بسمه تعالی

مدیریت تحصیلات تکمیلی

تعهد نامه اصالت اثر

اینجانب **علی موسوی دهموردی** متعهد می‌شوم که مطالب مندرج در این پایان نامه حاصل کار پژوهشی اینجانب است و دستاوردهای پژوهشی دیگران که در این پژوهش از آن استفاده شده است، مطابق مقررات ارجاع و در فهرست منابع و مأخذ ذکرگردیده است. این پایان نامه 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 اثر متعلق به دانشگاه شهید رجایی می‌باشد.

امضاء

علی موسوی دهموردی

تهران – لویزان – کدپستی ۱۶۷۸۸- صندوق پستی ۱۶۳-۱۶۷۸۵ تلفن ۹-۲۲۹۷۰۰۶۰ (داخلی ۲۳۴۷) نمابر ۲۲۹۷۰۰۱۱ پست الکترونیکی sru@sru.ac.ir

دانشکده مهندسی عمران

بررسی اثر پوزولان زئولیت بر خواص مکانیکی و دوام بتن

نگارش:

علی موسوی دهموردی

اساتید راهنما:

دکتر امیر طریقت

دکتر ابوالفضل سلطانی

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد

در رشته مهندسی عمران گرایش سازه

خرداد ماه ۱۳۹۲

تأییدیه‌ی هیأت داوران جلسه‌ی دفاع از پایان‌نامه/رساله

نام دانشکده: مهندسی عمران

نام دانشجو: علی موسوی دهموردی

عنوان پایان‌نامه: بررسی اثر پوزولان زئولیت بر خواص مکانیکی و دوام بتن

تاریخ دفاع:

رشته: مهندسی عمران

گرایش: سازه

ردیف	سمت	نام و نام خانوادگی	مرتبه دانشگاهی	دانشگاه یا مؤسسه	امضاء
۱	استاد راهنما	دکتر امیر طریقت	استادیار	شهید رجایی تهران	
۲	استاد راهنما	دکتر ابوالفضل سلطانی	استادیار	شهید رجایی تهران	
۳	استاد مدعو خارجی	دکتر فریدون رضایی	استادیار	بوعلی سینا همدان	
۴	استاد مدعو داخلی	دکتر محمد علی ارجمند	استادیار	شهید رجایی تهران	
۵	نماینده ی تحصیلات تکمیلی	مهندس کریم جهان آرا	مربی	شهید رجایی تهران	

تقدیم به:

به پاس تعبیر عظیم و انسانی شان از کلمه ایثار و از خودگذشتگی

به پاس عاطفه سرشار و گرمای امیدبخش وجودشان که در این سردترین روزگاران بهترین پشتیبان است

به پاس قلب های بزرگشان که فریاد رس است و سرگردانی و ترس در پناهشان به شجاعت می گراید

و به پاس محبت های بی دریغشان که هرگز فروکش نمی کند

این مجموعه را به خانواده عزیزم : پدر زحمتکشم، مادر فداکارم، خواهران دلسوزم، برادران غیورم و همسر مهربانم تقدیم می کنم.

تشکر و قدردانی:

شکر شایان نثار ایزد منان که توفیق را رفیق راهم ساخت تا این پایان نامه را به پایان برسانم.

و با سپاس ازسه وجود مقدس:

آنان که ناتوان شدند تا ما به توانایی برسیم ...

موهایشان سپید شد تا ما روسفید شویم...

و عاشقانه سوختند تا گرمابخش وجود ما و روشنگر راهمان باشند...

پدرانمان

مادرانمان

استادانمان

از اساتید فاضل و اندیشمند جناب آقای دکتر امیر طریقت و جناب آقای دکتر ابوالفضل سلطانی به عنوان اساتید راهنما که همواره نگارنده را مورد لطف و محبت خود قرار داه اند ،کمال تشکر را دارم. بی شک بدون راهنمائی های ارزشمند ایشان، این مجموعه هیچگاه به سرانجام نمی رسید.

از اساتید بزرگوار جناب آقای دکتر ارجمند و جناب آقای دکتر رضایی که زحمت داوری داخلی و خارجی این تحقیق را قبول نموده اند کمال تشکر و قدردانی را دارم.

با تقدیر و درود فراوان خدمت پدر و مادر بسیار عزیز ، دلسوز و فداکارم که پیوسته جرعه نوش جام تعیلم و تربیت ، فضیلت و انسانیت آنها بوده ام و همواره چراغ وجودشان روشنگر راه من در سختی ها و مشکلات بوده است. با تشکر از خواهران دلسوزم و برادران مهربانم که احترامشان همیشه بر من واجب است.

از همسر مهربانم به پاس قدردانی از قلبی آکنده از عشق و معرفت که محیطی سرشار از سلامت و امنیت و آرامش و آسایش برای من فراهم آورده است، تشکر می نمایم.

