

بهینه‌سازی دمای راکتور و وزن کاتالیست در فرآیند تبدیل ضایعات پلیمری به سوخت

سیدحسین هاشمی^{۱*}، سیدعبدالرسول هاشمی^۲، محمود دین محمد^۳، عباس نیکنام^۲

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد مهندسی شیمی پیشرفته، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

۲- شرکت بهره برداری نفت و گاز گچساران، استان کهگیلویه و بویر احمد، ایران

۳- پژوهشگاه صنعت نفت تهران، ایران

*پژوهشگاه صنعت نفت تهران : ۱۴۷۵۷-۳۳۱۱-۳۳۱۱ hashemish@student.uma.ac.ir

چکیده

امروزه باتوجه به افزایش چشمگیر در تولید محصولات پلیمری و پیشرفت تکنولوژی در صنایع پلاستیکی، اهمیت مدیریت دفع ضایعات پلاستیکی دوچندان شده است. از راهکارهای کارآمد در این زمینه، می‌توان به بازیافت این ضایعات و تبدیل به سوخت‌های مایع و گاز اشاره کرد. این راهکار می‌تواند علاوه بر حفاظت از محیط زیست، جایگزینی مناسب برای سوخت‌های طبیعی باشد. به همین دلیل در این پژوهش، در راستای افزایش راندمان سوخت و بهبود کیفیت محصولات تولیدی حاصل از تبدیل زباله‌های پلاستیکی در فرآیند پیرولیز کاتالیستی، یک مدل توسعه یافته ریاضی ارائه می‌شود و با استفاده از دو روش پاسخ سطح و الگوریتم ژنتیک، مدل مورد نظر و پارامترهای آن (دمای راکتور و وزن کاتالیست) به منظور ارائه بهترین حالت بهینه مورد مطالعه قرار می‌گیرد. طبق تحلیل آنالیز واریانس، میزان انحراف معیار براساس مدل توسعه یافته، برای بازده سوخت مایع و گاز به ترتیب ۰/۹۶۴۱ و ۰/۹۶۵۵ می‌باشد.

کلیدواژگان

بهینه‌سازی، پیرولیز کاتالیستی، مدیریت زباله‌های پلیمری، الگوریتم ژنتیک

Optimization of Reactor's Temperature and Catalyst Weight in Polymeric Waste Fuel Conversion Process

Seyed Hossein Hashemi^{1*}, Seyed Abdolrasoul Hashemi², Mahmood Dinmohammad³, Abas Niknam²

1- Graduate Msc Chemical Engineering, Faculty Engineering and Technology, mohaghegh ardebili university, ardebil, iran

2- Gachsaran Oil and Gas Exploitation Company, Kohgiluyeh and Boyer Ahmad, Iran

3- Institute of production and recovery, RIPI, NIOC, P.O.Box : 14757-3311, West Blvd. of Azadi Sports Complex Tehran, Iran

* P.O.Box : 14757-3311, West Blvd. of Azadi Sports Complex Tehran, Iran, hashemish@student.uma.ac.ir

Abstract

Today with significant increase in production of polymeric products and advances in polymer science and technology, the importance of efficient management of polymeric waste has gain an even more significance. From efficient and practical solutions proposed in this field, recycling these wastes in order to produce gaseous and liquid fuels can be named as a valid and feasible solution. In addition to protecting the environment, this solution is a good replacement for natural fuels. Therefore, this research aims to increase the fuel efficiency and quality of plastic waste products via catalytic pyrolysis process. In this research, an expanded mathematical model is presented, and by using two methods of response surface and genetic algorithm, the proposed model and its parameters (reactor's temperature and catalyst weight), for finding the optimal conditions shall be investigated. According to evaluation of base variance algorithm, the scale of deviation based on the expanded model, for liquid and gaseous fuel efficiencies is calculated to be 0.9641 and 0.9655 respectively.

Keywords

Optimization, Catalytic Pyrolysis, Polymeric Waste Management, Genetic Algorithm

۱- مقدمه

امروزه فراوانی زباله‌های پلاستیکی (پلیمری) یکی از چالشی‌ترین معضله محیط زیست در سطح جهان به حساب می‌آید [۱]. با توجه به عدم وجود مدیریت کافی در دفع مناسب زباله‌های شهری و صنعتی، فرآیند بازیافت می‌تواند یک فرصت مناسب در جمع‌آوری این گونه زباله‌ها و منبعی جهت تولید سوخت باشد [۲-۴].

روش تجزیه کاتالیستی (پیرولیز) از روش‌های کارآمد به منظور تبدیل انواع زباله‌های پلیمری از جمله پلی اتیلن‌ها [۵-۶]، پلی پروپیلن‌ها [۷-۸] به سوخت‌های گازی و مایع، می‌باشد. در این روش، فرآیند تجزیه مواد با توجه حرارت بالا صورت می‌گیرد که در نهایت سوخت‌های جدید و دارای کیفیت مطلوب از آن تولید می‌گردد. وجود کاتالیست در این روش می‌تواند منجر به حداقل رساندن دمای راکتور به منظور فرآیند تجزیه مولکول‌های پلیمری شود [۱۰-۱۲]. کیفیت محصولات پیرولیز کاتالیزوری در اثر حرارت و در حضور کاتالیزور با توجه به ترکیب مواد اولیه متفاوت است [۱۳].

