

### گچ، آهک، سیمان

هدف‌های رفتاری: در پایان این فصل، فراگیر باید بتواند:

- ۱- گچ را تعریف کند.
- ۲- ویژگی‌های انواع سنگ گچ را برشمارد.
- ۳- انواع کوره‌های گچ‌پزی را توصیف کند.
- ۴- شرایط مناسب پخت سنگ گچ را توضیح دهد.
- ۵- انواع گچ را نام برده، ویژگی هر یک از آن‌ها را تعریف کند.
- ۶- موارد مصرف گچ و کاربرد آن‌ها را توضیح دهد.
- ۷- خواص فیزیکی و شیمیایی انواع گچ را شرح دهد.
- ۸- آهک را تعریف کند.
- ۹- انواع سنگ آهک را نام ببرد.
- ۱۰- انواع کوره‌های آهک‌پزی را شرح دهد.
- ۱۱- روش‌های تولید آهک را توضیح دهد.
- ۱۲- موارد استفاده از آهک را در ساختمان توضیح دهد.
- ۱۳- انواع آهک را معرفی کند.
- ۱۴- خواص فیزیکی و شیمیایی آهک را توضیح دهد.
- ۱۵- روش‌های شکستن آهک را شرح دهد.
- ۱۶- انواع ملات‌های آهکی را نام ببرد.
- ۱۷- مواد اولیه سیمان را برشمارد.

۱۸- انواع سیمان را نام ببرد.

۱۹- موارد استفاده‌ی سیمان را شرح دهد.

۲۰- روش تهیه‌ی بتن را شرح دهد.

## ۱-۴- گچ

سنگ گچ طبیعی، سولفات آبدار کلسیم  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  در رده‌ی سنگ‌های رسوبی بوده دارای سختی ۲ است. گچ از مواد چسباننده‌ی ساختمانی و مطابق تعریف نوعی چسباننده‌ی هوایی است. گچ ساختمانی از پختن سنگ گچ در گرمای حدود  $180^\circ$  درجه‌ی سانتی‌گراد به دست می‌آید. همان‌گونه که پیش از این اشاره شد فرمول شیمیایی سنگ گچ سولفات کلسیم با دو مولکول آب  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  است که پس از پختن حدود ۷۵٪ از آب آن بخار شده، گچ ساختمانی با فرمول شیمیایی  $\text{CaSO}_4 / 0.5\text{H}_2\text{O}$  حاصل می‌گردد. گچ خالص سفید رنگ است، اما ناخالصی‌ها سبب تغییر رنگ آن می‌شوند. برای مثال، وجود زغال آن را «خاکستری»، هیدروکسید آهن آن را «زرد روشن»،  $\text{FeO}$  آن را «کبود چرک» و  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  آن را به رنگ «قرمز» درمی‌آورد.

چنانچه به سنگ گچ تا حدود  $200^\circ$  درجه حرارت دهند، آب بیش‌تری را از دست می‌دهد و به  $\text{CaSO}_4 / 3\text{H}_2\text{O}$  یا گچ‌اندود تبدیل می‌گردد. در گرمای حدود  $300^\circ$  درجه‌ی سانتی‌گراد تمام آب سنگ گچ بخار شده، سولفات کلسیم بدون آب یا انیدرید  $\text{CaSO}_4$  حاصل می‌شود.

گچ ساختمانی، گچ‌اندود و انیدرید با آب ترکیب می‌شود و مجدداً به سنگ گچ با دو مولکول آب شیمیایی تبدیل، اما گچ به دست آمده هیچ‌گاه مقاومت مکانیکی سنگ گچ اولیه را ندارد.

گچ در گرمای بیش از  $300^\circ$  درجه‌ی سانتی‌گراد (تا حدود  $320^\circ$  درجه) می‌سوزد و میل ترکیبی آن با آب از دست می‌رود. در این صورت، برای ترکیب گچ با آب به کاتالیزت‌هایی مانند زاج سفید  $\text{AlK}(\text{SO}_4)_2$ ، سولفات‌های سدیم، پتاسیم، روی، کلسیم، گرد آهک یا سیمان نیاز خواهد بود.

محصول کوره‌های گچ‌پزی سنتی نامرغوب و بخشی از آن نیم‌پخته و قسمتی سوخته و فقط حدود نیمی از آن پخته است. در صورتی که گچ حاصل از کوره‌های دوآر، مرغوب‌تر و خالص‌تر است. سنگ گچ بلوری که لایه لایه و سوگذران است، یعنی نور از آن عبور می‌کند، برای گچ‌پزی مصرف نمی‌شود، بلکه از آن برای کارهای تزئینی استفاده می‌گردد، زیرا جلاپذیر است. از سنگ گچ مرمری اشیای زینتی ساخته می‌شود. با خمیر کردن گرد گچ در محلول زاج سفید و پخت مجدد، گچ مرمری به دست می‌آید که در برابر آب پایداری مناسبی دارد و از آن برای اندود کردن نقاط مرطوب و مکان‌هایی

که نیاز به شست و شو دارند استفاده می‌شود. این گچ را گچ «کین» یا «گچین» می‌گویند. (در ایران گچ مرمری با نام تجارتي عاج تولید می‌شود) انواع دیگر گچ مورد مصرف در ساختمان عبارت‌اند از: گچ مخصوص سطوح بتنی و گچ درزگیری که در ایران آن را به نام «کیپتون» می‌شناسند، در حرارت  $78^{\circ}$  تا  $1000^{\circ}$  درجه گچ استریش تهیه می‌شود. استفاده از این گچ در کشور آلمان بیش‌تر معمول است. این نوع گچ میل ترکیبی با آب ندارد و با اضافه کردن املاح شیمیایی با آب ترکیب می‌شود و چون ملاتی کندگیر است، مقاومت نهایی آن بسیار خوب است. در حرارت بیش از  $1000^{\circ}$  درجه‌ی سانتی‌گراد سنگ‌گچ به  $SO_3CaO$  تجزیه می‌شود که  $CaO$  پس از ترکیب با آب به  $Ca(OH)_2$  تبدیل شده در سطح اندودهای گچی به صورت آلواک ریزدانه ظاهر می‌شود و سطح اندودها را ناصاف می‌کند.

۱-۱-۴- خواص و ویژگی‌های گچ: گرفتن ملات گچ با پاشیدن گرد گچ در آب و هم‌زدن آن آغاز می‌شود. پس از گرفتن آب تبلور و تشکیل بلورهای سوزنی شکل، مجدداً به سنگ گچ تبدیل می‌شود. کم یا زیادی آب در ملات به جنس و ریزی دانه‌های گچ بستگی دارد، در یک لیتر آب خالص معمولاً بین  $67$  تا  $88$  گرم گچ حل می‌شود. ملات گچ زودگیر است و خیلی سریع عمل سوزنی شدن بلورهای آن خاتمه می‌یابد، اما نباید قبل از  $4$  دقیقه گرفتن آن شروع شود و بیش از  $10^{\circ}$  دقیقه پایان یابد. گرفتن ملات گچ هنگامی تمام می‌شود که کاملاً بلوری شود یعنی دارای ترکیب  $2H_2O$  و  $CaSO_4$  باشد. برای آن که بتوانند با ملات گچ بهتر کار کنند آن را کندگیر می‌کنند؛ یعنی، موادی نظیر سریشم ( $1$  تا  $2$  درصد وزن گچ) یا گرد آهک شکفته (حدود  $10$  درصد وزن گچ) به آن می‌افزایند. این مواد مانع تماس نزدیک مولکول‌های گچ به یک‌دیگر شده، تشکیل بلورها را به تأخیر می‌اندازند. در ایران معمول است که برای کندگیر کردن گچ به آن خاک رس اضافه می‌کنند. خاک رس خاصیت پلاستیسیته‌ی گچ را افزایش داده، ملات آن را کندگیر می‌کند؛ به‌علاوه در مصرف گچ صرفه‌جویی می‌شود. خاک رس ابتدا قسمتی از آب ملات را می‌مکد سپس کم‌کم آن را پس می‌دهد.

برای تندگیر نمودن گچ، ملات آن را با آب گرم درست می‌کنند یا به آن موادی نظیر نمک‌های متبلور، مانند: نمک طعام و کلرور منیزیم اضافه می‌کنند. افزودن نمک طعام تا  $2$  درصد وزن گچ، ملات را تندگیر و بیشتر از آن، ملات گچ را کندگیر خواهد نمود. اندود گچی، عایق حرارت است و صدا را هم پخش نمی‌کند؛ نمی‌سوزد و از گسترش آتش هم جلوگیری می‌کند؛ یخ نمی‌زند و می‌توان آن را در سرمای  $10^{\circ}$  درجه زیر صفر به کار برد. زیرا هنگام گرفتن، گرما پس می‌دهد و درجه‌ی حرارت آن تا  $20^{\circ}$  درجه می‌رسد. ملات گچ باید در حرارت بین  $35$  تا  $45$  درجه خشک شود در غیر این

صورت چنانچه در درجات بالای ۶۵ خشک شود، مقداری از آب تبلور خود را از دست داده، از مقاومت آن کاسته می‌شود. ملات گچ هنگام گرفتن اضافه حجم پیدا می‌کند و تمام ریزه‌سوراخ‌های اندود گچی را پر می‌کند؛ از این رو می‌توان از ملات گچ برای قالب‌گیری و مجسمه‌سازی استفاده نمود؛ هم‌چنین به‌علت نداشتن سوراخ‌های ریز، از نظر بهداشتی اندودی است مناسب، زیرا قارچ‌ها و انواع حشرات نمی‌توانند در این منافذ لانه کرده، رشد نمایند. ملات گچ کشته در موقع گرفتن ازدیاد حجم ندارد. ملات گچ کشته برای رویه‌ی اندودهای گچی استفاده می‌شود. گچ تحریر نیز ملات خشک شده‌ی همان گچ کشته است و درجه‌ی سختی آن نیز از یک کم‌تر است.

**طرز تهیه‌ی گچ کشته:** پودر گچ را از الک‌های بسیار ریز عبور داده، داخل آب می‌ریزند و هم می‌زنند. هنگامی که گچ به سفت شدن نزدیک می‌شود مجدداً به آن آب اضافه می‌کنند و ملات را مالش می‌دهند. چندین بار عمل افزایش آب و ورز دادن را تکرار نموده، از تشکیل بلورهای سوزنی‌شکل جلوگیری می‌نمایند. پس از این که از سفت نشدن ملات اطمینان حاصل نمودند آن را به‌حال خود می‌گذارند، چون این ملات بسیار دیرگیر است؛ از این رو، برحسب ضرورت و در زمان‌های مورد نیاز از آن استفاده می‌شود. ضخامت لایه‌ی گچ کشته نباید بیش‌تر از ۲ میلی‌متر باشد، زیرا در لایه‌های ضخیم‌تر هنگام خشک شدن ترک برمی‌دارد؛ هم‌چنین ملات گچ با فلزها ترکیب و تشکیل سولفات می‌دهد؛ مانند: سولفات آهن، سولفات روی و ... .

ملات سخت شده‌ی گچ هم اگر رطوبت داشته باشد همین خاصیت را خواهد داشت بنابراین، برای جلوگیری از آن باید در جاهایی که آهن یا فلزات دیگر در ساختمان با گچ تماس حاصل می‌کنند آن‌ها را قبلاً با رنگ کاملاً پوشش داده، یا نوارپچی کنند. سوراخ شدن لوله‌های آب در بیش‌تر مواقع به دلیل ترکیب شیمیایی گچ با فلزات است.

## ۲-۱-۴- موارد مصرف گچ: ملات گچ و خاک را در اندود دیوار و سقف و هم‌چنین طاق

ضربی مصرف می‌کنند و ملات گچ خالص در لایه‌ی رویه‌ی سفیدکاری و گچ‌بری به کار می‌برند. گچ ریزدانه در مدل‌سازی و شکسته‌بندی به کار می‌رود. با پودر گچ و پوست برنج یا پوشال و کاه، دیوارهای گچی به ضخامت حدود ۸ سانتی‌متر در ابعاد ۱×۱ متر ساخته می‌شود؛ هم‌چنین با آن دیوارهای کلفت‌تر توخالی نیز می‌سازند. اگر هنگام ساختن ملات گچ، به آن آب اکسیژنه یا گرد سولفات آلومینیم اضافه کنند، در داخل ملات گاز ایجاد می‌شود که هنگام سفت شدن ملات حباب‌های گاز در داخل قطعه، حفره‌هایی ایجاد می‌کند و باعث پوکی و سبکی قطعات گچی می‌گردد.

