# مطالعه تاثیرات واکنش پوزولانی در بهبود مقاومت کاهش یافته در گروت های تسریع کننده حاوی تسریع کننده های قلیائی - آلومیناتی

**تهیه و تنظیم :**

**شهرام پورزارع مدیر کارخانه شرکت BASF IRAN**

**بهروز رنجبر فر**

## چکیده

تسریع کننده های قلیائی –آلومیناتی دسته ای از ترکیبات هستند که موجب گیرش سریع تر و همچنین کسب مقاومت سریعتر ترکیبات سیمانی می شوند . یکی از ترکیبات سیمانی که امروزه کاربرد های زیادی دارند ،گروت های تسریع کننده اند. انواع مختلفی از تسریع کننده وجود دارد که تسریع کنندههای قلیائی دسته ای از آنها هستند و د ر این پژوهش مورد مطالعه قرار می گیرند . تسریع کنندههای قلیائی-آلومیناتی با وجود مزایائی که دارند ، نقاط ضعفی نیز دارند . از جمله موجب کاهش مقاومت فشاری، به ویژه در دراز مدت می شوند . در این پژوهش تاثیر واکنش پوزولانی میکروسیلیس (در مقادیر مختلف )بر بهبود مقاومت فشاری کاهش یافته در این نوع از گروت ها، مورد مطالعه قرار می گیرد .

در این راستا مقاومت فشاری یک گروت پایه سیمانی به عنوان شاهد معمولی ، با یک گروت تسریع کننده شاهد که از افزودن یک تسریع کننده قلیائی به گروت شاهد بدست آمده ، مورد مقایسه قرار می گیرد . سپس با افزودن مقادیر متفاوتی از میکروسیلیس (یک پوزولان رایج ) به گروت تسریع کننده ، تغییرات مقاومت فشاری مورد بررسی قرار می گیرد.

داده ها و نمودارهای حاصل از این بررسی تاثیر واکنش پوزولانی بر بهبود مقاومت فشاری کاهش یافته را نشان می دهند .

کوشش ما براین بوده است ، تا یکی از مزایای کاربرد پوزولان ها (که در اینجا بهبود مقاومت فشاری است )در سازه های سیمانی مورد بررسی قرار گیرد . با توجه به کاربرد های روز افزون این مواد در دنیای امروز ، کسب آگاهی و شناخت این دسته از مواد و کاربردهای آنها از اهمیت زیادی برخوردار است .

**واژه های کلیدی** :واکنش پوزولانی ، پوزولان ، تسریع کننده قلیائی (Alkaline )

**مقدمه**

## تسریع کننده ها[1] (Accelerators)

امروزه به خوبی شناخته شده است که گیرش و سخت شدن چسباننده های(Binders) هیدرولیک یا آمیزه های شامل چسباننده ها ی هیدرولیکی توسط تسریع کننده ها ی گیرش یا سخت شدن ، تسریع می شوند . یک نمونه از این چسباننده ها سیمان پرتلند است .

یکی از متداول ترین تسریع کننده های مورد استفاده گیرش ، موادی با خاصیت قلیائی هستند مانند : هیدروکسیدها ، کربناتها، سیلیکاتها و آلومیناتهای فلزات قلیائی . مواد با خاصیت قلیائی زیاد به دلیل مخاطرات سلامتی که می توانند برای فرد به هنگام استعمال همراه داشته باشند ، سوزش پوستی کارگران ، تاثیرات مضر بر سیستم های تنفسی ، به خصوص ریه ها و التهاب چشم ها ، نامطلوب هستند .

بعلاوه حضور یونهای فلزات قلیائی در ملات یا بتن تاثیرات مضری روی خواص مواد ساختمانی دارد . ازجمله مقاومت فشاری نهائی را کاهش می دهند ، جمع شدگی را افزایش می دهند و می توانند موجب پیشرفت ترک در مواد ساختمانی شوند . بنابراین پایداری و دوام مواد ساختمانی را کاهش می دهند .

