

فرآیند مواد اولیه سیمان در شناخت کارخانه

Contents

۱	چکیده
۲	فصل اول
۲	۱-۲- تعریف سیمان
۲	۱-۱-۲- تعریف عام سیمان
۲	۲-۱-۲- تعریف خاص سیمان
۲	۳-۱-۲- تعریف کمیته‌ی استاندارد آلمان از سیمان
۲	۲-۲- تعریف کلینکر
۳	۳-۲- ترکیبات تشکیل دهنده سیمان
۳	۱-۳-۲- ترکیبات اصلی سیمان
۳	۲-۳-۲- ترکیبات فرعی سیمان
۴	۴-۲- سیمان پرتلند
۴	۱-۴-۲- تعریف سیمان پرتلند
۴	۲-۴-۲- انواع سیمان پرتلند مطابق استاندارد ASTM-C-150
۴	۱-۲-۴-۲- سیمان پرتلند نوع I
۴	۲-۲-۴-۲- سیمان پرتلند نوع II
۴	۳-۲-۴-۲- سیمان پرتلند نوع III
۵	۴-۲-۴-۲- سیمان پرتلند نوع IV
۵	۵-۲-۴-۲- سیمان پرتلند نوع V
۵	۵-۲- ملات و بتن
۵	۱-۵-۲- ملات سیمان

۶	۲-۵-۲- بتن سیمان
۷	فصل دوم
۷	ترکیبات اصلی و فرعی سیمان
۷	۱-۳- نسبت‌های تشکیل دهنده اصلی کلینکر و سیمان
۷	۳-۱-۱-۳- مدول سیلیس یا SiM
۸	۳-۱-۲- مدول آلومینیوم یا AIM
۸	۳-۱-۳- مدول فاکتور اشباع آهک یا LSF
۹	۳-۲- دلایل کنترل مدول‌های AIM, SiM, LSF
۹	۳-۲-۱- کنترل مواد برحسب C_3S , AIM, SiM, LSE
۹	۳-۳- تنظیم مواد سیلوها (کارکرد آسیب مواد ساعتی)
۱۰	۳-۴- تاثیر تغییرات LSF
۱۱	۳-۵-۱- کریستال C_3S یا فاز آلیت
۱۲	۳-۵-۱-۱- مشخصه‌های C_3S در سیمان
۱۲	۲-۵-۳- کریستال C_2S یا فاز بلیت
۱۳	۳-۵-۲-۱- مشخصه‌های C_2S در سیمان
۱۳	۳-۵-۳- کریستال C_3A یا فاز آلومینات
۱۴	فصل سوم
۱۴	فرآیند تولید سیمان
۱۴	۴-۱- مقدمه
۱۴	۴-۲- مواد اولیه مورد نیاز یک کارخانه سیمان
۱۴	۴-۲-۱- سنگ آهک
۱۵	۴-۲-۲- خاک رس
۱۵	۴-۲-۳- سنگ آهن

- ۱۵-۴-۲-۴- اکسید سیلیسیم
- ۱۶-۵-۲-۴- سنگ گچ
- ۱۶-۳-۴- واحدهای مختلف تولید در کارخانه
- ۱۶-۱-۳-۴- سنگ شکن
- ۱۶-۲-۳-۴- خشک کن (درایر)
- ۱۷-۳-۳-۴- سالن اختلاط مواد
- ۱۷-۱-۳-۳-۴- کنترل توسط ایجاد اختلاف در دبی مواد به هنگام خروج از بونکرها
- ۱۷-۲-۳-۳-۴- کنترل توسط سرعت نوار نقاله
- ۱۷-۴-۳-۴- آسیای مواد خام
- ۱۸-۵-۳-۴- کوره
- ۱۸-۱-۵-۳-۴- منطقه‌ی کلیسناسیون (آبگیری از مواد)
- ۱۸-۲-۵-۳-۴- منطقه‌ی ایمنی
- ۱۸-۳-۵-۳-۴- منطقه ترانزیشن
- ۱۸-۴-۵-۳-۴- منطقه‌ی پخت
- ۱۹-۵-۵-۳-۴- منطقه‌ی خنک کن
- ۱۹-۶-۳-۴- آسیای سیمان
- ۱۹-۴-۴- روش‌های تولید سیمان
- ۱۹-۱-۴-۴- روش تر
- ۱۹-۲-۴-۴- روش نیمه تر
- ۱۹-۳-۴-۴- روش نیمه خشک
- ۲۰-۴-۴-۴- روش خشک
- ۲۰-۵-۴- کنترل کیفی سیمان
- ۲۰-۱-۵-۴- روش فیزیکی و تأثیر مشخصات مواد اولیه در روند تولید
- ۲۱-۲-۵-۴- روش شیمیایی و تأثیر مشخصات شیمیایی مواد اولیه در روند تولید

- فصل پنجم ۲۲
- دیگرام فاز های مختلف سیمان ۲۲
- ۱-۵- مفهوم تیترا در مواد خام سیمان چیست؟ ۲۲
- ۲-۵- روش اندازه‌گیری درصد کل کربنات‌ها از طریق تیتراسیون ۲۳
- ۳-۵- روش اندازه‌گیری درصد کربنات منیزیم ($MgCO_3$) ۲۴
- ۴-۵- طرز ساختن محلول اسید کلریدریک ۱/۲ نرمال ۲۶
- ۱-۴-۵- عمل کرکسیون اسید کلریدریک (Correction) ۲۷
- ۱-۵-۵- عمل کرکسیون ۲۹
- ۶-۵- طرز ساختن معرف‌های تیتراسیون ۳۱
- ۷-۵- آهک آزاد Free Lime ۳۱
- ۸-۵- اکسید منیزیم یا MgO ۳۱
- ۹-۵- قلیائی‌ها ۳۳
- ۱-۹-۵- سولفات SO_3 یا انیدریدسولفوریک ۳۳
- ۲-۹-۵- نسبت قلیائی به سولفات Alkali / Sulphate Ratio ۳۴
- ۱-۲-۹-۵- مدول سولفات M_{SO_3} ۳۴
- فصل ششم ۳۶
- پیشنهادات و نتیجه‌گیری ۳۶
- ۱-۸- نتیجه‌گیری ۳۶
- ۲-۸- پیشنهادات ۳۷
- ۱-۲-۸- کاهش آلودگی‌های زیست محیطی که کارخانه سیمان تولید می‌کند ۳۷
- ۲-۲-۸- انجام اکتشافات دقیق ۳۷
- منابع و مأخذ ۳۸

چکیده

سیمان ترکیبی از فرآوری مواد آهکی و رسی است که از آن برای چسباندن آجرها، بلوک‌های آجری، قطعات سنگ و یا ساختن بتن‌های سیمانی استفاده می‌شود و اساسی‌ترین ماده در انجام کارهای عمرانی از قبیل سدسازی، پل و تونل‌سازی، راه و ساختمان و ساخت انواع سازه‌های بتنی محسوب می‌شود. بنابراین می‌توان سیمان را اساس سازندگی نامید. نظر به اینکه تولید هر محصولی، مستلزم شناخت کامل مواد خام و دانش تبدیل این مواد به محصول می‌باشد، هدف از مطالعه‌ی حاضر، شناخت مواد اولیه مورد نیاز کارخانه سیمان و تحلیل فرآیند تولید می‌باشد.

برای تولید سیمان، ابتدا مواد اولیه را که شامل سنگ آهک، سنگ آهن و خاک رس می‌باشد، از معادن به کارخانه‌ها انتقال می‌دهند. این مواد در کارخانه پس از آسیا شدن و تنظیم با نسبت‌های مناسب به کوره‌ی پخت منتقل می‌شوند و پس از پخت مجدداً آسیا شده و به عنوان سیمان، در پاکت‌های ۵۰ کیلوگرمی و یا به صورت فله‌ای به بازار عرضه می‌شوند.

البته در این فرآیند ممکن است، ترکیبات فرعی مختلفی به مواد اولیه اضافی شوند که هر یک از این ترکیبات یک ویژگی خاص به سیمان می‌بخشند، بنابراین برحسب درصد وزنی ترکیبات و قابلیت‌های متفاوت سیمان از قبیل قابلیت سخت شدن در اعماق آب یا پایداری در مجاورت محلول‌ها، سیمان‌ها را به انواع مختلفی تقسیم می‌کنند که همه این انواع باید با استاندارد کشور سازنده مطابقت داشته باشند. فاکتورهای اساسی تولید سیمان، مواد اولیه و تکنولوژی تولید می‌باشند که ایران از نظر مواد اولیه بسیار غنی است اما در زمینه تکنولوژی تولید، هنوز به خودکفایی نرسیده است و این امر بیش از همه لزوم انجام مطالعات بیشتر در راستای دستیابی به تکنولوژی بومی تولید را نتیجه می‌کند.

فصل اول

۱-۲- تعریف سیمان

برای سیمان تعاریف زیادی در مراجع مختلف آمده است که در زیر به چند مورد اشاره می‌شود.

۱-۱-۲- تعریف عام سیمان

به طور عام به کلیه موادی که خاصیت چسبندگی دارند، سیمان می‌گویند که این تعریف شامل کلیه چسب‌ها، گچ و ... نیز می‌شود.

۲-۱-۲- تعریف خاص سیمان

به طور خاص منظور از سیمان جسمی است که مواد تشکیل دهنده آن آهک و خاک رس است و برای اولین بار به صورت ابتدایی خود در سال ۱۸۲۴ میلادی توسط یک بنای انگلیسی به عنوان اختراع ثبت شد.

۳-۱-۲- تعریف کمیته‌ی استاندارد آلمان از سیمان

سیمان‌ها عواملی سفت شونده‌ای هستند که اساساً از ترکیب اکسیدکلسیم با اکسیدهای سیلیسیم، آلومینیوم و آهن به وجود آمده و می‌توانند در هوا و در زیر آب سخت شوند. (خاصیت هیدرولیکی سیمان) و پس از سخت شدن در زیر آب مقاوم و پایدار باشند. به علاوه مقاومت لازم و ثبات حجمی که در استانداردهای سیمان ذکر شده را دارا باشند و مواد خام تشکیل دهنده آنها بتوانند حداقل تا نقطه ذوب حرارت داده شوند.

۲-۲- تعریف کلینکر

سیمان‌ها را به دو روش کلی خشک و تر تهیه می‌کنند، در روش خشک مواد اولیه به صورت خشک و در روش تر به وسیله آب، با هم مخلوط می‌شوند و مواد اولیه آماده شده را در کوره‌های ویژه‌ای حرارت می‌دهند

تا دانه‌های گردی موسوم به «کلینکر» حاصل شود. این دانه‌ها را آسیاب کرده (سیمان) و در پاکت‌های کاغذی به بازار عرضه می‌کنند.

۲-۳- ترکیبات تشکیل دهنده سیمان

کلیه ترکیبات موجود در سیمان را برحسب میزان فراوانی و نقشی که به عهده دارند به دو گروه ترکیبات اصلی و فرعی تقسیم می‌کنند.

