



دانشگاه بوعلی سینا  
دانشکده مهندسی  
گروه عمران

پایان نامه

جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی عمران  
گرایش مکانیک خاک و پی

بررسی ضریب نفوذپذیری بتن پلاستیک با استفاده از اندازه گیری مقاومت ویژه الکتریکی

اساتید راهنما:

دکتر محسن تدین و دکتر عباس قدیمی

پژوهشگر:

سعید محمدپورراد

مهر ماه ۱۳۸۹

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

تقدیم به

پدر و مادر بزرگوار و همسر فداکارم

## تشر و قدردانی

سروران و عزیزان بسیاری در پیشبرد و به ثمر رسیدن این تحقیق مرا یاری داده‌اند که لازم است از

آنها تشر و قدردانی نمایم:

جناب آقایان دکتر محسن تدین و دکتر عباس قدیمی اساتید راهنمای گرامی که افتخار شاگردی در

محضرشان را داشتم.

آقایان مهندس سلمان بختیاری، مهندس مهرداد رنگچی کردستانی و مهندس محمد جعفری که در

انجام آزمایش‌ها از کمک آنها برخوردار بودم.

از پدر، مادر و همسر که سختی‌های این دوران را تحمل نمودند و مرا در تدوین پایان‌نامه به طور

موثری یاری دادند و محیط مناسبی را فراهم آوردند.

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



دانشگاه بوعلی سینا  
مشخصات رساله/پایان نامه تحصیلی

عنوان:

بررسی ضریب نفوذپذیری بتن پلاستیک با استفاده از اندازه گیری مقاومت ویژه الکتریکی

نویسنده: سعید محمدپورراد

اساتید راهنما: دکتر محسن تدین و دکتر عباس قدیمی

استاد/اساتید مشاور: -

دانشکده: فنی و مهندسی

گروه آموزشی: عمران

رشته تحصیلی: مهندسی عمران

گرایش تحصیلی: مکانیک خاک و پی

مقطع تحصیلی: کارشناسی ارشد

تاریخ تصویب: ۸۷/۷/۲۹

تاریخ دفاع: ۸۹/۷/۱۰

تعداد صفحات: ۱۱۸ صفحه

چکیده:

امروزه در دیواره آببند بسیاری از سدها، دیواره آببند حول گودبرداری های بزرگ، اطراف سازه های زیرزمینی نظیر تونل ها و متروها، در مناطق ساحلی برای جلوگیری از پیشروی دریا و حتی در مناطق دفن زباله ها از بتن پلاستیک استفاده می شود. بتن پلاستیک، بتنی با نسبت آب به سیمان بسیار بالا (حدود ۲ و بیشتر) و عیار سیمان کم است که در آن بنتونیت استفاده می گردد. هدف اصلی از بکارگیری این نوع بتن مقابله با نفوذ آب در ساختگاه است. شکل پذیری بالای این نوع بتن باعث می شود تا دیواره های آببند هنگام تغییراتی مثل نشست، زلزله و ...، همراه با زمین تغییر شکل دهند و درز و ترک کمتری در آنها بوجود آید. برای تعیین ضریب نفوذپذیری بتن، باید نمونه ها مدت زمان طولانی تحت فشار آب قرار گیرند و به دلیل مشکل بودن این آزمایش، معمولاً نفوذپذیری را با پارامترهایی چون تخلخل و جذب آب بتن تخمین می زنند که نتایج چندان دقیقی بدست نمی دهد. موضوع این تحقیق بررسی ارتباط ضریب نفوذپذیری و مقاومت ویژه الکتریکی بتن پلاستیک است. به این منظور بتن پلاستیک با ۳ نسبت مختلف آب به سیمان، ۳ عیار سیمان و ۳ مقدار بنتونیت متفاوت ساخته و از آن نمونه برداری شد. آزمایش های تعیین ضریب نفوذپذیری، مقاومت ویژه الکتریکی، عمق نفوذ آب و مقاومت فشاری بر روی آزمون ها در سن ۱۲۰ روزه انجام گردید و تأثیر تغییرات نسبت آب به سیمان، عیار سیمان و مقدار بنتونیت بر روی این پارامترها بررسی شد. تغییرات ضریب نفوذپذیری و مقاومت ویژه الکتریکی نمونه های مختلف در شرایط متفاوت با یکدیگر مقایسه شد و رابطه ای برای تعیین ضریب نفوذپذیری با استفاده از مقاومت ویژه الکتریکی بدست آمد که ضریب همبستگی بالایی نیز دارد. نتایج این تحقیق نشان می دهد که به دلیل سهولت و دقت تعیین مقاومت الکتریکی بتن می توان از این رابطه برای برآورد ضریب نفوذپذیری بتن پلاستیک با دقت خوبی استفاده نمود.

