

### پالایش نفت و پتروشیمی

هدف‌های رفتاری: پس از پایان این فصل از هنرجو انتظار می‌رود که بتواند:

- مواد تشکیل دهنده‌ی نفت خام را توضیح دهد.
- مراحل اصلی پالایش نفت خام را توضیح دهد.
- فرآیندهای پالایش را با رسم نمودار جریان دستگاه‌ها توضیح دهد.
- انواع مشتقات و فرآورده‌های حاصل از نفت خام را نام ببرد.
- اهمیت صنایع پتروشیمی را توضیح دهد.
- تقسیم‌بندی کلی صنایع پتروشیمی و بعضی فرآورده‌های هر بخش را توضیح دهد.

#### ۴-۱- مقدمه

نفت خام مایعی است به رنگ سیاه، قهوه‌ای یا سبز تیره که ترکیب آن در نواحی مختلف استخراج متفاوت است. این مخلوط پیچیده به‌طور عمده از هیدروکربن‌های پارافینی، نفتینی (پارافین‌های حلقوی) و آروماتیکی تشکیل شده است. همچنین، در آن ترکیبات نیتروژن‌دار، گوگرد دار و اکسیژن‌دار، به مقدار کم، و ترکیبات مختلف آلی – فلزی، به مقدار ناچیز، وجود دارند. همراه با نفت خام، آب نیز، که از نمک‌های فلزاتی نظیر سدیم، کلسیم و منیزیم اشباع شده است و خاک‌رس، از اعماق زمین خارج می‌شوند. در هر منطقه‌ی نفتی، نفت خام استخراج شده از چندین چاه توسط لوله به واحد صنعتی کوچکی به نام واحد بهره‌برداری<sup>۱</sup> منتقل می‌شود. در این واحد ذرات جامد، بخش عمده‌ی آب و هیدروکربن‌های سبک‌گازی (متان و اتان) جدا می‌گردد. سپس نفت خام توسط خطوط لوله و به کمک تعدادی ایستگاه تقویت فشار به پالایشگاه منتقل می‌شود. پالایشگاه کارخانه‌ای است که در آن به کمک فرآیندهای مختلف، نفت خام به فرآورده‌های با ارزش تبدیل می‌شود. پالایش نفت خام در سه مرحله‌ی اصلی انجام می‌گیرد:

- ۱- تفکیک فیزیکی؛ که شامل عملیاتی نظیر تقطیر، استخراج با حلال و تبلور است. فرآیند تقطیر از مهم‌ترین عملیات پالایش است که نه تنها بر روی نفت خام، بلکه بر روی محصولات به‌دست آمده از عملیات شیمیایی نیز اجرا می‌شود.
- ۲- عملیات شیمیایی؛ که شامل فرآیندهایی نظیر تبدیل کاتالیزگری<sup>۲</sup>، شکست حرارتی<sup>۳</sup> و شکست کاتالیزگری<sup>۴</sup> است.
- ۳- عملیات تصفیه؛ که معمولاً بر روی محصول نهایی انجام می‌شود و شامل فرآیندهایی نظیر شست‌وشو با اسید یا سود و جذب توسط آمین‌ها است. جهت حذف مواد مضر (سموم شیمیایی) برای کاتالیزگرهای رآکتورهای تبدیل و شکست، عملیات تصفیه با هیدروژن<sup>۵</sup> بر روی خوراک این رآکتورها انجام می‌شود.

۱- Production Unit

۲- Catalytic Reforming

۳- Thermal Cracking

۴- Catalytic Cracking

۵- Hydrotreating

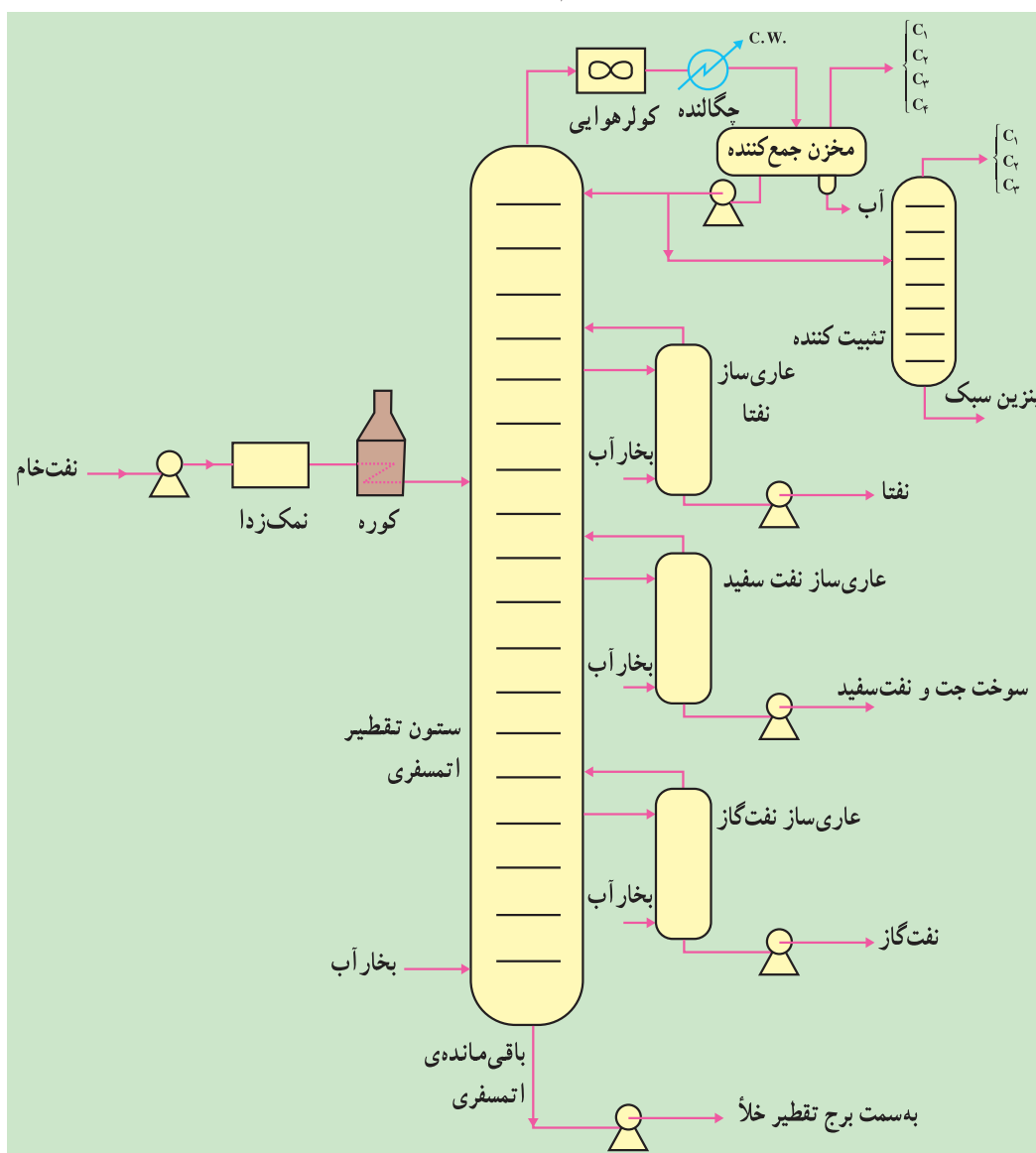
## ۴-۲- فرآیندهای پالایش

هیچ دو پالایشگاهی از نظر نمودار عملیاتی و فرآورده‌هایی که تولید می‌کنند به‌طور کامل مشابه یکدیگر نیستند. نمودار جریان و طرح عملیاتی هر پالایشگاه، با توجه به نوع نفت خام و تقاضای بازار مشخص می‌شود. برای مثال نفت خامی که درصد ترکیبات پارافینی آن بیش‌تر است (نفت پارافینی) برای تولید روغن موتور و نفت سفید مناسب‌تر خواهد بود. همچنین نفت خام آروماتیکی برای تولید بنزین مرغوب یا به‌عنوان تولید خوراک پتروشیمی ایده‌آل است در حالی که برای تولید نفت سفید مناسب نیست زیرا درصد ترکیبات آروماتیک در نفت سفید (نفت چراغ) باید تا حد امکان کم باشد.

مهم‌ترین فرآیندهای پالایش به شرح زیر است:

### ۴-۲-۱- تقطیر اتمسفری<sup>۱</sup>: شکل ۴-۱ نمودار کلی جریان‌های یک دستگاه تقطیر اتمسفری را نشان می‌دهد. نفت خام

پس از نمک‌زدایی<sup>۲</sup> (جدا کردن محلول نمک‌های همراه نفت خام) از داخل کوره عبور می‌کند تا با دمای حدود  $350^{\circ}\text{C}$  وارد ستون



