





دانشگاه علم و صنعت ایران  
دانشکده مهندسی عمران

تأثیر درصد تخلخل و مقاومت آسفالت بر مقاومت الکتریکی آسفالت

احمد منصوریان

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد

در رشته مهندسی عمران

استادان راهنما

۱۴۲۶۲

دکتر حمید بهبهانی

مهندس حسن زیاری

بهمن ۱۳۷۷

۲۷۰۸۰

تقدیم به:

مادر بزرگوار و مهربانم

## چکیده

مواد دارای خواص فیزیکی متعدد می‌باشند، از جمله این خواص، مقاومت الکتریکی می‌باشد. بحث روی مقاومت الکتریکی از چند سال اخیر شروع شده است و در این زمینه به نتایج مفیدی نیز رسیده‌اند ولی عمل مشابه روی آسفالت صورت نگرفته است.

آنچه که در این تحقیق به دنبال آن می‌باشیم، یافتن رابطه‌ای بین مقاومت الکتریکی آسفالت و بعضی دیگر از خصوصیات فیزیکی - مکانیکی آن می‌باشد. بدین منظور آزمایشهایی صورت گرفت. آزمایشها به دو گروه تقسیم شدند. یک دسته آزمایشهای مارشال برای تعیین درصد قیر بهینه بود و دسته دیگر آزمایشهای مربوط به تعیین مقاومت الکتریکی نمونه‌های متناظر بود. در انتهای کار، بین دو مجموعه آزمایش، روابطی برقرار شد. روابط بدست آمده توسط نمودارهایی در فصل پنجم این تحقیق مشاهده می‌گردد. به این نکته باید توجه داشت که تعیین مقاومت الکتریکی آسفالت برای اولین بار صورت می‌گیرد و نتایجی که در این تحقیق آمده است، از بررسی روی حدود ۸۰ نمونه صورت گرفته است. بنابراین برای دستیابی به نتایج دقیق‌تر انجام آزمایشهای متعدد دیگری لازم به نظر می‌رسد.

## تقدیر و تشکر

بعد از حمد و سپاس خداوند متعال لازم می‌دانم از جناب آقای دکتر بهبهانی که در انجام این تحقیق استاد راهنمای اینجانب بوده و راهنمایی‌هایی را ارائه دادند تشکر کنم. همچنین حضور جناب آقای مهندس زیاری که به عنوان استاد راهنمای دیگر در انجام این تحقیق بودند و در مراحل مختلف بخصوص آزمایشهای مورد نیاز مرا یاری نمودند، مراتب سپاس و قدردانی خود را ابراز می‌دارم.

از جناب آقای دکتر قدوسی که برای پربار شدن این تحقیق راهنمایی‌هایی را ارائه دادند و جناب آقای دکتر منجم که به عنوان استاد مدعو برای بررسی این تحقیق می‌باشند، صمیمانه تشکر نموده و سپاس خود را به حضورشان تقدیم می‌دارم. همچنین از جناب آقایان مهندس ولی تنها و مهندس حبیبی که در ساخت دستگاه الکترونیکی امپدانس متر و آقایان بهادری، حاجی زاده و میرزایی و عسگری که در انجام کارهای آزمایشگاهی همکاری نمودند تشکر می‌نمایم.

## فصل اول - مقدمه

- ۱-۱. مقدمه ..... ۲
- ۱-۲. موضوع تحقیق (تعریف مسئله) ..... ۲
- ۱-۳. اهداف تحقیق ..... ۳
- ۱-۴. فصول مختلف پایان نامه ..... ۳

## فصل دوم - مفهوم مقاومت الکتریکی و کاربرد آن

- ۲-۱. تاریخچه روسازی راه و انواع روسازی ..... ۶
- ۲-۲. مقاومت، مقاومت ویژه و هدایت ..... ۸
- ۲-۳. کاربرد مقاومت الکتریکی در تعیین خواص بتن ..... ۱۳
- ۲-۴. مدل‌های هدایت الکتریکی در بتن ..... ۱۳
- ۲-۵. آزمایش‌های انجام شده توسط محققین ..... ۱۶
- ۲-۶. بحث روی مقاومت الکتریکی آسفالت (بحث نظری) ..... ۲۵
- ۲-۷. نتیجه ..... ۲۶

