

جمهوری اسلامی ایران
وزارت صنعت، معدن و تجارت

برنامه تهیه ضوابط و معیارهای معدن

فهرست خدمات و دستورالعمل مراحل مختلف اکتشاف مواد اولیه تولید انواع سیمان

شماره ردیف نشریه در انتشارات
معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رییس‌جمهور

۶۱۷



سازمان نظام مهندسی معدن
امور انتشارات
<http://www.ime.org.ir>

وزارت صنعت، معدن و تجارت
معاونت امور معادن و صنایع معدنی
برنامه تهیه ضوابط و معیارهای معدن
<http://www.mimt.gov.ir>

فهرست برگه

معاونت امور معادن و صنایع معدنی. برنامه تهیه ضوابط و معیارهای معدن / فهرست خدمات و دستورالعمل مراحل
مختلف اکتشاف مواد اولیه تولید انواع سیمان

مشخصات نشر :

مشخصات ظاهری :

978-600-6422-21-3

۹۷۸-۶۰۰-۶۴۲۲-۲۱-۳

شابک :

وضعیت فهرست نویسی :

موضوع :

رده بندی کنگره :

رده بندی دیویی :

شماره کتابشناسی ملی :

978-600-6422-21-3

۹۷۸-۶۰۰-۶۴۲۲-۲۱-۳

فهرست خدمات و دستورالعمل مراحل مختلف اکتشاف مواد اولیه تولید انواع سیمان

مقدمه

سیمان پودری نرم و جاذب آب است که از پخت مواد آهکی و سایر مواد نظیر اکسیدهای سیلیسیم، آلومینیم و آهن تولید می‌شود. مواد اولیه سیمان به سه گروه ترکیبات اصلی، اصلاح‌کننده و افزودنی تقسیم می‌شوند. ترکیبات اصلی سیمان شامل CaO ، SiO_2 ، Al_2O_3 و Fe_2O_3 است که از سنگ‌های آهکی، رس و مارن تامین می‌شود. مواد اصلاح‌کننده شامل موادی نظیر سنگ‌های سیلیسی، بوکسیت و سنگ‌های آهن‌دار است. برای کنترل زمان گیرش نیز معمولاً گچ و پوزولان به عنوان مواد افزودنی مورد استفاده قرار می‌گیرد. مراحل مختلف ساخت سیمان شامل تهیه مواد اولیه، آسیا و پودر کردن مواد اولیه، مخلوط کردن آن‌ها به نسبت‌های معین و حرارت دادن و پختن مخلوط در یک کوره در دمای حدود ۱۴۰۰ درجه سانتی‌گراد است. مواد مضر شامل Cl ، SO_3 ، Na_2O ، MgO هستند که هر یک از آن‌ها نباید از حد معینی بیشتر شود.

در این نشریه "فهرست خدمات و دستورالعمل مراحل مختلف اکتشاف مواد اولیه تولید انواع سیمان" ضمن آشنایی با تعاریف و مفاهیم پایه، ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی انواع مواد اولیه تولید سیمان به همراه روش‌های اکتشاف آن‌ها ارائه شده است.

| صفحه | فهرست مطالب | عنوان |
|------|-------------|--|
| ۱ | | فصل اول- تعاریف..... |
| ۳ | | ۱-۱- آشنایی..... |
| ۳ | | ۲-۱- تعاریف..... |
| ۹ | | فصل دوم- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی انواع مواد اولیه تولید سیمان..... |
| ۱۱ | | ۱-۲- آشنایی..... |
| ۱۱ | | ۲-۲- فرآیند تولید سیمان..... |
| ۱۲ | | ۳-۲- مشخصات شیمیایی و فیزیکی سیمان..... |
| ۱۵ | | ۴-۲- انواع سیمان و تیپ‌های مربوطه و نوع کاربرد آن‌ها..... |
| ۱۷ | | ۵-۲- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی انواع مواد اولیه در تولید سیمان..... |
| ۱۸ | | ۱-۵-۲- ویژگی‌های شیمیایی، فیزیکی و بافتی سنگ آهک به عنوان مواد اولیه سیمان..... |
| ۱۹ | | ۲-۵-۲- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی مواد اولیه رسی..... |
| ۲۰ | | ۳-۵-۲- مواد افزودنی..... |
| | | ۴-۵-۲- حدود تغییرات نسبت‌ها و اجزا مورد استفاده برای تنظیم مواد و پختن کلینکر و تاثیر مدول‌ها و اکسیدها در فرآیند پخت..... |
| ۲۰ | | ۵-۵-۲- محدودیت مدول‌ها و اکسیدها در فرآیند پخت..... |
| ۲۱ | | ۶-۵-۲- باطله‌های صنعتی به عنوان مواد افزودنی..... |
| ۲۳ | | ۷-۵-۲- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی مواد ترکیبی یا افزودنی به کلینکر..... |
| ۲۳ | | فصل سوم- ذخایر معدنی شناخته شده در ارتباط با صنایع سیمان و معرفی سازندهای زمین‌شناسی ایران..... |
| ۲۵ | | ۱-۳- آشنایی..... |
| ۲۷ | | ۲-۳- زون‌های مهم زمین‌شناسی و ساختمانی ایران..... |
| ۲۷ | | ۳-۳- دوران پالئوزویک..... |
| ۲۸ | | ۴-۳- دوران مزوزویک..... |
| ۲۸ | | ۵-۳- دوران سنوزویک..... |
| ۲۸ | | ۶-۳- زون افیولیت ملانژ..... |
| ۲۹ | | ۷-۳- پراکندگی مواد اولیه معدنی طبیعی با ترکیب و خواص مناسب برای سیمان..... |
| | | فصل چهارم- فهرست خدمات مراحل مختلف اکتشاف و معیارهای تصمیم‌گیری در ادامه و یا توقف عملیات اکتشاف مواد اولیه سیمان..... |
| ۳۱ | | ۱-۴- آشنایی..... |
| ۳۳ | | ۲-۴- شرح خدمات اکتشاف مرحله شناسایی..... |
| ۳۳ | | ۱-۲-۴- جمع‌آوری داده‌ها و انتخاب محدوده مناسب..... |
| ۳۴ | | ۲-۲-۴- مطالعه مستندات جمع‌آوری شده و تعیین محدوده‌های پتانسیل‌دار..... |
| ۳۴ | | ۳-۲-۴- برداشت صحرائی..... |
| ۳۵ | | ۴-۲-۴- تجزیه شیمیایی نمونه‌ها..... |
| ۳۶ | | ۵-۲-۴- انجام محاسبات سیمان‌سازی..... |

| | |
|----|--|
| ۳۶ |۴-۲-۶- تعیین ذخیره در رده ۳۳۴ (بر اساس نشریه شماره ۳۷۹) هر یک از مواد خام..... |
| ۳۶ |۴-۲-۷- تعبیر و تفسیر نهایی و جمع‌بندی کلیه اطلاعات صحرائی و دفتری و معرفی حداقل سه منطقه اولویت‌دار برای انجام عملیات اکتشاف در مرحله پی‌جویی..... |
| ۳۶ |۴-۳-۳- گزارش نویسی مرحله شناسایی..... |
| ۳۶ |۴-۳-۱- چکیده..... |
| ۳۶ |۴-۳-۲- فهرست..... |
| ۳۶ |۴-۳-۳- مقدمه..... |
| ۳۷ |۴-۳-۴- اطلاعات کلی منطقه..... |
| ۳۷ |۴-۳-۵- بررسی و مطالعات دفتری برای تعیین محدوده‌های اکتشافی پتانسیل‌دار از نظر مواد اولیه سیمان..... |
| ۳۷ |۴-۳-۶- بررسی محدوده‌ها و حجم عملیات..... |
| ۳۷ |۴-۳-۷- بررسی مسایل زیربنایی..... |
| ۳۸ |۴-۳-۸- تعیین ذخیره در هر یک از محدوده‌های اکتشافی..... |
| ۳۸ |۴-۳-۹- نتیجه‌گیری و پیشنهادات..... |
| ۳۸ |۴-۳-۱۰- فهرست منابع..... |
| ۳۸ |۴-۳-۱۱- پیوست‌ها..... |
| ۳۹ |۴-۴- شرح خدمات اکتشاف مواد اولیه سیمان در مرحله پی‌جویی..... |
| ۳۹ |۴-۴-۱- فهرست خدمات مرحله جمع‌آوری داده‌ها و مطالعات دفتری..... |
| ۳۹ |۴-۴-۲- برداشت‌های صحرائی..... |
| ۴۱ |۴-۴-۳- بررسی و نمونه‌برداری از منابع مواد اولیه تصحیح‌کننده در صنعت سیمان شامل سنگ آهن، سیلیس، پوزولان و سنگ گچ در حد شناسایی اولیه به تعداد ۱ یا ۲ نمونه از هر کدام..... |
| ۴۱ |۴-۴-۴- تجزیه شیمیایی نمونه‌ها..... |
| ۴۱ |۴-۴-۵- انجام محاسبات سیمان‌سازی..... |
| ۴۲ |۴-۴-۶- تعیین ذخیره حداقل مطابق با کد ۳۳۳..... |
| ۴۲ |۴-۴-۷- مطالعات مقدماتی ارزیابی زیست‌محیطی..... |
| ۴۲ |۴-۴-۸- تعبیر و تفسیر نتایج و جمع‌بندی کلیه اطلاعات..... |
| ۴۲ |۴-۴-۹- ارایه گزارش نهایی همراه با معیارهای تصمیم‌گیری..... |
| ۴۲ |۴-۴-۵- تهیه گزارش مرحله پی‌جویی..... |
| ۴۲ |۴-۵-۱- چکیده..... |
| ۴۲ |۴-۵-۲- فهرست..... |
| ۴۳ |۴-۵-۳- مقدمه..... |
| ۴۳ |۴-۵-۴- کلیات..... |
| ۴۳ |۴-۵-۵- زمین‌شناسی..... |
| ۴۳ |۴-۵-۶- بررسی‌های اکتشافی..... |
| ۴۳ |۴-۵-۷- محاسبات سیمان‌سازی..... |
| ۴۴ |۴-۵-۸- تخمین ذخیره..... |
| ۴۴ |۴-۵-۹- نتایج آزمون‌های تکنولوژی در مقیاس پیشاهنگ..... |
| ۴۴ |۴-۵-۱۰- نتیجه‌گیری و پیشنهادات..... |

| | |
|----|---|
| ۴۴ | فهرست منابع. ۱۱-۵-۴ |
| ۴۴ | پیوست‌ها. ۱۲-۵-۴ |
| ۴۵ | خدمات اکتشاف مواد اولیه سیمان در مرحله اکتشاف عمومی و تفصیلی. ۶-۴ |
| ۴۵ | جمع‌آوری داده‌ها و مطالعات دفتری. ۱-۶-۴ |
| ۴۶ | برداشت‌های صحرایی. ۲-۶-۴ |
| ۴۶ | تجزیه شیمیایی نمونه‌ها. ۳-۶-۴ |
| ۴۷ | تلفیق و پردازش داده‌ها. ۴-۶-۴ |
| ۴۷ | تهیه گزارش مرحله اکتشاف عمومی و تفصیلی. ۷-۴ |
| ۴۷ | چکیده. ۱-۷-۴ |
| ۴۷ | فهرست مطالب. ۲-۷-۴ |
| ۴۷ | مقدمه. ۳-۷-۴ |
| ۴۷ | کلیات. ۴-۷-۴ |
| ۴۸ | زمین‌شناسی. ۵-۷-۴ |
| ۴۸ | حفاریات اکتشافی و نمونه‌برداری. ۶-۷-۴ |
| ۴۸ | محاسبات سیمان‌سازی. ۷-۷-۴ |
| ۴۸ | تخمین ذخایر و منابع. ۸-۷-۴ |
| ۴۸ | نتیجه‌گیری و پیشنهادات. ۹-۷-۴ |
| ۴۹ | فهرست منابع. ۱۰-۷-۴ |
| ۴۹ | پیوست‌ها. ۱۱-۷-۴ |
| ۵۱ | فصل پنجم- توصیف سیمان‌های سفید، پوزولانی و شرح مختصری بر آن‌ها |
| ۵۳ | ۱-۵-۱-آشنایی |
| ۵۳ | ۱-۱-۵- استاندارد ملی شماره ۲۹۳۱: ویژگی‌ها و روش‌های آزمون سیمان پرتلند سفید |
| ۵۴ | ۲-۵- سیمان پرتلند- پوزولانی |
| ۵۵ | ۱-۲-۵- استاندارد شماره ۳۴۳۲: ویژگی‌های سیمان پرتلند پوزولانی |
| ۵۷ | پیوست |

فصل ١

تعريف

۱-۱- آشنایی

تعاریف و مفاهیم پایه در زمینه فهرست خدمات و دستورالعمل مراحل مختلف اکتشاف مواد اولیه تولید انواع سیمان به شرح زیر ارائه می‌شود.

۱-۲- تعاریف

- اجزای اصلی سیمان^۱

اجزای اصلی شامل اکسیدهای اصلی تشکیل دهنده سیمان مانند اکسید کلسیم، اکسید سیلیسیم، اکسید آلومینیم و اکسید آهن است.

- اجزای فرعی سیمان^۲

علاوه بر اکسیدهای اصلی تشکیل دهنده سیمان، اکسیدهای دیگری مانند اکسید منیزیم، انیدرید گوگرد (SO_3)، اکسید پتاسیم، اکسید سدیم، اکسید تیتانیوم، اکسید منگنز، اکسید کروم، اکسید استرانسیم، کلرید و فلئورید در ترکیب سیمان وجود دارد که اجزای فرعی نامیده می‌شوند.

- آب انداختن^۳

آب انداختن یا جدا شدن آب از بتن که معرف ظرفیت تحمل بتن یا ملات در برابر ته‌نشین شدن به هنگام دوره زمانی گیرش است.

- بای‌پس^۴

مسیر فرعی برای هدایت گازها، مواد و بخارات مضر در صنعت سیمان

- باد کردن ملات یا بتن^۵

فعل و انفعال شکفته شدن آهک آزاد و منیزیت در سیمان معرف ناسالم بودن و معیوب بودن سیمان است.

- بالای مخروط‌افکنه^۶

قسمت‌های ابتدایی یا بالایی یک مخروط‌افکنه که معمولاً دارای دانه‌های رسوبی درشت‌دانه است و مواد اولیه معمولاً تیترا بالا است.

- پایین مخروط^۷

-
- 1- Major constituents
 - 2- Minor constituents
 - 3- Bleeding
 - 4- By-Pass
 - 5- Un-Soundness
 - 6- Upper-Fan
 - 7- Distal-Fan

قسمت‌های انتهایی یا پایینی یک مخروط‌افکنه که معمولاً دارای دانه‌های رسوبی ریزدانه و مواد اولیه تیترا پایین (بیشتر رسی) هستند.

۱- پوزولان^۱

نوعی سنگ آتشفشانی با میزان بالای سیلیس و سیلیکات به صورت فاز شیشه‌ای (بی‌شکل) است. سیلیس و سیلیکات بی‌شکل به آن خاصیت اسید داده و باعث شده که میل ترکیبی شدیدی با آهک و قلیایی‌ها داشته باشد. به دلیل این که برای اولین بار از منطقه Puzzuoli ایتالیا استخراج و مورد استفاده قرار گرفته پوزولان نامیده می‌شود.

۲- ترکیب کانی‌شناسی یا فازهای کلینکر^۲

ترکیبات چندتایی-چند اکسیدی که از ترکیب اکسیدهای اصلی سیمان در درجه حرارت بالا در منطقه پخت کوره مانند آلیت، بلیت یا نظایر آن‌ها به وجود می‌آید.

۳- ثابت حجمی^۳

سالم بودن و بی‌عیب بودن بتن را گویند.

۴- تتراکلسیم آلومینو فریت (فریت)^۴

این فاز به فاز میلریت قهوه‌ای هم معروف است و محلول جامدی است که بر سری‌های C_2F و C_2A تعلق دارد. اغلب این فاز به صورت C_4AF نشان داده می‌شود. این فاز یک واکنش دهنده‌ای با سرعت بسیار کم است و در خواص سیمان اهمیت کمی دارد.

۵- خاکستر زغال‌سنگ^۵

بخش باقی‌مانده فرآیند احتراق پودر زغال‌سنگ در نیروگاه‌ها است که از ناخالصی‌های زغال‌سنگ نظیر رس، فلدسپار، کوارتز و نظایر آن‌ها به صورت معلق به وسیله گازهای احتراقی از محفظه احتراق خارج و پس از سرد شدن به ذرات جامد کروی شکل شیشه‌ای تبدیل می‌شوند. این مواد همان خاکستری است که به وسیله الکتروفیلتر و یا فیلتر کیسه‌ای جمع‌آوری می‌شوند.

۶- خوراک کوره^۶

سنگ آهک و مواد تصحیح‌کننده که حاوی نسبت‌های مناسبی از کلسیم، سیلیسیم، آلومینیم و اکسیدهای آهن است، پس از خرد شدن به عنوان خوراک کوره مورد استفاده قرار می‌گیرد.

۷- دیاتومه^۷

ترکیبات سیلیسی مربوط به پوسته دیاتومه‌ها دارای سیلیس فعال است.

-
- 1- Pozzolan
 - 2- Mineral composition
 - 3- Soundness
 - 4- TetraCalcium almino ferite
 - 5- Fly-ash
 - 6- Raw mill
 - 7- Diatomaceous earth

- بلیت (دی کلسیم سیلیکات)^۱

دی کلسیم سیلیکات خالص در کلینکر سیمان وجود ندارد. این سیلیکات در دمای کلینکرسازی به دو فرم جامد وجود دارد. مقاومت ناشی از آن آهسته است. اما در مدت زمان طولانی مقاومت آن به اندازه آلیت خواهد رسید و معمولاً به چهار فرم دیده می‌شود.

- سرباره^۲

ماده شیشه‌ای که از سرد شدن سریع مواد مذاب در کوره‌های ذوب آهن به وجود می‌آید.

- سیمان^۳

سیمان پودری است نرم، جاذب آب و دارای قابلیت به هم چسباندن ذرات که در صنعت ساختمان استفاده می‌شود.

- سیمان پرتلند^۴

سیمانی که در حدود ۹۵ درصد آن کلینکر پرتلند است.

- سیمان مخلوط^۵

سیمان مخلوط از اختلاط کلینکر پرتلند به عنوان جز اصلی با سازنده‌های فرعی (مواد افزودنی) همانند پوزولان، سرباره و خاکستر زغال سنگ با درصدهای مختلف به دست می‌آید.

- سیمان سرباره‌ای^۶

سیمان سرباره‌ای متشکل از مخلوط آسیاب شده کلینکر سیمان پرتلند و روبره است.

- سیمان پوزولانی^۷

سیمان پوزولانی حاصل آسیاب کردن پوزولان همراه با کلینکر سیمان پرتلند است.

- سیمان نسوز با آلومین بالا^۸

در این سیمان به جای سیلیکات‌های کلسیم، آلومینات کلسیم به ویژه منوکلسیم آلومینات به عنوان فاز اصلی است.

- سیمان منبسط شونده^۹

این سیمان برای جلوگیری از ایجاد درزه‌های بسیار ریز و به حداقل رساندن ترک خوردگی بتن به کار می‌رود.

-
- 1- Dicalcium silicate
 - 2- Slag
 - 3- Cement
 - 4- Portland cement
 - 5- Blended portland cement
 - 6- Slag cement
 - 7- Pozzolanic cement
 - 8- High-Alumina cement
 - 9- Expansive cement

- سیمان بنایی^۱

برای استفاده در مواقعی که ملات بنایی با مقاومت‌های کمتر از سیمان پرتلند نوع ۱ مورد نیاز است.

- آلیت (تری کلسیم سیلیکات)^۲

یکی از مهم‌ترین فازهای کلینکر سیمان پرتلند است که اصطلاحاً به آن فاز آلیت گفته می‌شود، آلیت خالص به فرم تری کلینیک است.

- آلومینات (تری کلسیم آلومینات)^۳

فاز آلومینات به فرم C_3A حاوی یون‌های خارجی است و امکان دارد که قلیاهای $Na_2O + K_2O$ هر یک به مقدار ۵٪ وزنی در آن باشند. واکنش فاز آلومینات در شروع هیدراتاسیون بسیار سریع است و به همین علت به کلینکر سیمان گچ اضافه می‌کنند.

- سنگ دانه^۴

به دانه‌های تشکیل دهنده بتن مانند شن و ماسه گفته می‌شود.

- شوره زدن^۵

شوره عبارت است از ماده قابل حل در آب که به سطح بتن منتقل شده، عمدتاً این مهاجرت ناشی از وارد عمل شدن نیروهای موئین است (اثر فتیله شمع)^۶. همان طور که به تدریج آب تبخیر می‌شود این مواد محلول روی سطح ته‌نشین می‌شوند و شوره تولید می‌شود.

- ضریب سیلیس^۷

ضریب سیلیس عبارت است از نسبت درصد وزنی سیلیس به مجموع درصد‌های آلومینا و اکسید آهن.

- ضریب آلومینا^۸

این ضریب به نام نسبت آهن نیز شناخته می‌شود و عبارت است از نسبت مقادیر آلومینا به اکسید فریک است.

- ضریب اشباع آهک^۹

این ضریب معرف نسبت مقدار آهک (اکسید کلسیم) واقعی موجود در سیمان است.

- ضریب هیدرولیک^{۱۰}

از این ضریب برای محاسبه مقدار آهک مناسب استفاده می‌شود.

-
- 1- Masonry cement
 - 2- Tricalcium silicate- C_3S
 - 3- Tricalcium aluminate, C_3A
 - 4- Aggregate
 - 5- Efflorescence
 - 6- Candlewick effect
 - 7- MS
 - 8- MA
 - 9- LSF
 - 10- HM

- عوامل هوازی^۱

عواملی که سبب وارد کردن حباب‌های ریز هوا به بتن می‌شوند. این عوامل ممکن است در حین سایش سیمان به آن اضافه شده و یا این که به طور مستقیم در مرحله تهیه بتن اضافه می‌شود.

