بسم الله الرحمن الرحیم

دانشگاه کردستان
دانشکده فنی – مهندسی
گروه عمران

عنوان:

بررسی اثر پوزولان‌های طبیعی ایران بر خصوصیات مکانیکی ودوام بتن خودتراکم

پژوهشگر:
محسن نوریان بهمند

استاد راهنما:
دکتر محمد اسماعیل‌نیا عمران

پایان‌نامه کارشناسی ارشد رشته عمران گرایش سازه

دی ماه ۱۳۸۹

کلیه حقوق مادی و معنوی مترتب بر نتایـج مطالعات،

ابتکارات و نوآوری‌های ناشی از تحقیق موضوع

این پایان‌نامه متعلق به دانشـگاه کردستان است.

تعهد نامه

اینجانب **محسن نوریان بهمند** دانشجوی کارشناسی ارشد رشته **عمران** گرایش **سازه** دانشگاه کردستان، دانشکده **فنی- مهندسی** گروه **عمران** تعهد می نمایم که محتوای این پایان‌نامه نتیجه تلاش و تحقیقات خود بوده و ازجایی کپی برداری نشده و به پایان رسانیدن آن نتیجه تلاش و مطالعات مستمر اینجانب و راهنمایی و مشاوره اساتید بوده است.

با تقدیم احترام

محسن نوریان بهمند

۱۳۸۹/۱۰/ ۲۲

دانشگاه کردستان

دانشکده فنی – مهندسی

گروه عمران

پایان‌نامه کارشناسی ارشد رشته عمران گرایش سازه

عنوان:
بررسی اثر پوزولان‌های طبیعی ایران بر خصوصیات مکانیکی ودوام بتن خودتراکم

پژوهشگر:

محسن نوریان بهمند

در تاریخ ۱۳۸۹/۱۰/۲۲ توسط کمیته تخصصی و هیات داوران زیر مورد بررسی قرار گرفت و با نمره **۱۹** و درجه **عالی** به تصویب رسید.

هیات داوران	نام و نام خانوادگی	مرتبه علمی	امضاء
۱- استاد راهنما	دکتر محمد اسماعیل نیا عمران	استادیار	
۲- استاد داور خارجی	دکتر محمد شریفی‌پور	استادیار	
۳- استاد داور داخلی	دکتر هوشنگ دباغ	استادیار	

مهر و امضاء گروه

مهر و امضاء معاون آموزشی و ~~تحصیلات تکمیلی~~ دانشکده

تقدیم به:

خانواده محترم، استاد گرانقدر و

همسر مهربانم

تشکر و قدردانی:

زدانش نخستین به یزدان گرای که او هست و باشد همیشه به جای

خدای را شکرگذار و منت پذیرم،
که هر چه می‌اندیشم جز محبت او نمی‌یابم،
وهمین اندیشه را نیز، از بذل محبت او می دانم.

در زمینه این تحقیق لازم می‌دانم از جناب آقای دکتر عمران استاد راهنمای خود در این پایان‌نامه کمال تشکر و قدردانی را داشته باشم. همچنین از اساتید محترم جناب آقای دکتر شریفی‌پور و جناب آقای دکتر دباغ که زحمت داوری این پایان‌نامه را بر عهده داشتند، صمیمانه سپاسگزارم. از تمامی عزیزانی هم که بنده را درانجام این تحقیق یاری نمودند از جمله مسئولین و کارکنان آزمایشگاه دانشکده عمران به ویژه جناب آقای رفیعی مسئول محترم آزمایشگاه بتن و مصالح همچنین جمعی از کارکنان شرکت ژیان کمال تشکر را دارم. از جناب آقایان سلمان انوری، عباس و مهدی نوریان و همچنین جمعی از دانشجویان کارشناسی عمران دانشگاه کردستان که در طول انجام این پایان‌نامه اینجانب را یاری نمودند، بسیار ممنون و سپاسگزارم. در آخر تشکر ویژه‌ای از برادر بزرگوارم جناب آقای حمزه نوریان بهمند را دارم که همواره یار و یاور بنده بودند.

