



پوزولان و عملکرد آن



عباس عبدالملکی - سرپرست شیفت شرکت سیمان هگمتان

پوزولانی که در صنایع سیمان و به عنوان یک افزودنی به کلینکر سیمان مطرح است عبارت است از یک ماده طبیعی یا مصنوعی که شامل سیلیس یا سیلیس و آلومینای یخته شده می باشد. چنانچه این سیلیس و آلومینای یخته شده در هنگام سرد شدن نسجاً و سریع سرد شده باشند فرصت کریستالیزه شدن (بلوری شدن) را نیافته باشند و به شکل غیر کریستالی و غیر بلوری و در حقیقت بدون شکل (آمورف) و دارای فاز شیشه ای باشند پتانسیلی در آن ها ذخیره می باشند که این پتانسیل می تواند بواسطه محرکی مثلند پروکسید کلسیم فعال شود و تشکیل فازی را دهد که دارای خاصیت چسبندگی و سماتی (هیدرولیکی) است در این تحقیق که جمع آوری اطلاعات پوزولان است سعی شده که عملکرد پوزولان و تست های مربوط به آن است تشریح شود. کلمات کلیدی: سیمان - پوزولان - فاز شیمان - کیفیت

مقدمه

پوزولان یک ماده افزودنی به کلینکر سیمان است که اگر نوع مرغوب آن تحت کنترل دقیق و نمونه برداری های صحیح و مکرر و آزمایش های مداوم به کلینکر مرغوب و با کیفیت بالا افزوده شود در افزایش کیفیت سیمان و بتن حاصل از آن بسیار مؤثر است و خواصی را در بتن ایجاد می کند که بتن حاصل از سیمان بدون افزودنی فاقد آن خواص خواهد بود.

در گزارشات مستند و مطالعات دقیق علمی این نکته محرز شده که یک پوزولان خوب می تواند علاوه بر افزایش مقاومت شیمیایی بتن، عیوبی را که در اثر مصرف سیمان معمولی در بتن رخ می دهد مرتفع گرداند و با توجه به تنوع آب و خاک در مناطق مختلف استفاده از این نوع سیمان در برخی مناطق یک ضرورت اجتناب ناپذیر است، اما متأسفانه به دلیل استفاده از پوزولان های

نامرغوب یا کلینکرهای فاقد کیفیت لازم جهت تولید سیمان پوزولانی و افزایش بدون برنامه و کنترل های دقیق پوزولان به کلینکر سیمان و در نتیجه تولید سیمان های پوزولانی فاقد کیفیت لازم توسط برخی تولیدکنندگان، عموماً این تصور وجود دارد که افزودن پوزولان به سیمان تنها به عنوان راهحلی جهت افزایش تولید سیمان و نیز کاهش هزینه های تولید و انرژی می باشند. در این راستا تولیدکننده منتفع و مصرف کننده متضرر خواهد بود. نوشتار زیر اختصاراً به تعریف، خصوصیات و ویژگی ها، روش های تست و مزایای استفاده از این ماده می پردازد.

افزایش روز افزون جمعیت و نیاز به قضاها، مسکونی، اداری، ورزشی، آموزشی و... امری عادی و اجتناب ناپذیر می باشد. در این راستا ساخت و سازها، عملیات ساختمانی که به صورت ساخت اولیه، مرمت، بازسازی موقت

دوده سیلیسی و غیره بدست می‌آید.

جهت ارزیابی درجه فعالیت و واکنش‌زایی مواد پوزولانی با سیمان، آئین نامه ASTM C-618-78 سنجش ضریب فعالیت پوزولانی را توصیه می‌نماید که این ضریب از تعیین مقاومت مخلوط‌ها با جایگزین نمودن مقدار معینی از سیمان با مواد پوزولانی به دست می‌آید.

مقایسه مقاومت

روند توسعه مقاومت سیمان پرتلند پوزولانی به درجه فعال بودن پوزولان و نسبت سیمان پرتلند در مخلوط بستگی دارد. در سیمان پرتلند پوزولانی هیدراسیون به کندی انجام و حرارت هیدراسیون کمتر دارد و برای بتن‌های حجیم مناسب است. مقاومت اولیه بتن حاوی سیمانی که بخشی از آن با مواد پوزولانی جایگزین شده باشد، کمتر از مقاومت مربوطه بتن حاوی سیمان خالص است و نیاز به یک عمل‌آوری و مراقبت نسبتاً طولانی دارد ولی مقاومت نهائی آن تقریباً با مقاومت سیمان پرتلند خالص یکسان و بلکه قدری بیشتر است.

