



پیش بینی نتایج آزمایش تعیین درصد حجمی فضای خالی مصالح سنگی در مخلوط بتن آسفالتی با استفاده از مقاومت الکتریکی

فریدون مقدس نژاد^۱، حسن زیاری^۲، آرش فروغ^۳

۱- استادیار دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران)

۲- استادیار دانشکده مهندسی عمران دانشگاه علم و صنعت ایران

۳- کارشناس ارشد دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران)

moghadas@aut.ac.ir

خلاصه

بطور کلی آزمایشات تعیین وضعیت سازه ای روسازی‌ها، به دو دسته آزمایشات مخرب و آزمایشات غیرمخرب تقسیم می‌شوند. آزمایشاتی که امروزه در سطح دنیا به صورت استاندارد پذیرفته شده اند، اکثراً از نوع آزمایشات مخرب بوده و تنها آزمایشات غیرمخرب نسبتاً کمی به صورت استاندارد درآمده اند. با این وجود سال‌های زیادی است که در زمینه آزمایشات غیرمخرب، فعالیت‌های گوناگونی در سطح دنیا صورت گرفته و پیشرفتهای چشمگیری نیز در این زمینه کسب شده است. [۱]

خاصیت مقاومت الکتریکی یکی از خواص فیزیکی مواد بوده که با استفاده از آن می‌توان به برخی از خصوصیات فیزیکی - مکانیکی ماده موردنظر بدون اینکه تغییری در آن ایجاد گردد، دست یافت. علاوه بر این می‌توان خواص ماده موردنظر را با گذشت زمان مورد مطالعه قرارداد. [۲]

تاکنون بر روی بتن آسفالتی، آزمایشات غیرمخربی چون آلتروسونیک صورت گرفته [۱]، ولی به سبب عایق بودن بتن آسفالتی در مقابل عبور جریان الکتریکی، آزمایش غیرمخرب مقاومت الکتریکی بر روی آن انجام نشده است.

هدف مقاله حاضر، ارائه یک مدل ریاضی بین مقاومت الکتریکی بتن آسفالتی و خاصیت فیزیکی - مکانیکی درصد حجمی فضای خالی مصالح سنگی آن براساس درصد قیرها و دانه بندی‌های مختلف می‌باشد. بدین منظور آزمایشاتی در دو مرحله بر روی ۴۵۵ نمونه بتن آسفالتی صورت گرفت. بدین ترتیب که در مرحله اول ۲۱۰ نمونه بتن آسفالتی تحت آزمایش تعیین درصد حجمی فضای خالی مصالح سنگی قرار گرفتند. در مرحله دوم ۲۴۵ نمونه دیگر تحت آزمایش تعیین مقاومت الکتریکی قرار گرفته و در نهایت با استفاده از نرم افزار آماری SPSS (Ver. 11) بین دو دسته نتایج، مدل ریاضی برقرار شد.

کلمات کلیدی: آزمایش غیرمخرب، مقاومت الکتریکی، آزمایش تعیین درصد حجمی فضای خالی مصالح سنگی، مخلوط بتن آسفالتی

۱- مقدمه

یکی از نیازهای مهم و اساسی در هر کشور، خصوصاً کشورهای در حال توسعه نظیر جمهوری اسلامی ایران، ایجاد شبکه راههای ارتباطی بصورت منظم و گسترده بوده تا بتواند تمام نقاط کشور را به هم متصل نماید. با بررسی اجمالی کشورهای توسعه یافته دنیا این نکته برمی‌آید که با وجود آنکه این کشورها دارای شبکه راههای ارتباطی بسیار پیچیده و وسیعی می‌باشند، لیکن هنوز هم بخش بزرگی از بودجه عمرانی سالیانه خود را صرف توسعه و نگهداری راههای موجود می‌نمایند. درحالیکه در کشور ما، بسیاری از نقاط هنوز هم از داشتن راههای معمولی محروم می‌باشند.

