





دانشگاه شمال

دانشکده فنی و مهندسی

پایان نامه جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

رشته عمران - سازه

عنوان پایان نامه:

اثر عیار سیمان بر ویژگی های فیزیکی، مکانیکی و
دوام جداول بتنی پیش ساخته با روش پرسى خشک

استاد راهنما:

دکتر فریدون رضایی

استاد مشاور:

دکتر محسن تدین

دانشجو:

محمدرضا زیادزاده

زمستان ۱۳۸۸

تقدیم به پدر و مادر عزیزم

خدای را بسی شاکرم که از روی کرم پدر و مادری فداکار نصیبم ساخته تا در سایه

درخت پر بار وجودشان بیایم و از ریشه آنها شاخ و برگ گیرم و از سایه وجودشان

در راه کسب علم و دانش تلاش نمایم.

والدینی که بودنشان تاج افتخاری است بر سرم و نشان دلیلی است بر بودنم چرا

که این دو وجود پس از پروردگاریه، هستی ام بوده اندستم را گرفتند و راه رفتن

را در این وادی زندگی پر از فراز و نشیب آموختند.

آموزگارانی که برایم زندگی؛ بودن و انسان بودن را معنا کردند

حال این برگ سبزی است تخم دویش تقدیم آنان....

تشکر و قدردانی

بر خود واجب می‌دانم که از عزیزان و بزرگوارانی که در پیشبرد و به ثمر رسیدن تحقیق حاضر

مرا یاری داده‌اند، تشکر و قدردانی نمایم.

- اساتید ارجمند جناب آقای دکتر محسن تدین و جناب آقای دکتر فریدون رضایی که همیشه با گشاده‌رویی و دلسوزی بسیار مرا مورد حمایت و راهنمایی خودشان قرار دادند.
- جناب آقای کیهانی مدیریت محترم شرکت تولیدی و تحقیقاتی ایران فریمکو که پژوهش حاضر تحت حمایت مالی و با استفاده از امکانات فراهم شده توسط ایشان انجام گرفته است.
- جناب آقای مهندس جاوید خطیبی مدیر مرکز تحقیق و توسعه ایران فریمکو که در طول پروژه همیشه مرا مورد لطف و محبت خود قرار داده و تلاش‌های ایشان در زمینه فراهم نمودن امکانات آزمایشگاهی فراموش نشدنی است.
- جناب آقای پروفسور حسن مقدم که مرا مورد حمایت‌های همه جانبه خود قرار داده است.
- کارکنان مرکز تحقیق و توسعه ایران فریمکو که بطور بسیار موثری در انجام پژوهش حاضر مرا یاری رساندند.
- برادر عزیز و خواهران دلسوزم که محیطی مناسب را برایم فراهم آوردند.

چکیده

دوام بتن یکی از مهمترین خصوصیات آن می‌باشد، چون لازم است عملکردی که برای آن در نظر گرفته شده است تداوم یابد، به این معنا که مقاومت و بهره‌دهی آن در عمر مشخصی که برای آن منظور شده است، حفظ گردد.

شاید آنچه بیش از هر عاملی تا به امروز وضعیت مبلمان شهری شهر تهران را با خطر تخریب، ویرانی و نازیبایی مواجه کرده است، ضعف دوام یکی از مهمترین محصولات تاثیرگذار در این بخش یعنی جداول بتنی می‌باشد.

ضعف دوام جداول بتنی خیابان‌ها همه ساله زیان‌های مالی و زیست محیطی فراوانی را به کشور وارد می‌کند، بطوریکه سالانه شاهد صرف هزینه‌های هنگفتی برای تعویض جداول بتنی کنار خیابان‌ها که بعلت ضعف دوام از بین می‌روند، می‌باشیم. با این وجود هنوز در کشور عزیزمان ایران تحقیقات جدی برای حل مشکل دوام بتن جداول صورت نگرفته است.

عوامل متعددی بر دوام بتن جداول تاثیر می‌گذارند. در این میان، عیار سیمان موجود در مخلوط نیز، یکی از عواملی است که می‌تواند بر دوام بتن، و همچنین خواص فیزیکی و مکانیکی آن تاثیر- گذار باشد.

در پژوهش حاضر با ثابت نگه‌داشتن نسبت آب به سیمان، حداکثر اندازه سنگدانه، دانه‌بندی، نوع سیمان و سایر عوامل و تنها با تغییر عیار سیمان، تاثیر آن بر ویژگی‌های فیزیکی، مکانیکی و دوام جداول بتنی پیش‌ساخته با روش پرسی خشک، مورد بررسی قرار گرفته است. که این امر از طریق انجام آزمایش‌های مقاومت فشاری، مقاومت کششی، جذب آب حجمی، جذب آب اولیه، جذب آب مویینه، مقاومت ویژه الکتریکی، میزان عمق نفوذ آب تحت فشار بر روی مخلوط‌های ساخته شده، میسر شده است.

نتایج این بررسی‌ها نشان می‌دهد که با افزایش عیار سیمان از ۳۵۰ تا 450 kg/m^3 در ساخت جداول پیش‌ساخته بروش پرسی خشک، دوام آنها افزایش می‌یابد. مشابه چنین حالتی هنگامی که عیار سیمان از ۵۰۰ تا 450 kg/m^3 کاهش می‌یابد، به چشم می‌خورد.

کلمات کلیدی: عیار سیمان، دوام، جداول بتنی، جذب آب مویینه، جذب آب، مقاومت فشاری،

مقاومت کششی، نفوذپذیری، مقاومت ویژه الکتریکی.



