

# بِسْمِ اللّٰهِ الرَّحْمٰنِ الرَّحِیْمِ

گزارش کارآموزی در مجمع صنعتی سیمان تهران

استاد کارآموزی : جناب آقای دکتر علی اکبر عبدالله زاده

مربی کارآموزی : جناب آقای مهندس حسین چهرگانی

کارآموز : نیره خوش گفتار ۸۴۳۲۵۱۰۰۱۱

دانشگاه کاشان / دانشکده مهندسی معدن



# مجمع صنعتی سیمان تهران

## مقدمه

ایرانیان از پیشینه کهنی در شناخت و تهیه مصالح ساختمانی برخوردارند. بناهای به یادگار مانده از پیشینیان ما در نقاط مختلف کشور از دوران های گذشته، ابعاد این امر را مشخص می سازد، آهک و ساروج از جمله مواردی است که در ایران قدیم به وفور به کار گرفته شده است.

سیمان از جمله مصالح ساختمانی دنیای مدرن است که عمری حدود ۲۵۰ سال دارد و اولین بنای ساخته شده با آن پارلمان انگلیس می باشد که در سال ۱۸۵۲ ساخته شده است. سال های ۱۸۴۰ تا اواخر قرن هجدهم روال تهیه مصالح ساختمانی از نوع بتن، که در آن ها ماده چسبنده سیمانی وجود داشته باشد، چندان تغییر اصولی نکرده بود. از اواخر قرن هجدهم یک سری مطالعات علمی برای کشف خواص سیمانی برخی مصالح صورت گرفت که در نهایت در طی زمانی حدود ۷۰ سال، منجر به ساخت آن چیزی که امروز به نام سیمان پرتلند می نامیم، شد.



نمای بیرونی از ساختمان پارلمان انگلیس، اولین بنای ساخته شده از سیمان

در واقع سیمان گردی است نرم و جاذب آب و چسباننده خرده سنگ، ملات این گرد قادر است به مرور در مجاورت هوا یا در زیر آب سخت شود و در زیر آب ضمن داشتن ثبات حجم خود را نیز حفظ نماید و در فاصله ۲۸ روز در زیر آب ماندن دارای حداقل مقاومت  $250 \text{ Kg/cm}^3$  می شود.

در روم قدیم مخلوطی از خرده سنگ و آهک پخته درست می کردند که از ترکیب این مخلوط با آب، بتن حاصل می شد و از آن برای امور ساختمانی استفاده می گردید. این نوع ساختمان ها را Opus Caementitium می نامیدند. به مرور کلمه Cemetum به مخلوط های مورد استفاده در این نوع ساختمان سازی اطلاق گردید. منظور Cemetum، نوع خاصی خرده سنگ بود که هنگامی که پودر آن ها با آهک مخلوط می شد، مخلوطه حاصله دارای خاصیت هیدرولیکی بیشتری می گردید و به مرور در مجاورت هوا و در زیر آب سخت شده و دارای مقاومت و سختی قابل توجهی می شد. این خرده سنگ ها از باقیمانده های آتشفشان یعنی خاکستر آتشفشان بودند و یا اینکه از خرد کردن خرده آجرهای تولید شده در کوره آجری که در واقع همان خاک رس پخته است، بدست می آمدند.

زمان شروع مصرف سیمان در ایران مشخص نیست، لیکن ورود سیمان به ایران توسط خارجیان صورت گرفت که از آن برای ساختن بناهایی نظیر کلیسا، سفارتخانه، و تاسیسات بندری استفاده شده است. از هنگامیکه نخستین کارخانه سیمان ایران در سال ۱۳۱۲ و در شهرستان ری تاسیس و برپا گردید، نزدیک به ۷۵ سال می گذرد، در این مدت صنعت تولید مصالح ساختمانی دچار تحول بسیار گردیده است. قدمت این صنایع در جهان بسی زیادتر است. عمر تولید مصالح ساختمانی در دنیا چندین قرن است اما تولید آن ها به روش های مدرن یک قرن پیش آغاز شده است.

طبیعی است که گسترش صنعت سیمان به ایجاد تحولات بیشتری در زمینه های جانبی مانند سیستم های خردایش، سایش، سوخت و احتراق، انتقال و ذخیره سازی مواد، اختلاط و آماده سازی، کنترل کیفیت و بسیاری دیگر از آن ها نیاز داشت. لذا به موازات این تحولات انواع مدرن تجهیزات مذکور نیز وارد بازار صنعت و رقابت گردید. اما واقعیت آن است که مینا و اساس بسیاری از تحولات و نوآوری های انجام شده در این صنایع، تجربی بوده، بطوریکه هنوز هم خبرگان این صنایع از تجربه و تحلیل بسیاری از پدیده های داخلی آن ها عاجزند.

## مجمع سیمان تهران / گزارش کارآموزی

مقایسه آمارهای تولید سیمان و نسوز نشان می دهد که سیمان بالاترین آمار تولید مصرف را داراست. جدول زیر توان تولید این مواد در ایران را نشان می دهد.

ماده	تتاژ	ماده	تتاژ
سیمان	22 Mt	آجر نسوز قلیایی (منیزیتی - دولومیتی)	۶۷۰۰۰ t
آهک	۳.۶ Mt	جرم های نسوز قلیایی	۳۸۰۰۰ t
گچ	۳.۵ Mt	جرم های نسوز غیر قلیایی	۳۵۰۰۰ t
آجرهای نسوز غیر قلیایی (شاموتی - الومینی)	۱۰۸۰۰۰ t	منیزیت	۳۰۰۰۰ t
شاموت	۱۱۰۰۰۰ t	دولومیت	۳۰۰۰۰ t

امروزه سیمان یکی از مهمترین مصالح ساختمانی محسوب می شود. کشور ایران از لحاظ جغرافیایی در منطقه ای واقع شده است که سلسله کوه های آهکی آن را احاطه نموده است، در نتیجه مواد اولیه برای تولید سیمان در داخل کشور به وفور یافت می شود. صنعت سیمان کشور با سابقه بیش از ۷۰ سال تولید یکی از صنایع زیربنایی است که رابطه و پیوندی عمیق با طیف گسترده ای از صنایع و مراکز خدماتی گوناگون برقرار نموده است. در حال حاضر ایران با ظرفیت تولید بیش از ۳۰ میلیون تن در سال، دارای بالاترین ظرفیت تولید سیمان در خاورمیانه است و از نظر رده بندی جهانی نیز بین ۱۵ کشور اول تولید کننده سیمان قرار دارد و در سال ۲۰۰۱ نیز سیزدهمین صادر کننده سیمان در جهان بود.

سیمان تهران به عنوان یکی از قدیمی ترین کارخانجات صنعت سیمان ایران، در سال ۱۳۳۳ تاسیس گردید و هم اکنون از بزرگترین بخش های تولیدی کشور محسوب می گردد.

# تاریخچه تولید سیمان

www.cementtechnology.ir

## تاریخچه سیمان

لغت "سیمان" از کلمه یونانی *caementum* مشتق شده است که به معنی تکه تکه کردن سنگ است، یعنی همانگونه که در ملات رومی بکار می‌رفته و ارتباطی با خود ماده چسبیده ندارد. انسان از دیرباز سیمان را می‌شناخته و با گذشت زمان بر نقش و اهمیت آن وقوف و آگاهی بیشتر یافته و هر روز کوشیده است بناها و ساخته‌های خود را مستحکم‌تر از گذشته احداث نماید. انسانهای اواخر عصر حجر که از طریق شکار کردن و جمع‌آوری مواد غذایی ارتزاق می‌نمودند و در پی غذا در ناحیه وسیعی در حرکت بودند، در پناهگاه‌های موقت زندگی میکردند. وقوع انقلاب کشاورزی که به حدود 10000 سال پیش از میلاد مسیح باز می‌گردد، انگیزه‌ای برای سکونت دائمی و ایجاد ساختمان و خانه برای انسان بود. انسان دیگر بدنبال شکار یا گله‌های خود از جایی به جای دیگر نمی‌رفت، بلکه برای مراقبت از مزارع خود در يك محل می‌ماند. در خاورمیانه آثار و بقایای دهکده‌های کاملی با محل سکونت مدوری بنام تولوی "Tholoi" یافت شده که دیوارهای آن از گل رس مترکم ساخته شده است. تولوی (Tholoi) گام بسیار مهمی در جستجوی دوام ساختمان به حساب می‌آید. در واقع ایجاد آنها آغاز فرآیند ساختمان‌سازی است. شناخت انسان از خواص خاک رس و سنگ آهک نقطه عطف مهمی است در تاریخچه "سیمان" و تاریخ "ساختمان و خانه‌سازی" از این رو ساختن ملات‌هایی که دارای خاصیت سخت شدن و فشارپذیری بود مورد توجه قرار گرفت و از ترکیبات خاک رس و سنگ آهک و مواد دیگر جهت ساختارهای مهم نظیر پل‌ها، تاسیسات بندری و ساختمان‌های بزرگ استفاده گردید.

در میان آشوری‌ها و بابلی‌های دوران کهن ماده چسبیده بکار رفته اغلب خاک رس بوده است. مصری‌ها با استفاده از آهک و سنگ گچ ماده‌ای تولید کرده بودند که شباهت بسیاری با بتون فعلی داشت. در روم باستان برای ساختن بناها و ساختمان‌ها از سنگ، سفال، ملات و چوب استفاده می‌کردند. آن‌ها از خاک رس، آجر و کاشی و خشت می‌ساختند و سپس آن‌ها را در کوره می‌پختند. ملاتی که در اتصال سنگ‌ها و سفال‌ها از آن استفاده می‌شد، مخلوطی بوده از ماسه، آهک و آب و در ساختمان قسمت‌هایی که در زیر آب قرار می‌گرفت ماده‌ای سیلیسی بنام "پوزولانا" اضافه می‌کردند، که ملات را سخت و در مقابل آب مقاوم می‌ساخت.

خاکستر آتشفشانی که از معدنی در نزدیکی شهر "پوزولانا" (ایتالیای کنونی) استخراج می‌شد، سرشار از سیلیکات آلومینیوم بود، و سیمان مشهور "پوزولانا" مربوط به دوران روم باستان نیز از این نام برگرفته شده است. امروزه اصطلاح پوزولانا (Pozzolana)، یا پوزولان (Pozzolan) یا به خود سیمان اشاره دارد و یا به هر ماده نرم حاوی سیلیکات آلومینیومی اطلاق می‌شود که در مجاورت آب با آهک و اکسید نشان داده و تشکیل سیمان می‌دهد. بهترین سیمان بدست آمده از دوران گذشته، ساخته دست رومیان است.

تهیه سیمان به طرق علمی جدید از قرن هجدهم آغاز شد. در سال 1756 "جان اسمیتون" ماموریت یافت که فانوس دریایی کوچک "ادیتون" را که در دریای مانس و در ساحل "کورتوال" انگلستان قرار داشت دوباره بازسازی کند، وی در آزمایش‌های خود موفق شد که از ترکیب سنگ آهک ناخالص و خاک و پختن آن دو، ماده‌ای شبیه به سنگ‌های "پرتلند" بوجود آورد. با سوزاندن مخلوط‌های گوناگون سنگ آهک و خاک رس طی سال‌های بعد تجربیات بیشتری در این زمینه بدست آمد.

در سال 1824 "ژوزف اسپدین" با سوزاندن مخلوط 1 به 3 سنگ آهک و خاک رس به مواد بهتری دست یافت. در شیوه او، عمل سوزاندن در کوره‌ها با چنان حرارتی صورت می‌گرفت که مواد ذوب شده پس از سرد شدن به صورت ذرات ریزی در می‌آمدند. ماده بدست آمده که به صورت پودری نرم بود، وقتی با آب مخلوط می‌شد، پس از چند ساعت سفت و سخت می‌شد. این محصول شباهت زیادی به سنگ‌های آهکی مستخرج از معدن جزیره "پرتلند" در انگلستان داشت، از این رو به سیمان "پرتلند" معروف گردید و وجه تسمیه سیمان‌های پرتلند امروزی نیز از این جا آغاز می‌شود. اولین بنای ساخته شده با این نوع سیمان، بنای پارلمان انگلستان است که در فواصل سال‌های 1852 - 1840 احداث گردیده است.

تولید سیمان پرتلند به سرعت در سرتاسر کشورهای اروپایی و آمریکای شمالی گسترش یافت. در حال حاضر نیز سیمان پرتلند عمده‌ترین سیمان تولیدی در جهان است و موارد مصرف عام تری دارد. بعدها "دکتر بوک" رئیس موسسه تحقیقات استاندارد سیمان آمریکا که به "پدر سیمان" معروف است ترکیبات اصلی سیمان را شرح داد که مورد تایید صاحبان صلاحیت قرار گرفت. از آن پس در کشورهای پیشرفته تحقیق و پژوهش پیرامون ساخت انواع جدیدی از سیمان و بالا

بردن کیفیت محصولات و رشد و توسعه تکنولوژی ساخت سیمان همچنان ادامه داشته است. امروزه سیمان از نظر وزن بزرگترین محصول صنعتی بشری محسوب می شود.

## پیدایش صنعت سیمان سازی در ایران

ایرانیان از پیشینه کهنی در شناخت و تهیه مصالح ساختمانی برخوردارند. بناهای به یادگار مانده از پیشینیان ما در نقاط مختلف کشور از دوران های گذشته، ابعاد این امر را مشخص می سازد. آهک و ساروج از جمله موادی است که در ایران قدیم به وفور به کار گرفته شده است.

زمان شروع مصرف سیمان در ایران مشخص نیست لیکن ورود سیمان به ایران، توسط خارجیان صورت گرفت که از آن برای ساختن بناهایی نظیر کلیسا، سفارتخانه و تاسیسات بندری استفاده شده است.

مصالح ساختمانی قدیمی برای ساخت زیر بناهای 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 پروژه های جدید از قبیل خطوط و ساختمان راه آهن دولتی، پل ها، و تونل ها و سایر ابنیه نیاز مبرم به مقدار زیادی سیمان داشت، بنابراین دولت اقدام به واردات سیمان نمود و هر ساله بر حجم واردات اضافه می گردید بطوریکه در سال ۱۳۱۴ ایران چهارمین کشور وارد کننده سیمان در جهان بشمار می رفت.

کشور ایران از لحاظ جغرافیایی در منطقه ای واقع شده که سلسله کوه های آهکی آن را احاطه نموده است، در نتیجه مواد اولیه برای تولید سیمان در داخل کشور به وفور یافت می شود. بنابراین دولت تصمیم به ساخت کارخانه سیمان در ایران گرفت. در سال ۱۳۰۷ مطالعات و بررسی های لازم برای ایجاد اولین کارخانه سیمان و همچنین برآورد ذخایر مواد اولیه مورد نیاز این پروژه آغاز شد و در سال ۱۳۰۹ قرارداد 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 ۸۰۰،۱۳۳ پوند استرلینگ برای تأمین ماشین آلات و ۸۰۰،۶۶ پوند استرلینگ جهت تأمین نیروگاه برق مورد نیاز آن منعقد شد. سرمایه این کارخانه توسط دولت و از محل عایدات قند و شکر تأمین گردید.

در ۸ دی ماه ۱۳۱۲ اولین کوره سیمان ایران با ظرفیت ۱۰۰ تن در روز در هفت کیلومتری جنوب تهران نزدیک به کوه های بی بی شهر بانو و کوه سرسره در شرکت سیمان ری به بهره برداری رسید.

به دلیل تقاضای بالا برای سیمان و همچنین کافی نبودن میزان تولید کارخانه فوق جهت رفع نیازهای داخلی، واحد دوم سیمان ری با ظرفیت ۲۰۰ تن در روز در سال ۱۳۱۴ از شرکت پولیز یوس آلمان خریداری شد. کار ساخت این خط در سال ۱۳۱۵ آغاز و در ۱۳۱۶ به مرحله تولید رسید. جهت ساخت این کارخانه معادل ۱۸ میلیون ریال هزینه گردید.

استقبال مردم از سیمان دولت را بر آن داشت تا در سال ۱۳۱۷ سومین خط تولید با ظرفیت ۳۰۰ تن در روز را به آلمان سفارش دهد. کار ساختمانی این واحد آغاز شد و حدود ۸۰٪ آن تا سال ۱۳۲۰ اجرا گردید. بخشی از ماشین آلات آن نیز حمل شد ولی با وقوع جنگ جهانی دوم کشتی حاوی بخش عمده ماشین آلات در کانال سوئز توسط نیروهای متفقین توقیف و مصادره گردید. ۱۱ سال بعد، در سال ۱۳۳۰ با عقد قرارداد متممی با شرکت پولیز یوس، ادامه کار خط تولید سوم شرکت سیمان ری از سر گرفته شد و در سال ۱۳۳۴ به بهره برداری رسید. بنابراین تا ۱۳۳۰ تنها دو کوره سیمان با ظرفیت ۳۰۰ تن در روز و یا به عبارتی ۹۰۰۰۰ تن در سال در ایران نصب گردیده بود. جنگ جهانی دوم سبب تاخیر ۱۵ ساله در افزایش ظرفیت صنعت سیمان ایران گردید.

صنعت سیمان کشور، با سابقه ۷۰ سال تولید یکی از صنایع زیربنایی است که رابطه و پیوندی عمیق با طیف گسترده ای از صنایع و مراکز خدماتی گوناگون برقرار نموده است. در حال حاضر ایران با ظرفیت تولید بیش از ۳۰ میلیون تن در سال دارای بالاترین ظرفیت تولید سیمان در خاورمیانه است و از نظر رده بندی جهانی نیز بین ۱۵ کشور اول تولیدکننده سیمان قرار دارد و در سال ۲۰۰۱ نیز سیزدهمین صادرکننده سیمان در جهان بود.



