

## سیمان



### ریشه لغوی

کلمه سیمان از یک لغت لاتین به نام سی‌منت ( cement ) گرفته شده است و ماده ای است که دارای خاصیت چسبندگی مواد به یکدیگر است و در حقیقت ، واسطه چسباندن است .

### سیمان در صنایع ساختمانی

در صنایع ساختمانی ، سیمان به ماده ای گفته می‌شود که برای چسباندن مصالح مختلف به یکدیگر از قبیل سنگ و شن ، ماسه ، آجر و غیره بکار می‌رود و ترکیبات اصلی این سیمان از مواد آهکی است. سیمانهای آهکی معمولاً از ترکیبات سیلیکات و آلومیناتهای آهک تشکیل شده‌اند که هم به صورت طبیعی یافت می‌شوند و هم قابل تولید در کارخانجات سیمان‌سازی هستند .

### تاریخچه

اگرچه از زمانهای بسیار گذشته اقوام و ملل مختلف به نحوی با استفاده از سیمان در ساخت بنا سود می‌جستند، ولی اولین بار در سال ۱۸۲۴ ، سیمان پرتلند به نام " ژوزف آسپدین " که یک معمار انگلیسی بود، ثبت شد. به لحاظ شباهت ظاهری و کیفیت بتن‌های تولید شده از سیمانهای اولیه به سنگهای ناحیه پرتلند در دورست انگلیس ، سیمان به نام سیمان پرتلند معروف شد و تا به امروز برای سیمانهایی که از مخلوط نمودن و حرارت دادن مواد آهکی و رسی و مواد حاوی سیلیس ، آلومینا و اکسید آهن و تولید کلینکر و نهایتاً آسیاب نمودن کلینکر بدست می‌آید، استفاده می‌شود .

### اجزای تشکیل دهنده سیمان

مصالح آهکی (حدود ۶۰٪ الی ۶۷٪)  
رس (حدود ۳٪ الی ۷٪)  
سیلیس (۱۷٪ الی ۲۷٪)  
اکسیدهای معدنی

اکسید آهن (۰/۵٪ الی ۰/۶٪  $Fe_2O_3$ )  
اکسید سدیم (۰/۲٪ الی ۰/۳٪  $Na_2O$ )  
اکسید منیزیم (۰/۱٪ الی ۰/۴٪  $MnO$ )  
اکسید پتاسیم (۰/۲٪ الی ۰/۳٪  $K_2O$ )  
اکسید آلومینیوم (۰/۳٪ الی ۰/۸٪  $Al_2O_3$ )

### ترکیبات شیمیایی سیمان

مواد خام مورد مصرف در تولید سیمان در هنگام پخت با هم واکنش نشان داده و ترکیبات دیگری را بوجود می‌آورند. معمولاً چهار ترکیب عمده به‌عنوان عوامل اصلی تشکیل دهنده سیمان در نظر گرفته می‌شوند که عبارتند از:

- سه کلسیم سیلیکات ( $3O_2=C_3S$ )
- دو کلسیم سیلیکات ( $2CaOSiO_2=C_2S$ )
- سه کلسیم آلومینات ( $3CaOAl_2O_3=C_3A$ )
- چهار کلسیم آلومینو فریت ( $3CaOAl_2O_3Fe_2O_3$ )

که اختصاراً اکسیدهای  $CaO$  را با  $C$  و  $SiO_2$  را با  $S$  و  $Al_2O_3$  را با  $A$  و  $Fe_2O_3$  را با  $F$  نشان می‌دهند. سیلیکاتهای  $C_2S$  و  $C_3S$  مهمترین ترکیبات سیمان در ایجاد مقاومت خمیر سیمان هیدراته می‌باشند. در واقع سیلیکاتها در سیمان، ترکیبات کاملاً خالصی نیستند، بلکه دارای اکسیدهای جزئی به‌صورت محلول جامد نیز می‌باشند. این اکسیدها اثرات قابل ملاحظه‌ای در نحوه قرار گرفتن اتمها، فرم بلوری و خواص هیدرولیکی سیلیکاتها دارند.