چکیده

زمان، هزینه و کیفیت سه عامل مهم در اجرا می‌باشند که تأثیر مهمی در صنعت ساخت دارند. هر گونه پیشرفت یا توسعه‌ای که باعث بهبود این سه عامل گردد، همواره مورد علاقه مهندسان عمران خواهد بود. هرگاه این پیشرفت‌ها در صنعت ساخت و ساز تأثیرگذار باشند، باید تحقیقات کافی بر روی فواید و مضرات آن‌ها انجام گرفته و اقدامات لازم برای اجرایی ساختن آن‌ها در صنعت ساخت و ساز صورت پذیرد. بتن خودتراکم با توجه به خصوصیات ویژه خود، یکی از این توسعه‌هاست که می‌تواند تأثیر قابل توجهی بر صنعت ساخت داشته باشد.در این پژوهش به بررسی اثر پوزولان‌های طبیعی ایران بر خواص مکانیکی و دوام بتن خودتراکم پرداخته شده است. طرح اختلاط بتن خودتراکم در این تحقیق با استفاده از روش تاگوچی بهینه‌سازی شده است. پس از آن، چهار پوزولان طبیعی کشور به نام‌های پوزولان قروه، پوزولان آذربایجان، پوزولان توف سبز آبیک و پوزولان شکرناب مورد آزمایش قرار گرفته و با بررسی و مقایسه نتایج این آزمایشات پوزولان برتر که توف سبز آبیک بود انتخاب شد. در گام بعد، درصدهای متفاوتی از آن بر حسب وزن سیمان (۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۴۰ درصد) به بتن خودتراکم افزوده شده و آزمایش-های مقاومت فشاری، مقاومت کششی، مقاومت خمشی، دوام در برابر درجه حرارت بالا،نفوذپذیری یون کلر، نفوذپذیری آب، درصد تخلخل و درصد جذب آب روی آن صورت گرفته شده است. از طرف دیگر، یک طرح اختلاط از نوع بتن معمولی با مقاومت فشاری ۲۸ روزه شبیه به بتن خودتراکم ساخته شده و به میزان درصدهای ذکر شده به آن پوزولان اضافه کرده و آزمایش‌های مقاومت فشاری، مقاومت کششی و مقاومت خمشی روی این نمونه‌ها به‌دست آمده است. نتایج آزمایشات صورت گرفته بر روی بتن خودتراکم در سنین بالا نشان می‌دهد که افزودن پوزولان آبیک به بتن، باعث تولید بتنی تقریباً شبیه به بتن شاهد (بدون پوزولان) از لحاظ خصوصیات مکانیکی و دوام می‌شود. بنابراین می‌توان چنین نتیجه-گیری کرد که با جایگزینی پوزولان به جای سیمان در بتن خودتراکم، با حفظ خواص مکانیکی و دوام، از مصرف درصدی از سیمان صرفه‌جویی نمود.

واژه‌های کلیدی:بتن خودتراکم، پوزولان طبیعی، بهینه سازی، روش تاگوچی، خصوصیات مکانیکی، دوام

فهرست مطالب

فصل اول (مقدمه)

