فصل چهارم

گچ، آهک، سیمان

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

۱ــ گچ را تعریف کند.

۲ــ ویژگی‌های انواع سنگ گچ را برشمارد.

۳ــ انواع کوره‌های گچ‌پزی را توصیف کند.

۴ــ شرایط مناسب پخت سنگ گچ را توضیح دهد.

۵ــ انواع گچ را نام برده، ویژگی هریک از آن‌ها را تعریف کند.

۶ــ موارد مصرف گچ و کاربرد آن‌ها را توضیح دهد.

۷ــ خواص فیزیکی و شیمیایی انواع گچ را شرح دهد.

۸ــ آهک را تعریف کند.

۹ــ انواع سنگ آهک را نام ببرد.

۱۰ــ انواع کوره‌های آهک‌پزی را شرح دهد.

۱۱ــ روش‌های تولید آهک را توضیح دهد.

۱۲ــ موارد استفاده از آهک را در ساختمان توضیح دهد.

۱۳ــ انواع آهک را معرفی کند.

۱۴ــ خواص فیزیکی و شیمیایی آهک را توضیح دهد.

۱۵ــ روش‌های شکفتن آهک را شرح دهد.

۱۶ــ انواع ملات‌های آهکی را نام ببرد.

۱۷ــ موادّ اولیه‌ی سیمان را برشمارد.

۱۸ــ انواع سیمان را نام ببرد.
۱۹ــ موارد استفاده‌ی سیمان را شرح دهد.
۲۰ــ روش تهیّه‌ی بتن را شرح دهد.

۱ــ۴ــ گچ

سنگ گچ طبیعی، سولفات آبدار کلسیم $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ 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 سنگ‌گچ در گرمای حدود ۱۸۰ درجه‌ی سانتی‌گراد به‌دست می‌آید. همان‌گونه که پیش از این اشاره شد فرمول شیمیایی سنگ‌گچ سولفات کلسیم با دو مولکول آب $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ است که پس از پختن حدود ۷۵٪ از آب آن بخار شده، گچ ساختمانی با فرمول شیمیایی $CaSO_4 \cdot 0/5H_2O$ 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»، FeO آن را «کبود چرک» و Fe_2O_3 آن را به رنگ «قرمز» درمی‌آورد.

چنان‌چه به سنگ گچ تا حدود ۲۰۰ درجه حرارت دهند، آب بیش‌تری را از دست می‌دهد و به $CaSO_4 \cdot 0/3H_2O$ یا گچ‌اندود تبدیل می‌گردد. در گرمای حدود ۳۰۰ درجه‌ی سانتی‌گراد تمام آب سنگ‌گچ بخار شده، سولفات کلسیم بدون آب یا انیدرید $CaSO_4$ حاصل می‌شود.

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

گچ در گرمای بیش از ۳۰۰ درجه‌ی سانتی‌گراد (تا حدود ۳۲۰ درجه) می‌سوزد و میل ترکیبی آن با آب از دست می‌رود. در این‌صورت، برای ترکیب گچ با آب به کاتالیست‌هایی مانند زاج سفید $AlK(SO_4)_2$، 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. درصورتی‌که گچ حاصل از کوره‌های دوّار، 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 تزیینی استفاده می‌گردد، زیرا جلاپذیر است. از سنگ‌گچ مرمری اشیای زینتی ساخته می‌شود. با خمیر کردن گرد گچ در محلول زاج سفید و پخت مجدد، گچ مرمری به‌دست می‌آید که در برابر آب پایداری مناسبی دارد و از آن برای اندود کردن نقاط مرطوب و مکان‌هایی

که نیاز به شست‌وشو دارند استفاده می‌شود. این گچ را گچ «کین» یا «گچین» می‌گویند. (در ایران گچ مرمری با نام تجارتی عاج تولید می‌شود) انواع دیگر گچ مورد مصرف در ساختمان عبارت‌اند از :

گچ مخصوص سطوح بتنی و گچ درزگیری که در ایران آن را به‌نام «کیپتون» می‌شناسند، در حرارت ۷۸۰ تا ۱۰۰۰ 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 ۱۰۰۰ 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 به‌صورت آلوئک ریزدانه ظاهر می‌شود و سطح اندودها را ناصاف می‌کند.

۱ــ۱ــ۴ــ 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 ۶۷ تا ۸۸ گرم گچ حل می‌شود. ملات گچ زودگیر است وخیلی سریع عمل سوزنی شدن بلورهای آن خاتمه می‌یابد، امّا نباید قبل از ۴ دقیقه گرفتن آن شروع شود و بیش از ۱۰ دقیقه پایان یابد. گرفتن ملات گچ هنگامی تمام می‌شود که کاملاً بلوری شود یعنی دارای ترکیب $2H_2O$ و $CaSO_4$ باشد. برای آن‌که بتوانند با ملات گچ بهتر کار کنند آن را کندگیر می‌کنند ؛ یعنی، موادی نظیر سریشم (۱ تا ۲ درصد وزن گچ) یا گرد آهک شکفته (حدود ۱۰درصد 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 کندگیرکردن گچ به آن خاک رس اضافه می‌کنند. خاک رس خاصیّت پلاستیسیته‌ی گچ را افزایش داده، ملات آن‌را کندگیر می‌کند ؛ به‌علاوه در مصرف گچ صرفه‌جویی می‌شود. خاک رس ابتدا قسمتی از آب ملات را می‌مکد سپس کم‌کم آن را پس می‌دهد.

برای تندگیرنمودن 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 ۲ 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 آن‌را در سرمای ۱۰درجه زیر صفر به‌کار برد. زیرا هنگام گرفتن، گرما پس می‌دهد و درجه‌ی حرارت آن تا ۲۰ درجه می‌رسد. ملات گچ باید در حرارت بین ۳۵ تا ۴۵ 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 این‌رو می‌توان از ملات گچ برای قالب‌گیری و مجسمه‌سازی استفاده نمود ؛ هم‌چنین به‌علّت 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 ورزدادن را تکرار نموده، از تشکیل بلورهای سوزنی‌شکل جلوگیری می‌نمایند. پس از این‌که از سفت نشدن ملات اطمینان حاصل نمودند آن‌را به‌حال خود می‌گذارند، چون این ملات بسیار دیرگیر است ؛ از این‌رو، 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 جاهایی‌که آهن یا فلزات دیگر در ساختمان با گچ تماس حاصل می‌کنند آن‌ها را قبلاً با رنگ کاملاً پوشش داده، یا نوارپیچی کنند. سوراخ شدن لوله‌های آب در بیش‌تر مواقع به‌دلیل ترکیب شیمیایی گچ با فلزات است.

۲ــ۱ــ۴ــ 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 به‌کار می‌برند.

گچ ریزدانه در مدل‌سازی و شکسته‌بندی به‌کار 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.

