# فصل چهارم

## پالایش نفت و پتروشیمی

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

ـ مواد تشکیل دهنده‌ی نفت‌خام را توضیح دهد.

ـ مراحل اصلی پالایش نفت‌خام را توضیح دهد.

ـ فرآیندهای پالایش را با رسم نمودارِ جریانِ دستگاه‌ها توضیح دهد.

ـ انواع مشتقات و فرآورده‌های حاصل از نفت‌خام را نام ببرد.

ـ اهمیت صنایع پتروشیمی را توضیح دهد.

ـ تقسیم‌بندی کلی صنایع پتروشیمی و بعضی فرآورده‌های هر بخش را توضیح دهد.

### ۱ـ۴ـ مقدمه

نفت‌خام 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 ـ فلزی، به‌مقدار ناچیز، وجود دارند. همراه با نفت‌خام، 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، نفت‌خام استخراج شده از چندین چاه توسط لوله به واحد صنعتی کوچکی به‌نام واحد بهره‌برداری[۱] منتقل می‌شود. در این واحد ذرّات جامد، بخش عمده‌ی آب و هیدروکربن‌های سبک گازی (متان و اتان) جدا می‌گردد. سپس نفت‌خام توسط خطوط لوله و به‌کمک تعدادی ایستگاه تقویت فشار به پالایشگاه منتقل می‌شود.

پالایشگاه کارخانه‌ای است که در آن به‌کمک فرآیندهای مختلف، نفت‌خام به فرآورده‌های با ارزش تبدیل می‌شود. پالایش نفت‌خام در سه مرحله‌ی اصلی انجام می‌گیرد :

**۱ـ تفکیک فیزیکی؛** که شامل عملیاتی نظیر تقطیر، استخراج با حلال و تبلور است. فرآیند تقطیر از مهم‌ترین عملیات پالایش است که نه‌تنها برروی نفت‌خام، بلکه برروی محصولات به‌دست آمده از عملیات شیمیایی نیز اجرا می‌شود.

**۲ـ عملیات شیمیایی؛** که شامل فرآیندهایی نظیر تبدیل کاتالیزگری[۲]، شکست حرارتی[۳] و شکست کاتالیزگری[۴] است.

**۳ـ عملیات تصفیه؛** که معمولاً برروی 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[۵] بر روی خوراک این رآکتورها انجام می‌شود.

---

۱ـ Production Unit ۲ـ Catalytic Reforming ۳ـ Thermal Cracking ۴ـ Catalytic Cracking

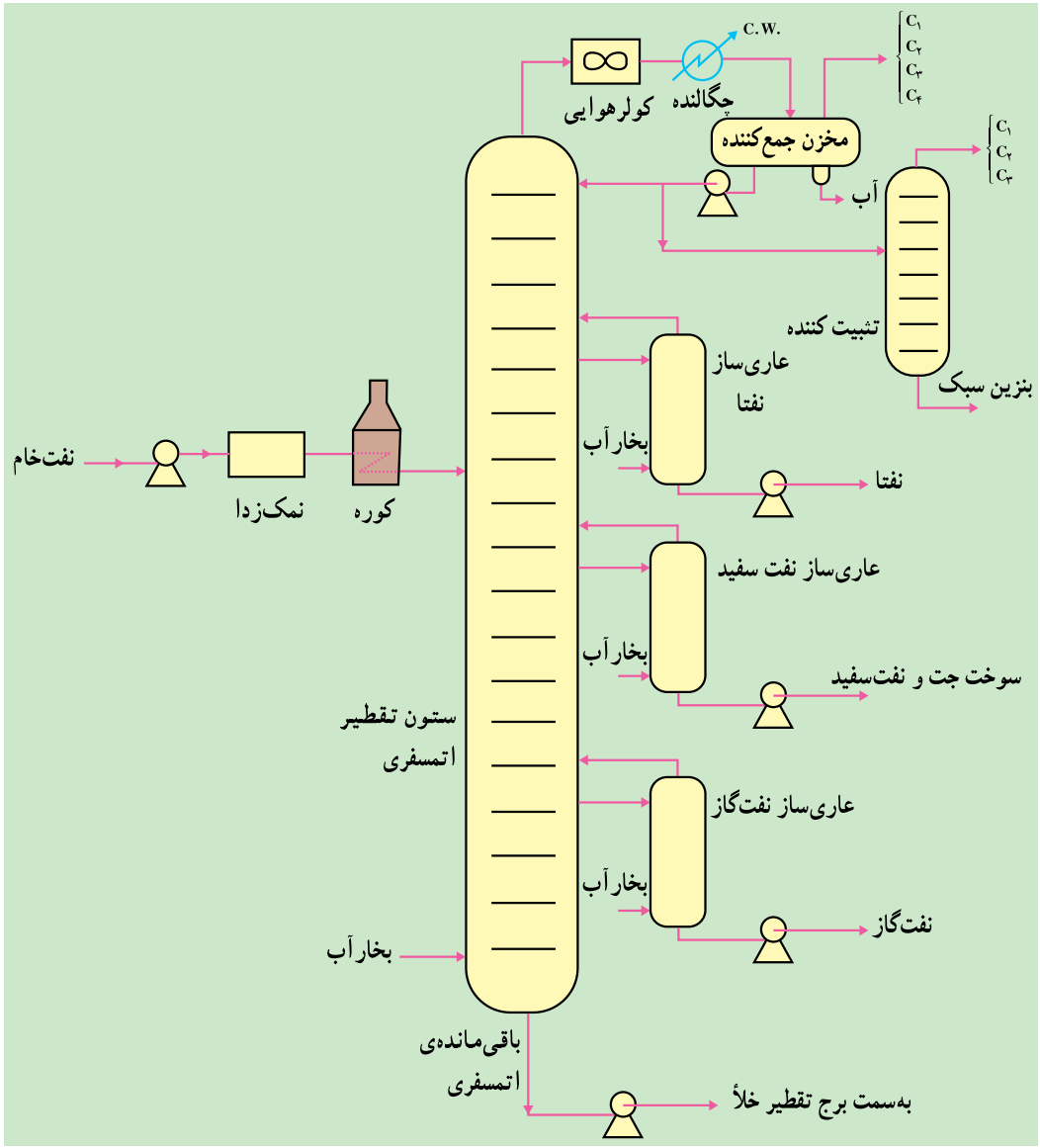
۵ـ Hydrotreating

## ۲ــ۴ــ 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 نفت‌خام 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 نفت‌خام 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 :

**۱ــ۲ــ۴ــ تقطیر اتمسفری**[1]: شکل ۱ــ۴ نمودار کلی جریان‌های یک دستگاه تقطیر اتمسفری را نشان می‌دهد. نفت‌خام پس از نمک‌زدایی[2] (جدا کردن محلول نمک‌های همراه نفت‌خام) از داخل کوره عبور می‌کند تا با دمای حدود $350^{\circ}C$ وارد ستون




شکل ۱ــ۴ــ نمودار دستگاه تقطیر اتمسفری

۱ــ Atmospheric Distillation ۲ــ Desalting

تقطیر اتمسفری شود. هنگامی که نفت‌خام با این دما داخل ستون می‌شود، به‌دلیل آن که فشار داخل ستون کم‌تر از فشار داخل لوله‌ی انتقال است تبخیر آنی صورت می‌گیرد و بخشی از ترکیبات سبک نفت به‌شکل بخار از مواد سنگین‌تر جدا شده به‌طرف بالای ستون حرکت می‌کند و ترکیبات سنگین‌تر نیز به‌صورت مایع به‌طرف 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 به‌گونه‌ای 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» 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. بدین‌ترتیب 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. بدین‌ترتیب 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 به‌تدریج ترکیبات سبک آن جدا شده و ترکیبات سنگین‌تر به آن اضافه می‌شود تا در نهایت از پایین برج، سنگین‌ترین اجزاء خارج گردند. به‌منظور جداسازی بهتر ترکیبات سبکی که همراه مایعات سنگین به‌قسمت‌های پایین ستون آورده می‌شوند، بخار آب از پایین ستون تزریق می‌گردد. علاوه‌بر جریان‌های خروجی از بالا و پایین برج، تعدادی جریان‌های جانبی[۱] 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 نفت‌خام به‌دست آید یک بُرِش[۲] گویند.