باتوجه به اینکه در کشور نفت خیز ما، هزینه تمام شده روسازیهای انعطاف پذیر آسفالتی به مراتب کمتر از روسازیهای صلب بتنی است و تقریباً در اکثر پروژه های راهسازی، استفاده از این روسازی نسبت به روسازیهای بتنی اقتصادی تر بوده، بنابراین هرچه موضوع تحقیقات به سمت روسازیهای انعطاف پذیر آسفالتی نیل داده شود، از نظر استفاده عملی از نتایج آنها پرثمرتر بوده و در نهایت هریک از این فعالیت‌های پژوهشی و تحقیقاتی می‌توانند گام بزرگی به سمت توسعه شبکه راههای ارتباطی آسفالتی در سطح کشور بردارند.

**۲- مروری بر تحقیقات انجام شده در زمینه مقاومت الکتریکی مواد گوناگون**

خاصیت مقاومت الکتریکی، یکی از خواص فیزیکی مواد بوده که با استفاده از آن امکان بررسی سایر خصوصیات فیزیکی - مکانیکی ماده مورد نظر ایجاد می‌گردد. در این زمینه اولین نکته ای که باید مورد توجه قرار گیرد، آن است که ماده مورد مطالعه یا باید به صورت عادی و طبیعی هادی جریان الکتریکی باشد، یعنی دارای الکترونهای آزاد (Free Electron) جهت هدایت الکتریکی (Electrical Conduction) جریان بوده و یا به نحوی مصنوعی هادی جریان الکتریکی گردد.

یکی از روشهای ایجاد هدایت الکتریکی به طریق مصنوعی، جایگزینی هوای داخل حفرات و فضاهای خالی مواد با محلولهای الکترولیت (Electrolyte Solution) بوده که بدین ترتیب هدایت الکتریکی در ماده مورد نظر به صورت هدایت یونی (Ionic Conduction) صورت می‌گیرد. تاکنون در این زمینه، مواد گوناگونی در سطح دنیا مورد آزمایش قرار گرفته‌اند. از جمله موادی که تا بحال تحت آزمایش مقاومت الکتریکی قرار گرفته‌اند، می‌توان به بتن سیمانی و خاک اشاره نمود. لیکن همانطوریکه در قبل نیز بیان شد، تاکنون در سطح دنیا در زمینه آزمایش مقاومت الکتریکی بتن آسفالتی به عنوان یک آزمایش غیرمخرب، تحقیقات چندانی صورت نگرفته و تنها دو کار تحقیقاتی در دانشگاه علم و صنعت ایران و دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران) انجام شده که می‌تواند به عنوان مقدمه‌ای بر روشهای غیرمخرب الکتریکی بتن آسفالتی محسوب گردند. بتن سیمانی به علت داشتن خمیرسیمان که هادی جریان الکتریکی بوده، می‌تواند این جریان را از میان خود عبور دهد. بدین ترتیب که اگر از یک طرف یک نمونه بتن سیمانی جریان الکتریکی وارد آن گشته و از سوی دیگر نمونه، جریان خروجی اندازه‌گیری شود، با استفاده از اختلاف مابین دو مقدار مزبور، مقاومت الکتریکی بتن سیمانی قابل تعیین است. بنابراین چون هدایت جریان از میان نمونه‌های بتن سیمانی به آسانی امکان پذیر بوده، لذا در این زمینه تحقیقات گسترده‌ای انجام شده است. خاک ماده ای است که در حالت خشک، جریان الکتریکی را از خود عبور نمی‌دهد و با به عبارت دیگر مقاومت الکتریکی آن بینهایت است. ولی با توجه به اینکه خاک ماده ای مرکب از سه بخش جامد، آب و هوا بوده، با ترکیب آب مربوط به درصد رطوبت خاک و املاح و نمکهای متفاوت موجود در آن، محلولهای الکترولیت جهت هدایت جریان الکتریکی به صورت هدایت یونی به وجود می‌آیند. لذا خاک نیز ماده ای است که می‌توان از خاصیت مقاومت الکتریکی در تعیین خواص فیزیکی - مکانیکی آن استفاده نمود. مقاله حاضر براساس تحقیق صورت گرفته در دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران) بوده که با استفاده از تعداد زیادی نمونه بتن آسفالتی انجام گردیده است.

