٩٤١٨٧

دانشگاه شهید باهنر کرمان

دانشکده فنی مهندسی

بخش مهندسی معدن

پایان نامه تحصیلی جهت دریافت درجه کارشناسی ارشد فرآوری مواد معدنی

بررسی آسیاکنی گلوله ای

در تولید سیمان ۴۲۵ از سیمان تیپ ۲

۱۳۸۷/۲/۱۷

استادان راهنما:

دکتر حسن حاجی امین شیرازی

دکتر محمد نوع پرست

مشاور صنعتی:

مهندس محمود رفیعی

مولف:

محسن یعقوبی

آبان ماه ۱۳۸۶

۹۳۱۸۷

جمهوری اسلامی ایران

شماره .....

تاریخ .....

پیوست .....

بسمه تعالی

این پایان نامه به عنوان یکی از شرایط احراز درجه کارشناسی ارشد به

گروه مهندسی معدن

دانشکده فنی و مهندسی

دانشگاه شهید باهنر کرمان

تسلیم شده است و هیچگونه مدرکی به عنوان فراغت از تحصیل دوره مزبور شناخته نمی شود.

دانشجو: محسن یعقوبی

اساتید راهنما:

دکتر حسن حاجی شیرازی

دکتر محمد نوعپرست

داور۱: دکتر محمد رنجبر

داور۲: دکتر عباس سام

تحصیلات تکمیلی یا نماینده دانشکده: آقای دکتر دکتر محمدرضا شایسته فر

حق چاپ محفوظ و مخصوص به مولف است.

۱۳۸۷/۱۲/۱۲

تقدیم به:

مادرم روح انگیز

آئینه افتادگی، عاطفه و پارسایی که زندگیم برایش همه رنج و و جودش برایم همه مهر

و با تشکر از

اساتید محترم آقایان دکتر شیرازی و دکتر نوع پرست و مهندس رفیعی و همچنین کلیه پرسنل زحمتکش مرکز تحقیق و توسعه صنعت سیمان که در انجام دقیق آزمایشات بنده را یاری نمودند.

چکیده

پارامتر زبری روی سرند ۹۰ میکرون نمی تواند شاخص مناسبی برای ارزیابی دانه بندی سیمان بر مقاومت آن باشد، زیرا آخرین بررسی های تحقیقاتی بر روی اثرات دانه بندی بر مقاومت سیمان نشان می دهد که ذرات بزرگتر از ۳۰تا۴۰ میکرون نقش قابل ملاحظه ای در مقاومت سیمان ندارند. از طرف دیگر پارامترسطح بلین نیز نمی تواند اثر پدیده نرمی را بر خواص سیمان و به طور اخص مقاومت آن توجیه نماید. سیمانهای باسطح بلین یکسان می توانند دارای توزیع دانه بندی و مقاومتهای متفاوت باشند. تولید سیمانهای مقاومت بالای کلاس ۴۲۵، ۵۲۵ و ۶۲۵ در ایران با دو روش شیمیایی و فیزیکوشیمیایی امکان پذیر است. در این تحقیق تولید سیمان ۴۲۵ با استفاده از کمک سایشها (Grinding Aids)، مورد بحث و بررسی قرار گرفته است. در آزمایش بلین و مقاومت، معیار تولید سیمان ۴۲۵، افزایش بلین بود. در این آزمایش تاثیر ۷ کمک سایش تجاری A، B، C، D، E، F، G در زمان خردایش ثابت (۶۵ دقیقه) بر سطح بلین و مقاومت نمونه های سیمان مورد بحث و بررسی قرار گرفت. نتایج حاصله نشان داد دستیابی به مقاومت $425\ Kg/cm^2$ با استفاده از کمک سایش امکان پذیر است، اما لزوما بیشترین مقاومت ۲۸ روزه در بیشترین بلین اتفاق نمی افتد. لذا در آزمایشی دیگر، تاثیر مقادیر ۰/۱، ۰/۲، ۰/۳، ۰/۴ و ۰/۵ درصد از کمک سایشهای A، D و C بر روی بلین و ذرات موثر بر مقاومت (عمدتا ۳ تا ۳۰ میکرون) که بیشترین تاثیر را بر روی مقاومت ۲۸ روزه ملات سیمان دارند، مورد بررسی و مقایسه قرار گرفت. نتایج آزمایش بلین و ذرات موثر بر مقاومت که معیار کاملتری برای ارزیابی اثر دانه بندی بر مقاومت سیمان است، نشان داد که برای دستیابی به بهترین نتیجه (تولید سیمان ۴۲۵)، از کمک سایشهای A و C به میزان ۰/۴ درصد و از کمک سایش D به میزان ۰/۳ درصد استفاده شود.

