



سیمان‌ها جدید و آمیخته

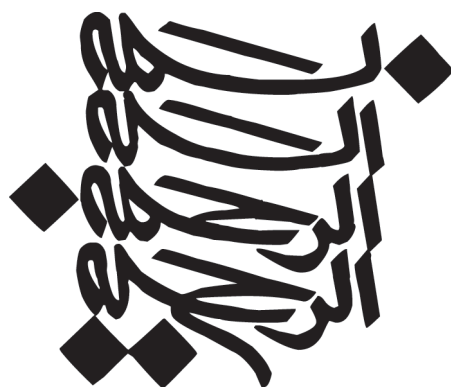
گردآورنده: صمدصالحی

سیمانهای جدید و آمیخته • گردآورنده: صمدصالحی



نوبن ارائه 09122200601
www.novinerae.com
Email: info@ novinerae.com


شرکت ملی نفت ایران
شرکت بهینه سازی مصرف سوخت
روابط عمومی و فرهنگ سازی
www.ifco.ir
اسفند ۸۸



سیمانهای جدید و آمیخته

گردآورنده: مهندس صمد صالحی



شرکت ملی نفت ایران
شرکت بهیمنه سازی مصرف سوخت
روابط عمومی و فرهنگ سازی

www.ifco.ir

سال ۱۳۸۸

بنام هستی بخش گیتی

این کتاب با همکاری مهندس احمد گلبهاری برگرفته از بخش سوم پروژه "بررسی اثر تولید یکپارچه سیمان و بتن بر کاهش مصرف انرژی صنعت سیمان (فصل سوم : بررسی نقش سیمان های جدید و آمیخته)" گردآوری شده است.

در پروژه مذکور کارفرما شرکت بهینه سازی مصرف سوخت بوده و همچنین شرکت تحقیق و توسعه صنعت سیمان مجری آن بوده است.

قدردانی

امکانات چاپ و انتشار کتاب حاضر با همکاری شرکت بهینه سازی مصرف سوخت و شرکت تحقیق و توسعه صنعت سیمان فراهم آمده است، که موجب کمال تشکر است. در این رابطه بویژه از همکاری های بسیار ارزنده مهندس امید شاکری، مهندس قاسم عرب و مهندس علیرضا مرادی که از مدیران و کارشناسان محترم شرکت بهینه سازی مصرف سوخت می باشند، صمیمانه سپاسگزارم.

در مراحل مختلف آماده سازی این کتاب، همکارانم در شرکت تحقیق و توسعه صنعت سیمان اینجانب را راهنمایی نموده اند، از راهنمایی های مهندس علی تدین، مهندس تقی معدن پیشه، مهندس فرهاد پور داود، مهندس بهنام احمدی و آقایان مجید معدنی، منوچهر اکبری و سرکارخانم شیوا اکبری نهایت تشکر را دارم.

در مرحله جمع آوری اطلاعات این کتاب از مشاوره کارشناسان و اساتید صنعت سیمان استفاده نموده ام، لذا مشاوره دکتر علی الله وردی، مهندس سیف الله گرجی، مهندس سعید محمودی و مهندس جاوید خطیبی موجب تشکر و قدردانی است.

از کلیه خوانندگان و متخصصین محترم که مطالب این مجموعه را از نظر می گذرانند، استدعا دارم لغزش ها و خطاهای موجود، که تعداد آنها نیز کم نمی باشد، گردآورنده را واقف سازند و در رفع نقایص راهنمای اینجانب شوند.

پیشگفتار

سیمان یکی از نیازهای مهم در امر توسعه به شمار می رود. بطوریکه بسیاری از فعالیت های زیر بنایی به میزان تولید آن بستگی دارد. در این میان کشورهای در حال توسعه با حجم بالای فعالیت های عمرانی نیاز بیشتری به توسعه این صنعت دارند. کشور ما نیز از این امر مستثنی نبوده و در امر توسعه این صنعت نیاز به یک اقدام ملی وجود دارد ، تا بتوان ضمن تنوع بخشیدن به محصولات تولیدی در جهت کاهش میزان انرژی مصرفی و کیفیت بهتر و آلودگی زیست محیطی کمتر کوشا باشیم. یکی از راه های عملی در این زمینه تولید سیمانهای جدید و آمیخته می باشد. از خواص بارز اینگونه سیمان ها دوام و پایداری آنها نسبت به سیمان معمولی است. علاوه بر آن در کاهش مصرف انرژی و میزان آلودگی محیط زیست و محصول ارزاتر و با کیفیت بالاتر بسیار مؤثر خواهد بود.

سیمان های جدید و آمیخته از افزودن مواد معدنی طبیعی یا مصنوعی و سایر ترکیبات به سیمان پرتلند حاصل می گردد. قسمت عمده این مواد، محصولات جانبی صنایع می باشند ، در صورتی که برای آنها مورد مصرف مناسبی یافت نشود، باید در محیط زیست دفع شوند. مصرف این مواد در تولید سیمان نه تنها باعث جلوگیری از آسیب و ورود آلاینده ها به محیط زیست می گردد، بلکه به صاحب صنعت کمک می کند که به ارزش افزوده بالاتری دست پیدا کرده و با بهبود خواص و ویژگی های سیمان همچون استحکام و پایداری آن، باعث می شوند که مقدارسیمان و بتن مورد نیاز در کوتاه مدت بعلت کاهش ابعاد قطعات سازه ای و در دراز مدت بعلت افزایش عمر مفید سازه ها کاهش یافته و در نتیجه میزان برداشت مصالح از محیط زیست نیز کاهش می یابد.

در این کتاب با توجه به بررسی های حاصله، سعی شده است اطلاعاتی بصورت خلاصه و جامع در خصوص سیمان های جدید و آمیخته در زمینه های: معرفی سیمان، خصوصیات و ویژگی ها با توجه به استانداردها، خواص سیمان، روش های تولید ، کاربرد و سابقه مصرف این نوع سیمان ها ، بحث اقتصادی و هزینه تولید چند نوع از سیمان ها ارائه گردد.

سیمان های مورد بررسی شامل: سیمان پرتلند آهکی، سیمان روباره، سیمان های بنائی، سیمان های انبساطی، سیمان ضد آب، سیمان میکروسیلیس، سیمان راهسازی، سیمان آلومینی، سیمان های پوزولانی، سیمان های ژئوپلیمری ، سیمان های زود گیر با مقاومت بالا، سیمان مقاومت بالا، سیمان بلیتی، سیمان آلنیتی و سیمان های چاه نفت می باشد.

سیمان های جدید و آمیخته

۱	۱- سیمان های مخلوط (Blended Cements)
۱	۱-۱- تعاریف
۱	۲-۱- پیشرفت تاریخی
۲	۳-۱- مصرف سیمان های مخلوط
۳	۴-۱- استانداردها
۴	۵-۱- جنبه های اقتصادی

انواع سیمان های جدید و آمیخته

۵	۱-۲- سیمان های پوزولانی (Pozzolan Cements)
۵	۱-۱-۲- پوزولانها
۶	۲-۱-۲- مهمترین کاربردهای مواد پوزولانی
۶	۳-۱-۲- طبقه بندی پوزولانها
۶	۱-۳-۱-۲- پوزولانهای طبیعی
۸	۲-۳-۱-۲- پوزولانهای مصنوعی
۹	۳-۳-۱-۲- خاکستر بادی
۹	۴-۳-۱-۲- سایر مواد
۹	۴-۱-۲- ویژگیهای سیمان های پوزولانی طبق استاندارد ملی ایران به شماره ۳۴۳۲
۹	۱-۴-۱-۲- ویژگیهای شیمیایی
۱۰	۲-۴-۱-۲- ویژگیهای فیزیکی
۱۲	۵-۱-۲- کشورهای تولید کننده سیمان پوزولانی
۱۹	۶-۱-۲- مراکز ثقل مصرف سیمان پوزولانی در ایران
۲۰	۲-۲- سیمان پرتلند سنگ آهکی (Portland Limestone Cement)
۲۰	۱-۲-۲- تاریخچه
۲۴	۲-۲-۲- ویژگیهای سیمان پرتلند آهکی طبق استاندارد ملی ایران به شماره ۴۲۲۰
۲۴	۱-۲-۲-۲- ویژگیهای شیمیایی
۲۴	۲-۲-۲-۲- ویژگیهای فیزیکی
۲۴	۳-۲-۲-۲- ویژگیهای شیمیایی سنگ آهک ویژه
۲۵	۳-۲-۲- خواص سیمان پرتلند سنگ آهکی
۲۷	۴-۲-۲- کاربرد سیمان پرتلند سنگ آهکی

۲۸	۳-۲- سیمان های روباره (سرباره) (Slag Cements)
۲۸	۱-۳-۲- روباره (سرباره)
۲۸	۲-۳-۲- سیمان های پرتلند روباره ای
۲۹	۳-۳-۲- ویژگیهای سیمان پرتلند آهکی طبق استاندارد ملی ایران به شماره ۳۵۱۷
۲۹	۱-۳-۳-۲- ویژگیهای شیمیایی
۲۹	۱-۳-۳-۲- ویژگیهای فیزیکی
۳۱	۴-۳-۲- خواص کیفی سیمان های سرباره ای
۳۱	۵-۳-۲- کاربردهای سیمان های سرباره ای
۳۲	۴-۲- سیمان پرتلند میکروسیلیس (Silicafume Portland Cement)
۳۲	۱-۴-۲- میکروسیلیس چیست؟
۳۲	۲-۴-۲- سیمان پرتلند میکروسیلیس
۳۳	۳-۴-۲- خواص و مزایای سیمان میکروسیلیس
۳۴	۴-۴-۲- نقش میکروسیلیس در سیمان
۳۴	۱-۴-۴-۲- تاثیر میکرو فیلری (Micro Filler Efeffect)
۳۴	۲-۴-۴-۲- تاثیر پوزولانی (Pozzolanic Effect)
۳۶	۵-۴-۲- ویژگیهای سیمان پرتلند میکروسیلیسی براساس استاندارد ASTM C ۱۲۴۰
۳۶	۱-۵-۴-۲- ویژگیهای شیمیایی
۳۷	۲-۵-۴-۲- ویژگیهای فیزیکی
۳۷	۶-۴-۲- روش تولید سیمان میکروسیلیسی حاوی فوق روانساز
۳۸	۷-۴-۲- تجهیزات مورد نیاز تولید و ذخیره سازی
۴۰	۵-۲- سیمان های بنایی (Masonry Cements)
۴۰	۱-۵-۲- سیمان بنایی و انواع آن
۴۰	۲-۵-۲- انواع سیمان بنایی (براساس مواد تشکیل دهنده)
۴۰	۱-۲-۵-۲- سیمان پرتلند سنگ آهکی
۴۲	۲-۲-۵-۲- سیمان بنایی با استفاده از لاتریت ها
۴۲	۳-۲-۵-۲- سیمان بنایی با سرباره زیاد
۴۲	۴-۲-۵-۲- سیمان آهک پوزولان طبیعی
۴۲	۵-۲-۵-۲- سیمان آهک سرباره
۴۳	۶-۲-۵-۲- سیمان آهک- پوزولان فعال شده
۴۳	۷-۲-۵-۲- سیمان بنایی بر پایه سرباره و خاکستر بادی

۴۴	۲-۵-۲- استانداردهای سیمان بنایی
۴۴	۲-۵-۲-۱- استاندارد ایران
۴۴	۲-۵-۲-۲- خواص سیمان بنایی
۴۴	۲-۵-۲-۳- ویژگیهای سیمان بنایی براساس استاندارد ملی ایران به شماره ۳۵۱۶
۴۴	۲-۵-۲-۳-۱- ویژگیهای شیمیایی
۴۴	۲-۵-۲-۳-۲- ویژگیهای فیزیکی و مکانیکی
۴۵	۲-۵-۲-۴- استاندارد امریکا
۴۶	۲-۵-۲-۴-۱- طبقه بندی
۴۶	۲-۵-۲-۴-۲- خواص و تستهای استاندارد فیزیکی و مکانیکی
۴۷	۲-۵-۲-۴- نقاط قوت سیمان بنایی
۴۸	۲-۵-۲-۵- نقاط ضعف احتمالی سیمان بنائی
۴۸	۲-۵-۲-۶- تولید سیمان بنائی و ضرورت آن
۵۱	۲-۶-۲- سیمان با مقاومت بالا (High Strenght Cement)
۵۱	۲-۶-۱- تاریخچه
۵۱	۲-۶-۲- ویژگیهای سیمان با مقاومت بالا براساس استاندارد ملی ایران به شماره ۳۸۹ و استاندارد ENJ
۵۱	۲-۶-۲-۱- ویژگیهای شیمیایی
۵۲	۲-۶-۲-۲- ویژگیهای شیمیائی اختیاری
۵۳	۲-۶-۲-۳- ویژگیهای فیزیکی
۵۴	۲-۶-۲-۳- کاربرد سیمان های با مقاومت زیاد
۵۴	۲-۶-۲-۴- روش تولید سیمان با مقاومت زیاد
۵۴	۲-۶-۲-۵- عوامل موثر بر مقاومت سیمان
۵۶	۲-۶-۲-۶- یک تجربه آزمایشگاهی تولید سیمان با مقاومت بالا در کارخانه سیمان آبیگ
۵۶	۲-۶-۲-۱- نمونه گیری از مواد اولیه کارخانه سیمان آبیگ
۵۷	۲-۶-۲-۲- برنامه تحقیق و تنظیم مواد در طراحی محصول
۵۸	۲-۶-۲-۳- آماده سازی و پودرسازی مواد
۵۸	۲-۶-۲-۴- مرحله پخت
۵۹	۲-۶-۲-۵- مرحله پودر سازی کلینکرهای آزمایشگاهی و سیمان سازی
۵۹	۲-۶-۲-۶- بررسی کلینکرهای پخت آزمایشگاهی از دیدگاه میکروسکوپی
۶۱	۲-۶-۲-۷- تولید آزمایشگاهی سیمان با مقاومت بالا
۶۲	۲-۷- سیمان راهسازی (Road Portland Cement)

۶۲	۱-۷-۲- تاریخچه
۶۳	۲-۷-۲- هدف از روسازی
۶۳	۳-۷-۲- لایه های روسازی
۶۴	۴-۷-۲- ویژگیهای سیمان راهسازی
۶۵	۵-۷-۲- مواد مورد نیاز جهت تولید سیمان راهسازی
۶۵	۶-۷-۲- کاربردهای سیمان راهسازی
۶۵	۷-۷-۲- مزایای طرح تولید سیمان راهسازی
۶۶	۸-۷-۲- تولید کنندگان سیمان راهسازی
۶۸	۸-۲- سیمان هیدروفوب (Hydrophobic Portland cement)
۶۸	۱-۸-۲- مشخصات و ویژگیهای مواد اولیه لازم در تولید سیمان هیدروفوب
۶۸	۲-۸-۲- نحوه تولید و اختلاط مواد سیمان هیدروفوب
۶۸	۹-۲- سیمان های چاه نفت (Oil Well Cements)
۶۹	۱-۹-۲- کلاسها و انواع سیمان های چاه نفت
۷۱	۲-۹-۲- مشخصات فیزیکی و شیمیایی سیمانهای چاه نفت
۷۳	۳-۹-۲- سابقه تولید سیمان های حفاری در ایران
۷۴	۱۰-۲- سیمان های انبساطی (Expansive Cements)
۷۵	۱-۱۰-۲- انواع سیمان های انبساطی
۷۵	۱-۱-۱۰-۲- سیمان انبساطی نوع K
۷۵	۲-۱-۱۰-۲- سیمان انبساطی نوع M
۷۵	۳-۱-۱۰-۲- سیمان انبساطی نوع S
۷۶	۴-۱-۱۰-۲- سیمان سولفوبلیتی
۷۷	۵-۱-۱۰-۲- سیمان سولفو آلیتی
۷۷	۶-۱-۱۰-۲- سیمان پرتلند اصلاح شده با سولفو آلومینات کلسیم
۷۷	۷-۱-۱۰-۲- سایر سیمان های انبساطی برپایه تشکیل اترینگایت
۷۸	۸-۱-۱۰-۲- سیمان های انبساطی غیر اترینگایتی
۷۸	۲-۱۰-۲- کاربردهای سیمان های انبساطی
۷۸	۳-۱۰-۲- نتیجه گیری
۷۹	۱۱-۲- سیمان آلینیتی (Alinite Cement)
۸۰	۱-۱۱-۲- استفاده از سیمان آلینیتی
۸۰	۱-۱-۱۱-۲- استفاده از سیمان آلینیتی به عنوان ملات حفاری زودگیر

۸۱	۲-۱-۱۱-۲- استفاده از سیمان آلینیتی در مصالح ساختمانی دیرگیر
۸۳	۱۲-۲- سیمانهای ژئوپلیمری (Cements Geopolymer)
۸۳	۱-۱۲-۲- ژئوپلیمرها
۸۴	۲-۱۲-۲- سیمانهای ژئوپلیمری
۸۵	۳-۱۲-۲- خواص و مزایای سیمانهای ژئوپلیمری
۸۶	۴-۱۲-۲- کاربردهای سیمان ژئوپلیمری
۸۸	۱۳-۲- سیمانهای زودگیر با مقاومت اولیه بالا
۸۹	۱-۱۳-۲- سیمانهای فوق العاده زودگیر
۹۰	۲-۱۳-۲- سیمانهای خیلی زود گیر
۹۰	۳-۱۳-۲- سیمانهای زود گیر
۹۱	۴-۱۳-۲- انواع سیمانهای زودگیر با مقاومت اولیه بالا
۹۱	۱-۴-۱۳-۲- سیمان پرتلند تیپ
۹۲	۲-۴-۱۳-۲- سیمان جت
۹۵	۳-۴-۱۳-۲- سیمانهای کلسیم آلومینایی
۹۵	۱-۳-۴-۱۳-۲- خواص فیزیکی
۹۶	۲-۳-۴-۱۳-۲- کاربرد های سیمان کلسیم آلومینایی
۹۶	۴-۴-۱۳-۲- سیمانهای ژئوپلیمری
۹۸	۵-۴-۱۳-۲- سیمانهای منیزیم فسفاتی
۹۹	۶-۴-۱۳-۲- نتیجه گیری
۹۹	۱۴-۲- نتیجه گیری نهایی

۱۰۰ ارزیابی اقتصادی تولید انواع سیمانها

۱۰۰	۱-۳- هزینه های مربوط به تولید سیمان
۱۰۰	۱-۱-۳- هزینه های مربوط به استخراج ، حمل و خردایش مواد اولیه
۱۰۱	۲-۱-۳- هزینه مربوط به برق مصرفی بخش های مختلف کارخانه
۱۰۲	۳-۱-۳- هزینه های مربوط به مصرف مازوت و گاز در بخش کوره
۱۰۲	۴-۱-۳- هزینه بخش خردایش در آسیاب سیمانها
۱۰۲	۵-۱-۳- هزینه تعمیر ، نگهداری ، دستمزد تعمیرات و استهلاک
۱۰۲	۶-۱-۳- هزینه های متفرقه
۱۰۳	۲-۳- هزینه های مربوط به تولید انواع سیمان ها با قیمت های داخلی

۱۰۳	۱-۲-۳- هزینه برای تولید یک تن سیمان تیپ ۲
۱۰۳	۲-۲-۳- هزینه تولید یک تن سیمان پوزولانی با ۱۰٪ افزودنی
۱۰۴	۳-۲-۳- هزینه تولید یک تن سیمان پوزولانی ویژه با ۲۰٪ افزودنی
۱۰۴	۴-۲-۳- هزینه تولید یک تن سیمان پرتلند آهکی با ۱۴٪ آهک
۱۰۵	۳-۳- هزینه تولید یک تن سیمان با قیمت بازار جهانی
۱۰۵	۱-۳-۳- هزینه تولید یک تن سیمان تیپ ۲ با قیمت بازار جهانی
۱۰۶	۲-۳-۳- هزینه تولید یک تن سیمان PP با قیمت بازار جهانی
۱۰۶	۳-۳-۳- هزینه تولید یک تن سیمان PPV با قیمت جهانی
۱۰۶	۴-۳-۳- هزینه تولید یک تن سیمان PKZ با قیمت جهانی
۱۰۷	۴-۳- مقایسه بین هزینه تولید سیمان در کشور ایران با هزینه تولید سیمان در بازارهای جهانی
۱۰۷	۵-۳- تحلیل و نتیجه گیری
۱۰۹	تولید سیمان و سرانه مصرف آن
۱۱۰	۱-۴- پتانسیل تولید سیمان کشور در ابتدای سال ۱۳۸۶
۱۱۲	۲-۴- مصرف سرانه سیمان در ایران و جهان
۱۱۵	۳-۴- وضعیت تولید ، توزیع و مصرف سیمان
۱۱۵	۱-۳-۴- ظرفیت های تولید سیمان در ایران
۱۱۵	۲-۳-۴- تخمین مصرف سیمان در ایران
۱۱۵	۳-۳-۴- محیط زیست و صنعت سیمان
۱۱۶	۴-۴- مصارف سیمان
۱۱۶	۱-۴-۴- سهم بخش های مختلف در توزیع سیمان
۱۱۸	۲-۴-۴- کیفیت بتن های دستی مصرفی در سازه
۱۱۹	۵-۴- نتیجه گیری
۱۲۰	مراجع و مآخذ (فارسی)
۱۲۱	مراجع و مآخذ (لاتین)

سیمان های جدید و آمیخته

۱- سیمان های مخلوط (Blended Cements)^۱

اهمیت خاص سیمانهای مخلوط (Blended Cements) برای صنعت سیمان از این واقعیت عیانست که مواد افزاینده آن به عنوان ترکیباتی که به طور ناقص کلینکر شده اند و به صورت مواد زائد سایر صنایع و یا ذخائر طبیعی هستند، به سهولت در اختیار صنعت سیمان می باشند و برخوردار از مزایای زیر هستند :

- افزایش قابلیت تولید
- صرفه جوئی در مصرف انرژی و مواد خام
- افزایش بازده و بدنبال آن صرفه جوئی در نیروی انسانی
- افزایش تنوع تولید (عرضه سیمان های متنوع)
- استفاده از ضایعات صنایع دیگر
- ارائه فرصت و امکان افزایش سریع و کم خرج ظرفیت تولید سیمان
- کاهش تولید گازهای گلخانه ای (CO₂)
- کاهش یا حذف سرمایه گذاری برای بخش تولید کلینکر که موجب کاهش هزینه های ثابت خواهد شد .
- اضافه شدن سیمان های مخلوط به رشته تولیدات صنعت سیمان و پیشرفت مرتبط با آنها، می بایست همزمان به عنوان یک راهکار مهم افزایش ظرفیت و تنوع تولید، مورد نظر قرار گیرد . بالاخره صنعت سیمان با تولید و ارائه سیمان های مخلوط به بازار، بهترین استفاده از ذخائر طبیعی و ضایعات صنعتی را می نماید .

۱-۱- تعاریف

سیمان های مخلوط، مخلوط هایی از مواد افزاینده و سیمان پرتلند هستند که از آسیاب کردن و یا مخلوط کردن پودر این دو بدست می آیند . پوزولان های طبیعی Natural pozzolan یا مصنوعی، محصولات فرعی صنعتی نظیر خاکسترهای صنعتی، خاکستر سبک و روباره کوره ذوب آهن و همچنین مواد پرکننده خنثی (Inert Filler) نظیر سنگ آهک، خوراک کوره و گردکوره به عنوان مواد افزاینده در نظر گرفته می شوند.

۱-۲- پیشرفت تاریخی

سیمان های مخلوط چیز تازه ای نیستند . بیش از ۲۰۰۰ سال پیش رومی ها خواص اکتیویته خاک طبیعی موجود در پوزولی را به هنگام مخلوط کردن با آهک می دانسته اند و از آن برای ساخت ساختمان های بسیاری استفاده کرده اند که هنوز هم پابرجا هستند . بنابراین جای تعجب نیست که چرا سیمان های مخلوط دارای مواد پوزولانی تا این حد گسترده و تثبیت شده ، در ایتالیا و یونان مورد استفاده هستند و عملاً در تمام موارد بتن ریزی از آنها استفاده می شود .

تاریخ استفاده از روباره کوره ذوب آهن به عنوان یک ماده افزودنی هیدرولیک نیز به بیش از ۱۰۰ سال پیش برمی گردد. در آغاز قرن اخیر، بسیاری از کارخانجات آهن و فولاد موجود در کشورهای انگلستان، آلمان و چکسلواکی که دارای کارخانه سیمان نیز بودند، از روباره های حاصل از ذوب فلزات در مخلوط سیمان نیز

^۱-مطالب این بخش از منابع شماره های ۴۰ و ۷۹ اقیباس گردیده است.

استفاده می کردند . ده ها سال است که سیمان های حاوی روباره در کشورهای نظیر آلمان، بلژیک، فرانسه، اروپای شرقی و شمال اروپا تولید و عرضه می شود . همچنین خاکستر سبک ، مناسب بودن خود را به عنوان یک ماده دارای خواص هیدرولیکی نشان داده است، گرچه در مقایسه با روباره دارای خواص هیدرولیکی کمتری می باشد ولی از سال های ۱۹۴۰ تا ۱۹۵۰ تاکنون در برخی کشورها از این مواد در تولید سیمان استفاده می شود . در گذشته تولید عمده کشورها سیمان پرتلند بوده ولی به مرور در سال های اخیر تولید سیمان های مخلوط ، رو به فزونی است .

۱-۳- مصرف سیمان های مخلوط

سیمان های مخلوط را می توان هم به جای سیمان پرتلند خالص و هم به جای سیمان های ویژه ای که ساخت آنها متضمن هزینه های تولید بالایی است بکار برد . در کارهای ساختمانی، بجز چند استثناء، در تمامی موارد می توان سیمان مخلوط را کاملاً جایگزین سیمان پرتلند خالص کرد .

کشورهایی وجود دارند که در آنها سیمان پرتلند خالص تولید نمی شود (نظیر فنلاند، سوئد، اتریش، لوزامبورگ و شیلی) و تمام صنایع سیمان، سیمان مخلوط تولید می کنند . همچنین از سیمان های مخلوط در مواردی که خواص ویژه زیر مورد نظر است می توان استفاده کرد :

- ۱- کارپذیری بیشتر ۲- گرمزائی کمتر بهنگام بتن ریزی های حجیم ۳- آب بندی بیشتر ۴- مقاومت بیشتر در مقابل تهاجم سولفات ها و واکنش های قلیائی با سنگ دانه ها ۵- مقاومت نهائی بالا
- یک عدم مزیت (عملاً همین یکی) سیمان های مخلوط مقاومت اولیه پائین آنها است . به همین دلیل این نوع سیمان ها را نمی توان کاملاً جایگزین سیمان های سریع سخت شونده، (سیمان نوع سه ASTM Type III) که به عنوان مثال در قطعات پیش ساخته بتنی مصرف می شوند، نمود . این مشخصه کندگیری بعدها تبدیل به یک مشخصه مثبت این نوع سیمان ها می شود، زیرا که بتن های ساخته شده با سیمان های مخلوط در مقایسه با سیمان های معمولی دارای دوام بیشتری هستند .
- اطلاعات مندرج در جدول (۱) تایید کننده اظهارات فوق است و نشان دهنده ۴۰ نوع سیمان مخلوط گوناگون است که در ۲۴ گروه کارخانجات مختلف تولید می شوند و در کارهای ساختمانی مصرف می گردند .

جدول ۱ - کاربرد سیمان های مخلوط تولیدی در گروه کارخانجات (Holder bank)

تعداد کارخانجات	کاربرد سیمان های مخلوط
۱۹	جایگزینی
۱۲	برای مقاومت سولفاته متوسط
۷	برای مقاومت سولفاته بالا (آلمان - اتریش)
۱۲	برای گرمزائی کمتر
۵	برای پیشگیری از واکنش های قلیائی با سنگ دانه (آلمان - آمریکا - شیلی)
۱۰	برای ساخت جاده و بزرگراه (آمریکا - آلمان - بلژیک، آمریکای لاتین)
۳	برای تولید محصولات آرمست - سیمان (آلمان - اتریش - شیلی)

۱-۴- استانداردها

وضعیت استاندارد کردن سیمان های مخلوط از کشوری به کشور دیگر به مقدار قابل توجهی متغیر است .

- فقط چند کشور وجود دارد که در آنها اصلاً سیمان مخلوط استاندارد نشده است .
- در برخی کشورها، فقط چند نوع مواد افزاینده استاندارد شده اند . به عنوان مثال در یونان، مکزیک و ایسلند، فقط پوزولان استاندارد شده است . در آلمان براساس استاندارد (DIN) ساخت سیمان با خاکستر سبک امکان پذیر نیست.

- بسیاری کشورها استفاده از نوع مواد اکتیو در ساخت سیمان های مخلوط را مجاز می دانند، مشروط بر اینکه برای هر نوع سیمان مخلوط از نوع خاصی افزاینده استفاده شود . به عنوان مثال می توان از کشورهای ایالات متحده، استرالیا، ژاپن و کشورهای مختلف اروپای شرقی نام برد .

- آخرین تمایل به استاندارد کردن سیمان های مخلوط عبارتست از تثبیت کلاسی از سیمان ها که همزمان حاوی چند نوع مواد افزاینده اند و موسوم به سیمان های کوکتیل (Cocktail Cement) می باشند .
کشورهایی که این نوع سیمان را می سازند عبارتند از: فرانسه، اسپانیا، فنلاند، جمهوری دموکراتیک آلمان و غیره ...

طبیعتاً برای افزایش تولید سیمان مخلوط لازم است که استانداردها، راهنمایی و مقرراتی وضع شود که پیش برنده تولید این نوع سیمان ها باشند، نه اینکه مانع و رادع باشند . به همین دلیل باید استانداردهایی برای تمام انواع سیمان هایی که توسط تولید کنندگان ، تولید می شود تدوین گردد، به نحوی که سازنده را مجاز به عرضه سیمانی برای ساخت بتن با کیفیت بالا بنماید .

در سطح بین المللی، پیش نویس استاندارد تهیه شده توسط کمیته استانداردهای اروپا (CEN) به چنین هدفی نزدیک شده است . این استاندارد، سیمان پرتلند خالص را با انواع سیمان های مخلوط در یک استاندارد واحد گردآوری کرده و آنها را به چهار گروه اصلی دسته بندی کرده است .

۱- سیمان پرتلند معمولی، که اضافه بر کلینکر، می تواند حاوی ۵ درصد مواد فرعی نظیر سنگ گچ، روباره، پوزولان طبیعی، خاکستر سبک و پرکننده ها باشد . اضافه کردن این گونه مواد، تا حد محدودی مجاز است و شرط اینست که مشخصات سیمان در حد قابل سنجشی تغییر نکند .

۲- سیمان پرتلند آمیخته Composite، که حداقل حاوی ۲/۳ کلینکر و تا ۱/۳ از یک یا چند نوع از مواد اکتیو مذکور فوق می باشد .

یعنی سیمان پرتلند آمیخته با این هدف ساخته می شود که نقشی استراتژیکی در صنعت سیمان اروپا بازی می کند . هدف میان مدت عبارتست از جایگزینی آن بجای سیمان پرتلند به نحوی که نوعی رقابت بین این دو نوع سیمان برای کاربردهای مشابه حاصل شود . در آینده هدف این است که سیمان های پرتلند حاوی مواد افزاینده در واقع سیمان استاندارد و متعارف شوند .

۳- سیمان روباره (Slag)، که تقریباً به مقدرا زیادی در چند کشور مصرف می شود و بهره برداری هر چه بیشتر از خواص هیدرولیکی نهایی روباره را مجاز می داند .

۴- سیمان پوزولانی (Pozzolan) خصوصاً در کشورهای مدیترانه مهم است . این سیمان دارای مواد افزاینده متفاوتی است . که البته این مواد باید پاسخگوی آزمایش Pozzolanicity باشند .

۱-۵- جنبه های اقتصادی

جایگزینی مواد افزاینده بجای کلینکر اثر مستقیمی روی نیاز به مواد اولیه دارد. این مورد در جاهایی که ذخائر مواد اصلی کارخانه کم است دارای مزیت ویژه می باشد و بدینوسیله عمر ذخایر مواد اولیه طولانی تر می گردد. این اثر در مورد ساخت سیمان های با درصد روباره بالا دارای ارزش ویژه است. در این حالت حتی وجود ذخیره خیلی کم مواد برای ساخت سیمان پرتلند خالص تبدیل به ذخائر کافی جهت ساخت سیمان روباره می گردند. علاوه براین، استفاده از مواد فرعی باعث می شود مواد اولیه ای که دارای ترکیب نامناسبی برای ساخت سیمان پرتلند هستند، قابل استفاده شوند، زیرا وجود غلظت های بالاتر ترکیباتی نظیر اکسید منیزیم و قلیائی ها در مواد اولیه مجاز می شود.

در این رابطه باید اشاره کنیم که مواد با کیفیت نامطلوب و نامناسب برای اضافه کردن مستقیم به کلینکر و سیمان را می توان تحت شرایط خاصی به عنوان یکی از اجزا استفاده مواد اولیه بکار برد. این راه برای روباره ها و یا خاکستر سبکی که در هوا، خنک شده اند مناسب است و می توان به عنوان مواد تصحیح کننده از آنها استفاده کرد و بدین وسیله مصرف انرژی در فرآیند تولید سیمان را کاهش داد.

این جنبه استفاده از مواد فرعی به عنوان مواد خام، خصوصاً وقتی اهمیت پیدا می کند که تولید کننده سیمان ناچاراً متقبل استفاده از مقادیر قابل توجهی از انواع نامناسب این مواد شده است. به هر حال، با جایگزین کردن این گونه مواد به جای کلینکر، صرفه جویی واقعی در انرژی مستقیماً حاصل خواهد شد. در گذشته با بهبود فرآیند تولید، در مصرف انرژی صرفه جویی قابل توجهی شده است. به همین دلیل نتیجه می گیریم، تنها راه صرفه جویی در مصرف انرژی واحدهای مدرن تولید سیمان، فقط از طریق افزودن مواد سازنده فرعی (افزاینده ها) و جایگزینی آنها به جای کلینکر خالص امکان پذیر میباشد.

ارقام مندرج در جدول زیر نشان دهنده میزان صرفه جویی در انرژی برای مواد مختلف است:

انواع سیمان	در صد اختلاط	انرژی صرف شده برای تولید (%)
سیمان پرتلند		۱۰۰
سیمان پرتلند / روباره	۳۰/۷۰	۸۰
سیمان پرتلند / روباره	۵۰/۵۰	۵۳
سیمان پرتلند / روباره	۶۷/۳۳	۴۰
سیمان پرتلند / پوزولان	۳۰/۷۰	۷۵
سیمان پرتلند / پوزولان	۴۰/۶۰	۶۴

از نقطه نظر هزینه دستمزد ویژه (h/t) جایگزینی کلینکر و ساده کردن خط تولید (برای یک نوع کلینکر)، امکان صرفه جویی در دستمزد از معدن کاری تا انتهای کوره را فراهم می نماید. از سوی دیگر هزینه دستمزد در بخش آسیاب سیمان، کنترل کیفی و بازاریابی بالا می رود. به هر حال کاهش دستمزد ویژه قابل انتظار است.

۲- انواع سیمان های جدید و آمیخته

۱-۲- سیمان های پوزولانی (Pozzolan Cements) ۲

پوزولان ها در حالت خالص مصرف سیمانی ندارند و اصولاً ملات آنها فاقد خاصیت چسبندگی (سیمان) می باشند. آنچه در مهندسی سیمان مورد توجه است مخلوط پوزولان - سیمان پرتلند می باشد که این مخلوط را اصطلاحاً سیمان پوزولانی می نامند.

بنابراین سیمان پوزولانی عبارتست از نوع سیمان دارای خاصیت هیدرولیک که از مخلوط معین کلینکر سیمان پرتلند و پوزولان های فعال بوجود می آید. این سیمان می تواند تشکیل ملات داده و در مجاورت هوا، زیر آب و خلا سفت و چسبنده شده و همانند سیمان پرتلند بیشترین مقاومت را در زیر آب با محیط رطوبت دار کسب نماید.

۱-۱-۲- پوزولان ها

برای مواد پوزولانی شاید بتوان تعاریف متعددی ذکر کرد لیکن در این کتاب مواد پوزولانی از نظر فیزیکی و شیمیایی در صنایع سیمان و نیز از نظر زمین شناسی معرفی می گردد.

از نظر فیزیکی و شیمیایی در صنایع سیمان، پوزولان ها عبارت از موادی هستند که اگر چه خاصیت گیرش ندارند، اما بر اثر ترکیب با آهک در درجه حرارت معمولی و در حضور آب به صورت مواد پایدار غیر حلال، از خود خاصیت گیرشی بروز می دهند. به عبارت دیگر پوزولان ها موادی سیلیسی آلومین داری هستند که وقتی تا حد بسیار ریز خرد و ساییده شوند، بدون خاصیت چسبندگی وارد محیط آب و هیدروکسید کلسیم می شوند و ترکیبی که از این اختلاط بدست می آید خاصیت گیرشی دارد.

به تعبیر دقیق تر عنوان می شود که در حین سخت شدن سیمان پرتلند فازهای سیمان بخصوص آلیت و بلیت بتدریج هیدراته می شوند و هیدروکسید کلسیم (آهک آبدار) را آزاد می سازند، آهک آبدار آزاد شده قابلیت حلالیت دارد و در این صورت پس از انحلال آن بتن سخت شده از هم پاشیده می شود.

مواد پوزولانی از فرسودگی و از هم متلاشی شدن بتن در این حالت جلوگیری می کنند، زیرا آهک آبدار آزاد شده به راحتی می تواند با مواد پوزولانی ترکیب گردد و تشکیل سیلیکات کلسیم آبدار نماید که قابلیت استحکام و مقاومت سیمان را بتدریج افزایش می دهد.

از نظر زمین شناسی در حالت کلی پوزولان و مواد پوزولانی، قطعات متخلخل و سبک سنگ آتشفشانی است که دارای ترکیب ماگماهای اسیدی تا حد واسط می باشند. این سنگ آذر آواری اولین بار در ناحیه ای به نام Pozzuol ایتالیا دیده شده است، در صنعت سیمان یکی از انواع پوزولان ها را که ترکیب سیمانی دارد به عنوان سیمان طبیعی استفاده می کنند.

اگر چنانچه ترکیب حد واسط و اسیدی پوزولان ها را در نظر بگیریم، در واقع آن دسته از سنگ های آتشفشانی که ترکیب آنها در این حیطه قرار می گیرند می توانند به عنوان مواد پوزولانی اطلاق گردند.

۲-مطالب این بخش از منابع شماره های ۲ و ۳ و ۲۸ اقتباس گردیده است.

با توجه به مطالب فوق از نظر زمین شناسی مواد پوزولانی به مواد سبک و آتشفشانی اطلاق می گردد که ترکیب آنها از حد واسط تا اسیدی باشد . با این وجود تنوع حضور سنگها در این محدوده بسیار زیاد خواهد بود و تمام سنگ های آتشفشانی که ترکیب شیمیایی آنها در این حیطه قرار بگیرد جزء مواد پوزولانی محسوب می گردند . تنوع سنگ ها را می توان به صورت زیر معرفی نمود .

شیشه → پامیس → توف → ریولیت → ریوداسیت → داسیت → تراکیت → تراکی آندزیت → آندزیت

۲-۱-۲- مهمترین کاربردهای مواد پوزولانی

- استفاده به عنوان عایق حرارتی

- استفاده در ساخت آجرهای سیلیکات کلسیم

- استفاده در ساختار سیمان های پوزولانی (ضد سولفات) به صورت افزودنی ها

- استفاده از انواع فعال پوزولان ها در سبک کردن آبهای سنگین

در ساختار سیمان های پوزولانی پاره ای از اثرات مثبت استفاده از چنین ترکیباتی در مخلوط با آهک و سیمان عبارتند از:

الف- افزایش مقاومت های شیمیایی سیمان در مقابل حمله سولفات ها (خاصیت ضد سولفاتی)

ب- نفوذ ناپذیری حرارت هیدراتاسیون و انبساط حرارتی سیمان

ج- کارپذیری ساده تر

د- پایین آوردن قیمت تمام شده سیمان

۲-۱-۳- طبقه بندی پوزولان ها

اگر چه پوزولان ها از نظر ترکیب های شیمیایی، کانی شناسی و سنگ شناسی دارای اختلاف زیادی هستند، اما بدلیل رفتار یکسانی که در ترکیب با آب و آهک از خود بروز می دهند، طبقه بندی آنها را مشکل می سازد . به هر صورت بهترین طبقه بندی را می توان براساس منشا تشکیل آنها بنا نهاد و (طبق شکل شماره ۱) آنها را مورد شناسایی قرار داد . در ذیل به طور مختصر در مورد اختصاصات انواع پوزولان ها اشاره می شود .

۲-۱-۳-۱- پوزولان های طبیعی

- مواد با منشاء آتشفشانی (سنگ های آذر آواری)

سنگهای آذر آواری که به همراه مواد مذاب و خاکستر از دهانه کوه آتشفشان بیرون می جهند، بر روی زمین با کف دریا ته نشین می شوند . رسوبات روی زمین را غالباً سنگدانه های متجانس تشکیل می دهند که مخلوطی از خاکسترهای حاوی ذرات آتشفشانی و ذرات لایه های مختلف زمین هستند که در مسیر مواد مذاب از دیواره و دودکش آتشفشانی به بیرون پرتاب شده اند . تمام رسوبات آذر آواری از خود فعالیت پوزولانی نشان نمی دهند، بلکه آنهایی که اسیدی هستند، حالت شیشه ای دارند و حاوی کانی های زئولیت اند، این خاصیت را دارند . در این باره لی (Lea) آنها را چنین تعریف کرده است:

پوزولان های طبیعی با منشا آتشفشانی شامل مواد شیشه ای غیرچسبنده یا توف های متراکمی هستند که از رسوبات خاکستر و خاک های آتشفشانی بدست آمده اند .

در برخی حالت ها پوزولان های با منشا آتشفشانی تحت تاثیر بخار داغ دی اکسید کربن در زیرزمین قرار گرفته اند که منجر به تشکیل ترکیب های زئولیتی می گردند و در رفتار شیمیایی آنها بهبود حاصل

می شود. این عمل را اصطلاحاً زئولیت‌شدن و ترکیبات حاصل را مواد زئولیتی می نامند. این مطلب در تراس و بعضی پوزولان‌های قدیمی ایتالیا نسبت به خاک سنتورین بیشتر به چشم می خورد. در میان منشا فعالیت پوزولان‌های آتشفشانی، فعالیت پوزولانی به حالت فیزیکی مواد و ژل‌های هوای به وجود آمده در ماگمای پودر شده که هنگام فوران توسط گازهای خارج شده از آتشفشان تولید می گردد، بستگی دارد. بنابراین، مشخصه پوزولانی مواد نه تنها به منشا آتشفشانی شان بستگی دارد، بلکه به شرایط انفجاری و تشکیل آنها که به سطح ویژه و ساختمان ژل مانند آن نسبت داده می شود، ربط پیدا می کند. باید توجه داشت برخی خاکسترهای آتشفشانی هم وجود دارند که هیچگونه خواص پوزولانی نداشته و فقط به عنوان مواد دانه ای بی اثر و خثی مورد استفاده قرار می گیرند.

- مواد با منشا آواری

مواد با منشا آواری که میل ترکیبی با آهک داشته باشند عبارتند از: رس‌ها و خاک‌های دیاتمه که اولی در رابطه با سنگ‌های رسوبی ساده است و دومی دارای منشا آلی است. اگر چه اغلب با هم مخلوطند، چون هر دو از رسوبات درون آب بدست می آیند.

- مواد با منشاء آلی

خاک‌های دیاتمه مرکب از اسکلت‌های سیلیسی بسیار ریز آلی رسوبی در آب شیرین یا آب دریا متعلق به این گروهند. رسوبات دیاتمه ای حاوی میزان قابل ملاحظه ای رس دانمارک شناسایی گردیده است، این ماده که مولر نامیده می شود. به طور طبیعی مورد استفاده واقع گردیده و اگر تا حد تجزیه کانی‌های رس پخته گردد خاصیت پوزولانی آن به طور قابل ملاحظه ای بهبود می یابد. خاک‌های دیاتمه دارای ذخایر غنی سیلیس اند و واکنش بالایی را با آهک نشان می دهند.

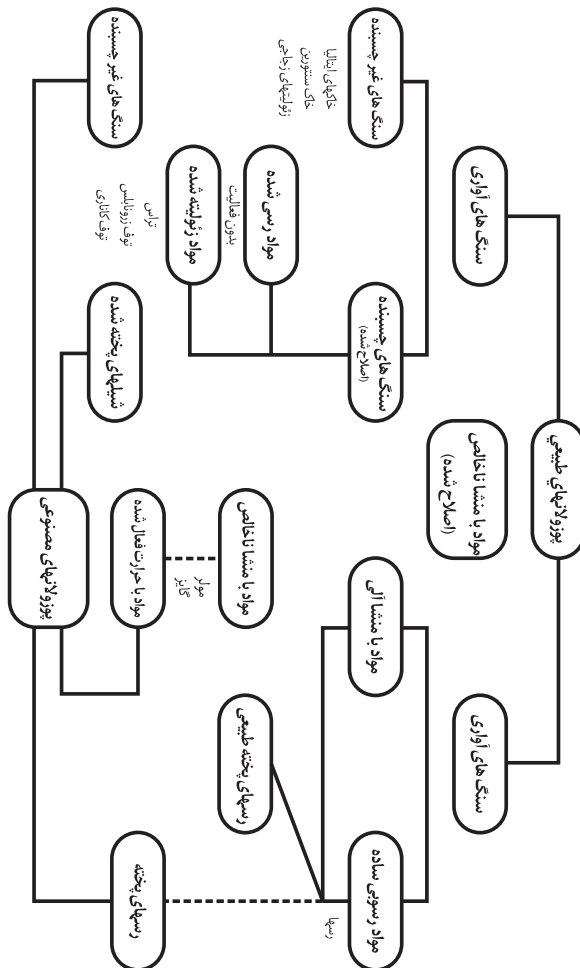
عضو اصلی خاک‌های دیاتمه، اوپال است، که سیلیسی است بی شکل و آبدار که حاوی بیش از ۱۰٪ آب است و با بالا رفتن درجه حرارت تا ۱۰۰۰ درجه سانتی گراد آب آن کاهش می یابد. اما مهمترین اثر رفتاری حرارت احتمالاً به هیدراته شدن ناخالصی‌های رسی موجود که میزان آن قابل ملاحظه است، برمی گردد.

- مواد با منشا آذرآواری و آواری

این مواد، از موادی با منشا مختلط (آتشفشانی، رسوبی و آلی) در لایه‌های مختلف حاوی سیلیس زیاد که گاهی به ۹۰٪ نیز می رسد، ترکیب یافته اند و به طور قابل ملاحظه ای کاهش سرخ شدگی کمی دارند. در این مواد، آلومین به میزان ۵ الی ۲۰٪ وجود دارد، در صورتی که دیگر اکسیدهای موجود، میزان کمی را تشکیل می دهند، مقدار کم آهن حاکی از رنگ روشن این مواد است، که به خاک سفید مشهورند.

در کشور فرانسه در دو منطقه آردنز (Ardenne) و دره موزا (Mosa) یک سنگ متخلخل و نرم که ((گایز)) نامیده می شود پیدا شده است. گایز سنگی است سیلیسی که از نظر بقایای آلی سیلیسی غنی است، این سنگ حاوی کوارتز (بالای ۵۰ درصد) گلوکونیت و اوپال است که با رس مخلوط شده وبا ماده گیرش دار به هم چسبیده است. این سنگ خاکستری متمایل به زرد، متخلخل و خیلی سبک حاوی ۷۶ تا ۹۷ درصد سیلیس فعال است. وزن مخصوص آن بعد از خشک شدن ۱/۴ است و می تواند همان طور که هست مورد استفاده قرار گیرد، اما به واسطه وجود کانی‌های رسی، خواص پوزولانی آن پس از پخت تا ۹۰۰ درجه سانتیگراد بهبود می یابد.

شکل ۱: طبقه بندی پوزولان های طبیعی و مصنوعی



۲-۱-۳-۲- پوزولان های مصنوعی

پوزولان های مصنوعی موادی هستند که بر اثر حرارت مناسب، خواص پوزولان های طبیعی را پیدا می کنند، اگر کانی های رسی بین ۶۰۰ الی ۹۰۰ درجه سانتی گراد حرارت ببینند و به مرحله پخت برسند و تا حد ریزی سیمان خرد و ساییده شوند، فعالیت پوزولانی خوبی از خود نشان می دهند. کاهش آب ترکیب این قبیل کانی ها بر اثر عملیات حرارتی سبب فروپاشی شبکه کریستالی اجزای رسی گشته و سیلیس و آلومین باقیمانده در یک بی نظمی کریستالی اما ناپایدار و بی شکل باقی می ماند. مشکلات کاربرد این مواد، علاوه بر تولید آن به میزان مورد نظر به گیرش آهسته مواد که باعث عقب افتادن زمان اجرای پروژه می گردد ارتباط دارد. میزان دقت در پخت منطبق با میزان مورد نیاز در ساخت سیمان پرتلند برای تولید بهترین محصول باید صورت پذیرد. در غیر این صورت احتمالاً مواد نسبتاً نامرغوب تولید می گردد.

۲-۱-۳- خاکستر بادی

خاکسترهای بادی Fly-ash مشتمل بر خاکسترهای بسیار ریزی که از جمع آوری ذرات و غبار متصاعد شده و از سوختن زغال سنگ نیروگاه های حرارتی تولید می شوند، هستند. به سبب تغییر ناگهانی درجه حرارت زغال سنگ بیشتر کانی های موجود در زغال مذاب تشکیل قطره های مذاب کوچک را می دهند که بیشتر آنها در جریان سرمای ناگهانی به ذرات شیشه ای تبدیل می گردند.

۲-۱-۴- سایر مواد

کاربرد بوکسیت توسط لوشا تولیه به عنوان پوزولان گزارش گردیده است. نظر فراری (Ferrari) این است که از بوکسیت پخته می توان پوزولان عالی بدست آورد. دانه های سرباره کوره بلند، گاه ها به عنوان پوزولان شناخته شده اند.

۲-۱-۴- ویژگی های سیمان های پوزولانی طبق استاندارد ملی ایران به شماره ۳۴۳۲

طبق استاندارد فوق انواع سیمان پرتلند آمیخته با پوزولان های طبیعی به دو گروه زیر طبقه بندی می شود:

- سیمان پرتلند پوزولانی

در این نوع سیمان ماده پوزولانی حداقل ۵ درصد و حداکثر ۱۵ درصد وزنی سیمان پرتلند پوزولانی را تشکیل می دهد.

این سیمان برای مصارف عمومی در ساخت ملات یا بتن به کار می رود و با نشانه (پ.پ) عرضه می گردد.

- سیمان پرتلند پوزولانی ویژه

در این نوع سیمان ماده پوزولانی بیش از ۱۵ درصد تا ۴۰ درصد وزنی سیمان پرتلند پوزولانی را تشکیل می دهد. این سیمان دارای مشخصات عمومی زیراست و با نشانه (پ.پ. و) عرضه می گردد.

۱-حرارت ناشی از آبگیری^۱ آن کم است.

۲-در برابر املاح شیمیایی مقاوم است

۳-در روز های اولیه (تا سه روز) مقاومت فشاری کمی دارد.

این سیمان معمولاً برای ساخت بتن های حجیم و مواردی که بتن با شرایط تهاجم شیمیایی روبروست بکار می رود.

یادآوری - مشخصات پوزولان مورد استفاده در تهیه سیمان های پرتلند پوزولانی در استاندارد ملی ایران به شماره ۳۴۳۲ داده شده است.

۲-۱-۴-۱- ویژگی های شیمیایی

ویژگی های شیمیایی سیمان های پرتلند پوزولانی باید با مندرجات جدول شماره ۲ مطابقت داشته باشد.