بخارهای خروجی از بالاترین نقطه‌ی ستون اتمسفری، سبک‌ترین برش هستند که پس از سرد شدن در کولر هوایی[۳] و مبدّل حرارتی (چگالنده)[۴] وارد مخزن جمع‌آوری کننده[۵] می‌شوند (شکل ۱ــ۴). گازهای متان، اتان، پروپان و بوتان از بالای این مخزن خارج شده و به‌دستگاه تصفیه‌ی گاز می‌روند تا پس از جذب گاز $H_2S$ از آن‌ها به واحد تولید گاز مایع[۶] منتقل شوند. در آن‌جا متان و اتان جدا شده و به‌عنوان سوخت کوره‌های پالایشگاه یا به‌عنوان خوراک صنایع پتروشیمی مورد استفاده قرار می‌گیرند. پروپان و بوتان نیز به‌عنوان 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[۷] 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 به‌دست آورد. بخش دیگر پس از عبور از برج تثبیت[۸] و جدا شدن اندک ترکیبات سبک باقی‌مانده در آن (نظیر متان، اتان و پروپان) و انجام عملیات گوگردزدایی به‌عنوان یکی از اجزای سازنده‌ی بنزین به‌کار می‌رود.

برش بعدی نفتا نام دارد که نوعی بنزین سنگین است. این برش بعد از وارد شدن در برج عاری‌ساز[۹] و جدا شدن ترکیبات سبک همراه آن به‌کمک بخار آب، عملیات گوگردزدایی برروی آن انجام شده به دستگاه تبدیل کاتالیستی[۱۰] منتقل می‌شود. در این دستگاه بنزین با کیفیت بالا به‌دست می‌آید که با بنزین‌های تولیدی در دیگر بخش‌ها مخلوط می‌شود.

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

---

۱ــ Side Streams ۲ــ Cut ۳ــ Air Cooler

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

۵ــ Accumulator ۶ــ Liquified Petroleum Gas, LPG ۷ــ Reflux Stream

۸ــ Stabilizer ۹ــ Stripper ۱۰ــ Catalytic Reforming

۱۱ــ Kerosene ۱۲ــ Jet Fuel

اگر این برش به‌عنوان نفت‌سفید جهت سوخت گرمایی عرضه شود کافی است عملیات گوگردزدایی برروی آن انجام شود. جهت تهیه‌ی سوخت جت باید برش نفتا و نفت‌سفید را به‌نسبت معین مخلوط کرده سپس بعضی عملیات تکمیلی دیگر برروی آن انجام داد.

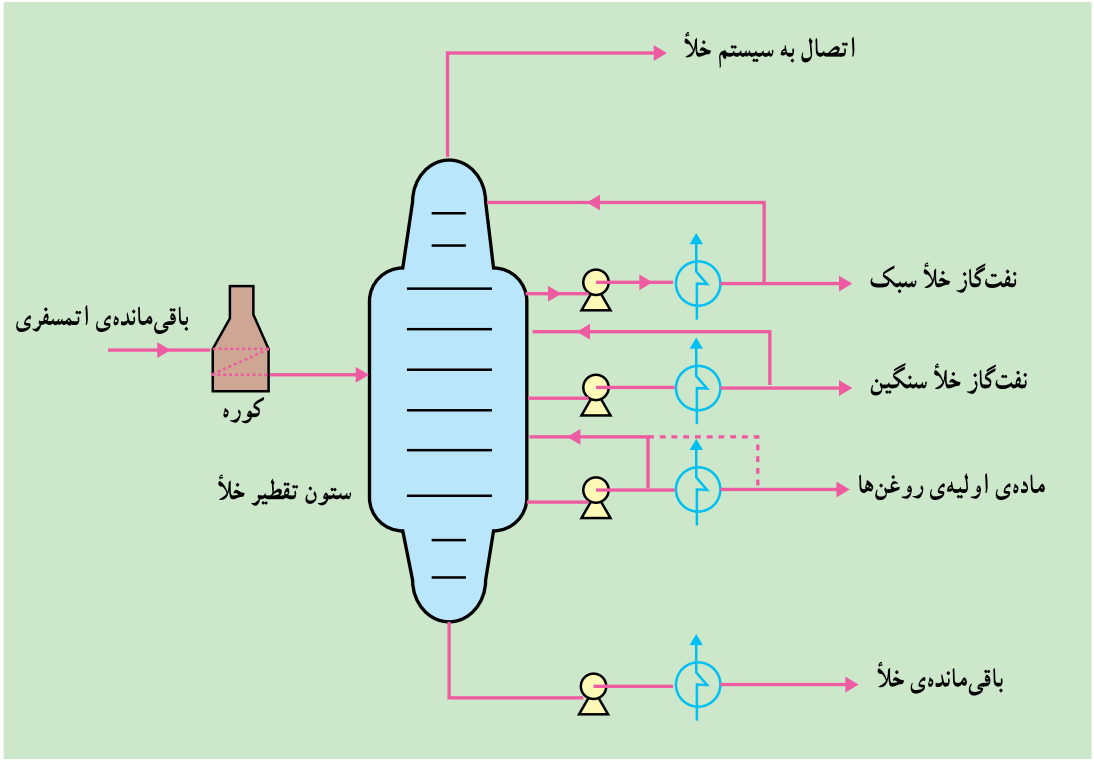
برش نفت گاز[1] (گازوییل) به‌دست آمده از ستون تقطیر اتمسفری، بعد از انجام عملیات عاری سازی و گوگردزدایی، به‌عنوان سوخت موتورهای دیزل به‌کار می‌رود.

بنزین، نفت‌سفید و نفت گاز که از قسمت‌های جانبی ستون تقطیر اتمسفری به دست می‌آیند فرآورده‌های میان تقطیر[2] نام دارند. سنگین‌ترین مایعات از پایین ستون خارج شده و به نام «باقی‌مانده‌ی اتمسفری[3]» به‌ستون تقطیر خلأ ارسال می‌شود. شکل **۲ــ۴** دستگاه تقطیر اتمسفری را نشان می‌دهد.

**شکل ۲ــ۴ــ دستگاه تقطیر اتمسفری**

۱ــ Gas Oil ۲ــ Middle Distillates ۳ــ Atmospheric Residue (Atmospheric Bottom)

**۲ــ۲ــ۴ــ تقطیر خلأ:** به‌منظور جدا کردن برش‌های موجود در باقی‌مانده‌ی اتمسفری، باید دمای عملیات تقطیر را به‌مقدار 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 به‌جوش می‌آیند و درنتیجه حرارت در حدی نیست که موجب تجزیه‌ی مولکول‌ها شود. شکل ۳ــ۴ 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، بخارآب از پایین ستون تزریق می‌شود. قسمت بالای ستون نیز به سیستم ایجاد خلأ متصل است. سبک‌ترین محصولاتی که از این ستون به‌دست می‌آید نفت گاز خلأ سبک و سنگین[۱] است که بخشی از آن‌ها جهت تنظیم دما به ستون برگشت[۲] داده می‌شود و قسمت عمده‌ی آن به‌عنوان خوراک دستگاه شکست کاتالیزگری[۳] به‌کار می‌رود. برش سوم، ماده‌ی اولیه‌ی روغن




**شکل ۳ــ۴ــ 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 به‌صورت سرد یا گرم (بسته به نیاز) به‌ستون برگشت داده می‌شود.

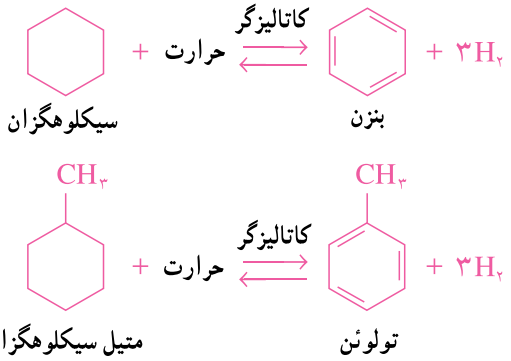
سنگین‌ترین برش تحت نام باقی‌مانده‌ی خلأ از پایین ستون خارج می‌شود. از این برش می‌توان با دمیدن هوا بر آن قیر تهیه کرد یا آن که آن را به دستگاه کاهش گرانروی ارسال کرد تا بعد از شکسته شدن مولکول‌های سنگین به‌عنوان نفت کوره از آن استفاده شود.