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
چکیده	
فهرست	I
فصل اول- مقدمه	
۱-۱- صنعت سیمان	۱
۱-۱-۱- سیمان چیست ؟	۱
۱-۱-۲- آسیاکردن و یکنواخت ساختن مخلوط مواد اولیه	۲
۱-۱-۳- فاز مایع (Liquid phase)	۲
۱-۱-۳-۱- محاسبه فاز مایع	۳
۱-۱-۴- ترکیبات اصلی سیمان	۳
۱-۱-۵- انواع سیمان پرتلند	۵
۱-۱-۵-۱- سیمان پرتلند نوع یک با نشانه پ-۱	۵
۱-۱-۵-۲- سیمان پرتلند نوع دو با نشانه "پ-۲"	۵
۱-۱-۵-۳- سیمان پرتلند نوع سه "پ ۳"	۵
۱-۱-۵-۴- سیمان پرتلند نوع چهار "پ ۴"	۵
۱-۱-۵-۵- سیمان پرتلند نوع پنج "پ ۵"	۵
۱-۲- بررسی خط تولید در کارخانه سیمان آبیک	۶
۱-۲-۱- معدن	۶
۱-۲-۲- آسیای سنگ	۶
۱-۲-۳- آسیای خاک	۷
۱-۲-۴- انبار خاک	۷
۱-۲-۵- آسیای مواد خام	۸
۱-۲-۶- پیش گرمکن	۹
۱-۲-۷- انبار کلینکر ، نوار انتقال و آسیای سیمان	۱۰
۱-۲-۷-۱- آسیای گلوله ای سیمان	۱۲
۱-۲-۸- بارگیرخانه	۱۴
فصل دوم- مروری بر تحقیقات گذشته	
مقدمه- پیشینهٔ تحقیق	۱۷
۲-۱- تاریخچه سیمان های با استحکام بالا	۱۸
۲-۲- مواد افزودنی در آسیاها	۲۰

۲-۲-۱- تاریخچه	۲۰
۲-۲-۲- مکانیزم عمل	۲۵
۲-۲-۳- نتایج صنعتی	۲۸
۲-۲-۴- چگونگی مصرف مواد کمکی	۳۱
۲-۲-۵- چگونگی تاثیر مواد کمکی	۳۲
۲-۲-۶- تاثیرات در طبقه بندی کننده	۳۳
۲-۲-۷- تاثیرات در خواص سیمان	۳۴
۲-۲-۸- کاهش هزینه ها	۳۶
فصل سوم- مواد و روش تحقیق	
۳-۱- مقایسه بارهای خرد کننده	۳۸
۳-۱-۱- آزمایشها	۳۹
۳-۲- دانه بندی و قابلیت خردایش مواد ورودی به آسیا	۴۲
۳-۲-۱- آزمایش قابلیت خردایش آسیای گلوله ای باند	۴۳
۳-۳- بررسی راندمان طبقه بندی کننده ها	۴۴
۳-۳-۱- بررسی روشهای عملکرد طبقه بندی کننده	۴۵
۳-۴- اندازه و دسته بندی گلوله ها	۴۷
۳-۴-۱- رابطه اول باند(*Bond*)	۵۱
۳-۴-۲- رابطه دوم باند	۵۱
۳-۴-۳- رابطه سوم باند (تجربی)	۵۱
۳-۵- اندازه گیری شارژ	۵۳
۳-۵-۱- روشهای محاسبه سایش	۵۳
۳-۵-۱-۱- روش توزین مجموع گلوله ها	۵۳
۳-۵-۱-۲- استفاده از درصد پر بودن یا حجم بار	۵۳
۳-۵-۱-۲-۱- روش ارتفاع سنجی	۵۴
۳-۵-۱-۲-۲- روش شمارش لاینرها	۵۴
۳-۵-۱-۲-۳- روش اندازه گیری عرض بار	۵۵
۳-۵-۱-۲-۴- نمونه برداری گلوله ها	۵۵
۳-۶- طرح آزمایش سطح بلین و مقاومت	۵۵
۳-۷- طرح آزمایش تاثیر میزانهای مختلف کمک سایش بر سطح بلین و ذرات موثر بر مقاومت	۵۷
فصل چهارم- ارائه یافته ها و نتایج	
۴-۱- نتایج مقایسه بارهای خرد کننده	۵۹
۴-۱-۱- نتایج آسیا کنی مدار بسته	۵۹
۴-۱-۲- نتایج خردایش ناپیوسته تک مرحله ای	۶۱
۴-۱-۳- نتیجه گیری	۶۶