تاثیرات انواع تسریع کننده ها بر مقامت در شکل زیر خلاصه شده است :

| **پایه شیمیائی :** | نمک های معدنی | نمک های آلی | قلیائی-آلومیناتی | قلیائی -سیلیکاتی |
|---|---|---|---|---|

1- [1] Mode of action of Alkali-free sprayed shotcrete accelerators By T.A.Burge

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | غیر قلیائی | | | |
| | ⇩ | ⇩ | ⇩ | ⇩ |
| **PH** : | اسیدی PH=3 | خنثی PH=7 | PH>14 | PH>12 |
| **تاثیر بر مقاومت ۲۸ روزه** | افزایش ۳۰٪+ | افزایش ۲۰٪+ | کاهش ۲۰٪ - | کاهش ۵۰٪ - |

شکل (۱)

در این پژوهش ، تاثیر واکنش پوزولانی بر گروت های تسریع کننده محتوی تسریع کنندههای قلیائی – آلومیناتی که کاهش حدود ۲۰ درصدی مقاومت را به دنبال دارند را مورد بررسی قرار داده ایم .

**پوزولان‌ها** مطابق تعریف رسمی در ASTM-C618-94a عبارتند از مواد سیلیسی، یا سیلیسی-آلومینی که خود به تنهایی فاقد ارزش چسبانندگی بوده و یا دارای ارزش چسبانندگی کم هستند، اما به شکل بسیار ریز در مجاورت رطوبت طی واکنش شیمیایی با هیدروکسید کلسیم در دمای معمولی ترکیب‌هایی با خاصیت سیمانی به وجود می‌آورند.

**پوزولان** ماده ای طبیعی یا مصنوعی است که حاوی سیلیس فعال می باشد . لازم است که ماده پوزولان به شکل پودر شده باشد . زیرا فقط در این صورت سیلیس می تواند در حضور آب با آهک (که بر اثر هیدراتاسیون سیمان پرتلند ایجاد می گردد ) سیلیکات های کلسیم پایدار را که دارای خواص چسبندگی اند تشکیل دهد . همچنین سیلیس مواد پوزولانی باید غیر کریستاله باشد ، زیرا قابلیت ایجاد واکنش سیلیس متبلور بسیار کم است .

وقتی **پوزولانها** در سیمان حضور دارند می توانند به تدریج با آهک موجود در خمیر سیمان با آب به ویژه واکنش فازهای آلیت(C3S ) و بلیت(C2S ) با آب ایجاد می شود، در محیط مرطوب ترکیب شوند و هیدرات های سیلیکاتی مناسب را به صورت ژل چسباننده تولید نمایند. تولید این مواد چسباننده به مرور زمان فضاهای خالی را پر می کنند زیرا حجم آن از مواد اولیه بیشتر است. پر کردن فضاهای خالی موجب افزایش مقاومت، افزایش مدول ارتجاعی ، کاهش ضریب یا نسبت پواسون و بهبود سایر خواص مکانیکی خمیر سیمان می شود.

**انواع پوزولان :**

بر اساس تقسیم بندی های کلی مواد پوزولانی به دو دسته پوزولان های طبیعی و مصنوعی تقسیم می شوند :

متداول ترین مواد پوزولانی طبیعی موجود عبارتند از :خاکستر آتشفشانی (پوزولان اولیه ) پوکه سنگ ، شیل ، چرت های اوپالینی ، خاک دیاتومه ای کلسینه شده و رس پخته شده .

پوزولان های مصنوعی : موادی هستند که در فرآیندهای تولید به عنوان هدف اصلی مورد توجه نبوده اند و محصولات جانبی به شمار می آیند . انواع پوزولان های مصنوعی عبارتند از : خاکستر بادی (flu ash) ، سرباره کوره آهن گدازی ( Ground Granulated) میکروسیلیس (Silica Fume) و خاکستر پوسته برنج ( Rice Husk Ash)[۲] .

میکروسیلیس یک سوپر پوزولان است که در صورت کاربرد درست از آن تاثیر بسیار قابل توجهی در افزایش مقاومت و دوام سازهای بتنی دارد. میکروسیلیس در حرارت زایی بتن تا حد زیادی ناشی از همان مکانیزم‌هایی است که باعث افزایش دوام و مقاومت بتن می‌شود، در حقیقت خواص پرکنندگی و واکنش پوزولانی میکروسیلیس می‌تواند باعث کاهش میزان حرارت زایی بتن شود. متوسط قطر ذرات میکروسیلیس ۰,۱ میکرومتر است(اندازه ذرات آن حدود ۱/۱۰۰ ذرات سیمان است) . میکروسیلیس محتوی ۸۶ تا ۹۸ درصد سیلیکون دی اکسید است که به دلیل نرمی بیش از حد و مقادیر سیلیس شیشه ای بالا، یک ماده پوزولانی بسیار واکنش پذیر به شمار می رود.

