بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران)

دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست

پایان نامه دوره کارشناسی ارشد

بررسی خواص مکانیکی و دوام بتنهای ساخته شده با پوزولانهای طبیعی؛ تراس جاجرود و پومیس اسکندان

توسط:

سید سجاد میرولد

استاد راهنما:

پروفسور علی اکبر رمضانیانپور

زمستان ۸۷

دانشگاه صنعتی امیرکبیر
(پلی‌تکنیک تهران)

بسمه تعالی

فرم اطلاعات پایان‌نامه
کارشناسی- ارشد و دکترا

تاریخ:
شماره:

معاونت پژوهشی
فرم پروژه تحصیلات تکمیلی ۷

مشخصات دانشجو:

نام و نام خانوادگی: سید سجاد میرولد دانشجوی آزاد ● بورسیه ○ معادل ○

شماره دانشجوئی: ۸۵۱۲۴۱۲۶ دانشکده: مهندسی عمران و محیط زیست رشته تحصیلی: مهندسی عمران گروه: مهندسی سازه

مشخصات استاد راهنما:

نام و نام خانوادگی: علی اکبر رمضانیانپور درجه و رتبه: استاد

نام و نام خانوادگی: درجه و رتبه:

مشخصات استاد مشاور:

نام و نام خانوادگی: منصور پیدایش درجه و رتبه: مربی

نام و نام خانوادگی: درجه و رتبه:

عنوان پایان‌نامه به فارسی: بررسی خواص مکانیکی و دوام بتنهای ساخته شده با پوزولانهای طبیعی؛ تراس جاجرود و پومیس اسکندان

عنوان پایان‌نامه به انگلیسی: Study of Mechanical Properties and Durability of Concretes Containing Natural Pozzolans; Jajrood Trass & Eskandan Pumice

نوع پروژه: کارشناسی ○ ارشد ● دکترا ○ سال تحصیلی: ۸۷-۸۸

کاربردی ● بنیادی ○ توسعه‌ای ○ نظری ○

تاریخ شروع : ۸۶/۷/۱ تاریخ خاتمه : ۸۷/۱۱/۱۴ تعداد واحد : ۶ سازمان تأمین کننده اعتبار : ----------

واژه‌های کلیدی به فارسی: پوزولان طبیعی، دوام، نفوذ یون کلراید، خصوصیات مکانیکی، نفوذپذیری

واژه‌های کلیدی به انگلیسی: Natural Pozzolan, Durability, Chloride Ion Penetration, Mechanical Properties, Permeability

مشخصات ظاهری	تعداد صفحات ۱۵۲	تصویر ●	جدول ●	نمودار ●	نقشه ○	واژه‌نامه ○	تعداد مراجع ۲۹	تعداد صفحات ضمائم ۰
زبان متن	فارسی ●	انگلیسی ○	چکیده	فارسی ●	انگلیسی ●			
یادداشت								

نظرها و پیشنهادها به منظور بهبود فعالیت‌های پژوهشی دانشگاه

استاد:

دانشجو:

امضاء استاد راهنما: **تاریخ:**

۱ : ارائه به معاونت پژوهشی به همراه یک نسخه الکترونیکی از پایان‌نامه و فرم اطلاعات پایان‌نامه بصورت PDF همراه چاپ چکیده (فارسی انگلیسی) و فرم اطلاعات پایان‌نامه

۲ : ارائه به کتابخانه دانشکده (شامل دو جلد پایان نامه به همراه نسخه الکترونیکی فرم در لوح فشرده طبق نمونه اعلام شده در صفحه خانگی کتابخانه مرکزی)

تشکر و قدردانی:

پروردگار بلند مرتبه را که یگانه یاور تمامی انسانهاست شکرگزارم که توان و فرصت به پایان رساندن این پژوهش را در اختیارم نهاد.

بر خود وظیفه می دانم که از اساتید محترم و گرامی، جناب آقای دکتر رمضانیانپور و جناب آقای مهندس پیدایش که در طول این پروژه رهنمودهای مؤثر و بی دریغ خود را در اختیار من قرار دادند کمال تشکر را داشته باشم.

همچنین لازم است مراتب سپاس و قدردانی خویش را از جناب آقای دکتر مودی، استاد محترم دانشکده مهندسی عمران، جناب آقای مهندس صدری، عضو محترم هیئت علمی دانشکده مهندسی معدن، جناب آقای مهندس بخشی، مسئول محترم آزمایشگاه بتن و مصالح ساختمانی دانشگاه صنعتی امیرکبیر، جناب آقای سعیدی از کارکنان دلسوز آزمایشگاه بتن و مصالح ساختمانی، سرکار خانم هاشمی، منشی محترم مرکز تحقیقات تکنولوژی و دوام بتن دانشگاه صنعتی امیرکبیر، جناب آقای مهندس خالقی، مسئول محترم آزمایشگاه سازه دانشگاه صنعتی امیرکبیر، جناب آقایان فراهانی، پورخورشیدی و نجیمی، مهندسان بخش بتن مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن و سرکار خانم پاشایی، منشی محترم این بخش، بعمل آورم.

در پایان قدردان زحمات تمامی انسانهایی که تلاشهای آنها در قرون و اعصار گذشته و حال در به ثمر رسیدن این پروژه مؤثر بوده است، می باشم.

