

## پودمان ۳

### طبقه‌بندی عملکردی مواد خودگیر



گروهی از مواد سرامیکی که با عنوان مواد خودگیر شناخته می‌شوند، اهمیت بسیاری در مصالح ساختمانی و ساخت سازه‌های بتنی دارند. سیمان، گچ و آهک از جمله این گروه از مواد هستند که تولید آنها با کیفیت مطلوب، به متخصصان مجرب و کار آزموده نیاز دارد.

همان‌طور که می‌دانید، پودر ژله پس از مخلوط‌شدن با آب و ماندن در یخچال پس از مدت زمان مشخصی، سفت می‌شود.



ب) ژله



الف) پودر ژله

شکل ۱

در صنعت سرامیک نیز موادی تولید می‌شوند که پس از ترکیب با آب ملاتی را می‌سازند که پس از مدت زمان مشخصی سفت می‌شود و استحکام آن افزایش می‌یابد. آیا می‌توانید چند نمونه از این مواد را نام ببرید؟



شکل ۲- ملات چند ماده سرامیکی

پودمان ۳: طبقه‌بندی عملکردی مواد خودگیر

در صنایع سرامیک سیمان، گچ و آهک به عنوان مواد خودگیر شناخته می‌شوند.



شکل ۳- نمونه‌ای از کاربرد سیمان، آهک و گچ

## سیمان

برای ساخت دو سازه زیر از کدام ماده خودگیر استفاده شده است؟



ب) برج میلاد - تهران



الف) سد کارون - خوزستان

شکل ۴

سیمان در ترکیب با سنگدانه‌های ماسه و آب، بتن را ایجاد می‌کند. سیمان مانند یک چسب سنگدانه‌ها را به یکدیگر می‌چسباند.



سیمان پودری نرم و جاذب آب است. در ترکیب با آب واکنش می‌دهد و ماده حاصل از این واکنش مانند چسب عمل می‌کند و پس از گیرش در تماس با آب پایدار است.



ملات ماده خمیری است که از ترکیب ماده چسباننده (مانند سیمان) و ماده پرکننده (مانند ماسه) همراه با افزودنی‌ها به دست می‌آید.

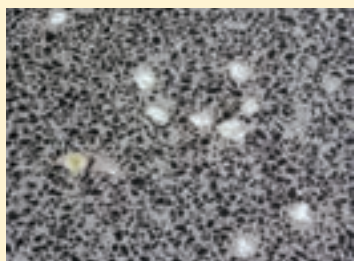
میل ترکیبی سیمان با آب و ایجاد اتصال و سفت شدن آن به دلیل خاصیت هیدرولیکی سیمان است.

نکته  
!





با توجه به شکل ۷، توضیح دهید نقش سیمان در ساخت محصولات ساختمانی و بتنی چیست؟



موزاییک سیمانی



مقطعی از بلوک بتنی

شکل ۷

اکسیدهای اصلی که در سیمان وجود دارند شامل موارد زیر است:

آهن اکسید

آلومینیوم اکسید

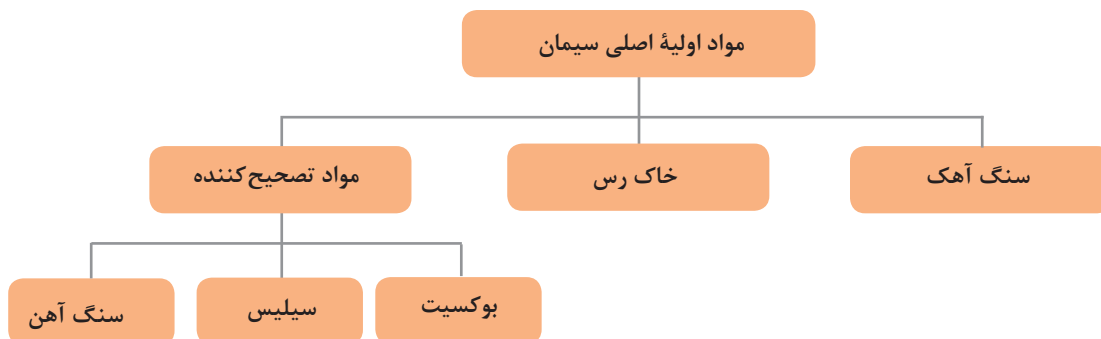
سیلیسیم اکسید

کلسیم اکسید

نمودار ۱

علاوه بر اکسیدهای اشاره شده در نمودار ۱ اکسیدهای دیگری مانند منیزیم اکسید و سایر اکسیدهای قلیایی نیز از طریق مواد اولیه به ترکیب سیمان وارد می‌شوند.

در تولید سیمان معمولاً از سنگ آهک به عنوان منبع تأمین‌کننده کلسیم اکسید و از خاک رس به عنوان منبع تأمین‌کننده سیلیس و آلومینا استفاده می‌شود. به دلیل آنکه آهک بخش زیادی از مواد اولیه سیمان را تشکیل می‌دهد، بنابراین کارخانجات سیمان معمولاً در نزدیکی معادن آهک احداث می‌شوند. برای تنظیم ترکیب شیمیایی سیمان از مواد تصحیح‌کننده در ترکیب آن استفاده می‌شود.



نمودار ۲

برای اولین بار از مخلوط سنگ آهک و خاک رس آهکی ماده هیدرولیکی ساخته شد که به سیمان پرتلند معروف شد و ترکیب آن به تدریج تکامل یافت. سیمان پرتلند همان سیمان ساختمانی است.





سیمان پرتلند در اواسط قرن ۱۹ میلادی (حدود سال ۱۲۰۰ هجری شمسی) در کشور انگلیس و از آهک ساخته شد. پدر خانواده اسپدین<sup>۱</sup> برای اولین بار سیمان را در اجاق آشپزخانه خود ساخت و سپس بنیان‌گذار تولید آن در کشور انگلیس شد. به دلیل شباهت ظاهری این محصول به سنگ پرتلند (تشکیل شده از رسوبات آهکی استخراج شده از جزیره پرتلند در جنوب انگلیس)، به نام سیمان پرتلند نام‌گذاری شد. حدود ۲۰ سال بعد فرزند خانواده، ویلیام اسپدین، موفق به تولید سیمان بهبود یافته به شکل امروزی شد و به همین دلیل وی را پدر سیمان پرتلند نامیدند. پس از ۵۰ سال با اختراع کوره دوار هافمن در آلمان، سیمان پرتلند به صورت پیوسته و با کیفیتی به مراتب بهتر تولید شد. سیمان تقریباً در سال ۱۳۰۰ هجری شمسی وارد ایران شد و در سال ۱۳۱۲ اولین واحد تولیدی در جنوب تهران به بهره‌برداری رسید.



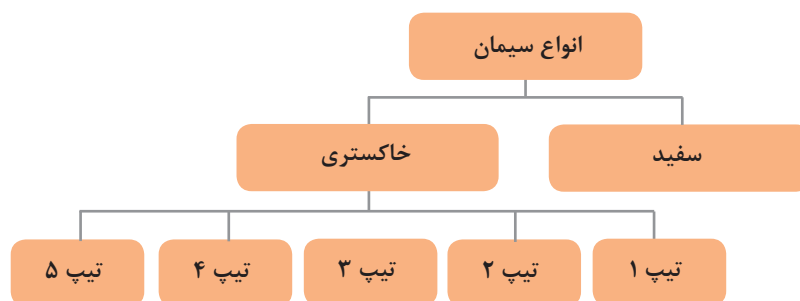
شکل ۹- تصویری از کارخانه سیمان ری در سال ۱۳۳۱



شکل ۸- ویلیام اسپدین، پدر سیمان پرتلند

## انواع سیمان

بر اساس رنگ ظاهری، سیمان پرتلند یا ساختمانی در دو رنگ سفید و خاکستری به بازار عرضه می‌شود. سیمان براساس محل کاربرد انواع مختلفی دارد که در نمودار ۳ نشان داده شده است. این تقسیم‌بندی براساس استاندارد<sup>۲</sup> ASTM جهانی است. هر کدام از این سیمان‌ها در شرایط محیطی خاصی به کار گرفته می‌شود.



نمودار ۳

۱- Aspdin

۲- American Society for Testing and Materials



شکل ۱۰- ترک خوردگی بتن در اثر حمله یون سولفات

گاهی وجود یون‌های سولفات در محیط باعث تخریب بتن می‌شود. در اثر واکنش شیمیایی بین سولفات‌ها و یکی از اجزای سیمان کریستال‌های سوزنی تشکیل می‌شود که حجم زیادی دارند و باعث ایجاد ترک در بتن می‌شوند. یون سولفات در زمین‌های سولفات دار و آب دریا وجود دارد.

نکته



تحقیق کنید



آیا به غیر از ترکیبات سولفاتی، احتمال تخریب بتن در حضور مواد دیگری نیز وجود دارد؟

### جدول ۱

سیمان تیپ ۱	- این سیمان، سیمان پرتلند معمولی است. برای مصارف عمومی مانند ساخت جاده، پل، ملات بنایی و ساخت مخازن کاربرد دارد. - در مواردی که بتن در معرض سولفات‌ها نباشد، به کار می‌رود.
سیمان تیپ ۲	- در محیط دارای سولفات‌های متوسط، به کار می‌رود. - از لحاظ گیرش، سیمان نوع ۲ کندتر از سیمان نوع ۱ است و حرارت کمتری آزاد می‌کند. در ساختمان‌هایی که سازه‌های حجیم دارند، به کار می‌رود.
سیمان تیپ ۳	- این سیمان حرارت بیشتری نسبت به نوع ۱ آزاد می‌کند. - به این نوع سیمان، سیمان زودگیر نیز می‌گویند. - سیمان تیپ ۳ در مناطق با هوای سرد و مناطقی که نیاز به بهره‌برداری سریع سازه است، استفاده می‌شود.
سیمان تیپ ۴	- این نوع سیمان دیرگیر است و حرارت کمتری تولید می‌کند. - در موارد بتن‌ریزی‌های حجیم، مانند سدسازی به کار می‌رود.
سیمان تیپ ۵	- سیمان ضد سولفات است و در محیط‌های در معرض سولفات به کار می‌رود.

