١٠٨٢٨١

دانشگاه شهید باهنر کرمان
دانشکده فنی و مهندسی
گروه مهندسی عمران

پایان نامه تحصیلی جهت دریافت درجه کارشناسی ارشد مهندسی عمران، گرایش سازه

بررسی و مقایسه خصوصیات مکانیکی بتن‌های حاوی پوزولان و بدون پوزولان (مطالعه موردی: سیمان‌های کارخانه سیمان کرمان)

استاد راهنما:
دکتر علی اکبر مقصودی

مؤلف:
حامد احمدی مقدم

۱۳۸۷ /۹/ ۲۳

اسفند ۱۳۸۶

(ب)

۱۰۸۲۸۱

دانشگاه شهید باهنر کرمان

این پایان نامه به عنوان یکی از شرایط احراز درجه کارشناسی ارشد به

گروه مهندسی عمران

دانشکده فنی و مهندسی

دانشگاه شهید باهنر کرمان

تسلیم شده است و هیچگونه مدرکی به عنوان فراغت از تحصیل دوره مزبور شناخته نمی شود.

دانشجو: حامد احمدی مقدم

استاد راهنما: دکتر علی اکبر مقصودی

داور ۱: دکتر رضا رهگذر

داور ۲: دکتر سید مرتضی مرندی

معاونت پژوهشی و تحصیلات تکمیلی یا نماینده دانشکده: دکتر غلامرضا پور ابراهیم

حق چاپ محفوظ و مخصوص به دانشگاه شهید باهنر کرمان است.

دانشگاه شهید باهنر کرمان
اداره تحصیلات تکمیلی

تقدیم به مادر مهربانم

که تقویم زندگی نیز، تلافی گر یک نگاه محبت آمیزش نیست.

تقدیم به پدر بزرگوارم

که زیباترین نقش نگارستان خاطره‌ام، سیمای مهربان اوست.

و تقدیم به

برادر و خواهرم(علی و فاطمه) که به شوق آنها زندگی می کنم.

تقدیر و تشکر

حمد و سپاس خداوندی را که گستره عظمتش بی نهایت است.

اکنون که به یاری خداوند متعال، نگارش این پژوهش به اتمام رسیده است، بر خود لازم می‌دانم، بدینوسیله دوستی و سپاس بی پایان خود را به استاد گرانقدرم، جناب آقای دکترعلی‌اکبر مقصودی تقدیم نمایم؛ او که با محبت پدرانه، انگیزه و شوق انجام این کار را در شرایط دشوار فراهم نمود و بی‌تردید، بدون بردباری، علاقه، تلاش و همراهی همیشگی ایشان، اتمام این مهم میسر نمی بود.

از اساتید گرانقدر و دوست داشتنی ام در دانشگاه گیلان آقایان دکتر میر احمد لشته نشایی، دکتر ملک محمد رنجبر، دکتر سعید پورزینلی، دکتر میرعبدالحمید مهرداد و دکتر علی صدر ممتازی که همواره از حمایتهای معنوی آنها بر خوردار بودم کمال تشکر را دارم.

از استاد گرانقدرم جناب آقای مهندس سبحان الله علیپور مدیر شرکت مادر تخصصی آزمایشگاه فنی و مکانیک خاک استان گیلان که نخستین راهنما و مشوق من در تجربیات آزمایشگاهی بوده و همواره از راهنمایی های ایشان استفاده و از حمایتهای معنوی ایشان برخوردار بودم، نهایت قدر دانی را دارم.

از استاد عزیزم جانباز بزرگوار مهندس جعفر زاده رئیس سازمان بنیاد شهید و امور ایثارگران استان گیلان که بی شک اسوه صبر و بردباری و مشوق من در انجام این پژوهش بوده نهایت تشکر را دارم.

در پایان از تمام اعضای خانواده عزیزم خصوصاً مادر نازنینم که در کلیه مراحل زندگی و تحصیلات، آرامش را به من هدیه کردند و همواره مشوق من بوده اند، بی نهایت سپاسگزارم.

چکیده

سالهای زیادی است که بتن به عنوان یک ماده ساختمانی مهم در ساخت و سازهای بتنی کاربرد دارد. انجام پروژه‌های وسیع تحقیقاتی بر روی مواد مختلف تشکیل دهنده بتن در سالهای اخیر، منجر به پیدایش بتن‌هایی شده‌است که علاوه بر تأمین مقاومت، خواص دیگری از این ماده نظیر دوام، کارآیی، نرمی و مقاومت در برابر عواملی چون آتش، خوردگی و هوازدگی را دستخوش تغییرات اساسی نموده‌است. از طرفی، نیاز به صرفه جویی در انرژی، همچنین حفظ ذخایر آنها و سایر جنبه‌های اقتصادی، ایجاب می‌نماید که کوشش‌های وسیعی در جهت استفاده بهتر از ذخایر انرژی صورت گیرد. در این راستا استفاده از مواد پوزولانی شناخته شده به صورت طبیعی و مصنوعی در بتن، بصورت مخلوط فیزیکی با سیمان، نه تنها باعث کاهش آلودگی محیط‌زیست می گردد بلکه بهای تمام شده بتن را نیز کاهش می دهد و مهم تر این که موجب افزایش عمر و دوام بتن در محیط های مخرب می گردد.

