پوزولان چیست ؟

پوزولان ماده ای است سیلیسی یا سیلیسی آلومیناتی که به خودی خود ارزش چسبندگی ندارد ، اما به شکل ذرات بسـیار ریـز در مجاورت رطوبت با درجات حرارت معمـولی بـا هیدروکسـید کلسـیم واکـنش شـیمیایی داشـته و ترکیباتی را به وجود می آورد که خاصیت سیمانی و چسبندگی دارد. این سیمانها از آسیاب کردن و مخلوط کردن پوزولانها (خاک های طبیعی و مصنوعی جایگزین سیمان) با سیمان پرتلند ساخته می شود. پوزولانهای مصنوعی با استفاده از مواد محلی برای تهیه ماده سیمانی تولید می شوند که از نظر شیمی یکنواخت است و خاصیت مستقلی از محل بدست آوردن مواد دارد. دو روش تولید وجود دارد. یکی فرآیند با درجه حرارت بالا است که در آن مواد در حالت نیمه ذوب یا ذوب پردازشمیشوند. فرآیند دوم یک فرآیند آبیدمای پایین است. بر طبق آیین نامه C618-94a ASTM پوزولان را چنین تعریف کرده اند : پوزولان سیلیسی یا سیلیس آلومینیومی است که به تنهایی خاصیت چسبندگی ندارد و یا چسبندگی کمی دارد. این مصالح در حالت گرد شدن (ذرات ریز) و در مجاورت رطوبت و حرارت معمولی طی واکنش های شیمیایی با هیدروکسید کلیسیم ترکیب هایی با خاصیت سیمانی به وجود می آورد. در استاندارد ملی ایران پوزولان ها را چنین معرفی نموده "مواد سیلیسی یا آلومینو سیلیسی که خود دارای قابلیت سیمانی شدن کم یا هیچ باشند اما به صورت پودر شده بسیار نرم در حضور رطوبت با هیدرواکسیدهای قلیایی و قلیایی خاکی در دمای معمولی واکنش های شیمیایی می دهند تا ترکیباتی را که خواص سیمانی شدن را دارند تشکیل دهند یا به تشکیل آن ها کمک کنند." مقررات ملی ساختمان پوزولان را چنین مشخص می کند "پوزولان ها عبارتند از مواد سیلیسی یا سیلیسی آلومینی که خود موادی فاقد ارزش چسباننده‌گی هستند یا ارزش چسباننده‌گی آنها کم است ، اما به صورت ذرات بسیار ریز ، در دمای متعارف در مجاورت رطوبت با هیدرواکسید کلسیم واکنش می دهد و ترکیباتی را تولید می کنند که ساختار آن ها تا حدودی شبیه ترکیباتی است که بر اثر آبگیری سیمان پرتلند تولید می شود.



پیشینه مواد پوزولانی



کانسارهای پوزولان های طبیعی (خاکستر آتشفشانی) واقع در جنوب کالیفرنیا در ایالات متحده پوزولان از اسم دهکده pouzzuoli که در نزدیکی آتش فشان وزو قرار دارد و برای اولین بار خاکستر آتش فشانی را در این محل پیدا نموده اند ، گرفته شده است. مخلوط آهک کلسینه شده و مواد ریز و آسیاب شده آلومینوسیلیکات به عنوان چسب های غیر آلی در جهان باستان تولید و توسعه یافتند. بقایای معماری تمدن مینوی در کرت شواهدی از استفاده ترکیبی از آهک ذوب شده و افزودن مواد ریز آسیاب شده برای ضد آب کردن در حمام ها ، مخازن و قنات ها را نشان داده است. شواهد استفاده عمدی از مواد آتشفشانی مانند خاکستر آتشفشانی یا توف توسط یونان باستان حداقل به 400-500 سال قبل از میلاد مسیح برمی گردد ، همانطور که در شهر باستان کامیروس ، رودس کشف شده است. در قرون بعدی این رویه به سرزمین اصلی گسترش یافت و سرانجام توسط رومیان پذیرفته و توسعه یافت . رومی ها از پوکههای آتشفشانی و توف های موجود در سرزمین های همسایه استفاده می کردند ، معروف ترین آنها در ناپل یافت می شود ، ضایعات سرامیکی خرد شده اغلب هنگامی که رسوبات طبیعی به صورت محلی در دسترس نبودند ، استفاده می شد. شرایط استثنایی عمر و حفظ دوام برخی از مشهور ترین بناهای رومی مانند پانتئون یا پونت دو گارد ساخته شده با استفاده از ملات های آهکی و پوزولان و بتن گواهی بر عملکرد عالی مهندسان رومی و ویژگی های بادوام چسب های استفاده شده از آنها است.

بسیاری از مهارت های عملی و دانش در مورد استفاده از پوزولان ها در فروپاشی امپراتوری روم از بین رفته بود. کشف مجدد شیوه های معماری روم منجر به معرفی مجدد اتصال دهنده های آهک-پوزولان شد. به خصوص مقاومت ، دوام و قابلیت هیدرولیکی سخت شدن در زیر آب ، آنها را در طول قرن 16 تا-18 به مصالح ساختمانی محبوب تبدیل کرده است. اختراع سایر سیمان های آهکی هیدرولیکی و سرانجام سیمان پرتلند در قرن 18 و 19 منجر به کاهش تدریجی استفاده از اتصال دهنده های آهک پوزولان ، که سرعت آنها با سرعت کمتری توسعه می یابد ، شد.

در طول قرن 20 استفاده از پوزولان ها به عنوان مواد افزودنی که اصطلاح فنی آنها "مواد سیمانی تکمیلی" است که معمولاً به اختصار "SCM" نامیده می شود. به مخلوط های بتن سیمان پرتلند به روشی عادی تبدیل شده است. ترکیبی از جنبه های اقتصادی و فنی و به طور فزاینده ، نگرانی های زیست محیطی باعث به اصطلاح سیمان مخلوط شده است ، یعنی سیمان هایی که حاوی مقادیر قابل توجهی از مواد سیمانی تکمیلی هستند بیشتر حدود 20 درصد وزنی ، اما بیش از 80 درصد وزنی در سیمان پورتلند سرباره کوره بلند ، سیمانی است که در ابتدای قرن بیست و یکم به طور گسترده تولید و مورد استفاده قرار می گیرد.

