

# پوزولان، ویژگیها و مشخصات فنی<sup>۱</sup>

سعید محمودی<sup>۲</sup> شرکت سیمان آبیک

## مقدمه:

ساخت بتن با کیفیت مطلوب علاوه بر رعایت نسبتهای اختلاط و انتخاب مصالح مناسب مستلزم شناخت سیمان که اصلی‌ترین ماده در ترکیب آن بوده، می‌باشد. سیمان خود نیز از عوامل متعددی تشکیل میشود که موضوع مورد بحث در این گفتار نمی‌باشد.

تغییرات زیادی بر روی کیفیت سیمان از طریق ساختار فازی و کاربرد افزودنیها شده است. این تغییرات موجب شده است تا امروزه در دنیا استفاده از سیمانهای تیپ (نوع یک تا پنج) به تدریج جای خود را به سیمانهای آمیخته بدهند. این جایگزینی به دو دلیل اصلی کاهش بار مخرب زیست محیطی (به ازای تولید یک تن سیمان) و همچنین بهبود خواص کیفی بتن می‌باشد، گو اینکه در تولید برخی از سیمانهای آمیخته سود جزئی نصیب کارخانجات سیمان تولید کننده این نوع محصولات می‌شود.

محور بحث در این نوشتار سیمانهای پوزولانی است که یکی از سیمانهای آمیخته هیدرولیکی می‌باشد. سیمانهای پوزولانی در استانداردهای مختلف تعاریف متفاوتی دارد اما وجوه مشترک همه آنها خواص و ویژگیهایی است که سبب بهبود خواص کیفی بتن (حاوی مواد پوزولانی) می‌گردد.

## پوزولان چیست؟

طبق استانداردهای ملی ایران به شماره ۳۴۳۲ و ۳۴۳۳ پوزولانها مواد سیلیسی یا سیلیس آلومین داری هستند که به خودی خود خاصیت چسبانندگی ندارند و یا کمی دارند ولی پودر نرم شده آن در مجاورت رطوبت و دمای معمولی با هیدروکسید کلسیم واکنش شیمیایی داده و ترکیب با خواص سیمانی به وجود می‌آورد.

## طبقه‌بندی پوزولانها:

بسته به میزان فعالیت هیدرولیکی مواد افزودنی به دو دسته زیر تقسیم می‌شوند:

الف) پوزولانهای طبیعی که شامل توف‌های شیشه‌ای، توف‌های زئولیتی، برخی از فلدسپاتوئیدها، خاکهای دیاتومه‌دار، برخی از شیلها، چرت‌های اپالینی، خاکسترهای آتشفشان، پومیس (پوک‌های معدنی) می‌باشند.

<sup>۱</sup> این مقاله در ماهنامه سیمان شماره ۱۱۷، تیر ماه ۸۶ به چاپ رسیده و در همایش سیمانهای پوزولانی (۱۳۸۵) دانشگاه علم و صنعت ارائه گردیده است

<sup>۲</sup> 09124627279

ب) مواد افزودنی مصنوعی شامل پوک‌های صنعتی، برخی از شیلها و خاک رس‌های پخته شده، خاکستر برنج و ... می باشند.

### منشاء پوزولانهای طبیعی:

منشاء پوزولانها انفجارات آتشفشانی است. پوزولانها حاصل خروج شدید مواد مذاب (ماگمای مذاب) از دهانه کوههای آتشفشانی می‌باشند که در دامنه این کوهها و نیز مجراهای بین کوهها جریان یافته و در مجاورت هوا قرار می‌گیرند. شدت فوران باعث تشکیل ذرات بسیار ریزی میشود که با سرد شدن سریع، ایجاد فازهای شیشه‌ای می‌نمایند. مواد ولکانی غیر انفجاری را نمی‌توان پوزولان نامید زیرا به ندرت خاصیت واکنش‌پذیری با آهک را از خود نشان می‌دهند ولی خاکسترهای آتشفشانی (نه به اندازه پوزولانها) می‌توانند با آهک وارد واکنش شوند. علت تفاوت فعالیت پوزولانی خاکسترهای آتشفشانی با پوزولان این است که خاکسترها پس از فوران به آهستگی سرد می‌شوند و به همین خاطر شیشه‌ای بودن آنها و نیز تخلخل سطحشان از پوزولان که از عوامل فعالیت هستند کمتر است.