شکل ۴-۱- نمودار دستگاه تقطیر اتمسفری

تقطیر اتمسفری شود. هنگامی که نفت خام با این دما داخل ستون می‌شود، به دلیل آن که فشار داخل ستون کم‌تر از فشار داخل لوله‌ی انتقال است تبخیر آبی صورت می‌گیرد و بخشی از ترکیبات سبک نفت به شکل بخار از مواد سنگین‌تر جدا شده به طرف بالای ستون حرکت می‌کند و ترکیبات سنگین‌تر نیز به صورت مایع به طرف پایین ستون جریان می‌یابد. در این ستون تعدادی سینی تعبیه شده است که به کمک آن‌ها تقطیر جزء به جزء انجام می‌شود. دمای هر سینی با دمای سینی‌های مجاور خود متفاوت است به گونه‌ای که از بالا به پایین ستون دمای سینی‌ها افزایش می‌یابد. یکی از مهم‌ترین مسائل در عملیات تقطیر، تنظیم دقیق دمای سینی‌هاست. این عمل که به آن تنظیم «شیب حرارتی»<sup>۴</sup> برج گفته می‌شود توسط تنظیم دمای کوره و تنظیم مقدار جریان‌های برگشتی به برج امکان‌پذیر است. روی همه‌ی سینی‌های برج، مایع و بخار با یکدیگر تماس پیدا کرده، تبادل ماده انجام می‌گیرد. بدین ترتیب که، بسته به دمای سینی، بعضی ترکیبات سنگین در فاز بخار که نقطه‌ی جوش آن‌ها از دمای آن سینی بیش‌تر است سرد شده وارد فاز مایع می‌شوند و بعضی ترکیبات سبک در فاز مایع که نقطه‌ی جوش آن‌ها کم‌تر از دمای آن سینی است حرارت گرفته به فاز بخار می‌روند. بدین ترتیب بخاری که از پایین ستون به سمت بالا حرکت می‌کند، از یک سینی به سینی دیگر ترکیبات سنگین خود را از دست می‌دهد و ترکیبات سبک به آن اضافه می‌شود تا در نهایت در بالای برج سبک‌ترین ترکیبات خارج شوند. جریان مایع نیز از بالای ستون به سمت پایین حرکت می‌کند و به تدریج ترکیبات سبک آن جدا شده و ترکیبات سنگین‌تر به آن اضافه می‌شود تا در نهایت از پایین برج، سنگین‌ترین اجزاء خارج گردند. به منظور جداسازی بهتر ترکیبات سبکی که همراه مایعات سنگین به قسمت‌های پایین ستون آورده می‌شوند، بخار آب از پایین ستون تزریق می‌گردد. علاوه بر جریان‌های خروجی از بالا و پایین برج، تعدادی جریان‌های جانبی<sup>۱</sup> نیز پیش‌بینی شده‌اند تا اجزای موردنظر با محدوده‌ی دمای جوش مطلوب به شکل مایع از ستون خارج شوند. به مخلوطی از هیدروکربن‌ها با محدوده‌ی دمایی جوش معین که از نفت خام به دست آید یک بُرش<sup>۲</sup> گویند.

بخارهای خروجی از بالاترین نقطه‌ی ستون اتمسفری، سبک‌ترین برش هستند که پس از سرد شدن در کولر هوایی<sup>۳</sup> و مبدل حرارتی (چگالنده)<sup>۴</sup> وارد مخزن جمع‌آوری کننده<sup>۵</sup> می‌شوند (شکل ۱-۴). گازهای متان، اتان، پروپان و بوتان از بالای این مخزن خارج شده و به دستگاه تصفیه‌ی گاز می‌روند تا پس از جذب گاز  $H_2S$  از آن‌ها به واحد تولید گاز مایع<sup>۶</sup> منتقل شوند. در آن جا متان و اتان جدا شده و به عنوان سوخت کوره‌های پالایشگاه یا به عنوان خوراک صنایع پتروشیمی مورد استفاده قرار می‌گیرند. پروپان و بوتان نیز به عنوان گاز مایع شهری و خانگی در مخازن ذخیره می‌شوند.

مایع خارج شده از پایین مخزن جمع‌کننده، نوعی بنزین سبک است که بخشی از آن به نام جریان برگشتی<sup>۷</sup> به برج برگشت داده می‌شود. چون دمای این جریان کم‌تر از دمای سینی‌های بالای برج است با کم و زیاد کردن مقدار آن می‌توان دمای بالای برج را کنترل کرده شیب حرارتی مناسب را به دست آورد. بخش دیگر پس از عبور از برج تثبیت<sup>۸</sup> و جدا شدن اندک ترکیبات سبک باقی‌مانده در آن (نظیر متان، اتان و پروپان) و انجام عملیات گوگردزدایی به عنوان یکی از اجزای سازنده‌ی بنزین به کار می‌رود.

برش بعدی نفتا نام دارد که نوعی بنزین سنگین است. این برش بعد از وارد شدن در برج عاری‌ساز<sup>۹</sup> و جدا شدن ترکیبات سبک همراه آن به کمک بخار آب، عملیات گوگردزدایی بر روی آن انجام شده به دستگاه تبدیل کاتالیستی<sup>۱۰</sup> منتقل می‌شود. در این دستگاه بنزین با کیفیت بالا به دست می‌آید که با بنزین‌های تولیدی در دیگر بخش‌ها مخلوط می‌شود.

برش بعدی را، پس از عاری‌سازی با بخار آب، می‌توان در تهیه‌ی نفت سفید<sup>۱۱</sup>، برای سوخت جت<sup>۱۲</sup> مورد استفاده قرار داد.

۱- Side Streams

۲- Cut

۳- Air Cooler

۴- چگالنده (Condenser) یک مبدل حرارتی است که در آن تمامی یا بخشی از بخارها به مایع تبدیل می‌شوند.

۵- Accumulator

۶- Liquefied Petroleum Gas, LPG

۷- Reflux Stream

۸- Stabilizer

۹- Stripper

۱۰- Catalytic Reforming

۱۱- Kerosene

۱۲- Jet Fuel

اگر این برش به عنوان نفت سفید جهت سوخت گرمایی عرضه شود کافی است عملیات گوگردزدایی بر روی آن انجام شود. جهت تهیه سوخت جت باید برش نفتا و نفت سفید را به نسبت معین مخلوط کرده سپس بعضی عملیات تکمیلی دیگر بر روی آن انجام داد. برش نفت گاز<sup>۱</sup> (گازوییل) به دست آمده از ستون تقطیر اتمسفری، بعد از انجام عملیات عاری سازی و گوگردزدایی، به عنوان سوخت موتورهای دیزل به کار می رود.

بنزین، نفت سفید و نفت گاز که از قسمت های جانبی ستون تقطیر اتمسفری به دست می آیند فرآورده های میان تقطیر<sup>۲</sup> نام دارند. سنگین ترین مایعات از پایین ستون خارج شده و به نام «باقی مانده ی اتمسفری<sup>۳</sup>» به ستون تقطیر خلا ارسال می شود. شکل ۲-۴ دستگاه تقطیر اتمسفری را نشان می دهد.



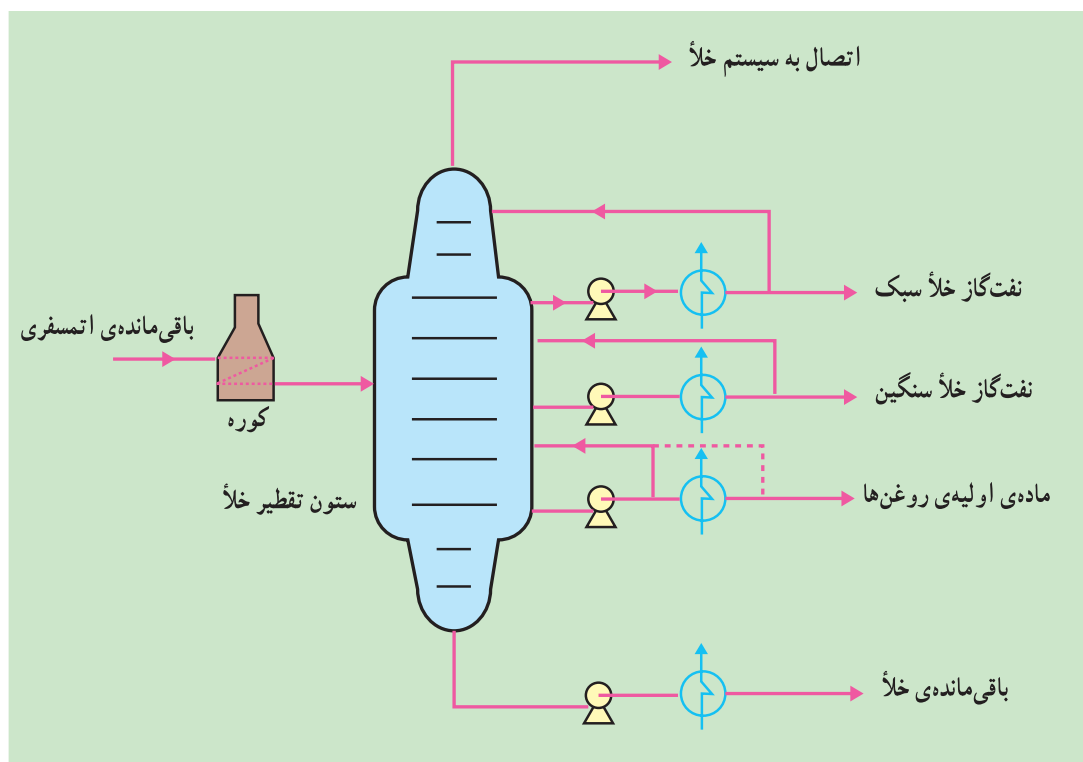
شکل ۲-۴- دستگاه تقطیر اتمسفری

۱- Gas Oil

۲- Middle Distillates

۳- Atmospheric Residue (Atmospheric Bottom)

**۲-۲-۴- تقطیر خلأ:** به منظور جدا کردن برش‌های موجود در باقی مانده‌ی اتمسفری، باید دمای عملیات تقطیر را به مقدار قابل توجه افزایش داد. برای جلوگیری از تجزیه‌ی مولکول‌های سنگین، این تقطیر را در خلأ انجام می‌دهند. در فشارهای پایین، ترکیبات مختلف در دمای کم‌تری به جوش می‌آیند و در نتیجه حرارت در حدی نیست که موجب تجزیه‌ی مولکول‌ها شود. شکل ۳-۴ نمودار کلی جریان‌های یک دستگاه تقطیر خلأ را نشان می‌دهد. فشار مطلق ستون تقطیر بین ۵۰ تا ۱۰۰ میلی‌متر جیوه است. باقیمانده‌ی اتمسفری بعد از حرارت دیدن در کوره با دمای حدود ۳۸۰ تا ۴۵۰°C وارد ستون تقطیر در خلأ می‌شود. جهت بهبود کیفیت جداسازی، بخار آب از پایین ستون تزریق می‌شود. قسمت بالای ستون نیز به سیستم ایجاد خلأ متصل است. سبک‌ترین محصولاتی که از این ستون به دست می‌آید نفت گاز خلأ سبک و سنگین<sup>۱</sup> است که بخشی از آن‌ها جهت تنظیم دما به ستون برگشت<sup>۲</sup> داده می‌شود و قسمت عمده‌ی آن به عنوان خوراک دستگاه شکست کاتالیزگری<sup>۳</sup> به کار می‌رود. برش سوم، ماده‌ی اولیه‌ی روغن



شکل ۳-۴- نمودار دستگاه تقطیر خلأ

است که جهت انجام عملیات تکمیلی به دستگاه روغن‌سازی ارسال می‌گردد. جهت تنظیم دمای قسمت‌های پایین برج، بخشی از این برش به صورت سرد یا گرم (بسته به نیاز) به ستون برگشت داده می‌شود. سنگین‌ترین برش تحت نام باقی مانده‌ی خلأ از پایین ستون خارج می‌شود. از این برش می‌توان با دمیدن هوا بر آن قیر تهیه کرد یا آن که آن را به دستگاه کاهش گرانروی ارسال کرد تا بعد از شکسته شدن مولکول‌های سنگین به عنوان نفت کوره از آن استفاده شود.

