

بررسی تأثیر دما، درصد قیر و میزان تراکم بر مدول برجهندگی آسفالت

سید محمد هاشمی*^۱ و منوچهر لطیفی نمین^۲

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی عمران، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران

^۲ دانشیار دانشکده مهندسی عمران، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران

(تاریخ دریافت: ۱۳۸۶/۱۰/۳۰، تاریخ دریافت اصلاح شده: ۱۳۹۰/۱۱/۱۵، تاریخ تصویب: ۱۳۹۰/۱۱/۲۳)

چکیده

در این تحقیق اثر پارامترهای دما، درصد قیر و میزان تراکم بر روی مدول برجهندگی^۱ آسفالت بررسی شده است. نمونه‌های آسفالتی با روش تراکم ژیراتوری^۲ متراکم شده‌اند. برای تعیین مدول برجهندگی نمونه‌ها، از آزمایش کشش غیر مستقیم^۳ استفاده شده است و نمونه‌های ساخته شده با تراکم‌ها و درصد قیرهای مختلف در دماهای مورد نظر تحت آزمایش کشش غیر مستقیم قرار گرفته‌اند. برای افزایش دقت در هر حالت دو نمونه آزمایش شده و نتایج به دست آمده مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته‌اند. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد، مدول برجهندگی آسفالت، با افزایش دما و درصد قیر کاهش یافته و با افزایش تراکم افزایش می‌یابد. نحوه تغییرات مدول برجهندگی بر حسب دما، در صد قیر و تعداد دوران به کمک رابطه‌ای که از نتایج این تحقیق به دست آمده تقریب زده شده است. مقایسه پیش بینی‌های این رابطه با نتایج آزمایشگاهی نشان می‌دهد رابطه ارائه شده از دقت قابل قبولی برخوردار است.

واژه‌های کلیدی: مدول برجهندگی، آزمایش کشش غیر مستقیم، تراکم ژیراتوری.

مقدمه

(نشریه شماره ۲۳۴) نیز برای طراحی روسازی‌های آسفالتی از روش آشتو استفاده شده است [۱]. بنابراین مشخص است که بررسی و شناخت عوامل مؤثر بر مدول برجهندگی به عنوان مهم‌ترین پارامتر مؤثر در طراحی رویه‌های آسفالتی راه‌های کشور از اهمیت بالایی برخوردار است.

مدول برجهندگی نه تنها به عنوان یکی از پارامترهای اصلی مورد استفاده در طراحی رویه‌های آسفالتی، بلکه به عنوان شاخص مکانیکی لایه‌های اساس، زیر اساس و خاک بستر در روش‌های جدید طراحی روسازی‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد [۲]. لذا ارائه روابط جهت پیش بینی این پارامتر کلیدی برای لایه‌های مختلف روسازی همچنان در تحقیقات جاری مورد توجه می‌باشد. برای لایه‌های سنگی نیز مقدار مدول برجهندگی به خصوصیات پایه مصالح ربط داده شده است [۲].

عوامل مختلفی بر روی مدول برجهندگی مخلوط‌های آسفالتی اثرگذارند. اندازه اسمی بزرگ‌ترین دانه‌های سنگی، ضخامت و قطر نمونه، شکل و مدت بارگذاری از جمله این عوامل هستند [۳]. تحقیقات انجام شده نشان داده است اهمیت

در طراحی کلی لایه‌های روسازی، لایه بتن آسفالتی مهم‌ترین نقش را ایفا می‌کند. از آنجا که لایه آسفالتی در بالاترین سطح روسازی و در تماس مستقیم با عوامل محیطی و بار چرخ‌ها قرار می‌گیرد، لذا بیشترین تخریب و بیشترین حد تنش‌ها در روسازی‌ها به این لایه وارد می‌شود. لذا تحقیق و شناسایی خواص بتن آسفالتی، از جمله مدول برجهندگی، از مهم‌ترین عوامل جهت طراحی بهینه می‌باشد.

از سویی گران قیمت‌ترین و مهم‌ترین بخش یک روسازی را قسمت بتن آسفالتی (HMA)^۴ تشکیل می‌دهد، لذا توجه به طراحی و تعیین ضخامت بهینه برای این لایه از اهمیت بالایی برخوردار است. در حال حاضر مهم‌ترین پارامتری که در طراحی لایه بتن آسفالتی مورد استفاده قرار می‌گیرد و اثر مستقیم روی مقدار ضخامت آن دارد مدول برجهندگی است که به اختصار Mr نامیده می‌شود.

در روش آشتو^۵ نیز مدول برجهندگی به عنوان تنها پارامتر معرف کلیه خواص مکانیکی آسفالت مورد استفاده قرار می‌گیرد و همانطور که می‌دانیم در آیین‌نامه طراحی روسازی‌های آسفالتی ایران

آزمایشگاه صورت پذیرد. تفاوت‌هایی میان نمونه‌های کرگیری شده و نمونه‌های ساخته شده در آزمایشگاه وجود دارد چرا که روش ساخت و تراکم نمونه‌ها در آزمایشگاه با آنچه در کارگاه روی می‌دهد متفاوت است اما بین روش‌های تراکم آزمایشگاهی، بهترین روشی که بیشترین شباهت را به تراکم کارگاهی دارد، تراکم ژیراتوری است [۷]. از این رو در این تحقیق نیز روش تراکم ژیراتوری برای ساخت نمونه‌ها انتخاب شده است.

نحوه ارائه نتایج

برای افزایش دقت، در هر یک از حالت‌های مورد بررسی، آزمایش‌ها روی دو نمونه مشابه انجام شده‌اند و میانگین نتیجه به دست آمده از آزمایش روی دو نمونه به عنوان جواب نهایی گزارش شده است. اما در دو مورد زیر از گزارش میانگین نتایج به عنوان نتیجه نهایی خودداری شده است:

۱- در مواردی که بین نتیجه دو نمونه مشابه که در یک حالت مورد آزمایش قرار گرفته‌اند تفاوت زیادی مشاهده شده است، مجدداً نمونه‌های مشابه تهیه شده و مورد آزمایش قرار گرفته‌اند. در این حالت در صورت تشابه بین نتایج آزمایش‌های اولیه و ثانویه، میانگین چهار عدد به دست آمده به عنوان نتیجه نهایی گزارش شده است. اما اگر در آزمایش ثانویه دو عدد به دست آمده به هم نزدیک بوده و تفاوت چندانی میان آنها وجود نداشته است، نتیجه آزمایش ثانویه به عنوان نتیجه نهایی گزارش شده است.

۲- در مواردی که نتیجه آزمایش‌ها چیزی بر خلاف انتظار بوده و با روند آزمایش‌های قبلی شباهت نداشته، مجدداً نمونه‌های بتن آسفالتی مشابه تهیه شده و آزمایش با شرایط مشابه روی آنها انجام شده است. در این صورت اگر نتیجه به دست آمده همان یافته قبلی را تأیید کرده، همان نتایج اولیه به عنوان نتیجه نهایی گزارش شده‌اند. اما در غیر این صورت اگر نتیجه آزمایش دوم با روند آزمایش‌های قبلی و شکل کلی نمودارهای ترسیمی تطابق داشته نتیجه آزمایش دوم به عنوان نتیجه نهایی گزارش شده است. در ادامه به ارائه نتایج و نمودارهای به دست آمده از آزمایش‌ها می‌پردازیم.

اندازه دانه‌ها بیشتر از مدت زمان بارگذاری، اندازه و قطر نمونه‌ها می‌باشد [۳]. در تحقیق حاضر با ثابت نگهداشتن عوامل یاد شده، تأثیر دما، میزان تراکم و درصد قیر بر روی این شاخص مکانیکی مهم مورد بررسی قرار گرفته است.