۱-۱ پیش‌گفتار..... ۲

۱-۲ ضرورت و اهداف تحقیق..... ۳

۱-۳ شیوه تحقیق..... ۳

۱-۴ خلاصه پایان‌نامه..... ۳

فصل دوم (پوزولان)..... ۵

۲-۱ تعریف پوزولان..... ۶

۲-۲ ترکیب شیمیایی و کانی‌شناسی پوزولان‌های طبیعی..... ۶

۲-۳ تاریخچه پوزولان‌ها..... ۷

۲-۳-۱ پوزولان‌های طبیعی..... ۷

۲-۳-۲ پوزولان‌های مصنوعی..... ۸

۲-۳-۲-۱ خاکستر بادی..... ۸

۲-۳-۲-۲ سرباره کوره آهن‌گدازی GGBFS (اسلگ)..... ۹

۲-۳-۲-۳ دوده سیلیس (سیلیکا فیوم)..... ۱۰

۲-۳-۲-۴ خاکستر پوسته برنج (RHA)..... ۱۰

۲-۳-۲-۵ رس کلسینه شده..... ۱۰

۲-۴ آثار اقتصادی..... ۱۱

۲-۵ آثار زیست محیطی..... ۱۱

۲-۶ خواص در بتن..... ۱۱

۲-۷ آینده مواد مکمل سیمان..... ۱۱

۲-۸ پیشینه بررسی اثر پوزولان بر انواع بتن..... ۱۲

فصل سوم (مفاهیم کلاسیک بتن خودتراکم)..... ۲۲

۳-۱ تاریخچه بتن خودتراکم..... ۲۳

۳-۲ مشخصات بتن خودتراکم..... ۲۳

۳-۲-۱ کارایی..... ۲۳

۳-۲-۲ مشخصات مکانیکی..... ۲۳

۳-۲-۳ دوام..... ۲۳

۳-۳ دلایل گسترش بتن خودتراکم در دنیا..... ۲۴

۳-۴ زمینه گسترش بتن خودتراکم در ایران..... ۲۴

۳-۵ کاربردهای اجرایی ویژه با بتن خودتراکم..... ۲۴

۳-۶ مقایسه هزینه بتن خودتراکم با بتن معمولی..... ۲۵

۳-۷ رده‌بندی بتن خودتراکم..... ۲۶

۳-۷-۱ روانی..... ۲۶

۳-۷-۲ توان عبور..... ۲۷

۳-۷-۳ مقاومت در برابر جداشدگی..... ۲۷

۳-۷-۴ لزجت..... ۲۸
۳-۸ روش‌های طرح مخلوط..... ۲۸
۳-۸-۱ روش مستدل طرح مخلوط..... ۲۸
۳-۸-۲ روش طرح مخلوط در مرجع EFNARK..... ۲۹
۳-۸-۳ روش طرح مخلوط ساده..... ۳۰
۳-۹ تنظیم طرح مخلوط..... ۳۲
۳-۱۰ آزمایش‌های بتن خودتراکم..... ۳۴
۳-۱۰-۱ آزمایش جریان اسلامپ و جریان اسلامپ ۵۰ سانتی‌متر..... ۳۴
۳-۱۰-۲ آزمایش حلقه J..... ۳۶
۳-۱۰-۳ آزمایش قیف V شکل و زمان ۵ دقیقه..... ۳۷
۳-۱۰-۴ آزمایش جعبه L شکل..... ۳۸
۳-۱۰-۵ آزمایش جعبه U شکل..... ۳۹
۳-۱۰-۶ آزمایش اوریمت..... ۴۰
۳-۱۰-۷ آزمایش GTM..... ۴۱
فصل چهارم (روش تاگوچی جهت بهینه کردن طرح اختلاط)..... ۴۲
۴-۱ مقدمه..... ۴۳
۴-۲ فلسفه تاگوچی..... ۴۳
۴-۳ تحلیل نتایج..... ۴۴
۴-۴ مزایای روش تاگوچی..... ۴۴
۴-۵ تعریف آرایه ارتوگونال (OA)..... ۴۴
۴-۶ مشارکت نسبی متغیرها..... ۴۵
۴-۶-۱ واریانس..... ۴۵
۴-۶-۲ درجه آزادی (DOF)..... ۴۵
۴-۶-۳ درصد مشارکت..... ۴۶
۴-۷ تعریف نسبت سیگنال به نویز (S/N)..... ۴۶
۴-۸ نرم‌افزارهای مرتبط با روش تاگوچی..... ۴۸
۴-۹ شروع کار با روش تاگوچی جهت به‌دست آوردن طرح اختلاط بهینه..... ۴۸
۴-۹-۱ معرفی سطوح و فاکتورهای مورد نیاز..... ۴۸
۴-۹-۲ انتخاب آرایه ارتوگونال مناسب توسط نرم‌افزار..... ۴۹
۴-۹-۳ نتایج آزمایشات روی بتن تازه و سخت شده..... ۵۰
۴-۹-۴ به‌دست آوردن طرح اختلاط بهینه..... ۵۲
فصل پنجم (کار آزمایشگاهی و شیوه کامل تحقیق)..... ۵۴
۵-۱ مقایسه پوزولان‌های مورد بررسی و انتخاب پوزولان برتر..... ۵۵
۵-۱-۱ آزمایش‌های آنالیز شیمیایی به روش تر..... ۵۵
۵-۱-۲ تعیین فعالیت پوزولانی پوزولان‌ها به روش ترموگراویمتری (TG)..... ۵۵
۵-۱-۳ تعیین فعالیت پوزولانی پوزولان‌ها به روش آهک هیدراته..... ۵۷

