Progress and development of Kermanshah province
Online ISSN
ISSN - 2783-0713

Investigating the effect of raw and refined natural bitumen in combination with vacuum bottom in line with the standardization of mixed bitumen production with non-road construction purposes

Ali Ashraf Derakhshan
Phytochemistry Group, Environmental Research Center, Razi University, Kermanshah, Iran.
(Corresponding Author): tagheboostan@gmail.com

Hooman Rezaie
Applied Chemistry Group, Faculty of Chemistry, Razi University, Kermanshah, Iran.
hooman_rezaeee@yahoo.com

Farzad Dabirian
Material and Textile Engineering Group, Faculty of Engineering, Razi University, Kermanshah, Iran.
f.dabirian@razi.ac.ir

Abstract:

Kermanshah province, having large reserves of mineral bitumen, has several industrial units active in the production of mixed bitumen from vacuum bottom processing with mineral bitumen. Mixed bitumen produced with high added value and mainly for applications other than road construction is exported abroad. In this regard, technical parameters affecting the production of mixed bitumen were studied. A number of 32 samples of mixed bitumen were prepared using a combination of 5 to 20% by weight of raw and refined mineral bitumen (prepared from different mines of the country and Kermanshah province) with refinery bitumen (vacuum bottom) and two parameters of their softening point and degree of penetration They were measured according to specific standards. In order to evaluate standard mineral bitumen, some physical analyzes and FTIR identification were performed on raw and refined mineral bitumen. The obtained results showed that the parameter of mineral bitumen ash content is an important influencing factor in the properties of mixed bitumen and raw mineral bitumen should be classified and used in four ash concentration levels so that the final properties of mixed bitumen produced are stable and be clear.

Keywords: mineral bitumen, mixed bitumen, softening point, degree of penetration, physical and chemical treatment

---
Progress and development of Kermanshah province
Kermanshah Management and Planning Organization, 2024, Vol. 3, No. 3, pp 111-136.
Received: 05/03/2024 - **Accepted:** 21/08/2024

پیشرفت و توسعه استان کرمانشاه
شاپا الکترونیکی
ISSN – ۲۷۸۳-۰۷۱۳

.

بررسی تاثیر قیر طبیعی خام و تصفیه شده در ترکیب با قیر پالایشگاهی در راستای استاندارد سازی تولید قیر میکسی با اهداف کاربردی غیر راه سازی

علی اشرف درخشان
گروه فیتو شیمی، مرکز تحقیقات محیط زیست ، دانشگاه رازی، کرمانشاه ، ایران.
(نویسنده مسئول) tagheboostan@gmail.com

هومن رضایی
گروه شیمی کاربردی، دانشکده شیمی، دانشگاه رازی، کرمانشاه ، ایران.
hooman_rezaeee@yahoo.com

فرزاد دبیریان
گروه مهندسی مواد و نساجی، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه رازی، کرمانشاه ، ایران.
f.dabirian@razi.ac.ir

چکیده:
استان کرمانشاه با داشتن ذخایر بزرگی از قیر معدنی دارای چند واحد صنعتی فعال در زمینه تولید قیر میکسی از فراوری قیر پالایشگاهی با قیر معدنی می باشد. قیر میکسی تولید شده با ارزش افزوده بالا و عمدتا برای کاربردهایی غیر از راه سازی به خارج از کشور صادر می گردد. برای دستیابی به بازارهای جدید و صیانت از برند کالای ایرانی و همچنین جلوگیری از عرضه محصول بی کیفیت، استاندارد سازی تولید قیر میکسی یک ضرورت می باشد. در همین راستا بررسی پارمترهای فنی تاثیر گذار در تولید قیر میکسی مورد مطالعه قرار گرفت. تعداد ۳۲ نمونه آزمایشگاهی قیر میکسی با استفاده از ترکیب ۵ تا ۲۰ درصد وزنی قیر معدنی خام و تصفیه شده (تهیه شده از معادن مختلف کشور و استان کرمانشاه) با قیر پالایشگاهی (وکیوم باتوم) تهیه گردید و دو پارامتر نقطه نرمی و درجه نفوذ آنها طبق استانداردهای مشخص اندازه گیری شدند. جهت ارزیابی قیر معدنی نیز برخی آنالیز های فیزیکی و شناسایی FTIR بر روی انواع قیر معدنی خام و تصفیه شده انجام گرفت. نتایج بدست آمده نشان داد که پارامتر میزان خاکستر قیر معدنی یک عامل مهم تاثیر گذار در خواص قیر میکسی می باشد و لذا پیشنهاد می گردد قیر های معدنی خام در چهار سطح غلظتی از خاکستر، طبقه بندی و مورد استفاده قرار بگیرند تا خواص نهایی قیر میکسی تولیدی ثابت و مشخص باشد.

شاپا الکترونیکی
ISSN – ۲۳۹۵ – ۵۲۵۲

پیشرفت و توسعه استان کرمانشاه

سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی استان کرمانشاه

کلید واژه ها: قیر معدنی، قیر میکسی، نقطه نرمی، درجه نفوذ، تصفیه فیزیکی و شیمیایی

سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی استان کرمانشاه

فصلنامه پیشرفت و توسعه استان کرمانشاه، دوره۳ ، شماره ۳، ص۱۳۶-۱۱۱

تاریخ ارسال: ۱۴۰۲/۱۲/۰۵ **تاریخ پذیرش:** ۱۴۰۳/۰۵/۳۱

۱- مقدمه

قیر معدنی یا گیلسونایت[1] یک جامد بیتومنی براق و شکننده با درخشندگی بالا می‌باشد که کلوخه‌های سنگ‌معدن آن سیاه‌رنگ است اما به‌صورت آسیاب شده پودر قهوه‌ای رنگی را ایجاد می‌نماید. از نظر مشخصات ظاهری و فیزیکی شبیه ذغال و قیر نفتی می‌باشد اما تفاوت آن نسبت به ذغال خاصیت نرم شدن قبل از سوختن را دارد و نسبت به قیر نفتی خاصیت سخت و شکننده بودن و دیسپرس شدن در آب به‌دلیل داشتن گروه‌های قطبی را دارد (کار[2]، ۱۹۹۴). از قیر معدنی در اغلب صنایع کاربردی در بیش از ۱۶۰ نوع کاربرد (صنایع حفاری نفت، جوهرسازی، رنگ و رزین، ریخته‌گری، مواد منفجره، و...) استفاده می‌شود. قیر معدنی بر اساس خلوصی که دارد دارای نقطه نرم شدگی بالا (149-204 °C) و همچنین دارای حدود ۳ درصد نیتروژن که مقدار نسبتاً بالایی می‌باشد (سایت امریکن گیلسونایت[3]).

قیر معدنی در طول سالیان با نفوذ به‌سطح زمین و از دست دادن ترکیبات فرار و داشتن آسفالتین فراوان به ماده‌ای سخت و شکننده تبدیل شده است که می‌تواند در ترکیب با قیرهای پالایشگاهی تغییرات مناسبی در نقطه نرمی و درجه نفوذ آنها ایجاد نماید (صاحبی[4]، ۲۰۰۵). وکیوم باتوم[5] یا ته‌مانده برج تقطیر نفت‌خام یکی از مواد اصلی تولید قیر میکسی در ترکیب با قیر معدنی می‌باشد. معمولاً وکیوم باتوم را با فرآیندهایی مانند هوادهی و بهبود گرانروی برای تولید قیرهای عملکردی مورد استفاده قرار می‌دهند (گارسیا[6] و همکاران، ۲۰۰۶). در یک تحقیق انجام گرفته (رسول‌زاده و همکاران، ۲۰۱۰)، تأثیر افزودن قیر معدنی بر خواص عملکردی قیر وکیوم باتوم پالایشگاه تهران با درجه نفوذ ۲۹۶ دهم میلی‌متر را مورد ارزیابی قرار داده است که نتیجه آن افزایش در عملکرد و کارایی قیر در دماهای بالا بود و کاهش درجه نفوذ قیر و افزایش نقطه نرمی از ثمرات آن بوده است. در تولید قیرهای میکسی از وکیوم باتوم پارامترهای متعددی تأثیرگذار می‌باشند که می‌بایست در مطالعات پژوهشی در نظر گرفته شوند. این پارامترها شامل خصوصیات فیزیکی و شیمیایی قیر معدنی از قبیل ناخالصی‌ها و خاکستر آن، دمای اختلاط، سرعت اختلاط، نوع وکیوم باتوم، اندازه ذرات قیرمعدنی و... می‌باشند. با توجه به‌وجود منابع عظیم و در دسترس قیرطبیعی در استان‌های غربی کشور خصوصاً در استان کرمانشاه (گودرزی[7] و همکاران، ۱۹۸۶) تعدادی از واحدهای تولیدی قیر میکسی در استان مبادرت به‌تولید محصول قیر اصلاح شده با قیر طبیعی برای صادرات به منظور استفاده در صنایع غیر راه‌سازی می‌کنند. در این محصول از قیر طبیعی به‌عنوان ماده اولیه و تا نهایتاً ۳۰ درصد در محصول نهایی مورد استفاده قرار می‌گیرد. با این وجود یک استاندارد مشخص برای محصول قیرمیکسی در کشور وجود ندارد و تنها استاندارد موجود برای قیر معدنی (INSO 14714, 2012) نیز چندان دقیق و به‌روز نمی‌باشد و در حال حاضر نیاز به‌اصلاح و بازنگری دارد.

1. Gilsonite
2. Carr
3. www.americangilsonite.com
4. Sahebi
5. Vaccum Bottom VB
6. Garcia
7. Goodarzi

در استان کرمانشاه ظرفیت تولید سالانه حدود ۶ میلیون تن قیر میکسی وجود دارد و با توجه به ارزش صادراتی این کالا که برای هرتن ۳۲۰ دلار قیمت‌گذاری شده است بازار حدود ۲ میلیارد دلاری وجود دارد. بر اساس بررسی های میدانی انجام شده در حال حاضر قیر میکسی حدود ۳۲۰ دلار به ازای هرتن محصول دربازارهای جهانی قیمت گذاری شده است در حالیکه قیر طبیعی حداکثر ۱۵۰ دلار به‌ازای هر تن معامله می‌شود لذا تبدیل قیر طبیعی به‌قیر میکسی ارزش افزوده بیش از ۱۱۰ درصدی را برای استان و کشور به‌همراه خواهد داشت. در راستای استاندارد سازی قیر میکسی لزوم توجه به استفاده از قیر معدنی با خواص ثابت و مشخص یک ضرورت می‌باشد معمولاً قیر معدنی با سطوح مختلفی از خاکستر استخراج می‌گردد که بسیار متنوع می‌باشد و استفاده مستقیم و بدون تصفیه از آن نمی‌تواند منجر به‌تولید محصولات استاندارد قیرمیکسی گردد. لذا انتظار می‌رود که ابتدا قیر معدنی استخراج شده توسط روش‌های استاندارد شیمیایی و فیزیکی، تصفیه گردد و سطح خاکستر آن در یک عدد استاندارد تثبیت گردد سپس در تولید قیر میکسی مورد استفاده قرار به‌گیرد. در این مقاله سعی شده است که نمونه‌های مختلفی از قیر میکسی را بر اساس نسبت‌های مختلف قیر معدنی به وکیوم باتوم پالایشگاهی تحت فرآیند دقیق آزمایشگاهی تولید شود و پارامترهای مهم فیزیکی قیرهای میکسی را مورد مطالعه قرار داد تا به‌تواند در تدوین استانداردهای قیر میکسی مورد استفاده قرار به‌گیرد. در این راستا توجه به‌کیفیت قیر معدنی خام و تصفیه شده نیز در تولید قیر میکسی مورد ارزیابی قرار گرفته است.