تقدیم به

پدر و مادر بردبار

و برادران بزرگوارم

دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست

چکیده پایان نامه کارشناسی ارشد تحت عنوان :

بررسی خواص مکانیکی و دوام بتنهای ساخته شده با پوزولانهای طبیعی؛ تراس جاجرود و پومیس اسکندان

ارائه شده توسط سید سجاد میرولد شماره دانشجویی ۸۵۱۲۴۱۲۶ گرایش سازه

استاد راهنما: دکتر علی اکبر رمضانیانپور تاریخ تحویل: ۱۳۸۷/۱۰/۱۴

بتن، بعنوان یکی از پرمصرفترین مصالح ساختمانی، نقش مهمی در صنعت ساخت و ساز در تمام دنیا دارد. از اینرو مهندسان عمران همواره در تلاش برای بهبود کیفیت و دوام آن می باشند. استفاده از پوزولانها در بتن به عنوان ماده جایگزین سیمان یکی از روشهای مؤثری است که می توان برای بهبود کیفیت و دوام بتن از آن بهره جست. این روش علاوه بر بهبود خواص بتن به کاهش قیمت نهایی در ساخت و حرکت در راستای توسعه پایدار کمک می کند. با در نظر گرفتن این دیدگاهها در این پروژه تلاش شده است تا اثر پوزولانهای طبیعی تراس جاجرود و پومیس اسکندان، که دارای معادن قابل توجهی در کشور هستند، بر خواص مکانیکی و دوام بتن بررسی شود.

با هدف مطالعه عملکرد پوزولانهای تراس جاجرود و پومیس اسکندان و میزان فعالیت پوزولانی آنها، ابتدا نمونه هایی از ملات طبق استاندارد ایران با درصدهای جایگزینی ۰، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵ و ۳۰ ساخته و آزمایش مقاومت فشاری بر روی آنها در سنهای ۳، ۷، ۲۸، ۵۶ و ۹۱ روز انجام شد. با توجه به روند تغییر مقاومت فشاری نمونه های ملات و نتایج فعالیت پوزولانی، سه درصد جایگزینی از هر پوزولان برای ساخت بتن انتخاب گردید (درصدهای ۱۵، ۲۰ و ۲۵ برای تراس جاجرود و درصدهای ۱۰، ۱۵ و ۲۰ برای پومیس اسکندان). با درصدهای مشخص شده برای هر پوزولان، نمونه های بتنی در ۷ طرح با مقدار سیمان ۳۵۰ کیلوگرم در متر مکعب و نسبت آب به مواد سیمانی ۰/۵ و استفاده از سیمان ۴۲۵-۱ تهران و با روانی کنترل شده با استفاده از فوق روان کننده تهیه شدند.

نمونه های بتنی تهیه شده مورد آزمایشهای مقاومت فشاری، نفوذ آب، جذب مویینگی آب، نفوذ تسریع شده یون کلراید، پتانسیل نیم پیل در حمله کلرایدی، مقاومت الکتریکی و حمله سولفات سدیم تا سن شش ماه قرار گرفتند. همچنین نمونه هایی از ملات نیز برای بررسی تغییر طول در محلولهای سولفات سدیم و سولفات منیزیم نگهداری شدند.

بررسی آزمایش مقاومت فشاری نشان داد که پوزولانهای مورد استفاده با درصدهای جایگزینی تعریف شده در سن شش ماه فاصله مقاومتی بسیار کمی با نمونه شاهد داشتند. ضمن آنکه در این دوره زمانی در مجموع نمونه های حاوی تراس مقاومت فشاری بیشتری نسبت به نمونه های حاوی پومیس کسب کردند. البته بنظر می رسد در دوره های زمانی طولانیتر این برتری از بین برود. تقریباً در تمامی آزمایشهای مرتبط با دوام بتن، نمونه های بتنی حاوی پوزولان عملکرد بهتری نسبت به نمونه شاهد داشتند. در بین نمونه های پوزولانی در مجموع نمونه های حاوی تراس جاجرود بهتر از نمونه های حاوی پومیس اسکندان بودند و در مقایسه نمونه هایی از هر پوزولان در مجموع عملکرد نمونه های حاوی ۲۵ درصد تراس جاجرود و ۲۰ درصد پومیس اسکندان در حفظ دوام و کیفیت چشمگیرتر بود.

در نهایت دراین پروژه با پیش فرضهای مشخص شده در ساخت و عمل آوری، اثر مثبت و غیر قابل انکار پوزولانهای تراس جاجرود و پومیس اسکندان در افزایش کیفیت بتن ضمن کاهش هزینه های ساخت مشاهده شد.

کلمات کلیدی: پوزولان طبیعی، تراس، پومیس، خواص مکانیکی، دوام بتن، فعالیت پوزولانی، آزمایش نفوذ آب، آزمایش جذب مویینگی آب، نفوذ تسریع شده یون کلراید، مقاومت الکتریکی، پتانسیل نیم پیل، حمله کلرایدی و سولفاتی

فهرست مطالب:

عنوان	صفحه
فصل اول – مقدمه	۱
۱-۱) مقدمه و اهمیت موضوع	۱
۱-۲) تعریف پروژه	۲
۱-۳) هدف پروژه و روش کار	۳
۱-۴) معرفی فصلهای پایان نامه	۳
۱-۵) نکاتی در مورد پروژه	۴
فصل دوم – مواد پوزولانی	۵
۲-۱) معرفی	۵
۲-۲) تاریخچه	۷
۲-۳) طبقه بندی و مشخصات استاندارد برای پوزولانها	۷
۲-۴) پوزولانهای طبیعی	۹
۲-۵) پوزولانهای مصنوعی	۱۰
فصل سوم – اثر یونهای سولفات و کلراید در دوام بتن	۱۱
۳-۱) معرفی خرابی سولفاتی	۱۱
۳-۲) مکانیزم حمله سولفاتها	۱۱
۳-۳) اثر شرایط محیط در میزان سولفاته شدن	۱۴
۳-۴) مکانیزم حمله سولفاتی توسط آب دریا	۱۴
۳-۵) خوردگی	۱۵
۳-۶) مکانیسم خوردگی	۱۶
۳-۷) نقش بتن در جلوگیری از خوردگی آرماتور	۱۷
۳-۸) تاثیر کلراید برخوردگی	۱۸
۳-۹) عوامل موثر در نفوذ یون کلراید	۲۱

