تولید محصولات با ارزش از تبدیل نفت کوره به گاز با استفاده از مشعل پلاسمای جریان مستقیم

حامد مهدی کیا [1]، بابک شکری [*2]، محمدرضا خانی [3]

[1] کارشناسی ارشد مهندسی پلاسما، پژوهشکده لیزر و پلاسما، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

[2] عضو هیئت علمی دانشکده فیزیک و پژوهشکده لیزر و پلاسما، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

[3] دکتری فوتونیک، پژوهشکده لیزر و پلاسما، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

دریافت: 94/9/5 پذیرش: 95/11/6

چکیده

در این پژوهش از مشعل پلاسمای حرارتی جریان مستقیم برای انجام فرایند گازی سازی نفک کوره سنگین به منظور تولید محصولات سبک‌تر و با ارزش‌تر گازی استفاده شد. مشعل پلاسمای حرارتی قادر به تولید محیطی فعال شامل گونه‌های پرانرژی بوده که قادر است باندهای مولکولی هیدروکربن‌های سنگین موجود در نفت کوره را بشکند. مزیت روش پلاسما بر سایر روش‌های حرارتی تماس مستقیم شعله آن با نمونه است که اتلاف حرارتی ناشی از انتقال حرارت را بدون هرگونه احتراقی کاهش می‌دهد. برای این هدف ابتدا مشعل پلاسما طراحی و ساخته شد. شرایط کاری مشعل شامل توان، نرخ شارش گاز، فاصله نازل تا نمونه و زمان پردازش بهینه‌سازی شد. در نقطه بهینه محصولات تولیدی شامل هیدروژن و هیدروکربن‌های گازی مورد مطالعه قرار گرفتند.

کلمات کلیدی: پلاسمای حرارتی، مشعل پلاسما، نفت کوره، کراکینگ، هیدروژن و هیدروکربن‌های سبک

مقدمه

در یک ستون اتمسفریک پالایشگاه برش‌های مختلف بر حسب نقطه جوشی که دارند از کم به زیاد به ترتیب از بالا به پایین قرار می‌گیرند. در بالاترین نقطه ستون فراورده‌های زود جوش (برش‌های سبک که در فشار و دمای محیط به صورت گازی هستند) شامل متان ، اتان ، پروپان و بوتان و سایر مشتقات آنها قرار می‌گیرند. این فراورده‌ها غالباً به عنوان سوخت پالایشگاه استفاده می‌شوند. پس از آن در برش‌های میانی گازهای مایع (LPG)، بنزین، سوخت موتور هواپیما، تراکتور و کشتی، نفت سفید و سوخت‌های تقطیری و در قسمت

[*] b-shokri@sbu.ac.ir

پایین گازوئیل سبک، گازوئیل سنگین، روغن‌های روان‌ساز، گریس‌ها، نفت کوره باقی‌مانده‌ای، آسفال‌ها و قیر قرار می‌گیرند [1].

پسماند نفتی معمولاً ته مانده‌های برج تقطیر اتمسفری با نقطه جوش آغازی C 343 یا ته مانده‌های برج تقطیر خلا با نقطه جوش آغازی C 566 را شامل می‌شود. در هر مورد این جریان‌ها حاوی گوگرد، نیتروژن و فلزات با غلظت‌های بیشتر از نفت خام اولیه بوده و نسبت هیدروژن به کربن در ملکول‌های آنها کمتر از سایر برش‌هاست. باقی‌مانده خام برج تقطیر اتمسفری به برج تقطیر در خلا فرستاده می‌شود و در آنجا به جریان نفت گاز خلا و باقی‌مانده برج تقطیر در خلا تفکیک می‌شود. باقی‌مانده خام برج تقطیر در خلا در واحد ککسازی تاخیری به کمک گرما شکسته می‌شود و در نتیجه گاز تر، بنزین واحد ککسازی و کک تولید می‌شود. در غیاب واحد کک سازی این باقی مانده سنگین را به جای نفت کوره سنگین یا در صورت مساعد بودن شرایط نفت خام، آن را به صورت آسفالت می‌فروشند. در گذشته این باقی‌مانده سنگین ته برج به بهای حدود 70 درصد قیمت نفت خام فروخته می‌شد. با دقیق‌تر شدن استانداردهای نشر در محیط‌زیست استفاده از این نفت‌های سنگین به عنوان سوخت دشوارتر و پر هزینه تر شده است و لذا بیشتر این نفت‌ها باید در پالایشگاه به عنوان منابع خوراک برخی فرایندهای پالایشگاهی و متعاقباً به منابع اختلاط سوخت حمل و نقل تبدیل شوند. این سوخت متشکل از سنگین‌ترین بخش‌های نفت خام و معمولاً فراورده پایین ستون تقطیر در خلا است و به عنوان یک فراورده جانبی تلقی می‌گردد. مشخصه‌های بحرانی آن گران‌روی و مقدار گوگرد زیاد آن است[1]. آنها شامل مخلوط‌های پیچیده‌ای با ملکول‌های سنگین و ترکیبات دیر جوش حاوی هزاران هیدروکربن و مواد آلی می‌باشند و تمامی جنبه‌های منفی منابع خوراک پالایشگاه با غلظت‌های بالاتر از هر منبع خوراک تقطیری دیگری را دارند[۱،۲]. عناصر موجود در باقی‌مانده‌های نفتی در جدول 1 آورده شده است.

