

وزارت علوم، تحقیقات و فناوری



دانشگاه دامغان  
دانشکده شیمی

پایان نامه کارشناسی ارشد شیمی (گرایش معدنی)

زوج شدن اکسایشی متان در غشای دو فلزی  $CeO_2+ZrO_2$

توسط:

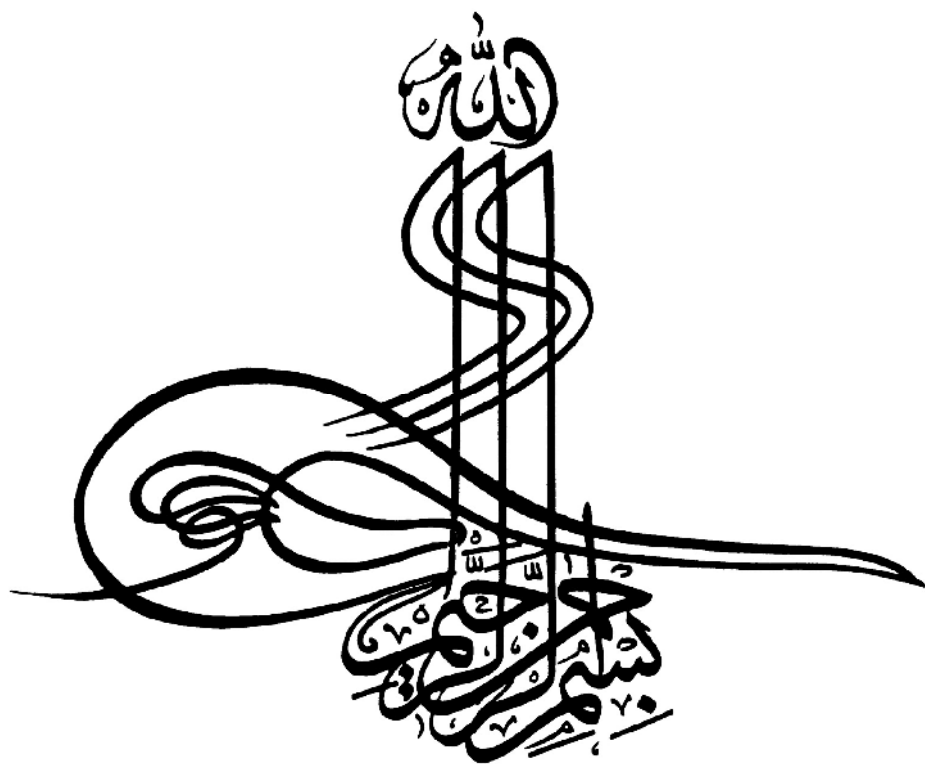
امیر احمدی

استاد راهنما:

دکتر عظیم ملک زاده

آذر ماه ۱۳۸۹





به نام خدا

زوج شدن اکسایشی متان در غشای دو فلزی  $CeO_2+ZrO_2$

به وسیله‌ی:

امیر احمدی

پایان نامه


ارائه شده به تحصیلات تکمیلی دانشگاه به عنوان بخشی  
از فعالیت‌های تحصیلی لازم برای اخذ درجه کارشناسی ارشد


در رشته‌ی:


شیمی (گرایش معدنی)


از دانشگاه دامغان

ارزیابی و تأیید شده توسط کمیته پایان نامه با درجه: عالی

 دکت‌ر عظیم ملک زاده، استادیار دانشکده شیمی (استاد راهنما)

 دکت‌ر سید جواد معافی، استادیار دانشکده شیمی (استاد داور)

 دکت‌ر غلامحسین گریوانی، استادیار دانشکده شیمی (استاد داور)

 دکت‌ر هاشم طبعی، استادیار دانشکده ریاضی (نماینده تحصیلات تکمیلی)

آذر ماه ۱۳۸۹

پروردگارا

به پیش گاه پاک و مقدست تقدیم می دارم له بندی فط و فط لورا

ایحی ای پیش از سایه سلی من است لر

در حور. بخندنی پوست.....

و هدیه

اسوار برین ملیه      برین ام      بدیه

تندیس خوبی، و مہرباسرین ہے

بہ یاس بعد

عظیم و السالی سان ارئمہ ایہ

می ردی

ہمسر مہربانم

محال پاس و دردانی

از اساد فریختہ جہ آقای دسر صمیم لک

لہ تہامت کام نہادن بہ سوی پیسرفت رادر

وہ صد چندان مہ ....