تحقیقات انجام شده نشان داده است اثر دما حتی در مناطقی نظیر آلاسکا که دارای دمای متوسط پایینی است بر روی مصالح آسفالتی قابل توجه می‌باشد. اثر این عامل در کنار عواملی نظیر دما، بارگذاری، فشار محدود کننده، درصد قیر و نوع سنگدانه‌ها مورد بررسی قرار گرفته است [۴].

دلیل استفاده از آزمایش کشش غیر مستقیم و روش تراکم ژیراتوری

تنش‌هایی که در لایه بتن آسفالتی ایجاد می‌شود به چهار دسته تقسیم می‌شوند:

- ۱- فشار همه جانبه در سطح رویه آسفالتی و زیر چرخ خودرو
- ۲- تنش کشش طولی و عرضی به همراه تنش عمودی فشاری در زیر لایه آسفالتی و در زیر چرخ
- ۳- تنش کششی طولی و عرضی روی سطح لایه آسفالتی و در فاصله‌ای از چرخ خودرو
- ۴- تنش کشش طولی و عرضی در زیر لایه آسفالتی و در فاصله‌ای از چرخ خودرو

محل اصلی ایجاد ترک‌هایی که در اثر تنش‌های ناشی از بار چرخ به وجود می‌آید در سطح زیرین لایه بتن آسفالتی و دقیقاً در زیر محلی است که چرخ خودرو قرار گرفته است. تنش‌هایی که در این نقطه وجود دارند عبارتند از: تنش کششی طولی و عرضی که با تنش فشاری عمودی به صورت مرکب عمل می‌کنند. در آزمایش کشش غیر مستقیم شرایط تنش ذکر شده در زیر لایه آسفالتی دقیقاً شبیه‌سازی می‌شود با این تفاوت که در این روش تنش‌های کششی فقط در یک جهت ایجاد می‌شوند. با توجه به توضیحات فوق بهترین آزمایشی که می‌تواند این حالت تنش را شبیه‌سازی کند، آزمایش کشش غیر مستقیم است [۵ و ۶].

آزمایش‌ها در آزمایشگاه می‌تواند بر روی نمونه‌های کرگیری شده یا نمونه‌های ساخته شده در

ارائه نتایج

در این تحقیق نمودارها در چند گروه دسته‌بندی شده‌اند و برای تشخیص اینکه هر گروه نشان دهنده کدام دسته از نمودارهاست، این گروه‌ها نامگذاری شده‌اند. به عنوان مثال گروه دوران ثابت به این معناست که در این گروه در هر نمودار، تمامی اعدادی که برای رسم نمودار استفاده شده‌اند، از آزمایش روی نمونه‌هایی به دست آمده‌اند که این نمونه‌ها همگی با تعداد دوران برابر ساخته شده‌اند.

نمودارهای با دوران ثابت

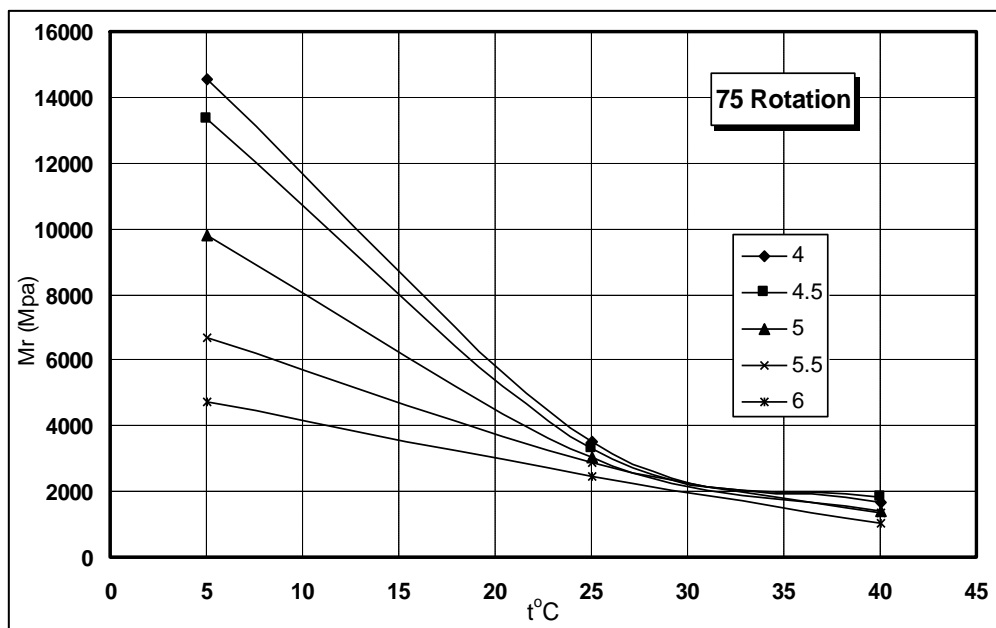
۱- با افزایش دما مقدار مدول برجهندگی به شدت کاهش پیدا می‌کند. این کاهش شکل یک منحنی را دارد که شکستگی آن در دمای ۲۵ درجه سانتیگراد است. به این معنا که وقتی دما به ۲۵ درجه سانتیگراد می‌رسد، آهنگ کاهش مدول برجهندگی با افزایش دما کاهش پیدا می‌کند. با میانگین‌گیری از نتایج آزمایش‌ها نتایج زیر به دست آمده است:

الف) مقدار کاهش مدول برجهندگی هنگامی که دما از ۵ درجه سانتیگراد به ۲۵ درجه سانتیگراد افزایش پیدا می‌کند برابر ۷۱ درصد و هنگامی که دما از ۵ درجه سانتیگراد به ۴۰ درجه سانتیگراد افزایش پیدا

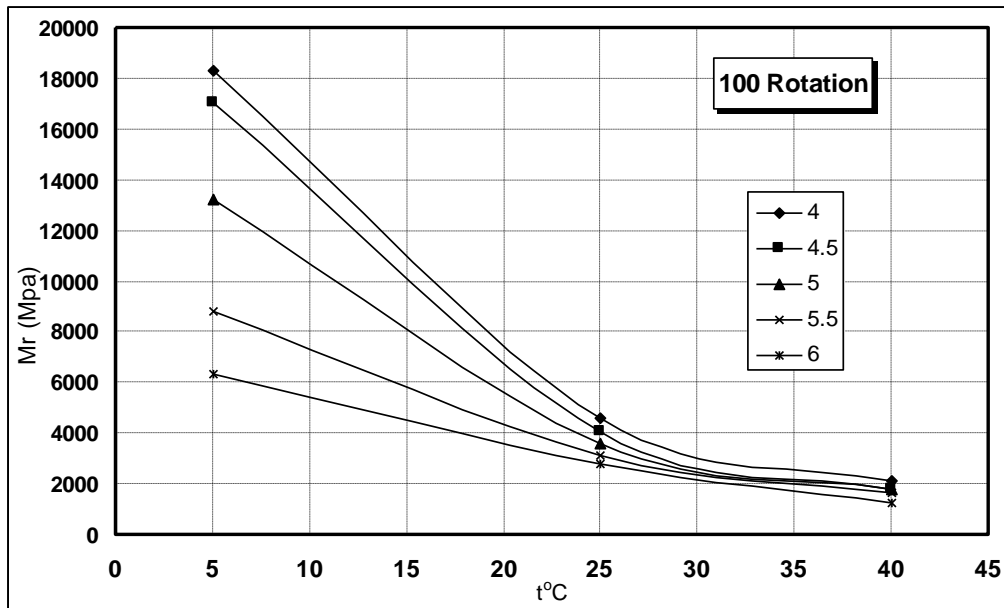
می‌کند برابر ۸۶ درصد است.

