

بِسْمِ اللّٰهِ الرَّحْمٰنِ الرَّحِیْمِ

# کنترل فرایندهای شیمیایی

رشته صنایع شیمیایی

گروه مواد و فراوری

شاخه فنی و حرفه‌ای

پایه یازدهم دوره دوم متوسطه





اگر یک ملتی نخواهد آسیب ببیند، باید این ملت اولاً با هم متحد باشد و ثانياً در هر کاری که اشتغال دارد، آن را خوب انجام بدهد. امروز کشور محتاج به کار است. باید کار کنیم تا خودکفا باشیم، بلکه ان شاء الله صادرات هم داشته باشیم. شما برادرها الآن عبادت تان این است که کار بکنید. این عبادت است.  
امام خمینی (قَدَسَ سِرُّهُ الشَّرِيف)

**پودمان ۱: نقشه خوانی و نقشه کشی در صنایع شیمیایی ..... ۱**

۱	مقدمه
۲	نمودار جعبه‌ای جریان‌ها (BFD)
۴	نمودار جریان فرایند (PFD)
۱۲	شکل‌ها و نمادها در نمودار جریان فرایند
۱۶	نمودار لوله‌کشی و ابزار دقیق P&ID
۳۲	نقشه‌جانمایی تجهیزات
۳۵	معرفی نرم‌افزار ویزو و آموزش آن
۳۵	ارزشیابی شایستگی نقشه خوانی و نقشه کشی در صنایع شیمیایی
۳۶	

**پودمان ۲: اندازه‌گیری، ثبت و کنترل دما ..... ۳۷**

۳۷	مقدمه
۳۸	مفهوم دما
۳۹	یکها و بعد دما
۴۱	دماسنج
۴۷	انواع دماسنج
۵۰	اندازه‌گیری تماسی دما
۵۰	دماسنج‌های غیرتماسی
۶۹	تنظیم دقیق وسایل اندازه‌گیری (کالیبراسیون)
۷۲	کنترل فرایند
۷۵	کنترل دما
۷۹	ارزشیابی شایستگی اندازه‌گیری ثبت و کنترل دما
۸۴	

**پودمان ۳: اندازه‌گیری، ثبت و کنترل فشار ..... ۸۵**

۸۵	مقدمه
۸۶	فشار
۸۷	فشار گازها
۹۰	فشار مایعات
۹۲	فشار جو
۹۳	فشار مطلق و فشار نسبی
۹۵	روش‌های اندازه‌گیری فشار
۹۷	تجهیزات اندازه‌گیری مستقیم فشار
۹۸	تجهیزات اندازه‌گیری غیرمستقیم فشار
۱۰۴	اندازه‌گیری الکتریکی فشار
۱۰۷	تنظیم فشارسنج‌ها
۱۰۸	تنظیم‌کننده‌های فشار
۱۰۸	

۱۱۳	اتاق فرمان
۱۱۶	ارزشیابی شایستگی اندازه گیری، ثبت و کنترل فشار

### ۱۱۷: پودمان ۴: اندازه گیری، ثبت و کنترل دبی

۱۱۸	مقدمه
۱۱۹	اندازه گیری مقدار سیالات
۱۱۹	شدت جریان (دبی)
۱۲۱	انواع دبی
۱۲۲	یکاهای دبی
۱۲۳	تبدیل یکاهای دبی
۱۲۷	روش های اندازه گیری دبی مایعات
۱۲۹	روش اثرات مقاومت سیال یا روش سطح متغیر (روتامتر)
۱۳۲	وسایل جریان سنج سیالات بر پایه نصب موانع
۱۳۳	اریفیس متر
۱۳۶	ونتوری متر
۱۳۹	جریان سنج گاز
۱۴۳	کنترل دبی جریان
۱۴۴	شیر کنترل خودکار
۱۴۴	متغیرهای مهم در انتخاب نوع و اندازه شیرهای کنترل
۱۴۶	ارزشیابی شایستگی اندازه گیری، ثبت و کنترل دبی سیال

### ۱۴۷: پودمان ۵: اندازه گیری، ثبت و کنترل ارتفاع سطح مواد

۱۴۸	مقدمه
۱۴۹	اندازه گیری ارتفاع سطح مواد
۱۵۰	سطح سنج
۱۵۳	عوامل تأثیر گذار در انتخاب نوع سطح سنج
۱۵۴	یکاهای ارتفاع سطح مواد و تبدیل آنها به یکدیگر
۱۵۷	دستگاه های اندازه گیری ارتفاع سطح مواد
۱۵۸	نمایشگرهای فیزیکی سطح
۱۶۰	انواع سطح سنج با عملکرد پیوسته
۱۶۳	انواع سطح سنج نقطه ای
۱۶۷	کنترل سطح
۱۶۹	ارزشیابی شایستگی اندازه گیری، ثبت و کنترل ارتفاع سطح مواد

### ۱۷۰: منابع

شرایط در حال تغییر دنیای کار در مشاغل گوناگون، توسعه فناوری‌ها و تحقق توسعه پایدار، ما را بر آن داشت تا برنامه‌های درسی و محتوای کتاب‌های درسی را در ادامه تغییرات پایه‌های قبلی براساس نیاز کشور و مطابق با رویکرد سند تحول بنیادین آموزش و پرورش و برنامه درسی ملی جمهوری اسلامی ایران در نظام جدید آموزشی بازطراحی و تألیف کنیم. مهم‌ترین تغییر در کتاب‌ها، آموزش و ارزشیابی مبتنی بر شایستگی است. شایستگی، توانایی انجام کار واقعی به‌طور استاندارد و درست تعریف شده است. توانایی شامل دانش، مهارت و نگرش می‌شود. در رشته تحصیلی حرفه‌ای شما، چهار دسته شایستگی در نظر گرفته است:

- ۱- شایستگی‌های فنی برای جذب در بازار کار مانند توانایی اندازه‌گیری و کنترل دما و فشار و...
  - ۲- شایستگی‌های غیر فنی برای پیشرفت و موفقیت در آینده مانند نوآوری و مصرف بهینه
  - ۳- شایستگی‌های فناوری اطلاعات و ارتباطات مانند کار با نرم افزارها
  - ۴- شایستگی‌های مربوط به یادگیری همیشگی مانند کسب اطلاعات از منابع دیگر
- بر این اساس دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای و کار دانش مبتنی بر اسناد بالادستی و با مشارکت متخصصان برنامه‌ریزی درسی فنی و حرفه‌ای و خبرگان دنیای کار، مجموعه اسناد برنامه درسی رشته‌های شاخه فنی و حرفه‌ای را تدوین نموده‌اند که مرجع اصلی و راهنمای تألیف کتاب‌های درسی هر رشته است.

این درس، سومین درس شایستگی‌های فنی و کارگاهی است که ویژه رشته صنایع شیمیایی در پایه ۱۱ تألیف شده است. کسب شایستگی‌های این کتاب برای موفقیت آینده شغلی و حرفه‌ای شما بسیار ضروری است. هنرجویان عزیز سعی نمایید؛ تمام شایستگی‌های آموزش داده شده در این کتاب را کسب و در فرآیند ارزشیابی به اثبات رسانید.

کتاب درسی کنترل فرایندهای شیمیایی شامل پنج پودمان است و هر پودمان دارای یک یا چند واحد یادگیری است و هر واحد یادگیری از چند مرحله کاری تشکیل شده است. شما هنرجویان عزیز پس از یادگیری هر پودمان می‌توانید شایستگی‌های مربوط به آن را کسب نمایید. هنرآموز محترم شما برای هر پودمان یک نمره در سامانه ثبت نمرات منظور می‌نماید و نمره قبولی در هر پودمان حداقل ۱۲ می‌باشد. در صورت احراز نشدن شایستگی پس از ارزشیابی اول، فرصت جبران و ارزشیابی مجدد

تا آخر سال تحصیلی وجود دارد. کارنامه شما در این درس شامل ۵ پودمان و از دو بخش نمره مستمر و نمره شایستگی برای هر پودمان خواهد بود و اگر در یکی از پودمان‌ها نمره قبولی را کسب نکردید، تنها در همان پودمان لازم است مورد ارزشیابی قرار گیرید و پودمان‌های قبول شده در مرحله اول ارزشیابی مورد تأیید و لازم به ارزشیابی مجدد نمی‌باشد. همچنین این درس دارای ضریب ۸ بوده و در معدل کل شما بسیار تأثیرگذار است.

همچنین علاوه بر کتاب درسی شما امکان استفاده از سایر اجزای بسته آموزشی که برای شما طراحی و تألیف شده است، وجود دارد. یکی از این اجزای بسته آموزشی، کتاب همراه هنر جو می‌باشد که برای انجام فعالیت‌های موجود در کتاب درسی باید استفاده نمایید. کتاب همراه خود را می‌توانید هنگام آزمون و فرایند ارزشیابی نیز همراه داشته باشید. اجزای بسته آموزشی دیگری نیز برای شما در نظر گرفته شده است که با مراجعه به وبگاه رشته خود به نشانی [www.tvoccd.medu.ir](http://www.tvoccd.medu.ir) می‌توانید از عناوین آن مطلع شوید.

فعالیت‌های یادگیری در ارتباط با شایستگی‌های غیر فنی از جمله مدیریت منابع، اخلاق حرفه‌ای، حفاظت از محیط زیست و شایستگی‌های یادگیری همیشگی و فناوری اطلاعات و ارتباطات همراه با شایستگی‌های فنی طراحی و در کتاب درسی و بسته آموزشی ارائه شده است. شما هنرجویان عزیز کوشش نمایید این شایستگی‌ها را در کنار شایستگی‌های فنی آموزش ببینید، تجربه کنید و آنها را در انجام فعالیت‌های یادگیری به کار گیرید.

رعایت نکات ایمنی، بهداشتی و حفاظتی از اصول انجام کار است، لذا توصیه‌های هنر آموز خود را در خصوص رعایت مواردی که در کتاب آمده است، در انجام کارها جدی بگیرید.

امیدواریم با تلاش و کوشش شما هنرجویان عزیز و هدایت هنرآموزان گرامی، گام‌های مؤثری در جهت سربلندی و استقلال کشور و پیشرفت اجتماعی و اقتصادی و تربیت مؤثر و شایسته جوانان برومند میهن اسلامی برداشته شود.

**دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای و کار دانش**

در راستای تحقق اهداف سند تحول بنیادین آموزش و پرورش و برنامه درسی ملی جمهوری اسلامی ایران و نیازهای متغیر دنیای کار و مشاغل، برنامه درسی رشته صنایع شیمیایی طراحی و بر اساس آن محتوای آموزشی نیز تألیف گردید. کتاب حاضر از مجموعه کتاب‌های کارگاهی می‌باشد که برای پایه یازدهم تدوین و تألیف گردیده است. این کتاب دارای ۵ پودمان است که هر پودمان از یک یا چند واحد یادگیری تشکیل شده است. همچنین ارزشیابی مبتنی بر شایستگی از ویژگی‌های این کتاب می‌باشد که در پایان هر پودمان شیوه ارزشیابی آورده شده است. هنرآموزان گرامی می‌بایست برای هر پودمان یک نمره در سامانه ثبت نمرات برای هر هنرجو ثبت کنند. نمره قبولی در هر پودمان حداقل ۱۲ می‌باشد و نمره هر پودمان از دو بخش تشکیل می‌گردد که شامل ارزشیابی پایانی در هر پودمان و ارزشیابی مستمر برای هر یک از پودمان‌ها است. از ویژگی‌های دیگر این کتاب طراحی فعالیت‌های یادگیری ساخت یافته در ارتباط با شایستگی‌های فنی و غیرفنی از جمله مدیریت منابع، اخلاق حرفه‌ای و مباحث زیست محیطی است. این کتاب جزئی از بسته آموزشی تدارک دیده شده برای هنرجویان است که لازم است از سایر اجزای بسته آموزشی مانند کتاب همراه هنرجو، نرم افزار و فیلم آموزشی در فرایند یادگیری استفاده شود. کتاب همراه هنرجو در هنگام یادگیری، ارزشیابی و انجام کار واقعی مورد استفاده قرار می‌گیرد. شما می‌توانید برای آشنایی بیشتر با اجزای بسته یادگیری، روش‌های تدریس کتاب، شیوه ارزشیابی مبتنی بر شایستگی، مشکلات رایج در یادگیری محتوای کتاب، بودجه‌بندی زمانی، نکات آموزشی شایستگی‌های غیرفنی، آموزش ایمنی و بهداشت و دریافت راهنما و پاسخ فعالیت‌های یادگیری و تمرین‌ها به کتاب راهنمای هنرآموز این درس مراجعه کنید. لازم به یادآوری است، کارنامه صادر شده در سال تحصیلی قبل بر اساس نمره ۵ پودمان بوده است و در هنگام آموزش و سنجش و ارزشیابی پودمان‌ها و شایستگی‌ها، می‌بایست به استاندارد ارزشیابی پیشرفت تحصیلی منتشر شده توسط سازمان پژوهش و برنامه ریزی آموزشی مراجعه گردد. رعایت ایمنی و بهداشت، شایستگی‌های غیر فنی و مراحل کلیدی بر اساس استاندارد از ملزومات کسب شایستگی می‌باشند. همچنین برای هنرجویان تبیین شود که این درس با ضریب ۸ در معدل کل محاسبه می‌شود و دارای تأثیر زیادی است. کتاب شامل پودمان‌های ذیل است:

پودمان اول: با عنوان نقشه خوانی و نقشه‌کشی در صنایع شیمیایی که ابتدا تشخیص نقشه‌های فرایندی و سپس نمودارهای فرایند (BFD و PFD) اشاره شده است و در ادامه به کمک نرم افزار، نقشه‌های فرایندی رسم می‌شود.

پودمان دوم: عنوان اندازه‌گیری، ثبت و کنترل دما دارد، که در آن مباحث به کارگیری مفاهیم و محاسبات در اندازه‌گیری دما، دستگاه‌های اندازه‌گیری دما، کالیبراسیون دماسنج و کنترل دما پرداخته می‌شود.

پودمان سوم: دارای عنوان اندازه‌گیری، ثبت و کنترل فشار است. در این پودمان ابتدا مفاهیم و محاسبات در اندازه‌گیری فشار، دستگاه‌های اندازه‌گیری فشار و کنترل فشار شرح داده شده است.