منشا پوزولان ها

از نظر زمین شناسی پوزولان ها حاصل انفجار آتشفشانی با ساختار سیلیسی و آلومینی مي باشد که میل ترکیبی زیادی با آهك و قلیایی دارد . فوران ناگهانی و شدید گدازههای آتشفشانی باعث تشکیل ذرات ریزی میشود که مواد گازي موجود در این ذرات باعث پدید آمدن حباب های ریزی در آن ها شده که در نهایت مشخصه پوک بودن و داشتن سطح ویژه گسترده را به ذرات مي دهند . قابلیت ترکیبی ذرات شیشه ای پوزولان در حالت پودر و شرایط مناسب با آب و آهک ، موجب شده تا با خواص سیمانی خود بر کیفیت محصول افزوده و با تشکیل ژل سیلیکاتی ویژه ، در برابر عوامل مخرب و تهاجمات و تنش های حرارتی ، مقاومت بسیار خوب و مطلوبی را از خود نشان دهد. رفتار مشابه پوزولان را می تواند در سرباره یا میکروسیلیس مشاهده نمود که امروزه در دنیا برای ساخت بتن های با مقاومت و دوام بیشتر در برابر تهاجمات شیمیایی و تنش های حرارتی بصورت گسترده مورد استفاده قرار مي گیرد.

ترکیبات شیمیایی و کانی شناسی پوزولان ها

با اندازه گیری ترکیبات تشکیل دهنده پوزولان از جمله اکسید سیلیسیم SiO_2 اکسید آلومینیوم Al_2O_3 اکسید آهن Fe_2O_3 امکان کاربری آن در صنعت سیمان مشخص می شود .



در یک ماده پوزولانی مجموع درصد اکسد های سیلیسیم آلومینیم و آهن باید بیشتر از 70 درصد باشد . البته بالا بودن درصد عناصر ذکر شده شرط لازم برای یک پوزولان بوده ولی شرط کافی نیست .

پوزولان دو فاز شیشه ای (آمورف) و بلورین دارد . فاز شیشه ای اجزای فعال و فاز بلورین اجزای غیرفعال پوزولان را نشان می دهد فاز شیشه ای عمدتا از سیلیس و آلومینو سیلیکات ها و فاز بلورین از کوارتز و فلدسپات ها و کانی های آنـمنیزیم دار تشکیل شده است . فرایند دگرسانی باعث تجزیه فلدسپات ها به یک سری کانی های رس (کایولیت و ایلیت و نظایر آن ها) می شود که اجزا مضر در پوزولان را تشکیل می دهند و در نهایت باعث کاهش فعالیت پوزولانی می شوند .

مواد پوزولانی



تعریف کلی پوزولان تعداد زیادی از مواد را در بر می گیرد که از نظر منشا ، ترکیب و خصوصیات بسیار متفاوت هستند. هر دو ماده طبیعی و مصنوعی (ساخته دست بشر) فعالیت پوزولانی را نشان میدهند و به عنوان مواد مکمل سیمانی استفاده میشوند. پوزولانهای مصنوعی می توانند به صورت آگاهانه تولید شوند ، به عنوان مثال با فعال سازی حرارتی رسهای کائولن برای به دست آوردن متاکائولین ، یا می توان آنها را به عنوان زباله یا محصولات جانبی حاصل از فرآیند دمای بالا مانند خاکستر مگس از تولید برق با زغال سنگ به دست آورد. پوزولان هایی که امروزه بیشتر مورد استفاده قرار می گیرند محصولات جانبی صنعتی مانند خاکستر بادی ، بخار سیلیس حاصل از ذوب سیلیکون ، متاکائولین بسیار واکنش پذیر و بقایای مواد آلی سوخته غنی از سیلیس مانند خاکستر پوسته برنج هستند. استفاده از آنها در بسیاری از کشورها کاملاً تثبیت و تنظیم شده است. با این حال ، عرضه محصولات جانبی پوزولانی با کیفیت بالا محدود است و بسیاری از منابع محلی در حال حاضر به طور کامل مورد بهره برداری قرار گرفته اند. گزینه های جانبی پوزولانی تاسیس شده باید از یک سو در گسترش دامنه محصولات جانبی صنعتی یا زباله های اجتماعی در نظر گرفته شده و از سوی دیگر در استفاده بیشتر از پوزولان های طبیعی وجود داشته باشد.

پوزولان های طبیعی در مکان های خاص فراوان است و به عنوان ماده افزودنی سیمان پرتلند در کشورهایی مانند ایتالیا ، آلمان ، یونان و چین بسیار مورد استفاده قرار می گیرد. خاکسترهای آتشفشانی و پوکه هایی که عمدتا از شیشه های آتشفشانی تشکیل شده اند معمولاً استفاده می شوند ، همچنین رسوباتی که در آن شیشه های آتشفشانی با تعامل با آب های قلیایی به زئولیت تبدیل شده اند. رسوبات منشا origin رسوبی کمتر رایج است. زمین های دیاتومه ، حاصل جمع شدن ریز اسکلت های دیاتوم سیلیسی ، در اینجا ماده اصلی برجسته ای هستند.



چپ به راست : خاکستر بادی کلاس C ، متاکائولین ، دوده سیلیسی ، خاکستر بادی کلاس F ، سرباره ، شیل کلسینه

پوزولان های معمولی عبارتند از :

• متاکائولین

• بخار سیلیس

• خاکستر پرواز

• سرباره

• VCAS دار شیشه کلسیم سیلیکات-آلومینو

از بین این ها ، دوده سیلیس بیشترین واکنش را دارد ، از نظر واکنش متاکائولین به دود سیلیس نزدیک است. خاکستر بادی واکنش کمتری نشان می دهد ، به خصوص در طی چند روز اول از زمان عمل آوری .

به طور کلی هرچه ذرات پوزولان ریزتر باشند ، واکنش پذیری بیشتری نیز دارند. میکروسیلیس با اکثر ذرات به طور متوسط 0.3 میکرومتر (میکرون) ، متاکائولین به طور متوسط حدود 4 میکرومتر ، سیمان پرتلند به طور متوسط حدود 15 میکرومتر و خاکستر بادی حدود 70 میکرومتر

بسیاری از پوزولان ها مواد زائد حاصل از فرآیندهای صنعتی هستند. خاکستر بادی از نیروگاه های زغال سنگ و بخار و سرباره سیلیس از برخی پالایشگاه های فولاد حاصل می شود. به همین ترتیب رنگ ، کیفیت ، درجه بندی و خصوصیات می توانند متفاوت باشند

کنترل قابل ها ویژگی سایر و رنگ ، کیفیت .شوند می تولید پوزولان جهت هدفمند طور به متاکائولین و VCAS هستند ، بنابراین قوام محصول بیشتر است. همچنین ممکن است درجه های مختلفی در دسترس باشد.