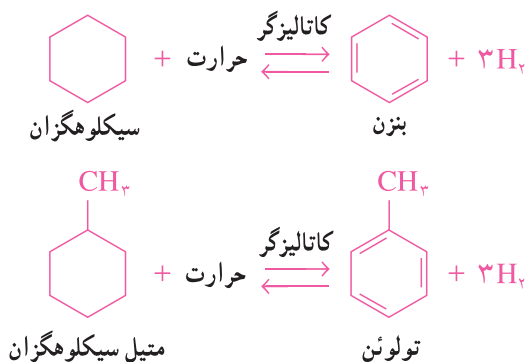
۱- Light Vacuum Gas Oil (LVGO), Heavy Vacuum Gas Oil (HVGO)

۲- Reflux

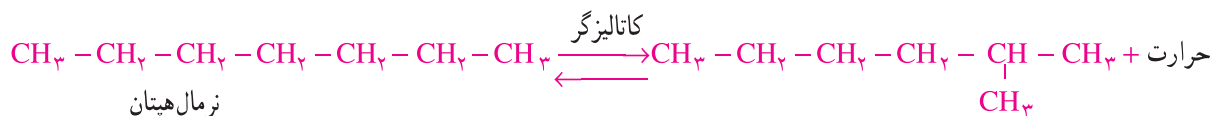
۳- Catalytic Cracking

**۳-۲-۴- تبدیل کاتالیستی<sup>۱</sup>:** در این فرآیند بنزین سنگین یا نفتا که عدد اکتان<sup>۲</sup> پایینی دارد به بنزین مرغوب با عدد اکتان بالا تبدیل می‌شود. واکنش‌ها به کمک کاتالیزگر انجام می‌شوند. اگر کاتالیزگر مورد استفاده از جنس پلاتین باشد، به این واحد پلاتفرمر<sup>۳</sup> گویند. برخی از واکنش‌هایی که در رآکتورهای تبدیل کاتالیستی انجام می‌شوند عبارت‌اند از:

**۱- هیدروژن زدایی از نفتین‌ها (آروماتیک‌سازی):**



## ۲- ایزومر سازی

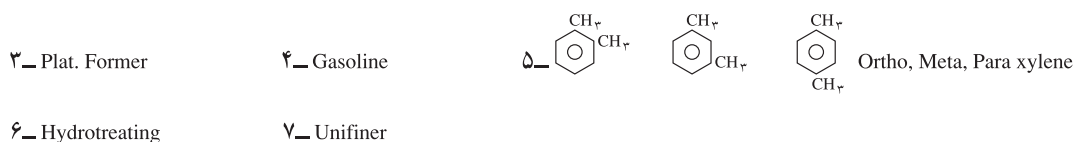


با انجام این نوع واکنش‌ها، ترکیبات آروماتیک و پارافین‌ها با شاخه‌ی فرعی بیش‌تر که عدد اکتان بالاتری دارند تولید شده، مرغوبیت بنزین افزایش می‌یابد. بنزین<sup>۴</sup> به‌دست آمده از این دستگاه نیاز به افزودن ترکیبات سرب به آن ندارد، لذا از نظر مبارزه با آلودگی هوا نقش مؤثری خواهد داشت. لازم به ذکر است که این محصول، به‌دلیل غنی بودن از ترکیبات آروماتیک نظیر بنزن، تولون و زایلنها<sup>۵</sup>، خوراک مناسبی برای صنایع پتروشیمی است. با کاهش مصرف بنزین از طریق صرفه‌جویی در مصرف و گازسوز-کردن خودروها می‌توان به‌جای سوزاندن این ماده‌ی با ارزش، از آن در صنایع پتروشیمی جهت تولید محصولات گوناگون استفاده کرد.

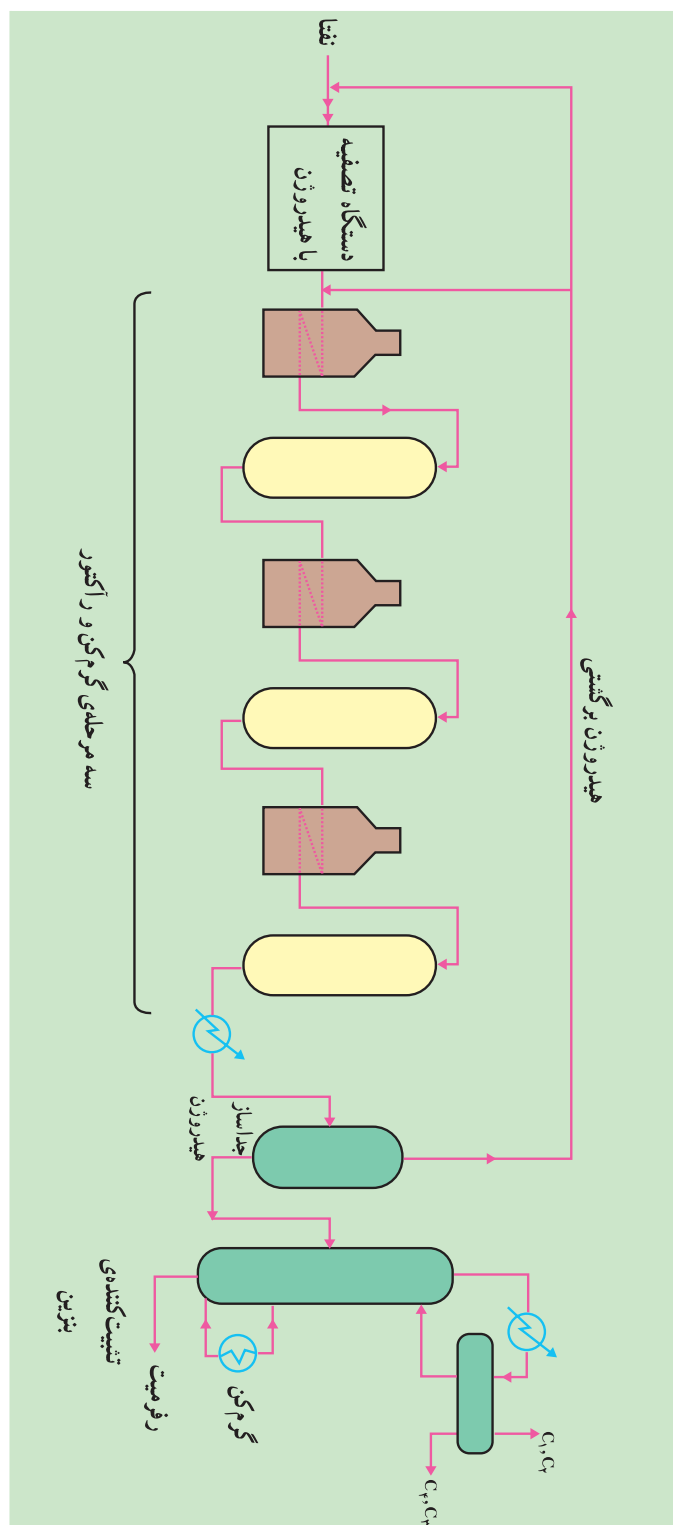
شکل ۴-۴ نمودار ساده شده‌ی یک دستگاه تبدیل کاتالیستی را نشان می‌دهد. در این شکل جزئیات دستگاه تصفیه با هیدروژن<sup>۶</sup> که به نام یونیفاینر<sup>۷</sup> مشهور است نشان داده نشده است. خوراک که از دستگاه تقطیر اتمسفری تأمین می‌شود با عبور از دستگاه تصفیه با هیدروژن، مواد و ناخالصی‌هایی را که برای کاتالیزورهای پلاتینی مضر هستند، نظیر ترکیبات گوگرد، نیتروژن و

### ۱- Catalytic Reforming

۲- عدد اکتان (Octane Number) عددی است که درجه‌ی آرام‌سوزی بنزین را نشان می‌دهد. یکی از راه‌های افزایش عدد اکتان اضافه کردن ترکیبات سرب به بنزین است که مشکلات جدی برای محیط‌زیست ایجاد می‌کند. سرب و ترکیبات آن از خطرناک‌ترین مواد آلوده کننده‌ی هوا می‌باشند که سلامتی افراد جامعه بخصوص کودکان را به‌شدت در معرض خطر قرار می‌دهند. به‌همین دلیل در کشورهای صنعتی و پیش‌رفته استفاده از بنزین بدون سرب به‌عنوان سوخت خودروها اجباری است. هم‌اکنون در ایران نیز صاحبان خودروها به استفاده از بنزین بدون سرب تشویق می‌شوند.



ترکیبات آلی - فلزی، از دست می‌دهد. چون واکنش‌های تبدیل کاتالیزگری عمدتاً گرماگیر هستند، قبل از هر رآکتور یک گرم‌کن پیش‌بینی شده است. خروجی رآکتور سوم ابتدا در جداساز<sup>۱</sup>، هیدروژن همراه خود را از دست می‌دهد و سپس وارد یک ستون



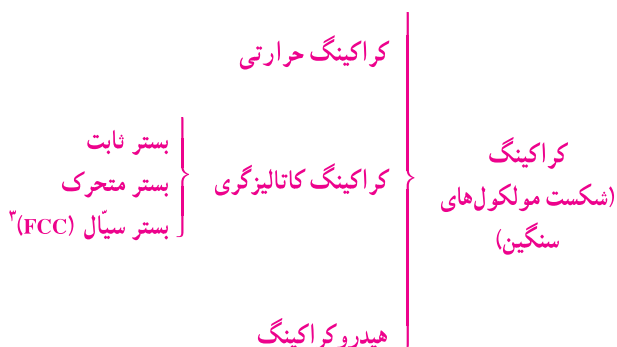
شکل ۴-۴- نمودار دستگاه تبدیل کاتالیزگری

تثبیت کننده می شود تا گازهای سبک آن از بالای ستون جدا شده و از پایین محصول نهایی به دست آید. این محصول را در صنعت به نام رفرمیت<sup>۱</sup> می شناسند.