۱-حرارت هیدراتاسیون

جدول ۲- ویژگی های شیمیایی الزامی انواع سیمان پرتلند پوزولانی

ردیف	ترکیب شیمیایی (حداکثر درصد وزنی)	سیمان پرتلند پوزولانی	روش آزمایش استاندارد ملی
۱	اکسید منیزیم MgO	۵	۱۶۹۲
۲	سه اکسید گوگرد SO_3	۴	۱۶۹۲
۳	افت حرارتی L.O.I	۵	۱۶۹۲
۴	یون کلراید Cl^*	۰/۱۰	

*-تا تدوین استاندارد ملی ۱۱۴- ASTM C استفاده نمود .

یادآوری - چنانچه تولید کننده بنا به درخواست خریدار ملزم به اعلام نتایج ترکیبات شیمیایی سیمان پرتلند پوزولانی باشد، رواداری ترکیبات شیمیایی مطابق جدول شماره ۳ باشد .

جدول ۳- رواداری قابل قبول برای ترکیبات شیمیایی

ترکیبات شیمیایی	CaO	Al_2O_3	SiO_2
رواداری	$\pm 3\%$	$\pm 2\%$	$\pm 3\%$

۲-۴-۱-۲- ویژگی های فیزیکی

ویژگی های فیزیکی الزامی انواع سیمان پرتلند پوزولانی باید مطابق جدول شماره ۴ باشد .

جدول ۴- ویژگی های فیزیکی الزامی انواع سیمان پرتلند پوزولانی

ردیف	خواص فیزیکی		سیمان پ.پ	سیمان پ.پ.و	روش آزمایش استاندارد ملی
۱	نرمی (با روش بلین) سطح مخصوص $\frac{cm^2}{gr}$ (حداقل)		۳۰۰۰	۳۲۰۰	۳۹۰
۲	انبساط با آزمایش اتوکلاو (حداکثر درصد)		۰/۸	۰/۸	۳۹۱
۳	انقباض با آزمایش اتوکلاو (حداکثر درصد)		۰/۲	۰/۱	۳۹۱
۴	زمان گیرش	اولیه (حداقل به دقیقه)	۶۰	۶۰	۳۹۳
		نهایی (حداکثر به ساعت)	۷	۷	۳۹۲
۵	حداقل مقاومت فشاری $\frac{kg}{cm^2}$	۳ روزه	۱۰۰	---	۳۹۳
		۷ روزه	۱۷۵	۱۵۰	۳۹۳
		۲۸ روزه	۳۰۰	۲۷۵	۳۹۳

ویژگی های فیزیکی اختیاری انواع سیمان پرتلند پوزولانی در جدول شماره ۵ مشخص گردیده است .

جدول ۵- ویژگی های فیزیکی اختیاری انواع سیمان پرتلند پوزولانی

خواص فیزیکی		سیمان پ.پ	سیمان پ.پ.و	روش استاندارد ملی
حرارت هیدراتاسیون (cal / gr)	۷ روزه (حداکثر)	۷۰	۶۰	۳۹۴
	۲۸ روزه (حداکثر)	۸۰	۷۰	۳۹۴
انبساط ملات ^۱ حداکثر درصد	۲ هفته	---	۰/۰۲	
	۸ هفته	---	۰/۰۶	
حداکثر درصد انبساط در محیط سولفاتی پس از ۱۸۰ روز ^۲		۰/۱	۰/۱	

۱- تا زمان تهیه استاندارد ملی ایران از استاندارد ASTM C-۲۲۷ استفاده شود .

۲- تا زمان تهیه استاندارد ملی ایران از استاندارد ASTM C-۱۰۱۲ استفاده شود .

۲-۱-۵- کشورهای تولید کننده سیمان پوزولانی

استفاده از پوزولان های مصنوعی و طبیعی به صورت مخلوط با سیمان پرتلند در حال حاضر در ۲۹ کشور دنیا به طور رسمی معمول و تولید سیمان پوزولانی به صورت انبوه وجود دارد .
در این کشورها استانداردهای مشخص در رابطه با این نوع سیمان وجود دارد که در جدول شماره ۶ مشخص شده است. مواردی که در جدول بعدی جالب توجه به نظر می رسد ذیلاً ذکر می گردد.

- ۱- تقریباً در تمامی کشورها حدود نرمی یا سطح ویژه موجود در یک گرم (Blaine) سیمان های پوزولانی برابر و یا در حدود درجه نرمی سیمان پرتلند است (۳۰۰۰-۲۷۵۰ سانتی متر مربع بر گرم) .
- ۲- نظر به اینکه هیدراتاسیون سیمان های پوزولانی در مقایسه با سیمان پرتلند پائین تر است بیشتر روی مقاومتها یا تحمل فشار سیمانهای پوزولانی در دراز مدت حساب می شود، به همین خاطر است که به سیمانهای دارای مقاومت کم در کوتاه مدت معروف می باشند .
- از این لحاظ برخی کشورها اصولاً از اندازه گیری مقاومت های مکانیکی سه روزه صرف نظر می کنند و در استاندارد آنها نیز در این مورد رقمی وجود ندارد، همانطور که گفته شد برای بالا بردن فشارهای مکانیکی سیمان پوزولانی در کوتاه مدت، طوریکه با سیمان پرتلند معمولی هم قابل رقابت باشد راهکاری عملی وجود دارد .
- ۳- سیمان های پوزولانی نیز مانند سیمان پرتلند خالص می توانند کاملاً کنترل شده و دقیق و براساس نوع مصرف تولید شوند .

این کار که عمدتاً با شناخت و مطالعه دقیق و تغییر مقادیر مواد اولیه امکان پذیر است در ساختن انواع بتن های پوزولانی نیز قابل بررسی است .

جدول ۶- فهرست کشورهای تولید کننده سیمان

شماره	۱	۲	۳	۴	۵
نام کشور	موراکو	آفریقای جنوبی	آرژانتین	برزیل	شیلی
نوع سیمان	پرتلند پوزولان P-PO	P-PO	P-PO	P-PO ۲۵۰-۳۲۰	P-PO
علامت مشخصه	CPAL ۲۵۰-۳۲۵ ۴۰۰	P-۱۵CS	POZ	P-PO ۲۵۰ P-PO ۳۲۰	P-PO
استاندارد	Maracaine	IRAM ۱۶۵۱	IRAM ۱۶۵۱	EB, ۷۵۸	Nch , ۱۴۴۸ Of ۶۸
سال	۱۹۷۴	۱۹۷۱	۱۹۵۰/ ۱۹۸۵	۱۹۷۴	۱۹۶۸
درصد کلینکر	۷۷ ۸۷	۹۷ ۸۵	۷۵	۹۰-۶۰ ۹۰-۷۰	۷۰
درصد پوزولان	۱۵+۵ ۷/۵+۲/۵	۳ ۱۵	۲۵	۱۰-۴۰ ۱۰-۳۰	۳۰
الک Max%	-	-	-	۱۲ در الک ۷۵	-
گیرش اولیه (دقیقه)	۳۰	۴۵	۱۰	۶۰	۶۰
گیرش نهایی (ساعت)	-	۱۰	-	۱۰	۱۲
لوشاتلیه	۱۰	۱۰	-	۵	-
اتو کلاو	-	-	-	۰/۷۰	۱
مقاومت فشاری ۳ روزه kg/cm^2	۱۶۰	۱۶۳	-	۷۰	-
مقاومت فشاری ۷ روزه kg/cm^2	۱۶۰ ۲۱۰ ۳۱۵	۲۴۵	۱۷۰	۱۵۰	۱۸۰
مقاومت فشاری ۲۸ روزه kg/cm^2	۲۵۰ ۳۵۲ ۴۰۰	-	۳۰۰	۲۵۰	۲۵۰
باقیمانده محلول (Max)	۳	-	-	-	۳
پرت حرارتی (Max)	۴	۴	۴	۴	۴
درصد MgO	۵	۵	۵	۶	-
درصد SO _۲	۳/۵	۳	۳	۴	۴

شماره	۶	۷	۸	۹	۱۰
نام کشور	کوبا	مکزیک	پرو	ایالات متحده	ایالات متحده
نوع سیمان	P-PO	P-PO	P-PO	P-PO	P-PO
علامت مشخصه	PZ - ۲۵۰	P-PO	P-PO	I(PM) I(PM)-A	IP or P IP-A or P-A
استاندارد	NC , ۰۵۴ ۱۹۱	DCN-C-۲	IIIN,IEC ۳۳۴,۰۴۴	ASTM	ASTM
سال	۱۹۸۷	۱۹۷۵	۱۹۷۶	۱۹۷۹	۱۹۷۹
درصد کلینکر	۸۰-۶۰	۸۵-۶۰	۸۵-۶۰	۸۵	۸۵-۶۰
درصد پوزولان	۲۰-۴۰	۱۵-۴۰	۱۵-۴۰	۱۵	۱۵-۴۰
الک Max%	۱۲درالک۷۵	-	۱۸ درالک ۲۴	-	-
گیرش اولیه (دقیقه)	۴۵	۴۵	۴۵	۴۵	۴۵
گیرش نهایی (ساعت)	۱۲	۷	۷	۷	۷
لوشاتلیه	-	-	-	-	-
اتوکلاو	۰/۸	۰/۵	۰/۵	۰/۵	۰/۵
مقاومت فشاری ۳روزه kg/cm^2	۱۱۰	-	۸۵	۱۲۷	۱۰۱
مقاومت فشاری ۷روزه kg/cm^2	۱۶۰	۱۵۰	۱۴۵	۱۹۷	۱۵۱
مقاومت فشاری ۲۸روزه kg/cm^2	۲۵۰	۲۵۰	۲۴۰	۲۳۶	۱۹۷
باقیمانده محلول (Max)	-	-	-	-	-
پرت حرارتی (Max)	-	۵	۶	۵	۵
درصد MgO	۵	۴	۵	۵	۵
درصد SO _۳	۳/۵	۴	۴	۴	۴
روش آزمایش	ISO/ CEN	ASTM C-۱۰۹	-	ASTM C-۱۰۹	ASTM C-۱۰۹

شماره	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵
نام کشور	چین	هندوستان	اندونزی	ژاپن	کره
نوع سیمان	P-PO	P-PO	PPO ۲۰۰ POZ ۴۰۰	P-PO	
علامت مشخصه	P-PO	P-PO	SPP ۲۰۰ SPP ۴۰۰	PPC-A PPC-B PPC-C	
استاندارد	CB۱۳۴۴-۷۷	ISI-۴۸۹		IISR۵۲۱۲	
سال	۱۹۷۷	۱۹۷۶	۱۹۷۵	۱۹۷۹	۱۹۶۴
درصد کلینکر	۸۰-۵۰	۹۰-۷۵	۵۰	۹۵-۹۰	۸۵-۶۰
درصد پوزولان	۲۰-۵۰	۱۰-۲۵	۵۰	۵-۱۰	۱۵-۴۰
الک Max%	۱۵درالک ۸۰	-	۲۰درالک ۹۰	-	۲۰درالک ۲۴
گیرش اولیه (دقیقه)	۴۵	۲۰	۶۰	۶۰ ۶۰ -	۶۰
گیرش نهایی (ساعت)	۱۲	۱۰	-	۱۰ ۱۰ -	۱۰
لوشاتلیه	-	۱۰	-	-	-
اتوکلاو	-	۰/۸	۰/۸	-	۰/۵
مقاومت فشاری ۳روزه kg/cm^2	-	-	۲۵۰	۷۰ ۶۰ ۵۰	۸۰
مقاومت فشاری ۷روزه kg/cm^2	-	۲۲۰	۱۲۵ ۳۲۵	۱۵۰ ۱۲۰ ۱۰۰	۱۴۰
مقاومت فشاری ۲۸روزه kg/cm^2	-	۳۱۰	۲۰۰ ۴۰۰	۳۰۰ ۲۶۰ ۲۱۰	۲۴۰
باقیمانده محلول (Max)	-	-	-	-	-
پرت حرارت (Max)	-	۵	-	۳ - -	۵
درصد MgO	۵	۶	۵ ۵	۵ ۵ ۵	۵
درصد SO _۳	۳/۵	۲/۷۵ ۳	۳ ۳	۳ ۳ ۳	۴
روش آزمایش		B.S/ ۴۵۵۰		CISN/ ۵۲۰۱	

شماره	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۰
نام کشور	اتریش	بلژیک	بلغارستان	فنلاند	آلمان شرقی
نوع سیمان	P-PO	P-PO	P-PO	P-PO	P-PO POZ
علامت مشخصه	PZ(I)	PPZ۳۰ ۴۰ ۵۰	PPIS ۲۵۰ ۳۵۰	P	۲۱۸ ۲۷۵
استاندارد	B-۳۳۱۰	NBNB ۱۲,۱۰۲ ۱۲,۱۰۴ ۱۲,۱۰۳	BOS , ۲۷۷۴	SFS ۳۱۶۵	TGL ۲۸۱۰۱-۰۱
سال	۱۹۸۰	۱۹۶۹	۱۹۷۴	۱۹۷۴	۱۹۷۴
درصد کلینکر	۸۰	۸۰-۹۵	۸۵-۶۰	۸۵-۶۰	۷۰-۴۰
درصد پوزولان	۲۰	۲۰-۵	۱۵-۴۰	۱۵-۴۰	۳۰-۶۰
الک Max%	۲۰در الک ۹۰	-	۱۵در الک ۸۰	-	-
گیرش اولیه (دقیقه)	۶۰	۹۰	۶۰	۶۰	۶۰
گیرش نهایی (ساعت)	۱۲	۱۰	۱۲	۶	۱۲
لوشاتلیه	-	-	-	-	-
اتو کلاو	-	-	-	-	-
مقاومت فشاری ۳روزه kg/cm^2	۱۵۰	۱۶۳	۱۴۰	-	-
مقاومت فشاری ۷روزه kg/cm^2	۲۲۵	۳۰۶	۲۵۰	-	۱۲۵
مقاومت فشاری ۲۸روزه kg/cm^2	۳۷۵	۴۰۸ ۵۱۰	۳۵۰	۴۰۸	۲۷۵
باقیمانده محلول (Max)	-	-	-	-	۷
پرت حرارتی (Max)	۵	-	۵	-	-
درصد MgO	۵	-	۵	-	-
درصد SO _۳	۳/۵	۳/۷۵	۳/۵	-	۴
روش آزمایش		ISO/CEN	ISO/CEN	ISO/CEN	ISO/CEN

شماره	۲۱	۲۲	۲۳	۲۴	۲۵
نام کشور	آلمان غربی	یونان	ایتالیا	ایرلند	رومانی
نوع سیمان	P-PO تراس	P-PO	P-PO	P-PO	SR.P.PO
علامت مشخصه	IrZ	PoZ	PoZ	Ptc پرتلند تراس	SRA۳۵
استاندارد	DIN , ۱۱۶۴	Devee	Devee	Devee	SIAS ۷۷-۳۰۱۱
سال	۱۹۷۸	۱۹۸۰	۱۹۶۸	۱۹۷۹	۱۹۷۷
درصد کلینکر	۶۰-۸۰	بستگی به باقیمانده نامحلول دارد	درصد معینی	۸۰-۶۰	۸۵
درصد پوزولان	۲۰-۴۰			۲۰-۴۰	۱۵
الک Max%	۳درالک ۲۰۰	۱۰درالک ۹۰	۱۰درالک ۹۰	-	۱۰درالک ۹۰
گیرش اولیه (دقیقه)	۶۰	۶۰	۴۵	۶۰	۹۰
گیرش نهایی (ساعت)	۱۲	۸	۱۲	-	۱۰
لوشاتلیه	بدون ترک و شکستگی	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰
اتوکلادو	-	-	۰/۵	-	-
مقاومت فشاری ۳روزه kg/cm^2	۱۰۲	۱۰۲ ۲روزه	۱۷۵	۱۱۲	-
مقاومت فشاری ۷روزه kg/cm^2	۱۰۲-۱۸۴	-	۳۲۵	۳۵۷	۳۰۶
مقاومت فشاری ۲۸روزه kg/cm^2	۳۵۷-۵۶۱	۳۵۷-۵۶۱	۴۲۵	۵۶۱	۳۵۷
باقیمانده محلول (Max)	-	۴	-	-	-
پرت حرارتی (Max)	۷	۵	۷	۷	۵
درصد MgO	۵	۶	۳	۵	۵
درصد SO _۲	۳/۵-۴	۳/۵-۴	۳	۴	۱/۲-۳
روش آزمایش	ISO/ CEN	ISO/ CEN	ISO/ CEN	ISO/ CEN	

شماره	۲۶	۲۷	۲۸	۲۹
نام کشور	اسپانیا	ترکیه	یوگسلاوی	اتحاد شوروی
نوع سیمان	POZI	P-PO	P-PO	P-PO
علامت مشخصه	PUZI	TC	PChz ۲۵۰ MPK ۲۵۰	PChz ۲۵۰ MPK ۲۵۰
استاندارد	R.Cv۵	TC-۲۶	BUS B.C.۱ ۰۱۱	BGOSI ۲۲۲۶۶
سال	۱۹۷۵	۱۹۷۵	۱۹۷۶	۱۹۷۹
درصد کلینکر	۸۰	۸۰-۶۰	۶۹	۳۰
درصد پوزولان	۲۰	۲۰-۴۰	۳۰	۲۰-۳۰ ۲۵-۴۰
الک Max%	۱۵ درآهک ۸۵	۶۰ الک ۲۰۰ ۱۰ الک ۹۰	۱۵ در الک ۹۰	-
گیرش اولیه (دقیقه)	۴۵	۴۵	۶۰	۴۵
گیرش نهایی (ساعت)	۱۲	۱۰	۱۰	۱۰
لوشاتلیه	۱۰	۱۰	۱۰	-
اتوکالو	-	-	-	-
مقاومت فشاری ۳ روزه kg/cm^2	۱۲۵	-	-	-
مقاومت فشاری ۷ روزه kg/cm^2	۲۵۷	۲۱۰	۱۴۰ ۲۰۰	۲۵۰
مقاومت فشاری ۲۸ روزه kg/cm^2	۴۵۹	۳۲۵	۲۲۵ ۳۱۵	۳۰۰
باقیمانده محلول (Max)	-	۳	-	-
پرت حرارتی (Max)	-	-	۵	-
درصد MgO	-	۵	۵	۵
درصد SO _۳	۳/۵	۳	۴	۳/۵
روش آزمایش	ISO/ CEN	ISO/ CEN	ISO/ CEN	BOSI ۳۱۰ , ۴-۷۶

۲-۱-۶- مراکز ثقل مصرف سیمان پوزولانی در ایران

با توجه به آنچه که در مورد خواص پوزولان و سیمان پوزولانی گفته شد می توان مصارف عمومی و مصارف ویژه را از این نوع سیمان انتظار داشت. در مصارف عمومی سیمان پوزولانی بعنوان کمک در مصرف سیمان پرتلند معمولی و جبران کمبود تولید آن می تواند از محل تولید در سیستم توزیع سیمان قرار گرفته و همراه سیمان پرتلند معمولی به مناطق مورد استفاده حمل شود و به عنوان یک چسب قوی بجای سیمان پرتلند مصرف شود. مصارف ویژه سیمان پوزولانی استفاده از آن را در مناطق و شرایطی که استفاده از سیمان پرتلند محدود و یا صفر است پیشنهاد می کند.

همانطور که قبلاً گفته شد استفاده از سیمان پرتلند معمولی در شرایطی که در مجاورت آب های شور و یا سولفات دار گنداب ها و یا در ساختمان های دریایی، اسکله ها و سدها مصلحت نیست در صورتی که سیمان پوزولانی در این شرایط کاربرد وسیعی دارد و به خاطر همین خواص ویژه مرکز ثقل مصرف اصلی آن می تواند شمال و جنوب ایران تعیین شود.

وجود آبهای فراوان املاح دار در جنوب کشور و به ویژه استان خوزستان که بیشترین مقدار آب کشور را به نسبت سایر استانها دارد و از طرفی دارای هوای گرم می باشد (که سیمان های پوزولانی در هوای گرم فعالتر می شوند) می تواند از مناطق عمده مصرف سیمان پوزولانی قرار گیرد و در شرایط فعلی شاید نسبت به سایر مناطق از این نظر اولتر باشد.

سواحل جنوبی کشور و نیز سواحل شمالی برای ایجاد ساختمان های دریایی و زمینی نیاز به سیمان پوزولانی خواهند داشت.

در مناطقی که تغییر درجه حرارت در شب و روز زیاد می باشد مانند مناطق کویری و نیز به لحاظ جنس زمین بعضی از مناطق کویری در ایران استفاده از سیمان پوزولانی در ساختمان ها، پی بناها و بتن ریزی ها مفید می باشد.

از آنجایی که کشور ایران در خط زلزله خیز قرار دارد، ساختن بناهایی که در آنها از قطعات پیش ساخته سبک استفاده می شود از موارد بسیار مهمی است که می بایست مورد توجه صنعت ساختمان قرار گیرد، از این لحاظ سیمان پوزولانی می تواند مصرف عمده ای داشته باشد و بتن پوزولانی سبک بتدریج جانشین بتن معمولی گردد. این موضوع در استان های فارس و خراسان قابل توجه است.

۲-۲- سیمان پرتلند سنگ آهکی (Portland Limestone Cement)^۱

سیمان پرتلند سنگ آهکی (PLC) ماده چسبنده هیدرولیکی از خانواده سیمان پرتلند است که از آسیاب نمودن مخلوط ۶ الی ۳۵ درصد سنگ آهک ویژه همراه با درصد مناسبی سنگ گچ (سولفات کلسیم متبلور) و کلینکر سیمان پرتلند حاصل می گردد. در ایران برای اولین بار در سال ۱۳۷۵ شرکت سیمان آبیگ، سیمان پرتلند آهکی تولید نمود.

۲-۲-۱- تاریخچه

معادل فارسی Portland Kalkstein Zemen عبارت است از ((سیمان پرتلند سنگ آهک)) که ما آن را جهت روانی جمله ((سیمان پرتلند سنگ آهکی)) نامیده که معادل انگلیسی آن Portland Limestone Cement است. سیمان مزبور پس از سال ها تحقیق و بررسی بر روی نمونه های آزمایشگاهی و پس از تولید آزمایشگاهی و صنعتی سرانجام در سال ۱۹۷۹ در فرانسه براساس استاندارد اروپایی (EN ۱۹۷-۱) Euro NORM تولید گردید که متعاقب آن برخی دیگر از کشورهای اروپایی من جمله آلمان مبادرت به تولید آن نمودند.

استفاده از سنگ آهک تا سال های اخیر به شکل محدود و آن هم تا ۳٪ وزنی به عنوان یک پرکننده مدنظر بوده است در حالیکه در سال ۲۰۰۱ و با تصویب استاندارد اروپا (EN ۱۹۷-۱) استفاده از این افزودنی به عنوان یک جزء اصلی سیمان مجاز شناخته شده و تولید کنندگان سیمان نیز به این موضوع تمایل چشم گیری نشان داده اند. تحقیقات انجام شده در خصوص کاربرد سنگ آهک در سیمان در سه موضوع خلاصه شده است.

دسته ای از محققین به تأثیر افزودن سنگ آهک به عملکرد سیمان پرداخته اند. گروه دیگری از محققین موضوع تأثیر سنگ آهک بر واکنش های هیدراتاسیون کلینکر را مورد مطالعه قرار داده اند و دسته سوم از محققین نیز موضوع فرآیند تولید و بالاخص آسیاب کردن همزمان کلینکر و سنگ آهک را مورد توجه قرار داده اند.

در یک فعالیت تحقیقاتی توسط وگلیس^۲ و همکارانش خواص سیمان پرتلند سنگ آهک با بعضی از دیگر سیمان های مخلوط مورد مقایسه قرار گرفت. در این فعالیت تحقیقاتی سیمان پرتلند معمولی و سیمان های مخلوطی حاوی سنگ آهک، پوزولان طبیعی و خاکستر بادی تهیه شد. فرآیند آسیاب به گونه ای طراحی شد که سیمان های مورد نظر مقاومت ۲۸ روزه یکسانی داشته باشند. خواص مکانیکی و فیزیکی سیمان ها مورد مطالعه قرار گرفت و علاوه بر آن محصولات هیدراتاسیون براساس تکنیک آزمایشگاهی X-ray شناسایی شدند. سیمان های مخلوط تفاوت های قابل ملاحظه ای در نرمی، سرعت افزایش مقاومت، میزان آب و سرعت هیدراتاسیون از خود نشان می دهند. نتایج حاصل نشان می دهد آسیاب کردن همزمان می تواند نرمی کلینکر و در نتیجه خواص سیمان را تحت تأثیر قرار دهد. در این آزمایشات سیمان حاوی خاکستر بادی دانه های درشت و سیمان حاوی سنگ آهک از دانه های کلینکر ریزتری برخوردار بودند. سیمان حاوی سنگ آهک مقاومت اولیه بیشتری از خود نشان می دهد در حالیکه پس از گذشت ۹۰ روز تا ۵۴۰ روز شاهد رفتار مکانیکی و مقاومت فشاری بالاتر سیمان های حاوی پوزولان طبیعی و خاکستر بادی در مقایسه با سیمان پرتلند مرجع و سیمان پرتلند سنگ آهکی می باشیم. درصد آب در سیمان پرتلند سنگ آهک کمتر از سیمان های مخلوط حاوی پوزولان طبیعی و خاکستر بادی می باشد. در سیمان پرتلند سنگ آهک یکی از محصولات هیدراتاسیون

۱ - مطالب این بخش از منابع شماره ۷ و ۳۷ اقتباس گردیده است.

هیدرات منوکاربوالومینات می باشد که پس از گذشت ۲۸ روز همچنان در سیمان حضور دارد . در یک برنامه تحقیقاتی دیگر توسط تی سی ویلیس و همکارانش خواص سیمان و بتن پرتلند سنگ آهکی مورد بررسی و مطالعه قرار گرفت . در این آزمایشات کلینکر سیمان پرتلند معمولی و سنگ آهکی با خلوص ۹۵/۳٪ مورد استفاده قرار گرفت . به کمک این مواد مخلوط هایی از کلینکر و آهک شامل ۱۰-۲۰-۳۰-۴۰٪ طراحی شد. مخلوط های طراحی شده در یک آسیاب گلوله ای آزمایشگاهی و با چهارفرم متفاوت آسیاب شدند. توزیع دانه بندی سیمانهای تولیدی مورد مطالعه قرار گرفت . آزمایشات نشان داد که توزیع دانه بندی های کلینکر کاملاً با توزیع دانه بندی سیمان ها تفاوت دارد ، به گونه ای که سنگ آهک در برش های نرم (کوچکتر از $8 \mu m$) و کلینکر در برشهای زبر تجمع پیدا می کنند . نتایج بدست آمده نشان داد که توزیع دانه بندی سیمان های پرتلند سنگ آهک مانند نرمی کلینکر و سنگ آهک شدیداً به درصد جایگزینی و نرمی مخلوط مرتبط می شود. برای تولید سیمان پرتلند سنگ آهک با خواص مطلوب آسیاب کردن تا نرمی بیشتر یک روش ساده به شمار می رود ولی روش مناسب عبارت است از کنترل نرمی در حد اپتیمم و در عین حال کنترل درصد سنگ آهک در مقدار بهینه آن .

آزمایشات انجام شده درخصوص خواص مهندسی ودوام سیمان های تولید شده نشان داد که سیمان های پرتلندآهکی مقاومت نسبتاًخوبی ازخود نشان می دهند و در مواردی نیز نسبت آب به سیمان برای دستیابی به یک کارپذیری برابر در سیمان پرتلند مرجع کاهش می یابد . افزودن سنگ آهک واکنش پذیری کلینکر و خواص هیدرولیکی آن را تقویت می نماید به گونه ای که سیمان های پرتلند سنگ آهکی از نظر خواص با سیمانهای پرتلند معمولی رقابت می کنند .

در تحقیق دیگری که توسط تی سی ویلیس و همکارانش انجام شد نفوذپذیری هوا، نفوذپذیری آب و میزان جذب و حجم تخلخل بتن سیمان پرتلند سنگ آهکی مورد مطالعه قرار گرفت .

دراین کارتحقیقی نیز با استفاده ازکلینکرسیمان پرتلند تیپ ۲ و سنگ آهک نسبتاً خالص ، سیستم های سیمان پرتلند سنگ آهکی متفاوتی حاوی ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵، ۳۵ درصد طراحی و با استفاده از یک آسیاب گلوله ای آزمایشگاهی و آسیاب کردن همزمان کلینکر و سنگ آهک تهیه شدند .

پس از استفاده از سنگ دانه ریز و درشت از همه سیستم های سیمانی ساخته شده نمونه های بتنی تهیه شد . نسبت آب به سیمان در دو حد ۷/۰ و ۶۲/۰ درنظر گرفته شد . سیمان نمونه ها در مقادیر 330 kg/cm^3 و 270 تنظیم شد . اسلامپ مخلوط ها در حدود ۱۳۰-۱۱۰ mm کنترل شد و در هر مورد که نیاز بود از عوامل روان ساز نیز استفاده شد . نمونه ها به مدت ۲۴ ساعت در قالب و در محیط مرطوب نگهداری شدند و به مدت ۲۷ روز در داخل آب نگهداری و عمل آوری شدند .

سپس نمونه های تهیه شده جهت آزمایشات نفوذپذیری هوا، نفوذپذیری آب و میزان جذب و حجم تخلخل مورد استفاده قرار گرفتند . نتایج بدست آمده نشان می دهد بتن های پایه سیمان پرتلند سنگ آهکی از نفوذپذیری هوای بیشتری در مقایسه با بتن سیمان پرتلند خالص برخوردار هستند .

افزودنی سنگ آهک آثار مثبتی برنفوذپذیری آب و میزان جذب بتن باقی می گذارد . ضمناً بررسی های انجام شده نشان داد که جایگزینی ۱۵ درصد سنگ آهک تأثیری بر حجم تخلخل بتن نمی گذارد .

در کار تحقیقاتی دیگری که توسط تی سی ویلیس و همکارانش خواص و رفتار ملات و بتن سنگ آهک مورد مطالعه قرار گرفت . سیمان های مورد استفاده دارای بلین های مختلف بوده و سنگ آهک آن به طور همزمان با

کلینکر و گچ خردایش شده است. برای سازگاری نتایج، سیمان های انتخابی دارای کلاس های مقاومتی یکسان بودند. نتایج نشان داد که سیمان ها دارای بیش از ۲۰٪ سنگ آهک کارپذیری و مقاومت رضایت بخشی از خود نشان دادند. درحالیکه جذب و نفوذ پذیری کلراید در آنها شبیه سیمان خالص می باشد و همچنین سیمان پرتلند سنگ آهکی مقاومت کمتری در مقابل سیکل یخبندان از خود نشان داد. جایگزینی ۲۰٪ سنگ آهک در سیمان مقدار بهینه آن جهت جلوگیری از خوردگی می باشد و همچنین اضافه کردن سنگ آهک باعث کاهش عمق کربوناسیون و نفوذپذیری ملات می شود. برای انجام آزمایشات به کمک کلینکر سیمان پرتلند تیپ ۲ و سنگ آهک با درصد خلوص نسبتاً بالا سیستم هایی با درصدهای سنگ آهک ۱۵، ۲۰، ۳۵ درصد طراحی و با استفاده از یک آسیای گلوله ای آزمایشگاهی ساخته شدند.

سپس نمونه هایی از ملات و بتن براساس استانداردهای ASTM تهیه و مورد آزمایشات متفاوت قرار گرفت. نسبت آب به سیمان برابر ۰/۵ و نسبت سنگ دانه آهکی به سیمان ۱:۳ در نظر گرفته شد. سپس نمونه ها در محلول ۳٪ کلرید سدیم به گونه ای قرار داده شدند که بخشی از آنها در خارج از محلول قرار گیرد. به این ترتیب آزمایشاتی شامل خوردگی، افت وزنی، عمق متوسط کربوناسیون و حجم تخلخل انجام شد. نتایج بدست آمده حاکی از آن است که بتن سیمان پرتلند سنگ آهکی از نظر خواص و کیفیت با بتن سیمان پرتلند مرجع رقابت می کند و حتی در بعضی موارد دوام بیشتری نشان می دهد. سیمان پرتلند سنگ آهکی حاوی ۲۰٪ سنگ آهک رفتار مکانیکی و قابلیت کارپذیری رضایت بخشی از خود نشان می دهد. همچنین آزمایشات انجام شده نشان می دهد میزان جذب و نفوذپذیری کلر در بتن سیمان پرتلند سنگ آهکی تقریباً با میزان جذب و نفوذ کلر در بتن سیمان مرجع برابری می کند. بتن های سیمان پرتلند آهک در مقایسه با بتن سیمان خالص مقاومت کمتری در مقابل سیکل های انجماد و ذوب نشان می دهد. افزودن سنگ آهک به سیمان عمق کربوناسیون و همچنین حجم تخلخل کل را کاهش می دهد. نتایج آزمایشات نشان می دهد که:

پایداری سیمان پرتلند سنگ آهکی نسبت به سیمان پرتلند افزایش یافته است و از ویژگی های سیمان پرتلند سنگ آهکی که بیش از ۲۰٪ سنگ آهک دارد می توان به موارد زیر اشاره کرد:

۱- مقاومت خوبی از خود نشان می دهد. ۲- کارپذیری مناسبی دارد. ۳- جذب و نفوذ کلراید در آنها مانند سیمان های خالص می باشد.

در سال ۱۹۹۸ آقایان گونزالز^۱ و ایراسار^۲ مجموعه ای از آزمایشات با هدف بررسی اثر افزودن سنگ آهک بر مقاومت سولفات سیمانهای پرتلند انجام دادند.

برای این منظور یک نوع سیمان پرتلند تیپ ۲ و دو نوع سیمان پرتلند تیپ ۵ با محتوی متفاوتی از C_S انتخاب گردید. مقدار افزودنی سنگ آهک در درصدهای متفاوت ۰ و ۱۰ و ۲۰ درصد کنترل شد. درصد خلوص سنگ آهک مصرفی حداقل ۸۵٪ گزارش شد.

سپس از هر سیمان نمونه های ملات برحسب استاندارد ASTM C۱۰۱۲ تولید شد. نسبت سنگ دانه به سیمان ۲/۷۵ و نسبت آب به سیمان ۰/۴۸۵ در نظر گرفته شد و در مرحله بعد به مدت ۲۴ ساعت قالبها در یک اتاق رطوبت نگهداری شدند و سپس نمونه ها را خارج کرده و در آب اشباع از آهک و تا زمانی که مقاومت 30 ± 3 MPa حاصل گردد، عمل آوری شدند. در این آزمایشات حد انبساط برای سیمان مقاوم در برابر سولفات ۰/۱ در یک سال در نظر گرفته شد. بعد از عمل آوری، هر مجموعه از نمونه ها بطور جداگانه در تانک

۱- M. A. Gonzalez

۲- E.F. Irassar

پلاستیکی مخصوصی حاوی محلول ۵٪ سولفات سدیم فرو برده شدند. pH محلولها به طور پیوسته و با افزودن محلول مرکب سولفات سدیم و اسید سولفوریک ۳۵٪ ($2\text{N H}_2\text{SO}_4 + \text{M Na}_2\text{SO}_4$) و با استفاده از فنل فتالین به عنوان نمایشگر کنترل شدند. میزان مصرف محلول اندازه گیری شد و همچنین نسبت حجم کلی نمونه ها به حجم کلی محلول سولفات درحد ۱:۴ ثابت نگه داشته شد. در زمانهای ۱۸۰، ۹۰، ۵۶، ۲۸، ۰ و ۳۶۰ روزه نمونه ها مطالعه شده و میزان انبساط آنها اندازه گیری شد. همچنین مقاومت خمشی نمونه ها نیز مورد اندازه گیری و مطالعه قرار گرفت. در هر تست دو نمونه مورد استفاده قرار گرفته، مقاومت فشاری نیز بر روی قطعات بدست آمده از نمونه ها انجام شد.

مقاومت های خمشی و فشاری به صورت نسبت هایی از مقاومت در محلول به مقاومت در آب گزارش شدند. میزان انبساط نیز بر روی بقیه نمونه های سالم اندازه گیری شد. همچنین ترکیب مینرالی نمونه ها با X-Ray مورد مطالعه قرار گرفت.

نتایج بدست آمده از این آزمایشات نشان داد که جایگزینی بخشی از سیمان های پرتلند حاوی C_3A کم با سنگ آهک می تواند در مقاومت سیمان در برابر سولفات ها مؤثر واقع شود. مقدار جایگزینی سنگ آهک باعث افزایش یا کاهش عملکرد سیمان در برابر سولفات ها می گردد. براساس نتایج بدست آمده جایگزینی ۱۰٪ تأثیر قابل ملاحظه ای بر مقاومت سولفاته سیمان پرتلند تیپ ۲ و ۵ نمی گذارد، در حالیکه مقاومت در برابر سولفات نمونه های حاوی ۲۰٪ سنگ آهک کاهش نشان می دهد.

در یک فعالیت تحقیقاتی، ۸ نوع سیمان متفاوت در یک آسیاب گلوله ای صنعتی طراحی و ساخته شد و در تولید این سیمانها از کلینرهایی با ضریب اشباع آهک متفاوت و همچنین سنگ آهکی با درصد خلوص حداقل ۸۵٪ استفاده شد و سیمانهایی با دو نرمه متفاوت تولید گردید.

درصد سنگ آهک در همه سیمانها برابر ۵٪ در نظر گرفته شد، بعلاوه در همه سیمانها نیز ۵٪ گچ اضافه شد. آزمایشات انجام شده بر روی ۸ نمونه سیمان نشان داد افزودن سنگ آهک می تواند بعضی از خواص مهم سیمان را تحت تأثیر قرار دهد اما این تأثیر به پارامترهای دیگری نیز بستگی دارد. اثر افزودنی سنگ آهک بیشتر به نوع کلینکر بستگی دارد تا نرمی آنها. افزودن سنگ آهک به کلینرهایی که LSF نسبتاً بالا دارند بیشتر در مقاومت فشاری اولیه تأثیرگذار می باشد در حالیکه در کلینکرهای حاوی LSF نسبتاً پایین مقاومت های فشاری بعد از ۲۸ روز و همچنین زمان گیرش اولیه تحت تأثیر قرار می گیرد. در یک کار تحقیقاتی، سی وی لیس و همکارانش پارامترهای مؤثر بر خواص سیمان پرتلند سنگ آهکی را مورد مطالعه و بررسی قرار داده است. در این کار تحقیقاتی از دو نوع کلینکر تیپ ۱ و تیپ ۲ و همچنین سه نوع سنگ آهک با خلوص متفاوت (که یک نوع از آنها دو لومیتی بوده است) استفاده شد. در این آزمایشات ۸۸ نمونه سیمان پرتلند سنگ آهکی با کلینکرهای متفاوت و درصدهای مختلفی سنگ آهک و سنگ گچ که هم زمان آسیاب شدند، تولید شد.

خواص مهندسی سیستم های طراحی شده از قبیل مقاومت فشاری، درصد آب به سیمان (W/C) سلامتی سیمان و زمان گیرش مورد مطالعه و بررسی قرار گرفت. علاوه بر این تغییرات حجمی (چروکیدگی و انبساط خطی) ملات تهیه شده اندازه گیری گردید. نتایج آزمایشات انجام شده حاکی از آن است که:

۱- با کنترل کیفیت کلینکر و سنگ آهک و درصد سنگ آهک و میزان نرمی سیمان تولیدی می توان سیمان مناسبی با خواص مورد نظر تولید نمود.

۲- سیمان پرتلند سنگ آهکی که شامل ۱۰٪ سنگ آهک باشد می تواند مقاومت فشاری تقریباً برابری در مقایسه با سیمان پرتلند مرجع از خود نشان دهد.

۳- در این سیمان ها میزان آب مورد نیاز شدیداً به نوع کلینکر و کیفیت سنگ آهک و توزیع دانه بندی این دو

بستگی دارد .

۴-زمان گیرش وسلامتی سیمان های پرتلندآهکی رضایت بخش و مشابه باسیمان های پرتلند مرجع می باشد .

۵-همچنین اندازه گیری های انجام شده نشان می دهد که انبساط خطی ملات های سیمان پرتلند سنگ آهکی کمتر از میزان انبساط خطی در سیمان خالص می باشد .

۶-وجود دولومیت درسنگ آهک می تواند آثارمنفی بررفتار مکانیکی سیمان پرتلندآهکی داشته باشد .

۲-۲-۲- ویژگی های سیمان پرتلند آهکی طبق استاندارد ملی ایران به شماره ۴۲۲۰

۲-۲-۲-۱- ویژگی های شیمیایی

ویژگی های شیمیایی سیمان پرتلندسنگ آهکی باید با مشخصات مندرج در جدول زیر این استاندارد مطابقت داشته باشد .

جدول ۷- ویژگی های شیمیایی سیمان پرتلند سنگ آهکی

ردیف	ترکیب شیمیایی	حداکثر میزان درصد وزنی	روش آزمون استاندارد ملی ایران
۱	اکسید منیزیم (MgO)	۵	۱۶۹۲
۲	انیدرید سولفوریک (SO_3)	۳/۵	۱۶۹۲
۳	کلرید (Cl)	۰/۱	۱۶۹۲
۴	کسر وزن در اثر سرخ شدن	۱۲	۱۶۹۲

۲-۲-۲-۲- ویژگی های فیزیکی

ویژگی های فیزیکی سیمان پرتلند سنگ آهکی باید با مشخصات مندرج در جدول شماره ۸ این استاندارد مطابقت داشته باشد .

جدول ۸- ویژگی های فیزیکی سیمان پرتلند سنگ آهکی

ردیف	ویژگی	میزان	روش آزمون استاندارد ملی
۱	نرمی	سطح مخصوص - سانتیمتر مربع بر گرم (حداقل)	۳۹۰
۲	انبساط با آزمون اتوکلاو (حداکثر به درصد)	۰/۸	۳۹۱
۳	زمان گیرش با آزمون ویکات	اولیه بر حسب دقیقه (حداقل)	۷۵
		نهایی بر حسب ساعت (حداکثر)	۸
۴	تاب فشاری بر حسب کیلوگرم بر سانتیمتر مربع (حداقل)	سه روزه	۱۲۰
		هفت روزه	۲۰۰
		بیست و هشت روزه	۳۳۰

۲-۲-۲-۳- ویژگی های شیمیایی سنگ آهک ویژه

ویژگی های شیمیایی سنگ آهک ویژه مورد مصرف در تولید سیمان پرتلند سنگ آهکی باید با مشخصات مندرج در جدول شماره ۹ این استاندارد مطابقت داشته باشد .

جدول ۹- ویژگی های شیمیایی سنگ آهک ویژه

ردیف	ویژگی	حداکثر درصد وزنی	روش آزمون استاندارد ملی ایران
۱	میزان کل کربن آلی TOC	۰/۲	
۲	میزان جذب متیلن بلو	۱/۲	
۳	میزان خلوص کربنات کلسیم در سنگ آهک ویژه	> ۹۰	
۴	اکسید منیزیم (MgO)	۳	۱۶۹۲

۲-۳- خواص سیمان پرتلند سنگ آهکی

الف - تأثیر سنگ آهک در واکنش های هیدراتاسیون

برخلاف تصورات اولیه در خصوص بی اثر بودن سنگ آهک در مجموعه تحولات شیمیایی فازهای سیمان با آب تحقیقات مفصل نشان داد سنگ آهک در این تحولات شیمیایی وارد شده و نقش قابل ملاحظه ای را ایفا می کند . در واقع کربنات کلسیم اضافه شده از طریق سنگ آهک با فاز هیدرولیکی C_3A در حضور آب واکنش داده و منجر به تشکیل ترکیب جدیدی در سیمان به نام کلسیم کاربوآلومینوهیدرات می گردد . این واکنش همانند واکنش تشکیل اترنژیت نسبتاً سریع بوده و می تواند خواص کوتاه مدت سیمان از جمله زمان گیرش و مقاومت های اولیه را تحت تأثیر قرار دهد . واکنش مربوطه به صورت زیر می باشد .

هیدرات منوکاربوآلومینات $\rightarrow C_3A + \text{سنگ آهک}$

به علاوه نتایج تحقیقات دال بر وجود شواهدی است در خصوص تأثیر قابل ملاحظه کربنات کلسیم بر تسريع واکنش هیدراتاسیون فاز آلایت ناشی از افزودن سنگ آهک . نظر به اینکه رفتار مکانیکی کوتاه مدت سیمان و محصولات سیمانی ناشی از هیدراتاسیون همین فاز یعنی آلایت می باشد ، این مسئله به همراه واکنش کربنات کلسیم با C_3A و تشکیل کلسیم کاربوآلومینو هیدرات باعث می شود که بتوان بدون افت محسوسی در مقاومت های اولیه ، میزان قابل ملاحظه ای از فازهای سیمان را با کربنات کلسیم جایگزین نمود .

ب - آثار سنگ آهک بر خواص مهندسی و عملکرد سیمان

البته قابل ذکر است که خواص مطرح شده در ذیل در صورت اضافه کردن مقادیر نسبتاً پایین سنگ آهک به سیمان پرتلند قابل دسترسی می باشد و با اضافه کردن مقادیر بیشتر ممکن است در بعضی موارد تأثیر منفی بر خواص سیمان پرتلند داشته باشد .

ب-۱- مقاومت های اولیه بالاتر در مقایسه با سیمان های مخلوط

سیمان پرتلند سنگ آهکی مقاومت اولیه بالاتری نسبت به سیمان های مخلوط دیگر دارا می باشد و علت آن را می توان به دلایل زیر مربوط دانست :

- تشکیل کلسیم کاربوآلومینوهیدرات
- تسريع واکنش هیدراتاسیون
- اثر پرکنندگی

نظر به اینکه قابلیت خردشوندگی و سایش سنگ آهک عموماً به میزان قابل ملاحظه ای بیشتر از کلینکر می باشد، آسیاب کردن همزمان این دو ماده باعث می شود سنگ آهک افزوده شده ریزتر نرم شده و بیشتر در برشهای نرم سیمان تجمع نماید. نرمی قابل ملاحظه سنگ آهک و توزیع بسیار مناسب و یکنواخت آن در اثر آسیاب کردن همزمان باعث می شود سنگ آهک بتواند نقش پرکنندگی فضاهای خالی بین دانه های نسبتاً درشت کلینکر را ایفا نموده و بدین ترتیب با تکنیک متراکم سازی، رفتار مقاومتی سیمان بالاخص مقاومت های کوتاه مدت مقداری اصلاح شود.

ب- ۲- کارپذیری بهتر

سیمان پرتلند سنگ آهکی در مقایسه با سیمان مرجع به دلیل اثر روانسازی ذرات ریز سنگ آهک که به طور یکنواخت در بین ذرات کلینکر توزیع شده اند از کارپذیری نسبتاً بهتری برخوردار است. بنابراین نسبت آب به سیمان در سیمان پرتلند سنگ آهکی برای دستیابی به یک کارپذیری برابر در مقابل سیمان مرجع کاهش می یابد.

ب - ۳- آب آزاد کمتر

افزودن سنگ آهک به سیمان باعث می شود آب آزاد سیمان و محمولات سیمانی به میزان چشم گیری کاهش یافته و در نتیجه از بروز پدیده آب افتادگی جلوگیری شود. این موضوع در تحقیقات متعدد به اثبات رسیده است.

ب - ۴- چروکیدگی کمتر در مقایسه با سیمان مرجع

نتایج آزمایشات انجام شده بر روی سیمان پرتلند سنگ آهکی حاکی از آن است که چروکیدگی زمان خشک شدن این سیمان نسبت به سیمان خالص کمتر می باشد.

ب - ۵- مقاومت بیشتر در برابر محیط های خورنده

افزودن سنگ آهک در مقادیر نسبتاً کم تغییرات قابل ملاحظه ای را بر سیستم تخلخل متصل و باز سیمان برجای می گذارد در واقع وجود دانه های ریز سنگ آهک و اثر پرکنندگی ناشی از آنها می تواند به میزان قابل ملاحظه ای حجم تخلخل متصل و باز سیمان را کاهش دهد و این امر در واقع به معنای انسداد مسیر نفوذ عوامل مهاجم خارجی به داخل سازه های بتنی و سیمانی است. بدین ترتیب با کاهش میزان نفوذ این عوامل عملکرد و دوام سازه های بتنی افزایش پیدا می کند، این موضوع نیز در تحقیقات متعددی به اثبات رسیده است. نکته قابل توجه اینکه این تأثیر فقط در مقادیر نسبتاً کم سنگ آهک ملاحظه می گردد و به گونه ای که چنانچه مقدار سنگ آهک به مقادیر نسبتاً زیاد افزایش یابد، (بالای ۲۰٪) حجم تخلخل متصل و باز و همچنین میزان جذب سیمان افزایش یافته و آثار منفی آن بر عملکرد بلند مدت سیمان و بتن در محیط های مهاجم ظهور می کند.

ب - ۶- مقاومت بیشتر در برابر سیکل های انجماد و ذوب

ب - ۷ - مقاومت بیشتر در مقابل عوامل ضد یخ

بطور خلاصه :

- با کنترل کیفیت کلینکر و سنگ آهک و درصد سنگ آهک و میزان نرمی می توان سیمان مناسبی با خواص مورد نظر تولید کرد .
- سیمان پرتلند سنگ آهکی که شامل ۱۰٪ سنگ آهک باشد ، می تواند مقاومت فشاری تقریباً برابری در مقایسه با سیمان پرتلند مرجع از خود نشان دهد .
- در چنین سیمان هایی معمولاً میزان آب مورد نیاز کمی کمتر از سیمان مرجع می باشد .
- زمان گیرش سیمان های پرتلند سنگ آهکی رضایت بخش و برابر با سیمان های پرتلند مرجع می باشد .
- چروکیدگی سیمان های پرتلند سنگ آهکی کمتر از چروکیدگی سیمان های پرتلند مرجع می باشد .

۲-۴- کاربرد سیمان پرتلند سنگ آهک

سیمان پرتلند سنگ آهکی در تهیه ملات و بتن و در کلیه مواردی که سیمان پرتلند نوع یک بکار می رود، قابلیت کاربرد دارد . بعلاوه به جهت اندازه گیری مجاری موئینه و حفره ها و فضاها ی خالی در ژل این نوع سیمان، نفوذپذیری بتن کاهش یافته و در نتیجه دوام بتن سخت شده حاوی این نوع سیمان در برابر یخ زدن و آب شدن املاح یخ زدا و عوامل شیمیایی بهبود می یابد . با توجه به حرارت هیدراتاسیون کمتر این نوع سیمان نسبت به سیمان پرتلند نوع یک، بتن ریزی با این نوع سیمان در هوای سرد نیاز به دقت بیشتری دارد . حفظ آب این نوع سیمان نسبت به سیمان پرتلند معمولی بهتر است . همچنین کارایی (Workability) و قابلیت پمپ شدن بتن ساخته شده با آن ارتقا می یابد .

۲-۳- سیمان های روباره (سرباره) (Slag Cements)^۱

سیمان های روباره جزو سیمان های مخلوط محسوب گشته و انواع متنوعی دارند. این سیمان ها مواد چسباننده آبی هستند که از آسیاب کردن کلینکر سیمان پرتلند و روباره کوره های بلند و گچ با هم و یا مخلوط کردن پودر مجزا نرم شده مواد فوق حاصل می گردد.

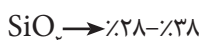
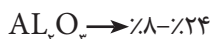
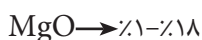
۲-۳-۱- روباره (سرباره)

براساس تعریفی که در استاندارد ملی ایران به شماره ۳۵۱۷ ارائه گردیده است:

- سرباره آهن گذاری: سرباره کوره بلند آهن گذاری محصولی است فرعی که از ترکیب مواد غیرفلزی سنگ آهن یا سنگ آهک در حالت مذاب همزمان با تولید آهن مذاب به دست می آید. ترکیب شیمیایی اصلی آن، سیلیکات ها و آلومینو سیلیکات های کلسیم و سایر ترکیبات چند تایی اکسیدهای اصلی می باشد.

- سرباره دانه شده: ماده شیشه ای دانه شده ای است که از سریع سرد شدن مواد مذاب سرباره آهن گذاری به کمک آب پاشیدن، غوطه ور شدن در آب و یا هوای فشرده پدید می آید.

