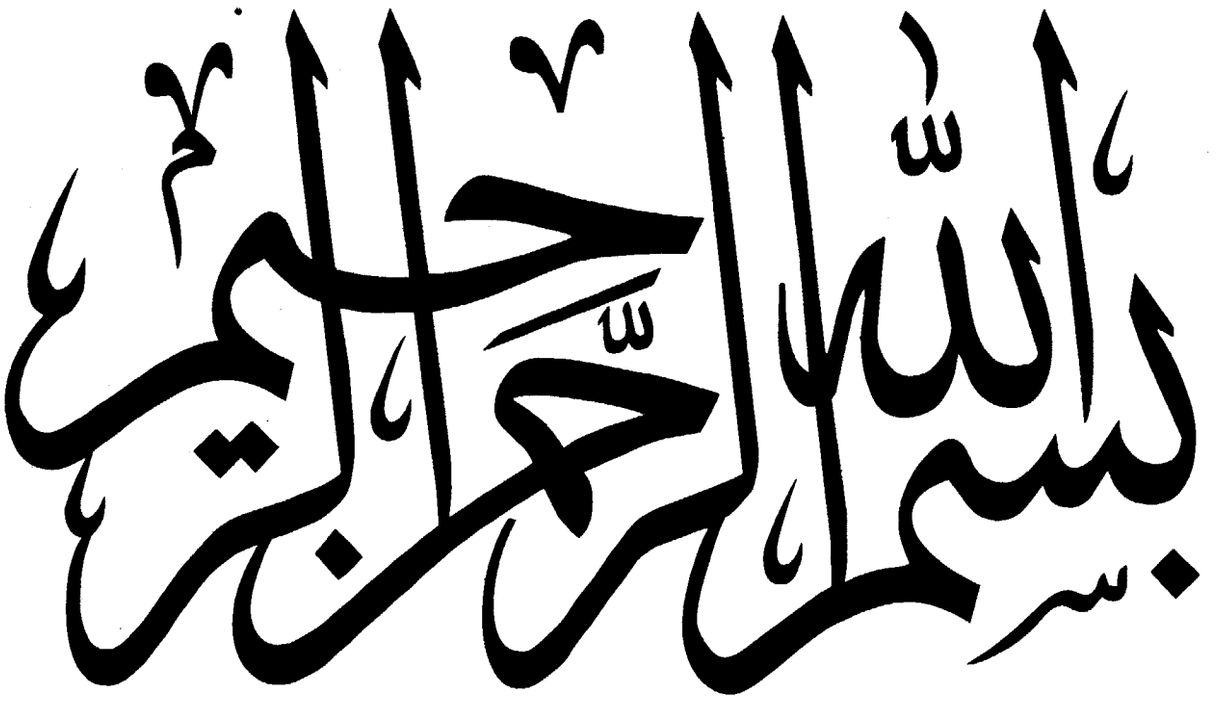
بسم الله الرحمن الرحيم

١٣٩٤٣

مرکز اطلاعات و مدارک علمی ایران

دانشگاه علم و صنعت ایران

دانشکده مهندسی عمران

مشخصات مخلوطهای آسفالتی با آزمایش غیر مخرب

(آلتراسونیک و مقاومت الکتریکی)

۳۲۸۰ /۸۱ /۳۰

حسن زیاری

پایان نامه برای دریافت درجه دکتری

در رشته

مهندسی عمران_مهندسی راه و ترابری

استادان راهنما :

۱ - دکتر حمید بهبهانی

۲ - دکتر محمود عامری

۲۷۶۴۱

استادان مشاور :

۱ - دکتر علی منصور خاکی

۲ - دکتر پرویز قدّوسی

013196

شهریور ۱۳۷۹

تقدیم به اولین مربی

چکیده :

