

الرحمن الرحيم



۱۳۰۷

دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی  
دانشکده مهندسی عمران

پایان نامه کارشناسی ارشد

رشته و گرایش :

مهندسی عمران – سازه

عنوان :

بررسی خصوصیات مقاومتی و دوام بتن های حاوی سیمانهای  
سه جزئی مبتنی بر دوده سیلیسی و پوزولان طبیعی

استاد راهنما :

دکتر علیرضا باقری

دانشجو :

محمد جواد صانعی

شماره دانشجویی :

۸۷۰۴۳۳۴

## چکیده

استفاده همزمان از دو نوع پوزولان در بتن های مبتنی بر سیمان سه جزئی با هدف بهینه سازی اثرات مجزای پوزولانهای مختلف جهت بهبود روند کسب مقاومت و دوام و درعین حال کاهش هزینه ها و یا مشکلات اجرایی مورد توجه محققین در سطح جهان می باشد.

در کشور ما علیرغم وجود منابع غنی پوزولانهای طبیعی پومیس و تراس، کاربرد آنها در بتن به علت روند کند کسب مقاومت محدود بوده است. از سوی دیگر دوده سیلیسی علیرغم مقادیر نسبتا محدود تولید شده در کشور و هزینه بالای آن و مشکلات اجرایی نظیر افزایش نیاز آبی مخلوط، به صورت گسترده در تولید بتن های توانمند مورد استفاده قرار می گیرد. لذا در این تحقیق امکان استفاده ترکیبی از پوزولانهای طبیعی کشور شامل پومیس و تراس با دوده سیلیسی تولید داخل جهت دستیابی به بتنی که علاوه بر داشتن خصوصیات مناسب از نظر دوام، دارای روند مناسب کسب مقاومت نیز باشد، مورد بررسی قرار گرفته است.

مخلوطهای مورد مطالعه شامل مقدار سیمانی ۴۲۰ کیلوگرم بر متر مکعب و نسبت آب به مواد سیمانی ۰.۳۸ و ۰.۳۲ بوده اند. پومیس و تراس در مقادیر ۱۵ و ۳۰ درصد مواد سیمانی و دوده سیلیسی در مقادیر ۲/۵ و ۵ و ۷/۵ و ۱۰ درصد به صورت مجزا و ترکیبی، در ساخت مخلوط های بتن بکار گرفته شدند. عملکرد مخلوط ها به لحاظ خواص مکانیکی و دوام با انجام آزمایشهای مختلف شامل نفوذ یون کلر با روش تسریع شده (RCPT)، آزمایش تسریع شده انتقال یون کلر (RCMT)، تعیین عمق نفوذ آب، تعیین مقدار جذب آب حجمی، مقاومت الکتریکی، مقاومت فشاری و مقاومت خمشی در سنین مختلف تا سن ۱۸۰ روز مورد ارزیابی قرار گرفت.

نتیجه تحقیق حاضر نشان می دهد که با استفاده توام از پوزولان های طبیعی موجود در کشور به همراه دوده سیلیسی (سیمان سه جزئی) می توان کاستی های بتن های حاوی پوزولان های طبیعی به تنهایی را جبران نمود و درعین حال به بهبود قابل توجه خواص نسبت به مخلوط کنترل

( بدون پوزولان ) دست یافت. همچنین نتایج نشانگر این بوده اند که خواص مقاومتی و دوام حاصل از مخلوط های سه جزئی مزیت قابل توجهی نسبت به مخلوط های دو جزئی حاوی مقادیر برابر دوده سیلیسی ندارند، لیکن استفاده از مخلوط های سه جزئی امکان کاهش مصرف سیمان و جایگزینی آن با مقادیر قابل توجه پوزولان و منافع اقتصادی و زیست محیطی ناشی از آن را فراهم می آورد.