از تمامی کسانی که در به انجام رساندن این تحقیق مرا پشتیبانی و همراهی کرده اند به ویژه دوست خوبم آقای مهندس محمد افضلی و همچنین مسؤلین کارگاه ساختمان دانشگاه به خصوص آقای مهدوی تشکر و قدردانی می نمایم.

چکیده

بتن به عنوان یک ماده ی ساختمانی پرکاربرد محسوب می شود که خواص مکانیکی و دوام آن همواره مد نظر می باشد. در تحقیقات مختلف برای بهبود این خواص و همچنین کاهش مصرف سیمان به منظور کاهش هزینه، انرژی و آلاینده های زیست محیطی، از مواد پوزولانی مختلف مانند میکروسیلیس، خاکستر بادی و سرباره استفاده شده است.

در سال های اخیر نیز تحقیقات گسترده ای راجع به استفاده از زئولیت به عنوان پوزولان در بتن صورت گرفته است. با توجه به نتایج گزارش شده از تحقیقات اخیر و با توجه به وجود منابع زئولیتی در ایران، این پایان نامه با هدف بررسی اثر پوزولان زئولیت بر خواص مکانیکی و دوام بتن، انجام شده است. برای دستیابی به این هدف، ۲۷ طرح اختلاط در ۳ نسبت آب به مواد سیمانی ۰/۳۸، ۰/۴۲ و ۰/۴۵ در نظر گرفته شده و در سنین ۷، ۲۸ و ۹۰ روزه آزمایش های مکانیکی و دوام شامل مقاومت فشاری، مقاومت کششی، مدول گسیختگی، مقاومت الکتریکی و اولتراسونیک انجام گردید. در این تحقیق به منظور مقایسه رفتار مکانیکی پوزولان زئولیت، از پوزولان میکروسیلیس نیز استفاده شد که زئولیت در درصدهای صفر، ۱۰ و ۲۰ و میکروسیلیس در درصد های صفر، ۷ و ۱۰ درصد وزنی در طرح ها جایگزین سیمان شده اند.

نتایج آزمایش ها نشان می دهد که کاربرد زئولیت در بتن در بسیاری از موارد سبب بهبود خواص آن نسبت به طرح های شاهد شده و نسبت به طرح های حاوی میکروسیلیس دارای مقادیر نزدیک و در بعضی موارد دارای مقادیر بالاتری می باشد.

کلمات کلیدی: بتن، پوزولان، زئولیت، میکروسیلیس، مقاومت، دوام

فهرست مطالب

عنوان صفحه

فهرست مطالب..... ب
فهرست جداول..... و
فهرست اشکال..... ی

فصل اول : طرح مسأله

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

فصل دوم : مطالعات انجام شده پیرامون تحقیق

۲-۱- معرفی زئولیت ۷
۲-۲- انواع زئولیت..... ۷
۲-۳- کاربردهای زئولیت ۱۰
۲-۴- منابع زئولیت در دنیا ۱۱
۲-۵- روند شکل گیری زئولیت ها ۱۲
۲-۵-۱- شکل گیری زئولیت های طبیعی ۱۲
۲-۵-۲- شکل گیری زئولیت های مصنوعی ۱۴
۲-۶- ویژگی های مهم زئولیت ۱۶
۲-۶-۱- جذب سطحی زئولیت ۱۶
۲-۶-۲- ظرفیت تبادل کاتیونی زئولیت (CEC) ۱۶
۲-۶-۳- خاصیت کاتالیزوری زئولیت..... ۱۷
۲-۷- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی زئولیت..... ۱۷
۲-۸- واکنش پوزولانی زئولیت و تأثیر آن بر ریزساختار بتن..... ۲۲

۲-۹- تأثیر زئولیت بر خصوصیات سیمان و بتن تازه ۲۶
۲-۹-۱- تأثیر زئولیت بر زمان گیرش سیمان ۲۶
۲-۹-۲- تأثیر زئولیت بر کارایی بتن تازه ۲۷
۲-۹-۳- تأثیر زئولیت بر لزجت و وزن مخصوص بتن تازه ۲۸
۲-۱۰- تأثیر زئولیت بر خصوصیات بتن سخت شده ۲۸
۲-۱۰-۱- تأثیر زئولیت بر مقاومت فشاری بتن ۲۹
۲-۱۰-۲- تأثیر زئولیت بر مقاومت کششی بتن ۳۵
۲-۱۰-۳- تأثیر زئولیت بر مقاومت خمشی بتن ۳۷
۲-۱۱- تأثیر زئولیت بر دوام بتن ۳۸
۲-۱۱-۱- تأثیر زئولیت بر مقاومت الکتریکی بتن ۳۸
۲-۱۱-۲- تأثیر زئولیت بر جذب آب بتن ۴۰
۲-۱۱-۳- تأثیر زئولیت بر مقاومت در برابر انتشار یون کلر ۴۱
۲-۱۱-۴- تأثیر زئولیت بر میزان نفوذ اکسیژن ۴۳
۲-۱۱-۵- تأثیر زئولیت بر مقاومت در برابر انبساط ناشی از واکنش قلیایی-سیلیسی ۴۴
۲-۱۱-۶- تأثیر زئولیت بر مقاومت در برابر حمله ی سولفاتی ۵۰
۲-۱۱-۷- آزمایش اولتراسونیک بتن های حاوی زئولیت ۵۱