ترکیب شیمیایی روباره ها نزدیک به ترکیب شیمیایی سیمان پرتلند بوده و به قرار زیر است:



همانطور که ملاحظه می شود ترکیب روباره ها کلاً ۹۰٪ تا ۹۵٪ از سه اکسید اصلی SiO_2 و CaO و Al_2O_3 تشکیل شده و کیفیت و خواص هیدرولیکی روباره عموماً بستگی به دو عامل، ترکیب شیمیایی و وضعیت فیزیکی روباره دارد.

۲-۳-۲- سیمان های پرتلند روباره ای (سرباره ای)

طبق استاندارد ملی ایران به شماره ۳۵۱۷ سیمان پرتلند سرباره ای، سیمانی است که از آسیاب نمودن مخلوط کلینکر سیمان پرتلند و سرباره دانه شده و یا از مخلوط نمودن سیمان پرتلند و پودر سرباره به نسبت های تعیین شده در زیر بدست می آید.

- سیمان پرتلند سرباره ای (پ - س) سیمانی است که به یکی از دو روش فوق تهیه می شود و حداکثر وزنی سرباره در آن ۲۵ درصد می باشد.

- سیمان پرتلند سرباره ای ضد سولفات (پ - س - ۵) سیمانی است که به یکی از دو روش فوق تهیه می شود و مقدار وزنی سرباره در آن ۲۵ تا ۷۰ درصد می باشد.

- سیمان سرباره ای (س) سیمانی است که از مخلوط کامل و یکنواخت عمدتاً سرباره و سیمان پرتلند یا آهک هیدراته و یا هر دو بدست می آید. مقدار وزنی سرباره در آن بیشتر از ۷۰ درصد می باشد.

۱- مطالب این بخش از منابع شماره های ۵ و ۲۶ اقتباس گردیده است.

۲-۳-۳- ویژگی های سیمان پرتلند سرباره ای طبق استاندارد ملی ایران به شماره ۳۵۱۷

۲-۳-۳-۱- ویژگی های شیمیایی

ویژگی های شیمیایی سیمان پرتلند سرباره ای باید با مشخصات مندرج در جدول ۱۰ این استاندارد مطابقت داشته باشد .

جدول ۱۰- ویژگی های شیمیایی سیمان های سرباره ای

ردیف	انواع سیمان ترکیب شیمیایی	سیمان پرتلند سرباره ای (پ - س)	سیمان پرتلند سرباره ضد سولفات (پ - س - ۵)	سیمان سرباره ای (س)	روش آزمون
۱	گوگرد بصورت (حداکثر درصد) (SO_4^{2-})	۳	۳	۴	۱۶۹۳
۲	گوگرد بصورت سولفید (حداکثر درصد) (S^{2-})	۲	۲	۲	
۳	باقیمانده نامحلول (حداکثر درصد)	۱	۱	۱	
۴	افت حرارتی (حداکثر درصد)	۳	۳	۴	
۵	قلیایی های قابل حل در آب (حداکثر درصد)	—	—	۰/۰۳	

یادآوری - چنانچه خریدار از تولید کننده گواهی ترکیبات شیمیایی سیمان خریداری شده را دریافت نماید، ترکیب شیمیایی محموله های تحویل شده مندرج در گواهی مندرج در گواهی مذکور می تواند با استفاده از رواداری اختیاری شیمیایی جدول ۱۱ در نظر گرفته شود .

جدول ۱۱- رواداری اختیاری شیمیایی

ردیف	ترکیب	رواداری
۱	اکسید سیلیسیم (SiO_2)	± 3
۲	اکسید آلومینیوم (Al_2O_3)	± 2
۳	اکسید کلسیم (CaO)	± 3

۲-۳-۳-۱- ویژگی های فیزیکی

ویژگی های فیزیکی سیمان سرباره ای باید با مندرجات جدول ۱۲ این استاندارد مطابقت نماید .

جدول ۱۲- ویژگی های فیزیکی سیمان سرپاره ای

ردیف	انواع سیمان ویژگی های فیزیکی		سیمان پرتلند سرپاره ای (پ - س)	سیمان پرتلند سرپاره ضد سولفات (پ - س - ۵)	سیمان سرپاره ای (س)	روش آزمون
۱	نرمی: سانتیمتر مربع بر گرم (حداقل) (۱)		۲۸۰۰	۲۸۰۰	۲۸۰۰	۳۹۰
۲	انبساط با آزمون اتوکلاو (حداکثر درصد)		۰/۵	۰/۵	۰/۵	۳۹۱
۳	انقباض با آزمون اتوکلاو (حداکثر درصد)		۰/۲	۰/۲	۰/۲	۳۹۱
۴	زمان گیرش	۱-۴- اولیه (حداقل به دقیقه)	۴۵	۴۵	۴۵	۳۹۲
		۲-۴- نهایی (حداکثر به ساعت)	۷	۷	۷	۳۹۲
۵	حداقل تاب فشاری (کیلوگرم بر سانتیمتر مربع)	۱-۵- سه روزه	۱۲۰	۱۰۰	—	۳۹۳
		۲-۵- هفت روزه	۲۰۰	۱۸۰	۱۰۰	۳۹۳
		۳-۵- بیست و هشت روزه	۳۲۰	۳۰۰	۲۲۰	۳۹۳
۶	حداکثر حرارت هیدراتاسیون کالری بر گرم (۲)	۱-۶- هفت روزه	۷۰	۷۰	۷۰	۳۹۴
		۲-۶- بیست و هشت روزه	۸۰	۸۰	۸۰	۳۹۴

- ۱- بنا به درخواست خریدار انجام می شود و میزان آن در آزمون دانه بندی با روش تر بر روی الک ۴۵ میکرون و یا روش نفوذپذیری هوا مشخص خواهد شد .
- ۲- بنا به درخواست خریدار انجام می شود .

۲-۳-۴- خواص کیفی سیمان های سرباره ای

بررسی ها و مطالعات انجام شده نشان می دهد که :

- ۱- سیمان های سرباره ای در کوتاه مدت مقاومت فشاری و خمشی کمتری از خود نشان می دهند و این کاهش در مقاومت با افزایش مقدار درصد سرباره بیشتر می گردد .
- ۲- گیرش سیمان های سرباره ای طولانی تر از سیمان های پرتلند است (به دلیل وجود آلومین در سرباره) و این تاخیر در گیرش با افزایش مقدار سرباره در سیمان بیشتر می گردد .
- ۳- انبساط سیمان های سرباره ای، کمتر از سیمان پرتلند است و با افزایش مقدار سرباره، انبساط سیمان کمتر می گردد .
- ۴- سیمان های سرباره ایی در دراز مدت به مقاومت فشاری و خمشی مطلوب و حتی بالاتر از سیمان بدون سرباره می رسند .
- ۵- برای کنترل گیرش و نیز جبران مقاومت کوتاه مدت سیمان های سرباره ای می توان نرمی سیمان را اندکی بالا برد (مثلاً ۲۰۰-۱۰۰ سانتی متر مربع بر گرم) و همچنین مقدار درصد گچ اضافه شده به سیمان را کاهش داد .
- ۶- سیمان های سرباره ای در برابر عوامل مهاجم مقاوم تر هستند و این خاصیت با افزایش مقدار سرباره در سیمان زیادتر می شود .

۲-۳-۵- کاربرد های سیمان های سرباره ای

کاربرد سیمان پرتلند سرباره ای مانند سیمان پرتلند است و با توجه به ویژگی هیدروفوبی آن در تاسیسات مهندسی هیدرولیک و بناهایی که در مناطق مرطوبند، مصرف می شود . نباید در بناهایی که غالباً در معرض یخ زدگی و آب شدن یخ و یا خشک و مرطوب شدن قرار می گیرند، مصرف شود .

بتن سیمان روباره در مقایسه با بتن سیمان پرتلند در مقابل یخ زدگی و هوا ضعیف تر است . در عوض تمایل بیشتری به تغییرپذیری با تغییرات رطوبت دارند و در مقابل اثرات و رطوبت مقاومت کمتری دارند، انواع سیمان سرباره را می توان همراه با چسباننده های محلی و چسباننده های روباره آهک، روباره گچی، جوشهای روباره ای و پوزولان آهکی مصرف کرد .

۲-۴-سیمان پرتلند میکروسیلیس (Silicafume Portland Cement) °

سیمان پرتلند میکروسیلیس مخلوطی از سیمان پرتلند و میکروسیلیسی یا دوده سیلیس (Silicafume) می باشد و جزو سیمان های آمیخته (Blended Cement) محسوب می گردد .
برخی خواص مهم این سیمان شامل:
کاهش نفوذ ناپذیری، کاهش خوردگی، مقاومت در برابر حملات شیمیایی، کاهش گرمائی هیدراتاسیون، افزایش مقاومت و دوام بتن .

۲-۴-۱- میکروسیلیس چیست ؟

میکروسیلیس یا دوده سیلیسی (Silicafume) میکروسیلیس از محصولات جنبی (By Product) واحدهای تولیدی فلزات سیلیس دار و یا فلزات فروسیلیسی است. این ماده از طریق حرارت دادن کوارتز، زغال، آهن و براده های چوب تا درجه حرارت ۱۸۰۰ و جمع آوری ذرات ریز موجود در گازها و بخارات خروجی حاصل از احتراق بدست می آید . میکروسیلیس پودر بسیار ریزی است که حاوی ذرات با قطر میانگین حدوداً ۰/۱ میکرون و دارای وزن مخصوص ظاهری (Bulk Density) ۱۵۰ تا ۲۵۰ کیلوگرم بر متر مکعب می باشد . ذرات مورد نظر کاملاً به شکل کروی بوده که این امر ناشی از منشا پیدایش آنهاست .

رنگ میکروسیلیس از سفید تا خاکستری روشن و تا سیاه متغیر است، سطح مخصوص یا نرمی آن در حدود ۲۰,۰۰۰ cm^2/gr می باشد که تقریباً ۱۰۰ بار بیشتر از نرمی ذرات سیمان و در حدود نرمی ذرات موجود در دود سیگار است . دیگر اسامی این ماده عبارتند از : دوده سیلیس متراکم شده (Condensed Silicafume)، میکروسیلیکا (Microsilica)، گرد فرو سیلیس (Ferosilicon Dust) و ...
بعضی از کاربردهای میکروسیلیس عبارتند از : سیمان و بتن، مواد نسوز، کودهای شیمیایی، پرکننده های لاستیکی و پلاستیکی، سیمان چاه نفت، لوزام آرایشی و زیبایی .

۲-۴-۲- سیمان پرتلند میکروسیلیس

تولید سیمان های آمیخته (Blended Cement) در دنیا به خاطر مزایای اقتصادی، فنی، زیست محیطی مورد توجه قرار گرفته است . از آن جمله می توان به سیمان های حاوی پوزولان طبیعی، سنگ آهک، روباره، خاکستر بادی و اخیراً دوده سیلیسی (Silicafume) اشاره کرد . دوده سیلیسی که در ایران به نام میکروسیلیس نامیده می شود، یکی از جالبترین موادی است که خواص بتن را بهبود می بخشد .
میکروسیلیس به عنوان یک افزودنی مصرفی در هنگام ساخت بتن مورد استفاده واقع می شود، که عملاً اختلاط آن بخوبی انجام نشده و ذرات میکروسیلیس به صورت همگن و یکنواخت توزیع نمی شود و نیاز به تجهیزات آمیختنی خاص پیدا می کند که تهیه آن برای تک تک مصرف کنندگان میسر نمی باشد .
سیمان میکروسیلیس مخلوط از سیمان پرتلند و مقدار ۸ درصد از میکروسیلیس است . یکی از ضرورت های افت شدید کارایی و روانی بتن تازه شده و بناچار باید فوق روان کننده مصرف نمود . زیرا میکروسیلیس مانند پوزولان دارای خاصیت بار الکتریکی سطحی بین ذرات بوده و از سوی دیگر به علت ریزدانهگی زیاد دارای سطح

سیمان میکروسیلیس، مصرف توام فوق روان کننده مناسب می باشد، چرا که استفاده از میکروسیلیس موجب مخصوص بسیار زیاد بوده و این مورد باعث بالا رفتن نیاز آبی این نوع سیمان می گردد .

۲-۴-۳- خواص و مزایای سیمان میکروسیلیس

برخی خواص مهم و مزایای سیمان مذکور در زیر خلاصه گردیده است:

- افزایش مقاومت فشاری و خمشی بتن
- آب انداختگی (Bleeding) بتن میکروسیلیس عمدتاً کمتر از بتن با سیمان معمولی است .
- آب مورد نیاز بتن (Water Demand) حاوی میکروسیلیس باید به نسبت افزایش درصد افزودنی، آب را به اندازه کافی افزایش داد .
- ترک خوردگی جمع شدگی (Shrinkage Cracking)
- در بتن حاوی میکروسیلیس آب انداختگی در حد کم و بسیار ناچیز است، بنابراین آب کمی در سطح بتن جمع خواهد شد، در نتیجه خطر ترک خوردگی و جمع شدگی افزایش خواهد یافت . علت های زیادی در خصوص این نوع ترکها بیان شده است، از جمله اینکه در شرایط عمل آوری اگر دما زیاد و یا رطوبت کم باشد و یا باد شدید بوزد، که همه باعث تبخیر سریع و خشک شدن سطح نمای بتن و عامل بوجود آمدن ترک خواهد شد . برای جلوگیری از این خطر توصیه شده به طرق مختلف سطح بتن از تبخیر آب حفاظت شود، مانند استفاده از پلاستیک، آب پاشی مستمر و رطوبت سازی، ترکیبات عمل آوری و مواد شیمیایی دیر کننده تبخیر .
- در نسبت های درصد بالای روانی با مقادیر زیاد دوده سیلیس در بتن حاوی سیمان میکروسیلیس زمان گیرش (Setting time) به تاخیر خواهد افتاد .
- مقدار هوای محبوس (Air Entrainment) در بتن حاوی میکروسیلیس بسته به درصد SF افزایش می یابد .
- استفاده از میکروسیلیس در تولید سیمان های میکروسیلیس باعث کاهش نفوذ ناپذیری (Permeability) می شود
- در بتن های حاوی سیمان میکروسیلیس تحرک یون های کلر کم بوده و از نفوذ بیشتر کلر و در نتیجه از خوردگی آرماتورها در بتن آرمه جلوگیری می شود .
- تکیدگی کربناتی (Carbonation Shrinkage)
- در سطوح باران گیر بتن، که در معرض باران و هوای مرطوب قرار دارند، نوع ویژه ای از تکیدگی رخ می دهد که تکیدگی کربناتی نام دارد . این نوع تکیدگی باعث بروز ترک های پوست ماری در سطوح مزبور گشته و پایداری آنها را تقلیل می دهد .
- این پدیده تنها سبب خراب شدن شکل ظاهری قطعات می گردد، بلکه توقف ذرات آبی در سطح بتن را در آینده تسهیل کرده و شرایط مناسبتری را برای مکانیسم تخریب ایجاد می نماید . یعنی آهنگ تخریب افزایش یافته و پایداری کاهش می یابد .
- میکروسیلیس مشابه سایر پوزولان ها از میزان Ca(OH)_2 موجود در بتن می کاهد و این یک تسریع در نرخ کربناته شدن می باشد .
- در حالت کلی، هنگامی که بتن با کیفیت زیاد با آب به سیمان کم و همچنین میکروسیلیس در آن استفاده شده باشد و به قدر کافی عمل آوری آن انجام شود، می توان پذیرفت که مشکل کربناتی وجود نخواهد داشت .
- بتن میکروسیلیس مقاومت بهتری در برابر حملات شیمیایی (Chemical Resistance) نسبت به سیمان معمولی از خود نشان می دهد .

۲-۴-۴- نقش میکروسیلیس در سیمان

میکروسیلیس دارای تاثیر دوگانه ای می باشد که موجبات بهبود خواص خمیر سیمان و در نتیجه بتن حاصله را فراهم می نماید، این دو عبارتند از :

۱- تاثیر میکروفیلری (Micro Filler Effect)

۲- تاثیر پوزولانی (Pozzolan Effect)

۲-۴-۴-۱- تاثیر میکروفیلری (Micro Filler Effect)

بررسی های انجام شده روی خمیر سیمان نشانگر این است که میکروسیلیس به خاطر ریزی ذرات (حدود ۱۰۰ بار کوچکتر از سیمان) با پخش شدن و استقرار در بین ذرات سیمان در ماتریس خمیر سیمان سبب کاهش قابل ملاحظه فضای ورود آب به داخل بتن و نیز ایجاد نقاط تجمع محصولات واکنش هیدراتاسیون می گردد . به عنوان مثال معلوم شده که در مخلوطی مشتمل بر ۸۵٪ سیمان و ۱۵٪ میکروسیلیس، تقریباً حدود دو میلیون ذره میکروسیلیس در برابر تنها یک ذره سیمان قرار دارد .

این امر موجب ایجاد تجمعات بسیار فشرده ای از ذرات میکروسیلیس در بین ذرات سیمان گردیده و لذا میزان تخلخل بتن به حداقل میزان آن کاهش می یابد .

این موضوع نیز حائز اهمیت است که ذرات میکروسیلیس نقاط تجمع محصولات واکنش یا همان کانون های واکنش را برای هیدراتاسیون سیمان فراهم آورده و بدین ترتیب موجب تسریع واکنش و حرارت زایی ترکیب سیمان، خصوصاً C_3S می شود . حتی اشاره شده است که اثر میکروسیلیس در این رابطه فراتر از تسریع واکنش آلیت بوده و موجب ارتقا واکنش آن می گردد .

به عبارت دیگر میکروسیلیس یک نقش فیزیکی ایفا می کند و به علت ریزی بیش از حد نسبت به سیمان می تواند در ماتریس خمیر سیمان تخلخل های ایجاد شده ناشی از آب آزاد را پر نماید . این موضوع تراکم جزئی نامیده شده و در میکرواستراکچر (ریزساختار) بتن، موجب کاهش تخلخل ساختار و منافذ می گردد و تخلخل و نفوذپذیری بشدت کاهش یافته و میکروسیلیس موجب کاهش قابل توجه اندازه لوله های مویینه شده و موجب افت شدید خاصیت نفوذپذیری بتن می گردد . پدیده ذکر شده، همچنین سبب تشدید پیوند بین سطح سیمان و سنگدانه شده ، سطح تماس بین ملات و سنگدانه ها افزایش می یابد که به صورت اثر دیواره ای ظاهر می گردد .

۲-۴-۴-۲- تاثیر پوزولانی (Pozzolan Effect)

میکروسیلیس یک سوپر پوزولان است که در صورت کاربرد صحیح تاثیر قابل ملاحظه ای در افزایش مقاومت و دوام بتن دارد، واکنش پوزولانی میکروسیلیس بسیار سریعتر از پوزولانهای معمولی مانند خاکستر بادی و اکثر پوزولانهای طبیعی رخ می دهد .

رفتار پوزولانی میکروسیلیس در بتن، مهمترین خاصیتی است که باعث می شود بتن سخت شده دارای خواص قابل ملاحظه ای گردد . به عنوان مثال یک پوزولان میکروسیلیسی بواسطه شکل و اندازه ذراتش خیلی فعال و پرکننده بسیار موثر در بتن است . همانطور که می دانیم پوزولان ها موادی هستند که بخودی خود خاصیت چسبندگی ندارند، اما بر اثر ترکیب با آهک در دمای معمولی و در حضور آب به صورت موادی پایدار نمایان می شوند و خاصیت چسبندگی از خود نشان می دهند .

میکروسیلیس با هیدروکسید کلسیم $Ca(OH)_2$ آزاد شده از هیدراتاسیون سیمان ترکیب شده و یک ترکیب

جدیدی به صورت ژل (C-S-H) می سازد. این ترکیب عنصر اصلی مقاومت چنین بتن هایی است و همچنین باعث کاهش تخلخل و بهم فشردگی ذرات متشکله می گردد. یکی از مهمترین اثرات واکنش های شیمیایی مواد پوزولانی در استفاده از میکروسیلیس، کاهش قلیایی های فلزی و محدود کردن pH در یک سطح مطمئن از ۱۳/۶ به ۱۲/۵ توسط پایدار کردن قلیایی ها و ترکیبات غیر قابل انبساط است، که این موجب کم کردن خطر فعل و انفعالات دراز مدت قلیایی ها خواهد شد.

همانطور که می دانیم ذرات سیمان به صورت غشایی با آب واکنش داده و ژل C-S-H و هیدروکسید کلسیم در پیرامون ذره سیمان تشکیل می گردد. بسته به اندازه ذره، درصد فازهای اصلی و نوع فازها، واکنش هیدراتاسیون به مرور زمان انجام شده و بتدریج از غشاهای بیرونی ذره کاسته شده و به مقدار ژل C-S-H و هیدروکسید کلسیم افزوده می شود و سپس میکروسیلیس به عنوان یک سوپر پوزولان باعث جذب هیدروکسید کلسیم آزاد و تشکیل ژل موثر C-S-H می گردد.

به عبارت دیگر بسته به جنس سیمان از یک طرف و درصد میکروسیلیس و میزان ریزدانه‌گی و فعالیت پوزولانی اکتیویته آن از طرف دیگر می توان انتظار داشت که با افزایش عامل میکروسیلیسی در خمیر سیمان تمامی هیدروکسید کلسیم آزاد شده ترکیب شود. باید متذکر شد که در صورت نفوذ سولفات ها به داخل منافذ بتن، گچ و یا سولفوآلومینات کلسیم در فضای محبوس تشکیل شده که انبساط آن موجب افزایش تنش درونی و تخریب پیرامون آن یعنی خمیره سخت شده خواهد شد.

ذکر این نکته مهم در اینجا ضروری است که برای دستیابی به بتن بسیار پر مقاومت (VHS) از عیار سیمان زیاد (۳۵۰ تا ۷۰۰) استفاده می نمایند و با مصرف روانسازها، نسبت آب به سیمان در حدود ۲۵٪ تا ۳۵٪ می رسد اما افزایش عیار سیمان جدای از مشکلات رفتاری، مانند جمع شوندگی و ...، حجم واحد بتن، دارای سیمان بیشتر و در نتیجه دارای مقدار بیشتر هیدروکسید کلسیم آزاد شده می باشد و افزایش این غلظت در صورت بالا بودن نفوذپذیری زیاد موجب خروج آن به بیرون و راه یابی سولفات ها به داخل و ایجاد واکنش منبسط شونده خواهد شد.

یعنی با استفاده از میکروسیلیس، عیار سیمان مصرفی کاسته شده و دستیابی به بتن بسیار پر مقاومت (VHS) با عیار سیمان کمتر میسر می گردد که جدای از مسائل رفتار بتن و اقتصاد آن موجب دوام بیشتر بتن نیز خواهد شد.

با توجه به امر فوق می توان استنباط کرد که در صورت نیاز، به منظور استفاده سریعتر از خاصیت پوزولانی میکروسیلیس می باید روند هیدراتاسیون را تسریع نمود، چون با هیدراتاسیون سیمان، ژل C-S-H و هیدروکسید کلسیم آزاد ایجاد شده و سپس واکنش بین هیدروکسید کلسیم و میکروسیلیس آغاز می شود که در این خصوص می توان گفت:

ابتدا سیمان هیدراته می شود و سپس دوده سیلیسی با آهک آزاد شده از سیمان ترکیب می شود. (ترکیبات پوزولانی) این ترکیبات معمولاً بین ۱۴-۷ روز در دمای معمولی (۲۰ درجه سانتیگراد) صورت می پذیرد. این خاصیت در صنعت سیمان به این معنی است که چنین سیمانی یا باید از کلینکر مرغوب و دارای خاصیت زود سخت شوندگی باشد و یا اینکه با افزایش بلین و نرمی ذرات سیمان روند هیدراتاسیون را سرعت ببخشد. موضوع مهم دیگر نیز که در صنعت سیمان می توان مدنظر قرار داد این است که اگر بخاطر خللی در ماتریس های تنظیم مواد و یا شرایط پخت، کلینکری تولید شد که فقط آهک آزاد آن مقداری بیشتر از حد مجاز باشد، این امر نگرانی کمتری را در بر خواهد داشت، زیرا در صورتیکه این کلینکر فقط برای تولید سیمان پرتلند میکروسیلیسی استفاده شود در اثر واکنش پوزولانی، آهک آزاد مذکور پس از اختلاط آب و سیمان جذب خواهد شد.

از سوی دیگر وجود آسیاب های ویژه تولید سیمان بلین زیاد در این صنعت نیز در تولید سیمان با نرمی زیاد کاربرد داشته و می دانیم که این نوع سیمان ها از روند هیدراتاسیون سریعتری برخوردار بوده و موضوع ایجاد واکنش زودرس پوزولانی میسر می گردد .

مسئله قابل تاکید نیز این است که وجود چنین سیستمی می تواند تولید سیمان مخلوط میکروسیلیسی را بهینه کند . زیرا اگر ذرات میکروسیلیس در معرض سایش گلوله های آسیاب مینی پیس قرار گیرد، از هم جدا شده و بخوبی لابه لای ذرات سیمان آمیخته می شود و این امر اطمینان خاطر از هموژناسیون را بیشتر می کند . از طرفی دیگر بازده آسیاب به علت وجود ذرات میکروسیلیس افزایش می یابد، چون مانند پوزولان ها سطوح گلوله ها را پاک می نمایند .

ضمن اینکه در صورت نیاز می توان سیمان با بلین های مختلفی تولید و به بازار عرضه نمود و این در حالیست که امکان آمیختن روان کننده ممتاز (Superplastisizer) در این مرحله میسر است، زیرا به خوبی روانساز در حین سایش، ذرات سیمان و میکروسیلیس را آغشته کرده و نقش خود را در خمیر سیمان ایفا می کند . این در حالیست که روانساز پودری یا مایع را نمی توان بعد از مرحله آسیاب سیمان آمیخت، زیرا در صورت پودری، در آب به کندی حل شده و نقش خود را ایفا نمی کند و در صورت مایع نیز موجب هیدراته شدن سیمان خواهد شد . داشتن تنوع تولید در صنعت سیمان امکان آمیختن میکروسیلیس را به سیمان P.K.Z نیز فراهم می کند چون به عنوان سیمان کامپلکس از آن یاد می شود .

آمیختن میکروسیلیس به کلینکر در آسیاب های سیمان معمولی نیز قبلاً اشاره شد، یعنی امکان آن نیز وجود دارد و حتی میکروسیلیس مانند پوزولان باعث افزایش راندمان آسیاب خواهد شد، ولی مساله عمده آلودگی زیست محیطی حائز اهمیت می باشد .

طبق بررسی های به عمل آمده و اطلاعات دریافتی کارخانه سیمان اصفهان، بنا به سفارش شرکت هایی نسبت به تولید سیمان پرتلند میکروسیلیسی از طریق افزودن آن به آسیاب به همراه کلینکر تجربیات خوبی داشته و درصد میکروسیلیس نیز در محصول فوق دارای ثبات خوبی بوده و موضوع خروج از فیلترهای آسیاب سیمان نیز مشکلاتی نداشته است.

براساس مطالعات انجام شده، میکروسیلیس به شکل های آزاد، متراکم شده و دوغاب قابل تهیه می باشد و این موضوع می تواند در تکنولوژی تولید سیمان آمیخته مورد توجه قرار گیرد و بسته به تمهیدات لازمه برای تجهیزات الحاقی به واحد تولید، پیش بینی لازمه به عمل آید .

با توجه به اینکه میکروسیلیس محصول جانبی (نه محصول اصلی) می باشد، نمی توان انتظار داشت که سیستم کنترل کیفیت در مورد آن اعمال شود، اما وجود تجهیزات و امکانات در مراکز تحقیقاتی و کارخانجات سیمان می تواند به عنوان یک ماده تائید شده بر روی کیفیت آن کنترل مطلوبی را اعمال نماید که این امکانات برای مصرف کنندگان (در کارگاه های بتن سازی) میکروسیلیس وجود ندارد .

۲-۴-۵- ویژگی های سیمان پرتلند میکروسیلیسی براساس استاندارد ASTM C1۲۴۰

مشخصات استاندارد میکروسیلیس برای مصرف به عنوان یک افزودنی مصرفی در سیمان هیدرولیکی، بتن، ملات و دوغاب ذکر گردیده است .

۲-۴-۵-۱- ویژگی های شیمیایی

ویژگی های شیمیایی سیمان پرتلند میکروسیلیسی باید با مندرجات جدول ۱۳ و ۱۴ این استاندارد مطابقت نماید

جدول ۱۳- نیازهای شیمیایی سیمان پرتلند میکرو سیلیسی

روداری	ترکیب
۸۵	SiO _۲ (% max)
۳	Moisture Content (% max)
۶	L.O.I. (% max)

جدول ۱۴- نیازهای شیمیایی (اختیاری) سیمان پرتلند میکرو سیلیسی

روداری	ترکیب
۱/۵	قلیایی ها (آلکالی) که در دسترس هستند مانند Na _۲ O (% max)

۲-۴-۵- ویژگی های فیزیکی

ویژگی های فیزیکی سیمان پرتلند میکروسیلیسی باید با مندرجات جدول ۱۵ این استاندارد مطابقت نماید .

جدول ۱۵- نیازهای فیزیکی سیمان پرتلند میکرو سیلیسی

روداری	ویژگی های فیزیکی
۵	روی الک ۴۵ mm (No.۳۲۵) - حداکثر در صد
۸۵	کمترین درصد کنترلی با سیمان پرتلند در سن ۷ روزگی

۲-۴-۶- روش تولید سیمان میکروسیلیسی حاوی فوق روانساز

همانگونه که قبلاً ذکر گردید میکروسیلیس احتیاج به فوق روانساز دارد تا بتوان توسط آن کارایی و پایداری بتن حاوی این نوع سیمان را افزایش داد و از کاهش مقاومت بخاطر مصرف آب بیشتر جلوگیری به عمل آورد . در زیر روشی برای تولید صنعتی بیان می گردد که مصرف کننده بتواند سیمان کامل تحویل بگیرد و نیازی به اضافه نمودن افزودنی ها نیز نباشد .

- آمیختن میکروسیلیس و سوپر پلاستی سائزر و سیمان پرتلند در استوانه دوار حاوی گلوله :
براساس مطالعات به عمل آمده از نظر کلی این امر میسر بوده ولیکن محدودیت هایی را از نظر صنعتی به دنبال خواهد داشت :

ذرات میکروسیلیس بسیار ریزتر از ذرات سیمان هستند و داخل آسیاب سیمان درزها و شکاف های بسیار ریزی وجود دارند که در حین کار سیمان از آن خارج نمی شود اما میکروسیلیس از آنها خارج می شود .
ضمناً با وارد شدن سوپر پلاستی سائزر و یا کمک ساینده سیمانهای چسبیده به گلوله ها و بدنه و مخصوصاً درزها از هم پاشیده و باعث بازشدن این درزها شده که فرار میکروسیلیس و غبار سیمان از آسیاب را فراهم می نماید که امکان بهره برداری را بخاطر آلودگی محیط زیست سلب می کند .
از طرفی دیگر مکش سپراتور و فیلترها برای جداسازی ذرات سیمان طراحی شده اند که محدوده دانه بندی آن

عموماً بین ۳ تا ۹۰ میکرون می باشد، اما عموماً قطر میانگین ذرات میکروسیلیس در حدود ۰/۲ میکرون بوده که این اختلاف فاحش قطر ذرات سیمان و میکروسیلیس، اجازه کاربری مناسب مکش سپراتور و فیلترها را نمی دهد و ذرات میکروسیلیس بسیار ریز از فیلترهای نهائی خارج می شود. که این ذرات درصد قابل توجهی از میکروسیلیس افزوده شده می باشد که اتلاف آن توجیه اقتصادی نداشته و مسائل زیست محیطی آن نیز مشکل را خواهد بود. مطالعات و بررسی های انجام شده نشان می دهد که سیستم تولید سیمان مزبور باید دارای ویژگیهای ذیل باشد:

الف- میکروسیلیس های بهم چسبیده فقط با تمرکز تنش و قرار گرفتن در بین سطح سخت تقریباً متصل به هم متلاشی و از هم جدا می شود و سیستم باید این وضع را ایجاد کند.

وجود گلوله های آسیاب در زمان دوران این وضع را پیش می آورد که هم انرژی کفایت می نماید و هم در زمان سائیدن و برخورد گلوله ها به هم و بدنه بی نهایت سطح تماس و سطح فشار برای جدایی ذرات بهم چسبیده میکروسیلیس فراهم می شود.

ب- مکش و هوادهی سیستم باید حذف شود، زیرا در کارخانه فروآلیاژ و فروسیلیس با حجم گاز زیاد، فیلترها میکروسیلیس موجود در گاز خروجی کوره را با سختی و هزینه کلان تفکیک می کنند و حال هوا دادن آن به همراه مقادیر بسیار زیادی سیمان با اختلاف دانه بندی زیاد منطقی نبوده و فیلتراسیون آن هزینه بسیار گزافی را در برخواهد داشت.

ج- تخلیه مواد به گونه ای باشد که بعد از آمیختن مواد در استوانه بسته حاوی گلوله به صورت بچ باشد، یا اینکه مکانیزم تخلیه تدریجی در اثر ثقل پیش بینی گردد.

در این روش تولید سیمان پرتلند، میکروسیلیس و فوق روانساز پس از پیمانه کردن وارد استوانه دوار حاوی گلوله های فولادی می شود. مقدار درصد اختلاط بهینه پس از تحقیقات آزمایشگاهی انجام شده به میزان ۸٪ میکروسیلیس و ۱٪ فوق روانسازهای رئوبیلد یا ملمنت پودری و اختلاط ۲۰ دقیقه ای جهت رسیدن به یکنواختی مورد نظر می باشند.

در این راستا امکان فرار ذرات میکروسیلیس و ذرات ریز وجود نداشته و پرت مصالح نداریم و آلودگی محیط زیست نیز به همراه نخواهد داشت. به علت وجود گلوله های فولادی هموژنیزاسیون بخوبی صورت گرفته و امکان آمیختن سوپر پلاستی سائزر در تولید میسر می شود.

۲-۴-۷- تجهیزات مورد نیاز تولید و ذخیره سازی

۱) استوانه دوار حاوی گلوله های فولادی برای تولید ۲۰ تن در ساعت محصول ابرسیمان پرتلند میکروسیلیسی. بجای این استوانه دوار می توان از آسیاب های با ظرفیت کم موجود در صنعت سیمان یا سایر صنایع استفاده نمود.

- تغذیه سیمان به این استوانه می تواند به کمک ماریپچ یا با استفاده از هوای فشرده انجام گیرد.

- تغذیه میکروسیلیس نیز به این استوانه می تواند به کمک ماریپچ و یا به روش تخلیه از جامبوبگ انجام گیرد.

- تغذیه سوپر پلاستی سائزر میتواند به روش تخلیه از پاکت بشکل پودری آن و به صورت دستی انجام گیرد.

- مدت زمان اختلاط با توجه به نتایج آزمایشگاهی ۳۰ دقیقه پیش بینی می شود.

- تخلیه محصول می تواند با تعبیه دریچه مکش سرنده دار یا دریچه سرنده دار بدنه ای باشد.

- برآورد اولیه نشان می دهد که تهیه و برپایی این سیستم استوانه به ۱/۰۰۰/۰۰۰/۰۰۰ (یک میلیارد) ریال سرمایه نیاز دارد. (۱۳۸۱)

۲) ذخیره سازی

با توجه به اینکه سفارش مشتریان این محصولات ویژه در مقادیر کم خواهد بود لذا امکان بکارگیری سیلوهای با ظرفیت زیاد پیشنهاد اجرایی نمی باشد و در خصوص سیمان های بلین زیاد نیز این مشکل موجب عدم امکان تولید با سفارش کمتر از ۲۰۰۰ تن برای متقاضی شده است .

- پس پیشنهاد می شود که چند سیلوی ایستاده با ظرفیت های ۲۰۰ الی ۵۰۰ تن مجموعاً به ظرفیت ۱۰۰۰ تن برای ذخیره سازی این محصول جدید تعبیه شود .

- در صورتی که این مجموعه در کنار سیلوهای سیمان پیش بینی شود، از آنها برای ذخیره سازی سایر محصولات جدید مانند سیمان بلین زیاد نیز می توان استفاده کرد و از سوی دیگر تغذیه سیمان پرتلند و یا سایر سیمان ها به داخل استوانه از محل سیلوهای ذخیره امکان پذیر می باشد .

- در صورتیکه میکروسیلیس داخل جامبوبگ تامین نشود می توان یکی از سیلوهای مذکور را نیز برای ذخیره سازی آن در نظر گرفت .

۳) بارگیری :

- بارگیری محصول می تواند به صورت فله و تخلیه به داخل بونکر سیمان انجام شود .

- بارگیری محصول می تواند بصورت فله و تخلیه به داخل جامبوبگ نیز انجام شود .

- بارگیری می تواند با تعبیه پکرهای منفرد ثابت دو شیر در داخل پاکت های سیمان انجام گیرد . البته با توجه به کاهش وزن مخصوص ظاهری این سیمان طراحی ابعاد پاکت الزامی می باشد . این کیسه ها می تواند به صورت کاغذی سه لایه و یا پلی پروپیلین لمینت شده باشد .

۴) موارد ایمنی :

- از نظر ایمنی روش پیشنهادی حداقل مواجهه میکروسیلیس و سایر مواد را بادستگاه تنفسی پرسنل به همراه خواهد داشت و روش اختلاط بچی، مشکلات زیست محیطی به همراه نخواهد داشت ولی درحد توصیه های ایمنی کارخانجات تولید سیمان رعایت موارد الزامی و بکارگیری تجهیزات فردی در هنگام کار مانند دستکش و ماسک و لباس پوشیده ضروری می باشد .

- ضمناً باید خریداران به رعایت نکات ایمنی ضمن مصرف از قبیل عدم تخلیه محصول از بونکر در محوطه باز و عدم تخلیه از جامبوبگ و پاکت در معرض باد بدون بکارگیری تمهیدات لازمه تذکر داده شود .

- مدت نگهداری این سیمان و محدودیتهای چیدن کیسه های آن مطابق ضوابط و مقررات ملی ساختمان - مبحث ۵، مصالح و فرآورده های ساختمانی و - مبحث ۱۲، ایمنی و حفاظت کار در حین اجرا مخصوصاً رعایت استاندارد شماره ۲۷۶۱ ایران تحت عنوان "استاندارد آیین کاربرد، حفاظت و انبار کردن سیمان در کارگاه های ساختمانی" الزامی است.

۲-۵-سیمان های بنایی (Masonry Cements) ^۱

سیمان بنایی چسباننده ای است آبی که در تهیه ملاتهای مختلف رایج در کارهای بنایی از آن استفاده می گردد. این سیمان از آسیاب نمودن مخلوط کلینکر سیمان پرتلند و سنگ آهک طبیعی یا مخلوط نمودن سیمان پرتلند و پودر نرم شده سنگ آهک یا پوزولان های طبیعی و مصنوعی ویا سرباره آهن گدازی به نسبت های لازم همراه با پودر هماتیت بدست می آید. هماتیت ماده ایست معدنی متبلور و طبیعی با ترکیب شیمیایی Fe_2O_3 و رنگ قرمز اخراپی که به میزان حداکثر تا ۱۰ درصد برای رنگین شدن سیمان بنایی و وجه تمایز و تشخیص آن از سایر انواع سیمان بکار می رود.

۲-۵-۱- سیمان بنایی و انواع آن

سیمان بنایی برای ساختن ملات بنایی مصرف می شود. ملات بنایی را برای به هم چسباندن آجر و سنگ در کارهای بنایی و اندودکاری نماهای درونی و بیرونی بناها مصرف می کنند. چون به ملات بنایی زیاد بارگذاری نمی شود، از این رو نیاز به آن نیست که سیمان بنایی دارای تاب زیاد باشد. در کشورهایی که دچار کمبود سیمان هستند، یعنی تولید سیمان آنها جوابگوی نیازمندی های آنها نیست، بهتر است که در بناها سیمان بنایی مصرف گردد. ساختمان های سنگی و آجری که با ملات سیمان و ماسه ساخته می شوند، بیش از $20 \frac{kg}{cm^2}$ بارگذاری نمی شوند؛ پس نیازی نیست در این ساختمان ها، سیمان استاندارد شده تیپ یک پرتلند مصرف شود. برای این منظور، سیمان هایی که مقاومت فشاری ملات ۲۸ روزه آنها (یک وزن سیمان + سه وزن ماسه استاندارد شده + نیم وزن آب) $150-100 \frac{kg}{cm^2}$ باشد، کافی است.

در زمانی که که فرآورده کارخانه های سیمان، نیاز روزافزون کشور را برآورده ننمایند، می توان با استفاده از منابع پوزولانی و سنگ آهک فراوان کشور، انواع مختلفی از سیمان بنایی را ساخت و آنرا ارزان تر از سیمان پرتلند به بازار عرضه کرد، تا به مصرف ساختمان های سبک برسد.

۲-۵-۲- انواع سیمان بنایی (براساس مواد تشکیل دهنده)

۲-۵-۲-۱- سیمان پرتلند سنگ آهکی ^۲

این سیمان از افزودن سنگ آهک به کلینکر سیمان پرتلند حاصل می شود، که در سال ۱۹۷۹ پس از سال ها تحقیق و بررسی روی نمونه های بی شمار آزمایشگاهی و تست های صنعتی در فرانسه پا به عرصه تولید نهاد. به دنبال آن سایر کشورهای اروپایی از جمله آلمان، مبادرت به تولید آن نمودند.

سیمان پرتلند آهکی، از کلینکر سیمان پرتلند و سنگ آهک ویژه به علاوه گچ، به نسبت های معین پس از پودر شدن در آسیاب سیمان، حاصل می شود. مقدار سنگ آهک اضافه شده با رعایت ضوابط تعیین شده در استاندارد اروپایی، بین ۲۰-۶ درصد می باشد. با توجه به اینکه افزودن سنگ آهک به کلینکر، سبب کاهش مقاومت سیمان خواهد شد، لذا جهت رفع این عارضه زیان بار، مخلوط سنگ آهک و کلینکر همراه با گچ خام در آسیاب سیمان، (مطابق استاندارد ^۳) باید تا اندازه ای پودر شود تا محصول نهایی (یعنی سیمان پرتلند سنگ آهکی)، از بلین بالاتری نسبت به بلین سیمان پرتلند، برخوردار گردد.

۱- مطالب این بخش از منابع شماره های ۴ و ۳۹ اقتباس گردیده است.

از آنجایی که خلل و فرج لوله‌های موبین، در خمیر سخت شده سیمان و نهایتاً بتن، اعم از تازه یا سخت شده، بصورت نقاط ضعف عمل می‌کنند، هدف از افزودن سنگ آهک با بلین بالا به کلینکر، پر کردن حفره‌ها و مسدود کردن یا کمتر کردن قطر لوله‌های موبین (البته نه تمامی آنها) می‌باشد، تا بدین طریق بتوان به سیمانی با کارایی مطلوب دست یافت.

ذرات سنگ آهک بسیار نرم، می‌توانند به سهولت داخل حفره‌ها، لوله‌های موبین و فضاهای خالی موجود در خمیر سیمان نفوذ کرده و بخش قابل توجهی از آنها را پر کنند.

به بیان روشن تر قطر لوله‌های موبین به وسیله ذرات بسیار ریز سنگ آهک، مسدود یا کمتر می‌شوند. بطوری که قطر درصد بالایی از آنها کمتر از قطر مولکولی آب است و این امر پدیده آب انداختن بتن تازه بعمل آمده این سیمان را به حداقل ممکن در مقایسه با بتن سیمان پرتلند، تقلیل می‌دهد.

- ویژگیهای سیمان پرتلند سنگ آهکی

- کارپذیری بهتر
- پدیده آب‌انداختن کمتر و کاهش جداسازی مواد جامد از آب
- دوام و پایداری بیشتر در برابر دوره‌های پی‌پی یخ‌زدن و آب شدن
- روانی بیشتر و قابلیت پمپ کردن
- قابلیت نفوذناپذیری بیشتر
- نگهداری عناصر متشکله موجود در بتن یعنی مصالح سنگی
- مصرف آب کمتر
- کاهش شوره زدن روی بتن
- کاهش کمتر تغییرات حجمی در اثر تر و خشک شدن بتن (چروک)
- چسبندگی بهتر میان میلگرد و بتن
- نگهداری و حفظ آب بیشتر (آب محفوظ) در خمیر سیمان، که جنبه حیاتی آن برای بتن و به خصوص در مناطق گرمسیر، غیرقابل انکار است.
- گرمای هیدراتاسیون کمتر، که این امر می‌تواند در بتن ریزی‌های حجیم از انبساط و نهایتاً ترک جلوگیری کند.
- مقاومت بهتر و بیشتر در مقابل عوامل شیمیایی، بخصوص سولفات‌ها در آب دریا به دلیل نفوذناپذیری بهتر و کاهش غلظت C_pA

گذشته از ویژگی‌های نوشته شده، هزینه تولید این سیمان، نسبت به هزینه تولید کلینکر سیمان پرتلند، به مراتب پایین‌تر و اقتصادی‌تر است.

به‌طوریکه :

-هزینه تمام شده یک تن سنگ آهک، از استخراج تا خرد شدن در سنگ شکن، بسیار کمتر از تولید یک تن کلینکر است.

-سنگ آهک مورد نظر، در معادن کلیه کارخانجات سیمان کشور یافت می‌شود.

-برای پودر کردن سنگ آهک، انرژی کمتری نسبت به پودر کردن کلینکر در آسیاب سیمان نیاز است.

۲-۲-۵-۲- سیمان بنایی با استفاده از لاتریت ها

هنگامی که خاک‌های لاتریتی، تا دمای ۷۵۰ درجه سلسیوس حرارت داده شود، به شرط داشتن مقدار کافی کاتون، به پوزولان مناسب و خیلی فعال تبدیل می‌شود. به‌طوری که یک مخلوط ۷۰٪ سیمان و ۳۰٪ لاتریت پخته، مقاومت و کارایی سیمان پرتلند را حاصل می‌کند. لاتریت‌های پخته شده را اگر با نسبت‌های مختلفی از آهک، مخلوط کرده و این مخلوط‌ها را در تماس با آب تا حد کارایی نرمال برسانیم، مقاومت‌های قابل قبولی را از خود نشان می‌دهند.

۲-۲-۵-۳- سیمان بنایی با سرباره زیاد

اگر ۳۰٪ وزنی کلینکر سیمان پرتلند و ۷۰٪ وزنی سرباره و مقدار لازم و مشخصی از گچ را با هم آسیاب کرده و مقداری از مواد هوازا به داخل ترکیب افزوده گردد، یک نوع سیمان بنایی با قدرت چسبندگی مطلوب حاصل می‌شود. در ادامه به برخی خواص و ویژگی‌های این سیمان اشاره خواهد شد.

۲-۲-۵-۴- سیمان آهک - پوزولان طبیعی

تا قرن نوزدهم، مخلوط‌های آهک - پوزولان، صرفاً برای ملات‌های هیدرولیکی بکار می‌رفت. این ترکیب می‌توانست در زیر آب، سخت شده و در مقابل حملات آب‌های آلوده و آب دریا، از خود مقاومت نشان دهد. به دلیل سرعت پایین سخت شدن، امروزه مخلوط آهک - پوزولان، جای خود را به سیمان‌های پوزولانی داده است.

۲-۲-۵-۵- سیمان آهک - سرباره

اختلاط و آسیاب کردن آهک هیدراته و سرباره دانه دانه شده، ترکیبی را به وجود می‌آورد که به هنگام مخلوط شدن با آب خاصیت سیمانی پیدا کرده و پس از مدتی مقاومت قابل قبولی را از خود بروز می‌دهد. این ترکیب نخستین بار در کشور آلمان کشف، تولید و به بازار عرضه شد و سپس تولید آن در کشورهای دیگر رواج پیدا کرد. پس از مدتی تولید آن در کشور انگلستان، به دلایل کاربردی، از رونق افتاد. تولید این سیمان، امروزه اختصاص به کشورهای خاصی داشته و کاربرد آن نیز بسیار محدود است. از جمله این کشورها می‌توان به فرانسه و بلژیک اشاره کرد که برای این سیمان، تحت عنوان سیمان بنایی، استانداردهای خاصی را تعریف کرده‌اند. این سیمان در انگلستان، به سیمان سرباره یا سیمان سرد مشهور است. در آمریکا، مدت‌زمانی است که از نام بازاری سیمان پوزولان استفاده شده و تحت عنوان سیمان سرباره، بوسیله استاندارد کیفیت آمریکا که اختلاط آهک و سرباره را با نسبت درصد سرباره به مخلوط بالاتر از ۶۰٪ بیان می‌کند، تعریف و بکار می‌رود.

خواص سیمان آهک-سرباره:

- در ساخت این سیمان از سرباره و از آهک کلسیم بالا، استفاده می‌شود.
- در عمل از ۳۰ درصد آهک کلسیم‌بالا و ۷۰ درصد سرباره استفاده می‌شود.
- این مخلوط از گیرش آرامی برخوردار است و مقاومت آن نیز در کوتاه مدت، نسبتاً پایین است. لیکن در درازمدت، مقاومت خوبی را نشان می‌دهد و این مقاومت روز به روز افزایش می‌یابد.
- این نوع سیمان نسبت به سیمان پرتلند دوام و همچنین مقاومت بسیار خوبی از خود نشان می‌دهد.

- براساس استاندارد بلژیک^۱، حداقل میزان سرباره موجود در این سیمان ها ۷۵٪ و طبق استاندارد فرانسه^۲، این سیمان ها نبایستی کمتر از ۷۰ درصد وزنی سرباره و بیشتر از ۵ درصد SO_3 داشته باشند.
- این سیمان ها بخاطر مقاومتی که در برابر حمله سولفات ها دارند، از کاربرد وسیعی در تماس با آب دریا و همینطور در کارهای فونداسیون زیرزمینی برخوردارند. در مورد خصوصیات کاربردی این ترکیب، می توان به مثال های زیر اشاره کرد:
- به عنوان مثال فرت^۳ بعد از ۱۶ سال، قطعات بتنی ساخته شده از این ترکیب را از داخل آب دریا خارج کرد که در شرایط بسیار مناسبی قرار داشتند.
- دی. لانگوانت^۴ و کوتس^۵ در سال ۱۹۰۰ در ساختمان زیرزمینی مترو پولیتان راه آهن فرانسه، از این ماده بدلیل مقاومت زیاد آن در برابر یون سولفات، بصورت انبوه استفاده نمودند.
- در حدود صد سال پیش در اسکینیگرو (یورک شایر انگلستان)، از این سیمان در مقابل حملات شیمیایی آب دریا استفاده شد، که هنوز در شرایط بسیار مناسبی قرار دارند.

۲-۵-۲- سیمان آهک - پوزولان فعال شده

ازدیرباز ترکیب آهک با رس کلسینه شده، به عنوان مصالح ساختمانی، مورد استفاده قرار گرفته است. کائولن پخته (متاکائولن)، یکی از مواد رسی می باشد، که به هنگام اختلاط با آب و آهک، مقاومت فشاری قابل قبولی را حاصل می نماید. مقاومت ۲۸ روزه این ماده، به مقدار زیادی به نسبت خاک پخته به آهک و نسبت آب به مواد جامد بستگی دارد. مقاومت فشاری حاصله از این ماده، در چند مورد آزمایش شده در نسبت های متاکائولن به آهک بین ۲-۳، ماکزیمم مقدار را دارد.

بدلیل وابستگی زیاد مقاومت این ماده با زمان و دمای پخت، برای رسیدن به نتایج بهینه، لازم است که عملیات حرارتی صحیحی برای این کار طراحی گردد. مقاومت فشاری این سیمان، همچنین به طبیعت مینرال های خاکی نیز بستگی دارد. بیشترین مقاومت، در استفاده از متاکائولن و کمترین آنها، بوسیله ایلیت پخته شده حاصل شده است. خواص مکانیکی خاک های کلسینه شده، به وسیله کاربرد مواد افزودنی، در حد مجاز، مثل اضافه کردن ۰/۱٪ ZnO در مخلوط، بهبود می یابد.

