

مروری بر قیر طبیعی و تأثیر آن بر روی خصوصیات قیر و مخلوط آسفالتی

سعید حسامی*، استادیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی بابل، بابل، مازندران، ایران

سعید صبحی، دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی بابل، بابل، مازندران، ایران

*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: s.hesami@nit.ac.ir

دریافت: ۹۶/۰۴/۱۷ - پذیرش: ۹۶/۰۹/۱۸

صفحه ۱۹-۳۲

چکیده

در این پژوهش با مرور بر تحقیقات انجام شده، خصوصیات اصلاح شده قیر و مخلوط آسفالتی با افزودنی گیلسونایت مورد بررسی قرار می‌گیرد. گیلسونایت یک ماده هیدروکربنی حاصل از قیر نفتی بوده که در مناطق نفت خیز ایران به وفور دیده می‌شود و این ماده با توجه به قیمت کمتر و اصلاح و بهبود خصوصیات مخلوط آسفالتی می‌تواند هزینه‌های پروژه‌های راهسازی را کاهش دهد. تحقیقات انجام شده نشان می‌دهد افزودن گیلسونایت به مخلوط آسفالتی باعث افزایش مقاومت خستگی و مدول سفتی مخلوط آسفالتی اصلاح شده می‌گردد و با توجه به افزایش مدول می‌توان نتیجه گرفت که روسازی دارای سختی بیشتری بوده و عمر خستگی بالاتری دارد. همچنین نتایج حاکی از آن است که این ماده باعث افزایش ویسکوزیته و کاهش درجه نفوذ می‌شود و با توجه به قیمت کمتر آن نسبت به سایر افزودنی‌ها از جمله افزودنی‌های پلیمری و صنعتی، می‌تواند یک جایگزین مناسب برای بهبود بسیار شدگی در درجه حرارت بالا در روسازی آسفالتی باشد. بررسی‌ها نشان می‌دهد این ماده افزودنی باعث افزایش استحکام و مقاومت کششی غیرمستقیم مخلوط آسفالتی شده و با افزایش نسبت *TSR*، مقاومت رطوبتی مخلوط آسفالتی را بهبود داده و از عریان شدگی مخلوط آسفالتی جلوگیری می‌کند و می‌تواند به‌عنوان یک ماده ضد عریان شدگی در مصالح سیلیسی بکار گرفته شود. همچنین با توجه به قابلیت تحمل نیروهای برشی بالا می‌تواند در تقاطع چهارراه، ایستگاه‌های اتوبوس بخصوص در مسیر اتوبوس‌های تندرو، اطراف میدان‌ها و همچنین روسازی فرودگاه‌ها استفاده شود.

واژه‌های کلیدی: گیلسونایت، شیار شدگی، ویسکوزیته، حساسیت رطوبتی، ضد عریان شدگی

۱- مقدمه

مخلوط آسفالتی از سنگدانه، قیر و فضای خالی تشکیل شده است که تقریباً ۹۴-۹۶ درصد مخلوط آسفالتی از سنگدانه‌ها و ۶-۴ درصد از وزن مخلوط آسفالتی از قیر تشکیل می‌شود. اگرچه مقدار قیر در مخلوط آسفالتی بسیار کمتر از سنگدانه هاست، قیمت قیر تقریباً ۸ برابر قیمت سنگدانه‌ها در مخلوط آسفالتی بوده و همچنان در حال افزایش قیمت می‌باشد. با افزایش قیمت جهانی قیر، قیمت قیر در ایران چندین برابر افزایش پیدا کرده که این افزایش

قیمت شدید باعث ساخت روسازی‌های باکیفیت پایین و خرابی زودرس روسازی آسفالتی شده است. این افزایش شدید قیمت قیر و سوخت و انرژی و همچنین کمبود منابع موجود مهندسین راهسازی و صنعت روسازی را مجبور به استفاده از روش‌ها و تجهیزات بهتر برای ساخت روسازی و جستجوی روش‌ها و گزینه‌های دیگر برای احداث یک‌راه جدید باکیفیت بهتر و با عمر طولانی‌تر کرده است که به دنبال آن بخش عمده‌ای از تحقیقات انجام‌شده در مخلوط آسفالتی در حال حاضر در مورد قیر است. قیر (چسب مخلوط آسفالتی) با توجه به خواص فیزیکی و شیمیایی، اثر قابل‌توجهی بر روی عملکرد مخلوط آسفالتی، دوام و پایداری مخلوط آسفالتی دارد. در حال حاضر در کشور، دو نوع قیر ۷۰-۶۰ و ۱۰۰-۸۵ به‌طور عمده در احداث روسازی مورد استفاده قرار می‌گیرند. با توجه به شرایط آب‌وهوایی مختلف در ایران، تهیه قیر با عملکرد مناسب مهم و ضروری است؛ بنابراین به‌منظور ساخت روسازی بادوام، لازم است از یک قیر متناسب با شرایط آب‌وهوا منطقه استفاده شود. برای مناطقی با آب‌وهوای گرم خشک مانند جنوب کشور نیاز به قیری با درجه نفوذ کمتر می‌باشد که استفاده از دو نوع قیر ۷۰-۶۰ و ۱۰۰-۸۵ و عدم استفاده از قیر مناسب باعث کاهش عمر روسازی و برخی از مشکلات مانند خرابی‌های زودرس و افزایش هزینه‌های تعمیر و نگهداری می‌شود.

۲- قیر طبیعی (گیلسونایت)

۲-۱- معرفی قیر طبیعی

قیمت شدید باعث ساخت روسازی‌های باکیفیت پایین و خرابی زودرس روسازی آسفالتی شده است. این افزایش شدید قیمت قیر و سوخت و انرژی و همچنین کمبود منابع موجود مهندسین راهسازی و صنعت روسازی را مجبور به استفاده از روش‌ها و تجهیزات بهتر برای ساخت روسازی و جستجوی روش‌ها و گزینه‌های دیگر برای احداث یک‌راه جدید باکیفیت بهتر و با عمر طولانی‌تر کرده است که به دنبال آن بخش عمده‌ای از تحقیقات انجام‌شده در مخلوط آسفالتی در حال حاضر در مورد قیر است. قیر (چسب مخلوط آسفالتی) با توجه به خواص فیزیکی و شیمیایی، اثر قابل‌توجهی بر روی عملکرد مخلوط آسفالتی، دوام و پایداری مخلوط آسفالتی دارد. در حال حاضر در کشور، دو نوع قیر ۷۰-۶۰ و ۱۰۰-۸۵ به‌طور عمده در احداث روسازی مورد استفاده قرار می‌گیرند. با توجه به شرایط آب‌وهوایی مختلف در ایران، تهیه قیر با عملکرد مناسب مهم و ضروری است؛ بنابراین به‌منظور ساخت روسازی بادوام، لازم است از یک قیر متناسب با شرایط آب‌وهوا منطقه استفاده شود. برای مناطقی با آب‌وهوای گرم خشک مانند جنوب کشور نیاز به قیری با درجه نفوذ کمتر می‌باشد که استفاده از دو نوع قیر ۷۰-۶۰ و ۱۰۰-۸۵ و عدم استفاده از قیر مناسب باعث کاهش عمر روسازی و برخی از مشکلات مانند خرابی‌های زودرس و افزایش هزینه‌های تعمیر و نگهداری می‌شود.

