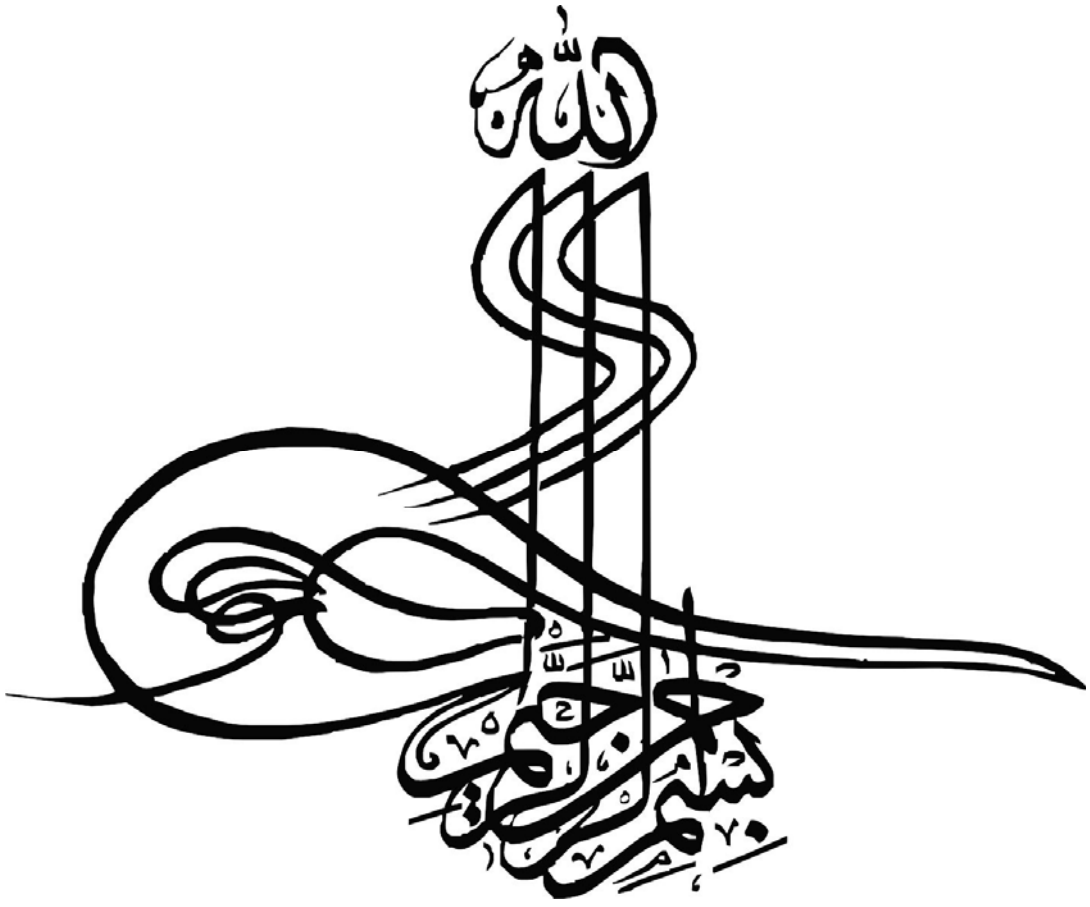
الله
بسم الله الرحمن الرحيم

دانشکده فنی

پایان نامه کارشناسی ارشد

ارزیابی آزمایشگاهی رفتار ویسکو- الاستیک مخلوط های آسفالتی اصلاح شده با مواد افزودنی ضایعاتی

از:
ندا کامبوزیا

استاد راهنما:
جناب آقای دکتر مهیار عربانی

دیماه ۱۳۹۱

دانشکده فنی

گروه عمران

گرایش راه و ترابری

ارزیابی آزمایشگاهی رفتار ویسکو- الاستیک مخلوط های آسفالتی اصلاح شده با مواد افزودنی ضایعاتی

از:

ندا کامبوزیا

استاد راهنما:

جناب آقای دکتر مهیار عربانی

دیماه ۱۳۹۱

تقدیم به خانواده مهربانم و تمام همراهانی که مرا آموختند...

تشکر و سپاس:

خداوندا تو را سپاس می‌گویم بر معجزه بودنم، بر همه داشته‌ها و نداشته‌هایم و بر عشق تو که به همه نداشته‌هایم می‌ارزد...
خداوندا چه لذت بخش است گذر نسیم یاد تو بر دلها و چه زیباست پرواز پرنده خاطره تو بر قلب ها و چه شیرین است پیمودن اندیشه در جاده غیب ها به سوی تو... مرا از خویش مران و در کنارم گیر و دامنت را پناه جاودانه من ساز...

- در ابتدا بر خود واجب می دانم تا از حمایت های معنوی خانواده عزیزم که همواره درکنارم بوده اند و بی شک بدون حضور ایشان ادامه این راه برایم میسر نبود، تشکر و قدردانی نمایم.
- از استاد گرانقدر، جناب آقای دکتر مهیار عربانی که هدایتگر اینجانب در پیشبرد اهداف پایان نامه حاضر بوده اند، کمال سپاسگزاری را دارم.
- از اساتید ارجمند، جناب آقای دکتر رضا جمشیدی چناری، جناب آقای دکتر مهدی ویس کرمی و جناب آقای دکتر فریدون مقدس نژاد که داوری پایان نامه اینجانب را تقبل نموده و با حضور ارزشمند خود همچون همیشه موجبات اعتلای علمی اینجانب را فراهم نموده اند، تشکر ویژه می نمایم.
- همچنین از تمامی مسئولین و پرسنل آزمایشگاه های قیر و آسفالت، مصالح ساختمانی و مکانیک خاک که در انجام امور آزمایشگاهی مرتبط با پایان نامه حاضر با اینجانب همکاری داشته اند، تشکر می نمایم.
- و در پایان از تمامی دوستان عزیزم که در انجام این تحقیق مرا یاری نموده اند، سپاسگزارم.