مشخصات و خواص سیمان پرتلند پوزولانی

آئین نامه ASTM C595-79 سیمان پرتلند پوزولانی را به عنوان نوع IP برای کاربردهای عمومی ساختمان‌های بتنی و نوع P را برای مصرف در مواردی که مقاومت اولیه زیاد مواد نیاز نباشد مانند پایه‌های پل، سدها و شالوده‌های تکی توصیف نموده است. چگالی سیمان پرتلند عموماً حدود ۲/۱۵ است و چگالی سیمان‌های پرتلند پوزولانی حدود ۲/۹ می‌باشد. چگالی سیمان که با روش ASTM C188 تعیین می‌شود، نشانگر کیفیت سیمان نیست و عمدتاً در محاسبات مربوط به تعیین نسبت اجزای مخلوط بتن به کار می‌آیند.

سیمان پرتلند پوزولانی معمولی در حال حاضر با کیفیتی مطلوب و خواص مناسب با مشخصات برتر از شاخص‌های مطرح در استاندارد ملی ایران به شماره ۲۴۲۲ به صورت انبوه در کارخانه‌های سیمان کشور تولید می‌شود. این نوع سیمان حاوی حداکثر ۱۵ درصد پوزولان طبیعی بوده و از خواص ویژه و کاربردی متنوعی برخوردار می‌باشد.

از خواص ویژه آن به موارد ذیل اشاره می‌شود.

- در طی زمان وجود پوزولان باعث جذب $Ca(OH)_2$ آزاد شده از فازهای سیمان شده و افزایش پوکی و تخلخل تدریجی بتن می‌کاهد؛

نیازسنجی کامل بناها انجام می‌گیرد نیازمند علم و دانش فنی، مصالح استاندارد، اکیپ اجرایی ماهر و تخصص، آگاهی و شناخت بروز افراد شاغل در بخش ساختمان است. با توجه به این که بتن، مصالح مناسبی برای امر ساخت و ساز بوده و اهمیت بسیار بالایی دارد. شرایط تولید، مواد اولیه، مواد ثانویه و مواد مضاف بتن و مهمتر از همه سیمان و جایگزین‌های مناسب برای آن در تولید بتن باید مورد مطالعه کاملاً علمی، فنی و مهندسی قرار گیرد، تا هم از نظر بهبود مشخصات بتن و افزایش مقاومت آن پیشرفت‌هایی حاصل شود، هم از نظر اقتصادی در هزینه‌ها صرفه جویی شود یکی از بهترین راهکارهای موجود، یافتن جایگزین‌های مناسب برای سیمان مصرفی در بتن است و در این زمینه استفاده از منابع و مصالح طبیعی با حفظ محیط زیست و منابع ارزشمند کشور ایده بسیار کارآمد و پربهری می‌باشد.

چنانچه تولید سیمان با شرایط فوق گامی در جهت پیشرفت جامعه به حساب می‌آید، استفاده و بکارگیری آگاهانه و بجا از آن توسط مهندسين و افراد شاغل در بخش ساخت و ساز کشور نتایج مطلوب‌تری به دست می‌آورد.

سیمان پرتلند - مواد پوزولانی - بتن - مقاومت و دوام

سیمان پرتلند پوزولانی و ارزیابی واکنش‌زایی

سیمان پرتلند پوزولانی معمولی، مخلوطی است از حداقل ۵ و حداکثر ۱۵ درصد پوزولان طبیعی و دست کم ۸۵ درصد کلینکر یا سیمان پرتلند با نرمی مشخص که در مجاورت آب به صورت جسم چسبنده‌ای در کارهای ساختمانی مصرف می‌شود. این سیمان با نماد (پ پ) نشان داده می‌شود.