امروزه استفاده از مواد طبیعی و پلیمری جهت اصلاح خواص قیر و مخلوط آسفالتی، کاربردی فراوان و رو به رشد داشته و مورد توجه صنعت روسازی قرار گرفته است به‌طوری که راهسازان با بکارگیری آن‌ها در روسازی باعث افزایش قابل‌ملاحظه عمر راه‌ها و در نتیجه افزایش عمر بهره‌برداری از روسازی اصلاحی شده‌اند. از جمله مواد طبیعی و پلیمرهایی که در اصلاح قیر به‌طور معمول مورد استفاده قرار می‌گیرد عبارت‌اند از اصلاح‌کننده‌هایی مانند^۱ SBS،^۲ SBR،^۳ EVA پودر لاستیک^۴، قیر طبیعی

گیلسونایت^۵، پلی‌اتیلن و افزودنی‌های واکسی که گزینه‌های انتخاب برای اصلاح مخلوط آسفالتی می‌باشند. امروزه با توجه به آثار مخرب زیست‌محیطی پلیمرها و افزودنی‌ها، در انتخاب افزودنی علاوه بر عملکرد افزودنی بایستی سازگاری آن با محیط زیست نیز به‌طور ویژه مدنظر قرار بگیرد. یکی از افزودنی‌های طبیعی که برگرفته از خود طبیعت بوده و آثار زیست‌محیطی ندارد، گیلسونایت می‌باشد که به‌عنوان یک ماده جدید تحقیقات اندکی بر روی این اصلاح‌کننده انجام‌شده است و خصوصیات آن برای مهندسین راهسازی کاملاً مشهود نیست. هدف این مقاله بررسی بیشتر خصوصیات گیلسونایت جهت بهبود خواص مخلوط آسفالتی و استفاده بهینه از آن در روسازی برای کاهش خرابی‌های روسازی می‌باشد.

که شامل یک جزء کتون می‌باشند قابل حل هستند. ویژگی منحصر به فرد گیلسونایت، میزان بالای نیتروژن آن است که بیشتر به شکل پیرول، پیریدین و گروه‌های تابع آمیدی است که موجب افزایش چسبندگی با سنگدانه‌ها می‌شود. همچنین گوگرد و ترکیبات گوگرددار موجود در گیلسونایت باعث استحکام و مقاومت آسفالت می‌شود (Wong, C., and Michael, K. 1990). با توجه به ماهیت شکننده گیلسونایت، برای استفاده به راحتی خرد شده به صورت پودر درمی‌آید. شکل ۲ (Ziegler Chemical and Mineral Corp, 2014). به طور کلی، گیلسونایت را می‌توان به دو روش در ساخت روسازی آسفالتی استفاده کرد که اولین روش اضافه کردن گیلسونایت به قیر و دومی اضافه کردن آن به سنگدانه‌ها در زمان اختلاط در کارخانه است (Bardesi and Brule et al., 1999)



شکل ۲. گیلسونایت به صورت پودر شده

Uintah در ایالت یوتای آمریکا (Utah) یافت شده است. گیلسونایت یک رزین هیدروکربنی به رنگ سیاه و سطح درخشان و شبیه مواد معدنی شیشه‌ای است که متعلق به دسته هیدروکربن در طبقه‌بندی اصلاح‌کننده‌ها می‌باشد. شکل ۱. (Davis et al., 1989, Bardesi and Brule et al., 1999). گیلسونایت از نظر ظاهر فیزیکی شبیه زغال و از نظر شیمیایی شبیه قیر پالایشگاهی است که نحوه ذوب شدن و خاصیت نرم بودن آن دلیل اختلاف اصلی با زغال و خاصیت مولکولی و سخت بودن اختلاف عمده آن با قیر است (Levorsen, A.I., 2001). گیلسونایت در آب، الکل و استون نامحلول بوده ولی در آلفاتیک، حلال‌های معطر نفتی و چرب مانند قیر نفتی و تولوئن حل می‌شود ولی با توجه به سازگاری منحصر به فرد آن، اغلب برای سفت کردن فراورده‌های نفتی نرم (شل) استفاده می‌شود. این حلالیت در اکثر کتون‌ها محدود است، اما در حلال‌های معطر آروماتیک



شکل ۱. گیلسونایت به صورت کلوخه‌ای

۲-۲- تاریخ کشف گیلسونایت

بدین صورت گیلسونایت بیشتر شناخته شد. ابتدا گیلسونایت بیشتر به طور مستقیم به صورت خام به عنوان عایق برای لوله‌ها، مخصوصاً لوله‌های گرم، به عنوان پوشش ضد آب برای الوار چوبی و فلزی و به عنوان عایق سقف با قیر خام مورد استفاده قرار می‌گرفت (Pruitt RG, 1961). در ابتدا گیلسونایت بر اساس نقطه نرمی بالا و پایین به فروش می‌رسید که گیلسونایت با نقطه نرمی پایین به خاطر داشتن حلالیت بهتر و درجه خلوص بیشتر در صنایع رنگ

گیلسونایت، پس از ساموئل اچ گیلسون^۹، در سال ۱۸۶۰ کشف شد. گیلسون از کاشفان اصلی گیلسونایت نبود ولی به خاطر تلاش‌های تبلیغاتی برای ربط دادن مواد به خود، مردم منطقه به جای استفاده از نام علمی آن، یعنی "Uintaite" این ماده را به عنوان گیلسونایت شناختند (Kretchman HF, 1957. Covington RE, 1964). وی در سال ۱۸۸۸ با شریک خود شرکتی بانام تجاری گیلسونایت تأسیس نمود و گیلسونایت را استخراج و در مقیاس تجاری عرضه کرد و

استفاده می‌شد و به قیمت بالاتری به فروش می‌رسید. باگذشت زمان و پیشرفت فناوری، سیستم تقسیم‌بندی گیلسونایت تغییر پیدا کرده و امروزه گیلسونایت بر اساس نقطه نرمی و درصد خاکستر تقسیم‌بندی می‌شود که هرچه خاکستر آن کمتر باشد کیفیت گیلسونایت بالاتر بوده و مرغوب‌تر است.