پودمان چهارم: اندازه‌گیری، ثبت و کنترل شدت جریان نام دارد. ابتدا مفاهیم و محاسبات در اندازه‌گیری شدت جریان، دستگاه‌های اندازه‌گیری شدت جریان و کنترل آن آموزش داده شده است.

پودمان پنجم: با عنوان اندازه‌گیری، ثبت و کنترل ارتفاع سطح مواد می‌باشد که در آن هنرجویان ابتدا مفاهیم و محاسبات در اندازه‌گیری ارتفاع سطح، دستگاه‌های اندازه‌گیری آن و کنترل ارتفاع سطح آورده شده است.

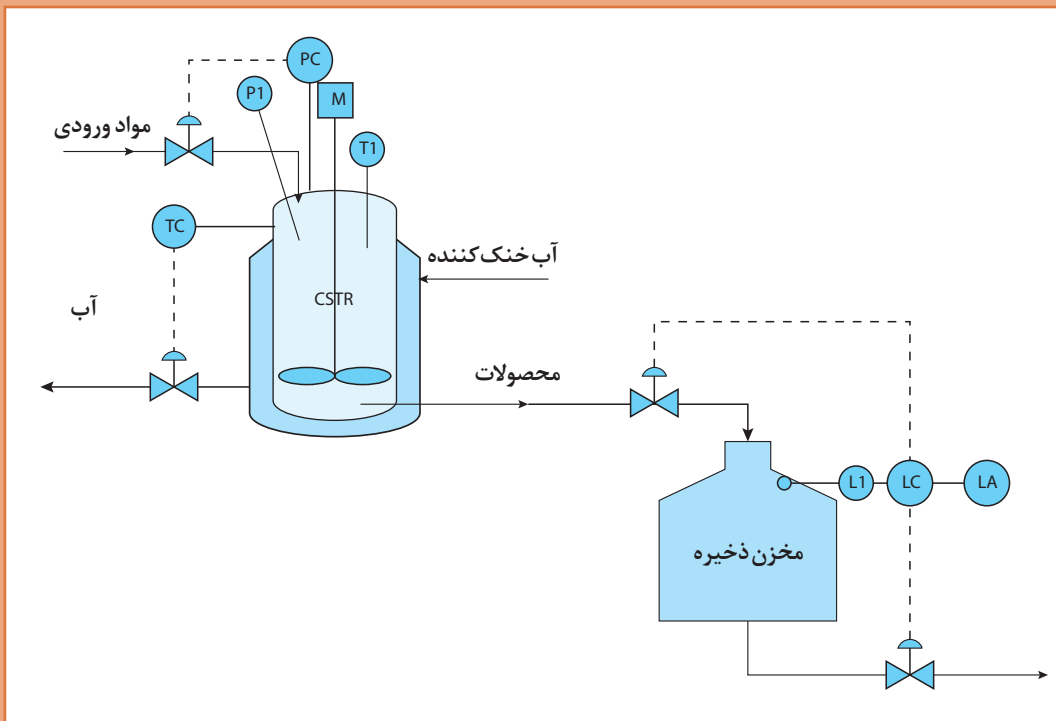
امید است که با تلاش و کوشش شما همکاران گرامی اهداف پیش بینی شده برای این درس محقق گردد.

دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای و کار دانش



# پودمان ۱

## نقشه خوانی و نقشه کشی در صنایع شیمیایی



در صنایع مختلف شیمیایی، کاربرد انواع نقشه‌های فرایندی در فهم، تجزیه و تحلیل سریع فرایندها بسیار راه گشا است.

# واحد یادگیری ۱

## نقشه خوانی و نقشه کشی در صنایع شیمیایی

### مقدمه

بهره‌برداری از فرایندهای شیمیایی و پتروشیمیایی فرایندی حساس و دقیق می‌باشد که ممکن است یک اشتباه کوچک به ضررهای مالی و جانی جبران‌ناپذیری منجر گردد. بنابراین لازم است کارکنان بهره‌بردار علاوه بر آشنایی کامل با فرایند تحت کنترل، از چگونگی عملکرد دستگاه‌ها، اطلاعات کاملی داشته باشند. مطالعه نقشه‌ها یا اصطلاحاً نمودارهای فرایندی یکی از روش‌هایی است که می‌تواند کارکنان بهره‌بردار را از فرایند مورد نظر مطلع سازد، بدین منظور در این پودمان بخش‌های زیر مورد مطالعه قرار می‌گیرد.

- نمودار جعبه‌ای جریان به همراه چند مثال و تمرین از فرایندهای شیمیایی
- نمودار جریان فرایند به همراه چند مثال و تمرین از فرایندهای شیمیایی
- نمودار لوله‌کشی و ابزار دقیق به همراه چند مثال از سامانه‌های کنترل در فرایند

### استاندارد عملکرد

کار با نقشه‌های فرایندی (خواندن و ارجاع آن به تجهیزات)

### شایستگی‌های غیر فنی

- ۱ **اخلاق حرفه‌ای:** حضور منظم و وقت‌شناسی، انجام وظایف و کارهای محوله (مسئولیت‌پذیری)، پیروی از قوانین و مقررات، امانت‌داری و ...
- ۲ **مدیریت منابع:** مدیریت مؤثر زمان، استفاده مطلوب از مواد و تجهیزات و پرهیز از اسراف.
- ۳ **کار گروهی:** توجه به نظرات مربی و هنرآموز، مشارکت در انجام کارها و پیشبرد امور محوله، نظم‌پذیری و ...
- ۴ **مستندسازی:** تهیه گزارش دقیق و صحیح از فعالیت‌های کارگاهی
- ۵ **محاسبه و کار بست ریاضی:** رعایت کردن دقیق اندازه‌ها، فاصله‌ها، ارقام و دیگر استانداردهای علمی و فنی در هنگام انجام وظیفه.

### پس از اتمام این واحد یادگیری هنرجویان قادر خواهند بود

- ۱ نمودار جعبه‌ای جریان (BFD) را به کار برند.
- ۲ نمودار جریان فرایند (PFD) را به کار برند.
- ۳ به کارگیری نمودار لوله‌کشی و ابزار دقیق (P&ID) و با نقشه جانمایی تجهیزات آشنا شوند.
- ۴ به کمک نرم‌افزار نقشه‌های فرایندی را رسم کنند.

## آشنایی با مراحل طراحی فرایند

روش و نوع عملکردی که بتوان توسط آن ماده‌ای را از حالتی به حالت دیگر تغییر داد، فرایند<sup>۱</sup> می‌نامند و طریقی که این تغییر و تحول را طراحی می‌کند، اصطلاحاً طراحی فرایند<sup>۲</sup> می‌گویند. طراحی فرایندهای شیمیایی بخشی از علم مهندسی شیمی است که به طراحی، توسعه و به‌روز رسانی واکنش‌های شیمیایی، فرایندهای شیمیایی، فیزیکی و همچنین تبدیل مواد شیمیایی در واحدهای صنعتی می‌پردازد. معمولاً طراحی یک فرایند شیمیایی شامل سه مرحله<sup>۳</sup> زیر می‌باشد:

■ طراحی مفهومی<sup>۴</sup>؛

■ طراحی پایه<sup>۵</sup>؛

■ طراحی جزئی<sup>۶</sup>.

در هر یک از مراحل طراحی مذکور، ایده‌ها و افکار مهندسین طراح، در نقشه‌ها یا نمودارهای گوناگونی پیاده می‌گردند که در آن نمودارها و اطلاعات مربوط به فرایند مورد نظر، ارائه شده است. معمولاً در قدم اول ساخت یک کارخانه، امکان‌سنجی آن شامل محاسبه سود و زیان پروژه باید انجام شود. اگر پس از این مرحله اثبات شد که ساخت کارخانه مورد نظر، اقتصادی و سودآور است، در مرحله بعد، تجهیزات مورد نیاز فرایند انتخاب و طراحی آنها انجام می‌شود. پس از انجام مراحل طراحی، خرید و یا ساخت تمامی تجهیزات مورد نیاز انجام شده و در پایان، تجهیزات نصب شده و کارخانه راه‌اندازی می‌گردد.

بهره‌برداری از فرایندهای شیمیایی و پتروشیمیایی، فرایندی حساس و دقیق بوده و ممکن است یک اشتباه کوچک به ضررهای مالی و جانی جبران‌ناپذیری منجر گردد. بنابراین لازم است فن‌ورزها و مهندسین شیمی شاغل در آن فرایند، علاوه بر آشنایی کامل با فرایند تحت کنترل، از چگونگی عملکرد دستگاه‌ها اطلاعات کاملی داشته باشند. مطالعه نمودارهای فرایندی، یکی از روش‌هایی است که می‌تواند مهندسین را از فرایند واحدها مطلع سازد. انواع نمودارهای فرایندی یک کارخانه صنایع شیمیایی عبارت‌اند از:

- نمودار جعبه‌ای جریان<sup>۷</sup> (BFD)؛

- نمودار جریان فرایند<sup>۸</sup> (PFD)؛

- نمودار لوله‌کشی و ابزار دقیق<sup>۹</sup> (P & ID)؛

- نقشه جانمایی تجهیزات<sup>۱۰</sup>.

البته باید توجه داشت که در طراحی و ساخت یک کارخانه شیمیایی، علاوه بر نمودارهای فرایندی مذکور که رسم آنها با مهندسین شیمی است، انواع نقشه‌های مکانیک، برق، ابزار دقیق و ساختمان نیز توسط مهندسین مربوطه رسم می‌شوند.

برای رسم نقشه‌های صنعتی اعم از نمودارهای جعبه‌ای، فرایند، ابزار دقیق و نقشه‌های مکانیک و ... معمولاً از نرم‌افزارهای اتوکد<sup>۱۱</sup> و ویزیو<sup>۱۲</sup> استفاده می‌شود.

۱- Process

۲- Process Design

۳- Conceptual Design

۴- Basic Engineering Design Package

۵- Detailed Design

۶- Block Flow Diagram

۷- Process Flow Diagram

۸- Piping and Instrument Diagram

۹- Plant Layout

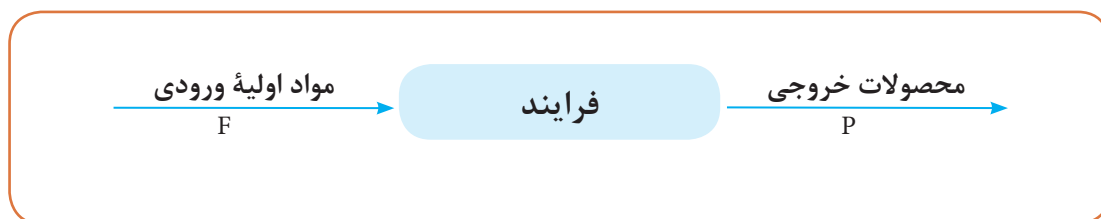
۱۰- AutoCad

۱۱- Visio

## نمودار جعبه‌ای جریان (BFD)

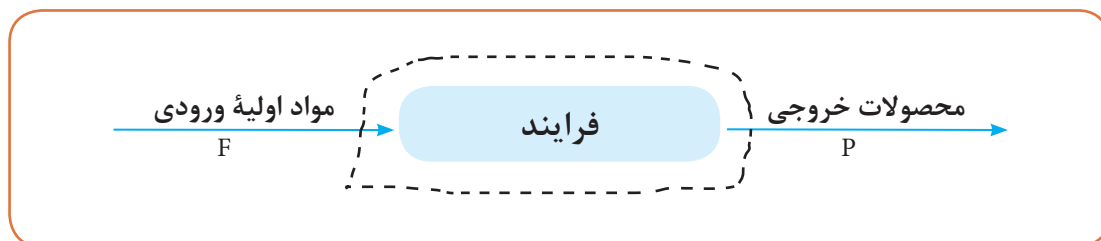
در مرحله اول طراحی کارخانجات شیمیایی لازم است اطلاعات کلی فرایند اعم از جریان‌های خوراک، محصولات خروجی و موازنه جرم جریان‌ها نشان داده شوند. لذا از این نوع نمودار برای ارائه اصول کلی و مفاهیم فرایند استفاده می‌گردد.

در نمودار جعبه‌ای جریان یک فرایند شیمیایی، تعدادی از دستگاه‌ها که در مجموع یک فرایند را به وجود می‌آورند، به صورت یک جعبه یا بلوک<sup>۱</sup> نشان داده می‌شوند (شکل ۱). با دنبال کردن خطوط (جریان‌ها) از چپ به راست می‌توان به شناخت کلی در خصوص یک فرایند دست یافت.



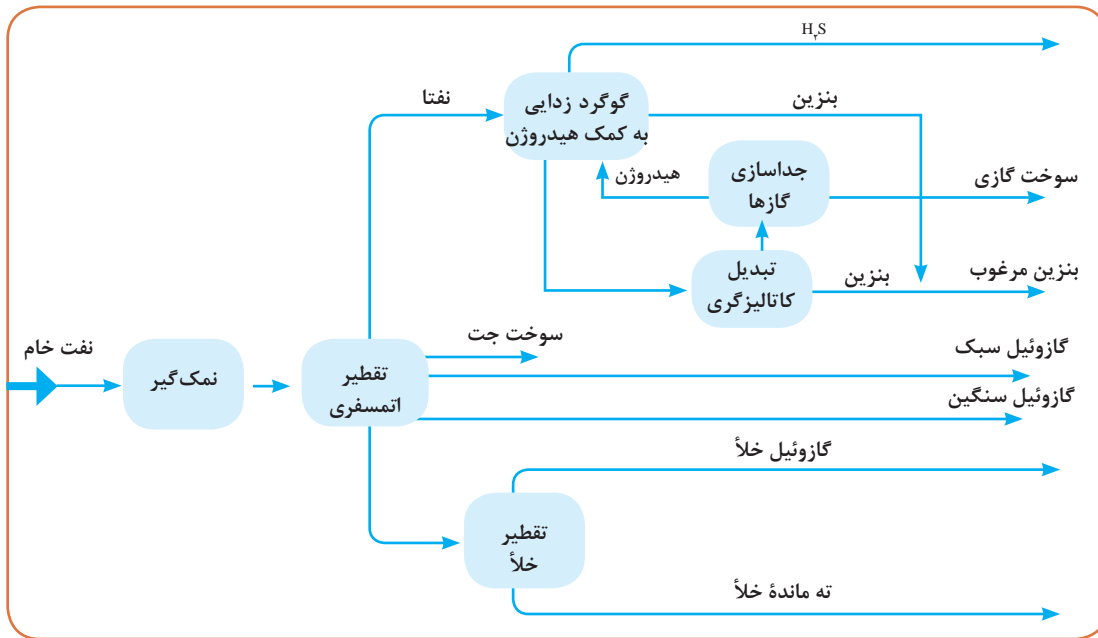
شکل ۱- نمونه یک نمودار جعبه‌ای

اگر در شکل ۱، میزان دبی جرمی مواد اولیه ورودی ۱۰۰۰ کیلوگرم بر ساعت باشد، براساس موازنه جرم پیرامون سامانه انتخاب شده فرایند، در شکل ۲، میزان محصول خروجی نیز برابر با خوراک ورودی خواهد شد، لذا میزان محصول خروجی نیز ۱۰۰۰ کیلوگرم بر ساعت خواهد شد.