- قابلیت نرمایش^۲

یک پارامتر عمومی است که قابلیت آسیاب کردن و نرم کردن مواد خام را نشان می‌دهد.

- میکروسیلیس (دوده سیلیسی)

در فرآیند تولید آلیاژ سیلیکون یا فروسیلیکون به عنوان یک ماده فرعی^۳ به دست می‌آید که بر اثر احیای کوارتز به وسیله زغال سنگ در کوره الکتریکی، دوده سیلیس در دمای ۲۰۰۰ درجه سانتی‌گراد به صورت بخار اکسید شده خارج و پس از سرد و کندانه شدن در فیلترهای پارچه‌ای جمع‌آوری می‌شود.

- مخلوط زود ذوب^۴

این مواد کمترین انرژی حرارتی را برای تبدیل شدن به کلینکر نیاز دارد.

- مواد خام^۵

مواد اولیه که ترکیب مناسب برای تولید سیمان را دارند.

- مدول^۶

یکی از راه‌های برآورد ترکیب شیمیایی سیمان استفاده از نسبت عناصر است که به مدول معروف است (ترکیب مواد خام را با نسبت‌های کمیتی که مدول نامیده می‌شود نشان می‌دهند).

- نرمی^۷

در اثر نرمی زیاد، به دلیل در دسترس بودن سطح بیشتری برای هیدراته شدن، ژل سیمان بیشتری در اوایل هیدراته شدن به وجود می‌آید که باعث مقاومت اولیه گسترده و بالاتر به وسیله سیمان و سریع‌تر سخت شدن سیمان پرتلند می‌شود.

1- Air entraining agents
2- Grindability
3- By-product
4- Eutectic
5- Raw material
6- Modulus
7- Fineness

فصل ۲

ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی

انواع مواد اولیه تولید سیمان

۲-۱- آشنایی

سیمان پودری نرم و جاذب آب است که ملات آن به مرور در مجاورت هوا یا در زیر آب سخت می‌شود. منظور از سیمان در این نشریه آن دسته از سیمان‌هایی است که ریشه آهکی دارند. بر این اساس سیمان ترکیبی است از اکسید کلسیم (آهک) با سایر اکسیدها نظیر اکسید سیلیسیم، اکسید آهن، اکسید منیزیم و اکسیدهای قلیایی که میل ترکیبی زیادی با آب دارند و در مجاورت هوا و حتی در زیر آب نیز به مرور زمان سفت و مقاوم می‌شوند.

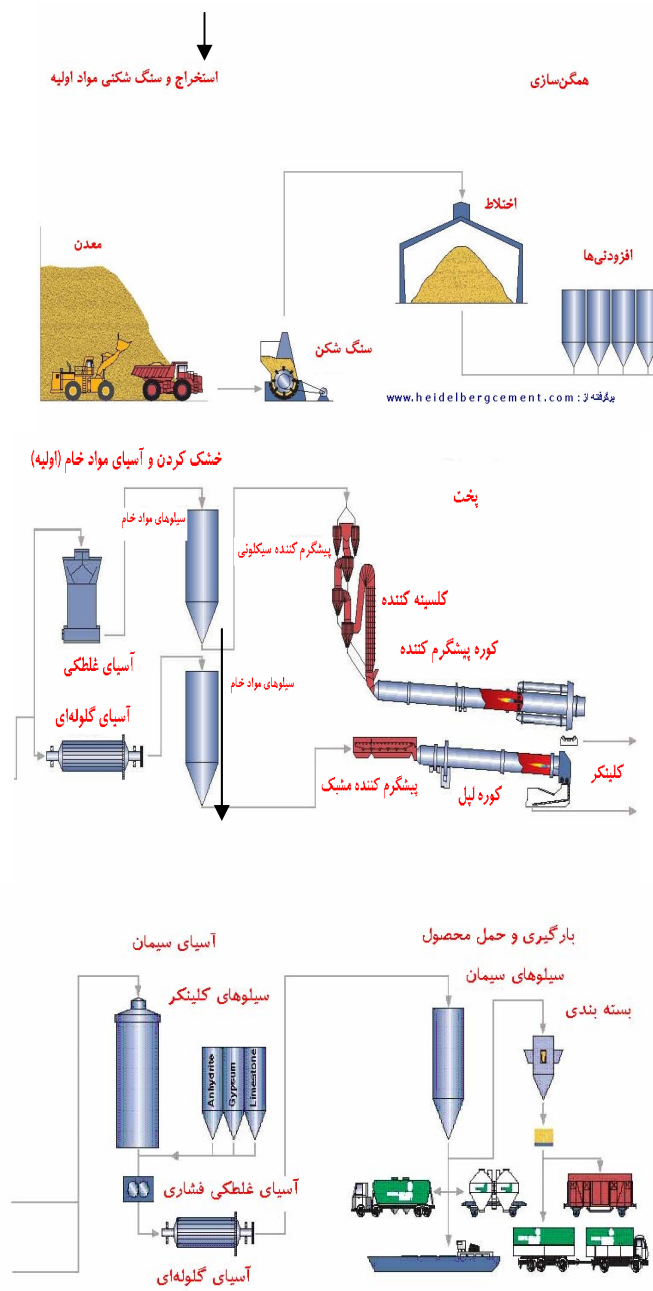
۲-۲- فرآیند تولید سیمان

سنگ آهک و خاک رس را به نسبت معینی با یکدیگر مخلوط و پس از خردایش در سنگ‌شکن، وارد آسیاها می‌کنند. این آسیاها باید مواد اولیه را به نحوی نرم کنند که دیگر زبری دانه‌های مواد اولیه در زیر انگشتان دست احساس نشود. هر قدر این مخلوط نرم‌تر و همگن‌تر باشد در موقع پخت فعل و انفعال کامل‌تر شده و در نتیجه کلینکر مرغوب‌تری تولید می‌شود. مواد پودر شده را به منظور همگن و متجانس‌تر شدن به داخل سیلوهای تغذیه انتقال می‌دهند و از آنجا به داخل کوره هدایت می‌کنند. به این مواد به قدری حرارت می‌دهند تا دانه‌ها عرق کنند و به همدیگر بچسبند و به صورت دانه‌های فندوقی شکل که اصطلاحاً کلینکر^۱ نامیده می‌شوند درآیند. دمای پخت کلینکر بین ۱۲۰۰ تا ۱۴۵۰ درجه سانتی‌گراد است. پس از سرد کردن و آسیا کردن کلینکر همراه با کمی سنگ گچ، محصولی به دست خواهد آمد که آن را سیمان پرتلند می‌نامند. شکل ۲-۱ فرآیند تولید سیمان از معدن تا بارگیری را نشان می‌دهد. روش‌های تولید سیمان عبارتند از:

- روش تر و نیمه‌تر

- روش نیمه‌خشک

- روش خشک



شکل ۲-۱- فرآیند تولید سیمان از معدن تا بارگیری محصول

۳-۲- مشخصات شیمیایی و فیزیکی سیمان

ترکیب سیمان پرتلند عامل اصلی تمایز تیپ‌های مختلف سیمان از یکدیگر است. این ترکیب حاصل پختن و گداختن اکسید کلسیم با اکسیدهایی نظیر اکسید آلومینیم، سیلیسیم، آهن، منیزیم و نظایر آن‌ها است. به علت دمای بالا در منطقه پخت کوره، بخشی از این مواد به صورت مذاب در می‌آیند و در نتیجه در چنین محیطی اکسیدهای مذکور با یکدیگر ترکیب می‌شوند و ترکیبات چندتایی (چند اکسیدی) که مرسوم به فازهای سیمان هستند، پدید می‌آید. آنچه که از کوره خارج می‌شود، جسم تیره رنگ دانه‌دانه‌ای موسوم به کلینکر است. به طور کلی اجزا اصلی تشکیل دهنده کلینکر عبارتند از:

- تری کلسیم سیلیکات ($3CaO.SiO_2$) یا آلیت^۱
- دی کلسیم سیلیکات ($2CaO.SiO_2$) یا بلیت^۲
- تری کلسیم آلومینات ($3CaO.Al_2O_3$) یا آلومینات^۳
- تتراکلسیم آلومینوفریت ($4CaO.Al_2O_3.Fe_2O_3$) یا فریت^۴

همراه با فازهای اصلی فوق ترکیبات دیگری نظیر K_2O ، Na_2O ، CaO ، MgO ، TiO_2 و برخی اکسیدهای دیگر به مقدار جزئی وجود دارند که به صورت محلول جامد در شبکه کریستالی فازهای فوق جای می‌گیرند. خواص سیمان ناشی از ترکیب خواص اجزا تشکیل دهنده آن است. در جدول ۱-۲ ترکیب شیمیایی کلینکر و سیمان پرتلند و در جدول ۲-۲ ترکیب فازهای سیمان نشان داده شده است.

جدول ۱-۲- ترکیب شیمیایی کلینکر و سیمان پرتلند

| درصد جرمی در سیمان | درصد جرمی در کلینکر | علامت اختصاری | اکسید |
|--------------------|---------------------|---------------|--|
| ۶۳٫۴ | ۶۵ | C | CaO |
| ۲۰٫۹ | ۲۲ | S | SiO ₂ |
| ۵٫۷ | ۶ | A | Al ₂ O ₃ |
| ۲٫۹ | ۳ | F | Fe ₂ O ₃ |
| ۹٫۱ | ۲ | M | MgO |
| ۶٫۰ | ۶٫۰ | K+N | K ₂ O+Na ₂ O |
| ۶٫۳ | ۴٫۱ | ... (...S) | سایر مواد SO ₃ ⁻ |
| ۱ | ۰ | H | H ₂ O |

تغییر در مقدار ترکیب فازی کلینکر عامل اصلی تفکیک تیپ‌ها و انواع مختلف سیمان است که به تبع آن سبب ایجاد تغییر خواص شیمیایی و فیزیکی سیمان می‌شود.

با توجه به این که موارد مصرف مختلفی برای سیمان وجود دارد و برای هر مورد مصرف نیز سیمان خاصی ابداع شده است که هر یک از آن‌ها از نظر مقدار فازهای اصلی و فرعی با یکدیگر متفاوت است. در جدول ۳-۲ محدوده خواص فازی در سیمان پرتلند مطابق استاندارد ASTM C150 درج شده است.

1- Alit (C₃S)
 2- Belite(C₂S)
 3- Aluminates
 4- Ferrite(C₄AF)

جدول ۲-۲- ترکیب فازی سیمان پرتلند

| خواص فاز در کلینگر | رنگ فاز (خالص) | فرمول شیمیایی | فرمول اکسید | علامت اختصاری | شرح | درصد وزنی فاز در کلینگر | | |
|---|--|--|--|-----------------------|-----------------------|-------------------------|-------|--------|
| | | | | | | حداقل | متوسط | حداکثر |
| هیدراتاسیون سریع، مقاومت اولیه و نهایی بالا، گرمای هیدراتاسیون متوسط و عامل اصلی تعیین کننده مقاومت سیمان | سفید | Ca_3SiO_5 | $(\text{CaO})_3\text{SiO}_2$ | C_3S | سیلیکات تری کلسیم | ۴۰ | ۶۰ | ۸۰ |
| هیدراته شدن آهسته، مقاومت نهایی خوب، گرمای هیدراته شدن پایین | سفید | Ca_2SiO_4 | $(\text{CaO})_2\text{SiO}_2$ | C_2S | سیلیکات دی کلسیم | ۰ | ۱۵ | ۳۰ |
| هیدراته شدن سریع، میل ترکیبی شدید با سولفات و انبساط حجمی زیاد | سفید | $\text{Ca}_3\text{Al}_2\text{O}_6$ | $(\text{CaO})_3\text{Al}_2\text{O}_3$ | C_3A | تری کلسیم آلومینات | ۷ | ۱۱ | ۱۵ |
| سرعت کم هیدراته شدن، عامل تعیین رنگ سیمان | قهوه‌ای سیر تا خاکستری سیر و سبز رنگ بستگی به مقدار MgO دارد. | $\text{Ca}_4\text{Al}_2\text{Fe}_2\text{O}_{10}$ | $(\text{CaO})_4\text{Al}_2\text{Fe}_2\text{O}_3$ | C_4AF | تتراکلسیم آلومینوفریت | ۴ | ۸ | ۱۵ |

جدول ۳-۲- محدوده ترکیبات انواع مختلف سیمان پرتلند (بر حسب درصد) طبق استاندارد ASTM C150

| C_3S | C_2S | C_3A | C_4AF | نوع سیمان | خواص سیمان |
|----------------------|----------------------|----------------------|-----------------------|-----------|-----------------------------|
| ۵۰-۶۵ | ۱۰-۳۰ | ۶-۱۴ | ۷-۱۰ | I | کاربرد عمومی |
| ۴۵-۴۵ | ۷-۳۰ | ۲-۸ | ۱۰-۱۲ | II | حرارت هیدراتاسیون متوسط |
| ۵۵-۶۵ | ۵-۲۵ | ۵-۱۲ | ۵-۱۲ | III | مقاومت اولیه بالا |
| ۳۵-۴۵ | ۲۸-۳۵ | ۳-۴ | ۱۱-۱۸ | IV | حرارت هیدراتاسیون پایین |
| ۴۰-۶۵ | ۱۵-۳۰ | ۱-۵ | ۱۰-۱۷ | V | مقاومت بالا در مقابل سولفات |

در جدول ۲-۴ و ۲-۵ مشخصات شیمیایی و فیزیکی دو نمونه سیمان شاخص ارائه شده است.

جدول ۲-۴- مشخصات شیمیایی دو نوع سیمان شاخص

| سیمان ضد سولفات | سیمان معمولی | مشخصات سیمان | | |
|-----------------|--------------|---------------------------------------|-----------------|------------------------|
| ۲۲٫۱ | ۲۱٫۹ | SiO ₂ | اکسید سیلیسیم | درصد اجزای تشکیل دهنده |
| ۳٫۵ | ۵٫۳ | Al ₂ O ₃ | اکسید آلومینیم | |
| ۴٫۸ | ۳٫۳ | Fe ₂ O ₃ | اکسید آهن | |
| ۶۵٫۳ | ۶۵ | CaO | اکسید کلسیم | |
| ۰٫۹ | ۱٫۲ | MgO | اکسید منیزیم | |
| ۲ | ۱٫۹ | SO ₃ | اکسید گوگرد | |
| ۰٫۶ | ۰٫۶ | Insoluble Residue | نامحلول | |
| ۰٫۲ | ۰٫۲ | Loss | افت حرارتی | فازهای حرارتی |
| ۵۲ | ۶۲ | C ₃ S | فاز آلیت | درصد فازی |
| ۱۷ | ۲۳ | C ₂ S | فاز بلیت | |
| ۱٫۲ | ۹ | C ₃ A | فاز آلومینات | |
| ۱۴٫۶ | ۱۰ | C ₄ AF | فاز آلومینوفریت | |
| ۱۷ | - | B=C ₄ AF+2C ₃ A | | درصد |

جدول ۲-۵- مشخصات فیزیکی دو نوع سیمان شاخص

| سیمان ضد سولفات | سیمان معمولی | مشخصات فیزیکی | |
|-----------------|--------------|--------------------|----------------------|
| ۳٫۲ | ۳٫۱۶ | gr/cm ³ | وزن مخصوص واقعی |
| ۳۳۵۰ | ۳۱۵۰ | gr/cm ² | بلین |
| ۰٫۰۱ | ۰٫۰۲ | درصد | انبساط حرارتی |
| ۲۵۰ | ۱۶۵ | دقیقه | گیرش اولیه |
| ۳۳۰ | ۲۳۰ | دقیقه | گیرش نهایی |
| ۱۰٫۳ | ۹٫۵ | درصد | هوا در ملات |
| ۱۰٫۷۵ | ۱۵٫۸۵ | مگاپاسکال | مقاومت فشاری ۳ روزه |
| ۲۳٫۷۱ | ۲۴٫۸۲ | مگاپاسکال | مقاومت فشاری ۷ روزه |
| ۳۵٫۳۰ | ۳۷٫۵۷ | مگاپاسکال | مقاومت فشاری ۲۸ روزه |

۴-۲- انواع سیمان و تیپ‌های مربوطه و نوع کاربرد آن‌ها

انواع مختلف سیمان با خواص فیزیکی و شیمیایی متفاوت در جدول ۲-۶ درج شده است.

جدول ۲-۶- انواع سیمان‌ها و کاربرد آن‌ها

| نوع | تیپ | گستره کاربردی | استاندارد تولید |
|---------------------|----------------|---|--|
| سیمان پرتلند | تیپ ۱ (پ-۱) | - کلیه مصارف عمومی که نیاز به خواص ویژه‌ای نداشته باشند. - این سیمان در بتن جاده‌ها، کف‌ها، ساختمان بتن مسلح، پل‌ها، سازه‌های راه آهن، مخازن و منابع، سوله، سازه‌های بنایی و دیگر فرآورده‌های بتنی پیش‌ساخته به کار می‌رود. | شماره ۳۹۸ ملی ایران امکان تولید طبق استانداردهای BS, DIN , ASTM نیز وجود دارد. |
| | تیپ ۲ (پ-۲) | - در جاهایی که لازم است در برابر سولفات‌ها اقدامات احتیاطی به عمل آید، مانند سازه‌های زهکشی که غلظت سولفات آب‌های زیرزمینی در آن‌ها بالاتر از حد معمول است از این نوع سیمان استفاده می‌شود. - در مواقعی که حرارت هیدراتاسیون متوسط مورد نیاز باشد، مانند ساخت سازه‌های نسبتاً حجیم، پایه پل‌ها، سوله‌ها و دیوارهای حایل سنگین و در بتن‌ریزی در هوای گرم نیز می‌توان از این نوع سیمان استفاده کرد. | |
| | تیپ ۳ (پ-۳) | - این نوع سیمان در مصارفی که نیاز به مقاومتهای بالا در مدت زمان کوتاه معمولاً کمتر از یک هفته دارند مورد استفاده قرار می‌گیرد. مثلاً در جایی که قالب‌ها باید به سرعت باز شوند و یا سازه‌هایی که باید هر چه سریع‌تر بهره‌برداری شوند. - این نوع سیمان دوره عمل‌آوری بتن در هوای سرد را کاهش می‌دهد. | |
| | تیپ ۴ (پ-۴) | این نوع سیمان در جاهایی که حرارت هیدراتاسیون باید حداقل مقدار را داشته باشد استفاده می‌شود، مانند سازه‌های بتنی حجیم و سدسازی. | |
| | تیپ ۵ (پ-۵) | - از این نوع سیمان فقط در ساخت بتن‌هایی که در معرض حمله شدید سولفات‌ها قرار دارند استفاده می‌شود. - معمولاً به دلیل پایین بودن میزان قلیایی‌های این نوع سیمان از آن برای کاهش میزان واکنش سنگدانه-قلیا استفاده می‌شود. | |
| سیمان پوزولانی | پوزولانی (پ-پ) | - از سیمان پرتلند پوزولانی در مواردی که نیاز به حرارت هیدراتاسیون پایین باشد، مانند بتن‌ریزی حجیم و مناطق گرمسیری استفاده می‌شود. - در جاهایی که در معرض حمله شدید سولفات‌ها قرار دارند استفاده می‌شود، مانند آب دریا و شوره‌زارها - در مواردی که سنگدانه‌ها مستعد برای واکنش قلیایی-سیلیکاتی باشند. - در مصارفی که مقاومت اولیه بتن مطرح نباشد. - در ساخت قطعات بتنی پیش‌ساخته سبک و عایق | شماره ۳۳۳۲ ملی ایران |
| | پوزولانی ویژه | - دوام و پایداری بتن حاصل در محیط‌های با خوردگی زیاد حاوی غلظت بالای کلر و سولفات - به سبب حرارت هیدراتاسیون اولیه کم، کاربرد گسترده‌ای در بتن‌ریزی‌های حجیم دارد. - سبب جذب نسبتاً کامل حاصل از هیدراتاسیون و حذف نسبتاً کامل تخلخل بتن می‌شود. - قابلیت مصرف بسیار گسترده در مواردی دارد که شن و ماسه مستعد ایجاد واکنش سیلیکاتی-قلیایی هستند و انجام این واکنش‌ها را به شدت محدود می‌کند. - این نوع سیمان‌ها قابلیت مصرف بالایی در محیط‌های بسیار گرم و مرطوب دارند و نیاز به خشک‌سازی و کاهش درجه حرارت بتن و صرف هزینه زیاد در این مورد برای بتن‌های ساخته شده از این سیمان‌ها وجود ندارد. - با توجه به ماهیت پوزولان و حرارت هیدراتاسیون کم در مورد کاربرد این سیمان‌ها در هوای سرد و مصارف معمولی باید زمان بیشتری را برای نگهداری بتن صرف کرد. | شماره ۳۴۳۲ ملی ایران |
| سیمان بنایی | ۱-۴۲۵ | با مقاومت بالا به ویژه در مقابل زلزله، برای مصرف در مقاوم‌سازی ساختمان‌ها | شماره ۳۸۹ ملی ایران |
| سیمان بنایی | MC22.5x | این نوع سیمان در ساخت ملات، آجرکاری، بلوک‌کاری، اندودکاری بیرونی و داخلی ساختمان، کفپوش‌ها، جداول مورد استفاده قرار می‌گیرد. | شماره ۳۵۱۶ ملی ایران |
| سیمان حفاری چاه نفت | A | برای مصرف تا عمق ۱۸۰۰ متر | سیمان تهران سال ۱۳۴۶ در خاورمیانه شروع به تولید سیمان حفاری چاه نفت کرد. این گروه از محصولات طبق استاندارد API تولید می‌شود. |
| | B | با مقاومت بالا در برابر سولفات برای مصرف تا عمق ۱۸۰۰ متر | |
| | D | با مقاومت بالا در برابر سولفات برای مصرف تا عمق ۳۶۰۰ متر | |
| | E | با مقاومت بالا در برابر سولفات برای مصرف تا عمق ۴۳۰۰ متر | |
| | G | سیمان پایه، برای مصرف تا عمق ۲۴۰۰ متر | |

