

مجموعه مقالات ششمین کنفرانس انرژی و محیط زیست
دوم دی ۱۳۹۵، تهران، مرکز همایش‌های صدا و سیما
۰۹۱۹۷۵۵۶۴۲۴ - (۰۲۱) ۸۸۶۷۱۶۷۶
مجریان: انجمن علمی مهندسی حرارتی و برودتی ایران
و هم‌اندیشان انرژی کیمیا
www.Energyconf.ir



بررسی تبدیل پسماندهای پلیمری به محصولات میان تقطیری

عارف شاهی مقنی*، بهروز روزبهانی، امین احمدپور
گروه مهندسی شیمی، دانشکده نفت آبادان، دانشگاه صنعت نفت، آبادان، ایران
* aref.che.eng@gmail.com

چکیده:

شکست کاتالیستی بعنوان بهترین جایگزین برای بازیافت ضایعات پلاستیکی محسوب می‌شود. بر همین اساس تبدیل مخلوط پلیمرها (پلی اتیلن سبک و سنگین، پلی پروپیلن، پلی استایرن، پلی اتیلن تری‌فتالات و پلی وینیل کلراید) در حضور کاتالیست AIT ۱۰۰ و تبدیل به محصولات هیدروکربوری سبک مورد بررسی قرار گرفت. در این کار مخلوط پلاستیک‌ها براساس ترکیب درصد سازمان بازیافت به منظور نزدیک بودن به واقعیت استفاده شده است. هم‌چنین برای تبدیل مخلوط پلیمرها به محصولات سبک از یک راکتور نیمه پیوسته در فشار اتمسفر بهره‌گرفتیم. در این تحقیق بیش از ۹۵ درصد وزنی مواد ما به محصولات سبک تبدیل شدند که شامل ۱۲ درصد گاز (C₁-C₄) و ۸۳ درصد مایع (C₅-C₁₁+) و کمتر از ۵ درصد باقیمانده می‌باشد. هم‌چنین شرایط بهینه برای این میزان بازده در دمای ۴۴۰ درجه سانتی‌گراد و ۱۰ درصد وزنی کاتالیست در فشار اتمسفر گزارش می‌شود.

واژگان کلیدی: کراکینگ کاتالیستی؛ مخلوط پلیمرها؛ محصولات سبک؛ کاتالیست؛ دما.

۱- مقدمه

رشد سریع تولید و مصرف پلاستیک‌ها موجب شده تا دفع ضایعات آن‌ها به یک چالش مهم برای جوامع تبدیل شده باشد. پلاستیک‌ها بیش از ۱۲ درصد ضایعات جامد شهری را تشکیل می‌دهند. این در حالی است که در سال ۱۹۶۰ میلادی تنها یک درصد از این ضایعات را شامل میشدند. در سال ۲۰۱۴ میلادی ۴۱ میلیون تن ضایعات پلاستیکی تولید شد که ۱۶/۴ درصد از ضایعات جامد شهری را تشکیل می‌دهد [۱]. از طرفی روشهای

