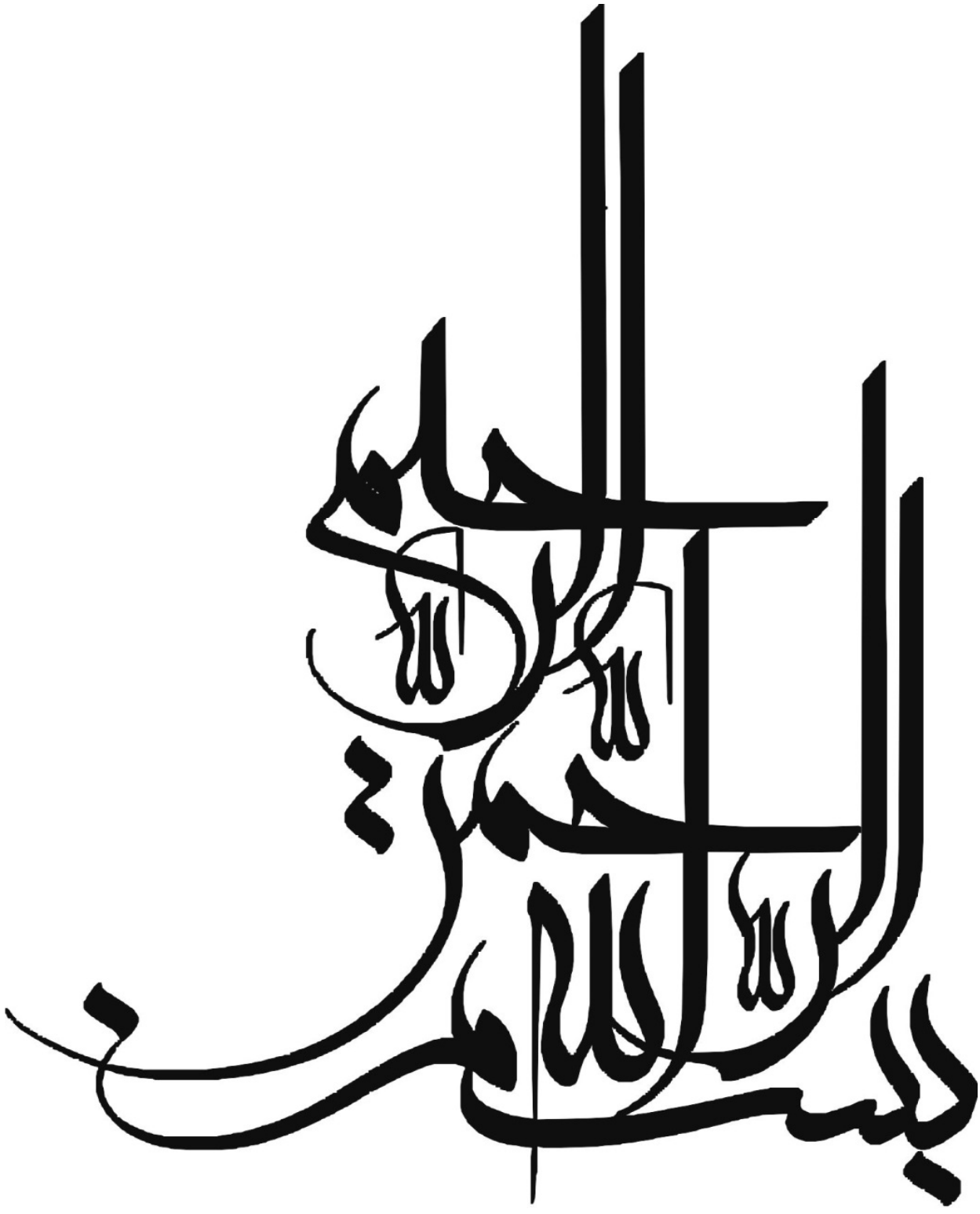
بسم الله الرحمن الرحيم

بسمه تعالی

دانشگاه تربیت دبیر شهید رجائی

تعهد نامه اصالت اثر

اینجانب **مهدی محمدی بیژائم** 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
مهدی محمدی بیژائم

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

دانشکده مهندسی عمران

بررسی تاثیر سرباره کوره بلند و ولاستونیت بر خواص مکانیکی و دوام بتن

نگارش :

مهدی محمدی بیژائم

استاد راهنما :

دکتر امیر طریقت

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد

در رشته مهندسی عمران گرایش سازه

دی‌ماه 1392

شماره: ۱۵۰۰۵۳۱
تاریخ: ۹۳/۳/۲۴
پیوست: .....

دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی

به نام خدا

صورتجلسهٔ دفاع پایان‌نامه تحصیلی دوره کارشناسی ارشد

با تأییدات خداوند متعال و با استعانت از حضرت ولی عصر (عج) جلسه دفاع از پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد آقای **مهدی محمدی‌بیژائم** دانشجوی رشتهٔ **مهندسی عمران- سازه** تحت عنوان **"بررسی خواص بتن با کاربرد سرباره و ولاستونیت"** در **تاریخ ۹۲/۱۰/۲۸** با حضور هیأت محترم داوران در دانشگاه تربیت دبیر شهید رجائی برگزار و نتیجه به شرح زیر اعلام گردید.