ارزیابی مشخصات فنی بتن آسفالتی از مشکلات و مسائلی است که همواره متخصصین و کارشناسان دست اندرکار راهسازی و نگهداری و مرمت راه با آن روبرو هستند و با تلاشهای علمی در پی جایگزینی روشهای نوینی که هم از سهولت و سادگی برخوردار باشند و هم کم هزینه و با دقت بجای روشهای تجربی و قدیمی موجود ، می باشند. از طرفی با توجه به خصوصیت ویسکوالاستیک آسفالت و تغییرات قابل توجه در مشخصات فنی آن تحت تأثیر بار ، دما و زمان بیشتر روشهای ارزیابی ارائه شده که اغلب نیز مخرب بوده اند نتوانسته اند پاسخگوی این نیاز باشند. در این تحقیق روش غیر مخرب التراسونیک (ultrasonic) یا مافوق صوت همراه با ساخت دستگاه مورد نیاز آزمایش جهت تعیین مدول الاستیسیتهٔ آسفالت با تغییرات دما ، فرکانس و درصد قیر متغییر، بکار گرفته شد و نتایج حاصل با روشهای استاندارد و روشهای مؤسسات تحقیقاتی معتبر دنیا مقایسه شد و مشخص گردید که بسیاری از مشخصات فنی و مهم آسفالت در این روش کم هزینه ، تکرار پذیر و ساده قابل محاسبه می باشندو در صورت توسعه این روش در آیندهٔ می توان گام مؤثری در ارزیابی و کنترل کیفییت رویه های آسفالتی برداشت . همچنین در این تحقیق چگونگی تعیین مقاومت الکتریکی آسفالت و کاربرد روش مقاومت الکتریکی برای اندازه گیری بعضی از مشخصه های فنی بتن آسفالتی که در آزمایش مارشال برای تعیین درصد قیر بهینه استفاده می شوند مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفته است.البته استفاده از این روش برای تخمین مقاومت و درصد فضای خالی بتن سیمانی کاربرد فراوان داشته و مورد تأئید بسیاری از متخصصین و محققین در تکنولوژی بتن واقع شده است لیکن کاربرد آن برای تخمین و ارزیابی مشخصات فنی بتن آسفالتی برای اولین بار بوده است که با استفاده از این روش ساده ، کم هزینه و غیر مخرب این امکان پیدا می شود که با استفاده از کاتالیزورهایی نظیر آب نمک و بکار گیری دستگاه خاص تعیین مقاومت الکتریکی که بدین منظور طرح و ساخته شد مشخصات فنی آسفالت تخمین زده شودو کما اینکه نتایج آزمایشهای انجام شده در این تحقیق نشان داد که با افزایش درصد قیر در آسفالت ، مقاومت الکتریکی آن افزایش می یابد و روند تغییرات کلیه پارامترهای آزمایش مارشال بر حسب مقاومت الکتریکی ، مترادف با روند تغییرات این پارامترها بر حسب درصد قیر می باشد .

تقدیر و تشکّر

خداوند تبارک و تعالی را سپاس که این توفیق را عنایت فرمود تا رسالهٔ حاضر به مرحله ای برسد که ادای وظیفه نموده و از استادان بزرگوار و ارجمند جناب آقای دکتر حمید بهبهانی و دکتر محمود عامری اساتید راهنمای اینجانب و جناب آقای دکتر علی منصور خاکی و جناب آقای دکتر پرویز قدّوسی مشاوران عزیز و گرامی که در تهیه و ارائهٔ این رساله مرا راهنمایی نموده اند، تقدیر و تشکر نموده و از ایزد منّان موفقیت و سعادت این عزیزان را مسئلت نمایم.

همچنین از کلیهٔ اعضاء هیئت داوران که در تمام مراحل و تصویب این رساله قبول زحمت نموده و با ارشادات و راهنمائیهای دلسوزانه به غنای علمی این تحقیق افزوده اند، سپاسگزارم. بعلاوه از آقایان مهندس کلهر که در ساخت ترانس دیوسرهای مافوق صوت و آقای مهندس تنها که در ساخت امپدانس الکتریکی آسفالت و آقای مهندس حبیبی که در ساخت قسمت الکترونیک امپدانس سنج و مافوق صوت و آقای یوسفی که در ساخت نفوذسنج آسفالت و آقای رامندی و خانم غضنفری که در تایپ اینجانب را یاری نموده اند قدردانی می نمایم.