شکل ۲- تعیین حدود سامانه انتخاب شده

نمودار جعبه‌ای را می‌توان برای یک کارخانه مانند یک پالایشگاه که خود شامل چندین فرایند دیگر است (شکل ۳) و یا برای یک فرایند خاص در پالایشگاه نیز رسم نمود. تفاوت نمودار جعبه‌ای برای این دو حالت، در این است که اگر نمودار جعبه‌ای برای کل پالایشگاه رسم شود، هر جعبه نشانگر یک فرایند خواهد بود که شامل چندین جریان ورودی و خروجی است. ولی اگر نمودار جعبه‌ای برای یک فرایند خاص رسم شود، معمولاً هر جعبه نشانگر یک دستگاه خاص در آن فرایند مانند راکتور، برج تقطیر، برج جداکننده و ... می‌باشد.



شکل ۳- نمودار جعبه‌ای یک پالایشگاه

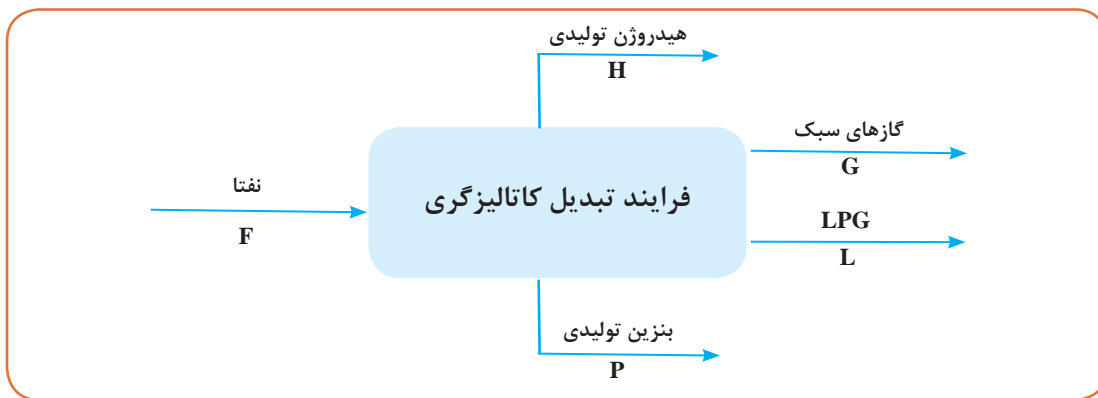
معمولاً برای رسم نمودارهای جعبه‌ای اشاره شده و همچنین نمودار جریان فرایند و نمودار لوله‌کشی و ابزار دقیق که در ادامه بحث خواهد شد، از نرم‌افزارهای اتوکد و ویزیو استفاده می‌شود.

### مثال ۱

در یک پالایشگاه نفت، معمولاً بنزین در فرایند تبدیل کاتالیزگری<sup>۱</sup> تولید می‌شود. نمودار جعبه‌ای این فرایند در شکل ۴ نشان داده شده است. مطلوب است:

(الف) شرح فرایند؛

(ب) موازنه جرم پیرامون این فرایند با توجه به داده‌های مندرج در جدول ۱.



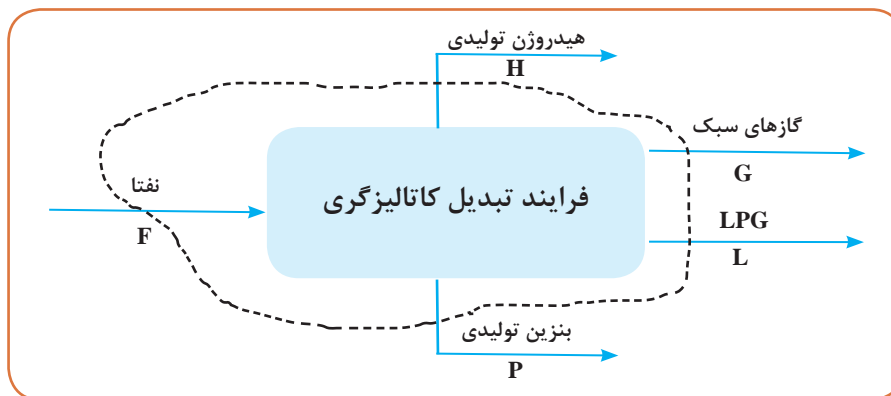
شکل ۴- نمودار جعبه‌ای فرایند تبدیل کاتالیزگری

جدول ۱- مقدار جریان های فرایند تبدیل کاتالیزگری

نام جریان	میزان دبی جرمی (کیلوگرم بر ساعت)
F	۱۶۳۰۰۰
P	۱۳۵۰۰۰
G	۳۲۶۰
H	۱۵۶۰۰
L	?

### پاسخ

**الف)** مطابق نمودار جعبه‌ای رسم شده شکل ۴، نفتا به عنوان خوراک وارد فرایند تبدیل کاتالیزگری می‌شود و محصولات هیدروژن، گازهای سبک، LPG و بنزین از این فرایند خارج می‌شوند.  
**ب)** برای انجام موازنه جرم، در ابتدا باید یک سامانه برای فرایند انتخاب نمود. موازنه جرم مطابق سامانه انتخاب شده (سامانه خط چین) شکل ۵، عبارت است از:



شکل ۵- سامانه انتخاب شده جهت موازنه جرم

براساس موازنه، جرم کل ورودی برابر است با جرم کل خروجی لذا:

$$F = 163000 \text{ kg/h} = \text{جرم کل ورودی به سامانه}$$

$$H + G + L + P = \text{جرم کل خروجی از سامانه}$$

بنابراین:

$$H + G + L + P = 163000 \text{ kg/h}$$

حال با معلوم بودن مقدار دبی جرمی جریان های G، P و H، می‌توان مقدار دبی جرمی جریان L را تعیین نمود.

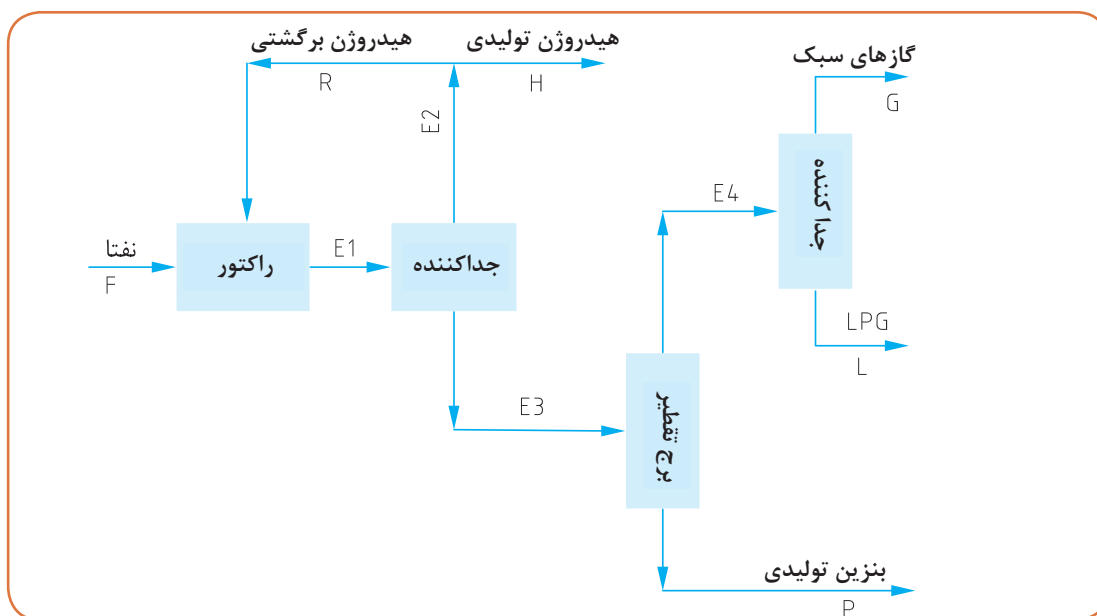
$$156000 + 3260 + L + 1350000 = 1630000 \longrightarrow L = 9140 \text{ kg/h}$$

## مثال ۲

مطابق مثال ۱، بنزین در یک پالایشگاه نفت در فرایند تبدیل کاتالیزگری تولید می‌شود. در راکتور این فرایند با استفاده از کاتالیزگرهای پلاتین، واکنش‌های شیمیایی تولید بنزین انجام می‌شود. در این فرایند از یک برج تقطیر برای جداسازی بنزین مرغوب از مابقی مواد استفاده می‌گردد. نمودار جعبه‌ای کامل تر شده فرایند تبدیل کاتالیزگری در شکل ۶ نشان داده شده است. مطلوب است:

**الف)** شرح نمودار؛

**ب)** موازنه جرم پیرامون این فرایند با توجه به داده‌های مندرج در جدول ۲.



شکل ۶- نمودار جعبه‌ای فرایند تبدیل کاتالیزگری

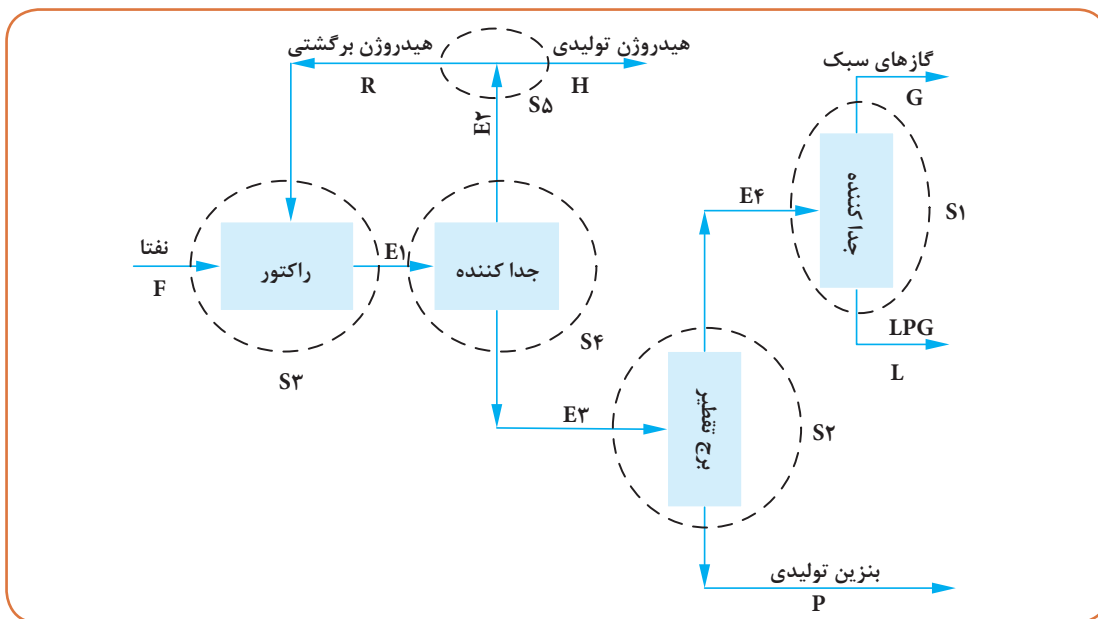
جدول ۲- مقادیر جریان‌های فرایند تبدیل کاتالیزگری

نام جریان	میزان دبی جرمی (کیلو گرم بر ساعت)
F	۱۶۳۰۰۰
P	۱۳۵۰۰۰
G	۳۲۶۰
H	۱۵۶۰۰
L	۹۱۴۰
E <sub>۱</sub>	۲۴۶۴۰۰
R	؟
E <sub>۲</sub>	؟
E <sub>۳</sub>	؟
E <sub>۴</sub>	؟

## پاسخ

**الف)** در فرایند تبدیل کاتالیزگری، ابتدا خوراک نفتا وارد راکتور می‌شود و سپس واکنش‌های تولید بنزین انجام می‌شوند و محصولات واکنش نیز جهت جداسازی، وارد جداکننده می‌شوند. قسمتی از محصول بالای جداکننده به عنوان هیدروژن تولیدی از فرایند خارج می‌شود و باقیمانده آن به عنوان هیدروژن برگشتی، به راکتور برگشت داده می‌شود. جهت جداسازی بنزین مرغوب از دیگر محصولات، محصول پایین جداکننده، وارد برج تقطیر می‌شود. محصول پایینی این برج که همان بنزین مرغوب تولیدی است، جهت مصرف از فرایند خارج می‌شود. محصول بالایی از برج وارد جداکننده دیگری می‌شود و دو محصول با نام‌های گازهای سبک و LPG در آن از یکدیگر جدا شده و هر دو محصول از فرایند خارج می‌گردند.

**ب)** برای انجام موازنه جرم، در ابتدا باید یک سامانه برای فرایند انتخاب نمود. مطابق شکل ۷ سامانه‌های مختلفی می‌توان انتخاب کرد.