پوزولان یک ماده طبیعی یا مصنوعی حاوی سیلیس فعال یا سیلیس آلومیناتی است که به تنهایی ارزش چسبندگی ندارد، ولی به صورت پودر شده و در حضور رطوبت و در دمای معمولی با هیدراکسید کلسیم واکنش شیمیائی حاصل کرده و ترکیباتی را که خواص چسبندگی دارد، به وجود می‌آورد. ماده پوزولانی باید به صورت آسیاب شده باشد تا در حضور آب با آهک، سیلیکات‌های کلسیم پایدار با خواص چسبندگی ایجاد کند.

مواد پوزولانی از خاکستر آتشفشانی غیربلورین - پوزولانی اصلی - پودرسنگ، سنگ‌های رسی و چرت‌های اوپالینی، خاک دیاتومه‌ای کلسینه شده، خاک رس پخته شده، خاکستر بادی و

مقایسه مشخصات شیمیایی سیمان پرتلند پوزولانی استاندارد های ملی ایران
 ▼ ASTM و

مقدار در استاندارد آمریکا	مقدار در استاندارد ملی ایران ۲۴۳۲ (درصد)	مقدار در استاندارد آمریکا	مقدار در استاندارد ملی ایران ۲۴۳۲ (درصد)
پارامتر	ASTM C595-79	پارامتر	مقدار در استاندارد ملی ایران ۲۴۳۲ (درصد)
MgO	حداکثر ۵	MgO	حداکثر ۵
SO3	حداکثر ۴	SO3	حداکثر ۴
افت حرارتی	حداکثر ۵	افت حرارتی	حداکثر ۵
یون کلر	حداکثر ۰/۱	یون کلر	حداکثر ۰/۱

مقایسه مشخصات فیزیکی سیمان پرتلند پوزولانی استاندارد های ملی ایران
 ▼ ASTM و

مقدار در استاندارد آمریکا ASTM C595-79	مقدار در استاندارد ملی ایران ۲۴۳۲	پارامتر	مقدار در استاندارد ملی ایران ۲۴۳۲
---	۳۰۰۰	سطح مخصوص	---
حداکثر ۰/۸	حداکثر ۰/۵	انسداد انوکلاو (%)	حداکثر ۰/۵
حداقل ۴۵	حداقل ۶۰	زمان گیرش اولیه (دقیقه)	حداقل ۶۰
حداکثر ۴۲۰	حداکثر ۴۲۰	زمان گیرش نهایی (دقیقه)	حداکثر ۴۲۰
حداقل ۱۲۵	حداقل ۱۰۰	مقاومت فشاری ۳ روزه	حداقل ۱۰۰
حداقل ۱۹۳	حداقل ۱۷۵	مقاومت فشاری ۷ روزه	حداقل ۱۷۵
حداقل ۲۲۱	حداقل ۳۰۰	مقاومت فشاری ۲۸ روزه	حداقل ۳۰۰
حداکثر ۷۰	حداکثر ۷۰	حرارت هیدراتاسیون در سن ۷ روزه	حداکثر ۷۰
حداکثر ۸۰	حداکثر ۸۰	حرارت هیدراتاسیون در سن ۲۸ روزه	حداکثر ۸۰
	۵-۱۵	مقدار پوزولان (درصد)	۵-۱۵

این نوع سیمان ها ضد سولفات اصلاح شده هستند؛
 • یکن نوع سیمان ها آب بیشتر در خود نگه داشته و آب انداختگی کمتری از خود نشان می دهند؛

• مصرف این سیمان در هوای گرم و مرطوب، مطلوب می باشد؛
 • در بتن ریزی در شرایط آب و هوای سرد به خاطر ویژگی حرارت هیدراتاسیون کمتر، باید بتن تازه در برابر یخ زدن محافظت شود تا نتیجه ایده آل حاصل شود و قالب برداری زودتر انجام گیرد؛

• دوام و پایداری بتن ساخته شده با سیمان پوزولانی در برابر محیط های خورنده و آب های شور نسبت به سیمان های معمولی بیشتر است؛

• میزان حرارت هیدراتاسیون این نوع سیمان نسبت به سیمان های معمولی پایین تر بوده و در بتن ریزی های نسبتاً حجیم کاربرد دارند؛

• در مواقعی که شن و ماسه مصرفی استعداد واکنش خطرناک

قلیایی - سیلیکاتی داشته باشند تا حد زیادی از تشکیل این واکنش خطرناک بین سنگانه و قلیایی های سیمان جلوگیری می کنند؛