۳- آزمایشات انجام شده

آزمایشات انجام شده در این تحقیق به چهار بخش اصلی تقسیم می‌شوند:

- بخش اول آزمایشات تعیین مشخصات فنی مصالح سنگی،
- بخش دوم آزمایشات تعیین مشخصات فنی قیرمصرفی،
- بخش سوم آزمایشات تعیین خاصیت فیزیکی - مکانیکی درصد حجمی فضای خالی مصالح سنگی،
- بخش چهارم آزمایشات تعیین خاصیت مقاومت الکتریکی بتن آسفالتی.

نتایج آزمایشات تعیین مشخصات فنی مصالح سنگی مصرفی در این تحقیق، در جداول (۱) و (۲) آمده است. برای هریک از دانه بندی‌های پنجگانه مصالح سنگی یک پارامتر کمی به نام عدد دانه بندی تعریف گردید که محدوده آن مابین اعداد صفر و ۰/۸۱۳ می‌باشد. بطوریکه با استفاده از یک عدد دانه بندی در این محدوده و استفاده از روابطی، می‌توان برای هر عدد دانه بندی یک سری درصد عبوری از الک و درصد مانده روی الکهای گوناگون را تعیین نموده و نهایتاً یک نوع دانه بندی در محدوده مجاز آیین نامه انستیتوآسفالت برای قشر رویه آسفالتی بدست آورد. در جدول (۳) نیز، نتایج آزمایشات تعیین مشخصات فنی قیر مصرفی نشان داده شده است.

جدول ۱- خلاصه نتایج آزمایشات مصالح سنگی (بخش اول)

نوع مصالح	وزن مخصوص (gr/cm ³)			درصد جذب آب	نسبت اختلاط اجزاء متشکل مصالح سنگی (درصد)				
	حالت تعادل	واقعی	ظاهر ی		دانه ۱ نوع	دانه ۲ نوع	دانه ۳ نوع	دانه ۴ نوع	دانه ۵ نوع
مصالح سنگی درشت دانه	۲/۵۷	۲/۵۲	۲/۶۳	۱/۶۲	۶۵	۶۱	۵۷	۵۴	۵۰
مصالح سنگی ریزدانه	۲/۴۱	۲/۲۷	۲/۶۳	۵/۹۳	۳۱	۳۳	۳۶	۳۷	۴۰
فیلر	-	-	۳/۱۳	-	۴	۶	۷	۹	۱۰



جدول ۲- خلاصه نتایج آزمایشات مصالح سنگی (بخش دوم)

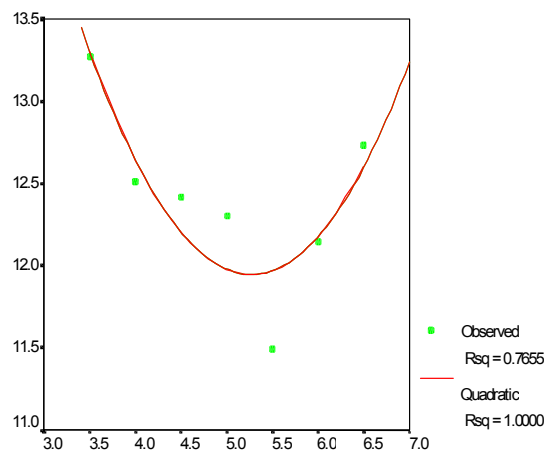
نام آزمایش	نتیجه آزمایش	محدوده قابل قبول طبق آیین نامه های AASHTO & BS
آزمایش ضریب مقاومت درمقابل ضربه	۷/۶٪	< ۳۵٪
آزمایش تطویل	۵/۰۵٪	< ۲۵٪
آزمایش تورق	۱۳/۸۵٪	< ۲۵٪
آزمایش درصد شکستگی	۹۳/۴٪	> ۸۰٪
آزمایش سایش لس آنجلس	۱۳/۲٪	< ۳۰٪