مجموعه مقالات ششمین کنفرانس انرژی و محیط زیست

دوم دی ۱۳۹۵، تهران، مرکز همایش‌های صدا و سیما

۰۹۱۹۷۵۵۶۴۲۴ - (۰۲۱) ۸۸۶۷۱۶۷۶

مجریان: انجمن علمی مهندسی حرارتی و برودتی ایران

و هم‌اندیشان انرژی کیمیا

www.Energyconf.ir



بازیابی مجدد، سوزاندن و بازیابی شیمیایی برای استفاده و دفن این ضایعات می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. از بین روش‌های مختلف بازیابی پلاستیک‌ها، تجزیه و تبدیل به سوخت‌های مایع و گازی و مواد شیمیایی پرارزش یک روش مفید برای این پلیمرها و مصرف‌بهنه آنها می‌باشد [۲-۳]. پیرولیز و تبدیل کاتالیستی از جمله روش‌های شیمیایی بازیابی پلیمرها می‌باشند که از مزایای آنها می‌توان به تبدیل تمام مخلوط‌های بدون جداسازی و تصفیه و همچنین جلوگیری از آلودگی‌های زیست‌محیطی از جمله آلودگی هوا و آلودگی خاک ناشی از سوزاندن و دفن ضایعات پلاستیکی [۴-۵] اشاره کرد. تجزیه کاتالیستی مزایای زیادی نسبت به تجزیه گرمایی دارد که از جمله آنها می‌توان به دمای پایین واکنش برای رسیدن به محصول یکسان و همچنین تولید محصولات سبکتر و همچنین تولید محصولات با کیفیت موردنظر با انتخاب کاتالیست مناسب اشاره کرد [۲]. کاتالیست‌های مورد استفاده اساساً بر مبنای پایه‌ی زئولیت و آلومینا - سیلیکا می‌باشند که مطالعات گسترده‌ای بر روی انواع کاتالیست‌ها و خواص آن‌ها انجام شده است که می‌توان به کاتالیست‌هایی مانند: ZSM-5، HY, HNZ, SA, MCM-41 و سایر کاتالیست‌ها اشاره کرد که جنبه نوآوری این کاتالیست (AIT-100) میزان تولید کک و گاز کمتر در مقایسه با سایر کاتالیست‌هاست.

بررسی آزمایشگاهی سینتیک واکنش تجزیه کاتالیستی پلیمرها توسط برخی محققین صورت گرفته است [۶]. در بررسی‌های انجام گرفته درجه واکنش یک گزارش شده است هم‌چنین ثابت سرعت واکنش، انرژی اکتیواسیون و ثابت آرنیوس نیز محاسبه شده است [۷]. عمده پلاستیک‌های مصرفی در جهان عبارتند از: پلی‌اتیلن سبک و سنگین، پلی‌پروپیلن، پلی‌استایرن، پلی‌وینیل کلراید و پلی‌اتیلن ترفتالات می‌باشند که سهم پلی‌اتیلن و پلی‌پروپیلن از همه بیشتر است. براساس آمار منتشر شده در سال ۲۰۱۴ توسط برخی کشورهای صنعتی از جمله آمریکا و ژاپن، میزان تولید و مصرف مخلوط پلیمرها به صورت میانگین به ترتیب ۷۴۶۸۱ و ۳۲۵۴۸ میلیون پوند می‌باشد [۸-۹].

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- مواد

مجموعه مقالات ششمین کنفرانس انرژی و محیط زیست

دوم دی ۱۳۹۵، تهران، مرکز همایش‌های صدا و سیما

۰۹۱۹۷۵۵۶۴۲۴ - (۰۲۱) ۸۸۶۷۱۶۷۶

مجریان: انجمن علمی مهندسی حرارتی و برودتی ایران

و هم‌اندیشان انرژی کیمیا

www.Energyconf.ir



تجزیه کاتالیستی و همدما برای مخلوط پلیمرها (پلی اتیلن، پلی پروپیلن، پلی استایرن، پلی اتیلن ترفتالات و پلی وینیل کلراید) که در پتروشیمی مارون، بندر امام در ماهشهر و پتروشیمی تندگویان در آبادان تولید می‌شوند توسط کاتالیست ۱۰۰ AIT ثبت شده در مرکز تحقیقات دانشکده نفت آبادان انجام می‌گیرد که خواص این کاتالیست جدید و ترکیب درصد مخلوط مواد پلیمری برگرفته از سازمان بازیافت به ترتیب در جدول ۱ و ۲ ارائه شده است. کاتالیست به کار گرفته شده کاتالیستی اسیدی بر پایه ی زئولیت می باشد، این نوع کاتالیست مدل اصلاح شده ی کاتالیست های پایه زئولیتی است که اکتیویته و سلکتیویته ی آن با توجه به ساختار ترکیبات تشکیل دهنده ی کاتالیست نسبت به سایر موارد مشابه به مراتب بیشتر بوده و با توجه به تحقیقات صورت گرفته روی این کاتالیست، برای واکنش تجزیه کاتالیستی بستر ثابت برای ترکیبات سنگین هیدروکربوری و پلیمری عملکرد خوبی را از خود نشان داده است. در این مقاله بیشتر سعی شده است اثر دما بر روی واکنش تجزیه کاتالیستی بررسی شود و پارامترهای سینتیکی مرتبط با واکنش محاسبه گردد.

