# 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 جملهٔ 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.

الف) پودر ژله

ب) 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 ۲ــ ملات چند مادهٔ سرامیکی**

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

**شکل ۳ـ نمونه‌ای از کاربرد سیمان، آهک و گچ**

## سیمان

برای ساخت دو سازهٔ زیر از کدام مادهٔ خودگیر استفاده شده است؟

**الف) سد کارون ـ خوزستان**

**ب) برج میلاد ـ تهران**

**شکل ۴**

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

بتن = ماسه + سیمان + آب

شکل۵

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

۱ـ پودر سیمان ۲ـ ملات سیمان ۳ـ ترکیب ملات سیمان با ماسه ۴ـ پایداری در برابر آب پس‌از گیرش

شکل۶

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

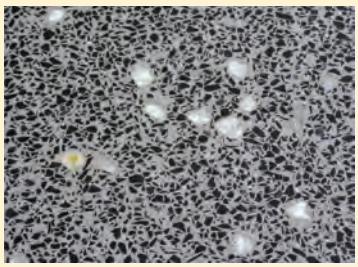
**نکته**

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

فکر کنید

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

مقطعی از بلوک بتنی



موزاییک سیمانی

شکل ۷

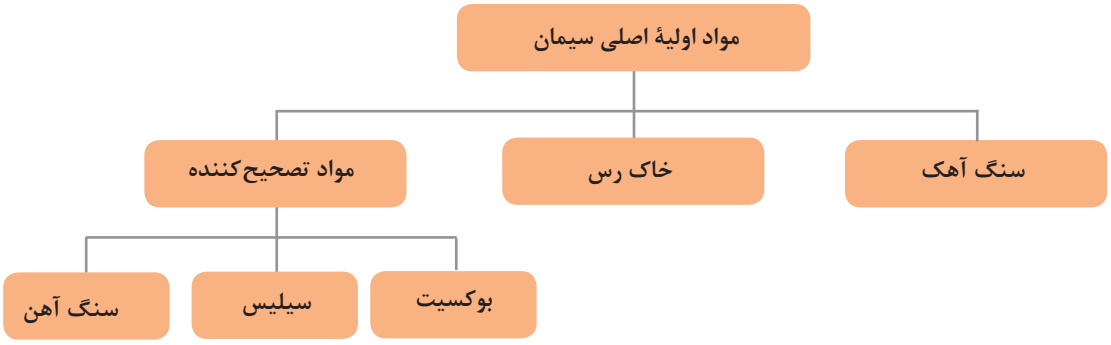
اکسیدهای اصلی که در سیمان وجود دارند شامل موارد زیر است:

کلسیم اکسید | سیلیسیم اکسید | آلومینیوم اکسید | آهن 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 تأمین‌کنندهٔ کلسیم اکسید و از خاک رس به عنوان منبع تأمین‌کننده سیلیس و آلومینا استفاده می‌شود. به دلیل آنکه آهک بخش زیادی از مواد اولیهٔ سیمان را تشکیل می‌دهد، بنابراین کارخانجات سیمان معمولاً در نزدیکی معادن آهک احداث می‌شوند. برای تنظیم ترکیب شیمیایی سیمان از مواد تصحیح کننده در ترکیب آن استفاده می‌شود.




نمودار ۲

نکته

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

بیشتر بدانید

سیمان پرتلند در اواسط قرن ۱۹ میلادی (حدود سال ۱۲۰۰ هجری شمسی) در کشور انگلیس و از آهک ساخته شد. پدر خانواده اسپدین[۱] برای اولین بار سیمان را در اجاق آشپزخانهٔ 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 جزیرهٔ پرتلند در جنوب انگلیس)، به نام سیمان پرتلند نام‌گذاری شد. حدود ۲۰ سال بعد فرزند خانواده، ویلیام اسپیدین، 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 کورهٔ دوار هافمن در آلمان، سیمان پرتلند به‌صورت 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.

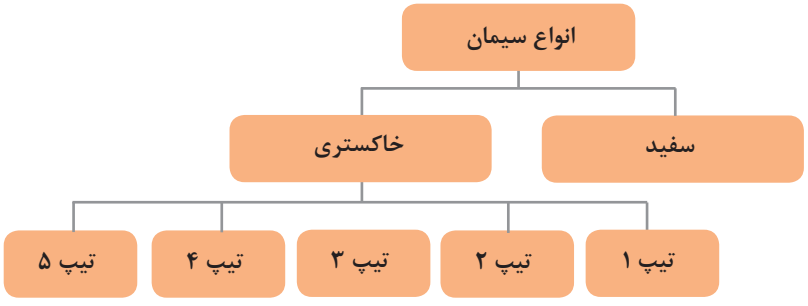
شکل ۸ــ ویلیام اسپدین، پدر سیمان پرتلند

شکل ۹ــ تصویری از کارخانه سیمان ری در سال ۱۳۳۱

## 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 ASTM[۲] جهانی است.

هر کدام از این سیمان‌ها در شرایط محیطی خاصی به کار گرفته می‌شود.




نمودار ۳

۱ـ Aspdin
۲ـ American Socity for Testing and Materials

نکته

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 سولفات‌دار و آب دریا وجود دارد.

شکل ۱۰ـ ترک خوردگی بتن در اثر حملهٔ یون سولفات

تحقیق کنید

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

**جدول ۱**

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

بیشتر بدانید

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

۱ وجود عوامل واکنش‌پذیر در سیمان: این عوامل مانند $3CaO.Al_2O_3$ ($C_3A$) در سیمان‌های پرتلند موجب افزایش واکنش‌پذیری خمیر سیمان با یون‌های سولفات می‌شود.

۲ یون سولفات: به‌صورت 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 سازندهٔ 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 ($3CaO.Al_2O_3$ یا $C_3A$) 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 $C_3A$، 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 ۲ــ درصد وزنی اکسیدهای اصلی در سیمان پرتلند سفید و خاکستری**

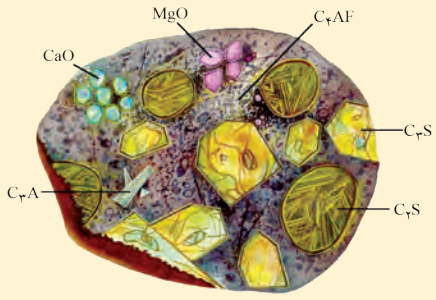
| اکسید | سیمان پرتلند سفید | سیمان پرتلند سیاه |
|---|---|---|
| $SiO_2$ | ۲۲ | ۲۱ |
| $CaO$ | ۶۶ | ۶۳ |
| $Al_2O_3$ | ۶ | ۴ |
| $Fe_2O_3$ | ۰/۳ | ۳ |
| $MgO$ | ۱ | ۳ |
| اکسیدهای دیگر | ۴/۷ | ۶ |
| جمع | ۱۰۰ | ۱۰۰ |

