تکنولوژی بتن پیشنیاز: مصالح ساختمانی و مقاومت مصالح ۱

هدف کلی: آشنایی دانشجویان با خواص بتن و نحوه صحیح ساخت و کاربرد آن

سرفصل:

جلسه	هدف کلی: آشنایی دانشجویان با:	هدف ویژه:
اول	مقدمه: تعریف بتن و اهمیت بتن و تفاوت های آن با فولاد	آشنایی با بتن و اجزاء تشکیل دهنده بتن
دوم	انواع سیمان و شیمی سیمان و...	روش تولید سیمان و انواع سیمان و..
سوم	سنگدانه ها	خواص فیزیکی و مکانیکی مصالح سنگی
چهارم	آب طرح اختلاط بتن	آب مناسب برای ساخت بتن
پنجم	مواد افزودنی	شناخت انواع مواد افزودنی و کاربرد آنها
ششم	بتن تازه	کارایی بتن و ...
هفتم	اجرای بتن	روشهای ساخت بتن
هشتم	طرح اختلاط بتن	طرح اختلاط بتن آیین نامه ACI
نهم	طرح اختلاط بتن	طرح اختلاط بتن آیین نامه BS
دهم	عمل آوری بتن	شیوه های مختلف عمل آوری
یازدهم	خواص بتن سخت شده	طراحی قاب های بتن آرمه و دیوار برشی
دوازدهم	دوام بتن	انواع خرابی ها و....
سیزدهم	انواع بتن و کاربردهای آن	بتن سبک، بتن سنگین، بتن پلیمری و ...

ارزشیابی: امتحان کتبی، تحقیق، حضور فعال دانشجو در کلاس

منابع:

۱- تکنولوژی و طرح اختلاط بتن: دکتر داوود مستوفی نژاد، انتشارات ارکان

۲- تکنولوژی بتن: دکتر رمضانیان پور

مقدمه

تعریف بتن:

بتن(Concrete) در یک تعریف کلی شامل یک سری سنگدانه های ریز و درشت است که به وسیله یک ماده چسبنده به نام سیمان به همدیگر متصل می شوند و تشکیل جسمی با مقاومت بالا می دهند. این ماده چسبنده عموما حاصل فعل و انفعال سیمانهای هیدرولیکی و آب می‌باشد. بتن ممکن است از انواع مختلف سیمان ونیز پوزولان‌ها، سرباره کوره‌ها، مواد مضاف، گوگرد، مواد افزودنی بتن، پلیمرهای بتن، الیاف بتن و غیره تهیه شود. همچنین در نحوه ساخت آن ممکن است حرارت، بخار آب، اتوکلاو، خلا، فشارهای هیدرولیکی و متراکم کننده‌های مختلف استفاده شود. با توجه به گسترش و پیشرفت علم و پیدایش تکنولوژی های فراوان در قرن اخیر، شناخت بتن و خواص آن نیز توسعه قابل ملاحظه ای داشته

است، به طوری که امروزه شاهد کاربرد انواع مختلف بتن با مصالح مختلف هستیم که هر یک خواص و کاربری مخصوص به خود را داراست.

بتن به طور کلی محصولی است که از اختلاط آب، سیمان هیدرولیکی و سنگدانه های مختلف به وجود آمده و دارای ویژگیهای خاص است. در دسترس بودن مصالح آن ، دوام نسبتاً زیاد و نیاز به ساخت و سازهای فراوان سازه های بتنی چون ساختمان ها ، سازه ها، سدها ، پلها، تونلها و راهها ، این ماده را بسیار پر مصرف نموده است. امروزه با پیشرفت علم و تکنولوژی مشخص شده است که تنها توجه به مقاومت به عنوان یک معیار برای طرح بتن برای محیطهای مختلف و کاربردهای مختلف نمی تواند جوابگوی مشکلاتی باشد که در درازمدت در سازه های بتنی ایجاد می گردد و مسأله دوام بتن در محیط های مختلف نیز باید مورد توجه قرار گیرد. مشاهده خرابی هایی با عوامل فیزیکی و شیمیایی در بتن در اکثر نقاط جهان و با شدتی بیشتر در کشور های در حال توسعه، نیاز به طرح بتن هایی با ویژگی خاص و با دوام لازم را دوچندان می کند. در این راستا در پاره ای از کشورها دستورالعمل ها و استانداردهایی نیز برای طرح بتن با عملکرد بالا تهیه شده و طراحان و مجریان در بعضی از این کشورهای پیشرفته ملزم به رعایت این دستورالعمل ها گشته اند.

مزایای کلی بتن:

۱- بتن مقاومت فشاری قابل قبولی در مقایسه با بسیاری از مصالح ساختمانی دیگر دارد. تنها ضعف آن کمی مقاومت در برابر کشش می باشد.

۲- مصالح تشکیل دهنده بتن (به جز سیمان که البته آن هم در عصر حاضر به فراوانی یافت شده و در همه جا تولید می شود) به عنوان مصالح محلی و ارزان قیمت محسوب می شوند.

تقریباً در همه جا می توان آب، ماسه و شن را از فواصل نزدیک به محل بتن ریزی حمل نمود و یا به راحتی بتن آماده را با هر کیفیت و مشخصات مورد نظر خریداری نمود؛ که این مسئله منجر به سهولت و رغبت بیشتر به بتن و ارزان تر تمام شدن آن خواهد شد.

۳- بتن را می توان به سهولت به هر شکل دلخواه درآورد. با ساختن قالب مناسب، تقریباً هرگونه مقطع سازه ای و شکل معماری را می توان از بتن آرمه تولید نمود. در مقابل، مقاطع فولادی در ابعاد مشخص و در کارخانه تولید می شوند و تولید مقاطع خاص از مصالح فولادی گاه مشکل و پر هزینه، و یا غیر ممکن خواهد بود.

۴- بتن مقاومت بسیار خوبی در مقابل آتش دارد. یک ساختمان بتنی می تواند ساعت ها در مقابل آتش سوزی مهیب مقاومت کند؛ بدون آن که فرو ریزد. این مسئله فرصت کافی برای مهار آتش و نیز تخلیه ساختمان از نفرات و اموال را فراهم می کند. در مقابل یک ساختمان فولادی در برابر آتش سوزی کاملاً ضعیف خواهد بود.

۵- بتن مقاومت خوبی در مقابل رطوبت و آب دارد. اگر آب در تماس با بتن، حاوی بعضی از یون ها از قبیل یون سولفات و یا یون کلرور نباشد، برای بتن و حتی میلگرد های موجود در بتن، مشکلی ایجاد نمی کند.

۶- شاید از مهمترین مزایای اسکلت های بتن آرمه می توان به نیاز تدریجی آن به سرمایه جهت ساخت اشاره کرد که باعث شده است در بین عامه سازندگان ساختمان بازخورد قابل قبولی داشته باشد.

معایب بتن:

۱- مقاومت کششی بتن بسیار پایین بوده و در حدود یک دهم مقاومت فشاری آن است. این مسئله استفاده از فولادهای مسلح کننده در ناحیه کشش بتن را اجتناب ناپذیر می کند. با این وجود معمولاً در ناحیه کششی ترک هایی ایجاد می شود که لازم است با تمهیدات خاص، عرض این ترک ها را محدود نمود. چنین ترک هایی ممکن است در موارد خاص، زمینه نفوذ آب یا رطوبت یا یون های زیان آور را فراهم کنند.

۲- مقاومت پایین تر به ازای واحد وزن بتن در مقایسه با فولاد، منجر به سنگین تر شدن سازه های بتنی در مقایسه با سازه های فولادی می شود. مقاومت فشاری بتن معمولی حدود ۵ تا ۱۰ درصد مقاومت فولاد بوده و وزن مخصوص آن حدود ۳۰ درصد وزن مخصوص فولاد است.

۳- بتن تغییرات حجمی وابسته به زمان دارد. این تغییرات حجمی که عمدتاً با پدیده های افت و خزش مرتبط می باشد، با گذشت زمان ترک خوردگی هایی را ایجاد می کند و تغییر شکل و خیز اجزا را افزایش می دهد.

۴- سرعت اجرای سازه های بتنی به مراتب کمتر از سازه های فولادی است.