مخلوط های آهک - پوزولان فعال شده، دارای کارایی خوب، قابلیت آب نگهداری زیاد و توانایی ایجاد اتصالات خوب هستند و به علاوه با گذشت زمان، مقاومت بالایی را از خود نشان می دهند.

مخلوط آهک - پوزولان فعال شده، دارای همه خواص خوب اصلی مخلوط های پوزولان و آهک هستند. این مخلوط ها، دارای گیرش سریع بوده و پس از ۲۸ روز، مقاومت نسبتاً بالایی را کسب کرده، همچنین دارای چگالی انبوهی معادل، ۸۰۰-۷۵۰ کیلوگرم بر مترمکعب هستند. این مواد می توانند به عنوان ملات و اندود، مستقیماً از طریق مخلوط شدن با ماسه و آب، مورد استفاده قرار گیرند و مصرف آنها نیاز به تکنیک های خاصی ندارد.

۲-۵-۲- سیمان بنایی بر پایه سرباره و خاکستر بادی

در برخی کشورها، ضایعات صنعتی، مانند سرباره ها و خاکستر بادی، در مقادیر زیاد در دسترس بوده و مشکلات مصرف را بوجود می آورد.

۳- Ferret

۲- CLX ۱۶۰

۱- NBN ۴۹

۵- qouts

۴- De langavant

سیمان بنایی که بر مبنای مقادیر زیاد سرباره تهیه شود، با در نظر گرفتن هزینه بالای آسیاب، از نظر اقتصادی مقرون به صرفه نیست. با جایگزین کردن خاکستر بادی به جای قسمتی از سرباره در سیمان بنایی با سرباره زیاد، می‌توان هزینه آسیاب را تا حد سیمان معمولی پایین آورد.

۲-۵-۳- استانداردهای سیمان بنایی

۲-۵-۳-۱- استاندارد ایران

سیمان بنایی، چسباننده‌ای است آبی، که در تهیه ملات‌های مختلف رایج در کارهای بنایی، از آن استفاده می‌گردد. این سیمان، از آسیاب کردن مخلوط کلینکر سیمان پرتلند و سنگ آهک طبیعی و یا مخلوط کردن سیمان پرتلند و پودر نرم‌شده سنگ آهک با پوزولان طبیعی و یا سرباره کوره آهن، به نسبت‌های لازم، همراه با پودر هماتیت بدست می‌آید.

هماتیت، ماده معدنی متبلور طبیعی است، با ترکیب شیمیایی Fe_2O_3 و رنگ قرمز آجری، که به میزان ۱۰٪ برای رنگین شدن سیمان بنایی و وجه تمایز و تشخیص این سیمان از سایر سیمان‌ها بکار می‌رود.

۲-۵-۳-۲- خواص سیمان بنایی

سیمان بنایی سیمانی است با روانی، کارایی، چسبندگی و خاصیت آب‌نگهداری بیشتر و جمع‌شدگی کمتر از سیمان پرتلند معمولی، که برای تمایز و تشخیص از سایر انواع سیمان، رنگ آن قرمز مایل به قهوه‌ای می‌باشد. اگر سیمان بنایی، به نحو مناسبی با آب و ماسه مخلوط شود، ملاتی بدست می‌آید که برای مصرف در کارهای بنایی، مناسب می‌باشد. یادآور می‌گردد که استفاده از این سیمان، در سایر امور ساختمانی نظیر بتن و بتن‌آرمه، مجاز نمی‌باشد.

۲-۵-۳-۳- ویژگی‌های سیمان بنایی براساس استاندارد ملی ایران به شماره ۳۵۱۶

۲-۵-۳-۳-۱- ویژگی‌های شیمیایی

ویژگی‌های شیمیایی سیمان بنایی باید با مندرجات جدول ۱۶ این استاندارد مطابقت نماید.

جدول ۱۶- ویژگی‌های شیمیایی سیمان بنایی

ردیف	ترکیب	حداکثر درصد وزنی	روش آزمون
۱	سولفیت SO_3	۳	طبق استاندارد ملی شماره ۱۶۹۲ ایران

۲-۵-۳-۳-۲- ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی

ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی سیمان بنایی باید با مندرجات جدول ۱۷ و ۱۸ این استاندارد مطابقت نماید.

جدول ۱۷- ویژگی‌های مکانیکی سیمان بنایی

ردیف	ویژگی	میزان	روش آزمون استاندارد ملی
۱	نرمی	سطح مخصوص $\frac{cm^2}{gr}$ (حداقل)	۳۹۰
		باقیمانده روی الک ۹۰μ (حداکثر)	۳۹۰
۲	انقباض اتوکلاو (حداکثر درصد)	۱	۳۹۱
۳	زمان گیرش با یکی از دو روش	۱-۳-۱ گیرش ابتدایی (حداقل به دقیقه)	۹۰
		۲-۳-۱ گیرش نهایی (حداکثر به ساعت)	۲۰
	۳-۲-۳ گیل‌مور	۱-۳-۲ گیرش ابتدایی (حداقل به دقیقه)	۱۲۰
		۲-۳-۲ گیرش انتهای (حداکثر به ساعت)	۲۴
۴	حداقل مقاومت فشاری (kg/cm^2)	هفت روزه	۱۵۰
		بیست و هشت روزه	۲۳۰
۵	رنگ سیمان بنایی باید با افزودن حداکثر ۱۰٪ پودر هماتیت Fe_2O_3 قرمز مایل به قهوه‌ای باشد		

جدول ۱۸- ویژگی‌های فیزیکی سیمان بنایی

ردیف	ویژگی	میزان	روش آزمون
۱	لک برداشتن (حداکثر درصد با روش تعیین قلیایی‌های محلول در آب)	۰/۰۳	۳

۲-۵-۳-۴- استاندارد امریکا

• یک سیمان هیدرولیک، که برای کارهای بنایی و اندودکاری استفاده می‌شود، از مخلوط کردن سیمان پرتلند و یا سیمان مخلوط هیدرولیک با موادی از قبیل سنگ آهک، آهک هیدراته یا هیدرولیک با همدیگر و با یکسری مواد دیگر بدست می‌آید و باید یک یا چند تا از خواص لازم مثل زمان گیرش، کارایی، میزان آب‌نگهداری و دوام را ارتقا دهد.

• ترم‌های دیگر مورد استفاده در این استاندارد، در تعریف لغات ۲۱۹ C معرفی شده‌اند.

۲-۵-۳-۴-۱- طبقه بندی

الف. سیمان بنایی نوع N : در ملات های نوع N و نوع O ، مطابق با C-۲۷۰ استفاده می شود .
این نوع سیمان را می توان، به همراه سیمان های پرتلند یا آمیخته، برای تولید ملات های نوع S و M بکار برد .
ب. سیمان بنایی نوع S : در ساخت ملات نوع S مطابق C-۲۷۰ بکار می رود .
این نوع سیمان را نیز می توان همراه سیمان های پرتلند یا آمیخته، برای تولید ملات نوع M بکار برد .
ج. سیمان بنایی نوع M : در ساخت ملات نوع M ، مطابق C-۲۷۰ بدون افزودن سیمان های دیگر یا آهک
آبدیده استفاده می شود .

۲-۵-۳-۴-۲- خواص و تست های استاندارد فیزیکی و مکانیکی

خواص موجود در جدول ۱۹، خواص فیزیکی هستند که سیمان بنایی، بایستی آنها را پوشش دهد .

جدول ۱۹- خواص فیزیکی سیمان بنایی بر اساس استاندارد آمریکا

انواع سیمان بنایی			خواص
M	S	N	
۲۴	۲۴	۲۴	نرمی (ماکزیمم درصد باقیمانده روی الک ۳۲۵ مش (۴۵ میکرون))
۱/۰	۱/۰	۱/۰	انبساط اتوکلاو (ماکزیمم درصد)
۹۰	۹۰	۱۲۰	گیرش ابتدایی (حداقل به دقیقه)
۱۴۴۰	۱۴۴۰	۱۴۴۰	گیرش نهایی (حداکثر به دقیقه)
۱۲/۴ (۱۸۰۰)	۹/۰ (۱۳۰۰)	۳/۴ (۵۰۰)	مقاومت فشاری (توسط سه مکعب) ۷ روزه MPa (psi)
۲۰/۰ (۲۹۰۰)	۱۴/۵ (۲۱۰۰)	۶/۲ (۹۰۰)	مقاومت فشاری (متوسط سه مکعب) ۲۸ روزه MPa (psi)
۸	۸	۸	میزان هوای موجود در ملات (حداقل درصد حجمی)
۱۹	۱۹	۲۱	میزان هوای موجود در ملات (ماکزیمم درصد حجمی)
۷۰	۷۰	۷۰	میزان آب نگهداری (براساس درصد روانی اولیه (حداقل))

• لکه دار شدن

در مورد سیمان بنایی بی لکه، بایستی میزان آلكالی های محلول در آب، از ۰/۳ درصد، بیشتر نباشد و این ایجاب می کند که آهک مورد استفاده، درصد خلوص بالایی داشته باشد . به نظر می رسد، مقدار طبیعی مواد لکه دار کننده، در سنگ آهک های مختلف، فرق می کند . آلكالی های موجود در سنگ های معدنی متفاوت، اثرات متفاوتی را در لکه دار شدن سیمان، از خود نشان می دهند . با اینکه حتی امکان دارد که این سنگ ها، از یک معدن آورده شده باشند . لکه دار شدن، نباید با شوره زدن اشتباه گرفته شود . سیمان های بدون لکه از شوره زدن جلوگیری نمی کنند .

۲-۵-۴- نقاط قوت سیمان بنایی

- سیمان بنایی برخلاف سیمان پرتلند عمل می کند و با توجه به ترکیب و جنس سیمان های بنایی معمولاً چسبندگی بسیار مطلوبی را به نمایش می گذارد .

- یکی از ویژگی های بارز سیمان بنایی که آن را از سایر سیمان ها متمایز می سازد، قابلیت نگهداری آب در ملات حاوی سیمان بنایی است . کشور ما ایران از جمله کشورهایی است که نیاز به ملات هایی با قابلیت نگهداری آب زیاد دارد . آجرهای فشاری معمولی با جذب آب بیش از ۳۰ درصد در بسیاری از نقاط کشور مصرف می شود . نیاز به زنجاب کردن آجرها در این موارد اهمیت ویژه ای دارد . در کمتر کتاب مصالح ساختمانی و آجرکاری غیرفارسی می توان به اهمیت زنجاب کردن آجر پی برد و دلیل آن بکارگیری ملات های مناسب در این کشورها و مصرف آجرهایی با جذب آب کمتر از ۱۸ درصد می باشد . نوع خاص اجرایی سنگ کاری و آجرکاری نما به صورت ملاتی یا دوغابی و هم چنین روش کاشیکاری دوغابی، نیاز به این نوع سیمان را دو چندان می کند .

- بناهای ایرانی برای خارج کردن آب ملات شل و روان که معمولاً برای نصب پله بکار می رود مقداری خرده آجر فشاری را در آن می اندازند که به سرعت آب ملات را جذب کنند ، زیرا ملات های حاوی سیمان پرتلند و ماسه شسته توانایی نگهداری آب را در خود ندارند و آن را به هر جسم جذبی پس می دهند و به شدت جمع شدگی در آنها حاصل می گردد و چسبندگی و اتصال به مصالح مربوطه به مقدار قابل توجهی کاهش می یابد . براین اساس تبخیر از سطح ملات حاوی سیمان بنایی نیز به مراتب کمتر از سایر ملات ها می باشد .

- مقاومت مناسب برای کارهای بنایی از جمله ویژگی های مهم سیمان بنایی است . مقاومت فشاری ۲۸ روزه ملات ماسه سیمان استاندارد آن بر روی نمونه مکعبی ۵ سانتی طبق ASTM عملاً می تواند در حدود ۲۰-۶/۲ مگاپاسکال باشد و ملات واقعی آن در عمل مقاومت کمتری را دارد و کافی به نظر می رسد .

- زمان گیرش سیمان بنایی به مراتب طولانی تر از سیمان پرتلند معمولی است . به دلیل قابلیت نگهداری آب در ملات سیمان بنایی عملاً تبخیر از سطح آن در شرایط آب و هوای گرم و خشک کم است و روانی ملات تا مدت زیادی با توجه به این دو ویژگی حفظ می شود و به راحتی می توان با ملات مربوطه کار کرد و نیاز به افزایش آب به آن برای تامین روانی در طول زمان، کمتر احساس می شود و عملاً مجبور نیستیم با سیمانی که به مرحله گیرش رسیده است کار کنیم . بنابراین عملاً دچار کاهش مقاومت و دوام ملات در اجرای واقعی نخواهیم بود و علیرغم مقاومت به نسبت کم این مدت ، در نهایت عملاً مقاومت موجود آن از سایر ملات های حاوی سیمان پرتلند بهتر می باشد .

- ملات حاوی سیمان بنایی معمولاً از آب بندی خوبی برخوردار است و در کارهای بنایی به راحتی آب را از خود عبور نمی دهد .

- به دلیل آب بندی خوب و استفاده از برخی مواد پرکننده آهک شکفته، پوزولان ها و سرباره ها در سیمان بنایی دوام آن در برابر سولفات ها و حتی آب دریا و آب های شور در بسیاری موارد از سیمان های پرتلند معمولی بهتر است، به ویژه در ارتباط با کارهای نهایی زیرتر از طبیعت زمین ، این خاصیت چشمگیر می باشد . به دلیل وجود پوزولان و سرباره و برخی مواد مانند حباب زاه، این نوع سیمان در برخی منابع در برابر عوامل شیمیایی بسیار با دوام ذکر شده است .

- قیمت سیمان بنایی در دنیا معمولاً حدود نصف سیمان پرتلند و یا کمتر می باشد . بنابراین کارهای بنایی با آن، نسبت به سیمان پرتلند به مراتب ارزان تر تمام می شود . ضمن اینکه گاه لازم نیست عیار آن را برای دست یابی به چسبندگی کافی بالا ببریم ، لذا حتی از نظر میزان مصرف هم می تواند موجب صرفه جویی و

کاهش هزینه گردد.

- به دلیل مصرف مواد پرکننده، پوزولان ها و سرباره ها که نیاز به پخته شدن ندارند مصرف مواد سوختی در تولید این سیمان کمتر می باشد و آلودگی حاصله نیز کمتر است. هم چنین به دلیل تولید کمتر دی اکسید کربن (در حد نصف یا کمتر) باید این سیمان را سازگارتر با محیط زیست دانست.

- در صورت مصرف پوزولان ها و سرباره ها در بسیاری موارد انبساط ناشی از واکنش برخی سنگدانه ها با قلیایی های سیمان کنترل و مهار می شود و دوام ملات افزایش می یابد. بنابراین می توان ماسه های حاوی ذرات واکنش زا را با دغدغه کمتر مصرف نمود. در بسیاری از موارد که محیط مرطوب و گرم وجود دارد مصرف این سیمان می تواند کارساز و مشکل گشا باشد.

- در ملات هایی که سیمان بنایی بکار می رود نیازی به مصرف ماسه شسته وجود ندارد، هر چند نگارنده معتقد است وقتی از سیمان پرتلند نیز در ملات های بنایی استفاده می شود می توان ماسه کفی (غیر شسته) را به همراه مواد ریزدانه و رس بکار برد که باعث بهبود ملات بنایی می گردد.

۲-۵-۵- نقاط ضعف احتمالی سیمان بنایی

نقاط ضعف احتمالی سیمان بنایی برای کارهای بنایی چندان با اهمیت نیست، زیرا اصولاً برای این کار ساخته می شود اما برخی دست اندرکاران نقاط ضعف را در ارتباط با مسائل اجرایی و فنی مطرح می نمایند. که در زیر بدان ها می پردازیم.

- در صورتی که سیمان بنایی در بتن ریزی های سازه ای بکار رود می تواند خسارات جبران ناپذیری را تحمیل نماید و در همه آیین نامه ها ممنوع است. مصرف سیمان بنایی به جای سیمان پرتلند ممکن است عمداً یا سهواً به وقوع بپیوندد. برای مصرف عمدی چاره ای متصور نیست اما برای مصرف سهوی راهکارهایی منجمله بکارگیری علائم هشدار دهنده به ویژه ایجاد رنگ در سیمان بنایی اندیشیده شده است.

- برای ایجاد چسبندگی، خوشکاری و خمیری بودن و همچنین قابلیت نگهداری آب، افزایش زمان گیرش، آب بندی و مصرف کمتر کلینکر سیمان، برخی پرکننده ها یا مواد چسبیده مانند پودر سنگ، رس ها و حتی بنتونیت، پوزولان طبیعی و مصنوعی، سرباره های کوره ذوب آهن و آهک شکفته و گاه مواد حباب زا در این نوع سیمان ها مصرف می شود. در مواردی که مقادیر رس یا بنتونیت کمی زیاد باشد ممکن است باعث انبساط و انقباض بیش از حد شده و به دوام ملات لطمه زند.

- وجود مواد ریزدانه با نرمی زیاد اغلب در کنار آب بندی می تواند به افزایش نم بندی منجر نشود و حتی مشکل بالا آمدن و عبور نم را مضاعف نماید. موادی از جمله رس ها، پودر سنگ های غیر فعال و خنثی و پرکننده می توانند چنین ویژگی هایی داشته باشند. در صورتی که از مواد حباب زا در این سیمان ها استفاده شود این مشکل هم رفع می شود.

۲-۵-۶- تولید سیمان بنایی و ضرورت آن

از نقطه نظر اقتصاد ساخت بناها و در مقیاس کارگاهی و همچنین از دیدگاه اقتصاد کلان و حفظ محیط زیست ضرورت تولید سیمان بنایی بسیار روشن است. به همین دلیل در اکثر نقاط جهان این نوع سیمان تولید و مصرف می شود. علیرغم تدوین استاندارد ملی سیمان بنایی و دسترسی به استانداردهای موجود کشورهای پیشرفته و تولید محدود این نوع سیمان در کارخانه سیمان فارس متاسفانه این تولید نیز تعطیل شده است، و در هیچ کارخانه دیگری اراده ای جهت تولید سیمان بنایی به چشم نمی خورد. متاسفانه سازمان، نهاد یا وزراتخانه

خاصی نیز در این زمینه یا موارد مشابه سیاست گذاری مناسبی را ارائه نمی دهد. به هر حال توصیه می شود علاقمندان و دلسوزان این مرز و بوم در صنعت سیمان، تولید سیمان بنایی را در دستور کار خود قرار دهند.

برای تولید این سیمان روش های مختلفی را می توان به تناسب امکانات، مواد اولیه مناسب و ارزان، هزینه سوخت و مسائل زیست محیطی بکار گرفت که در زیر بدان ها اشاره می شود.

- استفاده از کلینکر سیمان پرتلند (کمتر از ۵۰ درصد) + پوزولان یا سرباره + آهک شکفته + کمی رس یا بنتونیت + مواد رنگدانه + سنگ گچ به مقدار کم

- استفاده از کلینکر سیمان پرتلند (کمتر از ۵۰ درصد) + پودر سنگ نیمه فعال یا غیرفعال (خنثی) + آهک شکفته + کمی رس یا بنتونیت + مواد رنگدانه + سنگ گچ به مقدار کم

- استفاده از یک پوزولان فعال یا سرباره + آهک شکفته + کمی رس یا بنتونیت + مواد رنگدانه در موارد استفاده از کلینکر سیمان پرتلند، الزامی به استاندارد بودن آن وجود ندارد. بنابراین حتی در مناطقی که مواد اولیه برای تولید سیمان پرتلند مرغوب وجود ندارد، می توان برای تولید سیمان بنایی نیز اقدام نمود. در تمام موارد فوق می توان از یک ماده حباب زا استفاده کرد. مواد حباب زای پودری می تواند به مقدار بسیار ناچیز در هر تن سیمان تولیدی بکار گرفته شود. ملات حباب دار بسیار خمیری و خوشکار است و به راحتی پهن شده و ماله خوری خوب دارد. قابلیت نگهداری آب عالی و دوام و آب بندی و نم بندی مناسبی را به وجود می آورد، اما ملات آن باید در یک مخلوط کن ساخته شده تا حباب ها به صورت کامل و مناسبی تولید شوند.

پوزولان های فعال طبیعی می توانند از خاکسترها یا توف های آتشفشانی یا برخی شیل ها بدست آیند. خاک های دیاتومه ای نیز در این دسته جای می گیرند.

پوزولان های مصنوعی فعال شامل خاکستر پسته برنج، خاکستر بادی، میکروسیلیس و یا هر خاکستر چوب یا پسته غلات، کاه و غیره می باشند، که تحت شرایط خاصی تولید می شوند. معمولاً مصرف میکروسیلیس به دلیل قیمت زیاد و گیرش سریعتر در سیمان بنایی توصیه نمی شود و امروزه به خاطر زمینه بالای آن نیز طرفدار ندارد. از تکلیس برخی رس ها و شیل ها و خاک های دیاتومه ای و حتی توف ها و خاک های آتشفشانی می توان پوزولان های مصنوعی فعالتری بدست آورد، که در مواقع ضروری می توان به سراغ آنها رفت، اما به خاطر مصرف سوخت و نیاز به پخت و ایجاد گازهای گلخانه ای برای تولید سیمان بنایی توصیه نمی شود. در کنار مصرف پوزولان های طبیعی و مصنوعی با حضور کلینکر سیمان پرتلند و یا بدون آن مصرف آهک شکفته برای ترکیب با پوزولان (به ویژه زمانی که کلینکر سیمان وجود ندارد) ضروری است. وجود آهک علاوه بر کندگیری و قابلیت نگهداری آب و ایجاد حالت خمیری و چسبندگی، باعث ترکیب با رس های خمیری ساز شده و ژل چسباننده می دهد و خواص منفی دراز مدت رس ها را بین می برد. حتی علیرغم مصرف سرباره نیز، وجود مقداری آهک شکفته برای ترکیب سرباره و آب جهت تشکیل جسم چسباننده ضروری است. پودر سنگ های پرکننده و خنثی (غیر فعال) می توانند از سنگ های آهکی نرم و یا حتی کوارتزی و سیلیسی بدست آیند. برخی پودر سنگ های سیلیسی ریز می توانند در حضور دوغاب آهک شکفته و تحت رطوبت و دمای کافی به صورت نیمه فعال عمل نمایند و جسم ژله ای چسباننده را به وجود آورند. استفاده از پودر برخی سنگ های بسیار نرم با سختی ۱ و ۲ در مقیاس Mohs مانند تالک های حاوی ناخالصی و با مرغوبیت کم می تواند بسیار کارساز باشد و ملات مناسبی را به وجود آورد. پودر مل و بتانه از جمله پرکننده های خمیری ساز مناسب تلقی می شوند که در برخی مناطق ایران از جمله همدان از انواع سنگ های آهکی نرم مرغوب و مناسبی تولید می شوند پودر سنگ های نرم دولومیتی نیز در برخی موارد بکار می رود.

توصیه می شود کارخانه های مختلف سیمان بسته به موقعیت جغرافیایی و دسترسی به منابع مواد اولیه مناسب

و ارزان، مواد تشکیل دهنده و روش تولید سیمان بنایی را انتخاب نمایند . برای مثال کارخانه هایی که در استان مازنداران و گیلان قرار دارند می توانند خاکستر برنج را تولید و مصرف نمایند و از انرژی حاصل از سوختن نیز بهره برند .

خوشبختانه در ایران به دلیل وجود گل اخرا (خاک رس حاوی هماتیت جزیره هرمز) نیازی به مصرف جداگانه رس یا بنتونیت و مواد رنگدانه احساس نمی شود و لذا می توان همواره از رنگ قرمز به عنوان علامت ممیزه سیمان بنایی استفاده نمود .

۶-۲- سیمان با مقاومت بالا High Streght Cement^{۱۰}

سیمان با مقاومت بالا جزو سیمان های پرتلند محسوب شده و طبق استاندارد ملی ایران به شماره ۳۸۹ در رده بندی سیمان های پرتلند در نوع یک در سه کلاس مقاومتی ۳۲۵، ۴۲۵، ۵۲۵ کیلوگرم بر سانتی متر مربع تقسیم بندی می گردند .

۶-۲-۱- تاریخچه

سیمان های با مقاومت زیاد یک اصطلاح نسبی است که براساس زمان، نیازها و تکنولوژی تولید تعریف می گردد . گسترش این نوع سیمان ها طی چهار دهه اخیر اتفاق افتاده است . اولین بار سیمان با مقاومت ۶۲ مگاپاسکال در سال ۱۹۷۲ به منظور استفاده در ۵۰ فروشگاه معروف به Plase building در شیکاگو تولید شد . در ساختمان بازرگانی تگزاس در هوستون از بتن ۵۲ MPa و مرکز تجاری Pacifi از بتن با مقاومت ۹۶/۵ MPa استفاده شده است . همچنین در ساختمان معروف تورنتو (Scotia) که در سال ۱۹۸۸ ساخته شد، از بتن با مقاومت ۹۳/۶ MPa (متوسط) استفاده شده است .

۶-۲-۲- ویژگی های سیمان با مقاومت بالا براساس استاندارد ملی ایران به شماره ۳۸۹ و استاندارد EN

۶-۲-۲-۱- ویژگی های شیمیایی

ویژگی های شیمیایی سیمان با مقاومت بالا باید با مندرجات جدول ۲۰ این استاندارد مطابقت نماید .

جدول ۲۰- ویژگی های الزامی شیمیایی سیمان پرتلند

ردیف	ویژگی های شیمیایی	نوع سیمان پرتلند					روش آزمون
		۱	۲	۳	۴	۵	
۱	درصد اکسید سیلیسیم SiO_2 (حداقل)	-	۲۰/۰۰	-	-	-	۱۶۹۲
۲	درصد اکسید آلومینیوم Al_2O_3 (حداکثر)	-	۶/۰۰	-	-	-	
۳	درصد اکسید آهن Fe_2O_3 (حداکثر)	-	۶/۰۰	-	۶/۵	-	
۴	درصد اکسید منیزیم MgO (حداکثر)	۵	۵	۵	۵	۵	
۵	درصد تری اکسید گوگرد SO_3 (حداکثر) $\text{C}_p\text{A} < ۸$ $\text{C}_p\text{A} > ۸$	۳/۰۰	۳/۰۰	۳/۵	۲/۳۰	۲/۳۰	
		۳/۵۰	-	۴/۵۰	-	-	
۶	درصد کسر وزن در اثر سرخ شدن (حداکثر)	۳/۰۰	۳/۰۰	۳/۰۰	۲/۵۰	۳/۰۰	
۷	درصد باقیمانده نامحلول (حداکثر)	۰/۷۵	۰/۷۵	۰/۷۵	۰/۷۵	۰/۷۵	
۸	درصد سه کلسیم سیلیکات C_3S (حداکثر)	-	-	-	۳۵/۰۰	-	
۹	درصد دو کلسیم سیلیکات C_2S (حداقل)	-	-	-	۴۰/۰۰	-	
۱۰	درصد سه کلسیم آلومینات C_3A (حداکثر)	-	۸/۰۰	۱۵/۰۰	۷/۰۰	۵/۰۰ ^۲	
۱۱	درصد مجموع چهار کلسیم آلومینو فریت و دو برابر سه کلسیم آلومینات ($\text{C}_3\text{A} + \text{C}_2\text{F}$) ویا چهار کلسیم آلومینو فریت و دو کلسیم فریت ($\text{C}_3\text{A} + \text{C}_2\text{F}$) (حداکثر)	-	-	-	-	۲۵ ^۲	

۱ - محدودیتهای ذکر شده برای سیمان نوع یک برای هر سه رده مقاومت ۳۲۵، ۴۲۵، ۵۲۵ الزامی است .
۲ - چنانچه محدودیت انبساط سولفات مندرج در جدول ۳ رعایت شود این محدودیت در نظر گرفته نمی شود .

۱۵- مطالب این بخش از منابع شماره های ۶، ۱۴ و ۲۵ اقتباس گردیده است.

۲-۲-۶-۲- ویژگی های شیمیایی اختیاری

در مواردی که مشخصات ویژه ای برای سیمان مورد نظر باشد می تواند ویژگی های مندرج در جدول ۲۱ مورد توجه قرار گیرد .

جدول ۲۱- ویژگی های اختیاری شیمیایی سیمان پرتلند

ردیف	ویژگی ها	نوع سیمان پرتلند					روش آزمون برابر با استانداردهای ملی ایران
		۱	۲	۳	۴	۵	
۱	سه کلسیم آلومینات	۱-۱- برای مقاومت متوسط در برابر سولفات هادرسد (حداکثر)	-	-	۸/۰۰	-	۱۶۹۲
		۲-۱- برای مقاومت زیاد در برابر سولفات هادرسد (حداکثر)	-	-	۵/۰۰	-	۱۶۹۲
۲	مجموع (C _p A+C _p S) برای حرارت هیدراتاسیون متوسط ادرسد (حداکثر)		-	۵۸	-	-	۱۶۹۲
۳	قلیایی ها (Na _۲ O + ۰/۶۵۸ K _۲ O) برای سیمان با قلیایی پائین ادرسد (حداکثر)		۰/۶۰	۰/۶۰	۰/۶۰	۰/۶۰	۱۶۹۵

۱ - چنانچه این محدودیت در ویژگیهای سیمان پرتلند نوع ۲ تعیین شود ، مقادیر تاب فشاری مندرج در جدول ۳ باید با ضریب ۰/۸ در نظر گرفته شود .

۲-۲-۳- ویژگی های فیزیکی

ویژگی هایی فیزیکی الزامی انواع پنجگانه سیمان پرتلند باید با مندرجات جدول ۲۲ مطابقت داشته باشد .

جدول ۲۲- ویژگی های فیزیکی الزامی سیمان پرتلند (پ)

ردیف	ویژگی ها	نوع سیمان پرتلند							روش آزمون
		۱-۳۲۵	۱-۴۲۵	۱-۵۲۵	۲	۳	۴	۵	
۱	سطح مخصوص ^۱ سانتیمتر مربع برگرم (حداقل)	۲۸۰۰	۲۸۰۰	۲۸۰۰	۲۸۰۰	۲۸۰۰	۲۸۰۰	۲۸۰۰	۳۹۰
۲	انبساط آزمایش اتوکلاو درصد (حداکثر)	۰/۸	۰/۸	۰/۸	۰/۸	۰/۸	۰/۸	۰/۸	۳۹۱
۳	زمان گیرش با سوزن ویکات	۴۵	۴۵	۴۵	۴۵	۴۵	۴۵	۴۵	۳۹۲
		۶	۶	۶	۶	۶	۶	۶	۳۹۲
۴	تاب فشاری کیلوگرم بر سانتی متر مربع ^۲	-	-	-	-	۱۲۵	-	-	۳۹۳
		-	۱۰۰	۲۰۰	-	-	-	-	۳۹۳
		۱۲۰	-	-	۱۰۰	۲۴۰	-	۸۵	۳۹۳
		۲۰۰	-	-	۱۷۵	-	۷۰	۱۵۰	۳۹۳
		۳۲۵	۴۲۵	۵۲۵	۳۱۵	-	۱۸۰	۲۷۰	۳۹۳
		۵۲۵	۶۲۵	-	-	-	-	-	-
۵	حرارت هیدراتاسیون کالری برگرم	-	-	-	۷۰ ^۳	-	۶۰	-	۳۹۴
		-	-	-	-	-	۷۰	-	۳۹۴
۶	انبساط سولفات ^۴ چهارده روز (حداکثر) درصد	-	-	-	-	-	-	۰/۰۴۰	۳۹۱

۱- سطح مخصوص با دستگاه بلین (Blaine) اندازه گیری می شود.

۲- تاب فشاری پایدار میانگین حداقل چهار نمونه محاسبه شود.

۳- این آزمون اختیاری بوده در صورت درخواست خریدار تعیین می گردد .

۴- در صورتی که این محدودیت منظور گردد . محدودیتهای ردیف ۱۱ و ۱۰ جدول ۱ مربوط به سیمان نوع ۴ الزامی نخواهد بود .

۲-۶-۳- کاربرد سیمان های با مقاومت بالا

سیمانهای با مقاومت بالا معمولاً در موارد ذیل مورد استفاده قرار می گیرند:

۱- ساخت ساختمانهایی با ارتفاع زیاد موجب کاهش مقاطع سازه ای و ضخامت سقف شده و صرفه جویی در سطح اشغالی بدنبال داشته و نهایتاً بار مرده کمتر شده و نیروهای موثر زلزله را به مقدار قابل توجهی کاهش می دهد .

۲- قطعات پل با دهانه بلند

۳- پوسته های جدارنازک

۴- برجهای خنک کننده

۵- کف های صنعتی

۶- پل های صندوقه ای که افزایش مقاومت، کاهش ضخامت جداره و افت شدید بار مرده با بیش از ۰/۸۰ کل بارهای زنده و مرده را به دنبال خواهد داشت .

۲-۶-۴- روش تولید سیمان با مقاومت زیاد

برای تولید سیمان با مقاومت های متفاوت می توان از نظر ریزساختاری از سه عامل توزیع دانه بندی، مقادیر و خواص فازی و افزودنی سود جست . تاثیر مستقل هر کدام بر روی مقاومت به گونه ای است که بر روی دو عامل دیگر نیز تاثیر می گذارد . همچنین باید در محصول سیمان سایر خواص فیزیکی و سلامت و دوام نیز در برابر عوامل مخرب نظیر سولفات های قلیایی، آهک آزاد، پریکلاز و ... در نظر گرفته شود . که بتن ساخته شده با این سیمان پس از گذشت مدت زمان طولانی در اثر انبساط متلاشی نشود .

۲-۶-۵- عوامل موثر بر مقاومت سیمان

عوامل موثر بر مقاومت شامل ریزساختار مواد خام، تنظیم مدولهای شیمیایی، نرمی مواد اولیه، اکسیدهای فرعی (قلیائی ها، سولفات ها) ریز ساختار کلینکر (کیفی و کمی فازها) فرآیند پخت، سردکردن، مواد افزودنی، توزیع دانه بندی سیمان و ... می باشد . در منابع علمی اشاره شده است که با افزایش مدول سیلیس (با کاهش فاز بین دانه ای) به اندازه ۰/۱ واحد، مقاومت ۲۸ روزه، ۲/۵ واحد افزایش می یابد، ضمن اینکه با افزایش ۰/۱ واحد در این مدول درصد فاز آلیت نیز یک واحد افزایش می یابد . یکی از فاکتورهای مهم و موثر دیگر بر مقاومت فشاری سیمان مدول اشباع آهک (LSF) می باشد . افزایش LSF تاثیر بیشتری بر مقاومت ۲ روزه و تاثیر کمتری بر مقاومت ۲۸ روزه می گذارد . بر اساس مطالعات و نتایج تجربی چنین می توان گفت که با افزایش LSF از ۸۵٪ به ۱۰۰٪ مقاومت از ۷۵ به ۱۰۵ و مقدار فاز آلیت از ۳۹ به ۷۱ درصد افزایش کمی می یابد . یعنی با افزایش هر واحد LSF به طور متوسط ۲ درصد فاز آلیت و ۲ واحد مقاومت افزایش می یابد . در مجموع با لحاظ نمودن تاثیر متقابل هر دو مدول می توان اظهار داشت، با افزایش حدود ۵ واحد LSF و حدود ۰/۳ واحد MS مقاومت فشاری ۲۸ روزه حدود ۱۰ درصد افزایش می یابد .

ترکیب اصلی سیمان پرتلند فاز آلیت می باشد که ممکن است در چندین پلی مورف تشکیل شود . شکل تری کلینیک آن، با فاز دمای پایین محسوب می شود و شکل مونوکلینیک که در ادامه افزایش دما تشکیل شده و با افزایش دمای بیشتر به فاز دمای بالای آلیت یعنی رمبوهدرال یا تری گونال می رسیم . با حضور ناخالصی ها ممکن است اشکال دمای بالا یعنی مونوکلینیک و یا رمبوهدرال در دمای اتاق پایدار بماند

و البته در اکثر سیمان ها شکل مونوکلینیک پایدار می شود . Gourdin و همکارانش به یک رابطه قوی بین حضور شکل رمبهدرال آلایت و مقاومت بالای سیمان اشاره می کنند. آلایت در شکل رمبهدرال نسبت به سایر پلی مورف ها باعث افزایش بیشتر مقاومت ۸ روزه می شود. در نتایج علمی مختلف اشاره شده است که مقاومت فشاری فاز آلایت در پلی مورف های مختلف آن نهایتاً در سن های نسبتاً طولانی تفاوتی نمی کند ، اما سرعت هیدراتاسیون و روند رشد مقاومت در پلی مورف های آن متفاوت است . Ono اعتقاد دارد در صورتی که اندازه فاز آلایت حدود ۲۰-۱۵ میکرون باشد ، فعالیت هیدرولیکی مناسبی دارد . سیمان دارای آلایت با اندازه بسیار ریز و بسیار درشت مقاومت نهایی مطلوب (بهینه) نخواهد داشت .

عوامل اثرگذار فاز آلایت بر مقاومت عبارتند از : مقدار، اندازه، نوع کریستال که این امر در مورد فاز بلیت نیز صادق خواهد بود . نحوه توزیع فازها (چسبیدن فازها به یکدیگر و نمایش به صورت تجمع) و به طور غیرمستقیم نحوه توزیع تخلخل نیز از عوامل موثر بر ساختار مطلوب فازهای کلینکر و نهایتاً مقاومت فشاری سیمان خواهد بود و به صورت عملی در جریان تحقیقاتی Sudnkas دریافت که برای سیمان هایی با مدول سیلیس، مدول آلومینا و ترکیب فازی یکسان ، مقاومت ۲۸ روزه آنها تا ۲۵ درصد می تواند تفاوت داشته باشد .

دومین تشکیل دهنده سیمان از نظر فراوانی فاز بلیت می باشد . این فاز در پلی مرف های $\alpha, \alpha', \beta, \gamma$ می تواند بوجود آید و در کلینکرهای صنعتی که به صورت مناسبی خنک شده باشند، معمولاً فاز α, β یافت می شود . γ - بلیت معمولاً در کوتینگ ها یا زمانیکه کلینکر به خوبی سرد نشده باشد یافت شده و این پلی مرف علاوه بر فعالیت هیدرولیکی ضعیف با انبساط خود سلامت سیمان را تهدید می کند . طبق نظر Ono اندازه بلیت به مدت زمان ماند مواد در دمای ماکزیمم بستگی داشته و همچنین رنگ این فاز مبین سرعت سرمایش آن می باشد . عده ای معتقدند که سرعت زیاد سرمایش باعث انحلال کمتر ناخالصی ها در بلیت شده و رنگ آن شفاف تر می شود. در سرد کردن بسیار سریع بلیت فاز α پایدار شده که بیش از ۳۰٪ فاز بلیت را شامل می شود . همچنین فاز α بلیت می تواند تا سه برابر سایر پلی مرف های بلیت (β بلیت) در افزایش مقاومت موثر باشد .

عامل اثرگذار دیگر بر مقاومت سیمان، نرمی آن می باشد . نرمی سیمان یا سطح مخصوص با روشهای مختلفی اندازه گیری می شود . بهترین راه تشخیص نرمی سیمان سنجش سیمان با استفاده از دستگاه لیزر پارتیکل سائز می باشد، هر چند می توان به طور مقایسه ای در یک سیستم ثابت و مشخص از نتایج بدست آمده از روش بلین نیز استفاده نمود . کوچکتر شدن اندازه ذرات سیمان تاثیر به سزایی در افزایش سرعت هیدراتاسیون و واکنش پذیر آن علی الخصوص در سنین اولیه خواهد داشت . وقتی منحنی توزیع اندازه ذرات سیمان باریکتر می شود مقاومت آن با یک سطح مخصوص ثابت افزایش می یابد .

تحقیقات نشان می دهد که ذرات سیمان با اندازه ۱۰-۵ میکرون بیشترین اثر را روی مقاومت دارند . Kantro و همکارانش نیز دریافتند که اثر مقاومت های فاز بلیت (β) بستگی به نرمی سیمان دارد . همچنین Poy و Kumar اشاره کردند در صورتیکه ذرات سیمان بین ۱۹-۹ میکرون باشند با کاهش گیرکنواختی توزیع اندازه ذرات، مقاومت سیمان افزایش می یابد . در برخی منابع علمی دیگر محدوده اندازه ذرات سیمان در ارتقاء مقاومت سیمان ۳۰-۵ میکرون بیان شده است .

البته به صورت جامع اثرات توزیع دانه بندی سیمان بر کیفیت سیمان توسط گروهی از متخصصین در پروژه ای تحت عنوان بررسی اصلاح کیفیت سیمان از طریق بهینه سازی توزیع دانه بندی در شرکت تحقیق و توسعه صنعت سیمان انجام شده است .

۲-۶-۶- یک تجربه آزمایشگاهی تولید سیمان با مقاومت بالا در کارخانه سیمان آبیگ

۲-۶-۶-۱- نمونه گیری از مواد اولیه کارخانه سیمان آبیگ

معدن مارل مجتمع صنعتی سیمان آبیگ بر اساس مطالعات انجام شده در پروژه های تحقیقاتی گذشته (ژئوشیمیایی) به چهار منطقه تقسیم بندی گردید و بهترین کیفیت مواد در منطقه ۴ شناسایی شده است. محل نمونه گیری از منطقه ۴ معدن مارل انجام شد و براساس روش های نمونه گیری اصولی مقدار مناسبی مواد تهیه گردید. این نمونه ها از لحاظ مینرالوژی مورد بررسی قرار گرفت که نتایج به شرح زیر است:

۱- در برخی سنگ های کربناته آثار سیلیسی فیکاسیون و دولومیتی زاسیون نسبتاً فراوان بوده و سیلیسی شدن کربنات ها به صورت کوارتز میکروکریستالین به همراه کالسدونی بوده و آنها جزء چرت محسوب می گردند. آهک ها بیشتر دارای تیپ های آلومک دار (فسیل دار) و میکرایت بوده و به مقدار کمتر اسپارایت مشاهده گردیده است. (تیپ اسپارایت بیشتر دولومیتی بوده است) ضمناً بعضی از قطعات دارای پوشش رسی (یا مارلی) می باشند. نوع آلومک دار نیز نسبتاً فراوان است.

۲- مارل بیشتر بصورت پوششی بوده و به مقدار کمتری به صورت مجزا مشاهده می شود. اکثریت کانی های رسی در این نمونه به صورت مارلی می باشد.

۳- ماسه سنگها اکثریت کوارتزیتی بوده و به ندرت گری وکی مشاهده می شود. ماسه سنگ های آهن دار نیز وجود دارد.

۴- سنگهای ولکانی به مقدار کم (ناچیز) وجود دارد.

۵- منبع اصلی کانی های کدر، ماسه سنگ های آهن دار و سنگ های کربناته آهن دار یا مارل می باشد و نوع اکثریت هماتیت بوده به مقدار کمتر گوتیت مشاهده می شود. تجزیه شیمیایی مارل انتخابی به صورت جدول ۲۳ می باشد.

جدول ۲۳- نتایج تجزیه شیمیایی مارل

SiO _۲	Al _۲ O _۳	Fe _۲ O _۳	CaO	MgO	SO _۳	K _۲ O	LSF	SiM	ALM
۱۵/۷۱	۳/۹۷	۱/۸۷	۴۰/۷۱	۱/۲۳	۰/۰۷	۰/۷۹	۸۱/۶۹	۲/۷۲	۲/۲۰

پس از خردایش اولیه مارل در کرآشر آزمایشگاهی (فکی) با استفاده از روش چهار قسمتی، مقداری نمونه جهت پودرسازی در مراحل بعدی با آسیاب گلوله ای انتخاب گردید.

خردایش مارل در مراحل اولیه به دو دلیل هموژناسیون مناسب و تسریع در عملیات پودرسازی ثانویه انجام شد.

نمونه گیری از سنگ آهک معدن پیرعلی مجتمع صنعتی سیمان آبیگ به صورت توده ای و حجیم انجام شده و از دپوی سنگ آهن و گچ موجود نمونه برداری به روش نقطه ای به میزان تقریباً ۳۰ کیلوگرم انجام شد. همانند مارل، روی سنگ آهک نیز عملیات خردایش و پودرسازی انجام شد. نتایج تجزیه شیمیایی سنگ آهک و سنگ آهن به صورت جدول ۲۴ است.

جدول ۲۴- نتایج تجزیه شیمیایی سنگ آهک و سنگ آهن

ردیف	SiO _۲	Al _۲ O _۳	Fe _۲ O _۳	CaO	MgO	SO _۳	K _۲ O
تجزیه شیمیایی سنگ آهک	۰/۴۸	۰/۲۴	۰/۲۵	۵۵/۱۶	۰/۲۸	۰/۱۲	۰/۰۶
تجزیه شیمیایی سنگ آهن	۴/۴۳	۰/۲۴	۷۳/۱۸	۴/۳۸	۰/۳۴	۰/۰۶	۰/۳۴

در سالهای اولیه بهره برداری از مجتمع (۱۳۵۴)، در حدود ۱,۶۹۰,۵۹۵ تن مارل، ۵,۶۴۰ تن سنگ آهن و ۹۲,۸۴۸ تن سنگ آهک مصرف شده است. چنانچه مصرف مارل را ۱۰۰ فرض کنیم در حدود ۵/۵ درصد سنگ آهک و ۰/۳۳ درصد سنگ آهن مصرف شده است. در حال حاضر در حدود ۲۵-۲۰ درصد سنگ آهک و ۱/۵-۱ درصد سنگ آهن و مابقی مارل به صورت مخلوط از جبهه های مختلف مصرف می شود که حاکی از تغییر در تجزیه مواد اولیه و طراحی مدول های تنظیم مواد است.

۲-۶-۶-۲- برنامه تحقیق و تنظیم مواد در طراحی محصول

به منظور بررسی اثر مدول های شیمیایی بر ساختار فازی کلینکر و بهینه سازی آنها و متعاقباً تاثیر آنها بر مقاومت ملات سیمان، در تنظیم مواد نمونه های آزمایشگاهی، تغییرات دو مدول LSF, ALM در نظر گرفته شد.

مدول های ALM مورد نظر برای طراحی عبارتند از: ۱/۱، ۱/۳، ۱/۵ و ۱/۷ درصد اختلاط مارل و سنگ آهک و سنگ آهن به منظور دستیابی به مدول های فوق الذکر در پروژه به تفصیل ذکر شده است. مراحل تنظیم مواد به شرح زیر است:

۱-مارل، سنگ آهک و سنگ آهن به اختصار به ترتیب I (Iron), L(Limestone), M(Marl) و درصد اکسیدهای CaO و Al_۲O_۳ و Fe_۲O_۳ و SiO_۲ را به اختصار به ترتیب S, F, A, C نامیده شدند.

۲-مدول LSF, ALM مورد نظر برای طراحی به ترتیب LS, Al نامیده شده اند که مقادیر مورد نظر برای LS, Al به ترتیب در بالا ذکر گردید.

$$\phi_{L,M,I} = C_{L,M,I} - \frac{LS}{100} (2.8_{L,M,I} + 1.18_{L,M,I} + 0.7F_{L,M,I}) \quad (۱)$$

$$X_{L,M,I} = A_{L,M,I} - Al \times F_{LMI} \quad (۲)$$

X_{LMI} = انحراف هیدرولیکی مدول آلومین هر یک از تشکیل دهنده ها

۳- طبق روابط زیر انحراف هیدرولیکی هر کدام از مدولها و برای هر سه ماده سنگ آهک، مارل و آهن محاسبه شد.

می بایست مقادیر $X_I, X_L, X_M, \varphi_I, \varphi_L, \varphi_M$ با حفظ علامت محاسبه شوند .
درصد سنگ آهک، یک و نسبت سهیم مارل به سنگ آهک را Y و نسبت سهیم سنگ آهن به سنگ آهک Z در نظر گرفته می شود .

۴- با محاسبه دترمینان ضرایب Z, Y به ترتیب زیر محاسبه می شود :

$$y = -\frac{\varphi_L \cdot X_I - \varphi_I \cdot X_L}{\varphi_M \cdot X_I - \varphi_I \cdot X_M} \quad (3)$$

$$z = -\frac{\varphi_L + Y \cdot \varphi_M}{\varphi_I} \quad (4)$$

۵- بعد از محاسبه Z, Y درصد هر تشکیل دهنده به قرار زیر است :

$$\frac{1}{1+y+z} \times 100 = \text{درصد سنگ آهک} \quad (5)$$

$$\frac{y}{1+y+z} \times 100 = \text{درصد مارل} \quad (6)$$

$$\frac{z}{1+y+z} \times 100 = \text{درصد سنگ آهن} \quad (7)$$

۲-۶-۳- آماده سازی و پودرسازی مواد

پس از انجام محاسبات فوق الذکر و مشخص شدن درصد مواد اولیه با استفاده از پودرهایی که از قبل تهیه شده، اختلاط انجام می شود . سپس با استفاده از آسیاب گلوله ای آزمایشگاهی پودرسازی انجام شده و به منظور بررسی اثرات و بهینه سازی نرمی مواد بر ساختار فازی کلینکر در آماده سازی نمونه های آزمایشگاهی تغییرات زیره (درصد باقی مانده روی الک ۹۰ میکرون) مدنظر قرار گرفت .
تغییرات در زیره معادل ۱۲ و ۲۰ درصد باقی مانده روی الک ۹۰ میکرون می باشد .

۲-۶-۴- مرحله پخت

به منظور بررسی اثر پارامترهای پخت بر ساختار فازی کلینکر و شناسایی شرایط بهینه، تغییرات دمای پخت به شرح ذیل مدنظر قرار گرفت . براساس نظر متخصصین پخت به منظور شبیه سازی شرایط پخت، خوارک کوره آزمایشگاهی تهیه شده مرحله قبل با روش های تحقیقاتی خاصی با مقداری آب مخلوط شده و در اندازه خاص به شکل استوانه ای تحت فشار، قرص تهیه می شود و قرص ها پس از خشک شدن در دمای ۱۱۰ درجه سانتی گراد آماده پخت می شوند .

به منظور شبیه سازی شرایط پخت آزمایشگاهی با شرایط صنعتی از کوره الکتریکی قابل برنامه ریزی ویژه ای

استفاده شد و به همین منظور براساس روش های تجربه شده تحقیقاتی فرآیند و گرادیان دمای ویژه ای برای پخت انتخاب شد. برای بهینه سازی دمای پخت، دماهای حداکثر ۱۳۷۰، ۱۴۱۰، ۱۴۵۰ درجه سانتیگراد در نظر گرفته شد که بستگی به سهل پز بودن یا سخت پز بودن می توان از برنامه های پخت متفاوتی نیز استفاده نمود.

براساس مستندات علمی و دستاوردهای پژوهشی برای مشابه سازی شرایط پخت با کوره های سیمان آبییک برنامه لازم برای سیستم کوره آزمایشگاهی داده شد، برای صحنه گذاری شرایط خوارک کوره صنعتی در شرایط آزمایشگاهی پخته و کلینکر آزمایشگاهی تهیه شده و با نمونه نظیر کلینکر صنعتی همان خوارک کوره نیز مقایسه شد، که تعدادی از پارامترها و شرایط فازی همخوان بود. (همخوانی نسبتا مناسبی بین آنها مشاهده گردید).

از آنجا که هدف، دستیابی به مقادیر و شرایط مطلوب فازی می باشد لذا با مقایسه شرایط فازی از طریق میکروسکوپی نمونه هایی انتخاب شدند.

برنامه پخت پیشنهادی به صورت زیر می باشد:

۱- از دمای محیط تا دمای ۹۰۰ درجه سانتیگراد با سرعت ۴/۱۶ درجه بر دقیقه (۳ ساعت و ۳۶ دقیقه)

۲- توقف در دمای ۹۰۰ درجه سانتیگراد (یک ساعت)

۳- گرم کردن تا دمای حداکثر با سرعت ۴/۱۶ درجه بر دقیقه (۲ ساعت و ۱۲ دقیقه تا ۱۴۵۰ درجه سانتیگراد)

۴- توقف در دمای ۱۴۵۰ درجه سانتیگراد: ۲ ساعت و ۳۰ دقیقه

۵- سرد کردن تا دمای محیط پس از خروج نمونه ها (به صورت معمولی در هوا)

۲-۶-۵- مرحله پودر سازی کلینکرهای آزمایشگاهی و سیمان سازی

به خاطر کم بودن مقادیر کلینکرهای تولید شده در آزمایشگاه، در این مرحله کلینکر با مقداری گچ مخلوط شده و پس از خردایش در هاون آسیاب گلوله ای عقیق پودر سیمان در محدوده بلین مورد نظر تهیه شد. همچنین این مقدار سیمان برای ساخت ملات استاندارد به حجم متعارف کافی نبوده برای این منظور از قالب های کوچک با حجم $(1/5 \times 1/5 \times 1/5)$ سانتی متر مکعب استفاده شد.