☑ قبول (بادرجه ..عالی..... امتیاز .....۲۰.....) ☐ دفاع مجدد ☐ مردود.

۱ ـعالی (۲۰ – ۱۹)

۲ ـ بسیار خوب (۱۸/۹۹ – ۱۸)

۳ ـ خوب (۱۷/۹۹ – ۱۶)

۴ ـ قابل قبول (۱۵/۹۹ – ۱۴)

۵- غیرقابل قبول (کمتر از ۱۴)

اعضاء	نام و نام‌خانوادگی	رتبه علمی	امضاء
استاد راهنما	دکتر امیر طریقت	استادیار	
استاد راهنما	----------	-----	
استاد مشاور	----------	-----	
استاد داور داخلی	دکتر موسی مظلوم	استادیار	
استاد داور خارجی	دکتر حمیدرضا اشرفی	استادیار	
نماینده تحصیلات تکمیلی	دکتر موسی مظلوم	استادیار	

دکتر محمد علی ارجمند

رئیس دانشکده مهندسی عمران

تهران، لویزان، کد پستی:۱۵۸۱۱-۱۶۷۸۸
صندوق پستی: ۱۶۳-۱۶۷۸۵
تلفن: ۹-۲۲۹۷۰۰۶۰ فکس: ۲۲۹۷۰۰۳۳
Email:sru@sru.ac.ir
www.srttu.edu

تقدیم به :

سه شهید گمنام دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی

نامدارترین شهدا

آنان که از همه هستی شان گذشتند و رفتند

تا ما آیندگان بتوانیم باشیم و از علممان دفاع کنیم....

روحشان شاد و راهشان پررهرو باد!

تشکر و قدردانی:

سپاس خدای را که سخنوران، در ستودن او بمانند و شمارندگان، شمردن نعمت های او ندانند و کوشندگان، حق او را گزاردن نتوانند. و سلام و درود بر محمد و خاندان پاک او، طاهران معصوم، هم آنان که وجودمان وامدار وجودشان است؛ و نفرین پیوسته بر دشمنان ایشان تا روز رستاخیز...

بدون شک جایگاه و منزلت معلم جلیل از آن است که در مقام قدردانی از زحمات بی شائبه ی او، با زبان قاصر و دست ناتوان، چیزی بنگاریم.

اما از آنجایی که تجلیل از معلم، سپاس از انسانی است که هدف و غایت آفرینش را تامین می کند و سلامت امانت هایی را که به دستش سپرده اند، تضمین؛ بر حسب وظیفه و از باب "من لم یشکر المنعم من المخلوقین لم یشکر الله عز و جل": از پدر و مادر عزیزم... این دو معلم بزرگوارم... که همواره بر کوتاهی و درشتی من، قلم عفو کشیده و کریمانه از کنار غفلت هایم گذشته اند و در تمام عرصه های زندگی یار و یاوری بی چشم داشت برای من بوده اند؛ از استاد باکمالات و شایسته؛ جناب آقای **دکتر طریقت** که در کمال سعه صدر، با حسن خلق و فروتنی، از هیچ کمکی در این عرصه بر من دریغ ننمودند و زحمت راهنمایی این پایان نامه را بر عهده گرفتند؛ ؛ و از اساتید فرزانه و دلسوز؛ جناب آقای دکتر **مظلوم** و جناب آقای دکتر **اشرفی** که زحمت داوری این رساله را متقبل شدند؛ کمال تشکر و قدردانی را دارم.

همچنین از تمامی کسانی که در به انجام رساندن این تحقیق مرا پشتیبانی و همراهی کرده اند، به ویژه دوستان عزیزم آقایان مهندس اویس افضلی، مهندس سعید فراهانی و مهندس فرزان محبوبی و سرکار خانم مهندس سمیرا یزدانی و همچنین مسؤلین کارگاه ساختمان دانشگاه به خصوص آقای مهدوی تشکر و قدردانی می نمایم.

باشد که این خرد ترین، بخشی از زحمات آنان را سپاس گوید.