## فهرست عناوین

۱	فصل اول: کلیات
۲	۱-۱ مقدمه
۳	۲-۱ هدف و برنامه تحقیق
۴	۳-۱ معرفی سرفصل های پایان نامه
۶	فصل دوم: پوزولانها و نقش آنها در بتن (با تاکید بر تراس، پومیس و دوده سیلیسی)
۷	۱-۲ تاریخچه
۸	۲-۲ تعریف پوزولان
۸	۳-۲ طبقه بندی و ترکیبات شیمیایی پوزولانها
۹	۱-۳-۲ پوزولانهای طبیعی
۱۲	۱-۳-۲-۱ پوزولانهای طبیعی معروف جهان
۱۶	۲-۳-۲-۱ برخی از پوزولان های طبیعی ایران
۱۸	۲-۳-۲ پوزولان های مصنوعی
۲۲	۴-۲ واکنش پوزولانی
۲۶	۵-۲ اثرات پوزولان ها بر روی خصوصیات بتن
۲۶	۱-۵-۲ تاثیر پوزولان بر خواص بتن تازه
۲۸	۲-۵-۲ تاثیر پوزولان بر خواص بتن سخت شده
۲۹	۱-۲-۵-۲ مقاومت فشاری
۳۳	۲-۲-۵-۲ مقاومت در برابر حملات سولفاتی
۳۶	۳-۲-۵-۲ نفوذپذیری
۳۸	۴-۲-۵-۲ انبساط ناشی از واکنش قلیایی _ سیلیسی

۴۰	۵-۲-۵ نفوذ یون کلر
۴۱	۶-۲-۵-۲ کربناسیون
۴۲	۷-۲-۵-۲ افزایش دما
۴۳	۸-۲-۵-۲ جمع شدگی ناشی از خشک
۴۵	۹-۲-۵-۲ مقاومت در برابر چرخه های یخ زدن و ذوب شدن
۴۶	<b>فصل سوم: بررسی بتن های حاوی سیمان سه جزئی</b>
۴۷	۱.۳ مقدمه
۴۸	۲.۳ عملکرد سیمانهای سه جزئی در بتن
۴۸	۱.۲.۳ عملکرد سیمانهای سه جزئی در بتن تازه
۵۰	۲.۲.۳ عملکرد سیمانهای سه جزئی در بتن سخت شده
۵۰	۱.۲.۲.۳ مقاومت فشاری
۵۲	۲.۲.۲.۳ مقاومت در برابر حمله سولفاتی
۵۲	۳.۲.۲.۳ مقاومت در برابر نفوذ یون کلر
۵۶	۴.۲.۲.۳ عملکرد در برابر واکنش قلیایی-سیلیسی
۵۸	<b>فصل چهارم شرح برنامه آزمایشگاهی</b>
۵۹	۱.۴ مقدمه
۶۰	۲.۴ مشخصات مصالح
۶۰	۱.۲.۴ سیمان
۶۱	۲.۲.۴ سنگدانه ها
۶۳	۳.۲.۴ فوق روانساز
۶۳	۴-۲-۴ پوزولان ها

۶۴	۱.۴.۲.۴ آنالیز شیمیایی:
۶۴	۲.۴.۲.۴ رطوبت موجود:
۶۴	۳.۴.۲.۴ افت ناشی از احتراق :
۶۵	۴.۴.۲.۴ تعیین درصد مواد بزرگتر از ۴۵ میکرون
۶۶	۵.۴.۲.۴ سطح مخصوص
۶۶	۶.۴.۲.۴ وزن مخصوص
۶۶	۷.۴.۲.۴ فعالیت پوزولانی تسریع شده
۶۷	۸.۴.۲.۴ آزمایش کانی شناسی
۶۹	۳.۴ مخلوط های بتن مورد مطالعه
۷۲	۴.۴ آزمایش های انجام شده بر روی مخلوط های بتن
۷۲	۱.۴.۴ آزمایش تعیین مقاومت فشاری
۷۲	۲.۴.۴ آزمایش تعیین مقاومت خمشی
۷۳	۴.۴.۴ آزمایش تعیین مقاومت الکتریکی ویژه
۷۴	۵.۴.۴ نفوذ پذیری در مقابل آب
۷۴	۶.۴.۴ آزمایش تعیین مقدار جذب آب حجمی
۷۵	۷.۴.۴ محاسبه میزان نفوذ یون کلر به روش RCPT
۷۷	۸.۴.۴ تعیین میزان نفوذ یون کلر با روش RCMT
۸۱	<b>فصل پنجم: نتایج آزمایش ها و تحلیل آنها</b>
۸۲	۱-۵ مقدمه
۸۳	۲-۵ ارزیابی نتایج مخلوط های دو جزئی
۸۴	۱-۲-۵ نیاز آبی