۳ــ۱ــ۴ــ وزن گچ ساختمانی: گچ ساختمانی به‌صورت متراکم نشده‌ی کیسه‌ای ۰/۸۵ تن

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

۴ــ۱ــ۴ــ کوره‌های گچ‌پزی: برای پختن گچ حرارت زیادی لازم نیست ؛ از این‌رو کوره‌های گچ‌پزی تجهیزات ساده‌ای دارند.

ــ *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.

ــ *کوره‌های تاوه‌ای:* سنگ گچ را در این کوره‌ها برشته می‌کنند ؛ به این‌صورت که آن‌را 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.

ــ *کوره‌های گردنده:* پس از این‌که سنگ گچ را آسیاب نمودند، آن‌را به کوره‌ی گردنده هدایت می‌کنند. داخل کوره‌ی گردنده لوله‌ی فولادی قرار گرفته که از داخل آن ــ عکس جهت حرکت پودر سنگ گچ ــ گاز داغ یا هوای داغ عبور می‌کند ؛ هم‌چنین به جداره‌ی 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.

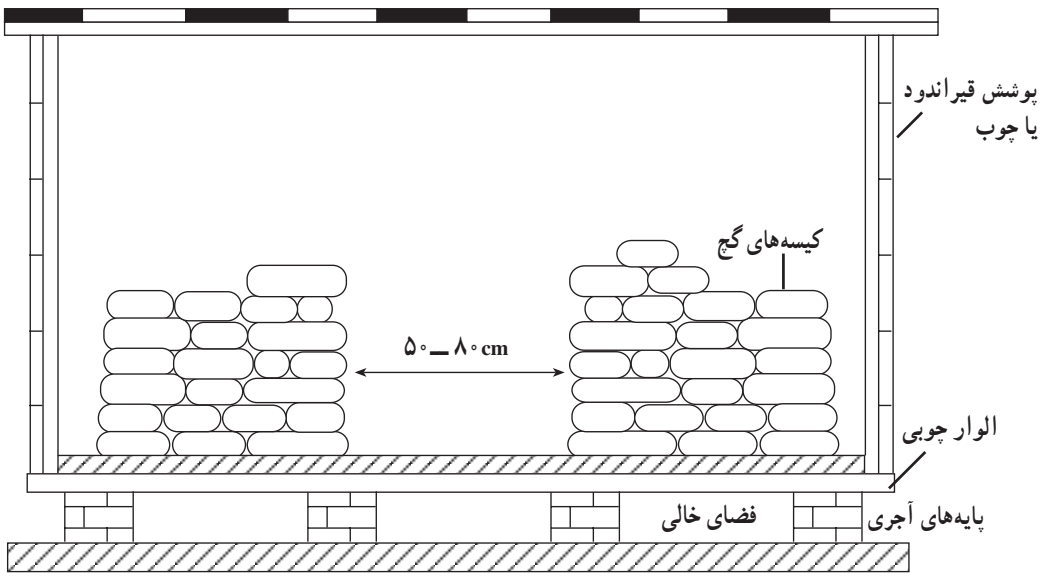
گچ‌های مناسب برای مصارف مختلف و گوناگون براساس جدول ۱ــ۴ است.

جدول ۱ــ۴ــ گچ‌های مناسب جهت مصارف گوناگون

موارد مصرف	نوع گچ مناسب
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 ساختمانی یا گچ زیرکار $CaSO_4 / 5H_2O$
اندودهای داخلی و نماسازی در مناطقی که رطوبت نسبی هوا کم‌تر از ۶۰٪ باشد.	گچ‌اندود یا گچ پرداخت $CaSO_4 / 3H_2O$
اندودهای داخلی و نماسازی در مناطقی که رطوبت نسبی هوا بیش از ۶۰٪ باشد.	گچ مرمری ــ ملات گچ و آهک

حمل و نقل و نگه‌داری

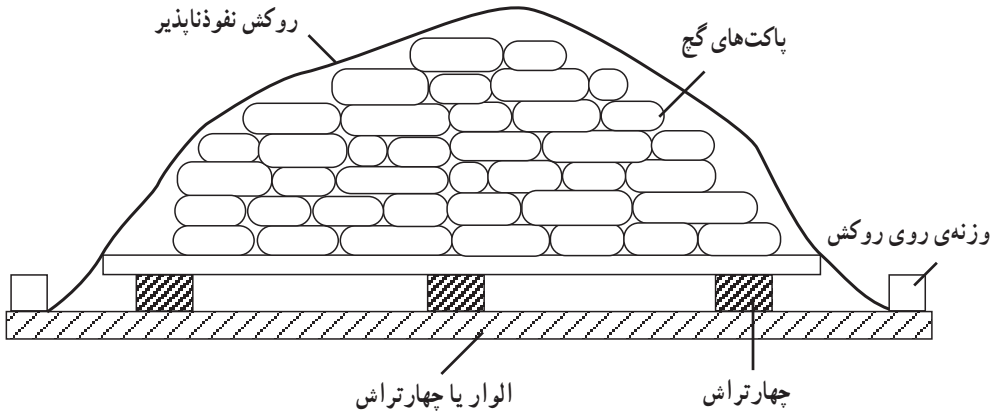
گچ پخته را باید از آب و رطوبت هوا محفوظ نگاه داشت و نیز آن‌ها را در ظروف مخصوص یا کیسه‌های آب‌بندی شده نگه‌داری نمود.



شکل ۱ــ ۴ــ 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 ۲ــ۴ باید عمل نمود.



شکل ۲ــ۴ــ انبار کردن پاکت‌های گچ در فضای باز

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 به‌کار می‌رفت. ولی بعدها روکش همراه با گچ‌کاری و گچ‌بری رایج گردید. آثاری که از دوره‌های هخامنشی و بعد، پارتی و ساسانی، به‌جای مانده نشان‌دهنده‌ی 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 بنّایان ایران از دور زمان به ویژگی‌های گچ آشنایی کامل داشتند آنان برای این‌که گچ خودش را زود نگیرد ــ آن‌چنان‌که معمول گچ است ــ بدان مواد ویژه‌ای می‌افزودند. آن هنرمندان دریافته بودند که سریشم و شیر در زمان گیرش گچ و نیز در کیفیت روکش گچی تأثیر دارد. **نظامی گنجوی** (۶۱۴ــ 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 به‌نام **سمنار**، در ایجاد آن کاخ داستان را به‌جایی 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 آن‌که فرصت کار کردن با آن‌را داشته باشد بدان سریشم و شیر افزوده بوده است.

