# فصل اول

## آشنایی با علایم و نمودارها در فرآیندهای صنایع شیمیایی

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

ـ مشخصات انواع نمودارهای فرآیندی را شرح دهد.

ـ مفهوم علایم مورد استفاده در انواع نمودارها را توضیح دهد.

ـ قادر باشد براساس شرح فرآیند، نمودار جعبه‌ای و نمودار جریان‌های فرآیند را رسم کند (رسم نقشه).

ـ قادر باشد نمودار جعبه‌ای و نمودار جریان‌های فرآیند را بخواند و بسته به نوع نمودار شرح فرآیند متناسب با آن را بنویسد.

### ۱ـ۱ـ مقدمه

یک مهندس شیمی، به هنگام طراحی یک واحد صنعتی، ایده‌ها و افکار خود را در قالب نقشه‌های گوناگون، که به آن‌ها «نقشه‌های فرآیندی» می‌گویند، به روی کاغذ می‌آورد. انواع نقشه‌های فرآیندی[1] عبارت‌اند از :

۱ـ نمودار جعبه‌ای جریان‌ها — 1- Block Flow Diagram (BFD)

۲ـ نمودار جریان‌های فرآیند — 2- Process Flow Diagram (PFD)

۳ـ نمودار لوله‌کشی و ابزار دقیق — 3 - Piping and Instrumentation Diagram (P&ID)

۴ـ نقشه‌ی جانمایی تجهیزات — 4 - Plant Layout

به هنگام طراحی یک کارخانه، در روند پیشرفت کار، نقشه‌های کامل‌تری تهیه می‌شود. نمودار جعبه‌ای جریان‌ها (BFD) که به اختصار به آن نمودار جعبه‌ای نیز می‌گویند ساده‌ترین نوع نقشه است که در آن بخش‌های اصلی یک کارخانه و جریان‌های مواد اولیه و محصولات نشان داده می‌شود. براساس این نمودار، نمودار جریان‌های فرآیند (PFD) رسم می‌شود که جزئیّات دقیقی از فرآیند و جریان‌های مختلف آن را نشان می‌دهد. به همین ترتیب نمودار لوله‌کشی و ابزار دقیق (P&ID) بر مبنای PFD تهیه می‌شود و در آن کلیّه‌ی نکات مربوط به لوله‌کشی و ابزار دقیق و همه‌ی دستگاه‌ها و تجهیزات اصلی و فرعی فرآیند به‌طور دقیق نشان داده می‌شود. بنابراین ترتیب تهیه و ارائه‌ی نقشه‌ها در طی یک پروژه‌ی طراحی، به قرار زیر است :

$$BFD \rightarrow PFD \rightarrow P\&ID$$

نقشه‌ی جانمایی (Layout) از سنخ سه نقشه‌ی بالا نیست زیرا جریان‌های فرآیند و نحوه‌ی تبدیل مواد اولیه به محصول را نشان نمی‌دهد ؛ بلکه، همان‌طور که از اسمش پیداست، این نقشه، محل استقرار دستگاه‌ها و فاصله‌ی میان آن‌ها را مشخص می‌سازد. نقشه‌ی جانمایی معمولاً بعد از تکمیل PFD و هم‌زمان با P&ID آماده می‌شود.

---

۱ـ توجه داشته باشید که در طراحی و ساخت یک کارخانه‌ی شیمیایی، علاوه بر نقشه‌های فرآیندی که مسئولیت رسم آن‌ها با مهندس شیمی است، انواع نقشه‌های مکانیک، برق، ابزار دقیق و ساختمان نیز توسط مهندسین مکانیک، برق، الکترونیک و ساختمان رسم می‌شوند.

## ۲ــ۱ــ نمودار جعبه‌ای فرآیند (BFD)

این نقشه در اوّلین مراحل طراحی یک کارخانه‌ی شیمیایی، یا هنگامی که بخواهند به ساده‌ترین شکل، فرآیندهای مختلف یک واحد صنعتی بزرگ و پیچیده را نشان دهند رسم می‌شود. در این نمودار تعدادی از دستگاه‌ها، که در مجموع یک فرآیند را به‌وجود می‌آورند، به صورت یک جعبه یا بلوک[۱] نشان داده می‌شوند. برای مثال، مجموعه‌ای از مبدل‌های حرارتی، پمپ‌ها، ظروف مختلف، برج تقطیر[۲] و برج یا برج‌های عاری‌ساز[۳] را با یک جعبه و تحت نام «جداسازی» یا «تقطیر» نمایش می‌دهند. در نمودار جعبه‌ای تقدم و تأخر عملیات حفظ شده است و با دنبال کردن خطوط (جریان‌ها) از چپ به راست می‌توان به یک شناخت کلی در خصوص فرآیند دست یافت. در یک نمودار جعبه‌ای معمولاً مقدار (دبی جرمی یا حجمی) جریان‌های ورودی (مواد اوّلیه) و خروجی (محصولات) نوشته می‌شود. به کمک این اعداد می‌توان موازنه‌ی جرم کلی را برای کارخانه نوشت.

شکل ۱ــ۱ نمودار جعبه‌ای فرآیند کربنی کردن[۴] زغال‌سنگ و محصولاتی را که از آن به‌دست می‌آید، نشان می‌دهد. همان‌طور که در نمودار مشاهده می‌شود این فرآیند از ۶ بخش اصلی تشکیل شده است و هر بخش با یک جعبه یا بلوک نشان داده شده است. اعداد روی خطوط نشان دهنده‌ی دبی جرمی (برحسب پوند بر ساعت) جریان‌های فرآیند است. به کمک این اعداد می‌توان موازنه‌ی جرم کلی فرآیند را به شکل زیر نوشت :

$$\text{مواد اولیه (ورودی)} = \text{زغال سنگ} + \text{هوا} + \text{بخار آب}$$

$$۱۱۰۲۰۳ = ۲۲۰۳ + ۸۰۰۰ + ۱۰۰۰۰۰ \ \text{lb/h}$$

$$\text{محصولات (خروجی)} = \text{گازهای سوختنی} + \text{گوگرد} + \text{فنول} + \text{مایعات دورریز} + \text{آروماتیک‌های سبک} + \text{گازوییل}$$

$$۱۲۵۷۵ + ۷۷۰ + ۲۳۸۰ + ۲۵ + ۱۰۷۰ + ۷۱۸۳$$

$$\text{قیر} + \text{روغن قطران} + \text{قطران} + \text{کُک}$$

$$+ ۳۳۲۰ + ۲۳۸۰ + ۳۰۰۰ + ۷۷۵۰۰ = ۱۱۰۲۰۳ \ \frac{\text{lb}}{\text{h}}$$

بنابراین موازنه‌ی جرم برقرار است :

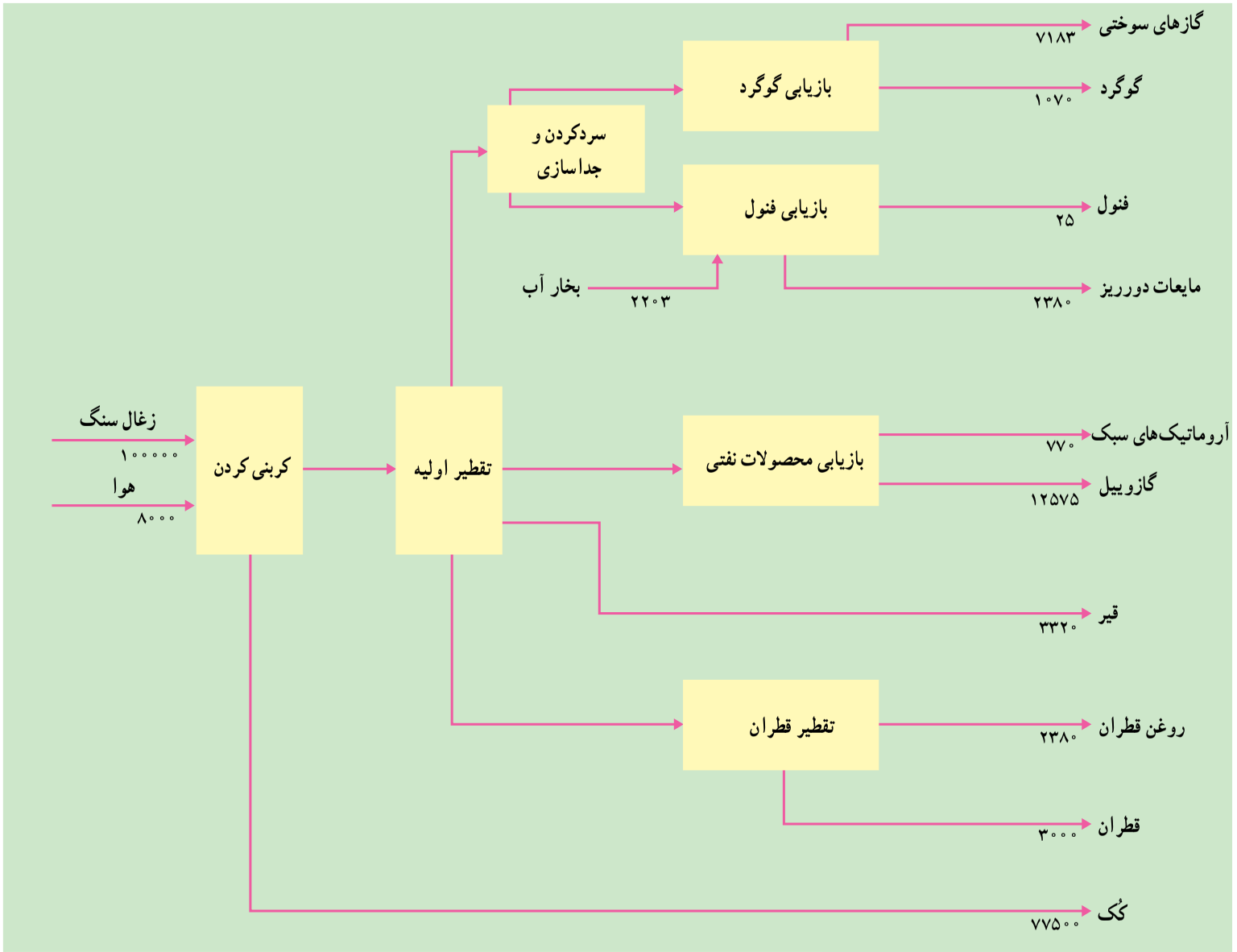
$$\text{محصولات (خروجی)} = \text{مواد اولیه (ورودی)}$$