نقدیر و سکر از اساتید محترم جناب آقای دکتر غلامحسین کریوانی و جناب آقای دکتر سید جواد

معانی لہ زحمت مطالعہ، ارزیابی داوری پایانامہ را فصل نمودند و پاس فراوان از جناب

آقای دسر صبی ناظر جلسہ دفاع و نمایندہ محترم تورای تحصیلات میلی.





## چکیده

زوج شدن اکسایشی متان در غشای دو فلزی  $CeO_2 + ZrO_2$

به وسیله‌ی:

امیر احمدی

در این تحقیق، واکنش زوج شدن اکسایشی متان روی کاتالیزورهای دو فلزی سریا و زیرکونیا که به صورت غشای متراکم تهیه شده اند، در واکنشگاه سرامیکی - پیرکسی بررسی شد. غشاها به روش پرسینگ تهیه شد. درصد‌های وزنی مشخص از اکسید سریم و اکسید زیرکونیم، کاملاً مخلوط شد. سپس پودر یکنواخت تهیه شده توسط دستگاه قرص ساز تحت فشار ۲۰۰ بار به مدت ۱۰ دقیقه پرس شد. به این ترتیب غشایی به صورت قرص با قطر ۴ سانتی‌متر و ضخامت ۲ میلی‌متر تهیه شد. قرص‌های تهیه شده به مدت ۵ ساعت در دمای  $1000^{\circ}C$  کلسینه شد. مشخصه‌های غشاهای تهیه شده توسط الگوی پراش پرتو ایکس، طیف مادون قرمز، میکروسکوپ الکترونی روبشی بررسی شد. عملکرد غشاهای تهیه شده برای اکسایش متان در واکنشگاه سرامیکی - پیرکسی بررسی شد. ابتدا غشای تهیه شده در واکنشگاه سرامیکی قرار داده شد. سپس بخش پیرکسی روی آن قرار گرفت. نرم شدن بخش پیرکسی در دمای واکنش ( $800^{\circ}C$ ) مانع از مخلوط شدن گازهای واکنش دهنده در دو طرف غشاء می‌شود. متان عبوری از روی غشاء، واکنش داده شده با اکسیژن عبوری از غشاء، آنالیز شد. بعد از آنالیز گازهای خروجی از راکتور، این نتیجه حاصل شد که سریا به صورت تنها یا به صورت مخلوط با زیرکونیا اگر به صورت غشای متراکم استفاده شود، اکسایش متان را تا آخر به پیش می‌برد و محصولی به غیر از  $CO_2$  شناسایی نخواهد شد.

**کلمات کلیدی:** زوج شدن اکسایشی متان، سریا، زیرکونیا، غشای متراکم

## فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۱	فصل اول: مقدمه
۱	۱-۱ گاز طبیعی، بزرگترین منبع انرژی جهان
۴	۲-۱ تبدیل گاز طبیعی
۵	۱-۲ تبدیل غیر مستقیم متان
۶	۲-۲ تبدیل مستقیم متان
۶	۱-۳ اکسیداسیون جزئی متان
۶	۲-۳ زوج شدن متان با کلر
۷	۳-۳ زوج شدن اکسایشی متان (OCM)
۱۱	۳-۴ الف ترمودینامیک و سینتیک واکنش زوج شدن اکسایشی متان
۱۳	۳-۴ ب کاتالیزورهای فرآیند زوج شدن اکسایشی متان
۱۵	۳-۴ ج فلزات قلیایی و قلیایی خاکی
۱۵	۳-۴ د ب لانتانیدها و اکتینیدها
۱۶	۳-۴ ه ب ج فلزات واسطه
۱۷	۳-۴ و ج واکنشگاه‌های فرآیند (OCM)
۱۹	۳-۱ غشای سرامیکی
۱۹	۴-۱ اکسید سریم (سریا)
۲۰	۱-۴ شیمی اکسید کاهش و نقص اکسید سریم
۲۰	۲-۴ برهم کنش سریا با گازهای احیا کننده
۲۴	<b>فصل دوم: بخش تجربی</b>
۲۴	۱-۲ سیستم آزمایشگاهی
۲۶	۲-۲ راکتور آزمایشگاهی
۲۷	۳-۲ اندازه‌گیری سرعت جریان حجمی
۲۷	۴-۲ روش تهیه کاتالیزور ( غشا فشرده)
۲۸	۵-۲ روش انجام تست کاتالیزوری
۲۸	۶-۲ مشخصه‌یابی کاتالیزورها
۲۸	۱-۶ کروماتوگرافی گازی جهت آنالیز محصولات
۳۰	۲-۶ طیف بینی مادون قرمز
۳۰	۳-۶ مطالعه پراش پرتو ایکس نمونه‌های پودری
۳۰	۴-۶ مطالعه ریخت شناسی سطح کاتالیزورها
۳۳	<b>فصل سوم: بحث و نتایج</b>
۳۳	۱-۳ نتایج بررسی الگوی پراش پرتو ایکس (XRD)