۲- مواد و روش کار

۲-۱- نمونه برداری و تأمین مواد اولیه

وکیوم باتوم پالایشگاهی و قیر معدنی دو ماده اولیه مورد نیاز برای تولید قیر میکسی می‌باشند. در ساخت نمونه‌های مختلف قیر میکسی ابتدا تعداد ۱۱ نمونه قیرهای معدنی خام با سطح خاکسترهای متنوع از سطح معادن و شرکت های استان کرمانشاه تهیه گردید که در جدول ۱ نشان داده شده است. همان‌طور که قابل مشاهده است گستره‌های مختلفی از قیر معدنی بر اساس میزان خاکستر که از ۰ تا ۲۰ درصد در بازه های ۵ واحدی طبقه‌بندی شده‌اند. سپس نمونه‌های جمع‌آوری شده قیرمعدنی با استفاده از دستگاه خردکن آسیاب و سپس از الک با مش ۲۰۰ عبور داده شدند تا پودرهای یکنواخت قیر معدنی به‌دست آید. در ادامه درصد خاکستر هر کدام از نمونه‌های قیرمعدنی خام اندازه‌گیری شد که میانگین سه بار اندازه‌گیری میزان خاکستر در جدول ۱ نمایش داده شده است. درصد خاکستر قیر طبیعی یا Ash مهم‌ترین شاخص در آنالیز آن است که با استاندارد ASTM 3174 تعیین گردید. جهت ساخت نمونه‌های قیرمیکسی نیز مقادیر کافی از وکیوم باتوم پالایشگاه اراک با درجه نفوذ (0.1 mm) 305 تهیه گردید.

جدول۱. لیست قیرهای معدنی خام تهیه شده از معادن مختلف بر حسب درصد خاکستر

خاکستر 0-5%	خاکستر 5-10%	خاکستر 10-15%	خاکستر 15-20%	خاکستر 20-25%
قیرمعدنی کوهدشت – 2.4	قیرمعدنی با خاکستر 10	قیر معدنی با خاکستر 13.5	گیلسونایت معدن مرجانی: 16.72	قیرمعدنی با خاکستر: 23.26

قیرمعدنی گیلان غرب 1.99	قیرمعدنی با خاکستر 9.6	قیرمعدنی با خاکستر 14.5	گیلسونایت قصر شیرین- گیلان‌غرب : 16.5	
	قیرمعدنی با خاکستر 8.2		گیلسونایت معدن گیلان‌غرب : 18	

۲-۲- کاهش و تثبیت خاکستر قیر معدنی به روش های شیمیایی و فیزیکی

با توجه به اینکه سطح خاکستر در نمونه‌های خام قیرمعدنی به‌شدت متغیر و غیر قابل کنترل می‌باشد یکی از راه کارهای تولید قیرمیکسی با خواص ثابت و مشخص، استفاده از قیرمعدنی با سطح خاکستر دقیق و تثبیت شده می باشد. با استفاده از فرآیند تصفیه شیمیایی می‌توان هر سطحی از خاکستر قیرمعدنی را تا حد مطلوب و دلخواه کاهش داد و یک نمونه قیرمعدنی تصفیه شده با مقدار خاکستر دقیق و کنترل شده را تهیه نمود. اما کاهش سطح خاکستر با استفاده از تصفیه فیزیکی به‌روش فلوتاسیون با آب، تنها به‌میزان ۴-۶ واحد میسر می‌باشد.

شکل ۱ شماتیک روش تصفیه شیمیایی انجام شده در این مقاله را نشان می‌دهد. مقدار ۶۰ گرم قیرمعدنی با خاکستر 16.72 درصد (معدن مرجانی -گیلان‌غرب) و مش ۲۰۰ را به یک بشر ۱ لیتری اضافه نموده، سپس 200 ml محلول اسید کلردریک غلیظ (۳۷٪ - شرکت نوترون) به‌همراه 300 ml آب به آن اضافه می گردد. در ادامه مخلوط قیر معدنی با دستگاه هموژنایزر (روتور- استاتور ۲۸۰۰۰ دور بر دقیقه) به‌مدت ۱۰ دقیقه کاملاً هم‌زده می‌شود. بعد از انجام فرآیند هموژن نمودن، مخلوط با استفاده از همزن مکانیکی با سرعت ۱۵۰۰ دور بر دقیقه به‌مدت ۲ ساعت هم‌زده می‌شود. در پایان مخلوط را با کمک فیلتراسیون بوخنر صاف نموده و رسوب فیلتر شده با آب شست‌وشو داده شده و در دمای 100 °C خشک می گردد. از نمونه پودر تصفیه شده تست میزان خاکستر و تست‌های شناسایی دیگر گرفته می‌شود. سایر نمونه‌های قیرمعدنی به‌همین روش تصفیه شیمیایی می گردد که نتایج آن در جدول ۲ نشان داده شده است. در ادامه از قیرهای معدنی تصفیه شده به‌روش شیمیایی با سطح خاکستر بین 0-10%، نمونه های قیر میکسی تهیه گردید.

در روش تصفیه فیزیکی، مقدار ۶۰ گرم قیرمعدنی با سطح خاکستر 16.72 درصد (معدن مرجانی -گیلان‌غرب) با مش ۲۰۰ را به‌یک بشر ۱ لیتری همراه با 600 ml آب و 5 ml روغن کاج اضافه نموده و با استفاده از همزن مکانیکی با سرعت ۱۵۰۰ دور بر دقیقه به‌مدت ۲ ساعت هم‌زده می‌شود. در ادامه مخلوط قیر معدنی را با کمک فیلتراسیون بوخنر صاف نموده و رسوب فیلتر شده

شکل۱. فرآیند تصفیه شیمیایی قیر معدنی

جدول۲. قیرهای معدنی تصفیه شده به‌روش شیمیایی

	قیر معدنی خام قبل از تصفیه (درصد خاکستر%)	قیر معدنی بعد از تصفیه شیمیایی (درصد خاکستر نهایی%)
۱	قیر معدنی 14.52	قیر معدنی 5.6
۲	قیر معدنی 14.52	قیر معدنی 6.6
۳	قیر معدنی 23.26	قیر معدنی 10
٤	قیر معدنی 17.6	قیر معدنی 3.5
٥	قیر معدنی 16.72	قیر معدنی 1.7

با آب شست‌وشو داده شده و در دمای 100 °C خشک می‌گردد. بر روی نمونه پودر تصفیه شده تست میزان خاکستر و تست های شناسایی انجام گرفت.

جهت بررسی تغییرات ملکولی در سطح نمونه های قیر، آنالیز طیف سنجی مادون قرمز FTIR را از سه نمونه خام ، تصفیه شیمیایی و تصفیه فیزیکی (خام با خاکستر 16.6% - تصفیه شیمیایی 1.7% - تصفیه فیزیکی 12.6%) به روش قرص KBr انجام گرفت. همچنین آنالیز خواص فیزیکی و سطح خاکستر این سه نمونه جهت بررسی بیشتر تغییرات فرآیند تصفیه شیمیایی و فیزیکی انجام شد.

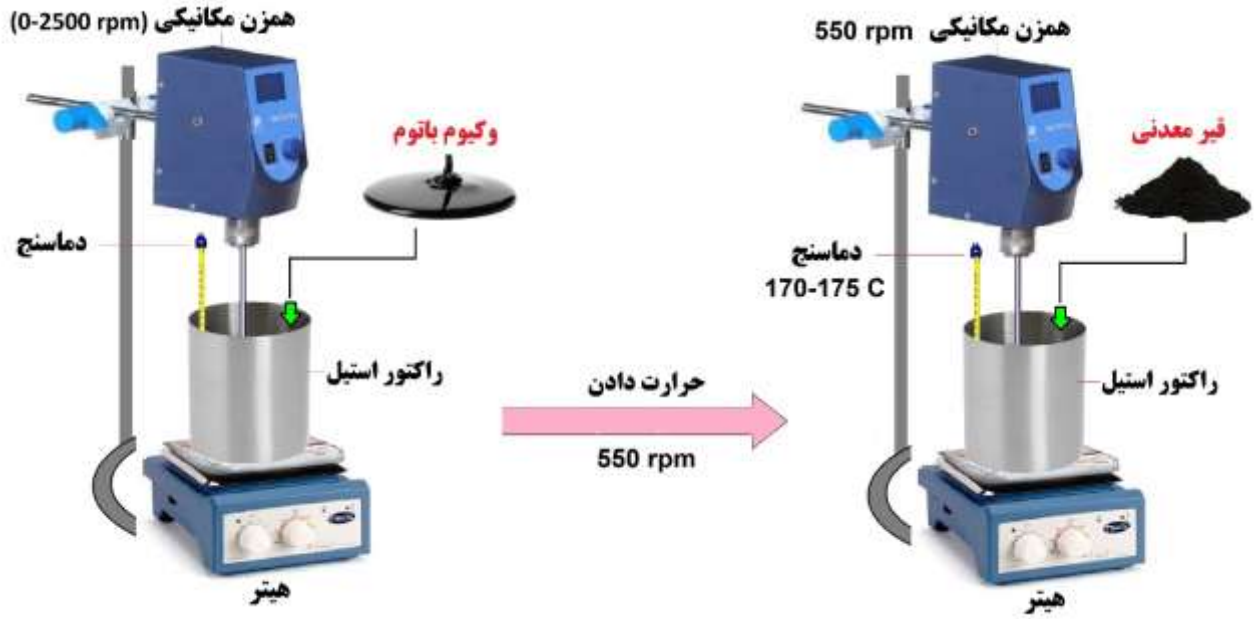
۲-۳- تولید نمونه‌های قیر میکسی

نمونه‌های قیرمیکسی با استفاده از قیر معدنی خام و تصفیه شده شیمیایی به‌عنوان افزودنی به‌قیر وکیوم باتوم، مطابق جدول ۲ و ۳ طی فرآیند اختلاط تهیه شده‌اند. دو پارامتر فیزیکی شاخص برای نمونه‌های قیرمیکسی برای ارائه در بازار عبارتند از:

۱. درجه نفوذ قیرمیکسی بر حسب دهم میلی‌متر (0.1 mm)
۲. نقطه نرمی قیرمیکسی (˚C)

فرآیند تولید قیرمیکسی در مخازن صنعتی دو جداره ابتدا با اعمال حرارت بر وکیوم باتوم در دمای حدود 170- 175 °C و سپس اضافه نمودن تدریجی پودر قیرمعدنی با مش حدود ۲۰۰ به‌راکتور وکیوم باتوم، همراه با هم‌زدن مداوم برای بازه‌های زمانی مشخص می‌باشد. در مطالعات انجام گرفته نیز بر این متغییرهای دما زمان و اختلاط تأکید شده است. مطابق شماتیک شکل ۱ در مقیاس آزمایشگاهی شبیه‌سازی فرآیند تولید قیرمیکسی انجام شده است. یک مخزن استوانه‌ای فلزی استیل به‌عنوان راکتور اختلاط بر روی یک هیتر جهت گرمایش قرار داده شده است. از یک دماسنج برای کنترل دما و از یک همزن مکانیکی (۲۵۰۰ دور بر دقیقه) برای هم‌زدن یکنواخت مخلوط واکنش نیز استفاده شده است.

در مقیاس آزمایشگاهی یک راکتور فلزی استوانه‌ای با قطر 10 cm و همچنین سیستم گرمایشی در کف آن برای حرارت دادن میزان ۱۵۰ گرم نمونه (ترکیب قیر معدنی + وکیوم باتوم) همراه با یک همزن مکانیکی جهت اختلاط کامل و مؤثر به‌کار برده شده است. میزان حجم نمونه بر اساس مقدار لازم برای تست‌های استاندارد قیر انتخاب شده است.



شکل۲. شماتیک تجهیزات لازم برای تولید نمونه‌های قیر میکسی در مقیاس آزمایشگاهی

جدول۳. نمونه‌های قیر میکسی ساخته شده از قیرمعدنی خام در بازه‌های غلظتی مختلف

نمونه قیر	درصد قیر معدنی خام	درصد وکیوم باتوم	درصد خاکستر قیر معدنی%	مدت زمان اختلاط (دقیقه min)
G-2.5	5	95	۲.۵	60
G-2.5	10	90	۲.۵	75
G-2.5	15	85	۲.۵	90

G-2.5	20	80	۲.۵	105
G-8.2	5	95	۸.۲	60
G-8.2	10	90	۸.۲	75
G-8.2	15	85	۸.۲	90
G-8.2	20	80	۸.۲	105
G-10	5	95	۱۰	60
G-10	10	90	۱۰	75
G-10	15	85	۱۰	90
G-10	20	80	۱۰	105
G-13.5	5	95	۱۳.۵	60
G-13.5	10	90	۱۳.۵	75
G-13.5	15	85	۱۳.۵	90
G-13.5	20	80	۱۳.۵	105
G-16.5	5	95	۱۶.۵	60
G-16.5	10	90	۱۶.۵	75
G-16.5	15	85	۱۶.۵	90
G-16.5	20	80	۱۶.۵	105

جدول٤. نمونه‌های قیرمیکسی ساخته شده از قیرمعدنی تصفیه شده با خاکستر ثابت و مشخص

نمونه قیر	درصد قیر معدنی	درصد وکیوم باتوم	درصد خاکستر قیر معدنی %	مدت زمان اختلاط (دقیقه mim)
G-3.5	5	95	3.5	60
G-3.5	10	90	3.5	75
G-3.5	15	85	3.5	90
G-3.5	20	80	3.5	105
G-6.6	5	95	6.6	60
G-6.6	10	90	6.6	75

G-6.6	15	85	6.6	90
G-6.6	20	80	6.6	105
G-10	5	95	10	60
G-10	10	90	10	75
G-10	15	85	10	90
G-10	20	80	10	105

ابتدا مقدار مشخص وکیوم باتوم توزین شده را درون راکتور ریخته‌شده و تا دمای °C 175-170 حرارت داده می شود. سپس مقدار مشخص از پودرخشک قیرمعدنی با مش ۲۰۰ به‌صورت تدریجی و آرام به وکیوم باتوم مایع در حال هم‌زدن با دور rpm 550 اضافه می‌گردد. مطابق جدول‌های ۳ و ۴ مخلوط واکنش را برای مدت 105-60 min (بر اساس درصد قیر معدنی) حرارت داده و در پایان قیرمیکسی مذاب را درون قالب آلومینیومی ریخته و در دمای محیط سرد می‌گردد. لازم به‌ذکر است با افزایش درصد قیر معدنی در نمونه میزان مدت زمان اختلاط نیز افزایش داده شده است که از اختلاط کامل نمونه اطمینان حاصل گردد.

انتخاب نمونه‌های قیر معدنی خام با درصد خاکستر مشخص به‌صورتی می‌باشد که در هر بازه مشخص از درصد خاکستر، یک نمونه مورد ارزیابی قرار گرفته باشد. هم‌چنین قیرمیکسی با درصدهای وزنی 20, 15, 10, 5 درصد از قیر معدنی تولید شده‌اند که به‌توانیم قیر میکسی‌های متنوع را برای ارزیابی تست‌های فیزیکی داشته باشیم. استفاده از قیر معدنی در بازه درصدی 20-5 درصد در ساخت قیر میکسی مرسوم و تجاری می‌باشد. لازم به ذکر است که قیر معدنی با خاکستر بیش از ۲۰ درصد عملاً کاربردی در ساخت قیر میکسی ندارد و نیازی به‌نمونه‌سازی نداشته است.

۲-٤- اندازه‌گیری پارامترهای عملکردی قیر میکسی

در این مرحله تمامی ۳۲ نمونه ساخته شده قیرمیکسی به آزمایشگاه فنی شرکت مهندسی قیر و آسفالت غرب استان کرمانشاه جهت اندازه‌گیری دو پارامتر کلیدی درجه نفوذ و نقطه نرمی قیر میکسی ارائه گردید. این آزمایشگاه گواهینامه استاندارد اندازه‌گیری پارامترهای قیر را از اداره استاندارد دارا می‌باشد. در این آزمایشگاه میزان درجه نفوذ قیرمیکسی با استفاده از استاندارد INSO 2950 و میزان نقطه نرمی با استفاده از استاندارد INSO 3868 انجام گرفته است. جرم هر نمونه برای ۱۵۰ گرم می‌باشد و درون ظرف‌های آلومینیومی به آزمایشگاه ارسال شده‌اند.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- تأثیر روش‌های تصفیه فیزیکی و شیمیایی بر روی خواص قیر معدنی

یکی از چالش‌های بزرگ در استانداردسازی قیر میکسی سطح خاکستر متغییر نمونه‌های قیرمعدنی معادن می‌باشد که کنترل‌پذیری زیادی ندارد و از هر رگه به رگه دیگر معدنی سطح خاکستر به‌شدت دچار تغییر می‌شود. به‌طوری که برای بار یک کامیون قیر معدنی، سطح خاکستر در بخش‌های مختلف آن، متغییر می‌باشد. لذا تولید قیر میکسی با خواص ثابت تقریبا مشکل می‌باشد. یکی از راه‌کارهای پیشنهادی، کاهش میزان خاکستر و تثبیت آن در یک

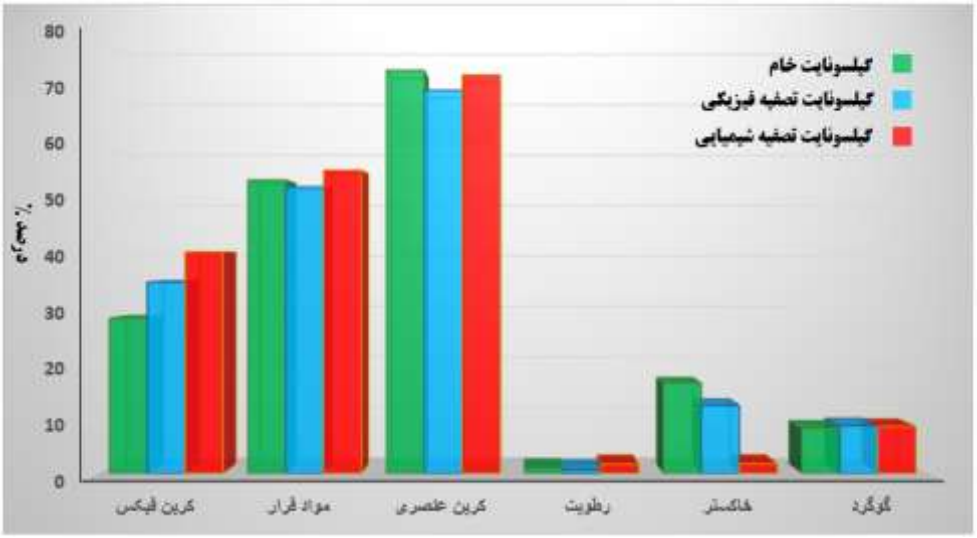
عدد مشخص می‌باشد به‌طوری که به‌توان از نمونه‌های قیر معدنی تصفیه شده با میزان خاکستر دقیق و ثابت در ساخت قیر میکسی استفاده نمود. در حال حاضر تصفیه فیزیکی به‌روش فلوتاسیون با آب و عامل کلکتور روغن کاج در یک واحد صنعتی (کارخانه کیمیا تار اکسیر) در استان کرمانشاه انجام می‌شود که میزان خاکستر نمونه‌های قیر معدنی را به‌مقدار ۴-۶ واحد کاهش داده و تثبیت می‌نماید. در آزمایشگاه مرکز تحقیقات محیط‌زیست دانشگاه رازی نیز تیم تحقیقاتی ما به یک روش اقتصادی و کارآمد برای تصفیه شیمیایی قیر معدنی خام با استفاده از ترکیبات اسیدی دست یافته است که می‌تواند طی یک فرآیند مشخص و به‌صورت چرخه‌ای، قیر معدنی با سطح خاکستر بالا را به‌قیر معدنی تصفیه شده با هر سطح از خاکستر مشخص تصفیه نماید. با این روش خاکستر بالاتر از ۱۵ درصد را می‌توانیم تا میزان زیر ۵ درصد کاهش دهیم به‌طوری که میزان خاکستر در تمام سطح نمونه ثابت باشد. در جدول 3 آنالیزهای فیزیکی مربوط به یک نمونه

