



الف

١٥٨٠٢



## دانشگاه آزاد اسلامی

واحد شاهرود

دانشکده فنی و مهندسی، گروه مهندسی شیمی

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد «M.Sc.»

گرایش: مهندسی شیمی

عنوان:

شبیه سازی راکتور بستر ثابت در فرایند سنتز فیشر – تروپش

استاد راهنما:

دکتر علی اصغر روحانی

استاد مشاور:

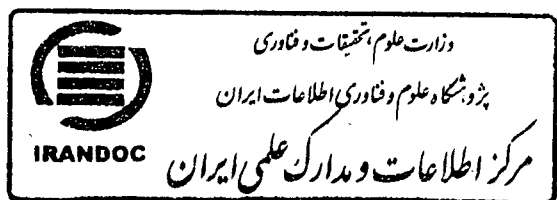
دکتر علی بخش کساییان

نگارش:

حامد رضائیان

پاییز ۸۹

ب



۱۵۸۰۴۰





دانشگاه آزاد اسلامی

واحد شاهرود

دانشکده فنی و مهندسی، گروه مهندسی شیمی

پایان نامه جهت دریافت درجه کارشناسی ارشد M.Sc.

موضوع :

شبیه سازی راکتور بستر ثابت در فرایند سنتز فیشر - تروپش

نگارش :

حامد رضائیان

پاییز ۱۳۸۹

۱. دکتر علی اصغر روحانی

۲. دکتر علی بخش کسائییان

۳. دکتر محمد حسین غضنفری

۴. دکتر محمود ترابی انگجی

هیأت داوران :

## سپاس گذاری

نگارنده بر خود لازم می دانم از زحمات بی دریغ و راهنمایی های ارزشمند استاد محترم جناب آقای دکتر روحانی در راستای انجام این مجموعه تشکر و قدردانی نمایم.

هم چنین از زحمات استاد ارجمند جناب آقای دکتر کسایان که با مشاوره های خود راهگشای اینجانب بوده اند کمال تشکر و سپاسگزاری را دارم.

در آخر لازم می دانم از همه دوستان که به نوعی یاری رسان بنده در این مجموعه بودند، آقایان :

دکتر مشایخی، مهندس کریمی، مهندس کسایان و مهندس نظریان صمیمانه تشکر و قدردانی نمایم.

تقدیم به

پدر و مادر مهربانم که همواره در طول

حیات پربارشان از حمایت های

بی دریغ آنها بهره مند بوده ام و تقدیم

به همه آنان که مرا علم آموختند .

## فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۱	چکیده
	فصل اول : مقدمه
۵	۱-۱. تاریخچه سنتز فیشر- تروپش
۶	۲-۱. شرح فرآیند
۶	۱-۲-۱. تهیه گاز سنتز
۶	۲-۲-۱. سنتز فیشر- تروپش
۶	۳-۲-۱. ارتقاء کیفیت محصولات
۱۰	۳-۱. محصولات اولیه فیشر- تروپش و خصوصیات آنها
۱۰	۴-۱. شرکت های فعال در زمینه سنتز فیشر- تروپش
۱۶	۵-۱. انواع راکتورهای مورد استفاده در سنتز فیشر- تروپش
۲۰	۶-۱. اولین واحدهای فرآیندی گاز به مایع
	فصل دوم : کلیات سنتز فیشر- تروپش
۲۲	۱-۲. انواع کاتالیستها و شرایط عملیاتی
۲۳	۱-۱-۲. روند تاریخی کاربرد صنعتی کاتالیستهای فیشر- تروپش
۲۴	۲-۲. مکانیزم واکنش های فیشر- تروپش
۲۹	۳-۲. مدل های سینتیکی سنتز فیشر- تروپش
۲۹	۱-۳-۲. مدل های سینتیکی سنتز فیشر- تروپش کاتالیست آهن
۳۱	۴-۲. توزیع محصولات واکنش فیشر- تروپش
۳۳	۵-۲. کاتالیست های انتخابگر شکلی در واکنش فیشر- تروپش
۳۴	۱-۵-۲. تأثیرات کاتالیستی جزء زئولیتی