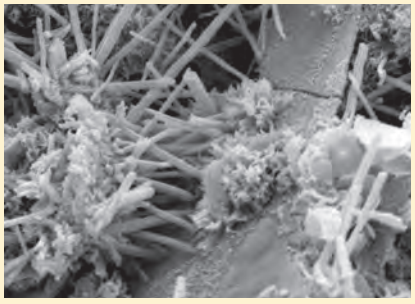
بیشتر بدانید

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 آلیت | $3CaO.SiO_3$ ($C_3S$) | جزء اصلی سیمان پرتلند است و استحکام سیمان بیشتر به سبب وجود این فاز است. |
| دو کلسیم سیلیکات یا بلیت | $2CaO.SiO_3$ ($C_2S$) | این فاز در گیرش سیمان تأثیر زیادی ندارد. با گذشت زمان هیدراته می‌شود و باعث ایجاد استحکام در سیمان می‌شود. |
| سه کلسیم آلومینات | $3CaO.Al_2O_3$ ($C_3A$) | این فاز دارای گیرش سریع است. شکفتن آن همراه با انفجار و ایجاد بخار آب است. |
| چهار کلسیم آلومینا فریت | $4CaO.Al_2O_3.Fe_2O_3$ ($C_4AF$) | این فاز به سرعت هیدراته می‌شود، ولی شکفتن آن حالت انفجاری ندارد. |



**شکل۱۱ــ فازهای کریستالی تشکیل‌دهندهٔ 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 به‌کار 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.

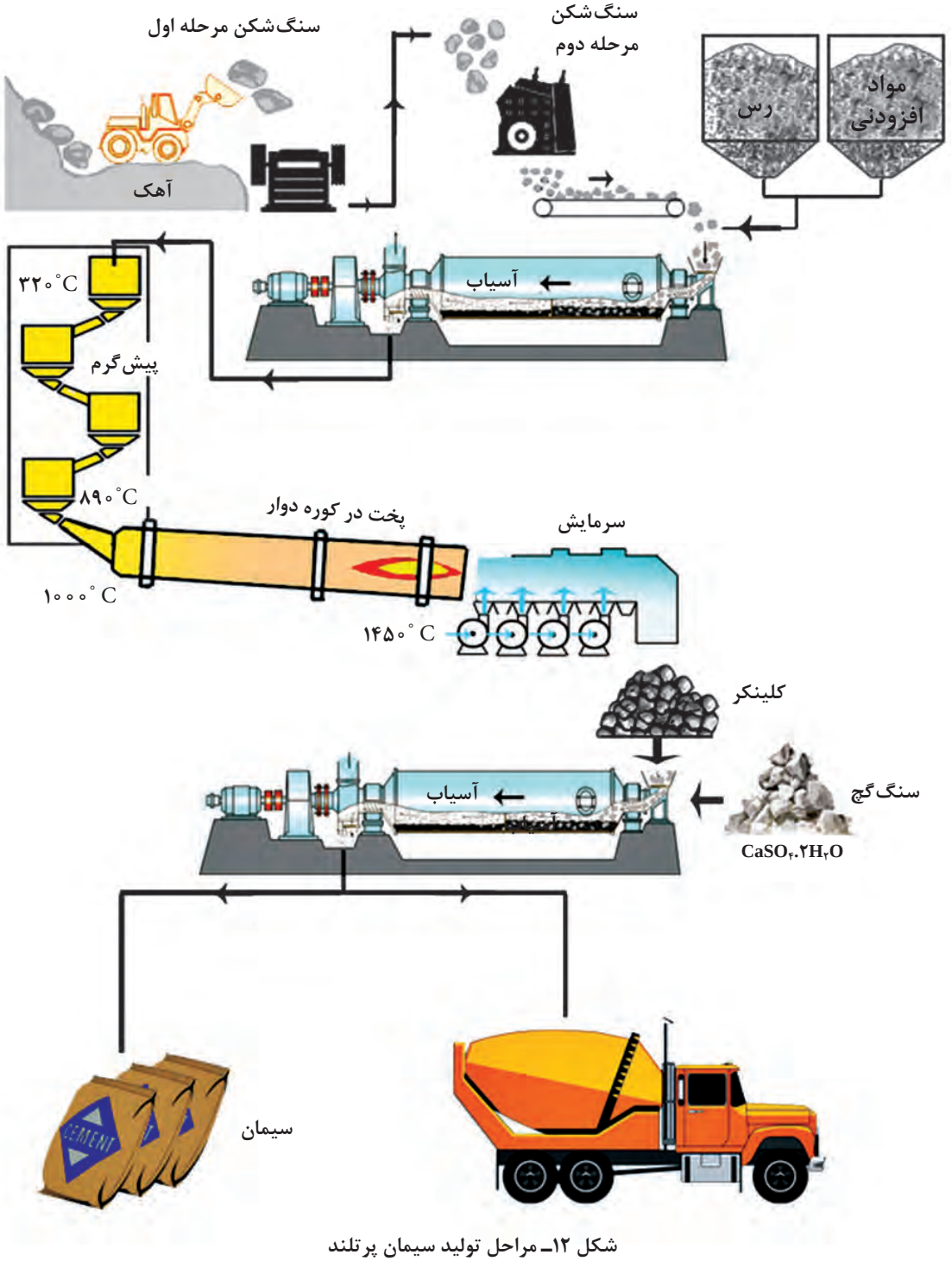
روش تر : مواد اولیه به‌صورت دوغاب وارد کوره می‌شود.

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

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

روش خشک: مواد اولیه به‌صورت خشک استفاده می‌شود.

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




شکل ۱۲ــ مراحل تولید سیمان پرتلند

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.

**شکل ۱۳ ــ سالن تنظیم و مخلوط کردن مواد**

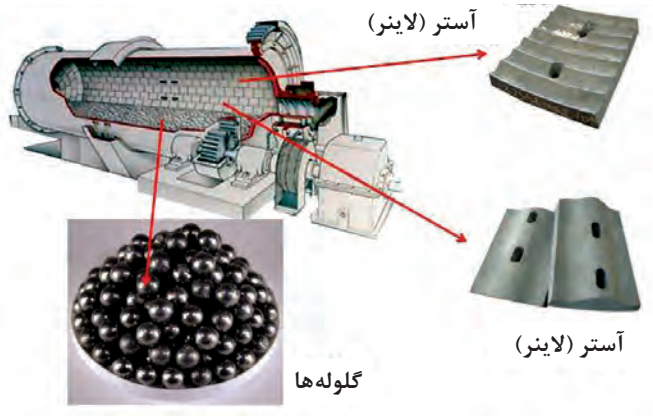
برای ریختن مواد در سالن تنظیم مواد از ریزنده[۱] و برای برداشت آنها از بردارنده[۲] استفاده می‌شود.