کنجکاوی



به چه دلیل در بتن‌ریزی‌های حجیم از سیمان تیپ ۴ استفاده می‌شود؟

نکته



در نام‌گذاری انواع سیمان گاهی از شماره‌گذاری با اعداد یونانی (I, II, III, IV, V) استفاده می‌شود.



وجود هم‌زمان سه عامل در بتن باعث حمله سولفاتی به آن می‌شود:

- ۱ وجود عوامل واکنش‌پذیر در سیمان: این عوامل مانند  $\text{CaO}$ ،  $\text{Al}_2\text{O}_3$  یا  $\text{C}_3\text{A}$  در سیمان‌های پرتلند موجب افزایش واکنش‌پذیری خمیر سیمان با یون‌های سولفات می‌شود.
- ۲ یون سولفات: به صورت نمک‌های سولفاتی در محیط اطراف بتن وجود دارند که از قدرت انحلال بسیار زیادی در آب برخوردار هستند.
- ۳ نفوذپذیری: هرچه نفوذپذیری بتن بیشتر باشد یا تخلخل بیشتری بین اجزای سازنده بتن وجود داشته باشد، بتن بیشتر تخریب می‌شود زیرا یون‌های مخرب بیشتری که یون سولفات را به داخل بتن منتقل می‌کنند، در بتن قرار می‌گیرند.

در اثر واکنش یون سولفات با ترکیب تری‌کلسیم آلومینات ( $\text{C}_3\text{A}$  یا  $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ ) موجود در سیمان، بلورهایی با حجم بزرگ‌تر از بلورهای قبلی در بتن رشد می‌کنند و باعث ایجاد ترک در بتن سخت شده می‌شوند. برای حل این مشکل باید یکی از این سه عامل را حذف کرد. یکی از روش‌ها، استفاده از سیمان ضدسولفات است. در این تیپ از سیمان‌ها به دلیل کم بودن مقدار فاز  $\text{C}_3\text{A}$ ، امکان واکنش سولفات‌ها با خمیر سیمان و در نهایت تشکیل بلورهای با حجم بالا به شدت کاهش می‌یابد. روش دیگر، کاهش نفوذپذیری بتن و آب‌بندی آن است. برای این منظور از مواد معدنی در ساخت بتن و همچنین کاهش نسبت آب به سیمان استفاده می‌شود.

### عامل تفاوت رنگ انواع سیمان چیست؟

رنگ خاکستری سیمان به دلیل وجود درصد اکسید آهن بالا در آن است و سیمان سفید اکسید آهن بسیار کمتری نسبت به سیمان خاکستری دارد. مصارف سیمان سفید بسیار محدودتر از سیمان خاکستری است. در جدول ۲، نمونه‌ای از درصد وزنی اکسیدهای اصلی در سیمان پرتلند سفید و خاکستری نشان داده شده است.

جدول ۲- درصد وزنی اکسیدهای اصلی در سیمان پرتلند سفید و خاکستری

سیمان پرتلند سیاه	سیمان پرتلند سفید	اکسید
۲۱	۲۲	$\text{SiO}_2$
۶۳	۶۶	$\text{CaO}$
۴	۶	$\text{Al}_2\text{O}_3$
۳	۰/۳	$\text{Fe}_2\text{O}_3$
۳	۱	$\text{MgO}$
۶	۴/۷	اکسیدهای دیگر
۱۰۰	۱۰۰	جمع

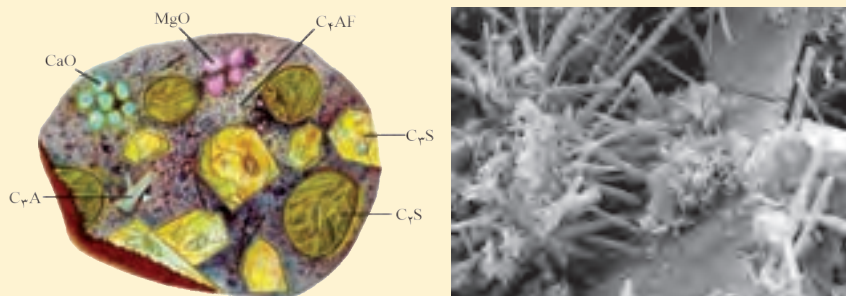




فازهای سیمان که به آنها کریستال‌های کلینکر نیز گفته می‌شود، در جدول زیر آمده است:

جدول ۳

نام فاز	ترکیب شیمیایی	توضیحات
سه کلسیم سیلیکات یا آلایت	$3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ ( $\text{C}_3\text{S}$ )	جزء اصلی سیمان پرتلند است و استحکام سیمان بیشتر به سبب وجود این فاز است.
دو کلسیم سیلیکات یا بلیت	$2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ ( $\text{C}_2\text{S}$ )	این فاز در گیرش سیمان تأثیر زیادی ندارد. با گذشت زمان هیدراته می‌شود و باعث ایجاد استحکام در سیمان می‌شود.
سه کلسیم آلومینات	$3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ ( $\text{C}_3\text{A}$ )	این فاز دارای گیرش سریع است. شکفتن آن همراه با انفجار و ایجاد بخار آب است.
چهار کلسیم آلومینا فریت	$4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ ( $\text{C}_4\text{AF}$ )	این فاز به سرعت هیدراته می‌شود، ولی شکفتن آن حالت انفجاری ندارد.



شکل ۱۱- فازهای کریستالی تشکیل‌دهنده سیمان پس از واکنش با آب

### تولید سیمان

به‌طور کلی برای تولید سیمان از چهار روش شامل تر، نیمه‌تر، نیمه‌خشک و خشک استفاده می‌شود. از میان این روش‌ها، روش خشک آخرین فناوری تولید سیمان است که امروزه مرسوم بوده و در بسیاری از واحدهای تولیدی در کشور ما به کار می‌رود. در روش تر مواد اولیه تبدیل به دوغاب می‌شود و در روش‌های نیمه‌تر و نیمه‌خشک این دوغاب پیش از ورود به کوره به کیک (تکه‌های گل یا آماج) تبدیل می‌شود.

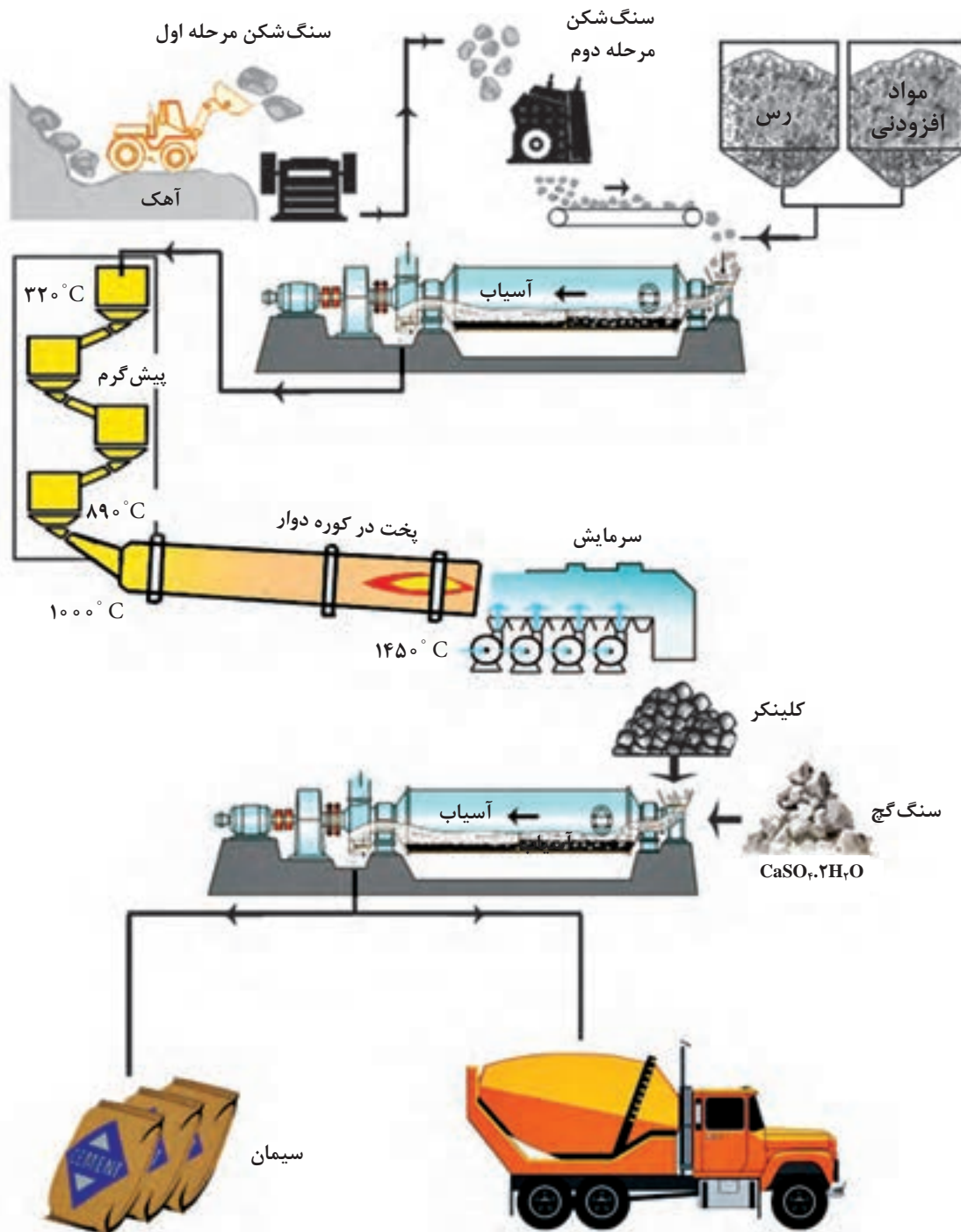
روش تر : مواد اولیه به صورت دوغاب وارد کوره می‌شود.