جدول 1. مقدار عناصر موجود در یک نوع باقیمانده برج خلأ [3]

مشخصه	
چگالی (kg/m^3)	1/037
C (wt%)	85/304
H (wt%)	10/339
N (wt%)	0/4520
S (wt%)	3/7740
Ni (ppm)	120
V (ppm)	210
Na (ppm)	110
باقی‌مانده کربنی (wt%)	20.765
Asphaltene (wt%)	13.1

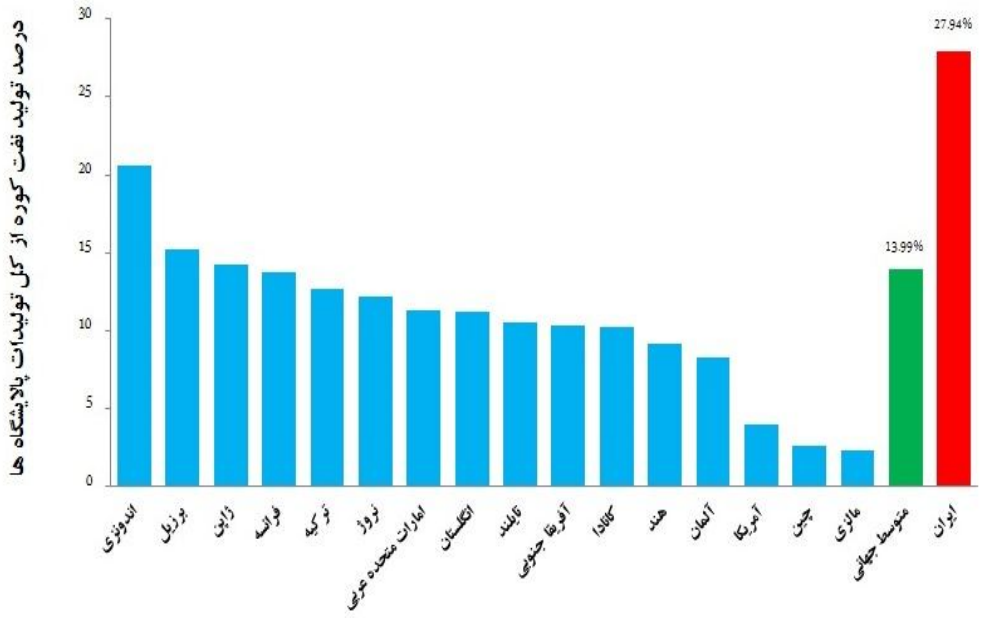
با توجه به قیمت بسیار پائین پسماندهای نفتی در مقایسه با سایر برش‌ها، یکی از راه‌های استفاده از این محصولات، شکست حرارتی آن‌ها و تولید محصولات سبک‌تر و ارزشمندتر از آن‌ها می‌باشد. در زمینه

شکست حرارتی محصول انتهایی برج تقطیر خلأ چندین مطالعه در رابطه با سینیتیک و نیز نوع و میزان محصولات انجام شده است که بیشتر این مطالعات مربوط به تبدیل آن‌ها به ترکیبات سبک‌تر نظیر الفین‌ها بوده است[5,4]. استفاده مستقیم از باقیمانده‌های نفتی به عنوان خوراک واحدهای معمول الفین به دلیل مشکلاتی مانند تولید مقدار بالای کک و همچنین بالا بودن غلظت گوگرد موجود در آن، عملاً مقدور نیست. نفت کوره از جمله عمده‌ترین باقی‌مانده‌های نفتی محسوب شده و آمارها حاکی از تولید بیش از حد معمول این محصول در کشور می‌باشند.

بیان ضرورت

مسلماً هر یک از فراورده‌های نفتی استخراجی از پالایشگاه‌ها در جایگاه خود، محصول ارزشمندی محسوب شده و بر حسب کاربرد و تقاضای موجود در بازار مصرف، برای آن قیمتی وجود خواهد داشت. نفت کوره در مقایسه با نفت‌گاز (یا گازوئیل) از تنوع مصرف کمتری برخوردار بوده و لذا قیمت پایین‌تری دارد. به‌طور کلی، محصولات بسیار سنگین یا بسیار سبکی که در مرزهای پالایش نفت خام قرار می‌گیرند، در مقایسه با فرآورده‌های میانی تقطیر از بهای کم‌تری برخوردارند و می‌توان آنها را به‌طور نسبی کم‌ارزش نامید[6].

طبق مقایسه‌ای که بین متوسط درصد تولید نفت کوره مجموع پالایشگاه‌های کشور با سایر کشورهای تولید کننده نفت در سطح دنیا صورت گرفته است ملاحظه می‌شود که میزان تولید این محصول در پالایشگاه‌های کشور تقریباً 2 برابر مقدار متوسط دنیا و در حدود 7 تا 8 برابر کشورهایی مانند مالزی و چین است. که نمودار شکل 1 گویای این مطلب است.