۲-۳-۱- ترکیبات اصلی سیمان

به ترکیباتی گفته می‌شود که دارای فراوانی زیادی هستند و تولید سیمان معمولی بدون آنها امکان‌پذیر نیست و عبارتند از اکسیدهای کلسیم، سیلیسیم، آلومینوم و آهن.

۲-۳-۲- ترکیبات فرعی سیمان

به ترکیباتی می‌گویند که فراوانی آنها در سیمان کم است اما به سیمان یک ویژگی خاص می‌بخشند مثل کلرور سیدیم و کلرور کلسیم که به فرآیند سخت شدن سیمان سرعت می‌بخشند یا موادی همچون شکر، کربوهیدرات‌ها، کربوکسی متیل و هیدروکسی اتیل سلولز که زمان فرآیند سخت شدن سیمان را زیاد می‌کنند و به کندکننده‌ها موسوم‌اند.

با توضیحات فوق می‌توان نتیجه گرفت که ترکیبات فرعی هر چند دارای عیار پایینی در سیمان هستند. اما همین مقادیر کم باید با دقت و حساسیت بالایی تنظیم شوند چرا که گاهی مقدار اضافی این ترکیبات حتی در حدود دهم درصد می‌تواند کیفیت سیمان را به شدت پایین آورد و خسارات جبران‌ناپذیری را وارد کند. به عنوان مثال اگر مقدار هیدروکسی اتیل سلولز از ۰.۵٪ تجاوز کند به مقدار ۰.۵ برابر آب اضافی نیاز خواهد بود یا اگر مقدار شکر از ۱٪ تجاوز کند مقاومت فشاری سیمان به حدی افت خواهد کرد که دیگر از آن در کارهای صنعتی مهم نمی‌توان استفاده کرد.

۲-۴- سیمان پرتلند

۲-۴-۱- تعریف سیمان پرتلند

سیمان‌های معمولی که برای تهیه آنها مواد اضافی به کار نمی‌رود و هر چهار نوع کلینکر اصلی (اکسیدهای کلسیم، سیلیسیم، آلومینوم و آهن) در ترکیب آنها موجود است، پس از مخلوط شدن با آب و سخت شدن به رنگی شبیه به رنگ سنگ‌های جزیره‌ی پرتلند در می‌آیند، به همین جهت به این سیمان‌ها سیمان پرتلند می‌گویند.

۲-۴-۲- انواع سیمان پرتلند مطابق استاندارد ASTM-C-150

براساس موارد استفاده پنج نوع سیمان پرتلند وجود دارد که به اختصار آنها را بررسی می‌کنیم.

۲-۴-۲-۱- سیمان پرتلند نوع I

سیمان نوع I در مواردی به کار می‌رود که شرایط خاص ساختمانی مثل مقاومت در مقابل آب‌های سولفات‌دار، کارهای ساختمانی در دریا و ... مدنظر نباشد. موارد استعمال پرتلند I عبارتند از: ساختمان‌های بتنی، پل‌سازی، کانال‌کشی، مخازن آب، آجر و بلوک‌های بتنی.

۲-۴-۲-۲- سیمان پرتلند نوع II

این سیمان کندتر از سیمان نوع I سخت می‌شود به همین جهت در قسمت‌هایی مصرف می‌شود که مستقیماً در مقابل نور خورشید قرار می‌گیرند. پرتلند II در مقابل آب‌های سولفات‌دار مقاومت بیشتری دارد.

۲-۴-۲-۳- سیمان پرتلند نوع III

طرز تهیه پرتلند III با نوع I تفاوت زیادی ندارد فقط در مورد پرتلند III مواد اولیه با دقت بیشتری تهیه می‌شود به علاوه کلینکر این سیمان را معمولاً دوباره از کوره می‌گذارند تا آهک موجود در مواد خام کاملاً با سایر مواد ترکیب شود و به صورت آزاد وجود نداشته باشد. همچنین ذرات آن را ریزتر می‌کنند. به این

ترتیب سیمان نوع III با توجه به اینکه سریع‌تر سخت می‌شود و خود را می‌گیرد. باید جاهایی مصرف شود که گیرش سریع سیمان و مقاومت اولیه زیادتر مورد نظر است. (مثل مواردی که قالب می‌بایست زودتر برداشته شود و یا در هوای سرد)

۲-۴-۲-۴- سیمان پرتلند نوع IV

سرعت ترکیب این سیمان با آب از سیمان نوع II نیز کمتر است و از آنجایی که تولید حرارت به هنگام سخت شدن این سیمان کم است. برای ساختمان سدها از آن استفاده می‌شود.

۲-۴-۲-۵- سیمان پرتلند نوع V

این سیمان نسبت به آب‌های سولفات‌دار پایدار است بنابراین در مواجهه با آب‌های سولفات‌دار مناسب‌ترین سیمان، نوع V است.

علاوه بر سیمان‌های نوع I تا V، برای مصارف خاص سیمان‌های دیگری می‌توان ساخت که این امر با افزودن تحریکات کمکی مانند چسب، شتاب دهنده‌ها، کندکننده‌ها و ... محقق می‌شود.

۲-۵- ملات و بتن

ملات مخلوطی از یک ماده چسباننده، آب و ماسه است که معمولاً برای چسباندن مصالحی نظیر سنگ‌های طبیعی، آجر، بلوک‌های بتونی و نظایر آنها به کار می‌رود. بسته به مورد استعمال ملات‌های با ترکیبات مختلف می‌سازند و ملات‌ها را به نام ماده‌ی چسباننده‌اش می‌شناسند و انواع ملات آهک، ملات سیمان و ملات سیمان-آهک، ملات گچ و ... وجود دارد.

بتن نیز یک سنگ مصنوعی است که از سفت شدن ملات بدست می‌آید.

۲-۵-۱- ملات سیمان

ملات سیمان از جمله متداول‌ترین ملات‌ها در عملیات ساختمانی است. معمولاً برای تهیه‌ی ملات سیمانی از سیمان‌هایی که زمان گرفتشان نسبتاً طولانی است استفاده می‌کنند و نیز ماسه‌ای که برای ملات به کار می‌رود بایستی عاری از گرد و غبار و مواد رسی باشد و میزان این مواد برای ملات‌های خوب حداکثر ۱۰٪ و برای ملات‌های متوسط حداکثر ۲۰٪ می‌باشد. برای تهیه ملات‌های سبک از ماسه‌هایی از جنس توف، پوکه معدنی و سایر مواد سبک استفاده می‌شود.

ابعاد ماسه‌ها نیز بنا به نوع کاربرد ملات با سرندهای مناسب انتخاب می‌شوند.

۲-۵-۲- بتن سیمان

منظور از بتن سیمان بتنی است که ماده‌ی چسباننده‌ی آن سیمان است در واقع به بتنی گفته می‌شود که از سفت شدن ملات سیمان حاصل می‌شود بنابراین مواد تشکیل دهنده بتن سیمان عبارتند از:

الف) چسباننده (سیمان) که معمولاً از سیمان پرتلند استفاده می‌شود.

ب) پرکننده (ماسه) که به طور کلی عبارت است از ذراتی از سنگ‌ها به ابعاد $0/14$ تا 5 میلی‌متر که از تخریب طبیعی یا مصنوعی سنگ‌ها حاصل می‌شود.

ج) آب که نباید خاصیت اسیدی داشته باشد و PH آن هرگز از 5 کمتر نشود.

د) قطعات درشت که به شن و خرده سنگ اطلاق می‌شود.

فصل دوم

ترکیبات اصلی و فرعی سیمان

به طور کلی سیمان از یک سری عناصر تشکیل شده که از میان اکسید کلسیم، اکسید سیلیسیم، اکسید آلومینیم و اکسید آهن عناصر اصلی و اکسیدهای منیزیم و پتاسیم و سدیم و سولفات و کلر، عناصر فرعی را تشکیل می‌دهد.

در مواد خام عناصر شیمیایی به صورت اکسید نبوده و به شکل کربنات‌ها؛ سولفات کلسیم و سیلیکات‌ها و آلکالی‌ها و غیره می‌باشند. مواد خام از مخلوط کردن درصدهای مشخصی از مواد اولیه سنگ آهک و خاک رس و آهن و غیره حاصل می‌شود.

۳-۱- نسبت‌های تشکیل دهنده اصلی کلینکر و سیمان

هدف از تنظیم مواد خام در سیمان یکنواخت بودن مواد ورودی به کوره و دارا بودن یک سری فاکتورهای معین است که ادامه این عمل به طور صحیح هم از نظر کیفیت کار کوره، دوام و بقاء آجرهای کوره و تهیه کلینکر مرغوب می‌باشد.

معمولاً برای بررسی و کنترل سیمان پرتلند به جای به کار بردن عناصر فوق‌الذکر از محاسبات مدول‌ها و یا تعیین فازهای اصلی سیمان استفاده می‌گردد که حدود معینی را می‌بایست داشته باشند.

۳-۱-۱- مدول سیلیس یا SiM

که عبارت است از نسبت سیلیس به مجموع اکسیدهای آلومینیوم و آهن می‌باشد. مجموع

$(Al_2O_3 + Fe_2O_3)$ را R_2O_3 گویند. طبق فرمول Kuhl داریم:

$$SiM = SiO_2 / (Al_2O_3 + Fe_2O_3)$$

حدود تغییرات SiM بین ۱/۹۰ الی ۳/۲۰ و مقدار متعارف و قابل قبول آن ۲/۳۰ الی ۲/۷۰ می‌باشد.

۳-۱-۲- مدول آلومینیوم یا AIM

نسبت اکسید آلومینیوم به اکسید آهن را مدول آلومینیوم گویند.

$$AIM = Al_2O_3 / Fe_2O_3$$

مقدار آن بستگی به نوع سیمان تولیدی دارد. برای سیمان تیپ یک مقدار AIM بین ۱/۳ تا ۱/۱۶ می باشد.

۳-۱-۳- مدول فاکتور اشباع آهک یا LSF

LSF معیاری است برای تعیین مقدار مناسب CaO در مواد خام که با Fe_2O_3 , Al_2O_3 , SiO_2 ترکیب شود و فرمول آن عبارتست از:

$$LSF = 100CaO / (2.8SiO_2 + 1.18Al_2O_3 + 0.65Fe_2O_3)$$

که حدود تغییرات آن بین ۸۸-۹۶ می باشد.

$$C_3S = 4.07CaO - (7.60SiO_2 + 6.72Al_2O_3 + 1.43Fe_2O_3)$$

تری کلیسم سیلیکات

بر مبنای تحقیق و بررسی جزئیات ترکیبات شیمیایی انواع سیمان‌های Michachis فرمول تشخیص نسبت ترکیب شیمیایی مواد خام تشکیل دهنده سیمان پرتلند را به شرح زیر تدوین نموده است:

$$H.M = CaO / (SiO_2 + Al_2O_3 + FeO_3) = 1.7 - 2.2$$

مدول هیدرولیک

اولین نسبت را مدول هیدرولیک نامیده ولی امروزه به جای H.M از LSF و بقیه فاکتورها استفاده می شود.

برای آن که تعریف جامع تری از ترکیب سیمان پرتلند در دست باشد Kuhl فرمول مشهور مدول سیلیس و مدول آلومینیوم را بیان داشت SiM و AIM.