۴-۲- نتایج دانه بندی مواد ورودی به آسیا	۶۸
۴-۳- قابلیت خردایش مواد ورودی به آسیا	۷۴
۴-۴- نتایج راندمان طبقه کننده های هوایی	۷۵
۴-۵- بررسی بزرگترین اندازه گلوله آسیا	۸۱
۴-۶- نتایج اندازه گیری شارژ آسیا	۸۲
۴-۷- دانه بندی مواد در اطاقچه اول و دوم آسیا	۸۶
۴-۷-۱- وضعیت دانه بندی مواد در اطاقچه اول	۸۶
۴-۸- نتایج آزمایش بلین و مقاومت	۸۸
۴-۸-۱- تعیین دانسیته و سطح بلین نمونه ها	۸۸
۴-۸-۲- آزمایش گیرش (درصد آب)	۹۲
۴-۸-۳- گیرش اولیه و ثانویه	۹۴
۴-۸-۴-آزمایش درصد آب به سیمان (w/c)	۹۵
۴-۸-۵- تعیین مقاومت فشاری	۹۷
۴-۹- نتایج آزمایش تاثیر میزانهای مختلف کمک سایش بر سطح بلین و ذرات موثر بر مقاومت	۹۹
۴-۹-۱- معیار سطح بلین	۱۰۰
۴-۹-۲- معیار درصد ذرات بین ۴ تا ۴۵ میکرون	۱۰۲
۴-۱۰- بحث	۱۰۴
فصل پنجم- نتیجه گیری	۱۰۹
فهرست منابع و مراجع	۱۱۰

فهرست جداول

عنوان **صفحه**

جدول۱-۱ - آنالیز کلینکر انتخابی	۳
جدول۱-۲ - گرمای هیدراتاسیون فازهای سیمان	۵
جدول ۱-۳- مشخصات شارژو ابعاد گلوله های آسیای۲ (در شرایط گارانتی)	۱۲
جدول ۱-۴- مشخصات ابعادی آسیای ۲	۱۳
جدول ۲-۱- نتایج مصرف اتیلن گلیکول در یک آسیای مخصوص سیمان با ابعاد $1.2\times4.2\ m$	۲۹
جدول ۲-۲- نتایج بکارگیری مواد افزودنی در آسیاهای سیمان	۳۰
جدول ۲-۳- تاثیر مصرف مواد کمکی در یک آسیای سیمان با ابعاد 3.4×12.5 متر	۳۳
جدول ۳-۱- شارژ۱: شرایط شارژ گلوله های استاندارد باند (پانلA)، شارژ۲ : سیلیسهای با جرم مساوی و اندازه معادل (پانل B)، شارژ۳: سیلیسهای با مساحت سطح مساوی و اندازه معادل (پانلC)، شارژ۴ : سیلیسهای کوچک در شارژ حذف و مساحت سطح و جرم یکسان است (پانلD)	۴۱
جدول۳-۲- شرایط آزمایشهای مقایسه ای	۴۱
جدول ۳-۳- مراحل انجام آزمایش خردایش در آسیای آزمایشگاهی	۵۶
جدول ۳-۴- میزان مصرف برای هر یک از افزودنیها با شرایط $(d_{100}<2mm, W_{clinker}=2kg, T_{grinding}=65\min)$	۵۶
جدول ۴-۱- نتایج آسیا کنی مدار بسته	۵۹
جدول ۴-۲- نتایج خردایش ناپیوسته تک مرحله ای	۶۱
جدول ۴-۳- مقایسه عملکرد آسیاکنی پیش بینی شده	۶۲
جدول ۴-۴- مقادیر درصد خاکه و d_{80} در شیفتهای مختلف	۶۹
جدول ۴-۵- اندیس کار باند در شیفتهای مختلف	۷۵
جدول۴-۶- درصد باقیمانده بر روی سرند آلپاین برای خوراک ، زبره و نرمه طبقه بندی کننده های ۲۱۸ و ۲۲۰	۷۷
جدول ۴-۷- راندمان نرمه ، زبره و راندمان کل برای طبقه بندی کننده ۲۱۸	۷۸
جدول۴-۸- رانمان نرمه ، زبره و راندمان طبقه بندی کننده ۲۲۰	۷۹
جدول ۴-۹- محاسبات آماری قطر اندازه بزرگترین گلوله	۸۱
جدول ۴-۱۰- وضعیت شارژگلوله ها در اطاقچه اول و دوم	۸۳
جدول ۴-۱۱- مقایسه درصد سیلیسهای موجود در خانه دوم با شرایط گارانتی	۸۵
جدول ۴-۱۲- وضعیت دانه بندی مواد دراطاقچه اول	۸۶
جدول ۴-۱۳- نتایج آنالیز سرندی در ۳ نقطه از اطاقچه اول	۸۷
جدول ۴-۱۴- نتایج آزمایش سطح بلین برای نمونه های سیمان	۹۱
جدول ۴-۱۵- میزان آب مورد نیاز در آزمایش گیرش برای نمونه های سیمان	۹۳

