N, 11

۱۰۸۹۵

دانشگاه بوعلی سینا

دانشکدهٔ مهندسی

گروه عمران

پایان نامه

جهت دریافت درجهٔ کارشناسی ارشد در رشتهٔ مهندسی عمران

گرایش سازه

عنوان:

مطالعه اثر سیکل‌های ذوب و انجماد بر بتن الیافی

۱۳۸۷/۱۰/۱۳

استاد راهنما:

دکتر محمود نیلی

پژوهشگر:

احمد معظمی گودرزی

خرداد ۱۳۸۷

۱۰۸۵۹۵

دانشگاه بوعلی سینا
دانشکده مهندسی

بسمه تعالی

تاریخ
شماره
پیوست

گواهی تصویب پایان نامه

موضوع پایان نامه : مطالعه اثر سیکل های تر و خشک بر ایجاد بریتل الیافی

بدینوسیله گواهی می شود جلسه دفاعیه پایان نامه خانم / آقای: احمد معظمی گودرزی

رشته: مهندسی عمران ورودی: ۸۴ نیمسال انتخابی: ۸۷۲۰۰

در روز: شنبه مورخ: ۸۷/۳/۱۱ ساعت: ۱۱ تحت سرپرستی:

۱- استاد راهنما: جناب آقای / سرکار خانم: دکتر محمد شلی

۲- استاد مشاور: جناب آقای / سرکار خانم:

در محل دانشکده مهندسی برگزار گردید که پس از بررسی از طرف نامبردگان پایان نامه فوق با نمره ۱۹٫۶۶ و درجه عالی در تاریخ ۸۷/۳/۱۱ به تصویب رسید.

نام و نام خانوادگی و امضاء استاد راهنما: دکتر محمد شلی

نام و نام خانوادگی و امضاء استاد مشاور:

نام و نام خانوادگی و امضاء اساتید مدعو : ۱- دکتر علی طاهری مقدم

۲-

۳- دکتر محسن تدین

نام و نام خانوادگی و امضاء ناظر تحصیلات تکمیلی : دکتر [illegible]

نام و نام خانوادگی مدیر گروه یا نماینده و امضاء: دکتر [illegible]

مدیر گروه مهندسی : [illegible]

نام و نام خانوادگی و امضاء : دکتر [illegible]

دانشگاه بوعلي سينا

تاريخ

اداره كل امور آموزشي

شماره

با سلام

خواهشمند است در خصوص ثبت نمره درس دانشجوي نامبرده كه به صورت تک ليست اعلام شده است
با رعايت ماده ۲۳ آيين نامه آموزشي، مطابق ليست اقدام نماييد

معرفي به استاد

نمره نا تمام

✓ پايان نامه تاريخ دفاع ۸۷/۳/۱۱

سمينار تاريخ إرائه

با تشكر .

ساير موارد ذكر شود

معاون آموزشي دانشكده

امضا مسوول تحصيلات تكميلي ۸۷/۴/۳

دانشگاه بوعلي سينا — ليست نمرات امتحان — صفحه : ۱

اداره كل امور آموزشي — نيمسال تحصيلي: ۸۶۲ — تاريخ: ۱۳۸۷/۰۳/۲۷

شماره درس: ۳۴۰۳۳۰۲۸ — شماره گروه: ۱ — نام مدرس:

نام درس: پايان نامه ۶ واحدي — تعداد واحد: ۶ — تاريخ امتحان: — ساعت امتحان:

رديف	نام خانوادگي و نام	شماره دانشجويي	رشته	نمره درس		توضيحات
				به عدد	به حروف	
۱	عظمي گودرزي - احمد	۸۴۱۳۱۶۸۰۰۴	مهندسي عمران - سازه	۱۹/۶۶	نوزده و شصت و شش صدم	

امضا استاد
تاريخ تكميل

امضا مدير گروه
تاريخ

امضا آموزش دانشكده
تاريخ

امضا مديركل آموزش
تاريخ

در محل درج نمره فقط نمره درس يا عبارت غايب يا ناتمام (با رعايت مواد ۲۳ و ۲۴ آيين نامه آموزشي) نوشته شود.

نام مدرسان در محل مربوط در بالاي ليست نمره قيد شود.