- ۳۵ ..... ۲-۵-۲. تأثیرات شکلی ژئولیت
- ۳۶ ..... ۳-۵-۲. شرایط عملیاتی در کاتالیست های انتخابگر شکلی
- ۳۶ ..... ۴-۵-۲. روشهای تهیه کاتالیست های انتخابگر شکلی
- ۳۷ ..... ۵-۵-۲. مدل‌های سینتیکی سنتر فیشر- تروپش کاتالیست های انتخابگر شکلی

#### فصل سوم : روشهای تجربی تعیین سرعت واکنشهای کاتالیستی

- ۴۰ ..... ۱-۳. راکتور دیفرانسیلی
- ۴۱ ..... ۲-۳. راکتور انتگرالی
- ۴۳ ..... ۳-۳. راکتور مخلوط کننده
- ۴۴ ..... ۴-۳. راکتور مخلوط کننده دوره ای
- ۴۶ ..... ۵-۳. راکتور ناپیوسته
- ۴۶ ..... ۶-۳. مقایسه راکتورهای آزمایشی با یکدیگر

#### فصل چهارم : مدلسازی راکتورهای کاتالیستی بستر ثابت

- ۴۹ ..... ۱-۴. تعیین سرعت ذاتی واکنش
- ۵۰ ..... ۱-۱-۴. مشکلات مربوط به تعیین سرعت ذاتی واکنش های گاز-جامد
- ۵۱ ..... ۲-۱-۴. مدل های سینتیکی واکنشهای گاز-جامد
- ۵۱ ..... ۳-۱-۴. مدل های سینتیکی توانی
- ۵۲ ..... ۴-۱-۴. مدل‌های سینتیکی LHHW
- ۵۴ ..... ۵-۱-۴. فواید و مضرات استفاده از مدل‌های سینتیکی ساده تجربی
- ۵۶ ..... ۲-۴. مدل سازی راکتورهای کاتالیستی بستر ثابت
- ۵۶ ..... ۱-۲-۴. تقسیم بندی کلی مدل راکتورهای کاتالیستی بستر ثابت
- ۵۷ ..... ۲-۲-۴. مدل‌های شبه همگن

۵۸	..... مدل های غیر همگن ۳-۲-۴
۵۹	..... مدل‌های یک بعدی ۴-۲-۴
۶۱	..... مدل های دو بعدی ۵-۲-۴
۶۲	..... افت فشار در راکتورهای بستر ثابت ۶-۲-۴
۶۴	..... معیارهای ساده سازی مدل ها ۷-۲-۴
۶۴	..... تعیین پارامترهای فیزیکی و شیمیایی ۳-۴
۶۵	..... تشریحی بر حل مدل ها ۴-۴
۶۶	..... مدل‌سازی راکتورهای بستر ثابت واکنش فیشر- تروپش ۵-۴

فصل پنجم : مدل‌سازی و بهینه سازی راکتور کاتالیستی بستر ثابت سنتز فیشر-تروپش

۶۹	..... ۱-۱ اطلاعات کلی راکتور ۱-۵
۷۶	..... ۲-۲ تأثیر شرایط عملیاتی ۲-۵
۷۷	..... ۱-۲-۲ تأثیر دمای خوراک ۱-۵
۷۹	..... ۲-۲-۲ تأثیر نسبت هیدروژن به مونوکسید کربن ۲-۵
۸۲	..... ۳-۲-۲ تأثیر سرعت ظاهری ۳-۵
۸۴	..... ۴-۲-۲ تأثیر چگالی بستر ۴-۵
۸۵	..... ۵-۲-۲ توزیع فشار درون بستر ۵-۵
۸۶	..... ۳-۳ بهینه سازی راکتور توسط الگوریتم ژنتیک ۳-۵

فصل ششم : نتیجه گیری و پیشنهادات

۹۴	..... نتیجه گیری
۹۶	..... پیشنهادات



## پیوست ها

- پ - ۱. اولین فرآیند فیشر-تروپش ..... ۹۸
- پ - ۲. الگوریتم ژنتیک ..... ۱۰۴
- پ - ۳. علائم اختصاری ..... ۱۳۸

## منابع وماخذ

- فهرست منابع فارسی ..... ۱۴۱
- فهرست منابع غیر فارسی ..... ۱۴۲
- چکیده انگلیسی ..... ۱۴۷