جدول۴-۱۶- تعیین گیرش های اولیه و ثانویه برای نمونه های سیمان	۹۴
جدول ۴-۱۷- میزان روانی در دامنه 14-15cm و نسبتهای آب به سیمان نمونه ها	۹۶
جدول ۴-۱۸- مقاومت فشاری ۲، ۷ و ۲۸ روزه نمونه های سیمان	۹۷
جدول۴-۱۹- آنالیز شیمیایی کلینکر مورد استفاده	۱۰۰
جدول۴-۲۰ - نتایج سطح بلین حاصل از میزانهای مختلف کمک سایشهای A، D و C	۱۰۱
جدول۴-۲۱ - درصد ذرات بین ۴ تا ۴۵ میکرون(کمک سایشهای A، D و C) که بیشترین تاثیر را در مقاومت ۲۸ روزه ملات سیمان دارد.	۱۰۲
جدول۴-۲۲- ضرایب یکنواختی محصولات کمک سایشهای A، D و C	۱۰۳

فهرست اشکال

عنوان **صفحه**

شکل ۱-۱- نمایی از داخل آسیاهای سیمان	۱۳
شکل ۱-۲- فرایند تولید سیمان از معدن تا بارگیری محصول	۱۵
شکل ۲-۱- مقاومت فشاری نمونه های بتن در۲۸ روز	۲۳
شکل ۲-۲- تاثیر میزانهای مختلف افزودنی بر سطح مخصوص نمونه های سیمان	۲۳
شکل ۲-۳- منحنی های تابع انتخاب (محاسبات برگشتی) برای اسلاری کانه تاکونیت خردایش شده در ۸ اینچ	۲۶
شکل ۲-۴- تاثیر آمین بر روی نرخ ویژه شکست ذرات کوارتز	۲۷
شکل ۲-۵- طرح مصرف مواد کمکی در آسیاها	۳۲
شکل ۲-۶- منحنی جداسازی یک طبقه بندی کننده با ابعاد ۴۲۰۰ میلیمتر	۳۴
شکل ۲-۷- تغییر توزیع دانه بندی سیمان در اثر مصرف مواد کمکی	۳۵
شکل ۳-۱- ارزیابی اثرات اثرات زبره روی سرند ۹۰ میکرون بر درصد ذرات ۰ تا ۳ و درصد ذرات ۳ تا ۳۰ میکرون در ضرائب مختلف یکنواختی	۴۸
شکل ۳-۲- تغییر درصد ذرات (۰-۳)میکرون بر درصد ذرات (۳-۳۰) میکرون در ضرائب مختلف	۴۹
شکل ۴-۱ - توزیع ابعادی خوراک جدید، محتوای آسیا در مرحله آخر (زیر سرند و روی سرند)برای آزمایشهای آسیا کنی مدار بسته با بکار بردن گلوله و سیلپبس با شرایط جرم یکسان و توزیع اندازه مشابه	۶۰
شکل ۴-۲- شارژ گلوله در مقابل سیلپبس با جرم و توزیع ابعادی یکسان و مساحت سطح بیشتر سیلپبس	۶۳
شکل ۴-۳- فعالیت نرم کنی برخورد خطی سیلپبس تمایل برای خردایش ذرات درشت را به طور تبعیض آمیزی افزایش می دهد.	۶۴
شکل ۴-۴- شارژ گلوله در مقابل سیلپبس با اندازه واسطه و مساحت سطح یکسان ، اما جرم کمتر	۶۵
شکل ۴-۵- شارژ گلوله در مقابل سیلپبس با جرم و مساحت سطح یکسان اما سیلپبسهای کوچک حذف شده اند.	۶۶
شکل ۴-۶- تفاوت نرخهای ویژه شکست با اندازه ذرات	۶۸
شکل ۴-۷- دانه بندی خوراک با (d80= 9/2mm)	۱۱۰
شکل۴-۸- دانه بندی خوراک با (d80=19/3 mm)	۱۱۰
شکل۴-۹- دانه بندی خوراک با (d80=8/9 mm)	۱۱۱
شکل۴-۱۰- دانه بندی خوراک با (d80=15/64 mm)	۱۱۱
شکل۴-۱۱- دانه بندی خوراک با (d80=21/65 mm)	۱۱۲
شکل۴-۱۲- دانه بندی خوراک با (d80=10/32 mm)	۱۱۲
شکل۴-۱۳- دانه بندی خوراک با (d80=24/65 mm)	۱۱۳