**الف) ریزندهٔ مواد**

**ب) بردارندهٔ مواد**

**شکل ۱۴**

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




**شکل ۱۵ ــ آسیاب گلوله‌ای**

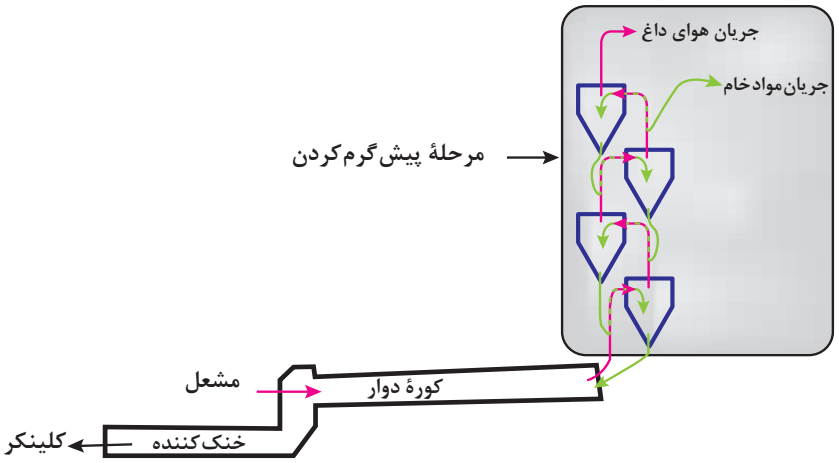
۱ـ Stacker
۲ـ Reclaimer

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 ذخیرهٔ خوراک فرستاده می‌شوند. در این قسمت مواد آمادهٔ پیش‌گرم و مصرف در کوره هستند.

**شکل ۱۶ــ سیلوهای ذخیرهٔ مواد آسیاب شده**

مواد خام آسیاب شده، وارد مرحلهٔ پیش‌گرم می‌شوند تا قسمتی از فرایند پخت انجام شود. مرحلهٔ پیش‌گرم شامل تعدادی سیکلون است که مواد پودری در خلاف جریان هوای داغ جاری می‌شوند.
پیش‌گرم برای گرم‌کردن مواد اولیه و کلسینه‌کردن بخش عمدهٔ 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 مرحلهٔ پیش‌گرم تا محدودهٔ تقریبی ۸۰۰ تا ۹۰۰ درجهٔ سلسیوس افزایش می‌یابد و سپس مواد اولیهٔ کلسینه شده وارد مرحلهٔ پخت در کوره می‌شوند.

**شکل ۱۷ــ سیکلون‌های پیش‌گرم**




**شکل ۱۸ــ مسیر جریان هوای داغ و مواد در سیکلون‌های پیش‌گرم سیمان**

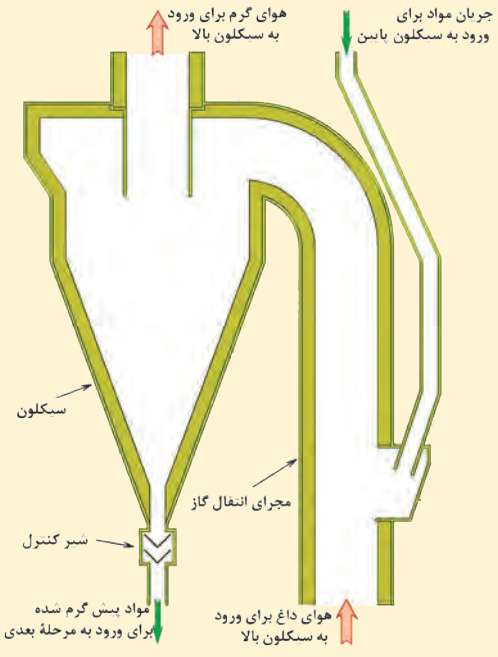
نکته

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

بیشتر بدانید

### سیکلون

سیکلون ظرفی مخروطی شکل است که جریان گاز به صورت مماس از آن عبور داده می‌شود و باعث ایجاد گرداب در ظرف می‌شود. گاز از طریق خروجی محوری از محفظه خارج می‌شود. ذرات جامد سیمان به سمت لبهٔ 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 ۱۹ــ سیکلون**

مواد اولیه پس از طی‌کردن مرحلهٔ پیش‌گرم وارد کوره می‌شوند. واحدهای پیش‌گرم و کوره به عنوان قلب کارخانه نقش اصلی را در تولید سیمان ایفا می‌کنند.

کورهٔ 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 دهانهٔ ورودی کوره و در راستای شیب آن به سمت خروجی کوره کمک می‌کند. مشعل که در انتهای کوره قرار دارد، دمای مواد را تا محدودهٔ ۱۴۵۰ درجهٔ سلسیوس افزایش می‌دهد تا فرایند ذوب و تشکیل فازهای فعال سیمان انجام پذیرد. سپس محصول خروجی از کورهٔ دوار وارد خنک‌کننده می‌شود. شکل‌های ۲۰ تا ۲۲ کورهٔ دوار و نمای داخلی آن را نشان می‌دهند.