ادامه جدول ۲-۶- انواع سیمان‌ها و کاربرد آن‌ها

| استاندارد تولید | گستره کاربردی | تیپ | نوع |
|---|---|-----|-------------------------|
| استاندارد ملی ایران به شماره ۳۵۱۷ | از این نوع سیمان در مواقعی که مقاومت متوسط در مقابل سولفات‌ها و یا حرارت هیدراتاسیون متوسط مورد نظر است، استفاده می‌شود. | | سیمان‌های سرباره‌ای |
| استاندارد ملی ایران به شماره ۴۲۲۰ | سیمان پرتلند آهکی در تهیه ملات و بتن و در کلیه مواردی که سیمان پرتلند نوع یک به کار می‌رود، با توجه به این که حرارت هیدراتاسیون این نوع سیمان نسبت به سیمان پرتلند نوع یک می‌تواند کمتر باشد، استفاده می‌شود. بتن‌ریزی با این نوع سیمان در هوای سرد نیاز به دقت بیشتری دارد | | سیمان پرتلند آهکی (پ-آ) |
| بر اساس استاندارد ملی ایران به شماره ۲۹۳۱ | سیمان پرتلند سفید از آسیاب کردن کلینکر سیمان سفید با نسبت معینی سنگ گچ طبیعی ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) حاصل می‌شود. این نوع سیمان با مشخصات سیمان پرتلند نوع ۱ و ۲ مطابقت دارد. | | سیمان سفید |
| | سیمان‌های سفید و رنگی بیشتر برای کارهای تزئینی مصرف می‌شود. رنگ سیمان باید در برابر عوامل جوی و نور پایدار باشد. این سیمان‌ها بیشتر جنبه تزئینی دارند و در نماسازی سیمانی و تولید بتن نما دار به مصرف می‌رسند. | | سیمان‌های رنگی |
| | حاوی بیش از ۴۰ درصد Al_2O_3 با اتصال هیدروکسیلی و فازهای کلسیم آلومینات، برای مصرف به عنوان ماده نسوز در صنایع حرارتی استفاده می‌شود. | ۴۵۰ | سیمان نسوز |
| | حاوی بیش از ۷۰ درصد Al_2O_3 با اتصال هیدروکسیلی و فازهای CA و CA_2 برای مصرف به عنوان ماده نسوز با درصد خلوص بالا در صنایع حرارتی و اتمسفرهای CO_2 به کار می‌رود. | ۵۰۰ | |
| | حاوی بیش از ۸۰ درصد Al_2O_3 با اتصال هیدروکسیلی و آلومینات کلسیم به عنوان ترکیب اصلی، دارای نسوزندگی و خواص ترمومکانیکی و کاربردهای ویژه نسوز مانند اتمسفرهای احیا هیدروژن | ۵۵۰ | |
| | این سیمان به رنگ سفید، خاکستری تولید می‌شود. این نوع سیمان خاصیت مومینگی آب تحت فشار ناچیز یا بدون فشار را کاهش می‌دهد ولی جلوی انتقال بخار آب را نمی‌گیرد. | | سیمان پرتلند ضد آب |
| | سیمان با گیرش تنظیم شده به گونه‌ای کنترل و ساخته می‌شود که می‌تواند بتنی با زمان‌های گیرش از چند دقیقه تا یک ساعت تولید کند. | | سیمان با گیرش تنظیم شده |
| ASTM 845 | این نوع سیمان‌ها برای جلوگیری از ایجاد درزه‌های بسیار ریز و به حداقل رساندن ترک‌خوردگی بتن که در اثر انقباض و خشک شدن ایجاد می‌شود، مورد استفاده قرار می‌گیرد. مقاومت این سیمان‌ها در مقابل سولفات‌ها کم است. | | سیمان منبسط شده |

۲-۵- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی انواع مواد اولیه در تولید سیمان

مواد اولیه سیمان پرتلند شامل سنگ آهک و ترکیبات دارای سیلیکات آلومینیم مانند شیل، مارن و خاک رس است. این مواد کاملاً با یکدیگر مخلوط و همگن می‌شوند و یک ترکیب یکنواختی ایجاد می‌کنند که ترکیباتی نظیر اکسید کلسیم، سیلیس، آلومین و اکسید آهن در محدوده معینی است. سایر اجزا تشکیل دهنده نظیر اکسید منیزیم، قلیایی‌ها و کلر از محدوده معینی کمتر هستند. وجود چنین محدودیت‌هایی باعث می‌شود که علاوه بر استفاده از مواد اولیه اصلی، از برخی مواد کمکی نظیر سنگ آهک خالص، ماسه‌سنگ، سنگ آهک، بوکسیت، لاتریت و گاه سیلیس خالص نیز به عنوان مواد اولیه استفاده شود.

در طبیعت بعضی از مواد مانند پوزولان و یا شیشه‌های آتشفشانی، خاک دیاتومه توف و پومیست نیز وجود دارد که ترکیبی مشابه ترکیب سیمان پرتلند دارند و از آسیاب کردن و یا مخلوط کردن درصدی از آن‌ها همراه با کلینکر سیمان پرتلند امکان تولید سیمان با ویژگی‌های سیمان پرتلند وجود دارد (سیمان‌های مخلوط).

بعضی از مواد که به پوزولان‌های مصنوعی نیز معروف هستند شامل سرباره‌های ذوب فلزات، رس و شیل پخته شده و خاکسترهای حاصل از سوختن زغال‌سنگ هستند که به خاطر ذوب شدن و سپس سرد شدن سریع، فاز شیشه‌ای دارند و از نظر خواص فیزیکی و شیمیایی بسیار شبیه پوزولان هستند. در زیر خواص فیزیکی و شیمیایی کلیه مواد اولیه خام طبیعی و مصنوعی مورد بررسی قرار می‌گیرد.

۲-۵-۱- ویژگی‌های شیمیایی، فیزیکی و بافتی سنگ آهک به عنوان مواد اولیه سیمان

تولید سیمان حاصل اختلاط سنگ آهک با اجزا رسی و بعضی افزودنی‌های دیگر است. خصوصیات فیزیکی سنگ آهک و همچنین ویژگی‌هایی مانند قابلیت سنگ‌شکنی^۱ و آسیا شدن^۲ در فرآیند ساخت سیمان مهم است. قابلیت سنگ‌شکنی یک پارامتر عمومی است که مصرف انرژی برای خرد کردن سنگ تحت بار دینامیکی را بیان می‌کند. این ویژگی رفتار الاستیک، پلاستیک و مقاومت یک نمونه را نشان می‌دهد و به عنوان یک اندیس اندازه‌گیری می‌شود. مشابه آن قابلیت آسیا شدن است که معیاری برای انتخاب آسیای گلوله‌ای است. در جدول ۲-۷ مشخصات چند نوع سنگ آهک درج شده است.

جدول ۲-۷- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی چند نوع سنگ آهک

| نوع | ۱ | ۲ | ۳ | ۴ | ۵ | ۶ | ۷ | ۸ | ۹ | ۱۰ |
|-----------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| اکسید کلسیم % | ۳۹٫۷ | ۴۸٫۷ | ۴۳٫۹ | ۴۶٫۶ | ۴۱٫۵ | ۴۷٫۴ | ۴۳ | ۴۶٫۴ | ۴۷٫۷ | ۴۴٫۵ |
| اکسید سیلیسیم % | ۲۲٫۶ | ۱۰٫۵ | ۱۸٫۹ | ۱۱٫۷ | ۱۵٫۷ | ۱۰٫۲ | ۱۳ | ۱۰٫۶ | ۱۲٫۶ | ۱۸ |
| افت حرارتی % | ۳۶٫۳ | ۳۷٫۵ | ۳۴٫۹ | ۳۸٫۱ | ۳۶٫۱ | ۳۸٫۲ | ۳۵٫۵ | ۳۶٫۱ | ۳۷٫۵ | ۳۴٫۴ |
| کلسیت % | ۷۰٫۹ | ۸۷ | ۷۸٫۴ | ۸۰٫۵ | ۶۳٫۹ | ۸۲٫۱ | ۷۲٫۵ | ۷۶٫۳ | ۸۵٫۲ | ۷۷٫۷ |
| کوارتز % | ۱۶٫۸ | ۷٫۹ | ۱۴٫۵ | ۸٫۲ | ۱۰٫۱ | ۷٫۴ | ۱۰٫۳ | ۷٫۳ | ۸٫۷ | ۱۴٫۵ |
| دولومیت % | — | — | — | ۵ | ۱۸٫۸ | ۴٫۶ | ۷٫۹ | ۱۲ | — | ۳٫۳ |
| وزن مخصوص | ۲٫۷۳ | ۲٫۷ | ۲٫۷ | ۲٫۶۳ | ۲٫۶۶ | ۲٫۶۶ | ۲٫۷ | ۲٫۶۶ | ۲٫۵۹ | ۲٫۶۲ |

1- Crushability

2- Grindability

ادامه جدول ۲-۷- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی چند نوع سنگ آهک

| نوع | ۱ | ۲ | ۳ | ۴ | ۵ | ۶ | ۷ | ۸ | ۹ | ۱۰ |
|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| دانسیته حجمی (gr/cm^3) | ۱,۶۳ | ۱,۶۵ | ۱,۶۵ | ۱,۴۱ | ۱,۴۴ | ۱,۴۶ | ۱,۴۶ | ۱,۴۵ | ۱,۵۳ | ۱,۴۵ |
| تخلخل % | ۴,۰۳ | ۴,۴۵ | ۴,۴۵ | ۲,۵۱ | ۳,۷۳ | ۴,۶ | ۲,۶۶ | ۲,۴۱ | ۲,۲۴ | ۱,۹۱ |
| سایش % | ۳۶,۷۶ | ۶۵,۳۸ | ۶۵,۳۸ | ۲۸,۱۶ | ۳۰,۶۴ | ۳۰,۶۵ | ۲۲,۹۶ | ۲۲,۰۶ | ۲۳,۷۴ | ۱۸,۴۵ |
| مقاومت فشاری (مگاپاسکال) | ۸۴,۴ | ۴۸ | ۴۸ | ۱۲۳ | ۱۴۰ | ۱۵۷,۶ | ۱۱۰,۳ | ۱۱۰,۳ | ۹۴,۹ | ۱۱۳,۶ |
| اندیس گریندبیلیتی بوند (Kwh/t) | ۴,۶ | ۴,۶۴ | ۴,۶۴ | ۵,۲ | ۶,۸۲ | ۱۱,۳۶ | ۹,۶۴ | ۹,۶۴ | ۱۲,۶۱ | ۱۲,۳۵ |

۲-۵-۲- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی مواد اولیه رسی^۱

اصطلاح مواد رسی به کلیه مواد خاکی طبیعی ریزدانه‌ای که از نظر شیمیایی دارای سیلیکات‌های آلومینیم آبدار همراه با منیزیم و آهن هستند اطلاق می‌شود. مقدار کمی نیز عناصر قلیایی در ساختمان آن‌ها وجود دارد. ذخایر شیل و مارن یکی از مهم‌ترین مواد رسی است که در تولید سیمان به کار می‌رود.

بعضی از مواد رسی تنها از یک کانی رسی و بسیاری از آن‌ها از ترکیب تعداد زیادی کانی‌های رسی تشکیل شده‌اند. علاوه بر کانی‌های رسی، کانی‌های غیررسی دیگری مانند کوارتز، کلسیت، فلدسپار و انواع سولفات‌ها و همچنین مواد آلی و نمک‌های محلول در آب با رس‌ها همراهند. بعضی از مواد رسی ممکن است شامل فازهای آمورف^۲ (بی‌شکل) باشند. فاکتورهای کنترل‌کننده ویژگی و کیفیت مواد رسی مطابق زیر بیان شده است:

- میزان کانی‌های رسی
- میزان کانی‌های غیررسی
- میزان مواد آلی
- میزان یون‌های تغییرپذیر و نمک‌های محلول
- ویژگی ذرات تشکیل دهنده شامل شکل، اندازه و جهت‌یافتگی آن‌ها^۳
- ساختمان بلوری

ویژگی‌هایی از قبیل پلاستیسیته، سطح ویژه^۴، جذب آب، پایداری تعلیق، انعقاد ذرات رسی و آماس‌پذیری مواد رسی از مهم‌ترین ویژگی‌های فیزیکی مواد اولیه برای تولید سیمان است.

1- Argillaceous materials

2- Amorphous

3- Orientation

4- Specific surface

۳-۵-۲- مواد افزودنی

در مواردی که با استفاده از مواد اولیه معمولی یعنی سنگ آهک و رس مدول‌های مورد نظر برای سیمان حاصل نمی‌شود باید مواد دیگری را نیز به مخلوط اضافه کرد.

ماسه، ماسه‌سنگ یا کوارتزیت به عنوان منبع اصلی مواد افزودنی سیلیسی مورد استفاده قرار می‌گیرند. اندازه دانه‌ها و سطح ویژه سیلیس در شکل آزاد (فرم‌های با حداقل واکنش‌پذیری مانند کوارتز و کلسدونی) در آهنگ واکنش شیمیایی خوراک کوره موثرند. سیلیس در حالت آمورف (بی‌شکل) یا مشتق شده از سیلیکات‌ها و هیدروسیلیکات‌ها نسبت به اشکال دیگر سیلیس برای مواد اولیه سیمان ارجح است.

از هماتیت به عنوان تصحیح‌کننده در مخلوط مواد خام استفاده می‌شود. آلومینیم به عنوان تصحیح‌کننده از طریق بوکسیت و یا لاتریت آلومینیم‌دار تامین می‌شود. بوکسیت در سه کانی آلومینیم‌دار گیبسیت ($Al_2O_3 \cdot H_2O$)، بوهمیت ($\alpha Al_2O_3 \cdot H_2O$) و دیاسپور ($\beta Al_2O_3 \cdot H_2O$) مورد استفاده قرار می‌گیرد. دهیدراته شدن بوکسیت در دمای ۳۰۰ تا ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد اتفاق می‌افتد و شکل‌های مختلفی از آلومینا ایجاد می‌شود. ترکیب شیمیایی چند افزودنی در جدول ۲-۸ درج شده است.

جدول ۲-۸- تجزیه شیمیایی چند نوع مواد با آهک پایین (مواد رسی) و مواد افزودنی (وزنی %)

| اکسیدها / عناصر | سنگ آهن (هماتیت) | بوکسیت | ماسه | خاکستر زغال‌سنگ | شیل | رس |
|--------------------------------|------------------|--------|------|-----------------|-------|-------|
| SiO ₂ | ۹,۱۷ | ۱۲,۳۸ | ۹۵,۱ | ۵۴,۱۴ | ۵۹,۹ | ۶۰,۱۱ |
| Al ₂ O ₃ | ۶,۶۴ | ۵۶,۱۹ | ۱,۹۸ | ۲۴,۱۳ | ۱۶,۶۶ | ۲۱,۴۲ |
| Fe ₂ O ₃ | ۶۹,۶۸ | ۳,۸۱ | ۱,۰۱ | ۱۱,۱۵ | ۵,۸۴ | ۶,۲۸ |
| CaO | ۱,۷۴ | ۰ | ۰,۴۷ | ۴,۰۱ | ۱,۹۴ | ۰,۰۵ |
| MgO | ۰,۶ | ۱ | ۰,۴۳ | ۱,۲۶ | ۲,۲۸ | ۱,۸۶ |
| SO ₃ | ۰,۰۴ | ۰,۲۲ | ۰,۰۱ | ۰,۵۴ | ۰,۸ | ۱ |
| Na ₂ O | ۰,۵۵ | ۰,۲ | ۰,۰۱ | ۰,۵۴ | ۱ | ۰,۸۵ |
| K ₂ O | ۰,۱۶ | ۰,۲۲ | ۰,۰۲ | ۲,۲۸ | ۲,۴۸ | ۳,۴ |
| L.O.I | ۱۱,۴ | ۲۵,۹۶ | ۰,۹۷ | ۱,۹ | ۹,۱ | ۵,۱۲ |
| Silica ratio | ۰,۱۲ | ۰,۲۱ | ۳۱,۸ | ۱,۵۳ | ۲,۶۶ | ۲,۱۷ |

۳-۵-۴- حدود تغییرات اجزا مورد استفاده برای تنظیم مواد و پختن کلینکر و تاثیر مدول‌ها و اکسیدها در

فرآیند پخت

عوامل مختلفی در طراحی مخلوط مواد خام به منظور دستیابی به ترکیب مناسب دخالت دارند که عمدتاً مربوط به تنظیم مواد است. تنظیم مواد به عهده آزمایشگاه سیمان است. در تنظیم مواد از روابطی استفاده می‌شود که نهایتاً به کمک آن‌ها خوراک کوره دارای مشخصات اصلی زیر است:

- تحت شرایط حرارتی موجود در کوره، قابل پختن باشد. مثلاً کلینکر بعد از پخت، بیشتر از ۲ درصد (درصد وزنی) آهک آزاد نداشته باشد و یا خوب پوشش بدهد.

- پس از پخته شدن، کلینکر باید خواص مطلوب فیزیکی و شیمیایی داشته باشد.

- ترکیب خوراک کوره آنچنان باشد که پختن آن عارضه‌ای برای سیستم پخت و روال عادی کار کوره ایجاد نکند. برای رسیدن به سه مشخصه یاد شده ترکیب سنگ آهک و خاک رس (یا هر نوع مواد اولیه مصرفی دیگر) باید آنچنان باشد که کلینکری با مشخصات مندرج در جداول استاندارد را بدهد. در جدول ۲-۹ نمونه‌ای از ترکیب سنگ آهک، خاک رس و کلینکر حاصل نشان داده شده است.

غالباً ترکیب مواد اولیه موجود در جوار کارخانه به تنهایی نمی‌توانند کلینکر مطلوب را تولید کنند. لذا از مواد اولیه کمکی مانند سنگ آهن، سنگ سیلیس، ماسه سیلیسی و برخی مواد دیگر نیز استفاده می‌شود. در غالب موارد از سنگ آهن به عنوان کمک‌ذوب (روان‌ساز) که نقش عمده‌ای در پایین آوردن دمای پخت مواد و تشکیل پوشش دارد، استفاده می‌کنند.

جدول ۲-۹- نمونه‌ای از مشخصات سنگ آهک، خاک رس و کلینکر

| اجزا (درصد) | کلینکر | سنگ آهک | مواد رسی |
|---|---|--|---|
| CaO | ۶۳-۶۷ | ۴۴-۵۲ | محدودیت ندارد. |
| MgO | حداکثر ۵-۶ | ۳-۳٫۵ | حداکثر ۵ درصد و قابل کاربرد با سنگ آهک موجود |
| SiO ₂ Al ₂ O ₃ Fe ₂ O ₃ | ۲۱-۲۴ ۴-۷ ۲-۵ | ترکیب این مواد در سنگ آهک باید مدول لازم را تامین کند. | ۵۰-۶۵ ۱۵-۲۰ ۶-۱۰ |
| Na ₂ O+K ₂ O SO ₃ | ۰٫۶-۱٫۲ حداکثر ۱٫۵ | حداکثر ۰٫۶ ۰٫۶-۰٫۸ | حداکثر ۳ (قابل تطبیق با سنگ آهک) حداکثر ۱ (قابل تطبیق با سنگ آهک) |
| P ₂ O ₅ Mn ₂ O ₃ TiO ₂ Cl | حداکثر ۰٫۵ حداکثر ۴ حداکثر ۲ - | ۰٫۲۵-۰٫۶ ۰٫۵ ۱٫۳ ۰٫۱۵-۰٫۲ | این مواد باید آنچنان درصدی داشته باشند که خواص کیفی کلینکر را کاهش ندهند. |

۲-۵-۵- محدودیت مدول‌ها و اکسیدها در فرآیند پخت

به منظور ارایه معیارهای کمی در تشخیص ترکیب مواد خام، کلینکر و یا محصول نهایی محدودیت‌ها و یا حدود تغییراتی را باید در مواد خام اولیه در نظر گرفت. در جدول ۲-۱۰ محدوده مطلوب عناصر و ترکیبات مواد خام و همچنین مدول‌های حاصل از آن‌ها درج شده است.