هدف از انجام این پژوهش، بررسی و مطالعه برخی از خواص مکانیکی نمونه‌های ملات و بتن ساخته شده با انواع پوزولان شامل پوزولان معدنی، خاکستر پوسته برنج، میکروسیلیس و نانوسیلیس، با تکیه بر مطالعه کلی پوزولان‌های معدنی و مقایسه آن با بتن‌های کنترل (بدون پوزولان)، در صورت تغییر پارامترهای درصد پوزولان جایگزین سیمان، نوع پوزولان و نوع سیمان، با طرح اختلاط و نسبت آب به مواد سیمانی ثابت و در شرایط محیطی متفاوت، می‌باشد. پس از آن برای بررسی بتن‌های با مقاومت بالای حاوی پوزولان، طرحهای مختلف بتنی حاوی درصدهای متفاوت میکروسیلیس و با نسبتهای مختلف آب به سیمان و فوق روان کننده ساخته شده و مقاومت فشاری و خمشی و افت بتن اندازه گیری و مقایسه شد. دربخش دیگر، جهت بررسی کاربرد نانو ذرات (نانوسیلیس) در بتن، مقاومت فشاری و خمشی نمونه‌های بتنی حاوی پوزولان معدنی در صورت تغییر پارامترهای نسبت آب به مواد سیمانی، درصد میکروسیلیس، نانوسیلیس و پوزولان معدنی و ترکیب آنها به عنوان جایگزین سیمان یا افزودنی در کنار سیمان، بررسی و در هر حالت اندازه گیری و مقایسه شده است. در نهایت به منظور بررسی عملکرد خاکستر پوسته برنج به عنوان افزودنی پوزولانی صنعتی جایگزین سیمان در بتن، مقاومت فشاری، خمشی و روانی نمونه‌های بتنی حاوی ۱۵ درصد خاکستر پوسته برنج جایگزین سیمان اندازه گیری و با نتایج پوزولان معدنی در شرایط مشابه مقایسه شده است.

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
فصل اول- مقدمه	۱
فصل دوم- کلیات و تاریخچه	۷
۱- ۲- مقدمه	۸
۱- ۱- ۲- پوزولان های طبیعی	۸
۲- ۱- ۲- پوزولان های مصنوعی	۱۰
۱- ۲- ۱- ۲- خاکستر پوسته برنج	۱۰
۲- ۲- ۱- ۲- میکروسیلیس	۱۰
۳- ۲- ۱- ۲- نانوسیلیس	۱۳
۲- ۲- طبقه بندی و مشخصات استانداردها برای پوزولان	۱۳
۳- ۲- خواص بتن‌های ساخته شده از سیمان پرتلند پوزولانی	۱۶
۱- ۳- ۲- مقدمه	۱۶
۲- ۳- ۲- مقاومت فشاری	۱۷
۳- ۳- ۲- حرارت هیدراتاسیون	۱۸
۴- ۳- ۲- تخلخل و نفوذپذیری	۱۹
۵- ۳- ۲- الاستیسیته	۱۹
۶- ۳- ۲- کارایی بتن تازه	۲۰
۷- ۳- ۲- گیرش اولیه و نهایی سیمانهای پرتلند پوزولانی	۲۱
۸- ۳- ۲- تاثیر یون کلرور بر بتن	۲۱
۹- ۳- ۲- کربناتاسیون و خوردگی فولاد	۲۲
۱۰- ۳- ۲- دوام	۲۳
۱- ۱۰- ۳- ۲- حمله سولفاتی و مزیت استفاده از پوزولان	۲۴
۲- ۱۰- ۳- ۲- واکنش سیلیس با قلیایی های سیمان و مزیت واکنش پوزولانی	۲۷