فهرست مطالب:

- چکیده فارسی ظ
- چکیده انگلیسی ع
- پیش گفتار ۱
- **فصل اول: کلیات** ۲

۱-۱- مقدمه ۳
۱-۲- بیان مسئله ۳
۱-۳- اهمیت مسئله ۳
۱-۴- فرضیات پژوهش ۴
۱-۵- هدف پژوهش ۵

- **فصل دوم: ادبیات فنی** ۶

۲-۱- مقدمه ۷
۲-۲- روسازی های آسفالتی ۷
۲-۳- پارامترهای تأثیر گذار در طرح مخلوط های آسفالتی ۸
۲-۳-۱- تغییر شکل ماندگار در روسازی های آسفالتی ۸
۲-۳-۲- مدول سفتی در روسازی های آسفالتی ۸
۲-۴- مکانیزم خرابی ها در روسازی های آسفالتی و مدل نمودن آنها ۹
۲-۵- مشخصه های ساختاری روسازی ۱۱
۲-۵-۱- مدول برجهندگی ۱۱
۲-۵-۲- خصوصیات فیزیکی قیر ۱۴
۲-۶- انواع رفتار مواد ۱۶
۲-۷- تحلیل های ویسکو الاستیک ۲۴
۲-۷-۱- مدل های مکانیکی ۲۴
۲-۷-۲- تابع خزش ۲۹
۲-۸- تحقیقات انجام شده قبلی در زمینه اصلاح مخلوطهای آسفالتی و بررسی مدل های رفتاری آنها ۳۰
۲-۸-۱- تحقیقات انجام شده قبلی در زمینه اصلاح آسفالت با مواد ضایعاتی ۳۰
۲-۸-۲- تحقیقات انجام شده قبلی در زمینه افزودن خرده شیشه به مخلوط آسفالتی ۳۳
۲-۸-۳- تحقیقات انجام شده قبلی در زمینه ارائه مدل های رفتاری بتن آسفالتی ۳۵
۲-۸-۴- تحقیقات انجام شده قبلی در زمینه ارزیابی مدل های ویسکوالاستو پلاستیک ۳۹

- **فصل سوم: مطالعات آزمایشگاهی** ۴۶

۳-۱- مقدمه ۴۷
۳-۲- مروری بر روند انجام مطالعات آزمایشگاهی ۴۷
۳-۲-۱ مصالح مصرفی ۴۸
۳-۲-۲ برنامه آزمایشگاهی و روش ساخت نمونه های آسفالتی ۵۲
۳-۲-۳ تجهیزات آزمایشگاهی ۵۳
۳-۲-۴ روش انجام آزمون های آزمایشگاهی ۵۵

- **فصل چهارم: مطالعات تحلیلی و آنالیز نتایج** ۶۰

۴-۱- مقدمه ۶۱
۴-۲- مطالعات تحلیلی ۶۲
۴-۲-۱- بانک اطلاعاتی ۶۲
۴-۲-۲- نرم افزارهای مورد استفاده ۶۳
۴-۲-۳- روش شناسی ارزیابی مدل ها ۶۳
۴-۳- نتایج آزمونها و تحلیل های انجام شده در این پایان نامه ۶۴
۴-۳-۱- تحلیل نتایج مربوط به تعیین قیر بهینه ۶۴
۴-۳-۲- تحلیل نتایج مربوط به آزمایشات تعیین مدول سفتی ۶۵
۴-۳-۳- تحلیل نتایج مربوط به آزمایشات بار محوری تکرار شونده ۷۰
۴-۴- بررسی رفتار ویسکو الاستو پلاستیک مخلوط های آسفالتی ۹۵
۴-۴-۱- ارزیابی مدل ویسکو الاستو پلاستیک طرح شده در این تحقیق ۹۶
۴-۴-۲- بررسی تأثیر دما بر خصوصیات ویسکو الاستو پلاستیک آسفالت شیشه ای ۱۰۱
۴-۴-۳- بررسی تأثیر تنش بر خصوصیات ویسکو الاستو پلاستیک آسفالت شیشه ای ۱۰۸
۴-۵- تحلیل و ارزیابی مدل های طرح شده در این پژوهش ۱۱۷
۴-۵-۱- ارزیابی مدل اصلاح شده و مدل کلاسیک برگر ۱۱۷
۴-۵-۲- مقایسه مدل اصلاح شده و مدل کلاسیک برگر ۱۲۱
۴-۵-۳- یافتن معادلات تخمین پارامترهای مدل اصلاح شده برگر ۱۲۳
۴-۵-۴- مقایسه یافته های این پژوهش با تحقیقات پیشین ۱۲۷

- **فصل پنجم : نتیجه گیری** ۱۲۸

۵-۱- نتیجه گیری ۱۲۹
۵-۲- پیشنهادهایی جهت ادامه تحقیق ۱۳۰

- **منابع و مآخذ** ۱۳۲

- **پیوست ها**

پ ۱- نتایج آزمونهای آزمایشگاهی و تحلیل های نرم افزاری ۱۳۶
پیوست یک – بخش یک: نتایج آزمون های آزمایشگاهی ۱۳۶
پیوست یک – بخش دو: نتایج تحلیل های نرم افزاری ۲۰۰

فهرست جداول

• جداول فصل دوم

جدول ۲-۱- مقادیر ویسکوزیته چند سیال در دمای اتاق ۱۶

جدول ۲-۲- پارامترهای اصلی مدل اصلاح شده برگر در دماها و تنش های مختلف اعمالی برای ماستیک آسفالت ۴۰

جدول ۲-۳- پارامترهای مدل برگر و سری پرونی بدست آمده برای ماستیک آسفالت در دمای ۱۰- و ۱۵ درجه سانتی گراد ۴۱

جدول ۲-۴- پارامترهای مدل برگر در دماها و تنشهای مختلف اعمالی برای چسب اپوکسی در دمای ۲۲ درجه سانتی گراد ۴۳

جدول ۲-۵- ضرایب بدست آمده از رگرسیون غیر خطی مدل اصلاح شده برگر برای چسب اپوکسی ۴۳

جدول ۲-۶- پارامترهای بدست آمده از مدل اصلاح شده برگر برای نتایج آزمونهای خزش فشاری و کششی ماسه سنگ ۴۴