چکیده

امروزه بتن پرمصرف‌ترین ماده ساختمانی در جهان می‌باشد. همچنین سیمان پرتلند عمده‌ترین ماده موجود در انواع بتن به حساب می‌آید. باتوجه به مشکلات زیست محیطی و همچنین معدنی تولید سیمان پرتلند، سعی بر آن است که بتن‌هایی با مواد جایگزین تولید گردند. از این‌رو مواد معدنی طبیعی و مصنوعی بسیاری جهت این امر مورد آزمایش قرار گرفته‌اند. از جمله این مواد میکروسیلیس، خاکستر بادی و سرباره می‌باشند. با افزایش تولید فولاد در جهان، میزان سرباره کوره بلند که محصول جانبی این صنعت است نیز متعاقبا در حال افزایش می‌باشد. از آنجایی که پژوهش‌های انجام گرفته به پتانسیل بالای استفاده از سرباره فولاد در صنعت بتن با هر دو عنوان سنگدانه و یا ماده مکمل سیمانی اشاره دارند، در حال حاضر مهمترین بخش مصرف سرباره در جهان، صنعت تولید سیمان و بتن به شمارمی‌رود. از چهار نوع سرباره تولیدی صنعت فولاد ، سرباره کوره بلند به دلیل محتوای بالای شیشه‌ای خود بیشترین استفاده به عنوان ماده سیمانی را دارا می‌باشد. همچنین ولاستونیت که از واکنش دگردیسی سیلیس و سنگ آهک شکل می‌گیرد در زمینه‌های مختلف از جمله در صنعت تولید سرامیک و رنگ کاربرد دارد. در چند سال اخیر از این ماده به عنوان ماده دارای خاصیت سیمانی در بتن و ملات نیز بهره گرفته می‌شود که با توجه به جدید بودن موضوع، نیاز به پژوهش‌های بیشتری برای شناخت بهتر نقش این ماده بر بتن می‌باشد.

پایان‌نامه حاضر به منظور بررسی اثر سرباره کوره بلند و ولاستونیت بر روی خواص مکانیکی و دوام بتن انجام شده است. روش ساخت نمونه‌ها بر دو مبنای پوزولانی و ژئوپلیمری بوده و عمل‌آوری نمونه‌ها متناسب با روش ساخت صورت گرفته است. بدین منظور 27 طرح اختلاط در سه نسبت آب به مواد سیمانی 0/35، 0/4 و 0/45 انتخاب گردید که 3طرح شاهد، 15 طرح پوزولانی و 9 طرح ژئوپلیمری بوده‌اند. درصد جایگزینی سرباره در طرح مخلوط‌ها، 0%، 50% و 80% انتخاب گردیده و همچنین این میزان برای ولاستونیت 0%، 5% و 20% بوده است. بر روی نمونه‌های بتنی، آزمایش‌های مکانیکی و دوام شامل: مقاومت‌های فشاری، کششی، خمشی و الکتریکی، اولتراسونیک و جذب آب انجام شده است.

نتایج آزمایش‌ها نشان می‌دهدکه جایگزینی سرباره در بتن به میزان 50% سیمان، تاثیر زیادی بر خواص مکانیکی بتن نداشته و موجب بهبود برخی از شاخصه‌های دوام بتن می‌شود. همچنین کاربرد سرباره و ولاستونیت در کنار هم در بتن پوزولانی موجب افت در خواص مکانیکی بتن می‌گردد. همچنین در بتن‌های ژئوپلیمری، با توجه به درصد بالای جایگزینی، شاهد افت مقاومتی زیادی نبوده و مقاومت الکتریکی این نمونه‌ها بسیار بالاتر از سایر طرح مخلوط‌ها بدست آمده است.