Kuhl مشخصه LSF را به عنوان استاندارد آهک (درجه اشباع آهک برحسب درصد) و به عنوان مقدار مشخص و حقیقی آهک در سیمان بیان داشت.

۳-۲- دلایل کنترل مدول‌های AIM, SiM, LSF

تنظیم فاکتورهای فوق دو عامل اصلی تعیین کننده شرایط پخت مواد را به ما نشان می‌دهد:

۱. پیش‌بینی فاز C_3S : فاز اصلی سیمان

۲. تعیین مقدار فاز مایع

۳-۲-۱- کنترل مواد بر حسب C_3S , AIM, SiM, LSE

اگر چنانچه مواد اولیه کارخانه دارای AIM, SiM متغیری باشد و امکان تنظیم آن در سالن سنگ مقدور نباشد و یا سیستم انبار سنگ طوری است که از قدرتمت هموژنیزاسیون بالایی برخوردار نیست و مواد مرتباً دچار نوسان می‌باشد در این صورت فاکتور C_3S استفاده می‌گردد و اگر معدن کارخانه دارای سنگ‌هایی با AIM و SiM تقریباً ثابت و تغییراتی روی MgO داشته باشد از فاکتور LSF جهت تنظیم مواد استفاده می‌گردد. به طور مثال با توجه به آنالیز چهار فاکتور سنگ‌آهک، خاک رس، ماسه سنگ و سنگ آهن می‌خواهیم سالنی را با مشخصات زیر تنظیم کنیم:

$$AIM_K = 1.60 \quad , \quad SiM_K = 2.40 \quad , \quad LSF_K = 91$$

با استفاده از روابط زیر داریم:

$$\Delta CaO = CaO - LSF_K / 100 (2.8 SiO_2 + 1.18 Al_2O_3 + 0.65 Fe_2O_3)$$

$$\Delta SiO_2 = SiO_2 - SiM_K (Al_2O_3 + Fe_2O_3)$$

$$\Delta Al_2O_3 = Al_2O_3 - AIM_K \cdot Fe_2O_3$$

۳-۳- تنظیم مواد سیلوها (کارکرد آسیب مواد ساعتی)

به طور کلی تنظیم مواد به توسط مدول LSF انجام می‌پذیرد. برای این کار نخست درصد انحراف CaO (یعنی

ΔCaO) را نسبت به LSF_K مثلاً ۹۱ محاسبه کرده و سپس تغییراتی بر روی مصرف سنگ کرکتور

(اصلاحی) و یا خاک مصرفی و یا احیاناً با توجه به مدول، AIM, ALM بر روی سنگ آهک مصرفی تغییرات

لازم اعمال می‌شود.

$$\Delta\text{CaO} = \text{CaO} - \text{LSF}_k / 100(2.83\text{SiO}_2 + 1.18\text{Al}_2\text{O}_3 + 0.65\text{Fe}_2\text{O}_3)$$

در این رابطه در صورت جایگزینی اکسیدهای کارکرد آسیای مواد اگر ΔCaO منفی بود با تعیین و محاسبه دقیق مصرف کرکتر می‌توان LSF را بالا برد و اگر LSF مواد به عبارتی ΔCaO مثبت بود از مقدار سنگ کرکتر کم کرد و اگر مقدار ΔCaO صفر بود که نیازی به تغییر در آن نمی‌باشد و LSF مطلوب را مثلاً LSF=91 را داده و می‌توان به طور یکنواخت به کار تنظیم مواد ادامه داده تا اگر مجدداً تغییراتی حاصل شد اقدام نمود و با توجه به نمودار منحنی ذیل می‌بایست تنظیم مواد برحسب تغییرات ΔCaO یا LSF روی خط ثابت $\text{LSF}_k = 91$ حرکت نموده و درصد انحراف نبایستی بیش از حد مطلوب باشد. که در این صورت جبران LSF مثبت و منفی با تغییرات فاحش تأثیر مستقیم روی مواد تعدیه به کوره گذاشته و نتیجتاً اگر تغییرات LSF مواد ورودی ± 1 واحد باشد تأثیر آن چنانی بر روند پخت نمی‌گذارد و اگر بیش از آن باشد کوره دچار شوک شده و تأثیر منفی بر روی پخت مواد می‌گذارد.

لازم به توضیح است که کارکرد آسیای مواد یا برحسب مقدار تناژ مصرفی و یا مقدار زمان کارکرد آسیای مواد (ساعتی برحسب دقیقه) محاسبه و با ساعت‌های قبل جمع جبری می‌گردد که نهایتاً می‌بایست $\pm\Delta\text{CaO}$ در حدود صفر باشد و آن را بسته و مجدداً اقدام به تنظیم مواد نمود و چنانچه تا شش ساعت تغییرات مثبت و منفی مواد فقط در جهت مثبت یا منفی بود و آزمایشگاه قادر به تنظیم مواد با مصرف کرکتر و غیره نبود سریعاً آسیای مواد را متوقف نموده سنگ اصلاحی بر روی سالن می‌ریزند و مجدداً آسیا را استارت کرده و به کار تنظیم مواد ادامه می‌دهند.

۳-۴- تأثیر تغییرات LSF

اگر LSF مواد بالا باشد این اتفاقات رخ می‌دهد:

۱. پخت مواد مشکل می‌گردد.
۲. انبساط سیمان به علت بالا رفتن آهک آزاد کلینگر بیشتر می‌گردد.
۳. مقدار C_3S بالا می‌رود.
۴. مقدار C_2S کم می‌شود.
۵. زمان گیرش کندتر شده و مقاومت اولیه سیمان بالا می‌رود.

۶. حرارت هیدراتاسیون سیمان بیشتر می‌شود.

و اگر LSF مواد پائین باشد این اتفاقات رخ می‌دهد:

۱. پخت مواد خام آسان می‌گردد.

۲. مصرف انرژی حرارتی (مازوت یا گاز) پائین خواهد آمد.

۳. مقدار آهک آزاد کاهش می‌یابد.

۴. مقدار فاز مایع افزایش یافته، رینگ تشکیل شده و گرایش به شستن کوتینگ کوره وجود خواهد داشت.

۵. آجرهای منیزیومی منطقه پخت مورد هجوم و نفوذ فاز مایع کلینکر قرار خواهند گرفت.

۶. حرارت هیدراتاسیون سیمان کم خواهد شد.

۳-۷- ترکیبات پتانسیلی کلینکر

فازهای C_4AF, C_3A, C_2S, C_3S کلینکر را ترکیبات پتانسیلی بوگ (Bogue) می‌نامند این فازها به صورت مستقل و خالص در کلینکر وجود ندارد بلکه به صورت مخلوطی از کریستال‌های فوق به انضمام ناخالصی‌های دیگر و یا سایر کریستال‌ها وجود دارند.

۳-۵-۱- کریستال C_3S یا فاز آلیت

تری کلسیم سیلیکات فاز C_3S (فاز اصلی سیمان را تشکیل می‌دهد و طبق $C_3S = 3CaO, SiO_2$)

فرمول بوگ داریم:

$$C_3S = 4.07CaO - (7.60SiO_2 + 6.72Al_2O_3 + 1.43Fe_2O_3)$$

این کریستال همیشه توأم با اکسیدهای خارجی دیگر می‌باشد، شامل حدود دو درصد MgO و نیز Fe_2O_3, TiO_2, Al_2O_3 و سایر مواد دیگر و مقدار اکسیدهای همراه C_3S عملاً بستگی به ترکیب کلینکر، درجه حرارت پخت کلینکر و روش خنک کردن آن دارد.

کریستال C_3S اگر خیلی آرام خنک شود به کریستال CaO, C_2S تجزیه می‌گردد و باعث افت مقاومت اولیه سیمان می‌گردد. برای تشکیل فاز C_3S پخت کلینکر در درجه حرارت $1450^\circ C$ ضرورت دارد با افزایش C_3S مقدار LSF افزایش می‌یابد.

شکل کریستالی آن منوکلینیک و تری گونال بوده و رنگ آن سفید می‌باشد و مقدار متوسط آن در کلینکر شصت درصد می‌باشد. این فاز حدوداً ۴۰ تا ۶۰ درصد سیمان را تشکیل می‌دهد. کریستالهای آن بیشترین استحکام را نسبت به سایر اجزا دارا می‌باشد. وزن مخصوص آن $3/25$ می‌باشد. C_3S موجب زیاد شدن مقاومت سیمان در مدت کوتاه سه و هفت روزه می‌گردد. اگر به C_3S حرارتی بیش از $1800^\circ C$ درجه سانتیگراد داده شود. تجزیه شده و به C_2S تبدیل می‌گردد در ضمن در ترکیب سیمان C_3S به آن خاصیت چسبندگی می‌دهد.

۳-۵-۱-۱- مشخصه‌های C_3S در سیمان

۱. جذب آب (هیدراتاسیون) آن سریع است.
۲. مقاومت اولیه سیمان را بالا می‌برد.
۳. مقاومت نهائی خوبی به سیمان می‌دهد.
۴. حرارت هیدراتاسیون آن متوسط است.
۵. عامل اصلی مقاومت سیمان می‌باشد.

۲-۵-۳- کریستال C_2S یا فاز بلیت

دی کلسیم سیلیکات ($C_2S = 2CaO, SiO_2$)

$$C_2S = 2.87SiO_2 - 0.754C_3S$$

C_2S خالص شیمیائی نیز در کلینکر یافت نمی‌شود. این کریستال نیز همراه اکسیدهای دیگر بوده و خاصیت ایجاد مقاومت اولیه آن کم است ولی در دراز مدت (۳۶۰ روز) مقاومت آن به مقاومت C_3S

می‌رسد. اکسیدهای همراه C_2S معمولاً آکالی‌ها و اکسید آلومینیم و آهن می‌باشد. شکل کریستالی آن منوکلینیک و برنگ سفید می‌باشد. مقدار متوسط آن در کلینکر پانزده درصد می‌باشد.

وزن مخصوص آن $3/82$ می‌باشد. نقش این ترکیب بیشتر در مقاومت‌های ۲۸ روزه و بالاتر نمود می‌کند و کم‌کم در طول سال به C_3S تبدیل شده و مقاومت بالاتر می‌رود.

۳-۵-۱-۲-۳-۱- مشخصه‌های C_2S در سیمان

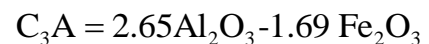
۱. خاصیت جذب آب در آن کند است.

۲. مقاومت نهائی آن خوب است.

۳. حرارت هیدراتاسیون آن پائین است.

۳-۵-۳-۲- کریستال C_3A یا فاز آلومینات

تری کلسیم آلومینات فرمول محاسبه آن به قرار زیر می‌باشد:



فاز C_3A میل ترکیبی زیاد با آب دارد و این عمل باعث گیرش سریع سیمان می‌باشد بنابراین برای کنترل گیرش سیمان مقدار حدود ۴٪ سنگ گچ $CaSO_4$ جهت تنظیم گیرش به همراه کلینکر افزوده و سپس آسیا می‌گردد. به همراه فازهای آلیت و بلیت، فاز آلومینات مقدار کمی مقاومت اولیه سیمان را افزایش می‌دهد که ناشی از حرارت هیدراتاسیون بالای فاز C_3A می‌باشد. خاصیت C_3A هیدرولیکی کم است و مقدار متوسط C_3A در کلینکر ۱۱٪ می‌باشد.