کاتالیزورهای مختلفی در فرآیند پیرولیز کاتالیزوری به منظور تبدیل زباله‌های پلیمری به سوخت به کار برده می‌شوند که از رایج‌ترین آن‌ها می‌توان به انواع زئولیت‌های تجاری [۱۴-۱۵] و سیلیکا آلومینا [۱۶-۱۸] اشاره نمود. با توجه به هزینه ارزان این روش، محققان بسیاری بر روی فرآیند شکست کاتالیزوری مطالعاتی را صورت داده‌اند. سیامسیرو و همکاران با توجه به اهمیت کاتالیست در تجزیه حرارتی مواد پلیمری، مطالعاتی بر روی کاتالیست زئولیت در فرآیند پیرولیز انجام دادند. مطالعات تجربی سیامسیرو و همکارانش نشان می‌دهد که کاتالیزور زئولیت طبیعی تولید محصول مایع بیش‌تری در مقایسه با کاتالیزور زئولیت Y دارد [۱۴]. شاراته و همکاران روی یک بستر سیال با اعمال کاتالیست HZSM-5 فرآیند تجزیه کاتالیستی پلی اتیلن سنگین را مورد مطالعه قرار دادند. نتایج مطالعه آنها نشان داد، که با افزایش دما در حضور کاتالیست، بازده محصول تولیدی (مایع و گاز) افزایش می‌یابد [۱۹].

در بهبود فرآیند انجام می‌شود و شرایط بهینه دمای راکتور و وزن کاتالیست ارائه می‌شود.

۲- داده ها و الگوریتم مورد مطالعه

در این مقاله با استفاده از نرم افزار دیزاین اکسپرت و الگوریتم ژنتیک مدل توسعه یافته استخراج شده از داده‌های آزمایشگاهی [۲۷] فرآیند پیرولیز کاتالیستی بهینه‌سازی شده و مورد مقایسه می‌باشد. در جدول ۱، سطوح مقادیر واقعی متغیرها بر اساس طراحی نرم افزار ارائه شده است.

با استفاده از نرم افزار دیزاین اکسپرت تعداد ۱۳ تست برای بدست آوردن میزان درصد راندمان سوخت مایع و گاز طبق جدول ۲ طرح ریزی شد. طبق این طرح‌ریزی دو متغیر اصلی (دمای راکتور و وزن کاتالیست) مورد مطالعه در این، هر کدام در سه سطح طبقه بندی شدند و در نتیجه دو متغیر درصد بازدهی سوخت مایع و درصد بازدهی سوخت گازی از نتایج آزمایش ها بدست آمد [۲۷].

جدول ۱ سطوح کدگذاری شده و واقعی متغیرها بر اساس طراحی نرم افزار [۲۷]

متغیر	سطح کدگذاری شده متغیر				
	پایین ترین	پایین	مرکز	بالا	بالا ترین
	$-\alpha$	-۱	۰	+۱	$+\alpha$
	$-۱/۴۱۴=$				$+۱/۴۱۴=$
دمای راکتور (درجه سانتی گراد) (X_1)	۴۷۹	۵۰۰	۵۵۰	۶۰۰	۶۲۱
مقدار کاتالیست (گرم) (X_2)	۰/۹	۱	۱/۲۵	۱/۵	۱/۶

لوپز و همکاران با هدف تولید سوخت از زباله‌های پلیمری مطالعات آزمایشگاهی انجام دادند. نتایج مطالعاتی آن‌ها نشان داد زئولیت به منظور تولید سوخت با محتوای گازهای غنی از جزء پروپان و بوتان (حتی در صورتی که ساختار مواد خام مورد نظر به طور عمده از پلی اولفین‌ها باشد)؛ بسیار اثرگذار است [۱۳].

موراتا و همکاران فرآیند پیرولیز را، برای سه ماده پلیمری (پلی اتیلن، پلی پروپیلن و پلی استایرن) مورد مطالعه قرار دادند. در تحقیق آنها، پارامترهای هم‌چون ساختار شیمیایی پلیمرها و زمان ماند با توجه به راکتور هم‌زن دار جریان پیوسته مورد توجه بوده است. نتایج مطالعه آنها به اهمیت مهم جریان پیوسته، ساختار پلیمرها و زمان ماند تاکید دارد [۲۰].

بر اساس نتایج مطالعات چند دهه اخیر، پارامترهای مهمی هم‌چون نوع و ساختار پلیمر [۲۱-۲۲]، تاثیر حالت تماس کاتالیست [۲۳]، اثر اندازه کریستال کاتالیست [۲۴]، اثر نوع راکتور [۲۵] و فشار عملیاتی [۲۰]، کیفیت محصول تولیدی فرآیند پیرولیز را تحت تاثیر قرار می‌دهد.

برای بهینه‌سازی شرایط عملیاتی حاکم بر فرآیند پیرولیز، تنها تعداد کمی از محققان از جمله کومار و سینق [۲۶]، ایستادی و همکاران [۲۷] و هم‌چنین ادوین راج و همکاران [۲۸] تحقیقاتی انجام داده‌اند. در مدل محققین پیشین [۲۷] مدلی بر اساس نتایج آزمایشگاهی ارائه شده که این مدل دارای بازده حداکثری نامناسبی است. این موضوع سبب تولید محصول نامطلوبی خواهد شد. بهینه سازی بهتر و دقت‌تر پارامترهای مدل، می‌تواند زمینه ساز بهبود بازدهی محصول تولیدی در فرآیند تبدیل ضایعات پلاستیکی به سوخت گازی یا مایع شود. به گونه‌ای که افزایش دما، می‌تواند سبب افزایش بهینه بازده تولید شود اما افزایش بیش از حد و غیر ایده آل دما می‌تواند سبب تجزیه کاتالیست و حذف سایت‌های فعال آن و در نتیجه کاهش راندمان فرآیند پیرولیز شود. از اینرو در این مقاله اصلاح مدل محققین پیشین [۲۷] با ارائه یک مدل توسعه یافته برای فرآیند پیرولیز کاتالیزوری به منظور افزایش بهبود کیفیت سوخت با توجه به بهینه نمودن دمای بالای راکتور و وزن کاتالیست در فرآیند پیرولیز پلاستیکی، مورد مطالعه قرار گرفته است و با استفاده از روش سطح پاسخ و الگوریتم ژنتیک، بررسی دقیق تری از چگونگی تاثیر پارامترهایی هم‌چون دمای راکتور و وزن کاتالیست