جدول ۳- خلاصه نتایج آزمایشات قیر

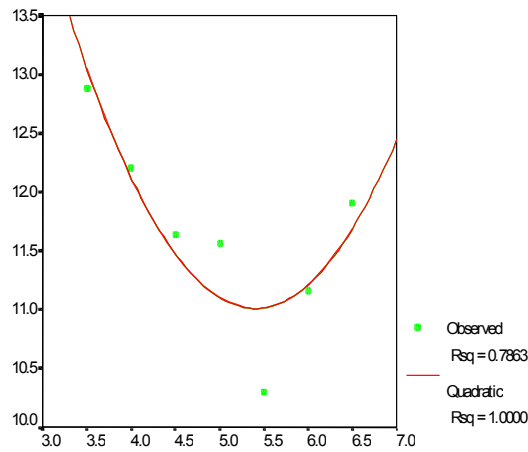
نام آزمایش	نتیجه آزمایش
وزن مخصوص (چگالی) قیر	۰/۹۵ گرم بر سانتیمترمکعب
درجه نفوذ قیر	۶۶ دهم میلیمتر
نقطه نرمی قیر	۵۲ درجه سانتیگراد
خاصیت انگمی (کشش پذیری) قیر	۱۰۳ سانتیمتر
درجه اشتعال قیر	۳۰۳ درجه سانتیگراد
کندروانی (ویسکوزیته) قیر	۱۵۰ ثانیه
افت وزنی قیر	۰/۳۰ درصد

در آزمایشهای تعیین درصد حجمی فضای خالی مصالح سنگی در بتن آسفالتی، می توان برای هر یک از نمونه های دارای دانه بندی و درصد قیرهای مختلف، با داشتن وزن مخصوص واقعی و همچنین وزن مخصوص مخلوط مصالح سنگی، میزان درصد حجمی فضای خالی مصالح سنگی در بتن آسفالتی را تعیین نمود.

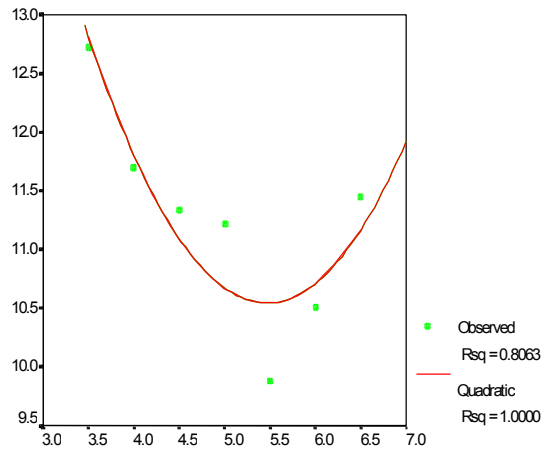
نتایج آزمایشهای تعیین درصد حجمی فضای خالی مصالح سنگی در نمونه های بتن آسفالتی با دانه بندیهای مختلف برحسب درصد قیر در اشکال (۱) تا (۵) نشان داده شده است.



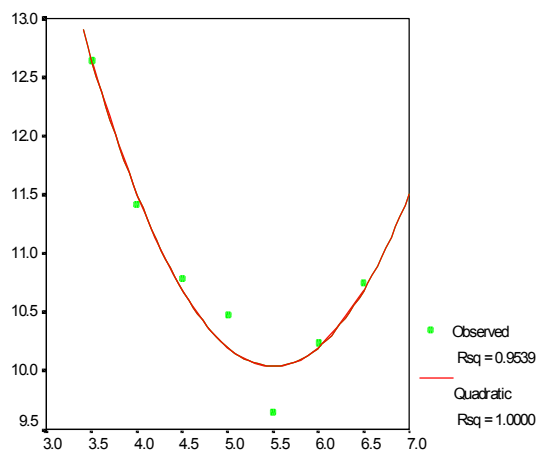
شکل ۱- درصد حجمی فضای خالی مصالح سنگی نسبت به درصد قیر بتن آسفالتی با دانه بندی نوع ۱