شهریور ۱۳۷۹

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول

۱-۱ مقدمه ۳
۱-۲ فرضیات ۴
۱-۳ اهداف ۵
۱-۴ روش ها ۵
۱-۵ رفتار مخلوط های آسفالتی ۷
۱-۶ ترکهای ناشی از خستگی ۱۰
۱-۷ ترکهای ناشی از دماهای پائین ۱۲

فصل دوم

۲-۱ روشهای ارزیابی روسازی راه و دورنمای آن ۱۶
۲-۱-۱ روشهای مرسوم ارزیابی روسازی ۱۶
۲-۱-۲ نیازهای آینده ۱۷
۲-۱-۳ روشهای موجود ۱۷
۲-۱-۴ روش تعیین نشانه قابلیت خدمت کنونی ۱۹
۲-۱-۵ روش تعیین شاخص وضعییت روسازی ۱۹
۲-۱-۶ روش عکسبرداری اتوماتیک ۲۰
۲-۱-۷ روش ارزیابی وضعیت روسازی با سنسور لیزری ۲۱
۲-۱-۸ روش رؤیتی در ارزیابی عملکرد روسازی ۲۳
۲-۱-۹ ناهمواری سنج ۲۶
۲-۱-۱۰ تیر بنکلمن ۲۸
۲-۲ آزمایشهای مخرب آسفالت ۳۰
۲-۲-۱ آزمایش مارشال ۳۰

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
۲-۲-۲ آزمایشهای خستگی	۳۱
۲-۲-۳ آزمایش خمشی	۳۱
۲-۲-۴ آزمایش کشش غیر مستقیم استاتیکی	۳۴
۲-۲-۵ مغزه گیری	۳۷
۲-۳ آزمایشهای غیر مخرب	۴۰
۲-۳-۱ روش اندازه گیری افت و خیز روسازی	۴۰
۲-۳-۲ روش هسته ای	۴۱
۲-۳-۳ روشهای دیگر	۴۲

فصل سوم

۳- اهمیت ضریب ارتجاعی	۴۴
۳-۱ اهمیت و نقش ضریب الاستیسیته در روشهای طراحی	۴۴
۳-۱-۱ انواع روشهای طراحی روسازی آسفالتی	۴۴
۳-۲ مروری بر آزمایشهای غیرمخرب در تعیین ضریب ارتجاعی	۴۶
۳-۲-۱ روش FWD	۴۷
۳-۲-۲ استفاده از امواج	۴۷
۳-۲-۳ آزمایش استاندارد کشش غیر مستقیم برای تعیین ضریب ارتجاعی	۴۸
۳-۳ آزمایش مدول مرکب	۵۱
۳-۴ آزمایش رزونانس ضربه ای	۵۲
۳-۵ آزمایش موج سطحی	۵۳
۳-۶ آزمایش افت و خیز سنج ضربه ای	۵۳
۳-۷ تعیین ضریب سفتی مخلوطهای آسفالتی با روش شل - وندرپول	۵۴
۳-۸ آزمایش خزش	۵۷
۳-۹ تعیین مدول سفتی بتن آسفالتی پیشنهادیBS	۵۹
۳-۱۰ تعیین مقادیر ε_6 و ε_3 بصورت تجربی برای محاسبه مدول	۶۱

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
۱-۱۰-۳ روش زمان طی مسیر	۶۲
۲-۱۰-۳ روش ستون تشدید شده برای محاسبه مدول	۶۳
۳-۱۱ امواج ارتجاعی طولی در میله	۶۴
فصل چهارم	
۱-۴ آلتراسونیک یا مافوق صوت	۶۸
۲-۴ ومت یا امپدانس اکوستیکی	۷۰
۳-۴ آزمایشهای آلتراسونیک و کاربردآن	۷۱
۴-۴ روش سرعت پالس آلتراسونیک در بتن	۷۴
۵-۴ وسایل آزمایش سرعت پالس آلتراسونیک	۷۷
۶-۴ عوامل مؤثر برسرعت پالس	۷۸
۱-۶-۴ عوامل مؤثر بر خواص مصالح بتن	۷۸
۲-۶-۴ عوامل مؤثر بر سرعت امواج	۷۹
۷-۴ تعیین مدول الاستیک دینامیکی بتن	۸۱
فصل پنجم	
۱-۵ مشخصات فنی مصالح سنگی	۸۳
۱-۱-۵ دانه بندی مصالح سنگی	۸۳
۲-۱-۵ تعیین وزن مخصوص و درصد جذب آب سنگدانه	۸۶
۳-۱-۵ تعیین وزن مخصوص و درصد جذب آب ریزدانه ها	۸۶
۴-۱-۵ تعیین وزن مخصوص فیلر	۸۷