ترکیبات دیگری نیز در سیمان وجود دارند که از نظر وزن قابل ملاحظه نیستند، ولی تأثیرات قابل ملاحظه‌ای در خواص سیمان دارند که عمدتاً عبارتند از  $MgO, TiO_2, Na_2O, K_2O, Mn_2O_3$ ، که اکسیدهای سدیم و پتاسیم به نام اکسیدهای قلیایی شناخته شده‌اند. آزمایشها نشان داده است که این قلیائی‌ها با بعضی از سنگدانه‌ها واکنش نشان داده‌اند و حاصل این واکنش باعث تخریب بتن شده است. البته قلیائی‌ها در مقاومت بتن نیز اثر دارند.

وجود سه کلسیم آلو مینات ( $C_3A$ ) در سیمان نقش عمده‌ای در مقاومت سیمان به جزء در سنین اولیه ندارند و در برابر حملات سولفاتها نیز که منجر به سولفوآلومینات کلسیم می‌شود، مشکلاتی به بار می‌آورد، اما وجود آن در مراحل تولید، ترکیب آهک و سیلیس را تسهیل می‌کند. میزان  $C_4AF$  در سیمان هم در مقایسه با سه ترکیب دیگر کمتر است و تأثیر زیادی در رفتار سیمان ندارند، ولی در واکنش با گچ، سولفو فریت کلسیم را می‌سازد و وجود آن به هیدراسیون سیلیکاتها شتاب می‌بخشد.

مقدار و اندازه واقعی اکسیدها در ترکیبات انواع سیمان، مختلف است. البته باقی مانده نامحلول نیز که عمدتاً از ناخالصی‌های سنگ گچ حاصل می‌گردد، اندازه گیری می‌شود، تا حدود ۵٫۱ درصد وزن در سیمان مجاز است. افت حرارتی نیز که دامنه کربناسیون و هیدراسیون آهک آزاد و منیزیم آزاد را در مجاورت هوا نشان می‌دهد، تا حدود ۳ الی ۴ درصد وزن سیمان اندازه گیری می‌شود.

### ساختار سیمان

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 کوره‌های دوار تا حدود ۱۴۰۰ درجه سانتی‌گراد بدست می‌آید. در این مرحله، مواد در کوره تبدیل به گلوله‌های تقریباً سیاه رنگی می‌شوند که کلینکر نامیده می‌شود.

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 .