شکل ۷- سامانه‌های انتخاب شده در نمودار جعبه‌ای فرایند تبدیل کاتالیزگری

موازنه جرم مطابق سامانه ۱ ( $S_1$ ) انتخاب شده (سامانه خط چین): براساس موازنه، جرم کل ورودی برابر است با جرم کل خروجی لذا:

$$E_4 = ? = \text{جرم کل ورودی به سامانه}$$

$$\text{جرم کل خروجی از سامانه} = G + L = 3260 + 9140 = 12400 \text{ kg/h}$$

چون:

$$\text{جرم کل خروجی از سامانه} = \text{جرم کل ورودی به سامانه}$$

بنابراین:

$$E_4 = 12400 \text{ kg/h}$$



موازنه جرم مطابق سامانه ۲ (S۲) انتخاب شده (سامانه خط چین): براساس موازنه، جرم کل ورودی برابر است با جرم کل خروجی لذا:

$$E_3 = ? = \text{جرم کل ورودی به سامانه}$$

$$\text{جرم کل خروجی از سامانه} = E_4 + P = 12400 + 135000 = 147400 \text{ kg/h}$$

چون:

$$\text{جرم کل خروجی از سامانه} = \text{جرم کل ورودی به سامانه}$$

بنابراین:

$$E_3 = 147400 \text{ kg/h}$$

موازنه جرم مطابق سامانه ۳ (S۳) انتخاب شده (سامانه خط چین): براساس موازنه، جرم کل ورودی برابر است با جرم کل خروجی لذا:

$$F + R = \text{جرم کل ورودی به سامانه}$$

$$\text{جرم کل خروجی از سامانه} = E_1 = 246400 \text{ kg/h}$$

چون:

$$\text{جرم کل خروجی از سامانه} = \text{جرم کل ورودی به سامانه}$$

بنابراین:

$$F + R = 246400 \text{ kg/h} \longrightarrow 163000 + R = 246400 \longrightarrow R = 83400 \text{ kg/h}$$

موازنه جرم مطابق سامانه ۴ (S۴) انتخاب شده (سامانه خط چین): براساس موازنه، جرم کل ورودی برابر است با جرم کل خروجی لذا:

$$E_1 = ? = \text{جرم کل ورودی به سامانه}$$

$$\text{جرم کل خروجی از سامانه} = E_2 + E_3$$

چون:

$$\text{جرم کل خروجی از سامانه} = \text{جرم کل ورودی به سامانه}$$

بنابراین:

$$E_1 = E_2 + E_3 \longrightarrow 246400 = E_2 + 147400 \longrightarrow E_2 = 99000 \text{ kg/h}$$

موازنه جرم مطابق سامانه ۵ (S۵) انتخاب شده (سامانه خط چین): براساس موازنه، جرم کل ورودی برابر است با جرم کل خروجی لذا:

$$\text{جرم کل ورودی به سامانه} = E_2 = 99000 \text{ kg/h}$$

$$\text{جرم کل خروجی از سامانه} = R + H$$

چون:

$$\text{جرم کل خروجی از سامانه} = \text{جرم کل ورودی به سامانه}$$

بنابراین:

$$E_2 = R + H \longrightarrow 99000 = 83400 + 15600$$

$$99000 = 99000 \text{ kg/h}$$



به طور کلی می توان کاربرد و استفاده های نمودار جعبه ای را شامل موارد زیر دانست:

۱ تهیه اولین نمودار یک فرایند شیمیایی جهت استفاده در طراحی؛

۲ تشخیص و شناسایی اولیه کل فرایند کارخانه؛

۳ تعیین موازنه جرم کلی.

به کمک دوستان خود، نمودار جعبه ای فرایند دو آزمایش تهیه مواد آزمایشگاهی را که در کتاب عملیات آزمایشگاهی در صنایع شیمیایی به آن اشاره شده است، رسم نمایید.

### پرسش ۱

سولفوریک اسید از واکنش تری اکسید گوگرد ( $SO_3$ ) با آب تولید می گردد.



در یک کارخانه، ۱۰۰۰ کیلوگرم سولفوریک اسید تولید شده است. اگر مقدار تری اکسید گوگرد مصرف شده، ۸۱۶ کیلوگرم باشد، مطلوب است:

(الف) رسم نمودار جعبه ای فرایند تولید سولفوریک اسید؛

(ب) موازنه جرم این فرایند.

### پرسش ۲

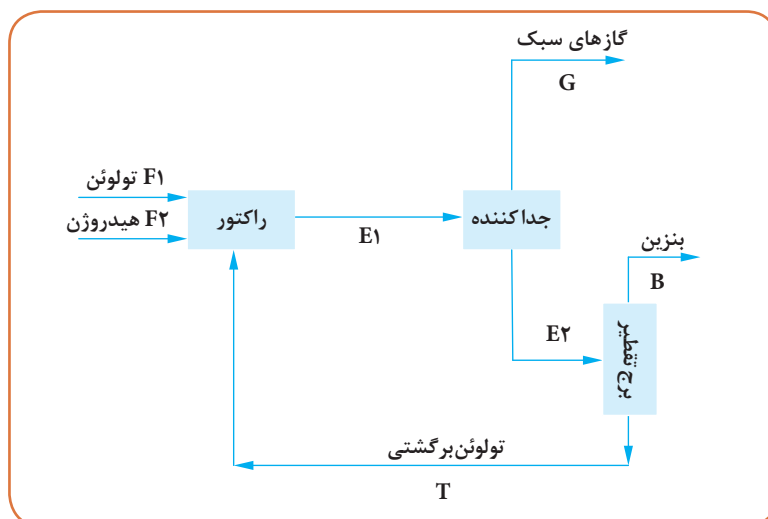
بنزن از واکنش هیدروژناسیون تولوئن به صورت زیر به دست می آید:



نمودار جعبه ای این فرایند در شکل ۸ نشان داده شده است. مطلوب است:

(الف) شرح این نمودار

(ب) موازنه جرم پیرامون این فرایند مطابق با داده های مندرج در جدول ۳ و تعیین مقدار جریان های  $E_1$  و تولوئن برگشتی (T)



شکل ۸- نمودار جعبه ای فرایند تولید بنزن

جدول ۳- مقدار جریان های فرایند تولید بنزن

نام جریان	میزان دبی جرمی (کیلو گرم بر ساعت)
F۱	۱۰۰۰۰
F۲	۸۲۰
E۲	۸۹۶۰
G	۲۶۱۰
B	۸۲۱۰
T	؟
E۱	؟

### پرسش ۳

گاز ترش<sup>۱</sup> به نوعی از گاز طبیعی گفته می شود که شامل مقدار اندکی هیدروژن سولفید ( $H_2S$ ) است. برای مصرف گاز طبیعی می بایست این گاز شیرین<sup>۲</sup> گردد، یعنی هیدروژن سولفید موجود در آن حذف گردد. شیرین سازی گاز ترش در یک برج جذب با استفاده از حلال آمین انجام می شود. به طوری که حلال آمین از بالا و گاز ترش از پایین وارد برج می شوند. محصول بالای برج جذب، گاز شیرین است که برای مصرف از فرایند خارج می شود. محصول پایین برج جذب محلول آمینی است که مقداری هیدروژن سولفید دارد. لذا محصول پایین برج جذب به برج تقطیر احیاء آمین فرستاده می شود که محصول بالای این برج تقطیر شامل گازهای سبکی است که هیدروژن سولفید نیز دارد که آن را گازهای اسیدی<sup>۳</sup> می نامند. محصول پایین برج تقطیر نیز حلال آمین احیاء شده و بدون گاز هیدروژن سولفید می باشد. مطلوب است:

رسم نمودار جعبه ای فرایند شیرین سازی گاز طبیعی ترش

### پرسش ۴

نمودار جعبه ای (ساده) یک پالایشگاه در شکل ۳ نشان داده شده است. با توجه به شکل مراحل عملیات در پالایشگاه را شرح دهید.

با توجه به فیلم های آموزشی صنایع مختلف شیمیایی که تاکنون دیده اید، نمودارهای جعبه ای هر کدام را رسم کنید. هر گروه از هنرجویان دو نمودار را رسم کند.

فعالیت عملی



۱- Sour Gas  
 ۲- Sweet Gas  
 ۳- Acid Gas

## نمودار جریان فرایند (PFD)

در نمودار جریان فرایند، کلیه مراحل تولید یک واحد صنعتی از قبیل ترتیب دستگاه‌ها، چگونگی اتصال آنها توسط خطوط جریان، شرایط عملیاتی دستگاه‌ها از قبیل دما، فشار و شدت جریان‌ها و جدول موازنه مواد و انرژی نشان داده می‌شود. اجزای اصلی در نمودار جریان فرایند عبارت‌اند از:

- خطوط اصلی فرایندی (جریان‌های فرایندی) شامل خطوط خوراک و محصولات؛
- تجهیزات فرایندی؛
- شکل ساده حلقه‌های کنترلی؛
- شرایط عملیاتی تجهیزات؛
- مشخصات کارفرما (سمت راست پایین نمودار)؛
- فهرست علائم و اختصارات<sup>۱</sup> (سمت راست و بالای مشخصات کارفرما)؛
- ارائه اطلاعات مربوط به تجهیزات دوار مانند پمپ‌ها و کمپرسورها در قسمت پایین نمودار جریان فرایند؛
- ارائه اطلاعات سایر تجهیزات در بالای نمودار جریان فرایند؛
- کلیه تأسیسات<sup>۲</sup> مورد نیاز و مقدار آنها از جمله آب، هوای فشرده و غیره.

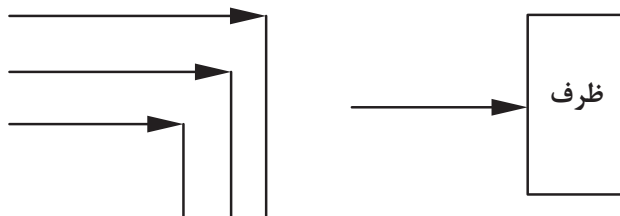
### ۱-۳- قواعد تهیه نمودار جریان فرایند

#### مقیاس<sup>۳</sup>:

لازم نیست اندازه تمام دستگاه‌ها در یک مقیاس رسم شوند، هر چند اندازه آنها باید متناسب با طرح تجهیزات باشد.

#### جهت جریان:

جهت جریان‌ها از چپ به راست بوده (شکل‌های ۹ و ۱۰) و با پیکان مشخص می‌گردند. اصولاً تمامی خطوط جریان در محل ورود به تجهیزات، نقاط تقاطع و خم خطوط، با پیکان علامت‌گذاری می‌شوند. گاهی خطوط جریان طولانی در میانه مسیر نیز پیکان‌گذاری می‌شوند. لازم به ذکر است که محدودیتی در تعداد پیکان‌های مورد استفاده وجود ندارد. علامت اتصال خط مرزی ورودی و خروجی از نمودار جریان فرایند به عنوان محدوده فرایند<sup>۴</sup> (B.L) در شکل ۱۱ نشان داده شده است.



شکل ۹- جهت جریان در خم جریان و ورود به تجهیزات در نمودار جریان فرایند

۱- Legend

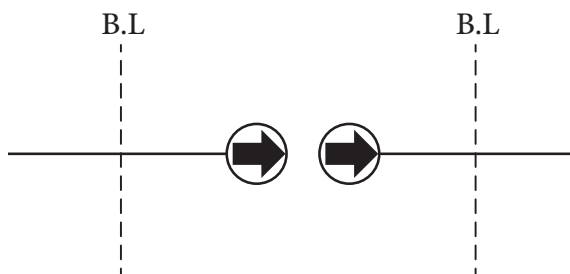
۳- Scale

۲- Utility

۴- Battery Limit



شکل ۱۰- جهت جریان در خطوط جریان طولانی نمودار جریان فرایند



در شکل ۱۱، سمت راست، یعنی جریانی از بیرون وارد فرایند می‌شود و سمت چپ یعنی جریانی از درون فرایند به بیرون منتقل خواهد شد.

شکل ۱۱- نشانه اتصال خط مرزی ورودی و خروجی از نمودار جریان فرایند

شکل ۱۲- جریان‌های فرایندی (خطوط اصلی) در نمودار جریان فرایند

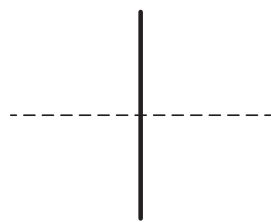
شکل ۱۳- جریان‌های غیر فرایندی (خطوط تأسیسات) در نمودار جریان فرایند

شکل ۱۴- جریان‌های کنترلی در نمودار جریان فرایند

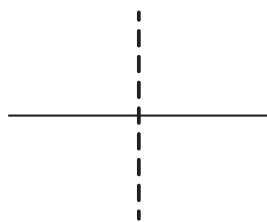
### جریان‌های فرایندی و غیر فرایندی:

جریان‌های فرایندی یا همان خطوط اصلی فرایند باید با خطوط ضخیم، و جریان‌های غیر فرایندی اعم از جریان‌های تأسیسات و کنترلی با خطوط نازک و خط چین نشان داده شوند (شکل‌های ۱۲ الی ۱۴).

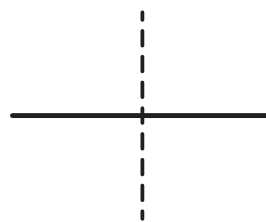
زمانی که دو جریان یکدیگر را قطع می‌کنند، خطوط افقی همواره به شکل پیوسته و خطوط عمودی به صورت خط چین رسم می‌شوند. البته این قرارداد برای حلقه‌های کنترلی صدق نمی‌کند و در این حالت خطوط فرایند پیوسته و خطوط کنترلی، خط چین خواهند بود (شکل‌های ۱۵ الی ۱۷).



شکل ۱۷- تقاطع دو جریان فرایندی و کنترلی در نمودار جریان فرایند



شکل ۱۶- تقاطع دو جریان فرایندی و غیر فرایندی در نمودار جریان فرایند



شکل ۱۵- تقاطع دو جریان فرایندی در نمودار جریان فرایند



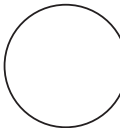







### مشخصات و شماره گذاری جریان‌ها و تجهیزات:

هر دستگاهی باید با یک شماره برچسب<sup>۱</sup> شامل تعدادی حروف و عدد (مطابق با استاندارد) مشخص گردد. معمولاً شماره هر دستگاه در بالا یا پایین صفحه در نزدیک‌ترین محل به خط عمود گذرنده از مرکز همان دستگاه نوشته می‌شود. تجهیزات یدکی مانند پمپ‌ها باید با پسوندهایی نظیر A یا B نشان داده شوند. ضمناً تجهیزات ابزار دقیق نیازی به شماره گذاری در نمودار جریان فرایند ندارند.


برچسب هر تجهیزات در نمودار جریان فرایند، با یک اسم و شماره مشخص می‌شود. مثلاً E-101 یعنی مبدل شماره ۱ مربوط به واحد شماره ۱۰۰. لازم است شرایط عملیاتی از قبیل دما، فشار و دبی برای یک جریان در نمودار جریان فرایند نشان داده شوند که این مقادارها در نمادهایی مطابق جدول ۵ وارد می‌شوند. البته لازم است به یکای کمیت‌های مورد استفاده در نمودار جریان فرایند اشاره گردد.