شکل 1. میزان تولید نفت کوره در ایران در مقایسه با سایر کشورهای جهان

روی هم رفته این آمارها زیان بار بودن تولید این محصول در کشور را نشان می‌دهند، به عبارت دیگر تولید محصولات سنگین و کم ارزش به ویژه نفت کوره یکی از شاخص‌های ناکارآمدی پالایشگاه‌ها در سطح دنیا به شمار می‌رود که سهم آن در سال‌های اخیر به میزان چشمگیری کاهش یافته است. بسیاری از کشورها به جای تولید و فروش نفت کوره، تبدیل آن را به فرآورده‌های سبک و با ارزش نظیر سوخت‌های گازی، بنزین و گازوییل را در دستور کار خود قرار داده اند؛ و بنابراین نیاز به تکنیک‌هایی کارآمد برای بازگردان این محصول به چرخه سوخت کشور و تولید محصولات با ارزش اقتصادی بیشتر به شدت احساس می‌شود.

راهکار پیشنهادی

متداول‌ترین روش شکست ملکولی در صنعت نفت فرایند کراکینگ است که در طی آن در اثر حرارت یا حضور کاتالیزور مخلوطی از هیدروکربن‌ها بر اثر شکستن پیوند ملکولی به مخلوطی با جرم ملکولی کمتر تبدیل می‌شود. این فرایند از روش‌های اصلی در تبدیل نفت خام به سوخت‌های مفید مانند بنزین ،گازوئیل، سوخت جت و نفت سفید است. فرایند کراکینگ یا در دما و فشار بالا و بدون کاتالیزور و یا در دما و فشار پایین و در حضور کاتالیزور انجام می‌شود [۷،۸]. هرگونه شکست مولکولی بر اثر حرارت را ترمال کراکینگ یا پیرولیز می‌گویند چنانچه در این فرآیند از آب استفاده شود به آن هیدروترمال می‌گویند و اگر فرایند با استفاده از هیدروژن صورت بگیرد فرایند موسوم به هیدروکراکینگ خواهد بود که همگی از روش‌های متداول برای انجام فرایند کراکینگ می‌باشند.

با توجه به میزان تولید سالانه نفت کوره و همچنین قیمت نازل و کاربرد پایین این محصول در صنعت، و باتوجه به این که کراکینگ نفت کوره صرفه‌ی اقتصادی ندارد و تقریبا غیرصنعتی است؛ به نظر می‌رسد برای بهره‌گیری هرچه بیشتر از این محصول باید نفت کوره را به روش‌های نوینی مورد پردازش قرار داد. یکی از مهم‌ترین تحقیقاتی که در این زمینه به خصوص در دو دهه اخیر در کشورهای صنعتی و توسعه یافته انجام شده، استفاده از فناوری پلاسما است.

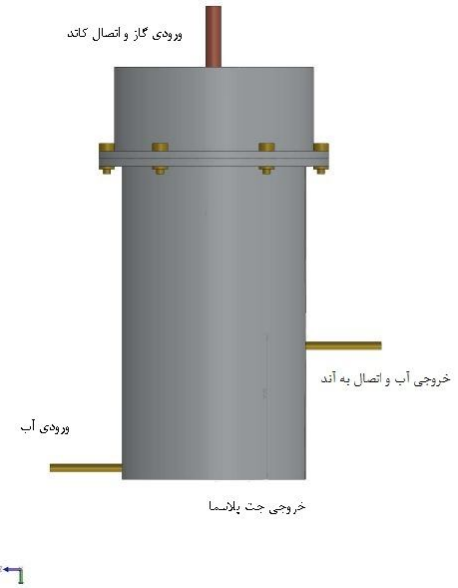
یکی از مراکز مهم تحقیقاتی که در زمینه‌ی پردازش خوراک‌های سنگین نفتی با استفاده از فناوری پلاسما فعالیت می‌کند، آزمایشگاه مهندسی ملی آیداهو است. این مرکز روش‌های پلاسمایی نوینی به منظور پردازش نفت سنگین و باقی مانده‌های پالایشگاه‌ها ارائه داده که نتایج مطلوبی در برداشته است. با توجه به آمار اعلامی این آزمایشگاه در سال 1995 در صورت استفاده‌ی بهینه از نفت حاصله از منابع شمالی آمریکا از هر 4/5 میلیارد بشکه، 1/5 میلیارد بشکه نفت سنگین است که ارزش اقتصادی پایینی دارد. حال اگر این میزان نفت سنگین به روش‌های پلاسمایی ارائه شده توسط این مرکز، مورد پردازش قرار گیرد؛ خوراک با بهره 80 درصد تبدیل می‌شود. این درصد تبدیل به معنای آن است که میزان محصول حاصله برابر با میزان 2 سال واردات نفت ایالات متحده است [9].

طبق مطالب گفته شده هدف این طرح این است که ضمن انجام فرایند کراکینگ نفت کوره با استفاده از راکتور پلاسمایی حرارتی، محصولات ارزشمندتری از آن تولید کند.