واژه های کلیدی: دیواره آببند، بتن پلاستیک، بنتونیت، نفوذپذیری بتن، مقاومت الکتریکی بتن

## فهرست مطالب

### فصل اول: مقدمه و کلیات

- ۱-۱- مقدمه..... ۱
- ۲-۱- ضرورت و هدف تحقیق..... ۲
- ۳-۱- معرفی پایان نامه و فصول آن..... ۳

### فصل دوم: مروری بر مطالعات گذشته

- ۱-۲- مقدمه ..... ۴
- ۲-۲- تعریف بتن پلاستیک و انواع آن..... ۵
- ۱-۲-۲- انواع بتن پلاستیک ..... ۵
- ۳-۲- تاریخچه و کاربردهای بتن پلاستیک..... ۶
- ۱-۳-۲- تاریخچه استفاده از بتن پلاستیک..... ۷
- ۲-۳-۲- کاربردهای بتن پلاستیک..... ۷
- ۱-۲-۳-۲- دیواره آب‌بند سدها..... ۷
- ۲-۲-۳-۲- ایجاد دیوار آب‌بند حول یک ساختگاه و تخلیه آب از محل گودبرداری ..... ۹
- ۳-۲-۳-۲- تثبیت خاک و جلوگیری از نشت آب در اطراف سازه‌های زیرزمینی..... ۹
- ۴-۲-۳-۲- حفاظت سواحل، ممانعت از پیشروی آب و بازپس‌گیری زمین از دریا ..... ۱۰
- ۵-۲-۳-۲- جلوگیری از انتشار مواد آلوده..... ۱۰

۱۰.....	۲-۳-۲-۶- دیواره میراگر.....
۱۱.....	۲-۴-۴- مصالح تشکیل دهنده بتن پلاستیک.....
۱۱.....	۲-۴-۱- مصالح سنگی.....
۱۳.....	۲-۴-۲- آب.....
۱۳.....	۲-۴-۳- سیمان.....
۱۴.....	۲-۴-۴- افزودنی‌ها.....
۱۴.....	۲-۴-۵- پرکننده‌ها.....
۱۵.....	۲-۴-۶- بنتونیت.....
۱۷.....	۲-۵- ساخت بتن پلاستیک و مقادیر پیشنهادی اجزاء.....
۲۰.....	۲-۶- خصوصیات بتن پلاستیک.....
۲۱.....	۲-۶-۱- مقایسه بتن پلاستیک و بتن معمولی.....
۲۲.....	۲-۶-۲- ویژگی‌های بتن پلاستیک تازه.....
۲۳.....	۲-۶-۳- تغییر شکل پذیری بتن پلاستیک.....
۲۴.....	۲-۶-۴- مقاومت فشاری بتن پلاستیک.....
۲۶.....	۲-۶-۵- مقاومت فرسایشی بتن پلاستیک.....
۲۷.....	۲-۶-۶- دوام بتن پلاستیک.....
۲۷.....	۲-۷- نفوذپذیری بتن.....
۲۷.....	۲-۷-۱- تعریف نفوذپذیری.....
۲۸.....	۲-۷-۲- نحوه محاسبه نفوذپذیری.....
۳۰.....	۲-۷-۳- روشهای اندازه‌گیری نفوذپذیری.....
۳۴.....	۲-۷-۴- اندازه‌گیری عمق نفوذ آب در بتن به جای نفوذپذیری.....
۳۵.....	۲-۷-۵- تخمین نفوذپذیری بتن با استفاده از تخلخل آن.....