---

۱ــ Light Vacuum Gas Oil (LVGO), Heavy Vacuum Gas Oil (HVGO)
۲ــ Reflux
۳ــ Catalytic Cracking

**۳ــ۲ــ۴ــ تبدیل کاتالیستی[۱]:** در این فرآیند بنزین سنگین یا نفتا که عدد اُکتان[۲] پایینی دارد به بنزین مرغوب با عدد اُکتان بالا تبدیل می‌شود. واکنش‌ها به‌کمک کاتالیزگر انجام می‌شوند. اگر کاتالیزگر مورد استفاده از جنس پلاتین باشد، به این واحد پلاتفُرمر[۳] گویند. برخی از واکنش‌هایی که در رآکتورهای تبدیل کاتالیستی انجام می‌شوند عبارت‌اند از :

***۱ــ هیدروژن‌زدایی از نفتین‌ها (آروماتیک‌سازی):***




***۲ــ ایزومرسازی***

$$CH_3-CH_2-CH_2-CH_2-CH_2-CH_2-CH_3 \xrightleftharpoons[\text{حرارت}]{\text{کاتالیزگر}} CH_3-CH_2-CH_2-CH_2-\underset{\displaystyle CH_3}{\overset{\displaystyle |}{CH}}-CH_3$$

نرمال‌هپتان

با انجام این نوع واکنش‌ها، ترکیبات آروماتیک و پارافین‌ها با شاخه‌ی فرعی بیش‌تر که عدد اُکتان بالاتری دارند تولید شده، مرغوبیت بنزین افزایش می‌یابد. بنزین[۴] 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، تولوئن و زایلن‌ها[۵]، خوراک مناسبی برای صنایع پتروشیمی است. با کاهش مصرف بنزین از طریق صرفه‌جویی در مصرف و گازسوزــ کردن خودروها می‌توان به‌جای سوزاندن این ماده‌ی با ارزش، از آن در صنایع پتروشیمی جهت تولید محصولات گوناگون استفاده کرد.

شکل ۴ــ۴ نمودار ساده شده‌ی یک دستگاه تبدیل کاتالیستی را نشان می‌دهد. در این شکل جزئیّات دستگاه تصفیه با هیدروژن[۶] که به نام یونیفاینر[۷] 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

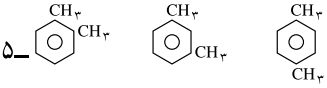
---

۱ــ Catalytic Reforming

۲ــ عدد اُکتان (Octane Number) عددی است که درجه‌ی آرام‌سوزی بنزین را نشان می‌دهد. یکی از راه‌های افزایش عدد اُکتان 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.

۳ــ Plat. Former

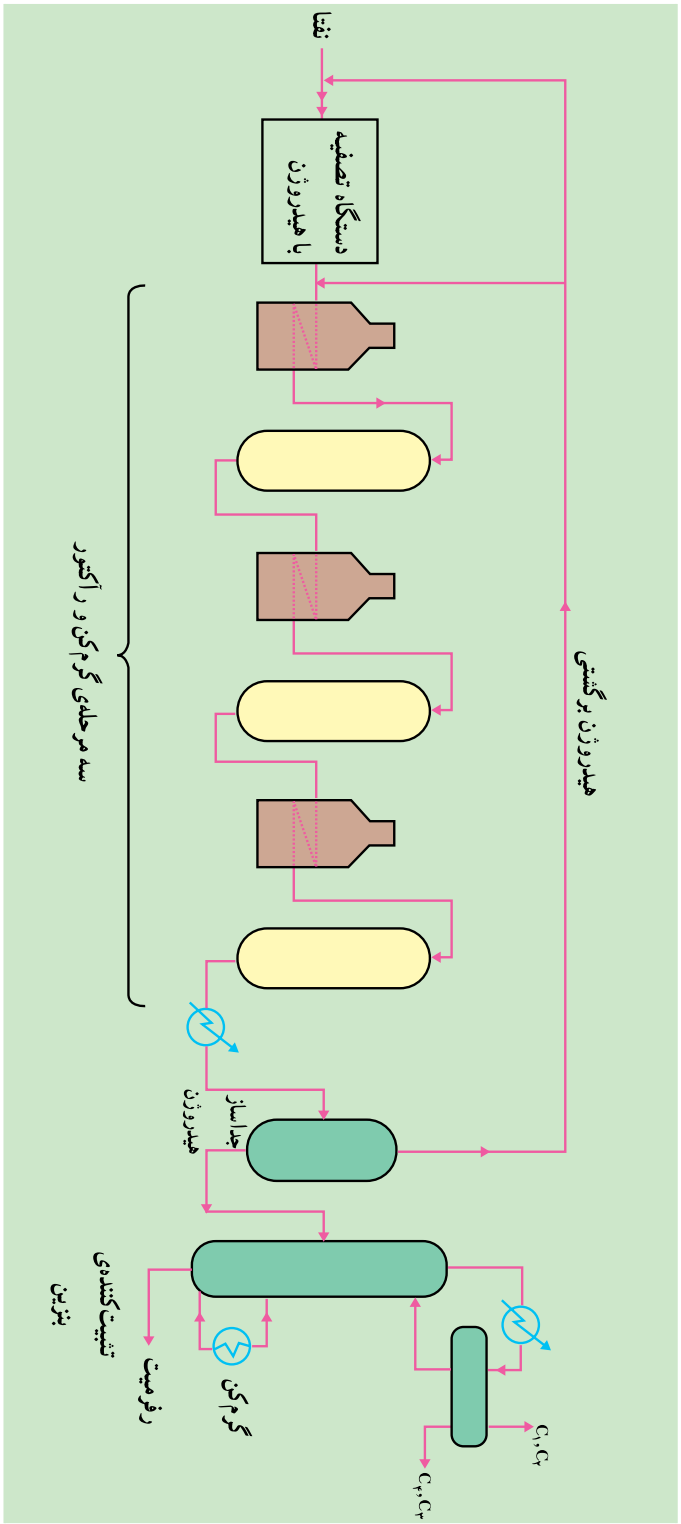
۴ــ Gasoline

۵ــ  Ortho, Meta, Para xylene

۶ــ Hydrotreating

۷ــ Unifiner

ترکیبات آلی ــ 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[1]، هیدروژن همراه خود را از دست می‌دهد و سپس وارد یک ستون




شکل ۴ــ۴ــ نمودار دستگاه تبدیل کاتالیزگری

۱ــ Separator

تثبیت کننده می‌شود تا گازهای سبک آن از بالای ستون جدا شده و از پایین محصول نهایی به‌دست آید. این محصول را در صنعت به نام رفرمیت[1] می‌شناسند.

نکته‌ی قابل توجه آن است که در مجموع، واکنش‌های تبدیل کاتالیستی هیدروژن تولید می‌کنند. بخشی از این هیدروژن به‌دستگاه تصفیه با هیدروژن (یونیفاینر) ارسال می‌شود و بخش دیگر جهت افزایش فشار هیدروژن و جلوگیری از تشکیل کک به‌ورودی رآکتورهای واحد برگشت داده می‌شود.

**۴ــ۲ــ۴ــ شکست مولکول‌ها (کراکینگ)[2]:** کراکینگ فرآیندی است که در طی آن هیدروکربن‌های سنگین با نقطه‌ی جوش بالا، به هیدروکربن‌های کوچک‌تری با نقطه‌ی جوش پایین تجزیه می‌شوند. با این عمل می‌توان برش‌هایی مانند گازوییل خلأ سبک و سنگین را، که به‌همان شکل قابل مصرف نیستند، به محصولات میان تقطیر با ارزش، مثل بنزین، نفت‌سفید و گازوییل (قابل استفاده در موتورهای دیزل) تبدیل کرد.

انواع فرآیندهای شکست عبارت‌اند از :

- کراکینگ (شکست مولکول‌های سنگین)
  - کراکینگ حرارتی
  - کراکینگ کاتالیزگری
    - بستر ثابت
    - بستر متحرک
    - بستر سیّال (FCC)[3]
  - هیدروکراکینگ

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

در فرآیند کراکینگ کاتالیزگری، به‌جهت حضور کاتالیزگر مناسب، شکست مولکول‌ها در شرایط ملایم‌تری انجام می‌شود. این فرآیند به‌علت تولید مقدار بیش‌تری بنزین و مقدار کم‌تری گازهای سبک، بر کراکینگ حرارتی ترجیح دارد. در واکنش‌های کراکینگ، کک به‌سرعت تشکیل می‌شود و با پوشاندن سطح کاتالیزگر فعالیت آن را کاهش می‌دهد. به‌همین‌دلیل مسئله‌ی بازسازی کاتالیزگر نقش اساسی در طراحی واحدهای کراکینگ کاتالیزگری دارد. در نوع بسترِ 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 می‌باشد. در این روش کاتالیزگرِ دانه‌ای شکل به کمک هوای فشرده به‌آرامی از رآکتور به قسمت بازسازی (احیاء) منتقل شده و پس از کک‌زدایی به رآکتور برگشت داده می‌شود. 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 به‌همراه محصول خارج می‌شود. سپس کاتالیزگر از محصول جدا شده وارد بازساز می‌شود تا کک آن سوزانده شود و مجدداً همراه خوراک به رآکتور منتقل گردد.