۳۳	۴ ۱ ۱ زیرکونیا ( $ZrO_2$ )
۳۶	۴ ۱ ۲ سریا ( $CeO_2$ )
۳۸	۴ ۱ ۳ سریا زیرکونیا (CZ)
۴۰	۴ ۴ نتایج بررسی تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM)
۴۲	۴ ۴ نتایج طیف بینی مادون قرمز (IR)
۴۴	۴ ۴ نتایج بررسی عملکرد کاتالیزور
۴۷	۴ نتایج و پیشنهادات
۴۸	۵ مراجع

## فهرست جدول‌ها

صفحه	عنوان
۱۳	جدول ۱-۱: تغییرات انرژی آنتالپی واکنش‌های فرایند زوج شدن اکسایشی متان
۲۰	جدول ۱-۲: برخی از خصوصیات فیزیکی سریای خالص ( $\text{CeO}_2$ )
۲۷	جدول ۴-۱: کاتالیزورهای فلزی تهیه شده
۲۹	جدول ۴-۲: فشار تنظیم شده‌ی قسمت‌های مختلف کروماتوگراف گازی
۳۰	جدول ۴-۳: دمای تنظیم شده‌ی قسمت‌های مختلف کروماتوگراف گازی
۳۵	جدول ۴-۱: نواحی پیک‌ها و ساختاری که $\text{ZrO}_2$ در آن متبلور شده است
۳۷	جدول ۴-۲: نواحی پیک‌های $\text{CeO}_2$ کلسینه در دماهای مختلف و نمونه مورد آزمایش
۳۹	جدول ۴-۳: میانگین اندازه ذره
۴۶	جدول ۴-۴: درصد تبدیل متان به $\text{CO}_2$ در دمای متفاوت تحت جریان ۱۰ میلی لیتر بر دقیقه متان
۴۶	جدول ۴-۵: درصد تبدیل متان به $\text{CO}_2$ در دمای متفاوت تحت جریان ۲۵ میلی لیتر بر دقیقه متان
۴۶	جدول ۴-۶: درصد تبدیل متان به $\text{CO}_2$ در دمای متفاوت تحت جریان ۵۰ میلی لیتر بر دقیقه متان