۱۱- ۳- ۲- انقباض بتن (جمع شدگی ناشی از خشک شدن) ---------- ۲۸
۱- ۱۱- ۳- ۲- مصالح و نسبتهای اختلاط ---------- ۲۹
۲- ۱۱- ۳- ۲- زمان و رطوبت ---------- ۲۹
۳- ۱۱- ۳- ۲- هندسه عضو بتنی ---------- ۳۰
۴- ۱۱- ۳- ۲- پوزولان‌ها ---------- ۳۰
۱۲- ۳- ۲- انبساط بتن ---------- ۳۰
۱- ۱۲- ۳- ۲- واکنشهای انبساط زا ---------- ۳۰
۲- ۱۲- ۳- ۲- انبساط ناشی از حمله سولفاتی ---------- ۳۱
فصل سوم- هیدراتاسیون سیمان و فعالیت پوزولانی ---------- ۳۲
۱- ۳- مقدمه ---------- ۳۳
۲- ۳- هیدراتاسیون سیمان ---------- ۳۳
۱- ۲- ۳- سیمان پرتلند غیرهیدراته ---------- ۳۳
۲- ۲- ۳- واکنشهای هیدراتاسیون ---------- ۳۳
۳- ۲- ۳- مواد جامد در خمیر هیدراته شده ---------- ۳۶
۱- ۳- ۲- ۳- سیلیکات کلسیم هیدراته ---------- ۳۶
۲- ۳- ۲- ۳- هیدروکسید کلسیم ---------- ۳۶
۳- ۳- ۲- ۳- سولفوآلومینات کلسیم ---------- ۳۷
۴- ۳- ۲- ۳- دانه های کلینکر هیدراته نشده ---------- ۳۷
۳- ۳- واکنش پوزولانی واهمیت آن ---------- ۳۸
۴- ۳- منشأ فعالیت پوزولانی ---------- ۳۸
۵- ۳- ساختار پوزولان‌ها ---------- ۳۹
۶- ۳- عوامل مؤثر بر فعالیت پوزولانی ---------- ۴۰
۷- ۳- سنجش فعالیت پوزولانی ---------- ۴۱
فصل چهارم- مشخصات مصالح مصرفی و طرح مخلوط ملات و بتن ---------- ۴۲
۱- ۴- مقدمه ---------- ۴۳
۲- ۴- سیمان مصرفی ---------- ۴۳

۳- ۴- پوزولان‌های مورد استفاده ---------- ۴۵
۱- ۳- ۴- آنالیز شیمیایی پوزولان‌ها ---------- ۴۶
۲- ۳- ۴- آزمایش تعیین میزان فعالیت پوزولانی ---------- ۴۶
۱- ۲- ۳- ۴- آزمایش تعیین فعالیت پوزولانی به روش ترموگراویمتری ---------- ۴۶
۲- ۲- ۳- ۴- آزمایش تعیین ضریب فعالیت پوزولانی به روش فیزیکی ---------- ۴۷
۴- ۴- شن و ماسه مورد استفاده ---------- ۴۸
۵- ۴- طرح اختلاط ملات ها ---------- ۴۹
۶- ۴- محاسبات مربوط به طرح اختلاط بتن ---------- ۴۹
۱- ۶- ۴- افت بتن ---------- ۵۰
۲- ۶- ۴- بزرگترین اندازه سنگدانه و بزرگترین اندازه اسمی سنگدانه ---------- ۵۰
۳- ۶- ۴- تعیین مدول نرمی ریز دانه ---------- ۵۱
۴- ۶- ۴- مقدار آب و سیمان ---------- ۵۱
۵- ۶- ۴- مقدار شن (درشت دانه) ---------- ۵۱
۶- ۶- ۴- مقدار ماسه (ریزدانه) ---------- ۵۱
۷- ۶- ۴- رطوبت شن و ماسه ---------- ۵۲
فصل پنجم: ساخت نمونه‌ها و آزمایشات بتن تازه و سخت شده و بررسی نتایج ---------- ۵۳
۱- ۵- مقدمه ---------- ۵۴
۲-۵- آزمایش تعیین مقاومت فشاری نمونه‌های ملات ---------- ۵۵
۳- ۵- ساخت نمونه‌های بتن در آزمایشگاه ---------- ۵۶
۴- ۵- عمل آوری نمونه‌های بتن ---------- ۵۸
۵- ۵- آزمایش افت بتن ---------- ۵۸
۱- ۵- ۵- شرایط و وسایل آزمایش ---------- ۵۸
۲- ۵- ۵- روش آزمایش ---------- ۵۸
۶- ۵- آزمایش مقاومت فشاری نمونه‌های مکعبی بتن ---------- ۶۰
۱- ۶- ۵- نحوه انجام آزمایش مقاومت فشاری ---------- ۶۰
۲- ۶- ۵- مقاومت فشاری‌مشخصه بتن ---------- ۶۰