### تشکیل دهنده‌های مهم پوزولانهای طبیعی:

براساس تجارب و یافته‌های کاربردی می‌توان اظهار نمود که هیچ پوزولان طبیعی وجود ندارد که صد در صد آن دارای کیفیت مطلوب باشد. لذا همواره بخشی از پوزولانها را ترکیبات بی‌اثر یا حتی مضر تشکیل می‌دهد. از این رو در این بخش اجزایی از پوزولانها تشریح می‌شوند که دارای خاصیت واکنش دهی با آهک یا محصولات حاصل از هیدراتاسیون فازهای اصلی سیمان (آلیت و ...) می‌باشند. زیرا در کنار کانی‌های مهم پوزولانی، کانی‌های دیگری نظیر کوارتز، کالسدونی، کانیهای رسی، فلدسپاتها، و میکاها و ... یافت می‌شوند که تاثیر چندانی بر فعالیت پوزولان نداشته یا تاثیر کمی دارند که قابل اغماض می‌باشد.

با عنایت به توضیحات فوق‌الذکر تشکیل دهنده‌های مهم پوزولانهای طبیعی عبارتند از :

- سیلیسهای بی‌شکل آتشفشان (یا آمرف) به نام شیشه
- شیشه‌های اپالی
- کانیهای زئولیتی (آنالیسم و ...)
- برخی از کانیهای دگرگون شده
- برخی از فلدسپاتوئیدها
- حالت ترکیبی از مواد فوق

مکانیسم ترکیب پوزولانها با آهک:

وقتی سیمان پرتلند بتدریج سخت می‌گردد فازهای موجود در سیمان بخصوص آلیت و بلیت بتدریج هیدراته شده و هیدروکسید کلسیم (آهک آبدار) آزاد می‌شود. هیدروکسید کلسیم آزاد شده بخاطر حلالیت زیاد، شسته شده و سبب تخلخل و عبارتی فرسودگی بتن می‌گردد.

ذرات بسیار ریز و نرم شیشه‌های آمرف پوزولانها، در صورت اختلاط اولیه با بتن هنگام تشکیل ملات و در جریان هیدراتاسیون فازهای سیمان، قادرند آهک آبدار آزاد شده و نیز آهک آزاد اولیه موجود در ملات را جذب کنند و تولید سیلیکات کلسیم آبدار نمایند. این ترکیب همان است که در سیمان پرتلند هم قسمتی از کار استحکام و مقاومت پذیری را بعهده دارد و دارای خاصیت سیمان و چسبانندگی است.

### عوامل مؤثر بر فعالیت پوزولانها:

همانطور که کلینکر خود به تنهایی خاصیت چسبانندگی نداشته و لازم است تا پودر شده و پودر حاصله واکنشهای هیدراتاسیون را موجب شود، پوزولانها نیز بصورت قطعه‌ای هیچ خاصیت و فعالیت پوزولانی ندارند. مهمترین عامل در فعالیت پوزولانها علاوه بر مواد ذکر شده در قبل نرمی آن می‌باشد.

بطور کلی می‌توان گفت فعالیت پوزولانها به عوامل ذیل بستگی دارد:

- ترکیب شیمیایی و مینرالوژی
- مورفولوژی (درجه دگرسانی و تغییر کانی‌ها و ...)
- نسبت فاز شیشه‌ای به فاز کریستال ( سیلیس آمرف به سیلیس بلوری)
- درجه نرمی و قابلیت نرم شدن

### مراحل مختلف دستیابی به ماده پوزولانی:

در انجام فعالیت های معدنی و دستیابی به ماده معدنی مورد نیاز رعایت اصول پی‌جویی، اکتشاف مقدماتی، اکتشاف تفضیلی - تکمیلی کاملاً ضروری است. از آنجائیکه پوزولانهای طبیعی نیز ماده معدنی محسوب می‌شوند لذا انجام اصول ذکر شده نیز توصیه می‌شود.

از اینرو برای دستیابی به ماده پوزولانی با برنامه ریزی عملیات پی‌جویی زیر نظر متخصصین مربوطه آغاز و سایر مراحل نظیر تهیه نقشه‌های مورد نیاز و بررسی آنها در دستور کار قرار می‌گیرد.

