Applied Research in Chemical - Polymer Engineering

Vol. 3, No.4
page 13-24 ,winter 2020

Effect of Size of Tire Parts and Mazut Addition on Simultaneous Pyrolysis of Used Tire and Mazut

Saman Alimohammadi[1], Ramin Karimzadeh [2]*

1-M.Sc. Student of Chemical Engineering, Tarbiat Modares University, P. O. Box 14115-114, Tehran, Iran
2-Faculty of Chemical Engineering, Tarbiat Modares University, P. O. Box 14115-114,Tehran, Iran

Abstract

Research subject: The use of scrap tires to recover energy and their compounds is an effective way to protect the environment and recover energy and materials.
Research approach: The aim of this research is to investigate the process of tire pyrolysis as well as the simultaneous pyrolysis (copyrolysis) process of tire and mazut. Here, the effect of different operating conditions such as temperature, volumetric nitrogen gas, heating rate and size of tire parts on the physical quantities and physical properties of the products manufactured by these processes have been investigated.
Main results: The optimal operating conditions for these experiments are 420 °C, the volumetric gas flow rate is 100 ml / min and the heating rate is 3 °C / min. The volume of the reactor is 500 ml and the amount of mazut in the copyrolysis process is 30 wt %. The highest amount of liquid produced in the process of pyrolysis was achieved using tire parts with the particle size of 0.5×2×4 cm3, which is %43.3 by weight. In contrast, the largest liquid product produced in the simultaneous pyrolysis process of the tire and mazut was obtained using tire parts with a size of 0.5×4×4 cm3, which is %52.3 by weight. In this study, the physical properties of liquid products produced by two processes of pyrolysis of tire and copyrolysis of tire and mazut, such as kinematic viscosity, density and refractive index, have been investigated.

key words

Pyrolysis of Tire

Pyrolysis of Mazut

Copyrolysis

Size of Tire Parts

Properties of Pyrolysis Products

*To whom correspondence should be addressed:
ramin@modares.ac.ir

[Downloaded from arcpe.modares.ac.ir on 2024-12-30]

پژوهش های کاربردی
مهندسی شیمی- پلیمر

فصلنامه علمی - پژوهشی بین رشته ای
سال سوم، شماره ۴، نسخه ۱
زمستان ۱۳۹۸ ، صفحه ۲۴-۱۳

اثر اندازه قطعات تایر و اضافه نمودن مازوت در پیرولیز همزمان تایر مستعمل و مازوت

سامان علی محمدی[۱]، رامین کریم زاده[۲]*

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده مهندسی شیمی، تهران، ایران، صندوق پستی ۱۱۴-۱۴۱۱۵
۲- هیئت علمی دانشکده مهندسی شیمی دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران، صندوق پستی ۱۱۴-۱۴۱۱۵

چکیـــده

استفاده از تایرهای فرسوده برای بازیافت انرژی و ترکیبات آنها یک راه حل کاربردی برای حفاظت از محیط زیست و بازیافت مواد و انرژی است. در این تحقیق، هدف بررسی فرایند پیرولیز تایر و همچنین فرایند پیرولیز همزمان تایر و مازوت است. در اینجا، تاثیر شرایط عملیاتی مختلف مانند دما، دبی حجمی گاز نیتروژن، نرخ حرارت دهی و اندازه قطعات تایر بر میزان و خواص فیزیکی محصولات تولیدی این فرایندها مورد بررسی قرار گرفته است. شرایط عملیاتی بهینه برای انجام این آزمایش ها به ترتیب شامل دمای ۴۲۰ °C، دبی حجمی گاز نیتروژن برابر ۱۰۰ ml/min و نرخ حرارت دهی ۳ °C/min بدست آمده است. بیشترین میزان محصول مایع تولیدی در فرایند پیرولیز تایر مستعمل با استفاده از خوراک با اندازه قطعات ۴×۲×۰/۵ cm^3 حاصل شد که برابر ۴۳/۳ درصد وزنی است. در مقابل، بیشترین محصول مایع تولیدی در فرایند پیرولیز همزمان تایر و مازوت نیز با استفاده از قطعات تایر با اندازه قطعات ۴×۴×۰/۵ cm^3 بدست-آمده که برابر ۵۲/۳ درصد وزنی است. در این پژوهش خواص فیزیکی محصولات مایع تولیدی دو فرایند پیرولیز تایر و کوپیرولیز تایر و مازوت نظیر گرانروی حرکتی، چگالی و ضریب شکست و جرم مولکولی مورد بررسی قرار گرفته است.

کلمـات کلیـدی

پیرولیز تایر
پیرولیز مازوت
پیرولیز همزمان
اندازه قطعات تایر
خواص محصولات پیرولیز

*عهده دار مکاتبات:

ramin@modares.ac.ir

[Downloaded from arcpe.modares.ac.ir on 2024-12-30]

مقدمه:

تایرهای فرسوده به عنوان یک مشکل جدی در آلودگی محیط زیست مطرح هستند؛ به عبارت دیگر افزایش قابل توجه تعداد وسایل نقلیه و همچنین نبود سازوکار اقتصادی و تکنیکی مناسب، باعث شده است که تایرهای فرسوده به عنوان مشکل جدی آلودگی محیط زیست به شمار آیند. در سطح جهان، تخمین زده می شود که سالانه ۱/۵ میلیارد حلقه لاستیک تولید می شود و از این تعداد، حدود ۰/۴ میلیارد حلقه لاستیک به جریان زباله‌های جامد ختم می شود که این یک خطر جدی برای محیط زیست است [۱]. بیش از ۹۰ درصد تایرهای فروشی از نوع (PCT) یا تایر ماشین‌های سواری است و ۱۰ درصد باقی مانده نیز از نوع (TT) یا تایرهای تریلرها و غیره است. در سال ۲۰۱۰ شرکت EU27 چهار نیم میلیون تن تایر تولید نمود که بیست و شش و نیم درصد از تولید کل تاریخ جهان را شامل می‌شود. ارزیابی می‌شود که از این مقدار بیش از سه و نیم میلیون تن به صورت سالیانه دور ریخته می‌شود [۲]. به طور میانگین وزن هر تایر به ۱۱ کیلوگرم می‌رسد که درهنگام فرسودگی و پایان عمر لاستیک این وزن به ۹ کیلوگرم کاهش می‌یابد [۳]. تایر شامل ۶۰ تا ۶۵ درصد پلاستیک، ۲۵ تا ۳۵ درصد وزنی کربن سیاه (CB) و مابقی نیز مواد استحکام دهنده است [۴]. مواد لاستیکی موجود به فرم C_xH_y همراه با الیاف است که در دسته پلاستیک‌های سختی ناپذیر قرار دارند [۵]. تایرها معمولاً مخلوطی از لاستیک‌های طبیعی (NR) و مصنوعی (SR) مانند لاستیک بوتیل (BR) پلیمر استاین بوتادین (SBR) هستند. با توجه به گزارش های محققان، میزان خاکستر موجود در تایر در محدوده ۲/۴ تا ۲۰/۱۲ درصد وزنی متغیر است، مواد فرار بین ۵۷/۵ تا ۷۳/۷۴ درصد وزنی متغیر هستند و محدوده کربن ثابت نیز بین ۱۹/۴۵ تا ۳۲/۲۸ درصد وزنی است [۶]. لاستیک تایر ماشین دارای مقادیر قابل توجهی انرژی گرمایی است. یکی از مناسب‌ترین روش‌ها برای بازیافت و استفاده از این مزیت تایرهای فرسوده استفاده از فرایند پیرولیز تایر است. فرایند پیرولیز که تقطیر گرمایی یا گرماکافت نیز نامیده می‌شود در واقع یک رفتار گرماشیمیایی است که در آن پیوندهای شیمیایی ماده شکسته می‌شود. این فرایند به وسیله تجزیه گرمایی مواد در غیاب اکسیژن صورت می‌گیرد که می‌تواند در حضور گازهای بی‌اثر یا در خلأ انجام شود [۷]. بر اساس گزارش محققان، فرایند پیرولیز تایر فرسوده به دلیل اثرات زیست محیطی کمتر و همچنین بازیافت مواد جامد و مایع، نسبت به سایر فرایندهای گرماشیمیایی دارای جذابیت بیشتری است. در برخی مطالعات مشاهده شده است که در فرایند پیرولیز تایر تا حدود ۶۰ درصد وزنی محصول مایع تولید می‌شود [۸]. استفاده از این محصول مایع در صنعت باعث شده که محققان به دنبال فرایندی برای افزایش میزان تولید و یا بهبود خواص محصول نفتی حاصل از فرایند پیرولیز تایر باشند. یکی از این روش ها برای بهبود کیفیت و خواص و افزایش میزان محصولات فرایند پیرولیز تایر، اضافه نمودن باقیمانده‌های نفتی به تایر در فرایند پیرولیز تایر است [۹]. طبق گزارش مالکو [۱۰] فرایند پیرولیز باعث کاهش انتشار مواد مضر همچین دی‌اکسیدها و دی بنزوفوران و همچنین کاهش تشکیل حرارتی NOX به دلیل دمای پایین‌تر واکنش می شود. شرایط عملیاتی مانند دما، اندازه ذرات، نرخ حرارت، نرخ جریان گاز حمل‌کننده، زمان واکنش پیرولیز، بازده و میزان تولید گاز و جامد و مایع و همچنین خواص فیزیکی و شیمیایی محولات تولیدی فرایند پیرولیز و کوپیرولیز تایر را تحت تاثیر قرار می دهد. از نظر درصد تبدیل، طبق گزارش ها دمای حدود ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد و فشار اتمسفری شرایط مطلوب برای فرایند پیرولیز است.

کونیسا و همکارانش [۱۱] افزایش محصول جامد را با استفاده از راکتور BFBR از ۲۰/۴ درصد وزنی در دمای ۶۰۰ درجه سانتی‌گراد به ۳۲/۵ درصد وزنی در دمای ۹۰۰ درجه سانتی‌گراد، گزارش نمودند. لوپز و همکارانش با انجام آزمایش در راکتورهای تانکی مخروطی (CSBR) گزارش نمودند که با افزایش دما، میزان رسوب هیدروکربن‌های سنگین بر روی سطح جامد و به تبع آن جرم ماده بدست آمده، افزایش می‌یابد. در این آزمایش میزان کسر جامد از ۳۳/۹ در دمای ۴۲۵ درجه سانتی‌گراد به ۳۵/۸ درصد وزنی در دمای ۶۰۰ درجه سانتی‌گراد رسید [۱۲]. کامینسکی و همکارانش [۱۳] گزارش دادند که محصول مایع به دست آمده در ۶۰۰ درجه سانتی‌گراد در راکتورهایBFBR عمدتاً شامل گونه‌های آلیفاتیک است در حالی که در دمای ۷۰۰ درجه سانتی‌گراد بیشتر شامل ترکیبات آروماتیک می‌باشد. دای و همکارانش [۱۴] با استفاده از راکتور CFBR در دمای ۵۰۰ سانتی‌گراد گزارش دادند که زمانی که اندازه ذرات تایر از ۰/۸ به ۰/۳۲ میلی متر کاهش یابد میزان درصد تبدیل افزایش می‌یابد و همچنین میزان تولید کربن سیاه از ۴۵ به ۳۰ درصد وزنی کاهش می‌یابد.

چونگ و همکارانش [۱۵] گزارش دادند که در نرخ‌های حرارتی پایین‌تر به میزان انرژی کمتری برای اتمام و تکمیل فرایند پیرولیز نیاز داریم در حالیکه زمان انجام فرایند پیرولیز افزایش می‌یابد. مایع پیرولیز با توجه به ترکیبات تایر و شرایط فرایند می‌تواند به محتوای انرژی ۴۴ مگاژول بر کیلوگرم نیز برسد. در آزمایشی دیگر برای فرایند کوپیرولیز، واکنش مخلوط تایر (مواد پلیمری) و پلاستیک‌های ضایعاتی (پلی-

[Downloaded from arcpe.modares.ac.ir on 2024-12-30]

اتیلن، پلی پروپیلن و پلی استایرن) مورد بررسی قرار گرفته است. مخلوط شامل ۳۰ درصد تایر، ۲۰ درصد پلی اتیلن، ۳۰ درصد پلی پروپیلن و ۲۰ درصد پلی استایرن است. بیش از ۷۰ درصد حجمی از مایع تولیدی پیرولیز مخلوط تایر و پلاستیک، در تقطیر پایین‌تر از ۲۷۰ درجه سانتی‌گراد بدست می‌آید. در این آزمایش ها غلظت مواد آروماتیک بین ۶۰ تا ۷۰ درصد حجمی، آلکان ها ۱۵ تا ۳۰ درصد و آلکن ها ۸ تا ۱۸ درصد حجمی گزارش شده‌است [۱۶].

در آزمایشی دیگر به بررسی پیرولیز تایر در دو مخلوط نفت ته‌نشین‌شده در کشتی (Bilge Water Oil) و نفت لجن آلود (Oil Sludge) باقیمانده درکشتی پرداخته شده است. پیرولیز در دمای ۴۰۰ تا ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد و در عدم حضور کاتالیست انجام شده است. میزان محصول مایع تولیدی در حدود ۵۱ درصد وزنی گزارش شده است [۱۷]. در آزمایشی دیگر برای کوپیرولیز، از نسبت‌های مختلف تایر با دانه درخت کاج در دمای ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد استفاده شده است. میزان مایع به دست آمده ۴۵/۳ درصد وزنی است [۱۸].

۲ مواد و روش آزمایشگاهی

برای انجام این آزمایش ها از تایرهای سواری نمانام بارز استفاده شده است. درصد وزنی ترکیبات تشکیل-دهنده تایر سواری در جدول ۱ نشان داده شده است.

برای این آزمایش ها از قطعات تایر با اندازه های مختلف استفاده شده که مشخصات آنها در جدول ۲ آورده-شده است.