فصل سوم : مصالح مصرفی، جزئیات ساخت نمونه ها و شرح آزمایش ها۵۳

۳-۱- مصالح مصرفی ۵۴
۳-۱-۱- سیمان ۵۴
۳-۱-۲- زئولیت طبیعی ۵۷
۳-۱-۳- میکروسیلیس ۶۶
۳-۱-۴- سنگدانه ۶۶
۳-۱-۵- آب ۶۷
۳-۱-۶- فوق روان کننده ۶۷
۳-۲- طرح های اختلاط بتن ۶۸

۳-۳- ساخت نمونه ها ۷۰
۳-۳-۱- ساخت نمونه های زئولیت و سیمان ۷۰
۳-۳-۲- ساخت نمونه های بتنی ۷۱
۳-۴- روش انجام آزمایش ها ۷۷
۳-۴-۱- آزمایش های انجام شده روی پودر زئولیت و سیمان..... ۷۷
۳-۴-۲- آزمایش مقاومت فشاری نمونه ها ی استوانه ای..... ۷۷
۳-۴-۳- آزمایش مقاومت کششی نمونه های استوانه ای ۷۹
۳-۴-۴- آزمایش مدول گسیختگی نمونه های منشوری ۸۱
۳-۴-۵- آزمایش مقاومت الکتریکی نمونه های مکعبی ۸۳
۳-۴-۶- آزمایش اولتراسونیک نمونه های مکعبی..... ۸۶

فصل چهارم : نتایج آزمایش ها و تفسیر آن ها

۴-۱- مقدمه ۸۹
۴-۲- آزمایش مقاومت فشاری نمونه ها ی استوانه ای..... ۹۱
۴-۲-۱- نتایج مقاومت فشاری برای تمام سنین و W/CM = 0.38..... ۹۳
۴-۲-۲- نتایج مقاومت فشاری برای تمام سنین و W/CM = 0.42..... ۹۷
۴-۲-۳- نتایج مقاومت فشاری برای تمام سنین و W/CM = 0.45..... ۱۰۱
۴-۲-۴- مقایسه مقاومت فشاری در سنین مختلف برای تمام نسبت های آب به مواد سیمانی ۱۰۴
۴-۳- آزمایش مقاومت کششی نمونه های استوانه ای ۱۰۶
۴-۳-۱- نتایج مقاومت کششی برای تمام سنین و W/CM = 0.38 ..... ۱۰۷
۴-۳-۲- نتایج مقاومت کششی برای تمام سنین و W/CM = 0.42 ..... ۱۱۱
۴-۳-۳- نتایج مقاومت کششی برای تمام سنین و W/CM = 0.45 ..... ۱۱۵
۴-۴- آزمایش مدول گسیختگی نمونه های منشوری..... ۱۲۰
۴-۴-۱- نتایج مدول گسیختگی برای تمام سنین و W/CM = 0.38..... ۱۲۱
۴-۴-۲- نتایج مدول گسیختگی برای تمام سنین و W/CM = 0.42..... ۱۲۴

۴-۴-۳- نتایج مدول گسیختگی برای تمام سنین و W/CM = 0.45 ..... ۱۲۸
۴-۵- آزمایش مقاومت الکتریکی نمونه های مکعبی ۱۳۳
۴-۵-۱- نتایج مقاومت الکتریکی برای طرح های با W/CM = 0.38 ..... ۱۳۴
4-5-2- نتایج مقاومت الکتریکی برای طرح های با W/CM = 0.42 ..... ۱۳۶
۴-۵-۳- نتایج مقاومت الکتریکی برای طرح های با W/CM = 0.45 ..... ۱۳۸
۴-۶- آزمایش اولتراسونیک نمونه های مکعبی..... ۱۴۱
۴-۶-۱- نتایج آزمایش اولتراسونیک برای طرح های با W/CM = 0.38..... ۱۴۲
۴-۶-۲- نتایج آزمایش اولتراسونیک برای طرح های با W/CM = 0.42..... ۱۴۳
۴-۶-۳- نتایج آزمایش اولتراسونیک برای طرح های با W/CM = 0.45..... ۱۴۵

