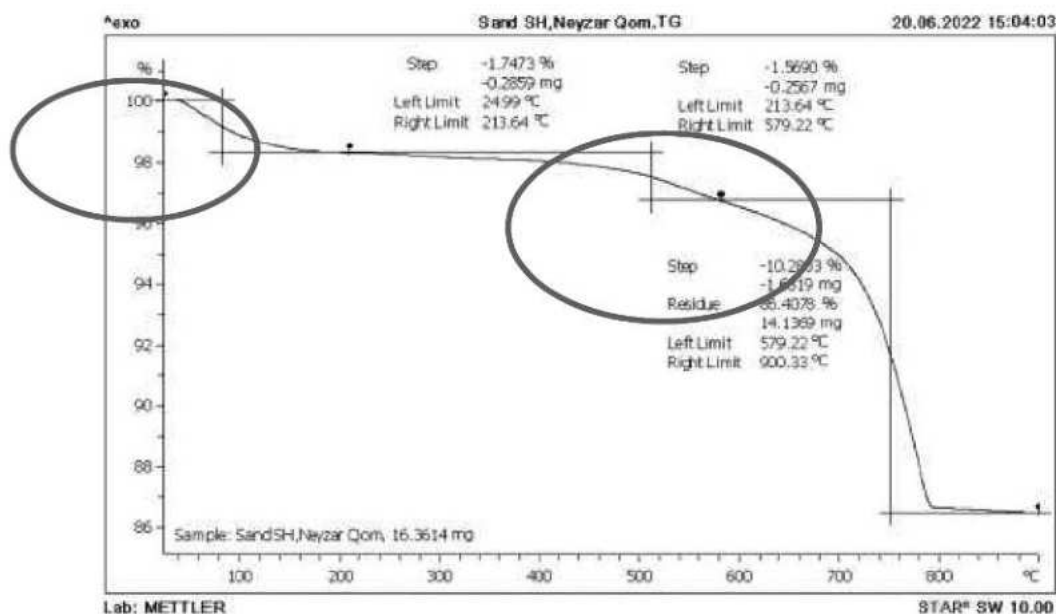
شکل ۸- تجزیه گرما وزن‌سنجی بتن با رده مقاومتی C۲۵