### مراحل تولید سیمان

- شرح کامل مراحل ساخت سیمان نیاز به حوصله و زمان زیادی دارد، برای همین منظور تنها به نام بردن آنها اکتفا می کنیم.
- ۱- مواد اولیه سیمان پرتلند
  - مواد اولیه سیمان پرتلند اساساً شامل مواد آهکی و رسی می باشند. بدین معنی که در تهیه سیمان پرتلند از مواد خامی استفاده می شود که حاوی کربنات کلسیم و ترکیبات آلومینیوسیلیکات ها باشند.
  - ۲- استخراج مواد اولیه
  - معادن مواد اولیه سیمان، خصوصاً سنگ آهک، خاک رس، مارل، سنگ گچ و امثال آنها به صورت معدن رو باز می باشد. در استخراج موادی نظیر سنگ آهک، سنگ آهن و سنگ گچ نیز به چال زنی و انجام انفجار بوسیله دینامیت می باشد.
  - ۳- خرد کردن مواد اولیه
  - الف) سنگ شکن های متحرک
  - ب) سنگ شکن های ثابت
  - ۴- مخلوط کردن اولیه و ذخیره سازی
  - قبل از اینکه مواد خرد شده در سنگ شکن، راهی آسیاب مواد جهت پودر شدن شوند، بداخل سالی ریخته می شوند تا بدینوسیله هم مقدمتاً با یکدیگر مخلوط شوند و هم اینکه، این سالن نقش انبار و ذخیره سازی را دارا است.
  - ۵- خشک کردن مواد اولیه
  - در برخی کارخانجات سیمان، بدلیل موقعیت خاص جغرافیایی و باران خیز بودن منطقه برخی از مواد اولیه ( خصوصاً خاک رس ) ، دارای رطوبتی هستند که استفاده مستقیم از آنها امکان پذیر نمی باشد.
  - ۶- پودر کردن مخلوط مواد خام
  - در روش خشک تولید سیمان، ضرورت دارد که مواد خام قبل از ورود به کوره به صورت پودر در آیند.
  - الف) آسیاب مواد خام گلوله ای
  - ب) آسیابهای غلطکی
  - ۷- تنظیم مواد خام
  - ۸- سیلوهای مواد خام
  - عمل عمده ای که در یکنواخت کار کردن کوره و بالا بردن کیفیت کلینکر و در نهایت سیمان موثر است، یک نواختی ترکیب خوراک کوره، خوب مخلوط شدن و همگن بودن آن می باشد.
  - ۹- پیش گرم کن
  - ۱۰- کوره دوار
- قسمت اصلی عمل پختن در کوره صورت می گیرد. کوره سیمان، یک استوانه فلزی است که طول و قطر آن، متناسب با ظرفیت کارخانه می باشد.



۱۱- خنک کن ( کولر )

کلینکر خروجی از کوره دارای درجه حرارتی حدود ۱۰۰۰ تا ۱۲۰۰ درجه می باشد. بازیابی این مقدار حرارت و همچنین مشکل بودن جابجا کردن کلینکر داغ، ضرورت سرد کردن آنرا ایجاد می نماید. خاصیت اساسی دیگر سرد کردن کلینکر، تکمیل و تشکیل کریستالهای کلینکر و بالا رفتن کیفیت آن می باشد.

۱۲- سیلو ( انبار ) کلینکر

کلینکر خروجی از خنک کن قبل از ورود به آسیاب سیمان، در سیلو، یا انبار، یا سالن ذخیره می گردد.

۱۳- آسیاب سیمان ۱۴- سیلوهای سیمان ۱۵- بارگیر خانه

- روش تر و نیمه تر

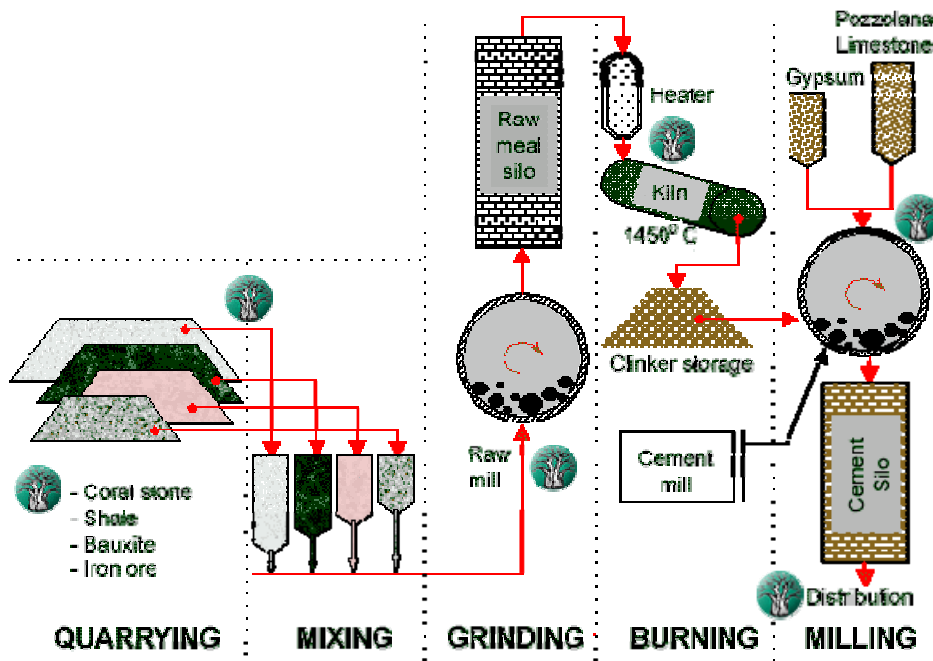
در روش تر و نیمه تر خاک رس مصرفی در دستگاه دوغاب ساز ( Wash mill ) ، تبدیل به دوغاب می گردد. سپس دوغاب خاک رس به همراه سنگ آهک در آسیاب مواد خام مخلوط و نرم گشته و تبدیل به دوغاب با غلظت بیشتری می شود. پس از تنظیمات لازم توسط آزمایشگاه، بعنوان خوراک کوره مورد مصرف قرار می گیرد. در روش نیمه تر، مواد خروجی از آسیاب مواد به صورت دوغاب است و قبل از ورود به کوره بوسیله فیلتر پرس آب آن گرفته می شود و بصورت کبک یا آماج ( حبه ) به کوره تغذیه می گردد.