بصورت خلاصه مراحل مختلف دستیابی به ماده پوزولانی به شرح ذیل می‌باشد:

۱- بررسی نقشه‌های زمین شناسی منطقه و نقشه توپوگرافی و راههای دسترسی

۲- تعیین مناطق مستعد پوزولانی (آتشفشانی)

۳- انجام عملیات صحرایی

۴- نمونه برداری به روشهای مختلف (تکه‌ای، شیاری) بسته به نوع و ماهیت پوزولان (پوزولانهای سنگی و متراکم، پوزولانهای ترک دار یا شبه پودری)

۵- بررسی‌های ماکروسکوپی (مشاهدات عینی، چشم غیر مسلح)

۶- انجام مطالعات و آزمایشات تکمیلی

استفاده از نقشه‌ها و کارشناسان زمین شناسی، معدن یا متخصص مواد سیمانی مجرب، به منظور انتخاب ذخایر مناسب در شعاع اقتصادی واحدهای در حال تولید سیمان و یا طرحها و پروژه‌های جدید قبل از همه مورد توجه قرار می‌گیرد. در این مرحله انتخاب محدوده پوزولانی با رعایت اصول و دانش زمین شناسی انجام می‌شود و تشخیص نوع سنگ و میزان ذخیره اولیه (تخمین) توسط آنها صورت می‌پذیرد. پیشنهاد می‌شود از انتخاب سنگهای سخت و سنگین و همچنین سنگهای خیلی متخلخل و سبک پرهیز شود.

حد متعارف وزن مخصوص سنگهای پوزولانی مورد استفاده در سیمان حدود  $2.5-2 \text{ gt/cm}^3$  می‌باشد.

شعاع اقتصادی نیز تا ۱۰۰ کیلومتر در نظر گرفته می‌شود. در این مرحله همچنین عملیات نمونه برداری از منطقه مورد نظر با رعایت اصول علمی و تجربی از سطح و عمق انجام می‌شود و در ظرفهای جداگانه قرار داده می‌شود. وزن هر کدام از نمونه‌ها نبایستی از ۵ کیلوگرم کمتر باشد.

در بررسی‌های ماکروسکوپی نمونه‌های اولیه که دارای رنگهای کرم، سبز روشن، صورتی و ... می‌باشد انتخاب شده و بر اساس وزن مخصوص ظاهری و سنجش سختی تفکیک شده و سپس با استفاده از روشهای مختلف شستشو با آب، اسیدشویی یا اسید زدن بخشها و قسمتهای متفاوت نمونه‌های انتخابی مورد ارزیابی و کیفیت سنجی مقدماتی قرار می‌گیرد.

روشهای تعیین فعالیت پوزولانی:

در این روشها عمدتاً فعالیت در بررسی‌های آزمایشگاهی نمونه‌ها مورد نظر قرار می‌گیرد، به این صورت که پس از ارسال نمونه‌های انتخابی از منابع ذخیره به محل آزمایشگاههای معتبر، آنها را تا قطر حداکثر ۱۰ میلی‌متر خرد می‌کنند و در ظرف سر بسته در جای خشک قرار می‌دهند.

علت خردایش، انتخاب نمونه آزمایشگاهی صحیح و معرف (برابر اصول نمونه برداری متوسط) می‌باشد که بعداً مورد

بررسی قرار می‌گیرد. در این مرحله می‌بایست موارد زیر مشخص گردد:

۱- تعیین مقدار سیلیس آمرف یا بلوری و تعیین مقدار اکسیدسیلیس با استفاده از روشهای شیمیایی، مینرالوژی ( میکروسکوپی و XRD ) بطور همزمان. در صورتیکه مقدار اکسید سیلیس در نمونه از ۵۰ درصد بیشتر باشد و بیش از ۷۰ درصد آن را سیلیس غیربلوری (آمرف) تشکیل دهد آزمایشات ادامه می‌یابد.

۲- تعیین میزان فعالیت پوزولانی همزمان با آنالیز شیمیایی با استفاده از روشهای معین و استاندارد مشخص و برای این منظور از مخلوط سنگهای پوزولانی با آهک و یا سیمان استفاده می‌شود و از روی میزان جذب آهک هیدراته توسط ترکیب پوزولانیک در ملات (آهک، پوزولان، آب) یا (سیمان، ماسه، پوزولان، آب) فعالیت پوزولانی بررسی می‌شود و منحنی آن بر حسب زمان ترسیم می‌شود و آنکه دارای بیشترین مقدار جذب آهک (فعالیت) به نسبت بقیه باشد انتخاب و آزمایشات در مورد آن ادامه می‌یابد.

