

الله اعلم
الله اعلم



دانشکده مهندسی عمران

گروه مهندسی راه و ترابری

ارزیابی تأثیر زئولیت بر فرسودگی قیر

نگارنده: سید رضا حسینی

استاد راهنما

دکتر حسین قاسم زاده طهرانی

پایان نامه ارشد جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

شهریور ۱۳۹۸

شماره ۹۸/۲۸۷
تاریخ ۹۸/۷/۱۸

باسمه تعالی



مدیریت تحصیلات تکمیلی

فرم شماره (۳) صورتجلسه نهایی دفاع از پایان نامه دوره کارشناسی ارشد

با نام و یاد خداوند متعال، ارزیابی جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد خاتم / آقای سید رضا حسینی با شماره دانشجویی ۹۵۰۴۷۳۴ رشته مهندسی عمران گرایش راه و ترابری تحت عنوان ارزیابی تاثیر ژئولیت بر فرسودگی قیر که در تاریخ ۹۸/۶/۱۱ با حضور هیأت محترم داوران در دانشگاه صنعتی شاهرود برگزار گردید به شرح ذیل اعلام می گردد:

قبول (با درجه:): مردود
نوع تحقیق: نظری عملی

اعضاء	مرتبه علمی	نام و نام خانوادگی	عضو هیأت داوران
	استادیار	دکتر حسین قاسم زاده طهرانی	۱- استادراهنمای اول
			۲- استادراهنمای دوم
			۳- استاد مشاور
	استادیار	دکتر مهدی گلی	۴- نماینده تحصیلات تکمیلی
	استادیار	دکتر سید علی حسینی	۵- استاد ممتحن اول
	استادیار	دکتر ایمان آفایان	۶- استاد ممتحن دوم

نام و نام خانوادگی رئیس دانشکده: دکتر رضا نادری

دانشکده مهندسی عمران
آموزش تحصیلات تکمیلی
تاریخ و امضاء و مهر دانشکده:

تیسره: در صورتی که کسی مردود شود حداکثر یکبار دیگر (در مقطع مجاز تحصیل) می تواند از پایان نامه خود دفاع نماید (دفاع

مجدد نباید زودتر از ۴ ماه برگزار شود).

ماحصل آموخته هایم را تقدیم می کنم به آنان که مهر آسمانی شان آرام بخش آلام زمینی ام است
به استوارترین تکیه گاهم،دستان پرمهر پدرم
به سبزترین نگاه زندگیم،چشمان سبز مادرم
که هرچه آموختم در مکتب عشق شما آموختم و هرچه بکوشم قطره ای از دریای بی کران مهربانیتان را سپاس
نتوانم بگویم.
امروز هستی ام به امید شماسست و فردا کلید باغ بهشتم رضای شما
ره آوردی گران سنگ تر از این ارزان نداشتم تا به خاک پایتان نثار کنم، باشد که حاصل تلاشم نسیم گونه غبار
خستگیتان را بزداید.
بوسه بر دستان پرمهرتان

چیدم گلی ز باغ ادب تا بروز عید

در بارگاه میر ادب پرور آورم

حیف است با خسان گل دانش کنی نثار

من گل نثار مردم دانشور آورم (شهریار)

تقدیر و تشکر

شکر شایان نثار ایزد منان که توفیق را رفیق راهم ساخت برای اتمام این راه؛
از استاد گرامیم جناب آقای دکتر قاسم زاده بسیار سپاسگزارم چرا که بدون راهنمایی‌های ایشان تامین این
پایان‌نامه بسیار مشکل می‌نمود.

تشکر به پاس تعبیر عظیم و انسانی شان از کلمه ایثار و از خودگذشتگی
به پاس عاطفه سرشار و گرمای امیدبخش وجودشان که در این سردترین روزگاران بهترین پشتیبان است
به پاس قلب‌های بزرگشان که فریاد رس است و سرگردانی و ترس در پناهشان به شجاعت می‌گراید
و به پاس محبت‌های بی‌دریغشان که هرگز فروکش نمی‌کند و با سپاس از سه وجود مقدس :

آنان که ناتوان شدند تا ما به توانایی برسیم،

موهایشان سپید شد تا ما روسفید شویم،

و عاشقانه سوختند تا گرمابخش وجود ما و روشنگر راهمان باشند؛

پدرانمان

مادرانمان

و استادانمان

تعهدنامه

اینجانب سیدرضاحسینی دانشجو دوره کارشناسی ارشد رشته عمران - راه و ترابری دانشکده مهندسی عمران دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه ارزیابی تاثیر ژئولیت بر فرسودگی قیر تحت راهنمایی جناب آقای دکتر حسین قاسم زاده طهرانی متعهد می شوم:

- ✍ تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از اصالت برخوردار است.
- ✍ در استفاده از نتایج پژوهش های محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است.
- ✍ مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است.
- ✍ کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد و مقالات مستخرج با نام "دانشگاه صنعتی شاهرود" و یا "Shahrood University of Technology" به چاپ خواهد رسید.
- ✍ حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می گردد.
- ✍ در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است؛ اصل رازداری، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است.

۱۳۹۸/۶/۱۰

مالکیت نتایج و حق نشر

✍ کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامه های رایانه ای، نرم افزارها و تجهیزات ساخته شده) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد. این مطالب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود.

✍ استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی باشد.

چکیده

مصالح قیری جزء اصلی آسفالت می‌باشند که تحت اثر گرما در مصالح سنگی نفوذ کرده و موجب چسبندگی سنگدانه‌ها می‌گردند. ضرورت تاثیر گرما بر ایجاد محیط مناسب برای چسبندگی مصالح موجب ایجاد تغییرات عمده در خواص قیر می‌شود که از بارزترین این تغییرات، تغییر در خواص فیزیکی و شیمیایی قیر است. افزایش حد مقاومت مخلوط‌های آسفالتی با اصلاح خواص قیر تحت شرایط مورد نیاز می‌تواند عمر بهره برداری را افزایش داده و نهایتاً هزینه‌های نگهداری و مرمت یا بازسازی را کاهش دهد. تجربه و بررسی‌های آزمایشگاهی نشان داده است که خصوصیات مصالح سنگی در طی دوره بهره برداری تغییرات چندانی ندارد و خصوصیات این مصالح با خصوصیات اولیه تقریباً مشابه و یکسان هستند. اما قیر در فرآیند تهیه آسفالت، پخش و تراکم و بهره برداری دچار تغییرات عمده فیزیکی و شیمیایی می‌شود. تغییرات تدریجی در ترکیب شیمیایی قیر و خواص آن را نمی‌توان متوقف کرد. اما این امکان وجود دارد که با استفاده از افزودنی‌هایی مانند پلیمرها و مواد معدنی آن را به تأخیر انداخت. در این تحقیق پس از بررسی و تحقیق پیرامون افزودنی‌های معدنی و غیر معدنی، از ژئولیت جهت افزودن به قیر و بررسی تاثیر آن بر خواص عملکردی قیر خالص استفاده گردید.

علت انتخاب ژئولیت را می‌توان در خاصیت آنتی اکسیدانی آن و پیش‌بینی تاثیر احتمالی بر فرسودگی قیر عنوان کرد. ژئولیت در درصدهای مختلف به قیر خالص از نوع AC ۶۰/۷۰ و AC ۸۵/۱۰۰ اضافه گردید و پس از انجام آزمایش‌های درجه نفوذ، نقطه نرمی و ویسکوزیته کینماتیکی نمونه‌ها تحت آزمایش لعاب نازک قرار گرفتند تا پیرشدگی کوتاه مدت در آن شبیه سازی شود و مجدداً آزمایش‌های درجه نفوذ، نقطه نرمی و ویسکوزیته کینماتیکی روی نمونه‌ها انجام گردید. در این مرحله نمونه‌های قیر خالص حاوی ۵ درصد ژئولیت نسبت به سایر نمونه‌ها عملکرد بهتری از خود نشان دادند. ملاک عملکرد بهتر، نزدیک بودن خواص قیر اصلاح شده با ژئولیت پس از فرسودگی به روش لعاب نازک به قیر اولیه در نظر گرفته شده است.

سپس نمونه مارشال با استفاده از قیر خالص و قیر اصلاح شده با ۵ درصد ژئولیت ساخته شد و در نهایت مقاومت مارشال و روانی مارشال برای نمونه آسفالتی پیرشده و پیرنشده اندازه گیری و ثبت گردید. پیرشدگی آسفالت با روش آشتو برای فرسودگی بلند مدت اعمال شد. مشاهدات حاکی از تاثیر مثبت ژئولیت بر مقاومت مارشال نمونه آسفالت پس از پیرشدگی بلند مدت است.

کلمات کلیدی : فرسودگی، افزودنی، مقاومت مارشال، ژئولیت.

فهرست مطالب

فصل اول

۲	مقدمه	۱-۱
۲	قیر و فرسودگی قیر	۲-۱
۳	زئولیت	۳-۱
۵	ضرورت تحقیق	۴-۱
۶	نوآوری تحقیق	۵-۱
۶	ساختار پایان نامه	۶-۱

فصل دوم

۸	مقدمه	۱-۲
۱۰	آزمایش‌های قیر	۲-۲
۱۱	مروری بر کارهای انجام شده	۳-۲
۱۱	اثر زئولیت بر مشخصات فوم آسفالتی	۱-۳-۲
۱۳	بررسی اثر افزودن زئولیت به قیر برای کاربرد در دماهای پایین	۲-۳-۲
۱۵	اثر زئولیت مصنوعی بر مشخصات قیر خالص AC۳۵/۵۰	۳-۳-۲
۱۷	اثر افزودن زئولیت بر دمای اختلاط آسفالت	۴-۳-۲
۱۹	اثر ارگانو مونت موریلونیت بر مشخصات فرسودگی آسفالت	۵-۳-۲
۲۳	شبیه سازی اثر فرسودگی آسفالت داغ به منظور آزمایش کارایی برای طراحی سازه رویه	۶-۳-۲
۲۶	سایر مقالات	۴-۲
۲۷	جمع بندی	۵-۲

فصل سوم

- ۳-۱- مقدمه ----- ۳۰
- ۳-۲- مواد مورد استفاده ----- ۳۰
- ۳-۲-۱- قیر ----- ۳۱
- ۳-۲-۲- ژئولیت ----- ۳۲
- ۳-۳- آزمایش‌های مورد استفاده ----- ۳۴
- ۳-۳-۱- آزمایش درجه نفوذ ----- ۳۴
- ۳-۳-۲- آزمایش نقطه نرمی ----- ۳۵
- ۳-۳-۳- آزمایش ویسکوزیته ----- ۳۷
- ۳-۳-۳-۱- آزمایش ویسکوزیته سیبولت - فیورول ----- ۳۸
- ۳-۳-۳-۲- آزمایش ویسکوزیته کینماتیکی ----- ۳۸
- ۳-۳-۴- آزمایش لعاب نازک ----- ۴۰
- ۳-۳-۵- آزمایش آب جوشان ----- ۴۱
- ۳-۳-۶- آزمایش استقامت مارشال ----- ۴۲
- ۳-۳-۶-۱- طرح اختلاط مخلوط آسفالتی ----- ۴۲
- ۳-۳-۶-۲- اندازه و دانه بندی مصالح ----- ۴۲
- ۳-۳-۶-۳- ساخت نمونه‌های مارشال ----- ۴۲
- ۳-۳-۶-۴- مقاومت فشاری و روانی مارشال ----- ۴۳
- ۳-۴- برنامه ریزی انجام آزمایش‌ها ----- ۴۵
- ۳-۵- ساخت نمونه‌ها ----- ۴۵

فصل چهارم

- ۴۸ ----- ۱-۴ - مقدمه
- ۴۹ ----- ۲-۴ - آزمایش درجه نفوذ
- ۵۰ ----- ۳-۴ - آزمایش نقطه نرمی
- ۵۱ ----- ۴-۴ - آزمایش ویسکوزیته کینماتیکی
- ۵۲ ----- ۵-۴ - آزمایش لعاب نازک
- ۵۳ ----- ۶-۴ - آزمایش درجه نفوذ پس از TFO
- ۵۴ ----- ۷-۴ - آزمایش نقطه نرمی پس از TFO
- ۵۵ ----- ۸-۴ - ویسکوزیته کینماتیکی پس از TFO
- ۵۶ ----- ۹-۴ - آزمایش آب جوشان
- ۵۷ ----- ۱۰-۴ - آزمایش مقاومت فشاری مارشال

فصل پنجم

- ۶۰ ----- ۱-۵ - مقدمه
- ۶۰ ----- ۲-۵ - جمع بندی و نتیجه گیری
- ۶۱ ----- ۳-۵ - یافته‌های آزمایشات
- ۶۱ ----- ۴-۵ - پیشنهاد ادامه تحقیق
- ۶۲ ----- منابع و مراجع

فهرست اشکال

- شکل ۱-۲- تغییر ویسکوزیته قیر بر حسب زمان ----- ۹
- شکل ۲-۲- ساختار هندسی مولکول زئولیت ----- ۱۲
- شکل ۳-۲- نتیجه آزمایش نقطه شکست فراس ----- ۱۶
- شکل ۴-۲- نتیجه آزمایش نقطه نرمی ----- ۱۶
- شکل ۵-۲- نتیجه آزمایش ویسکوزیته دینامیکی در دمای ۱۳۵ درجه سانتی گراد ----- ۱۶
- شکل ۶-۲- منحنی دانه‌بندی زئولیت طبیعی در مقایسه با زئولیت مصنوعی ----- ۱۸
- شکل ۷-۲- مقایسه VAI آسفالت اصلاح شده با آسفالت معمولی ----- ۲۱
- شکل ۸-۲- شماتیک نحوه عملکرد OMMT ----- ۲۱
- شکل ۹-۲- مقایسه نقطه نرمی آسفالت اصلاح شده و معمولی ----- ۲۲
- شکل ۱۰-۲- مقایسه DSR آسفالت اصلاح شده و آسفالت معمولی ----- ۲۲
- شکل ۱-۳- عکس‌های SEM زئولیت افزاینده سمنان در مقایسه با آهک ----- ۳۳
- شکل ۲-۳- دستگاه درجه نفوذ ----- ۳۵
- شکل ۳-۳- آزمایش نقطه نرمی ----- ۳۷
- شکل ۴-۳- دستگاه آزمایش ویسکوزیته سی‌بولت - فیورول ----- ۳۸
- شکل ۵-۳- دستگاه ویسکوزیته کینماتیکی ----- ۳۹
- شکل ۶-۳- آزمایش لعاب نازک قیر ----- ۴۰
- شکل ۷-۳- آزمایش آب جوشان ----- ۴۱
- شکل ۸-۳- اختلاط مخلوط آسفالتی ----- ۴۳
- شکل ۹-۳- تراکم نمونه مارشال ----- ۴۳
- شکل ۱۰-۳- قرار دادن نمونه‌ها در حمام آب گرم ----- ۴۴
- شکل ۱-۴- آزمایش درجه نفوذ ----- ۴۹
- شکل ۲-۴- آزمایش نقطه نرمی ----- ۵۰
- شکل ۳-۴- نمونه‌ها پس از فرسودگی ----- ۵۲
- شکل ۴-۴- مقایسه درجه نفوذ قیرها ----- ۵۴

- شکل ۴-۵- مقایسه نقطه نرمی قیرها ----- ۵۵
- شکل ۴-۶- مقایسه ویسکوزیته قیرها ----- ۵۶
- شکل ۴-۷- نتایج آزمایش آب جوشان ----- ۵۶
- شکل ۴-۸- دستگاه مقاومت مارشال ----- ۵۷
- شکل ۴-۹- حمام آب گرم ----- ۵۷
- شکل ۴-۱۰- نتایج آزمایش مقاومت مارشال ----- ۵۸
- شکل ۴-۱۱- نتایج آزمایش روانی مارشال ----- ۵۸

فهرست جداول

- جدول ۱-۲- مشخصات آسفالت اصلاح شده ----- ۱۲
- جدول ۲-۲- مشخصات قیر AC۸۵/۱۰۰ اولیه ----- ۱۳
- جدول ۳-۲- مشخصات قیر حاوی ۳,۶ درصد زئولیت ----- ۱۴
- جدول ۴-۲- مشخصات قیر حاوی ۷,۲ درصد زئولیت ----- ۱۴
- جدول ۵-۲- مواد تشکیل دهنده هر دو نوع زئولیت طبیعی و مصنوعی ----- ۱۷
- جدول ۶-۲- مقدار افزودنی زئولیت در حالات مختلف ----- ۱۸
- جدول ۷-۲- نتایج آزمایش DSR ----- ۲۰
- جدول ۸-۲- خلاصه مقالات ارائه شده ----- ۲۸
- جدول ۱-۳- مشخصات فنی قیر AC۶۰/۷۰ طبق اعلام کارخانه سازنده ----- ۳۱
- جدول ۲-۳- مشخصات فنی قیر AC۸۵/۱۰۰ طبق اعلام کارخانه سازنده ----- ۳۱
- جدول ۳-۳- ترکیبات زئولیت شرکت افرازند سمنان ----- ۳۲
- جدول ۴-۳- طرح اختلاط مصالح سنگی ----- ۴۲
- جدول ۱-۴- نتایج آزمایش درجه نفوذ روی قیر یکساله ----- ۴۹
- جدول ۲-۴- نتایج آزمایش نقطه نرمی روی قیر یکساله ----- ۵۰
- جدول ۳-۴- نتایج آزمایش ویسکوزیته کینماتیکی روی قیر یکساله ----- ۵۱
- جدول ۴-۴- مقایسه نتایج آزمایش درجه نفوذ روی انواع قیر ----- ۵۳
- جدول ۵-۴- مقایسه نقطه نرمی انواع قیر ----- ۵۴
- جدول ۶-۴- مقایسه ویسکوزیته انواع قیر ----- ۵۵
- جدول ۷-۴- نتایج آزمایش آب جوشان برای قیر یکساله ----- ۵۶
- جدول ۸-۴- نتایج آزمایش آب جوشان برای قیر فرسوده ----- ۵۶
- جدول ۹-۴- درجه نرمی نمونه‌ها ----- ۵۷
- جدول ۱۰-۴- مقاومت فشاری نمونه‌ها ----- ۵۸

فصل اول

کلیات پژوهش

در حدود هفت هزار سال پیش ساکنان فلات ایران به تدریج از مناطق کوهستانی به قسمت‌های داخل رشته کوه‌های البرز و زاگرس نقل مکان کرده و به سکونت در دشت‌ها و امرار معاش از طریق کشاورزی و دامداری پرداختند. در این هنگام بود که ارتباط بین مناطق مسکونی مجاور شکل گرفت و ساده‌ترین روش‌های تجارت و داد و ستد به وجود آمد. نخستین راه‌ها در حاشیه داخلی رشته کوه‌های البرز و زاگرس ایجاد گردیدند. امروزه برای توسعه یافتگی صنعتی، گسترده‌ی راه‌های ارتباطی از ملاک‌های اصلی محسوب می‌گردد. [۱]

یکی از موثرترین بخش‌های یک راه قشر رویه می‌باشد که نقش اصلی در باربری سازه ای مسیر را ایفا می‌کند. رویه راه می‌تواند به صورت بتنی یا آسفالتی اجرا شود. اما از آنجا که کشور ما یک کشور نفت خیز محسوب می‌گردد رویه آسفالتی به مراتب پرکاربردتر است. آسفالت از دو بخش عمده مصالح سنگی و قیر تشکیل شده است. خصوصیات آسفالت به خصوصیات مصالح تشکیل دهنده آن یعنی مصالح سنگی و قیر بستگی دارد. مصالح سنگی آسفالت باید قادر باشند تا قیر را به خود جذب کنند تا عمل اختلاط و چسبندگی به خوبی صورت پذیرد و آسفالت قابلیت باربری خود را حفظ کند. خرابی روسازی- های آسفالتی متعدد است و به عوامل مختلفی باز می‌گردد که از جمله‌ی مهمترین آنها می‌توان به کیفیت پایین اجرا، مواد اولیه نامناسب و تغییر در خواص مواد بر اثر عوامل مختلف اشاره کرد، که می‌توان از جمله موارد تغییر در خواص اولیه مواد به فرسودگی و پیرشدگی قیر اشاره کرد. [۲]

۱-۲- قیر و فرسودگی قیر :

قیر جسمی است هیدروکربوری به رنگ سیاه متمایل به قهوه ای که در سولفور کربن به راحتی حل شده و با افزایش درجه حرارت از حالت جامد به حالت خمیری و از حالت خمیری به مایع تبدیل می‌شود.

قیر به دلیل داشتن دو ویژگی بسیار مهم یعنی غیر قابل نفوذ بودن در برابر آب و چسبندگی یکی از پرکاربردترین مصالح در راهسازی به شمار می‌رود. [۲]

هیدروکربور قیرهای نفتی را می‌توان به یکی از سه دسته ی آسفالتین‌ها، رزین‌ها و روغن‌ها تقسیم کرد. همچنین قیرهای نفتی به لحاظ نوع به قیرهای خالص، دمیده، محلول و امولوسیون تقسیم بندی می‌گردد.

قیرهای خالص به دو طریق طبقه بندی می‌گردند :

طبقه بندی بر اساس درجه نفوذ (AC)

طبقه بندی بر اساس درجه عملکرد (PG)

آسفالت به دلیل رویارویی مستقیم با شرایط جوی همواره تحت تأثیر آن قرار گرفته و این عامل سبب بروز تغییرات در مشخصات فیزیکی و رئولوژیکی مواد و مصالح تشکیل دهنده آن می‌شود. رئولوژی علم جریان و تغییر شکل جریان‌ها است. از نظر علم رئولوژی مواد به سه دسته ویسکوز، الاستیک و ویسکوالاستیک طبقه بندی می‌شوند که قیر در طبقه مواد ویسکوالاستیک قرار می‌گیرد. زمانی که قیر در معرض شرایط جوی قرار می‌گیرد، مولکول‌های قیر با اکسیژن موجود در جو واکنش نشان داده و موجب بروز تغییراتی در ساختار و ترکیبات قیر خواهند شد. فرآیند ترکیب شدن با اکسیژن را اکسیداسیون می‌نامند که موجب شکنندگی و سختی قیر می‌شود و در نتیجه آن، رنگ سیاه قیر به خاکستری متمایل می‌شود. فرسودگی قیر موجب بروز خرابی‌های مختلف و همچنین کاهش توان باربری سازه رویه می‌گردد.

