

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشگاه عمران

## بررسی اثر پوزولان مارن بر خواص مکانیکی و دوام بتن

نگارش

مسعود ورمزیاری

استاد راهنما: دکتر امیر طریقت

استاد راهنما: دکتر ابوالفضل سلطانی

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد

در رشته سازه

بهمن ماه ۹۱

باسمه تعالی



### تعهدنامه اصالت اثر

اینجناب **مسعود ورمزیاری** متعهد می شوم که مطالب مندرج در این پایان نامه حاصل کار پژوهشی اینجناب است و دستاوردهای پژوهشی دیگران که در این پژوهش از آنها استفاده شده است، مطابق مقررات ارجاع و در فهرست منابع و مأخذ ذکر گردیده است. این پایان نامه / رساله قبلاً برای احراز هیچ مدرک هم سطح یا بالاتر ارائه نشده است. در صورت اثبات تخلف (در هر زمان) مدرک تحصیلی صادر شده توسط دانشگاه از اعتبار ساقط خواهد شد.

کلیه حقوق مادی و معنوی این اثر متعلق به دانشگاه تربیت مدرس شهید رجایی می باشد.

نام و نام خانوادگی دانشجو: **مسعود ورمزیاری**

امضاء

تهران- لویزان- کد پستی ۱۶۷۸۸- صندوق پستی ۱۶۳- ۱۶۷۸۵ تلفن ۹-۲۲۹۷۰۶۰ (داخلی ۲۳۴۷) شماره ۲۲۹۷۰۰۱۱ پست الکترونیکی [sru@srttu.ac.ir](mailto:sru@srttu.ac.ir)



### صور تجلسه دفاع پایان نامه تحصیلی دوره کارشناسی ارشد

با تأییدات خداوند متعال و با استعانت از حضرت ولی عصر (عج) جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد آقای مسعود ورمزیاری رشته مهندسی عمران-سازه تحت عنوان، بررسی تأثیر ژئوپلیمر مارن (Mari) در خواص مکانیکی و دوام بتن، که در تاریخ ۹۱/۱۱/۲۳ با حضور هیأت محترم داوران در دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی برگزار گردید و نتیجه به شرح زیر اعلام گردید.

قبول (بدرجه بسیار خوب) امتیاز: ۱۸/۱۸/۱۸  دفاع مجدد  مردود.

۱- عالی (۲۰-۱۹)

۲- بسیار خوب (۱۸-۱۸/۹۹)

۳- خوب (۱۶-۱۷/۹۹)

۴- نین قبول (۱۴-۱۵/۹۹)

۵- غیرقابل قبول (کمتر از ۱۴)

اعضاء	نام و نام خانوادگی	مرتبه علمی	امضاء
استاد راهنما	دکتر امیر طریقت	استادیار	
استاد راهنما	دکتر ابوالفضل سلطانی	استادیار	
استاد داور داخلی	دکتر محمدعلی ارجمندی	استادیار	
استاد داور خارجی	دکتر فریدون رضایی	استادیار	
نماینده تحصیلات تکمیلی	مهندس شهرام وثوق	مریی	

دکتر امیر محمدی صاحبی  
از نظریات دانشگاه مهندسی عمران

تقدیم به:

پدرم؛ اسطوره صبر و گذشت که شگوه نگاهش سرپای وجودم را فرا گرفته است

و

مادرم؛ یگانه کوه زندگی که مهرش در دلم گرامی و مقدس است

## شکر و قدردانی

شکر و سپاس ویژه از اساتید ارجمند جناب آقای دکتر امیر طریقت و جناب آقای دکتر ابوالفضل سلطانی که با نقطه نظرات مفید و ارزشمندشان در این پژوهش و در مدت تحصیل مریاری نمودند، همواره مدیون زحمات و خوبیهایشان خواهیم بود.

