

تاثیر درجه نفوذ و دما بر روی مشخصات عملکردی قیر

مقاله علمی - پژوهشی

وحید شیخی، دانش آموخته کارشناسی، دانشکده فنی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد شهرری، تهران، ایران
مهدی قاسمی، دانش آموخته کارشناسی، دانشکده فنی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد شهرری، تهران، ایران
ملیحه ساریان*، دانش آموخته کارشناسی ارشد، دانشکده فنی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران
*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: sarebanmli@gmail.com

دریافت: ۱۴۰۱/۰۴/۲۹ - پذیرش: ۱۴۰۱/۱۰/۱۵

صفحه ۹۰-۸۱

چکیده

در مقاله حاضر، تاثیر تغییرات درجه نفوذ و دما بر روی مشخصات عملکردی قیرها مورد بررسی تجربی قرار گرفت. در این راستا اطمینان حاصل شد که قیرها از یک ماده اولیه و یک فرایند اکسیداسیون ثابت و در زمان های مختلف از راکتور برداشت شده باشند تا نوع ماده اولیه تاثیری بر روی نتایج آزمون نداشته باشد. آزمایش ها بر روی قیر با درجه نفوذهای مختلف ۳۵، ۴۰، ۵۰، ۵۵ و ۶۰ (دهم میلی متر) انجام گرفتند. تاثیر تغییرات درجه نفوذ و دما بر روی پارامترهای مختلف کیفی قیر از جمله مشخصات قیر در دماهای بالا و متوسط، پس از پیرشدگی اولیه و پیرشدگی طولانی مدت با استفاده از آزمایش های بررسی رفتار رئولوژی به وسیله رئومتر برشی دینامیکی، پیرشدگی اولیه با آون لایه نازک متحرک و پیرشدگی ثانویه با محفظه تحت فشار مورد بررسی قرار گرفت و نمودارهای مقایسه ای مربوطه رسم گردید. نتایج نشان می دهند که مقاومت شیارافتادگی یا تغییر شکل ماندگار قیر در هر دو حالت قیر اولیه و قیر پسماند فرایند پیرشدگی لایه نازک، با افزایش دما در یک قیر با درجه نفوذ ثابت و همچنین افزایش درجه نفوذ در یک دمای ثابت، کاهش می یابد و تغییرات شاخص ترک خوردگی ناشی از خستگی در قیر پسماند حاصل از فرایند پیرشدگی لایه نازک و فرایند پیرشدگی تحت فشار با افزایش دما در یک قیر با درجه نفوذ ثابت و همچنین افزایش درجه نفوذ در یک دمای ثابت، کاهش می یابد.

واژه های کلیدی: درجه نفوذ، دما، شیارافتادگی، ترک خوردگی ناشی از خستگی

۱-مقدمه

است. به عنوان مثال آزمایش درجه نفوذ، سفتی قیر را نشان می دهد، اما رابطه مناسبی بین درجه نفوذ قیر و عملکرد آن وجود ندارد. محدودیت دیگر آزمایش ها و مشخصات استاندارد رایج قیر این است که ویژگی های قیر در تمام دماهای روسازی توسط این آزمایش ها مشخص نمی شود. اگرچه ویسکوزیته یک معیار اصلی روانی قیر است، اما فقط اطلاعاتی راجع به رفتار ویسکوز آن در دماهای بالا ارائه می دهد. همانطور که آزمایش درجه نفوذ تنها پیوستگی در دماهای متوسط (۲۵ درجه

با وجود پیچیدگی مشخصات شیمیایی قیر، پارامترهای آن در گذشته تنها بر اساس آزمایش های تعیین مشخصات فیزیکی ارائه می شدند. پارامترهای رایج قیر بر اساس آزمایش هایی چون درجه نفوذ، ویسکوزیته و نقطه نرمی تعیین می شوند. این آزمایش ها در دماهای استاندارد و از پیش تعیین شده صورت می گیرند. بسیاری از آزمایش های رایج تجربی هستند، لذا قبل از اینکه نتایج آزمایش ها اطلاعات مفید و معناداری ارائه دهند، به تجربه زیادی در خصوص عملکرد و کیفیت روسازی ها نیاز

نتیجه، طبقه‌بندی قیرها به میزان قابل توجهی توسط دو رویداد جدید زیر تغییر کرد:

(۱) معرفی روش‌های جدید تعیین خواص رئولوژی در صنعت قیر

(۲) طبقه‌بندی قیرها بر اساس عملکرد با توجه به خواص بنیادی آنها (شرایط روسازی، شرایط آب و هوایی و میزان ترافیک).