واژه‌های کلیدی: بتن، سرباره کوره بلند، ولاستونیت، ژئوپلیمر

فهرست مطالب

فصل اول: طرح مسأله 1

1-1- مقدمه 2

1-2- اهداف و روش انجام کار 5

1-3- شرح فصول 6

فصل دوم: مروری بر ادبیات موضوع ۷

2-1- سرباره کوره بلند 8

2-1-1- تعریف 8

2-1-2- تولید سرباره کوره بلند 8

2-1-3-ترکیب شیمیایی 11

2-1-4- سردسازی سرباره کوره بلند 12

2-1-4-1- روش سردسازی آهسته 12

2-1-4-2- سردسازی سرباره به صورت سریع 14

2-1-5- ساختار سرباره کوره بلند آمورف 15

2-1-5-1- نظریه ساختار شیشه‌ای: 15

2-1-6- اندازه‌گیری واکنش پذیری هیدرولیکی سرباره 18

2-1-7- عوامل موثر بر واکنش‌پذیری هیدورلیکی سرباره کوره بلند 19

2-1-7-1- ترکیب شیمیایی 19

2-1-7-2- محتوای شیشه‌ای 23

2-1-7-3- دانه بندی و میزان ریزی ذرات سرباره 23

2-2- سرباره فولاد 24

2-2-1- تعریف 24

2-2-2- تولید سرباره فولاد 24

2-2-3- سردسازی سرباره فولاد 26

2-2-4- ترکیب شیمیایی سرباره فولاد 28

2-2-5- ترکیب معدنی سرباره فولاد 29

2-2-6- خواص سیمانی سرباره فولاد 32

2-3- سیمان پرتلند و سیمان پرتلند سرباره‌ای: 34

2-3-1- ترکیب‌های اصلی تشکیل دهنده سیمان پرتلند: 34

2-3-2- مزایا و معایب سیمان پرتلند سرباره‌ای : 35

2-3-2-1- الف) مزایا 35

2-3-2-2- ب) معایب 36

2-4- پوزولان 37
2-4-1- تعریف 37
2-4-2- طبقه بندی پوزولان‌ها 38
2-4-3- ترکیب شیمیایی پوزولان‌ها 40
2-5- پلیمر: 40
2-5-1- انواع بسپار 40
2-5-2- دسته بندی بسپارها 41
2-5-3- مکانیسم پلیمری شدن 41
2-5-3-1- پلیمریزاسیون تراکمی 41
2-6- ژئوپلیمر و سیمان‌های فعال قلیایی: 42
2-6-1- فعال کننده‌های قلیایی: 44
2-6-1-1- مشخصات سودسوزآور: 45
2-6-1-2- رقیق سازی محلول سودسوزآور غلیظ: 46
2-6-1-3- مصرف سودسوزآور در تولید سیمان و بتن: 48
2-6-2- مقایسه خواص عمومی سرباره کوره بلند و متاکائولین: 48
2-6-2-1- حالت شیشه‌ای سرباره و حالت آمورف متاکائولین: 48
2-6-2-2- ترکیب شیمیایی و معدنی سرباره کوره بلند و متاکائولین: 49
2-6-3- فرآورده‌های واکنش هیدراتاسیون: 49
2-6-4- سازوکار واکنش‌های انجام شده 50
2-6-4-1 - سازوکار واکنش متاکائولین فعال قلیایی 50
2-6-4-2- سازوکار واکنش سرباره کوره بلند قلیایی فعال: 53
2-6-4-3- نقش کلسیم: 54
2-7- تفاوت واکنش پوزولانی و ژئوپلیمریزاسیون : 55
2-8- بررسی مشخصات بتن سرباره ای : 56
2-8-1- خواص مکانیکی: 57
2-8-1-1- مقاومت فشاری: 57
2-8-2- مقاومت الکتریکی: 59
2-8-3- دوام در برابر خوردگی 60
2-8-4- زمان گیرش 62
2-9- ولاستونیت 63
2-9-1- تعریف 63
2-9-2- مصارف ولاستونیت 64
2-9-3- ساختار و خواص چشمی 65
2-9-4- مقاومت مخلوط‌های حاوی ولاستونیت 66
2-9-5- تاثیر ولاستونیت بر خواص مخلوط بتنی 67

فصل سوم: مصالح، نحوهی ساخت نمونه ها، و شرح آزمایشها 68

3-1- مصالح مصرفی 69
3-1-1- سیمان 69
3-1-2- سرباره کوره بلند 71
3-1-3- ولاستونیت 73
3-1-4- سنگدانه ها 76
3-1-5- فوق روان کننده 77
3-1-6- آب مصرفی 77
3-2- طرح های اختلاط بتن 77
3-3- ساخت نمونه های بتنی 79
3-4- روش انجام آزمایشها 81
3-4-1- آزمایش مقاومت فشاری نمونه های بتنی 81
3-4-2- مقاومت کششی 82
3-4-3- مدول گسیختگی 83
3-4-4- مقاومت الکتریکی 84
3-4- 5- آزمایش اولتراسونیک 86
3-4-6- آزمایش جذب آب نمونه مکعبی 87

فصل چهارم:نتایج آزمایش ها و تفسیر آن ها 89

4-1- مقدمه 90
4-2- آزمایش مقاومت فشاری نمونه‌های مکعبی 92
4-2-1- نتایج مقاومت فشاری برای تمام سنین و W/CM = 0.35 94
4-2-2- نتایج مقاومت فشاری برای تمام سنین و W/CM = 0.40 98
4-2-3- نتایج مقاومت فشاری برای تمام سنین و W/CM = 0.45 102
4-2-4- نتایج مقاومت فشاری برای طرح‌های ژئوپلیمری در تمام سنین و W/CM = 0.35 106
4-2-5- نتایج مقاومت فشاری برای طرح‌های ژئوپلیمری در تمام سنین و W/CM = 0.40 108
4-2-6- نتایج مقاومت فشاری برای طرح‌های ژئوپلیمری در تمام سنین و W/CM = 0.45 111
4-2-7- مقایسه نتایج مقاومت فشاری در تمام سنین در طرح‌های با W/CM = 0.35 112
4-2-8- مقایسه نتایج مقاومت فشاری در تمام سنین در طرح‌های با W/CM = 0.4 114
4-2-9- مقایسه نتایج مقاومت فشاری در تمام سنین در طرح‌های با W/CM = 0.45 115
4-3- آزمایش مقاومت کششی نمونه های استوانه‌ای 117
4-3-1- نتایج مقاومت کششی برای طرح مخلوط‌های با W/CM = 0.35 117
4-3-2- نتایج مقاومت کششی برای طرح مخلوط‌های با W/CM = 0.4 119
4-3-3- نتایج مقاومت کششی برای طرح مخلوط‌های با W/CM = 0.45 122
4-3-4- مقایسه مقاومت کششی در تمام طرح مخلوط‌ها 124
4-4- آزمایش مدول گسیختگی نمونه های منشوری 125
4-4-1- نتایج مقاومت خمشی برای طرح مخلوط‌های با W/CM = 0.35 126