جدول۵. آنالیزهای فیزیکی مربوط به‌نمونه قیرمعدنی خام و تصفیه شده آن به‌روش فیزیکی و شیمیایی

آزمون	استاندارد آزمون	قیر معدنی خام نتیجه بر حسب درصد	قیر معدنی تصفیه شیمیایی نتیجه بر حسب درصد	قیر معدنی تصفیه فیزیکی نتیجه برحسب درصد
کربن ثابت (فیکس)	ASTM D 3172-12	28.51	40.75	35.19
مواد فرار	ASTM D 3175-17	53.95	55.75	52.70
رطوبت	ASTM D 3173-11	0.94	1.71	0.65
خاکستر	ASTM D 3174-12	16.60	1.79	12.46
گوگرد	ASTM D 5016-16	8.32	8.66	8.74
کربن عنصری	ASTM D 5016-16	74.11	73.28	70.42

قیر معدنی خام با خاکستر ۱۶.۶٪ و دو نمونه تصفیه شده از آن به‌روش فیزیکی و شیمیایی نشان داده شده است. در روش فیزیکی تنها ۴ واحد کاهش خاکستر داشته است اما در روش شیمیایی میزان خاکستر از 16.6 به 1.7 درصد کاهش داده شده است که نمونه‌ای بسیار مناسب برای تولید قیرمیکسی می‌باشد و می‌تواند ارزش افزوده بسیار بالایی داشته باشد. استفاده از این قیر تصفیه شده در ساخت قیرمیکسی می‌تواند کاملاً استاندارد باشد چرا که سطح خاکستر آن تثبیت شده و ثابت می‌باشد. در نمودار مقایسه‌ای شکل ۳ به‌خوبی می‌توان تأثیر تصفیه‌های فیزیکی و شیمیایی در کاهش خاکستر قیر معدنی گیلسونایت را مشاهده نمود. در روش فیزیکی میزان کاهش خاکستر با استفاده از فلوتاسیون حدود ۴ واحد می‌باشد اما در روش شیمیایی کاهش خاکستر از 16.6 به 1.79 درصد همراه با افزایش میزان فیکس کربن گیلسونایت در طی تصفیه شیمیایی می‌باشد این افزایش فیکس کربن ناشی از حذف خاکستر می‌باشد که در محاسبات فیکس کربن تأثیرگذار می‌باشد و عدد آن هم تقریباً با میزان کاهش خاکستر برابر می‌باشد.

در روش تصفیه فیزیکی با بهینه‌سازی خط فلوتاسیون و انجام برخی تمهیدات اصلاحی امکان کاهش خاکستر به کمتر از ده درصد وجود دارد. در تصفیه شیمیایی می‌توان خاکستر را به هر میزان که به‌خواهیم بر اساس سفارش مشتری کاهش دهیم که در بهترین حالت به زیر ۵ درصد می‌رسد. سطح مواد فرار و کربن عنصری و میزان گوگرد و رطوبت قبل و بعد از تصفیه‌های فیزیکی و شیمیایی تقریباً ثابت می‌باشد و تنها تأثیر تصفیه‌های فیزیکی و شیمیایی در حذف خاکستر می‌باشد.



شکل۳. نمودار مقایسه‌ای آنالیز فیزیکی شیمیایی نمونه‌های قیر معدنی مختلف

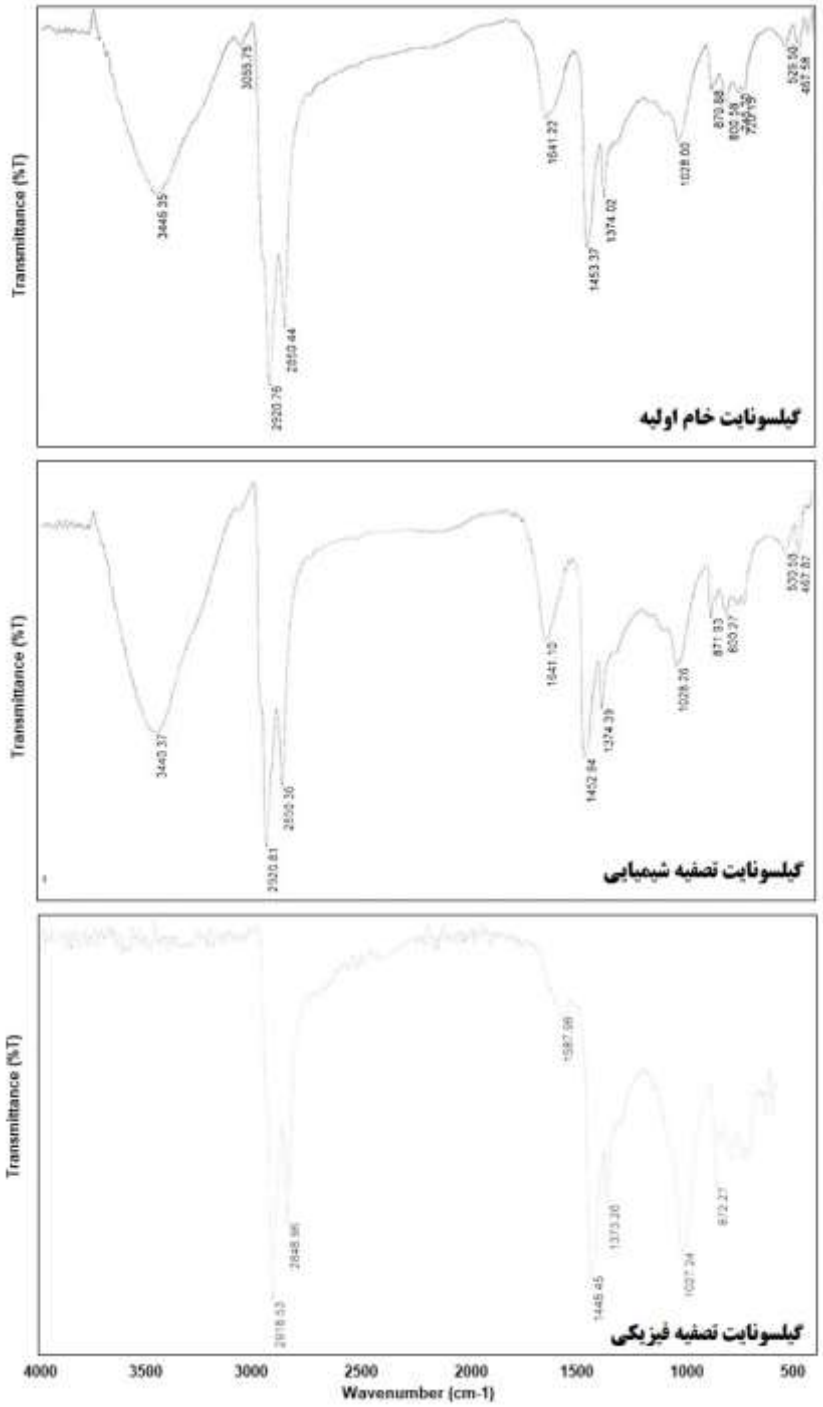
ثابت ماندن گوگرد بعد از تصفیه نشان دهنده این است که احتمالاً نوع گوگرد آن از نوع ساختاری و ترکیبات آلی سولفوردار(تیوفن‌ها و پورفیرین‌های سولفوردار) می‌باشد که در زنجیرهای ماکرو ملکول قیر معدنی وجود دارند. از مزیت‌های این روش تصفیه فیزیکی و شیمیایی این است که کربن عنصری گیلسونایت بدون تغییر مانده و هیچ‌گونه هدر رفتی در بخش کربنی گیلسونایت نخواهیم داشت و تنها خاکستر گیلسونایت حذف می‌گردد که از لحاظ اقتصادی بسیار مقرون به‌صرفه می‌باشد.

در روش تصفیه فیزیکی با بهینه‌سازی خط فلوتاسیون و انجام برخی تمهیدات اصلاحی امکان کاهش خاکستر به کمتر از ده درصد وجود دارد. در تصفیه شیمیایی می‌توان خاکستر را به هر میزان که به‌خواهیم بر اساس سفارش مشتری کاهش دهیم که در بهترین حالت به زیر ۵ درصد می‌رسد. سطح مواد فرار و کربن عنصری و میزان گوگرد و رطوبت قبل و بعد از تصفیه‌های فیزیکی و شیمیایی تقریبا ثابت می‌باشد و تنها تأثیر تصفیه‌های فیزیکی و شیمیایی در حذف خاکستر می‌باشد. ثابت ماندن گوگرد بعد از تصفیه نشان دهنده این است که احتمالاً نوع گوگرد آن از نوع ساختاری و ترکیبات آلی سولفوردار(تیوفن‌ها و پورفیرین‌های سولفوردار) می‌باشد که در زنجیرهای ماکرو ملکول قیر معدنی وجود دارند. از مزیت‌های این روش تصفیه فیزیکی و شیمیایی این است که کربن عنصری گیلسونایت بدون تغییر مانده و هیچ‌گونه هدر رفتی در بخش کربنی گیلسونایت نخواهیم داشت و تنها خاکستر

گیلسونایت حذف می‌گردد که از لحاظ اقتصادی بسیار مقرون به‌صرفه می‌باشد. آنالیز طیف‌سنجی FTIR به‌عنوان یک تکنیک مناسب می‌تواند جهت بررسی تغییرات ماهیت شیمیایی قیر معدنی در اثر انجام فرآیندهای تصفیه شیمیایی و فیزیکی مورد استفاده قرار به‌گیرد.

اصولا پیوندها و گروه‌های عاملی شیمیایی ساختار گیلسونایت پیک‌های شاخصی را در طیف FTIR ظاهر می‌سازند. اگر این گروه‌های عاملی دچار واکنش شیمیایی شوند و ماهیت‌شان تغییر یابد و نوع دیگری از گروه‌های عاملی در ساختار گیلسونایت ایجاد نمایند، قاعدتاً پیک‌های شاخص اولیه گیلسونایت دچار تغییر شده یا ناپدید می‌شوند یا یک سری پیک‌های جدید در طیف اولیه ظاهر می‌گردند. اگر طیف اولیه گیلسونایت دچار تغییرات محسوس گردد می‌توان گفت به‌طور قطع ساختار شیمیایی اولیه گیلسونایت نیز دچار تغییر شده است و خواص فیزیکی و شیمیایی گیلسونایت نیز دچار تغییر می‌شود که می‌تواند در کارایی و کیفیت آن تأثیرگذار باشد.