۷-۵- آزمایش تعیین مقاومت خمشی نمونه‌های بتن ---------- ۶۱
۱- ۷- ۵- نحوه انجام آزمایش مقاومت خمشی ---------- ۶۱
۲- ۷- ۵- محسبات مربوط به تعیین مقاومت خمشی نمونه های منشوری بتنی ۶۲
۸- ۵- آزمایش اندازه‌گیری مقدار انبساط و انقباض نمونه‌های بتنی در محیط مرطوب، آبی و سولفاتی ---------- ۶۴
۹- ۵- نتایج آزمایشات مقاومت فشاری نمونه‌های ملات ---------- ۶۵
۱- ۹- ۵- جداول نتایج آزمایشات مقاومت فشاری نمونه‌های ملات ---------- ۶۵
۲- ۹- ۵- مقایسه نتایج آزمایش مقاومت فشاری نمونه های ملات با نتایج آزمایش خاک سانتورین ---------- ۶۸
۱۰- ۵- نتایج آزمایشات مقاومت فشاری و خمشی نمونه‌های بتنی ---------- ۶۹
۱- ۱۰- ۵- جداول و نمودار های نتایج آزمایشات مقاومت فشاری و خمشی نمونه‌های بتنی ---------- ۶۹
۲- ۱۰- ۵- بررسی نتایج آزمایشات مقاومت فشاری و خمشی نمونه‌های بتنی - ۹۲
۱۱- ۵- آزمایشات انبساط و انقباض ---------- ۹۲
۱- ۱۱- ۵- جداول و نمودار های نتایج آزمایشات انبساط و انقباض ---------- ۹۲
۲- ۱۱- ۵- بررسی نتایج آزمایشات انبساط و انقباض ---------- ۱۰۴
۱۲- ۵- آزمایشات بتن با مقاومت بالا ---------- ۱۰۵
۱- ۱۲- ۵- شرایط آزمایشات و تهیه نمونه‌ها ---------- ۱۰۵
۲- ۱۲- ۵- نتایج آزمایشات بتن با مقاومت بالا ---------- ۱۰۵
۳- ۱۲- ۵- تحلیل نتایج ---------- ۱۰۷
۱۳- ۵- آزمایشات نانو بتن پوزولانی ---------- ۱۰۸
۱- ۱۳- ۵- شرایط آزمایشات و تهیه نمونه‌ها ---------- ۱۰۸
۲- ۱۳- ۵- نتایج آزمایشات نانو بتن پوزولانی ---------- ۱۰۹
۳- ۱۳- ۵- تحلیل نتایج ---------- ۱۱۱
۱۴- ۵- آزمایشات بتن حاوی خاکستر پوسته برنج ---------- ۱۱۱
۱- ۱۴- ۵- شرایط آزمایشات و تهیه نمونه‌ها ---------- ۱۱۱

۲- ۱۴- ۵- نتایج آزمایشات ---------- ۱۱۲
۳- ۱۴- ۵- تحلیل نتایج ---------- ۱۱۳
فصل ششم: نتیجه گیری و پیشنهادات ---------- ۱۱۴
۱- ۶- نتیجه گیری ---------- ۱۱۵
۲- ۶- پیشنهادات ---------- ۱۱۶
منابع و مآخذ ---------- ۱۱۷

فهرست اشکال

عنوان **صفحه**

شکل (۱-۲)- انواع آبهای موجود در ساختار سیلیکات کلسیم هیدراته شده ---------- ۲۸

شکل(۱-۴)- منحنی دانه‌بندی شن طرح اختلاط ---------- ۴۹

شکل(۲-۴)- منحنی دانه‌بندی ماسه طرح اختلاط ---------- ۴۹

شکل (۱-۵)- قالب ملات: (الف) نمای از بالا، (ب) مقطع طولی قالب ---------- ۵۵

شکل (۲-۵)- نمایی از قالبهای فلزی جهت بتن ریزی ---------- ۵۶

شکل(۳-۵)– نمایی از مخلوط کن بتن ---------- ۵۶

شکل(۴-۵)- نمایی از میز لرزاننده ---------- ۵۷

شکل (۵-۵)- متراکم کردن بتن به کمک میز لرزاننده ---------- ۵۷

شکل (۶-۵)- مراحل اندازه گیری روانی بتن: (الف) متراکم کردن لایه‌های بتن توسط میله، (ب)اندازه گیری افت توسط خط کش ---------- ۵۹

شکل (۷-۵)- نمونه ای از انواع آزمایش اسلامپ: (الف) اسلامپ صحیح، (ب) اسلامپ برشی، (پ) اسلامپ ریزشی ---------- ۵۹

شکل (۸-۵)- دستگاه آزمایش نمونه‌های فشاری ---------- ۶۰

شکل (۹-۵)- نحوه صحیح انجام آزمایش خمشی بتن با روش بازگذاری سه نقطه‌ای ---------- ۶۲