شکل۴-۱۴- دانه بندی خوراک با (d80=8/8 mm)	۱۱۳
شکل۴-۱۵- دانه بندی خوراک با (d80=15/77 mm)	۱۱۴
شکل۴-۱۶- دانه بندی خوراک با (d80=16/57 mm)	۱۱۴
شکل۴-۱۷- دانه بندی خوراک با (d80=15/89 mm)	۱۱۵
شکل۴-۱۸- دانه بندی خوراک با (d80=22/66 mm)	۱۱۵
شکل۴-۱۹- دانه بندی خوراک با (d80=6/16 mm)	۱۱۶
شکل۴-۲۰- دانه بندی خوراک با (d80=8/17 mm)	۱۱۶
شکل۴-۲۱- دانه بندی خوراک با (d80=13/13 mm)	۱۱۷
شکل۴-۲۲- دانه بندی خوراک با (d80=9/75 mm).	۱۱۷
شکل ۴-۲۳- نمودار مقایسه ای تغییرات d_{80} در خوراک ورودی به آسیا	۷۰
شکل ۴-۲۴- نمودار مقایسه ای ذرات ریزتر از ۱ میلیمتر در خوراک آسیا	۷۰
شکل ۴-۲۵- نمودار مقایسه ای d_{80} و درصد ذرات ریزتر از ۱ میلیمتر در خوراک آسیا	۷۲
شکل ۴-۲۶- مدار نرم کنی سیمان با استفاده از یک سنگ شکن به عنوان پیش خردکن	۷۲
شکل ۴-۲۷- طرح شماتیکی از عملیات سنگ شکن Barmac	۷۳
شکل ۴-۲۸- مثال کاربردی آسیای غلتکی همراه با آسیای گلوله ای به منظور افزایش ظرفیت	۷۳
شکل ۴-۲۹- نمودار تغییرات اندیس کار باند در شیفتهای مختلف	۷۴
شکل ۴-۳۰- برازش راندمان طبقه بندی کننده ۲۱۸ بر حسب ظرفیت آسیا	۷۷
شکل ۴-۳۱- برازش راندمان طبقه بندی کننده ۲۲۰ بر حسب ظرفیت آسیا	۷۸
شکل ۴-۳۲- نمودار دانه بندی مواد در ۳ نقطه از اطاقچه اول آسیا	۸۷
شکل ۴-۳۳- نمودار توزیع سطح بلین در اطاقچه دوم آسیا	۸۸
شکل ۴-۳۴- افزایش سطح بلین نمونه های تهیه شده با افزودنی نسبت به سیمان شاهد(٪)	۹۲
شکل ۴-۳۵- درصد افزایش آب نمونه های تهیه شده با افزودنی نسبت به نمونه شاهد	۹۳
شکل ۴-۳۶- کاهش نسبت آب به سیمان (٪) محصولات تهیه شده نسبت به نمونه شاهد	۹۶
شکل۴-۳۷ – افزایش مقاومت فشاری نمونه های درست شده در ۲ روز(٪)	۹۸
شکل۴-۳۸ – افزایش مقاومت فشاری نمونه های درست شده در ۷ روز(٪)	۹۸
شکل۴-۳۹ – افزایش مقاومت فشاری نمونه های درست شده در ۲۸ روز(٪)	۹۹
شکل۴-۴۰ - نمودار تغییرات سطح بلین نسبت به میزانهای مختلف کمک سایشهای A، D و C	۱۰۱

پیوست

عنوان **صفحه**

پیوست (۱)- شکل شماتیکی از آسیای سیمان و طبقه کننده هوایی	۱۰۹
پیوست (۲)- نمودارهای دانه بندی خوراک آسیا	۱۱۰
شکل ۴-۷- دانه بندی خوراک با (d80= 9/2mm)	۱۱۰
شکل۴-۸- دانه بندی خوراک با (d80=19/3 mm)	۱۱۰
شکل۴-۹- دانه بندی خوراک با (d80=8/9 mm)	۱۱۱
شکل۴-۱۰- دانه بندی خوراک با (d80=15/64 mm)	۱۱۱
شکل۴-۱۱- دانه بندی خوراک با (d80=21/65 mm)	۱۱۲
شکل۴-۱۲- دانه بندی خوراک با (d80=10/32 mm)	۱۱۲
شکل۴-۱۳- دانه بندی خوراک با (d80=24/65 mm)	۱۱۳
شکل۴-۱۴- دانه بندی خوراک با (d80=8/8 mm)	۱۱۳
شکل۴-۱۵- دانه بندی خوراک با (d80=15/77 mm)	۱۱۴
شکل۴-۱۶- دانه بندی خوراک با (d80=16/57 mm)	۱۱۴
شکل۴-۱۷- دانه بندی خوراک با (d80=15/89 mm)	۱۱۵
شکل۴-۱۸- دانه بندی خوراک با (d80=22/66 mm)	۱۱۵
شکل۴-۱۹- دانه بندی خوراک با (d80=6/16 mm)	۱۱۶
شکل۴-۲۰- دانه بندی خوراک با (d80=8/17 mm)	۱۱۶
شکل۴-۲۱- دانه بندی خوراک با (d80=13/13 mm)	۱۱۷
شکل۴-۲۲- دانه بندی خوراک با (d80=9/75 mm).	۱۱۷
پیوست (۳)- تعیین اندیس کار توسط آسیای گلوله ای باند	۱۱۸
پیوست (۴)- نتایج دانه بندی لیزری در ۶ نقطه از اطاقچه دوم آسیا	۱۲۵
پیوست (۵)- نتایج دانه بندی لیزری نمونه شاهد و کمک سایشهای A، D و C در میزانهای ۰/۱، ۰/۲، ۰/۳، ۰/۴ و ۰/۵ درصد	۱۳۱

فصل یکم:

مقدمه

۱-۱- صنعت سیمان

۱-۱-۱- سیمان چیست ؟

سیمان یک ماده چسباننده هیدرولیکی است که برای ساختن ملات و بتن به کار می رود و ترکیبی است از اکسیدکلسیم (CaO)، اکسیدسیلیسیم (SiO_2)، اکسید آلومینیوم (Al_2O_3) و اکسید آهن (Fe_2O_3)که از طریق پخت و یا ذوب حاصل می گردد. سیمان پس از اختلاط با آب و تشکیل خمیر سیمان در هوا و در زیر آب، می بندد و به مرور سخت می گردد و به استحکام آن افزوده می شود و از ثبات حجمی برخوردار می باشد. حداقل مقاومت فشاری ۲۸ روزه سیمان، بر اساس استاندارد آلمان (Din 1164) برابر $25\ N/m^2$ معادل ۲۵۰ کیلوگرم بر سانتی مترمربع است. ضمناً مجموع اکسید کلسیم(CaO) و اکسیدسیلیسیم (SiO_2) فعال در سیمان پرتلند باید حداقل ۵۰٪ باشد.

شایان ذکر است که کلینکر سیمان پرتلند یک ماده هیدرولیکی است که حداقل دو سوم آن از کلسیم سلیکات $2CaO.SiO_2 - 3CaO.SiO_2$و بقیه شامل اکسید آلومینیوم (Al_2O_3) و اکسید آهن(Fe_2O_3) و سایر ترکیبات می باشد. ضمناً نسبت (CaO) به (SiO_2) باید حداقل ۲ باشد.

اکسید منیزیم(MgO)در فرآیند پخت، نقش کمک ذوب را ایفا می نماید و هر چه قدر مقدار آن کمتر باشد، مفیدتر است، زیرا با سایر ترکیبات سیمان ترکیب نمی شود بلکه به صورت آزاد در سیمان باقی می ماند. نظر به اینکه(MgO)پس از گرفتن ملات سیمان خیلی به کندی با آب ترکیب گشته و شکفته می شود و این شکفتگی منجر به انسباط حجمی می گردد. در نتیجه ترک های موئی در ملات سیمان و بتن ایجاد می شود که در طول زمان باعث تخریب آنها می گردد. از این رو میزان (MgO) در سیمان نباید بیشتر از ۵٪ وزن آن باشد.

قلیائی ها شامل سدیم (Na) و پتاسیم (K) در سیمان نقش روانساز دارند. اگر مقدار آنها در سیمان زیاد باشد، تنظیم گیرش مختل می گردد. بدین جهت مجموع این دو عنصر نباید از ۱٪ وزن آن بیشتر باشد.

مقدار کلر در کلیه سیمانها به جهت نقش تخریبی آن در بتن، بایستی کمتر از ۰/۱٪ وزنی آنها باشد.

مقدار قابل قبول انیدریدسولفوریک (SO_3) در سیمان پرتلند و در سیمانهای روباره ای و پوزولانی بسته به میزان سطح مخصوص آنها (۲۰۰۰ الی ۴۰۰۰ سانتیمتر مربع بر گرم)، ۳/۵ درصد وزنی سیمان است و اگر چنانچه سطح ویژه سیمان ها بیش از ۴۰۰۰ سانتی متر مربع گردد، چهار درصد وزنی سیمان است.

استاندارد جدید آلمان DIN 1164 (1993) میزان SO_3 را برای سیمانهای R ۳۲/۵ ، ۴۲/۵ و ۵۲/۵ حداکثر ۳/۵ و برای سیمان های R ۴۲/۵ ، g ۵۲ و R ۵۲/۵ حداکثر ۴ درصد محدود نموده است.

۱-۱-۲- آسیاکردن و یکنواخت ساختن مخلوط مواد اولیه

سنگ آهک و خاک رس را به نسبت معینی با یکدیگر مخلوط و پس از خردایش در سنگ شکن وارد آسیاها می کنند. این آسیاها باید مواد اولیه را به نحوی نرم کنند که دیگر زبری دانه های مواد اولیه در زیر انگشتان دست احساس نگردد. هر قدر این مخلوط نرم تر و هموژن تر باشد در موقع پخت فعل و انفعال کاملتر، و در نتیجه کلینکر پخته مرغوب تر است. مواد پودر شده را جهت هموژن و متجانس تر شدن بهتر به داخل سیلوهای تغذیه انتقال می دهند و از آنجا به داخل کوره هدایت می شوند. به این مواد به قدری حرارت می دهند تا دانه ها عرق کنند و به همدیگر بچسبند و به صورت دانه های فندوقی شکل که اصطلاحاً کلینکر (Clinker) نامیده می شوند، در آیند. درجه حرارت پخت کلینکر بین ۱۲۰۰ الی ۱۴۵۰ درجه سانتیگراد می باشد. آنگاه پس از سرد کردن و آسیاکردن کلینکر همراه با کمی سنگ گچ، محصولی به دست خواهد آمدکه آن را *سیمان پرتلند* می نامند. ضمناً خاطر نشان می کردد که سنگ آهن (Fe_2O_3) به عنوان کمک ذوب به مواد اولیه افزوده می گردد.