۲-۳- سهم گیلسونایت ایران

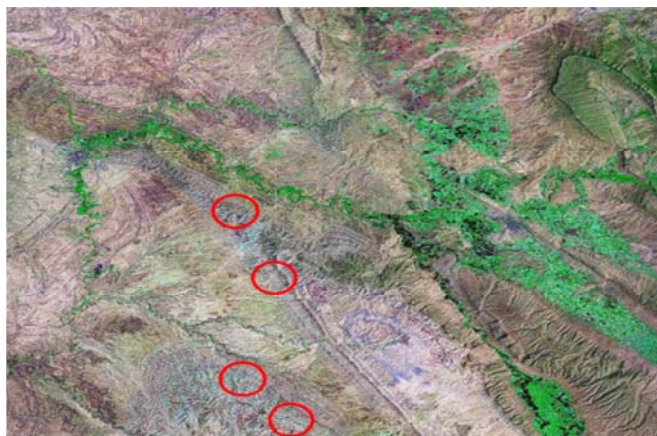
گیلسونایت از مواد پایه نفتی بوده و با توجه به اینکه کشور ایران در منطقه نفت‌خیز قرار دارد از سال ۱۳۷۲ معدن این ماده کشف شد که در ابتدا به‌عنوان زغال‌سنگ شناخته شده بود ولی پس از بررسی و آزمایش مشخص شد که این ماده از دسته ترکیبات هیدروکربن دار با منشأ نفتی است (افشار، ۱۳۸۵). به‌طورکلی معدن قیر طبیعی در کشورهای نفت‌خیز جهان به‌استثنای کشور عربستان یافت می‌شود که این معدن به ترتیب ذخیره در امریکا، کانادا، ایران، عراق، روسیه، چین، استرالیا قرار دارد. معدن قیر طبیعی کشور باعث شده تا ایران در رتبه سوم مهم جهان از حیث دارا بودن معدن قیر طبیعی قرار گیرد. ۷۵ درصد ذخایر قیر طبیعی ایران در استان کرمانشاه واقع است و نیز بیش از ۹۰ درصد قیر طبیعی استان کرمانشاه در گیلان غرب قرار دارد.

مطالعات بر روی داده‌ها و گزارش‌های ارائه شده توسط سازمان زمین‌شناسی ایران نشان می‌دهد که معدن غنی قیر در ایران که به‌طور عمده در منطقه کوهستانی زاگرس واقع است، به شرح زیر می‌باشد (گزارش مهندسین مشاور معدن آرا، ۱۳۷۵ و فرهادی، ۱۳۷۸):

- معدن قیر طبیعی گیلسونایت در استان کرمانشاه با ظرفیت ۰۰۰،۱۹۳،۳ تن می‌باشد.
- معدن قیر طبیعی گیلسونایت در استان ایلام با ظرفیت ۰۰۰،۲۵۶ تن می‌باشد.
- معدن قیر طبیعی گیلسونایت در استان لرستان با ظرفیت ۰۰۰،۶ تن می‌باشد.

۲-۳-۱- بررسی زمین‌شناسی

مطالعات و بررسی‌های داده‌های به‌دست‌آمده در وزارت صنایع و معادن و سازمان زمین‌شناسی و اکتشاف کشور نشان می‌دهد که کانی سازی گیلسونایت در غرب ایران در استان‌های کرمانشاه، ایلام و لرستان و از لحاظ زمین‌شناسی در ناحیه زاگرس چین‌خورده و تشکیل شده‌اند (گزارش مهندسین مشاور معدن آرا، ۱۳۷۵). شکل ۳. رویدادهای متعدد زمین‌شناختی مانند چین‌خوردگی، کوهزایی و رسوب‌گذاری در ناحیه زاگرس موجب شده که این بخش از ایران از دیدگاه زمین‌شناسی اقتصادی از اهمیت خاصی برخوردار باشد. وجود درزه و شکستگی‌های موجود در این حوضه‌های نفتی باعث خروج مواد نفتی سبک و برجای ماندن مواد نفتی سنگین و تشکیل معدن گیلسونایت را داده است. از نظر زمین‌شناسی بیشتر معدن گیلسونایت در حوضه‌های نفتی و در گسل و شکستگی‌ها و همچنین در ساختارهای چین‌خورده و در تداخل بین لایه‌های مختلف تشکیل شده است (Mirhabibi, A. R., et al, 1994. Levorsen, A.I., 2001)



شکل ۳. بخشی از ناحیه چین خورده زاگرس که محل برخی از معادن گیلسونایت بر روی آن نشان داده شده است (حسینخانی)



شکل ۵. نمونه‌ای از استخراج زیرزمینی گیلسونایت (حسینخانی)



شکل ۴. معادن روباز گیلسونایت در غرب ایران (حسینخانی)

جدول ۱. درصد عناصر موجود در گیلسونایت (Nciri, Nader, et al.)

نام عنصر	درصد وزنی موجود
کربن	۸۴.۳۶
هیدروژن	۱۰.۰۵
نیتروژن	۳.۲۵
گوگرد	۰.۲۷
اکسیژن	۱.۳۶
عناصر ناچیز	۰.۷۱

در ایران معادن گیلسونایت در غرب کشور به‌ویژه در استان کرمانشاه یافت می‌شود. از جمله معادن معروف در این بخش می‌توان به معادن گراوه، مرجان آباد، نگین کبود اشاره نمود و این معادن به شکل روباز و همچنین زیرزمینی استخراج می‌شوند شکل ۴ و ۵. (حسینخانی).

۲-۴- ساختار مولکولی گیلسونایت

گیلسونایت، از مخلوط پیچیده‌ای از ترکیبات آلی تشکیل شده است که برای مشخص نمودن خصوصیات منحصر به فرد آن

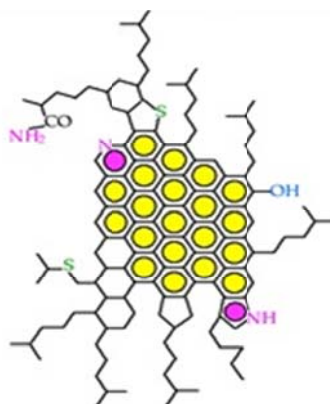
آزمایش‌های آنالیزی مختلفی مانند آنالیز عنصری (EA) ^{۱۰} برای تعیین درصد عناصر C, H, N, S و O، طیف‌سنجی تبدیل مادون‌قرمز فوریر (FTIR) ^{۱۱} برای تجزیه و تحلیل مقایسه‌ای ساختار شیمیایی، آنالیز رزونانس مغناطیسی اتمی (NMR) ^{۱۲} برای تعیین آلفاتیک‌ها و روش‌های مختلف استفاده می‌شود که در زیر نمونه‌ای از گیلسونایت یوتا مورد بررسی قرار گرفته است (Nciri, Nader, et al.).