## فهرست شکل‌ها

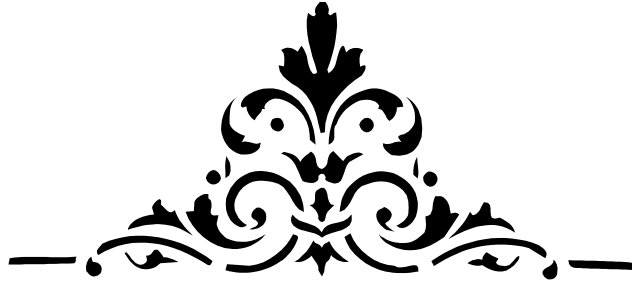
صفحه	عنوان
۲	شکل ۱-۱: ذخایر گاز طبیعی پنج کشور اول جهان
۲	شکل ۱-۲: تولید روزانه گاز طبیعی پنج کشور اول جهان
۴	شکل ۱-۳: فرآیندهای تبدیل گاز طبیعی (متان) به محصولات با ارزش تر
۹	شکل ۱-۴: نمای واکنش زوج شدن اکسایشی متان
۱۳	شکل ۱-۵: نمودار تغییرات انرژی آزاد گیبس واکنش‌های فرایند زوج شدن اکسایشی متان
۱۷	شکل ۱-۶: لیست کلی از عناصری که می‌توانند در واکنش OCM نقش داشته باشند
۱۸	شکل ۱-۷: واکنشگاه غشا متخلخل
۱۹	شکل ۱-۸: واکنشگاه غشا متراکم با غشا
۲۱	شکل ۱-۹: مکانیزم ذخیره و آزاد سازی اکسیژن در ساختار سریا زیرکونیا
۲۵	شکل ۴-۱: شماتیک سیستم آزمایشگاهی طراحی شده برای بررسی عملکرد کاتالیزور
۲۵	شکل ۴-۲: سیستم آزمایشگاهی طراحی شده برای بررسی عملکرد کاتالیزور
۲۶	شکل ۴-۳: شماتیک راکتور سرامیکی- پیرکسی جهت انجام تست کاتالیزوری
۲۷	شکل ۴-۴: جریان سنج حبابی
۳۳	شکل ۳-۱: الگوی پراش پرتو ایکس در سه دمای مختلف
۳۴	شکل ۳-۲: الگوی پراش پرتو ایکس زیرکونیا کلسینه شده در دمای $800^{\circ}\text{C}$
۳۴	شکل ۳-۳: الگوی پراش پرتو ایکس اکسید زیرکونیا کلسینه شده در دمای $1000^{\circ}\text{C}$
۳۵	شکل ۳-۴: الگوی پراش پرتو ایکس زیرکونیای مرک مورد استفاده در این کار پژوهشی
۳۶	شکل ۳-۵: الگوی پراش پرتو ایکس سریای کلسینه شده در چند دمای مختلف
۳۶	شکل ۳-۶: الگوی پراش پرتو ایکس سریا کلسینه شده در $1000^{\circ}\text{C}$
۳۷	شکل ۳-۷: الگوی پراش پرتو ایکس سریای مرک نمونه‌ی تهیه شده در این کار پژوهشی
۳۸	شکل ۳-۸: الگوی پراش پرتو ایکس نمونه‌های محلول جامد سریا - زیرکونیا
۳۹	شکل ۳-۹: الگوی پراش پرتو ایکس نمونه‌های محلول جامد سریا - زیرکونیای تهیه شده در این کار پژوهشی
۴۰	شکل ۳-۱۰: تصاویر ریخت نمونه‌های $\text{CeO}_2$ 90% $\text{CeO}_2$ +10% $\text{ZrO}_2$ 60% $\text{CeO}_2$ +40% $\text{ZrO}_2$ 70% $\text{CeO}_2$ +30% $\text{ZrO}_2$ در مقیاس دو میکرومتر
۴۱	شکل ۳-۱۱: تصاویر ریخت نمونه‌های $\text{CeO}_2$ 90% $\text{CeO}_2$ +10% $\text{ZrO}_2$ 60% $\text{CeO}_2$ +40% $\text{ZrO}_2$ 70% $\text{CeO}_2$ +30% $\text{ZrO}_2$ در مقیاس یک میکرومتر
۴۲	شکل ۳-۱۲: تصاویر ریخت نمونه‌های $\text{CeO}_2$ 90% $\text{CeO}_2$ +10% $\text{ZrO}_2$ 60% $\text{CeO}_2$ +40% $\text{ZrO}_2$ 70% $\text{CeO}_2$ +30% $\text{ZrO}_2$ در مقیاس نیم میکرومتر
۴۳	شکل ۳-۱۳: طیف مادون قرمز سریا

- شکل ۳ ۱۴: طیف مادون قرمز سریا ، زیرکونیا و محلول جامد آن‌ها
- شکل ۳: ۱۵ طیف مادون قرمز سریای کلسینه شده در دمای  $1000^{\circ}\text{C}$
- شکل ۳ ۱۶: طیف مادون قرمز نمونه‌های محلول جامد سریا - زیرکونیای بررسی شده در این کار پژوهشی