نکته‌ی قابل توجه آن است که در مجموع، واکنش‌های تبدیل کاتالیستی هیدروژن تولید می کنند. بخشی از این هیدروژن به دستگاه تصفیه با هیدروژن (یونیفایزر) ارسال می شود و بخش دیگر جهت افزایش فشار هیدروژن و جلوگیری از تشکیل کک به ورودی رآکتورهای واحد برگشت داده می شود.

**۴-۲-۴- شکست مولکول‌ها (کراکینگ)<sup>۲</sup>:** کراکینگ فرآیندی است که در طی آن هیدروکربن‌های سنگین با نقطه‌ی جوش بالا، به هیدروکربن‌های کوچک‌تری با نقطه‌ی جوش پایین تجزیه می شوند. با این عمل می توان برش‌هایی مانند گازوئیل خلأ سبک و سنگین را، که به همان شکل قابل مصرف نیستند، به محصولات میان تقطیر با ارزش، مثل بنزین، نفت سفید و گازوئیل (قابل استفاده در موتورهای دیزل) تبدیل کرد.

انواع فرایندهای شکست عبارت‌اند از :



در کراکینگ حرارتی مولکول‌های سنگین هیدروکربن در اثر حرارت به مولکول‌های سبک‌تر تبدیل می شوند. چون این عمل نیاز به مصرف انرژی زیاد دارد، عملاً کراکینگ حرارتی به جز در مواردی نظیر فرآیند کاهش گرانیوی منسوخ شده است.

در فرآیند کراکینگ کاتالیزگری، به جهت حضور کاتالیزگر مناسب، شکست مولکول‌ها در شرایط ملایم‌تری انجام می شود. این فرآیند به علت تولید مقدار بیش‌تری بنزین و مقدار کم‌تری گازهای سبک، بر کراکینگ حرارتی ترجیح دارد. در واکنش‌های کراکینگ، کک به سرعت تشکیل می شود و با پوشاندن سطح کاتالیزگر فعالیت آن را کاهش می دهد. به همین دلیل مسئله‌ی بازسازی کاتالیزگر نقش اساسی در طراحی واحدهای کراکینگ کاتالیزگری دارد. در نوع بستر ثابت، حداقل باید سه رآکتور یکسان وجود داشته باشد که یکی از آن‌ها در حال عمل و دو تای دیگر در حال عملیات بازسازی و احیای کاتالیزگر باشند. امروزه این طرح منسوخ شده است. طرح دیگر، رآکتور با بستر متحرک می باشد. در این روش کاتالیزگر دانه‌ای شکل به کمک هوای فشرده به آرامی از رآکتور به قسمت بازسازی (احیاء) منتقل شده و پس از کک‌زدایی به رآکتور برگشت داده می شود. مشکل اصلی در این طرح فرسایش و فرسودگی سریع دستگاه‌هاست. بهترین روش، کراکینگ کاتالیزگری با بستر سیال است که در آن کاتالیزگر به شکل پودر به همراه خوراک وارد رآکتور شده، پس از انجام واکنش‌های لازم به همراه محصول خارج می شود. سپس کاتالیزگر از محصول جدا شده وارد بازساز می شود تا کک آن سوزانده شود و مجدداً همراه خوراک به رآکتور منتقل گردد.

در فرآیند هیدروکراکینگ، برش‌های سنگین و ارزان هیدروکربنی‌ها توسط کاتالیزگر و در حضور گاز هیدروژن و تحت فشار

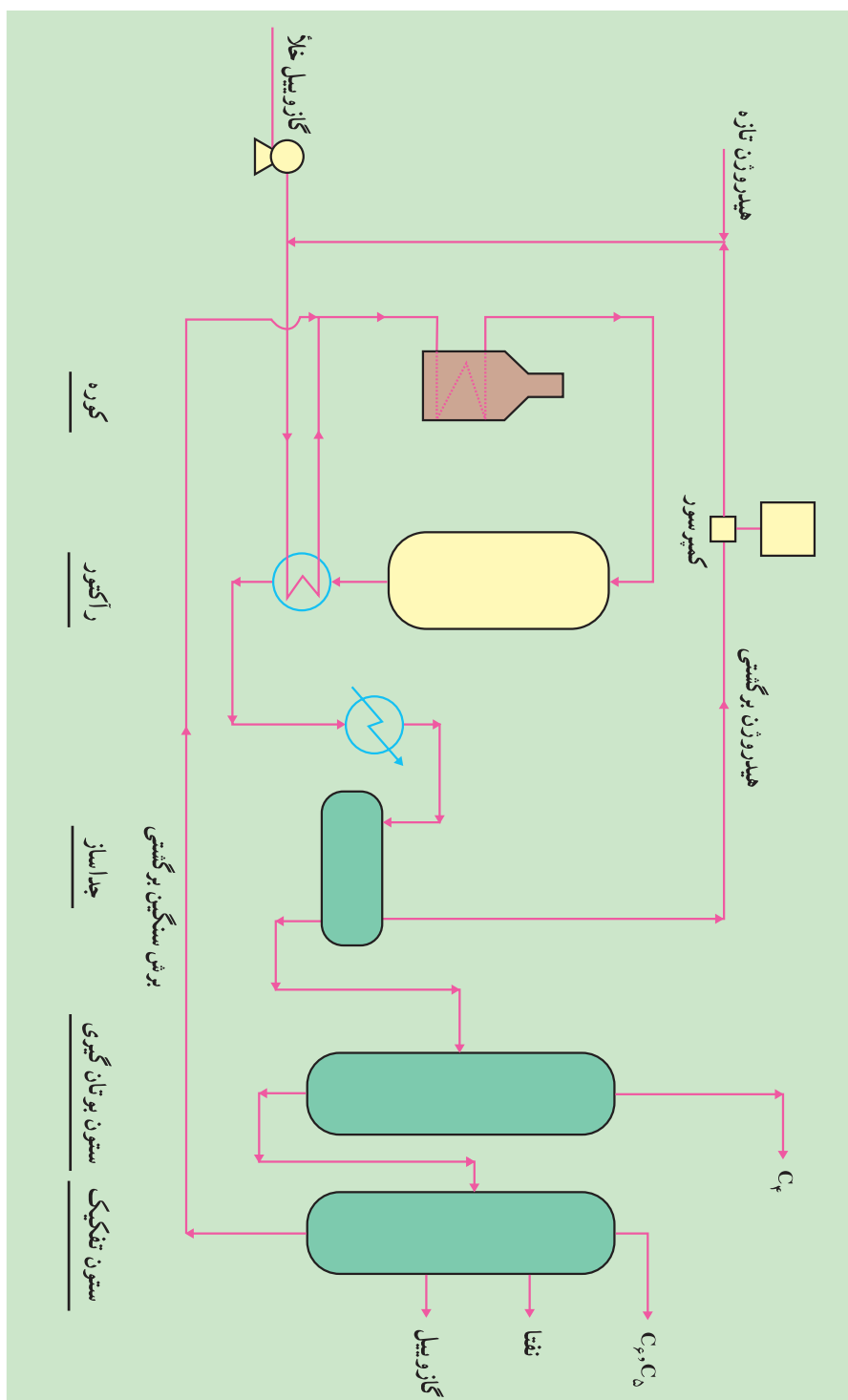
۱- Reformate

۲- Cracking

۳- Fluid - bed Catalytic Cracking



و حرارت، به برش‌های سبک‌تر تبدیل می‌شوند. این فرآیند در دستگاه‌هایی به نام آیزوماکس<sup>۱</sup> اجرا می‌شود. فرآیند هیدروکراکینگ در ایران شناخته شده‌ترین فرآیند شکست است و اغلب پالایشگاه‌های بزرگ کشور مجهز به دستگاه آیزوماکس هستند. شکل ۴-۵ نمودار ساده شده‌ی یک دستگاه آیزوماکس را نشان می‌دهد. در این طرح فقط یک راکتور پیش‌بینی شده است.



شکل ۴-۵- نمودار دستگاه آیزوماکس

تعداد رآکتورها می‌تواند تا سه دستگاه افزایش یابد. خوراک دستگاه آیزوماکس معمولاً گازوییل خلأ سبک یا سنگین یا مخلوط آن دو می‌باشد که بعد از تزریق گاز هیدروژن به آن و گرم شدن در کوره وارد رآکتور می‌شود. در رآکتور، واکنش‌های هیدروکراکینگ در دمای حدود ۴۰۰ تا ۴۵۰°C و فشار حدود ۱۸۰ اتمسفر انجام می‌شود محصول خارج شده از رآکتور وارد جداساز می‌شود تا هیدروژن اضافی همراه محصول جدا گردد. هیدروژن اضافی پس از پیوستن به هیدروژن تازه به خوراک رآکتور بازگشت داده می‌شود. محصول بعد از خروج از جداساز ابتدا در برج بوتان‌گیری، C<sub>۴</sub> و ترکیبات سبک‌تر خود را از دست می‌دهد و در نهایت در ستون تفکیک بنزین و نفت‌گاز از ترکیبات سنگین‌تر جدا می‌شود. ترکیبات سنگین‌تر جهت عبور مجدد از رآکتور به‌ورودی کوره برگشت داده می‌شود.