فهرست مطالب

فهرست مطالب	أ
فهرست شکلها	ه
فهرست نمودارها	ز
فهرست جداول	ط
فصل اول: مقدمه	۲
۱-۱- کلیات	۲
۲-۱- دامنه و هدف تحقیق	۳
۳-۱- اصول کلی تحقیق	۴
۴-۱- تقسیم بندی فصول پایان نامه	۵
۱-۴-۱- مقدمه	۵
۲-۴-۱- مروری بر مطالعات انجام شده	۵
۳-۴-۱- مصالح مصرفی و برنامه آزمایشگاهی	۵
۴-۴-۱- نتایج آزمایشها	۵
۵-۴-۱- تجزیه و تحلیل نتایج	۶
۶-۴-۱- نتیجه گیری نهایی و پیشنهاد	۶
فصل دوم: مروری بر مطالعات انجام شده	۸
۱-۲- مقدمه	۸
۲-۲- ساختار بتن	۸
۱-۲-۲- ریز ساختار و نفوذ سیالات در بتن	۸
۱-۲-۲-۱- ساختار شیمیایی بتن	۹
۱-۲-۲-۱-۱- اجزای سیمان	۹
۱-۲-۲-۲- هیدراسیون اجزای سیمان	۱۱
۲-۲-۱-۲-۲- ساختار فیزیکی بتن	۱۳
۱-۲-۲-۱-۲-۲- منافذ و تخلخل	۱۳
۲-۲-۱-۲-۲- مکانیزم های انتقال در بتن	۱۴
۳-۲- مطالعات تئوری دوام بتن	۲۰
۱-۳-۲- مقدمه	۲۰
۲-۳-۲- تعریف دوام بتن	۲۰
۳-۳-۲- عوامل آسیب رسان به بتن	۲۱
۱-۳-۳-۲- طبقه بندی علل آسیب دیدگی بتن	۲۱
۲-۳-۳-۲- قرار گرفتن در معرض سیکلهای ذوب و انجماد	۲۳
۳-۳-۳-۲- آسیب دیدگی ناشی از فرسایش سطحی	۲۵
۴-۳-۳-۲- تبلور نمکها در منافذ	۲۶



۲۶	..... ۵-۳-۳-۲ مکانیسم خرابی بر اثر حمله سولفاتها.
۲۸	..... ۶-۳-۳-۲ واکنش قلیائی سنگدانه ها
۲۸	..... ۷-۳-۳-۲ خوردگی فولاد در بتن
۲۸	..... ۱-۷-۳-۳-۲ تعریف
۲۸	..... ۲-۷-۳-۳-۲ ساز و کار خوردگی
۳۱	..... ۳-۷-۳-۳-۲ ماهیت لایه انفعالی
۳۲	..... ۴-۲-ارزیابی شرایط دوام بتن
۳۲	..... ۱-۴-۲ مقدمه
۳۲	..... ۲-۴-۲ آزمایش تعیین مقاومت فشاری
۳۲	..... ۳-۴-۲ آزمایش تعیین جذب آب
۳۳	..... ۴-۴-۲ آزمایش تعیین جذب سطحی بتن
۳۳	..... ۵-۴-۲ آزمایش تعیین جذب آب مویینه
۳۴	..... ۶-۴-۲ آزمایش تعیین نفوذپذیری گاز در بتن
۳۵	..... ۷-۴-۲ آزمایش تعیین عمق نفوذپذیری آب تحت فشار در بتن
۳۵	..... ۸-۴-۲ آزمایش تعیین عمق کربناسیون
۳۶	..... ۹-۴-۲ آزمایش تعیین مقاومت الکتریکی بتن (ρ)
۳۷	..... ۱۰-۴-۲ آزمایش یخ زدن و آب شدن
۳۸	..... ۱۱-۴-۲ آزمایش نفوذ سریع کلرید (RCPT)
۴۰	..... ۵-۲-تأثیر عیار سیمان بر خواص بتن
۴۰	..... ۱-۵-۲ تأثیر عیار سیمان بر مقاومت بتن
۴۶	..... ۲-۵-۲ تأثیر عیار سیمان در نقل و انتقال سیالات به درون بتن
۶۰	..... ۳-۵-۲ تأثیر عیار سیمان بر رسانایی و مقاومت الکتریکی بتن
۶۷	..... ۴-۵-۲ تأثیر عیار سیمان بر جمع‌شدگی بتن
۷۳	..... ۵-۵-۲ تأثیر عیار سیمان بر خزش
۷۵	..... ۶-۵-۲ تأثیر عیار سیمان بر میزان قلیائیت محلول منفذی
۷۷	..... فصل سوم: مصالح مصرفی و برنامه آزمایشگاهی
۷۷	..... ۱-۳-۱ مقدمه
۷۷	..... ۲-۳-۱ مصالح مصرفی
۷۸	..... ۱-۲-۳ سیمان
۸۰	..... ۲-۲-۳ آب
۸۰	..... ۳-۲-۳ سنگدانه
۸۲	..... ۳-۳-۱ طرح مخلوط
۸۲	..... ۱-۳-۳ انتخاب روش محاسبه طرح اختلاط
۸۳	..... ۲-۳-۳ روش محاسبه طرح اختلاط بروش ملی طرح مخلوط
۸۳	..... ۴-۳-۳ تعیین محدوده تغییرات عیار سیمان و تعیین نسبت آب به سیمان
۸۴	..... ۱-۴-۳ تعیین محدوده تغییرات عیار سیمان