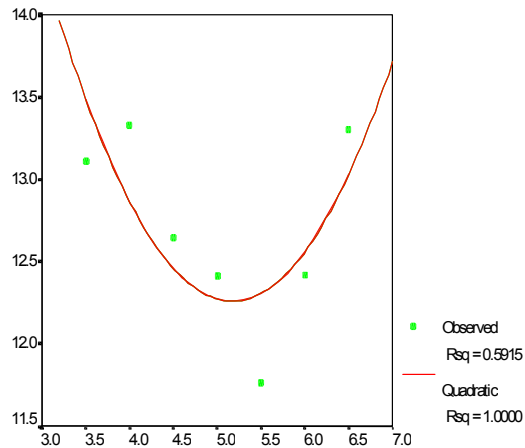
شکل ۲- درصد حجمی فضای خالی مصالح سنگی نسبت به درصد قیر بتن آسفالتی با دانه بندی نوع ۲



شکل ۳- درصد حجمی فضای خالی مصالح سنگی نسبت به درصد قیر بتن آسفالتی با دانه بندی نوع ۳



شکل ۴- درصد حجمی فضای خالی مصالح سنگی نسبت به درصد قیر بتن آسفالتی با دانه بندی نوع ۴



شکل ۵- درصد حجمی فضای خالی مصالح سنگی نسبت به درصد قیر بتن آسفالتی با دانه بندی نوع ۵

در آزمایشهای تعیین خاصیت مقاومت الکتریکی بتن آسفالتی، ابتدا لازم بود تا نمونه ها با استفاده از روشی از محلولهای الکترولیت اشباع شده تا بتوانند به روش هدایت یونی، جریان الکتریکی را از میان خود عبور دهند. سپس در مرحله بعد می بایست با استفاده از دستگاه مخصوصی میزان مقاومت الکتریکی نمونه های اشباع شده تعیین می گردید. برای این منظور با استفاده از دستگاهی نمونه های بتن آسفالتی در مدت زمان ۲۴ ساعت و تحت فشاری معادل ۱۵ Psi در محلول با غلظت ۹/۱ درصد NaCl اشباع شدند. سپس نمونه های اشباع شده از محلول الکترولیت NaCl با قرار گرفتن در قالب مخصوص نمونه ها در دستگاه تعیین خاصیت مقاومت الکتریکی، مورد آزمایش مزبور واقع شدند. این دستگاه که میزان مقاومت الکتریکی نمونه ها را برحسب کیلو اهم و بصورت دیجیتالی مشخص می نمود، دارای برد مقاومتی مابین ۲۰۰ اهم تا ۲ مگا اهم بود. در نهایت پس از تعیین میزان مقاومت الکتریکی نمونه های بتن آسفالتی و تبدیل این مقادیر به مقادیر مقاومت ویژه الکتریکی برحسب کیلو اهم متر، نتایج آزمایشات مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفتند.

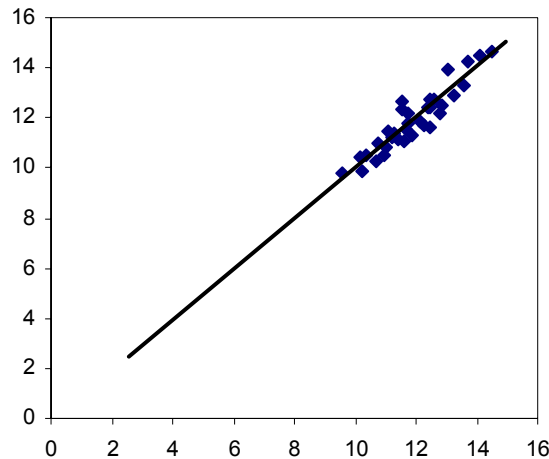
۴- آنالیز آماری نتایج آزمایشات و مدلسازی ریاضی