جدول ۲ مقادیر بازدهی سوخت ها حاصل از آزمایش در سطوح متغیرهای درگیر در مسئله بر اساس طراحی نرم افزار [۲۷]

آزمایش ها	بازدهی سوخت گاز (درصد)	بازدهی سوخت مایع (درصد)	وزن کاتالیست (گرم)	دما (درجه سانتی گراد)
۱	۲۶/۹۴	۱۵/۰۹	۱	۵۰۰
۲	۲۹/۰۹	۱۹/۴۲	۱	۶۰۰
۳	۲۷/۳۴	۲۰/۵۷	۱/۵	۵۰۰
۴	۲۲/۴۵	۲۴/۱۸	۱/۵	۶۰۰
۵	۱۸/۳۸	۱۸/۲۳	۱/۲۵	۴۷۹
۶	۲۵/۲۶	۲۳/۵۷	۱/۲۵	۶۲۱
۷	۳۱/۹۸	۲۷/۷۵	۰/۹	۵۵۰
۸	۳۱/۰۴	۲۸/۸۳	۱/۶	۵۵۰
۹	۲۸/۴۴	۲۹/۰۴	۱/۲۵	۵۵۰
۱۰	۲۹/۰۷	۲۹/۲۵	۱/۲۵	۵۵۰
۱۱	۳۰/۳۳	۲۶/۶۷	۱/۲۵	۵۵۰
۱۲	۲۷/۶۳	۳۰/۱۸	۱/۲۵	۵۵۰
۱۳	۳۰/۴۲	۲۶/۶۹	۱/۲۵	۵۵۰

۲-۱- الگوریتم ژنتیک

الگوریتم ژنتیک به عنوان یک تکنیک محاسباتی بهینه‌سازی با توجه به مجموعه‌ای از نقاط فضای جواب، نقاط مختلف فضای جواب را جستجو می‌نماید. این الگوریتم برخلاف سایر روش‌های بهینه‌سازی تنها به اطلاعاتی در مورد کیفیت حل‌های تولید شده به وسیله مجموعه‌ای از متغیرها نیاز دارد. در هر تکرار محاسباتی هر یک از رشته‌های موجود در جمعیت رشته‌ها، رمزگشایی می‌شوند و در ادامه مقدار تابع هدف برای آن به دست می‌آید؛ که براساس همین مقادیر به دست آمده، به هر رشته یک مقدار برازندگی ربط داده می‌شود [۲۹-۳۰].

این الگوریتم‌ها با تولید نسل شروع شده و به صورت انتخابی یا تصادفی قابل تعیین هستند. در این الگوریتم، جمعیت موجود به میزان برازندگی افراد جمعیت برای نسل بعد انتخاب می‌شوند و در ادامه محاسبات، عملگرهای ژنتیکی هم‌چون انتخاب، پیوند و جهش اعمال می‌شوند و در نهایت جمعیت جدید ایجاد می‌شود و این چرخه تا رسیدن به پاسخ ادامه می‌یابد [۲۲-۳۰].

الگوریتم ژنتیک اطلاعات جامع و دقیقی در مورد مسائلی که حل می‌کنند در اختیار ندارد و با توجه به این که راه حل آن اساساً تصادفی است، همه راه حل‌های ممکن را مورد توجه قرار دارد. از سایر نقاط قوت الگوریتم ژنتیک می‌توان به موارد زیر اشاره کرد [۲۳-۳۰]:

- ۱- عدم نیاز به محاسبه مشتق توابع مسئله
- ۲- انجام بهینه‌سازی با متغیرهای پیوسته و گسسته
- ۳- توانایی بالا در بهینه‌سازی با متغیرهای زیاد
- ۴- اعمال شدن بر روی مجموعه‌ای از راه حل‌ها

۳- نتایج و بحث

با استفاده از تحلیل‌های ANOVA و بر اساس مدل برازش شده به داده‌های آزمایشگاهی مشاهده شده محققین پیشین، مدل‌های توسعه یافته زیر به منظور بهبود بازدهی سوخت مایع و گاز بدست آمد:

۳-۱- بازدهی سوخت مایع

رابطه ۱، مدل توسعه یافته کدگذاری شده برازش شده به داده‌های آزمایشگاهی سوخت مایع را نشان می‌دهد.

$$Y_1 = +28.37 + 1.89X_1 + 0.38X_2 - 0.18X_1X_2 - 3.73X_1^2 - 0.038X_2^2 + 2.18X_1^2X_2 + 0.097X_1X_2^2 - 4.78X_1^2X_2^2 \quad (1)$$

هم چنین برای مدل توسعه یافته واقعی برازش شده به داده‌های آزمایشگاهی سوخت مایع با توجه به نتایج نرم افزار داریم که :

$$Y_1 = -16260.82397 + 59.11875.T + 24243.w - 88.05359.T.w - 0.05365.T^2 - 9271.76438.w^2 + 0.079965.T^2.w + 33.68225.T.w - 0.30592.T^2.w \quad (2)$$

در رابطه ۲، T و w به ترتیب معرف دمای راکتور و وزن کاتالیست مورد نظر است.

