بسم الله الرحمن الرحیم

کنترل فرایندهای شیمیایی

رشتهٔ صنایع شیمیایی

گروه مواد و فراوری

شاخهٔ فنی و حرفه‌ای

پایهٔ یازدهم دورهٔ دوّم متوسطه

وزارت آموزش و پرورش
سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی

نام کتاب: کنترل فرایندهای شیمیایی ـ ۲۱۱۵۲۰
پدیدآورنده: سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی
مدیریت برنامه‌ریزی درسی و تألیف: دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای وکاردانش
شناسه افزوده برنامه ریزی و تالیف: طیبه کنشلو، اعظم صفاری، رابعه شیخ زاده، سید رضا سیف محدثی، اعظم یوسفی و قاسم حاجی قاسمی (اعضای شورای برنامه ریزی)
سید رضا سیف محدثی، حسین بیرجانیان، محسن کدیور و زهرا طاهری (اعضای گروه تألیف)
مدیریت آماده‌سازی هنری: ادارهٔ کلّ نظارت بر نشر و توزیع مواد آموزشی
شناسه افزوده آماده‌سازی: مجید ذاکری یونسی (مدیر هنری) ـ محمد عباسی، پوران نقدی(صفحه‌آرا) ـ مریم کیوان (طراح جلد) ـ سیدمرتضی میرمجیدی (رسام)
نشانی سازمان: تهران: خیابان ایرانشهر شمالی ـ ساختمان شمارهٔ ۴ آموزش و پرورش (شهیدموسوی)
تلفن: ۹ـ۸۸۸۳۱۱۶۱ ، **دورنگار:** ۸۸۳۰۹۲۶۶ ، **کد پستی:** ۱۵۸۴۷۴۷۳۵۹
وب سایت: www.chap.sch.ir و www.irtextbook.ir
ناشر : شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران: تهران ـ کیلومتر ۱۷ جادهٔ مخصوص کرج ـ خیابان ۶۱ (دارو پخش) **تلفن:** ۵ ـ ۴۴۹۸۵۱۶۱، **دورنگار:** ۴۴۹۸۵۱۶۰/ **صندوق پستی:** ۱۳۹ـ۳۷۵۱۵
چاپخانه: شرکت چاپ و نشر کتاب های درسی ایران سهامی‌خاص
سال انتشار و نوبت چاپ: چاپ دوم ۱۳۹۷

کلیهٔ حقوق مادی و معنوی این کتاب متعلق به سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی وزارت آموزش و پرورش است و هرگونه استفاده از کتاب و اجزای آن به‌صورت چاپی و الکترونیکی و ارائه در پایگاه‌های مجازی، نمایش، اقتباس، تلخیص، تبدیل، ترجمه، عکس‌برداری، نقاشی، تهیهٔ فیلم و تکثیر به هر شکل و نوع بدون کسب مجوز ازاین سازمان ممنوع است و متخلفان تحت پیگرد قانونی قرار می‌گیرند.

شابک ۲- ۲۸۶۶ - ۰۵ - ۹۶۴ - ۹۷۸ **ISBN 978 – 964 – 05 – 2866 –2**

اگر یک ملتی نخواهد آسیب ببیند، باید این ملت اولاً با هم متحد باشد و ثانیاً در هر کاری که اشتغال دارد، آن‌را خوب انجام بدهد. امروز کشور محتاج به کار است. باید کار کنیم تا خودکفا باشیم، بلکه ان‌شاءالله صادرات هم داشته باشیم. شما برادرها الآن عبادت‌تان این است که کار بکنید. این عبادت است.