جدول ۲-۱۰- حد مطلوب و معمول مدول‌ها و ترکیب مواد اولیه و تاثیر آن‌ها در فرآیند پخت

| نوع مدول، عناصر و اکسیدها | حد مطلوب | حد معمول | تاثیرات خارج از حد معمول |
|---------------------------|----------|----------|---|
| مدول سیلیس (SR) | ۲٫۳-۲٫۷ | ۱٫۹-۳٫۲ | پخت مواد سخت‌تر و مصرف سوخت بیشتر می‌شود. میزان آهک آزاد افزایش می‌یابد. تشکیل پوشش با اشکال مواجه می‌شود، تلفات حرارتی از پوسته کوره افزایش می‌یابد. |

ادامه جدول ۲-۱- حد مطلوب و معمول مدول‌ها و ترکیب مواد اولیه و تاثیر آن‌ها در فرآیند پخت

| نوع مدول، عناصر و اکسیدها | حد مطلوب | حد معمول | تأثیرات خارج از حد معمول |
|--|-----------|-----------|---|
| مدول آلومینیم (AR) | ۱٫۳-۱٫۶ | ۱٫۲۵-۲٫۵ | پخت مواد سخت‌تر و مصرف سوخت بیشتر می‌شود. درصد C_3A افزایش و درصد C_4AF کاهش می‌یابد. درصد C_2S و C_3S افزایش می‌یابد که افزایش C_3S بیشتر است. میزان فاز مایع و ظرفیت تولید کاهش می‌یابد. |
| ضریب اشباع آهک (LSF) | ۰٫۲۹-۰٫۶۹ | ۰٫۶۶-۱٫۲۰ | پخت مواد مشکل می‌شود. امکان ایجاد آهک آزاد زیاد می‌شود. C_3S افزایش و C_2S کاهش می‌یابد. گیرش سیمان کند می‌شود و استحکام اولیه افزایش می‌یابد. |
| افزایش سیلیس آزاد (LSF) | ۰-۳٪ | | مصرف انرژی را زیاد می‌کند. تشکیل کوتینگ مشکل می‌شود. اثرات تخریبی بر آستر نسوز کوره را دارد. تلفات حرارتی از پوسته کوره را زیاد می‌کند. |
| اکسید منیزیم (MgO) | ۰-۲٪ | ۰-۵٪ | ویسکوزیته و کشش سطحی فاز مذاب را کاهش و تحرکات یونی آن را افزایش می‌دهد. انحلال C_2S و آهک آزاد در فاز مایع را در حرارت‌های بالا بهبود می‌بخشد. در بالاتر از ۲٪ به صورت پریکلاز، کیفیت سیمان را تضعیف می‌کند. در کمتر از ۲٪ میزان C_3S و فاز مایع را افزایش می‌دهد ولی بر روی C_2S اثر ندارد. |
| اکسید تیتانیوم (TiO_2) | ۱٫۵-۲٪ | ۰-۴٪ | میزان C_3S سریعاً کاهش و به همین نسبت C_2S افزایش یافته و سایر فازها نیز تغییر قابل ملاحظه‌ای می‌یابند. ویسکوزیته و کشش سطحی فاز مذاب کاهش می‌یابد. ابعاد بلورهای آلیت و بلیت کاهش می‌یابد. |
| اکسید منگنز (Mn_2O_3) | ۱٫۵-۲٪ | ۰-۴٪ | ویسکوزیته فاز مذاب را کاهش می‌دهد. ابعاد بلورهای آلیت را کاهش می‌دهد. مقاومت اولیه ملات سیمان را کاهش می‌دهد. |
| اکسید کروم (Cr_2O_3) | ۰٫۳-۰٫۵٪ | ۰-۲٪ | ویسکوزیته و کشش سطحی فاز مذاب را کاهش می‌دهد. سرعت تشکیل و اندازه بلورهای آلیت را افزایش می‌دهد. آلیت را به آهک آزاد و بلیت تجزیه می‌کند. پایداری آلومین را زیاد می‌کند و اکسید آهن را کاهش می‌دهد. |
| اکسیدهای قلیایی (K_2O+Na_2O) | ۰٫۲-۰٫۳٪ | ۰-۱٪ | قابلیت پخت مواد را در حرارت‌های پایین بهبود می‌دهد، ولی هنگامی که مجموع آن‌ها بیشتر از ۱٪ باشد قابلیت پخت را در حرارت‌های بالا تضعیف می‌کند. میزان فاز مایع و امکان تشکیل کوتینگ را افزایش می‌دهد. قابلیت انحلال CaO در فاز مایع را کاهش می‌دهد. فازهای آلیت و بلیت را خرد می‌کند. |
| ترکیبات گوگردی (SO_3^{2-}, S^{2-}) | ۰٫۵-۲٪ | ۰-۴٪ | هنگامی که $S > K+N$ باشد، با افزایش قلیایی‌ها در رفع مشکلات چرخه‌ای کمک کرده و به عنوان مواد روان‌ساز نیز عمل می‌کند. دمای تشکیل فاز مذاب را حدود ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد کاهش می‌دهد. ویسکوزیته و کشش سطحی فاز مذاب را کاهش و تحرکات یونی اکسیدها را افزایش می‌دهد. تشکیل بلیت را هنگامی که هیچ تأثیری بر آلیت و فاز مذاب نداشته باشند، افزایش می‌دهند. |
| اکسید فسفر (P_2O_5) | ۰٫۳-۰٫۵٪ | ۰-۱٪ | واکنش‌های پخت را تسریع می‌کند. شدت چرخه‌های داخلی را کاهش می‌دهد. مقاومت اولیه را کاهش می‌دهد. میزان C_3S را کاهش می‌دهد. |

ادامه جدول ۲-۱۰- حد مطلوب و معمول مدول‌ها و ترکیب مواد اولیه و تاثیر آن‌ها در فرآیند پخت

| نوع مدول، عناصر و اکسیدها | حد مطلوب | حد معمول | تأثیرات خارج از حد معمول |
|---------------------------|------------|----------|---|
| فلوئور (F) | ۰٫۰۳-۰٫۰۸٪ | ۰-۰٫۰۶٪ | فشار جزئی CO ₂ را افزایش می‌دهد، سینتیک واکنش‌های پخت را بهبود می‌دهد. دمای تشکیل C ₃ S را ۲۰۰-۱۵۰ درجه سانتی‌گراد کاهش می‌دهد. بر روی پدیده سیکل داخلی کوره اثر ندارد. مقاومت مکانیکی کلینکر را کاهش می‌دهد. |
| کلور (Cl) | ۰-۰٫۰۱۵٪ | ۰-۰٫۰۶٪ | افزایش میزان کلورهای قلیایی، پدیده سیکل کلور در کوره را تشدید می‌کند. فاز مایع افزایش یافته و نقطه ذوب فازهای جذب شده شدیداً کاهش می‌یابد. |

۲-۵-۶- باطله‌های صنعتی به عنوان مواد افزودنی

در سال‌های اخیر از باطله‌های صنعتی به عنوان مواد خام افزودنی استفاده می‌شود که به عنوان مثال می‌توان از خاکستر زغال‌سنگ به ویژه انواعی که مقدار کربن زیاد دارند به عنوان منبع تامین کربن، سیلیس و آلومینا نام برد. همچنین باطله‌های ریزدانه حاصل از کاتالیزور کراکینگ نفت^۱ نیز به عنوان آلومینا و سیلیس بدون کوارتز بسیار سودمند است. دیگر مواد قابل جایگزین به عنوان مواد افزودنی در جدول ۲-۱۱ درج شده است.

جدول ۲-۱۱- باطله‌های صنعتی جایگزین به عنوان مواد خام یا افزودنی سیمان

| مواد | حاوی | جایگزین برای | درصد وزنی تقریبی |
|--|-------------|----------------------|-------------------------------|
| روباره ذوب آهن | آهن | سنگ آهن | ۳۰-۷۰ |
| دیاتومه | سیلیس | ماسه سیلیسی | ۸۰-۹۹ |
| آهک هیدراته حاصل از فرآوری شکر و استیلن | آهک | سنگ آهک | ۸۰-۹۵ |
| پس‌ماند استخراج آلومینیم از کائولن | سیلیس | ماسه سیلیسی | ۸۵-۹۸ |
| لجن حاصل از تصفیه آب | آلومینا | بوکسیت، رس | ۲۵-۳۵ |
| روباره دی‌کلسیم سیلیکات حاصل از فرآوری فولاد، فسفات و آلومینیم | آهک و سیلیس | سنگ آهک، ماسه سیلیسی | CaO ۶۰٪، SiO ₂ ۴۰٪ |

۲-۵-۷- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی مواد ترکیبی یا افزودنی به کلینکر

مواد افزودنی به موادی اطلاق می‌شود که هم‌زمان با آسیاب کردن کلینکر به آن اضافه می‌شود. این مواد نه تنها سبب افزایش خواص فیزیکی و شیمیایی سیمان حاصل از آسیای کلینکر می‌شود، بلکه از نظر اقتصادی نیز بسیار حایز اهمیت است. این مواد افزودنی شامل سنگ گچ و پوزولان طبیعی و صنعتی است.

1- Petroleum cracking catalyst

الف- ترکیب شیمیایی و کانی شناسی پوزولان

با اندازه‌گیری ترکیبات تشکیل دهنده پوزولان از جمله اکسید سیلیسیم (SiO_2)، اکسید آلومینیم (Al_2O_3) و اکسید آهن (Fe_2O_3) امکان کاربری آن در صنعت سیمان مشخص می‌شود. در جدول ۲-۱۲ ترکیب شیمیایی چند پوزولان درج شده است. در یک ماده پوزولانی مجموع درصد اکسیدهای سیلیسیم، آلومینیم و آهن باید بیشتر از ۷۰ درصد باشد. البته بالا بودن درصد عناصر ذکر شده شرط لازم برای یک پوزولان بوده ولی شرط کافی نیست. پوزولان دو فاز شیشه‌ای (آمورف) و بلورین دارد. فاز شیشه‌ای اجزای فعال و فاز بلورین اجزای غیرفعال پوزولان را نشان می‌دهد. فاز شیشه‌ای عمدتاً از سیلیس و آلومینوسیلیکات‌ها و فاز بلورین از کوارتز و فلدسپات‌ها و کانی‌های آهن- منیزیم‌دار (بیوتیت و آمفیبول) تشکیل شده است. فرآیند دگرسانی باعث تجزیه فلدسپات‌ها به یک سری کانی‌های رسی (کائولینیت و ایلیت و نظایر آنها) می‌شود که اجزا مضر در پوزولان را تشکیل می‌دهند و در نهایت باعث کاهش فعالیت پوزولانی می‌شوند.

جدول ۲-۱۲- ترکیب شیمیایی (بر حسب درصد) چند نمونه از پوزولان‌های ایران

| SiO_2 | Al_2O_3 | Fe_2O_3 | CaO | MgO | پوزولان |
|----------------|-------------------------|-------------------------|--------------|--------------|------------------|
| ۵۰٫۹۶ | ۱۴٫۵۵ | ۶٫۲ | ۱۰٫۶۴ | ۱٫۲ | کرمان |
| ۶۱٫۷۴ | ۲۰٫۱۰ | ۴٫۶ | ۵٫۸۸ | ۲٫۲ | تفتان |
| ۶۳٫۵۲ | ۱۷٫۷ | ۵٫۸ | ۵٫۶ | ۱ | دماوند |
| ۶۳٫۷۶ | ۱۴٫۶ | ۴٫۳ | ۷٫۳ | ۰٫۵ | سهند |
| ۶۹٫۲ | ۱۶٫۹ | ۲٫۶ | ۳٫۱۴ | ۱٫۰۲ | معدن چکنه سبزوآر |

فصل ۳

ذخایر معدنی شناخته شده در ارتباط با صنایع
سیمان و معرفی سازندهای زمین‌شناسی ایران

۳-۱- آشنایی

مخلوط خام در صنعت سیمان باید دارای ترکیب خاصی باشد که بتواند ترکیب مناسب و عاری از هر گونه مواد مضر را پس از پخت در کوره تولید کند. این ترکیب یا باید در طبیعت وجود داشته باشد (سنگ سیمان) و یا از مخلوط مواد خام دیگر به نسبت‌های لازم تهیه شود. چنین ترکیبی عمدتاً از سنگ آهک به عنوان جزو اصلی و سنگ‌های رسی از قبیل مارن، شیل، مارن آهکی و واریزه به عنوان جزو فرعی همراه با مواد افزودنی دیگر به دست می‌آید. در اکثر زون‌های زمین‌ساختی ایران در زمان‌های پالئوزوییک، مزوزوییک و سنوزوییک ترکیبات و سازندهای آهکی، مارنی، شیلی با ترکیب مناسب برای استفاده به عنوان مواد خام سیمان وجود دارند که در ادامه تشریح شده است.

۳-۲- زون‌های مهم زمین‌شناسی و ساختمانی ایران

واحدهای زمین‌ساختی ایران به شرح زیر معرفی شده است:

- زون زاگرس
- زون ارومیه-دختر
- زون کپه داغ
- زون افیولیت ملانژ
- زون ایران مرکزی
- زون شرق ایران
- زون سنج-سیرجان
- زون البرز

در این نشریه مواد مورد نیاز برای استفاده به عنوان مواد اولیه سیمان به ترتیب زمانی یعنی از دوران پالئوزوییک تا سنوزوییک و برای زون‌های اصلی یاد شده مورد بررسی قرار گرفته است. از نظر زمانی نیز سازندها در حد دوران و دوره و برای دوران سنوزوییک تا حد دور مورد بررسی قرار گرفته‌اند.

۳-۳- دوران پالئوزوییک

بیشتر سازندهای آهکی و مارن و شیلی در دوران پالئوزوییک به ویژه در پالئوزوییک زیرین و بالایی (اردووسین-سیلورین-دونین) در اکثر زون‌های زمین‌شناسی ایران ترکیب مناسب به عنوان مواد خام سیمان ندارند و معمولاً دارای مقدار اکسید منیزیم بیشتر از حد مجاز (۵٪) هستند. در پالئوزوییک بالایی به طور کمتر در دونین و کربونیفر و بیشتر در پرمین آهک‌های با کیفیت مناسب وجود دارد (جدول ۳-۱).

جدول ۳-۱- سازندهای آهکی دارای ترکیب مناسب به عنوان مواد خام سیمان در پالئوزوییک

| دوران | دوره | ایران مرکزی | البرز |
|------------------|----------|----------------------------|-------------|
| دوران پالئوزوییک | پرمین | سازند جمال در کوه‌های شتری | سازند روته |
| | کربونیفر | | سازند مبارک |
| | دونین | آهک بهرام | |

۳-۴- دوران مزوزوییک

رسوب‌گذاری در مزوزوییک به ویژه در دوره تریاس و ژوراسیک عمدتاً دولومیتی، شیل و ماسه‌سنگی است. به عنوان مثال سازند الیکا در البرز، سازند شتری در ایران مرکزی و یا سازندهای خانه کت و سورمه در زاگرس کاملاً دولومیتی هستند. دوره کرتاسه در ایران مهد سازندهای آهکی، آهکی مارنی، مارن‌های آهکی و شیلی- لای‌سنگی برای استفاده به عنوان مواد خام اولیه در صنعت سیمان است، زیرا این دوره در اکثر نقاط ایران با رسوب‌گذاری آهکی و آهکی‌های مارنی- شیلی همراه است. به عنوان مثال آهک‌های کرتاسه که در البرز تا آذربایجان رخنمون دارند، آهک‌های کرتاسه ایران مرکزی، آهک و شیل‌های مارنی- آهکی کپه داغ، آهک فهلیان، ایلام و سروک و همچنین واحد شیلی- آهکی گورپی را در زاگرس می‌توان نام برد. در زیر به سازندهای دوران مزوزوییک با قابلیت کاربرد در صنعت سیمان به طور کامل اشاره می‌شود (پیوست- جدول ۱). در حال حاضر از سازندهای مزوزوییک به ویژه از سازندهای آهکی کرتاسه به عنوان مواد اولیه سیمان در کارخانه‌ها، طرح‌ها و پروژه‌های مختلف سیمان استفاده می‌شود. از این سیمان‌ها می‌توان به سیمان تهران، سیمان الماس خلخال، کازرون، گناباد، زرین رفسنجان، ممتازان کرمان، طرح سیمان خمین، اردستان و سپاهان اشاره کرد.

۳-۵- دوران سنوزوییک

سازندهای قابل استفاده به عنوان مواد اولیه سیمان در سنوزوییک در زون‌های زمین‌شناسی ایران مطابق پیوست- جدول ۲ است. اکثر سازندهای سنوزوییک و همچنین رسوبات آبرفتی و مخروط‌افکنه‌ای کواترنر دارای قابلیت استفاده به عنوان مواد اولیه سیمان هستند. این سازندها در تمامی زون‌های زمین‌شناسی ایران رخنمون دارند و دارای گسترش و ذخیره با کیفیت مناسب هستند. در زون زمین‌شناسی زاگرس می‌توان به سازندهای پابده، آسماری، میشان، گوری آغاچاری و بختیاری و در ایران مرکزی و البرز به سازند قم اشاره کرد. سازندهای دوران سنوزوییک در جزیره قشم و زون شرق ایران نیز به لحاظ مکانی دارای اهمیت فوق‌العاده‌ای از نظر مواد اولیه سیمان هستند. هم‌اکنون سیمان‌های لوشان، خزر، نیزار قم، دلجان، سفیده ساوه، خاکستری ساوه، کردستان، زنجان، هرمزگان، ساروج بوشهر، منددشتی، دشتستان، امیدیه، خاش و زابل از این سازندها به عنوان مواد اولیه استفاده می‌کنند.

۳-۶- زون افیولیت ملانژ

رخساره‌های نوار افیولیتی که به موازات زاگرس و در حد بین زون‌های زاگرس مرتفع و سنج- سیرجان واقع شده است در بردارنده افیولیت- رادیولاریت هستند. این رادیولاریت‌ها همراه با چرت‌های لایه‌ای قرمز تا سبز خاکستری است که گاه در آن آهک‌های متبلور دیده می‌شود.

گروه دوم افیولیت‌های ایران شامل افیولیت‌های ایران مرکزی و شرق ایران می‌شود که مهم‌ترین آن‌ها شامل افیولیت ملانژهای ناحیه سبزواری، شمال تربت حیدریه، شرق ایران، شمال مکران و ملانژهای نایین است. وجه مشترک کلیه افیولیت‌های ایران از نقطه

نظر استفاده به عنوان مواد اولیه سیمان وجود آهک‌های پلاژیک و رادیولاریت است. این آهک‌ها کاملاً تکتونیزه و قطعه قطعه‌اند. به طور کلی به دلیل سختی متفاوت بین سیلیس و سنگ آهک استفاده از این نوع آهک‌ها در زمان خردایش مشکلات زیادی ایجاد می‌کند. از سیلیس‌های رادیولاریت می‌توان به عنوان مواد اولیه افزودنی استفاده کرد.

۳-۷- پراکندگی مواد اولیه معدنی طبیعی با ترکیب و خواص مناسب برای سیمان

پوزولان‌ها مهم‌ترین مواد طبیعی با ترکیب سیمان هستند که از ترکیب و سایش آن‌ها با کلینکر سیمانی با خواص سیمان معمولی و در بعضی موارد با خواص شیمیایی و فیزیکی بهتر از سیمان تولید می‌شود. سنگ‌های دارای خواص پوزولانی شامل توف‌ها و خاکسترهای آتشفشانی با ترکیب داسیت- ریوداسیتی است که عمدتاً شیشه‌ای (آمورف) بوده و فاز بلورین در آن‌ها بسیار کم است. بررسی‌های انجام شده نشان می‌دهد که هر چه سنگ‌های دارای پتانسیل پوزولانی قدمت کمتری داشته باشند، به علت این که کمتر تحت تاثیر دگرسانی و تبلور دوباره قرار گرفته‌اند، فاز شیشه‌ای بیشتری دارند و خواص پوزولانی بیشتری را نشان می‌دهند. بر مبنای اطلاعات زمین‌شناسی، اگر چه سنگ‌های با ترکیبات مناسب پوزولانی در تمام ادوار زمین‌شناسی وجود دارد، ولی سنگ‌های قدیمی‌تر از دوران سنوزویک به علت تحمل فرآیندهای گوناگون دگرگونی و دگرسانی شدیداً دچار تبلور مجدد شده و خاصیت پوزولانی خود را از دست داده‌اند. سنگ‌های دارای خاصیت پوزولانی در ایران را به چهار نوع زیر تقسیم می‌کنند (جدول ۳-۲):

- توف‌های سبز سازند کرج
- توف برش‌های سبز رنگ الیگو- میوسن
- توف برش‌های پامیس‌دار نئوژن
- جریان‌های خاکستر و پامیس دوران کواترنر

جدول ۳-۲- پراکندگی انواع چهارگانه ذخایر پوزولانی در استان‌های مختلف کشور

| انواع پوزولان نام استان | توف‌های کرج (تراس جاجرود) | توف برش‌های نئوژن | خاکسترهای آتشفشانی جوان (سبلان، دماوند، تفتان، بزمان) | توف برش‌های سبز رنگ الیگو- میوسن |
|----------------------------|------------------------------|-------------------|--|--|
| تهران | + | - | + | + |
| قزوین | + | + | - | + |
| زنجان | + | + | - | + |
| سمنان | + | + | - | - |
| گیلان | + | + | - | - |
| آذربایجان غربی | + | + | - | + |
| آذربایجان شرقی | + | + | - | - |
| اردبیل | - | + | + | - |
| سیستان و بلوچستان | - | + | + | - |

ادامه جدول ۳-۲- پراکندگی انواع چهارگانه ذخایر پوزولانی در استان های مختلف کشور

| توف برش های سبز رنگ الیگو- میوسن | خاکسترهای آتشفشانی جوان (سبلان، دماوند، تفتان، بزمان) | توف برش های نئوژن | توف های کرج (تراس جاجرود) | انواع پوزولان نام استان |
|--|--|-------------------|------------------------------|----------------------------|
| - | + | + | - | کرمان |
| - | - | + | - | یزد |
| - | - | + | - | اصفهان |
| + | - | + | + | مرکزی |
| + | - | + | - | قم |
| + | - | + | - | کردستان |
| + | - | + | - | همدان |
| - | + | - | - | مازندران |
| - | - | - | - | گلستان |
| - | - | + | + | خراسان جنوبی |
| - | - | + | - | خراسان شمالی |
| - | - | + | + | خراسان رضوی |
| - | - | - | - | کرمانشاه |
| - | - | - | - | ایلام |
| - | - | - | - | خوزستان |
| - | - | - | - | لرستان |
| - | - | - | - | کهگیلویه و بویراحمد |
| - | - | - | - | چهارمحال و بختیاری |
| - | - | - | - | فارس |
| - | - | - | - | هرمزگان |
| - | - | - | - | بوشهر |

فصل ۴

فهرست خدمات مراحل مختلف اکتشاف

و معیارهای تصمیم‌گیری در مورد ادامه و یا توقف

عملیات اکتشاف مواد اولیه سیمان

۴-۱- آشنایی

از آنجا که شرایط مناسب برای رسوب‌گذاری مواد اولیه سیمان از جمله سنگ آهک، رس، شیل و مارن در ایران در ادوار مختلف زمین‌شناسی وجود داشته است، بنابراین این نوع منابع را می‌توان در اکثر زون‌های زمین‌شناسی مشاهده کرد. گاه تغییرات لیتولوژی و پدیده‌هایی نظیر گسلش، تغییر حوضه رسوبی، شدت هوازدگی و نظایر آن‌ها ممکن است باعث تغییر ترکیب شیمیایی واحد رسوبی شود و عناصر مضر در واحدهای رسوبی را کاهش یا افزایش دهد.