۳-۲- بازدهی سوخت گاز

برای بازدهی سوخت گاز هم مانند بازدهی سوخت مایع، مدل توسعه یافته ارائه شده توسط نرم افزار به صورت کد گذاری و واقعی به ترتیب در رابطه‌های ۳ و ۴ ارائه شده است.

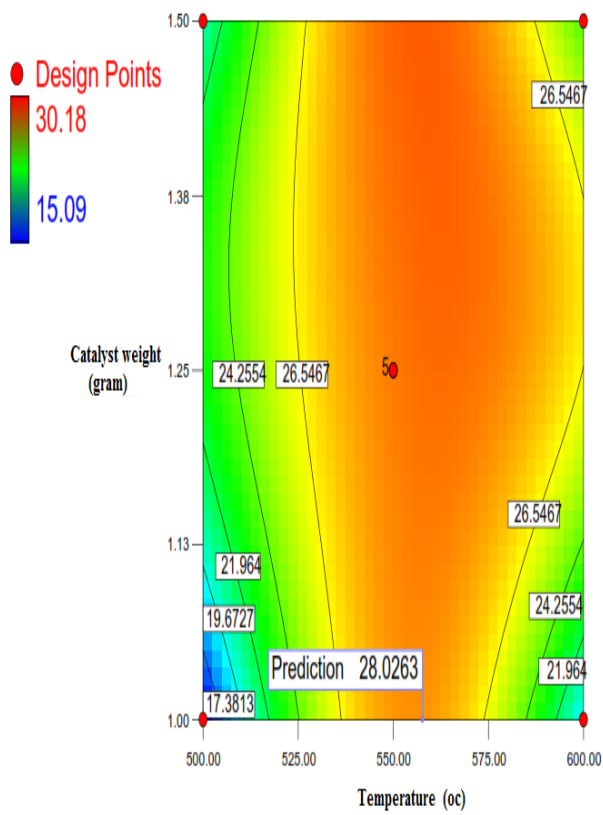
$$Y_2 = +29.18 + 2.43X_1 - 0.33X_2 - 1.76X_1X_2 - 3.73X_1^2 + 1.11X_2^2 - 1.23X_1^2X_2 - 3.12X_1X_2^2 \quad (3)$$

$$Y_2 = +1083.64098 - 2.39307.T - 1934.29353.w + 4.51384.T.w + 0.0009627.T^2 + 566.48673.w^2 - 0.00196426.T^2.w - 0.99758.T.w \quad (4)$$

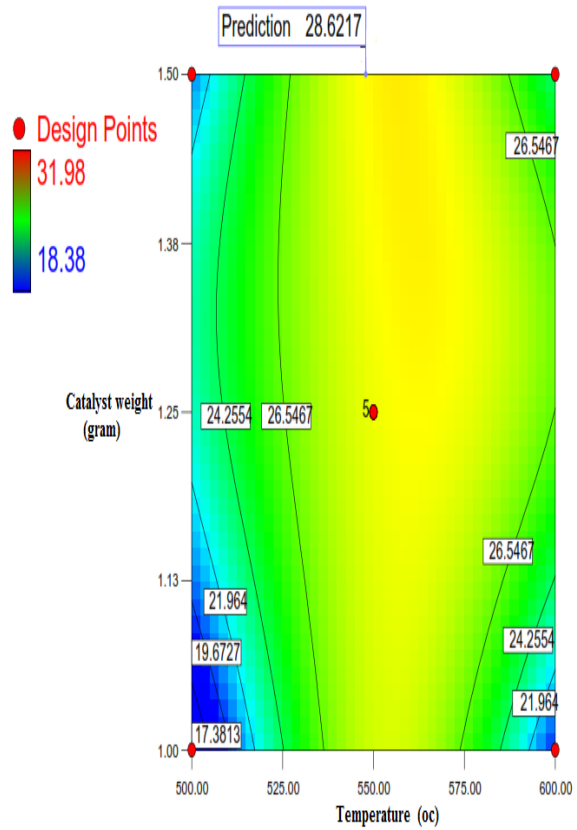
در رابطه‌های ۳ و ۴، T و w به ترتیب معرف دمای راکتور و وزن کاتالیست مورد نظر است. میزان انحراف معیار نتایج آزمایشگاهی با مدل توسعه یافته بطور چشمگیری بهبود یافته است و با اصلاح و توسعه مدل ایستادی و همکاران [۲۷]، میزان انحراف معیار (R^2) برای بازده سوخت مایع از ۰/۸۱ به ۰/۹۶۴۱ و برای بازده سوخت گازی از ۰/۸۳ به ۰/۹۶۵۵ رسیده است. این میزان انحراف معیار حاکی از بهبود راندمان فرآیند تبدیل است که تولید محصولات با کیفیت‌تری را منجر می‌شود. در شکل‌های ۱ تا ۴، بهینه‌سازی پارامترهای دمای راکتور و وزن کاتالیست با توجه به بهبود راندمان سوخت گازی و مایع نشان داده شده است. این شکل‌ها (۴ تا ۱) نمایان این موضوع هستند که می‌توان با کنترل دمای راکتور و وزن کاتالیزور مربوطه جهت رسیدن به تولید محصولات مطلوب امیدوار شد. دمای نامطلوب، عدم تامین انرژی کافی به منظور فرآیند شکست کاتالیزوری را منجر می‌شود. این در حالی است که وقتی دمای راکتور استفاده شده دارای میزان ایده آل و بهینه باشد؛ با این میزان دما انرژی کافی جهت فعال‌سازی سایت‌های کاتالیزور، به منظور فرآیند تجزیه تامین شده است. از این‌رو بازده سوخت مایع و گاز به حالت مطلوب و بهینه می‌رسد. براساس نتایج شکل‌های ۱ تا ۴، از آنجایی که افزایش بیش از حد دمای راکتور بر عملکرد کاتالیزور اثر نامطلوب دارد، زمانی که دمای پیرولیز به میزان قابل توجهی بالا رود، بازده سوخت مایع و گاز دچار روند کاهشی می‌شود. با این وجود نباید به روند افزایش بیش از حد دمای راکتور بی‌توجهی نمود زیرا این درجه حرارت بالا پیرولیز می‌تواند بر روی عملکرد کاتالیست اثر منفی بگذارد و به جای فعال‌سازی سایت‌های کاتالیزور سبب تخریب آن شود و در نتیجه محصول بی کیفیت را منجر شود. در جدول ۳، با توجه به شکل‌های ۱ تا ۴، حداکثر و حداقل راندمان سوخت مایع و گازی با توجه به دما و وزن کاتالیست بهینه ارائه شده است.