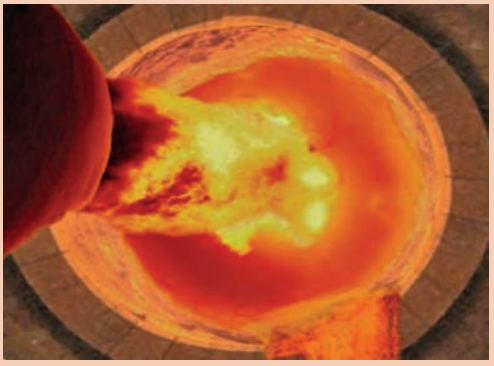
**شکل ۲۰ــ کورهٔ دوار**

**شکل ۲۱ــ کورهٔ دوار با پیش‌گرم سیکلونی**

**شکل ۲۲ــ مشعل کورهٔ دوار**

**نکته**

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

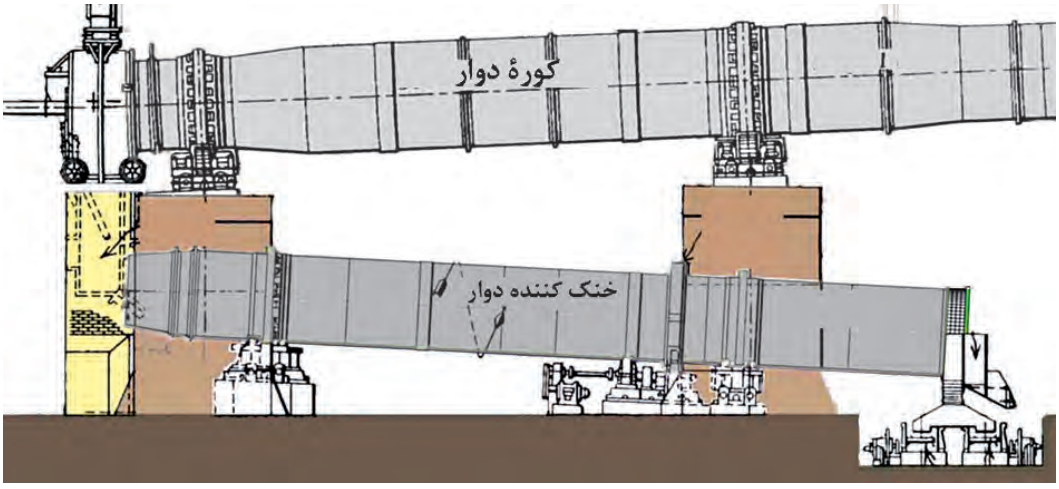


**شکل ۲۳ــ نمای داخلی کورهٔ دوار**

برای حفظ ترکیب و نوع فازهای سیمان، پس از خروج سیمان از کوره باید خنک‌کردن 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 ۲۴ــ کورهٔ دوار همراه با خنک‌کنندهٔ دوار**

### خنک‌کن سیاره‌ای (گوشواره‌ای)

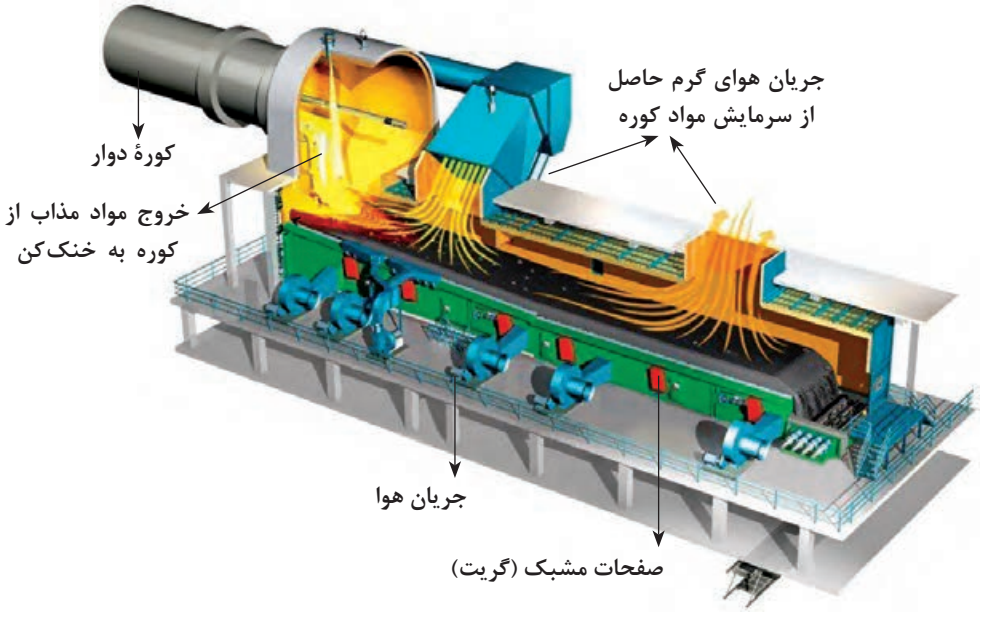
در خنک‌کن سیاره‌ای در انتهای کوره، تعدادی لولهٔ خنک‌کننده در اطراف محیط دایره‌ای کوره قرار داده شده‌اند که به دور کوره می‌چرخند.

**شکل ۲۵ــ کورهٔ دوار همراه با خنک کن در انتهای آن**

### خنک‌کن شبکه‌ای (گریتی)

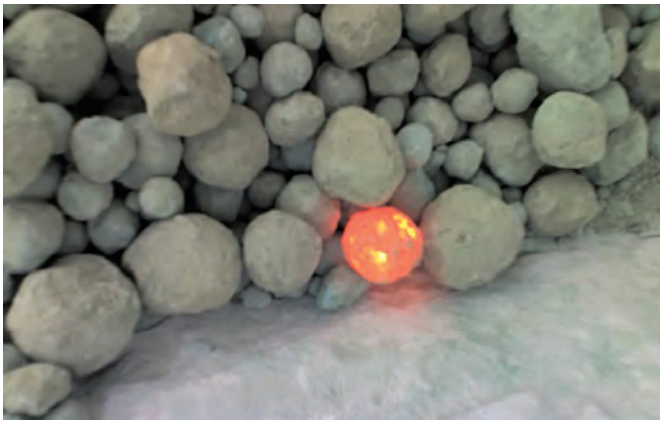
خنک‌کن‌های شبکه‌ای (گریتی) از رایج‌ترین و جدیدترین خنک‌کن‌ها هستند که در آنها جریان هوا از طریق صفحات مشبک مواد را خنک می‌کنند. در خنک‌کن‌های سیاره‌ای و دوار، هوا و مواد در جهت معکوس هم حرکت می‌کنند، ولی در خنک‌کن‌های شبکه‌ای جریان حرکت هوای خنک‌کن به صورت متقاطع و در جهت حرکت مواد است.

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




**شکل ۲۶ـ کورهٔ دوار با خنک‌کنندهٔ 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 ۲۷ـ کلینکر**

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

نکته

بونکرها مخازن ثابت یا متحرک برای ذخیرهٔ سیمان هستند.

خنک‌کن گریتی کلینکر

بونکر حمل سیمان

بارگیری کیسه

بارگیری فله

شکل ۲۸

کنجکاوی

در مرحلهٔ آسیاب، دلیل افزودن گچ به سیمان چیست؟

نکته

در مرحلهٔ آسیاب معمولاً از بال‌میل پیوسته استفاده می‌شود که استفاده از آسیاب‌های غلتکی نیز امروزه در حال افزایش است.