مازوت مورد استفاده نیز از نوع مازوت M۱۰۰ بوده و

جدول ۱. درصد وزنی ترکیبات تشکیل‌دهنده تایر [۱۹]
Table 1. Weight percentages of tire constituents [19]

COMPOUND	PASSENGER CAR TIRE (wt. %)
Natural rubber	14
Synthetic rubber	27
Carbon black	28
Steel	14-15
Fabric, fillers, accelerators, antiozonants, etc.	16-17

جدول ۲. مشخصات قطعات تایر با اندازه‌های مختلف
Table 2. Tire components specifications of different sizes

Size of parts (cm^3)	Side area of each tire (cm^2)	Weight of each piece of tire (g)
4×4×0.5	40	10.3
4×2×0.5	22	5.8
2×2×0.5	12	3.5
4×2×1	28	8.7
Tire powder	-	-

جدول ۲. مشخصات قطعات تایر با اندازه‌های مختلف
Table 2. Tire components specifications of different sizes

Specifications	Results	Method
Relative viscosity at 80 °C (cSt)	13.5	ASTM D45
Kinematic viscosity at 80 °C (cSt)	101	ASTM D445
Relative viscosity at 100 °C (cSt)	6.2	ASTM D445
Ash content (wt. %)	0.06	ASTM D482
Density at °20C (kg/m^3)	939.1	GOST 3900

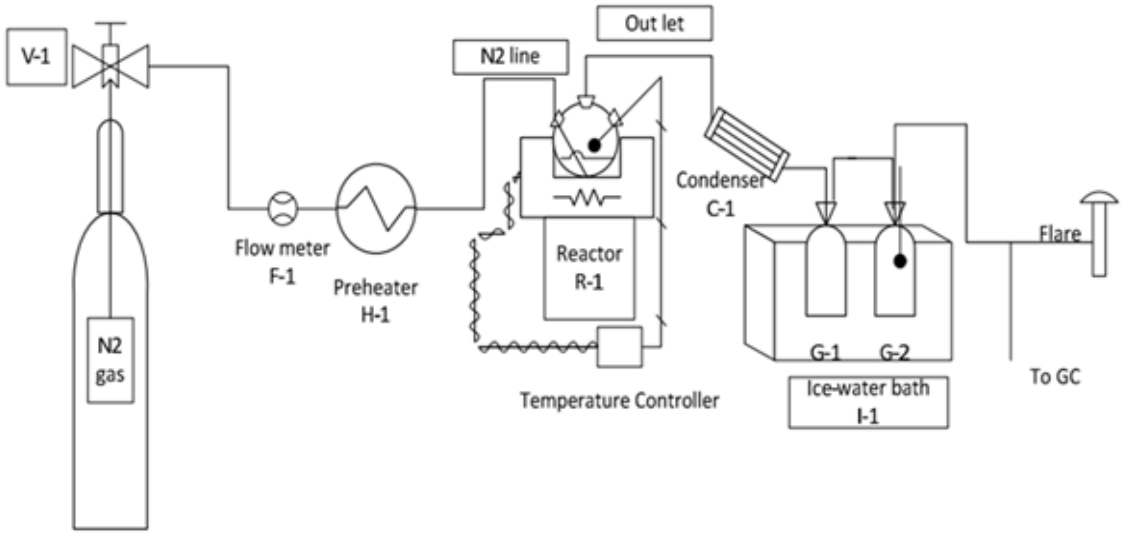
[Downloaded from arcpe.modares.ac.ir on 2024-12-30]

خواص و ویژگی های آن در جدول ۳ نشان داده شده- است.

برای انجام آزمایش های پیرولیز از ۱۰۰ گرم تایر و برای انجام آزمایش‌های کوپیرولیز از ۷۰ گرم تایر و ۳۰ گرم مازوت استفاده شده است. برای انجام این آزمایش ها از یک بالن سه شاخه پیرکس با حجم ۵۰۰ ml به عنوان راکتور R-1 استفاده شده و برای افزایش دما در بازه ی ۳۶۰-۴۵۰°C از منتل استفاده شده است. گاز نیتروژن نیز به عنوان گاز حامل و خنثی مورد استفاده قرار گرفته است. مایعات پس از چگالش در چگالنده ANALIS با اندازه ۷۵ محصول کشور فرانسه استفاده شده است.

۳ نتایج و بحث ها

برای این آزمایش ها در ابتدا به منظور بهینه سازی پارامترهای دما، دبی حجمی گاز نیتروژن و نرخ حرارت- دهی و همچنین بررسی تاثیر این پارامترها بر میزان و خواص فیزیکی محصولات تولیدی فرایند پیرولیز، آزمایش‌هایی در محدوده دمایی ۳۶۰-C۴۵۰° برای بررسی اثر درجه حرارت، آزمایش‌هایی در محدوده



شکل ۱. طرح نمادین سامانه پیرولیز و کوپیرولیز
Figure 1. Scheme of the pyrolysis and copyrolysis systems

C-1 و حمام آب یخ G-1 در ظرف جمع آوری شده و گازها نیز در سوزانه سوزانده می شوند. طرح نمادین کلی فرایند پیرولیز در شکل ۱ نشان داده شده است. برای انجام این آزمایش ها و بهینه سازی پارامترهای عملیاتی، دما را در بازه ۳۶۰ تا ۴۵۰ درجه سانتی‌گراد، دبی حجمی گاز نیتروژن را در بازه ۵۰ تا ۱۰۰ میلی لیتر بر دقیقه، دمای پیش‌گرم گاز نیتروژن را ۱۵۰ درجه سانتی‌گراد، نرخ حرارت دهی ۳ و ۵ درجه بر دقیقه و اندازه قطعات تایر مطابق جدول ۲ در نظر گرفته شده است.

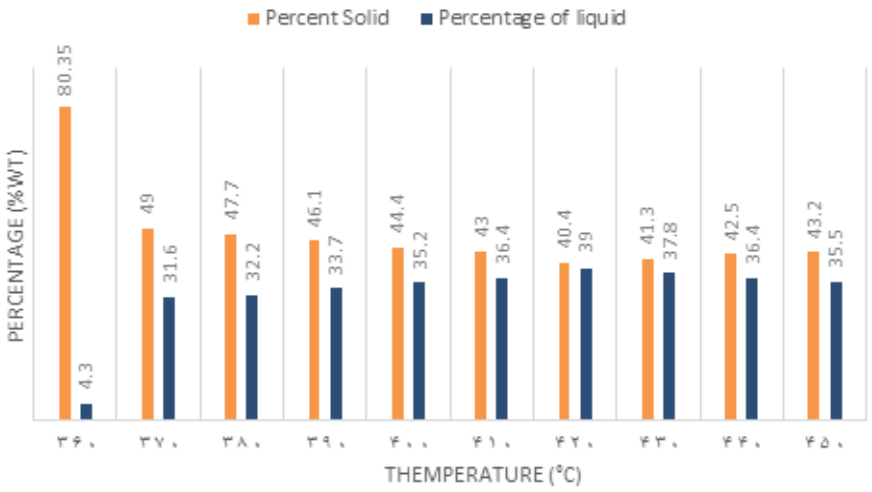
برای اندازه گیری چگالی محصولات مایع از یک چگالی‌سنج ۱۰ میلی لیتری Glassco ساخت کشور انگلیس استفاده شده است. ضریب شکست نیز با استفاده از دستگاه شکست‌سنج ATAGO مدل NAR1 T LIQUID بدست آمده است. برای تنظیم دمای نمونه محصول مایع نیز از دستگاه گرم‌کن چرخشی LAUDA مدل RE-104 استفاده شده است. برای بدست آوردن گرانروی حرکتی محصولات مایع نیز از گرانروی‌سنج شیشه‌ای کانون- فنسکی ساخت شرکت NORMALAB