$$۱۱۰۲۰۳ \frac{\text{lb}}{\text{h}} = ۱۱۰۲۰۳ \frac{\text{lb}}{\text{h}}$$

خواندن نمودارهای جعبه‌ای و استخراج شرح فرآیند از آن‌ها بسیار ساده است. در شکل ۱ــ۱ ابتدا خوراک (زغال‌سنگ) به همراه هوا وارد بخش «کربنی کردن» می‌شود تا در آن‌جا زغال سنگ به صورت جزیی[۵] اکسید شود و محصولات مختلف به‌دست آید. در این جا نمودار جعبه‌ای نشان نمی‌دهد که بخش کربنی‌کردن از چه تجهیزاتی تشکیل شده است. بلکه فقط بیان می‌کند که سنگین‌ترین محصول این بخش که از پایین جدا می‌شود کُک است، و این که بقیه‌ی محصولات وارد مرحله‌ی بعد یعنی «تقطیر اولیه» می‌شوند. در بخش «تقطیر اولیه» چهار محصول مختلف به صورت ناخالص به دست می‌آید که هرکدام در بخش‌های بعدی وارد مراحل خالص‌سازی می‌شوند. سبک‌ترین محصول بخش «تقطیر اولیه» (جریانی که از بالای جعبه خارج می‌شود) پس از سردشدن به دو جزء تقسیم می‌شود. ترکیبات سبک آن وارد مرحله‌ی «بازیابی گوگرد» می‌شود. محصول این بخش **گوگرد** و **گازهای سوختی**[۶] عاری از گوگرد می‌باشد.

---

۱ــ Block ۲ــ Distillation Column ۳ــ Stripper Column ۴ــ Carbonization
۵ــ Partial Oxidation ۶ــ Fuel Gas




شکل ۱ــ۱ــ نمودار جعبه‌ای فرآیند کربنی کردن زغال سنگ (اعداد برحسب $\frac{lb}{h}$ می‌باشد.)

مایع خروجی از قسمت «سردکردن و جداسازی»، فنول ناخالص است که وارد بخش «بازیابی فنول» می‌شود و در این بخش، به کمک بخار آب، به **فنول خالص**، به عنوان محصول نهایی، تبدیل می‌شود. در این جریان، مایعاتی که از فنول جدا شده‌اند مصرفی نداشته و **مایعات دورریز**[1] می‌باشند.

ترکیبات میان‌تقطیر[2] که مایعات نفتی هستند از بخش «تقطیر اولیه» وارد بخش «بازیابی محصولات نفتی» می‌شوند تا در آن‌جا جداسازی و تصفیه‌ی نهایی بر روی آن‌ها انجام گردد. محصولات نهایی این بخش، **آروماتیک‌های سبک** و **گازوییل** است.

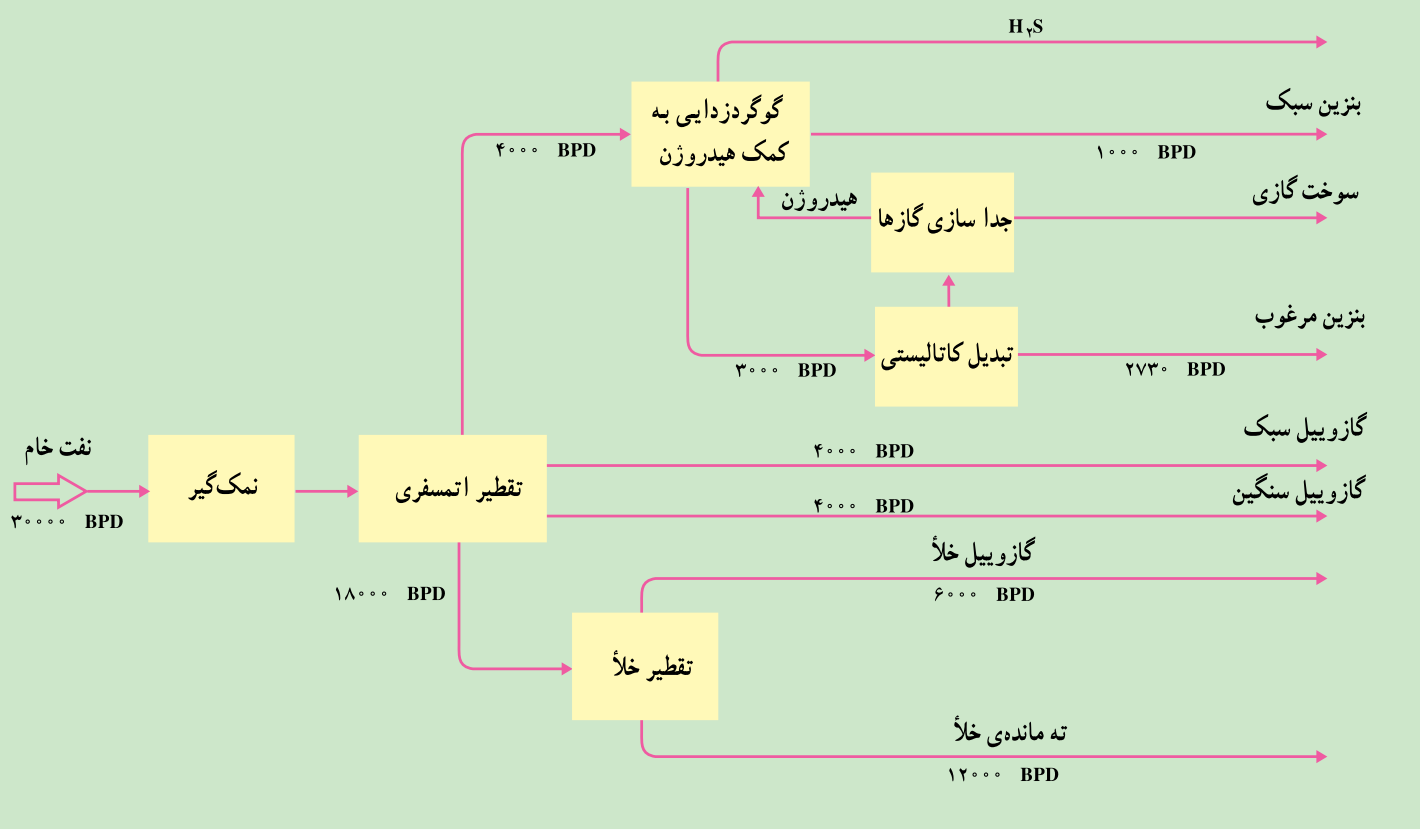
محصول دیگری که مستقیماً از بخش «تقطیر اولیه» به دست می‌آید و نیاز به عملیات خالص‌سازی ندارد **قیر** است.

سنگین‌ترین محصول بخش «تقطیر اولیه» قطران ناخالص است که وارد بخش «تقطیر قطران» می‌شود. در این بخش ترکیبات روغنی سنگین نظیر **روغن قطران** از **قطران** جدا می‌شود.

**مثال ۱ــ** شکل ۲ــ۱ نمودار جعبه‌ای (BFD) یک پالایشگاه را نشان می‌دهد.

الف) آیا رابطه‌ی موازنه‌ی جرم (ورودی = خروجی) برقرار است؟

ب) با توجه به نمودار، بخش‌های اصلی فرآیندهای پالایش را شرح دهید. (نقشه خوانی)




**شکل ۲ــ۱ــ نمودار جعبه‌ای یک پالایشگاه**

---

۱ــ Waste Liquid

۲ــ در فصل چهارم با ترکیبات نفتی بیش‌تر آشنا می‌شوید. منظور از ترکیبات میان تقطیر، محصولاتی با نقطه‌ی جوش متوسط نظیر بنزین، نفت سفید و گازوییل است.

## جواب

الف : موازنه‌ی جرم این پالایشگاه به قرار زیر است :

نفت خام (ورودی) = ۳۰,۰۰۰ BPD[1]

محصولات (خروجی) = بنزین سبک + بنزین مرغوب + گازوییل سبک + گازوییل سنگین + گازوییل خلأ + ته مانده‌ی خلأ +

۶۰۰۰ ۴۰۰۰ ۴۰۰۰ ۲۷۳۰ ۱۰۰۰

۱۲۰۰۰ = ۲۹۷۳۰ BPD

همان‌طور که مشاهده می‌شود دو عدد ورودی و خروجی دقیقاً برابر نیستند (۳۰,۰۰۰ ≠ ۲۹۷۳۰) و مجموع محصولات به‌اندازه‌ی ۲۷۰ بشکه در روز کمتر از نفت خام ورودی است. چرا؟

با کمی دقت در نمودار متوجه می‌شویم که دبی گازهای خروجی (مثل $H_2S$) و سوخت‌های گازی[2] نوشته نشده است. در حقیقت، چون مقدار این گازها نسبتاً کم است و جزء محصولات قابل عرضه‌ی پالایشگاه نیز نمی‌باشند طراح نقشه از ذکر آن‌ها خودداری کرده است. بدیهی است هر خواننده‌ای به آسانی متوجه می‌شود که، با توجه به محاسبات ساده‌ی فوق، ۲۷۰ بشکه در روز از نفت‌خام به $H_2S$ یا سوخت‌های گازی تبدیل شده است.