نمونه‌ای از واکنش‌های هیدروکراکینگ به‌قرار زیر است:



ایزومر هگزان با شاخه‌های فرعی      ایزوبوتان      نمال‌دکان

**۵-۲-۴- کاهش گرانی:** فرآیند کاهش گرانی، یک کراکینگ حرارتی نسبتاً ملایم است که به‌منظور کاهش گرانی و نقطه‌ی ریزش<sup>۲</sup> باقی‌مانده‌ی خلأ<sup>۳</sup> به‌کار می‌رود. باقی‌مانده‌ی برج تقطیر در خلأ که معمولاً به‌دلیل گرانی زیاد قابل عرضه به‌بازار نیست، در این دستگاه تحت تأثیر فشار حدود ۳۰ اتمسفر و درجه حرارت ۴۵۰ تا ۵۰۰°C به محصولات با ارزش تبدیل می‌شود. محصول اصلی این فرآیند نفت کوره است، اما مقداری گاز و بنزین نامرغوب نیز به‌دست می‌آید که معمولاً به‌عنوان سوخت پالایشگاه مورد استفاده قرار می‌گیرد.

**۶-۲-۴- تولید قیر:** یکی دیگر از مصارف باقی‌مانده‌ی برج تقطیر در خلأ تولید قیر است. برای تهیه‌ی انواع قیر می‌توان از فرآورده‌های مختلف نظیر استخراج با حلال یا اکسایش توسط دمیدن هوا استفاده کرد. در روش دوم، باقی‌مانده‌ی خلأ در یک برج وارد شده و هوا به‌داخل آن دمیده می‌شود. انواع قیرهای تولید شده در این واحد به مصارفی نظیر جاده‌سازی، آسفالت بام ساختمان‌ها، عایق کاری و نظایر آن می‌رسد.

**۷-۲-۴- روغن‌سازی:** روغن خام که از برج تقطیر در خلأ به‌دست می‌آید دارای مواد زاید آروماتیکی و آلفینی است که به آسانی اکسید شده و مواد خورنده و لجن‌مانندی ایجاد می‌کند که باعث کاهش کیفیت روغن می‌شود. لذا در دستگاه روغن‌سازی ابتدا توسط حلال فورفورال<sup>۴</sup> ترکیبات آروماتیکی و آلفینی از روغن استخراج می‌شوند. این عمل در یک برج سینی‌دار انجام می‌شود. حلال فورفورال به‌دلیل سنگینی، از بالا به پایین حرکت می‌کند و روغن برعکس، در برج بالا می‌رود. سپس روغن به‌قسمت موم‌گیری ارسال می‌شود. در این بخش پارافین‌های خیلی سنگین (موم‌ها)<sup>۵</sup> که باعث می‌شوند نقطه‌ی انجماد روغن خیلی بالا باشد، از آن جدا می‌گردد. برای نیل به این هدف روغن را با حلالی که مخلوط تولوئن و متیل اتیل کتون (MEK) می‌باشد مخلوط کرده و در مبدل‌های حرارتی تا ۲۵°C- سرد می‌کنند. بدین ترتیب کریستال‌های موم در اثر پروت به‌صورت ذرات جامد معلق، در روغن شناور می‌شوند. با انجام فیلتراسیون، موم از روغن جدا می‌شود. موم به‌عنوان یک محصول در تهیه‌ی فرآورده‌هایی نظیر شمع، پوشش ماشین‌آلات ظریف، صنایع الکتریکی و مخابراتی، مواد آرایشی و بهداشتی و دارویی، صنعت چاپ و گراورسازی و صنایع چرم‌سازی و نساجی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

۱- Visbreaker

۲- نقطه‌ی ریزش (Pour Point) دمایی است که از آن دما پایین‌تر مایع سیالیت خود را از دست می‌دهد.

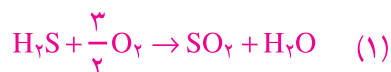
۳- Vacuum Residue (Vacuum Bottom)

۴- C<sub>۴</sub>H<sub>۶</sub>OCHO

۵- Waxes

روغن موم گیری شده را روغن پایه<sup>۱</sup> می نامند. بعد از اضافه کردن و اختلاط مواد افزودنی<sup>۲</sup> مورد نیاز، روغن های صنعتی با کاربردهای گوناگون تهیه می شود. مواد افزودنی سبب می شوند تا روغن گرانروی، قدرت پاک کنندگی و خاصیت ضد اکسایش مناسب داشته باشد.

**۸-۲-۴- بازیافت گوگرد:** نفت خام دارای ناخالصی هایی به شکل ترکیبات گوگردی است که طی مراحل مختلف پالایش به هیدروژن سولفید (H<sub>2</sub>S) تبدیل شده همراه سایر گازهای سبک به دستگاه تصفیه ی گاز هدایت می شود. دستگاه تصفیه ی گاز به کمک یک برج جذب و محلول آمین، هیدروژن سولفید را جذب می کند. گازهای سبک به عنوان سوخت در پالایشگاه مورد مصرف قرار می گیرند و H<sub>2</sub>S به دستگاه بازیافت گوگرد منتقل می شود. در این دستگاه پس از مخلوط شدن این گاز با مقدار مناسب هوا و انجام واکنش های زیر، گوگرد با درجه ی خلوص ۹۹/۹ درصد بدست می آید:



واکنش (۱) در درجه حرارت ۱۰۰۰ تا ۱۳۰۰ °C و واکنش (۲) در حضور آلومینای فعال (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) و در درجه حرارت ۲۱۰ تا ۲۷۰ °C انجام می شود. از گوگرد در صنایع مختلف نظیر تولید سولفوریک اسید و لاستیک سازی و در کشاورزی به عنوان کود، جهت بالا بردن بهره دهی زمین های قلیایی استفاده می شود.

**۹-۲-۴- هیدروژن سازی:** به منظور تأمین هیدروژن مورد نیاز دستگاه آیزوماکس، بخار آب و هیدروکربن های گازی مختلف (نظیر گاز طبیعی یا گاز حاصل از واحدهای مختلف پالایشگاه) به نسبت معینی مخلوط و از لوله های مملو از کاتالیزگر استوانه ای شکل نیکل عبور می کند. این لوله ها در کوره ی مخصوصی قرار گرفته اند تا به دمای مورد نظر (حدود ۷۵۰ °C) برسند. واکنش انجام شده «تبدیل به کمک بخار آب»<sup>۳</sup> نام دارد.



سپس در رآکتور دیگری گاز خروجی از کوره و بخار آب در مجاورت کاتالیزگر اکسیدهای آهن و کروم و در دمای حدود ۳۰۰ °C قرار گرفته و واکنش «تبدیل شیفت»<sup>۴</sup> انجام می شود که در آن CO به CO<sub>2</sub> تبدیل می گردد:



سپس CO<sub>2</sub> در برج جذب توسط محلول منواتانول آمین جذب می شود. اندک CO باقی مانده، در برج دیگری به نام برج متان ساز<sup>۵</sup> تحت دمای ۲۲۰ °C و کاتالیزور نیکل به متان که برای کاتالیزورهای واحد ایزوماکس بی ضرر است تبدیل می شود. محصول نهایی واحد هیدروژن با خلوص ۹۷٪ است که به کمک کمپرسورهای چند مرحله ای به دستگاه آیزوماکس فرستاده می شود.

**۱۰-۲-۴- واحدهای جانبی:** در هر پالایشگاه بخش هایی وجود دارد که هریک به شکل غیرمستقیم در پالایش نفت دخالت دارند. اهمیت این واحدهای جانبی کم تر از دستگاه های فرایندی نیست و بدون وجود آنها، در مواردی، حتی امکان انجام عملیات پالایش وجود نخواهد داشت. از مهم ترین واحدهای جانبی واحد آب، برق و بخار می باشد. این واحد، آب سرد مورد نیاز چگالنده ها، بخار آب مورد نیاز گرم کن ها و برق مورد نیاز دستگاه های مختلف و ساختمان ها و دیگر تأسیسات را تأمین می کند.

۱- Base Oil

۲- Oil Additives

۳- Steam Reforming

۴- Shift Conversion

۵- Methanator

هر پالایشگاه دارای یک واحد آزمایشگاه می باشد که در آن مواد اولیه، مواد میانی و محصولات مورد بررسی قرار می گیرند تا در صورتی که نتایج آزمایش ها با استانداردهای مورد نظر مطابقت نداشته باشد، اقدام لازم جهت تصحیح یا تغییر شرایط عملیات انجام شود.

در هر صورت انتقال فرآورده و یا اجازه ی استفاده از آن ها به شرط تأیید آزمایشگاه است. از دیگر بخش های مهم پالایشگاه می توان از اداره ی تعمیرات و خدمات، اداره ی ایمنی و آتش نشانی و اداره ی آموزش نام برد.

### ۳-۴- فرآورده های نفتی

محصولات پالایشگاه را می توان به سه دسته ی عمده تقسیم کرد :

- ۱- فرآورده های تمام شده که می توانند مستقیماً مصرف شوند.
  - ۲- فرآورده های نیمه تمام که جهت مصرف باید عملیات تکمیلی بر روی آن ها انجام شود.
  - ۳- فرآورده های واسطه که به عنوان ماده ی اولیه ی صنایع پتروشیمی به کار می روند.
- تعداد فرآورده های حاصل از پالایش نفت بسیار زیاد است. بعضی از مهم ترین این فرآورده ها، به ترتیب افزایش جرم مولکولی، به قرار زیر است :

- ۱- گازهای سبک (متان و اتان) که به عنوان سوخت یا به عنوان خوراک پتروشیمی به کار می رود.
- ۲- گاز مایع (LPG) که به عنوان سوخت یا خوراک پتروشیمی به کار می رود.
- ۳- بنزین اتومبیل
- ۴- بنزین های مخصوص و نفتا که به عنوان حلال یا به عنوان خوراک پتروشیمی به کار می رود.
- ۵- سوخت جت<sup>۱</sup>
- ۶- نفت سفید
- ۷- نفت گاز (گازویل)
- ۸- نفت کوره ی سبک<sup>۲</sup> که به عنوان سوخت تأسیسات حرارتی خانگی و کارخانجات کوچک به کار می رود.
- ۹- روغن های روان کننده که در موتور خودروها و دستگاه های صنعتی مختلف جهت روان کاری استفاده می شود.
- ۱۰- پارافین ها و موم ها
- ۱۱- نفت کوره ی سنگین<sup>۳</sup> که به عنوان سوخت تأسیسات حرارتی پر قدرت و موتورهای دیزل بزرگ به کار می رود.
- ۱۲- آسفالت و قیر
- ۱۳- کک<sup>۴</sup> که به عنوان سوخت صنعتی و ساخت الکترودها به کار می رود.