نمرات اضافه شده خارج از ليست فاقد اعتبار مي باشند

همه امتیازهای این پایان نامه به دانشگاه بوعلی سینا تعلق دارد. در صورت استفاده از تمام یا بخشی از مطالب پایان نامه در مجلات، کنفرانس‌ها و یا سخنرانی‌ها، باید نام دانشگاه بوعلی سینا (یا استاد راهنمای پایان نامه) و نام دانشجو با ذکر مأخذ و ضمن کسب مجوز کتبی از دفتر تحصیلات تکمیلی دانشگاه ثبت شود. در غیر اینصورت مورد پیگرد قانونی قرار خواهد گرفت.

تقدیم به:

پدر و مادر عزیز

و

خواهر و برادرانم

تقدیر و تشکر

با حمد و سپاس از خداوند متعال که به من این توفیق را داد تا یکبار دیگر در در مرحله‌ی دیگری از زندگی به تحصیل علم و دانش بکوشم و مرا یاری کرد که توانستم این پایان‌نامه را به سرانجام برسانم.

از پدر بزرگوارم سرهنگ خداداد معظمی گودرزی به خاطر فداکاری‌های بی‌شائبه‌اش و مادر عزیزم به خاطر مهربانی‌های بی‌پایانش کمال تشکر را دارم و امیدوارم که با پیشرفت‌هایم بتوانم گوشه‌ای از محبت‌های آنان را جبران کنم و امیدوارم که سایه پدر و مادر عزیزم همیشه بر سر فرزندانشان باشد. همچنین از همسرم، برادرانم سعید و بهروز و خواهر عزیزم که در طول این دوره حامی و پشتیبان من بودند کمال تشکر و قدردانی را دارم.

از تمامی مربیان و اساتید دوران تحصیلی‌ام که همچون چراغی فروزان، روشنگر راه من بودند به ویژه استاد ارجمندم جناب آقای دکتر محمود نیلی که راهنمای علمی من در این دورهٔ تحصیلی و مشوق اصلی در به سرانجام رساندن این پایان‌نامه بوده است تشکر و قدردانی فراوان دارم. از دیگر اساتید این دوره که مرا در آموختن علم راهنمایی کردند از جمله آقایان دکتر طاهری مطلق، دکتر رضایی و دکتر تدین کمال تشکر را دارم.

از دوستان عزیزم آقایان مهندس امیر مسعود صالحی و مهدی سلیمانی راد که در این دوره تحصیلی در تمام ساعات یار و یاور من بوده‌اند تشکر و قدردانی می‌کنم. از دیگر دوستانم که مرا در طول این دوره مورد لطف خود قرار دادند از جمله آقایان مهندس پیمان خادمی، سید ایمان چوبچیان، مهدی نیکنام، محمد ظاهری، حسین عتیق‌پور، هادی حمیتی و فرزاد مندنی کمال تشکر و قدردانی را دارم.

نام خانوادگی پژوهشگر: معظمی گودرزی **نام:** احمد

عنوان پایان‌نامه: مطالعه اثر سیکل های ذوب و انجماد بر بتن الیافی **تعداد صفحه:** ۱۶۸

استاد راهنما: دکتر محمود نیلی

مقطع تحصیلی: کارشناسی ارشد **رشته:** مهندسی عمران **گرایش:** سازه

دانشگاه: بوعلی سینا **دانشکده:** مهندسی

کلید واژه‌ها: بتن الیافی، الیاف پلی‌پروپیلن، سیکل‌های ذوب و انجماد، پوسته‌شدگی، مدول الاستیسیته‌ی دینامیکی، مقاومت فشاری، مقاومت کششی

چکیده:

در این پایان‌نامه، مطالعات آزمایشگاهی جهت بررسی اثر سیکل‌های ذوب و انجماد با و بدون حضور نمک‌های یخ‌زدا بر دوام بتن‌های با مقاومت زیاد الیافی و هوادار صورت گرفته است. سیکل‌های اعمال شده در حالت سریع مطابق استاندارد *ASTM C666-A* و سیکل‌های آهسته مطابق شرایط واقعی در مناطق سردسیر کشور ایران انتخاب گردید. از دو نسبت آب به سیمان ۰/۳۰۵ و ۰/۴۶۵ استفاده شده است. مصرف الیاف‌های پلی‌پروپیلن به میزان ۰/۱۵ و ۰/۳ درصد حجمی بوده است. در آزمایش سیکل‌های سریع، نمونه‌های منشوری پس از ۷ روز عمل‌آوری در شرایط استاندارد در دستگاه اتوماتیک قرار گرفته و پس از هر ۳۰ سیکل و تا ۳۰۰ سیکل مدول‌الاستیسیته‌ی دینامیکی، حجم و وزن نمونه‌ها اندازه‌گیری گردید. جهت انجام آزمایش سیکل‌های آهسته محفظه‌ای طراحی شده است که هر ۲۴ ساعت یک سیکل به نمونه‌ها اعمال گردید. در این آزمایش همزمان اثر نمک‌های یخ‌زدا نیز مورد بررسی قرار گرفته است. نمونه‌ها در ۴ شرایط غرقاب، غرق در آب‌نمک، سطح در آب‌نمک و نگهداری در پلاستیک در محفظه قرار داده شده‌اند. جهت انجام آزمایش مدول‌الاستیسیته از نمونه‌های منشوری استفاده شده است. جهت بررسی اثر همزمان سیکل‌های ذوب و انجماد، با و بدون حضور نمک‌های یخ‌زدا، مقاومت نمونه‌های منشوری تا ۴۵ سیکل تعیین گردیده است. نتایج زیر از این پایان‌نامه قابل استنتاج است:

- افزودن الیاف پلی‌پروپیلن در محدوده‌ی مصرف در این پایان‌نامه تأثیر چندانی در افزایش مقاومت‌های فشاری و کششی نداشته است، ولی نوع شکست نمونه‌های حاوی الیاف در مقایسه با نمونه‌های شاهد بسیار نرم بوده است.
- افزودن الیاف اگرچه باعث بهبود نسبی در فاکتور دوام و همچنین جلوگیری از پوسته‌شدگی شده است ولی تأثیر مواد هوازا در مقایسه با الیاف بیشتر است.
- تطبیق نسبتاً مناسبی بین نتایج آزمایش سیکل‌های سریع و سیکل‌های آهسته در شرایط غرقاب وجود دارد.
- در حالتی‌که نمونه‌ها غرق در آب‌نمک بوده‌اند، بیشترین خسارت به بتن‌ها وارد شده است در حالی‌که نمونه‌هایی که درون پلاستیک قرار داده شده و از شرایط اشباع به دور مانده‌اند هیچگونه کاهش مقاومت یا مدول‌الاستیسیته، در آنها رخ نداده است.
- حضور الیاف در بتن باعث افزایش دوام نمونه‌ها در مقابل پوسته‌شدگی شده است.

فهرست مطالب

فهرست مطالب

عنوان..... صفحه

فصل اول: مقدمه ۱
۱-۱- ضرورت انجام تحقیق..... ۲
۱-۲- مروری بر فصل‌های پایان‌نامه..... ۶
فصل دوم: ویژگی‌های عمومی الیاف وخواص و دوام بتن‌های حاوی الیاف ۷
بخش اول..... ۸
۲-۱- مقدمه..... ۸
بخش دوم..... ۱۲
۲-۲- ویژگی‌های عمومی الیاف..... ۱۲
۲-۲-۱- شکل و اندازه‌ی الیاف..... ۱۲
۲-۲-۲- نسبت ظاهری الیاف..... ۱۴
۲-۲-۳- ضریب ارتجاعی الیاف..... ۱۵

۲-۲-۴- پیوستگی الیاف به خمیر سیمان ۱۵
۲-۲-۵- خاصیت ارتجاعی ۱۷
۲-۲-۶- کرنش‌پذیری الیاف ۱۷
۲-۲-۷- مقاومت کششی الیاف ۱۹
۲-۲-۸- حجم بحرانی الیاف ۱۹
۲-۲-۹- شیوه‌ی قرار گرفتن و توزیع الیاف در خمیر سیمان ۲۰
بخش سوم ۲۱
۲-۳- خواص بتن‌های حاوی الیاف ۲۱
۲-۳-۱- مقاومت فشاری ۲۱
۲-۳-۲- مقاومت کششی ۲۸
۲-۳-۲-۱- مقاومت بتن در کشش مستقیم ۲۹
۲-۳-۳- مقاومت خمشی ۳۱
۲-۳-۴- مقاومت در برابر خستگی ۳۵
۲-۳-۵- مقاومت در مقابل بارهای ضربه‌ای ۳۵
۲-۳-۶- خزش و جمع‌شدگی ۳۷
۲-۳-۷- جمع‌شدگی خمیری ۳۸
۲-۳-۸- وزن مخصوص ۴۰
۲-۳-۹- مقاومت در برابر سایش، فرسایش و واکنش سیلیسی- قلیایی ۴۰
۲-۳-۱۰- مقاومت در برابر ذوب و انجماد ۴۱
۲-۳-۱۱- خوردگی الیاف فولادی در بتن ۴۲
۲-۳-۱۲- بار ترک‌خوردگی بتن الیافی ۴۳
۲-۳-۱۳- طول بحرانی الیاف ۴۴