۱-۱-۳- فاز مایع (Liquid phase)

محاسبه فاز مایع در کلینکر طبق فرمول Lea به شرح ذیل صورت می گیرد.

$$2.95\%\ Al_2O_3 + 2.2\%\ Fe_2O_3 + \%\ MgO(\max 2\%) + \%\ Na_2O + \%\ K_2O = \ldots\% + \%(Na_2O + K_2O) = \ldots\%$$

فاز مایع برحسب مقدار موجود Al_2O_3 در کلینکر تعیین می گردد و نقش آن را می توان در مثال زیر ملاحظه نمود.

جدول۱-۱ - آنالیز کلینکر انتخابی

SiO_2	21/5%
Al_2O_3	6/0%
Fe_2O_3	2/5%
CaO	66/0%
MgO	2/0%
SO_3	0/3%
Na_2O	0/2%
K_2O	0/6%
باقیمانده	0/9%

۱-۱-۳-۱- محاسبه فاز مایع

$$2.95\times 6.0\ Al_2O_3 + 2.2\times 2.5\ Fe_2O_3 + 2.0\ MgO + 0.2\ Na_2O + 0.6\ K_2O = 26\ \%$$

تذکر : در این رابطه چنانچه مقدار فاز مایع در کلینکر کمتر از ۲۴ در صد باشد نشانه بالا بودن درجه حرارت درمنطقه پخت بوده وپخت مواد (خوراک کوره) به سختی انجام می گیرد و بر عکس چنانچه سهم فاز مایع در کلینکر بیش از ۲۸٪ باشد پخت مواد کوره به سهولت صورت می گیرد ولی کوتینگ (Coating) داخل کوره را مواجه با مشکلاتی خواهد نمود. به هر حال در هر دو حالت اثرات نامطلوبی در تشکیل فازهای کلینکر و مرغوبیت سیمان تولید شده خواهد داشت.

۱-۱-۴- ترکیبات اصلی سیمان

ترکیبات اصلی که در سیمان پرتلند وجود دارد به نام فازهای کلینکر یا سیمان موسوم است که مجموعه این کریستال ها مقاومت سیمان را به وجود می آورند.

- سه کلسیم سیلیکات (تری کلسیم سیلیکات)

$$1.C_3S = 3CaO.SiO_2 = 45-60\%$$

- دو کلسیم سیلیکات (دی کلسیم سیلیکات)

$2.C_2S = 2CaO.SiO_2 = 15-35\%$

- سه کلسیم آلومینات (تری کلسیم آلومینات)

$3.C_3A = 3CaO.Al_2O_3 = 4-14\%$

- چهار کلسیم آلو مینوفریت (تتراکلسیم آلومینوفریت)

$4.C_4AF = 4CaO.Al_2O_3.Fe_2O_3$

شاین ذکر است که کریستالهای فوق، به صورتی که ذکرشده عملاً در سیمان وجود ندارد، بلکه همواره در کریستال آنها مقادیری از اکسیدهای فرعی نظیر TiO_2، MgO، K_2O، Na_2O،آهک آزاد، سولفات ها و نظایرآن وجود دارند.

بایدافزود که هریک از فازهای مورد بحث دارای خواصی می باشند که به اختصار بدانها اشاره می گردد:

C_3S: آلیت (Alit)

بیشترین مقاومت را از نظر فشار و خمش داراست و موجب گیرش سریع سیمان می گردد و گرمای هیدراتاسیون آن ۱۲۰ کالری بر گرم است.

C_2S: بلیت (Belit)

نقش این ترکیب در مقاومت های ۲۸ روزه و بالاتر نمود پیدا می کند، موجب گیرش کند و گرمای هیدراتاسیون پایین(۶۰کالری برگرم) می گردد.

C_3A: وجود C_3A در سیمان نامطلوب است زیرا تأثیر آن در مقاومت فشاری سیمان بسیار ناچیز است. انبساط ناشی از تشکیل کلسیم سولفوآلو مینات (Kalcium Sulfo Aluminate) ویا (Kalcium Aluminat sulfat)از C_3A $[3CaO.Al_2O_3.3CaSO_4.(30-32)H_2O]$ که به آن (Eteringit) هم گفته می شودکه ممکن است سبب ترک خوردن خمیر سخت شده سیمان گردد، وانگهی C_3A مانند یک گداز آورعمل می کند، از این رو درجه حرارت پخت کلینکر را پایین می آورد و ترکیب آهک با سیلیس را تسهیل می بخشد، به همین دلیل C_3A در تولید سیمان مفید است، نظر به اینکه گرمای هیدراتاسیون آن بسیاربالاست (۳۲۰ کالری بر گرم). از این رو باید برای بتن های با کیفیت بالا به ویژه در قبال عوامل مهاجم مقدار آن را کاهش داد.

