بسم الله الرحمن الرحیم

دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

دانشکده مهندسی عمران

پایان‌نامه دوره کارشناسی ارشد مهندسی عمران گرایش راه و ترابری

بررسی اثر مشخصات بارگذاری بر مدول ارتجاعی مخلوط‌های آسفالتی

توسط:

امین تناکی‌زاده

استاد راهنما:

دکتر منصور فخری

دی ماه ۱۳۹۱

چکیده

یکی از پارامترهای کلیدی در طرح روسازی‌های آسفالتی، مدول برجهندگی است. برای تعیین مدول برجهندگی، روش‌های آزمایش استانداردی ارائه شده است که شامل اعمال بارگذاری نیم‌سینوسی نمونه‌ها در دماهای متفاوت و با زمان بارگذاری ۰/۱ ثانیه و دوره استراحت ۰/۹ ثانیه است. با توجه به طبیعت ویسکوالاستیک مخلوط‌های آسفالتی و تأثیر مقدار زمان اعمال بارگذاری و زمان استراحت بر مدول برجهندگی مصالح آسفالتی، در این پژوهش سعی بر بررسی تأثیر زمان بارگذاری و دوره استراحت بر مدول برجهندگی است. همچنین در صورت امکان استفاده از دوره‌های استراحت کوچک‌تر، زمان انجام آزمایش مدول به طور قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌یابد. برای این منظور، آزمایش تعیین مدول روی نمونه-های مخلوط آسفالتی تهیه شده با قیر اصلاح نشده و قیر اصلاحی با پلیمر SBS به روش کشش غیرمستقیم (IDT) صورت پذیرفت. بارگذاری به کار رفته در آزمایش‌ها نیم‌سینوسی و مربعی و در دماهای ۵، ۲۵ و ۴۰ درجه‌ی سانتی‌گراد و با زمان‌های بارگذاری ۵۰، ۱۰۰ و ۳۰۰ میلی‌ثانیه است. نسبت‌های زمان استراحت به زمان بارگذاری ۴، ۹ و ۳۰ نیز به کار رفته است. به کمک تحلیل رگرسیون و روش سطح پاسخ مدل‌هایی جهت پیش‌بینی مدول برجهندگی ارائه شد. با مقایسه‌ی نتایج آزمایشگاهی مشخص شد که بیشترین اثرات افزایشی روی مدول برجهندگی به ترتیب مربوط به کاهش دما، افزودن پلیمر SBS، کاهش زمان بارگذاری و کاهش نسبت زمان استراحت به زمان بارگذاری است. بیشترین اثرات کاهشی نیز به ترتیب مربوط به افزایش دما، تغییر شکل پالس به مربعی و افزایش زمان بارگذاری است.

کلیدواژه‌ها: مدول برجهندگی مخلوط آسفالتی ، زمان بارگذاری، نسبت استراحت به بارگذاری، شکل پالس بارگذاری، پلیمر SBS، روش سطح پاسخ.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فهرست مطالب ..... أ