دو مرحله فوق در آمریکا با موفقیت اجرا شد اما در سایر نقاط جهان به دلیل هزینه بالا و پیچیدگی تجهیزات آزمایش رئولوژی و بی میلی به اجرای طبقه بندی عملکردی قیرها، با تاخیر زیادی همراه شد. با استفاده از نتایج آزمایشات شارپ درجه عملکردی قیر تعیین شده و شاخص عملکردی قیر دارای دوعدد بوده و به صورت زیر نوشته می‌شود (رابطه ۱):

PG XX-YY

نرمی نیز قابل دستیابی است و تحقیقات زیادی در این خصوص انجام گرفته تا با صرف کمترین هزینه رابطه میان مشخصات قیر با استانداردهای فیزیکی و آیین نامه شارپ را بیابند. به این ترتیب درجه عملکردی قیر به طور تقریبی از روابط ۲ و ۳ برآورد می‌شود.

$$XX=TR\&B +20 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$YY= 2TFRASS \text{ }^{\circ}\text{C}$$

TR&B: درجه حرارتی که در آن قیر از حالت جامد به حالت مایع در می‌آید، نقطه نرمی قیر نامیده می‌شود.

TFRAS: درجه حرارتی که در آن اولین شکست در سطح قیر حاصل می‌شود، نقطه شکست فراس نامیده می‌شود.

آزمون‌ها و الزامات شارپ متداول شد (کارشناسان ارشد شرکت نفت پاسارگاد، ۱۳۹۰) (کلانتر و غیره، ۱۳۹۵) (روح الامینی و غیره، ۱۳۹۷) (McGennis, et al., 1994). البته هزینه بالا و زمان زیاد مورد نیاز برای انجام آزمون‌های عملکردی مقوله ی قابل چشم پوشی نمی‌باشد.

رده بندی قیر - قیرهای نفوذی

سیستم درجه بندی نفوذی در اوایل قرن نوزدهم در سال ۱۹۰۲ برای مشخص کردن قوام و پایداری قیرهای نیمه جامد به کار برده شد. قیرهای درجه نفوذی، براساس نتایج آزمون‌های درجه نفوذ و نقطه نرمی دسته‌بندی می‌شوند. این طبقه بندی فقط بر اساس محدوده نفوذ می‌باشد. برای مثال بر

سانتی گراد) را تشریح می‌کند. مشخصات استاندارد رایج قیرها می‌تواند قیرهای متفاوت و با حساسیت‌های حرارتی و عملکردهای گوناگون را در یک درجه یکسان قرار دهد، در حالی که ممکن است این قیرها مشخصات عملکردی و دمایی بسیار متفاوتی داشته باشند (McGennis, et al., 1994) (کارشناسان ارشد شرکت نفت پاسارگاد، ۱۳۹۰).

تا سال ۱۹۹۰، مشخصات قیرها بر همین پایه مشخص می‌گردید که ربطی به عملکرد قیر نداشتند، زیرا اساس کار بر پایه تجربه بوده و برای قیرهای با طبقه بندی براساس درجه نفوذ، مناسب و معتبر بودند. در اوایل دهه ۱۹۹۰، پروژه شارپ در آمریکا منجر به معرفی مشخصات قیر روسازی برتر شد. در

(۱)

در این عبارت عدد سمت چپ حداکثر دمای قابل تحمل قیر را نشان می‌دهد و عدد سمت راست که منفی است، حداقل دمای قابل تحمل قیر را نشان می‌دهد. از سوی دیگر با وجود اینکه طبقه بندی عملکردی قیرها به وسیله خصوصیات رئولوژیکی بهتر انجام می‌شود، اما با استفاده از نتایج تست‌های نفوذ و نقطه

(۲) حداکثر دمای قابل تحمل قیر

(۳) حداقل دمای قابل تحمل قیر

هدف اساسی از روش جدید تعیین مشخصات قیر، علیرغم هزینه بیشتر تجهیزات آزمایشگاهی، آسان کردن خرید محصولات قیری با معرفی کیفیت و خواص انواع قیر به منظور توصیف کامل نیاز خریدار برای فروشنده و تضمین قیر بود که در هنگام کاربرد و مصرف، عملکرد بسیار مطلوب داشته و باعث ایجاد خرابی در پوشش نشود. به این ترتیب استفاده از

طبقه‌بندی قیر

سیستم‌های طبقه بندی متفاوتی از یک حالت ساده، مانند درجه بندی نفوذی تا حالت پیچیده، مانند سیستم‌های شارپ برای قیر به کار می‌رود. که در این مقاله تلاش شده است ارتباط این دو طبقه بندی مورد بررسی قرار گیرد.

(1994, (كاوسی، ۱۳۸۰). جدول ۱ انواع قیر بر اساس درجه بندی نفوذی و کاربردهای آن را نشان داده است (McGennis, et al., 1994).

طبق استاندارد ملی ایران ۱-۱۲۵۰۵ قیر ۶۰/۷۰ درجه نفوذی بین ۶۰ تا ۷۰ و نقطه نرمی بیشتر از ۴۶ دارد. مشخصات درجه بندی نفوذی قیر در استاندارد ASTM D-946 و AASHTO-M20 نیز آمده است (McGennis, et al., 1994).

