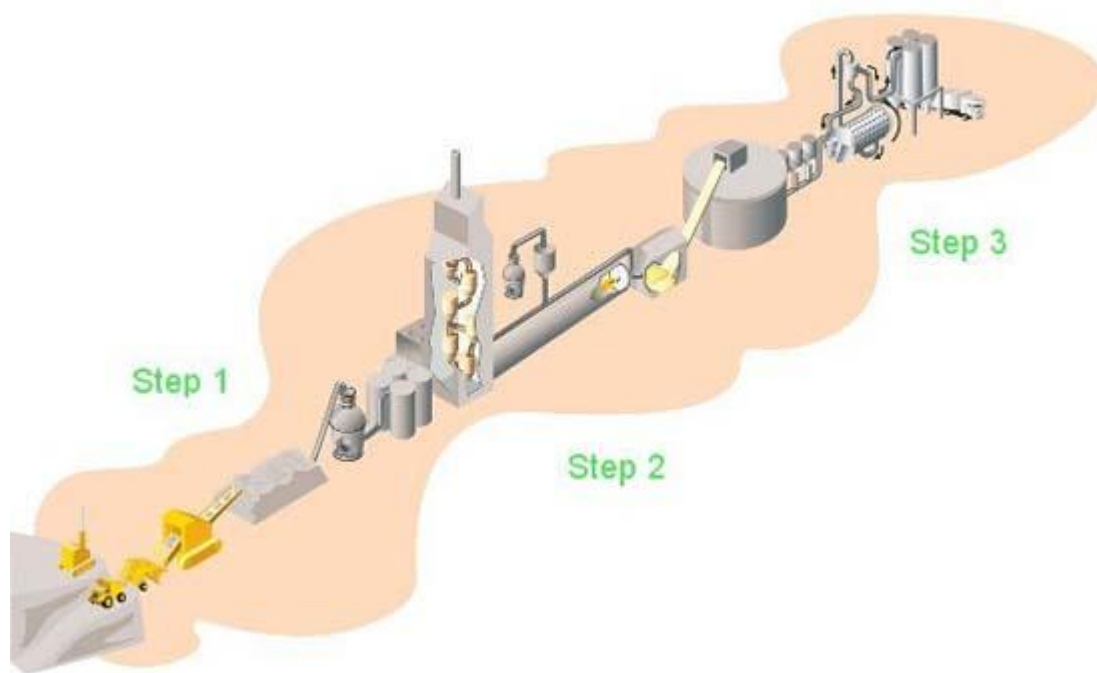


## مراحل تولید سیمان

واژه سیمان به هر نوع ماده چسبنده ای اطلاق می شود که قابلیت به هم چسباندن و یکپارچه کردن قطعات معدنی را دارا باشد . در شاخه مهندسی عمران سیمان یک فراورده ی شیمیایی است که از ترکیبات پخته شده و گداخته شده اکسید کلسیم ، اکسید سیلیسیم ، اکسید آلومینیوم و اکسید آهن تشکیل شده است .

این ماده ( سیمان ) در اختلاط به شن و ماسه و آب سفت و سخت شده و جسم یکپارچه ای به نام بتن را تشکیل می دهد .

کاربرد مواد سیمانی در صنعت ساختمانی سابقه ی طولانی دارد و از قدیم الایام ، این نوع چسبنده های آبی مورد استفاده قرار گرفته اند . در کشور های صنعتی در اوایل قرن نوزدهم ، با گسترش صنعت ساختمان نیاز به داشتن چسباننده های آبی با مقاومت و قدرت و کارایی زیاد ، روز به روز افزایش پیدا کرد . تا این که موفق شدند از ریختن مخلوط گرد آهک و گرد خاک رس در کوره و حرارت دادن بیش از ۱۰۰۰ درجه سانتیگراد و آسیاب کردن جسم پخته شده ، فراورده ای را به دست بیاورند که علاوه بر داشتن مقاومت و قدرت زیاد ، در هوا و آب می گرفت و به خاطر تشابه رنگ سیمان سخت شده با سنگ جزیره پرتلند در انگلستان ، سیمان پرتلند نامیده شد .