فصل چهارم - مروری بر پژوهشهای انجام شده بر روی پوزولانها و خواص بتنهای پوزولانی ۲۲
۴-۱) مقدمه ۲۲
۴-۲) مروری بر مطالعات سالهای دور ۲۲
۴-۳) تحقیقات انجام شده بر روی پوزولانها و اثرات آنها بر خواص مکانیکی و دوام بتن در سالهای اخیر ۲۵
۴-۳-۱) بررسی حمله سولفاتها ۲۵
۴-۳-۲) بررسی خوردگی بتنهای مسلح حاوی پوزولانهای طبیعی ۳۱
۴-۳-۳) بررسی مقاومت فشاری نمونه های ملات و بتن ۴۳
۴-۴) مروری بر چند تحقیق بر روی پوزولانهای تراس و پومیس ایران ۴۸
۴-۴-۱) مطالعات رمضانیانپور و پیدایش ۴۸
۴-۴-۲) پروژه آزمایشگاهی محمدی منش ۵۱
۴-۵) ارتباط پروژه های معرفی شده با موضوع پایان نامه و برنامه آزمایشگاهی تعریف شده ۵۳
فصل پنجم - مصالح، جزئیات و نحوه ساخت نمونه‌ها و آزمایشها ۵۵
۵-۱) سیمان پرتلند، پوزولان تراس جاجرود و پوزولان پومیس اسکندان ۵۵
۵-۲) سنگدانه ها ۵۷
۵-۳) فوق روان کننده ۵۸
۵-۴) آب ۵۹
۵-۵) طرح اختلاط ملات ۵۹
۵-۶) طرح اختلاط بتن ۵۹
۵-۷) ساخت نمونه ها ۶۰
۵-۷-۱) ساخت ملات ۶۰
۵-۷-۲) ساخت بتن ۶۲
۵-۸) روش آزمایشها و عمل آوری ۶۵
۵-۸-۱) آزمایش مقاومت فشاری ملاتها (استاندارد ۳۹۳ ایران) ۶۵
۵-۸-۲) آزمایش انبساط نمونه های ملات در حمله سولفاتها (ASTM C1012) ۶۶
۵-۸-۳) آزمایش مقاومت فشاری نمونه های بتنی استاندارد ۳۲۰۶ ایران ۶۸

۵-۸-۴) آزمایش جذب مویینگی آب (EN 480-5) ۶۹
۵-۸-۵) آزمایش نفوذ آب (DIN 1048) ۷۱
۵-۸-۶) آزمایش نفوذ تسریع شده یون کلراید (RCPT) (ASTM C1202) ۷۲
۵-۸-۷) آزمایش مقاومت الکتریکی ۷۵
۵-۸-۸) آزمایش اندازه گیری پتانسیل خوردگی با استفاده از دستگاه پتانسیل نیم پیل (ASTM C876) ۷۷
۵-۸-۹) آزمایش حمله سولفات سدیم ۸۰
فصل ششم - نتایج آزمایش ها و تفسیر ۸۵
۶-۱) آزمایش مقاومت فشاری ملاتها ۸۵
۶-۱-۱) بررسی فعالیت پوزولانی ۸۹
۶-۲) آزمایش مقاومت فشاری بر روی نمونه های بتنی ۹۱
۶-۳) آزمایش نفوذ آب در نمونه های بتنی ۹۶
۶-۴) آزمایش جذب مویینگی آب ۹۷
۶-۵) آزمایش نفوذ تسریع شده یون کلراید (Rapid Chloride Penetration Test) ۱۰۱
۶-۶) آزمایش مقاومت الکتریکی ۱۰۳
۶-۷) آزمایش نیم پیل برای بررسی خوردگی آرماتور در حمله یونهای کلراید ۱۰۹
۶-۸) آزمایش حمله سولفاتها ۱۱۱
۶-۸-۱) حمله سولفات سدیم به نمونه های بتنی ۱۱۱
۶-۸-۲) حمله سولفات سدیم و منیزیم به نمونه های ملات ۱۱۸
۶-۹) مقایسه نتایج آزمایشهای مختلف با یکدیگر ۱۲۱
فصل هفتم - نتیجه گیری و ارائه پیشنهاد ۱۳۲
۷-۱) نتیجه گیری ۱۳۲
۷-۲) پیشنهادها ۱۳۷
فهرست مراجع ۱۳۹

فصل اول

مقدمه

۱-۱) مقدمه و اهمیت موضوع:

در صنعت ساخت و ساز دنیا، سالهای متمادی است که بتن نقشی کلیدی و مؤثر ایفا می کند. از اینرو مهندسان عمران همواره در تلاش برای بهبود خواص و کیفیت آن بوده اند. در چند دهه گذشته دوام بتن به عنوان عاملی مهم و اساسی در طول عمر مفید سازه های بتنی در منظر مهندسان قرار گرفته است. در عین حال با توجه به گستردگی ساخت و ساز و فعالیت های عمرانی در دنیا دسترسی به سیمان با کیفیت و قیمت مناسب در همین سالها اهمیت بیشتری یافته است. با توجه به نیاز روزافزون دنیا به سیمان برای اجرای پروژه های مختلف عمرانی و اهمیت غیر قابل انکار دستیابی به سازه های بتنی با کیفیت و دوام بالا در کنار برنامه ریزیهای گسترده در راستای توسعه پایدار، ضرورت جایگزینی سیمان با پوزولان های طبیعی و مصنوعی احساس می شود. روشن است که در این جایگزینی مسائل اقتصادی طرح و دوام بتن عواملی تعیین کننده هستند. امروزه در دنیا تلاش پژوهشگران و مهندسان بر آن است که با دستیابی به پوزولانهای مناسب به کاهش و کنترل مصرف سیمان دست یافته شود که این مسأله علاوه بر اینکه به کاهش آلودگی زیست محیطی ناشی از فعالیت کارخانه های سیمان یاری می رساند، به اقتصاد پروژه های عمرانی هم کمک می کند. همچنین درکنار این اهداف و مزیتها محققان به افزایش کیفیت و دوام بتن با استفاده از پوزولانها توجه ویژه ای دارند و این خاصیت پوزولانها اهمیت ویژه ای در نظر آنها یافته است.

بنابراین اهمیت بررسی عملکرد بتنهای پوزولانی از نظر خواص مکانیکی و دوام، غیر قابل انکار است و در این زمینه همواره پروژه های گوناگون تعریف شده و هدایت می شوند.

۱-۲) تعریف پروژه:

کشور ما، ایران، معادن قابل توجه و گسترده ای از پوزولان را در خود دارد. وجود این معادن ارزشمند، هزینه های پایین استخراج و آماده سازی پوزولانهای طبیعی و کمبود سیمان برای ساخت و ساز منجر به گرایش به استفاده از این معادن شده است. نظر به اینکه منطقاً استفاده از هر ماده جدید در پروژه های عمرانی نیاز به بررسی های آزمایشگاهی متعدد دارد و اینکه در نظر بسیاری از مجریان طرحهای عمرانی، سیمان پوزولانی، سیمانی نامرغوب و بی کیفیت می باشد (که البته بدلیل برخی سهل انگاریها در تهیه و تولید سیمانهای پوزولانی توسط کارخانه های سیمان در گذشته، این طرز تفکر چندان هم عجیب نیست)، بررسی های دقیق بر روی پوزولانهای ایران و ارائه دستورالعملهای جامع برای مصرف این پوزولانها در بتن با درصدهای جایگزینی مختلف و برای کاربردهای متنوع لازم می نماید. مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن ایران با چنین رویکردی تصمیم به تهیه شناسنامه ای جامع از پوزولانهای ایران نموده است. اگر چه در گذشته مطالعاتی بر روی برخی از معادن پوزولان ایران صورت گرفته است، ولی یک بررسی جامع و مقایسه ای می تواند کمک شایانی به صنعت سیمان و ساخت و ساز در ایران داشته باشد. در گام نخست در بخش بتن این مرکز توجه به چهار پوزولان و معدن آنها متمرکز شد و پروژه ای با هدف تعریف نمودن درصدهای مختلف جایگزینی سیمان با پوزولانهای تراس جاجرود، پومیس اسکندان، پومیس خاش و توف آبیک برای تهیه سیمانهای مورد استفاده بعنوان سیمان بنایی، سیمان معمولی برای پروژه های ساختمانی عادی و سیمان با کیفیت بالا برای بتن های توانمند آغاز شد. بررسی عملکرد چهار پوزولان ذکر شده در بتنهای معمولی برای مصارف عادی سازه ای بعنوان دو پروژه کارشناسی ارشد تعریف شده و آزمایشها در آزمایشگاه بتن و مصالح ساختمانی و مرکز تحقیقات و دوام بتن دانشگاه صنعتی امیرکبیر پیگیری گردید (هر کدام از دو پروژه کارشناسی ارشد بر روی دو پوزولان تعریف شد).

۱-۳) هدف پروژه و روش کار:

هدف از انجام این پایان نامه بررسی خواص مکانیکی و دوام بتنهای ساخته شده با پوزولانهای طبیعی تراس جاجرود و پومیس اسکندان و تعریف درصدهایی برای جایگزینی این پوزولانها با در نظر گرفتن مسائل دوام و کسب خواص مکانیکی مطلوب در بتن می باشد.

در این تحقیق ابتدا با هدف بررسی فعالیت پوزولانها، نمونه هایی از ملات با درصدهای جایگزینی ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵ و ۳۰ تهیه شد و آزمایش مقاومت فشاری بر روی آنها در سنین مختلف صورت گرفت. سپس با توجه به نتایج آزمایش مقاومت فشاری نمونه های ملات، برای هر پوزولان سه درصد جایگزینی انتخاب و نمونه های بتنی با این درصدهای جایگزینی ساخته شد. در بررسی خواص مکانیکی و دوام بتن آزمایشهای مقاومت فشاری، مقاومت الکتریکی، حمله یونهای سولفات و کلراید، جذب مویینگی، نفوذ آب و نفوذ تسریع شده یون کلراید بر روی نمونه های بتنی صورت پذیرفت و در نهایت با توجه به نتایج، در مورد درصدهای مناسب برای جایگزینی سیمان با پوزولان قضاوت شد.

۱-۴) معرفی فصلهای پایان نامه:

در فصل اول ضمن ارائه مقدمه ای بر کار به معرفی اجمالی پروژه و اهداف آن پرداخته شده است.