ب) مقدار کاهش مدول برجهندگی هنگامی که دما از ۲۵ درجه سانتیگراد به ۴۰ درجه سانتیگراد افزایش پیدا می‌کند برابر ۵۱ درصد است که این درصد نسبت به مقدار مدول برجهندگی در دمای ۲۵ درجه سانتیگراد است.

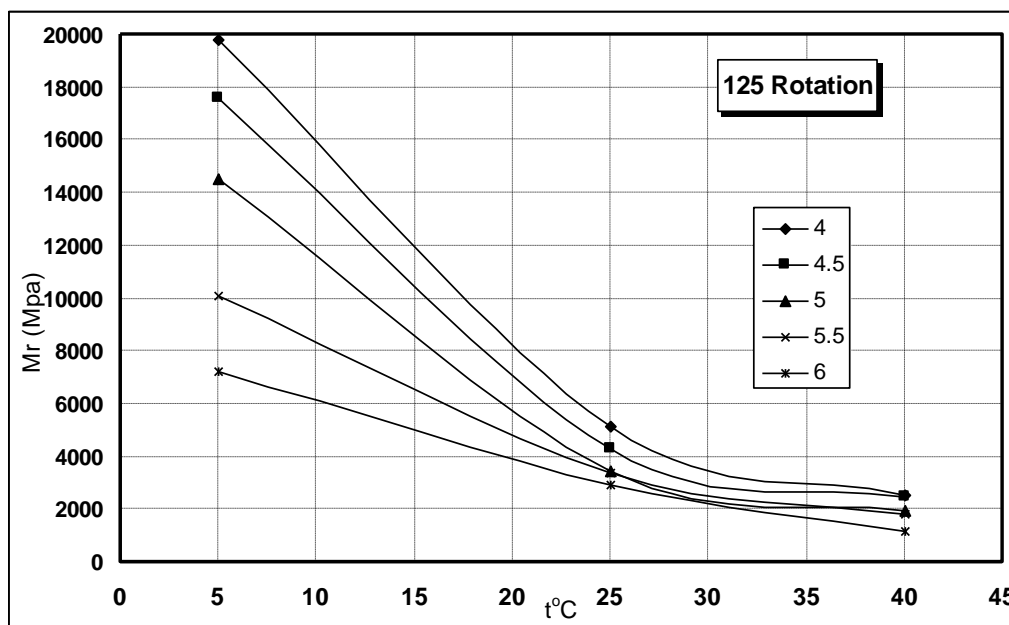
۲- با افزایش درصد قیر روند نزولی نمودار مدول برجهندگی در برابر دما از حالت منحنی به شکل خطی تغییر می‌کند. به این معنا که در شکل‌های ۱ تا ۳، نمودار رسم شده برای ۴ درصد قیر حالت منحنی دارد، اما این منحنی به تدریج با افزایش درصد قیر نرم‌تر می‌شود تا در ۶ درصد قیر تقریباً حالت خطی به خود می‌گیرد. زیرا همانطور که در شکل‌های ۱۰ تا ۱۲ نشان داده شده‌است، آهنگ کاهش مدول برجهندگی با افزایش درصد قیر در دمای ۵ درجه سانتیگراد بیشتر از دو دمای دیگر است. این موضوع باعث می‌شود تا شکل نمودارها که در ابتدا حالت منحنی دارند به تدریج تغییر کند تا آنجا که در منحنی رسم شده برای نمونه‌هایی که ۶ درصد قیر داشته‌اند، مدول برجهندگی به قدری کاهش می‌یابد که نمودار به جای حالت منحنی، شکل تقریباً خطی پیدا می‌کند.



شکل ۱: تغییرات مدول برجهندگی با دما - ۷۵ دوران



شکل ۲: تغییرات مدول برجهندگی با دما - ۱۰۰ دوران



شکل ۳: تغییرات مدول برجهندگی با دما - ۱۲۵ دوران

برجهندگی کاهش پیدا می‌کند. بر اساس نتایج حاصل از میانگین‌گیری داده‌های تمامی آزمایش‌ها، نتایج زیر به دست آمده است:

الف) مقدار مدول برجهندگی با افزایش تعداد دوران‌ها از ۷۵ دور به ۱۰۰ دور، برابر ۲۶ درصد و با افزایش تعداد دوران‌ها از ۷۵ دور به ۱۲۵ دور برابر ۳۷ درصد افزایش

نمودارهای با دمای ثابت

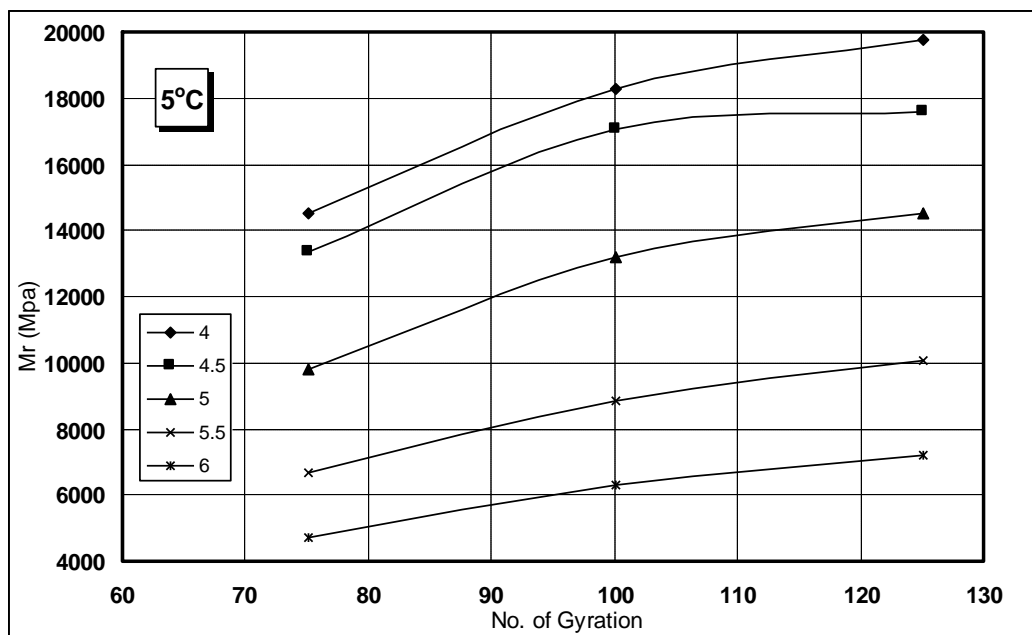
۱- همانطور که در شکل‌های ۴ تا ۶ مشخص است، با افزایش تعداد دوران‌های ژیراتوری یا به عبارت دیگر با افزایش تراکم نمونه‌های آسفالتی مقدار مدول برجهندگی نیز افزایش پیدا می‌کند. این افزایش به صورت خطی نیست و با افزایش تعداد دوران‌ها، آهنگ افزایش مدول

می‌یابد. روند یکسان است که این بر خلاف واقعیت است. به این جهت شکل‌های ۱۰ تا ۱۲ رسم شده‌اند که در این شکل‌ها همانطور که مشاهده می‌شود مقادیر به صورت نسبی هستند و بنابراین روند تغییرات نسبی مدول برجهندگی کاملاً واضح است. شکل‌های ۱۰ تا ۱۲ نشان می‌دهد مقدار تغییر مدول برجهندگی با تغییر درصد قیر در دمای ۵ درجه سانتیگراد بسیار بیشتر است از مقدار این تغییرات در دو دمای ۲۵ و ۴۰ درجه سانتیگراد. با توجه به اینکه این نمودار بر اساس مدول برجهندگی نسبی رسم شده‌است، لذا اگر چه روند افزایشی این نسبت با افزایش درصد قیر، در هر سه دمای ۵، ۲۵ و ۴۰ درجه سانتیگراد مشهود است، اما حتی در این حالت نیز شیب نمودار رسم شده برای ۵ درجه سانتیگراد بیش از دو دمای دیگر است. دلیل این موضوع تغییر سختی قیر در اثر تغییر دماست. از آنجا که در آزمایش‌ها مقدار بار همواره ثابت است، لذا نتایج به دست آمده به نوعی بیان کننده تغییر شکل‌های نمونه آسفالتی هستند و این تغییر شکل‌ها نیز از قابلیت شکل‌پذیری قیری که فاصله بین سنگدانه‌ها را پر کرده تأثیر می‌پذیرند. بنابراین می‌توان گفت هنگامی که دما به ۵ درجه سانتیگراد می‌رسد سختی قیر تا حد قابل ملاحظه‌ای افزایش پیدا کرده و در نتیجه از انعطاف‌پذیری آسفالت کاسته می‌شود.