4-4-2- نتایج مقاومت خمشی برای طرح مخلوط‌های با W/CM = 0.4 128
4-4-3- نتایج مقاومت خمشی برای طرح مخلوط‌های با W/CM = 0.45 131
4-4-4- نتایج مقاومت خمشی برای طرح مخلوط‌های ژئوپلیمری 133
4-4-5- مقایسه مقاومت خمشی در طرح مخلوط‌های شاهد و پوزولانی 135
4-5- آزمایش سرعت اولتراسونیک نمونه های مکعبی 136
4-5-1- نتایج آزمایش سرعت اولتراسونیک برای طرح‌های با W/CM = 0.35 138
4-5-2- نتایج آزمایش سرعت اولتراسونیک برای طرح‌های با W/CM = 0.4 140
4-5-3- نتایج آزمایش سرعت اولتراسونیک برای طرح‌های با W/CM = 0.45 142
4-5-4- مقایسه سرعت موج در نمونه مکعبی در سنین مختلف برای تمام نسبت‌های آب به مواد سیمانی 143
4-6- آزمایش مقاومت الکتریکی نمونه‌های مکعبی 146
4-6-1- نتایج مقاومت الکتریکی برای طرح مخلوط‌های با W/CM = 0.35 147
4-6-2- نتایج مقاومت الکتریکی برای طرح مخلوط‌های با W/CM = 0.4 148
4-6-3- نتایج مقاومت الکتریکی برای طرح مخلوط‌های با W/CM = 0.45 150
4-6-4- نتایج مقاومت الکتریکی برای طرح مخلوط‌ها در سن 90 روزه 152
4-7- نتایج آزمایش جذب آب در نمونه‌های بتنی 155
4-7-1- مقایسه نتایج آزمایش جذب آب برای طرح‌های شاهد و پوزولانی 158
4-7-2- مقایسه نتایج آزمایش جذب آب برای طرح‌های ژئوپلیمری 160
4-8- بررسی ارتباط سرعت موج اولتراسونیک و مقاومت فشاری 162
4-8-1-بررسی ارتباط سرعت موج اولتراسونیک و مقاومت فشاری در طرح‌های شاهد و پوزولانی 162

فصل پنجم:نتیجه گیری و پیشنهادات 164

5-1- نتیجه گیری 165
5-2- پیشنهادات 167

منابع و مراجع 168

پیوست ۱۸۰

فهرست جداول

جدول 2-1- ترکیب شیمیایی بهینه برای سرباره کوره بلند 11

جدول 2-2- ترکیب شیمیایی سرباره کوره بلند در کشورهای مختلف ۱۲

جدول2-3– مواد معدنی موجود در سرباره کوره بلند سرد شده در هوای آزاد..... 14

جدول 2-4 – شاخص‌های هیدرولیکی سرباره بر مبنای ترکیب شیمیایی آن 19

جدول 2-5- ترکیب شیمیایی سرباره‌ها در مقالات 30

جدول 2-6- مواد و حالت‌های معدنی سرباره‌های فولاد..... 31

جدول 2-7– رابطه بین واکنش‌پذیری، خاصیت بازی و ترکیب معدنی سرباره فولاد..... 33

جدول 2- 8- تاریخچه حوادث مهم اتفاق افتاده در مورد سیمان‌های فعال قلیایی 42

جدول 2- 9– مقایسه ترکیب‌های عمده سرباره کوره بلند و متاکائولین..... 49

جدول 3- 1 - مشخصات شیمیایی و فیزیکی سیمان 425-1 تهران 70

جدول 3- 2 - مقایسه مشخصات شیمیایی سیمان 425-1 تهران با محدودیتهای استاندارد 389 ایران..... 71

جدول 3-3- ترکیب شمیایی سرباره مورد استفاده و مقایسه آن با میزان ارائه شده از سوی کارخانه..... 72

جدول 3-4- ترکیب شمیایی ولاستونیت مورد استفاده 73

جدول 3-5- مشخصات سنگدانه ی مصرفی.....76

جدول 3-6 – طرح مخلوط‌های نمونه‌های بتنی 78

جدول 3-7- تأثیر مقاومت الکتریکی بتن بر آهنگ خوردگی آرماتور 86

جدول 4-1- معرفی طرح مخلوط‌های پوزولانی ساخته شده در تحقیق و مشخصات آن‌ها 91

جدول 4-2-معرفی طرح مخلوط‌های ژئوپلیمری ساخته شده در تحقیق و مشخصات آن‌ها..... 91

جدول 4-3- نتایج مقاومت فشاری برای تمام طرح‌های ساخته شده در تحقیق برحسب مگاپاسکال..... 93

جدول 4-4- نتایج مقاومت فشاری برای طرح های با *W/CM = 0.35* برحسب مگاپاسکال 94

جدول 4-5- درصد کسب مقاومت فشاری طرح‌های با *W/CM = 0.35* با گذشت زمان 96

جدول 4-6- نتایج مقاومت فشاری برای طرح های با *W/CM = 0.40* برحسب مگاپاسکال..... 98

جدول 4-7- درصد کسب مقاومت فشاری طرح‌های با *W/CM = 0.4* با گذشت زمان 100

جدول 4-8- نتایج مقاومت فشاری برای طرح های با *W/CM = 0.45* برحسب مگاپاسکال 102

جدول 4-9- درصد کسب مقاومت فشاری طرح‌های با *W/CM = 0.45* با گذشت زمان.....104

جدول 4-10- نتایج مقاومت فشاری برای طرح های ژئوپلیمری با *W/CM = 0.35* برحسب مگاپاسکال.....106