# معرفی مجموعه

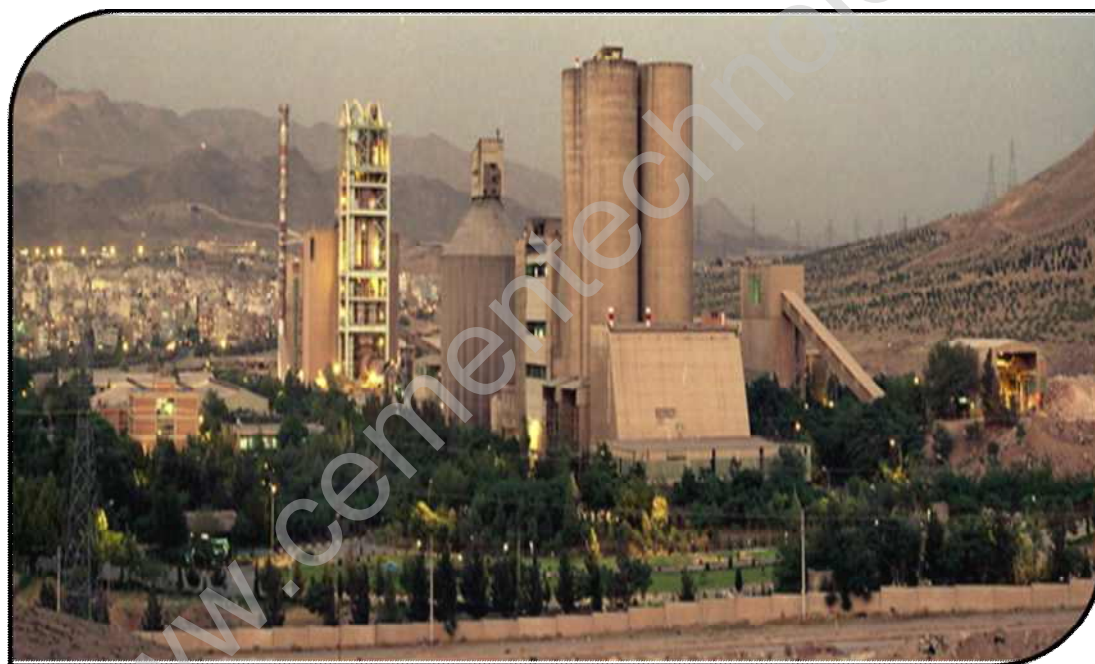
# کارخانجات سیمان تهران

www.cementtechnology.ir

## سیمان تهران در یک نگاه

سیمان تهران بعنوان یکی از قدیمی ترین کارخانجات صنعت سیمان ایران در سال 1333 تأسیس و اولین واحد تولیدی آن در سال 1335 با ظرفیت 300 تن در روز در منطقه غنی آباد شهرری راه اندازی گردیده است. شرکت سیمان تهران در طی سالهای 1335 تا 1365 با بهره برداری از 6 خط دیگر، تولیدات خود را به 9600 تن در روز افزایش داد.

ظرفیت تولیدی شرکت سیمان تهران در سال 1336 بالغ بر 000.108 تن سیمان پرتلند معمولی بود. این شرکت در سال 1346 برای اولین بار در خاورمیانه اقدام به تولید سیمان حفاری نمود. با تولید انواع سیمان پرتلند مطابق با استاندارد ملی ایران و سیمان حفاری چاه نفت با استاندارد API (مؤسسه تحقیقات نفت آمریکا) میزان تولیدات آن به 000.800.2 تن در سال افزایش یافت. شرکت سیمان تهران در طی سالهای اخیر با خرید 51 درصد سهام سیمان ایلام، 67 درصد سهام سیمان لوشان، 83/1 درصد سهام سیمان هگمتان، تأسیس شرکت صنایع سیمان گیلان سبز (سهامی خاص) برای ایجاد یک خط تولید 3400 تنی در منطقه دیلمان گیلان و نیز جایگزینی یک واحد 3400 تنی در محل مجموعه کارخانجات سیمان تهران به یک مجموعه عظیم صنعتی و تولیدی تبدیل گردیده است.



شرکت سیمان تهران با بیش از نیم قرن تجربه در صنعت سیمان از اولین شرکتهایی است که با استقرار سیستمهای نوین مدیریتی در طی سالهای اخیر موفق به اخذ گواهینامه های ISO 14001، ISO 9001، و ISO 18001 در غالب سیستم مدیریت یکپارچه IMS از مؤسسه TÜVRheinland آلمان گردید، تا خود را آماده ورود به بازارهای جهانی نماید. شرکت سیمان تهران این موفقیت ها را مرهون زحمات کارکنان با تجربه و متعهد خود در واحدهای مختلف فنی، تولید، فروش، مالی و اداری و سایر واحدها می داند که پیوسته سعی در استفاده از جدیدترین فن آوری و سیستم های نوین مدیریتی جهت توسعه صنعت سیمان و خدمت دارد. هم اکنون سیمان تهران با بیش از 52 سال تجربه فقط در واحدهای کارخانه سیمان تهران معادل 13500 تن و با احتساب ظرفیت شرکت های وابسته تولیدی شامل هگمتان، ایلام لوشان و بدون لحاظ نمودن شرکت های نهانوند، گیلان سبز و پریفاب تولید روزانه بالغ بر 19300 تن را دارا

مجمع سیمان تهران / گزارش کارآموزی

می باشد. میزان تولید مجمع سیمان تهران از سال 1335 تا پایان سال 1383 بالغ بر 255.760.73 تن بوده که خود گواه بارز نقش انکار ناپذیر مجمع عظیم سیمان تهران در رشد و توسعه زیر بنای اقتصادی کشور است.

www.cementtechnology.ir

# سیمان چیست؟

www.cementtechnology.ir

سیمان ها بطور کلی موادی هستند که قابلیت مستحکم شدن و چسباندن سنگدانه به یکدیگر و به وجود آوردن جسم يك پارچه را دارند. این تعریف دارای چنان جامعیتی است که می تواند شامل انواع چسب ها از جمله چسب های مایع در چسباندن قطعات سنگ با سنگ یا فلزات به یکدیگر به کار می روند، نیز می شود. منظور از سیمان در شاخه مهندسی و مطالب مورد مطالعه، آن دسته از سیمان هایی است که دارای ریشه آهکی می باشند. براین اساس سیمان ترکیبی است از اکسید کلسیم (آهک) با سایر اکسیدها نظیر اکسید سیلیسیم، اکسید آهن، اکسید منیزیم و اکسیدهای قلیایی که میل ترکیبی زیادی با آب داشته و در مجاورت هوا و حتی در زیر آب نیز به مرور زمان سفت می شوند و دارای مقاومت خاصی می شود.

سیمان ساختمانی از گروه " سیمان های هیدرولیک" یا سیمان هایی است که در نتیجه ترکیب با آب سخت می شوند و محصول حاصله در مقابل آب مقاوم است. سیمان پرتلند، سیمان آلومینایی و سیمان روباره از انواع گوناگون سیمان های هیدرولیک هستند. علی رغم ترکیب گچ با آب و سخت شدن آن، بدلیل آنکه محصول حاصله قابلیت دوام طولانی مدت در آب را ندارد و به مرور زمان حل می شود، لذا گچ جزو گروه سیمان های هیدرولیک محسوب نمی شود. آهک سخت شده در مقابل آب مقاوم است ولی از آنجائی که سخت شدن آن در اثر جذب گاز انیدرید کربنیک است و نه آب، لذا از گروه سیمان های هیدرولیک جدا می شود. مواد خام اصلی مصرفی برای ساخت سیمان های هیدرولیک عبارتند از: آهک، سیلیس، آلومینا و اکسید آهن.

سیمان پرتلند، ماده ای است که از اختلاط و آسیا نمودن کلینکر، سنگ گچ یا سنگ آئیدریت و حداکثر ۲۰٪ مواد افزودنی تولید می گردد. اگر میزان مواد افزودنی از مقدار ذکر شده بیشتر گردد، محصول تولیدی سیمان مخلوط خواهد بود. مواد اولیه در تولید سیمان پرتلند عبارتند از سنگ آهک، رس و مواد اصلاحی.

سیمان آلومینایی نیز نوعی از سیمان است که ضمن داشتن خواص هیدرولیکی، از اجزاء اولیه سنگ آهک و بوکسیت ایجاد شده و مخلوط خام دارای درصدهای بالای اکسیدهای کلسیم، آلومینیوم، سیلیسیم و آهن و مقادیر جزئی اکسیدهای منیزیم و تیتانیوم می باشد.

سیمان جزء اساسی و جدایی ناپذیر بتن است و بتن بعنوان يك ماده و مصالح ساختمانی با مفهوم ملات و سنگ مصنوعی دارای قدمت زیادی است. اغلب مواد باقیمانده از آتشفشان ها - خاکستر آتشفشان - دارای خاصیت سیمانی هستند. رومی ها با استفاده از این مواد بناهایی ساخته اند که بسیاری از آن ها هنوز پا بر جاست. از جمله این بناها معبد پانتئون در رم است که در سال 120 میلادی ساخته شده است و دارای بدنه استوانه ای به قطر 43 متر و سقف گنبدی شکل است.

هم اکنون تولید جهانی سیمان بیش از يك میلیاردتن است و پیش بینی می شود تا سال 1990 تولید جهانی به يك میلیارد و دو بیست میلیون تن برسد. از نظر وزنی تولید سیمان دارای بالاترین رقم دریک تن مواد اولیه معدنی میان کالاهای صنعتی جهان است. به طور متوسط برای تولید هر تن سیمان 7 ماده نظیر سنگ آهک، خاک رس، سنگ گچ، سنگ آهن، مارل و سیلیس لازم است. در نتیجه در سطح جهانی صنعت سیمان سالانه نزدیک به دو میلیاردتن مواد اولیه مصرف می کند. با يك حساب تقریبی وزن شن و ماسه ای که برای تبدیل این میزان سیمان به بتن و فرآورده های بتنی لازم است بالغ بر شش میلیاردتن است.

# معادن سیمان تهران

www.cementtechnology.ir

از آنجایی که واحدهای ۱ تا ۶ و جدیداً واحد ۸ در مجموعه کارخانجات سیمان تهران و واحد ۷ در کارخانه صفائیة روزانه ۱۳۰۰۰ تن ظرفیت اسمی تولید سیمان را دارند و مقدار سنگ مورد نیاز این کارخانه ها از مقدار ظرفیت اسمی نیز باید بیشتر باشد، لذا تأمین این مقدار سنگ از یک یا دو معدن که در گذشته انجام می شد، عملاً امکان پذیر نیست. بنابراین، با توجه به برنامه ها و طراحی های انجام شده توسط معدن، برطرف کردن نیاز مواد اولیه کارخانه ها، از سه منطقه در غالب هفت معدن انجام می شود که در زیر به آنها اشاره می کنیم.

نوع مجوز تمامی معدن، پروانه بهره برداری است و بهره برداری از آن ها توسط شرکت سیمان تهران انجام می گردد و ماده معدنی در این شرکت مصرف می شود.

بطورکلی، بخش معدن دو وظیفه ی استخراج و ترانسپورت را بر عهده دارد. استخراج شامل آماده سازی، حفاری و آتشیاری و نیز اکتشافات ضمن استخراج می باشد.

## محل معدن

معدن کارخانه سیمان تهران بسیار پراکنده هستند، بطوریکه فاصله نزدیکترین جبهه کار تا کارخانه ۷۰۰ متر و دورترین آن حدود ۸ کیلومتر است. از جبهه کارهای این مناطق سنگ آهک با کیفیت های مختلف استخراج می گردد. بطورکلی معدن سنگ آهک در ۲۵ کیلومتری حاشیه جنوب شرقی تهران واقع اند.

### • مشخصات جغرافیایی معدن

کانسار سنگ آهک معدن سیمان تهران، در جنوب شرقی قسمت های شمالی مرکز ایران واقع شده است. از نظر تقسیمات استانی موقعیت جغرافیایی معدن به ترتیب عبارتند از:

**معدن بی بی شهریانو؛** استان تهران، شهرستان ری و بخش ری مرکزی

**معدن صفائیة و نثاری دولت آباد؛** استان تهران، شهرستان ری

**معدن مسگرآباد؛** استان تهران، شهر تهران و بخش ری مرکزی

معدن	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی
بی بی شهریانو	51°28'42"	35°34'51"
صفائیة و نثاری	51°27'7"	35°36'24"
مسگرآباد	51°32'4"	35°37'18"

طول و عرض جغرافیایی معدن

معدن	ارتفاع متوسط منطقه از سطح دریا (متر)
بی بی شهریانو	۱۱۲۲
صفائیة و نثاری	۱۱۵۰
مسگرآباد	۱۴۷۰

ارتفاع متوسط منطقه

**برخی مشخصات معادن مجموعه سیمان تهران**

- معدن بی بی شهربانو و غنی آباد  
نوع ماده معدنی : سنگ آهک و سیلیس

ژنز کانسار : کانسار رسوبی با فرمول شیمیایی  $\text{SiO}_2, \text{CaCO}_3$  ، سن سنگ میزبان کرتاسه

ذخیره قطعی : 31500000 تن

وزن مخصوص ظاهری : 7.2 تن بر مترمکعب

تاریخ مجوز : سال 1382

مدت اعتبار مجوز : 15 سال

**موقعیت معدن :** معدن در 25 کیلومتری حاشیه جنوب شرقی تهران قرار دارد. معادن بی بی شهربانو نسبت به شمال، در شرق امین آباد و شمال زمان آباد حد فاصل کارخانه سیمان تهران و معدن صفائیه و ضلع تقریباً غربی کوه بی بی شهربانو قرار گرفته است.

**وجه تسمیه :** نام معدن به خاطر قرارگیری بقعه تاریخی بی بی شهربانو در وسط معدن انتخاب گردیده.

**خلاصه زمین شناسی :** تپه های اطراف کوه بی شهربانو از لحاظ تکتونیکی به صورت یک یال عادی از طاقدیس است که در طی ادوار زمین شناسی فازهای تکتونیکی اصلی و فرعی زیادی را متحمل شده است. این منطقه شامل رسوبات پرکامبرین تا آبرفت های حاضر است. این کوه متعلق به دوران اول زمین شناسی بوده و در اوایل دوران دوم زمین شناسی از آب دریا خارج شده است و تا به امروز به این صورت باقی مانده است و دارای لایه هایی مربوط به دوره های دونین، کربونیفر، پرمین و تریاسیک می باشد.

- معدن صفائیه و نثاری دولت آباد  
نوع ماده معدنی : سنگ آهک

ژنز کانسار : کانسار رسوبی با فرمول شیمیایی  $\text{CaCO}_3$  ، سن سنگ میزبان کرتاسه

ذخیره قطعی : 100000000 تن

میزان استخراج سالانه : 525000 تن

وزن مخصوص ظاهری : 7.2 تن بر مترمکعب

تاریخ مجوز : سال 1382

مدت اعتبار مجوز : 15 سال

**محدوده معدن :** دارای ابعادی حدود 1800 متر طول و 400 متر عرض می باشد.

**ارتفاع :** بلندترین قله آن 1220 متر و پست ترین نقطه آن 1080 متر از سطح دریا ارتفاع دارد.

**موقعیت معدن :** معدن در 25 کیلومتری جنوب تهران واقع شده است. معادن نثاری و صفائیه در شرق دولت آباد، غرب مشیریه و ضلع تقریباً شمالی کوه بی بی شهربانو و نزدیک کارخانه سیمان صفائیه و در 7 کیلومتری کارخانه واقع است.

**وجه تسمیه :** نام معدن به دلیل قرارگیری در مکان محله قدیمی صفائیه شهرری انتخاب گردیده است.



**خلاصه زمین شناسی:** لایه ها در این منطقه دارای امتداد عمود شرقی - غربی بوده و شیب لایه ها 75 درجه به سمت شمال است. این کوه رسوبی است و سنگ ها دارای رخساره و آهکی هستند و گاهی به صورت شیل و مارن دیده می شوند. لایه های سطحی در اثر فرسایش از بین رفته و لایه های آهکی به صورت برجستگی باقی مانده است. دامنه شمالی کوه دارای سنگ های آهکی می باشد. سنگ ها دارای رنگ خاکستری با کریستال های ریز کلسیت و سیلیس می باشد.

#### • معدن مسگرآباد

نام نوع ماده معدنی: سنگ آهک

ژنز کانسار: کانسار رسوبی با فرمول شیمیایی  $\text{CaCO}_3$ ، سن سنگ میزبان کرتاسه

ذخیره قطعی: 130000000 تن

وزن مخصوص ظاهری: 7.2 تن بر مترمکعب

تاریخ مجوز: 1382

مدت اعتبار مجوز: 15 سال

محدوده معدن: سطحی از این کوه که برای استخراج در نظر گرفته شده دارای ابعادی در حدود 1500 متر طول و 650 متر عرض می باشد.

ارتفاع: بلندترین قله این کوه 1310 متر و پست ترین نقطه آن 650 متر از سطح دریا ارتفاع دارد.

موقعیت معدن: معدن در 25 کیلومتری حاشیه جنوب شرقی تهران قرار دارد. این معدن دورترین معدن به کارخانه سیمان است. کوه مسگرآباد، جدا از کوه بی بی شهربانو، در 10 کیلومتری شمال شرقی کارخانه سیمان تهران و حوالی جنوب شرقی منطقه مسگرآباد قرار گرفته است.

**خلاصه زمین شناسی:** سنگ های آهکی این منطقه مربوط به دوره کرتاسه بوده و رنگ آن ها کیود و در سطح زیاد، بدون فسیل می باشد. لایه های آهکی دارای جهت شرقی - غربی و شیب متوسط آن ها در حدود 30° به سمت شمال است. لایه های آهکی در امتداد جنوب شرقی و شمال غربی به توده های آتشفشانی و دیپازهای مربوط به دوران سوم زمین شناسی ختم می شوند. در بین طبقات آهکی چند رشته دایک، در امتداد جنوب شرقی - شمال غربی می باشد.

## اکتشافات

اکتشافات انجام شده در معادن شرکت سیمان تهران، در طول زمان های مختلف، روش های مختلفی داشته است و اخیراً نیز کارها و نمونه گیری های عمقی، توسط شرکت پیمانکاری ایران کاو، در حال انجام است و نتایج این کار در محاسبه ی ذخیره ی معدن و طراحی استخراج معدن بی تأثیر نخواهد بود.

بطورکلی نحوه ی اکتشافات معدنی، به ارزش اقتصادی ماده ی معدنی وابسته است، در واقع هر چه ماده با ارزش تر باشد امور اکتشافی بیشتری برای شناسایی هر چه بهتر موقعیت کانسار ماده ی معدنی، انجام می شود. همچنین روند کارهای معدنی نیز در انجام کار های اکتشافی مؤثر است، چه بسا مواد معدنی کم ارزش (مانند سنگ آهک معادن سیمان تهران)، به مرور زمان و تغییر شرایط، ارزش کار اکتشافی بیشتری پیدا کنند، بطوریکه مثلاً سنگ آهک بی بی شهربانو پس از مدت

زمانی، به دلایل بسیار اقتصادی، از جمله کیفیت، نوع کارخانه فرآوری و نزدیکی این معدن به بازار بزرگ مصرف تهران، امروزه امور اکتشافی مفصل تری پیدا کرده است.

تعیین ذخایر در معادن سیمان تهران براساس روش دستی، منطبق بر نرم افزار Data Mine، صورت می گیرد، بطوری که از روی نقشه توپوگرافی و مقاطع، تعیین ذخیره انجام می شود. از روی نقشه های توپوگرافی و نقشه های معدنی وضعیت مقطع و سطح جدایش ماده معدنی و باطله مشخص و محاسبه می شود. مقطع ها باید موازی باشد و پس از محاسبه مساحت های  $S_1, S_2$  از فرمول کاولیری محاسبه ذخیره انجام می شود.

$$V = \frac{h}{3} (S_1 + S_2 + \sqrt{S_1 S_2})$$

در ادامه به نحوه محاسبه ذخیره می پردازیم.