• جداول فصل سوم

جدول ۳-۱- تعداد و نوع آزمایشات دینامیکی انجام شده در این پایان نامه ۴۷

جدول ۳-۲- تعداد و نوع آزمایشات استاتیکی جهت انجام این پایان نامه ۴۸

جدول ۳-۳- دانه بندی پیوسته مخلوط آسفالت گرم مربوط به قشر توپکا ۴۹

جدول ۳-۴- مشخصات قیر به کار رفته در ساخت نمونه ها ۴۹

جدول ۳-۵- مشخصات آهک مصرفی در این پایان نامه ۵۱

• جداول فصل چهارم

جدول ۴-۱- مقدار قیر بهینه در نمونه های آسفالتی ساده و حاوی مواد افزودنی ۶۴

جدول ۴-۲- مقادیر درصد آهک بهینه در نمونه های آسفالت شیشه ای ۶۴

جدول ۴-۳- پارامترهای بدست آمده از مدل اصلاح شده برگر در دمای یکسان ۴۰ درجه سانتی گراد و تحت تنش های بارگذاری مختلف ۹۸

جدول ۴-۴- پارامترهای بدست آمده از مدل اصلاح شده برگر در دمای یکسان ۵۰ درجه سانتی گراد و تحت تنش های بارگذاری مختلف ۹۸

جدول ۴-۵- پارامترهای بدست آمده از مدل اصلاح شده برگر در دمای یکسان ۶۰ درجه سانتی گراد و تحت تنش های بارگذاری مختلف ۹۹

جدول ۴-۶- پارامترهای بدست آمده از مدل اصلاح شده برگر در دماهای مختلف و تحت تنش ۱۰۰ کیلوپاسکال ۹۹
جدول ۴-۷- پارامترهای بدست آمده از مدل اصلاح شده برگر در دماهای مختلف و تحت تنش ۱۵۰ کیلوپاسکال ۹۹
جدول ۴-۸- پارامترهای بدست آمده از مدل اصلاح شده برگر در دماهای مختلف و تحت تنش ۲۰۰ کیلوپاسکال ۱۰۰
جدول ۴-۹- پارامترهای بدست آمده از مدل اصلاح شده برگر در دماهای مختلف و تحت تنش ۲۵۰ کیلوپاسکال ۱۰۰
جدول ۴-۱۰- پارامترهای بدست آمده از مدل اصلاح شده برگر در دماهای مختلف و تحت تنش ۳۰۰ کیلوپاسکال ۱۰۰
جدول ۴-۱۱ – توابع تخمین پارامترهای اصلی مدل اصلاح شده برگر در مخلوط های آسفالتی شیشه ای و متداول ۱۲۳
جدول ۴-۱۲- مقایسه نتایج تعدادی از پژوهش های پیشین با نتایج پایان نامه حاضر ۱۲۷

• جداول پیوست

جدول پ-۱-۱-۱- نتایج آزمایشات مارشال جهت تعیین محدوده قیر بهینه در نمونه های آسفالتی حاوی خرده شیشه ضایعاتی و نمونه های آسفالتی ساده ۱۳۷
جدول پ-۱-۱-۲- نتایج آزمایشات مارشال جهت تعیین مقدار آهک بهینه در نمونه های آسفالتی حاوی خرده شیشه ضایعاتی ۱۳۹
جدول پ-۱-۱-۳- نتایج آزمایشات ITSM جهت تعیین مدول سفتی نمونه های آسفالتی حاوی خرده شیشه ضایعاتی و نمونه های آسفالتی ساده ۱۴۰
جدول پ-۱-۱-۴- نتایج آزمایشات RLA درنمونه های آسفالتی متداول و شیشه ای ۱۴۱
جدول پ-۱- ۲-۱- نتایج تحلیل های نرم افزاری جهت تعیین پارامترهای تشکیل دهنده مدل اصلاح شده برگر ۲۰۰
جدول پ-۱- ۲-۲- نتایج تحلیل های نرم افزاری جهت تعیین توابع تخمین بدست آمده برای پارامترهای اصلی مدل اصلاح شده برگر در مخلوط های آسفالتی شیشه ای و متداول ۲۱۵

فهرست شکل ها

• شکل های فصل دوم

شکل ۲-۱- رشد ترک خستگی ناشی از اعمال بار ترافیکی بر روسازی آسفالتی ۱۰

شکل ۲-۲- کرنش نمونه تحت آزمون بارگذاری تکراری ۱۲

شکل ۲-۳- نمودار تنش-کرنش در رفتار الاستیک خطی (E و Mr) ۱۳

شکل ۲-۴- نمودار تنش-کرنش در رفتار الاستیک غیر خطی ۱۳

شکل ۲-۵- تغییرات سفتی قیر در اثر تغییر دما ۱۵

شکل ۲-۶- انواع رفتار مواد جامد، نیمه جامد، خمیری و مایع ۱۶

شکل ۲-۷- تغییرات تنش - کرنش و همچنین مستقل از زمان بودن کرنش در مواد جامد الاستیک ۱۷

شکل ۲-۸- تغییرات تنش - کرنش و نیز وابسته به زمان بودن کرنش در مواد سیال ویسکوز ۱۷

شکل ۲-۹- تغییرات تنش- کرنش در رفتار پلاستیک ۱۸

شکل ۲-۱۰- تغییرات میزان کرنش برحسب تنش در رفتار الاستو پلاستیک ۱۹

شکل ۲-۱۱- ناحیه اول: برگشت پذیری کرنش در بارگذاری با مدت زمان کوتاه (کاملاً برگشت پذیر، خزش میرا)، ناحیه دوم: مدت زمان طولانی پس از بارگذاری (امکان ایجاد کرنش ماندگار، خزش پایدار) ۲۰

شکل ۲-۱۲- برگشت پذیری کرنش در یک مدت زمان کوتاه (خزش میرا) و طولانی (خزش پایدار) پس از بارگذاری در رفتار ویسکوالاستیک ۲۰