فهرست جدول ها ..... و

فهرست شکل ها ..... ح

فصل ۱- کلیات ۲

۱-۱- مقدمه ۲

۱-۲- تعریف مسئله ۳

۱-۳- ضرورت تحقیق ۴

۱-۴- اهداف تحقیق ۵

۱-۵- محدودیت های تحقیق ۵

۱-۶- ساختار پایان نامه ۶

فصل ۲- مروری بر پژوهش های گذشته ۸

۲-۱- مقدمه ۸

۲-۲- مفاهیم پایه ۹

۲-۲-۱- مدول برجهندگی ۹

۲-۲-۱-۱- تاریخچه مدول برجهندگی ۱۱

۲-۲-۲- بارگذاری وسیله نقلیه ۱۳

۲-۲-۳- شکل موج بارگذاری ۱۳

۲-۲-۴- آزمایش با بار تکراری و دوره ای ۱۳

۲-۲-۵- حالت تنش ۱۴

۲-۲-۶- مدول دینامیک ۱۴
۲-۲-۷- آزمایش های مکانیکی تعیین خصوصیات مخلوط های آسفالتی ۱۶
۲-۲-۸- آزمایش کششی غیر مستقیم ۱۷
۲-۳- روش های تعیین مدول مخلوط های آسفالتی ۱۸
۲-۳-۱- روش های پیش بینی تجربی ۱۸
۲-۳-۱-۱- روش نسبت استحکام - روانی مارشال ۱۹
۲-۳-۱-۲- معادله ی هیوکِلوم و کِلُمپ ۱۹
۲-۳-۱-۳- نموگراف شِل ۲۰
۲-۳-۱-۴- روش انستیتو آسفالت ۲۱
۲-۳-۱-۵- معادله پیش بینی ویتزاک ۲۱
۲-۳-۲- روش های آزمایشگاهی ۲۲
۲-۳-۲-۱- استاندارد انجام آزمایش کشش غیر مستقیم جهت تعیین مدول برجهندگی مخلوط های آسفالتی (ASTM:D 4123-82) ۲۴
۲-۳-۲-۲- روش تعیین مدول سختی مخلوط آسفالتی با کشش غیرمستقیم (BS-DD213:1993) ۲۴
۲-۳-۲-۳- روش استاندارد آزمایش برای تعیین مدول برجهندگی مخلوط های آسفالتی با کشش غیر مستقیم (AASHTO TP31-96) ۲۴
۲-۳-۲-۴- روش آزمایش جهت تعیین نرمی خزشی، مدول برجهندگی و مقاومت مصالح آسفالتی با استفاده از دستگاه آزمایش کششی غیرمستقیم (SHRP-LTPP Protocol P07-2001) ۲۵
۲-۳-۲-۵- روش استاندارد آزمایش برای تعیین مدول برجهندگی مخلوط های آسفالتی(ASTM D7369-11) ۲۵
۲-۴- عوامل مؤثر بر مقدار مدول برجهندگی مخلوط های آسفالتی ۲۵
۲-۴-۱- دمای آزمایش ۲۷
۲-۴-۲- خواص مصالح ۲۸
۲-۴-۳- دانه بندی مصالح ۲۸
۲-۴-۴- اندازه نمونه آزمایش ۲۹

۲-۴-۵- فرکانس بارگذاری ۳۰
۲-۴-۶- مدت بارگذاری ۳۰
۲-۴-۷- دوره ی استراحت ۳۲
۲-۴-۸- بزرگی بار ۳۳
۲-۴-۹- شکل پالس بار ۳۴
۲-۵- سایر عوامل مؤثر بر مقدار مدول برجهندگی ۳۵
۲-۶- توزیع تنش و زمان پالس در لایه های روسازی آسفالتی ۴۱
۲-۷- بررسی اثر افزودنی ها بر مدول برجهندگی مخلوط های آسفالتی ۴۹
۲-۸- خلاصه ۶۰
فصل ۳- خصوصیات مصالح و طرح آزمایش ۶۳
۳-۱- مقدمه ۶۳
۳-۲- مصالح آزمایش ۶۳
۳-۲-۱- خصوصیات مصالح سنگی ۶۳
۳-۲-۱-۱- خواص فیزیکی مصالح سنگی ۶۵
۳-۲-۱-۱-۱- دانه بندی و توزیع اندازه دانه های مصالح سنگی ۶۵
۳-۲-۱-۱-۲- آزمایش تعیین حدود روانی، خمیری و شاخص روانی ۶۶
۳-۲-۱-۱-۳- تعیین وزن مخصوص مصالح سنگی ۶۶
۳-۲-۱-۱-۴- شکل هندسی مصالح سنگی ۶۷
۳-۲-۱-۱-۵- سلامت و دوام مصالح سنگی ۶۸
۳-۲-۱-۲- خواص مکانیکی مصالح سنگی ۶۹
۳-۲-۲- خصوصیات قیر ۶۹
۳-۲-۲-۱- آزمایش تعیین وزن مخصوص قیر ۶۹
۳-۲-۲-۲- آزمایش تعیین درجه نفوذ قیر ۶۹
۳-۲-۲-۳- آزمایش تعیین کندروانی قیر ۷۰

۳-۲-۲-۴- آزمایش تعیین درجه نرمی قیر ۷۱
۳-۲-۲-۵- آزمایش خاصیت اَنگُمی (قابلیت شکل پذیری قیر) ۷۱
۳-۲-۲-۶- آزمایش درجه اشتعال قیر ۷۱
۳-۲-۲-۷- آزمایش درجه خلوص قیر ۷۲
۳-۲-۲-۸- آزمایش لعاب نازک قیر (اُفت حرارتی) ۷۲
۳-۳- آزمایش های مخلوط های آسفالتی ۷۳
۳-۳-۱- طرح اختلاط به روش مارشال ۷۳
۳-۳-۱-۱- تهیه و ساخت نمونه های مارشال ۷۴
۳-۳-۱-۲- آزمایش تعیین وزن مخصوص حقیقی مخلوط آسفالتی متراکم ۷۴
۳-۳-۱-۳- آزمایش رایس (حداکثر وزن مخصوص تئوری مخلوط آسفالتی) ۷۵
۳-۳-۱-۴- آزمایش تعیین استحکام مارشال و روانی ۷۵
۳-۳-۱-۵- محاسبه ی کمیت های محاسباتی مارشال ۷۶
۳-۳-۲- آزمایش تعیین مقاومت کششی غیرمستقیم (ITS) ۸۱
۳-۳-۳- آزمایش تعیین مدول برجهندگی مخلوط آسفالتی به روش کشش غیرمستقیم ۸۲
۳-۳-۳-۱- دستگاه آزمایش ۸۲
۳-۳-۳-۲- شرایط و نحوه ی انجام آزمایش ۸۴
فصل ۴- تفسیر نتایج ۹۶
۴-۱- مقدمه ۹۶
۴-۲- تحلیل آماری ۹۶
۴-۲-۱- مفاهیم پایه در تحلیل رگرسیون ۹۷
۴-۲-۲- کنترل کفایت مدل ۹۹
۴-۲-۳- روش سطح پاسخ (RSM) ۹۹
۴-۳- ارائه ی مدل پیش بینی مقدار مدول برجهندگی براساس پارامترهای زمان بارگذاری و نسبت زمان استراحت به زمان بارگذاری ۱۰۰