### مرحله

### اول : آماده کردن مواد خام از معدن

مواد اولیه تولید سیمان اکسید های کلسیم ، سیلیسیم ، آلومینیوم و آهن می باشد که عمدتاً در سنگ آهک و خاک رس وجود دارد . برای تهیه سیمان پرتلند ، ابتدا سنگ آهک از معدن استخراج شده و آن را به وسیله کامیون به محل کارخانه حمل می کنند و به قطعات حدود ۲۵ میلی متر می شکنند .

### مرحله دوم : آسیاب مواد

سعی میشود در خاک رس مورد استفاده شده همه اکسید های مورد نیاز وجود داشته باشد ، با این وجود اگر مقدار یک یا چند اکسید از میزان مورد نیاز کمتر باشد ، با اضافه کردن مواد لازم از اکسید مورد نظر ، نسبت ها اصلاح شده و این مواد هم همراه آهک آسیاب شده و به صورت پودر در می آیند .

نسبت مواد خام در آزمایشگاه تجزه و تحلیل ، قبل از ورود به کوره سیمان پزی کنترل و تنظیم می شود .

### **مرحله سوم : مخلوط کردن مواد**

مواد خام به روش خشک ، به وسیله غلطک خرد و مخلوط شده و وارد کوره سیمان پزی می شوند .

### **مرحله چهارم : کوره پیش گرم کن**

در این مرحله مواد خام به صورت گرد از بالا وارد کوره شده و از طرف دیگر ( پایین کوره ) شعله دمیده می شود ، مواد خام به آهستگی از دهنه به ته کوره سر می خورند و به تدریج دما زیاد می شود . دما از ۱۰۰ درجه تا ۸۰۰ درجه سانتی گراد افزایش پیدا می کند .

### **مرحله پنجم : کوره سیمان پزی**

در قسمت کوره ، دانه های مواد در حرارت حدود ۱۵۰۰ درجه سانتی گراد نزدیک نقطه ذوب ، عرق کرده و به هم میچسبند و به صورت کلینکر در می آیند .

### **مرحله ششم : خنک کردن کلینکر**

در انتهای کوره ، به کمک دستگاه خنک کننده ( به وسیله عبور هوای سرد یا جریان آب ) کلینکر سرد می شود . و برای ذخیره کردن انرژی حرارت بازیافت می شود و حرارتی که از کلینکر خارج می شود دوباره به گردش در آمده و به کوره پیش گرم کن می رود .

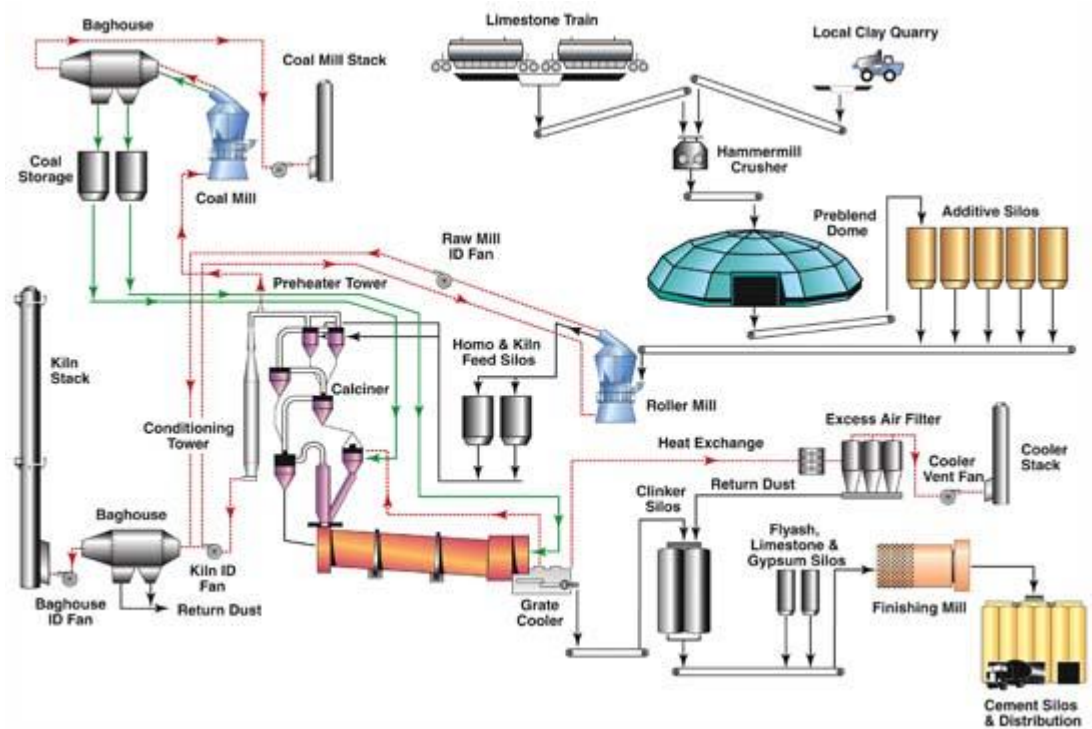
آهسته سرد کردن کلینکر باعث گسترش ساختمان بلوری کانه ها می شود و بلور ها بزرگتر می شوند و انرژی بیشتری برای خرد کردن نیاز دارد ولی اگر سریع سرد شود بلور های ریز دارد و مقاومت سیمان هم بیشتر خواهد بود.