VCAS دهد می افزایش را کار قابلیت و است بازیافت قابل ، است سفید.

بیشتر پوزولان ها به صورت جداگانه مورد استفاده قرار می گیرند ، اما می توان از ترکیبی از دو یا چند پوزولان مختلف برای استفاده از ویژگی های هر پوزولان استفاده کرد.

علت استفاده گسترده پوزولان در بتن



فواید استفاده از پوزولان در سیمان و بتن بسیار قابل توجه است .

- نخست ، سود اقتصادی حاصل از جایگزینی قسمت قابل توجهی از سیمان پرتلند توسط پوزولانهای طبیعی یا محصولات جانبی صنعتی ارزان تر است.
- دوم کاهش هزینه های زیست محیطی سیمان مخلوط مرتبط با گازهای گلخانه ای ساطع شده در طی تولید سیمان پرتلند.
- سومین مزیت افزایش دوام محصول نهایی است.

مخلوط شدن پوزولان ها با سیمان پرتلند تداخل محدودی در روند تولید متداول دارد و فرصتی را برای تبدیل ضایعات (به عنوان مثال خاکستر بادی به مواد ساختمانی با دوام فراهم می کند).

کاهش 40 درصدی سیمان پرتلند در مخلوط بتن معمولاً عملی است که با ترکیبی از مواد پوزولانی جایگزین شود. از پوزولان ها می توان برای کنترل تنظیم ، افزایش دوام ، کاهش هزینه و کاهش آلودگی بدون کاهش قابل توجه مقاومت فشاری نهایی یا سایر مشخصات عملکردی استفاده کرد.

خواص سیمان های مخلوط سخت شده به شدت با توسعه ریزساختار اتصال دهنده ، یعنی با توزیع ، نوع ، شکل و ابعاد محصولات واکنش و منافذ مرتبط است. اثرات مفید علاوه بر پوزولان از نظر مقاومت فشاری

بالاتر ، عملکرد و دوام بیشتر بیشتر به واکنش پوزولانی نسبت داده می شود که در آن هیدروکسید کلسیم برای تولید محصولات واکنش CSH و CAH اضافی مصرف می شود . این محصولات واکنش پوزولانی منافذ را پر کرده و منجر به تصفیه توزیع اندازه منافذ یا ساختار منافذ می شود. این منجر به کاهش نفوذ پذیری بتن می شود.

سهم واکنش پوزولانی به مقاومت سیمان بسته به فعالیت پوزولانی معمولاً در مراحل بعدی عمل آوری ایجاد می شود. در اکثر سیمانهای مخلوط مقاومت های اولیه کمتری در مقایسه با سیمان پرتلند مادر مشاهده می شود. با این حال ، به ویژه در مورد پوزولان های ریزتر از سیمان پرتلند ، کاهش مقاومت اولیه معمولاً کمتر از آن است که انتظار می رود. این را می توان با اثر پرکننده توضیح داد ، که در آن دانه های کوچک SCM فضای بین ذرات سیمان را پر می کنند ، و در نتیجه یک بتن بسیار چگال تر ایجاد می شود. شتاب واکنش های هیدراتاسیون سیمان پرتلند همچنین می تواند تا حدی از دستدادن مقاومت اولیه را تأمین کند.

افزایش مقاومت شیمیایی در برابر نفوذ و عملکرد مضر محلول های تهاجمی یکی از اصلی ترین مزایای سیمان های مخلوط پوزولان است. دوام بهبود یافته اتصال دهنده های ترکیبی پوزولان ، طول عمر سازه ها را افزایش می دهد و نیاز هزینه بر و ناخوشایند را برای جایگزینی ساختار آسیب دیده کاهش می دهد.

یکی از دلایل اصلی افزایش دوام ، کاهش میزان هیدروکسید کلسیم موجود برای شرکت در واکنش های گسترده مضر ناشی از حمله سولفات است . علاوه بر این ، نفوذ پذیری کاهش یافته در بتن باعث کند شدن ورود یون های مضر مانند کلر یا کربنات می شود. واکنش پوزولانی همچنین می تواند با تغییر منافذ بتن ، خطر واکنش های قلیایی - سیلیسی گسترده را بین سیمان و سنگدانه ها کاهش دهد . کاهش قلیائیت محلول و افزایش غلظت آلومینا ، انحلال آلومینوسیلیکات های سنگین را به شدت کاهش یا مهار می کند.

چرا مصرف هیدروکسید کلسیم مفید است؟

هیدروکسید کلسیم (آهک) تا ٪25 سیمان پرتلند هیدراته را تشکیل می دهد و آهک به مقاومت و دوام بتن کمک نمی کند. پوزولان ها با آهک ترکیب می شوند و هیدرات سیلیکات کلسیم اضافی ، ماده مسئول نگه داشتن بتن را تولید می کنند. با مصرف آهک اضافی :

- مقاومت بتن افزایش می یابد
- تراکم آن افزایش می یابد
- نفوذپذیری کاهش می یابد
- تمایل به واکنش قلیایی - سیلیس کاهش می یابد ، یا حتی تقریباً از بین می رود.

انواع پوزولان ها

پوزولان ها به دو دسته تقسیم میشوند

1- پوزولان های طبیعی

2- پوزولان های مصنوعی

پوزولان های طبیعی

پوزولان های طبیعی شامل خاک دیاتمه دار ، توف های شیشه ای ، خاکستر آتشفشانی و پوکه سنگ های طبیعی نمونه هایی از انواع پوزولان ها که به هنگام بیرون ریختن از دهانه آتش فشان ها به سرعت در هوا یا در زیر آب سرد شده به طوری که سیلیس موجود در آن بلوری نشود.

پوزولان های طبیعی

1. مواد با منشأ آتشفشان
2. مواد با منشأ آواری
3. مواد با منشأ آلی
4. مواد با منشأ آذر آواری

1- مواد با منشأ آتشفشانی

به همراه مواد مذاب و خاکستر از دهانه کوه آتشفشان بیرون می جهند، بر روي زمین یا ته دریا تـه نشین می شوند .

رسوبات روی زمین را غالباً سنگدانه های نامتجانس تشکیل می دهند کـه مخلـوطی از خاکسـترهای حـاوی ذرات آتشفشانی و ذرات لایه های مختلف زمین هستند که در مسیر مواد مذاب از دیواره آتشفشانی جدا و به بیرون پرتاب شده اند. تمـام رسـوبات آذری آواری از خود فعالیت پوزولانی نشان نمی دهند ، بلکه آن هایی که اسیدی هستند ، حالت شیشه ای دارنـد و حـاوی کانی های زئولیت اند که این خاصیت را دارند.