۴-۴- ارایه ی مدل با روش سطح پاسخ (RSM) ۱۰۳
۴-۵- رابطه ی بین مقادیر مدول برجهندگی با دو شکل پالس متفاوت ۱۱۵
۴-۶- تفسیر نتایج آزمایشگاهی مدول برجهندگی ۱۱۶
۴-۶-۱- بررسی تأثیر دما ۱۱۷
۴-۶-۲- بررسی تأثیر زمان بارگذاری ۱۱۹
۴-۶-۳- بررسی تأثیر نسبت زمان استراحت به زمان بارگذاری ۱۲۲
۴-۶-۴- بررسی تأثیر شکل پالس بارگذاری ۱۲۴
۴-۶-۵- بررسی تأثیر پلیمر SBS ۱۲۶
فصل ۵- نتیجه گیری و پیشنهادات ۱۲۹
۵-۱- خلاصه ۱۲۹
۵-۲- نتایج ۱۲۹
۵-۳- پیشنهادات ۱۳۳
فهرست مراجع ۱۳۴

فهرست جدول ها

عنوان **صفحه**

جدول ۲-۱: مقایسه استانداردهای آزمایش تعیین مدول برجهندگی به روش IDT ۲۶

جدول ۲-۲ : مدول برجهندگی در دماهای مختلف (MPa) [۵۶] ۵۴

جدول ۲-۳ : مقایسهی مدول برجهندگی نمونه های SMA ساخته شده با قیر پلیمری و معمولی[۵۷]. ۵۶

جدول ۲-۴ : خلاصه نتایج آزمایش مدول برجهندگی[۵۸] ۵۷

جدول ۲-۵ : اثر نوع و میزان پلیمر بر مدول برجهندگی[۶۰] ۵۹

جدول ۲-۶ : خلاصه نتایج مدول برجهندگی برای مخلوط های حاوی قیر AC-5 و AR-1000[۶۱] ۶۱

جدول ۳-۱: دانه بندی مصالح سنگی مخلوط و حدود مجاز آیین نامه روسازی ایران ۶۵

جدول ۳-۲: وزن مخصوص و درصد جذب آب مصالح سنگی مخلوط آسفالتی ۶۷

جدول ۳-۳: نتایج آزمایش های مرغوبیت مصالح سنگی ۷۰

جدول ۳-۴: نتایج آزمایش های رایج قیر ۷۳

جدول ۳-۵: مقادیر پارامترهای مارشال برای مخلوط آسفالتی معمولی با درصد قیر بهینه (۵/۵ درصد). ۷۶

جدول ۳-۶: روابط مورد استفاده در تعیین کمیت های محاسباتی مارشال ۷۷

جدول ۳-۷: پارامترهای آزمایش مخلوط های آسفالتی معمولی در دمای $5^{\circ}C$ ۸۸

جدول ۳-۸: پارامترهای آزمایش مخلوط های آسفالتی معمولی در دمای $25^{\circ}C$ ۸۹

جدول ۳-۹: پارامترهای آزمایش مخلوط های آسفالتی معمولی در دمای $40^{\circ}C$ ۹۰

جدول ۳-۱۰: پارامترهای آزمایش مخلوط های آسفالتی اصلاح شده با پلیمر SBS در دمای $25^{\circ}C$ ۹۰

جدول ۳-۱۱: پارامترهای آزمایش مخلوط های آسفالتی اصلاح شده با پلیمر SBS در دمای $40^{\circ}C$ ۹۱