شکل ۹- تجزیه گرما وزن‌سنجی بتن با رده مقاومتی C۴۰



شکل ۱۰- تجزیه گرما وزن سنجی ماسه کد Sand H

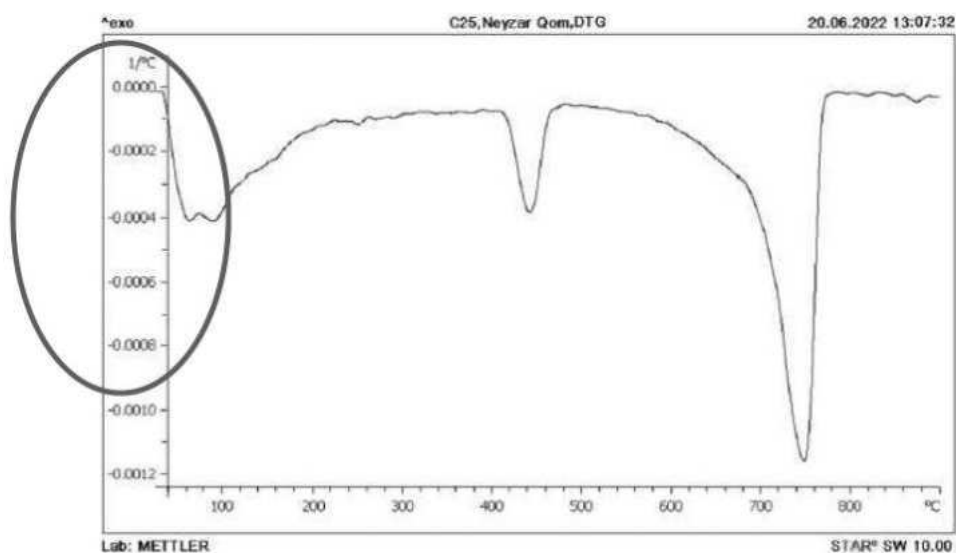


شکل ۱۱- تجزیه گرما وزن سنجی ماسه کد Sand SH

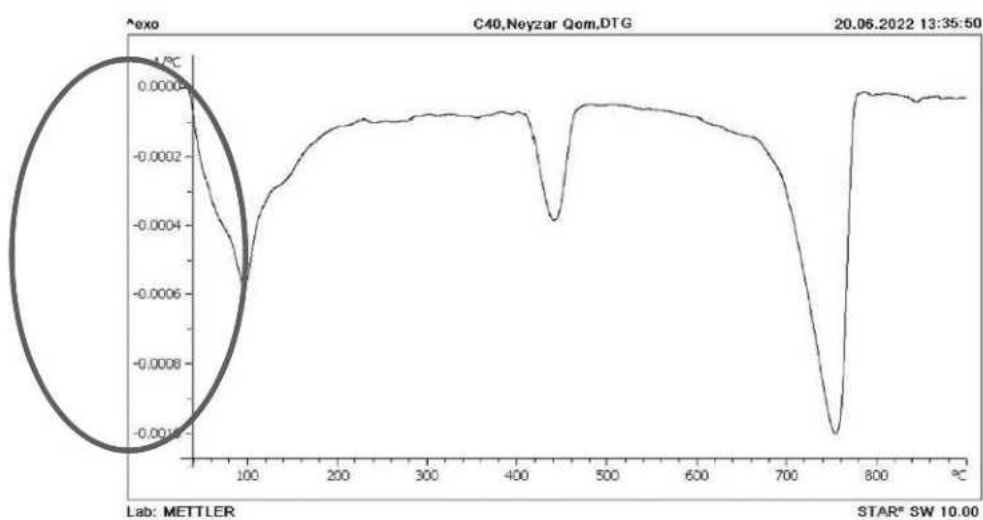
می‌شود. نمودار جرم یا درصد جرم بتن با رده مقاومتی C25 و C40 به صورت تابعی از زمان مطابق نمودار شکل ۸ تا ۱۱ می‌باشد. [۱۱]

۸-۲- تجزیه گرمایی تفاضلی آزمونه‌ها

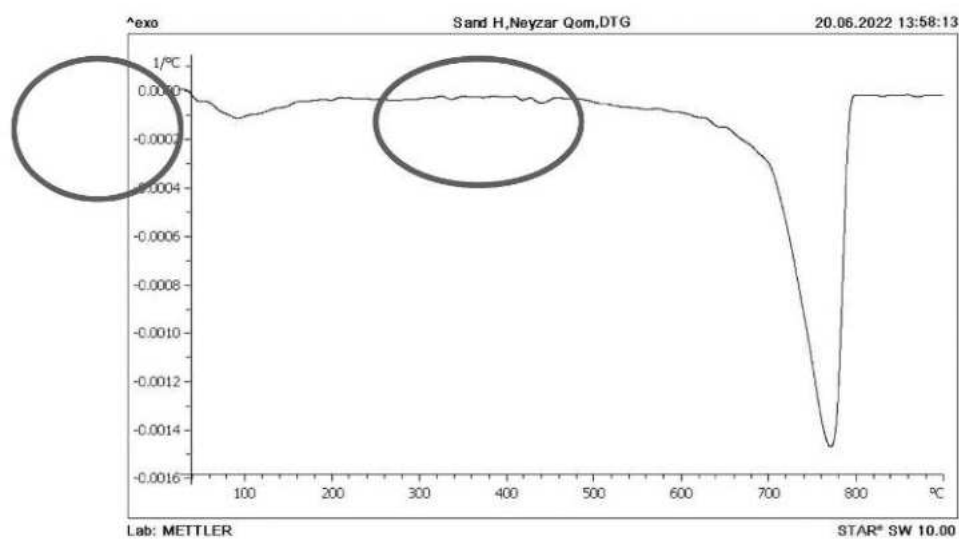
تجزیه گرمایی تفاضلی فنی است که در آن اختلاف دمای