برای تعیین مقدار ذخیره یک ماده معدنی، ابتدا نقشه توپوگرافی تهیه گردیده و براساس نمونه برداری سطحی و پیاده کردن نتایج شیمیایی آن بر روی این نقشه، نقشه ژئوشیمی و یا نقشه زمین شناسی آن منطقه تهیه می شود. سپس با حفر گمانه و گرفتن نمونه های عمقی می توان به وجود یا عدم وجود ماده معدنی مورد نظر پی برد.

برآورد ذخیره تحت محاسبه ذخیره ماده معدنی، مقدار وزن یا حجم یک ماده معدنی قابل استفاده بدون در نظر گرفتن پرت مواد معدنی، در پروسه های بعدی تعیین می شود. تعیین مقدار ذخیره یک ماده معدنی یا مقدار سنگ قابل استخراج یک معدن، تنها محاسبه نیست بلکه مستلزم داشتن ضوابطی چون زمین شناسی منطقه، تکنیک منطقه، چگونگی پخش ماده معدنی در منطقه و بررسی تکنولوژی استخراج و در نتیجه اقتصادی بودن استخراج ماده معدنی می باشد. محاسبه ذخیره ماده معدنی بستگی مستقیم به پارامترهای زیر دارد:

۱. مقدار مواد معدنی و چگونگی پخش آن
  ۲. کیفیت همه مواد مورد محاسبه
  ۳. چگونگی انطباق وضع زمین شناسی و استخراج
- به دلایل بالا، برای محاسبه مقدار ذخیره معدنی روش های مختلفی وجود دارد که همه این روش ها دارای نقطه مشترکی می باشند و آن تبدیل شکل حقیقی کانسار به یک شکل ایده آل هندسی است که این شکل هندسی باید حتی المقدور دارای همان حجم شکل حقیقی کانسار باشد.

## زمین شناسی کانسار

کوه بی بی شهربانو از نوع کوه های گسلی است، در واقع به سبب فعالیت های تکتونیک ایجاد شده است و به همین دلیل علی رغم رسوبی بودن ماده معدنی، از نظر زمین شناسی، کانسار دارای پیچیدگی هایی منحصر بفرد است.

معادن صفائیه و مسگرآباد در مقایسه با معادن بی بی شهربانو، دارای پیچیدگی های کمتری هستند، بر این اساس، زمین شناسی منطقه بی بی شهربانو اهمیت بیشتری از این دو معدن دارد.

سازندها از قدیم به جدید به ترتیب عبارتند از؛ دولومیت سلطانیه، باوت، زاگون، لالون، مبارک، الیکا و در پشت آن ها سازندهای شمشک دلچای و لار. دولومیت سلطانیه قدیمی ترین سازند منطقه است که ضخامت آن در بی بی شهربانو ۵۰۰ متر است. بر اساس این رخنمون سکناس های رسوبی از سازند سلطانیه به سن پرکامبرین (قدیمی ترین واحد رسوبی منطقه)، به سمت شمال کوه های بی بی شهربانو جوان تر شده اند. لایه ها در مقطع روند شرقی - غربی دارند. شیب لایه ها در حدود ۳۵ درجه است. توالی این لایه ها به صورت پیوسته یا به صورت سطح فرسایشی هم شیب و یا با یک کنتاکت گسلی در مجاورت کدیگر قرار می گیرد. در جهت NW-SE یک سری تشکیلات رسوبی، تشکیل شده از آهک و ماسه سنگ، قرار دارد. بیشتر منطقه از آهک های سازند الیکا پوشیده شده و مربوط به تریاس بالایی است.

در اواخر سنوزونیک، کوهزایی صورت گرفته است. به علت فعالیت های گسل های متعدد و کوهزایی، منطقه بی بی شهربانو به صورت به هم پیوسته در آمده است.

چند گسل اصلی و گسل فرعی با روند شرقی - غربی وجود داشته که توسط رسوبات آبرفتی دوران چهارم پوشیده شده است. اما چون تحت عوامل تکتونیکی قرار گرفته این دو گسل باعث شده سازندهای شمشک دلیچای و لار رخنمون نداشته باشند. گسلی که ارتفاعات بی بی شهربانو را از سنگ های پیروکلاستیک و ولکانیک پالئوسن و انوسن جدا می کند، یکی از مهم ترین گسل های منطقه است. فعالیت گسل ها به خصوص در الیکا سبب به هم ریختگی زیادی شده و امتداد بسیاری از لایه ها از امتداد واقعی خود خارج شده است. فاز کوهزایی کامبرین سبب بالا آمدگی طبقات ژوراسیک و فرسایش پس از آن شده است. در نهشته های اواخر آلبین نیز نشانه هایی از فعالیت ولکانیکی دیده شده است.

### • نوع و جنس سنگ های اصلی دربرگیرنده ماده معدنی

از نظر لیتولوژی کوه بی بی شهربانو، از جنوب به سمت شمال، ابتدا آهک های با سیلیس بالا، در قسمت هایی لایه های کوآرتزیت و هرچه به سمت شمال پیش می رویم میزان نسوز بیشتر (آهک به مرور بر اثر آب های سطحی شسته شده و درصد آهن و آلومینیوم آن بالا رفته و بسیار ترد و شکننده شده و خاصیت نسوز به خود گرفته است) و سیلیس کمتر می شود. حال از پایین به بالای کوه، ابتدا لایه های با سیلیس بالا و هرچه به سمت بالا می رویم تا حدی آهک بالا رفته و در یک حد نهایی از آنجا به بعد منیزیم بالا می رود. بنابراین لایه های آهکی مناسب کارخانه را در زونی هم از پایین به بالا و هم از جنوب به شمال و تقریباً در میانه معدن بی بی شهربانو خواهیم داشت. از پایین به بالا ابتدا آهک سیلیس بالا، سپس آهک و بعد آهک دولومیتی و پس از آن دولومیت آهکی و در قله کوه دولومیتی با ۲۵ تا ۳۰ درصد منیزیم را خواهیم داشت.

معدن صفائییه از نظر سنگ شناسی پیچیدگی کمتری نسبت به معدن بی بی شهربانو دارد، اما سنگ های آندزیتی نیز در لایه های آهکی جنوبی معدن نفوذ کرده است. همچنین در وسط (معدن نثاری) هرچه به سمت پایین می رویم، درصد آهک بالا رفته و سنگ آهک های مناسبی وجود دارد. در ضمن ضلع شمال غربی معدن نیز سینه کارهایی دارد که عمدتاً دارای آهک های سیلیس بالا و سخت می باشد که حفاری در آن ها به سختی انجام می شود.

معدن مسگرآباد دارای لایه های یکتواخت آهکی اما با درصد های غیر مشخص آهن، آلومینیوم و منیزیم نسبتاً پایین است و نفوذ دایک های شبه حلقوی در اطراف سنگ های آهکی از نشانه های لیتولوژی این معدن است. می توان گفت، آهک های این معدن در حلقه های نفوذی دایک محصور شده است.

## مشخصات کانسار

### • شکل کانسار

شکل کانسار در هر سه معدن لایه ای است. این لایه ها در معدن بی بی شهربانو فوق العاده تکتونیزه می باشد و حتی به نظر برخی زمین شناسان Horst & Grabon نیز دیده می شود، که ظاهراً کانسار را از شکل لایه ای خارج نموده است، اما در طبقه بندی می توانیم آن را لایه ای فرض کنیم. در معدن صفائییه شکل لایه ای تا حد زیادی حفظ شده، اما در بعضی مکان ها می توانیم کانسار را به صورت لایه های ایستاده ببینیم. در معدن مسگر آباد شکل کانسار به صورت مشخص لایه ای است اما انحناهایی در لایه ها به دلیل نیروهای تکتونیکی دیده می شود.

کانسار	شیب (درجه)	عمق (متر)	طول (متر)	عرض (متر)
بی بی شهربانو	30° به سمت شمال	۱۰۰	۱۰۰۰	۳۰۰
صفائییه و نثاری	75° به سمت شمال	۱۰۰	۱۸۰۰	۴۰۰

۶۵۰	۱۵۰۰	۱۰۰	30° به سمت شمال	مسگرآباد
-----	------	-----	-----------------	----------

عمق، شیب، ابعاد کانسار

### • ذخیره کانسار

کانسار بی بی شهربانو دارای ذخیره احتمالی ۱۷ میلیون تن و ذخیره قطعی ۳۴ میلیون تن و در مجموع ۵۱ میلیون تن است.

کانسار صفائیه دارای ذخیره احتمالی ۵۳ میلیون تن و ذخیره قطعی ۲۶.۵ میلیون تن و در مجموع ۷۹.۵ میلیون تن است.

کانسار مسگرآباد نیز دارای ذخیره احتمالی ۱۰۹ میلیون تن و ذخیره قطعی ۱۲.۵ میلیون تن و در مجموع ۱۲۱.۵ میلیون تن است.

### مشخصات ماده معدنی

بهترین مواد اولیه برای ساختن سیمان، موادی است که اجزاء تشکیل دهنده مورد نظر برای تولید کلینکر را بطور کامل دارا باشد. علاوه بر این معادن آن باید به آسانی قابل استخراج بوده و ذخیره نسبتاً قابل ملاحظه ای داشته باشد. در حقیقت این نوع معادن با خصوصیات فوق بسیار نادرند.

مواد اولیه ای که در ساختن سیمان بکار می روند عبارتند از؛

### • سنگ آهک

سنگ آهک اصلی ترین ماده مصرفی کارخانجات سیمان است. این سنگ از سری سنگ های رسوبی بوده و معمولاً به طور خالص در طبیعت یافت نمی شود و همواره با مقادیری کربنات منیزیم، سیلیس، رس و مواد دیگر همراه است. سنگ آهک عمدتاً از کربنات کلسیم تشکیل شده و در طبیعت به مقدار فراوان یافت می شود و از انواع مختلف آن جهت تولید سیمان استفاده می شود. از خالص ترین آن کلسیت و آراگونیت می باشد که وزن مخصوص آن ها به ترتیب ۲.۷ و ۲.۹۵ گرم بر سانتیمتر مکعب است. سنگ مذکور از تکه های مختلفی به نام آلوکم تشکیل شده است و یا ممکن است تماماً از بلورهای کلسیت تشکیل شده باشد که به آن میکرایت گفته می شود. سختی سنگ های آهکی با طول عمر آن ها ارتباط مستقیم دارد و عموماً بین ۳ تا ۱.۸ موس است و وزن مخصوص حدود ۲.۸ تا ۲.۶ گرم بر سانتیمتر مکعب را دارند. خالص ترین نوع آن سفید رنگ است. سنگ آهک مرغوب در دمای ۸۰۰ تا ۱۱۰۰ درجه و نوع نامرغوب آن در ۱۱۰۰ تا ۱۴۰۰ درجه سانتیگراد پخته می شود.

### • خاک

مواد اولیه مهم دیگر خاک است که ترکیب شیمیایی ساده ای ندارد. وزن مخصوص آن ۳ تا ۲ گرم بر سانتیمتر مکعب بوده و نقطه ذوب ۱۱۵۰ تا ۱۷۸۵ درجه سانتیگراد دارد.

### • مارن

سنگ آهک مخلوط با خاک را مارن نامند. سختی آن از سنگ آهک کمتر است و هرچه میزان خاک در آن بیشتر باشد، سختی آن کاهش می یابد. رنگ مارن بسته به مقدار خاک از زرد تا خاکستری مایل به سیاه تغییر می کند. مارن ها یکی از عالی ترین مواد اولیه برای ساخت سیمان هستند و چون به طور طبیعی سنگ و خاک با هم ترکیب شده اند، تقریباً به طور کامل ترکیبات لازم را دارا می باشند.

## کانی شناسی

کانی های اصلی شامل کلسیت، کوارتز، دولومیت و کانی های رسی می باشد و از کانی های فرعی می توان آرگونیت، کروندوم و همتایت را نام برد.

کانی های همراه، در بخش هایی دولومیت و در قسمت هایی کوارتز می باشد. در مورد کانی های رسی باید به کانی های کائولینیت، مونتموریلونیت و کریزوتیل اشاره کرد.

میزان سیلیس در معدن مسگرآباد به یکباره در لایه ها نوسان دارد، این سیلیس در آنالیزهای معمولی اشعه ایکس و ... مشخص نمی شود. این پارامتر را باید از طریق آزمایش تیتراسیون تعیین نمود. سیلیس آزاد بالا سبب بی کیفیتی محصول نهایی شده و چسبندگی بالا رفته و باعث چسبندگی سیکلون ها شود.

## ترکیب شیمیایی و عیار ماده معدنی

اجزاء اصلی تشکیل دهنده سیمان شامل اکسیدهای کلسیم، آهن، آلومینیوم و سیلیس بوده ترکیبات فرعی آن شامل  $MgO$ ,  $SO_3$ ,  $K_2O$ ,  $Na_2O$ ,  $TiO_2$ ,  $Cr_2O_3$ ,  $Mn_2O_3$ ,  $P_2O_5$ ,  $Cl$ ,  $F$  می باشد که نهایتاً در کلینکر به صورت چهار فاز بلیت، آلیت، آلومینوفریت و آلومینات ظاهر می گردند.

کربنات های موجود در مواد که منبع اکسید کلسیم هستند از طریق سنگ های آهکی و سایر اکسیدهای اصلی از طریق خاک رس و یا خاک مارن و یا مارن خاکی تأمین می شود. چنانچه ترکیبات شیمیایی مواد خام سیمان به اندازه کافی در مواد اولیه نباشد، از سنگ آهن برای جبران کمبود آهن و از سنگ شیشه و یا خاک سیلیس بالا، برای جبران کمبود سیلیس استفاده می شود.

در مورد عیار ماده معدنی، بر خلاف سنگ معدن فلزات که با عیار مقایسه شده و اقتصادی بودن آن ها ارزیابی می شود، در این ماده معدنی فاکتورهای خاصی جهت کنترل کیفیت ماده معدنی بکار می رود که این فاکتورها نیز، به نوع محصولات نهایی کارخانه سیمان و نوع و روش کار دستگاه ها ( کوره ها ) بستگی دارد. سیمان از چند ماده معدنی به وجود می آید که می توان درصد آن ها را تغییر داد تا کیفیت محصول یکنواخت شود، در واقع اگر سنگ آهک معدنی دارای درصدی اضافی از ماده ای بود می توان با تغییر درصد باقی مواد، آن را جبران نمود.

با این تفاسیر، مبنای مواد اولیه کارخانجات سیمان تهران، سنگ آهک معدن بی بی شهربانو است. در حقیقت اگر به صورت عیار فرض کنیم بالاترین عیار مواد اولیه مربوط به این معدن است.

## روش استخراج معدن

روش استخراج معادن بی بی شهربانو، صفائیه و مسگرآباد به صورت روباز بوده و روش پلکانی است که به لحاظ نوع منطقه و عمق استخراج مشکلی از نظر وجود آب و نیاز به انجام عمل زهکشی دیده نمی شود. ارتفاع تقریبی پله ها بین ۱۲ تا ۳۰ متر است. معمولاً پله ها را به لحاظ ایمنی شیب دار می زنند، زیرا در صورت عمود بودن پله ها، احتمال ریزش سنگ بسیار زیاد و تجهیزات مشغول کار در پله های پایینی بر اثر سقوط سنگ یا ابزار از پله های بالایی دچار مشکل می شوند. شیب عملیاتی پله ها ۷۰ درجه نسبت به افق است و شیب کلی معدن ۶۰ درجه در نظر گرفته شده است.

روش استخراج کانسنگ به صورت آتشیاری سینه کار است، که در قسمت خود به طور تفصیلی بررسی می شود.

با نگاهی به معادن، خصوصاً معدن بی بی شهربانو، پی می بریم که کل معدن از چندین معدن و هر معدن از چندین سینه کار استخراجی تشکیل شده است که دلیل این امر لایه ای بودن کانسار، تکنونیز گی و گسترده بودن لیتولوژی منطقه است. این تنوع کاری سبب می شود تا ترکیبات مختلف را برای به وجود آوردن یک ماده اولیه همگن (خوراک کارخانه)، مصرف نمود.

دمپ باطله به دلیل اینکه لایه های کوارتزیتی در افق پایینی قرار گرفته اند و از گستردگی خوبی برخوردارند و از نظر مصرفی کارخانه نیز جزو باطله های بی مصرف بحساب می آیند، بر روی این لایه ها قرار گرفته است. شکل فعلی معادن به صورت ترائشه هایی بزرگ در امتداد لایه های آهکی بنا شده و به مرور از سمت شرقی با باطله برداری های اخیر و در دست انجام، پله های استخراجی شکل می گیرند.

#### ● فعالیت های توسعه معدن

امور توسعه شامل ایجاد سینه کارهای جدید و راه های ارتباط دهنده به این سینه کارها می باشد. اولین قدم در این کار ایجاد جاده های ارتباطی است. شیب این جاده ها حداکثر باید ۸ درصد باشد و عرض آن ها از ۱۵ متر کمتر نباشد و ابعاد جاده ها جهت تردد ماشین آلات معدنی مناسب باشد.

ایجاد جاده توسط بولدوزر انجام می گیرد، به این ترتیب که ابتدا زیرسازی راه را با هموار کردن مسیر جاده انجام می دهد و سپس مقداری خاک نرم به صورت دستی روی آن می ریزند و جاده در اثر حرکت کامیون های سنگین حامل بار خوب کوبیده شده و صاف می گردد. سپس می توان روی جاده را با روغن مازوت پوشاند تا از پراکندن گرد و غبار جلوگیری شود و به مرور مازوت با خاک تبدیل به آسفالت خشک می شود. بعد از جاده سازی با توجه به وضعیت منطقه که جهت ایجاد سینه کار جدید در نظر گرفته شده حفاری های کوچک (چکش کاری) یا بزرگ (ماشین های حفار) انجام و بعد از آن آتشیاری صورت می گیرد تا یک سینه کار با ابعاد لازم و پیش بینی شده بدست آید.

#### ● آتشیاری معادن

معمولاً در معادن روباز، از جمله سنگ آهک، جهت افزایش راندمان کار و بالا بردن طول عمر ماشین آلات بارگیری و باربری، از تکنیک انفجار جهت کاهش ابعاد سنگ استفاده می شود تا از این طریق هم عملیات بارگیری و حمل و نقل آسان تر گردد و هم هزینه استخراج به حداقل برسد.