**مواد و روش ها**

در این پژوهش از یک گروت معمولی (بدون تسریع کننده) به عنوان شاهد معمولی و همچنین یک گروت تسریع کننده به عنوان شاهد تسریع کننده استفاده شده است . سپس به گروت تسریع کننده شاهد مقادیر مختلفی از میکروسیلیس اضافه می شود و نتایج با گروت شاهد معمولی و همچنین گروت شاهد تسریع کننده مقایسه می شوند.

نمونه شاهد مورد استفاده در این پژوهش ، یک نمونه گروت پایه سیمانی ساخت شرکت کیمیا نشان تاک می باشد که شامل سیمان پرتلند (تیپ ۲ آبیک) ، ماسه های سیلیسی با دانه بندی های مختلف ، روان ساز پودری پایه نفتالن و ... می باشد . کلیه نمونه های مورد آزمایش در این تحقیق از این گروت تهیه شده اند . بنابراین ، این قسمت از کلیه نمونه ها، کاملا یکسان می باشند . گروت تسریع کننده قلیائی شاهدکه دارای ۳٪ وزنی تسریع کننده قلیائی( نسبت به وزن سیمان موجود در گروت شاهد معمولی) است ، نیز محصول همین شرکت می باشد . نمونه میکروسیلیس بکار رفته مورد نیاز برای واکنش پوزولانی نیز محصول شرکت فرو سیلیس می باشد .

2- [2] Properties of Concrete By A.M.Neville

در این تحقیق مقاومت فشاری گروت شاهد(با نمادGr) ، گروت تسریع کننده شاهد( با نمادAcc-Gr ) که با افزودن ۳٪ تسریع کننده قلیائی به گروت شاهد ساخته می شود و همچنین نمونه هائی که درصد هائی مختلفی از میکروسیلیس (۱، ۲ ، ۳ ، ۴ درصد نسبت به سیمان موجود )به گروت تسریع کننده اضافه شده اند ( با نمادMic-Poz%) ، در دوره های ۷ ، ۱۴ و ۲۸ روزه مورد سنجش قرار گرفته است .

درصد آب به سیمان (W/C) در کلیه نمونه های مورد سنجش برابر ۰/۲۹ بوده است . ساخت کلیه نمونه ها تحت شرایط آزمایشگاهی تحت کنترل (دما ، زمان و ... ) کاملا یکسان و با میکسر آزمایشگاهی انجام شده است .

آزمایش مقاومت فشاری مطابق استاندارد ASTM –C 942 انجام شده است . ( کاملا مطابق با الزامات استاندارد)

کلیه تجهیزات آزمایشگاهی مورد نیاز ، از جمله قالب ها (5*5Cm) ، جک بتن شکن ، حوضچه عمل آوری نمونه ها و .... استاندارد می باشند .

برای هر نمونه ، ۱۵ نمونه مکعبی (5*5Cm) ساخته شد و در هر دوره ۵ نمونه مورد شکست قرار گرفت و هر یک از داده ها در یک دوره ، معدلی از ۵ شکست می باشد .

به دلیل اینکه تغییرات مقاومت فشاری نمونه های تسریع کننده و شاهد در طول ۷ روز اولیه به هم نزدیک اند و با گذشت زمان این تفاوت ها بیشتر می شود ، مقاومت یک روزه و سه روزه مورد بررسی قرار نگرفت و در عوض مقاومت ۱۴ روزه و ۲۸ روزه مورد سنجش قرار گرفته اند .