بررسی و مطالعات زمین‌شناسی، زمین‌ساختمان (به ویژه در مواد اولیه مورد نیاز سیمان سفید)، مواد دارای کربنات کلسیم بالا و پایین و نمونه‌برداری سیستماتیک از معیارهای مهم در اکتشاف مواد اولیه سیمان است.

نظر به این که پس از مرحله شناسایی و پی‌جویی محدوده‌هایی به گسترش حداکثر ۶ کیلومتر مربع برای ثبت مواد اولیه معدنی طبقه یک به عنوان مواد اولیه سیمان معرفی می‌شوند، اکتشافات مرحله عمومی و یا تفصیلی بر مبنای نقشه‌های توپوگرافی و زمین‌شناسی ۱:۵۰۰۰ انجام می‌گیرد.

الف- طی مراحل شناسایی و پی‌جویی واحدها و سازندهای دارای توان بالقوه به عنوان مواد اولیه سیمان کاملاً مشخص می‌شوند.

ب- پس از دریافت گواهی کشف، محدوده اکتشافی باید به روش مطالعات زمین‌شناسی و یا تهیه نقشه‌های بزرگ‌مقیاس و دقیق اکتشاف شوند.

با توجه به مساحت کم این محدوده‌های اکتشافی و جلوگیری از بالا رفتن هزینه‌های اکتشاف پیشنهاد می‌شود که در صورت صلاح‌دید کارشناس خبره نقشه‌های زمین‌شناسی و توپوگرافی به مقیاس ۱:۱۰۰۰ تهیه شود.

۴-۲- شرح خدمات اکتشاف مرحله شناسایی

در مطالعات مرحله شناسایی سازندهای دارای توان بالقوه به عنوان مواد اولیه سیمان نظیر سازندهای آهکی، مارنی، رسی، شیلی، ماسه‌سنگی، کنگلومرایی و آبرفتی نقشه‌های زمین‌شناسی پایه در مقیاس ۱:۲۵۰,۰۰۰ و ۱:۱۰۰,۰۰۰ مورد استفاده قرار می‌گیرد. مطالعات بر اساس داده‌های زمین‌شناسی، نمونه‌برداری اولیه و تجزیه شیمیایی، محاسبات سیمان‌سازی و توجه به مسایلی نظیر راه دسترسی، مسایل زیست‌محیطی، دسترسی به آب، برق، سوخت، وضعیت توپوگرافی مناطق مورد شناسایی اولویت‌بندی می‌شوند. در پایان این مرحله پیشنهادهای لازم برای ادامه عملیات اکتشافی در مرحله پی‌جویی ارائه خواهد شد. فهرست خدمات اکتشاف در مرحله شناسایی با اولویت به ذخایر سنگ‌های آهکی، آبرفت‌های مناسب و مارن (مواد اولیه و اصلی در تولید سیمان) به شرح مراحل زیر است:

۴-۲-۱- جمع‌آوری داده‌ها و انتخاب محدوده مناسب

الف- بررسی جمع‌آوری اطلاعات صنعت سیمان در برنامه‌های توسعه منطقه‌ای و محلی

ب- جمع‌آوری نقشه‌های زمین‌شناسی به مقیاس ۱:۲۵۰,۰۰۰، ۱:۱۰۰,۰۰۰ و ۱:۲۵,۰۰۰ در صورت موجود بودن

پ- جمع‌آوری نقشه‌های توپوگرافی به مقیاس ۱:۲۵۰,۰۰۰، ۱:۵۰۰,۰۰۰ و در صورت امکان ۱:۲۵۰,۰۰۰

ت- جمع‌آوری نقشه‌های زیرساخت منطقه نظیر راه، توزیع برق، گاز و دسترسی به آب

ث- جمع‌آوری کلیه اطلاعات و گزارش‌های مرتبط

ج- ایجاد بانک اطلاعاتی GIS، پردازش و تلفیق داده‌ها

۴-۲-۲- مطالعه مستندات جمع‌آوری شده و تعیین محدوده‌های پتانسیل‌دار

الف- مطالعه و بررسی نقشه‌ها و گزارش‌های جمع‌آوری شده با توجه به وجود سازندهای مناسب برای تولید سیمان به ویژه سازندهای دارای ترکیب مناسب آهکی، مارنی، آبرفتی و همچنین مواد افزودنی و تصحیح‌کننده مانند سیلیس، سنگ آهن، بوکسیت، پوزولان و نظایر آنها

ب- مطالعه و بررسی راه‌های دسترسی، منابع انرژی، فاصله تا محل مصرف و مراکز جمعیتی

پ- جمع‌بندی کلیه مطالعات و بررسی‌های انجام شده و اولویت‌بندی مناطق برای انجام برداشت‌های صحرایی

ت- بررسی مسایلی از قبیل مسایل زیست‌محیطی، آب، برق، سوخت و نیروی انسانی

۴-۲-۳- برداشت صحرایی

الف- پیمایش صحرایی از محدوده‌های منتخب برای بررسی واحدهای زمین‌شناسی مناسب برای تولید سیمان (سنگ آهک، آبرفت، مارن و سایر افزودنی‌ها)

ب- تهیه کروکی راه دسترسی با دقت مناسب

پ- بررسی وضعیت زمین‌شناسی پتانسیل‌های مواد اولیه از نظر رخساره‌های سنگی مناسب با در نظر گرفتن فرآیندهایی نظیر

دگرسانی (سیلیسی شدن، آرژیلیتی شدن، دولومیتی شدن و نظایر آن)

ت- تعیین مختصات جغرافیایی نقطه یا نقاطی که از نظر زمین‌شناسی و معدنی مورد مطالعه و بررسی قرار می‌گیرند همراه با

محل برداشت نمونه‌ها به کمک دستگاه GPS

ث- بررسی مواد خام اولیه و مکمل‌ها در شعاع مناسب و همچنین شناسایی مواد تصحیح‌کننده و افزودنی

ج- بررسی وضعیت و گسترش مواد معدنی و میزان تقریبی آنها

چ- بررسی مقدماتی وسعت، وضعیت توپوگرافی، ریخت‌شناسی و جنس زمین به منظور پیشنهاد اولیه محل احداث کارخانه

ح- نمونه‌برداری محدود از واحدهای سنگی برای تجزیه شیمیایی، مطالعات کانی‌شناسی و سنگ‌شناسی

- نمونه‌برداری به روش لیبری از واحدهای دارای کربنات کلسیم با تیترا بالا عموماً آهکی و یا آهکی مارنی در طول

حداقل یک پروفیل کامل عمود بر لایه‌بندی. نمونه‌برداری برای حداقل ۱۰ متر ضخامت واقعی لایه‌ها یک نمونه و در مورد

برخورد با لیتولوژی خاص نمونه‌برداری جداگانه انجام شود.

- نمونه‌برداری از واحدهای حاوی با درصد کربنات کلسیم پایین (تیترا پایین) از قبیل مارن، شیل و نظایر آن در طول یک ترانسه اکتشافی (متناسب با رخنمون و گستردگی مارن) به عمق حداقل ۰/۵ تا ۱ متر و برداشت نمونه به روش شیاری در طول هر ۱۰ متر یک نمونه که کل ذخیره را در جهت عمود بر لایه‌بندی پوشش دهد. اگر در این واحدها لایه‌های ماسه‌سنگی و یا واحدهای بین لایه مشخصی وجود داشته باشد نمونه‌برداری از آن‌ها بر اساس تغییرات باید انجام شود.
- نمونه‌برداری از واحدهای کنگلومرایی یا آبرفتی موجود در محل و بررسی اولیه آن‌ها با حفر حداقل یک چاهک اکتشافی در بخش‌های درشت‌دانه (بالای مخروط‌افکنه)، متوسط‌دانه (بخش میانی مخروط‌افکنه) و بخش ریزدانه (پایین مخروط‌افکنه) و برداشت نمونه به صورت شیاری به عرض ۱۰ تا ۳۰ سانتی‌متر و عمق ۱۰ سانتی‌متر و خلاصه کردن آن به روش چهار قسمتی توصیه می‌شود. به ازای هر ۲ متر عمق گمانه، یک نمونه برداشت می‌شود. در صورت تغییر در لیتولوژی به عنوان مثال برخورد با عدسی‌های رسی در آبرفت‌های بخش بالایی و میانی مخروط‌افکنه از آن نیز یک نمونه برداشت می‌شود. حداقل ۲ تا ۳ چاهک در رسوبات آبرفتی باید حفر شود.
- خ- نمونه‌برداری به تعداد حداقل ۳ نمونه از هر منبع (سنگ آهک، آبرفت، مارن و نظایر آن‌ها) به ابعاد مورد نیاز برای مطالعات کانی‌شناسی، سنگ‌شناسی و فسیل‌شناسی. در صورت ضرورت می‌توان تعداد نمونه‌ها را بر حسب نیاز افزایش داد.
- د- برداشت کامل ترانسه اکتشافی، چاهک اکتشافی و نیمرخ نمونه‌برداری شامل مختصات ابتدا و انتها، موقعیت نمونه‌ها، امتداد ترانسه و نیمرخ، شیب و امتداد لایه‌بندی و همچنین مشخصات سنگ‌شناسی واحدها انجام شود.
- ذ- ارزیابی موقعیت مکانی از نظر راه‌های دسترسی و امکان عملیات استخراجی
- ر- مستندسازی داده‌ها برای معرفی محدوده یا محدوده‌های شناسایی شده برای مطالعات بعدی به همراه شرح خدمات مرحله‌ای و ارایه ویژگی‌های زمین‌شناسی و معرفی رخساره‌ها

۴-۲-۴- تجزیه شیمیایی نمونه‌ها

- الف- تجزیه شیمیایی نمونه‌ها برای عناصر و ترکیبات زیر:
(SiO_2 ، Al_2O_3 ، FeO ، CaO ، MgO ، K_2O ، Na_2O ، SO_3 ، Cl و $L.O.I$) به روش شیمی تر یا روش‌های دستگاهی متناسب
- ب- در صورت مطالعه مواد برای سیمان سفید تجزیه شیمیایی نمونه برای ترکیبات TiO_2 ، Cr_2O_3 ، Mn_2O_3 به روش شیمی تر یا روش‌های دستگاهی متناسب
- پ- تهیه مقطع نازک از نمونه‌ها و انجام مطالعات کانی‌شناسی، سنگ‌شناسی (و در صورت نیاز فسیل‌شناسی) حداقل پنج نمونه برای هر منبع
- ت- تجزیه نمونه‌ها به روش پراش اشعه ایکس به منظور تعیین نوع کانی‌های تشکیل دهنده سنگ حداقل سه نمونه برای هر منبع

۴-۲-۵- انجام محاسبات سیمان سازی

الف- محاسبه مدول های سیلیس (MS)، مدول آلومین (MA) و ضریب اشباع آهک (L.S.F)

ب- محاسبه فازهای کلینکر

پ- محاسبه فازهای مایع

ت- محاسبه درصد مورد استفاده هر یک از مواد اولیه و افزودنی

ث- تعیین نوع کلینکر حاصل از مخلوط مواد اولیه و ارایه راهکار برای تولید تیپ های دیگر مورد نیاز

ج- محاسبه فاکتورهای پخت و فاکتورهای مورد نیاز دیگر

۴-۲-۶- تعیین ذخیره در رده ۳۳۴ (بر اساس نشریه شماره ۳۷۹) هر یک از مواد خام

۴-۲-۷- تعبیر و تفسیر نهایی

۴-۲-۸- جمع بندی کلیه اطلاعات صحرائی و دفتری و معرفی حداقل سه منطقه اولویت دار برای انجام

عملیات اکتشاف در مرحله پی جویی

۴-۳- گزارش نویسی مرحله شناسایی

سرفصل ها و زیرفصل های گزارش مرحله شناسایی مواد اولیه سیمان به صورت زیر است:

۴-۳-۱- چکیده

شامل خلاصه گزارش مرحله شناسایی به صورت یک یا دو صفحه که مواردی نظیر کلیات زمین شناسی، مسایل زیربنایی، نمونه برداری های انجام شده، نتایج حاصل از آن و اولویت های معرفی شده، تیپ های سیمان قابل استحصال، میزان عناصر مفید و مضر، تخمین ذخیره به همراه نتیجه گیری و ارایه پیشنهادات برای توقف یا ادامه عملیات اکتشافی خواهد بود.

۴-۳-۲- فهرست

الف- فهرست مطالب

ب- فهرست شکل ها

پ- فهرست جداول

۴-۳-۳- مقدمه

معرفی مختصر روش و مراحل بررسی، پیشینه کارهای انجام شده قبلی و نحوه دستیابی به اطلاعات ارایه شود.

۴-۳-۴- اطلاعات کلی منطقه

- الف- آشنایی شامل اهداف پروژه و چگونگی انجام کار
- ب- موقعیت مکانی، جغرافیایی و راه دسترسی
- پ- وضعیت کلی آب و هوایی و ریخت‌شناسی
- ت- نیروی انسانی
- ث- کارهای انجام شده قبلی در ارتباط با مواد اولیه مورد نیاز در صنعت سیمان شامل معادن سنگ آهن، گچ، پوزولان و نظایر آنها
- ج- اسناد، مدارک و نقشه‌های توپوگرافی و زمین‌شناسی و نظایر آن که در تهیه گزارش مرحله شناسایی به کار گرفته شده است.

۴-۳-۵- بررسی و مطالعات دفتری برای تعیین محدوده‌های اکتشافی پتانسیل‌دار از نظر مواد اولیه سیمان

- الف- شرح واحدهای زمین‌شناسی و سازندها از نظر مواد اولیه سیمان و همجواری آنها نسبت به یکدیگر
- ب- شرح وضعیت جغرافیایی، راه دسترسی، وضعیت برق، خط لوله گاز و سایر زیرساخت‌های مورد نیاز
- پ- جمع‌بندی کلیه اطلاعات، تلفیق آنها و معرفی محدوده‌های مورد نظر برای انجام عملیات صحرایی و نمونه‌برداری

۴-۳-۶- بررسی محدوده‌ها و حجم عملیات

- الف- موقعیت جغرافیایی محدوده‌های اکتشافی، راه دسترسی همراه با کروکی و مختصات دقیق مناطق کلیدی در محدوده‌های اکتشافی
- ب- شرح زمین‌شناسی واحدهای موجود در منطقه اکتشافی و بررسی‌های ساختاری و تاثیر آن بر کیفیت ماده معدنی
- پ- تعداد نمونه‌های برداشت شده همراه با مختصات محل نمونه‌برداری، نتایج تجزیه شیمیایی
- ت- شرح کامل مسیر پیمایش، ترانسه و چاهک‌های اکتشافی، روش نمونه‌برداری از آنها، ترسیم نیمرخ اکتشافی و برداشت کامل حفاریات انجام شده
- ث- تعبیر و تفسیر نتایج تجزیه شیمیایی نمونه‌ها و عناصر مفید و مضر و مقایسه آنها با مواد اولیه استاندارد سیمان
- ج- انجام محاسبات سیمان‌سازی برای تعیین مدول‌ها و فازهای کلینکر و همچنین درصد مورد نیاز هر یک از مواد خام برای تولید کلینکر (ترکیب مناسب همراه با مواد افزودنی تصحیح‌کننده)

۴-۳-۷- بررسی مسایل زیربنایی

- الف- بررسی وضعیت زیست‌محیطی محدوده اکتشافی
- ب- بررسی وضعیت آب در محدوده اکتشافی
- پ- بررسی وضعیت منابع و انرژی

ت- بررسی مسایل آب و هوایی، جهت باد و نظایر آن‌ها
ث- شرح کامل وضعیت توپوگرافی، پوشش گیاهی و محل مناسب برای احداث کارخانه

۴-۳-۸- تعیین ذخیره در هر یک از محدوده های اکتشافی

۴-۳-۹- نتیجه گیری و پیشنهادات

الف- تلفیق کلیه داده‌ها، جمع‌بندی و اولویت‌بندی محدوده‌ها بر اساس کلیه اطلاعات صحرائی، دفتری، زیربنایی، محاسبات سیمان‌سازی و نظایر آن و اولویت‌بندی محدوده‌های اکتشافی
ب- ترسیم محدوده اکتشافی به وسعت ۲۰ تا ۴۰ کیلومتر مربعی برای ۳ اولویت اکتشافی (در صورت موجود بودن) انتخاب شده (به صورتی که کلیه مواد اولیه سیمان در هر اولویت اکتشافی را پوشش دهد) بر روی نقشه توپوگرافی ۱:۲۵۰,۰۰۰ یا ۱:۵۰۰,۰۰۰ همراه با مختصات گوشه‌ها و اضلاع آن به دو صورت طول و عرض جغرافیایی و UTM
پ- تعیین معیارهای تصمیم‌گیری در توقف و یا ادامه عملیات اکتشافی با توجه به مجموعه بررسی‌ها و مطالعات انجام گرفته روی مواد اولیه مورد نیاز
ت- ارایه پیشنهادات برای بررسی‌های مرحله پی‌جویی

۴-۳-۱۰- فهرست منابع

۴-۳-۱۱- پیوست‌ها

الف- نتایج تجزیه شیمیایی ۱۰ اکسید به همراه اندازه‌گیری L.O.I
ب- نتایج مطالعات به روش پراش اشعه ایکس
پ- نتایج مطالعات سنگ‌شناسی، کانی‌شناسی (و در صورت لزوم فسیل‌شناسی)
چک‌لیست شرح، نوع و مقیاس عملیات در مرحله شناسایی مواد اولیه سیمان در جدول ۴-۱ ارایه شده است.

جدول ۴-۱- چک‌لیست فهرست خدمات اکتشاف مواد اولیه سیمان در مرحله شناسایی

| شرح عملیات | مقیاس | نوع عملیات |
|---|--|--|
| جمع‌آوری اطلاعات، شامل کلیه نقشه‌های توپوگرافی، زمین‌شناسی، جغرافیایی | ۱:۲۵۰,۰۰۰، ۱:۱۰۰,۰۰۰، ۱:۲۵۰,۰۰۰، ۱:۵۰۰,۰۰۰ | - بررسی سازندهای آهکی، کنگلومرایی و آبرفتی - بررسی راه‌های ارتباطی، مراکز جمعیتی - بررسی مسایل زیربنایی نظیر آب، برق و گاز |
| ایجاد بانک اطلاعاتی در سیستم GIS و رقمی کردن نقشه‌ها | ۱:۲۵۰,۰۰۰، ۱:۱۰۰,۰۰۰ | - رقمی کردن نقشه واحدهای دارای پتانسیل مواد اولیه سیمان شامل واحدهای آهکی، مارنی، شیلی، رسی، رسی- آهکی |
| بررسی کارهای انجام شده قبلی و تعیین محدوده‌های پتانسیل‌دار | ۱:۲۵۰,۰۰۰، ۱:۱۰۰,۰۰۰ | - امتیازدهی پتانسیل‌های موجود بر روی نقشه‌های رقمی شده با توجه به همجواری واحد، راه دسترسی، برق و مراکز جمعیتی |

ادامه جدول ۴-۱- چک‌لیست فهرست خدمات اکتشاف مواد اولیه سیمان در مرحله شناسایی

| شرح عملیات | مقیاس | نوع عملیات |
|--|--------------------------------|--|
| بررسی‌های صحرایی و نمونه‌برداری‌ها | ۱:۱۰۰,۰۰۰، ۱:۲۵۰,۰۰۰ | - بررسی وضعیت رخنمون و گسترش واحدها - شناسایی مواد افزودنی و تصحیح‌کننده - حفر ترانشه و چاهک - برداشت نمونه |
| تجزیه شیمیایی نمونه‌ها | - | - تعیین درصد عناصر ترکیبات زیر: MgO, CaO, FeO, Al ₂ O ₃ , SiO ₂ K ₂ O, L.O.I, SO ₃ , CL, Na ₂ O |
| تعیین و تفسیر نتایج تجزیه شیمیایی نمونه‌ها و انجام محاسبات سیمان‌سازی | - | - تعیین عناصر مفید و مضر و مدول‌ها و فازهای کلینکر و نسبت اختلاط مواد اولیه - معرفی مواد تصحیح‌کننده و افزودنی با توجه به محاسبات سیمان‌سازی برای تولید تیپ‌های مختلف سیمان |
| تعیین ذخیره هر یک از مواد اولیه | ۱:۲۵۰,۰۰۰، ۱:۱۰۰,۰۰۰ | - ذخیره در رده ۳۳۴ |
| جمع‌بندی و تلفیق کلیه اطلاعات صحرایی، دفتری و محاسبات سیمان‌سازی به همراه معرفی مناطق اولویت‌دار و امیدبخش | ۱:۲۵۰,۰۰۰، ۱:۱۰۰,۰۰۰، ۱:۵۰,۰۰۰ | - تعیین محدوده مناطق دارای اولویت همراه با نقشه و مختصات گوشه‌ها و اضلاع |
| تهیه و تنظیم گزارش نهایی مرحله مطالعات شناسایی همراه با نتیجه‌گیری و پیشنهادات | - | - |

۴-۴- شرح خدمات اکتشاف مواد اولیه سیمان در مرحله پی‌جویی

این مرحله از اکتشاف مواد اولیه سیمان بر اساس اولویت‌های تعیین شده در مرحله شناسایی است. این مرحله از اکتشاف در مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ انجام می‌گیرد و فهرست خدمات آن به صورت زیر توصیه می‌شود. شرح خدمات برای سنگ آهک، آهک مارنی و یا مارن یکسان است.