۲ــ۴ــ آهک

آهکی که در کارهای ساختمانی مصرف می‌شود CaO است که از پختن سنگ آهک یا کربنات کلسیم به‌فرمول $CaCO_3$ به‌دست می‌آید. آهک از مصالح چسبنده و ملات آن «هوایی» و «آبی» است و انواع آن به درجه‌ی پخت و وجود ناخالصی‌های آن بستگی دارد.

هرقدر درجه‌ی حرارت پخت زیادتر باشد، وزن مخصوص آهک نیز بیش‌تر است و خواص ملات‌های آبی را به‌دست 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 C_2Ca نیز پس از ترکیب شدن با آب به گاز استیلن C_2H_2 و آهک شکفته مبدل می‌شود. سنگ آهک معمولی، غیربلوری و ناخالص است و اغلب با مقداری Mg همراه می‌باشد. ناخالصی‌های دیگر آن عبارت‌اند از : سیلیس، اکسید آهن، اکسید آلومینیم و گوگرد.

۱ــ۲ــ۴ــ انواع سنگ‌های آهکی : در طبیعت انواع سنگ‌های آهکی یافت می‌شود که عبارت‌اند از :

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

۲ــ *سنگ‌های آهکی مرجانی:* از باقیمانده‌ی جلد حیوانات دریایی در کف دریاها و اقیانوس‌ها به‌وجود آمده‌اند.

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

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

۵ــ *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.

۶ــ 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.

۷ــ سنگ آهک قیری: از نفوذ نفت خام در سنگ‌های آهکی و جداشدن 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 این‌که قیر آن‌را جدا کنند، با سنگ شکن آسیاب نموده، به شکل شن و ماسه در روسازی‌های آسفالتی استفاده می‌شود.

۲ــ۲ــ۴ــ 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 هنگامی‌که 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. بدین‌ترتیب آنان به ارزش آهک و راه به‌دست 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 به‌صورت جامد بوده پس از پختن آن به حالت گاز درمی‌آید ؛ از این‌رو می‌توان نتیجه گرفت که پختن آهک عمل فیزیکی است.

تجزیه‌ی کربنات کلسیم به حرارت و فشار محیط محل پخت، بستگی دارد. هرقدر 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 آن‌که CO_2 از سنگ آهک جدا شود به دمایی بیش از ۸۹۴ درجه، یعنی حدود ۹۰۰ درجه‌ی سانتی‌گراد نیاز است.

$$CaCO_3 + ۹۰۰^\circ C \text{ حرارت} \longrightarrow CaO + CO_2$$

۳ــ۲ــ۴ــ کوره‌های آهک‌پزی :

۱ــ 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 به‌صورت نپخته باقی می‌ماند. افزون بر آن، کار کوره پیوسته نیست و ظرفیّت آن نیز کم است.

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

۳ــ *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 تهیّه‌ی آهک در کارخانه‌های قند و نظایر آن از این نوع کوره‌ها استفاده می‌گردد.

۴ــ۲ــ۴ــ طرز تهیه‌ی آهک شکفته: آهک زنده CaO را نمی‌توان در ساختمان‌سازی مصرف نمود ؛ از این رو، باید قبلاً به‌آن آب اضافه نموده تا هیدراته شود و به‌صورت خمیر یا پودر آب‌دیده درآید. آهک زنده میل ترکیبی زیادی با آب دارد و هنگام ترکیب، حرارت زیادی پس می‌دهد و به $Ca(OH)_2$ 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 به‌وجود می‌آورد. هرچه سرعت شکفته‌شدن بیش‌تر باشد مقدار هیدرات کلسیم $Ca(OH)_2$ کلوئیدی آن بیش‌تر است.

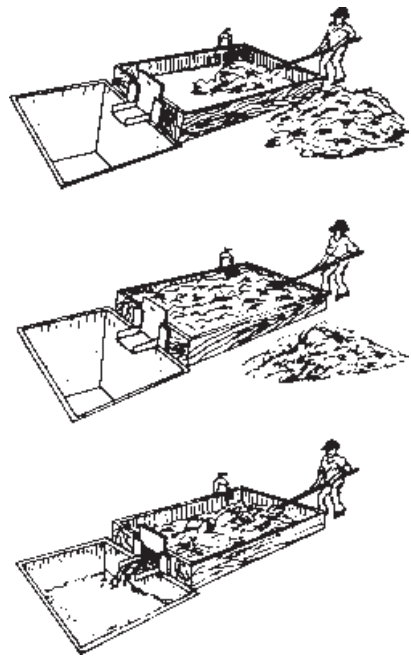
$$CaO + H_2O \longrightarrow Ca(OH)_2$$

شکفتن آهک به این روش‌ها صورت می‌پذیرد :

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

۲ــ *شکفتن آهک به روش تر (تهیّه‌ی خمیر آهک):* کلوخه‌های آهک زنده را در ظرفی چوبی یا فلزی می‌ریزند که به‌صورت حوضچه‌ای به ابعاد ۳×۴ 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 ۱۰×۱۰ متر و به عمق ۲ متر جاری گردد ؛ هم‌چنین ناخالصی‌ها و آهک‌های نشکفته از توری سیمی عبور نمی‌کند و در ظرف باقی

می‌ماند که درنتیجه، آن‌را خارج نموده، مجدداً آهک زنده و آب اضافه می‌کنند. این عمل چندین بار تکرار می‌شود تا گودال پُر شود. آهک شکفته آب‌های اضافی خود را در گودال از دست می‌دهد و پس از چند هفته خمیر سفت می‌شود و در سطح آن ترک‌هایی به عرض ۲ تا ۳ سانتی‌متر پیدا می‌شود که در این هنگام تمام ذرّات آهک شکفته است. (شکل ۳ــ۴)



شکل ۳ــ۴ــ تهیه‌ی آهک شکفته به روش حوضچه‌ی آهک‌شویی

۳ــ *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 به‌ارتفاع ۲۰ تا ۳۰ سانتی‌متر پهن نموده، روی آن آب می‌پاشند و کمی آن را زیر و رو می‌کنند تا تمام کلوخه‌ها مرطوب شوند ؛ سپس روی آن یک لایه‌ی دیگر کلوخه آهک زنده می‌ریزند و مجدداً آب می‌پاشند. این عمل را چندین بار تکرار می‌کنند تا تپه‌ی کوچکی از آهک به ارتفاع حدود یک متر درست شود. سطوح جانبی آهک انباشته شده‌ی مرطوب را با آجر می‌پوشانند و روی آجرها را با گِل اندود می‌نمایند تا حرارت ایجاد شده خارج نشود. در اثر گرمازایی آهک، آب اضافی بخار می‌شود و در زیر اندود به‌اصطلاح «دم می‌کند» و بخار آب با فشار ایجاد شده، باعث شکفتن آهک زنده می‌گردد. پودر به‌دست آمده، «آهک شکفته» است. حجم آهک پس از شکفتن زیاد می‌شود. این پف کردن آهک بستگی به جنس آن دارد و هرچه

CaO در آهک زنده زیادتر باشد بیش‌تر با آب ترکیب می‌شود و حجم آن زیادتر می‌گردد. حجم آهک‌های پرمایه پس از شکفتن ۲ تا ۳/۵ برابر و آهک‌های کم‌مایه ۱/۲۵ تا ۲ برابر زیاد می‌شود. آهک کم‌مایه از سنگ آهکی تهیه می‌شود که بین ۵۰ تا ۷۵ درصد وزن کل سنگ، سنگ آهک خالص باشد. آهک پرمایه از سنگ آهکی تهیه می‌شود که حداقل ۹۰ درصد وزن کل سنگ، سنگ آهک خالص باشد. آب گرم، آب زیر فشار و بخار آب زیر فشار شکفتن آهک را تندتر می‌کند. حجم ماسه آهک و شکفته آهک ثابت است که پس از گرفتن و سخت شدن دیگر جمع و زیاد نمی‌شود.