جدول 4-11- درصد کسب مقاومت فشاری طرح‌های ژئوپلیمری با $W/CM = 0.35$ با گذشت زمان 107
جدول 4-12- نتایج مقاومت فشاری برای طرح های ژئوپلیمری با $W/CM = 0.4$ برحسب مگاپاسکال 109
جدول 4-13- درصد کسب مقاومت فشاری طرح‌های ژئوپلیمری با $W/CM = 0.4$ با گذشت 110
جدول 4-14- نتایج مقاومت فشاری برای طرح های ژئوپلیمری با $W/CM = 0.45$ برحسب مگاپاسکال 111
جدول 4-15- درصد کسب مقاومت فشاری طرح‌های ژئوپلیمری با $W/CM = 0.45$ با گذشت 112
جدول 4-16- نتایج مقاومت کششی برای تمام طرح مخلوط‌ها بر حسب مگاپاسکال 117
جدول 4-17- نتایج مقاومت کششی برای طرح‌های با $W/CM = 0.35$ 118
جدول 4-18- ضریب A برای طرح مخلوط‌های با $W/CM = 0.35$ 119
جدول 4-19- نتایج مقاومت کششی برای طرح‌های با $W/CM = 0.4$ 120
جدول 4-20- ضریب A برای طرح مخلوط‌های با $W/CM = 0.4$ 121
جدول 4-21- نتایج مقاومت کششی برای طرح‌های با $W/CM = 0.45$ 122
جدول 4-22- ضریب A برای طرح مخلوط‌های با $W/CM = 0.45$ 123
جدول 4-22- نتایج مقاومت خمشی برای تمام طرح مخلوط‌ها بر حسب مگاپاسکال 125
جدول 4-23- نتایج مقاومت خمشی برای طرح‌های با $W/CM = 0.35$ 126
جدول 4-24- میزان B برای طرح مخلوط‌های با $W/CM = 0.35$ 128
جدول 4-25- نتایج مقاومت خمشی برای طرح‌های با $W/CM = 0.4$ 128
جدول 4-26- میزان B برای طرح مخلوط‌های با $W/CM = 0.4$ 130
جدول 4-27- نتایج مقاومت خمشی برای طرح‌های با $W/CM = 0.45$ 131
جدول 4-28- میزان B برای طرح مخلوط‌های با $W/CM = 0.45$ 133
جدول 4-29- نتایج مقاومت خمشی برای طرح‌های ژئوپلیمری 134
جدول 4-30- میزان B برای طرح مخلوط‌های ژئوپلیمری 135
جدول 4-31- نتایج آزمایش سرعت اولتراسونیک برای تمام طرح ها برحسب متر بر ثانیه 137
جدول 4-32- نتایج آزمایش سرعت اولتراسونیک در طرح‌های با $W/CM = 0.35$ 138
جدول 4-33- نتایج آزمایش سرعت اولتراسونیک در طرح‌های با $W/CM = 0.4$ 140
جدول 4-34- نتایج آزمایش سرعت اولتراسونیک در طرح‌های با $W/CM = 0.45$ 142
جدول 4-35- نتایج مقاومت الکتریکی برای تمام طرح ها در سن 28 روز برحسب اهم در متر 146
جدول 4-36- نتایج مقاومت الکتریکی برای طرح مخلوط‌های با $W/CM = 0.35$ 147

جدول 4-37- نتایج مقاومت الکتریکی برای طرح مخلوط‌های با *W/CM = 0.4* 149
جدول 4-38- نتایج مقاومت الکتریکی برای طرح مخلوط‌های با *W/CM = 0.45* 150
جدول 4-39- نتایج مقاومت الکتریکی طرح مخلوط‌ها در سنین 28 و 90 روزه 152
جدول 4-40- تأثیر مقاومت الکتریکی بتن بر آهنگ خوردگی آرماتور 153
جدول 4-41- نتایج آزمایش جذب آب برای طرح مخلوط *W/CM35-S0-W0* 156
جدول 4-42- نتایج آزمایش جذب آب برای تمام طرح مخلوط‌های بتنی 157