2-مواد با منشأ آواری

میل ترکیب با آهک داشته باشند عبارتند از : 1-رس ها 2 - خاك های دیاتمه که اولی در رابطه با سنگ های رسوبی ساده اسـت ، در صورتی که دومی دارای منشا آلی است اگر چه اغلب با هم مخلوط اند. چون هر دو از رسوبات درون آب به دست می آیند.

3-مواد با منشأ آلی

خاك های دیاتمه مرکب از استکلتون سیلیسی بسیار ریز آلی رسوبی در آب شیرین با آب دریا متعلق به این گـروه انـد . خـاک های دیاتمه دارای ذخایر غنی سیلیسی اند و واکنش بالایی را با آب می دهند. با وجـود ایـن رفتـار قـوی پـوزولانی ،

کاربرد دیاتمه برای ساختن سیمانی پوزولانی به دلیل ریـز دانگی بالای آن ها و در نتیجه نیازشان به آب زیاد به منظور دست یـابی به مخلوط با روانـی مناسـب ، دچـار اشـکال و هم چنـین باعـث کـاهش مقاومـت مکانیکی می شود.

4-مواد با منشأ آذر آواری

مواد با منشأ آذر آواری موادی با منشأ مرکب آتشفشانی ، رسوبی و آلی هستند که در لایه های مختلف وجود دارند و ترکیب یافته اند و در ایـن مـواد آلـومین وجود دارد ، رنگ روشن این مواد حاکی از مقدار کم آهـن موجود در آنها را دارد که به خاک سفید مشهورند.

پوزولان های مصنوعی

پوزولان های مصنوعی موادی هستند که براثر حرارت مناسب ، خواص پـوزولان هـای طبیعـی را پیـدا مـی کننـد . منشا اصلي پوزولان های مصنوعی تأسیسات تولید انرژی هستند که از زغال سنگ به عنوان سوخت استفاده می کنند و هم چنین کـوره هـای ذوب فلزات تولید شمش آهن ، فولاد مس و آلیاژهای آهن و سیلیس نیز از منابع اصلی تولید این پوزولان محسوب می شوند.

پوزولان های مصنوعی

1 -خاکستر بادی

این نوع پوزولان ها از خاکستر های بسیار ریزی ، که از جمع آوری ذرات و غبار متساعد شده از سوختن ذغال سنگ در نیروگاه های حرارتی تولید میشوند و یکی از متداول ترین پوزولان های مصنوعی اند. این ذرات کروی شکل می باشند و دارای درجه نرمی زیادی هستند.

۲-دوده سیلیس

دوده سیلیس یک محصول مصنوعی حاصل از کوره های قوسی الکتریکی در جریان تولید فلـز سیسـتم یـا درصد سیلیس با ۸۰ آلیاژهـاي سیلیسـم بخصوص آلیاژهای فروسیلیس است. این ماده با داشتن بیش از میکرون یک ماده پوزولاني 0.1 حالت غیـر کریسـتالی و بـه شـکل ذرات بـي نهایت ریز با قطر متوسط قوی است.

خواص فیزیکی پوزولان های طبیعی بسیار گسترده اند . ریزی ، سطح ویژه ، شکل ذرات و دانسیته پوزولان های طبیعی ، خواص بتن تازه را تغییر و مقاومت سیمان را بهبود می بخشد.

ریزی پوزولان های طبیعی معمولا با روش الک تر اندازه گیری میشود.

پوزولان های طبیعی خام یا تکلیس شده که به طور عمده شامل خاکستر های آتش فشانی غیر بلورین است.

استاندارد ملی ایران پوزولان های طبیعی را چنین بیان می کند ”خاک های دیاتمه دار ، شیل و چرت های اوپالینی ، توف های شیشه ای ، خاکستر های آتش فشانی و پوکه سنگ های طبیعی نمونه هایی از انواع پوزولان

های است که هر کدام از آن ها به صورت کلسینه شده یا نشده به کار برده می شود. بعضی از خاک رس و شیل ها نیز پس از کلسینه شدن خواص پوزولانی قابل قبولی پیدا می کند. پوزولان های مصنوعی یا صنعتی که به طور عمده شامل خاکستر های بادی و دوده سیلیسی و خاکستر پوسته برنج است. در استاندارد ملی ایران خاکستر بادی را چنین معرفی نموده ، مواد باقی مانده بسیار نرم که حاصل احتراق ذغال سنگ پودر یا آسیاب شده که از دیگ بخار به وسیله گاز های دودکش به بیرون منتقل شده می باشد.

آیین نامه ASTM C618-94a خاکستر آتش فشانی ، پوکه سنگ ، سنگ رسی ، چرت اوپالینی ، خاک دیاتومه ای گلسینه شده ، خاک رس پخته شده را به عنوان پوزولان طبیعی و خاکستر بادی و دوده سیلیسی را به عنوان پوزولان مصنوعی معرفی می نماید. پوزولان های طبیعی شامل خاک های دیاتمه دار ، شیل و چرت های اوپالینی ، توف های شیشه ای ، خاکستر های آتش فشانی و پوکه سنگ های طبیعی نمونه هایی از انواع پوزولان ها که به هنگام بیرون ریختن از دهانه آتش فشان ها به سرعت در هوا یا در زیر آب سرد شده به طوری که سیلیس موجود در آن بلوری نشده است و همچنین مواد دیگری مانند بعضی از رس ها شیلها که برای بروز خواص پوزولانی نیاز به عملیات تکلیس دارند و از آن جمله می توان متاکائولین را نام برد.