• به خاطر ویژگی حرارت هیدراتاسیون پایین و ماهیت پوزولان این نوع سیمان دیرگیر بوده و باید مدت بیشتری بعد از بتن ریزی نگه داری شود تا نتیجه ایده آل حاصل شود؛
 • در مواقعی که برای ساخت قطعات پیش ساخته مانند موزائیک و بلوک استفاده می شود باید به علت دیرگیر بودن این سیمان مدت نگه داری آن طولانی تر باشد؛

• در عملیات بتن ریزی در دمای کمتر از شش درجه سانتیگراد باید از مواد افزودنی مناسب استفاده شوند؛

سیمان پرتلند پوزولانی ویژه

سیمان پرتلند پوزولانی ویژه طبق استاندارد ملی ایران به شماره ۲۴۳۲ دارای ۱۵ تا ۴۰ درصد مواد پوزولانی می باشد. کاربرد این مقدار پوزولان خواص بسیار مطلوبی به این سیمان می دهد که کاربردهای ویژه ای را برای آن ایجاد می نماید. این سیمان با نماد " پیچ " نشان داده می شود این سیمان دارای کاربرد گسترده به سبب خواص برتر ذیل می باشد:

۱. دوام و پایداری بتن حاصل در محیط های با خوردندگی زیاد حاوی غلظت بالای کرب و سولفات بسیار مطلوب می باشد.
 ۲. به سبب حرارت هیدراتاسیون اولیه کم دارای کاربرد گسترده ای در بتن ریزی های حجیم می باشد.

۳. Ca(OH)₂ سبب جذب نسبتاً کامل حاصل از هیدراتاسیون و حذف نسبتاً کامل تخلخل بتن می شود.

۴. قابلیت مصرف بسیار گسترده در مواردی دارد که شن و ماسه مستعد ایجاد واکنش سیلیکاتی - قلیایی دارند و انجام این واکنش ها را به شدت محدود می کند.

۵. این نوع سیمان ها قابلیت مصرف بالایی در محیط های بسیار گرم و مرطوب دارند و نیاز به ختک سازی و کاهش درجه حرارت بتن و صرف هزینه زیاد در این مورد برای بتن های ساخته شده از این سیمان ها وجود ندارد.

• با توجه به ماهیت پوزولان و حرارت هیدراتاسیون کم در مورد کاربرد این سیمان ها در هوای سرد و مصارف معمولی باید زمان بیشتری را برای نگه داری بتن صرف نمود.

ویژگی ها و کنترل های لازم و تست های ارزیابی پوزولان ها:

یک پوزولان مناسب باید بیش از ۲۵ درصد سیلیس فعال

▼ مشخصات شیمیایی سیمان پرتلند پوزولانی ویژه

مشخصه شیمیایی الزامی	معیار استاندارد ملی به شماره ۳۴۳۲ برای سیمان پوزولانی ویژه (درصد)
MgO	
SO3	
افت حرارتی	
یون کلر	حداکثر ۶
حداکثر ۴	
حداکثر ۵	
حداکثر ۰/۱	
مشخصه فیزیکی الزامی	معیار استاندارد ملی به شماره ۳۴۳۲ برای سیمان پوزولانی ویژه
سطح مخصوص	۳۲۰۰
انبساط اتوکلاو (%)	حداکثر ۰/۵
زمان گیرش اولیه (دقیقه)	حداقل ۴۵
زمان گیرش نهایی (دقیقه)	حداکثر ۴۲۰
مقاومت فشاری ۳ روزه	—
مقاومت فشاری ۷ روزه	حداقل ۱۵۰
مقاومت فشاری ۲۸ روزه	حداقل ۲۷۵
مقدار پوزولان (%)	۱۶-۴۰
حرارت هیدراتاسیون در سن ۳ روزه	—
حرارت هیدراتاسیون در سن ۷ روزه	۶۰
حرارت هیدراتاسیون در سن ۲۸ روزه	۷۰

واکنش دادن با CaO سنجیده می‌شود که در آن نمونه پودر شده پوزولان داخل محلول اشباع آب آهک ریخته می‌شود و طی مدت آزمایش (معمولاً دو روز) به‌طور مداوم هم زده می‌شود. سپس میزان آهکی که جذب نمونه پوزولان شده اندازه‌گیری می‌شود. یک پوزولان قابل قبول باید به ازاء هر گرم نمونه پوزولان حداقل ۲۰ میلی‌گرم اکسید کلسیم (CaO) جذب نماید.

