تبدیل متان به هیدروکربن‌های سنگین‌تر در رآکتور تخلیه هاله مثبت

محمدعلی خداقلی، ناصرسید متین: پژوهشگاه صنعت نفت شرکت ملی‌نفت ایران

چکیده

تبدیل مستقیم و غیرکاتالیستی متان به هیدروکربن‌های سنگین‌تر در فشار اتمسفریک در یک پلاسمای غیر تعادلی هاله مثبت مورد مطالعه قرار گرفت. گزینش‌پذیری به هیدروکربن‌های C_2 بیش‌تراز۸۷% بود با حداکثر ٤/۸% بازده اتیلن اثر ولتاژ، دما و نسبت متان به اکسیژن درخوراک بر تبدیل متان و گزینش‌پذیری محصولات بررسی شد نتایج آزمایش‌ها نشان می‌دهند که تبدیل متان با افزایش ولتاژ اعمال شده به رآکتور افزایش می‌یابد، تبدیل متان تا دمای ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد افزایش می‌یابد اما از ۳۰۰ تا ٦٥۰ درجه سانتی‌گراد به نسبت خوراک بستگی دارد، ممکن است افزایش و یا کاهش یابد. بالاترین تبدیل متان و بازدهی هیدروکربن‌های C_2 در نسبت خوراک CH_4O_2 =٤/۱ است.

مقدمه

در حال حاضراستفاده صنعتی ازگاز طبیعی بیش‌تر به مصرف سوخت خانگی و نیروگاه‌های تولید برق منحصر است. احتیاج روزافزون صنعت به متانول و اتیلن وامکان تبدیل متان(که حدود ۷۰ تا ۹۰ درصد از گاز طبیعی را شامل می‌شود) به اتیلن توجه زیادی را جلب کرده است. با فنآوری‌های موجود با آن‌که گاز طبیعی نسبتاً ارزان است اما تبدیل متان به متانول و اتیلن بسیار گران و هزینه بر است.

چند سالی است که تحقیقات وسیعی برای تبدیل متان به هیدروکربن‌های با ارزش‌تر تنها در یک مرحله در تعدادی ازکشورهای صنعتی و در ایران صورت گرفته است که به نام زوج شدن اکسایشی متان[۱](OCM) معروف است در این فرآیند متان با اکسیژن و در مجاورت یک کاتالیست و در دمای K ۱۱۰۰ به اتیلن، اتان، منواکسید کربن و دی اکسید کربن تبدیل می‌گردد.

متان با بازده‌ای بالاتر از ۸۵% در دمای بالاتر ازK ۲۰۰۰ و زمان واکنش کم‌تر از ۰۱/ ثانیه به استیلن تبدیل می‌گردد. تمام این روش‌ها چون در دمای بسیار بالا و یا فشارهای بالا صورت می‌گیرند بسیار پر هزینه‌اند[۱]. اخیراً تبدیل متان به الفین‌ها، گاز سنتز و متانول با استفاده از تخلیه الکتریکی در یک گاز و یا پلاسما بررسی شده است[۹]-[۱].

کلمات کلیدی: تبدیل متان پلاسما، تبدیل متان رآکتور تخلیه کرونا، متان پلاسمای غیر تعادلی ، متان پلاسمای غیر حرارتی

۱-Oxidative Coupling of Methane

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-11-03]

چانگ جان لیو[۱] و همکاران درسال۱۹۹۶با استفاده از پلاسمای کرونای ac و dc متان را به هیدروکربن‌های اتان واتیلن تبدیل نمودند، بالاترین تبدیل متان با جریان مستقیم در ولتاژ ۵ کیلو ولت ۱۰/۶% و با بازده نهایی ۶/۲۵% بوده است[۱]. با به کارگیری ولتاژ متناوب در ۳۰ هرتز این مقدار به۴۳% تبدیل متان و ۲۱% راندمان محصولات نهایی افزایش پیدا کرده است[۲]. آن‌ها نشان داده‌اند که اگر به جای سیستم هیدروژن - متان مقداری اکسیژن نیز به جریان خوراک اضافه گردد، سیستم جدید نتایج بهتری از سیستم قبلی خواهد داشت. این گروه همچنین زئولیت‌های مختلف را در محیط پلاسما در تبدیل متان با هم مقایسه کرده‌اند تبدیل متان با زئولیت Y تا ۵۰% افزایش پیدا کرده است و گزینش‌پذیری به محصولات C_2 نیز تا ۳۵% در دماهای ۲۰۰-۵۰ درجه سانتی‌گراد است[۳].

مورفی[۲] و همکاران مطالعاتی بر روی کاتالیست Sr_2/La_2O_3 در محیط پلاسما انجام داده‌اند. این ماده به عنوان کاتالیست در فرآیند OCM به کار برده می‌شود، اما عمل‌کرد این کاتالیست در محیط پلاسما تبدیل متان را تا ۵ برابر و گزینش‌پذیری به محصولات C_2 را تا ۸ برابر افزایش داده است که نشان می‌دهد تعدادی از کاتالیست‌های OCM در محیط پلاسما حالت تشدید در تبدیل متان از خود نشان می‌دهند[٤]. در سال ۱۹۸۸ تانیاکوپیبن[۳] و همکاران با به کارگیری رآکتور با مانع دی الکتریک شیشه، متان را درفشار اتمسفریک و دمای اتاق به اتان و اتیلن با بازدهی حدود ۱۰% تبدیل نمودند[۵].

تبدیل متان به متانول در یک مرحله با رآکتور مانع دی الکتریک شیشه و کوارتز با بازدهی حدود ۲/۹% و در شرایط اتمسفریک توسط الیسون[٤] و همکاران با منابع تغذیه پالسی از جمله کارهایی است که اخیراً انجام شده‌اند[۹]-[۷].

یکی از سادەترین انواع پلاسمای غیرتعادلی تخلیه هاله[۵] است. تخلیه هاله در فشار اتمسفریک در صورتی اتفاق می‌افتد که یک ولتاژ قوی به دوالکترود با اندازه‌های فیزیکی کاملا متفاوت مثل یک الکترود سوزنی و صفحه‌ای اعمال گردد. در تخلیه هاله انرژی متوسط الکترونی حدود ٦ eV است[۱]. با کنترل انرژی الکترونی پلاسما که با تغییر میدان الکتریکی و یا طراحی مناسب رآکتور میسر است، می‌توان واکنش‌ها را به سمت محصولات دلخواه هدایت کرد.اخیراً از تکنولوژی پلاسما برای شکستن مولکول‌های گازهای سمی مثل ناکس‌ها (NO_X) نیز استفاده شده است[۱۰].