جدول ۳ بهینه سازی دمای راکتور و وزن کاتالیست به منظور بهبود بازدهی سوخت مایع و گاز

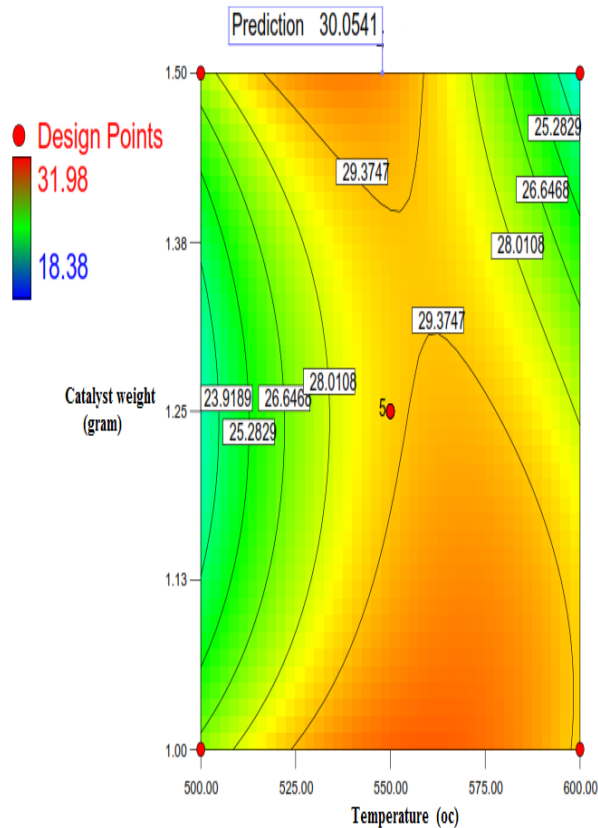
شرایط بهینه سازی	درصد بازده سوخت گازی	درصد بازده سوخت مایع	وزن کاتالیست (گرم)	دمای راکتور (درجه سانتی گراد)
حداکثر بازده سوخت گازی و حداقل بازده سوخت مایع	۳۰/۷۲۹۹۱۰۶۸	۲۸/۰۲۶۲۸۸۸	۱/۰۰۰۰۰۳۷۷۵	۵۵۷/۶۸۸۵۴۵
حداکثر بازده سوخت مایع و حداقل بازده سوخت گازی	۳۰/۰۵۴۱۱۲۴۵	۲۸/۶۲۱۶۸۱۵۹	۱/۴۹۹۹۹۹۶۵	۵۴۷/۸۷۴۹۸۱۶



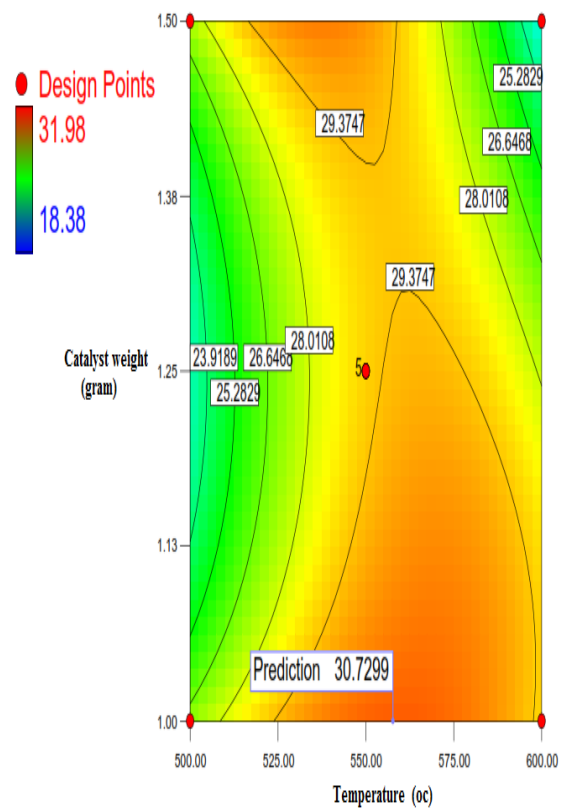
شکل ۲ بهینه سازی پارامتر دما و وزن کاتالیست با توجه به حداقل بازده سوخت مایع



