

تحلیل رفتار حرارتی و شیمیایی قیر اصلاح شده با استفاده از مواد ضایعاتی

در این مقاله، به تحلیل رفتار حرارتی قیر اصلاح شده با استفاده از پلاستیک‌های بازیافتی و پودر لاستیک ضایعاتی پرداخته شده است. در ابتدا به کمک تحلیل حرارتی، رفتار مواد با افزایش دما بررسی شده که مهم‌ترین آنها تحلیل حرارتی (TGA) و گرماسنجی افتراقی (DSC) بر روی پلاستیک‌های بازیافتی، قیر اصلاح شده و پایه می‌باشد. قیر اصلاح شده با پلاستیک‌های بازیافتی عملکرد بهتری به لحاظ خصوصیات حرارتی دارد. در انتها آزمایش FTIR جهت تعیین ساختار ترکیبات بر روی قیر پایه، قیر اصلاح شده و پلاستیک‌های بازیافتی انجام شد و مشاهده گردید که اصلاح قیر با پلاستیک‌های بازیافتی از نوع فیزیکی می‌باشد و واکنش شیمیایی رخ نمی‌دهد.

واژگان کلیدی: تحلیل حرارتی، پلاستیک بازیافتی، قیر، پودر لاستیک.

حسین زنجیرانی

فراهانی

دانشجوی دکتری تخصصی،

دانشکده مهندسی عمران،

دانشگاه تهران.

پست الکترونیک:

Farahani1404@ut.ac.ir

مسعود پلاسی*

دانشیار، دانشکده مهندسی

عمران، دانشگاه تهران.

پست الکترونیک:

mpalas@ut.ac.ir

جواد نعمتی

کارشناسی ارشد دانشکده

مهندسی عمران و مدیریت،

دانشگاه صنعتی پویش.

پست الکترونیک:

Javad11nemati@gmail.com

۱- مقدمه

مواد را با افزایش دما، بررسی کرد. این نوع مطالعه نیز از نظر طراحی فرآیند تولید و کاربرد محصول، اهمیت زیادی دارد. در ادامه مهم‌ترین روش‌های تحلیل حرارتی، مانند تحلیل حرارتی (TGA^۲) و گرماسنجی افتراقی (DSC^۳) توضیح داده شده است. تحلیل حرارتی، عبارتست از اندازه‌گیری تغییری که در ویژگی‌های فیزیکی ماده پدید می‌آید، وقتی که دما با برنامه ویژه‌ای تغییر کند. منظور از ویژگی‌های فیزیکی، کمیت‌هایی مانند اندازه هندسی، ظرفیت حرارتی، هدایت الکتریکی و مانند آن است که با افزایش دمای نمونه تغییر می‌کنند.

روش‌های تحلیل حرارتی از دو جنبه برای پژوهشگران و صنعتگران اهمیت دارند. نخست آنکه به کمک این روش‌ها، می‌توان شناسایی مواد را به‌ویژه هنگامی که روش‌هایی مانند پراش‌سنجی پرتوی X^۱ و مطالعه‌های میکروسکوپی توانایی ارزیابی نهایی را ندارند، تکمیل نمود. این حالت، به‌ویژه در مورد مواد اولیه و ترکیب‌های چندجزیی بسیار مفید است. دوم آنکه به کمک روش‌های تحلیل حرارتی (شکل ۱)، می‌توان رفتار

* نویسنده مسئول

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۶/۳۱، بازنگری: ۱۳۹۶/۱۱/۰۶، پذیرش: ۱۳۹۶/۱۱/۱۹.