## فهرست جدول ها

عنوان	صفحه
۱-۱. جدول : واکنش های کلی سنتز فیشر- تروپش .....	۸
۱-۲. جدول : خلاصه ای از مطالعات سینتیکی انجام شده بر روی فرایند فیشر- تروپش با کاتالیست آهن و کبالت .....	۳۲
۱-۵. جدول : رابطه سرعت واکنش ها در حضور کاتالیست های آهن $\left(\frac{m^3}{kg.s}\right)$ .....	۷۱
۲-۵. جدول : شرایط عملیاتی و خصوصیات فیزیک شیمیایی در فشار ۲۴ bar و ۵۱۳ K .....	۷۱
۳-۵. جدول : مقایسه گزینش پذیری مدل حاضر و مدل جس و کرن .....	۷۴
۴-۵. جدول : محدوده تغییرات متغیرهای قابل تنظیم .....	۷۶
۵-۵. جدول : تأثیر دمای خوراک بر عملکرد راکتور .....	۷۹
۶-۵. جدول : تأثیر سرعت ظاهری خوراک بر عملکرد راکتور .....	۸۳
۷-۵. جدول : شرایط بهینه .....	۸۷
۸-۵. جدول : پارامترهای پیش فرض الگوریتم ژنتیک .....	۸۷
۹-۵. جدول : نتایج مراحل بهینه سازی .....	۸۸

## فهرست شکل ها

صفحه	عنوان
۵	۱-۱. شکل : فرانس فیشر در حال کار در آزمایشگاهی در سال ۱۹۱۸ .....
۷	۲-۱. شکل : شمای کلی فرایند تبدیل گاز به مایع .....
۹	۳-۱. شکل : شمای کلی محصولات سنتز فیشر- تروپش .....
۱۶	۴-۱. شکل : راکتور دوغابی.(الف) بدون جریان برگشتی.(ب) با جریان برگشتی .....
۱۷	۵-۱. شکل : راکتور بستر ثابت .....
۱۷	۶-۱. شکل : راکتور بستر سیال گردش .....
۱۷	۷-۱. شکل : راکتور بستر سیال با خنک کننده های داخلی .....
۲۵	۱-۲. شکل : مکانیزم کاربیدی .....
۲۶	۲-۲. شکل : مکانیزم هیدروکسی متیلن .....
۲۷	۳-۲. شکل : مکانیزم وارد شدن CO .....
۴۴	۱-۳. شکل : راکتور مخلوط کننده سبدي شکل .....
۴۵	۲-۳. شکل : راکتور های دوره ای، الف-جریان برگشتی بیرونی. ب- جریان برگشتی درونی (راکتور برتی) .....
۴۶	۳-۳. شکل : راکتور ناپیوسته .....
۵۸	۱-۴. شکل : تقسیم بندی مدل های راکتورهای کاتالیستی بستر ثابت .....
۷۰	۱-۵. شکل : شماتیکی از مدل مورد استفاده در شبیه سازی راکتور فیشر- تروپش .....
۷۳	۲-۵. شکل : تأثیر دمای خوراک بر نمایه دمای بستر در طول راکتور .....
۷۵	۳-۵. شکل : مقایسه توزیع دمای بستر در طول راکتور بین مدل حاضر و جس و کرن (۲۰۰۹) .....
۷۶	۴-۵. شکل : نمایه تغییرات درصد تبدیل مونوکسید کربن و هیدروژن .....
۷۶	۵-۵. شکل : نمایه تغییرات گزینش پذیری .....
۷۷	۶-۵. شکل : تأثیر دمای ورودی بر نمایه دمای بستر .....