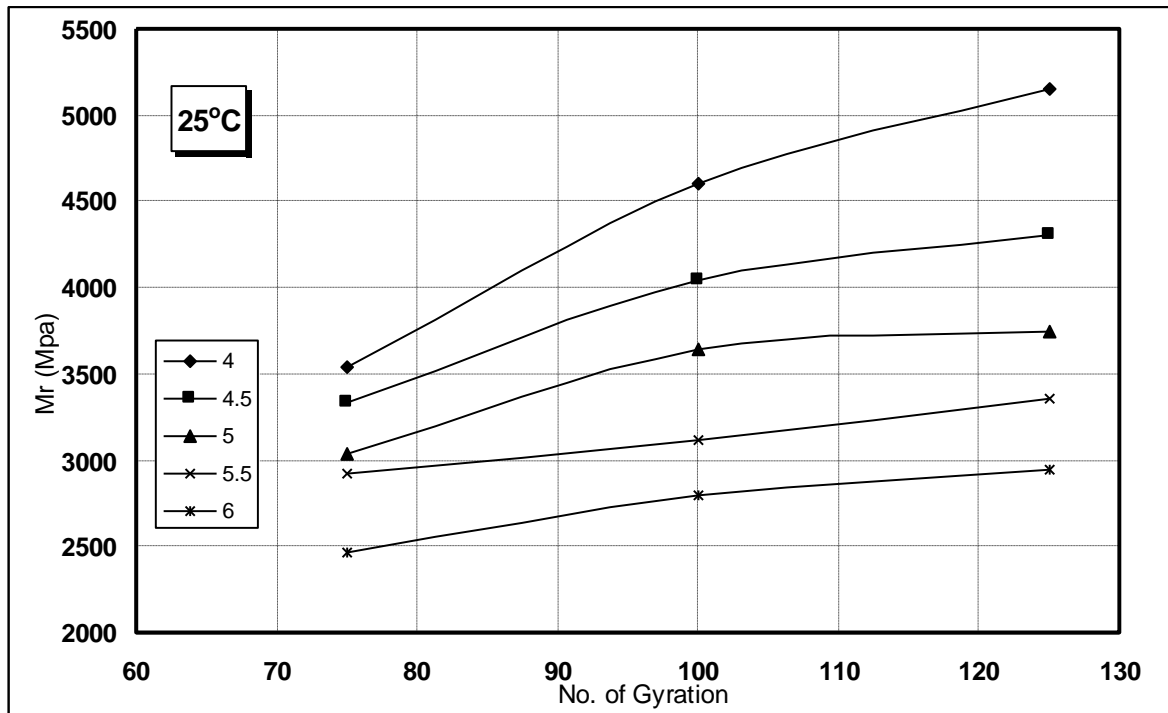
ب) مقدار افزایش مدول برجهندگی هنگامی که تعداد دوران‌ها از ۱۰۰ دور به ۱۲۵ دور افزایش می‌یابد برابر ۸ درصد است. تعداد دوران‌های ژیراتوری در واقع بیان کننده تعداد عبور غلتک از روی بتن آسفالتی است. بدیهی است هر چه تعداد دفعات عبور غلتک از روی لایه آسفالتی افزایش یابد، مقدار تراکم بتن آسفالتی نیز اضافه می‌شود. اما از جایی به بعد دیگر اضافه کردن تعداد دوران‌ها اثر چندانی روی تراکم نمونه نخواهد داشت که این موضوع نیز تأییدی بر شباهت روش تراکم ژیراتوری و روش تراکم غلتکی است. زیرا در تراکم غلتکی نیز پس از تعداد معینی عبور غلتک تراکم به میزان تقریباً ثابتی می‌رسد.

۲- همانطور که در شکل‌های ۷ تا ۹ مشخص است، با افزایش درصد قیر مقدار مدول برجهندگی کاهش پیدا می‌کند. این کاهش تقریباً حالت خطی دارد و این موضوع نشان می‌دهد که انعطاف‌پذیری رویه آسفالتی با افزایش درصد قیر به طور یکنواخت افزایش پیدا می‌کند. همچنین این نمودارها یافته‌های قبلی مبنی بر کاهش مدول برجهندگی با افزایش دما و افزایش مدول برجهندگی با افزایش تعداد دوران‌ها را تأیید می‌کنند.

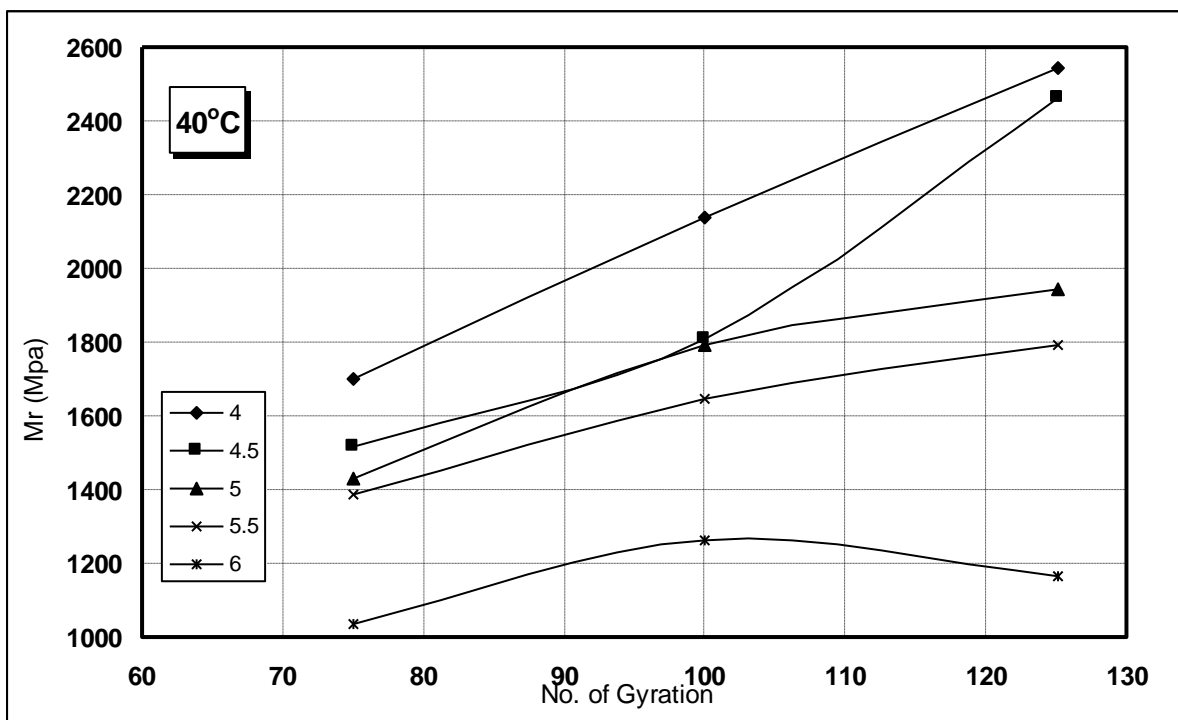
با توجه به شکل‌های ۷ تا ۹ امکان دارد این گونه تصور شود که روند کاهشی مقدار مدول برجهندگی با افزایش درصد قیر، در سه دمای ۵، ۲۵ و ۴۰ درجه سانتیگراد یک