۵- نیاز به ماشین آلات بتن ساز و حمل بتن و وسایل دیگر مانند ویبره و ... مشکل آنجا بدتر می شود که باید از صحیح کار کردن هر یک از ماشین آلات قبل از بتن ریزی مطمئن شد زیرا اگر در هنگام بتن ریزی هر یک از وسایل ساخت ، حمل و ریختن بتن خراب شود علاوه بر تعطیل شدن امکان خراب شدن بتن ساخته شده را نیز در پی دارند.

۶- نیاز به مراقبت بتن : بتن بعد از ساختن باید سریع استفاده شده و اجرا گردد و اگر تا ۲ ساعت بعد از ساخت این امر میسر نشود ، فاسد و غیر قابل استفاده می‌شود. همچنین بتن تا ۷ روز پس از ریخته شدن نیاز به مراقبت جدی از حیث عمل آوری داشته و تا ۲۸ روز که مقاومت اصلی خود را بدست آورد باید تحت مراقبت پیوسته باشد.

۷- شرایط آب و هوائی مانند سردی و گرمی هوا در سرعت اجرا و کیفیت آن تأثیر می‌گذارد.

۸- وزن ساختمان‌های بتنی به مراتب بیشتر از وزن ساختمان‌های فولادی می‌باشد.

۹- ساختمان های بتنی فضای بیشتری اشغال می کنند که این امر در معماری ساختمان باعث از بین رفتن فضای مفید می شود.

۱۰- چون کنترل کیفیت بتن در کارگاه انجام میشود ، به مراتب کیفیتش نسبت به فولاد که در کارخانه تهیه می شود پایینتر است.

سازگاری بتن و فولاد:

بتن و فولاد سازگاری قابل توجهی برای تشکیل یک جسم مرکب دارند که در این میان می توان به موارد زیر اشاره کرد:

۱- ضریب انبساط حرارتی بتن و فولاد بسیار به هم نزدیک است؛ به همین دلیل تحت تاثیر تغییرات دمای متداول، تنش های قابل توجهی بین آنها ایجاد نمی شود.

۲- بتن و فولاد چسبندگی بسیار خوبی با یکدیگر داشته و بین آن دو معمولا لغزش اتفاق نمی افتد؛ بنابراین می توانند عملکرد مرکبی با یکدیگر داشته باشند و همانند یک جسم واحد عمل کنند. چسبندگی بسار خوب بین بتن و فولاد، ناشی از چسبندگی شیمیایی بین دو ماده، و نیز ناصافی های سطحی و برآمدگی های آج میلگرد می باشد.

۳- فولاد ماده ای است که به راحتی در معرض خوردگی شیمیایی قرار می گیرد؛ در حالی که بتن معمولا نفوذ ناپذیری قابل قبولی دارد و می تواند فولاد مسلح کننده را در مقابل خوردگی محافظت نماید.

۴- مقاومت فولاد در مقابل دمای آتش بسیار پایین است؛ در حالی که پوشش بتن که روی میلگرد ها قرار گرفته است، مقاومت بسیار خوبی در مقابل اتش سوزی ایجاد می کند.

اجزای تشکیل دهنده بتن:

بتن از ترکیب مقدار معین وحساب شده از آب، سیمان، دانه های سنگی (ماسه و شن) و بعضی مواد مضاف و افزودنی دیگر به دست می آید. پس از این که آب به مخلوط مصالح سنگی و سیمان افزوده شد، سیمان و آب با هم وارد فعل و انفعالات شیمیایی حرارت زا می شوند. در اثر این فعل و انفعالات ماده ی ژله مانند و چسبنده ای به وجود می آید که مصالح مختلف داخل مخلوط را به هم پیوند داده به صورت جسم سختی در می آید.

۱- سیمان (cement):

۷ تا ۱۵ درصد از حجم بتن را تشکیل می دهد. سیمان و آب یک خمیر را شکل می دهند که سنگ دانه ها و ماسه را در مخلوط می پوشانند. این خمیر باعث چسبیدن سنگ دانه ها و ماسه به یکدیگر می شوند.

۲- آب (water):

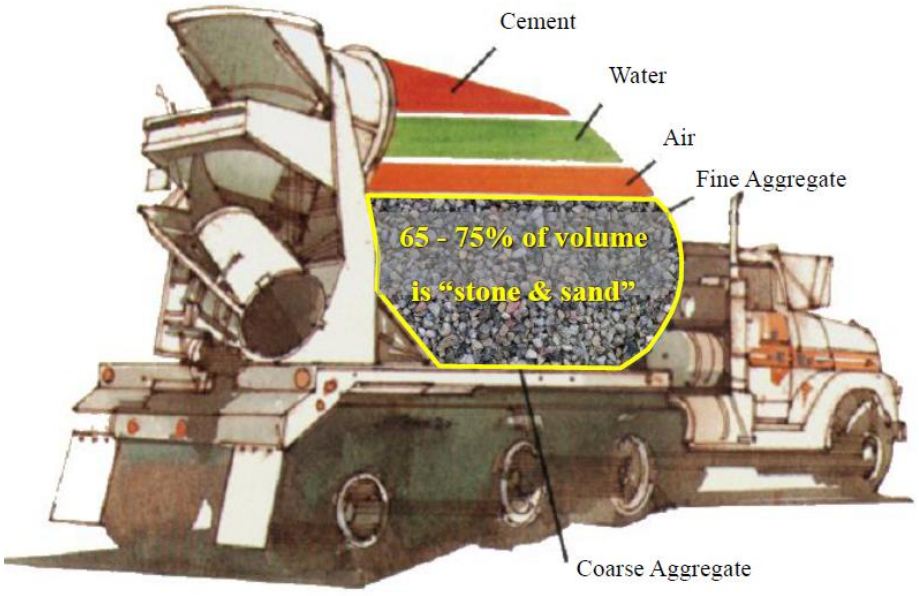
حدود ۴ تا ۲۱ درصد از حجم بتن را تشکیل می دهد. آب برای واکنش شیمیایی با سیمان (هیدراتاسیون) و همچنین ارائه کارایی بهتر بتن مورد نیاز است. میزان آب در مخلوط در مقایسه با مقدار سیمان، نسبت آب به سیمان (w/c) نامیده می شود.

۳- سنگ دانه ها (شن و ماسه) (aggregates)

سنگدانه‌ها در بتن تقریباً ۶۰ تا ۷۵ درصد حجم آنرا تشکیل می‌دهند. از اینرو کیفیت آنها از اهمیت خاصی برخوردار است. در حقیقت خواص فیزیکی، حرارتی و پاره‌ای از اوقات خواص شیمیایی آنها در عملکرد بتن تاثیر زیادی می‌گذارد.

۴- مواد مضاف (admixtures) :

مواد شیمیایی که به میزان جزئی و به صورت درصدی از وزن سیمان به مخلوط اضافه می شود تا خواص مطلوب موردنظر را در بتن ایجاد کند.



سیمان:

فرآورده ای شیمیایی است که دارای خاصیت چسبندگی است و بر اثر تماس با آب سخت شده و نقش چسب بین دانه های سنگی را دارد. خاصیت چسبنده بودن سیمان به علت واکنش شیمیایی بین آب و سیمان است. استفاده از سیمان به عنوان ماده چسباننده سابقه چند هزار ساله دارد. ترکیب اصلی سیمان آهک، خاک رس و گچ است. طرح سیمان به این شکل، اولین بار توسط ژوزف اسپین معمار بریتانیایی مطرح شده است. اسپین در سال ۱۸۲۴ طرح اولیه خود را اصلاح نموده و محصول خاک رس و آهک هیدرولیک را تحت عنوان سیمان پرتلند ثبت کرد. به علت تشابه رنگ سیمان سخت شده با رنگ سنگ های آهکی جزیره پرتلند در انگلستان، نام پرتلند برای آن انتخاب شده است.