- ۷۸ ..... شکل: تأثیر افزایش دمای خوراک بر میزان بهره  $C_2^+$  ..... ۷-۵
- ۸۰ ..... شکل: تأثیر نسبت هیدروژن به مونوکسید کربن بر نمایه دمای بستر ..... ۸-۵
- ۸۱ ..... شکل: تأثیر نسبت هیدروژن به مونوکسید کربن بر میزان تبدیل واکنش دهنده ها ..... ۹-۵
- ۸۱ ..... شکل: تأثیر نسبت هیدروژن به مونوکسید کربن بر بهره محصول مطلوب ..... ۱۰-۵
- ۸۲ ..... شکل: تأثیر سرعت ظاهری بر نمایه دمای بستر ..... ۱۱-۵
- ۸۳ ..... شکل: تأثیر سرعت ظاهری بر بهره محصول مطلوب ..... ۱۲-۵
- ۸۴ ..... شکل: تأثیر سرعت ظاهری بر میزان تبدیل مواد واکنش دهنده ..... ۱۳-۵
- ۸۵ ..... شکل: تأثیر چگالی بستر بر نمایه دمای بستر ..... ۱۴-۵
- ۸۵ ..... شکل: تأثیر چگالی بستر بر بهره محصول مطلوب ..... ۱۵-۵
- ۸۶ ..... شکل: نمایه فشار بستر ..... ۱۶-۵

## چکیده:

اکنون که ذخایر نفتی رو به اتمام و نیاز به انرژی روز افزون می باشد، سنتز فیشر-تروپش با تبدیل گاز به سوخت های مایع جای خود را بیش از پیش در بین واحد های صنعتی پیدا کرده است. راکتورهای متفاوتی در این نوع سنتز مورد استفاده قرار گرفته اند. راکتورهای بستر ثابت کاتالیستی به علت مدل سازی راحت تر، عدم سایش کاتالیست و هزینه های جداسازی بیشتر مورد توجه قرار گرفته اند. هزینه بالای کاتالیست و انگیزه تولید بیشتر محصول مطلوب باعث گردیده است تا تحقیقات گسترده ای روی این سنتز انجام گیرد. با در نظر گرفتن گرما زا بودن واکنش ها و تفاوت در انرژی فعال سازی هر واکنش، کنترل دمایی راکتور روشی مفید در افزایش بهره محصول مطلوب می باشد. بهینه سازی شرایط عملیاتی یکی از راه های کنترل دمای بستر است. برای بهینه سازی می توان از روش های مختلفی استفاده کرد، که البته الگوریتم ژنتیک توانایی خود را در این زمینه اثبات کرده است.

در تحقیق حاضر نیز، ابتدا مدل شبه همگن راکتور ایجاد گردیده است. در این نوع مدل سازی معادلات درون دانه کاتالیست در نظر گرفته نشده، و دما و غلظت در سرتاسر دانه کاتالیست یکنواخت فرض شده است. معادلاتی که در این مرحله بطور همزمان با یکدیگر حل شده عبارتند از: موازنه جرم، انرژی و معادله افت فشار ارگان. این معادلات بصورت همزمان و با استفاده از کد ode23tb نرم افزار MATLAB حل و سپس بهینه سازی شرایط عملیاتی با استفاده از الگوریتم ژنتیک انجام گردیده است. در این مدل متغیر های غلظت خوراک (نسبت هیدروژن به مونوکسیدکربن)، دمای خوراک، چگالی بستر کاتالیستی و سرعت ظاهری خوراک بهینه سازی گردید. با توجه به نتایج بهینه سازی، در غلظت  $1/72$ ، دمای  $222/6^{\circ}\text{C}$ ، چگالی بستر  $926/4\text{ kg/m}^3$  و سرعت ظاهری خوراک  $0/4\text{ m/s}$ ، میزان  $21/88$  درصد افزایش در بهره محصول مطلوب مشاهده شد.