ب) با توجه به نمودار جعبه‌ای، شرح فرآیند کلی این پالایشگاه به شرح زیر است :

ظرفیت پالایشگاه ۳۰,۰۰۰ بشکه در روز (BPD) است. نفت خام ابتدا وارد دستگاه نمک‌گیر می‌شود. در این دستگاه املاح معدنی نظیر NaCl جدا می‌شوند[3]، سپس نفت خام وارد دستگاه «تقطیر اتمسفری» می‌شود. در این بخش اجزای سازنده‌ی نفت خام در فشار یک اتمسفر (فشار محیط)، بر اثر حرارت به چهار بُرش تفکیک می‌شوند. سبک‌ترین اجزا (بُرشی که از بالای دستگاه خارج می‌شود) به بخش «گوگردزدایی به کمک هیدروژن» ارسال می‌شود. در این بخش گوگرد به صورت هیدروژن سولفید ($H_2S$) از هیدروکربن‌ها جدا می‌شود.

یکی دیگر از محصولات این دستگاه نوعی بنزین سبک است که به آن LSRG[4] گویند. این بنزین در مراحل نهایی با دیگر انواع بنزین‌ها مخلوط خواهد شد تا محصولی که به بازار عرضه می‌شود مشخصات موردنظر برای مصرف را داشته باشد. بخش سنگین‌تر هیدروکربن‌ها که از پایین دستگاه «گوگردزدایی به کمک هیدروژن» خارج می‌شود، نوعی بنزین نامرغوب است که وارد دستگاه «تبدیل کاتالیستی» می‌گردد. در این دستگاه به کمک کاتالیزگرهای مناسب، بنزین نامرغوب به بنزین مرغوب تبدیل می‌شود. همان‌طور که بیان شد، با مخلوط کردن این دو نوع بنزین (بنزین سبک و بنزین مرغوب)، محصولی با مشخصات مطلوب به بازار عرضه می‌شود. محصول دیگری که به طور عمده از دستگاه تبدیل کاتالیستی خارج می‌شود هیدروژن است که مقداری گازهای سبک نیز همراه دارد. پس از جداسازی هیدروژن از گازهای هیدروکربنی سبک،هیدروژن به‌عنوان خوراک اولیه دستگاه «گوگردزدایی به‌کمک هیدروژن» به‌کار می‌رود و هیدروکربن‌های سبک به‌عنوان سوخت گازی[5] در کوره‌های پالایشگاه مورد استفاده قرار می‌گیرد.

محصول دیگر دستگاه تقطیر اتمسفری گازوییل سبک و گازوییل سنگین است که هرکدام به مقدار ۴۰۰۰ بشکه در روز تولید می‌شود.

---

۱ــ BPD مخفف بشکه در روز (Barrel Per Day) می‌باشد. هر بشکه معادل ۱۵۹ لیتر است.

۲ ــFuel Gases

۳ــ اگر املاح معدنی نظیر NaCl جدا نشوند در مراحل مختلف پالایش تولید HCl نموده خوردگی شدیدی در داخل دستگاه‌ها پدید می‌آورد.

۴ ــLight Straight Run Gasoline ۵ ــFuel Gas

بخش عمده‌ی نفت خام از هیدروکربن‌های سنگین تشکیل شده است. نقطه‌ی جوش این هیدروکربن‌ها آن‌قدر بالاست که در دستگاه تقطیر اتمسفری قابل تفکیک نیستند. ته‌مانده‌ی تقطیر اتمسفری با دبی ۱۸۰۰۰ بشکه در روز به دستگاه تقطیر در خلأ وارد می‌شود و در آن‌جا تحت شرایط خلأ و حرارت تفکیک می‌شود. محصول این دستگاه نوعی گازوییل است که به آن گازوییل خلأ[۱] می‌گویند. ته مانده‌ی برج تقطیر در خلأ که به آن ته مانده‌ی خلأ[۲] می‌گویند می‌تواند به عنوان ماده‌ی اولیه در ساخت قیر و آسفالت به کار رود[۳].

## ۳ــ۱ــ نمودار جریان‌های فرآیند (PFD)

در این نقشه دستگاه‌های اصلی فرآیند و چگونگی جریان مواد بین آن‌ها نشان داده می‌شود. رآکتورها، برج‌های جداسازی (نظیر تقطیر، استخراج و ...)، مخازن، مبدل‌های حرارتی، فیلترها، خشک‌کن‌ها، پمپ‌ها، کمپرسورها و نظایر آن‌ها از مهم‌ترین دستگاه‌های فرآیندی هستند که در نمودار جریان‌های فرآیند نمایش داده می‌شوند. معمولاً اعداد و ارقام مربوط به جریان‌ها، نظیر مقدار دبی، ترکیب، دما، فشار و انرژی هر جریان به صورت جدول در زیر نقشه درج می‌شود. عناوینی که معمولاً در یک PFD نشان داده می‌شوند عبارت‌اند از :

ــ کلیه‌ی جریان‌های فرآیند و بخشی از جریان‌های جانبی نظیر جریان آب سرد یا بخار آب

ــ کلیه‌ی دستگاه‌ها و تجهیزات فرآیند که براساس تقدم و تأخر عملیات، از چپ به راست رسم می‌شوند.

ــ شکل کلی مدارهای کنترل و نحوه‌ی کنترل دما، فشار، دبی و غلظت‌ها.

ــ توان و دبی پمپ‌ها و توان حرارتی مبدل‌های حرارتی.

ــ دبی، دانسیته و ترکیب جریان‌های مهم (جدول موازنه‌ی جرم).

ــ شرایط عملیاتی دستگاه‌های مختلف نظیر دما و فشار آن‌ها.

چیزهایی که معمولاً در یک PFD نشان داده نمی‌شوند، به جز موارد استثنا و به دلایل خاص، عبارت‌اند از :

ــ جریان‌های فرعی که در فرآیند نقش اصلی و اساسی ندارند ؛ برای مثال در یک فرآیند به منظور جلوگیری از خوردگی داخل دستگاه‌ها، هر شش ماه یک‌بار مقدار کمی «بازدارنده»[۴] به داخل لوله‌ها تزریق می‌کنند. تجهیزات مربوط به این عملیات که شامل مخزن بازدارنده، پمپ و بعضی خطوط لوله می‌باشد، معمولاً در PFD نشان داده نمی‌شود.

ــ ارتفاع تجهیزات تا سطح زمین.

ــ تجهیزات و دستگاه‌های یدکی ؛ برای مثال، در کارخانجات شیمیایی بزرگ، معمولاً در کنار هر پمپ، یک پمپ یدک نیز پیش‌بینی شده است تا اگر پمپ اصلی خراب و از سرویس خارج شد، بلافاصله پمپ یدک وارد مدار گردد و در نتیجه، جریان مواد و تولید کارخانه دچار وقفه نشود. این‌گونه تجهیزات یدکی هم در نقشه‌ی PFD نشان داده نمی‌شوند.

ــ فقط شکل یکی از پمپ‌ها، کمپرسورها و دستگاه‌هایی که همزمان به صورت موازی کار می‌کنند در PFD رسم می‌شود.

ــ اطلاعات مربوط به لوله‌کشی و افت فشار در داخل لوله‌ها.

ــ اطلاعات مربوط به ابزار دقیق مثل فشارسنج‌ها، دماسنج‌ها و جزییات مربوط به اندازه‌گیری و کنترل فرآیند.

ــ ابعاد کامل دستگاه‌ها (در مواردی ممکن است قطر داخلی و ارتفاع بعضی از برج‌ها را در PFD ذکر کنند)

باید توجه داشت که در رسم PFD سعی می‌شود ابعاد و اندازه‌های شکل تا حد امکان متناسب باشد. مثلاً هیچ‌گاه شکل یک