روش نیمه‌تر : از دوغاب آگیری شده مواد اولیه (کیک با رطوبت بالا) استفاده می‌شود.

روش نیمه‌خشک: از دوغاب آگیری شده مواد اولیه (کیک با رطوبت کم) استفاده می‌شود.

روش خشک: مواد اولیه به صورت خشک استفاده می‌شود.

مراحل تولید سیمان به صورت ساده در شکل ۱۲ نشان داده شده است.



شکل ۱۲- مراحل تولید سیمان پرتلند



شکل ۱۳ - سالن تنظیم و مخلوط کردن مواد

در تولید سیمان به روش خشک، ابتدا سنگ آهک خرد می‌شود. پس از خردایش سنگ آهک، با رس و مواد افزودنی (مانند سیلیس، آهن اکسید) در یک سالن با یکدیگر مخلوط می‌شوند یا در دو سالن جداگانه ریخته می‌شوند و قبل از ورود به آسیاب با یکدیگر مخلوط می‌شوند.

برای ریختن مواد در سالن تنظیم مواد از ریزنده<sup>۱</sup> و برای برداشت آنها از بردارنده<sup>۲</sup> استفاده می‌شود.

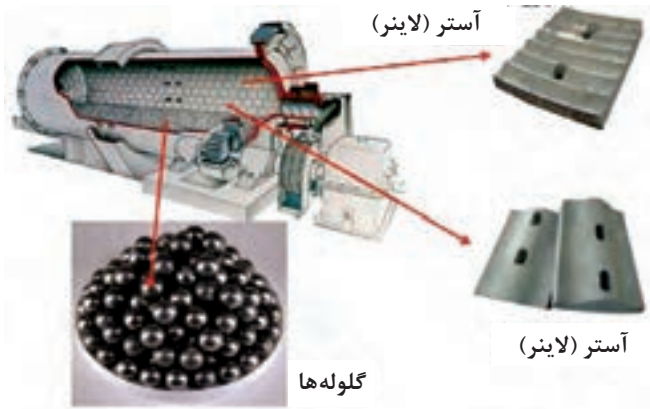


ب) بردارنده مواد



الف) ریزنده مواد

شکل ۱۴



سپس مواد آسیاب می‌شوند تا ضمن پودر شدن، به صورت یکنواخت با یکدیگر مخلوط شوند. در آسیاب، مواد اولیه خرد شده به نسبت‌های لازم وارد آسیاب می‌شوند.

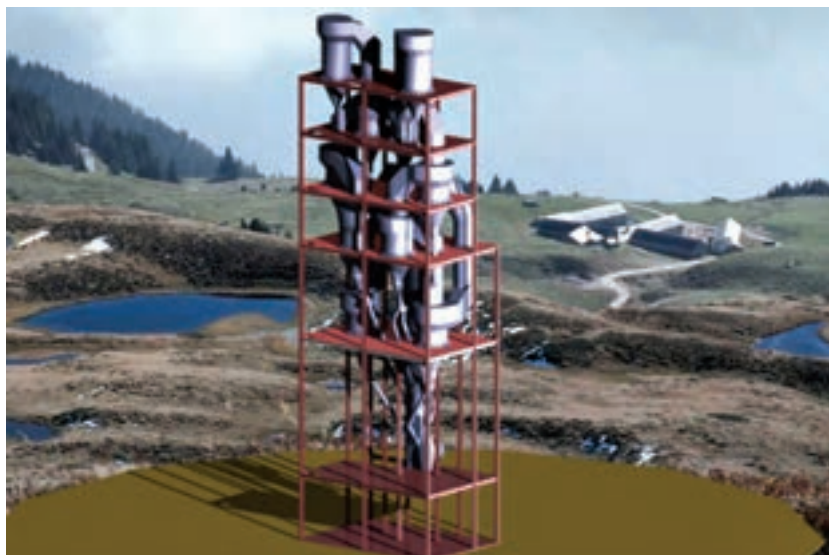
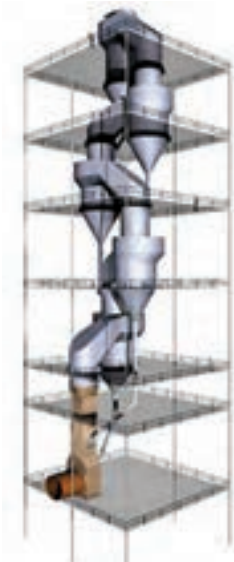
شکل ۱۵ - آسیاب گلوله‌ای



ترکیب مواد اولیه که همان خوراک کوره نام دارد، غبارگیری می‌شود و وارد سیلوهای ذخیره‌سازی می‌شوند. پس از نمونه‌گیری و اطمینان از تنظیم بودن ترکیب مواد خام، مواد به سیلوهای ذخیره خوراک فرستاده می‌شوند. در این قسمت مواد آماده پیش‌گرم و مصرف در کوره هستند.

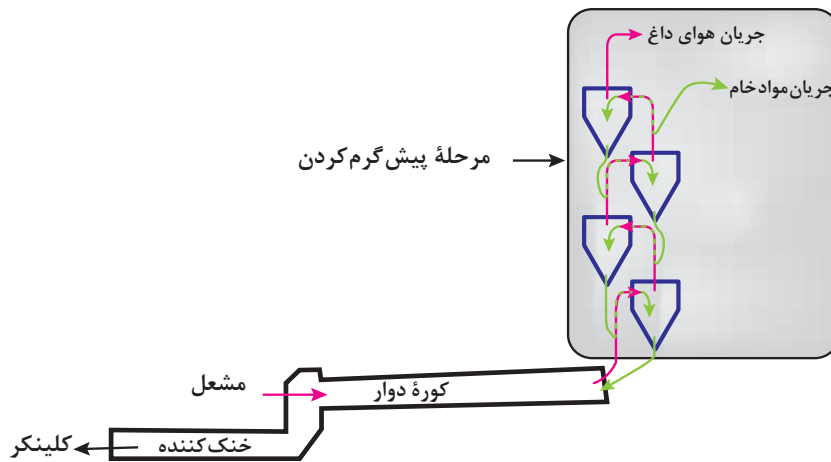
شکل ۱۶- سیلوهای ذخیره مواد آسیاب شده

مواد خام آسیاب شده، وارد مرحله پیش‌گرم می‌شوند تا قسمتی از فرایند پخت انجام شود. مرحله پیش‌گرم شامل تعدادی سیکلون است که مواد پودری در خلاف جریان هوای داغ جاری می‌شوند. پیش‌گرم برای گرم کردن مواد اولیه و کلسینه کردن بخش عمده آن است که قبل از ورود مواد به کوره انجام می‌شود. این فرایند در سیکلون‌هایی که جهت جریان مواد برخلاف جهت جریان هوای داغ است، انجام می‌گیرد. دمای مواد اولیه در مرحله پیش‌گرم تا محدوده تقریبی ۸۰۰ تا ۹۰۰ درجه سلسیوس افزایش می‌یابد و سپس مواد اولیه کلسینه شده وارد مرحله پخت در کوره می‌شوند.



شکل ۱۷- سیکلون‌های پیش‌گرم

پودمان ۳: طبقه‌بندی عملکردی مواد خودگیر



شکل ۱۸- مسیر جریان هوای داغ و مواد در سیکلون‌های پیش گرم سیمان

عموماً جریان هوای گرم در سیکلون‌های پیش گرم از حرارت کوره تأمین می‌شود.

نکته

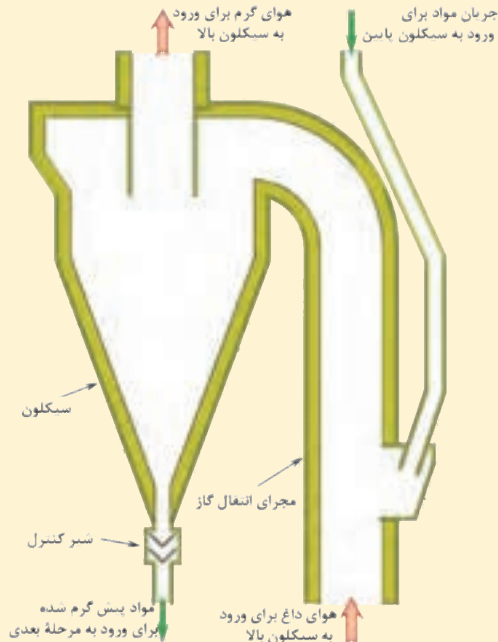


بیشتر بدانید



### سیکلون

سیکلون ظرفی مخروطی شکل است که جریان گاز به صورت مماس از آن عبور داده می‌شود. گاز از طریق خروجی محوری از محفظه خارج می‌شود. ذرات جامد سیمان به سمت لبه خروجی ظرف تحت نیروی گریز از مرکز حرکت می‌کنند و از طریق دریچه‌ای در رأس مخروط از سیکلون خارج می‌شوند. تعداد سیکلون‌ها از ۱ تا ۶ عدد متغیر است.