# فصل اول

## مقدمه

ایران با دارا بودن ۱۵/۲ درصد از ذخایر جهانی گاز، پس از کشور روسیه مقام دوم را در میزان ذخایر گاز ثبت شده در جهان را دارد. مجموع ذخایر شناخته شده گاز طبیعی ایران در انتهای سال ۲۰۰۳، ۲۶/۶۹ تریلیون متر مکعب برآورد شده است و میزان گاز برداشتی ایران در همان سال ۷۹ میلیون متر مکعب گزارش گردیده است [۴]. وجود منابع عظیم گازی در کشور، کاهش ذخایر جهانی نفت خام، افزایش تقاضا در بازار انرژی و کالاهای مرتبط با نفت خام و نیز آلودگی های زیست محیطی ناشی از مصرف انرژی های فسیلی دلایلی هستند که لزوم استفاده از گاز طبیعی به عنوان منبع عظیم انرژی را توجیه می کنند. هم اکنون مصارف عمده گاز طبیعی در جهان عبارتند از تولید گاز طبیعی مایع شده<sup>۱</sup>، تولید محصولات پتروشیمیایی نظیر متانول و آمونیاک و نیز انتقال گاز طبیعی به بازارهای مصرف از طریق خطوط لوله، برای استفاده از گاز مایع، باید ارتباط بین صاحبان گاز، تولیدکنندگان، امور حمل و نقل و خریداران همواره برقرار باشد که انجام آن از نظر تجاری پرهزینه و نیاز به عقد قراردادهای بلند مدت دارد که در این موارد بهره برداری از میادین کوچک گازی را غیر اقتصادی می کند. انتقال گاز طبیعی توسط خطوط لوله نیز همیشه امکان پذیر نیست. علت این امر می تواند فاصله زیاد از بازارهای مصرف یا محدودیت های جغرافیایی و سیاسی باشد. از طرف دیگر، فشارهای زیادی از طرف دولت ها و سازمانهای حفاظت از محیط زیست بر صنایع وارد می شود تا آلودگی های ناشی از وسایل نقلیه بنزین سوز و گازوئیل سوز را کاهش دهند. در زمینه تولید محصولاتی نظیر متانول و آمونیاک نیز بازارهای مصرف نسبتاً محدود هستند. فرآیندهای تبدیل گاز به مایع<sup>۲</sup> فناوری هایی به شمار می آیند که با تبدیل گاز طبیعی به فرآورده های با ارزش از جمله سوخته های مایع تأثیر شدیدی بر صنایع نفت و گاز جهان و محیط زیست در آینده ای نزدیک خواهند گذاشت که برخی از مهمترین اثرات آن عبارتند از:

- استفاده از منابع تمیزتر انرژی نظیر گاز طبیعی افزایش خواهد یافت.

- چاههای نفتی که در استفاده از گازهای همراه آنها مشکل وجود دارد مورد بهره برداری قرار خواهند گرفت.

---

1 - LNG  
2 - GTL

- استفاده از منابع انرژی با آلودگی زیاد نظیر زغال سنگ و باقیمانده های پالایشگاه ها ادامه خواهد یافت چرا که با استفاده از این فرآیند و از طریق فرآیند گازدهی<sup>۱</sup> می توان آنها را به سوختهایی تبدیل کرد که محیط زیست را آلوده نکنند.

- هزینه تولید محصولات پالایش شده استاندارد از نقطه نظر زیست محیطی معمول کاهش می یابد.

- این فناوری ها، جوابگوی نیاز روزافزون جهان به انرژی است.

فرآیندهای تبدیل گاز به مایع به چهار شاخه زیر تقسیم می شود:

الف - تبدیل گاز طبیعی به فرآورده های میان تقطیر از طریق سنتز فیشر- تروپش<sup>۲</sup>

ب - تبدیل گاز طبیعی به دی متیل اتر

ج - تبدیل گاز طبیعی به متانول

د - تبدیل گاز طبیعی به آمونیاک

در این میان، جذاب ترین فرآیند تبدیل گاز به مایع، فرآیند سنتز فیشر- تروپش می باشد که با توجه به محصولات تولیدی و نیاز به روزافزون بازار جهانی به این محصولات، مورد توجه زیاد محققین و دانشمندان از دهه گذشته و به ویژه سالهای اخیر می باشد. پایان نامه حاضر نیز به سنتز فیشر- تروپش پرداخته است و از این پس در این پایان نامه، منظور از فناوری یا فرآیند تبدیل گاز به مایع سنتز فیشر- تروپش است.

با استفاده از فناوری تبدیل گاز به مایع می توان گاز طبیعی را که به عنوان سوختی کم ارزش با هزینه انتقال نسبتاً بالا به بازار مصرف تلقی می شد، در محل تولید به فرآورده های مایع با ارزش افزوده تبدیل نموده و مانند بسیاری از فرآورده های نفتی به سهولت به بازار مصرف حمل نمود.