آنالیز مقدماتی نمونه‌ای از گیلسونایت عنصری مانند کربن، هیدروژن، نیتروژن، گوگرد و اکسیژن در گیلسونایت را مشخص می‌کند که درصد عناصر در جدول ۱ آورده شده است. اطلاعات موجود در جدول ۲ که شامل میزان اتمی H/C و همچنین نتایج آنالیز رزونانس مغناطیسی اتمی جهت

تعیین درصد آسفالتن و درصد کربن غیراشباع موجود در گیلسونایت است که وجود آروماتیک‌ها را در گیلسونایت به اثبات می‌رساند. با توجه به جدول ۲، مشاهده می‌شود که نسبت میزان اتمی H/C برابر ۱.۴۴ می‌باشد که این نسبت یعنی نسبت هیدروژن به کربن مشخص‌کننده ویسکوزیته قیر می‌باشد و برای قیر سنگی تار برابر ۱.۳ می‌باشد (Nciri, Nader, et al.). معمولاً قیرهایی که نسبت H/C بزرگتری دارند نسبت به قیرهایی که این نسبت در آن‌ها کمتر است، بیشتر قابل حل شدن هستند (Arthur LC, 1963) طبق مطالب ذکر شده ساختار شیمیایی گیلسونایت مطابق شکل ۶ می‌باشد.

جدول ۲. میزان اتمی H/C و درصد کربن غیراشباع و درصد آسفالتن (Nciri, Nader, et al.).

۱.۶	کربن غیراشباع
۱۸.۷	رزین
۷۹.۷	آسفالتن
۱.۴۴	میزان اتمی H/C



شکل ۶. ساختمان گیلسونایت (Intevp S.A. Tech. Rept., 1992)

۳- عوامل مؤثر بر خواص قیر اصلاح شده

با گیلسونایت

۳-۱- ویژگی‌های قیر و گیلسونایت

مؤثرترین مخلوط آسفالتی اصلاح شده زمانی به دست می‌آید که ماده افزودنی وقتی به قیر اضافه می‌شود بدون اینکه ویسکوزیته را خیلی افزایش دهد باعث جلوگیری از شیار شدگی در دمای بالا شده و همچنین در دمای پایین مخلوط را ترد و شکننده نکند که تحقیقات نشان می‌دهد گیلسونایت باعث افزایش ویسکوزیته و جلوگیری از شیار شدگی شده و نیز با درصد کمتر (۳ درصد گیلسونایت) این ماده می‌توان از بروز ترک خوردگی در دمای پایین جلوگیری نمود (Liu, J. and Li, P., 2008). اصلاح کننده باید با قیر مخلوط شده و به صورت یک مخلوط همگن درآید تا در زمان ذخیره سازی از قیر جدا نشود (Niloofer kalantari, Rehankarim and Mahrez, 2012). عواملی مانند ترکیب شیمیایی، متوسط وزن مولکولی، درصد وزنی افزودنی در قیر و ... در مرحله اصلاح قیر مؤثر بوده و آن را تحت تأثیر قرار می‌دهند (Giavarini et al., 1996).

۳-۲- نحوه اختلاط و زمان و درجه حرارت

اختلاط

اختلاط افزودنی با قیر با توجه به وزن مولکولی و ترکیب شیمیایی به دو روش انجام می‌گیرد که عبارت‌اند از مخلوط کننده با دور پایین و مخلوط کننده دور بالا. مخلوط کننده دور پایین برای اختلاط قیر با اصلاح کننده‌های پودری استفاده می‌شود و مخلوط کننده دور بالا برای اختلاط پلیمرها با قیر مورد استفاده قرار می‌گیرد که البته برای اختلاط قیر با گیلسونایت به خاطر وزن مولکولی بالا (وزن مولکولی متوسط گیلسونایت

۳۰۰۰ می‌باشد که نسبت به دیگر فرآورده‌های آسفالتی و رزین‌های سنتز شده بالاتر است) بایستی از مخلوط کننده‌های دور بالا استفاده کرد. زمان و درجه حرارت نیز از پارامترهای مهم در طرح اختلاط مخلوط می‌باشند که به نوع قیر و اصلاح کننده بستگی دارند. برخی از مواد افزودنی مانند گیلسونایت به علت وزن مولکولی بالا نیاز به زمان اختلاط و دمای اختلاط بالایی برای ترکیب شدن با قیر دارند، در صورتی که گزارش شده است دمای اختلاط نباید از ۱۸۵ درجه تجاوز کند زیرا خصوصیات قیر از این دما به بعد شروع به تغییر می‌کند (Lu and Isacsson, 1997).

به عنوان مثال مطابق پیشنهاد انجمن جهانی راه (PIARC) پودر گیلسونایت مورد استفاده برای اصلاح قیر باید از الک ۵۰ رد شود و به قیر مورد نظر که تا دمای ۱۴۰ درجه سانتی‌گراد گرم شده اضافه شده و به مدت ۱۵۰ دقیقه با سرعت ۱۵۰ دور در دقیقه در همزن مخلوط شده، سپس دمای مخلوط به ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد رسیده و پروسه هم زدن در این دما به مدت ۳۰ دقیقه و با سرعت ۴۵۰۰ دور در دقیقه توسط مخلوط کننده دور بالا مخلوط شده تا مخلوط یکدست و همگن به دست بیاید. (Bardesi and Brule et al., 1999).

۴- تأثیر افزودنی قیر طبیعی (گیلسونایت)

بر خصوصیات قیر و مخلوط آسفالتی

۴-۱- خصوصیات قیر

۴-۱-۱- ویسکوزیته

تحقیقات در مورد گیلسونایت نشان می‌دهد که با افزودن گیلسونایت به قیر مقدار ویسکوزیته آن افزایش و نفوذپذیری آن کاهش می‌یابد که نتیجه اضافه کردن این افزودنی اصلاح قیر با سفتی بالاتر است (Quintana, H.A.R., Noguera, J.A.H. and Bonells, C.F.U., 2011). Ameri, Mahmoud, et al. 2015؛ و با افزودن

درصدهای بیشتر گیلسونایت، این افزایش ویسکوزیته ممکن است باعث آن شود که قیر اصلاح شده کارایی مناسبی با توجه به معیار سوپرپیو نداشته باشد. استفاده از گیلسونایت در مخلوط SMA نشان می‌دهد که به علت ویسکوز شدن قیر توسط گیلسونایت، منجر به ثبات و نگه‌داشتن قیر در سنگدانه‌ها شده و از ریزش قیر در مخلوط SMA جلوگیری می‌کند (Babagoli, R., Hasaninia, M. and Namazi, N., 2015). افزودنی SBS به علت افزایش بیش‌ازحد ویسکوزیته کارایی مخلوط را کاهش می‌دهد ولی زمانی که گیلسونایت بجای درصدی از SBS در مخلوط جایگزین می‌شود، ویسکوزیته به دست آمده همیشه کمتر از ویسکوزیته قیر اصلاح شده با SBS بوده (Kök, B. V., Yilmaz, M., Guler, M. 2011)؛ و این کاهش ویسکوزیته به افزایش کارایی مخلوط آسفالتی در طول پروسه تولید کمک کرده و باعث کاهش انرژی جهت تراکم و به دنبال آن کاهش هزینه کلی ساخت روسازی می‌شود (Harmelink, D. 1992). مطالعات اخیر نشان می‌دهد، چسبنده زیستی (Bio Binder) در مخلوط آسفالتی می‌تواند به کاهش دمای طرح اختلاط و تراکم کمک کرده و کارایی را افزایش دهد (Hill, Brian, et al. 2016). Mogawer, Walaa S., et al. 2012. Al-Qadi, I. L., and Fini, E. 2010؛ که تحقیق انجام گرفته بر روی نمونه‌های حاوی گیلسونایت همراه با چسبنده زیستی BMG نشان داد، نمونه‌های BMG با افزایش کارایی باعث افزایش ویسکوزیته شده که در محدوده قابل قبول آیین‌نامه SHRP قرار داشته و می‌تواند در مخلوط‌های آسفالتی استفاده شود (Yaya, Abdou Salami, et al. 2016).