اندازه‌گیری باقیمانده نامحلول (پس از حل کردن در اسید و قلیا)

در این روش به‌طور غیرمستقیم فعالیت پوزولان معین می‌شود، باقیمانده نامحلول نشانگر جزء غیر فعال (فازهای بلوری و کریستالیزه شده سیلیس و آلومینا) پوزولان است که حداکثر مقدار قابل قبول آن چهل درصد وزنی می‌باشد.

اندازه‌گیری اندیس هیدرولیک

در این روش فعالیت مکانیکی پوزولان تست می‌شود که در آن مقاومت ۲۸ روزه سیمانپوزولانی با مقاومت ۲۸ روزه همان نمونه سیمان که بجای پوزولان به همان میزانپوزولان

داشته باشد و نسبت فاز آمورف و غیر بلوری آن به فاز بلوری و کریستالیزه شده آن بیشتر باشد. در واقع همانطور که قبلاً اشاره شد، پودر مواد سیلیسی و آلومینای غیر بلوری موجود در پوزولان است که با نیدروکسید کلسیم ناشی از آگیری سیمان خاصیت هیدرولیکی ایجاد می‌کند. پودر فازهای کریستالیزه شده و بلوری مانند دانه‌های شن و ماسه عمل می‌کنند و خاصیت هیدرولیکی نداشته و خنثی یا بعضاً مزاحم می‌باشند. علاوه بر خصوصیت پوزولان مناسب از دیدگاه کانی‌شناسی و کریستالوگرافی، پوزولان مناسب باید در محدوده تعیین شده زیر نظر ترکیب‌شیمیایی قرار گیرد.

بر اساس استاندارد ASTM C618-78، حداقل مقدار اکسیدهای سیلیس، آلومینیم و آهن پوزولان باید ۷۰ درصد باشد. حداقل تری‌اکسید گوگرد (SO3) آن ۵ درصد و حداکثر پورت آن در اثر سرخ شدن ۱۲ درصد و حداکثر مقدار قلیایی آن باید بر حسب اکسید سدیم (Na₂O) ۵/۱ درصد باشد.

مقررات ASTM هم‌چنین تأکید بر تهیه یک نمونه ۴ کیلوگرمی از هر چهار صد تن پوزولان مصرفی دارد که از این نمونه آزمایش‌های لازم به عمل آید. زیرا همانطور که گفته شد چگونگی سرد شدن توده‌های مذاب آتشفشانی در کیفیت کانه‌آرایی پوزولان نقش دارد. این خاصیت پوزولانی بستنیار مؤثر بوده و لازم است توده‌های پوزولانی به‌صورت فراگیر مورد نمونه‌برداری‌ها و آزمایش‌های دقیق قرار گیرند. زیرا نمونه‌برداری‌های سطحی و موردیتوده‌های پوزولانی و آزمایش آنها چه بسا گمراه‌کننده خواهد بود. در واقع کنترل یکنواختی پوزولان مصرفی ضروری‌ترین ابزار لازم برای تولید سیمان پوزولانی است که در صورت مهیا نبودن این ابزار (به‌علت عواقب بدی زیان‌باری که تولید سیمان پوزولانی بدون این ابزار متوجه مصرف‌کننده و اعتبار تولیدکننده خواهد کرد) صلاح بر تولید نکردن سیمان پوزولانی است.

شاید به همین دلیل است که با وجود آن که مصرف پوزولان کاهش هزینه‌های تولید را برای تولیدکننده در بر دارد و نیز از نظر خواصی که در بتن حاصله ایجاد می‌نماید برای مصرف‌کننده خالی از صرفه نیست، برخی کارخانه‌ها از تولید آن صرف نظر کرده‌اند.