متاکائولین از کلسینه شدن کائولین به دست می آید و در کنار واکنش های سیلیکاتی – قلیایی به کار می رود. ذخایر بزرگی از پوزولان های طبیعی در نقاط مختلف کشور وجود دارد که از آن جمله می توان تراس جاجرود ، پوکه سنگ هراز (دماوند) ، پوکه سنگ سهند و پوکه سنگ تفتان را نام برد. در صورتی که این پوزولان ها به صورت گرد با سیمان پرتلند مخلوط شوند ، هیدرواکسید کلسیم که محصول آبگیری سیمان در مجاورت رطوبت است با این سیلیس بلوری نشده در دمای محیط تشکیل سیلیکات کلسیم می دهد و سیلیکات کلسیم چسباننده اصلی کلیه ملات های آبی است.پوزولان های مصنوعی واحد های نیروگاه های برقی که از ذغال سنگ به عنوان سوخت استفاده می کنند و کوره های متالورژیکی تولید چدن ، فلز سیلیسیم و آلیاژهای فرو سیلیسیم مواد اصلی زاید صنعتی هستند که در این مراکز تولید می شوند. دوده سیلیسی یا میکروسیلیس محصول فرعی کوره های صنایع فرو آلیاژ و فرو سیلیس بوده و تولید شده از کوارتز با درجه خلوص زیاد و ذغال در کوره های الکتریکی با قوس مستغرق می باشد این فرآورده صنعتی با بیش از 85 درصد سیلیس بلوری نشده با ذرات بی نهایت ریز و کروی شکل با قطر متوسط حدود 0.1 الی 0.2 میکرون (دانه سیمان به طور متوسط بین 10 الی 24 میکرون است) یک ماده به شدت فعال پوزولانی است. وزن مخصوص دوده سیلیسی حدود 2.2 گرم بر سانتی متر مکعب است. پوزولان های طبیعی در انواع خام و یا تکلیس شده وجود دارند و به طور عمده شامل خاکستر های آتش فشانی غیر بلورین باشند. پوزولان های مصنوعی یا صنعتی به طور عمده شامل دوده سیلیسی ، خاکستر بادی و خاکستر پوسته برنج می باشند.دوده سیلیسی محصول فرعی کوره های قوس الکتریکی صنایع فروآلیاژ و فروسیلیس بوده و ماده ای است با فعالیت پوزولانی بسیار شدید که بیش از 85 درصد سیلیس بلوری نشده دارد.خاکستر بادی محصول فرعی زغال سنگ است که شامل سیلیس، آلومین و اکسید آهن و کلسیم است.خاکستر بادی در انواع F و C وجود دارد. نوع C خاکستر بادی به دلیل دارا بودن بیش از ده درصد اکسید کلسیم خاصیت سیمانی شدن دارد. خاکستر پوسته برنج از سوختن پوسته برنج به دست می آید و دارای میزان زیادی سیلیس غیر کریستالی است. بنابراین ضروری است که باید ماده پوزولانی به شکل پودر نرم باشد زیرا فقط در این صورت پوزولان ها می تواند در مجاورت آب با هیدروکسید کلسیم تشکیل سیلیکات های کلسیم پایدار که دارای خواص چسبندگی است بدهد.

سوپر پوزولان ها

میکروسیلیس

میکروسیلیس یک سوپر پوزولان است که در صورت کاربرد درست از ان تاثیر بسیار قابل توجهی در افزایش مقاومت و دوام سازی بتن ها دارد. میکروسیلیس در حرارت زایی بتن تا حد زیادی ناشی از همان مکانیزم هایی است که باعث افزایش مقاومت بتن می شود ، در حقیقت خواص پرکنندگی و واکنش پوزولانی میکروسیلیس میتواند باعث کاهش میزان حرارت زایی بتن میشود. اما حرارت زایی یک گرم میکروسیلیس بیشتر از یک گرم سیمان پرتلند معمولي است و در مواردی مقاومت زایی بالاتر میکروسیلیس مقاومت مشخصه ای 2 تا 4 برابر سیمان پرتلند معمولی را فراهم نموده و هم استفاده از میکروسیلیس می تواند باعث کاهش حرارت زایی بتن شود.

سطح مخصوص میکروسیلیس

حداقل 35 و حداکثر 100 برابر بیشتر از سطح مخصوص سیمان پرتلند است. سطح مخصوص زیاد و ذرات بسیار ریز میکروسیلیس موجب می شود که در بتن حاوی 15 درصد میکروسیلیس جایگزین شده با سیمان تقریبا برای هر دانه سیمان حدود دو میلیون دانه میکروسیلیس وجود داشته باشد. که این تناسب می تواند معرف تاثیر قابل ملاحظه میکروسیلیس بر روی خواص بتن باشد.

مدت زمان اختلاط بتن حاوی میکروسیلیس به درصد مصرفی و شرایط اختلاط بستگی دارد. حتی در صورت استفاده از افزودنی های شیمیایی کاهنده قوی آب (فوق روان کننده ها) برای کسب توزیع یکنواخت میکروسیلیس در بتن باید زمان اختلاط را افزایش داد. با وجود استفاده از فوق روان کننده ها در بتن حاوی میکروسیلیس در مقایسه با بتن بدون میکروسیلیس از چسبندگی بیشتر و گرایش کمتر به جدا شدگی و نیز کاهش آب انداختن و قابلیت بیشتر پمپ شدن برخوردار است.

ابعاد بی نهایت ریز ، سطح مخصوص زیاد و حضور بیش از 85 درصد سیلیس غیر بلوری موجب شده است که واکنش پوزولانی دوده سیلیسی میکروسیلیس بسیار سریع تر از پوزولان های معمولی مانند خاکستر بادی و پوزولان های طبیعی باشد. در این واکنش میکرو سیلیس با هیدرواکسید کلسیم H-C حاصل از آبگیری سیمان ، سیلیکات کلسیم هیدراته H-S-C تشکیل می دهد.

مصارف میکروسیلیس

مصارف میکرو سیلیس می تواند برای تهیه بتن با مقاومت زیاد ، بتن با نفوذپذیری کم و مقاومت وزنی زیاد در برابر عوامل مخرب شیمیایی نتایج موفقیت آمیزی داشته است. مقدار وزنی میکروسیلیس چنین بتن هایی تقریبا 25 درصد وزن سیمان است ، که این میزان موجب افزایش آب اختلاط بتن نیز می شود ، لذا برای افزایش میزان آب اختلاط باید از روان کننده ها ترجیحا فوق روان کننده استفاده نمود.