بعضی از این مواد نظیر بنزین، نفت سفید و گازویل جزء فرآورده های تمام شده هستند. چون معمولاً عملیات نهایی جهت تهیه ی روغن های روان کننده و گاز مایع در کارخانجات خارج پالایشگاه انجام می شود، این فرآورده ها را محصولات نیمه تمام می نامند. گازهای سبک، گاز مایع و نفتا اگر به عنوان خوراک صنایع پتروشیمی استفاده شوند، در صنعت پالایش، فرآورده های واسطه خواهند بود.<sup>۵</sup>

۱- Jet fuel

۲- Light Fuel Oil

۳- Heavy Fuel Oil

۴- Coke

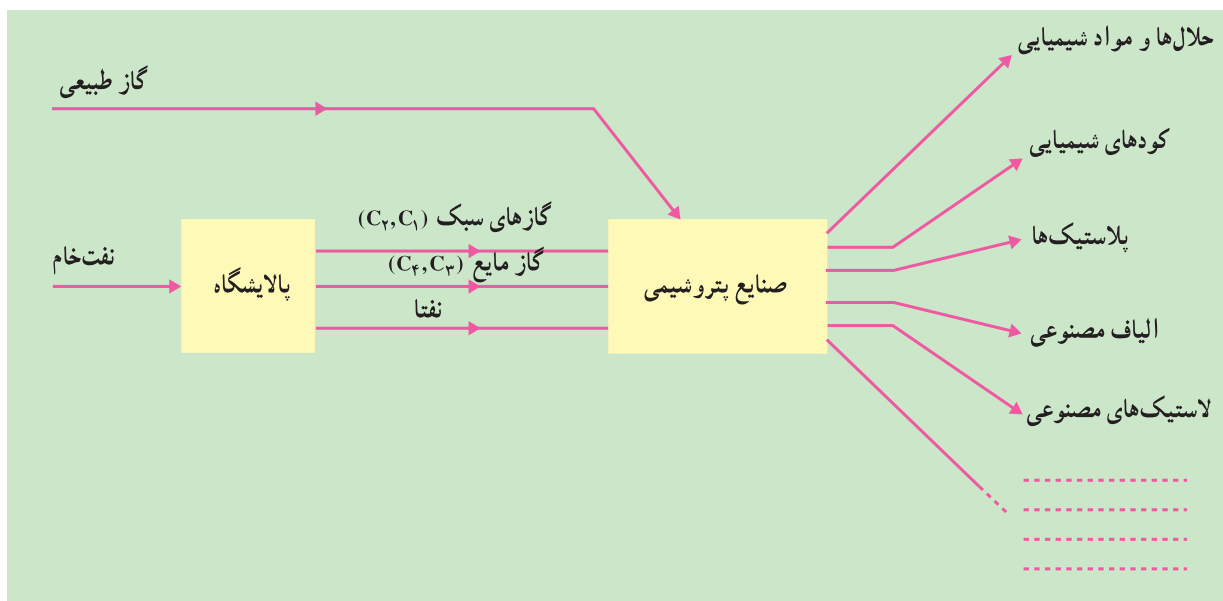
۵- در صنایع پتروشیمی به آن ها خوراک یا ماده ی اولیه می گویند.

## صنایع پتروشیمی

### ۴-۴ اهمیت صنایع پتروشیمی

طبق تعریف، پتروشیمی به صنایعی گفته می‌شود که در آن‌ها هیدروکربن‌های موجود در نفت خام یا گاز طبیعی به محصولات شیمیایی تبدیل می‌شود. پتروشیمی صنعتی بسیار گسترده با فرآورده‌های متنوع است. امروزه فرآورده‌های مصرفی این صنعت چنان با زندگی روزانه‌ی آحاد مردم عجین شده است که در عمل، زندگی بدون استفاده از آن‌ها تصورناپذیر است. صنایع پتروشیمی در تولید مواد شیمیایی و حلال‌ها، کودهای شیمیایی، لفاف بسته‌بندی، لوله و شیلنگ، وسایل خانگی، لوازم الکتریکی، انواع فیلم‌ها، کفش، کف‌پوش، لوازم بهداشتی، مواد عایق، انواع لاستیک‌ها، الیاف مصنوعی و پارچه، تایر، پودرهای شوینده، داروها، رنگ‌ها، سموم دفع آفات، مواد منفجره و بسیاری از مواد مصرفی دیگر نقش اساسی دارد. اکثر مردم از اهمیت صنعت پتروشیمی بی‌اطلاع هستند، برای مثال همه‌ی صاحبان خودرو در زمستان از ضدیخ استفاده می‌کنند اما شاید تعداد معدودی از آنان بدانند که ماده‌ی اصلی ضدیخ اتیلن گلیکول ( $\text{CH}_2\text{OH}-\text{CH}_2\text{OH}$ ) است که یکی از فرآورده‌های صنایع پتروشیمی است.

به دلیل وجود منابع عظیم نفت و گاز در ایران، صنایع پتروشیمی می‌تواند نقش مهمی در پیشرفت اقتصادی کشورمان داشته باشد. ارزانی و فراوانی مواد اولیه، ایجاد فرصت‌های شغلی، انتقال تکنولوژی پیش‌رفته و مهم‌تر از همه ارزش افزوده‌ی چشم‌گیر باعث شده است که در برنامه‌های توسعه‌ی اقتصادی و اجتماعی به این صنعت بیش‌تر توجه شود و ساخت مجتمع‌های پتروشیمی در اولویت قرار گیرد. ویژگی مهم این صنعت آن است که با ساخت یک مجتمع بزرگ پتروشیمی توسط دولت، تعداد زیادی صنایع کوچک (واحدهای پایین دست) غیردولتی می‌توانند از انواع محصولات آن به‌عنوان خوراک اولیه استفاده کرده فرآورده‌های مصرفی متنوعی را تولید نمایند. شکل ۴-۶ انواع خوراک‌ها و محصولات صنایع پتروشیمی را به اختصار نشان می‌دهد.



شکل ۴-۶ خوراک‌ها و محصولات صنایع پتروشیمی

از سال ۱۹۲۰ که اولین کارخانه‌ی پتروشیمی به منظور تولید ایزوپروپیل الکل در آمریکا ساخته شد تا امروز، این صنعت نقش مهمی در رفع نیازهای بشر داشته است. البته از طرفی هم، با توسعه‌ی صنایع پتروشیمی، به تدریج تأثیرات نامطلوب آن بر محیط زیست

آشکار شده است. اثرات مخرب این صنعت بر محیط زیست را می توان به دو بخش تقسیم کرد :

۱- دفع مواد زاید به هنگام اجرای عملیات تولید، که موجب آلودگی محیط زیست می شود.

۲- مصرف بعضی از محصولات پتروشیمی، که به محیط زیست صدمه می زند.

برای مثال کلروفلوئوروکربن ها (CFC)<sup>۱</sup> با نام تجاری فریون، دسته ای از محصولات پتروشیمی هستند که سال ها در یخچال ها و دستگاه های تهویه مطبوع به عنوان خنک کننده مورد استفاده قرار می گرفتند. مورد مصرف دیگر این مواد در افشانه ها بود. ولی در سال های اخیر چون اثبات شد که این ترکیبات پایدار هستند ولذا وقتی در هوا رها می شوند به لایه ی اوزون صدمه می زنند، در کشورهای پیشرفته مصرف آن ها ممنوع و ترکیبات دیگری جانشین آن ها شده است.

یکی دیگر از محصولات پتروشیمی دی کلرو دی فنیل تری کلرو اتان (ددت)<sup>۲</sup> است که در گذشته به عنوان حشره کش و آفت کش مصرف فراوان داشت. این ترکیب سمی پایدار است و همراه آب باران به رودخانه ها و از آن طریق وارد بدن گیاهان و جانوران دریایی شده و در نهایت انسان با مصرف غذاهای دریایی آن را وارد بدن خود می نماید. علی رغم آثار مخرب این سم بر محیط زیست و بدن انسان و ممنوعیت مصرف آن، هنوز بعضی از کشورهای فقیر از آن استفاده می کنند.

امروزه با استفاده از روش های نوین در صنایع پتروشیمی، پساب ها و گازهای آلاینده به نحو مطلوب تصفیه می شوند. به همین جهت اثرات مخرب این کارخانجات بر محیط زیست به حداقل رسیده است. درضمن، تحقیقات گسترده ای در خصوص ساخت انواع محصولاتی که بتوانند با محیط زیست کاملاً سازگار باشند و به آن آسیب نرسانند در حال انجام است.

## ۵-۴- واحدهای اصلی صنایع پتروشیمی و محصولات آن ها

صنایع پتروشیمی را می توان به پنج واحد اصلی تقسیم بندی کرد :

واحدهای بالادست

واحدهای بنیادی

واحدهای واسطه ای

واحدهای نهایی

واحدهای پایین دست.

واحدهای بنیادی، واسطه ای و نهایی در داخل مجتمع های پتروشیمی قرار دارند. خوراک این مجتمع ها را واحدهای بالا دست تأمین می کنند و محصول نهایی آن ها را واحدهای پایین دست مصرف می نمایند. واحدهای بالادست، به واحدهایی گفته می شود که توسط آن ها خوراک واحدهای بنیادی (به عبارت دیگر ماده ی اولیه مجتمع های پتروشیمی) تهیه می شود. پالایشگاه های نفت که در آن ها نفتا، گازهای سبک و گاز مایع به عنوان خوراک پتروشیمی تهیه می شود و پالایشگاه های گاز که گاز طبیعی را تصفیه می کنند، در صنایع پتروشیمی به عنوان واحدهای بالادست شناخته می شوند.