## فصل سوم - خواص فیزیکی و مکانیکی آسفالت

- ۳-۱. مقدمه ..... ۲۸
- ۳-۲. خصوصیات آسفالت ..... ۲۹
- ۳-۳. روند تغییرات نمودارهای مارشال ..... ۴۴
- ۳-۴. نتیجه ..... ۴۷

## فصل چهارم - آزمایش‌های انجام شده

- ۴-۱. مقدمه ..... ۴۹

۴۹	۴-۲- آزمایشهای مربوط به تعیین مشخصات فنی مصالح
۷۲	۴-۳- نحوه ساخت نمونه‌های آسفالتی و انجام آزمایش مارشال
۱۰۱	۴-۴- مراحل انجام آزمایش تعیین مقاومت الکتریکی
۱۴۵	۴-۵- نتیجه

## فصل پنجم - ارتباط بین پارامترهای مختلف آزمایش مارشال و مقاومت الکتریکی آسفالت

۱۴۷	۵-۱- مقدمه
۱۴۷	۵-۲- ارتباط بین درصد فیر و مقاومت الکتریکی با گذشت زمان
۱۵۵	۵-۳- ارتباط بین درصد فیر و مقاومت الکتریکی در حالت تعادل (S.S.D)
۱۵۸	۵-۴- ارتباط بین وزن مخصوص واقعی ( $G_{mb}$ ) آسفالت و مقاومت الکتریکی آن
۱۶۱	۵-۵- ارتباط بین استحکام (پایداری) مارشال و مقاومت الکتریکی
۱۶۳	۵-۶- ارتباط بین وارفتگی (روانی) آسفالت با مقاومت الکتریکی آن
۱۶۵	۵-۷- ارتباط بین درصد فضای خالی آسفالت و مقاومت الکتریکی آن
۱۶۷	۵-۸- ارتباط بین درصد فضای خالی مصالح سنگی و مقاومت الکتریکی آسفالت
۱۶۹	۵-۹- تغییرات استحکام مارشال برای نمونه‌هایی که مدتی در محلول $NaCl$ بوده‌اند
۱۷۲	۵-۱۰- تغییر وارفتگی (روانی) نمونه‌های آسفالتی که مدتی در محلول $NaCl$ بوده‌اند
۱۷۵	۵-۱۱- کاربرد عملی تحقیق

## فصل ششم - نتیجه‌گیری

۱۷۷	۶-۱- نتیجه‌گیری
۱۷۸	۶-۲- زمینه‌های ادامه تحقیق
۱۷۹	منابع و مأخذ

## فصل دوم

- ۲-۱- تغییرات مقاومت ویژه مس به صورت تابعی از دما ..... ۱۱
- ۲-۲- مسیرهای هدایت الکتریکی در بتن ..... ۱۴
- ۲-۳- مدل عملکرد بتن در برابر جریان متناوب ..... ۱۶
- ۲-۴- تأثیر عمل آوردن طولانی در شرایط مرطوب بر مقاومت الکتریکی ویژه بتن و خمیر سیمان ..... ۱۷
- ۲-۵- رابطه بین مقاومت الکتریکی ویژه و ولتاژ اعمال شده ..... ۱۸
- ۲-۶- رابطه بین مقاومت الکتریکی و عمر ..... ۲۰
- ۲-۷- افزایش مقاومت الکتریکی نمونه‌های خمیرسیمان در مدت ۲۴ ساعت گیرش اولیه ..... ۲۲
- ۲-۸- افزایش مقاومت الکتریکی نمونه‌های بتنی در مدت ۲۴ ساعت گیرش اولیه ..... ۲۳
- ۲-۹- افزایش مقاومت الکتریکی نمونه‌های خمیرسیمان با گذشت زمان در ۲۳ درجه سانتیگراد ..... ۲۳
- ۲-۱۰- تغییرات مقاومت الکتریکی نمونه‌های بتنی با گذشت زمان در ۲۳ درجه سانتیگراد ..... ۲۴
- ۲-۱۱- تغییرات مقاومت الکتریکی نمونه‌های بتنی با گذشت زمان در هوای آزاد ..... ۲۴