۸۵	۲-۲-۵ مقاومت فشاری
۸۶	۴-۲-۵ مقاومت خمشی
۸۷	۵-۲-۵ مقاومت الکتریکی ویژه
۸۸	۶-۲-۵ نفوذپذیری در مقابل آب
۸۹	۷-۲-۵ جذب آب حجمی
۹۰	۸-۲-۵ نفوذ یون کلر به روش RCPT
۹۳	۹-۲-۵ نفوذ یون کلر به روش RCMT
۹۵	۳-۵ ارزیابی نتایج مخلوط های سه جزئی
۹۵	۱-۳-۵ نیاز آبی مخلوط ها
۹۵	۲-۳-۵ مقاومت فشاری
۹۷	۳-۳-۵ مقاومت خمشی
۹۸	۵-۳-۵ مقاومت الکتریکی ویژه
۱۰۰	۶-۳-۵ نفوذ پذیری در مقابل آب
۱۰۱	۷-۳-۵ جذب آب حجمی
۱۰۲	۸-۳-۵ نفوذ یون کلر به روش RCPT
۱۰۵	۹-۳-۵ نفوذ یون کلر به روش RCMT
۱۰۶	۴-۵ ارزیابی نتایج مخلوط های با نسبت آب به سیمان ۰/۳۲
۱۰۷	۱-۴-۵ نیاز آبی
۱۰۷	۲-۴-۵ مقاومت فشاری
۱۰۸	۳-۴-۵ مقاومت خمشی
۱۰۸	۴-۴-۵ مقاومت الکتریکی ویژه



۱۰۹	۵-۴-۵ نفوذ پذیری در مقابل آب
۱۱۰	۶-۴-۵ جذب آب حجمی
۱۱۰	۷-۴-۵ نفوذ یون کلر به روش RCPT
۱۱۱	۸-۴-۵ نفوذ یون کلر به روش RCMT
۱۱۲	۵-۵ مقایسه عملکرد مخلوط های دوجزئی و سه جزئی
۱۲۴	<b>فصل ششم: نتیجه گیری</b>
۱۲۵	۱-۶ نتیجه گیری
۱۲۹	۲-۶ پیشنهادات
۱۳۰	مراجع

## فهرست تصاویر

- شکل ۲-۱: تغییر مقدار هیدروکسید کلسیم موجود در هیدراتاسیون سیمان معمولی و سیمان دارای پوزولان [۱] ۲۲
- شکل ۲-۲: تاثیر جایگزینی یک پوزولان ایتالیایی بر روی حرارت هیدراتاسیون سیمان پرتلند [۱] ۲۳
- شکل ۲-۳: رابطه بین اکسیدهای پوزولان و مقاومت فشاری [۱۵] ۲۵
- شکل ۲-۴: میزان آهک ترکیب شده با توجه به سطح ویژه پوزولان [۳] ۲۶
- شکل ۲-۵: ساختار ناحیه انتفالی بین خمیر سیمان و سنگدانه [۱۱] ۲۸
- شکل ۲-۶: تاثیر جایگزینی بخشی از سیمان پرتلند با پوزولان بر مقاومت فشاری ملات سیمان [۳] ۲۹
- شکل ۲-۷: تاثیر دوده سیلیسی بر مقاومت فشاری بتن [۱۱]، [۳] ۳۰
- شکل ۲-۸: تغییر مقاومت بتن حاوی درصد‌های مختلف پوزولان سانتورین به مرور زمان [۱] ۳۰
- شکل ۲-۹: رابطه میان مقدار پوزولان و مقاومت ۲۸ روزه [۱۵] ۳۱
- شکل ۲-۱۰: توسعه مقاومت فشاری در مخلوط‌های مختلف طی زمان ( $w/c=0.4$ ) [۱۶] ۳۲
- شکل ۲-۱۱: مقایسه مقاومت فشاری نمونه کنترل با نمونه دارای ۲۵ درصد پومیس جایگزین شده با سیمان [۱۷] ۳۳
- شکل ۲-۱۲: مقایسه مقاومت سولفاتی سیمان‌های آمیخته و سیمان پرتلند دارای C3A مشابه [۲] ۳۴
- شکل ۲-۱۳: انبساط نمونه‌های درون محلول سولفات، پس از ۳۶ هفته [۱۸] ۳۵
- شکل ۲-۱۴: مقاومت فشاری ۳۰ روزه نمونه‌های داخل محلول ۲/۵ درصد سولفات منیزیم [۱۷] ۳۶
- شکل ۲-۱۵: مقاومت فشاری ۹۰ روزه نمونه‌های داخل محلول ۲/۵ درصد سولفات منیزیم [۱۷] ۳۶
- شکل ۲-۱۶: مقاومت فشاری ۱۲۰ روزه نمونه‌های داخل محلول ۲/۵ درصد سولفات منیزیم [۱۷] ۳۶
- شکل ۲-۱۷: میزان نفوذپذیری آب در بتن‌های با میزان ۳۵۰ کیلوگرم بر متر مکعب مصالح سیمانی [۶] ۳۸
- شکل ۲-۱۸: اثر پوزولان بر کاهش انبساط ناشی از واکنش قلیایی- سیلیسی [۳] ۳۹