واحدهای بنیادی اولین دستگاه هایی هستند که در مجتمع های پتروشیمی دیده می شوند. برحسب پیچیدگی این مجتمع ها و تنوع محصولات آن ها ممکن است یک یا چند واحد بنیادی در یک مجتمع ساخته شود. برای مثال، واحد تولید گاز سنتز<sup>۳</sup> یک واحد بنیادی است. در این واحد، مانند دستگاه هیدروژن سازی پالایشگاه، گاز متان به همراه بخار آب در واکنش تبدیل به کمک

۱- آلکانی را که همه ی هیدروژن های آن به وسیله ی کلروفلوئور جانشین شده باشد، کلروفلوئور و کربن (Chloro Fluoro Carbon) می نامند.

۲- DDT

۳- Synthesis Gas

بخار آب<sup>۱</sup> شرکت می‌کند با این تفاوت که در اینجا سعی بر ممانعت از تولید CO<sub>۲</sub> و تهیه‌ی مخلوط CO و H<sub>۲</sub> (گاز سنتز) می‌باشد.



روش دیگر جهت تهیه‌ی گاز سنتز، که به دلیل شرایط سخت عملیاتی کم‌تر مورد توجه است، اُکسایش جزئی<sup>۲</sup> متان نام دارد. این واکنش در دمای ۱۳۰۰ تا ۱۵۰۰°C و فشار ۱۴ تا ۱۴۰ اتمسفر و بدون حضور کاتالیزگر انجام می‌شود؛



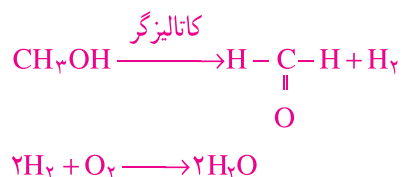
واحدهایی نظیر تولید اُلفین‌ها، دی اُلفین‌ها، آروماتیک‌ها، آمونیاک، نیتریک اسید و کلر نیز از نوع واحدهای بنیادی محسوب می‌شوند.

واحدهای واسطه‌ای به دستگاه‌هایی گفته می‌شود که از نظر خط تولید و برحسب ضرورت در میان واحدهای بنیادی و واحدهای نهایی قرار گرفته باشند و برحسب مورد ممکن است یک یا چند واحد واسطه‌ای در خط تولید یک محصول وجود داشته باشد. واحد تولید متانول که خوراک آن گاز سنتز می‌باشد، از این نوع است. واکنش انجام شده در این واحد به شرح زیر است:



این واکنش در دمای ۲۵۰ تا ۲۶۰°C و فشار ۵۰ تا ۸۰ اتمسفر انجام می‌شود. کاتالیزگر مورد استفاده، مس به همراه مقدار کمی روی می‌باشد. واحدهای تولید استیلن، اتیلن دی کلرید و وینیل کلرید، اکسیداتیلن، استالدئید و اتانول نمونه‌هایی از واحدهای واسطه‌ای هستند.

واحدهای نهایی دستگاه‌هایی هستند که در آن‌ها فرآورده‌های نهایی مجتمع‌های پتروشیمی تولید و به بازار عرضه می‌شود. واحد تولید فرمالدئید از این نوع است. تهیه‌ی فرمالدئید از متانول در واکنش‌های زیر خلاصه می‌شود:



شرایط عمومی این فرآیند عبارت است از:

دما: ۴۰۰ تا ۴۲۵°C

فشار: اتمسفر

کاتالیزگر: Fe(MoO<sub>۴</sub>)

واحدهای تولید پلی اتیلن سبک و سنگین، پلی پروپیلن، پی‌وی‌سی و پلی استرها از این نوع می‌باشند.

واحدهای پایین دست به واحدهایی گفته می‌شود که بیش‌تر در خارج از مجتمع‌های پتروشیمی واقع‌اند و محصولات نهایی مجتمع‌های پتروشیمی را به محصولات مصرفی تبدیل می‌کنند. استفاده از فرمالدئید در صنایع چسب، پلی اتیلن سبک و سنگین و پی‌وی‌سی در ساخت لوله و اتصالات و دیگر مواد پلاستیکی نمونه‌هایی از تولیدات واحدهای مصرفی است. شکل‌های ۴-۷ و ۴-۸ مسیر تولید محصولات مصرفی مختلفی را که از بنزن، تولوئن و زایلن<sup>۳</sup> به دست می‌آید نشان می‌دهد.







## ۴-۶- فرایندهای ایرانی

در صنایع نفت، گاز، پالایش و پتروشیمی، جهت تبدیل نفت خام و گاز طبیعی به محصولات با ارزش، فرایندهای گوناگونی به کار گرفته می‌شود. این فرایندها نسبتاً پیچیده بوده و دانش فنی آن‌ها غالباً در انحصار کشورهای صنعتی پیشرفته می‌باشد. در سال‌های اخیر پژوهشگران کشورمان در پژوهشگاه صنعت نفت، تولید فناوری‌های مورد نیاز این صنعت را در دستور کار خود قرار دادند و توانستند به موفقیت‌های چشمگیری در این زمینه دست یابند و برای اولین بار فرایندهای ایرانی را که کلیه مراحل تحقیقات آزمایشگاهی، طراحی، ساخت، نصب و راه‌اندازی آن‌ها در داخل کشور انجام شده است، به صنعت نفت عرضه نمایند. به‌عنوان نمونه اسامی بعضی از این فرایندها که هم‌اکنون در صنعت نفت به کار گرفته شده‌اند به قرار زیر است<sup>۱</sup>:

– بازیابی بنزین (پتروشیمی خارک)

– تولید پنتان (کرمانشاه)

– گوگردزدایی از برش‌های میان تقطیر (DMD)<sup>۲</sup> (پتروشیمی خارک)

– گوگردزدایی از نفت خام (DMC)<sup>۳</sup>

– افزایش عدد اکتان بنزین (ISOMIR)<sup>۴</sup> (پالایشگاه اراک)

عکس‌های روی جلد و پشت جلد کتاب مربوط به واحدهای صنعتی و نیمه‌صنعتی<sup>۵</sup> است که توسط این پژوهشگاه ساخته شده است. در این جا یکی از این فرایندها را که به شکل ساده و خلاصه درآمده است و با مطالبی که تاکنون آموخته‌اید همخوانی دارد مطرح می‌کنیم.

### ۴-۶-۱- واحد بازیافت بنزین پتروشیمی خارک: این واحد که با ظرفیت بازیافت ۱۵۰۰ بشکه در روز خوراک، در

سال ۱۳۸۴ در پتروشیمی خارک آغاز به کار کرد از دو بخش عمده‌ی «تفکیک» و «شستشو با سود» تشکیل شده است. خوراک واحد که مایعات سبک همراه گاز است مخلوطی از هیدروکربن‌های  $C_2$  تا  $C_{12}$  و ناخالصی‌های گوگردی شامل  $H_2S$  و مرکپتان‌ها<sup>۶</sup> می‌باشد. این خوراک تا قبل از راه‌اندازی این واحد، ارزش اقتصادی نداشت و در پتروشیمی خارک سوزانده می‌شد.

محصول این واحد مخلوط هیدروکربن‌های  $C_5$  تا  $C_6$  می‌باشد که مقدار ناچیزی  $H_2S$  و مرکپتان‌ها در آن باقی مانده و قابل عرضه در بازار به‌عنوان بنزین خام<sup>۷</sup> می‌باشد. این واحد هم‌اکنون سالیانه میلیون‌ها دلار درآمد دارد و در مدت کوتاهی کلیه هزینه‌هایی که جهت طراحی ساخت آن صرف شده است، جبران نموده است. علاوه بر آن این واحد از سوختن ترکیبات گوگردی و آلودگی محیط زیست جلوگیری نموده است.

در شکل ۴-۹، PFD ساده شده‌ی این فرایند را ملاحظه می‌کنید. خوراک (خط ۱) توسط پمپ P-101 بعد از گرم شدن در مبدل E-101 که توسط بخار آب کار می‌کند وارد برج T-101 می‌شود. دمای خوراک ورودی به برج توسط یک کنترل‌کننده‌ی دما

۱- به سایت پژوهشگاه صنعت نفت [www.ripi.ir](http://www.ripi.ir) مراجعه کنید.

۲- DMD = Demercapitanization of Distillate

۳- DMC = Demercapitanization of Crude

۴- از تلفیق دو کلمه‌ی Isomerization و IRAN به‌دست آمده است.

۵- به منظور اثبات فرایندها و فناوری‌های جدید، معمولاً لازم است قبل از ساخت کارخانه یا واحد صنعتی مورد نظر، یک واحد کوچکتر به نام پیلوت (Pilot) احداث کرد تا عملکرد بخش‌های مختلف فرایند را در آن مورد بررسی و تحقیق قرار داد. ترجمه‌ی فارسی کلمه‌ی پیلوت، «واحد نیمه‌صنعتی» است.

۶- مرکپتان‌ها ترکیبات آلی گوگرداری هستند که با فرمول R-S-H نشان داده می‌شوند که R یک گروه آلکیل است.

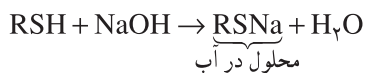
۷- بنزین خام برشی است که مستقیماً قابل استفاده در موتورهای بنزینی نیست اما با انجام عملیات ساده نظیر تقطیر به بنزین مرغوب تبدیل می‌شود.

(TC) که به شیر نصب شده بر روی خط بخار آب ورودی به مبدل ۱۰۱-E فرمان می‌دهد، کنترل می‌شود. بخارات خارج شده از این برج (خط ۲) بعد از سرد شدن در کولر هوایی E-103 وارد ظرف V-101 می‌شود. در این ظرف آن بخش از بخارات که بر اثر سرد شدن به مایع تبدیل شده‌اند توسط پمپ P-102 به برج برگشت داده می‌شوند. یک کنترل کننده‌ی سطح (LC) با فرمانی که به شیر نصب شده بر روی جریان برگشتی به برج می‌دهد، سطح مایع در V-101 را کنترل می‌کند. هیدروکربن‌های سبک‌تر از  $C_5$  و  $H_2S$  که همچنان به صورت بخار باقی مانده‌اند، از بالای ظرف V-101 به خارج از واحد هدایت می‌شوند (خط ۳).