در فصل دوم با هدف معرفی مواد پوزولانی، به تاریخچه، تعریف و طبقه بندی پوزولانها پرداخته شده است.

در فصل سوم، با توجه به اینکه در این پروژه حمله یونهای کلراید و سولفات به نمونه های بتنی مطالعه شده است، خرابیهای ناشی از این یونها و مکانیزم آن توضیح داده شده است.

فصل چهارم این پایان نامه مشتمل بر گزیده ای از مطالعات انجام شده بر روی پوزولانها می باشد. تحقیقهای ارائه شده در دسته بندیهای مطالعات سالهای دور، بررسیهای سالهای اخیر و پروژه های انجام شده در مورد پوزولانهای تراس جاجرود و پومیس اسکندان جای گرفته اند.

در فصل پنجم مشخصات مصالح مورد استفاده در ساخت نمونه ها، جزئیات ساخت و آزمایشهای خواص مکانیکی و دوام نمونه های ملات و بتن توضیح داده شده است.

فصل ششم این پایان نامه مشتمل بر نتایج آزمایشهای انجام شده، تفسیر نتایج و مقایسه نتایج آزمایشها با یکدیگر است.

در نهایت در فصل هفتم با توجه به آزمایشهای صورت گرفته و مشاهدات حاصل شده، به بررسی دقیق نتایج آزمایشها پرداخته و چند پیشنهاد برای پیگیری تحقیقات در این زمینه ارائه شده است.

۱-۵) نکاتی در مورد پروژه:

در مورد این پروژه به چند نکته می بایست توجه شود:

- ارزیابی و نتیجه گیری از آزمایشهای این پروژه باید در حیطه و با در نظر گرفتن پیش فرضهای این پروژه صورت پذیرد.

- با توجه به اینکه پوزولانهای طبیعی از معادن استخراج می شوند و اینکه معادن پوزولان همچون دیگر معادن دارای رگه های مختلف با مشخصات شیمیایی متنوع می باشد، باید توجه داشت که اولا نمونه های پوزولان مورد استفاده در این پروژه توسط فرد متخصص تهیه شده است و ثانیاً هرگونه اظهار نظر در مورد این پوزولانها در شرایط و پروژه های دیگر باید با توجه و بررسی خصوصیات شیمیایی پوزولانها انجام شود.

- در این پروژه آزمایشگاهی تمام تلاش صورت گرفته است که آزمایشها طبق استانداردهای معتبر و با دقت بالا صورت پذیرد. در این راستا از راهنماییهای آقای دکتر رمضانیانپور، یاری مسئولان آزمایشگاه بتن دانشگاه صنعتی امیرکبیر و تجربیات مهندسان بخش بتن مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن بهره گرفته شده است. ضمن آنکه تمام آزمایشها و مراحل کار به صورت گروهی انجام شده است. در واقع دو پروژه کارشناسی ارشد تعریف شده برای چهار پوزولان ذکر شده در قالب یک پروژه تحقیقاتی پیش رفته است و سعی شده است شرایط کاملاً مشابهی برای تمامی پوزولانها برقرار باشد و اینکه بتوان یک مقایسه جامع بر روی چهار پوزولان پر مصرف ایران داشت. برای دستیابی به اطلاعات و نتایج آزمایشها بر روی پوزولانهای پومیس خاش و توف آبیک شما خواننده محترم می توانید به پایان نامه مشابهی که بر روی این دو پوزولان زیر نظر آقای دکتر رمضانیانپور و توسط آقای احسان آرامون به انجام رسیده است، مراجعه نمایید.

فصل دوم

مواد پوزولانی

۲-۱) معرفی:

اهمیت انرژی و مشکلات زیست محیطی دنیای امروز موجب تلاش برای کنترل تولید سیمان که روندی انرژی بر و آلوده کننده محیط زیست می باشد، شده است. بخشی از این تلاشها در زمینه جایگزینی قسمتی از سیمان مصرفی در بتن با مواد پوزولانی طبیعی و مصنوعی بوده است. استفاده از این مواد جایگزین در بتن نه تنها با کاهش مقدار سیمان مورد استفاده به کاهش هزینه های عمرانی کمک می کند بلکه تا حد زیادی دوام بتن را افزایش می دهد. اثر تعیین کننده پوزولانها در افزایش دوام بتن خود از جنبه ای کمک کننده به اقتصاد طرحهای عمرانیست. این اثر کلیدی در برخی پوزولانها آنقدر چشمگیر است که بر روی اثر اقتصادی آنها در پروژه ها کاملاً سایه می افکند و توجه مهندسان تنها به بحث دوام بتن معطوف می شود.

ارتباط انسانها با پوزولان و واکنشهای پوزولانی در آغاز در مخلوط کردن مواد سیلیسی بسیار ریز با آهک شکل گرفت. اثر چسبندگی این مخلوط برای سازندگان بسیار جذاب بود و از این اثر در ساخت بناها کمک می گرفتند.