- شکل ۱۹-۲: اثر توف آتشفشانی ترکیه بر انبساط ملات به سبب واکنش قلیایی- سیلیسی [۱۸] ۴۰
- شکل ۲۰-۲: اثر دوده سیلیسی و متاکائولین بر پخش یون کلر [۱۹] ۴۱
- شکل ۲۱-۲: مقایسه پروفیل یون کلرید در مخلوطهای مختلف با نسبت آب به سیمان ۰/۴ [۲۰] ۴۱
- شکل ۲۲-۲: میزان عمق کربناتاسیون بر حسب زمان برای بتنهای با میزان مصالح  
سیمانی  $350 \text{ Kg/m}^3$  [۶] ۴۲
- شکل ۲۳-۲: اثر استفاده از پوزولان بر بالارفت دما در بتن [۲] ۴۳
- شکل ۲۴-۲: جمع شدگی ناشی از خشک شدن بتن حاوی مقادیر مختلف خاک سانتورین [۱] ۴۴
- شکل ۲۵-۲: جمع شدگی بتن حاوی دوده سیلیسی با  $w/c$  برابر ۰/۴ [۱۱] ۴۴
- شکل ۲۶-۲: اثر پوزولان بر مقاومت در برابر چرخه های ذوب و انجماد [۲] ۴۵
- شکل ۱-۳: مجموع ترکهای سطحی در مخلوطهای مختلف [۲۱] ۴۹
- شکل ۲-۳: تاثیر دوده سیلیسی و خاکستر بادی در توسعه مقاومت فشاری [۲۴] ۵۰
- شکل ۳-۳: مقاومت فشاری بتن های ساخته شده از ترکیبات مختلف سرباره و دوده سیلیسی [۲۵] ۵۱
- شکل ۴-۳: مقایسه مقاومت فشاری بتن ساخته شده از ترکیبات مختلف دوده سیلیسی و  
توف ترکیه [۲۳] ۵۲
- شکل ۵-۳: مقاومت فشاری نمونه های بتن در زمانهای مختلف عمل آوری [۲۶] ۵۲
- شکل ۶-۳: تاثیر خاکستر بادی و دوده سیلیسی بر روی مقاومت سولفاتی [۲۵] ۵۴
- شکل ۷-۳: تاثیر پومیس و سرباره بر پروفیل کلر در سال سوم [۲۶] ۵۵
- شکل ۸-۳: بار الکتریکی عبوری از نمونه های مختلف در آزمایش RCPT [۲۷] ۵۵
- شکل ۹-۳: تاثیر دوده سیلیسی و خاکستر بادی بر انبساط ناشی از واکنش قلیایی- سیلیسی [۲۴] ۵۷
- شکل ۱-۴: نمودار دانه بندی شن و حدود استاندارد ASTM C33 ۶۲
- شکل ۲-۴: مقایسه منحنی دانه بندی ماسه مورد استفاده با محدوده ASTM C33 ۶۲

- شکل ۳-۴: پوزولانهای مورد استفاده در پروژه ۶۳
- شکل ۴-۴: تصویر میکروسکوپی گرفته شده از مقطع نازک سنگ تراس ۶۸
- شکل ۴-۵: دستگاه مورد استفاده برای انجام آزمایش مقاومت الکتریکی ۷۳
- شکل ۴-۶: دستگاه آزمایش عمق نفوذ آب به روش آلمانی ۷۴
- شکل ۴-۷: کلیات سیستم آزمایش RCPT ۷۶
- شکل ۴-۸: دستگاه تعیین عمق نفوذ کلر به روش RCPT ۷۷
- شکل ۴-۹: طرح تجهیزات دستگاه RCMT [۳۱] ۷۸
- شکل ۴-۱۰: دستگاه آزمایش تعیین عمق نفوذ کلر به روش RCMT ۷۹
- شکل ۴-۱۱: نمونه های شکسته شده در آزمایش RCMT ۷۹
- شکل ۴-۱۲: اندازه گیری عمق نفوذ کلر در آزمایش RCMT [۳۱] ۸۰
- شکل ۵-۱: مقادیر فوق روانساز مورد استفاده برای مخلوط های مختلف ۸۴
- شکل ۵-۲: نتایج آزمایش مقاومت فشاری طرح های دو جزئی ۸۵
- شکل ۵-۳: تاثیر پوزولانهای مختلف بر مقاومت خمشی بتن ۸۶
- شکل ۵-۴: نتایج آزمایش مقاومت الکتریکی طرح های دوجزئی ۸۷
- شکل ۵-۵: تاثیر میزان پوزولان بر مقاومت الکتریکی ویژه بتن ۸۸
- شکل ۵-۶: نتایج آزمایش تعیین عمق نفوذ آب برای طرح های دو جزئی ۸۹
- شکل ۵-۷: نتایج آزمایش جذب آب طرح های دو جزئی در سنین مختلف ۹۰
- شکل ۵-۸: تاثیر میزان مصرف دوده سیلیسی بر بار الکتریکی عبوری از بتن در آزمایش RCPT ۹۱
- شکل ۵-۹: تاثیر میزان مصرف پومیس بر بار الکتریکی عبوری از بتن در آزمایش RCPT ۹۱
- شکل ۵-۱۰: تاثیر میزان مصرف تراس بر بار الکتریکی عبوری از بتن در آزمایش RCPT ۹۱
- شکل ۵-۱۱: تاثیر میزان مصرف دوده سیلیسی در کاهش نرخ نفوذ یون کلر در آزمایش RCMT ۹۴