شکل ۱ بهینه سازی پارامتر دما و وزن کاتالیست با توجه به حداکثر بازده سوخت مایع



شکل ۴ بهینه سازی پارامتر دما و وزن کاتالیست با توجه به حداقل بازده سوخت گازی



شکل ۳ بهینه سازی پارامتر دما و وزن کاتالیست با توجه به حداکثر بازده سوخت گازی

در شکل ۵، همگرایی مقدار نهایی راندمان سوخت مایع براساس الگوریتم ژنتیک نشان داده شده است. براساس شکل ۵، بعد از ۱۰۰ بار تکرار الگوریتم، بازده سوخت مایع به میزان ۲۸/۴۲۴۴٪ بوده است. براساس خروجی بهینه سازی الگوریتم ژنتیک، دمای بهینه راکتور و وزن کاتالیست به ترتیب برابر ۵۵۰/۰۴۸ درجه سانتی‌گراد و ۱/۰۱۰۵ گرم بوده است. طبق این دمای و وزن کاتالیست بهینه شده، میزان سوخت گازی به میزان ۳۰/۴۱۴۶٪ می باشد.

به طور کلی براساس نتایج ارائه شده از الگوریتم ژنتیک در شکل های ۵ و ۶، حداکثر بازده سوخت گازی و حداقل بازده سوخت مایع در دمای بهینه ۵۵۰/۰۴۸ درجه سانتی‌گراد و وزن کاتالیست ۱/۰۱۰۵ گرم است. همچنین حداکثر بازده سوخت مایع و حداقل بازده سوخت گازی در دمای بهینه ۵۵۰/۱۵۵۴ درجه سانتی‌گراد و وزن کاتالیست ۱/۱۴۹۸ گرم است.

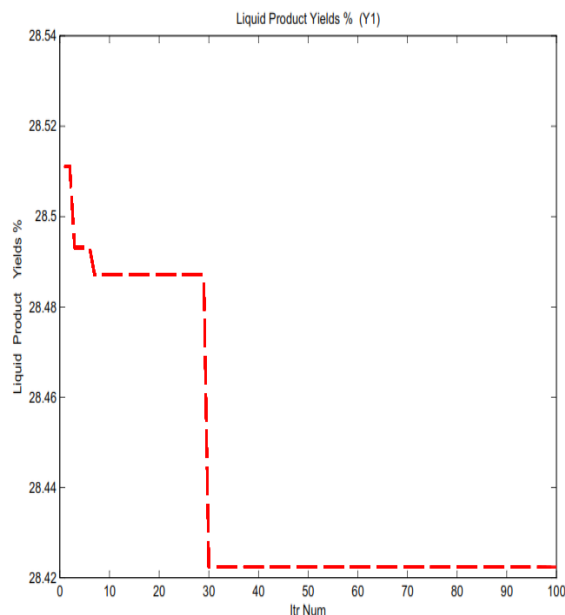
در شکل ۶، همگرایی مقدار نهایی راندمان سوخت گاز براساس الگوریتم ژنتیک نشان داده شده است. براساس این شکل، بعد از ۱۰۰ بار تکرار الگوریتم، بازده سوخت گاز به میزان ۲۹/۳۷۹٪ بوده است. براساس خروجی

الگوریتم، بازده سوخت مایع براساس الگوریتم ژنتیک نشان داده شده است. براساس شکل ۵، بعد از ۱۰۰ بار تکرار الگوریتم، بازده سوخت مایع به میزان ۲۸/۴۲۴۴٪ بوده است. براساس خروجی بهینه سازی الگوریتم ژنتیک، دمای بهینه راکتور و وزن کاتالیست به ترتیب برابر ۵۵۰/۰۴۸ درجه سانتی‌گراد و ۱/۰۱۰۵ گرم بوده است. طبق این دمای و وزن کاتالیست بهینه شده، میزان سوخت گازی به میزان ۳۰/۴۱۴۶٪ می باشد.