۳۷-۶-۷-۲- مدلهای ریاضی ارائه شده برای محاسبه نفوذپذیری بتن.....

۳۸-۱-۶-۷-۲- مدل Carman-Kozeny.....

۳۹-۲-۶-۷-۲- مدل سازی آماری.....

۴۰-۳-۶-۷-۲- مدل Katz-Thompson.....

۴۱-۷-۷-۲- عوامل مؤثر بر نفوذپذیری.....

۴۴-۸-۲- مقاومت الکتریکی بتن.....

۴۴-۱-۸-۲- تعریف و نحوه محاسبه مقاومت الکتریکی.....

۴۵-۲-۸-۲- روش اندازه گیری مقاومت الکتریکی.....

۴۷-۳-۸-۲- مدلهای تعیین مقاومت الکتریکی بتن.....

۴۹-۴-۸-۲- عوامل مؤثر بر مقاومت الکتریکی بتن.....

### فصل سوم: مواد و روش ها

۵۱-۱-۳- مقدمه.....

۵۲-۲-۳- مواد و مصالح مورد استفاده.....

۵۲-۱-۲-۳- آب.....

۵۲-۲-۲-۳- سنگدانه.....

۵۴-۳-۲-۳- سیمان.....

۵۴-۴-۲-۳- بنتونیت.....

۵۵-۳-۳- طرح مخلوطهای ساخته شده.....

۵۵-۱-۳-۳- مقادیر و نسبتها در طرحهای اختلاط.....

۵۶-۲-۳-۳- نامگذاری طرحهای اختلاط.....

۵۸-۳-۳-۳- روش ساخت طرح مخلوطها.....

۴-۳- آزمايش‌هاى انجام شده بر روى آزمون‌هاى سخت شده..... ۵۸

۳-۴-۱- آزمايش مقاومت فشارى..... ۵۹

۳-۴-۲- آزمايش تعيين عمق نفوذ آب..... ۶۰

۳-۴-۳- آزمايش مقاومت الكترىكى ..... ۶۲

۳-۴-۴- آزمايش تعيين نفوذپذيرى..... ۶۴

۳-۴-۵- آزمايش تعيين مدول الاستيسيته ..... ۷۱

### فصل چهارم: بررسى و تحليل نتايج آزمايشها

۴-۱- مقدمه..... ۷۳

۴-۲- خلاصه نتايج آزمايش‌هاى انجام شده..... ۷۴

۴-۳- نتايج آزمايش تعيين مدول الاستيسيته ..... ۷۵

۴-۴- نتايج آزمايش تعيين عمق نفوذ آب..... ۷۵

۴-۵- نتايج آزمايش تعيين مقاومت فشارى..... ۷۷

۴-۵-۱- تأثير نسبت آب به سيمان بر مقاومت فشارى نمونه‌ها..... ۷۷

۴-۵-۲- تأثير عيار سيمان بر مقاومت فشارى نمونه‌ها..... ۸۰

۴-۵-۳- تأثير مقدار بنتونيت بر مقاومت فشارى نمونه‌ها..... ۸۰

۴-۶- نتايج آزمايش نفوذپذيرى..... ۸۵

۴-۶-۱- تأثير نسبت آب به سيمان بر ضريب نفوذپذيرى نمونه‌ها..... ۸۵

۴-۶-۲- تأثير عيار سيمان بر ضريب نفوذپذيرى نمونه‌ها..... ۸۶

۴-۶-۳- تأثير مقدار بنتونيت بر ضريب نفوذپذيرى نمونه‌ها..... ۸۶

۴-۷- نتايج آزمايش مقاومت الكترىكى..... ۹۴

۴-۷-۱- تأثير نسبت آب به سيمان بر مقاومت الكترىكى نمونه‌ها..... ۹۵

- ۹۸-۲-۷-۴- تأثیر عیار سیمان بر مقاومت الکتریکی نمونه ها.....
- ۹۸-۳-۷-۴- تأثیر مقدار بنتونیت بر مقاومت الکتریکی نمونه ها.....
- ۱۰۳-۸-۴- ارتباط نفوذپذیری و مقاومت الکتریکی نمونه ها.....
- ۱۰۷-۹-۴- ارتباط مقاومت فشاری با ضریب نفوذپذیری و مقاومت ویژه الکتریکی نمونه ها.....