۱۴	۳-۴-۲- تعیین نسبت آب به سیمان.....
۱۵	۳-۵- ساخت، نمونه گیری و عمل آوری مخلوطها.....
۱۵	۳-۵-۱- مخلوطهای آزمایشگاهی.....
۹۱	۳-۵-۱-۱- محاسبه طرح مخلوطها و تعیین مقادیر مورد نیاز جهت هر مخلوط.....
۹۱	۳-۵-۱-۱- فرضیات مورد استفاده در طرح اختلاطها.....
۹۱	۳-۵-۱-۲- اندازه گیری درصد هوای موجود در هر مخلوط.....
۹۲	۳-۵-۱-۳- مقادیر مصالح مصرفی در هر مخلوط.....
۹۳	۳-۵-۲- ساخت مخلوطها.....
۹۴	۳-۵-۳- نمونه گیری از مخلوطها.....
۹۴	۳-۵-۴- نگهداری و عمل آوری نمونه ها.....
۹۶	۳-۵-۲- مخلوطهای کارگاهی.....
۹۶	۳-۵-۲-۱- محاسبه طرح مخلوطها.....
۹۶	۳-۵-۲-۲- ساخت مخلوط و تهیه جداول.....
۹۹	۳-۵-۲-۳- نگهداری و عمل آوری جداول تولید شده.....
۱۰۱	۳-۵-۲-۴- نمونه گیری از جداول کارگاهی.....
۱۰۲	۳-۶- شرح آزمایشهای انجام گرفته.....
۱۰۲	۳-۶-۱- آزمایشهای انجام گرفته بر روی نمونه های آزمایشگاهی.....
۱۰۲	۳-۶-۱-۱- آزمایش تعیین مقاومت فشاری.....
۱۰۳	۳-۶-۱-۲- آزمایش تعیین مقاومت کششی.....
۱۰۵	۳-۶-۱-۳- آزمایش تعیین مقاومت ویژه الکتریکی.....
۱۰۸	۳-۶-۱-۴- آزمایش تعیین درصد وزنی جذب آب نهایی مخلوط.....
۱۰۹	۳-۶-۱-۵- آزمایش تعیین درصد وزنی جذب آب در ۳۰ دقیقه.....
۱۱۰	۳-۶-۱-۶- آزمایش تعیین جذب آب مویینه.....
۱۱۳	۳-۶-۱-۷- آزمایش تعیین میزان عمق نفوذ آب تحت فشار.....
۱۱۶	۳-۶-۲- آزمایشهای انجام گرفته بر روی نمونه های کارگاهی.....
۱۱۶	۳-۶-۲-۱- آزمایش تعیین مقاومت فشاری مغزه حاصل از جدول.....
۱۱۶	۳-۶-۲-۲- آزمایش تعیین مقاومت ویژه الکتریکی مغزه حاصل از جدول.....
۱۱۷	۳-۶-۲-۳- آزمایش تعیین درصد وزنی جذب نهایی آب مغزه حاصل از جدول.....
۱۱۷	۳-۶-۲-۴- آزمایش تعیین میزان عمق نفوذ آب تحت فشار مغزه حاصل از جدول.....
۱۱۷	۳-۶-۲-۵- آزمایش تعیین جذب آب مویینه مغزه حاصل از جدول.....
۱۱۸	۳-۶-۲-۶- آزمایش تعیین مقاومت خمشی جدول کامل.....
۱۲۰	۳-۶-۲-۷- آزمایش تعیین مقاومت خمشی تیر حاصل از جدول.....
۱۲۲	فصل چهارم: نتایج آزمایشهای انجام شده.....
۱۲۲	۴-۱- مقدمه.....
۱۲۳	۴-۲- نتایج آزمایش مقاومت فشاری.....
۱۲۶	۴-۳- نتایج آزمایش مقاومت کششی.....



۱۲۸	۴-۴- نتایج آزمایش تعیین درصد وزنی جذب آب نهایی مخلوط.....
۱۳۰	۴-۵- نتایج آزمایش تعیین جذب آب موینه.....
۱۳۴	۴-۶- نتایج آزمایش تعیین مقاومت ویژه الکتریکی.....
۱۳۷	۴-۷- نتایج آزمایش تعیین میزان عمق نفوذ آب تحت فشار.....
۱۳۸	۴-۸- نتایج آزمایش تعیین درصد وزنی جذب آب اولیه مخلوط.....
۱۴۱	فصل پنجم : تحلیل و تفسیر نتایج آزمایشها.....
۱۴۱	۵-۱- مقدمه.....
۱۴۱	۵-۲- تجزیه و تحلیل نتایج آزمایش مقاومت فشاری و مقاومت کششی.....
۱۴۲	۵-۳- تجزیه و تحلیل نتایج آزمایش جذب آب نهایی.....
۱۴۲	۵-۴- تجزیه و تحلیل نتایج آزمایش جذب آب موینه.....
۱۴۳	۵-۵- تجزیه و تحلیل نتایج آزمایش مقاومت ویژه الکتریکی.....
۱۴۴	۵-۶- تجزیه و تحلیل نتایج آزمایش عمق نفوذ آب تحت فشار.....
۱۴۵	۵-۷- تجزیه و تحلیل نتایج آزمایش جذب آب اولیه.....
۱۴۷	فصل ششم: نتیجه گیری نهایی و پیشنهادهای.....
۱۴۷	۶-۱- نتایج کلی پژوهش.....
۱۴۸	۶-۲- توصیه نهایی پژوهش.....
۱۴۹	۶-۳- پیشنهادهایی برای ادامه تحقیق.....
۱۵۰	منابع و مراجع.....
۱۵۹	ABSTRACT.....