خاکستر بادی

خاکستر بادی محصول فرعی سوخت ذغال سنگ است. کانی های اصلی تشکیل دهنده خاکستر بادی شامل اکسیدهای سیلیس ، آلومین ، آهن و کلسیم است. در نیروگاه هایی که از ذغال سنگ به عنوان سوخت استفاده می کنند ، ذرات شیشه ای و کروی شکل بسیار ریز به ابعاد 1 الی 80 میکرون و در درجه 1600 درجه سیلیسیوس به عنوان محصول فرعی تولید می شود. که از بالای کوره احتراق خارج شده و به سرعت سرد می شود. این محصول که خواص پوزولانی دارد و خاکستر بادی نامیده می شود از اختلاط دو فاز شیشه ای یا بلوری نشده که این فاز حدود 60 الی 90 درصد وزنی محصول را تشکیل می دهد و فاز بلوری نشده که 10 الی 40 درصد وزنی محصول را تشکیل می دهد تشکیل شده است. چنانچه مجموع درصد وزنی سه کانی اکسیدهای سیلیس و آلومنیومو آهن حداقل 70 درصد وزنی محصول را تشکیل دهند و اکسید کلسیم آن کمتر از 10 درصد باشد. این محصول به نام خاکستر بادی نوع F یا خاکستر بادی کم کلسیم نامیده می شود. چنانچه مجموع درصد وزنی سه کانی اکسید های سیلیس و آلومینیوم و آهن حداقل 50 درصد وزنی محصول را تشکیل دهند و اکسید کلسیم آن بیشتر از 10 درصد باشد. این محصول به نام خاکستر بادی نوع C یا خاکستر بادی پر کلسیم نامیده می شود. خاکستر بادی نوع F فقط خاصیت پوزولانی دارد در حالی که خاکستر بادی نوع C علاوه بر ویژگی های پوزولانی ، خواص سیمانی نیز دارد. خاکستر پوسته برنج از سوختن پوسته برنج به دست می آید و دارای میزان زیادی سیلیس غیر کریستالی است. بخش اول آیین نامه بتن ایران مواد افزودنی را چنین تعریف می نماید "مواد افزودنی را نباید مواد مضاف و یا افزونه ها اشتباه کرد مواد مضاف ماده ای است که برای

خواصی ویژه به منظور کمک به امر تولید سیمان با سیمان پرتلند و یا کلینکر آن در حین تولید در کارخانه آسیاب می شود. برای مثال به منظور تولید سیمان پرتلند آمیخته درصد معینی از روباره یا پوزولان (5 تا 70 درصد) که مواد مضاف معدنی نام دارند در کارخانه و در موقع آسیاب کردن به سیمان افزوده می شود.در حالی که ماده افزودنی (مثل روان کننده یا فوق روان کننده و یا مواد حباب زا و یا میکروسیلیس و یا ...) به مقدار کم در زمان اختلاط بتن با مصالح و اجزا متشکله آن مخلوط می گردد ، وزن مواد افزودنی در نسبت های اختلاط دخالت داده نمی شود.“

آیین نامه بتن ایران مقادیر زیر را برای انواع افزودنی های معدنی بر حسب کل مواد چسبنده سیمانی جهت بتن های سازه ای مورد آزمایش قرار داده تا مقدار بهینه مواد افزودنی معدنی انتخاب شود.

پوزولان های طبیعی مطابق مشخصات دت 403 : 20 الی 10 درصد

خاکستر بادی نوع F مطابق مشخصات دت 403 : 25 الی 15 درصد

خاکستر بادی نوع C مطابق مشخصات دت 403 : 35 الی 15 درصد

میکرو سیلیس مطابق مشخصات دت 409 : 5 درصد

مزایای مصرف مواد پوزولانی در انواع بتن

مصرف مواد پوزولانی در بتن می تواند برای تامین یک یا چند خاصیت مشروح زیر باشد.

1- کاهش میزان سیمان به کار رفته در بتن

2- کاهش سرعت و میزان حرارت حاصل از فرآیند آبگیری سیمان

3- بهبود کارایی بتن

4- افزایش مقاومت دراز مدت بتن

5- افزایش پایایی بتن از طریق کاهش نفوذپذیری و عملکرد مناسب در برابر تهاجم یون کلرید و سولفات

6- بالا بردن مقاومت بتن در برابر حمله اسیدها و قلیایی سنگدانه

7- جلوگیری از ترک خوردن سطحی گسترده بتن

عملکرد پوزولان ها برای هریک از خواص فوق ، باید قبل از مصرف مورد تایید قرار گیرد .

سیمان پوزولان

ماده اصلی این سیمان خاکسترها و پوکه های آتش فشانی است که سیلیس آن ها به علت زود سرد شدن به صورت پوک وغیر بلوری در آمده است . سیمان طبیعی از مخلوط کردن سیمان پرتلند با آهک شکفته با پوکه های معدنی به دست مي آید. این سیمان ها در شهر رم و مناطق ایتالیا به نام پوزولان و در شمال اروپا به نام تراس نامیده می شود. این سیمان با موادمناسب با بهترین مقاومت به دست می آید .این سیمان هنگام هیدراته شدن با مخلوط کردن نسبت وزنی ٤ به ١حرارت کمتری آزاد می کند ؛ از این رو در بتن ریزی های حجیم و جاهایی که بتن مورد هجوم سولفات هاست مصرف مي شود. طبق استاندارد ملی ایران سیمان های پوزولانی به دسته سیمان پرتلند پوزولانی و سیمان پرتلند پوزولانی ویژه طبقه بندی می شوند. در سیمان پرتلند پوزولان ماده پوزولانی حداقل ٥ و حداکثر 15 ٪ وزنی سیمان را تشکیل میدهد و این سیمان با نشانه پ .پ .عرضه می گردد. در سیمان پرتلند پوزولانی ویژه ، ماده پوزولانی حداقل 15 و حداکثر ٪40 سیمان را تشکیل داده و این سیمان با نشانه پ .پ .و .عرضه می گردد.



کاربرد سیمان های پرتلند پوزولانی و پرتلند پوزولانی ویژه

کاربرد سیمان های پرتلند پوزولانی و پرتلند پوزولانی ویژه مشخص است و سیمان های پرتلند پوزولانی می تواند کاربرد عام تري در پروژه های ساختمانی بویژه در فصول معتدل و گرم داشته باشد اما در فصول بسیار خنک و سرد کاربرد آن توصیه نمی شود . همچنین مصرف آن در ساخت قطعات پیش ساخته و پیش تنیده که نیاز به مقاومت های اولیه زیادی دارد صحیح بنظر نمی رسد. بدیهی است مصرف سیمان های پرتلند پوزولانی ویژه در کارهای خاص همچون سدهای بتنی و بتن های حجیم توصیه می شود ستفاده از آن بطور عام در کارهای ساختمانی برای ساخت بتن های اصلی موضوعیتی ندارد اما برای ساخت

ملات های بنائی ، استفاده ازهمه انواع سیمان های پرتلند پوزولانی و پوزولانی ویژه بر مصرف سیمان های پرتلند ارجحیت دارد.

هم چنین می توان از سیمان های پرتلند پوزولانی یا پرتلند پوزلانی ویژه در ساخت بتن های رویازو با شرایط محیطی در دریای خزر و خلیج فارس و دریای عمان با رعایت سایر موارد مندرج در آئین نامه پایائی بتن در شرایط محیطی خلیج فارس استفاده نمود.