## ۳-۱-۴- وزن گچ ساختمانی: گچ ساختمانی به‌صورت تراکم نشده‌ی کیسه‌ای ۸۵/۰ تن

در مترمکعب و وزن کیسه‌ای مترمکعب شده آن ۱ تا ۱/۴ تن در مترمکعب است. مقاومت ملات سفت شده ۲۸ روز آن ۶۰ کیلوگرم بر سانتی متر مربع و مقاومت کششی و خمشی آن ۲۵ کیلوگرم بر سانتی متر مربع است.

۴-۱-۴- کوره‌های گچ‌پزی: برای پختن گچ حرارت زیادی لازم نیست؛ از این رو کوره‌های گچ‌پزی تجهیزات ساده‌ای دارند.

— کوره‌های چاهی: این کوره‌ی قدیمی، هنوز هم در ایران معمول است. شکل و کار آن تقریباً شبیه کوره‌های چاهی آجرپزی است. چون نمی‌توان حرارت این کوره‌ها را تنظیم کرد، فقط قسمت کمی از سنگ گچ به گچ ساختمانی تبدیل می‌شود و قسمت عمده‌ی آن یا می‌سوزد و یا به‌حالت سنگ گچ باقی می‌ماند.

— کوره‌های تاو‌ه‌ای: سنگ گچ را در این کوره‌ها برشته می‌کنند؛ به این صورت که آن را در دیگ‌های فولادی ریخته، به کف و دیواره‌های دیگ به وسیله‌ی هوای داغ حرارت می‌دمند و گرد سنگ گچ داخل دیگ را زیرورو می‌کنند تا تمام دانه‌ها یکسان حرارت ببینند و بخار آب جدا شده از سنگ گچ را از دیگ خارج می‌کنند تا گچ مورد نیاز تهیه شود.

— کوره‌های گردنده: پس از این که سنگ گچ را آسیاب نمودند، آن را به کوره‌ی گردنده هدایت می‌کنند. داخل کوره‌ی گردنده لوله‌ی فولادی قرار گرفته که از داخل آن — عکس جهت حرکت پودر سنگ گچ — گاز داغ یا هوای داغ عبور می‌کند؛ هم‌چنین به جداری کوره‌ی گردنده هوای داغ دمیده می‌شود، دانه‌های ریز سنگ گچ با گرفتن حرارت لازم به گچ مورد نیاز تبدیل می‌گردند.

هنگام آسیاب نمودن سنگ گچ در آسیاب‌های ساچمه‌ای اگر به آن هوای داغ بدمند عمل پختن و آسیاب کردن توأماً انجام می‌شود که از نظر اقتصادی بسیار باصرفه است.

ویژگی‌ها و حداقل حدود قابل قبول: گچ مصرفی در هر پروژه باید با توجه به محل و مورد مصرف، وضعیت اقلیمی و جوی، موقعیت رویارویی و سایر عوامل مؤثر انتخاب شود. در استاندارد ایرانی (استاندارد تجدیدنظر شده‌ی دوم) گچ ساختمانی به دو نوع: «زیرکاری» و «پرداخت» گروه‌بندی شده است.

در مکان‌هایی که رطوبت نسبی هوا در بیش‌تر اوقات بیش از ۶۰٪ باشد مصرف گچ مناسب نیست.

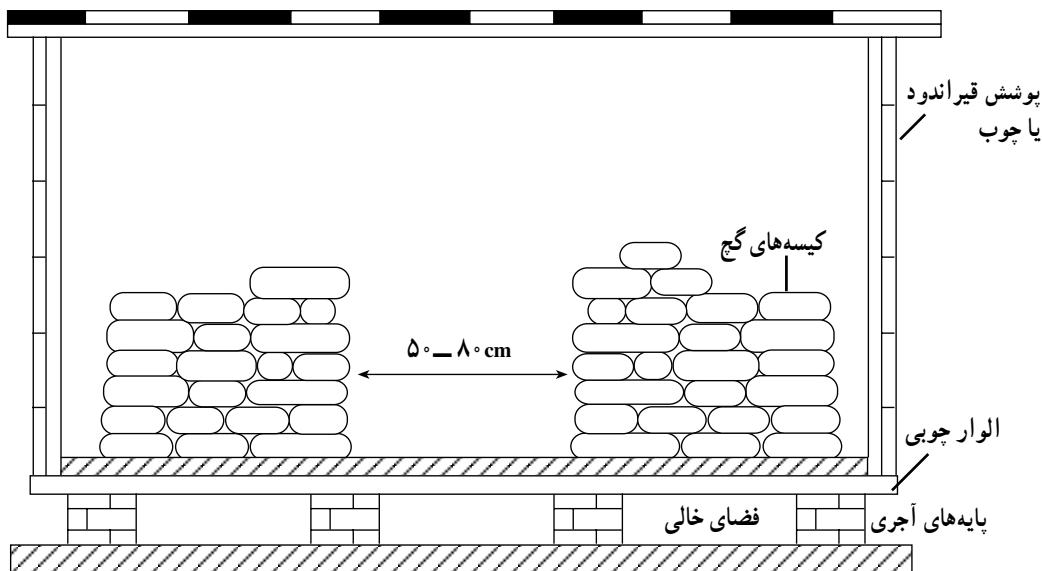
گچ‌های مناسب برای مصارف مختلف و گوناگون براساس جدول ۴-۱ است.

جدول ۱-۴- گچ‌های مناسب جهت مصارف گوناگون

نوع گچ مناسب	موارد مصرف
گچ ساختمانی یا گچ زیرکار $\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$	کارهای عمومی مانند ملات‌های گچ و گچ و خاک، گچ و ماسه، تولید قطعات پیش‌ساخته و بلوک‌های گچی، بتن گچی در نقاطی که میزان رطوبت نسبی هوا کم‌تر از ۶۰٪ باشد.
گچ اندود یا گچ پرداخت $\text{CaSO}_4 \cdot \frac{3}{2}\text{H}_2\text{O}$	اندودهای داخلی و نماسازی در مناطقی که رطوبت نسبی هوا کم‌تر از ۶۰٪ باشد.
گچ مرمری - ملات گچ و آهک	اندودهای داخلی و نماسازی در مناطقی که رطوبت نسبی هوا بیش از ۶۰٪ باشد.

## حمل و نقل و نگهداری

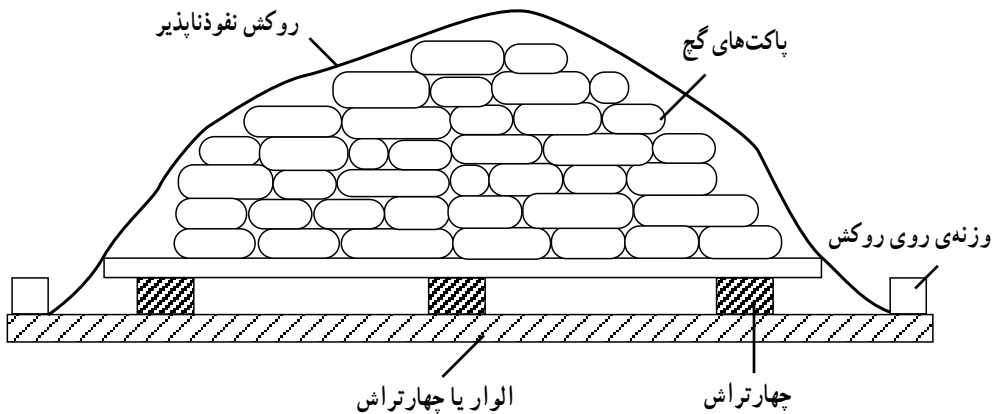
گچ پخته را باید از آب و رطوبت هوا محفوظ نگاه داشت و نیز آن‌ها را در ظروف مخصوص یا کیسه‌های آب‌بندی شده نگهداری نمود.



شکل ۱-۴- انبار کردن کیسه‌های گچ در فضای بسته

مشخصات انواع گچ باید روی کیسه‌ها نوشته شده باشد.  
 برای نگهداری پاکت‌های گچ و حفظ آن‌ها در مقابل عوامل جوی، مطابق شکل ۲-۴ باید عمل

نمود.



شکل ۲-۴- انبار کردن پاکت‌های گچ در فضای باز

آیا می‌دانید که...

گچ‌کاری دارای تاریخی کهن است که قدمت آن به ۲۵۰۰ سال پیش می‌رسد. روکش گچی و آهکی نخست برای پوشش و نگهداری و زیبا ساختن دیوارهای خشت خام و نیز هموار کردن رویه‌های ناهموار نماها و آماده کردن آن‌ها برای کارگذاری فرم‌های آرایشی به کار می‌رفت. ولی بعدها روکش همراه با گچ‌کاری و گچ‌بری رایج گردید. آثاری که از دوره‌های هخامنشی و بعد، پارتی و ساسانی، به جای مانده نشان‌دهنده قدمت هنر گچ‌کاری در ایران است. در این آثار ملات گچ با هنرمندی و ظرافت ویژه‌ای در ساختمان‌های ایران باستان به کار رفته است. پس از اسلام نیز گچ‌کاری و گچ‌بری در مسجدها و در ساختمان‌ها انجام و بسیار گسترش یافت و سبک‌های گوناگون در این زمینه پدید آمد.

سازندگان و بنایان ایران از دور زمان به ویژگی‌های گچ‌آشنایی کامل داشتند آنان برای این که گچ خودش را زود نگیرد - آن چنان که معمول گچ است - بدان مواد ویژه‌ای می‌افزودند. آن هنرمندان دریافته بودند که سریشم و شیر در زمان گیرش گچ و نیز در کیفیت روکش گچی تأثیر دارد. گنجوی (۶۱۴- ۵۳۰ هـ.ق) در کتاب منظوم خمسه‌ی نظامی داستان ساختن کاخ خورنق را برای یکی

از شاهان ساسانی نقل می‌کند. وی پس از توصیف هنر نمائی‌های معماری به نام سمنار، در ایجاد آن کاخ داستان را به جایی می‌رساند که سمنار دیوارها را با روکشی مناسب آرایش می‌دهد. این روکش البته چیزی جز گچ نمی‌توانست باشد. از قرار معلوم سمنار به خواص گچ آشنایی داشته و برای آن که فرصت کار کردن با آن را داشته باشد بدان سریشم و شیر افزوده بوده است.

## ۲-۴- آهک

آهکی که در کارهای ساختمانی مصرف می‌شود  $\text{CaO}$  است که از پختن سنگ آهک یا کربنات کلسیم به فرمول  $\text{CaCO}_3$  به دست می‌آید. آهک از مصالح چسبنده و ملات آن «هوایی» و «آبی» است و انواع آن به درجه‌ی پخت و وجود ناخالصی‌های آن بستگی دارد.

هر قدر درجه‌ی حرارت پخت زیادتر باشد، وزن مخصوص آهک نیز بیش‌تر است و خواص ملات‌های آبی را به دست می‌آورد. سنگ آهک خالص، بی‌رنگ، بلوری و درجه‌ی سختی آن ۳ است. سنگ آهک خالص در حرارت ۲۴۰۰ تا ۳۰۰۰ درجه با کربن ترکیب و به کاربید کلسیم تبدیل می‌گردد. کاربید کلسیم  $\text{C}_2\text{Ca}$  نیز پس از ترکیب شدن با آب به گاز استیلن  $\text{C}_2\text{H}_2$  و آهک شکفته مبدل می‌شود. سنگ آهک معمولی، غیربلوری و ناخالص است و اغلب با مقداری  $\text{Mg}$  همراه می‌باشد. ناخالصی‌های دیگر آن عبارت‌اند از: سیلیس، اکسید آهن، اکسید آلومینیم و گوگرد.