۵ــ۲ــ۴ــ تاب ملات آهک و گرفتن آن: ملات آهک شکفته و ماسه در برابر (CO_2) هوا به کربنات کلسیم $CaCO_3$ تبدیل می‌شود. برای آن‌که آهک شکفته در ملات ماسه آهکی با CO_2 هوا ترکیب شود باید هوا نمناک باشد یا ملات را نمناک نگه‌دارند تا CO_2 با آب (نم) به H_2CO_3 تبدیل شده، سپس این اسید کم‌مایه با آهک شکفته این ترکیب را کامل کند :

$$Ca(OH)_2 + H_2CO_3 \rightarrow CaCO_3 + 2H_2O$$

اگر در روزهای نخستِ مصرفِ ملات ماسه آهک، نم به آن نرسد ملات نمی‌گیرد و به اصطلاح می‌سوزد. 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 می‌شود، اما سخت شدن آن سال‌ها ادامه می‌یابد.

شفته آهک از مخلوط کردن شیر آهک و خاک رُس به‌دست می‌آید که برای مصارف پی‌سازی و مقاوم کردن زمین‌های سست به‌کار می‌رود. مقاومت این ملات به جنس و مقدار آهک، جنس و دانه‌بندی و مقدار خاک رُس بستگی دارد.

آهک‌هایی که ناخالصی آن‌ها رُس یا سیلیس باشد در درجه‌ی حرارت ۱۲۰۰ تا ۱۴۰۰ پخته می‌شود که به آن **آهک آبی** می‌گویند. این آهک در آب وا نمی‌رود و شکفته نمی‌شود بلکه باید آن‌را آسیاب کرد و بعد آب به‌آن اضافه نمود. معمولاً این آهک‌ها از پختن و آسیاب کردن مارن (گل آهک) به‌دست می‌آید. آهک آبی در ساختمان‌های زیرآبی که نیازی به مقاومت زیاد ندارند مصرف می‌شود. چون آهک شکفته بر روی فلزات اثر می‌گذارد و آن‌ها را سوراخ می‌کند، هم‌چنین در الیاف گونی نیز اثر گذاشته، آن‌ها را می‌پوساند، باید از تماس آن‌ها با آهک جلوگیری نمود.

آهک‌های آبی به رنگ لیمویی، زرد و قهوه‌ای روشن و حجم ملات‌های آهک آبی پس از مصرف و سخت شدن ثابت می‌ماند.

آهک‌های هوایی (آهک معمولی پرمایه) در صنایع، راه‌سازی، ساختمان‌سازی، آجرهای ماسه آهکی، کارخانه‌های قندسازی، سیمان‌سازی، شیشه‌سازی و کوره بلند ذوب آهن کاربرد دارد.

هم‌چنین از آهک برای از بین بردن ریشه و تخم گیاهان در ساختمان‌سازی استفاده می‌شود. آهک باید در جایی مصرف شود که هوا نمناک است یا دست‌کم آن را به مدت ۲۸ روز با وسایلی نمناک نگاه‌داری کنند.

آهک‌های مناسب برای مصارف گوناگون، مطابق جدول ۲ــ۴ است :

جدول ۲ــ۴ــ آهک‌های مناسب برای مصارف گوناگون

موارد مصرف	نوع آهک
ملات‌های ماسه آهک، گل آهک، گچ آهک و باتارد برای پایدار کردن خاک در راه‌سازی، خشت‌های پایدار شده با آهک، شفته آهکی، پی‌سازی در خاک‌های معمولی بتن آهکی سنگین و متخلخل	خمیر یا گرد آهک شکفته‌ای که به‌صورت دوغاب درآمده است. (آهک سفید)
ملات و اندود ساختمان‌های دریایی، پی‌سازی در خاک‌های سولفات‌دار با سولفات زیاد	آهک‌های آبی
پی‌سازی در خاک‌های سولفات‌دار با سولفات کم	آهک‌های یخه آبی (خاکستری)
پایدار کردن خاک در راه‌سازی، آجر ماسه آهکی	
بتن آهکی سنگین و متخلخل، سیمان آهک پوزولان و آهک سرباره	آهک زنده کلیومی پرمایه
شفته پی‌سازی ساختمان‌های کم‌ارتفاع	دوغاب آهک کم‌مایه

حمل و نقل و نگه‌داری

آهک زنده را باید از آب و دی‌اکسیدکربن هوا مصون نگاه داشت و همانند سیمان در ظروف مخصوص یا کیسه‌های آب‌بندی شده نگه‌داری نمود.

آهک هیدراته نیز باید در محل مناسبی نگه‌داری شده از نفوذ دی‌اکسیدکربن هوا و تابش آفتاب درامان باشد تا از خشک شدن آن جلوگیری به عمل آید. مشخصات آهک باید روی ظروف حمل و کیسه‌ها 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 جابه‌جا کردن آن مستلزم رعایت نکات ایمنی است.

کف کاخ‌های جمشید (سده‌ی ششم پیش از میلاد) از ملاتی سرخ رنگ که در آن آهک به‌کار 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 (۲۳۲ـ۲۱۲ 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 به‌دست 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 (پیشابور) در جنوب فارس به‌کار 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 درمورد خمیر آهکی که برای آب‌بندی و استحکام تنپوشه‌های قنات‌ها به‌کار 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 به‌نام ساروج مصرف می‌شده است. آهک آبی در ساختمان‌های قدیمی بوشهر و بندرلنگه به‌کار 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 آب انبارها برای اندود دیواره‌ی مخزن و هرگونه آب‌بندی دیگر به کار می‌رفته است.