فهرست اشکال

شکل 1-1 – میزان تقاضای سیمان جهان در سال‌های مختلف بر حسب میلیون تن 3
شکل 1-2– نحوه تولید سیمان و جایگزینی سرباره در فرآیند تولید سیمان آمیخته 4
شکل 2-1- نمایش شماتیک کوره بلند 10
شکل2-2– حالت های متبلورشده در سیستم چهاروجهی CAO-MGO-AL2O3-SIO2..... 13
شکل 2-3- نمایش دوبعدی ساختار شیشه ای و متبلور 16
شکل 2-4 – منحنی‌های مقاومت استاندارد سیمان‌های سرباره‌ای فعال قلیایی 22
شکل2-5 – فرآیند تولید آهن و فولاد 25
شکل2-6 – فرآیند انجام شده در کوره‌های قوس الکتریکی و ملاقه‌ای 25
شکل2-7– فرآیند انجام شده در کوره اکسیژن اصلی 26
شکل 2-8 – رابطه بین آهک باقیمانده، آهک رسوبی و میزان کلی آهک آزاد در سرباره فولاد 32
شکل 2-9 – رابطه بین مقاومت فشاری سیمان سرباره فولاد و خاصیت بازی سرباره..... 34
شکل 2- 10 – فرآیند تولید فسفر و سرباره فسفر..... 37
شکل 2- 11 - طبقه بندی پوزولان‌ها 39
شکل2- 12- نمودار حالت‌های مختلف سودسوزآور- آب 46
شکل 2-13 – دمای رقیق‌سازی محلول سودسوزآور 47
شکل 2- 14 – ساختار پلی سیالیت‌ها 50
شکل 2- 15 - مدل پایه‌ای از فعال شدن قلیایی یک ماده آلومینوسیلیکاتی 52
شکل 2- 16- نمایش شماتیک واکنش ژئوپلیمریزاسیون متاکائولین 52
شکل 2- 17- سازوکار انحلال یک شیشه آلومینوسیلیکاتی در مراحل اولیه واکنش 54
شکل2- 18 - فراورده های یک ماده آلومینیو سیلیکاتی کلسیم‌دار در بتن 56
شکل 2- 19 – طرح مخلوط نمونه‌های بتنی 57
شکل 2- 20 – نمودار مقاومت فشاری در سنین مختلف برای طرح مخلوط‌های بتنی 58
شکل 2- 21- نمودار مقاومت الکتریکی نمونه‌های بتنی برای طرح مخلوط‌های شکل 2- 19 60
شکل2- 22- احتمال خوردگی آرماتورهای فولادی در نمونه‌های بتنی ساخته شده 61
شکل2- 23 – ارتباط درصد خورده شده آرماتور فولادی با پوشش بتنی و سرباره 62
شکل2- 24- زمان گیرش اولیه و نهایی مخلوط‌های بتنی حاوی سرباره، میکروسیلیس و نانو سیلیس 63

شکل2- 25 – جایگاه ولاستونیت در نمودار رانکین 64
شکل2- 26 – مشخصات فیزیکی ولاستونیت 65
شکل2- 27 – مقاومت فشاری نمونه‌های حاوی ولاستونیت.....67
شکل2- 28 – مقاومت خمشی نمونه‌های حاوی ولاستونیت 67
شکل 3-1 – آنالیز پراش اشعه ایکس نمونه سرباره مورد استفاده 74
شکل 3-2- آنالیز پراش اشعه ایکس نمونه ولاستونیت مورد استفاده 74
شکل 3-3- آنالیز پراش اشعه ایکس سیمان پرتلند مصرفی 75
شکل 3-4- ابعاد دستگاه اسلامپ طبق ASTM C 143 80
شکل 3-5- وسایل لازم جهت انجام آزمایش اسلامپ 81
شکل 3-6 – نحوه انجام آزمایش مقاومت کششی 82
شکل 3- 7 – نمونه تحت بار خمشی 83
شکل 3-8- دستگاه هیدرولیکی برای تعیین مدول گسیختگی نمونه ها..... 84
شکل 3-9- نحوهی انجام آزمایش مقاومت الکتریکی..... 85
شکل 3-10- نحوه ی کار دستگاه اولتراسونیک جهت تعیین سرعت پالس عبوری..... 87
شکل 3- 11- نحوه آزمایش جذب آب نمونه بتنی 88

فهرست نمودارها

نمودار 3-1- نمودار دانه‌بندی ماسه مورد استفاده در طرح مخلوط‌ها 78

نمودار 4-1- نتایج مقاومت فشاری برای طرح های با *W/CM = 0.35* برحسب مگاپاسکال 94

نمودار 4-2- نمودار درصد مقاومت فشاری کسب شده بین سنین مورد بررسی درطرح مخلوط‌های با *W/CM = 0.35* 96

نمودار 4-3- مقایسه مقاومت فشاری طرح‌های با *W/CM = 0.35* در سنین مختلف 97

نمودار 4-4- نتایج مقاومت فشاری برای طرح های با *W/CM = 0.40* برحسب مگاپاسکال 98

نمودار 4-5- مقایسه مقاومت فشاری طرح‌های با *W/CM = 0.40* در سنین مختلف 99

نمودار 4-6- نمودار درصد مقاومت فشاری کسب شده بین سنین مورد بررسی درطرح مخلوط‌های با *W/CM = 0.4* 101

نمودار 4-7- نتایج مقاومت فشاری برای طرح های با *W/CM = 0.45* برحسب مگاپاسکال 102

نمودار 4-8- مقایسه مقاومت فشاری طرح‌های با *W/CM = 0.45* در سنین مختلف 104

نمودار 4-9- نمودار درصد مقاومت فشاری کسب شده بین سنین مورد بررسی درطرح مخلوط‌های با *W/CM = 0.45* ..105

نمودار 4-10- نمودار نتایج مقاومت فشاری طرح‌های ژئوپلیمری با*W/CM = 0.35* برحسب مگاپاسکال 106