شکل ۲-۱۳- استهلاک یا استراحت تنش ۲۱

شکل ۲-۱۴- رفتار خزش تسلیم شونده ۲۱

شکل ۲-۱۵- نمودار میزان نرخ کرنش بر حسب تنش در رفتار ویسکو پلاستیک ۲۲

شکل ۲-۱۶- تغییرات کرنش نسبت به زمان در رفتار ویسکوالاستو پلاستیک ۲۳

شکل ۲-۱۷- تفکیک انواع کرنش در بارگذاری و باربرداری در رفتار ویسکوالاستوپلاستیک ۲۳

شکل ۲-۱۸- مدل های مکانیکی برای مواد ویسکو الاستیک ۲۴

شکل ۲-۱۹- سه مؤلفه کرنش در مدل برگر ۲۸

شکل ۲-۲۰- مدل مکانیکی برگر و پارامترهای تابع خزش در مدل برگر ۲۸

شکل ۲-۲۱- مدل ارزیابی شده در پژوهش یونگ یه و همکاران در سال ۲۰۰۹ ۳۹

شکل ۲-۲۲- برازش خروجی های مدل اصلاح شده برگر و مدل توانی بر نتایج آزمایشگاهی خزش ۴۰

شکل ۲-۲۳- نمودار خزش در برابر زمان بارگذاری به همراه خروجی های حاصل از شبیه سازی مدل برگر ۴۱

شکل ۲-۲۴- نمودار همزمان برای نتایج آزمون خزش در دمای یکسان آزمایش ۴۲

شکل ۲-۲۵- تعیین روند پارامترهای اصلی مدل برگر ۴۳

شکل ۲-۲۶- مدل ارزیابی شده در پژوهش باویون ژائو و همکاران در سال ۲۰۱۱ ۴۴

شکل ۲-۲۷- برازش مدل اصلاح شده برگر بر نتایج آزمایشات تعیین خزش ماسه سنگ الف) فشاری تک محوری ب) ۴۵
کششی تک محوری

• شکل های فصل سوم

شکل ۳-۱- نمودار دانه بندی ذرات خرده شیشه مصرفی در این پایان نامه ۵۰

شکل ۳-۲- خرده شیشه مصرفی در این پایان نامه به تفکیک اندازه دانه ۵۰

شکل ۳-۳- تصویری از نمونه های آسفالتی ساخته شده جهت انجام این پایان نامه ۵۲

شکل ۳-۴- دستگاه آزمایش آسفالت ناتینگهام (NAT) مورد استفاده در این پژوهش ۵۳

شکل ۳-۵- دستگاه آزمایش مارشال مورد استفاده در این پژوهش ۵۴

شکل ۳-۶- نمایی از تجهیزات مورد نیاز برای ساخت نمونه های آسفالتی در این پژوهش ۵۵

شکل ۳-۷- روند تعیین مدول سفتی دینامیکی به روش کشش غیر مستقیم ۵۶

شکل ۳-۸- نحوه تنظیم حسگرها پیش از شروع آزمایش تعیین مدول سفتی به روش کشش غیر مستقیم ۵۷

شکل ۳-۹- نمودار بارگذاری و تغییر شکل بر حسب زمان ۵۸

شکل ۳-۱۰– نحوه بارگذاری در آزمایش ITSM ۵۸

شکل ۳-۱۱- نحوه بارگذاری در آزمایش RLA ۵۹

• شکل های فصل چهارم

شکل ۴-۱ – تغییرات مدول سفتی در برابر دما در نمونه های آسفالتی ساده و اصلاح شده ۶۵

شکل ۴-۲ – مقایسه حساسیت حرارتی نمونه های آسفالتی ساده و اصلاح شده ۶۶

شکل ۴-۳ – نمودار تنش- کرنش نمونه های آسفالتی معمول و آسفالت شیشه ای در دماهای مختلف ۶۷

شکل ۴-۴ – کرنش نهایی نمونه های آسفالتی اصلاح شده در برابر نمونه های آسفالتی معمول ۶۸

شکل ۴-۵– نمودار مقایسه رفتار ویسکو الاستیک نمونه های آسفالتی معمول و شیشه ای در دماهای مختلف ۶۹

شکل ۴-۶– مدل آزمایشگاهی سه بعدی ارائه شده برای رفتار سفتی نمونه های آسفالتی در برابر حرارت ۶۹

شکل ۴-۷ – نواحی سه گانه منحنی خزش ۷۱

شکل ۴-۸ – مدل اصلاح شده برگر ۷۱

شکل ۴-۹– نمودار خزش نمونه های آسفالتی متداول و شیشه ای در دماهای مختلف و در تنش یکسان ۱۰۰ کیلوپاسکال ۷۵

شکل ۴-۱۰– نمودار خزش نمونه های آسفالتی متداول و شیشه ای در دماهای مختلف و در تنش یکسان ۱۵۰ کیلوپاسکال ۷۵

شکل ۴-۱۱– نمودار خزش نمونه های آسفالتی متداول و شیشه ای در دماهای مختلف و در تنش یکسان ۲۰۰ کیلوپاسکال ۷۶

شکل ۴-۱۲– نمودار خزش نمونه های آسفالتی متداول و شیشه ای در دماهای مختلف و در تنش یکسان ۲۵۰ کیلوپاسکال ۷۶

شکل ۴-۱۳– نمودار خزش نمونه های آسفالتی متداول و شیشه ای در دماهای مختلف و در تنش یکسان ۳۰۰ کیلوپاسکال ۷۷

شکل ۴-۱۴– مدل ویسکو الاستیک سه بعدی آزمایشگاهی تغییرات کرنش بر حسب تنش اعمالی و دمای آزمایش در نمونه های آسفالتی شیشه ای ۷۸

شکل ۴-۱۵– مدل ویسکو الاستیک سه بعدی آزمایشگاهی تغییرات کرنش بر حسب تنش اعمالی و دمای آزمایش در نمونه های آسفالتی متداول ۷۸

شکل ۴-۱۶– نواحی هم کرنش در تغییرات همزمان تنش اعمالی و دمای آزمایش در نمونه های آسفالت شیشه ای ۷۹

شکل ۴-۱۷– نواحی هم کرنش در تغییرات همزمان تنش اعمالی و دمای آزمایش در نمونه های آسفالتی متداول ۷۹