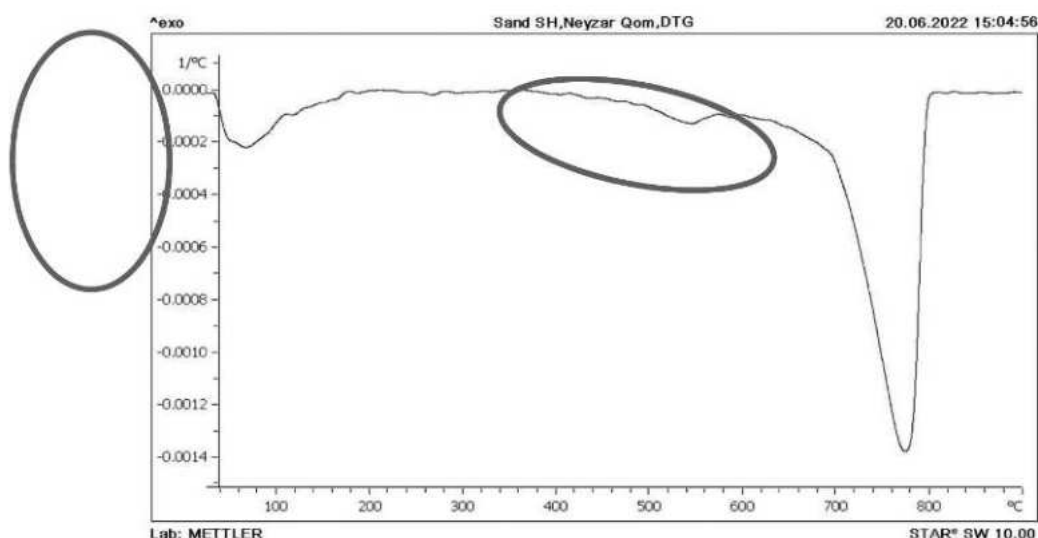
شکل ۱۲- تجزیه گرمای تفاضلی بتن با رده مقاومتی C۲۵



شکل ۱۳- تجزیه گرمای تفاضلی بتن با رده مقاومتی C۴۰



شکل ۱۴- تجزیه گرمای تفاضلی ماسه Sand H



شکل ۱۵- تجزیه گرمای تفاضلی ماسه Sand SH

گرمانگاشت تفاضلی به دست آید. [۱۱۰]

بتن با رده مقاومتی C40 بیشتر است.

۳- نمودارهای شکل ۱۲ و ۱۳ تجزیه گرمایی تفاضلی را نشان می‌دهند. با نگاه اولیه درمی‌یابیم که هر دوی این نمونه‌ها گرماگیر بوده‌اند و سطح زیر پیک آنها منفی است. در این دو نمودار به درستی مشخص می‌شود که بتن با رده مقاومتی C40 آب بیشتری را در این ناحیه از دست داده که می‌توان آن را حذف آب محصولات هیدراتاسیون که احتمالاً شامل فازهای سیمانی یا همان ژل توبرموریت (C-H-S) است، دانست.

۴- در نمودارهای شکل ۱۲ و ۱۳ که با دایره بیضی شکل نشان داده شده، مشخص گردیده است که بتن با رده مقاومتی C40 که آب بسیار کمتری (دارای ۱۶۶ لیتر آب در متر مکعب) نسبت به بتن با رده مقاومتی C₂₅ دارد، محصولات هیدراتاسیون بیشتری را دارد که نشان از چگالی بالای محصولات هیدراتاسیون و ترکیبات بیشتر C-S-H در بتن دارد. همچنین نشان دهنده این است که با اضافه کردن افزودنی پلی کربوکسیلات عملیات دیسپرس و پخش‌شدگی درات سیمان بهبود داده شده و تمامی ذرات سیمان با آب وارد هیدراتاسیون شده‌اند. این در حالی است که بتن با رده مقاومتی C₂₅ با اینکه نسبت آب به سیمان بالاتری دارد (دارای ۲۱۷ لیتر آب در متر مکعب)، ولی پیک تجزیه گرمای تفاضلی شدت آن بسیار کمتر از بتن با رده مقاومتی C40 بوده است.

۹- نتیجه‌گیری

۱- مقاومت فشاری سیمان رابطه مستقیمی با درجه هیدراتاسیون دارد. همان‌طور که در نمودار بدست آمده از نتایج تست TGA نشان داده شده است، هرچه محصولات هیدراتاسیون بیشتر باشد، استحکام خمیر سیمان قوی‌تر است. استحکام ذاتی ذرات متراکم و کریستالی و خواص پیوند مواد به خوبی متبلور شده مقاومت بالایی را ایجاد می‌کند. بنابراین می‌توان استنباط کرد که مقاومت فشاری در درجه اول به مقدار هیدرات‌ها بستگی دارد. از این رو، مقدار هیدرات‌ها نقش بسیار مهمی در رشد مقاومت خمیر سیمان سخت شده دارد. مقدار نسبی هیدرات‌ها به عنوان درجه هیدراتاسیون بیان می‌شود. دما و زمان عمل‌آوری اصول اساسی است که به سخت شدن و رشد مقاومت خمیر سیمان و بتن کمک می‌کند. از نتایج تست TGA و نمودارها همین امر استنباط می‌گردد.