عوامل موثر بر فعالیت پوزولانی

چندین پارامتر موثر بر فعالیت پوزولانی پوزولان های طبیعی وجود دارد. ماهیت فازهای فعال و مقدار آنها در پوزولان ، سطح ویژه و ریز ذرات ، مخلوط آهک پوزولان و مقدار آب اختلاط ، سیستم عمل آوردن بتن و دما مهمترین عوامل موثر بر واکنش پذیری می باشند.

پوزولان و تأثیر آن بر خواص بتن خواص بتن با افزودن مواد پوزولانی در جهت مساعدی تحت تأثیر قرارمي گیرند. بعضی از این تـأثیرات ناشـی از تأثیر فیزیکـی ذرات پوزولان بوده و بعضی دیگر در اثر واکنش های شـیمیایی پـوزولانی بوجـود مـی آینـد. تغییـرات مقاومت و نفوذپـذیری بـتن سخت شده ، مقاومت در مقابل ترک های حرارتی ، حملـه سـولفات ها و انبسـاط سـیلیکات هـای قلیـایی از جملـه اثـرات ناشـی از واکنش های پوزولانی می باشند .

تأثیر پوزولان ها بر هر یک از خواص مهندسی بتن تازه و بتن سخت شده

زمان گیرش

کاربرد سیمان‌های آمیخته با پوزولان‌های طبیعی به ویژه در مقادیر بالاعموماً منجر به زمان گیرش بیشتر نسبت به سیمان پرتلند معمولی می‌گردد. این خاصیت در مناطق گرم کشور مطلوب می باشد. برای مناطق سرد لازم است همانند سیمان های پرتلند تمهیدات بتن ریزی در هوای سرد بکار برده شود.

کارایی

به‌علت جذب آب بالای اغلب پوزولان‌های طبیعی ، مخلوط بتن تازه با افت کارایی یا اسلامپ همراه خواهد شد. به‌منظور تأمين كارايي لازم در بتن تازه ، مي‌توان از روان‌كننده يا فوق‌روان‌كننده‌ها استفاده نمود.

جداشدگی

به‌علت جذب آب و چسبندگی بالای پوزولان‌ها ، خطر جدايي دوغاب و سنگدانه‌ها در بتن تازه کمتر خواهد بود.

آب انداختن

آب انداختن بتن در حقیقت نوعی جدایی در بتن است که در آن قسمتی از آب مخلوط به بالا و سطح بتن آمده و از دانه‌ها جدا می‌شود. در حقیقت علت آن عدم توانایی ذرات جامد در نگهداشتن همه آب مخلوط بین خود و جلوگیری از ته نشین شدن آنها است.

آب انداختن بتن لزوماً عملی زیان بار نیست. اگر این عمل دست نخورده بماند (و آب بخار شود) نسبت آب به سیمان مؤثر مخلوط پایین آمده و مقاومت افزایش مییابد. اما در صورتی که آب بالا آمده به همراه خود مقدار قابل توجهی ذرات ریز سیمان را به بالای سطح بتن بیاورد. لایه‌ای از شیره بتن روی سطح تشکیل می‌شود. این لایه در بالای دال یک سطح کاملاً متخلخل و کم مقاومت در مقابل سایش پدید می‌آورد. همچنین در بالای هر قسمت بتن ریزی شده این سطح ضعیف تشکیل می‌شود که چسبندگی آن با لایه بسیار بالا بسیار کم خواهد بود. به همین دلیل همواره باید شیره فوق با برس زدن و شستن از سطح بتن پاک شود.

اگر چه آب انداختن به میزان آب مخلوط بستگی دارد لیکن تا حد زیادی به خواص سیمان نیز وابسته است. آب انداختن بتن با ریزتر شدن سیمان کاهش می‌یابد و پاره‌ای از واکنش‌های سیمان را نیز در آن اثر می‌گذارند. در سیمان های پوزولانی به‌علت جذب آب بالاتر ، خطر آب‌افتادگی در بتن تازه کمتر خواهد بود.

گرمای هیدراسیون

کاربرد سیمان‌های آمیخته با پوزولان‌های طبیعی سبب کاهش حرارت هیدراسیون در بتن در سنین اولیه و در درازمدت می‌باشد. این خاصیت در مناطق گرمسیر کشور و در ساخت بتن‌های حجیم نظیر سدها ، دیوارها ، پی‌ها ، علاوه بر کنترل ایجاد ترک‌های حرارتی ، صرفه‌جویی قابل ملاحظه‌ای در کاهش انرژی مصرفی برای سرد کردن بتن دارد.

بتن سخت شده

مدول الاستیسیته و خزش

مقاومت بتن و سختی دانه های به کار رفته در آن تأثیر بسیار زیـادی در مـدول الاستیسـیته و خـزش بـتن دارد. بنابراین بـتن ساخته شده از مخلوط سیمان پرتلند - پوزولان با مقاومت کمتر در سنین پایین در حالـت کلـی دارای مدول الاستیسیته پایین تـر و خزش بالاتر نسبت به سیمان پرتلند معمولی می باشد.

انقباض

عموماً انقباض بتن های حاوی مواد پوزولانی بیشتر از بتن های معمولی است زیرا مخلوط های بتن سیمان پرتلند پوزولان بـرای رسیدن به یک کارایی مشخص به آب بیشتری نیاز دارند در نتیجـه انقبـاض خشـک شـدن در آن هـا بیشتر خواهد بود.