۱-۲-۴- انواع سنگ‌های آهکی: در طبیعت انواع سنگ‌های آهکی یافت می‌شود که عبارت‌اند از:

۱- سنگ‌های آهکی معمولی: از ته‌نشین شدن مواد آهکی محلول در آب دریاها تشکیل شده، دارای فسیل است.

۲- سنگ‌های آهکی مرجانی: از باقیمانده‌ی جلد حیوانات دریایی در کف دریاها و اقیانوس‌ها به وجود آمده‌اند.

۳- سنگ‌های آراگونیت و تراورتن: از ته‌نشین شدن مواد آهکی محلول در آب گرم چشمه‌های اطراف آتشفشان‌ها تشکیل شده‌اند.

۴- سنگ آهکی دولومیتی: از ترکیب طبیعی کربنات منیزیم و کربنات کلسیم تشکیل می‌شود و به اصطلاح «دوکربناته» هستند. دولومیت از مواد دیرگداز (نسوز) است.

۵- سنگ مرمر: سنگی است آهکی دگرگون شده که این نوع سنگ مرمر را در بسیاری از نقاط ایران می‌توان پیدا کرد. هر سنگ آهک توپری را نمی‌توان «مرمر» نامید.



۶- مارن یا گل آهک طبیعی: ترکیبی است از خاک رس و سنگ آهک و ممکن است ۲۵

تا ۶۰ درصد وزن آن خاک رس بوده برای پختن آهک آبی مصرف شود.

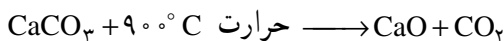
۷- سنگ آهک قیری: از نفوذ نفت خام در سنگ‌های آهکی و جدا شدن روغن‌های سبک

آن حاصل شده است. مقدار قیر در سنگ‌های آهکی قیری در حدود ۱۰٪ وزن آن است. این سنگ را به همان صورت که در طبیعت یافت می‌شود، یعنی بدون این که قیر آن را جدا کنند، با سنگ شکن آسیاب نموده، به شکل شن و ماسه در روسازی‌های آسفالتی استفاده می‌شود.

۲-۴- پختن سنگ آهک: انسان‌های نخستین هنگامی که آتش روشن می‌کردند در

اطراف آن قطعات سنگ بزرگ و کوچک قرار می‌دادند تا آتش را مهار کنند و از پراکنده شدن آن جلوگیری نمایند. در اثر سوختن آتش سنگ‌های اطراف آتش می‌پخت و تبدیل به آهک زنده می‌شد. با این همه، هنوز بشر نتوانسته بود دریابد که آهک چیست، اما هنگامی که باران سنگ‌های آهک زنده را مرطوب می‌کرد، سنگ‌ها نرم شده تبدیل به پودر آهک مرده می‌شد و اگر مقدار باران بیش‌تر می‌شد سنگ‌ها تبدیل به شیره‌ی آهک شده به زمین‌های اطراف فرو می‌رفت و پس از چندی که می‌خواستند زمین‌ها را حفر کنند متوجه می‌شدند که زمین‌های نرم قبلی محکم شده‌اند. بدین ترتیب آنان به ارزش آهک و راه به دست آوردن و مورد استفاده‌ی آن پی بردند. طریقه‌ی پخت آهک از گذشته‌های دور تا زمان حال تفاوت بسیار کرده و استفاده از آن به روش‌های مختلف بیش‌تر شده است.

مقصود از پختن سنگ آهک جدا کردن  $CO_2$  از  $CaCO_3$  از طریق حرارت است.  $CaO$  که همان آهک ساختمانی است از نتیجه‌ی این فعل و انفعالات حاصل می‌شود. سنگ آهک قبل از پختن و بعد از پختن به حالت جامد است. اما  $CO_2$  قبل از پختن سنگ آهک به صورت جامد بوده پس از پختن آن به حالت گاز درمی‌آید؛ از این رو می‌توان نتیجه گرفت که پختن آهک عمل فیزیکی است. تجزیه‌ی کربنات کلسیم به حرارت و فشار محیط محل پخت، بستگی دارد. هر قدر فشار کم‌تر شود، درجه‌ی حرارت تجزیه شدن پایین‌تر می‌آید. در حرارت ۸۹۴ درجه‌ی فشار  $CO_2$  در سنگ آهک خالص به یک اتمسفر می‌رسد. برای آن که  $CO_2$  از سنگ آهک جدا شود به دمایی بیش از ۸۹۴ درجه، یعنی حدود ۹۰۰ درجه‌ی سانتی‌گراد نیاز است.



۳-۲-۴- کوره‌های آهک‌پزی:

۱- کوره‌های چاهی (سنتی): این کوره‌ها کاملاً شبیه کوره‌ی آجرپزی و گچ‌پزی است. در

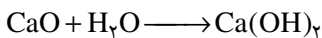
این کوره‌ها چون سنگ آهک و آتش ثابت است و درجه‌ی گرما در همه جای کوره یکسان نیست

جنس آهک همگن نمی‌شود و اغلب سنگ‌های آهک به صورت نپخته باقی می‌ماند. افزون بر آن، کار کوره پیوسته نیست و ظرفیت آن نیز کم است.

**۲- کوره‌ی حلقه‌ای:** این کوره‌ها، شبیه کوره‌های هوفمان است و برای تهیه‌ی آهک به مقدار زیاد به کار می‌رود. جنس آهک این کوره‌ها بسیار خوب و کار کوره نیز پیوسته است.

**۳- کوره‌ی ایستاده:** این کوره مخروط ناقصی است که از سمت بالا بارگیری و از سمت پایین حرارت داده می‌شود. سنگ‌های خردشده را نیز به کوره هدایت می‌کنند، زیرا سطح حرارت‌گیری آن‌ها در اثر خردشدن زیاد خواهد بود. ظرفیت روزانه‌ی این کوره‌ها به ۱۵۰ تن می‌رسد. برای تهیه‌ی آهک در کارخانه‌های قند و نظایر آن از این نوع کوره‌ها استفاده می‌گردد.

**۲-۲-۴- طرز تهیه‌ی آهک شکفته:** آهک زنده  $\text{CaO}$  را نمی‌توان در ساختمان‌سازی مصرف نمود؛ از این رو، باید قبلاً به آن آب اضافه نموده تا هیدراته شود و به صورت خمیر یا پودر آب‌دیده درآید. آهک زنده میل ترکیبی زیادی با آب دارد و هنگام ترکیب، حرارت زیادی پس می‌دهد و به  $\text{Ca(OH)}_2$  تبدیل می‌شود. آهک شکفته در دمای ۴۰۰ درجه و فشار یک اتمسفر، آب شیمیایی خود را از دست داده، دوباره به آهک زنده و آب تجزیه می‌شود. آهک زنده پس از شکفته شدن، بلورهای هیدرات کلسیم تشکیل می‌دهد و یک حالت کلوئیدی به وجود می‌آورد. هرچه سرعت شکفته شدن بیش تر باشد مقدار هیدرات کلسیم  $\text{Ca(OH)}_2$  کلوئیدی آن بیش تر است.

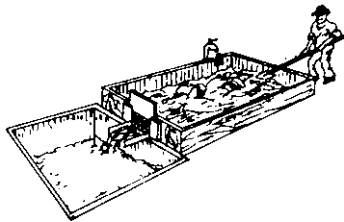
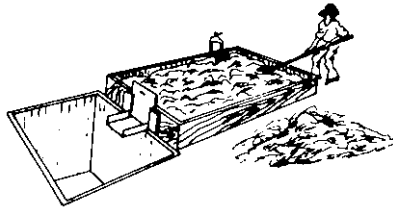
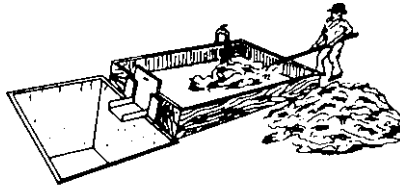


شکفتن آهک به این روش‌ها صورت می‌پذیرد:

**۱- شکفتن آهک تحت فشار بخار آب:** کلوخه‌های آهک زنده را در استوانه‌ی فولادی ریخته، در آن را مسدود می‌کنند و بخار آب با فشار ۳ تا ۴ اتمسفر را به درون آن می‌دمند. با گذشت ۳ تا ۴ ساعت، آهک زیر فشار بخار آب به گرد آهک شکفته تبدیل می‌شود و سپس آن را در کیسه‌های مخصوص ریخته، به محل مصرف می‌برند.

**۲- شکفتن آهک به روش تر (تهیه‌ی خمیر آهک):** کلوخه‌های آهک زنده را در ظرفی چوبی یا فلزی می‌ریزند که به صورت حوضچه‌ای به ابعاد  $3 \times 4$  متر و ارتفاع ۳۰ سانتی‌متر ساخته شده است. در یک طرف این ظرف دریچه‌ای کشویی با توری سیمی قرار گرفته است. به آهک زنده‌ی داخل ظرف آب اضافه می‌کنند و مخلوط را هم می‌زنند تا به حالت شیر آهک درآید. در این هنگام کشوی جلوی دریچه را بالا می‌کشند تا شیر آهک به گودالی به ابعاد  $10 \times 10$  متر و به عمق ۲ متر جاری گردد؛ هم‌چنین ناخالصی‌ها و آهک‌های نشکفته از توری سیمی عبور نمی‌کند و در ظرف باقی

می ماند که در نتیجه، آن را خارج نموده، مجدداً آهک زنده و آب اضافه می کنند. این عمل چندین بار تکرار می شود تا گودال پُر شود. آهک شکفته آب های اضافی خود را در گودال از دست می دهد و پس از چند هفته خمیر سفت می شود و در سطح آن ترک هایی به عرض ۲ تا ۳ سانتی متر پیدا می شود که در این هنگام تمام ذرات آهک شکفته است. (شکل ۳-۴)

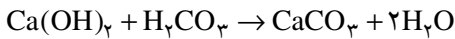


شکل ۳-۴- تهیه آهک شکفته به روش حوضچه‌ای آهک شویی

**۳- شکفتن آهک به روش خشک:** این روش به نام «تنگ گذاشتن آهک» نیز معروف است. کلوخه‌ی آهک زنده را روی زمین و یا سطح تمیزی به ارتفاع ۲۰ تا ۳۰ سانتی متر بهن نموده، روی آن آب می پاشند و کمی آن را زیر و رو می کنند تا تمام کلوخه‌ها مرطوب شوند؛ سپس روی آن یک لایه‌ی دیگر کلوخه آهک زنده می ریزند و مجدداً آب می پاشند. این عمل را چندین بار تکرار می کنند تا تپه‌ی کوچکی از آهک به ارتفاع حدود یک متر درست شود. سطوح جانبی آهک انباشته شده‌ی مرطوب را با آجر می پوشانند و روی آجرها را با گل اندود می نمایند تا حرارت ایجاد شده خارج نشود. در اثر گرمایی آهک، آب اضافی بخار می شود و در زیر اندود به اصطلاح «دم می کند» و بخار آب با فشار ایجاد شده، باعث شکفتن آهک زنده می گردد. پودر به دست آمده، «آهک شکفته» است. حجم آهک پس از شکفتن زیاد می شود. این پف کردن آهک بستگی به جنس آن دارد و هرچه

CaO در آهک زنده زیادتر باشد بیش تر با آب ترکیب می شود و حجم آن زیادتر می گردد. حجم آهک های پرمایه پس از شکستن ۲ تا ۳/۵ برابر و آهک های کم مایه ۱/۲۵ تا ۲ برابر زیاد می شود. آهک کم مایه از سنگ آهکی تهیه می شود که بین ۵۰ تا ۷۵ درصد وزن کل سنگ، سنگ آهک خالص باشد. آهک پرمایه از سنگ آهکی تهیه می شود که حداقل ۹۰ درصد وزن کل سنگ، سنگ آهک خالص باشد. آب گرم، آب زیر فشار و بخار آب زیر فشار شکستن آهک را تندتر می کند. حجم ماسه آهک و شکفته آهک ثابت است که پس از گرفتن و سخت شدن دیگر جمع و زیاد نمی شود.