۵۰-۱۰۰ ml/min برای اثر دبی حجمی گاز نیتروژن و همچنین نرخ های حرارت دهی ۳ و ۵ °C/min انجام شده است. در ابتدا در این پژوهش دمای فرایند پیرولیز تایر در بازه ی ۴۵۰-۳۶۰ درجه سانتی‌گراد و دبی گاز نیتروژن برابر ۱۰۰ میلی لیتر بر دقیقه انتخاب شده است و قطعات تایر با اندازه $4\times4\times0/5\ cm^3$ مورد استفاده قرار گرفته است. همانطور که در نمودار ۲ مشاهده می‌شود با افزایش دما تا ۴۲۰ درجه سانتی‌گراد میزان محصول مایع افزایش و میزان محصول جامد کاهش می‌یابد. با افزایش دما تا ۴۲۰°C، ترکیبات سنگین موجود در تایر که در دماهای پایین تر واکنش نداده و دست نخورده باقی مانده اند، وارد واکنش شده و از میزان جامد کاسته می شود. با افزایش بیشتر دما از ۴۲۰ تا ۴۵۰ درجه سانتی‌گراد از میزان محصول مایع کاسته و بر میزان محصول جامد افزوده می‌شود، دلیل این موضوع می‌تواند مربوط به انجام و افزایش فرایند ککینگ باشد که در آن ترکیبات سنگین به دلیل دمای بالا به کک تبدیل شده و بر میزان محصول جامد افزوده می شود. در سازوکار کراکینگ در دمای زیر

[Downloaded from arcpe.modares.ac.ir on 2024-12-30]

۴۲۰ °C سهم واکنش ثانویه ککینگ کم است ولی در دماهای بالاتر سهم این واکنش افزایش می یابد. رامیرز و همکارانش [۲۱] نیز با انجام فرایند پیرولیز بر روی

بر دقیقه برای بررسی تأثیر دبی حجمی گاز نیتروژن و تعیین مقدار مناسب آن انتخاب شده‌اند. بیشترین میزان محصول مایع تولیدی در دبی حجمی ۱۰۰ میلی



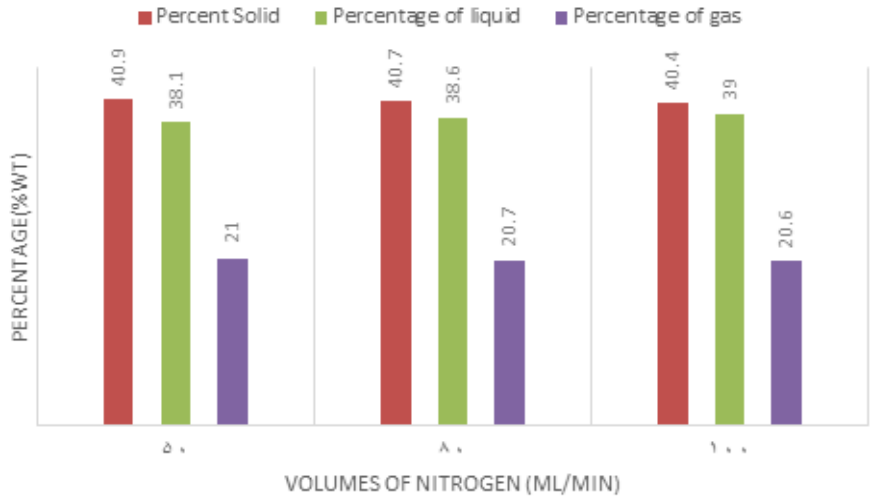
شکل ۲. درصد وزنی محصولات جامد و مایع پیرولیز تایر در دماهای مختلف

Figure 2. Weight percentage of solid and liquid tire pyrolysis products at different temperatures

تایرهای فرسوده، نتایج مشابهی را گزارش نمودند. بیشترین میزان محصول مایع و کمترین میزان محصول جامد مربوط به دمای ۴۲۰°C و به ترتیب برابر با ۳۹ و ۴۰/۴ درصد وزنی است. پس در این مرحله دمای ۴۲۰ °C به عنوان دمای بهینه برای تولید محصول مایع و ادامه آزمایش ها انتخاب شده است. در مرحله بعد به بررسی اثر دبی حجمی گاز نیتروژن در دمای ۴۲۰°C بر میزان محصولات حاصل از فرایند پیرولیز تایر پرداخته شده است. در اینجا دبی‌های ۵۰، ۸۰ و ۱۰۰ میلی لیتر

لیتر بر دقیقه حاصل شده که مقدار آن برابر با ۳۹ درصد وزنی است. در طرف مقابل، کمترین میزان تولید محصول مایع نیز به مقدار ۳۸/۱ درصد وزنی مربوط به دبی حجمی ۵۰ میلی لیتر بر دقیقه است. در شکل ۳ میزان محصولات پیرولیز تایر در دبی های حجمی مختلف گاز نیتروژن را در دمای ۴۲۰°C نشان داده شده است.

در واقع با کاهش دبی گاز نیتروژن و به تبع آن افزایش زمان اقامت مواد فرار داخل راکتور، گازهای تولیدی

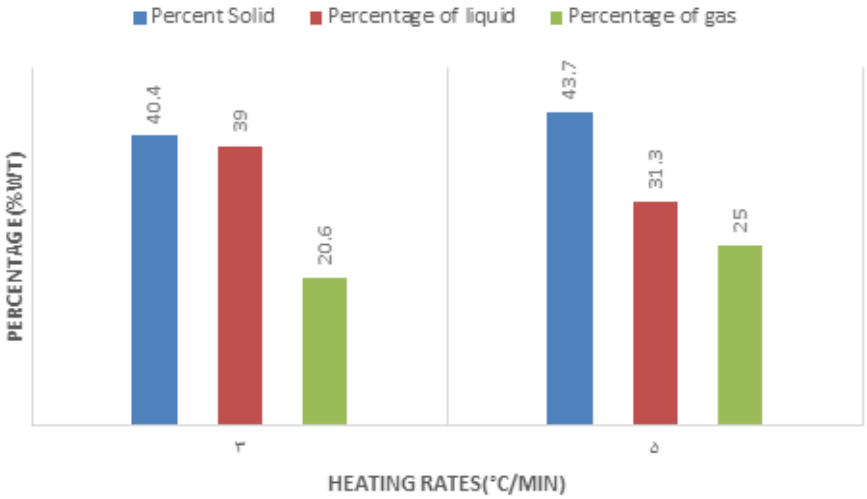


شکل ۳. درصد وزنی محصولات پیرولیز تایر در دبی‌های حجمی مختلف گاز نیتروژن

Figure 3. Weight percentage of tire pyrolysis products in different volumes of nitrogen gas