شکل (۱۰-۵)- نحوه قرار گیری اجزای دستگاه آزمایش مقاومت خمشی بتن: (الف) نحوه قرار دادن نمونه در دستگاه، (ب) قرار گیری نهایی نمونه بر روی تکیه‌گاهها و نحوه اعمال بار ---------- ۶۲

شکل (۱۱-۵)- نمودار جسم آزاد نمونه مشوری بتنی تحت بار سه‌نقطه‌ای ---------- ۶۳

شکل(۱۲-۵)- نگهداری نمونه‌های بتنی (الف) محیط مرطوب، (ب) محیط آبی (پ) محلول سولفات‌سدیم ---------- ۶۵

شکل (۱۳-۵)- نمودار مقاومت فشاری پوزولان رفسنجان سیمان تیپ ۲ در شرایط نگهداری غرقاب- ۶۸

شکل (۱۴-۵)- نمودار مقاومت فشاری پوزولان رفسنجان سیمان تیپ ۲ در شرایط نگهداری غرقاب- ۸۲

شکل (۱۵-۵)- نمودار مقاومت فشاری پوزولان رفسنجان سیمان تیپ ۵ در شرایط نگهداری غرقاب- ۸۲

شکل (۱۶-۵)- نمودار مقاومت فشاری پوزولان سیرجان سیمان تیپ ۲ در شرایط نگهداری غرقاب - ۸۳

شکل (۱۷-۵)- نمودارمقاومت فشاری پوزولان سیرجان سیمان تیپ ۵ در شرایط نگهداری غرقاب -- ۸۳

شکل (۱۸-۵)- نمودارمقاومت فشاری پوزولان رفسنجان سیمان تیپ ۲ در شرایط نگهداری محیط ۵٪ سولفات سدیم ---------- ۸۴
شکل (۱۹-۵)- نمودارمقاومت فشاری پوزولان رفسنجان سیمان تیپ ۵ در شرایط نگهداری محیط ۵٪ سولفات سدیم ---------- ۸۴
شکل (۲۰-۵)- نمودارمقاومت فشاری پوزولان سیرجان سیمان تیپ ۲ در شرایط نگهداری محیط ۵٪ سولفات سدیم ---------- ۸۵
شکل (۲۱-۵)- نمودارمقاومت فشاری پوزولان سیرجان سیمان تیپ ۵ در شرایط نگهداری محیط ۵٪ سولفات سدیم ---------- ۸۵
شکل (۲۲-۵)- نمودار انقباض ناشی از خشک شدن برای سیمان نوع دو و پوزولان های رفسنجان و سیرجان ---------- ۹۸
شکل (۲۳-۵)- نمودار انقباض ناشی از خشک شدن برای سیمان نوع پنج و پوزولان های رفسنجان و سیرجان ---------- ۹۹
شکل (۲۴-۵)- نمودار انبساط در محیط ابی برای سیمان نوع دو و پوزولان های رفسنجان و سیرجان ---------- ۱۰۰
شکل (۲۵-۵)- نمودار انبساط در محیط ابی برای سیمان نوع پنج و پوزولان های رفسنجان و سیرجان ---------- ۱۰۱
شکل (۲۶-۵)- نمودار انبساط در محیط سولفاتی برای سیمان نوع دو و پوزولان های رفسنجان و سیرجان ---------- ۱۰۲
شکل (۲۷-۵)- نمودار انبساط در محیط سولفاتی برای سیمان نوع پنج و پوزولان های رفسنجان و سیرجان ---------- ۱۰۳
شکل (۲۸-۵)- نمودار مقاومت فشاری نمونه‌های بتن با مقاومت بالا در سنین مختلف برای شرایط نگهداری در آب ---------- ۱۰۶
شکل (۲۹-۵)- نمودار مقاومت خمشی در سنین مختلف برای نمونه‌های نگهداری شده در آب -- ۱۰۷

فهرست جداول

عنوان **صفحه**

جدول(۱-۴)- بلین سیمان و مانده روی الک ۱۷۰ ---------- ۴۳

جدول (۲-۴)- آنالیز شیمیایی سیمان نوع دو و مقایسه آن با حدود مشخصات استاندارد ASTM C150 -- ۴۴

جدول (۳-۴)- آنالیز شیمیایی سیمان نوع پنج و مقایسه آن با حدود مشخصات استانداردASTM C150-- ۴۵

جدول (۴-۴)- آنالیز شیمیایی پوزولان‌های رفسنجان، سیرجان کوهپایه و گدارمیل ---------- ۴۶

جدول (۵-۴)- نتایج اکتیویته پوزولان به روش ترمو گراویمتری ---------- ۴۷

جدول (۶-۴)- نتایج تست روانی نمونه‌های پوزولان و آزمون فیزیکی تعیین فعالیت پوزولانی ----- ۴۷