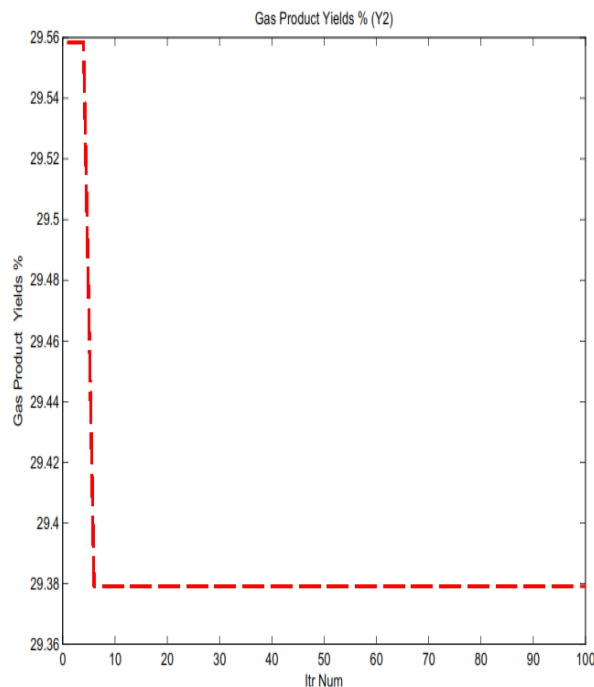
به انرژی مایع و گاز است که مطالعات و تحقیقاتی گسترده به منظور پیدا کردن سطوح بهینه به منظور پیش‌بینی بهترین مقادیر راندمان سوخت بر روی آن انجام شده است. در این تحقیق مقایسه دو روش سطح پاسخ (با مدل-های آماری پیشرفته) و الگوریتم ژنتیک (از روش‌های قدرتمند در تحلیل و یافتن نقاط بهینه) در یافتن نقطه بهینه با توجه به مدل توسعه یافته ریاضی، مطالعه شد. میزان انحراف معیار نتایج آزمایشگاهی با مدل توسعه یافته بطور چشمگیری بهبود یافته است و با اصلاح و توسعه مدل بدست آمده محققین پیشین، میزان انحراف معیار (R^2) برای بازده سوخت مایع از ۰/۸۱ به ۰/۹۶۴۱ و برای بازده سوخت گازی از ۰/۸۳ به ۰/۹۶۵۵ رسیده است. این میزان انحراف معیار حاکی از بهبود راندمان فرآیند تبدیل است که تولید محصولات با کیفیت‌تری را منجر می‌شود. براساس نتایج روش سطح پاسخ، میزان حداکثر بازده سوخت مایع و گاز به ترتیب به میزان ۲۸/۶۲۱۶۸ و ۳۰/۷۲۹۹ است. همچنین با توجه به نتایج الگوریتم ژنتیک، حداکثر بازده سوخت مایع و گاز، به ترتیب برابر ۲۸/۸۴۷۸ و ۳۰/۴۱۴۶ بوده است. با وجود اینکه مبنای روش سطح پاسخ (براساس نرم افزار دیزاین اکسپرت) و الگوریتم ژنتیک کاملاً متفاوت است ولی نتایج خروجی این دو، نشان از قدرتمندی این دو روش در ارائه پاسخ نهایی مطلوب است. از این‌رو استفاده از آن‌ها به عنوان روشی مناسب به منظور بررسی شرایط بهینه فرآیندهای صنعتی هم‌چون پیرولیز کاتالیستی، پیشنهاد می‌شود.

۵-مراجع

- [1] M,Gaurav, K.N,Arunkumar.Lingeowda conversion of LDPE plastic waste into liquid fuel by thermal degradation. *International Journal of Mechanical and Production Engineering*, Vol 2,No 4,pp. 2320-2092.2014.
- [2] V.P.Mohana Jeya,G. Valli L.M, Gnanavel.T. Thirumarimurugan. Alternate Fuel from Synthetic Plastics Waste - Review. *International of pharmaceutical and chemical sciences*. Vol.1, No.3,pp. 720-724.2012.
- [3] G.Manos. Y.Isman. YN,Papayannakos.NH, Ganas. Catalytic cracking of polyethylene over clay catalysts. Comparison with an ultra-stable Y Zeolite. *Industrial & Engineering Chemistry Research*. Vol. 40,pp.2220-2225.2001.
- [4] S.Moinuddin,M. Rashid,M. Rahman. Polystyrene (PS) waste plastic conversion into aviation /kerosene category of fuel by using fractional column distillation process. *International journal of energy and environment*. Vol.3, No. 6, pp.871-880.2012.
- [5] W.S.Cha,S.B.Kim,B.J.McCoy. Study of polystyrene degradation using continuous distribution kinetics in a bubbling reactor. *Korean Journal of Chemical Engineering*. Vol.19,No.2,pp.239-245.2002.
- [6] P.Onu,C. Vasile,S. Cioc'lteu,S. Iojoiu, H.Darie. Thermal and catalytic decomposition of polyethylene and polypropylene. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*. Vol. 49,No.(1-2),pp.145-53.1999.
- [7] Z.Dolezal,V. Pacakova, J.Kovarova. The effects of controlled aging and blending of lowand high-density polyethylene polypropylene and polystyrene on their thermal degradation studied by pyrolysis gas chromatography. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*. Vol.57,No.2,pp.177-185.2001.
- [8] J.H.Chan,ST. Balke. The thermal degradation kinetics of polypropylene. Part III, Thermo gravimetric analyses. *Polymer Degradation and Stability*; Vol.57,No.2,pp.135-149.1997.
- [9] W.S.Cha,S.B.Kim,B.J.McCoy. Study of polystyrene degradation using continuous distribution kinetics in a bubbling reactor. *Korean Journal of Chemical Engineering*. Vol.19,No.2,pp.239-245.2002.
- [10] H.Ohkita,R.Nishiyama, Y.Tochihara, T. Mizushima, N. Kakuta, Y. Morioka, . Acid properties of silica-alumina catalysts and catalytic degradation of polyethylene. *Industrial & Engineering Chemistry Research*. Vol.32,No.12,pp. 3112-3116.1993.
- [11] S.Y.Lee. Catalytic degradation of polystyrene over natural clinoptilolite zeolite, *Polymer Degradation and Stability*. Vol. 74,No.2,pp.297-305.2001.
- [12] K.Achyut,R.K. Panda. Experimental Optimization of Process for the Thermo-catalytic Degradation of Waste Polypropylene to Liquid Fuel. *Advances in Energy Engineering (AEE)*. Vol.1, No. 3,pp.74-84. 2013.
- [13] A.I.Lopez,B.M. de Marco, M.F.Caballero, A.Laresgoiti, A. Adrados. Pyrolysis of municipal plastic wastes II: Influence of raw material composition under catalytic conditions. *Waste Management*. Vol.31,No.9-10,pp.1973-1983.2011.
- [14] M.Syamsiro, H.Saptoadi,T. Norsujianto, P. Noviasri, S. Cheng, Z. Alimuddin, K.Yoshikawa. Fuel Oil Production from Municipal Plastic