جدول شماره ۱: مشخصات فیزیکی کاتالیست ۱۰۰ AIT

Property	Unit	Typical	Min.	Max.
Al ₂ O ₃	Wt%	۴۳/۵	۳۸/۵	۴۸/۲
Cd	Wt%	۰/۰۰۱	-	-
Total SA	M ² /gr	۴۰	۳۸	۴۲
Attrition Index	Wt%	۱/۵	-	۵/۳
ABD ^۱	Gr/Ml	۰/۴	۰/۳۸	۰/۴۲

جدول شماره ۲: ترکیب درصد مخلوط مواد پلیمری

پلی وینیل کلراید	پلی استایرن	پلی پروپیلن	پلی اتیلن سبک	پلی اتیلن سنگین	پلیمرها
۳	۱۰	۱۵	۳۰	۴۰	درصد وزنی
پلی اتیلن ترفتالات					
۲					

^۱ Apparent Bulk Density

مجموعه مقالات ششمین کنفرانس انرژی و محیط زیست

دوم دی ۱۳۹۵، تهران، مرکز همایش‌های صدا و سیما

۰۹۱۹۷۵۵۶۴۲۴ - (۰۲۱) ۸۸۶۷۱۶۷۶

مجریان: انجمن علمی مهندسی حرارتی و برودتی ایران

و هم‌اندیشان انرژی کیمیا

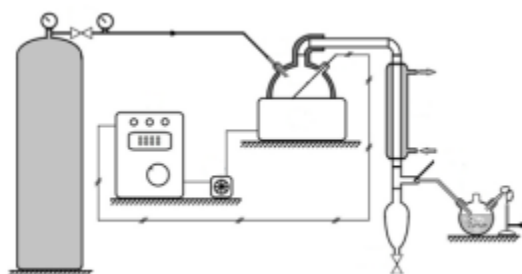
www.Energyconf.ir



۲-۲- مراحل انجام آزمایش

آزمایش کراکینک کاتالیستی در یک راکتور نیمه پیوسته (حجم ۱ لیتر) در یک دمای ثابت تحت فشار اتمسفریک خنثی انجام می‌شود. شرایط آزمایشگاهی به قرار زیر است:

در این آزمایش ابتدا راکتور موردنظر وزن شده و با ۱۰۰ گرم مخلوط پلیمری با نسبت داده در جدول ۲ طبق شکل ۱ بر روی یک هیتر ژاکتی قرار گرفت. یک جریان نیتروژن $25\text{cm}^3/\text{min}$ در ابتدای کار به مدت ۵ دقیقه برای خارج کردن هوا به منظور جلوگیری از احتراق استفاده شد سپس هیتر را به گونه‌ای تنظیم می‌کنیم که دمای راکتور با سرعت $20^\circ\text{C}/\text{min}$ افزایش پیدا کند و در هنگامیکه به دمای موردنظر رسیدیم با استفاده از یک دیمر (تنظیم کننده دما) دمای واکنش را ثابت نگه می‌داریم پس از گذشت زمان برای میعان سازی بخارات حاصل از واکنش از یک کندانسور که بوسیله آب 9°C خنک می‌شود عبور کرده و در نهایت مایعات بدست آمده بوسیله یک ترازوی دیجیتال به عنوان یک تابعی از زمان اندازه گرفته می‌شود.