مدولهای تنظیم مواد و زبری خوراک کوره به عنوان پارامترهای موادی و تغییر دمای پخت به عنوان پارامتر فرآیندی در نظر گرفته شده است.

سایر شرایط فرآیندی نظیر سرعت گرم شدن نمونه تا دمای ۹۰۰ درجه سانتیگراد، مدت زمان کلسیناسیون، سرعت گرمایش نمونه از دمای ۹۰۰ درجه تا دمای پخت و مدت زمان پخت و شرایط خنک کاری برای تمامی نمونه ها یکسان بوده است.

۲-۶-۶- بررسی کلینکرهای پخت آزمایشگاهی از دیدگاه میکروسکوپی

در این قسمت کلینکرها به روش های مختلفی مورد بررسی قرار گرفت. در بررسی میکروسکوپی، انتخاب نمونه های مرجع اولین و مهمترین قدم به شمار می آید. اما در پخت آزمایشگاهی به دلیل محدود بودن مقدار نمونه و اینکه تمام نمونه ها، تحت شرایط نسبتا یکسان عمل آوری شده (حذف تغییرات در شرایط فرآیندی)، نمونه برداری از حساسیت خاصی برخوردار نیست. به منظور بررسی نحوه تغییرات فازها که متاثر از پارامترهای مواد و تغییر دمای پخت می باشد. تمامی نمونه های ساخته شده مورد آزمایش میکروسکوپی قرار گرفتند. در این قسمت مختصری در مورد پارامترهای مهم فازی بحث می گردد.

- فاز آلایت

این فاز از فازهای سیلیکاتی بوده و اثرگذار در مقاومت سیمان می باشد. پارامترهایی نظیر اندازه، رنگ، شکستگی و درصد این فاز مبین و معرف اکتیواسیون (فعالیت هیدرولیکی) آن بوده و در نهایت بر روی مقاومت سیمان حاصله از آن تاثیر به سزایی دارد.

تغییر رنگ آلایت می تواند ناشی از وجود عناصر خارجی نظیر آهن و ... باشد. هر چه این فاز شفاف تر و دارای بیرفرژانس بالاتری باشد نشانگر بالاتر بودن فعالیت هیدرولیکی این فاز می باشد. از عوامل موثر دیگر در فعالیت هیدرولیکی آلایت، ساختار داخلی آن نظیر شکستگی می باشد. شکستگی های متعدد در آلایت منجر به افزایش خردایش از یک سو و افزایش فعالیت هیدرولیکی آن از سوی دیگر می شود.

شاخص دیگر در قابلیت اکتیواسیون آلایت ابعاد بلوری آن می باشد. کریستال های بسیار ریز یا بسیار درشت آلایت نتایج مطلوب اکتیواسیون را ندارد.

در بعضی از نمونه ها (علی الخصوص نمونه هایی که دارای مدول آلومین نسبتاً بالایی می باشند)، درصد شکل دار بودن کریستال آلایت کاهش یافته و به حدود ۳۰ درصد می رسد. به این مفهوم که کریستال های آلایت از شکل شش گوشه و منظم خارج شده و به صورت کریستال های چند وجهی نامنظم با گوشه هایی تقریباً انحنادار مشاهده می شود.

- فاز بلیت

وجود این فاز در نمونه های آزمایشگاهی نشان دهنده آن است که نمونه خوراک تنظیم شده توانایی جذب آهک و ایجاد فاز آلایت را دارد. کاهش این فاز در مجموعه به نوعی می تواند نشان دهنده تکمیل واکنش ها باشد. اکتیواسیون این فاز نسبت به آلایت کمتر بوده و در دوره های طولانی مدت (بیشتر از ۲۸ روز) به مقاومت فاز آلایت میرسد، لذا نتایج مقاومت نهایی آن در ۲۸ روزه مشخص نمی شود فقط درصدی از هیدراتاسیون آن اثر بخشی دارد. از این رو برای کسب مقاومت بیشتر سعی می شود تاحتی الامکان مقدار آن کم شود. در این قسمت دیدگاه صرفاً واکنش پذیری و تکمیل واکنش های فازی میباشد و مسائل انرژی و اینکه آیا در فرآیند تولید به این مقادیر می توان دست یافت، مطرح نمی باشد.

عوامل اثرگذار این فاز همانند فاز آلایت در رنگ، اندازه، ساختار، توزیع و مقدار خلاصه می شود. شکستگی ها در این فاز به صورت های مختلفی نامگذاری گردیده است. شکستگی های متحدالمرکز یا تار عنکبوتی به ترک هایی گفته می شود که سراسر کریستال را در بر گرفته، جهت گیری خاصی را دنبال نمی کند.

شکستگی های موازی به ترک هایی گفته می شود که در یک جهت خاص از کریستال امتداد یافته باشد. مسلماً این شکستگی در خردایش نسبت به شکستگی های موازی از اثربخشی کمتری برخوردار است و کریستال ها در راستای خاص می شکنند.

- فاز بین دانه ای

فاز بین دانه ای متشکل از فاز آلومینات و فریت می باشد و همیشه مجموع این دو فاز از فاز مذاب کمتر است. بسته به مقادیر آهن و آلومینیم و درجه حرارت پخت مقادیر این دو فاز تغییر می کند. همچنین بسته به نوع عمل آوری علی الخصوص شرایط خنک کاری فاز بین دانه ای به صورت کریستال یا آمورف یا مخلوطی از هر دو به وجود می آید.

در نمونه های پخت آزمایشگاهی در اکثر نمونه ها فاز فریت نسبت به فاز آلومینات بیشتر است.

۲-۶-۷- تولید آزمایشگاهی سیمان با مقاومت بالا

از آنجاییکه ملاک معیار قابل قبول برای نتایج مقاومتی سیمان (حداقل ۴۵۰ گرم سیمان) استاندارد ملی ایران می باشد لذا با پخت ۲۱ قرص ۴۵ گرمی (با احتساب رطوبت و CO_2) مقدار تقریبی ۶۰۰ گرم کلینکر کوره آزمایشگاهی حاصل گردید . پس از انجام پخت آزمایشگاهی و اضافه نمودن متوسط گچ سیمان برای انجام مقاومت فشاری و انجام سایر آزمایشات شیمیایی به مقدار کافی فراهم شد . به منظور صحه گذاری نتایج ۴ بار پخت در کوره آزمایشگاهی انجام شد.

نتایج حاصل از آزمایشات به شرح جدول ۲۵ خلاصه می گردد:

جدول ۲۵- نتایج مقاومت فشاری kg/cm^2 و بلین cm^2/gr

شماره نمونه	بلین	۲ روزه	۷ روزه	۲۸ روزه
۱۶۸/۱	۲۹۵۰	۱۸۹	۳۱۵	۵۰۷
۱۸۰۶/۲	۳۸۵۰	۱۸۲	۴۵۹	۶۶۶
۱۸۵۸	۳۸۰۰	۲۳۹	۵۴۳	۶۳۰
استاندارد ملی ایران ۳۸۹ (حداقل) برای سیمان ۴۲۵	۲۸۰۰	۱۰۰	-	۴۲۵
استاندارد ملی ایران ۳۸۹ (حداقل) برای سیمان ۵۲۵	۲۸۰۰	۲۰۰	-	۵۲۵

طبق جدول فوق سیمان با کد ۱۶۸/۱ برای کلاس مقاومتی ۴۲۵ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع پذیرفته می شود و سیمان با کد ۱۸۰۶/۲ با وجود اینکه دارای مقاومت ۲۸ روزه ۶۶۶ kg/cm^2 می باشد، جزء کلاس مقاومتی ۵۲۵ و ۶۲۵ قرار نمی گیرد . زیرا حداقل مقاومت فشاری ۲ روزه برای این دو کلاس ۲۰۰ می باشد بنابراین سیمان مذکور جز کلاس ۴۲۵ لحاظ می شود .

همچنین نمونه سیمان با کد ۱۸۵۸ برای کلاس مقاومتی ۵۲۵ پذیرفته می شود و برای ۶۲۵ باز نگری و حفظ حاشیه ایمنی با دقت ایمنی بالاتری نیاز است .

درنهایت میتوان نتیجه گرفت که دستیابی به سیمان های بامقاومت بالا از طریق تنظیم و آماده سازی مطلوب مواد، بهبود درسیستم پخت، خردایش بهینه و توزیع دانه بندی مناسب سیمان و افزودنی ها امکان پذیر می باشد .

سیمان راهسازی که به سیمان آبزدا یا دافع آب نیز موسوم است و معادل آلمانی آن Wasserabweisender است از آسیاب نمودن کلینکر سیمان پرتلند با گچ و افزودنی مناسب تولید می گردد . چنین فرآورده ای در برگیرنده کلیه ویژگیهای سیمان پرتلند می باشد . این نوع سیمان بدلیل ویژگی های آبزدایی باعث محافظت سطح بالایی سیمان شده و از بوجود آمدن هیدراتاسیون پیش از موعود ناخواسته جلوگیری می کند . همچنین به دلیل عدم جذب رطوبت احداث راه توسط آن آسانتر خواهد بود . از مزایای مهم استفاده از این نوع سیمان در راهسازی افزایش دو برابری طول عمر این راه ها نسبت به راه های آسفالتی است .

۷-۲-۱- تاریخچه

طی سالیان دراز از سال ۱۹۱۷ تاکنون، به منظور تثبیت و مقاوم سازی خاک جاده ها تحقیقات گسترده ای صورت گرفت، تا اینکه پژوهشگران توانستند با آزمایشات بسیار به روشی دست یابند که علاوه بر تثبیت و مقاوم سازی خاک از نظر اقتصادی توجیه پذیر و مقرون به صرفه نیز باشد . بخصوص در حدود سال ۱۹۲۲ برای نخستین بار در ایالت متحده امریکا موضوع طرح اختلاط سیمان با خاک به منظور تثبیت و استحکام لایه های روسازی جاده ها که با ترافیک زیاد وسایل نقلیه مواجه است و همچنین فرودگاه ها، مطرح گشت . در سال ۱۹۲۴ در ایالت اوهایو (Ohio) مسئولین امور ساخت راه ها، خیابان ها و ... برای افزایش تثبیت و مقاوم سازی لایه های روسازی جاده ها و خیابانها از سیمان استفاده نمودند . تقریباً در همین زمان در کالیفرنیا و تگزاس به طور آزمایشی فواصل کوتاهی از جاده ها را با مخلوطی از سیمان و سنگدانه (راه بتنی) ساختند . در این زمان به کارگیری راه بتنی در جاده سازی هنوز مرحله آزمایشی را می گذراند که نتایج مطلوب و رضایت بخشی بدست نیامد . تثبیت و مقاوم سازی لایه زیر اساس و یا به عبارت دیگر روسازی جاده ها در سال ۱۹۹۲ در ایالت کارولینای جنوبی (Sued - KaroLina) امریکا انجام گرفت و در طی سال های ۱۹۳۳ و ۱۹۳۴ به طور آزمایشی مسافت های کوتاهی از جاده ها را با مخلوط سیمان - سنگدانه ساختند که تحت آزمایشات دقیق مورد بررسی قرارگرفت . این آزمایشات و آزمایشات فراوان دیگر در سال ۱۹۳۵ مورد قبول انجمن سیمان پرتلند آمریکا واقع نشد ، تا اینکه اختلاط سیمان با سنگدانه جهت مصرف در جاده سازی و دستیابی به مقاومت مطلوب مورد تایید علمی و فنی قرارگرفت .

برای صحت این منظور بیش از ۱۰۰۰ نمونه مخلوط سیمان - سنگدانه (راه بتنی) در معرض آزمایش قرار گرفت . در آمریکا از سال ۱۹۳۵ الی ۱۹۵۷ یعنی در طول ۲۲ سال، ۱۷۵ میلیون متر مربع جاده بدین طریق مقاوم سازی گردید .

این روش به جهت اهمیت فراوانی که در تکنیک راه سازی داشت، گسترش یافت . کل راه هایی که با روش فوق تا سال ۱۹۴۰ مقاوم سازی شد ، دقیقاً معلوم نیست . ولی در مجموع سطوحی که به وسیله نیروی هوایی آلمان از سال ۱۹۳۶ الی ۱۹۴۵ با این روش اختلاط سیمان و خاک تثبیت و مقاوم گردید در حدود ۱۰۰ میلیون متر مربع بوده است . در آلمان پس از پایان جنگ جهانی دوم، خاک های قدیمی (جاده های قدیمی) مقاوم گرفته بسیار رضایت بخش بوده است .

شده و به طور دقیق و جامع مورد آزمایش قرار گرفت ، نتایج بدست آمده از آزمایشات و بررسی های انجام در

۸- مطالب این بخش از منابع شماره های ۱، ۹، ۱۰، ۱۱، ۱۲، ۱۵، ۲۲، ۲۵، ۲۹، ۳۰، ۳۶، ۴۱ و ۸۰ اقتباس گردیده است.

ایران سابقه ای از تولید سیمان مورد بحث که تقریباً مختص جاده سازی است وجود ندارد ولی در کشورهای صنعتی از قبیل : آمریکا، روسیه، آلمان و ... دارای سوابق طولانی است که در راه سازی کاربرد وسیعی دارد . مدارک دریافتی از موسسات علمی و کارخانجات سیمان، حاکی از آن است که تولید سیمان هیدروفوب و یا سیمان دافع آب دارای سابقه ۴۰ ساله در کشور آلمان است که به مصرف راهسازی، فرودگاه ها و ... می رسد . هم اکنون ۵ شرکت بزرگ سیمان آلمان این نوع سیمان را تولید می کنند و میزان تولید سالیانه آنها بالغ بر ۱۰۰,۰۰۰ الی ۲۰۰,۰۰۰ تن می باشد که در امر مقاوم سازی و تثبیت خاک جاده های بین شهری و آزاد راه ها (اتوبان ها) و فرودگاه ها کاربرد دارد .

۲-۷-۲- هدف از روسازی

منظور از روسازی خیابان ها، جاده ها و فرودگاه ها احداث سطح صاف و هموار و در عین حال با ایمنی کافی برای استفاده کنندگان است . روسازی باید طوری طراحی و ساخته شود که بتواند وزن وسایل نقلیه را تحمل کند و در هر شرایط جوی قابل بهره برداری باشد .

زمین در حالت طبیعی معمولاً مقاومت کافی برای تحمل بارهای وارد از چرخهای وسایل نقلیه سنگین نظیر، کامیونها و هواپیماها را ندارد و بارگذاری اینگونه خاکها موجب شکست برشی خاک و بوجود آمدن تغییر شکل های بیش از اندازه در آن می شود . برای جلوگیری از شکست برشی خاک و به وجود آمدن تغییر شکل های دائم و بیش از اندازه در آن باید از شدت تنش های فشاری قائم بر روی خاک کاسته شود . این عمل با قرار دادن لایه ای از مصالح مرغوب با مقاومت زیاد بر روی خاک انجام می شود . جنس و ضخامت این لایه که به روسازی موسوم است باید طوری باشد که ضمن آنکه بتواند شدت تنش های فشاری قائم را به میزان قابل تحمل خاک بستر روسازی کاهش دهد و خود نیز قادر به تحمل بارهای وارد به آن باشد .

۲-۷-۳- لایه های روسازی

روسازی معمولاً از چندین لایه تشکیل می شوند روسازی جاده ها با رفت و آمد زیاد و فرودگاه ها معمولاً از سه لایه متمایز رویه، اساس و زیراساس که بر روی لایه متراکم شده خاک بستر روسازی قرار می گیرند، تشکیل می شود .

- لایه متراکم شده بستر

لایه متراکم شده بستر روسازی، لایه ای است از خاک زمین طبیعی که از مواد آلی و مواد مضر پاک شده و کوبیده شده باشد .

- لایه زیراساس

لایه زیراساس لایه ای است از مصالح مرغوب که بین لایه اساس و بستر روسازی قرار می گیرد . لایه زیراساس اغلب از مصالح سنگ شکسته و یا شن و ماسه ساخته می شود .

- لایه اساس

لایه اساس لایه ای است از مصالح مرغوب که بین لایه های " رویه " و " زیراساس " یا بین لایه " رویه " و

"بستر روسازی" قرار می گیرد .
لایه اساس از مصالح مرغوب نظیر سنگ شکسته، شن و ماسه شکسته، مصالح تثبیت شده با قیر، آهک و سیمان ساخته می شود .
"لایه اساس" در راه هایی که آمد و شد وسایل نقلیه در آنها زیاد بوده و یا مقاومت "خاک بستر روسازی" کم است از بتن آسفالتی کم قیر ساخته می شود .

- لایه رویه

لایه رویه لایه ای است از جنس خیلی مرغوب و یا مقاومت نسبتاً زیاد که بالاترین لایه روسازی است و مستقیماً در تماس با چرخهای وسایل نقلیه قرار دارد . لایه رویه ، درجاده های با رفت و آمد زیاد از مصالح مرغوب نظیر بتن آسفالتی یا بتن سیمانی ساخته می شود .
در ایران بدلیل وجود مقادیر نسبتاً زیاد قیر که از پالایش نفت بدست می آید ، روسازی راه ها از مصالح آسفالتی ساخته می شود .

در درجه حرارت های بالا رویه های آسفالتی بیش از حد نرم شده و ممکن است در اثر رفت و آمد وسایل نقلیه سنگین تغییر شکل بیش از حد بدهد .

استفاده از سیمان هیدروفوب در جاده سازی علاوه بر کاربرد در شرایط مختلف جوی و پایداری در مقابل رطوبت ، خواص دیگری نظیر کاهش مصرف سیمان در مخلوط، کاهش آب مخلوط، توزیع یکنواخت در مجموعه سنگدانه و آب را نیز بهبود می بخشد . خاک تثبیت شده با این سیمان و نیز لایه های زیر اساس و اساس ، نفوذپذیری کمتری داشته و به علت جذب آب کمتر پایداری و دوام بیشتری خواهند داشت . در مورد یخ زدگی لایه ها و خرابی ناشی از آن به علت نفوذ کم و بسته شدن فضاهای مویینه در اثر کاربرد این سیمان، مقاومت در مقابل این پدیده مخرب بیشتر خواهد شد . در کاربرد این سیمان ها در تثبیت لایه ها می توان بارگذاری و عبور و مرور را زودتر آغاز نمود .

۲-۷-۴- ویژگی های سیمان راهسازی

۱- سیمان راهسازی دارای استاندارد DIN ۱۱۶۴-CEMI ۳۲/۵R بوده و جزو سیمان های پرتلند (Portland Cement) به حساب می آید و در برگیرنده کلیه ویژگی های سیمان پرتلند معمولی با مشخصات استاندارد فوق می باشد .

۲- سیمان راهسازی سیمان ویژه آبزدا می باشد که از ۴۰ سال قبل در ساخت جاده و دیگر سطوح برای استحکام در کل آلمان به کار می رود .

۳- سیمان راهسازی ، نزولات جوی و رطوبت خاک را به خود جذب نمی کند و به این علت کار احداث را آسان تر می کند .

۴- آبزدا بودن این نوع سیمان ویژه ، باعث محافظت سطح بالایی سیمان شده و از بوجود آمدن هیدراتاسیون پیش از موعد و ناخواسته جلوگیری می کند .

۵- این نوع سیمان ویژگی های فیزیکی خاک را بهبود بخشیده و بخصوص عدم حساسیت به آب را تقویت می نماید (مویینگی محدود) .

۶- به علت آبزدا بودن این نوع سیمان، در خاک پخش شده و زمینه تراکم بهتر و همگن شدن خاک را فراهم می نماید .

۷- سیمان راهسازی که نوعی سیمان ویژه است دارای غشا یا پوشش در اطراف دانه ای سیمان است که به هنگام اختلاط با ماسه و شن یا خاک (اختلاط مکانیکی و ساخت ملات یا بتن) غشا مربوطه صدمه دیده و وارد فعل و انفعال می شود و عمل هیدراتاسیون شروع شده و سپس ویژگی های چسبندگی آن آشکار می شود .
 ۸- سیمان راهسازی را می توان در صورت عدم استفاده در شرایط بد آب و هوایی به صورت فله روی زمین نگهداری کرد، بدون آنکه خاصیت سفت شدن سیمان بر اثر رطوبت یا اسید کربنیک آسیب ببیند .
 ۹- از ویژگی های دیگر این نوع سیمان بالا بودن مقدار دانسیته و مقاومت فشاری نسبت به سیمان معمولی است .

۲-۷-۵- مواد مورد نیاز جهت تولید سیمان راهسازی

- ۱- کلینکر سیمان پرتلند تیپ I با مشخصات استاندارد DIN ۱۱۶۴-CEMI ۳۲/۵R
- ۲- گچ جهت کنترل گیرش
- ۳- افزودنی مناسب

۲-۷-۶- کاربردهای سیمان راهسازی

- ۱- کاربرد گسترده بدون در نظر گرفتن شرایط جوی .
- ۲- پایداری سطوح جاده ها در برابر یخ زدن و یا مقاومت در برابر عوامل جوی و سیکل های یخ زدن و آب شدن .
- ۳- مقاومت زود رس اولیه که نتیجتاً باعث کوتاه شدن مدت سد ترافیک در محل کار خواهد شد .
- ۴- کاهش جذب آب خاک تثبیت شده .
- ۵- محافظت لایه های زیرین جاده ها و خیابان ها و تقویت خاک .
- ۶- جهت احداث جاده های مرغوب و درجه یک و همچنین جاده های فرعی و معابر و باندهای فرود و پرواز و راه آهن .
- ۷- بکارگیری برای سطح (کف) مخازن.
- ۸- بکارگیری این نوع سیمان به عنوان مواد ساختمانی به ویژه سطوح مورد تردد و راه ها و جاده ها به عنوان راهکاری اقتصادی و مطمئن .
- ۹- جهت لایه های پوششی سدها .
- ۱۰- تثبیت شیب ها .

۲-۷-۷- مزایای طرح تولید سیمان راهسازی

با توجه به نقاط ضعف ذکر شده قبلی در سیستم جاده ای موجود کشور و نقص فنی در کلیه خودروها بدلیل برخورد ناگهانی و شدید در دست اندازها و چاله ها و در نتیجه افزایش تعمیرات و نگهداری خودرو، افزایش مصرف قطعات یدکی، تغییر در شتاب و سرعت خودروها که منجر به افزایش مصرف سوخت در سطح ملی می گردد و دهها عامل دیگر که به طور متوسط سالیانه مبلغ قابل توجهی را از منابع ملی به خود اختصاص می دهد . همچنین نفوذ پذیری آبهای آلوده در سطح جاده ها به درون لایه روسازی که مشتمل بر رویه، اساس و زیراساس که بر روی لایه متراکم شده خاک بستر روسازی قرار می گیرند ، باعث تخریب و فساد جاده ها می گردد . عدم مقاومت های لازم در برابر سیکل های یخ زدن و آب شدن که منجر به گشاد شدن

تدریجی هر چه بیشتر ترک های مویی سطح جاده ها و ایجاد شکاف های نامطلوب که در نتیجه باعث کوتاه شدن عمر مفید راهها می گردد . به طور اجمالی چند فاکتور زیر می تواند گویای مزایای تولید این نوع سیمان و مصرف آن باشد .

۱- عدم سرمایه گذاری جدید در خصوص تکنولوژی تولید این محصول و استفاده از تکنولوژی موجود صنعت سیمان .

۲- افزایش راندمان آسیاب های سیمان بدلیل خاصیت کمک ساینده مواد هیدروفوبی مورد استفاده در این محصول .

۳- افزایش کیفیت سطح جاده ها و در نتیجه افزایش سرعت خودروها و بالطبع استفاده بهینه از زمان .

۴- افزایش طول عمر مفید جاده ها و در نتیجه کاهش هزینه های نگهداری .

۵- کاهش مصرف قیر و در نتیجه افزایش صادرات این محصول با توجه به افزایش قیمت قیر .

۶- بازیابی مجدد آسفالت های مازاد و خاک های ضایعاتی در بتن تولیدی از سیمان مورد نظر .

۷- سازگاری مواد افزودنی مورد استفاده در سیمان با شرایط محیطی متفاوت .

۸- کاهش هزینه حمل و نقل مواد افزودنی که معمولاً در تولید بتن بکار می رود .

۹- سهولت در نگهداری محصول جدید حتی در محیط های مرطوب و بارانی .

۱۰- جلوگیری از نفوذپذیری آبهای آلوده به درون لایه های روساز .

۱۱- کاهش هر چه بیشتر ترک های میکرونی (مویینه) .

۱۲- مقاومت در برابر سیکل های یخ زدن و آب شدن .

۱۳- کاهش تنش های فشاری قائم و تحمل بارهای وارده از طریق عبور و مرور .

۱۴- به عنوان جایگزین مناسب بجای قیر (با توجه به افزایش قیمت قیر و مشکلات محیط زیستی آن) در راه

سازی و ابنیه می تواند نوید بسیار خوبی برای آینده این صنعت در کشور به ارمغان آورد .

۱۵- روسازی های بتن نیاز به نگهدار کمتری نسبت به روسازی های آسفالتی دارند .

۱۶- روسازی های بتنی را می توان بر روی بسترهای ضعیف نیز اجرا نمود.

۱۷- حداقل عمر سرویس دهی روسازی های بتن بیش از روسازی های آسفالتی است (گاهاً دو برابر) .

۱۸- مقاومت روسازی های بتنی در برابر حلال ها بسیار بیشتر از روسازی های آسفالتی است .

۱۹- روسازی های بتنی دارای سطح روشن تری نسبت به روسازی های آسفالتی هستند .

۲-۷-۸- تولید کنندگان سیمان راهسازی

در حال حاضر مقدار ۱۰۰,۰۰۰ تا ۲,۰۰۰,۰۰۰ تن در سال این نوع سیمان در آلمان تولید می گردد که مهمترین تولید کنندگان به شرح زیر معرفی می گردند .

۱- شرکت سیمان دیکرهوف Dyckerhoff که یکی از بزرگترین شرکت های سیمان آلمان به شمار می رود، تقریباً از ۴۰ سال قبل مبادرت به تولید سیمان هیدروفوب نموده است و در حال حاضر در ۵ منطقه یعنی Wiesbaden , Bonn , Lengerich , Deuna , Neubeckum با آدرس های به شرح زیر این نوع سیمان را تولید می نماید .

A . Dyckerhoff Zement – tel : 05481-31319
Dyckerhoff Zement GmbH Lienenner StraBe 89

B . Deuna Zement – Tel : 036076 –80
Deuna Zement GmbH WERKSTRA Bel – 37355 Deuna

C . Dyckerhoff Zement – Tel : 02525-74227
. Dyckerhoff Zement embH – DyckerhoffaBE 8559269 Beckum

D . Dyckerhoff Zement – Tel :0228-4009641ZVRement – Vertrieb – RHEINILAND
. embh & Co . KG Johannesstra Be 72.53225 Bonn

E . Dyckerhoff Zement – Tel : 0611-676-0 Dyckerhoff Zement embH Biebriche stre BE
69-65203 wiesbaden

۲-کارخانه توتونیا (Teutonia) با تولید بالغ بر ۲۷,۰۰۰ تن سیمان هیدروفوب در سال و به آدرس به شرح
زیر یکی دیگر از تولید کنندہ های عمده این نوع سیمان می باشد :

TEUTONIA Zementwerk AG – Tel : 0511-5869-0
TEUTONIA Zementwerk AG – 730365.30552 Hann over

۳-کارخانه سیمان آلزن (Alsen) با تولید بالغ بر ۱۰,۰۰۰ تن سیمان هیدروفوب در سال با آدرس به شرح
زیر :

ALSEN – BREITENBURG – TEL : 040-360020
ALSEN – BREITENBURGZement – u.kelweke GmbH – ost – west – stra Be 69-
. 20457 Hamburg

۴- کارخانه سیمان هایدلبرگ با آدرس به شرح زیر :

HEIDELBERGER ZEMENT – TEL : 06221-481-0
HEIDELBERGER ZEMENT – Postfach 10440-69034 Heidelberg

۲-۸- سیمان هیدروفوب (Hydrophobic Portland Cement)

سیمان هیدروفوب Hydrophobic Portland Cement مقاوم در برابر نفوذ آب بوده و تقریباً سیمان غیر قابل نفوذ می باشد. این سیمان ترکیبی است از سیمان پرتلند و مواد افزودنی ضدآب که به منظور غیر قابل نفوذ نمودن بناها و کاهش هزینه های آب بندی مورد استفاده قرار می گیرد. لذا ضمن آب بندی بناها موجبات افزایش مقاومت و کارایی و پایداری و مقاومت در برابر حملات شیمیایی و خوردگی ها در بتن می گردد.

۲-۸-۱- مشخصات و ویژگی های مواد اولیه لازم در تولید سیمان هیدروفوب

- ۱- کلینکر سیمان پرتلند معمولی
- ۲- پوزولان ۴-۲ mm با اکتیویته حرارتی بالای ۶۰ درصد برای ۲۸ روزه
- ۳- دافع آب، گرید صنعتی یا کلوخه، خلوص ۸۰-۵۰ درصد، رنگ مهم نیست.
- ۴- ابر روانساز یا روانساز گرید صنعتی پودر خلوص ۸۵-۶۰ درصد، رنگ مهم نیست.
- ۵- بنتونیت معدنی فرآوری شده یا نشده خلوص بیش از ۸۰ درصد بدون کوارتز $\text{SiO}_2 < 1\%$ کلوخه یا پودر نمک محلول زیر ۱٪
- ۶- سنگ آهک معدنی کلوخه یا پودر خلوص بالای ۸۰ درصد با حداقل کوارتز $\text{SiO}_2 < 1\%$ و نمک محلول زیر ۱٪
- ۷- میکروسیلیکا حاصل از فرآیند فروسیلیکون با سایز بین ۵-۱ mm، قلیایی ها زیر ۱٪ و کربن ۵-۲٪ و CaO زیر ۱/۲٪
- ۸- در صورت کاهش شدید زمان گیرش شتاب دهنده نیز مصرف می شود که از انواع معدنی و بدون یون کلر می باشد، خلوص بیش از ۸۰٪.

۲-۸-۲- نحوه تولید و اختلاط مواد سیمان هیدروفوب

مواد حتماً باید پودر باشند و در آسیاب به همراه پودر شدن مخلوط شوند که البته ترکیب اختلاط نیز مهم است. دانه بندی بلین نهایی نیز موثر است. آنچه مسلم است در ابتدا سخت ترین ماده باید آسیاب شود. (مانند کلینکر) سپس مواد نرم تر مانند سنگ آهک که این دو زمان بیشتری لازم دارند.

میکروسیلیکا که احتیاج به آسیاب ندارد در مرحله بعدی اضافه شده و فقط مخلوط می شود. افزودن های معدنی دیگر در صورت وجود مثل بنتونیت نیز همراه میکروسیلیکا اضافه می گردد. بعد دافع آب اضافه و مدت بیشتری مخلوط شده تا سطح ذرات را بپوشاند در پایان ابر روانساز اضافه شده تا روی دافع و ذرات را بپوشاند. در راستای کاهش هزینه تولید محصول نهایی می توان مقداری میکروسیلیس (حدود ۷٪) مورد استفاده قرار داد و همچنین از روانسازهای ارزان تری استفاده نمود.

اضافه نمودن ۱۲-۱۳٪ کربنات کلسیم علاوه بر بهبود روانی و نفوذ ناپذیری، هزینه محصول نهایی را نیز کاهش می دهد.

۲-۹- سیمان های چاه نفت Oil Well Cements

سیمان های چاه نفت یکی از انواع سیمان ها می باشند، که برای عملیات سیمانکاری در چاه نفت مورد استفاده

قرار می گیرند. از این سیمان ها برای پر کردن فضای خالی آنالوس (Annalus) بین لوله و جداره چاه استفاده می گردد که دارای وظایف ذیل هستند :

۱- محدود کردن جابجایی

۲- نگهداری لوله جداره ای

با توجه به وظایفی که سیمان های چاه نفت به سبب مصرف در چاه دارند و همچنین شرایط متفاوت دما و فشار موجود در ارتفاعات مختلف چاه از این رو انواع مختلف سیمان وجود دارد که برگرفته از استاندارد امریکایی American Petroleum Institute-API است و به کلاس های متفاوتی تقسیم شده است .

۲-۹-۱- کلاسها و انواع سیمان های چاه نفت

انجمن نفت آمریکا (API) که با گردهمایی شرکت های نفتی بزرگ دنیا تشکیل یافته است، سیمان های حفاری را به ۸ کلاس از A تا H تقسیم نموده است . این سیمان ها به شرح زیر تعریف می شوند :

کلاس A :

این سیمان جهت سیمانکاری از سطح تا عمق ۶۰۰ فوت (حدود ۱۸۳۰ متر) بکار می رود . این فرآورده از سایش کلینکر سیمان پرتلند بدست می آید و باید شامل سیلیکات های کلسیم هیدرولیک و معمولاً یک یا چند فرم از سولفات کلسیم به عنوان افزودنی حین سایش باشد .

تولید کننده میتواند در تولید این سیمان از افزودنی های فرآیندی^۱ نیز استفاده نماید، مشروط بر این که مواد در مقادیری که مصرف می شوند با الزامات تعیین شده در استاندارد ASTM C۴۶۵ مطابقت داشته باشند . این فرآورده معمولاً در مواردی که خواص ویژه ای نیاز نباشد به کار می رود و تنها در نوع معمولی (O) تولید می شود (مشابه سیمان نوع ۱ استاندارد ملی ایران شماره ۳۸۹)

کلاس B :

این فرآورده از سایش کلینکر سیمان پرتلند بدست می آید و باید شامل سیلیکات های کلسیم هیدرولیک و معمولاً یک یا چند فرم از سولفات کلسیم به عنوان افزودنی حین سایش باشد . تولید کننده می تواند در تولید این سیمان از افزودنی های فرآیندی نیز استفاده نماید، مشروط براینکه این مواد در مقادیری که مصرف می شوند، از الزامات تعیین شده در استاندارد ASTM C۴۶۵ تبعیت نمایند .

این فرآورده در مواردی که مقاومت بسیار زیاد یا متوسط در برابر سولفات نیاز است و همانند سیمان کلاس A از سطح تا عمق ۶۰۰ فوت بکار می رود و در دو نوع ضد سولفات شدید (HSR) و ضدسولفات متوسط (MSR) تولید می شود . (مشابه سیمان نوع ۲ استاندارد ملی ایران شماره ۳۸۹)

کلاس C :

این فرآورده از سایش کلینکر سیمان پرتلند به دست می آید و باید شامل سیلیکات های کلسیم هیدرولیک و

۱- یک افزودنی فرآیندی مناسب یا ماده اصلاح کننده زمان گیرش نباید موجب تغییر در عملکرد سیمان چاه نفت گردد.

معمولاً یک یا چند فرم از سولفات کلسیم به عنوان افزودنی حین سایش باشد. تولید کننده می تواند در تولید این سیمان از افزودنی های فرآیندی نیز استفاده نماید، مشروط براینکه این مواد در مقادیری که مصرف می شوند با الزامات تعیین شده در استاندارد ASTM C۴۶۵ مطابقت داشته باشند.

این فرآورده در مواردی که به تاب فشاری اولیه بالا نیاز است و مطابق سیمان های کلاس A و B از سطح تا عمق ۶۰۰ فوت به کار می رود و در سه نوع معمولی (O)، ضد سولفات متوسط (MSR) و ضد سولفات شدید (HSR) تولید می شود. (مشابه سیمان نوع ۳ استاندارد ملی ایران به شماره ۳۸۹)

کلاس D:

این فرآورده از سایش کلینکر سیمان پرتلند به دست می آید و باید شامل سیلیکات های کلسیم هیدرولیک و معمولاً یک یا چند فرم از سولفات کلسیم به عنوان افزودنی حین سایش باشد. تولید کننده می تواند در تولید این سیمان از افزودنی های فرآیندی نیز استفاده نماید مشروط براینکه این مواد در مقادیری که مصرف می شوند با الزامات تعیین شده در استاندارد ASTM C۴۶۵ مطابقت داشته باشد. به علاوه تولید کننده می تواند اصلاح کننده های مناسب گیرش را به صورت مواد افزودنی حین سایش یا اختلاط پس از آن مورد استفاده قرار دهد.

این فرآورده برای استفاده تحت شرایط دما و فشار نسبتاً بالا و در عمق ۶۰۰۰ تا ۱۰,۰۰۰ فوت (۳۰۵۰-۱۸۳۰ متر) به کار می رود و در دو نوع ضد سولفات متوسط (MSR) و ضد سولفات شدید (HSR) تولید می شود.

کلاس E:

این فرآورده از سایش کلینکر سیمان پرتلند بدست می آید و باید شامل سیلیکات های کلسیم هیدرولیک و معمولاً یک یا چند فرم از سولفات کلسیم به عنوان افزودنی حین سایش باشد. تولید کننده می تواند در تولید این سیمان از افزودنی های فرآیندی نیز استفاده نماید مشروط براینکه این مواد در مقادیری که مصرف می شوند با الزامات تعیین شده در استاندارد ASTM C۴۶۵ مطابقت داشته باشند. به علاوه تولید کننده می تواند اصلاح کننده های مناسب گیرش را به صورت مواد افزودنی حین سایش یا اختلاط پس از آن مورد استفاده قرار دهد.

این فرآورده برای استفاده تحت شرایط دما و فشار نسبتاً بالا و در اعماق ۱۰,۰۰۰ تا ۱۴,۰۰۰ فوت (۳۰۵۰-۱۲۷۰ متر) به کار می رود و در دو نوع ضد سولفات متوسط (MSR) و ضد سولفات شدید (HSR) تولید می شود.

کلاس F:

این فرآورده از سایش کلینکر سیمان پرتلند بدست می آید و باید شامل سیلیکات های کلسیم هیدرولیک و معمولاً یک یا چند فرم از سولفات کلسیم به عنوان افزودنی حین سایش باشد. تولید کننده می تواند در تولید این سیمان از افزودنی های فرآیندی نیز استفاده نماید مشروط براینکه این مواد در مقادیری که مصرف می شوند با الزامات تعیین شده در استاندارد ASTM C۴۶۵ مطابقت داشته باشند. به علاوه تولید کننده می تواند اصلاح کننده های مناسب گیرش را به صورت مواد افزودنی حین سایش یا اختلاط پس از آن مورد استفاده قرار دهد.

این فرآورده برای استفاده تحت شرایط دما و فشار بسیار بالا و در عمق ۱۰,۰۰۰ تا ۱۶,۰۰۰ فوت (۳۰۵۰-۴۸۸۰ متر) به کار می رود و در دو نوع ضد سولفات متوسط (MSR) و ضد سولفات شدید (HSR) تولید می شود.

کلاس G :

این فرآورده از سایش کلینکر سیمان پرتلند بدست می آید و باید شامل سیلیکات های کلسیم هیدرولیک و معمولاً یک یا چند فرم از سولفات کلسیم به عنوان افزودنی حین سایش باشد . در تولید سیمان کلاس G به جز سولفات کلسیم و آب یا هر دو، استفاده از هیچ ماده دیگری به عنوان افزودنی حین سایش یا اختلاط پس از آن مجاز نمی باشد . این فرآورده به عنوان سیمان پایه برای چاه های نفت و از سطح تا عمق ۸۰۰۰ فوت (۲۴۴۰ متر) مورد استفاده قرار می گیرد و در انواع ضد سولفات متوسط (MSR) و ضد سولفات شدید (HSR) تولید می شود .

کلاس H :

این فرآورده از سایش کلینکر سیمان پرتلند بدست می آید و باید شامل سیلیکات های کلسیم هیدرولیک و معمولاً یک یا چند فرم از سولفات کلسیم به عنوان افزودنی حین سایش باشد . در تولید سیمان کلاس H به جز سولفات کلسیم و آب و یا هر دو، استفاده از هیچ ماده دیگری به عنوان افزودنی حین سایش یا اختلاط مجاز نمی باشد .
این فرآورده همانند سیمان کلاس G به عنوان سیمان پایه برای چاه های نفت مورد استفاده قرار می گیرد و در انواع ضد سولفات متوسط (MSR) و ضد سولفات شدید (HSR) تولید می شود .

۲-۹-۲- مشخصات فیزیکی و شیمیایی سیمان های چاه نفت

براساس استاندارد ملی ایران به شماره ۸۰۸۷ که برگرفته از استاندارد آمریکا (API) می باشد مشخصات شیمیایی و فیزیکی چاه نفت به شرح زیر عنوان می گردد :

- الزامات عمومی

کلاس های A, B, C, D, E, F که با این ویژگی مطابقت دارند از سایش کلینکر سیمان پرتلند و در صورت نیاز سولفات کلسیم به صورت توأم به دست می آیند و چنانچه در تولید سیمان از افزودنی های فرآیندی استفاده شود، این مواد باید با الزامات مندرج در استاندارد ASTM C۴۶۵ مطابقت داشته باشند . در تولید سیمان های چاه نفت با کلاس های F, E, D می توان از مواد اصلاح کننده گیرش به صورت افزودنی حین سایش یا اختلاط پس از آن استفاده نمود .

کلاس های H, G تنها فرآورده هایی هستند که نباید هیچ ماده افزودنی به جز سولفات کلسیم و آب یا هر دو به کلینکر سیمان پرتلند در حین سایش یا اختلاط پس از آن اضافه شود .
به طور کلی سیمان های چاه نفت در انواع معمولی (O)، ضد سولفات متوسط (MSR) و ضد سولفات شدید (HSR) تولید می شوند .

- الزامات شیمیایی^۱

الزامات شیمیایی انواع هشت کلاس سیمان چاه نفت با توجه به نوع و کلاس مربوطه باید با مندرجات جدول ۲۶ مطابقت داشته باشند .

جدول ۲۶- الزامات شیمیایی انواع سیمان چاه نفت

کلاس های سیمان						شرح
H	G	D,E,F	C	B	A	
-	-	-	۶/۰	-	۶/۰	نوع معمولی (O) درصد اکسید منیزیم (MgO) - حداکثر
-	-	-	۴/۵	-	۳/۵ ^۲	درصد تری اکسید گوگرد (SO _۳) - حداکثر
-	-	-	۳/۰	-	۳/۰	درصد کسروزن در اثر سرخ شدن - حداکثر
-	-	-	۰/۷۵	-	۰/۷۵	درصد باقیمانده نامحلول - حداکثر
-	-	-	۱۵	-	NR	درصد سه کلسیم آلومینات C _۳ A - حداکثر
۶/۰	۶/۰	۶/۰	۶/۰	۶/۰	-	نوع ضد سولفات متوسط (MSR) درصد اکسید منیزیم (MgO) - حداکثر
۳/۰	۳/۰	۳/۰	۳/۰	۳/۰	-	درصد تری اکسید گوگرد (SO _۳) - حداکثر
۳/۰	۳/۰	۳/۰	۳/۰	۳/۰	-	درصد کسروزن در اثر سرخ شدن - حداکثر
۰/۷۵	۰/۷۵	۰/۷۵	۰/۷۵	۰/۷۵	-	درصد باقیمانده نامحلول - حداکثر
۵۸ ^۳	۵۸ ^۳	NR	NR	NR	-	درصد سه کلسیم سیلیکات C _۳ S - حداکثر
۴۸ ^۳	۴۸ ^۳	NR	NR	NR	-	درصد سه کلسیم سیلیکات C _۳ S - حداقل
۸/۰	۸/۰	۸/۰	۸/۰	۸/۰	-	درصد سه کلسیم آلومینات C _۳ A - حداکثر
۰/۷۵ ^۴	۰/۷۵ ^۴	NR	NR	NR	-	درصد مجموع قلیایی ها (Na _۲ O+۰/۶۵۸K _۲ O) - حداکثر
۶/۰	۶/۰	۶/۰	۶/۰	۶/۰	-	نوع ضد سولفات شدید (HSR) در صد اکسید منیزیم (MgO) - حداکثر
۳/۰	۳/۰	۳/۰	۳/۵	۳/۰	-	درصد تری اکسید گوگرد (SO _۳) - حداکثر
۳/۰	۳/۰	۳/۰	۳/۰	۳/۰	-	درصد کسروزن در اثر سرخ شدن - حداکثر
۰/۷۵	۰/۷۵	۰/۷۵	۰/۷۵	۰/۷۵	-	درصد باقیمانده نامحلول - حداکثر
۶۵ ^۳	۶۵ ^۳	NR	NR	NR	-	درصد سه کلسیم سیلیکات C _۳ S - حداکثر
۴۸ ^۳	۴۸ ^۳	NR	NR	NR	-	درصد سه کلسیم سیلیکات C _۳ S - حداقل
۳ ^۳	۳ ^۳	۳ ^۳	۳ ^۳	۳ ^۳	-	درصد سه کلسیم آلومینات C _۳ A - حداکثر
۲۴ ^۳	۲۴ ^۳	۲۴ ^۳	۲۴ ^۳	۲۴ ^۳	-	درصد چهار کلسیم آلومینوفریت و دو برابر سه کلسیم آلومینات (۲C _۳ A + C _۳ AF) - حداکثر
۰/۷۵ ^۴	۰/۷۵ ^۴	NR	NR	NR	-	درصد مجموع قلیایی ها (Na _۲ O+۰/۶۵۸K _۲ O) - حداکثر

الزامی وجود ندارد = NR

۱- روش آنالیز شیمیایی مطابق با استاندارد ملی ایران شماره ۱۶۹۲ : سال ۱۳۸۲ سیمان های هیدرولیکی روش های آزمون شیمیایی اندازه گیری عناصر اصلی

۲- هنگامی که مقدار سه کلسیم آلومینات C_3A برابر با ۸ درصد یا کمتر از آن باشد، حداکثر مقدار SO_3 باید ۳ درصد باشد .

۳- مقادیر ارائه شده به عنوان محدودیت های شیمیایی اکسیدهای فلزی قطعاً به این معنا نیست که اکسیدها به صورت ترکیبات مندرج در جدول وجود داشته باشند . اگر نسبت درصد اکسید آلومینیوم به اکسید آهن 0.64 یا کمتر از آن باشد مقدار C_3A صفر خواهد بود . چنانچه نسبت درصد اکسید آلومینیوم به اکسید آهن بیشتر از 0.64 باشد، فازهای سیمان به شرح زیر محاسبه می گردد :

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

$$C_4AF = (3.04 \times \%Fe_2O_3)$$

$$C_3S = (4.07 \times \%CaO) - (7.60 \times \%SiO_2) - (6.72 \times \%Al_2O_3)$$

$$- (1.43 \times \%Fe_2O_3) - (2.85 \times \%SO_3)$$

اگر نسبت درصد اکسید آلومینیوم به اکسید آهن کمتر از 0.64 باشد، درصد سه کلسیم سیلیکات طبق فرمول زیر محاسبه می گردد :

$$C_3S = (4.07 \times \%CaO) - (7.60 \times \%SiO_2) - (4.48 \times \%Al_2O_3) -$$

$$(2.86 \times \%Fe_2O_3) - (2.85 \times \%SO_3)$$

۴- مقدار معادل قلیایی ها براساس رابطه زیر محاسبه می شود :

$$Na_2O \text{ معادل} = (0.658 \times \%K_2O) + (\%Na_2O)$$

۲-۹-۳ سابقه تولید سیمان های حفاری در ایران

سیمان های حفاری در کلاس های مختلف از سال های گذشته در کشور تولید شده است . کارخانه سیمان تهران به عنوان اولین تولید کننده سیمان های حفاری با کلاس های A, D, E مطرح بوده که تکنولوژی های تولید این سیمان ها به سال های قبل از انقلاب برمی گردد و این تکنولوژی توسط شرکت های آمریکایی به این کارخانه منتقل شده است . هر چند این کارخانه سیمان های فوق را طی سالیان متمادی تولید و به شرکت نفت تحویل داده است . ولی کیفیت آن دارای فراز و نشیب های زیادی بوده است .

به سبب اهمیت تولید سیمان حفاری از بعد اقتصادی و همچنین به لحاظ تقاضای بسیار زیاد این سیمان در داخل کشور و کشور های حوزه خزر و خلیج فارس، تولید سیمان های حفاری خصوصاً کلاس G بسیار مهم جلوه نموده و از سال های قبل روی تولید سیمان های حفاری در کلاس های مختلف در کارخانه هایی همچون کرمان و درود نیز فعالیت هایی صورت گرفته است .

۲-۱۰- سیمان های انبساطی (Expansive Cements)

از حدود پنجاه سال پیش در نقاط مختلف جهان، دسته جدیدی از سیمان ها وارد عرصه ساخت و ساز گردید . این سیمان ها که برپایه فازهای سولفاتی ساخته می شوند . در حین آبکشی (هیدراتاسیون) از خود انبساط جزئی نشان می دهند که در نهایت باعث جلوگیری از رشد ترک و ایجاد تنیدگی شیمیایی در قطعه و در مجموع افزایش استحکام و دوام می گردند .

همچنین در دماهایی کمتر از دمای پخت سیمان های پرتلند، پخته می شوند و از این رو به سیمان های کم انرژی معروف هستند و به خاطر مصرف کمتر سنگ آهک در مواد اولیه آن ها ، آلودگی کمتری برای محیط زیست ایجاد می کنند .

سیمان های انبساطی ترکیبی از فازهای مختلف بلوری هستند ، که هر کدام با آبکشی کردن خود مقداری از استحکام و انبساط را به صورت همزمان دارند . اما در اغلب سیمان های انبساطی دو فاز به صورت جداگانه وجود دارد که ترکیب آنها با هم خواص مورد نظر را تأمین می کند . این نوع سیمان را می توان به دو صورت مخلوط با پرتلند و یا بصورت یک سیمان مستقل تولید کرد که نوع مخلوط با پرتلند از تولید بیشتری برخوردار است . در واکنش سیمان ها با آب آبکشی (معمولاً حجم جامدات افزایش پیدا کرده، اما حجم کلی کاهش می یابد . یعنی حجم سیمان خشک (آبکشی نکرده) از حجم محصولات واکنش، کمتر است .

اما مجموع حجم سیمان خشک و آب از حجم آبکشی کرده ها کمتر است که به این کاهش حجم، انقباض یا جمع شدگی شیمیایی می گویند که برای سیمان پرتلند حدود $0/03$ تا $0/08$ میلی لیتر بر گرم سیمان است . جمع شدگی شیمیایی در قبل از گیرش و سخت شدن که خمیر سیمان ، مومسان (پلاستیک) است و می تواند آزادانه تغییر شکل دهد، بدون هیچ مشکلی سبب کاهش حجم آن می شود ولی بعد از گیرش سخت شدن به دوصورت ایجاد مشکل می نماید . یکی با جمع شدگی خارجی (external shrinkage) یا خودزا (autogeniou shrinkage) و دیگری با جمع شدگی داخلی (internal shrinkage). جمع شدگی داخلی، سبب افزایش تخلخل داخلی می شود و جمع شدگی خودزا می تواند به همراه جمع شدگی بزرگتر حاصل از خشک شدن که حین تبخیر آب اضافی از خمیر سیمان رخ می دهد سبب ایجاد تنش کششی و تشکیل ترک در خمیر سخت شده سیمان شود، به خصوص وقتی که یک مهار داخلی مثل سنگدانه یا میلگرد یا مهار خارجی مثل سطح قالب مانع جمع شدگی شود .