نمودار 4-11- نمودار درصد مقاومت فشاری کسب شده درطرح مخلوط‌های ژئوپلیمری با *W/CM = 0.35* 107

نمودار 4-12- نمودار نتایج مقاومت فشاری طرح‌های ژئوپلیمری با*W/CM = 0.4* برحسب مگاپاسکال 109

نمودار 4-13- نمودار درصد مقاومت فشاری کسب شده درطرح مخلوط‌های ژئوپلیمری با *W/CM = 0.4* 110

نمودار 4-14- نمودار نتایج مقاومت فشاری طرح‌های ژئوپلیمری با*W/CM = 0.45* برحسب مگاپاسکال 111

نمودار 4-15- نمودار درصد مقاومت فشاری کسب شده درطرح مخلوط‌های ژئوپلیمری با W/CM = 0.45 112

نمودار 4-16- مقایسه نتایج مقاومت فشاری طرح های با *W/CM = 0.35* در تمام سنین بررسی شده 113

نمودار 4-17- مقایسه نتایج مقاومت فشاری طرح های با *W/CM = 0.4* در تمام سنین بررسی شده 114

نمودار 4-18- مقایسه نتایج مقاومت فشاری طرح های با *W/CM = 0.45* در تمام سنین بررسی شده 116

نمودار 4-19- نمودار نتایج مقاومت کششی در طرح‌های با *W/CM = 0.35* 118

نمودار 4-20- نمودار نتایج مقاومت کششی در طرح‌های با *W/CM = 0.4* 120

نمودار 4-21- نمودار نتایج مقاومت کششی در طرح‌های با *W/CM = 0.45* 122

نمودار 4-22- نمودار مقاومت کششی تمام طرح مخلوط‌های بتنی در هر سه نسبت آب به مواد سیمانی 124

نمودار 4-23- نمودار نتایج مقاومت خمشی در طرح‌های با *W/CM = 0.35* 127

نمودار 4-24- نمودار نتایج مقاومت خمشی در طرح‌های با *W/CM = 0.4* 130

نمودار 4-25- نمودار نتایج مقاومت خمشی در طرح‌های با *W/CM = 0.45* 132
نمودار 4-26- نمودار نتایج مقاومت خمشی طرح‌های ژئوپلیمری 134
نمودار 4-27- نمودار مقاومت خمشی تمام طرح مخلوط‌های شاهد و پوزولانی در هر سه نسبت آب به مواد سیمانی ... 136
نمودار 4-28- نمودار سرعت موج در طرح‌های با *W/CM = 0.35* در هر سه سن مورد بررسی 139
نمودار 4-29- نمودار سرعت موج در طرح‌های با *W/CM = 0.4* در هر سه سن مورد بررسی 141
نمودار 4-30- نمودار سرعت موج در طرح‌های با *W/CM = 0.45* در هر سه سن مورد بررسی 143
نمودار 4-31- مقایسه سرعت موج در نمونه‌های 7 روزه برای نسبت‌های آب به مواد سیمانی مختلف 144
نمودار 4-32- مقایسه سرعت موج در نمونه‌های 28 روزه برای نسبت‌های آب به مواد سیمانی مختلف 145
نمودار 4-33- مقایسه سرعت موج در نمونه‌های 90 روزه برای نسبت‌های آب به مواد سیمانی مختلف 145
نمودار 4-34- نمودار نتایج مقاومت الکتریکی برای نمونه‌های 28 روزه در طرح مخلوط‌های با *W/CM = 0.35* 147
نمودار 4-35- نمودار نتایج مقاومت الکتریکی برای نمونه‌های 28 روزه در طرح مخلوط‌های با *W/CM = 0.4* 150
نمودار 4-36- نمودار نتایج مقاومت الکتریکی برای نمونه‌های 28 روزه در طرح مخلوط‌های با *W/CM = 0.45* 151
نمودار 4-37- نمودار مقایسه مقاومت الکتریکی در سنین 28 و 90 روزه 154
نمودار4-38- نمودار نتایج جذب آب برای طرح مخلوط *W/CM35-S0-W0* 156
نمودار 4-39- نمودار مقادیر شیب خطوط برازشی بر منحنی جذب مویینه طرح مخلوط‌های شاهد و پوزولانی 158
نمودار 4-40- نمودار مقادیر عرض از مبدا خطوط برازشی بر منحنی جذب مویینه طرح مخلوط‌های شاهد و پوزولانی . 159
نمودار 4-41- نمودار مقایسه شیب خطوط برازش شده بر منحنی جذب آب طرح مخلوط‌های ژئوپلیمری 160
نمودار 4-42- نمودار مقایسه عرض از مبدا خطوط برازشی بر منحنی جذب آب نمونه‌های ژئوپلیمری 161
نمودار 4-43- نمودار ارتباط سرعت موج اولتراسونیک و مقاومت فشاری طرح‌های شاهد وپوزولانی در سن 7 روزه 163
نمودار 4-44- نمودار ارتباط سرعت موج اولتراسونیک و مقاومت فشاری طرح‌های شاهد وپوزولانی در سن 28 روزه 163

فصل اول: طرح مسأله