جدول ۳-۱۲: مقادیر معمول نسبت پواسون در سطح ۲ داده های ورودی MEPDG [۱۹] ۹۱

جدول ۴-۱ : پارامترهای رگرسیون برآورد شده برای مدل نمایی- لگاریتمی با شکل موج نیم سینوسی و دمای ۲۵ درجه سانتی گراد روی مخلوط اصلاح نشده ۱۰۲
جدول ۴-۲ : نتایج تحلیل واریانس (ANOVA) برای مدل نمایی- لگاریتمی با شکل موج نیم سینوسی و دمای ۲۵ درجه سانتی گراد روی مخلوط اصلاح نشده ۱۰۲
جدول ۴-۳ : مقادیر مشاهده شده آزمایشگاهی، پیش بینی شده و باقیمانده ها برای مدل نمایی- لگاریتمی با شکل موج نیم سینوسی و دمای ۲۵ درجه سانتی گراد روی مخلوط اصلاح نشده.....۱۰۲
جدول ۴-۴: پارامترهای آماری توابع برازش شده منتخب به تفکیک شکل پالس و دمای آزمایش ۱۰۴
جدول ۴-۵: روابط بین مدول برجهندگی و پارامترهای بارگذاری به تفکیک دما و شکل پالس بارگذاری ۱۰۵
جدول ۴-۶: نمایش متغیرهای مستقل و مقادیر آنها ۱۰۵
جدول ۴-۷: ثابت های رگرسیون و مقادیر T و P برای پارامترهای مدل با شکل پالس نیم سینوسی ...۱۰۷
جدول ۴-۸: ثابت های رگرسیون و مقادیر T و P برای پارامترهای مدل با شکل پالس مربعی.....۱۰۸
جدول ۴-۹: نتایج تحلیل واریانس مدل با شکل پالس نیم سینوسی و مربعی ۱۱۳
جدول ۴-۱۰: ثابت های رگرسیون و مقادیر T و P رابطه ی انتخابی ۱۱۶
جدول ۴-۱۱: نتایج تحلیل واریانس رابطه ی انتخابی.....۱۱۶

فهرست شکل ها

عنوان **صفحه**

شکل ۲-۱: کرنش ها تحت بارهای تکراری [۲] ۱۰

شکل ۲-۲: تنش و کرنش در آزمایش مدول دینامیک[۱۰] ۱۶

شکل ۲-۳: اثر دوره استراحت بین اعمال بارها بر مدول برجهندگی[۳] ۳۳

شکل ۲-۴ : اثر مدت بارگذاری روی مدول برجهندگی[۴۰] ۳۹

شکل ۲-۵ : مقایسه بین مدول دینامیک و مدول برجهندگی مخلوط رویه[۴۱] ۴۱

شکل ۲-۶ : پالس معادل نیم سینوسی و مثلثی[۲] ۴۳

شکل ۲-۷ : زمان پالس تنش عمودی تحت بارگذاری نیم سینوسی و مثلثی[۲] ۴۴

شکل ۲-۸ : زمان پالس تنش عمودی تحت شکل موج مربعی[۲] ۴۴

شکل ۲-۹ : مقایسه بین تنش و کرنش در آزمایش مدول دینامیک و مدول برجهندگی[۴۷] ۴۷

شکل ۲-۱۰ : اثر میزان قیر روی مدول برجهندگی مخلوط های حاوی مقادیر مختلف RAP [۵۱] ۴۹

شکل ۲-۱۱ : ارتباط بین تنش کششی و مدول برجهندگی[۵۳] ۵۱

شکل ۲-۱۲ : مدول برجهندگی مخلوط ها به ازای میزان SBS متفاوت[۵۴] ۵۱

شکل ۲-۱۳ : مدول برجهندگی میانگین برای تمام مخلوط ها [۵۵] ۵۲

شکل ۲-۱۴ : تغییرات مدول برجهندگی بر حسب درصد پلیمر SBS در دمای ۵ درجه سانتی گراد[۵۷] ۵۴

شکل ۲-۱۵ : تغییرات مدول برجهندگی بر حسب درصد پلیمر SBS در دمای ۲۵ درجه سانتی گراد[۵۷] ۵۵