شکل کریستالی آن به صورت مکعبی یا اورتورومبیک و تتراگونال بوده و به رنگ سفید می‌باشد. وزن مخصوص آن ۳۰۴ می‌باشد. موجب گیرش سریع سیمان می‌گردد. دانه‌های آن بر اساس سرد کردن کلینکر اندازه‌های مختلفی پیدا می‌کند مثلاً اگر کلینکر سریع سرد شود بصورت دانه‌های ریز و اگر کند سرد شود به صورت درشت تر در می‌آید.

فصل سوم

فرآیند تولید سیمان

۴-۱- مقدمه

همان طور که در مبحث ترکیبات سیمان اشاره شد سیمان از دو نوع ترکیبات اصلی و فرعی تشکیل شده است که عبارتند از اکسیدهای کلسیم، سیلیسیم، آلومینیوم و آهن (ترکیبات اصلی) و اکسیدهای منیزیم و پتاسیم، سدیم و کلر و آلکالی‌ها و ... (ترکیبات فرعی)

بدیهی است که این ترکیبات باید به اقتصادی‌ترین راه ممکن برای یک کارخانه سیمان فراهم شوند به عنوان مثال اکسید آهن را می‌توان از سنگ‌های هماتیت و مگنتیت بدست آورد. اما فاکتورهایی از قبیل مسافت حمل، هزینه‌ی تجزیه و فرآوری سنگ معدن، تکنولوژی موجود و ... باید در نظر گرفته شوند، بنابراین در کارخانجات سیمان سنگ‌هایی به عنوان مواد اولیه تلقی می‌شوند که بیشترین مواد مورد نیاز را با ارزان‌ترین قیمت در خود دارند.

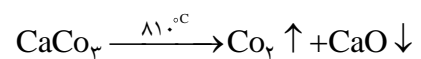
۴-۲- مواد اولیه مورد نیاز یک کارخانه سیمان

تقریباً در تمام کارخانه‌های سیمان جهان پنج ماده سنگ آهک، خاک رس، سنگ آهن، سیلیس و سنگ گچ را به عنوان مواد اولیه می‌شناسند که به نسبت‌های مشخصی با هم مخلوط می‌شوند و در قالب مواد خام به واحد پخت منتقل می‌شوند، البته در مراحل مختلف تولید مواد فرعی می‌توانند اضافه شوند.

۴-۲-۱- سنگ آهک

سنگ آهک (کربنات کلسیم) با فرمول شیمیایی CaCO_3 تأمین کننده‌ی اکسید کلسیم (آهک) مورد نیاز است و از آنجا که بیش از ۶۵٪ کلینکر را آهک (CaO) تشکیل می‌دهد سنگ آهک را می‌توان ماده‌ی اولیه مرتبه اول در تولید سیمان دانست.

سنگ آهک در درجه حرارت 810°C طی واکنش زیر تجزیه می‌شود:



که CO_2 از محیط واکنش (کوره) خارج می‌گردد و CaO یا اکسید کلسیم خالص به صورت ماده‌ای سفیدرنگ، بی‌شکل و ترد باقی می‌ماند.

۴-۲-۲- خاک رس

خاک رس مخلوطی است از آلومینات‌ها، سیلیکات‌ها و مقادیری ناخالصی که بخش عمده‌ی آن را آلومینا یا کورانوم ($\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$) تشکیل می‌دهد. آلومینا با دمای ذوب 2045°C و ماهیت اسیدی یکی از اجزای اصلی سیمان پرتلند است.

اگر آلومینا به همراه مقادیر جزئی اکسید آهن، سیلیس و تیتان باشد آن را بوکسیت (Bauxite) می‌نامند و اگر به صورت هیدروکسید ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$) باشد به آن گیبسیت (Gibbsite) می‌گویند. در کل نقش اصلی خاک رس در درجه اول تأمین اکسید آلومینیوم و در درجه دوم تأمین اکسید سدیم (Na_2O) مورد نیاز است.

۴-۲-۳- سنگ آهن

سنگ آهن تأمین کننده‌ی اکسید آهن فریک (Fe_2O_3) مصرفی کارخانه سیمان است که مقدار اکسید آهن در سیمان به نوع سیمان بستگی دارد.

نقطه‌ی ذوب اکسید فریک 1100°C است و در دماهای بالاتر این ترکیب به فرم ناپایدار Fe_3O_4 تبدیل می‌شود که این امر موجب از دست رفتن اکسیژن و رسوب آهن می‌شود و این پدیده عواقب مشکل‌آفرینی را در پی خواهد داشت. بنابراین کنترل دما مهم‌ترین و حساس‌ترین مساله در پخت مواد است.

۴-۲-۴- اکسید سیلیسیم

اکسید سیلیسیم یا سیلیس را می‌توان از همه‌ی سیلیکات‌ها استحصال نمود که فراوان‌ترین و ارزان‌ترین نوع آن در طبیعت کوآرتز نام دارد. کوآرتز (SiO_2) در درجه حرارت معمولی دارای میل ترکیبی نیست (خنثی است) ولی در درجه حرارت‌های بالا ماهیت اسیدی یافته و به شدت با قلیایی‌ها ترکیب می‌شود اما نکته مهم در مورد اکسید سیلیسیم نحوه‌ی سرد کردن آن است چرا که سیلیس مذاب اگر به آرامی و کنترل شده سرد نشود، به شیشه تبدیل خواهد شد حال آنکه نیاز کارخانه به کریستال‌هایی به نام کریستویالیت است.

۴-۲-۵- سنگ گچ

در طبیعت سنگ گچ به صورت ژیپس (گچ خام) به فرمول $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ و یا به صورت آنهیدرات (CaSO_4) وجود دارد.

تحت شرایط تبلور خاص، سنگ گچ به صورت لایه‌های نازک یا حالت سوزنی و یا سنگ گچ غیربلوری که در طبیعت فراوان تر است و از آن گچ ساختمان می‌سازند، وجود دارد. گچ مصرفی در صنعت سیمان همان گچ غیربلوری است به جز پنج مورد اصلی که ذکر شد ترکیبات فرعی گوناگونی به سیمان‌ها اضافه می‌کنند که از این میان اکسیدهای منیزیم، سدیم، پتاسیم، برخی سولفات‌ها، کلرو آلکالی‌ها، مواد قلیایی و بعضی مواد شیمیایی مهم‌ترین مواد جانبی به شمار می‌آیند.

۴-۳- واحدهای مختلف تولید در کارخانه

۴-۳-۱- سنگ شکن

اولین مرحله در یک کارخانه سیمان، سنگ‌شکنی است. ابعاد ورودی مواد به سنگ‌شکن تابع ظرفیت آن است و به نوع سنگ‌شکن ربطی ندارد. اما از آنجا که ابعاد خروجی باید حداکثر ۶cm باشد، مناسب‌ترین سنگ‌شکن برای کارخانه‌های سیمان، سنگ‌شکن چکشی با نوار زنجیری می‌باشد. مواد قبل از ورود به سنگ‌شکن در بونکرهایی ذخیره می‌شوند تا عمل خوراک‌دهی سنگ‌شکن به طور یکنواخت و پیوسته انجام شود.

۴-۳-۲- خشک کن (درایر)

خشک‌کن کوره‌ای افقی است با شیب حدود ۳٪ در امتداد طول و کار آن خشک کردن مواد اولیه به ویژه خاک رس و سیلیس است. مواد پس از سنگ شکنی به داخل قیف‌هایی هدایت می‌شوند تا از آنجا به طور یکنواخت وارد خشک‌کن شوند. سپس خشک‌کن با حرکت دورانی و با سرعت دوران حدود ۳۰ دور در دقیقه در درجه حرارت ۷۰۰-۸۰۰ درجه موجب رطوبت‌زدایی مواد می‌شوند. لازم به ذکر است که سوخت خشک‌کن‌ها معمولاً مازوت و گاز طبیعی است و میزان مصرف سوخت منحصراً تابع درصد رطوبت مواد است.

۴-۳-۳- سالن اختلاط مواد

در سالن اختلاط مواد خام با نسبت‌های تعیین شده در آزمایشگاه با هم مخلوط می‌شوند تا شرایط رفتن به آسیای مواد خام را پیدا کنند. ترتیب عملیات اختلاط به این صورت است که مواد از بونکرهای آهک، خاک و سیلیس توسط نوار نقاله‌هایی به نوار اصلی می‌ریزند و از آنجا به آسیای مواد خام منتقل می‌شوند. اما اینکه مواد با چه نسبت‌هایی وارد نوار اصلی می‌شوند، خود موضوع مهمی است که به نوع محصول مورد نظر بستگی دارد و به دو طریق کنترل می‌شود.

۴-۳-۳-۱- کنترل توسط ایجاد اختلاف در دبی مواد به هنگام خروج از

بونکرها

در این روش دبی خروجی از بونکرها تابع نیاز محصول به مواد داخل هر بونکر است، به طوری که هرچه مواد مورد نیازتر باشند در واحد زمان با حجم بیشتری از بونکر خود خارج می‌شوند مثلاً مقطع خروجی بونکر آهک را بزرگ‌تر از خروجی سیلیس و خاک تنظیم می‌کنند.

۴-۳-۳-۲- کنترل توسط سرعت نوار نقاله

در این روش مواد با آهنگ‌های برابر از بونکرها به نوار نقاله‌ها می‌ریزند، اما سرعت حرکت نوار نقاله‌ها متفاوت است و نواری که مواد مورد نیازتر را حمل می‌کند سریع‌تر حرکت می‌کند در نتیجه مواد با نسبت‌های متفاوت به نوار اصلی منتقل می‌شوند.

نکته: میزان تفاوت در سرعت نوارها یا مقطع بونکرها خود نیاز به محاسبات پیچیده‌ای دارد که معمولاً توسط کامپیوتر و شبیه‌سازی انجام می‌شود.

۴-۳-۴- آسیای مواد خام

مواد اولیه پس از اختلاط با نسبت‌های مناسب توسط یک نوار مقاوم وارد آسیای مواد خام می‌شوند که کار آن کاهش ابعاد مواد از حدود ۵cm به حدود ۳۰۰ میکرون است. بنابراین آسیاهای مواد خام غالباً از نوع غلطکی‌اند.

به هنگام کار آسیا گازی گرم وارد محفظه می‌شوند تا رطوبت بار را بچیند و مانع جسدیدن مواد به هم شوند. این گاز گرم از کوره می‌آید و رطوبت مواد را به حدود ۱٪ می‌رساند. برای کار مداوم آسیا و جلوگیری از

توقف آن (جهت تخلیه مواد نرم شده) آسیاها را شیب‌دار طرح می‌کنند به طوری که از قسمت ابتدایی و بالاتر خوراک وارد آسیا می‌شود و همزمان در قسمت انتهایی و پایین‌تر مواد نرم شده از آسیا خارج می‌شود.