باشکر از استاد محترم جناب آقای دکتر ارجمند که زحمت داوری این پژوهش را متقبل نمودند و راهنمایی‌های ارزشمندی را ارائه فرمودند.

باشکر فراوان از استاد ارجمند جناب آقای دکتر فریدون رضایی که زحمت ارزیابی پژوهش حاضر را به عنوان داور خارجی تقبل نمودند.

شکر و سپاس از مسئولین کارگاه عمران آقایان مهدوی و بیابی که در انجام این پژوهش مریاری نمودند.

همچنین از دوستانی عزیزم آقایان محمد شیری، مسلم شاهرخی، محمد افضلی، رضادوی، مهدی محمدی و اویس افضلی که در انجام این تحقیق مرا کمک نمودند شکر و قدردانی می‌نمایم.

و در پایان از پدر و مادر عزیزم که همواره مدیون زحماتشان، هستم شکر می‌نمایم.

## چکیده

در سال های اخیر، پوزولان های طبیعی به علت کاهش تولید گازهای گلخانه ای و اثرات مثبت آن ها بر روی خواص بتن، به عنوان جایگزین های مناسب برای سیمان در نظر گرفته شده اند. مارن به عنوان یکی از این مواد با پایه کلسیم است که بر خواص مختلف بتن اثرات مثبتی داشته و مصرف سیمان را کاهش می دهد. در این پژوهش نمونه های بتنی با جایگزینی مارن به مقدار ۰، ۱۰ و ۲۰ درصد و میکروسیلیس به مقدار ۷، ۱۰ و ۲۰ درصد وزنی سیمان در ۳ نسبت آب به مواد سیمانی ۰/۳۸، ۰/۴۲ و ۰/۴۵ تهیه شده اند. مقاومت فشاری و کششی و مدول گسیختگی نمونه ها تعیین شده است، همچنین آزمایش های مقاومت الکتریکی و اولتراسونیک نیز انجام شده اند. نتایج آزمایش های نشان می دهد که مارن در نسبت آب به مواد سیمانی ۰/۳۸ تا جایگزینی ۲۰ درصد به جای سیمان مقاومت و برخی از مشخصه های دوام بتن را بهبود می بخشد. در نسبت های آب به مواد سیمانی ۰/۴۲ و ۰/۴۵ جایگزینی ۱۰ درصدی مارن به جای سیمان، خواص مکانیکی و برخی از مشخصه های دوام بتن را بهبود می بخشد و جایگزینی ۲۰ درصدی آن باعث افت خواص مکانیکی و برخی از مشخصه های دوام بتن می شود. به طور کلی جایگزینی مارن و میکروسیلیس به صورت ترکیبی به جای سیمان در اکثر طرح های اختلاط باعث بهبود خواص مکانیکی و برخی از مشخصه های دوام بتن می شود.

**کلمات کلیدی:** پوزولان مارن، بتن، مقاومت، دوام، میکروسیلیس، مقاومت الکتریکی

## فهرست مطالب

عنوان	صفحه
چکیده.....	أ.....
فهرست مطالب.....	ب.....
فهرست جداول.....	ز.....
فهرست اشکال.....	ح.....

### فصل اول : طرح مسأله

۱-۱- مقدمه.....	۲.....
۲-۱- اهداف و روش کار.....	۴.....
۳-۱- شرح فصول.....	۵.....

### فصل دوم : مطالعات انجام شده پیرامون پروژه

۱-۲- مارن.....	۷.....
۲-۲- سیمان رومی.....	۸.....
۱-۲-۲- تاریخچه‌ی سیمان رومی.....	۸.....
۲-۲-۲- سیمان رومی چیست.....	۱۰.....
۳-۲-۲- خصوصیات مکانیکی و دوام بتن.....	۱۱.....
۱-۳-۲-۲- ارتباط دمای کلسینه شدن و مقاومت فشاری سیمان رومی.....	۱۲.....
۲-۳-۲-۲- هیدراتاسیون سیمان رومی.....	۲۸.....
۳-۳-۲-۲- بررسی ریز ساختار سیمان رومی.....	۲۹.....