۴-۴-۱- فهرست خدمات مرحله جمع‌آوری داده‌ها و مطالعات دفتری

الف- خرید نقشه‌های توپوگرافی به مقیاس ۱:۲۵۰۰۰

ب- تهیه نقشه زمین‌شناسی مقدماتی به روش فتوژئولوژی بر اساس عکس‌های هوایی یا ماهواره‌ای به صورت رقومی

پ- پیاده کردن کلیه برداشت‌های مرحله شناسایی بر روی نقشه فتوژئولوژی و توپوگرافی تهیه شده

ت- تهیه طرح اکتشاف اولیه با استفاده از اطلاعات موجود شامل:

- انتخاب مسیرهای پیمایش، موقعیت ترانشه‌ها و چاهک‌های اکتشافی در مرحله شناسایی

- مسیرهای پیمایش به فواصل ۵۰۰ متر تا یک کیلومتر و حفر چاهک‌های اکتشافی در شبکه ۵۰۰×۵۰۰ متری

۴-۴-۲- برداشت‌های صحرایی

الف- تهیه نقشه زمین‌شناسی (با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ بر اساس نشریه شماره ۵۳۲ انجام می‌گیرد) شامل:

- انجام پیمایش‌های سطحی با روند عمود بر امتداد لایه‌بندی‌ها و واحدها
 - تعیین مرز و همبندی سازندها و واحدهای رخنمون‌دار
 - تعیین خصوصیات چینه‌شناسی و سن نسبی کلیه سازندها و واحدها
 - بررسی لیتولوژیکی واحدهای سنگی
 - اندازه‌گیری ضخامت توالی واحدها و شیب و امتداد آن‌ها
 - برداشت و اندازه‌گیری روند کلی گسل‌های موجود
 - برداشت ویژگی‌های چین‌ها و نحوه چین‌خوردگی آن‌ها
- ب- انجام حفاریات اکتشافی و نمونه‌برداری و کدگذاری نمونه‌ها

- نمونه‌برداری از واحدهای دارای کربنات کلسیم بالا (تیترا بالا) عموماً آهکی و یا آهکی مارنی به صورت لپری در طول نیمرخ‌های عمود بر لایه‌بندی انجام گیرد. برای حداقل ۱۰ متر ضخامت واقعی لایه‌بندی یک نمونه و در مورد برخورد با لیتولوژی خاص نیز یک نمونه برداشت می‌شود. فاصله نیمرخ نمونه‌برداری نسبت به یکدیگر در این مرحله حداقل ۵۰۰ متر تا ۱ کیلومتر در نظر گرفته شود.

- نمونه‌برداری از واحدهای دارای کربنات کلسیم پایین (تیترا پایین) در طول یک ترانشه اکتشافی و برداشت نمونه به روش شیاری پیوسته که کل ذخیره را در جهت عمود بر لایه‌بندی پوشش دهد. فاصله ترانشه‌های اکتشافی برای نمونه‌برداری نسبت به یکدیگر در این مرحله حداقل ۵۰۰ متر تا ۱ کیلومتر در نظر گرفته شود. در این واحدها که عمدتاً مارنی و شیلی هستند، در صورت برخورد با میان لایه‌های ماسه‌سنگی، چرتی و یا میان لایه‌های دیگر باید نمونه‌برداری از این میان لایه‌ها به صورت مجزا و به نسبت ضخامت انجام شود. نمونه‌برداری‌های همسان با واحدهای کربنات کلسیم بالا (تیترا بالا) انجام گیرد.

- نمونه‌برداری از واحدهای کنگلومرایی یا آبرفتی به صورت حفر چاهک اکتشافی به عمق حداقل ۱۰ تا ۱۵ متر در یک شبکه حداقل ۵۰۰×۵۰۰ متر به صورتی که بتوان بخش‌های درشت‌دانه (بالای مخروط‌افکنه)، متوسط دانه (بخش میانی مخروط‌افکنه) و بخش ریزدانه (پایین مخروط‌افکنه) را پوشش داد. نمونه به صورت شیاری پیوسته (به طول ۲۰ تا ۳۰ سانتی‌متر و عمق حداقل ۱۰ تا ۱۵ سانتی‌متر) برداشت و به روش چهار بخشی خلاصه شود. در صورت تغییر در لیتولوژی به عنوان مثال برخورد با عدسی‌های رسی در آبرفت‌های بخش بالایی و میانی مخروط‌افکنه از آن نیز یک نمونه برداشت شود.

- نمونه‌برداری به تعداد حداقل ۳ نمونه از هر منطقه به حجم مورد نیاز برای مطالعات کانی‌شناسی و سنگ‌شناسی و اندازه‌گیری مقدار سیلیس آزاد در آهک‌ها

- نمونه‌برداری برای انجام تست تکنولوژیک

پ- برداشت حفاریات اکتشافی

- برداشت تغییرات لیتولوژیکی در طول نیمرخ‌ها، ترانشه‌ها و چاهک‌های اکتشافی
- برداشت شیب توپوگرافی در مسیر نیمرخ و ترانشه‌ها

- برداشت شیب و امتداد لایه‌بندی در نیمرخ‌ها، ترانسه‌ها و چاهک‌های اکتشافی
- برداشت مختصات ابتدا و انتهای نیمرخ‌ها و ترانسه‌های اکتشافی و محل چاهک‌های اکتشافی و نقاط نمونه‌برداری
- تهیه عکس‌های لازم از تغییرات قابل توجه در امتداد نیمرخ‌ها، ترانسه‌ها و چاهک‌های اکتشافی
- ترسیم نیمرخ‌ها، ترانسه‌ها و چاهک‌ها به مقیاس ۱:۲۵۰ یا ۱:۱۰۰
- حفر یک گمانه ژئوتکنیکی در محل پیشنهادی برای سایت کارخانه به منظور تعیین عمق سنگ بستر و جلوگیری از هزینه اضافی در ساخت و سازهای آتی

۳-۴-۴- بررسی و نمونه‌برداری از منابع مواد اولیه تصحیح‌کننده در صنعت سیمان شامل سنگ آهن، سیلیس، پوزولان و سنگ گچ در حد شناسایی اولیه به تعداد ۱ یا ۲ نمونه از هر کدام

این مواد معدنی در فاصله بسیار کم نسبت به کارخانه قرار دارند و توصیه می‌شود از هر یک از این منابع حداقل ۳ نمونه برداشت و مورد مطالعه قرار گیرد.

۴-۴-۴- تجزیه شیمیایی نمونه‌ها

- الف- تجزیه شیمیایی نمونه‌های کنترلی برای عناصر و ترکیبات SO_3 , Na_2O , K_2O , MgO , CaO , FeO , Al_2O_3 , SiO_2 و L.O.I و Cl به روش شیمی تر یا روش دستگاهی مناسب
- ب- تجزیه شیمیایی نمونه برای مقدار Mn_2O_3 , TiO_2 , Cr_2O_3 در صورت مطالعه مواد اولیه برای سیمان سفید به روش شیمی تر یا روش دستگاهی مناسب
- پ- مطالعه کانی‌شناسی نمونه‌ها به روش پراکنش اشعه ایکس به منظور تعیین نوع کانی‌های تشکیل دهنده سنگ حداقل دو نمونه برای هر منطقه
- ت- تهیه مقطع نازک از نمونه‌ها و انجام مطالعات کانی‌شناسی، سنگ‌شناسی و بررسی مقدار سیلیس آزاد، حداقل سه نمونه برای هر منطقه

۵-۴-۴- انجام محاسبات سیمان‌سازی

- الف- محاسبه مدول‌های سیلیس (MS)، مدول آلومین (MA) ضریب اشباع آهک (L.S.F)
- ب- محاسبه فازهای کلینکر
- پ- محاسبه فازهای مایع
- ت- محاسبه درصد مورد استفاده هر یک از مواد اولیه و افزودنی
- ث- تعیین نوع کلینکر حاصل از مخلوط مواد اولیه
- ج- محاسبه فاکتورهای پخت و فاکتورهای مورد نیاز دیگر

۴-۴-۶- تعیین ذخیره حداقل در رده ۳۳۳

الف- محاسبه ذخیره به روش‌های مقاطع و بلوک‌بندی

ب- تهیه و ترسیم مقاطع اکتشافی، ترانسه‌ها و گمانه‌های اکتشافی با استفاده از داده‌ها و اطلاعات برداشت صحرائی به مقیاس ۱:۱۰۰ تا ۱:۲۵۰ که بر روی آن کلیه اطلاعات صحرائی شامل موقعیت برداشت نمونه‌ها، شیب و امتداد و سایر اطلاعات مورد نیاز نظیر درصد عناصر مضر و مفید اصلی در مواد اولیه سیمان مانند MgO و CaO (در سیمان خاکستری) و CaO، MgO، و Fe₂O₃ (در سیمان سفید) درج شده باشد.

پ- تعبیر و تفسیر نتایج تجزیه شیمیایی نمونه‌ها و بلوک‌بندی اولیه بر اساس میزان ترکیبات اصلی شامل MgO، CaO، SiO₂، Al₂O₃، Fe₂O₃ و عناصر و ترکیبات فرعی Cl و SO₃ و مدول‌های سیلیس، آلومینیم و ضریب اشباع آهک

۴-۴-۷- مطالعات مقدماتی ارزیابی زیست‌محیطی

۴-۴-۸- تعبیر و تفسیر نتایج و جمع‌بندی کلیه اطلاعات

۴-۴-۹- ارایه گزارش نهایی همراه با معیارهای تصمیم‌گیری

۴-۵-۵- تهیه گزارش مرحله پی‌جویی

گزارش مرحله پی‌جویی شامل موارد زیر است:

۴-۵-۱- چکیده

خلاصه گزارش مرحله پی‌جویی به صورت یک یا دو صفحه شامل کلیات زمین‌شناسی، حجم ترانسه‌ها و چاهک‌های اکتشافی و نیمرخ‌های نمونه‌برداری، نمونه‌برداری‌های انجام شده و نتایج حاصل و بلوک‌بندی مواد اولیه در مناطق مختلف برای تیپ‌های سیمان قابل استحصال در آن‌ها و میزان عناصر مفید و مضر، مواد افزودنی و تصحیح‌کننده به همراه حجم ذخیره هر یک از بلوک‌ها و پیشنهادات برای توقف یا ادامه عملیات اکتشافی تا مرحله بعدی خواهد بود.

۴-۵-۲- فهرست

الف- فهرست مطالب

ب- فهرست شکل‌ها

فهرست جداول

۴-۵-۳- مقدمه

شامل هدف از انجام پروژه و چگونگی انجام عملیات اکتشافی، نمونه‌برداری‌ها و آزمایش‌ها

۴-۵-۴- کلیات

الف- موقعیت مکانی، جغرافیایی و راه‌های دسترسی

ب- وضعیت کلی آب و هوا و ریخت‌شناسی

پ- منابع انسانی

ت- کارهای انجام شده قبلی در ارتباط با مواد اولیه مورد نیاز در صنعت سیمان شامل معادن سنگ آهک، مارن، آبرفت، گچ،

پوزولان و نظایر آن‌ها

۴-۵-۵- زمین‌شناسی

الف- شرح کامل زمین‌شناسی ناحیه‌ای

ب- زمین‌شناسی محدوده مورد بررسی شامل چینه‌شناسی، پتروگرافی و کانی‌شناسی، زمین‌شناسی ساختاری و تاثیر عوامل

ساختاری در زون‌بندی و کیفیت ماده معدنی

۴-۵-۶- بررسی‌های اکتشافی

الف- تشریح کامل حفاریات شامل ترانسه‌ها، چاهک‌ها و نیمرخ‌ها

ب- شرح کامل نیمرخ‌ها، ترانسه‌ها و چاهک‌های اکتشافی، روش نمونه‌برداری از آن‌ها، ترسیم نیمرخ اکتشافی و لاگ کامل

حفاریات انجام شده

پ- مطالعات کانی‌شناسی و تجزیه شیمیایی

ت- بررسی صحت و دقت نتایج

ث- بررسی تغییرات عیاری کلیه عناصر و ترکیبات به ویژه عناصر اصلی و مضر در محاسبات سیمان‌سازی

۴-۵-۷- محاسبات سیمان‌سازی

الف- روش محاسبات و محاسبه مدول‌ها و فازهای مورد نیاز

ب- انواع سیمان تولیدی با توجه به مواد اولیه

پ- مواد افزودنی، تصحیح‌کننده و درصد مورد نیاز

۴-۵-۸- تخمین ذخیره

۴-۵-۹- نتایج آزمون‌های تکنولوژی در مقیاس پیشاهنگ

۴-۵-۱۰- نتیجه‌گیری و پیشنهادات

- الف- نوع و میزان ذخایر شناخته شده، نوع کلینکر تولیدی و چگونگی تامین مواد افزودنی و تصحیح‌کننده
- ب- تلفیق کلیه اطلاعات مراحل شناسایی و پی‌جویی و معرفی محدوده‌های اکتشافی ۶ کیلومتر مربعی همراه با مختصات رئوس آن برای انجام مطالعات اکتشاف مرحله بعدی
- پ- تعیین معیارهای تصمیم‌گیری در توقف یا ادامه عملیات اکتشافی و ارایه پیشنهادات برای بررسی‌های مرحله بعدی

۴-۵-۱۱- فهرست منابع

۴-۵-۱۲- پیوست‌ها

- الف- نتایج تجزیه شیمیایی (۱۰ اکسیدی)
- ب- نتایج نمونه‌های تجزیه کانی‌شناسی به روش پراش اشعه ایکس
- پ- نتایج مطالعات میکروسکوپی (سنگ‌شناسی، کانی‌شناسی و فسیل‌شناسی)
- ت- نقشه‌ها و نیمرخ‌های زمین‌شناسی
- چک‌لیست شرح، نوع و مقیاس عملیات در مرحله پی‌جویی مواد اولیه سیمان در جدول ۴-۲ ارایه شده است.
- جدول ۴-۲- چک‌لیست فهرست خدمات اکتشاف مواد اولیه سیمان در مرحله مطالعات پی‌جویی

| شرح عملیات | مقیاس | نوع عملیات |
|---|-----------------------------------|--|
| جمع‌آوری اطلاعات، شامل کلیه نقشه‌های توپوگرافی، زمین‌شناسی، جغرافیایی، عکس‌های هوایی و ماهواره‌ای و گزارش مرحله شناسایی | ۱:۱۰۰,۰۰۰ ۱:۵۰,۰۰۰ ۱:۲۵,۰۰۰ | - بررسی سازندهای آهکی، کنگلومرایی و آبرفتی - بررسی راه‌های ارتباطی، مراکز جمعیتی - بررسی مسایل زیربنایی آب، برق و نظایر آنها |
| ایجاد بانک اطلاعاتی در سیستم GIS و رقومی کردن نقشه‌ها | ۱:۲۵,۰۰۰ ۱:۵۰,۰۰۰ | - رقومی کردن نقشه توپوگرافی ۱:۲۵,۰۰۰ و فتوژئولوژی عکس‌های هوایی و رقومی کردن آنها |
| بررسی‌های صحرایی و نمونه‌برداری | ۱:۲۵,۰۰۰ | - برداشت و تکمیل نقشه زمین‌شناسی فتوژئولوژی شده شامل بررسی وضعیت رخنمون و گسترش واحدها - ترسیم نیمرخ‌ها، ترانسه‌ها و چاهک‌ها در مقیاس ۱:۲۵۰ تا ۱:۱۰۰ - فاصله نیمرخ‌ها و ترانسه‌ها ۵۰۰ متر تا ۱ کیلومتر - حفر ترانسه و چاهک - حفر یک گمانه ژئوتکنیکی - نمونه‌برداری از ترانسه، چاهک و نیمرخ‌های اکتشافی - نمونه‌برداری از واحدهای کنگلومرایی یا آبرفتی به صورت حفر چاهک به عمق حداقل ۱۰ تا ۱۵ متر در شبکه حداقل ۵۰×۵۰ متر |
| تجزیه شیمیایی نمونه‌ها | | - تعیین درصد عناصر و ترکیبات: L.O.I, MgO, CaO, Fe ₂ O ₃ , Al ₂ O ₃ , SiO ₂ , SO ₃ , CL, Na ₂ O, K ₂ O |

ادامه جدول ۴-۲- چک‌لیست فهرست خدمات اکتشاف مواد اولیه سیمان در مرحله مطالعات پی‌جویی

| شرح عملیات | مقیاس | نوع عملیات |
|--|---------|---|
| تعیین و تفسیر نتایج تجزیه نمونه‌ها و محاسبات سیمان‌سازی | | - تعیین عناصر مفید و مضر و مدول‌ها و فازهای کلینکر و درصد مورد نیاز مواد اولیه - معرفی مواد تصحیح‌کننده و افزودنی با توجه به محاسبات سیمان‌سازی برای استحصال تیپ‌های مختلف سیمان |
| تعیین ذخیره هر یک از مواد اولیه | ۱:۲۵۰۰۰ | - محاسبه ذخیره به روش‌های مقاطع و بلوک‌بندی به روش‌های مقاطع و بلوک‌بندی - تهیه و ترسیم مقاطع اکتشافی، ترانسه‌ها و گمانه‌های اکتشافی با استفاده از داده‌ها و اطلاعات برداشت صحرایی به مقیاس ۱:۱۰۰ تا ۱:۲۵۰ که بر روی آن کلیه اطلاعات صحرایی شامل موقعیت برداشت نمونه‌ها، شیب و امتداد و سایر اطلاعات مورد نیاز نظیر درصد عناصر مضر و مفید اصلی در مواد اولیه سیمان مانند CaO و MgO (در سیمان خاکستری) و CaO ، MgO و Fe_2O_3 (در سیمان سفید) درج شده باشد. - تعبیر و تفسیر نتایج تجزیه شیمیایی نمونه‌ها و بلوک‌بندی اولیه بر اساس میزان ترکیبات اصلی شامل CaO ، MgO ، Fe_2O_3 ، Al_2O_3 و SiO_2 و عناصر و ترکیبات فرعی Cl و SO_3 و مدول‌های سیلیس، آلومینیم و ضریب اشباع آهک |
| جمع‌بندی و تلفیق کلیه اطلاعات صحرایی، دفتری و سیمان‌سازی و معرفی مناطق امیدبخش برای مطالعات بعدی | ۱:۲۵۰۰۰ | - تعیین محدوده‌های ۶ کیلومتر مربعی همراه با مختصات گوشه‌ها برای ادامه عملیات در مرحله تفصیلی |
| تهیه و تنظیم گزارش نهایی مرحله مطالعات پی‌جویی همراه با نتیجه‌گیری و پیشنهادات | | - مجلد کردن گزارش مرحله پی‌جویی |

۴-۶- خدمات اکتشاف مواد اولیه سیمان در مرحله اکتشاف عمومی و تفصیلی

در این مرحله اکتشاف مواد اولیه در محدوده‌هایی که در مرحله پی‌جویی مطالعه و برای ادامه عملیات معرفی شده است، انجام خواهد شد. وسعت محدوده مورد بررسی در این مرحله از ۱۰۰ هکتار تا حداکثر ۵۰۰ هکتار برای هر یک از محدوده‌ها است. مقیاس نقشه‌های تهیه شده در این مرحله ۱:۱۰۰۰ است. فهرست خدمات این مرحله از اکتشاف به صورت زیر توصیه می‌شود:

۴-۶-۱- جمع‌آوری داده‌ها و مطالعات دفتری

- الف- تهیه کلیه اسناد و مدارک فنی، نتایج مطالعات انجام شده در مرحله مطالعات شناسایی و پی‌جویی، آشنایی با اهداف پروژه، بررسی و مطالعه اسناد مذکور به منظور برنامه‌ریزی صحرایی
- ب- بررسی داده‌های اولیه موجود از حفاریات اکتشافی در مرحله شناسایی و پی‌جویی شامل مختصات، نتایج عیارسنجی عناصر و ترکیبات به عنوان مبنای تعبیر و تفسیرهای بعدی
- پ- بررسی‌های آماری و زمین آماری بر روی اطلاعات حاصل از حفاریات اکتشافی قبلی و دیگر نمونه‌های تهیه شده از ذخایر مورد بررسی برای انجام بلوک‌بندی برای طراحی شبکه حفاری عمقی
- ت- تهیه طرح حفاری به روش پودری

۴-۶-۲- برداشت‌های صحرائی

الف- تهیه نقشه توپوگرافی به مقیاس ۱:۱۰۰۰ از منطقه به روش برداشت مستقیم زمینی و با استفاده از دوربین نقشه‌برداری
ب- تهیه نقشه زمین‌شناسی با مقیاس ۱:۱۰۰۰ از منطقه به روش برداشت مستقیم زمینی (با استفاده از دوربین نقشه‌برداری)
که در برگرفته موارد زیر باشد (بر اساس نشریه تدوین و دستورالعمل تهیه نقشه‌های زمین‌شناسی - معدنی بزرگ مقیاس):

- تعیین مرز و همبری سازندها و واحدهای رخنمون‌دار در منطقه مطالعاتی
- تعیین خصوصیات چینه‌شناسی و سن نسبی کلیه سازندها و واحدها
- بررسی تغییرات لیتولوژیکی در هر یک از واحدهای سنگی
- اندازه‌گیری ضخامت، شیب و امتداد واحدها
- برداشت و اندازه‌گیری روند کلی گسل‌های موجود
- برداشت ویژگی‌های چین‌ها و نحوه چین‌خوردگی‌های موجود
- تعیین زون‌های ساختاری و ارتباط احتمالی آن‌ها با تغییر کیفیت کانسار با در نظر گرفتن فرآیندهای دگرسانی نظیر سیلیسی شدن، آرژیلیتی شدن، دولومیتی شدن و نظایر آن‌ها

پ- پیاده کردن موقعیت گمانه‌ها یا ترانسه‌های پیشنهادی بر روی زمین با استفاده از GPS

ت- اجرای حفاریات اکتشافی و به دست آوردن مغزه‌های مورد نظر از گمانه‌ها در جهت عمود بر گسترش ماده معدنی به فواصل ۲۰۰ متر تا ۴۰۰ متر و منطبق بر نیمرخ‌های اکتشافی (عمق گمانه‌ها متناسب با ضخامت واحد معدنی، توپوگرافی رخنمون‌ها و با حداقل عمق ۵۰ متر)

ث- برداشت واحدهای سنگی^۱، RQD، گسل‌ها، درزه‌ها و پرشدگی ثانویه آن‌ها و تهیه نمودار کامل گمانه‌ها

ج- نمونه‌برداری از مغزه‌های اکتشافی به روش دو نیم کردن با توجه به تغییرات لیتولوژی و کدگذاری آن‌ها حداقل هر ۵ متر یک نمونه (در هنگام مشاهده تغییرات خاص نمونه‌برداری اضافی لازم است). در حفاری پودری در شرایطی که امکان حفاری مغزه‌گیری وجود ندارد از هر ۳ متر یک نمونه معرف برداشت شود.