۲- نمودار شکل ۸ و ۹ که توسط دایره بیضی شکل نشان داده شده است، نشان دهنده این است که تا محدوده دمایی ۲۰۰ درجه سانتیگراد نمونه آب قابل توجهی را از دست داده است. هرچند در نمودار شکل ۸ و ۹ به روشنی مشخص نیست، ولی با اندکی توجه درمی‌یابیم که شیب از دست رفتن آب در

4- Hydration development of mineral additives blended cement using thermogravimetric analysis (TGA): Methodology of calculating the degree of hydration- Walid Deboucha- Nordine Leklou- Abdelhafid Khelidj- Mohamed N Oudjit

5- Mineralogical evolution of cement pastes at early ages based on thermogravimetric analysis (TG), Ximena Gaviria - Maria Victoria Borrachero - Jordi Paya - Jose' Mari'a Monzo - Jorge Iva'n Tobo

6- Cement degree of hydration in mortar and concrete , S. E. Chidiac1 - M. Shafikhani

7- Strength Development and Thermogravimetric Investigation of High-Volume Fly Ash Binders , Zhiyuan Zhou 1, Massoud Sofi 1,* , Elisa Lumantarna 1, Rackel San Nicolas 1, Gideon Hadi Kusuma 2 and Priyan Mendis 1

8- A practical guide to microstructural analysis of cementitious materials by Lothenbach, Barbara Scrivener, Karen Snellings, Ruben (z-lib.org)

9- HYDRATION OF SLAG CEMENT - Theory, Modeling and Application - Wei Chen born on 3 August 1976 in Wuhan, China

10- Effects of Sample Preparation and Interpretation of Thermogravimetric Curves on Calcium Hydroxide in Hydrated Pastes and Mortars Taehwan Kim and Jan Olek

11- Berger, R. L., and J. D. McGregor. Influence of Admixtures on the Morphology of Calcium Hydroxide Formed During Tricalcium Silicate Hydration. Cement and Concrete Research, Vol. 2, 1972, pp. 43-55.

۱۲- اصول تجزیه دستگاهی، جلد دوم، داگلاس ای، اسکوک، جیمز هالر، ترجمه عبدالرضا سلاجقه، مرکز نشر دانشگاهی، ویراست پنجم، بند ۳۱، روش‌های گرمایی

۵- نمودار شکل ۴ و ۵ مقایسه ماسه Sand و Sand H می‌باشد. در نمودار شکل ۹ و ۱۰ مشخص شده است که در محدوده ۴۰۰-۵۰۰ درجه سانتیگراد جرم ماسه با کد Sand SH در قیاس با کد Sand H کاهش داشته است. این کاهش با توجه به مطالعه در رفرنس‌ها می‌تواند هیدروکسیل‌زدایی را در پی داشته باشد. این عامل را می‌توان به مواد پلیمری که شاخه‌های هیدروکسیل دارند، برای ته‌نشینی و جداسازی آب از لای ماسه‌شویی توسط فورکولانت‌ها نسبت داد که ممکن است با دوز مصرف بالایی در شستشو ماسه استفاده شده است. این عامل در نمودارهای شکل ۱۴ و ۱۵ نیز با شدت پیک کمی نشان داده شده است.

۶- همچنین در محدوده دمایی زیر ۱۵۰ درجه سانتیگراد شدت از دست دادن آب در ماسه‌هایی کمتر از ماسه کد Sand H است که نشان از آب موبینگ دارد که تا رسیدن به حالت اشباع این آب را دریافت می‌کند. در آزمون‌های انجام شده برای تعیین جذب آب ماسه کد Sand H ۱,۶ و ماسه کد Sand SH ۲,۵ درصد به دست آمد که احتمالاً به این موضوع مرتبط است.

منابع:

1- Standard Test Method for Thermogravimetric Analysis of Hydraulic, Astm C-1872

2- HYDRATION VERSUS STRENGTH IN A PORTLAND CEMENT DEVELOPED FROM DOMESTIC MINERAL WASTES - A COMPARATIVE STUDY

3- JAVED I. BHATTY, Mineral Resources Research Center, 56 East River Road, University of Minnesota, Minneapolis, MN 55455 (U.S.A) (Received 21 February 1986)



کانون سراسری انجمن های صنفی کارفرمایی
تولید کنندگان بتن آماده و قطعات بتنی

نوا شیمی

NOAH

CHEMISTRY

فروش و عرضه مواد شیمیایی ساختمان

- انواع فوق روان کننده ها بر پایه پلی کربوکسیلات اثر
- زود گیر کننده و دیر گیر کننده بتن
- چسب بتن
- ژل میکروسیلیس