## فهرست مطالب

صفحه

عنوان

۳۵	..... زمان گیرش سیمان رومی ۲-۳-۴
۳۷	..... تخلخل سیمان رومی ۲-۳-۵
۴۸	..... سیمان رومی برای ترمیم و تزئین ۲-۳
۴۹	..... ترمیم سیمان رومی ۲-۴
۴۹	..... تمیز کردن و برداشتن لایه‌ی سطحی ۲-۴-۱
۴۹	..... تزریق ملات در ترک‌ها ۲-۴-۲
۴۹	..... تعمیر آسیب دیدگی‌ها ۲-۴-۳
۵۰	..... اندود کردن سطح ۲-۴-۴
۵۰	..... پوزولان‌ها با درصد کلسیم بالا ۲-۵
۵۴	..... اثرپرکنندگی (فیلری) و رقیق‌کنندگی ۲-۶
۵۴	..... روش‌های فعال‌سازی بلیت سیمان ۲-۷

### فصل سوم : مصالح، نحوه‌ی ساخت نمونه‌ها، و شرح آزمایش‌ها

۵۹	..... مصالح مصرفی ۳-۱-۱
۵۹	..... سیمان ۳-۱-۱-۱
۵۹	..... مارن ۳-۱-۲
۶۳	..... کلسینه کردن مارن ۳-۱-۳
۶۳	..... سنگدانه‌ها ۳-۱-۴

## فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۶۴	۳-۱-۵- فوق روان کننده ها.....
۶۵	۳-۱-۶- آب مصرفی.....
۶۵	۳-۲- طرح اختلاط بتن.....
۶۵	۳-۳- ساخت نمونه ی بتنی.....
۶۸	۳-۴- روش انجام آزمایش ها.....
۶۸	۳-۴-۱- آزمایش مقاومت فشاری نمونه ها.....
۶۹	۳-۴-۲- مقاومت کششی.....
۷۱	۳-۴-۳- مدول گسیختگی.....
۷۲	۳-۴-۴- مقاومت الکتریکی.....
۷۴	۳-۴-۵- آزمایش اولتراسونیک.....
۷۵	۳-۵- آزمایش های انجام شده بر روی پودر مارن.....
۷۵	۳-۵-۱- تجزیه گرمایی تفاضلی.....
۷۵	۳-۵-۲- تجزیه وزنی حرارتی.....
۷۵	۳-۵-۳- انکسار اشعه ی ایکس.....
۷۷	۳-۵-۴- فلورسانس اشعه ایکس.....
۷۸	۳-۵-۵- کاهش وزن در اثر حرارت.....

## فصل چهارم : نتایج آزمایش و تفسیر آن ها

۸۰	۴-۱- مقدمه.....
----	-----------------

## فهرست مطالب

صفحه

عنوان

۸۰	۲-۴- نسبت آب به مواد سیمانی ۰/۳۸
۸۰	۱-۲-۴- مقاومت فشاری ۷ روزه
۸۳	۲-۲-۴- مقاومت کششی ۷ روزه
۸۵	۳-۲-۴- مدول گسیختگی ۷ روزه
۸۶	۴-۲-۴- مقاومت فشاری ۲۸ روزه
۸۹	۵-۲-۴- مقاومت کششی ۲۸ روزه
۹۰	۶-۲-۴- مدول گسیختگی ۲۸ روزه
۹۱	۷-۲-۴- اولتراسونیک
۹۳	۸-۲-۴- مقاومت الکتریکی
۹۵	۳-۴- نسبت آب به مواد سیمانی ۰/۴۲
۹۵	۱-۳-۴- مقاومت فشاری ۷ روزه
۹۷	۲-۳-۴- مقاومت کششی ۷ روزه
۹۸	۳-۳-۴- مدول گسیختگی ۷ روزه
۱۰۰	۴-۳-۴- مقاومت فشاری ۲۸ روزه
۱۰۲	۵-۳-۴- مقاومت کششی ۲۸ روزه
۱۰۴	۶-۳-۴- مدول گسیختگی ۲۸ روزه
۱۰۵	۷-۳-۴- اولتراسونیک
۱۰۶	۸-۳-۴- مقاومت الکتریکی
۱۰۸	۴-۴- نسبت آب به مواد سیمانی ۰/۴۵