شکل ۲-۱۶ : افزایش در مدول برجهندگی برای دو نوع نانورس در دماهای متفاوت[۵۹] ۵۸

شکل ۳-۱: چارچوب مراحل انجام تحقیق ۶۴

شکل ۳-۲: منحنی دانه بندی مصالح سنگی مورد استفاده در طرح اختلاط ۶۶
شکل ۳-۳: نمودار کندروانی- درجه حرارت قیر ۶۰/۷۰ ..... ۷۵
شکل ۳-۴: دستگاه استقامت مارشال (جک مارشال) ۷۶
شکل ۳-۵: تغییرات وزن مخصوص در برابر درصد قیر ۷۸
شکل ۳-۶: تغییرات فضای خالی (V_a) در برابر درصد قیر ۷۹
شکل ۳-۷: تغییرات فضای خالی مصالح سنگی (VMA) در برابر درصد قیر ۷۹
شکل ۳-۸: تغییرات فضای خالی پر شده با قیر (VFA) در برابر درصد قیر ۸۰
شکل ۳-۹: تغییرات استقامت مارشال (Stability) در برابر درصد قیر ۸۰
شکل ۳-۱۰: تغییرات روانی (Flow) در برابر درصد قیر ۸۱
شکل ۳-۱۱: دستگاه آزمایش یونیورسال (UTM-14) ۸۳
شکل ۳-۱۲: نمایی از نرم افزار رابط کاربری دستگاه آزمایش UTM ۸۵
شکل ۳-۱۳: قالب ساخت نمونهی مارشال و نمونه ی تهیه شده ۸۵
شکل ۳-۱۴: قاب بارگذاری کشش غیرمستقیم جهت تعیین مدول برجهندگی ۸۶
شکل ۳-۱۵: مقادیر مدول برجهندگی مخلوط معمولی در دمای $5^{\circ}C$ با شکلموج نیم سینوسی و مربعی ۹۲
شکل ۳-۱۶: مقادیر مدول برجهندگی مخلوط معمولی در دمای $25^{\circ}C$ با شکلموج نیم سینوسی و مربعی ۹۲
شکل ۳-۱۷: مقادیر مدول برجهندگی مخلوط معمولی در دمای $40^{\circ}C$ با شکلموج نیم سینوسی و مربعی ۹۳
شکل ۳-۱۸: مقادیر مدول برجهندگی مخلوط پلیمری در دمای $25^{\circ}C$ با شکلموج نیم سینوسی و مربعی ۹۳
شکل ۳-۱۹: مقادیر مدول برجهندگی مخلوط پلیمری در دمای $40^{\circ}C$ با شکلموج نیم سینوسی و مربعی ۹۴

شکل ۴-۱: نمودار احتمال نرمال باقیمانده ها برای مدل نمایی- لگاریتمی با شکل موج نیم سینوسی و دمای ۲۵ درجه سانتی گراد روی مخلوط اصلاح نشده ۱۰۳
شکل ۴-۲: کانتور اثر متقابل دما (°C) و زمان بارگذاری (m.sec) در نسبت زمان استراحت به بارگذاری برابر ۹ با شکل پالس نیم سینوسی ۱۰۸
شکل ۴-۳: کانتور اثر متقابل دما (°C) و نسبت زمان استراحت به بارگذاری در زمان بارگذاری ۱۰۰ میلی ثانیه با شکل پالس نیم سینوسی ۱۰۹
شکل ۴-۴: کانتور اثر متقابل زمان بارگذاری و نسبت زمان استراحت به بارگذاری در دمای ۲۵°C با شکل پالس نیم سینوسی ۱۰۹
شکل ۴-۵: نمودار پاراتو متغیرهای مدل با شکل پالس نیم سینوسی ۱۱۰
شکل ۴-۶: کانتور اثر متقابل دما (°C) و زمان بارگذاری (m.sec) در نسبت زمان استراحت به بارگذاری برابر ۹ با شکل پالس مربعی ۱۱۱
شکل ۴-۷: کانتور اثر متقابل دما (°C) و نسبت زمان استراحت به بارگذاری در زمان بارگذاری ۱۰۰ میلی ثانیه با شکل پالس مربعی ۱۱۱
شکل ۴-۸: کانتور اثر متقابل زمان بارگذاری و نسبت زمان استراحت به بارگذاری در دمای ۲۵°C با شکل پالس مربعی ۱۱۲
شکل ۴-۹: نمودار پاراتو متغیرهای مدل با شکل پالس مربعی ۱۱۲
شکل ۴-۱۰: نمودار مقادیر نرمال باقیمانده ها برای شکل پالس نیم سینوسی ۱۱۴
شکل ۴-۱۱: نمودار مقادیر نرمال باقیمانده ها برای شکل پالس مربعی ۱۱۵
شکل ۴-۱۲: مقایسه مقادیر مدول برجهندگی نسبت به مدول در دمای ۲۵°C برای مخلوط های اصلاح نشده و با شکل پالس نیم سینوسی ۱۱۷
شکل ۴-۱۳: مقایسه مقادیر مدول برجهندگی نسبت به مدول در دمای ۲۵°C برای مخلوط های اصلاح نشده و با شکل پالس مربعی ۱۱۸