سنگ معدن بی بی شهربانو و صفائیه و مسگرآباد نیز به کمک عملیات آتشیاری از سینه کار جدا شده و سپس به کمک لودر سنگ معدن به داخل دامپ تراک می ریزد. در ابتدا به دستور مهندسین معدن کارخانه مقدار مورد نیاز ماده معدنی تعیین می شود و شکل و تعداد چال های مورد نیاز به اپراتور واگن دریل یا تام راک داده می شود تا براساس نقشه، چال های آتشیاری را حفر کنند. پس از اتمام کار حفر چال، به گروه آتشیار معدن، دستور انجام آتشیاری داده می شود.

بطور کلی اساس انفجار در معادن سطحی به خواص مواد منفجره و سنگ بستگی دارد. از جمله مواد منفجره کاربردی در معادن سیمان تهران، می توان آنفو، پودر آذر، دینامیت و ... را نام برد، که در زیر به شرح مختصری از خواص آن ها می پردازیم.

#### ○ آنفو

در معادن آهک مربوط به کارخانه سیمان تهران، در اکثر سینه کارها، از چال هایی به قطر ۳ اینچ استفاده می شود که سرعت انفجار آنفو در این قطر چال با ماده منفجره آنفو ۱۲۰۰۰ فوت بر ثانیه است. آنفویی که در معدن استفاده می شود از شرکت صنایع شیمیایی پارچین زیر نظر ارتش جمهوری اسلامی ایران تأمین می گردد. آنفو ها به صورت فله ای و در کیسه های گونی ۲۵ کیلوگرمی بسته بندی شده اند. آنفو این شرکت با وزن مخصوص ۱.۱ برای معدن ساخته می شوند.

### ○ پودر آذر

پودر آذر در بازار با نام تجاری S50 شناخته می شود و از ترکیب نیترات آمونیوم، گازوئیل، TNT بوجود آمده است. پودر آذر نیز به صورت فله ای و با همین نام در کیسه های گونی پلاستیکی ۲۵ کیلوگرمی، دسته بندی شده است. پودر آذر با وزن مخصوص ۱.۱ در معدن استفاده می شود.

### ○ دینامیت

بطور کلی می دانیم امروزه دینامیت های بسیاری در شکل های متفاوت و با ترکیبات مختلف تولید می شوند و هرکدام با نامی شهرت پیدا کرده اند. دینامیت های مصرفی در معدن آهک کارخانه سیمان تهران، از نوع اخگر بوده و دارای قطر ۲۲ میلیمتر، طول ۲۷.۵ سانتیمتری و وزن مخصوص ۱.۶ می باشد. ترکیب آن عبارتند از؛ ۴۰٪ نیتر و گلیسرین، ۴۶٪ نیترات سدیم، ۴٪ خاک اوره یا سلولز

ترکیبات فوق در کاغذ روغنی پارافینی بسته بندی شده اند. این دینامیت ها به عنوان پرایمر و بوستر استفاده می شوند. دینامیت های اخگر در کیسه های ۲۵ کیلوگرمی و در کارتن های جای گرفته اند که به معدن فرستاده می شوند و در هر کارتن حدود ۱۸۰ دینامیت می باشد.

### ○ چاشنی تأخیری

خصوصیت بارز چاشنی تأخیری این است که بین چاشنی و خرج میانی ماده ای قرار می دهند که با سرعت کمی می سوزد و زمان سوختن آن زمان تأخیر چاشنی می باشد. شماره تأخیر روی یک پلاک که به سیم چاشنی وصل است و همچنین در ته چاشنی نیز نوشته شده است و از شماره ۱ تا ۱۰ در اینجا استفاده می شود. فاصله زمانی انفجار در این چاشنی ها ۰.۰۰۰۱ ثانیه می باشد.

### روش خرج گذاری

تعداد ۱۰ چال با عمق بین ۲۸ تا ۳۰ متر و قطر ۳ اینچ، که قبلاً توسط دستگاه دریل واگن حفر شده است، آماده استفاده است. در زیر چند موضوع مهم در خرج گذاری را بررسی می کنیم.

### ○ نحوه خرج گذاری در چال ها

در معدن سنگ آهک این گونه عمل می شود که در چال ها هنگام خرج گذاری آنفو، مقداری دینامیت (۳ تا ۴ دینامیت) را همراه با چاشنی در ته چال قرار می دهند و روی آن آنفو می ریزند و در چال های بلند این عمل با پرایمر گذاری تکرار می شود. دینامیت های چاشنی دار کار پرایمر را انجام می دهند و در میان آنفو دینامیت های بدون چاشنی گذاشته می شود، که در اصل حکم بوستر را دارند. باید توجه کرد که در چال های با ارتفاع زیاد ۲۵ متر و کلاً در سنگ های سخت در معدن سنگ آهک این واحد، از پودر آذر در ته چال ها استفاده می شود. علت استفاده از پودر آذر به دلیل گرانی دینامیت می باشد. با توجه به سختی سنگ ها در قسمت های مختلف و با تجربیات به دست آمده به ازای هر دینامیت، ۱.۲۵۰ کیلوگرم پودر آذر هم کار پرایمر را انجام می دهد و هم در تعریف بوستر جای می گیرد.

نحوه بستن مدار چال ها به صورت سری است، بطوریکه دو سر سیم هرچال را به دو چال مجاور وصل کرده و یک سر سیم چال اول و یک سر سیم چال آخر به استارتر وصل می شود. سپس توسط اهم متر اتصال سیم ها بررسی می گردد که نوسان یا قطعی نداشته باشند. در این مرحله خرج گذاری به پایان رسیده و پس از آن افراد را جهت غرق منطقه، در ناحیه اطراف انفجار پراکنده کرده و به وسیله آژیر خطر زمان انفجار اعلام می گردد.

### ○ تعیین ترتیب انفجار چال ها

ترتیب انفجار باید به نحوی باشد که از یک طرف سینه کار تا طرف دیگر و یا از وسط سینه کار به دو انتهای سینه کار، عملیات تخریب را انجام گیرد. اگر چال ها در دو ردیف موازی قرار دارند، ابتدا باید ردیف نزدیک به سینه کار و سپس ردیف دوم انفجار نماید. زمان انفجار اولین چال ردیف دوم درست بعد از انفجار آخرین چال ردیف اول است.

### ○ نوع مدار شوک برق برای انفجار چاشنی ها

در این نوع آتشباری، بهتر است که مدار سیم بندی به صورت سری بسته شود تا در صورت انفجار، از انفجار تمامی چاشنی ها اطمینان داشته باشیم و نیز در صورت قطعی یکی از چاشنی ها، آن را ردیابی کنیم.

در نهایت آتشباری خوب، از لحاظ عملی، به آتشباری گفته می شود که اولاً اندازه کانسنگ مورد نظر در اثر آتشباری تقریباً همان اندازه محاسبه شده باشد و ثانیاً حداقل یک سوم سینه کار جدید نمایان شود.

## ترابری یا ترانسپورت

بخش دوم از عملیات واحد معدنکاری، ترابری یا انتقال کانسنگ از محل معدن به کارخانه است. در شرکت سیمان تهران، این وظیفه به عهده ۱۰ دستگاه دامپ تراک ۸۰ تنی است که در حال حاضر فقط ۶ دستگاه فعال است.

در معادن سیمان تهران ترانسپورت معدن تنها وظیفه کنترل سنگ رسانی را بر عهده دارد تا کوره ها حتی برای لحظه ای بدون سنگ نمانند. حمل گازوئیل و آبرسانی نیز از دیگر وظایف این بخش است.

نحوه کار این بخش به این صورت است که آزمایشگاه نتیجه تجزیه مواد براساس فاکتورهای مورد نظر را تا ساعت ۹ صبح به بخش ترانسپورت می فرستد و این بخش بر اساس جدول مواد دستور حمل کانسنگ را از معدن مورد نظر گرفته و آن را به آسیاب سنگ مورد نظر می رساند. در عین حال تعدادی کامیون که پیمانکار مسئول آن است بخشی از ترانسپورت را بر عهده دارد.

به دلیل زیاد بودن معادن و تنوع سینه کارها با کیفیت سنگ های مختلف، نیاز به حمل و نقل به طور گسترده مطرح است. بطور کلی در این معادن سه نوع سیستم ترابری وجود دارد؛

۱. ماشین آلات فوق سنگین (کاتر)

۲. به وسیله پیمانکار

۳. نوار نقاله

در معدن مسگرآباد با توجه به شرایط توپوگرافی و قرارگیری در ارتفاع ۳۵۰ متر بالاتر از کارخانه، سیستم حمل و نقل نوار نقاله بکار گرفته شده است. از مزایای مهم این سیستم، حمل پیوسته مواد، سرعت بالا، کم شدن استهلاک، ایمنی بالا و ... را می توان نام برد.

سیستم حمل و نقل پیمانکار در معادن سیمان تهران، با توجه به گسترش روزافزون واحدهای کارخانه و نیاز بیش از پیش به مواد اولیه و نیز استهلاک و کمبود ماشین آلات معدنی و کمبود قطعات یدکی ایجاد گردید. به این ترتیب مأموریت اصلی تهیه سنگ کارخانه توسط پیمانکار و نظارت و کنترل نحوه کارکرد پیمانکاران نیز با مجموعه ترانسپورت معدن می باشد.

### ● مدیریت حمل و نقل معدنی



## مجمع سیمان تهران / گزارش کارآموزی

باتوجه به نوع محصول نهایی کارخانه، نوع مواد اولیه، تنوع سنگی موجود در معادن سیمان تهران و افزایش بیش از پیش ظرفیت تولید کارخانه و تنوع کوره ها و واحدهای تولیدی کارخانه، دشواری مدیریت حمل و نقل معدن آشکار می شود.

ترانسپورت رابط بین آزمایشگاه، گاراژ ماشین آلات و آسیاب سنگ ها و سالن سنگ ها می باشد و به عبارتی نقطه اتصال معدن به کارخانه. براین اساس به شرح مدیریت این بخش می پردازیم.

تهیه برنامه روزانه ترانسپورت هر روز در جلسه ای که در بعد از ظهر روز قبل برای بعد از ظهر آن روز و فردا با حضور مسئولین استخراج تشکیل می شود، تعیین می شود. ولی این برنامه روال کلی حمل و نقل را تعیین می کند. چون هر لحظه کیفیت مواد ورودی به کارخانه در حال تغییر است، بنابراین این برنامه جای اصلاح و تغییر دارد. به همین دلیل مسئول ترانسپورت نیز صبح هر روز جهت کنترل مواد ورودی به کارخانه به بخش های زیر نظر این دفتر سرکشی و نتایج آزمایش را می گیرد تا از کیفیت مواد آن روز یک دید کلی بدست آید. سپس تکنسین های دفتر نیز هر ساعت به ساعت با آزمایشگاه تماس گرفته و از آنالیز مواد ورودی مطلع می شوند تا ادامه روند حمل مواد از معدن به کارخانه مشخص شود.

اکتشافات، برداشتی کلی از درصد مواد را نشان می دهد، ولی برای ترانسپورت آنالیزی دقیق تر نیاز است، که با پودر چال ها این کار انجام می شود.

منظور از تنظیم سالن سنگ ها همان **Blending** کردن مواد ورودی به کارخانه است، یعنی با توجه به این که از معادن با کیفیت های مختلف و حتی سینه کارها با درصدهای متفاوت مواد حاصل می شوند تا مواد ورودی به کارخانه همگن تر و بر اساس فاکتورهای خاصی که از قبل با توجه به نوع سیمان و موارد مختلف تعیین شده داشته باشیم، نوع سیمان نیز در سالن سنگ ها تعیین و تحویل می شود. تنظیم سنگ با توجه به آنالیز مطلوب برای کارخانه از روی فاکتورهایی تعیین می شود که به شرح آن ها می پردازیم. در کارخانه کلاً دو بخش تر و خشک داریم، تنظیم درصد مواد در سالن های خشک بر عهده ترانسپورت معدن و تنظیم حوض ها بر عهده آزمایشگاه است.

واحدهای تولید سیمان در کارخانه وابسته به کوره هاست و در هر لحظه ممکن است در یک کوره تیپ خاصی از سیمان تهیه شود. براین اساس درصد فاکتورهای مختلف تهیه سیمان متفاوت خواهد بود و براساس آن تنظیم سالن سنگ ها انجام می گیرد. سپس براساس این درصدها، بخش ترانسپورت فاکتورهای کمی و کیفی سالن سنگ ها را آماده نموده و سیکل کاری انجام می شود. در ضمن مسئولین ترانسپورت و استخراج، از قبل، یک برداشت کلی نسبت به درصد آنالیزی سنگ های سینه کارهای معدن دارند، مانند جدول زیر، که بر این اساس تعیین برنامه و اصلاح آن صورت می گیرد.

مشخصات	منطقه معدنی		
	بی بی شهربانو	صفاپیه	نثاری
LSF	بالا ۱۰۰	پایین ۳۰ - ۹۰	بالا ۷۰ - ۱۸۰
SIM	حدود - پایین ۲.۵	بالا ۲.۸	پایین ۱.۸
MGO	بالا ۱.۶	حدود - پایین ۲	پایین ۱.۸ - ۲.۱
ALM	حدود - بالا ۲.۵	پایین ۰.۲ ≤	بالا ۱.۸ - ۵.۵

علاوه بر این، یک سری آشنابیت ها از نوع ماده معدنی سینه کارهای مختلف، نیز، جهت تنظیم سالن سنگ ها در مسئولین وجود دارد.

## ظرفیت و عمر معدن

در معادن کارخانه سیمان تهران، با توجه به نیاز کوره های پخت و نوع سیمان های تولیدی، سنگ مورد نیاز از معدن تهیه می شود. سنگ معدن بی بی شهربانو اصلی ترین تأمین کننده سنگ کارخانه است و سنگ سایر معادن با سیاست حفظ این معدن در برنامه هایی مشخص وارد کارخانه می گردد، که در مراحل بعدی با ترکیب مناسب و همگن سنگ معادن مختلف نیاز کارخانه تأمین می شود. براین اساس ما می توانیم ظرفیت و عمر معدن را وابسته به ظرفیت و عمر معدن بی بی شهربانو بدانیم. باتوجه به کارهای اکتشافی که در گذشته انجام شده، کل ذخایر سنگ آهک کارخانه سیمان تهران ۴۱۲،۰۰۰،۰۰۰ تن برآورد شده است که ذخایر به تفکیک معادن در جدول زیر آمده است.

منطقه معدنی	بی بی شهربانو	صفاتییه و نثاری	مسگرآباد
مقدار ذخیره (تن)	۹۷،۰۰۰،۰۰۰	۱۲۷،۰۰۰،۰۰۰	۱۸۸،۰۰۰،۰۰۰
درصد ذخیره نسبت به کل ذخایر	۲۳	۳۱	۴۶
درصد برداشت نسبت به کل برداشت	۵۳.۶	۲۹.۷	۱۶.۷

ظرفیت معادن سیمان تهران

روند تولید کارخانه سیمان تهران امروزه سرعت و ظرفیت بیشتری یافته و طرح توسعه کارخانه و ساخت واحد ۸ نیاز به مواد اولیه را افزایش داده است. بخش معدن نیز به طبع آن پروژه ها و طرح های اکتشافی جدیدی را در دست اقدام دارد که این ظرفیت های اشاره شده را تغییر خواهد داد، اما براساس آخرین بررسی ها عمر معدن تا ۲۵ سال می باشد.

### • بررسی باقیمانده ذخایر و عمر معدن سیمان تهران

با توجه به تولید روزانه ۱۱۰۰۰ تن کلینکر هفت واحد سیمان تهران، مواد اولیه مورد نیاز جهت تولید سالیانه (۳۰۰ روز کاری واحدهای خشک و ۳۳۰ روز برای واحدهای تر) ۵،۳۵۲،۰۰۰ تن می باشد. با توجه به اطلاعات فوق، ذخائر باقیمانده در حالات مختلف سیمان سازی، می تواند طول عمر متفاوتی جهت تولید، در کارخانجات مذکور سیمان تهران داشته باشند که در زیر آمده است.

معدن	درصد	سنگ مورد نیاز (تن)	ذخیره موجود (تن)	طول عمر (سال)	باقیماتده (تن)
حالت الف	مسگرآباد	۳۱.۶	۲۳۲،۱،۶۹۱	۱۶۰،۴۱۱،۲۵۰	۱۳۶،۹۷۰،۷۷۴
	بی بی شهربانو	۶۵.۹	۳،۵۲۶،۹۶۸	۴۸،۹۱۱،۳۴۵	
	خاک قرمز	۱.۶۳	۸۷،۲۳۸		
	سنگ آهن	۰.۸۷	۴۶،۵۶۲		
حالت ب	مسگرآباد	۴۲.۴۴	۲،۲۷۱،۳۸۹	۱۶۰،۴۱۱،۲۵۰	۱۲۱،۷۹۷،۶۳۷
	بی بی شهربانو	۵۳.۸۱	۲،۸۷۹،۹۱۱		
	سنگ آهن	۰.۷۵	۴۰،۱۴۰		
	خاک قرمز	۳	۱۶۰،۵۶۰		

۱۳۴،۸۴۱،۶۱۷	۱۴.۱۶	۱۶۰،۴۱۱،۲۵۰	۱،۸۰۵،۷۶۵	۳۳.۷۴	مسگر آباد	حالت ج
	۱۴.۱۶	۴۸،۹۱۱،۳۴۵	۳،۴۵۳،۶۴۶	۶۴.۵۳	بی بی شهریانو	
			۳۵،۸۵۸	۰.۶۷	بوکسیت	
			۵۶،۷۱۳	۱.۰۶	سنگ آهن	
۱۲۷،۸۷۳،۵۸۹	۱۸.۴۷	۱۶۲،۸۰۷،۷۲۳	۲،۵۷۳،۷۷۷	۴۸.۰۹	مسگر آباد	حالت د
	۱۸.۴۷	۴۸،۹۱۱،۳۴۵	۲،۶۴۸،۱۷۰	۴۹.۴۸	بی بی شهریانو	
			۷۰،۶۴۶	۱.۳۲	بوکسیت	
			۵۹،۴۶۰	۱۱.۱۱	سنگ آهن	

### آب و هوای منطقه تعداد روزهای قابل کار در سال

آب و هوای منطقه معدنی سیمان تهران کاملاً متأثر از آب و هوای شهر تهران است. در نواحی مختلف استان تهران، به علت موقعیت ویژه جغرافیایی، آب و هوای متفاوتی شکل گرفته است. منطقه معدنی مورد نظر نیمه خشک و خشک، با زمستان های کوتاه و تابستان های گرم، در ارتفاعات کمتر از ۲۰۰۰ متر واقع شده است. هرچه ارتفاع کاهش می یابد، خشکی محیط بیشتر می شود و حداکثر درجه حرارت منطقه ۴۲ و حداقل ۴- درجه سانتیگراد می باشد.