شکل ۴-۱۸– مدل ویسکو الاستو پلاستیک سه بعدی آزمایشگاهی تغییرات کرنش بر حسب تنش اعمالی و دمای آزمایش در نمونه های آسفالتی شیشه ای ۸۰

شکل ۴-۱۹– مدل ویسکو الاستو پلاستیک سه بعدی آزمایشگاهی تغییرات کرنش بر حسب تنش اعمالی و دمای آزمایش در نمونه های آسفالتی متداول ۸۰

شکل ۴-۲۰– نمودارهای خزش و نرخ خزش تحت تنش ۱۰۰ کیلوپاسکال و دمای ۴۰ درجه سانتی گراد برای نمونه آسفالتی متداول و شیشه ای ۸۱

شکل ۴-۲۱ – نمودارهای خزش و نرخ خزش تحت تنش ۱۰۰ کیلوپاسکال و دمای ۵۰ درجه سانتی گراد برای نمونه آسفالتی متداول و شیشه ای ۸۲

شکل ۴-۲۲ – نمودارهای خزش و نرخ خزش تحت تنش ۱۰۰ کیلوپاسکال و دمای ۶۰ درجه سانتی گراد برای نمونه آسفالتی متداول و شیشه ای ۸۳

شکل ۴-۲۳ – نمودارهای خزش و نرخ خزش تحت تنش ۱۵۰ کیلوپاسکال و دمای ۴۰ درجه سانتی گراد برای نمونه آسفالتی متداول و شیشه ای ۸۴

شکل ۴-۲۴ – نمودارهای خزش و نرخ خزش تحت تنش ۱۵۰ کیلوپاسکال و دمای ۵۰ درجه سانتی گراد برای نمونه آسفالتی متداول و شیشه ای ۸۴

شکل ۴-۲۵ – نمودارهای خزش و نرخ خزش تحت تنش ۱۵۰ کیلوپاسکال و دمای ۶۰ درجه سانتی گراد برای نمونه آسفالتی متداول و شیشه ای ۸۵

شکل ۴-۲۶ – نمودارهای خزش و نرخ خزش تحت تنش ۲۰۰ کیلوپاسکال و دمای ۴۰ درجه سانتی گراد برای نمونه آسفالتی متداول و شیشه ای ۸۶

شکل ۴-۲۷ – نمودارهای خزش و نرخ خزش تحت تنش ۲۰۰ کیلوپاسکال و دمای ۵۰ درجه سانتی گراد برای نمونه آسفالتی متداول و شیشه ای ۸۷

شکل ۴-۲۸ – نمودارهای خزش و نرخ خزش تحت تنش ۲۰۰ کیلوپاسکال و دمای ۶۰ درجه سانتی گراد برای نمونه آسفالتی متداول و شیشه ای ۸۷

شکل ۴-۲۹ – نمودارهای خزش و نرخ خزش تحت تنش ۲۵۰ کیلوپاسکال و دمای ۴۰ درجه سانتی گراد برای نمونه آسفالتی متداول و شیشه ای ۸۸

شکل ۴-۳۰– نمودارهای خزش و نرخ خزش تحت تنش ۲۵۰ کیلوپاسکال و دمای ۵۰ درجه سانتی گراد برای نمونه آسفالتی متداول و شیشه ای ۸۹

شکل ۴-۳۱ – نمودارهای خزش و نرخ خزش تحت تنش ۲۵۰ کیلوپاسکال و دمای ۶۰ درجه سانتی گراد برای نمونه آسفالتی متداول و شیشه ای ۹۰

شکل ۴-۳۲ – نمودارهای خزش و نرخ خزش تحت تنش ۳۰۰ کیلوپاسکال و دمای ۴۰ درجه سانتی گراد برای نمونه آسفالتی متداول و شیشه ای ۹۱

شکل ۴-۳۳ – نمودارهای خزش و نرخ خزش تحت تنش ۳۰۰ کیلوپاسکال و دمای ۵۰ درجه سانتی گراد برای نمونه آسفالتی متداول و شیشه ای ۹۱

شکل ۴-۳۴ – نمودارهای خزش و نرخ خزش تحت تنش ۳۰۰ کیلوپاسکال و دمای ۶۰ درجه سانتی گراد برای نمونه آسفالتی متداول و شیشه ای ۹۲

شکل ۴-۳۵ – نمودارهای تنش - کرنش هم زمان تحت دمای ۴۰ درجه سانتی گراد برای نمونه های آسفالتی متداول و شیشه ای ۹۴

شکل ۴-۳۶ – نمودارهای تنش - کرنش هم زمان تحت دمای ۵۰ درجه سانتی گراد برای نمونه های آسفالتی متداول و شیشه ای ۹۴

شکل ۴-۳۷ – نمودارهای تنش - کرنش هم زمان تحت دمای ۶۰ درجه سانتی گراد برای نمونه های آسفالتی متداول و شیشه ای ۹۵