---

1- Gasification

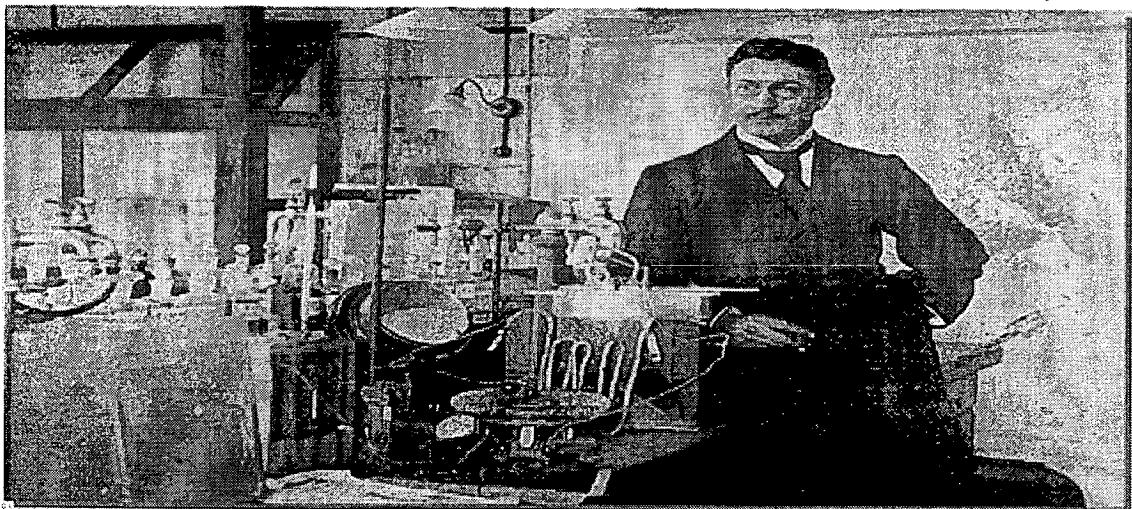
2- Fischer-Tropsch



## ۱-۱. تاریخچه سنتز فیشر-تروپش

در سال ۱۹۰۲ ساباتیرو و سندرز گزارشی مبنی بر تهیه کاتالیست تبدیل  $\text{CO}$  و  $\text{H}_2$  به متان ارائه دادند. فرانز فیشر و هانس تروپش (شکل ۱-۱) پس از دو دهه تلاش روی توسعه کاتالیست مذکور، از آن برای تهیه هیدروکربنهای سنگین تر استفاده کردند که کاتالیست مذکور بر پایه نیکل و کبالت بود. همزمان افراد دیگری در شرکت های I. G. Farben, BASF چند نوع کاتالیست جهت تولید الکل ها و هیدروکربن ها از گاز سنتز ساختند. در سال ۱۹۳۰ کاتالیست هایی نظیر  $\text{CO}$  و  $\text{ThO}_2$  برای تولید هیدروکربن های با وزن مولکولی بالا به کار برده شد. در سالهای ۱۹۳۵ تا ۱۹۳۹ فرآیندهای فشار بالا و متوسط بر اساس کاتالیست پایه کبالتی به صورت صنعتی مورد بهره برداری قرار گرفت. در سال ۱۹۳۷ کاتالیست های پایه آهنی برای سنتز در فشار متوسط ابداع شدند. این کاتالیست ها جایگزین کاتالیست های کبالتی گردیدند. مزیت کاتالیست های پایه آهنی افزایش بازده هیدروکربن های سنگین تر، دوام بیشتر و مفید بودن در راکتورهای سه فازی دوغابی می باشد [۵-۹].

امروزه و به ویژه در دهه گذشته، با توجه به کاهش ذخایر نفتی و افزایش قیمت آن و لزوم جایگزینی انرژی نفت با انرژی های دیگر و با توجه به ذخایر عظیم گازی دنیا، تحقیقات وسیعی در مورد فرآیند فیشر-تروپش و بهبود آن به منظور اقتصادی کردن فرآیند انجام پذیرفته است.