فعالیت‌های آزمایشگاهی

سیستم آزمایشگاهی مورد استفاده

به منظور ساخت رآکتور پلاسمایی پردازش پسماند ابتدا لازم بود مشعل پلاسمایی حرارتی جریان مستقیم طراحی و ساخته شود. تصویر طرح مونتاژ شده این مشعل در شکل 2 دیده می‌شود. تعداد قطعات به‌کار رفته در ساخت این مشعل 16 عدد می‌باشد.

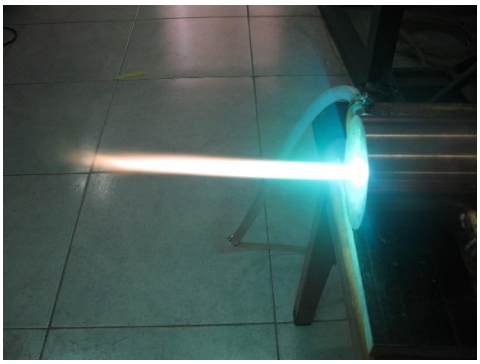


شکل 2. نمایی از مشعل پلاسمای طراحی شده

اصلی‌ترین قطعات که برای تولید پلاسما در مشعل لازم است طراحی شوند دو الکترود آند و کاتد آن هستند که اساس کار مشعل قوس الکتریکی تشکیل شده بین این دو الکترود می‌باشد.

جنس مواد مورد استفاده در این مشعل از موادی از قبیل تنگستن، مس، برنج، آلومینیوم، پلی‌اتیلن و تفلون نسوز است که در مجموع وزن آن به حدود 10kg و ارتفاع آن حدود 30cm می‌رسد. همچنین برای جلوگیری از خوردگی قطعاتی که در معرض قوس الکتریکی با دمای بالا قرار دارند یک سیستم آبگرد روی نازل آن تعبیه شده است.

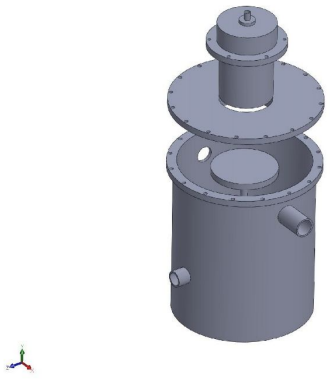
روشن شدن مشعل از طریق یک منبع تغذیه جریان مستقیم 100KW انجام می گیرد و سیستم خنک‌سازی نیز از طریق یک پمپ آب با جریان مناسب انجام می‌شود. گاز کاری پلاسما عمدتاً آرگون و نیتروژن است که این دو توان‌های متفاوتی برای تبدیل شدن به پلاسما در یک سیستم یکسان لازم دارند و در نتیجه شعله‌هایی با حجم و دمای متفاوت تولید می‌کنند. پس از اتصال سیستم خنک‌سازی، منبع تغذیه جریان مستقیم و سیستم تزریق گاز به مشعل می توان آن را روشن کرده و مشخصات مختلف آن را بررسی کرد. شعله پلاسمای تشکیل شده در شکل 3 دیده می‌شود.



شکل 3. نمایی از شعله مشعل پلاسمای ساخته شده در حالت روشن (پلاسما نیتروژن + آرگون)

در مرحله بعد به منظور اندازه‌گیری دما که مهمترین فاکتور در انجام فرایند ترمال کراکینگ و گازی سازی است از طیف سنجی نشر اتمی[4] (OES)، (Avantes مدل -2-USB3648Avaspec) و روش موسوم به دو خط از توزیع اتمی ماکسول – بولتزمن استفاده شد.

از آنجایی که برخورد شعله پلاسما با دمای بسیار بالا تحت محیط حاوی هوا و اکسیژن به هر ماده‌ای به‌خصوص پسماندهای پالایشگاهی که حاوی مقدار زیادی مواد سوختنی هستند باعث سوزاندن آن می‌شود می‌بایست عملیات پردازش در محیطی عاری از اکسیژن انجام می‌شد. به همین منظور از یک محفظه خلا به عنوان راکتور انجام واکنش استفاده شد. طرح شماتیک این راکتور در شکل 4 دیده می‌شود. ماده مورد استفاده در ساخت این راکتور استیل ضدزنگ است. مشعل پلاسمایی روی درب این راکتور سوار شده و از طریق بست‌های مناسب هواگیری می‌شد.