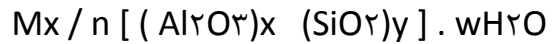
به عبارت دیگر مشخصات فیزیکی قیر از دو عامل دما و زمان تأثیر پذیرفته و پارامترهای مکانیکی مخلوط‌های آسفالتی مانند مدول دینامیکی را تحت شعاع قرار می‌دهد. قیر تحت اثر تغییرات دمایی و گذشت زمان دچار پیری شده و ویسکوزیته آن افزایش خواهد یافت. [۳]

۱-۳- زئولیت :

اکسل فردریک کرونستد ، کانی شناس سوئدی در سال ۱۷۵۶ زئولیت را به عنوان گروهی از کانی‌ها معرفی کرد. واژه زئولیت از دو واژه یونانی زئو (Zeo) به معنی جوشان و لیت (Lithos) به معنی سنگ اقتباس شده است؛ زیرا هنگامی که این سنگ گرم می‌شود، آب آن به صورت بخار بیرون می‌رود و منظره همانند جوشیدن پدید می‌آورد.

در سال ۱۸۴۵ مشخص شد شبکه های زئولیت این توانایی را دارند تا بدون آنکه از هم بپاشند یا ویران شوند آب خود را از دست بدهند یا آبرگیری کنند . با اهمیت یافتن زئولیت در صنعت از سال ۱۸۹۰ اقدام به ساخت زئولیت‌های مصنوعی شد. امروزه وجود معادن زئولیت در کشورهای آمریکا ، ژاپن ، چین ، کره ، مکزیک ، ترکیه ، ایتالیا ، آلمان ، مجارستان ، بلغارستان ، ایران و چند کشور دیگر گزارش شده است . زئولیت‌ها در تقریباً تمام محیط‌های رسوبی نهشته می‌شوند . اگرچه معمولاً این کانی‌ها بیشتر در ماسه سنگ‌های توفی و شیل‌ها یافت می‌شوند ولی در آركوزها ، ماسه سنگ‌های کوارتزی ، فیلانیت-ها ، سنگ‌های آهکی ، زغال‌ها و بوکسیت‌ها یافت شده‌اند .

زئولیت‌ها دسته بزرگی از سیلیکات‌های آبدار هستند . ساختمان آنها از نوع داربستی است که در آنها یون‌های Na و Ca و مقادیر بسیار متغیری آب جا می‌گیرد . میانگین سختی موس زئولیت‌ها بین ۵٫۵-۳٫۵ و وزن مخصوص آنها بین ۲٫۴ - ۲ گرم بر سانتی مترمکعب است . از نقطه نظر کریستالوگرافی فرمول سلول واحد یک زئولیت را می‌توان به صورت زیر بیان کرد :



عبارت داخل کروشه پیکره اصلی را مشخص می کند .

M : کاتیون های قلیایی یا قلیایی خاکی با ظرفیت n .

W : تعداد مولکول های آب .

(x+y) مجموع تعداد چهاروجهی های سلول واحد می باشد .

زئولیت ها جز دسته تکتوسیلیکات ها و سیلیکات های آبدار سدیم ، پتاسیم و کلسیم هستند که در شبکه تبلور آنها آلومینیوم وجود دارد . مقدار آب در مولکول های آنها بسیار متغیر بوده و یون های فلزی می توانند به آسانی مبادله شوند. زئولیت ها به سهولت ذوب می شوند . ساختمان زئولیت ها همانند فلدسپات ها از چارچوب های چهاروجهی AlO_4 و SiO_4 ساخته شده است .

زئولیت ها در حالت کلی به دو نوع مصنوعی و طبیعی تقسیم می گردند. تا کنون بیش از ۸۵ نوع زئولیت طبیعی کشف و بیش از ۱۰۰ نوع زئولیت مصنوعی ساخته شده است. به عنوان مثال موردتیت و هلاتدیت به ترتیب در سال های ۱۹۴۸ و ۱۹۶۳ ساخته شدند. از جمله کانی های طبیعی زئولیت می توان به موارد زیر اشاره کرد:

شابازیت ($Ca_2Al_2Si_4O_{12} \cdot 6H_2O$): سختی موس آن بین ۵ - ۴ و وزن مخصوص آن بین ۲,۱۵ - ۲,۰۵ می باشد و به رنگ بی رنگ متمایل به زرد قهوه ای می باشد. این نوع از زئولیت در ایرلند، چک، ایتالیا و آلمان کشف شده است.

هیولاندیت ($CaAl_2Si_7O_{18} \cdot 6H_2O$): سختی موس آن بین ۴ - ۳,۵ و وزن مخصوص آن بین ۲,۲ - ۲,۱۸ می باشد و به رنگ های سفید، زرد و قرمز است. این نوع زئولیت در ایسلند، اتریش و هندوستان یافت شده است.

استلیت ($CaAl_2Si_7O_{18} \cdot 7H_2O$): سختی موس آن بین ۴ - ۳,۵ و وزن مخصوص آن بین ۲,۲ - ۲,۱ است و به رنگ های سفید و به ندرت زرد و قرمز و قهوه ای نیز قابل رویت است. این نوع از زئولیت نیز در هند، اسکاتلند و ایسلند کشف شده است.

از انواع دیگر زئولیت ها می توان به آتالیسم ($NaAlSi_2O_6 \cdot H_2O$)، اسکولسیت ($CaAl_2Si_3O_{10}$) ($3H_2O$)، فیلیپسیت ($(K_2, Na_2, Ca)(Al_2Si_6)O_{16} \cdot 6H_2O$)، هارموتوم ($(K_2, Ba)(Al_2Si_6)O_{16} \cdot 6H_2O$)، تامسوتیت ($NaCl_2Al_5H_2O \cdot 6H_2O$)، کلینوپتیلولیت ($12 H_2O$) . $[Al_3 (AlSi)_2 Si_{13}O_{36}] - 3 (NaKCa)$ و بسیاری انواع دیگر اشاره کرد .

کلینوپتیلولیت (Clinoptilolit):

فرمول شیمیایی این نوع از زئولیت $H_2O \cdot 12 [Al_3 (AlSi)_2 Si_{13}O_{36}] \cdot 3 - 2 (NaCa)$ است. رنگ آن متمایل به سفید با رگه های قهوه ای و دارای شکستگی در وجوه می باشد. منشا تشکیل کلینوپتیلولیت، هیدروترمال است و شکل ظاهری آن آگرگات - بلوری می باشد. سختی موس کلینوپتیلولیت بین ۴ - ۳,۵ می باشد و وزن مخصوص آن بین ۲,۲ - ۲,۱ متغیر است. محل پیدایش اولیه آن را کشور چک اسلواکی ذکر کرده اند. تاکنون وجود معادن این نوع از زئولیت در کشورهای جمهوری چک، آمریکا، استرالیا، زلاندنو و ایران تایید شده است.

۱-۴- ضرورت تحقیق :

طبق بودجه بندی دولت در سال ۱۳۹۶ بیش از ۶۰ هزار میلیارد تومان از بودجه ی ۳۲۰ هزار میلیاردی دولت به بودجه عمرانی تخصیص یافته که از این میان حدود ۱۰۰۰ میلیارد آن به راهداری ها اختصاص می یابد. بر اساس آمار وزارت راه و شهرسازی حدود ۷۰ درصد بودجه راهداری ها یعنی رقمی نزدیک به ۷۰۰ میلیارد صرف نگهداری راه ها و ۶۰ درصد از این بودجه تنها به بخش قیر و آسفالت اختصاص می یابد. بر این اساس رقمی بیش از ۱,۳ درصد از بودجه ی کل کشور تنها صرف نگهداری و بهسازی قیر و آسفالت کشور می گردد و این موضوع خود ضرورت توجه به این بخش را دو چندان می نماید. [۴]

در مخلوط آسفالتی حفظ کیفیت قیر به عنوان ماده چسبنده امری ضروری است. حفظ کیفیت قیر در هنگام عملیات تولید آسفالت یا در حین بهره برداری باعث افزایش دوره خدمت روسازی می گردد.

وجود اکسیژن، اشعه فرابنفش و تغییر دماهای ناگهانی موجب سخت شدن قیر، کاهش درجه نفوذ، افزایش نقطه نرمی و به طور معمول افزایش شاخص نفوذ می گردند و در نتیجه عمر مفید روسازی را کاهش می دهند. روش های مختلفی برای حفظ کیفیت اولیه قیر در تحقیقات مختلف بررسی گردیده که یکی از رایج ترین آنها بهبود خواص قیر اولیه یا حفظ کیفیت اولیه قیر به وسیله افزودنی های مختلف است. قابلیت سخت شدن قیر پدیده ای تقریباً شناخته شده است که سال ها بر روی آن تحقیقات مختلفی صورت گرفته و به طور کلی ۱۵ عامل موثر بر سخت شدن قیر شناسایی شده که از جمله مهمترین می توان به فرسودگی قیر بر اثر اکسیداسیون اشاره کرد. اکسیداسیون باعث تغییر در ترکیبات شیمیایی قیر می شود که علت این امر اکسید شدن رزین های قطبی و آسفالتین ها و در نتیجه تشکیل مولکول های بزرگتر و پیچیده تر است که عامل سخت شدن قیر است. تاکنون در تحقیقات مختلف مقابله با اکسیداسیون قیر به کمک افزودنی های معدنی و شیمیایی مختلفی بررسی گردیده است که در این تحقیق هدف بررسی عملکرد زئولیت بر اکسیداسیون قیر به عنوان افزودنی به قیر خالص است.

۱-۵- نوآوری تحقیق :

درباره استفاده از زئولیت به عنوان آنتی اکسیدان در صنایع مختلف تحقیقات زیادی انجام شده است اما در زمینه راه، بررسی عملکرد زئولیت محدود به تحقیق پیرامون تأثیر آن بر کاهش دمای پخت آسفالت بوده است.

اگرچه در سال‌های اخیر به بررسی اثر زئولیت بر خصوصیات رفتاری مخلوط‌های آسفالتی پرداخته شده است اما تا کنون اثر آن بر فرسودگی قیر خالص به عنوان یک آنتی اکسیدان بررسی نشده است.

در این تحقیق هدف بررسی تأثیر زئولیت به عنوان یک آنتی اکسیدان بر فرسودگی قیر خالص است.

۱-۶- ساختار پایان نامه :

این پایان نامه مشتمل بر ۵ فصل می‌باشد. در فصل اول پایان نامه به اختصار به توضیح و تشریح مسئله پرداخته شده است. این فصل مشتمل بر توضیحاتی پیرامون فرسودگی قیر، اثرات آن بر روسازی آسفالتی و چگونگی کاهش آثار مخرب آن می‌باشد.

در فصل دوم با بررسی مقالات مختلف پیرامون موضوع فرسودگی و به طور خاص تر بررسی مقالات پیرامون تأثیر زئولیت بر خواص قیر چگونگی اثر این افزودنی بر قیر و نتایج مثبت یا منفی آن بررسی شده است.

در فصل سوم مراحل و روند انجام پژوهش شرح داده می‌شود. در همین راستا آزمایشات مورد استفاده در تحقیق و نحوه انجام آزمایشات موثر بر فرسودگی قیر تشریح می‌شود. پس از بیان آزمایشات روش ساخت نمونه‌های آسفالتی به روش مارشال و آزمایش‌های انجام شده روی نمونه‌های آسفالتی شرح داده خواهد شد.

در فصل چهارم به آنالیز نتایج و یافتن درصد بهینه قیر و در نهایت جمع بندی و مقایسه نتایج با یکدیگر پرداخته خواهد شد.

در فصل پایانی نیز به جمع‌بندی نتایج آزمایشات و بررسی اجمالی پیرامون تأثیر زئولیت بر فرسودگی قیر و همچنین ارائه چند پیشنهاد جهت ادامه تحقیقات پرداخته خواهد شد.

فصل دوم

پیشینه تحقیق

در این فصل ابتدا پدیده فرسودگی تشریح می‌گردد. تا با بررسی چند مقاله و مروری گذرا بر تحقیقات انجام شده پیرامون موضوعاتی چون فرسودگی قیر، افزودنی های موثر بر کنترل فرسودگی و تحقیقات انجام گرفته پیرامون خواص و کاربردهای زئولیت، زمینه آشنایی هرچه بیشتر با موضوع فراهم گردد.

روسازی های آسفالتی در معرض عوامل مخرب زیادی قرار دارند و تحت تأثیر مجموعه این عوامل عمر مفید راه کاهش می‌یابد. شناسایی این پارامترها و بررسی مکانیسم اثرگذاری آن ها بر عملکرد روسازی آسفالتی می‌تواند به کند کردن روند تخریب روسازی ها کمک کند و بدین ترتیب عمر مفید راه ها را افزایش دهد. فرسودگی قیر یکی از این عوامل است که در بروز تعدادی از خرابی های روسازی آسفالتی نقش مهمی ایفا می‌کند.

فرسودگی قیر یک فرآیند برگشت ناپذیر است که آثار آن به صورت افزایش سختی و کاهش شکل پذیری قیر ظاهر می‌شود. علت فرآیند فرسودگی قیر را می‌توان تغییر در نوع و اندازه مولکول های بسیار متنوع هیدروکربنی قیر دانست. این فرآیند را می‌توان در دو مرحله فرسودگی بلندمدت و فرسودگی کوتاه مدت بررسی نمود. فرسودگی کوتاه مدت بدلیل گرمای آسفالت حین ساخت و پخش آن اتفاق می‌افتد و در اثر آن مقداری از حلال ها و روغن های سبک قیر تبخیر می‌شود، در عین حال در دمای بالا اکسیداسیون تسریع شده نیز در قیر اتفاق می‌افتد. فرسودگی درازمدت که به تدریج و طی دوره بهره برداری از راه رخ می‌دهد ناشی از بزرگ شدن مولکول ها و تغییر ساختار شیمیایی قیر است که به دلیل اکسیداسیون اتفاق می‌افتد. همچنین اشعه گامای موجود در نور آفتاب فرآیند پلیمریزاسیون هیدروکربن ها را تشدید کرده و لذا در فرسودگی درازمدت قیر مؤثر است. پخش و انتشار اکسیژن فرآیند پیچیده ای است که به فضای خالی سنگدانه ها، عوامل محیطی از قبیل دما، فشار و رطوبت بستگی دارد. بر اساس نوع و منبع قیر، هیدروکربن های فعال مختلفی در این واکنش موثر هستند. پیرشدگی اکسیدی^۱ با سه پدیده همراه است [۵]:

خردشدگی : مولکول ها به تکه های ریزتر شکسته می شوند که در نتیجه آن آب، دی اکسید کربن، اسید استیک و متان به وجود می‌آید.

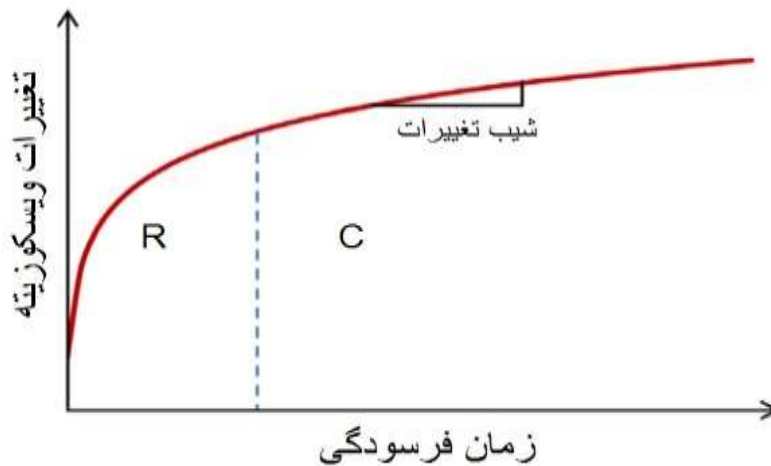
اکسیژن اضافی : این پدیده باعث به وجود آمدن کربونیل و سولفونیل می‌شود.

انقباض یا کربونیزه شدن : باعث تشکیل مولکول های سنگین بزرگ و آروماتیکی می‌شود.

این سه پدیده باهم باعث به وجود آمدن فرآیند اکسیداسیون می‌شوند.

۱-Oxidative ageing

باید توجه داشت که غلظت اکسیژن در قیر با فرآیند اکسیداسیون مرتبط است. شکل ۱-۲ تغییر در ویسکوزیته طی دوره عمر روسازی را نشان می‌دهد. همانطور که از شکل پیداست، ویسکوزیته ابتدا به طور سریع افزایش می‌یابد (ناحیه R) و بعد از مدت معینی نرخ ابتدایی ویسکوزیته کاهش می‌یابد و تقریباً به نرخ ثابت (ناحیه C) می‌رسد.



شکل ۱-۲- تغییر ویسکوزیته قیر بر حسب زمان [۵]

از جمله روش‌های رایج برای کنترل فرسودگی قیر اصلاح خواص قیر خالص معمولی است که به تنهایی از خواص شیمیایی، فیزیکی و رئولوژیکی محدودی برخوردارند.

پژوهشگران علم روسازی همواره به دنبال موادی هستند تا بتوانند با افزودن آن به قیر؛ خواص قیر را بهبود بخشند.

افزودنی‌های قیر موادی هستند که قبلاً به قیر اضافه شده و تحت شرایط معینی کاملاً با آن مخلوط گردیده‌اند و یا در حین تهیه‌ی مخلوط‌های آسفالتی و در جریان اختلاط قیر و مصالح سنگی به واحد مخلوط کننده کارخانه آسفالت اضافه می‌شوند.

لواندوسکی در سال ۱۹۹۴ دلایل اصلی اصلاح قیر به کمک افزودنی‌ها را در موارد زیر عنوان کرد [۶]:

- ۱- بدست آوردن مخلوط‌های نرم‌تر در دماهای خدمت پایین و در نتیجه کاهش ترک خوردگی
- ۲- بدست آوردن مخلوط‌های سخت‌تر در دماهای خدمت بالا و کاهش شیار شدگی.
- ۳- افزایش استحکام و مقاومت مخلوط‌های آسفالتی.
- ۴- بهبود مقاومت خستگی مخلوط‌ها.
- ۵- کاهش ضخامت سازه‌ای روسازی‌ها.

به عبارت دیگر هدف از اصلاح قیر عملکرد مناسب مخلوط های آسفالتی در برابر پدیده هایی همچون تغییر شکل دائم و شیارشدگی، خرابی های ناشی از رطوبت و آب، پدیده ی ترک های خستگی و سایر عواملی است که سبب افت سریع شاخص خدمت دهی روسازی می گردند.

افزودنی های قیر از دو منبع کلی طبیعی و صنعتی تهیه می شوند. انواع مختلفی از افزودنی های قیر موجود است که از مهمترین آنها که تحقیقاتی چند پیرامون آنها صورت گرفته می توان به پلیمرها، الیاف، فیلرهای معدنی و هیدروکربن ها اشاره کرد.

۲-۲- آزمایش های قیر :

به طور کلی آزمایش های متعددی برای تعیین خصوصیات قیر به کار می رود و بر حسب نوع قیر مورد استفاده نوع این آزمایشات متفاوت است. آزمایش های متداول قیر خالص شامل آزمایش تعیین چگالی قیر^۱، آزمایش درجه نفوذ قیر^۲، آزمایش نقطه نرمی قیر^۳، آزمایش خاصیت شکل پذیری قیر^۴، آزمایش تعیین نقطه اشتعال قیر^۵، آزمایش تعیین کندروانی قیر^۶، آزمایش نقطه شکنندگی فراس^۷، آزمایش لعاب نازک قیر^۸ و آزمایش لعاب نازک دوار قیر^۹ است.

اما آزمایش های قیر که در این تحقیق مورد استفاده قرار گرفتند شامل آزمایش درجه نفوذ، آزمایش نقطه نرمی، آزمایش ویسکوزیته و آزمایش لعاب نازک هستند.

-
- ۱- specific gravity
 - ۲- Penetration
 - ۳- Softening point
 - ۴- Ductility
 - ۵- Flash point
 - ۶- Viscosity
 - ۷- Frass point
 - ۸- TFO
 - ۹- RTFO

۳-۲- مروری بر کارهای انجام شده :

۳-۲-۱- اثر ژئولیت بر مشخصات فوم آسفالتی [۷]:

در این مقاله که توسط Witszuk و همکاران صورت گرفته تأثیر افزودن دو نوع ژئولیت بر فوم قیری بررسی می‌گردد. تفاوت این دو نوع ژئولیت در ساختار کریستالی آنهاست. یکی از آنها Na-P۱ که نوعی ژئولیت مصنوعی است و دیگری کلینوپتیلولیت که یک ژئولیت طبیعی است. ژئولیت‌ها با افزودن شدن به مصالح مورد آزمایش قرار می‌گیرند و مقدار ژئولیت اضافه شده به نمونه‌ها ۵ درصد می‌باشد.

تغییر شرایط زیست محیطی امروزه مسئله مهمی تلقی می‌گردد. انتشار گازهای گلخانه‌ای همچون SO_2 ، CO ، CO_2 و NO_x که یکی از منابع اصلی انتشار آن‌ها سوخت‌های فسیلی هستند باعث تأثیر بر جو زمین و گرم شدن کره زمین شده و به همین جهت امروزه کاهش این گازها و اثرات مخرب آن بر محیط زیست در تمام علوم امری قابل توجه و مهم است. در راهسازی نیز یکی از راهکارهای مناسب جهت کاهش این گازها استفاده از تکنولوژی آسفالت گرم (WMA) است. تکنولوژی آسفالت داغ (HMA) نیاز به دمایی بین ۱۴۰-۲۰۰ درجه سانتی‌گراد دارد که خود مستلزم مصرف انرژی زیاد و در نتیجه آزادسازی مقدار زیادی گازهای گلخانه‌ای است. به همین دلیل از حدود بیست سال قبل تکنولوژی آسفالت گرم وارد صحنه شد که نسبتاً سازگار با محیط زیست است و باعث صرفه جویی اقتصادی طرح نیز می‌گردد. برای استفاده از این تکنولوژی نیاز است تا قیر به صورت فوم درآید تا به خوبی با سنگدانه‌ها مخلوط گردد.

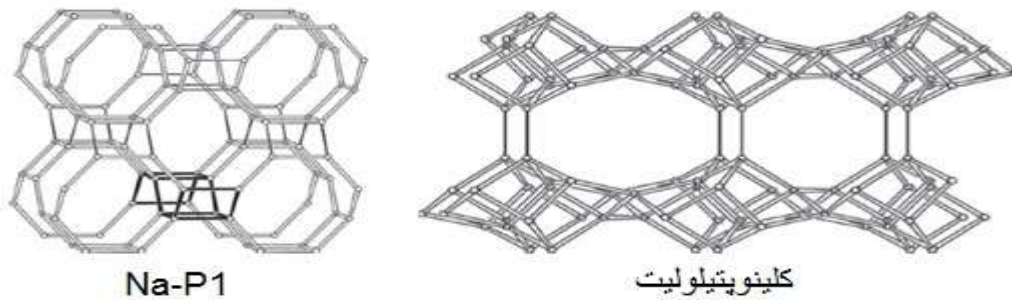
برای ایجاد فوم قیری دو راه حل وجود دارد : ۱- افزودن مستقیم آب به قیر داغ. ۲- افزودن مواد حاوی آب (همچون ژئولیت)

ژئولیت گروهی از آلومینیوم سیلیکات هاست که بر اساس ساختار منحصر بفردشان هرکدام دارای نامگذاری خاصی هستند. کریستال‌های ژئولیت دارای فضاهای خالی از ۳ تا ۳۰ آنگستروم هستند که می‌توانند مولکول‌های آب را درون خود جا دهند. هنگامیکه به ژئولیت حرارت داده می‌شود بی‌آنکه هیچگونه تغییری در ساختار آن ایجاد شود اقدام به رهاسازی این آب می‌کند. در این مقاله سعی در بررسی اثر افزودن ژئولیت به آسفالت گرم و چگونگی ایجاد فوم قیری با ژئولیت و مشخصات آن شده است.