## مرحله هفتم : آسیاب کلینکر ها

در این مرحله کلینکر ها به وسیله گوی های فلزی آسیاب می شوند و در نهایت حدود ۲٪ گچ برای تسریع گیرش سیمان اضافه می شود . و سیمان پرتلند به وجود می آید .

## مرحله نهایی : بسته بندی و حمل و نقل

بعد از آسیاب ، سیمان ها وارد سیلو شده و منتظر حمل و نقل شده و به صورت فله یا بسته بندی شده توسط کامیون ها ، راه آهن و یا کشتی حمل شده و به دست مصرف کننده ها می رسند.





در این مطلب به معرفی فرایند تولید سیمان می پردازیم . امیدوارم این مطلب برای تدوین طرح توجیهی تولید سیمان مناسب باشد و اطلاعات خوبی در خصوص فرایند تولید این محصول به شما بدهد .

### فرایند تولید سیمان

به طور کلی تولید سیمان پرتلند مراحل مختلفی دارد که در ادامه به آن اشاره خواهند شد. لکن پیش از ذکر آنها بیان این مطلب ضروری است که صنعت سیمان دارای دو عیب عمده زیر است:

۱- مصرف انرژی بسیار بالا

۲- ایجاد آلودگی محیط زیست

و محققین و صنعتگران همواره در تلاش جهت تغییر خط تولید به گونه‌ای هستند که این معایب تا حد امکان مرتفع گردد.

### ۱- انتخاب محل برای احداث کارخانه

انتخاب محل مناسب جهت احداث کارخانه تولید سیمان با عوامل چندی در ارتباط است که عبارتند از :

۱- کارخانه به معادن مواد اولیه (سنگ آهک و خاک رس) نزدیک باشد.

۲- ظرفیت معادن مواد اولیه پاسخگوی نیاز دراز مدت کارخانه باشند.

۳- کیفیت مواد اولیه در حد قابل قبولی باشد.

۴- کارخانه به قطبهای مصرف نزدیک باشد.

### استخراج و انتقال مواد اولیه

جهت استخراج سنگ آهک معمولاً از عملیات آتش باری استفاده می‌شود. بدین صورت که با استفاده از مواد منفجره قسمت‌های مورد نظر از کوه را منفجر می‌کنند و سنگ آهک را به صورت قطعات سنگی درشت بدست می‌آورند. همچنین در استخراج خاک رس نیز، به دلیل سختی نسبتاً پایین معادن آن، معمولاً از لودر (بیل مکانیکی)، بیل‌های مکانیکی پر قدرت و بیل‌های کششی استفاده می‌شود. پس از استخراج مواد اولیه آنها را با استفاده از واگن، تسمه نقاله یا کامیون‌های ویژه حمل مواد اولیه به کارخانه منتقل می‌کنند.

### سنگ شکن

سنگ آهکی که از معدن بدست می‌آید، در بدو ورود به کارخانه، به قسمت سنگ شکن منتقل می‌شود. سنگ شکن‌ها که وظیفه خرد کردن قطعات بزرگ سنگ و ایجاد قطعات کوچکتر را بر عهده دارند، دارای انواع گوناگون همچون سنگ شکن‌های فکی، چکشی و دورانی می‌باشند. در زیر سنگ شکن‌ها، سرند اولیه وجود دارد که خرده سنگ‌های شکسته در سنگ شکن، روی آن می‌ریزند. قطعات مناسب خرده سنگ‌ها که از سرند اولیه عبور کنند، به قسمت دپوی مصالح منتقل می‌شوند و قطعات درشتی که روی سرند باقی می‌مانند، مجدداً به سنگ شکن باز می‌گردند.