یک راه جلوگیری از بروز مشکلات جمع شدگی ایجاد همزمان انبساط درون خمیر سیمان است تا جمع شدگی را جبران کرده و حتی در داخل خمیر تنش فشاری ایجاد نماید ، که حجم جامدات در آبکشی افزایش می یابد. منتها در آبکشی بیشتر فازهای بلورین، فازهای آبکشی کرده در داخل محلول و در فضای خالی تشکیل می شوند و هیچ فشار داخلی ایجاد نمی کنند اما در بعضی از فازهای بلورین مثل C_3A و C_4A و آهک با دمای پخت بالا، فازهای آبکشی کرده روی سطح دانه آنها تشکیل شده و به دانه های اطراف فشار اعمال می کنند . برای اعمال فشار دو دلیل مطرح است یکی افزایش حجم جامد طی آبکشی در سطح و دیگری رشد جهت دار بلورها که از مطرح ترین نظریه ها برای توجیه ساز و کار انبساط می باشند . دلیل تشکیل و رشد فازهای آبکشی کرده روی سطح بعضی از دانه ها، حلالیت کم این دانه ها نسبت به دیگر اجزای واکنش کننده می باشد .

۲-۱۰-۱- انواع سیمان های انبساطی

۲-۱۰-۱-۱- سیمان انبساطی نوع K

در میان انواع مختلف سیمان های انبساطی، از نوع K بیشتر استفاده می شود. جزء اصلی این سیمان C_4A_3S است که با کلینکر پرتلند و سولفات کلسیم مخلوط می شود. C_4A_3S و سولفات کلسیم جزء انبساطی بوده و کلینکر پرتلند زمینه سیمانی را ایجاد می کند. یکی از روش های تولید این سیمان بدین صورت است که ابتدا کلینکر سولفوآلومینات کلسیم به طور جداگانه پخته شده و بعد با کلینکر پرتلند و گچ همزمان آسیاب می شود. در صنعت، این سیمان، از پخت مواد اولیه ای نظیر سنگ آهک، بوکسیت و گچ در یک کوره دوار و در دمای حداکثر ۱۳۰۰ درجه سانتیگراد تهیه می شود.

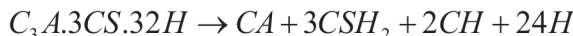
در آبکشی سیمان نوع K و انبساط آن طبق واکنش زیر و با تشکیل اترینگایت انجام می شود:



بررسی های میکروسکوپی از خمیر سیمان انبساطی نوع K نشان می دهد که اترینگایت با ساز و کار واکنش شیمیایی سطحی در اطراف ذرات سولفوآلومینات و با ساختار ترجیحی رشد می کند و همین یکی از دلایل انبساط است. با افزودن میکروسیلیکا (Silicafume) به ترکیب، سرعت تشکیل اترینگایت افزایش یافته و مقدار انبساط هم بیشتر می شود.

۲-۱۰-۱-۲- سیمان انبساطی نوع M

این نوع سیمان ها ترکیبی از سیمان پرتلند معمولی، سیمان آلومینات کلسیمی و گچ می باشند که معمولاً با نسبت ۶۶ : ۲۰ : ۱۴ مخلوط می شوند. در نوع M همانند نوع K زمینه خمیری سخت شده ای با آبکشی سیمان پرتلند ایجاد می شود. فاز انبساطی اترینگایت در این سیمان، از واکنش مونوآلومینات کلسیم (CA) که اصلی ترین جزء سیمان های پر آلومینا است با سولفات کلسیم و هیدروکسید کلسیم ناشی از آبکشی سیمان پرتلند حاصل می شود:



مقدار انبساط سیمان با تغییر دمای پروراندن (Curing) و تغییر مقادیر اجزا تشکیل دهنده آن کنترل می شود. در نسبت آب به سیمان کم و دمای پائین مونوسولفات $C_3A.CS.12H$ نیز می تواند به جای اترینگایت تولید شود. برای به دست آوردن خواص مطلوب از نوع M، باید آن را در دمای بالاتر از ۷۰ درجه سانتی گراد که اترینگایت از نظر ترمودینامیکی ناپایدار است به صورت حرارتی پروراند تا فقط مونوسولفات بدون هیچ انبساطی تشکیل شود. سپس با پروراندن مجدد در دمای محیط در آب مونوسولفات با ایجاد انبساط به اترینگایت تبدیل شود. سیمان انبساطی نوع M برای استفاده در بتن های پیش ساخته، بسیار مناسب است. گیرش سریع و انبساط مخرب این سیمان در دمای محیط از مواردی است که کاربرد آن را محدود می کند.

۲-۱۰-۱-۳- سیمان انبساطی نوع S

این سیمان از مخلوط سیمان پرتلند پر C_4A و سولفات کلسیم زیاد ساخته می شود. در این سیمان اترینگایت مطابق واکنش زیر تشکیل می شود:



در مراحل اولیه واکنش، سرعت تشکیل اترینگایت بسیار بالا است اما اترینگایت تشکیل شده در این مرحله نمی تواند انبساطی ایجاد کند. در ادامه، سرعت واکنش کاهش می یابد. حتی پس از گذشت ۷ روز از آبکنش مقدار قابل توجهی C_3A غیر هیدراته در ترکیب باقی می ماند و اترینگایت تشکیل شده در این مرحله باعث انبساط می شود. هر چند که این انبساط بسیار آرام انجام می شود، اما تا زمانی طولانی ادامه خواهد داشت. اگر انبساط زیاد باشد در خمیر سخت شده باعث بروز ترک می شود. سیمان انبساطی نوع S به ندرت استفاده می شود زیرا کنترل انبساط در آن بسیار مشکل و احتمال وقوع ترک در آن زیاد است.

۲-۱-۱-۴- سیمان سولفوبلیتی

این سیمانها شامل فازهای عمده بلیت ($\beta-C_3S$) و سولفات تری آلومینات تترا کلسیم (C_4A_3S) و سولفات کلسیم به همراه سایر فازهای تشکیل دهنده می باشند. در واقع سیمان های سولفوبلیتی که با نام سولفوآلومینات بلیتی هم شناخته می شوند، شامل دو فاز اصلی C_3S و C_4A_3S می باشند. این سیمان ها فاقد آلیت (C_3S) و تری آلومینات کلسیم (C_3A) بوده و بسته به نوع مواد اولیه مصرفی، شامل مقادیر مختلفی از فاز آلومینات فریت هستند مقدار فاز سولفات کلسیم در این سیمان ها عموماً بیشتر از سیمان های پرتلند می باشد. این سیمان ها با تغییر نسبت فازهای تشکیل دهنده خاصیت انبساطی پیدا می کنند. با افزایش مقدار C_4A_3S سولفات کلسیم انبساط این سیمان ها افزایش می یابد که باید در چنین شرایطی مقدار آهک آزاد در ترکیب کم باشد. محدوده آنالیز فازی در این سیمان ها با بررسی آنالیز فازی ۱۵ نوع تجاری از سیمان سولفوبلیتی به صورت زیر هستند:

C_3S	۱۰-۶۰٪
C_4A_3S	۱۰-۵۵٪
CS	۰-۲۵٪
C	۰-۲۵٪
$C_3(A,F)$	۰-۴۰٪
CA	۰-۱۰٪
Cl_2A_v	۰-۱۰٪

برای تولید کلینکر سولفوبلیتی ترکیب مناسب مواد اولیه را در محدوده دمایی ۱۲۰۰ تا ۱۳۰۰ درجه سانتیگراد پخت می کنند. علاوه بر آهک، رس، بوکسیت و گچ، مواد صنعتی مختلفی نظیر خاکستر بادی (Fly ash) سرباره کوره بلند، خاکسترهای با درصد SO_3 بالا و یا فسفر گچ نیز می توانند به عنوان مواد اولیه مورد استفاده قرار گیرند. بررسی ها نشان می دهد استفاده از این مواد، به ویژه فسفو گچ، زمان و دمای پخت را کاهش می دهد در ابعاد صنعتی، فرآیند پخت این سیمان در کوره های دوار متداول انجام می شود. برای تولید سیمان سولفوبلیتی باید کلینکر آن را در حد سیمان پرتلند آسیاب کرد. گچ یا انیدرید هم تنها در شرایطی که مقدار گچ موجود در ترکیب ناکافی باشد، به آن اضافه می شود. کلینکرهای سولفوبلیتی آسیاب پذیری بیشتری نسبت به سیمان پرتلند دارند.

انرژی مصرفی برای تولید کلینکرهای سولفوبلیتی کمتر از سیمان پرتلند و حتی سیمان بلیتی می باشد، زیرا مقدار CaO موجود در این سیمان ها نسبت به سیمان های پرتلند کمتر است یکی از مشکلات این سیمان

تجزیه جزیی CaSO_4 است که کنترل دقیق بر میزان پرت SO_4 را می طلبد، اما تولید CO_2 و NO_x آن به مراتب کمتر از پرتلند است.

۲-۱۰-۵- سیمان سولفو آلیتی

سیمان سولفوآلیتی سیمانی است که بیشترین فازهای تشکیل دهنده آن C_3S و $\text{C}_4\text{A}_3\text{S}$ می باشند. همچنین در ترکیب آن احتمال وجود فازهای دیگری نظیر C_3A ، C_3S و $\text{C}_4\text{A}_3\text{S}$ وجود دارد. به نظر می رسد که به دلیل محدوده دمایی پخت این دو فاز، تولید این سیمان مشکل باشد، زیرا دمای تشکیل $\text{C}_4\text{A}_3\text{S}$ در محدوده ۱۳۰۰-۱۲۰۰ درجه سانتیگراد بوده و در بالاتر از این محدوده این فاز تجزیه می شود، در حالی که برای سنتز C_3A دمایی بالاتر از ۱۳۵۰ درجه سانتیگراد و سرعت گرمایش کمتری مورد نیاز است. با این وجود گفته شده است که اضافه کردن مقدار کمی فلوئورین (CaF_2) به مواد اولیه امکان تشکیل هر دو فاز را به صورت همزمان در محدوده دمایی ۱۳۰۰-۱۲۳۰ درجه سانتیگراد فراهم می نماید.

مقدار انرژی مصرفی برای تولید این سیمان کمتر از انرژی مورد نیاز برای تولید سیمان پرتلند معمولی و بیشتر از انرژی مورد نیاز برای تولید سیمان سولفوبلیتی می باشد. سیمان سولفوآلیتی مانند سیمان سولفو بلیتی به انرژی کمی برای آسیاب شدن احتیاج دارد.

استحکام سیمان های سولفوآلیتی با کنترل ترکیب فازی، مقدار و توزیع اندازه دانه فاز سولفات کلسیم تنظیم می شود. این مقدار استحکام معمولاً بیشتر از مقدار مشابه در سیمان های پرتلند معمولی و سیمانهای سولفوبلیتی می باشد. خمیر این سیمان همانند سیمان سولفوبلیتی در برابر تغییرات حرارتی مقاومت بیشتری نسبت به سیمان پرتلند دارد. اما مقاومت در برابر کربناته شدن این سیمان نسبت به سیمان سولفوبلیتی بیشتر است. چرا که برخلاف سیمان سولفوبلیتی در آبکنش سیمان سولفوآلیتی مقداری Ca(OH)_2 تولید شده که حین کربناته شدن با CO_2 هوا به CaCO_3 بتن را متراکم کرده و آن را نسبت به CO_2 کم می کند.

۲-۱۰-۶- سیمان پرتلند اصلاح شده با سولفو آلومینات کلسیم

این سیمان با آسیاب همزمان مخلوطی از کلینکر سیمان پرتلند معمولی و سولفات کلسیم و مقدار کمی کلینکر سولفو آلومینات کلسیم تولید می شود. سولفات کلسیم به شکل انیدرید یا گچ به ترکیب اضافه می شود. گچ سرعت حلالیت بیشتری نسبت به انیدرید دارد، این سرعت حلالیت بر خواص نهایی سیمان اثر زیادی می گذارد. وجود انیدرید به جای تشکیل اترینگایت به فرآیند رسوب مونوسولفات کمک می کند. اگر مقدار فاز $\text{C}_4\text{A}_3\text{S}$ و سولفات کلسیم از یک حد خاص کمتر باشد، سیمان فاقد خواص انبساطی خواهد شد.

۲-۱۰-۷- سایر سیمان های انبساطی برپایه تشکیل اترینگایت

سایر انواع سیمان های انبساطی عبارتند از:

- سیمان انبساطی شامل فازهای $\text{C}_4\text{A}_3\text{S}$ و $\text{C}_3\text{S}_3\text{S}$ و CS

- سیمان انبساطی سولفو فریتی

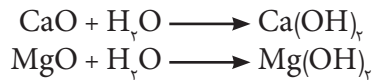
- سیمان های انبساطی بر پایه فازهای آلومیناتی

- سیمان انبساطی پرآلومینا حاوی گچ

- سیمان انبساطی حاوی آهک هیدراته، سرباره کوره بلند، کلینکر پرتلند و گچ

۲-۱۰-۱-۸- سیمان های انبساطی غیر اترینگیتی

دو نوع سیمان انبساطی بدون تشکیل اترینگات وجود دارد که برپایه انبساط حاصل از آبکنش آهک و منیزیا طبق واکنش های زیر هستند .



اگر CaO و MgO در دمای پائین تر از تجزیه CaCO_3 و MgCO_3 تهیه شده باشند بسیار فعال هستند و به سرعت در خمیر سیمان به صورت واکنش در محلول تبدیل به Ca(OH)_2 و Mg(OH)_2 شده و انبساطی رخ نمی دهد . اما اگر پخت کربنات ها در دمای بالا رخ داده باشد MgO و CaO حاصل ، حلالیت کمی داشته و آبکنش از طریق واکنش شیمیایی سطحی انجام می شود . پس حجم یک دانه MgO و CaO با تبدیل آنها از سطح خود به Ca(OH)_2 و Mg(OH)_2 تقریباً دو برابر شده و انبساط رخ می دهد .

۲-۱۰-۲- کاربردهای سیمان های انبساطی

کاربردهای سیمان انبساطی را به صورت زیر می توان طبقه بندی کرد :

۱- کاربرد به عنوان جبران کننده انقباض برای استفاده در بتن هایی با قابلیت قالب گیری در محل مورد نظر.

۲- استفاده در محصولات پیش ساخته با ایجاد خاصیت خودتندگی در بتن .

سازه های مختلف نگهداری آب، مانند تانکرهای عظیم بتنی ذخیره آب، استخرها و کانال های زیرزمینی از مواردی هستند که بتن مورد نظر باید در همان محل قالب گیری شود . پل ها و معابری که از قطعات بزرگ بتنی ساخته می شوند و نیز آبگیرها و سدها و حفاظ های بتنی مقاوم در برابر نفوذ آب از جمله موارد کاربرد این سیمان ها می باشد. لوله های آب، کانال های سرپوشیده و لوله های زیرزمینی جهت قرار گیری کابل های برق را نیز می توان از قطعات پیش ساخته بتنی تهیه کرد که در آن ها خاصیت خود تندگی ایجاد شده باشد .

یکی از کشورهایی که تولید سیمان های انبساطی در آن رشد روز افزونی داشته ژاپن است. در این کشور تولید این سیمان از دهه ۱۹۶۰ آغاز شد. در این مدت علاوه بر تحقیقات علمی فراوان، بررسی های لازم برای صنعتی کردن سیمان های انبساطی انجام شد. مقدار تولید محصولات انبساطی در ژاپن در سال ۹۹۵، حدود ۷۰,۰۰۰ تن تخمین زده شده است. همچنین در سال های اخیر چیزی در حدود ۱,۷۰۰,۰۰۰ متر مکعب از این محصولات مورد استفاده قرار می گیرد که ۳۰ درصد آن به صورت قالب گیری در محل و ۷۰ درصد آن به صورت قطعات پیش ساخته می باشد.

۲-۱۰-۳- نتیجه گیری

با توجه به مطالب گفته شده، سیمان های انبساطی دارای مزایای نسبی فراوان تری نسبت به سیمان های پرتلند می باشند که سرمایه گذاری برای تولید این سیمان ها را در داخل کشور توجیه پذیر می سازد . خرید تکنولوژی تولید این نوع از سیمان ها مقرون به صرفه نمی باشد و با توجه به وجود تجربه تولید آزمایشگاهی این سیمان ها در ایران با کمی سرمایه گذاری می توان، آن ها را در ابتدا در مقیاس نیمه صنعتی تولید کرده و سپس به صورت انبوه تولید نمود .

۱۱-۲- سیمان آلینیتی (Alinite Cement)^{۱۱}

سیمان آلینیتی یک اتصال دهنده هیدرولیکی است که با انجام عملیات حرارتی بر روی ضایعات صنعتی بدست می آید .

نام سیمان آلینیتی از کانی آلینیت ALINITE گرفته شده مینرال آلینیت سیلیکات کلسیم CaSiO_3 حاوی کلرور کلسیم CaCl_2 با نسبت های متغیر از MgO و Al_2O_3 می باشد .

سیمان آلینیتی علاوه بر مینرال های اصلی آلینیت شامل ترکیبات CaCl_2 ، C_3S ، C_2S ، C_3AF و C_4AF نیز می باشد . سیمان آلینیتی یک اتصال دهنده هیدرولیکی است که بدلیل پایین بودن انرژی لازم برای پخت (که حدوداً ۳۰٪ کمتر از انرژی لازم برای تولید سیمان پرتلند بوده) مد نظر قرار گرفته است . سیمان آلینیتی در 950°C الی 1100°C تولید می گردد . از بیست سال پیش در کشورهای شوروی سابق (U.S.S.R) به میزان تجارتی ساخته و بجای سیمان پرتلند مصرف می شده است .

تولید سیمان آلینیتی از باقیمانده گازهای حاصل از فرآیند احتراق به وسیله عملیات حرارتی، با عبور گازهای محترقه MVAS (اسیدهای سمی) گرفته شده انجام می شود، در نتیجه کلروکلسیم آبدار موسوم به نمک MVA مخلوط با نسبت های متغیری از سولفات کلسیم جدا می گردد و همچنین سیلیکات آلومینیم در غبارگیری همراه گازهای تصفیه نشده (RawGas) از سیستم تصفیه کننده MVA خارج می شود . (بعضی ها جداگانه و بعضی ها همراه نمک MVASalt خارج می گردند) .

باقیمانده این گازهای تصفیه شده ترکیبات کاملاً مشابه ای با نمونه سیمان آلینیتی دارند . شرط اصلی سیمان آلینیتی عبارت است از :

$$\frac{\text{CaO}}{\text{SiO}_2} = 2,3 - 3,2 \quad \text{نسبت وزن (۱)}$$

$$\text{Cl} = 4,5 - 9,5\% \quad \text{میزان کلر موجود (۲)}$$

در اصل ، مواد اولیه سیمان آلینیتی را می توان از گازهای تمیز شده حاصل از MVA تهیه نمود . تولید سیمان از باقیمانده MVA مشابه تولید سیمان پرتلند است . مواد خام را هموژن نموده، به وسیله آب به صورت دانه ای در می آورند . دانه ها (کلوخه های آبدار) به وسیله گازهای خروجی کوره خشک شده سپس در یک کوره استوانه ای دوار در 950°C الی 1100°C پخته می شوند .

با قرار دادن مواد خام مربوطه در یک کوره (به مدت یک ساعت) در ابتدا گازهای DIOXINS FURANE موجود در مواد خام کاملاً از بین می روند در پایان کلینکر خنک شده نرم می شود در مقایسه با آسیاب نمودن سیمان پرتلند سیمان آلینیتی بدون عامل سولفات، آسیاب می شود .

(ژیپس CaSO_4 ، $2\text{H}_2\text{O}$) یا ایندیرید (گچ بدون آب) به سیمان مزبور اضافه نمی شود . مقداری از کلرورها و سولفات ها همراه مواد خام وارد کوره شده و در درجه حرارت ذکر شده در خلال عمل پخت سیمان آلینیتی تبخیر می گردند. بنابراین باید کارخانه تولید سیمان آلینیتی با تجهیزات تمیز کننده محصولات گازی کارآمد

۱۱- مطالب این بخش از منبع شماره ۳۴ اقتباس گردیده است.

همراه باشد .

با استفاده از شرایط پخت، میزان مواد فرار مانند کلرو سولفات برای مواد خام داده شده در خلال عمل پخت کنترل می شود . با افزایش درجه حرارت پخت میزان کلردر گازهای خروجی بالا می رود و موقعی که درجه حرارت پخت کاهش می یابد، میزان کلر در گازهای خروجی کاهش می یابد .

میزان HCl موجود در گازهای خروجی با CaO_f آهک آزاد ایجاد شده ضمن عمل پخت سیمان آلنیتی مطابقت دارد. در یک سطح نسبتاً بالا از آهک آزاد ($\text{CaO}_f > 2\%$) که نشان دهنده تبدیل ناقص CaO به آلنیت و C_3S است . درجه حرارت پخت بشدت پایین آمده درصد HCl در گازهای خروجی که تابعی از زمان توقف مواد در کوره می باشد از 1600 mg/Nm^3 بالاتر نخواهد رفت . با پخت متمرکز (در حرارت بالا) ، سطح آهک آزاد تا $1\% \text{ CaO}_f$ (زیر یک درصد) پایین آمده (زمان اقامت مواد در خلال عمل پخت کاسته شده) و سطح HCl به بالاتر از 2000 mg/Nm^3 می رسد . سطح SO_p در گازهای خروجی رفتار مشابه ای دارد به طوری که با مواد سخت پز سطح آن با متوسط (1000 mg/Nm^3) + به بالاتر از (5000 mg/Nm^3) می رسد . علاوه بر ترکیبات فرار SO_p و HCl ، جیوه و ترکیبات فلزی سنگین فرار نیز در خلال تهیه سیمان آلنیتی در باقیمانده حاصل از (MVA) مشاهده شده اند . به این دلیل توصیه زیادی شده که کارخانه های آلنیتی در ارتباط با کارخانه های MVA باشند .

۲-۱۱-۱- استفاده از سیمان آلنیتی

سیمان آلنیتی که از واحدهای زباله سوز صنعت بدست می آید بدلیل بالا بودن درصد کلریک ، اتصال دهنده هیدرولیکی غیراستاندارد با کاربرد محدودی می باشد ، ولی هر کجا که بخواهیم از سیمان پرتلند با سرباره ای همراه با یک ماده زودگیر (شتاب دهنده) مانند کلرورکلسیم استفاده نماییم می توانیم سیمان آلنیتی را جایگزین آن کنیم . میزان اصلی کاربرد سیمان های آلنیتی در حفاری و دیو کردن مواد ضایعاتی در زیرزمین می باشد .

کمپانی آهک سازی WULFRATH واقع در منطقه راین آلمان برای این ماده تقریب زیر را در مارس ۱۹۹۲ از مرکز تحقیقات خود برای مواد مضره ارائه نموده است . در رابطه با مصرف ماده ای به نام سیمان آلنیتی تایید شده است که سیمان آلنیتی در مقیاس صنعتی در گازهای خروجی یک واحد زباله سوزی در منطقه WESTPHALIA – NORTH-RHINE تولید شده را می توان براساس مواد تشکیل دهنده آن جابجا نمود و به طور هیدرولیکی با کمک هوای فشرده در زیرزمین به صورت پوشیده نشده مورد استفاده قرار داد .

۲-۱۱-۱-۱- استفاده از سیمان آلنیتی به عنوان ملات حفاری زودگیر

با تغییر سطح مخصوص مواد اتصال دهنده می توان پیشرفت مقاومت آنها را برای نسبت معینی از این مواد تغییر داد (افزایش مقاومت تابعی از سطح مخصوص است) تغییرات مقاومت فشاری ۵ ساعته و ۲۴ ساعته و ۲۸ روزه برای ملاتی که ۵۰٪ سیمان آلنیتی و ۵۰٪ آهک (باندازه ۳-۱ میلی متر) دارد .

روشن است با تنظیم بلین $4200 \text{ cm}^2/\text{g}$ مقاومت های حاصله از این ملات را به عنوان مصالح ساختمانی زودگیر بکار برد . به خوبی روشن است که با ۴۳٪ سیمان آلنیتی و ۵۷٪ سنگ آهک (باندازه ۳-۱ میلی متر) می توان به مصالح ساختمانی زودگیر رسید .

می توان گفت در هر مورد که از سیمان آلنیتی بجای سیمان پرتلند یا روباره ای استفاده می گردد با اضافه

نمودن افزودنی ها به آن نوع زودگیر آن نیز تهیه می گردد .

۱۱-۲-۲- استفاده از سیمان آلینیتی در مصالح ساختمانی دیرگیر

سیمان آلینیتی دارای زمان گیرش کوتاه ۵ تا ۱۰ دقیقه ای بوده که به درصد آب مصرفی بستگی دارد . بنابراین مناسب است به عنوان مصالح ساختمانی زودگیر در سیستم های هوا فشرده PNEUMATICALLY بکار گرفته شود . به عنوان ملات هیدرولیکی انتقالی ، سیمان آلینیتی بدون ریتارد فقط برای اتصال این ترکیبات ، امکان پر شدن مسیر انتقالی را می دهد . در مواد ساختمانی که باید به صورت هیدرولیکی جابجا شوند احتیاج به یک کندکننده (ریتارد) است برای اینکه بتوانیم از سیمان آلینیتی بجای سیمان پرتلند استفاده نمائیم باید زمان گیرش را به ۱۲۰ دقیقه افزایش دهیم . آزمایش های انجام شده با اکثر ریتاردهای (کند کننده ها) تجاری نشان داد که هیچ کدام اثر قابل ملاحظه ای در افزایش زمان گیرش ندارند . مشتقات شکر (ساکاروز) یک ریتارد خفیف برای سیمان آلینیتی بوده ولی قادر نیستند زمان شروع گیرش را به یک ساعت یا بیشتر افزایش دهند .

به هر صورت با استفاده از ترکیبات بور مانند $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$, H_3BO_3 زمان شروع گیرش در خمیر آلینیتی تا ۲ ساعت (۱۲۰ دقیقه) یا بیشتر افزایش می یابد . همچنانکه جدول شماره ۲۷ نشان می دهد افزایش اسیدبوریک به میزان ۲/۵٪ مقاومت فشاری اولیه سیمان (۲۴ ساعته و ۷ روزه) را به مقدار قابل توجهی کاسته ولی مقاومت ۲۸ روزه سیمان آلینیتی که با استفاده از مواد کندگیر زمان گیرش را تا ۲ ساعت تاخیر انداخته هنوز بالاتر از حد استاندارد اینگونه مصالح ساختمانی دیرگیر قرار دارد .

بنابراین سیمان آلینیتی هم به عنوان یک اتصال دهنده زودگیر در ملات های حفاری و هم به عنوان یک سیمان هیدرولیکی دیرگیر بجای سیمان پرتلند مورد استفاده قرار می گیرد .

جدول شماره ۲۸ مقاومت فشاری یک سیمان آلینیتی بدون کند کننده و با ۲/۵٪ کند کننده اسیدبوریک را نشان می دهد، بنابراین سیمان آلینیتی می تواند به عنوان سیمان هیدرولیکی با کند کننده بجای سیمان پرتلند مصرف شود .

جدول شماره ۲۷- اثر کندگیرهای تجاری مختلف برای تأخیر در گیرش سیمان آلینیتی

گیرش انتهایی	گیرش ابتدایی	نسبت آب به سیمان	درصد اضافه شده	کند کننده تجاری
۷	۴	۰/۳۳	-	بدون ریتارد
۱۰	۵	۰/۵	۰/۲۵	کندگیر تجاری نرمال فسفات ه a
۱۰	۵	۰/۵	۰/۵	کندگیر تجاری نرمال فسفات ه a
۱۳	۸	۰/۵	۰/۲۵	کندگیر تجاری نرمال فسفات ه b
۱۸	۱۰	۰/۵	۰/۵	کندگیر تجاری نرمال فسفات ه b
۷۰	۱۴	۰/۵	۱/۲۵	کندگیر تجاری نرمال فسفات ه b
۴۹	۱۰	۰/۳	۱	Sackarose شکر ساکارز
۳۷	۱۵	۰/۳	۲	Sackarose شکر ساکارز
۳۱	۲۱	۰/۳	۳	Sackarose شکر ساکارز
۲۲	۹	۰/۳۴	۰/۵	H_3BO_3 اسید بوریک
۳۵	۲۰	۰/۳۴	۱	H_3BO_3 اسید بوریک
۴۲	۳۳	۰/۳۴	۱/۵	H_3BO_3 اسید بوریک
۲۵۵	۱۳۰	۰/۳۴	۲	H_3BO_3 اسید بوریک
۷۶	۱۸	۰/۳۶	۱	$Na_2B_4O_7$ بوراکس سدیم
۲۷	۳۷	۰/۳۸	۲	$Na_2B_4O_7$ بوراکس سدیم
۱۵۶	۵۰	۰/۳۹	۲/۵	$Na_2B_4O_7$ بوراکس سدیم

جدول ۲۸- اثر کندگیرهای تجاری مختلف بر مقاومت فشاری

درصد آلینیت	درصد کندکننده	نسبت آب به جامد	زمان عمل	مقاومت فشاری بر حسب N/mm^2		
				۲۴ ساعته	۷ روزه	۲۸ روزه
۱۰۰	-	۰/۳	۱۵	۱۲/۳	۲۹/۸	۳۴/۸
۹۷/۵	اسید بوریک ۲/۵	۰/۲۸	۱۲۰	۵/۹	۱۹/۵	۲۸

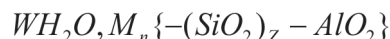
۱۲-۲- سیمان های ژئوپلیمری (Cements Geopolymer)^{۱۲}

سیمان های ژئوپلیمری موادی هستند که در مدت زمان کمی در دمای محیط گیرش یافته و دارای مقاومت مکانیکی ابتدایی و نهایی خوبی می باشند. علاوه بر این، دارای دوام طولانی و پایداری خوبی در برابر محیط های اسیدی و چرخه های گرمایی و سرمایی می باشند.

دوام فوق العاده بتنهای مصر باستان محققان را بر آن داشت تا تحقیقات وسیعی را در ارتباط با این مواد آغاز نمایند. پرفسور جوزف دیویدوویس نتایج تحقیقات مختلف را جمع آوری نمود و پس از بررسی آنها متوجه شد اختلافات اساسی بین این بتن ها و مواد ساختمانی بر پایه سیمان پرتلند وجود دارد. سیمان های بکار گرفته شده در بتن های کهن دارای دوام فوق العاده ای می باشند، همچنین مقاومت بالایی در برابر حملات اسیدی و چرخه های انجماد - ذوب دارند. در ابتدا تصور می شد که علت اختلاف این سیمان ها با سیمان پرتلند وجود فاز هیدرات سیلیکات کلسیم (C-S-H) که بخش عمده سیمان پرتلند را تشکیل می دهد باشد. اما بررسی های بیشتر نشان داد مواد ساختمانی مصر باستان نیز دارای مقادیری از این فاز می باشند و علت اصلی این اختلاف وجود فاز زئولیت مانند در این مواد می باشد. نهایتاً علت دوام طولانی مدت بتن های مصر باستان، به وجود ترکیبات زئولیت مانند نیمه کریستالی و آمورف در سیمان بکارگرفته شده در آنها نسبت داده شد.

۱۲-۲-۱- ژئوپلیمرها

پس از چندین آتش سوزی مهیب در سال های ۱۹۷۲-۱۹۷۸ در فرانسه، پرفسور دیویدوویس طی تحقیقاتی در زمینه آتشگیری مواد پلاستیکی آلی به این نتیجه رسید که می توان با ایجاد شرایط سنتزی حاکم بر سنتز مواد آلی پلاستیکی (پلاستیک های آلی فنولیک)، مواد معدنی فلدسپاتی و زئولیتی مانندی ساخت که در برابر آتش نیز مقاومت. در سال ۱۹۷۸ پرفسور دیویدوویس مواد معدنی آلومینو سیلیکاتی با ژئوپلیمرها دارای فرمول کلی تجربی زیر را ارائه کرد.

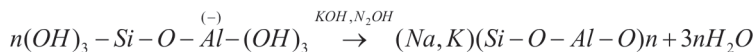
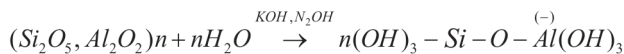


بطوریکه M کاتیونی مانند سدیم، پتاسیم و یا کلسیم، n درجه پلی کندانسیون و Z دارای مقادیر ۳،۲،۱ و یا بیشتر می باشد.

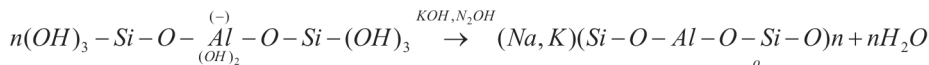
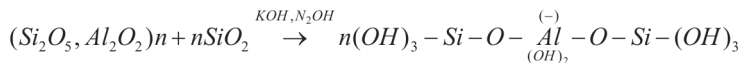
طبق مکانیسم ارائه شده توسط دیویدوویس، ژئوپلیمریزاسیون عبارت است از واکنش شیمیایی بین اکسیدهای آلومینو سیلیکات مختلف (بطوری که کاتیون آلومینوم در موقعیت چهار یا پنج وجهی باشد) و سیلیکات ها در یک محیط قلیایی با pH بالا. چنانچه در ذیل ملاحظه می گردد نتیجه این واکنش تشکیل باندهای Si-O-Al-O می باشد.

طبق نظریه دیویدوویس، چسباننده های ژئوپلیمری همانندهای مصنوعی، زئولیت های طبیعی می باشند و شرایط سنتز آنها را می توان تا حدودی مشابه زئولیتها فرض کرد. مکانیسم دقیق و کامل واکنش گیرش (ژئوپلیمریزاسیون) تاکنون مشخص نشده است. اما شکل کلی تمامی مکانیسم های ارائه شده سه مرحله (۱) انحلال، (۲) آرایش مولکولی و (۳) پلی کندانسیون را شامل می شود.

۱۲ - مطالب این بخش از منابع ۱، ۲۷ اقتباس شده است.



Orthosialate (Na,K)-Poly (Sialate)



Oligo(sialate-siloxo) (Na,K)-Poly (Sialate - Siloxo)

از ژئوپلیمرها در زمینه های مختلف از جمله مهندسی عمران، مکانیک، هوانوردی، صنایع نظامی مربوط به مواد هسته ای، صنایع هنری، عایقکاری، قالبگیری و ... بشکل کاملاً خالص همراه با پرکننده و یا به صورت تقویت شده استفاده می گردد.

- بشکل خالص : نگهداری و جلوگیری از نشر مواد شیمیایی سمی و یا زباله های رادیواکتیو
- همراه با پرکننده : برای ساخت بتن های ویژه، قالب گیری قطعات ترموپلاستیک
- به صورت تقویت شده : ساخت قالب در صنایع متالوژی و ریخته گری آلیاژهای آلومینیومی

۲-۱۲-۲- سیمان های ژئوپلیمری

روش سنتز ژئوپلیمر پلی سایالات سیلیکو، از مراحل تهیه مخلوط آبی پتاسیم سیلیکو آلومینات یا سدیم سیلیکو آلومینات و سپس عمل آوری حرارتی آن تشکیل می شود. برای تهیه چنین مخلوطی معمولاً یک اکسید آلومینوسیلیکات، هیدروکسید پتاسیم یا سدیم و یک سیلیکا ژل کلویدی یا آلکالی پلی سیلیکات را در آب حل می نمایند. اکسید آلومینو سیلیکات $(Si_4O_8 \cdot Al_4O_4)_n$ را می توان از یک پلی هیدروکسی لومینوسیلیکات به فرمول $(Si_4O_8 \cdot Al_4(OH)_4)_n$ تهیه نمود. به طوریکه کاتیون آلومینیوم آن در موقعیت اکتا هدرال و به صورت چهار وجهی قرار گرفته باشد. کاتیون آلومینیوم در این ترکیب پس از کلسیناسیون در موقعیت چهار وجهی قرار خواهد گرفت. در اینجا به معرفی بعضی از انواع سیمان های ژئوپلیمری می پردازیم.

گروه James Sawyer سیمان ژئوپلیمری که در مواد اولیه آن از GBFS استفاده شده است را سیمان PYRAMENT نامیده و آن را برای تولید بتن پیش ساخته و پیش تنیده برگزیدند. این سیمان تحت شرایط عمل آوری در دمای محیط، سیمانی با سرعت گیرش بسیار سریع خواهد بود که دارای مقاومت نهایی بالایی می باشد. سیمان (Blended Cement PYRAMENT) یا PBC سیمانیست که از اختلاط سیمان پرتلند با مواد خام ژئوپلیمری (سیلیکات کلسیم، آلومینوسیلیکاتهای فعال شده با آلکالی و کربنات سدیم) بدست می آید. هدف از ساخت این ماده استفاده همزمان از مزایا و خواص خوب سیمان ژئوپلیمری و قیمت پائین آن نسبت به سیمان پرتلند می باشد.

سیمان های پلی سایالات سیلیکون نوع (K-Ca)-(Si-O-Al-O-Si-O) با نام تجاری PZ-GEOPOLY دارای خواص زئولیتی بوده و در برابر حملات اسیدی بسیار مقاوم می باشند. ژئوپلیمریزاسیون این سیمان ها شامل واکنش شیمیایی اکسیدهای آلومینوسیلیکات (با کاتیون آلومینیوم در موقعیت چهار یا پنج وجهی) با پلی

سیلیکات های آلکالی و کلسیم می باشد:



در سراسر جهان تحقیقات فراوانی در جهت بررسی تکنیکی استفاده از مواد زائد برای حفاظت از محیط زیست در برابر زباله های سمی و رادیو اکتیو انجام می شود. اما علاوه بر این مورد استفاده می توان از مواد زائد به عنوان یک منبع مفید و اقتصادی برای کاربردهای دیگری نیز استفاده نمود.

مهمترین دسته این مواد زائد عبارتند از خاکستر بادی و سرباره کوره ذوب آهن. خاکستر بادی ماده ای نرم می باشد که از گاز دودکش کارخانه ها و نیروگاه هایی که با سوخت زغال کار می کنند بدست می آید. خاکستر بادی، ماده ای پوزولانی با درصدی از CaO می باشد. این ماده را می توان به عنوان ماده اولیه سنتز ژئوپلیمر استفاده نمود و به این ترتیب سیمانی داریم که طی فرآیندی نسبتاً ارزان قیمت و در عین حفاظت از محیط زیست، از مواد زائد صنایع دیگر بدست می آید. در سال ۱۹۹۴ بیش از ۷/۴۲ میلیون تن خاکستر بادی در ساخت بتن مورد استفاده قرار گرفته است. کارهای زیادی نیز در زمینه تبدیل خاکستر بادی و سرباره کوره به ماده شیمیایی انجام گرفته است.

۲-۱۲-۳- خواص و مزایای سیمان های ژئوپلیمری

سیمان ژئوپلیمری PZ-GEOPLY به سرعت در دمای محیط سخت می گردد و تنها پس از ۴ ساعت در دمای ۲۰ درجه سانتیگراد، مقاومت مکانیکی ۲۰ MPa بدست می آورد. مقاومت نهایی این سیمان پس از ۲۸ روز در حدود ۷۰ تا ۱۰۰ MPa خواهد بود. نفوذپذیری نسبتاً کم به همراه دوام بسیار خوب از دیگر خواص چسباننده های ژئوپلیمری هستند که باعث می شود این مواد برای محبوس سازی و جلوگیری از نشر فلزات سنگین و پسماند های رادیواکتیو بسیار مناسب باشند که در این رابطه مطالعاتی نیز صورت گرفته است.

شبکه های ژئوپلیمری در برابر حملات اسیدی مقاوم می باشند که این خاصیت باعث برتری این سیمان نسبت به سیمان پرتلند می گردد. (جدول ۲۹)

جدول شماره ۲۹- درصد انحلال در محیط اسیدی

HCl	H ₂ SO ₄	Matrix
۷۸	۹۵	Potland cement
۱۵	۹۶	Potland cement/slag blend
۵۰	۳۰	Ca-alumina Cement
۶	۷	Geopolymer

جدای از زمان گیرش کوتاه و نفوذپذیری کم نسبت به سیمان های دیگر، مقاومت نهایی بالاتر و چروکیدگی

(Shrinkage) کم به هنگام گیرش نیز از خواص این سیمان ها می باشد (جدول ۳۰). از دیگر خواص سیمان های ژئوپلیمری می توان به مقاومت خوب این مواد در برابر چرخه های انجماد و ذوب اشاره نمود.

جدول شماره ۳۰- مقایسه درصد چروکیدگی سیمان پرتلند و ژئوپلیمری

Matrix	day ۷	day ۲۸
Potland cement type I	۱	۳/۳
Potland cement type II	۱/۵	۴/۶
Geopolymer- Cement	۰/۲	۰/۵

همچنین مقایسه سیمان پرتلند و سیمان ژئوپلیمری از نظر میزان نشر دی اکسید کربن بحث جالبی می باشد، بطوریکه با یک سرمایه گذاری مشابه، انرژی مصرفی کمتر و تولید دی اکسید کربن مشابه، این فرآیند قادر است مقدار سیمان ۵ تا ۱۰ برابر سیمان پرتلند تولید نماید. استفاده از این سیمان در مهندسی عمران و ساختمان، دی اکسید کربن تولید شده را در ۸۰ تا ۹۰ درصد کاهش می دهد و این مسئله توسعه نامحدود سیمان را در کشورهای در حال توسعه، بدون خطری برای محیط زیست ممکن می نماید.

۲-۱۲-۴- کاربردهای سیمان ژئوپلیمری

مواد سیمانی ژئوپلیمری با داشتن خواصی مانند مقاومت مکانیکی اولیه خوب، زودگیری، نفوذپذیری کم، مقاومت در برابر محلول های اسیدی و در عین حال گران قیمت نبودن، دارای پتانسیلی قوی برای کاربردهای مختلف می باشند. مهمترین کاربردها به شرح ذیل می باشد:

۱- به عنوان پوشش مواد زائد در انبارهای موقتی و محل های دفن مواد سمی و زائد در مواردی که نیاز به یک ساختار سخت با مقاومت اولیه بالا می باشد تا بتوان از تماس این مواد با آب باران و ... جلوگیری نمود.

۲- به عنوان لایه های محافظ غیرقابل نفوذ در محل های دفن زباله، در مواردی که به حداقل رساندن نفوذ مواد سمی به آبهای زیرزمینی مدنظر باشد و یا در مواردی که محتوای خاک رس زمین های اطراف برای جلوگیری از فرار آب از چاه های تازه حفر شده مناسب نباشد.

۳- استفاده برای فروشویی سنگ های معدن، در مواردی که نیاز به سطحی نامتخلخل، نفوذناپذیر، واکنش ناپذیر و ارزان داریم.

۴- سطوح ساختمانی از قبیل کف، راهروها و ...

۵- موانع عمودی متناوب برای جلوگیری از تماس زباله های جرمی با یکدیگر. در این موارد، خواص لازم عبارتند از: نفوذ ناپذیری کم و مقاومت مکانیکی در حد متوسط.

۶- به عنوان یک پرکن برای متدهای معدن کاری نظیر:

Under cut and fill - cut and fill در این مورد نیز نیاز به مقاومت اولیه بالا و گیرش سریع داریم

۷- ساخت قطعات پیش ساخته، به عنوان مثال ساخت لوله های ارزان قیمت، موانع بتنی، سنگ فرش و ... ژئوپلیمرها به دلیل قالب پذیری بسیار خوب و چروکیدگی کم (Low Shrinkage) در مقایسه با سیمان پرتلند،

برای چنین کاربردهایی مناسب می باشند .

۸- جلوگیری از نشر فلزات سنگین از قبیل آرسنیک و سرب . این یکی از عمده ترین کاربردهای سیمان های ژئوپلیمری می باشد و نیاز به تحقیقات بیشتری دارد .

۹- ایزوله (کپسوله) کردن مواد خطرناکی از قبیل زباله های رادیواکتیو . در صورتی که در ساخت ژئوپلیمر از موادی مانند سرباره کوره (GBFS) و یا خاکستر بادی کمک بگیریم، قیمت تمام شده در برابر سیمان پرتلند بسیار کمتر خواهد بود . در عین حال که دوام آن نیز در مقایسه با سیمان پرتلند بسیار بیشتر است .

۱۰- برای ساخت هر جزیی از ساختمان از قبیل آجر، کاشی های سرامیکی، سیمان و... ، می توان از چسباننده های ژئوپلیمری استفاده نمود.

با به پایان رسیدن سال ۱۹۹۳ بتن PYRMENT در ۵۰ لیست صنعتی آمریکا، ۵۷ مورد تاسیسات نظامی در آمریکا و ۷ مورد تاسیسات نظامی در کشورهای دیگر و در صنایع هوایی غیرنظامی وارد گشت . یکی از کاربردهای جالب و بی سابقه این بتن در ساخت و تعمیر باند فرودگاه می باشد .

۲-۱۳- سیمانهای زودگیر با مقاومت اولیه بالا^{۱۳} (Fast-setting cements with high primary strenght)

در بسیاری از کشورها به منظور اینکه بتوان مصالحی بوجود آورد که به کارهای تعمیراتی ساختمان سرعت بخشد، تحقیقات مستمری انجام شده است.

سیمان زودگیر با مقاومت اولیه بالا یک نوع سیمان ویژه می باشد که می تواند در تعمیرات اضطراری از قبیل تعمیر بزرگراه در حین ترافیک و عبور و مرور، در سدها، تانک های ذخیره سازی، باند های فرودگاه، سیستم های بهداشتی و لوله کشی خانه ها، و انجام تعمیرات در مکان های شلوغ مثل پیاده روها مورد استفاده قرار گیرد. مطابق حکم سازمان استاندارد و تحقیقات سیمان ایتالیا در ۳۱ آگوست ۱۹۷۲ چسبانده های زودگیر بایستی دارای زمان گیرش اولیه بیشتر از ۱ دقیقه و زمان گیرش نهایی کمتر از ۳۰ دقیقه بوده و نیز بایستی حداقل مقاومت فشاری در ۷ روز، 12MPa باشد. ویژگی های دیگر این سیمان ها به مقدار SO_3 (کمتر از ۳/۵٪) و MgO (کمتر از ۴٪) بستگی دارد.

ویژگی چسبانده های نام برده شده، دارا بودن مقدار زیادی فاز کلسیم آلومینات می باشد. در میان آلومینات ها، C_3A و تا حد کمتری C_4A ، به سرعت هیدراته شده در صورتیکه CA به آهستگی هیدراته می شود. سرعت هیدراتاسیون در حضور نمک ها یا مواد شیمیایی که دارای خاصیت کند سازی و تسریع کننده گی می باشند، قابل اصلاح می باشد. چسبانده های زودگیر از طریق فرآیند کلینکر شدن مخلوط کانی سازها یا ضایعات صنعتی و سپس آسیاب کردن کلینکر تولیدی با افزودنی هایی از قبیل انیدرید قابل تهیه می باشند. انواع متفاوتی از کلینکرها برای سیمان های زود گیر شناخته شده است که در این میان می توان به موارد زیر اشاره نمود:

الف) کلینکر غنی از C_3A : ترکیب آن از طریق تطبیق چهارتایی فازهای $\text{C}_3\text{A}-\text{C}_3\text{AF}-\text{C}_3\text{S}-\text{C}_4\text{A}$ بدست می آید. سیمان های از این نوع به نام Prompt Vicat در بازار فروخته می شود و به عنوان بهترین محصول با خواص و ویژگی های تکنیکی مورد نظر (حداقل در ایتالیا) جایگاه یافته اند.

ب) کلینکر شامل مشتقات فلئوئوردار C_3A : ترکیب مینرالی این نوع سیمان از طریق تطبیق چهارتایی فازهای $\text{C}_3\text{S}-\text{C}_3\text{AF}-\text{C}_3\text{S}-\text{C}_4\text{A}-\text{C}_3\text{AF}$ بدست می آید، نمونه هایی از این قبیل به نام سیمان با گیرش تنظیم شده در بازار آمریکا به فروش می رسد.

ج) کلینکر شامل کلسیم آلومینوسولفات $\text{C}_2\text{S}-\beta, \text{C}_4\text{A}_3\text{S}$: دمای پخت در این حالت بحرانی تر از موارد الف و ب می باشد زیرا محدوده پایداری $\text{C}_4\text{A}_3\text{S}$ در دمای بین 1150°C تا 1350°C محدودیت هایی را ایجاد می نماید.

د) مخلوط سیمان پرتلند و سیمان آلومینایی: کلینکر نوع ب محصولی با ویژگی های مقاومتی بهتر بسته به مقدار C_3S ایجاد می نماید، علاوه براین امکان استفاده از سرباره صنایع آلومینیوم که قیمت کمی در بازار دارد را در کلینکر مقدور می سازد. سیمان های فلئوئور آلومینت توسط محققان آمریکایی انجمن سیمان پرتلند در اوایل سال ۱۹۷۰ تهیه گردید. سپس ترکیبات سیمانی مشابه آن در ژاپن به نام سیمان جت تهیه شده و روانه بازار مصرف شد.

۱۳- مطالب این بخش از منابع شماره های ۲۴، ۲۵، ۲۸ و ۴۲ الی ۷۸ اقتباس گردیده است.

در جدول ۳۱ انواع سیستم های زودگیر و زود سخت شونده، ترکیب مینرالی و خواص کلی آنها ارائه شده است .

جدول ۳۱- انواع سیستم های زودگیر و زودسخت شونده

مشخصات	ترکیب مینرالی	سیستم
گیرش نرمال مقاومت اولیه بالا	C_pS, C_pS	سیستم های سیلیکاتی
گیرش نرمال مقاومت اولیه بالا	$C_4A_3\bar{S}, \beta - C_2S$	سیستم های کلسیم سولفو آلومینات
گیرش نرمال مقاومت اولیه بالا	C_4AF $C_4A_3\bar{S}, \beta - C_2S$	سیستم های فرو آلومینات
گیرش سریع مقاومت اولیه خیلی بالا	$C_{11}A_7CaF_7$ $\beta - C_2S$	سیستم های فلئورو آلومینات
گیرش نرمال مقاومت اولیه بالا	CA, C_pS, C_pAF $C_{11}A_7$	سیستم های کلسیم آلومینات
گیرش سریع مقاومت اولیه بالا	C_pS, C_pS, CA	مخلوط دوتایی (HAC+OPC)
گیرش سریع مقاومت اولیه خیلی بالا	$C_pS, CA, C\bar{S}$ (HAC+OPC+CS)	مخلوط سه تایی
گیرش خیلی سریع مقاومت اولیه فوق العاده بالا	$C_4A_3\bar{S}, C\bar{S}, C_pS$	
گیرش سریع مقاومت اولیه بالا	$CA, CH, C\bar{S}$ (HAC+ $C\bar{S}$ +Lime)	

سیمان های زودگیر براساس زمان گیرش به سه گروه عمده تقسیم بندی می شوند .

۱-۱۳-۲- سیمان های فوق العاده زودگیر

اگر زمان گیرش کمتر از ۳ دقیقه باشد، سیمان مذکور از خانواده سیمان های فوق العاده زودگیر بوده و می تواند برای مصارف زیر مورد استفاده قرار گیرد:

- ۱- کنترل حرکت آب در راهروها، کانال ها و مجاری فاضلاب، کارکردن در آب در حال جریان، ضد آب کردن، جلوگیری از جریان آب فواره ای و بتونه کاری قایق ها بعنوان مثال پر کردن فوری حفره ها .
- ۲- تثبیت مکان مانع ها و اتصالات موقت .
- ۳- پایه های مکانیکی موقت و فوری .

۲-۱۳-۲- سیمان های خیلی زود گیر^۱

اگر زمان گیرش بین ۳ تا ۸ دقیقه باشد این نوع سیمان اصطلاحاً سیمان خیلی زودگیر نامیده می شود . این سیمان می تواند برای مصارف زیر مورد استفاده قرار گیرد:

- ۱- خشک کردن دیوارها، تانک های ذخیره و مخازن مرطوب .
- ۲- سیمان کاری در آب .
- ۳- ساخت پله ها، نصب نرده ها، درها و پنجره ها، ظرفشویی، روشویی، رادیاتورها، تانک های آب، پایه های هیتر و همه کارهای جانبی مربوط به موارد بهداشتی (الکتریکی، لوله کشی، چوبکاری و غیره) .