جدول ۵- اطلاعات و مشخصات تجهیزات در نمودار جریان فرایند

ردیف	کمیت	نماد	مثال	مفهوم
۱	دما			دما ۲۰ درجه سلسیوس است.
۲	فشار			فشار ۲۰ بار است.
۳	دبی جرمی			دبی ۲۰ کیلوگرم بر ساعت است.
۴	دبی مولی			دبی ۲۰ کیلومول بر ساعت است.

شماره جریان‌ها روی خط جریان در داخل یک علامت لوزی مطابق جدول ۶ نوشته می‌شود.

جدول ۶- شماره‌گذاری یک جریان در نمودار جریان فرایند

عنوان	نماد	مثال	مفهوم
شماره جریان			جریان شماره ۲۰

معمولاً در نمودار جریان فرایند برای جریان‌های مهم و اصلی، خواص و مشخصاتی را در جدول موازنه جرم و انرژی که در پایین نمودار جریان فرایند قرار دارد، معرفی می‌نمایند. این خواص عبارت‌اند از:

- فاز جریان (مایع، بخار و مخلوط)؛
- دبی جرمی؛
- دما؛
- فشار؛
- وزن مولکولی؛
- چگالی؛
- گرمای ویژه؛
- گرانیوی؛
- ترکیب نسبی جریان‌ها برحسب درصد مولی.

### شرح تجهیزات:

به‌طور معمول، نمادهای استفاده شده برای تجهیزات و لوله‌کشی در فرایندها بایستی همواره یک شکل باشند. به عنوان مثال اگر برای نشان دادن مبدل حرارتی از یک نماد استفاده شده است در تمامی قسمت‌های دیگر نمودار جریان فرایند آن کارخانه نیز باید از همین نماد استفاده نمود. زمانی که در استاندارد نمادی برای برخی از تجهیزات وجود نداشته باشد، تحت نظر شرکت، در هنگام اجرای پروژه تصمیم‌گیری می‌شود.

## شکل‌ها و نمادها<sup>۱</sup> در نمودار جریان فرایند

### نماد تجهیزات:

تعدادی از نمادهای مهم تجهیزات که در نمودار جریان فرایند به کار برده می‌شوند، در جدول ۷ ارائه شده‌اند.



جدول ۷- نمادهای مهم تجهیزات

نماد	نام تجهیز		ردیف
	انگلیسی	فارسی	
AG/M	Agitator/ Mixer	همزن	۱
AC	Air Cooler	کولر هوایی	۲
B	Boiler	دیگ بخار	۳
C	Column	برج	۴
CT	Cooling Tower	برج خنک کننده	۵
S/V	Separator	جداکننده	۶
DR	Dryer	خشک کن	۷
E	Heat Exchanger	مبدل حرارتی	۸
F	Filter	صافی	۹
GT	Gas Turbine	توربین گاز	۱۰
H	Heater	گرم کن	۱۱
Com	Compressor	کمپرسور	۱۲
P	Pump	پمپ	۱۳
R	Reactor	راکتور	۱۴
T	Tank	مخزن	۱۵

### نماد ابزار کنترلی:

تعدادی از نمادهای کنترلی که در نمودار جریان فرایند به کار برده می شوند در جدول ۸ ارائه شده اند.

جدول ۸- نمادهای کنترلی

نماد	نام تجهیز		ردیف
	انگلیسی	فارسی	
TC	Temperature Controller	کنترل کننده دما	۱
PC	Pressure Controller	کنترل کننده فشار	۲
FC	Flow Controller	کنترل کننده دبی	۳
LC	Level Controller	کنترل کننده سطح	۴
TT	Temperature Transmitter	ترنسمیتر دما	۵
PT	Pressure Transmitter	ترنسمیتر فشار	۶
FT	Flow Transmitter	ترنسمیتر دبی	۷
LT	Level Transmitter	ترنسمیتر سطح	۸
TI	Temperature Indicator	نشان دهنده دما	۹
PI	Pressure Indicator	نشان دهنده فشار	۱۰
FI	Flow Indicator	نشان دهنده جریان	۱۱
LI	Level Indicator	نشان دهنده سطح	۱۲
LA	Level Alarm	هشدار دهنده سطح	۱۳
TIC	Temperature Indicator Controller	کنترل کننده و نشان دهنده دما	۱۴
PIC	Pressure Indicator Controller	کنترل کننده و نشان دهنده فشار	۱۵
LIC	Level Indicator Controller	کنترل کننده و نشان دهنده سطح	۱۶

## نماد جریان‌های سیال:

تعدادی از نمادهای مهم جریان‌های سیال که در نمودار جریان فرایند به کار برده می‌شوند در جدول ۹ ارائه شده‌اند.

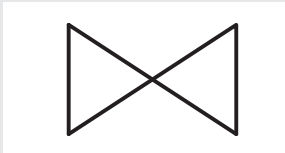
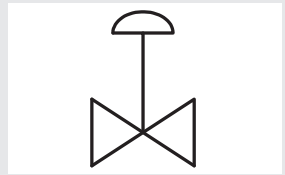
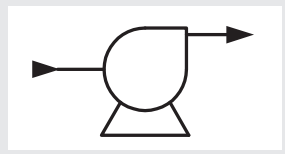
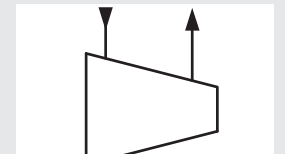

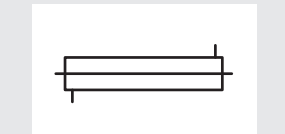
جدول ۹- نمادهای مهم جریان سیال


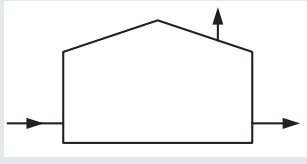
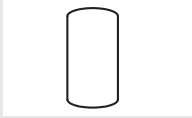
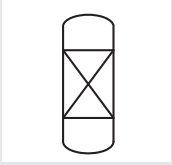
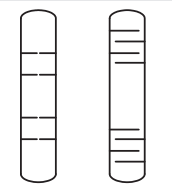
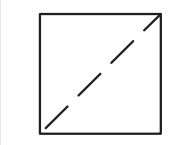
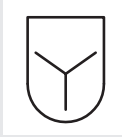
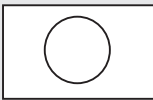
نماد	نام جریان سیال		ردیف
	انگلیسی	فارسی	
AI	Air Instrument	هوای ابزار دقیق	۱
AM	Amine	آمین	۲
ATM	Atmosphere	اتمسفر	۳
BW	Boiler Water	آب دیگ بخار	۴
CI	Chemical Injection	تزریق مواد شیمیایی	۵
CW	Cooling Water	آب خنک‌کننده	۶
DEG	Diethylene Glycol	دی اتیلن گلیکول	۷
PG	Production Gas	محصولات گازی	۸
DW	Drink Water	آب آشامیدنی	۹
FG	Fuel Gas	سوخت گازی	۱۰
FO	Fuel Oil	سوخت نفتی سنگین	۱۱
FW	Fire Water	آب آتش نشانی	۱۲
GHC	Gas Hydrocarbon	هیدروکربن‌های گازی	۱۳
LHC	Liquid Hydrocarbon	هیدروکربن‌های مایع	۱۴
GL	Glycol	گلیکول	۱۵
H	Hydrogen	هیدروژن	۱۶
HC	Hydrocarbon	هیدروکربن	۱۷
IG	Inert Gas	گاز بی اثر	۱۸
LO	Lube Oil	روغن	۱۹
SW	Sea Water	آب دریا	۲۰
N	Nitrogen	نیتروژن	۲۱
NG	Natural Gas	گاز طبیعی	۲۲
HP	High Pressure Steam	بخار فشار بالا	۲۳
MP	Medium Pressure Steam	بخار فشار متوسط	۲۴
LP	Low Pressure Steam	بخار فشار پایین	۲۵

### ترسیم و نماد استاندارد تجهیزات فرایندی:

استاندارد ترسیم و نماد تعدادی از تجهیزات فرایندی در جدول ۱۰ ارائه شده است.

جدول ۱۰- نماد تجهیزات فرایندی

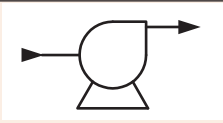
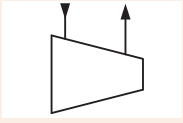

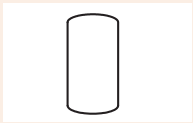
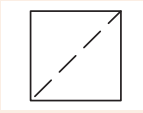
نماد	نام تجهیز		ردیف
	انگلیسی	فارسی	
	Valve	شیر	۱
	Control Valve	شیر کنترل	۲
	Pump	پمپ	۳
	Compressor	کمپرسور	۴
	Shell and Tube Heat Exchanger	مبدل حرارتی پوسته و لوله	۵
	Double Pipe Heat Exchanger	مبدل حرارتی دو لوله	۶

نماد	نام تجهیز		ردیف
	انگلیسی	فارسی	
	Furnace	کوره	۷
	Tank	مخزن	۸
	Separator	جداکننده دو فازی	۹
	Packed Bed Column & Fixed Bed Reactor	برج پر شده و راکتور کاتالیزگری با بستر ثابت	۱۰
	Tray Column	برج های سینی دار	۱۱
	Filter	صافی	۱۲
	Mixer	همزن	۱۳
	Dryer	خشک کن	۱۴

### پرسش ۵

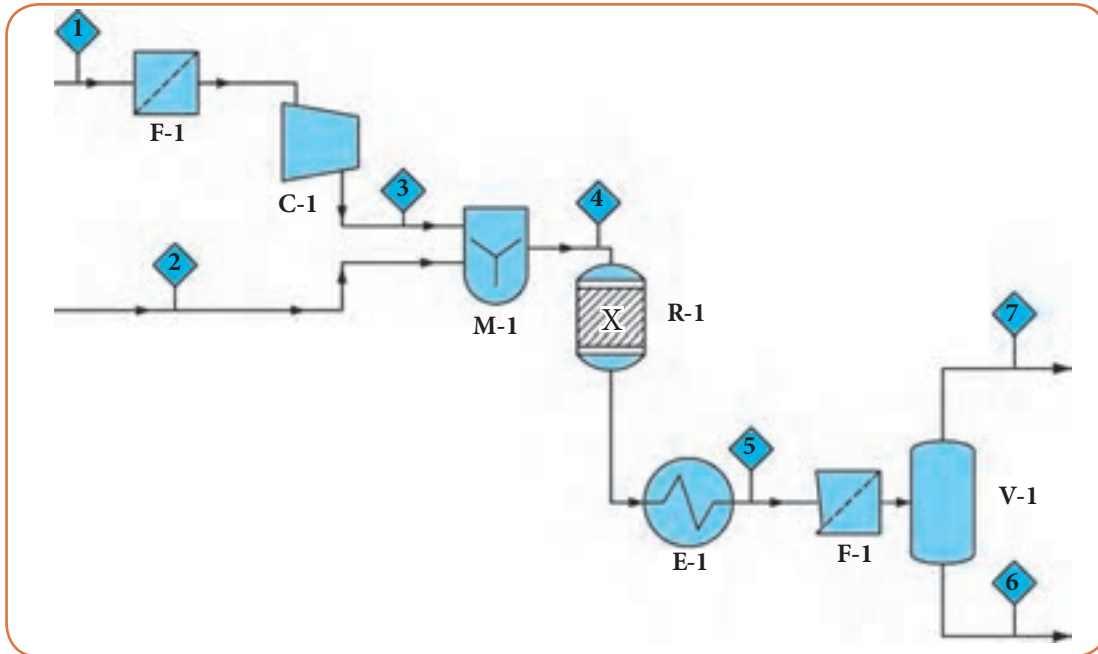
جدول ۱۱ را کامل کنید.

جدول ۱۱- نام و نماد تعدادی از تجهیزات فرایندی

ردیف	نام تجهیز	نماد
۱	شیر	؟
۲	؟	
۳	؟	
۴	مبدل پوسته و لوله	؟
۵	؟	
۶	مخزن	؟
۷	؟	
۸	برج پر شده	؟
۹	؟	
۱۰	همزن	؟

## پرسش ۶

با توجه به نمادهای متداول در رسم نمودار جریان فرایند و تجهیزات به کار رفته در نمودار جریان فرایند شکل ۱۹ مطلوب است:



شکل ۱۹- نمودار جریان فرایند

الف) نام تجهیزات موجود در نمودار جریان فرایند با توجه به نمادهای نشان داده شده در جدول ۱۲؛

جدول ۱۲- تجهیزات موجود در نمودار جریان فرایند

نام تجهیز	نماد	ردیف
	F - 1	۱
	C - 1	۲
	M - 1	۳
	R - 1	۴
	E - 1	۵
	F - 2	۶
	V - 1	۷

ب) تکمیل نام جریان‌های موجود در جدول ۱۳

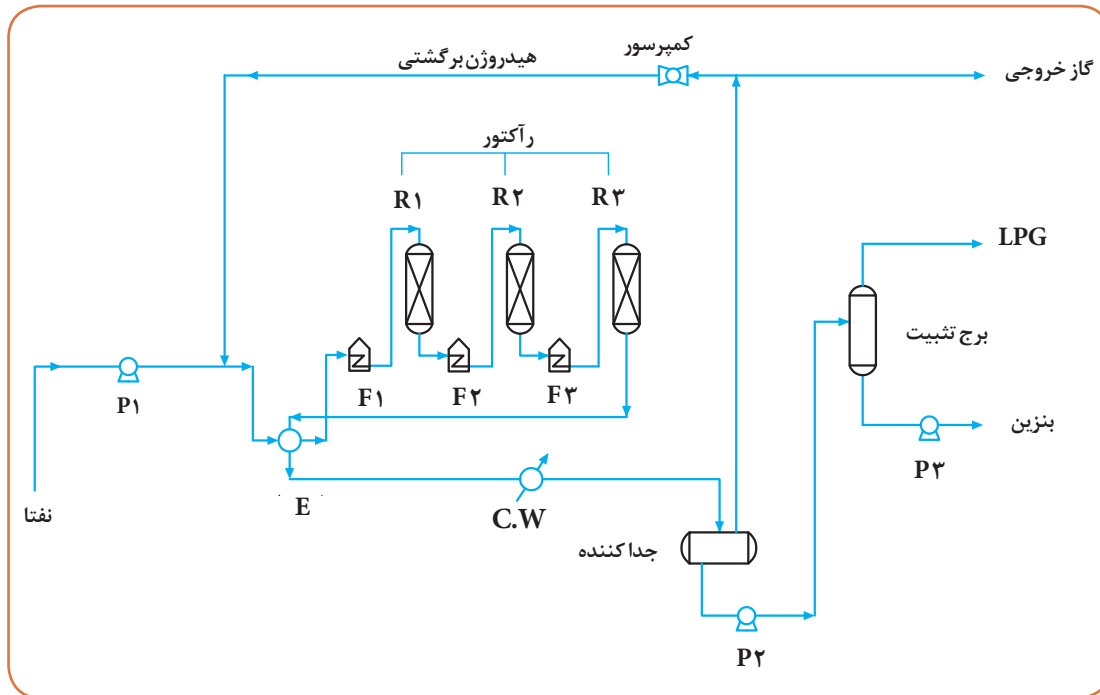
جدول ۱۳- نام جریان‌های موجود در نمودار جریان فرایند

ردیف	شرح جریان	نام جریان
۱	جریان ورودی به صافی شماره ۱	
۲	جریان ورودی به صافی شماره ۲	
۳	جریان خروجی از مبدل حرارتی شماره ۱	
۴	جریان‌های ورودی به همزن	
۵	جریان گاز خروجی از جداکننده شماره ۱	
۶	جریان ورودی به راکتور شماره ۱	
۷	جریان خروجی از کمپرسور شماره ۱	
۸	جریان مایع خروجی از جداکننده شماره ۱	

ب) شرح فرایند

### مثال ۳

شرح نمودار (ساده شده) جریان فرایند واحد تبدیل کاتالیزگری<sup>۱</sup> پالایشگاه نفت را مطابق با شکل ۲۰ بنویسید.