برای انجام آزمایش مقدار آب بهینه مورد نیاز جهت ایجاد فوم قیری بین ۲ تا ۴ درصد حجم آسفالت است. هرگونه تغییر در این مقادیر سبب تغییر ساختار فوم قیری و امکان شکست چسبندگی بین قیر و سنگدانه‌ها می‌گردد؛ بنابراین هنگام استفاده از ژئولیت برای ایجاد فوم قیری، شناسایی ساختار ژئولیت، میزان رطوبت جذب شده و میزان توانایی آن در رهاسازی این رطوبت در دماهای مختلف امری ضروری

است. پس از تحقیق پیرامون انواع مختلف ژئولیت، ژئولیت مصنوعی Na-P1 برای استفاده در آسفالت گرم مناسب تشخیص داده شد. از میان ژئولیت های طبیعی نیز کلینوپتیلولیت دارای ساختاری مناسب جهت استفاده در فوم قیری می باشد.

دو نوع ژئولیت استفاده شده در این تحقیق که دارای توپولوژی کاملا متفاوت در شکل ۲-۲ نشان داده شده اند.



شکل ۲-۲- ساختار هندسی مولکول ژئولیت [۷]

ژئولیت طبیعی حاصل از معادن اوکراین، همچنين قير ۳۵/۵۰ تهیه شده مطابق با استانداردهای اروپا (EN ۱۲۵۹۱:۲۰۱۰) می باشد. ژئولیت ابتدا رطوبت داده شده و سپس به میزان ۵ درصد حجمی آسفالت به آن اضافه گردید. میزان آب ترکیبی با ژئولیت نیز به میزان (آب : ژئولیت) ۳ : ۱ برای Na-P1 و ۱ : ۳ برای کلینوپتیلولیت می باشد. مشخصات اساسی آسفالت اصلاح شده در جدول ۲-۱ آورده شده است.

جدول ۲-۱- مشخصات آسفالت اصلاح شده [۷]

نوع نمونه	درجه نفوذ	نقطه نرمی	نقطه شکست فراس	شاخص نفوذ	درجه پلاستیسیته
نمونه شاهد	۳۶,۵	۵۵,۷	-۱۴,۰	-۰,۵۸	۶۹,۷
نمونه حاوی ۵٪ کلینوپتیلولیت	۳۶,۱	۵۶,۵	-۱۱,۵	-۰,۴۴	۶۸,۰
نمونه حاوی ۵٪ کلینوپتیلولیت مرطوب	۳۶,۲	۵۵,۱	-۱۰,۵	-۰,۷۳	۶۵,۶
نمونه حاوی ۵٪ Nap ₁	۳۴,۵	۵۷,۲	-۱۱,۵	-۰,۴	۶۸,۷
نمونه حاوی ۵٪ Nap ₁ مرطوب	۳۶,۲	۵۵,۱	-۱۲,۵	-۰,۷۳	۶۷,۶

مشخصات رئولوژیکی (G^*) نمونه ها به کمک آزمایش DSR مشخص گردید. ویسکوزیته دینامیکی ، نیز در دو دمای مختلف یکی ۱۳۵ درجه سانتی گراد (حین پخش) و دیگری ۱۶۰ درجه سانتی گراد (حین ساخت) و در زمان های ۱۵، ۳۰، ۴۵ و ۶۰ دقیقه اندازه گیری گردید.

نتیجه مشاهدات حاصل از آزمایش ها حاکی از آن است که ویسکوزیته آسفالت اصلاح شده با Na-P1 و کلینوپتیلولیت در شرایط رطوبتی یکسان از ویسکوزیته قیر اصلاح نشده در همان درجه حرارت بیشتر است.

نکته حائز اهمیت در کاربرد زئولیت مورد نیاز تشخیص ساختار آن است. در این تحقیق سعی گردید تا با مطالعه جزئی پیرامون ساختار زئولیت ها، میزان رطوبت مورد نیاز برای تاثیر هرچه بهتر بر خواص آسفالت اصلاح شده مورد بررسی قرار گیرد.

یکی از پارامترهای بسیار مهم برای ایجاد فوم قیری و کاهش دمای پخت نسبت Si/Al است که مقدار بیشتر آن باعث کاهش دمای پخت می گردد. همچنین سطح مقطع بیشتر و فضای خالی مولکولی بیشتر زئولیت از دیگر پارامترهای تأثیرگذار بر دمای پخت آسفالت هستند.

۲-۳-۲- بررسی اثر افزودن زئولیت به قیر برای کاربرد در دماهای پایین [۸]:

در این مقاله که توسط علی منصور خاکی و همکاران ارائه شده سعی به بررسی ترک های حرارتی در مناطق سردسیر و چگونگی تأثیر خواص قیر در رخ دادن این ترک ها به کمک مدول تجربی فروم-فانگ است. همچنین به ارزیابی اثر زئولیت در روند تغییر رفتار قیر از طریق اضافه کردن دو درصد مشخص زئولیت به قیر ۸۵/۱۰۰ پرداخته شده است. زئولیت موجود در قیر در دماهای بالا منجر به آزاد شدن آب و بخار شدن آن و در نتیجه ایجاد حباب های هوایی در قیر شده و در نتیجه از این طریق مدول قیر را پایین می آورد. برای بررسی و فهم میزان اثر زئولیت ابتدا باید درصد آب زئولیت تعیین گردد. بدین منظور زئولیت مصرفی در دماهای ۱۲۰ و ۱۳۰ درجه سانتی گراد حرارت داده شد و افت وزنی آن طی یک ساعت اندازه گیری و در حدود ۱۰ درصد تعیین گردید. حال قیر خالص ۸۵/۱۰۰ را با دو درصد مختلف زئولیت یعنی مقدار ۳,۶٪ و ۷,۱٪ ترکیب می کنیم. از هر ۳ نوع ۱۰ نمونه ساخته می شود. نمونه های حاوی زئولیت با ترکیب درصد معین زئولیت به مدت ۱۵ دقیقه کاملاً با قیر مخلوط گردید. در ابتدا برای تعیین خصوصیات اولیه روی قیر خالص و نمونه های حاوی زئولیت آزمایش های درجه نفوذ، نقطه نرمی، شکل پذیری و کندروانی انجام گرفت. نتایج در جداول ۲-۲ تا ۴-۲ آورده شده است:

جدول ۲-۲- مشخصات قیر ۸۵/۱۰۰ AC اولیه [۸]

واحد	مقدار	آزمایش
دهم میلیمتر	۹۶	درجه نفوذ در ۲۵ درجه
دهم میلیمتر	۲۰	درجه نفوذ در ۵,۵ درجه
Poise	۱۴۵	کندروانی در ۱۱۰ درجه
C	۴۵,۹	نقطه نرمی
Cm	+۱۰۰	شکل پذیری

جدول ۲-۳- مشخصات قیر حاوی ۳,۶٪ زئولیت [۸]

واحد	مقدار	آزمایش
دهم میلیمتر	۸۵	درجه نفوذ در ۲۵ درجه
دهم میلیمتر	۲۲	درجه نفوذ در ۵,۵ درجه
Poise	۱۵۴	کندروانی در ۱۱۰ درجه
C	۴۸,۲	نقطه نرمی
Cm	۷۲	شکل پذیری

جدول ۲-۴- مشخصات قیر حاوی ۷,۱٪ زئولیت [۸]

واحد	مقدار	آزمایش
دهم میلیمتر	۸۴	درجه نفوذ در ۲۵ درجه
دهم میلیمتر	۲۱	درجه نفوذ در ۵,۵ درجه
Poise	۱۲۳	کندروانی در ۱۱۰ درجه
C	۴۷,۵	نقطه نرمی
Cm	۶۷	شکل پذیری

در چرخه های انجام شده دمای انجماد تا ۱۵- درجه سانتی گراد پایین آورده شده و رطوبت در حد ۴۶ درصد اندازه گیری گردید. پس از انجام ۳۰ چرخه عملیات متوقف گردید. ملاک انتخاب تعداد چرخه ها آزمایش درجه نفوذ بود که پس از هر ۵ چرخه تکرار می شد و مشاهده گردید پس از انجام ۳۰ چرخه تغییر قابل ملاحظه ای در درجه نفوذ رخ نمی دهد. (البته ملاک بهتر از درجه نفوذ ، مقدار کندروانی بود.)

با انجام آزمایش نفوذ مشخص گردید اولین تجربه افت دما بیشترین تاثیر را بر افت درجه نفوذ داشته و پس از آن افت قابل ملاحظه ای نسبت به افت اولیه دیده نشد. در نهایت پس از تکرار ۳۰ چرخه آزمایش؛ نتایج برای هر سه نمونه قیر به شرح زیر است :

در مورد قیر خالص :

اولین تجربه افت دما و مقدار افت دما بیشترین تاثیر را دارد. همچنین تاثیر افت دما به صورت افت درجه نفوذ ، افزایش نقطه نرمی و افزایش کندروانی مشاهده می شود.

در مورد قیر حاوی زئولیت :

افزودن زئولیت در ابتدا منجر به بالا رفتن وزن مخصوص قیر و افت درجه نفوذ، افزایش نقطه نرمی قیر و از طرفی باعث کمتر شدن حساسیت دمایی قیر در دماهای پایین می‌گردد. نرخ افت درجه نفوذ و افزایش کندروانی قیر در چرخه کاهش یافته است. همچنین شکل پذیری قیر در ابتدا کاهش می‌یابد.

در کل می‌توان گفت افزودن زئولیت در ابتدا منجر به افزایش وزن مخصوص قیر شده و از این لحاظ کارایی نهایی قیر را بهبود می‌بخشد.

۲-۳-۳- اثر زئولیت مصنوعی بر مشخصات قیر خالص AC ۳۵/۵۰ [۹]:

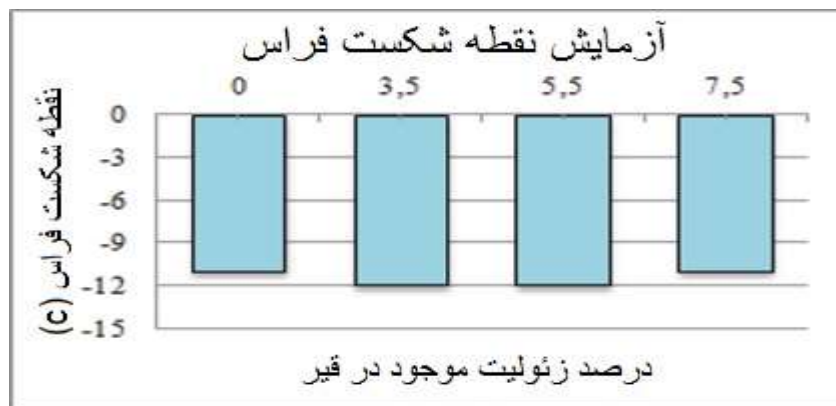
در این مقاله که توسط Rog و همکاران ارائه گردیده به بررسی اثر افزودن زئولیت مصنوعی به آسفالت گرم و اثر آن بر قیر خالص AC ۳۵/۵۰ پرداخته می‌شود.

زئولیت مصنوعی یک افزودنی بسیار مناسب برای ایجاد فوم قیری و در نتیجه ی آن کاهش دمای پخت آسفالت است. در این مقاله تمرکز بر روی تاثیر متقابل زئولیت مصنوعی بر آسفالت است.

برای انجام آزمایش نمونه آسفالتی با درصد قیر ۵,۵ درصد به کار برده شد. مقدار زئولیت مصرفی برابر ۰,۳ درصد وزن کل مخلوط آسفالتی و در نتیجه حدود ۵,۵ درصد وزن قیر می‌باشد. اما برای حصول اطمینان و کسب بهترین نتیجه سه نمونه حاوی ۳,۵، ۵,۵ و ۷,۵ درصد زئولیت نسبت به وزن قیر خالص ساخته شد و آزمایش های درجه نفوذ، نقطه نرمی، نقطه شکست فراس و ویسکوزیته دینامیک دمای ۱۳۵ درجه سانتی گراد روی آنها انجام گرفت .

نقطه شکست فراس که در سال ۱۹۳۷ توسط فراس توسعه یافت از جمله آزمون‌هایی است که رفتار قیر در دماهای خیلی پایین (دماهای منفی) را توصیف می‌کند و برای مشخص کردن دمایی است که در آن قیر به یک سخت بحرانی می‌رسد و می‌شکند.

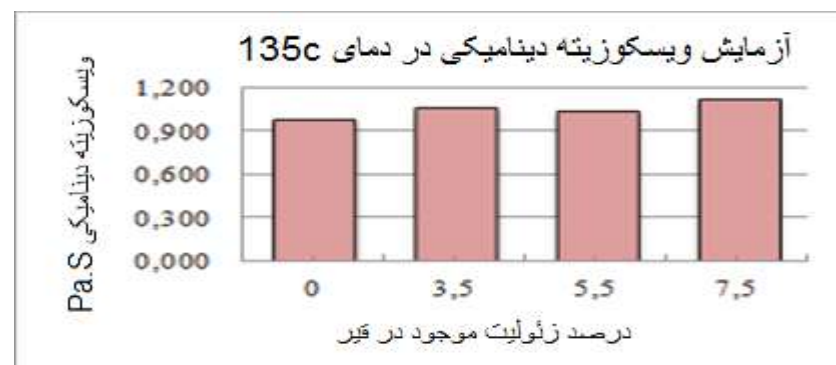
نتایج تمامی آزمایش‌های فوق بر روی نمونه‌های حاوی افزودنی و نمونه شاهد در نمودارهای زیر آورده شده است :



شکل ۲-۳- نتیجه آزمایش نقطه شکست فراس [۹]



شکل ۲-۴- نتیجه آزمایش نقطه نرمی [۹]



شکل ۲-۵- نتیجه آزمایش ویسکوزیته دینامیکی در دمای ۱۳۵ درجه سانتی گراد [۹]

نتایج حاصل از آزمایش‌های نقطه نرمی، نقطه شکست فراس و درجه نفوذ نشان می‌دهد افزودن زئولیت مصنوعی تأثیری بر حساسیت حرارتی آسفالت ندارد. افزودن زئولیت مصنوعی سبب کاهش اندک درجه نفوذ آسفالت می‌گردد. از طرفی زئولیت سبب بالا رفتن ویسکوزیته دینامیکی می‌گردد که این اثر ناشی از رهاسازی آب ذخیره شده در بافت مولکولی زئولیت بر اثر دریافت حرارت است.

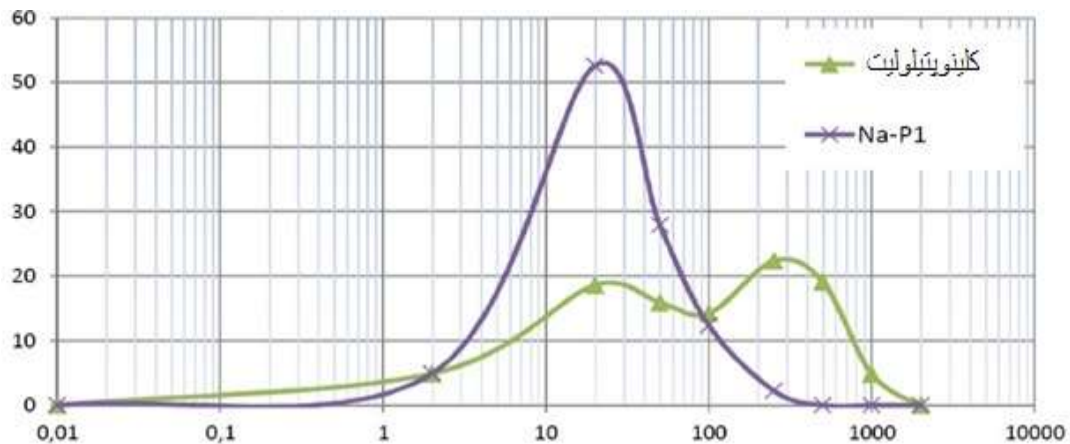
۲-۳-۴- اثر افزودن زئولیت بر دمای اختلاط آسفالت [۱۰]:

در تحقیق حاضر که توسط Wiszuk و همکاران گردآوری شده اثر افزودن زئولیت طبیعی از نوع کلینوپتیلولیت و زئولیت مصنوعی از نوع Na-P۱ به مخلوط آسفالتی گرم بررسی می گردد . دمای ساخت مخلوط‌های آسفالتی داغ (HMA) بین ۲۰۰ - ۱۴۰ درجه سانتی گراد می باشد ؛ اما با استفاده از تکنولوژی آسفالت گرم (WMA) می‌توان در دمایی بین ۴۰ - ۲۰ درجه سانتی گراد کمتر سطح دانه‌ها را با قیر اندود کرد که سبب کاهش مصرف انرژی و ایمنی بیشتر می‌گردد . در حال حاضر بیش از ۲۰ روش برای کاهش دمای مخلوط‌های آسفالتی گرم موجود است . هدف اصلی افزودن زئولیت به مخلوط آسفالتی ، رهاسازی حدود ۲۰٪ وزنی زئولیت آب موجود در ساختار آن است که سبب می‌گردد تا فوم آسفالتی شبیه سازی گردد . علاوه بر این حدود ۳۰ درجه سانتی گراد دمای پخت را کاهش می‌دهد. برای انجام آزمایش ابتدا ترکیب معدنی هر دو نوع زئولیت را با استفاده از دستگاه X-Ray مشخص می‌کنیم . نتایج نشان می‌دهد فاصله مولکولی آن‌ها بین ۳,۱۸ تا ۸,۹۵ آنگستروم می‌باشد و در حدود ۸۰٪ وزنی هر کدام را فاز جامد زئولیت تشکیل می‌دهد. در بحث مورفولوژی؛ کلینوپتیلولیت ساختاری شبیه به کاشی با سایز ۳۰ - ۲۰ میکرون دارد در حالیکه زئولیت Na-P۱ به شکل مجموعه‌ای از گوی‌ها با قطر ۳ - ۱ میکرون می‌باشد . سپس ساختار شیمیایی هر کدام را بررسی می‌کنیم ؛ که نتایج آن در جدول ۲-۸ آورده شده است:

جدول ۲-۵- مواد تشکیل دهنده هر دو نوع زئولیت طبیعی و مصنوعی [۱۰]

عناصر تشکیل دهنده	کلینوپتیلولیت	NaP۱
SiO _۲	۶۸,۰۲	۳۷,۹۳
Al _۲ O _۳	۱۲,۹۲	۱۸,۸۳
Na _۲ O	۰,۶۹	۶,۵۷
MgO	۰,۷۵	۱,۱۵
P _۲ O _۵	۰,۱۶	۰,۳۱
SO _۳	۰,۰۹	۰,۲۵
K _۲ O	۳,۳۶	۱,۰۰
CaO	۳,۷۱	۱۴,۴۱
TiO _۲	۰,۲۰	۰,۸۳
MnO	۰,۰۶	۰,۰۸
Fe _۲ O _۳	۲,۱۱	۵,۰۹

منحنی دانه بندی ژئولیت های استفاده شده نیز در شکل ۲-۱۰ آورده شده است .



شکل ۲-۶- منحنی دانه بندی ژئولیت طبیعی در مقایسه با ژئولیت مصنوعی [۱۰]

همانطور که مشخص است تجمع اندازه ژئولیت مصنوعی در ۲۵ میکرون و ژئولیت طبیعی در محدوده ۲۵ میکرون تا ۳۰۰ میکرون است. در نهایت با استفاده از میزان رطوبت هر کدام از نمونه ها مقدار ژئولیت افزودنی به قیر برای ساخت نمونه تعیین می شود. برای ایجاد قیر به حالت فوم حدود ۲,۵٪ وزنی مخلوط ؛ آب نیاز است که با توجه به حجم آب موجود در ژئولیت حدود ۱٪ وزنی مخلوط از ژئولیت می تواند این حالت را ایجاد نماید. اما در مورد ژئولیت طبیعی خیس (اشباع) که درصد رطوبت آن ۵۰٪ است و ژئولیت مصنوعی اشباع که درصد رطوبت آن ۱۶۰٪ است، بر اساس جدول ۲-۹ عمل خواهیم کرد:

جدول ۲-۶- مقدار افزودنی ژئولیت در حالات مختلف [۱۰]

افزودن ژئولیت			
نوع ژئولیت	ژئولیت اشباع (%)		ژئولیت اشباع نشده (%)
	کلینوپتیلولت	Na-P1	C & P
درصد رطوبت	۵۰	۱۶۰	۱۰
درصد افزودنی	۰,۲	۰,۰۷	۱,۳

لازم به ذکر است نمونه های مارشال با زدن ۷۵ ضربه به هر طرف ساخته می شود و دمای ساخت در سه دمای ۱۰۰، ۱۲۰ و ۱۴۰ درجه سانتی گراد انتخاب می شود . در این آزمایش نمونه ها اشباع و تحت انجماد قرار گرفتند و در طی این چرخه مدول سختی آن ها حاصل گردید. در نهایت با مقایسه مدول سختی در حالت اشباع با حالت معمولی نسبت مدول سختی کشش غیرمستقیم از طریق رابطه ۲-۳ حاصل می گردد :

$$(\text{Indirect Tensile Stiffness Module Ratio}) \text{ITMSR} = S^2 / S^1$$

رابطه ۲-۳

S^۱ : WITHOUT CONDITION ؛ S^۲ : WITH CONDITION

براساس نمونه‌های اولیه ساخته شده به روش مارشال مقدار بهینه زئولیت برای Na-P۱ در حالت خشک ۱،۱۳٪ و برای کلینوپتیلولیت در حالت اشباع ۰،۶٪ وزنی مخلوط بدست آمد. نمونه های حاوی زئولیت بهینه دارای مقاومت رطوبتی مطلوبی بودند.

۲-۳-۵- اثر ارگانو - مونت موریلونیت (OMMT)^۱ بر مشخصات فرسودگی آسفالت [۹]:

در این مقاله که توسط ژانگ و همکاران ارائه شده است اثر OMMT بر اکسیداسیون و فرسودگی ناشی از امواج UV بر آسفالت بررسی شد. نتایج حاکی از کاهش قابل ملاحظه نقطه نرمی (ΔS) و شاخص فرسودگی در آسفالت اصلاح شده با OMMT می‌باشد. همچنین نتایج نشان از تغییر جزئی در شاخص شیارشدگی ($G^*/\sin\delta$) بعد از TFOT و کاهش شاخص ترک ($G^*\cdot\sin\delta$) بعد از PAV برای قیر اصلاح شده دارد.