۴-۱-۲- دمای عملکردی و حساسیت حرارتی

تحقیقات زیادی در مورد تأثیر گیلسونایت بر دمای عملکردی قیر اصلاح شده انجام شده است که نشان می‌دهد افزودن گیلسونایت، دمای عملکردی بالای قیر را افزایش داده و نسبت به سایر افزودنی‌ها از جمله پودر لاستیک، SBS و روش هوادهی در بالا بردن دمای عملکردی قیر تأثیر بیشتری دارد ولی هیچ اثر مثبتی بر روی دمای عملکردی متوسط و دمای پایین ندارد و باعث شکنندگی قیر در دمای پایین می‌شود که البته در درصدهای کمتر (۳٪ گیلسونایت) مشکلی در دمای پایین برای مخلوط آسفالتی پیش نمی‌آید (Aflaki, S., and N. Tabatabaee, 2009. Anderson, David, et al. 1999. Ameri, M., Mansourian, A. and Sheikhmotevali, A.H., 2012). همچنین تحقیقات در مورد چسبنده زیستی اصلاح شده با گیلسونایت BMG نشان می‌دهد که نمونه‌های BMG مخصوصاً با ۳۰٪ گیلسونایت در مقایسه با قیر ۲۲-۶۴ PG، دمای عملکردی بالا و پایین را بهبود داده و چسبندگی را نیز افزایش می‌دهد (Yaya, Abdou Salami, et al. 2016). گیلسونایت در اثر ترکیب با قیر، باعث کاهش درجه نفوذ، افزایش نقطه نرمی و در نتیجه افزایش مقدار PI می‌شود که این عملکرد بهبود حساسیت حرارتی قیر اصلاح شده را نشان می‌دهد (Babagoli, R., Hasaninia, M. and Namazi, N., 2015).

۴-۱-۳- تست های عملکردی (مقاومت در برابر شیار شدگی و خستگی)

مواد افزودنی مانند قیر طبیعی (گیلسونایت) و پلیمرها در مخلوط آسفالتی می‌تواند یک‌راه حلی برای بهبود شیار شدگی در درجه حرارت بالا، خستگی در درجه حرارت متوسط و ترک خوردگی در دمای پایین باشد و یا به عبارت دیگر باعث افزایش دوام روسازی شود. نتایج آزمایش DSR نشان می‌دهد که اضافه کردن گیلسونایت

باعث افزایش مدول مختلط (G^*) و کاهش زاویه فازی ($\sin\delta$) در دمای بالا و بهبود مقاومت شیار شدگی می‌شود. همچنین نتایج تست خزش دینامیکی نیز بهبود مقاومت شیار شدگی مخلوط آسفالتی را نشان می‌دهد. (Zhong, K., Cao, D. W. and Liu, Q. 2008. Akbari Nasrekani, Aliasghar, et al. 2016).
مطالعات نشان می‌دهد که اصلاح قیر با گیلسونایت ممکن است پتانسیل ترک‌خوردگی را افزایش دهد، (Hajikarimi, P., Aflaki, S., and Hoseini, A. S. 2013). این موضوع نیز در یک مطالعه که طی ۳ سال توسط DOT حوزه حمل‌ونقلی کلرادو انجام شده نشان داده است که اگرچه اضافه کردن گیلسونایت می‌تواند باعث کاهش شیار شدگی شود ولی روسازی مستعد ترک‌خوردگی می‌شود (Harmelink, D. 1992)؛ البته استفاده از سایر افزودنی‌ها از جمله SBS بجای درصدی از گیلسونایت موجب بهبود عملکرد قیر در دمای پایین می‌شود (Yilmaz, M. and Erdoğan Yamaç, Ö., 2017). بنابراین، برای استفاده مؤثر از گیلسونایت، استفاده از اصلاح‌کننده‌های دیگر مانند پلیمرها برای کاهش اثر سفتی جانبی قیر، مورد نیاز است.

۴-۲-۴- مخلوط آسفالتی

۴-۲-۱- خستگی مخلوط آسفالتی

ترک‌های خستگی از ترک‌های اصلی روسازی آسفالتی می‌باشد که موجب کاهش عمر روسازی آسفالتی و افزایش هزینه‌های تعمیر و نگهداری می‌شود. در دو دهه گذشته، بسیاری از مواد افزودنی مختلف مانند پلیمر و پودر لاستیک و گیلسونایت به منظور بهبود مقاومت خستگی مخلوط آسفالتی مورد استفاده قرار گرفته‌اند. نتایج آزمایش خستگی و مدول سفتی حاصل از آزمایش کشش غیرمستقیم بر روی نمونه‌های آسفالتی ساخته شده نشان می‌دهد که افزودن گیلسونایت به مخلوط آسفالتی باعث

افزایش مقاومت خستگی و مدول سفتی مخلوط آسفالتی اصلاح شده می‌گردد و با توجه به افزایش مدول می‌توان نتیجه گرفت که روسازی دارای سختی بیشتری بوده و عمر خستگی بالاتری دارد (Suo, Z. and Wong, W.G., 2009. Ameri, M., Mansourian, A. and Ziari, H., 2011). نتایج آزمایش یک تحقیق که بر روی گیلسونایت ایران، گیلسونایت امریکا و قیر دریاچه‌ای ترینیداد انجام شده نشان می‌دهد که قیر ترینیداد (TLA) در مقایسه با گیلسونایت ایران و آمریکا، بالاترین سفتی و بیشترین مقاومت در برابر خستگی را دارد (Yilmaz, M. and Çeloğlu, M.E., 2013).