**۵-۲-۴- تاب ملات آهک و گرفتن آن:** ملات آهک شکفته و ماسه در برابر (CO<sub>۲</sub>) هوا به کربنات کلسیم CaCO<sub>۳</sub> تبدیل می شود. برای آن که آهک شکفته در ملات ماسه آهکی با CO<sub>۲</sub> هوا ترکیب شود باید هوا نمناک باشد یا ملات را نمناک نگه دارند تا CO<sub>۲</sub> با آب (نم) به H<sub>۲</sub>CO<sub>۳</sub> تبدیل شده، سپس این اسید کم مایه با آهک شکفته این ترکیب را کامل کند:



اگر در روزهای نخست مصرف ملات ماسه آهک، نم به آن نرسد ملات نمی گیرد و به اصطلاح می سوزد. ملات ۱ به ۳ گرد آهک شکفته و ماسه پس از ۱۲ تا ۲۴ ساعت شروع به گرفتن و پس از ۲۸ روز، گرفتن آن تمام می شود، اما سخت شدن آن سال ها ادامه می یابد.

شفته آهک از مخلوط کردن شیر آهک و خاک رُس به دست می آید که برای مصارف پی سازی و مقاوم کردن زمین های سست به کار می رود. مقاومت این ملات به جنس و مقدار آهک، جنس و دانه بندی و مقدار خاک رُس بستگی دارد.

آهک هایی که ناخالصی آن ها رُس یا سیلیس باشد در درجه ی حرارت ۱۲۰۰ تا ۱۴۰۰ پخته می شود که به آن آهک آبی می گویند. این آهک در آب وا نمی رود و شکفته نمی شود بلکه باید آن را آسیاب کرد و بعد آب به آن اضافه نمود. معمولاً این آهک ها از پختن و آسیاب کردن مارن (گل آهک) به دست می آید. آهک آبی در ساختمان های زیر آبی که نیازی به مقاومت زیاد ندارند مصرف می شود. چون آهک شکفته بر روی فلزات اثر می گذارد و آن ها را سوراخ می کند، هم چنین در الیاف گونی نیز اثر گذاشته، آن ها را می بوساند، باید از تماس آن ها با آهک جلوگیری نمود.

آهک های آبی به رنگ لیمویی، زرد و قهوه ای روشن و حجم ملات های آهک آبی پس از مصرف و سخت شدن ثابت می ماند.

آهک های هوایی (آهک معمولی پرمایه) در صنایع، راه سازی، ساختمان سازی، آجرهای ماسه آهکی، کارخانه های قندسازی، سیمان سازی، شیشه سازی و کوره بلند ذوب آهن کاربرد دارد.

هم چنین از آهک برای از بین بردن ریشه و تخم گیاهان در ساختمان سازی استفاده می شود. آهک باید در جایی مصرف شود که هوا نمناک است یا دست کم آن را به مدت ۲۸ روز با وسایلی نمناک نگاه داری کنند.

آهک های مناسب برای مصارف گوناگون، مطابق جدول ۲-۴ است :

جدول ۲-۴- آهک های مناسب برای مصارف گوناگون

نوع آهک	موارد مصرف
خمیر یا گرد آهک شکفته ای که به صورت دوغاب درآمده است. (آهک سفید)	ملات های ماسه آهک، گل آهک، گچ آهک و باتارد برای پایدار کردن خاک در راه سازی، خشت های پایدار شده با آهک، شفته آهکی، پی سازی در خاک های معمولی بتن آهکی سنگین و متخلخل
آهک های آبی	ملات و اندود ساختمان های دریایی، پی سازی در خاک های سولفات دار با سولفات زیاد
آهک های یخه آبی (خاکستری)	پی سازی در خاک های سولفات دار با سولفات کم
	پایدار کردن خاک در راه سازی، آجر ماسه آهکی
آهک زنده کلیومی پرمایه	بتن آهکی سنگین و متخلخل، سیمان آهک پوزولان و آهک سرباره
دوغاب آهک کم مایه	شفته پی سازی ساختمان های کم ارتفاع

## حمل و نقل و نگهداری

آهک زنده را باید از آب و دی اکسید کربن هوا مصون نگاه داشت و همانند سیمان در ظروف مخصوص یا کیسه های آب بندی شده نگهداری نمود.

آهک هیدراته نیز باید در محل مناسبی نگهداری شده از نفوذ دی اکسید کربن هوا و تابش آفتاب در امان باشد تا از خشک شدن آن جلوگیری به عمل آید. مشخصات آهک باید روی ظروف حمل و کیسه ها نوشته شود. در مجموع، نکاتی که برای حفظ و نگهداری گچ ذکر شد باید در مورد آهک نیز رعایت شود. کار کردن با آهک و جابه جا کردن آن مستلزم رعایت نکات ایمنی است.

کف کاخ‌های جمشید (سده‌ی ششم پیش از میلاد) از ملاتی سرخ‌رنگ که در آن آهک به کار رفته بوده پوشیده شده بوده است. کاربرد ملات آهک در ساختمان‌های سنگی و آجری به عنوان ملات و نیز در روکشی دیوارها از زمان اشکانیان معمول بوده است. بهره‌گیری از آهک در عصر ساسانیان نیز ادامه یافت. در ساختمان‌های نخستین این دوره مربوط به زمان اردشیر ساسانی (۲۳۲-۲۱۲ میلادی) آهک روکشی (بدون ماسه) به عنوان ملات مصرف می‌شد. از زمان شاپور اول دگرگونی‌هایی در تکنیک و در سبک ساختمانی پدید آمد و از آن پس ملات ماسه آهک کاربرد فراوانی یافت. برخی را گمان آن است که این دگرگونی با شکست والرین رومی به دست شاپور اول پیدا شد. پس از پیروزی شاپور، اسیران رومی که به ایران آورده شده بودند تکنیک رومی و مصالح رومی را که ماسه آهک جزو آن بود در ساختن ساختمان‌هایی مثل شهر شاپور (پیشاپور) در جنوب فارس به کار بردند. مردمان قدیم ویژگی‌های شیمیایی و مکانیکی آهک و آمیزه‌ی آن با دیگر مواد را خوب می‌شناختند. آنان با تجربه دریافته بودند که چگونه می‌توان با آمیختن خاک رس با آهک و دیگر مواد، مصالحی مقاوم و یا ملات‌هایی غیرقابل نفوذ ساخت. کرجی مهندس و دانشمند ایرانی سده پنجم هجری در مورد خمیر آهکی که برای آب‌بندی و استحکام تنپوشه‌های قنات‌ها به کار می‌رود روشی را ارائه نموده است.

هم‌چنین کرجی در کتاب «استخراج آب‌های پنهانی» خود در مورد پایدار کردن خاک در آب‌بندی مجراها و مخازن آب نیز شرحی آورده است.

ایرانیان باستان با گل آهک (مارون) که شامل آهک و خاک رس بوده ملاتی تهیه می‌کرده‌اند که آهک آبی نام داشته است این ملات در ساختمان‌های بندری و دریایی مصرف می‌شده است. آهک آبی در کناره‌های شمالی خلیج فارس به نام ساروج مصرف می‌شده است. آهک آبی در ساختمان‌های قدیمی بوشهر و بندرلنگه به کار رفته است و آثاری از آن ساختمان‌ها هنوز هم برجاست.

ملات ساروج در ایران باستان کاربرد فراوان داشته و احتمالاً در همین سرزمین نیز کاربرد آن آغاز گشته است. این ملات کندگیر از آمیزش آهک شکفته، خاکستر، ماسه و پشم و آب تهیه می‌شده است. ساروج به علت قابلیت آب‌بندی از قدیم در آب‌انبارها برای اندود دیواره‌ی مخزن و هرگونه آب‌بندی دیگر به کار می‌رفته است.

### ۳-۴- سیمان

سیمان‌ها فرآورده‌هایی هستند که قسمت عمده‌ی مصالح اولیه‌ی آن‌ها آهک است و خاصیت آن‌ها این است که پس از مخلوط شدن با آب در برابر هوا یا جایی که هوا نیست، مانند زیر آب، سفت و سخت می‌شوند و دانه‌های شن و ماسه یا مصالح دیگر مثل سنگ و آجر و کاشی را به هم می‌چسبانند. پیش از قرن نوزدهم که سیمان اختراع نشده بود، از سال‌ها قبل در ایران در جاهای نمناک و پی‌سازی‌ها، شکفته آهک مصرف می‌کردند و برای آب‌بندی کردن، ملات ساروج به کار می‌بردند. ساروج را از مخلوط کردن و کوبیدن گرد آهک شکفته و خاکستر، کمی ماسه‌ی بادی، خاک رُس و لویی (الیاف نی) درست می‌کردند. در سال ۱۷۵۶ در انگلستان شخصی به نام «اسمیتون» مأمور شد به جای ساختمان فانوس دریایی که بر اثر آتش‌سوزی خراب شده بود بنای تازه‌ای بسازد. او پس از آزمایش زیاد متوجه شد که ملات آهک‌هایی که از دو پیمان‌ه تراس (پوک‌ه طبیعی) و یک پیمان‌ه آهک شکفته با کمی آب درست شده باشد کاملاً سفت شده مقصود را برآورده می‌سازد. در سال ۱۸۲۴ یک بنای انگلیسی به نام «آسپدین» اختراع سیمان را به ثبت رسانید. او سنگ آهک و خاک رس را با هم مخلوط کرد و به طریقه‌ی تر آسیاب نمود و لجن به دست آمده را در کوره‌های آهک‌پزی معمولی پخت؛ سپس جسم به دست آمده را آسیاب نمود و بدین ترتیب، سیمان را به دست آورد. چون سیمان به رنگ سنگ‌های جزیره‌ی پرتلند بود آن را «سیمان پرتلند» نامیدند.

#### ۱-۳-۴- اجزای تشکیل‌دهنده‌ی سیمان پرتلند: مواد اصلی سیمان پرتلند، سنگ آهک و

خاک رس به نسبت وزنی ۳ به ۱ است که پس از آسیاب کردن آن‌ها به طریقه‌ی تر یا خشک برای پختن وارد کوره می‌شوند. در کوره به این مواد به اندازه‌ای حرارت می‌دهند که دانه‌ها عرق کنند (۳۰٪ سطح دانه‌ها ذوب شود) و به یک‌دیگر بچسبند و به شکل دانه‌های فندقی به نام «کلینکر» درآیند. پس از سرد کردن و آسیاب کردن کلینکر همراه با کمی سنگ گچ، سیمان پرتلند به دست می‌آید. علاوه بر سنگ آهک و خاک رس بایستی به نسبت‌های معینی، سیلیس، اکسید آلومینیم، اکسید آهن نیز در مواد اصلی وجود داشته باشد.

**پختن سیمان:** سیمان‌پزی عبارت است از به‌وجود آوردن واکنش‌هایی میان دانه‌های ریز مواد خام از طریق حرارت به مدت و شدت معین. برای این که این واکنش‌ها صورت گیرد باید به مواد خام به اندازه‌ای حرارت داد تا عرق کرده، به یک‌دیگر بچسبند و در نهایت به کلینکر تبدیل شوند. واکنش‌های انجام شده کند هستند و با افزایش گرما از رویه به داخل دانه‌ها پیش می‌روند و هرچه دانه‌های مواد خام ریزتر باشند تندتر می‌شوند. کوره‌های آزمایشی سیمان‌پزی به طول ۱/۸ تا ۳/۷ متر و قطر ۱۳ تا

۳۶ سانتی متر ساخته می شود.

واکنش های انجام شده در حرارت های مختلف بدین شرح است :

۱- در حرارت ۱۰۰ درجه، آب فیزیکی مواد خام گرفته می شود.

۲- از حرارت ۳۵۰ درجه به بعد  $CO_2$  از کربنات منیزیم  $MgCO_3$  جدا می شود.

۳- در گرمای ۵۰۰ درجه، آب شیمیایی خاک رس جدا می شود.