روکش آسفالتی یکی از رایج ترین انواع روسازی ها محسوب می گردد؛ اما دارای معایبی نیز هست. فرسودگی آسفالت یکی از این معایب است که برای آسفالت رخ می دهد که در اثر عواملی چون جذب اشعه UV، حرارت، اکسیداسیون و... باعث سخت شدن آسفالت می شود. در واقع مکانیسم فرسودگی شامل فرار مواد روغنی موجود در سنگدانه ها بر اثر عوامل مختلف است و به همین دلیل شبیه سازی فرآیند فرسودگی بسیار دشوار است. شبیه سازی فرسودگی در آزمایشگاه به کمک افزایش دما، کاهش ضخامت فیلم آسفالت، افزایش فشار اکسیژن یا ترکیبی از موارد فوق صورت می گیرد. بر این اساس آزمایش های فرسودگی تحت عناوین TFOT, RTFOT, PAV و فرسودگی UV شناخته شده‌اند. از میان آزمایش‌های فوق TFOT و RTFOR برای شبیه سازی فرسودگی کوتاه مدت (حین عملیات پخت و پخش) و PAV و فرسودگی UV برای شبیه سازی فرسودگی بلند مدت پس از پخش و بهره برداری است. مونت موریلونیت به طور گسترده برای تغییر پلیمرها به کار می‌رود. زنجیره پلیمری می‌تواند درون لایه های MMT^۲ جایگزین شود و MMT پراکنده را به مجموعه ای از پلیمرهای با مقیاس نانو تبدیل کند و سبب بهبود خواص حرارتی و مکانیکی پلیمر شود. نتایج تحقیقات گسترده پیرامون انواع مختلف افزودنی ها حاکی از آن است که MMT باعث بهبود خواص فیزیکی و رئولوژیکی قیر می‌گردد. علاوه بر آن OMMT تاثیر اصلاحی بهتری بر آسفالت نسبت به Na-MMT دارد. در این تحقیق اثر افزودن OMMT بر قیر برای بررسی فرسودگی از طریق آزمایش های TFOT, PAV و آزمایش فرسودگی UV بررسی می‌گردد.

۱-Organo Montmorillonite

۲-Montmorillonite

مواد و روش ها :

قیر ۷۰-SK (طبق استاندارد کره جنوبی) که مشخصات فیزیکی آن به شرح زیر است :

درجه نفوذ ۶۴,۶ دسی میلی متر در دمای ۲۵ درجه سانتی گراد، نقطه نرمی ۴۸ درجه سانتی گراد، ویسکوزیته ۰,۵۶۳ پاسکال در دمای ۱۳۵ درجه سانتی گراد و ۲۷۲ پاسکال در ۶۰ درجه سانتی گراد.

همچنین OMMT مورد استفاده تولید شده در صنایع شیمیایی hong-feng می باشد.

برای تهیه قیر اصلاح شده با OMMT ابتدا قیر تا دمای ۱۵۰ درجه حرارت داده شد و سپس ۳ درصد OMMT مرطوب به آن اضافه گردید و در مخلوط کن با سرعت ۵۰۰۰ دور در دقیقه برای مدت ۱ ساعت خوب مخلوط گردید.

آزمایش TFOT طبق استاندارد ASTM D۱۷۵۴ انجام گرفت و طی آن قیر به مدت ۵ ساعت تا دمای ۱۶۳ درجه سانتی گراد حرارت داده شد.

همچنین آزمایش PAV طبق استاندارد ASTM D۶۵۲۱ در دمای ۱۰۰ درجه سانتی گراد و فشار ۲,۱ مگا پاسکال به مدت ۲۰ ساعت انجام گرفت.

آزمایش UV نیز در یک محفظه با لامپ ۵۰۰ وات و طول موج ۳۴۰ نانومتر با ۲ میلی متر ضخامت فیلم آسفالتی و درجه حرارت ۸۰ درجه سانتی گراد انجام گرفت.

فرآیند فرسودگی UV بر اساس اندازه گیری تغییرات ویسکوزیته و نقطه نرمی در یک دوره ۱۸ روزه بوده است.

همچنین آزمایش های فیزیکی شامل نقطه نرمی، درجه نفوذ و شکل پذیری بر اساس استاندارد های ASTM D۳۶، ASTM D۵ و ASTM D۱۱۳-۸۶ انجام گرفت.

در نهایت پس از انجام آزمایش های TFOT و PAV آزمایش DSR بر روی نمونه ها انجام گرفت که نتایج آن در جدول ۲-۷ آورده شده است.

جدول ۲-۷- نتایج آزمایش DSR [۱۱]

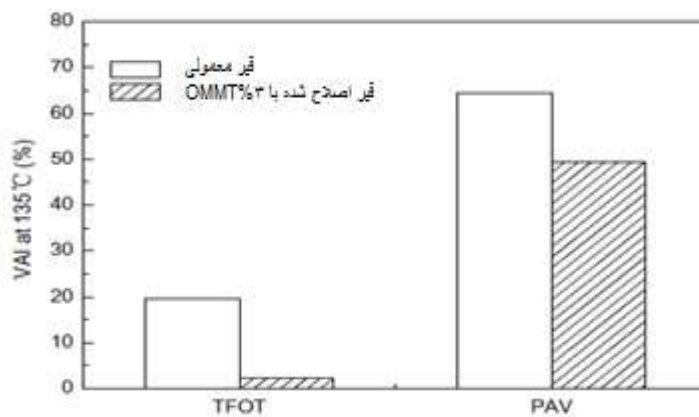
پارامترهای رئولوژیکی	قطر صفحه (mm)	فاصله (mm)	دمای آزمایش (°C)	شرایط نمونه
G*/Sinδ	۲۵	۱,۰	۴۰-۷۰	بعد از انجام TFOT
G*.Sinδ	۸	۲,۰	۵-۴۰	بعد از انجام PAV

پس از انجام آزمایش های مختلف بر روی قیر اصلاح شده با OMMT و بعد از اکسیداسیون حرارتی نتایج زیر حاصل گردید:

الف) ویسکوزیته : ویسکوزیته قیر یک پارامتر بسیار مهم در بررسی کارایی آسفالت است که روش محاسبه ی آن به شرح رابطه ۲-۴ است :

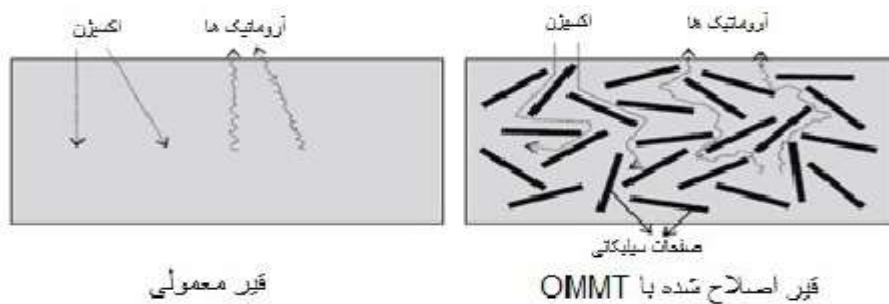
$$\text{رابطه ۲-۴} \quad \text{VAI} = \left(\frac{\text{مقدار ویسکوزیته قیر فرسوده}}{\text{مقدار ویسکوزیته قیر معمولی}} - 1 \right) \times 100$$

شکل ۲-۷ نشان دهنده ی مقدار VAI برای قیر اصلاح شده با OMMT و قیر معمولی است.



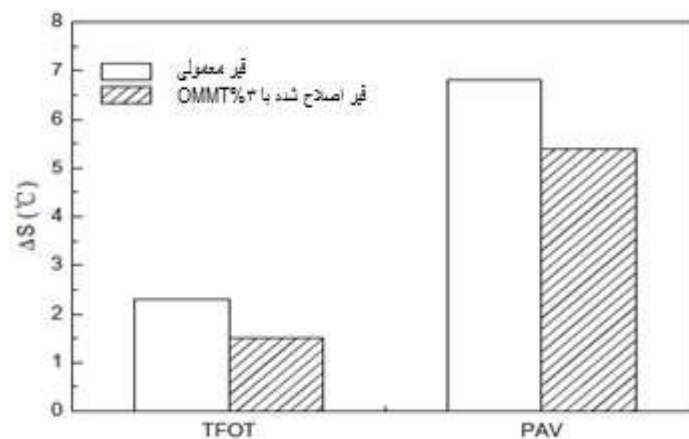
شکل ۲-۷- مقایسه VAI قیر اصلاح شده با قیر معمولی [۱۱]

نحوه عملکرد OMMT در آسفالت در شکل ۲-۸ نشان داده شده است. صفحات سیلیکاتی مانع از، از بین رفتن آروماتیک ها و در نتیجه جلوگیری از فرسودگی قیر می گردند.



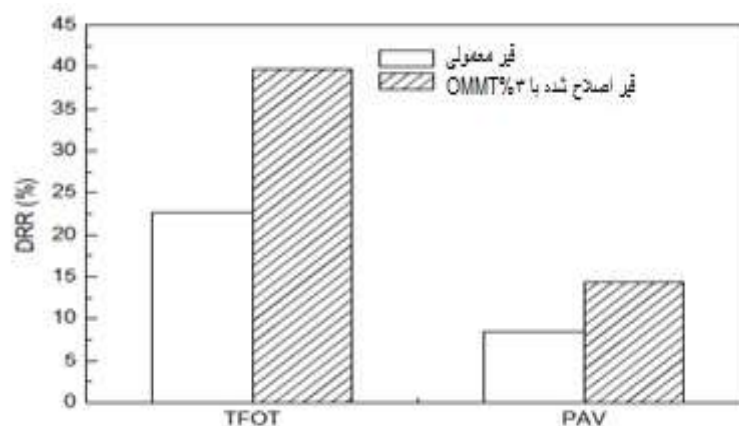
شکل ۲-۸- شماتیک نحوه عملکرد OMMT [۱۱]

ب) نقطه نرمی : طبق آزمایش های انجام گرفته و بر اساس نمودار شکل ۲-۹ افزودن مونت موریلونیت سبب کاهش نفوذ پذیری قیر پس از آزمایش های PAV و TFOT گردیده است.



شکل ۹-۲- مقایسه نقطه نرمی آسفالت اصلاح شده و معمولی [۱۱]

ج) آزمایش DSR : نمودار ۲-۱۰ حاصل از آزمایش DSR بر روی نمونه های پیر شده با RTFOT و PAV ترسیم گردید و با اندازه گیری شاخص DSR بهبود در رفتار قیر اصلاح شده مشخص گردید.



شکل ۱۰-۲- مقایسه DSR قیر اصلاح شده و قیر معمولی [۱۱]

نمونه های حاوی ۳ درصد مونت موریلونیت با نمونه شاهد طی چندین آزمایش مقایسه و نمودارهای مربوط ترسیم شدند. در تمامی آزمایش های درجه نفوذ، نقطه نرمی و DSR که بر روی نمونه های پیر شده با RTFOT و PAV صورت گرفتند، قیر اصلاح شده با OMMT عملکرد به مراتب بهتری را از خود به نمایش گذاشت و می توان آن را جز افزودنی های مناسب برای اصلاح خواص رئولوژیکی قیر برشمرد.

۲-۳-۶- شبیه سازی اثر فرسودگی آسفالت داغ به منظور آزمایش کارایی برای طراحی سازه روبه [۱۲]:

محیط نقش بسیار مهمی در تعیین مشخصات آسفالت گرم دارد. از عمده شرایط محیطی که بر مواد آسفالت گرم تأثیر چشمگیری دارد؛ تغییرات دمایی و رطوبت است. تحقیقات انجام شده در موسسه شارپ تحت عنوان پروژه A۰۰۵ به وضوح تأثیر دمای محیط بر فرسودگی آسفالت را نشان داد. طبق نتایج این تحقیق متوسط دمای سالیانه گرمتر تأثیر بیشتری بر فرسودگی آسفالت نسبت به متوسط دمای سالیانه سردتر دارد. همچنین تحقیقات نشان می‌دهد میزان فضای خالی بیشتر در آسفالت سبب اکسیداسیون بیشتر و در نتیجه سختی آسفالت می‌شود.

همچنین لایه‌ای که آسفالت در آن قرار گرفته است بسیار حائز اهمیت است. هرچه آسفالت در لایه‌های زیرین تر قرار گیرد؛ تماس آن با هوا کمتر است و در نتیجه کمتر دچار اکسیداسیون می‌شود. در نتیجه سختی مخلوط آسفالتی نسبت عکس با عمق قرارگیری لایه دارد. می‌توان گفت پدیده سخت شدگی آسفالت و فرسودگی که شامل فرسودگی کوتاه مدت و بلند مدت است پدیده پیچیده‌ای است زیرا عوامل مختلفی بر آن تأثیرگذار است. فرسودگی بر سخت شدگی آسفالت تأثیر می‌گذارد و به مرور زمان و به تدریج باعث گسترش خرابی و پریشانی در سطح آسفالت می‌شود که از جمله این خرابی‌ها می‌توان به ترک‌های طولی، ترک‌های عرضی و حرارتی و ترک‌های ریز سطحی اشاره کرد. دو روش آزمایشگاهی برای شبیه سازی عملکرد مخلوط آسفالتی داغ تحت پروژه A-۰۰۳ شارپ گسترش یافت. این روش‌ها امروزه در استاندارد آشتو R۲۸ تحت عنوان PAV و استاندارد آشتو R۳۰ تحت عنوان " وضعیت مخلوط آسفالت داغ " امکان انجام دارند. البته لازم به ذکر است که به طور قطع این آزمایشات نیز محدودند.

آزمایش آشتو R۲۸ تحت شرایط زیر بر روی نمونه انجام می‌گیرد :

۱- فرسودگی در محفظه در مدت زمان ۲۰ ساعت انجام می‌گیرد.

۲- فشار هوا برابر ۲,۱ مگا پاسکال خواهد بود.

۳- دما فرسودگی بسته به شرایط منطقه ۹۰،۱۰۰ یا ۱۱۰ انتخاب می‌گردد.

جهت بررسی وضعیت مخلوط در فرسودگی بلند مدت آزمایش آشتو R۳۰ تحت شرایط زیر انجام می‌پذیرد :

۱- ابتدا مخلوط آسفالت داغ تحت شرایط پیرشدگی کوتاه مدت فرسوده می‌گردد.

۲- دوره فرسودگی ۵ روز است.

۳- دمای فرسودگی ۸۵ درجه سانتی گراد می‌باشد.

محدودیت این آزمایش ها را می توان در موارد زیر خلاصه کرد :

میانگین دما سالیانه هوا در ایالات متحده حدود ۳۵,۷۵ درجه سانتی گراد است در حالیکه در آشتو R۲۸ تنها ۳ دما و در آشتو R۳۰ تنها یک دما در نظر گرفته و همین محدوده دمایی را توصیه می کند. آشتو R۲۸ نمی تواند به طور واضح نقطه تقاطع بین شرایط دمایی ارائه شده در دماهای مختلف فرسودگی PAV را مشخص کند.

آشتو R۲۸ فرسودگی در یک دوره ۵-۱۰ ساله را بیان می کند در حالیکه آشتو R۳۰ فرسودگی در یک دوره ۵-۷ ساله را بیان می کند و این خود یک بازه وسیع است و عملکرد روسازی در میان دوره قابل بررسی نیست.

شرایط آزمایشگاهی برای تمام نمونه ها یکسان است در حالیکه پتانسیل فرسودگی نمونه وابسته به خواص فیزیکی و شیمیایی آنهاست که برای هر نمونه اختصاصی است.

شبه سازی فرسودگی با آزمایشات به تأثیر مشخصات حجمی ارتباط ندارد، یعنی تأثیر تغییر در فضای خالی نمونه ها بر فرسودگی در نظر گرفته نمی شود.

آزمایشات و آنالیزها :

اصلاح فاکتورهای موثر : در گام اول باید فاکتور های موثر بر ویسکوزیته اصلاح شوند. برای کنترل آزمایش آشتو R۲۸ ویسکوزیته حاصل از آزمایش فرسودگی با ویسکوزیته نمونه های حاصل از واقعیت جایگزین گردید. هدف از این کار کالیبره کردن مدل حاصله است. مدل پیش بینی باید با فایل داده ها کالیبره گردد. نمونه از سه سایت MnRoad, West Track, Arizona اخذ و تحت آزمایش DSR قرار گرفتند. سپس ویسکوزیته اندازه گیری از طریق مدل پیش بینی با ویسکوزیته حاصل از آزمایش DSR مقایسه و مدل کالیبره گردید. همچنین اعتبار مدل پیش بینی به وسیله داده های مستقل LTPP که از ۸ سایت اخذ گردید کنترل گردید.

به دلیل موجود نبودن ویسکوزیته RTFO در پایگاه داده و لزوم وجود این پارامتر در مدل پیش بینی به ناچار آن را از طریق رابطه ۲-۷ محاسبه می کنیم :

رابطه ۲-۷

$$\log \log \eta = A + VTS(\log T_R)$$

رابطه ۲-۸ برای محاسبه دما فرسودگی استفاده می شود و مقادیر حاصل از آن به مراتب دقیق تر از مقادیر ذکر شده در آشتو M۳۲۰ است. این رابطه قابلیت انضمام به آشتو R۲۸ به لحاظ دقت را داراست.

$$T_{PAV} = \left\{ \begin{array}{l} \left(\frac{2.132432 + 0.193560}{\times (\log \log \eta_{RTFO, 60^\circ C})^2 \times MAAT} \right) \\ \times \ln(t_{aging}) + 109.9632 - 78.2945 \\ \times (\log \log \eta_{RTFO, 60^\circ C})^2 \end{array} \right\} \times (0.445445 \times VA_{orig}^{0.378370})$$

رابطه ۸-۲

همچنین با یک عملیات ریاضی می توان رابطه ۸-۲ را به صورت رابطه ۹-۲ تبدیل نمود و زمان فرسودگی را تعیین کرد :

$$t_{aging} = \exp \left(\frac{\left(\frac{T_{PAV}}{0.445445 \times VA_{orig}^{0.378370}} - 109.9632 + 78.2945 \right) \times (\log \log \eta_{RTFO, 60^\circ C})^2}{2.132432 + 0.193560} \right) \times (\log \log \eta_{RTFO, 60^\circ C})^2 \times MAAT$$

رابطه ۹-۲

بررسی فرسودگی بلند مدت مخلوط آسفالتی داغ یک پروسه بسیار پیچیده است که پارامترهای متعددی از جمله شرایط آسفالت، آب و هوای منطقه و بار ترافیکی و موارد بسیار دیگری بر آن تاثیر گذارند. شبیه سازی‌ها نشان می‌دهد هرگونه تغییر در فضای خالی نمونه‌ها بر فرسودگی تأثیرگذار است که این تغییر باید متناسب با سطح بار ترافیکی منطقه و نوع مخلوط باشد. فرسودگی کوتاه مدت و بلند مدت بر سختی آسفالت تاثیر می‌گذارد و در گذر زمان باعث کاهش مدول دینامیکی آن می‌گردد.

این تغییر در مدول دینامیکی سبب تغییر در تنش و کرنش و به هم ریختن الگوی عملکردی سازه ای روسازی می‌گردد. تمامی این تغییرات سبب ایجاد ترک های حرارتی، طولی و عرضی در سطح روسازی می‌گردد. شارپ نیز اقدام به شبیه سازی فرسودگی بلند مدت در آزمایشگاه و مطابق با آستو R۳۰ کرده است که فرسودگی ۱۰-۷ ساله را پیش بینی می‌کند.

در بحث مشاهدات آشتو R30 مخلوط کرگیری شده از سه سایت در دماهای ۸۰،۸۵ و ۹۰ درجه سانتی‌گراد برای مدت ۵ ساعت تحت آزمایش فرسودگی قرار گرفتند. سپس مدول دینامیکی نمونه‌های فرسوده در دو دما و شش فرکانس اندازه‌گیری شدند.

نتایج نشان می‌دهد دما بالا سبب فرسودگی بیشتر نمونه‌ها و افزایش سختی آنها می‌گردد. بنابراین مناطق گرمسیر فرسودگی بیشتری را نسبت به سردسیر تجربه می‌کنند. همچنین لازم به ذکر است توصیه آشتو برای اندازه‌گیری فرسودگی ۱۰-۷ ساله نمونه‌ها دارای فضای خالی بین ۴ تا ۱۲ درصد باشند که تمامی نمونه‌های مورد استفاده در این آزمایش دارای شرط فوق بودند.

۲-۴- سایر مقالات:

فیلرهای معدنی:

آهک هیدراته ($\text{Ca}(\text{OH})_2$): تغییر شکل پذیری قیر را در دماهای بالا کاهش می‌دهد؛ این مساله بخصوص در اوایل عمر مخلوط که بیشترین استعداد گود افتادگی را داراست اهمیت دارد.

افزودن آهک، ویسکوزیته قیر را به طور چشمگیری کاهش می‌دهد و این امر سبب افزایش سختی مخلوط آسفالتی و کاهش شیارافتادگی و در نتیجه افزایش مقاومت در برابر عریان‌شدگی می‌گردد. [۱۳]

نتایج آزمایش‌های مقاومت مارشال، کشش غیر مستقیم و مدول برجهندگی نیز حاکی از بهبود وضعیت در هنگام افزودن آهک هیدراته است.

گیلسونایت: با افزایش درصد گیلسونایت از درجه نفوذ قیر کاسته و نقطه نرمی آن افزایش می‌یابد. [۱۳]

همچنین طبق نتایج بدست آمده از آزمایش کندروانی کینماتیکی، کندروانی قیر با افزایش ۱۰٪ گیلسونایت در دماهای ۱۲۰، ۱۳۵ و ۱۶۰ درجه سانتی‌گراد تقریباً دو برابر قیر خالص گردید.

معیار سختی قیر یا مقاومت شیار افتادگی در دماهای بالا $G.Sin\delta$ می‌باشد که مقدار اندازه‌گیری شده در دمای ۵۸ درجه سانتی‌گراد برای قیر خالص و قیر پیر شده با RTFO با افزودن گیلسونایت افزایش یافت؛ یعنی مقاومت خستگی آن افزایش پیدا کرد. جهت تأثیر گیلسونایت بر ترک‌های دمای پایین قیر، آزمایش BBR انجام شد که نتایج حاصل از آن نشان می‌دهد با افزایش درصد‌های مختلف گیلسونایت، سختی خمشی قیر افزایش و مقدار m کاهش می‌یابد. [۱۴]

همچنین در تحقیق دیگری که بر روی قیرهای PG ۶۴-۲۲ & PG ۵۸-۲۲ انجام گرفت؛ با افزودن گیلسونایت دمای عملکردی هر دو قیر افزایش یافت. [۱۵]

در تحقیق دیگر، مقاومت مارشال نمونه‌های حاوی مقادیر مختلف گیلسونایت بررسی و مشخص گردید با افزودن گیلسونایت به مخلوط آسفالتی میزان مقاومت رطوبتی مخلوط به طور قابل ملاحظه‌ای افزایش پیدا کرد. [۱۶]

تأثیر گیلسونایت بر خصوصیات خستگی مخلوط‌های آسفالتی نیز مورد ارزیابی قرار گرفت و نشان داد مخلوط‌های بتن آسفالتی گرم اصلاح شده با گیلسونایت (تحت آزمایش کشش غیر مستقیم) سختی بالاتر و مقاومت خستگی بیشتری دارند [۱۷].