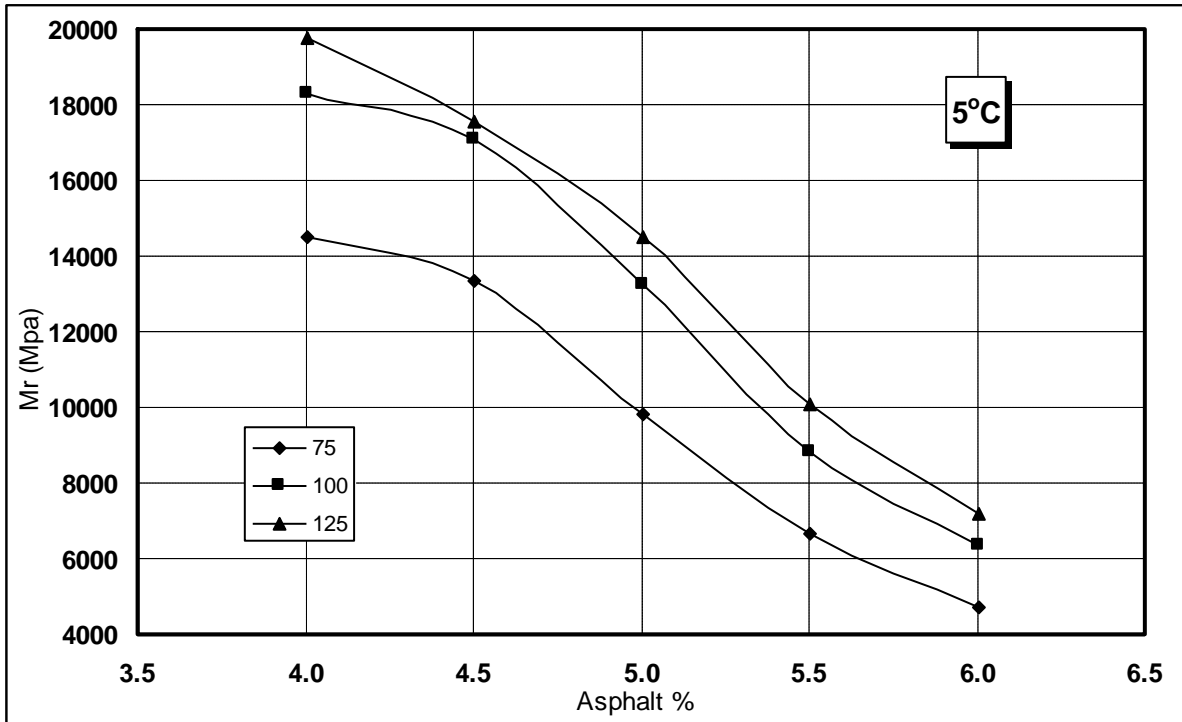
شکل ۴: تغییرات مدول برجهندگی با تعداد دوران - ۵ درجه سانتیگراد



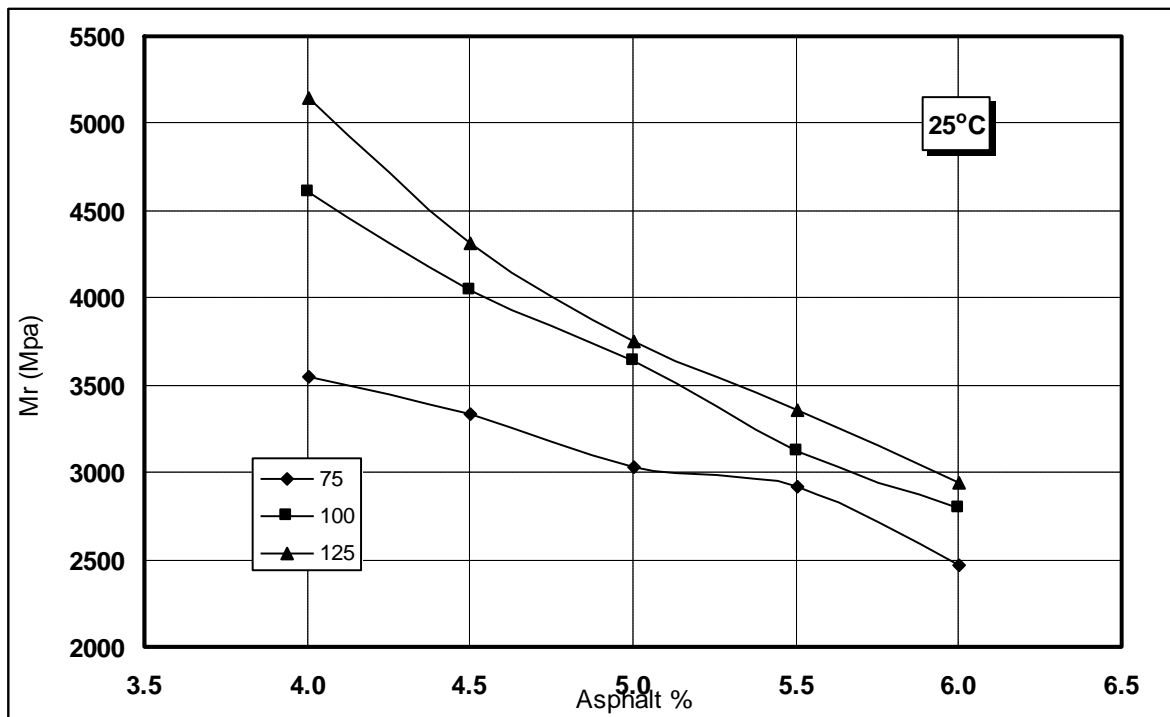
شکل ۵: تغییرات مدول برجهندگی با تعداد دوران - ۲۵ درجه سانتیگراد