۴-۳-۵- کوره

مواد پس از آسیا شدن به کوره پخت منتقل می‌شوند. کوره محفظه‌ای است استوانه‌ای که جداره‌ی داخلی آن را با بتن‌ها و آجرهای نسوز می‌پوشانند. از آنجایی که درجه حرارت در بخش‌های مختلف کوره تفاوت دارد باید مناطق حرارت بالا را با بتون‌های با درصد آلومینیوم بال و مناطقی که حرارت کمتری دارند را با بتون‌های با درصد آلومینیوم کمتر بپوشانند.

برای سهولت آستربندی، جداره‌ی داخلی کوره را به پنج منطقه تقسیم می‌کنند.

۴-۳-۵-۱- منطقه‌ی کلیسناسیون (آگیری از مواد)

در این منطقه رطوبت مواد به صفر می‌رسد بنابراین آجرها (آسترهای نسوز) این منطقه باید به حالت ایزوله باشند یعنی تبادل حرارتی‌شان کم باشد. در نتیجه در این قسمت از آجرهای شاموتی و اسفنجی استفاده می‌شود.

۴-۳-۵-۲- منطقه‌ی ایمنی

در این منطقه از آجرهای آلومینیومی با درصد کم (۵۰٪) استفاده می‌شود.

۴-۳-۵-۳- منطقه ترانزیشن

در این منطقه از آجرهای اسپنیل (Spencil) استفاده می‌شود.

۴-۳-۵-۴- منطقه‌ی پخت

به خاطر حرارت بالا و تشکیل فاز مایع در این قسمت از آجرهای کروم-منیزیت استفاده می‌شود تا تبادل حرارتی خوبی داشته باشد و از تشکیل کوتینگ بر روی آجرها جلوگیری شود. (درجه حرارت این منطقه ۱۳۵۰ تا ۱۴۰۰ درجه سانتی‌گراد می‌باشد)

۴-۳-۵-۵- منطقه‌ی خنک‌کن

در این منطقه به خاطر تشکیل کلینکر و سایش بالا از آجرهای آلومینیومی با درصد بالا (۹۶٪) استفاده می‌شود.

۴-۳-۶- آسیای سیمان

آسیای سیمان از نوع گلوله‌ای و دو اطاقچه‌ای است و مکانیزم نرمایش در آن چرخش آسیا و برخورد گلوله‌ها با مواد است.

۴-۴- روش‌های تولید سیمان

برحسب شرایط فنی و اقتصادی و منطقه‌ای سیمان را به چهار روش تر، نیمه‌تر، نیمه خشک و خشک می‌توان تولید کرد.

۴-۴-۱- روش تر

در این روش خاک رس در دستگاه به دوغاب تبدیل می‌گردد و سپس با سنگ آهک مخلوط و به آسیای مواد خام منتقل می‌شود و پس از نرمایش، دوغاب غلیظ‌تری حاصل می‌شود که این دوغاب غلیظ به عنوان خوراک کوره مصرف می‌شود.

۴-۴-۲- روش نیمه‌تر

تفاوت اساسی این روش با روش تر این است که در روش نیمه‌تر دوغاب غلیظ شده را قبل از ورود به کوره از فیلتر پرس عبور می‌دهند تا آب آن گرفته شود. بنابراین مواد به صورت کیک وارد کوره می‌شوند.

۴-۴-۳- روش نیمه خشک

در این روش مواد به صورت خشک با هم مخلوط می‌شوند و به آسیای مواد خام تغذیه می‌شوند. مواد خروجی از آسیا به صورت پودر است اما قبل از ورود به کوره مقداری آب روی آن پاشیده می‌شود و نهایتاً مواد به صورت کیک درآمده و به کوره تغذیه می‌شوند.

۴-۴-۴- روش خشک

مواد اولیه به صورت خشک وارد آسیا می‌شوند و پودر خروجی از آسیا پس از تبلیغات آزمایشگاه مستقیماً به عنوان خوراک مورد مصرف کوره قرار می‌گیرند. در ایران این روش رایج‌تر از سایر روش‌ها است.

۴-۵- کنترل کیفی سیمان

کنترل کیفی سیمان را می‌توان از دو جنبه مهم بررسی نمود:

۱. موادی را بایستی تنظیم نمود تا سیمان تولیدی با استاندارد ملی مطابقت داشته باشد.

۲. مواد خام را طوری باید تنظیم نمود که بهترین شرایط پخت را با کمترین انرژی داشته باشد.

روش‌های مختلفی جهت کنترل سیمان و مواد اولیه آن وجود دارد که با توجه به پیشرفت‌های علمی و تکنولوژی می‌توان بر حسب شرایط محیط کار از آنها بهره‌گرفت که به دو بخش کنترل شیمیایی و فیزیکی و ایکس ری تقسیم می‌گردد.

۴-۵-۱- روش فیزیکی و تأثیر مشخصات مواد اولیه در روند تولید

مواد اولیه در مراحل مختلف بایستی دارای خواص فیزیکی ویژه‌ای باشند. این مشخصات بستگی به وضعیت دستگاه‌های موجود در خط تولید دارد.

مرحله اول: ابعاد سنگ‌های حمل شده از معدن نباید از حد معینی تجاوز کند این اندازه بستگی به ابعاد آسیای موجود در کارخانه دارد.

۱. دانه‌بندی سنگ‌های خروجی از آسیای سنگ بایستی ابعادی در حدود ۲۵*۲۵ میلیمتر باشند.

۲. درصد رطوبت مواد از حد معینی نبایستی تجاوز کند که باعث چسبیدن مواد داخل آسیای سنگ شده و پس از مدتی دور آسیاب کاهش پیدا کرده و کیلوات موتور افزایش می‌یابد و این وضع باعث نقصان تولید می‌گردد و همچنین باعث چسبندگی مواد به نوار نقاله و در محل شوت‌های گذشته باعث پر شدن مسیر توقف دستگاه می‌گردد.

معمولاً به دلیل استفاده ممتد، عمر چکش‌ها و سرندهای آسیای سنگ و گشاد شدن چشمه‌های منشوری سرنده و یا پاره شدن توری آسیای سنگ، دانه‌بندی سنگ درشت‌تر شده و نتیجتاً تأثیر مستقیم روی تنظیم سالن سنگ گذاشته و برداشت آن را با اختلاف توأم می‌کند.

اگر رطوبت مواد ورودی به آسیای مواد در سیستم خشک بیش از اندازه عمل سایش مختل می‌گردد زیرا مواد بر سطح گلوله‌ها چسبیده و عمل سایش به کندی صورت می‌پذیرد به عبارتی باعث کوتینگ بستن در آسیای مواد گشته که نهایتاً باعث توقف آن می‌گردد، که جهت رفع اشکال می‌بایست حرارت بیشتری به داخل آسیای مواد فرستاده شود.

میزان نرمی مواد خروجی از آسیای مواد بایستی مقدار مشخصی داشته باشد که جهت اندازه‌گیری دانه‌بندی مواد از الک‌های استاندارد استفاده می‌گردد.

۴-۵-۲- روش شیمیایی و تأثیر مشخصات شیمیایی مواد اولیه در روند

تولید

مشخصات شیمیایی مواد اولیه با تجزیه مواد و شناخت مقدار اجزاء تشکیل دهنده آن کنترل و بررسی می‌شود. اصولاً ترکیبات شیمیایی موجود در سیمان حاصل واکنش بین عناصر آهک، سیلیس، اکسید آلومینیم و اکسید آهن پخت می‌باشد. اجزاء فوق ترکیبات اصلی تشکیل دهنده مواد خام بوده که به همراه ترکیبات فرعی دیگری نظیر سولفات‌ها و آلکالی‌ها و اکسیدمنیزیم و کلر می‌باشند.

فصل پنجم

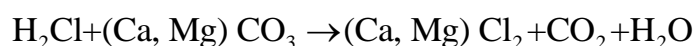
دیاگرام فاز های مختلف سیمان

همین طور که در دیاگرام دیده می شود C_3S باعث ازدیاد مقاومت سیمان تا حوالی ۲۸ روزه گردیده و از آن به بعد نقش C_2S بیشتر دیده می شود ولی در انتهای منحنی بعد از یک سال به هم می رسند.

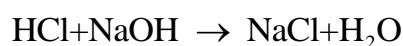
۵-۱- مفهوم تیتراژ در مواد خام سیمان چیست؟

مجموع کربنات ها در صنعت سیمان تیتراژ می گویند. که عمده ترین کربنات های موثر کربنات کلسیم و کربنات منیزیم می باشد.

مفهوم تیتراژ واقعی و تیتراژ ظاهری چیست؟

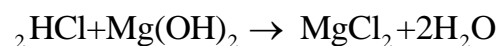


به محلول چند قطره معرف فنل فتالین اضافه می کنیم و سپس با سود تیتراژ می کنیم.



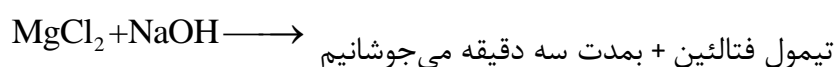
رنگ ارغوانی

(نکته قابل اهمیت در این است که در این مرحله پس از دیدن تغییر رنگ باید مقدار اسید مصرفی را یادداشت کرد چون اسید اضافی باعث واکنش برگشتی ذیل می گردد.)



$$X\% \rightarrow *5 \text{ اسید مصرفی} = \text{تیتراژ ظاهری}$$

درصد بدست آمده را تیتراژ ظاهری می گویند.



که با اضافه کردن معرف تیمومل فتالئین رنگ آن از بنفش به ارغوانی دوباره به بنفش تغییر می‌یابد که این به خاطر $Mg(OH)_2$ در محلول می‌باشد، تیتراسیون بایستی خیلی سریع انجام پذیرد.

$$Y * 1.186 = Z \quad \text{مقدار کربنات منیزیم معادل کربنات کلسیم}$$

چون فرض کردیم $100 \approx 84$ باشد لذا برای یک واحد نیز عدد ثابتی بدست می‌آوریم و برای این فاکتور به کل زیر تناسب می‌بندیم:

$$\begin{array}{cc} 84 & 100 \\ 1 & X = (1 \times 100) / 84 = 1.186 = 1.19 \end{array}$$

[مقدار کربنات منیزیم معادل کربنات کلسیم - تیتراژ ظاهری = تیتراژ واقعی]

$$X - Z = \text{تیتراژ واقعی}$$

مراحل شرح داده شده در بالا در زیر به طرق دیگر بیان می‌شود:

۵-۲- روش اندازه‌گیری درصد کل کربنات‌ها از طریق تیتراسیون

دستورالعمل: ۰/۵ گرم از نمونه را که قبلاً به شکل پودر درآمده وزن کرده در ارلن 250^{cc} بریزید. بر روی این نمونه 25^{cc} اسید کلریدریک $1/2N$ به آهستگی بیفزائید. محلول را حرارت داده تا بجوش آید، بعد از جوش آمدن سه دقیقه عمل جوشاندن را ادامه دهید، ارلن را خنک کرده و چند قطره معرف فنل فتالئین بیفزائید و با سود $1/4N$ تیتراژ نمائید. تغییر رنگ از سفید به صورتی است، از روی مقدار مصرفی سود درصد کربنات‌ها (تیتراژ) به طریق زیر محاسبه می‌گردد.