مواد اولیه سیمان:

مواد اولیه سیمان عمدتا سنگ آهک و خاک رس (یا هر ماده دارای اکسیدهای سیلیس، آلومینیوم و آهن) است که شامل ترکیبات جدول زیر می باشد:

درصد ترکیبات اولیه تشکیل دهنده سیمان

اکسید	مقدار به درصد
CaO	۶۰-۶۷
SiO_2	۱۷-۲۵
Al_2O_3	۳-۸
Fe_2O_3	۰/۵-۶/۰
MgO	۰/۱-۴/۰
قلیایی‌ها	۰/۲-۱/۳
SO_3	۱-۳

عامل اصلی چسبندگی سیمان آهک و سیلیس در جدول فوق می باشد و سایر مواد در روند پخت سیمان و تشکیل کلینکر اثر دارند.

آهک زنده یا اکسید کلسیم(CaO) :

آهک از مهمترین و اصلی ترین مواد مورد استفاده در ساخت سیمان است، اکسید کلسیم از پختن سنگ آهک یا کربنات کلسیم در حرارت حدود هزار درجه سانتی گراد به دست می آید. این عمل به طور جداگانه صورت نمی گیرد، بلکه در

فرآیند تولید سیمان، و در موقع حرارت دادن پودر مخلوط آهک و خاک رس ابتدا ذرات آهک (کربنات کلسیم) در حرارت حدود ۱۰۰۰ درجه سانتیگراد پخته شده و تبدیل به اکسید کلسیم و یا آهک زنده می شود. در این گرما آب شیمیایی خاک رس نیز از ان جدا می شود. در درجه حرارت بیشتر از ۱۰۰۰ درجه سانتیگراد، اکسید کلسیم (آهک زنده) با اکسید های سیلسیم، آلومینیوم و آهن ترکیب شده و اکسیدهای مرکب تشکیل می شوند.

سیلیس ($SiO2$) :

این ماده که در اغلب سنگ های طبیعی یافت می شود یکی از مواد اصلی در ساخت سیمان پرتلند است. وقتی سیلیس حرارت داده می شود در ساختمان کریستالی آن یک سری تغییرات به وجود می آید. در کوره سیمان پزی بیش از ۱۲۰۰ درجه سانتیگراد سیلیس با آهک ترکیب می شود و دو کلسیم سیلیکات و سه کلسیم سیلیکات تشکیل می شود. خاک رس معمولی دارای مقادیر زیادی سیلیس است. میزان سیلیس مورد نیاز ۱۷ تا ۲۵ درصد وزن سیمان است که چنانچه نتوان این مقادیر را با استفاده از خاک رس معمولی تامین کرد می توان آن را با استفاده از سایر منابع تامین کرد.

آلومینا (Al_2O_3):

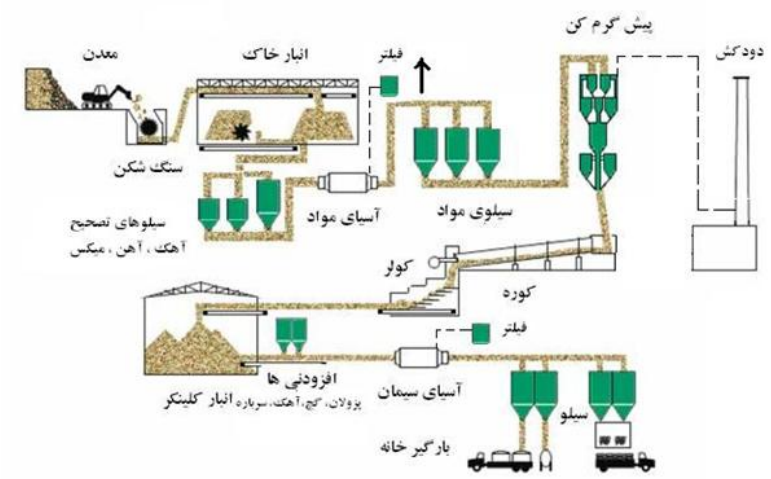
آلومینا، همان اکسید آلومینیوم خالص است که مقادیر زیادی از آن در خاک رس وجود دارد. خالص ترین نوع خاک رس، کائولینیت ($Al_2O_3 , 2SiO_2 , 2H_2O$) است که در آن آلومینا حدود ۴۰ درصد وزن مولکولی کل این ماده را دارد. آلومینا در سیمان پزی اثر گداز آور و در هنگام پخت سیمان ، درجه آب شدن و پخت مواد خام را کاهش می دهد. از نظر شیمی سیمان، در اثر حرارت داخل کوره دوار با آهک ترکیب شده در تشکیل سه کلسیم آلومینات را می دهد. وجود این اکسید مرکب در داخل سیمان تولیدی باعث می شود که سیمان زودگیرتر شود و در هنگام ترکیب سیمان با آب حرارت بیشتری ایجاد شود.

اکسید آهن (Fe_2O_3)

اکسید فریک نیز همانند آلومینا در سیمان پزی نقش گداز آور را دارد و باعث کاهش درجه آب شدن مواد خام در داخل کوره سیمان پزی می شود. این اکسید در داخل کوره و در هنگام پخت به همراه آلومینا با آهک ترکیب شده و تشکیل اکسید مرکب چهار کلسیم آلومنیوفریت را می دهند ، اکسید آهن زیاد رنگ سیمان را نیز تیره می کند، به همین دلیل برای ساخت سیمان سفید از این اکسید استفاده نمی شود. اکسید آهن جزء اصلی تشکیل دهنده اغلب سنگهای آهن است، از این رو اکسید فریک کم و بیش در اغلب کانیها خصوصا خاک رس وجود دارد.

طرز تهیه سیمان پرتلند:

ابتدا مواد خام را آسیاب نموده و با نسبتهای مشخص باهم مخلوط می کنند و در کوره های دوار بزرگ در درجه حرارت ۱۴۰۰ تا ۱۶۵۰ درجه سانتی گراد حرارت می دهند. در این دما مصالح ذوب شده و دانه هایی فندقی شکل به اندازه ۲ تا ۲۵ میلیمتری ایجاد می شود که به آن کلینکر می گویند. سپس دانه ها را سرد کرده و آسیاب می کنند تا به صورت پودر نرم در آید. برای تنظیم زمان گیرش و برای جلوگیری از گیرش کاذب یا سریع گچ به مقدار یک تا دو درصد به آن اضافه می کنند. عمل مخلوط نمودن و آسیاب کردن مواد خام همراه با مقدار مشخصی آب و به دو روش تر و خشک انجام می شود. در روش تر مواد اولیه با ۵۰ درصد وزنی آب مخلوط می شود ولی در روش خشک مواد اولیه با ۱۲ درصد وزنی آب مخلوط می شوند. مراحل تولید سیمان به صورت شماتیک در شکل زیر نشان داده شده است.



مراحل ساخت سیمان پرتلند

اتفاق هایی که در کوره پخت سیمان در دماهای مختلف رخ می دهد به شرح ذیل است:

۱- در دمای حدود ۱۰۰ درجه سلسیوس، آب آزاد تبخیر می شود.

۲- در دمای حدود ۱۵۰ تا ۳۵۰ درجه سیلسیوس، آب تبلور ذرات رس تبخیر می شود.

۳- در دمای حدود ۵۰۰ درجه سلسیوس، تبخیر آب غشایی رس پایان یافته و سرخ شدن مواد شروع می شود.

۴- در دمای حدود ۶۰۰ درجه سلسیوس، کربنات منیزیم تجزیه و گاز دی اکسید کربن آزاد می شود.

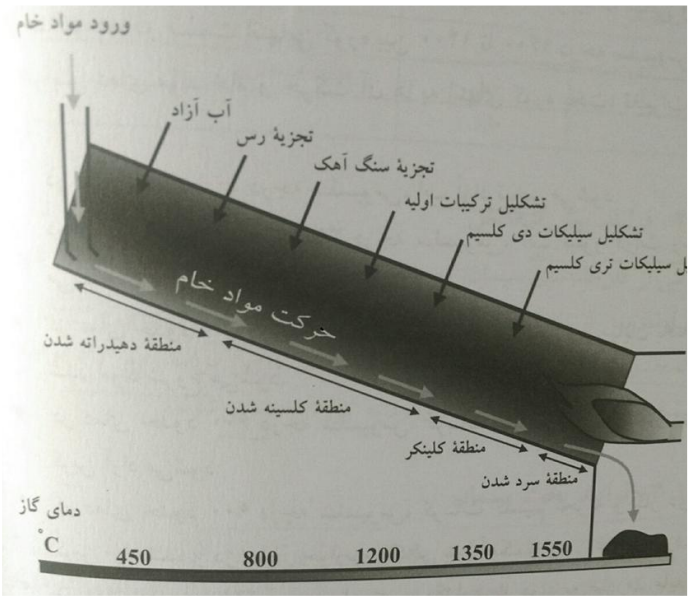
۵- در دمای حدود ۹۰۰ درجه سلسیوس، کربنات کلسیم تجزیه و گاز دی اکسید کربن آزاد شده و در همین حرارت واکنش بین آهک و رس آغاز می شود.