فهرست شکل‌ها

- شکل ۱-۲ تصویر میکروسکوپی الکترونی بلورهای شش وجهی منوسولفات هیدراته شده و سوزنی شکل اترینگایت، ۱۲
- شکل ۲-۲ مدل خمیر سیمان کاملاً هیدراته شده ۱۲
- شکل ۳-۲ رابطه بین ارتباط منافذ بر نفوذپذیری (قدوسی و همکاران، ۱۳۷۸) ۱۴
- شکل ۴-۲ تصویر شماتیک از آب انداختگی بتن تازه ریخته شده (قدوسی و همکاران، ۱۳۷۸) ۱۵
- شکل ۵-۲ تصویر میکروسکوپ الکترونی ناحیه انتقال (قدوسی و همکاران، ۱۳۷۸) ۱۶
- شکل ۶-۲ نمایش شماتیک ناحیه انتقال و بخش توده ای خمیر سیمان در بتن (قدوسی و همکاران، ۱۳۷۸) ۱۶
- شکل ۷-۲ مکش موئین ناشی از انرژی سطحی (قدوسی و همکاران، ۱۳۷۸) ۱۷
- شکل ۸-۲ تصویر میکروسکوپی از یک بتن در هنگام یخ زدن ۲۵
- شکل ۹-۲ پیل الکتروشیمیایی خوردگی ۲۹
- شکل ۱۰-۲ پیل خوردگی در بتن مسلح (RICHARDSON, 2002) ۳۱
- شکل ۱۱-۲ فولاد منفعل شده در بتن (SMITH & VIRMANI, 2000) ۳۱
- شکل ۱۲-۲ نمایش شماتیک نحوه انجام آزمایش جذب آب مویینه در آزمایشگاه (BENTS ET AL, 1999) ۳۴
- شکل ۱۳-۲ نمایش شماتیک نحوه انجام آزمایش نفوذپذیری گاز در بتن در آزمایشگاه (BENTS ET AL, 1999) ۳۴
- شکل ۱-۳ دستگاه بلین جهت تعیین ریزی (نرمی) سیمان ۷۹
- شکل ۲-۳ دستگاه تراکم جهت ساخت نمونه های ملات سیمان ۷۹
- شکل ۳-۳ دستگاه ویکات جهت انجام آزمایش تعیین زمان گیرش خمیر سیمان ۷۹
- شکل ۴-۳ روش مورد استفاده جهت ساخت و تراکم سری اول نمونه های آزمایشگاهی ۸۷
- شکل ۵-۳ نمایی از آماده سازی لوازم جهت ساخت نمونه های آزمایشگاهی ۸۸
- شکل ۶-۳ روش مورد استفاده جهت ساخت و تراکم سری دوم نمونه های آزمایشگاهی ۸۹
- شکل ۷-۳ اعمال حداکثر فشار ممکن همراه با لرزش و ضربه جهت تراکم نمونه ها ۹۰
- شکل ۸-۳ اعمال حداکثر فشار ممکن همراه با لرزش و ضربه جهت تراکم نمونه های آزمایشگاهی ۹۵
- شکل ۹-۳ محل عمل آوری و نگهداری نمونه های آزمایشگاهی ۹۵
- شکل ۱۰-۳ حمل مخلوط آماده شده به خط تولید جداول ۹۷
- شکل ۱۱-۳ ریختن مخلوط آماده شده به داخل دستگاه تولید جدول ۹۸
- شکل ۱۲-۳ پرس بتن در داخل قالبهای دستگاه تولید جدول ۹۸
- شکل ۱۳-۳ حرکت قالب از روی جداول تولید شده ۹۹
- شکل ۱۴-۳ نگهداری و عمل آوری جداول توسط روکش پلاستیکی ۱۰۰
- شکل ۱۵-۳ نگهداری و عمل آوری جداول بوسیله آب پاشی ۱۰۰
- شکل ۱۶-۳ انبار نمودن جداول در مجاورت آزمایشگاه ۱۰۱
- شکل ۱۷-۳ نحوه نمونه گیری از جداول بتنی جهت انجام آزمایشهای لازم ۱۰۱
- شکل ۱۸-۳ چگونگی تعیین ابعاد و وزن نمونه ها قبل از انجام آزمایش ۱۰۳
- شکل ۱۹-۳ چگونگی تعیین مقاومت فشاری آزمونه های ساخته شده ۱۰۳
- شکل ۲۰-۳ آماده سازی نمونه استوانه ای جهت انجام آزمایش مقاومت کششی ۱۰۵
- شکل ۲۱-۳ نحوه قرارگیری نمونه در دستگاه جهت آزمون مقاومت کششی ۱۰۵
- شکل ۲۲-۳ چگونگی آماده سازی آزمونه برای تعیین مقاومت الکتریکی ۱۰۷



- شکل ۳-۲۳ چگونگی برقراری مدار و اندازه‌گیری مقاومت الکتریکی ۱۰۸
- شکل ۳-۲۴ طرح شماتیک نحوه قرارگیری آزمون‌ها در آب جهت انجام آزمایش جذب آب مویینه ۱۱۰
- شکل ۳-۲۵ چگونگی قرارگیری آزمون‌ها در آب جهت انجام آزمایش جذب آب مویینه ۱۱۱
- شکل ۳-۲۶ نمودار جذب آب مویینه ۱۱۲
- شکل ۳-۲۷ دو نیم‌کردن نمونه جهت تعیین حداکثر ارتفاع نفوذ آب در آزمایش جذب مویینه ۱۱۳
- شکل ۳-۲۸ دستگاه تعیین عمق نفوذ آب تحت فشار ۱۱۴
- شکل ۳-۲۹ نمونه دونیم شده جهت تعیین میزان عمق نفوذ آب تحت فشار در آن ۱۱۴
- شکل ۳-۳۰ تصویر شماتیک نحوه انجام آزمایش خمشی جدول ۱۱۹
- شکل ۳-۳۱ چگونگی قرارگیری جداول برای اندازه‌گیری مقاومت خمشی ۱۱۹