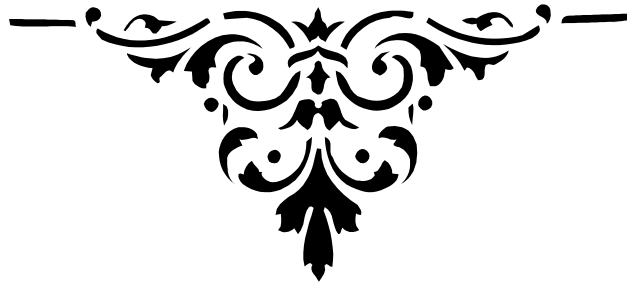
۴۳

۴۴

۴۵



# فصل اول



## ۴ مقدمه

### ۴ ۴ گاز طبیعی ، بزرگترین منبع انرژی جهان

انرژی نقش آب را در زندگی بشر بازی می کند . بحران انرژی فسیلی و به خصوص نفت خام، باعث تلاش محققان در جایگزین کردن ماده‌ی دیگری به جای نفت شده است تا بتواند به عنوان سوخت و مهم‌تر از آن به عنوان منبع تولید محصولات پتروشیمی، ایفای نقش کند. منابع عظیم گاز طبیعی که قادر است نیاز صدها سال جهان را برآورده سازد، انتخاب مناسبی برای این جایگزینی به نظر می‌رسد. استفاده از گاز طبیعی در سال‌های اخیر رو به افزایش است. به عبارتی سهم گاز طبیعی در سبد مصرف انرژی در حال افزایش است. اکنون از گاز طبیعی به عنوان منبع مهم انرژی یاد می‌شود که وارد عرصه رقابت با نفت شده است. روشن‌ترین دلیل افزایش اهمیت گاز طبیعی آماری است که از وابستگی روز افزون بخش صنعتی جهان به آن حکایت دارد. به طوری که در حال حاضر میزان استفاده‌ی بخش‌های مختلف صنعتی جهان از گاز به عنوان منبع انرژی به ۴۴ درصد رسیده است. استفاده بهینه از گاز طبیعی در جهان به معنی پیشرفت تکنولوژی این انرژی، توسعه‌ی فن‌آوری‌های انتقال و تبدیل آن و در نتیجه افزایش روز افزون تولید و تجارت آن است.

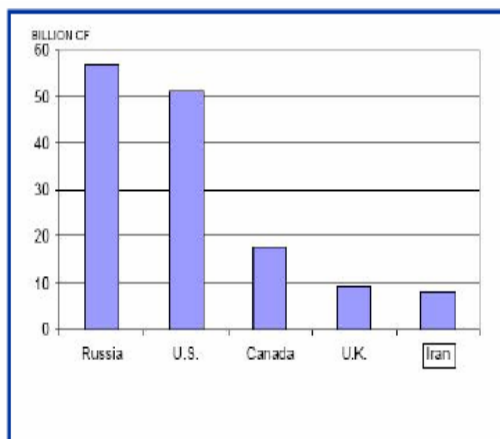
گاز طبیعی کالایی استراتژیک است. بخش گاز، از بعد ملی و از جهات مختلف اقتصادی و سیاسی از اهمیت قابل توجهی برخوردار است. از دیدگاه اقتصادی گاز می‌تواند نقش مهمی در تولید ناخالص داخلی، تجارت خارجی، تشکیل سرمایه ملی، اشتغال، بودجه و گسترش زمینه‌ی صادرات غیر نفتی ایفا نماید. از سوی دیگر ایران دارای صنایع پتروشیمی قابل توجهی است که تعداد آن‌ها رو به افزایش می‌باشد. گاز طبیعی می‌تواند به عنوان خوراک اصلی در این صنایع استفاده شود. توسعه پیوسته و هرچه سریع‌تر این صنعت سبب افزایش ارزش افزوده و کاهش بهای تمام شده‌ی تولیدات بسیاری از صنایع دیگر می‌شود. از سوی دیگر با جابه‌جایی نوع سوخت مصرفی از نفت به گاز، در صنایعی که هم‌اینک از نفت به عنوان انرژی در تولیدات خود استفاده می‌کنند، شرایط برای صرفه جویی‌های عظیم ارزی در اقتصاد ملی و کلان کشور فراهم



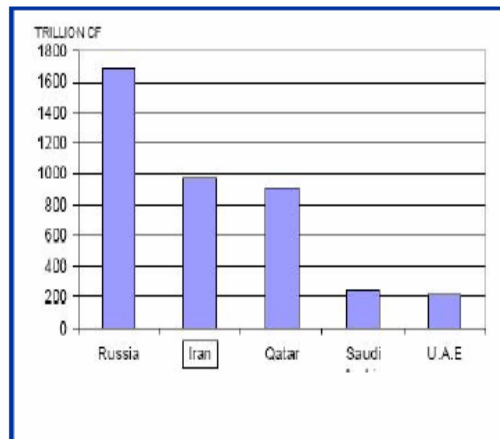
خواهد شد. لذا تبدیل گاز طبیعی به مواد شیمیایی می‌تواند گامی مهم در راستای انتقال آسان و بازاریابی موفق و ایجاد ارزش افزوده بالاتر گاز طبیعی باشد.

امروزه اکثر کشورهای تولیدکننده و صادرکننده گاز طبیعی بر توسعه فن‌آوری‌های تبدیل گاز به منظور فراهم کردن بستر لازم برای صادرات و ارزش افزوده‌ی بیشتر تاکید دارند. پیش بینی می‌شود تقاضای جهانی گاز طبیعی تا سال ۲۰۳۰ به ۴/۷ میلیارد متر مکعب در روز برسد. این رقم بیانگر رشد سالانه‌ی ۲ درصدی تقاضای گاز طبیعی است. در این شرایط، بسیاری از کشورها به سمت توسعه‌ی منابع گازی و کسب تکنولوژی‌های تبدیل گاز خود پیش رفته‌اند. طبق گزارش انجمن جهانی انرژی تا سال ۲۰۲۰ گاز طبیعی، بهترین گزینه به عنوان سوخت، جایگزین نفت خواهد شد.