شکل ۱۹- سیکلون



مواد اولیه پس از طی کردن مرحله پیش گرم وارد کوره می‌شوند. واحدهای پیش گرم و کوره به عنوان قلب کارخانه نقش اصلی را در تولید سیمان ایفا می‌کنند. کوره دوار استوانه‌ای است که قطر آن ۳ تا ۶ متر است و طولی بیش از ۹۰ متر دارد. این استوانه به صورت شیب‌دار (حدود ۴ درجه) قرار داده می‌شود. دوران کوره به جریان آرام مواد از دهانه ورودی کوره و در راستای شیب آن به سمت خروجی کوره کمک می‌کند. مشعل که در انتهای کوره قرار دارد، دمای مواد را تا محدوده ۱۴۵۰ درجه سلسیوس افزایش می‌دهد تا فرایند ذوب و تشکیل فازهای فعال سیمان انجام پذیرد. سپس محصول خروجی از کوره دوار وارد خنک‌کننده می‌شود. شکل‌های ۲۰ تا ۲۲ کوره دوار و نمای داخلی آن را نشان می‌دهند.



شکل ۲۰- کوره دوار

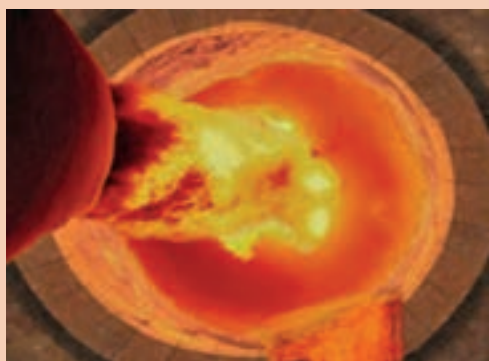


شکل ۲۲- مشعل کوره دوار



شکل ۲۱- کوره دوار با پیش گرم سیکلونی

سرتاسر جداره داخلی کوره دوار توسط لایه‌ای از آجرهای نسوز (دیرگداز) پوشانده شده است. در شکل ۲۳ نمای داخلی کوره دوار شامل شعله، آجرهای نسوز و تخلیه مذاب سیمان نشان داده شده است.



شکل ۲۳- نمای داخلی کوره دوار

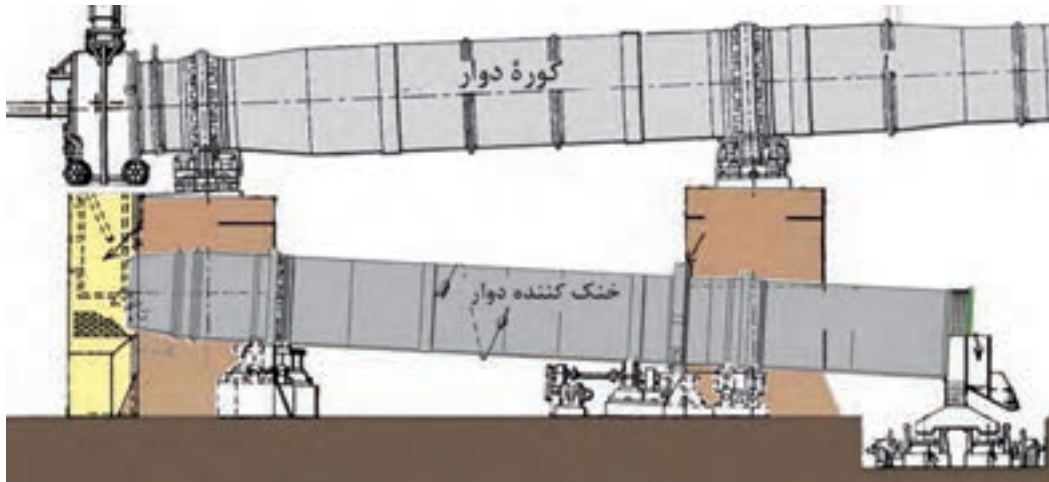
نکته



برای حفظ ترکیب و نوع فازهای سیمان، پس از خروج سیمان از کوره باید خنک کردن کلینکر سریع انجام شود. انواع رایج خنک‌کن‌های مورد استفاده در سیمان شامل موارد زیر است:

### خنک‌کن دوار

این خنک‌کن‌ها به شکل استوانه هستند و با سرعت مشخصی می‌چرخند که مواد پس از خروج از کوره در آن خنک می‌شوند.



شکل ۲۴- کوره دوار همراه با خنک‌کننده دوار

### خنک‌کن سیاره‌ای (گوشواره‌ای)

در خنک‌کن سیاره‌ای در انتهای کوره، تعدادی لوله خنک‌کننده در اطراف محیط دایره‌ای کوره قرار داده شده‌اند که به دور کوره می‌چرخند.

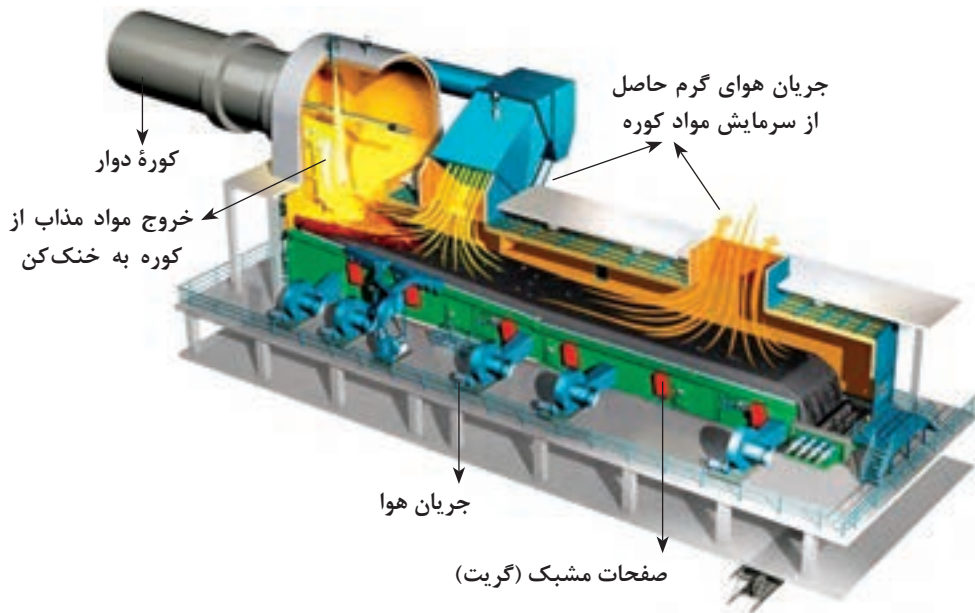


شکل ۲۵- کوره دوار همراه با خنک‌کن در انتهای آن

### خنک‌کن شبکه‌ای (گریتی)

خنک‌کن‌های شبکه‌ای (گریتی) از رایج‌ترین و جدیدترین خنک‌کن‌ها هستند که در آنها جریان هوا از طریق صفحات مشبک مواد را خنک می‌کنند. در خنک‌کن‌های سیاره‌ای و دوار، هوا و مواد در جهت معکوس هم حرکت می‌کنند، ولی در خنک‌کن‌های شبکه‌ای جریان حرکت هوای خنک‌کن به صورت متقاطع و در جهت حرکت مواد است.

در این خنک‌ها هوای گرم حاصل از سرمایش مواد خروجی از کوره دوار، برای پیش‌گرم در سیکلون استفاده می‌شود.



شکل ۲۶- کوره دوار با خنک‌کننده شبکه‌ای (گریتی)

محصول خروجی از کوره پس از سرد شدن، کلینکر نام دارد. کلینکرها، دانه‌های خاکستری یا قهوه‌ای رنگ با قطر ۱ تا ۲۵ میلی‌متر هستند.



شکل ۲۷- کلینکر

پودمان ۳: طبقه‌بندی عملکردی مواد خودگیر

- کلینکر خارج شده از واحد خنک‌کننده وارد سیلوی کلینکر می‌شود.
- کلینکر خروجی سپس با مقدار مشخصی سنگ گچ به آسیاب وارد می‌شود تا به پودر یا همان سیمان آماده مصرف تبدیل شود.
- سیمان آماده‌شده به داخل سیلوهای سیمان هدایت می‌شود و از آنجا به واحد بارگیری منتقل می‌شود.
- در واحد بارگیری، سیمان به دو صورت فله‌ای و پاکتی ارائه می‌شود. برای بارگیری به صورت بسته‌ای، سیمان در پاکت‌هایی بسته‌بندی می‌شود و برای بارگیری به صورت فله‌ای به داخل بونکرهای سیمان هدایت می‌شود.

بونکرها مخازن ثابت یا متحرک برای ذخیره سیمان هستند.



بونکر حمل سیمان



خنک‌کن گریته کلینکر



بارگیری فله



بارگیری کیسه

شکل ۲۸

نکته



کنجکاوی



در مرحله آسیاب، دلیل افزودن گچ به سیمان چیست؟



در مرحله آسیاب معمولاً از بال میل پیوسته استفاده می‌شود که استفاده از آسیاب‌های غلتکی نیز امروزه در حال افزایش است.