## فصل سوم

- ۳-۱- اثر زبری سطح دانه‌های مصالح سنگی در استحکام آسفالت ..... ۳۰
- ۳-۲- اثر نوع مصالح سنگی در استحکام آسفالت ..... ۳۱
- ۳-۳- اثر درجه نفوذ قیر در استحکام آسفالت ..... ۳۲
- ۳-۴- طرز ایجاد چسبندگی بین دانه‌های مصالح سنگی بوسیله قیر ..... ۳۳
- ۳-۵- اثر تغییر دانه‌بندی مصالح سنگی در خصوصیات فنی آسفالت ..... ۳۵
- ۳-۶- اثر نوع روسازی در خستگی حاصله روی بستر راه ..... ۳۹
- ۳-۷- نوسانات تغییر شکل یک نقطه از سطح قشر آسفالتی با زمان در اثر بار محور منفرد ..... ۴۰
- ۳-۸- نوسانات تغییر شکل یک نقطه از سطح قشر آسفالتی با زمان در اثر بار محور تاندم (مرکب) ..... ۴۱
- ۳-۹- اثر دانه‌بندی و آب سطحی در عدد زبری سطح راه ..... ۴۳



۳-۱۰- نمودارهای مارشال ..... ۴۶

## فصل چهارم

۴-۱- نمودار رابطه حجمی بین اجزاء متشکل آسفالت ..... ۴۹

۴-۲- منحنی دانه‌بندی مصالح سنگی مورد استفاده ..... ۵۴

۴-۳- دستگاه تعیین درجه نفوذ قیر ..... ۶۴

۴-۴- وسیله انجام آزمایش کندروانی سی بولت فیورول ..... ۶۶

۴-۵- وسیله انجام آزمایش درجه اشتعال قیر ..... ۶۷

۴-۶- وسیله انجام آزمایش حرارت وزنی قیر ..... ۶۸

۴-۷- وسیله انجام آزمایش تعیین درجه نرمی قیر ..... ۷۰

۴-۸- رابطه حجمی بین اجزاء متشکل آسفالت ..... ۸۱

۴-۹- تغییرات وزن مخصوص واقعی آسفالت نسبت به درصد قیر ..... ۹۰

۴-۱۰- استحکام (پایداری) آسفالت نسبت به درصد قیر ..... ۹۱

۴-۱۱- تغییرات وارفتگی (روانی) آسفالت نسبت به درصد قیر ..... ۹۲

۴-۱۲- تغییرات درصد فضای خالی آسفالت نسبت به درصد قیر ..... ۹۳

۴-۱۳- تغییرات درصد فضای خالی مصالح سنگی نسبت به درصد قیر ..... ۹۴

۴-۱۴- تعیین حداقل فضای خالی مصالح سنگی لازم از روی حداکثر قطر (اسمی) دانه‌ها ..... ۱۰۰