حدود ۳۰ درصد ذخایر اثبات شده‌ی گاز طبیعی دنیا در منطقه‌ی خاورمیانه قرار دارد. منابع گاز طبیعی با سرعت زیادی در حال افزایش است. پیش بینی می‌شود که این افزایش در قرن ۲۱ نیز با همین سرعت ادامه پیدا کند [۱،۲]. طبق آمار منتشره، ذخایر گازی جهان حدود ۶۱۸۳ ۷۱۰۰ تریلیون فوت مکعب تخمین زده می‌شود. با مصرف سالانه‌ی دنیا با روند فعلی، نزدیک به ۱۰۰ تریلیون فوت مکعب، انتظار می‌رود تا ۶۰ ۷۰ سال دیگر منابع گازی در دسترس باشد. با توجه به اینکه هر ساله بر تعداد ذخایر شناخته شده‌ی گاز طبیعی جهان افزوده می‌شود می‌توان پیش بینی کرد که دست کم تا ۱۰۰ سال آینده بتوان از ذخایر گاز طبیعی استفاده نمود [۳]. جمهوری اسلامی ایران، با بیش از ۹۷۴ تریلیون فوت مکعب گاز طبیعی، حدود ۱۷ درصد از کل ذخایر گاز طبیعی جهان، پس از روسیه در رتبه دوم قرار دارد. شکل های ۱-۱ و ۲-۱ به ترتیب ذخایر و تولید روزانه‌ی پنج کشور اول دارنده‌ی گاز طبیعی جهان را نشان می‌دهد.



شکل ۲-۱: تولید روزانه گاز طبیعی پنج کشور اول جهان



شکل ۱-۱: ذخایر گاز طبیعی پنج کشور اول جهان

به این ترتیب در ایران گاز طبیعی به فراوانی و با قیمت به نسبت پایین در دسترس است. این امر لزوم انجام تحقیقات گسترده در راستای طرح‌های تبدیل گاز طبیعی به محصولات با ارزش افزوده‌ی بیشتر را صد چندان می‌کند. بی‌شک کشور ما هم می‌تواند با بهره‌گیری صحیح از پتانسیل علمی موجود کشور و سرمایه‌گذاری روی تحقیقات و دستیابی به تکنولوژی‌های پیشرفته تبدیل گاز طبیعی، تحولی عظیم در عرصه انرژی ایجاد کند.

گاز طبیعی مقدار زیادی متان دارد. متان بین ۹۸ تا ۸۰ درصد حجم گاز طبیعی را تشکیل می‌دهد. تبدیل متان به هیدروکربن‌های با ارزش‌تر به خصوص سوخت‌های هیدروکربنی مایع<sup>۱</sup>، دی‌متیل اتر، متانل و اتیلن به عنوان ترکیب کلیدی محصولات پتروشیمی، جایگاه بسیار مهمی از لحاظ اقتصادی و علمی دارد. در حال حاضر، گاز طبیعی پس از جداسازی اجزای نامطلوب نظیر  $\text{CO}_2$  و  $\text{H}_2\text{S}$ ، به طور عمده به عنوان سوختی تمیز و ارزان مصرف می‌شود. تنها حدود ۱۰ درصد گاز طبیعی در تولید محصولات شیمیایی با ارزش‌تر، نظیر متانل و آمونیاک به کار می‌رود [۴].

مزایای اقتصادی بسیار بالای تبدیل متان به دیگر سوخت‌ها و یا مواد شیمیایی با ارزش‌تر، سبب گردیده که تحقیقات گسترده‌تری نسبت به گذشته در طی دو دهه اخیر بر روی روش‌های تبدیل متان به سوخت‌های هیدروکربنی مایع، اتیلن، دی‌متیل اتر، متانل و ... متمرکز گردد. گاز طبیعی، در آغاز هزاره سوم، دومین منبع انرژی ارزان موجود در جهان است. فراوانی و در دسترس بودن نسبی این گاز دلائل متقاعدکننده‌ای برای گسترش تحقیقات پیرامون این منبع است. از طرفی نیاز جهانی به متانل و اتیلن، دو محصول مطلوب ناشی از تبدیل گاز طبیعی، روز به روز در حال افزایش است. امکان تولید اتیلن از متان، توجه مراکز تحقیقاتی دانشگاهی و صنعتی متعددی را جلب نموده است.