- روش نیمه خشک

در روش نیمه خشک مواد اولیه بصورت خشک با یکدیگر مخلوط گشته و به آسیاب مواد خام تغذیه می گردند. مواد خروجی از آسیاب مواد به صورت پودر است. قبل از تغذیه این پودر به کوره مقداری آب روی آن پاشیده می شود و آن را به صورت آماج یا حبه در آورده و به کوره تغذیه می نمایند.

- روش خشک

در روش خشک مواد اولیه خشک وارد آسیاب می شود. پودر خروجی از آسیاب مواد، پس از تنظیم، به عنوان خوراک کوره مصرف می گردد.



### هیدراسیون سیمان

ماده مورد نظر ما ملات یا خمیر سیمان است که با اختلاط آب و پودر سیمان ماده چسباننده ای می‌شود. در واقع سیلیکاتها و آلومیناتهای سیمان در مجاورت آب محصولی هیدراسیونی را تشکیل می‌دهند که کم‌کم با گذشت زمان، جسم سختی بوجود می‌آید.

دو ترکیب عمده سیلیکاتی سیمان یعنی  $C_2S$  و  $C_3S$  عوامل عمده سخت شدن سیمان هستند و عمل هیدراسیون روی  $C_3S$  سریعتر از  $C_2S$  انجام می‌گیرد.

### حرارت هیدراسیون

همانند هر واکنش شیمیایی، هیدراسیون ترکیبات سیمان نیز حرارتزا است و به میزان حرارتی که در هر گرم از سیمان هیدراته در اثر هیدراسیون در دمای معینی تولید می‌گردد، حرارت هیدراسیون گفته می‌شود و به روشهای مختلفی قابل اندازه گیری است. درجه حرارت و دمائی که در آن عمل هیدراسیون انجام می‌شود، تأثیر قابل ملاحظه ای در نرخ حرارت تولید شده است دارد.

برای سیمانهای پرتلند معمولی، حدود نصف کل حرارت تا سه روز و حدود ۴,۳ حرارت تا حدود ۷ روز و تقریباً ۹۰ درصد حرارت در ۶ ماه آزاد می‌شود. در واقع حرارت هیدراسیون بستگی به ترکیب شیمیایی سیمان دارد و تقریباً برابر است با مجموع حرارت‌های ایجاد شده یکایک ترکیبات خالص سیمان، اگر به صورت جداگانه هیدراته شود.

هر گرم از سیمان تقریباً ۱۲۰ کالری حرارت آزاد می‌کند. چون هدایت حرارتی بتن کم است، لذا حرارت می‌تواند به‌عنوان یک عایق حرارتی عمل نماید. از طرف دیگر حرارت تولید شده بوسیله هیدراسیون سیمان می‌تواند از یخ زدن آب در لوله‌های

موئین بتن تازه ریخته شده جلوگیری نماید. بنابراین آگاهی به خواص حرارت‌زایی سیمان می‌تواند در انتخاب نوع مناسب سیمان برای هدف مشخصی مفید باشد.