۴-۱۵- مدار اندازه‌گیری مقاومت الکتریکی ..... ۱۰۱

۴-۱۶- مدار پل ونستون ..... ۱۰۲

۴-۱۷- پل ونستون در حالت تعادل ..... ۱۰۲

۴-۱۸- جعبه دستگاه مقاومت سنج ..... ۱۰۳

۴-۱۹- روش قرار دادن نمونه در مدار آزمایش تعیین مقاومت الکتریکی ..... ۱۰۷

۴-۲۰- حلالیت بعضی از مواد معمولی در آب در دماهای مختلف ..... ۱۱۰

- ۱۱۱ ..... ۴-۲۱- بررسی رسانایی الکتریکی
- ۱۱۲ ..... ۴-۲۲- حرکت یون‌ها در محلول  $NaCl$
- ۱۱۸ ..... ۴-۲۳- تغییرات وزن نمونه با گذشت زمان برای نمونه با درصد قیر ۳/۵
- ۱۱۹ ..... ۴-۲۴- تغییرات وزن نمونه با گذشت زمان برای نمونه با درصد قیر ۴
- ۱۲۰ ..... ۴-۲۵- تغییرات وزن نمونه با گذشت زمان برای نمونه با درصد قیر ۴/۵
- ۱۲۱ ..... ۴-۲۶- تغییرات وزن نمونه با گذشت زمان برای نمونه با درصد قیر ۵
- ۱۲۲ ..... ۴-۲۷- تغییرات وزن نمونه با گذشت زمان برای نمونه با درصد قیر ۵/۵
- ۱۲۳ ..... ۴-۲۸- تغییرات وزن نمونه با گذشت زمان برای نمونه با درصد قیر ۶
- ۱۲۵ ..... ۴-۲۹- دستگاه جدید برای اندازه‌گیری مقاومت الکتریکی
- ۱۲۸ ..... ۴-۳۰- تغییرات وزن نمونه با گذشت زمان برای نمونه با درصد قیر ۳/۵ (محلول ۹/۱ درصد  $NaCl$ )
- ۱۲۹ ..... ۴-۳۱- تغییرات وزن نمونه با گذشت زمان برای نمونه با درصد قیر ۴ (محلول ۹/۱ درصد  $NaCl$ )
- ۱۳۰ ..... ۴-۳۲- تغییرات وزن نمونه با گذشت زمان برای نمونه با درصد قیر ۴/۵ (محلول ۹/۱ درصد  $NaCl$ )
- ۱۳۱ ..... ۴-۳۳- تغییرات وزن نمونه با گذشت زمان برای نمونه با درصد قیر ۵ (محلول ۹/۱ درصد  $NaCl$ )
- ۱۳۲ ..... ۴-۳۴- تغییرات وزن نمونه با گذشت زمان برای نمونه با درصد قیر ۵/۵ (محلول ۹/۱ درصد  $NaCl$ )
- ۱۳۳ ..... ۴-۳۵- وزن نمونه با گذشت زمان برای نمونه با درصد قیر ۶ (محلول ۹/۱ درصد  $NaCl$ )
- ۱۳۴ ..... ۴-۳۶- مقایسه تغییرات وزن نمونه با درصد قیر ۳/۵ در دو محلول با غلظت متفاوت
- ۱۳۵ ..... ۴-۳۷- مقایسه تغییرات وزن نمونه با درصد قیر ۴ در دو محلول با غلظت متفاوت
- ۱۳۶ ..... ۴-۳۸- مقایسه تغییرات وزن نمونه با درصد قیر ۴/۵ در دو محلول با غلظت متفاوت
- ۱۳۷ ..... ۴-۳۹- مقایسه تغییرات وزن نمونه با درصد قیر ۵ در دو محلول با غلظت متفاوت
- ۱۳۸ ..... ۴-۴۰- مقایسه تغییرات وزن نمونه با درصد قیر ۵/۵ در دو محلول با غلظت متفاوت
- ۱۳۹ ..... ۴-۴۱- مقایسه تغییرات وزن نمونه با درصد قیر ۶ در دو محلول با غلظت متفاوت