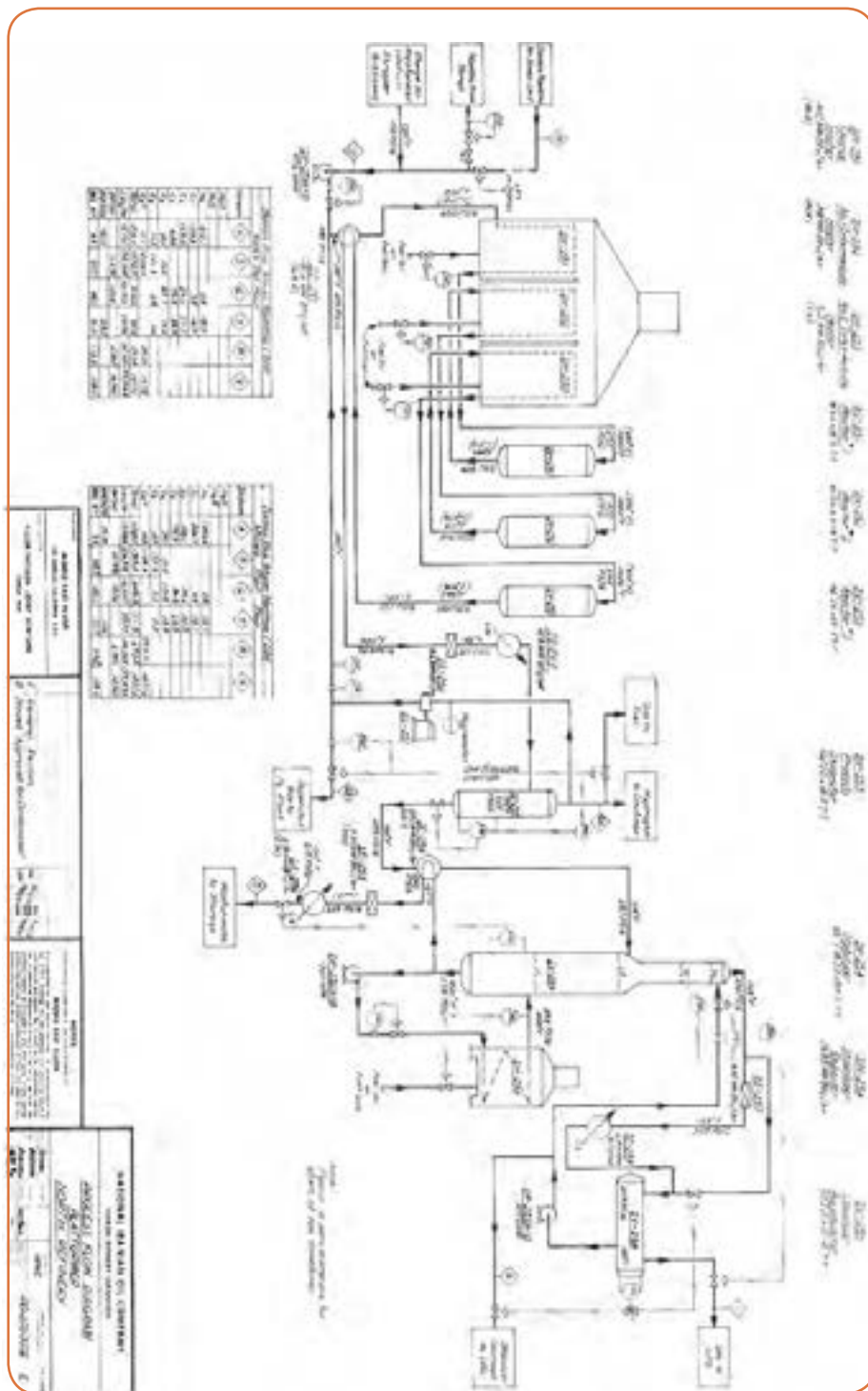
شکل ۲۰- نمودار (ساده شده) جریان فرایند واحد تبدیل کاتالیزگری پالایشگاه نفت

### پاسخ

در این نمودار، نفتا به عنوان خوراک ورودی فرایند توسط پمپ P1، پمپ شده و توسط مبدل حرارتی پیش گرم می شود. دمای نفتا، توسط کوره F1 تا دمای مورد نظر افزایش یافته و سپس وارد راکتور اول (R1) می شود. پس از انجام واکنش در راکتور اول، محصولات از راکتور خارج شده و وارد کوره می گردند و پس از عبور از کوره F2 وارد راکتور دوم (R2) می شوند. مواد خروجی از راکتور دوم نیز پس از گرم شدن در کوره F3، وارد راکتور سوم (R3) می شوند. محصول خروجی از راکتور سوم پس از تبادل حرارتی با مبدل (E) و کولر (C.W) خنک شده، وارد جداکننده می گردد. فشار بخشی از محصول گازی بالای جداکننده، توسط کمپرسور افزایش یافته و به ورودی راکتور (R1) برگردانده می شود و بخشی از آن، از فرایند خارج می شود.

محصول مایع پایین جداکننده نیز توسط پمپ P2 به برج تثبیت منتقل می شود. محصول گازی بالای برج به عنوان گازهای سبک (LPG) و محصول پایین به عنوان بنزین از فرایند خارج می گردند. نمودار جریان اصلی این فرایند در شکل ۲۱ نشان داده شده است.





شکل ۲۱- نمودار اصلی جریان فرایند واحد تبدیل کاتالیزگری پالایشگاه نفت

## پرسش ۷

نیتریک اسید از واکنش اکسیداسیون آمونیاک مطابق واکنش‌های زیر تولید می‌گردد.



نمودار جریان فرایند واحد تولید نیتریک اسید در شکل ۲۲ نشان داده شده است. مطلوب است:

(الف) شرح فرایند؛

(ب) تعیین اسامی تجهیزات و تکمیل جدول ۱۴؛

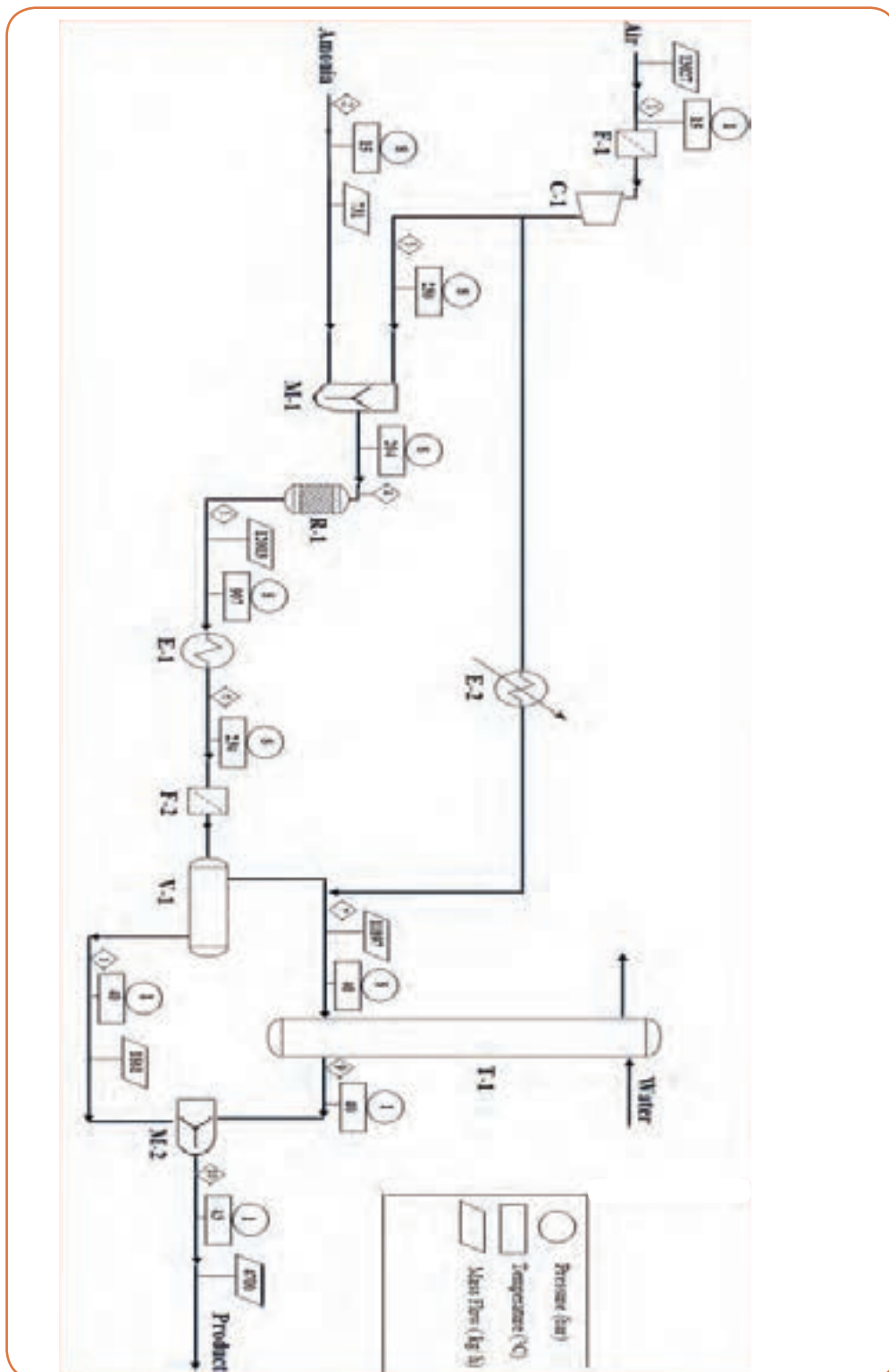
جدول ۱۴- اسامی تجهیزات نمودار جریان فرایند

ردیف	نام تجهیز	نماد تجهیز
۱	صافی هوای ورودی	
۲	برج جذب	
۳	مخلوط‌کن هوا و آمونیاک	
۴	کمپرسور هوای ورودی	
۵	راکتور	
۶	جداکننده محصول راکتور	
۷	مبدل حرارتی	

(پ) تعیین نام‌ها و مشخصات جریان‌ها و تکمیل جدول ۱۵.

جدول ۱۵- اسامی جریان‌های نمودار جریان فرایند

ردیف	نام تجهیز	شماره جریان	دما (سلسیوس)	فشار (بار)	دبی (کیلوگرم بر ساعت)
۱	هوای ورودی				
۲	جریان ورودی به راکتور				
۳	آمونیاک ورودی				
۴	جریان ورودی به صافی دوم				
۵	جریان ورودی به برج جذب				
۶	جریان خروجی از راکتور				
۷	جریان مایع خروجی از جداکننده				
۸	جریان مایع خروجی از برج جذب				
۹	محصول فرایند				
۱۰	هوای ورودی به کمپرسور				



شکل ۲۲- نمودار جریان فرایند تولید نیتریک اسید

## پرسش ۸

فرایند گوگردزدایی از مواد نفتی مانند نفتا، نفت سفید و گازوئیل توسط هیدروژن در پالایشگاه‌های نفت مطابق واکنش زیر انجام می‌شود.



منظور از RSH ترکیبات نفتی گوگرددار است.