تست‌های ارزیابی پوزولان

اندازه‌گیری میزان جذب CaO توسط پوزولان

این آزمایش یک روش شیمیایی برای اندازه‌گیری فعالیت پوزولان محسوب می‌شود که در آن توانایی پوزولان برای

برای یک پوزولان قابل قبول جهت افزوده شدن به کلینکر سیمان حداقل اندیس پوزولان باید ۷۵ درصد باشد.

یک پوزولان مناسب باید در آزمایش‌های اندیس هیدرولیک، جذب CaO و باقیمانده نامحلول جواب قابل قبول بدهد تا محور افزایش به کلینکر سیمان را داشته باشد خصوصاً اندیس هیدرولیک که نشان می‌دهد آیا این افزودنی به سیمان خاصیت چسبندگی و هیدرولیک، دارد یا خیر؟ به هر حال وقتی به کلینکر مرغوب سیمان حدود ۵ درصد افزودنی، افزوده می‌شود حتی اگر خاک باشد بعد از ۲۸ روز مقاومتی را خواهد داد. ولی این تست نشان می‌دهد که این افزودنی نسبت به یک ماده کاملاً خنثی که هیچ‌گونه خاصیت هیدرولیکی در ملات سیمان ایجاد نمی‌کند چقدر خاصیت هیدرولیکی و چسبندگی دارد. اندازه‌گیری اندیس پوزولان به هیچ‌وجه نمی‌تواند به عنوان یک شاخص برای افزودن یک نوع افزودنی به سیمان ملاک عمل قرار بگیرد و چه بسا که یک پوزولان کاملاً نامرغوب در این تست جواب قابل قبول بدهد (با توجه به بالا بودن کیفیت کلینکر).

خواص مطلوبی که یک پوزولان خوب به سیمان و بتن حاصله می‌دهد الف. کاهش حرارت حاصل از هیدراتاسیون سیمان که در بتن ریزی‌های حجیم از بروز تنش‌های حرارتی در داخل بتن و تضعیف آن می‌کاهد چون سبب می‌شود که گیرش و افزایش مقاومت به کندی اتفاق افتد و لذا افزایش دما نیز کمتر صورت می‌گیرد.

ب. نفوذپذیری کمتر بتن‌های ساخته شده با سیمان پوزولانی که موجب مقاومت بیشتر در مقابل حملات شیمیایی خصوصاً املاح سولفات بوده و نیز دوام بتن را در مقابل یخبندان‌های مکرر حفظ می‌نماید؛

پ. کاهش انبساط قطیعی، پوزولان‌ها به سرعت با اکسید پتاسیم و اکسید سدیم موجود در سیمان و شن و ماسه وارد عمل شده و آن‌ها را از محیط اکسیدهای سیلیسیم دور می‌کنند و لذا انبساط ناشی از حضور قطیعی‌ها اتفاق نمی‌افتد. ت. همانطور که می‌دانیم فاز سسه کلسیم آلومینات در سیمان پس از گیرش سیمان در صورت موجود بودن سولفات‌های سدیم و منیزیم در آب یا خاک مجاور بتن با آن وارد واکنش می‌شود که باعث تحزیه و کاهش مقاومت و نهایتاً تخریب بتن می‌شود. به همین دلیل در جاهایی که احتمال حمله سولفات‌ها وجود دارد سیمان‌های تیبی دو و تیبی پنج بکار برده می‌شوند که مقدار فاز سسه کلسیم آلومینات در این سیمان‌ها به ترتیب

یک افزودنی کاملاً غیرفعال مثل کوارتز و نیز مقاومت ۲۸ روزه همان سیمان بدون هیچ‌گونه افزودنی سنجیده می‌شود. اندیس هیدرولیک صفر نشان‌دهنده این است که افزودنی به سیمان هیچ‌گونه خاصیت هیدرولیکی ندارد و اندیس هیدرولیکی صفر درصد نشان‌دهنده این است که ماده افزودنی از نظر خاصیت هیدرولیکی مثل سیمان عمل می‌کند و با سیمان یکسان است. یک پوزولان قابل قبول و مجاز برای افزوده شدن به کلینکر سیمان باید حداقل اندیس هیدرولیکی ۲۵ درصد را داشته باشد. اندیس هیدرولیک از راه زیر قابل محاسبه است:

$$Cp = \frac{C - Cq}{(C - Cq) \times 100} \times HI$$

که در آن:

HI: اندیس هیدرولیک؛

Cp: مقاومت فشاری ۲۸ روزه ملات ISO مخلوط ۳۰ درصد

افزودنی (پوزولان) و ۷۰ درصد سیمان پرتلند شاهد؛

Cq: مقاومت فشاری ۲۸ روزه ملات ISO مخلوط ۳۰ درصد

افزودنی خنثی (کوارتز) و ۷۰ درصد سیمان پرتلند شاهد؛

C: مقاومت فشاری ۲۸ روزه ملات ISO سیمان پرتلند شاهد (خالص)؛

اندیس هیدرولیک در زمان‌های دیگر مثلاً سه روزه، هفت روزه نیز با استفاده از مقادیرهای یکسان در همان زمان از رابطه فوق قابل محاسبه است.

اندازه‌گیری اندیس پوزولانی

در این روش نیز فعالیت مکانیکی پوزولان تست می‌شود و در آن یک نمونه شاهد از اختلاط ۵۰ گرم سیمان خالص و ۱۳۷۵ گرم ماسه استاندارد و ۲۴۲ میلی‌لیتر آب مطابق دستورالعمل‌های استاندارد ساخته و قالبگیری می‌شود. سپس نمونه مورد آزمایش نیز از اختلاط ۳۰۰ گرم سیمان خالص و ۱۰۰ گرم پوزولان و ۱۳۷۵ ماسه استاندارد با مقدار معین آب طبق دستورالعمل‌های استاندارد ساخته و قالبگیری می‌شود و مقاومت ۲۸ روزه این قالب‌ها اندازه گرفته می‌شود. سپس از رابطه زیر اندیس پوزولانی قابل محاسبه می‌باشد.

$$Cp = \frac{C - Cq}{C - Cq} \times 100$$

که در آن:

pi: اندیس پوزولانی؛

Cp: مقاومت فشاری ۲۸ روزه سیمان پوزولانی (نمونه)

مورد آزمایش)؛

C: مقاومت فشاری ۲۸ روزه سیمان خالص (نمونه شاهد).

مزامر رانداشته باشد) مترادف با این است که بتن با عیار سیمان پائین‌تر ساخته می‌شود. اگر پوزولان علاوه بر نامرغوب بودن و نداشتن مواد نکر شده، مواد و عناصر مزامر نیز داشته باشد که ضرری بسیار بیشتر از پائین بودن عیار سیمانی بتن خواهد داشت.

نتیجه گیری

چه کلینکری بالاترین پتانسیل را برای مصرف پوزولان دارد؟

اغلب این تصور وجود دارد که پوزولان برای از بین بردن آهک آزاد خوب است که این تصویر صحیح است ولی تولید کلینکر با آهک آزاد بالا هدر دادن انرژی، زمان، مواد معدنی و نیز سهل‌انگاری در انجام وظیفه سیمان‌سازی محسوب می‌شود. برای رسیدن به حداکثر درجه فعالیت پوزولانی در ملات سیمان نیاز به آهک هیدراته بیشتر و حرارت بیشتر می‌باشد که هر دوی این موارد از سه کلسیم سیلیکات و دو کلسیم سیلیکات خصوصاً سه کلسیم سیلیکات تأمین می‌شود. هر چه سه کلسیم سیلیکات در کلینکر بالاتر باشد هیدرات کلسیم بیشتری در ملات آزاد می‌شود و حرارت بیشتر نیز حاصل می‌آید و پوزولان‌ها با آهک‌های هیدراته (تیدروکسید کلسیم) ناشی از هیدراتاسیون C3S، C2S، در شرایط دمایی مناسب تولید سیلیکات‌های کلسیم هیدراته می‌کنند که عامل استحکام و سختی است. باید توجه داشت سیلیکات کلسیم هیدراته‌ای که از ارتباط بین پوزولان و آهک هیدراته ناشی از آهک آزاد اولیه سیمان بدست می‌آید بسیار ناچیز است. در سیمان پوزولانی مرغوب سیلیکات‌های کلسیم هیدراته مربوط به واکنش پوزولان با آهک هیدراته ناشی از C3S و C2S حرارت زیادی ایجاد می‌کند و یک واکنش گرمازا است. پس سیمان باید حاوی C3S بیشتر باشد نه آهک آزاد، یعنی باید کاملاً پخته باشد و اشیاع کامل سیلیکات‌ها و آهک در کوره و طی پروسه پخت انجام شده باشد. کیفیت سیمان‌های پوزولانی ارتباط مستقیم با کیفیت کلینکر آن‌ها دارد و به‌ویژه هر چه مقدار C3S بیشتر باشد کیفیت سیمان پوزولانی حاصل بالاتر خواهد بود. پس نتیجتاً برای تولید سیمان پوزولانی، کلینکر و پوزولان مرغوب مورد نیاز است و باید از افزودن مواد پوزولانی که مناسب و مرغوب به کلینکر فاقد کیفیت لازم و نیز افزودن مواد پوزولانی که نامرغوب به کلینکر مرغوب اجتناب شود.