بنتونیت ($(\text{NaCa})_{0.33}(\text{AlMg})_2\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$) : پس از اضافه کردن مونت موریلونیت و مونت موریلونیت آلی به قیر شاهد افزایش مقاومت شیارشدگی و پایداری بالاتر قیر می‌باشیم. [۱۸]

در تحقیقی که در ایران انجام گرفت مشاهده شد با افزایش درصد بنتونیت، نقطه نرمی و ویسکوزیته قیر افزایش یافت. همچنین با انجام آزمایش BBR بر روی قیر معمولی و اصلاح شده پس از پیرشدگی RTFO+PAV مشخص شد افزودن بنتونیت باعث کاهش سختی و در نتیجه مقاومت بیشتر در برابر ترک‌های ناشی از دماهای پایین شد. کم بودن سختی خمشی قیر پیر اصلاح شده نشان دهنده این مطلب است که صفحات رسی در شبکه قیر از اکسیداسیون مولکول‌ها و تبخیر روغن‌های سبک جلوگیری می‌کند.

گرافیت: در تحقیقی تأثیر گرافیت بر روی حساسیت رطوبتی آسفالت بررسی گردید. در این تحقیق با اضافه کردن درصدهای مختلف گرافیت، نقطه نرمی و ویسکوزیته قیر افزایش و درجه نفوذ آن کاهش یافت. [۱۹]

در موردی دیگر تأثیر کربن نانوفیبر بر خصوصیات رئولوژیکی قیر مورد بررسی قرار گرفت. با انجام آزمایش شیارشدگی و خستگی قیر هر دو پارامتر $G/\text{Sin}\delta$ و $G \cdot \text{Sin}\delta$ افزایش یافت. [۲۰]

خلاصه مقالات ارائه شده تا کنون در جدول ۲-۸ به شرح زیر آورده شده است.

جدول ۲-۸- خلاصه مقالات ارائه شده

ردیف	عنوان	خلاصه آزمایش	نتیجه
۱	اثر زئولیت بر مشخصات فوم آسفالتی	بررسی خواص فیزیکی دو نوع زئولیت طبیعی و مصنوعی و تأثیر ساختار آنها بر مشخصات فوم قیری و کاهش دمای پخت	در بررسی نوع زئولیت برای اصلاح قیر، نسبت Si/Al، سطح مقطع مولکول های زئولیت، فضای خالی بین ذرات و اندازه ذرات حائز اهمیت است.
۲	بررسی اثر زئولیت بر قیر برای کاربرد در دماهای پایین	بررسی ترک های حرارتی به وجود آمده در مناطق سردسیر به کمک مدول تجربی فروم-فانگ و بررسی اثر افزودن زئولیت به قیر در جهت کاهش این ترک ها	افزودن زئولیت باعث افزایش وزن مخصوص قیر و بهبود کارایی آن در جهت کاهش ترک های حرارتی می گردد.
۳	اثر افزودن زئولیت بر مصنوعی مشخصات قیر ۳۵/۵۰	افزودن زئولیت در درصد های مختلف به قیر ۳۵/۵۰ و انجام آزمایشات نقطه شکست فراس، درجه نفوذ، نقطه نرمی و ویسکوزیته دینامیکی به منظور بررسی کارایی آن	افزودن زئولیت بر حساسیت حرارتی قیر تأثیر ندارد اما سبب بالا رفتن ویسکوزیته دینامیکی و کاهش اندک درجه نفوذ می گردد.
۴	اثر افزودن زئولیت بر دمای اختلاط آسفالت	پس از بررسی بافت هر دو نوع زئولیت طبیعی و مصنوعی، مقدار بهینه ی آن برای افزودن به قیر و تهیه آسفالت گرم محاسبه گردید	مقدار بهینه افزودن زئولیت به آسفالت حدود ۱،۱۳ درصد وزن مخلوط برای نوع مصنوعی و ۰،۶ درصد در حالت اشباع برای نوع طبیعی محاسبه گردید.
۵	اثر اورگانو مونت موریلونیت بر فرسودگی آسفالت	با افزودن مونت موریلونیت به قیر اثر آن بر فرسودگی ناشی از امواج UV و اکسیداسیون حرارتی مورد بررسی قرار گرفت.	نتایج حاکی از کاهش قابل ملاحظه نقطه نرمی و شاخص فرسودگی نمونه های حاوی مونت موریلونیت بود.
۶	شبیه سازی اثر فرسودگی آسفالت داغ بر طراحی لایه روسازی	بررسی علل موثر بر فرسودگی و آزمایش های توصیه شده توسط آشتو برای پیش بینی پیرشدگی قیر با استفاده از داده های موجود از مناطق مختلف ایالات متحده	ارائه رابطه ای به منظور پیش بینی زمان فرسودگی قیر در دماهای مختلف خدمت رسانی .

فصل سوم

مواد و آزمایش‌ها

۳-۱- مقدمه :

از جمله مهمترین عوامل موثر بر خرابی روسازی‌های آسفالتی می‌توان به فرسودگی درازمدت قیر اشاره کرد. فرسودگی درازمدت که به تدریج و طی دوره بهره‌برداری از راه رخ می‌دهد ناشی از بزرگ شدن مولکول‌ها و تغییر ساختار شیمیایی قیر است که به دلیل اکسیداسیون اتفاق می‌افتد. همچنین اشعه گاما موجود در نور آفتاب فرآیند پلیمریزاسیون هیدروکربن‌ها را تشدید کرده و لذا در فرسودگی درازمدت قیر مؤثر است.

تا کنون تحقیقات متعددی روی انواع مواد کاهنده فرسودگی قیر صورت گرفته که در آن‌ها با افزودن مواد مختلف به قیر سعی در کاهش خرابی‌های آسفالت از طریق کاهش فرسودگی قیر شده است. از جمله موادی که اثر آن‌ها بر فرسودگی قیر مورد آزمایش قرار گرفته است می‌توان به گیلسونایت، بنتونیت، انواع پلیمرها و آهک هیدراته اشاره کرد.

در این تحقیق هدف ارزیابی تاثیر ژئولیت بر فرسودگی قیر می‌باشد. ژئولیت به دلیل دارا بودن دو خاصیت اصلی برای این کار انتخاب گردید :

جاذب آب است.

دارای خاصیت آنتی اکسیدانی است.

در ابتدای کار به نظر می‌رسد ژئولیت با جذب اکسیژن و جلوگیری از اکسید شدن قیر بتواند در کاهش فرسودگی قیر و در نهایت کاهش خرابی‌های روسازی آسفالتی نقش مفیدی ایفا کند.

۳-۲- مواد مورد استفاده :

مواد اصلی مورد استفاده در این تحقیق قیر و ژئولیت طبیعی می‌باشد.

قیر مورد استفاده شامل دو نوع قیر خالص از نوع AC-۶۰/۷۰ و AC-۸۵/۱۰۰ تهیه شده از شرکت نفت جی می‌باشد.

افزودنی مورد استفاده در این تحقیق همانطور که پیشتر بیان شده ژئولیت طبیعی می‌باشد که از جمله افزودنی‌های معدنی است. ژئولیت مورد استفاده، از نوع کلینوپتیلولیت تهیه شده از معادن شهرستان سمنان و تولید شده توسط شرکت افرازند سمنان می‌باشد.

۳-۲-۱- قیر :

قیر های مورد استفاده در این آزمایش قیرهای خالص از نوع AC می باشند که از پالایشگاه نفت جی تهیه گردیدند.

دو نوع قیر مورد استفاده یعنی AC-۶۰/۷۰ و AC-۸۵/۱۰۰ در تاریخ ۹۵/۸/۱۲ از پالایشگاه نفت جی خریداری گردید که مشخصات عملکردی آن ها بر اساس اعلام کارخانه در جداول ۱-۳ و ۲-۳ ذکر گردیده است.

جدول ۱-۳- مشخصات فنی قیر AC۶۰/۷۰ طبق اعلام کارخانه سازنده

Property	Specification	Test method
Speceific gravity @ ۲۵/۲۵c	۱,۰۱-۱,۰۶	D-۷۰
penetration@۲۵c	۶۰/۷۰	D-۵
Sofeting point c	۴۹/۵۶	D-۳۶
Ductility @ ۲۵ c	۱۰۰ min	D-۱۱۳
Loss on heating (%)	۰,۲ max	D-۶
Drop in penetration after heating(%)	۲۰ max	D-۶ & D-۵
Flash point (c)	۲۵۰	D-۹۲
Solubility in cs ^۲ (%)	۹۹,۵	D-۴
Paraffin wax content	Less than۲٪.	D-۵۲۰۱۵

جدول ۲-۳- مشخصات فنی قیر AC ۸۵/۱۰۰ طبق اعلام کارخانه سازنده

Property	Specification	Test method
Speceific gravity @ ۲۵/۲۵c	۱,۰۱-۱,۰۵	D-۷۰
penetration@۲۵c	۸۵/۱۰۰	D-۵
Sofeting point c	۴۵/۵۲	D-۳۶
Ductility @ ۲۵ c	۱۰۰ min	D-۱۱۳
Loss on heating (%)	۰,۵ max	D-۶
Drop in penetration after heating(%)	۲۰ max	D-۶ & D-۵
Flash point (c)	> ۲۲۵	D-۹۲
Solubility in cs ^۲ (%)	۹۹,۵	D-۴
Paraffin wax content	Less than۲٪.	D-۵۲۰۱۵

۳-۲-۲- زئولیت :

کلینوپتیلولیت به عنوان یکی از بهترین انواع طبیعی زئولیت کاربردهای فراوانی دارد، که خود از نوع تیپ به چندین نوع و از نظر نوع کاتیون‌های همراه به سه دسته عمده تقسیم می‌شود :

نوع سدیک با فرمول کلی $\text{Na}_6[(\text{AlO}_2)_6(\text{SiO}_2)_{30}]\cdot 24\text{H}_2\text{O}$

نوع سدیک پتاسیک با فرمول کلی $[\text{Na}_4\text{K}_4](\text{Al}_8\text{Si}_{24})\text{O}_{96}\cdot 24\text{H}_2\text{O}$

نوع سدیک پتاسیک کلسیک با فرمول کلی $[\text{Na}_4\text{K}_4\text{Ca}_2](\text{Al}_8\text{Si}_{24})\text{O}_{96}\cdot 24\text{H}_2\text{O}$

به گفته Economic Zeolit ذخایر زئولیت ایران دارای خلوص ۸۰ درصدی و از انواع ممتاز آن در جهان است.

زئولیت خریداری شده از شرکت افرازند با مش ۳۰۰ که جهت انجام آزمایش از الک ۲۰۰ رد و مورد استفاده قرار گرفت دارای خلوص ۸۵ درصدی (طبق اعلام شرکت تولید کننده) می‌باشد.

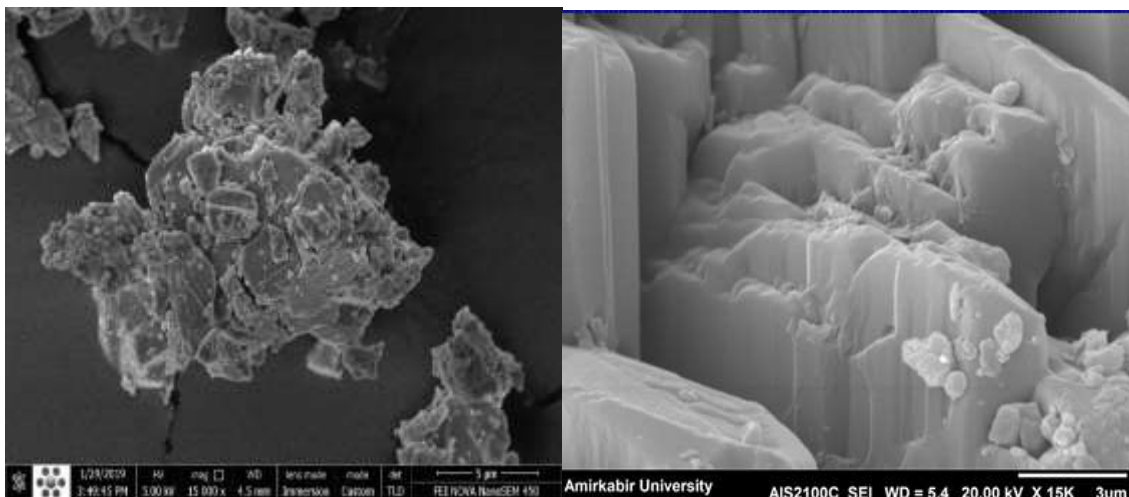
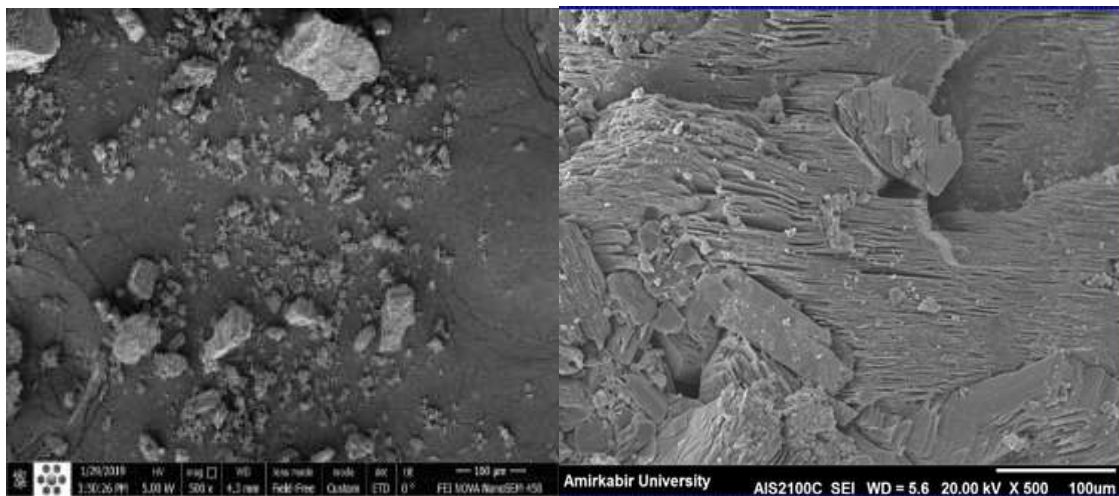
ترکیبات زئولیت مصرفی طبق اعلام شرکت بهره بردار معدن به شرح جدول ۳-۳ است :

جدول ۳-۳- ترکیبات زئولیت شرکت افرازند سمنان

Type & name	Clinopetilit type ۱
SiO_2	۶۸,۵٪
Al_2O_3	۱۱٪
Na_2O	۳,۸٪
K_2O	۴,۴٪
CaO	۰,۶٪
Fe_2O_3	۰,۲-۰,۹٪
L.O.I	۱۰-۱۲٪

ظرفیت تبادل یونی حدود $2,6\text{meq/gr}$ با جذب آب تا ۶۰٪ دارای وزن مخصوص ظاهری ۰,۵-۱,۱ gr/cm^3 و به رنگ زرد تا قهوه ای روشن می‌باشد.

همچنین عکس های SEM نمونه زئولیت مورد استفاده در آزمایشات مطابق زیر است :



شکل ۳-۱- عکس های SEM زئولیت افزارد سمنان در مقایسه با آهک

از عکس های SEM نمونه می توان گفت زئولیت دارای بافت صفحه ای است که همین فضای خالی بین صفحات را می توان عامل جذب آب یا دیگر مولکول هایی دانست که زئولیت بدون واکنش با آنها درون بافت خود جذب می کند به نحویکه در کشاورزی از این فرم قفس مانند موجود در بافت زئولیت برای نگه داشتن کودهای شیمیایی در سطح خاک و جلوگیری از نفوذ آنها به اعماق خاک پس از آبیاری اولیه استفاده می شود.

۳-۳- آزمایش‌های مورد استفاده :

۳-۳-۱- آزمایش درجه نفوذ

استاندارد مورد استفاده این آزمایش AASHTO-T۴۹ می‌باشد. مقدار درجه نفوذ به وسیله نشانه سختی اندازه‌گیری و ارزیابی می‌گردد. آزمایش درجه نفوذ به صورت گسترده‌ای برای طبقه‌بندی کردن قیرهای خالص با درجه نفوذهای مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این آزمایش مقدار نفوذ سوزنی با مشخصات استاندارد تحت اثر وزنی معادل ۱۰۰ گرم در مدت ۵ ثانیه در قیر با دمای 25°C بر حسب یک دهم میلی‌متر اندازه‌گیری می‌شود. درجه نفوذ کمتر نشانه قیر سفت‌تر و درجه نفوذ بیشتر نشانه قیر شل‌تر است، قیرهای خالص متداول مورد مصرف در راهسازی ایران دارای درجه نفوذ ۴۰-۵۰، ۶۰-۷۰ و ۸۵-۱۰۰ می‌باشند. هر قدر آب و هوای منطقه گرم‌تر و یا برای یک منطقه معین میزان آمد و شد وسایل نقلیه بیشتر باشد، باید از قیر با درجه نفوذ کمتری استفاده کرد. هدف از آزمایش درجه نفوذ قیر، تعیین سختی نسبی قیرهای خالص و دمیده می‌باشد که جهت نامگذاری این قیرها استفاده می‌شود.

وسایل آزمایش

• دستگاه مخصوص درجه نفوذ

• دماسنج

• کاردک

• حمام آب گرم

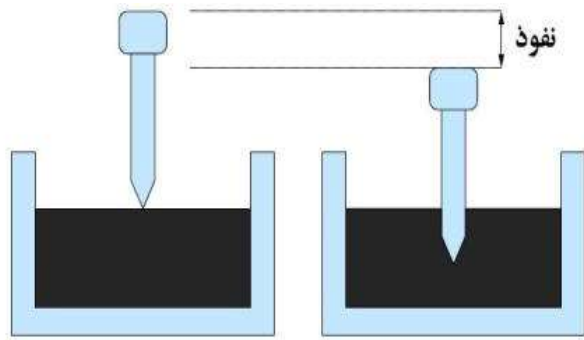
• دو ظرف کوچک با اندازه‌های مختلف

• کورنومتر

روش انجام آزمایش :

مقداری قیر، حدود ۶۰ درجه یا تا دمایی بالاتر از نقطه نرمی گرم می‌شود و سپس درون ظرف مخصوص قرار می‌گیرد. این ظرف دارای ۵,۵ سانتیمتر قطر و ۳,۵ سانتیمتر ارتفاع می‌باشد. باید دقت شود که سطح قیر کاملاً صاف و بدون حباب باشد. جهت صاف نمودن سطح قیر می‌توان از کاردک استفاده نمود. ظرف حاوی قیر، در معرض هوای آزمایشگاه قرار داده می‌شود تا قیر سرد شود. سپس ظرف قیر، در داخل حمام آب گرم با درجه حرارت ۲۵ درجه قرار گرفته تا پس از یک ساعت و نیم قیر با آب داخل حمام به تعادل برسد.

پس از این مرحله قیر، برای انجام آزمایش زیر دستگاه درجه نفوذ گذاشته می‌شود. نکته قابل توجه در این آزمایش حساسیت بیش از حد آن به دمای قیر است که نباید از حدود ۲۵ درجه سانتی‌گراد خارج شود و می‌بایست نسبت به دما حساس بود و به صورت مداوم آن را کنترل کرد. همچنین تکرار این آزمایش به تعداد دفعات مناسب جهت حصول هرچه دقیقتر مقدار حقیقی درجه نفوذ نمونه مورد نظر الزامی است. در نهایت باید نتایج دارای خطا را حذف و با میانگین‌گیری از نتایج و سرشکن کردن خطای ناشی از آزمایش مقدار آن را ثبت کرد.



شکل ۳-۲- دستگاه درجه نفوذ

۳-۳-۲- آزمایش نقطه نرمی قیر

نرمی یا روانی قیر برای هر قیری بستگی به درجه حرارت دارد که به تدریج سبب تغییر حالت قیر از وضعیت جامد به حالت خمیری و در نهایت با روان شدن تغییر حالت می‌دهد. بر اساس تعریف درجه نرمی، درجه حرارتی است که یک قیر از حالت جامد تحت ثقل گلوله‌ای فلزی به حالت روان در می‌آید. سرعت این تغییر حالت برای قیرهای مختلف فرق می‌کند. نقطه نرمی یکی از معیارهایی است که در تعیین حساسیت قیرها نسبت به درجه حرارت به کار می‌رود.

این آزمایش با استفاده از روش حلقه و گلوله بر اساس استاندارد AASHTO-T53 انجام می‌گیرد. در این آزمایش قیر گرم شده و در داخل حلقه ریخته می‌شود. پس از سرد شدن حلقه‌ها در محل خود واقع در ظرفی که در آن آب با درجه حرارت 25°C وجود دارد، قرار داده می‌شود و گلوله‌های فلزی بر روی حلقه قرار می‌گیرند. سپس به شکل غیرمستقیم از پایین به ظرف حرارت می‌دهند تا این که قیر نرم شده و گلوله از داخل آن عبور کند و با صفحه زیرین تماس بگیرد، دمایی که در آن این گلوله به صفحه زیرین برسد را نقطه نرمی می‌گویند. درجه نرمی قیرهای مورد استفاده در روسازی معمولاً بین $35-70^{\circ}\text{C}$ می‌باشد.

نقطه نرمی همچنین برای تعیین نشانه درجه نفوذ قیر (PI) به کار می‌رود (رابطه ۳-۱). یادآوری می‌شود که در درجه حرارت نقطه نرمی قیرها، میزان درجه نفوذ آنها برابر ۸۰۰ می‌شود. یکی از اهداف این آزمایش محاسبه مقدار مقاومت قیر خالص و مصالح ساخته شده با آن قیر است.

$$\frac{\log 800 - \log(\text{penetration})}{T_{\text{softening}} - T_{\text{penetration}}} = \frac{20 - PI}{10 + PI} \times \frac{1}{50} \quad \text{رابطه ۳-۱}$$

PI بیانگر حساسیت حرارتی قیر است و مقدار آن به منبع نفت خام و نحوه تولید و پالایش قیر بستگی دارد.