(ب) داخل آسیاب غلتکی



(الف) آسیاب غلتکی

شکل ۲۹

مطابق جدول ۴، برای تأمین هر یک از اکسیدهای مورد نیاز در ترکیب شیمیایی سیمان کدام مواد را پیشنهاد می‌دهید؟

جدول ۴

LOI	MgO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	CaO	ماده اولیه
۴۰-۵۰	-	-	-	-	۶۰-۵۰	سنگ آهک
<۱۰	-	۸-۱۲	۱۵-۲۰	۵۵-۶۵	-	خاک رس
-	-	۹۰	<۲	<۱۰	-	سنگ آهن
-	-	۵-۱۰	۱۵-۲۰	۵۰-۵۵	-	شیل*
-	۲۰-۱۵	-	۵-۱۰	۳۰-۳۵	۳۰-۳۵	سرباره

مواد اولیه پیشنهادی	اکسید مورد نیاز
	CaO
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
	SiO <sub>2</sub>
	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>







شکل ۳۰- شیل

\* شیل از سنگ‌های رسوبی است که عمده‌ترین کانی آن کائولینیت و میکا است و شامل رسوبات معدنی حاوی رس، کوارتز و کلسیت است.

مشخصات فیزیکی سیمان پرتلند مطابق استاندارد ملی ایران به صورت جدول زیر است:

جدول ۵

استحکام فشاری ( $\text{kg/cm}^2$ )			انقباض اتوکلاو (%)	زمان گیرش (دقیقه)		بلین ( $\text{cm}^2/\text{g}$ )	آزمون
۲۸ روز	۷ روز	۳ روز	-	نهایی	اولیه	-	شرح
حداقل ۲۷۰	حداقل ۱۵۰	حداقل ۸۵	حداکثر ۰/۸	حداقل ۳۶۰	حداکثر ۴۵	حداقل ۲۸۰۰	مقدار

گیرش سیمان پرتلند فرایندی گرمازا و زمان‌بر بوده که با انقباض نیز همراه است.

هر چه انقباض سیمان بیشتر باشد، امکان ترک خوردن آن در صورت ساخت سازه‌های حجیم بیشتر می‌شود. همچنین به دلیل زمان‌بر بودن این فرایند آزمون استحکام‌سنجی طبق استاندارد «۳۹۳» طی فاصله زمانی ۱، ۲، ۳، ۷، و ۲۸ روز انجام می‌شود که نمونه‌ها طی زمان‌های بالا باید در مجاورت آب قرار داده شوند.

در مورد آزمون بلین تحقیق کنید و در کلاس ارائه دهید.

نکته



تحقیق کنید



### استفاده از مواد خودگیر در ساخت سنگرها و تجهیز سازه‌های مورد نیاز دفاع مقدس

در دوران دفاع مقدس جهادگران این سنگرسازان بی‌سنگر با استفاده از قطعات (رینگ) بتنی دارای مواد خودگیر به شکل مربع، مستطیل یا هلالی با عرض تا یک متر و با کنار هم قرار دادن آنها تونل‌هایی عریض ایجاد می‌کردند که بعد از آب‌بندی روی آنها را می‌پوشاندند از این نوع سازه برای ایجاد مقرهای فرماندهی، بیمارستان‌های صحرائی و سنگرهای اجتماعی استفاده می‌شد. امروزه از این نوع سازه‌ها در ساخت پل‌ها، اتاقک‌های انشعابات اصلی مخابرات زیر خیابان‌ها و در تونل قنات‌ها استفاده می‌شود.



**گچ**  
با دقت در بناهای شهر و منزلی که در آن زندگی می‌کنید، حتماً کاربردی از گچ را خواهید دید.

شکل ۳۱

پودمان ۳: طبقه‌بندی عملکردی مواد خودگیر

گچ، پودری سفیدرنگ است که در مجاورت آب با آن واکنش می‌دهد و عامل اتصال بین اجزای خود یا مواد دیگر می‌شود. این پودر از آسیاب کردن و حرارت دادن سنگ گچ<sup>۱</sup> یا کانی ژئوپس به دست می‌آید. وجود مواد ناخالصی مانند کربن، آهن اکسید و مواد دیگر باعث تغییر رنگ آن می‌شود.



ب) پودر گچ



الف) سنگ گچ

شکل ۳۲

### انواع سنگ گچ

کانی ژئوپس همان کلسیم سولفات همراه با دو مولکول آب است که فرمول شیمیایی آن به صورت  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  است. کانی ژئوپس را در سنگ‌های زیر می‌توان یافت:



سنگ گچ مرمری: نرم است و تراشیدن آن راحت است که کاربرد تزئینی دارد.



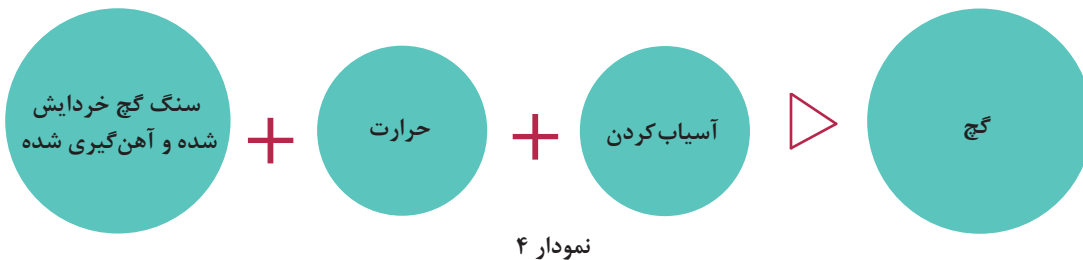
سنگ گچ غیربلورین: غیربلوری است و مصرف گچ‌پزی دارد.



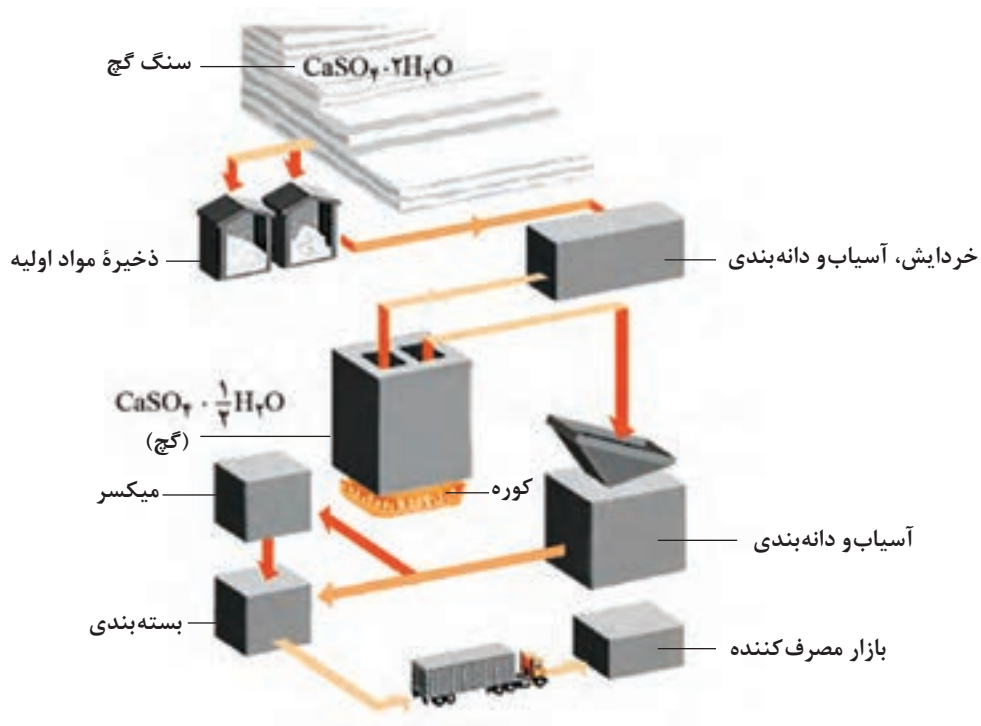
سنگ گچ بلورین: به صورت لایه‌لایه است.

شکل ۳۳

برای تهیه گچ از سنگ گچ، لازم است سنگ گچ علاوه بر آسیاب شدن، تا دمای معینی حرارت داده شود تا مقداری از آب آن خارج شود.



در شکل زیر مراحل تهیه گچ از سنگ گچ نشان داده شده است.

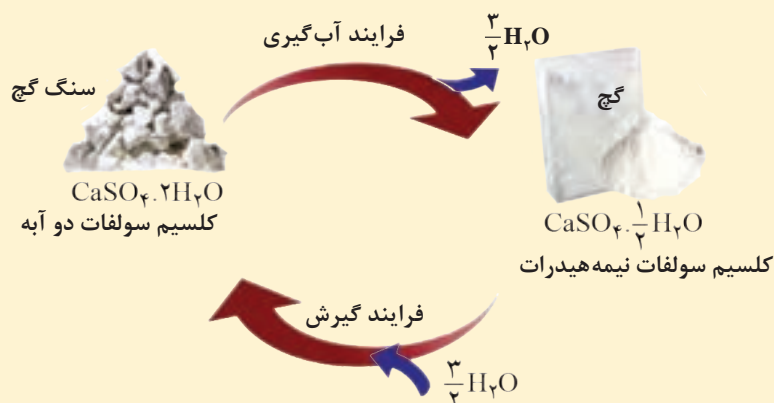


شکل ۳۴- مراحل تولید گچ از سنگ گچ

سنگ گچ از معدن با کامیون به کارخانه حمل می شود. در مرحله بعد سنگ گچ ها خرد می شوند. سنگ گچ های خرد شده توسط یک نقاله به سرنده هدایت می شود که در آنجا بر اساس اندازه جداسازی شده و به دو بخش کلوخه و نرم تقسیم می کنند و سپس به سمت کوره هدایت می شوند. گچ حاصل آسیاب شده و پس از دانه بندی سرنده می شود. پس از دانه بندی، محصول بسته بندی شده و پس از بارگیری، به بازار فرستاده می شود.