در شکل ۵ طیف های FTIR گیلسونایت خام و گیلسونایت تصفیه شده فیزیکی و شیمیایی با همدیگر مقایسه شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود هر سه طیف در جزئیات کاملاً مشابه می‌باشند و پیک‌های موجود در طیف خام اولیه دقیقاً در طیف‌های تصفیه شده بدون هیچ تغییری تکرار شده‌اند. از طرفی هیچ‌گونه پیک جدیدی در طیف گیلسونایت تصفیه شده مشاهده نمی‌شود. این شواهد کاملاً تأیید می‌نماید که ساختار شیمیایی گیلسونایت بعد از تصفیه دچار هیچ‌گونه تغییر ماهیتی نشده است. این نوع تصفیه شیمیایی بر خلاف تصفیه‌های شیمیایی مرسوم که از حلال کربن دی‌سولفید استفاده می‌نمایند، ساختار فیزیکی و شیمیایی ماده گیلسونایت کاملاً حفظ می‌گردد. روش های شیمیایی مرسوم کربن دی‌سولفید ساختار فیزیکی گیلسونایت را کاملاً حل می‌نماید که باعث افت شدید کاربردهای این ماده می‌گردد. اما در روش شیمیایی استفاده از اسید، بدون دست بردن در ساختار شیمیایی و فیزیکی و مورفولوژی ماده گیلسونایت را تصفیه می‌نماید. نوع طیف‌گیری در نمونه تصفیه فیزیکی از تست ATR می‌باشد اما دو طیف دیگر از روش قرص KBr استفاده شده لذا تفاوت‌های بالای عدد ۳۰۰۰ طبیعی می‌باشد و به‌خاطر نوع طیف‌گیری می‌باشد. می‌توان نتیجه‌گیری کرد یکی از راه‌های اصلی استانداردسازی قیرمعدنی و همچنین قیر میکسی، لزوم حرکت در جهت انجام تصفیه شیمیایی قیر معدنی در استان می‌باشد که چالش پارامترهای متغییر را کنترل خواهد نمود.



شکل٤. طیف‌های **FTIR** گیلسونایت خام و گیلسونایت تصفیه شده فیزیکی و شیمیایی

۳-۲- بررسی پارامترهای درجه نفوذ و نقطه نرمی نمونه‌های قیرمیکسی

در تولید و فروش قیر میکسی دو پارامتر کمی بسیار مهم در آنالیزهای محصول ، عبارتند از درجه نفوذ و میزان نقطه نرمی قیرمیکسی می‌باشند. بر حسب تعریف، درجه نفوذ قیر عبارت است از مقدار طولی (بر حسب دهم میلی‌متر) است که یک سوزن استاندارد با شکل معین تحت اثر باری معادل ۱۰۰/۰ گرم در مدت ۵ ثانیه در قیری که در درجه حرارت ۲۵ درجه سانتی‌گراد است ، نفوذ نماید. نقطه نرمی قیر عبارت است از درجه حرارتی که در آن قیر حالت نرمی پیدا می‌کند. به‌طور کلی می‌توان گفت که همه قیرها در این درجه حرارت به یک گرانروی

مشخص می رسند. نقطه نرمی قیر به روش‌های مختلفی اندازه‌گیری می‌شود که یکی از این روش‌ها، روشی به‌نام حلقه و گلوله است که در آن نقطه نرمی را درجه حرارتی که در آن گلوله‌ها از حلقه عبور نموده و به سطح برنجی تحتانی به فاصله ۲۵ میلی‌متری برسد، تعریف می‌کنند. در جدول ۴ نتایج آنالیزهای نقطه نرمی و درجه نفوذ تعداد ۳۲ نمونه قیر میکسی تهیه شده از قیر معدنی خام و قیر معدنی تصفیه شده به‌همراه درجه نفوذ وکیوم باتوم پالایشگاهی مورد استفاده نشان داده شده است. نمونه‌های قیرمیکسی با عبارت CHM مربوط به استفاده از قیر معدنی تصفیه شیمیایی شده می‌باشند که تعداد سه نمونه در درصد وزنی‌های ۵ تا 20 درصد ساخته شده‌اند.

۳-۲-۱- بررسی درجه نفوذ قیرهای میکسی

مقدار قیر معدنی که به قیر پالایشگاهی وکیوم باتوم اضافه می‌شود بستگی به‌خصوصیات و ویژگی‌های اولیه قیر پالایشگاهی و همچنین خصوصیات مورد نیاز دارد. پودر قیر معدنی باید به آرامی به قیر داغ اضافه شود. میزان خاکستر قیر معدنی یکی از پارامترهای مهم در کیفیت قیر میکسی می‌باشد که درنهایت بر روی پارامترهای خواص فیزیکی و همچنین کیفیت محصولات از نظر شیمیایی تأثیر مستقیمی دارد. در شاخص درجه نفوذ و همچنین نقطه نرمی قیر میکسی تأثیر این عوامل مورد بررسی قرار گرفته است:

جدول٦. نتایج آنالیزهای نقطه نرمی (طبق استاندارد INSO 3868) و درجه نفوذ (طبق استاندارد INSO 2950) تعداد ۳۲ نمونه قیرمیکسی

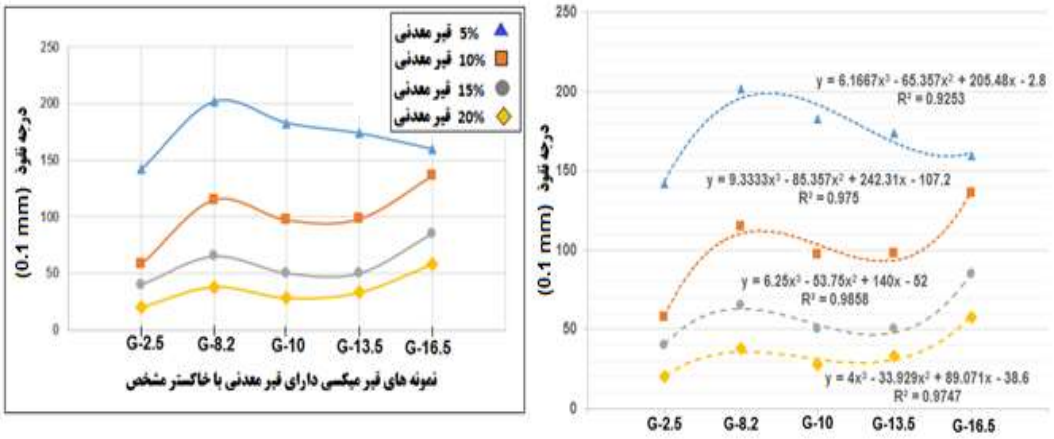
ردیف	نام نمونه	درجه نفوذ (دهم میلی‌متر)	نقطه نرمی (°C)
۱	5% G-3.5 CHM	۲۰۸	٤۲
۲	10% G-3.5 CHM	۱۰۷	٤٦
۳	15% G-3.5 CHM	٥۲	٥٤/۱
٤	20% G-3.5 CHM	۳٦	٦٦/۷
٥	5% G-6.6 CHM	۱٥۰	٤٤/٥
٦	10% G-6.6 CHM	۹٥	٤۷/۱
۷	15% G-6.6 CHM	٤۸	٥٤/۷
۸	20% G-6.6 CHM	۲۷	٦۸
۹	5% G-10.6 CHM	۲۳۰	۳۹
۱۰	10% G-10.6 CHM	۱٦٥	٤۳
۱۱	15% G-10.6 CHM	۱٤٦	٤٥/٥
۱۲	20% G-10.6 CHM	۹۰	٥۱/۳
۱۳	5% G-2.5	۱٤۲	٤٦/٥
۱٤	10% G-2.5	٥۸	٥۰
۱٥	15% G-2.5	٤۰	٥٦
۱٦	20% G-2.5	۲۰	٦۸/۸
۱۷	5% G-8.2	۲۰۲	٤۳
۱۸	10% G-8.2	۱۱٥	٤٦/۲
۱۹	15% G-8.2	٦٥	٥۲/٥
۲۰	20% G-8.2	۳۸	٦٦
۲۱	5% G-10	۱۸۳	٤۱
۲۲	10% G-10	۹۷	٤۷/۱
۲۳	15% G-10	٥۰	٥٤/۸
۲٤	20% G-10	۲۸	٦۷

۲۵	5% G-13.5	۱۷٤	٤۲
۲٦	10% G-13.5	۹۸	٤۷
۲۷	15% G-13.5	۵۰	۵٤/۷
۲۸	20% G-13.5	۳۳	٦٤/۹
۲۹	5% G-16.5	۱٦۰	٤٤/۷
۳۰	10% G-16.5	۱۳٦	٤۷
۳۱	15% G-16.5	۸۵	۵۰
۳۲	20% G-16.5	۵۸	۵۷
۳۳	وکیوم باتوم	۳۰۵	-

درصد خاکستر قیر معدنی ، نوع قیر معدنی (خام یا تصفیه شده)، درصد افزودن قیر معدنی به وکیوم باتوم