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

۵-۱-۵ تعیین مقاومت سنگدانه ها در مقابل ضربه ۸۷
۵-۱-۶ جدول مشخصات مصالح سنگی مورد استفاده ۸۸
۵-۱-۷ مشخصات قیرهای مورد استفاده ۸۸
۵-۲ روش ساخت نمونه های آسفالتی ۸۹
۵-۳ ساخت دستگاههای مافوق صوت ۹۱
۵-۳-۱ مشخصات فنی دستگاه مافوق صوت قسمت الترونیکی ۹۲
۵-۳-۲ مشخصات فنی دستگاه مافوق صوت قسمت آکوستیکی ۹۲
۵-۴ استفاده از دستگاه UTM۵ ۹۵

فصل ششم

۶-۰ کارهای آزمایشگاهی انجام شده ۹۷
۶-۱ اولین آزمایشها برای تعین زمان و سرعت عبور مافوق صوت در آسفالت ۹۸
۶-۲ نمودارهای آزمایش کشش غیر مستقیم استاتیکی ۱۲۴
۶-۳ تغییرات زمان و سرعت و مدول دینامیکی آسفالت با قیر AC ۸۵-۱۰۰ ۱۲۹
۶-۴ تغییرات زمان و سرعت مدول دینامیکی آسفالت با قیر AC ۶۰-۷۰ ۱۴۴
۶-۵ تغییرات زمان - سرعت و مدول دینامیکی نمونه های آسفالتی با قیر AC ۴۰-۵۰ ۱۵۹
۶-۶ نتایج حاصل از محاسبه مدول سفتی به روش شل وندرپول ۱۷۵
۶-۷ نتایج حاصل از محاسبه مدول سفتی به روش انیستیتو آسفالت ۱۸۳
۶-۸ خلاصه نتایج حاصل از آزمایش مارشال بر روی نمونه ها ۲۱۱
۶-۹ نمونه هایی از محاسبات مدول ارتجاعی و مدول سفتی با دستگاهUTM۵ ۲۲۹

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل هفتم

۷-۱ تعیین مقاومت الکتریکی آسفالت ۲۴۷
۷-۲ خلاصه ای از مطالعات انجام شده ۲۴۷
۷-۳ ضریب دمایی مقاومت الکتریکی ۲۵۰
۷-۴ مقاومت الکتریکی بتن آسفالتی ۲۵۱
۷-۴-۱ تعیین خصوصیات مصالح مورد استفاده ۲۵۲
۷-۴-۲ نحوه ساخت نمونه ها و آزمایش های انجام شده ۲۵۲
۷-۴-۳ تعیین مقاومت الکتریکی نمونه های آسفالتی ۲۵۸
۷-۵ رابطهٔ بین درصد قیر و مقاومت الکتریکی ۲۶۲
۷-۶ رابطهٔ بین درصد قیر و مقاومت الکتریکی درحال تعادل ۲۶۲
۷-۷ رابطه بین پارامترهای مختلف آزمایش مارشال با مقاومت الکتریکی ۲۶۴
۷-۸ تغییرات استحکام مارشال و روانی برای نمونه های مستقرق در نمک ۲۶۷
۷-۱۰ روش آماده نمودن محلول و نمونه بطور خلاصه ۲۶۹
۷-۱۱ روش اندازه گیری مقاومت الکتریکی بطور خلاصه ۲۶۹
۷-۱۲ نتیجه گیری ۲۷۰