---

۱ــ Vacuum Gas Oil ۲ــ Vacuum Residue

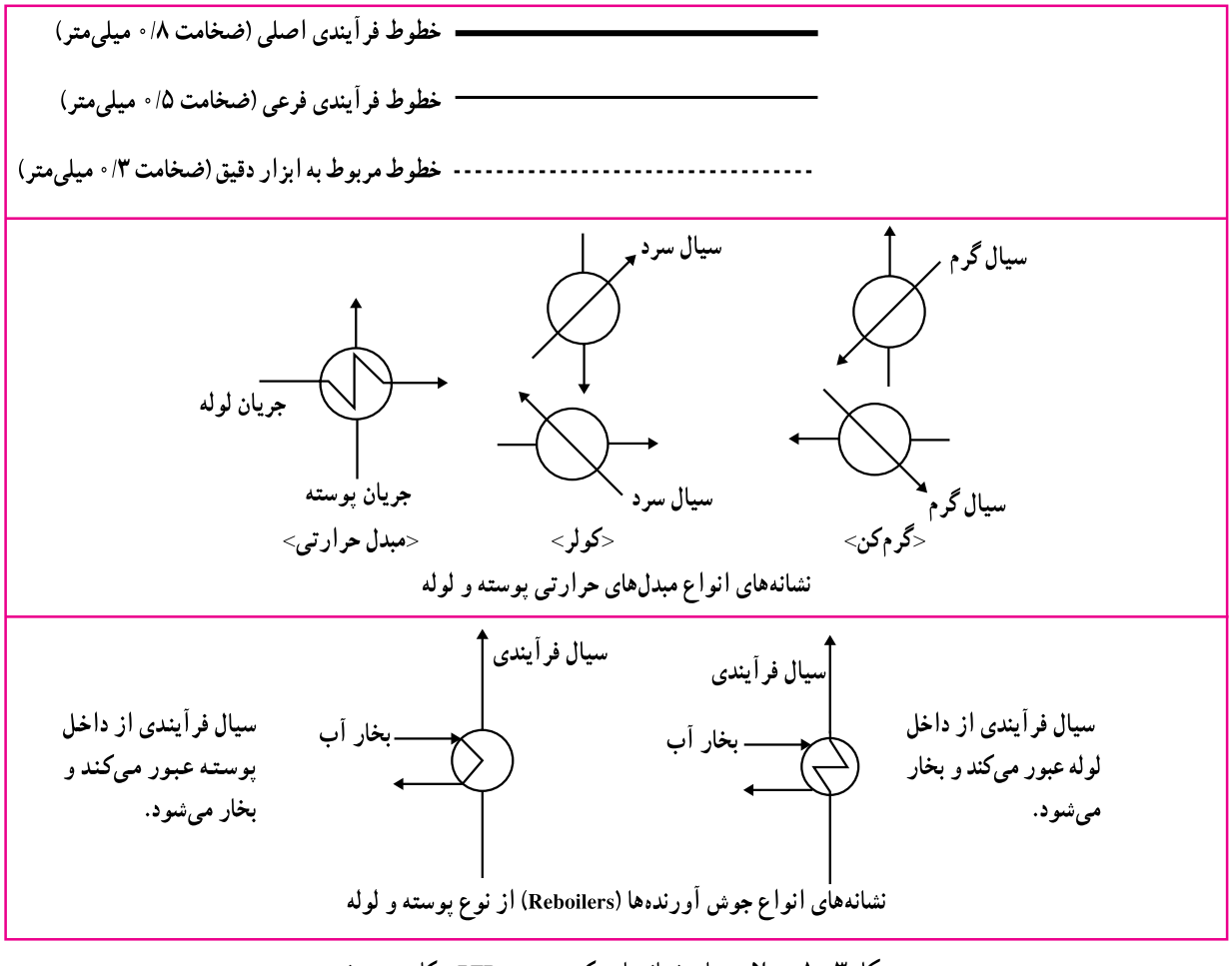
۳ــ در فصل ۴ عملیات پالایش نفت خام با جزییات بیش‌تر توضیح داده شده است.

۴ــ بازدارنده‌ها یا Inhibitors موادی هستند که از زنگ‌زدن و خوردگی دستگاه‌ها جلوگیری به عمل می‌آورند.

پمپ کوچک را بزرگ‌تر از یک رآکتور غول‌پیکر رسم نمی‌کنند. با این وجود هرگز نباید اندازه‌ی شکل‌های رسم شده در نقشه، ملاکی برای ابعاد واقعی دستگاه‌ها باشد زیرا **PFD براساس یک مقیاس[1] معین رسم نمی‌شود.**

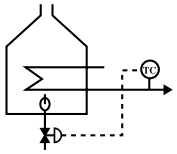
در رسم PFD قراردادها و استانداردهای مشخصی وجود دارد. از طرفی ممکن است استانداردهایی که شرکت‌های مختلف رعایت می‌کنند در بعضی موارد با یکدیگر متفاوت باشند. شکل‌های ۳ــ۱ علامت‌ها و نشانه‌هایی را که در رسم PFD در صنایع نفت و گاز و پتروشیمی به‌کار می‌روند و تحت نام «استانداردهای نفت ایران یا IPS[2]» شناخته می‌شوند نشان می‌دهد. جدول ۱ــ۱ یک نمونه از جدول عنوان یا Title Block است که اطلاعات کلی در خصوص PFD را نشان می‌دهد.

همان‌طور که قبلاً ذکر شد، نحوه‌ی کنترل دما، فشار، دبی و نظایر آن‌ها باید در PFD به شکل کلی نمایش داده شود. شکل ۴ــ۱ چگونگی کنترل دمای خروجی یک کوره را نشان می‌دهد. هدف آن است که دمای مواد خروجی از کوره در ۷۳۰°F ثابت نگه‌داشته شود. این عمل به کمک یک کنترل کننده‌ی دما (TC) انجام می‌شود. اگر دمای خروجی کوره از ۷۳۰°F بیش‌تر شود، کنترل کننده‌ی دما (TC) به شیر کنترل که بر روی جریان سوخت ورودی به کوره نصب شده‌است فرمان می‌دهد تا سیر جریان را کاهش دهد و سوخت کوره را کم کند. برعکس، اگر به هر دلیل دمای خروجی کوره از ۷۳۰°F کم‌تر شد،TC به شیر کنترل فرمان می‌دهد تا به مقدار مورد نیاز باز شود و سوخت بیش‌تری به کوره برساند. فرمان‌هایی که کنترل کننده‌ها به شیرهای کنترل می‌دهند از جنس «جریان هوا» یا «جریان الکتریسیته» است.

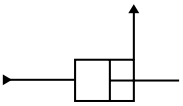



**شکل ۳ــ۱ــ علامت‌ها و نشانه‌هایی که در رسم PFD به‌کار می‌روند.**

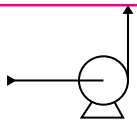
۱ــScale ۲ــIranian Petroleum Standards



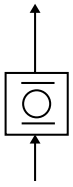
نشانه‌ی کوره



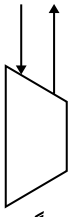
پمپ رفت و برگشتی



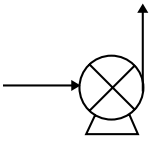
پمپ گریز از مرکز



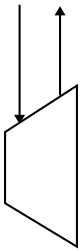
کمپرسور رفت و برگشتی



کمپرسور گریز از مرکز

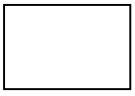


دَمَنده

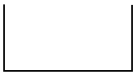


توربین

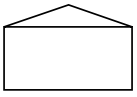
مخازن ذخیره‌ی مایعات در فشار اتمسفر



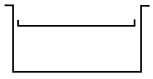
مخزن ذخیره‌ی دربسته



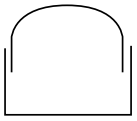
مخزن ذخیره‌ی درباز



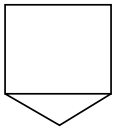
مخزن ذخیره با سقف مخروطی



مخزن ذخیره با سقف متحرک تخت

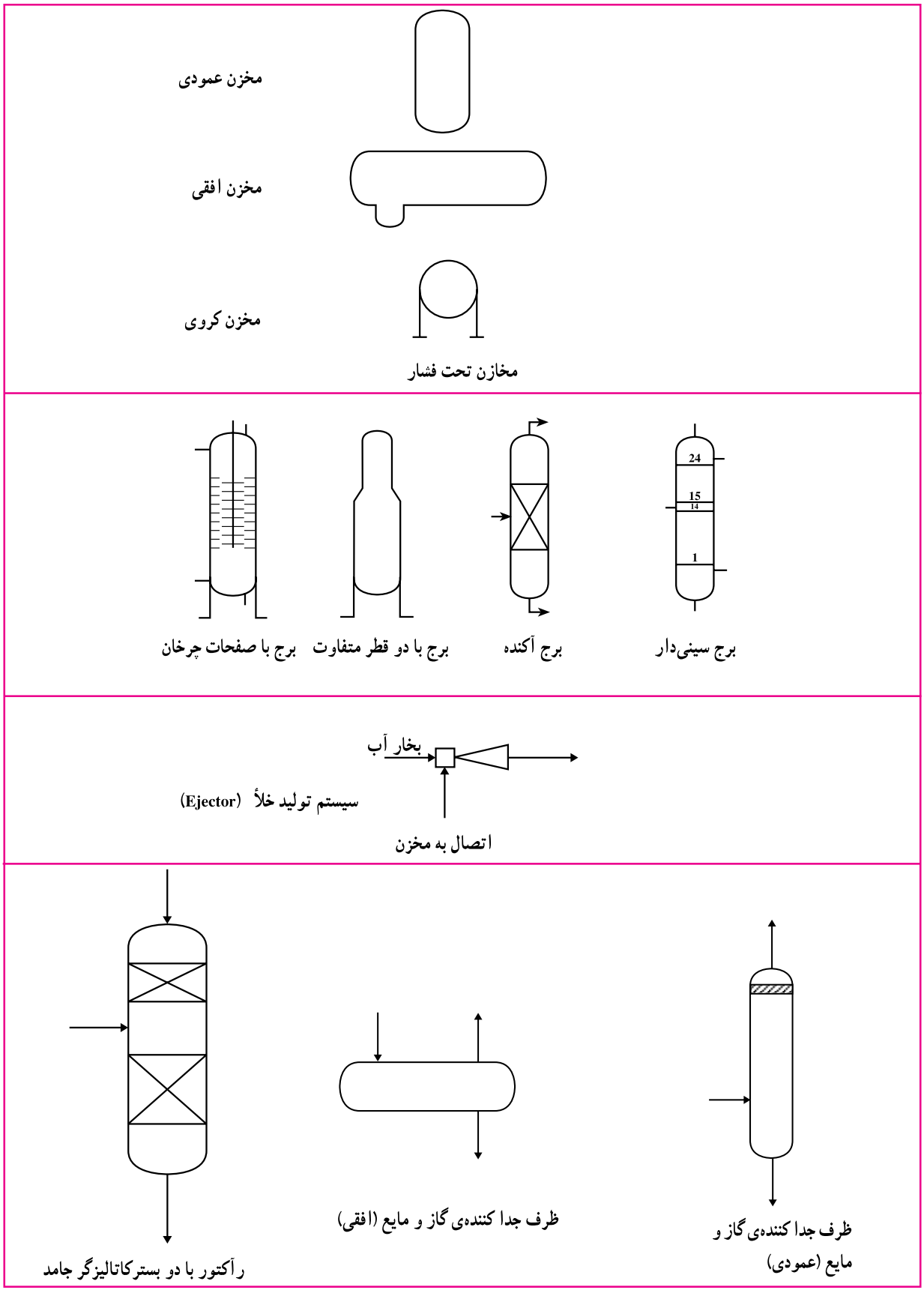


مخزن ذخیره با سقف متحرک گنبدی

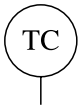
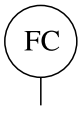
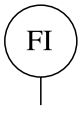
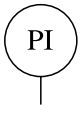
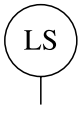