با توجه به موارد ذکر شده از نظر شرایط محیطی در تمام روزهای سال و در تمام ساعات امکان دسترسی به معدن و کار در سینه کارها وجود دارد، اما در فصول مختلف تغییر ناچیز در شرایط آب و هوایی و محیطی، در راندمان کار تأثیر کمی دارد، بطوریکه در زمستان و یخ زدگی معابر معدنی، ترانسپورت معدن با دام تراک ها و با سرعت کمتری جهت جلوگیری از سر خوردن انجام می شود و یا در تابستان، مصرف برخی مواد برای سرویس دستگاه ها بیشتر می گردد و ...

# فرآیند تولید سیمان

www.cementtechnology.ir

## مقدمه

بیش از 165 سال از شروع مصرف انبوه سیمان پرتلند می‌گذرد و هم اکنون بصورت یکی از مهمترین مصالح ساختمانی درآمده است. تولید و مصرف جهانی این فرآورده در سال 1986 از مرز يك میلیارد تن گذشت و تا سال 2006 رقم 2 میلیارد تن را پشت سر خواهد گذاشت. این ارقام به مفهوم اینست که سیمان بعنوان يك کالای صنعتی بالاترین رقم تولید را در میان تمام کالاهای صنعتی دیگر داراست و جالب اینکه سیمان اولین کالای صنعتی استاندارد شده آن هم در 126 سال پیش است.

در قسمت های قبلی گفته شد که کلمه سیمان یعنی چسب و منظور از سیمان در مصالح ساختمانی چسبی است که در اثر ترکیب با آب قادر به چسباندن ذرات شن و ماسه (سنگدانه) است و پس از سفت و سخت شدن، در آب حل نمی‌شود. به همین خاطر به این سیمان، سیمان هیدرولیک گفته می‌شود و اساساً از اکسید کلسیم تشکیل شده است و این اکسید با اکسیدهای سلیسیم، آلومینیوم و آهن ترکیب می‌شود و ترکیبات مینرالی یا فازهایی با خاصیت سیمانی را به وجود می‌آورد.

آشنایی بشر با ملات‌ها یا مصالحی که خاصیت هیدرولیکی (میل ترکیبی با آب) دارند، یا به عبارت دیگر ملات‌های آبی که پس از سخت شدن در آب حل نمی‌شوند سابقه چند هزار ساله دارد، اما از حدود 210 سال پیش بود که بررسی‌های علمی و سیستماتیک روی اینگونه ملات‌ها و عوامل اصلی سیمانی بودن آن‌ها شروع شد.

در ابتدای کار از کوره‌هایی مشابه کوره‌های آهک‌پزی برای تولید سیمان استفاده می‌شد و بدلیل استقبال زیاد از این کالای معجزه‌گر، در اواخر قرن نوزدهم کوره‌های دوار ابداع شد و هم اکنون تکنولوژی به حدی رسیده است که با حداقل ممکن انرژی مصرفی و نیروی انسانی کوره‌هایی با ظرفیت 10000 تن در روز عرضه می‌شود.

## ترکیبات سیمان (مواد اولیه برای تولید سیمان)

مواد اصلی به منظور تولید سیمان عبارتند از سنگ آهک و خاک رس (سلیسیم و آلومین) که در طبیعت به وفور یافت می‌شوند ولی به شکلی نیستند که بتوان مستقیماً در تولید سیمان از آن‌ها استفاده نمود.

سنگ‌های آهکی بیش از ۷۵ درصد  $\text{CaCO}_3$  و سنگ‌های آهکی همراه با خاک رس بین ۷۵-۴۰ درصد  $\text{CaCO}_3$  و خاک‌های آهکی کمتر از ۴۰ درصد  $\text{CaCO}_3$  دارند و از مخلوط این مواد می‌توان مخلوط لازم را برای تهیه سیمان به دست آورد.

### آهک زنده یا اکسید کلسیم ( $\text{CaO}$ ):

آهک از مهمترین و اصلی‌ترین مواد مورد استفاده در ساخت سیمان است، اکسید کلسیم از پختن سنگ آهک یا کربنات کلسیم در حرارت حدود هزار درجه سانتی‌گراد به دست می‌آید. این عمل به طور جداگانه صورت نمی‌گیرد، بلکه در فرآیند تولید سیمان، و در موقع حرارت دادن پودر مخلوط آهک و خاک رس ابتدا ذرات آهک (کربنات کلسیم) در حرارت حدود ۱۰۰۰ درجه سانتی‌گراد پخته شده و تبدیل به اکسید کلسیم و یا آهک زنده می‌شود. در این گرما آب شیمیایی خاک رس نیز از آن جدا می‌شود. در درجه حرارت بیشتر از ۱۰۰۰ درجه سانتی‌گراد، اکسید کلسیم (آهک زنده) با اکسیدهای سلیسیم، آلومینیوم و آهن ترکیب شده و اکسیدهای مرکب تشکیل می‌شوند.

### سلیسیم ( $\text{SiO}_2$ ):

این ماده که در اغلب سنگ‌های طبیعی یافت می‌شود یکی از مواد اصلی در ساخت سیمان پرتلند است. وقتی سلیسیم حرارت داده می‌شود در ساختمان کریستالی آن یک سری تغییرات به وجود می‌آید. در کوره سیمان پزی بیش از ۱۲۰۰ درجه سانتی‌گراد سلیسیم با آهک ترکیب می‌شود و دو کلسیم سیلیکات و سه کلسیم سیلیکات تشکیل می‌شود. خاک رس

معمولی دارای مقادیر زیادی سیلیس است. میزان سیلیس مورد نیاز ۱۷ تا ۲۶ درصد وزن سیمان است که چنانچه نتوان این مقادیر را با استفاده از خاک رس معمولی تامین کرد می توان آن را با استفاده از سایر منابع تامین کرد.

### آلومینا ( $Al_2O_3$ ) :

آلومینا، همان اکسید آلومینیوم خالص است که مقادیر زیادی از آن در خاک رس وجود دارد. خالص ترین نوع خاک رس، کائولینیت (  $Al_2O_3, 2SiO_2, 2H_2O$  ) است که در آن آلومینا حدود ۴۰ درصد وزن مولکولی کل این ماده را دارد. آلومینا در سیمان پزی اثر گداز آور و در هنگام پخت سیمان، درجه آب شدن و پخت مواد خام را کاهش می دهد. از نظر شیمی سیمان، در اثر حرارت داخل کوره دوار، با آهن ترکیب شده و تشکیل سه کلسیم آلومینات را می دهد. وجود این اکسید مرکب در داخل سیمان تولیدی، باعث می شود سیمان زودگیرتر شود و در هنگام ترکیب سیمان با آب حرارت بیشتری ایجاد شود. ملات سیمانی که فاقد اکسید سه کلسیم آلومینات باشد در برابر آب دریا و سایر آب های سولفات دار مقاوم است و خراب نمی شود.

### اکسید آهن ( $Fe_2O_3$ ) :

اکسید فریک نیز همانند آلومینا در سیمان پزی نقش گداز آور را دارد و باعث کاهش درجه آب شدن مواد خام در داخل کوره سیمان پزی می شود. این اکسید در داخل کوره و در هنگام پخت، به همراه آلومینا با آهن ترکیب شده و تشکیل اکسید مرکب چهار کلسیم آلومینوفریت را می دهد. اکسید آهن زیاد گیرش سیمان را کندتر می کند و رنگ سیمان را نیز تیره می کند، به همین دلیل برای ساخت سیمان سفید از این اکسید استفاده نمی شود. اکسید آهن جزء اصلی تشکیل دهنده اغلب سنگ آهن ها است، از این رو، اکسید فریک کم و بیش در اغلب کانی ها خصوصاً خاک رس، و در اغلب مواد اولیه ساخت سیمان به طور اجتناب ناپذیر وجود دارد. در سیمان پرتلند تولیدی نیز اکسید مرکب آن به وجود می آید که رنگ سیمان را تیره می کند. سیمان سفید فاقد اکسید آهن است. به علاوه در فرآیند پخت کلینکر سیمان، اکسید سیمان به سهولت تشکیل شود. لذا از این نظر نیز ساخت سیمان فاقد اکسید آهن ( سیمان سفید ) مشکلاتی را به وجود آورده و هزینه تولید افزایش می یابد.

### اکسید منیزیم ( $MgO$ ) :

در فرآیند پخت، نقش کمک ذوب را ایفا می نماید و هر چه قدر مقدار آن کمتر باشد، مفیدتر است، زیرا با سایر ترکیبات سیمان ترکیب نمی شود، بلکه به صورت آزاد در سیمان باقی می ماند. نظر به اینکه  $MgO$  پس از گرفتن ملات سیمان خیلی به کندی با آب ترکیب گشته و شکفته می شود و این شکستگی منجر به انبساط حجمی می گردد. در نتیجه ترک های مویی در ملات سیمان و بتن ایجاد می شود که در طول زمان باعث تخریب آنها می گردد. از این رو میزان  $MgO$  در سیمان نباید بیشتر از ۵٪ وزن آن باشد. شایان ذکر است که کلینکر سیمان یک ماده هیدرولیکی است که حداقل دوسوم آن از کلسیم سیلیکات  $2CaO.SiO_2$  یا  $3CaO.SiO_2$  و بقیه شامل اکسید آلومینیوم (  $Al_2O_3$  ) و اکسید آهن (  $Fe_2O_3$  ) و سایر ترکیبات می باشد. ضمناً نسبت  $CaO$  به  $SiO_2$  باید حداقل ۲ باشد.

### قلیائی ها :

سدیم (  $Na$  )، پتاسیم (  $K$  )، در سیمان نقش روانساز دارند، اگر مقدار آن ها در سیمان زیاد باشد تنظیم گیرش مختل می گردد، بدین جهت مجموع این دو عنصر نباید از ۱٪ وزن آن بیشتر گردد. مقدار کلر در کلیه سیمان ها به جهت نقش تخریبی آن در بتن، بایستی کمتر از ۰/۱۰ درصد وزنی آن ها باشد.

مقدار قابل قبول انیدرید سولفوریک (  $SO_3$  ) در سیمان پرتلند و در سیمان های روباره ای و پوزولانی بستگی به میزان سطح مخصوص ( بلین ) آنها دارد. اگر سطح مخصوص آنها بین ۲۰۰۰ الی ۴۰۰۰ سانتیمتر مربع بر گرم باشد ۳/۵ درصد وزنی سیمان است و اگر چنانچه سطح ویژه سیمان ها بیش از ۴۰۰۰ سانتیمتر مربع گردد چهار درصد وزنی سیمان است.

ضمناً خاطر نشان می گردد که سنگ آهن (  $Fe_2O_3$  ) به عنوان کمک ذوب به مواد اولیه افزوده می گردد.

## مشخصات شیمیایی و فیزیکی سیمان

همانطور که قبلاً گفته شد سیمان پودری است جاذب آب و چسباننده خرده سنگ (شن و ماسه) که از ترکیب و پختن و گداختن اکسید کلسیم با اکسیدهای نظیر اکسید آلومینیوم، سیلسیم، آهن، منیزیم و ... بدست می آید. با توجه به این تعریف و با توجه به انتظاراتی که از جنبه فیزیکی و کاربردی از سیمان و بتن حاصله مورد نیاز است، ایجاب می گردد که انواع و اقسام سیمان ها با خصوصیات کاربردی متفاوت ساخته شود. بعنوان مثال سیمان نوع یک یا سیمان معمولی دارای کاربرد در ساختمان سازی معمولی است. در ساختن سدهای عظیم و اسکله ها که هر آن مورد تهاجم املاح موجود در آب می باشند. مصرف این نوع سیمان مصلحت نیست و از این رو از سیمان مخصوص یا سیمان دارای مقاومت شیمیایی بالا استفاده می شود. این سیمان علاوه بر دارا بودن مشخصات عمومی سیمان ها دارای مشخصه مقاومت شیمیایی در مقابل سولفات ها و مواد قلیائی موجود در آب و خاک نیز می باشد. با ذکر مجدد این که انواع گوناگونی سیمان وجود دارد به نوعی دیگر که به نام سیمان چاه نفت معروف است و مورد کاربرد در حفاری چاه های نفت دارد اشاره می شود. این سیمان علاوه بر دارا بودن مشخصه های عمومی سیمان ها و مقاومت لازم در مقابل سولفات ها و قلیائی ها دارای خصوصیات لازم جهت کاربرد در اعماق زمین که درجه حرارت و فشار بیش از حد متعارف است نیز می باشد. خوشبختانه با توجه به قدمت هفتاد و پنج ساله صنعت سیمان در ایران، هم اکنون کارخانجات سیمان ایران دارای قابلیت و تجربه لازم برای ساخت انواع سیمان ها هستند.

اجزاء اصلی تشکیل دهنده ترکیب سیمان عبارتند از اکسید کلسیم، اکسید سیلسیم، اکسید آلومینیم و اکسید آهن، اکسید منیزیم، اکسید پتاسیم و اکسید سدیم نیز در سیمان وجود دارند که مجموعاً درصد وزنی این اکسیدهای فرعی کمتر از 5 درصد است. به خاطر وجود درجات حرارت بالا در منطقه پخت کوره، بخشی از این مواد به صورت مذاب در می آیند و در نتیجه در چنین محیطی اکسیدهای مذکور با یکدیگر ترکیب می گردند و ترکیبات چند تائی (چنداکسیدی) که موسوم به مینرال یا فازهای سیمان هستند پدید می آید.

البته آنچه که از کوره خارج می شود جسم تیره رنگ دانه، دانه ایست که موسوم به کلینکر می باشد و اجزاء مینرالی تشکیل دهنده آن عبارتند از:

1. سه کلسیم سیلیکات  $3CaO.SiO_2$  یا آلایت (Alite)

2. دو کلسیم سیلیکات  $2CaO.SiO_2$  یا بلایت (Belit)

3. سه کلسیم آلومینات  $3CaO.Al_2O_3$  یا آلومینات (aluminate)

4. چهار کلسیم آلومینو فریت  $4CaO.Al_2O_3.Fe_2O_3$  یا فریت (ferrite)

همراه با مینرال های اصلی فوق ترکیبات دیگری نظیر  $TiO_2$  و  $MgO$  و  $Na_2O$  و  $K_2O$  و برخی اکسیدهای دیگر به مقدار جزئی وجود دارند که به صورت محلول جامد در شبکه کریستالی مینرال ها (فاز های) فوق جای گرفته اند. خواص سیمان ناشی از ترکیب خواص اجزاء تشکیل دهنده آنست ولی عمده خواص آن مربوط به ترکیب موسوم به آلایت یا سه کلسیم سیلیکات می باشد. وجود ترکیباتی نظیر قلیائی ها، آهن، ترکیب نشده، اکسید منیزیم و امثال آن، غالباً منشأ اثرات منفی روی خواص سیمان هستند. از جهتی وجود اینگونه ترکیبات باعث می شود که نقطه ذوب و پخت مواد خام سیمان پائین بیاید و در نتیجه عمل پختن با سهولت بیشتری صورت گیرد. از جهت دیگر، اینگونه ترکیبات دارای میل ترکیبی زیاد با آب و املاح موجود در آن می باشند و در اثر ترکیب با املاح و آب افزایش حجم پیدا می کنند. بهمین خاطر وجود آن ها باعث پائین آمدن مقاومت شیمیایی سیمان می گردد. در سطور بعد برخی خواص فازهای اصلی کلینکر ذکر می شود. قبل از ورود به بحث مشخصات فازهای سیمان ذکر این نکته لازم است که به خاطر اختصار و سهولت بیان و نوشتن، اکسیدها و فازهای تشکیل دهنده سیمان را بصورت جدول 2 نمایش می دهند:

## فازهای موجود در سیمان

### آلیت ( $C_3S$ ):

معمولاً این ترکیب بصورت خالص در کلینکر وجود ندارد و اغلب همراه با ناخالصی می باشد. این ناخالصی متشکل از اکسیدهایی نظیر  $Fe_2O_3$ ،  $MgO$ ،  $Al_2O_3$ ،  $TiO_2$  می باشند که درصد آن ها در فاز آلیت جمعاً حدود 2 درصد است. مقادیر هر یک از این اکسیدها باعث تغییر خواص آلیت می گردد و معمولاً مقاومت فشاری آن را بالا می برند. در پایین تر از حرارت وجود این اکسیدها باعث تغییر خواص آلیت می گردد و معمولاً مقاومت فشاری آن را بالا می برند. در پایین تر از حرارت ۱۲۵۰ درجه سانتیگراد، ممکن است سه کلسیم سیلیکات به آهک و دو کلسیم سیلیکات تجزیه شود. این اتفاق در صورتی پیش می آید که عمل سرد کردن به آهستگی صورت گیرد. خصوصاً در شرایط احیاء کننده و وجود  $Fe^{+2}$  تجزیه فوق سریعتر صورت می گیرد. چه از نظر مقدار (درصد تشکیل دهنده) و چه از نظر تاثیر روی خواص سیمان، فاز آلیت دارای بیشترین سهم می باشد. خصوصاً اثر بارز این ترکیب تاثیر روی مقاومت سیمان است. برای بوجود آمدن این ترکیب بایستی حالت گداختگی (ذوب شدن) (Sintering) در منطقه پخت ایجاد شود.

این فاز در دیگرام فازی  $CaO-SiO_2$  قرار دارد.

### بلیت ( $C_2S$ )

بلیت خالص در کلینکر سیمان یافت نمی شود و همراه با مقادیری از سایر اکسیدها می باشد. این ترکیب در ضمن پختن کلینکر و در حالت جامد تشکیل می گردد. در مواقعی که ضریب اشباع آهک بالاست مقادیر خیلی کمی از این ترکیب در کلینکر وجود خواهد داشت. گسترش و افزایش مقاومت بلیت (L.S.F)، آهسته است اما در دراز مدت تقریباً به مقاومت آلیت می رسد. کریستال بلیت در درجه حرارت معمولی تغییر شکل کریستالی می دهد و از فرم معروف به بتا به فرم معروف به گاما، که می دهد. در ابتدا بلیت بتا در مقایسه با نوع (Modification) پایدارتر است تغییر شکل کریستالی گاما به مقدار زیادی در کلینکر وجود دارد و نوع گاما دارای خاصیت هیدرولیکی نمی باشد. این تغییر شکل همراه با 10 درصد افزایشی حجمی کلینکر است. این از هم گسیختگی سریع کلینکر به نام افت کلینکر (Falling) موسوم است. از این تبدیل و افت کیفیت کلینکر می توان با اضافه کردن یون های خارجی و یا با تسریع در سرد کردن کلینکر جلوگیری کرد. در حال حاضر با توجه به تکنولوژی موجود در صنعت سیمان عملاً مشکل افت کلینکر حذف شده است.