شکل ۴-۳۸ – مفاهیم ریاضی پارامترهای اولیه در مدل برگر ۹۷

شکل ۴-۳۹ – مقایسه تغییرات پارامتر E1 در برابر دما در مخلوط های آسفالتی شیشه ای و متداول در تنش یکسان ۱۰۰ کیلوپاسکال ۱۰۱
شکل ۴-۴۰ – مقایسه تغییرات پارامتر E1 در برابر دما در مخلوط های آسفالتی شیشه ای و متداول در تنش یکسان ۱۵۰ کیلوپاسکال ۱۰۱
شکل ۴-۴۱ – مقایسه تغییرات پارامتر E1 در برابر دما در مخلوط های آسفالتی شیشه ای و متداول در تنش یکسان ۲۰۰ کیلوپاسکال ۱۰۱
شکل ۴-۴۲ – مقایسه تغییرات پارامتر E1 در برابر دما در مخلوط های آسفالتی شیشه ای و متداول در تنش یکسان ۲۵۰ کیلوپاسکال ۱۰۱
شکل ۴-۴۳ – مقایسه تغییرات پارامتر E1 در برابر دما در مخلوط های آسفالتی شیشه ای و متداول در تنش یکسان ۳۰۰ کیلوپاسکال ۱۰۲
شکل ۴-۴۴ – مقایسه تغییرات پارامتر η_1 در برابر دما در مخلوط های آسفالتی شیشه ای و متداول در تنش یکسان ۱۰۰ کیلوپاسکال ۱۰۲
شکل ۴-۴۵ – مقایسه تغییرات پارامتر η_1 در برابر دما در مخلوط های آسفالتی شیشه ای و متداول در تنش یکسان ۱۵۰ کیلوپاسکال ۱۰۲
شکل ۴-۴۶ – مقایسه تغییرات پارامتر η_1 در برابر دما در مخلوط های آسفالتی شیشه ای و متداول در تنش یکسان ۲۰۰ کیلوپاسکال ۱۰۳
شکل ۴-۴۷ – مقایسه تغییرات پارامتر η_1 در برابر دما در مخلوط های آسفالتی شیشه ای و متداول در تنش یکسان ۲۵۰ کیلوپاسکال ۱۰۳
شکل ۴-۴۸ – مقایسه تغییرات پارامتر η_1 در برابر دما در مخلوط های آسفالتی شیشه ای و متداول در تنش یکسان ۳۰۰ کیلوپاسکال ۱۰۳
شکل ۴-۴۹ – مقایسه تغییرات پارامتر E2 در برابر دما در مخلوط های آسفالتی شیشه ای و متداول در تنش یکسان ۱۰۰ کیلوپاسکال ۱۰۴
شکل ۴-۵۰ – مقایسه تغییرات پارامتر E2 در برابر دما در مخلوط های آسفالتی شیشه ای و متداول در تنش یکسان ۱۵۰ کیلوپاسکال ۱۰۴
شکل ۴-۵۱ – مقایسه تغییرات پارامتر E2 در برابر دما در مخلوط های آسفالتی شیشه ای و متداول در تنش یکسان ۲۰۰ کیلوپاسکال ۱۰۴

شکل ۴-۵۲ – مقایسه تغییرات پارامتر $E2$ در برابر دما در مخلوط های آسفالتی شیشه ای و متداول در تنش یکسان ۲۵۰ کیلوپاسکال ۱۰۴

شکل ۴-۵۳ – مقایسه تغییرات پارامتر $E2$ در برابر دما در مخلوط های آسفالتی شیشه ای و متداول در تنش یکسان ۳۰۰ کیلوپاسکال ۱۰۵

شکل ۴-۵۴ – مقایسه تغییرات پارامتر η_2 در برابر دما در مخلوط های آسفالتی شیشه ای و متداول در تنش یکسان ۱۰۰ کیلوپاسکال ۱۰۵

شکل ۴-۵۵ – مقایسه تغییرات پارامتر η_2 در برابر دما در مخلوط های آسفالتی شیشه ای و متداول در تنش یکسان ۱۵۰ کیلوپاسکال ۱۰۵

شکل ۴-۵۶ – مقایسه تغییرات پارامتر η_2 در برابر دما در مخلوط های آسفالتی شیشه ای و متداول در تنش یکسان ۲۰۰ کیلوپاسکال ۱۰۶

شکل ۴-۵۷ – مقایسه تغییرات پارامتر η_2 در برابر دما در مخلوط های آسفالتی شیشه ای و متداول در تنش یکسان ۲۵۰ کیلوپاسکال ۱۰۶

شکل ۴-۵۸ – مقایسه تغییرات پارامتر η_2 در برابر دما در مخلوط های آسفالتی شیشه ای و متداول در تنش یکسان ۳۰۰ کیلوپاسکال ۱۰۶

شکل ۴-۵۹ – مقایسه تغییرات پارامتر η_0 در برابر دما در مخلوط های آسفالتی شیشه ای و متداول در تنش یکسان ۱۰۰ کیلوپاسکال ۱۰۷

شکل ۴-۶۰ – مقایسه تغییرات پارامتر η_0 در برابر دما در مخلوط های آسفالتی شیشه ای و متداول در تنش یکسان ۱۵۰ کیلوپاسکال ۱۰۷

شکل ۴-۶۱ – مقایسه تغییرات پارامتر η_0 در برابر دما در مخلوط های آسفالتی شیشه ای و متداول در تنش یکسان ۲۰۰ کیلوپاسکال ۱۰۷

شکل ۴-۶۲ – مقایسه تغییرات پارامتر η_0 در برابر دما در مخلوط های آسفالتی شیشه ای و متداول در تنش یکسان ۲۵۰ کیلوپاسکال ۱۰۷

شکل ۴-۶۳ – مقایسه تغییرات پارامتر η_0 در برابر دما در مخلوط های آسفالتی شیشه ای و متداول در تنش یکسان ۳۰۰ کیلوپاسکال ۱۰۸

شکل ۴-۶۴ – مقایسه تغییرات پارامتر $E1$ در برابر تنش در مخلوط های آسفالت شیشه ای و متداول در دمای یکسان ۴۰ درجه سانتی گراد ۱۰۸

شکل ۴-۶۵ – مقایسه تغییرات پارامتر E1 در برابر تنش در مخلوط های آسفالت شیشه ای و متداول در دمای ۵۰ درجه سانتی گراد ۱۰۹

شکل ۴-۶۶ – مقایسه تغییرات پارامتر E1 در برابر تنش در مخلوط های آسفالت شیشه ای و متداول در دمای ۶۰ درجه سانتی گراد ۱۰۹

شکل ۴-۶۷ – مقایسه تغییرات پارامتر η_1 در برابر تنش در مخلوط های آسفالت شیشه ای و متداول در دمای ۴۰ درجه سانتی گراد ۱۰۹

شکل ۴-۶۸ – مقایسه تغییرات پارامتر η_1 در برابر تنش در مخلوط های آسفالتی شیشه ای و متداول در دمای ۵۰ درجه سانتی گراد ۱۱۰

شکل ۴-۶۹ – مقایسه تغییرات پارامتر η_1 در برابر تنش در مخلوط های آسفالتی شیشه ای و متداول در دمای ۶۰ درجه سانتی گراد ۱۱۰