فصل پنجم : نتیجه گیری و پیشنهادات

۵-۱- نتیجه گیری ۱۴۹
۵-۲- پیشنهادات..... ۱۵۱
منابع.....۱۵۲

فهرست جداول

جدول صفحه

جدول ۲-۱- گروه های اول و دوم از هفت گروه تقسیم بندی شده برای زئولیت ها ۹

جدول ۲-۲- گروه های سوم تا ششم از هفت گروه تقسیم بندی شده برای زئولیت ها ۹

جدول ۲-۳- گروه هفتم از هفت گروه تقسیم بندی شده برای زئولیت ها ۱۰

جدول ۲-۴- برخی از کشورهای دارای منابع زئولیتی در جهان ۱۱

جدول ۲-۵- نام و سال کشف ۴۰ نوع زئولیت طبیعی ۱۳

جدول ۲-۶- تبادل کاتیونی ایده آل برای چند نوع زئولیت ۱۷

جدول۲-۷- خواص فیزیکی نوعی زئولیت، کره جنوبی ۱۹

جدول ۲-۸- مقایسه ی ترکیب شیمیایی سیمان، زئولیت و میکروسیلیس ۱۹

جدول ۲-۹- مقایسه ی ترکیب شیمیایی نوعی زئولیت و کوارتزیت ۱۹

جدول ۲-۱۰- خواص فیزیکی و شیمیایی سیمان پرتلند و زئولیت ۱۹

جدول ۲-۱۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی مربوط به دو نوع زئولیت GZ و BZ ۲۰

جدول ۲-۱۲- مقایسه ترکیب شیمیایی سیمان و زئولیت طبیعی ۲۳

جدول ۲-۱۳- درجه ی واکنش پذیری زئولیت مورد استفاده توسط ۲۵

جدول ۲-۱۴- نتایج زمان گیرش خمیر سیمان در مخلوط های دارای ۴۰-۰ درصد زئولیت طبیعی ۲۶

جدول ۲-۱۵- مقادیر طرح اختلاط و خصوصیات بتن تازه ۲۷

جدول ۲-۱۶- مقادیر طرح اختلاط و میزان نیاز به فوق روان کننده ۲۷

جدول ۲-۱۷- نتایج اسلامپ و مقاومت فشاری ۷ و ۲۸ روزه برای دسته ی اول نمونه ها ۳۱

جدول ۲-۱۸- نتایج اسلامپ و مقاومت فشاری ۷ و ۲۸ روزه برای دسته ی دوم نمونه ها ۳۲

جدول ۲-۱۹- نتایج مقاومت فشاری برای درصدهای جایگزینی مختلف زئولیت ۳۳

جدول ۲-۲۰- مقاوت فشاری نمونه های ساخته شده از ترکیب سیمان و زئولیت ۳۳

جدول ۲-۲۱- نتایج آزمایش MIP برای نمونه های حاوی زئولیت ۳۴

جدول ۲-۲۲- نتایج آزمایش تعیین عمق نفوذ آب مربوط به نمونه های بتنی ۴۰
جدول ۲-۲۳- نتایج آزمایش نفوذ یون کلر ۴۱
جدول ۲-۲۴- نتایج ۹۰ روزه ی به دست آمده از آزمایش انتشار یون کلر ۴۲
جدول ۲-۲۵- ترکیبات سیمان های مختلف مورد استفاده برای انجام آزمایش ASR ۴۴
جدول ۲-۲۶- توضیحات مربوط به جدول ۲-۲۴ ..... ۴۶
جدول ۳-۱- مشخصات شیمیایی سیمان پرتلند تیپ ۴۲۵-۱ تهران مورد استفاده در این تحقیق ۵۵
جدول ۳-۲- محاسبه ی درصد ترکیبات مختلف سیمان تیپ ۴۲۵-۱ تهران براساس روابط Bogue ... ۵۶
جدول ۳-۳- مقایسه ی مشخصات سیمان تیپ ۴۲۵-۱ تهران با محدودیت های استاندارد ۳۸۹ ایران ... ۵۶
جدول ۳-۴- مشخصات شیمیایی زئولیت طبیعی مورد استفاده. ۵۷
جدول ۳-۵- توزیع اندازه ذرات زئولیت مورد استفاده در تحقیق ۵۹
جدول ۳-۶- مشخصات سنگدانه های مورد استفاده در تحقیق ۶۶
جدول ۳-۷- مشخصات و مقدار مصالح استفاده شده برای طرح های اختلاط ساخته شده با نسبت W/CM = 0.38 ..... ۶۹
جدول ۳-۸- مشخصات و مقدار مصالح استفاده شده برای طرح های اختلاط ساخته شده با نسبت W/CM = 0.42 ..... ۶۹
جدول ۳-۹- مشخصات و مقدار مصالح استفاده شده برای طرح های اختلاط ساخته شده با نسبت W/CM = 0.45 ..... ۷۰
جدول ۳-۱۰- تأثیر مقاومت الکتریکی بتن بر آهنگ خورگی آرماتور ۸۴
جدول ۴-۱- معرفی طرح های ساخته شده در تحقیق و مشخصات آن ها ۹۰
جدول ۴-۲- نتایج مقاومت فشاری برای تمام طرح های ساخته شده در تحقیق برحسب مگاپاسکال ۹۲
جدول ۴-۳- نتایج مقاومت فشاری برای طرح های W/CM = 0.38 برحسب مگاپاسکال ۹۳
جدول ۴-۴- درصد کسب مقاومت فشاری در سنین مختلف برای W/CM = 0.38 ..... ۹۶
جدول ۴-۵- نتایج مقاومت فشاری برای طرح های با W/CM = 0.42 برحسب مگاپاسکال ۹۷
جدول ۴-۶- درصد کسب مقاومت فشاری در سنین مختلف برای W/CM = 0.42 ..... ۱۰۰
جدول ۴-۷- نتایج مقاومت فشاری برای طرح های با W/CM = 0.45 برحسب مگاپاسکال ۱۰۱