۲-۱۳-۳- سیمان های زود گیر^۲

سیمان های زودگیر در ۶۰-۸ دقیقه گیرش می یابند و برای مصارف زیر مورد استفاده قرار می گیرند:

- ۱- نصب دیوارهای نازک مقسم
 - ۲- درزگیری پایه های آجری
 - ۳- درزگیری پوشش ها و منافذ بازرسی
 - ۴- چهار چوب درها و پنجره ها
 - ۵- ساخت طاقچه های جلو پنجره ای
 - ۶- نصب دیوارهای پیش ساخته و نمای جانبی
- در همه این سیمان ها ، زودگیری و مقاومت ، بستگی به سرعت تشکیل اترینجیت دارد .

پس از یک معرفی کلی از سیمان های زودگیر، تعدادی از سیمان های زودگیر و زود سخت شونده را که بواسطه گستره مصرف و کاربردها از اهمیت خاصی برخوردار می باشند و هر کدام بعنوان خانواده ای از یک سیمان زودگیر شناخته می شوند، مورد بررسی قرار می گیرند .

۲-۱۳-۴- انواع سیمان های زودگیر با مقاومت اولیه بالا

۲-۱۳-۴-۱- سیمان پرتلند تیپ III

اکثر سیمان های پرتلند معمولی (مانند ASTM نوع I) به طور تقریبی شامل ۵۰ درصد C_3S ، ۲۵ درصد C_2S ، ۱۲ درصد C_3A ، ۸ درصد C_4AF و ۵٪ CS می باشند و مقدار کلی کلسیم سیلیکات ها تقریباً ۷۵ درصد می باشد.

پس از هیدراتاسیون، این نوع سیمان پرتلند، مقاومت فشاری در حدود ۱۸۰۰ psi (۱۲/۴ MPa) بعد از ۳ روز عمل آوری و ۲۸۰۰ psi (۱۹/۳ MPa) بعد از ۷ روز عمل آوری مطابق استاندارد ASTM C ۱۰۹ حاصل می نماید.

در بسیاری از ساخت و سازها رسیدن به مقاومت مطلوب با استفاده از سیمان پرتلند معمولی بسیار هزینه بر و مستلزم صرف زمان زیادی می باشد. بنابراین تلاش هایی جهت غلبه بر این نیاز روزافزون صورت گرفت که در نتیجه آن محصولاتی با مقاومت بالاتر نسبت به سیمان پرتلند معمولی تهیه شد.

این محصول، از خانواده سیمان پرتلند و دارای مقاومت اولیه بالا و به عنوان ASTM نوع III شناخته شده است که به دلیل دارا بودن مقدار بیشتر C_3S و یا C_4AF تفاوت هایی با بقیه سیمان های پرتلند دارد.

مقاومت فشاری ۲۸ روزه در سیمان پرتلند نوع III در حدود ۶۰۰۰-۷۵۰۰ psi (۴۱-۵۲ MPa) و در سیمان پرتلند نوع I در حدود ۵۵۰۰-۶۵۰۰ psi (۳۸-۴۴ MPa) می باشد.

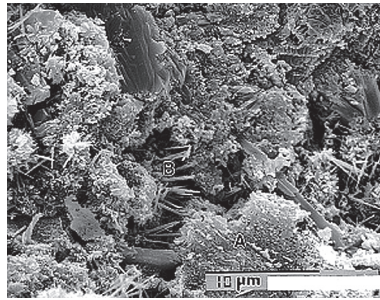
در جدول ۳۲ ترکیب شیمیایی و زمان های گیرش سیمان پرتلند نوع III نشان داده شده است.

در شکل ۱ ساختار میکروسکوپی خمیر سیمان نوع III پس از ۲۸ روز نشان داده شده است. در این شکل ساختار خمیر سخت شده سیمان دارای تخلخل و حفرات فراوان می باشد. C-S-H متشکل از حفراتی شبیه به فیبرهای درهم تنیده و نامنظم می باشد.

ساختار سوزنی شکل موجود در خمیر، نشانگر وجود اترینجیت بوده که به دلیل مقدار کم، حتی با XRD نیز قابل تشخیص نمی باشد. $Ca(OH)_2$ به مقدار زیاد و به صورت لایه ای و حجیم در ساختار خمیر، قابل رویت می باشد.

جدول ۳۲- ترکیب شیمیایی و زمان گیرش سیمان پرتلند نوع III

(٪) ترکیب شیمیایی									(min) زمان گیرش	
LOI	K_2O	Na_2O	SO_2	MgO	CaO	Fe_2O_3	Al_2O_3	SiO_2	نهایی	اولیه
۱/۷۱	۰/۶۵	۰/۱۴	۴/۱۴	۱/۲۸	۶۴/۷۴	۱/۹۲	۵/۷۶	۱۹/۶۶	۲۵۱	۱۷۶



شکل ۱- ساختار میکروسکوپی خمیر سیمان نوع III پس از ۲۸ روز
 $C = Ca(OH)_2$, $A = C-S-H$, $B = Ettringite$

۲-۱۳-۴-۲- سیمان جت^۱

چیزی که در ژاپن موسوم به سیمان جت می باشد (یا در آمریکا، سیمان با گیرش تنظیم شده)، فرآورده ویژه ای است که سرعت سخت شدن آن استانداردهای جدیدی را ایجاد نموده است. پس از مدتی که سیمان پرتلند معمولی دچار گیرش نهایی می شود، این سیمان مقاومت فشاری بیش از ۱۰ MPa بدست می آورد، بدان معنی که در زمان بسیار کوتاهی در کارخانجات قطعات پیش ساخته بتنی، می توان اقدام به باز کردن قالب نمود. همچنین در لکه گیری سریع جاده ها و باندهای فرودگاه ها و موارد مشابه نیز از این نوع سیمان می توان استفاده نمود.

سیمان مذکور نوع جدیدی است که ابتدا توسط موسسه سیمان پرتلند ایالات متحده آمریکا مطرح شد و بعداً توسط ژاپنی ها تحقیقات زیادی در مورد آن انجام گرفت و سپس در سال ۱۹۷۱ تولید صنعتی آن آغاز شد. امروزه ساخت و کاربرد سیمان جت در ژاپن متداول گشته و هر روز اطمینان بیشتری به آن حاصل می گردد به طوریکه در این کشور علیرغم افت تولید در سالهای ۱۹۸۴ الی ۱۹۸۷ به مقدار ۱۰ میلیون تن در کل سیمان ها، تولید این نوع سیمان حدود ۲٪ افزایش داشته است. در جداول ۳۳ و ۳۴ ترکیب درصد شیمیایی و مینرالی سیمان جت تولیدی آورده شده است.

جدول ۳۳- ترکیب شیمیایی سیمان جت

ترکیب شیمیایی (%)										
Free CaO	F-	K ₂ O	Na ₂ O	SO ₂	MgO	CaO	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	SiO ₂	Loss
۰/۴	۰/۹	۰/۴	۰/۶	۱۱/۰	۰/۷	۵۸/۶	۱/۷	۱۰/۸	۱۳/۷	۱/۰

جدول ۳۴- ترکیب مینرالی سیمان جت

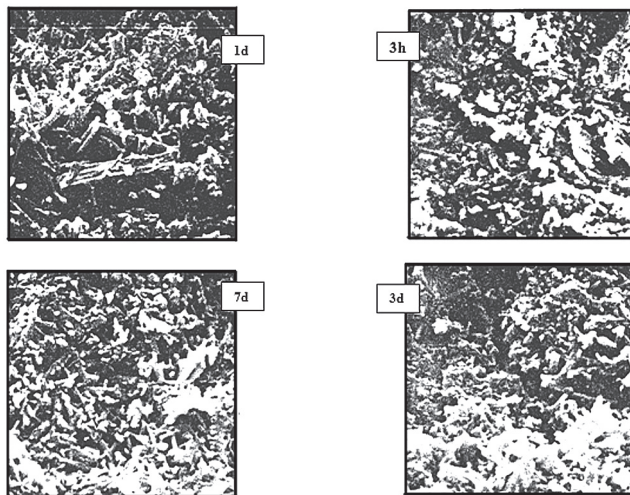
آلیت C_3S	بلیت C_2S	کلسیم فلوئورو آلومینات $C_{11}A_7CaF_7$	فریت C_4AF
۶۰/۲	۲/۰	۲۰/۶	۴/۵

در جدول ۳۵ خواص فیزیکی سیمان جت و سیمان پرتلند معمولی مورد مقایسه قرار گرفته است. بررسی رفتار مکانیکی سیمان جت نشان می دهد که در چند ساعت اول، گیرش و بخصوص سخت شدن، بیشتر به این خاطر است که ابتدا اترینجیت تشکیل می شود و سپس آلیت تبدیل به توبرموریت می گردد، و این در حالیکه سرعت هیدراته شدن آلیت در مقایسه با سیمان پرتلند معمولی تقریباً دو برابر است. ممکن است این امر ناشی از این واقعیت باشد که هیدروکسید کلسیم آزاد شده بوسیله سه کلسیم سیلیکات برای تشکیل اترینجیت بلافاصله صرف می گردد و تعادل شیمیایی به نفع تشکیل توبرموریت بر هم می خورد.

جدول ۳۵- خواص فیزیکی سیمان جت ژاپن و سیمان پرتلند معمولی

نوع سیمان	نرمی cm^2/gr	W/C (%)	زمان گیرش		مقاومت فشاری (MPa)					
			اولیه (min)	نهایی (min)	۳h	۶h	۱d	۳d	۷d	۲۸d
A	۵۳۰۰	۲۸/۰	۱۰	۱۵	۱۰/۸	۱۵/۱	۲۰/۷	۲۵/۴	۳۳/۲	۴۴/۸
B	۵۸۶۰	۲۹/۵	۷	۱۰	۱۰/۲	۱۵/۵	۲۳/۱	۳۵/۱	۴۳/۳	۴۹/۹
OPC	۳۲۲۰	۲۷/۰	۱۳۱	۱۸۹	-	-	-	۱۳	۲۳	۴۲

شکل ۲ ساختار میکروسکوپی خمیر سیمان جت را در زمان های مختلف ۳ ساعت، ۱ روز، ۳ روز و ۷ روز نشان می دهد:



شکل ۲- ساختار میکروسکوپی خمیر سیمان بت در زمان های مختلف

کاربردهای سیمان مذکور محدوده بسیار وسیعی را شامل می شود که چند مورد آن بعنوان نمونه در زیر آورده شده است :

۱- کارهای تعمیراتی در محلهایی مثل جاده ها، خطوط راه آهن و باند فرودگاه ها که کار باید در زمان محدودی انجام شود .

۲- ساختمان سازی در دماهای زیر صفر درجه سانتیگراد .

۳- در ساخت محصولات بتونی در مواقعی که باز کردن سریع قالب ها و استفاده مجدد آنها مد نظر باشد .

۴- به عنوان مواد چسباننده برای قالب های ریخته گری در ذوب فلزات .

۵- بتن پاشی سطح تونل ها .

۶- به عنوان مواد چسباننده برای تثبیت فلزات سنگین و پسماندهای رادیواکتیو و جلوگیری از نشر آنها در محیط زیست .

۷- دوغاب سیمان در تونل و سدسازی .

۸- برای تهیه سیمان منبسط شونده .

* در سال ۱۹۷۸ در ژاپن کلینکر منبسط شونده ای ساخته شد که دارای بیش از ۹۰٪ $C_{11}A_7CaF_7$ بود. این کلینکر می توانست بسته به خواص مورد نظر به نسبت های مختلف با سیمان پرتلند معمولی مخلوط گشته و به کار گرفته بود .

۹- از کلینکر حاوی فاز $CaO \cdot 7Al_2O_3 \cdot CaF_7$ می توان به عنوان تسریع کننده گیرش سیمان معمولی استفاده نمود . درصد اضافه نمودن ماده فوق به سیمان معمولی می تواند از ۱/۱٪ تا ۳۰٪ تغییر کند .

۱۰- همچنین از ترکیب کلسیم فلوئوروآلومینات به عنوان مواد مضاف زودگیر برای قطع جریان آب، بتن پاشی و روکاری تونل به صورت NATM^۱ می توان استفاده کرد .

۲-۱۳-۴-۳- سیمانهای کلسیم آلومینایی^۱

سیمان های کلسیم آلومینایی برای اولین بار در سال ۱۹۰۸ اختراع شدند. این سیمان ها به طور اساسی با سیمان پرتلند متفاوت هستند و یک سیمان با مقاومت اولیه بالا می باشند. یکی از مشخصه های سیمان های کلسیم آلومینایی کندی گیری آنها در مقایسه با OPC^۲ است.

مواد اولیه در این سیمان ها شامل سنگ آهک و بوکسیت می باشد و دمای پخت آن ها در حدود 1600°C می باشد. سیمان های آلومینایی به سرعت سخت شده به گونه ای که ۹۰٪ مقاومت نهائی خود را پس مدت زمان ۲۴ ساعت کسب می کنند. این سیمان ها از مقاومت قلیایی بالایی برخوردارند به طوری که می توانند از ساختار فلزی در برابر خوردگی محافظت کنند.

این سیمان ها به نام های مختلفی شناخته می شوند؛ بعنوان مثال سیمان پرآلومینایی، سیمان آلومینایی البته با دو اسم تجاری سیمان سبک^۳ و سیمان فوندو^۴ نیز برای آن وجود دارد. ترکیب درصد اکسیدهای به کار رفته شده برای تهیه HAC در کشورهای مختلف در جدول ۳۶ نشان داده شده است.

جدول ۳۶- ترکیب اکسیدهای به کار رفته شده برای تهیه HAC در کشورهای مختلف

کشور تولید کننده	CaO	Al _۲ O _۳	SiO _۲	Fa _۲ O _۳	MgO	TiO _۲	Colour
انگلیس فرانسه اسپانیا یوگسلاوی	۳۵-۳۹	۳۷-۴۱	۳/۵-۵/۵	۹	۶	۱/۵-۲	خاکستری خیلی تیره
چک	۳۵-۳۹	۳۹-۴۴	۳/۵-۵/۵	۹-۱۴	۰-۱	۱/۵-۲	زرد-قهوه ای
آلمان	۳۸-۴۲	۴۴-۵۱	۵-۸	۰-۱	۱/۵-۲	۱-۲	خاکستری خیلی روشن
آمریکا	۳۵-۳۹	۳۷-۴۱	۸-۱۰	۴-۶	۴-۶	۱/۵-۲	خاکستری روشن

۲-۱۳-۴-۱- خواص فیزیکی

وزن مخصوص این سیمان ها شبیه سیمان پرتلند و شاید هم کمی بالاتر از آن و در حدود ۳/۲ تا ۳/۲۵ می باشد. میزان نرمی آن ۲۲۵۰ تا $3000 \frac{\text{cm}^2}{\text{gr}}$ می باشد و رنگ آن خاکستری تا سیاه بوده و کمی تیره تر از سیمان پرتلند است. مقاومت فشاری آن با نسبت آب به سیمان ۰/۴، 42 N/mm^2 در مدت زمان ۲۴ ساعت

Lightning cement - ۳

Fondu Ciment - ۴

HAC - ۱

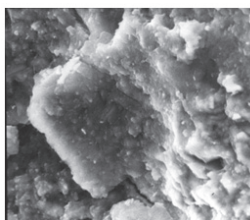
Ordinary Portland Cement- ۲

و 49 N/mm^2 در سه روز می باشد . مقدار استاندارد زمان گیرش در آن بین ۲ تا ۶ ساعت است که گیرش اولیه آن ۲ ساعت و نیم و گیرش نهایی آن ۳ ساعت و بیست دقیقه می باشد . ترکیب درصد شیمیایی سیمان آلومینایی در جدول ۳۷ آورده شده است .

جدول ۳۷- ترکیب درصد شیمیایی سیمان آلومینایی

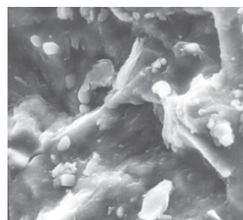
P_2O_5	TiO_2	K_2O	Na_2O	MgO	CaO	Fe_2O_3	Al_2O_3	SiO_2
۰/۰۵	۱/۶۵	۰/۰۲	۰/۱۱	۰/۲۷	۳۹/۲۱	۱۶/۷	۳۸/۰۵	۳/۵۵

در شکل‌های ۳ و ۴ ساختار خمیر سخت شده سیمان پراآلومینا (HAC; Secar ۷۱) و سیمان پرتلند معمولی پس از ۲۸ روز عمل آوری و در دمای محیط، مورد مقایسه قرار گرفته است . مشاهده می شود که ساختار خمیر سخت شده سیمان آلومینایی، ساختار فشرده تری نسبت به خمیر سخت شده OPC دارد .



$\times 4000$, $10 \mu\text{m}$ <----->

شکل ۴- ساختار خمیر سخت شده OPC



$\times 4000$, $10 \mu\text{m}$ <----->

شکل ۳- ساختار خمیر سخت شده سیمان آلومینایی
نوع Secar ۷۱

۲-۱۳-۴-۲- کاربرد های سیمان کلسیم آلومینایی

- ۱- بعنوان یکی از اجزای افزودنی در تهیه سیمان های زودگیر و زودسخت شونده .
- ۲- بعنوان یکی از اجزای افزودنی در تهیه سیمان انبساطی .
- ۳- بعنوان یک سیمان مقاوم در محیط های اسیدی ($\text{pH} > 3$) .
- ۴- بعنوان یک جرم نسوز .
- ۵- برای تهیه سیمان MDF^1 .
- ۶- برای بتن ریزی در دماهای زیر صفر درجه سانتیگراد .

۲-۱۳-۴-۳- سیمان های ژئوپلیمری^۲

ژئوپلیمرها، پلیمرهای غیر آلی یا معدنی می باشند ، که قابل قیاس با حالت آمورفی ژئولیت های طبیعی می باشند. ساختار مولکولی ژئوپلیمرها شامل سیلیس و آلومینای تتراهدرال بوده که با اکسیژن به یکدیگر

۱- Macro Defect Free

۲- Geopolymeric Cements

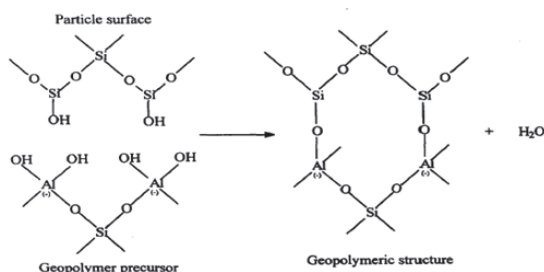
متصل می باشند . با توجه به اینکه آلومینیوم در آلومینای تتراهدرال دارای چهار پیوند می باشد لذا حضور کاتیون هایی نظیر Ca^{2+} , K^+ , Na^+ , Mg^{2+} و... در شبکه سه بعدی ساختار مولکولی این ماده ضروریست تا بار منفی آلومینیوم در آلومینای تتراهدرال خنثی گردد . در شکل ۵ نمایی از ساختار مولکولی ژئوپلیمرها نشان داده شده است .

ژئوپلیمرها ضد آتش نیز بوده و بناهای ساخته شده با آنها تا بیش از ۲۰۰۰ سال عمر می کنند . خواص ترکیبی ژئوپلیمرها با موادی از جمله کربن، محصولات پیچیده، پلاستیک های مینرالی، و فوم های مینرالی که با طبیعت سازگار می باشند را ایجاد می نمایند .

زمان گیرش این سیمان ها بسته به نوع سیمان و ترکیب شیمیایی و مواد اولیه مصرفی در تولید آن متفاوت است . چروکیدگی هنگام گیرش و خشک شدن در این سیمان ها ناچیز است . در مواردی چروکیدگی در حین گیرش به میزان کمتر از ۰/۵٪ مشاهده شده است . مقاومت فشاری آنها در حدود ۲۰ MPa بعد از ۴ ساعت و ۷۰-۱۰۰ MPa بعد از ۲۸ روز می باشد . مقاومت خمشی آن در حدود ۱۰ MPa بعد از ۲۴ ساعت و ۱۵-۱۰ MPa بعد از ۲۸ روز می باشد .

سیمان های ژئوپلیمری را می توان از طریق فعال سازی مواد حاوی آلومینوسیلیکات ها نظیر مخلوط خاکستر بادی و سرباره کوره ذوب آهن با فعال کننده قلیایی تهیه نمود . زمان های گیرش و مقاومت های فشاری با توجه به نوع مواد اولیه و درصد ترکیبات تغییر می نماید .

واکنش بین مواد اولیه ژئوپلیمری و ذرات سطحی برای تشکیل ساختار ژئوپلیمری در شکل ۵ نشان داده شده است .

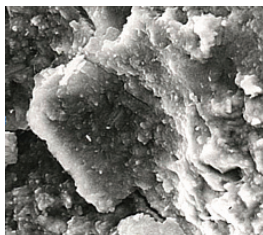


شکل ۵- واکنش تشکیل ساختار ژئوپلیمری

در شکل های ۶ و ۷ ساختار خمیر سخت شده OPC^۱ و GC^۲ مورد مقایسه قرار گرفته است . خمیر سخت شده OPC به نظر می رسد که دارای سطحی زبر و خشن و همراه با نقاط ضعف و خلل و فرج فراوان می باشد . در صورتیکه ساختار خمیر سخت شده GC صاف و یکنواخت می باشد . برخلاف OPC، خمیر سخت شده GC در محلولهای اسیدی مقاوم بوده و حل نمی شود .

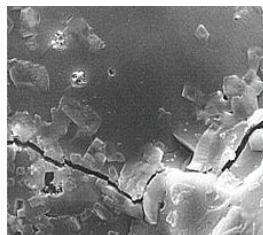
Ordinary portland cement - ۱

Geopolymeric cement - ۲



X ۴۰۰۰ , m ۱۰ <----->

شکل ۷- ساختار میکروسکوپی خمیر سخت شده OPC



۴۰۰۰ , m ۱۰ <----->

شکل ۶- ساختار میکروسکوپی خمیر سخت شده GC

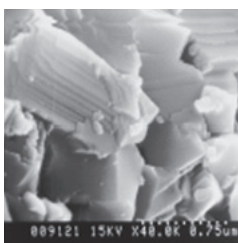
۲-۱۳-۴-۵- سیمانهای منیزیم فسفاتی

سیمان های منیزیم فسفاتی (MPC یا MPB) از جمله سیمان های زودگیر و زودسخت شونده می باشند که برای کارهای تعمیراتی سریع مورد استفاده قرار می گیرند . این سیمان ها در مواردی چون قالب های دندانپزشکی، تعمیر سریع سنگفرش بتنی، نسوز زودگیر و مخلوط های پاششی کاربرد دارند .

سیمان منیزیم فسفاتی در مجموعه سیمان های با پایه اسیدی بوده و مهمترین اجزای تشکیل دهنده آن را اکسید منیزیم (MgO)، آمونیوم دی هیدروژن اورتوفسفات $(\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4)$ بعنوان مواد اصلی و بوراکس $(\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O})$ و خاکستر بادی بعنوان موادی که گاهی اضافه می گردند، به خود اختصاص می دهند .

پودر اکسید منیزیم (MgO) مصرفی در تهیه سیمان، دارای سطح مخصوص بین ۱۵۶۰ تا $3000 \text{ cm}^2/\text{gr}$ بوده که در دمای بالاتر از 1500°C کلسینه شده است .

زمان گیرش در سیمان های منیزیم فسفاتی بین ۲۵ تا ۳۵ دقیقه می باشد . شکل ۸ ساختار میکروسکوپی سطح یک نمونه خمیر MPC را پس از گیرش نشان می دهد .



شکل ۸- ساختار میکروسکوپی از سطح یک نمونه خمیر سیمان MPC پس از گیرش نهایی

۲-۱۳-۶- نتیجه گیری

سیمان های زودگیر و زودسخت شونده دارای انواع متفاوتی می باشند که تعدادی از آنها مورد بررسی قرار گرفته است. از این بین می توان به سیمان پرتلند تیپ ۳، سیمان های جت، سیمان های منیزیم فسفاتی، سیمان های کلسیم آلومیناتی و سیمان های ژئوپلیمری اشاره کرد. با توجه به تفاوت قابل ملاحظه در خواص و عملکرد این سیمان ها، برای هر کدام موارد کاربرد گوناگونی وجود دارد. بررسی ساختار میکروسکوپی این سیمان ها و مقایسه آن با سیمان پرتلند، ساختار فشرده تر و با خلل و فرج کمتری را نشان می دهد. مقاومت اولیه بالا، سبب کارآمد بودن این مجموعه از سیمان ها در موارد کاربردی خاص می باشد. همچنین این سیمان ها قابلیت عملکردی بهتری را در شرایط محیطی متفاوت نسبت به سیمان پرتلند از خود نشان می دهند.

این سیمان ها از روش های متفاوتی قابل دستیابی می باشند. بعنوان مثال می توان از طریق فرآیند پخت و تولید ترکیب مینرالی خاصی از فازها (سیمان های بر پایه $C_{11}A_7CaF_7 + C_4A_3S + C_{11}A_7CaF_7$) و یا تهیه مخلوط های چند جزئی (ترکیب دوتایی $HAC + OPC$ ، ترکیب سه تایی $OPC + C_4A_3S + CS$ ، ترکیب سه تایی $CS + OPC + CA$ ، ترکیب سه تایی $CS + OPC + C_{11}A_7CaF_7 + Lime$ ، ترکیب سه تایی $C_{11}A_7CaF_7 + CS$ و ترکیب سه تایی $(CS + C_{11}A_7CaF_7 + OPC)$ به تولید این سیمان ها میادرت نمود. همچنین میتوان این سیمان ها را با کنترل ترکیب مینرالی و افزایش نرمی سیمان های پایه پرتلند ($5000 - 7000 \frac{cm^2}{gr}$) نیز تولید نمود.

۲-۱۴- نتیجه گیری نهایی

با توجه به عرصه رو به گسترش و پیشرفت صنایع در دنیای رقابتی امروز و جهت نیل سریع به تولید محصولات با کیفیت مناسب تر و مدنظر قرار گرفتن استانداردهای زیست محیطی، می توان با برنامه ریزی صحیح، منابع مالی و انسانی را به سمتی سوق داد که بتوان محصولات سیمانی را با قیمت ارزانتر، کیفیت بهتر و آلودگی های زیست محیطی کمتر تولید کرد.

لذا در یک نتیجه گیری کلی و نهایی پیشنهاد می گردد تولید سیمان های مخلوط و ویژه بدلائل:

- ۱- کاهش میزان انرژی (حرارتی و الکتریکی) مصرفی.
 - ۲- کاهش میزان آلایندهی محیط زیست.
 - ۳- دستیابی به تولید بالاتر بدون نیاز به سرمایه گذاری.
 - ۴- تحکیم بخشیدن به سازه های بتنی با توجه به نیاز به دوام و پایداری بیشتر و مطلوب تر.
- بعنوان یک اقدام ملی از سوی کارخانجات سیمان کشور صورت پذیرد.

۳- ارزیابی اقتصادی تولید انواع سیمان ها

در این بخش هزینه مربوط به تولید یک تن سیمان تیپ ۲ محاسبه می گردد و بررسی می گردد، اگر با استفاده از کلینکرتیپ ۲، سیمانهای مخلوط (پرتلند پوزولانی، پرتلند پوزولانی ویژه و پرتلند آهکی) را تولید نماییم ، چه میزان زیادی در هزینه صرفه جویی خواهد شد . به همین منظور بطور واقعی تمامی هزینه های مربوط به استخراج مواد اولیه، حمل مواد اولیه، خردایش مواد اولیه، سوخت مورد نیاز (مازوت، گاز)، برق مصرفی در کارخانه و همچنین هزینه های که بصورت تعمیرات و نگهداری در بخش های مختلف صرف می گردد و درصد استهلاک لوازم را در بخشهای مختلف برای یک کارخانه سیمان محاسبه می نمائیم که در انتها هزینه مربوط به تولید یک تن سیمان تیپ ۲ و سیمانهای مخلوط PP، PPV و PKZ حاصل می گردد و بین نتایج بدست آمده مقایسه انجام می پذیرد . ضمناً یکسری محاسبات نیز با قیمت های جهانی مازوت، گاز و برق انجام می گردد که با قیمت موجود داخلی مقایسه می گردد .

۳-۱- هزینه های مربوط به تولید سیمان

۳-۱-۱- هزینه های مربوط به استخراج، حمل و خردایش مواد اولیه

در کارخانه مورد نظر از چهار نوع ماده معدنی سنگ آهک، مارل، سنگ آهن و بوکسیت استفاده می شود . همانگونه که در جدول شماره ۳۸ نیز مشاهده می گردد، ستون یک، درصد مواد مصرفی بطور متوسط در تولید خوراک کوره را نشان می دهد . همچنین در ستون ۲، هزینه استخراج و حمل و در ستون ۳ نیز هزینه مربوط به خردایش مواد مشخص است. لازم بذکر است موارد مندرج در جدول (استخراج، حمل و خردایش ...) بوسیله پیمانکار انجام می گردد و کارخانه فقط بر حسب انجام کار و تناژ مربوطه به پیمانکاران هزینه پرداخت می نماید . و در ستون ۴ نیز جمع هزینه ها برای استخراج و حمل و خردایش ارائه شده است و با استفاده از درصد مواد مصرفی و هزینه کل می توان هزینه مربوط به حمل، استخراج و خردایش برای یک تن خوراک کوره را محاسبه نمود که مقدار آن ۴۱۲۱۸/۵۶ ریال بر تن می باشد .

جدول شماره ۳۸ - هزینه های مربوط به استخراج، حمل و خردایش مواد اولیه

نوع ماده اولیه	درصد مصرفی مواد اولیه	هزینه استخراج، حمل (ریال برتن)	هزینه خردایش (ریال برتن)	هزینه کل استخراج حمل و خردایش (ریال برتن)	هزینه برای هر ماده معدنی براساس درصد مصرفی (ریال برتن)
سنگ آهک	۳۲	۳۷۲۵۸	۸۳۰۰	۴۵۵۵۸	۱۴۵۷۸/۵۶
مارل	۶۵/۵	۲۸۰۵۷	۸۰۶۶	۳۶۱۲۳	۲۳۶۶۰/۶۵
سنگ آهن	۲	۱۱۰۹۵۶	۸۲۹۸	۱۱۹۲۵۴	۲۳۸۵/۰۸
بوکسیت	۵/۰	۱۱۰۷۶۳	۸۱۲۵	۱۱۸۸۸۸	۵۹۴/۴۴
هزینه مربوط به حمل و استخراج، خردایش و دستمزد برای تولید یک تن خوراک کوره بر حسب ریال		۴۱۲۱۸/۵۶			

هزینه مربوط به مواد سایشی برای تولید هر یک تن خوراک کوره نیز حدوداً ۱۳۶۷ ریال می باشد که اگر با هزینه استخراج، حمل، خردایش و دستمزد مربوطه جمع نمائیم هزینه فوق ۴۲۵۸۵/۶ ریال برای هر یک تن خوراک کوره می باشد .

۳-۱-۲- هزینه مربوط به برق مصرفی بخش های مختلف کارخانه

همانگونه که در جدول شماره ۳۹ مشخص می باشد مقدار تولید هر بخش از کارخانه در سال ۱۳۸۶ برحسب تن و برق مصرفی آن به صورت Kwh مشخص می باشد و برحسب اینکه قیمت هر Kwh برق در حدود ۱۶۸,۴۴۲ ریال می باشد محاسبات مربوط به هزینه برق مصرفی در یکسال برای هر بخش و هزینه برق مصرفی برای یک تن مواد ارائه شده است که در ستونهای ۳ و ۴ جدول مشخص می باشد . براساس محاسبات مربوطه:

هزینه برق مصرفی برای تولید یک تن مواد خام ۵۶۷۸/۹۴ ریال
 هزینه برق مصرفی در بخش کوره برای تولید یک تن کلینکر ۶۰۷۲/۲۴ ریال
 هزینه برق برای خردایش و تولید یک تن سیمان ۶۸۰۲/۹۸ ریال

جدول شماره ۳۹- هزینه های مربوط به برق مصرفی در کارخانه سیمان

نوع دستگاه	مقدار تولید در یک سال (تن)	برق مصرفی در یکسال kwh	هزینه برق مصرفی در یکسال (ریال)	هزینه برق مصرفی برای هر تن (ریال)
آسیاب خاک ۱	۱۴۲۸۸۵۰	۳۱۴۸۸۶۶	۵۳۰۴۰۰۷۵۸,۱	۳۷۱,۲۱
آسیاب خاک ۲	۱۵۳۶۹۵۵	۱۳۶۶۹۲۰	۲۳۰۲۴۶۵۰۹,۱	۱۴۹,۸۱
آسیاب سنگ	۱۱۷۷۰۴۸	۱۱۶۴۹۴۶	۱۹۶۲۲۵۶۳۸,۵	۱۶۶,۷۱
مواد خام ۱	۸۲۵۸۵۹	۱۸۸۵۱۳۱۳	۳۱۷۵۳۴۹۶۹۹	۲۸۴۴,۹۱
مواد خام ۲	۷۸۸۱۰۶	۱۶۴۹۴۴۲۷	۲۷۷۸۳۴۱۵۰۳	۳۵۲۵,۳۵
مواد خام ۳	۷۶۲۷۴۱	۱۵۲۰۶۴۲۸	۲۵۶۱۳۹۸۵۹۲	۳۳۵۸,۱۵
مواد خام ۴	۹۲۸۳۳۱	۱۷۶۷۹۱۶۸	۲۹۷۷۹۱۱۴۴۸	۳۲۰۷,۸۱
کوره ۱	۹۶۱۸۲۲	۳۸۹۱۴۷۷۸	۶۵۵۴۸۷۶۵۰۲	۶۸۱۵,۰۶
کوره ۲	۱۰۰۹۵۸۸	۴۰۱۱۶۱۶۷	۶۷۵۷۲۴۰۶۶۷	۶۶۹۳,۰۷
آسیاب سیمان ۱	۵۷۱۷۲۰	۲۲۴۷۳۹۶۳	۳۷۸۵۵۵۵۵۰۲	۶۶۲۱,۳۵
آسیاب سیمان ۲	۵۱۰۸۸۴	۱۹۲۱۳۸۴۹	۳۲۳۶۴۱۵۹۲۷	۶۳۳۴,۹۳
آسیاب سیمان ۳	۵۳۲۰۶۳	۲۲۹۸۴۰۹۰	۳۸۷۱۴۸۲۲۲۹	۷۲۷۶,۳۶
آسیاب سیمان ۴	۵۷۷۶۲۳	۲۳۸۶۹۶۲۳	۴۰۲۰۶۴۳۰۳۰	۶۹۶۰,۶۷
کل		۲۴۱۴۸۴۵۳۸	۴۰۶۷۶۰۹۸۰۰۶	-----
هزینه هر kwh (ریال)		۱۶۸,۴۴۲		

۳-۱-۳- هزینه های مربوط به مصرف مازوت و گاز در بخش کوره

بر اساس مقدار تولید کلینکر در خط یک و خط دو و همچنین مصرف مازوت و گاز دو خط در سال ۱۳۸۶ و قیمت خرید مازوت و گاز به ترتیب ۲۶۵/۸۸ ریال بر لیتر و ۱۴۸/۹۸ ریال بر Nm^3 محاسبات مربوط به هزینه های سوخت برای تولید یک تن کلینکر انجام گرفت که به شکل جدول ۴۰ می باشد .

جدول شماره ۴۰- مربوط به هزینه مصرف مازوت و گاز در بخش کوره

شماره خط	مقدار تولید کلینکر ton	مصرف مازوت (liter)	مصرف گاز Nm^3	هزینه سوخت مصرفی برای هر تن (ریال)
کوره ۱	۹۶۱۸۲۲	۷۶۴۵۵۹۲۰	۲۷۹۷۱۴۶۰	۲۵۴۶۷,۶۹
کوره ۲	۱۰۰۹۵۸۸	۸۱۳۵۰۴۸۰	۲۸۱۵۷۳۳۲	۲۵۵۷۹,۱۹
هزینه کل مازوت مصرف هر دوخط		۴۱۹۵۷۸۱۶۸۶۶ ریال		
هزینه کل گاز مصرفی هر دوخط		۸۳۶۲۰۱۲۸۴۲ ریال		
متوسط هزینه سوخت (گاز و مازوت) برای تولید یک تن کلینکر		۲۵۵۲۳,۴۴ ریال		

۳-۱-۴- هزینه بخش خردایش در آسیاب سیمان ها

در بخش آسیاب ها برای تولید یک تن سیمان حدود ۱۳۳۰۵ ریال برای خردایش و پودرسازی هزینه می شود. در ضمن برای تولید سیمان هزینه مربوط به گچ برای انواع سیمان ها به شرح زیر می باشد .

هزینه گچ برای سیمان تیپ ۲	۲۲۳۴ ریال
هزینه گچ برای سیمان پوزولان	۱۷۶۲ ریال
هزینه گچ برای سیمان پوزولانی ویژه	۱۹۳۵ ریال
هزینه گچ برای سیمان PKZ	۲۵۶۵ ریال

۳-۱-۵- هزینه تعمیر، نگهداری، دستمزد تعمیرات و استهلاک

بخاطر اینکه تعداد لوازمات و دستگاه های تعمیر شده و تعویض شده زیاد بوده و از حوصله بحث خارج می باشد، در این بخش بصورت هزینه کل ارائه می شود :

- ۱- هزینه دستمزد برای تعمیر و نگهداری بخش تولیدی کارخانه در سال ۱۳۸۶ : ۱۵۱۳۹۹۸۳۵۸۵ ریال
 - ۲- هزینه دستمزد برای تعمیر و نگهداری سایر بخش های کارخانه در سال ۱۳۸۶ : ۴۱۲۵۱۴۳۳۵۱ ریال
 - ۳- هزینه لوازمات تعویض بخش تولید کارخانه در سال ۱۳۸۶ : ۱۴۶۳۴۳۷۳۸۹۴ ریال
 - ۴- هزینه لوازمات تعویض سایر بخش های کارخانه در سال ۱۳۸۶ : ۴۰۱۴۱۸۵۶۴۱ ریال
 - ۵- هزینه استهلاک دستگاه ها : ۱.۱۹۰۸۷E+۱۱ ریال
- جمع کل هزینه تعمیرات و نگهداری و استهلاک : ۱.۵۷۰۰۱E+۱۱ ریال
- و بر اساس تولید ۲۱۹۲۲۹۰ تن در سال ۱۳۸۶ توسط چهار آسیاب سیمان ، هزینه تعمیر و نگهداری و استهلاک برای هر تن سیمان حدود ۷۱۶۱۵/۱۰ ریال می شود .

۳-۱-۶- هزینه های متفرقه

(الف) هزینه مالی، اداری، توزیع، فروش و.... حدود ۱۹۰۰۰ ریال برای هر تن سیمان محاسبه گردید .

ب) هزینه پاکت: هزینه مربوط به پاکت و بسته بندی برای هر تن حدود ۳۹۳۶۷ ریال می باشد .

۳-۲- هزینه های مربوط به تولید انواع سیمان ها با قیمت های داخلی

الف - هزینه استخراج، حمل، خردایش و برق برای تولید یک تن خوراک کوره

کل هزینه برای تولید خوراک کوره = هزینه برق + هزینه استخراج و حمل و خردایش
ریال $46897/59 + 5678/94 = 41218/65$

که با اعمال ضریب $1/68$ تبدیل خوراک کوره به کلینکر و هزینه مواد سایشی داریم:

ریال $46897/59 \times 1/68 + 1367 = 80154/94$

ب - هزینه سوخت و برق مصرفی در کوره

کل هزینه برای تولید یک تن کلینکر = هزینه برق + هزینه سوخت
ریال $25523/44 + 6072/24 = 31595/68$

ج - هزینه آسیاب کردن و برق در آسیاب سیمان ها

کل هزینه برای آسیاب کردن یک تن سیمان = هزینه برق + هزینه آسیاب کردن
ریال $13305 + 6802/98 = 20107/98$

۳-۲-۱- هزینه برای تولید یک تن سیمان تیپ ۲

$\times 0/98$ (هزینه استخراج، حمل و خردایش و برق + هزینه سوخت و برق کوره) = کل هزینه
+ هزینه مالی، اداری + هزینه فیلتر + هزینه گچ + هزینه آسیاب سیمان و برق +
هزینه پاکت + هزینه تعمیرات و استهلاک
 $\times 0/98 + 20107/98 + 2234 + 137 + 19000 + 71615/1$
ریال $39367 = 261976/69$

از کل هزینه تولید یک تن سیمان تیپ ۲ حدود $47116/5$ ریال سهم مصرف انرژی فسیلی و برقی میباشد که حدود $17/99$ درصد کل هزینه را به خود اختصاص داده است .

۳-۲-۲- هزینه تولید یک تن سیمان پوزولانی با 10% افزودنی

$\times 0/88$ (هزینه استخراج، حمل و خردایش و برق + هزینه سوخت و برق کوره) = کل هزینه
 $\times 0/1$ (هزینه خردایش و برق آسیاب پوزولان + هزینه حمل و استخراج پوزولان) + هزینه آسیاب سیمان و برق
هزینه پاکت + هزینه تعمیرات و استهلاک + هزینه مالی اداری + هزینه گچ
 $\times 0/1 + (40844 + 13636) \times 0/88 + 20107/98 + (31596/68 + 80154/94) \times 0/88$ = کل هزینه
ریال $1762 + 19000 + 71615/1 + 39367 = 255640/67$

از کل هزینه تولید یک تن سیمان PP حدود ۴۳۰۳۶/۰۶ ریال سهم انرژی می باشد که حدود ۱۶/۸۳ درصد کل هزینه را به خود اختصاص می دهد .

۳-۲-۳- هزینه تولید یک تن سیمان پوزولانی ویژه با ۲۰٪ افزودنی

+۰/۷۷۵×(هزینه استخراج ، حمل و خردایش و برق+هزینه سوخت و برق کوره)=کل هزینه
 +۰/۲×(هزینه خردایش و برق آسیاب پوزولان + هزینه حمل و استخراج پوزولان) + هزینه آسیاب سیمان و برق
 هزینه پاکت+هزینه تعمیرات و استهلاک + هزینه مالی و اداری+ هزینه گچ

$$= ۲۴۹۵۲۷/۹ = ۳۹۳۶۷/۱ + ۷۱۶۱۵/۱ + ۱۹۰۰۰ + ۱۹۳۵ + ۰/۲ \times (۳۱۵۹۵/۶۷ + ۸۰۱۵۴/۹۴) \times ۰/۷۷۵ + ۲۰۱۰۷/۹۸$$

 ریال
 از کل هزینه تولید یک تن سیمان PPV حدود ۳۸۷۴۹/۹ ریال سهم مصرف انرژی می باشد که حدود ۱۵/۵۳ درصد کل هزینه را به خود اختصاص می دهد .

۳-۲-۴- هزینه تولید یک تن سیمان پرتلند آهکی با ۱۴٪ آهک

+۰/۸۳×(هزینه استخراج ، حمل و خردایش و برق+هزینه سوخت و برق کوره) = کل هزینه
 +۰/۱۴×(هزینه خردایش و برق آسیاب آهک +هزینه حمل و استخراج آهک) + هزینه سیمان آسیاب و برق
 هزینه پاکت+ هزینه تعمیرات و استهلاک+ هزینه مالی و اداری+ هزینه گچ

$$= ۲۵۱۸۶۱/۵ = ۳۹۳۶۷/۱ + ۷۱۶۱۵/۱ + ۱۹۰۰۰ + ۲۵۶۵ + ۰/۱۴ \times (۳۱۵۹۵/۶۷ + ۸۰۱۵۴/۹۴) \times ۰/۸۳ + ۲۰۱۰۷/۹۸$$

 ریال

از کل هزینه تولید یک تن سیمان PKZ حدود ۴۱۰۲۱/۴ ریال سهم انرژی فسیلی و برق مصرفی می باشد که حدود ۱۶/۲۹ درصد کل هزینه را به خود اختصاص می دهد .
 در بخش بعد گزارش هزینه تمام شده یک تن سیمان را بر پایه قیمت های جهانی سوخت و برق انجام می گیرد .

۳-۳- هزینه های مربوط به تولید انواع سیمان ها با قیمت های بازار جهانی

قیمتهای انرژی برق، گاز و مازوت در بازار جهانی^۱ به شرح ذیل می باشد :

قیمت هر کیلو وات ساعت برق = ۵ سنت (۴۵۶ ریال)

قیمت هر لیتر مازوت = ۳۲ سنت (۲۹۷۶ ریال)

قیمت هر Nm^2 گاز = ۱۴,۹ سنت (۱۳۸۳ ریال)

لازم بذکر است که محاسبات مربوطه بدون افزایش هزینه دربخش پیمانکاری، حمل و نقل و ... می باشد، و فقط افزایش قیمت انرژی مصرفی مستقیم در کارخانه مدنظر می باشد .

الف - هزینه استخراج، حمل، خردایش و برق برای تولید یک تن خوراک کوره

کل هزینه برای تولید یک تن خوراک کوره = هزینه برق + هزینه استخراج ، حمل و خردایش

$$41218/65 + 15677/27 = 56895/91$$

با اعمال ضریب ۱/۶۸ تبدیل خوراک کوره به کلینکر و هزینه مواد سایشی داریم:

$$56895/91 \times 1/68 + 1367 = 96952/13 \text{ ریال}$$

ب - هزینه سوخت و برق مصرفی در کوره

کل هزینه برای تولید یک تن کلینکر = هزینه برق + هزینه سوخت

$$277578/01 + 16763/01 = 294341/02 \text{ ریال}$$

ج - هزینه آسیاب کردن و مصرف برق در آسیاب سیمانها

کل هزینه برای تولید یک تن سیمان در آسیاب سیمان = هزینه برق + هزینه آسیاب کردن

$$13305 + 18780/28 = 32085/07 \text{ ریال}$$

۳-۳-۱- هزینه تولید یک تن سیمان تپ ۲ با قیمت بازار جهانی

$98/0 \times$ (هزینه استخراج و حمل و خردایش و برق + هزینه سوخت و برق کوره) = کل هزینه

+ هزینه اداری و مالی + هزینه فیلر + هزینه گچ + هزینه آسیاب سیمان و برق

= هزینه پاکت + هزینه تعمیرات و استهلاک

$$137 + 2234 + 28/28 + 32085/07 \times 98/0 + 96952/13 + 294341/02 = \text{کل هزینه}$$

$$547905/66 = 71615/10 + 39367 + 19000 \text{ ریال}$$

۱ - مرجع روز نامه اقتصاد روز تاریخ ۱۳۸۷/۱۲/۱۳

از کل هزینه تولید یک تن سیمان تیپ ۲ حدود ۳۳۳۰۴۵/۵ ریال سهم انرژی فسیلی و برق می باشد که حدود ۶۰/۷۹٪ کل هزینه را به خود اختصاص می دهد .

۳-۳-۲- هزینه تولید یک تن سیمان PP با قیمت بازار جهانی

$+0.88 \times (\text{هزینه استخراج و حمل و خردایش و برق خوراک} + \text{هزینه سوخت و برق کوره}) = \text{کل هزینه}$
 $(0.1) \times \text{هزینه خردایش و برق آسیاب پوزولان} + \text{هزینه حمل و استخراج پوزولان} + \text{هزینه آسیاب سیمان و برق}$
 $\text{هزینه پکت} + \text{هزینه تعمیرات و استهلاک} + \text{هزینه مالی و اداری} + \text{هزینه گچ} +$
 $+0.1 \times (31844 + 14219/99) + 0.88/32.85/28 + 0.2 + 96952/13 \times (294341/0.2) = \text{کل هزینه}$
 ریال $512773/75 = 1762 + 19000 + 71615/10 + 39367$

از کل هزینه تولید یک تن سیمان PP حدود ۳۰۱۰۶۹/۱۴ ریال سهم انرژی می باشد که حدود ۵۸/۷۱٪ کل هزینه را به خود اختصاص می دهد .

۳-۳-۳- هزینه تولید یک تن سیمان PPV با قیمت جهانی

$+0.755 \times (\text{هزینه استخراج و حمل و خردایش و برق خوراک} + \text{هزینه سوخت و برق کوره}) = \text{کل هزینه}$
 $+0.2 \times (\text{هزینه خردایش و برق آسیاب پوزولان} + \text{هزینه حمل استخراج پوزولان}) + \text{هزینه آسیاب سیمان و برق}$
 $\text{هزینه پکت} + \text{هزینه تعمیرات و استهلاک} + \text{هزینه مالی و اداری} + \text{هزینه گچ} +$
 $\text{هزینه} +0.775/32.85/28 + 0.2 + 96952/13 \times (294341/0.2) = \text{کل هزینه}$
 ریال $476467/37 = 31844 + 14219/99 \times 0.2 + 1935 + 19000 + 71615/10 + 39367$

از کل هزینه تولید یک تن سیمان PPV حدود ۲۶۷۴۸۹/۳۶ ریال سهم مصرف انرژی می باشد که حدود ۵۶/۱۴٪ کل هزینه ها را به خود اختصاص می دهد .

۳-۳-۴- هزینه تولید یک تن سیمان PKZ با قیمت جهانی

$+0.83 \times (\text{هزینه استخراج حمل و خردایش و برق خوراک} + \text{هزینه سوخت و برق کوره}) = \text{کل هزینه}$
 $+0.14 \times (\text{هزینه خردایش و برق آسیاب آهک} + \text{هزینه حمل و استخراج آهک}) + \text{هزینه آسیاب سیمان و برق}$
 $= \text{هزینه پکت} + \text{هزینه تعمیرات و استهلاک} + \text{هزینه مالی و اداری} + \text{هزینه گچ} +$
 $+0.14 \times (37258 + 8837/92) + 0.83/32.85/28 + 0.2 + 96952/13 \times (294341/0.2) = \text{کل هزینه}$
 ریال $495859/12 = 2565 + 19000 + 71615/10 + 39367$

از کل هزینه تولید یک تن سیمان PKZ حدود ۲۸۵۰۱۹/۰۱ ریال سهم مصرف انرژی می باشد که حدود ۵۷/۴۸٪ کل هزینه ها را به خود اختصاص می دهد .

۳-۴- مقایسه بین هزینه تولید سیمان در کشور ایران با هزینه تولید سیمان در بازارهای جهانی

همانگونه که در قسمت های قبلی ذکر شد قیمت استفاده از انرژی برق، گاز، و مازوت در حال حاضر به ترتیب Rial/kwh ۱۶۸,۴۴۲ و Rial/liter ۲۶۵,۸۸ و Rial/Nm^3 ۱۴۸,۹۸ می باشد ولی قیمت های موجود در بازار جهانی دارای به گونه دیگری می باشند، بطوریکه قیمت هر کیلو وات ساعت برق حدود ۵ سنت (۴۶۵ ریال) و قیمت هر لیتر مازوت ۳۲ سنت (۲۹۷۶ ریال) و قیمت هر Nm^3 گاز ۱۴,۹ سنت (۱۳۸۳ ریال) می باشد و اگر در محاسبات مربوط به هزینه تولید، ارقام بازار جهانی را جایگزین نماییم، هزینه تولید سیمان ها همانگونه که در محاسبات دیده شد افزایش چشم گیری خواهد داشت. که مقایسه هزینه تمام شده سیمان ها با قیمت داخلی و بازار جهانی به صورت جدول ۴۱ می باشد.