(DOI): 10.22091/cer.2018.2480.1101 شناسه دیجیتال

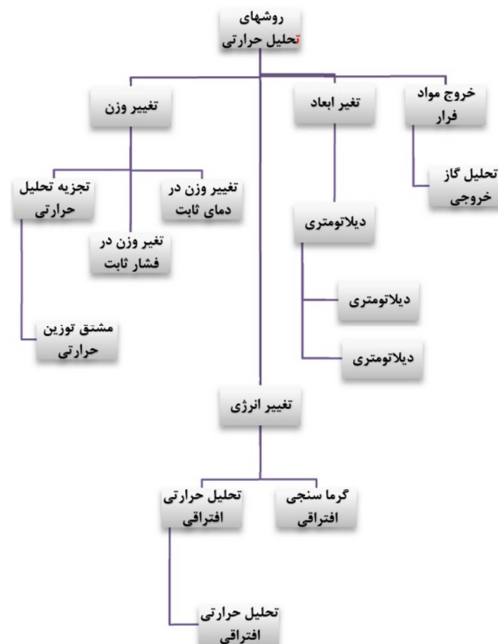
^۱- X- ray diffraction

^۲- Thermo Gravimetric Analysis

^۳- Differential Scanning Calorimetry

قیری در کشور هند استفاده کرده‌اند. این مواد با افزایش ویسکوزیته، خواص قیر را در برابر نوسانات روزانه دما و مقاومت در دمای بالا و همچنین مقاومت در برابر عریان‌شدگی سنگدانه‌های آسفالتی محافظت می‌کند [۹-۱۲]. فنگ و همکاران، از مواد ضایعاتی که از کیسه‌های بسته‌بندی و پلی‌اتیلن به‌دست می‌آید برای بهبود خواص قیر استفاده کرده‌اند. طی آزمایشات صورت گرفته این نتیجه حاصل شد که این افزودنی باعث ثبات درجه حرارت بالای قیر شده است و در مقایسه با قیر پایه، حساسیت دمای قیر اصلاح شده با افزایش دما کاهش می‌یابد [۱۳]. با این وجود، عملکرد در دمای پایین و سازگاری PE در قیر اصلاح شده هنوز هم خوب نیست و تا حدی موجب توقف کاربرد می‌باشد.

تث^۸ و همکاران، در تحقیقاتشان گزارش کردند خواص مکانیکی مخلوط آسفالتی اصلاح شده با پلی‌اتیلن و مخلوط خرده لاستیک با استفاده از انواع جدیدی از افزودنی‌های سازگار سنتز شده از کوپلیمر آنیدرید در آزمایشگاه، بهبود یافته است. مواد افزودنی سازگار در PE و CR، ۰/۲ درصد وزنی معرفی شده‌اند؛ در حالی که غلظت CR بین ۱۰ تا ۵۰ درصد وزنی متغیر است. برای مقایسه، از اثرات افزودنی تجاری قابل استفاده، سازگار و در دسترس (MA-G-PO) نیز استفاده شده است. آزمون‌های تحت کشش غیرمستقیم و چقرمگی از نمونه‌های فشرده‌سازی شده انجام گرفته است. چندین افزودنی تجربی، خواص مخلوط PE و CR را از نظر مقاومت کششی غیرمستقیم یا چقرمگی بهبود داده‌اند و این در حالی است که افزودنی‌های تجاری تنها یکی از خواص مکانیکی ذکر شده را بهبود داده‌اند، و هر دو خواص را به‌طور هم‌زمان اصلاح نکرده‌اند. از آنجا که خواص مکانیکی خوب می‌تواند توسط افزودنی‌های آزمایشی به‌دست آید، چسبندگی خوبی در نمونه‌های



شکل ۱- روش‌های مختلف تحلیل حرارتی

سودانی و همکاران در الجزایر از لاستیک نیتریل، که از ضایعات لنگه کفش به‌دست می‌آید، برای اصلاح مشخصات قیر استفاده کردند که نتایج، حاکی از کارایی مناسب مخلوط قیری اصلاح شده و بهبود خصوصیات رئولوژیکی خصوصا در دماهای بالا با افزایش درصد لاستیک نیتریل و همچنین پایداری حرارتی مناسب در دمای بالا می‌باشد [۱]. همچنین فنگ و همکاران دریافتند که با توسعه سریع صنعت خودرو، حجم لاستیک فرسوده نیز به سرعت افزایش یافته و استفاده از خرده لاستیک (CR^۴) در حفاظت از محیط‌زیست و بازیافت زباله بسیار مهم است [۲ و ۳]. به‌طور کلی، پلی‌اتیلن (PE^۵) زباله مورد استفاده در اصلاح قیر شامل LDPE^۶ و LLDPE^۷ بوده و بررسی شده که استفاده از PE، موجب بهبود عملکرد درجه حرارت بالای آسفالت شده و حساسیت دما تا حد زیادی کاهش یافته است [۴-۸].

پادهان و همکاران، با استفاده از زباله‌های دوبار بازیافت و از بطری‌های نوشیدنی، در جهت بهبود خواص

4- Crumb Rubber

5- Polyethylene

6- Low-density polyethylene

7- Linear low-density polyethylene

8- Tóth

۴) برای اختلاط انواع الاستومرها و پلاستومرها و سایر افزودنی‌ها با قیر استفاده می‌شود. با توجه به نوع پلیمر، سرعت چرخش قسمت مخلوط‌کن میکسر قابل تنظیم است. علت استفاده از این میکسر در ترکیب قیر و پلیمر، ساختار ویژه قسمت مخلوط‌کن آن است. در واقع قسمت سر میکسر به علت طراحی ویژه آن، مخلوط مورد نظر را با مکش بین دو صفحه که فاصله بسیار کمی با یکدیگر دارند، وارد کرده و با سرعت زیاد بین دو صفحه حرکت داده و از فاصله بین شیارهای تعبیه شده در پوسته خارجی، خارج می‌کند که این عمل باعث می‌شود ساختار یکنواختی از قیر و پلیمر ایجاد شود.



شکل ۲- لاستیک ضایعاتی

جدول ۲- مشخصات پودر لاستیک مصرفی نوع اول

وزن (%)	ماده
۵۳	هیدروکربن (لاستیک مصنوعی و طبیعی)
۳۲	کربن سیاه ^{۱۱}
۱۱	افشانه تتراهیدروفوران (C ₄ H ₈ O) ^{۱۲}
۴	خاکستر
۴۰۰ میکرون	سایز ذرات

ضایعات PE و CR در نظر گرفته شده است که با استفاده از نمودارهای SEM اثبات شده است [۱۴ و ۱۵].