دوام بتن

بتن با دوام بتنی است که بتواند شرایط محیطی را تحمل نماید ودرطول سالیان معین کسیخته نشود. لزوما” بالا بودن مقاومت اولیه بتن دلیل بر با دوام بودن آن نمی باشد چه بسا دراکثر موارد سیمان های زود سخت شونده و با مقاومت اولیه بالا دوام کمتری از سیمان های معمولی دارند. سیمان با دوام سیمانی است که در موقع هیدراتاسیون (موقع مخلوط شدن آب به سیمان) بیشترین مقدار سیلیکات کلسیم هیدارته و کمترین مقدار هیدروکسید کلسیم را تولید نماید. بواسطه اینکه یکی از عوامل اصلی تخریب سیمان ، انجام واکنش مابین هیدروکسید کلسیم آزاد شده ناشی از هیدراتاسیون سیمان با سولفات می باشد. ازاین بابت در اولویت اول سیمان های پوزولانی ودر مراحل بعدی سیمان های با فاز A3S و C3S پایین جزو سیمان های با دوام محسوب می شوند. تأثیر پوزولان ها بر دوام بتن تحقیقات انجام شده نشان داده است که بتن های حاوی پوزولان در مقابل حمله سـولفات هـا ، نفـوذ یـون کلروکربناتاسـیون و خوردگی فولاد و واکنش های سیلیس-قلیایی دارای مقاومت بالا در برابر کلرورهـا و سـولفات هـا کـاهش نفـوذ پـذیری بـتن در اثـر واکنش های پوزولانی مي باشد .مشاهدات انجام شده نیز مؤید این مطلب است که ضریب پخش یون هـاي کلـرو سـولفات در بـتن هاي حاوي پوزولان خيلي كمتر از بتن هاي معمولي مي باشد .از طرفي كاهش ميزان آهك آزاد موجود در خمیر سـیمان بـه علـت واکنش پوزولانی به همراه کاهش نفوپذیری در مجموع مقاومت کربناتاسیون را افزایش داده و خطر خوردگی آرماتورها را می کاهد. هم چنین واکنش بین قلیایی های سیمان با سیلیس فعال مصالح سنگي ايجاد انبساط و ترک خوردگی به صورت ترک هـای نقشـه ای می نماید. جایگزین نمودن بخشی از سیمان پرتلند با یک پوزولان باعث کاهش انبساط ناشی از واکنش قلیایی ها و سـیلیس مـي گـردد و مکانیزم واقعی آن چه پوزولان را قادر به کاهش این انبساط می کند کاملا شناخته شده نمی باشد اما آشکار است که قلیـایی هـای موجود در سیستم توسط پوزولان کاهش مي يابد .

مقاومت فشاری

در شرایط یکسان مقاومت سنین اولیه سیمان‌های آمیخته با پوزولان‌های طبیعی کمتر از سیمان‌های پرتلند معمولی است لیکن در درازمدت (اغلب ۹۰روزه) این مقاومت برابر سیمان‌های معمولی شده و در سنین بالاتر به‌علت فعالیت پوزولانی حتی بیشتر نیز خواهد شد. با استفاده از پوزولان‌های طبیعی با فعالیت پوزولانی بالاتر و ریزتر آسیاب کردن سیمان آمیخته می‌توان کاهش مقاومت سنین اولیه را نیز اصلاح نمود.

تخلخل و نفوذپذیری

واکنش‌های ثانویه پوزولان‌ها و تشکیل ژل ثانویه سبب پرشدن حفرات و کاهش نفوذپذیری بتن می‌شود. کاهش نفوذپذیری بتن‌های ساخته‌شده با سیمان‌های آمیخته با پوزولان‌های طبیعی ، سبب افزایش دوام این بتن‌ها در محیط‌های مهاجم مختلف نسبت به بتن‌های ساخته‌شده با سیمان پرتلند میگردد.

تخریب سولفاتی

در تجربیات درازمدت ، عملکرد بتن‌های ساخته‌شده با سیمان‌های آمیخته با پوزولان طبیعی بسیار بهتر از بتن‌های ساخته‌شده با سیمان پرتلند معمولی به‌علت C۳A کمتر ، مصرف هیدروکسید کلسیم توسط پوزولان و نیز نفوذپذیری کمتر آنها بوده است.

خوردگی کلریدی و آرماتور

بتن‌های ساخته‌شده با سیمان‌های آمیخته با پوزولان طبیعی به‌ویژه در مناطق خورنده دریایی و تهاجم یون کلرید ،

دوام بسیار بیشتری نسبت به سایر بتن‌ها نشان داده‌اند. با رعایت نسبت آب به سیمان مخلوط ، عمل‌آوری مناسب و تأمین ضخامت پوشش کافی بتن روي آرماتور می‌توان به دوام بسیار بالایی با این بتن‌ها دست یافت. در میان گذر دریاچه ارومیه که محیط آن تواما" حاوی مقادیر بالای از کلر وسولفات می باشد از سیمان های پوزولانی استفاده شده است سیمان های پوزولانی به دو دلیل عمده با دوام تر از بقیه سیمان ها هستند :

مقادیر فازهای A3S و C3S را پایین آورده وبا انجام واکنش های ثانویه هیدراتاسیون باعث کاهش مقداراکسید کلسیم هیدراته (که عامل فساد سیمان است) شده و باعث افزایس فاز سیلیکات کلسیم هیدراته (که عامل مقاومت زای سیمان می باشد) می شود . ریزبودن ذرات پوزولان منجر به کاهش تخلخل بتن شده و نفوذ ناپذیری آن را افزایش می دهد.

کربناسیون

با استفاده از طرح اختلاط مناسب و عمل‌آوری لازم ، میزان کربناسیون در بتن‌های حاوی سیمان‌های آمیخته با پوزولان طبیعی در حد سیمان‌های پرتلند معمولی و گاه کمتر از آن گزارش شده است که این می‌تواند دوام بتن‌های مسلح را در برابر خوردگی آرماتور افزایش دهد.

خرابی ناشی از واکنش قلیایی سنگدانه‌ها (سرطان بتن)

از خواص بسیار مناسب سیمان‌های آمیخته با پوزولان طبیعی به‌ویژه در مقادیر زیادتر پوزولان ، کاهش و کنترل پدیده مخرب واکنش قلیایی سنگدانه‌ها بوده است. این سیمان‌ها به‌ویژه در بتن‌های حجیم سدها ، در سازه‌های هیدرولیکی ، در پل‌ها و سازه‌های دریایی و نیز روسازی های بتنی برای مقابله با این پدیده خرابی عملکرد بسیار مطلوبی داشته‌اند.

خرابی ناشی از یخ زدن - آب شدن

با کنترل طرح اختلاط بتن به‌ویژه نسبت آب به سیمان و نیز کاربرد مواد هوازا نظیر بتن‌های با سیمان معمولی عملکرد مشابهی در بتن‌هاي ساخته‌شده با سیمان‌های آمیخته پوزولانی در محیط‌های سرد که دارای چرخه‌های یخزدن- آب شدن می‌باشند ، مشاهده گردیده است.

خرابی در محیط‌های اسیدی و فاضلاب‌ها

به‌علت مصرف هیدروکسید کلسیم سیمان و کاهش قلیاییت و نفوذپذیری کمتر بتن‌های ساخته شده با سیمان‌های آمیخته پوزولانی ، دوام این بتن‌ها در مقابل محیط‌های مهاجم اسیدی و نیز حمله باکتریایی نظیر فاضلاب‌ها بسیار بهتر از بتن‌های ساخته‌شده با سیمان پرتلند معمولی می باشد.