### فاز آلومینات ( $C_3A$ )

فاز آلومینات نیز مشابه دوفاز دیگر به همراه عناصر خارجی می باشد. در این فاز، اکسید های سدیم و پتاسیم قادرند تا حد 5 درصد وزنی جای گیرند. خاصیت ترکیبی فاز آلومینات بسیار بالا می باشد و با حضور اکسیدهای قلیایی این میل ترکیبی شدیدتر می گردد. ترکیباتی از فاز آلومینات با اکسیدهای سدیم و پتاسیم گزارش گردیده است.

بدلیل میل ترکیبی شدید فاز آلومینات با آب و برای جلوگیری از گیرش سریع سیمان، مقداری سنگ گچ (سولفات کلسیم) بعنوان عامل بازدارنده و کند کننده گیرش به سیمان افزوده می شود. گرمای هیدراتاسیون فاز آلومینات بسیار بالا می باشد و وجود آن در سیمان به همراه آلیت و بلیت باعث افزایش مقاومت اولیه کلینکر می گردد. ولی خود به تنهایی دارای خواص هیدرولیکی چندانی نمی باشد و روی مقاومت نهائی تاثیر چندانی ندارد.

### فاز فریت ( $C_4AF$ )



فاز فریت دارای ترکیب مشخصی نمی باشد و ترکیب آن بستگی به مقدار آلومینیم و آهن موجود در کلینکر دارد. این فاز در محدوده بین  $C_2A$  و  $C_2F$  قرار دارد و می تواند شامل هر یک از ترکیبات  $C_6AF$  و  $C_4AF$  و  $C_6A_2F$  باشد. حدوداً ترکیب فاز فریت در کلینکر سیمان پرتلند نزدیک به  $C_4AF$  است.

در این فاز اکسید عناصر دیگر نیز وجود دارد و رنگ سیمان وابسته به این فاز و مقدار آن می باشد  $C_2(AF)$ . خالص دارای رنگ قهوه ای،  $C_2(AF)$  به همراه  $MgO$  دارای رنگ خاکستری سبز یا سبز می باشد. این فاز میل ترکیبی کمی دارد و نقش هیدرولیکی چندانی در سیمان ندارد.

## ترکیبات فرعی

این ترکیبات شامل انواعی از اکسیدها نظیر: قلیائی ها، اکسید منیزیم، سولفات ها و امثال آن می باشد. قلیائی ها از جمله ترکیبات فراوان و پراکنده در طبیعت می باشند. ولذا از طریق مواد خام وارد فازهای کلینکر می گردند. در ضمن عمل پخت، مقدار قابل توجهی از قلیائی ها از سیستم پخت خارج می شوند. درصد قلیائی ها در سیمان در فاصله 5.0 تا ۱.۳ درصد است که در سیمانهای دارای قلیائی پائین مقدار قلیائی کل بر مینای معادل اکسید سدیم باید کمتر از 6.0 درصد باشد. اکسید سدیم به صورت محلول جامد و به مقدار حدود 3.0 درصد وارد شبکه کریستالی  $C_3S$  می شوند. همچنین  $K_2O$  و  $MgO$  و  $CaO$  Free (آهک آزاد) نیز همانند  $Na_2O$  وارد شبکه کریستالی  $C_3S$  و  $C_2S$  می شوند.

سولفات ها از طریق مواد اولیه (خاک رس) و سوخت وارد فازهای کلینکر می گردند. ترکیبات گوگرد ممکن است به صورت سولفات قلیائی و یا ترکیباتی نظیر  $CaSO_4$ ،  $3(CaO.Al_2O_3)$  و یا

$2(CaO.SiO_2)$ ،  $CaSO_4$  در فازهای کلینکر و به صورت محلول جامد (Solid Solution) وجود داشته باشند. یون های سولفات برخلاف یون های فسفات باعث تجزیه  $C_3S$  نمی شوند، ولی وجود سولفات به همراه آلومینا باعث تجزیه  $C_3S$  می شود. وجود  $MgO$  در سیمان باعث خنثی کردن اثر آلومینا و سولفات روی تجزیه  $C_3S$  می گردد.

اکسید تیتان به مقدار جزئی (۰.۲ تا ۰.۳ درصد) در تمام سیمان های پرتلند وجود دارد. در سیمان آلومینائی مقدار آن بالاتر است (5.1 تا 2 درصد). وجود مقادیر کم این اکسید باعث افزایش مقاومت سیمان می شود و مقادیر بالای آن (در حد 5.4 درصد) باعث افت فشار می گردد. اکسید تیتان در کلینکر سرد شده سیمان پرتلند به صورت  $C_3T$  2 وجود دارد.

در حدود 2.0 درصد پنتاکسید فسفر  $P_2O_5$  در سیمان های پرتلند وجود دارد و وجود اکسید فسفر در سیمان باعث تجزیه  $C_3S$  و تولید  $C_2S$  و آهک آزاد، می گردد. از این رو مقادیر بالای پنتاکسید فسفر (در حدود 2.5 درصد)، باعث افت مقاومت سیمان خواهد شد.

کریستال های ریز و پراکنده پریکلاس دارای اثر تخریبی کمتری هستند. در صورتیکه دانه های کریستال پریکلاس درشت باشد و یا اینکه به صورت مجتمع در گودال هایی (Pockets) جمع شده باشند، دارای اثر تخریبی (انبساط حجمی) بیشتری در مقایسه با مقدار (وزنی) مشابه کریستال های ریز و پراکنده می باشند. نکته فوق در مورد آهک آزاد نیز صادق است.

انبساط حجمی آهک آزاد ناشی از آهسته شکفته شدن آن است که همان ترکیب آهک با آب و تشکیل هیدروکسید کلسیم  $Ca(OH)_2$  می باشد. این ترکیب دارای حجمی معادل ده برابر حجم آهک تشکیل دهنده آن است. بطور مشابه انبساط حجمی منیزی نیز ناشی از ترکیب آن با آب می باشد. فعل و انفعال شکفته شدن آهک آزاد و منیزی در سیمان معرف ناسالم بودن و معیوب بودن سیمان (میزان باد کردن ملات یا بتن) است که اصطلاحاً بدان (Unsoundness) می گویند.

در جدول زیر درصد وزنی هر یک از اکسیدهای موجود در فازها و مشخصات عمومی فازهای کلینکر ذکر شده است.

غالباً کلینکر سیمان حاوی آهک آزاد و یا  $CaO$  ترکیب نشده می باشد. وجود آهک می تواند به علت وجود یکی از عوامل زیر باشد:

۱. آماده سازی مواد خوب انجام نشده باشد: مواد یا زیر است یا اینکه خوب همگن نشده است.

۲. سرعت سرد کردن در خنک کن کوره پایین باشد: در نتیجه مقداری از  $C_3S$  یا  $C_3A$  تجزیه شده باشند.
۳. درصد آهک (تیتراسیون) بالا باشد ( $L.St III > 100$ )
۴. مواد خوب پخته نشده باشد: آهک فرصت ترکیب با سایر اکسیدها را نداشته است.

اکسید	فاز آلیت	فاز بلیت	فاز آلومینات	فاز فریت
CaO	۶۹.۷	۶۳.۲	۵۹.۵	۵۱.۴
SiO <sub>2</sub>	24.9	۳۱.۵	۴.۲۱	۲.۲۸
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	۱.۱۲	۱.۸۴	۲۷.۵۲	۱۹.۶
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	۰.۶۴	۰.۹۶	۵.۷۶	۲۲.۵۲
MgO	۰.۸۹	۰.۴۸	۰.۸۵	۳.۱۸
K <sub>2</sub> O	۰.۱۹	۰.۷۵	۰.۶۶	-
Na <sub>2</sub> O	۰.۰۶	۰.۱۹	۰.۲۵	-
TiO <sub>2</sub>	۰.۱۶	۰.۲۴	۰.۴۸	۱.۶
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	-	۰.۲۸	-	-

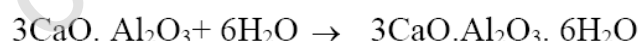
درصد وزنی هر یک از اکسیدهای موجود در فازها و مشخصات عمومی فازهای کلینکر

وجود آهک آزاد در سیمان مطلوب نیست و مقدار آن بایستی کمتر از 5.2 درصد باشد. حضور آن باعث انبساط حجمی (ناسالم بودن سیمان) بتن و ملات می شود.

همچنین در کلینکر ترکیب MgO (اکسید منیزیم - پریکلاس) نیز وجود دارد. این ترکیب معمولاً به صورت محلول جامد وارد شبکه کریستالی سایر فازها می شود درصد مجاز MgO در کلینکر ۲.۵ تا ۳ درصد است و بالاتر از این ارقام مترادف با ناسالم بودن سیمان است. نسبت اکسید منیزیم ترکیب شده با سایر فازها، به اکسید منیزیم حل شده بستگی به ترکیب شیمیایی کلینکر دارد. وجود پریکلاس در سیمان باعث ناسالم بودن سیمان و انبساط حجمی (Magnesia Expansion) ملات و بتن می گردد.

## سنگ گچ

بطوریکه در بیان گردید، یکی از مینرال های موجود در کلینکر سیمان، فاز سه کلسیم آلومینات ( $C_3A$ ) است. این فاز دارای میلی ترکیبی شدیدی با آب و آهک هیدراته می باشد. بدین صورت:



آهک هیدراته از هیدراته شدن کلسیم سیلیکات های موجود در کلینکر (آلیت و بلیت)، حاصل می شود. بطوریکه ملاحظه می گردد هیدراته شدن سریع  $C_3A$  به معنی جذب مقدار زیادی آب در فاصله زمانی کم است که نتیجه این جذب سریع، گیرش سریع سیمان و سفت شدن آن می باشد و در نتیجه در کارهای بنائی و ساختمان فرصت لازم برای کار با ملات یا بتن وجود نخواهد داشت.

عمده ترین دلیل افزودن گچ خام به کلینکر سیمان، کنترل گیرش سیمان یا در حقیقت کنترل سرعت هیدراته شدن آلومینات موجود در سیمان می باشد. بعبارت دیگر گچ خام نقش به تأخیر انداختن گیرش را بازی می کنند. علت آن هم اینست که فاز آلومینات دارای میل ترکیبی با گچ خام است و در حضور گچ خام فعل و انفعال هیدراته شدن به صورت زیر است:



کریستال حاصله در فرمول فوق به نام سه سولفات یا اترینجیت (Ettringite- trisulfate) موسوم است. اولاً این کریستال دارای حجمی معادل 8 برابر حجم آلومینات اولیه است، ثانیاً کریستالهای آن در مقایسه با کریستالهای آلومینات، بسیار ریزتر و پراکنده تر می باشند، ثالثاً این کریستال نوظهور به صورت قشر نازکی روی سایر ذرات موجود در سیمان را می پوشاند و برای چند ساعت اولیه عمل هیدراتاسیون، مانع از رسیدن سریع آب به سایر ذرات می شود، در نتیجه از سفت شدن سیمان جلوگیری می گردد. نقش دیگر لایه نازک کریستال سه سولفات اینست که در برابر لغزش ذرات سیمان ممانعتی ایجاد نمی نماید و بلکه عمل لغزش را تسریع می کند. این خاصیت بدین معنی است که شکل پذیری و خاصیت پلاستیکی را در سیمان افزایش می دهد.

پس از مراحل فوق کریستال های اترینجیت به صورت سوزنی شکل (رشته ای) شروع به رشد می نماید. در نتیجه از حالت غشاء (پوشش ذرات دیگر سیمان) بیرون می آید و آب محصور شده در فاصله بین این غشاء و سایر ذرات سیمان، فرصت تماس با سایر ذرات و ترکیب با آن ها و در نتیجه هیدراته کردن سایر ذرات را، پیدا می کند. از این مرحله به بعد است که گیرش سیمان شروع می شود با گذشت زمان کریستال های سه سولفات نیز به کریستال های يك سولفات تبدیل می گردند.

مقدار سولفاتی (گچ خام) که می بایستی به سیمان افزوده شود، باید آنچنان باشد که جوابگوی مصرف واکتس مذکور باشد. افزودن مقدار اضافی سولفات دارای عوارض سوئی است که از جمله آن ها انبساط حجمی بیش از حد مجاز بتن و ملات سیمان می باشد. از این روست که در استانداردهای مختلف مقدار گچ مصرفی متناسب با  $C_3A$  موجود در سیمان است. معمولاً در صد گچی که همراه با کلینکر در آسیاب سیمان مصرف می شود بین 3 تا 5 درصد است.

لازم به ذکر است که سنگ گچ به منظور جلوگیری از گیرش سریع و جرقه ای سیمان و کنترل زمان آن اضافه می شود.

## روش های تولید سیمان

بر اساس طبقه بندی بین المللی، صنعت سیمان جزء گروه صنایع کانی غیر فلزی محسوب می شود.

اصولاً سه روش برای تولید سیمان وجود دارد :

۱. روش تر
۲. روش نیمه تر
۳. روش خشک

نوع این روش ها بستگی به مواد خام ورودی به کوره از نظر غلظت و میزان آب اضافه شده به آن ها دارد. مهمترین و پرکاربردترین روش تولید سیمان در جهان روش خشک است. سیستم پخت اکثر کارخانه های سیمان کشور ما نیز بر این روش استوار است.

در فرآیند نخست (تر) مواد خام بطور مرطوب به داخل کوره تغذیه می گردد. در فرآیند تولید سیمان به صورت خشک، مواد خام خشک، آسیاب شده و به صورت پودر خشک به درون کوره تغذیه می شود. در فرآیند نیمه تر مواد خام ابتدا به صورت خشک آسیاب شده و سپس گویچه های حاصله به درون کوره تغذیه می شود.

خط تولید سیمان از معدن شروع و به بارگیرخانه و بسته بندی سیمان خاتمه می یابد. در تولید سیمان به روش خشک نخست مواد خام و اولیه نظیر سنگ آهک، خاک رس، مارل (خاک آهک دار)، سنگ گچ، سنگ آهن و سنگ سیلیس از معادن استخراج می گردند. در استخراج موادی نظیر سنگ آهک، سنگ آهن و سنگ گچ نیاز به چالزنی و ایجاد انفجار بوسیله

دینامیت و مواد منفجره است. موادی نظیر خاک رس و مارل (خاک آهک دار) نیاز به چالزنی و انفجار ندارند و صرفاً از بولدورها و یا دستگاه های مشابه جهت دپو کردن مواد استفاده می شود.

روش های مختلفی برای تولید سیمان های مختلف وجود دارد که عمدتاً بستگی به تکنولوژی مورد استفاده و جنس سیمان دارد، تکنولوژی مورد استفاده برای تولید سیمان به مرور دستخوش تحول و پیشرفت بوده است. هم اکنون صنعت سیمان با برخورداری از آخرین تکنیک های اعجاب انگیز، با استفاده از روش خشک و به کمک سیستم های اتوماتیک، شاهد پیشرفت های شگرف در طول تاریخ 160 ساله تولید صنعتی خود می باشد.

#### چهار مرحله اصلی در تولید سیمان وجود دارد (روش خشک):

1. خردکردن و آسیاب کردن مواد خام
2. ترکیب مواد به نسبت مناسب
3. پخت مخلوط تهیه شده در کوره (سیستم پخت)
4. آسیاب کردن (نرم کردن) محصول پخته شده که به "کلینکر" معروف است

#### شرح مراحل تولید سیمان:

##### مواد اولیه :

مورد استفاده در صنعت سیمان معمولاً سنگ آهک و خاک رس است که پس از استخراج بوسیله کامیون (یا در مواردی بوسیله واگن - کشتی - نوار نقاله و...) به محل کارخانه و به قسمت سنگ شکن حمل می شوند. خاک و سنگ آهک بصورت جداگانه از خرد کن عبور کرده و خرد می گردند. در سنگ شکن که مخصوص خرد کردن سنگهای تا ابعاد دو متر می باشد، سنگ خرد (شکسته) شده و بستگی به نوع سنگ شکن و آسیاب مواد ابعاد آن به کمتر از 8 سانتیمتر تقلیل می یابد. در مواردی سنگ آهک بصورت قلوه سنگ همراه با خاک می باشد که باین مخلوط طبیعی آلومین یا مارل می گویند. در این مورد نیز لازم است که مواد از سنگ شکن عبور نمایند.

##### سالن مواد :

پس از خرد شدن سنگ آهک و آماده شدن خاک، این دو در یک سالن با یکدیگر مخلوط می شوند و یا در دو سالن جداگانه ریخته می شوند و سپس به نسبت لازم قبل از ورود به آسیاب مواد با یکدیگر مخلوط می گردند. ممکن است به مخلوط حاصله مواد اولیه دیگری نظیر سنگ آهن به منظور کمک ذوب یا سنگ سیلیس جهت تصحیح و تنظیم ترکیب شیمیایی مواد برای ساخت سیمان ضد سولفات اضافه شود. که این عمل می تواند هم در سالن مواد صورت گیرد و هم اینکه مواد اولیه اصلی در قیف های جداگانه ریخته شوند و سپس به نسبت های لازم از طریق قیف ها و سیستم توزین وارد آسیاب مواد شوند. آسیاب مواد: انواع مختلفی دارد و در خط تولید مورد بحث از نوع گلوله ای می باشد. اصولاً در آسیاب مواد، مواد اولیه خرد شده به نسبت های لازم وارد آسیاب می شوند و سپس بصورت پودر (با رطوبت کمتر از موقع ورود) از آسیاب خارج می گردند. آنچه که از آسیاب مواد خارج می شود بنام مواد خام یا خوراک کوره نیز موسوم است. آسیاب مواد مجهز به کوره هوای گرم برای گرفتن رطوبت مواد می باشد. غالباً از گاز های گرم خروجی از کوره برای این منظور استفاده می شود. این کوره برای مواردی است که کوره اصلی متوقف می باشد.

**گرد گیر :**

بمنظور خشك کردن و جابجائي مواد در آسیاب مواد از گازهاي خروجي از كوره استفاده مي شود. اين گازها پس از انتقال مواد از آسیاب وارد الكتروفيولتر گشته و ذرات مواد و گرد و غبار از آن جدا مي گردد و سپس از طريق دودکش به خارج (محیط اطراف) فرستاده مي شود.

**سیلوهایی ذخیره مواد :**

مواد پودر شده پس از الكتروفيولتر وارد سیلوهایی مخلوط کن و ذخیره می شود و پس از نمونه گیری و آزمایشات لازم توسط آزمایشگاه و اطمینان از تنظیم بودن و متناسب بودن ترکیب مواد خام، هموژن می گردد و سپس به سیلوهایی ذخیره خوراك فرستاده می شود. در خط تولید مورد بحث فقط يك سیلو از نوع جریان پیوسته به ظرفیت 25000 تن منظور شده است. در این قسمت مواد ذخیره شده آماده مصرف در كوره می باشد.