جدول ۱. انواع قیر بر اساس درجه بندی نفوذی و کاربردهای آن

درجه نفوذ	توصیه برای کاربرد
۵۰-۴۰	سخت ترین رده
۷۰-۶۰	رده معمولی که در راهسازی بکار می رود
۱۰۰-۸۵	با توجه به نوع کاربرد
۱۵۰-۱۲۰	با توجه به نوع کاربرد
۳۰۰-۲۰۰	نرم ترین رده که برای مناطق سرد مثل شمال کانادا بکار می رود

رده بندی قیر - قیرهای عملکردی

دائمی، ب) ترک‌های برودتی و ج) ترک‌های خستگی در روسازی‌های آسفالتی روش‌هایی را ارائه می‌دهد. این روش در سه بخش مجزای قیراولیه، قیر پس از آزمایش آون دوار لایه نازک و قیر باقیمانده از آزمایش محفظه پیرشدگی تحت فشار، به تعیین مشخصات قیر می‌پردازد (McGennis, et al., 1994 (Pumphrey, 2003), (Bredenhann, et al., 2019) (ASTMD2872-19, 2019). در این قسمت به طور خلاصه به توضیح مورد الف و ج می‌پردازیم.

بیشترین سهم در رده بندی شارپ، مربوط به عملکرد قیر است، بر این اساس آن را طبقه بندی عملکردی می‌نامند. اساس کار این طبقه بندی بر این اصل است که قیر در درجه حرارت‌های بالا روان نشود و در درجه حرارت‌های پایین ترک نخورد و به این ترتیب مبنای مشخصات روسازی برتر بر اساس بالاترین و پایین‌ترین دمای پیش بینی شده در ناحیه جغرافیایی راه مدنظر است. آیین نامه شارپ به منظور پوشش دادن کامل عملکرد قیر و با شناخت به نسبه دقیق از خصوصیات آن تدوین شده و برای کنترل الف) تغییر شکل

تغییر شکل دائمی یا شیار شدن

ماندگار یا شیارافتادگی روسازی مجموع تغییر شکل‌های برگشت ناپذیر ناشی از بارهای تکراری در دماهای بالای بهره برداری است. ملزومات عملکردی قیر شاخص شیارافتادگی $G^*/\sin \delta$ را که نشانه سفتی دما بالا یا مقاومت شیارافتادگی قیر است معرفی کرده است. به منظور مقابله با شیار شدن، مقادیر بالای G^* و پایین δ مناسب و مطلوب است. بنابراین، قیرهای سفت و کشسان از دیدگاه شارپ در مقابل شیارشدن مقاوم هستند (Pumphrey, (McGennis, et al., 1994) (Bredenhann, et al., 2019) (ASTMD7175, 2015).

در شرایط بارهای سنگین عبوری ناشی از فشار چرخ‌های کامیون‌ها و وسایل نقلیه معمولی در هوای گرم تابستان یا بارهای ساکن در محل تقاطع‌ها یا پارکینگ‌ها، قیر ساده تحمل مقاومت نداشته و آرام جاری شده و مصالح داخل آسفالت را نیز جاری می‌کند. این نوع جابه جایی را به عنوان تغییر شکل خمیری یا دائمی می‌شناسند. وقوع چنین پدیده‌ای باعث افت کیفیت سطح راه یا جاده شده و بر خطرات استفاده از آن می‌افزاید. به منظور بررسی تغییر شکل دائمی یا شیار افتادگی از آزمون یا دستگاه رئومتر برشی دینامیکی استفاده می‌شود. عکس العمل قیر به بارگذاری از دویخس الاستیک برگشت پذیر و ویسکوز برگشت ناپذیر تشکیل می‌شود. تغییر شکل

ترک‌های خستگی

به خستگی مربوط می‌شود. مقادیر کوچک‌تر این حاصلضرب در مورد قیرهای راهسازی مطلوب هستند و قیرهایی که حاصلضرب کمتری داشته باشند، کم‌تر مستعد ترک‌های خستگی می‌باشند (McGennis, et al., 1994) (ASTMD7175, (Gürkan Güngör, et al., 2012) (Bredenhann, et al., 2019) 2015).

ترک‌های خستگی در دماهای پایین و متوسط در پوشش جاده اتفاق می‌افتند. به منظور بررسی ترک‌های خستگی در دماهای پایین و متوسط از آزمون یا دستگاه رئومتر برشی دینامیکی استفاده می‌شود، این سامانه مشخصات آزمون را روی نمونه‌هایی که مراحل پیرشدگی اولیه و ثانویه را تحمل کرده‌اند، تعیین می‌نماید و حاصلضرب این دو فاکتور $G^* \cdot \sin \delta$