۶- در دمای حدود ۱۲۵۰ درجه سلسیوس، مقداری از مواد به صورت مایع ظاهر می شوند.

۷- در دمای ۱۲۸۰ درجه سلسیوس، ترکیبات اصلی سیمان شروع به شکل گیری کرده و با تبدیل حدود ۳۰ درصد حجمی مواد به مایع، واکنش ها سریع تر می شوند.

۸- در ۱۴۵۰ درجه سلسیوس، واکنش شیمیایی مواد کامل شده و کلینکر ایجاد می شود.

شکل زیر تحولات ایجاد شده در مواد خام سیمان در طی مسیر در کوره پخت را نشان می دهد.



تحولات ایجاد شده در مواد خام سیمان در طی مسیر در کوره

معادن مواد اولیه سیمان، خصوصاً سنگ آهک، خاک رس، سنگ گچ و امثال آن به صورت معادن روباز می باشند. در استخراج موادی نظیر سنگ آهک، سنگ آهن و سنگ گچ نیاز به چال زنی و انجام انفجار به وسیله دینامیت می باشد. مواد اولیه نظیر خاک رس و مارل نیاز به چال زنی و انفجار ندارند و صرفاً از بولدوزر و یا دستگاه های مشابه جهت دپو کردن مواد استفاده می شود. بارگیری مواد اولیه سیمان به وسیله لودر یا بیل مکانیکی صورت می گیرد و حمل این مواد به وسیله کامیون، نوار نقاله، واگنهای زمینی یا هوائی انجام می گیرد.

ترکیبات شیمیایی موجود در سیمان:

۱- سه کلسیم سیلیکات ($3CaO , SiO2$) با علامت اختصاری C_3S

این ماده سریعا وارد واکنش شیمیایی شده و بتن یا سیمان را سفت می کند. بیشترین مقدار را در ترکیب سیمان دارد و بیشترین نقش را در گیرش و مقاومت اولیه سیمان را دارد. C_3S در ترکیب با آب گرمای زیادی تولید می کند. تنها عیب C_3S این است که باعث کاهش مقاومت بتن در برابر حملات سولفاتی می شود.

۲- دو کلسیم سیلیکات ($2CaO , SiO2$) با علامت اختصاری C_2S

خصوصیات C_2S بر خلاف C_3S می باشد. بدین معنی که گیرش اولیه دی کلسیم سیلیکات کم است و بعد از ۲ تا ۷ روز و حتی تا یک ماه به تدریج وارد عملیات شیمیایی می شود. این ماده باعث کند گیر شدن سیمان می شود و در هنگام گرفتن گرمای کمی تولید می کند.

۳- *سه کلسیم آلومینات* ($3CaO , AL_2O_3$) *با علامت اختصاری* C_3A

این ماده همان خواص C_3S را دارد. به این معنی که در گیرش اولیه سیمان دخالت می کند و از طرفی مقاومت بتن را در مقابل حمله سولفات ها می کاهد. در هنگام گیرش گرمای بیشتری نسبت به سایر اجزای سیمان تولید می کند.

۴- *چهار کلسیم آلومینوفریت* ($4CaO , AL_2O_3, Fe_2O_3$) *با علامت اختصاری* C_4AF

به مقدار کم در سیمان وجود دارد و نقش کمی نسبت به سه فاز بالا دارد.

ترکیبات شیمیایی موجود در انواع سیمان پرتلند

نام ترکیب	اکسیدهای ترکیب	علامت اختصاری
سه کلسیم سیلیکات	$۳CaO.SiO_۲$	$C_۳S$
دو کلسیم سیلیکات	$۲CaO.SiO_۲$	$C_۲S$
سه کلسیم آلومینات	$۴CaO.Al_۲O_۳$	$C_۳A$
چهار کلسیم آلومینوفریت	$۴CaO.Al_۲O_۳.Fe_۲O_۳$	$C_۴AF$

معادلات بوگ

محاسبه مربوط به میزان ترکیبات سیمان حاصل از اکسیدهای اصلی تشکیل دهنده آن، توسط "بوگ" انجام شده و بنام "معادلات بوگ" معروف می باشد. این معادلات درصد ترکیبات اصلی سیمان را بر حسب درصد اکسیدهای تشکیل دهنده سیمان نشان داده و به صورت زیر بیان می شوند:

$C_3S=4.07\times(CaO) - 7.60\times (SiO_2) - 6.72\times (Al_2O_3) - 1.43\times (Fe_2O_3) - 2.85\times (SO_3)$

$C_2S=2.87\times (SiO_2) - 0.754\times (3CaO.SiO_2)$

$C_3A=2.65\times (Al_2O_3) - 1.69\times (Fe_2O_3)$

$C_4AF=3.04\times (Fe_2O_3)$

مقادیر داخل پرانتزها درصد اکسیدهای تشکیل دهنده سیمان نسبت به کل وزن سیمان را نشان می دهند.

انواع سیمان پرتلند:

انواع مختلف سیمان های استاندارد موجود با انتخاب مواد خام متفاوت جهت مصارف مختلف ساخته می شوند که به شرح ذیل بوده و مشخصات آن در استاندارد ASTM C150 موجود است. مطابق با مقررات ملی ساختمان ایران مبحث ۵، ویژگیهای انواع سیمان پرتلند باید مطابق استاندارد شماره ۳۸۹ ایران باشد.

انواع سیمان پرتلند در یک نگاه

۱- سیمان پرتلند تیپ یک (I)

این نوع سیمان که سیمان پرتلند معمولی نیز گفته می‌شود، برای مصارف عمومی که ویژگی خاصی برای بتن در نظر گرفته نشده است و احتمال حملات سولفاتی وجود نداشته باشد استفاده می‌شود. از این نوع سیمان در ساختن پیاده روها، روسازی جاده ها، پلهای بتن مسلح، راه‌آهن، مخازن، لوله‌های آب و ملات برای بنایی استفاده می‌شود. به طور کلی بهتر است از این سیمان در مواردی که به خواص ویژه دیگر سیمان‌ها نیازی نیست استفاده شود. مصرف این رده از سیمان ها در مناطق گرمسیر و در بتن‌ریزی های حجیم باید با احتیاط انجام شود. در استاندارد ملی ۳۸۹ ایران این سیمان به سیمان "پ-۱" معروف است.

۲- سیمان پرتلند تیپ ۲ (II) یا سیمان پرتلند اصلاح شده

این نوع سیمان از نظر حرارت هیدراتاسیون و مقاومت در برابر حمله سولفاتهای در حد متوسط قرار دارد. مقاومت فشاری اولیه و نهایی آن کمتر از سیمان تیپ ۱ است. سیمان تیپ ۲ معمولاً کندتر از سیمان تیپ ۱ سخت می‌شود. این نوع سیمان در زمان گیرش حرارت کمتری تولید می‌کند. در ساخت این سیمان سعی می شود تا حد ممکن از مقدار C_3S و C_3A کاسته شود و مقدار C_2S افزایش یابد. در استاندارد ملی ۳۸۹ ایران این سیمان به سیمان "پ-۲" معروف است. از این سیمان می‌توان در بتن‌ریزی های حجیم استفاده نمود تا هنگام گرفتن بتن حرارت کمتری ایجاد شود و حجم بتن‌ریزی محدود نشود. این سیمان در محیط‌های آبی و خاکی که غلظت یون سولفات در حد متوسط است و برای بتن‌ریزی در هوای نسبتاً گرم، نیز استفاده می‌شود. مصرف این سیمان برای محیط‌های حاوی یون کلر و سولفات به طور همزمان و در محیط‌های حاوی غلظت زیاد سولفات توصیه نمی‌شود. به علت سرعت پایین هیدراتاسیون این سیمان برای بتن‌ریزی در هوای سرد نباید استفاده شود.