C_4AF نیز به مشابه گداز آور عمل می کند ،گرمای هیدراتاسیون آن ۱۰۰کالری برگرم است. در جدول۱-۲ گرمای هیدراتا سیون بر حسب کالری برگرم ارائه شده است.

جدول۱-۲ - گرمای هیدراتا سیون فازهای سیمان $\left(cal/gr\right)$

C_3S	C_2S	C_3A	C_4AF
۱۲۰	۶۰	۳۲۰	۱۰۰

۱-۱-۵- انواع سیمان پرتلند

سیمان پرتلند مشتمل بر پنج نوع به شرح زیر می باشد :

۱-۱-۵-۱- سیمان پرتلند نوع یک با نشانه پ-۱

به عنوان سیمان پرتلند معمولی برای مصارف عمومی در ساخت ملات یا بتن به کار می رود. این نوع سیمان از ۳ کلاس ۳۲۵ و ۴۲۵ و ۵۲۵ تشکیل می گردد.

۱-۱-۵-۲- سیمان پرتلند نوع دو با نشانه "پ-۲"

به عنوان سیمان پرتلند اصلاح شده، مصرف ویژه آن در ساخت بتن هایی است که حرارت هیدراتاسیون متوسط برای آنها ضرورت داشته و حمله سولفات ها به آنها در حد متوسط باشد.

۱-۱-۵-۳- سیمان پرتلند نوع سه "پ ۳"

به عنوان سیمان پرتلند با مقاومت اولیه زیاد در شرایطی که مقاومت اولیه زیاد مورد نظر باشد بکار می رود.

۱-۱-۵-۴- سیمان پرتلند نوع چهار "پ ۴"

به عنوان سیمان پرتلند با حرارت کم در شرایطی که حرارت هیدراتاسیون کم بتن مورد نظر باشد به کار می رود.

۱-۱-۵-۵- سیمان پرتلند نوع پنج "پ ۵"

به عنوان سیمان پرتلند ضد سولفات در شرایطی که مقاومت زیاد بتن در برابر سولفات ها مورد نظر باشد بکار می رود[۱].

۱-۲- بررسی خط تولید در کارخانه سیمان آبیک

۱-۲-۱- معدن

معدن شرکت سیمان آبیک با مساحت ۶۰۰ هکتار ، در طول ۵۰' و عرض ۳۶' جغرافیایی و ارتفاع متوسط ۱۳۳۰ متر از سطح دریا قرار دارد. این معدن از دو قسمت مجزا ، (معدن سنگ و معدن خاک یا مارل) تشکیل شده است. استخراج سنگ آهک از کوه های پیر علی دو برادر به صورت روباز و به روش چاله زنی و با دریل واگن انجام می شود. بدین صورت که چال هایی به عمق ۳ الی ۱۲ متر و قطر ۳ الی ۴/۵ اینچ (به قطر مته بستگی دارد) حفر می گردد. سپس با استفاده از دینامیت ، آنفو و چاشنی که به صورت سری بسته می شوند، آتشباری انجام و سنگ آهک استخراج می گردد و به وسیله ماشین آلات مکانیکی بارگیری شده و با کامیون به آسیای سنگ حمل می شود. روزانه ۳ الی ۴ هزار تن سنگ آهک با توجه به نیاز کارخانه بارگیری می شود.

دپوی خاک مارل (مخلوط طبیعی سنگ آهک و خاک) به جز مواردی خاص ، همیشه بدون انفجار توسط بلدوزر انجام می شود. پس از دپو ، توسط لودر بارگیری و با کامیون به آسیای سنگ حمل می شود.

روزانه ۱۲۰۰۰ تن خاک مارل برداشت می شود که حدود ۴۰ دستگاه کامیون جهت حمل آن به آسیاهای خاک به کار گرفته می شود. سایر مواد معدنی افزودنی مورد نیاز کارخانه، شامل سنگ گچ، سنگ آهن و سنگ پوزولان است.

سنگ گچ از معدن آزاد بر ، کندوان ، و لمبران طالقان ، سنگ آهن از معدن شمس آباد اراک و سنگ پوزولان از معدن سنگ سبز آبیک خریداری می شود.

۱-۲-۲- آسیای سنگ

این آسیا برای خرد کردن سنگ آهک و سنگ آهن احداث شده است. سنگ شکن اولیه از نوع ژیراتوری و سنگ شکن های ثانویه مخروطی می باشند. مواد اولیه پس از استخراج از معدن توسط کامیون هایی حمل و مستقیماً به دهانه سنگ شکن ژیراتوری وارد می شود. این سنگ شکن از یک بدنه ثابت مخروطی شکل و یک هسته میانی که حرکت خارج از محوری دارد، تشکیل شده است. در اثر نزدیک شدن یک سمت هسته در حال