فصل هشتم

۸-۱ نتیجه گیری ۲۷۲
۸-۲ پیشنهادات ۲۷۳

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل نهم

۹-۱ ضمیمه یک ۲۷۵

۹-۱-۰ ارزیابی آسفالت بازیابی شده به روش گرم درجا ۲۷۶

۹-۲ ضمیمه دو ۲۸۸

۹-۳ منابع و مراجع ۳۴۲

فهرست جداول

عنوان		صفحه
جدول (۱-۲)	فرم ارزیابی وضعیت کیفی روسازی به روش پیشنهادی	۲۵
جدول (۲-۲)	تنش های پیشنهاد انیستیتو آسفالت در آزمایش خستگی	۳۲
جدول (۳-۲)	ضرایب تصحیح حجم و ارتفاع برای استحکام مارشال	۳۸
جدول (۱-۴)	مقاومت آکوستیکی اجسام	۷۰
جدول (۲-۴)	تأثیر رطوبت بر سرعت موج در بتن	۸۰
جدول (۱-۵)	دانه بندی مصالح سنگی بتن آسفالتی انیستیتو آسفالت	۸۴
جدول (۲-۵)	دانه بندی مصالح سنگی مورد استفاده	۸۴
جدول (۳-۵)	خصوصیات مصالح سنگی و فیلر مورد استفاده	۸۸
جدول (۴-۵)	مشخصات فنی قیر AC_{60-70} مورد استفاده	۸۸
جدول (۵-۵)	مشخصات فنی قیر AC_{85-100} مورد استفاده	۸۹
جدول (۶-۵)	مشخصات فنی قیر AC_{40-50} مورد استفاده	۸۹
جدول (۱-۶)	زمان و سرعت و مدول دینامیکی با مافوق صوت در آسفالت ۳/۵ درصد قیر	۹۹
جدول (۲-۶)	زمان و سرعت و مدول دینامیکی با مافوق صوت در آسفالت ۴ درصد قیر	۱۰۲
جدول (۳-۶)	زمان و سرعت و مدول دینامیکی با مافوق صوت در آسفالت ۴/۵ درصد قیر	۱۰۵
جدول (۴-۶)	زمان و سرعت و مدول د ینامیکی با مافوق صوت در آسفالت ۵ درصد قیر	۱۰۸
جدول (۵-۶)	زمان و سرعت و مدول دینامیکی با مافوق صوت در آسفالت ۵/۵ درصد	۱۱۱
جدول (۶-۶)	زمان و سرعت و مدول دینامیکی با مافوق صوت در آسفالت ۶ درصد	۱۱۴
جدول (۷-۶)	تغییرات زمان ، سرعت مافوق صوت در دمای ۴۵°c	۱۳۳
جدول (۸-۶)	تغییرات مدول دینامیکی آسفالت با قیر AC_{85-100} دردمای ۱۵°c	۱۳۴
جدول (۹-۶)	تغییرات مدول دینامیکی آسفالت با قیر AC_{85-100} دردمای ۳۵°c	۱۳۴
جدول (۱۰-۶)	تغییرات مدول دینامیکی آسفالت با قیر AC_{85-100} دردمای ۴۵°c	۱۳۵
جدول (۱۱-۶)	تغییرات زمان و سرعت آسفالت با قیر AC_{60-70} در دمای ۴۵°c	۱۴۹
جدول(۱۲-۶)	تغیرات مدول دینامیکی آسفالت با قیر AC_{60-70} دردمای ۱۵°c	۱۵۰
جدول (۱۳-۶)	تغییرات مدول دینامیکی آسفالت با قیر AC_{60-70} در دمای ۳۵°c	۱۵۰
جدول (۱۴-۶)	تغییرات مدول دینامیکی آسفالت با قیر AC_{60-70} در دمای ۴۵°c	۱۵۱
جدول (۱۵-۶)	تغییرات زمان - سرعت مافوق صوت آسفالت با قیر AC_{40-50} در دمای ۴۵°c	۱۶۶
جدول (۱۶-۶)	تغیرات مدول دینامیکی آسفالت با قیر AC_{40-50} در دمای ۱۵°c	۱۶۷
جدول (۱۷-۶)	تغییرات مدول دینامیکی آسفالت با قیر AC_{40-50} دردمای ۳۵°c	۱۶۷
جدول (۱۸-۶)	تغییرات مدول دینامیکی آسفالت با قیر AC_{40-50} دردمای ۴۵°c	۱۶۸
جدول (۱۹-۶)	محاسبه مدول سفتی قیرها با استفاده از رابطهٔ شل	۱۸۴
جدول (۲۰-۶)	محاسبه ضریب سفتی مخلوط آسفالتی با قیر AC_{40-50}	۱۸۶
جدول (۲۱-۶)	محاسبه ضریب سفتی مخلوط آسفالتی با قیر AC_{60-70}	۱۸۶
جدول (۲۲-۶)	محاسبه ضریب سفتی مخلوط آسفالتی با قیر AC_{85-100}	۱۸۶