۲- پیشینه تحقیق

خوردگی در غشای قیری بیشتر است. نمونه‌های ساخته شده با قیر ۱۰۰-۸۵ دارای مقدار انرژی آزاد چسبندگی بیشتری در مقایسه با نمونه‌های مشابه ساخته شده با قیر ۷۰-۶۰ می‌باشند و در نتیجه احتمال وقوع ترک‌های خستگی در سطح تماس قیر - سنگدانه برای این مخلوط‌ها کمتر است (آذرهوش، ۱۳۹۰). از اهداف این تحقیق، تعیین ارتباط بین درجه نفوذ و دما به عنوان پارامترهای فیزیکی قیر با مشخصات عملکردی یا کیفی قیرها شامل مقاومت شیارافتادگی یا تغییر شکل ماندگار قیر و شاخص ترک خوردگی ناشی از خستگی و بررسی دقیق این ارتباط با رسم نمودارها می‌باشد. با توجه به اینکه زمان مورد نیاز برای آزمون‌های قیرهای عملکردی زیاد می‌باشد (به عنوان مثال آزمون محفظه پیرشدگی تحت فشار که پیرشدگی ثانویه قیر در طول مدت خدمت دهی را شبیه سازی می‌کند به مدت ۲۰ ساعت زمان می‌برد) و همچنین قیمت بسیار بالای تعمیر و نگهداری تجهیزات قیرهای عملکردی (به عنوان مثال تعویض یک بخش کوچک از دستگاه رئومتر برشی دینامیکی تحت عنوان میکرو اسکرو حدود ۶۸۰ یورو قیمت دارد)، در صورت درک بهتر ارتباط مشخصات کیفی و فیزیکی قیر، تولید کنندگان کمک بسیار خوبی برای تولید این نوع قیر خواهند داشت و می‌توانند با صرف هزینه و زمان کمتر و داشتن دید خوبی از ارتباط مشخصات کمی و کیفی، به تنظیم پارامترهای مختلف تولید خود بپردازند.

۳- مواد و روش‌ها

با توجه به اینکه امکان تغییر خصوصیات ماده اولیه (ته ماند برج تقطیر در خلاء) در نتیجه تولید در پالایشگاه وجود دارد، در این تحقیق اطمینان حاصل شد که برای تولید قیرها ماده

تحقیقاتی بسیاری بر روی خصوصیات عملکردی قیر و ارتباط خصوصیات مختلف فیزیکی و عملکردی قیرانجام شده است (Reddy Kommidi, et al., 2020) (آذرهوش و مقدس نژاد، ۱۳۹۷). کامیدی و کیم (۲۰۲۰) به جستجوی یک روش تجزیه و تحلیل تست جایگزین با استفاده از دستگاه رئومتر برشی دینامیکی با کمک تئوری‌های مکانیکی برای تعیین خواص آسفالت در دمای پایین پرداختند که معمولاً توسط رئومتر تیرچه خمشی مشخص می‌شود. برای این منظور، هر دو تست انجام شد، و نتایج آزمون رئومتر برشی دینامیکی با استفاده از تئوری مکانیکی (به عنوان مثال، اصل مطابقت الاستیک-ویسکوالاستیک) به پاسخ‌های رئومتر تیرچه خمشی تبدیل شد. سپس هر دو نتیجه برای کالیبراسیون و اعتبارسنجی مقایسه شدند و در این مطالعه مشخص شد که روش آزمایش رئومتر برشی دینامیکی می‌تواند یک روش مکمل (یا جایگزین) خوب برای رئومتر تیرچه خمشی باشد (Reddy Kommidi, et al., 2020). علیرضا آذرهوش و فریدون مقدس نژاد (۱۳۹۷) با استفاده از مفاهیم ترمودینامیک و پارامترهای انرژی آزاد سطحی، تاثیر انواع مختلف از سنگدانه و قیر بر رفتار و عمر خستگی مخلوط‌های آسفالتی مورد بررسی قرار دادند. همچنین جهت انجام آزمایش خستگی بر روی نمونه‌های آسفالتی از آزمایش خستگی به روش کشش غیر مستقیم استفاده کردند و نشان دادند نمونه‌های ساخته شده با قیر ۱۰۰-۸۵ دارای مقدار انرژی آزاد چسبندگی بیشتری در مقایسه با نمونه‌های مشابه ساخته شده با قیر ۷۰-۶۰ می‌باشند. از طرف دیگر قیر ۱۰۰-۸۵ دارای مقادیر انرژی آزاد پیوستگی بزرگتری در مقایسه با قیر ۷۰-۶۰ است که این مطلب نشاندهنده این است که مقاومت این قیر در برابر ترک

ثبت گردیدند (ASTMD7175, 2015). شایان ذکر است که استانداردهای بین المللی تمامی آزمون‌ها در بالا ذکر شده و لذا از توضیح دقیق آزمون‌ها خودداری شده است.

۴- نتایج و بحث

۴-۱- تغییر شکل ماندگار

عکس‌العمل قیر به بارگذاری، از دو بخش الاستیک برگشت پذیر و ویسکوز برگشت ناپذیر تشکیل می‌شود. تغییر شکل ماندگار یا شیار افتادگی روسازی، مجموع تغییر شکل‌های برگشت ناپذیر ناشی از بارهای تکراری در دماهای بالای بهره برداری است. ملزومات عملکردی قیر شاخص شیارافتادگی $G^*/\sin\delta$ را که نشانه سفتی دمای بالا یا مقاومت شیارافتادگی قیر است، معرفی می‌کند. این شاخص برای به حداقل رساندن خرابی شیارافتادگی برای قیر اولیه یا خالص و قیر پسماند فرایند پیرشدگی لایه نازک متحرک می‌بایست مورد بررسی قرار گیرد.