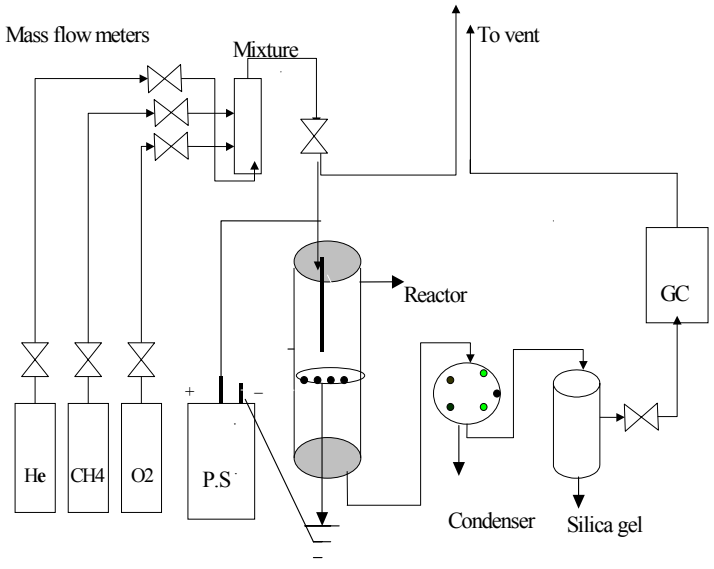
انجام آزمایش‌ها

شکل۱ سیستم تبدیل متان به هیدروکربن‌های بالاتر و شکل۲ رآکتور آزمایشگاهی ساخته شده جهت انجام آزمایش‌ها را نشان می‌دهند. الکترود بالایی فولاد ۳۱٦-ss به ضخامت ۱/٦ میلی‌متر است. الکترود پایینی نیز از

۱-Chang June liu ۲- Marafee, A ۳-Thanyachopaiboon ٤-B. Eliason ۵-Corona Discharge

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-11-03]

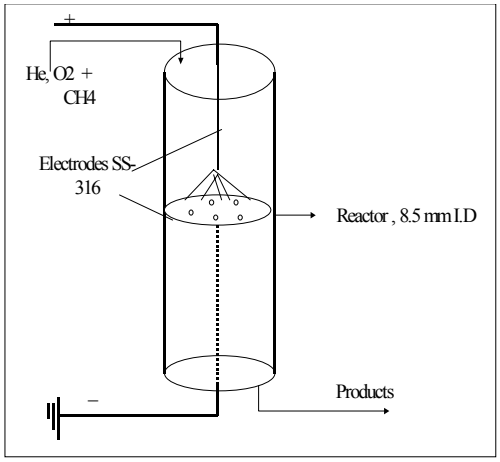
همان جنس به ضخامت ۲ و قطر۸/۵ میلی‌متر است که برای عبور گاز چند سوراخ در آن تعبیه شده است. الکترود صفحه‌ای در تمام آزمایش‌ها در پتانسیل صفر(زمین) قرار دارد و الکترود میله‌ای در پتانسیل‌های متفاوت مثبت. الکترود میله‌ای عمود بر الکترود صفحه‌ای در مرکزاست. بدنه اصلی رآکتور لوله‌ای از جنس کوارتز است که قطر بیرونی آن ۱۰میلی‌متر و قطر داخلی آن۸/۵ میلی‌متر است. سایر لوله‌ها کوارتز با قطر خارجی۵ میلی‌متراند که برای ورود خوراک و خروج محصولات هستند. رآکتور درداخل یک کوره الکتریکی قرار دارد، یک ترموکوپل از نوع K بر روی دیواره خارجی رآکتور قرار دارد تا دما را کنترل نماید گازهای متان، هلیوم و اکسیژن با درجه خلوص۹۹/۹۹% از شرکت روهام گاز تامین شده‌اند. جریان خوراک توسط جریان‌سنج‌های جرمی(بروکس) تنظیم شدند. گازها قبل از ورود به رآکتور با عبور از مخزن اختلاط[۱] کاملاً مخلوط می‌شوند. محصولات را یک دستگاه گاز کروماتوگرافی(Shimadzo-6A) که به آشکارساز TCD ودو ستون(Q- Propack) وغربال مولکولی 13X مجهز است شناسایی کیفی و کمی می‌کند. منبع تغذیه فقط ولتاژ جریان مستقیم تا ١٤ کیلو ولت با پلاریتی مثبت را تامین می‌کند. جریان کل خوراک حدود ٦٠ ml/min تنظیم شده بود. اکسیژن با نسبت‌های مختلف به گازمتان اضافه گردید و این مخلوط برای جلوگیری از انفجارهای احتمالی و تسهیل واکنش‌ها با گاز هلیوم رقیق شد. فاصله بین دو الکترود ۱۰ میلی‌متر انتخاب گردید و تمام آزمایش‌ها در فشار محیط انجام شده‌اند. آزمایش‌ها نشان می‌دهند که شرایط بهینه در دمای ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد در ولتاژ۵ کیلوولت بامیزان تبدیل متان حدود ۱۱/۵% وبازده ٤/٨% اتیلن است. در بعضی آزمایش‌ها مقادیر بسیار جزیی اکسیدهای کربن نیز تولید شده است.