**كوره و پیش گرمکن :**

مواد خام از قسمت بالاي پیش گرم کن وارد سیستم پخت می شود و پس از عبور از پیش گرم کن و کلساینر وارد كوره دوار (شکل-18) می گردد. مواد خام در پیش گرم کن به مرور (در فاصله حدود 50 ثانیه) خشك، گرم و کلسینه می شود. پیش گرمکن دارای دو برج است که در یکی از آنها کلساینر قرار دارد.

مواد پس از تکلیس وارد كوره شده و نهایتاً بصورت دانه های کلینکر از كوره خارج می گردد. كوره واحد مورد بحث دارای ظرفیت 4000 تن در روز می باشد. سیستم پخت متشکل از پیش گرمکن، کلساینر، در، کانال هوای سوم، كوره، خنك کن و دستگاه جدا سازی قلیائی نشان داده شده است. در این شکل ارقام و اطلاعات زیادی ارائه شده است و مقادیر مواد، گاز، هوا، سوخت، کلینکر و... همگی بر مبنای يك کیلوگرم کلینکر می باشند.

مقدار ۱.۶۸ کیلوگرم مواد با درجه حرارت 50 درجه سانتیگراد وارد پیش گرمکن می شود و پس از طی مسیر سیکلون ها، کلساینر، كوره و خنك کن بصورت کلینکر با وزن يك کیلوگرم و درجه حرارت ۸۰ درجه سانتیگراد خارج می شود. مقدار هوای ورودی به خنك کن 3.2 متر مکعب است که 36.0 متر مکعب آن بعنوان هوای ثانویه، 54.0 متر مکعب آن بعنوان هوای سوم (میان-ثالثیه) و ۱.۴ متر مکعب آن به صورت هوای اضافی از خنك کن خارج می شود. 40 درصد سوخت مصرفی در مشعل اصلی كوره و 60 درصد آن در کلساینر مصرف می شود. درصد تکلیس مواد در کلساینر 90 درصد است. درجه حرارت کلینکر خروجی از كوره 1400 درجه سانتیگراد، گازهاي خروجي از كوره 1050 درجه سانتیگراد، گازهاي خروجي از سیکلون ها بترتیب 750 و 870 و 550 و 350 درجه سانتیگراد می باشند. درصد اکسیژن گازهاي عقب كوره ۲ درصد است و حاوی مقدار قابل توجهی مواد قلیائی هستند. مقدار 32.0 متر مکعب از گازهاي خروجي از كوره وارد دستگاه جداسازی مواد قلیائی (Alkaly Bypass) و مقدار 02.0 کیلو گرم مواد قلیائی از آن جدا می گردد. در این دستگاه ۰.۵۴ متر مکعب هوای محیط برای پائین آوردن درجه حرارت گازهاي خروجي از كوره و انجماد بخارات مواد قلیائی استفاده می شود. مقدار گازهاي خروجي از پیش گرمکن به سمت آسیاب مواد 34.1 متر مکعب است و با درجه حرارت 350 درجه سانتیگراد حاوی ۰.۱ کیلوگرم مواد برگشتی می باشد.

**خنك کن کلینکر :**

درجه حرارت کلینکر خروجی از كوره حدود 1300 درجه سانتیگراد است و این مقدار حرارت موجود در کلینکر بوسیله جریان هوای سرد باز یابی می شود. سپس کلینکر خنك شده (تا حدود 100 درجه سانتیگراد) راهی انبار کلینکر می

گردد. بخشی از هوای گرم شده از طریق کانال هوای سوم بسمت کلساینر می رود و بخشی دیگر وارد کوره می شود و اکسیژن مورد نیاز سوخت را تامین می کند نمونه ی خنک کن (مشبک) گریت را در شکل زیر می بینید.

### خرد کن و قیف سنگ گچ :

به کلینکر خروجی از کوره حدود 4 درصد سنگ گچ افزوده می شود و سپس در آسیاب سیمان پودر می گردند. قبلاً سنگ گچ (گچ خام) درخرد کن جداگانه ای به اندازه های کمتر از 4 سانتیمتر خرد شده و سپس در قیف مربوطه ذخیره شده است. سرعت ترکیب پودر کلینکر با آب بسیار شدید است و بهمین خاطر از سنگ گچ برای کنترل این ترکیب و گیرش سیمان استفاده می شود.

### آسیاب سیمان :

از طریق دو نوار تغذیه مجهز به سیستم توزین، سنگ گچ خرد شده و کلینکر وارد آسیاب سیمان گلوله ای می شوند و پس از پودر شدن، پودر حاصله (سیمان) از طریق بالابر کاسه ای و هوایی (الواتر و ارلیفت) به سیلوهای ذخیره سیمان فرستاده می شود. در دهه اخیر استفاده از آسیاب های غلطکی برای پودر کردن کلینکر و تولید سیمان مرسوم شده است؛ از جمله در پروژه های سیمان تهران و فراز فیروز کوه برای دیپارتمان آسیاب سیمان، آسیاب های غلطکی خریداری شده است.

### سیلو های سیمان و بارگیر خانه :

با توجه به ظرفیت تولید کارخانه تعدادی سیلوی بتونی جهت ذخیره سیمان در نظر گرفته می شود. سپس سیمان بکمک دستگاههای بارگیری سیمان فله یا بسته بندی و پر شدن در کیسه بارگیری شده و از کارخانه صادر می گردد. وسیله حمل سیمان از کارخانه می تواند کامیون و اگن، قطار و یا کشتی باشد. چگونگی حمل بستگی به موقعیت کارخانه و محل مصرف دارد.

# انواع سیمان ها

www.cementtechnology.ir

سیمان های استاندارد شده به دو گروه تقسیم می گردد :

### الف ) گروه سیمان های اصلی شامل :

- سیمان پرتلند که در حدود ۹۵ درصد آن کلینکر پرتلند می باشد و بالاترین رقم تولید را به خود اختصاص می دهد.
- سیمان تیپ ۱- سیمان معمولی جهت مصارف عادی.
- سیمان تیپ ۲- سیمان ضد سولفات متوسط با حرارت هیدراتاسیون متوسط جهت زمین های نسبتاً شوره زار و در جنب آب دریا مصرف می شود.
- سیمان تیپ ۳- سیمان زودگیر است.
- سیمان تیپ ۴- سیمان با حرارت هیدراتاسیون کم جهت حجم های زیاد مانند سدها به کار می رود.
- سیمان تیپ ۵- سیمان ضد سولفات بالا برای زمین های خیلی شوره زار در جنب آب دریا کاربرد دارد.
- سیمان های مخلوط که جزء اصلی آنها کلینکر پرتلند است و به همراه آن سازنده های فرعی ( مواد افزودنی ) به کار رفته است.
- سیمان پرتلند روباره ای که دارای بیش از ۶۵ درصد کلینکر پرتلند و کمتر از ۳۵ درصد روباره ذوب آهن است.
- سیمان پرتلند خاکستر ذغال سنگ با بیش از ۶۵ درصد کلینکر پرتلند و کمتر از ۳۵ درصد خاکستر حاصل از سوختن ذغال می باشد. ( در ایزوگام )
- سیمان پرتلند آهکی که به PKZ شهرت دارد و نخستین بار در ایران در کارخانه سیمان آبیك ( ۱۳۷۴ ) به تولید رسیده. در تولید سیمان مذکور بیش از ۸۰ درصد کلینکر پرتلند و کمتر از ۲۰ درصد سنگ آهک ویژه مصرف می گردد.
- سیمان پرتلند پوزولانی متشکل از ۶۵ درصد کلینکر پرتلند و کمتر از ۳۵ درصد باقیمانده مواد آتشفشانی است.
- ( سیمان آهن گذاری کوره بلند ) ( Hochofenzement ) که بیش از ۳۵ درصد روباره و کمتر از ۶۵ درصد کلینکر پرتلند اجزاء تشکیل دهنده می باشند.
- سیمان پوزولانی که درصد بالایی سنگ یا خاکستر آتشفشانی در آن به کار رفته است.

### ب ) گروه سیمان های ویژه که اغلب آنها از خانواده سیمان پرتلند می باشد، عبارتند از :

- سیمان سفید
- سیمان ضد سولفات ( تیپ ۲ و تیپ ۵ )
- سیمان با گرمای هیدراتاسیون پایین
- سیمان سوپر سولفات
- سیمان چاه نفت
- سیمان برقی ( آلومینی )
- سیمان بنایی ( ملات )
- سیمان رنگی
- سیمان پرتلند آهکی ( PKZ )



پنج نوع سیمان پرتلند بر اساس ASTM C150 ، هشت نوع سیمان هیدرولیکی مخلوط شده بر اساس 595 ASTM C ، سه نوع سیمان بنایی بر اساس ASTM C91 ، دو نوع سیمان پلاستیک، سه نوع سیمان انبساطی و تعدادی سیمان‌های مخلوط یا پرتلند ویژه برای بلوک ، لوله و سایر کاربردها وجود دارند. تعدادی سیمان‌های زودگیر و زود سخت شونده نیز امروزه در دسترس هستند که با مشخصات C 595 مطابقت دارند. به علاوه سیمان‌های پُرآلومینیوم و منیزیم یا سیمان‌های سورل نیز وجود دارند. برخی سیمان‌ها در بازارهای منطقه‌ای محدودی در دسترس هستند، ولی انواع I\*\*\*\*II\*\*\*\*III معمولاً در تمامی بازارها موجود و قابل دستیابی‌اند. بسیاری از سیمان‌های نوع I\*\*\*\*II مشخصات هر دو نوع را ارضا می‌نمایند. بعضی از سیمان‌های نوع II ویژگی‌های اجرایی نوع V را دارا هستند. ترکیبات شیمیایی زیر به عنوان نمونه بیانگر مقایسه بین انواع سیمان پرتلند می‌باشد. البته مقادیر واقعی ترکیبات مربوط به هر سازنده با مقادیر نمونه زیر قدری تفاوت دارند .

**سیمان‌های پرتلند استاندارد به شرح ذیل می‌باشند :**

#### **نوع I ، سیمان معمولی :**

این نوع عموماً استفاده می‌شود مگر اینکه مشخصاً نوع دیگری ذکر شده باشد. غالباً مشخصات نوع II را ارضا می‌نماید. بعضی از موارد مصرف آن عبارتند از: جدول خیابان‌ها، ملات‌ها، اندود ها و پی ساختمان هایی که امکان حمله سولفات ها در آنها وجود ندارد .

#### **نوع II ، مقاومت متوسط در مقابل سولفات اصلاح شده :**

برای مواردی که حرارت هیدراسیون متوسط مطرح باشد به کار می رود. حداکثر  $C_3A$  به میزان 8 درصد است. این نوع سیمان برای بتن در مجاورت آب دریا نیز می تواند استفاده شود .

#### **نوع III ، زود سخت شونده :**

این سیمان بیشتر آسیاب شده و دارای درصد های بالاتر  $C_3A$  و  $C_3S$  است. مقاومت‌های فشاری 3 و 7 روزه بتن ساخته شده با این نوع سیمان به ترتیب با مقاومت‌های 7 روزه و 28 روزه بتن ساخته شده با انواع I\*\*\*\*II تقریباً معادل است. ولی مقاومت نهایی حدوداً برابر یا کمتر از دو نوع دیگر می باشد .

#### **نوع IV ، کم حرارت :**

درصدهای  $C_2S$  \*\*\*\*  $C_4AF$  نسبتاً بالا است. در حالی که درصدهای  $C_3A$  و  $C_3S$  پایین است. حرارت هیدراسیون نسبت به سایر انواع کمتر است و کندتر توسعه می یابد. روند کسب مقاومت خیلی کندتر است. این نوع سیمان در سازه‌های بتنی حجیم با نسبت‌های پایین سطح به حجم استفاده شده و فقط در صورت سفارش خاص برای تناژهای خیلی زیاد و مدت طولانی مصرف قابل تأمین است. این سیمان نسبت به سایر انواع، مدت طولانی‌تری برای عمل آوری نیاز دارد .

#### **نوع V ، ضد سولفات :**

این سیمان مقدار خیلی کمی  $C_3A$  دارد (5%). به جای این معیار می‌توان یک حد جایگزین با استفاده از مشخصات 425 ASTM C برای  $C_3A+C_4AF$  تعیین نمود. این نوع سیمان برای بتن‌های در مجاورت سولفات‌های قلیایی خاک، سولفات‌های آب‌های زیرزمینی، و آب دریا استفاده می‌شود. معمولاً کارخانه‌های زیادی این سیمان را عرضه می کنند ولی امکان دارد سفارشات مخصوص نیز مورد نیاز باشد .

این سه نوع سیمان از نظر ترکیب شبیه سیمان‌های نوع I\*\*\*\*II و III بوده به جز اینکه در حین ساخت یک ماده افزودنی حباب هوازا با آنها مخلوط شده است. البته برای تأمین حباب هوا در بتن روش ضعیفی است و نمی‌توان سایر عوامل مؤثر بر روی حباب هوا در بتن را با آن تغییر داد. این نوع سیمان‌ها معمولاً فقط در آمریکای شرقی یافت می‌شوند. در ایران نیز تا به حال استاندارد و تولید نشده‌اند.

### سیمان‌های مخلوط :

این سیمان‌ها شامل مخلوط آسیاب شده کلینکر سیمان‌های پرتلند عادی و خاکستر بادی، پوزولان طبیعی یا کلسینه شده و یا سرباره با درصد‌های مشخص می‌باشد. آنها همچنین ممکن است شامل مخلوط‌های آهک سرباره و آهک پوزولان باشند. این سیمان‌ها عموماً ولی نه الزاماً باعث افزایش مقاومت بتن در مقابل واکنش قلیایی سنگدانه‌ها (به علت مصرف آهک آزاد بتن)، حمله سولفاتی و آب دریا می‌شوند. همچنین به علت نفوذ پذیری کمتر، مقاومت بیشتری در مقابل آسیب ناشی از یخ زدن و آب شدن و نمک‌های یخ زدا نشان می‌دهند. روند آزادسازی حرارت توسط سیمان‌های مخلوط کندتر بوده و ممکن است کسب مقاومت کندتری به خصوص در دماهای پایین داشته باشند. با این حال باید توجه داشت که میزان کل حرارت آزاد شده توسط این سیمان‌ها با سیمان‌های پرتلند مشابه خودشان تفاوت چندانی ندارد و در نهایت نیز سیمان‌های مخلوط به مقاومت نهایی در حدود سیمان‌های پرتلند خواهند رسید.

### سیمان بنایی (Masonry cement):

سیمان بنایی سیمانی است که در بیشتر کشورهای صنعتی جهان به منظور مصرف در ملات‌ها و کارهای بنایی ساخته می‌شود. اکثر کارخانه‌ها فرمول خاص خود را برای ساختن این سیمان رعایت کرده و آن را مخفی نگه می‌دارند و منتشر نمی‌کنند. این سیمان در سه نوع N\*\*\*\*S\*\*\*\*M تولید می‌شود که نوع M بیشترین مقاومت را برای ملات‌های بنایی ایجاد می‌کند. این سیمان معمولاً از مخلوط کردن حدود 50٪ کلینکر سیمان پرتلند و حدود 45٪ گرد سنگ آهک مرغوب و قدری سنگ گچ و برخی مواد افزودنی با مقاومت کمتر از سیمان پرتلند ولی دارای خواص مطلوب جهت کارهای بنایی ساخته می‌شود. بعضی سیمان‌های بنایی، آمیخته‌ای از سیمان پرتلند و آهک مرده و مواد افزودنی هستند.

### سیمان‌های سفید و رنگی :

این نوع سیمان با مشخصات سیمان پرتلند نوع I\*\*\*\*III مطابقت دارد. با این تفاوت که با انتخاب مواد اولیه مناسب، از ورود مواد رنگی نظیر اکسیدهای آهن و منیزیم و غیره به فرآیند ساخت جلوگیری می‌شود. برای ساختن سیمان‌های رنگی، مواد رنگی معدنی بی اثر شیمیایی را به سیمان می‌افزایند. با سیمان پرتلند نیز می‌توان سیمان‌های رنگی قرمز، قهوه‌ای و سیاه ساخت. سیمان‌های سفید و رنگی بیشتر برای کارهای تزئینی مصرف می‌شوند رنگ سیمان باید در برابر عوامل جوی و نور پایدار باشد. مواد رنگی متداول عبارتند از :

- 1- اکسید آهن برای رنگ‌های قرمز، زرد، قهوه‌ای و سیاه.
  - ۲- اکسید منگنز برای رنگ‌های سیاه و قهوه‌ای.
  - 3- اکسید و هیدروکسید کروم برای رنگ سبز و آبی.
  - 4- کبالت برای رنگ آبی.
  - 5- اولترامارین برای رنگ سرمه‌ای.
  - 6- دوده برای رنگ سیاه.
  - 7- کهریای خام و سوخته برای رنگ قهوه‌ای.
  - 8- گل اخرا برای رنگ زرد.
- میزان رنگ حدود 5٪ تا 10٪ وزنی سیمان است.

### سیمان پلاستیک :

سیمان پلاستیک از آسیاب کردن یک عامل روان کننده معدنی با کلینکر سیمان پرتلند که با مشخصات نوع I\*\*\*\*II استاندارد ASTM مطابقت داشته باشد، حاصل می‌گردد. آیین نامه UBC استفاده از عوامل روان کننده را حداکثر تا 12 درصد کل حجم مجاز می‌داند. سیمان پلاستیک الزامات مذکور در ASTM C 150 به جز باقی مانده غیر محلول، حباب هوا و مواد افزودنی بعدی برای کلسینه سازی به علاوه مقررات خاص UBC را برآورده می‌سازد. سیمان پلاستیک برای پلاسترهای سیمان پرتلند و اندود گچ و سیمان به کار می‌رود و به دلیل مقدار زیاد هوای ایجاد شده برای بتن توصیه نمی‌گردد. از این نوع سیمان برای ساخت بتن هایی که احتمال نشست های غیر متقارن در آن ها می رود هم می توان استفاده کرد.

#### سیمان چاه نفت : (استاندارد API 10)

این نوع سیمان شامل چندین گروه بوده و به گونه‌ای طراحی شده که شرایط دما و فشار بالای ایجاد شده در تزریق چاه نفت را جواب گو باشد. این سیمان دو غاب با لزجت کم و گیرش کند ایجاد می‌کند که به منظور سهولت فشار پمپاژ در چاه های عمیق تا حد ممکن روان باقی بماند. مقدار کمی  $C_3A$  دارد. درشت دانه است و نمی‌تواند شامل مواد کمکی برای آسیاب کردن باشد.

#### سیمان منبسط شده انواع : M\*\*\*\*K\*\*\*\*S

این نوع سیمان‌ها برای جلوگیری از انقباض بتن و به حداقل رساندن ترک خوردگی استفاده می‌شود. مقاومت آنها در مقابل سولفات‌ها کم است و فقط براساس سفارش تولید می‌گردد.