اتیلن، ساده‌ترین آلکن و زیربنای صنعت پتروشیمی، به عنوان مادر مواد پلیمری شناخته می‌شود [۴ ۵]. افزایش تقاضا برای اتیلن در چند سال اخیر دلالت بر تولید ضروری این ماده شیمیایی با ارزش دارد. اتیلن بازارهای فراوانی در سراسر جهان دارد که اغلب آن‌ها برای تولید محصولات حیاتی به کار می‌روند. تولید جهانی اتیلن متجاوز از ۷۵ میلیون مترمکعب در سال ۲۰۰۵ بوده است [۶]. در حال حاضر واحد الفین مجتمع پتروشیمی جم جمهوری اسلامی ایران، منطقه‌ای در حاشیه خلیج فارس در ۳۰۰ کیلومتری شرق بندر بوشهر و ۱۰۵ کیلومتری حوزه گاز پارس جنوبی، با ظرفیت ۱,۳۲۰,۰۰۰ تن اتیلن و ۳۰۶ هزار تن پروپیلن در سال بزرگ‌ترین

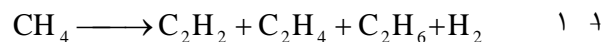
---

<sup>۱</sup> - Gas To Liquid (GTL)

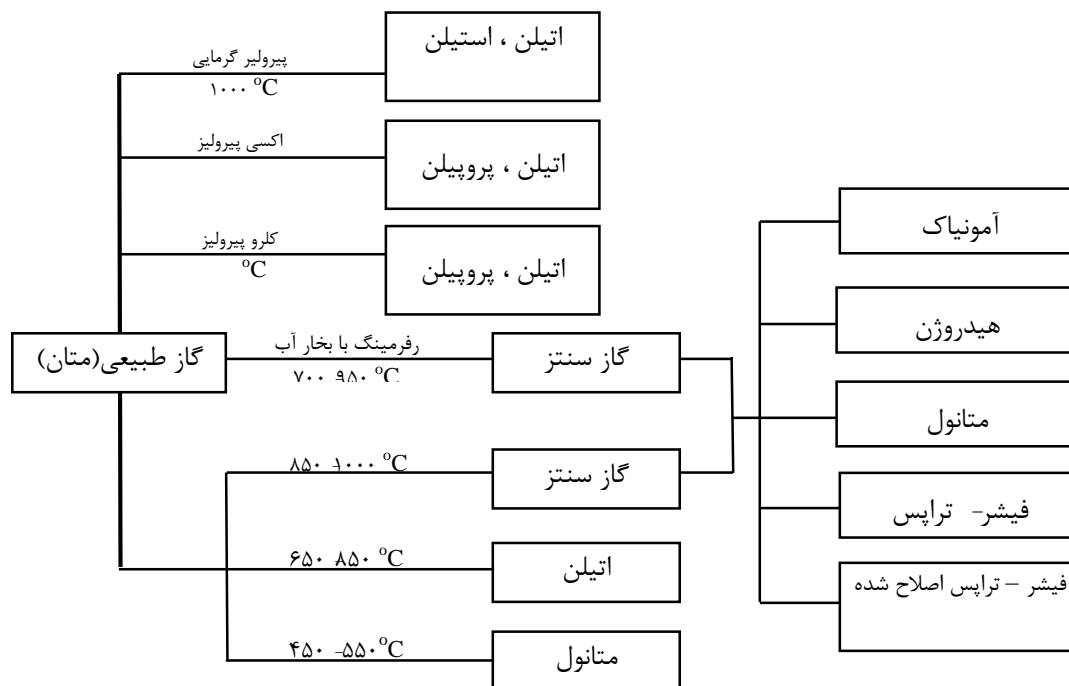
واحد تولید الفین کشور و جهان می باشد. اجرای این پروژه در چین مقیاسی به عنوان دست آورد مهم در صنعت پتروشیمی کشور محسوب می شود [۷].