مخزن ذخیره با کف مخروطی

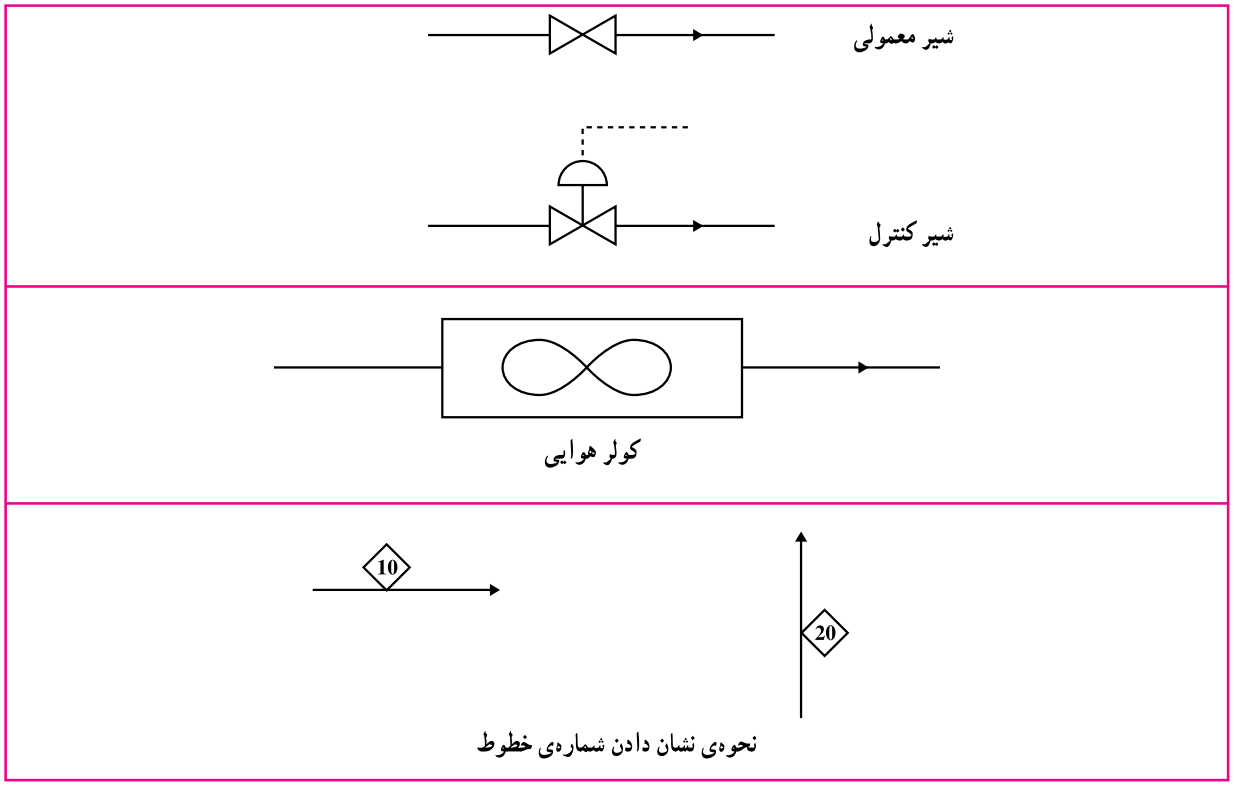
ادامه‌ی شکل ۳ــ۱ــ علامت‌ها و نشانه‌هایی که در رسم PFD به کار می‌روند.




ادامه‌ی شکل ۳ــ۱ــ علامت‌ها و نشانه‌هایی که در رسم PFD به کار می‌روند.

| | | |
|---|---|---|
|  | Temperature Controller | (کنترل کننده‌ی دما) |
| | Temperature Recorder and Controller | (کنترل کننده و ثبت کننده‌ی دما) |
| | Temperature Indicator and Controller | (کنترل کننده و نشان دهنده‌ی دما) |
|  | Flow Controller | (کنترل کننده‌ی جریان) |
|  | Flow Indicator | (نشان دهنده‌ی جریان) |
| | Flow Indicator and Controller | (کنترل کننده و نشان دهنده‌ی جریان) |
|  | Pressure Indicator | (نشان دهنده‌ی فشار) |
| | Pressure Indicator and Controller | (کنترل کننده و نشان دهنده‌ی فشار) |
| | Level Controller | (کنترل کننده‌ی سطح) |
| | Level Indicator and Controller | (کنترل کننده و نشان دهنده‌ی سطح) |
|  | Level Switch | (سطح مایع را در محدوده‌ی معینی نگه می‌دارد) |
| | Level Switch Low | (اجازه نمی‌دهد سطح مایع از حدّی کم‌تر شود) |
| | Level Switch High | (اجازه نمی‌دهد سطح مایع از حدّی بیش‌تر شود) |

ادامه‌ی شکل ۳ــ۱ــ علامت‌ها و نشانه‌هایی که در رسم PFD به کار می‌روند.

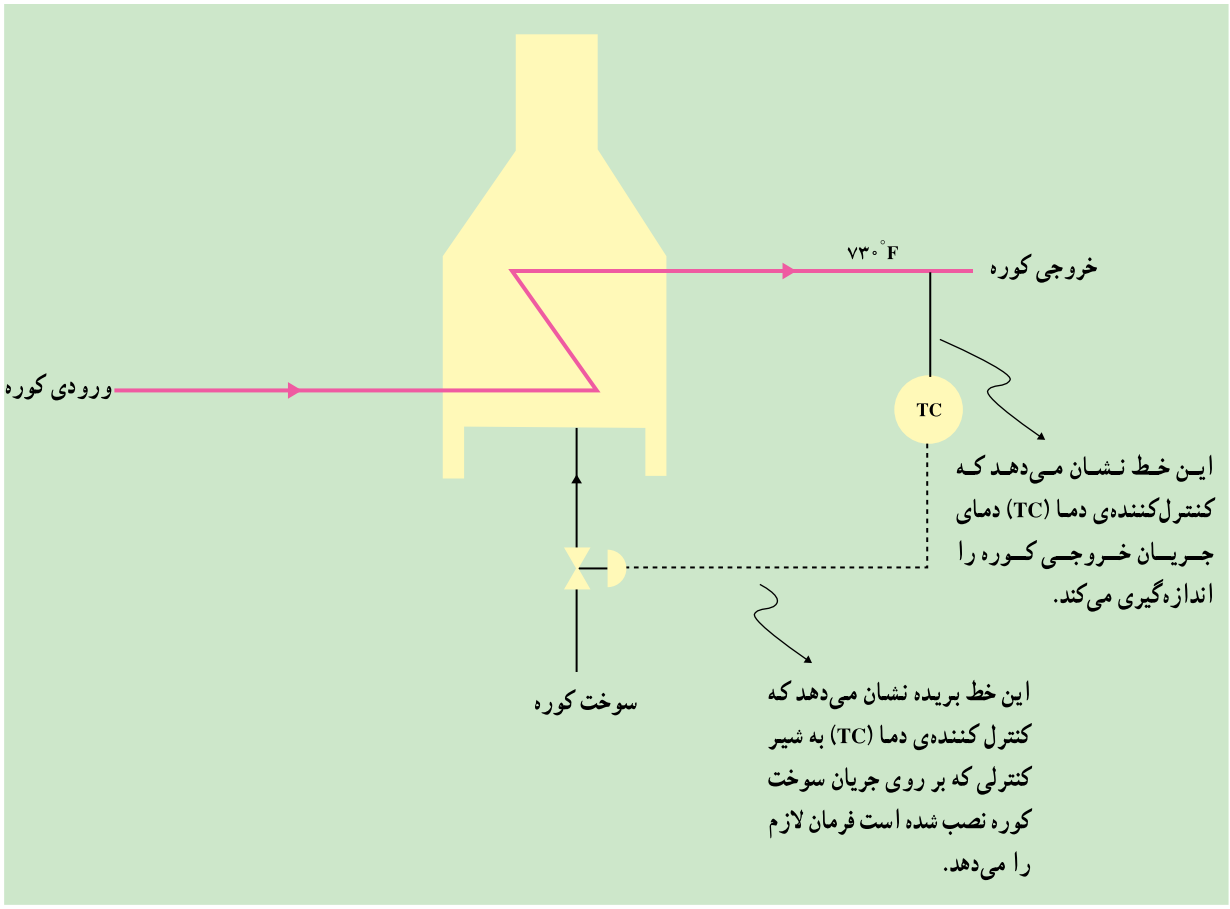



ادامه‌ی شکل ۳ــ۱ــ علامت‌ها و نشانه‌هایی که در رسم PFD به کار می‌روند.

| REV. | DATE | DESCRIPTION | PREP. | CHECK | APPD. |
|---|---|---|---|---|---|
| 5 | | | | | |
| 4 | | | | | |
| 3 | | | | | |
| 2 | 3/89 | NIOC COMMENTS INCORPORATED | | | |
| 1 | 12/88 | GENERAL REVISIONS AS PER PFD REVIEW MEETING. | | | |
| 0 | 9/88 | ISSUE | | | |

| | |
|---|---|
| NATIONAL IRANIAN OIL COMPANY<br>REFINERIES ENGINEERING AND CONSTRUCTION | N.I.O.C. DWG. No. |
| | SCALE<br>NONE |
| SNAMPROGETTI - CHIYODA JOINT VENTURE | JOB No. 175600 |
| BANDAR ABBAS REFINERY | REVISION<br>2 |
| TWO STAGES DISTILLATION UNIT (UNIT 01)<br>PROCESS FLOW DIAGRAM (CASE 4)<br>PREHEATING TRAIN SECTION | DWG. No.<br>01-GE-B-04341 |

جدول ۱ــ۱ــ جدول عنوان (Title Block) که در گوشه‌ی پایین سمت راست نقشه‌ها قرار می‌گیرد.