حرارت مورد نیاز برج توسط یک جوش آورنده<sup>۱</sup> (E-102) تأمین می‌شود و بر اثر حرارتی که از بخار آب می‌گیرد، بخشی از آن به بخار تبدیل شده و از بالای E-102 و بخشی نیز به صورت مایع از پایین E-102 به برج برگشت داده می‌شود. کنترل دمای برج توسط یک TC و یک FC انجام می‌شود. برای مثال اگر دمای برج از حد مورد نظر (تنظیم شده) بیشتر شود، TC با فرستادن پیغام، تنظیم FC را تغییر می‌دهد. به زبان ساده، TC به FC دستور می‌دهد تا جریان بخار را کمتر کند. FC نیز به شیر کنترل نصب شده بر روی خط بخار آب ورودی به E-102 دستور می‌دهد تا بازتر شده و مقدار بیشتری بخار آب وارد لوله‌های E-102 شود.

توسط خط ۴، هیدروکربن‌های  $C_5$  و سنگین‌تر از  $C_5$  از پایین برج T-101 خارج می‌شود. سطح مایع پایین برج توسط کنترل کننده‌ی سطح (LC) کنترل می‌شود. این کنترل کننده‌ی سطح به یک کنترل کننده‌ی جریان (FC) فرمان می‌دهد. برای مثال، در صورتی که حجم مایع پایین برج از حد معین و تنظیم شده کمتر شود، LC به FC فرمان می‌دهد تا جریان مایع کمتری از برج خارج شود. FC نیز به شیر کنترل نصب شده بر روی خط ۴ دستور می‌دهد تا به مقدار لازم بسته شود.

در برج T-102 تفکیک دیگری صورت می‌گیرد. بدین ترتیب که هیدروکربن‌های سنگین‌تر از  $C_1$  از پایین برج بیرون آمده و به خارج واحد هدایت می‌شود (خط ۵) و محصول که برش  $C_5$  تا  $C_1$  است، به صورت بخار از بالای برج T-102 خارج می‌گردد (خط ۶). محصول که هنوز مرکاپتانها را همراه خود دارد، بعد از خنک شدن در کولر هوایی E-105 به طور کامل به مایع تبدیل شده در V-102 جمع می‌شود و پمپ P-104 بخش کوچکی از آن را به عنوان جریان برگشتی (Reflux) به برج عودت می‌دهد و قسمت عمده‌ی آن (خط ۷) بعد از عبور از کولر E-106 و مخلوط شدن با محلول سود (تقاطع با خط ۸) وارد ظرف V-103 می‌شود. بر اثر تماس مرکاپتان‌ها با سود، واکنش زیر انجام می‌شود:



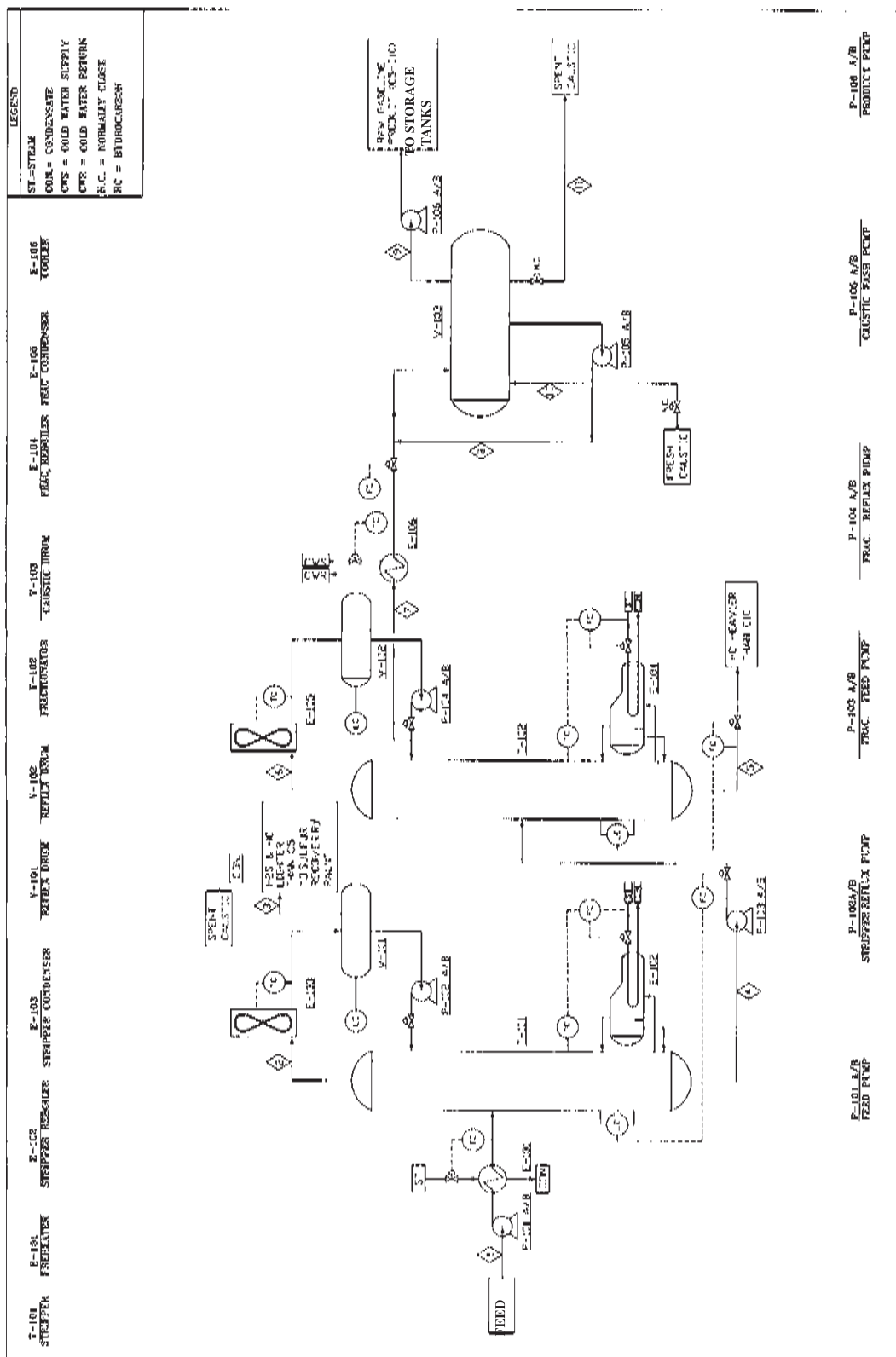
در این ظرف محلول سود و نمک‌های حاصل از واکنش فوق (محلول آبی) و هیدروکربن‌ها (محلول آلی) دو فاز جداگانه تشکیل می‌دهند. فاز آبی توسط پمپ P-105 در یک سیکل بسته دائماً در حال گردش است و فاز آلی که همان محصول نهایی است و ترکیبات گوگردی خود را از دست داده است، در بالای فاز آبی قرار می‌گیرد. پمپ P-106 محصول را از طریق خط ۹ به مخازن ذخیره‌ی محصول ارسال می‌کند.

از داخل دو خط ۱۱ و ۱۰ در شرایط عادی جریانی عبور نمی‌کند و شیرهای نصب شده بر روی آن‌ها معمولاً بسته می‌باشند. هنگامی که آنالیز شیمیایی محصول نشان داد که ترکیبات گوگردی داخل محصول در حال افزایش است، شیرهای این دو خط باز شده و محلول آبی که غلظت NaOH آن کم شده است توسط خط ۱۱ از ظرف V-103 خارج می‌شود و به جای آن محلول سود تازه توسط خط ۱۰ به داخل ظرف V-103 اضافه می‌شود. از محلول سود مصرف شده می‌توان مرکاپتان‌ها را بازیابی کرد و از آن‌ها به عنوان عامل بودار کردن گاز شهری استفاده نمود<sup>۲</sup>.

۱- در شکل ۹-۴ نوع دیگری از Reboiler (جوش آورنده) که در بعضی نقشه‌ها استفاده می‌شود، به کار رفته است.

۲- در خطوط لوله‌ی گاز شهرها و روستاها برای آن که به هنگام نشت گاز طبیعی افراد متوجه خطر شوند، به آن مواد بودار کننده اضافه می‌کنند که از خانواده‌ی مرکاپتان‌ها می‌باشند.

نکته‌ی مهم: در شکل ۴-۹ با نوع نسبتاً پیچیده‌تری از سیستم‌های کنترل آشنا شدید که در آن دو کنترل‌کننده بر روی یکدیگر تأثیر می‌گذارند. این نوع سیستم‌ها وقتی به کار می‌روند که بخواهیم سرعت پاسخ به تغییرات سریع‌تر باشد.



شکل ۴-۹ نمودار جریان‌های فرآیند (PFD) بنزین بازیافتی پتروشیمی خاگ



### تمرین

- ۱- هریک از موارد زیر را تعریف کنید.
- الف) نفت خام (ب) واحد بهره‌برداری (پ) پالایشگاه (ت) کراکینگ (ج) موم (چ) صنایع پتروشیمی
- ۲- مراحل اصلی پالایش نفت خام را شرح دهید.
- ۳- پنج فرآیند پالایش را فقط نام ببرید.
- ۴- هریک از دستگاه‌های زیر را به‌طور کامل و با رسم نمودار شرح دهید.
- الف) دستگاه تقطیر اتمسفری (ب) دستگاه تقطیر خلاء
- پ) دستگاه تبدیل کاتالیزگری (ت) دستگاه آیزوماکس
- ۵- در کدام دستگاه پالایش از کراکینگ حرارتی استفاده می‌شود؟ خوراک و محصولات آن چیست؟
- ۶- عملیاتی را که باید بر روی روغن خام انجام شود تا روغن پایه تولید شود به اختصار توضیح دهید.
- ۷- سه دسته‌ی اصلی فرآورده‌های نفتی را نام برده و برای هریک دو مثال بزنید.
- ۸- اهمیت صنایع پتروشیمی (بوئیه در کشور) را شرح دهید.
- ۹- واحدهای اصلی صنایع پتروشیمی را نام برده و در هر مورد ۲ نمونه از محصولات آن‌ها را نام ببرید.
- ۱۰- گاز سنتز چیست؟ با نوشتن واکنش‌های لازم چگونگی تبدیل متان به فرمالدئید را توضیح دهید.