الف) آسیاب غلتکی

ب) داخل آسیاب غلتکی

شکل ۲۹

فعالیت کلاسی

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

جدول ۴

| ماده اولیه | CaO | $SiO_2$ | $Al_2O_3$ | $Fe_2O_3$ | MgO | LOI |
|---|---|---|---|---|---|---|
| سنگ آهک | ۶۰ـ۵۰ | ـ | ـ | ـ | ـ | ۴۰ـ۵۰ |
| خاک رس | ـ | ۶۵ـ۵۵ | ۲۰ـ۱۵ | ۱۲ـ۸ | ـ | <۱۰ |
| سنگ آهن | ـ | <۱۰ | <۲ | ۹۰ | ـ | ـ |
| شیل* | ـ | ۵۵ـ۵۰ | ۲۰ـ۱۵ | ۱۰ـ۵ | ـ | ـ |
| سرباره | ۳۵ـ۳۰ | ۳۵ـ۳۰ | ۱۰ـ۵ | ـ | ۱۵ـ۲۰ | ـ |

| اکسید مورد نیاز | مواد اولیهٔ پیشنهادی |
|---|---|
| CaO | |
| $Al_2O_3$ | |
| $SiO_2$ | |
| $Fe_2O_3$ | |

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

شکل ۳۰ـ شیل

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

**جدول ۵**

| آزمون | بلین ($cm^2/g$) | زمان گیرش (دقیقه) | | انبساط اتوکلاو (٪) | استحکام فشاری ($kg/cm^2$) | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | اولیه | نهایی | | ۳ روز | ۷ روز | ۲۸ روز |
| شرح | ـ | حداکثر ۴۵ | حداقل ۳۶۰ | حداکثر ۰/۸ | حداقل ۸۵ | حداقل ۱۵۰ | حداقل ۲۷۰ |
| مقدار | حداقل ۲۸۰۰ | | | | | | |

**نکته**

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

هر چه انبساط 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.

**تحقیق کنید**

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

### 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 صحرایی 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

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 آسیاب‌کردن و حرارت دادن سنگ گچ[۱] یا کانی ژیپس به‌دست می‌آید.
وجود مواد ناخالصی مانند کربن، آهن اکسید و مواد دیگر باعث تغییر رنگ آن می‌شود.

الف) سنگ گچ

ب) پودر گچ

شکل ۳۲

## انواع سنگ گچ

کانی ژیپس همان کلسیم سولفات همراه با دو مولکول آب است که فرمول شیمیایی آن به‌صورت $CaSO_4.2H_2O$ است. کانی ژیپس را در سنگ‌های زیر می‌توان یافت:

سنگ گچ بلورین: به‌صورت لایه‌لایه است.

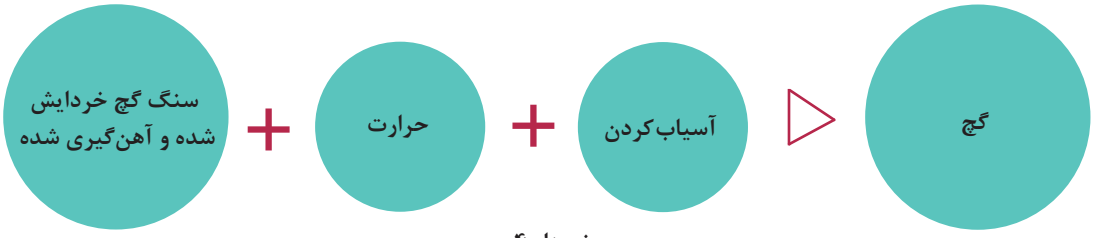
سنگ گچ غیربلورین: غیربلوری است و مصرف گچ‌پزی دارد.

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

شکل ۳۳

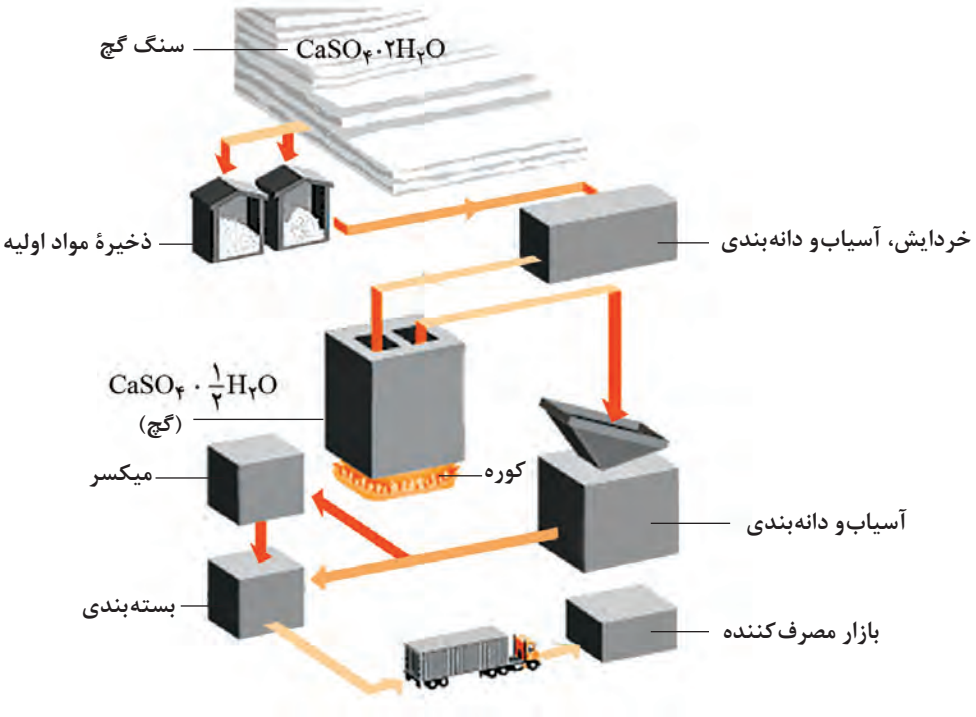
۱ـ Gypsum

برای تهیهٔ 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.




**نمودار ۴**

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



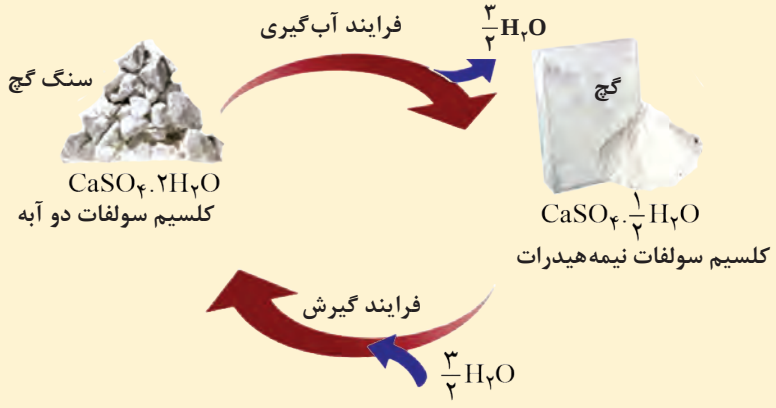

**شکل ۳۴ـ مراحل تولید گچ از سنگ گچ**

سنگ گچ از معدن با کامیون به کارخانه حمل می‌شود. در مرحلهٔ بعد سنگ گچ‌ها خرد می‌شوند. سنگ گچ‌های خرد شده توسط یک نقاله به سرند هدایت می‌شود که در آنجا بر اساس اندازه جداسازی شده و به دو بخش کلوخه و نرم تقسیم می‌کنند و سپس به سمت کوره هدایت می‌شوند.