تاثیر دما بر روی شاخص شیارافتادگی

شکل شماره ۱ تغییرات شاخص شیارافتادگی $G^*/\sin\delta$ را با دما در قیر با درجه نفوذ ثابت ۳۵، برای قیر اولیه و قیر پسماند فرایند پیرشدگی لایه نازک نشان می‌دهد. همانطور که مشخص است مقادیر شاخص شیار افتادگی یا مقاومت شیارافتادگی با افزایش دما کاهش پیدا می‌کند و این به علت شل شدن قیر در نتیجه افزایش دما و کم شدن خاصیت الاستیکی قیر و در نتیجه کاهش G^* و افزایش δ دانست. رفتار قیر با دما در تمام درجات نفوذ به همین صورت بوده، لذا، ذکر آن خودداری شده است.

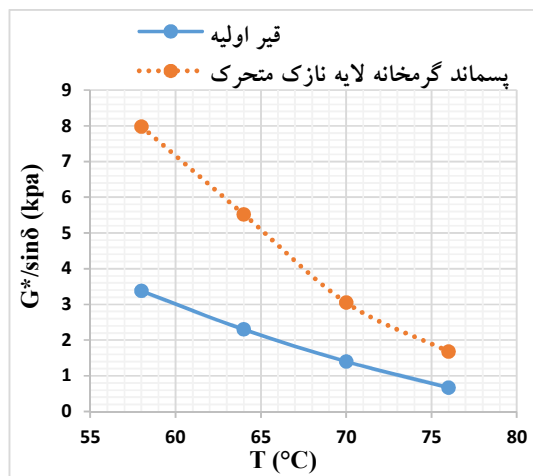
اولیه دقیقاً ثابت بوده و تولیدی یک مخزن ثابت برای یک روز خاص از پالایشگاه نفت تهران باشند. به این ترتیب ماده اولیه به راکتور تولید قیر وارد شده و پس از آن در مدت زمان‌های مختلف نمونه‌هایی به صورت بشکه از راکتور مستقیماً برداشت شدند. نمونه‌ها در ابتدا مورد آزمایش تعیین درجه نفوذ قرار گرفتند و مقادیر درجه نفوذها در دمای ۲۵ درجه سلسیوس تحت بار ۱۰۰ گرم به مدت ۵ ثانیه به دست آمدند (ASTMD5, 2020). نمونه‌ها در ادامه مورد آزمایش تعیین ویژگی‌های رئولوژی قیر با دستگاه رئومتر برش دینامیکی قرار گرفتند و اعداد آن تحت عنوان قیر اولیه و با پارامتر شاخص شیارافتادگی $G^*/\sin\delta$ ثبت شدند (ASTMD7175, 2015). در مرحله بعد نمونه‌ها مورد آزمایش اثر گرما و هوا روی لایه نازک متحرکی از قیر (آزمون گرمخانه لایه نازک متحرک) به مدت ۸۵ دقیقه تحت دمای ۱۶۳ درجه سلسیوس قرار گرفتند (ASTMD2872-19, 2019) و بخشی از قیرهای پسماند به دست آمده در این مرحله، مجدداً مورد آزمایش تعیین ویژگی‌های رئولوژی قیر با دستگاه رئومتر برش دینامیکی قرار گرفتند و اعداد آن تحت عنوان قیر پسماند فرایند پیرشدگی لایه نازک متحرک با پارامتر شاخص شیارافتادگی $G^*/\sin\delta$ ثبت شدند (ASTMD7175, 2015).

در مرحله آخر بخشی از پسماند به دست آمده از مرحله قبل تحت فرایند تسریع پیرشدگی قیر با محفظه پیرشدگی تحت فشار به مدت ۲۰ ساعت تحت فشار هوای ۲۱ بار و دمای ۱۰۰ درجه سلسیوس و محفظه حباب زدایی تحت خلا تحت دمای ۱۷۰ درجه سلسیوس و فشار ۱۵ کیلوپاسگال قرار گرفته (ASTMD6521-19a, 2019) و پسماند حاصل از طی این مراحل مجدداً مورد آزمایش تعیین ویژگی‌های رئولوژی قیر با دستگاه رئومتر برش دینامیکی قرار گرفتند و نتایج آن تحت عنوان ترک خوردگی ناشی از خستگی و با پارامتر $G^* \cdot \sin\delta$