۲-۳-۱۴- فاصله‌ی بحرانی الیاف ۴۵
۲-۳-۱۵- دوام الیاف پلیمری در محیط‌های سیمانی ۴۷
۲-۳-۱۶- جمع‌بندی بخش دوم ۴۸
بخش چهارم ۴۹
۲-۴- اثر سیکل‌های ذوب و انجماد بر بتن ۴۹
۲-۴-۱- مقدمه ۴۹
۲-۴-۲- مقاومت در برابر سیکل‌های ذوب و انجماد ۵۰
۲-۴-۳- عوامل مؤثر در خرابی‌های ناشی از سیکل‌های ذوب و انجماد ۵۲
۲-۴-۴- سنجش مقاومت بتن در مقابل سیکل‌های ذوب و انجماد ۵۷
۲-۴-۵- دوام بتن‌های الیافی در برابر سیکل‌های ذوب و انجماد ۶۳
۲-۴-۵-۱- اعمال همزمان بار و سیکل‌های ذوب و انجماد ۶۳
۲-۴-۵-۲- اعمال سیکل‌های ذوب و انجماد در حضور آب خالص و سولفات ۶۵
۲-۴-۵-۳- اعمال همزمان بارگذاری و سیکل‌های ذوب و انجماد در معرض آب خالص و کلر ۶۶
۲-۴-۵-۴- اثر وجود الیاف‌های پلی‌پروپیلن و پلی‌اکریلواتیلن بر خواص بتن سخت شده.... ۶۸
فصل سوم: روش تحقیق و مصالح مصرفی ۶۹
۳-۱- مقدمه ۷۰
۳-۲- مشخصات مصالح مصرفی ۷۵
۳-۲-۱- سنگدانه‌ها ۷۵
۳-۲-۲- سیمان ۷۷
۳-۲-۳- فوق‌روان کننده ۷۷
۳-۲-۴- هوازا ۷۸
۳-۲-۵- الیاف پلی‌پروپیلن ۷۹

۳-۳- طراحی نسبت اختلاط‌ها ۸۰
۳-۳-۱- نسبت آب به سیمان ۸۰
۳-۳-۲- نسبت‌های سنگدانه‌ها ۸۱
۳-۳-۳- میزان سیمان مصرفی ۸۲
۳-۴- نحوه‌ی اختلاط مصالح و ساخت بتن‌های الیافی، ساده و هوادار ۸۴
۳-۵- نحوه‌ی آماده سازی ۸۵
۳-۶- ساخت نمونه‌های آزمایشگاهی ۸۷
۳-۶-۱- نمونه‌های استوانه‌ای ۸۷
۳-۶-۲- نمونه‌های منشوری ۸۸
۳-۶-۳- نمونه‌های مکعبی ۹۰
۳-۷- نگهداری نمونه‌ها ۹۱
۳-۸- آزمایش مقاومت فشاری ۹۱
۳-۹- آزمایش مقاومت دو نیم شدن (آزمایش برزیلی) ۹۲
۳-۱۰- آزمایش مقاومت در برابر سیکل‌های سریع ذوب و انجماد ۹۳
۳-۱۱- آزمایش مقاومت در برابر سیکل‌های آهسته‌ی ذوب و انجماد ۱۰۰
فصل چهارم: بحث و بررسی نتایج تحقیق ۱۰۶
۴-۱- مقاومت فشاری ۱۰۷
۴-۲- مقاومت کششی (دو نیم شدن) ۱۱۳
۴-۳- نتایج دوام بتن در برابر سیکل‌های سریع ذوب و انجماد ۱۱۴
۴-۴- نتایج دوام بتن در برابر سیکل‌های آهسته‌ی ذوب و انجماد ۱۲۶
۴-۴-۱- نتایج مدول الاستیسیته‌ی دینامیکی ۱۲۶
۴-۴-۱-۱- نتایج سیکل‌های ذوب و انجماد در معرض آب خالص ۱۲۷