- شکل ۵-۱۲: تاثیر میزان مصرف پومیس در کاهش نرخ نفوذ یون کلر در آزمایش RCMT ۹۴
- شکل ۵-۱۳: تاثیر میزان مصرف تراس در کاهش نرخ نفوذ یون کلر در آزمایش RCMT ۹۴
- شکل ۵-۱۴: مقاومت فشاری طرح های سه جزئی حاوی ۱۵ درصد پومیس ۹۶
- شکل ۵-۱۵: مقاومت فشاری طرح های سه جزئی حاوی ۳۰ درصد پومیس ۹۶
- شکل ۵-۱۶: نتایج آزمایش مقاومت خمشی طرح های سه جزئی ۹۸
- شکل ۵-۱۷: مقاومت الکتریکی ویژه طرح های سه جزئی حاوی ۳۰ درصد پومیس ۹۹
- شکل ۵-۱۸: مقاومت الکتریکی ویژه طرح های سه جزئی حاوی ۱۵ درصد پومیس ۹۹
- شکل ۵-۱۹: نتایج آزمایش عمق نفوذ آب برای طرح های سه جزئی ۱۰۱
- شکل ۵-۲۰: میزان جذب آب نیم ساعته طرح های سه جزئی در سنین مختلف ۱۰۲
- شکل ۵-۲۱: میزان بار الکتریکی عبوری از طرح های سه جزئی حاوی ۱۵ درصد پومیس در آزمایش RCPT ۱۰۳
- شکل ۵-۲۲: میزان بار الکتریکی عبوری از طرح های سه جزئی حاوی ۳۰ درصد پومیس در آزمایش RCPT ۱۰۳
- شکل ۵-۲۳: نتایج آزمایشات RCPT انجام شده در پژوهش Radlinski [۳۴] ۱۰۴
- شکل ۵-۲۴: نرخ نفوذ یون کلر در طرح های سه جزئی حاوی ۱۵ درصد پومیس ۱۰۵
- شکل ۵-۲۵: نرخ نفوذ یون کلر در طرح های سه جزئی حاوی ۳۰ درصد پومیس ۱۰۶
- شکل ۵-۲۶: تاثیر نسبت آب به سیمان بر مقاومت فشاری بتن ۱۰۷
- شکل ۵-۲۷: تاثیر کاهش نسبت آب به سیمان بر مقاومت خمشی بتن ۱۰۸
- شکل ۵-۲۸: تاثیر کاهش نسبت آب به سیمان بر روند افزایش مقاومت الکتریکی بتن در سنین مختلف ۱۰۹
- شکل ۵-۲۹: میزان تاثیر نسبت آب به مواد سیمانی در عمق نفوذ آب در بتن ۱۰۹
- شکل ۵-۳۰: تاثیر کاهش نسبت آب به سیمان در جذب آب حجمی بتن ۱۱۰