شکل شماره ۱: شماتیک دستگاه مورد استفاده برای واکنش

۳- نتایج و بحث

پارامترهای مختلفی مانند دما و مقدار کاتالیست برای رسیدن به حداکثر تبدیل به محصولات میانی مدنظر هستند که ما پارامتر دما را در نسبت بهینه کاتالیست که از قبل بدست آمده بود مورد بررسی قرار دادیم که در ادامه به بحث و ارائه نتایج خواهیم پرداخت.

مجموعه مقالات ششمین کنفرانس انرژی و محیط زیست

دوم دی ۱۳۹۵، تهران، مرکز همایش‌های صدا و سیما

۰۹۱۹۷۵۵۶۴۲۴ - (۰۲۱) ۸۸۶۷۱۶۷۶

مجریان: انجمن علمی مهندسی حرارتی و برودتی ایران

و هم‌اندیشان انرژی کیمیا

www.Energyconf.ir

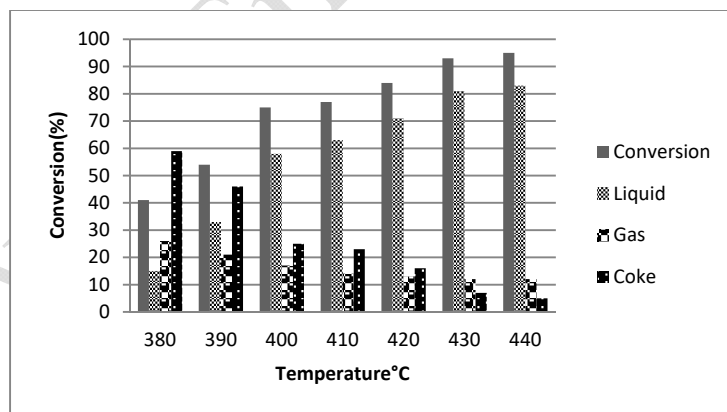


واکنش تجزیه حرارتی و کاتالیستی پلیمرها عموماً از طریق شکل‌گیری مکانیزم زنجیره‌های رادیکالی در دماهای بالا اتفاق می‌افتد [۱۰].

در این تحقیق از کاتالیست AIT ۱۰۰ ساخته شده در مرکز تحقیقات آبادان برای کراکینگ کاتالیستی مخلوط پلیمرها استفاده شده است. کاتالیست شرایط واکنش و هم‌چنین کیفیت محصولات را تحت تأثیر قرار می‌دهد با استفاده از کاتالیست دمای واکنش کاهش و محصولات C₆-C₁₀ افزایش می‌یابد. این نتیجه مبین اهمیت تبدیل کاتالیستی چه از لحاظ شرایط عملیاتی و چه از لحاظ کیفیت محصولات در مقایسه با کراکینگ حرارتی می‌باشد [۲].

محققان بسیاری در زمینه تجزیه پلیمرها در شرایط مختلف واکنش مانند فشار، دما، نسبت جرمی کاتالیست به پلیمر، نوع کاتالیست و زمان واکنش و بررسی این تغییرات روی بازدهی محصول کار کرده‌اند [۱۱-۱۳].

جنبه‌ی نوآوری این کار استفاده از کاتالیست جدید (AIT ۱۰۰) بود. تخریب کاتالیستی برای ۱۰۰ گرم مخلوط پلیمر مطابق ترکیب درصد گفته شده و ۱۰ گرم کاتالیست در دماهای مختلف بود که در شکل ۲ نشان داده شده است.