ترکیب شدن و واکنش گچ با آب را در نظر بگیرید و جاهای خالی را با کلمات گرماگیر و گرمازا پر کنید: فرایند ساخت کلسیم سولفات نیمه‌هیدرات که با خروج آب همراه است که ..... است، ولی فرایند گیرش آن در ترکیب با آب ..... است.



شکل ۳۵- فرایند گیرش و جذب آب در گچ

کانی ژئوپس با گرفتن گرما، آب خود را از دست می‌دهد و گچ به دست می‌آید. با افزودن آب به پودر گچ، دوباره گچ مولکول آب را می‌گیرد و به صورت بلورهای سنگ گچ متبلور می‌شود و مقداری گرما نیز آزاد می‌کند.

## انواع گچ



اگر به محیط اطراف خود نگاه کنید، کاربردهایی از گچ را مشاهده خواهید کرد. نمونه‌هایی از این کاربردها را بیان کنید. دلیل کاربرد گچ در مواردی که بیان کردید، چیست؟



شکل ۳۶



کلسیم سولفات به عنوان ترکیب اصلی گچ، بر اساس مقدار آب به انواع دوآبه، نیمه‌هیدرات و انیدرید تقسیم می‌شود:



نمودار ۵

دو فاز اصلی کلسیم سولفات نیمه‌هیدرات که تأثیر بسیاری بر خواص نهایی و کاربرد آن می‌گذارد، شامل فاز آلفا و بتا است. کریستال‌های این دو فاز شبیه یکدیگر هستند، ولی نوع آلفا دارای بلورهای منظم و نوع بتا دارای بلورهای نامنظم است. حرارت دادن سنگ گچ در شرایط اتوکلاو (فشار و بخار آب) باعث کاهش سرعت خروج آب می‌شود که این امر به نظم بیشتر کریستال‌ها منجر می‌شود.

نکته



در جدول زیر انواع گچ و دمای مورد نیاز برای تهیه و کاربرد آنها به صورت خلاصه بیان شده است:

جدول ۶ - دمای تهیه و کاربرد انواع گچ

کاربرد	دمای حرارت‌دهی (درجه سلسیوس)	انواع
در کاربردهای پزشکی و صنعتی به کار می‌رود. کلسیم سولفات نیم‌آبه یا نیمه‌هیدرات است.	۱۵۰-۱۰۷ درجه سلسیوس تحت شرایط اتوکلاو یا بخار آب	گچ صنعتی یا مدل‌سازی (غنی از فاز آلفا)
به عنوان مصالح ساختمانی به کار می‌رود. کلسیم سولفات نیم‌آبه یا نیمه‌هیدرات است.	۱۶۰-۱۲۰ درجه سلسیوس در کوره معمولی	گچ ساختمانی (غنی از فاز بتا)
کندگیر است و برای سفیدکاری به کار می‌رود. ترکیب آن کلسیم سولفات نیم‌آبه یا نیمه‌هیدرات است.	تا دمای ۲۰۰ درجه سلسیوس	گچ اندود
کلسیم سولفات بدون آب یا گچ سوخته و مرده است که در ساخت مرمر مصنوعی به کار می‌رود.	بیشتر از ۲۰۰ درجه سلسیوس تا ۱۰۰۰ درجه سلسیوس	انیدرید

گچ در دو نوع صنعتی و ساختمانی عرضه می‌شود.

جدول ۷

انواع گچ	کاربرد	فاز کلسیم سولفات نیمه‌هیدرات	درصد حجمی تخلخل
صنعتی	پزشکی، مدل‌سازی و قالب‌سازی	غنی از فاز آلفا	۲۵-۳۰
ساختمانی	مصالح ساختمانی	غنی از فاز بتا	۵۰-۵۵

با توجه به نوع فاز موجود در این دو نوع گچ و درصد تخلخل موجود در آنها طبق جدول ۷، استحکام و جذب آب در کدام نوع گچ بیشتر است؟

در ساخت قالب مورد استفاده برای ساخت بدنه‌های سرامیکی به روش ریخته‌گری دوغابی، به دلیل حمل قالب‌ها و نیاز به استحکام بالا از گچ‌های غنی از فاز آلفا استفاده می‌شود، ولی مقداری گچ ساختمانی به آن اضافه می‌کنند. دلیل این کار چیست؟

فعالیت کلاسی



پرسش



نکته



فرایند حرارت‌دهی سنگ گچ اگر در اتوکلاو انجام پذیرد، گچ حاصل صنعتی است و از فاز آلفا غنی می‌شود. این فرایند پرهزینه است و قیمت نهایی محصول را تا ۱۰ برابر افزایش می‌دهد. درصد فاز آلفا نیز با توجه به فشار بخار و دمای اتوکلاو می‌تواند متغیر باشد.

تحقیق کنید



در مورد اتوکلاو و نحوه عملکرد آن تحقیق کنید و گزارش آن را در کلاس ارائه دهید.

بیشتر بدانید



در گرمای بیشتر از ۳۰۰ درجه سلسیوس گچ می‌سوزد و میل ترکیبی با آب را از دست می‌دهد. در این صورت برای ترکیب آن با آب، موادی مانند زاج سفید به آن اضافه می‌کنند. در حرارت دادن بیشتر گچ می‌سوزد و به کلسیم اکسید (CaO) و گوگرد دی‌اکسید (SO<sub>2</sub>) تجزیه می‌شود. کلسیم اکسید (CaO) همان آهک زنده است که اگر در پودر گچ باقی بماند، در زمان سفیدکاری در حضور آب حجمش افزایش می‌یابد و باعث ایجاد ناصافی در سطح گچ‌کاری شده می‌شود که به آن آلوئک می‌گویند.

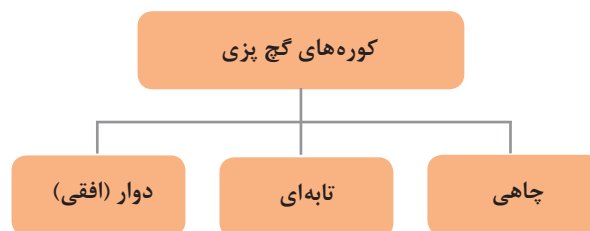
فکر کنید



به نظر شما دلیل استفاده نکردن از گچ صنعتی در ساختمان‌سازی چیست؟

## کوره‌های گچ‌پزی

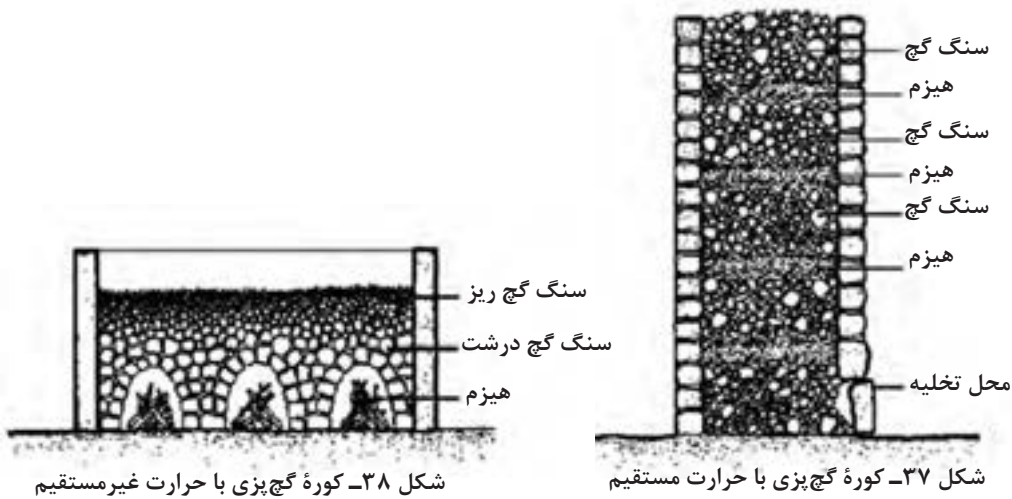
همان‌طور که گفته شد برای تهیه گچ از سنگ گچ، ابتدا باید گچ حرارت داده شود تا آب آن گرفته شود که به آن گچ‌پزی گفته می‌شود. این عمل در کوره‌های گچ‌پزی انجام می‌شود که این کوره‌ها در انواع زیر وجود دارند:



نمودار ۷

**کوره‌های چاهی:** گچ‌پزی در کوره‌های چاهی تاریخچه‌ای دیرینه دارد و بر دو مبنای حرارت مستقیم و غیرمستقیم انجام می‌شود. در نوع حرارت مستقیم، سنگ گچ در کنار سوخت که همان هیزم و خاشاک خشک بیابانی است، چیده شده و حرارت داده می‌شود. در نوع غیرمستقیم سنگ گچ در اتاقک‌هایی روی زمین یا زیرزمین چیده می‌شوند و هیزم و سوخت در آتشدان‌های مخصوصی به منظور تأمین حرارت سوزاننده می‌شوند. سنگ گچ حرارت دیده خرد شده و تا حد ممکن آسیاب می‌شود. در این کوره‌ها همواره حرارت غیریکنواخت است.