شکل۱- مجموعه ایجاد پلاسمای کرونا با قسمت‌های تغذیه خوراک و آنالیز

۱-mixing chamber

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-11-03]

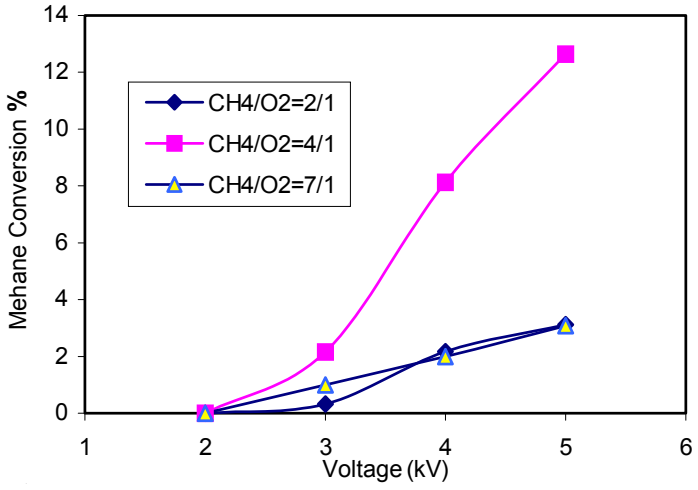


شکل ۲ ـ رآکتور کرونای مثبت

مشاهدات و نتایج

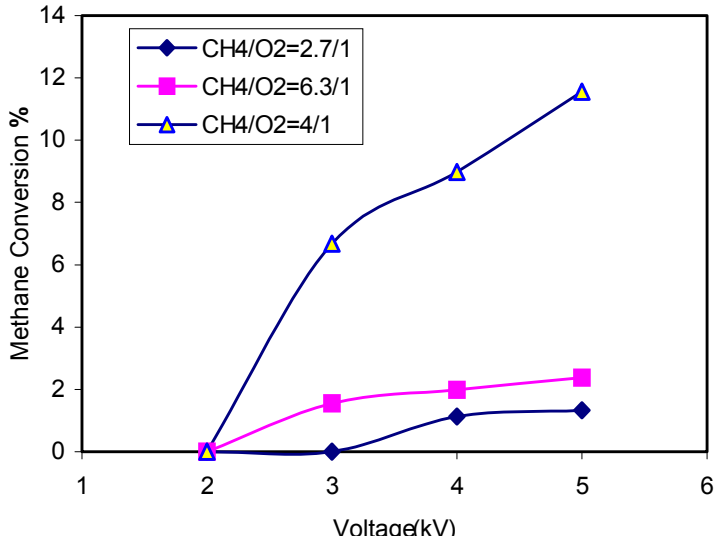
تاثیر ولتاژ

شکل ۳(الف و ب) تغییرات تبدیل‌پذیری متان را با ولتاژ در دو دمای ۳۰۰ و ۶۵۰ درجه سانتی‌گراد را نشان می‌دهند.برای تمامی نسبت‌های خوراک میزان تبدیل متان با افزایش ولتاژ اعمال شده افزایش می‌یابد. با افزایش ولتاژ تعداد الکترون‌هایی که انرژی سینتیکی برابر و یا بیش‌تر از انرژی یونیزاسیون گاز متان دارند طبق رابطه بولتزمن افزایش می‌یابند.افزایش تبدیل متان به دلیل افزایش احتمال برخورد الکترون‌های پرانرژی با مولکول‌های متان است. در بیش‌تر نسبت‌های خوراک در ولتاژ ۵ کیلو ولت تبدیل متان به حد اشباع خود رسیده است. افزایش ولتاژ بعد از ۵ کیلو ولت سبب ایجاد قوس الکتریکی بین دو الکترود می‌گردید.



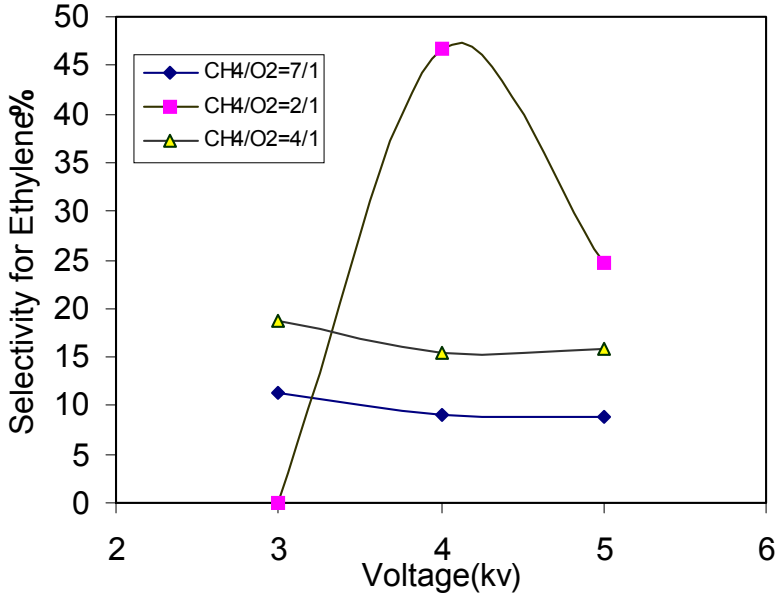
شکل ۳ الف ـ تاثیر ولتاژ در تبدیل متان در سطوح مختلف نسبت خوراک در دمای ۶۵۰ درجه سانتی‌گراد

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-11-03]



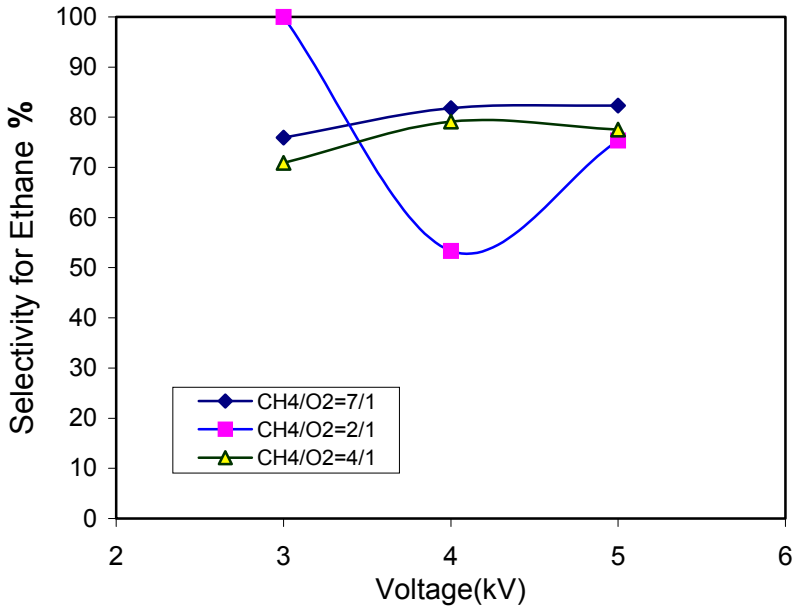
شکل ۳ ب ـ تاثیر ولتاژ در تبدیل متان در سطوح مختلف نسبت خوراک در دمای ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد

شکل‌های ٤و ٥ گزینش‌پذیری اتیلن و اتان با تغییرات ولتاژ اعمال شده به رآکتور را نشان می‌دهند. همان طور که مشاهده می‌گردد گزینش‌پذیری اتیلن و اتان در دو نسبت ۷/۱ و ٤/۱ CH_4/O_2= تغییرات چندانی با ولتاژ نمی‌کنند اما در نسبت خوراک ۱ /۲ CH_4/O_2= تغییرات گزینش‌پذیری شدید است. و امکان دریافت محصول مورد نظر با تنظیم ولتاژ وجود دارد.