فهرست نمودارها

- نمودار ۱-۲ مقاومت فشاری اجزای سیمان..... ۱۰
- نمودار ۲-۲ هیدراسیون اجزای سیمان پرتلند با زمان..... ۱۰
- نمودار ۳-۲ تأثیر نسبت سنگدانه به سیمان بر مقاومت بتن (SINGH, 1958)..... ۴۰
- نمودار ۴-۲ رابطه بین مقاومت فشاری نمونه‌های استوانه‌ای (با قطر ۱۰۰ MM و طول ۳۰۰ MM)..... ۴۱
- نمودار ۵-۲ رابطه بین تنش کششی مستقیم و حجم سنگدانه‌ها در نسبت..... ۴۲
- نمودار ۶-۲ رابطه بین مقاومت فشاری و مقدار خمیر..... ۴۳
- نمودار ۷-۲ رابطه بین عیار سیمان با مقاومت فشاری نمونه‌های مکعبی..... ۴۵
- نمودار ۸-۲ رابطه بین عیار سیمان با مقاومت‌های فشاری و کششی ۲۸ روزه..... ۴۶
- نمودار ۹-۲ رابطه بین جذب آب مویینه و مقدار خمیر (KOLIAS ET AL, 2005)..... ۴۹
- نمودار ۱۰-۲ عمق نفوذ یون کلرید (YIGITER ET AL, 2006)..... ۴۹
- نمودار ۱۱-۲ ضریب انتشار اکسیژن به عنوان تابعی از AF ($W/C = ۰/۴۵$) (MAGHSOUDI, 2005)..... ۵۰
- نمودار ۱۲-۲ ضریب نفوذپذیری اکسیژن به عنوان تابعی از AF ($W/C = ۰/۴۵$) (MAGHSOUDI, 2005)..... ۵۱
- نمودار ۱۳-۲ نفوذ آب به عنوان تابعی از AF ($W/C = ۰/۴۵$) (MAGHSOUDI, 2005)..... ۵۱
- نمودار ۱۴-۲ جذب آب به عنوان تابعی از AF در ملاتهای حاوی ماسه..... ۵۲
- نمودار ۱۵-۲ پروفیل مقدار کلرید به عنوان تابعی از AF در ملاتهای حاوی..... ۵۲
- نمودار ۱۶-۲ ضریب انتشار کلرید به عنوان تابعی از AF در ملاتهای حاوی..... ۵۳
- نمودار ۱۷-۲ کرناسیون به عنوان تابعی از AF در ملاتهای حاوی..... ۵۳
- نمودار ۱۸-۲ رابطه بین عیار سیمان با جذب آب اولیه (سلیمانی راد، ۱۳۸۷)..... ۵۴
- نمودار ۱۹-۲ رابطه بین عیار سیمان با جذب آب نهایی (سلیمانی راد، ۱۳۸۷)..... ۵۵
- نمودار ۲۰-۲ رابطه بین ضریب جذب آب مویینه با عیار سیمان (سلیمانی راد، ۱۳۸۷)..... ۵۵
- نمودار ۲۱-۲ رابطه بین جذب آب مویینه با عیار سیمان در زمان‌های؛..... ۵۶
- نمودار ۲۲-۲ رابطه بین ضریب انتشار یون کلرید بتن با عیار سیمان (سلیمانی راد، ۱۳۸۷)..... ۵۷
- نمودار ۲۳-۲ رابطه بین عیار سیمان و جذب آب حجمی اولیه و نهایی ($W/C = ۰/۴۵$) (قهرمانی، ۱۳۸۵)..... ۵۸
- نمودار ۲۴-۲ رابطه بین عیار سیمان و ضریب جذب آب مویینه ($W/C = ۰/۴۵$) (قهرمانی، ۱۳۸۵)..... ۵۸
- نمودار ۲۵-۲ پروفیل یون کلرید نسبت به وزن بتن ($W/C = ۰/۴۵$) (قهرمانی، ۱۳۸۵)..... ۵۸
- نمودار ۲۶-۲ پروفیل یون کلرید نسبت به وزن سیمان ($W/C = ۰/۴۵$) (قهرمانی، ۱۳۸۵)..... ۵۹
- نمودار ۲۷-۲ ضریب انتشار کلرید بتن ($W/C = ۰/۴۵$) (قهرمانی، ۱۳۸۵)..... ۵۹
- نمودار ۲۸-۲ رابطه بین عیار سیمان و جذب آب حجمی اولیه و نهایی ($W/C = ۰/۳۲$) (شیانی، ۱۳۸۵)..... ۶۰
- نمودار ۲۹-۲ رابطه بین عیار سیمان و ضریب جذب آب مویینه بتن ($W/C = ۰/۳۲$) (شیانی، ۱۳۸۵)..... ۶۰
- نمودار ۳۰-۲ رابطه بین مقاومت ویژه الکتریکی و نسبت آب به سیمان با حداکثر اندازه ۴۰ MM..... ۶۱
- نمودار ۳۱-۲ رسانایی الکتریکی به عنوان تابعی از AF و سن بتن ($W/C = ۰/۴۵$)..... ۶۲
- نمودار ۳۲-۲ رسانایی الکتریکی به عنوان تابعی از AF در ملاتهای حاوی..... ۶۳
- نمودار ۳۳-۲ مقاومت ویژه الکتریکی نمونه‌های بتنی مغروق در آب (قهرمانی، ۱۳۸۵)..... ۶۳
- نمودار ۳۴-۲ مقاومت ویژه الکتریکی نمونه‌های بتنی مغروق در محلول نمک طعام ۵٪ (قهرمانی، ۱۳۸۵)..... ۶۴
- نمودار ۳۵-۲ مقاومت ویژه الکتریکی نمونه‌های بتنی مغروق در محلول نمک طعام ۳٪ ($W/C = ۰/۳۲$)..... ۶۴



- نمودار ۲-۳۶ رابطه بین مقاومت ویژه الکتریکی و عیار سیمان در سنین؛ ۶۶
- نمودار ۲-۳۷ تأثیر مقدار سنگدانه در بتن (بر حسب حجم) بر نسبت جمع‌شدگی بتن ۶۸
- نمودار ۲-۳۸ تأثیر بخش حجمی سنگدانه بر جمع‌شدگی ناشی از خشک شدن (PICKETT, 1956) ۶۸
- نمودار ۲-۳۹ تأثیر نسبت آب به سیمان، عیار سیمان، و مقدار آب بر جمع‌شدگی دراز مدت ۶۹
- نمودار ۲-۴۰ جمع‌شدگی آزاد، سنگدانه % ۶۰، نسبت آب به سیمان ۰/۴۰، سیمان نوع I/III ۷۰
- نمودار ۲-۴۱ جمع‌شدگی آزاد، سنگدانه % ۷۰، نسبت آب به سیمان ۰/۴۰، سیمان نوع I/III ۷۱
- نمودار ۲-۴۲ جمع‌شدگی آزاد، سنگدانه % ۸۰، نسبت آب به سیمان ۰/۴۰، سیمان نوع I/III ۷۱
- نمودار ۲-۴۳ جمع‌شدگی آزاد، سنگدانه % ۶۰، نسبت آب به سیمان ۰/۴۵، سیمان نوع I/III ۷۱
- نمودار ۲-۴۴ جمع‌شدگی آزاد، سنگدانه % ۷۰، نسبت آب به سیمان ۰/۴۵، سیمان نوع I/III ۷۲
- نمودار ۲-۴۵ جمع‌شدگی آزاد، سنگدانه % ۸۰، نسبت آب به سیمان ۰/۴۵، سیمان نوع I/III ۷۲
- نمودار ۲-۴۶ جمع‌شدگی آزاد، سنگدانه % ۶۰، نسبت آب به سیمان ۰/۵۰، سیمان نوع I/III ۷۲
- نمودار ۲-۴۷ جمع‌شدگی آزاد، سنگدانه % ۷۰، نسبت آب به سیمان ۰/۵۰، سیمان نوع I/III ۷۳
- نمودار ۲-۴۸ جمع‌شدگی آزاد، سنگدانه % ۸۰، نسبت آب به سیمان ۰/۵۰، سیمان نوع I/III ۷۳
- نمودار ۲-۴۹ رابطه بین خزش پایه و مقدار سنگدانه، ۷۴
- نمودار ۳-۱ منحنی‌های دانه‌بندی مصالح سنگی ۸۱
- نمودار ۴-۱ متوسط مقاومت فشاری مخلوط‌های ساخته شده با عیار سیمان مختلف در سنین ۷ و ۲۸ روز ۱۲۵
- نمودار ۴-۲ رابطه بین مقاومت فشاری با عیار سیمان در سنین ۷ و ۲۸ روز ۱۲۵
- نمودار ۴-۳ متوسط مقاومت کششی مخلوط‌های ساخته شده با عیار سیمان مختلف در سنین ۷ و ۲۸ روز ۱۲۷
- نمودار ۴-۴ رابطه بین مقاومت کششی با عیار سیمان در سنین ۷ و ۲۸ روز ۱۲۸
- نمودار ۴-۵ رابطه بین عیار سیمان با جذب آب نهایی ۱۳۰
- نمودار ۴-۶ رابطه بین جذب آب مویینه با عیار سیمان در زمان‌های؛ ۱۳۱
- نمودار ۴-۷ خطوط برازش شده از مقادیر جذب آب مویینه مخلوط‌های ساخته شده ۱۳۲
- نمودار ۴-۸ رابطه بین ضریب جذب آب مویینه با عیار سیمان ۱۳۳
- نمودار ۴-۹ متوسط مقاومت ویژه الکتریکی مخلوط‌های ساخته شده در سنین ۷ و ۲۸ روز ۱۳۵
- نمودار ۴-۱۰ رابطه بین مقاومت ویژه الکتریکی با عیار سیمان در سنین ۷ و ۲۸ روز ۱۳۶
- نمودار ۴-۱۱ رابطه بین عمق نفوذپذیری تحت فشار آب با عیار سیمان ۱۳۸
- نمودار ۴-۱۲ رابطه بین عیار سیمان با جذب آب اولیه ۱۳۹