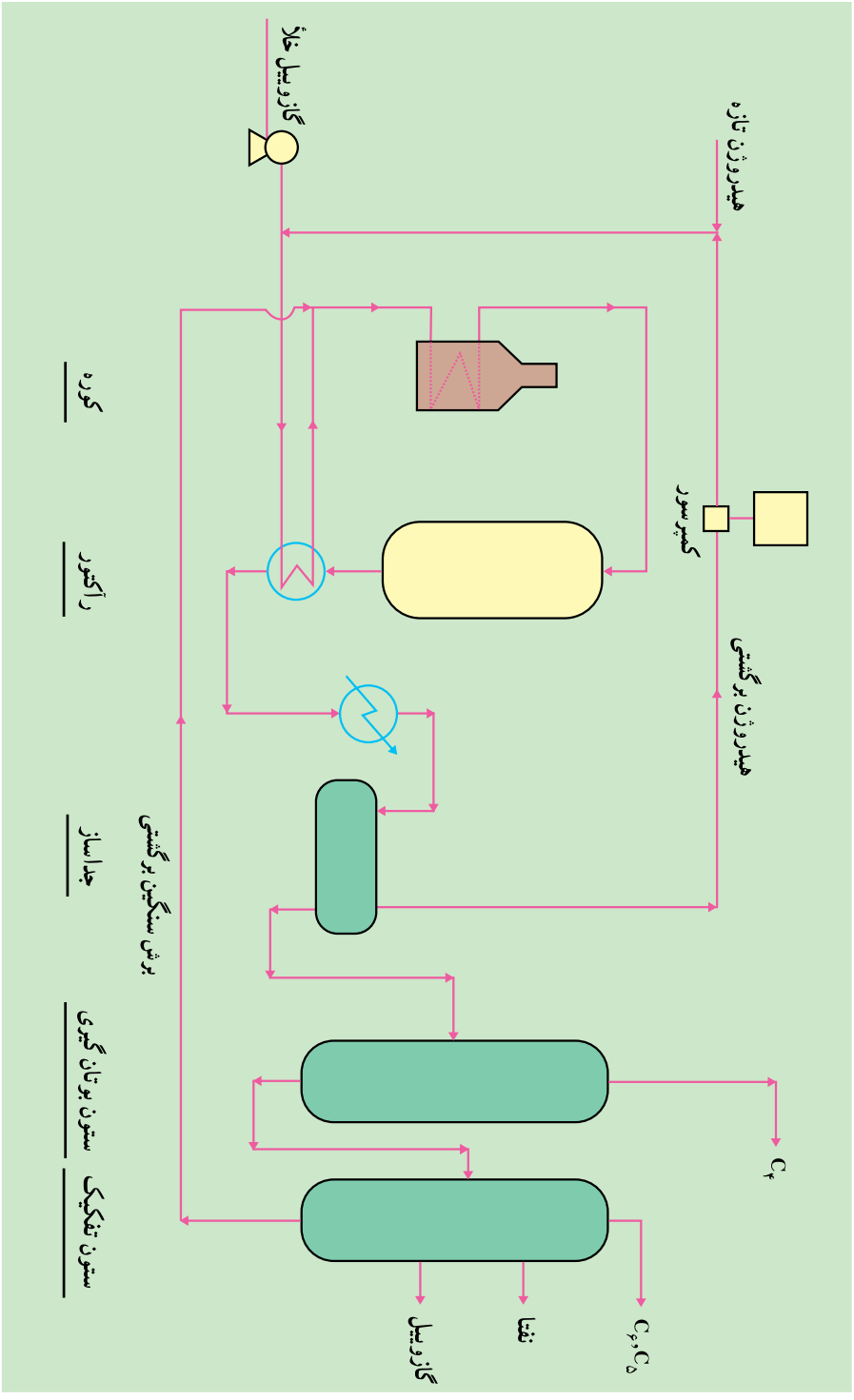
در فرآیند هیدروکراکینگ، برش‌های سنگین و ارزان هیدروکربنی‌ها توسط کاتالیزگر و در حضور گاز هیدروژن و تحت فشار

---

۱ــ Reformate ۲ــ Cracking ۳ــ Fluid - bed Catalytic Cracking

و حرارت، به برش‌های سبک‌تر تبدیل می‌شوند. این فرآیند در دستگاه‌هایی به‌نام آیزوماکس[1] اجرا می‌شود. فرآیند هیدروکراکینگ در ایران شناخته شده‌ترین فرآیند شکست است و اغلب پالایشگاه‌های بزرگ کشور مجهز به دستگاه آیزوماکس هستند.

شکل ۵ــ۴ نمودار ساده شده‌ی یک دستگاه آیزوماکس را نشان می‌دهد. در این طرح فقط یک رآکتور پیش‌بینی شده است.




شکل ۵ــ۴ــ نمودار دستگاه آیزوماکس

۱ــ Isomax

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 آتمسفر 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، $C_4$ و ترکیبات سبک‌تر خود را از دست می‌دهد و درنهایت 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 :

$$C_{10}H_{22} + H_2 \rightarrow C_4H_{10} + C_6H_{14} + \text{حرارت}$$

نرمال‌دکان — ایزوبوتان — ایزومرهگزان با شاخه‌های فرعی

**۵ــ۲ــ۴ــ کاهش گرانروی[1]:** فرآیند کاهش گرانروی، یک کراکینگ حرارتی نسبتاً ملایم است که به‌منظور کاهش گرانروی و نقطه‌ی ریزش[2] باقی‌مانده‌ی خلأ[3] به‌کار می‌رود. باقی‌مانده‌ی برج تقطیر در خلأ که معمولاً به‌دلیل گرانروی 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.

**۶ــ۲ــ۴ــ تولید قیر:** یکی دیگر از مصارف باقی‌مانده‌ی برج تقطیر در خلأ تولید قیر است. برای تهیه‌ی انواع قیر می‌توان از فرآیندهای مختلف نظیر استخراج با حلال یا اُکسایش 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، عایق‌کاری و نظایر آن می‌رسد.

**۷ــ۲ــ۴ــ روغن‌سازی:** روغن خام که از برج تقطیر در خلأ به‌دست می‌آید دارای مواد زاید آروماتیکی و اُلفینی است که به آسانی اکسید شده و مواد خورنده و لجن مانندی ایجاد می‌کند که باعث کاهش کیفیت روغن می‌شود. لذا در دستگاه روغن‌سازی ابتدا توسط حلال فورفورال[4] ترکیبات آروماتیکی و اُلفینی 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)[5] 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 برودت به‌صورت ذرّات جامد معلّق، 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.

---

۱ــ Visbreaker

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

۳ــ Vacuum Residue (Vacuum Bottom)

۴ــ $C_4H_3OCHO$

۵ــ Waxes

روغن موم‌گیری شده را روغن پایه[1] می‌نامند. بعد از اضافه کردن و اختلاط مواد افزودنی[2] موردنیاز، روغن‌های صنعتی باکاربردهای گوناگون تهیه می‌شود. مواد افزودنی سبب می‌شوند تا روغن گرانروی، قدرت پاک کنندگی و خاصیت ضد اُکسایش مناسب داشته باشد.