طریقه فوق را (Back Titration) گویند یعنی ابتدا به مقدار کافی اسید اضافه کردیم، مقداری از اسید با کربنات‌ها ترکیب شده و برای تعیین باقیمانده اسید محلول را با سود تیتراژ کردیم حال باید مقدار اسید مصرفی جهت کربنات‌ها را بدست آوریم.

$$N_a \times a = N_b \times b$$

$$N_b = \text{نرمالیتة سود}$$

داریم: باز اسید

$$\frac{1}{2}a = \frac{1}{4}b$$

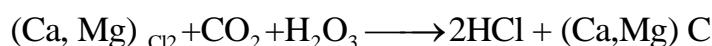
$$a = b/2$$

$$b = \text{مقدار مصرفی سود cc}$$

$$25 - b = A$$

$$N_a = \text{نرمالیتة اسید}$$

$a = \text{مقدار مصرفی اسید}$ $\frac{1}{2}N$ مصرف شده جهت ترکیب کربنات‌ها است و مقدار نرمال آن برابر $A/2$ مقدار اسید A یعنی خواهد بود.



چون امکان محاسبه کربنات کلسیم و کربنات منیزیم بطور جداگانه وجود ندارد در محاسبات فرض می‌شود که تمام نمونه کربنات کلسیم است.

$CaCO_3$	HCl
$(100+100)$	4×1000
$X=200 \times a / (4 \times 1000 \times 2)$	$A/2$

داریم:

$A/40$	0.5 gr نمونه
--------	--------------

$X=100 \times A / (0.5 \times 40) = 5 \times A$	100
---	-----

اسید مصرفی درصد کل کربنات‌های موجود در نمونه مهم

البته در عمل محاسبات فوق به صورت جدولی در آمده که درصد تیترا را مستقیماً از روی مقدار مصرفی سود بدست می‌آورند، اما چنانچه مقدار مصرفی سود در جدول موجود نباشد باید تیترا را بطریق فوق محاسبه کرد و بطور خلاصه مقدار مصرفی سود را تقسیم بر ۲ کرده از ۲۵ کسر نموده و حاصل را در ۵ ضرب می‌کنیم.

۵-۳- روش اندازه‌گیری درصد کربنات منیزیم ($MgCO_3$)

محلول باقیمانده از اندازه‌گیری درصد کل کربنات‌ها را کمی حرارت داده تا رنگ صورتی آن برطرف شود دو سه قطره معرف تیمول فتالئین افزوده و ۵ سی‌سی از سود ۱/۴ نرمال به آن افزوده محلول باید به رنگ بنفش درآید در غیر این صورت ۵ سی‌سی دیگر سود بیفزائید افزودن سود را باید آنقدر ادامه داد تا محلول به رنگ بنفش شود محلول را حرارت داده تا به جوش آید بعد از جوش آمدن سه دقیقه عمل جوشاندن

را به آهستگی ادامه دهید بطوری که محلول سر نرود حال محلول را سرد کرده و با اسید کلریدریک ۱/۲ آهسته انجام شود رنگ معرف به حالت اولیه برگشته و در نتیجه اسید مصرفی زیادتز خواهد شد.

محاسبات: مانند حالت قبل این نوع تیتراسیون را هم (Back Titration) می گویند ابتدا از روی اسید مصرفی مقدار سود موجود در محلول را پیدا می کنیم.

$$N_a \times a = N_b \times b$$

a = حجم اسید مصرفی cc

$$\frac{1}{2} = \frac{1}{4} b \rightarrow 2a$$

b = حجم سود مصرفی cc

$$N_a = \text{نرمالیتة اسید}$$

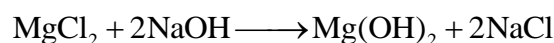
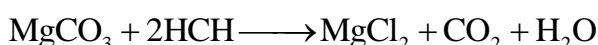
$$N_b = \text{نرمالیتة سود}$$

برای پیدا کردن مقدار NaOH مصرف شده، b را از سود اضافه شده که ۵ یا ۱۰ میلی لیتر بود کم نمائید.

$$5 - b = B$$

سود مصرف شده

فعل و انفعالات بالا بدین قرار می باشد:



نرمالیتة B برابر ۱/۴ است و برای تبدیل آن به نرمال ضربدر ۱/۴ می شود.

$$\begin{array}{l} 84.4 \\ X \end{array} \quad \begin{array}{l} 2 \times 1000 \\ B \times 1/4 \end{array} \quad X = B \times (1/4) \times 84.4 / 2000$$

$$(84.4 \times B) / 8000 \quad \text{gr } 0.5$$

$$X = (84.4 \times B) / 40 \longrightarrow X = 2.11 \times B \quad 100$$

تذکر: به طور خلاصه اگر چنانچه اسید مصرفی در تیتراسیون را در ۲ ضرب کرده و از ۵ کم نمائیم و نتیجه را در ۲/۱۱ ضرب نمائیم مقدار درصد کربنات منیزیم در نمونه بدست می آید.

۵-۴- طرز ساختن محلول اسید کلریدریک ۱/۲ نرمال

چون تعداد نمونه‌هایی که در قسمت تیتراسیون آزمایش می‌شوند زیاد است برای صرفه‌جویی در وقت مقدار سود و اسید را در شیشه‌های ۱۰ لیتری می‌سازند. ابتدا باریل ده لیتری را با آب و صابون شسته و سپس با آب مقطر چندین بار شستشو دهید. حال اگر ظرف (باریل) ده لیتری مدرج نباشد باید آن را مدرج کنید و به توسط ظرف یک لیتری آن را مدرج نموده و علامت گذاری نمود. برای ساختن اسید کلریدریک ۱/۲N باید ۱/۲ والانس گرم آن را در ظرف ریخته و به حجم یک لیتر برسانیم و چون باریل ده لیتری است بایستی $(10 \times 1/2 = 5)$ 5 والانس گرم از اسید کلریدریک وزن شده را در باریل ده لیتری به حجم برسانید. ولی چون اسید کلریدریک همیشه به صورت محول در آب بوده و خالص نیست باید از طریق محاسبه پیدا کرد که ۵ والانس گرم آن در چه حجمی از محلول اسید وجود دارد. معمولاً روی شیشه‌های اسید کارخانه سازنده درصد وزن مخصوص آن اسید را تعیین می‌کنند.

فرض می‌کنیم که اسید ۳۷٪ و وزن مخصوص آن ۱/۱۹ باشد داریم:

$$\begin{array}{rcl} 100 & & 37 \\ \times 5 & \times & 36.5 \\ \hline & = & 493.3 \text{ gr} \end{array}$$

چون در عمل به جای وزن از حجم استفاده می‌شود باید وزن بدست آمده را تقسیم بر وزن مخصوص کنید.

$$493.3 / 1.19 = 41.5 \text{ cc}$$

بنابراین چنانچه ۴۱۴/۵ سی سی اسید کلریدریک را در ظرف ریخته و حجم آن را به ده لیتر برسانیم بایستی اسید حاصله ۱/۲ نرمال باشد. اما دیده شده که چون حجم ظرف زیاد بوده و کاملاً ده لیتر نمی‌باشد اسید بدست آمده کمی غلیظ‌تر یا رقیق‌تر از ۱/۲ نرمال است بنابراین باید اسید را کرکسیون نمائید و اگر اسید بدست آمده کمی غلیظ بود آب و اگر رقیق بود اسید اضافه نمائید اما باید سعی شود که همیشه محلول اسید غلیظ‌تر بوده و احتیاج به افزودن آب باشد نه بالعکس. چون از این طریق امکان رسیدن به فاکتور ۱/۲ نرمال سریعتر است. حال نصف ظرف را آب مقطر ریخته مقدار اسید محاسبه شده

(A) را به آن افزوده درب ظرف را بسته و تکان دهید بقیه ظرف را تا حجم ده لیتر با آب مقطر پر کنید و مجدداً تکان دهید عمل تکان دادن حداقل یک ربع ساعت باید ادامه داشته باشد تا آب و اسید کاملاً مخلوط گردند اگر از دستگاه‌های شیکر (تکان‌دهنده) که مخصوص این کار ساخته شده‌اند استفاده شود

نتیجه بهتر خواهد بود. حال باریل را به بورت وصل کرده و بورت را با این محلول سه بار شستشو داده و عمل کرکسیون را انجام دهید.

۵-۴-۱- عمل کرکسیون اسید کلریدریک (Correction)

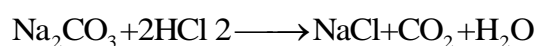
بدین ترتیب است که ۰/۲۶۵ گرم کربنات سدیم را که قبلاً در اتو کلاو خشک شده در دسیکاتور خنک شده وزن کرده و در یک ارلن ۲۲۰ سی سی بریزید حدود ۱۰ تا ۱۵ سی سی آب مقطر به ارلن افزوده تکان دهید تا کربنات حل شود یک یا دو قطره متیل اورانژ به محلول افزوده با اسید مورد نظر تیترا کنید تغییر رنگ از زرد به قرمز پوست پیازی است (نارنجی متمایل به قرمز) خیلی دقت شود که عمل تیتراسیون در نقطه تغییر رنگ خاتمه یابد. برای بهتر تشخیص دادن تغییر رنگ باید چند نکته رعایت شود:

۱. معرف نباید غلیظ باشد.

۲. نباید مقدار زیاد معرف به محلول افزود در غیر این صورت رنگ محلول زرد پر رنگ شده و امکان تشخیص رنگ را کمتر می کند.

۳. برای اطمینان بیشتر می توان یک ارلن دیگر ۱۰ تا ۱۵ سی سی از یک محلول قلیائی رقیق ریخته یک یا دو قطره متیل اورانژ افزوده و هنگام تیتراسیون تغییر رنگ را با آن مقایسه کرد چنانچه اسید درست ۱/۲ نرمال باشد در تیتراسیون ۱۰ سی سی محلول اسید مصرف خواهد شد.