چ- نمونه‌برداری برای انجام آزمون‌های پیشاهنگ و صنعتی شامل آزمون‌های قابلیت پخت مواد و قابلیت خردایش مواد

ح- نمونه‌برداری از مغزه‌های حفاری برای تعیین ویژگی‌های فیزیکی و ژئومکانیکی سنگ

خ- مستندسازی پدیده‌های زمین‌شناسی و ساختاری

۴-۶-۳- تجزیه شیمیایی نمونه‌ها

الف- تجزیه شیمیایی نمونه‌ها برای عناصر و ترکیبات SiO_2 ، Al_2O_3 ، FeO ، CaO ، MgO ، K_2O ، Na_2O ، SO_3 ، Cl و

L.O.I

ب- بررسی صحت و دقت تجزیه‌های شیمیایی با استفاده از نمونه‌های کنترلی

۴-۶-۴- تلفیق و پردازش داده‌ها

- الف- رقوم‌سازی کلیه اطلاعات موجود برای تهیه مدل زمین‌شناسی بر اساس داده‌های حاصل از برداشت‌های صحرائی، نمودار گمانه‌ها و سایر حفاریات اکتشافی
- ب- ترسیم مقاطع افقی و قائم زمین‌شناسی
- پ- تخمین ذخیره به روش‌های کلاسیک و زمین‌آماری
- رسم منحنی‌های هم‌عیار برای کلیه عناصر و ترکیبات SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , MgO و مدول‌های MS , MA و $L.S.F$
- ت- انجام محاسبات سیمان‌سازی، تعیین مدول‌های مورد نظر، فازهای کلینکر و تعیین درصد میزان اختلاط مواد هر یک از بلوک‌ها از ذخایر مختلف و همچنین میزان مواد تصحیح‌کننده مورد نیاز
- ث- انجام مطالعات ارزیابی زیست‌محیطی
- ج- انجام مطالعات پیش‌امکان‌سنجی یا امکان‌سنجی
- چ- تعبیر و تفسیر نهایی و جمع‌بندی کلیه اطلاعات صحرائی و دفتری و ارائه گزارش نهایی عمومی همراه با ارائه معیارهای تصمیم‌گیری و پیشنهادات برای طرح بهره‌برداری معدن

۴-۷-۷- تهیه گزارش مرحله اکتشاف عمومی و تفصیلی

سرفصل‌ها و زیر فصل‌های گزارش نهایی مواد اولیه سیمان به صورت زیر توصیه می‌شود:

۴-۷-۱- چکیده

شامل خلاصه‌ای از کلیه بررسی‌های انجام شده تا نتیجه‌گیری نهایی

۴-۷-۲- فهرست مطالب

الف- فهرست مطالب

ب- فهرست شکل‌ها

پ- فهرست جداول

۴-۷-۳- مقدمه

شامل هدف از انجام پروژه و چگونگی انجام عملیات اکتشافی، نمونه‌برداری‌ها و آزمایش‌ها

۴-۷-۴- کلیات

الف- موقعیت جغرافیایی و راه‌های دسترسی

ب- وضعیت کلی آب و هوا و ریخت‌شناسی

پ- کارهای انجام شده قبلی در ارتباط با مواد اولیه مورد نیاز در صنعت سیمان شامل معادن سنگ آهک، مارن، آبرفت، گچ و پوزولان

۴-۷-۵- زمین‌شناسی

الف- شرح کامل زمین‌شناسی ناحیه‌ای

ب- شرح کامل زمین‌شناسی محدوده مورد بررسی شامل چینه‌شناسی، سنگ‌شناسی و کانی‌شناسی، گسل‌های اصلی و فرعی، درزه‌نگاری و چین‌خوردگی‌ها

۴-۷-۶- حفاریات اکتشافی و نمونه‌برداری

الف- فعالیت‌های زیرساختی انجام شده شامل جاده‌سازی، برق‌رسانی، مخبرات و نظایر آن‌ها

ب- مشخصات حفاریات شامل گمانه‌های مغزه‌گیری، پودری و یا ترانشه‌ها

پ- شرح کامل گمانه‌های اکتشافی، روش نمونه‌برداری، تهیه نمودار کامل گمانه‌ها و ترسیم نیمرخ اکتشافی و نمودار کامل گمانه‌ها

ت- بررسی تغییرات عیاری کلیه عناصر و ترکیبات به ویژه عناصر اصلی و مضر در محاسبات سیمان‌سازی شامل MgO، CaO، Fe₂O₃، AL₂O₃ و SiO₂ و ارایه مدل فضایی مدول‌های MS، MA، L.S.F و بلوک‌بندی ذخایر مختلف

ث- درزه‌نگاری و ویژگی‌های فیزیکی و ژئومکانیکی سنگ بر روی مغزه‌ها

۴-۷-۷- محاسبات سیمان‌سازی

الف- شرح کامل روش به کار گرفته شده در محاسبات مدول‌ها و فازها و دیگر موارد مورد نیاز در این محاسبات

ب- بررسی امکان تهیه سیمان‌های مختلف با توجه به مواد اولیه موجود و نسبت اختلاط بلوک‌های ذخایر برای به دست آوردن انواع تیپ‌های سیمان

پ- درصد مورد نیاز مواد افزودنی، تصحیح‌کننده و محل تامین آن‌ها

۴-۷-۸- تخمین ذخایر و منابع

۴-۷-۹- نتیجه‌گیری و پیشنهادات

الف- تلفیق کلیه بررسی‌های انجام شده، تعبیر و تفسیر نهایی نتایج

ب- نتیجه‌گیری

پ- پیشنهاد برای تجهیز و بهره‌برداری

۴-۷-۱۰- فهرست منابع

۴-۷-۱۱- پیوست‌ها

الف- نتایج تجزیه شیمیایی نمونه‌های برداشت شده ۱۰ اکسید کلیدی

ب- نتایج نمونه‌های تجزیه شیمیایی به روش پراش اشعه ایکس

پ- نتایج مطالعات آزمون‌های فیزیکی و ژئومکانیکی

ت- نقشه‌ها و نیمرخ‌های زمین‌شناسی

ث- نتیجه آزمون‌های تکنولوژیکی

چک‌لیست شرح، نوع و مقیاس عملیات در مرحله مطالعات تفصیلی مواد اولیه سیمان در جدول ۴-۳ ارائه شده است.

جدول ۴-۳- چک‌لیست فهرست خدمات اکتشاف مواد اولیه سیمان در مرحله مطالعات تفصیلی

| شرح عملیات | مقیاس | نوع عملیات |
|---|----------------------------|--|
| جمع‌آوری اطلاعات، شامل کلیه نقشه‌های توپوگرافی، زمین‌شناسی، جغرافیایی، گزارش‌های مرحله شناسایی و مرحله تفصیلی | ۱:۱۰۰۰ و ۱:۲۵۰۰۰ و ۱:۵۰۰۰۰ | - بررسی سازندهای آهکی، کنگلومرایی و آبرفتی - بررسی راه‌های ارتباطی و مراکز جمعیتی - بررسی مسایل زیربنایی آب، برق و نظایر آن‌ها |
| مطالعه مستندات جمع‌آوری شده و تعیین محدوده‌های مورد نظر برای تهیه نقشه توپوگرافی و زمین‌شناسی | ۱:۱۰۰۰ و ۱:۲۵۰۰۰ | - تهیه کلیه اسناد و مدارک فنی، نتایج مطالعات انجام شده در مرحله مطالعات شناسایی و پی‌جویی، آشنایی با اهداف پروژه، بررسی و مطالعه اسناد مذکور به منظور برنامه‌ریزی صحرایی - بررسی داده‌های اولیه موجود از حفاریات اکتشافی در مرحله شناسایی و پی‌جویی شامل مختصات، نتایج عیارسنجی عناصر و ترکیبات به عنوان مبنای تعبیر و تفسیرهای بعدی - بررسی‌های آماری و زمین آماری بر روی اطلاعات حاصل از حفاریات اکتشافی قبلی و دیگر نمونه‌های تهیه شده از ذخایر مورد بررسی برای انجام بلوک‌بندی برای طراحی شبکه حفاری عمقی - تهیه طرح حفاری به روش پودری |
| برداشت‌های صحرایی و نمونه‌برداری | ۱:۱۰۰۰ و ۱:۲۵۰۰۰ | - تهیه نقشه توپوگرافی به روش برداشت مستقیم صحرایی - برداشت صحرایی نقشه زمین‌شناسی به روش مستقیم - پیاده کردن محل گمانه و یا ترانسه‌های اکتشافی - حفر گمانه‌های اکتشافی و برش مغزه - در حفاری پودری از هر ۳ متر یک نمونه معرف برداشت می‌شود. - نمونه‌برداری‌های شیمیایی و فیزیکی - برداشت نمونه آزمون‌های صنعتی و یا پیشاهنگ |
| تجزیه شیمیایی نمونه‌ها | | - تعیین درصد عناصر ترکیبات زیر: MgO, CaO, FeO, Al ₂ O ₃ , SiO ₂ , SO ₃ , CL, K ₂ O, Na ₂ O, L.O.I - تعیین ویژگی‌های فیزیکی شامل وزن مخصوص و نظایر آن‌ها |
| تعیین و تفسیر نتایج تجزیه شیمیایی نمونه‌ها و انجام محاسبات سیمان‌سازی | | - بلوک‌بندی کانسار و تعیین عناصر مفید و مضر و مدول‌ها و فازهای کلینکر و درصد مورد نیاز مواد اولیه - معرفی مواد تصحیح‌کننده و افزودنی با توجه به محاسبات سیمان‌سازی برای استحصال تیپ‌های مختلف سیمان |
| تعیین ذخیره هر یک از مواد اولیه | | - ذخیره قطعی و محاسبات سالیانه با توجه به درصد مورد استفاده هر یک از ذخایر |

ادامه جدول ۴-۳- چک لیست فهرست خدمات اکتشاف مواد اولیه سیمان در مرحله مطالعات تفصیلی

| شرح عملیات | مقیاس | نوع عملیات |
|---|-------|--|
| جمع‌بندی و تلفیق کلیه اطلاعات صحرائی، دفتری و سیمان‌سازی و معرفی چگونگی بهره‌برداری به صورت اولیه | | - نتیجه‌گیری و پیشنهادات پس از جمع‌بندی کلیه اطلاعات از شروع پروژه تا کنون |
| تهیه و تنظیم گزارش نهایی مرحله مطالعات تفصیلی همراه با نتیجه‌گیری و پیشنهادات | | - مجلد کردن گزارش مرحله تفصیلی |

فصل ۵

توصیف سیمان‌های سفید،

پوزولانی و شرح مختصری بر آنها

۵-۱- آشنایی

بر اساس استاندارد ملی ایران به شماره ۲۹۳۱، سیمان پرتلند سفید از آسیاب کردن کلینکر سیمان سفید با نسبت معینی سنگ گچ طبیعی ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) حاصل می‌شود.

این نوع سیمان با مشخصات سیمان پرتلند نوع ۱ و ۲ مطابقت دارد. رنگ تیره سیمان به دلیل وجود سولفات آهن و سولفات منیزیم در سیمان است. همچنین دوده ناشی از سوخت نیز ممکن است باعث تیرگی رنگ سیمان شود. پس برای سفید شدن سیمان باید سولفات آهن و منیزیم از سیمان حذف شود. به همین دلیل برای تولید سیمان سفید از خاک رسی که میزان سولفات آهن و منیزیم آن کمتر از ۰/۸ درصد است، استفاده می‌شود (کائولن مرغوب) و برای جبران همین مقدار اندک سولفات آهن و منیزیم، مقداری نشادر اضافه می‌شود. از طرفی سوخت کوره به نحوی انتخاب می‌شود که دوده تولید نکند (استفاده از گاز طبیعی). برای استفاده در سطح ساختمان‌ها و مواقعی که استفاده از سیمان‌های بدون رنگ با مقاومت‌های بالا مورد نیاز باشد، از این سیمان استفاده می‌شود. همچنین در تولید انواع سیمان‌های رنگی نیز قابل استفاده است.

برای تولید سیمان سفید علاوه بر سنگ آهک خالص که مقدار اکسیدهای آهن آن پایین‌تر از ۰/۳۰ درصد است برای تامین سیلیکات‌های آلومینیم کلینکر از کائولن و یا پیروفیلیت که مقدار سولفات آهن و منیزیم آن پایین‌تر از ۰/۲ درصد است استفاده می‌شود. هر چه مقدار اکسیدهای آهن خوراک کوره کمتر باشد کلینکر حاصل نیز سفیدی بیشتری خواهد داشت. در جدول (۵-۱) نمونه‌ای شاخص از تجزیه شیمیایی سنگ آهک و کائولن مورد استفاده در تهیه خوراک کوره برای تولید سیمان سفید ارائه شده است. در تجزیه شیمیایی کلیه مواد معدنی مورد نیاز در صنعت سیمان سفید اندازه‌گیری اکسیدهای کروم، تیتان و منگنز در حد چند نمونه کاملاً ضروری است. حداکثر درصد مجاز این عناصر عبارتند از:

$$\text{MnO}_2 = 0.04\%$$

$$\text{TiO}_2 = 0.04\%$$

$$\text{Cr}_2\text{O}_3 = 35 \text{ ppm}$$

جدول ۵-۱- ترکیب شیمیایی کائولن و سنگ آهک شاخص (بر حسب درصد) در تهیه خوراک کوره سیمان سفید

| نوع مواد اولیه | L.O.I | Mn ₂ O ₃ | TiO ₂ | Cl | SO ₃ | Na ₂ O | K ₂ O | MgO | CaO | Fe ₂ O ₃ | Al ₂ O ₃ | SiO ₂ |
|----------------|-------|--------------------------------|------------------|-------|-----------------|-------------------|------------------|------|-------|--------------------------------|--------------------------------|------------------|
| کائولن | ۴/۸۱ | ۰ | ۰/۴۸ | ۰ | ۰/۰۱ | ۰/۱۲ | | ۰/۰۱ | ۰/۲۱ | ۰/۱۹ | ۲۲/۱۸ | ۷۰/۸۰ |
| سنگ آهک | ۴۲/۶ | ۰/۰۱ | ۰ | ۰/۰۰۷ | ۰/۱ | ۰/۰۳۶ | ۰/۰۳۷ | ۰/۱۹ | ۵۴/۲۲ | ۰/۱۵ | ۰/۲۳ | ۱/۸۶ |

۵-۱-۱- استاندارد ملی شماره ۲۹۳۱، ویژگی‌ها و روش‌های آزمون سیمان پرتلند سفید (چاپ اول)

الف- ویژگی شیمیایی سیمان پرتلند سفید

- نمونه طبق استاندارد مورد آزمایش قرار می‌گیرد.

- تری کلسیم آلومینات به کمک فرمول زیر محاسبه می‌شود:

$$C_3A = 2.605 \times \%Al_2O_3 - 1.691 \times \%Fe_2O_3$$

- درجه سفیدی سیمان بر اساس سنجش با دستگاه انعکاس تعیین می‌شود.

ب- ویژگی فیزیکی سیمان پرتلند سفید

نمونه طبق استاندارد مورد آزمایش قرار می‌گیرد و نتایج حاصل باید با جدول ۵-۲ مطابقت داشته باشد.

جدول ۵-۲- مشخصات فیزیکی سیمان سفید پرتلند

| شرح آزمایش | شرح آزمایش | حد قابل قبول |
|---|--|--------------|
| درجه سفیدی | حداقل | ۷۵ |
| نرمی | سطح مخصوص بر حسب سانتی متر مربع بر گرم به وسیله بلین | ۳۰۰۰ |
| انبساط بر حسب میلی متر به وسیله اتوکلاو | | ۰٫۸ |
| زمان گیرش به وسیله سوزن ویکا | ابتدایی به دقیقه (حداقل) | ۴۵ |
| | نهایی به ساعت (حداکثر) | ۸ |
| مقاومت فشاری به کیلوگرم بر سانتی متر مربع (حداقل) | ۲ روز زیر آب | ۱۱۰ |
| | ۶ روز زیر آب | ۱۷۵ |
| | ۲۷ روز زیر آب | ۳۱۵ |
| مقاومت خمشی به کیلوگرم بر سانتی متر مربع (حداقل) | ۲ روز زیر آب | ۲۰ |
| | ۶ روز زیر آب | ۳۰ |
| | ۲۷ روز زیر آب | ۶۰ |

۵-۲- سیمان پرتلند - پوزولانی^۱

بر اساس تعریف استاندارد ملی ایران به شماره ۳۴۳۲، سیمان پرتلند پوزولانی مخلوطی است از حداکثر ۱۵ درصد پوزولان طبیعی و دست کم ۸۵ درصد کلینکر سیمان پرتلند با نرمی مشخص که در مجاورت آب به صورت جسم چسبنده‌ای در کارهای ساختمانی مصرف می‌شود. این سیمان با نشانه (پ-پ) عرضه می‌شود. از این نوع سیمان در ساختمان‌های بتنی معمولی و بیشتر در مواردی که مقاومت متوسط در مقابل سولفات‌ها و حرارت هیدراتاسیون متوسط مورد نظر باشد، استفاده می‌شود. در سیمان‌های پوزولانی ویژه ماده پوزولانی بین ۱۵ تا ۴۰ درصد وزنی سیمان پرتلند پوزولانی را تشکیل می‌دهد. از سیمان پوزولانی ویژه در ساخت سدها و بنادر و مناطقی که حمله سولفات‌ها به شدت انجام می‌گیرد، استفاده می‌شود. از خواص بسیار خوب آن نفوذناپذیری و افزایش مقاومت حاصل با افزایش سن بتن است. سیمان‌های پرتلند پوزولانی دارای خواص ویژه هستند که این ویژگی‌ها خطر تهاجم مواد خورنده گوناگون به بافت بتن را به شدت کاهش می‌دهد. مزایای استفاده از سیمان پرتلند پوزولانی در مقایسه با سیمان پرتلند عبارتند از:

1- (P.P.Cement)

- کاهش نفوذپذیری
 - کاهش حرارت هیدراتاسیون
 - کاهش انبساط ناشی از واکنش قلیایی و سیلیس سنگ‌دانه
 - مقاومت شیمیایی بالا در مقابل کلروسولفات
- پوزولانی که در هنگام آسیاب کلینکر برای تولید سیمان پوزولانی مورد استفاده قرار می‌گیرد باید ترکیبی نزدیک به ترکیب کلینکر داشته باشد.

۵-۲-۱- استاندارد شماره ۳۴۳۲، ویژگی‌های سیمان پرتلند پوزولانی (چاپ اول)

الف- ویژگی‌های شیمیایی سیمان پرتلند پوزولانی
ویژگی‌های شیمیایی سیمان پرتلند پوزولانی باید با مندرجات جدول ۳-۵ مطابقت داشته باشد.

جدول ۳-۵- ویژگی‌های شیمیایی سیمان پرتلند پوزولانی (پ-پ)

| روش آزمون | حداکثر درصد وزنی | ترکیب | ردیف |
|---------------------------------------|------------------|-------------------------------|------|
| طبق استاندارد ملی ایران شماره ۱۶۹۲ | ۵ | اکسید منیزیم (MgO) | ۱ |
| | ۴ | سولفیت (SO_3^{2-}) | ۲ |
| | ۵ | افت حرارتی | ۳ |
| | ۰٫۱ | کلراید (Cl) | ۴ |

یادآوری: میزان باقی‌مانده نامحلول در اسید و نیز میزان قلیایی‌های محلول در آب برای سیمان پرتلند پوزولانی "پ-پ" محدودیتی ندارد.

ب- ویژگی‌های فیزیکی سیمان پرتلند پوزولانی "پ-پ"

ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی سیمان پرتلند پوزولانی باید با مندرجات جدول ۴-۵ و توصیه‌های جدول ۵-۵ این نشریه مطابقت داشته باشد.