**۸ــ۲ــ۴ــ بازیافت گوگرد:** نفت‌خام دارای ناخالصی‌هایی به‌شکل ترکیبات گوگردی است که طی مراحل مختلف پالایش به هیدروژن سولفید ($H_2S$) تبدیل شده همراه سایر گازهای سبک به دستگاه تصفیه‌ی گاز هدایت می‌شود. دستگاه تصفیه‌ی گاز به‌کمک یک برج جذب و محلول آمین، هیدروژن سولفید را جذب می‌کند. گازهای سبک به‌عنوان سوخت در پالایشگاه مورد مصرف قرار می‌گیرند و $H_2S$ به دستگاه بازیافت گوگرد منتقل می‌شود. در این دستگاه پس از مخلوط شدن این گاز با مقدار مناسب هوا و انجام واکنش‌های زیر، گوگرد با درجه‌ی خلوص ۹۹/۹ درصد بدست می‌آید :

$$H_2S + \frac{3}{2}O_2 \rightarrow SO_2 + H_2O \quad (1)$$

$$2H_2S + SO_2 \rightarrow 3S + 2H_2O \quad (2)$$

واکنش (۱) در درجه حرارت ۱۰۰۰ تا ۱۳۰۰°C و واکنش (۲) در حضور آلومینای فعّال ($Al_2O_3$) و در درجه حرارت ۲۱۰ تا ۲۷۰°C انجام می‌شود. از گوگرد در صنایع مختلف نظیر تولید سولفوریک اسید و لاستیک‌سازی و در کشاورزی به‌عنوان کود، جهت بالا بردن بهره‌دهی زمین‌های قلیایی استفاده می‌شود.

**۹ــ۲ــ۴ــ هیدروژن‌سازی:** به‌منظور تأمین هیدروژن موردنیاز دستگاه آیزوماکس، بخارآب و هیدروکربن‌های گازی مختلف (نظیر گاز طبیعی یا گاز حاصل از واحدهای مختلف پالایشگاه) به‌نسبت معینی مخلوط و از لوله‌های مملو از کاتالیزگر استوانه‌ای شکل نیکل عبور می‌کند. این لوله‌ها در کوره‌ی مخصوصی قرار گرفته‌اند تا به دمای موردنظر (حدود ۷۵۰°C) برسند. واکنش انجام شده «تبدیل به کمک بخار آب»[3] نام دارد.

$$2CH_4 + 3H_2O \xrightarrow{Ni} CO + CO_2 + 7H_2$$

سپس در رآکتور دیگری گاز خروجی از کوره و بخارآب در مجاورت کاتالیزگر اکسیدهای آهن و کروم و در دمای حدود ۳۰۰°C قرار گرفته و واکنش «تبدیل شیفت»[4] انجام می‌شود که در آن CO به $CO_2$ تبدیل می‌گردد :

$$CO + H_2O \longrightarrow CO_2 + H_2$$

سپس $CO_2$ در برج جذب توسط محلول منواتانول‌آمین جذب می‌شود. اندک CO باقی‌مانده، در برج دیگری به‌نام برج متان‌ساز[5] تحت دمای ۲۲۰°C و کاتالیزور نیکل به‌متان که برای کاتالیزورهای واحد ایزوماکس بی‌ضرر است تبدیل می‌شود. محصول نهایی واحد هیدروژن با خلوص ۹۷٪ است که به کمک کمپرسورهای چند مرحله‌ای به دستگاه آیزوماکس فرستاده می‌شود.

**۱۰ــ۲ــ۴ــ واحدهای جانبی:** در هر پالایشگاه بخش‌هایی وجود دارد که هریک به شکل غیرمستقیم در پالایش نفت دخالت دارند. اهمیت این واحدهای جانبی کم‌تر از دستگاه‌های فرایندی نیست و بدون وجود آن‌ها، درمواردی، حتی امکان انجام عملیات پالایش وجود نخواهد داشت. از مهم‌ترین واحدهای جانبی واحد آب، برق و بخار می‌باشد. این واحد، آب‌سرد موردنیاز چگالنده‌ها، بخارآب موردنیاز گرم‌کن‌ها و برق موردنیاز دستگاه‌های مختلف و ساختمان‌ها و دیگر تأسیسات را تأمین می‌کند.

---

۱ــ Base Oil ۲ــ Oil Additives ۳ــ Steam Reforming ۴ــ Shift Canversion
۵ــ Methanator

هر پالایشگاه دارای یک واحد آزمایشگاه می‌باشد که در آن مواد اوّلیه، موادمیانی و محصولات موردبررسی قرار می‌گیرند تا درصورتی که نتایج آزمایش‌ها با استانداردهای موردنظر مطابقت نداشته باشد، اقدام لازم جهت تصحیح یا تغییر شرایط عملیات انجام شود.

**در هر صورت انتقال فرآورده و یا اجازه‌ی استفاده از آن‌ها به شرط تأیید آزمایشگاه است.**

از دیگر بخش‌های مهم پالایشگاه می‌توان از اداره‌ی تعمیرات و خدمات، اداره‌ی ایمنی و آتش‌نشانی و اداره‌ی آموزش نام برد.

## ۳ــ۴ــ فرآورده‌های نفتی

محصولات پالایشگاه را می‌توان به‌سه دسته‌ی عمده تقسیم کرد :

۱ــ فرآورده‌های تمام شده که می‌توانند مستقیماً مصرف شوند.

۲ــ فرآورده‌های نیمه تمام که جهت مصرف باید عملیات تکمیلی برروی آن‌ها انجام شود.

۳ــ فرآورده‌های واسطه که به‌عنوان ماده‌ی اولیه‌ی صنایع پتروشیمی به‌کار می‌روند.

تعداد فرآورده‌های حاصل از پالایش نفت بسیار زیاد است. بعضی از مهم‌ترین این فرآورده‌ها، به‌ترتیب افزایش جرم مولکولی، به قرار زیر است :

۱ــ گازهای سبک (متان و اتان) که به‌عنوان سوخت یا به‌عنوان خوراک پتروشیمی به‌کار می‌رود.

۲ــ گاز مایع (LPG) که به‌عنوان سوخت یا خوراک پتروشیمی به‌کار می‌رود.

۳ــ بنزین اتومبیل

۴ــ بنزین‌های مخصوص و نفتا که به‌عنوان حلال یا به‌عنوان خوراک پتروشیمی به‌کار می‌رود.

۵ــ سوخت جت[۱]

۶ــ نفت سفید

۷ــ نفت گاز (گازوییل)

۸ــ نفت کوره‌ی سبک[۲] که به‌عنوان سوخت تأسیسات حرارتی خانگی و کارخانجات کوچک به‌کار می‌رود.

۹ــ روغن‌های روان‌کننده که در موتور خودروها و دستگاه‌های صنعتی مختلف جهت روان‌کاری استفاده می‌شود.

۱۰ــ پارافین‌ها و موم‌ها

۱۱ــ نفت کوره‌ی سنگین[۳] که به‌عنوان سوخت تأسیسات حرارتی پرقدرت و موتورهای دیزل بزرگ به‌کار می‌رود.

۱۲ــ آسفالت و قیر

۱۳ــ کک[۴] که به‌عنوان سوخت صنعتی و ساخت الکترودها به‌کار می‌رود.

بعضی از این مواد نظیر بنزین، نفت سفید و گازوییل جزء فرآورده‌های تمام شده هستند. چون معمولاً عملیات نهایی جهت تهیه‌ی روغن‌های روان‌کننده و گاز مایع در کارخانجات خارج پالایشگاه انجام می‌شود، این فرآورده‌ها را محصولات نیمه تمام می‌نامند. گازهای سبک، گاز مایع و نفتا اگر به‌عنوان خوراک صنایع پتروشیمی استفاده شوند، در صنعت پالایش، فرآورده‌های واسطه خواهند بود[۵].