شکل ۵ بهینه سازی بازده سوخت مایع با الگوریتم ژنتیک



شکل ۶ بهینه سازی بازده سوخت گازی با الگوریتم ژنتیک

۴-نتیجه گیری

در چند دهه اخیر، با توجه به حساسیت بالای موجود در موضوع بازیابی و دفع ضایعات پلیمری شهری و صنعتی، استفاده از تکنولوژی نوین به منظور بهره‌وری از مواد تجزیه ناپذیر پلیمری بیشتر مورد توجه قرار گرفته است. روش پیرولیز کاتالیستی یکی از روش‌های کارآمد و بهینه در تبدیل ماده پلاستیکی

Wastes in Sequential Pyrolysis and Catalytic Reforming Reactors. *Energy Procedia* .Vol.47 .pp.180 – 188.2014.

- [15] R.C.Mordi, R.Fields, J. Dwyer. Thrombolysis of low density polyethylene catalyzed by zeolites. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*.vol.29,No.1,pp.45-55.1994.
- [16] Y.Sakata , MA.Uddin . Degradation of polyethylene and polypropylene into fuel oil by using solid acid and non-acid catalysts, *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*.Vol. 51,No.1-2,pp.135-55.1999.
- [17] S.Karagoz, J. Yanik ,S. Uc,ar,M. Saglam ,C. Song . Catalytic and thermal degradation of high-density polyethylene in vacuum gas oil over non-acidic and acidic catalysts, *Applied Catalysis A General*;Vol.242,No.1,pp.51-62.2003.
- [18] S.Karagoz,T. Karayildirim ,S. Ucar,M. Yuksel,J. Yanik. Liquefaction of municipal waste plastics in VGO over acidic and non-acidic catalysts. *Fuel* Vol.82 ,pp. 415-423.2003.
- [19] PN.Sharratt ,YH. Lin ,AA. Garforth ,J. Dweyer .Investigation of the catalytic pyrolysis of highdensitypolyethylene over a HZSM-5 catalyst in alaboratory fluidized-bed reactor. *Ind Eng Chem Res*.Vol.36,No.12 ,pp.5118-5124. 1997.
- [20] K.Murata ,Y. Hirano ,Y. Sakata ,MA. Uddin .Basic study on a continuous flow reactor for thermal degradation of polymers. *J Anal Appl Pyrolysis* .Vol.65,No.1,pp.71-90. 2002.
- [21] Kh. Lee,dh.shin .catalyst degradation of waste polyolefinic polymers using spent fcc catalyst with various experimental variable.*korean journal of chemical Engineering*.Vol.20,No.1,pp.89-92.2003.
- [22] Wong, Hw.,Broadbel.L.Tertiary resource recovery from waste polymers via pyrolysis: neat and binary mixture reactions of polypropylene and polystyrene. *Industrial and Engineering Chemistry Research*.40(22):4716-4723.2001.
- [23] Y.Sakate,MA.Uddin Muto.Degradation of polyethylene and polypropylene into fuel oil by using solid acid and non-acid catalysts.*Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*.Vol.51,No.1-2,pp.135-155.1999.
- [24] YS.You,JH.Kim,G.Seo.Liquid-phase catalytic degradation of polyethylene wax over MFI zeolites with different partical sizes.*Polymer Degradation and Stability*. Vol.70,No.3,pp.365-371.2000.
- [25] H.Ohkita,R.Nishiyama,Y.Tochihara,T.Mizushima.N.Kakuta,Y.Morioka.Acid properties of silica-alumina catalysts and catalytic degradation of polyethylene.*Industrial and Engineering Chemistry Research*.Vol.32,No.12,pp.3112-3116.1993.
- [26] R.K. Sachin, K. Singh. Optimization of process parameters by response surface methodology (RSM) for catalytic pyrolysis of waste high-density polyethylene to liquid fuel. *Journal of Environmental Chemical Engineering*. Vol.2, No. 1, pp. 115-122.2014.
- [27] I.Istadi,S.Suherman,B.Luqman .Optimization of Reactor Temperature and Catalyst Weight for Plastic Cracking to Fuels Using Response Surface Methodology . *Bulletin of Chemical Reaction Engineering & Catalysis*, Vol.5 No.2,pp. 103 - 111.2010.
- [28] R.Edwin Raj,Z.Robert Kennedy,B.C.Pillai. Optimization of process parameters in flash pyrolysis of waste tyres to liquid and gaseous fuel in a fluidized bed reactor. *Energy Conversion and Management*.Vol. 67 ,pp.145-151 .2013.
- [29] M.Voss,C. Foley. Evolutionary algorithm for structural optimization. *Proceedings Genetic and Evolutionary Computation Conference (GECCO 99)*,pp. 678-68.1999.
- [30] D.Whitley. A Genetic algorithm tutorial. *Statistics and computer*. Vol. 4, pp.65-85.1994.
- [31] C.Krishnamoorthy,P.Venkatesh,R.Sudarshan. Object-Oriented Framework for Genetic Algorithm Engineering, with Application to Space Truss Optimization. *Journal of Computer in Civil Engineering* .Vol. 16, No. 1, pp.66-75.2002.
- [32] G.Mitsuo, C.Runwei. *Genetic algorithms and engineering design*. John wiley & sons,Inc.1997.
- [33] D.Goldberg. *Genetic Algorithm in search, Optimization and Machine Learning*,Addison-wesley.1989.