فهرست جداول

عنوان		صفحه
جدول (۲۳-۶)	مدول دینامیکی آسفالت با AC_{85-100} به روش انیستیتوآسفالت با ۳/۵ درصد	۱۹۶
جدول (۲۴-۶)	مدول دینامیکی آسفالت با قیر AC_{85-100} به روش انیستیتو آسفالت با ۴/۵ درصد	۱۹۷
جدول (۲۵-۶)	مدول دینامیکی آسفالت با قیر AC_{85-100} به روش انیستیتو آسفالت با ۶ درصد	۱۹۸
جدول (۲۶-۶)	مدول دینامیکی آسفالت با قیر AC_{60-70} به روش انیستیتو آسفالت با ۳/۵ درصد	۲۰۴
جدول (۲۷-۶)	مدول دینامیکی آسفالت با قیر AC_{60-70} به روش انیستیتو آسفالت با ۴/۵ درصد	۲۰۵
جدول (۲۸-۶)	مدول دینامیکی آسفالت با قیر AC_{60-70} به روش انیستیتو آسفالت با ۶ درصد	۲۰۶
جدول (۲۹-۶)	مدول دینامیکی آسفالت با قیر AC_{40-50} به روش انیستیتو آسفالت با ۳/۵ درصد	۲۱۲
جدول (۳۰-۶)	مدول دینامیکی آسفالت با قیر AC_{40-50} به روش انیستیتو آسفالت با ۴/۵ درصد	۲۱۳
جدول (۳۱-۶)	مدول دینامیکی آسفالت با قیر AC_{40-50} به روش انیستیتو آسفالت با ۶ درصد	۲۱۴
جدول (۳۲-۶)	خلاصه نتایج حاصله از آزمایشهای مارشال برای آسفالت با قیر AC_{85-100}	۲۳۱
جدول (۳۳-۶)	خلاصه نتایج حاصله از آزمایشهای مارشال برای آسفالت با قیر AC_{60-70}	۲۳۲
جدول (۳۴-۶)	خلاصه نتایج حاصله از آزمایشهای مارشال برای آسفالت با قیر AC_{40-50}	۲۳۳
جدول (۳۵-۶)	حدود مدول الاستیسیتهٔ آسفالت ارائه شده توسط یودر	۲۴۱
جدول (۱-۷)	مقاومت ویژه مصالح سنگی مورد استفاده در بتن	۲۴۹
جدول (۲-۷)	دانه بندی مصالح سنگی در مقاومت الکتریکی آسفالت	۲۵۱
جدول (۳-۷)	خصوصیات فنی مصالح سنگی در آزمایش مقاومت الکتریکی آسفالت	۲۵۲
جدول (۴-۷)	مشخصات فنی قیر خالص مورد استفاده در آزمایش مقاومت الکتریکی آسفالت	۲۵۲
جدول (۵-۷)	استقامت مارشال و روانی نمونه های آسفالتی در محلول نمک	۲۵۳
جدول (۶-۷)	مقاومت الکتریکی نمونه های آسفالتی در محلول نمک در حالت (S.S.D)	۲۶۰
جدول (۷-۷)	مقاومت الکتریکی نمونه های آسفالتی در محلول نمک در آون ۶۰ درجه	۲۶۱
جدول (۱-۹)	مقایسه روش معمولی طرح روکشی و روشی بازیابی درجا آسفالت	۲۷۸
جدول (۲-۹)	مشخصات فنی آسفالتهای قدیم و اضافه شده	۲۸۱
جدول (۳-۹)	مشخصات خرابی روسازی خیابان دکتر شریعتی	۲۸۲
جدول (۴-۹)	مشخصات فیزیکی نمونه های ۲،۱،	۲۸۳
جدول (۵-۹)	مشخصات فیزیکی نمونه های ۵،۴،۳	۲۸۴
جدول (۶-۹)	مشخصات فیزیکی نمونه های ۸،۷،۶	۲۸۴
جدول (۷-۹)	مشخصات فنی نمونه های مغزه گیری آسفالت بازیافتی	۲۸۵
جدول (۸-۹)	فاکتور بهره وری روشهای اجرای بازیافت آسفالت	۲۸۷