---

۱ــ Jet fuel ۲ــ Light Fuel Oil ۳ــ Heavy Fuel Oil ۴ــ Coke

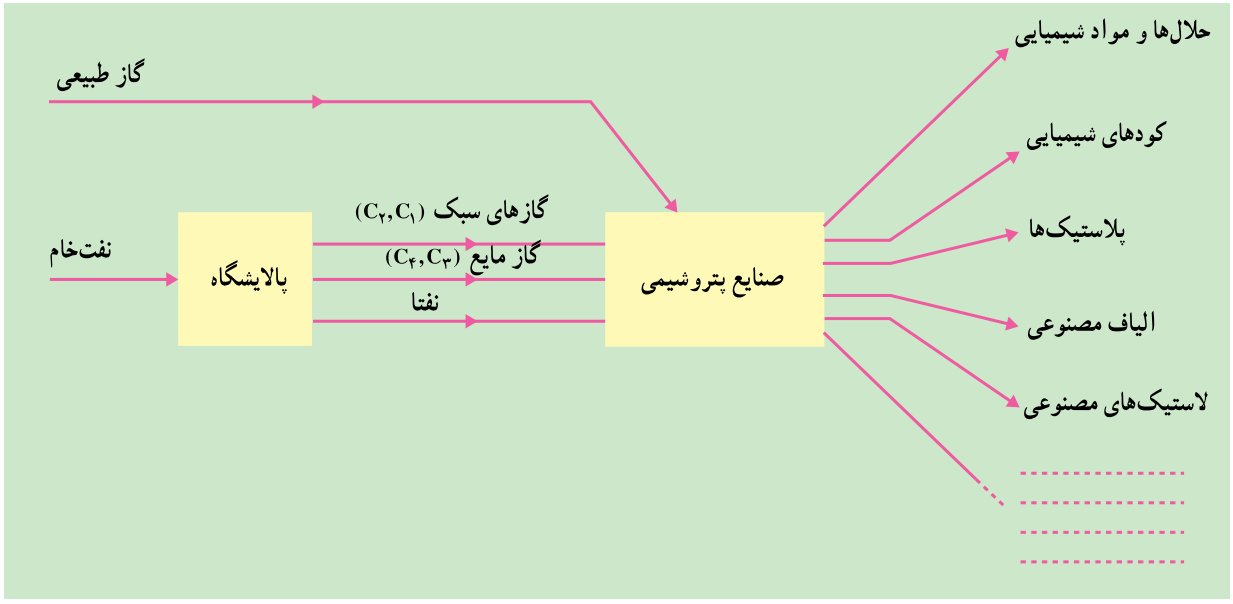
۵ــ در صنایع پتروشیمی به آن‌ها خوراک یا ماده‌ی اولیه می‌گویند.

# صنایع پتروشیمی

## ۴ــ ۴ــ اهمیت صنایع پتروشیمی

طبق تعریف، پتروشیمی به صنایعی گفته می‌شود که در آن‌ها هیدروکربن‌های موجود در نفت‌خام 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 ($CH_2OH-CH_2OH$) است که یکی از فرآورده‌های صنایع پتروشیمی است.

به‌دلیل 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 ۴ــ۶ انواع خوراک‌ها و محصولات صنایع پتروشیمی را به‌اختصار نشان می‌دهد.




شکل ۶ــ۴ــ خوراک‌ها و محصولات صنایع پتروشیمی

از سال ۱۹۲۰ که اولین کارخانه‌ی پتروشیمی به‌منظور 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، به‌تدریج تأثیرات نامطلوب آن برمحیط زیست

آشکار شده‌است. اثرات مخرب این صنعت بر محیط‌زیست را می‌توان به دو بخش تقسیم کرد :

۱ــ دفع مواد زاید به‌هنگام اجرای عملیات تولید، که موجب آلودگی محیط‌زیست می‌شود.

۲ــ مصرف بعضی از محصولات پتروشیمی، که به محیط‌زیست صدمه می‌زند.

برای مثال کلروفلوئوروکربن‌ها (CFC)[۱] با نام تجارتی فریون، دسته‌ای از محصولات پتروشیمی هستند که سال ها در یخچال‌ها و دستگاه‌های تهویه‌ی مطبوع به‌عنوان خنک‌کننده مورد استفاده قرار می‌گرفتند. مورد مصرف دیگر این مواد در افشانه‌ها بود. ولی در سال‌های اخیر چون اثبات شد که این ترکیبات پایدار هستند ولذا وقتی در هوا رها می‌شوند به لایه‌ی اوزون صدمه می‌زنند، در کشورهای پیش‌رفته مصرف آن‌ها ممنوع و ترکیبات دیگری جانشین آن‌ها شده است.

یکی دیگر از محصولات پتروشیمی دی‌کلرو دی‌فنیل تری‌کلرو اتان (ددت)[۲] است که در گذشته به‌عنوان حشره‌کش و آفت‌کش مصرف فراوان داشت. این ترکیب سمّی پایدار است و همراه آب باران به رودخانه‌ها و از آن طریق وارد بدن گیاهان و جانوران دریایی شده و درنهایت انسان با مصرف غذاهای دریایی آن را وارد بدن خود می‌نماید. علی‌رغم آثار مخرب این سم برمحیط‌زیست و بدن انسان و ممنوعیت مصرف آن، هنوز بعضی از کشورهای فقیر از آن استفاده می‌کنند.

امروزه با استفاده از روش‌های نوین در صنایع پتروشیمی، پساب‌ها و گازهای آلاینده به نحو مطلوب تصفیه می‌شوند. به‌همین جهت اثرات مخرب این کارخانجات بر محیط‌زیست به حداقل رسیده است. درضمن، تحقیقات گسترده‌ای درخصوص ساخت انواع محصولاتی که بتوانند با محیط‌زیست کاملاً سازگار باشند و به آن آسیب نرسانند در حال انجام است.

## ۵ــ ۴ــ واحدهای اصلی صنایع پتروشیمی و محصولات آن‌ها

صنایع پتروشیمی را می‌توان به پنج واحد اصلی تقسیم‌بندی کرد :

واحدهای بالادست

واحدهای بنیادی

واحدهای واسطه‌ای

واحدهای نهایی

واحدهای پایین‌دست.

واحدهای بنیادی، واسطه‌ای و نهایی در داخل مجتمع‌های پتروشیمی قرار دارند. خوراک این مجتمع‌ها را واحدهای بالا دست تأمین می‌کنند و محصول نهایی آن‌ها را واحدهای پایین دست مصرف می‌نمایند. واحدهای بالادست، به واحدهایی گفته می‌شود که توسط آن‌ها خوراک واحدهای بنیادی (به‌عبارت دیگر ماده‌ی اولیه مجتمع‌های پتروشیمی) تهیه می‌شود. پالایشگاه‌های نفت که در آن‌ها نفتا، گازهای سبک و گاز مایع به‌عنوان خوراک پتروشیمی تهیه می‌شود و پالایشگاه‌های گاز که گاز طبیعی را تصفیه می‌کنند، در صنایع پتروشیمی به‌عنوان واحدهای بالادست شناخته می‌شوند.

واحدهای بنیادی اولین دستگاه‌هایی هستند که در مجتمع‌های پتروشیمی دیده می‌شوند. برحسب پیچیدگی این مجتمع‌ها و تنوع محصولات آن‌ها ممکن است یک یا چند واحد بنیادی در یک مجتمع ساخته شود. برای مثال، واحد تولید گاز سنتز[۳] یک واحد بنیادی است. در این واحد، مانند دستگاه هیدروژن‌سازی پالایشگاه، گاز متان به‌همراه بخار آب در واکنش تبدیل به کمک

---

۱ــ آلکانی را که همه‌ی هیدروژن‌های آن به‌وسیله‌ی کلروفلوئور جانشین شده باشد، کلروفلوئور و کربن (Chloro Fluoro Carbon) می‌نامند.

۲ــ DDT ۳ــ Synthesis Gas

بخار آب[1] شرکت می‌کند با این تفاوت که در اینجا سعی بر ممانعت از تولید $CO_2$ و تهیه‌ی مخلوط CO و $H_2$ (گاز سنتز) می‌باشد.

$$CH_4 + H_2O \xrightarrow{\text{کاتالیزگر}} 3H_2 + CO$$

روش دیگر جهت تهیه‌ی گاز سنتز، که به‌دلیل شرایط سخت عملیاتی کم‌تر مورد توجه است، اُکسایش جزیی[2] متان نام دارد. این واکنش در دمای ۱۳۰۰ تا ۱۵۰۰°C و فشار ۱۴ تا ۱۴۰ اتمسفر و بدون حضور کاتالیزگر انجام می‌شود ؛

$$2CH_4 + O_2 \longrightarrow 2CO + 4H_2$$

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 :

$$2H_2 + CO \xrightarrow{\text{کاتالیزگر}} CH_3OH$$

این واکنش در دمای ۲۵۰ تا ۲۶۰°C و فشار ۵۰ تا ۸۰ اتمسفر انجام می‌شود. کاتالیزگر مورد استفاده، مس به‌همراه مقدار کمی روی می‌باشد. واحدهای تولید استیلن، اتیلن دی‌کلرید 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 :

$$CH_3OH \xrightarrow{\text{کاتالیزگر}} H-\underset{\underset{O}{\|}}{C}-H + H_2$$

$$2H_2 + O_2 \longrightarrow 2H_2O$$

شرایط عمومی این فرآیند عبارت است از :