شکل ۴ــ۱ــ مدار بسته‌ی یک کنترل کننده‌ی دما (TC) که دمای خروجی کوره را کنترل می‌کند.

در یک مجتمع صنعتی بزرگ که از دستگاه‌های مختلف تشکیل شده است، هر دستگاه با یکی از اعداد سه رقمی ۱۰۰، ۲۰۰، ۳۰۰ و ... شماره‌گذاری می‌شود. برای مثال اگر دستگاهی با شماره‌ی ۱۰۰ نام‌گذاری شود، پمپ‌های (Pump) نصب شده در آن به ترتیب با P-101، P-102 و ... و مبدل‌های حرارتی (Heal Exchanger) با E-101، E-102 و ... و ظرف‌ها (Vessel) با V-101، V-102 و ... نام‌گذاری می‌شوند. این نام‌گذاری‌ها در کلیه‌ی نقشه‌ها، از جمله نقشه‌های PFD و P&ID، عیناً به کار می‌روند. جدول ۲ــ۱ بعضی از حروف اختصاری متداول را نشان می‌دهد. در جایی که انتخاب بین دو حرف مطرح می‌شود، برمبنای عملیات مهم‌تر حرف انتخاب می‌شود. برای مثال اگر یک تانک اختلاط به عنوان رآکتور مورد استفاده قرارگیرد برای آن حرف R را انتخاب می‌کنند و حرف M را به کار نمی‌برند.

در اینجا باید به این نکته اشاره کرد که به همراه نقشه‌های استاندارد PFD و بخصوص P&ID جدولی با عنوان «فهرست علایم و اختصارات» (Legend) تهیه می‌شود که در آن کلیه‌ی علامت‌ها و حروف اختصاری که در نقشه به‌کار رفته است (به مانند آنچه که در جدول ۲ــ۱ و شکل‌های ۳ــ۱ مشاهده کردید) توضیح داده شده است.

نکته‌ی آخر آن‌که PFD در اندازه‌های مختلف رسم می‌شود و اندازه‌ی آن و ابعاد کاغذی که به‌کار می‌رود به وسعت فرآیند بستگی دارد. معمولاً در رسم PFD از کاغذهای کوچک‌تر از A3 استفاده نمی‌شود. معمولاً P&ID در کاغذهای A0 و A1 رسم

**جدول ۲ــ۱ــ بعضی از حروف و نمادهای اختصاری مهم**
**برای دستگاه‌های فرآیندی**

| نام دستگاه به فارسی | نام دستگاه به انگلیسی | حروف |
|---|---|---|
| خشک‌کن | Dryer | D |
| دستگاه‌های انتقال حرارت نظیر مبدل‌های حرارتی و کندانسورها | Heat Transfer Equipment | E |
| کوره | Furnace, Heater | F,H |
| اژکتور (دستگاه تولید خلأ) | Ejector | J |
| کمپرسور، فن، دمنده | Compressor, Fan, Blower | C |
| ظروف اختلاط | Mixer | M |
| پمپ | Pump | P |
| رآکتور (واکنشگاه) | Reactor | R |
| برج | Tower | T |
| ستون | Column | C |
| ظرف | Vessel | V |
| مخزن ذخیره | Storage Tank | TK |
| **در لوله کشی** | | |
| **عبارت فارسی** | **عبارت انگلیسی** | **حروف** |
| شیری که به طور معمول در فرآیند بسته است | Normally Closed | NC |
| لوله‌ای که به‌طور معمول از آن جریان عبور نمی‌کند | Normally No Flow | NNF |
| شیر کنترل | Control Valve | CV |

می‌گردد. ابعاد کاغذهای مختلف برحسب میلی‌متر به شرح زیر است :

$A_4$ : ۲۱۰×۲۹۷

$A_3$ : ۲۹۷×۴۲۰

$A_2$ : ۴۲۰×۵۹۴

$A_1$ : ۵۹۴×۸۴۰

$A_0$ : ۸۴۰×۱۱۸۸

**مثال ۲ــ** نمودار جریان‌های فرآیند دستگاه یونیفاینر[1]

بیش‌تر پالایشگاه‌ها، به‌خصوص پالایشگاه‌های جدید، مجهز به دستگاه یونیفاینر می‌باشند. در این دستگاه کلیه‌ی واکنش‌ها به کمک هیدروژن انجام می‌شود و هدف از این کار حذف عناصر نامطلوب از محصولات نفتی مختلف، مانند نفتا[2]، نفت سفید، گازوییل و نظایر آن‌هاست. عناصر نامطلوب که به شکل ترکیب با هیدروکربن‌ها ظاهر می‌شوند عبارتند از گوگرد، نیتروژن، هالوژن‌ها و بعضی فلزات. این عناصر به دو دلیل باید حذف شوند.

---

۱ ــ Unifiner

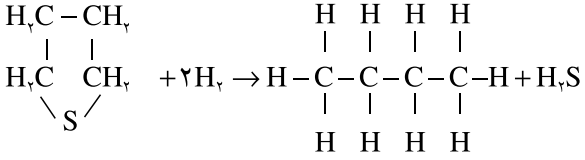
۲ــ نفتا ترکیبی است که می‌توان از آن بنزین تهیه نمود.

۱ــ وجود عناصر نامطلوب در محصولات نهایی پالایشگاه، خطرات زیست محیطی به دنبال دارد. برای مثال اگر در بنزین یا گازوییل عناصری مثل گوگرد و نیتروژن وجود داشته باشد، به هنگام سوختن، اکسیدهای سمی گوگرد ($SO_2$) و نیتروژن (NO) تولید می‌شود.

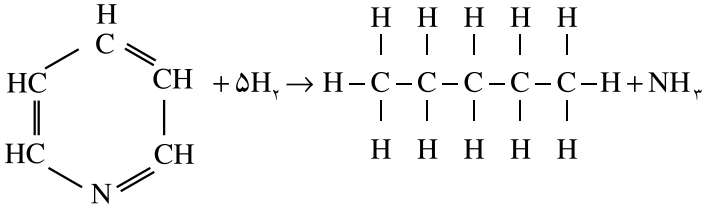
۲ــ فلزات که به شکل ترکیبات آلی ــ فلزی ظاهر می‌شوند، بر کاتالیزگرهای دیگر دستگاه‌ها تأثیر نامطلوب دارند و فعالیت آن‌ها را مختل می‌کنند که در اصطلاح گفته می‌شود ترکیبات آلی ــ فلزی اکثر کاتالیزگرها را مسموم می‌کنند. به منظور تبدیل نفتا به بنزین مرغوب در دستگاهی به نام پلاتفرمر[1]، باید ابتدا نفتا وارد دستگاه یونیفاینر شود تا ترکیبات آلی ــ فلزی آن حذف گردد، زیرا این ترکیبات باعث مسموم شدن کاتالیزگرهای واحد پلاتفرمر می‌شوند.

بعضی از واکنش‌هایی که در داخل رآکتور واحد یونیفاینر به کمک کاتالیزگر کبالت ــ مولیبدن در حضور هیدروژن انجام می‌شود عبارت‌اند از :

ــ گوگردزدایی



ــ نیتروژن‌زدایی



ــ اکسیژن زدایی

$$C_7H_{13}-O-O-H+3H_2 \rightarrow C_7H_{16}+H_2O$$

ــ هالوژن‌زدایی

$$C_8H_{17}Cl+H_2 \rightarrow C_8H_{18}+HCl$$

بعد از این مقدمه و آشنایی با واحد یونیفاینر بهتر می‌توان PFD آن را مورد بررسی قرار داد. شکل ۵ــ۱ نمودار جریان‌های فرآیند (PFD) این واحد را نشان می‌دهد. برای سادگی جزئیات «بخش جداسازی گازهای سبک» نشان داده نشده است.