[Downloaded from arcpe.modares.ac.ir on 2024-12-30]

فرایند پیرولیز (تراکم پذیر و غیرقابل‌تراکم) فرصت تبادل حرارت بیشتری با محیط داخل راکتور خواهند داشت و در نتیجه میزان حرارت دریافتی آنها افزایش می‌یابد که باعث افزایش واکنش های کراکینگ حرارتی و ککینگ می‌شود که به ترتیب هرکدام از این فرایندها سبب افزایش میزان محصولات گازی (غیرقابل‌تراکم) و محصولات جامد تولیدی فرایند پیرولیز تایر فرسوده می‌شوند. در این مرحله دبی حجمی ml/min ۱۰۰ به عنوان دبی بهینه و مناسب برای گاز نیتروژن ورودی به راکتور در نظر گرفته می شود. در مرحله بعد به بررسی اثر نرخ های حرارتی مختلف در دمای ۴۲۰°C و دبی ml/min ۱۰۰ پرداخته شده است. همانطور که در نمودار ۴ مشاهده می‌شود میزان محصول مایع تولیدی با کاهش نرخ حرارت دهی افزایش می‌یابد ولی میزان کراکینگ گازهای سبک و ککینگ هستند باعث افزایش تولید محصولات گازی و جامد می‌شوند. همچنین، از آنجایی که ظرفیت دریافت حرارت توسط خوراک، محدود و ثابت است با افزایش نرخ حرارت دهی دما در سطح تماس راکتور و خوراک افزایش می-یابد و در نتیجه در این قسمت از خوراک واکنش ککینگ به شدت افزایش پیدا می کند و میزان تولید جامد افزایش می یابد. در نتیجه در این بخش از آزمایش ها مقدار مناسب نرخ حرارت دهی برای فرایند پیرولیز در این پژوهش برابر ۳ درجه سانتی‌گراد بر دقیقه انتخاب شده است. در مرحله پایانی و در شرایط عملیاتی بهینه که در مراحل قبل بدست آمد، آزمایش های پیرولیز و کوپیرولیز برای تایرها با اندازه‌های مختلف انجام شد و نتایج حاصل از این آزمایش ها و همچنین میزان



شکل ۴. درصد وزنی محصولات پیرولیز تایر در نرخ‌های حرارت‌دهی مختلف در دمای ۴۲۰ °C
Figure 4. Weight percentage of tire pyrolysis products at different heating rates at 420 °C

محصولات جامد و گاز دچار افت و کاهش می‌شود. در نرخ حرارت-دهی ۳ درجه سانتی‌گراد بر دقیقه میزان محصول مایع ۳۹ درصد وزنی است در حالی که این میزان برای نرخ حرارت دهی ۵ درجه سانتی‌گراد بر دقیقه، ۳۱/۳ درصد وزنی است که با کاهش شدیدی مواجه شده است. با کاهش نرخ حرارت دهی از آنجا که نرخ افزایش دما کاهش می‌یابد و دمای راکتور به آرامی بالا می‌رود فرصت تبادل حرارت با خوراک داخل راکتور در دماهای مختلف افزایش می‌یابد و در نتیجه حرارت فرصت کافی برای نفوذ به عمق خوراک داخل راکتور را دارا است و تعادل گرمایی فرایند افزایش می‌یابد. از این رو با کاهش نرخ حرارت دهی میزان تولید محصول مایع افزایش می‌یابد.
افزایش نرخ حرارت دهی می‌تواند باعث افزایش واکنش‌های ثانویه و همچنین افزایش کسر گاز تولیدی شود. واکنش‌های ثانویه که عمدتاً شامل واکنش های افزایش تولید محصول مایع بدون اثر مازوت در جدول ۴ نشان داده شده است.
همانطور که در جدول ۴ مشاهده می شود اضافه نمودن مازوت به قطعات تایر در فرایند کوپیرولیز باعث افزایش تولید محصول مایع فرایند می شود، که این موضوع می‌تواند به دلیل ایجاد یک محیط سیال داخل راکتور به دلیل اضافه نمودن مازوت و به تبع آن تغییر در شرایط انتقال حرارت و در نتیجه تغییر در مقدار حرارت دریافتی قطعات تایر باشد.

۳-۱ خواص فیزیکی محصولات مایع پیرولیز تایر

در این قسمت به ارائه خواص فیزیکی مایعات حاصل از فرایندهای پیرولیز تایر و کوپیرولیز تایر و مازوت پرداخته شده است. در شکل ۵ خواص فیزیکی مختلف (a گرانروی حرکتی، b چگالی و c جرم مولکولی) محصول مایع پیرولیز تایر در دماهای مختلف نشان داده شده است.

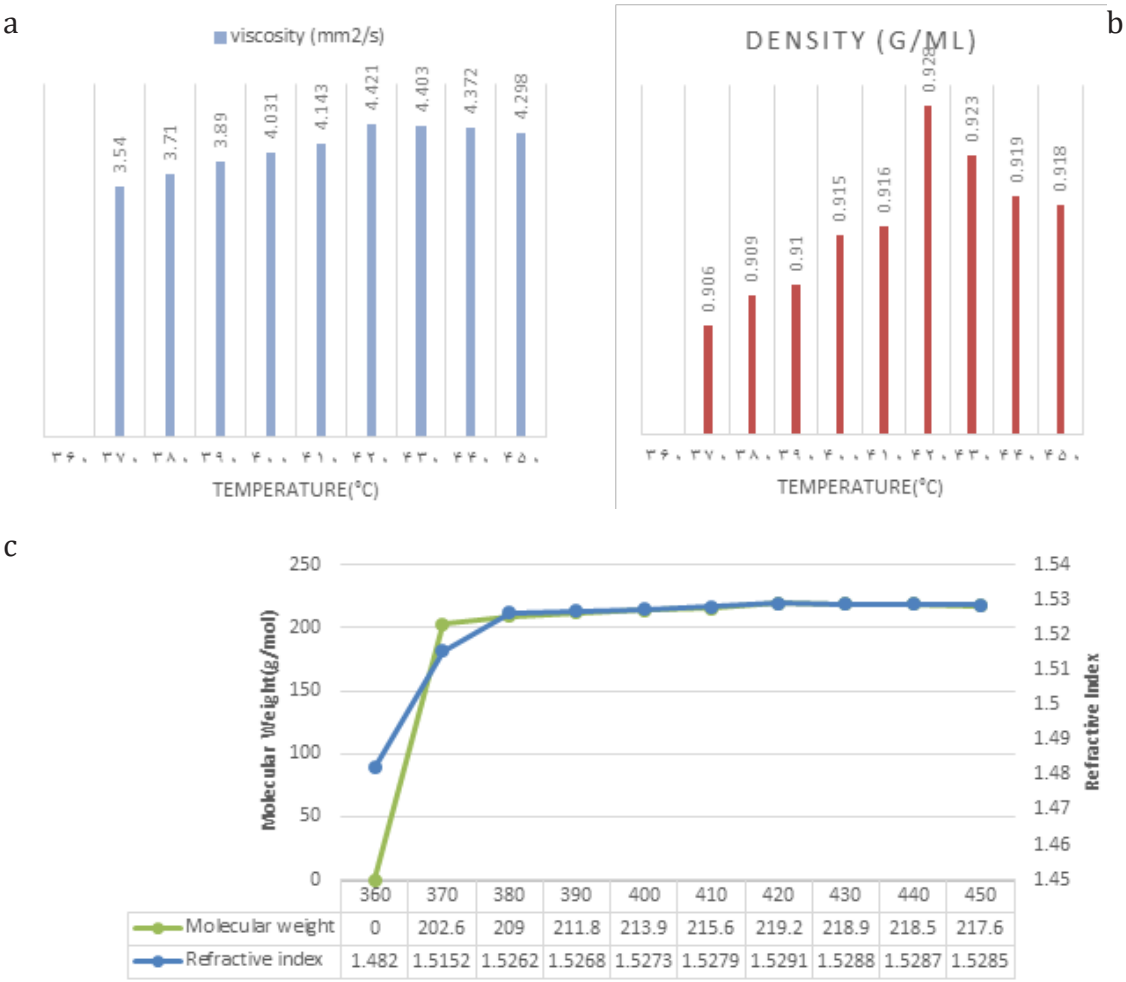
[Downloaded from arcpe.modares.ac.ir on 2024-12-30]