شکل ۴-۱۴: مقایسه مقادیر مدول برجهندگی نسبت به مدول در دمای ۲۵°C برای مخلوط های اصلاح شده و با نسبت زمان استراحت به بارگذاری برابر ۹ ..... ۱۱۹
شکل ۴-۱۵: مقایسه مقادیر مدول برجهندگی نسبت به مدول در زمان بارگذاری ۱۰۰ میلی ثانیه برای مخلوط اصلاح نشده و با شکل پالس نیم سینوسی ۱۲۰
شکل ۴-۱۶: مقایسه مقادیر مدول برجهندگی نسبت به مدول در زمان بارگذاری ۱۰۰ میلی ثانیه برای مخلوط اصلاح نشده و با شکل پالس مربعی ۱۲۱
شکل ۴-۱۷: مقایسه مقادیر مدول برجهندگی نسبت به مدول در زمان بارگذاری ۱۰۰ میلی ثانیه برای مخلوط اصلاح شده ۱۲۱
شکل ۴-۱۸: مقایسه مقادیر مدول برجهندگی نسبت به مدول در نسبت استراحت به بارگذاری برابر ۳۰ برای مخلوط اصلاح نشده و با شکل پالس نیم سینوسی ۱۲۲
شکل ۴-۱۹: مقایسه مقادیر مدول برجهندگی نسبت به مدول در نسبت استراحت به بارگذاری برابر ۳۰ برای مخلوط اصلاح نشده و با شکل پالس مربعی ۱۲۳
شکل ۴-۲۰: مقایسه مقادیر مدول برجهندگی نسبت به مدول در نسبت استراحت به بارگذاری برابر ۳۰ برای مخلوط اصلاح شده و در دمای ۴۰°C ۱۲۴
شکل ۴-۲۱: مقایسه مقادیر مدول برجهندگی نسبت به مدول با شکل پالس نیم سینوسی برای مخلوط اصلاح نشده ۱۲۵
شکل ۴-۲۲: مقایسه مقادیر مدول برجهندگی نسبت به مدول با شکل پالس نیم سینوسی برای مخلوط اصلاح شده ۱۲۵
شکل ۴-۲۳: مقایسه مقادیر مدول برجهندگی نسبت به مدول مخلوط اصلاح نشده برای شکل پالس نیم سینوسی ۱۲۶
شکل ۴-۲۴: مقایسه مقادیر مدول برجهندگی نسبت به مدول مخلوط اصلاح نشده برای شکل پالس مربعی ۱۲۷

فصل اول

کلیات

فصل ۱– کلیات

۱–۱– مقدمه

توسعه‌ی روش‌های مکانستیک- تجربی برای تحلیل و طراحی ساختاری روسازی از اوایل دهه ۱۹۶۰ دنبال می‌شود. آخرین و مهم‌ترین کوشش در این زمینه توسعه راهنمای طراحی روسازی مکانستیک- تجربی (MEPDG[1]) است. فرض کلیدی این روش طراحی آن است که پاسخ‌های ساختاری روسازی ناشی از بارهای اعمال‌شده (تنش، کرنش و تغییر شکل) با تحلیل مکانستیک- تجربی تعیین می‌شوند. بر اساس روش‌های طراحی مکانستیک-تجربی رایج، تحلیل الاستیک چند لایه، رویکرد ابتدایی برای تعریف پاسخ روسازی به بارگذاری ترافیک و تغییرات محیطی است. در چارچوب تحلیل الاستیک چند لایه، دو ویژگی بارز مورد نیاز، مدول الاستیک و نسبت پواسون هستند. هرچند هر دو ویژگی مصالح مهم هستند تجارب پیشین و مطالعات موجود نشان داده‌اند که مدول الاستیک اثر قابل ملاحظه‌تری روی تحلیل مکانستیک- تجربی و پیش‌بینی خرابی‌ها دارد. در راهنمای طراحی مکانستیک- تجربی، مدول دینامیک معرف مدول الاستیک مصالح آسفالتی است. با فرض ویسکوالاستیک بودن مصالح، مدول ارتجاعی مخلوط‌های آسفالتی وابسته به دما و زمان بارگذاری است. بنابراین هر دو پارامتر به منظور انتخاب مدول ارتجاعی مناسب مصالح باید مشخص باشند. در راهنمای طراحی، دمای روسازی به خوبی با مدل اقلیمی یکپارچه توسعه یافته (EICM[2]) مدل شده است. بنابراین تمامی بحث‌ها روی مدول مخلوط آسفالتی مرتبط با زمان بارگذاری است. چگونگی انتخاب زمان بارگذاری (یا فرکانس بارگذاری) منطقی برای ساختار روسازی مشخص هنوز به خوبی تأیید نشده است. علاوه بر این، دو وجه مهم دیگر که عبارتند از دوره‌ی استراحت[3] و شکل موج بارگذاری[4] نیز باید مورد مطالعه قرار گیرند. همان طور که پیش‌تر بیان

[1] Mechanistic-Empricial Pavement Design Guide

[2] Enhanced Integrated Climate Model

[3] Rest Period

[4] Loading Waveform

شد، پاسخ مصالح آسفالتی وابسته به زمان است و در نتیجه تحت تأثیر دوره‌های استراحت بین بارهای ترافیکی قرار می‌گیرد. استاندارد آزمایش مدول دینامیک شامل دوره استراحت بین زمان‌های بارگذاری نیست.