### فصل پنجم: نتیجه گیری و پیشنهادات

- ۱۰۹-۱-۵- مقدمه.....
- ۱۱۰-۲-۵- تجربه های بدست آمده درباره روش انجام آزمایشها.....
- ۱۱۱-۳-۵- نتایج تحقیق.....
- ۱۱۲-۴-۵- پیشنهادات.....
- ۱۱۳- منابع و مراجع .....

## فهرست شکلها

- شکل (۱-۲) - سد کرخه، ششمین سد طویل دنیا که در آن از دیواره آب بند بتن پلاستیک استفاده شده است..... ۸
- شکل (۲-۲) - محل قرار گیری دیواره آب بند بتن پلاستیک در یک سد خاکی..... ۸
- شکل (۳-۲) - نمودار تعیین نسبت آب به سیمان بر اساس مقاومت فشاری لازم برای بتن پلاستیک با حضور ۱۰ درصد بنتونیت نسبت به سیمان..... ۱۸
- شکل (۴-۲) - تغییرات  $\left(\frac{\eta_{T^{\circ}c}}{\eta_{20^{\circ}c}}\right)$  با تغییر درجه حرارت  $T(^{\circ}C)$ ..... ۲۹
- شکل (۵-۲) - نمودار بررسی تغییرات فشار بر روی نفوذپذیری بتن..... ۲۹
- شکل (۶-۲) - دستگاه مورد استفاده در تعیین نفوذپذیری بتن در استاندارد USBR 4913..... ۳۱
- شکل (۷-۲) - دستگاه مورد استفاده در تعیین نفوذپذیری طبق استاندارد RILEM CPC13.2..... ۳۱
- شکل (۸-۲) - دستگاه ساخته شده برای تعیین نفوذپذیری بتن..... ۳۲
- شکل (۹-۲) - دستگاه ساخته شده برای تعیین نفوذپذیری بتن..... ۳۲
- شکل (۱۰-۲) - دستگاه ساخته شده برای تعیین نفوذپذیری بتن..... ۳۳
- شکل (۱۱-۲) - دستگاه مورد استفاده در روش Figg برای تخمین نفوذپذیری..... ۳۵
- شکل (۱۲-۲) - دستگاه اندازه گیری نفوذپذیری گاز (معمولاً نیتروژن) در بتن..... ۳۵
- شکل (۱۳-۲) - نمونه ای از نمودارهای تخمین نفوذپذیری بتن با استفاده از تخلخل آن..... ۳۶
- شکل (۱۴-۲) - نمونه ای از نمودارهای تخمین نفوذپذیری بتن با استفاده از تخلخل آن..... ۳۶
- شکل (۱۵-۲) - عسکبرداری به روش X-RAY از سطوح بتن برای محاسبه تخلخل..... ۳۷
- شکل (۱۶-۲) - فرض کانال معادل در مدل Carman-Kozeny..... ۳۸