- ۱۱۱ شکل ۳۱-۵: تاثیر کاهش نسبت آب به مواد سیمانی بر بار الکتریکی عبوری از بتن
- ۱۱۲ شکل ۳۲-۵: تاثیر کاهش نسبت آب به سیمان بتن، بر نرخ نفوذ یون کلر
- ۱۱۳ شکل ۳۳-۵: مقاومت فشاری طرح های مختلف در سن ۲۸ روز
- ۱۱۳ شکل ۳۴-۵: مقاومت فشاری طرح های مختلف در سن ۹۰ روز
- ۱۱۳ شکل ۳۵-۵: مقاومت فشاری طرح های مختلف در سن ۱۸۰ روز
- ۱۱۴ شکل ۳۶-۵: مقاومت خمشی طرح های مختلف در سن ۲۸ روز
- ۱۱۴ شکل ۳۷-۵: عمق نفوذ آب در طرح های مختلف در سن ۲۸ روز
- ۱۱۵ شکل ۳۸-۵: مقاومت اکتريکی طرح های مختلف در سن ۲۸ روز
- ۱۱۵ شکل ۳۹-۵: مقاومت اکتريکی طرح های مختلف در سن ۹۰ روز
- ۱۱۵ شکل ۴۰-۵: مقاومت اکتريکی طرح های مختلف در سن ۱۸۰ روز
- ۱۱۶ شکل ۴۱-۵: جذب آب مخلوط های مختلف بتن در سن ۲۸ روز
- ۱۱۶ شکل ۴۲-۵: جذب آب مخلوط های مختلف بتن در سن ۹۰ روز
- ۱۱۶ شکل ۴۳-۵: جذب آب مخلوط های مختلف بتن در سن ۱۸۰ روز
- ۱۱۷ شکل ۴۴-۵: بار الکتریکی عبوری در آزمایش RCPT از مخلوط های مختلف در سن ۲۸ روز
- ۱۱۷ شکل ۴۵-۵: بار الکتریکی عبوری در آزمایش RCPT از مخلوط های مختلف در سن ۹۰ روز
- ۱۱۷ شکل ۴۶-۵: بار الکتریکی عبوری در آزمایش RCPT از مخلوط های مختلف در سن ۱۸۰ روز
- ۱۱۸ شکل ۴۷-۵: نرخ نفوذ یون کلر در آزمایش RCMT برای مخلوط های مختلف در سن ۲۸ روز
- ۱۱۸ شکل ۴۸-۵: نرخ نفوذ یون کلر در آزمایش RCMT برای مخلوط های مختلف در سن ۹۰ روز
- ۱۱۸ شکل ۴۹-۵: نرخ نفوذ یون کلر در آزمایش RCMT برای مخلوط های مختلف در سن ۱۸۰ روز

## فهرست جداول

- جدول ۱-۲ : ویژگیهای فیزیکی پوزولانهای طبیعی [۴] ۹
- جدول ۲-۲: ویژگیهای شیمیایی پوزولانهای طبیعی [۴] ۱۰
- جدول ۳-۲: ترکیب شیمیایی برخی پوزولانهای معروف جهان [۲] ۱۲
- جدول ۴-۲: ترکیبات شیمیایی برخی توفها [۱] ۱۲
- جدول ۵-۲: ترکیبات شیمیایی پوزالانا و توف [۱] ۱۳
- جدول ۶-۲: تجزیه شیمیایی تراس جاجرود ۱۶
- جدول ۷-۲: ترکیب شیمیایی پومیس ۱۷
- جدول ۸-۲: مشخصات نمونه های دیاتومه منطقه ممقان آذر شهر [۵] ۱۷
- جدول ۹-۲: ویژگی های فیزیکی الزامی دوده سیلیسی [۱۰] ۲۱
- جدول ۱۰-۲: ویژگی های شیمیایی دوده سیلیسی [۱۰] ۲۱
- جدول ۱۱-۲: ترکیب شیمیایی دوده سیلیسی کارخانه ازنا [۱۲] ۲۱
- جدول ۱۲-۲: ترکیب شیمیایی دوده سیلیسی کارخانه فرو سیلیس سمنان [۱۳] ۲۲
- جدول ۱۳-۲: قابلیت واکنش کانیهای اصلی تراس با آهک و میزان مشارکت آنها در واکنش [۳] ۲۴
- جدول ۱۴-۲: میزان پوزولان در مقاومت فشاری حداکثر [۱۵] ۳۱
- جدول ۱۵-۲: نتایج آزمایش مقاومت فشاری بر حسب مگا پاسکال [۶] ۳۲
- جدول ۱۶-۲: عمق نفوذ آب خمیر سیمان هیدراته [۲] ۳۷
- جدول ۱۷-۲: میزان متوسط نفوذ پذیری اکسیژن در ملاتها، در زمانهای مختلف [۶] ۳۸
- جدول ۱-۳: نتایج آزمایش مقاومت فشاری [۲۶] ۵۳
- جدول ۲-۳: نفوذ آب در بتنهای قرار گرفته در شرایط محیطی دریا (k)( $10^{-3}$ ) [۲۶] ۵۴
- جدول ۳-۳: تاثیر دوده سیلیسی و سرباره بر انبساط ناشی از واکنش قلیایی \_سیلیسی [۲۸] ۵۶