فهرست جداول

جدول ۱-۲	خطر احتمالی خوردگی با توجه به مقاومت الکتریکی (BROWNE, 1982, CAVALIER ET AL, 1981) ۳۷
جدول ۲-۲	قابلیت نفوذ یون کلرید بر اساس جریان عبوری (ASTM C 1202) ۳۹
جدول ۱-۳	خصوصیات شیمیایی سیمان مصرفی ۷۸
جدول ۲-۳	خصوصیات فیزیکی و مکانیکی سیمان مصرفی ۸۰
جدول ۳-۳	نتایج آزمایش دانه بندی مصالح سنگی ۸۱
جدول ۴-۳	مشخصات فیزیکی ماسه مصرفی ۸۲
جدول ۵-۳	میزان هوای غیر عمدی موجود در هر مخلوط ۹۲
جدول ۶-۳	مقادیر مصالح مصرفی در هر مخلوط ۹۳
جدول ۷-۳	تعداد آزمون‌ها و سنین مورد آزمایش جهت تعیین مقاومت فشاری هر مخلوط ۱۰۲
جدول ۸-۳	تعداد آزمون‌ها و سنین مورد آزمایش جهت تعیین مقاومت کششی هر مخلوط ۱۰۴
جدول ۹-۳	تعداد آزمون‌ها و سنین مورد آزمایش جهت تعیین مقاومت ویژه الکتریکی هر مخلوط ۱۰۶
جدول ۱۰-۳	تعداد آزمون‌ها و سنین مورد آزمایش جهت تعیین درصد وزنی جذب آب نهایی هر مخلوط ۱۰۹
جدول ۱۱-۳	تعداد آزمون‌ها و سنین مورد آزمایش جهت تعیین درصد وزنی جذب آب در ۳۰ دقیقه ۱۱۰
جدول ۱۲-۳	تعداد آزمون‌ها و سنین مورد آزمایش جهت تعیین جذب آب مویینه ۱۱۳
جدول ۱۳-۳	تعداد آزمون‌ها و سنین مورد آزمایش جهت تعیین میزان عمق نفوذ آب تحت فشار هر مخلوط ۱۱۵
جدول ۱۴-۳	تعداد آزمون‌ها و سنین مورد آزمایش جهت تعیین مقاومت فشاری هر مخلوط ۱۱۶
جدول ۱۵-۳	تعداد آزمون‌ها و سنین مورد آزمایش جهت تعیین مقاومت ویژه الکتریکی هر مخلوط ۱۱۶
جدول ۱۶-۳	تعداد آزمون‌ها و سنین مورد آزمایش جهت تعیین درصد وزنی جذب نهایی آب هر مخلوط ۱۱۷
جدول ۱۷-۳	تعداد آزمون‌ها و سنین مورد آزمایش جهت تعیین میزان عمق نفوذ آب تحت فشار هر مخلوط ۱۱۷
جدول ۱۸-۳	تعداد آزمون‌ها و سنین مورد آزمایش جهت تعیین جذب آب مویینه هر مخلوط ۱۱۸
جدول ۱۹-۳	تعداد آزمون‌ها و سنین مورد آزمایش جهت تعیین مقاومت خمشی جدول کامل هر مخلوط ۱۱۹
جدول ۲۰-۳	تعداد آزمون‌ها و سنین مورد آزمایش جهت تعیین مقاومت خمشی تیر حاصل از جدول کامل ۱۲۰
جدول ۱-۴	نتایج آزمایش مقاومت فشاری مخلوط با عیار سیمان ۳۵۰ کیلوگرم بر مترمکعب ۱۲۳
جدول ۲-۴	نتایج آزمایش مقاومت فشاری مخلوط با عیار سیمان ۴۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب ۱۲۴
جدول ۳-۴	نتایج آزمایش مقاومت فشاری مخلوط با عیار سیمان ۴۵۰ کیلوگرم بر مترمکعب ۱۲۴
جدول ۴-۴	نتایج آزمایش مقاومت فشاری مخلوط با عیار سیمان ۵۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب ۱۲۴
جدول ۵-۴	نتایج آزمایش مقاومت کششی مخلوط با عیار سیمان ۳۵۰ کیلوگرم بر مترمکعب ۱۲۶
جدول ۶-۴	نتایج آزمایش مقاومت کششی مخلوط با عیار سیمان ۴۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب ۱۲۶
جدول ۷-۴	نتایج آزمایش مقاومت کششی مخلوط با عیار سیمان ۴۵۰ کیلوگرم بر مترمکعب ۱۲۶
جدول ۸-۴	نتایج آزمایش مقاومت کششی مخلوط با عیار سیمان ۵۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب ۱۲۷
جدول ۹-۴	نتایج آزمایش جذب آب نهایی مخلوط با عیار سیمان ۳۵۰ کیلوگرم بر مترمکعب ۱۲۸
جدول ۱۰-۴	نتایج آزمایش جذب آب نهایی مخلوط با عیار سیمان ۴۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب ۱۲۹
جدول ۱۱-۴	نتایج آزمایش جذب آب نهایی مخلوط با عیار سیمان ۴۵۰ کیلوگرم بر مترمکعب ۱۲۹
جدول ۱۲-۴	نتایج آزمایش جذب آب نهایی مخلوط با عیار سیمان ۵۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب ۱۲۹
جدول ۱۳-۴	نتایج آزمایش جذب آب مویینه ۱۳۰