بر اساس ASTM C618 پوزولان ماده ای سیلیسی- آلومیناتی است که به خودی خود ارزش چسبندگی ندارد، اما به شکل ذرات بسیار ریز و در مجاورت رطوبت در درجه حرارت معمولی با هیدروکسید کلسیم واکنش شیمیایی داده و ترکیباتی را به وجود می آورد که خاصیت سیمانی و چسبندگی دارند. [۱]

حامی، در نشریه شماره ۱۴۷ مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، تحت عنوان سیمانهای طبیعی [۲] در این باره می نویسد: سیمانهای طبیعی موادی هستند که دوغابشان به تنهایی خاصیت چسبندگی ملات را ندارد، اما پس از مخلوط شدن با گرد آهک شکفته ($Ca(OH)_2$) در برابر هوا و جایی که هوا نبوده و در زیر آب، گرفته و سفت می شوند. [۲]

علی اکبر رمضانیانپور در مقاله ای با عنوان ارزیابی پوزولانهای ایران [۳]، مواد پوزولانی را بدین گونه تعریف می کند: پوزولانها عبارت از موادی هستند که اگرچه خاصیت گیرش ندارند، اما بر اثر ترکیب با آهک در درجه حرارت معمولی و در حضور آب به صورت مواد پایدار غیر حلال، از خود خاصیت گیرش بروز می دهند. به عبارت دیگر پوزولانها موادی سیلیسی- آلومینی هستند که وقتی تا حد بسیار ریز خرد و ساییده شوند، بدون خاصیت چسبندگی وارد محیط حاوی آب و هیدروکسید کلسیم شده و در این اختلاط ترکیبی بدست می دهند که خاصیت گیرش دارد. [۳] بنابراین در یک جمع بندی می توان گفت که پوزولانها (اعم از طبیعی و مصنوعی) موادی سیلیسی و یا سیلیسی- آلومینی هستند که بعنوان یک ماده مکمل سیمان پرتلند در افزایش خاصیت چسبندگی بتن مؤثرند. این مواد در حالت معمولی با آب واکنش نمی دهند ولی در مجاورت آهک یا سیمان واکنش شیمیایی ایجاد می کنند و می توانند مقاومت و دوام بتن را در دراز مدت افزایش دهند. لازم به توضیح است که سیلیس پوزولانها از نوع فعال است. سیلیس فعال سیلیسی با ساختار بی شکل (آمورف) می باشد و وقتی تا حد کافی ریز شده باشد بخوبی در واکنشهای پوزولانی شرکت می کند.

سیمان پرتلند پوزولانی به مخلوطی از سیمان پرتلند و مواد پوزولانی اطلاق می شود. بیشتر مواد پوزولانی نسبت به سیمان ارزانتر می باشند. اکثریت پوزولانها در روند واکنشها کند هستند. بعبارتی موجب کندگیری سیمان و کاهش حرارت هیدراتاسیون آن می شوند. بنابراین یکی از موارد مصرف پوزولانها در بتن ریزیهای حجیم می باشد. در این نوع بتن ریزی ها حرارت هیدراتاسیون می تواند اثرات مخرب زیادی بر بتن داشته باشد. استفاده از سیمانهای پرتلند پوزولانی در ساخت بتن در صورتی که عمل آوری بدرستی انجام شود می تواند به کاهش اثرات مخرب یونهای سولفات و کلراید بر بتن کمک کند.

۲-۲) تاریخچه:

یونانیان و رومیان از قدیم می دانستند که بعضی از سنگهای آتشفشانی دارای این خاصیتند که پس از خرد شدن و به صورت گرد درآمدن، با دوغاب آهک و ماسه، ملاتی بدست می دهند که نه تنها دارای مقاومت فشاری مناسب است، بلکه در برابر املاح آب دریا و مواد محلول نیز مقاومت می نماید. یونانیان این سنگ را از جزیره ای به نام تِرا (Threa) که اکنون سانتورین (Santorin) نامیده می شود، بدست می آوردند که هنوز هم مورد استفاده است. رومی ها نیز مشابه چنین سنگی را از خلیج ناپل استخراج کردند و چون بهترین جنس آن از بخش پوزولی (Pozzuoli) به دست می آمد، آن را پوزولان (Pozzolan) نامیدند. کشف سیمانهای طبیعی در اروپا به حدود دو هزار سال پیش مربوط می شود و تا کنون هم مورد استفاده قرار دارند. [۳]

پوزولان در ایران در سال ۱۳۲۰ کشف شد. از پوزولانهای طبیعی ایران می توان به پوزولانهای تراس جاجرود، پومیس اسکندان، خاک سرخ لومار، توف آبیک و پومیس خاش اشاره نمود. دامنه کوههای آتشفشانی از جمله کوههای سهند، دماوند و تفتان از جمله مکانهایی هستند که در آنها پوزولان یافت می شود.

امروزه در کشورهای صنعتی، در کنار پوزولانهای طبیعی، پوزولانهای مصنوعی که عموماً محصولهای جانبی تولیدات صنعتی هستند نیز کاربرد بسیار وسیعی یافته اند. کاربرد پوزولانهای مصنوعی از جمله دوده سیلیس، خاکستر پوسته برنج و ... در کنار بهبود خواص بتنها از جنبه های اقتصادی و زیست محیطی نیز حائز اهمیت است.

معادل فارسی واژه پوزولان در فرهنگستان زبان فارسی، سیمانهای طبیعی انتخاب شده است.[۳]

۲-۳) طبقه بندی و مشخصات استاندارد برای پوزولانها:

پوزولانها را از لحاظ منشأ وجودی می توان به پوزولانهای طبیعی و مصنوعی تقسیم نمود. پوزولانهای طبیعی شامل خاک های دیاتمه، چرت های اپالینی و شیل ها، توف ها و خاکستر آتشفشانی است. منابع اصلی پوزولانهای مصنوعی عبارتند از کوره های تولید کننده آلیاژهای فروسیلیس و نیروگاههایی که از زغال بعنوان سوخت استفاده می کنند. امروزه این مواد مصنوعی که با قیمت کم عمدتاً قابل دسترسی می باشند، به عنوان جایگزین بخشی از سیمان پرتلند مصرفی در بتن، مورد استفاده وسیعی قرار گرفته اند. به علاوه بدیهی است که بیشتر این مصنوعات قادرند مقاومت نهایی و دوام بتن با سیمان پرتلند را بهبود بخشند.