گچ حاصل آسیاب شده و پس از دانه‌بندی سرند می‌شود. پس از دانه‌بندی، محصول بسته‌بندی شده و پس از بارگیری، به بازار فرستاده می‌شود.

فعالیت کلاسی

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 ۳۵ـ فرایند گیرش و جذب آب در گچ

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

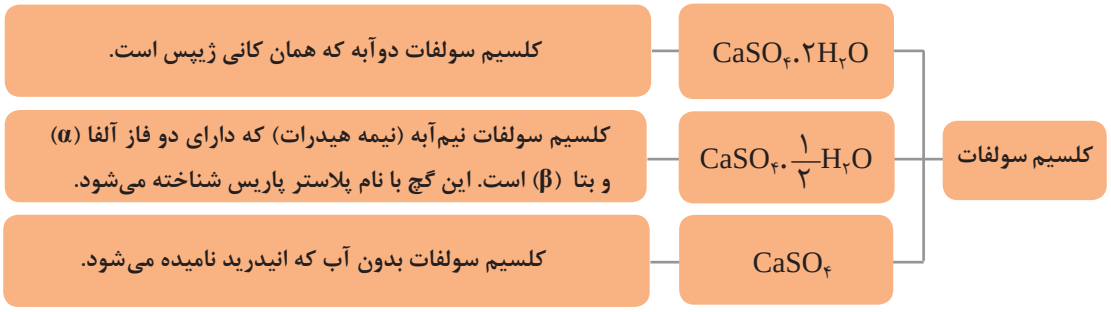
## انواع گچ

پرسش

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

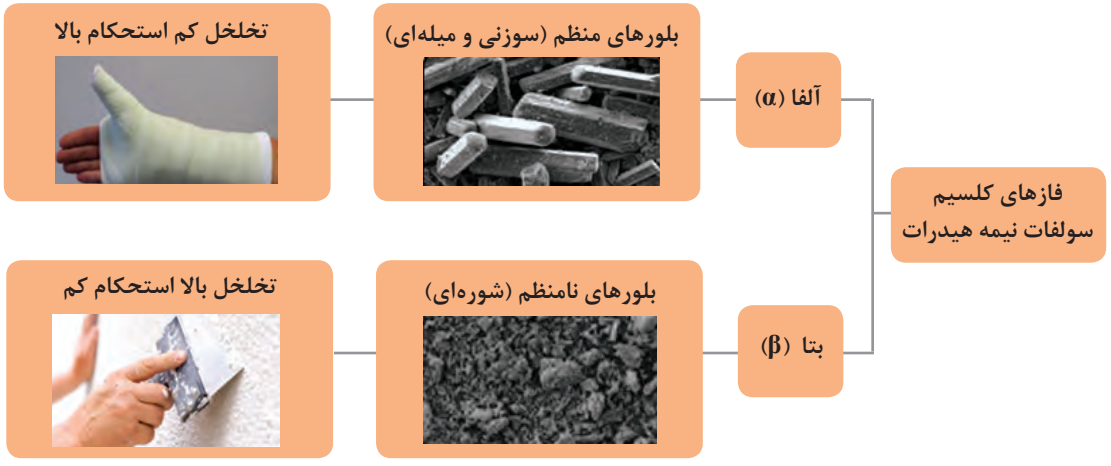
کلسیم سولفات به عنوان ترکیب اصلی گچ، بر اساس مقدار آب به انواع دوآبه، نیمه‌هیدرات و انیدرید تقسیم می‌شود:




**نمودار ۵**

**نکته**

دو فاز اصلی کلسیم‌سولفات 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.



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

**جدول ۶ ـ دمای تهیه و کاربرد انواع گچ**

| انواع | دمای حرارت‌دهی (درجهٔ سلسیوس) | کاربرد |
|---|---|---|
| گچ صنعتی یا مدل‌سازی (غنی از فاز آلفا) | ۱۵۰ـ۱۰۷ درجهٔ سلسیوس تحت شرایط اتوکلاو یا بخار آب | در کاربردهای پزشکی و صنعتی به‌کار می‌رود. کلسیم سولفات نیم‌آبه یا نیمه‌هیدرات است. |
| گچ ساختمانی (غنی از فاز بتا) | ۱۶۰ ـ ۱۲۰ درجهٔ سلسیوس در کورهٔ معمولی | به عنوان مصالح ساختمانی به‌کار می‌رود. کلسیم سولفات نیم‌آبه یا نیمه‌هیدرات است. |
| گچ اندود | تا دمای ۲۰۰ درجهٔ سلسیوس | کندگیر است و برای سفیدکاری به‌کار می‌رود. ترکیب آن کلسیم سولفات نیم‌آبه یا نیمه‌هیدرات است. |
| انیدرید | بیشتر از ۲۰۰ درجهٔ سلسیوس تا ۱۰۰۰ درجهٔ سلسیوس | کلسیم سولفات بدون آب یا گچ سوخته و مرده است که در ساخت مرمر مصنوعی به‌کار می‌رود. |

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 | ۳۰ـ۲۵ |
| ساختمانی | مصالح ساختمانی | غنی از فاز بتا | ۵۵ـ۵۰ |

فعالیت کلاسی

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؟

پرسش

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؟

**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 نحوهٔ عملکرد آن تحقیق کنید و گزارش آن را در کلاس ارائه دهید.

**بیشتر بدانید**

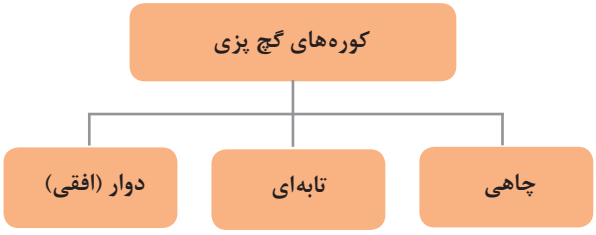
در گرمای بیشتر از ۳۰۰ درجهٔ سلسیوس گچ می‌سوزد و میل ترکیبی با آب را از دست می‌دهد. در این صورت برای ترکیب آن با آب، موادی مانند زاج سفید به آن اضافه می‌کنند. در حرارت دادن بیشتر گچ می‌سوزد و به کلسیم اکسید ($CaO$) و گوگرد دی‌اکسید ($SO_2$) تجزیه می‌شود. کلسیم اکسید ($CaO$) همان آهک زنده است که اگر در 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؟