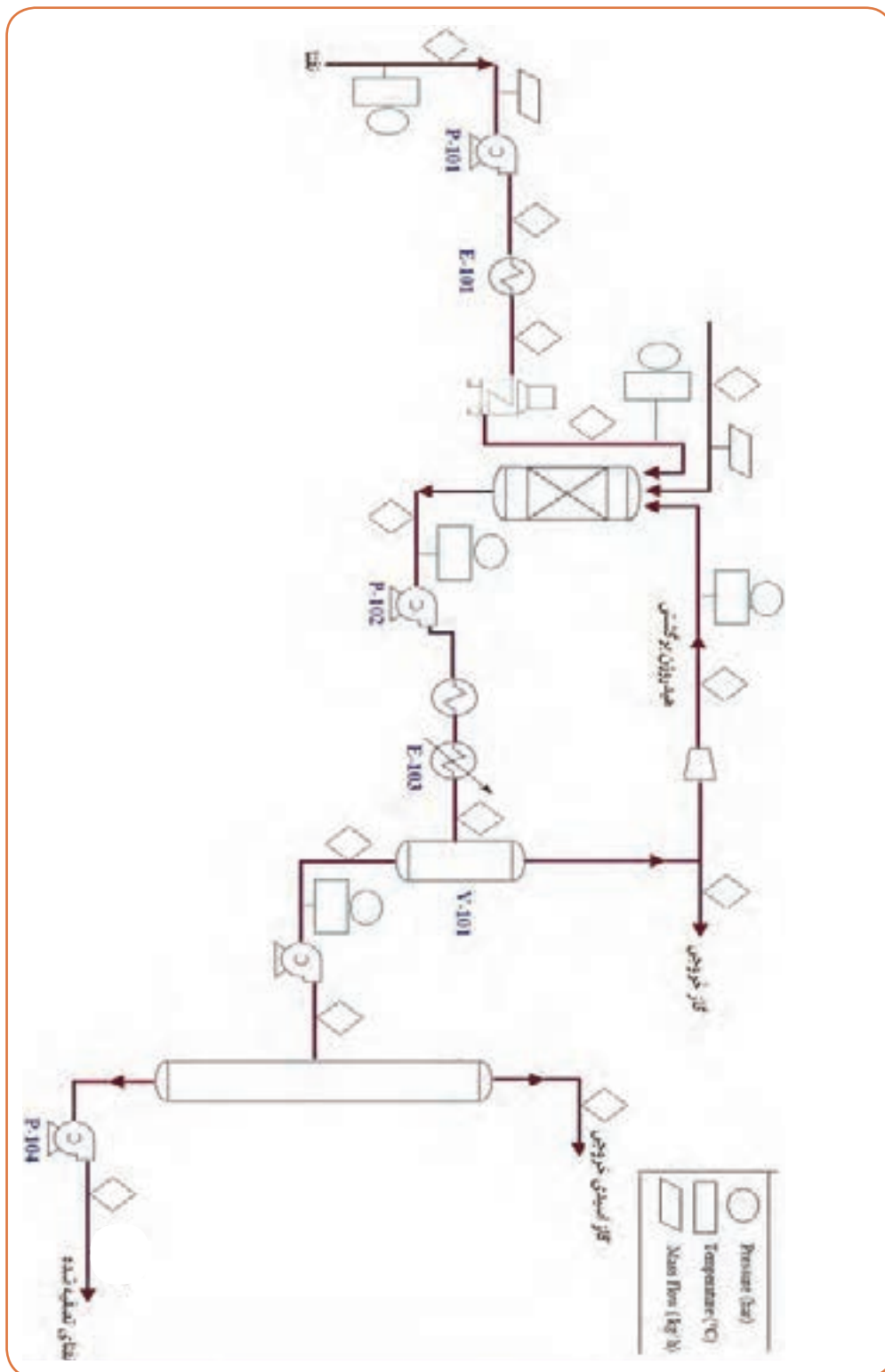
نمودار جریان فرایند این واکنش، بدون در نظر گرفتن تجهیزات کنترلی، در شکل ۲۳ نشان داده شده است. شرح فرایند گوگردزدایی نفتا به صورت زیر می‌باشد.

خوراک نفتا (جریان شماره ۱) در دمای ۲۵۰ درجه سلسیوس و فشار ۲ بار و با دبی ۱۲۴۸۴۸ کیلوگرم بر ساعت توسط پمپ (P-۱۰۱) منتقل شده (جریان شماره ۲) و وارد مبدل (E-۱۰۱) می‌گردد. جریان خروجی از مبدل (جریان شماره ۳) وارد کوره (E-۱۰۱) شده به گونه‌ای که دما و فشار جریان خروجی کوره (جریان شماره ۴) به ترتیب به ۳۱۸ درجه سلسیوس و ۳۰/۶ بار افزایش می‌یابد.

جریان گرم شده خروجی از کوره، وارد راکتور (R-۱۰۱) می‌شود تا با استفاده از هیدروژن، واکنش‌های گوگردزدایی انجام شود. برای تأمین هیدروژن مورد نیاز راکتور از یک جریان هیدروژن جبرانی (جریان شماره ۵) با دبی ۱۷۳۴ کیلوگرم بر ساعت استفاده می‌شود. برای خنک کردن محصول خروجی از راکتور که در دمای ۳۲۱/۱ درجه سلسیوس و فشار ۲۹ بار قرار دارد و توسط پمپ (P-۱۰۲) انتقال یافته از یک مبدل حرارتی (E-۱۰۲) و کولر (E-۱۰۳) استفاده می‌گردد.

جهت جداسازی گازهای سبک از جریان خنک شده خروجی از کولر (E-۱۰۳)، جریان خروجی از کولر (E-۱۰۳) با شماره جریان ۷ وارد جداکننده (V-۱۰۱) می‌شود. جریان گاز خروجی از جداکننده که عمدتاً شامل گاز هیدروژن است به دو بخش تقسیم می‌شود. بخشی از آن به عنوان گاز خروجی با شماره ۸ از فرایند خارج می‌شود و بخش دیگر آن ابتدا وارد کمپرسور (C-۱۰۱) شده تا فشار جریان خروجی از کمپرسور (جریان شماره ۹) به ۳۰/۶ بار افزایش یابد و سپس به عنوان جریان هیدروژن برگشتی به راکتور برگشت داده می‌شود. به دلیل تراکم گاز در کمپرسور، دمای جریان هیدروژن برگشتی به ۷۲ درجه سلسیوس می‌رسد. جریان مایع خروجی از جداکننده (V-۱۰۱) به شماره جریان ۱۰، که در دمای ۳۷ درجه سلسیوس و فشار ۱۰ بار قرار دارد، توسط پمپ (P-۱۰۳) به برج تقطیر (T-۱۰۱) جداکننده گازهای اسیدی (گازهای حاوی هیدروژن سولفید) انتقال می‌یابد. جریانی که وارد برج شده (جریان شماره ۱۱) به دو محصول با نام‌های محصول بالای برج (جریان شماره ۱۳) که حاوی گازهای سبک و هیدروژن سولفید است و محصول پایین برج (جریان شماره ۱۲) که همان نفتای گوگردزدایی شده یا به عبارتی نفتای تصفیه شده است، تبدیل می‌شود. محصول مایع پایین برج (جریان شماره ۱۲) نیز توسط پمپ (P-۱۰۴) به مخازن نگهداری نفتا انتقال می‌یابد. مطلوب است:

تکمیل نمودار جریان فرایند (شماره جریان، نام جریان، دما، فشار و دبی) با استفاده از شرح فرایند.

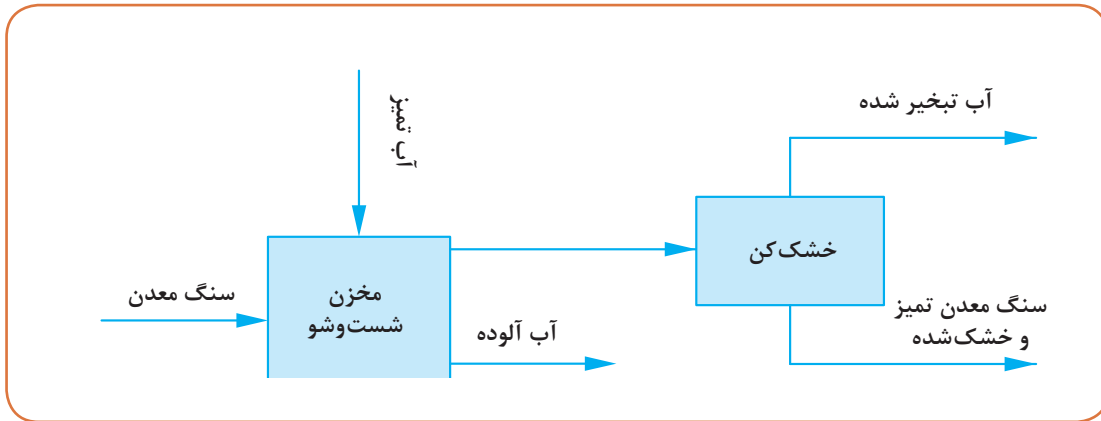


شکل ۲۳- نمودار جریان فرایند گوگرد زدایی نفتا

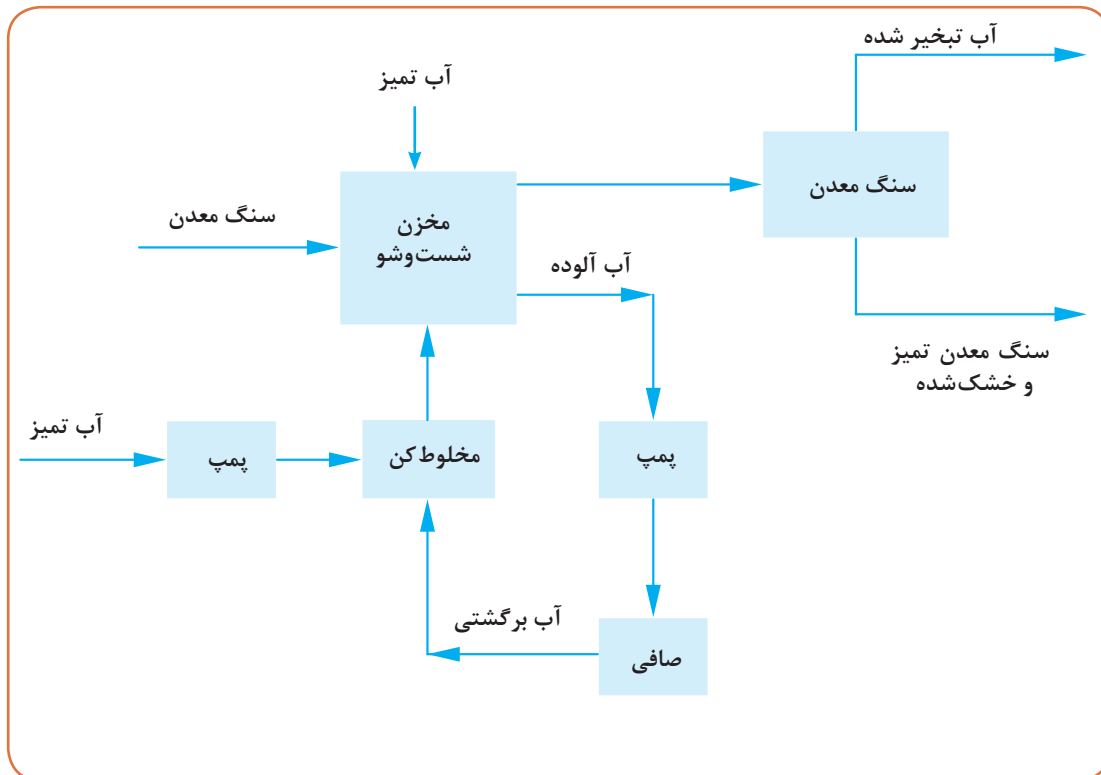


### پرسش ۹

سنگ معدن خام در کارخانجات پس از مرحله شست و شو با آب و تمیز شدن به مرحله استخراج شیمیایی فرستاده می شود. نمودار جعبه ای این فرایند در شکل های ۲۵ و ۲۶ نشان داده شده است.



شکل ۲۵- فرایند شست و شوی سنگ معدن خام



شکل ۲۶- نمودار جعبه ای جریان شست و شوی سنگ معدن خام

### مطلوب است:

(الف) شرح فرایند شست و شوی سنگ معدن خام براساس نمودارهای جعبه‌ای جریان؛  
(ب) رسم نمودار جریان فرایند بر اساس شکل‌های استاندارد.

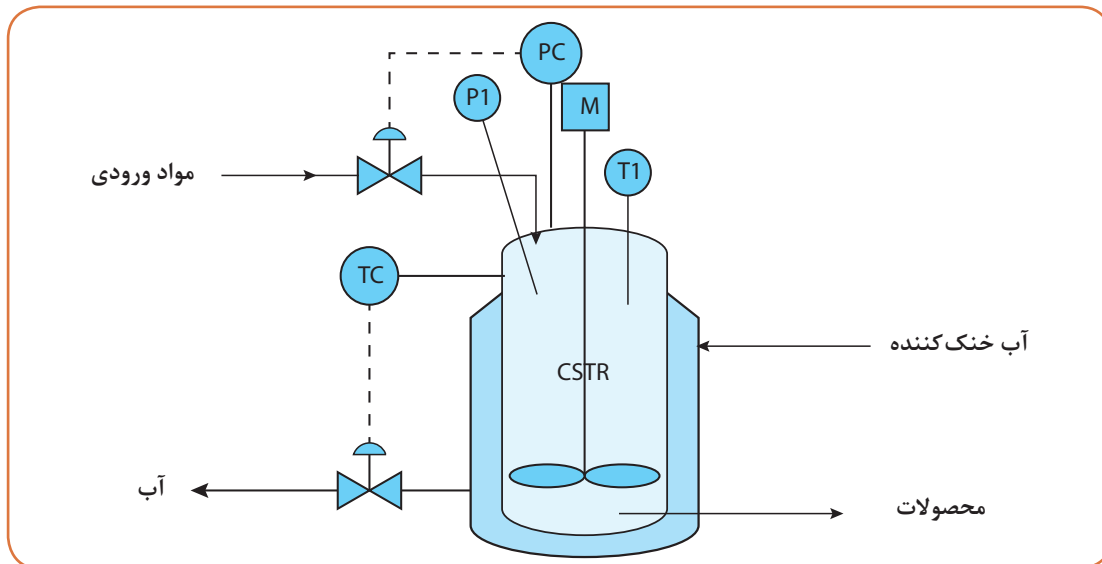
## نمودار لوله‌کشی و ابزار دقیق (P&ID)

این نوع نقشه بر اساس نمودار PFD رسم می‌شود؛ به عبارت دیگر، P&ID به نوعی تکمیل شده PFD می‌باشد. در این نقشه کلیه تجهیزات، حتی تجهیزات فرعی، نشان داده می‌شوند. در نمودار P&ID هر لوله با یک شماره مشخص شده و اطلاعات دقیق و کامل نیز در مورد لوله‌کشی و ابزار دقیق ارائه می‌گردد. مهم‌ترین موضوعاتی که در این نمودارها نمایش داده می‌شوند عبارت‌اند از:

- قطر و جنس هر لوله و اینکه آیا عایق حرارتی دارد یا خیر.
  - نوع، مقدار و ترکیب سیال داخل لوله‌ها، دما و فشاری که هر لوله تحمل می‌کند.
  - مشخصات دقیق شیرهای معمولی، شیرهای کنترل و شیرهای اطمینان؛ شامل نوع، اندازه و شرایط عملیاتی هر یک.
  - کلیه اطلاعات مربوط به حلقه‌های کنترل با ذکر جزئیات آنها.
  - کلیه اطلاعات مربوط به وسایل اندازه‌گیری و ابزار دقیق شامل دماسنج‌ها، فشارسنج‌ها و سطح‌سنج‌ها.
  - مشخصات دقیق و جزئیات مخازن و ظروف، شامل اندازه و محل کلیه ورودی‌ها و خروجی‌های آنها.
- در ادامه مثال ساده‌ای از نمودار لوله‌کشی و ابزار دقیق ارائه می‌گردد.