در این مقاله با استفاده از آزمایش تحلیل حرارتی و شیمیایی بر روی قیر پایه و قیر حاوی پودر لاستیک به بررسی تحلیل حرارتی و شیمیایی پرداخته شده و استفاده از این افزودنی در قیر، باعث صرفه‌جویی اقتصادی و همچنین بهبود عملکرد آسفالت در دماهای بالا و جلوگیری از شیارشدگی و ترک خوردگی می‌شود.

۲- مواد و مصالح

برای ترکیب قیر و اصلاح‌کننده‌ها از قیر (AC 85- 100) پالایشگاه اصفهان استفاده شده است. مشخصات قیر پایه در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱- مشخصات قیر مورد استفاده

قیر خالص	درجه نفوذ در ۲۵°C (0.1mm)	نقطه نرمی (°C)	شکل پذیری (cm)
۸۵/۱۰۰	۹۳	۴۷	>۱۰۰

پودر لاستیک ضایعاتی (شکل ۲) از صنایع لاستیک قم که یکی از بزرگترین کارخانه‌های پودر لاستیک کشور می‌باشد، با مشخصات جداول ۲ و ۳ تهیه شد. برای اختلاط مواد ضایعاتی و قیر پایه هرکدام از مواد افزودنی به صورت ۳٪ با قیر پایه با استفاده از میکسر برش بالا^۹ (شکل ۳) ترکیب و در ادامه نمونه‌ها به چند دسته تقسیم شدند. دسته اول برای انجام آزمایشات تحلیل حرارتی و دسته دوم برای انجام آزمایش FTIR^{۱۰} به کار گرفته شدند.

۲-۱- اختلاط با میکسر برش بالا

میکسرهای برش بالا یکی از پرکاربردترین میکسرهای برای ترکیب قیر و پلیمر می‌باشند. از این میکسر (شکل ۳ و

^{۱۱}- Carbon black

^{۱۲}- THF extractable

^۹ High shear mixer

^{۱۰}- Fourier Transform Infrared

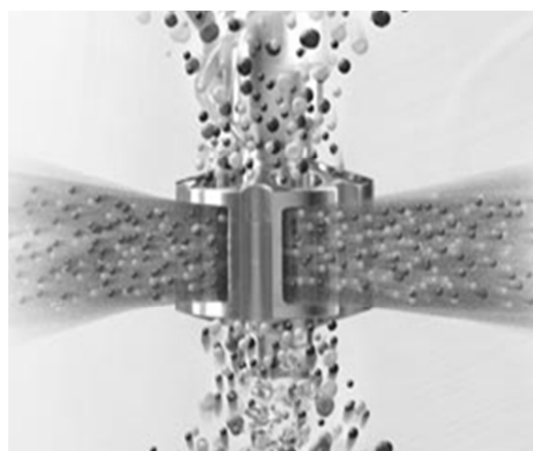
نمونه در هنگام گرمایش استوار است. دستگاه TGA مطابق شکل ۵، دارای یک ترازوی الکترونیکی حساس است که تغییر وزن نمونه را براساس تغییر جریان الکتریکی، در یک سیم پیچ اندازه گیری می کند. جریان القا شده در سیم پیچ که متناسب با تغییر وزن نمونه است، محور عمودی و جریان الکتریکی پدید آمده در ترموکوپل به عنوان محور افقی، منحنی تغییر وزن نمونه را نسبت به دما رسم می کنند. در نوع دیگری از دستگاه TGA، تبدیل تغییر وزن به جریان الکتریکی، به کمک نور دریافتی از چشم الکترونیک صورت می گیرد.



شکل ۵- دستگاه توزین حرارتی

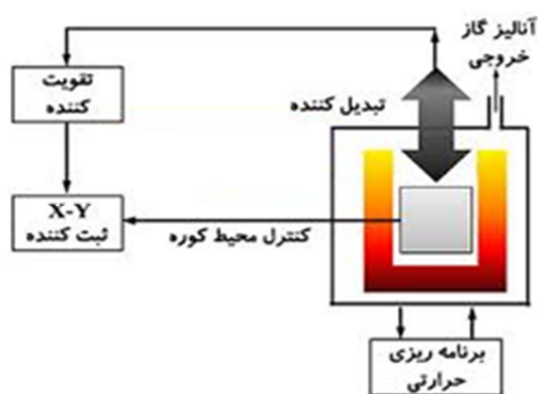
جدول ۳- مشخصات پودر لاستیک مصرفی نوع دوم

استاندارد	مقدار	واحد	مشخصات
ASTM D 1238	۰/۹	gr/10 min.	شاخص جریان ذوب
ASTM 209B	۰/۹۲۱۰	gr/ml	چگالی
ASTM D 1525	۹۴	$^{\circ}\text{C}$	نقطه نرمی
ASTM D 648	۳۳۰	$^{\circ}\text{C}$	دمای شکست حرارتی
ASTM D 882	۱۷۰	Kg/cm^2	نیروی کشش در نقطه شکست