منابع

هند بوک سیمان و اینترنت

کمتر از هشت درصد و پنج درصد می‌باشد؛

با بکار بردن سیمان پوزولانی خطر حمله سولفات‌ها نیز تا حدود زیادی کاهش می‌یابد یعنی وقتی در سیمان ۲۰ درصد پوزولان خوب داریم مثل این است که بدون این که خاصیت هیدرولیکی و چسبندگی سیمان را کاهش دهیم به مقدار ۳۰ درصد از فاز سه کلسیم آلومینات بکاهیم. دیگر این که تیدروکسید کلسیم که در اثر آگیری سیمان حاصل می‌شود و باعث تضعیف بتن می‌شود. در سیمان پوزولانی به‌علت موجود بودن سیلیس فعال این هیدروکسید کلسیم تولید شده جذب سیلیس می‌شود و با آن واکنش داده و ضمن ایجاد خاصیت سیمان و هیدرولیکی نقش تخریبی هیدریک کلسیم را از بین می‌برد. بنابراین سیمان پوزولانی مرغوب، بتن را در مقابل تخریب و خوردگی سولفات‌ها و قلیایی‌ها محافظت می‌کند؛

ث. افزایش تولید کارخانه‌های سیمان، کاهش قیمت تمام شده، صرفه‌جویی در مصرف انرژی و در حقیقت افزایش کمیت بدون کاهش و تحت الشعاع قرار دادن کیفیت و بلکه افزایش آن. با توجه به این که هر نوع سیمان برای منظور خاصی تهیه می‌شود، کاربرد انواع سیمان به معنی رشد مقاومت یکسان با هر نوع سیمان نیست. مثلاً در موردی که مشکل خاص آلودگی قلیایی در محلی که برای بتن‌ریزی در نظر گرفته شده، دارد، نمی‌توان انتظار داشت که هم مشکل ترکیدگی بتن به‌علت حضور قلیایی‌ها حل شود و هم رشد مقاومت بتن ساخته شده با سیمان تیب یک باشد بلکه ابتدا با استفاده از یک سیمان خاص مشکل موردنظر حل می‌شود. ولی این اطمینان وجود دارد تمام انواع سیمان‌ها پس از گذشتن نود روزه مقاومت یکسانی می‌رسند.

به هر حال چنانچه ماده افزودنی به سیمان (پوزولان) فاقد شرایط و مشخصات گفته شده باشد ذرات آن وارد واکنش با سیمان نمی‌شود و به‌صورت آزاد در ملات باقی خواهد ماند. این ذرات به‌علت این که خاصیت جاذب رطوبت دارند رطوبت محیط را در حالت آزاد جذب می‌نمایند و رطوبت این ذرات به تدریج با میلگرد موجود در بتن، اکسید آهن را تشکیل می‌دهد که با ایجاد لایه نازک در اثر افزایش حجم اکسید آهن اطراف میلگرد از سیمان خالی می‌ماند. در این صورت سیمان خاصیت مهم حفاظت و پوشش دور میلگرد را از دست خواهد داد و سازه در عمرهای بالا به شدت آسیب‌پذیر خواهد بود. ضمن این که مقاومت چنین سیمانی نیز پائین خواهد بود زیرا افزایش پوزولان نامرغوب به سیمان و ساختن بتن از آن (اگر آنچه به‌عنوان پوزولان به سیمان می‌افزاییم مواد و عناصر