جدول ۴-۱۴	مشخصات خطوط برآزش شده نمودار ۴-۵.....	۱۳۲
جدول ۴-۱۵	نتایج آزمایش مقاومت ویژه الکتریکی مخلوط با عیار سیمان ۳۵۰ کیلوگرم بر مترمکعب.....	۱۳۴
جدول ۴-۱۶	نتایج آزمایش مقاومت ویژه الکتریکی مخلوط با عیار سیمان ۴۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب.....	۱۳۴
جدول ۴-۱۷	نتایج آزمایش مقاومت ویژه الکتریکی مخلوط با عیار سیمان ۴۵۰ کیلوگرم بر مترمکعب.....	۱۳۵
جدول ۴-۱۸	نتایج آزمایش مقاومت ویژه الکتریکی مخلوط با عیار سیمان ۵۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب.....	۱۳۵
جدول ۴-۱۹	نتایج آزمایش عمق نفوذ آب تحت فشار مخلوط با عیار سیمان ۳۵۰ کیلوگرم بر مترمکعب.....	۱۳۷
جدول ۴-۲۰	نتایج آزمایش عمق نفوذ آب تحت فشار مخلوط با عیار سیمان ۴۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب.....	۱۳۷
جدول ۴-۲۱	نتایج آزمایش عمق نفوذ آب تحت فشار مخلوط با عیار سیمان ۴۵۰ کیلوگرم بر مترمکعب.....	۱۳۷
جدول ۴-۲۲	نتایج آزمایش عمق نفوذ آب تحت فشار مخلوط با عیار سیمان ۵۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب.....	۱۳۷
جدول ۴-۲۳	نتایج آزمایش جذب آب اولیه (جذب آب در مدت زمان ۳۰ دقیقه.....	۱۳۹



فصل اول

مقدمه



فصل اول: مقدمه

۱-۱- کلیات

پس از گذشت حدود ۱۸۰ سال از پیدایش و ثبت سیمان پرتلند توسط معماری در شهر لیدز در سال ۱۸۲۴ میلادی، بتن دستخوش تحولات و پیشرفت‌های شگرفی شده است. در دسترس بودن و فراوانی مصالح تشکیل دهنده آن، شکل‌پذیری و دوام نسبتاً زیاد بتن نسبت به سایر مصالح ساختمانی، سبب شده است که امروزه از مهمترین و پرکاربردترین مصالح ساختمانی بشمار آید.

بتن امروزه با کارایی فراوان در اجرای انواع پل‌ها، سدها، سکوها، سازه‌های زیرزمینی مثل تونل-ها، مبلمان‌های شهری، هدایت آب‌های سطحی و همچنین انواع فضاها و محوطه‌سازی‌ها و هزاران کاربرد کلیدی دیگر نیز قابلیت خود را نشان داده است. با این وجود خرابی‌های زیادی در آنها به دلایل مختلف به چشم می‌خورد.

دوام بتن یکی از مهمترین خصوصیات آن می‌باشد، چون لازم است عملکردی که برای آن در نظر گرفته شده است تداوم یابد، به این معنا که مقاومت و بهره‌دهی آن در عمر مشخصی که برای آن منظور شده است، حفظ گردد.

شاید آنچه بیش از هر عاملی تا به امروز وضعیت مبلمان شهری شهر تهران را با خطر تخریب، ویرانی و نازیبایی مواجه کرده است، ضعف دوام یکی از مهمترین محصولات تاثیرگذار در این بخش یعنی جداول بتنی می‌باشد.

ضعف دوام جداول بتنی خیابان‌ها، همه ساله زیان‌های مالی و زیست محیطی فراوانی را به کشور وارد می‌کند، بطوریکه سالانه شاهد صرف هزینه‌های هنگفتی برای تعویض جداول بتنی کنار خیابان‌ها که بعلت ضعف دوام از بین می‌روند، می‌باشیم.



خسارات شهرداری‌های کشور از بابت تعویض‌های مکرر جداول هر سال بیش از ۱۰۰ میلیارد تومان است. به عبارتی بیش از ۳ میلیون مترمکعب بتن که در فرآیند تولید آن حداقل ۸۰۰ هزار تن سیمان مصرف شده، همه ساله به خاطر ساخت غلط جداول بتنی به گورستان مصالح ساختمانی منتقل می‌شود.

از طرفی در فرآیند تولید هر تن سیمان، یک تن گازکربنیک وارد محیط زیست شده، بیش از ۱۲۵ لیتر سوخت فسیلی و ۱۱۲ کیلووات ساعت برق مصرف می‌شود، همچنین ۱/۴ تن از منابع معدنی کشور (سنگ آهک، خاک رس و سنگ گچ) کاهش می‌یابد و ۱۱/۶ درصد از حمل و نقل بار جاده‌ای کشور به سیمان اختصاص دارد.

با این وجود هنوز در کشور عزیزمان ایران تحقیقات جدی برای حل مشکل دوام بتن جداول صورت نگرفته است.

۱-۲- دامنه و هدف تحقیق

عوامل متعددی بر دوام بتن جداول تأثیر می‌گذارند. در این میان، عیار سیمان موجود در مخلوط نیز، یکی از عواملی است که می‌تواند بر دوام بتن، و همچنین خواص فیزیکی و مکانیکی آن تأثیرگذار باشد.