### دپوی مصالح

مواد اولیه تا زمان مصرف در قسمتی از کارخانه انبار می‌شوند. از آنجا که مواد اولیه نسبتاً ناهمگن و غیر یکنواخت است و سیمان تولیدی باید کاملاً یکنواخت باشد، شیوه انباشتن و برداشت مصالح به گونه‌ای است که تا حدودی این هدف را تامین کند. بدین منظور از روش باند همگن ساز استفاده می‌شود. در این روش ماشین مخصوصی که دارای یک بازوی متحرک در بالاست، در طول قسمت دپو بر روی ریل حرکت می‌کند و مواد آماده شده را توسط تسمه نقاله به بالا منتقل کرده، با استفاده از بازوی متحرک، در کنار مسیر حرکت خود تخلیه می‌کند. نتیجه این عمل در طول حرکت رفت و برگشتی ماشین، ایجاد یک خاکریز از مصالح مورد نظر در امتداد مسیر حرکت است. هر ماشین می‌تواند دو خاکریز در طرفین خود ایجاد کند و هر کارخانه بسته به حجم تولید، به تعدادی از این ماشین‌ها مجهز است.

در هر صورت مواد اولیه در لایه‌های افقی بر روی هم ذخیره می‌شوند. در صورت برداشت با مقاطع عمودی، قسمت برداشتی تقریباً شامل کلیه لایه‌ها خواهد بود.

### آسیاب گلوله‌ای

در فرایند آماده سازی مواد اولیه جهت تهیه سیمان، باید این مواد کاملاً به شکل پودر درآیند. بدین منظور از آسیاب گلوله‌ای (ساجمه‌ای) استفاده می‌شود. آسیاب گلوله‌ای استوانه‌ای است که محور آن با افق زاویه کوچکی می‌سازد و دارای ابعاد گوناگون همچون  $4 \times 10$  متر است. داخل این آسیاب، گلوله‌هایی است که در قسمت‌های اولیه آن بزرگترند و هر چه به انتهای آسیاب نزدیک شود، کوچکتر می‌گردند. شیوه کار چنین است که در حالیکه استوانه می‌چرخد، این مواد با گلوله‌ها بالا می‌روند و از بالاترین نقطه سقوط می‌کنند. توالی این صعود و سقوط، منجر به آسیاب شدن مواد می‌شود. مواد اولیه از قسمت ورودی آسیاب داخل می‌شوند و در اثر حرکت چرخشی و شیب استوانه به سمت خروجی پیش می‌روند و به صورت پودر از انتهای آن خارج می‌شوند. سنگ آهک و خاک رس هر یک در آسیاب‌های جداگانه‌ای آسیاب می‌شوند و پودر آنها در سیلوهای مخصوص نگهداری می‌شود. تفاوت آسیاب خاک رس با سنگ آهک آنست که به دلیل مرطوب بودن نسبی خاک رس، آسیاب کردن آن با حرارت همراه است تا پودر خاک رس به صورت کاملاً خشک بدست آید.

### تهیه خوراک کوره

پس از آماده شدن پودر سنگ آهک و خاک رس، نوبت به تهیه خوراک کوره می‌رسد. این عمل روش‌های گوناگونی دارد و بر همین اساس، روش‌های مختلف تولید سیمان را دسته‌بندی می‌کنند. بدین منظور چهار شیوه وجود دارد که در ادامه به آنها اشاره می‌گردد.

۱- روش تر

۲- روش نیمه تر

۳- روش نیمه خشک

۴- روش خشک

### کوره

هنگامیکه خوراک کوره به هر يك از چهار روش فوق آماده شد، باید در دمای حدود ۱۴۰۰ درجه سانتیگراد حرارت ببیند تا فعل و انفعالات لازم به وجود آید. بدین منظور از دو نوع کوره استفاده می‌شود.

۱- کوره قائم

۲- کوره گردنده افقی

### جلوگیری از اتلاف انرژی

همانطور که اشاره شد، در کوره‌های گردنده افقی دو جریان مخالف هم برقرار است:

۱- جریان مواد از بالا به پایین.