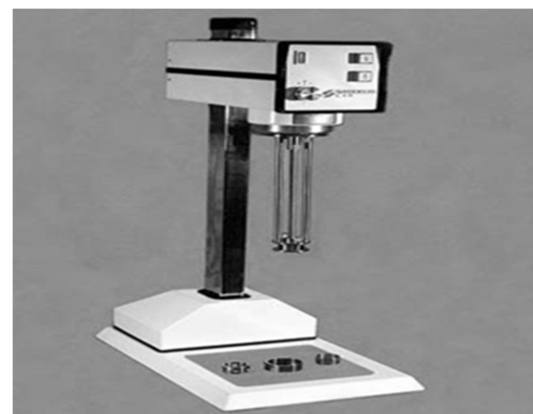
شکل ۳- نحوه عملکرد میکسر برش بالا

مکانیزم عملکرد دستگاه تحلیل حرارتی مطابق شکل ۶ نمایش داده شده است.



شکل ۶- مکانیزم کار دستگاه تحلیل حرارتی

نتیجه آزمایش تحلیل حرارتی، منحنی تغییر وزن برحسب دما مانند شکل ۷ می باشد. از این منحنی ها می توان به دو صورت استفاده کرد. یکی تعیین دمای آغاز و پایان رویدادهای حرارتی که برای هر مرحله از تغییر



شکل ۴- میکسر برش بالا برای ترکیب قیر و اصلاح کننده های قیری

۳- روش تحقیق

۳-۱- تحلیل حرارتی (TGA)

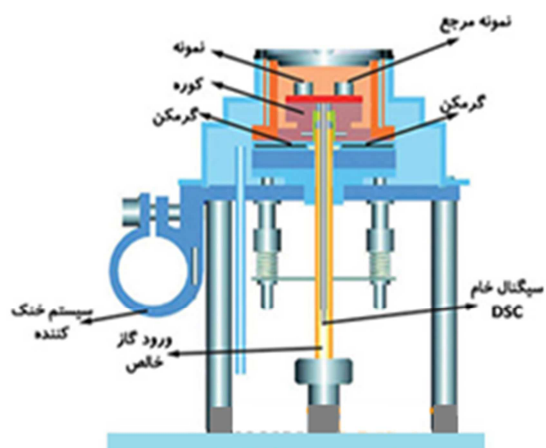
روش تحلیل حرارتی (TGA) ساده ترین روش تحلیل حرارتی است که اساس آن بر اندازه گیری وزن

۳-۳- تحلیل حرارتی افتراقی (DTA)

اساس روش تحلیل حرارتی افتراقی (DTA^{14})، اندازه‌گیری تفاوت دمای نمونه مجهول و نمونه شاهد است، در حالی که هر دو نمونه با برنامه حرارتی یکسانی گرم شوند. می‌توان اختلاف دمای دو نمونه را ΔT و دمای نمونه شاهد را T تعیین کرد. نشانه‌های ΔT و T پس از تقویت، به قسمت ثبت کننده فرستاده شده و در آنجا تغییر ΔT برحسب T رسم می‌شود.

۳-۴- گرماسنجی افتراقی (DSC)

در روش گرماسنجی افتراقی، نمونه مجهول و شاهد مقدار گوناگونی انرژی می‌گیرند تا دمای آنها همیشه یکسان بماند. طبیعی است که این روش، برخلاف روش DTA می‌باشد (شکل ۹).



شکل ۹- دستگاه گرماسنجی افتراقی

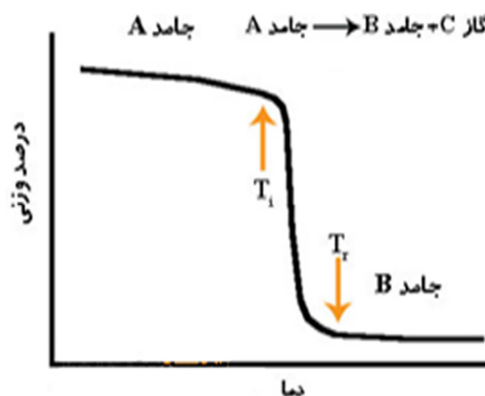
۳-۵- تفاوت دو روش DTA و DSC

در روش گرماسنجی افتراقی، نمونه مجهول و شاهد در دمای یکسان نگهداری شده و تفاوت انرژی لازم برای این یکسانی حرارت، برحسب تغییر دما رسم می‌شود. به عبارت دیگر، نمونه مجهول و شاهد مقدار گوناگونی انرژی می‌گیرند تا دمای آنها همیشه یکسان بماند. در روش DSC زیر نمونه شاهد و مجهول، گرمکن‌های الکتریکی