جدول ۴-۸- درصد کسب مقاومت فشاری در سنین مختلف برای W/CM = 0.45 ..... ۱۰۳
جدول ۴-۹- نتایج مقاومت کششی برای تمام طرح ها برحسب مگاپاسکال ۱۰۶
جدول ۴-۱۰- نتایج مقاومت کششی برای تمام سنین و W/CM = 0.38 برحسب مگاپاسکال ۱۰۷
جدول ۴-۱۱- نسبت مقاومت کششی به مقاومت فشاری در سنین ۷ و ۲۸ روزه و W/CM = 0.38 ۱۰۹.
جدول ۴-۱۲- درصد کسب مقاومت کششی در سنین ۷ و ۲۸ روزه و W/CM = 0.38 ..... ۱۱۰
جدول ۴-۱۳- نتایج مقاومت کششی برای تمام سنین و W/CM = 0.42 برحسب مگاپاسکال ۱۱۱
جدول ۴-۱۴- نسبت مقاومت کششی به مقاومت فشاری در سنین ۷ و ۲۸ روزه و W/CM = 0.42 ۱۱۳.
جدول ۴-۱۵- درصد کسب مقاومت کششی در سنین ۷ و ۲۸ روزه و W/CM = 0.42 ..... ۱۱۴
جدول ۴-۱۶- نتایج مقاومت کششی برای تمام سنین و W/CM = 0.45 برحسب مگاپاسکال ۱۱۵
جدول ۴-۱۷- نسبت مقاومت کششی به مقاومت فشاری در سنین ۷ و ۲۸ روزه و W/CM = 0.45 ۱۱۷.
جدول ۴-۱۸- درصد کسب مقاومت کششی برای تمام سنین و W/CM = 0.45 ..... ۱۱۷
جدول ۴-۱۹- نتایج مدول گسیختگی برای تمام طرح ها برحسب مگاپاسکال ۱۲۰
جدول ۴-۲۰- نتایج مدول گسیختگی برای تمام سنین و W/CM = 0.38 برحسب مگاپاسکال.... ۱۲۱
جدول ۴-۲۱- درصد افزایش مدول گسیختگی برای تمام سنین و W/CM = 0.38 ..... ۱۲۳
جدول ۴-۲۲- نتایج مدول گسیختگی برای تمام سنین و W/CM = 0.42 برحسب مگاپاسکال ۱۲۴
جدول ۴-۲۳- درصد افزایش مدول گسیختگی برای تمام سنین و W/CM = 0.42 ..... ۱۲۷
جدول ۴-۲۴- نتایج مدول گسیختگی برای تمام سنین و W/CM = 0.45 برحسب مگاپاسکال ۱۲۸
جدول ۴-۲۵- درصد افزایش مدول گسیختگی برای تمام سنین و W/CM = 0.45 ..... ۱۳۰
جدول ۴-۲۶- نتایج مقاومت الکتریکی برای تمام طرح ها در سن ۲۸ روزه برحسب اهم در متر..... ۱۳۳
جدول ۴-۲۷- نتایج مقاومت الکتریکی ۲۸ روزه برای طرح های با W/CM = 0.38 برحسب اهم در متر..... ۱۳۵
جدول ۴-۲۸- نتایج مقاومت الکتریکی ۲۸ روزه برای طرح های با W/CM = 0.42 برحسب اهم در متر..... ۱۳۶
جدول ۴-۲۹- نتایج مقاومت الکتریکی ۲۸ روزه برای طرح های با W/CM = 0.45 برحسب اهم در متر..... ۱۳۸