شکل شماره ۲: اثر دما روی تجزیه کاتالیستی مخلوط پلیمرها

مجموعه مقالات ششمین کنفرانس انرژی و محیط زیست

دوم دی ۱۳۹۵، تهران، مرکز همایش‌های صدا و سیما

۰۹۱۹۷۵۵۶۴۲۴ - (۰۲۱) ۸۸۶۷۱۶۷۶

مجریان: انجمن علمی مهندسی حرارتی و برودتی ایران

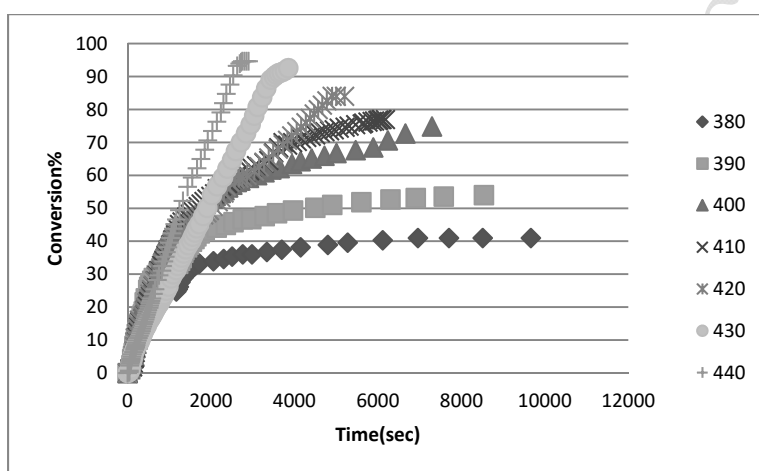
و هم‌اندیشان انرژی کیمیا

www.Energyconf.ir



با توجه به شکل ۲ می‌توان نتیجه گرفت که با افزایش دما درصد تبدیل پلیمرها افزایش پیدا می‌کند و هم‌چنین از طرف دیگر کک تولید شده نیز با افزایش دما کاهش می‌یابد. همانطور که از شکل مشخص است با افزایش دما از ۳۸۰ تا ۴۴۰ درجه سانتی‌گراد میزان تبدیل از ۴۱ به حدود ۹۵٪ افزایش یافت که حداکثر میزان تبدیل را در دمای ۴۴۰ درجه سانتی‌گراد شاهد بودیم.

شکل ۳ میزان تبدیل مواد پلیمری برحسب زمان طی شده از واکنش را در دمای مورد نظر به ما نشان می‌دهد.



شکل شماره ۳: میزان تبدیل بر حسب زمان

با توجه به شکل ۳ مشاهده می‌کنیم که افزایش دما منجر به افزایش بیشتر تبدیل می‌شود که هم‌زمان با افزایش دما علاوه بر افزایش محصول، زمان واکنش کاهش می‌یابد که خود زمان نیز به عنوان یکی از پارامترهای مهم عملیاتی در تبدیل کاتالیستی محسوب می‌شود، هم‌چنین با توجه به شکل در می‌یابیم در دمای زیر ۴۰۰ درجه سانتی‌گراد با توجه به افزایش باز هم از تولید کک کاسته نمی‌شود با این حال زمانیکه دما به ۴۱۰ درجه سانتی‌گراد و بالاتر می‌رسد زمان واکنش بسیار سریعتر است در نهایت حداکثر تبدیل در زمان ۲۹۰۰ ثانیه و در دمای ۴۴۰ درجه سانتی‌گراد به میزان ۹۵ درصد می‌رسد.

مجموعه مقالات ششمین کنفرانس انرژی و محیط زیست

دوم دی ۱۳۹۵، تهران، مرکز همایش‌های صدا و سیما

۰۹۱۹۷۵۵۶۴۲۴ - (۰۲۱) ۸۸۶۷۱۶۷۶

مجریان: انجمن علمی مهندسی حرارتی و برودتی ایران

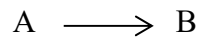
و هم‌اندیشان انرژی کیمیا

www.Energyconf.ir



میزان سرعت تبدیل مواد اولیه به محصولات را می‌توان بر اساس رابطه سرعت دیفرانسیلی بیان کرد. در این رابطه فرض شده است که ماده اولیه A به B تبدیل شده باشد که در این حالت درجه واکنش و ثابت سرعت آن مجهول باشد [۱۴].