**دما:** ۴۰۰ تا ۴۲۵°C

**فشار:** اتمسفر

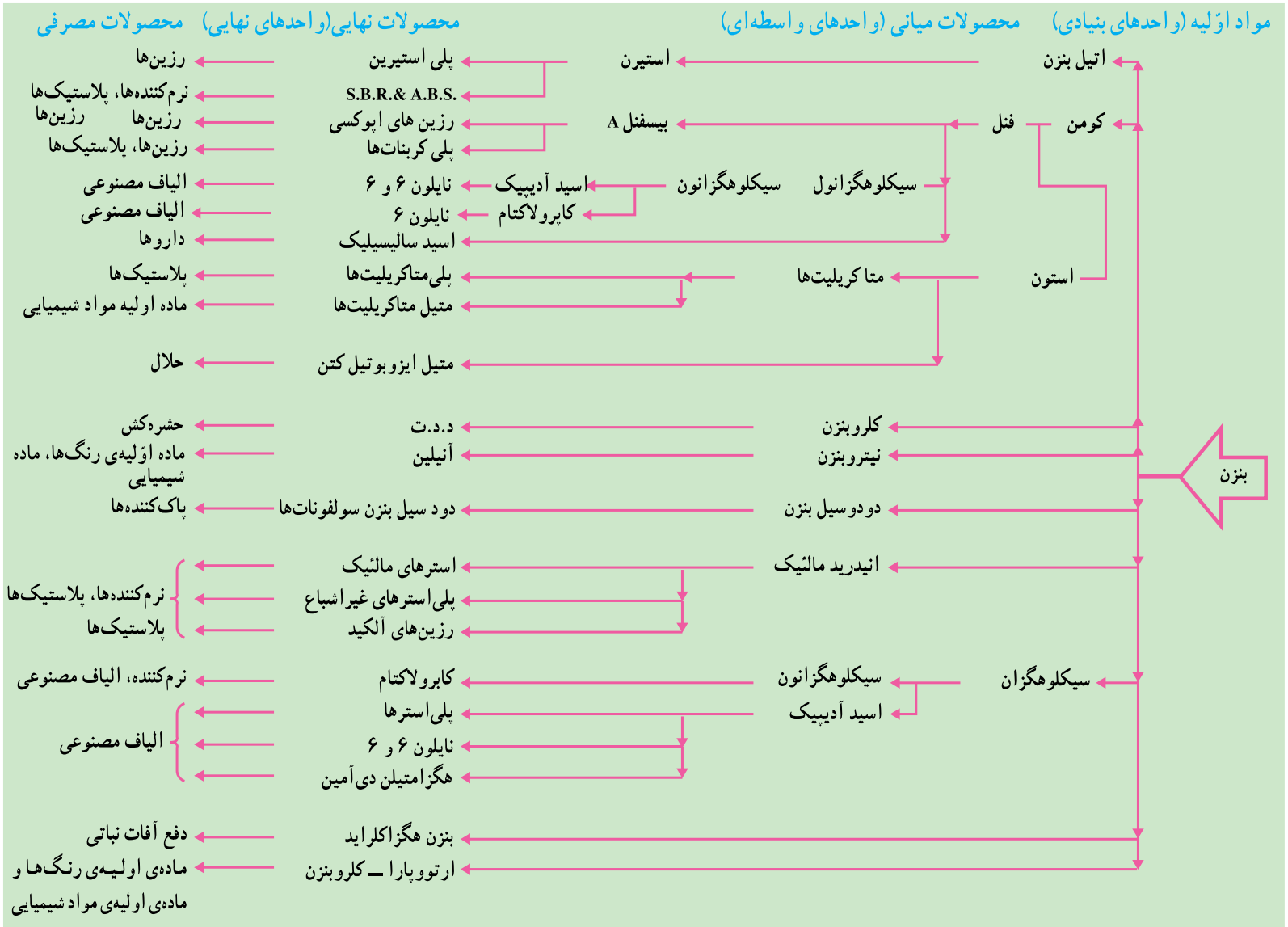
**کاتالیزگر:** $Fe(MoO_4)$

واحدهای تولید پلی‌اتیلن سبک و سنگین، پلی‌پروپیلن، 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، پلی‌اتیلن سبک و سنگین و پی‌وی‌سی در ساخت لوله و اتصالات و دیگر مواد پلاستیکی نمونه‌هایی از تولیدات واحدهای مصرفی است. شکل‌های ۷ـ۴ و ۸ـ۴ مسیر تولید محصولات مصرفی مختلفی را که از بنزن، تولوئن و زایلن[3] به‌دست می‌آید نشان می‌دهد.

---

۱ـ Steam Reforming ۲ـ Partial Oxidation ۳ـ Benzene, Tolouene, Xglene (BTX)




شکل ۷ــ۴ــ محصولات پتروشیمی از بنزن[1]

۱ــ اطلاعات شکل ۷ــ۴ صرفاً جهت درک بهتر انواع محصولات پتروشیمی آورده شده است و نیاز به حفظ کردن آنها نیست.

شکل ۸ــ۴ــ محصولات پتروشیمی از تولوئن و زایلن‌ها[۱]

۱ــ اطلاعات شکل ۸ــ۴ صرفاً جهت درک بهتر انواع محصولات پتروشیمی آورده شده است و نیاز به حفظ کردن آنها نیست.

## ۶ــ۴ــ فرآیندهای ایرانی

در صنایع نفت، گاز، پالایش و پتروشیمی، جهت تبدیل نفت خام و گاز طبیعی به محصولات با ارزش، فرآیندهای گوناگونی به‌کار گرفته می‌شود. این فرآیندها 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 فرآیندهای 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[۱] :

- بازیابی بنزین (پتروشیمی خارک)
- تولید پنتان (کرمانشاه)
- گوگردزدایی از برش‌های میان تقطیر (DMD)[۲] (پتروشیمی خارک)
- گوگردزدایی از نفت خام (DMC)[۳]
- افزایش عدد اکتان بنزین (ISOMIR)[۴] (پالایشگاه اراک)

عکس‌های روی جلد و پشت جلد کتاب مربوط به واحدهای صنعتی و نیمه‌صنعتی[۵] است که توسط این پژوهشگاه ساخته شده است.

در این‌جا یکی از این فرآیندها را که به شکل ساده و خلاصه درآمده است و با مطالبی که تاکنون آموخته‌اید همخوانی دارد مطرح می‌کنیم.

**۱ــ۶ــ۴ ــ واحد بازیافت بنزین پتروشیمی خارک:** این واحد که با ظرفیت بازیافت ۱۵۰۰ بشکه در روز خوراک، در سال ۱۳۸۴ در پتروشیمی خارک آغاز به‌کار کرد از دو بخش عمده‌ی «تفکیک» و «شستشو با سود» تشکیل شده است. خوراک واحد که مایعات سبک همراه گاز است مخلوطی از هیدروکربن‌های $C_۲$ تا $C_{۲۲}$ و ناخالصی‌های گوگردی شامل $H_۲S$ و مرکاپتان‌ها[۶] می‌باشد. این خوراک تا قبل از راه‌اندازی این واحد، ارزش اقتصادی نداشت و در پتروشیمی خارک سوزانده می‌شد.

محصول این واحد مخلوط هیدروکربن‌های $C_۵$ تا $C_{۱۰}$ می‌باشد که مقدار ناچیزی $H_۲S$ و مرکاپتان‌ها در آن باقی مانده و قابل عرضه در بازار به‌عنوان بنزین خام[۷] 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. علاوه‌بر آن این واحد از سوختن ترکیبات گوگردی و آلودگی محیط زیست جلوگیری نموده است.

در شکل ۹ــ۴، PFD ساده شده‌ی این فرآیند را ملاحظه می‌کنید. خوراک (خط۱) توسط پمپ P-101 بعد از گرم‌شدن در مبدل E-101 که توسط بخار آب کار می‌کند وارد برج T-101 می‌شود. دمای خوراک ورودی به برج توسط یک کنترل‌کننده‌ی دما

---

۱ــ به سایت پژوهشگاه صنعت نفت www. ripi. ir مراجعه کنید.

۲ــ DMD = Demercapitanization of Distillate

۳ــ DMC = Demercapitanization of Crude

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

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

۶ــ مرکاپتان‌ها ترکیبات آلی گوگرددار هستند که با فرمول R-S-H نشان داده می‌شوند که R یک گروه آلکیل است.