انجام آنالیز آماری نتایج آزمایشات با استفاده از نرم افزار SPSS به دو دسته اصلی تقسیم شد. در بخش اول آنالیز اکتشافی داده ها و بررسی داده ها از نظر مقادیر پرت و توزیع های نرمال و یا غیرنرمال، مورد ارزیابی قرار گرفته و در بخش بعد، پس از یک سری عملیات آماری بر روی داده ها و نرمال نمودن توزیع های غیرنرمال به روشهای ریاضی، آنالیز تأییدی و مدلسازی نهایی انجام گرفت. با استفاده از نرم افزار مزبور، برای پارامتر درصد حجمی فضای خالی مصالح سنگی در نمونه های بتن آسفالتی برحسب متغیرهای مستقل عدد دانه بندی (n) که پارامتری معرف نوع دانه بندی بوده، درصد قیر (Pb) و مقاومت ویژه الکتریکی (Er)، یک مدل ریاضی دو ضابطه ای برای درصد قیرهای کمتر از درصد قیر ۵/۵ و درصد قیرهای بیشتر از درصد قیر ۵/۵ به صورت ذیل بدست آمد:

$$Vma = (14.6289) \cdot (n^{0.127}) \cdot (Pb^{-0.0635}) \cdot (Er^{-0.0281}) \quad : \quad P_b \leq 5.5$$

$$Vma = (3.3568) \cdot (n^{0.115}) \cdot (Pb^{0.791}) \cdot (Er^{-0.0272}) \quad : \quad P_b \geq 5.5$$

شکل (۶) مقایسه ای مابین نتایج حاصله از آزمایشات عملی و نتایج حاصله از مدل ریاضی فوق را نشان می دهد. همانطوریکه از این شکل برمی آید، نتایج آزمایشات عملی و نتایج مدل ریاضی برحسب یکدیگر تقریباً بر روی خطی با زاویه ۴۵ درجه قرار دارند. همچنین پراکنش نقاط از یک رابطه خطی قوی پیروی می کند. لذا می توان گفت که مدل ریاضی درصد خطای بسیار کمی با نتایج آزمایشات عملی دارد.



شکل ۶- مقایسه تغییرات نتایج آزمایشات عملی نسبت به نتایج حاصله از مدل ریاضی

۵- بحث و نتیجه گیری نهایی

براساس تحقیق حاضر و بررسی تعداد ۴۵۵ نمونه بتن آسفالتی در دو مرحله آزمایش که مرحله اول مربوط به آزمایشهای تعیین درصد حجمی فضای خالی مصالح سنگی در بتن آسفالتی و مرحله دوم مربوط به آزمایشهای تعیین خاصیت مقاومت الکتریکی بتن آسفالتی بودند، نتایجی بدست آمد که مهمترین آنها به صورت موردی در ذیل مطرح می گردد:

- ۱- با در نظر گرفتن هرمقدار عددی مابین اعداد $0/813$ و صفر که تحت عنوان " عدد دانه بندی " تعریف شده، می توان یک نوع دانه بندی از درشت دانه تا ریزدانه و در محدوده مجاز قشر رویه آیین نامه های انستیتو آسفالت و سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور، بدست آورد.
- ۲- در کلیه انواع دانه بندیهای پنجگانه مورد استفاده در این تحقیق، درصد حجمی فضای خالی مصالح سنگی در بتن آسفالتی (Vma) با افزایش درصد قیر تا نقطه ای کاهش یافته و از آنجا به بعد با افزایش درصد قیر افزایش می یابد. همچنین، بتن آسفالتی با مصالح سنگی درشت دانه (دانه بندی نوع ۱) و بتن آسفالتی با مصالح سنگی ریزدانه (دانه بندی نوع ۵) دارای درصد حجمی فضای خالی مصالح سنگی بیشتری در بتن آسفالتی بوده و در این میان بتن آسفالتی با دانه بندی توپر شامل ترکیب مناسبی از مصالح سنگی درشت دانه، ریزدانه و فیلر دارای درصد حجمی فضای خالی مصالح سنگی کمتری در بتن آسفالتی می باشند.
- ۳- مقدار متغیر وابسته (Vma) به صورت تابعی از سه متغیر مستقل عدد دانه بندی، درصد قیر و مقاومت ویژه الکتریکی بدست می آید. به این ترتیب که، مقدار متغیر وابسته درصد حجمی فضای خالی مصالح سنگی در بتن آسفالتی (Vma) در درصد قیرهای کمتر از درصد قیر $5/5$ با متغیر عدد دانه بندی نسبت مستقیم و با متغیرهای درصد قیر و مقاومت ویژه الکتریکی نسبت معکوس دارد. همچنین، مقدار متغیر وابسته درصد حجمی فضای خالی مصالح سنگی در بتن آسفالتی (Vma) در درصد قیرهای بیشتر از درصد قیر $5/5$ با متغیرهای عدد دانه بندی و درصد قیر نسبت مستقیم و با متغیر مقاومت ویژه الکتریکی نسبت معکوس دارد.

منابع و مراجع

- ۱- بررسیهای اولیه آزمایشات غیرمخرب بتن آسفالتی در تحقیقات رساله دکتری دکتر حسن زیاری
- ۲- بررسیهای اولیه خاصیت مقاومت الکتریکی در بتن آسفالتی در تحقیقات مهندس احمد منصوریان
- ۳- تأثیر درصد تخلخل و مقاومت آسفالت بر مقاومت الکتریکی آسفالت - پایان نامه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی راه و ترابری - اساتید راهنما، دکتر حمید بهبهانی و دکتر حسن زیاری - دانشجو مهندس احمد منصوریان - دانشکده مهندسی عمران دانشگاه علم و صنعت ایران - بهمن ۱۳۷۷
- ۴- پیش بینی نتایج آزمایش مارشال با استفاده از مقاومت الکتریکی مخلوط آسفالتی - پایان نامه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی راه و ترابری - اساتید راهنما، دکتر فریدون مقدس نژاد و دکتر حسن زیاری - دانشجو مهندس آرش فروغ - دانشکده مهندسی عمران دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران) - بهار ۱۳۸۲
- ۵- خصوصیات مخلوط های آسفالتی گرم - مهندس محمد توسلی - مجموعه مقالات اولین سمینار قیر و آسفالت ایران - تهران - مهر ۱۳۷۰
- ۶- روشهای تعیین قیربهنه - دفتر پژوهش آزمایشگاه فنی مکانیک خاک وزارت راه و ترابری - مجموعه مقالات اولین سمینار قیر و آسفالت ایران - تهران - مهر ۱۳۷۰

7- Schlumberger, C, Etude sur la prospection electrique du sous - sol, Gauthier - Villars, Paris, 1912.



- 8- Kumar , R . and Dhawan , A.K. , “ Sub - Surface Investigation In Parliament House Complex “ ., “ 14th World Conference On Nondestructive Testing . New Delhi , India , December 8-13 , 1996
- 9- Kumar , R . and Dhawan , A.K. , “ Geophysical Investigations Of Assam Gas Based Power Project“., “ 14th World Conference On Nondestructive Testing . New Delhi , India , December 8-13 , 1996.
- 10- ABEM Instruction Manual , Atlas Copco ABEM AB , Sweden , 1985
- 11- Varughese , A . and Kumar , R . and Dhawan , A.K. , “ Laboratory Resistivity Testing Of Coke Breeze Samples “ ., “ 14th World Conference On Nondestructive Testing . New Delhi , India , December 8-13 , 1996.