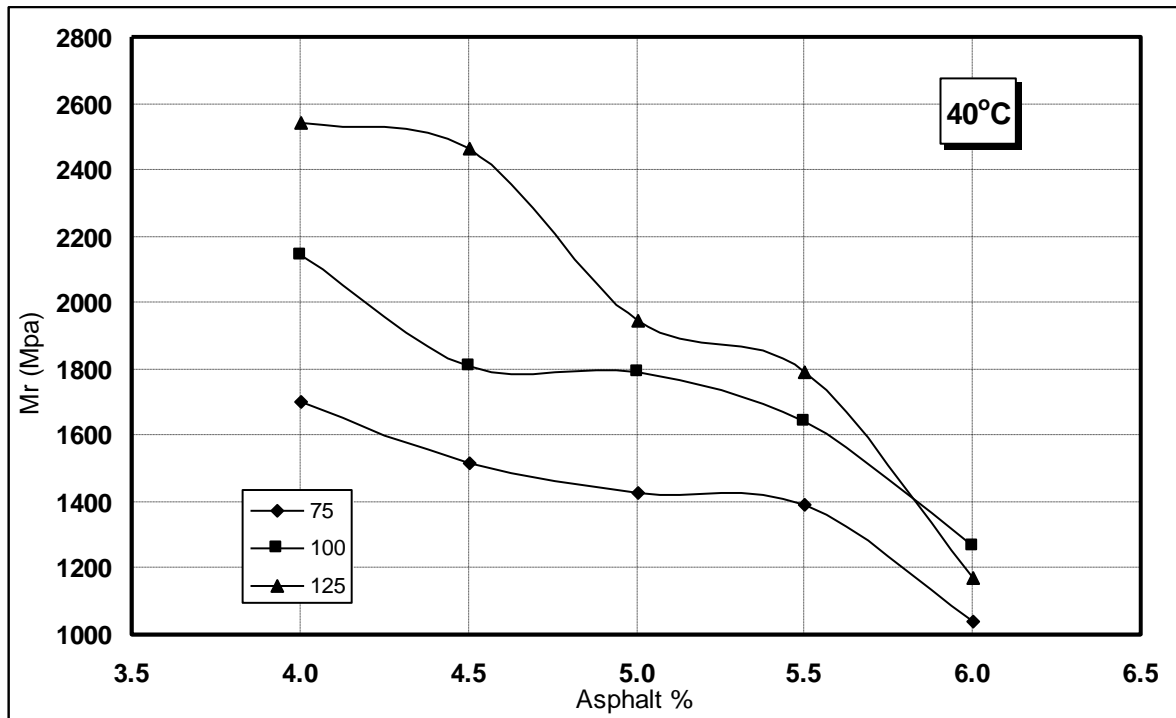
کل ۶: تغییرات مدول برجهندگی با تعداد دوران - ۴۰ درجه سانتیگراد



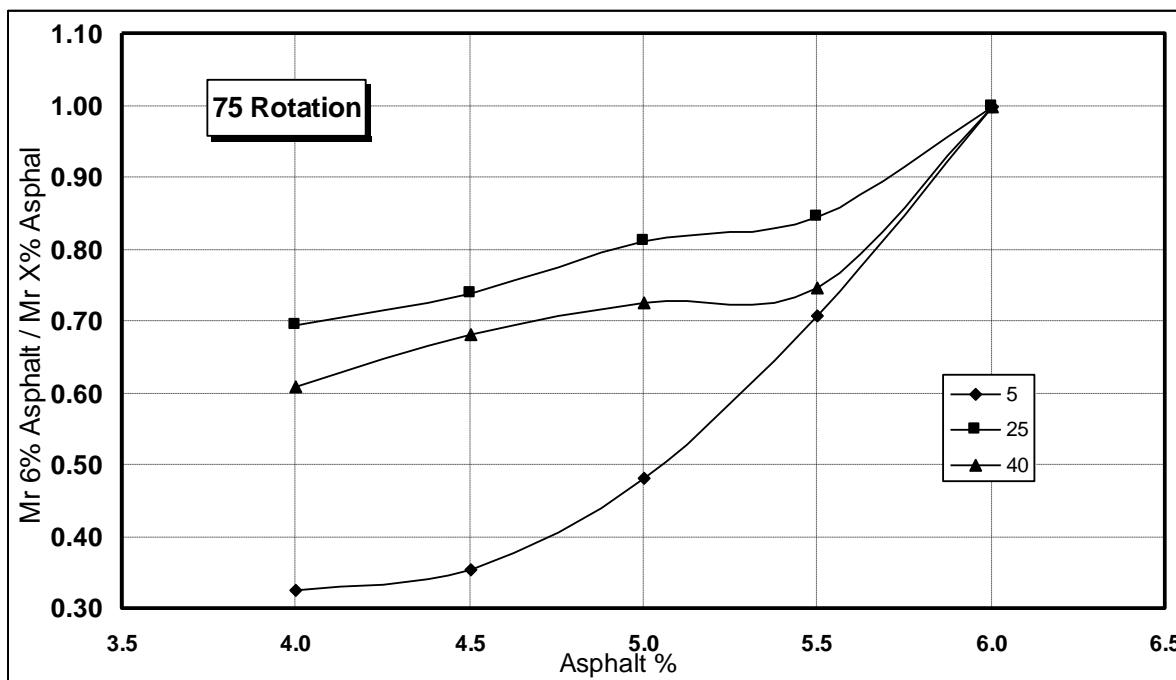
شکل ۷: تغییرات مدول برجهندگی با درصد قیر - ۵ درجه سانتیگراد



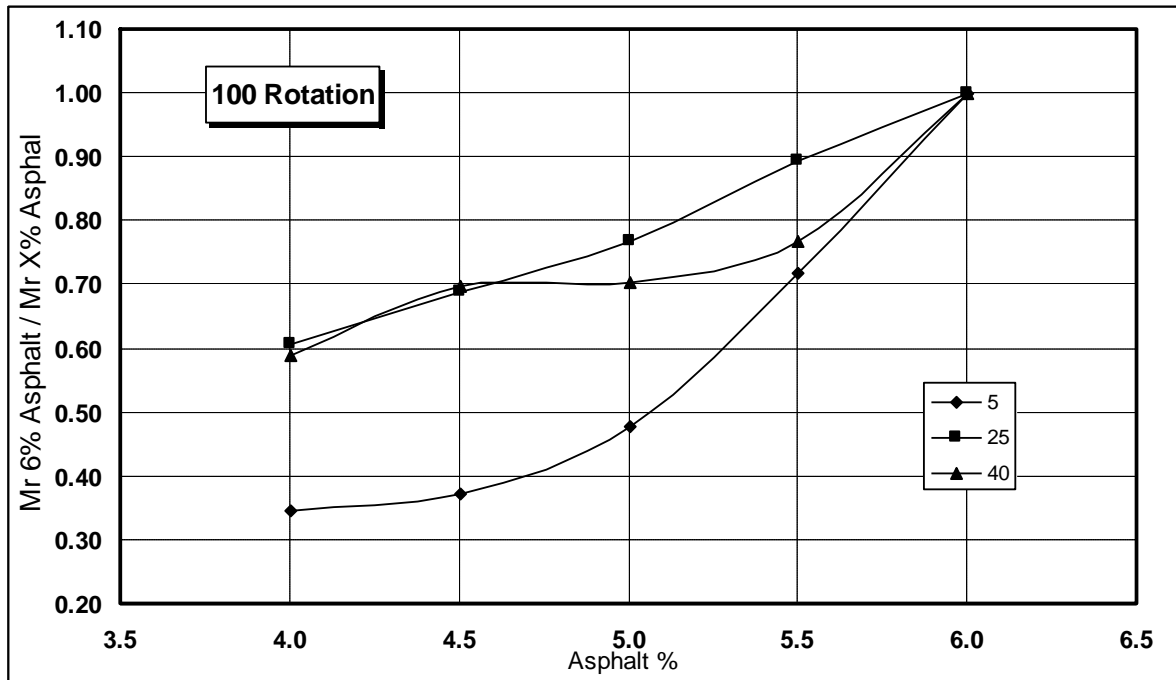
شکل ۸: تغییرات مدول برجهندگی با درصد قیر - ۲۵ درجه سانتیگراد