بر اساس رابطه سرعت برای واکنش‌های درجه n ام [۱۴].



$$r_A = -\frac{dC_A}{dt} = kC_A^n \quad (1)$$

در صورتیکه از معادله (۱) لگاریتم گرفته شود به معادله خطی (۲) زیر خواهیم رسید

$$\ln\left(-\frac{dC_A}{dt}\right) = \ln(k) + n\ln(C_A) \quad (2)$$

از آنجایی که مشاهدات بر مبنای تغییرات جرمی انجام گرفته، از معادله جرمی برای محاسبات سینتیک واکنش به روش آرنیوس استفاده می‌شود. بنابراین می‌توان معادله خطی (۲) را به صورت جرمی و به صورت زیر نوشت.

$$\ln\left(-\frac{dM_A}{dt}\right) = \ln(k) + n\ln(M_A) \quad (3)$$

که در این رابطه n و k مجهولات مسئله می‌باشند. از آنجاییکه k تابعی از دما و انرژی فعال سازی می‌باشد. و از آنجاییکه که نقطه بهینه واکنش در دمای ثابت ۴۴۰ درجه سانتی‌گراد و با انرژی اکتیواسیون صورت گرفته است، می‌توان با استفاده از معادله خطی (۳) و با رسم نمودار $\ln\left(-\frac{dM_A}{dt}\right)$ بر حسب $\ln(M_A)$ به بررسی پارامترهای سینتیکی واکنش پرداخت. همچنین برای محاسبه انرژی فعالسازي واکنش و واکنش از رابطه سرعت دیفرانسیلی (۴) استفاده می‌شود. در این رابطه k ثابت سرعت واکنش، k_0 فاکتور فرکانس و E انرژی فعالسازي می‌باشد.

مجموعه مقالات ششمین کنفرانس انرژی و محیط زیست

دوم دی ۱۳۹۵، تهران، مرکز همایش‌های صدا و سیما

۰۹۱۹۷۵۵۶۴۲۴ - (۰۲۱) ۸۸۶۷۱۶۷۶

مجریان: انجمن علمی مهندسی حرارتی و برودتی ایران

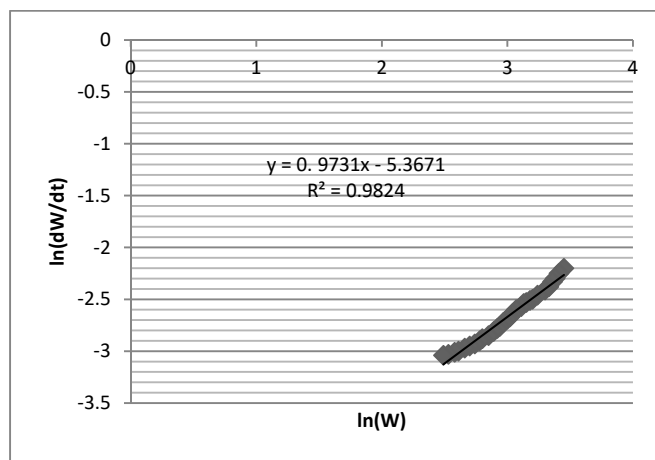
و هم‌اندیشان انرژی کیمیا

www.Energyconf.ir



$$k = k_0 e^{-\frac{E}{RT}} \quad (4)$$

همانگونه که در شکل ۴ مشخص است، یک نمودار خطی حاصل شده است که شیب آن بیانگر درجه واکنش و عرض از مبدا آن ثابت سرعت واکنش می باشد.