۳ــ۴ــ 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 جایی‌که 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 به‌کار 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 به‌نام «اسمیتون» مأمور شد به‌جای 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 بنّای 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 به‌دست آمده را در کوره‌های آهک‌پزی معمولی پخت ؛ سپس جسم به‌دست آمده را آسیاب نمود و بدین ترتیب، سیمان را به‌دست آورد. چون سیمان به رنگ سنگ‌های جزیره‌ی پرتلند بود آن را «سیمان پرتلند» نامیدند.

۱ــ۳ــ۴ــ اجزای تشکیل‌دهنده‌ی سیمان پرتلند: مواد اصلی سیمان پرتلند، سنگ آهک و خاک رس به‌نسبت 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 به‌اندازه‌ای حرارت می‌دهند که دانه‌ها عرق کنند (۳۰٪ سطح دانه‌ها ذوب شود) و به یک‌دیگر بچسبند و به‌شکل دانه‌های فندقی به نام «کلینکر» درآیند. پس از سرد کردن و آسیاب کردن کلینکر همراه با کمی سنگ گچ، سیمان پرتلند به‌دست 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 به‌مدت و شدت معین. برای این‌که این واکنش‌ها صورت گیرد باید به مواد خام به‌اندازه‌ای 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 به‌طول ۱/۸ تا ۳/۷ متر و قطر ۱۳ تا

۳۶ سانتی‌متر ساخته می‌شود.

واکنش‌های انجام شده در حرارت‌های مختلف بدین‌شرح است :

۱ــ در حرارت ۱۰۰ درجه، آب فیزیکی مواد خام گرفته می‌شود.

۲ــ از حرارت ۳۵۰ درجه به‌بعد CO_2 از کربنات منیزیم $MgCO_3$ جدا می‌شود.

۳ــ در گرمای ۵۰۰ درجه، آب شیمیایی خاک رس جدا می‌شود.

۴ــ از حرارت ۸۹۴ درجه به بعد CO_2 از $CaCO_3$ خارج می‌شود.

پس از این، ترکیبات CaO با جسم‌های دیگر شروع می‌شود. در شروع فعل و انفعال‌ها ترکیب یک کلسیم سیلیکات تشکیل می‌شود. در گرمای بالاتر از ۱۰۰۰ درجه ترکیبات دو کلسیم سیلیکات و سه کلسیم سیلیکات و دیگر ترکیبات کلسیم با جسم‌های دیگر شکل می‌گیرد.

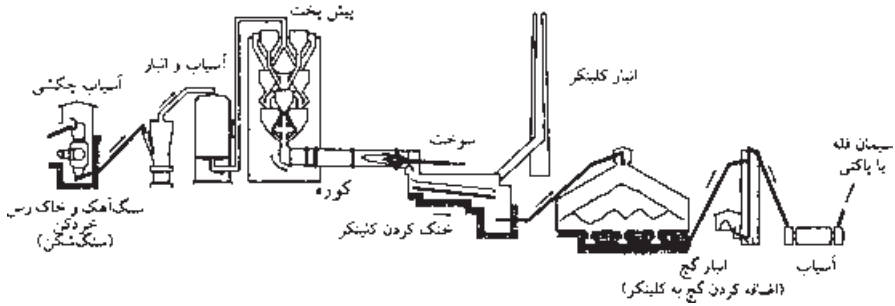
جسم‌های گدازآور مانند اکسید آهن و اکسید آلومینیم در مواد خام باعث می‌شوند که واکنش‌ها در حرارت کم‌تر و با سرعت بیش‌تر پدید آیند. براساس آزمایش‌های بسیاری مشاهده شده است که در حرارت‌های مختلف این واکنش‌ها حاصل می‌شود :

در حرارت کم‌تر از ۸۰۰ درجه	$CA = CaO, Al_2O_3$
از گرمای ۸۰۰ تا ۹۰۰	$CS = CaO, SiO_2$
از حرارت ۹۰۰ تا ۹۵۰ درجه	$C_5A_3 = 5CaO, 3Al_2O_3$
از حرارت ۹۵۰ تا ۱۲۰۰ درجه	$C_2S = 2CaO, SiO_2$
از حرارت ۱۲۰۰ تا ۱۳۰۰ درجه	$C_3A = 3CaO, SiO_2$
در حرارت ۱۳۰۰ درجه	$C_4AF = 4CaO, Al_2O_3, Fe_2O_3$
در حرارت ۱۴۰۰ تا ۱۴۵۰ درجه	$C_3S = 3CaO, SiO_2$

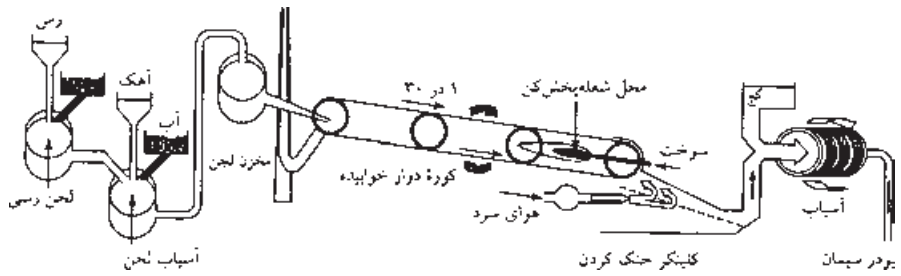
در ساخت سیمان امروز، اغلب از کوره‌ی گردنده‌ی افقی استفاده می‌شود. این کوره یک استوانه‌ی فولادی طویل با شیبی حدود ۳٪ است که حول محور افقی خود به‌آهستگی می‌چرخد.

از انتهای کوره، شعله و حرارت داخل شده، از دهانه‌ی کوره مواد خام به‌صورت گرد خشک و یا لجن خمیری وارد می‌گردد. در ابتدای کوره رشته‌های زنجیر آویزان است تا گرمای گاز کوره را جذب کرده، به مواد خام پس دهد و در انتهای کوره دانه‌ها پس از عرق کردن به یک‌دیگر چسبیده، به‌صورت گلوله‌هایی به قطر ۱۶ تا ۳۰ میلی‌متر (به‌نام کلینکر) درمی‌آیند و به خنک‌کننده کلینکر می‌ریزند. در قسمت خنک‌کننده روی کلینکر داغ، هوای سرد می‌دمند و کلینکر سرد شده را با نوار نقاله به انبار می‌برند. طول کوره‌های گردنده ۶۰ تا ۱۰۰ متر و قطر آن ۵ تا ۶ متر است. برای