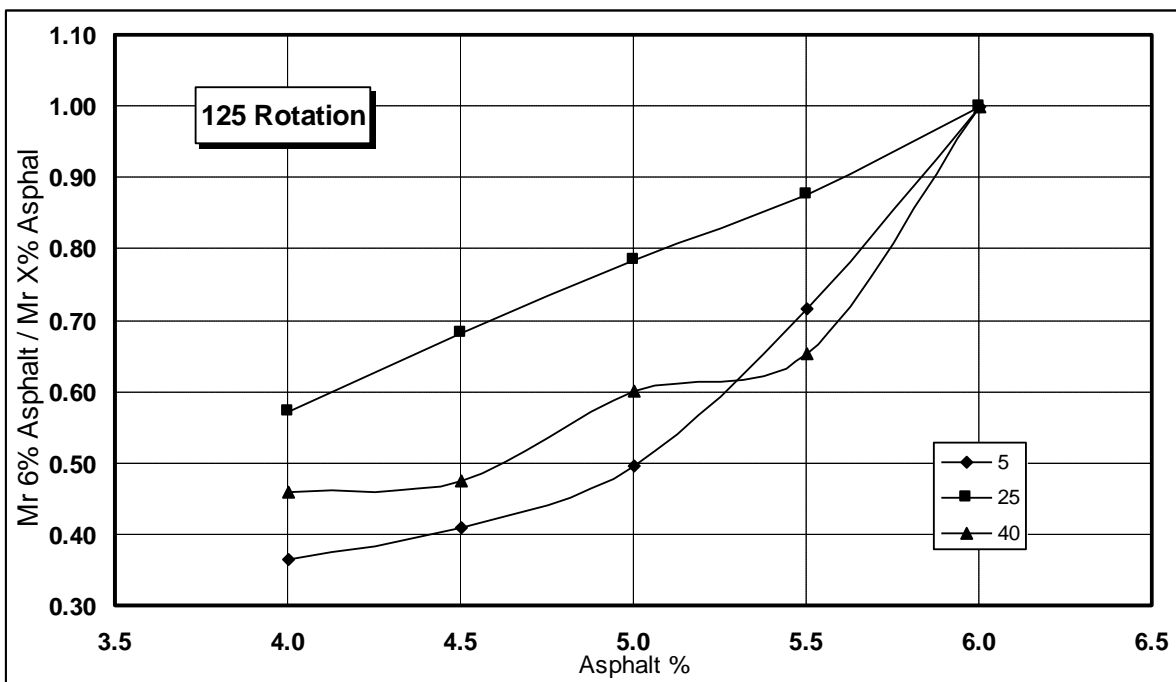
شکل ۹: تغییرات مدول برجهندگی با درصد قیر - ۴۰ درجه سانتیگراد



شکل ۱۰: تغییرات نسبت مدول برجهندگی با درصد قیر - ۷۵ دوران



شکل ۱۱: تغییرات نسبت مدول برجهندگی با درصد قیر - ۱۰۰ دوران



شکل ۱۲: تغییرات نسبت مدول برجهندگی با درصد قیر - ۱۲۵ دوران

تبیین ریاضی نحوه تغییرات مدول برجهندگی

شکل‌های ۱ تا ۳ نحوه تغییرات مدول برجهندگی را بر حسب تغییرات دما برای درصد‌های مختلف قیر و تراکم‌های متفاوت نشان می‌دهند. با توجه به کاهش نرخ تغییرات با افزایش دما از طرفی و تغییر شکل منحنی تغییرات بر حسب درصد قیر و تعداد دوران، با سعی و خطا رابطه زیر برای پیش‌بینی مدول برجهندگی به دست آمده است:

$$M_r = M_{r5} \left(\frac{5}{T} \right)^{3.6} \quad (1)$$

در این رابطه:

M_r مدول برجهندگی، M_{r5} مدول برجهندگی در دمای ۵ درجه سانتیگراد، T دما بر حسب درجه سانتیگراد و BC درصد قیر می‌باشد. نحوه تغییرات مدول برجهندگی به دست آمده بر اساس رابطه ۱ و مقایسه آن با نتایج آزمایشگاهی در شکل‌های ۱۳ تا ۱۵ برای دوران‌های ۷۵، ۱۰۰ و ۱۲۵ ارائه شده است.

توضیح آنکه هر چند بر اساس نتایج همین تحقیق که در شکل‌های ۴ تا ۶ ارائه شده، مدول برجهندگی تابع میزان دوران یا تراکم نمونه‌ها نیز هست، اما نحوه تغییرات از طرفی و استفاده از M_{r5} در رابطه از طرف دیگر باعث شده که بدون وارد کردن مستقیم اثر دوران رابطه ۱ با دقت قابل قبولی اثر دوران را نیز بطور غیر مستقیم لحاظ نماید. پیش‌بینی‌های ارائه شده در شکل‌های ۱۳ تا ۱۵ نیز آن را نشان می‌دهد.

جهت استفاده از رابطه ارائه شده، کافی است مدول برجهندگی مخلوط آسفالتی در دمای ۵ درجه سانتیگراد تعیین شود. با استفاده از رابطه بالا این مدول برای دماهای دیگر تعیین می‌شود.

نکته حائز اهمیت آن است که نحوه این تغییرات تابع عواملی نظیر نوع قیر، دانه‌بندی مصالح سنگی، نوع کانی‌های مصالح سنگی و .. می‌باشد. لذا دقت و میزان اطمینان به رابطه ارائه شده در حد نتایج محدودی است که در این تحقیق به دست آمده است.

نتایج

با توجه به تحقیق انجام شده، نتایج ذیل قابل ارائه می‌باشد:

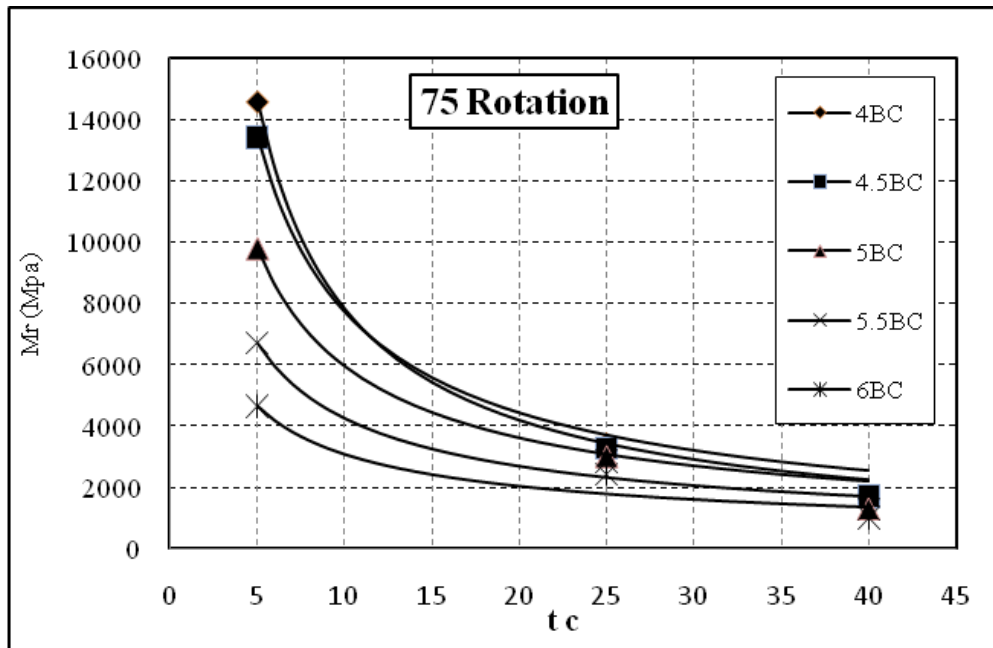
۱- همانطور که انتظار می‌رفت، اثر دما در تغییرات مدول برجهندگی بیشتر از درصد قیر و تعداد ژیراسیون یا میزان تراکم می‌باشد. این موضوع اهمیت توجه اولیه به دما در انتخاب نوع قیر، که توسط آیین‌نامه روسازی ایران و SHRP مطرح شده است را مورد تأکید مجدد قرار می‌دهد.

۲- تفاوت مدول برجهندگی مخلوط‌های آسفالتی در درصد‌های قیر متفاوت در دماهای پایین به مراتب بیشتر از آن در دماهای بالا است. لذا در دماهای بالا، اهمیت درصد قیر در مقدار مدول برجهندگی چندان نمی‌باشد.