## فهرست مطالب

صفحه

عنوان

۱۰۸	.....	۱-۴-۴- مقاومت فشاری ۷ روزه.....
۱۱۰	.....	۲-۴-۴- مقاومت کششی ۷ روزه.....
۱۱۱	.....	۳-۴-۴- مدول گسیختگی ۷ روزه.....
۱۱۳	.....	۴-۴-۴- مقاومت فشاری ۲۸ روزه.....
۱۱۵	.....	۵-۴-۴- مقاومت کششی ۲۸ روزه.....
۱۱۶	.....	۶-۴-۴- مدول گسیختگی ۲۸ روزه.....
۱۱۸	.....	۷-۴-۴- اولتراسونیک.....
۱۱۹	.....	۸-۴-۴- مقاومت الکتریکی.....
۱۲۱	.....	۵-۴- بررسی اثر خواص مکانیکی و دوام در نسبت‌های آب به مواد سیمانی متفاوت.....
۱۲۱	.....	۱-۵-۴- مقاومت فشاری.....
۱۲۳	.....	۲-۵-۴- مدول گسیختگی و مقاومت کششی.....
۱۲۵	.....	۶-۴- مقایسه مقاومت فشاری کسب شده در سن ۷ روز و ۷ تا ۲۸ روز.....

### فصل پنجم : نتیجه گیری و ارائه پیشنهادات

۱۳۰	.....	۱-۵- نتیجه گیری.....
۱۳۲	.....	۲-۵- پیشنهادات.....
۱۳۳	.....	فهرست مراجع.....

## فهرست جداول

جدول

صفحه

- جدول ۱-۲- ترکیب دو نوع مارن متفاوت استفاده شده در کارخانه‌ی سیمان دورود..... ۸
- جدول ۲-۲- خواص سیمان رومی‌ها طبق استاندارد سال ۱۸۹۰ استرالیا..... ۱۰
- جدول ۳-۲- شرایط کلسینه کردن انواع مارن طبق مطالعات..... ۱۲
- جدول ۴-۲- دانه بندی ذرات خورد شده ..... ۱۴
- جدول ۵-۲- ترکیب شیمیایی سنگ‌های مارنی انتخاب شده..... ۱۴
- جدول ۶-۲- مقایسه‌ی ترکیب مارن، سیتاریا و پرامپت..... ۲۴
- جدول ۷-۲- ترکیب شیمیایی مارن‌های استفاده شده برای بررسی ریز ساختار و خواص آن‌ها..... ۳۰
- جدول ۸-۲- زمان گیرش مارن‌ها با توجه به شرایط کلسینه شدن..... ۳۶
- جدول ۹-۲- ترکیب و شرایط کلسینه شدن مارن‌ها برای بررسی تخلخل سیمان رومی..... ۳۸
- جدول ۱۰-۲- ترکیب مارن مورد استفاده برای بررسی تخلخل سیمان رومی بعد از حرارت..... ۳۹
- جدول ۱۱-۲- سطح مخصوص مارن کلسینه شده در شرایط متفاوت..... ۴۲
- جدول ۱۲-۲- صرفه جویی در تولید دی‌اکسید کربن بوسیله‌ی جایگزینی سیمان با سرباره..... ۵۳
- جدول ۱-۳- مشخصات شیمیایی و فیزیکی سیمان ۴۲۵-۱ تهران..... ۵۸
- جدول ۲-۳- مقایسه‌ی مشخصات سیمان ۴۲۵-۱ تهران با محدودیت‌های استاندارد ۳۸۹ ایران..... ۵۹
- جدول ۳-۳- مشخصات شیمیایی مارن مورد استفاده..... ۶۰
- جدول ۴-۳- مشخصات سنگدانه..... ۶۳
- جدول ۵-۳- طرح‌های اختلاط..... ۶۶