شکل 4. راکتور پلاسما و نحوه قرار گیری مشعل روی آن

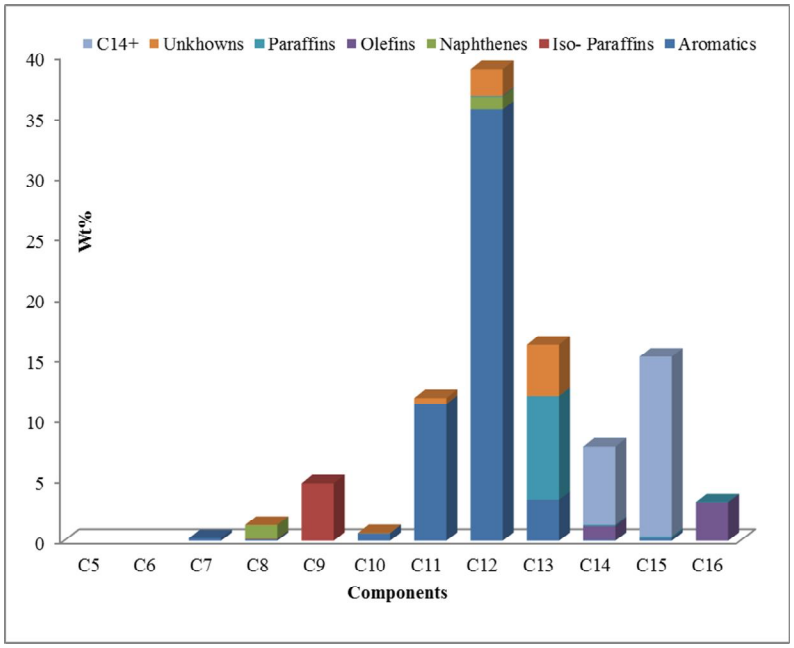
همچنین به منظور جمع‌آوری محصولات گازی خروجی و نیز تنظیم فشار داخل رآکتور چندین شیر خروجی و سوپاپ روی جداره محفظه تعبیه شد. کنترل فشار داخل راکتور از طریق فشارسنجی که برروی راکتور قرار می‌گرفت انجام می‌شد.

خوراک مورد استفاده در آزمایش‌ها

در گام بعدی از خوراک نفت کوره و مازوت پالایشگاه امام خمینی(ره) شازند اراک به عنوان نمونه‌ای از پسماندهای صنعت نفت استفاده شد. این خوراک دارای ویسکوزیته بالایی بوده و ترکیبی از هیدروکربن‌های سنگین است که تست DHA گرفته شده از این خوراک موید این قضیه می‌باشد. تصویر این خوراک در شکل 5 و نتایج توزیع درصد وزنی ترکیبات هیدروکربنی موجود در آن در شکل 6 دیده می‌شوند.

شکل 5. پسماند نفتی پالایشگاه امام خمینی شازند

- در ترکیبات ایزوپارافینی بیشترین درصد وزنی مربوط به ترکیبات 9 کربنه می‌باشند.
- در ترکیبات نفتنی تنها دو جز وجود داشته و از نظر درصد وزنی نسبتا هم‌تراز می‌باشند.
- در ترکیبات الفینی بیشترین درصد وزنی مربوط به ترکیبات 16 کربنه می‌باشند.
- در ترکیبات پارافینی بیشترین درصد وزنی مربوط به ترکیبات 8 کربنه می‌باشند.
- در ترکیبات ناشناخته بیشترین درصد وزنی مربوط به ترکیبات 13 کربنه می‌باشند.

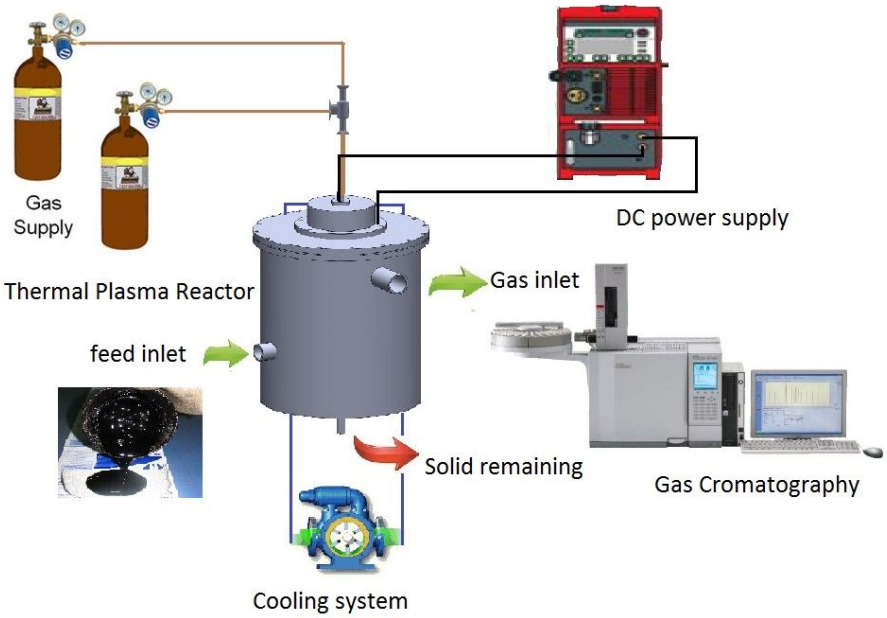


شکل 6. توزیع درصد وزنی ترکیبات هیدروکربنی در PFO پتروشیمی امیرکبیر بر حسب تعداد کربن

نحوه قرارگیری خوراک به این صورت بود که مقدار مشخصی از خوراک در داخل یک ظرف سرامیکی نسوز با مقاومت حرارتی بالا ریخته شده و سپس در داخل راکتور و در معرض مستقیم شعله پلاسما قرار می‌گرفت.