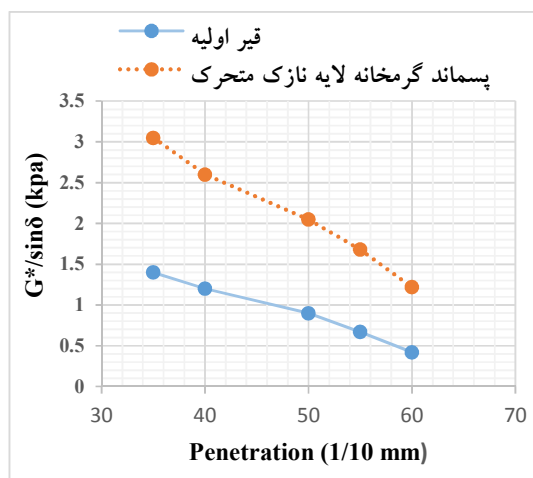
تاثیر درجه نفوذ بر روی شاخص شیارافتادگی

هر دو حالت قیر اولیه و قیر پسماند فرایند پیرشدگی لایه نازک متحرک کاهش می‌یابد و به عبارت دیگر مقاومت قیر و یا سفتی دما بالای قیر کاهش می‌یابد. این رفتار را می‌توان به شل شدن قیر در نتیجه افزایش درجه نفوذ و کم شدن خاصیت الاستیکی قیر و در نتیجه کاهش G^* و افزایش δ نسبت داد.

شکل شماره ۲ تغییرات شاخص شیارافتادگی $G^*/\sin\delta$ با درجه نفوذ قیر را برای قیر اولیه و قیر پسماند فرایند پیرشدگی لایه نازک متحرک در دمای ثابت ۷۰ درجه سلسیوس نشان می‌دهند. همانطور که شکل نشان می‌دهد، با افزایش درجه نفوذ یا شل‌تر شدن قیر در یک دمای ثابت شاخص شیار افتادگی در



شکل ۱. تغییرات شاخص شیارافتادگی با دما در قیر با درجه نفوذ ثابت ۳۵ در دو حالت قیر اولیه و قیر پسماند فرایند پیرشدگی لایه نازک متحرک



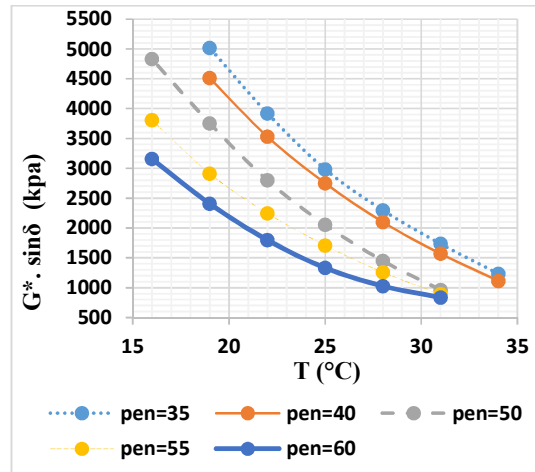
شکل ۲. تغییرات شاخص شیارافتادگی با درجه نفوذ در دمای ثابت ۷۰ درجه سانتی گراد در دو حالت قیر اولیه و قیر پسماند فرایند پیرشدگی لایه نازک متحرک

ترک خوردگی ناشی از خستگی

در ملزومات عملکردی قیر، مقادیر G^* و δ برای کمک به کنترل خرابی خستگی روسازی آسفالتی نیز مورد استفاده قرار می‌گیرند. از آنجا که ترک‌های ناشی از خستگی عموماً در دماهای پایین تا متوسط پس از گذشت مدتی از بهره برداری روسازی روی می‌دهد، ملزومات عملکردی قیر با آزمایش کردن قیر پیر شده در هر دو دستگاه گرمخانه لایه نازک متحرک و محفظه پیرشدگی تحت فشار این نوع خرابی روسازی را کنترل می‌کند. ملزومات عملکردی قیر را با شاخص ترک خوردگی ناشی از خستگی ($G^* \cdot \sin\delta$) بیان می‌کند.

تاثیر دما بر روی ترک خوردگی ناشی از خستگی

شکل ۳ تغییرات شاخص ترک خوردگی ناشی از خستگی ($G^* \cdot \sin\delta$) را با دما نشان می‌دهد. نمودارها نشان می‌دهند که برای همه درجه نفوذها) مقادیر شاخص با افزایش دما کاهش یافته و در بیشترین دما شاخص ترک خوردگی کمترین مقدار را دارد. به این ترتیب در بیشترین دما، کمترین ترک خوردگی ناشی از خستگی مشاهده خواهد شد و این به علت شل شدن قیر در نتیجه افزایش دما و در نتیجه کاهش G^* است.