نوا شیمی

Noah chemistry

Sale and supply of building chemicals

- Types of superplasticizers based on polycarboxylate ether
- Accelerating and retarder Admixtures
- Concrete adhesive
- Microsilica slurry

شیراز - معالی آباد - مجتمع تجاری ثنا - طبقه ۳

کارشناس فروش : ۰۹۰۰۱۳۰۶۸۸۵

کارشناس فروش : ۰۹۰۰۱۴۰۶۸۸۵

کارشناس فنی : ۰۹۰۰۱۵۰۶۸۸۵



مهراد بتن

**مجموعه مهراد بتن با بهترین مصالح مصرفی
با بهترین کیفیت و خدمات سرویس دهی و آزمایشگاه پیشرفته
دارای گواهینامه استاندارد ملی**



آدرس: تهران، اتوبان بابایی، جاده لشگرک،

بعد از رستوران طلاییه تلفن: ۰۲-۷۷۱۱۶۱۶۱

۰۹۱۲۸۸۸۸۷۲۴

۰۹۱۲۸۸۸۸۷۲۶

واحد فروش:



omran afzar arya truck
شماره ثبت : ۴۰۷۶



شرکت عمران افزار

آریا تراي

توليد کننده ماشين آلات عمرانی

توليد کننده انواع کاربري

و تجهيزات پشت کاميوني

- تراک میکسر
- تریلی میکسر
- اتاق کمپرسی
- تانکر حمل سوخت و آب
- پمپ انتقال بتن



کارخانه : تهران ، رباط کریم ، نصیرشهر ، بلوار ولایت ، کوچه اول ، پ ۲ - کد پستی : ۳۱۱۳۴۱۴۴۳۸



aryatruckmixer.com

۰۲۱ ۵۶ ۴۵ ۲۶ ۵۸ ۰۲۱ ۵۶ ۸۶ ۹۷ ۴۷



نمایشگاه : تهران ، بهارستان ، سه راه آدران ، روبروی شهرک صنعتی قلعه میر ، پ ۴۸۸ - کد پستی : ۳۱۱۳۶۸۰۰۱۷



www.aryatruckmixer.com

۰۲۱ ۵۶ ۸۶ ۶۸ ۸۰-۱



امید محمدی پور (رئیس هیئت مدیره و مدیر تولید)

۰۹۱۲ ۲۷۶ ۰ ۵۷۶

عباس محمدی پور (مدیر فنی و خدمات پس از فروش)

۰۹۱۲ ۶ ۸۸۸۸ ۵۶

محمد محمدی پور (مدیرعامل و مالی)

۰۹۱۲ ۳۷۰ ۴۴ ۲۹

بتن قلب ساختمان است!



مجموعه بتن پارس زاگرس

www.betonparszagros.com





✓ IMS
✓ ISO 9001:2015
✓ ISO 45001:2018
✓ ISO 14001:2015
✓ (QC) - (Q.A)



خورشید بتن

- ✓ استخراج سنگ لاشه از نوع آذرین با چگالی بالا و جذب آب پایین از معادن اختصاصی شرکت به منظور تولید شن و ماسه
- ✓ تولید شن و ماسه با دانه بندی های خاص و اصلاح شده به منظور تولید بتن مقاوم و با دوام
- ✓ تولید و توزیع بتن آماده در انواع رده های مقاومتی
- ✓ تولید بتن مطابق با جدیدترین متدهای طرح مخلوط بتن و منطبق بر تکنولوژی های روز دنیا
- ✓ امکان تولید بتن های خاص (بتن خود تراکم، بتن توانمند، بتن مقاومت بالا، بتن پلیمری، بتن الیافی)
- ✓ بهره گیری از بچینگ پلانت تمام اتوماتیک از نوع Twin-shaft
- ✓ مجهز به دو ایستگاه تولید بتن
- ✓ مجهز به دو پمپ انتقال بتن ۴۵ و ۵۶ متری هفت دکل
- ✓ مجهز به ناوگان کامل حمل بتن
- ✓ دارنده گواهینامه استانداردهای ملی ۳۰۲ در تولید شن و ماسه و ۶۰۴۴ در تولید بتن آماده
- ✓ دارنده گواهینامه های بین المللی IMS , ISO , QC , Q.A از انجمن بازرسی فنی مشاغل آلمان
- ✓ مجهز به آزمایشگاه اختصاصی کنترل کیفیت بتن مطابق با استانداردهای ملی و بین المللی
- ✓ دارای واحد تحقیق و توسعه (R&D) زیر نظر مشاورین ارشد تکنولوژی بتن به منظور به روز رسانی علوم و فنون مربوط به بتن و پیشرفت دائم در عرصه تولید بتن آماده و قطعات بتنی
- ✓ دارای بازرسین بتن مستقر در کارخانه و محل های تخلیه بتن به منظور پایش دائمی بتن جهت دستیابی به بهترین کیفیت
- ✓ عضو حقوقی انجمن بتن ایران