- شکل (۲-۱۷) - منحنی تخلخل سنجس با جیوه برای تعیین  $P_b$  و به طبع آن  $d_c$  ..... ۴۱
- شکل (۲-۱۸) - پیشنهاد ACI برای تغییر در آزمایش تعیین نرخ نفوذ یون کلر
- ۴۵..... (ASTM C1202) و اندازه‌گیری مقاومت الکتریکی بتن
- شکل (۲-۱۹) - مدار مدل شده برای بتن سخت شده ..... ۴۷
- شکل (۲-۲۰) - کاهش مقاومت الکتریکی بتن با نسبت ۱:۲:۴ در اثر افزایش هیدراسیون..... ۴۹
- شکل (۳-۱) - نمودار دانه‌بندی درشت‌دانه استفاده شده در ساخت بتن
- ۵۳..... (شن نخودی از معدن سپیددانه ویان)
- شکل (۳-۲) - نمودار دانه‌بندی ریزدانه استفاده شده در ساخت بتن
- ۵۳..... (ماسه از معدن شن سای ساوه)
- شکل (۳-۳) - نمودار دانه‌بندی سنگدانه انتخابی برای ساخت طرح مخلوط‌های بتن پلاستیک با نسبت ۳۰ درصد شن و ۷۰ درصد ماسه در کنار محدوده مجاز
- روش ملی طرح مخلوط بتن ایران با حداکثر اندازه اسمی ۱۲/۵ میلیمتر..... ۵۴
- شکل (۳-۴) - کپینگ سرو ته نمونه‌های استوانه‌ای طبق ASTM C617 جهت
- تعیین مقاومت فشاری آنها..... ۵۹
- شکل (۳-۵) - تعیین مقاومت فشاری نمونه‌ها طبق ASTM C39..... ۵۹
- شکل (۳-۶) - دستگاه تعیین عمق نفوذ آب در بتن طبق EN 12390-8..... ۶۰
- شکل (۳-۷) - چسباندن واشر نرم روی نمونه‌ها جهت جلوگیری از خروج آب
- از اطراف اورینگ دستگاه، هنگام تعیین عمق نفوذ آب..... ۶۱
- شکل (۳-۸) - نفوذ آب با فشار ۱ بار طی زمان ۲ دقیقه در بتن پلاستیک..... ۶۲
- شکل (۳-۹) - پوشاندن سطح نمونه با خمیر شل آب و سیمان جهت اتصال بهتر صفحات مسی به
- آن..... ۶۳
- شکل (۳-۱۰) - انجام آزمایش تعیین مقاومت الکتریکی بتن..... ۶۳

- شکل (۳-۱۱) - قرائت مقاومت الکتریکی ( $Z$ ) و اختلاف فاز دو سر نمونه ( $\Phi$ )..... ۶۴
- شکل (۳-۱۲) - طرح شماتیک دستگاه ساخته شده جهت انجام آزمایش نفوذپذیری..... ۶۵
- شکل (۳-۱۳) - تجهیزات کنار هم قرار داده شده جهت انجام آزمایش نفوذپذیری..... ۶۶
- شکل (۳-۱۴) - اتصال قالبها به قیف و لوله سانتریفوژ..... ۶۶
- شکل (۳-۱۴) - آببندی فاصله بین نمونه و قالب با چسب آکواریوم..... ۶۷
- شکل (۳-۱۵) - آببندی اطراف نمونه‌ها با قیر..... ۶۸
- شکل (۳-۱۶) - رساندن قیر به دمای بالای ۲۰۰ درجه سلسیوس برای آببندی نمونه‌های بتنی..... ۶۹
- شکل (۳-۱۷) - آببندی فاصله بین نمونه با قالب توسط قیر مذاب..... ۶۹
- شکل (۳-۱۸) - تعیین مدول الاستیسیته بتن پلاستیک ..... ۷۱
- شکل (۳-۱۹) - نمودار تنش کرنش بتن پلاستیک بدست آمده از دستگاه SANTAM-STM150 .. ۷۲
- شکل (۴-۱) - نمودار مقاومت فشاری در مقابل نسبت آب به سیمان برای  
 طرحهایی با عیار سیمان  $150 \text{ kg/m}^3$ ..... ۷۸
- شکل (۴-۲) - نمودار مقاومت فشاری در مقابل نسبت آب به سیمان برای  
 طرحهایی با عیار سیمان  $175 \text{ kg/m}^3$ ..... ۷۸
- شکل (۴-۳) - نمودار مقاومت فشاری در مقابل نسبت آب به سیمان برای  
 طرحهایی با عیار سیمان  $200 \text{ kg/m}^3$ ..... ۷۸
- شکل (۴-۴) - نمودار مقاومت فشاری در مقابل نسبت آب به سیمان برای  
 طرحهایی با مقدار بنتونیت  $40 \text{ kg/m}^3$ ..... ۷۹
- شکل (۴-۵) - نمودار مقاومت فشاری در مقابل نسبت آب به سیمان برای  
 طرحهایی با مقدار بنتونیت  $50 \text{ kg/m}^3$ ..... ۷۹
- شکل (۴-۶) - نمودار مقاومت فشاری در مقابل نسبت آب به سیمان برای  
 طرحهایی با مقدار بنتونیت  $60 \text{ kg/m}^3$ ..... ۷۹