۴-۲-۲- تغییر شکل مخلوط آسفالتی

نتایج حاصل از تحقیقات نشان می‌دهد، گیلسونایت باعث سخت‌تر شدن و بهبود مقاومت مخلوط آسفالتی در برابر تغییر شکل دائمی و عملکرد بهتر نسبت به مخلوط آسفالتی بدون گیلسونایت می‌شود که می‌تواند بدون هیچ‌گونه خرابی، بار ترافیکی بیشتری را در مدت زمان طولانی تری تحمل کند (Yilmaz, M., Kök, B.V. and Kuloğlu, N., 2012a. Yilmaz, M., Kök, B.V. and Kuloğlu, N., 2012b). همچنین نتایج آزمایش ویل ترک نشان می‌دهد که کمترین عمق شیار در مخلوط آسفالتی حاوی گیلسونایت اتفاق می‌افتد و آزمایش مدول برجهنگی نیز این موضوع را تأیید می‌کند و نشان می‌دهد که در مخلوط اصلاح شده انعطاف‌پذیری مخلوط آسفالتی کاهش می‌یابد. همچنین افزایش عدد جریان در تست خزش دینامیکی نشان می‌دهد که مقاومت شیار شدگی در مخلوط حاوی گیلسونایت افزایش یافته است (Jahani, H.R., Shafabakhsh, G. and Divandari, H., 2017). در طی تحقیقی که بر روی گیلسونایت و SBS به عنوان افزودنی و آهک هیدراته به عنوان فیلر استفاده شد نتایج نشان داد، گیلسونایت نسبت به SBS عمق شیار را کاهش

داده و نسبت به فیلر آهکی نیز در کاهش عمق شیار مؤثرتر می‌باشد. (Yilmaz, M. and Yalcin, E., 2016)؛ بنابراین می‌توان گفت گیلسونایت شرایط بهتری جهت تحمل نیروهای وارده و مقاومت در برابر شیار شدگی از خود نشان می‌دهد و می‌تواند جایگزین مناسبی برای انواع اصلاح‌کننده‌های پلیمری (مانند SBS و EVA و ...) و غیر پلیمری باشد و در مناطقی با هوای بسیار گرم استفاده شود.

۴-۲-۳- خصوصیات مقاومتی مخلوط آسفالتی

در مورد اثر گیلسونایت بر خصوصیات مقاومتی مخلوط آسفالتی مطالعات زیادی صورت گرفته که نتایج آزمایش مارشال حاکی از آن است که گیلسونایت باعث افزایش استحکام مخلوط آسفالتی می‌شود که این امر به علت چسبندگی بهتر قیر اصلاح‌شده با سنگدانه‌ها در مخلوط آسفالتی می‌باشد (Akbari Nasrekani, Aliasghar, et al. 2017). نتایج آزمایش کشش غیرمستقیم (ITS) در طی چند سیکل ذوب و یخ یخندان نشان می‌دهد که مخلوط آسفالتی اصلاح‌شده با گیلسونایت نسبت به مخلوط کنترلی (بدون گیلسونایت) در برابر خرابی رطوبتی و عریان شدگی ناشی از آب در چرخه ذوب و یخندان مقاومت بیشتری دارد و همچنین حساسیت رطوبتی آن به دلیل افزایش چسبندگی پیوند سنگدانه‌ها و قیر کاهش می‌یابد (Kök, Baha Vural, et al. 2012. Akbari Nasrekani, Aliasghar, et al. 2017) در تحقیقی اثر سه قیر طبیعی مختلف (گیلسونایت آمریکا، گیلسونایت ایران و قیر دریاچه‌ای ترینیداد) و پلیمر استایرن-بوتادین-استایرن (SBS) در مخلوط آسفالتی به‌عنوان اصلاح‌کننده مورد بررسی قرار گرفت که نتایج آزمایش‌ها نشان داد که مخلوط آسفالتی تهیه‌شده با ۹.۵ درصد گیلسونایت ایران و ۳.۵ درصد پلیمر SBS، بالاترین مقاومت را در برابر خرابی رطوبتی

دارند. با در نظر گرفتن یک درجه‌بندی یکسان (PG) از دو افزودنی گیلسونایت آمریکا و SBS، مؤثرترین افزودنی از نظر پایداری، مقاومت کششی افزودنی گیلسونایت آمریکایی بوده و SBS بیشترین تأثیر را در برابر آسیب رطوبتی دارد (Yilmaz, M. and Çeloğlu, M.E., 2013). مطالعات اخیر نشان می‌دهد افزودن گیلسونایت در مخلوط آسفالتی حاوی مصالح سیلیسی و آهکی باعث افزایش قابل‌توجه پارامتر ITS و TSR می‌شود که نشان‌دهنده بهبود مقاومت رطوبتی بوده و مقدار ۵٪ به‌عنوان بهینه گیلسونایت برای مقاومت رطوبتی می‌باشد و مقادیر بیشتر از ۵٪ گیلسونایت تأثیری مثبتی بر روی TSR نمی‌گذارد. البته تأثیر گیلسونایت بر روی حساسیت رطوبتی در مخلوط آسفالتی حاوی مصالح سیلیسی نسبت به مصالح آهکی بیشتر قابل‌توجه بوده که نشان می‌دهد می‌توان گیلسونایت را به‌عنوان یک ماده ضد عریان شدگی برای مصالح سیلیسی در نظر گرفت و در مناطق مرطوب از آن استفاده نمود (Akbari Nasrekani, Aliasghar, et al. 2017. Sharp, Barry, et al. 2010). درحالی‌که نتایج یک تحقیق نشان می‌دهد گیلسونایت بر روی پارامتر مقاومت رطوبتی تأثیر مثبتی نداشته و نمی‌تواند به‌عنوان یک ماده ضد عریان شدگی شناخته شود (Quintana, H.A.R., Noguera, J.A.H. and Bonells, C.F.U., 2015. Wong, C., and Michael, K. 1990).

۶- نتیجه‌گیری

وجود شرایط آب‌وهوایی گوناگون و محدودیت خواص قیر و مخلوط آسفالتی باعث شده از مواد افزودنی و اصلاح‌کننده‌هایی همچون پلیمر و گیلسونایت در جهت بهبود خواص مخلوط آسفالتی و افزایش عمر مفید روسازی آسفالتی استفاده شود. با توجه به اینکه این افزودنی‌ها بر روی خصوصیات مختلف آسفالتی تأثیر

متفاوتی دارند بنابراین در انتخاب نوع افزودنی، مقدار و نحوه ترکیب این افزودنی با قیر بایستی توجه ویژه‌ای شود. نتایج به دست آمده از افزودن گیلسونایت به مخلوط آسفالتی و اصلاح خواص قیر به صورت زیر می‌باشد:

۱- افزودن گیلسونایت به قیر باعث افزایش ویسکوزیته و کاهش نفوذپذیری قیر اصلاح شده می‌شود که نتیجه اضافه کردن این افزودنی، اصلاح قیر با سفتی بیشتر است.

۲- گیلسونایت در اثر ترکیب با قیر، باعث کاهش درجه نفوذ، افزایش نقطه نرمی و در نتیجه افزایش مقدار PI می‌شود که این عملکرد بهبود حساسیت حرارتی قیر اصلاح شده را نشان می‌دهد.

۳- گیلسونایت دمای عملکردی بالای قیر را افزایش داده و نسبت به سایر افزودنی‌ها از جمله پودر لاستیک، پلیمر SBS و روش هوادهی در بالا بردن دمای عملکردی قیر تأثیر بیشتری دارد ولی هیچ اثر مثبتی بر روی دمای عملکردی دمای پایین ندارد و باعث شکنندگی قیر در دمای پایین می‌شود بنابراین، برای استفاده مؤثر از گیلسونایت، استفاده از اصلاح‌کننده‌های دیگر مانند پلیمرها برای کاهش اثر سفتی جانبی قیر و جلوگیری از ترک خوردگی، مورد نیاز است.