جدول (۷-۴)- نتایج آزمون فیزیکی تعیین فعالیت پوزولانی(اندیس هیدرولیک) ---------- ۴۸

جدول (۸-۴)- ویژگیهای طرح بتن شاهد(بدون پوزولان) به روش ACI211 ---------- ۵۲

جدول (۱-۵)- تبدیل مقاومت مکعبی به استوانه استاندارد و بالعکس ---------- ۶۱

جدول (۲-۵)- ضرایب تبدیل مقاومت آزمونه‌های مکعبی به آزمونه مکعبی ۱۵۰ میلیمتری ------- ۶۱

جدول (۳-۵)- مقاومت فشاری نمونه ملات نگهداری شده در آب در سنین مختلف (سیمان نوع دو) ۶۶

جدول (۴-۵)- مقاومت فشاری نمونه ملات نگهداری شده در آب در سنین مختلف (سیمان نوع پنج) ۶۷

جدول (۵-۵)- نسبت مقاومت فشاری نمونه‌های پوزولانی به مقاومت فشاری نمونه‌های شاهد ------ ۶۹

جدول (۶-۵)- میانگین مقاومت فشاری نمونه بتن نگهداری شده در آب (سیمان نوع دو و پوزولان سیرجان) ---------- ۷۰

جدول (۷-۵)- میانگین مقاومت فشاری نمونه بتن نگهداری شده در آب (سیمان نوع دو و پوزولان رفسنجان) ---------- ۷۰

جدول (۸-۵)- میانگین مقاومت فشاری نمونه بتن نگهداری شده در رطوبت (سیمان نوع دو و پوزولان سیرجان) ---------- ۷۱

جدول (۹-۵)- میانگین مقاومت فشاری نمونه بتن نگهداری شده در رطوبت (سیمان نوع دو و پوزولان رفسنجان) ---------- ۷۱

جدول (۱۰-۵)- میانگین مقاومت فشاری نمونه بتن نگهداری شده در آب (سیمان نوع پنج و پوزولان سیرجان) ---------- ۷۲

جدول (۱۱-۵)- میانگین مقاومت فشاری نمونه بتن نگهداری شده در آب (سیمان نوع پنج و پوزولان رفسنجان) ---------- ۷۲
جدول (۱۲-۵)- میانگین مقاومت فشاری نمونه بتن نگهداری شده در رطوبت (سیمان نوع پنج و پوزولان سیرجان) ---------- ۷۳
جدول (۱۳-۵)- میانگین مقاومت فشاری نمونه بتن نگهداری شده در رطوبت (سیمان نوع پنج و پوزولان رفسنجان) ---------- ۷۳
جدول (۱۴-۵)- میانگین مقاومت فشاری نمونه بتن نگهداری شده در محلول سولفات (سیمان نوع دو و پوزولان سیرجان) ---------- ۷۴
جدول (۱۵-۵)- میانگین مقاومت فشاری نمونه بتن نگهداری شده در محلول سولفات برا ی سیمان نوع دو و پوزولان رفسنجان) ---------- ۷۴
جدول (۱۶-۵)- میانگین مقاومت فشاری نمونه بتن نگهداری شده در محلول سولفات (سیمان نوع پنج و پوزولان سیرجان) ---------- ۷۵
جدول (۱۷-۵)- میانگین مقاومت فشاری نمونه بتن نگهداری شده در محلول سولفات (سیمان نوع پنج و پوزولان رفسنجان) ---------- ۷۵
جدول (۱۸-۵)- شیب نمودارهای مقاومت فشاری نمونه بتن نگهداری شده در آب (سیمان نوع دو و پوزولان سیرجان) ---------- ۷۶
جدول (۱۹-۵)- شیب نمودارهای مقاومت فشاری نمونه بتن نگهداری شده در آب (سیمان نوع دو و پوزولان رفسنجان) ---------- ۷۶
جدول (۲۰-۵)- شیب نمودارهای مقاومت فشاری نمونه بتن نگهداری شده در رطوبت (سیمان نوع دو و پوزولان سیرجان) ---------- ۷۷
جدول (۲۱-۵)- شیب نمودارهای مقاومت فشاری نمونه بتن نگهداری شده در رطوبت (سیمان نوع دو و پوزولان رفسنجان) ---------- ۷۷
جدول (۲۲-۵)- شیب نمودارهای مقاومت فشاری نمونه بتن نگهداری شده در آب (سیمان نوع پنج و پوزولان سیرجان) ---------- ۷۸
جدول (۲۳-۵)- شیب نمودارهای مقاومت فشاری نمونه بتن نگهداری شده در آب (سیمان نوع پنج و پوزولان رفسنجان) ---------- ۷۸