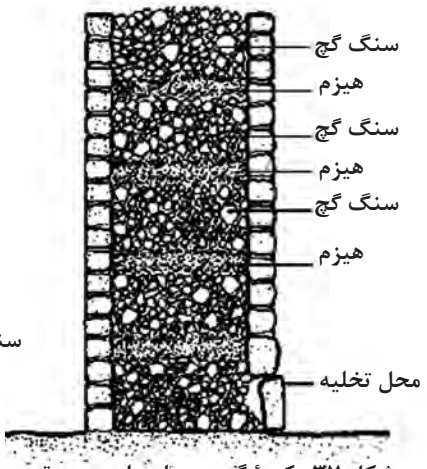
## کوره‌های گچ‌پزی

همان‌طور که گفته شد برای تهیهٔ 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:

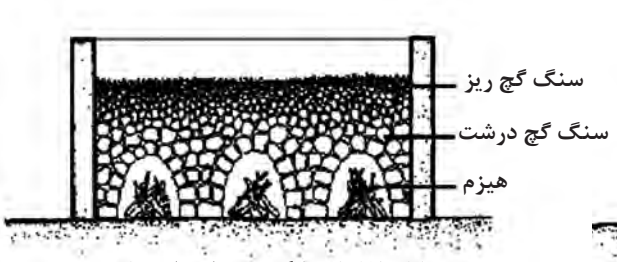



**نمودار ۷**

**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 سوزانده می‌شوند. سنگ گچ حرارت دیده خرد شده و تا حد ممکن آسیاب می‌شود. در این کوره‌ها همواره حرارت غیریکنواخت است.

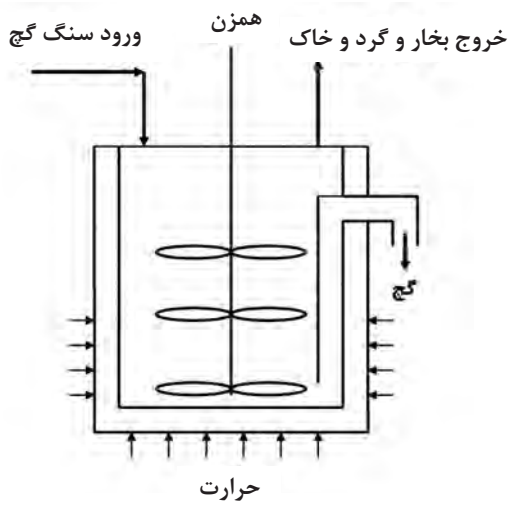



شکل ۳۷ـ کورهٔ گچ‌پزی با حرارت مستقیم




شکل ۳۸ـ کورهٔ گچ‌پزی با حرارت غیرمستقیم

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



شکل ۳۹ـ کورهٔ تابه‌ای

**کوره‌های دوار:** سنگ گچ کلوخه شده در داخل کورهٔ چرخندهٔ 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 کلسینه‌کردن سنگ گچ در شرایط بخار آب تحت فشار نیز اتوکلاوهای متنوعی با قابلیت چینش سینی‌های پر از پودر سنگ گچ توسعه پیدا کرده است.

الف) کورهٔ دوار

ب) اتوکلاو

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 ــ خواص گچ

گفت‌وگو کنید

دربارهٔ علت استفاده از گچ برای پوشاندن و اندود کردن دیوارهای ساختمان با هم‌کلاسی‌های خود گفت‌وگو کنید.

کنجکاوی

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 و خاک:** از مخلوط کردن پودر گچ و خاک رس در آب، ملات گچ و خاک به‌دست می‌آید.

**ملات گچ:** از پاشیدن گچ در آب به‌دست 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 همهٔ پودر یا مخلوط در مجاورت آب قرار بگیرد و تر شود.

فکر کنید

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

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 ۰/۲ ـ ۰/۱۸ 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 کارکردن 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 ازخشک‌شدن 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 سخت‌شدن خشک می‌شود و پس از سخت‌شدن 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 می توان به‌طور چشمی این نسبت را مشخص کرد. برای این کار، در

ظرف حاوی مقدار مشخصی آب، به‌صورت یکنواخت آن‌قدر 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.

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

**شکل ۴۱ـ تعیین عملی نسبت آب و گچ**

گفت‌وگو کنید

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

### عوامل مؤثر در زمان گیرش ملات گچ

در تهیهٔ ژله آیا به محض مخلوط‌کردن پودر ژله با آب، مخلوط سفت می‌شود یا مدت زمانی برای سفت و صلب شدن آن طول می‌کشد؟

در مخلوط‌شدن گچ با آب نیز با گذشت مدت زمان مشخص، که به آن زمان گیرش گچ[۱] گفته می‌شود، مخلوط گچ و آب سخت و یکپارچه می‌شود و در اصطلاح خود را می‌بندد.

گچ ساختمانی باید در مدت‌زمان کمی شروع به گرفتن و سخت‌شدن کند و مدت سخت‌شدن 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 تهیهٔ 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 سخت‌شدن گچ با هم‌کلاسی‌های خود گفت‌وگو کنید.

### انبار کردن گچ

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

۱ـ Setting time

الف) گچ بسته‌بندی شده

ب) گچ فله

شکل ۴۲

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

پرسش

دلیل اهمیت نحوهٔ انبارکردن گچ چیست؟ چه نکات دیگری لازم است در انبارش گچ مد نظر قرار گیرد؟

## آهک

آهک (CaO) به‌صورت طبیعی یافت نمی‌شود ولی در طبیعت سنگ آهک[۱] (کلسیم کربنات) وجود دارد. آهک از کلسینه‌کردن سنگ آهک به‌دست می‌آید.

الف) سنگ آهک

ب) آهک

شکل ۴۳

نکته

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

۱ـ Limestone

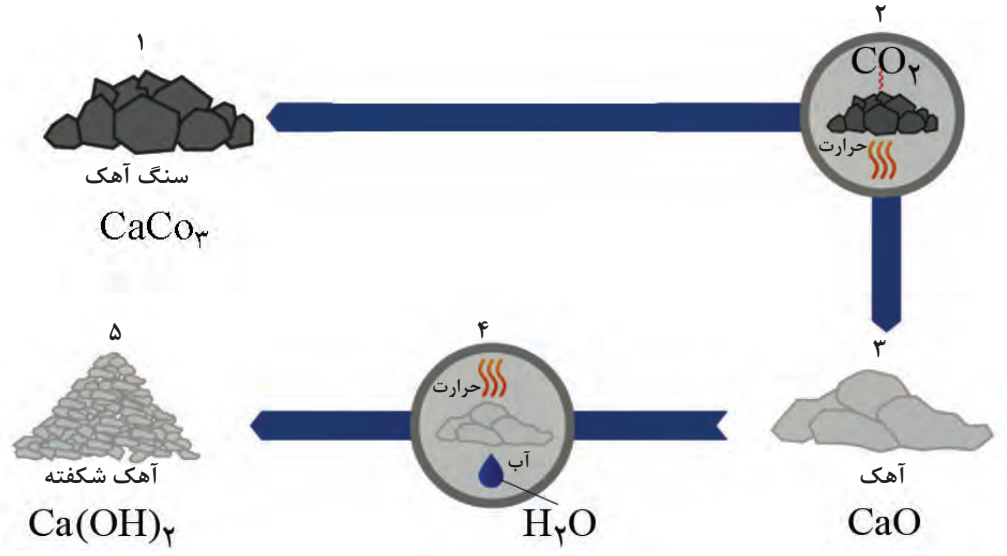
آهک به‌صورت‌های مختلفی وجود دارد.