جدول ۴-۵- ویژگی‌های فیزیکی سیمان پرتلند پوزولانی "پ-پ"

| روش آزمون (استاندارد ملی) | میزان | ویژگی |
|---------------------------|-------|--|
| ۳۹۰ | ۳۰۰۰ | نرمی: حداقل سطح مخصوص بر حسب سانتی‌متر مربع بر گرم |
| ۳۹۱ | ۰٫۵ | حداکثر درصد انبساط با آزمون اتوکلاو |
| ۳۹۱ | ۰٫۲ | حداکثر درصد انقباض با آزمون اتوکلاو |

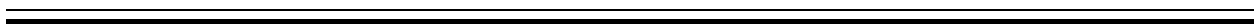
ادامه جدول ۵-۴- ویژگی‌های فیزیکی سیمان پرتلند پوزولانی "پ-پ"

| ویژگی | میزان | روش آزمون (استاندارد ملی) |
|---|-------|---------------------------|
| زمان گیرش با آزمون ویکات | ۶۰ | ۳۹۲ |
| | ۷ | ۳۹۲ |
| حداقل مقاومت فشاری کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع | ۱۰۰ | ۳۹۳ |
| | ۱۷۵ | ۳۹۳ |
| | ۳۱۵ | ۳۹۳ |

جدول ۵-۵- ویژگی‌های فیزیکی اختیاری سیمان پرتلند پوزولانی "پ-پ"

| ویژگی | میزان | روش آزمون (استاندارد ملی) |
|--|-------|---------------------------|
| حداکثر حرارت هیدراتاسیون (کالری بر گرم) | ۷۰ | ۳۹۴ |
| | ۸۰ | ۳۹۴ |

پیوست



جدول ۱- سازندهای دوران مزوزویک که قابلیت استفاده به عنوان مواد اولیه سیمان را دارند.

| دوره | زاگرس | | | ایران مرکزی | | | البرز | | | کپه داغ | | | سندج- سیرجان |
|---------------|---------------|------|-----|---|--------------|-----|---|---|---------------|---------|------|---------------------|--------------|
| | سنگ آهک | مارن | شیل | سنگ آهک | مارن | شیل | سنگ آهک | مارن | شیل | سنگ آهک | مارن | شیل | |
| کرتاسه فوقانی | سازند گوربی | | | سازندهای کرتاسه در مناطق کرمان، اصفهان، نائین خور و بیابانک آذربایجان، گلپایگان، تفرش و همدان | | | سازندهای کرتاسه فوقانی البرز | رسوبات آهکی- مارنی و مارنی- شیلی در البرز به ویژه در البرز غربی و آذربایجان (بستان آباد- خلخال و زنجان) | سازند آب دراز | | | سنگ‌های آهکی کرتاسه | |
| | سازند ایلام | | | | سازند سرچشمه | | | | | | | | |
| | سازند سروک | | | | | | | | | | | | |
| | سازند کزدمی | | | | | | | | | | | | |
| کرتاسه زیرین | سازند داریان | | | سازند تیز کوه | | | سازند آهکی لار | | | | | | |
| | سازند فهلپیان | | | | | | | | سازند تیرگان | | | | |
| ژوراسیک | | | | سنگ آهک اسفندیار | | | شیل‌ها و مارن‌های شیلی ژوراسیک در مناطق خورو و بیابانک اصفهان، گلپایگان و همدان | | | | | | |
| | | | | | | | | | سازند مزدوران | | | | |
| تریاس | | | | سازند نایبند | | | | | | | | | |
| | | | | سازند نایبند | | | | سازند چمن‌بید | | | | | |



جدول ۲- سازندهای دوران سنوزویک که قابلیت استفاده به عنوان مواد اولیه سیمان را دارند.

| دوره | دور | زاگرس | | | ایران مرکزی | | | البرز | | | کپه داغ | | | سنندج-سیرجان | | | شرق ایران | | |
|---------|--|-------------|------------|-----------|-------------|------|-----|---------|------|-----|---------|------|-----|--------------|------|-----|-----------|------|-----|
| | | سنگ آهک | مارن | شیل | سنگ آهک | مارن | شیل | سنگ آهک | مارن | شیل | سنگ آهک | مارن | شیل | سنگ آهک | مارن | شیل | سنگ آهک | مارن | شیل |
| چهارمین | هلوسن | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | پایشستوسن | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| پنجمین | پلیوسن | کتگلومرای | کتگلومرای | کتگلومرای | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | بختیاری | بختیاری | بختیاری | | | | | | | | | | | | | | | |
| | میوسن | بختیاری | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | سازند میشان | سازند گوری | | | | | | | | | | | | | | | | |
| یگوسن | سازند آسماری | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | سازند آهکی قم | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ششمین | ایگوسن | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | بخش بدون گچ مارن‌های سازند قرمز فوقانی | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | بخش بدون گچ مارن‌های سازند قرمز فوقانی | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| هفتمین | انوسن | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | سازند پایده | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| هشتمین | پالتوسن | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | بخش آهکی سازند زیارت | | | | | | | | | | | | | | | | | | |



عناوین پروژه‌های اکتشاف بر نامه تهیه ضوابط و معیارهای معدن

| ردیف | عنوان پروژه | وضعیت |
|------|--|---|
| ۱ | تعاریف و مفاهیم در فعالیت‌های اکتشافی | نشریه شماره ۳۲۸ معاونت برنامه ریزی و نظارت راهبردی ریاست جمهوری |
| ۲ | فهرست خدمات مراحل مختلف اکتشاف زغال سنگ | نشریه شماره ۳۵۱ معاونت برنامه ریزی و نظارت راهبردی ریاست جمهوری |
| ۳ | دستورالعمل رده‌بندی ذخایر معدنی | نشریه شماره ۳۷۹ معاونت برنامه ریزی و نظارت راهبردی ریاست جمهوری |
| ۴ | راهنمای ملاحظات زیست‌محیطی در فعالیت‌های اکتشافی | نشریه شماره ۴۹۸ معاونت برنامه ریزی و نظارت راهبردی ریاست جمهوری |
| ۵ | فهرست خدمات مراحل چهارگانه اکتشاف سنگ آهن | نشریه شماره ۵۲۶ معاونت برنامه ریزی و نظارت راهبردی ریاست جمهوری |
| ۶ | دستورالعمل تهیه نقشه‌های زمین‌شناسی - اکتشافی بزرگ مقیاس رقومی (۱:۲۵۰۰۰) | نشریه شماره ۵۳۲ معاونت برنامه ریزی و نظارت راهبردی ریاست جمهوری |
| ۷ | علائم استاندارد نقشه‌های زمین‌شناسی | نشریه شماره ۵۳۹ معاونت برنامه ریزی و نظارت راهبردی ریاست جمهوری |
| ۸ | دستورالعمل اکتشاف ژئوشیمیایی بزرگ مقیاس رسوبات آبراهه‌ای (۱:۲۵۰۰۰) | نشریه شماره ۵۴۰ معاونت برنامه ریزی و نظارت راهبردی ریاست جمهوری |
| ۹ | فهرست خدمات مراحل چهارگانه اکتشاف مس | نشریه شماره ۵۴۱ معاونت برنامه ریزی و نظارت راهبردی ریاست جمهوری |
| ۱۰ | فهرست خدمات اکتشافی سنگ‌ها و کانی‌های صنعتی (باریت، بتونیت، زئولیت، سلسنتین، سیلیس، فلدسپار، فلورین) | نشریه شماره ۵۶۶ معاونت برنامه ریزی و نظارت راهبردی ریاست جمهوری |
| ۱۱ | فهرست خدمات مراحل چهارگانه اکتشاف مس سرب و روی | نشریه شماره ۵۸۱ معاونت برنامه ریزی و نظارت راهبردی ریاست جمهوری |
| ۱۲ | راهنمای مطالعات ژئوفیزیکی اکتشافی به روش‌های مغناطیس‌سنجی، گرانی‌سنجی و لرزه‌نگاری در اکتشافات معدنی | نشریه شماره ۵۹۴ معاونت برنامه ریزی و نظارت راهبردی ریاست جمهوری |
| ۱۳ | فهرست خدمات مراحل چهارگانه اکتشاف آنتیموان | نشریه شماره ۵۹۵ معاونت برنامه ریزی و نظارت راهبردی ریاست جمهوری |
| ۱۴ | فهرست خدمات مراحل مختلف اکتشاف سنگ‌ها و کانی‌های قیمتی و نیمه‌قیمتی | نشریه شماره ۵۹۹ معاونت برنامه ریزی و نظارت راهبردی ریاست جمهوری |
| ۱۵ | فهرست خدمات و راهنمای مطالعات دورسنجی در اکتشاف مواد معدنی | نشریه شماره ۶۱۵ معاونت برنامه ریزی و نظارت راهبردی ریاست جمهوری |
| ۱۶ | فهرست خدمات و دستورالعمل مراحل مختلف اکتشاف مواد اولیه سیمان | نشریه شماره ۶۱۷ معاونت برنامه ریزی و نظارت راهبردی ریاست جمهوری |
| ۱۷ | فهرست خدمات و دستورالعمل بررسی‌های چاه‌پیمایی | نشریه شماره ۶۱۸ معاونت برنامه ریزی و نظارت راهبردی ریاست جمهوری |
| ۱۸ | راهنمای مطالعات ژئوفیزیکی به روش‌های مقاومت ویژه، پلاریزاسیون القایی، الکترومغناطیسی و پتانسیل خودزا در اکتشاف مواد معدنی | نهایی |
| ۱۹ | شرح خدمات مراحل مختلف اکتشاف طلا | در دست تدوین |
| ۲۰ | فهرست خدمات و دستورالعمل مراحل مختلف اکتشاف تبخیری‌ها در شورابه‌ها و دریاچه‌ها | در دست تدوین |
| ۲۱ | دستورالعمل حفاری گمانه‌های اکتشافی به روش‌های مغزه‌گیری و پودری | در دست تدوین |
| ۲۲ | فهرست خدمات و دستورالعمل مراحل مختلف اکتشاف پتاس سنگی | در دست تدوین |
| ۲۳ | فهرست خدمات و دستورالعمل اکتشاف سنگ‌ها و کانی‌های صنعتی - بخش ۱ (نسوزها): خاک نسوز، منیزیت - هونتیت، بوکسیت، نسوزهای آلومینو سیلیکاته (کیانیت، سیلیمانیت و آندالوزیت)، گرافیت، دولومیت | در دست تدوین |
| ۲۴ | فهرست خدمات اکتشاف عناصر کمیاب (عناصر نادر خاکی) | در دست تدوین |
| ۲۵ | دستورالعمل مدلسازی و محاسبه ذخیره | در دست تدوین |
| ۲۶ | راهنمای تهیه گزارش پایانی عملیات اکتشافی | در دست تدوین |
| ۲۷ | ضوابط طراحی و دستورالعمل اجرای حفاریات اکتشافی سطحی | در دست تدوین |
| ۲۸ | دستورالعمل ارزشیابی و نظارت بر پروژه‌های اکتشافی در مراحل مختلف اکتشاف | در دست تدوین |
| ۲۹ | معیارها و دستورالعمل‌های طراحی شبکه تونل، چاه‌های اکتشافی در تپه‌های مختلف کانساری | در دست تدوین |
| ۳۰ | فهرست خدمات و دستورالعمل اکتشاف سنگ‌ها و کانی‌های صنعتی - بخش ۳ (پرلیت، دیاتومیت، ورمیکولیت و شیل‌های منبسط شونده) فهرست خدمات اکتشافی | در دست تدوین |
| ۳۱ | فهرست خدمات و دستورالعمل مراحل مختلف اکتشاف منابع قرصه (شن و ماسه کوهی، سنگ لاشه و ...) | در دست تدوین |
| ۳۲ | دستورالعمل فعالیت زمین‌شناسی استخراجی | در دست تدوین |

عناوین پروژه های کمیته استخراج برنامه تهیه ضوابط و معیارهای معدن

| ردیف | عنوان پروژه | وضعیت |
|------|---|---|
| ۱ | تعاریف و مفاهیم در فعالیت‌های استخراجی | نشریه شماره ۳۴۰ معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رییس‌جمهور |
| ۲ | مقررات تهویه در معدن | نشریه شماره ۳۵۰ معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رییس‌جمهور |
| ۳ | دستورالعمل امداد و نجات در معدن | نشریه شماره ۴۸۸ معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رییس‌جمهور |
| ۴ | راهنمای تهیه گزارش‌های طراحی معدن | نشریه شماره ۴۹۶ معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رییس‌جمهور |
| ۵ | راهنمای ارزشیابی دارایی‌های معدنی | نشریه شماره ۴۴۳ معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رییس‌جمهور |
| ۶ | دستورالعمل فنی روشنایی در معدن | نشریه شماره ۴۸۹ معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رییس‌جمهور |
| ۷ | دستورالعمل تهیه نقشه‌های استخراجی معدن | نشریه شماره ۴۴۲ معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رییس‌جمهور |
| ۸ | مقررات فنی آتشیاری در معدن | نشریه شماره ۴۱۰ معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رییس‌جمهور |
| ۹ | دستورالعمل ترابری در معدن | نشریه شماره ۵۰۶ معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رییس‌جمهور |
| ۱۰ | دستورالعمل تحلیل پایداری و پایدارسازی شیب‌ها در معدن روباز | نشریه شماره ۵۳۸ معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رییس‌جمهور |
| ۱۱ | دستورالعمل توزیع هوای فشرده در معدن | نشریه شماره ۵۳۱ معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رییس‌جمهور |
| ۱۲ | راهنمای محاسبه قیمت تمام شده در فعالیت‌های معدنی | نشریه شماره ۵۴۲ معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رییس‌جمهور |
| ۱۳ | دستورالعمل طراحی و اجرای سیستم نگهداری تونل‌های معدنی | نشریه شماره ۵۳۷ معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رییس‌جمهور |
| ۱۴ | دستورالعمل نگهداری و کنترل سقف در کارگاه‌های استخراج | نشریه شماره ۵۳۳ معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رییس‌جمهور |
| ۱۵ | راهنمای آبکشی در معدن | نشریه شماره ۵۷۳ معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رییس‌جمهور |
| ۱۶ | دستورالعمل طراحی هندسی بازکننده‌ها و حفاریات زیرزمینی | نشریه شماره ۵۷۹ معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رییس‌جمهور |
| ۱۷ | راهنمای ملاحظات زیست‌محیطی در فعالیت‌های استخراجی | نشریه شماره ۶۱۱ معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رییس‌جمهور |
| ۱۸ | راهنمای ارزیابی و کنترل پیامدهای ناشی از انفجار در معدن | نشریه شماره ۶۱۶ معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رییس‌جمهور |
| ۱۹ | راهنمای محاسبه بار و توزیع برق در معدن | نهایی |
| ۲۰ | دستورالعمل ارزیابی ایمنی، بهداشت و محیط زیست در معدن | نهایی |
| ۲۱ | دستورالعمل تعیین مرز تغییر روش استخراج از روباز به زیرزمینی | نهایی |
| ۲۲ | دستورالعمل طراحی و اجرای سیستم ابزاربندی و رفتارنگاری در معدن روباز | در دست تدوین |
| ۲۳ | ضوابط پر کردن فضاهای زیرزمینی | در دست تدوین |
| ۲۴ | راهنمای انتخاب روش استخراج ذخایر معدنی | در دست تدوین |
| ۲۵ | دستورالعمل کاربرد روش‌های عددی در طراحی ژئومکانیکی معدن | در دست تدوین |
| ۲۶ | دستورالعمل طراحی، احداث، کنترل و هدایت چاه‌های معدنی | در دست تدوین |
| ۲۷ | دستورالعمل طراحی‌های ژئومکانیکی حفاریات زیرزمینی | در دست تدوین |
| ۲۸ | دستورالعمل ارزیابی و کنترل نشست در معدن | در دست تدوین |
| ۲۹ | دستورالعمل اندازه‌گیری‌های ژئومکانیکی در معدن | در دست تدوین |
| ۳۰ | دستورالعمل بازرسی و تعمیر سیستم‌های نگهداری حفاریات معدنی | در دست تدوین |
| ۳۱ | علایم استاندارد نقشه‌های استخراجی مواد معدنی | در دست تدوین |
| ۳۲ | دستورالعمل تخریب در کارگاه‌های استخراج | در دست تدوین |
| ۳۳ | دستورالعمل رفتارنگاری و ابزاربندی در معدن زیرزمینی | در دست تدوین |
| ۳۴ | راهنمای جانمایی و احداث تاسیسات سطحی در معدن | در دست تدوین |
| ۳۵ | راهنمای طراحی و احداث شبکه‌های زیرزمینی | در دست تدوین |
| ۳۶ | راهنمای متره و برآورد در فعالیت‌های استخراج معدنی | در دست تدوین |

عناوین پروژه‌های فرآوری برنامه تهیه ضوابط و معیارهای معدن

| ردیف | عنوان پروژه | وضعیت |
|------|--|---|
| ۱ | تعاریف و مفاهیم در فعالیت‌های کانه‌آرایی | نشریه شماره ۴۴۱ معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی ریاست جمهوری |
| ۲ | فهرست خدمات طراحی پایه واحدهای کانه‌آرایی و فرآوری مواد معدنی | نشریه شماره ۴۹۷ معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی ریاست جمهوری |
| ۳ | راهنمای اکتشاف، استخراج و فرآوری سنگ‌های تزئینی و نما | نشریه شماره ۳۷۸ معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی ریاست جمهوری |
| ۴ | علایم استاندارد نقشه‌های کانه‌آرایی | نشریه شماره ۵۰۸ معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی ریاست جمهوری |
| ۵ | دستورالعمل مکان‌یابی واحدهای کانه‌آرایی و فرآوری | نشریه شماره ۵۱۵ معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی ریاست جمهوری |
| ۶ | ضوابط انجام آزمایش‌های کانه‌آرایی در مقیاس آزمایشگاهی، پایه و پیشاهنگ | نشریه شماره ۵۴۴ معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی ریاست جمهوری |
| ۷ | راهنمای محاسبه تعیین ظرفیت ماشین‌آلات و تجهیزات واحدهای کانه‌آرایی | نشریه شماره ۵۴۵ معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی ریاست جمهوری |
| ۸ | راهنمای انباشت مواد باطله در واحدهای کانه‌آرایی و فرآوری | نشریه شماره ۵۵۹ معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی ریاست جمهوری |
| ۹ | راهنمای حمل و نقل مواد معدنی در مدارهای کانه‌آرایی | نشریه شماره ۵۶۴ معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی ریاست جمهوری |
| ۱۰ | شناسایی مواد معدنی و آزادسازی آن‌ها در کانه‌آرایی | نشریه شماره ۵۶۵ معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی ریاست جمهوری |
| ۱۱ | راهنمای سنگ‌جوری مواد معدنی به روش‌های دستی یا خودکار | نشریه شماره ۵۵۴ معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی ریاست جمهوری |
| ۱۲ | ضوابط و معیارهای انتخاب آسیای خودشکن و نیمه‌خودشکن | نشریه شماره ۵۸۰ معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی ریاست جمهوری |
| ۱۳ | فهرست خدمات مهندسی تفصیلی واحدهای کانه‌آرایی | در دست تدوین |
| ۱۴ | دستورالعمل دانه‌بندی مواد معدنی | در دست تدوین |
| ۱۵ | راهنمای تعیین اندیس خردایش در آسیاهای مختلف | در دست تدوین |
| ۱۶ | دستورالعمل خردایش مواد معدنی | در دست تدوین |
| ۱۷ | معیارهای افزایش مقیاس (Scale up) واحدهای فرآوری | در دست تدوین |
| ۱۸ | راهنمای پذیرش و انبار نمونه در مقیاس آزمایشگاهی فرآوری مواد معدنی | در دست تدوین |
| ۱۹ | ضوابط و معیارهای قیمت‌گذاری خدمات آزمایشگاهی در فرآوری مواد معدنی | در دست تدوین |
| ۲۰ | دستورالعمل دفع آرسنیک، ترکیبات سولفیدی و سیانید در واحدهای فرآوری مواد معدنی در مقیاس آزمایشگاهی | در دست تدوین |
| ۲۱ | دستورالعمل نمونه‌برداری در مقیاس‌های مختلف کانه‌آرایی | در دست تدوین |
| ۲۲ | معیارهای فنی کنترل بار ورودی، مواد در حال کانه‌آرایی و محصولات تولیدی در واحدهای کانه‌آرایی | در دست تدوین |
| ۲۳ | دستورالعمل ایمنی در واحدهای کانه‌آرایی | در دست تدوین |
| ۲۴ | ضوابط و معیارهای آماده‌سازی نمونه‌ها در فرآوری مواد معدنی | در دست تدوین |
| ۲۵ | راهنمای فنی کنترل و پایش تجهیزات فرآوری | در دست تدوین |
| ۲۶ | راهنمای آماده‌سازی نمونه‌ها در آزمایشگاه‌های کانه‌آرایی | در دست تدوین |
| ۲۷ | راهنمای پذیرش و انبار نمونه در مقیاس آزمایشگاهی فرآوری مواد معدنی | در دست تدوین |
| ۲۸ | دستورالعمل جدایش ثقلی مواد معدنی در مقیاس آزمایشگاهی | در دست تدوین |
| ۲۹ | راهنمای تهیه فهرست اسناد مناقصه پروژه‌های معدنی (فارسی-انگلیسی) | در دست تدوین |
| ۳۰ | راهنمای تهیه نرم‌افزار تعیین قیمت خدمات آزمایشگاهی | در دست تدوین |

Islamic Republic of Iran
Ministry of Industry, Mine and Trade

Mining Technical Criteria Benchmarking Program

List of Services and Instructions for Cement Raw Material Exploration

(Publication No. **617**)
of
(Vice Presidency of Strategic Planning and Supervision)



Ministry of Industry, Mine and Trade
Deputy of Mine Affairs and Mineral Industries
<http://www.mimt.gov.ir>

Published by
Iranian Mining Engineering Organization
<http://www.ime.org.ir>

2013

این نشریه

فهرست خدمات و معیارهای لازم برای شناخت و اکتشاف مواد اولیه سیمان را بر حسب مراحل چهارگانه اکتشافی با هدف ارزیابی دستورالعمل جامع و یکسان‌سازی و کاهش ریسک عملیات اکتشافی ارزیابی می‌کند. ساختار و عناوین مورد نیاز برای تهیه گزارش‌های مراحل مختلف مطالعات اکتشافی ذخایر مواد اولیه سیمان از دیگر موارد مندرج در این نشریه است.