خمیر سیمان، ماده‌ای با تخلخل ریز و ریزساختار حساس می‌باشد. این ماده دارای حفرات هوا، حفرات مویینه، و فضاهای بین لایه‌ای در ژل $C-S-H$ می‌باشد. منافذ موجود در این ماده، در اندازه‌های مختلف می‌باشند که در کنار هم چیده شده، به هم متصل می‌گردند. به علت محدوده وسیع اندازه منافذ از منافذ نانومتری تا حفرات هوای میکرومتری، ریزساختار خمیر سیمان بسیار پیچیده است. ریزساختار بتن بسیار پیچیده‌تر از خمیر سیمان است. این پیچیدگی به علت تشکیل ناحیه انتقالی (گذار) (ITZ) بین خمیره و سطح سنگدانه‌ها به وجود می‌آید (Yang et al, 2003).

خواص مهندسی بتن مثل مقاومت، دوام، جمع‌شدگی و نفوذپذیری مستقیماً متأثر از تعداد، نوع، اندازه و توزیع منافذ موجود در خمیر سیمان، اجزای سنگدانه، و سطح مشترک بین خمیر سیمان و سنگدانه (ITZ) می‌باشد. به عنوان مثال، مقاومت و مدول الاستیسیته بتن متأثر از کل حجم منافذ موجود در بتن است (Basheer et al, 2001). در حالی که نفوذپذیری وابسته به تخلخل و اتصال



منافذ موجود در خمیر سیمان و ریزترک‌های موجود در بتن، خصوصاً در سطح مشترک بین خمیر سیمان و سنگدانه می‌باشد (Banthia et al, 2005).

لذا در پژوهش حاضر سعی شده است که با ثابت نگه‌داشتن نسبت آب به سیمان، حداکثر اندازه سنگدانه، دانه‌بندی، نوع سیمان و سایر عوامل و تنها با تغییر عیار سیمان، تأثیر آن بر ویژگی‌های فیزیکی، مکانیکی و دوام جداول بتنی پیش‌ساخته با روش پرسی خشک، مورد بررسی قرار گیرد که این امر از طریق انجام آزمایش‌های زیر میسر شده است:

مقاومت فشاری بتن

مقاومت کششی بتن

جذب آب نهایی بتن

جذب آب اولیه بتن

جذب آب مویینه بتن

مقاومت ویژه الکتریکی بتن

عمق نفوذ آب تحت فشار در بتن

همچنین انجام آزمایش یخ‌زدن و آب شدن نیز در دستور کار قرار داشت و نمونه‌هایی نیز بدین منظور تهیه گردیده بود که بعلت عدم وجود امکانات آزمایشگاهی در این خصوص، نمونه‌های تهیه شده فریز شده و انجام آزمایش مذکور به زمان دیگری موکول گردید.

۱-۳- اصول کلی تحقیق

از آنجائیکه طبیعت و شرایط تحقیق بصورت آزمایشگاهی و تجربی است، با مشخص شدن اهداف و محدوده فعالیت پژوهشی، برنامه‌ریزی جهت ساخت آزمونه‌های آزمایشگاهی و انجام آزمایش‌های مربوطه انجام شد.

ابتدا آزمایش‌های قابل انجام در تحقیق مشخص شدند. سپس در خصوص تهیه ملزومات آزمایش‌ها اقدام گردید و همزمان اطلاعات لازم برای انجام آنها جمع‌آوری شد. مطالب علمی که در خصوص موضوع تحقیق موجود بود، مورد بررسی قرار گرفت. سپس اقدامات لازم جهت تأمین مصالح مناسب انجام شد. در نهایت با معلوم بودن آزمایش‌ها، تعداد آزمونه‌ها، نسبت‌های مناسب



اختلاط، نحوه تراکم نمونه‌های آزمایشگاهی و شرایط لازم برای عمل‌آوری بتن، اقدام به ساخت بتن و تهیه آزمون‌ها در آزمایشگاه گردید.

با در نظر گرفتن زمان مورد نیاز برای انجام آزمایش‌های مختلف، انجام دقیق این آزمایش‌ها در دستور کار قرار گرفت. پس از انجام آزمایش‌ها نتایج به نحو مطلوب جمع‌آوری شده و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. با توجه به اهداف تحقیق، نتایج نهایی و پیشنهادی جهت تداوم ارائه شد.

۱-۴- تقسیم‌بندی فصول پایان‌نامه

علاوه بر چکیده مطالب، پایان‌نامه حاضر شامل فصولی به شرح زیر می‌باشد:

۱-۴-۱- مقدمه

این فصل به معرفی پایان‌نامه می‌پردازد و شامل کلیاتی در مورد بتن و جداول بتنی، دامنه و اهداف تحقیق، روش تحقیق و برنامه مطالعات و نهایتاً تقسیم‌بندی فصول پایان‌نامه به همراه خلاصه-ای از فصول می‌باشد.

۱-۴-۲- مروری بر مطالعات انجام شده

این فصل شامل جمع‌آوری اطلاعات از منابع مختلف در خصوص ساختار بتن، عوامل آسیب‌رسان به بتن و مکانیسم خرابی آن‌ها، روش‌های ارزیابی شرایط دوام بتن و پژوهش‌های انجام گرفته در رابطه با تأثیر عیار سیمان بر خواص فیزیکی، مکانیکی و دوام بتن می‌باشد.

۱-۴-۳- مصالح مصرفی و برنامه آزمایشگاهی

در این فصل تمامی اقدامات انجام شده جهت پژوهش حاضر ارائه می‌گردد که شامل مصالح مصرفی و آزمایش‌های انجام گرفته بر روی آن‌ها، روش مورد استفاده جهت طرح مخلوط‌ها، نحوه تعیین محدوده تغییرات عیار و نسبت آب به سیمان، چگونگی ساخت، نمونه‌گیری و عمل‌آوری مخلوط‌ها و شرح آزمایش‌های انجام گرفته، می‌باشد.

۱-۴-۴- نتایج آزمایش‌ها

در این فصل نتایج آزمایش‌های مقاومت فشاری، مقاومت کششی، جذب آب اولیه و نهایی، جذب آب موئینه بتن، مقاومت ویژه الکتریکی بتن و عمق نفوذپذیری آب تحت فشار به صورت جدول، نمودار و منحنی‌های مختلف ارائه می‌شود.