بهره‌برداری بیش‌تر از کوره‌های گردنده افقی نمی‌توان قطر آن را از ۶ متر افزایش داد، زیرا آستر نسوز درون کوره فرو می‌ریزد و مشکلاتی به‌وجود می‌آورد، اما طول کوره‌ی افقی گردنده تا ۲۵۰ متر هم ساخته شده است. اگر پختن سنگ آهک را در قسمت پیش داغ‌کن انجام دهند، بهره‌دهی کوره به قطر ۶ متر دو برابر می‌گردد. ضخامت جداره‌ی کوره ۱۸ تا ۲۴ میلی‌متر و در قسمت انتهای آن تا ۳۶ میلی‌متر هم می‌رسد. برای جلوگیری از رسیدن گرما به بدنه‌ی فولادی کوره، جدار داخلی آن‌را با نسوزهای مختلف آستر می‌کنند. این آسترها باید در برابر تأثیرات مکانیکی و شیمیایی مواد خام و گرمای شدید کوره پایدار باشد. نوع نسوز به قسمت‌های مختلف کوره بستگی دارد. در ابتدای کوره تا وسط، از نسوزهای سیلیسی و در انتهای کوره ــ جایی‌که حرارت زیاد است ــ از نسوزهای رسی و یا دولومیتی استفاده می‌شود. پس از آن‌که کلینکر از کوره خارج گردید با دمیدن هوا سرد می‌شود و در رویه‌اش پوسته و لعابی شیشه‌ای به‌وجود می‌آید که کلینکر را از نفوذ رطوبت به داخل آن محافظت می‌کند. این پوسته لعابی هنگامی‌که کلینکر را آسیاب می‌کنند خرد شده، از بین می‌رود. در شکل ۴ــ۴ و ۵ــ۴ تولید سیمان پرتلند به دو روش خشک و تر نشان داده شده است.



شکل ۴ــ۴ــ تولید سیمان پرتلند به روش خشک



شکل ۵ــ۴ــ تولید سیمان پرتلند به روش تر

۲ــ۳ــ ۴ــ تأثیر مواد در جنس سیمان:

۱ــ *آهک:* اگر CaO در سیمان به‌صورت ترکیب درآمده باشد کلسیم سیلیکات سیمان زیاد می‌شود و این امر، باعث بالا رفتن مقاومت اولیه‌ی سیمان می‌گردد. زیاد شدن کلسیم سیلیکات در سیمان مقاومت آن را در برابر آب دریا و آب‌های سولفات‌دار کم کرده، گرمادهی ملات سیمان را هنگام ترکیب با آب افزایش می‌دهد. اگر آهک به‌صورت آزاد بیش از اندازه باشد، پس از گرفتن ملات سیمان آهک آزاد آب مکیده و شکفته می‌گردد و درنتیجه ملات را می‌ترکاند.

۲ــ *سیلیس:* سیلیس با آهک ترکیب شده، تشکیل سیلیکات کلسیم می‌دهد. اگر سیلیس در سیمان جای‌گزین اکسید آلومینیم و اکسید آهن شود، مواد خام در کوره دیرتر عرق می‌کنند و اگرسیلیس جای‌گزین آهک شود مقاومت ملات سیمان به‌کندی بالا می‌رود.

۳ــ *اکسید آلومینیم:* اکسید آلومینیم و اکسید آهن در سیمان نقش گدازآور دارند ؛ یعنی درجه‌ی ذوب شدن مواد خام را پایین می‌آورد و ترکیبات سه کلسیم آلومینات C_3A و چهار کلسیم آلومینوفریت C_4AF را به‌وجود می‌آورند. اگر اکسید آهن در سیمان زیاد شود آن را «کندگیر» و اگر اکسید آلومینیم آن افزایش یابد آن را «تندگیر» می‌کند، زیرا در ملات سیمان آلومینات‌ها زودتر از سیلیکات‌ها با آب ترکیب می‌شوند. زیاد شدن اکسید آهن باعث تولید چهار کلسیم آلومینوفریت می‌شود که کندگیر است، اما مقاومت ملات سیمان را در برابر آب دریا و آب‌های سولفات دار زیاد می‌کند و گرمادهی سیمان را در موقع ترکیب با آب کاهش می‌دهد ؛ بنابراین، سیمان‌های ضد سولفات اکسید آهنشان زیاد است. زیاد شدن اکسید آلومینیم باعث گرمادهی زیاد ملات سیمان شده، جمع شدن آن را افزایش می‌دهد که زیاد شدن هر دو اکسید سبب ترکیب شدن آهک با سیلیس می‌شود ؛ یعنی سه کلسیم سیلیکات زیادی تشکیل شده، آهک آزاد در سیمان کم می‌شود.

۴ــ *منیزی* MgO: منیزی در سیمان اثر گدازآور دارد و هر چه کم‌تر باشد بهتر است، زیرا در سیمان ترکیب نمی‌شود و مانند آهک آزاد پس از آب گرفتن ملات شکفته شده، مقاومت آن‌را کم می‌کند. زیاد شدن منیزی در سیمان از جمع شدن ملات می‌کاهد ؛ پس، مقدار منیزی نباید از ۵٪ بیش‌تر باشد.

۵ــ *قلیایی‌ها* (K, Na): قلیایی‌ها در سیمان نیز نقش گدازآور دارند و مقدار آن‌ها در سیمان نباید از ۱٪ وزن سیمان بیش‌تر باشد، زیرا باعث خراب شدن ملات و بتن می‌گردد. در جدول ۳ــ۴ مواد اصلی تشکیل‌دهنده‌ی سیمان و خواص هر کدام آمده است.

جدول ۳ــ۴ــ مواد اصلی تشکیل‌دهنده‌ی سیمان و خواص هرکدام

ترکیب	فرمول شیمیایی	علامت اختصاری	توضیحات
تری کلسیم سیلیکات	$3CaO.SiO_2$	C_3S	خودگیری سریع،مقاومت زودرس و افزایش سریع دما
دی‌کلسیم 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 آلومینوفریت‌کلسیم	$4CaO.Al_2O_3.Fe_2O_3$	C_4AF	خودگیری کند، بروز رنگ خاکستری در سیمان

۳ــ۳ــ۴ــ 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 این‌دو 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 هیدرولیزشدن و به‌وجود 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 (۱۲۰cal/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 یک‌سال تقریباً هر دو ترکیب C_2S و C_3S به یک اندازه در مقاومت سیمان تأثیر دارند. واکنش C_2S با آب کند است و در اثر هیدراته شدن حدود ۶۰cal/gr حرارت آزاد می‌کند. سه کلسیم آلومینات (C_3A) با سرعت زیاد با آب هیدراته شده، مقدار زیادی حرارت پس می‌دهد (۲۰۷cal/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 زمانِ گرفتنِ سیمان دخیل است.