۳- سیمان پرتلند تیپ ۳ (III) یا سیمان زودگیر

این سیمان تقریباً اجزاء اولیه سیمان تیپ ۱ را دارد، با این تفاوت که بسیار ریزتر آسیاب شده و به همین جهت گیرش سریعتری دارد. سیمان تیپ ۳ در مدت کوتاهی یعنی معمولاً در عرض ۱ هفته یا کمتر مقاومت زیادی به دست می‌آورد و مقاومت ۷ روزه آن در حدود مقاومت ۲۸ روزه سیمان تیپ ۱ است. این نوع سیمان نسبت به سیمان تیپ ۱ در هنگام گیرش حرارت بیشتری تولید می‌کند. زمانی که قالب برداری و بارگذاری زود تر از موعد نیاز باشد این سیمان استفاده گسترده‌ای دارد. در شرایط آب و هوایی سرد نیز برای کاهش مدت زمان عمل آوری می‌توان از این سیمان استفاده کرد. در استاندارد ملی ۳۸۹ ایران این سیمان به سیمان "پ-۳" معروف است.

برای بدست آوردن بتنی با مقاومت بالا به جای استفاده از سیمان تیپ ۱ با عیار بالا استفاده از سیمان تیپ ۳ با عیار متوسط و استاندارد راهکار مناسب و با صرفه تری است. اصلی ترین نکته در مورد سیمان تیپ ۳ سرعت واکنش هیداراتاسیون در بتن تولید شده از آن است. این سرعت بالا در نهایت منجر به گیرش سریعتر و افزایش دمای بتن در ساعات اولیه می‌شود. باید توجه داشت که در هوای سرد کمتر از ۴ درجه سانتیگراد و در دمای زیر صفر درجه سانتیگراد، استفاده از این سیمان به تنهایی کافی نیست. در یخبندان علاوه بر مصرف این سیمان استفاده از ضدیخ نیز ضروری به نظر می‌رسد.

۴- سیمان پرتلند تیپ ۴ (IV) یا سیمان دیرگیر

سیمان تیپ ۴ کندگیر بوده و به هنگام بتن ریزی حرارت کمتری تولید می‌کند. در جایی است که شدت و مقدار حرارت تولید شده اهمیت دارد، این نوع سیمان استفاده فراوانی دارد. رشد مقاومت بتنی که با این سیمان ساخته می‌شود، آهسته

تر است. کاربرد اصلی این نوع سیمان در ساخت بتن های حجیم است. در سازه های حجیم بتنی مانند سدهای بتنی، به علت حجم زیاد بتن، افزایش درجه حرارت ناشی از گیرش بتن می‌تواند بسیار خطرناک باشد و برای پایین نگه داشتن درجه حرارت واکنش، سیمان تیپ ۴ استفاده می‌شود. این نوع سیمان، برای تسهیل در مراقبت از بتن تازه، در هوای گرم و دمای بالای ۴۰ درجه سانتیگراد، به صورت گسترده‌ای مصرف می‌شود. در استاندارد ملی ۳۸۹ ایران این سیمان به سیمان "پ-۴" معروف است.

در برخی از سازه‌ها مانند دیوارها برای کاهش فشار وارده بر قالب قبل از گیرش بتن، بتن ریزی با سرعت کمتر و به صورت لایه لایه انجام می‌شود. برای جلوگیری از ایجاد اتصال سرد در این قبیل بتن ریزی ها، استفاده از خاصیت دیرگیر بودن سیمان تیپ ۴ فرصت کافی برای اجرای عملیات را فراهم می کند.

از اشکالات بتن‌ریزی‌های حجیم از قبیل سدها و یا پایه های پل، این است که تبادل حرارتی عمق بتن با محیط بیرونی، کندتر صورت می گیرد. بنابراین هنگامی که بتن سفت شد، هنوز دمای قسمتهای مرکزی آن با محیط اطراف، یکنواخت نشده است. استفاده از سیمان تیپ ۴ سبب می‌شود که اولاً دمای قسمتهای میانی بتن حجیم کمتر از بتن مشابه ساخته شده با سیمان تیپ ۱ باشد و ثانیاً فرآیند سفت شدن بتن طولانی تر بوده و در این مدت قسمت اعظمی از تبادل حرارتی با محیط اطراف صورت می پذیرد. اگر خطر کاهش دمای بتن به کمتر از ۵ درجه سانتیگراد وجود دارد، بهتر است از سیمان تیپ ۴ استفاده نشود.

۵- سیمان پرتلند تیپ ۵ (V) یا سیمان ضد سولفات

این سیمان برای مصرف در بتن‌هایی که در معرض حمله سولفاتها قرار دارد، مناسب است و به همین جهت به آن سیمان ضدسولفات نیز گفته می‌شود. اگر آب زیرزمینی یا خاکی که در تماس با ساختمان بتنی قرار دارد، مقدار زیادی املاح سولفات داشته باشد، از این سیمان استفاده می‌شود. طبق آیین‌نامه بتن ایران (آبا) برای کلیه سازه‌های بتنی که در محیط‌های آب و خاک سولفاتی شدید قرار گرفته‌اند، باید از سیمان تیپ ۵ استفاده شود. اگر در محیطی یون کلر همراه یون سولفات باشد، کاربرد این سیمان باید با احتیاط و با آزمایش‌های لازم صورت گیرد. سیمان تیپ ۵ دیرتر از سیمان معمولی می گیرد و حد مقاومت ۳ و ۷ و ۲۸ روزه برای این سیمان کمتر از سایر سیمان‌های پرتلند است، از اینرو برای سازه‌هایی که در آنها نیاز به مقاومت‌های بالاتری باشد، محدودیت استفاده دارد. در استاندارد ملی ۳۸۹ ایران این سیمان به سیمان "پ-۵" معروف است

جدول ذیل مقادیر متوسط ترکیبات مختلف سیمان های پرتلند متداول را نشان می دهد..

مقادیر متوسط درصد ترکیبات تشکیل دهنده انواع مختلف سیمان

نوع سیمان	C_3S	C_2S	C_3A	C_4AF	$CaSO_4$	CaO آزاد	MgO	افت‌سرخ شدن
I	۵۹	۱۵	۱۲	۸	۲/۹	۰/۸	۲/۴	۱/۲
II	۴۶	۲۹	۶	۱۲	۲/۸	۰/۶	۳/۰	۱/۰
III	۶۰	۱۲	۱۲	۸	۳/۹	۱/۳	۲/۶	۱/۹
IV	۳۰	۴۶	۵	۱۳	۲/۹	۰/۳	۲/۷	۱/۰
V	۴۳	۳۶	۴	۱۲	۲/۷	۰/۴	۱/۶	۱/۰

۶- سیمان پرتلند پوزولانی

پوزولان از جنس سیلیکات و تقریباً شبیه سیمان است که به تنهایی خاصیت سیمانی شدن ندارد اما اگر آسیاب شود، در حضور رطوبت با آهک (آزاد شده از هیدراسیون سیمان) واکنش داده و ترکیباتی با خاصیت سیمانی شدن ایجاد می کند. در سیمان پوزولانی حداکثر ۱۵ درصد سیمان را ماده پوزولانی تشکیل می‌دهد. این نوع سیمان برای مصارف عمومی در ساخت ملات یا بتن به کار می‌رود. سیمان پورتلند پوزولانی، متناسب با نوع و ویژگی پوزولان مورد استفاده، خواص ویژه‌ای دارد.