جدول (۲۴-۵)- شیب نمودارهای مقاومت فشاری نمونه بتن نگهداری شده در رطوبت (سیمان نوع پنج و پوزولان سیرجان) ---------- ۷۹
جدول (۲۵-۵)- شیب نمودارهای مقاومت فشاری نمونه بتن نگهداری شده در رطوبت (سیمان نوع پنج و پوزولان رفسنجان) ---------- ۷۹
جدول (۲۶-۵)- شیب نمودارهای مقاومت فشاری نمونه بتن نگهداری شده در محلول سولفات (سیمان نوع دو و پوزولان سیرجان) ---------- ۸۰
جدول (۲۷-۵)- شیب نمودارهای مقاومت فشاری نمونه بتن نگهداری شده در محلول سولفات (سیمان نوع دو و پوزولان رفسنجان) ---------- ۸۰
جدول (۲۸-۵)- شیب نمودارهای مقاومت فشاری نمونه بتن نگهداری شده در محلول سولفات در چهار فاصله زمانی مختلف (سیمان نوع پنج و پوزولان سیرجان) ---------- ۸۱
جدول (۲۹-۵)- شیب نمودارهای مقاومت فشاری نمونه بتن نگهداری شده در محلول سولفات در چهار فاصله زمانی مختلف (سیمان نوع پنج و پوزولان رفسنجان) ---------- ۸۱
جدول (۳۰-۵)- میانگین مقاومت خمشی نمونه بتن نگهداری شده در آب (سیمان نوع دو و پوزولان سیرجان) ---------- ۸۶
جدول (۳۱-۵)- میانگین مقاومت خمشی نمونه بتن نگهداری شده در آب (سیمان نوع دو و پوزولان رفسنجان) ---------- ۸۶
جدول (۳۲-۵)- میانگین مقاومت خمشی نمونه بتن نگهداری شده در رطوبت (سیمان نوع دو و پوزولان سیرجان) ---------- ۸۷
جدول (۳۳-۵)- میانگین مقاومت خمشی نمونه بتن نگهداری شده در رطوبت (سیمان نوع دو و پوزولان رفسنجان) ---------- ۸۷
جدول (۳۴-۵)- میانگین مقاومت خمشی نمونه بتن نگهداری شده در آب (سیمان نوع پنج و پوزولان سیرجان) ---------- ۸۸
جدول (۳۵-۵)- میانگین مقاومت خمشی نمونه بتن نگهداری شده در آب (سیمان نوع پنج و پوزولان رفسنجان) ---------- ۸۸
جدول (۳۶-۵)- میانگین مقاومت خمشی نمونه بتن نگهداری شده در رطوبت (سیمان نوع پنج و پوزولان سیرجان) ---------- ۸۹

جدول (۳۷-۵)- میانگین مقاومت خمشی نمونه بتن نگهداری شده در رطوبت (سیمان نوع پنج و پوزولان رفسنجان) ---------- ۸۹
جدول (۳۸-۵)- میانگین مقاومت خمشی نمونه بتن نگهداری شده در محلول سولفات (سیمان نوع دو و پوزولان سیرجان) ---------- ۹۰
جدول (۳۹-۵)- میانگین مقاومت خمشی نمونه بتن نگهداری شده در محلول سولفات (سیمان نوع دو و پوزولان رفسنجان) ---------- ۹۰
جدول (۴۰-۵)- میانگین مقاومت خمشی نمونه بتن نگهداری شده در محلول سولفات (سیمان نوع پنج و پوزولان سیرجان) ---------- ۹۱
جدول (۴۱-۵)- میانگین مقاومت خمشی نمونه بتن نگهداری شده در محلول سولفات در سنین مختلف (سیمان نوع پنج و پوزولان رفسنجان) ---------- ۹۱
جدول (۴۲-۵)- کرنش ناشی از انبساط در محیط آبی برای دو نوع سیمان و پوزولان سیرجان بر حسب میکرو متر بر متر ---------- ۹۳
جدول(۴۳-۵)- کرنش ناشی از انبساط در محیط آبی برای دو نوع سیمان و پوزولان رفسنجان بر حسب میکرو متر بر متر ---------- ۹۴
جدول (۴۴-۵)- کرنش ناشی از انبساط در محیط سولفاتی برای دو نوع سیمان و پوزولان سیرجان بر حسب میکرو متر بر متر ---------- ۹۵
جدول(۴۵-۵)- کرنش ناشی از انبساط در محیط سولفاتی برای دو نوع سیمان و پوزولان رفسنجان بر حسب میکرو متر بر متر ---------- ۹۶
جدول (۴۶-۵)- کرنش ناشی از انقباض ناشی از خشک شدن برای دو نوع سیمان بر حسب میکرومتر بر متر ---------- ۹۷
جدول (۴۷-۵)- کرنش ناشی از انقباض ناشی از خشک شدن برای دو نوع سیمان بر حسب میکرومتر بر متر ---------- ۹۷
جدول (۴۸-۵)- ویژگیهای طرح های ساخته شده(کیلوگرم بر متر مکعب بتن) و روانی آنها ---------- ۱۰۶
جدول (۴۹-۵)- شیب نمودارمقاومت فشاری در سنین مختلف ---------- ۱۰۶
جدول (۵۰-۵)- ویژگیهای طرح بتن شاهد(بدون افزودنی) به روش ACI 211 ---------- ۱۰۸
جدول (۵۱-۵)- ویژگیهای طرح های ساخته شده در این پژوهش ---------- ۱۰۹