۵-۱-۴ انتخاب پوزولان برتر..... ۵۸
۵-۲ مشخصات مصالح مصرفی..... ۵۸
۵-۳ طرح اختلاط مورد استفاده..... ۶۱
۵-۳-۱ طرح اختلاط بتن خودتراکم..... ۶۱
۵-۳-۲ طرح اختلاط بتن معمولی..... ۶۱
۵-۴ وسایل آزمایشات بتن تازه..... ۶۱
۵-۵ آزمایشات بتن سخت شده..... ۶۲
۵-۵-۱ جزییات نمونه‌ها..... ۶۲
۵-۵-۲ نحوه ساخت نمونه‌ها..... ۶۳
۵-۵-۳ آماده‌سازی نمونه‌ها جهت تعیین مقاومت فشاری (کپینگ)..... ۶۴
۵-۵-۴ آزمایش مقاومت فشاری..... ۶۵
۵-۵-۵ آزمایش مقاومت خمشی..... ۶۵
۵-۵-۶ آزمایش مقاومت کششی..... ۶۶
۵-۵-۷ آزمایش ضریب نفوذپذیری آب..... ۶۷
۵-۵-۸ آزمایش نفوذپذیری یون کلر..... ۶۸
۵-۵-۹ آزمایش درصد جذب آب..... ۶۸
۵-۵-۱۰ آزمایش تعیین درصد تخلخل..... ۶۹
۵-۵-۱۱ آزمایشات دوام در برابر درجه حرارت‌های بالا..... ۷۰
فصل ششم (تحلیل نتایج آزمایشات، نتیجه‌گیری و پیشنهادات)..... ۷۱
۶-۱ آزمایشات بتن تازه روی بتن خودتراکم..... ۷۲
۶-۱-۱ آزمایش اسلامپ فلو..... ۷۲
۶-۱-۲ آزمایش حلقه J رینگ..... ۷۲
۶-۱-۳ آزمایش جعبه L شکل..... ۷۲
۶-۱-۴ آزمایش جعبه U شکل..... ۷۳
۶-۱-۵ آزمایش قیف V شکل..... ۷۴
۶-۲ نتایج آزمایشات صورت گرفته روی بتن سخت شده و تحلیل آن‌ها..... ۷۴
۶-۲-۱ آزمایش مقاومت فشاری..... ۷۵
۶-۲-۲ آزمایش مقاومت خمشی..... ۷۸
۶-۲-۳ آزمایش مقاومت کششی..... ۸۰
۶-۲-۴ آزمایش ضریب نفوذپذیری آب..... ۸۲
۶-۲-۵ آزمایش نفوذپذیری یون کلر..... ۸۳
۶-۲-۶ آزمایش دوام در برابر درجه حرارت بالا..... ۸۵
۶-۲-۷ آزمایش درصد جذب آب..... ۸۹
۶-۳ نتیجه‌گیری..... ۹۰
۶-۴ جنبه نوآوری و کاربردی تحقیق..... ۹۱
۶-۵ پیشنهادات..... ۹۲

منابع.....۹٤
پیوست.....۹۸

فصل اول: مقدمه

۱-۱ پیش‌گفتار

در این قسمت پیش‌گفتار و دیباچه‌ای از پوزولان و بتن خودتراکم که در واقع به عنوان ضرورت استفاده از این مواد می‌باشد ارائه شده است.

بحران انرژی و کمبود مواد اولیه، پژوهشگران این عرصه را به اندیشیدن راهکارهایی در جهت مصرف بهینه انرژی و مواد اولیه واداشته است. در صنعت ساختمان یکی از پرکاربردترین مصالح، سیمان است که انرژی زیادی صرف تولید آن می‌گردد. یکی از راه‌هایی که به صرفه‌جویی در مصرف انرژی در صنعت ساختمان منتهی می‌گردد جایگزین نمودن سیمان با مصالحی نظیر پوزولان‌ها[۱] با خواص هیدرولیکی و سیمانی شوندگی نهایی می‌باشد. به‌علاوه استفاده از پوزولان ها، بسیاری از خواص مهندسی و پایایی بتن‌های سخت شده را نیز بهبود می‌بخشد و سبب صرفه‌جویی در مصرف مواد اولیه‌ای نظیر آهک که در تولید سیمان به مقدار زیادی مصرف می‌شود نیز می‌گردد. جدا از انرژی زیادی که صرف تولید سیمان می‌گردد، کارخانه‌های تولیدکننده سیمان نیز نقش زیادی در آلوده نمودن محیط زیست دارند. به‌طوریکه به ازای تولید هر تن سیمان با سوخت‌های فسیلی، حدود ۵۶۰ کیلوگرم دی‌اکسیدکربن نیز تولید شده و وارد اتمسفر کره زمین می‌شود. تحقیقات نشان می‌دهند که کارخانه‌های تولیدکننده سیمان مسئول انتشار حدود ۵ درصد از کل دی‌اکسیدکربن وارد شده به اتمسفر کره زمین می باشند[۱]. موضوع دیگری که در سال‌های اخیر ذهن محققان این عرصه را به خود مشغول کرده است، بحث پایایی بتن‌ها در شرایط سخت محیطی می‌باشد. سازه‌های ساخته شده با بتن معمولی، عموماً دارای عملکرد مناسبی در شرایط سخت محیطی و عوامل مهاجم نمی‌باشند و در مدت کوتاهی دچار زوال می‌گردند. یکی از راه‌کارهایی که محققان برای رفع این نقیصه و بهبود دوام بتن پیشنهاد نموده‌اند، استفاده از مواد پوزولانی به عنوان جایگزین بخشی از سیمان پرتلند موجود در مخلوط بتن می‌باشد.