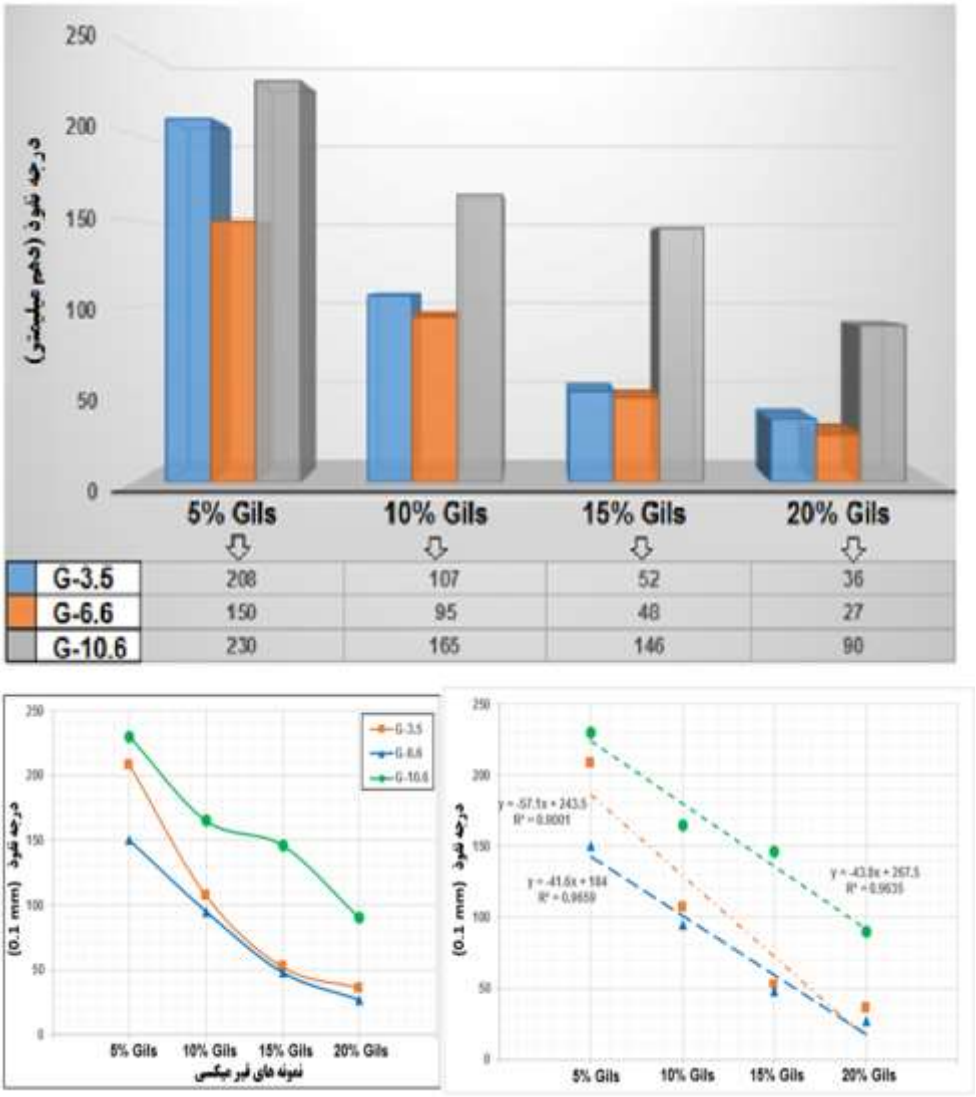
البته پارامترهای مدت زمان اختلاط و میزان دور همزن اختلاط و دمای اختلاط برای تمامی نمونه‌ها تقریباً ثابت در نظر گرفته شده است. با افزایش درصد قیر معدنی در مخلوط واکنش به جهت اطمینان از یکنواختی اختلاط می توان یک مقداری زمان اختلاط را افزایش داد.

با افزایش درصد غلظت قیر معدنی در قیر میکسی میزان درجه نفوذ کاهش چشمگیری نشان می‌دهد و اصطلاحاً قیر میکسی سفت‌تری را تولید نموده است. شکل ۵ روند تغییرات میزان درجه نفوذ در نمونه‌های قیر میکسی تولید شده از قیر معدنی خام به‌صورت توابع درجه سه نشان می‌دهد. با افزایش غلظت قیر معدنی در نمونه قیر میکسی یک روند کاهشی چشم‌گیر در میزان درجه نفوذ را شاهد هستیم در حالی‌که با افزایش میزان خاکستر قیر معدنی خام مورد استفاده در نمونه یک روند افزایشی در میزان درجه نفوذ را شاهد هستیم که به‌صورت یک روند تابع درجه سه نشان داده شده است. هرچه میزان خاکستر قیر معدنی افزایش می‌یابد با توجه به‌کاهش میزان فیکس کربن آن و کاهش برهمکنش‌های قوی بین اجزا قیر معدنی با قیر وکیوم باتوم، از میزان سفتی قیر کاسته شده و میزان درجه نفوذ افزایش می‌یابد. البته این روند برای نمونه‌های قیر میکسی با استفاده از نمونه‌های قیر معدنی خام در گستره خاکستر 0-20 % خطی نمی‌باشد بلکه به‌صورت تابع درجه سه عمل می‌نماید. در غلظت ۵ درصد قیر معدنی



شکل۵. روند تغییرات میزان درجه نفوذ در نمونه‌های قیر میکسی تولید شده از قیر معدنی خام

رفتار قیر میکسی بیشتر تابعی از رفتار قیر وکیوم باتوم می‌باشد و هرچه غلظت قیر معدنی در نمونه بالاتر می‌رود رفتار قیر میکسی منظم‌تر شده و روند تغییرات آن از ثبات بیشتری برخوردار می‌باشد. به‌نظر می‌رسد که تولید قیر میکسی با درصدهای ۱۰-۲۰ درصد قیر معدنی خواص فیزیکی یکنواخت‌تری را برای ارائه دارا می‌باشند. در شکل ۶ نمودار مقایسه‌ای نتایج درجه نفوذهای قیر میکسی تولید شده از نمونه‌های قیر معدنی تصفیه شیمیایی شده را به‌صورت ستونی و توابع خطی نشان داده است. سه نوع قیر معدنی تصفیه شده شیمیایی با درصد خاکسترهای بین 0-10 درصد در ساخت نمونه قیر میکسی استفاده شده است.



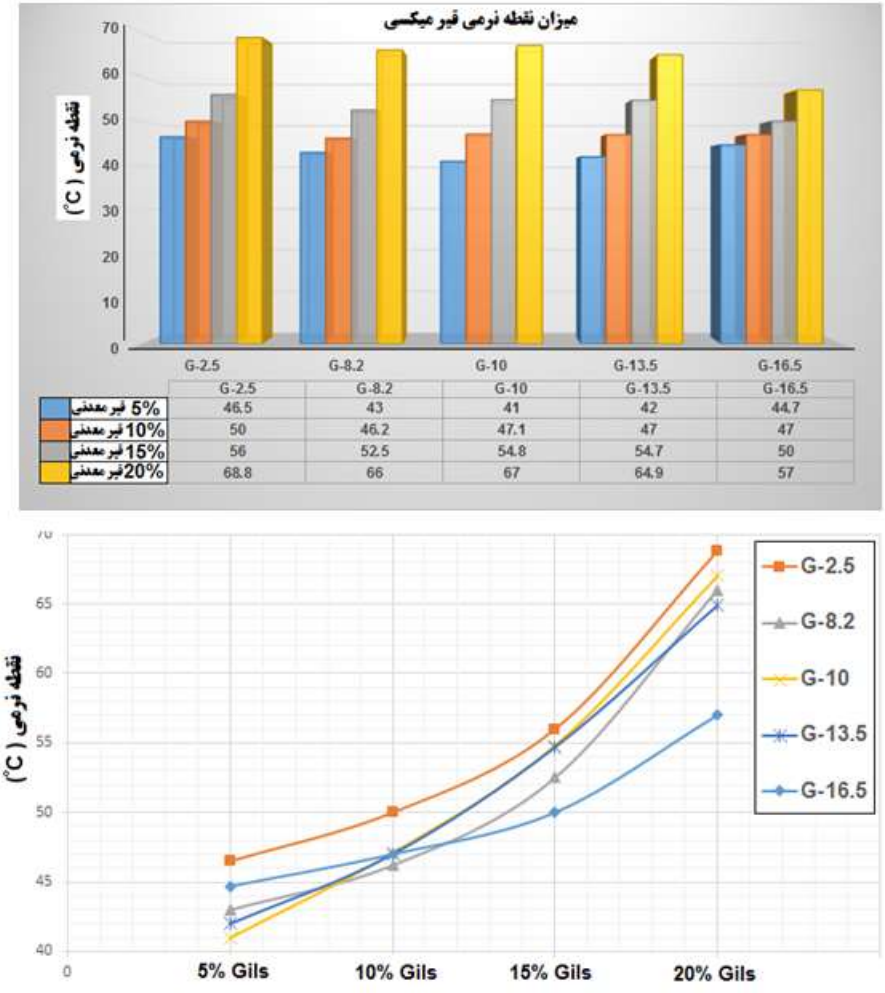
شکل٦. نمودار مقایسه‌ای نتایج درجه نفوذهای قیر میکسی تولید شده از نمونه‌های قیر معدنی تصفیه شیمیایی شده

نمونه G-10.6 CHM از نظر سطح خاکستر قیر معدنی هم سطح نمونه G-10 خام می‌باشد که می‌تواند مقایسه خوبی برای عملکرد استفاده از قیر معدنی تصفیه شده و خام در خواص قیر میکسی باشد. استفاده از قیر معدنی تصفیه شیمیایی شده معمولا در بازه خاکستر زیر ده درصد توجیه اقتصادی بیشتری دارد و از طرفی در بازه زیر ۱۰ درصد کیفیت قیر میکسی استانداردتر و بهتر می‌باشد. لذا تنها سه نمونه قیر میکسی با استفاده از قیر معدنی تصفیه شده تهیه گردید. در اینجا نیز با افزایش غلظت قیر معدنی در نمونه قیر میکسی میزان درجه نفوذ کاهش می‌یابد و البته افزایش سطح خاکستر قیر معدنی نیز در نمونه (۱۰ درصد خاکستر) باعث افزایش درجه نفوذ و کاهش سفتی قیر میکسی شده است. در نمودار شکل ۶ روند تغییرات میزان درجه نفوذ در نمونه‌های قیر میکسی تولید شده از قیر معدنی تصفیه شده به‌صورت تابع خطی نمود یافته است. با افزایش غلظت قیر معدنی در نمونه قیر میکسی یک روند کاهشی چشم‌گیر در میزان درجه نفوذ رخ می‌دهد در حالی‌که با افزایش میزان خاکستر قیر معدنی خام مورد استفاده در نمونه یک روند افزایشی در میزان درجه نفوذ اتفاق می‌افتد که البته در نمونه با خاکستر 6.6 درصد درجه نفوذ

کمترین حالت خود را دارد که می‌توان گفت در این ناحیه برهم کنش‌های مربوط به نقش خاکستر و فیکس کربن به‌صورتی می‌باشد که کمترین درجه نفوذ رخ به‌دهد.