جدول ۴. افزایش تولید مایع فرایند کوپیرولیز بدون در نظر گرفتن اثر مازوت

Increase in the liquid production of the copyrolysis process regardless of the effect of the mazut .4 Table

Size of tire parts (cm^3)	Liquid weight percent in pyrolysis	Liquid percentage in copyrolysis	Percentage of liquid added without Mazut effect
4×4×0.5	39	52.3	5.4
4×2×0.5	43.3	50.6	0.7
2×2×0.5	35.1	50.2	6.1
4×2×1	30.2	48.9	8
Tire powder and mazut	30.3	42.8	2
Mazut	65.3	-	-

مطابق نمودارهای بالا با افزایش دما تا ۴۲۰ درجه سانتی‌گراد میزان گرانروی حرکتی محصولات مایع افزایش می‌یابد ولی با افزایش بیشتر دما تا ۴۵۰ درجه سانتی‌گراد گرانروی دچار کاهش نسبی می‌شود. این موضوع می‌تواند به این دلیل باشد که با افزایش دما در بازه ی ۳۶۰ تا ۴۲۰ میزان بیشتری از خوراک فرایند پیرولیز وارد واکنش شده و بر کسر مایع تولیدی افزوده می‌شود. با افزایش دما از ۴۲۰ تا ۴۵۰ درجه سانتی‌گراد، مقدار گرانروی محصولات مایع با کاهش نسبی روبرو می‌شود. این می‌تواند به دلیل افزایش واکنش ناخواسته ککینگ در فرایند به دلیل افزایش بیش از حد دما باشد که در نتیجه آن مقداری از ترکیبات سنگین موجود در خوراک به جای ورود به محصول مایع تبدیل به کک شده و باعث افزایش کسر جامد تولیدی می‌شوند که در نتیجه، این فرایندها باعث کاهش گرانروی محصول مایع در بازه دمایی

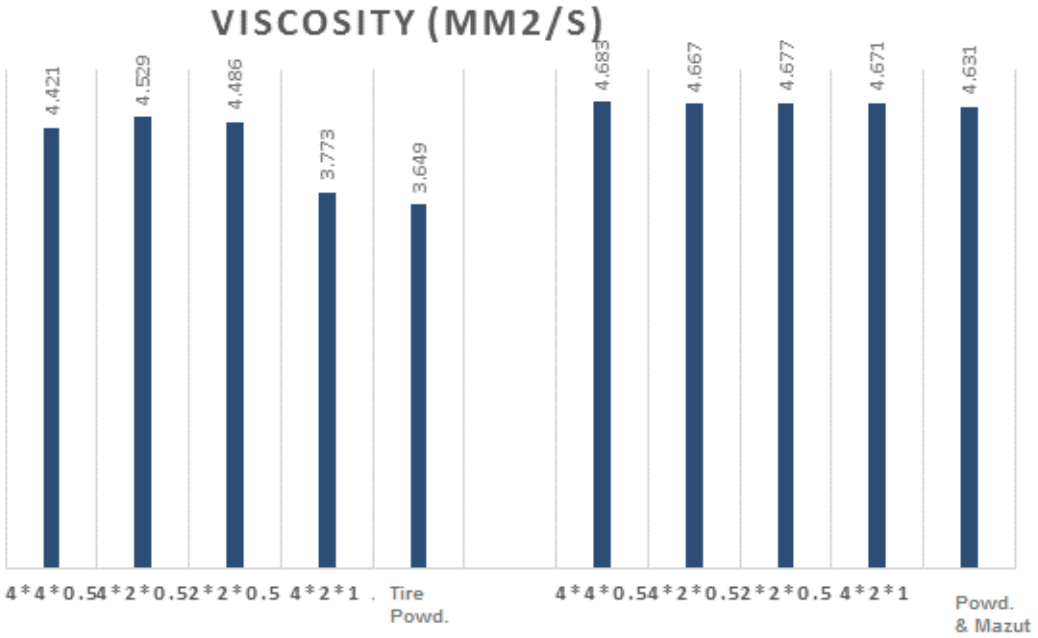


شکل ۵. خواص فیزیکی محصولات مایع پیرولیز تایر در دماهای مختلف

Figure 5. Physical properties of pyrolysis tire liquid products at different temperatures

[Downloaded from arcpe.modares.ac.ir on 2024-12-30]

ذکر شده می‌شوند. دلایل بالا برای تغییر در میزان گرانروی را می توان برای تغییرات در سایر خواص نیز بدون در نظر گرفتن اثر مایع حاصل از پیرولیز مازوت بوده است. در نمودار ۷ مقایسه بین چگالی محصولات



شکل ۶. مقایسه گرانروی محصولات مایع پیرولیز (سمت چپ) و کوپیرولیز تایر و مازوت (سمت راست) در اندازه‌های مختلف قطعات تایر در دمای ۴۲۰°C
Figure 6. Comparison of the viscosity of pyrolysis liquid products (left) and tire and mazut copyrolysis (right) at different tire size sizes at 420 °C

تعمیم داد.

در شکل ۶ میزان و تغییرات گرانروی، محصولات مایع فرایندهای پیرولیز تایر و کوپیرولیز تایر و مازوت ارائه شده و مورد مقایسه قرار گرفته است.