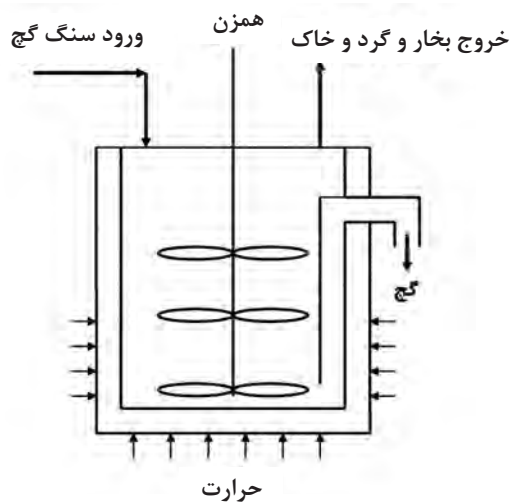
پودمان ۳: طبقه‌بندی عملکردی مواد خودگیر



شکل ۳۸- کوره گچ‌پزی با حرارت غیرمستقیم

شکل ۳۷- کوره گچ‌پزی با حرارت مستقیم

**کوره‌های تابه‌ای:** در کوره‌های تابه‌ای سنگ گچ آسیاب شده را در ظرفی بزرگ می‌ریزند و حرارت می‌دهند. پودر سنگ گچ به طور پیوسته هم زده می‌شود تا حرارت به صورت یکنواخت به تمام قسمت‌های آن برسد.



شکل ۳۹- کوره تابه‌ای

**کوره‌های دوار:** سنگ گچ کلوخه شده در داخل کوره چرخنده استوانه‌ای شکل ریخته می‌شود و حرارت داده می‌شود. امروزه از کوره‌های دوار با حرارت مستقیم شعله یا حرارت غیرمستقیم با لوله هوای داغ برای گچ‌پزی استفاده می‌شود. برای کلسینه کردن سنگ گچ در شرایط بخار آب تحت فشار نیز اتوکلاوهای متنوعی با قابلیت چینش سینی‌های پر از پودر سنگ گچ توسعه پیدا کرده است.



(ب) اتوکلاو

(الف) کوره دوار

شکل ۴۰

### ویژگی‌های گچ

گچ دارای دو خاصیت اصلی شامل زودگیر بودن و افزایش حجم به هنگام سخت شدن است. خواص دیگر گچ در نمودار ۸ خلاصه شده است.



نمودار ۸ - خواص گچ



درباره علت استفاده از گچ برای پوشاندن و اندود کردن دیوارهای ساختمان با هم کلاسی‌های خود گفت‌وگو کنید.

گفت‌وگو کنید



کنجکاو



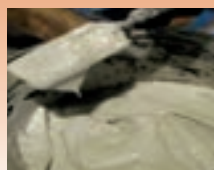
با توجه به آنچه تاکنون در مورد گچ آموختید، دلیل مقاومت گچ سخت شده در برابر آتش چیست؟

## ملات گچ

ملات به دو صورت ملات گچ یا ملات گچ و خاک تهیه می‌شود.



ملات گچ: از پاشیدن گچ در آب به دست می‌آید.



ملات گچ و خاک: از مخلوط کردن پودر گچ و خاک رس در آب، ملات گچ و خاک به دست می‌آید.

برای ساختن ملات گچ یا ملات گچ و خاک باید پودر گچ و یا مخلوطی از گچ و خاک را به داخل آب بریزیم. برای این کار، ابتدا مقدار کمی آب در ظرف مخصوص گچ‌سازی ریخته می‌شود. سپس پودر گچ یا مخلوط گچ و خاک را که پیش از این به نسبت معین مخلوط شده است درون آن پاشیده می‌شود تا همه پودر یا مخلوط در مجاورت آب قرار بگیرد و تر شود.

آیا مقدار آب مورد استفاده برای تهیه ملات اهمیت دارد یا از هر مقدار آب می‌توان استفاده کرد؟

فکر کنید



نسبت آب و گچ را می‌توان به دو روش تئوری و عملی تعیین کرد:

### روش تئوری برای تعیین نسبت آب و گچ

مقدار آبی که یک کیلوگرم پودر گچ احتیاج دارد تا ملات ساخته شود از لحاظ تئوری در حدود  $0/2 - 0/18$  لیتر، (تقریباً ۱۸ تا ۲۰ درصد وزن گچ خشک) است ولی در عمل برای آنکه شکل‌پذیری بهتری در ملات گچ ایجاد شود و کارگران فرصت کافی برای کار کردن با آن را داشته باشند باید به ملات گچ در حدود ۷۰ تا ۸۰ درصد از وزنش آب اضافه کرد. مقدار آب اضافی در طول عمل گیرش و پس از خشک شدن گچ تبخیر می‌شود و جای قسمتی از آب تبخیر شده در اثر ازدیاد حجمی که گچ در موقع سخت شدن پیدا می‌کند پر می‌شود. با توجه به اینکه ملات گچ پس از سخت شدن خشک می‌شود و پس از سخت شدن دیگر افزایش حجم در آن به وجود نمی‌آید بنابراین همیشه جای قسمتی از آب‌های تبخیر شده به صورت تخلخل در آن باقی می‌ماند.

### روش عملی برای تعیین نسبت آب و گچ

در این روش بدون وزن کردن گچ و آب می‌توان به‌طور چشمی این نسبت را مشخص کرد. برای این کار، در

ظرف حاوی مقدار مشخصی آب، به صورت یکنواخت آن قدر گچ پاشیده می‌شود تا مقداری از گچ از سطح آب بالاتر بیاید و جزایری در سطح آب تشکیل شود، در این حالت نسبت آب و گچ به مقدار مناسب رسیده است. این مراحل در شکل ۴۱ نشان داده شده است.



۱- ریختن مقدار مشخصی آب در ظرف      ۲- پاشیدن گچ داخل آب      ۳- تشکیل جزایری از گچ در سطح آب

شکل ۴۱- تعیین عملی نسبت آب و گچ

گفت‌وگو  
کنید



مزیت استفاده از خاک رس در تهیه ملات گچ و خاک چیست؟

### عوامل مؤثر در زمان گیرش ملات گچ

در تهیه زله آیا به محض مخلوط کردن پودر زله با آب، مخلوط سفت می‌شود یا مدت زمانی برای سفت و صلب شدن آن طول می‌کشد؟  
در مخلوط شدن گچ با آب نیز با گذشت مدت زمان مشخص، که به آن زمان گیرش گچ<sup>۱</sup> گفته می‌شود، مخلوط گچ و آب سخت و یکپارچه می‌شود و در اصطلاح خود را می‌بندد.  
گچ ساختمانی باید در مدت زمان کمی شروع به گرفتن و سخت شدن کند و مدت سخت شدن آن نیز باید خیلی زود پایان یابد. زمان و سرعت گیرش گچ به عوامل مختلفی بستگی دارد. نوع و مقدار ناخالصی‌ها در داخل گچ، دمای محیط، سرعت هم‌زدن مخلوط گچ و آب، شرایط تهیه گچ مانند زمان و دمای پخت گچ و مقدار رطوبت محیط کوره در زمان و سرعت گیرش آن مؤثرند.

گفت‌وگو  
کنید



در مورد تأثیر عوامل مؤثر بر زمان گیرش و سخت شدن گچ با هم کلاسی‌های خود گفت‌وگو کنید.

### انبار کردن گچ

گچ ممکن است به صورت فله یا بسته‌بندی شده و پاکتی خریداری شود. گچ فله باید سریع مصرف شود ولی گچ پاکتی در صورت انبار کردن صحیح تا مدت یکسال قابل استفاده است. طبق استاندارد، گچ در پاکت‌های با جنس مشخص که حداقل دارای ۳ لایه هستند ریخته می‌شود.

۱- Setting time

بودمان ۳: طبقه‌بندی عملکردی مواد خودگیر



ب) گچ فله



الف) گچ بسته‌بندی شده

شکل ۴۲

برای انبار کردن گچ‌های بسته‌بندی شده باید پاکت‌ها از زمین و دیوار فاصله داده شوند. معمولاً از پالت (تخته‌های چوبی) به منظور قرار دادن پاکت‌های گچ روی هم استفاده می‌شود. همچنین پاکت‌ها را در فاصله حداقل ۲۰ سانتی‌متری از دیوار قرار می‌دهند.

دلیل اهمیت نحوه انبار کردن گچ چیست؟ چه نکات دیگری لازم است در انبارش گچ مد نظر قرار گیرد؟

پرسش



## آهک

آهک ( $\text{CaO}$ ) به صورت طبیعی یافت نمی‌شود ولی در طبیعت سنگ آهک<sup>۱</sup> (کلسیم کربنات) وجود دارد. آهک از کلسینه کردن سنگ آهک به دست می‌آید.



ب) آهک



الف) سنگ آهک

شکل ۴۳

سنگ آهک یا کلسیم کربنات معمولاً به صورت خالص وجود ندارد و در کنار خود حاوی منیزیم کربنات به عنوان بیشترین ناخالصی است.