در سازه‌های بتنی برای رسیدن به مقاومت مورد نیاز و کاهش تخلخل و هوای درون بتن و حصول پایایی، بتن به روش‌های مختلف متراکم می‌شود. با توسعه روزافزون کارهای بتنی و کمبود نسبی کارگران ماهر و یا سهل انگاری‌های آن ها در کارگاه‌ها و یا به دلیل مزاحمت‌های جسمی و روحی و یا هزینه متراکم کردن بتن در هنگام ریختن آن در قالب، به ویژه در مواقعی که تراکم میلگرد وجود دارد، عمل متراکم کردن به طور کامل و صحیح انجام نگرفته و در نهایت مشخصات مکانیکی مطلوب بتن حاصل نمی‌گردد. لذا ساخت بتنی بدون نیاز به متراکم شدن همواره راه حلی برای این معضل به نظر می‌رسید و از این رو ساختن چنین بتنی رویایی برای تکنولوژیست‌های بتن بوده است که بتوانند با استفاده از مواد افزودنی شیمیایی مختلف و تغییر در مقادیر مصالح طرح اختلاط، به این مهم دست یابند و بتن را از

[۱] -Pozzolan

نقص اجرایی تراکم رها سازند. ابداع بتن خودتراکم[1] که به اختصار SCC نامیده می‌شود نتیجه این تلاش-ها بوده است.

۱-۲ ضرورت و اهداف تحقیق

با بررسی تحقیقات داخل و خارج کشور که بر روی اثر پوزولان‌ها بر خصوصیات مکانیکی و دوام بتن انجام شده است مشاهده می‌شود که تاکنون تأثیر پوزولان‌های طبیعی بر این خصوصیات در بتن خودتراکم مورد توجه قرار گرفته نشده است. با توجه به این توضیحات، مهم‌ترین هدف این تحقیق بررسی خصوصیات مکانیکی و دوام بتن خودتراکم ساخته شده با استفاده از پوزولان‌های طبیعی ایران به جای درصدی از سیمان می‌باشد.

روش تاگوچی یک روش آماری جهت طراحی آزمایشات و بهینه کردن فرآیند تولید و دست‌یابی به محصول با کیفیت بالا می‌باشد و در بسیاری از علوم درستی این روش تأیید شده است. اما متأسفانه تحقیقات زیادی بر روی بهینه کردن طرح اختلاط بتن (بخصوص بتن خودتراکم) صورت گرفته نشده است. در این پژوهش، طرح اختلاط بهینه بتن خودتراکم با استفاده از این روش به‌دست آمده است.

۱-۳ شیوه تحقیق

در این تحقیق در ابتدا طرح اختلاط بتن خودتراکم با استفاده از روش تاگوچی بهینه‌سازی شد. پس از آن، چهار پوزولان طبیعی کشور به نام‌های پوزولان قروه، پوزولان آذربایجان، پوزولان توف سبز آبیک و پوزولان شکرناب مورد آزمایش قرار گرفته و پوزولان برتر انتخاب شد. شیوه انتخاب پوزولان برتر بدین صورت بود که بر روی هر کدام از پوزولان‌ها آزمایش‌های تعیین فعالیت پوزولانی به دو روش ترموگراویمتری و آهک هیدراته انجام شد و پوزولانی که نتایج بهتری را نشان داد به عنوان پوزولان برتر انتخاب شد. در گام بعد، درصدهای متفاوتی از این پوزولان بر حسب وزن سیمان (۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۴۰ درصد) به بتن خودتراکم افزوده شده و آزمایش‌های مقاومت فشاری، مقاومت کششی، مقاومت خمشی، دوام در برابر درجه حرارت بالا، نفوذپذیری یون کلر، ضریب نفوذپذیری آب، درصد تخلخل و درصد جذب آب روی آن صورت گرفته شد. از طرف دیگر، یک طرح اختلاط از نوع بتن معمولی با مقاومت فشاری ۲۸ روزه شبیه به بتن خودتراکم ساخته شده و به میزان درصدهای ذکر شده به آن پوزولان اضافه کرده و آزمایش‌های مقاومت فشاری، مقاومت کششی و مقاومت خمشی جهت مقایسه با بتن خودتراکم روی این نمونه‌ها به‌دست آمد.