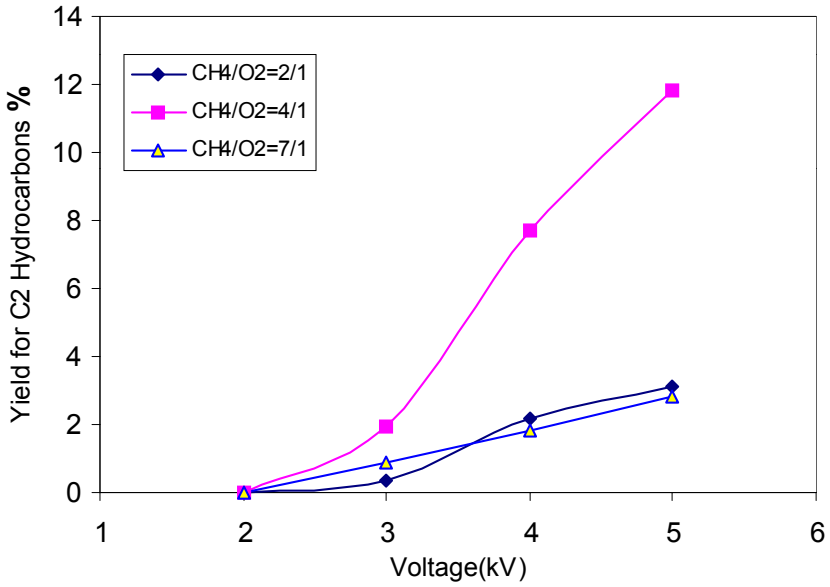
شکل ٤ ـ تاثیر ولتاژ بر گزینش‌پذیری به اتیلن در دمای ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-11-03]



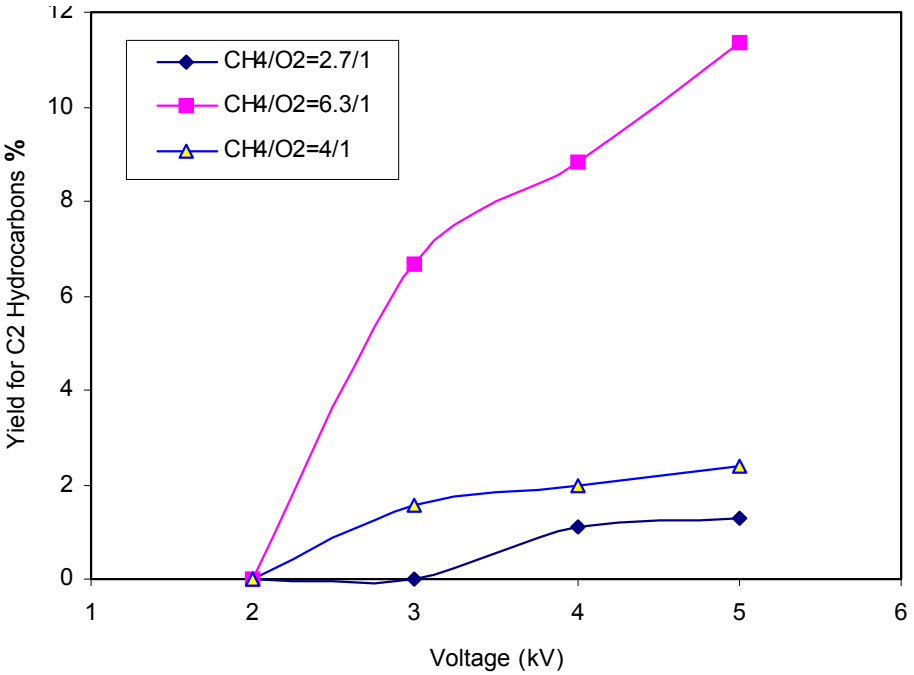
شکل۵ ـ تاثیر ولتاژ بر گزینش‌پذیری به اتان در دمای ۶۵۰ درجه سانتی‌گراد

شکل۶(الف و ب) بازده هیدروکربن‌های C_2 را با تغییرات ولتاژ نشان می‌دهند. بازده محصولات ارزشمند با تغییرات ولتاژمتناسب‌اند. بازده محصولات C_2 در ولتاژ ۵ کیلو ولت در دمای ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد در نسبت CH_4/O_2=۴/۱ با گزینش‌پذیری۹۸/۳۶ % برابر با ۱۱/۳۶ است. در سایرسطوح نسبت خوراک، بازده محصولات C_2 با افزایش ولتاژ افزایش نشان می‌دهند.



شکل ۶ الف- تاثیر ولتاژ در راندمان نهایی به هیدروکربن‌های C_2 در سطوح مختلف نسبت خوراک در دمای ۶۵۰ درجه سانتی‌گراد

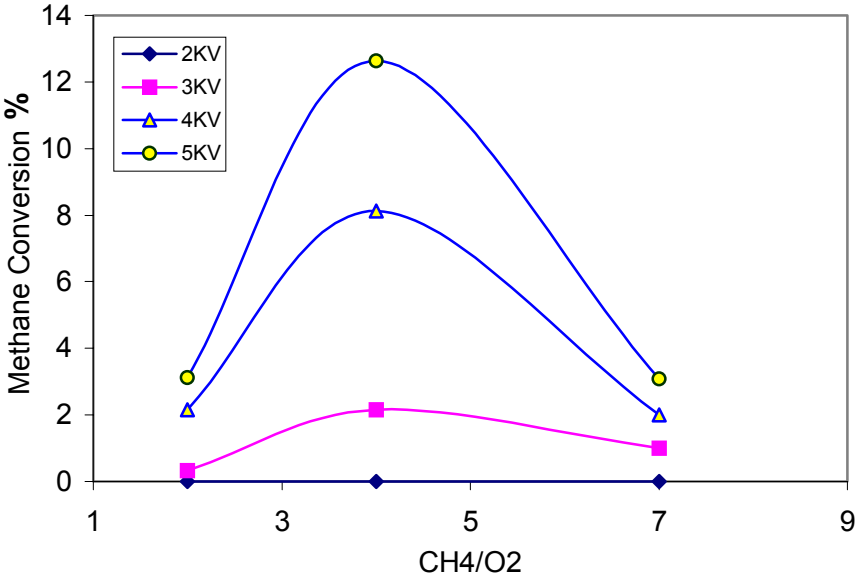
[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-11-03]