- شکل (۴-۷) - نمودار مقاومت فشاری در مقابل عیار سیمان برای طرحهایی با نسبت آب به سیمان ۱/۷۵ ..... ۸۱
- شکل (۴-۸) - نمودار مقاومت فشاری در مقابل عیار سیمان برای طرحهایی با نسبت آب به سیمان ۲/۲۵ ..... ۸۱
- شکل (۴-۹) - نمودار مقاومت فشاری در مقابل عیار سیمان برای طرحهایی با نسبت آب به سیمان ۲/۷۵ ..... ۸۱
- شکل (۴-۱۰) - نمودار مقاومت فشاری در مقابل عیار سیمان برای طرحهایی با مقدار بنتونیت  $40 \text{ kg/m}^3$  ..... ۸۲
- شکل (۴-۱۱) - نمودار مقاومت فشاری در مقابل عیار سیمان برای طرحهایی با مقدار بنتونیت  $50 \text{ kg/m}^3$  ..... ۸۲
- شکل (۴-۱۲) - نمودار مقاومت فشاری در مقابل عیار سیمان برای طرحهایی با مقدار بنتونیت  $60 \text{ kg/m}^3$  ..... ۸۲
- شکل (۴-۱۳) - نمودار مقاومت فشاری در مقابل مقدار بنتونیت برای طرحهایی با نسبت آب به سیمان ۱/۷۵ ..... ۸۳
- شکل (۴-۱۴) - نمودار مقاومت فشاری در مقابل مقدار بنتونیت برای طرحهایی با نسبت آب به سیمان ۲/۲۵ ..... ۸۳
- شکل (۴-۱۵) - نمودار مقاومت فشاری در مقابل مقدار بنتونیت برای طرحهایی با نسبت آب به سیمان ۲/۷۵ ..... ۸۳
- شکل (۴-۱۶) - نمودار مقاومت فشاری در مقابل مقدار بنتونیت برای طرحهایی با عیار سیمان  $150 \text{ kg/m}^3$  ..... ۸۴
- شکل (۴-۱۷) - نمودار مقاومت فشاری در مقابل مقدار بنتونیت برای طرحهایی با عیار سیمان  $175 \text{ kg/m}^3$  ..... ۸۴

شکل (۴-۱۸) - نمودار مقاومت فشاری در مقابل مقدار بنتونیت برای

طرحهایی با عیار سیمان  $200 \text{ kg/m}^3$  ..... ۸۴

شکل (۴-۱۹) - نمودار ضریب نفوذپذیری در مقابل نسبت آب به سیمان برای

طرحهایی با مقدار بنتونیت  $40 \text{ kg/m}^3$  ..... ۸۷

شکل (۴-۲۰) - نمودار ضریب نفوذپذیری در مقابل نسبت آب به سیمان برای

طرحهایی با مقدار بنتونیت  $50 \text{ kg/m}^3$  ..... ۸۷

شکل (۴-۲۱) - نمودار ضریب نفوذپذیری در مقابل نسبت آب به سیمان برای

طرحهایی با مقدار بنتونیت  $60 \text{ kg/m}^3$  ..... ۸۷

شکل (۴-۲۲) - خط برازش شده بین داده‌های ضریب نفوذپذیری و نسبت

آب به سیمان با معادله مربوطه، برای طرحهایی با مقدار بنتونیت  $40 \text{ kg/m}^3$  ..... ۸۸

شکل (۴-۲۳) - خط برازش شده بین داده‌های ضریب نفوذپذیری و نسبت

آب به سیمان با معادله مربوطه، برای طرحهایی با مقدار بنتونیت  $60 \text{ kg/m}^3$  ..... ۸۸