پایین بودن حرارت هیدراسیون، کاهش نفوذپذیری بتن و ایجاد دوام قابل توجه در محیط‌های حاوی املاح خورنده، از جمله خواصی است که سبب کاربرد گسترده این نوع سیمان شده است. در مناطق گرمسیری و بتن‌ریزی های حجیم، در محیط‌های حاوی یون‌های سولفات و کلر، از سیمان پوزولانی استفاده فراوانی می‌شود. زمانی که سنگدانه‌های بتن نامرغوب بوده و با قلیایی‌ها (K_2O , Na_2O موجود در سیمان) واکنش انجام می‌دهند، استفاده از این سیمان توصیه می‌شود. پدیده آب انداختگیِ بتن حاوی پوزولان، کمتر از بتن معمولی بوده و از بروز ترک‌های سطحی و عمقی جلوگیری می کند.

واکنش پوزولانی منجر به کاهش آهک آزاد داخل بتن شده که ضمن کاهش خلل و خرج، از نفوذپذیری این بتن کاسته و از بروز شوره، سفیدک بتن و کربناته شدن آن جلوگیری می کند. این کاهش نفوذپذیری موجب دوام بتن در برابر املاح و مواد خورنده بتن و آرماتور می‌شود. این سیمان به دلیل داشتن سهم کمتری از کلینکر نسبت به سیمان پرتلند مشابه، دارای سخت شوندگی و گیرش اولیه طولانی تری است و لذا بهتر است برداشتن قالب یا بارگذاری این نوع بتن‌ها با گذشت زمان بیشتری صورت گیرد.

سیمان سفید:

سیمان سفید انواع مختلفی دارد که اکثرا به یک شکل تولید می شوند. روند ساخت سیمان سفید همانند سایر سیمان های معمولی یا پرتلند است اما در برخی جزییات تفاوت دارد. آهن و منیزیم جزو عناصر سازنده سیمان هستند که باعث می

شوند رنگ خاکستری به خود بگیرد. در ساخت سیمان سفید میزان این عناصر به کمتر از ۰/۸ درصد کاهش یافته و در نتیجه یه رنگ سفید متمایل می شود. برای افزایش سفیدی سیمان از سنگ گچ (که به افزایش مقاومت و گیرش هم کمک می کند)، سنگ آهک ، سنگ های با رنگدانه سفید مثل سنگ های کائولین و ... استفاده می شود. لازم به ذکر است در فراند تولید سایر سیمان ها از سوخت با دوده استفاده می شود ولی برای تولید سیمان سفید از گاز استفاده می شود.

از این نوع سیمان بیشتر در ساخت نما استفاده می شود. از دیگر مصارف سیمان سفید ساخت محصولات و پنل های پیش ساخته است. علت استفاده از سیمان سفید در این موارد بازتاب نور در مجتمع ها و افزایش زیبایی و جذابیت و همچنین عدم نیاز به رنگ کاری سطوح پس از اتمام کار می باشد. همچنین از سیمان سفید برای تولید سیمان های رنگی هم بهره می برند.

سیمان های رنگی:

یکی از نیازهای جدید در صنعت ساختمان سازی استفاده از سیمان های رنگی است. سیمان های رنگی با استفاده از رنگ‌های مختلف به دست می‌آیند. سیمان رنگی بیشتر در طرح‌های تزئینی (محوطه پارک ها ، کفپوش خیابان و پیاده رو ها و یا جداول و ...) و نمای ساختمان‌ها کاربر دارد. یکی دیگر از کاربرهای این نوع سیمان برای ایجاد سطوح رنگی در خیابان‌ها است. این نوع سطوح با توجه به رنگی که دارند، جذب نور خورشید را تشدید یا تضعیف می‌کنند. این سیمان علاوه بر داشتن مقاومت استاندارد، دارای تنوع رنگی قابل قبول نیز می باشد و در مقابل سایش آب و آفتاب نیز مقاوم هستند و کاملا مشابه سایر سیمان ها بوده و رفتار یکسانی از خود نشان می دهد.

رنگ‌دانه‌های استفاده شده در سیمان رنگی، فلزات رنگی هستند که باید از استاندارد ASTM C 979 پیروی کنند. این استاندارد خصوصیت‌های سیمان‌های رنگی را مشخص می‌کند. در بیشتر مواقع برای ایجاد رنگ دلخواه چندین رنگدانه را با یکدیگر ترکیب می‌کنند. میزان رنگدانه‌های اضافه شده به سیمان سفید میزانی بین ۰/۵ تا ۲ درصد وزن سیمان است. برای رنگ های قرمز، زرد، قهوه ای و سیاه از اکسید اهن، برای رنگ های سیاه و قهوه ای از اکسید منگنز، برای رنگ سبز از اکسید کروم، برای رنگ آبی از اکسید کبالت، برای رنگ زرد از گل اخرا استفاده می‌شود.

سیمان پرتلند سرباره ای:

مواد زاید کوره آهن گدازی را با کلینکر سیمان آسیاب می کنند و سیمان پرتلند سرباره بدست می آید. مقدار سرباره مورد نیاز ۲۵٪ تا ۶۵٪ وزن سیمان است و به منظور کنترل زمان گیرش مقدار کمی گچ نیز اضافه می شود. مقاومت اولیه این سیمان معمولاً کمتر از سیمان معمولی است و در مقابل ارزان قیمت تر از سیمان پرتلند معمولی است.

اجزای تشکیل دهنده سرباره عمدتاً آهک (٪۴۵-٪۳۵)، سیلیس (٪۳۸-٪۲۸) و آلومین(٪۱۸-٪۸) است و شباهت زیادی به اجزای سیمان پرتلند دارد. به علاوه سرباره ممکن است حاوی مقدار قابل توجهی منیزیم در حدود ۱۶ درصد و سولفید کلسیم در حدود ۵ درصد و اکسید منگنز، اکسید فرو و مقداری آهن فلزی و مقادیر جزیی قلیایی نیز باشد.

مهمترین مزایای بتن ساخته شده از سیمان پرتلند سرباره ای عبارتند از:

حرارت هیدراتاسیون کنترل شده و در نتیجه کارائی بهتر در هوای گرم و بتن ریزی های نسبتا حجیم

کاهش خوردگی آرماتور و بتن به دلیل افزایش مقاومت شیمیائی در مقابل سولفات و کلر

افزایش دوام بتن به دلیل افزایش تدریجی و مستمر مقاومت ها

افزایش دوام بتن به دلیل کاهش اثرات مخرب واکنش قلیایی - سیلیسی سنگدانه ها و نفوذ پذیری و انبساط کمتر

سیمان بنایی:

این نوع سیمان که عمدتا به صورت ملات در سازه های بنایی برای اتصال آجر، سنگ یا بلوک مورد استفاده قرار می گیرد، مخلوطی از یک ماده چسباننده با سایر مواد مناسب است. ماده سیمانی ممکن است یکی از انواع سیمان پرتلند، با مواد پرکننده دیگر مثل خاک رس یا سنگ آهک باشد. نسبت اختلاط سیمان بنایی ۷۰ درصد سیمان پرتلند و ۳۰ درصد مواد دیگر است. نوع سیمان دارای مقاومت کمتری نسبت به سیمان های دیگر است.

سیمان هوازا (حباب زا) I-A و II-A و III-A :

در این بتن ها حباب های عمدی هوا ایجاد می شود و بتنی که از این سیمان ساخته می شود در برابر یخ زدن و ذوب شدن متوالی مقاومت بیشتری دارد برای تهیه این نوع سیمان به کلینکر سیمان های تیپ ۱ و ۲و ۳ برخی مواد حباب زا مثل اسید های چرب و یا زرینهای چوب اضافه می شود.

سیمان چاه نفت:

این سیمان مخصوص حفر چاه نفت است و با افزودن برخی مواد شیمیایی خاص به کلینکر سیمان معمولی به دست می آید. برای جلوگیری از ریزش یا نفوذ آب از سیمان چاه نفت استفاده می شود. این سیمان در فشار و دمای بالا از گیرش و مقاومت خوبی برخوردار می باشد.