شکل ۱-۱. فرانز فیشر در حال کار در آزمایشگاهی در سال ۱۹۱۸

## ۲-۱. شرح فرآیند

فرآیند تبدیل گاز به مایع عبارتست از تبدیل گاز طبیعی به سوختهای مایع. این فرآیند برای تولید محدوده وسیعی از محصولات نظیر نفتا، نفت سفید، دیزل، بنزین، واکس، روغن، مواد شیمیایی یا گاز مایع بکار می رود. در حال حاضر بیشتر تکنولوژی ها سعی در تولید دیزل، نفتا و نفت سفید دارند. شمای کلی فرآیند در شکل ۱-۲ آورده شده است. فرآیند تبدیل گاز به مایع شامل سه مرحله می باشد که به ترتیب عبارتند از: تهیه گاز سنتز، سنتز فیشر- تروپش و ارتقاء کیفیت محصولات.

### ۱-۲-۱. تهیه گاز سنتز

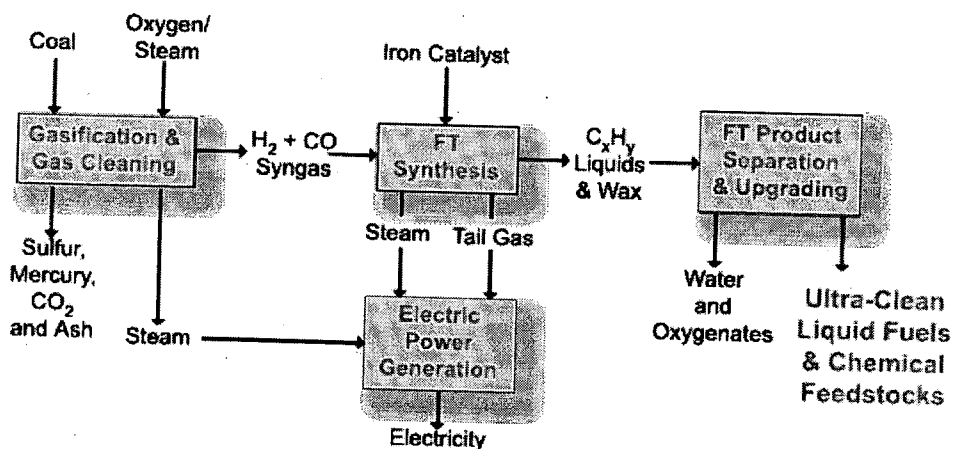
خوراک این واحد بر حسب شرایط می تواند یکی از مواد گاز طبیعی، زغال سنگ، باقی مانده های پالایش، مواد بیولوژیکی و سوخت های فسیلی باشد. این مواد بر حسب نوع خوراک و شرایط کلی توسط یکی از فرآیندهای رفرمینگ، اکسیداسیون جزئی، گازدهی و یا پلاسما به گاز مونوکسید کربن و هیدروژن تبدیل می شوند.

### ۲-۲-۱. سنتز فیشر- تروپش

این فرآیند برای تبدیل گاز سنتز به هیدروکربن های مایع و سنگین بکار می رود. فرآیندهای مختلفی برای سنتز فیشر- تروپش بر حسب نوع راکتور و کاتالیست و شرایط عملیاتی ارائه شده است. محصولات عمده سنتز فیشر- تروپش واکس ها و هیدروکربن های مایع می باشند.

### ۳-۲-۱. ارتقاء کیفیت محصولات

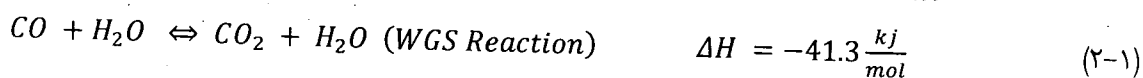
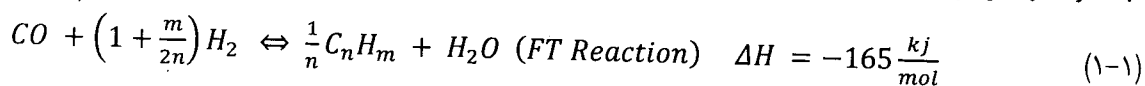
محصولات سنتز فیشر- تروپش بر حسب نوع نیاز توسط فرآیندهایی نظیر ایزومریزاسیون و هیدروکراکینگ تبدیل به نفتا، بنزین، دیزل و گاز مایع می شوند.