شکل (۴-۲۴) - نمودار ضریب نفوذپذیری در مقابل نسبت آب به سیمان برای

طرحهایی با عیار سیمان  $150 \text{ kg/m}^3$  ..... ۸۹

شکل (۴-۲۵) - نمودار ضریب نفوذپذیری در مقابل نسبت آب به سیمان برای

طرحهایی با عیار سیمان  $175 \text{ kg/m}^3$  ..... ۸۹

شکل (۴-۲۶) - نمودار ضریب نفوذپذیری در مقابل نسبت آب به سیمان برای

طرحهایی با عیار سیمان  $200 \text{ kg/m}^3$  ..... ۸۹

شکل (۴-۲۷) - نمودار ضریب نفوذپذیری در مقابل عیار سیمان برای

طرحهایی با نسبت آب به سیمان  $1/75$  ..... ۹۰

شکل (۴-۲۸) - نمودار ضریب نفوذپذیری در مقابل عیار سیمان برای

طرحهایی با نسبت آب به سیمان  $2/25$  ..... ۹۰



- شکل (۴-۲۹) - نمودار ضریب نفوذپذیری در مقابل عیار سیمان برای طرحهایی با نسبت آب به سیمان  $2/75$  ..... ۹۰
- شکل (۴-۳۰) - نمودار ضریب نفوذپذیری در مقابل عیار سیمان برای طرحهایی با مقدار بنتونیت  $40 \text{ kg/m}^3$  ..... ۹۱
- شکل (۴-۳۱) - نمودار ضریب نفوذپذیری در مقابل عیار سیمان برای طرحهایی با مقدار بنتونیت  $50 \text{ kg/m}^3$  ..... ۹۱
- شکل (۴-۳۲) - نمودار ضریب نفوذپذیری در مقابل عیار سیمان برای طرحهایی با مقدار بنتونیت  $60 \text{ kg/m}^3$  ..... ۹۱
- شکل (۴-۳۳) - نمودار ضریب نفوذپذیری در مقابل مقدار بنتونیت برای طرحهایی با نسبت آب به سیمان  $1/75$  ..... ۹۲
- شکل (۴-۳۴) - نمودار ضریب نفوذپذیری در مقابل مقدار بنتونیت برای طرحهایی با نسبت آب به سیمان  $2/25$  ..... ۹۲
- شکل (۴-۳۵) - نمودار ضریب نفوذپذیری در مقابل مقدار بنتونیت برای طرحهایی با نسبت آب به سیمان  $2/75$  ..... ۹۲
- شکل (۴-۳۶) - نمودار ضریب نفوذپذیری در مقابل مقدار بنتونیت برای طرحهایی با عیار سیمان  $150 \text{ kg/m}^3$  ..... ۹۳
- شکل (۴-۳۷) - نمودار ضریب نفوذپذیری در مقابل مقدار بنتونیت برای طرحهایی با عیار سیمان  $175 \text{ kg/m}^3$  ..... ۹۳
- شکل (۴-۳۸) - نمودار ضریب نفوذپذیری در مقابل مقدار بنتونیت برای طرحهایی با عیار سیمان  $200 \text{ kg/m}^3$  ..... ۹۳
- شکل (۴-۳۹) - نمودار مقاومت الکتریکی ویژه در مقابل نسبت آب به سیمان برای طرحهایی با مقدار بنتونیت  $40 \text{ kg/m}^3$  ..... ۹۶