شکل شماره ۴: نمودار $\ln(dM_A/dt)$ بر حسب $\ln(M_A)$ در دمای ۴۴۰ درجه سانتی گراد

همانگونه که در مطالعات گذشته درجه واکنش کراکینگ پلیمرها در حدود یک گزارش شده بود. در این بررسی درجه واکنش برای تبدیل مخلوط مورد نظر همراه با کاتالیست ۱۰۰ AIT، ۰/۹۷۳۱، محاسبه شد. ثابت واکنش نیز برای واکنش مورد نظر به میزان $(\frac{1}{min}) \times 10^{-4} \times 4/66$ بدست آمد.

اما برای محاسبه انرژی فعالسازی و همچنین ثابت آرنیوس با استفاده از رابطه (۴) نیاز به آزمایش با شرایط یکسان و در دمای متفاوتی می باشد. بدین صورت میزان ۱۰۰ گرم از مخلوط پلیمر مورد نظر همراه با ۱۰ گرم کاتالیست در دماهای مختلف کراک شده و به گاز و مایعات هیدروکربوری تبدیل شدند. شکل ۵ نشان دهنده نمودار خطی $(\frac{1}{T})$ بر حسب $(\ln K)$ می باشد که شیب آن مقدار $(-\frac{E}{R})$ و عرض از مبدا آن بیان کننده ثابت آرنیوس K_0 می باشد.

مجموعه مقالات ششمین کنفرانس انرژی و محیط زیست

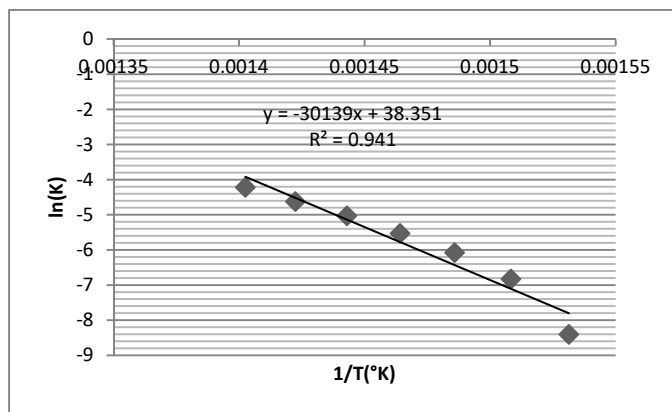
دوم دی ۱۳۹۵، تهران، مرکز همایش‌های صدا و سیما

۰۹۱۹۷۵۵۶۴۲۴ - (۰۲۱) ۸۸۶۷۱۶۷۶

مجریان: انجمن علمی مهندسی حرارتی و برودتی ایران

و هم‌اندیشان انرژی‌کیما

www.Energyconf.ir



شکل شماره ۵: نمودار $\ln(k)$ بر حسب $(1/T)$

بر اساس محاسبات انجام گرفته، انرژی اکتیواسیون برای این واکنش $۲۵۱/۳$ کیلوژول و همچنین ثابت آرنیوس $۴/۵۲ \times ۱۰^{۱۶}$ می‌باشند که از پارامترهای اساسی سینتیک واکنش می‌باشند.

۴- نتیجه گیری

در ابتدای واکنش به علت اینکه مولکول‌های سنگین‌تر در حال شکستن می‌باشد کاهش وزن کندتر صورت می‌پذیرد اما با گذشت زمان واکنش تولید محصولات مایع و گازی سریعتر می‌شود که این به علت شکستن مولکول‌های سنگین‌تر است. همچنین مشاهده شد که با افزایش دما سرعت انجام واکنش و تولید محصول بیشتر شده و در انتها پارامترهای سینتیکی همچون درجه واکنش، ثابت سرعت واکنش، انرژی اکتیواسیون و ثابت آرنیوس برای نقطه ی بهینه ی واکنش در دمای ۴۴۰ درجه سانتی‌گراد و در حضور ۱۰ درصد کاتالیست AIT-۱۰۰ با تبدیل بیش از ۹۵ درصد مواد اولیه محاسبه شد. محاسبات انجام شده در طراحی راکتور و شبیه‌سازی فرایند جزء عوامل اساسی و مورد نیاز می‌باشند.