شکل ۱-۲. شمای کلی فرایند تبدیل گاز به مایع

تبدیل گاز سنتز به هیدروکربن های ایلفاتیک توسط کاتالیست های فلزی و به وسیله فیشر و تروپش مطرح و پیگیری شد. آنها ثابت کردند که مخلوط هیدروژن و مونوکسید کربن تحت کاتالیست های آهن، کبالت و نیکل در شرایط دمایی  $250 - 180$  °C و فشار اتمسفریک به مخلوطی از هیدروکربن های خطی تبدیل می شوند. نتایج طیف سنجی محصولات واکنش فیشر- تروپش نشان می دهد که محصول مخلوطی از هیدروکربن های خطی و شاخه ای و اکسیژن دار (محصولات عمده شامل پارافین های خطی و اولفین ها) می باشد. واکنش های کلی سنتز فیشر- تروپش در جدول ۱-۱ بطور خلاصه آمده است [۱۰].

سنتز هیدروکربن ها توسط کاتالیست هایی چون کبالت، آهن و روتینیم صورت می گیرد. هر دو کاتالیست آهن و کبالت به صورت صنعتی در دماهای  $200-300$  °C و فشارهای  $60 - 10$  bar استفاده می شوند. واکنش های سنتز فیشر- تروپش بر روی کاتالیست آهن را می توان به صورت مجموعه ای از واکنش فیشر- تروپش و واکنش جابجایی آب-گاز<sup>۱</sup> در نظر گرفت [۱۱-۱۳].



1 - Water Gas Shift

جدول ۱-۱. واکنش های کلی سنتز فیشر- تروپش [۱۰].

<b>Main reaction:</b>	واکنش های اصلی:	
1.Paraffins		$(2n - 1)H_2 + nCO \rightarrow C_nH_{2n-2} + nH_2O$
2.Olefins		$2nH_2 + nCO \rightarrow C_nH_{2n} + nH_2O$
3.Water gas shift reaction		$CO + H_2O \rightarrow CO_2 + H_2$
<b>Side reaction:</b>	واکنش های جانبی:	
4.Alcohols		$2nH_2 + nCO \rightarrow C_nH_{2n-2}O + (n - 1)H_2O$
5.Boudouard reaction		$2CO \rightarrow C + CO_2$
<b>Catalyst modifications:</b>	بهبود کاتالیست:	
6.Catalyst oxidation		a. $M_xO_y + yH_2 \rightarrow yH_2O + xM$
		b. $M_xO_y + yCO \rightarrow yCO_2 + xM$
7.Bulk carbide formation		$yC + xM \rightarrow M_xC_y$

در این واکنش ها n و m به ترتیب متوسط تعداد اتمهای کربن و هیدروژن در مولکول هیدروکربن بوده و بر اساس نوع کاتالیست و شرایط واکنش تغییر می کنند [۱۱].

آبی که به عنوان محصول اولیه واکنش فیشر- تروپش بوجود می آید با CO از طریق واکنش جابجایی آب-گاز تولید می نماید [۱۳]. سرعت واکنش جابجایی آب-گاز با کاتالیست آهن به عنوان عامل اصلی و پتاسیم به عنوان تقویت کننده افزایش می یابد اما با کاتالیست های کبالت و روتینیم کاهش می یابد. چوی و همکارانش [۱۴] تفکیک سرمایه کل را برای هر یک از قسمتهای فرآیند با ظرفیت ۴۵۰۰۰ bbl/day بیان نموده اند. مطابق تقسیم بندی آنها هزینه قسمت تهیه گاز سنتز (جداسازی هوا، اکسیداسیون جزئی، رفرمینگ گاز طبیعی، سردسازی گاز سنتز) حدود ۶۶٪ هزینه کل و هزینه قسمت سنتز فیشر- تروپش (راکتورهای دوغابی فیشر - تروپش ، قسمت حذف CO<sub>2</sub>، فشرده سازی و برگشت گاز سنتز، بازیافت هیدروژن و هیدروکربن ها) حدود ۲۲٪ هزینه کل و هزینه قسمت ارتقاء کیفیت و پالایش محصولات حدود ۱۲٪ هزینه کل می باشد. با توجه به این اطلاعات تلاش در زمینه کاهش هزینه در قسمت تولید گاز سنتز بسیار مفید خواهد بود. قسمت سنتز فیشر- تروپش شامل راکتورهای فیشر- تروپش، جریان برگشتی،