سیمان انبساطی (سیمان ضد افت):

سیمان انبساطی به سیمان هیدرولیکی متشکل از سیلیکات‌های کلسیم، آلومینات‌های کلسیم و سولفات‌های کلسیم گفته می‌شود که پس از گیرش و در مرحله ابتدایی سخت‌شدن، انبساط حجمی از خود نشان دهد. این نوع سیمان در ساخت بتن‌های خودانبساط برای جبران انقباض بتن ناشی از خشک‌شدن سیمان پرتلند یا برای پیش‌تنیدگی شیمیایی بتن کاربرد دارد. سیمان انبساطی به انواع زیر تقسیم می‌شود:

سیمان انبساطی نوع K : سیمانی دارای کلسیم آلومینوسولفات بدون آب، کلسیم سولفات و اکسید کلسیم آزاد
سیمان انبساطی نوع M : سیمانی دارای کلسیم آلومینات و کلسیم سولفات
سیمان انبساطی نوع S : سیمانی دارای تری‌کلسیم آلومینات و کلسیم سولفات

سیمان پرآلومین یا سیمان برقی:

در تولید این سیمان حدود ۴۰٪ سنگ آهک را با ۴۰٪ بوکسیت مخلوط نموده، ۲۰٪ مواد دارای آهن و سیلیس افزوده شده و مخلوط را درون کوره تا حدود ۱۶۰۰ درجه سانتی گراد حرارت می دهند. در این دما برخلاف روند تولید سیمان پرتلند که ۲۵٪ مواد ذوب می شوند، کلیه مواد اولیه به صورت مذاب در می آیند. مواد مذاب از انتهای کوره خارج می شوند و داخل سینیهایی می ریزند تا به سرعت سرد شوند. محصول به دست آمده، ورقه های شیشه ای مانند است که به دستگاه خردکن می روند و به صورت قطعات کوچکی به نام کلینکر سیمان برقی تبدیل می شوند. کلینکر سیمان برقی را به آسیاب می برند و بدون افزودن هیچگونه ماده ای آن را آسیاب می کنند. نتیجه فرایند ، سیمان پرآلومین است که دارای رنگی تیره تر از سیمان پرتلند معمولی (تقریباً سیاه) می باشد. مقادیر اکسیدهای تشکیل دهنده سیمان پرآلومین در جدول زیر نشان داده شده است.

مقادیر اکسیدهای تشکیل دهنده سیمان پرآلومین

اکسید	مقدار به درصد
SiO_2	۳ تا ۸
Al_2O_3	۳۷ تا ۴۱
CaO	۳۶ تا ۴۰
Fe_2O_3	۹ تا ۱۰
FeO	۵ تا ۶
TiO_2	۱/۵ تا ۲
MgO	۱
پسماند نامحلول	۱

هدف از تهیه این سیمان، مقاومت در برابر حمله سولفاتها است. مقاومت این سیمان در مقایسه با سیمان پرتلند معمولی بسیار سریعتر افزایش می یابد؛ به گونه ای که در یک روز، مقاومت ۲۸ روزه سیمان پرتلند عادی را بدست می دهد. این سیمان در دمای بین ۲۰ تا ۳۰ درجه مخصوصاً در محیطهای مرطوب دچار تغییرات شیمیایی شده، چسبندگی خود را از دست می دهد و این امر باعث تخریب در سازه های ساخته شده با این نوع سیمان می شود. لذا کاربرد این سیمان در دماهای بسیار بالا یا پایین است؛ مثلاً در مناطق قطبی یا استوایی. مهمترین کاربرد آن، استفاده به عنوان سیمان نسوز است. این سیمان تا دمای حدود ۱۶۰۰ درجه را به خوبی تحمل می کند و لذا می توان از آن در چسباندن آجرهای نسوز درون کوره سیمان بهره جست.

هیدراسیون سیمان:

ترکیب شیمیائی سیمان با آب را هیدراسیون سیمان می نامند که کم کم با گذشت زمان منجر به سخت شدن خمیر سیمان می شود. واکنشهای هیدراسیون فازهای مختلف سیمان به شرح ذیل است:

$$2C_3S + 6H_2O \rightarrow 3CaO.2SiO_2.3H_2O + 3Ca(OH)_2$$

$$2C_2S + 4H_2O \rightarrow 3CaO.2SiO_2.3H_2O + Ca(OH)_2$$

$$C_3A + 6H_2O \rightarrow 3CaO.Al_2O_3.6H_2O$$

$$C_3A + Ca(OH)_2 \rightarrow 4CaO.Al_2O_3.13H_2O$$

$$C_4AF + 4Ca(OH)_2 + 22\ H_2O \rightarrow 4CaO.Al_2O_3.13H_2O + 4CaO.Fe_2O_3.13H_2O$$

به محض افزودن آب به سیمان، هیدراسیون C_3S آغاز شده و محصولات هیدراسیون تشکیل می شوند. واکنش هیدراسیون فاز C_2S شبیه C_3S می باشد و محصولات مشابهی تولید می شود و فاز C_4AF به آرامی با آب واکنش می دهد. تفاوت هیدراسیون فاز C_2S و C_3S در سرعت هیدراته شدن، حرارت هیدراسیون، مقدار هیدروکسیدکلسیم تولیدی می باشد.

ژل سیلیکات کلسیم هیدراته $CaO.2SiO_2.3H_2O$ (C-S-H) حدود ۵۰ تا ۶۰ درصد حجم مواد جامد خمیر سیمان را تشکیل داده و محصول اصلی هیدراسیون سیمان است و عامل عمده مقاومت سیمان و بتن می باشد.

خواص سیمان پرتلند:

۱- درجه نرمی (ریزی) سیمان:

مقدار مساحت سطح خارجی دانه های سیمان در واحد جرم آن را درجه نرمی سیمان می نامند. ریزی یا نرمی سیمان با معیار سطح مخصوص دانه ها که واحد آن m^2/kg می باشد سنجیده می شود. از آنجا که هیدراسیون از سطح ذرات سیمان شروع می‌شود، مساحت تمامی سطح سیمان موجود در هیدراسیون شرکت دارند. بنابراین نرخ هیدراسیون بستگی به ریزی سیمان دارد و مثلا برای کسب مقاومت سریعتر نیز به سیمان نرم تر یا ریزتر می‌باشد. اما باید توجه داشت که همیشه یک سیمان نرم از نظر اقتصادی و فنی مقرون به صرفه نیست، زیرا هزینه آسیاب کردن و اثرات بیش از حد نرم بودن سیمان بر خواص دیگر آن مانند نیاز بیشتر به گچ برای تنظیم گیرش، کارآیی بتن تازه و سایر موارد نیز باید مد نظر باشد. هر چقدر میزان نرمی سیمان بیشتر باشد، سطح مخصوص آن بیشتر است و سرعت آزاد شدن حرارت و میزان افزایش مقاومت آن بیشتر می شود.

۲-سلامت سیمان:

به ثبات حجم سیمان سخت شده بعد از گیرش گفته می شود. تغییرات حجمی خمیر سیمان بعد از گیرش باید به گونه‌ای باشد که تغییر حجمی چندانی به وجود نیاید و انبساط بیش از حد رخ ندهد. اگر در سیمان آهک و سنگ گچ بیش از اندازه وجود داشته باشد، باعث انبساط بیش از حد در سیمان شده و خمیر سیمان از هم می پاشد؛ در چنین شرایطی به این سیمان، سیمان ناسالم می گویند. وجود اکسید منیزیم بیش از حد نیز باعث ناسالم بودن سیمان می شود. سلامت سیمان با استفاده از آزمایش اتوکلاو یا آزمایش انبرک لوشاتلیه انجام می شود.

۳-زمان گیرش:

به تغییر وضعیت سیمان از حالت خمیری به حالت جامد گیرش می گویند. گیرش سریع سیمان در اثر وجود C3S انجام می شود و زمان آن بعد از اختلاط با آب حدود نیم تا یک ساعت است. برای تعیین گیرش سیمان از دستگاهی به نام ویکات استفاده می شود.

۴- جرم مخصوص سیمان:

در مورد سیمان دو نوع جرم مخصوص اندازه گیری می شود. جرم مخصوص دانه ای و جرم مخصوص انبوهی. جرم مخصوص دانه ای از تقسیم جرم دانه های سیمان بر حجم سیمان بدون در نظر گرفتن فضای بین دانه های سیمان بدست می آید. اگر جرم دانه های سیمان را بر حجم سیمان با در نظر گرفتن فضای بین دانه های سیمان تقسیم کنیم، جرم مخصوص انبوهی بدست می آید. در آزمایش تعیین جرم مخصوص دانه ای سیمان ، برای اندازه گیری حجم سیمان از نفت استفاده می شود که با سیمان واکنش نمی دهد. برای تعیین جرم مخصوص دانه ای از فلاسک یا بالون لوشاتلیه استفاده می شود.