۴- از حرارت ۸۹۴ درجه به بعد  $CO_2$  از  $CaCO_3$  خارج می شود.

پس از این، ترکیبات  $CaO$  با جسم های دیگر شروع می شود. در شروع فعل و انفعال ها ترکیب یک کلسیم سیلیکات تشکیل می شود. در گرمای بالاتر از ۱۰۰۰ درجه ترکیبات دو کلسیم سیلیکات و سه کلسیم سیلیکات و دیگر ترکیبات کلسیم با جسم های دیگر شکل می گیرد.

جسم های گداز آور مانند اکسید آهن و اکسید آلومینیم در مواد خام باعث می شوند که واکنش ها در حرارت کم تر و با سرعت بیش تر پدید آیند. براساس آزمایش های بسیاری مشاهده شده است که در حرارت های مختلف این واکنش ها حاصل می شود :

$CA = CaO, Al_2O_3$  در حرارت کم تر از ۸۰۰ درجه

$CS = CaO, SiO_2$  از گرمای ۸۰۰ تا ۹۰۰

$C_5A_3 = 5CaO, 3Al_2O_3$  از حرارت ۹۰۰ تا ۹۵۰ درجه

$C_2S = 2CaO, SiO_2$  از حرارت ۹۵۰ تا ۱۲۰۰ درجه

$C_3A = 3CaO, SiO_2$  از حرارت ۱۲۰۰ تا ۱۳۰۰ درجه

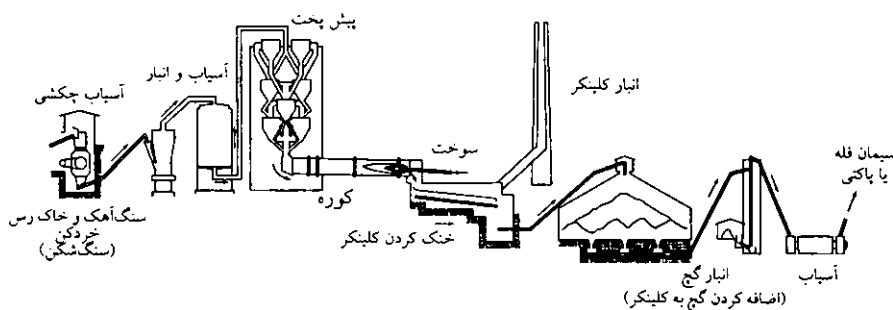
$C_4AF = 4CaO, Al_2O_3, Fe_2O_3$  در حرارت ۱۳۰۰ درجه

$C_3S = 3CaO, SiO_2$  در حرارت ۱۴۰۰ تا ۱۴۵۰ درجه

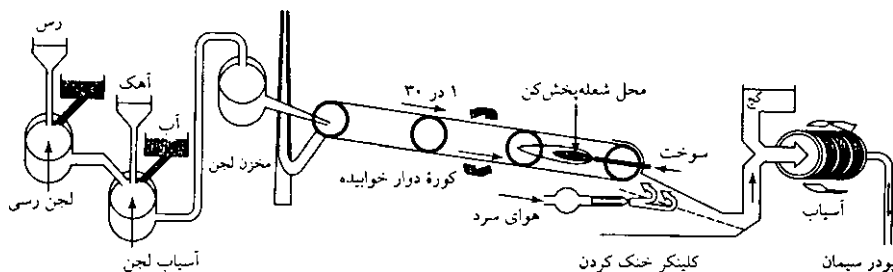
در ساخت سیمان امروز، اغلب از کوره ی گردنده ی افقی استفاده می شود. این کوره یک استوانه ی فولادی طویل با شیبی حدود ۳٪ است که حول محور افقی خود به آهستگی می چرخد. از انتهای کوره، شعله و حرارت داخل شده، از دهانه ی کوره مواد خام به صورت گرد خشک و یا لجن خمیری وارد می گردد. در ابتدای کوره رشته های زنجیر آویزان است تا گرمای گاز کوره را جذب کرده، به مواد خام پس دهد و در انتهای کوره دانه ها پس از عرق کردن به یک دیگر چسبیده، به صورت گلوله هایی به قطر ۱۶ تا ۳۰ میلی متر (به نام کلینکر) درمی آیند و به خنک کننده کلینکر می ریزند. در قسمت خنک کننده روی کلینکر داغ، هوای سرد می دمند و کلینکر سرد شده را با نوار نقاله به انبار می برند. طول کوره های گردنده ۶۰ تا ۱۰۰ متر و قطر آن ۵ تا ۶ متر است. برای



بهره برداری بیش تر از کوره های گردنده افقی نمی توان قطر آن را از ۶ متر افزایش داد، زیرا آستره نسوز درون کوره فرو می ریزد و مشکلاتی به وجود می آورد، اما طول کوره ی افقی گردنده تا ۲۵۰ متر هم ساخته شده است. اگر پختن سنگ آهک را در قسمت پیش داغ کن انجام دهند، بهره دهی کوره به قطر ۶ متر دو برابر می گردد. ضخامت جداری کوره ۱۸ تا ۲۴ میلی متر و در قسمت انتهای آن تا ۳۶ میلی متر هم می رسد. برای جلوگیری از رسیدن گرما به بدنه ی فولادی کوره، جدار داخلی آن را با نسوزهای مختلف آستر می کنند. این آسترها باید در برابر تأثیرات مکانیکی و شیمیایی مواد خام و گرمای شدید کوره پایدار باشد. نوع نسوز به قسمت های مختلف کوره بستگی دارد. در ابتدای کوره تا وسط، از نسوزهای سیلیسی و در انتهای کوره - جایی که حرارت زیاد است - از نسوزهای رسی و یا دولومیتی استفاده می شود. پس از آن که کلینکر از کوره خارج گردید با دمیدن هوا سرد می شود و در رویه اش پوسته و لعابی شیشه ای به وجود می آید که کلینکر را از نفوذ رطوبت به داخل آن محافظت می کند. این پوسته لعابی هنگامی که کلینکر را آسیاب می کنند خرد شده، از بین می رود. در شکل ۴-۴ و ۴-۵ تولید سیمان پرتلند به دو روش خشک و تر نشان داده شده است.



شکل ۴-۴- تولید سیمان پرتلند به روش خشک



شکل ۴-۵- تولید سیمان پرتلند به روش تر

## ۲-۳-۴- تأثیر مواد در جنس سیمان:

۱- **آهک:** اگر CaO در سیمان به صورت ترکیب درآمده باشد کلسیم سیلیکات سیمان زیاد می شود و این امر، باعث بالا رفتن مقاومت اولیه ی سیمان می گردد. زیاد شدن کلسیم سیلیکات در سیمان مقاومت آن را در برابر آب دریا و آب های سولفات دار کم کرده، گرمادهی ملات سیمان را هنگام ترکیب با آب افزایش می دهد. اگر آهک به صورت آزاد بیش از اندازه باشد، پس از گرفتن ملات سیمان آهک آزاد آب مکیده و شکفته می گردد و در نتیجه ملات را می ترکاند.

۲- **سیلیس:** سیلیس با آهک ترکیب شده، تشکیل سیلیکات کلسیم می دهد. اگر سیلیس در سیمان جای گزین اکسید آلومینیم و اکسید آهن شود، مواد خام در کوره دیرتر عرق می کنند و اگر سیلیس جای گزین آهک شود مقاومت ملات سیمان به کندی بالا می رود.

۳- **اکسید آلومینیم:** اکسید آلومینیم و اکسید آهن در سیمان نقش گدازآور دارند؛ یعنی درجه ی ذوب شدن مواد خام را پایین می آورد و ترکیبات سه کلسیم آلومینات  $C_3A$  و چهار کلسیم آلومینوفریت  $C_4AF$  را به وجود می آورند. اگر اکسید آهن در سیمان زیاد شود آن را «کندگیر» و اگر اکسید آلومینیم آن افزایش یابد آن را «تندگیر» می کند، زیرا در ملات سیمان آلومینات ها زودتر از سیلیکات ها با آب ترکیب می شوند. زیاد شدن اکسید آهن باعث تولید چهار کلسیم آلومینوفریت می شود که کندگیر است، اما مقاومت ملات سیمان را در برابر آب دریا و آب های سولفات دار زیاد می کند و گرمادهی سیمان را در موقع ترکیب با آب کاهش می دهد؛ بنابراین، سیمان های ضد سولفات اکسید آهنشان زیاد است. زیاد شدن اکسید آلومینیم باعث گرمادهی زیاد ملات سیمان شده، جمع شدن آن را افزایش می دهد که زیاد شدن هر دو اکسید سبب ترکیب شدن آهک با سیلیس می شود؛ یعنی سه کلسیم سیلیکات زیادی تشکیل شده، آهک آزاد در سیمان کم می شود.

۴- **منیزی MgO:** منیزی در سیمان اثر گدازآور دارد و هر چه کم تر باشد بهتر است، زیرا در سیمان ترکیب نمی شود و مانند آهک آزاد پس از آب گرفتن ملات شکفته شده، مقاومت آن را کم می کند. زیاد شدن منیزی در سیمان از جمع شدن ملات می کاهد؛ پس، مقدار منیزی نباید از ۵٪ بیش تر باشد.

۵- **قلیایی ها (K, Na):** قلیایی ها در سیمان نیز نقش گدازآور دارند و مقدار آن ها در سیمان نباید از ۱٪ وزن سیمان بیش تر باشد، زیرا باعث خراب شدن ملات و بتن می گردد. در جدول ۳-۴ مواد اصلی تشکیل دهنده ی سیمان و خواص هر کدام آمده است.

جدول ۳-۴- مواد اصلی تشکیل دهنده‌ی سیمان و خواص هر کدام

ترکیب	فرمول شیمیایی	علامت اختصاری	توضیحات
تری کلسیم سیلیکات	$3CaO.SiO_2$	$C_3S$	خودگیری سریع، مقاومت زودرس و افزایش سریع دما
دی کلسیم سیلیکات	$2CaO.SiO_2$	$C_2S$	خودگیری کند، مقاومت دیررس و افزایش کند دما
تری کلسیم آلومینات	$3CaO.Al_2O_3$	$C_3A$	خودگیری آنی به کمک گچ سرعت آن کاهش می‌یابد
	$4CaO.Al_2O_3.Fe_2O_3$	$C_4A, F$	خودگیری سریع و افزایش سریع ولی با مقاومت نهایی اندک، آسیب‌پذیر در برابر حمله سولفات‌ها
ترا آلومینوفربت کلسیم	$4CaO.Al_2O_3.Fe_2O_3$	$C_4AF$	خودگیری کند، بروز رنگ خاکستری در سیمان

### ۳-۳-۴- ترکیب سیمان با آب: ترکیب سیمان با آب با دو عمل هیدراته شدن و هیدرولیز

شدن همراه است. واکنشی که سیمان در مجاورت آب انجام می‌دهد نظیر واکنش آب آهک در مجاورت خاک رس است. تفاوت آن‌ها در این است که چون آب آهک با خاک رس با روش سرد ترکیب می‌شود، فعل و انفعال کند است، اما در مورد سیمان چون آهک با خاک رس در حرارت زیاد ترکیب می‌شود، فعل و انفعال سریع خواهد بود. اساس این دو واکنش یکی است و آن ترکیب شدن آهک با سیلیس در مجاورت آب که فرمول کلی آن  $3H_2O$ ،  $2SiO_2$  و  $3CaO$  است. البته در ملات‌های سیمانی اثر اکسید آلومینیم و اکسید آهن نیز به آن اضافه می‌شود. وقتی به سه کلسیم سیلیکات آب اضافه می‌شود واکنشی نیمه سریع انجام می‌گیرد که نتیجه آن هیدراته شدن و هیدرولیز شدن و به وجود آمدن ترکیبی ژل مانند است.