شرح آزمایش پردازش توسط پلاسما

چیدمان آزمایش طراحی شده برای انجام فرایند ترمال کراکینگ نفت کوره به روش پلاسمای حرارتی در شکل 7 دیده می‌شود. محفظه رآکتور مورد استفاده به شکل استوانه به قطر 34 cm و ارتفاع 43 cm می باشد. نکته‌ی حائز اهمیتی که باید به آن اشاره شود این است که همان‌طور که گفته شد نمونه نباید در محیطی که حاوی اکسیژن است مورد پردازش پلاسما قرار بگیرد به همین منظور بایستی اکسیژن موجود در فضای راکتور از آن خارج می‌شد. این کار با استفاده از یک پمپ روتاری انجام می‌شد که تا حد زیادی هوای داخل راکتور را تخلیه می‌کرد. اما به منظور تخلیه هرچه بیشتر راکتور از ملکول‌های اکسیژن قبل از روشن کردن مشعل به مدت یک دقیقه پمپ تخلیه و گاز حامل یعنی آرگون به طور هم‌زمان روشن می‌شدند که این عمل باعث پاک‌سازی هرچه بیشتر فضای راکتور از ملکول‌های اکسیژن می‌شد. سپس با استفاده از دبی گاز ورودی و پمپ خروجی و فشارسنج تعبیه شده فشار داخل راکتور در 1 atm تنظیم شد.



شکل 7. نمایی از چیدمان آزمایش ترمال کراکینگ (PFO) با استفاده از راکتور پلاسما

کپسول‌های گاز آرگون و نیتروژن از طریق کنترل کننده‌های شارش جرمی روی دبی مورد نظر تنظیم شده و به ورودی گاز مشعل متصل شدند. سپس کاتد و آند مشعل به الکترودهای منبع تغذیه توان بالا جریان

مستقیم (500A-200V) متصل می‌شوند. خوراک نفت کوره به وزن 700 گرم داخل ظرف سفالی نسوز ریخته شده و در قسمت نمونه گیر قرار می‌گیرد. پس از روشن شدن مشعل ورسیدن به نقطه بهینه پسماند مورد نظر در توان‌های ۱۶۰۰،۲۰۰۰،۲۴۰۰،۲۸۰۰ وات که نقاط بهینه در بخش مشخصه‌یابی مشعل بودند هر نوبت به مدت 1 دقیقه پردازش می‌شود. پس از هر نوبت پردازش بسته به میزان توان 2 ± 20 گرم از خوراک تبدیل به گاز می‌شود. محصولات تولیدی از آن توسط بالون حجمی جمع آوری و برای تشخیص و جداسازی به بخش کروماتوگرافی گازی فرستاده می‌شوند. این محصولات دارای ارزش اقتصادی بسیار بالاتری نسبت به خود پسماند می‌باشند.

نتایج و بحث

با استفاده از روش تقریبی اندازه‌گیری دما از طریق معادله بولتزمن دمای موضعی به طور میانگین 6000 درجه کلوین محاسبه شد. این دما بصورت کاملا موضعی بوده و در فاصله کمتراز 5 mm از بدنه جت دما به شدت افت می‌کند به نحوی که هیچ‌گونه آسیبی به تجهیزات نمی‌رسد. نتایج حاصل از آنالیز گروماتوگرافی گازی نشان می‌دهند که نرخ تولید هیدروژن به عنوان یک سوخت ارزشمند، با افزایش توان از 1600 به 2800 وات به 1/85 slm می رسد. پیداست که با افزایش توان تعداد، دما و انرژی گونه‌های فعال تولید شده در پلاسما بیشتر شده و در نتیجه در اثر برخورد این ذرات پیوندهای ملکولی به میزان بیشتری شکسته خواهند شد. نرخ تبدیل محصولات از رابطه‌ی زیر محاسبه می‌شود:

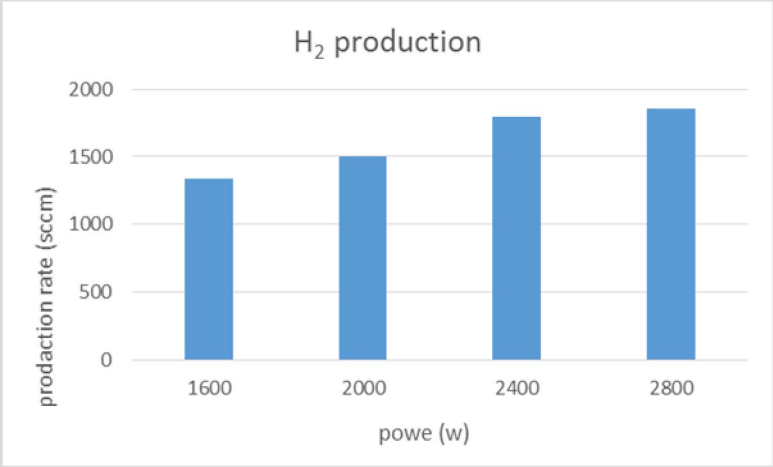
$$\%\text{Reactant conversion} = \left(1 - \frac{\text{Reactant}^{out}}{\text{Reactant}^{in}}\right) \times 100$$