جدول ۴-۳۰- نتایج آزمایش اولتراسونیک برای تمام طرح ها در سن ۲۸ روزه برحسب متر بر ثانیه ... ۱۴۱
جدول ۴-۳۱- نتایج آزمایش اولتراسونیک ۲۸ روزه برای طرح های با W/CM = 0.38 ..... ۱۴۲
جدول ۴-۳۲- نتایج آزمایش اولتراسونیک ۲۸ روزه برای طرح های با W/CM = 0.42 ..... ۱۴۴
جدول ۴-۳۳- نتایج آزمایش اولتراسونیک ۲۸ روزه برای طرح های با W/CM = 0.45 ..... ۱۴۵

فهرست اشکال

شکل صفحه

شکل ۱-۱- جریان مصرف انرژی در روند تولید سیمان ۳

شکل۲-۱- کاربردهای مختلف زئولیت ها ۱۰

شکل ۲-۲- روند شکل گیری زئولیت های طبیعی ۱۲

شکل ۲-۳- نحوه ی سنتز زئولیت های مصنوعی ۱۴

شکل ۲-۴- نحوه ی اتصال چهار وجهی های موجود در ساختار زئولیت ها ۱۵

شکل ۲-۵- توزیع اندازه ی ذرات زئولیت طبیعی سمنان، ایران ۱۸

شکل ۲-۶- توزیع اندازه ذرات نوعی زئولیت، کره جنوبی ۱۸

شکل ۲-۷- نتیجه ی آزمایش XRD برای دو نمونه زئولیت GZ و BZ نشان داده شده در جدول ۲-۱۱ ..... ۲۱

شکل ۲-۸- نمونه ای از تصویر SEM (میکروسکوپ الکترونیکی روبشی) مربوط به دو نوع زئولیت GZ و BZ..... ۲۱

شکل ۲-۹- درصد $Ca(OH)_2$ مصرف شده نسبت به زمان برای زئولیت طبیعی و میکروسیلیس..... ۲۴

شکل ۲-۱۰- مقایسه ی درجه ی واکنش زئولیت، میکروسیلیس و خاکستر بادی ۲۵

شکل ۲-۱۱- رابطه ی بین مقاومت فشاری و تخلخل در بتن ۲۹

شکل۲-۱۲- مقاومت فشاری نمونه های شاهد، نمونه های حاوی زئولیت طبیعی و نمونه های حاوی میکروسیلیس..... ۳۰

شکل ۲-۱۴- تغییرات مقاومت کششی در مقابل افزایش سن نمونه ها. نتایج آزمایش به روش دونیم شدن نمونه ها به دست آمده است ۳۶

شکل ۲-۱۵- درصد افزایش یا کاهش مقاومت کششی نمونه ها نسبت به نمونه شاهد. اقتباس از ۳۶

شکل ۲-۱۶- نتایج مقاومت خمشی طرح های ساخته شده توسط بیلیم ۳۷

شکل ۲-۱۷- تغییرات مقاومت الکتریکی برحسب زمان برای بتن های شاهد، حاوی زئولیت طبیعی و حاوی میکروسیلیس ۳۹

شکل ۲-۱۸- نتایج جذب آب نمونه های شاهد، نمونه های حاوی زئولیت و نمونه های حاوی میکروسیلیس.... .....۴۱
شکل ۲-۱۹- نفوذپذیری اکسیژن برای نمونه های شاهد، نمونه های حاوی NZ و نمونه های حاوی SF (عمل آوری ۲۸ روزه) ۴۳
شکل ۲-۲۰- درصد تغییرات طولی نمونه ها ناشی از تأثیر ASR مربوط به گروه اول نمونه های مورد تحقیق..... .....۴۵
شکل ۲-۲۱- درصد تغییرات طولی نمونه ها ناشی از تأثیر ASR مربوط به گروه دوم نمونه های مورد تحقیق..... .....۴۵
شکل ۲-۲۲- انبساط ناشی از عملکرد ASR مربوط به نمونه های حاوی زئولیت طبیعی نسبت به زمان..۴۷
شکل ۲-۲۳- انبساط ناشی از عملکرد ASR مربوط به نمونه های حاوی خاکستر بادی نسبت به زمان.. ۴۷
شکل ۲-۲۴- مقایسه ی انبساط نمونه های ساخته شده از ملات با جایگزینی زئولیت و خاکستر بادی...۴۸
شکل ۲-۲۵- تأثیر زئولیت اصلاح شده بر انبساط ناشی از واکنش قلیایی-سیلیسی ۴۹
شکل ۲-۲۶- تأثیر خاکستر بادی و سرباره بر انبساط ناشی از واکنش قلیایی-سیلیسی ۴۹
شکل ۲-۲۷- نتایج به دست آمده برای آزمایش مقاومت در برابر حمله ی سولفاتی ۵۰
شکل ۲-۲۸- تغییرات UPV نسبت به زمان مربوط به نمونه های مختلف ۵۱
شکل ۳-۱- توزیع اندازه ذرات زئولیت مورد استفاده در تحقیق ۵۸
شکل ۳-۲- نتایج حاصل از آزمایش XRD بر روی زئولیت طبیعی مصرفی در تحقیق ۶۰
شکل ۳-۳- نتایج حاصل از آزمایش DTA بر روی زئولیت طبیعی مصرفی در تحقیق ۶۱
شکل ۳-۴- نتایج آزمایش TGA بر روی زئولیت طبیعی مصرفی در تحقیق ۶۲
شکل ۳-۵- مقایسه ی بین گراف های حاصل از آنالیز TGA و آنالیز DTG ۶۳
شکل ۳-۶- نتایج آزمایش های TGA و DTGA بر روی زئولیت طبیعی مصرفی در تحقیق ۶۴
شکل ۳-۷- نتایج حاصل از آزمایش FTIR بر روی زئولیت طبیعی مصرفی در تحقیق ۶۵
شکل ۳-۸- نمودار دانه بندی ماسه ی مصرفی برای ساخت طرح ها ۶۷
شکل ۳-۹- یک مدل ترازوی آزمایشگاهی جهت توزین مصالح ۷۱
شکل ۳-۱۰- نمونه ای از دستگاه مخلوط کن، ظرف و سینی لازم برای ساخت نمونه ها ۷۲