یکی از اولین طبقه بندی ها برای پوزولانهای طبیعی توسط میلنز (Mielenz) پیشنهاد گردید. در این سیستمِ طبقه بندی، پوزولانهای طبیعی بر اساس شش نوع فعالیت دسته بندی شدند. طبقه بندی جدیدی که توسط ماسازا (Massazza) پیشنهاد گردیده است، پوزولانهای طبیعی را به سه دسته تقسیم می نماید. گروه اول شامل سنگهای پیروکلاسیک که موادی آتشفشانی هستند، می شود. توف های پوزولانی و تراس از این دسته محسوب می شوند. گروه دوم، مواد تغییر یافته با درصد سیلیس زیاد می باشند که طی یک روند شامل ته‌نشین شدن مواد با منشأهای متفاوت، شکل داده شده اند. گروه سوم موادی با منشأ کلاستیک شامل رس ها و خاک های دیاتمه است. [۴]

ASTM C618 طبقه بندی زیر را برای پوزولانها ارائه می دهد:

- پوزولانهای رده N: پوزولانهای طبیعی خام یا کلسینه شده شامل خاکهای دیاتمه، چرت های اپالین و شیل ها، توف ها و خاکسترهای آتشفشانی یا پومیسیت ها، بعضی شیل ها و رس های کلسینه شده.
- پوزولانهای رده F: خاکستر بادی با منشأ زغال سنگ قیری.
- پوزولانهای رده C: خاکستر بادی، خاکستر لیکنیت با منشأ زغال سنگ قیری.
- پوزولانهای رده S: هر نوع مواد دیگر شامل پومیستهای عمل شده، بعضی دیاتمه ها، رس ها و شیل های کلسینه شده و آسیاب شده. [۱]

مشخصات استاندارد و روشهای آزمایش برای انواع مختلف پوزولانها توسط آیین نامه های مختلف بیان شده است تمامی استانداردها، مشخصات فیزیکی و شیمیایی پوزولانها را جهت تشخیص مناسب بودن یا نامناسب بودن آنها مورد بحث قرار می دهند. بر اساس مطالعات و تحقیقات انجام گرفته در زمینه مواد افزودنی مصنوعی این نتیجه حاصل شده است که ترکیبات کانی شناسی و مختصات ذرات مواد، تعیین کننده خاصیت پوزولانی و سیمانی بودن یک پوزولان هستند.

بیشتر استانداردها از جمله ASTM C618 برای پوزولانهای طبیعی مجموع سه اکسید اصلی شامل SiO_2 و Al_2O_3 و Fe_2O_3 را حداقل ۷۰ درصد مقرر داشته اند. همچنین یک مقدار حداکثر برابر با ۱۰ درصد برای افت سرخ شدن و ۳ درصد برای رطوبت بعنوان محدودیت برای خواص شیمیایی توسط برخی استانداردها بیان شده است. از دیدگاه خواص فیزیکی برای استفاده از پوزولانهای طبیعی در بتن بیشتر کدهای استاندارد محدودیتهایی در مورد میزان ذرات مانده روی الک ۴۵ میکرون، اندیس فعالیت پوزولانی و مقدار آب توصیه کرده‌اند. [۵]

۲-۴) پوزولانهای طبیعی:

منشأ تمامی پوزولانهای طبیعی بغیر از خاکهای دیاتمه و شیلها از پوکه سنگها و خاکسترهای غیر بلوری بجا مانده از فعالیتهای آتشفشانی است. البته تمام رسوبات آذری از خود فعالیت پوزولانی نشان نمی دهند. بلکه تنها آن دسته از رسوبات آذری که اسیدی هستند و حالت شیشه ای دارند و حاوی کانیهای زئولیتی می باشند، خاصیت پوزولانی دارند. در واقع پوزولانهای طبیعی با منشأ آتشفشانی در بر دارنده مواد شیشه ای غیر چسبنده یا توفهای متراکم حاصل از رسوبات خاکسترهای آتشفشانی هستند. این پوزولانها یا بصورت شبه سنگ تحکیم یافته مانند پوزولانهای طبیعی منطقه راین آلمان و آبیک ایران یا بصورت غیر تحکیم یافته و پودری مانند پوزولانهای ایتالیا و پومیس اسکندان می باشند.

خاکهای دیاتومه، سیلیس هیدراته شده آمورفی هستند که از اسکلت دیاتومه ها سرچشمه می گیرند. دیاتومه ها گیاهان آبی کوچک با دیوار های سلولی متشکل از صدف های سیلیسی هستند. این مصالح وقتی که خالص باشند پوزولانی هستند اما عموماً همراه با کانیهای رسی یافت می شوند. بنابراین باید با حرارت دادن فعال شوند تا واکنش پذیری پوزولانی مطلوبی کسب کنند. دیاتومه ها با آهک واکنشزایی زیادی دارند اما اسکلت ساختمان ذره بینی آنها موجب جذب آب زیاد در آنها می‌گردد. بزرگترین معدن شناخته شده دیاتومه در کالیفرنیا است. وجود معدنهای بزرگ دیگری نیز در الجزایر، کانادا، آلمان و دانمارک گزارش شده است.