- ۱۵۰ ..... ۵.۱ تغییرات مقاومت الکتریکی با درصد قیر برای نمونه هایی که مدت ۴ دقیقه در آون ۶۰ درجه سانتیگراد بوده‌اند.
- ۱۵۱ ..... ۵.۲ تغییرات مقاومت الکتریکی با درصد قیر برای نمونه هایی که مدت ۶ دقیقه در آون ۶۰ درجه سانتیگراد بوده‌اند.
- ۱۵۲ ..... ۵.۳ تغییرات مقاومت الکتریکی با درصد قیر برای نمونه هایی که مدت ۱۰ دقیقه در آون ۶۰ درجه سانتیگراد بوده‌اند.
- ۱۵۳ ..... ۵.۴ تغییرات مقاومت الکتریکی با درصد قیر برای نمونه هایی که مدت ۲۰ دقیقه در آون ۶۰ درجه سانتیگراد بوده‌اند.
- ۱۵۴ ..... ۵.۵ تغییرات مقاومت الکتریکی که با درصد قیر برای نمونه هایی که مدت ۲۰، ۱۰، ۶، ۴ دقیقه در آون ۶۰ درجه سانتیگراد بوده‌اند.
- ۱۵۶ ..... ۵.۶ تغییرات مقاومت الکتریکی با درصد قیر در حالت تعادل (S.S.D).
- ۱۵۸ ..... ۵.۷ راههای هدایت الکتریکی در آسفالت.
- ۱۶۰ ..... ۵.۸ تغییرات وزن مخصوص واقعی ( $G_{mb}$ ) با مقاومت الکتریکی.
- ۱۶۲ ..... ۵.۹ تغییرات استحکام (پایداری) مارشال با مقاومت الکتریکی.
- ۱۶۴ ..... ۵.۱۰ تغییرات وارفتگی (روانی) با مقاومت الکتریکی.
- ۱۶۶ ..... ۵.۱۱ تغییرات فضای خالی آسفالت و مقاومت الکتریکی.
- ۱۶۸ ..... ۵.۱۲ تغییرات فضای خالی مصالح سنگی با مقاومت الکتریکی آسفالت.
- ۱۷۰ ..... ۵.۱۳ تغییرات استحکام مارشال با درصد قیر برای نمونه های واقع در محلول  $NaCl$ .
- ۱۷۱ ..... ۵.۱۴ مقایسه استحکام مارشال نمونه های موجود در محلول  $NaCl$  با نمونه های غیر واقع در محلول  $NaCl$ .
- ۱۷۳ ..... ۵.۱۵ تغییرات وارفتگی (روانی) با درصد قیر برای نمونه های واقع در محلول  $NaCl$ .
- ۱۷۴ ..... ۵.۱۶ مقایسه وارفتگی (روانی) نمونه های موجود در محلول  $NaCl$  با نمونه های غیر واقع در محلول  $NaCl$ .

فصل دوم

- ۱۰-۲-۱- مقاومت ویژه بعضی از مواد در دمای ۲۰ درجه سلسیوس.....
- ۱۴-۲-۲- مقاومت ویژه مصالح سنگی مورد استفاده در بتن.....
- ۱۹-۲-۳- نمونه‌ای از خواص الکتریکی بتی که تحت جریان متناوب قرار گرفته باشد.....
- ۲۲-۲-۴- قدرت عایق بودن بتن.....

فصل چهارم

- ۵۲-۴-۱- دانه‌بندی مصالح سنگی بتن آسفالتی (انستیتو آسفالت).....
- ۵۳-۴-۲- دانه‌بندی مصالح سنگی.....
- ۵۹-۴-۳- خصوصیات مصالح سنگی مورد استفاده.....
- ۷۲-۴-۴- مشخصات قیر مورد استفاده.....
- ۷۵-۴-۵- وزن قیر لازم برای هر درصد قیر.....
- ۸۶-۴-۶- تعیین وزن مخصوص واقعی آسفالت.....
- ۸۷-۴-۷- تعیین استقامت مارشال و روانی نمونه‌های آسفالتی.....
- ۸۸-۴-۸- تعیین درصد فضای خالی آسفالت.....
- ۸۹-۴-۹- درصد فضای خالی مصالح سنگی.....
- ۹۶-۴-۱۰- آیین نامه سازمان برنامه برای مشخصات فنی بتن آسفالتی.....
- ۹۶-۴-۱۱- آیین نامه گروه مهندسين برای مشخصات فنی بتن آسفالتی.....
- ۹۶-۴-۱۲- آیین نامه انستیتو آسفالت برای ضخامت فنی بتن آسفالتی.....
- ۱۱۵-۴-۱۳- تغییرات وزن نمونه‌ها برای مدت ۵ روز در محلول ۰/۵ درصد  $NaCl$ .....
- ۱۱۷-۴-۱۴- تغییرات وزنی نمونه‌ها در محلول به غلظت ۰/۵ درصد.....
- ۱۱۷-۴-۱۵- تغییرات وزنی نمونه‌ها در محلول ۱/۹۶  $NaCl$ .....
- ۱۲۷-۴-۱۶- تغییرات وزن نمونه‌ها (۱۰۰ گرم  $NaCl$  در یک لیتر آب).....