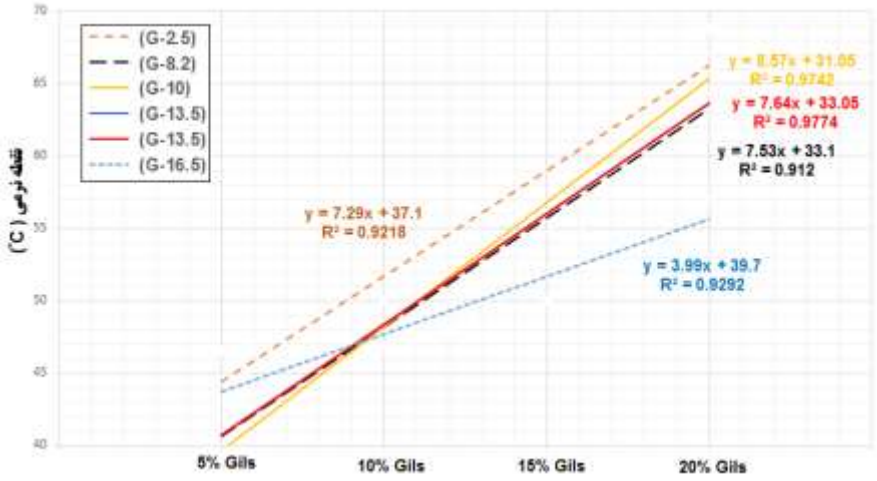
۳-۲-۲- بررسی نقطه نرمی قیرهای میکسی

نقطه نرمی قیر عبارت است از درجه حرارتی که در آن قیر حالت نرمی پیدا می‌کند. شکل ۷ نمودارهای ستونی و خطی مقایسه‌ای نقاط نرمی به‌دست آمده برای نمونه‌های قیر میکسی تولید شده از قیر معدنی خام را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشخص می‌باشد با افزایش غلظت قیر معدنی استفاده شده در قیر میکسی یک روند منظم در افزایش نقطه نرمی نمونه رخ داده است. با توجه به اینکه قیر معدنی نقطه نرمی بسیار بالایی دارد منطقی می‌باشد که هرچه غلظت قیر معدنی بیشتر باشد ، قیر میکسی نیز سفت‌تر و نقطه نرمی بالاتری داشته باشد. نقاط نرمی به‌دست آمده عمدتاً در بازه ۴۰-۷۰ درجه سانتی گراد می باشد. در شکل ۷ روند تغییرات نقاط نرمی قیرهای میکسی تهیه شده از قیر معدنی خام به‌صورت تابع خطی نشان داده شده است. با افزایش غلظت قیر معدنی در نمونه قیر میکسی یک افزایش خطی در نقطه نرمی مشاهده می گردد. البته با افزایش میزان خاکستر قیر معدنی یک روند نامنظم در میزان نقطه نرمی نسبت به‌میزان خاکستر قیر معدنی مشاهده می گردد.



شکل۷. روند تغییرات نقاط نرمی قیرهای میکسی تهیه شده از قیر معدنی خام

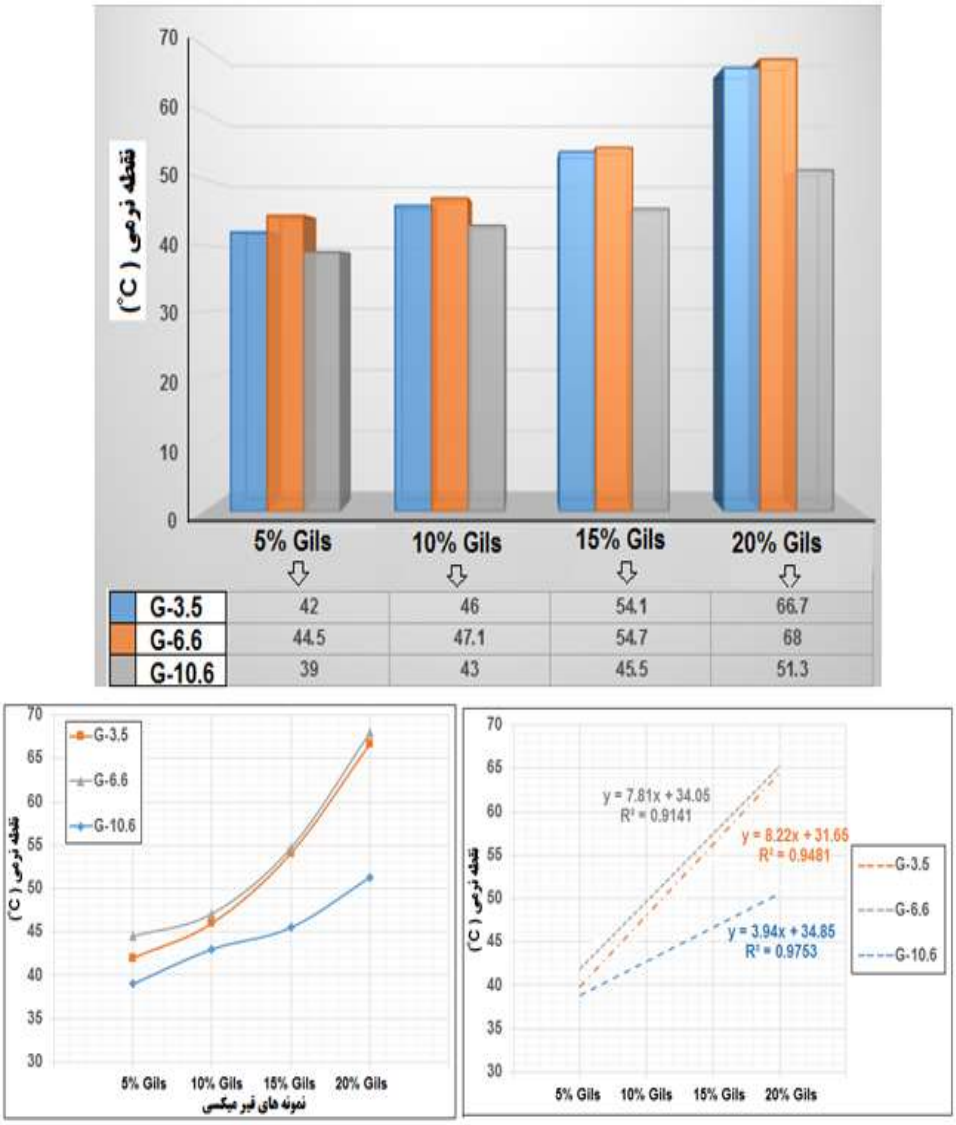
در شکل ۸ معادلات خطی مربوط به‌روند تغییرات نقطه نرمی با میزان قیر معدنی خام در قیر میکسی ترسیم شده است. استفاده از قیر معدنی با خاکسترهای متفاوت تقریباً نمودارهای خطی با شیب نزدیک به هم را نشان داده‌اند و لذا می‌توان گفت تنها در خاکسترهای بالای ۱۵ درصد شیب تغییرات خطی مقداری متفاوت خواهد شد. لذا نقطه نرمی پارامتری با ثبات در تولید قیر میکسی می‌باشد و رسیدن به‌نقاط نرمی استاندارد با فرمولاسیون مشخص تقریباً بدون مشکل خاصی می‌باشد و کافیست غلظت مواد اولیه و شرایط اختلاط و هم‌چنین کیفیت قیر معدنی و وکیوم باتوم را کنترل کنیم.



شکل۸. معادلات خطی مربوط به روند تغییرات نقطه نرمی با میزان قیر معدنی خام در قیر میکسی

شکل ۹ نمودارهای ستونی و خطی مقایسه‌ای نقاط نرمی به‌دست آمده برای نمونه‌های قیر میکسی تولید شده از قیر معدنی تصفیه شیمیایی شده را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشخص می‌باشد با افزایش غلظت قیر معدنی در قیر میکسی یک روند افزایشی در نقطه نرمی نمونه‌ها رخ داده است. با توجه به اینکه قیر معدنی نقطه نرمی بسیار بالایی دارد منطقی می‌باشد که هرچه غلظت قیر معدنی بیشتر باشد ، قیر میکسی نیز سفت‌تر و نقطه نرمی بالاتری داشته باشد. نقاط نرمی به‌دست آمده عمدتاً در بازه حدود ۴۰-۷۰ درجه سانتی‌گراد می‌باشد.

با توجه به‌نمودار مقایسه‌ای می‌توان مشاهده کرد که تأثیر درصد خاکستر قیر معدنی در نمونه قیر میکسی با افزایش خاکستر ابتدا مقداری روند افزایشی در نقطه نرمی داشته که با رسیدن خاکستر قیر معدنی به ۱۰ درصد روند کاهشی داشته است. می‌توان گفت نوع خاکستر قیر معدنی تصفیه شیمیایی شده با نوع خاکستر قیر معدنی خام تفاوت کیفی زیادی دارد که می‌تواند در روند نقطه نرمی‌ها تأثیرگذار باشد. در شکل ۹ نمودارهای خطی مربوط به روند تغییرات نقطه نرمی با افزایش غلظت قیر معدنی و هم‌چنین میزان خاکستر قیر معدنی تصفیه شده ترسیم شده است. همان‌طور که قابل مشاهده است شیب تغییرات خطی در سطح خاکستر 10.6% مقداری متفاوت‌تر از خاکسترهای پایین‌تر می‌باشد.



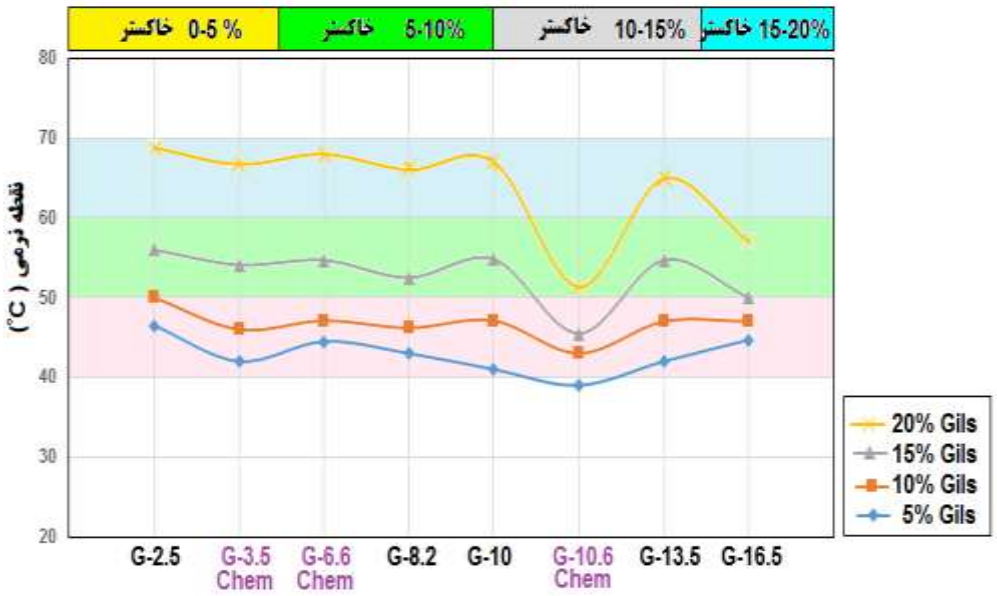
شکل۹. نمودار ستونی و خطی مقایسه‌ای نقاط نرمی نمونه‌های قیر میکسی تولید شده از قیر معدنی تصفیه شیمیایی شده