- ۶۰ جدول ۴-۱: نتایج آزمایشات انجام شده بر روی سیمان
- ۶۱ جدول ۴-۲: آنالیز شیمیایی سیمان مورد استفاده
- ۶۵ جدول ۴-۳: نتایج آزمایش های آنالیز شیمیایی انجام شده
- ۶۷ جدول ۴-۴: نتایج آزمایش اندیس پوزولانی هر یک از پوزولان ها
- ۶۸ جدول ۴-۵: ویژگی های پومیس و تراس مورد استفاده
- ۶۹ جدول ۴-۶: ویژگی های دوده سیلیسی مورد استفاده
- ۷۱ جدول ۴-۷ طرح های اختلاط و مشخصات بتن تازه
- ۷۸ جدول ۴-۸: ولتاژ اعمالی با توجه به جریان عبوری در آزمایش RCMT [۳۱]
- ۸۲ جدول ۵-۱: نتایج آزمایشات انجام شده برای تعیین خواص مکانیکی طرح ها
- ۸۳ جدول ۵-۲: نتایج آزمایشات انجام شده برای تعیین خواص دوام طرح ها
- ۹۲ جدول ۵-۳: میزان نفوذ کلر براساس شار عبوری از نمونه در آزمایش RCPT [۳۲]
- ۱۰۰ جدول ۵-۴: رابطه بین مقاومت الکتریکی و سرعت خوردگی بتن [۳۳]
- ۱۰۱ جدول ۵-۵: رده بندی عمق نفوذ آب مطابق DIN 1048
- ۱۰۶ جدول ۵-۶: میزان نفوذ کلر بر اساس نرخ نفوذ یون کلر در آزمایش RCMT [۳۱]
- ۱۲۳ جدول ۵-۷ رتبه بندی طرح های مختلف بر اساس آزمایشات دوام



## فصل اول: کلیات

امروزه در جهان پرمصرف ترین مصالح مورد استفاده برای ساخت سازه های مختلف بتن می باشد. مصرف بتن روز به روز در حال افزایش است بطوریکه امروزه تنها ماده ای که امکان رقابت با بتن را در میزان مصرف دارد، آب می باشد [۱].

با توجه به استفاده گسترده از بتن، محققین همیشه سعی در بهبود خواص و رفع نواقص موجود در این ماده داشته اند. مواد معدنی موسوم به پوزولان، از جمله موادی هستند که برای بهبود خصوصیات بتن مورد استفاده قرار می گیرند. پوزولانها از زمانهای گذشته در ساخت بتن و ملات کاربرد داشته اند. بطوریکه قدیمیترین نمونه از چسب هیدرولیکی به تاریخ ۴ تا ۵ هزار سال قبل از میلاد بر می گردد که ترکیبی از آهک و پوزولان طبیعی ( دیاتومه خلیج فارس) بوده است [۲].

مصرف پوزولانهای مختلف در بتن، می تواند منجر به مزایای اقتصادی، زیست محیطی و یا بهبود برخی خصوصیات مقاومتی و دوام بتن گردد. بنابراین مصرف بتنهای با سیمان دو جزئی، که بخشی از سیمان آنها با یک پوزولان جایگزین شده بود، به مرور زمان رواج پیدا کرد. بتن های با پایه ی سیمان دوجزئی<sup>۱</sup>، بسته به نوع پوزولان یا ماده مکمل سیمانی مورد استفاده دارای محدوده وسیعی از عملکرد به لحاظ خصوصیات مکانیکی، در مقایسه با بتن معمولی هستند. لذا با توجه به شرایط و کاربرد مورد نظر از پوزولان خاصی که پاسخگوی نیاز مربوطه باشد، استفاده می شود. معمولاً مصرف پوزولان در بتن که با هدف ارتقا یکی از خصوصیات بتن می باشد، منجر به بوجود آمدن رفتار جدیدی در خصوصیات دیگر بتن نیز می شود، که گاهی اوقات این تغییر رفتار با توجه به شرایط مصرف بتن، مطلوب نمی باشد. بعنوان مثال کاربرد پوزولان های طبیعی، علاوه بر امکان بهبود دوام درازمدت و مزایای زیست محیطی و اقتصادی عمدتاً منجر به کند شدن روند کسب مقاومت می گردد که ممکن است برای کاربرد مورد نظر قابل قبول نباشد. لذا در سالهای اخیر بحث مربوط به بتنهای بر

مبنای سیمان سه جزئی<sup>۲</sup> مطرح شده است، تا با تقویت یک از خصوصیات بتن، جنبه های دیگر رفتار بتن نیز قابل کنترل و سازگار با شرایط مورد استفاده باشد. اینگونه بتن ها بر اساس استفاده از دو پوزولان مختلف در کنار سیمان ساخته می شوند.