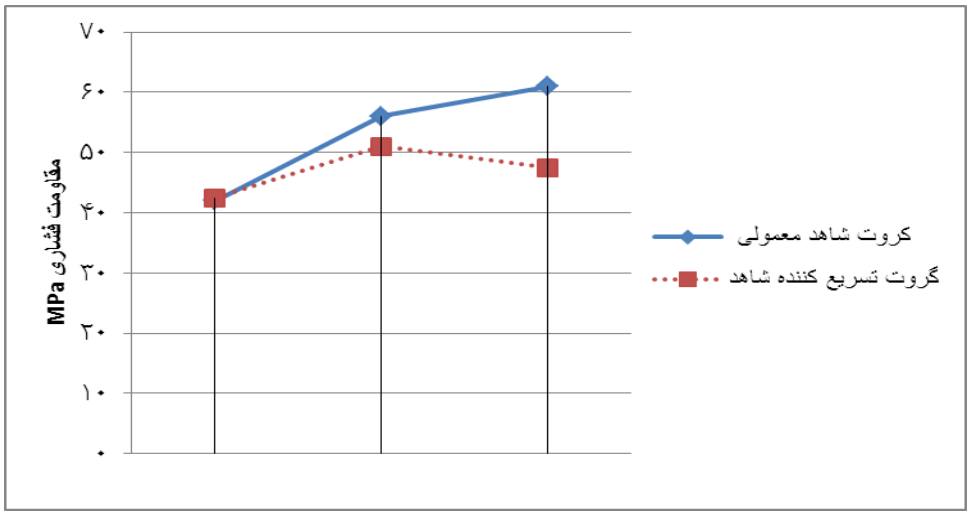
**نتایج و بحث**

نتایج مقاومت فشاری نمونه های مورد آزمایش در این پژوهش در جدول شماره (۱) جمع آوری شده است :

| نام نمونه | مقاومت ۷ روزه($Mp_a$) | مقاومت ۱۴ روزه($Mp_a$) | مقاومت ۲۸ روزه ($Mp_a$) |
|---|---|---|---|
| Gr | ۴۲ | ۵۶ | ۶۱ |
| ACC-Gr | ۴۲,۵ | ۵۱ | ۴۷,۵ |
| 1%Mic-poz | ۴۳,۵ | ۵۳,۳ | ۵۵ |
| 2%Mic-poz | ۴۴ | ۵۵,۵ | ۵۷,۶ |
| 3%Mic-poz | ۴۵,۵ | ۵۷,۱ | ۵۹ |
| 4%Mic-poz | ۴۷,۳ | ۶۰,۵ | ۶۳ |

جدول شماره (۱) : نتایج مقاومت فشاری در دوره های ۷ ، ۱۴ و ۲۸ روزه [۳]

همان طوری که داده های جدول شماره (۱) نشان می دهد مقاومت فشاری در گروت تسریع کننده (ACC-Gr) در روزهای اولیه افزایش می یابد ، ولی به تدریج در سنین بالاتر کاهشی را در مقاومت فشاری باعث می شود . مقاومت فشاری پس از ۱۴ روز حدود ۹٪ و پس از ۲۸ روز حدود ۲۲ ٪ کاهش یافته است که در شکل شماره ۲ این کاهش به وضوح دیده می شود :