سال تجربه و اعتبار

پنجاهمین
سالگرد تأسیس



🌐 Khorshidbeton.ir ✉ Khorshidco@yahoo.com 📷 Khorshid.beton

☎ ۰۹۱۴ ۳۵۵ ۰۵۰۲ ☎ ۰۹۱۴ ۰۰۱ ۰۵۰۲ ☎ ۰۹۱۴ ۱۵۲ ۵۴۹۳

☎ ۰۴۵- ۳۳ ۸۷ ۰۳۹۶-۹

☎ ۰۴۵- ۳۳ ۳۳ ۰۱۲۴-۵

آدرس دفتر مرکزی: اردبیل، خ سی متری، مجتمع خدماتی مهدیه، طبقه دوم، واحد ۳۸
آدرس کارخانه: اردبیل، کیلومتر ۷ جاده آستارا، روبروی فرودگاه



شرکت تهیه ماشین آلات معدنی سدید (تمام سدید)

تولید کننده انواع ماشین آلات راه سازی و معدنی



TS936

TS958 تولید لودر در مدل های

ZL50



TS220

TS360 تولید بیل مکانیکی در مدل های

TS480

شرکت بهنام صنعت پایا

تولید کننده انواع دستگاه بچینگ پلانت در مدل ها و ظرفیت های مختلف

از ۳۸ متر مکعب تا ۳۷۰ متر مکعب در ساعت با میکسرهای تک شفت و توین شفت افقی

تولید کننده دستگاه های یخ ساز پولکی

امروز شرکت بهنام صنعت بانیم قرن تجربه، تولید کننده بزرگترین، به روزترین و با کیفیت ترین

بچینگ پلانت ها و یخ سازهای پولکی در ایران می باشد

استاندارد بسیار

مرادی

تولیدکننده شن، ماسه و بتن آماده استاندارد



دفتر مرکزی:

شیراز، چهارراه زرگری، ساختمان بارانا، طبقه ۸، پلاک ۸۶

تلفن: ۳۳۶۰۱۰۳۴ - ۳۳۶۰۱۰۳۶

همراه: ۰۹۳۹۷۶۴۵۳۸۷ - ۰۹۰۲۱۲۵۱۲۸۷ - ۰۹۱۷۱۱۹۴۱۰

کارخانه:

شیراز، شهرک گلستان، انتهای بلوار کمربندی دهخدا، بعد از

نمایشگاه بین‌المللی. تلفن: ۳۶۱۲۳۸۶۹-۷۰

 moradibeton
 moradibeton
info@moradi-co.com
www.moradi-co.com



شماره پروانه استاندارد
۷۵۳۹۱۴۷۹۲۸



مبین بتن

www.mobinbeton.com

۰۹۱۷ ۱۱۷ ۶۸۸۵ - ۰۹۳۵ ۷۰۶ ۲۰۰۶

۰۹۱۷ ۱۱۷ ۵۴۵۳ - ۰۹۳۶ ۱۰۴ ۲۰۰۶

۰۹۱۷ ۱۱۷ ۶۲۶۴ - ۰۹۰۲ ۲۹۴ ۲۰۰۶

 mobinbeton_co

داشتن شهری ایمن



کارخانجات تک تاز صنعت موسوی

Tak Taz Sanat Mousavi Factories

بزرگترین تولیدکننده بتن آماده، خریا، تیرچه و فوم در استان اردبیل



اردبیل، میدان ایثار، ورودی شهرک صنعتی، نرسیده به پارکینگ ایثار، خیابان شقایق ۴

بندرانزلی، خیابان میرزا کوچک خان (شنبه بازار)، تقاطع واحدی، جنب سوپرشمشیرکار

تلفن: ۰۴۵-۳۳۶۴۳۹۱۹ • بتن آماده: ۰۹۱۴۴۵۲۰۰۹۸ • تیرچه و فوم: ۰۹۱۴۷۰۸۴۹۴۷