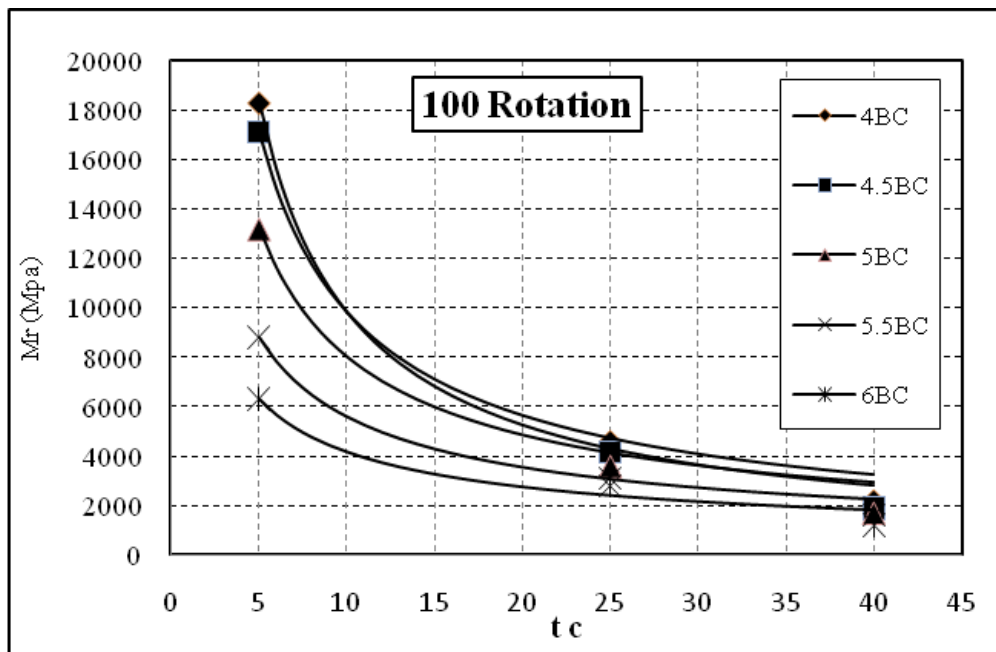
۳- با زیاد شدن تعداد دوران یا تراکم مخلوط آسفالتی، مدول برجهندگی افزایش می‌یابد ولی نرخ تغییرات در تراکم‌های بالا کاهش می‌یابد. این بدان معنا است که عملاً با افزایش تعداد دفعات عبور غلتک در سایت اجرایی تا جایی میزان مدول برجهندگی مخلوط زیاد می‌شود اما بعد از آن اثر چندان ندارد.

۴- با افزایش درصد قیر تغییرات M_r بر حسب دما از حالت منحنی به صورت خطی در می‌آید که معرف کاهش نرخ عمومی تغییرات مدول برجهندگی (به خصوص در دماهای پایین) است.

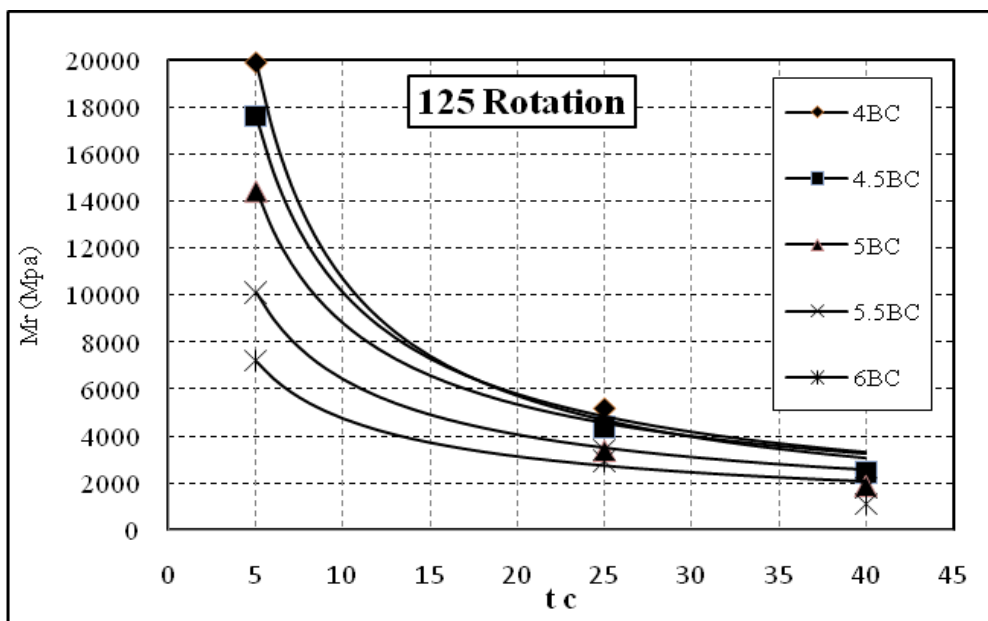
۵- تغییرات مدول برجهندگی بر حسب دما، درصد قیر و میزان تراکم با یک تابع ریاضی توانی قابل پیش‌بینی است. در رابطه ارائه شده در این تحقیق، اثر تراکم با وارد شدن مدول برجهندگی نظیر ۵ درجه سانتیگراد (M_{r5}) به طور غیر مستقیم در رابطه لحاظ شده است. دقت و میزان اطمینان به این رابطه در محدوده تحقیق انجام شده است و باید با انجام تحقیقات تکمیلی مورد بررسی بیشتری قرار گیرد.



شکل ۱۳: مقایسه پیش‌بینی مدل ریاضی با نتایج آزمایشگاهی - ۷۵ دوران



شکل ۱۴: مقایسه پیش‌بینی مدل ریاضی با نتایج آزمایشگاهی - ۱۰۰ دوران



شکل ۱۵: مقایسه پیش‌بینی مدل ریاضی با نتایج آزمایشگاهی - ۱۲۵ دوران

مراجع

1. "Iran Pavement Design Standard (Standard No. 234)." (2001). Publication of Management and Programming Organization.
2. Ping, W.V. , Ling , C.C. , Bqing, S. (2012). "Development of Resilient Modulus Estimation Models for Florida Pavement." Proc. TRB Annual Meeting.
3. Jahromi, S.G. , Khodaii, A. (2009). "Investigation of Variables Affecting Resilient Modulus in Asphalt Mixes." Proc. GeoHunan Int. Conf., P.P. 56-64.
4. Li, P. , Liu, J. , Saboundjian, S. (2011). "Materials and Temperature Effects on the Resilient Response of Asphalt-Treated Alaskan Base Course Materials." Journal of Materials in Civil Engineering, Vol. 23, No. 2, P.P. 161-168.
5. Katicha, S.W. (2003). "Development of Laboratory to Field Shift Factors for Hot-Mix Asphalt Resilient Modulus." Virginia Polytechnic Institute and State University, P.P. 4-5.
6. ASTM D4123-82, (1997). "Method of Indirect Tension for Resilient Modulus of Bituminous Mixtures." American Society for Testing and Materials, Annual Book of Standards.
7. Button, J.W., Little D.N., Jagadam V., and Pendleton O.J. (1994). "Correlation of Selected Laboratory Compaction Methods with Field Compaction." Transportation Research Record No. 1454, Transportation Research Board, Washington, D.C., P.P. 193-201.

واژه‌های انگلیسی به ترتیب استفاده در متن

1. Resilient Modulus
2. Gyrotory Compaction
3. Indirect Tensile Test
4. Hot Mixed Asphalt
5. AASHTO