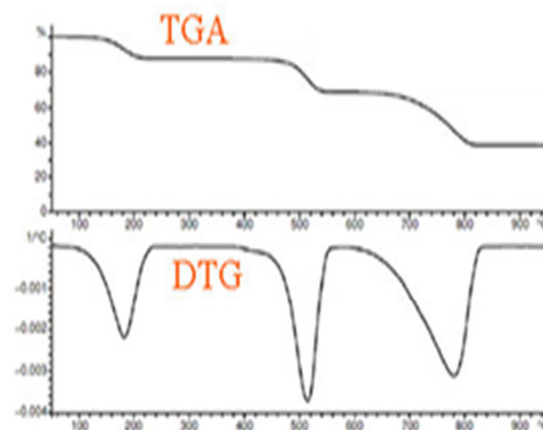
وزن به صورت دمای ابتدایی (T_i) و دمای پایانی (T_f) نشان داده می‌شود و دیگری مقدار کاهش وزن برای هر مرحله از تغییر وزن که به صورت درصد نوشته خواهد شد.

۳-۲- مشتق تحلیل حرارتی (DTG)

در آزمایش توزین حرارتی، در صورتی که دمای دو رویداد حرارتی، نزدیک به هم باشد، جدا کردن آنها در منحنی تغییر وزن برحسب دما مشکل خواهد بود. از طرفی، نمی‌توان دمای آغاز و پایان یک رویداد حرارتی را به آسانی مشخص کرد. این دو مشکل باعث شده‌اند که با اضافه کردن یک قسمت الکترونیکی به دستگاه TGA، بتوان مشتق منحنی وزن برحسب دما را رسم کرد (شکل ۸). این حالت را مشتق تحلیل حرارتی (DTG^{13}) می‌نامند.



شکل ۷- منحنی تغییر وزن برحسب دما [۱۶]



شکل ۸- منحنی مشتق توزین حرارتی با منحنی TGA [۱۶]

¹⁴- Differential Thermal Analysis

¹³- Derivative Thermogravimetry

کوچکی از نمونه مورد نظر در حلال مناسب حل شده و با قرار دادن آن بر روی قرص‌های پتاسیم بروماید و تبخیر کامل حلال، فیلم نازک نمونه، مستقیماً روی قرص KBr حاصل می‌شود، زیرا KBr در ناحیه مادون قرمز مورد نظر هیچ جذبی ندارد. هر گروه عاملی در طول موج خاصی دچار لرزش می‌شود (مثل اثر انگشت که منحصر به فرد است) و لذا با مراجعه به جدولی که در آن اطلاعات گروه‌های عاملی مختلف براساس طول موج وجود دارد، گروه‌های عاملی موجود در ماده افزودنی، قیر خالص و قیر حاوی افزودنی مشخص می‌گردند. هر گروه عاملی در اثر برهم‌کنش‌هایی که دارد در عدد موجی خاصی دچار لرزش می‌شود.



شکل ۱۰- نمونه دستگاه اسپکتروفوتومتر مورد استفاده در

تحلیل نمونه‌های قیر خالص و حاوی افزودنی

۴- تحلیل نتایج

۴-۱- تحلیل حرارتی قیرهای اصلاح شده

همانگونه که گفته شد مهم‌ترین روش‌های تحلیل حرارتی، مانند تحلیل حرارتی (TGA) و گرماسنجی افتراقی (DSC) توضیح داده شده است. تحلیل حرارتی، عبارتست از اندازه‌گیری تغییری که در ویژگی‌های فیزیکی ماده پدید می‌آید، وقتی که دما با برنامه ویژه‌ای تغییر کند. منظور از ویژگی‌های فیزیکی، کمیت‌هایی مانند اندازه هندسی، ظرفیت حرارتی، هدایت الکتریکی و مانند آن است که با افزایش دمای نمونه تغییر می‌کنند. با توجه به شکل ۱۱ در مورد نتایج آزمایش DSC برای قیرهای

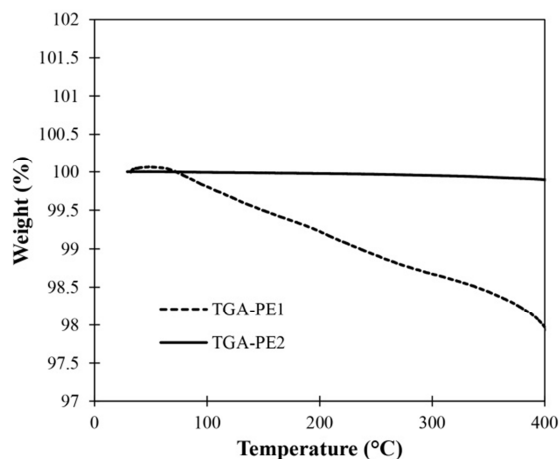
جداگانه برای گرمایش آنها وجود دارد. همچنین دو ترموکوپل، دمای نمونه‌ها را مشخص می‌کند. یک واحد الکتریکی به نام مدار کنترل کننده DSC پس از دریافت نشانه‌های دمایی مربوط به هر دو نمونه، مقدار انرژی لازم برای یکسان کردن دمای آنها را تعیین و اجرا می‌کند. بنابراین تفاوت انرژی داده شده به نمونه مجهول و شاهد برحسب دما توسط قسمت ثبت کننده رسم می‌شود.