همانطور که گفته شد، نقش اصلی در مقاومت سیمان  $C_3S$  و  $C_2S$  ایفا می‌کنند و  $C_3S$  در ۴ هفته سنین اولیه و  $C_2S$  پس از آن مقاومت سیمان را ایجاد می‌کنند. نقش این دو ترکیب در مقاومت سیمان پس از یک سال تقریباً مساوی می‌شود.



### آزمایشهای سیمان

به لحاظ اهمیت کیفیت سیمان در ساختن بتن، معمولاً تولید کنندگان، آزمایشهای متعدد و استاندارد شده ای را برای کنترل کیفیت سیمان انجام می‌دهند و بعضاً نیز مصرف‌کنندگان برای اطمینان خاطر، خواص سیمان تولید شده را از کارخانجات درخواست می‌کنند و گاهی نیز آزمایشهایی انجام می‌دهند. خواص فیزیکی سیمان عمدتاً عبارتست از نرمی سیمان، گیرش سیمان، سلامت سیمان و مقاومت سیمان.

### نرمی سیمان

از آنجا که هیدراسیون از سطح ذرات سیمان شروع می‌شود، مساحت تمامی سطح سیمان موجود در هیدراسیون شرکت دارند. بنابراین نرخ هیدراسیون بستگی به ریزی سیمان دارد و مثلاً برای کسب مقاومت سریعتر نیز به سیمان نرم تر یا ریزتر می‌باشد. اما باید توجه داشت که همیشه یک سیمان نرم از نظر اقتصادی و فنی مقرون به صرفه نیست، زیرا هزینه آسیاب کردن و اثرات بیش از حد نرم بودن سیمان بر خواص دیگر آن مانند نیاز بیشتر به گچ برای تنظیم گیرش، کارایی بتن تازه و سایر موارد نیز باید مد نظر باشد.

نرمی یکی از خواص عمده سیمان است که معمولاً در استانداردها با سطح مخصوص تعیین می‌شود. ( $m^2/kg$ ) روشهای متداول و متفاوتی برای تعیین نرمی سیمان در دنیا بکار گرفته می‌شود. استاندارد ملی ایران به شماره ۳۹۰ تعیین نرمی سیمان را مشخص می‌کند.

### گیرش سیمان

کلمه گیرش برای سفت شدن خمیر سیمان بکار برده می‌شود، یعنی تغییر وضعیت از حالت مایع به جامد. گیرش به علت هیدراسیون  $C_3S$  و  $C_2A$  با افزایش دمای خمیر سیمان اتفاق می‌افتد. گیرش اولیه مربوط به افزایش سریع دما و گیرش نهایی مربوط به دمای نهایی است. مدت زمان گیرش سیمان با افزایش درجه حرارت کاهش می‌یابد، ولی آزمایش نشان داده است که در دمای حدود ۳۰ درجه سانتی‌گراد، اثر معکوس را می‌توان مشاهده نمود. در درجات حرارت پائین، گیرش سیمان کند می‌شود.



کاربرد انواع سیمان:

<b>سیمان پرتلند نو ۱ - سیمان پرتلند معمولی P.C-type I :</b>
در مواردی به کار می رود که هیچگونه خواص ویژه مانند سایر انواع سیمان موردنظر نیست
<b>سیمان پرتلند نوع ۲، P.C-type II :</b>
برای استفاده عمومی و نیز استفاده ویژه در مواردی که گرمای هیدراتاسیون متوسط موردنظر است
<b>سیمان پرتلند نوع ۳، P.C-type III :</b>
برای استفاده در مواقعی که مقاومت‌های بالا در کوتاه مدت موردنظر است
<b>سیمان پرتلند نوع ۵، P.C-type V :</b>
در مواقعی که مقاومت زیاد در مقابل سولفات‌ها موردنظر باشد استفاده می شود
<b>سیمان سفید - White Cement :</b>
برای استفاده در سطح ساختمانها و مواقعی که استفاده از سیمانهای بدون رنگ با مقاومت‌های بالا موردنیاز باشد، از این سیمان در تولید انواع سیمانهای رنگی استفاده می شود
<b>سیمان سرباره ای ضد سولفات - SR.slag Cement :</b>
در مواقعی که مقاومت متوسط در مقابل سولفات‌ها و ا حرارت هیدراتاسیون متوسط موردنظر است، استفاده می گردد
<b>سیمان پرتلند - پوزولانی - P.P.Cement :</b>
در ساختمانهای بتنی معمولی و بیشتر در مواردی که مقاومت متوسط در مقابل سولفات‌ها و حرارت هیدراتاسیون متوسط موردنظر باشد، استفاده می گردد



<b>سیمان پرتلند - آهکی - P.K.Z.Cement :</b>
این نوع سیمان در تهیه ملات بتن در کلیه مواردی که سیمان پرتلند نوع ۱ به کار می رود قابل استفاده است. دوام بتن را در برابر یخ زدن، آب شدن و املاح یخزا و عوامل شیمیایی بهبود می دهد
<b>سیمان بنائی - Masonry Cement :</b>
برای استفاده در مواقعی که ملات بنائی با مقاومتی کمتر از سیمان پرتلند نوع ۱ مورد نیاز است
<b>سیمان نسوز ۴۵۰ - Rf Cement 450 :</b>
حاوی بیش از ۴۰۵٪ $CaO, 2A1$ با اتصال هیدروکسیلی و فازهای کلسیم آلومینات، برای مصرف به عنوان ماده نسوز در صنایع حرارتی استفاده می شود
<b>سیمان نسوز ۵۰۰ - Rf Cement 500 :</b>
حاوی بیش از ۷۰٪ $CaO, 2A1$ با اتصال هیدروکسیلی و فازهای $Ca, 2CA$ برای مصرف به عنوان ماده نسوز با درصد خلوص بالا در صنایع حرارتی و آتمسفرهای $CO, H_2$ به کار می رود
<b>سیمان نسوز ۵۵۰ - Rf Cement 550 :</b>
حاوی بیش از ۸۰٪ $CaO, 2A1$ با اتصال هیدروکسیلی و آلومینات کلسیم به عنوان ترکیب اصلی، دارای نسوزندگی و خواص ترمومکانیکی بالا و کاربردهای ویژه نسوز مانند آتمسفرهای احیا هیدروژن
<b>سیمانهای چاه نفت :</b>
این سیمانها برای درزگیری چاه های نفت به کار می روند، عمده این نوع سیمانها دیرگیر بوده و در برابر دماها و فشارهای بالا مقاوم می باشند. این سیمان ممکن است در حفره چاه های آب و فاضلاب نیز به مصرف برسد
<b>سیمانهای پرتلند ضد آب :</b>
این سیمان به رنگ سفید، خاکستری تولید می شود، این نوع سیمان انتقال مویینه آب تحت فشار ناچیز یا بدون فشار، کاهش می دهد ولی جلوی انتقال بخار آب را نمی گیرد





سیمانهای باگیرش تنظیم شده :

سیمان با گیرش تنظیم شده به گونه ای کنترل و ساخته می شود که می تواند بتنی با زمانهای گیرش از چند دقیقه تا یک ساعت تولید کند

سیمانهای رنگی:

این سیمانها بیشتر جنبه تزئینی و آرایشی دارند و در نماسازی سیمانی و تولید بتن نمادار به مصرف می رسند

منابع و سایت های مرجع:

[/http://www.irancement.com](http://www.irancement.com)

<http://www.sepehrcement.com>

<http://www.daneshema.com>

<http://www.azarab.ir>

<http://fa.wikipedia.org>