## ۲-۱ هدف و برنامه تحقیق

در کشور ما علیرغم وجود منابع غنی پوزولانهای طبیعی پومیس و تراس، کاربرد آنها در بتن به علت روند کسب مقاومت محدود بوده است و لذا بهره برداری از منابع غنی آنها به لحاظ بهبود دوام و همچنین کاهش هزینه ها و اثرات زیست محیطی آنگونه که باید صورت نگرفته است. از سوی دیگر دوده سیلیسی علیرغم مقادیر نسبتا محدود تولید شده در کشور و هزینه بالای آن و مشکلات اجرایی نظیر افزایش نیاز آبی مخلوط، به صورت گسترده در تولید بتن های توانمند مورد استفاده قرار می گیرد. لذا در این تحقیق امکان استفاده ترکیبی از پوزولانهای طبیعی کشور شامل پومیس و تراس با دوده سیلیسی تولید داخل جهت دستیابی به بتنی که علاوه بر داشتن خصوصیات مناسب از نظر دوام، دارای روند مناسب کسب مقاومت نیز باشد، مورد بررسی قرار گرفته است.

بر اساس هدف ذکر شده، برنامه کلی این پژوهش به شرح ذیل بوده است.

در ابتدا آزمایشهای مقدماتی برای تعیین خصوصیات مواد و مصالح مصرفی انجام گردید. پس از انجام این مرحله بتن کنترل و بتن های دو جزئی با هریک از مواد دوده سیلیسی، تراس و پومیس ساخته شده و آزمایش های مختلف تا سن ۱۸۰ روز بر روی این نمونه ها انجام گردید تا عملکرد آنها به لحاظ روند کسب مقاومت و دوام مشخص گردد. در مرحله بعد با استفاده از دوده سیلیسی به همراه یکی از دو پوزولان تراس و پومیس بتن های با پایه سیمان سه جزئی ساخته شدند.

بر اساس نتایج حاصل از آزمایش های مختلف، عملکرد بتن های سه جزئی در مقایسه با بتن های دو جزئی و یک جزئی مشخص گردید. همچنین به منظور کنترل صحت نتایج حاصله و روند مشخص

---

<sup>۲</sup> Ternary cement .

شده، برخی از مخلوط ها در یک نسبت آب به سیمان دیگر نیز ساخته شدند و نتایج آزمایش های انجام شده بر روی آنها مورد ارزیابی قرار گرفت.

### **۱-۳ معرفی سرفصل های پایان نامه**

پایان نامه حاضر مشتمل بر شش فصل به شرح ذیل می باشد.

#### **فصل اول: کلیات**

در این فصل به بیان مقدمه، فرضیات، اهداف و برنامه تنظیم شده برای انجام این پژوهش پرداخته شده است.

#### **فصل دوم: پوزولانها و نقش آنها در بتن (با تاکید بر تراس، پومیس و دوده سیلیسی)**

در این فصل مروری بر ادبیات فنی موجود روی انواع مختلف پوزولانها با تاکید بر سه پوزولان دوده سیلیسی، تراس و پومیس ارائه شده است. موارد مورد بررسی شامل طبقه بندی، نحوه کاربرد و عملکرد آنها روی خواص مختلف بتن بوده است.

#### **فصل سوم: بررسی بتن های حاوی سیمان سه جزئی**

در این فصل به معرفی بتن های با پایه ی سیمان سه جزئی پرداخته شده و نتایج تحقیقات و پژوهشهای قبلی در رابطه با بتن های ساخته شده از سیمانهای سه جزئی مبتنی بر پوزولانهای مختلف ارائه شده است.

#### **فصل چهارم: شرح برنامه آزمایشگاهی**

اطلاعات مربوط به مواد و مصالح مصرفی و نتایج آزمایش های انجام شده جهت تعیین خصوصیات آنها در این فصل ارائه شده است. همچنین طرح های اختلاط ساخته شده و آزمایشات انجام گرفته روی نمونه ها در این فصل تشریح شده اند.