شکل ۴-۷۰ – مقایسه تغییرات پارامتر E2 در برابر تنش در مخلوط های آسفالتی شیشه ای و متداول در دمای ۴۰ درجه سانتی گراد ۱۱۱

شکل ۴-۷۱ – مقایسه تغییرات پارامتر E2 در برابر تنش در مخلوط های آسفالتی شیشه ای و متداول در دمای ۵۰ درجه سانتی گراد ۱۱۱

شکل ۴-۷۲ – مقایسه تغییرات پارامتر E2 در برابر تنش در مخلوط های آسفالتی شیشه ای و متداول در دمای ۶۰ درجه سانتی گراد ۱۱۱

شکل ۴-۷۳ – مقایسه تغییرات پارامتر η_2 در برابر تنش در مخلوط های آسفالتی شیشه ای و متداول در دمای ۴۰ درجه سانتی گراد ۱۱۲

شکل ۴-۷۴ – مقایسه تغییرات پارامتر η_2 در برابر تنش در مخلوط های آسفالتی شیشه ای و متداول در دمای ۵۰ درجه سانتی گراد ۱۱۲

شکل ۴-۷۵ – مقایسه تغییرات پارامتر η_2 در برابر تنش در مخلوط های آسفالتی شیشه ای و متداول در دمای ۶۰ درجه سانتی گراد ۱۱۲

شکل ۴-۷۶ – مقایسه تغییرات پارامتر η_0 در برابر تنش در مخلوط های آسفالتی شیشه ای و متداول در دمای ۴۰ درجه سانتی گراد ۱۱۳

شکل ۴-۷۷ – مقایسه تغییرات پارامتر η_0 در برابر تنش در مخلوط های آسفالتی شیشه ای و متداول در دمای ۵۰ درجه سانتی گراد ۱۱۳

شکل ۴-۷۸ – مقایسه تغییرات پارامتر η_0 در برابر تنش در مخلوط های آسفالتی شیشه ای و متداول در دمای ۶۰ درجه سانتی گراد ۱۱۳

شکل ۴-۷۹ – مقایسه تغییرات پارامتر η_3 در برابر زمان در مخلوط های آسفالتی شیشه ای و متداول در تنش ۱۰۰ کیلوپاسکال و دمای ۴۰ درجه سانتی گراد ۱۱۴

شکل ۴-۸۰ – مقایسه تغییرات پارامتر η_3 در برابر زمان در مخلوط های آسفالتی شیشه ای و متداول در تنش ۱۰۰ کیلوپاسکال و دمای ۵۰ درجه سانتی گراد ۱۱۴

شکل ۴-۸۱ – مقایسه تغییرات پارامتر η_3 در برابر زمان در مخلوط های آسفالتی شیشه ای و متداول در تنش ۱۰۰ کیلوپاسکال و دمای ۶۰ درجه سانتی گراد ۱۱۴

شکل ۴-۸۲ – مقایسه تغییرات پارامتر η_3 در برابر زمان در مخلوط های آسفالتی شیشه ای و متداول در تنش ۱۵۰ کیلوپاسکال و دمای ۴۰ درجه سانتی گراد ۱۱۵

شکل ۴-۸۳ – مقایسه تغییرات پارامتر η_3 در برابر زمان در مخلوط های آسفالتی شیشه ای و متداول در تنش ۱۵۰ کیلوپاسکال و دمای ۵۰ درجه سانتی گراد ۱۱۵

شکل ۴-۸۴ – مقایسه تغییرات پارامتر η_3 در برابر زمان در مخلوط های آسفالتی شیشه ای و متداول در تنش ۱۵۰ کیلوپاسکال و دمای ۶۰ درجه سانتی گراد ۱۱۵

شکل ۴-۸۵ – مقایسه تغییرات پارامتر η_3 در برابر زمان در مخلوط های آسفالتی شیشه ای و متداول در تنش ۲۰۰ کیلوپاسکال و دمای ۴۰ درجه سانتی گراد ۱۱۵

شکل ۴-۸۶ – مقایسه تغییرات پارامتر η_3 در برابر زمان در مخلوط های آسفالتی شیشه ای و متداول در تنش ۲۰۰ کیلوپاسکال و دمای ۵۰ درجه سانتی گراد ۱۱۶

شکل ۴-۸۷ – مقایسه تغییرات پارامتر η_3 در برابر زمان در مخلوط های آسفالتی شیشه ای و متداول در تنش ۲۰۰ کیلوپاسکال و دمای ۶۰ درجه سانتی گراد ۱۱۶

شکل ۴-۸۸ – مقایسه تغییرات پارامتر η_3 در برابر زمان در مخلوط های آسفالتی شیشه ای و متداول در تنش ۲۵۰ کیلوپاسکال و دمای ۴۰ درجه سانتی گراد ۱۱۶

شکل ۴-۸۹ – مقایسه تغییرات پارامتر η_3 در برابر زمان در مخلوط های آسفالتی شیشه ای و متداول در تنش ۲۵۰ کیلوپاسکال و دمای ۵۰ درجه سانتی گراد ۱۱۶

شکل ۴-۹۰ – مقایسه تغییرات پارامتر η_3 در برابر زمان در مخلوط های آسفالتی شیشه ای و متداول در تنش ۲۵۰ کیلوپاسکال و دمای ۶۰ درجه سانتی گراد ۱۱۷

شکل ۴-۹۱ – مقایسه تغییرات پارامتر η_3 در برابر زمان در مخلوط های آسفالتی شیشه ای و متداول در تنش ۳۰۰ کیلوپاسکال و دمای ۴۰ درجه سانتی گراد ۱۱۷

شکل ۴-۹۲ – مقایسه تغییرات پارامتر η_3 در برابر زمان در مخلوط های آسفالتی شیشه ای و متداول در تنش ۳۰۰ کیلوپاسکال و دمای ۵۰ درجه سانتی گراد ۱۱۷

شکل ۴-۹۳ – مقایسه تغییرات پارامتر η_3 در برابر زمان در مخلوط های آسفالتی شیشه ای و متداول در تنش ۳۰۰ کیلوپاسکال و دمای ۶۰ درجه سانتی گراد ۱۱۷