با ساده‌تر کردن رابطه ۳-۱ روابط زیر حاصل می‌گردد :

$$PI = \frac{20 - 500A}{50A + 1} \quad \text{رابطه ۳-۲}$$

در رابطه ۳-۲۴ پارامتر A معرف حساسیت حرارتی قیر بوده و می توان آن را از رابطه ۳-۳ بدست آورد:

$$A = \frac{\log 800 - \log (pen25)}{T_{R\&B} - 25} \quad \text{رابطه ۳-۳}$$

نحوه انجام آزمایش نقطه نرمی :

یکی از اهداف این آزمایش محاسبه مقدار مقاومت قیر خالص و مصالح ساخته شده با آن قیر نسبت به تغییرات درجه حرارت می باشد.

وسایل آزمایش:

- دو عدد ساچمه
 - دو عدد حلقه
 - بشر شیشه ای
 - دماسنج
 - دستگاه گرمکن
 - کاردک
 - یک سطح شیشه ای (صاف)
 - قیر
 - چراغ
 - پایه های نگهدارنده حلقه ها
- روش انجام آزمایش:

روش انجام این آزمایش بدین صورت است که ابتدا حلقه ها روی سطح شیشه ای که به روغن آغشته است، قرار می گیرد. روغن سبب می شود که قیر به شیشه نچسبد. عمق این حلقه ها در حدود ۸ میلی متر است. قیر را که قبلاً داغ شده است به آرامی در داخل حلقه ها ریخته به طوری که حلقه کاملاً پر شود.

چون عملاً پر کردن حلقه ها به صورت کامل بسیار مشکل است بهتر است به اندازه ای قیر در داخل آنها ریخته شود که نیاز به ریختن مجدد نداشته باشد اما اگر کمی زیادتر ریخته شد ، مشکلی پیش نخواهد آمد ، چراکه پس از سرد شدن قیر داخل حلقه ها ، سطح حلقه ها با کاردک صاف خواهد شد تا اضافه قیر حلقه ها برداشته شود. برای صاف نمودن سطح قیر لازم است که کاردک داغ شده را با زاویه ۴۵ درجه روی سطح حلقه ها کشید. سطح زیرین حلقه ها نیز به جهت استفاده از سطح شیشه ای، خود به خود صاف خواهد شد. پس از سرد شدن قیر و صاف نمودن سطح آن ، حلقه ها در جای خود در داخل بشر (روی پایه ها) قرار می گیرد. سپس بشر تا حدود ۵ سانتی متر بالای حلقه ها از آب مقطر پر می شود. البته لازم است گفته شود که در آزمایشگاه به علت محدودیت های موجود از آب معمولی استفاده می شود.

حال مجموعه بشر را در دستگاه گرمکن قرار داده تا دمای آب درون آن به ۲۵ درجه سانتیگراد برسد که برای نیل به این هدف لازم است بشر به مدت ۱۵ دقیقه در گرمکن بماند. در پایان ۱۵ دقیقه باید دمای آب داخل بشر به ۲۵ درجه سانتیگراد رسیده باشد. اکنون بشر را از گرمکن بیرون آورده و ساچمه ها را در مرکز حلقه ها روی قیر قرار داده و بشر روی چراغ قرار می‌گیرد. نکته بسیار مهم در این آزمایش، روند گرمادهی به بشر و محتوی آن یعنی قیر است. از آنجا که این آزمایش به حرارت بسیار حساس است، پس لازم است که در همه آزمایش‌ها از یک سرعت حرارت دهی استفاده شود. بنابراین حرارت به گونه ای تنظیم می‌شود که در هر دقیقه ۵ درجه به دمای آب افزوده شود و این مهم در حین حرارت دادن با دماسنج کنترل می‌گردد. عملیات گرمادهی آنقدر ادامه می‌یابد تا ساچمه های روی قیرها به سطح تیغه فلزی زیر حلقه‌ها برسند. اکنون میانگین این دو دما به عنوان نقطه نرمی قیر معرفی می‌شود.



شکل ۳-۳-آزمایش نقطه نرمی

۳-۳-۳- آزمایش ویسکوزیته :

ویسکوزیته یک خاصیت بنیادی قیر است که مشخص می‌کند مواد در یک دمای مشخص و یا یک محدوده دمایی چه رفتاری دارند.

آزمایش ویسکوزیته یا کندروانی قیر برای تعیین خاصیت روانی قیرها در درجه حرارت های بالا می‌باشد. قیرهایی که دارای درجه نفوذ یکسانی در دمای ۲۵ درجه سانتی گراد هستند ممکن است دارای سختی متفاوت در درجه حرارت های بالا باشند. هرچه قیری نسبت به گرما حساس تر باشد، کندروانی آن در درجه حرارت های بالا کمتر خواهد بود. هرگاه کندروانی قیری که در ساختن رویه آسفالتی به کار رفته است کم باشد، رویه آسفالتی در فصل تابستان به علت بالا بودن درجه حرارت محیط حالت خمیری پیدا کرده و سبب تغییر شکل روسازی در اثر رفت و آمد وسایل نقلیه می‌گردد.

ویسکوزیته قیر با دو آزمایش ویسکوزیته سی-بولت-فیورول و ویسکوزیته کینماتیکی اندازه‌گیری می‌شود که در ادامه به طور مختصر هر دو آزمایش معرفی و نحوه انجام ویسکوزیته کینماتیکی به طور مفصل شرح داده خواهد شد.

۳-۳-۱- ویسکوزیته سی بولت - فیورول :

در این روش با استفاده از دستگاه سی بولت - فیورول، زمان لازم بر حسب ثانیه برای آنکه مقدار ۶۰ سانتی متر مکعب قیر مایع در دمای ۱۳۵°C از مجرای فیورول دستگاه سی بولت فرو ریزد تعیین می شود. هر اندازه کندروانی قیری بیشتر باشد، مدت زمان بیشتری لازم است تا ۶۰ سانتی متر مکعب قیر فرو بریزد. برای حادث شدن این مهم زمانی که دمای روغن اطراف مجرای دستگاه به ۱۳۵°C رسید، قیر را در مجرا ریخته و اجازه داده می شود تا دمای قیر در ۱۳۵°C تثبیت شود. سپس با شروع اندازه گیری زمان، مجرا را باز نموده و زمان لازم قرائت می شود.



شکل ۳-۴- دستگاه آزمایش ویسکوزیته سی بولت - فیورول

۳-۳-۲- ویسکوزیته کینماتیکی :

همچنین می توان ویسکوزیته را با واحد مترمربع بر ثانیه یا با واحد مرسوم تر میلی متر مربع بر ثانیه بیان کرد که یک میلی متر مربع بر ثانیه برابر یک سانتی استوک است. این واحدها مربوط به ویسکوزیته کینماتیکی است. ویسکوزیته کینماتیکی بوسیله ویسکومتر لوله موئین اندازه گیری می شود. بوسیله معادله زیر می توان ویسکوزیته کینماتیکی را به ویسکوزیته دینامیک مربوط ساخت:

$$\text{ویسکوزیته دینامیک} \\ \text{ویسکوزیته کینماتیکی} = \frac{\text{ویسکوزیته دینامیک}}{\text{دانشیه}}$$

رابطه ۳-۴

هدف از گرانروی کینماتیکی (ASTM D-۴۴۵)، تعیین گرانروی کینماتیکی محصولات نفتی مایع (مایعات نیوتنی)، توسط اندازه گیری زمانی که حجمی از مایع بر اثر نیروی جاذبه در یک گرانروی سنج شیشه ای موئین استاندارد جاری می شود، می باشد.

تئوری ویسکوزیته به روش کینماتیکی؛ گرانروی یک سیال مقاومت آن در برابر حرکت می باشد و خاصیتی است که سیال به واسطه آن در مقابل تنش برشی مقاومت می کند. نسبت تنش برشی به گرادیان سرعت یک مایع گرانروی دینامیک نامیده می شود که مقاومت در برابر جریان یا تغییر شکل مایع است. مقاومت در برابر جریان یک مایع تحت نیروی گرانش، گرانروی کینماتیکی نامیده می شود. بسیاری از محصولات نفتی و برخی از مواد غیر نفتی به عنوان روغن های روان کننده به کار برده

می‌شوند و عملکرد درست دستگاه، بستگی به مناسب بودن مایعی دارد که به عنوان روان کننده استفاده می‌شود. هر چه گرانروی روغنی که به منظور روان کاری به کار می‌رود زیادتر باشد، عمل روان کاری مطمئن‌تر خواهد بود. البته روغن روان کاری باید دارای گرانروی معینی باشد زیرا اگر روغن خیلی سبک و روان باشد احتمال انفجار خواهد داشت و اگر خیلی سنگین باشد مقداری از آن از بین می‌رود. گرانروی بسیاری از سوخته‌های نفتی برای تخمین شرایط بهینه ذخیره سازی و عملیاتی، مهم می‌باشد. گرانروی نفت از نظر حرکت و جریان آن در خطوط لوله اهمیت دارد. با افزایش فشار و دما مقدار گرانروی نفت کاهش می‌یابد. وجود گازهای حل شده در نفت خام موجب کاهش گرانروی می‌شود و نتیجه این کاهش، آسان شدن جریان آن در خطوط لوله است. چون در این تحقیق از آزمایش ویسکوزیته کینماتیکی استفاده گردیده است چگونگی انجام آزمایش ویسکوزیته کینماتیکی به طور کامل معرفی خواهد شد.

دستگاه و وسایل لازم جهت آزمایش گرانروی کینماتیک :

- نگهدارنده گرانروی سنج، جهت نگه داشتن ویسکومتر به طور عمودی
- ویسکومتر موین شیشه ای کالیبره شده
- حمام با دمای کنترل شده
- کرومومتر
- پوآر
- روغن موتور به عنوان نمونه

روش انجام آزمایش ویسکوزیته کینماتیک : ابتدا حمام را روشن کنید و دمای حمام را روی $37/8$ درجه سانتی گراد تنظیم کنید. یک ویسکومتر کالیبره شده را که گرانروی کینماتیک تخمین زده شده را دربرگیرد (قسمت موین پهن تر برای مایعات با گرانروی بیشتر و قسمت موین باریکتر برای مایعات با گرانروی کمتر) انتخاب نمایید بطوریکه زمان جریان کمتر از ۲۰۰ ثانیه نباشد. پس از انتخاب ویسکومتر مناسب آن را با بنزین شسته و منتظر بمانید خشک شود. سپس دهانه باریک ویسکومتر را داخل ظرف محتوی نمونه کرده و دهانه دیگر را به پوآر متصل نمایید. به کمک پوآر روغن را وارد ویسکومتر کنید هر گاه تا نیمه حباب بزرگ ویسکومتر از نمونه پر شد پوآر را جدا کرده و به کمک نگهدارنده ویسکومتر را داخل حمام قرار دهید. حدود ۵ دقیقه صبر نمایید تا دمای روغن به دمای حمام برسد. سپس به کمک پوآر روغن را تا بالاتر از خط نشان اولی بالا بکشید. به کمک کرومومتر لازم برای عبور مایع از خط نشان اول به دوم را بر حسب ثانیه اندازه گرفته شده و ثبت می‌گردد.



شکل ۳-۵- دستگاه ویسکوزیته کینماتیکی

۳-۳-۴- آزمایش لعاب نازک :

در کل سه روش برای اعمال پیرشدگی بر روی قیر وجود دارد.

روش‌های حرارت مستمر

روش‌های استفاده از دمیدن اکسیژن یا هوا

روش‌های استفاده از امواج مادون قرمز و ماوراء بنفش

از جمله روش‌های حرارت مستمر روش لعاب نازک قیر درون گرمخانه است. برای متمایز کردن قیرها با مشخصات سفت شدگی و افت مواد فرار متفاوت معرفی شده است. روش لعاب نازک چرخشی قیر درون گرمخانه احتمالاً مهمترین اصلاح انجام شده است. این روش شامل قرار دادن قیر در یک ظرف شیشه‌ای و چرخاندن آن در ضخامت نازکتر از $2/3$ میلیمتر است که در روش قبلی استفاده می‌شد. روش‌های اکسیداسیونی (دمیدن هوا) شامل روش دوام اوا، روش بمب فشاری اکسیژن و محفظه فشار پیرشدگی از جمله این روش‌ها هستند.

روش دیگر شامل سفت کردن قیر به روش لعاب نازک قیر و یا لعاب نازک چرخشی قیر درون گرمخانه و سپس قرار دادن آن در یک محفظه پیرشدگی تحت فشار است. آزمایش لعاب نازک قیر برای تعیین میزان هدررفت محصولات سنگین نفتی و آسفالتینی فاقد آب مانند قیرها و مواد مشابه، در اثر حرارت و تحت شرایط استاندارد و مشخص بکار می‌رود.

در این آزمایش قیر به ضخامت ۳ میلی‌متر در گرمخانه تحت دمای 163 درجه سانتی‌گراد به مدت ۵ ساعت حرارت دهی می‌شود و قیر حاصله مشابه قیری است که تحت فرسودگی کوتاه مدت (پخت در کارخانه آسفالت) قرار گرفته است.



شکل ۳-۶- آزمایش لعاب نازک قیر

۳-۳-۵- آزمایش استاندارد شده آب جوشان :

از این آزمایش برای ارزیابی مخلوط نامتراکم استفاده می‌شود. در این آزمایش که طبق استاندارد ASTM D۳۶۲۵ می‌باشد، مصالح سنگی و قیر در دمای ۱۶۳ درجه سانتی گراد مخلوط شده و در دمای اتاق قرار داده می‌شود. سپس ۲۵۰ گرم از آن در آب جوش به مدت ۱۰ دقیقه قرار داده می‌شود. پس از آن مخلوط را خشک کرده و به صورت چشمی درصدی از سطح مصالح سنگی که با قیر پوشانده شده است تخمین زده می‌شود. مبنای محک نمونه‌ها در عمل، پوشش ۹۵ درصد است. این روش فقط یک ارزیابی مقدماتی برای برهنگی است و هیچگونه ارزیابی مقاومتی صورت نمی‌گیرد. همچنین تعیین میزان عریان شدگی مصالح با این روش دشوار است.

در آزمایش آب جوشان از سنگدانه‌های رد شده از الک ۱/۲ اینچ و مانده روی الک ۳/۸ اینچ استفاده گردید. سنگدانه‌ها با ۱۰ درصد وزنی قیر مورد استفاده ترکیب و سپس ۲۵۰ گرم از مخلوط حاصل به مدت ۱۰ دقیقه در آب جوشانده شد و سپس درصد سطحی که توسط قیر پوشانده شده است به صورت چشمی تخمین زده شد.



شکل ۳-۷- آزمایش آب جوشان

۳-۳-۶- آزمایش استقامت مارشال :

در آخرین گام اقدام به انجام تست استقامت مارشال بر روی نمونه‌های آسفالتی با قیر اصلاح شده گردید. برای این منظور نمونه‌های مارشال ساخته و برای تست آماده گردید.

۳-۳-۶-۱- طرح اختلاط مخلوط آسفالتی :

به منظور دستیابی به مناسب ترین طرح اختلاط آسفالت، از مصالح سنگی و قیر مورد نظر، روش‌های مختلفی ارائه شده است که در میان این روش‌ها روش مارشال در ایران بیشتر مورد استفاده قرار می‌گیرد. به همین منظور در این تحقیق از روش مارشال برای طرح اختلاط استفاده گردیده است.

۳-۳-۶-۲- اندازه و دانه‌بندی مصالح :

در این تحقیق برای ساخت نمونه‌ها از دانه‌بندی شماره ۵ توصیه شده در آیین نامه راه‌های ایران استفاده شد. همچنین درصد قیر بهینه برای ساخت نمونه‌های مارشال ۵,۵ درصد انتخاب گردید. جهت انجام دانه بندی مورد نظر، مصالح درشت دانه شسته و در اون خشک گردید. سپس به همراه مصالح ریزدانه با استفاده از الک های مورد نیاز و به کمک شیکر عملیات دانه بندی صورت گرفته و مصالح مانده بر روی هر الک به تفکیک در ظروف مربوطه قرار گرفتند. دانه بندی مورد استفاده در ساخت نمونه‌های مارشال در جدول ۳-۴ آورده شده است :

جدول ۳-۴- طرح اختلاط مصالح سنگی

اندازه الک	درصد مانده روی الک	وزن مانده روی هر الک (گرم)
۱/۲ Inch	۰	۰
۳/۸ Inch	۵	۶۰
No. ۴	۳۵	۴۲۰
No. ۸	۲۲	۲۶۴
No. ۱۶	۱۳	۱۵۶
No. ۳۰	۸	۹۶
No. ۵۰	۷	۸۴
No. ۱۰۰	۵	۶۰
No. ۲۰۰	۲	۲۴
Filler	۳	۳۶

۳-۳-۶-۳- ساخت نمونه‌های مارشال :

به منظور ساخت نمونه‌های مارشال ابتدا مصالح سنگی توزین شده به مدت ۲۴ ساعت در گرمخانه با دمای ۱۵۰ درجه سانتی گراد قرار داده شد تا رطوبت موجود در مصالح کاملاً از بین برود و مصالح به دمای لازم جهت اختلاط با قیر برسد . قیر مورد نیاز با توجه به درصد وزنی آن نسبت به وزن مخلوط آسفالتی توزین گردید. مواد و قیرهای توزین شده تک تک درون گرمخانه با دمای ۱۵۰ درجه سانتی گراد قرار داده شدند تا برای اختلاط با مصالح سنگی آماده شوند در عین حال ظرفی که مخلوط در آن ساخته

شد نیز برای حفظ دما در گرمخانه قرار گرفت . در مرحله بعد مصالح سنگی از گرمخانه خارج شده و داخل ظرف ساخت نمونه ها ریخته شد و دمای مصالح سنگی کنترل گردید و مقدار قیر مورد نیاز برای ساخت هر یک از نمونه ها به مصالح سنگی اضافه شد، اختلاط قیر و مصالح سنگی تا حصول مخلوطی یکنواخت ادامه یافت . در طی این مرحله ظرف حاوی مصالح و قیر به صورت غیر مستقیم بر روی شعله با دمای کم قرار گرفت تا دمای مخلوط در طول زمان اختلاط حفظ شود ضمن اینکه دمای مخلوط مرتباً کنترل می شد تا از مقدار مجاز فراتر نرود. پس از اختلاط کامل قیر و سنگدانه ها قالب مارشال که تمام اجزا آن برای حفظ دمای مخلوط مدت یک ساعت در دمای ۱۵۰ درجه سانتی گراد قرار گرفته بود از داخل گرمخانه خارج شده و روغن کاری گردید. سپس مخلوط آسفالتی تهیه شده در داخل قالب ریخته شد، بطوریکه دقت گردید توزیع مخلوط در داخل قالب یکنواخت صورت گیرد.



شکل ۳-۸- اختلاط مخلوط آسفالتی

حال نوبت به تراکم نمونه ها بوسیله چکش مارشال که قبلاً گرم شده و به روغن آغشته شده بود می رسد تا عمل تراکم با برخورد ۷۵ ضربه به هر طرف نمونه صورت گیرد . بعد از تراکم نمونه مخلوط آسفالتی، قالب در دمای محیط قرار داده می شود تا سرد شود.



شکل ۳-۹- تراکم نمونه مارشال

۳-۳-۶-۴- مقاومت فشاری و روانی مارشال :

مقاومت فشاری یا تاب فشاری مارشال عبارت است از حداکثر باری که نمونه تحت آزمایش مارشال بدون اینکه شکستگی در آن ایجاد شود، تحمل می نماید. این مقاومت به تنهایی معیار پایداری محسوب نمی شود بلکه باید جهت تعیین این معیار، دو پارامتر مقاومت فشاری مارشال و روانی باهم بررسی شوند. تغییر شکل نسبی آسفالت یا همان روانی به میزان وارفنگی یا به عبارت دیگر تغییر شکل آسفالت تحت بار وارده اطلاق می شود. هرچه تغییر شکل نسبی بیشتر باشد، میزان وارفنگی آسفالت تحت تاثیر بار

بیشتر خواهد بود. تعریف دیگری که از روانی می‌توان ارائه داد عبارت است از میزان فشردگی نمونه قبل از شکستن که در جهت عمود بر آن است.

روش آزمایش بدین صورت است که نمونه‌ها را پس از خارج کردن از قالب به مدت ۳۰ الی ۴۰ دقیقه در حمام آب گرم با دمای 60 ± 1 درجه سانتی گراد قرار داده می‌شوند. علت این امر انتخاب بدترین شرایط ممکن که احتمال دارد در عمل برای آسفالت اتفاق بیفتد، فراهم گردد.



شکل ۳-۱۰- قرار دادن نمونه‌ها در حمام آب گرم

قبل از آنکه نمونه در بین دو فک قرار داده شود؛ لازم است فک‌ها مانند نمونه گرم و سپس روغن کاری گردند، سپس نمونه‌ها در داخل فک قرار داده می‌شود و گیج‌ها صفر می‌گردند. حال دستگاه را روشن و بارگذاری را شروع می‌کنیم.

زمانیکه نمونه دچار شکست می‌شود، درجه بارگذاری افزایش مقاومتی را نشان نمی‌دهد و ثابت می‌ماند؛ دقیقا در همین لحظه است که باید مقدار وارفتگی قرائت گردد. پس از شکست نمونه باربرداری صورت گرفته و نمونه از بین فک خارج می‌گردد و مطابق فرمول زیر مقاومت مارشال محاسبه می‌گردد.

رابطه ۳-۵ قرائت درجه گیج مقاومت * ضریب رینگ = نیروی مقاومت آسفالت

علت اعمال ضریب تصحیح آن است که نمونه‌ها برای آنکه قابل مقایسه با یکدیگر باشند لازم است از شرایط یکسانی برخوردار باشند. دستگاه مورد استفاده در این آزمایش دارای ضریب رینگ ۲,۷۸۶ بوده است که مطابق فرمول در اعداد قرائت شده از گیج ضرب و مقاومت مارشال نمونه محاسبه گردید. همچنین گیج ثانویه دستگاه جهت اندازه گیری روانی نمونه مارشال بر حسب اینچ است که برای تبدیل آن به میلی‌متر مطابق فرمول ۳-۶ اقدام به محاسبه روانی نمونه مارشال گردید.

رابطه ۳-۶ قرائت درجه گیج روانی * ۰,۰۰۱ * ۲۵,۴ = روانی مارشال نمونه آسفالتی

۳-۴- برنامه ریزی انجام آزمایش ها :

آزمایش های صورت گرفته در این تحقیق جهت تعیین مشخصات کلی نمونه شاهد و مقایسه آن با قیر حاوی افزودنی زئولیت و در نهایت دستیابی به یک درصد بهینه برای افزودنی می باشد که شامل موارد زیر است :

آزمایش درجه نفوذ

آزمایش نقطه نرمی

آزمایش ویسکوزیته کینماتیکی

پس از انجام آزمایش های فوق روی تمامی نمونه ها ، نمونه ها تحت فرسودگی به روش لعاب نازک قرار گرفتند و مجدداً آزمایش درجه نفوذ و نقطه نرمی و ویسکوزیته کینماتیکی روی آن ها صورت گرفت تا نتایج بعد از فرسودگی با نتایج قبل از فرسودگی قابل مقایسه باشند. در نهایت با انتخاب درصد بهینه افزودنی اقدام به ساخت نمونه های آسفالتی و انجام آزمایش های آب جوشان و مقاومت مارشال می پردازیم.