۴-۴-۱-۲- نتایج سیکل‌های ذوب و انجماد در معرض آب‌نمک ۱۲۸
۴-۴-۱-۳- نتایج نگهداری نمونه‌ها در شرایط با ارتفاع ۱ سانتیمتر مواد یخ‌زدا ۱۲۸
۴-۴-۱-۴- نتایج نمونه‌های قرار داده شده در پلاستیک ۱۲۹
۴-۴-۲- نتایج پوسته‌شدگی ناشی از وجود نمک‌های یخ‌زدا ۱۳۴
۴-۴-۳- کاهش مقاومت نمونه‌های مکعبی ۱۴۰
۴-۴-۴- کاهش مقاومت نمونه‌های استوانه‌ای ۱۴۵
فصل پنجم: نتایج نهایی و پیشنهادات ۱۵۵
۵-۱- نتیجه‌گیری نهایی ۱۵۶
۵-۱-۱- مقاومت فشاری ۱۵۶
۵-۱-۲- مقاومت کششی ۱۵۷
۵-۱-۳- دوام در برابر سیکل‌های ذوب و انجماد ۱۵۷
۵-۱-۳-۱- سیکل‌های سریع ذوب و انجماد ۱۵۷
۵-۱-۳-۲- سیکل‌های آهسته‌ی ذوب و انجماد ۱۵۸
۵-۱-۳-۲-۱- نمونه های اشباع در آب ۱۵۸
۵-۱-۳-۲-۲- نمونه های اشباع در آب‌نمک ۱۵۸
۵-۱-۳-۲-۳- نمونه‌های قرار داده شده در شرایط ۱ سانتیمتر آب‌نمک ۱۵۸
۵-۱-۳-۲-۴- نمونه‌های *Sealed condition* ۱۵۹
۵-۱-۳-۲-۵- مقاومت فشاری پس از سیکل‌های آهسته ۱۵۹
۵-۱-۳-۲-۶- مقاومت کششی پس از سیکل‌های آهسته ۱۵۹
۵-۲- پیشنهادها برای ادامه‌ی مطالعات ۱۶۰
مراجع ۱۶۱

فهرست شکل‌ها

شکل ..... صفحه

شکل۲-۱- انواع شکل‌های الیاف‌های فولادی..... ۱۴
شکل ۲-۲- اثر نوع الیاف فولادی در افزایش شکل‌پذیری و طاقت بتن..... ۱۸
شکل ۲-۳- اثر الیاف بر افزایش مقاومت فشاری بتن..... ۲۲
شکل ۲-۴- اثر درصد الیاف فولادی بر افزایش شکل‌پذیری و طاقت بتن..... ۲۳
شکل ۲-۵- اثر درصد استفاده از الیاف فولادی در بتن بر افزایش شکل‌پذیری و طاقت بتن..... ۲۴
شکل ۲-۶- اثر افزایش نسبت ظاهری الیاف فولادی بر افزایش شکل‌پذیری و طاقت بتن..... ۲۵
شکل ۲-۷- تأثیر افزایش درصد الیاف بر افزایش طاقت و مقاومت فشاریِ بتن در اعضای بتن مسلح..... ۲۶
شکل ۲-۸- رابطه‌ی خطی بین *TI* با *Reinforcing Index* برای یک نوع الیاف فولادی..... ۲۷
شکل ۲-۹- شکل شکست نمونه‌های استوانه‌ای بتن ساده در آزمایش مقاومت فشاری..... ۲۷
شکل ۲-۱۰- شکل شکست نمونه‌های استوانه‌ای بتن الیافی در آزمایش مقاومت فشاری..... ۲۸
شکل ۲-۱۱- مقایسه‌ی اثر الیاف پلی‌پروپیلن در افزایش حجم هوای محبوس در بتن الیافی..... ۲۹
شکل ۲-۱۲- نحوه‌ی تأثیر الیاف در افزایش مقاومت کششی و طاقت بتن..... ۳۰