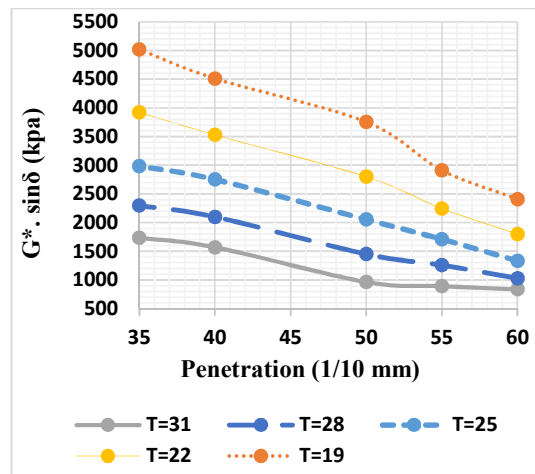


شکل ۳. تغییرات شاخص ترک خوردگی ناشی از خستگی ($G^* \cdot \sin\delta$) با دما

تأثیر درجه نفوذ بر روی ترک خوردگی ناشی از خستگی

مقدار کمتری دارد. به این ترتیب با افزایش درجه نفوذ ترک خوردگی ناشی از خستگی کمتری را شاهد خواهیم بود که می‌تواند به علت افزایش انرژی آزاد پیوستگی و چسبندگی بیشتر باشد.

شکل ۴ تغییرات شاخص ترک خوردگی ناشی از خستگی ($G^* \cdot \sin\delta$) را با درجه نفوذ در دماهای ثابت نشان می‌دهد. همانطور که مشخص است هرچه درجه نفوذ قیر بالاتر باشد و به بیانی دیگر قیر شل‌تر باشد، مقدار شاخص ترک خوردگی



شکل ۴. تغییرات شاخص ترک خوردگی ناشی از خستگی ($G^* \cdot \sin\delta$) با درجه نفوذ در دماهای مشخص

۵- نتیجه گیری

با جهت دادن به مشخصات فیزیکی قیر، منجر به بهبود عملکرد روسازی می‌شود. در این پژوهش تأثیر تغییرات درجه نفوذ (پارامتر فیزیکی قیر) و دما بر روی پارامترهای مربوط به خرابی تغییر شکل ماندگار و ترک خوردگی ناشی از خستگی مورد بررسی قرار گرفت.

رعایت الزامات عملکردی قیر در روش طراحی روسازی ممتاز باعث بهبود عملکرد روسازی آسفالتی از طریق محدود کردن میزان تأثیر قیر بر خرابی‌های تغییر شکل ماندگار (شاخص $G^*/\sin\delta$) و ترک خوردگی ناشی از خستگی (شاخص $G^* \cdot \sin\delta$) و ترک خوردگی دما پایین می‌شود. این ملزومات

مدول برشی (G^*) کمتری خواهد داشت و مقاومت در برابر ترک خوردگی ناشی از خستگی در سطح تماس قیر و سنگدانه و در غشای قیری بیشتر است. با تغییرات درجه نفوذ می‌توان به‌گراید مورد نظر در قیر عملکردی رسید به این ترتیب هرچه قیر سفت‌تر باشد دمای بالای عملکرد که معرف مقاومت شیارافتادگی یا تغییر شکل ماندگار می‌باشد بیشتر شده و همچنین با افزایش درجه نفوذ یا شل شدن قیر، ترک خوردگی ناشی از خستگی کمتری را شاهد خواهیم بود و می‌بایست در نظر داشت که با توجه به تاثیر درجه نفوذ و دما می‌توان با دید بهتری به تولید قیر عملکردی پرداخت و موجب صرف زمان و هزینه کمتری با استفاده کمتر از تجهیزات قیرهای عملکردی می‌شود.

مهمترین نتایج این تحقیق عبارتند از: شیارافتادگی یا تغییر شکل ماندگار قیر در هر دو حالت قیر اولیه و قیر پسماند فرایند پیرشدگی لایه نازک با افزایش دما در یک قیر ثابت و همینطور افزایش درجه نفوذ در یک دمای ثابت، به علت کاهش سفتی قیر و کاهش مقاومت قیر در برابر تغییر شکل و به عبارتی مقادیر کم مدول برشی (G^*) و مقادیر زیاد زاویه فازی (δ) کاهش می‌یابد و به این ترتیب قیرهای الاستیک سفت مقاومت شیارافتادگی بیشتری دارند. تغییرات شاخص ترک خوردگی ناشی از خستگی در قیر پسماند حاصل از فرایند پیرشدگی لایه نازک و فرایند پیرشدگی تحت فشار با افزایش دما در یک قیر ثابت و همینطور افزایش درجه نفوذ در یک دمای ثابت، کاهش می‌یابد. به عبارت دیگر قیر با افزایش دما و افزایش درجه نفوذ، مقادیر

۶- فهرست نمادها

PG	درجه عملکردی
T R&B	نقطه نرمی
PAV	دستگاه محفظه پیرشدگی تحت فشار
RTFO	دستگاه آون دوار لایه نازک متحرک
DSR	دستگاه رئومتر برشی دینامیکی
G^*	مدول مرکب برشی
δ	زاویه فازی

۷- مراجع

-کلاتر شکوفه، گ. خوراسگانی، ا. و احمددیباجی، س.ح.، (۱۳۹۵)، "پهنه بندی آب و هوایی استان سیستان و بلوچستان برای استفاده از قیر، کنفرانس بین المللی توسعه پایدار و عمران شهری، تهران، ص. ۱۰-۱۰۱.