فهرست شکلها و نمودارها

عنوان		صفحه
شکل (۱-۱)	شیار شدگی به علت بستر ضعیف	۷
شکل (۲-۱)	نقش سنگدانه ها در مشخصات فنی خود	۸
شکل (۳-۱)	نقش سنگدانه ها در مقاومت برشی مخلوط	۹
شکل (۴-۱)	نقش قیر در مقاومت برشی مخلوط	۹
شکل (۵-۱)	ترکهای پوست سوسماری (خستگی)	۱۰
شکل (۶-۱)	تنشهای کششی زیر لایهٔ آسفالت	۱۲
شکل (۷-۱)	ترکهای ناشی از دمای پایین آسفالت	۱۲
شکل(۱-۲)	اصول عملیاتی دستگاه عکسبرداری اتوماتیک	۲۰
شکل (۲-۲)	دستگاه لیزری ۳ سنسوری	۲۱
شکل (۳-۲)	اصول عملیاتی اندازه گیری و اطلاعات ثبتی	۲۱
شکل (۴-۲)	وسیله نقلیه ارزیابی الکترونیکی مجهز به سنسورلیزری کامپیوتر و ضبط کننده	۲۲
شکل (۵-۲)	منحنی نمایش تغییرات عملکرد روسازی (PV) بر حسب عمر روسازی	۲۳
شکل (۶-۲)	منحنی نمایش تغییرات علکرد روسازی (PV)بر حسب رشد ترافیک و عمر روسازی	۲۴
شکل (۷-۲)	ناهمواری سنج	۲۶
شکل (۸-۲)	منحنی درجه خدمت حاضر و مقدار ناهمواری	۲۷
شکل (۹-۲)	تصویر شماتیک تیر بنکلمن	۲۸
شکل (۱۰-۲)	جزئیات تیر بنکلمن	۲۹
شکل (۱۱-۲)	نمودار افت و خیز برگشت پذیر طرح روکش	۲۹
شکل (۱۲-۲)	نمونه ای از دستگاه مارشال	۳۰
شکل (۱۳-۲)	نحوه بارگذاری روی نمونه مارشال	۳۰
شکل (۱۴-۲)	شکل کلی منحنی پایداری مارشال	۳۰
شکل (۱۵-۲)	دستگاه اندازه گیری سفتی خمشی	۳۱
شکل (۱۶-۲)	تعیین تعداد تکرار بار براساس ضریب سفتی	۳۳
شکل (۱۷-۲)	تنشهای ایجاد شده در آزمایش کشش غیر مستقیم	۳۴
شکل (۱۸-۲)	نحوه اعمال بار استاتیکی بر نمونه کششی	۳۶
شکل (۱۹-۲)	دستگاه مغزه گیری بتن سیمانی و بتن آسفالتی	۳۷
شکل (۲۰-۲)	شمای کلی دستگاه FWD	۴۰
شکل (۲۱-۲)	تصویر دستگاههای سطحی و عمقی چگالی سنج	۴۱
شکل (۱-۳)	نمونه های آسفالتی با ضریب الاستیسیتهٔ متفاوت	۴۴
شکل (۲-۳)	توزیع تنشها در سانتیگراد	۴۷
شکل (۳-۳)	مقایسه سفتی حاصل از مغزه در آزمایشگاه و روشهایصحرایی	۴۸
شکل (۴-۳)	مقایسهٔ سفتی حاصل از مغزه در آزمایشگاه و روشهای مختلف با فرکانس	۴۸
شکل (۵-۳)	تصویر نحوهٔ بارگذاری در آزمایش کشش غیر مستقیم	۴۹