جدول شماره ۴۱- هزینه تولید سیمان با قیمت های داخلی و قیمت های بازار جهانی

نوع سیمان	هزینه تولید با قیمت داخلی (ریال)	سهم انرژی با قیمت داخلی %	درصد سهم انرژی با قیمت داخلی %	هزینه تولید با قیمت بازار جهانی (ریال)	سهم انرژی با قیمت بازار جهانی (ریال)	درصد سهم انرژی با قیمت بازار جهانی %
تیپ ۲	۲۶۱۹۷۶/۶۹	۴۷۱۱۶/۵	۱۷/۹۹	۵۴۷۹۰۵/۶۶	۳۳۳۰۴۵/۵	۶۰/۷۹
PP	۲۵۵۶۴۰/۶۷	۴۳۰۳۶/۰۶	۱۶/۸۳	۵۱۲۷۷۳/۷۵	۳۰۱۰۶۹/۱۴	۵۸/۷۱
PPV	۲۴۹۵۲۷/۹	۳۸۷۴۹/۹	۱۵/۵۳	۴۷۶۴۶۷/۳۷	۲۶۷۴۸۹/۳۶	۵۶/۱۴
PKZ	۲۵۱۸۶۱/۵	۴۱۰۲۱/۴	۱۶/۲۹	۴۹۵۸۵۹/۱۲	۲۸۵۰۱۹/۰۱	۵۷/۴۸

۳-۵- تحلیل و نتیجه گیری

۱- همانگونه که در جدول ۴۱ مشخص می باشد زمانیکه سیمان ها با یارانه هایی که از طرف دولت بابت سوخت و برق مصرفی داده می شود، تولید گردد هزینه تولید یک تن سیمان تیپ ۲ حدود ۲۶۱۹۷۶/۶۹ ریال محاسبه می گردد و اگر تولید به سمت سیمان های مخلوط برود قیمت تمام شده برای هر تن سیمان PP و PPV و PKZ به ترتیب ۲۵۵۶۴۰/۶۷ و ۲۴۹۵۲۷/۹ و ۲۵۱۸۶۱/۵ ریال می شود که مقدار صرفه جویی در هزینه ها به ترتیب ۲/۴۱ و ۷۵/۴ و ۳/۸۶ درصد می باشد که بیشترین مقدار صرفه جویی در بخش انرژی حرارتی و برق مصرفی می باشد. پس اگر کارخانجات سیمان کشور به سمت تولید سیمان های مخلوط با درصدهای بالای افزودنی (با انجام تحقیقات و پژوهش) پیش بروند مطمئناً در هزینه های تولید، صرفه جویی قابل ملاحظه ای خواهند داشت.

۲- اگر قیمت سوخت فسیلی و برق مصرفی در کارخانجات با قیمت جهانی عرضه شود همانگونه که در جدول ۴۱ مشخص است قیمت سیمان پرتلند تیپ ۲، پرتلند پوزولانی، پرتلند پوزولانی ویژه و پرتلند آهکی به ترتیب از ۲۶۱۹۷۶/۶۹ و ۲۵۵۶۴۰/۶۷ و ۲۴۹۵۲۷/۹ و ۲۵۱۸۶۱/۵ ریال به ۵۴۷۹۰۵/۶۶ و ۵۱۲۷۷۳/۷۵ و ۴۷۶۴۶۷/۳۷ و ۴۹۵۸۵۹/۱۲ ریال افزایش پیدا میکند.

درصد افزایش هزینه تولید ، بیشتر بصورت سهم انرژی مشخص می باشد، بطوریکه سهم انرژی در هزینه تولید زمانیکه از قیمت داخلی استفاده گردد برای سیمان های تیپ ۲ و PP و PPV و PKZ و ۱۷/۹۹ و ۱۶/۸۳ و ۱۵/۵۳ و ۱۶/۲۹ درصد بوده و زمان استفاده از قیمت بازار جهانی به ۶۰/۷۹ و ۵۸/۷۱ و ۵۶/۱۴ و ۵۷/۴۸ درصد افزایش پیدا می کند ، که بهترین راه حل برای کاهش هزینه های تولید در حال حاضر، با توجه به فرسوده بودن کارخانجات وهمچنین به روز نبودن تکنولوژی استفاده شده در کارخانجات، تولید سیمانهای مخلوط پیشنهاد می گردد .

۴- تولید سیمان و سرانه مصرف آن^{۱۴}

محصول سیمان با توجه به ویژگیهای خاصی که دارد، از مصارف و کاربردهای متنوع و گسترده ای برخوردار است و در عین حال جایگزینی هم ندارد.

سیمان از یک سو در بخش ساختمان جزو مصالح اصلی محسوب می شود و از سوی دیگر در اجرای پروژه های عمرانی و زیربنایی نقش تعیین کننده ای دارد. حجیم و سنگین بودن سیمان و هزینه بالای حمل آن نسبت به بهای آن، موجب شده است سیمان کالایی منطقه ای و با قابلیت صدور پایین محسوب شود.

با توجه به نقش تعیین کننده ای که سیمان در رشد و توسعه اقتصادی کشور دارد، توسعه صنعت سیمان همواره مورد توجه و حمایت دولت قرار گرفته است؛ به نحوی که ظرفیت تولید سیمان از ۱۵/۲ میلیون تن در سال ۱۳۷۰ به ۲۶/۸ میلیون تن در سال ۱۳۸۰ رسید.

در برنامه سوم توسعه بر اساس مصوبه ای که در هیات امنای حساب ذخیره ارزی به تصویب رسید (جلسه هفدهم) شرایط ویژه ای برای طرح های جدید سیمان اعمال شد، به طوری که زمان پرداخت تسهیلات واگذاری، ۱۷ سال (زمان ساخت، دوره تنفس و دوره باز پرداخت) و سود تسهیلات معادل نرخ سود بین بانکی ارزهای مربوط در بازارهای بین المللی (LIBOR) تعیین شد.

پس از مصوبه مذکور از محل تسهیلات حساب ذخیره ارزی برای بیش از ۵۰ میلیون تن طرحهای جدید و طرح های توسعه و بهینه سازی کارخانجات موجود، گشایش اعتبار شد؛ به طوری که پیش بینی می شود در سال ۱۳۹۰ ظرفیت کارخانجات سیمان به حدود ۸۰ میلیون تن برسد.

جدول ۴۲ وضعیت تولید و مصرف سیمان را طی برنامه سوم توسعه نشان می دهد. وضعیت تولید و تحویل سیمان در سه سال اول برنامه چهارم توسعه (با اعمال پیش بینی چهار ماه پایانی سال جاری) همان گونه که در جدول ۴۳ ملاحظه می شود:

- در سال ۱۳۸۴ تولید معادل ۳۲/۶ میلیون تن بوده است.
- در سال ۱۳۸۵، ۳۵/۳ میلیون تن تولید شده است که ۸/۱۸ درصد نسبت به سال قبل افزایش تولید نشان می دهد.
- در سال ۱۳۸۶، ۵/۱ میلیون تن به ظرفیت اسمی تولید سیمان اضافه شده است و ظرفیت اسمی تولید به حدود ۴۰/۵ میلیون تن رسیده است که ۱۴/۷ درصد را نشان می دهد. (مرجع: وزارت صنایع و معادن)
- در سال ۱۳۸۶ تحویل سیمان به مصرف کنندگان داخلی نسبت به سال قبل از آن ۵ میلیون تن بیشتر بوده است. (۱۵/۲ درصد رشد نسبت به سال ۱۳۸۵).

جدول ۴۲- میزان تولید و مصرف سیمان طی برنامه سوم (واحد میلیون تن)

سال	تولید کلینکر	تولید سیمان	تحويل سیمان	صادرات	مصرف	تغییرات
۱۳۷۹	۲۳/۲					
۱۳۸۰						
۱۳۸۱				۰/۸۳۷		
۱۳۸۲		۲۹/۸				
۱۳۸۳				۱/۸۸		
متوسط						
ماخذ: دفتر صنایع و وزارت صنایع و معادن						

جدول ۴۳- میزان تولید و مصرف سیمان طی سه سال اول برنامه چهارم توسعه (واحد میلیون تن)

سال	تولید		در صد تغییرات	تحويل سیمان	صادرات	مصرف داخلی	درصد تغییرات
	سیمان	کلینکر					
۱۳۸۴	۳۲/۶۵	۲۹/۸	+۰/۹۸	۳۲/۵۵	۱/۹۵	۳۰/۸	۱/۶۵
۱۳۸۵	۳۵/۳	۳۲	۸/۱	۳۵/۲۶	۰/۴۵۵	۳۴/۸۷	۱۳/۲
۱۳۸۶	۴۰/۵	۳۸/۰۴	۱۴/۷	۴۰/۵	۰/۳۰۰	۴۰/۲	+۱۵/۲
ماخذ: دفتر صنایع معدنی و وزارت صنایع و معادن							

۴-۱- پتانسیل تولید سیمان کشور در ابتدای سال ۱۳۸۶
در جدول ۴۴ واحدهای فعال تولید سیمان کشور در ابتدای سال ۱۳۸۶ فهرست شده است. ظرفیت تولید سالانه آنها حدود ۳۸۰۴۰۰۰۰ تن کلینکر و ۳۹۵۶۰۰۰۰ تن سیمان است.

جدول ۴۴- واحدهای تولید سیمان کشور در ابتدای سال ۱۳۸۶

ردیف	نام کارخانجات سیمان	ظرفیت سالانه		ردیف	نام کارخانجات سیمان	ظرفیت سالانه	
		کلینکر تن	سیمان تن			کلینکر تن	سیمان تن
۱	آبیک	۲۲۵۰۰۰۰	۲۳۴۰۰۰۰	۲۴	شاهرود	-----	-----
۲	ارومیه	۹۰۰۰۰۰	-----	۲۵	سیمان قائن	۷۸۰۰۰۰	۸۴۵۰۰۰
۳	اصفهان	۹۹۶۰۰۰	۱۰۳۵۸۴۰	۲۶	کردستان	۹۶۰۰۰۰	۸۶۰۰۰۰
۴	بهبهان	۸۳۵۰۰۰	۸۵۸۰۰۰	۲۷	هرمزگان	۱۸۰۰۰۰۰	۹۹۸۰۰۰
۵	تهران	-----	-----	۲۸	هگمتان	۹۶۰۰۰۰	۱۸۷۲۰۰۰
۶	واحد هفتم	۶۰۰۰۰۰	۶۲۴۰۰۰	۲۹	کارون	۹۰۰۰۰۰	۹۹۸۰۰۰
۷	دورود	۱۱۹۷۰۰۰	۱۲۴۴۸۸۰	۳۰	خاش	-----	۹۳۶۰۰۰
۸	خزر	۶۰۰۰۰۰	۶۲۴۰۰۰	۳۱	بجنورد	۶۰۰۰۰۰	۶۲۴۰۰۰
۹	سپاهان	۱۹۸۰۰۰۰	۲۰۵۹۲۰۰	۳۲	بوشهر	-----	-----
۱۰	شمال	۶۶۰۰۰۰	۶۸۶۴۰۰	۳۳	داراب	-----	-----
۱۱	شرق	-----	-----	۳۴	بنوید	-----	-----
۱۲	صوفیان	۱۴۶۸۰۰۰	۱۴۸۵۱۳۰	۳۵	قشم	۲۳۰۰۰۰	۲۳۸۰۰۰
۱۳	غرب	۶۰۰۰۰۰	۶۲۴۰۰۰	۳۶	فارس نو	۹۰۰۰۰۰	۹۳۶۰۰۰
۱۴	فارس	۷۸۷۵۰۰	۸۱۹۰۰۰	۳۷	بهروک یزد	۱۰۸۰۰۰۰	۱۱۲۵۰۰۰
۱۵	کرمان	۱۱۰۴۰۰۰	۱۱۴۸۱۶۰	۳۸	کوبر کاشان	-----	-----
۱۶	لوشان	-----	۲۰۴۰۲۰	۳۹	زنجان	-----	-----
۱۷	سیمان نکاء	۶۰۰۰۰۰	۶۲۴۰۰۰	۴۰	فیروزکوه	-----	-----
۱۸	آباده	۱۸۱۵۰۰	-----	۴۱	لارستان	-----	-----
۱۹	اردبیل	-----	-----	۴۲	ساوه	-----	-----
۲۰	استهبان	۳۱۵۰۰۰	۳۲۷۶۰۰	۴۳	سفیدشمال	۸۵۸۰۰	۸۹۲۳۲
۲۱	اکباتان	۱۶۵۰۰۰	۱۷۱۶۰۰	۴۴	سفید ساوه	۲۱۵۰۰۰	۲۲۷۶۰۰
۲۲	ایلام	۶۰۰۰۰۰	۶۲۴۰۰۰	۴۵	سفید تبریز	۱۵۷۵۰۰	۱۶۳۸۰۰
۲۳	سیمان خوزستان	۹۰۰۰۰۰	۹۳۶۰۰۰	۴۶	سفید ارومیه	۱۵۷۰۰	۱۶۳۸۰۰
جمع							
۳۹۵۶۰۰۰۰ ۲۸۰۴۰۰۰۰							
ماخذ دفتر صنایع معدنی وزارت صنایع و معادن							

در جداول ۴۵ و ۴۶ اطلاعات تکمیلی در خصوص پتانسیل تولید سیمان کشور آمده است .
جدول ۴۵- تعداد کارخانه های در حال کار ۴۵ واحد (بدون احتساب سیمان بهروک یزد)

ردیف	مقیاس فعالیت	تعداد واحدها
۱	تعداد کوره های در حال کار	۶۸ واحد
۲	تعداد واحدهای سایش	۴ واحد نیمه فعال
۳	ظرفیت اسمی تولید سیمان با احتساب ۴ درصد افزودنی	۳۹/۵۶ میلیون تن
۴	ظرفیت سالانه تولید کلینکر	۳۹/۰۴ میلیون تن
۵	ظرفیت اسمی تولید سیمان با احتساب ۱۰ درصد افزایش	۴۶/۸۴ میلیون تن
ماخذ دفتر صنایع معدنی وزارت صنایع و معادن		

جدول ۴۶- ظرفیت تولید جدید در پایان آذرماه سال ۱۳۸۶

تعداد کارخانه	۴۹ واحد
ظرفیت اسمی روزانه	۱۳۹۵۱۰ تن
ظرفیت سالانه سیمان	۴۵/۰۲ میلیون تن
ظرفیت سالانه تولید کلینکر	۴۴/۳۷۵ میلیون تن
ماخذ دفتر صنایع معدنی وزارت صنایع و معادن	

*از ابتدای سال ۱۳۸۶ تا آذر ماه سه واحد وارد مدار شده اند و پیش بینی می شد تا پایان سال ، ۴ واحد تولید سیمان دیگر با ظرفیت حدود ۴ میلیون تن وارد مدار شود .

۴-۲- مصرف سرانه سیمان در ایران و جهان

جدول ۴۷ ، سرانه مصرف سیمان بعضی از استان ها در شش ماهه دوم سال ۱۳۸۶ را نشان می دهد، همانگونه که مشخص است بالاترین سرانه مصرف مربوط به استان بوشهر با ۱۴۳۵ کیلوگرم و کمترین سرانه مصرف مربوط به استان خراسان رضوی با ۳۱۲ کیلوگرم می باشد . مصرف سرانه ایران با در نظر گرفتن ظرفیت ۴۰ میلیون تن در پایان سال ۱۳۸۶ و جمعیت ۷۰ میلیون نفر برابر با ۵۷۱ کیلوگرم خواهد بود .

جدول ۴۷- سرانه مصرف سیمان در استان ها بر مبنای برنامه توزیع وزارت بازرگانی

نام استان	جمعیت	سهمیه ماهانه	سرانه توزیع
استان بوشهر	۸۸۶۲۶۷	۱۰۶۰۰۰ تن	۱۴۳۵ کیلوگرم
استان هرمزگان	۱۴۰۳۰۰۶	۱۴۵۰۰۰ تن	۱۲۴۰ کیلوگرم
استان سمنان	۵۸۹۷۴۲	۵۳۰۰۰ تن	۱۰۷۸ کیلوگرم
استان ایلام	۵۴۵۷۸۷	۴۳۰۰۰ تن	۹۴۵ کیلوگرم
استان یزد	۵۹۰۳۴۶	۸۱۰۰۰ تن	۹۸۱ کیلوگرم
استان قزوین	۱۱۴۲۶۵۶	۶۹۰۰۰ تن	۷۲۵ کیلوگرم
استان مازندران	۲۹۲۶۰۱۱	۱۶۸۰۰۰ تن	۶۹۰ کیلوگرم
استان زنجان	۹۴۶۴۶۰۱	۵۵۰۰۰ تن	۶۸۴ کیلوگرم
استان اردبیل	۱۲۲۸۱۵۵	۶۸۰۰۰ تن	۶۶۴ کیلوگرم
استان اصفهان	۴۵۵۹۲۵۶	۲۵۱۰۰۰ تن	۶۶۱ کیلوگرم
استان خوزستان	۴۲۷۴۹۷۹	۲۳۲۰۰۰ تن	۶۵۱ کیلوگرم
استان آذربایجان غربی	۲۸۷۳۴۵۹	۱۹۰۰۰ تن	۳۷۲ کیلوگرم
استان قم	۱۰۴۲۳۹	۲۸۰۰۰ تن	۳۷۸ کیلوگرم
استان خراسان رضوی	۵۵۹۳۰۷۹	۱۴۶۰۰۰ تن	۳۱۲ کیلوگرم
جمع ومتوسط کشور	۷۰۴۸۴۸۷۶	۳۲۵۸۰۰۰ تن	۴۶۲ کیلوگرم
ماخذ وزارت بازرگانی			

جدول شماره ۴۸ نیز متوسط سرانه سیمان در پنج ساله (۱۹۹۸-۲۰۰۲) در کشورهای مختلف را نشان می دهد . بطوریکه بالاترین سرانه مصرف مربوط به کشور امارات متحده عربی با ۲۵۵۰ کیلوگرم و کمترین سرانه مصرف مربوط به کشور رواندا با ۴ کیلوگرم می باشد .

جدول ۴۸- متوسط مصرف سرانه سیمان در ۵ ساله (۲۰۰۲-۱۹۹۸) انتها و ابتدای قرن اخیر

رتبه	نام کشور	مصرف سرانه کیلوگرم	رتبه	نام کشور	مصرف سرانه کیلوگرم	رتبه	نام کشور	مصرف سرانه کیلوگرم	رتبه	نام کشور	مصرف سرانه کیلوگرم
۱	امارات	۲۵۵۰	۳۱	یمن	۲۰۰	۶۰	البانی	۴۲۷	۸۹	هند	۸۹
۲	قطر	۱۴۹۵	۳۲	سوتریلند	۲۰۰	۶۱	آمریکا	۳۸۴	۹۰	قنا	۸۸
۳	سنگاپور	۱۴۸۰	۳۳	السالوادور	۲۰۰	۶۲	مصر	۳۷۱	۹۱	کوبا	۸۸
۴	قبرس	۱۳۶۷	۳۴	رومانی	۱۹۸	۶۳	آلمان	۳۷۰	۹۲	لیبی	۷۶
۵	ایرلند	۱۱۹۸	۳۵	روسیه	۱۹۳	۶۴	هلند	۳۶۶	۹۳	فیجی	۷۱
۶	لوکزامبورگ	۱۱۷۴	۳۶	گابن	۱۸۳	۶۵	مجارستان	۳۶۲	۹۴	ارمنستان	۹۶
۷	پرغال	۱۰۴۱	۳۷	بلغارستان	۱۸۲	۶۶	فرانسه	۳۵۲	۹۵	مغولستان	۶۸
۸	کره جنوبی	۹۷۰	۳۸	آفریقای جنوبی	۱۷۸	۶۷	*ایران	۳۵۰	۹۶	نیجریه	۶۶
۹	یونان	۸۹۹	۳۹	ونزوئلا	۱۷۷	۶۸	سوریه	۳۱۸	۹۷	پاکستان	۶۳
۱۰	تایوان	۸۸۰	۴۰	سوئد	۱۷۵	۶۹	تایلند	۳۱۵	۹۸	گرجستان	۶۲
۱۱	اسپانیا	۸۷۰	۴۱	تاسیبا	۱۷۲	۷۰	فنلاند	۳۱۲	۹۹	کامرون	۶۰
۱۲	روبنیون	۷۸۰	۴۲	گوآتمالا	۱۵۲	۷۱	کاستاریکا	۳۱۱	۱۰۰	آنگولا	۵۸
۱۳	عربستان	۷۱۸	۴۳	فیلیپین	۱۵۰	۷۲	جمهوری چک	۴۰۸	۱۰۱	سودان	۵۶
۱۴	ایتالیا	۶۸۲	۴۴	ویتنام	۱۵۰	۷۳	الجزایر	۲۹۹	۱۰۲	نیال	۴۶
۱۵	بحرین	۶۲۲	۴۵	آرژانتین	۱۴۵	۷۴	لهستان	۲۹۶	۱۰۳	لبیریا	۴۱
۱۶	هنگ کنگ	۶۱۰	۴۶	کلمبیا	۱۳۴	۷۵	پاناما	۲۹۵	۱۰۴	تانزانیا	۴۰
۱۷	اتریش	۵۹۰	۴۷	آذربایجان	۱۲۹	۷۶	اسلوواکی	۲۹۲	۱۰۵	بنگلادش	۳۹
۱۸	بلژیک	۵۵۸	۴۸	بولیوی	۱۲۷	۷۷	دانمارک	۲۸۰	۱۰۶	کنیا	۳۵
۱۹	ایسلند	۵۵۰	۴۹	سنگال	۱۲۶	۷۸	مکزیک	۲۷۸	۱۰۷	میانمار	۳۴
۲۰	فلسطین	۵۴۶	۵۰	نیکاراگوئه	۱۲۶	۷۹	نروژ	۲۷۶	۱۰۸	موزامبیک	۲۹
۲۱	ژاپن	۵۴۰	۵۱	پرو	۱۲۴	۸۰	عراق	۱۶۱	۱۰۹	زامبیا	۲۹
۲۲	مالزی	۵۱۳	۵۲	کویت	۱۲۲	۸۱	کانادا	۶۶۶	۱۱۰	سیرالئون	۲۶
۲۳	سوئیس	۵۱۳	۵۳	قزاقستان	۱۱۷	۸۲	مراکش	۲۶۳	۱۱۲	ماداگاسکار	۱۹
۲۴	ترکیه	۴۹۰	۵۴	اندونزی	۱۱۳	۸۳	انگلستان	۲۶۰	۱۱۳	اوگاندا	۱۹
۲۵	آردن	۴۶۱	۵۵	پاراگوئه	۱۰۹	۸۴	شیلی	۲۳۴	۱۱۴	مالاری	۱۷
۲۶	تونس	۴۶۰	۵۶	اوکراین	۱۰۷	۸۵	اکوادور	۲۲۹	۱۱۵	اتیوپی	۱۴
۲۷	کرواسی	۴۴۴	۵۷	کنگو	۱۰۰	۸۶	کره شمالی	۲۲۸	۱۱۶	سومالی	۱۰
۲۸	سريلانکا	۴۳۶	۵۸	پتین	۹۲	۸۷	برزیل	۲۱۷	۱۱۷	بروندی	۷
۲۹	چین	۴۲۹	۵۹	زیمبابوه	۹۲	۸۸	هندوراس	۲۰۸	۱۱۸	رواندا	۴

Sourcc: <http://www.tehran.cement.com/amarjahan.htm>

رشد مصرف سرانه سیمان در هر کشوری نشان از رشد اقتصادی و رفاهی آن کشور دارد. مصرف سیمان در بخش ساخت و ساز مسکن نشان از ارتقای سطح رفاه اجتماعی آن کشور و مصرف آن در پروژه های عمرانی و بخش تولید نشان از رشد اقتصادی آن کشور در میان مدت و بلند مدت دارد. اما نکته مهم این است که رشد سریع مصرف سیمان در کشور علاوه بر دو عامل فوق الذکر ناشی از الگوی نادرست مصرف این محصول در ایران است. این امر ناشی از پایین بودن قیمت سیمان نسبت به دیگر مصالح ساختمانی به خصوص فولاد است که موجب جایگزینی سیمان به جای این مصالح شده است. در واقع بخشی از رشد مصرف سرانه سیمان در ایران ناشی از الگوی غلط مصرف آن است که باید از دوعامل فوق الذکر تمیز داده شوند؛ چرا که جزو نقاط ضعف در مصرف این محصول است.

۴-۳- وضعیت تولید، توزیع و مصرف سیمان

صنعت سیمان و محصول آن به عنوان یک مقوله استراتژیک و بسیار مهم در روند توسعه هر جامعه، از جایگاه ویژه ای برخوردار است.

۴-۳-۱- ظرفیت های تولید سیمان در ایران

در حال حاضر ایران از نظر تولید سیمان پس از کشورهای چین، هند، آمریکا، ژاپن، کره جنوبی، اسپانیا، ایتالیا، روسیه، برزیل و ترکیه در رتبه یازدهم است و در صورت به بهره برداری رسیدن طرح های سیمان گشایش اعتبار شده، به ظرفیت ۴۹ میلیون تن، پیش بینی می شود با تولید بیش از ۸۰ میلیون تن سیمان در رده چهارم جهان و پیش از ژاپن قرار گیرد.

نگاهی به روند تولید سیمان طی ۴۴ سال (۱۳۴۲ تا ۱۳۸۵) نشان می دهد که تولید این محصول استراتژیک در صنعت ساخت و ساز از ۷۵۹ هزارتن به ۳۴ میلیون تن رسیده که افزایش ۴۴/۵ برابری را نشان می دهد. پیش بینی می شود ظرفیت تولید سیمان در کشور تا سال ۲۰۱۱ به مرز ۸۴ میلیون تن خواهد رسید.

۴-۳-۲- تخمین مصرف سیمان در ایران

مصرف سیمان در سال ۲۰۰۵ حدود ۳۴ میلیون تن بوده است. بادر نظر گرفتن طرح های توسعه جدید در کشور و با توجه به مصرف سیمان در بازار داخلی در سال های آینده (در صورتی که الگوی رشد طی سال های آینده به همین منوال افزایش یابد) تخمین زده می شود که میزان مصرف در سال ۲۰۱۱ به حداقل ۶۰ میلیون تن برسد.

در نتیجه با توجه به بررسی های انجام شده تخمین زده می شود در سال ۲۰۱۱ حدود ۲۴ میلیون تن سیمان مازاد بر تقاضای داخلی تولید شود. بنابراین صنعت سیمان پس از تأمین نیاز داخلی، در سالیان آتی به سوی صادرات گام برمی دارد.

۴-۳-۳- محیط زیست و صنعت سیمان

سیمان یکی از مهم ترین بخش های تولیدکننده گاز دی اکسیدکربن می باشد که اثرات زیست محیطی مهمی را بر اکوسیستم دارد. ازسوی دیگر مصرف انرژی در صنعت سیمان به دلیل انرژی بر بودن این صنعت و از طرف دیگر حمل و نقل سیمان در شرایط فعلی که بزرگ ترین قلم کالا در حمل و نقل کشور می باشد، سهم بخش سیمان را در آلودگی محیط زیست مهم کرده است. مصرف انرژی و انواع سوخت های فسیلی نظیر زغال

سنگ، نفت، گاز طبیعی باعث افزایش شدید گازهای دی اکسیدکربن (CO_2) در جو شده است. کافی است بدانیم در تولید سیمان به ازای هر تن تولید کلینکر حدود یک تن گاز دی اکسیدکربن در هوا منتشر می شود. نظر به این که صنایع سیمان کشور حدود ۸۱٪ از انرژی خود را از سوخت فسیلی تأمین می کنند و با توجه به آمار تخمینی تولید سیمان تا سال ۲۰۱۱، اثر گازهای گل خانه ای بخش تولید سیمان و نیز حمل و نقل آن در ایران، سهم قابل توجهی در ایجاد آسیب های زیست محیطی خواهند داشت. بنابراین تولید هر تن سیمان در کشور، غیر از صرف هزینه های مالی، آسیب زیست محیطی را نیز همراه خواهد داشت و نتیجه آن که مصرف سیمان به شیوه صحیح باعث جلوگیری از به هدر رفتن سرمایه ملی بوده و باید فرهنگ استفاده صحیح سیمان در جامعه رواج یابد.

۴-۴- مصارف سیمان

سیمان در ساختمان های مسکونی در دو بخش سازه ای و غیر سازه ای به مصرف می رسد. مصارف سازه ای سیمان عبارتند از: مصرف در پی سازی، سقف سازی، عناصر باربر تیر یا ستون در ساختمان های اسکلت بتنی یا دیوارهای باربر و... مصارف غیر سازه ای سیمان عبارتند از: مصرف در فرش کف، نماسازی، دیوارکشی دور ساختمان و دیوارهای غیر باربر و...

بنابر مطالعات انجام شده مصرف سیمان در ساختمان ها به شرح زیر می باشد:

جدول ۴۹- میزان مصرف سیمان در انواع ساختمان ها

سیمان (کیلوگرم بر مترمربع)	نوع ساختمان
۹۸	ساختمان های آجری با سقف طاق ضربی
۱۵۰	ساختمان های بتن آرمه تاپنج طبقه
۱۲۵	ساختمان های فولادی تا پنج طبقه

۴-۴-۱- سهم بخش های مختلف در توزیع سیمان

مطابق بخش نامه وزارت بازرگانی، سهمیه توزیع سیمان در بخش های مختلف در سال های ۸۴ و ۸۵ و ۸۶ به شرح جداول زیر می باشد:

جدول ۵۰- سهمیه تخصیص یافته از سوی وزارت بازرگانی سال ۱۳۸۴

ترکیب به توزیع	نام بخش
۵۹ درصد	مصرف مردمی
۲۵ درصد	بخش دولتی
۱۰ درصد	صنایع سیمان بر
۶ درصد	صادرات

جدول ۵۱- سهمیه تخصیص یافته از سوی وزارت بازرگانی سال ۱۳۸۵

نام بخش	ترکیب به توزیع
مردمی	۶۰ درصد
طرح های عمرانی	۲۵ درصد
صنایع سیمان بر	۱۵ درصد

جدول ۵۲- سهمیه تخصیص یافته از سوی وزارت بازرگانی سال ۱۳۸۶

نام بخش	ترکیب به توزیع
مردمی وانبوه سازان	۵۰ درصد
عمرانی و ملی	۳۰ درصد
صنایع سیمان بر و متفرقه	۲۰ درصد

نظر به این که سیمان تولیدی در سال های ۱۳۸۴ و ۱۳۸۵ مقدار ۳۴ میلیون تن در سال بوده است ، با استفاده از جداول بالا سهمیه قسمت مردمی به صورت زیر محاسبه می شود :

$$\text{میلیون تن} \quad ۳۴ \times ۰/۵۹ = ۲۰/۰۶$$

$$\text{میلیون تن} \quad ۳۴ \times ۰/۶ = ۲۰/۴$$

بنابرمحاسبات انجام شده مطابق با آمار ارائه شده از سوی بانک مرکزی و شهرداری تهران، سیمان مصرفی در سال ۱۳۸۴ و ۱۳۸۵ به ترتیب به میزان ۱۲ میلیون تن و ۱۳/۲ میلیون تن محاسبه شده است .

همان طور که ملاحظه می شود اختلاف سیمان تخصیص داده شده به سهمیه مردمی و سیمان مصرفی در سال های ۱۳۸۴ و ۱۳۸۵ به ترتیب $(۱۲ = ۷/۲۶ - ۲۰/۰۶)$ و $(۲۰/۴ - ۱۳/۲ = ۶/۴)$ میلیون تن می باشد . علاوه بر این همان طور که می دانیم در حال حاضر تعداد ۳۶ کارخانه تولید بتن آماده استاندارد و تعدادی کارخانه های تولید بتن که دارای مجوز نیستند، در شهرستان تهران در حال تولید می باشند که حدود ۸۰٪ از سهمیه اختصاص یافته در قسمت صنایع سیمان بر، به این گروه صنعتی تحویل داده می شود . نظر به اینکه در حال حاضر تا حدودی فرهنگ استفاده از بتن آماده در برخی از شهرها به خصوص تهران رواج یافته است، لذا قسمتی از سیمان مصرفی در ساخت و ساز شهری از این منبع تغذیه می شود . این سهمیه در سال ۱۳۸۴ و ۱۳۸۵ به ترتیب میلیون تن $۳۴ \times ۱۰ \times ۸۰/۱۰۰ = ۲۷۲$ ، میلیون تن $۳۴ \times ۱۵ \times ۸۰/۱۰۰ = ۴۰۸$ بوده است ، که در واقع قسمتی از ۱۲ و ۱۳/۲ میلیون تن سیمان مصرفی در ساخت و ساز شهری در سالهای ۱۳۸۴ و ۱۳۸۵، از این طریق تأمین شده است .

بنابر توضیحات و محاسبات انجام شده، تفاوت زیادی (میانگین ۸/۶ میلیون تن) بین سیمان توزیع شده و سیمان مصرف شده در قسمت مردمی در این سالها وجود دارد . از آنجایی که سیمان از جمله مصالحی است که در اثر نگهداری در شرایط نامساعد مانند وجود رطوبت، سریعاً فاسد می شود و برای انبار نمودن آن نیازمند شرایط

خاصی می باشیم که در کشور موجود نمی باشد، لذا در حال حاضر سیما نهایی تولیدی پس از مدت کوتاهی (قبل از فاسد شدن) مورد مصرف قرار می گیرد. بنابراین این اختلاف بین سیمان تولیدی و سیمان مصرفی را در انبارها نمی توان یافت.

همان طور که می دانیم تعداد ۳۶ کارخانه بتن آماده فعال در استان تهران با ظرفیت ۵/۳ میلیون متر مکعب در سال وجود دارد که دارای گواهی نامه استاندارد می باشند هم چنین ۸ کارخانه بتن آماده دیگر هم اکنون در حال اخذ مجوز از وزارت صنایع می باشند. در حال حاضر سیمان اختصاص داده شده به کارخانه های بتن آماده معادل ۳۰٪ ظرفیت اسمی این کارخانه ها می باشد.

عدم تأمین سیمان مورد نیاز کارخانه های بتن آماده دارای استاندارد که نتیجه آن کمبود تولید بتن آماده مورد نیاز در ساخت و ساز شهری می باشد، عامل شکل گیری تعدادی کارگاه غیر مجاز و فاقد گواهی نامه استاندارد می باشند. این کارگاه ها برای رقابت با کارخانه های بتن آماده که دارای سهمیه سیمان می باشند، مجبور به عرضه بتن با کیفیت پایین تر و عیار پایین تر سیمان می باشند. نظر به اینکه تولیدات غیر مجاز از نظر کیفی کنترل نمی شوند از یک طرف باعث به هدر رفتن سرمایه های ملی شده و از طرف دیگر ساخت سازه هایی با ضریب امنیت پایین باعث می شوند که در آینده بر اثر بروز حوادث طبیعی، عواقب جبران ناپذیر مالی و جانی به بار آید. ضمناً این گروه برای تأمین سیمان مورد نیاز، مشتریان خوبی برای بازار آزاد خواهند بود. با نظر به رواج فرهنگ استفاده از بتن آماده استاندارد که باعث استحکام و زیاده‌دزدی عمر مفید ساختمان می شود مصرف این محصول افزایش یافته و سهمیه سیمان اختصاص یافته به این صنعت جوابگوی میزان تولید بتن آماده نمی باشد. بنابراین این گروه نیز مجبور می شوند قسمتی از سیمان مورد نیاز خود را از بازار آزاد تهیه کنند.

۴-۴-۲- کیفیت بتن های دستی مصرفی در سازه

به طور طبیعی بتن های تولید شده در مواردی از کیفیت لازم برخوردار نیستند و بنابراین به دلیل نامرغوب بودن کیفیت بتن ها، عمر مفید ساختمان ها در ایران به کمتر از نصف استاندارد رسیده است. این درحالی است که در صورتی که یک بنا با بتن استاندارد ساخته شود، نیاز به تعمیرات، مرمت و بازسازی آن به حداقل خواهد رسید. با افزایش کیفیت سیمان ۱۰ تا ۲۰ درصد از میزان مصرف سیمان در بتن کاسته می شود که این میزان رقمی حدود ۵ میلیون تن است.

ناآگاهی از خواص بتن، سبب ضایع شدن این محصول می شود که غیر اتلاف منابع، به دلیل کاهش مقاومت ساختمان ها، امنیت و سلامت مردم را نیز تهدید می کند.

از آن جایی که یکی از اهداف اصلی صنعت در ساختمان سازی، ساخت سازه های مقاوم در برابر زلزله و نیز ساختمان هایی با عمر مفید بیشتر است، برای رسیدن به اهداف فوق مهم ترین ابزارها، نحوه صحیح استفاده و کاربرد درست مصالح ساختمانی، نظارت بر اجرا و کنترل استانداردهای ساختمان سازی است تا علاوه بر ایجاد سازه های امن، از به هدر رفتن سرمایه های ملی جلوگیری شود. از آن جایی که تولید هر تن سیمان، باعث افزایش میزان قابل توجهی گازهای آلاینده در جو می شود که محیط زیست را در معرض خطر قرار داده و نیز مقدار قابل توجهی از منابع نفتی و... صرف تولید این محصول می شود، کاربرد صحیح آن در صنعت ساختمان سازی از جایگاه ویژه ای برخوردار است.

متأسفانه در حال حاضر ساختمان سازی در کشور صنعتی نیست. از یک طرف عدم وجود کارگران ماهر و متخصص که آموزش های لازم مربوط به این رشته را فرا گرفته باشند و از طرف دیگر عدم نظارت کامل و دقیق بر چگونگی کاربرد مصالح و استفاده و ساخت فرآورده های ساختمانی همانند ساخت بتن به صورت دستی،

از عوامل به هدر رفتن سرمایه های عظیم ملی و نیز ساخت سازه هایی با ضریب امنیت و کیفیت پایین است . در همین راستا فرهنگ سازی برای به کارگیری فرآورده های ساختمانی استاندارد و نیز گام برداشتن در جهت صنعتی شدن ساختمان ها می تواند چاره ساز باشد .

۴-۵- نتیجه گیری

همانگونه که در جدول ۴۳ ارائه شد، تولید کلینکر در سال ۱۳۸۶ حدود ۳۸,۰۴ میلیون تن بوده که با استفاده از افزودنی ها در آسیاب سیمان حدود ۴۰,۵ میلیون تن سیمان تحویل داده شده است . براساس تعاریف موجود از سیمان های مخلوط در بخش های قبل و با استفاده از استاندارد ملی ایران و استاندارد اروپا EN ۱۹۷ می توانیم، بین ۶ الی ۵۰ درصد انواع افزودنی ها (روبره، میکروسیلیس، پوزولان، خاکستر بادی، رس و شیل پخته شده، سنگ آهک و گچ) بر مبنای استفاده سیمان در موقعیت جغرافیایی و اقلیمی خاص در آسیاب سیمان به کلینکر بیافزاییم .

با توجه به اینکه اکثر سیمان های مورد استفاده مردمی در فعالیت های بنایی مانند دیوار کشی، کاشی کاری، موزائیک کاری و ... می باشد و نیازی به سیمان های مقاومت بالا در این نوع فعالیت ها وجود ندارد، پس می توان در تولید سیمان برای کاهش انرژی مصرفی و حفظ محیط زیست بر اساس موقعیت جغرافیایی انواع سیمان های مخلوط را تولید کرد .

اگر بر اساس مصارف سیمان در بخش های مختلف، حدود ۳۰ درصد از سیمان های تولیدی را از انواع سیمان بنایی با ۵۰ درصد افزودنی و ۴۰ درصد انواع سیمان مخلوط با میانگین افزودنی ۱۵ درصد و ۳۰ درصد انواع سیمان پرتلند با ۳ درصد افزودنی (گچ) تولید نماییم، با کلینکر تولیدی در سال ۱۳۸۶ بدون تحمیل هزینه اولیه و همچنین حصول کاهش مصرف انرژی و در ادامه آن کاهش هزینه های جاری و تنوع بخشیدن به محصول می توان حدود ۴۶,۳۸ میلیون تن سیمان تولید کرده و عرضه نماییم . ولیکن با همین میزان کلینکر در سال ۱۳۸۶ بخاطر تولید نمودن سیمان های مخلوط در سطح وسیع حدود ۴۰,۵ میلیون تن سیمان تولید شده است .

در استاندارد اروپا EN ۱۹۷-۱ سیمانهای تولیدی در ۲۷ نوع طبقه بندی شده است و تنها یک نوع از آن با نام CEMI اشاره به سیمان پرتلند داشته و مابقی آن را سیمان های مخلوط که حاوی مقادیر مختلف افزودنی می باشند را تشکیل می دهد . بر همین مبنا پیشنهاد می گردد کارخانجات سیمان برای ارائه محصولات متنوع و کاهش مصرف انرژی با انجام مطالعات و تحقیقات جامع به سمت تولید سیمان های مخلوط پیش بروند .

مراجع و مأخذ (فارسی)

- ۱- ابوالفضل حسنی- بررسی و مقایسه فنی و اقتصادی رویه های بتنی و آسفالتی-۱۳۸۳- تربیت مدرس .
- ۲- احمد گلبهاری - اکتشاف ذخایر پوزولانی در مناطق آتشفشانی محدوده اطراف کارخانه سیمان آبیک- ۱۳۷۷، شرکت تحقیق و توسعه صنعت سیمان .
- ۳- استاندارد ملی ایران شماره ۳۴۳۲ ، سال ۱۳۸۰، ویژگی های سیمان پرتلند پوزولانی - ویژگی ها
- ۴- استاندارد ملی ایران شماره ۳۵۱۶ ، سال ۱۳۷۳، ویژگی های سیمان بنائی
- ۵- استاندارد ملی ایران شماره ۳۵۱۷ ، سال ۱۳۷۳، ویژگی های سیمان های سرباره ای
- ۶- استاندارد ملی ایران شماره ۳۸۹ ، سال ۱۳۷۸، ویژگی های سیمان پرتلند
- ۷- استاندارد ملی ایران شماره ۴۲۲۰ ، سال ۱۳۷۶، ویژگی های سیمان پرتلند آهکی
- ۸- استاندارد ملی ایران، سال ۱۳۷۱، سیمانهای چاه نفت - ویژگی ها و روشهای آزمون
- ۹- امیرمحمدمطباطبایی- روسازی راه و فرودگاه- دانشکده فنی دانشگاه تهران- صفحات ۸-۱۳۴-۱، ۱۲۱ .
- ۱۰- انتشارات کارخانه سیمان هانور آلمان (Hannoversche portland cementlagif) - تثبیت خاک (مقاوم سازی خاک) Bodenverfestigues از صفحات ۲۰-۱ .
- ۱۱- انتشارات مرکز تحقیقات سیمان آلمان Zement Teschenbuch-VDZ-۱۹۸۴ ص ۲۹ .
- ۱۲- F.Keil - Zementuk - صفحات ۲۸-۲۶.
- ۱۳- بیژن بیدآباد- مجید اسماعیل نژاد - مجموعه مقالات سمینار اقتصاد سیمان ایرانی - ارتباط بازدهی سرمایه گذاری و قیمت سیمان
- ۱۴- پروژه ارزیابی معدن مارل مجتمع صنعتی سیمان آبیک- شرکت تحقیق و توسعه صنعت سیمان
- ۱۵- پروژه بررسی امکان تولید سیمان راهسازی-۱۳۸۴- شرکت تحقیق و توسعه صنعت سیمان
- ۱۶- پروژه طرح تولید سیمان پرتلند میکروسلیس- شرکت تحقیق و توسعه صنعت سیمان .
- ۱۷- پروژه طرح تولید سیمان حفاری کلاس G در کارخانه سیمان درود-۱۳۸۰- شرکت تحقیق و توسعه صنعت سیمان .
- ۱۸- پروژه طرح تولید سیمان هیدروفوب - شرکت تحقیق و توسعه صنعت سیمان.
- ۱۹- حسن تابش- سمینار آموزشی مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن- سیمان های خاص: رنگی PKZ و آمیخته ویژه
- ۲۰- دفتر صنایع معدنی (وزارت صنایع و معادن)
- ۲۱- روح الله محمدی- علیرضا شرفی- قیمت گذاری بهینه در صنعت سیمان کشور
- ۲۲- سیاوش کباری - مصالح شناسی - صفحات ۵۵-۵۴ و ۹۹-۹۷.
- ۲۳- عباس فرزین - پایان نامه کارشناسی ارشد دانشگاه صنعتی امیرکبیر (۱۳۷۵)
- ۲۴- عبدالرضا ایرج منصوری، اکبر دانایی، "سیمان با مقاومت اولیه بالا"، سمینار بین المللی سیمان، تهران، دانشگاه علم و صنعت ایران، ۱۳۷۵.
- ۲۵- عزیزیان - شیمی و فیزیک سیمان برای مهندسين راه و ساختمان - صفحات ۱۹۰-۱۸۷ .
- ۲۶- علی اکبر رمضانپور، نقش مواد افزودنی در توسعه تکنولوژی بتن، ۱۳۶۸، دانشگاه امیر کبیر
- ۲۷- علی اله وردی ، مهشاد یزدانی پور- سیمان های ژئوپلیمری - دانشگاه علم و صنعت

- ۲۸- علی جهانگیری - پوزولانها و سیمان های پوزولانی - ۱۳۷۲
- ۲۹- کوهل Kuehl - شیمی سیمان ۱. Zementchessui جلد اول - صفحه ۹۶.
- ۳۰- کوهل Kuehl - شیمی سیمان ۳. Zementchessui جلد سوم - صفحات ۴۵۹ و ۵۵۸.
- ۳۱- گزارشات مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن (۱۳۸۵)
- ۳۲- ماهنامه سیمان - ۱۳۸۴ - شماره ۱۰۰ - مقاله سیمان های رقیب پرتلند.
- ۳۳- ماهنامه سیمان - ۱۳۸۴ - شماره ۱۰۲ - مقاله سیمان های انبساطی و کاربردهای آن.
- ۳۴- مجله پیک سیمان - مقاله سیمان آلنیتی - سیمان آبیگ .
- ۳۵- مجله پیک سیمان ، ۱۳۸۱، شماره های ۴۳، ۴۴، ۴۵ - مقاله سیمان با مقاومت زیاد- سیمان آبیگ.
- ۳۶- مجله پیک سیمان- ۱۳۷۶ - شماره ۲۳ صفحات ۸-۴ - مقاله روسازی بابتن کوبیده- سیمان آبیگ.
- ۳۷- مجله پیک سیمان - ویژه نامه سمینار سیمان از تولید تا مصرف - ۱۳۸۴ - مقاله معرفی ویژگی ها و خواص کاربردی سیمان های پرتلند سنگ آهک- سیمان آبیگ.
- ۳۸- مجله مهندسی شیمی ایران- سال سوم و چهارم- شماره های ۱۵، ۱۴ - مقاله سیمان های زودگیر با مقاومت اولیه بالا.
- ۳۹- محسن تدین - ضرورت ها و راهکارهای تولید و مصرف سیمان بنایی - دانشگاه علم و صنعت.
- ۴۰- محمدرضا عزیزیان - سیمان های پوزولانی و آلومینی - ۱۳۷۱
- ۴۱- هرمز فامیلی - بتن شناسی (خواص بتن) - صفحات ۱۰۳-۱۰۲ و ۱۲۵-۱۲۴.

مراجع و مأخذ (لاتین)

42. W. Kurdowski, F. Sorrentino, "Special Cements " , J. Wily & Sons, New York (1987).
43. C.B. Srinivasn, N.Lakshmi Narasimhan, S.V.Ilango, " Development of Rapid-Set High-Strength Cement Using Statistical Experimental Design", Cem. & Concr. Res. 3(2003)1287-1292.
44. Jardine et al. US Patent 6641661 (2003).
45. H. Uchikawa , K. Tsukiyama, " The hydration of Jet cement at 20°C", Cem. & Concr. Res.
46. Costa et al. US Patent 6602343 (2003).
47. Costa, US Patent 5891239 (1999).
48. R. G. Jager, G. Esser, D. Knofel, 'Development of compressive strength and porosity of some regulated set cements (RSCs) Both made from rotary kiln – and laboratory oven clinker – hydrated at 20 °C and 5 °C , Cem. & Concr. Res. 23 (1993) 700-710.

49. Kunbargi H., US Patent 4957556(1990).
50. Kunbargi H., US Patent 611364 (2002).
51. Galer et al. US Patent 4286991 (1981).
52. Galer et al. US Patent 4350533 (1982).
53. Chervenka, et al. US Patent 3997353(1976).
54. Shiel et al. US Patent 4066469(1978).
55. S. L. Sarkar, J. Wheeler, " Important properties of an ultrafine cement- Part I ", Cem. & Concr. Res. 31 (2000) 119-123.
56. L. Sarkar, J. Wheeler, " Microstructural development in an ultrafine cement-Part II ", Cem. & Concr. Res. 31 (2001) 125-128.
57. C.B. Srinivasn, N.Lakshmi Narasimhan, S.V.Ilango," Development of rapid-set high-strength cement using statistical experimental design", Cem. & Concr. Res. 33(2003)1287-1292.
58. Costa, US Patent 5891239 (1999).
59. W. Kurdowski, F. Sorrentino, "Special cement " , J. Wily & Sons, New York (1987).
60. Kunbargi ,US Patent 4957556 (1990)
61. Chervenka et al. , USPatent 3997353 (1976).
62. S. L. Sarkar, J. Wheeler, " Important properties of an ultrafine cement- Part I ", Cem. & Concr. Res. 31 (2000) 119-123.
63. L. Sarkar, J. Wheeler, " Microstructural development in an ultrafine cement-Part II " , Cem. & Concr. Res. 31 (2001) 125-128.
64. H. Uchikawa , K. Tsukiyama," The hydration of Jet cement at 20°C", Cem. & Concr. Res. 3(1973)263-277.

65. Adam Neville, "High Alumina cement concrete", 1975, John Wiley & Sons, New York.

66. A.J.Majumdar, B.Singh, "Properties of some High-Alumina cements", *Cem. & Concr. Res.* 22(1992)1101-1114.

67. H.G.Midgley, J.F.Ryder, "The relationship between mineral composition and strength development of high alumina cement", *Cem. & Concr. Res.* 7(1977)669-672.

68. Allahverdi A. "Acid corrosion of hydrated inorganic binders", PhD Thesis, Institute of chemical technology, Prague, Czech Republic, 2002.

69. J.G.S. Van Jaarsvelo, J.S.J. Van deventer, L. Lorenzen, "The potential use of geopolymeric materials to immobilize toxic metals: part I; Theory and application", *minerals engineering* vol. 10, No. 7, pp. 659-669, 1997.

70. Davidovits, US Patent 5539140 (1996).

71. A. Palomo, A. Macias, M.T. Blanco, F. Puertas, "Physical, chemical and mechanical characterization of geo polymers", A.K. Mullik (Ed.), 9th International Congress on the Chemistry of Cement, vol. 5, NCB, New Delhi, (1992)505-511.

72. Allahverdi A. , Skvara F. "Nitric acid attack on hardened paste of geopolymeric cements, Part I, *Ceramics-Silikaty*, 45 (3), 81-88, 2001.

73. J. Pera, J. Ambroise, "Fiber-reinforced magnesia-phosphate cement composites for rapid repair", *Cem. & Concr. Res.* 20(1998)31-39.

74. D. A.Holl, R. Stevens," Effect of water content on the structure and mechanical properties of magnesia-phosphate cement mortar", *J. Am. Ceram. Soc.* 81[6] 1550-56 (1998).

75. E. Soudée, J. Péra," Mechanism of setting reaction in magnesia-phosphate cements", *Cem. & Concr. Res.* 30 (2000) 315-321.

76. A.K.Sarkar," phosphate cement-based fast-setting binders", *Ceram Bull* 69(1990)234-238.

77. ang,X.Wu,"Factors influencing properties of phosphate cement-based binder

for rapid repair of concrete”, Cem. & Concr. Res. 29(1999)389-396.

78. Yang, B. Zhu, S. Zhang, X. Wu ,” Properties and applications of magnesia-phosphate cement mortar for rapid repair of concrete”, Cem. & Concr. Res. 30 (2000) 1807-1813.

79. ASTM C595- 92a , Standard specification for blended hydraulic cements.

80. E.E.Hekal,M.Abd-El-Khalek,G.M.El-Shafey,F.S.Hashem,Ain Shams University,Cairo/Egypt*- Mechanical and physico-chemical properties of hardened portland cement pastes containing hydrophobic admixtures – part 1:ZKG international 52(1999) No.12.pp.697-700. And part 2:ZKG international 53(2000) No.12.pp.152-158.

81.Odler,I(2000) special inorganic cement,New York,E&FN SPON

82.Quillin , k.(2001) performance of belite-sulfoaluminate cements , Cement & Concrete Research , 31,1341-1349

83.Pera ,j,and Ambroise ,j (2004) new applications of calcium sulfaoaluminates cements , Cement & Concrete Research , 34,671-676

84.Andac , M., and Glasser , F.P.(1999) , pore solution composition of calcium sulfoaluminate cement Advances In Cement Research,11,15-26