شکل ٦ ب- تاثیر ولتاژ در راندمان نهایی به هیدروکربن های C_2 در سطوح مختلف نسبت خوراک در دمای ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد

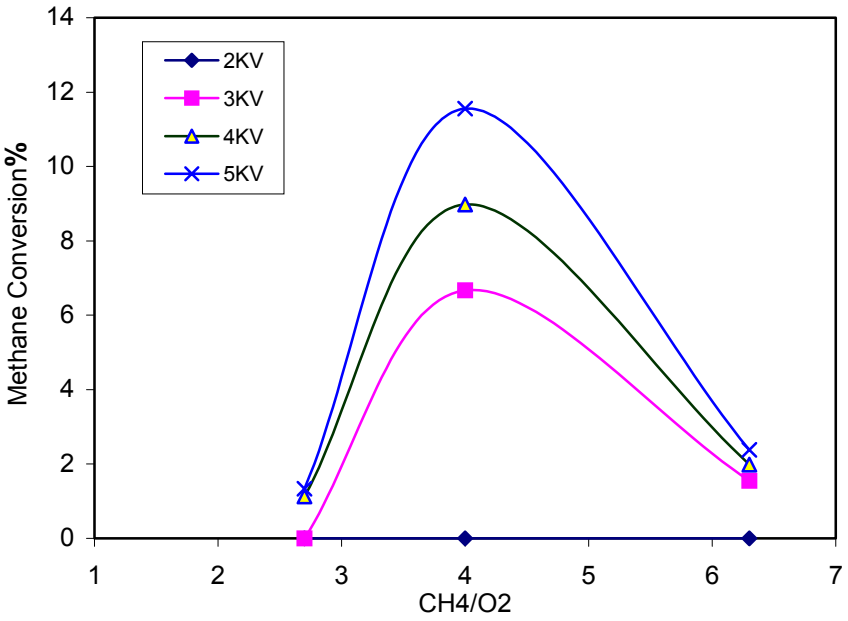
تاثیر نسبت خوراک

شکل۷ (الف وب) تاثیر تغییرات نسبت خوراک را در تبدیل متان را در دو دمای٦٥٠ و۳۰۰ درجه سانتی‌گراد نشان می‌دهند. به نظر می‌رسد در نسبت خوراکCH_4O_2=٤/١ حالت تشدید وجود دارد؛ زیرا تبدیل‌پذیری متان در هر دو سطح دما افزایش چشمگیری دارد.



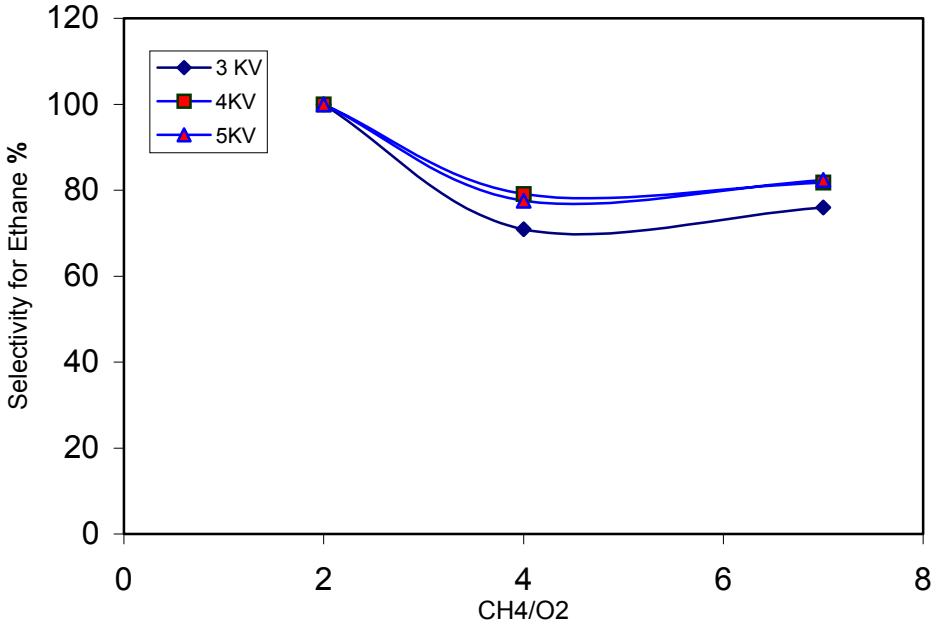
شکل ۷ الف- تاثیر نسبت خوراک در تبدیل متان در دمای ٦٥٠ درجه سانتی‌گراد

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-11-03]



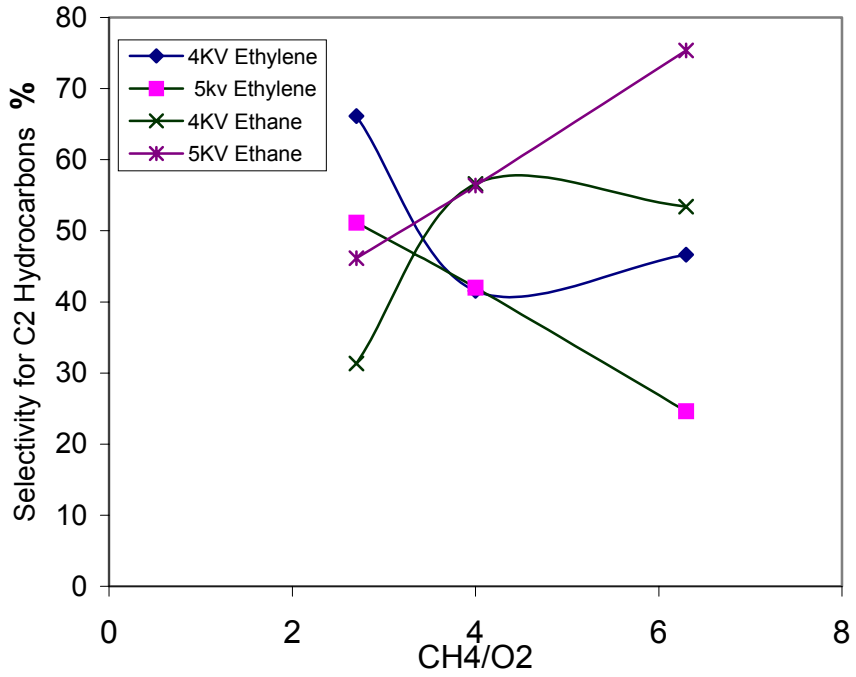
شکل ۷ ب- تاثیر نسبت خوراک در تبدیل متان در دمای ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد

شکل‌های ۸ و ۹ تاثیر نسبت خوراک بر گزینش‌پذیری اتیلن و اتان را در دمای۶۵۰ درجه سانتی‌گراد نشان می‌دهند.