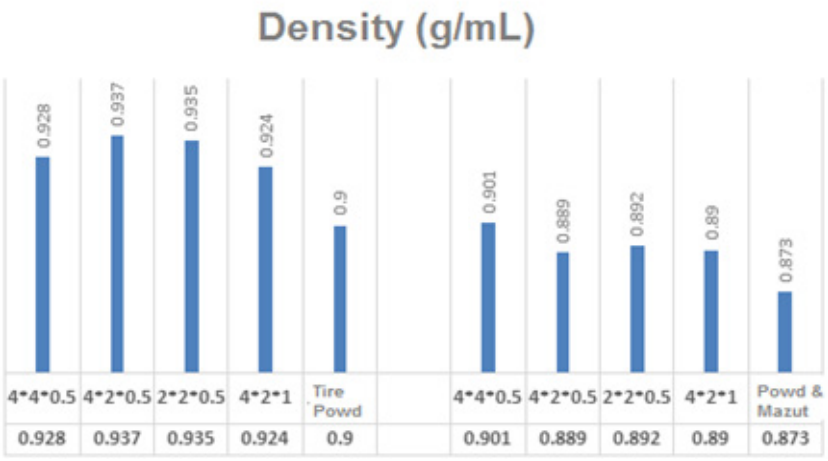
همانطور که مشاهده می‌شود با تغییر در اندازه‌های قطعات تایر بدون تغییر در ضخامت آنها ما شاهد تغییرات کمی در گرانروی محصول مایع تولیدی هستیم اما با افزایش ضخامت قطعات تایرها، گرانروی با کاهش زیادی روبرو می‌شود. این کاهش می‌تواند به این دلیل باشد که با افزایش ضخامت تایرها، مواد و ترکیبات دست‌نخورده در هسته قطعات باقی می‌ماند. زمانی که از مازوت در ترکیب با تایر به عنوان خوراک فرایند کوپیرولیز استفاده شود مطابق نمودار ۶ مقدار گرانروی در همه قطعات با افزایش نسبی نسبت به فرایند پیرولیز تایر روبرو می‌شود. این موضوع می‌تواند به دلیل اضافه شدن مایع حاصل از پیرولیز مازوت به محصول مایع و همچنین به دلیل افزایش گرمای دریافتی قطعات تایر باشد که در نتیجه آن و مطابق با جدول ۴، مقدار بیشتری از مواد و ترکیبات تایر (که در فرایند پیرولیز تایر در داخل خوراک باقی می‌ماندند) واکنش داده و وارد فاز مایع فرایند پیرولیز می‌شوند. مطابق با جدول ۴، افزودن مازوت به تایر در فرایند کوپیرولیز باعث افزایش میزان مایع تولیدی در تمامی ابعاد تایر های مورد استفاده، شده است. این افزایش مایع فرایندهای پیرولیز تایر و کوپیرولیز تایر و مازوت در اندازه قطعات مختلف نشان داده شده است.

نمودار ۷ به وضوح نشان می‌دهد که با استفاده از مازوت به عنوان پسماند نفتی استفاده شده در فرایند کوپیرولیز، مقادیر چگالی محصولات مایع کوپیرولیز با کاهش چشمگیری روبرو می‌شوند. این موضوع می‌تواند به دلیل ورود محصول مایع پیرولیزشده مازوت به داخل محصول پیرولیز تایر باشد. با افزودن مازوت به تایر و پیرولیز آن‌ها در دمای ۴۲۰ درجه سانتی‌گراد علاوه بر محصول مایع تولیدی توسط تایر، محصول مایع حاصل از پیرولیز گرمایی مازوت نیز به مایع تولیدی کوپیرولیز افزوده می‌شود که این محصول دارای چگالی پایینی است و در نتیجه مقادیر چگالی محصولات را کاهش می‌دهد. در نمودار ۸ نیز میزان جرم مولکولی برای محصولات مایع فرایندهای پیرولیز و کوپیرولیز نشان داده شده است. تغییرات در مقادیر جرم مولکولی مایعات حاصله را می‌توان با دلایل ذکر شده در قسمت قبل برای چگالی توجیه نمود.

۴ نتیجه گیری

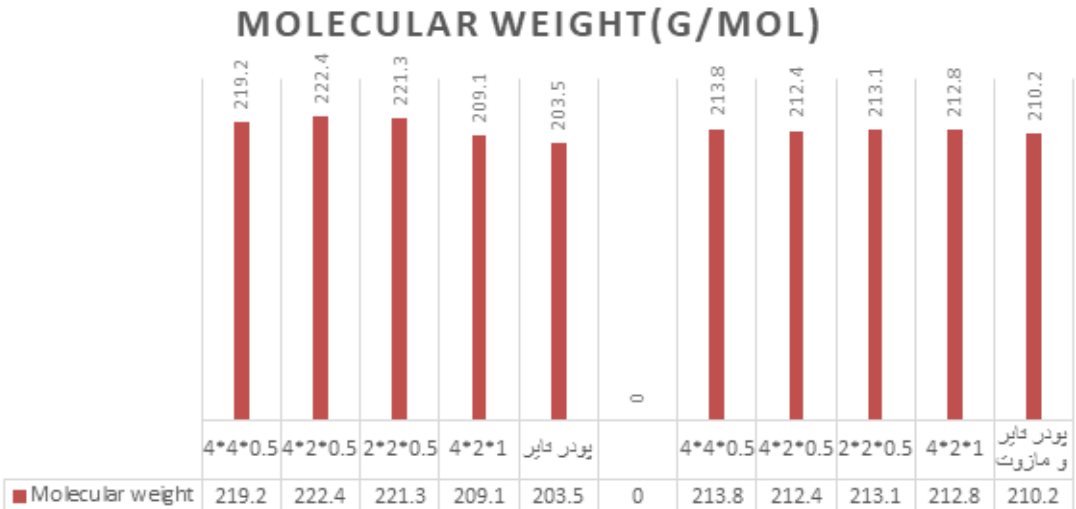
پیرولیز تایر یکی از بهترین روش ها برای بازیافت انرژی و مواد تایرهای فرسوده است. با اضافه نمودن مازوت به قطعات تایر می توان میزان تولید محصول مایع را افزایش داد. هدف از این پژوهش بررسی اثر

[Downloaded from arcpe.modares.ac.ir on 2024-12-30]



شکل ۷. مقایسه چگالی محصولات مایع پیرولیز (سمت چپ) و کوپیرولیز تایر و مازوت(سمت راست) در اندازه‌های مختلف قطعات تایر در دمای ۴۲۰ °C
Figure 7 Comparison of the density of pyrolysis liquid products (left) and copyrolysis of tire and fuel oil (right) at different tire size sizes at 420 °C