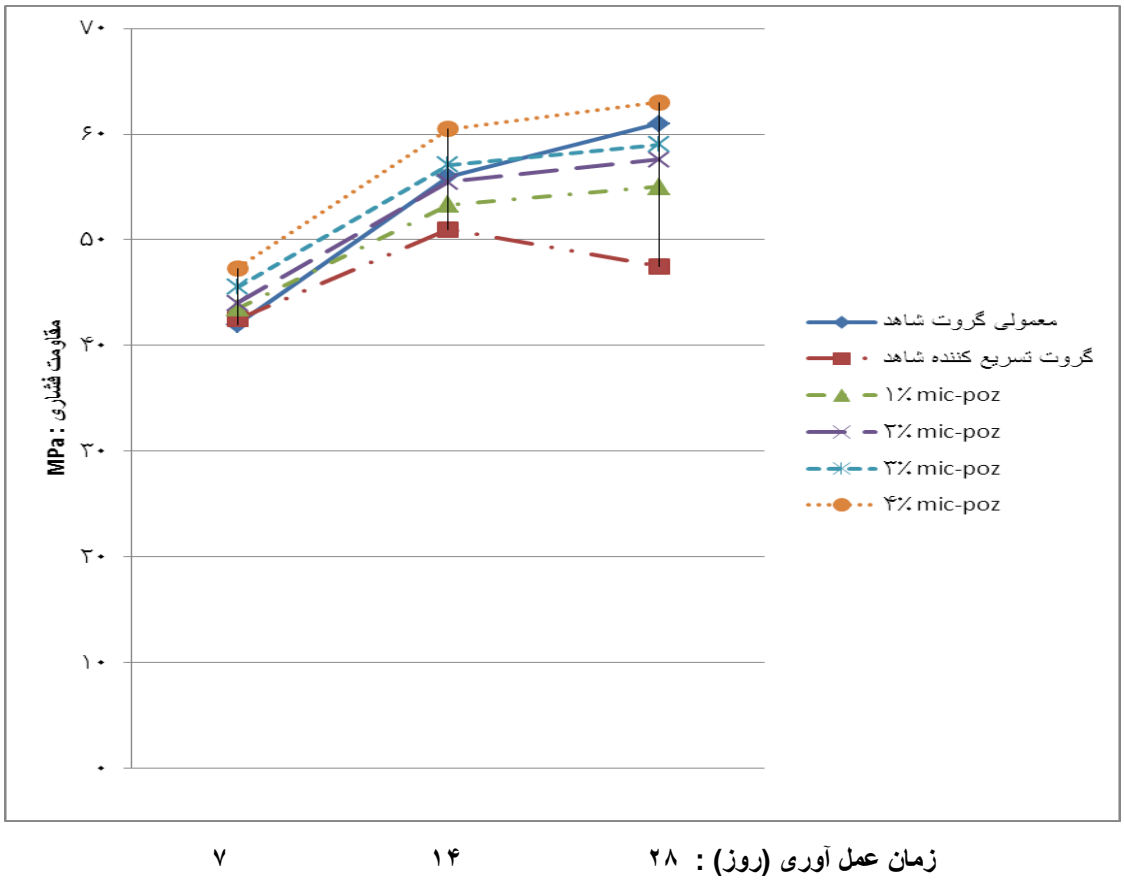

**شکل شماره (۲) : تغییرات مقاومت فشاری گروت شاهدمعمولی و گروت شاهد تسریع کننده**

همان طور که در قسمت مقدمه به آن اشاره شد این کاهش مقاومت در گروت های تسریع کننده قلیائی – آلومیناتی مورد انتظار هست .

نمودار شماره (۲) نشان می دهد که با افزایش ماده پوزولانی (میکروسیلیس) به گروت تسریع کننده به تدریج تاثیرات بهبود در مقاومت فشاری را مشاهده می شود . این افزایش در مقاومت، تا حدی است که می تواند مقاومت گروت تسریع کننده را از مقاومت گروت شاهد معمولی نیز بالاتر ببرد .

*نکته ای که باید به آن پرداخته شود این است که افزایش میکروسیلیس نمی تواند از یک حد مشخصی بالاتر رود . دلیل آن هم اینست که چون آمیزه دارای ماده زودگیر است ، و از طرفی خود میکروسیلیس هم روانی را کاهش می دهد به سرعت روانی و کارائی خود را از دست می دهد و به این ترتیب قالب گیری به سختی و حتی در مواردی ناممکن خواهد بود .*

[۳] **شرح نمادها** : Gr گروت شاهد ، Acc Gr : گروت شاهدزودگیر ، Mic-Poz % : گروت زودگیری که دارای درصد مشخصی از میکروسیلیس است و دارای واکنش پوزولانی است .




**شکل شماره (۳) : نمودار تغییرات مقاومت فشاری بر حسب زمان عمل آوری (روز)**

## نتیجه گیری

با توجه به آزمایشات و داده های بالا می توان به نتایج زیر دست یافت :

- تسریع کننده های قلیائی – آلومیناتی مقاومت های فشاری اولیه سازه های سیمانی را افزایش می دهند ولی مقاومت های نهائی را کاهش می دهند ، لذا در مواردی که نیاز به مقاومت فشاری خیلی بالائی نباشد (مانند موارد استفاده در شاتکریت و ..) می توانند با رعایت اصول ایمنی و در فضاهای بالا مورد استفاده قرار گیرند .
- استفاده از مواد پوزولانی می تواند به راحتی مشکل کاهش مقاومت فشاری تسریع کننده های قلیائی – آلومیناتی را بهبود ببخشد .
- می توان با بکاربردن پوزولان ها ، علاوه بر بهبود مقاومت فشاری،خواص خوب دیگری همچون کاهش نفوذپذیری ، افزایش دوام ، مقاومت در مقابل حمله سولفاتی و .... را به سازه های سیمانی بخشید .

- در بسیاری از موارد ، رسیدن به بعضی از خواص ممکن است با تضعیف خواص دیگری همراه باشد .اما با شناخت خواص و تاثیرات مواد و مشخص نمودن اولویت ها می توان به خواص مورد نظر دست یافت .

- رابطه افزایش مقاومت فشاری با درصد افزایش میکروسیلیس یک رابطه مستقیم است و با افزایش درصد میکروسیلیس این افزایش به صورت فزاینده خواهد بود .

**مراجع**


1- BASF Handbook
2- Concrete admixture Handbook  Properties, Science & Technology V.S Ramachanran
3- Properties of  Concrete  By A.M.Neville
4- Mode of action of Alkali-free sprayed shotcrete accelerators By T.A.Burge