شکل ۸ - تاثیر نسبت خوراک بر گزینش‌پذیری به اتان در دمای ۶۵۰ درجه سانتی‌گرا د

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-11-03]

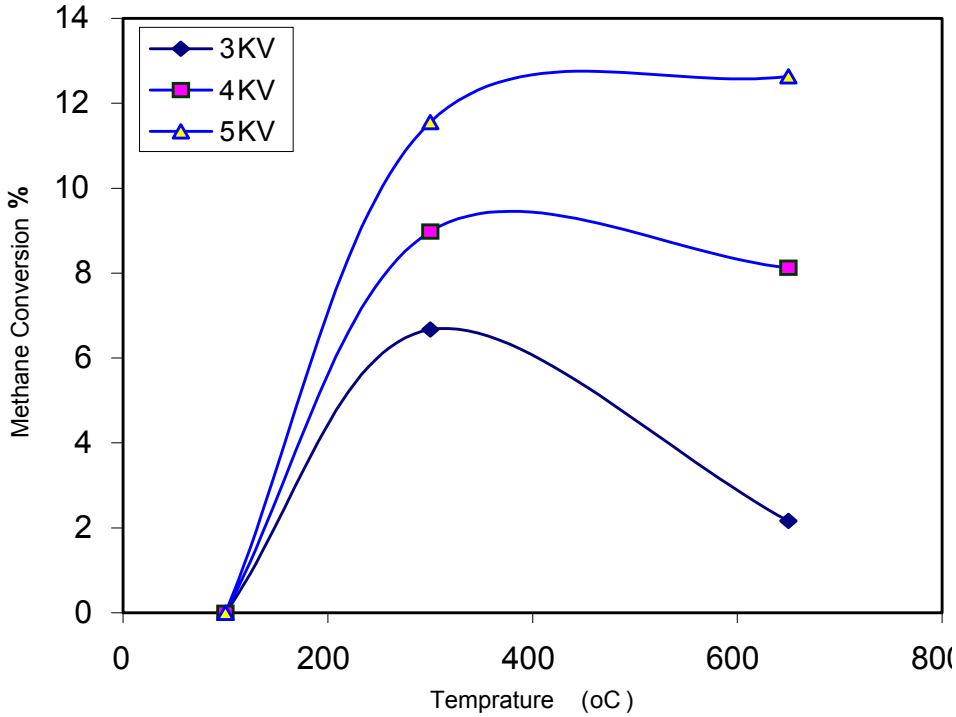


شکل ۹ - تاثیر نسبت خوراک بر گزینش‌پذیری به اتان و اتیلن در دمای ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد

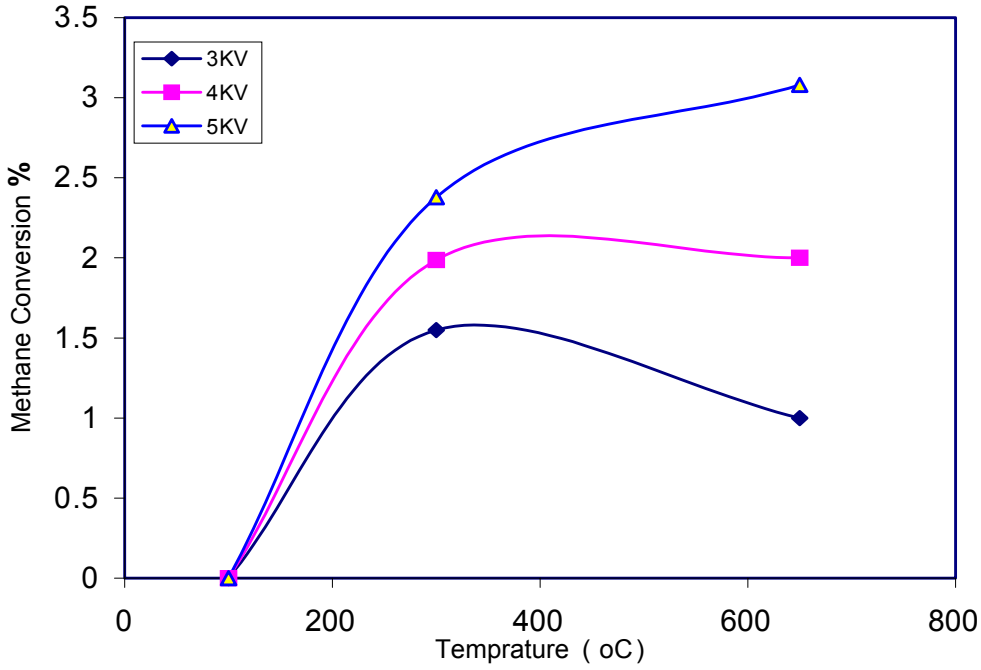
تاثیر دما

شکل ۱۰(الف و ب) تغییرات تبدیل متان را با افزایش دما نشان می‌دهند. افزایش دما تا ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد در تبدیل متان کاملاً مشهود است. اما این تغییرات بین ۳۰۰ تا ٦٥٠ درجه سانتی‌گراد ناچیزاند . در ولتاژ ۳ کیلو ولت افزایش دما باعث کاهش تبدیل متان گردیده است. این موضوع نشان دهنده آن است که وضعیت غیر تعادلی سیستم بیش‌تر تا دمای ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد وجود دارد در دماهای بالاتر ممکن است تخلیه‌هایی ازنوع قوس الکتریکی و یا (Spark) و تاثیرات دمایی تبدیل‌پذیری متان را تسهیل نمایند. شکل ۱۱ تغییرات گزینش‌پذیری اتان و محصول الفینی را در دو دمای ۳۰۰ و ٦٥٠ درجه سانتی‌گراد را نشان می‌دهد. گزینش‌پذیری محصولات در دمای ٦٥٠ درجه سانتی‌گراد تقریباً ثابت مانده است. اما در دمای ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد گزینش‌پذیری با تغییرات ولتاژ تغییر می‌کند و گزینش‌پذیری به محصول الفینی تا٤٥/٦% افزایش می‌یابد. در دماهای پایین‌تربه دلیل آن‌که الکترون‌ها و یون‌ها دارای سرعت‌های متفاوت و در نتیجه دماهای نا برابری هستند گزینش‌پذیری محصولات نیزبا تغییرات ولتاژ تغییر می‌کند. در دماهای بالاتر تاثیرات حرارتی عامل اصلی واکنش‌ها هستند.