چهار کلسیم آلومینوفریت (C_4AF) نیز با آب هیدراته شده، یک ترکیب غیرمشخصی را به‌وجود می‌آورد که زیاد شدن آن باعث کندگیری سیمان می‌شود. هیدراته شدن C_4AF با مقدار ۱۰۰cal/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 پوکی در ملات سیمان یا بتن می‌شود ؛ از این‌رو، 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 اوّلیه‌ی 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 :

۱ــ سیمان‌های درشت دانه با سطح مخصوص ۲۰۰۰ تا ۲۵۰۰ gr/cm^2

۲ــ سیمان‌های معمولی با دانه‌های متوسط با سطح مخصوص ۲۵۰۰ تا ۳۵۰۰ gr/cm^2

۳ــ سیمان‌های ریزدانه با سطح مخصوص حدود ۳۵۰۰ تا ۴۵۰۰ 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 بتن‌ریزی زیاد باشد، مضر است، زیرا حرارت در داخل حجم بتن بالا می‌رود. درحالی‌که سطح بتن در اثر مجاورت با هوا به‌سرعت سرد شده، درنتیجه‌ی 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 دقّت 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 اوّلیه 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 حرارتِ اوّلیه می‌گردد.

ملات سیمان در گرما تندتر و در سرما کندتر می‌گیرد و دیرتر سفت می‌شود ؛ برای نمونه بتنی که در حرارت ۲۰ درجه ۲۸ روز بماند میزان گرفتن و سفت شدن آن برابر است با بتنی که در حرارت ۵ درجه ۵۶ روز بماند.

۴ــ۳ــ۴ــ 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 گرمازایی زیاد بتن اهمیّت 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 اوّلیه‌ی 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 ــ نسبت به نوع ۱ــ 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 گرمازایی کم‌تری نیز دارد.

۵ــ۳ــ۴ــ سیمان ممتاز: سیمان ممتاز مانند سیمان معمولی ساخته می‌شود، اما در ساختن آن دقّت بیش‌تری اعمال می‌گردد. درصد مواد خام را دقیق‌تر انتخاب و ریزتر آسیاب می‌کنند تا

واکنش سیمان، آهک و سیلیس در کوره سیمان‌پزی بهتر و سریع‌تر انجام شود. کلینکر آن را نیز ریزتر آسیاب می‌کنند و گاهی آن را دوباره می‌پزند ؛ یعنی پس از پخت اوّل آن را آسیاب کرده، دوباره می‌پزند تا تمام CaO سیمان ترکیب شود و در آن آهک آزاد باقی نماند.

مقاومت روزهای اولیه‌ی ملات این سیمان زیاد است و گرمای زیادی هنگام هیدراته شدن پس می‌دهد ؛ بنابراین، قیمت آن نیز گران‌تر خواهد بود.

۶ــ۳ــ۴ــ سیمان سفید: اکسید منیزیم و اکسید آهن باعث تیره شدن رنگ سیمان پرتلند می‌شوند. اگر در مواد اولیه‌ی سیمان این دو اکسید نباشد و یا بسیار ناچیز و در حدود ۰/۰۰۸ باشد سیمان سفید از کوره خارج می‌گردد. سوخت کوره را حتماً روغنی انتخاب می‌کنند تا خاکستر زغال آن را تیره نکند.

از این سیمان برای نماسازی و ساختن آجرهای موزاییک و کارهای زینتی استفاده می‌شود. برای بی‌رنگ کردن سیمان حدود ۳٪ وزن مواد خام به آن کلرورکلسیم یا کلرور کالیم می‌افزایند. مقاومت این سیمان کم‌تر از سیمان‌های معمولی است و چون گداز آور ندارد، در حرارت بالاتر پخته می‌شود و قیمت آن نیز گران‌تر است. در جدول ۴ــ۴ ترکیبات چند نوع سیمان پرتلند مشخص شده است.

جدول ۴ــ۴ــ ترکیبات چند نوع سیمان پرتلند

نوع	طبقه‌بندی	ترکیب				(نرمی)
		٪ C_3S	٪ C_2S	٪ C_3A	٪ C_4AF	(m^2/kg)
سیمان پرتلند معمولی	۴۲/۵	۵۵	۲۰	۱۰	۸	۳۴۰
	۵۲/۵	۵۵	۲۰	۱۰	۸	۴۴۰
سیمان پرتلند سفید	۶۲/۵	۶۵	۲۰	۱۵	۲	۴۰۰
سیمان پرتلند ضدسولفات	۴۲/۵	۶۰	۱۵	۲	۱۵	۳۸۰

۷ــ۳ــ۴ــ سیمان رنگی: اگر ۲٪ تا ۱۰٪ وزن کلینکر سیمان سفید رنگ‌های معدنی یا سنگ‌های رنگی آسیاب کنند، سیمان رنگی به‌دست می‌آید. برای رنگ‌های قرمز، زرد، قهوه‌ای و سیاه از اکسیدآهن استفاده می‌شود. برای رنگ سبز از اکسید کرم. برای رنگ آبی نیز کبالت مصرف می‌نمایند. برای رنگ سیاه از زغال هم می‌توان استفاده کرد. هم‌چنین می‌توان برای رنگ‌های قهوه‌ای و سیاه اکسید منگنز، به‌کار برد. با سیمان پرتلند معمولی فقط می‌توان 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. درضمن سیمان و جسم رنگی هم نباید در یک‌دیگر اثر کنند. از این سیمان‌ها نیز برای نماسازی و کارهای زینتی و ساختن موزاییک استفاده می‌شود.

۸ــ۳ــ۴ــ سیمان برقی: اگر در مواد اولیه سیمان اکسید آلومینیم زیاد و آهک کم شود سیمان به‌دست آمده دارای خواصی ممتاز می‌گردد ؛ از این‌رو، از ذوب کردن مخلوط بوکسیت و سنگ آهک در کوره‌ی برقی در حرارت ۱۵۰۰ تا ۱۶۰۰ درجه به‌دست 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.

۹ــ۳ــ۴ــ سیمان طبیعی: ماده‌ی اصلی این سیمان خاکسترها و پوکه‌ی آتش‌فشانی است که سیلیس آن‌ها به علت زود سردشدن به‌صورت پوک و غیر بلوری درآمده است. سیمان طبیعی از مخلوط کردن سیمان پرتلند با آهک شکفته با پوکه‌های معدنی به‌دست 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 به‌دست می‌آید. این سیمان هنگام هیدراته شدن حرارت کم‌تری آزاد می‌کند ؛ از این‌رو در بتن‌ریزی‌های حجیم و جاهایی که بتن مورد هجوم سولفات‌هاست مصرف می‌شود. در جدول ۵ــ۴ 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 ۵ــ۴ــ سیمان مناسب برای مصارف گوناگون