فهرست شکلها و نمودارها

عنوان		صفحه
شکل (۶-۳)	نحوه انجام آزمایش و دستگاه کشش غیر مستقیم	۵۰
شکل (۷-۳)	نمونه ای از دیاگرام بار و تغییر شکل در کشش غیر مستقیم دینامیکی	۵۱
شکل (۸-۳)	شیوه بارگذاری و اندازهٔ تغییر شکل ها در آزمایش FWD	۵۴
شکل (۹-۳)	نمودار شل- وندرپول و شیوه کاربرد آن	۵۶
شکل (۱۰-۳)	نحوه آزمایش خزش	۵۸
شکل (۱۱-۳)	تعیین مدول سفتی آسفالت با استفاده از روش BS	۶۰
شکل (۱۲-۳)	دیاگرام وسایل آزمایشگاهی در روش زمان طی مسیر	۶۳
شکل (۱۳-۳)	دیاگرام شماتیک وسایل آزمایشگاهی یک ستون تشدید شده	۶۴
شکل (۱۴-۳)	میله تحت امواج ارتجاعی	۶۴
شکل (۱-۴)	شیوهٔ انتشار مافوق صوت در دو جسم	۶۸
شکل (۲-۴)	حرکت ذرات و نحوهٔ انتشار امواج	۶۹
شکل (۳-۴)	روش آزمایش مافوق صوت	۷۱
شکل (۴-۴)	روش آزمایش مافوق صوت با یک گیرنده و فرستنده	۷۲
شکل (۵-۴)	چگونگی برگشت موج از ترک با یک فرستنده	۷۲
شکل (۶-۴)	چگونگی ارسال برگشت موج از ترک با دو فرستنده	۷۳
شکل (۷-۴)	حالتهای مختلف ارسال و دریافت مافوق صوت	۷۶
شکل (۸-۴)	روش اندازه گیری سرعت موج در مدل C	۷۷
شکل (۹-۴)	مدار شماتیک یک دستگاه مافوق صوت	۷۸
نمودار(۱-۵)	منحنی دانه بندی سنگدانه های مورد استفاده	۸۵
شکل (۱-۵)	مبدلهای الکتریکی ، فرستنده و گیرندهٔ دستگاه مافوق صوت	۹۴
شکل (۲-۵)	دستگاه UTM۵	۹۵
شکل (۱-۶)	تغییرات زمان مافوق صوت در آسفالت با ۳/۵ درصدقیر	۱۰۰
شکل (۲-۶)	تغییرات سرعت مافوق صوت در آسفالت با ۳/۵ درصد قیر	۱۰۱
شکل (۳-۶)	تغییرات زمان مافوق صوت در آسفالت با ۴ درصد قیر	۱۰۳
شکل (۴-۶)	تغییرات سرعت مافوق صوت درآسفالت با ۴درصدقیر	۱۰۴
شکل (۵-۶)	تغییرات زمان مافوق صوت در آسفالت با ۴/۵ درصد قیر	۱۰۶
شکل (۶-۶)	تغییرات سرعت مافوق صوت در آسفالت با ۴/۵درصدقیر	۱۰۷
شکل (۷-۶)	تغییرات زمان مافوق صوت در آسفالت با ۵ درصد قیر	۱۰۹
شکل (۸-۶)	تغییرات سرعت مافوق صوت در آسفالت با ۵ درصدقیر	۱۱۰
شکل (۹-۶)	تغییرات زمان مافوق صوت در آسفالت با ۵/۵ درصد قیر	۱۱۲
شکل (۱۰-۶)	تغییرات سرعت مافوق صوت در آسفالت با ۵/۵ درصدقیر	۱۱۳
شکل (۱۱-۶)	تغییرات زمان مافوق صوت در آسفالت با ۶ درصد قیر	۱۱۵
شکل (۱۲-۶)	تغییرات سرعت مافوق صوت در آسفالت با ۶ درصد قیر	۱۱۶

سازمان اطلاعات و ارتباطات راهداری ایران
مرکز مدارک