- ۱۱۷ ..... ۴-۱۴- تغییرات وزنی نمونه‌ها در محلول به غلظت ۰/۵ درصد
- ۱۱۷ ..... ۴-۱۵- تغییرات وزنی نمونه‌ها در محلول  $NaCl$  ۱/۹۶
- ۱۲۷ ..... ۴-۱۶- تغییرات وزن نمونه‌ها (۱۰۰ گرم  $NaCl$  در یک لیتر آب)
- ۱۴۲ ..... ۴-۱۷- تعیین مقاومت الکتریکی نمونه‌های آسفالتی بعد از مدت ۱۰ روز در حالت تعادل (S.S.D)
- ۱۴۳ ..... ۴-۱۸- تعیین مقاومت الکتریکی نمونه‌های آسفالتی بعد از ۱۰ روز در زمانهای ۴، ۶، ۱۰، و ۲۰ دقیقه در آون ۶۰ درجه سانتیگراد
- ۱۴۴ ..... ۴-۱۹- تعیین مقاومت مارشال و روانی نمونه‌های آسفالتی بعد از ۱۰ روز در محلول ۹/۱ درصد  $NaCl$

## فصل اوّل

### مقدمه

۱-۱- مقدمه

۱-۲- موضوع تحقیق (تعریف مسئله)

۱-۳- اهداف تحقیق

۱-۴- فصول مختلف پایان نامه

## ۱-۱- مقدمه

شبکه راهها در هر کشور نقش اساسی در شکوفائی و رشد اقتصادی آن مملکت ایفا می‌کنند. از طرفی راهها جزء سرمایه‌های ملی آن کشور محسوب می‌شوند. بنابراین در این زمینه هرچه تحقیقات جامع و گسترده‌ای صورت گیرد، در بهره برداری بهینه از این سرمایه‌های ملی مؤثر خواهد بود.

بطور کلی می‌توان روسازی راهها را به دو نوع انعطاف‌پذیر و سخت تقسیم کرد. روسازی‌های انعطاف‌پذیر شامل انواع روسازی‌های آسفالتی و شنی می‌باشند و روسازی‌های سخت شامل روسازی‌های بتنی هستند. در کشور ایران با توجه به فراوانی و قیمت نسبتاً مناسب مصالح اولیه آسفالت، برای روسازی راهها بیشتر از آسفالت استفاده می‌گردد و استفاده مؤثر و بهینه از این سرمایه گرانبها هنگامی امکان‌پذیر خواهد بود که تحقیقات پایه‌ای و جامع در این زمینه انجام گیرد. ولی متأسفانه بررسیهای انجام گرفته در ایران نشان می‌دهند که تحقیقات در این زمینه بخصوص از جانب دانشجویان دانشگاهها، کمتر صورت گرفته است (مراجعه به موضوع پایان نامه دانشجویان کارشناسی ارشد مؤید این مطلب است). بنابراین با توجه به اهمیت موضوع اینجانب به راهنمایی اساتید راهنمای محترم، برآن شدم تا تحقیقی هرچند کوچک اما مهم در زمینه آسفالت انجام دهم.

## ۱-۲- موضوع تحقیق (تعریف مسئله)

بررسی مقاومت الکتریکی بتن و ارتباط آن با خصوصیات بتن از چند سال گذشته آغاز شده و نتایج قابل توجه‌ای مانند ارتباط بین مقاومت الکتریکی بتن و گذشت زمان، ارتباط مقاومت الکتریکی بتن و پتانسیل خوردگی بتن، ارتباط بین مقاومت الکتریکی بتن و نفوذپذیری، بدست