۵- مقاومت سیمان:

مقاومت مکانیکی سیمان سخت شده مهمترین خاصیت سیمان از لحاظ سازه ای می باشد و به چسبندگی خمیر سیمان بستگی دارد. مقاومت ملات سیمان و یا بتن به سه عامل بستگی دارد که عبارتند از چسبندگی خمیر سیمان و قابلیت چسبندگی آن به مواد سنگی و مقاومت مواد سنگی مورد استفاده در ساخت بتن. چندین نوع آزمایش مقاومت وجود دارد:

۱-کشش مستقیم

۲-فشار مستقیم

۳- خمش

در تعیین مقاومت خمیر سیمان باید ملات سیمان که مخلوطی از پودر سیمان و ماسه استاندارد می باشد، تهیه کرد. نسبت پودر سیمان به ماسه باید ۱ به ۳ باشد و رطوبت در این مخلوط متناسب با روانی متعارف باشد.

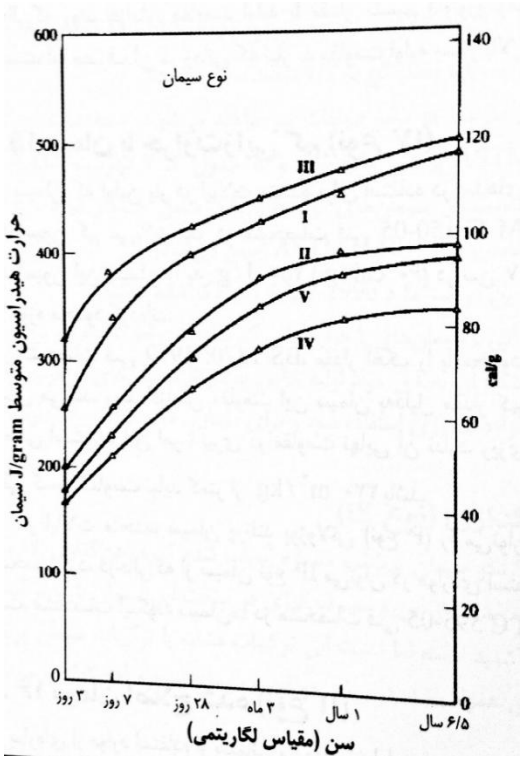
حرارت هیدراسیون:

همانند هر واکنش شیمیایی، هیدراسیون ترکیبات سیمان نیز حرارت‌زا است. به مقدار حرارتی که در هر گرم از سیمان هیدراته در اثر هیدراسیون در دمای معینی تولید می‌گردد، حرارت هیدراسیون گفته می‌شود و به روشهای مختلفی قابل اندازه گیری است. میزان حرارت آزاد شده در اثر هیدراسیون سیمان (واکنش سیمان با آب) یکی از خصوصیات سیمان است که در انتخاب نوع سیمان برای کارهای گوناگون مؤثر است. برای سیمانهای پرتلند معمولی، حدود نصف کل حرارت تا سه روز و حدود ۷۵ درصد حرارت تا حدود ۷ روز و تقریبا ۹۰ در صد حرارت در ۶ ماه آزاد می‌شود. در واقع حرارت هیدراسیون بستگی به ترکیب شیمیایی سیمان دارد و تقریبا برابر است با مجموع حرارتهای ایجاد شده توسط تک تک ترکیبات خالص سیمان ، اگر به صورت جداگانه هیدراته شود. حرارت هیدراسیون فازهای مختلف سیمان به شرح جدول دیل می باشد:

حرارت هیدراسیون ترکیبات اصلی سیمان

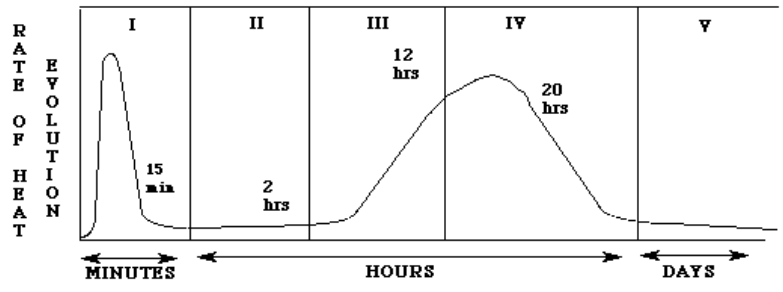
ترکیب	حرارت هیدراسیون	
	J/g	Cal/g
C_3S	۵۰۲	۱۲۰
C_2S	۲۶۰	۶۲
C_3A	۸۶۷	۲۰۷
C_4AF	۴۱۹	۱۰۰

با کاهش درصد ترکیبات سه کلسیم سیلیکات و سه کلسیم آلومینات، حرارت هیدراتاسیون و میزان آزاد شدن آن نیز تقلیل می یابد. ریزی سیمان در سرعت حرارت آزاد شده تأثیر داشته، لیکن در کل حرارت ایجاد شده تأثیری ندارد. کل حرارت ایجاد شده در بتن، با میزان سیمان در آن کنترل می گردد. شکل زیر حرارت هیدراسیون انواع سیمان پرتلند در سنین مختلف را نشان می دهد.



نرخ حرارت هیدراسیون سیمان های مختلف

نرخ حرارت ایجاد شده در اثر واکنش سیمان با آب در زمان های مختلف در شکل زیر نشان داده شده است. در مرحله (I) هیدراسیون سریع ذرات سیمان در تماس با آب ایجاد شده و یک جهش ناگهانی در مقدار حرارت هیدراسیون ایجاد می شود. هیدراسیون اولیه معمولا در دقایق اولیه ترکیب آب با سیمان ایجاد می شود. در مرحله (II) که حدود ۲ ساعت طول می کشد فعالیت هیدراسیون سیمان متوقف می شود. در این زمان سیمان یا بتن یک جسم خمیری است که قابلیت انتقال از محل ساخت تا مصرف را دارد و بنابراین بتن ریزی باید در این مرحله انجام شود. در انتهای این مرحله گیرش سیمان شروع شده و حرارت هیدراسیون افزایش می یابد. عامل گیرش بتن در مرحله (III) و (IV) به ترتیب ناشی از هیدراسیون C_3S و C_3A می باشد. مرحله (V) بعد از ۳۶ ساعت از ساخت ملات سیمان یا بتن شروع شده و تا زمانی که سیلیکات های هیدارته نشده و آب وجود داشته باشد ادامه می یابد.



نرخ حرارت ایجاد شده در اثر واکنش سیمان با آب در زمان های مختلف

شرایط انبار کردن و حمل و نقل سیمان

سیمان در بازار به دو صورت فله و پاکتی وجود دارد. در زمان محل باید دقت شود که سیمان از باران و رطوبت محافظت شود. سیمان باید به صورت خشک نگهداری شود در صورتی که سیمان به صورت باز انبار می شود باید کف انبار خشک و کیسه ها حداقل ۱۰ سانتیمتر از کف فاصله داشته باشد. این روش نباید برای مدت طولانی سیمان نگهداری شود. برای نگهداری مدت طولانی سیمان باید سیمان در انبارهای سر پوشیده که سقف وکف و دیوارهای آن نم بندی شده اند نگهداری شود.

نگهداری سیمان فله، فقط در سیلو مجاز است. نگهداری و ذخیره سیمان در مناطقی که رطوبت نسبی هوا از ۹۰ درصد بیشتر باشد، نباید در کیسه بیش از ۶ هفته و در سیلوهای مناسب بیش از ۳ ماه تجاوز نماید. در صورت تجاوز از این زمانها، سیمان باید قبل از مصرف آزمایش شود. مصرف سیمانهای کلوخه شده که با یکبار غلتاندن کیسه های آن نرم نشود، بدون انجام آزمایشهای تعیین کیفیت مجاز نیست. برای حفاظت و انبار کردن سیمان در کارگاه باید شرایط مندرج در استاندارد ایران شماره ۲۷۶۱ رعایت گردد.