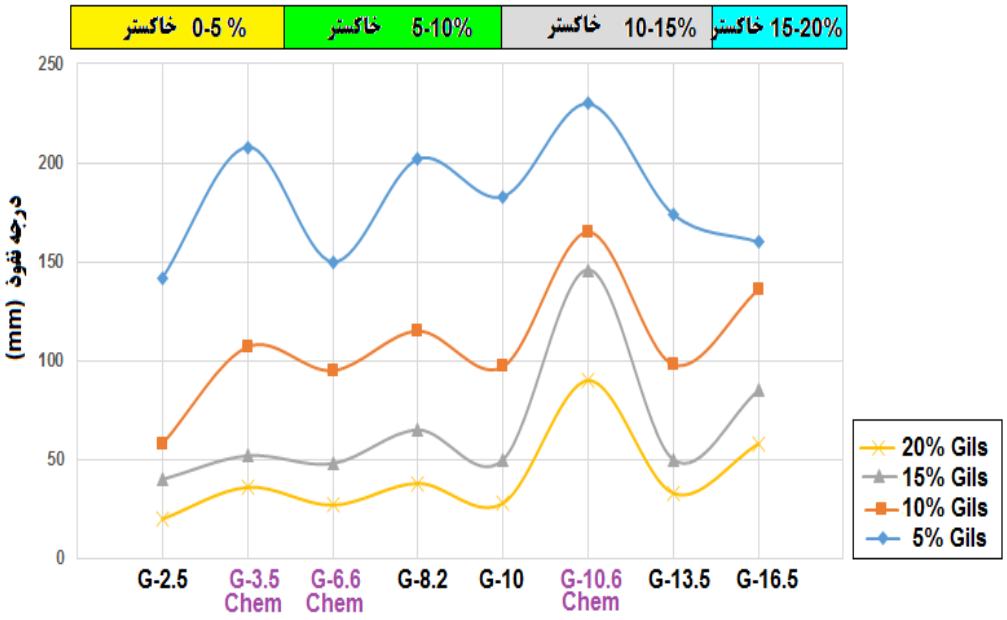
معادله خطی تغییرات نقطه نرمی قیر میکسی تولید شده از قیر معدنی تصفیه شده 10.6% خاکستر عبارت است از (Y=3.94X+34.85 , R2=0.97) در حالیکه معادله خطی مربوط به نمونه قیر میکسی تولید شده از قیر معدنی خام 10% خاکستر عبارت است از (Y=8.57X+31.05 , R2= 0.97) . این درحالیست که شیب خط افزایش نقطه نرمی در قیر میکسی تهیه شده از نمونه خام تقریباً دوبرابر شیب خط افزایش نقطه نرمی در نمونه قیر میکسی با استفاده از قیر معدنی تصفیه شیمیایی شده می‌باشد.

۳-۲-۳- نتیجه‌گیری کلی نقاط نرمی و درجه نفوذ نمونه‌های قیر میکسی

دو نمودار ترسیمی کلی مربوط به نقاط نرمی و درجه نفوذ تمامی نمونه‌های قیر میکسی تولید شده در این طرح در شکل ۱۰ نمایش داده شده است. این دو نمودار به‌عنوان یک نقشه راه می‌تواند نقاطی را ترسیم نماید که کاربران تولید قیر میکسی به‌توانند برای تولید محصولی با درجه نفوذ و نقطه نرمی مشخص از آن بهره به‌گیرند. چکیده نتایج

در این نمودار نشان می‌دهد که استفاده از هر نوع قیر معدنی خام با هر سطح از خاکستر و هم‌چنین استفاده از قیر معدنی تصفیه شده با خاکستر تثبیت شده می‌تواند در فرمولاسیون نسبت‌های مشخص قیر معدنی به وکیوم باتوم ، نتایج مشخصی از نظر میزان درجه نفوذ و میزان نقطه نرمی را نشان دهد. تقریباً تمامی نقاط نرمی نمونه‌های قیر میکسی در گستره ۴۰-۷۰ درجه سانتیگراد پراکنده می‌باشند و نقش میزان خاکستر در تعیین نقطه نرمی مشخص شده است. همچنین نقش تصفیه شیمیایی در کیفیت قیر میکسی نیز نشان داده شده است که از نظر نقطه نرمی در گستره کمتر از ۱۰ درصد خاکستر قیر معدنی هم‌خوانی خوبی با نمونه‌های قیر معدنی خام دارند. از نظر درجه نفوذ نیز تمامی روندها و تأثیر غلظت‌ها خاکسترها و کیفیت قیر معدنی‌ها کاملاً واضح و آشکار می‌باشند. می‌توان گفت که کابران و تولیدکنندگان قیر میکسی با استفاده از نتایج به‌دست آمده در این طرح می‌توانند یک روش استاندارد برای تولید قیر میکسی را تدوین نمایند و قیر میکسی با خواص دقیق و مشخص را با استفاده از نتایج به‌دست آمده در این طرح تولید نمایند. برای اجتناب از خطاهای غیر استاندارد در تولید قیر میکسی لزوم توجه به پروتوکل تعیین شده در حین تولید محصول ضروری می‌باشد و همچنین لازم است که میزان خاکستر قیر معدنی مورد استفاده نیز به‌صورت گستره‌های ۵ واحدی مورد نظر قرار به‌گیرد یا اینکه حرکت به‌سوی تولید قیر معدنی تصفیه شده با خاکستر دقیق و تثبیت شده صورت به‌گیرد.





شکل ۱۰. شمای کلی نقاط نرمی و درجه نفوذ تمامی نمونه‌های قیر میکسی تولید شده در این طرح

در این مطالعه تأثیر میزان افزودنی قیر معدنی در بازه ۵-۲۰ درصد به وکیوم باتوم پالایشگاهی مورد مطالعه قرار گرفت و یک روند مشخص افزایشی در میزان نقطه نرمی و روند کاهشی در میزان درجه نفوذ قیر میکسی تولیدی به‌دست آمد. در این راستا کیفیت قیر معدنی از نظر میزان خاکستر در روند خواص فیزیکی قیر میکسی تأثیرگذار می‌باشد هر چه میزان خاکستر قیر معدنی بیشتر شده است یک تأثیر کاهشی در نقطه نرمی و یک تأثیر افزایشی در درجه نفوذ در قیر میکسی نشان می‌دهد. در این مطالعه نشان داده شد که تصفیه شیمیایی و تصفیه فیزیکی قیر معدنی تأثیری در خواص ملکولی قیر معدنی ندارد کیفیت و ساختار اصلی قیر معدنی حفظ می‌گردد. از طرفی تصفیه شیمیایی و فیزیکی یک راه کار مناسب برای تولید نمونه‌های استاندارد قیر میکسی از طریق کنترل متغییر میزان خاکستر می‌باشد که به پاشنه آشیل تولید محصولات استاندارد از قیر معدنی تبدیل شده است.

۴- نتیجه‌گیری

تعداد ۳۲ نمونه آزمایشگاهی قیر میکسی با استفاده از ترکیب ۵ تا ۲۰ درصد وزنی قیر معدنی خام و تصفیه شده شیمیایی(تهیه شده از معادن مختلف کشور و استان کرمانشاه) با قیر پالایشگاهی (وکیوم باتوم) تهیه گردید و دو پارامتر نقطه نرمی و درجه نفوذ آنها طبق استانداردهای مشخص اندازه‌گیری شدند. نتایج نشان دادند که افزودن قیر معدنی به وکیوم باتوم یک روند مشخص افزایشی در میزان نقطه نرمی و روند کاهشی در میزان درجه نفوذ قیر میکسی تولیدی نشان می‌دهد. در این راستا کیفیت قیر معدنی از نظر میزان خاکستر در روند خواص فیزیکی قیر میکسی تأثیرگذار می‌باشد هر چه میزان خاکستر قیر معدنی بیشتر شده است یک تأثیر کاهشی در نقطه نرمی و یک تأثیر افزایشی در درجه نفوذ در قیر میکسی نشان می‌دهد. همچنین تصفیه شیمیایی و تصفیه فیزیکی قیر معدنی تأثیری

در خواص ملکولی قیر معدنی ندارد کیفیت و ساختار اصلی قیر معدنی حفظ می‌گردد. از طرفی تصفیه شیمیایی و فیزیکی یک راه کار مناسب برای تولید نمونه‌های استاندارد قیر میکسی از طریق کنترل متغییر میزان خاکستر می‌باشد که به پاشنه آشیل تولید محصولات استاندارد از قیر معدنی تبدیل شده است.

۶- تشکر و قدردانی

بدین وسیله از زحمات و همکاری دستگاه اجرایی سفارش دهنده (اداره کل استاندارد استان کرمانشاه) و ناظران محترم طرح جناب آقای دکتر جمشید بهین و جناب آقای دکتر مجتبی احمدی تشکر و قدردانی می‌گردد.

فهرست منابع:

رسول‌زاده، یحیی، مرتضوی، سیدباقر، یوسفی، علی‌اکبر، خوانین، علی، و کاظم‌نژاد، انوشیروان. (۱۳۸۹). **اثر پلیمرهای ضایعاتی بازیافتی, قیر طبیعی و برش HVS بر خواص پس مانده تقطیر در خلا**. علوم و تکنولوژی پلیمر (فارسی)، ۲۳(۱ (پیاپی ۱۰۵))، ۸۵-۹۵. SID. https://sid.ir/paper/6372/fa

Carr, Donald D, 1994, **Industrial Mineral and Rocks**, six edition vol, sonior editor, pp 535-543.

Garcia-Morales M., Partal P., Navarro F.J., and Gallegos C., **Effect of Waste Polymer Addition on the Rheology of Modified Bitumen**, Fuel, 85, 936-943, 2006.

Goodarzi F. and Williams P.F.V., **Composition of Natural Bitumen's and Asphalts from Iran: Bitumens from the Posteh Ghear Valley, South-West Iran**, Fuel, 65, 17-27, 1986.

INSO 14714, 1st. Edition, Nov 2012, **Natural Bitumens (Mineral)- Specification and Test methods.**

Sahebi Z., **Survey the Properties and Application of the Natural and Oil Bitumens Blends in Paving and Their Rheology,** MSc Thesis, Department of Chemical Engineering, Islamic Azad University, Tehran South Campus, 2005. www.americangilsonite.com