آنالیز شیمیایی همزمان با تعیین فعالیت پوزولانی و هر دو پس از تعیین مقدار سیلیس آمرف (آزمایش مینرالوژی) انجام می‌گیرد و هدف از انجام آن غیر از تامین منظور فوق، شناخت عناصر تشکیل دهنده و بررسی تاثیر این عناصر در مقاومت‌های مکانیکی و شیمیایی سیمان پوزولانی می‌باشد. در آنالیز شیمیایی سنگ خالص پوزولان اندازه گیری اکسیدهای شیمیایی سیلیس، آلومینیوم، آهن، کلسیم، منیزیم، قلیایی‌ها و پرت حرارتی کافی می‌باشد.

از روی آنالیز شیمیایی- مقدار سیلیس شیشه‌ای و سایر کانیهای فعال دارای خاصیت پوزولانی و فعالیت پوزولانی می‌توان نمونه‌های دارای قابلیت پوزولانی را تا حد زیادی تخمین زد و انتخاب نمود و به بررسی فیزیکی- مکانیکی آن پرداخت. در تمامی مراحل فوق رعایت یکی از استانداردهای مشخص الزامی است و ترجیحاً روشهای کار باید مشابه باشد.

۳- پس از انجام آزمایشات شیمیایی فوق و انتخاب نمونه مناسب که مراحل بالا را گذرانده باشد باید اقدام به ساخت نمونه‌های آزمایشگاهی سیمان پوزولانی (مخلوط پوزولان و سیمان پرتلند) نمود. به این ترتیب که درصدهای مختلف سنگ پوزولانی را با سیمان پرتلند مخلوط می‌کنند.

در تمامی این مخلوط از یک نمونه سیمان استفاده می‌شود و سنگ پوزولان قبل از اختلاط باید تا حد نرمی سیمان نرم شود و سپس با سیمان مخلوط شود. محل مخلوط کردن هم باید در آسیاهای مخصوص هموژناسیون انجام شود. (در صورتیکه وزن مخصوص پوزولان نرم شده با سیمان تفاوت زیادی داشته باشد عمل اختلاط درست انجام نمی‌شود).

روی هر کدام از سیمانهای مخلوط (پوزولانی) بشرحی که ذکر شد آزمایش شیمیایی انجام می‌شود و سپس اقدام به انجام آزمایشات فیزیکی به شرح ذیل روی آنها می‌شود:

- تعیین انبساط سیمان و ملات سیمانی با استفاده از دستگاه اتوکلاو (تحت فشار بخار، دمای زیاد)
- تعیین نرمی سیمان با استفاده از دستگاه بلین
- تعیین زمانهای گیرش ابتدایی و انتهایی با استفاده از دستگاههای مربوطه (سوزن و سیکات)

- تعیین مقدار آب جهت تهیه ملات (تعیین غلظت نرمال و درصد آب)
- تعیین مقاومت‌های فشاری، کششی یا خمشی یا هر دوی آنها روی ملات سیمان یا بتن آزمایشگاهی ساخته شده با مصالح و نسبت اختلاط مشخص

لازم به توضیح است که در بررسی پوزولانها و سیمانهای پوزولانی بهتر است مقاومت‌های فشاری و کششی مورد نظر قرار گیرد.

- تعیین مقاومت شیمیایی ملات یا بتن پوزولانی در مقابل حمله سولفاتها
- این آزمایش همزمان با آزمایشات فیزیکی انجام می‌شود با این تفاوت که یک یا چند قالب ساخته شده بجای آب در محیطی شامل یون سولفات (حدود ۲٪ مولکول گرم در لیتر اسید سولفوریک) قرار می‌گیرد و در زمانهای مشابه بقیه قالبها مورد آزمایش فیزیکی قرار می‌گیرد و مقادیر مقاومت فشاری و کششی آن با بقیه قالبها مقایسه می‌شود. در انجام آزمایشات فیزیکی - مکانیکی ویژه پوزولانها باید زمانهای طولانی‌تر از استاندارد، نیز مورد نظر قرار گیرد تا فرضیه بالا رفتن مقاومت‌های مکانیکی با گذشت زمان بررسی شود، بخاطر همین قالبهای بتن پوزولانی بهتر است پس از ۳،۲۸،۷،۶۰، ۹۰ و ۳۶۰ روز مورد آزمایش قرار گیرد.