۴- آزمایش DSR نشان می‌دهد اضافه کردن گیلسونایت باعث افزایش مدول مختلط و کاهش زاویه فازی در دمای بالا می‌شود که مقاومت شیار شدگی را بهبود می‌بخشد و باعث افزایش مقاومت خستگی قیر اصلاح شده می‌شود.

۵- افزودن گیلسونایت به مخلوط آسفالتی باعث افزایش مقاومت خستگی و مدول سفتی مخلوط آسفالتی اصلاح شده می‌گردد و با توجه به افزایش مدول می‌توان نتیجه گرفت که روسازی دارای سختی بیشتری بوده در نتیجه تغییر شکل آن کاهش یافته و عمر خستگی مخلوط آسفالتی افزایش یافته می‌یابد.

۶- مخلوط اصلاح شده با گیلسونایت شرایط بهتری جهت تحمل نیروهای وارده و مقاومت در برابر شیار شدگی از خود نشان می‌دهد و می‌تواند جایگزین مناسبی برای انواع اصلاح‌کننده‌های پلیمری (مانند SBS و EVA و ...) و غیر پلیمری باشد و در مناطقی با هوای بسیار گرم استفاده شود.

۷- نتایج آزمایش مقاومت مارشال نشان می‌دهد که گیلسونایت باعث افزایش استحکام مخلوط آسفالتی می‌شود که این امر به علت چسبندگی بهتر قیر اصلاح شده با سنگدانه‌ها در مخلوط آسفالتی می‌باشد.

۸- تأثیر گیلسونایت بر روی حساسیت رطوبتی در مخلوط آسفالتی حاوی مصالح سیلیسی نسبت به مصالح آهکی بیشتر قابل توجه بوده بنابراین می‌توان گیلسونایت را به عنوان به ماده ضد عریان شدگی برای مصالح سیلیسی در نظر گرفت.

۹- پارامترهای ITS و TSR در مخلوط آسفالتی اصلاح شده با گیلسونایت مقادیر بالایی داشته که نشان‌دهنده کمتر بودن حساسیت رطوبتی می‌باشد؛ بنابراین استفاده از گیلسونایت در مخلوط آسفالتی برای مناطق مرطوب توصیه می‌شود.

با توجه به خواص و مزایای افزودن گیلسونایت به قیر و مخلوط آسفالتی می‌توان نتیجه گرفت که مخلوط اصلاح شده با این افزودنی قابلیت تحمل نیروهای برشی بالا داشته و می‌تواند در تقاطع چهارراه، ایستگاه‌های اتوبوس بخصوص در مسیر اتوبوس‌های تندرو، اطراف میدان‌ها، سرازیری‌ها و همچنین روسازی فرودگاه‌ها استفاده شود. گیلسونایت برگرفته از خود طبیعت بوده و آسیب زیست‌محیطی نداشته و جایگزین مناسبی برای افزودنی‌های پلیمری می‌باشد که باعث حفظ بهتر محیط زیست شده و کاهش بیشتر هزینه و افزایش عمر مفید روسازی را به دنبال دارد.

-Akbari Nasrekani, A., Naderi, K., Nakhaei, M., & Mahmoodinia, N. (2016). "High-temperature performance of gilsonite-modified asphalt binder and asphalt concrete". *Petroleum Science and Technology*, 34(21), pp. 1783-1789.

-Akbari Nasrekani, A., Nakhaei, M., Naderi, K., Fini, E., & Aflaki, S. (2017), "Improving Moisture Sensitivity of Asphalt Concrete Using Natural Bitumen (Gilsonite)" (No. 17-05663).

-Al-Qadi, I. L., & Fini, E. H. (2010), "Development of a crack sealant adhesion test (CSADT) specification for hot-poured bituminous sealants". *Journal of Testing and Evaluation*, 39(2), pp. 1-7.

-Ameri, M., Mansourian, A., & Sheikhmotevali, A. H. (2012), "Investigating effects of ethylene vinyl acetate and gilsonite modifiers upon performance of base bitumen using Super pave tests methodology". *Construction and Building Materials*, 36, pp. 1001-1007.

-Ameri, M., Mansourian, A., & Ziari, H. (2011), "Experimental investigation of the effect of Gilsonite on performance of hot-mix asphalt". *Transportation Research*, 1(1), pp. 1-2.

-Ameri, M., Mansourian, A., Ashani, S. S., & Yadollahi, G. (2011), "Technical study on the Iranian Gilsonite as an additive for modification of asphalt binders used in pavement construction". *Construction and Building Materials*, 25(3), pp. 1379-1387.

-Anderson, D., Maurer, D., Ramirez, T., Christensen, D., Marasteanu, M., & Mehta, Y. (1999), "Field performance of modified asphalt binders evaluated with super pave test methods": I-80 test project. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, (1661), pp. 60-68.

-Arthur LC (1963). "Oil and Gas Possibilities of Utah, Re-evaluated". *Utah Geological and Mineralogical Survey, USA*.

۶- پی نوشت ها

1. Styrene-Butadiene-Styrene (SBS)
2. Styrene-Butadiene-Rubber (SBR)
3. Ethylene Vinyl Acetate (EVA)
4. Crumb Rubber (CR)
5. Gilsonite
6. Asphaltite
7. Unitaite
8. Aphaltum
9. Samuel H. Gilson
10. Elemental Analysis (EA)
11. Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR)
12. Nuclear Magnetic Resonance

۷- مراجع

-افشاری، غ.، امامی، ح. و قلی پور، م.، (۱۳۸۵)، "قیبهای اصلاح شده توسط گیلسونایت، فورفورال اکسترکت و پلیمرها" *مجله علوم و فناوری*.

-حسینخانی، الف.، (۱۳۹۴)، "کانی سازی گیلسونایت (قیب طبیعی): معرفی، زمین شناسی، نحوه و مکان زایش آن در ایران".

-مهندسین مشاور معدن آرا، (۱۳۷۵)، "گزارش پی جویی ناحیه ای قیر در حوالی شهرستان قصر شیرین و گیلان غرب".

-فرهادی، م.، (۱۳۷۸)، "گزارش پی جویی قیر طبیعی در منطقه کوهدشت لرستان، سازمان صنعت و معدن استان لرستان".

-Aflaki, S., & Tabatabaee, N. (2009), "Proposals for modification of Iranian bitumen to meet the climatic requirements of Iran". *Construction and Building Materials*, 23(6), pp. 2141-2150.