- شکل (۴-۴۰) - نمودار مقاومت الکتریکی ویژه درمقابل نسبت آب به سیمان برای طرحهایی با مقدار بنتونیت  $50 \text{ kg/m}^3$  ..... ۹۶
- شکل (۴-۴۱) - نمودار مقاومت الکتریکی ویژه درمقابل نسبت آب به سیمان برای طرحهایی با مقدار بنتونیت  $60 \text{ kg/m}^3$  ..... ۹۶
- شکل (۴-۴۲) - نمودار مقاومت الکتریکی ویژه درمقابل نسبت آب به سیمان برای طرحهایی با عیار سیمان  $150 \text{ kg/m}^3$  ..... ۹۷
- شکل (۴-۴۳) - نمودار مقاومت الکتریکی ویژه درمقابل نسبت آب به سیمان برای طرحهایی با عیار سیمان  $175 \text{ kg/m}^3$  ..... ۹۷
- شکل (۴-۴۴) - نمودار مقاومت الکتریکی ویژه درمقابل نسبت آب به سیمان برای طرحهایی با عیار سیمان  $200 \text{ kg/m}^3$  ..... ۹۷
- شکل (۴-۴۵) - نمودار مقاومت الکتریکی ویژه درمقابل عیار سیمان برای طرحهایی با مقدار بنتونیت  $40 \text{ kg/m}^3$  ..... ۹۹
- شکل (۴-۴۶) - نمودار مقاومت الکتریکی ویژه درمقابل عیار سیمان برای طرحهایی با مقدار بنتونیت  $50 \text{ kg/m}^3$  ..... ۹۹
- شکل (۴-۴۷) - نمودار مقاومت الکتریکی ویژه درمقابل عیار سیمان برای طرحهایی با مقدار بنتونیت  $60 \text{ kg/m}^3$  ..... ۹۹
- شکل (۴-۴۸) - نمودار مقاومت الکتریکی ویژه درمقابل عیار سیمان برای طرحهایی با نسبت آب به سیمان  $1/75$  ..... ۱۰۰
- شکل (۴-۴۹) - نمودار مقاومت الکتریکی ویژه درمقابل عیار سیمان برای طرحهایی با نسبت آب به سیمان  $2/25$  ..... ۱۰۰
- شکل (۴-۵۰) - نمودار مقاومت الکتریکی ویژه درمقابل عیار سیمان برای طرحهایی با نسبت آب به سیمان  $2/75$  ..... ۱۰۰

- شکل (۴-۵۱) - نمودار مقاومت الکتریکی ویژه در مقابل مقدار بنتونیت برای طرحهایی با مقدار سیمان  $150 \text{ kg/m}^3$  ..... ۱۰۱
- شکل (۴-۵۲) - نمودار مقاومت الکتریکی ویژه در مقابل مقدار بنتونیت برای طرحهایی با مقدار سیمان  $175 \text{ kg/m}^3$  ..... ۱۰۱
- شکل (۴-۵۳) - نمودار مقاومت الکتریکی ویژه در مقابل مقدار بنتونیت برای طرحهایی با مقدار سیمان  $200 \text{ kg/m}^3$  ..... ۱۰۱
- شکل (۴-۵۴) - نمودار مقاومت الکتریکی ویژه در مقابل مقدار بنتونیت برای طرحهایی با نسبت آب به سیمان  $1/75$  ..... ۱۰۲
- شکل (۴-۵۵) - نمودار مقاومت الکتریکی ویژه در مقابل مقدار بنتونیت برای طرحهایی با نسبت آب به سیمان  $2/25$  ..... ۱۰۲
- شکل (۴-۵۶) - نمودار مقاومت الکتریکی ویژه در مقابل مقدار بنتونیت برای طرحهایی با نسبت آب به سیمان  $2/75$  ..... ۱۰۲
- شکل (۴-۵۷) - نمودار ضریب نفوذپذیری در مقابل مقاومت الکتریکی ویژه با برازش لگاریتمی ..... ۱۰۴
- شکل (۴-۵۸) - نمودار ضریب نفوذپذیری در مقابل مقاومت الکتریکی ویژه با برازش چندجمله ای ..... ۱۰۴
- شکل (۴-۵۹) - نمودار ضریب نفوذپذیری در مقابل مقاومت الکتریکی ویژه با برازش لگاریتمی و حذف داده های پرت ..... ۱۰۵
- شکل (۴-۶۰) - نمودار ضریب نفوذپذیری در مقابل مقاومت الکتریکی ویژه برای بتن پلاستیک‌هایی با نسبت آب به سیمان  $1/75$  تا  $2/25$  ..... ۱۰۶
- شکل (۴-۶۱) - نمودار ضریب نفوذپذیری در مقابل مقاومت الکتریکی ویژه برای بتن پلاستیک‌هایی با نسبت آب به سیمان  $2/25$  تا  $2/75$  ..... ۱۰۷

شکل (۴-۶۲)- نمودار مقاومت فشاری در مقابل ضریب نفوذپذیری با برازش نمایی.....۱۰۸

شکل (۴-۶۳)- نمودار مقاومت فشاری در مقابل مقاومت ویژه الکتریکی با برازش توانی .....۱۰۸