در آزمایشات فیزیکی - مکانیکی پوزولانها همیشه در تمامی مراحل آزمایش یک نمونه بعنوان شاهد (سیمان پرتلند خالص بدون افزودنی) نیز مورد آزمایش قرار گیرد که مقادیر مقاومت مکانیکی مخلوط‌های پوزولان دار با شاهد مقایسه می‌گردد.

در اندازه‌گیری دوام (مقاومت) شیمیایی سیمانهای پوزولانی، نیز می‌بایست نمونه شاهد وجود داشته باشد.

- تعیین گرمای هیدراتاسیون با استفاده از دستگاه کالریمتر.
  - اندازه‌گیری نفوذپذیری و عایق بودن بتن پوزولانی
- پس از اتمام بررسیها حال می‌توان با اطمینان و دقت کافی نسبت به تامین ماده پوزولانی با درصد مجاز و بهینه بر اساس بررسیهای کیفی انجام شده اقدام نمود.

### ویژگیهای فیزیکی و شیمیایی الزامی پوزولان طبیعی:

بر اساس مطالبی که در قبل ذکر شد، در استاندارد ملی ایران به شماره‌های ۳۴۳۲ و ۳۴۳۳ ویژگیهای شیمیایی و فیزیکی برای نمونه‌های پوزولانی و حتی پوزولانی که با سیمان مخلوط شده و بعنوان سیمان پوزولانی مورد استفاده قرار می‌گیرد ذکر شده است که در جداول ذیل به تفکیک درج شده است.

### ویژگیهای شیمیایی الزامی پوزولان طبیعی:

ردیف	خواص	استاندارد ملی ایران	استاندارد ASTM
		درصد	درصد
۱	اکسید سیلیسیم+ اکسید آلومینیوم+ اکسید آهن	حداقل ۷۰	حداقل ۷۰
۲	سولفیت	-----	حداکثر ۴
۳	سولفور	حداکثر ۳	حداکثر ۳
۴	رطوبت	حداکثر ۳	حداکثر ۳
۵	کسر وزن در اثر سرخ شدن	حداکثر ۱۰	حداکثر ۱۰

### ویژگیهای فیزیکی الزامی پوزولان طبیعی:

ردیف	آزمون	مقدار
۱	دانه بندی	حداکثر ۳۴ درصد
۲	شاخص پوزولانی بر مبنای مقاومت آزمون پوزولان مخلوط	درصد باقیمانده روی الک ۴۵ میکرون روشن تر
		سیمان پرتلند در ۷ روزه
		سیمان پرتلند در ۲۸ روزه
۳	آب مصرفی در مقایسه با سیمان پرتلند	حداکثر ۱۵ درصد بیش از آزمون
		حداکثر ۵۵ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع
۴	انبساط در آزمایش اتوکلاو	حداکثر ۰/۸ درصد
۵	الزامات یکنواختی	وزن مخصوص متوسط نمونه ها
		مقدار درصد روی الک ۴۵ میکرون

### ویژگیهای فیزیکی اختیاری پوزولان طبیعی:

ردیف	آزمایش	درصد
۱	افزایش جمع شدگی ناشی از خشک شدن منشور ملات در ۲۸ روزه حداکثر	۰/۳ درصد حداکثر
۲	الزامات یکنواختی: هنگامیکه بتن با حباب هوا مورد نظر است، مقدار ماده هواساز (حباب ساز) مورد نیاز برای ایجاد ۱۸ درصد حجمی حباب هوا در ملات نسبت به مقدار متوسط بدست آمده از ده آزمون قبلی	۲۰
۳	با قلیایی های سیمان: - کاهش انبساط ملات ۱۴ روزه حداقل - انبساط ملات ۱۴ روزه حداکثر	- ۷۵ ۰/۲۰

## مراحل مختلف استفاده از ماده پوزولانی در صنعت سیمان:

انتخاب نوع استخراج، نحوه حمل به کارخانه، در نظر گرفتن انبار ذخیره با توجه به حجم مصرف سنگ پوزولان در نزدیکی انبار کلینکر و گچ، تامین و نصب دستگاه سنگ شکن پوزولان با توجه به حجم تولید در نزدیکی انبار سنگ پوزولان، تامین و نصب نقاله مربوطه به حمل سنگ پوزولان از خروجی سنگ شکن به خوراک دهنده آسیا، انجام تغییرات در سیستم آسیا (از قبیل تقویت زرها، بزرگ و کوچک کردن اتاقکهای آسیا متناسب با سختی و قابلیت نرم شدن پوزولان، ایجاد سیستم مدار بسته با نصب سپراتور به منظور رسیدن به نرمی مورد نظر و در حد بالا، تغییر شارژ آسیا در صورت لزوم و ...)