گرفتن و مقاومت اولیه ملات سیمان در ۲۸ روز اول در اثر ترکیب همین  $C_3S$  بوده که با آزاد شدن مقداری حرارت (۱۲۰ cal/gr) همراه است. این ترکیب خاصیت چسبندگی بسیاری دارد، در برابر تأثیر آب دریا و آب‌های سولفات‌دار مقاومت اندکی خواهد داشت. دو کلسیم سیلیکات ( $C_2S$ ) نیز با آب هیدراته می‌شود که مقدار کمی از مقاومت سیمان در ۲۸ روز اول مربوط به این ترکیب است، اما پس از ۲۸ روز مقاومت عمده‌ی سیمان به خود سیمان مربوط می‌شود و پس از یک سال تقریباً هر دو ترکیب  $C_3S$  و  $C_2S$  به یک اندازه در مقاومت سیمان تأثیر دارند. واکنش  $C_2S$  با آب کند است و در اثر هیدراته شدن حدود ۶۰ cal/gr حرارت آزاد می‌کند. سه کلسیم آلومینات ( $C_3A$ ) با سرعت زیاد با آب هیدراته شده، مقدار زیادی حرارت پس می‌دهد (۲۰۷ cal/gr) و خیلی سریع شروع به گرفتن می‌کند. این عمل بیش‌تر در روز اول انجام می‌پذیرد. برای جلوگیری

از این گیرایی سریع، هنگام آسیاب کردن کلینکر برحسب مقدار  $C_3A$  حدود ۱ تا ۳ درصد سنگ گچ به مخلوط اضافه می‌شود؛ بنابراین، سنگ گچ در تنظیم زمان گرفتن سیمان دخیل است.

چهار کلسیم آلومینوفریت ( $C_4AF$ ) نیز با آب هیدراته شده، یک ترکیب غیرمشخصی را به وجود می‌آورد که زیاد شدن آن باعث کندگیری سیمان می‌شود. هیدراته شدن  $C_4AF$  با مقدار  $10^\circ \text{cal/gr}$  حرارت همراه است. این ترکیب عمدتاً در پخت سیمان نقش روان‌ساز دارد. تمام آب مصرفی در سیمان صرف فعل و انفعال نمی‌گردد و قسمتی از آن در سوراخ‌های ریز ملات سیمان باقی می‌ماند که بعدها سبب یوکی در ملات سیمان یا بتن می‌شود؛ از این رو، در ساختن ملات سیمان نباید آب زیادی مصرف کرد. هرچه نسبت وزنی آب به سیمان کم‌تر باشد ملات سیمان توپر و مقاومت آن بیش‌تر می‌شود. وقتی سیمان با آب مخلوط می‌گردد آب با سطح جانبی دانه‌های سیمان تماس پیدا نموده، عمل هیدراته شدن صورت می‌گیرد؛ بنابراین، هرچه سطح جانبی واحد وزن سیمان بیش‌تر شود، فعل و انفعال سیمان و آب سریع‌تر انجام می‌گیرد و مقاومت روزهای اولیه‌ی ملات آن زیادتر خواهد بود. مطابق تعریف، سطح جانبی دانه‌های واحد وزن سیمان را **سطح مخصوص سیمان** می‌نامند؛ یعنی، مقدار سطح جانبی دانه‌هایی که در یک گرم سیمان وجود دارد. سطح مخصوص را به وسیله‌ی دستگاه «Blain» اندازه‌گیری می‌کنند.

سیمان‌های ریزدانه دارای سطح مخصوص بزرگ هستند. سیمان‌ها از نظر ریزی دانه‌ها به سه دسته تقسیم می‌شوند:

۱- سیمان‌های درشت دانه با سطح مخصوص  $2000$  تا  $2500 \text{ gr/cm}^2$

۲- سیمان‌های معمولی با دانه‌های متوسط با سطح مخصوص  $2500$  تا  $3500 \text{ gr/cm}^2$

۳- سیمان‌های ریزدانه با سطح مخصوص حدود  $3500$  تا  $4500 \text{ gr/cm}^2$

بنابراین، برای تهیه‌ی سیمان ممتاز باید کلینکر آن را خیلی ریز آسیاب کنند سیمان به‌هنگام گرفتن، حرارت پس می‌دهد. این حرارت، به‌ویژه هنگامی که حجم بتن ریزی زیاد باشد، مضر است، زیرا حرارت در داخل حجم بتن بالا می‌رود. درحالی‌که سطح بتن در اثر مجاورت با هوا به‌سرعت سرد شده، در نتیجه‌ی اختلاف درجه حرارت، ترک‌هایی در سطح ملات سیمان یا بتن به‌وجود می‌آید. در هوای سرد، این حرارت تولید شده مانع یخ زدن آب در سوراخ‌های ریز بتن می‌گردد؛ بنابراین، برحسب نوع مصرف و جای مصرف سیمان، باید در انتخاب آن از نظر هیدراته شدن دقت کرد.

همان‌گونه که ملاحظه شد حداکثر حرارت ایجاد شده با هیدراته شدن  $C_3A$  و  $C_3S$  است و

اگر به طریقی، گرفتن این دو جسم به تأخیر افتد (مثلاً با اضافه نمودن گچ) حرارت اولیه در ملات و بتن کاهش می‌یابد. برعکس، هر عاملی که باعث زیاد شدن  $C_3A$  یا گیرایی سریع سیمان گردد (برای مثال با ریزتر آسیاب کردن) سبب بالا رفتن حرارت اولیه می‌گردد.

ملات سیمان در گرما کندتر و در سرما کندتر می‌گیرد و دیرتر سفت می‌شود؛ برای نمونه بتنی که در حرارت  $20^\circ$  درجه ۲۸ روز بماند میزان گرفتن و سفت شدن آن برابر است با بتنی که در حرارت  $5^\circ$  درجه ۵۶ روز بماند.

#### ۴-۳-۴- انواع سیمان‌های پرتلند:

**سیمان پرتلند نوع ۱:** این سیمان در کارهای عمومی و در جاهای مخصوصی استفاده می‌شود؛ مانند: ساختمان‌های بتنی معمولی، کف‌سازی، پل‌سازی راه و راه‌آهن، کارهای کانال‌کشی، مخازن آب و لوله‌های آب، آجرهای بتنی (موزاییک) و کلیه مصارف سیمانی و بتنی که در معرض هجوم سولفات‌ها نیستند و گرمایی زیاد بتن اهمیت نداشته باشد.

**سیمان پرتلند نوع ۲:** این نوع سیمان پرتلند هنگام گرفتن، حرارت کم‌تری نسبت به نوع ۱ پس می‌دهد و در مقابل سولفات‌ها نیز مقاوم است. موارد کاربرد آن در سازه‌های بتنی نسبتاً حجیم، نظیر پایه‌های پل و دیوارهای حایل است.

**سیمان پرتلند نوع ۳:** این نوع سیمان زودگیر بوده دارای مقاومت اولیه‌ی زیادی است. مقاومت سه‌روزه‌ی آن معادل ۷ روزه‌ی نوع ۱ است. در جاهایی که بخواهند به‌زودی از ساختمان بهره‌برداری کنند و یا زودتر از موعد مقرر احتیاج به قالب‌برداری باشد یا برای بتن‌ریزی در هوای سرد، از آن استفاده می‌کنند، زیرا این سیمان هنگام گرفتن گرمای بیش‌تری - نسبت به نوع ۱ - پس می‌دهد.

**سیمان پرتلند نوع ۴:** این نوع به «سیمان کندگیر» معروف است؛ حتی از نوع ۲ هم کم‌تر حرارت تولید می‌کند و دیرگیرتر از انواع دیگر است. این سیمان در بتن‌ریزی‌های حجیم مانند سدهای وزنی مصرف می‌شود.

**سیمان پرتلند نوع ۵:** سیمان نوع ۵ که به ضد سولفات نیز معروف است در سازه‌های دریایی و زمین‌های سولفات‌دار مصرف می‌گردد. مقاومت این سیمان در زمان طولانی‌تری نسبت به نوع ۱ به‌دست می‌آید و گرمایی کم‌تری نیز دارد.

**۴-۳-۵- سیمان ممتاز:** سیمان ممتاز مانند سیمان معمولی ساخته می‌شود، اما در ساختن آن دقت بیش‌تری اعمال می‌گردد. درصد مواد خام را دقیق‌تر انتخاب و ریزتر آسیاب می‌کنند تا

واکنش سیمان، آهک و سیلیس در کوره سیمان یزی بهتر و سریع تر انجام شود. کلینکر آن را نیز ریزتر آسیاب می کنند و گاهی آن را دوباره می پزند؛ یعنی پس از پخت اول آن را آسیاب کرده، دوباره می پزند تا تمام CaO سیمان ترکیب شود و در آن آهک آزاد باقی نماند.

مقاومت روزهای اولیه ی ملات این سیمان زیاد است و گرمای زیادی هنگام هیدراته شدن پس می دهد؛ بنابراین، قیمت آن نیز گران تر خواهد بود.

**۴-۳-۶- سیمان سفید:** اکسید منیزیم و اکسید آهن باعث تیره شدن رنگ سیمان پرتلند می شوند. اگر در مواد اولیه ی سیمان این دو اکسید نباشد و یا بسیار ناچیز و در حدود ۰/۰۰۸ باشد سیمان سفید از کوره خارج می گردد. سوخت کوره را حتماً روغنی انتخاب می کنند تا خاکستر زغال آن را تیره نکند.

از این سیمان برای نامسازی و ساختن آجرهای موزاییک و کارهای زینتی استفاده می شود. برای بی رنگ کردن سیمان حدود ۳٪ وزن مواد خام به آن کلرور کلسیم یا کلرور کالیم می افزایند. مقاومت این سیمان کم تر از سیمان های معمولی است و چون گداز آور ندارد، در حرارت بالاتر پخته می شود و قیمت آن نیز گران تر است. در جدول ۴-۴ ترکیبات چند نوع سیمان پرتلند مشخص شده است.

جدول ۴-۴- ترکیبات چند نوع سیمان پرتلند

(نرمی) (m <sup>2</sup> /kg)	ترکیب			طبقه بندی	نوع
	% C <sub>F</sub> AF	% C <sub>F</sub> A	% C <sub>F</sub> S		
۳۴۰	۸	۱۰	۲۰	۴۲/۵	سیمان پرتلند معمولی
۴۴۰	۸	۱۰	۲۰	۵۵	
۴۰۰	۲	۱۵	۲۰	۶۵	سیمان پرتلند سفید
۳۸۰	۱۵	۲	۱۵	۶۰	سیمان پرتلند ضدسولفات

**۴-۳-۷- سیمان رنگی:** اگر ۲٪ تا ۱۰٪ وزن کلینکر سیمان سفید رنگ های معدنی یا سنگ های رنگی آسیاب کنند، سیمان رنگی به دست می آید. برای رنگ های قرمز، زرد، قهوه ای و سیاه از اکسید آهن استفاده می شود. برای رنگ سبز از اکسید کرم. برای رنگ آبی نیز کبالت مصرف می نمایند. برای رنگ سیاه از زغال هم می توان استفاده کرد. هم چنین می توان برای رنگ های قهوه ای و سیاه اکسید منگنز، به کار برد. با سیمان پرتلند معمولی فقط می توان سیمان به

رنگ‌های سرخ، قهوه‌ای و سیاه ساخت. سایر رنگ‌ها را باید با سیمان سفید تهیه نمود. رنگ سیمان باید در برابر نور و پدیده‌های جوّی پایدار باشد. در ضمن سیمان و جسم رنگی هم نباید در یک‌دیگر اثر کنند. از این سیمان‌ها نیز برای نماسازی و کارهای زینتی و ساختن موزاییک استفاده می‌شود.

**۸-۳-۴- سیمان برقی:** اگر در مواد اولیه سیمان اکسید آلومینیم زیاد و آهک کم شود سیمان به دست آمده دارای خواصی ممتاز می‌گردد؛ از این رو، از ذوب کردن مخلوط بوکسیت و سنگ آهک در کوره‌ی برقی در حرارت ۱۵۰۰ تا ۱۶۰۰ درجه به دست می‌آید که مدتی آن را به حالت ذوب نگه داشته، به مرور سرد کرده‌اند. این کار جز با نیروی برق امکان‌پذیر نیست. ملات سیمان برقی باد نمی‌کند، زیرا آهک آزاد در آن وجود ندارد؛ بنابراین، در مقابل آب‌های سولفات‌دار و زمین‌های گچ‌دار مقاوم بوده برای سازه‌های دریایی نیز بسیار مناسب است. مقدار آب لازم برای هیدراته شدن آن تقریباً دو برابر آبی است که برای سیمان پرتلند لازم است، چون سیمان برقی زودگیر است. این سیمان خیلی سریع مقداری گرما پس می‌دهد و درجه‌ی گرمای ملات آن نزدیک به حد جوش آمدن آب می‌رسد و به همین دلیل سرما در آن چندان تأثیری ندارد.