۲- جریان هوای گرم از پایین به بالا

خروج کلینکر از پایین کوره و هوای گرم از بالای کوره، باعث اتلاف بخش عظیمی از حرارت کوره و انرژی می‌شود. لزوم مقابله با این پدیده، به ابداع شیوه‌های گوناگونی منجر شد که در ادامه خواهد آمد.

۱- پیش گرم‌کن

۲- پیش کلسینه کن

۳- کولر زنجیری

۴- کولر اقماری

### فیلترهای الکترواستاتیک

هوای خروجی از بالای کوره، پس از عبور از پیش گرم کن، در نهایت وارد جو می‌شود. این هوا دارای مقدار قابل ملاحظه‌ای ذرات ریز معلق است که در صورت عدم بازیافت، باعث آلودگی محیط زیست می‌شود. جهت جدا کردن این ذرات از هوا، از فیلترهای گوناگون استفاده می‌شود. یکی از انواع این فیلترها، فیلتر الکترواستاتیک است. در این سیستم، صفحاتی فلزی با بار مثبت الکترواستاتیکی در مسیر خروجی هوا قرار می‌گیرند و ذرات هوا پیش از ورود به فیلتر به وسیله جریان برق فشار قوی، به بار منفی باردار می‌شوند. ذرات با بار منفی به سمت صفحات با بار مثبت جذب می‌شوند و هوای خروجی عاری از آنها می‌گردد. هنگامیکه ضخامت ذرات روی صفحات به حد معینی برسد، با دستگاه‌های لرزاننده صفحات را تمیز می‌کنند. ذرات بدست آمده در صورت دارا بودن قابلیت مصرف، به قسمت خوراک کوره بازگردانده می‌شوند. لازم به ذکر است این صفحات در اثر رطوبت و اسیدی بودن گازهای کوره زنگ می‌زنند و باید هر از چندگاهی تعویض شوند.

### آسیاب نهایی کلینکر

کلینکر خارج شده از کولر دمایی در حدود ۳۰۰ درجه دارد که هنوز مناسب ادامه روند تولید سیمان نیست ، لذا آن را در انبارهای سرپوشیده‌ای به مدت ۵ تا ۶ روز قرار می‌دهند تا دمای آن در مجاورت هوا به کمتر از ۱۰۰ درجه ، یعنی حدود ۶۰ درجه برسد. حال این کلینکر را همراه با حدود ۳٪ وزنی سنگ گچ ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) به وسیله آسیابهای گلوله‌ای آسیاب می‌کنند و پودر حاصل را با استفاده از سرند الک می‌نمایند. ذرات درشت‌تر از اندازه الک به آسیاب بازگردانده می‌شوند. آنچه در نهایت بدست می‌آید، پودر سیمان پرتلند است که دارای  $1 \times 10$  یا  $11 \times 10$  ذره سیمان است. بعداً خواهیم دید که سنگ گچ در زمان گیرش سیمان مؤثر است.

## ۲- انتقال سیمان به محل مصرف

سیمان پس از تولید در سیلوهای مخصوص ذخیره می‌شود تا از آنجا به کارگاه منتقل گردد. انتقال سیمان به دو شکل انجام می‌شود که عبارتند از:

۱- پاکتی

۲- فله‌ای

در روش پاکتی، سیمان در پاکتهای استاندارد بسته بندی و راهی بازار مصرف می‌شود. مطابق استاندارد ، کیسه‌ها باید در وزنه‌ای ۲۵ یا ۵۰ کیلوگرم و حداقل دارای سه لایه کاغذی باشند که جهت جلوگیری از نفوذ رطوبت ، بین دو تا از لایه‌ها باید غیراندود یا یکی از جنس پلاستیک باشد. بر روی پاکتهای سیمان باید علامت تجاری کارخانه ، نام تولید کننده، نوع سیمان، وزن کیسه و تاریخ تولید با رنگ مخصوص به تیب هر سیمان نوشته شده باشد.

در روش فله‌ای، ماشین مخصوص حمل سیمان در زیر سیلو بارگیری کرده، بار خود را به سیلوی کرگانه منتقل می‌کند. هنگام تخلیه ماشین حمل سیمان، پس از اتصال لوله رابط به سیلو، با افزایش فشار و برقراری جریان هوا در لوله ، ذرات سیمان همانند سیال به داخل سیلو منتقل می‌شوند.