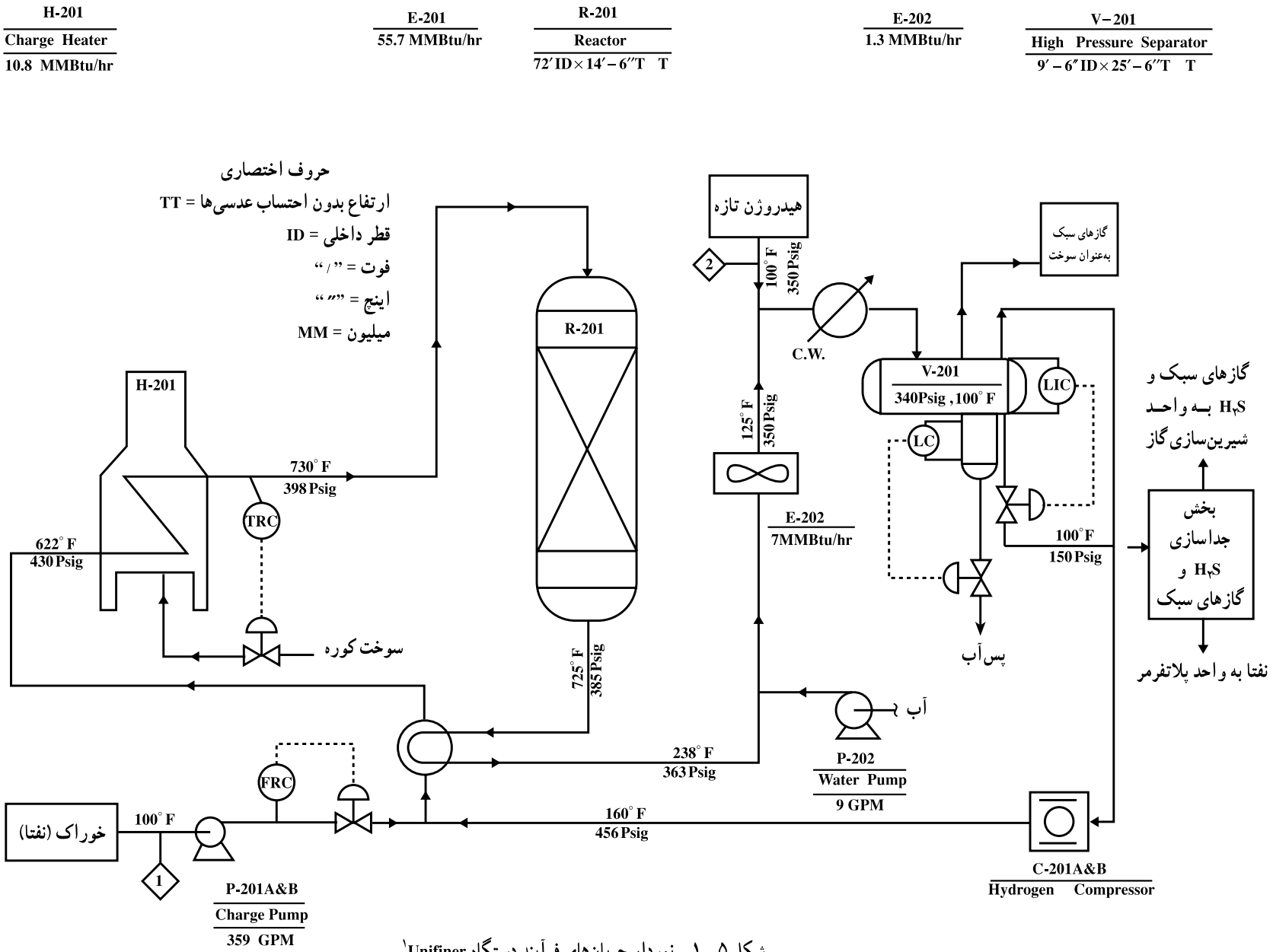
بررسی نقشه را از خط (لوله) شماره‌ی ۱ که در آن نفتا با دمای ۱۰۰°F توسط پمپ P - 201 [2] با دبی حجمی ۳۵۹ گالن در دقیقه (GPM) وارد دستگاه می‌شود، شروع می‌کنیم. دبی این جریان توسط یک FRC (Flow Recorder and Controller) کنترل می‌شود. گاز هیدروژن توسط کمپرسور C - 201 با دمای ۱۶۰°F و فشار Psig ۴۵۶ به نفتا اضافه می‌شود. مخلوط نفتا و هیدروژن با عبور از مبدل حرارتی E - 201 با محصول خارج شده از رآکتور تبادل حرارت نموده و تا دمای ۶۲۲°F گرم می‌شود. نفتا و هیدروژن با این دما و فشار Psig ۴۳۰ وارد کوره‌ی خوراک (H - 201) می‌شوند. دما و فشار خروجی از کوره به ترتیب ۷۳۰°F و Psig ۳۹۸ می‌باشد. دمای خروجی کوره توسط یک کنترل کننده و ثبت‌کننده‌ی دما (TRC) که به شیر کنترل نصب شده بر روی جریان سوخت فرمان می‌دهد، کنترل می‌شود.

مواد، بعد از کوره به داخل رآکتور R - 201 می‌روند تا در آن‌جا به کمک کاتالیزگر واکنش‌های لازم بر روی آن‌ها انجام شود. نفتایی که ترکیبات آلی نیتروژن‌دار، اکسیژن‌دار، گوگرددار و ترکیبات آلی‌ــ فلزی آن جدا شده است و گازهای تولید شده نظیر $H_2S$

---

۱ ــ Platformer

۲ــ از این پمپ دو دستگاه، به نام‌های A و B وجود دارد که یکی از آنها در سرویس است و دیگری رزرو می‌باشد.




شکل ۵ــ۱ــ نمودار جریان‌های فرآیند دستگاه Unifiner[1]

۱ــ چون این PFD در قطع کوچک (A۴) رسم شده است، جداول «عنوان» و «موازنهٔ جرم» به علت کمبود جا حذف گردیده‌اند.

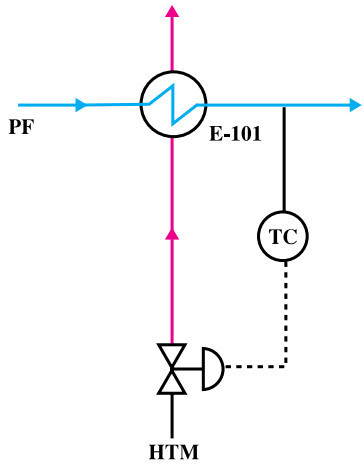
و $NH_3$ نیز همراه دارد با دمای ۷۲۵°F و فشار ۳۸۵ Psig از رآکتور خارج می‌شود و پس از تبادل حرارت با خوراک، در مبدل حرارتی E - 201 و سرد شدن تا دمای ۲۳۸°F ، به فشار ۳۶۳ Psig می‌رسد. سپس توسط پمپ P - 202 مقدار ۹ GPM آب با دمای ۱۰۰°F به آن اضافه می‌شود تا ترکیباتی نظیر کلریدآمونیم و دیگر نمک‌های معدنی را که به مقدار کم تولید شده‌اند در خود حل کرده و از رسوب آن‌ها در داخل لوله‌ها و دستگاه‌ها جلوگیری به‌عمل آید. محصول خروجی از رآکتور در ادامه‌ی مسیر خود در کولرهوایی E - 202 تا دمای ۱۲۵°F خنک می‌شود و سپس هیدروژن تازه[۱] با فشار ۳۵۰ Psig و دمای ۱۰۰°F به آن اضافه می شود. سپس باز هم این جریان توسط مبدل حرارتی E - 203 که با آب سرد[۲] (C.W.) کار می‌کند، خنک می‌شود و در نهایت با دمای ۱۰۰°F و فشار ۳۴۰ Psig وارد «جداکننده‌ی فشار بالا»[۳] (V- 201) می شود. در این ظرف، سه فاز گاز، نفتا و آب پدید می‌آید. آب که نمک‌ها را هم در خود حل کرده است از پایین‌ترین قسمت ظرف خارج شده به واحد تصفیه‌ی پساب ارسال می‌شود. سطح آب در V - 201 توسط یک کنترل‌کننده‌ی سطح (LC) ، که به شیر کنترل نصب شده بر روی لوله‌ی خروجی آب فرمان می‌دهد، تنظیم می شود.

گاز هیدروژن از بالاترین قسمت جداکننده خارج می‌شود و توسط کمپرسور C - 201 فشارش تا ۴۵۶ Psig افزایش یافته با دمای ۱۶۰°F به خوراک دستگاه (نفتا) اضافه می‌شود. در مواردی که به هر دلیل مقدار و فشار این گاز، که به آن هیدروژن برگشتی[۴] گویند، بیش از حد نیاز باشد، مقداری از آن به عنوان سوخت در داخل پالایشگاه مورد استفاده قرار می‌گیرد.

نفتا از قسمت میانی V - 201 خارج می‌شود و سطح آن توسط یک کنترل‌کننده و نشان‌دهنده‌ی سطح (LIC) کنترل می‌شود. این جریان با دمای ۱۰۰°F و فشار ۱۵۰ Psig وارد بخش جداسازی می‌شود و در آن‌جا تحت فشار اتمسفر، گازهای سبک و بخصوص گاز $H_2S$ از آن جدا می‌شوند. گاز $H_2S$ به‌منظور تولید گوگرد مورد استفاده قرار می‌گیرد و نفتای تصفیه شده به واحد پلاتفرمر می‌رود تا به بنزین مرغوب تبدیل شود.

**مثال ۳ــ** نمونه‌ای از نحوه‌ی کنترل دمای سیال در یک مبدل حرارتی

شکل ۶ــ۱ بخشی از یک PFD را نشان می‌دهد که در آن سیال فرآیندی[۵] (PF) در داخل لوله و سیال (محیط) حرارتی[۶] (HTM) در داخل پوسته جریان دارد. یک کنترل‌کننده ی دما (TC) با اندازه‌گیری دمای سیال فرآیندی در خروجی مبدل حرارتی، دستور لازم را به شیر کنترل می‌دهد تا با باز یا بسته‌شدن، جریان ورودی سیال حرارتی را کم یا زیاد نماید.