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-11-03]

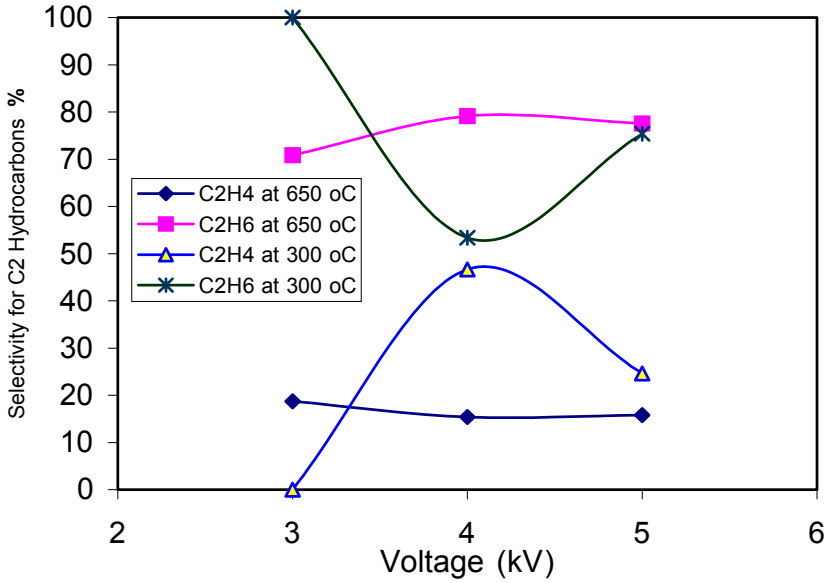


شکل ۱۰ الف- تاثیر دما در تبدیل متان در نسبت خوراک $CH_4/O_2=4/1$



شکل ۱۰ ب - تاثیر دما در تبدیل متان در نسبت خوراک $CH_4/O_2=6.5/1$

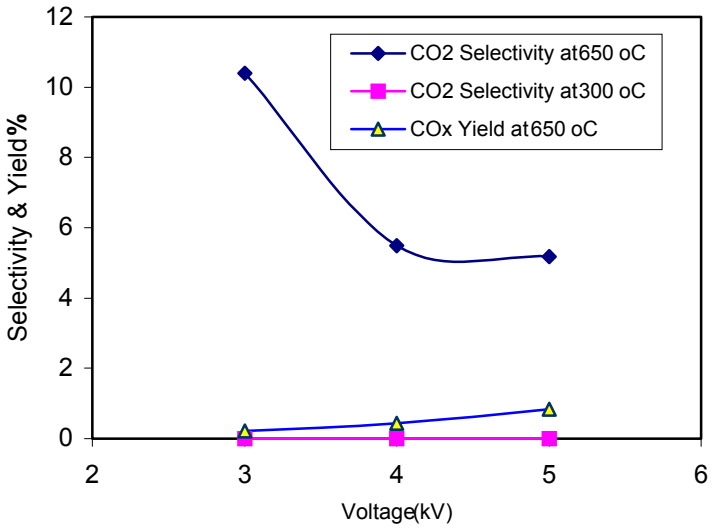
[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-11-03]



شکل ۱۱ ـ تاثیر ولتاژ برگزینش‌پذیری به محصول الفینی و آلکانی در دو دمای ۳۰۰و ۶۵۰ درجه سانتی‌گراد در CH_4/O_2= 4/1

تولید گاز کربنیک

شکل۱۲ تبدیل‌پذیری محصول به گاز کربنیک در دمای ۳۰۰ و ۶۵۰ درجه سانتی‌گراد و راندمان به COx ها را نشان می‌دهد. گزینش‌پذیری به گاز کربنیک دردمای ۶۵۰ درجه سانتی‌گراد ۱۰/۴۰% است در حالی که در دمای ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد گاز کربنیک و گاز منواکسید کربن تشکیل نگردیده است . به طور کلی با افزایش دما گزینش‌پذیری گاز کربنیک نیز افزایش می‌یابد اما راندمان اکسیدهای کربن در تمام آزمایش‌های انجام شده و در شرایط گوناگون همیشه کمتر از ۱% و فقط در دمای۶۵۰ درجه سانتی‌گراد ۲/۱۱% بوده است.



شکل۱۲ـ تاثیر ولتاژ بر گزینش‌پذیری و راندمان نهایی محصول به گاز کربنیک در دماهای ۳۰۰ و ۶۵۰ درجه سانتی‌گراد در CH_4/O_2 = 4/1

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-11-03]

بر هم کنش ذرات در سیستم پلاسما

در فضای بین دو الکترود در تخلیه کرونا، الکترون‌های با انرژی متوسط ٦ ev ایجاد می‌گردد. این انرژی برای فعال ساختن مولکول متان که به نظر می‌رسد به انرژی یونیزاسیون[1] حدود ۱۲ ev احتیاج است کافی نیست [۱]. اما این انرژی برای برانگیختگی مولکول‌های O_2 از طریق تجزیه الحاقی[2] کافی است.

$$e^- + O_2 \rightarrow 2O + e^- \rightarrow O^- + O \qquad (1)$$

انتظار می رود که واکنش‌های متان بعد از آنکه این مولکول‌ها توسط O^- فعال شدند اتفاق افتد.