روش DSC در ظاهر با روش DTA یکسان است، ولی باید توجه کرد که اطلاعات DSC نسبت به DTA حالت کمی دارد. به عبارت دیگر، در روش DSC چون انرژی لازم برای تغییر دمای نمونه مجهول، اندازه‌گیری می‌شود، می‌توان به‌طور مستقیم به حرارت مورد نیاز آن تغییر یا به عبارت بهتر، گرمای واکنش، دست یافت. با وجود آنکه این موضوع، برتری روش DSC به روش DTA را نشان می‌دهد، ولی گرمکن‌ها و حسگرهای دستگاه DSC اجازه کار کردن راحت را نسبت به روش DTA در دماهای بالا نمی‌دهند. بنابراین، روش DSC برای آزمایش‌هایی که در دماهای کمتر از ۱۲۰۰ درجه سانتیگراد انجام شوند مناسب بوده و بهتر است برای دماهای بالاتر، از روش DTA استفاده شود.

۳-۶- تحلیل شیمیایی، آزمایش FTIR

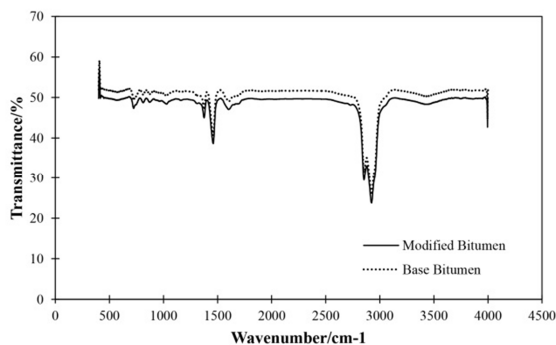
دستگاه اسپکتروفوتومتر، (شکل ۱۰)، یکی از پیشرفته‌ترین دستگاه‌های مورد استفاده جهت تعیین ساختار ترکیبات می‌باشد. این دستگاه با طیف‌گیری در ناحیه زیر قرمز امکان شناسایی ترکیبات را با توجه به رفتار آنها در ناحیه زیر قرمز فراهم می‌سازد. طیف FTIR معمولاً از نمونه‌هایی به شکل فیلم به دست می‌آید که معمولاً نازک‌تر از ۵۰ میکرومتر است. برای تهیه فیلم مناسب از نمونه‌های ضخیم‌تر یا گرانول‌ها، نمونه تا بالای دمای نرمش حرارت داده شده و سپس پرس می‌شود تا فیلم‌هایی به اندازه کافی نازک، برای استفاده مستقیم در طیف‌سنجی FTIR تهیه شود. در ضمن می‌توان از فیلم‌های حلال نیز استفاده نمود. در این حالت، قطعه

حرارت، پایداری بیشتری در برابر تغییرات دما داشته و تقریباً هیچگونه وزنی از دست نمی‌دهد؛ در صورتی‌که پلاستیک بازیافتی نوع دوم در برابر حرارت، پایداری کمتری دارد. البته این تغییرات وزنی در دماهای بالاتر از ۲۰۰ درجه سانتیگراد رخ می‌دهد که تأثیر بسزایی در عملیات راهسازی ندارد.



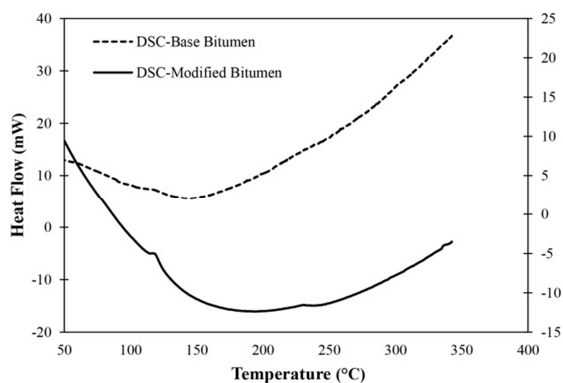
شکل ۱۳- نتایج آزمایش TGA برای پلاستیک بازیافتی نوع اول و دوم

برای قیر اصلاح شده با پودر لاستیک و پلاستیک‌های بازیافتی، همانطور که در شکل ۱۴ دیده می‌شود، در نمودار قیر اصلاح شده پیک‌های اصلی شبیه پیک‌های نمودار قیر پایه می‌باشد و پیک‌های جدیدی ظاهر نشده‌اند و بیشتر پیک‌های LDPE توسط قیر پوشانده شده و پیک جدیدی تولید نشده است. با توجه به این نتایج می‌توان گفت اصلاح قیر با پلاستیک‌های بازیافتی و پودر لاستیک یک اصلاح فیزیکی بوده و واکنش شیمیایی قابل توجهی رخ نمی‌دهد.