۱-٤ خلاصه پایان‌نامه

خلاصه فصول پایان‌نامه به صورت زیر می‌باشد:

در فصل اول، مقدمه کوتاهی در مورد پوزولان و بتن خودتراکم و ضروت استفاده از این مواد آورده شده است. همچنین، در این فصل ضرورت تحقیق و شیوه انجام آن ارائه شده است. در فصل دوم به

[1] -Self-Compacting Concrete

معرفی انواع پوزولان پرداخته شده است. فصل سوم مختص به بیان مفاهیم کلاسیک بتن خودتراکم می-باشد. در این فصل، روش‌های طرح اختلاط بتن خودتراکم و شیوه انجام آزمایشات بر روی بتن تازه شرح داده شده است. در فصل چهارم، طرح اختلاط بهینه بتن خودتراکم با استفاده از روش تاگوچی به‌دست آمده است. کار آزمایشگاهی و شیوه کامل تحقیق در فصل پنجم شرح داده شده است. فصل ششم به بررسی نتایج به‌دست آمده و تحلیل و تفسیر آن از روی نمودارهای رسم شده اختصاص دارد. در بخش آخر این فصل یک سری نتیجه‌گیری کلی و همچنین پیشنهاداتی جهت انجام تحقیقات آتی ارئه شده است.

فصل دوم:پوزولان

۲-۱ تعریف پوزولان

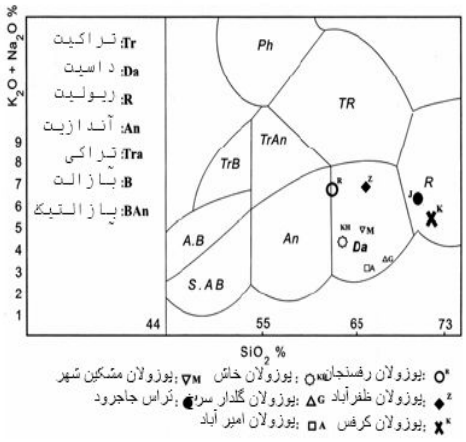
پوزولان‌ها ترکیباتی با میزان سیلیس و سیلیکات به صورت فاز شیشه‌ای (آمورف) هستند که همین سیلیس و سیلیکات آمورف به آن‌ها خاصیت اسیدی داده و باعث شده که میل ترکیبی شدیدی با آهک و قلیایی‌ها داشته باشند. پوزولان‌ها به دو دسته طبیعی و مصنوعی تقسیم می‌شوند. پوزولان‌های طبیعی شامل توف‌ها و خاکسترهای آتشفشانی با ترکیب داسیتی و ریوداسیتی بوده که در اثر فعالیت‌های انفجاری از دهانه آتشفشان‌ها خارج و در محیط خشکی یا آب نهشته شده‌اند. در حالی که پوزولان‌های مصنوعی شامل سرباره‌های ذوب فلزات، رس وشیل پخته و خاکسترهای حاصل از سوخت زغال سنگ هستند که به خاطر ذوب شدن و سپس سرد شدن سریع، دارای فاز شیشه‌ای بوده و از نظر خواص فیزیکی و شیمیایی بسیار شبیه به پوزولان‌های طبیعی هستند[۲].

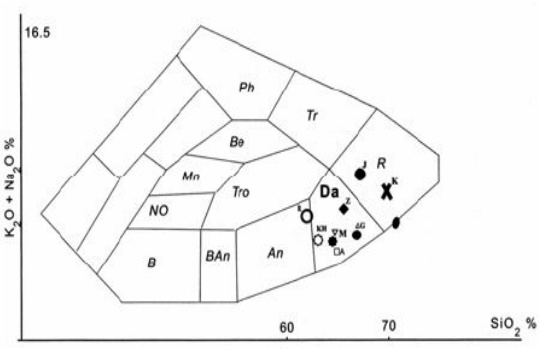
براساس استاندارد شماره ۳۴۳۳ استاندارد ایران، پوزولان‌های طبیعی، مواد سیلیسی و آلومینوسیلیکاتی هستند که به خودی خود دارای خاصیت سیمانی نبوده ولی در حضور آب با هیدرات کلسیم، تولید مواد با خاصیت سیمانی نموده و از خود خواص هیدرولیکی نشان می دهند[۳].