۳-۵- ساخت نمونه ها :

به منظور کسب نتیجه بهتر در ابتدا در مورد هر دو نوع قیر؛ نمونه ها با درصد های مختلف زئولیت در بازه های ۵ درصدی از ۰ تا ۱۵ درصد وزنی قیر ساخته شدند. نمونه ی شاهد (بدون زئولیت) به منظور مقایسه با نمونه های حاوی ۵، ۱۰ و ۱۵ درصد زئولیت استفاده گردید.

از هر نوع قیر ۴ نمونه با وزن حدودی ۱۶۰ گرم ساخته و پس از حرارت دهی نمونه ها روی گرمکن برقی هر نمونه با درصد وزنی مشخصی از زئولیت به مدت نیم ساعت به طور یکنواخت به صورت دستی مخلوط شد و سپس رو هیتر شروع به هم زدن نمونه به وسیله همزن دستی کوچک گردید تا نمونه تقریباً همگنی حاصل گردد.

ابتدا قیر با درجه نفوذ مشخص با وزن مشخص (تقریباً ۱۶۰ گرم) در ظروف استیل ریخته شده و روی هیتر قرار داده شد. دمای هیتر باید به نحوی انتخاب گردد تا انتقال حرارت به صورت ملایم و تدریجی صورت پذیرد تا از تغییر خصوصیات قیر خالص در اثر اتفاقاتی همچون اشتعال قیر و یا دود کردن قیر که ناشی از تبخیر روغن ها و رزین های موجود در قیر است جلوگیری شود که برای این موضوع دمای ۱۲۰ درجه سانتی گراد برای اختلاط قیر و زئولیت انتخاب گردید که این دما در حین اختلاط به کمک دماسنج به صورت مداوم کنترل گردید. سپس با توجه به درصد افزودنی مد نظر و وزن قیر، زئولیت رد شده از الک شماره ۲۰۰ با ترازوی دیجیتال با دقت وزنی ۰,۰۰۱ گرم توزین و به قیر که با حرارت ملایم به حالت مایع درآمده افزوده و روی هیتر با درجه حرارت ذکر شده شروع به اختلاط گردید. زمان همگن شدن قیر و زئولیت در حدود ۱۵ دقیقه به طول انجامید که برای حصول اطمینان بیشتر جهت ایجاد مخلوط همگن تر زمان اختلاط تا ۳۰ دقیقه ادامه یافت.

۸ ظرف نمونه شامل ۴ نمونه قیر خالص AC۶۰/۷۰، قیر AC۶۰/۷۰ به همراه ۵ درصد وزنی زئولیت، قیر AC۶۰/۷۰ به همراه ۱۰ درصد وزنی زئولیت و قیر AC۶۰/۷۰ به همراه ۱۵ درصد وزنی زئولیت و

همچنین قیر خالص AC۸۵/۱۰۰، قیر خالص AC۸۵/۱۰۰ به همراه ۵ درصد وزنی زئولیت، قیر خالص AC۸۵/۱۰۰ به همراه ۱۰ درصد وزنی زئولیت و قیر خالص AC۸۵/۱۰۰ به همراه ۱۵ درصد وزنی زئولیت ساخته شد.

نمونه‌های یکساله بایگانی گردید تا در مراحل بعدی آزمایشات مورد استفاده قرار گیرند. مجدداً نمونه‌هایی با درصد‌های وزنی تعیین شده ساخته شد تا برای انجام آزمایش لعاب نازک قیر مورد استفاده قرار گیرند. سپس نمونه‌ها مطابق استانداردهای آزمایش درون گرمخانه قرار گرفتند و حرارت دهی شدند. حال نمونه‌های فرسوده شده برای انجام آزمایش درجه نفوذ و نقطه نرمی قابل استفاده هستند. پس از این مرحله نمونه‌های یکساله که پیشتر بایگانی شده اند همراه با نمونه‌های خروجی از آزمایش TFO برای انجام آزمایش ویسکوزیته کینماتیکی به تهران ارسال گردید و نتایج آن مشخص گردید. نتایج حاصله از تمامی آزمایشات جهت بررسی و نتیجه‌گیری نهایی گردآوری گردید. پس از انجام آزمایش‌های فوق، درصد بهینه افزودنی انتخاب و برای سنجش میزان حساسیت رطوبتی قیر اقدام به انجام آزمایش آب جوشان گردید. آزمایش آب جوشان در هر دو حالت فرسوده شده و قیر تازه بر روی دو نوع خالص و حاوی افزودنی انجام شد. در مرحله‌ی آخر نیز اقدام به ساخت نمونه‌های آسفالتی به روش مارشال قرار گردید. نمونه‌های ساخته شده شامل دو نمونه با قیر خالص AC۶۰/۷۰ و دو نمونه با قیر خالص AC۶۰/۷۰ حاوی ۵ درصد افزودنی زئولیت هستند.

از هر دو نوع یک نمونه تحت پیرشدگی کوتاه مدت و سپس پیرشدگی بلند مدت طبق استاندارد آشتو قرار و سپس نمونه‌های عادی و پیرشده تحت آزمایش مقاومت مارشال قرار گرفت. برای ساخت نمونه‌های مارشال از دانه بندی شماره ۵ آیین نامه راه‌های ایران استفاده شد. همچنین درصد بهینه قیر به روش مارشال ۵٫۵ درصد انتخاب و اساس ساخت نمونه‌های آسفالتی قرار گرفت. جهت پیرشدگی کوتاه مدت سنگدانه‌ها پس از اختلاط با قیر به مدت ۵ ساعت و تحت دمای ۱۶۳ درجه سانتی‌گراد داخل گرمخانه قرار گرفتند و پس از آنکه تحت فرسودگی کوتاه‌مدت قرار گرفتند داخل قالب مارشال ریخته و برای تراکم زیر چکش مارشال، تحت تراکم با ۷۵ ضربه قرار گرفتند. بعد از تراکم نمونه‌های آسفالتی استوانه‌ای ساخته شده به روش مارشال به مدت ۵ روز داخل اون با دمای ۸۵ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند تا فرسودگی بلند مدت نیز شبیه‌سازی گردد.

فصل چهارم

نتایج آزمایش ها و تحلیل آن ها

در این فصل به تفصیل به بررسی نتایج حاصل از آزمایشات انجام گرفته و تفسیر مشاهدات حاصل از آزمایشات به وسیله جداول و نمودارهای مربوطه پرداخته خواهد شد. ابتدا نتایج حاصل از آزمایش‌های درجه نفوذ، نقطه نرمی و ویسکوزیته اندازه گیری شد و در جداول ثبت گردید.

سپس نمونه‌ها باید فرسوده گردند که برای شبیه سازی فرسودگی کوتاه مدت آزمایش لعاب نازک قیر روی نمونه‌ها انجام گردید. سپس با تکرار آزمایش‌های درجه نفوذ، نقطه نرمی و ویسکوزیته روی قیرهای فرسوده روند تغییرات در هر آزمایش و در نهایت اثر زئولیت بر فرسودگی قیر طی این سه آزمایش مقایسه خواهد گردید. نتایج آزمایشات تأثیر مثبت افزودن زئولیت بر کاهش فرسودگی قیر را نشان داده و مقدار درصد بهینه آن را ۵ درصد معرفی می‌کنند.

پس از مراحل فوق و تعیین یک درصد به عنوان درصد بهینه در میان نمونه‌های ساخته شده، به مقایسه نمونه مارشال ساخته شده با قیر اصلاح شده و نمونه مارشال ساخته شده با قیر خالص پرداخته شد.

نتایج آزمایش مقاومت مارشال نیز نشان می‌دهد نمونه مارشال ساخته شده با قیر اصلاح شده به کمک زئولیت پس از فرسودگی بلند مدت از مقاومت فشاری بالاتری نسبت به نمونه آسفالتی با قیر اصلاح نشده برخوردار است.

۴-۲- آزمایش درجه نفوذ :

برای انجام آزمایش درجه نفوذ روی نمونه های یکساله، ظرف را از درون حمام آب گرم قرار داده تا به تعادل دمایی برسد. آزمایش برای هر نمونه (هر ظرف) ۴ تا ۱۰ بار انجام می شود و مقادیر بدست آمده ثبت می گردد. باید دقت شود که فواصلی سوزن در قیر نفوذ می کند از یکدیگر فاصله تقریباً یکسانی داشته باشند و به لبه ظرف بیش از حد نزدیک نباشد تا خطای آزمایش کم شود. این تعداد آزمایش سبب می شود که خطای آزمایش کاهش یابد. پس از وقفه حدود یکساله در آزمایشات، آزمایش درجه نفوذ روی نمونه های قیر انجام گردید که نتایج آن در جدول ۴-۱ آورده شده است.

جدول ۴-۱- نتایج آزمایش درجه نفوذ روی قیر یکساله

نوع قیر	نتایج آزمایشات	میانگین درجه نفوذ
قیر ۶۰/۷۰	۵۴۰-۵۳۰-۵۶۰-۵۹۰	۵۵,۵۰
قیر ۶۰/۷۰+AC۶۰/۷۰٪۰.۵ زئولیت	۶۳,۲-۶۰,۱-۶۲,۱-۶۱,۱	۶۱,۶۲
قیر ۶۰/۷۰+AC۶۰/۷۰٪۰.۱۰ زئولیت	۶۵,۰-۶۱,۰-۶۰,۵-۵۹,۰	۶۱,۳۷
قیر ۶۰/۷۰+AC۶۰/۷۰٪۰.۱۵ زئولیت	۵۸,۵-۵۸,۰-۵۸,۵-۵۹,۰	۵۸,۵۰
قیر AC۸۵/۱۰۰	۷۳,۰-۶۹,۰-۷۱,۰-۷۳,۰	۷۱,۵۰
قیر AC۸۵/۱۰۰+۰.۵٪ زئولیت	۷۸,۰-۸۰,۵-۷۸,۵-۷۹,۵	۷۹,۱۲
قیر AC۸۵/۱۰۰+۰.۱۰٪ زئولیت	۷۸,۵-۷۸,۵-۷۷,۰-۷۹,۰	۷۸,۲۵
قیر AC۸۵/۱۰۰+۰.۱۵٪ زئولیت	۷۸,۰-۷۸,۵-۷۸,۵-۷۷,۰	۷۸,۰۰



شکل ۴-۱- آزمایش درجه نفوذ

۳-۴- آزمایش نقطه نرمی :

نتایج حاصل از آزمایش نقطه نرمی روی قیر یکساله در جدول ۲-۴ قابل مشاهده است.

جدول ۲-۴- نتایج آزمایش نقطه نرمی روی قیر یکساله

نوع قیر	نتایج آزمایشات	میانگین نقطه نرمی
قیر AC۶۰/۷۰	۵۱,۳ - ۵۱,۲	۵۱,۲۵
قیر AC۶۰/۷۰+۵٪ زئولیت	۵۰,۸ - ۵۰,۸	۵۰,۸۰
قیر AC۶۰/۷۰+۱۰٪ زئولیت	۵۰,۲ - ۵۰,۱	۵۰,۱۵
قیر AC۶۰/۷۰+۱۵٪ زئولیت	۴۹,۷ - ۵۰,۲	۴۹,۹۵
قیر AC۸۵/۱۰۰	۴۴,۴ - ۴۵,۴	۴۴,۹۰
قیر AC۸۵/۱۰۰+۵٪ زئولیت	۴۴,۰ - ۴۳,۳	۴۳,۶۵
قیر AC۸۵/۱۰۰+۱۰٪ زئولیت	۴۳,۰ - ۴۲,۸۴	۴۲,۹۲
قیر AC۸۵/۱۰۰+۱۵٪ زئولیت	۴۲,۹ - ۴۲,۹	۴۲,۹۰

طبق نتایج حاصل از آزمایشات قیرهای حاوی افزودنی نسبت به قیر خالص از نظر نقطه نرمی بهبود یافته اند هرچند که مقدار آن بسیار جزئی است اما میزان بهبود با افزایش مقدار زئولیت، افزایش یافته و تقریباً نسبت مستقیم داشته‌اند به نحویکه هرچه میزان افزودنی بیشتر بوده، نقطه نرمی کاهش بیشتری یافته است و کمترین مقدار نقطه نرمی برای هر دو نوع قیر در مقدار زئولیت ۱۵ درصد اتفاق افتاده است.



شکل ۲-۴- آزمایش نقطه نرمی

۴-۴- آزمایش ویسکوزیته کینماتیکی :

پس از انجام نقطه نرمی آزمایش ویسکوزیته کینماتیکی روی نمونه‌ها انجام شد. در ویسکوزیته کینماتیکی قیر با دمای ۱۳۵ درجه سانتی‌گراد در اثر نیروی ثقل یا اختلاف فشار به حرکت درمی‌آید. زمان لازم برای عبور قیر در یک طول مشخص اندازه‌گیری می‌شود و سپس با استفاده از زمان گرانروی کینماتیکی محاسبه می‌گردد. گرانروی کینماتیک را با استفاده از زمان اندازه‌گیری شده و ثابت ویسکومتر که روی آن درج شده است، توسط معادله زیر محاسبه نمود :

$$V=C.T \quad \text{رابطه ۴-۱}$$

گرانروی کینماتیک برحسب سانتی استوکس: V

ثابت کالیبراسیون ویسکومتر: C

زمان جریان بر حسب ثانیه: T

نتایج حاصل از آزمایش ویسکوزیته کینماتیکی در جدول ۴-۳ آورده شده است :

جدول ۴-۳ نتایج آزمایش ویسکوزیته کینماتیکی روی قیر یکساله

نوع قیر	نتایج آزمایش ویسکوزیته (سانتی استوکس)
قیر AC۶۰/۷۰	۱۸۰
قیر AC۶۰/۷۰+۰.۵٪ زئولیت	۱۶۵
قیر AC۶۰/۷۰+۱.۰٪ زئولیت	۱۷۵
قیر AC۶۰/۷۰+۱.۵٪ زئولیت	۱۸۵
قیر AC۸۵/۱۰۰	۱۵۰
قیر AC۸۵/۱۰۰+۰.۵٪ زئولیت	۱۳۶
قیر AC۸۵/۱۰۰+۱.۰٪ زئولیت	۱۴۰
قیر AC۸۵/۱۰۰+۱.۵٪ زئولیت	۱۴۷

در آزمایش ویسکوزیته که بر روی قیر یکساله صورت گرفت نتایج برای دو نوع قیر اندکی متفاوت بود که به صورت جداگانه هر کدام را تفسیر خواهد شد. در قیر AC ۶۰/۷۰ ویسکوزیته قیر حاوی ۵ درصد زئولیت کمترین مقدار را دارا بود و با افزایش مقدار افزودنی ویسکوزیته نمونه‌ها به ویسکوزیته نمونه شاهد نزدیک گردید تا جاییکه ویسکوزیته نمونه حاوی ۱۵ درصد زئولیت از نمونه‌ی شاهد نیز بیشتر شد. در مورد قیر AC ۸۵/۱۰۰ نیز ویسکوزیته قیر حاوی ۵ درصد زئولیت کمترین مقدار را به خود اختصاص داد و با افزایش مقدار افزودنی مقادیر ویسکوزیته به نمونه‌ی شاهد مجدداً نزدیک گردید.

۴-۵- آزمایش لعاب نازک :

پس از این مراحل اقدام به فرسودگی قیر از طریق آزمایش لعاب نازک قیر می‌گردد. برای انجام این آزمایش نمونه‌ها به صورت تکی و طبق استانداردهای توصیه شده توسط آشتو درون گرمخانه قرار گرفتند تا در مدت ۵ ساعت فرسوده گردند.



شکل ۴-۳- نمونه‌ها پس از فرسودگی

پس از فرسودگی تمام نمونه‌ها تحت آزمایش لعاب نازک اقدام به تکرار آزمایش‌های درجه نفوذ و نقطه نرمی گردید.

در این تحقیق ملاک تعیین حالت بهینه در تاثیر ژئولیت بر قیر نزدیک بودن خواص عملکردی قیر TFO به قیر خالص قبل از فرسودگی است یعنی هرچه رفتار قیر حاوی افزودنی پس از فرسودگی به روش لعاب نازک به قیر اولیه نزدیکتر باشد عملکرد بهتری را ثبت کرده است.

بدین منظور درصد تغییر هر نمونه پس از فرسودگی لعاب نازک از طریق رابطه ۴-۲ محاسبه گردید :

$$\frac{S_1 - S_2}{S_1}$$

رابطه ۴-۲ :

S_1 = عدد ثبت شده در آزمایش قیر پس از فرسودگی

S_2 = عدد ثبت شده قیر اولیه

۴-۶- درجه نفوذ پس از TFO :

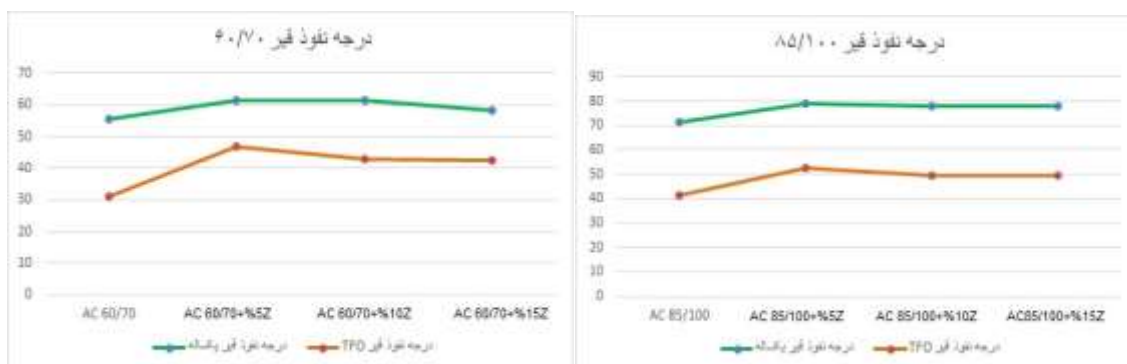
اگرچه قیرهای حاوی ۱۰ و ۱۵ درصد افزودنی زئولیت در هر دو نوع قیر عملکرد تقریباً مشابهی داشتند اما قیر حاوی ۵ درصد زئولیت عملکرد بهتری نسبت به سایر نمونه‌ها داشته است به نحوی که کمترین تغییر در میزان درجه نفوذ نسبت به قیر یکساله داشت. به عبارتی در هر دو نوع قیر، نمونه ی حاوی ۵ درصد زئولیت دارای بیشترین تاثیر بر ثبات میزان درجه نفوذ است.

جدول ۴-۴- مقایسه نتایج آزمایش درجه نفوذ روی انواع قیر

درصد افت	قیر TFO	قیر یکساله	نوع قیر
۷۹	۳۱,۰۰	۵۵,۵۰	قیر AC۶۰/۷۰
۱۸	۴۶,۸۸	۶۱,۶۲	قیر AC۶۰/۷۰+۵٪ زئولیت
۲۹	۴۲,۸۸	۶۱,۳۷	قیر AC۶۰/۷۰+۱۰٪ زئولیت
۳۰	۴۲,۶۲	۵۸,۵۰	قیر AC۶۰/۷۰+۱۵٪ زئولیت
۷۳	۴۱,۲۵	۷۱,۵۰	قیر AC۸۵/۱۰۰
۳۶	۵۲,۵۰	۷۹,۱۲	قیر AC۸۵/۱۰۰+۵٪ زئولیت
۴۴	۴۹,۷۵	۷۸,۲۵	قیر AC۸۵/۱۰۰+۱۰٪ زئولیت
۴۵	۴۹,۳۷	۷۸,۰۰	قیر AC۸۵/۱۰۰+۱۵٪ زئولیت

درجه نفوذ بالا نشان از انعطاف پذیری بالا در دماهای پایین و تناسب آن با شرایط آب و هوایی سرد است اما طرف مقابل آن افزایش روانی و احتمال روزدگی قیر در دماهای بالاست. با افزودن زئولیت به قیر در نمونه های ۵ و ۱۰ درصدی درجه نفوذ افزایش یافته است یا به عبارت صحیح تر در دمای نزدیک به استاندارد اولیه باقی مانده است و این به معنی حفظ حالت اولیه توسط قیر پس از فرسودگی می‌باشد. بدیهی است که آزمایش درجه نفوذ به تنهایی نمی‌تواند بیانگر رفتار قیر در دماهای پایین و بالا باشد.

مطابق شکل ۴-۴ الگوی کلی رفتار قیرهای حاوی زئولیت در هر دو نوع قیر در آزمایش درجه نفوذ تقریباً یکسان است. در مورد قیر AC۶۰/۷۰ بیشترین میزان تغییر درجه نفوذ پس از فرسودگی مربوط به قیر خالص است که پس از فرسودگی مقدار آن به ۴۹ درصد مقدار اولیه کاهش یافته و کمترین تغییر مربوط به قیر اصلاح شده با ۵ درصد زئولیت است که پس از فرسودگی مقدار آن به ۷۴ درصد مقدار اولیه کاهش یافته و نسبت به نمونه خالص بهبود یافته‌است. در مورد قیر خالص AC۸۵/۱۰۰ نیز درجه نفوذ قیر خالص دارای ۴۸ درصد مقدار اولیه و قیر اصلاح شده با ۵ درصد زئولیت دارای ۶۲ مقدار اولیه است که به ترتیب بیشترین و کمترین مقدار تغییرات را دارا هستند. پس در بحث درجه نفوذ در هر دو نوع قیر، نمونه‌های اصلاح شده با ۵ درصد زئولیت دارای حالت بهینه در میان نمونه‌های ساخته شده بوده است.