#### سیمان پر آلومینیوم (سیمان نسوز):

این نوع سیمان به جای سلیکات‌های کلسیم دارای آلومینات‌های کلسیم است. مقاومت اولیه زیادی دارد (24 ساعته) و دارای خواص نسوز است. اگر بتن ساخته شده با این نوع سیمان در طول 24 ساعت پس از مخلوط کردن و ریختن سردگردد.

# ارزیابی کلینکر سیمان

www.cementtechnology.ir

## ارزیابی میکروسکوپی

بررسی کلینکر در زیر یک میکروسکوپ اطلاعاتی را در خصوص طبیعت، درصد، نحوه تشکیل و توزیع ترکیبات کلینکر ارائه میدهد. طبیعت و درصد ترکیبات کلینکر اصولاً به ترکیب شیمیایی خوراک کوره بستگی دارد، اما نحوه ی تشکیل و توزیع ترکیبات کلینکر و بافت آنها، به عبارت دیگر ساختار میکروسکوپی کلینکر، اطلاعاتی را در خصوص فرآیند عمل آوری مخلوط مواد خام و شرایط زمان پخت و خنک شدن کلینکر اطلاعاتی را منعکس می کند.

بررسی کلینکر در زیر یک میکروسکوپ نوری معمولاً بر روی قطعات صیقلی و قلم زده شده زیر تابش نور قائم انجام می شود. قطعه معمولاً به کمک آب مقطر، محلول هیدروکسید پتاسیم، اسید نیتریک در الکل، سیترات دی متیل آمونیم و یا بخار اسید هیدروفلوریک قلم زده ( Etch ) می شود.

هر یک از فازهای کلینکر بر اساس شدت انعکاس نور، رفتار در طول زمان قلم زدن و یا رنگ آن از فازی دیگر قابل تمایز است. همچنین آلیت، بلیت و گدازه کلینکر را به سرعت و به طور خودکار می توان به کمک یک سیستم کامپیوتری مشخص کرد.

بررسی قطعات نازک و نمونه های پودری به علت ریزی ذرات فاز های کلینکر با دشواری بیشتری همراه است.

## تعیین ترکیب فازی به کمک آنالیز انکسار اشعه X

در روش معمول آنالیز کمیتی انکسار اشعه X در تعیین غلظت فاز کریستالی، اساس کار بر شدت انکسار یک یا تعداد بیشتری از پرتوهای X در آن فاز استوار است. نمونه مورد نظر جهت بررسی به شکل ذراتی با اندازه کمتر از 5mm خرد شده و معمولاً در سایکلوگهزان یا بنزن به صورت یک مخلوط معلق در می آید. شدت پرتو مورد آنالیز معمولاً وابسته به اندازه گیریهایی به عمل آمده بر روی یک معیار سنجش داخلی و یا خارجی، مثل  $TiO_2$  است که شدت نوسانات اشعه X و تغییرات پدید آمده در کاهش جرم نمونه را نیز مورد توجه قرار می دهد. رابطه بین شدت تداخل اشعه X و غلظت از اندازه گیری های انجام شده بر روی الگوهایی که بطور مناسب کالیبره شده اند، بدست می آید.

### • ضریب اشباع آهک

محاسبه ی ترکیب بالقوه کلینکر به روش Bouge روشی تشریحی است. اما به کمک این روش درک مناسبی از ابعاد فقدان و یا وجود بیش از حد CaO در کلینکر حاصل نمی شود. در عمل ترکیبات مواد خام و کلینکر معمولاً با مدول هایی مشخص می شوند که این مدول ها عبارتند از: ضریب اشباع آهک (LSF (lime saturation factor، نسبت سیلیس SR (silicaRatio) و نسبت آلومینا AR (Alumina Ratio) و مدول هیدرولیک.

ضریب اشباع آهک نسبت مقدار واقعی CaO موجود در مخلوط مواد خام یا کلینکر سیمان را نشان می دهد. یعنی مقدار حداکثر CaO که قابل پیوند با ترکیبات  $Fe_2O_3$ ,  $Al_2O_3$ ,  $SiO_2$  تحت شرایط پخت و خنک کردن صنعتی است را نشان می دهد:

$$LSF = \frac{CaO}{CaO_{max}}$$

ضریب اشباع آهک معمولاً به صورت درصد نشان داده می شود.  $CaO_{max}$ ، مقدار کل CaO موجود در تری کلسیم سیلیکات است.

کنترل CaO اضافه:

$$AR > 0.638: C(C3A) = CaO - (2.800 SiO_2 + 1.650 Al_2O_3 + 0.351 Fe_2O_3)$$

$$AR < 0.638: C(C2F) = CaO - (2.800 SiO_2 + 1.100 Al_2O_3 + 0.702 Fe_2O_3)$$

$$C = CaO - 2.800 SiO_2 - 1.650 Al_2O_3 - 0.351 Fe_2O_3$$

$$C2S = 3.800 SiO_2$$

$$C4AF = 3.043 Fe_2O_3$$

محاسبه ترکیب بالقوه کلینکر سیمان.

#### • نسبت سیلیس

نسبت سیلیس SR، نسبت وزنی دی اکسید سیلیسیم به جمع کل مقدار اکسید آلومینیم و اکسید آهن است:

$$SR = \frac{SiO_2}{Al_2O_3 + Fe_2O_3}$$

در دمای گداختگی، سیلیس غالباً در ترکیب فازهای جامد تری کلسیم و دی کلسیم سیلیکات وارد میشود، اما اکسید آلومینیم و اکسید آهن در گدازه وجود دارند و لذا نسبت سیلیس بیانگر نسبت ترکیبات جامد به ترکیبات مذاب در ناحیه گداخته شدن کوره ی سیمان است.

مقدار ضریب سیلیس معمولاً در دامنه ی ۴-۱.۵ تغییر می کند. اما مطلوب ترین و کثیرالوقوع ترین تغییرات آن بین ۲.۳ و ۲.۸ است. با در نظر گرفتن سایر شرایط یکسان، هرچه نسبت سیلیس پایین تر باشد، پخت خوراک کوره ساده تر بوده و تمایل بیشتری برای تشکیل لایه های کوتینگ در کوره وجود دارد.

#### نسبت آلومینا

نسبت آلومینا عبارت است از نسبت وزنی اکسید آلومینیم به اکسید آهن:

$$AR = \frac{Al_2O_3}{Fe_2O_3}$$

مجتمع سیمان تهران / گزارش کارآموزی

به کمک این نسبت اطلاعاتی در مورد نسبت مقدار آلومینات کلسیم به کلسیم آلومینوفریت و نتیجتاً ماهیت گدازه کلینکر بدست می آید. در کلینکری با ترکیب نرمال، مقدار این نسبت بین ۱.۵ تا ۴ می باشد.

اگر این نسبت به حدود ۰.۶۴ برسد، کلینکر دیگر دارای ترکیب تری کلسیم آلومینا نیست و با بالا رفتن این نسبت، دمای پخت کلینکر بالا می رود.

		max	av	min
ضریب اشباع آهک	LSF	104	97	90
نسبت سیلیس	SR	4.1	2.5	1.6
نسبت آلومینا	AR	3.7	2.3	1.4
درجه سولفات شده	DS	109	77	35

مدول کلینکر استاندارد تیپ دو که از ترکیب شیمیایی آن محاسبه شده

## CaO آزاد، وزن لیتری

مشروط بر اینکه تغییری در ترکیب شیمیایی خوراک کوره پیش نیاید، مقدار CaO آزاد بیانگر درجه پخته شدن کلینکر سیمان است. به عبارت دیگر مقدار CaO آزاد میزان پیشرفت واکنشهای منجر به تولید کلینکر را مشخص می کند. این مقدار به کمک آنالیز انکسار اشعه-X و یا آنالیز شیمیایی پس از انجام فرآیند استخراج به کمک اتیل استواستیک و ایزوبوتانول قابل تعیین است.

کلینکر سیمان معمولاً دارای حداکثر ۳٪ وزنی CaO آزاد است.

وزن لیتری نیز که در حال حاضر کمتر برای ارزیابی کلینکر بکار میرود، از جمله معیارهای تعیین درجه پخت کلینکر می باشد. این کمیت بر مبنای نسبت اندازه ذرات، معمولاً 5-7 mm که از الک کردن بدست می آید، محاسبه می شود و بین 1.2-1.6 Kg/m<sup>3</sup> تغییر می کند. ترکیب شیمیایی و تخلخل نیز در تاثیر قابل توجهی بر وزن لیتری دارد. بنابراین وزن لیتری صرفاً جهت مقایسه نمونه های مختلف کلینکر تولیدی، قابل استفاده می باشد.

## کنترل کیفیت

### ترکیب شیمیایی

برای ساخت خوراک کوره عمدتاً از معادن سنگ آهک به نسبت 75٪ و درجه خلوص 80-95٪ و از خاک رس به نسبت 23-25٪ استفاده می گردد. چنانچه هر یک از عناصر تشکیل دهنده اصلی در خوراک کوره از حد مجاز کمتر باشد از تصحیح کننده هایی مانند سنگ آهن هماتیت و در صورت لزوم از سنگ سیلیس و سنگ آهک با درجه خلوص بالا استفاده می شود. هر یک از تصحیح کننده ها به ترتیب برای تأمین Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> و SiO<sub>2</sub> و CaO می باشد. امروزه در بسیاری از کارخانجات به جای استفاده مستقیم از سنگ آهک و خاک رس با نسبتهای یاد شده از مخلوط مواد (مارل) استفاده می گردد. مواد معدنی مارن (مارل)، تابع نسبتهای اختلاط در طبیعت هستند. چنانچه مارل آهکی باشد، تیترا آن 70 و اگر

$\text{CaCO}_3$  باشد، نیتز آن بالاتر از 70 و در صورتی که پایینتر از 70 و تا نقطه مینیمم (40) باشد، به آن مارل خاکی اطلاق می شود. اساساً سیمان با آسیاب نمودن مواد خام از قبیل سنگ و آهک و آلومینا و سیلیسی که به صورت خاک رس و یا سنگهای رسی وجود دارد و مخلوط نمودن آنها با نسبتهای معین و با حرارت دادن در کوره های دوار تا حدود 1400 درجه سانتیگراد بدست می آید. در این مرحله، مواد در کوره تبدیل به گلوله های تقریباً سیاه رنگی می شوند که کلینکر نامیده می شود. کلینکر پس از سرد شدن، با مقداری سنگ گچ به منظور تنظیم گیرش، مخلوط و آسیاب شده و پودر خاکستری رنگی حاصل می شود که همان سیمان پرتلند است. با توجه به نوع و کیفیت مواد خام، سیمان با دو روش عمده تر و خشک تولید می شود، ضمن اینکه روشهای دیگری نیز وجود دارد. البته امروزه عموماً از روش خشک در تولید سیمان استفاده می شود، مگر در مواردی که مواد خام، روش تر را ایجاب کند، زیرا در روش خشک، انرژی کمتری برای تولید مورد نیاز است. حمل مواد پس از ترانسپورت از معدن وارد سنگ شکن می شود. پس از عملیات خردایش در سنگ شکن به طور ساعتی توسط آزمایشگاه X-Ray اقدام به آنالیز می گردد. محدوده آنالیز دستگاه X-Ray به چهار عنصر اصلی ختم می شود. عناصر اصلی عبارتند از:

۱۴/۵%	-	$14\text{SiO}_2$
۴/۵%	-	$3/5\text{Al}_2\text{O}_3$
۲/۵%	-	$2\text{Fe}_2\text{O}_3$
		۴۱CaO – ۴۲/۵%

بعضاً اقدام به آنالیز خوراک کوره توسط روشهای آزمایشگاه شیمی نیز می شود. روش کار در آزمایشگاه عبارت است از ذوب قلیایی که به طور جزء به جزء اقدام به تجزیه عناصر تشکیل دهنده می کند.

#### استاندارد های تولید سیمان:

حداقل مقاومت فشاری ۲۸ روزه سیمان، بر اساس استاندارد آلمان (DIN 1164) برابر  $N/m^2$  معادل ۲۵۰ کیلوگرم بر سانتی متر مربع است. ضمناً مجموع اکسید کلسیم (CaO) و اکسید سیلیسیم ( $\text{SiO}_2$ ) فعال در سیمان پرتلند باید حداقل ۵۰% باشد. استاندارد جدید آلمان (DIN 1164) (۱۹۹۳) میزان  $\text{SO}_3$  را برای سیمان های: R ۳۲.۵، ۴۲.۵، ۵۲.۵، ۶۲.۵، ۷۲.۵، ۸۲.۵ درصد و برای سیمان های: R ۴۲.۵، ۵۲.۵، ۶۲.۵، ۷۲.۵، ۸۲.۵، ۹۲.۵ درصد محدود نموده است. استاندارد اتریش 3310 B مقدار مجاز  $\text{SO}_3$  در سیمان های مختلف را به شرح ذیل مقرر داشته است: سیمان پرتلند با مقاومت فشاری بالا با علامت ۴۷۵، ۴% وزنی سیمان روباره ای کوره آهن گدازی بلند Hochofen zement سیمان با علامت های ۳۷۵ و ۲۷۵ و همچنین سیمان روباره ای آهن دار کوره آهن گدازی Eisen Portland zement (slag cement) و سیمان های مخلوط (۳/۵% وزنی سیمان محتوی خاکستر ذغال سنگ Flugaschen zement (fly Ash cement) و سیمان های مخلوط حداقل مقاومت فشاری ۲۸ روزه آن نباید از آنچه که در استاندارد مورد نظر آمده است کمتر باشد، بالاخره یکی از مهمترین خواصی که سیمان با کیفیت مرغوب باید داشته باشد و برای مصرف کننده واجد اهمیت جدی است یکنواخت بودن جنس سیمان می باشد، به خصوص در کارگاه هایی که سیمان به مقدار زیاد مصرف می گردد و دائماً بتن ریزی می شود، در اینگونه موارد چنانچه سیمان یک دست نباشد میزان درصد آب و عیار سیمان و شن و ماسه نیز همواره تغییر می کند و این حالت قهراً برای تولید بتن اشکالات عدیده ای به وجود می آورد. برای ساختمان های بزرگ مانند سدهای بتنی و یا در ساختمان بنادر که توده های بزرگ بتن ریخته می شود چنانچه سیمان یکنواخت نباشد استعمال آن از نظر فنی مردود خواهد بود.

استانداردی که امروزه در ایران بر اساس آن عمل می شود: استاندارد 389 اداره استاندارد ایران است.



## نرمی ذرات سیمان

از آنجا که عمل هیدراتاسیون سیمان از سطح ذرات آن شروع می شود. از این رو هر چه ذرات سیمان ریزتر باشد مجموع سطوح خارجی (کل سطح جانبی دانه ها) آنها در یک واحد وزن بیشتر می گردد و در نتیجه سطح ویژه آن نیز بیشتر و ترکیب سیمان با آب سریعتر انجام می شود و مقاومت بتن و یا ملات سیمانی نیز سریعتر افزایش می یابد و همچنین چسبندگی خمیر سیمان بیشتر می شود. از طرف دیگر انقباض خمیر سیمان با نرمی ذرات نسبت مستقیم دارد و هر چه ذرات ریزتر باشند، در موقع گرفتن ملات سیمان، انقباض بیشتری صورت می گیرد و باعث ترک خوردن خمیر سخت شده سیمان می شود. بعلاوه زیاد نرم کردن ذرات مستلزم هزینه قابل توجهی است بنابراین درجه نرمی ذرات سیمان از خواص مهم سیمان است.

## گیرش سیمان

وقتی پودر سیمان با مقدار مناسبی آب مخلوط می شود، تبدیل به خمیر نرمی می شود که در اثر مرور حالت خمیری (پلاستیسیته) خود را از دست می دهد و به جسم سختی تبدیل می شود.

گیرش و سخت شدن خمیر سیمان، نتیجه یک سلسله واکنش های همزمان و پی در پی بین آب و اجزای تشکیل دهنده سیمان است. گیرش سیمان با درجه حرارت و رطوبت و رطوبت محیط اطراف تغییر می کند. زمان گیرش سیمان به دو مرحله تقسیم می شود، که عبارت است از گیرش اولیه و گیرش نهایی بعد از گیرش نهایی سختی و مقاومت خمیر سیمان مرتبا افزایش می یابد، این مرحله را سخت شدن می گویند.

## حرارت هیدراتاسیون (حرارت آبگیری)

گیرش و سخت شدن خمیر سیمان در اثر فعل و انفعالات شیمیایی صورت می گیرد. در جریان هیدراتاسیون، هر دانه گرد سیمان در ترکیب با آب به ذرات بی نهایت ریزی تجزیه شده و جسم کریستاله موسوم به ژل به وجود می آید. مقدار آبی که برای هیدراتاسیون کامل سیمان لازم است حدود ۲۵ تا ۳۵ درصد وزن سیمان است. هیدراتاسیون سیمان همانند بسیاری از فعل و انفعالات شیمیایی حرارت زا بوده و میزان آن به ترکیب شیمیایی، نرمی ذرات سیمان و درجه حرارت محیط بستگی دارد. برای سیمان های پرتلند، حدود نیمی از کل حرارت در مدت بین ۱ تا ۳ روز و  $\frac{3}{4}$  آن در ۷ روز و تقریباً ۹۰ درصد آن در مدت ۶ ماه پس از ترکیب آب با سیمان آزاد می شود، از این رو نگهداری و مراقبت از بتن و یا ملات سیمانی در روزهای اولیه مصرف سیمان حائز اهمیت است.

## مقاومت سیمان

مقاومت مکانیکی سیمان سخت شده مهمترین خاصیت این ماده در کاربرد سازه های آن است، از این رو کلیه آیین نامه ها، آزمایش های مقاومت را همیشه در بیان مشخصات سیمان ذکر کرده اند. مقاومت ملاتی یا بتن بستگی به انسجام یا چسبندگی خمیر سیمان، چسبیدن و یا قابلیت چسبندگی آن به مواد سنگی مقاومت مواد سنگی دارد. به علت مشکلاتی که در ساخت خمیر خالص سیمان وجود دارد، آزمایش مقاومت مستقیماً روی آن انجام نمی شود، عموماً برای این کار، نمونه های مناسب ملات ماسه و سیمان و یا بتن، به نسبت های معین مواد، در شرایط استاندارد تهیه شده و مقاومت آن ها تعیین می شود.

## سلامت سیمان

خمیر سیمان پس از گیرش نباید تغییر حجم عمده ای پیدا کند ، علت این محدودیت ، ترک و گسیختگی است که خمیر سیمان سفت شده در اثر انبساط احتمالی و در محلی که امکان این انبساط نیست ، پیدا می کند. چنین انبساط و ازدیاد حجمی غالباً ناشی از فعل و انفعالات آهک ، منیزیم آزاد و سولفات کلسیم است. سیمانی که خاصیت چنین انبساطی را دارد ، سیمانی نا سالم است.

پایان