**شکل ۶ــ۱ــ کنترل دمای سیال خروجی از یک مبدل حرارتی**

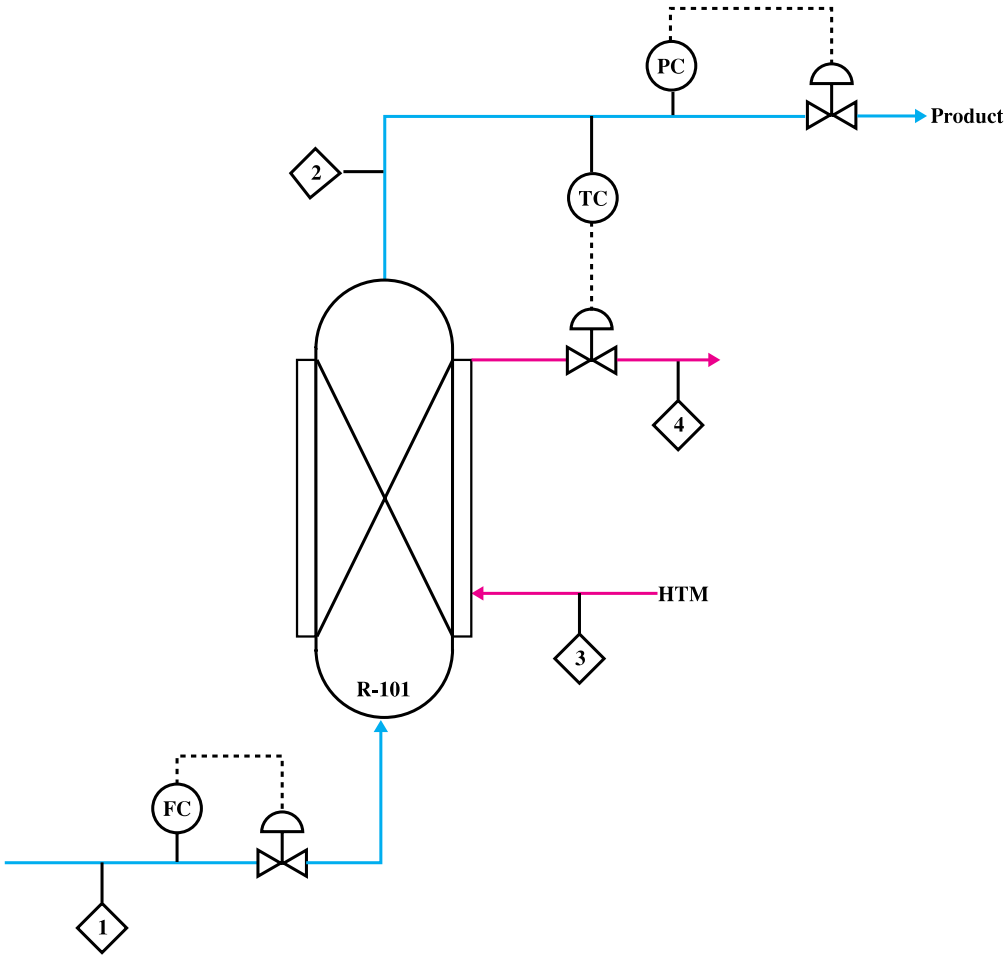
---

۱ ــ Make - Up Hydrogen
۲ ــ Cooling Water
۳ ــ High Pressure Separator
۴ ــ Recycle Hydrogen
۵ــ Process Fluid

۶ــ Heat Transfer Medium که می‌تواند بخار آب، آب سرد، روغن داغ و نظایر آن باشد.

**مثال ۴ــ** نمونه‌ای از PFD یک راکتور و سیستم‌های کنترل آن

شکل ۷ــ۱ راکتوری را نشان می‌دهد که مجهز به ژاکت حرارتی است. بسته به گرمازا یا گرماگیر بودن واکنش، سیال حرارتی (HTM) می‌تواند خنک‌کننده (مثل آب سرد) یا گرم‌کننده (مثل بخار آب) باشد. جهت کنترل دمای راکتور، کنترل‌کننده‌ی دما (TC) دمای محصول خروجی از راکتور (خط ۲) را اندازه‌گیری کرده و اگر با مقدار تعیین‌شده (Set Point) تفاوت داشت دستور لازم را به شیر کنترل نصب شده بر روی خروجی سیال حرارتی (خط ۴) می‌دهد. دبی جریان خوراک ورودی به راکتور (خط ۱) توسط یک کنترل‌کننده‌ی جریان (FC) کنترل می‌شود. دبی جریان محصول و فشار داخل راکتور همزمان توسط یک کنترل‌کننده‌ی فشار (PC) تنظیم می‌شود. بدین ترتیب که اگر فشار داخل راکتور از حد تعیین شده (Set Point) بیشتر شود، PC به شیر کنترل نصب شده بر روی خط محصول (خط ۲) دستور می‌دهد تا بیشتر باز شده و با خروج مقدار بیشتری از محصولات، فشار داخل راکتور کاهش یابد. همچنین اگر فشار داخل راکتور از حد تعیین‌شده، کمتر شود، PC به شیر کنترل دستور می‌دهد تا مقداری بسته شده و از خروج محصولات تا حدی جلوگیری نماید تا فشار راکتور به مقدار تعیین شده افزایش یابد.




شکل ۷ــ۱ــ PFD یک راکتور با ژاکت حرارتی

## ۴ــ۱ــ نمودار لوله‌کشی و ابزار دقیق (P&ID)

این نوع نقشه براساس PFD رسم می‌شود ؛ به‌عبارت دیگر، P&ID به نوعی تکمیل شده‌ی PFD می‌باشد. در این نقشه کلیه‌ی تجهیزات، حتی تجهیزات فرعی، نشان داده می‌شوند. در P&ID هر لوله با یک کُد شماره‌گذاری شده و اطلاعات دقیق و کامل نیز در مورد لوله‌کشی و ابزار دقیق ارائه می‌گردد. مهم‌ترین موضوعاتی که در این نمودارها نمایش داده می‌شوند عبارتند از :

ــ قطر و جنس هر لوله و این‌که آیا عایق حرارتی دارد یا خیر.
ــ نوع، مقدار و ترکیب سیال داخل لوله‌ها و دماو فشاری که هر لوله تحمل می‌کند.
ــ مشخصات دقیق شیرهای معمولی، شیرهای کنترل و شیرهای اطمینان ؛ شامل نوع، اندازه و شرایط عملیاتی هریک.
ــ کلیه‌ی اطلاعات مربوط به حلقه‌های کنترل با ذکر جزئیات آن‌ها.
ــ کلیه‌ی اطلاعات مربوط به وسایل اندازه‌گیری و ابزار دقیق شامل دماسنج‌ها، فشارسنج‌ها و سطح‌سنج‌ها.
ــ مشخصات دقیق و جزئیات مخازن و ظروف شامل اندازه و محل کلیه‌ی ورودی‌ها و خروجی‌های آن‌ها.

## ۵ــ۱ــ نقشه‌ی جانمایی دستگاه‌ها (Plant Layout)

این نوع نقشه ضمن نشان دادن ابعاد دستگاه‌ها، محل استقرار آنها و فاصله‌ی میان هر یک را نشان می‌دهد. اگر یک واحد صنعتی در چند طبقه طراحی شده باشد، نقشه‌ی جانمایی دستگاه‌ها برای هر طبقه باید جداگانه رسم شود.

**تذکر:** در درس کارگاه فرآیندهای شیمیایی با نقشه‌های P&ID آشنا خواهید شد.

**تمرین**

۱ــ چهار نوع نقشه‌ی فرآیندی را نام ببرید و هرکدام را در دوتا سه جمله شرح دهید.

۲ــ در طراحی یک کارخانه‌ی صنعتی، ترتیب تکمیل نقشه‌های مختلف معمولاً چگونه است؟

۳ــ کدام یک از موارد زیر در نمودار جریان‌های فرآیند (PFD) نمایش داده نمی‌شود؟

الف) جریان‌های اصلی فرآیند ؛

ب) تمامی جریان‌های فرعی فرآیند ؛

پ) شکل کلی مدارهای کنترل به‌گونه‌ای که بتوان نحوه‌ی کنترل دما، فشار، دبی و غلتک‌ها را بدون ذکر جزئیات نشان داد ؛

ت) ارتفاع تجهیزات تا سطح زمین.

۴ــ به گازی که حاوی $H_2S$ باشد گاز ترش می‌گویند. در یک دستگاه شیرین‌سازی، $H_2S$ همراه گاز متان توسط محلول دی‌اتانول‌آمین (DEA) جذب می‌شود.

**شرح فرآیند**[1] بخشی از این دستگاه به شرح زیر است :

گاز ترش که دبی آن توسط یک FIC کنترل می‌شود درست در زیر پایین‌ترین سینی، وارد برج جذب (Absorber)

۱ ــ Process Description

می‌شود. این برج که با شماره‌ی T - 101 نام‌گذاری شده است ۳۰ عدد سینی دارد که محلول دی‌اتانول آمین (DEA) بر روی بالاترین سینی آن می‌ریزد. در داخل برج و بر روی سینی‌ها گاز و مایع با یکدیگر تماس پیدا کرده، در نتیجه، محلول دی‌اتانول آمین، $H_2S$ را در خود حل می‌کند ؛ به عبارت بهتر گاز $H_2S$ جذب محلول دی‌اتانول‌آمین می‌شود. گاز شیرین (گاز متان که $H_2S$ خود را از دست داده است) از بالاترین نقطه‌ی برج به عنوان محصول خارج می‌شود. برعکس، محلول دی‌اتانول‌آمین که $H_2S$ جذب شده را نیز همراه خود دارد از پایین‌ترین نقطه‌ی برج خارج می‌شود. سطح مایع در پایین برج توسط یک LIC کنترل می‌شود. این کنترل‌کننده و نشان‌دهنده‌ی سطح به شیر کنترلی که بر روی جریان خروجی دی‌اتانول‌آمین نصب شده است، فرمان می‌دهد. دی‌اتانول‌آمین به قسمت بازیابی می‌رود تا $H_2S$ آن جدا شده و مجدداً به برج جذب برگشت داده شود. در قسمت بازیابی دی‌اتانول آمین ...

حال نمودارهای جریان فرآیند (PFD) آن بخش از دستگاه شیرین‌سازی گاز را که شرح فرآیند آن را مطالعه کردید، رسم کنید.

۵ــ کلیه‌ی اطلاعات مربوط به شکل زیر را بیان کنید.