## فهرست اشکال

شکل

صفحه

- شکل ۱-۲- مراحل تولید سیمان پرتلند، سیمان رومی و آهک..... ۱۰
- شکل ۲-۲- نواحی کلسینه شدن نمونه‌های مارنی مختلف..... ۱۶
- شکل ۳-۲- مقاومت بدست آمده برای شرایط کلسینه شدن ۳ نوع مارن ..... ۱۸
- شکل ۴-۲- مقاومت بدست آمده برای شرایط کلسینه شدن، بیش از بهینه، بهینه و کمتر از بهینه..... ۱۹
- شکل ۵-۲- مقاومت بدست آمده برای ۴ نمونه سیتاریا..... ۱۹
- شکل ۶-۲- تغییرات ترکیب در AT-L در دماهای مختلف کلسینه شدن..... ۲۰
- شکل ۷-۲- تغییرات ترکیب در PL-F در دماهای مختلف کلسینه شدن..... ۲۰
- شکل ۸-۲- تغییرات ترکیب در WL-B در دماهای مختلف کلسینه شدن..... ۲۱
- شکل ۹-۲- تغییرات ترکیب در ۴ نمونه سیتاریا در دماهای مختلف..... ۲۶
- شکل ۱۰-۲- درصد کلسیم آزاد موجود در مارن و سیتاریا..... ۲۷
- شکل ۱۱-۲- مقدار آلومینات غیربلوری مارن در دماهای مختلف..... ۲۷
- شکل ۱۲-۲- بررسی ریزساختار بوسیله SEM-BSE، مارن مربوط به لهستان که کمتر از دمای بهینه کلسینه شده است ..... ۳۱
- شکل ۱۳-۲- بررسی ریزساختار بوسیله SEM-BSE، مارن مربوط به لهستان که در دمای بهینه کلسینه شده است ..... ۳۲
- شکل ۱۴-۲- بررسی ریزساختار بوسیله SEM-BSE، مارن مربوط به استرالیا که کمتر از دمای بهینه کلسینه شده است..... ۳۳

## فهرست اشکال

شکل

صفحه

- شکل ۲-۱۵- بررسی ریزساختار بوسیله SEM-BSE، مارن مربوط به لهستان که در دمایی بیش از دمای بهینه کلسینه شده است..... ۳۴
- شکل ۲-۱۶- بررسی ریزساختار بوسیله SEM-BSE، مارن مربوط به استرالیا که در دمایی بیش از دمای بهینه کلسینه شده است..... ۳۵
- شکل ۲-۱۷- مقاومت فشاری سیمان رومی کلسینه شده در دمای مختلف..... ۴۱
- شکل ۲-۱۸- نفوذ تجمعی و تفاضلی جیوه در ملات ساخته شده از مارن کلسینه شده در دمای ۷۲۰ درجه سانتی گراد به مدت ۴۰۰ دقیقه..... ۴۴
- شکل ۲-۱۹- نفوذ تجمعی و تفاضلی جیوه در ملات ساخته شده از مارن کلسینه شده در دمای ۹۲۰ درجه سانتی گراد به مدت ۳۰۰ دقیقه..... ۴۵
- شکل ۲-۲۰- نفوذ تجمعی و تفاضلی جیوه در ملات ساخته شده از مارن کلسینه شده در دمای ۹۶۰ درجه سانتی گراد به مدت ۳۰۰ دقیقه..... ۴۶
- شکل ۲-۲۱- نفوذ تجمعی و نفوذ تفاضلی جیوه در ملات ساخته شده از سیمان پرتلند..... ۴۷
- شکل ۲-۲۲- عملکرد پوزولانی و سیمانی پوزولانها با تغییر کلسیم..... ۵۰
- شکل ۲-۲۳- مقاومت فشاری بتن ساخته شده با درصد های جایگزینی مختلف خاکستر بادی..... ۵۲
- شکل ۲-۲۴- مقاومت فشاری بتن ساخته شده با درصد های جایگزینی مختلف سرباره..... ۵۲
- شکل ۳-۱- پراش اشعه ی ایکس مارن مارن استفاده شده در پروژه..... ۶۰
- شکل ۳-۲- پراش اشعه ی ایکس یک نمونه مارن جهت مقایسه..... ۶۱
- شکل ۳-۳- آزمایش های سنجش وزن حرارتی و آنالیز تفاضلی حرارتی..... ۶۱
- شکل ۳-۴- اندازه ی ذرات مارن استفاده شده..... ۶۲