شکل ۲-۱۳- اثر شکل الیاف فولادی در کاهش مقاومت کششی بعد از عبور از نقطه‌ی حداکثر بار ۳۰
شکل ۲-۱۴- منحنی بار- تغییر شکل خمشی برای بتن حاوی الیاف پلی‌پروپیلن ۳۲
شکل ۲-۱۵- اثر مقدار استفاده‌ی الیاف در عملکرد خمشی بتن ۳۳
شکل ۲-۱۶- تأثیر شکل الیاف فولادی بر عملکرد آن در بتن ۳۴
شکل ۲-۱۷- تأثیر الیاف فولادی بر مقاومت بتن در برابر ضربه ۳۶
شکل ۲-۱۸- کاهش ترک‌های خشک‌شدگی، به علت استفاده از الیاف پلی‌پروپیلن در بتن ۳۸
شکل ۲-۱۹- تأثیر میزان استفاده الیاف در کاهش ترک‌های ناشی از جمع‌شدگی خمیری ۳۹
شکل ۲-۲۰- مقایسه‌ی مقاومت بتن الیافی(پلی‌پروپیلن) و ساده در برابر سیکل‌های ذوب و انجماد ۴۱
شکل ۲-۲۱- مقایسه‌ی فاکتور دوامِ بتن الیافی(پلی‌پروپیلن) و ساده در برابر سیکل‌های ذوب و انجماد ۴۲
شکل ۲-۲۲- رفتار بتن مسلح تحت اثر خمش سه نقطه‌ای ۴۳
شکل ۲-۲۳- رابطه‌ی بین تنش ترک خوردگی کششی و فاصله‌ی الیاف ۴۵
شکل ۲-۲۴- مقایسه‌ی داده‌های تجربی و تئوری نسبت مقاومت نمونه‌های بتنی و فاصله‌ی الیاف در بتن ۴۶
شکل ۲-۲۵- دوام و عملکرد دراز مدت الیاف‌های پلی‌پروپیلن، نایلون و پلی‌استر ۴۸
شکل ۲-۲۶- شکل شماتیک انواع ترک‌خوردگیِ ناشی از سیکل‌های ذوب و انجماد در بتن ۵۱
شکل ۲-۲۷- رابطه‌ی بین فاصله‌ی حباب‌های هوا در بتن حاوی سیلیکافوم و تغییر طول بعد از ۳۰۰ سیکل ذوب و انجماد ۵۵
شکل ۲-۲۸- اثر وجود هوازایی در بتن را بر مقدار پوسته شدگی در مجاورت نمک ۵۶
شکل ۲-۲۹- نمودار تنش – کرنش و E_o و E_c ۵۸
شکل ۲-۳۰- نتایج کاهش مدول‌الاستیسیته‌ی دینامیکی در آزمایش‌های *Botha* و همکارانش ۵۹
شکل ۲-۳۱- کاهش مدول الاستیسیته‌ی دینامیکی برای بتن معمولی ۶۴
شکل ۲-۳۲- کاهش مدول الاستیسیته‌ی دینامیکی برای بتن الیافی ۶۴
شکل ۲-۳۳- نتایج کاهش مدول الاستیسیته‌ی دینامیکی برای بتن‌های الیافی و ساده ۶۵
شکل ۲-۳۴- نتایج کاهش وزن برای بتن‌های الیافی و ساده ۶۶

شکل ۲-۳۵- نتایج کاهش مدول الاستیسیته‌ی دینامیکی برای بتن‌های ساده ۶۷
شکل ۲-۳۶- نتایج کاهش مدول الاستیسیته‌ی دینامیکی برای بتن‌های الیافی ۶۷
شکل ۳-۱- شکل شماتیک محفظه‌های نگهداری در دستگاه اعمال سیکل‌های آهسته ۷۳
شکل ۳-۲- برنامه‌ی انجام آزمایش‌ها در این تحقیق ۷۴
شکل ۳-۳- منحنی دانه‌بندی ماسه ۷۶
شکل ۳-۴- منحنی دانه‌بندی شن نخودی ۷۶
شکل ۳-۵- منحنی دانه‌بندی شن بادامی ۷۷
شکل ۳-۶- منحنی دانه‌بندی کل سنگدانه‌ها و محدوده‌ی پیشنهادی آیین‌نامه‌ی ایران ۸۱
شکل ۳-۷- ترتیب اختلاط مصالح در تهیه‌ی نمونه‌های آزمایشگاهی ۸۵
شکل ۳-۸- شکل شماتیک دستگاه اندازه‌گیری فرکانس تشدید ۹۸
شکل ۳-۹- نمودار تغییرات دمای رسم شده برای یک سیکل آهسته ۱۰۴
شکل ۴-۱- مقایسه‌ی روند کسب مقاومت فشاری طرح‌های با نسبت آب به سیمان ۰/۳۰۵ ..... ۱۱۰
شکل ۴-۲- مقایسه‌ی روند کسب مقاومت فشاری طرح‌های با نسبت آب به سیمان ۰/۴۶۵ ..... ۱۱۰
شکل ۴-۳- مقایسه‌ی مقاومت فشاری ۳، ۷، ۱۴ و ۲۸ روزه‌ی طرح‌های با نسبت آب به سیمان ۰/۳۰۵ ..... ۱۱۱
شکل ۴-۴- مقایسه‌ی مقاومت فشاری ۳، ۷، ۱۴ و ۲۸ روزه‌ی طرح‌های با نسبت آب به سیمان ۰/۴۶۵ ..... ۱۱۱
شکل ۴-۵- مقایسه مقاومت کششی ۲۸ روزه‌ی طرح‌های با نسبت آب به سیمان ۰/۳۰۵ ..... ۱۱۳
شکل ۴-۶- مقایسه مقاومت کششی ۲۸ روزه‌ی طرح‌های با نسبت آب به سیمان ۰/۴۶۵ ..... ۱۱۴
شکل ۴-۷- مقایسه مدول الاستیسیته‌ی دینامیکی نسبی نمونه‌های با نسبت آب به سیمان ۰/۳۰۵ مطابق با استاندارد *ASTM C666-A* ۱۱۹
شکل ۴-۸- مقایسه مدول الاستیسیته‌ی دینامیکی نسبی نمونه‌های با نسبت آب به سیمان ۰/۴۶۵ مطابق با استاندارد *ASTM C666-A* ۱۱۹
شکل ۴-۹- مقایسه مدول الاستیسیته‌ی دینامیکی نسبی نمونه‌های هوادار مطابق با استاندارد *ASTM C666-A* ۱۲۰
شکل ۴-۱۰- مقایسه مدول الاستیسیته‌ی دینامیکی نسبی نمونه‌های با ۰/۳ درصد الیاف مطابق با استاندارد *ASTM C666-A* ۱۲۰