اضافه نمودن مازوت به تایر بر میزان تولید و همچنین خواص محصول مایع تولیدی با استفاده از تایر با ابعاد مختلف است. در این آزمایش ها دمای بهینه برای انجام فرایندهای پیرولیز و کوپیرولیز تایر فرسوده برابر با ۴۲۰ درجه سانتی‌گراد است. دبی حجمی بهینه گاز نیتروژن برابر با ۱۰۰ میلی لیتر بر دقیقه بدست آمده است. نرخ حرارت دهی مناسب نیز برابر ۳ درجه سانتی‌گراد بر دقیقه است. مطابق با نتایج بدست و همچنین افزایش کسر گاز تولیدی شود. برای رسیدن به درصد تبدیل بالاتر و به حداقل رساندن انرژی مورد نیاز و افزایش محصولات اصلی پیرولیز، خوراک با اندازه ذرات کوچکتر ترجیح داده می‌شود. با این حال، بسته به میزان حرارت و زمان اقامت مواد فرار، اندازه ذرات کوچک‌تر می‌تواند باعث افزایش سرعت انحلال و همچنین افزایش میزان حرارت جذب شده توسط خوراک و در نتیجه ایجاد واکنش‌های ثانویه شود. با



شکل ۸. مقایسه جرم مولکولی محصولات مایع پیرولیز (سمت چپ) و کوپیرولیز تایر و مازوت (سمت راست)، در اندازه‌های مختلف قطعات تایر در دمای۴۲۰ °C
Figure 8. Comparison of molecular masses of pyrolysis liquid products (left) and copyrolysis of tire and fuel oil (right) at different tire size sizes at 420 °C

آمده، با کاهش دبی حجمی گاز نیتروژن میزان تولید محصول مایع کاهش و میزان تولید محصولات جامد و گاز افزایش می‌یابد. با کاهش نرخ حرارت دهی میزان تولید محصول مایع افزایش می‌یابد. افزایش نرخ حرارت-دهی می‌تواند باعث افزایش واکنش‌های ثانویه تغییر اندازه قطعات تایر باعث تغییر در مقدار حرارت جذب شده توسط خوراک فرایند پیرولیز یا همان قطعات تایر مستعمل می‌شویم. کاهش اندازه قطعات تایر مصرفی و به تبع آن افزایش جذب و نفوذ گرما توسط قطعات تایر نیز دارای مقدار و حد بهینه‌ای است

[Downloaded from arcpe.modares.ac.ir on 2024-12-30]

و در صورتی که قطعات از آن مقدار کوچکتر شوند باعث افزایش واکنش های ثانویه و در نتیجه کاهش میزان مایع تولیدی فرایند پیرولیز تایر مستعمل می‌شود. با افزودن مازوت به تایرها به عنوان خوراک فرایند کوپیرولیز که منجر به ایجاد محیطی سیال داخل راکتور و ایجاد انتقال حرارت همرفتی در سامانه می‌شود، فرایند انتقال حرارت در سامانه بهبود می‌یابد. بیشترین میزان محصول مایع تولیدی در فرایند پیرولیز تایر مستعمل با استفاده از خوراک با اندازه قطعات ۴×۲×۰/۵ سانتیمتر مکعب حاصل شد که برابر ۴۳/۳ درصد وزنی است. بیشترین محصول مایع تولیدی در فرایند پیرولیز همزمان تایر و مازوت نیز با استفاده از قطعات تایر با اندازه قطعات ۴×۴×۰/۵ سانتیمتر مکعب بدست آمده که برابر ۵۲/۳ درصد وزنی است.

[Downloaded from arcpe.modares.ac.ir on 2024-12-30]

مراجع

[1] Zakaria Loloie ,Mehrdad MozaffariaN, Carbonization and CO_2 activation of scrap tires: Optimization of specific surface area by the Taguchi method, Korean Journal of Chemical Engineering ,February 2017, Volume 34, Issue 2, pp 375–366.
[2] European Tyre & Rubber Manufacturers' Association, End[of[life tyres management report 2011.
[3] V.L. Shulman, Tyre recycling, Rapra review reports, vol 15, number 7, UK;2004.
[4] Rubber Manufacturers Association, Scrap tire markets in the United States, 9th Biennial Report; 2009. Available at / https://www.rma.org/publica tions/scrap_tires/index. cfm?PublicationID=11502S [accessed: -10.10.2011.
[5] Mastral AM, Calle´n MS, Murillo R, Garcı´a T. Combustion of high calorific value waste material: organic atmospheric pollution. Environmental Science & Technlogy 8–33:4155;1999.
[6] Leung DYC, Wang CL. Kinetic study of scrap tyre pyrolysis and combustion. Journal of Analytical and Applied Pyrolysis –45:153;1998 69.
[7] Mastral AM, Murillo R, Calle´n MS, Garcia T, Snape CE. Influence of process variables on oils from tire pyrolysis and hydropyrolysis in a swept fixed bed reactor. Energy Fuel 44–14:739;2000.
[8] C. Clark, K. Meardon, D. Russell. Scrap tire technology and markets. US Environmental Protection Agency Pacific Environmental Services; 1993.
[9] Buekens AG. Some observations on the recycling of plastics and rubber, Conserv. Recycling 71–247:(4-3)1;1977.
[10] Malkow T. Novel and innovative pyrolysis and gasification technologies for energy efficient and environmentally sound MSW disposal. Waste Management 79–24:53;2004.
[11] Conesa JA, Font R, Marcilla A. Gas from the pyrolysis of scrap tires in a fluidized bed reactor. Energy Fuel 40–10:134;1996.
[12] Lo´ pez G, Olazar M, Aguado R, Bilbao J. Continuous pyrolysis of waste tyres in a conical spouted bed reactor. Fuel 52–89:1946;2010.
[13] Kaminsky W, Mennerich C, Zhang Z. Feedstock recycling of synthetic and natural rubber by pyrolysis in a fluidized bed. Journal of Analytical and Applied Pyrolysis 7–85:334;2009.
[14] Dai X, Yin X, Wu C, Zhang W, Chen Y. Pyrolysis of waste tires in a circulating fluidized[bed reactor. Energy 99–26:385;2001.
[15] Cheung KY, Lee KL, Lam KL, Chan TY, Lee CW, Hui CW. Operation strategy for multi-stage pyrolysis. Journal of Analytical and Applied Pyrolysis 82–91:165;2011.
[16] Miguel Miranda, I. Cabrita., Mixtures of rubber tyre and plastic wastes pyrolysis: A kinetic study., 038]1649 .2013 Lisboa, Portugal.
[17] Sermin Önenc¸ a, Mihai Brebu b., Copyrolysis of scrap tires with oily wastes. Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, 2012. p. 189-184.
[18 Suat Uçar, Selhan Karagöz., Co-pyrolysis of pine nut shells with scrap tires. Fuel,2014,p85.
[19] Rubber Manufactures Association, Scrap tire characteristics, Available at /http://www. rma.org/scrap_tires/scrap_tire_markets/ scrap_tire_characteris tics/#anchor530383S -accessed: 2010/11/15.
[20] Catrim company,2019,available from: http://www.catrim.com, - 14 May, 2019.
[12Anyela Ramirez-Canon, et al, Decomposition of Used Tyre Rubber by Pyrolysis: Enhancement of the Physical Properties of the Liquid Fraction Using a Hydrogen Stream, Environments, 72 ,5 ,2018; doi:10.3390/ environments5060072.

[Downloaded from arcpe.modares.ac.ir on 2024-12-30]