### مثال ۴

فرایندهای کنترلی ارائه شده در نمودار لوله‌کشی و ابزار دقیق شکل ۲۷ را شرح دهید.



شکل ۲۷- نمودار لوله‌کشی و ابزار دقیق راکتور

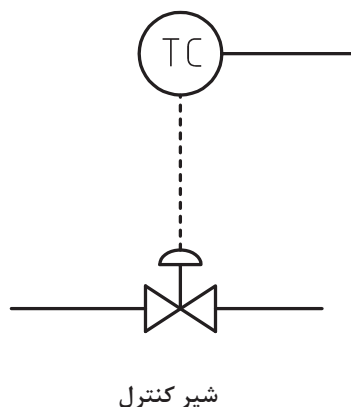
### پاسخ

در شکل شماره ۲۷ یک راکتور مخزنی همزن‌دار مداوم<sup>۱</sup> نشان داده شده است. این راکتور توسط آبی که وارد جداره خارجی آن می‌گردد، خنک می‌شود. با ورود جریان مواد به داخل راکتور و انجام واکنش



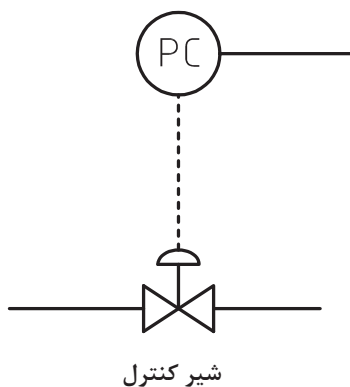
مربوطه، فشار درون راکتور تغییر کرده و نشانگر فشار (PI)، مقدار فشار را نشان می‌دهد. دمای درون راکتور نیز توسط نشانگر دما (TI) نشان داده می‌شود.

سامانه کنترل دما در این نمودار لوله‌کشی و ابزار دقیق مطابق شکل ۲۸ می‌باشد. خط توپر متصل به (TC) نشان می‌دهد که کنترل‌کننده دما (TC)، دمای درون راکتور را اندازه‌گیری می‌کند. خط چین متصل به (TC) نشان می‌دهد که کنترل‌کننده دما، به شیر کنترل که بر روی جریان خروجی آب خنک‌کننده نصب شده است، دستور مناسب را جهت کنترل دما می‌دهد.



شکل ۲۸- سامانه کنترل دما در نمودار لوله‌کشی و ابزار دقیق

اگر دمای راکتور به هر دلیلی تغییر کرد، کنترل‌کننده دما به شیر کنترل دستور داده و شیر کنترل با باز و بسته شدن، میزان دبی آب خنک‌کننده را تغییر می‌دهد که در نتیجه منجر به تنظیم دمای درون راکتور می‌گردد. سامانه کنترل فشار در این نمودار لوله‌کشی و ابزار دقیق، مطابق شکل ۲۹ می‌باشد. خط توپر متصل به (PC) نشان می‌دهد که کنترل‌کننده فشار (PC)، فشار درون راکتور را اندازه‌گیری می‌کند. خط چین متصل به (PC) نشان می‌دهد که کنترل‌کننده فشار، به شیری که بر روی جریان خوراک ورودی به راکتور نصب شده است، دستور مناسب را جهت کنترل فشار می‌دهد.

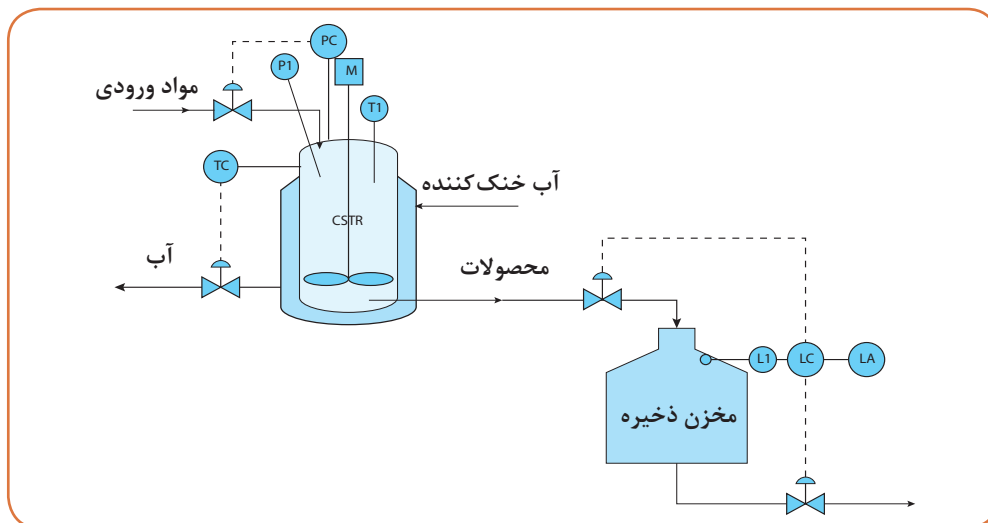


شکل ۲۹- سامانه کنترل فشار در نمودار لوله‌کشی و ابزار دقیق

به این ترتیب که اگر به هر دلیلی فشار درون راکتور تغییر کرد، کنترل کننده فشار به شیر کنترل دستور داده و شیر کنترل با باز و بسته شدن، میزان دبی مواد ورودی به راکتور را تغییر می‌دهد که در نتیجه منجر به کنترل فشار درون راکتور می‌گردد.

### پرسش ۱۰

فرایندهای کنترلی ارائه شده در نمودار لوله کشی و ابزار دقیق شکل ۳۰ را شرح دهید.



شکل ۳۰- سامانه کنترل راکتور مخزنی در نمودار لوله کشی و ابزار دقیق

با توجه به فیلم‌های آموزشی صنایع مختلف که تاکنون دیده‌اید، نمودارهای لوله کشی و ابزار دقیق ساده‌ای از هر کدام را رسم کنید. هر گروه از هنرجویان دو نمودار را رسم نماید.

فعالیت عملی



## نقشه جانمایی تجهیزات

جانمایی تجهیزات در یک کارخانه صنایع شیمیایی، موضوع مهمی در ایمنی و اقتصاد طرح آن کارخانه می باشد. جانمایی می تواند از طریق جداکردن و کم کردن خطرات، کم کردن لوله کشی های آسیب پذیر، کاهش تماس با مواد سمی و اشتعال پذیر، ساخت کارخانه به شیوه ایمن و اقتصادی، نگهداری مطمئن و اقتصادی، طراحی مناسب اتاق فرمان، تجهیزات کنترل اضطراری، تجهیزات آتش نشانی و دسترسی به امکانات در شرایط اضطراری بر فرایندهای شیمیایی مؤثر باشد. البته جانمایی، تأثیر زیادی نیز بر روی اقتصاد فرایند خواهد گذاشت؛ چون با زیاد شدن مساحت کارخانه، اگر چه ایمنی فرایند بیشتر می شود، ولی از طرفی هزینه خرید زمین، لوله کشی و عملیات واحد بیشتر می شود.

بنابراین زمین باید به اندازه کافی در دسترس باشد ولی هیچ مساحتی از آن نباید به هدر رود. لذا در طراحی یک فرایند شیمیایی، اصول جانمایی تجهیزات از اهمیت بالایی برخوردار است و برای فراگیری این اصول نیاز به مطالعه استانداردهای خاص برای تجهیزاتی مانند پمپ ها، کمپرسورها، مخزن ها، مبدل ها، راکتورها و تجهیزات مهم دیگر و همچنین تجربه کاری در این زمینه است. نقشه جانمایی تجهیزات یک فرایند شیمیایی بعد از تکمیل نمودار جریان فرایند و هم زمان با نمودار لوله کشی و ابزار دقیق تهیه می گردد. این نوع نقشه، ضمن نشان دادن ابعاد دستگاه ها، محل استقرار آنها و فاصله میان هر یک را نشان می دهد. اگر یک واحد صنعتی در چند طبقه طراحی شده باشد، نقشه جانمایی تجهیزات برای هر طبقه باید به طور جداگانه رسم شود.

## معرفی نرم افزار ویزو و آموزش آن

میکروسافت ویزو<sup>۱</sup> نرم افزاری برای طراحی نمودارها و انواع نقشه های فرایندی است که تحت سیستم عامل ویندوز کار می کند. نرم افزار ویزو را می توان به عنوان ابزاری پیشرفته جهت رسم نمودارهای جعبه ای جریان، جریان فرایندی، لوله کشی و ابزار دقیق، نمودارهای فعالیت های کاری، سازمانی و ... نام برد. مایکروسافت ویزو قالب های حرفه ای، جدید و همچنین شکل های پر کاربرد را مطابق با استانداردهای جهانی و به صورت از پیش طراحی شده در اختیار کاربران قرار داده و به آنها کمک می کند تا به آسانی رسم نمودارهای پیچیده خود را انجام دهند.

- ۱- نمودارهای جعبه ای مثال های ۱ و ۲ را ابتدا با استفاده از نرم افزار اتوکد و سپس توسط نرم افزار ویزو رسم کنید
- ۲- نمودارهای جریان فرایندی پرسش های ۶، ۷ و ۸ را ابتدا با استفاده از نرم افزار اتوکد و سپس توسط نرم افزار ویزو رسم کنید.

فعالیت عملی



## ارزشیابی شایستگی نقشه خوانی و نقشه کشی در صنایع شیمیایی

<p><b>شرح کار:</b></p> <p>۱- نقشه‌های فرایندی را تشخیص دهد.</p> <p>۲- نمودار جعبه‌ای فرایند (BFD) را به کار برد.</p> <p>۳- نمودار جریان فرایند (PFD) را به کار برد.</p> <p>۴- به کمک نرم‌افزار، نقشه‌های فرایندی را رسم کند.</p>																															
<p><b>استاندارد عملکرد:</b></p> <p>کار با نقشه‌های فرایندی (خواندن، ترسیم و ارجاع آن به تجهیزات)</p>																															
<p><b>شاخص‌ها:</b></p> <p>- انجام کار طبق دستورکار</p>																															
<p><b>شرایط انجام کار و ابزار و تجهیزات:</b></p> <p>- شرایط مکان: کلاس و سایت کامپیوتر</p> <p>- شرایط دستگاه: آماده به کار</p> <p>- زمان: یک جلسه آموزشی</p> <p>- ابزار و تجهیزات: کاغذ- قلم- کامپیوتر مجهز به نرم‌افزار ویزو و اتوكد</p>																															
<p><b>معیار شایستگی:</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>ردیف</th> <th>مرحله کار</th> <th>کمترین نمره قبولی از ۳</th> <th>نمره هنرجو</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>۱</td> <td>به کارگیری نمودار جعبه‌ای جریان (BFD)</td> <td>۲</td> <td></td> </tr> <tr> <td>۲</td> <td>به کارگیری نمودار جریان فرایند (PFD)</td> <td>۲</td> <td></td> </tr> <tr> <td>۳</td> <td>به کارگیری نمودار لوله کشی ابزار دقیق (P&amp;ID) و نقشه جانمایی تجهیزات</td> <td>۱</td> <td></td> </tr> <tr> <td>۴</td> <td>رسم نقشه فرایندی به کمک نرم‌افزار</td> <td>۱</td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="2"> <p>شایستگی‌های غیر فنی، ایمنی، بهداشتی، توجهات زیست محیطی و نگرش:</p> <p>۱- ایمنی:</p> <p>۲- نگرش: استفاده بهینه از نرم افزار در رسم نقشه‌های فرایندی، صرفه جویی در زمان، کاغذ، قلم و ...</p> <p>۳- توجهات زیست محیطی: کاهش دور ریز کاغذ ...</p> <p>۴- شایستگی‌های غیر فنی: ۱- اخلاق حرفه‌ای ۲- مدیریت منابع ۳- محاسبه و کاربست ریاضی ۴- مستندسازی: گزارش نویسی</p> </td> <td>۲</td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="2">میانگین نمرات</td> <td></td> <td>*</td> </tr> </tbody> </table>				ردیف	مرحله کار	کمترین نمره قبولی از ۳	نمره هنرجو	۱	به کارگیری نمودار جعبه‌ای جریان (BFD)	۲		۲	به کارگیری نمودار جریان فرایند (PFD)	۲		۳	به کارگیری نمودار لوله کشی ابزار دقیق (P&ID) و نقشه جانمایی تجهیزات	۱		۴	رسم نقشه فرایندی به کمک نرم‌افزار	۱		<p>شایستگی‌های غیر فنی، ایمنی، بهداشتی، توجهات زیست محیطی و نگرش:</p> <p>۱- ایمنی:</p> <p>۲- نگرش: استفاده بهینه از نرم افزار در رسم نقشه‌های فرایندی، صرفه جویی در زمان، کاغذ، قلم و ...</p> <p>۳- توجهات زیست محیطی: کاهش دور ریز کاغذ ...</p> <p>۴- شایستگی‌های غیر فنی: ۱- اخلاق حرفه‌ای ۲- مدیریت منابع ۳- محاسبه و کاربست ریاضی ۴- مستندسازی: گزارش نویسی</p>		۲		میانگین نمرات			*
ردیف	مرحله کار	کمترین نمره قبولی از ۳	نمره هنرجو																												
۱	به کارگیری نمودار جعبه‌ای جریان (BFD)	۲																													
۲	به کارگیری نمودار جریان فرایند (PFD)	۲																													
۳	به کارگیری نمودار لوله کشی ابزار دقیق (P&ID) و نقشه جانمایی تجهیزات	۱																													
۴	رسم نقشه فرایندی به کمک نرم‌افزار	۱																													
<p>شایستگی‌های غیر فنی، ایمنی، بهداشتی، توجهات زیست محیطی و نگرش:</p> <p>۱- ایمنی:</p> <p>۲- نگرش: استفاده بهینه از نرم افزار در رسم نقشه‌های فرایندی، صرفه جویی در زمان، کاغذ، قلم و ...</p> <p>۳- توجهات زیست محیطی: کاهش دور ریز کاغذ ...</p> <p>۴- شایستگی‌های غیر فنی: ۱- اخلاق حرفه‌ای ۲- مدیریت منابع ۳- محاسبه و کاربست ریاضی ۴- مستندسازی: گزارش نویسی</p>		۲																													
میانگین نمرات			*																												
<p>* حداقل میانگین نمرات هنرجو برای قبولی و کسب شایستگی، ۲ می‌باشد.</p>																															