## فهرست اشکال

صفحه

شکل

- شکل ۳-۵- دانه بندی ماسه ..... ۶۴
- شکل ۳-۶- نمونه‌ی تحت آزمایش مقاومت کششی ..... ۷۰
- شکل ۳-۷- مکانیزم شکست در آزمایش مقاومت کششی ..... ۷۱
- شکل ۳-۸- نمونه تحت بار خمشی ..... ۷۲
- شکل ۳-۹- نحوه‌ی انجام آزمایش مقاومت فشاری ..... ۷۳
- شکل ۳-۱۰- نمودار تجزیه‌ی وزنی حرارتی برای یک نوع خاک ..... ۷۶
- شکل ۴-۱- مقاومت فشاری ۷ روزه برای نسبت آب به مواد سیمانی ۰/۳۸ ..... ۸۲
- شکل ۴-۲- مقاومت فشاری ۷ روزه برای نسبت آب به مواد سیمانی ۰/۳۸ ..... ۸۳
- شکل ۴-۳- مقاومت کششی ۷ روزه برای نسبت آب به مواد سیمانی ۰/۳۸ ..... ۸۴
- شکل ۴-۴- مقاومت کششی ۷ روزه برای نسبت آب به مواد سیمانی ۰/۳۸ ..... ۸۴
- شکل ۴-۵- مدول گسیختگی ۷ روزه برای نسبت آب به مواد سیمانی ۰/۳۸ ..... ۸۵
- شکل ۴-۶- مدول گسیختگی ۷ روزه برای نسبت آب به مواد سیمانی ۰/۳۸ ..... ۸۶
- شکل ۴-۷- مقاومت فشاری ۲۸ روزه برای نسبت آب به مواد سیمانی ۰/۳۸ ..... ۸۸
- شکل ۴-۸- مقاومت فشاری ۲۸ روزه برای نسبت آب به مواد سیمانی ۰/۳۸ ..... ۸۸
- شکل ۴-۹- مقاومت کششی ۲۸ روزه برای نسبت آب به مواد سیمانی ۰/۳۸ ..... ۸۹
- شکل ۴-۱۰- مقاومت کششی ۲۸ روزه برای نسبت آب به مواد سیمانی ۰/۳۸ ..... ۹۰