رس های تکلیس شده یا شیل ها گونه دیگر پوزولانهای طبیعی می باشند. شیشه ها و توفهای آتشفشانی نیازی به فرآوری حرارتی برای زیادتر کردن خاصیت پوزولانیشان ندارند. با این وجود رس ها و شیل ها، واکنش زایی محسوسی از خود با آهک نشان نمی‌دهند، مگر آنکه ساختمانهای بلوری موجود در کانیهای رسی به وسیله فرآوری حرارتی از بین برده شود. معمولاً دماهایی در حدود ۶۰۰ تا ۹۰۰ درجه سانتیگراد در کوره های مخصوص برای این کار در نظر گرفته می شوند. فعالیت پوزولانی این محصول اساساً به علت تشکیل یک ساختمان آلومینو سیلیکاتی آمورف یا نامنظم در نتیجه فرآوری حرارتی است. [۶]

۲-۵) پوزولانهای مصنوعی:

پوزولانهای مصنوعی عموماً محصولات زائد و جنبی صنعتی می باشند. خاکسترهای حاصل از سوختن زغالسنگ و برخی محصولات باقیمانده در آن، سیلیس ناپایدار حاصل از بعضی از عملیات وابسته به متالورژی و روباره حاصل از صنایع آهن گدازی از جمله مواد زائد پر مصرفی هستند که در بتن بعنوان جایگزین سیمان مورد استفاده قرار می گیرند. کشورهای صنعتی همچون امریکا، روسیه، فرانسه، آلمان، ژاپن و بریتانیا از بزرگترین مصرف کنندگان پوزولانهای مصنوعی ذکر شده می باشند. از دیگر پوزولانهای مصنوعی پر مصرف در دنیای امروز خاکستر پوسته برنج می باشد که در کشورهای چین و هند مصرف بالایی دارد. در این بخش به صورت مختصر تعدادی از پوزولانهای مصنوعی مورد مصرف در بتن در سرتاسر دنیا معرفی می شوند:

خاکستر بادی: در هنگام احتراق زغالسنگ پودر شده در نیروگاههای مدرن، همراه با عبور زغالسنگ درون کوره، مواد ناپایدار و کربن آن می سوزند ولی بیشتر کانیهای ناخالص مانند رسها، کوارتز و فلدسپاتها در درجه حرارت زیادتر ذوب می شوند. ماده ذوب شده در نواحی با درجه حرارت کمتر سریعاً جامد شده و بصورت ذرات کروی شیشه ای در می آید. برخی از کانیها به هم چسبیده و تشکیل خاکستر ته مانده را می دهند (Bottom Ash) اما بیشتر آنها با جریان بخار گاز خارج می شوند. این مواد را خاکستر بادی (Fly Ash) می نامند. این خاکستر بوسیله دستگاه ته نشین کننده الکترواستاتیکی از گاز جدا می شود. خاکستر بادی از جمله پوزولانهای مصنوعی پر مصرف در بتن می باشد و نکته جالب توجه در مورد آن اینست که بیشتر انواع این پوزولان بر خلاف دیگر پوزولانها کارآیی بتن را افزایش می دهد.

دوده سیلیسی: این پوزولان مصنوعی محصول زائد کوره های قوس الکتریکی القایی در صنایع تولید فلز سیلیسیم و آلیاژ فروسیلیسیم است. تبدیل کوارتز به سیلیسیم در دمای حدود ۲۰۰۰ درجه سانتیگراد، بخار سیلیس (SiO_2) تولید می کند. این بخار با سرد شدن بشکل ذرات کروی شکل کوچک شامل سیلیس غیر متبلور، اکسیده و متراکم می گردد. این ماده بدلیل ریزی بالا نسبت به دیگر پوزولانها، بسیار پوزولانی است و آب زیادی جذب می کند.

خاکستر پوسته برنج: پوسته های بدست آمده در روند جداسازی برنج از شلتوک، حجیم و بلا استفاده هستند. از اینرو مشکلات زیادی در دفع آنها وجود دارد. سوزاندن این ماده زائد در کوره های صنعتی و در دما و مدت زمان مشخص، و پس از آن پودر نمودن خاکستر باقیمانده، پوزولانی با خواص سودمند در اختیار قرار می دهد. [۶]

فصل سوم

اثر یونهای سولفات و کلراید در دوام بتن

۳-۱) معرفی خرابی سولفاتی:

منشأ خرابی سولفاتی خارجی است و در اثر حمله سولفاتها بصورت مایع به بتن، روی می دهد. کاهش کیفیت بتن در اثر این خرابی به خود را دو شکل نشان می دهد. حمله سولفات می تواند به شکل انبساط در بتن ظاهر شود. در اثر این انبساط بتن ترک می خورد و تراوایی آن افزایش می یابد و آب مهاجم راحت تر به آن نفوذ می کند در نتیجه آسیب دیدگی بتن شدت می یابد. همچنین حمله سولفات می تواند بصورت کاهش مستمر مقاومت بتن و جرم آن که در نتیجه از بین رفتن چسبندگی بین ذرات بتن است خود را نشان دهد.

۳-۲) مکانیزم حمله سولفاتها:

در اثر حمله سولفاتها به محیط بتن امکان انجام شدن واکنش‌های زیر وجود دارد:

الف) تبدیل شدن هیدروکسید کلسیم حاصل از هیدراتاسیون سیمان به سولفات کلسیم و متبلور شدن این ترکیب که همراه با انبساط و تخریب بتن می‌باشد. حجم مواد حاصل در این واکنش حدود ۱۲۴ درصد حجم مواد اولیه است.