شکل ۴-۱۱- مقایسه مدول الاستیسیته‌ی دینامیکی نسبی نمونه‌های با ۰/۱۵ درصد الیاف مطابق با استاندارد *ASTM C666-A* ۱۲۱
شکل ۴-۱۲- مقایسه مدول الاستیسیته‌ی دینامیکی نسبی نمونه‌های شاهد مطابق با استاندارد *ASTM C666-A* ۱۲۱
شکل ۴-۱۳- مقایسه مدول الاستیسیته‌ی دینامیکی نسبی نمونه‌های *محفظه‌ی ۱* با نسبت آب به سیمان ۰/۳۰۵ مطابق با استاندارد *ASTM C666-A* ۱۲۹
شکل ۴-۱۴- مقایسه مدول الاستیسیته‌ی دینامیکی نسبی نمونه‌های محفظه‌ی ۱ با نسبت آب به سیمان ۰/۴۶۵ مطابق با استاندارد *ASTM C666-A* ۱۳۰
شکل ۴-۱۵- مقایسه مدول الاستیسیته‌ی دینامیکی نسبی نمونه‌های محفظه‌ی ۲ با نسبت آب به سیمان ۰/۳۰۵ مطابق با استاندارد *ASTM C666-A* ۱۳۰
شکل ۴-۱۶- مقایسه مدول الاستیسیته‌ی دینامیکی نسبی نمونه‌های محفظه‌ی ۲ با نسبت آب به سیمان ۰/۴۶۵ مطابق با استاندارد *ASTM C666-A* ۱۳۱
شکل ۴-۱۷- مقایسه مدول الاستیسیته‌ی دینامیکی نسبی نمونه‌های محفظه‌ی ۳ با نسبت آب به سیمان ۰/۳۰۵ مطابق با استاندارد *ASTM C666-A* ۱۳۱
شکل ۴-۱۸- مقایسه مدول الاستیسیته‌ی دینامیکی نسبی نمونه‌های محفظه‌ی ۳ با نسبت آب به سیمان ۰/۴۶۵ مطابق با استاندارد *ASTM C666-A* ۱۳۲
شکل ۴-۱۹- مقایسه مدول الاستیسیته‌ی دینامیکی نسبی نمونه‌های محفظه‌ی ۴ با نسبت آب به سیمان ۰/۳۰۵ مطابق با استاندارد *ASTM C666-A* ۱۳۲
شکل ۴-۲۰- مقایسه مدول الاستیسیته‌ی دینامیکی نسبی نمونه‌های محفظه‌ی ۴ با نسبت آب به سیمان ۰/۴۶۵ مطابق با استاندارد *ASTM C666-A* ۱۳۳
شکل ۴-۲۱- مقایسه پوسته‌شدگی سطح نمونه‌های با نسبت آب به سیمان ۰/۳۰۵ قرار گرفته در شرایط ۱ سانتیمتر آب‌نمک ۱۳۶
شکل ۴-۲۲- مقایسه پوسته‌شدگی سطح نمونه‌های با نسبت آب به سیمان ۰/۳۰۵ قرار گرفته در شرایط غرق در آب‌نمک ۱۳۶
شکل ۴-۲۳- مقایسه پوسته‌شدگی سطح نمونه‌های با نسبت آب به سیمان ۰/۴۶۵ قرار گرفته در شرایط ۱ سانتیمتر آب‌نمک ۱۳۷
شکل ۴-۲۴- مقایسه پوسته‌شدگی سطح نمونه‌های با نسبت آب به سیمان ۰/۴۶۵ قرار گرفته در شرایط غرق در آب‌نمک ۱۳۷
شکل ۴-۲۵- مقایسه مقدار پوسته‌شدگی نمونه‌های با نسبت آب به سیمان ۰/۳۰۵ در سن ۱۵ و ۴۵ سیکل. ۱۳۸
شکل ۴-۲۶- مقایسه مقدار پوسته‌شدگی نمونه‌های با نسبت آب به سیمان ۰/۴۶۵ در سن ۱۵ و ۴۵ سیکل. ۱۳۸
شکل ۴-۲۷- مقایسه مقدار پوسته‌شدگی نمونه‌ها در سن ۱۵ سیکل ۱۳۹
شکل ۴-۲۸- مقایسه مقدار پوسته‌شدگی سطح نمونه‌ها در سن ۴۵ سیکل ۱۳۹
شکل ۴-۲۹- مقایسه درصد مقاومت فشاری باقیمانده‌ی نمونه‌های با نسبت آب به سیمان ۰/۳۰۵ در محفظه‌های ۱، ۲، ۳ و ۴ بعد از ۴۵ سیکل ذوب و انجماد ۱۴۳