حال ببینیم که عدد ۰/۲۶۵ چطور بدست آمده است:



$$106 \qquad \qquad 2 \times 1000$$

$$10 \qquad \qquad X = (10 \times 106) / 2000 = 0.53 \text{ gr}$$

چون اسید ۱/۲ نرمال است نصف این مقدار یعنی ۰/۵۳ بر دو تقسیم می شود یعنی ۰/۲۶۵ گرم لازم خواهد بود تا با ۱۰ سی سی اسید کلریدریک ۱/۲ نرمال ترکیب شود. فرمول کلی از این قرار می باشد:

$$N = S / (t \times 0.053)$$

S = وزن کربنات سدیم

t = مقدار مصرفی اسید

حال چنانچه بعد از کرکسیون به این نتیجه رسیدیم که بطور مثال به جای ۱۰ سی سی مقدار ۹/۹ سی سی مصرف شد خواهیم دانست که اسید غلیظتر از ۱/۲ نرمال است بنابراین باید افزودن آب آن را رقیق کنیم برای محاسبه مقدار آب ابتدا باید حجم کل اسید را اندازه گرفت و بعد چنین محاسبه کرد.

$$10 - 9.9 = 0.1$$

$$0.1 \qquad 9.9$$

$$x = (0.1 \times 9900) / 9.9 = 100 \text{cc} \quad 9900$$

با افزودن ۱۰۰ سی سی آب به ظرف و مخلوط کردن نرمالیده اسید برابر ۱/۲ نرمال خواهد شد. می توان بجای تناسب فوق از این فرمول استفاده کرد:

$$N = S / (t \times 0.053)$$

$$N = 0.265 / (9.9 \times 0.053) = 0.50505$$

$$N1 V1 = N2 V2 \longrightarrow 0.50505 \times 9900 = 0.5 \times v_2$$

یعنی اینکه حجم باید ۱۰۰ سی سی افزایش یابد.

$$V2 = 10000 \text{ cc}$$

$$10000 - 9900 = 100$$

اما اگر هنگام کرکسیون بجای ۱۰ سی سی مقدار ۱۰/۱ سی سی مصرف شد این اسید رقیق می باشد و باید طبق محاسبه زیر مقدار لازم اسید را به محلول بیفزایند.

آب اضافه دارد \qquad \qquad \qquad اسید

$$0.1 \text{ cc} \qquad 10.1 \text{ cc}$$

$$X = 98 \text{ cc} \qquad 999$$

اسید نیاز دارد \qquad \qquad \qquad محلول اسید

$$A \text{ cc} \qquad 10000 \text{ cc}$$

$$98 \qquad X = 0.0098 A$$

که با افزودن ۰/۰۰۹۸A سی سی اسید کلریدریک به محلول و مخلوط کردن آن باید مجدداً عمل کرکسیون را انجام داد تا مطمئن شد که محلول ۱/۲ نرمال هست یا خیر و اگر نبود مانند محاسبات فوق باید عمل افزودن آب یا اسید را تکرار کرد.

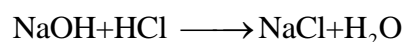
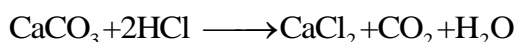
۵-۵- طرز ساختن محلول $\frac{1}{4}$ نرمال NaOH

اکی‌والانس گرم NaOH برابر با ۴۰ گرم است جهت ده لیتر محلول لازم است $(40 \times 10 = 400)$ یعنی ۴۰۰ آن وزن شود اما چون محلول سود $\frac{1}{4}$ نرمال است $(400 \times 1 = 400)$ صد گرم از آن را وزن کرده و در یک بشر ۶۰۰ سی‌سی ریخته و با افزودن آب مقطر آن را حل کنید.

محلول را داخل باریل ده لیتری که قبلاً تمیز و با آب مقطر شستشو داده‌اید بریزید حجم ظرف را با افزودن آب مقطر به ده لیتر برسانید این محلول را باید حداقل یک ساعت گذاشت تا کاملاً حل شود سپس ظرف را به مدت یک ربع تکان داده به بورت وصل نمائید بورت را سه بار با این محلول شستشو دهید و سپس عمل کرکسیون را انجام دهید.

۵-۵-۱- عمل کرکسیون

بدین ترتیب است که $\frac{1}{4}$ گرم کربنات کلسیم خالص و خشک شده را وزن کرده در یک ارلن ۲۵۰ سی‌سی بریزید. ۲۵ سی‌سی اسید کلریدریک $\frac{1}{2}$ نرمال به آن افزوده سه دقیقه بجوشانید ارلن را سرد کرده دوسه قطره معرف فنل فتالئین به آن افزوده با سود مورد نظر تیترا نمائید اگر سود درست $\frac{1}{4}$ نرمال باشد باید طبق محاسبه زیر ۱۸ سی‌سی سود مصرف شود.



X اسید نرمال	0.4	$X = 8^{\text{cc}}$
----------------	-----	---------------------

$$8 \times 2 = 16 \text{ نرمال } \frac{1}{2} \text{ اسید}$$

$$25 - 16 = 9 \text{ اسید باقیمانده}$$

$$N_1 V_1 = N_2 V_2 \longrightarrow \frac{1}{2} \times 9 = \frac{1}{4} \times V_2 = 18^{\text{cc}} \longrightarrow$$

بنابراین اگر محلول سود ۱/۴ نرمال باشد در عمل کرکسیون ۱۸ سی سی مصرف خواهد شد اما اگر به جای ۱۸ سی سی مقدار ۱۷/۸ سی سی مصرف شد یعنی سود غلیظ باشد مقداری آب که از محاسبه ذیل بدست می آید به آن افزوده و مخلوط کرد. حجم کل محلول بعد از شستشوی بورت ۹۹۰۰ سی سی است.

$$0.2$$

$$9900 \quad X = 111.24$$

لذا با افزودن ۱۱۱/۲۴ سی سی آب و مخلوط کردن محلول سود ۱/۴ نرمال خواهد شد.

چنانچه محلول رقیق بود و به جای ۱۸ سی سی ۱۸/۲ سی سی مصرف شد یعنی سود رقیق بوده و چنین محاسبه می شود:

آب اضافه دارد	سود
0.2	18.2
$X = 111.24$	990

لذا با افزودن ۱۱۱/۲۴ سی سی آب و مخلوط کردن محلول سود ۱/۴ نرمال خواهد شد. چنانچه محلول رقیق بود و به جای ۱۸ سی سی ۱۸/۲ سی سی مصرف شد یعنی سود رقیق بوده و چنین محاسبه می شود:

آب اضافه دارد	سود
0.2	18.2
$X = 108.99$	9900
10000	100
$X = 1.09$ گرم	108.79

بنابراین با افزودن ۱/۰۹ گرم سود خشک و حل کردن آن سود ۱/۴ نرمال خواهد شد بعد از افزودن آب یا اسید باید عمل کرکسیون را تکرار کرد تا اطمینان از درست بودن محلول حاصل شود. بطور کلی بهتر است هنگام ساختن سود یکی دو دانه سود بیشتر از مقدار وزن شده اضافه شود تا بعد از کرکسیون به جای افزودن سود از آب استفاده شود.

۵-۶- طرز ساختن معرف‌های تیتراسیون

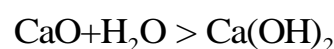
۱. فنل فتالئین: ۰/۱ گرم فنل فتالئین را وزن کرده در ۱۰۰ سی سی الکل سفید حل نمائید. PH تغییر رنگ این معرف ۸ تا ۱۰ می‌باشد.

۲. تیمول فتالئین: گرم تیمول فتالئین را وزن کرده در ۱۰۰ سی سی الکل سفید حل نمائید. PH تغییر رنگ این معرف ۹/۳ تا ۱۰/۵ می‌باشد.

۳. متیل اورا نژ: ۰/۱ گرم متیل اورانژ را وزن کرده در ۱۰۰ سی سی آب مقطر حل کنید PH تغییر رنگ این معرف ۳/۱ تا ۴/۴ می‌باشد.

۵-۷- آهک آزاد Free Lime

طبق نظریه پروفوسور چرنین با این که وجود آهک آزاد در سیمان بیانگر ناسالم بودن سیمان است معهدا آهک آزاد را جزء ترکیبات اصلی سیمان به شمار می‌آورد. مقدار آهک آزاد تا حدود ۲٪ می‌باشد. وجود آهک آزاد یا بعلت عدم هموژنیزاسیون و زبری بیش از حد مواد خام و یا بعلت ناقص کلینکر و عدم ترکیب آهک با اکسیدهای دیگر و یا به علت کند خنک کردن کلینکر و تجزیه C_3S به CaO و C_2S و یا به علت بالا بودن LSF می‌باشد مقدار بیش از ۲/۵٪ آن در سیمان مضر می‌باشد. زیرا به علت ترکیب با آب و تشکیل هیدروکسید کلسیم به بتن انبساط حجمی می‌دهد و باعث ترکیدن بتن می‌گردد.



حجم $Ca(OH)_2$ دو برابر حجم CaO می‌باشد و همین امر باعث انبساط سیمان می‌گردد.

۵-۸- اکسید منیزیم یا MgO

کلینکری که دارای مقدار زیادی MgO (بیش از ۲/۶۰) باشد ممکن است محتوی MgO آزاد یا پریکلاژ باشد. حدود ۲-۲/۵٪ وزن اکسید منیزیم به صورت انحلال جامد همراه سایر فازهای کلینکر وجود دارد. وجود MgO زیاد باعث انبساط سیمان گشته و تشخیص عیوب وارده به بتن ناشی از انبساط اکسید منیزیم ممکن است تا سال‌ها پس از استفاده از بتن مقدور نباشد. اگر کریستال‌های پریکلاژ ریز بوده و به طور یکنواخت در سیمان پخش گردد اثر انبساطی آن کمتر خواهد بود. انبساط MgO ناشی از ترکیب آن با آب و تشکیل هیدروکسید منیزیم می‌باشد.



که حجم آن دو برابر حجم MgO می باشد.

اگر مقدار MgO بالا باشد این اتفاقات رخ می دهد:

۱. ویسکوزیته فاز مایع و کشش سطحی آن کم می شود.
۲. تشکیل C_3S از C_2S و آهک آزاد را سریعتر می کند.
۳. در منطقه پخت گرایش به تشکیل گلوله تشدید می شود که در operation کوره تأثیر می گذارد.
۴. به علت وجود کریستال های پریکلاژ در شرایطی که $\text{MgO} > 2.60$ می باشد انبساط حجمی سیمان رخ می دهد.
۵. مقدار C_3S را کمتر و فاز مایع را افزایش می دهد ولی تأثیری بر C_2S ندارد.

۵-۸-۱- سیلیس آزاد یا $\text{SiO}_2, \text{Free}$

مقدار آن بین ۰-۳٪ بوده و هر قدر کمتر باشد بهتر است.

اگر سیلیس آزاد بیشتر باشد این اتفاقات می افتد:

۱. مقدار انرژی و سوخت مصرفی بیشتر می شود.
۲. تشکیل کوتینگ مشکل تر می شود.
۳. آجرهای نسوز را از بین می برد.
۴. نشر حرارت از بدنه کوره بیشتر می شود.
۵. درجه حرارت گازهای خروجی کوره بیشتر می شود.

۵-۹-قلیائی‌ها

منظور از قلیائی‌ها در سیمان $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ می‌باشد. حدود آن صفر تا یک درصد می‌باشد. حد متعارف آن $0/۲-0/۳$ باشد.

اگر مقدار قلیائی‌ها بالا باشد این اتفاقات رخ می‌دهد:

۱. قابلیت پخت مواد را در درجه حرارت‌های پائین بهبود بخشیده و در درجه حرارت‌های بالا بدتر می‌کند خصوصاً وقتی که مجموع قلیائی‌ها بیشتر از یک درصد باشد.

۲. مقدار فاز مایع و تشکیل کوتینگ را بیشتر می‌کند.

۳. قابلیت انحلال CaO در فاز مایع را کمتر می‌کند.