#### ۴-۴ تبدیل گاز طبیعی

متان نسبت به سایر ترکیبات هیدروکربنی پایدارتر است. این پایداری ناشی از مقدار منفی انرژی آزادگیبس آن می باشد. در واقع متان با انرژی پیوندی معادل ۱۰۵ kcal/mol پایدارترین آلکان به حساب می آید. شکستن پیوند کربن-هیدروژن این مولکول نیاز به صرف انرژی نسبتاً زیادی دارد. بنابراین یافتن روشی مناسب برای تبدیل متان که به صرفه باشد چالشی بزرگ بر سر راه متخصصان امر است. در واکنش ۴-۱ پیرولیز متان، فرآیند هیدروژن زدایی و زوج شدن به محصولات دو کربنی در دمای بالا نشان داده شده است.



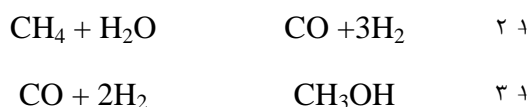
گزارشات منتشر شده در مورد فرآیند پیرولیز متان نشان می دهد که مقدار اتیلن و استیلن تولیدی در دمای بیش از ۱۲۰۰ °C زیاد خواهد بود. بنابراین استفاده از این روش در مقیاس های بزرگ صنعتی مقرون به صرفه نیست. روش های جایگزین به دو دسته روش های مستقیم و غیر مستقیم تقسیم می شوند. شکل ۴-۳ فرآیندهای تبدیل گاز طبیعی (متان) به محصولات با ارزش تر را نشان می دهد.



شکل ۴-۳: فرآیندهای تبدیل گاز طبیعی (متان) به محصولات با ارزش تر

## ۱-۴-۱ تبدیل غیر مستقیم متان

تولید گاز سنتز<sup>۱</sup> (هیدروژن و منو اکسید کربن) اولین مرحله در روش تبدیل غیر مستقیم متان به محصولات با ارزش تر است. در این مرحله ابتدا متان طی واکنش با بخار آب<sup>۲</sup> به هیدروژن و منو اکسید کربن تبدیل می شود (واکنش ۱-۲). این واکنش به شدت گرماگیر و با استفاده از کاتالیزور نیکل در دمای °C ۹۰۰ و فشار ۲۰ اتمسفر انجام می شود. این مخلوط که به عنوان گاز سنتز شناخته می شود، از طریق روش هایی چون فیشر تراپس<sup>۳</sup> به سوخت مایع، متانل، بنزین و سایر هیدروکربن های مایع تبدیل می گردد. هیدروژن و منو اکسید کربن تولیدی هر کدام به مصارف خاص، به عنوان نمونه تهیه آمونیاک و اوره نیز می رسد. متانل اولین محصول با ارزشی است که به طور غیرمستقیم از طریق هیدروژن دار کردن CO تولید شده است (واکنش ۱-۳) [۴].



متانول تولیدی می تواند ماده اولیه برای تولید محصولات شیمیایی دیگر باشد. بنزین تهیه شده از فرآیندهای فوق، گران تر از بنزین تهیه شده از نفت خام است. این امر به علت پرهزینه بودن فرآیند تهیه گاز سنتز است. این فرآیند نیاز به کوره ای بزرگ دارد. به همین دلیل مشکلات مربوط به مواد سازنده کوره، شرایط عمل و نگهداری از چالش های بسیار جدی هستند [۴]. در فرآیند تبدیل گاز طبیعی به متانل، محصولات فرآیند فیشر تراپس و آمونیاک، حدود ۶۰-۷۰ درصد هزینه کل فرآیند مربوط به تشکیل گاز سنتز از طریق تبدیل با بخار آب است [۴]. پیش بینی ها نشان می دهد که اگر هزینه تشکیل متانل ۲۵ درصد کاهش یابد، هزینه فرآیند تبدیل متانل به بنزین ۷۷ درصد کاهش خواهد یافت [۴]. هم چنین در فرآیند فیشر تراپس، از طریق بسپارش کاهشی منواکسید کربن با هیدروژن، هیدروکربن های خطی، اولفین های مختلف و الکل ها، تولید می گردند. در روش های مذکور، ابتدا متان به گاز سنتز و پس از آن به محصولات سوختی مایع تبدیل می شود. به همین دلیل این روش ها گران هستند. اگرچه این روش از نظر اقتصادی در سطح جهانی و به خصوص در مناطق نفت خیز توسعه زیادی نیافته است، اما پس از گذشت ۸۰ سال هنوز هم فرآیند فیشر تراپس از مهم ترین پروژه های تحقیقاتی در زمینه تبدیل غیر مستقیم متان به سوخت مایع می باشد. تلاش های

<sup>1</sup> - Synthetic Gas

<sup>2</sup> - Steam Reforming

<sup>3</sup> - Fischer-Tropsch Process (F.T)