شکل ۴-۹۴ – برازش مدل برگر بر نتایج آزمایشگاهی در تنش های مختلف و دمای ۴۰ درجه برای مخلوط آسفالتی متداول ۱۱۸

شکل۴-۹۵- برازش مدل برگر بر نتایج آزمایشگاهی در تنش های مختلف و دمای ۴۰ درجه برای مخلوط آسفالت شیشه ای ۱۱۸

شکل ۴-۹۶ – برازش مدل برگر بر نتایج آزمایشگاهی در تنش های مختلف و دمای ۵۰ درجه برای مخلوط آسفالتی متداول ۱۱۸

شکل۴-۹۷- برازش مدل برگر بر نتایج آزمایشگاهی در تنش های مختلف و دمای ۵۰ درجه برای مخلوط آسفالت شیشه ای ۱۱۸

شکل ۴-۹۸ – برازش مدل برگر بر نتایج آزمایشگاهی در تنش های مختلف و دمای ۶۰ درجه برای مخلوط آسفالتی متداول ۱۱۹

شکل۴-۹۹- برازش مدل برگر بر نتایج آزمایشگاهی در تنش های مختلف و دمای ۶۰ درجه برای مخلوط آسفالت شیشه ای ۱۱۹

شکل ۴-۱۰۰ – برازش مدل اصلاح شده برگر بر نتایج آزمایشگاهی در تنش های مختلف و دمای ۴۰ درجه برای مخلوط آسفالتی متداول ۱۱۹

شکل ۴-۱۰۱ – برازش مدل اصلاح شده برگر بر نتایج آزمایشگاهی در تنش های مختلف و دمای ۴۰ درجه برای مخلوط آسفالت شیشه ای ۱۱۹

شکل ۴-۱۰۲ – برازش مدل اصلاح شده برگر بر نتایج آزمایشگاهی در تنش های مختلف و دمای ۵۰ درجه برای مخلوط آسفالتی متداول ۱۲۰

شکل ۴-۱۰۳ – برازش مدل اصلاح شده برگر بر نتایج آزمایشگاهی در تنش های مختلف و دمای ۵۰ درجه برای مخلوط آسفالت شیشه ای ۱۲۰

شکل ۴-۱۰۴ – برازش مدل اصلاح شده برگر بر نتایج آزمایشگاهی در تنش های مختلف و دمای ۶۰ درجه برای مخلوط آسفالت متداول ۱۲۰

شکل ۴-۱۰۵ – برازش مدل اصلاح شده برگر بر نتایج آزمایشگاهی در تنش های مختلف و دمای ۶۰ درجه برای مخلوط آسفالت شیشه ای ۱۲۰

شکل ۴-۱۰۶ – مقایسه مدل کلاسیک برگر با مدل اصلاح شده در تنش های مختلف و در دمای ۴۰ درجه برای مخلوط آسفالتی متداول ۱۲۱

شکل ۴-۱۰۷ – مقایسه مدل کلاسیک برگر با مدل اصلاح شده در تنش های مختلف و در دمای ۴۰ درجه برای مخلوط آسفالتی شیشه ای ۱۲۱

شکل ۴-۱۰۸ – مقایسه مدل کلاسیک برگر با مدل اصلاح شده در تنش های مختلف و در دمای ۵۰ درجه برای مخلوط آسفالتی متداول ۱۲۲

شکل ۴-۱۰۹ – مقایسه مدل کلاسیک برگر با مدل اصلاح شده در تنش های مختلف و در دمای ۵۰ درجه برای مخلوط آسفالتی شیشه ای ۱۲۲

شکل ۴-۱۱۰ – مقایسه مدل کلاسیک برگر با مدل اصلاح شده در تنش های مختلف و در دمای ۶۰ درجه برای مخلوط آسفالتی متداول ۱۲۲

شکل ۴-۱۱۱ – مقایسه مدل کلاسیک برگر با مدل اصلاح شده در تنش های مختلف و در دمای ۶۰ درجه برای مخلوط آسفالتی شیشه ای ۱۲۲

شکل ۴-۱۱۲ – مقایسه مقادیر مشاهده شده آزمایشگاهی و مقادیر حاصل از توابع تخمین بدست آمده برای پارامتر E_1 در مخلوط آسفالتی متداول ۱۲۴

شکل ۴-۱۱۳ – مقایسه مقادیر مشاهده شده آزمایشگاهی و مقادیر حاصل از توابع تخمین بدست آمده برای پارامتر E_1 در مخلوط های آسفالتی شیشه ای ۱۲۴

شکل ۴-۱۱۴ – مقایسه مقادیر مشاهده شده آزمایشگاهی و مقادیر حاصل از توابع تخمین بدست آمده برای پارامتر E_2 در مخلوط های آسفالتی متداول ۱۲۴

شکل ۴-۱۱۵ – مقایسه مقادیر مشاهده شده آزمایشگاهی و مقادیر حاصل از توابع تخمین بدست آمده برای پارامتر E_2 در مخلوط های آسفالتی شیشه ای ۱۲۴

شکل ۴-۱۱۶– مقایسه مقادیر مشاهده شده آزمایشگاهی و مقادیر حاصل از توابع تخمین بدست آمده برای پارامتر η_1 در مخلوط های آسفالتی متداول ۱۲۵

شکل ۴-۱۱۷ – مقایسه مقادیر مشاهده شده آزمایشگاهی و مقادیر حاصل از توابع تخمین بدست آمده برای پارامتر η_1 در مخلوط های آسفالتی شیشه ای ۱۲۵

شکل ۴-۱۱۸ – مقایسه مقادیر مشاهده شده آزمایشگاهی و مقادیر حاصل از توابع تخمین بدست آمده برای پارامتر η_2 در مخلوط های آسفالتی متداول ۱۲۵

شکل ۴-۱۱۹ – مقایسه مقادیر مشاهده شده آزمایشگاهی و مقادیر حاصل از توابع تخمین بدست آمده برای پارامتر η_2 در مخلوط های آسفالتی شیشه ای ۱۲۵