۴. فازهای C_2S ، C_3S را تجزیه می‌کند و باعث افزایش آهک آزاد می‌گردد.

۵. به علت ایجاد سیکل آلکالی‌ها در سیستم کوره در بهره برداری کوره مشکل ایجاد کرده و باعث گرفتگی پیش گرمکن کوره و نهایتاً توقف کوره می‌گردد.

۶. زمانیکه $\text{Na}_2\text{O}\%+0.656\text{K}_2\text{O}\%$ یعنی مجموع آلکالی‌ها بیشتر از $0/۶\%$ باشد انبساط آلکالی در سیمان حاصل می‌شود.

۷. آلکالی‌ها در بتن حکم موریانه را برای چوب دارد به عبارتی مرور زمان نفوذ کرده و موجب از بین رفتن مقاومت آن می‌گردد.

۵-۹-۱- سولفات SO_3 یا انیدریدسولفوریک

از عناصر فرعی سیمان می‌باشد و مقدار آن بین صفر تا چهار درصد و حد متعارف آن $۲-۵\%$ می‌باشد. اگر مقدار سولفات بالا باشد اتفاقات زیر می‌افتد:

۱. سولفات در کوره با مواد فرار آلکالی‌ها یعنی سدیم و پتاسیم تشکیل قلیائی‌ها را داده که کمتر حالت فرار دارند و از سیکل قلیائی‌ها و ایجاد مزاحمت جلوگیری می‌کند و این حالت وقتی اتفاق می‌افتد که $\text{SO}_3 > \text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$ باشد.

۲. درجه حرارت تشکیل فاز مایع را کمتر می کند (بمقدار بیشتر از 100°C) و ویسکوزیته مایع را کاهش می دهد، کشش سطحی فاز مایع را کمتر کرده و تحرک یونی اکسیدها را افزایش می دهد.

۳. در حالتی که روی C_3S و فاز مایع اثر نداشته باشد مقدار C_2S را افزایش می دهد.

۴. اگر مقدار سولفات های قلیائی زیاد باشد C_3S را در 1250°C تجزیه می کند.

۵. اگر مقدار SO_3 بیشتر از ۴-۲/۵٪ باشد انبساط سولفات می دهد.

۶. پخت مواد خام در درجه حرارت های پائین را بهبود می بخشد و آن را در درجه حرارت های بالا بدتر می کند.

۵-۹-۲- نسبت قلیائی به سولفات Alkali / Sulphate Ratio

$$\text{A.S.R} = \text{SO}_3 / (\text{K}_2\text{O} + 0.5\text{Na}_2\text{O})$$

این نسبت بیانگر مقدار سولفات مورد نیاز برای ترکیب با قلیائی ها به منظور کاهش سیر کولاسیون قلیائی در سیستم کوره می باشد، و معمولاً مقدار A.S.R بیشتر از ۰/۶ و کمتر از ۱/۴ باید باشد.

۵-۹-۲-۱- مدول سولفات M_{SO_3}

این فرمول نسبت مولار سولفات و سایر مواد فرار کلینگر را بدست می دهد. وقتی که این نسبت به هم می خورد مشکلات زیادی در کارکرد کوره پدید می آید، مثل گرفتگی سیکلون ها و تشکیل رینگ بین ورودی کوره و منطقه Transition.

کلر که فرارترین عنصر می باشد در مرحله اول با +N و +K ترکیب می شود و بهترین حد برای کمتر گرفتن سیکلون ها ۱۰-۸۳ می باشد.

$$M_{\text{SO}_3} = (\text{SO}_3/80) / (\text{K}_2\text{O}/94 + \text{Na}_2\text{O}/62 - 2\text{Cl}/35.5)$$

$$M_{\text{SO}_3} = \text{total SO}_3 / 0.85(\text{K}_2\text{O} + 1.52\text{Na}_2\text{O})$$

۵-۱۰- قابلیت ترکیب مواد خام یا Raw-Meal Reactivity

برای کنترل قابلیت ترکیب مواد خام آزمایش زیر ضروری می باشد:

روش آزمایش

ابتدا حدود ۲۰g از مواد خام را در الک آبی ۱۲۵ میکرون و ۴۴ میکرون الک گرفته سپس باقیمانده روی الک ۴۴ میکرون برای کوارتز تجزیه می شود Q۴۴ و باقیمانده روی الک ۱۲۵ میکرون برای کربنات کلسیم تیتر می گردد، که به صورت C۱۲۵ نشان می دهیم. مواد غیر کوارتزی باقیمانده از الک ۴۴ میکرون که NQ نامیده می شود معرف مینرال های مقاوم در مقابل اسید کلریدریک HCl می باشد، مانند فلدسپار، میکا و غیره.

با دانستن LSF, SiM مواد خام قابلیت ترکیب مواد خام محاسبه شده و به عنوان درصد آهک آزاد در ۱۴۰۰°C و ۱۵۰۰°C بیان می گردد، عدد بدست آمده بیان کننده آهک آزاد احتمالی بدست آمده در موقع پخت آزمایشگاهی به مدت ۳۰ دقیقه می باشد.

$$\% \text{CaO}_{\text{Free}(1400^{\circ}\text{C})} = 0.31(\text{LSF}-100) + 2.18(\text{SiM } 1.8) + 0.73\text{Q}44 + 0.33\text{C}125 + 0.44\text{NQ}$$

$$\% \text{CaO}_{\text{Free}(1400^{\circ}\text{C})} = 0.21(\text{LSF}-100) + 1.59 (\text{SiM}-1.9) + 0.40\text{Q}44 + 0.22\text{C}125 + 0.08\text{NQ}$$

پیشنهادات و نتیجه گیری

۸-۱- نتیجه گیری

در یک نگاه کلی، فاکتورهای اساسی در تولید سیمان عبارتند از مواد اولیه و تکنولوژی تولید در مورد مواد اولیه سیمان که از معادن تأمین می‌شوند باید گفت که ایران به دلیل گوناگونی شرایط جغرافیایی و زمین‌ساختی در زمره کشورهای غنی قرار دارد. اما استفاده بهینه از این منابع مستلزم شناخت کامل و بکارگیری دقیق علمی همچون اکتشاف، استخراج، فرآوری و مدیریت است و کم‌توجهی به این بخش عواقب سنگینی را در پی خواهد داشت.

برای مثال سهل‌انگاری در اکتشاف مواد اولیه موجب عرضه مواد نامرغوب به کارخانه می‌شود و یا استخراج غیرعلمی یک معدن می‌تواند باعث تخریب آن معدن شود و بازیابی استخراج را به شدت کاهش دهد. همچنین در رابطه با تکنولوژی تولید که خود شامل متعددی همچون طراحی و ساخت کارخانه‌ها، نصب و راه‌اندازی دستگاه‌ها و مهم‌تر از همه توانایی کنترل و رفع عیب دستگاه‌ها می‌شود. متأسفانه ایران هنوز به جایگاه بایسته‌ای دست نیافته است و وجود این مشکلات بیش از هر چیز لزوم انجام مطالعه و تحقیق به منظور دستیابی به تولید مطلوب‌تر را نتیجه می‌کند.

۸-۲- پیشنهادات

در این قسمت دو پیشنهاد در مورد آلودگی تولید شده توسط کارخانه سیمان و انجام دقیق تر عملیات اکتشافی مطرح شده است.

۸-۲-۱- کاهش آلودگی های زیست محیطی که کارخانه سیمان تولید

می کند.

از دیدگاه علم شیمی، سیمان ترکیب سنگینی است که برای تشکیل آن نیاز به انجام واکنش ها و فعل و انفعالات زیادی است و عناصر و ترکیبات مختلفی در این واکنش ها شرکت می کنند که همه آنها در ترکیب محصول نهایی وجود ندارند. برای مثال طی فرآیند پخت، ترکیبات و عناصر زیادی مانند کلر، سدیم، سولفات ها، CO و CO_2 ، زنجیرهای ناقص هیدروکربنی و ... به شکل بخار (دود) از محیط واکنش (کوره ی پخت مواد) خارج می شوند که برای محیط زیست آن منطقه بسیار خطرناک هستند. بنابراین برطرف کردن یا کاهش میزان آلودگی ها می تواند در اینجا به عنوان پیشنهاد مطرح گردد.

۸-۲-۲- انجام اکتشافات دقیق

از آنجایی که ترکیبات متنوع سیمان، منابع متعددی در طبیعت دارند، می توان هر ترکیب را از دو یا چند ماده ی معدنی بدست آورد. مثلاً اکسیدفریک (Fe_2O_3) را می توان از سنگ های هماتیت (Fe_2O_3) یا مگنتیت (Fe_3O_4) بدست آورد اما اکسید فریکی که از مگنتیت بدست می آید، بسیار ناپایدار و واکنش پذیر است و نیز رسوب آهن اضافی آن مشکلاتی را به همراه خواهد داشت.

از این رو پیشنهاد می شود که اکتشاف مواد اولیه در جهت هدایت شود که مناسب ترین مواد اولیه حاصل شود، تا از ایجاد هزینه ها و مشکلات بعدی جلوگیری شود.

منابع و مأخذ

(۱) آهنی، اکبر-۱۳۷۴

فاز اول امکان تولید سیمان- گزارش امکان تولید سیمان پوزولان در سیمان صوفیان.

(۲) ایران، وزارت صنایع و معادن-۱۳۸۳

گزارش نهایی عملیات پی جویی مواد اولیه سیمان در استان کهگیلویه و بویراحمد- سازمان صنایع و معادن استان کهگیلویه و بویراحمد.

(۳) حبیبی خامه، عزیز-۱۳۸۱

کنترل کیفی و نحوه تنظیم مواد خام و شرایط پخت کلینکر در صنایع سیمان- سیمان تهران.

(۴) حسنی، حسین-۱۳۸۲

روش‌های زمین‌شناسی در اکتشاف کانسارها در معدن کاری- انتشارات دانشگاه امیرکبیر.

(۵) درویش‌زاده، علی- ۱۳۸۳

زمین‌شناسی ایران- انتشارات دانشگاه امیرکبیر.

(۶) شهیدی همدانی، شروین- ۱۳۸۴

اکتشاف و مدول‌سازی مواد خام تشکیل دهنده سیمان- انتشارات جهاد دانشگاهی واحد صنعتی امیرکبیر.

(۷) کریم‌پور، محمدحسین و حیدریان، محمدرضا- ۱۳۸۳

اکتشاف و مدول‌سازی مواد خام معدنی- انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد.

(۸) کریم‌پور، محمدحسین- ۱۳۶۸.

کانی‌ها و سنگ‌های صنعتی- انتشارات جاوید مشهد.

(۹) طائف، عباس و کوهی، فرشته- ۱۳۷۴

سیمان- مرکز تحقیقات سیمان دانشگاه علم و صنعت تهران

(۱۰) عزیزیان، محمدرضا- ۱۳۷۴

تکنولوژی سیمان- شرکت سیمان اکباتان

(۱۱) یعقوب‌پور، عبدالمجید- ۱۳۸۲

اصول زمین‌شناسی ذخایر معدنی- انتشارات دانشگاه تربیت معلم.

12) Cement Data book.

13) Cement Engineering Hand book.