۲-۲ ترکیب شیمیایی و کانی‌شناسی پوزولان‌های طبیعی

همانطور که شرح داده شد پوزولان‌های طبیعی، توف‌ها و خاکسترهای اسیدی با ترکیب داسیتی و ریوداسیتی هستند که از دو فاز آمورف (شیشه‌ای) و بلورین تشکیل شده‌اند. فاز شیشه ای عمدتاً از سیلیس و آلومینو سیلیکات‌ها و فاز بلورین از کوارتز و فلدسپات‌ها و کانی‌های آهن و منیزیم‌دار (بیوتیت و آمفیبول) تشکیل شده است. لذا در ترکیب اصلی آن‌ها عمدتاً سیلیس(Sio_2) و آلومینا(Al_2o_3) بوده ولی میزان کمتری Cao و Fe_2o_3 همراه با Na_2o ، K_2o ، Mgo ، P_2o ، Tio_2 و Mno در ترکیب کانی‌های آن‌ها دیده می‌شود. فرآیندهای دگرسانی باعث تجزیه فلدسپات‌ها به یک سری کانی-های رسی(کائولینیت،ایلیت و....) می‌شود که اجزای مضر در پوزولان‌ها را تشکیل می‌دهند. همچنین این فرآیند باعث تبلور مجدد فاز شیشه‌ای نیز می‌شود که به علت افزایش اجزای غیر فعال این فرآیند باعث کاهش فعالیت پوزولانی نیز خواهد شد. در اشکال (۲-۱) و (۲-۲) به ترتیب موقعیت و ترکیب سنگ‌های پوزولانی ایران در دیاگرام‌های سنگ‌شناسی میدل موست[۱] و کاکس[۲] نشان داده شده است[۲].

[۱] -Midel moust
[۲] -Kox





O: پوزولان رفسنجان ○KR ،پوزولان خاش ▽M ،پوزولان مشکین شهر
◆Z ،پوزولان ظفرآباد △G ،پوزولان گلدار سرخ ،تراس جاجرود
X: پوزولان کرفس □A ،پوزولان امیر آباد

شکل(۲-۱): موقعیت سنگ‌های پوزولانی در دیاگرام میدل موست **شکل(۲-۲):** موقعیت سنگ‌های پوزولانی در دیاگرام کاکس و همکاران

۲-۳ تاریخچه پوزولان‌ها

۲-۳-۱ پوزولان‌های طبیعی[۴]

این مواد از دیرباز در ساخت و سازهای کارهای ساختمانی مصرف شده‌اند.

کاربرد ملات آهک – پوزولان قبل از پیدایش سیمان پرتلند در سال ۱۸۲۴ بوده است. در جزیره کرت، رس کلسینه شده و آهک در ۲۰۰۰ سال قبل از میلاد مسیح به کار رفته است. در یونان باستان بتن با آهک و پوزولان در ۷۰۰ سال قبل از میلاد مسیح به کار رفته است.

کشف خاکستر آتشفشانی در ناحیه پوزولی ناپل ایتالیا و کاربرد آن به عنوان پوزولان در ۲۰۰۰ سال پیش توسط رومی‌ها صورت گرفته است.کشف تراس رن و آدرناخ توسط آلمان‌ها در دوره رومی‌ها بوده است و به حدود ۲۰۰۰ سال قبل از میلاد برمی‌گردد.کاربرد ملات آهک – پوزولان توسط رومی‌ها در اغلب سازه‌ها در قصرها و کارهای آبی با دوام بسیار زیاد صورت گرفته است.

در سال ۱۹۸۴ حدود ۴۰٪ از سیمان‌ها در ایتالیا با ۲۵٪ پوزولان طبیعی ساخته شده است (۳ میلیون تن پوزولان). در آمریکا برای اولین بار در سال ۱۹۱۰ توف ریولیتی در ساخت پلی در لس‌آنجلس به همراه سیمان پرتلند به کار رفته است. بعد از آن پوزولان‌های طبیعی در ساخت سدهای زیادی به کار رفته است (سال های ۱۹۳۰ به بعد). چین، مکزیک و هند نیز از کاربران بزرگ پوزولان‌های طبیعی می‌باشند. در چین مصرف بیش از ۱۲ میلیون تن در سال گزارش شده است. پوزولان‌های تراس جاجرود، خاک سرخ لومار و پوکه سنگ هراز از سال ۱۳۲۰ به بعد توسط مرحوم مهندس حامی در ایران کشف گردید. ایشان در سال‌های بعد کار روی پوزولان تفتان و بستان آباد را ادامه دادند. ادامه کار بر روی پوزولان‌های طبیعی تراس جاجرود، دیاتمه ممقان، پومیس سهند و سبلان، پوکه بستان آباد و تفتان و پوزولان کرمان توسط محققین دیگر ایرانی صورت گرفته است.