میزان تولید هیدروکربن‌های سبک گازی شامل متان C1، اتان، اتیلن و استلین C2، پروپان و پروپیلن C3 و ان بوتان و ایزو بوتان نیز با افزایش توان افزایش پیدا می‌کند. مجموع همگی این هیدروکربن‌ها با افزایش توان رشدی 2/3 برابری داشته است. نمودار شکل‌های 8 نرخ تولید هیدروژن به عنوان اصلی‌ترین محصول و شکل 9 نرخ تولید مجموع هیدروکربن‌های گازی تولید شده را نشان می‌دهند. گزینش‌پذیری محصولات هیدروکربنی گازی نیز که نشان دهنده نرخ تولید هر هیدروکربن گازی در توان‌های مختلف است در شکل 10دیده می‌شود. گزینش‌پذیری تولید محصولات از رابطه‌ی زیر محاسبه می‌شود:

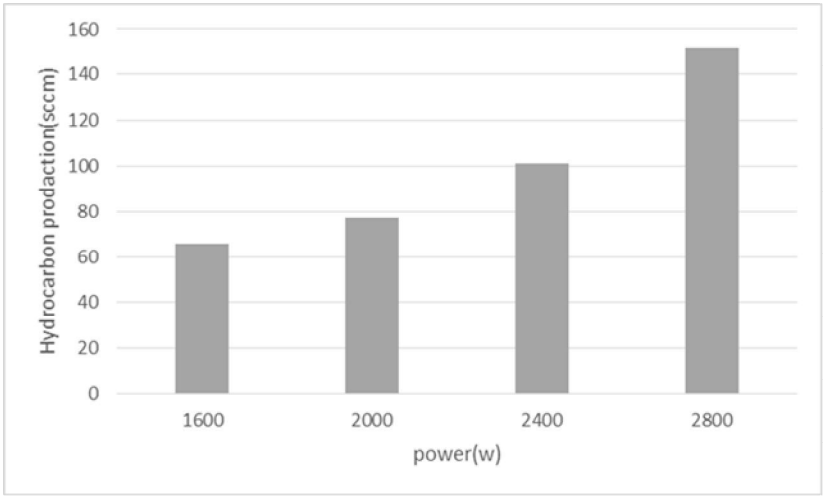
$$\%\ \textit{Considered}\ \text{Product Selectivity} = \frac{(\text{rate of considered product producing} \times 100)}{\text{rate of total products producing}}$$

این نمودارها روندی افزایشی در تولید گونه‌های هیدروکربنی سبک که سوخت‌های مهمی به شمار می‌روند را نشان می‌دهند. هنگامی که به یک هیدروکربن سنگین موجود در پسماند به منظور فرایند تقطیر از طریق گونه‌های موجود در پلاسما گرما داده می‌شود، در واقع به این ذرات مقداری انرژی داده می‌شود تا بر نیروی

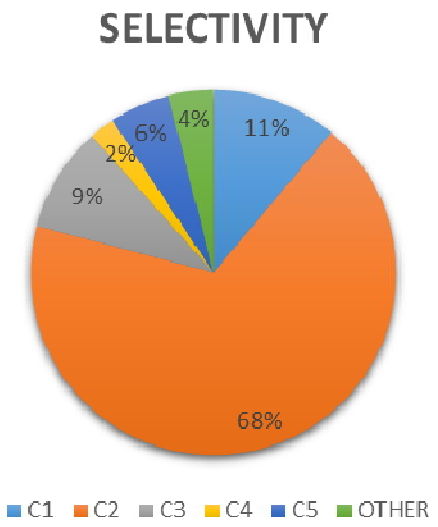
جاذبه‌ای که ملکول ها را در حالت مایع نگه می‌دارند غلبه کند. اگر انرژی به کار رفته بیش از انرژی پیوند کربن – کربن باشد فرایند کراکینگ (شکستن پیوند ملکولی) یا تبدیل به گاز شدن پدید می‌آید. در برخوردهای اولیه تعداد زیادی رادیکال گروه آلکیل مانند متیل و اتیل تولید می‌شوند که در مرحله‌های بعد وارد زنجیره کراکینگ شده و به عنوان کاتالیزور نقشی کمکی در فرایند شکستن ایفا می‌کنند. چنان‌چه این فرایند تحت خلا انجام شود می‌توان از پدیده کراکینگ جلوگیری کرد. همچنین با توجه به میزان انرژی پیوند تولید بیشتر هیدروژن و هیدروکربن‌هایی با پیوندهای یگانه کربن – کربن را می‌توان توجیح کرد.