شکل ۴-۳۰- مقایسه درصد مقاومت فشاری باقیمانده‌ی نمونه‌های با نسبت آب به سیمان ۰/۴۶۵ در محفظه‌های ۱، ۲، ۳ و ۴ بعد از ۴۵ سیکل ذوب و انجماد ۱۴۳
شکل ۴-۳۱- مقایسه درصد مقاومت فشاری باقیمانده‌ی نمونه‌های با نسبت آب به سیمان ۰/۳۰۵ در محفظه‌های ۱، ۲، ۳ و ۴ بعد از ۴۵ سیکل ذوب و انجماد ۱۴۴
شکل ۴-۳۲- مقایسه درصد مقاومت فشاری باقیمانده‌ی نمونه‌های با نسبت آب به سیمان ۰/۴۶۵ در محفظه‌های ۱، ۲، ۳ و ۴ بعد از ۴۵ سیکل ذوب و انجماد ۱۴۴
شکل ۴-۳۳- مقاومت دونیم‌شدن نمونه‌های استوانه‌ای قرار گرفته در دستگاه سیکل‌های آهسته و نمونه‌های ۲۸ روزه ۱۴۶

فهرست جدول‌ها

جدول ..... صفحه

جدول۲-۱- مشخصات عمومی انواع الیاف‌های مختلف..... ۱۱
جدول ۲-۲- نتایج عددی کاهش مدول‌الاستیسیته‌ی دینامیکی در آزمایش‌های *Botha* و همکارانش..... ۶۰
جدول ۲-۳- نتایج تحقیق *Ozyildirim* بر دوام دو نوع بتن الیافی..... ۶۱
جدول ۳-۱- مشخصات سنگدانه‌های مصرفی..... ۷۵
جدول ۳-۲- مشخصات سیمان استفاده شده در طرح اختلاط‌ها..... ۷۸
جدول ۳-۳- مشخصات الیاف استفاده شده در طرح اختلاط‌ها..... ۷۹
جدول ۳-۴- بتن‌های با مقاومت زیاد و بتن‌های توانمند..... ۸۰
جدول ۳-۵- ترکیب انتخابی سنگدانه‌ها..... ۸۱
جدول ۳-۶- مشخصات طرح اختلاط‌های استفاده شده در این تحقیق..... ۸۳
جدول ۳-۷- تقسیم بندیِ استاندارد *ASTM C672* جهت آزمایش پوسته‌شدگی..... ۱۰۳
جدول ۴-۱- مقاومت فشاری طرح اختلاط‌ها در سن ۳ روز..... ۱۰۸
جدول ۴-۲- مقاومت فشاری طرح اختلاط‌ها در سن ۷ روز..... ۱۰۸