## فهرست اشکال

شکل

صفحه

- شکل ۴-۱۱- مدول گسیختگی ۲۸ روزه برای نسبت آب به مواد سیمانی ۰/۳۸ ..... ۹۱
- شکل ۴-۱۲- مدول گسیختگی ۲۸ روزه برای نسبت آب به مواد سیمانی ۰/۳۸ ..... ۹۱
- شکل ۴-۱۳- آزمایش اولتراسونیک ۲۸ روزه برای نسبت آب به مواد سیمانی ۰/۳۸ ..... ۹۲
- شکل ۴-۱۴- آزمایش اولتراسونیک ۲۸ روزه برای نسبت آب به مواد سیمانی ۰/۳۸ ..... ۹۳
- شکل ۴-۱۵- آزمایش مقاومت الکتریکی ۲۸ روزه برای نسبت آب به مواد سیمانی ۰/۳۸ ..... ۹۴
- شکل ۴-۱۶- آزمایش مقاومت الکتریکی ۲۸ روزه برای نسبت آب به مواد سیمانی ۰/۳۸ ..... ۹۴
- شکل ۴-۱۷- مقاومت فشاری ۷ روزه برای نسبت آب به مواد سیمانی ۰/۴۲ ..... ۹۶
- شکل ۴-۱۸- مقاومت فشاری ۷ روزه برای نسبت آب به مواد سیمانی ۰/۴۲ ..... ۹۶
- شکل ۴-۱۹- مقاومت کششی ۷ روزه برای نسبت آب به مواد سیمانی ۰/۴۲ ..... ۹۷
- شکل ۴-۲۰- مقاومت کششی ۷ روزه برای نسبت آب به مواد سیمانی ۰/۴۲ ..... ۹۸
- شکل ۴-۲۱- مدول گسیختگی ۷ روزه برای نسبت آب به مواد سیمانی ۰/۴۲ ..... ۹۹
- شکل ۴-۲۲- مدول گسیختگی ۷ روزه برای نسبت آب به مواد سیمانی ۰/۴۲ ..... ۹۹
- شکل ۴-۲۳- مقاومت فشاری ۲۸ روزه برای نسبت آب به مواد سیمانی ۰/۴۲ ..... ۱۰۱
- شکل ۴-۲۴- مقاومت فشاری ۲۸ روزه برای نسبت آب به مواد سیمانی ۰/۴۲ ..... ۱۰۲
- شکل ۴-۲۵- مقاومت کششی ۲۸ روزه برای نسبت آب به مواد سیمانی ۰/۴۲ ..... ۱۰۳
- شکل ۴-۲۶- مقاومت کششی ۲۸ روزه برای نسبت آب به مواد سیمانی ۰/۴۲ ..... ۱۰۳
- شکل ۴-۲۷- مدول گسیختگی ۲۸ روزه برای نسبت آب به مواد سیمانی ۰/۴۲ ..... ۱۰۴
- شکل ۴-۲۸- مدول گسیختگی ۲۸ روزه برای نسبت آب به مواد سیمانی ۰/۴۲ ..... ۱۰۴
- شکل ۴-۲۹- آزمایش اولتراسونیک ۲۸ روزه برای نسبت آب به مواد سیمانی ۰/۴۲ ..... ۱۰۵
- شکل ۴-۳۰- آزمایش اولتراسونیک ۲۸ روزه برای نسبت آب به مواد سیمانی ۰/۴۲ ..... ۱۰۶