شکل ۳-۱۱- ابعاد دستگاه اسلامپ طبق ASTM C 143 [۵۱] ۷۳
شکل ۳-۱۲- وسایل لازم جهت انجام آزمایش اسلامپ ۷۴
شکل ۳-۱۳- تصویری از نمونه های استوانه ای، منشوری و مکعبی ساخته شده در تحقیق ۷۵
شکل ۳-۱۴- تصویری از چیدمان منظم نمونه ها در آب جهت عمل آوری ۷۶
شکل ۳-۱۵- تصویری از نمونه های استوانه درحال خشک شدن سطح خارجی و آماده شدن برای آزمایش..... ..... ۷۶
شکل ۳-۱۶- تصویری از نمونه های استوانه ای ساخته شده ۷۸
شکل ۳-۱۷- تصویری از دستگاه آزمایش مقاومت فشاری ۷۸
شکل ۳-۱۸- نحوه ی قرار گیری نمونه ی اسوانه ای برای آزمایش کشش ۷۹
شکل ۳-۱۹- نحوه ی اعمال نیرو جهت انجام آزمایش کششی ۸۰
شکل ۳-۲۰- اضافه نمودن ابزارلازم برای آزمایش مقاومت کششی به دستگاه اعمال فشار ۸۰
شکل ۳-۲۱- تصویری از نمونه های منشوری (مکعب مستطیل) ساخته شده ۸۱
شکل ۳-۲۲- دستگاه هیدرولیکی برای تعیین مدول گسیختگی نمونه ها ۸۲
شکل ۳-۲۳- نحوه ی قرارگیری نمونه جهت انجام آزمایش مدول گسیختگی ۸۲
شکل ۳-۲۴- تصویری از نمونه های مکعبی ساخته شده به ابعاد ۱۵×۱۵×۱۵ cm ۸۴
شکل ۳-۲۵- دستگاه اهم متر دیجیتالی جهت انجام آزمایش مقاومت الکتریکی ۸۵
شکل ۳-۲۶- نحوه ی قرارگیری صفحات مسی جهت انجام آزمایش مقاومت الکتریکی ۸۵
شکل ۳-۲۷- نحوه ی قرارگیری پروب های دستگاه اولتراسونیک جهت تعیین سرعت پالس عبوری ..۸۶
شکل ۳-۲۸- دستگاه اولتراسونیک دیجیتالی ۸۷
شکل ۴-۱- نتایج مقاومت فشاری برای طرح های با W/CM = 0.38 برحسب مگاپاسکال ۹۳
شکل ۴-۲- مقایسه مقاومت فشاری در سنین مختلف برای W/CM = 0.38 ..... ۹۴
شکل ۴-۳- درصد کسب مقاومت فشاری در سنین مختلف برای W/CM = 0.38 ..... ۹۶
شکل ۴-۴- نتایج مقاومت فشاری برای طرح های با W/CM = 0.42 برحسب مگاپاسکال ۹۷
شکل ۴-۵- مقایسه مقاومت فشاری در سنین مختلف برای W/CM = 0.42 ..... ۹۸
شکل ۴-۶- درصد کسب مقاومت فشاری در سنین مختلف برای W/CM = 0.42 ..... ۱۰۰