شکل ۴-۴- مقایسه درجه نفوذ قیرها

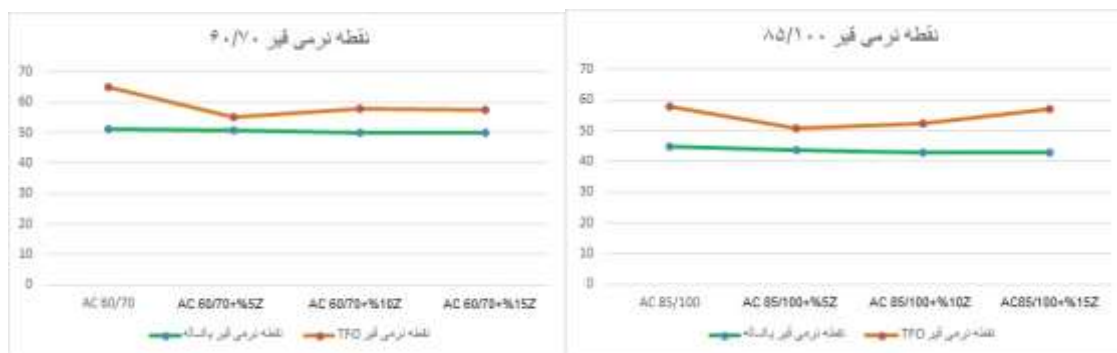
۴-۷- نقطه نرمی پس از TFO :

در هر دو نوع قیر کمترین میزان تغییر در نقطه نرمی پس از آزمایش TFO مربوط به قیر با ۵ درصد زئولیت است. اما در سایر موارد نمونه ها از مدل خاصی تبعیت نمی کنند.

جدول ۴-۵- مقایسه نقطه نرمی انواع قیر

نوع قیر	نقطه نرمی قیر یکساله	نقطه نرمی قیر TFO	درصد افزایش
قیر AC 60/70	۵۱,۲۵	۶۵,۱۵	۲۱
قیر AC 60/70+5Z زئولیت	۵۰,۸۰	۵۵,۰۰	۷
قیر AC 60/70+10Z زئولیت	۵۰,۱۵	۵۸,۰۵	۱۲
قیر AC 60/70+15Z زئولیت	۴۹,۹۵	۵۷,۵۰	۱۱
قیر AC 85/100	۴۴,۹۰	۵۸,۱۰	۲۳
قیر AC 85/100+5Z زئولیت	۴۳,۶۵	۵۰,۹۰	۱۲
قیر AC 85/100+10Z زئولیت	۴۲,۹۲	۵۲,۲۵	۱۴
قیر AC 85/100+15Z زئولیت	۴۲,۹۰	۵۷,۰۰	۲۱

همانطور که از شکل ۴-۵ قیر AC 60/70 خالص با ۲۷ درصد افزایش در نقطه نرمی بیشترین تغییر و قیر اصلاح شده با ۵ درصد زئولیت با ۸ درصد افزایش نسبت به نمونه اولیه عملکرد بهتری داشته و ثبات بیشتری در برابر تغییرات از خود نشان داده اما قیرهای اصلاح شده با ۱۰ و ۱۵ درصد زئولیت عملکرد نسبتاً مشابهی داشتند و ۱۵ درصد نسبت به نمونه اولیه افزایش داشته اند.



شکل ۴-۵- مقایسه نقطه نرمی قیرها

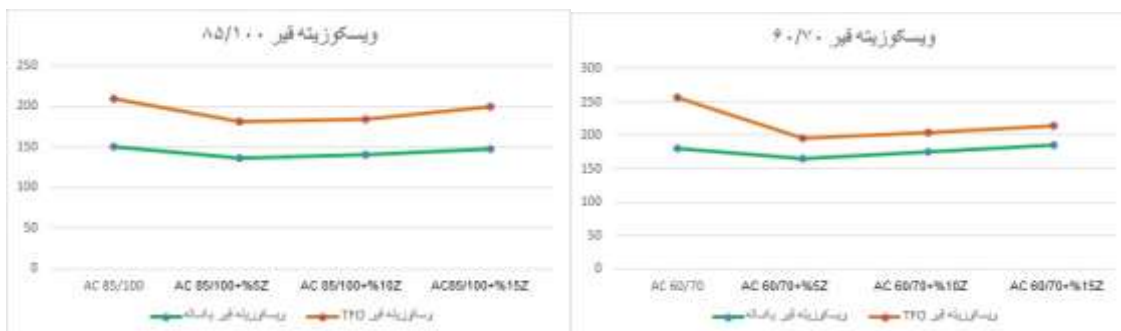
۴-۸- ویسکوزیته کینماتیکی پس از TFO :

ویسکوزیته کینماتیکی نمونه حاوی ۵ درصد ژئولیت پس از آزمایش TFO نیز همچون نمونه یکساله عملکرد مطلوب تری نسبت به سایر نمونه‌ها داشته است؛ به نحویکه کمترین تغییر را پس از فرسودگی نسبت به قیر اولیه داشته است.

جدول ۴-۶- مقایسه ویسکوزیته انواع قیر

درصد افزایش	ویسکوزیته قیر TFO	ویسکوزیته قیر یکساله	نوع قیر
۳۰	۲۵۶	۱۸۰	قیر ۶۰/۷۰ AC
۸	۱۹۶	۱۶۵	قیر ۶۰/۷۰ AC + ۵٪ ژئولیت
۱۲	۲۰۵	۱۷۵	قیر ۶۰/۷۰ AC + ۱۰٪ ژئولیت
۱۶	۲۱۵	۱۸۵	قیر ۶۰/۷۰ AC + ۱۵٪ ژئولیت
۲۹	۲۱۰	۱۵۰	قیر ۸۵/۱۰۰ AC
۱۷	۱۸۱	۱۳۶	قیر ۸۵/۱۰۰ AC + ۵٪ ژئولیت
۱۹	۱۸۵	۱۴۰	قیر ۸۵/۱۰۰ AC + ۱۰٪ ژئولیت
۲۵	۲۰۰	۱۴۷	قیر ۸۵/۱۰۰ AC + ۱۵٪ ژئولیت

هرچه قیری نسبت به گرما حساس‌تر باشد، کندروانی آن در درجه حرارت‌های بالا کمتر خواهد بود. در هر دو نوع قیر بیشترین مقدار کندروانی پس از فرسودگی مربوط به قیر خالص می‌باشد. همانگونه که گفته شد کمترین مقدار تغییر در نمونه‌ها را قیر حاوی ۵ درصد افزودنی ژئولیت دارا است که بیشترین نزدیکی را به مقدار اولیه قیر خالص دارد و بیانگر این موضوع است که قیر همچنان خاصیت اولیه خود را حفظ کرده که سبب حفظ کیفیت آسفالت و توان باری آن خواهد شد. مطابق شکل ۴-۶ شیب تغییرات ویسکوزیته در هر دو نوع قیر تقریباً یکسان است اما کمترین مقدار را قیر حاوی ۵ درصد افزودنی ژئولیت به خود اختصاص داده است.



شکل ۴-۶- مقایسه ویسکوزیته قیرها

۹-۴- آزمایش آب جوشان :

همانطور که در شرح آزمایش آب جوشان اشاره شد این آزمایش به صورت تجربی بوده، به همین دلیل برای کاهش هرچه بیشتر خطا آزمایش روی چهار نمونه صورت گرفت تا خطای آزمایش به حداقل برسد.

جدول ۴-۷- نتایج آزمایش آب جوشان برای قیر یکساله

درصد وزنی زئولیت	آزمایش ۱	آزمایش ۲	آزمایش ۳	آزمایش ۴	میانگین نتایج (درصد)
۰	۹۸	۹۹	۹۸	۹۷	۹۸
۵	۹۹	۱۰۰	۹۸	۹۹	۹۹

جدول ۴-۸- نتایج آزمایش آب جوشان برای قیر فرسوده

درصد وزنی زئولیت	آزمایش ۱	آزمایش ۲	آزمایش ۳	آزمایش ۴	میانگین نتایج (درصد)
۰	۹۱	۸۹	۷۸	۸۸	۸۶,۵
۵	۹۰	۸۳	۸۵	۹۳	۸۷,۷۵

نتایج آزمایش آب جوشان نشان از تفاوت ناچیز حساسیت رطوبتی قیر اصلاح شده و قیر خالص است.



شکل ۴-۷- نتایج آزمایش آب جوشان

۴-۱۰- آزمایش مقاومت فشاری مارشال :

با توجه به عملکرد قیر اصلاح شده با ۵ درصد ژئولیت اقدام به ساخت نمونه مارشال با قیر خالص و قیر اصلاح شده گردید تا مقاومت فشاری نمونه‌ها مورد آزمایش قرار گیرد. دستگاه مورد استفاده در این آزمایش به دلیل دارا بودن گیج ثانویه علاوه بر ثبت مقاومت مارشال قابلیت ثبت درجه نرمی را نیز داشته که در شکل ۴-۱۱ قابل ملاحظه است.



شکل ۴-۸- دستگاه مقاومت مارشال

همچنین برای انجام آزمایش در شرایط بحرانی تمامی نمونه‌ها مطابق شکل ۴-۱۲ به مدت ۳۰ دقیقه در حمام آب گرم با درجه ۶۰ درجه سانتی گراد قرار گرفتند.



شکل ۴-۹- حمام آب گرم

در جدول ۴-۹ روانی نمونه آسفالتی و در جدول ۴-۱۰ مقاومت فشاری نمونه‌ها آورده شده است.

جدول ۴-۹- درجه نرمی نمونه‌ها

نمونه آسفالت	روانی آسفالت بر حسب میلی‌متر
نمونه تازه با قیر خالص	۳,۵۵۶
نمونه تازه با قیر حاوی ۵ درصد وزنی ژئولیت	۳,۶۸۳
نمونه فرسوده شده با قیر خالص	۳,۳۰۲
نمونه فرسوده شده با قیر حاوی ۵ درصد وزنی ژئولیت	۳,۳۰۲

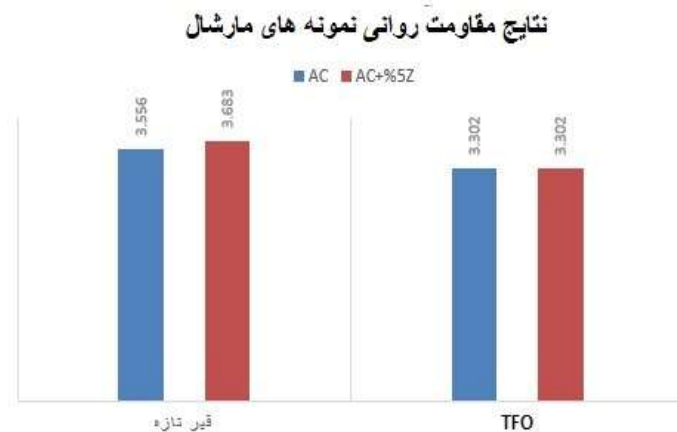
جدول ۴-۱۰- مقاومت فشاری نمونه‌ها

مقاومت مارشال بر حسب کیلوگرم	نمونه آسفالت
۷۲۴	نمونه تازه با قیر خالص
۷۳۸	نمونه تازه با قیر حاوی ۵ درصد وزنی زئولیت
۳۹۰	نمونه فرسوده شده با قیر خالص
۴۷۴	نمونه فرسوده شده با قیر حاوی ۵ درصد وزنی زئولیت



شکل ۴-۱۰- نتایج آزمایش مقاومت مارشال

با توجه به شکل ۴-۱۰ می توان بیان کرد نمونه فاقد افزودنی پس از فرسودگی دارای ۵۴ درصد مقاومت نمونه اولیه است در حالیکه پس از اصلاح قیر مورد استفاده در ساخت نمونه مارشال، نمونه به ۶۴ درصد مقاومت اولیه خود می‌رسد.



شکل ۴-۱۱- نتایج روانی نمونه مارشال

در بحث روانی نمونه مارشال پیش از فرسودگی نمونه حاوی زئولیت دارای روانی بالاتری است اما پس از فرسودگی هر دو نمونه دارای روانی یکسانی می‌باشند.

فصل پنجم

جمع بندی و نتیجه گیری

همانطور که گفته شد یکی از علل مهم خرابی آسفالت در دراز مدت تغییر در خواص قیر اولیه است که مهمترین علت آن را می‌توان فرسودگی قیر عنوان کرد. قیر فرسوده با از دست دادن خاصیت چسبندگی خود باعث بروز گرسدگی و کاهش باربری سازه رویه می‌گردد.

از جمله روش‌های بهبود ساختار قیر، اصلاح قیر با مواد افزودنی است که در این تحقیق به بررسی تأثیر ژئولیت بر خواص عملکردی قیر خالص پرداخته شد.

با انجام آزمایشات درجه نفوذ، نقطه نرمی، ویسکوزیته و لعاب نازک روی نمونه‌های حاوی درصد‌های مختلف ژئولیت یک درصد بهینه انتخاب و پس از ساخت نمونه‌ی مارشال تأثیر ژئولیت بر روی خواص آسفالت نیز مورد بررسی قرار گرفت که در این فصل به جمع‌بندی نتایج آزمایشات صورت گرفته و تحلیل این نتایج و ارائه یافته‌های آزمایشات پرداخته خواهد شد.

۵-۲- جمع بندی و نتیجه گیری:

در این بخش نتایج آزمایش‌های مختلف روی هر دو نوع قیر به طور جداگانه بررسی گردید که از مجموع نتایج حاصل، در هر دو نوع قیر، قیر اصلاح شده با ۵ درصد ژئولیت عملکرد مناسبتری نسبت به سایر نمونه‌ها داشت. ملاک عملکرد بهتر نزدیکی خواص قیر پس از فرسودگی به قیر اولیه است.

در مورد قیر AC60/70 نتایج آزمایش درجه نفوذ نشان داد؛ پس از فرسودگی کوتاه مدت بیشترین افت مربوط به قیر خالص است و مقدار این افت برابر ۷۹ درصد است در حالیکه کمترین مقدار افت پس از فرسودگی مربوط به قیر حاوی ۵ درصد ژئولیت و مقدار آن برابر با ۱۸ درصد است.

در آزمایش نقطه نرمی نیز بیشترین افزایش پس از فرسودگی مربوط به قیر خالص با ۲۱ درصد افزایش در نقطه نرمی و کمترین مقدار آن مربوط به قیر حاوی ۵ درصد ژئولیت با ۷ درصد افزایش است.

همچنین نتایج آزمایش ویسکوزیته نشان از افزایش ۳۰ درصدی قیر خالص نسبت به قیر اولیه پس از فرسودگی است در حالیکه این مقدار برای قیر حاوی ۵ درصد ژئولیت برابر ۸ درصد است.

در مورد قیر AC85/100 نیز نتایج حاصله ثبت گردید؛ به نحویکه در آزمایش درجه نفوذ میزان افت قیر خالص ۷۳ درصد و این میزان افت برای قیر حاوی ۵ درصد ژئولیت برابر ۳۶ درصد است.

در آزمایش نقطه نرمی نیز بیشترین مقدار افزایش پس از فرسودگی نسبت به نمونه اولیه مربوط به قیر خالص با ۲۳ درصد افزایش و کمترین آن مربوط به قیر حاوی ۵ درصد ژئولیت با ۱۲ درصد افزایش است.

در آزمایش ویسکوزیته کینماتیکی نیز افزایش ۲۹ درصدی قیر خالص پس از فرسودگی نسبت به قیر اولیه ثبت گردید در حالیکه این افزایش برای قیر حاوی ۵ درصد زئولیت پس از فرسودگی برابر ۱۷ درصد است.

از مجموع نتایج بدست آمده قیر اصلاح شده با ۵ درصد وزنی زئولیت به عنوان درصد بهینه انتخاب گردید و سپس آزمایش آب جوشان و مقاومت مارشال روی نمونه‌های آسفالتی ساخته شده با قیر اصلاح شده انجام گردید. از نتایج آزمایش آب جوشان تفاوت محسوسی بین نمونه‌های اصلاح شده و نمونه‌های خالص حاصل نگردید و می‌توان گفت زئولیت تأثیری بر حساسیت رطوبتی قیر نداشته است.

اما نتایج حاصل از مقاومت فشاری مارشال نشان داد نمونه خالص پس از فرسودگی به ۵۴ درصد مقاومت اولیه خود رسید در حالیکه نمونه مارشال ساخته شده با قیر اصلاح شده با ۵ درصد زئولیت بهبود یافته و به ۶۴ درصد مقاومت اولیه خود رسید.

در بحث روانی مارشال نیز نمونه حاوی قیر اصلاح شده پیش از فرسودگی دارای روانی بیشتری نسبت به نمونه حاوی قیر خالص است اما پس از فرسودگی هر دو نمونه روانی یکسانی را ثبت کردند.

۵-۳- یافته‌های آزمایشات :

براساس یافته‌های این تحقیق نتایج به شرح زیر حاصل گردید:

- بر اساس آزمایش‌های فیزیکی قیر افزودن زئولیت باعث بهبود خواص عملکردی قیر گردید و کارایی آن را بهبود بخشید به نحویکه نمونه‌های اصلاح شده با زئولیت پس از فرسودگی نسبت به قیر خالص عملکرد نزدیکی به قیر اولیه داشتند.
- درصد بهینه افزودنی زئولیت ۵ درصد می‌باشد که در این مقدار نتیجه تمامی آزمایش‌های انجام گرفته تأثیر مثبت زئولیت را تایید می‌کنند.
- بر اساس نتایج آزمایش آب جوشان افزودن زئولیت تأثیر چندانی بر حساسیت رطوبتی قیر ندارد.
- همچنین بر اساس نتایج حاصل از آزمایش استقامت مارشال می‌توان بیان داشت که افزودن زئولیت باعث بهبود مقاومت مارشال نمونه اصلاح شده می‌گردد.

۵-۴- پیشنهاد ادامه تحقیق

- با توجه به اثر مثبت زئولیت به عنوان افزودنی بر خواص فرسودگی قیر می‌توان اثر این فیلر بر مدول برجهنگی آسفالت را نیز بررسی کرد.
- بررسی اثر استفاده از زئولیت به عنوان فیلر در آسفالت.

منابع و مراجع

- [۱] قاسم زاده طهرانی، حسین، راهسازی : طرح هندسی راه، دانشگاه صنعتی شاهرود، چاپ دوم، ۱۳۹۶.
- [۲] بهبهانی، حمید، راهسازی : طرح هندسی راه، مرکز نشر دانشگاهی، چاپ بیست و یکم، ۱۳۹۵.
- [۳] طباطبایی، امیرمحمد، روسازی راه، مرکز نشر دانشگاهی، چاپ بیستم، ۱۳۹۴.
- [۴] سایت سازمان برنامه و بودجه کل کشور، ۱۳۹۶.
- [۵] Aging of asphalt mixture, Doctoral thesis, Prabir kumar das, Stockholm, Sweden, ۲۰۱۴, page ۹.
- [۶] Lewandoowski, L.H, ۱۹۹۴, polymer modification of paving asphalt binders, Rubber chemistry and technology, volume ۶۷, pp ۴۳۵-۴۴۷.
- [۷] Agnieszka Wozuk, Adam Zofka, Effect of zeolite propertice on asphalt foaming, construction and building materials ۱۳۹, ۲۰۱۷, pp ۲۴۷-۲۵۵.
- [۸] خاکی علی منصور، سیاح جاوید صارم، بررسی اثر افزودن زئولیت به قیر برای کاربرد در دماهای پایین، ۱۳۹۳، پانزدهمین کنفرانس دانشجویان عمران سراسر کشور.
- [۹] Agnieszka Rog, The influence of the synthetic zeolite on the propertice of asphalt binder ۳۵/۵۰, kielce university of technology, ۲۰۱۰.
- [۱۰] Agnieszka Wozuk, The effect of zeolite additional at a temperature compaction of asphalt mixes, ۲۰۱۴.
- [۱۱] Jian-ying Yu, Effect of organo-motmorillonite on aging propertices of asphalt, construction and building materials ۲۳, ۲۰۰۹, pp ۲۶۳۶-۲۶۴۰.
- [۱۲] M.W.Mirza, Simulating the effect of hot mix asphalt aging for performance testing and pavement structural design, Transportation Research Board, results digest ۳۲۴, ۲۰۰۷.
- [۱۳] یاری، رضا (۱۳۹۶). تاثیر افزودنیها بر آسفالت گرم با قیرهای معدنی، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران.
- [۱۴] Juanyu (Jenny) Liu ,”Screening Test of Gilsonite Application “, Alaska University Transportation Center, ۲۰۰۷.

[۱۵] تعیین مشخصات کیفی قیر طبیعی معدن امام حسن و ساخت محصولات ویژه قیری از آن . فصلنامه تحقیقات کاربردی پژوهشگاه صنعت نفت، شماره ۱، ۱۳۷۱.

[۱۶] Sangyum Lee, SunghoMun, Y. Richard Kim, (۲۰۱۱) ." Fatigue and rutting performance of lime-modified hot-mix asphalt mixtures", Construction and Building Materials ۲۵ .۴۲۰۲-۴۲۰۹.

[۱۷] ZhiSou,Wing Gun Wong,(۲۰۰۸)."Analysis of fatigue crack growth behavior in asphalt concrete material in wearing course", Construction and Building Materials.

[۱۸] Yu J, Zeng X,Wu S, Wang L, Liu G,(۲۰۰۷)."Preparation and properties of montmorillonite modified asphalts", Mat SciEng A; ۴۴۷: ۲۳۳-۲۳۸.

[۱۹] WU Shao-peng(吴少鹏), LI Bo(李波), CHEN Zheng(陈箐), HUANG Xu(黄旭), (۲۰۰۸),"Influence of conductive additive on temperature susceptibility of asphalt binders" , Volume ۱۵, Supplement ۱, ۴۷۹-۴۸۲.

[۲۰] Mohammad Jamal Khattak, Ahmed Khattab, Hashim R. Rizvi, Pengfei Zhang.(۲۰۱۲)"The impact of carbon nano-fiber modification on asphalt binder rheology". Construction and Building Materials ۳۰ ۲۵۷-۲۶۴.

Abstract

bitumen materials are the main part of asphalt that penetrated in strong material by heat and lead to adhesiveness in granular's stone. Necessity of heat effect in stabilizing suitable environment for adhesiveness materials, causes main changes in bitumen properties and most important changes are change in physical and chemical bitumen properties. Increasing strength limit in asphalt mixture with change bitumen properties under necessary condition could increase operation life and finally decrease storage and repair or construction expenses.

In this investigation, after studying mineral and non-mineral additive, we use zeolite for addition to bitumen and considering that's effect on performance pure bitumen properties.

We used zeolite because of anti-oxidation properties. Zeolite in different percent add to AC ϕ /V ϕ and AC λ ϕ /V ϕ and after conclusion penetration degree, softening point and kinematic viscosity then samples were experiment under TFO to simulation long time aging and again performing penetration degree, softening point and kinematic viscosity.

In this phase, bitumin samples contain $\% \Delta$ zeolite, related to other samples and show better performance.

At the end the marshal samples made with using pure bitumen and improved bitumen with $\% \Delta$ zeolite and measured it's strength and mobility and record for aging and non-aging asphalt.

Observation show positive effect of zeolite on marshal strength after long term aging.

Key word : aging,additives,marshal resistance,zeolite.



**Shahrood
University of
Technology**

Shahrood University of Technology

Faculty : Civil Engineering

Title :

The effect of zeolithos on the bitumen anti aging

By :

Seyed reza hosseini

Supervisor :

D.r hossein ghasemzade tehrani

A thesis presented for the degree of M.Sc. in road engineering

Date : September ۲۰۱۹