موارد مصرف	نوع سیمان مناسب
کارهای معمولی و عمومی شامل اسکلت‌های بتن‌آرمه، پل‌ها، قطعات پیش‌ساخته بتن‌آرمه، جدول و فرش کف خیابان‌ها، ملات‌ها و اندودها و پی ساختمان‌هایی که در معرض هجوم سولفات‌ها نباشند.	سیمان پرتلند معمولی (نوع ۱)
ملات‌ها و اندودهای سیمانی تزیینی، بتن‌های نمایان	سیمان سفید و رنگی
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 ۲، سیمان پرتلند سرباره (با ۱۵ تا ۲۵ درصد سرباره) و سیمان پرتلند پوزولانی (با ۱۵ تا ۲۵ درصد پوزولان)
بتن‌های با مقاومت زودرس، مواردی که قالب‌برداری زودتر از موعد مقرر موردنظر است، بتن‌ریزی بنّایی و اندودکاری در هوای سرد	سیمان پرتلند نوع ۳
بتن‌ریزی و اندودکاری در هوای گرم، کارهای بتنی حجیم که در معرض هجوم سولفات‌ها نباشند.	سیمان پرتلند نوع ۴
مقابله با سولفات‌های قوی	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 به همراه یون کلر، مقابله با واکنش سنگ‌دانه‌ها و ساخت بتن متراکم با نفوذپذیری کم	سیمان پرتلند سرباره (با بیش از ۵۰٪ سرباره) سیمان پرتلند پوزولانی (با بیش از ۴۰٪ پوزولان)
کارهای بنایی، ملات‌ها و اندودها در وضعیت عادی	سیمان بنایی، سیمان آهکی ــ پوزولانی و سیمان آهکی ــ سرباره

حمل و نقل و نگه‌داری

سیمان‌ها به دو صورت فله و پاکتی به فروش می‌رسد. در هر دو حالت، مشخصات انواع سیمان به‌صورت 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 این‌رو 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 به‌تدریج 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 این‌صورت، سیمان باید قبل از مصرف آزمایش شود. سیمانی که برای مدت زیادی انبار شود ممکن است به‌صورت کلوخه‌های فشرده درآید. این‌گونه سیمان را می‌توان با غلتاندن کیسه‌ها روی کف اصلاح نمود. چنان‌چه با یک‌بار غلتاندن کلوخه‌ها باز شود سیمان قابل مصرف است وگرنه 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.

۴ــ۴ــ 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 تشکیل‌دهنده‌ی آن است ؛ بر این اساس، هر یک از مواد آن را بررسی می‌کنیم .

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

۲ــ شن و ماسه: در ساخت بتـن، 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 به‌حداقل کاهش داد.

۳ــ 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. به‌طورکلّی 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.

۱ــ۴ــ۴ــ نسبت آب به سیمان: روانی و کارآیی 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 ــ با استفاده از طرح اختلاط ــ در مخلوط‌کن می‌ریزند و به‌خوبی مخلوط می‌کنند تا سطوح دانه‌های سنگی با ملات سیمان پوشیده شود و بدین‌ترتیب، 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.

۲ــ۴ــ۴ــ 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 ــ در روزهای اولیه‌ی بتن‌ریزی ــ 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.

۳ــ۴ــ۴ــ مواد مضاف: مواد مضاف، مواد شیمیایی خاصی هستند که به‌صورت 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 :

۱ــ *تسریع‌کننده‌ها:* برای تسریع گیرش بتن و به‌دست آوردن مقاومت زودهنگام، 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.

۲ــ *کندگیر کننده‌ها:* این ماده هنگامی به‌کار 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.

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

۴ــ *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.

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

۶ــ *ضدیخ‌ها و آب‌بندکننده‌ها:* کاهش نفوذپذیری بتن به طریقه‌ی شیمیایی.

۷ــ *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، پیش تنیده و تیغه‌ها بهتر صورت گیرد ؛ نیز مقاومت پیوند بین بتن و فولاد، بتن‌ریزی با سرعت زیاد و نیاز به تراکم کم‌تر گردد.

۸ــ *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.

۹ــ *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 شوره‌زار افزایش داده سطح خارجی بتن را صاف و مسطح می‌کند.

۱۰ــ *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.

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

۱۲ــ *ضدیخ:* برای جلوگیری از یخ زدن 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 ضدیخ‌هایی ساخته شده که فاقد یون کلر بوده برای مصرف در بتن مسلح مناسب است.

۱۳ــ *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.

۴ــ۴ــ۴ــ مصالح سنگی: با توجه به این‌که تقریباً $\frac{۳}{۴}$ 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 به‌دست می‌آید و مصالح سنگی شکسته از خرد کردن سنگ‌های مناسب بزرگ به‌وسیله‌ی 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 به‌خوبی انجام نمی‌گیرد و باعث کاهش مقاومت بتن می‌شود.

استانداردهای ملی و بین‌المللی دارای ضوابط و منحنی‌های استانداردی 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.

۵ــ۴ــ۴ــ سنگ‌دانه‌های سبک: سنگ‌دانه‌های 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 فضاهای خالی به منظور سبکی و عایق‌کاری حرارتی و صوتی به‌مصرف می‌رسند.

انواع سنگ‌دانه‌های سبک به دو گروه اصلی تقسیم می‌شوند :

الف) سنگ‌دانه‌های سبک طبیعی: بهترین مواد اصلی، دانه‌های سنگی سبک طبیعی بوده که عبارت‌اند از : پامیس، سنگ پا، سکوریا، پوکه سنگ‌ها، خاکسترها و توف‌ها که همه‌ی این سنگ‌دانه‌ها منشأ آتش‌فشانی دارند.

ب) سنگ‌دانه‌های 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 ابسیدین تولید می‌شوند.

گروه دوم از انبساط روباره‌ی مذاب کوره‌ی آهن‌گدازی ــ با مقادیر کنترل شده‌ی آب در ماشین‌های مخصوص یا با پاشیدن مقدار کمی آب (جهت آبی) روی روباره‌ی مذاب ــ حاصل می‌شود که جسمی متخلخل، سبک و شبیه سنگ‌پا با وزن فضایی ۳۰۰ تا ۱۱۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب است.

گروه سوم را جوش‌های صنعتی تشکیل می‌دهند که از خاکسترها و پس‌مانده‌های زغال‌سنگی به‌دست می‌آید.

در ایران تنها پوکه‌ی رسی یا خاک‌رس منبسط شده (لیکا) و پرلیت منبسط شده تولید می‌شود، اما هنوز برای آن‌ها استانداردی منظور نشده است. وزن مخصوص فضایی پوکه‌ی 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.

پوکه‌ی رسی در پر کردن فضاهای خالی، ساختن بلوک‌های سبک‌وزن و بتن‌های سبک عایق حرارتی و بتن سبک باربر (سازه‌ای) به مصرف می‌رسد. بتن لیکا (پوکه‌ی 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 به‌صورت بخار درآمده سبب ازدیاد حجم چشمگیر پرلیت می‌گردد. بتن پرلیتی مقاومت کمی دارد و بیش‌تر برای عایق‌کاری حرارتی به‌کار 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

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