مراجع

[1] [Online]. <http://www.epa.gov/wastes/conserva/materials/plastics.htm>

مجموعه مقالات ششمین کنفرانس انرژی و محیط زیست
دوم دی ۱۳۹۵، تهران، مرکز همایش‌های صدا و سیما
۰۹۱۹۷۵۵۶۴۲۴ - (۰۲۱) ۸۸۶۷۱۶۷۶
مجریان: انجمن علمی مهندسی حرارتی و برودتی ایران
و هم‌اندیشان انرژی کیمیا
www.Energyconf.ir



- [2] Lee, K.H., Shin, D.H.; Characteristics of liquid product from the pyrolysis of waste plastic mixture at low and high temperatures: Influence of lapse time of reaction, *J Waste Man*; 27, 168-176, 2007.
- [3] Akpanudoh, N.S., Gobin, K., Manos, G.; Catalytic degradation of plastic waste to liquid fuel over commercial cracking catalysts Effect of polymer to catalyst ratio/acidity content, *J Mol Catal A Chem*; 235, 67-73, 2005.
- [4] Vasile, C., Pakdel, H., Mihai, B., Onu, P., Darie, H., Ciocalteu, S.; Thermal and catalytic decomposition of mixed plastics. *J Anal Appl Pyrol*; 57, 287-303, 2001.
- [5] Buekens, A.G., Huang, H.; Catalytic plastics cracking for recovery of gasoline-range hydrocarbons from municipal plastic wastes, *J Con Recy*; 23, 163-181, 1998.
- [6] Encinara, J.M., Gonzálezb, J.F.; Pyrolysis Of Synthetic Polymers And Plastic Wastes: Kinetic study, *Fuel*; 89, 678-686, 2008.
- [7] Salvador, C., Cardona, A., Avelino, C.; Kinetic study of the catalytic cracking of polypropylene in a semi batch stirred reactor *Catalysis Today*; 75, 239-246, 2002.
- [8] American chemistry council, www.americanchemistry.com
- [9] www.jpif.gr.jp
- [10] Marcilla, A., Garcı' A-Quesada, J.C., Sa' Nchez, S., Ruiz., R.; Study of the catalytic pyrolysis behaviour of polymeric mixture materials, *J Anal Appl Pyrol*; 74, 387-392, 2005.
- [11] Akpanudoh, N.S., Gobin, K., Manos, G.; Catalytic degradation of plastic waste to liquid fuel over commercial cracking catalysts Effect of polymer to catalyst ratio/acidity content, *J Mol Catal A Chem*; 235, 67-73, 2005.
- [12] Luo, G., Suto, T., Yasu, S., Kato, K.; Catalytic degradation of high density polyethylene and polypropylene into liquid fuel in a powder-particle fluidised bed, *Polym Degrad Stabil*; 70, 97-102, 2000.
- [13] Encinara, J.M., González, J.F.; Pyrolysis of synthetic polymers and plastic wastes: Kinetic study, *Fuel* ; 89, 678-686, 2008.
- [14] Octave Levenspiel. An introduction to the design of chemical reactors.; Chemical reaction engineering (ISBN: 9780471530169).

مجموعه مقالات ششمین کنفرانس انرژی و محیط زیست
دوم دی ۱۳۹۵، تهران، مرکز همایش‌های صدا و سیما
۰۹۱۹۷۵۵۶۴۲۴ - (۰۲۱) ۸۸۶۷۱۶۷۶
مجریان: انجمن علمی مهندسی حرارتی و برودتی ایران
و هم‌اندیشان انرژی کیمیا
www.Energyconf.ir



www.Energyconf.ir