**۹-۳-۴- سیمان طبیعی:** ماده‌ی اصلی این سیمان خاکسترها و پوک‌ه‌ی آتش‌فشانی است که سیلیس آن‌ها به علت زود سرد شدن به صورت پوک و غیر بلوری درآمده است. سیمان طبیعی از مخلوط کردن سیمان پرتلند با آهک شکفته با پوک‌ه‌های معدنی به دست می‌آید. این سیمان‌ها در رُم به نام سیمان «پوزولانی» و در شمال اروپا «تراس» نامیده می‌شوند.

با مخلوط کردن نسبت وزنی ۱ به ۴ این سیمان با مواد مناسب بهترین مقاومت به دست می‌آید. این سیمان هنگام هیدراته شدن حرارت کم‌تری آزاد می‌کند؛ از این رو در بتن‌ریزی‌های حجیم و جاهایی که بتن مورد هجوم سولفات‌هاست مصرف می‌شود. در جدول ۴-۵ سیمان مناسب جهت مصارف گوناگون ذکر شده است. این جدول جنبه‌ی راهنما داشته و قبل از تصمیم قطعی، در هر مورد باید آزمایش‌های لازم زیر نظر دستگاه نظارت صورت گیرد.

جدول ۵-۴- سیمان مناسب برای مصارف گوناگون

نوع سیمان مناسب	موارد مصرف
سیمان پرتلند معمولی (نوع ۱)	کارهای معمولی و عمومی شامل اسکلت‌های بتن آرمه، پل‌ها، قطعات پیش‌ساخته بتن آرمه، جدول و فرش کف خیابان‌ها، ملات‌ها و اندودها و پی ساختمان‌هایی که در معرض هجوم سولفات‌ها نباشند.
سیمان سفید و رنگی	ملات‌ها و اندودهای سیمانی تزئینی، بتن‌های نمایان
سیمان پرتلند نوع ۲، سیمان پرتلند سرباره (با ۱۵ تا ۲۵ درصد سرباره) و سیمان پرتلند پوزولانی (با ۱۵ تا ۲۵ درصد پوزولان)	کارهای جسیم (حجیم) مانند سدهای بتنی وزنی، کارهایی که در معرض هجوم ضعیف سولفات‌ها قرار دارند، بتن‌ریزی و اندودکاری در هوای گرم
سیمان پرتلند نوع ۳	بتن‌های با مقاومت زودرس، مواردی که قالب‌برداری زودتر از موعد مقرر مورد نظر است، بتن‌ریزی بتابی و اندودکاری در هوای سرد
سیمان پرتلند نوع ۴	بتن‌ریزی و اندودکاری در هوای گرم، کارهای بتنی حجیم که در معرض هجوم سولفات‌ها نباشند.
سیمان پرتلند سرباره (با بیش از ۲۵٪ سرباره) سیمان پرتلند پوزولانی (با بیش از ۲۵٪ پوزولان) سیمان پرتلند نوع ۵ سیمان سوپرسولفات	مقابله با سولفات‌های قوی
سیمان پرتلند سرباره (با بیش از ۵۰٪ سرباره) سیمان پرتلند پوزولانی (با بیش از ۴۰٪ پوزولان)	مقابله با سولفات‌های قوی به همراه یون کلر، مقابله با واکنش سنگ‌دانه‌ها و ساخت بتن متراکم با نفوذپذیری کم
سیمان بنبایی، سیمان آهکی - پوزولانی و سیمان آهکی - سرباره	کارهای بنبایی، ملات‌ها و اندودها در وضعیت عادی



## حمل و نقل و نگهداری

سیمان‌ها به دو صورت فله و پاکتی به فروش می‌رسد. در هر دو حالت، مشخصات انواع سیمان به صورت برچسب روی محموله درج می‌گردد. بارگیری، حمل و تخلیه‌ی انواع سیمان‌ها باید با دقت صورت گیرد و از تماس باران و رطوبت با آن جلوگیری شود. ظروف حمل سیمان فله (بونکرها) باید پس از تخلیه تمیز شوند تا برای محموله بعدی ایجاد آلودگی نکنند. برچسب مشخصات سیمان باید روی سیلوی سیمان در کارگاه نصب شوند. انبار کردن سیمان امری بسیار مهم و حساس است؛ از این رو رعایت نکات خاصی در انبار کردن سیمان در کارخانه قبل از فروش و در کارگاه‌ها قبل از مصرف، ضرورت دارد. رطوبت عامل خطرناکی برای سیمان است و باید سیمان را در برابر آن محافظت نمود. رطوبت موجود در هوا به تدریج باعث گرفتن سیمان و تولید کلوخه‌های کوچک و بزرگ می‌شود و گاهی کلوخه‌ها به حدی سخت می‌شوند که نمی‌توان آن‌ها را با فشار انگشتان خرد کرد. سیمان‌های حاوی این کلوخه‌ها را نمی‌توان برای کارهای ساختمانی به مصرف رساند، زیرا علاوه بر دیرگیر شدن سبب کاهش مقاومت بتن و ملات نیز می‌شوند.

در کارگاه‌هایی که مقادیر کم سیمان در نقاط مختلف مورد نیاز است کیسه‌های سیمان ناگزیر در فضای باز انبار می‌شوند. در این صورت، کف محلی که سیمان روی آن چیده می‌شود باید خشک و دست‌کم ۱۰ سانتی‌متر از اطراف خود بالاتر باشد. استفاده از تخته و آجر برای بالا آوردن بستر و ورقه‌های پلاستیکی برای خشک نگه‌داشتن کف مفید است. کیسه‌های چیده شده بر روی هم باید مطابق شکلی باشد که برای کیسه‌های گچ نشان داده شده است. در کارهای بزرگ‌تر که قرار است سیمان پاکتی مصرف شود کیسه‌های سیمان باید در انبارهای مخصوص نگهداری شوند و مطابق شکلی باشد که برای پاکت‌های گچ درج گردیده است.

نگهداری و ذخیره‌ی سیمان در نقاطی که رطوبت نسبی هوا از ۹۰٪ بیش‌تر باشد، نباید در کیسه‌ها بیش از ۶ هفته و در سیلوهای مناسب بیش‌تر از سه ماه نگهداری کرد. در غیر این صورت، سیمان باید قبل از مصرف آزمایش شود. سیمانی که برای مدت زیادی انبار شود ممکن است به صورت کلوخه‌های فشرده درآید. این‌گونه سیمان را می‌توان با غلتاندن کیسه‌ها روی کف اصلاح نمود. چنان‌چه با یک بار غلتاندن کلوخه‌ها باز شود سیمان قابل مصرف است و گرنه باید آزمایش‌های مقاومت استاندارد یا آزمایش اُفت ناشی از گرما دادن (اُفت سرخ شدن) به منظور اطمینان از مرغوبیت سیمان انجام شود. چنان‌چه سیمانی آزمایش شود و ویژگی‌های آن مطابق استاندارد نباشد دستگاه نظارت حق دارد مصرف آن را ممنوع و خروج آن را از کارگاه خواستار شود.

## ۴-۴- بتن

بتن از مخلوط مقدار مناسب سیمان، شن، ماسه و آب ساخته می‌شود. در پاره‌ای مواقع برای اصلاح و یا کسب بعضی از خواص بتن ماده‌ی دیگری نیز به آن افزوده می‌شود. خواص و ویژگی‌های بتن در ارتباط نزدیک با خواص مواد تشکیل دهنده‌ی آن است؛ بر این اساس، هر یک از مواد آن را بررسی می‌کنیم.

۱- سیمان: ماده‌ای است که با ترکیبات مختلف شیمیایی ساخته می‌شود و دارای خواص متفاوتی است که پیش از این درباره‌ی آن صحبت شده است.

۲- شن و ماسه: در ساخت بتن، به دو صورت رودخانه‌ای و شکسته استفاده می‌شود. شن و ماسه‌ی بتن باید دارای ابعاد و اندازه‌ی متناسب باشد. حداکثر اندازه‌ی دانه‌های سنگی در مقررات ملی ساختمانی ایران ۲۲ میلی‌متر توصیه شده است.

سنگ‌دانه‌های بتن باید دارای مقاومت فشاری لازم بوده و سختی دانه‌ها نباید کم‌تر از ۳ باشد. قبل از مصرف سنگ‌دانه‌ها در بتن باید با الک کردن و شستن آن‌ها میزان مواد چسبیده به آن‌ها را به حداقل کاهش داد.

۳- آب: کیفیت آب در بتن حایز اهمیت است، زیرا ناخالصی‌های موجود در آن ممکن است در گیرایی سیمان اثر گذاشته، سبب اختلالاتی شود. آب مناسب برای ساخت بتن، آبی است که دارای مزه و بوی خاصی نباشد. به‌طورکلی آبی که برای آشامیدن مناسب باشد برای بتن‌سازی نیز مناسب است؛ هم‌چنین آبی که (pH) آن بین ۶ تا ۸ باشد و طعم شوری نیز نداشته باشد می‌توان آن را برای ساخت بتن به‌کار برد.

۴-۴-۱- نسبت آب به سیمان: روانی و کارایی بتن تا حد بسیاری به میزان آب موجود در مخلوط بتن بستگی دارد و از طرفی مقاومت بتن با میزان آب مصرفی نسبت به وزن سیمان مربوط است؛ از این‌رو، رابطه‌ای بین مقاومت فشاری بتن و نسبت آب به سیمان باید وجود داشته باشد. نسبت آب به سیمان حدود ۰/۳ تا ۰/۶ است.

برای ساختن بتن، مصالح بتن را به نسبت‌های مشخص شده - با استفاده از طرح اختلاط - در مخلوط‌کن می‌ریزند و به‌خوبی مخلوط می‌کنند تا سطوح دانه‌های سنگی با ملات سیمان پوشیده شود و بدین ترتیب، مخلوط همگن و یک‌نواخت به‌دست آید. پس از ریختن بتن در قالب‌ها برای خارج کردن هوای محبوس داخل بتن و نزدیک کردن سنگ‌دانه‌ها به یک‌دیگر بتن ریخته شده‌ی درون قالب را با وسایل دستی یا ماشینی (ویبراتور) لرزانده، متراکم می‌نمایند.

۴-۴-۲- عمل آوردن بتن: آخرین و مهم‌ترین مرحله در به‌دست آوردن بتن سخت با مقاومت

پیش‌بینی شده، نگهداری و حفاظت (عمل آوردن) است که از زمان بتن‌ریزی آغاز می‌شود. بتن ریخته شده را باید در سرما از یخ‌زدن و در گرما از تبخیر سریع آب آن به نحو مطلوبی محافظت نمود. مرطوب نگاه‌داشتن سطح خارجی بتن همراه با حفظ دمای بالاتر از ۴ درجه - در روزهای اولیه‌ی بتن‌ریزی - در کسب مقاومت نهایی بتن تأثیر فراوان دارد. این کار را «عمل آوردن» بتن می‌نامند.

## ویژگی‌ها و حداقل حدود قابل قبول

سیمان‌های مصرفی در هر پروژه باید با وضعیت اقلیمی، رویارویی و موقعیت عضو یا قطعه ساختمانی سازگاری داشته باشد؛ بر این اساس، گاهی ممکن است برحسب ضرورت موادی به بتن افزوده شود که به آن‌ها «مواد مضاف» گویند.