شکل 8. تاثیر توان اعمالی به پلاسما بر میزان تولید گاز هیدروژن



شکل 9. تاثیر توان اعمالی به پلاسما بر تولید مجموع هیدروکربن‌های گازی سبک



شکل 10. گزینش پذیری هیدروکربن‌های سبک تولیدی

نتیجه‌گیری

در این کار با توجه به انرژی و دمای بالای پلاسمای حرارتی از این ژنراتور پلاسما برای پردازش نفت کوره به عنوان نمونه‌ای از محصولات کم ارزش پالایشگاه استفاده شد. ابتدا مشعل پلاسما و راکتور آن در توان کاری و ابعاد آزمایشگاهی مورد نظر ساخته شدند. سپس چیدمان راه‌اندازی راکتور شامل سیستم خنک کننده، سیستم تزریق گاز، سیستم تزریق خوراک، منبع تغذیه جریان مستقیم جریان بالا فراهم شدند. پس از انجام آزمایش‌های مشخصه یابی، مشخصات اپتیکی، الکتریکی، حرارتی و فیزیکی مشعل به دست آمدند. همچنین نقاط بهینه‌ای در توان کاری و دبی گاز حامل و فاصله از نمونه به دست آمدند. دمای اندازگیری شده در پلاسمای آرگون به طور متوسط 6000 K محاسبه شد. سپس در دبی گاز بهینه 2 slm و فاصله بین الکترودی 5 mm تاثیر توان اعمالی بر میزان تولید فراورده‌های گازی با ارزش اعم از هیدروژن و هیدروکربن‌های گازی سبک بررسی شد. نرخ تولید این محصولات با افزایش توان اعمالی در دبی ثابت به دلیل افزایش دما یا به عبارتی افزایش سهم انرژی تخصیص یافته به هر ذره یا گونه فعال موجود در پلاسما که عامل اصلی انجام فرایند کراکینگ است، افزایش می یافت. به عبارتی شارش آبشاری از ذرات و گونه‌های پرانرژی موجود در پلاسما تحت شرایط فیزیکی و شیمیایی مناسب به راحتی قادر به شکستن زنجیره‌های ملکولی هیدروکربنی شده و آن را به هیدروژن گازی به عنوان سوخت اصلی و سایر هیدروکربن‌های سبک تبدیل می‌کند.

تشکر و قدردانی

از مدیریت محترم پژوهش و فناوری شرکت ملی پالایش و پخش فرآورده‌های نفتی ایران و کارشناسان محترم آن مجموعه به خاطر همکاری‌های صورت گرفته در انجام پروژه و حمایت مالی آنها صمیمانه تشکر

می‌گردد.

همچنین از خانم مهندس رویا خلیلی که به عنوان مشاور صنعتی این پروژه را همراهی کردند تشکر و قدردانی می‌گردد.

در این پروژه از نفت کوره پالایشگاه امام خمینی(ره) شازند (اراک) استفاده شد که بدین وسیله از این مجموعه تشکر و قدردانی می‌شود.

مراجع

1. جیمز اچ، گری؛ گلن ای، هندروک؛ ترجمه: سید مهبد مهدی بصیر؛ محمد باقر پورسعید؛ گیتی ابولحمد؛ پالایش نفت (فناوری و اقتصاد)، مرکز نشر دانشگاهی، تهران، جلد اول، ویرایش اول، 1381.

2. J. Elvin, NPRA Annual Meeting, 1983.

3. H.Y. Park, T.H. Kim, Non-isothermal pyrolysis of vacuum residue (VR) in a thermo gravimetric analyzer, Energy Conversion and Management, 2006; 47.

4. T. Suzuki, M. Itoh, M. Mishima, Y. Watanabe, Y. Takegami, Two-stage pyrolysis of heavy oils. 1. Pyrolysis of vacuum residues for olefin production in a batch-type reactor, Fuel, 60 (1981) 961-966.

5. T. Suzuki, M. Itoh, M. Mishima, Y. Takegami, Y. Watanabe, Two-stage pyrolysis of heavy oils. 2. Pyrolysis of Taching vacuum residues and Arabian light atmospheric residues for the production of olefins in a flow-type reactor, Industrial & Engineering Chemistry Process Design and Development, 21 (1982) 149-154.

6. عطیه خسروی؛ طراحی و ساخت مشعل تخلیه سد دی الکتریک به منظور پردازش پلاسمایی نفت کوره به همراه بررسی پارامترهای موثر؛ پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی پلاسما، پژوهشکده لیزر و پلاسما، دانشگاه شهید بهشتی، 1392.

7. ژ لوفبور؛ ترجمه گیتی ابوالحمد؛ شیمی هیدروکربن‌ها، مرکز نشر دانشگاهی، تهران، چاپ اول، ویرایش اول، 1363.

8. الهام دژبان گوی؛ تولید هیدروژن و هیدروکربن‌های سبک از پردازش پلاسمایی نفت کوره، پایان نامه کارشناسی ارشد فیزیک اتمی، دانشکده فیزیک، دانشگاه شهید بهشتی؛ 1392.

9. P. Kong, A. Watkins, B. Detering, C. Thomas, Reactive plasma upgrade of squalane-a heavy oil simulant, in, EG and G Idaho, Inc., Idaho Falls, ID (United States), 1995.