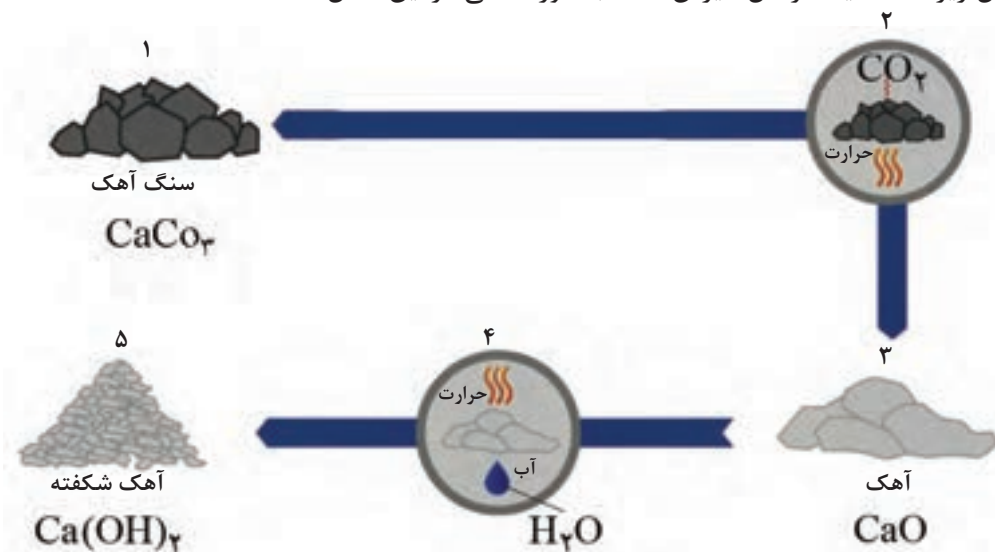
نکته



آهک به صورت‌های مختلفی وجود دارد.

انواع آهک		
آهک دولومیتی یا منیزیمی $MgO$ (آهک دولومیتی حاوی $MgO$ است)	آهک هیدرولیک یا خاکستری	آهک کلسیمی یا سفید (آهک کلسیمی دارای درصد بالای آهک است)

**گیرش آهک:** آهک ( $CaO$ ) میل ترکیبی زیادی با آب دارد و در تماس با آب به توده خمیری شکل با فرمول  $Ca(OH)_2$  تبدیل می‌شود که به این عمل شکفته شدن آهک گفته می‌شود. آیا آهک شکفته شده به تنهایی سخت می‌شود؟ چه عاملی باعث سفت شدن آهک شکفته می‌شود؟ به شکل زیر نگاه کنید. مراحل گیرش آهک به صورت کلی در این شکل آمده است.

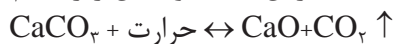


شکل ۴۴- مراحل گیرش آهک

آیا پس از گیرش آهک و سفت شدن آن ترکیب حاصل سفتی و فشردگی سنگ آهک اولیه را دارد؟

**تولید آهک:** برای تولید آهک باید گاز کربن‌دی‌اکسید از سنگ آهک خارج شود که این عمل به آهک‌پزی معروف است.

حرارت‌دهی سنگ آهک در کوره (کلسینه کردن) تحت واکنش زیر انجام می‌شود:



گرمای مورد نیاز برای آهک‌پزی به نوع سنگ آهک و درجه خلوص آن بستگی دارد.

چه رابطه‌ای بین درجه خلوص سنگ‌آهک و دمای پخت آن وجود دارد؟

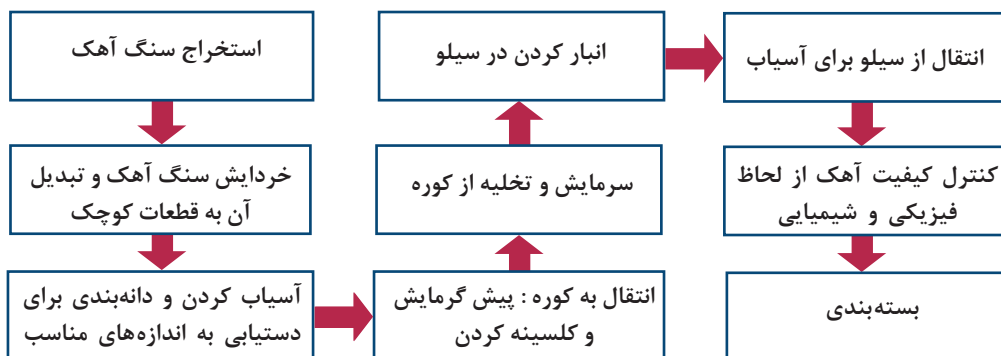
تحقیق کنید



فکر کنید



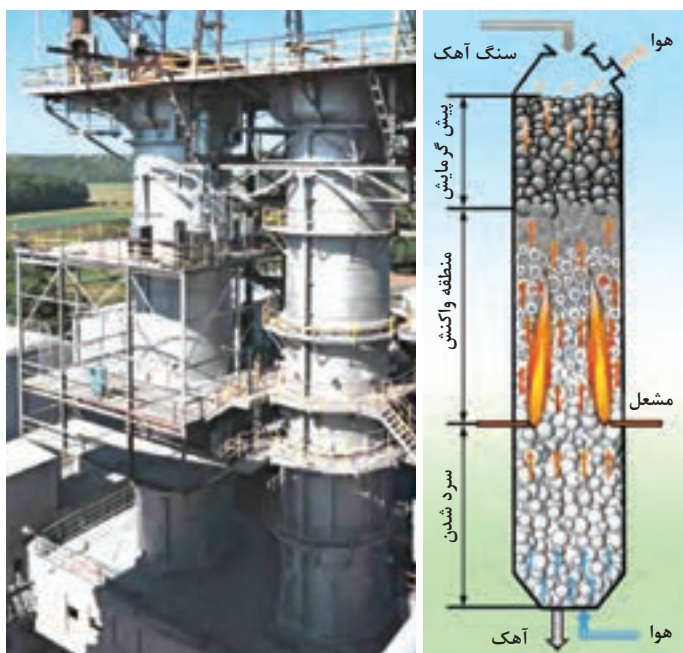
نمودار زیر مراحل تولید آهک را به صورت خلاصه نشان می‌دهد:



نمودار ۹

### انواع کوره‌های آهک‌پزی

برای کلسینه کردن آهک از کوره‌های آهک‌پزی استفاده می‌شود که امروزه متداول‌ترین آنها کوره ایستاده و کوره گردنده است. در گذشته استفاده از کوره سنتی (چاهی و تنوری) رایج بود. **کوره ایستاده:** کار کوره‌های ایستاده (قائم) به صورت پیوسته است و به دلیل قابلیت کنترل حرارت، آهک به دست آمده همگن است. سوخت این کوره می‌تواند کک، زغال سنگ یا سوخت‌های مایع و گازی باشد.



شکل ۴۵



**کوره گردنده:** کوره‌های گردنده یا دوار رایج‌ترین نوع کوره آهک‌پزی هستند و کار آنها مشابه کوره‌های تهیه سیمان است. سنگ آهک مورد استفاده در این نوع کوره نسبت به نوع ایستاده باید ریزتر باشد.



شکل ۴۶

### کوره سنتی

در کوره‌های سنتی، محل منبع حرارت و سنگ آهک ثابت است، بنابراین درجه حرارت در تمام قسمت‌های کوره یکسان نیست و آهک تولیدی در این نوع کوره نامرغوب و ناهمگن است. کار این نوع کوره‌ها به صورت ناپیوسته است.

### کوره هافمن

در کوره‌های هافمن، بر خلاف کوره‌های سنتی، منبع حرارتی متحرک است و آهک پخته شده در این نوع کوره در مقایسه با آهک کوره سنتی، مرغوب‌تر است.

### کاربرد آهک

آهک در صنایع مختلف مانند کارهای ساختمانی، تولید برخی از مواد شیمیایی، صنایع آهن و فولادسازی و شیشه‌سازی قابل استفاده است.

### نگهداری و انبار کردن آهک

آهک باید در انبارهای بسته حاوی سیستم تهویه نگهداری شود تا واکنش آن با رطوبت و کربن‌دی‌اکسید محیط به حداقل برسد و از گسترش گرد و غبار جلوگیری شود.  
- در هنگام حمل و نقل آهک باید از بسته‌بندی مناسب استفاده شود.  
- از تماس آهک خام با مواد قابل اشتعال به ویژه در محیط با قابلیت نفوذ آب باید جلوگیری شود.

نمره	استاندارد (شاخص‌ها، داوری، نمره‌دهی)	نتایج	استاندارد عملکرد	تکالیف عملکردی (شایستگی‌ها)	پودمان
۳	تحلیل و بررسی نقش مواد خودگیر در صنعت سرامیک	بالا تر از حد انتظار	تحلیل نقش و بررسی فرایند تولید مواد خودگیر بر اساس استاندارد ملی ایران	۱- تحلیل عملکرد نقش و کاربرد مواد خودگیر ۲- تحلیل و بررسی فرایند تولید مواد خودگیر	طبقه‌بندی عملکرد مواد خودگیر
۲	تعیین نوع ماده خودگیر مصرفی براساس شرایط و کاربرد، تعیین نسبت ماده خودگیر و آب در تهیه مالت، تعیین عوامل مؤثر بر ذخیره‌سازی بهینه مواد خودگیر	در حد انتظار			
۱	دسته‌بندی مواد اولیه تشکیل دهنده مواد خودگیر	پایین تر از حد انتظار			
					نمره مستمر از ۵
					نمره واحد یادگیری از ۳
					نمره واحد یادگیری از ۲۰