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

**گیرش آهک:** آهک (CaO) میل ترکیبی زیادی با آب دارد و در تماس با آب به تودهٔ 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 به‌صورت کلی در این شکل آمده است.




**شکل ۴۴ـ مراحل گیرش آهک**

تحقیق کنید

آیا پس از گیرش آهک و سفت‌شدن 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 (کلسینه‌کردن) تحت واکنش زیر انجام می‌شود:

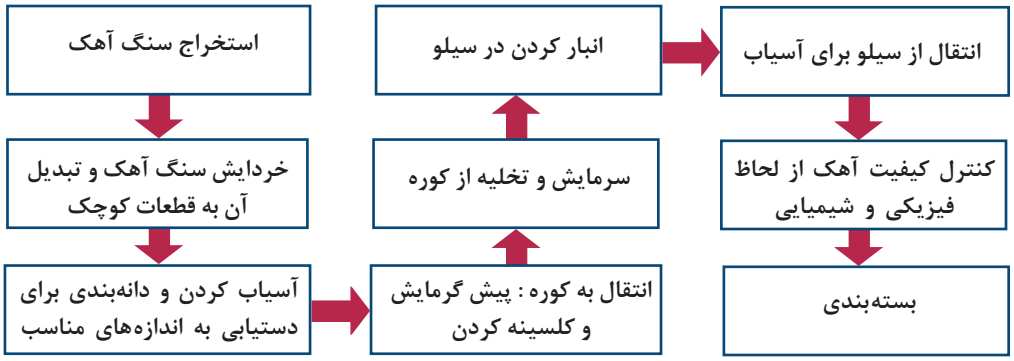
$$CaCO_3 + \text{حرارت} \leftrightarrow CaO + CO_2 \uparrow$$

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

فکر کنید

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

نمودار زیر مراحل تولید آهک را به‌صورت خلاصه نشان می‌دهد:

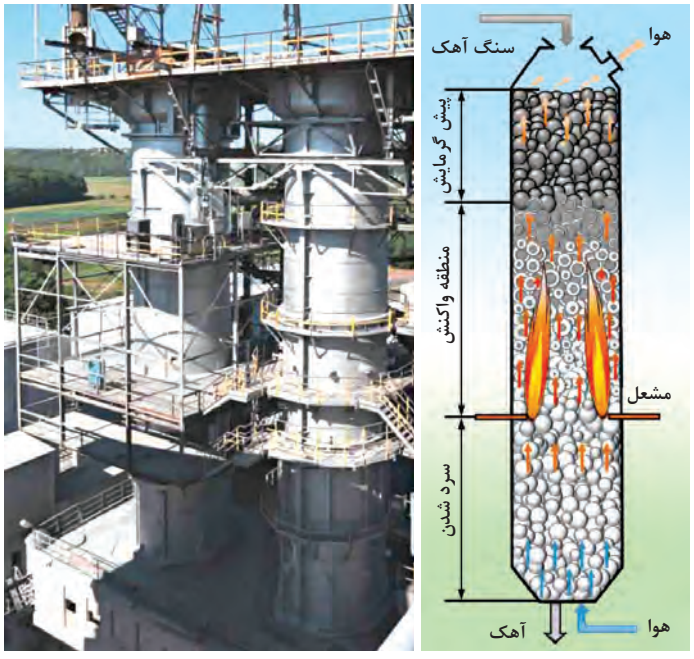



**نمودار ۹**

## انواع کوره‌های آهک پزی

برای کلسینه‌کردن آهک از کوره‌های آهک‌پزی استفاده می‌شود که امروزه متداول‌ترین آنها کوره ایستاده و کورهٔ گردنده است. در گذشته استفاده از کورهٔ سنتی (چاهی و تنوری) رایج بود.

**کورهٔ ایستاده:** کار کوره‌های ایستاده (قائم) به‌صورت پیوسته است و به دلیل قابلیت کنترل حرارت، آهک به دست آمده همگن است. سوخت این کوره می‌تواند کُک، زغال‌سنگ یا سوخت‌های مایع و گازی باشد.




**شکل ۴۵**

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

**شکل ۴۶**

### کورهٔ 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 به‌صورت ناپیوسته است.

### کورهٔ هافمن

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

ـ در هنگام حمل‌ونقل آهک باید از بسته‌بندی مناسب استفاده شود.

ـ از تماس آهک خام با مواد قابل اشتعال به ویژه در محیط با قابلیت نفوذ آب باید جلوگیری شود.

## ارزشیابی

| پودمان | تکالیف عملکردی (شایستگی‌ها) | استاندارد عملکرد | نتایج | استاندارد (شاخص‌ها، داوری، نمره‌دهی) | نمره |
|---|---|---|---|---|---|
| طبقه‌بندی عملکرد مواد خودگیر | ۱ـ تحلیل عملکرد نقش و کاربرد مواد خودگیر<br>۲ـ تحلیل و بررسی فرایند تولید مواد خودگیر | تحلیل نقش و بررسی فرایند تولید مواد خودگیر بر اساس استاندارد ملی ایران | بالاتر از حد انتظار | تحلیل و بررسی نقش مواد خودگیر در صنعت سرامیک | ۳ |
| | | | در حد انتظار | تعیین نوع ماده خودگیر مصرفی براساس شرایط و کاربرد، تعیین نسبت ماده خودگیر و آب در تهیه ملات، تعیین عوامل مؤثر بر ذخیره‌سازی بهینه مواد خودگیر | ۲ |
| | | | پایین‌تر از حد انتظار | دسته‌بندی مواد اولیه تشکیل‌دهنده مواد خودگیر | ۱ |
| نمره مستمر از ۵ | | | | | |
| نمره واحد یادگیری از ۳ | | | | | |
| نمره واحد یادگیری از ۲۰ | | | | | |