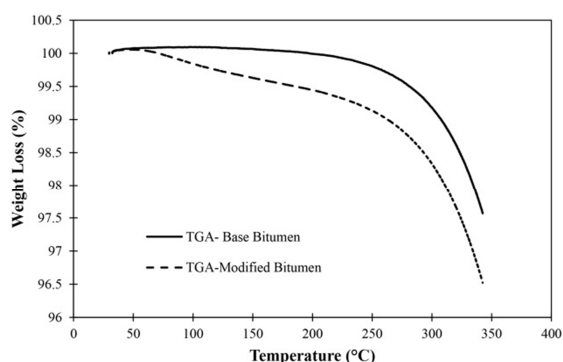
شکل ۱۴- آزمایش FTIR بر روی نمونه قیر پایه و اصلاح شده

اصلاح شده و پایه می‌توان گفت که در محدوده دمایی بین ۱۰۰ تا ۳۰۰ درجه، قیر اصلاح شده حدود ۰/۹۱ درصد افت وزنی دارد، در حالی‌که قیر پایه، حدود ۱/۵۳ درصد وزن از دست می‌دهد. لذا قیر پلیمری وزن کمتری را از دست می‌دهد یعنی کمتر تبخیر شده است و در برابر حرارت پایدارتر است.



شکل ۱۱- نتایج آزمایش DSC برای قیر پایه و اصلاح شده

برای بحث بر روی نتایج TGA، همانطور که در شکل ۱۲ مشاهده می‌شود، آنتالپی ذوب برای قیر اصلاح نشده برابر ۰/۴۴ j/gr بوده ولی برای قیر اصلاح شده برابر ۱/۴۸ j/gr می‌باشد. بنابراین مقدار گرمای ذوب بیشتری برای قیر اصلاح شده لازم بوده و واکنش آن گرماگیرتر است و حین اختلاط با مصالح سنگی دیرتر دمای خود را از دست می‌دهد.



شکل ۱۲- نتایج آزمایش TGA برای قیر پایه و قیر اصلاح شده

در ادامه برای مقایسه عملکرد دو نوع پلاستیک بازیافتی همانطور که در شکل ۱۳ نشان داده شده است، پلاستیک بازیافتی نوع اول متناسب با تغییرات درجه

۴-۲- نتایج تحلیل شیمیایی (آزمایش FTIR)

علی‌رغم اینکه میزان مصرف قیر در آسفالت بسیار کم است (حدود ۵ تا ۷ درصد)؛ ولی نقش بسیار مهمی در رفتار روسازی دارد. در این پژوهش، بهبود رفتار ویسکوالاستیک قیر از پلاستیک‌ها و پودر لاستیک ضایعاتی استفاده شده است و همانطور که نتایج نشان می‌دهد قیر اصلاح شده وزن کمتری را از دست می‌دهد (حدود ۰/۹۱٪ افت وزنی دارد)، یعنی کمتر تبخیر شده است و در برابر حرارت پایدارتر است. همچنین قیر اصلاح شده واکنش گرماگیرتری دارد (برابر ۱/۴۸ j/gr می‌باشد) و حین اختلاط با مصالح سنگی دیرتر دمای خود را از دست می‌دهد. همچنین با مقایسه نتایج تحلیل حرارتی دو پلیمر، مشخص می‌شود که پلیمر نوع دوم برای اختلاط با قیر و سنگدانه‌ها راحت‌تر و مناسب‌تر می‌باشد و بهتر با قیر ترکیب می‌شود چرا که گرمای کمتری لازم دارد. در انتها با انجام آزمایش FTIR مشخص شد که پیک‌های قیر اصلاح شده مشابه قیر پایه می‌باشد و با اصلاح قیر توسط پلاستیک‌های بازیافتی و پودر لاستیک واکنش شیمیایی واضحی مشاهده نمی‌شود و عمدتاً یک واکنش فیزیکی می‌باشد.

دستگاه اسپکتروفوتومتر شکل، یکی از پیشرفته‌ترین دستگاه‌های مورد استفاده در آزمایش دستگاهی جهت تعیین ساختار ترکیبات قیر می‌باشد. این دستگاه با طیف‌گیری در ناحیه زیر قرمز امکان شناسایی ترکیبات را با توجه به رفتار آنها در ناحیه زیر قرمز فراهم می‌سازد. طیف FTIR معمولاً از نمونه‌هایی به شکل فیلم به دست می‌آید که معمولاً نازک‌تر از ۵۰ میکرومتر است. همانطور که در شکل ۱۴ دیده می‌شود، در LDPE، پیک ۳۶۰۵ مربوط به ارتعاشات کششی پیوند OH، پیک ۲۹۱۲ مربوط به ارتعاشات کششی غیرمتقارن -CH₂، پیک ۲۶۶۴ مربوط به ارتعاشات کششی متقارن -CH₂، پیک ۱۴۶۴ مربوط به ارتعاشات کششی -CH₂ و ارتعاشات کششی غیرمتقارن -CH₃ بوده است. همچنین پیک ۱۳۷۴ مربوط به ارتعاشات خمشی متقارن -CH₃، پیک ۷۲۳ مربوط به ارتعاشات -CH و ۱۶۳۰ مربوط به C=C می‌باشد.