شکل ۴-۷- نتایج مقاومت فشاری برای طرح های با W/CM = 0.45 برحسب مگاپاسکال ۱۰۱
شکل ۴-۸- مقایسه مقاومت فشاری در سنین مختلف برای W/CM = 0.45 ..... ۱۰۲
شکل ۴-۱۰- مقایسه ی مقاومت فشاری ۷ روزه برای نسبت آب به مواد سیمانی مختلف ۱۰۴
شکل ۴-۱۱- مقایسه ی مقاومت فشاری ۲۸ روزه برای نسبت آب به مواد سیمانی مختلف ۱۰۵
شکل ۴-۱۲- مقایسه ی مقاومت فشاری ۹۰ روزه برای نسبت آب به مواد سیمانی مختلف ۱۰۵
شکل ۴-۱۳- نتایج مقاومت کششی برای تمام سنین و W/CM = 0.38 برحسب مگاپاسکال ۱۰۷
شکل ۴-۱۴- مقایسه مقاومت کششی در سنین مختلف برای W/CM = 0.38 ..... ۱۰۸
شکل ۴-۱۵- درصد کسب مقاومت کششی برای تمام سنین و W/CM = 0.38 ..... ۱۱۰
شکل ۴-۱۶- نتایج مقاومت کششی برای تمام سنین و W/CM = 0.42 برحسب مگاپاسکال ۱۱۱
شکل ۴-۱۷- مقایسه مقاومت کششی در سنین مختلف برای W/CM = 0.42 ..... ۱۱۲
شکل ۴-۱۸- درصد کسب مقاومت کششی برای تمام سنین و W/CM = 0.42 ..... ۱۱۴
شکل ۴-۲۰- مقایسه مقاومت کششی در سنین مختلف برای W/CM = 0.45 ..... ۱۱۶
شکل ۴-۲۱- درصد کسب مقاومت کششی برای تمام سنین و W/CM = 0.45 ..... ۱۱۸
شکل ۴-۲۲- مقایسه ی مقاومت کششی ۷ روزه برای نسبت های آب به مواد سیمانی مختلف ۱۱۹
شکل ۴-۲۳- مقایسه ی مقاومت کششی ۲۸ روزه برای نسبت های آب به مواد سیمانی مختلف ۱۱۹
شکل ۴-۲۵- مقایسه مدول گسیختگی در سنین مختلف برای W/CM = 0.38 ..... ۱۲۲
شکل ۴-۲۶- درصد افزایش مدول گسیختگی برای تمام سنین و W/CM = 0.38 ..... ۱۲۳
شکل ۴-۲۷- نتایج مدول گسیختگی برای تمام سنین و W/CM = 0.42 برحسب مگاپاسکال ۱۲۴
شکل ۴-۲۸- مقایسه مدول گسیختگی در سنین مختلف برای W/CM = 0.42 ..... ۱۲۵
شکل ۴-۲۹- درصد افزایش مدول گسیختگی برای تمام سنین و W/CM = 0.42 ..... ۱۲۷
شکل ۴-۳۰- نتایج مدول گسیختگی برای تمام سنین و W/CM = 0.45 برحسب مگاپاسکال ۱۲۸
شکل ۴-۳۱- مقایسه مدول گسیختگی در سنین مختلف برای W/CM = 0.45 ..... ۱۲۹
شکل ۴-۳۲- درصد افزایش مدول گسیختگی برای تمام سنین و W/CM = 0.45 ..... ۱۳۰
شکل ۴-۳۳- مقایسه ی مدول گسیختگی ۷ روزه برای نسبت های آب به مواد سیمانی مختلف ۱۳۱

شکل ۴-۳۴- مقایسه ی مدول گسیختگی ۲۸ روزه برای نسبت های آب به مواد سیمانی مختلف..... ۱۳۲
شکل ۴-۳۵- نتایج مقاومت الکتریکی ۲۸ روزه برای طرح های با W/CM = 0.38 برحسب اهم در متر..... ۱۳۵
شکل ۴-۳۶- نتایج مقاومت الکتریکی ۲۸ روزه برای طرح های با W/CM = 0.42 برحسب اهم در متر..... ۱۳۷
شکل ۴-۳۸- مقایسه ی نتایج مقاومت الکتریکی ۲۸ روزه برای تمام نسبت آب به مواد سیمانی برحسب اهم در متر..... ۱۴۰
شکل ۴-۳۹- نتایج آزمایش اولتراسونیک ۲۸ روزه برای طرح های با W/CM = 0.38 ..... ۱۴۳
شکل ۴-۴۰- نتایج آزمایش اولتراسونیک ۲۸ روزه برای طرح های با W/CM = 0.42 ..... ۱۴۴
شکل ۴-۴۱- نتایج آزمایش اولتراسونیک ۲۸ روزه برای طرح های با W/CM = 0.45 ..... ۱۴۶
شکل ۴-۴۲- مقایسه ی نتایج آزمایش اولتراسونیک ۲۸ روزه برای تمام طرح ها ۱۴۷