این استاندارد بدون در نظر گرفتن دوره استراحت، مدول مناسب و پیش‌بینی عملکرد دقیقی از مصالح به دست نمی‌دهد. در آزمایش رایج مدول دینامیک، شکل موج نیم‌سینوسی استفاده می‌شود، ولی بارگذاری نیم‌سینوسی همیشه نمی‌تواند بهترین گزینه برای نشان دادن توزیع تنش عمودی در اعماق مختلف روسازی باشد. به عنوان مثال، استفاده از شکل موج مربعی نیز برای تعیین مدول مصالح آسفالتی ارائه شده است.

مدول برجهندگی پارامتر مهمی است که در طراحی روسازی مکانستیک استفاده می‌شود. همچنین این ویژگی به عنوان ورودی نظریه الاستیک چندلایه یا مدل‌های اجزای محدود برای مقایسه پاسخ روسازی تحت بارگذاری ترافیک استفاده می‌شود. این پاسخ‌ها می‌توانند از طریق توابع انتقال برای محاسبه ضخامت بهینه روسازی‌های جدید یا تخمین عمر باقیمانده روسازی‌های موجود استفاده شوند. به دلیل سادگی و سهولت کاربرد نمونه‌های متراکم آزمایشگاهی یا مغزه‌های میدانی، آزمایش کشش غیر مستقیم رایج‌ترین آزمایش بار تکراری برای تعیین مدول برجهندگی مخلوط‌های آسفالتی است که با اعمال بارگذاری تکراری قطری به نمونه استوانه‌ای انجام می‌شود. عوامل زیادی روی مدول برجهندگی مخلوط آسفالتی تحت آزمایش کشش غیر مستقیم تأثیرگذارند. پارامترهای هندسی نمونه‌ی آزمایش، دما، مدت زمان پالس بارگذاری و شکل موج آن، دوره استراحت بین زمان‌های بارگذاری و سطح تنش اعمالی به نمونه از جمله این عوامل هستند. در این تحقیق به مطالعه‌ی اثرات این فاکتورها و برهم‌کنش آن‌ها روی مدول برجهندگی مخلوط‌های آسفالتی پرداخته می‌شود.

۱-۲- تعریف مسئله

یکی از پارامترهای مهم در طرح روسازی‌های انعطاف‌پذیر مدول ارتجاعی مصالح آسفالتی است. از

آنجایی که مصالح آسفالتی رفتار ویسکو الاستیک دارند، مدول برجهندگی آن‌ها وابسته به دما و زمان بارگذاری است. بارهای اعمالی به روسازی بنابر سرعت‌های وسایل نقلیه متفاوت است. علاوه بر این، وجود دوره‌های استراحت متفاوت بین بارهای ترافیکی اعمالی، امری انکار نشدنی است. همچنین بسته به نوع (فاصله‌ی محورها) و تعداد وسایل عبوری از محور و چگالی ترافیک‌های مختلف، دوره‌های استراحت مختلفی بین بارگذاری‌ها رخ می‌دهد. با توجه به مطالعات صورت گرفته شکل پالس بارگذاری نیز با تغییر عمق روسازی تغییر می‌کند.

با این وجود، استانداردهای آزمایش موجود جهت تعیین مدول برجهندگی مخلوط‌های آسفالتی تنها از شکل پالس نیم‌سینوسی و یک زمان بارگذاری و دوره استراحت مشخص استفاده می‌کنند.

برخی از مطالعات صورت گرفته، اثر نسبت‌های دوره استراحت به بارگذاری بیش از مقدار معمول ۹ را روی مدول برجهندگی ناچیز می‌دانند که به صورت یک فرض در این پایان‌نامه مورد بررسی قرار می‌گیرد.