۱) تشکیل رادیکال متان

$$O^- + CH_4 \rightarrow CH_3^{\bullet} + OH^- \qquad (2)$$

۲) تشکیل اتان

$$2\,CH_3^{\bullet} \rightarrow C_2H_6 \qquad (3)$$

۳) تشکیل اتیلن

$$C_2H_6 + e^- \rightarrow C_2H_5^{\bullet} + H + e^- \qquad (4)$$

$$2\,C_2H_5^{\bullet} \rightarrow C_2H_4 + C_2H_6 \qquad (5)$$

٤) تشکیل اتیلن باهیدروژن زدایی اتان به کمک اکسیژن نیزممکن است اتفاق بیافتد

$$C_2H_6 + O^- \rightarrow C_2H_5^{\bullet} + OH^- \qquad (6)$$

$$C_2H_5^{\bullet} + O^- + e^- \rightarrow OC_2H_5^- + e^- \qquad (7)$$

$$OC_2H_5^- \rightarrow C_2H_4 + OH^- \qquad (8)$$

بدیهی است CO_2 و H_2O نیز درنتیجه واکنش‌های OCM درمحیط پلاسما تولید می‌گردند، اما این گونه‌ها به طور طبیعی درحالت تحریک شده قرار دارند و با الکترون‌های کم انرژی هم طبق واکنش‌های زیر تجزیه می‌گردند.

$$e^- + CO2 \rightarrow O^- + CO \qquad (9)$$

$$e^- + CO2 \rightarrow O + CO + e^- \qquad (10)$$

و

$$e^- + H_2O \rightarrow O^- + H_2 \qquad (11)$$

$$e^- + H_2O \rightarrow OH^- + H \qquad (12)$$

O^- ایجاد شده در نتیجه واکنش‌های ۹ و ۱۱ در واکنش‌های ۱ ، ۲ ، ٦ و ۷ شرکت می‌کنند. و OH^- ایجاد شده در نتیجه واکنش ۱۲ با واکنش‌های ۱۳ تا ۱۵ به آب تبدیل می‌شوند.

۱-Ionnisation potential ۲-Dissociative attachments

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-11-03]

۵) تشکیل آب

$$2OH^- \rightarrow O^{2-} + H_2O \quad (13)$$

$$2H + O \rightarrow H_2O \quad (14)$$

$$H_2 + O \rightarrow H_2O \quad (15)$$

۶) تشکیل COx

$$CH_3^{\bullet} + O_2 \rightarrow OH + H_2CO \quad (16)$$

$$H_2CO + H \rightarrow H_2 + HCO \quad (17)$$

$$HCO \rightarrow H + CO \quad (18)$$

$$OH + CO \rightarrow CO_2 + H \quad (19)$$

$$H_2CO + OH \rightarrow HCO + H_2O \quad (20)$$

$$CH_3^{\bullet} + HCO \rightarrow CH_4 + CO \quad (21)$$

نتیجه‌گیری

تبدیل گاز متان که قسمت عمده گاز طبیعی را تشکیل می‌دهد با پلاسمای ایجاد شده در تخلیه هاله (کرونا) مثبت بررسی گردید. نتایج این تحقیق نشان داد که تبدیل متان با جریان مستقیم با گزینش‌پذیری عالی به محصولات C_2 در دمای ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد حدود ۱۲% است. مقادیر بسیار جزیی گازهای منواکسید و دی‌اکسید کربن آن هم حداکثر حدود ۲% در دمای ۶۵۰ درجه سانتی‌گراد مشاهده گردید. آزمایش‌ها در سه سطح دمای ۱۰۰، ۳۰۰ و ۶۵۰ درجه سانتی‌گراد انجام شد . به نظر می‌رسد که پلاسمای حاصله در دمای ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد در حالت غیر تعادلی قرار دارد بعد از آن با افزایش دما پلاسمای حاصله نتیجه تخلیه‌های کرونا، قوس الکتریکی و تأثیرات حرارتی است. دردمای ۶۵۰ درجه سانتی‌گراد تغییرات میدان که متأثر از تغییرات ولتاژ است تاثیر چندانی برگزینش‌پذیری محصولات ندارد. اما در دمای ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد این تغییرات عمده اند و با تنظیم ولتاژ می‌توان محصولات متفاوت و مورد نظررا تهیه نمود. هیدروکربن‌های حاصله عبارت بودند از اتیلن و اتان. اتیلن یکی از خوراک‌های اصلی مجتمع‌های پتروشیمی است. و اتان هم از این نظر محصول ارزشمندی است که تکنولوژی تبدیل آن به اتیلن با گزینش‌پذیری ۱۰۰% به صورت تجارتی موجود است . با توجه به این که تمام این محصولات ارزشی بالاتر از متان دارند پلاسمای حاصله از تخلیه کرونا می‌تواند روشی ساده برای تبدیل متان باشد. از نکات بارز دیگر این تحقیق انجام آزمایش‌ها در فشار اتمسفریک است. تجهیزات آن ساده، ارزان و در دسترس است.

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-11-03]

References

1. Changjun Liu, A. Marafee, B.Hill, R.Mallinson and L Lobban, Ind.Eng.Chem.Res., 35(1996) 3295-3301

2. Changjun Liu, R.Mallinson and L. Lobban, Journal of Catalysis, 179 (1998) 326- 334

3. Changjun Liu, R. Mallinson and L.Lobban Applied Catalysis A: General, 178(1999) 17-27

4. A. Marafee, Changjun Liu, Gen.Xu, R.Mallinson and L.Lobban, Ind.Eng. Chem. Res. 36 (1997) 632-637.

5. k.Thanyachotpaiboon, S.Chavadej, T.A. Caldwell, L.Lobban and R.G.Mallinson, AIChE Journal, 44 (1998) 2252-2257.

6. B.Eliasson, Changjun Liu, and U.Kogelschatz, Ind.Eng.Chem.Res. 39(2000) 1221-1227.

7. L.M. Zhou Xue, B. U. Kogelschatz, and B. Eliasson, Plasma Chemistry and Plasma Processing.18(1998)375-395.

8. Tao Jiang,Yang Liu, Chang – jun Lio, Xu. Gen – hui, B.Eliason, and B.Xue, Catalysis Today, 72 (2002) 229-235.

9. M.A. Khodagholi, N.Syed-Matin, N. Mizani, and A.H.Jalili, Annual Physics Conference of Iran , Zanjan University, Zanjan 24 – 27 August 2002.

10. J.F.Xia, X.X.Gao, J.Y. Kong, H.X.Hui, M Cui and K.P. On, Plasma Chemistry and Plasma Processing, 20 (2000) 225-233.

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-11-03]