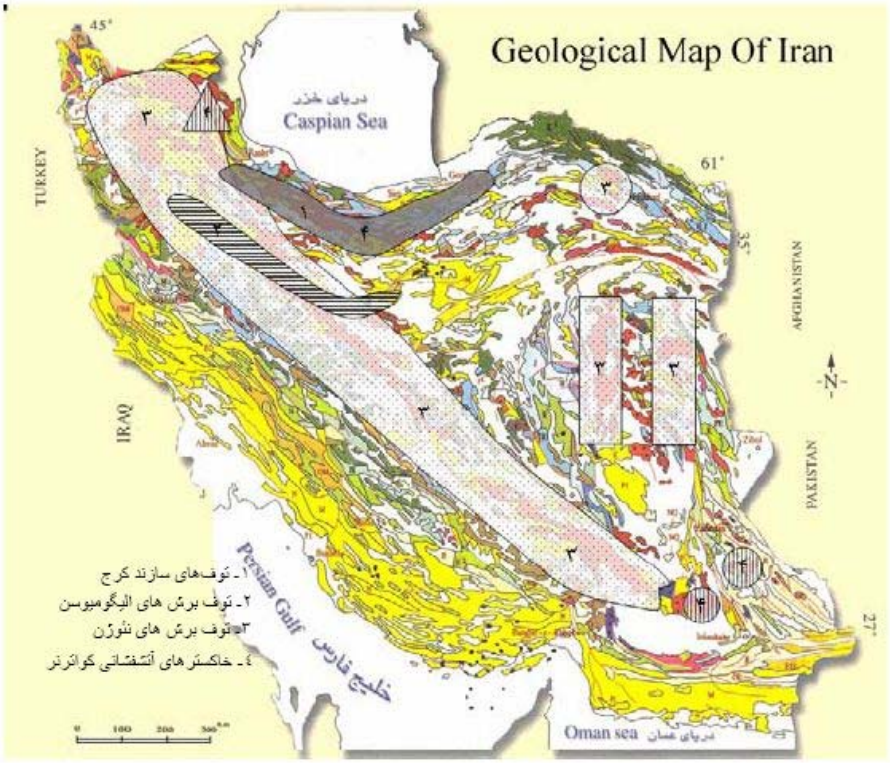
بررسی‌های زمین‌شناسی نشان می‌دهد که سنگ‌های دارای خاصیت پوزولانی در ایران به چهار نوع زیر قابل تقسیم است که در شکل(۲-۳) نحوه توزیع این سنگ‌ها در ایران نشان داده شده است[۲].

۱- توف‌های سبز سازند کرج مربوط به ائوسن زیرین با ترکیب داسیتی

۲- توف برش‌های سبز رنگ الیگومیوسن با ترکیب ریوداسیت تا ریولیت

۳- توف برش‌های پامیس‌دار نئوژن با ترکیب داسیت و داسیت آندازیت

۴- جریان‌های خاکستر و پامیس کواترنر با ترکیب داسیتی



شکل (۲-۳): نحوه توزیع سنگ‌های دارای خاصیت پوزولانی در ایران[۲]

۲-۳-۲ پوزولان‌های مصنوعی[۴]

۲-۳-۲-۱ خاکستر بادی

شروع کاربرد این این ماده از سال ۱۹۳۰ به بعد می‌باشد. در سال ۱۹۳۷ نتایج تحقیقات دیویس[۱] منتشر شده است. اولین سد آمریکا به نام هانگری هورس[۲] در سال ۱۹۸۴ با خاکستر بادی ساخته شد. مصرف زیاد آن از سال ۱۹۷۰ به بعد بوده است. در جدول(۲-۱) تولید و مصرف خاکستر بادی در کشورهای جهان تا سال ۱۹۹۱ را نشان می‌دهد.

[۱] - Davis
[۲] - Hungry Horse