**۳-۴-۴- مواد مضاف:** مواد مضاف، مواد شیمیایی خاصی هستند که به صورت محلول یا پودر عرضه می‌شوند. مواد مضاف به بتن افزوده می‌شود تا بعضی از خصوصیات بتن تازه یا سخت شده را تغییر دهد.

چنان‌چه طرح اختلاط بتن به‌طور مطلوب انجام پذیرد، در بیش‌تر موارد به مواد مضاف نیازی نیست. نباید انتظار داشت که با مصرف مواد مضاف، بتنی که با کیفیت نامطلوب ساخته شده به بتنی مناسب تبدیل شود. در بعضی موارد استفاده از مواد مضاف می‌تواند مناسب‌ترین طریق برای کسب نتیجه‌ی مطلوب باشد. این موضوع را باید به خاطر سپرد که استفاده از مواد مضاف باید دلایل فنی لازم را داشته باشد. از آنجا که مواد مضاف به مقدار کم به بتن افزوده می‌شود لذا به هنگام مصرف به کنترل بسیار دقیق نیاز دارد. مهم‌ترین مواد مضاف مصرفی در بتن عبارت‌اند از:

**۱- تسریع‌کننده‌ها:** برای تسریع گیرش بتن و به‌دست آوردن مقاومت زود هنگام، به‌ویژه در مناطق سرد و یخ‌بندان و یا هنگامی که کسب مقاومت بتن در دمای معمولی نیز باید سریع حاصل شود از تسریع‌کننده‌ها استفاده می‌شود.

**۲- کندگیرکننده‌ها:** این ماده هنگامی به کار می‌رود که بتن‌ریزی در هوای گرم و خشک و باد شدید صورت گیرد؛ هم‌چنین هنگامی که بتن‌ریزی در حجم زیاد با پمپاژ ملات یا بتن در مسیرهای طویل و با حرارت بالای ۳۰ درجه سانتی‌گراد انجام شود.

**۳- کاهش‌دهنده‌ی آب معمولی بتن:** برای افزایش مقاومت نسبی بتن کاربرد دارد.

**۴- تسریع‌کننده با کاهش‌دهنده‌ی آب:** برای تسریع گیرش بتن و کاهش آب مصرفی به‌کار می‌رود و معمولاً به‌صورت مایع و به میزان ۱ تا ۳ درصد وزن سیمان در بتن مصرف می‌شود.

۵- **کندگیر کننده با کاهش دهنده‌ی آب:** مصرف این ماده باعث بهبود کارایی و افزایش مقاومت انقباض و آب‌انداختگی کم و کاهش تمایل به تشکیل ترک می‌شود.

۶- **ضد یخ‌ها و آب‌بندکننده‌ها:** کاهش نفوذپذیری بتن به طریقه‌ی شیمیایی.

۷- **روان‌کننده‌ها و روان‌کننده‌های اعلا:** مصرف این ماده سبب می‌شود آب مصرفی برای دست‌یابی به مقاومت‌های اولیه و نهایی کاهش یابد و امکان بتن‌ریزی با پمپ در سازه‌های پیش‌ساخته، پیش‌تنیده و تیغه‌ها بهتر صورت گیرد؛ نیز مقاومت پیوند بین بتن و فولاد، بتن‌ریزی با سرعت زیاد و نیاز به تراکم کم تر گردد.

۸- **پوزولان‌ها:** با افزودن پوزولان‌ها به بتن آن را در مقابل آب‌های سولفاته و یا اسیدی ضعیف، مقاوم‌تر می‌کند. پوزولان‌ها به دو صورت معدنی و مصنوعی تهیه می‌شوند.

۹- **یک‌نواخت‌کننده‌ها:** یک‌نواخت‌کننده‌ی حباب‌های هوا و گسترش‌دهنده‌ی منظم آن در تمامی حجم بتن (مانند SEKOA.E.A) که افزون بر آن، مقاومت بتن را در مقابل زمین‌های شورزار افزایش داده سطح خارجی بتن را صاف و مسطح می‌کند.

۱۰- **کاهنده‌ی نفوذپذیری بتن:** هر اندازه قابلیت آب‌گذرانی بتن کم‌تر باشد بتن از دوام و استحکام بیشتری برخوردار خواهد بود. این مواد به‌صورت پودر بوده ضمن دارا بودن خواص هوازایی، کاربری بتن تازه را برای تولید بتن همگن و نفوذناپذیر افزایش می‌دهد.

۱۱- **آب‌بندکننده‌ی سطوح ساختمان:** برای محافظت بتن از تأثیرات باران، رطوبت محیط و هوای آلوده به گرد و غبار و دوده استفاده می‌شود.

۱۲- **ضد یخ:** برای جلوگیری از یخ‌زدن بتن در هوای سرد و یخ‌بندان کاربرد دارد و غالباً به‌صورت مایع بوده دارای یون‌های فعال محلول در آب است و مقدار آب مورد نیاز بتن را کاهش می‌دهد. در سال‌های اخیر ضد یخ‌هایی ساخته شده که فاقد یون کلر بوده برای مصرف در بتن مسلح مناسب است.

۱۳- **ترمیم‌کننده‌ی بتن:** پودر آماده‌ای است که برای مصرف در تعمیرات بتنی از این امتیازات برخوردار است:

الف) به‌آسانی با آب مخلوط می‌شود و خمیر الاستیک و انعطاف‌ناپذیر تولید می‌کند.

ب) کاربرد آن ساده بوده گیرش آن سریع و بعد از مصرف منقبض نمی‌شود و ترک نمی‌خورد.

ج) موارد مصرف آن برای کلیه‌ی آسیب‌دیدگی‌های سطحی است.

۴-۴-۴ **مصالح سنگی:** با توجه به این که تقریباً  $\frac{3}{4}$  از حجم بتن را مصالح سنگی تشکیل

می‌دهد، انتخاب نوع و نسبت صحیح مصالح سنگی ریزدانه و درشت دانه (ماسه و شن) اهمیتی بسیار

دارد. اولین کار برای ساخت بتن با کیفیت مطلوب، استفاده از مصالح سنگی مناسب است. مصالح سنگی طبیعی از بستر رودخانه‌ها یا معادن شن و ماسه به دست می‌آید و مصالح سنگی شکسته از خرد کردن سنگ‌های مناسب بزرگ به وسیله‌ی دستگاه‌های سنگ‌شکن تولید می‌شود. معمولاً مصالح سنگی قبل از مصرف باید دانه‌بندی و شسته شده باشند. چنان‌چه شست‌وشوی مصالح سنگی به‌طور مناسب صورت نگیرد به علت وجود ناخالصی نظیر خاک و گل، پیوند بین دانه‌ها به خوبی انجام نمی‌گیرد و باعث کاهش مقاومت بتن می‌شود.

استانداردهای ملی و بین‌المللی دارای ضوابط و منحنی‌های استاندارد است که باید خصوصیت مصالح با آن‌ها تطبیق داده شود. در استانداردها، علاوه بر نسبت حجمی و وزنی دانه‌های مختلف پاک بودن از ناخالصی‌ها، مقدار مجاز رس و لای، موقعیت اقلیمی مختلف و شکل دانه‌های سنگی باید بررسی شوند.

**۴-۴-۵- سنگ دانه‌های سبک:** سنگ دانه‌های سبک، دانه‌هایی هستند که به علت تخلخل زیاد وزن فضایی آن‌ها کم است. دانه‌های سبک در ساختن بتن سبک باربر و عایق حرارتی، بلوک‌های بتنی سبک، ملات‌ها و اندودهای سبک و به‌تنهایی برای پر کردن فضاها یا خالی به منظور سبکی و عایق‌کاری حرارتی و صوتی به مصرف می‌رسند.

انواع سنگ دانه‌های سبک به دو گروه اصلی تقسیم می‌شوند:

**الف) سنگ دانه‌های سبک طبیعی:** بهترین مواد اصلی، دانه‌های سنگی سبک طبیعی بوده که عبارت‌اند از: پامیس، سنگ پا، سکوریا، بوکه سنگ‌ها، خاکسترها و توف‌ها که همه‌ی این سنگ دانه‌ها منشأ آتش فشان‌ی دارند.

**ب) سنگ دانه‌های سبک مصنوعی:** دانه‌های سبک مصنوعی بسته به نوع مواد خامی که برای تولید آن‌ها مصرف می‌شود انواع مختلفی دارد.

گروهی از آن‌ها از حرارت دادن و انبساط خاک رس، سنگ‌رسی دیاتوم‌های، سنگ لوح پرلیت، ورمیکولیت و اسیدین تولید می‌شوند.

گروه دوم از انبساط روباره‌ی مذاب کوره‌ی آهن‌گدازی - با مقادیر کنترل شده‌ی آب در ماشین‌های مخصوص یا با پاشیدن مقدار کمی آب (جهت آبی) روی روباره‌ی مذاب - حاصل می‌شود که جسمی متخلخل، سبک و شبیه سنگ پا با وزن فضایی ۳۰۰ تا ۱۱۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب است. گروه سوم را جوش‌های صنعتی تشکیل می‌دهند که از خاکسترها و پس مانده‌های زغال‌سنگی به دست می‌آید.

در ایران تنها پوک‌های رسی یا خاک‌رس منبسط شده (لیکا) و پرلیت منبسط شده تولید می‌شود، اما هنوز برای آن‌ها استانداردی منظور نشده است. وزن مخصوص فضایی پوک‌های رسی که در کوره‌ی گردنده تولید می‌شود دارای ۳۰۰ تا ۶۵۰ کیلوگرم بر مترمکعب است و با آن می‌توان بتن‌های سبکی با وزن مخصوص بین ۸۰۰ تا ۱۸۰۰ کیلوگرم ساخت.

پوک‌های رسی در پر کردن فضاها، ساختن بلوک‌های سبک‌وزن و بتن‌های سبک‌عایق حرارتی و بتن سبک‌باربر (سازه‌ای) به مصرف می‌رسد. بتن لیکا (پوک‌های رسی) از سایر بتن‌های دانه سبک مقاومت بیشتری دارد.

پرلیت سنگی است شیشه‌ای با منشأ آتش‌فشانی به شکل مروارید که در اثر حرارت دادن در گرمای ۹۰۰ تا ۱۰۰۰ درجه آب موجود در آن به صورت بخار درآمده سبب ازدیاد حجم چشمگیر پرلیت می‌گردد. بتن پرلیتی مقاومت کمی دارد و بیش‌تر برای عایق‌کاری حرارتی به کار می‌رود. پرلیت منبسط شده در ساختن ملات‌ها، اندودهای گچی و سیمانی سبک به مصرف می‌رسد. اندودهای پرلیتی عایق حرارتی مناسبی هستند، خطر گسترش آتش را کاهش می‌دهند و ویژگی‌های جذب صوت آن‌ها مطلوب است.

## ارزش‌یابی فصل چهارم

- ۱- گچ را تعریف کنید.
- ۲- گچ به چه منظور پخته می‌شود؟ توضیح دهید.
- ۳- کوره‌های تاوه‌ای را توضیح دهید.
- ۴- کوره‌های گردنده را توضیح دهید.
- ۵- خواص و ویژگی‌های گچ را برشمارید.
- ۶- موارد مصرف گچ و کاربرد آن‌ها را توضیح دهید.
- ۷- آهک را تعریف کنید.
- ۸- انواع سنگ آهک را نام ببرید.
- ۹- پختن سنگ آهک را شرح دهید.
- ۱۰- کوره‌های حلقه‌ای پخت آهک را توضیح دهید.
- ۱۱- طرز تهیه‌ی آهک شکفته را بنویسید.
- ۱۲- موارد استفاده آهک را در ساختمان توضیح دهید.
- ۱۳- مواد اولیه‌ی سیمان را نام ببرید.
- ۱۴- اجزای تشکیل‌دهنده‌ی سیمان پرتلند را شرح دهید.
- ۱۵- تأثیر سیلیس را در ترکیبات سیمان بیان کنید.
- ۱۶- انواع سیمان پرتلند را توضیح دهید.
- ۱۷- سیمان ممتاز را شرح دهید.
- ۱۸- سیمان رنگی را توضیح دهید.
- ۱۹- عمل آوردن بتن را شرح دهید.