۱-۳- ضرورت تحقیق

با توجه به مشکلات بیان شده در بخش قبل و اهمیت تعیین مدول برجهندگی برای طراحی روسازی-های مقرون به صرفه و با کارایی مناسب، لزوم بررسی تأثیر مشخصات بارگذاری روی مدول برجهندگی مشخص می‌شود. همچنین در روابط موجود برای پیش‌بینی مدول مخلوط‌های آسفالتی، پارامترهای زمان بارگذاری و نسبت زمان استراحت به زمان بارگذاری به طور مشخص دیده نمی‌شوند. از این رو، در این تحقیق روابط پیش‌بینی مدول برجهندگی به کمک پارامترهای بارگذاری و دما و نیز رابطه‌ی بین مقادیر مدول برجهندگی با دو شکل پالس نیم‌سینوسی و مربعی ارائه شده است. به کمک این روابط می‌توان از هزینه‌های انجام آزمایش‌های بیشتر در شرایط مختلف بارگذاری و دمایی کاست. از سویی با اثبات درستی فرض عدم تأثیر قابل ملاحظه‌ی نسبت‌های دوره استراحت به زمان بارگذاری بالا روی مقدار مدول برجهندگی می‌توان زمان انجام آزمایش‌ها را کاهش داد. این کاهش زمان به خصوص در مورد کارهای تحلیلی و عددی که به زمان پردازش داده بیشتری نیاز دارند، بارزتر است.

۱–۴– اهداف تحقیق

در این تحقیق قصد داریم تا به بررسی اثر چندین عامل روی مدول برجهندگی مخلوط آسفالتی تحت آزمایش تعیین مدول برجهندگی با روش کشش غیر مستقیم بپردازیم. اهداف مشخص این تحقیق به صورت زیر خلاصه می‌شوند:

۱- تعیین گستره اثر دمای آزمایش روی مدول برجهندگی مصالح آسفالتی

۲- تعیین گستره اثر زمان بارگذاری روی مدول برجهندگی مخلوط‌های آسفالتی

۳- تعیین گستره اثر دوره استراحت بین زمان‌های بارگذاری روی مقدار مدول برجهندگی نمونه‌های آسفالتی

۴- تعیین گستره اثر شکل پالس بارگذاری (نیم‌سینوسی یا مربعی) بر بزرگی مدول برجهندگی نمونه-های آسفالتی

۵- مقایسه اثر عوامل یادشده روی نمونه‌های آسفالتی اصلاح نشده و مخلوط‌های آسفالتی اصلاحی با پلیمر SBS

۶- بررسی برهم‌کنش بین فاکتورهای مورد بحث و تعیین اهمیت اثر آن‌ها روی مدول برجهندگی.

۱–۵– محدودیت های تحقیق

برای حذف تأثیر مشخصات سنگدانه روی مدول برجهندگی در ساخت نمونه‌های بتن آسفالتی تنها از یک نوع دانه‌بندی استفاده شده است که می‌تواند به عنوان یکی از محدودیت‌های مطالعه در نظر گرفته شود.

به دلیل ضعف دستگاه آزمایش مدول برجهندگی امکان انجام آزمایش با زمان بارگذاری کمتر از ۵۰ میلی ثانیه و مدت سیکل کمتر از ۵۰۰ میلی ثانیه و بیش از ۱۰۰۰۰ میلی‌ثانیه وجود نداشت.

از آنجایی که هزینه انجام آزمایش‌ها بالا بود، آزمایش‌ها تنها در سه زمان بارگذاری و سه دوره استراحت و برای مخلوط‌های اصلاح شده با یک نوع افزودنی (SBS) انجام گرفت.

۱–۶– ساختار پایان نامه

این تحقیق تلاش دارد تغییرات حاصل در نتایج مدول برجهندگی ناشی از پارامترهای مختلف بارگذاری را بررسی کند. این پارامترها دمای محیط، زمان پالس بارگذاری، نسبت دوره استراحت به زمان بارگذاری و شکل پالس بارگذاری هستند. برای این منظور مطالعه‌ی پیش رو در پنج فصل ساماندهی شده است. فصل اول، شامل مقدمه‌ای بر موضوع بحث، ضرورت و اهداف تحقیق، محدودیت‌های تحقیق و ساختار کلی پایان‌نامه می‌باشد. فصل دوم، مروری بر پژوهش‌های صورت گرفته در مورد مدول برجهندگی و پارامترهای مؤثر بر مقدار آن ارائه می‌دهد. در فصل سوم رویکرد تحقیق بیان شده و جزئیاتی در مورد ساخت نمونه‌های بتن آسفالتی و آزمایش‌های صورت گرفته شرح داده شده است و نتایج به دست آمده از کار آزمایشگاهی ارائه شده‌اند. تفسیر و تحلیل نتایج آزمایش در فصل چهارم مورد بحث قرار گرفته‌اند. در نهایت، نتایج و پیشنهاداتی برای مطالعات آتی در فصل پنجم گزارش شده‌اند.