لازم به توضیح است هر کدام از موارد ذکر شده ممکن است در واحد مورد نظر موجود باشد و نیازی به تغییر هم نباشد.

پس از آماده سازی خط تولید، ویژه سیمانهای پوزولانی در کارخانه و اخذ مجوزهای لازمه، استخراج از معدن مورد نظر بر اساس دستورالعمل مشخص، آغاز و سنگهای پوزولانی به کارخانه حمل و با توجه به درصد اختلاط پوزولان و سیمان، تولید آزمایشی آن شروع می‌شود.

در مرحله تولید آزمایشی ابتدا از مقادیر کمتر پوزولان در مخلوط استفاده می‌شود و بتدریج مقدار آن تا رسیدن به حد تعیین شده افزایش می‌یابد.

در تمامی مدت تولید آزمایش، نظارت بر تولید و انجام آزمایشات منطبق با استاندارد از موارد بسیار مهم است که توسط کارشناسان مجرب انجام می‌شود.

در پایان این مرحله درصد اختلاط بطور قطع تعیین و روشهای آزمایش مشخص می‌گردد. گروه تولید و بهره‌برداری کارخانه با جمع‌آوری کلیه اطلاعات و دستورالعملها و با در نظر گرفتن امکانات موجود در واحد خود فرمول تولید و نحوه مصرف آنرا تعیین و آماده تولید دائمی می‌نماید.

## انتظارات از سیمانهای پوزولانی:

از آنجائیکه تولید سیمان پوزولانی با هدف بهبود کیفیت سیمان پرتلند معمولی انجام می‌شود لذا نسبت بهبود کیفیت بر اساس درصد مصرف پوزولان و حتی در مواردی تغییرات برخی از خواص را بایستی سنجید و حدود بهینه و مطلوب پارامترها را تعیین نمود.

در ذیل انتظاراتی که می‌توان از سیمانهای پوزولانی داشت بصورت تیتروار ذکر نمود که بخشی از آنها قبلاً تشریح شده است. مطمئناً ممکن است نتوان همه انتظارات را بصورت توأم و یکجا از یک نوع سیمان پوزولانی برآورده ساخت و می‌بایست متناسب با نوع نیاز اهمیت موارد را تعیین نمود.

خواسته و تمایلات نسبت به سیمانهای پوزولانی به شرح ذیل می‌باشد:

- ۱- کاهش گرمای هیدراتاسیون سیمان در بتن ریزی های حجیم (علی‌الخصوص سد سازی‌ها)
- ۲- تولید قطعات پیش ساخته سبک بتنی (بخصوص در اروپا)
- ۳- قابلیت تحمل حرارتی بیشتر پوزولانها و استفاده از آن در سیمان چاه نفت (نوع و درصد پوزولان مصرفی مجهول)
- ۴- بهبود خاصیت پلاستیسته، کشش و خمش بتن حاوی سیمانهای پوزولانی و کاربرد مطلوب تر آن در مناطق زلزله خیز (استفاده در ژاپن)
- ۵- رشد و افزایش مقاومت در طول زمان
- ۶- کاهش یا مهار نمودن واکنشهای سیلیکاتی-قلیایی (سیمان قلیایی بالا یا مستعد بودن سنگدانه)
- ۷- تامین خواص جانبی نظیر عایق بودن، ضد رطوبت، رنگ روشن
- ۸- کاهش نفوذ پذیری بتن
- ۹- کاهش انبساط سیمان (کمک به سلامت سیمان و افزایش دوام بتن)

#### تحلیل و جمع‌بندی:

از آنجائیکه ترکیبات پوزولانها ( اعم از طبیعی یا مصنوعی ) با یکدیگر تفاوت نموده و درصدهای فازهای فعال در هر کدام متغیر می‌باشد لذا خواص پوزولانی که هر کدام از ترکیبات به ملات سیمان یا بتن حاصله القا می‌کند با یکدیگر فرق می‌کند. از اینرو در ابتدا شاخص‌ها و انتظارات خود را از خاصیت بتنی مورد نظر تعیین و پس از انجام آزمایشات مورد نظر، نسبت به انتخاب سیمان پوزولانی یا سیمان پوزولانی ویژه (حاوی مواد پوزولانی با درصد معین و نرمی مشخص) اقدام نمود.