۷ــ 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 E-۱۰۱ فرمان می دهد، کنترل می‌شود. بخارات خارج‌شده از این برج (خط ۲) بعد از سردشدن در کولر هوایی E-103 وارد ظرف V-101 می‌شود. در این ظرف آن بخش از بخارات که براثر سرد شدن به مایع تبدیل شده‌اند توسط پمپ P-102 به برج برگشت داده می‌شوند. یک کنترل‌کننده‌ی 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 به‌صورت بخار باقی مانده‌اند، از بالای ظرف V-101 به خارج از واحد هدایت می‌شوند (خط ۳).

حرارت مورد نیاز برج توسط یک جوش آورنده[1] (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 به‌صورت 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 (تنظیم‌شده) 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 کنترل‌کننده‌ی سطح (LC) کنترل می‌شود. این کنترل‌کننده‌ی سطح به یک کنترل‌کننده‌ی جریان (FC) فرمان می‌دهد. برای مثال، درصورتی‌که حجم مایع پایین برج از حد معین و تنظیم‌شده 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 $C_{10}$ از پایین برج بیرون آمده و به خارج واحد هدایت می‌شود (خط ۵) و محصول که برش $C_5$ تا $C_{10}$ 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 به‌عنوان جریان برگشتی (Reflux) به برج عودت می‌دهد و قسمت عمده‌ی آن (خط ۷) بعد از عبور از کولر E-106 و مخلوط‌شدن با محلول سود (تقاطع با خط ۸) وارد ظرف V-103 می‌شود. بر اثر تماس مرکاپتان‌ها با سود، واکنش زیر انجام می‌شود :

$$RSH + NaOH \rightarrow \underbrace{RSNa}_{\text{محلول در آب}} + H_2O$$

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.

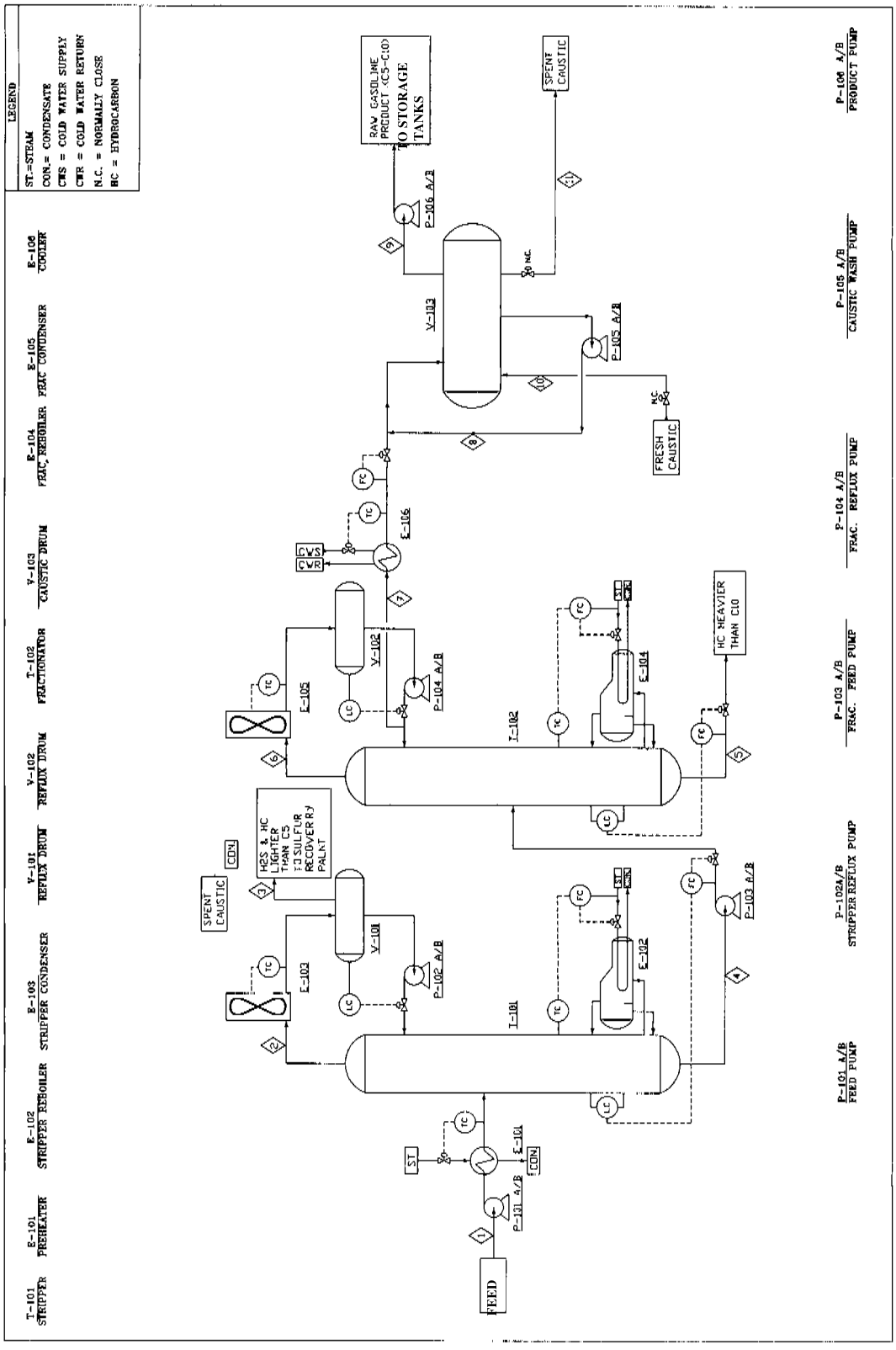
از داخل دو خط ۱۱ و ۱۰ در شرایط عادی جریانی عبور نمی‌کند و شیرهای نصب‌شده بر روی آن‌ها معمولاً بسته می‌باشند. هنگامی که آنالیز شیمیایی محصول نشان داد که ترکیبات گوگردی داخل محصول در حال افزایش است، شیرهای این دو خط باز شده و محلول آبی که غلظت NaOH آن کم شده است توسط خط ۱۱ از ظرف V-103 خارج می‌شود و به جای آن محلول سود تازه توسط خط ۱۰ به داخل ظرف V-103 اضافه می‌شود. از محلول سود مصرف‌شده می‌توان مرکاپتان‌ها را بازیابی کرد و از آن‌ها به‌عنوان عامل بودارکردن گاز شهری استفاده نمود[2].

---

۱ــ در شکل ۹ــ۴ نوع دیگری از Reboiler (جوش‌آورنده) که در بعضی نقشه‌ها استفاده می‌شود، به‌کار رفته است.

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

**نکته‌ی مهم:** در شکل ۹ــ۴ با نوع نسبتاً پیچیده‌تری از سیستم‌های کنترل آشنا شدید که در آن دو کنترل‌کننده بر روی یکدیگر تأثیر می‌گذارند. این نوع سیستم‌ها وقتی به‌کار می‌روند که بخواهیم سرعت پاسخ به تغییرات سریعتر باشد.




شکل ۹ــ۴ــ نمودار جریان‌های فرآیند (PFD) بنزین بازیافتی پتروشیمی خارگ

**تمرین**

۱ــ هر یک از موارد زیر را تعریف کنید.

الف) نفت خام ب) واحد بهره‌برداری پ) پالایشگاه ت) کراکینگ ج) موم چ) صنایع پتروشیمی

۲ــ مراحل اصلی پالایش نفت خام را شرح دهید.

۳ــ پنج فرآیند پالایش را فقط نام ببرید.

۴ــ هریک از دستگاه‌های زیر را به‌طور کامل و با رسم نمودار شرح دهید.

الف) دستگاه تقطیر اتمسفری ب) دستگاه تقطیر خلأ

پ) دستگاه تبدیل کاتالیزگری ت) دستگاه آیزوماکس

۵ــ در کدام دستگاه پالایش از کراکینگ حرارتی استفاده می‌شود؟ خوراک و محصولات آن چیست؟

۶ــ عملیاتی را که باید بر روی روغن خام انجام شود تا روغن پایه تولید شود به‌اختصار توضیح دهید.

۷ــ سه دسته‌ی اصلی فرآورده‌های نفتی را نام برده و برای هریک دو مثال بزنید.

۸ــ اهمیت صنایع پتروشیمی (بویژه در کشور) را شرح دهید.

۹ــ واحدهای اصلی صنایع پتروشیمی را نام برده و در هر مورد ۲ نمونه از محصولات آن‌ها را نام ببرید.

۱۰ــ گاز سنتز چیست؟ با نوشتن واکنش‌های لازم چگونگی تبدیل متان به فرمالدئید را توضیح دهید.