۵- نتیجه‌گیری

مراجع

- [1] Soudani, K., Cerezo, V., & Haddadi, S. (2016). "Rheological characterization of bitumen modified with waste nitrile rubber (NBR)", *Construction and Building Materials*, 104, 126-133.
- [2] Zhang, F., & Hu, C. (2016). "The research for crumb rubber/waste plastic compound modified asphalt", *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 124(2), 729-741.
- [3] Wang, S., Wang, Q., Wu, X., & Zhang, Y. (2015). "Asphalt modified by thermoplastic elastomer based on recycled rubber", *Construction and Building Materials*, 93, 678-684.
- [4] Fang, C., Wu, C., Hu, J., Yu, R., Zhang, Z., Nie, L., & Mi, X. (2014). "Pavement properties of asphalt modified with packaging-waste polyethylene", *Journal of vinyl and additive technology*, 20(1), 31-35.
- [5] Giovanni, P., Stefano, B., Dario, B., Jiri, S., & Ludovit, Z. (2005). "Asphalt modification with different polyethylene-based polymers", *Eur Polym J*, 41, 2831-44.
- [6] Ouyang, C., Gao, Q., Shi, Y., & Shan, X. (2012). "Compatibilizer in waste tire powder and low-density polyethylene blends and the blends modified asphalt", *Journal of Applied Polymer Science*, 123(1), 485-492.
- [7] Navarro, F. J., Partal, P., García-Morales, M., Martín-Alfonso, M. J., Martínez-Boza, F., Gallegos, C., & Diogo, A. C. (2009). "Bitumen modification with reactive and non-reactive (virgin and recycled) polymers: a comparative analysis", *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 15(4), 458-464.
- [8] Costa, L. M., Hugo, M. R., Silva, D., Oliveira, J. R., & Fernandes, S. R. (2013). "Incorporation of waste plastic in asphalt binders to improve their performance in the pavement", *International journal of pavement research and technology*, 6(4), 457-464.

- [9] Gonzalez, O., Munoz, M. E., Santamaria, A., Garcia-Morales, M., Navarro, F. J., & Partal, P. (2004). "Rheology and stability of bitumen/EVA blends", *European Polymer Journal*, 40(10), 2365-2372.
- [10] Padhan, R. K., Gupta, A. A., Badoni, R. P., & Bhatnagar, A. K. (2013). "Poly (ethylene terephthalate) waste derived chemicals as an antistripping additive for bitumen—An environment friendly approach for disposal of environmentally hazardous material", *Polymer degradation and stability*, 98(12), 2592-2601.
- [11] Pasandín, A. R., Pérez, I., Ramírez, A., & Cano, M. M. (2016). "Moisture damage resistance of hot-mix asphalt made with paper industry wastes as filler", *Journal of cleaner production*, 112, 853-862.
- [12] Gómez-Meijide, B., Pérez, I., & Pasandín, A. R. (2016). "Recycled construction and demolition waste in cold asphalt mixtures: evolutionary properties", *Journal of Cleaner Production*, 112, 588-598.
- [13] Fang, C., Liu, P., Yu, R., & Liu, X. (2014). "Preparation process to affect stability in waste polyethylene-modified bitumen", *Construction and Building Materials*, 54, 320-325.
- [14] Tóth, B., Varga, C., & Bartha, L. (2015). "Olefin–maleic-anhydride copolymer based additives: A novel approach for compatibilizing blends of waste polyethylene and crumb rubber", *Waste management*, 38, 65-71.
- [15] Yan, K., Xu, H., & You, L. (2015). "Rheological properties of asphalts modified by waste tire rubber and reclaimed low density polyethylene", *Construction and Building Materials*, 83, 143-149.
- [16] Goolestani Fard, F., Bahrevar, M. A., & Salahi, E. (2018). Material Characterization and analysis Method, *Iran University Science and Technology*.

H. Zanjirani Farahani

School of Civil Engineering,
College of Engineering,
University of Tehran.

e-mail: Farahani1404@ut.ac.ir

M. Palassi*

Associate Professor, School of
Civil Engineering, College of
Engineering, University of
Tehran.

e-mail: mpalas@ut.ac.ir

J. Nemati

Department of Civil
Engineering and Management,
Pouyesh Industrial University.

e-mail: omidnemati103@gmail.com

Thermal and Chemical Analysis of Waste Modified Bitumen

In this paper, the thermal analysis of modified bitumen by using recycled and waste crumb rubber has been investigated. At first, thermal conductivity analysis of materials has been investigated with increasing temperature, and the most important thermal analysis experiments, such as thermo-gravimetric analysis (TGA) and differential scanning calorimetry (DSC) have been performed on samples. It has been observed that modified bitumen with recycled plastics perform better in terms of thermal analysis characteristics. Finally, FTIR analysis was performed to determine the structure of the compounds on the bitumen. and plastics were recycled and found that by modification of bitumen with recycled plastics a chemical reaction does not occur.

Keywords: Thermal analysis, Recycled Plastics, Bitumen, Crumb Rubber.

* Corresponding author