-نادری، ا. و شهریاری، م.، (۱۳۷۹)، "روسازی ممتاز Superpave" آزمایشات و مشخصات درجه‌بندی قیر بر مبنای عملکرد، تهران: انستیتو آسفالت.

-Cheng DingXin [et al.] Surface Energy Measurement of Asphalt and Its Application to Predicting Fatigue and Healing in Asphalt Mixtures, (2002), "Transportation Research Record (1810), pp. 44-53.

-Pumphrey Michael E., (2003), "Evaluation of performance graded asphalt binder equipment and test protocol", West Virginia: Statler

-آذرهوش، ع.ر. و مقدس‌نژاد، ف.، (۱۳۹۷)، "بررسی عمر خستگی مخلوط‌های آسفالتی با استفاده از پارامترهای انرژی آزاد سطحی نشریه مهندسی عمران امیرکبیر، جلد ۵۰، ص. ۳۶۵-۳۷۶.

-روح الامینی، ح.، قبادی پور، ب.، سلیمانی کرمانی، م.، وامق م.، (۱۳۹۷)، "پهنه‌بندی تعیین قیر مناسب براساس شاخص عملکردی در ایران، پژوهشنامه حمل و نقل، تهران، تابستان، جلد ۵۵، ص. ۷۵-۶۵.

-کارشناسان ارشد شرکت نفت پاسارگاد قیر و آسفالت پاسارگاد، (۱۳۹۰)، تهران: دانش نوین.

-کاوسی، ا. و شیخ‌سندیانی، ش.، (۱۳۸۰)، "بررسی آزمایشگاهی خصوصیات فیزیکی قیرهای خالص ایران و تطابق آنها با طبقه بندی شارپ، نشریه دانشکده فنی، جلد ۳۵، ص. ۳۵-۳۵.

- ASTM D7175, (2019), “Bredenhann S J [et al.] Implementation of a performance-grade bitumen specification in South Africa, Institution of Civil Engineering, September , Vol. 61, pp. 20–31.
- Gürkan Güngör Ahmet [et al.], (2012), “Evaluation of Performance Grades and Polymer Dispersion of Polymer Modified Binders [Conference] 5th Eurasphalt & Eurobitume Congress”, İstanbul Turkey, [s.n.].
- McGennis R.B, Shuler S and Bahia H.U., (1994), “Background of Superpave Asphalt Binder Test Methods Washington : u.s. Department of Transportation Federal Highway Administration”.
- Reddy Kommidi Santosh and Kim Yong-Rak, (2020), “Dynamic shear rheometer testing and mechanistic conversion to predict bending beam rheometer low temperature behavior of bituminous binder, Construction and Building Materials, 31 August.
- College of Engineering and Mineral Resources.
- ASTMD2872-19, (2019), “Standard Test Method for Effect of Heat and Air on a Moving Film of Asphalt (Rolling Thin-Film Oven Test) [Online] ASTM Standards, ASTMD2872-19.
- ASTMD5 Standard Test Method for Penetration of Bituminous Materials [Online], ASTM Standards. - ASTM International.
- ASTMD6521-19, (2019), “A Standard Practice for Accelerated Aging of Asphalt Binder Using a Pressurized Aging Vessel (PAV) [Online] //
- ASTM Standards, (2019).
- ASTMD6521-19a, (2019).
- ASTMD7175, (2015), “Standard Test Method for Determining the Rheological Properties of Asphalt Binder Using a Dynamic Shear Rheometer [Online], ASTM standards, ASTM International.

Effect of Penetration and Temperature on the Performance Specification of Bitumen

Vahid Sheikhi, B.A. Grad., Faculty of Engineering, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

Mehdi Ghasemi, B.A. Grad., Faculty of Engineering, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

Malihe Sareban, M.Sc., Grad., Faculty of Engineering, University of Guilan, Rasht, Iran.

E-mail: sarebanmli@gmail.com

Received: September 2022- Accepted: February 2023

ABSTRACT

In this study, the effect of penetration and temperature changes on the performance specifications of bitumen was investigated experimentally. In this regard, it was ensured that the bitumen was obtained from a constant raw material and oxidation process at different times from the reactor. Experiments were carried out on bitumen with different penetration grades of 35, 40, 50, 55 and 60 ($1/10$ mm). The effect of changes in the penetration grades and temperature were investigated on various quality parameters of bitumen, including bitumen specifications at high and medium temperatures, after initial and long-term aging, using rheological behavior tests by dynamic shear remoter, thin film oven and pressurized aging vessel and the corresponding comparison diagrams were drawn. The results show that the rutting resistance or permanent deformation of bitumen in both binder and residual bitumen of thin film oven test was decreased with increasing temperature in bitumen with a constant penetration grade and also increasing the penetration grade at a constant temperature. The Fatigue cracking index in the residual bitumen of the thin film oven and pressurized aging vessel was decreased with increasing temperature in bitumen with a constant penetration grade and also increasing the penetration grade at a constant temperature.

Keywords: Penetration, Temperature, Rutting, Fatigue Cracking