جدول (۵۲-۵)- نتایج مقاومت فشاری آزمونه های بتنی (کیلوگرم بر سانتیمتر مربع) ---------- ۱۰۹
جدول (۵۳-۵)- شیب نمودار مقاومت فشاری در سنین مختلف ---------- ۱۱۰
جدول (۵۴-۵)- مقاومت خمشی طرح ها ---------- ۱۱۰
جدول (۵۵-۵)- نتایج آزمایش روانی نمونه‌های حاوی نانو سیلیس ---------- ۱۱۰
جدول (۵۶-۵)- درصد وزنی عناصر تشکیل دهنده خاکستر های حاصل از سوزاندن پوسته برنج -- ۱۱۲
جدول (۵۷-۵)- مقاومت فشاری نمونه‌های بتنی بر حسب کیلوگرم بر سانتیمتر مربع --------- ۱۱۳
جدول (۵۸-۵)- مقاومت خمشی نمونه‌های بتنی بر حسب کیلوگرم بر سانتیمتر مربع --------- ۱۱۳
جدول (۵۹-۵)- نتایج آزمایش روانی ---------- ۱۱۳

فصل اول

مقدمه

مقدمه

سالهای زیادی است که بتن به عنوان یک ماده ساختمانی مهم در ساخت سازه‌های بتنی مانند ساختمان‌ها، سدها، پل‌ها، تونل‌ها، راه‌ها، اسکله‌ها، برج‌ها و سازه‌های خاص دیگر کاربرد دارد. در اکثر موارد به بتن به عنوان ماده‌ای مقاوم در برابر نیروهای فشاری نگریسته می‌شده‌است. انجام تحقیقات و آزمایشات وسیع بر مواد مختلف تشکیل دهنده انواع بتن با مواد جدید، در سالهای اخیر منجر به پیدایش بتن‌هایی شده است که علاوه بر تأمین مقاومت، خواص دیگری از این ماده نظیر دوام، کارآیی و مقاومت در برابر عواملی چون آتش، خوردگی و هوازدگی را دستخوش تغییرات اساسی نموده‌است. علاوه بر دگرگونی و تحول در مواد تشکیل دهندهٔ بتن، افزودن مواد دیگری به بتن همچون افزودنی‌های مختلف، انواع الیاف‌ها و حتی مواد زایدی که ارزش خاصی نداشته و باعث آلودگی محیط زیست نیز می‌شوند، موجب پیدایش بتن‌های جدید با خواص جدید و بهبود یافته شده است.

از طرفی، نیاز به صرفه‌جویی در انرژی، همچنین حفظ ذخایر آنها و سایر جنبه‌های اقتصادی، ایجاب می‌نماید که کوشش‌های وسیعی در جهت استفاده بهتر از ذخایر انرژی صورت گیرد. در این راستا کاربرد مواد پوزولانی به صورت طبیعی و مصنوعی با سیمان، نه تنها هزینه تمام شده سیمان را کاهش می‌دهد، بلکه به علت خصوصیات فیزیکی و شیمیایی این مواد، زمینه مناسبی را جهت اعمال اصلاحات قابل ملاحظه ای در خصوصیات بتن به وجود می‌آورد.

از اوایل قرن بیستم از سیمان‌های مخلوط به خصوص از پوزولان‌های طبیعی برای پایین آوردن گرمای هیدراتاسیون در بتن ریزی های حجیم استفاده می‌شد.

انگیزه‌های مصرف پوزولان‌ها شامل بهبود کیفیت سیمان (کاهش نفوذپذیری، کاهش آسیب‌پذیری به دلیل ترکیب شدن با هیدروکسید کلسیم حاصل از واکنش آبگیری سیمان و کاهش گرمازایی جسم چسبنده)، افزایش حجم تولید سیمان بدون کاهش کیفیت بلکه با ارتقاء آن، کاهش مصرف انرژی و درنتیجه کمک به حفظ محیط زیست و کاهش آلودگی هوا می‌باشد[۱].