## فهرست اشکال

شکل

صفحه

- شکل ۴-۳۱- آزمایش مقاومت الکتریکی ۲۸ روزه برای نسبت آب به مواد سیمانی ۰/۴۲ ..... ۱۰۷
- شکل ۴-۳۲- آزمایش مقاومت الکتریکی ۲۸ روزه برای نسبت آب به مواد سیمانی ۰/۴۲ ..... ۱۰۷
- شکل ۴-۳۳- مقاومت فشاری ۷ روزه برای نسبت آب به مواد سیمانی ۰/۴۵ ..... ۱۰۹
- شکل ۴-۳۴- مقاومت فشاری ۷ روزه برای نسبت آب به مواد سیمانی ۰/۴۵ ..... ۱۰۹
- شکل ۴-۳۵- مقاومت کششی ۷ روزه برای نسبت آب به مواد سیمانی ۰/۴۵ ..... ۱۱۰
- شکل ۴-۳۶- مقاومت کششی ۷ روزه برای نسبت آب به مواد سیمانی ۰/۴۵ ..... ۱۱۱
- شکل ۴-۳۷- مدول گسیختگی ۷ روزه برای نسبت آب به مواد سیمانی ۰/۴۵ ..... ۱۱۲
- شکل ۴-۳۸- مدول گسیختگی ۷ روزه برای نسبت آب به مواد سیمانی ۰/۴۵ ..... ۱۱۲
- شکل ۴-۳۹- مقاومت فشاری ۲۸ روزه برای نسبت آب به مواد سیمانی ۰/۴۵ ..... ۱۱۴
- شکل ۴-۴۰- مقاومت فشاری ۲۸ روزه برای نسبت آب به مواد سیمانی ۰/۴۵ ..... ۱۱۴
- شکل ۴-۴۱- مقاومت کششی ۲۸ روزه برای نسبت آب به مواد سیمانی ۰/۴۵ ..... ۱۱۵
- شکل ۴-۴۲- مقاومت کششی ۲۸ روزه برای نسبت آب به مواد سیمانی ۰/۴۵ ..... ۱۱۶
- شکل ۴-۴۳- مدول گسیختگی ۲۸ روزه برای نسبت آب به مواد سیمانی ۰/۴۵ ..... ۱۱۷
- شکل ۴-۴۴- مدول گسیختگی ۲۸ روزه برای نسبت آب به مواد سیمانی ۰/۴۵ ..... ۱۱۷
- شکل ۴-۴۵- آزمایش اولتراسونیک ۲۸ روزه برای نسبت آب به مواد سیمانی ۰/۴۵ ..... ۱۱۸
- شکل ۴-۴۶- آزمایش اولتراسونیک ۲۸ روزه برای نسبت آب به مواد سیمانی ۰/۴۵ ..... ۱۱۹
- شکل ۴-۴۷- آزمایش مقاومت الکتریکی ۲۸ روزه برای نسبت آب به مواد سیمانی ۰/۴۵ ..... ۱۲۰
- شکل ۴-۴۸- آزمایش مقاومت الکتریکی ۲۸ روزه برای نسبت آب به مواد سیمانی ۰/۴۵ ..... ۱۲۰
- شکل ۴-۴۹- مقاومت فشاری ۷ روزه برای نسبت‌های آب به مواد سیمانی مختلف ..... ۱۲۲
- شکل ۴-۵۰- مقاومت فشاری ۲۸ روزه برای نسبت‌های آب به مواد سیمانی مختلف ..... ۱۲۳

## فهرست اشکال

شکل

صفحه

- شکل ۴-۵۱- مقاومت کششی ۷ روزه برای نسبت‌های آب به مواد سیمانی مختلف..... ۱۲۴
- شکل ۴-۵۲- مقاومت کششی ۲۸ روزه برای نسبت‌های آب به مواد سیمانی مختلف..... ۱۲۴
- شکل ۴-۵۳- مدول گسیختگی ۷ روزه برای نسبت‌های آب به مواد سیمانی مختلف..... ۱۲۵
- شکل ۴-۵۴- مدول گسیختگی ۲۸ روزه برای نسبت‌های آب به مواد سیمانی مختلف..... ۱۲۵
- شکل ۴-۵۵- درصد مقاومت فشاری کسب شده تا ۷ روز و بین ۷ تا ۲۸ روز برای نسبت آب به مواد سیمانی  
..... ۰/۳۸ ۱۲۷
- شکل ۴-۵۶- درصد مقاومت فشاری کسب شده تا ۷ روز و بین ۷ تا ۲۸ روز برای نسبت آب به مواد سیمانی  
..... ۰/۴۲ ۱۲۷
- شکل ۴-۵۷- درصد مقاومت فشاری کسب شده تا ۷ روز و بین ۷ تا ۲۸ روز برای نسبت آب به مواد سیمانی  
..... ۰/۴۵ ۱۲۸

# فصل اول

## طرح مسأله