- Hill, B., Oldham, D., Behnia, B., Fini, E. H., Buttlar, W. G., & Reis, H. (2016), "Evaluation of low temperature viscoelastic properties and fracture behavior of bio-asphalt mixtures". *International Journal of Pavement Engineering*, pp. 1-8.
- Huang, B., Li, G., & Shu, X. (2006), "Investigation into three-layered HMA mixtures". *Composites Part B: Engineering*, 37(7), pp. 679-690.
- Jahani, H. R., Shafabakhsh, G., & Divandari, H. (2017), "Performance evaluation of Hot Mix Asphalt (HMA) containing bitumen modified with Gilsonite". *Construction and Building Materials*, 131, pp. 156-164.
- Kalantar, Z. N., Karim, M. R., & Mahrez, A. (2012), "A review of using waste and virgin polymer in pavement". *Construction and Building Materials*, 33, pp. 55-62.
- Keighin, C. W., & Hibpsman, M. H. (1975), "Preliminary mineral resource study of the Uintah and Ouray reservation.", Utah.
- Kök, B. V., Yilmaz, M., & Guler, M. (2011), "Evaluation of high temperature performance of SBS+ Gilsonite modified binder". *Fuel*, 90(10), pp. 3093-3099.
- Kök, B. V., Yilmaz, M., Turgut, P., & Kuloğlu, N. (2012), "Evaluation of the mechanical properties of natural asphalt-modified hot mixture". *International Journal of Materials Research*, 103(4), pp. 506-512.
- Levorsen, A.I., (2001), "Geology of petroleum", 2th.CBS Publisher.
- Liu, J., & Li, P. (2008), "Experimental study on gilsonite-modified asphalt". In *Airfield and Highway Pavements: Efficient Pavements Supporting Transportation's Future*, pp. 222-228.
- Lu, X., & Isacsson, U. (1997), "Rheological characterization of styrene-butadiene-styrene copolymer modified bitumens". *Construction and Building Materials*, 11(1), pp. 23-32.
- Mirhabibi, A.R., Mehrabi, B., Beigy, A.N., Haghghi, M. and Norooz, H. (1994),
- Babagoli, R., Hasaninia, M., & Mohammad Namazi, N. (2015), "Laboratory evaluation of the effect of gilsonite on the performance of stone matrix asphalt mixtures". *Road Materials and Pavement Design*, 16(4), pp. 889-906.
- Bardesi A., Brule B. et al., (1999) "Use of modified bituminous binders, special bitumen's and bitumen's with additives in road pavements". In: *World Road Association (PIARC)*, pp. 118-120.
- Carbognani, L. (1992). "-Molecular structure of asphaltene proposed for 510c residue of Venezuelan crude". INTEVEP SA tech. report.
- Covington RE (1964), "A brief history of early "mineral exploitation in the Uinta Basin in Geology and mineral resources of the Uinta Basin", Utah's hydrocarbon storehouse, Eighth Annual Field Conference: Intermountain Association of Petroleum Geologists, Utah, Sabatka EF (editor) Utah Geological Association, Utah.
- Crawford, A. L. (1963), "Oil and gas possibilities of Utah, re-evaluated": *Utah Geological and Mineralogical Survey. Bulletin*, pp.54, 564.
- Giavarini, C., De Filippis, P., Santarelli, M. L., & Scarsella, M. (1996), "Production of stable polypropylene-modified bitumen's". *Fuel*, 75(6), pp. 681-686.
- Hajikarimi, P., Aflaki, S., & Hoseini, A. S. (2013), "Implementing fractional viscoelastic model to evaluate low temperature characteristics of crumb rubber and gilsonite modified asphalt binders". *Construction and Building Materials*, 49, pp. 682-687.
- Harmelink, D. (1992), "Gilsonite, an asphalt modifier". *Colorado Department of Transportation Technical Report No. CDOT-DTD-R-92-3*. pp. 1-38.

- mixtures". *Construction and Building Materials*, 44, pp. 533-540.
- Yilmaz, M., & Erdoğan Yamaç, Ö. (2017), "Evaluation of Gilsonite and Styrene-Butadiene-Styrene Composite Usage in Bitumen Modification on the Mechanical Properties of Hot Mix Asphalts". *Journal of Materials in Civil Engineering*, 29(9), 04017089.
- Yilmaz, M., & Yalcin, E. (2016), "The effects of using different bitumen modifiers and hydrated lime together on the properties of hot mix asphalts". *Road Materials and Pavement Design*, 17(2), pp. 499-511.
- Yilmaz, M., Kök, B. V., & Kuloğlu, N. (2012), "Investigating the resistance of asphaltite containing hot mix asphalts against fatigue and permanent deformation by cyclic tests". *Canadian Journal of Civil Engineering*, 40(1), pp. 27-34.
- Yilmaz, M., Kök, B. V., & Kuloğlu, N. (2012), "Investigation of mechanical properties of short-and long-term aged asphalted modified asphalt mixtures". *Journal of Materials in Civil Engineering*, 25(5), pp. 563-572.
- Zhong, K., Cao, D. W., & Liu, Q. Q. (2008), "Research on the Rheological Characteristics of Gilsonite Modified Bitumen". *Journal of Highway and Transportation Research and Development (English Edition)*, 3(1), pp. 20-24.
- Ziegler Chemical & Mineral Corp. (2014), "Gilsonite is safe to use." Retrieved from <http://www.zieglerchemical.com/health.htm>. Accessed June 12, 2015.
- "Characterization of some new iranian bitumen". *Tectonophysics*, 229, pp. 211-283.
- Mogawer, W. S., Fini, E. H., Austerman, A. J., Booshehrian, A., & Zada, B. (2012), "Performance characteristics of high RAP bio-modified asphalt mixtures". In *Transportation Research Board 91st Annual Meeting (No. 12-2411)*.
- Nciri, N., Song, S., Kim, N., & Cho, N. (2014), "Chemical characterization of gilsonite bitumen". *J Pet Environ Biotechnol*, 5(193), 2.
- Pruitt, R. G. (1961), "The mineral resources of Uintah County." *Utah Geological and Mineralogical Survey*.
- Quintana, H. A. R., Noguera, J. A. H., & Bonells, C. F. U. (2015), "Behavior of gilsonite-modified hot mix asphalt by wet and dry processes" *Journal of Materials in Civil Engineering*, 28(2), 04015114.
- Sharp, B., Berg, K., Fazio, M., & Stewart, R. (2010), "Glisonite as an Anti-Stripping Agent in Hot Mix Asphalt" (No. UT-10.10).
- Suo, Z., & Wong, W. G. (2009), "Analysis of fatigue cracks growth behavior in asphalt concrete material in wearing concrete course". *Construction and Building Materials*, 23(1), pp. 462-468.
- Yaya, A. S., Oldham, D., Hosseinezhad, S., Aflaki, S., & Fini, E. H. (2016), "Physiochemical and Rheological Characterization of Biomodified Gilsonite". In *Transportation Research Board 95th Annual Meeting (No. 16-5863)*.
- Yilmaz, M., & Çeloğlu, M. E. (2013), "Effects of SBS and different natural asphalts on the properties of bituminous binders and