امام خمینی (قُدِّسَ سِرُّه‌الشَّریف)

فهرست

پودمان ۱: نقشه‌خوانی و نقشه‌کشی در صنایع شیمیایی ۱

مقدمه ۲
نمودار جعبه‌ای جریان‌ها (BFD) ۴
نمودار جریان فرایند (PFD) ۱۲
شکل ها و نماد ها در نمودار جریان فرایند ۱۶
نمودار لوله‌کشی و ابزار دقیق P&ID ۳۲
نقشهٔ جانمایی تجهیزات ۳۵
معرفی نرم افزار ویزیو و آموزش آن ۳۵
ارزشیابی شایستگی نقشه خوانی و نقشه‌کشی در صنایع شیمیایی ۳۶

پودمان ۲: اندازه‌گیری، ثبت و کنترل دما ۳۷

مقدمه ۳۸
مفهوم دما ۳۹
یکاها 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

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
تنظیم کننده‌های فشار ۱۰۸

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

پودمان ۴ : اندازه‌گیری، ثبت و کنترل دبی ۱۱۷
مقدمه ۱۱۸
اندازه‌گیری مقدار سیالات ۱۱۹
شدت جریان(دبی) ۱۱۹
انواع دبی ۱۲۱
یکاهای دبی ۱۲۲
تبدیل یکاهای دبی ۱۲۳
روش‌های اندازه‌گیری دبی مایعات ۱۲۷
روش‌اثرات مقاومت سیال یا روش سطح متغیر(روتامتر) ۱۲۹
وسایل جریان سنج سیالات بر پایهٔ نصب موانع ۱۳۲
اریفیس متر ۱۳۳
ونتوری متر ۱۳۶
جریان سنج گاز ۱۳۹
کنترل دبی جریان ۱۴۳
شیر کنترل خودکار ۱۴۴
متغیرهای مهم در انتخاب نوع و اندازهٔ شیرهای کنترل ۱۴۴
ارزشیابی شایستگی اندازه‌گیری، ثبت و کنترل دبی سیال ۱۴۶

پودمان ۵ : اندازه‌گیری، ثبت و کنترل ارتفاع سطح مواد ۱۴۷
مقدمه ۱۴۸
اندازه‌گیری ارتفاع سطح مواد ۱۴۹
سطح سنج ۱۵۰
عوامل تأثیر گذار در انتخاب نوع سطح سنج ۱۵۳
یکاهای ارتفاع سطح مواد و تبدیل آنها به یکدیگر ۱۵۴
دستگاه‌های اندازه‌گیری ارتفاع سطح مواد ۱۵۷
نمایشگرهای فیزیکی سطح ۱۵۸
انواع سطح سنج با عملکرد پیوسته ۱۶۰
انواع سطح سنج نقطه‌ای ۱۶۳
کنترل سطح ۱۶۷
ارزشیابی شایستگی اندازه‌گیری، ثبت و کنترل ارتفاع سطح مواد ۱۶۹

منابع ۱۷۰

سخنی با هنرجویان عزیز

شرایط در حال تغییر دنیای کار در مشاغل گوناگون، توسعهٔ فناوری‌ها و تحقق توسعهٔ پایدار، ما را بر آن داشت تا برنامه‌های درسی و محتوای کتاب‌های درسی را در ادامهٔ تغییرات پایه‌های قبلی براساس نیاز کشور و مطابق با رویکرد سند تحول بنیادین آموزش و پرورش و برنامهٔ درسی ملی جمهوری اسلامی‌ایران در نظام جدید آموزشی بازطرّاحی 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 رشتهٔ تحصیلی حرفه‌ای شما، چهار دستهٔ شایستگی در نظر گرفته است:

۱ـ شایستگی‌های فنی برای جذب در بازار کار مانند توانایی اندازه‌گیری و کنترل دما و فشار و...

۲ـ شایستگی‌های غیر فنی برای پیشرفت و موفقیت در آینده مانند نوآوری و مصرف بهینه

۳ـ شایستگی‌های فناوری اطلاعات و ارتباطات مانند کار با نرم افزارها

۴ـ شایستگی‌های مربوط به یادگیری همیشگی مانند کسب اطلاعات از منابع دیگر

بر این اساس دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای و کاردانش مبتنی بر اسناد بالادستی و با مشارکت متخصصان برنامه‌ریزی درسی فنی و حرفه‌ای و خبرگان دنیای کار، مجموعهٔ اسناد برنامه درسی رشته‌های شاخهٔ 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 ویژهٔ رشتهٔ صنایع شیمیایی در پایهٔ ۱۱ تألیف شده است. کسب شایستگی‌های این کتاب برای موفقیت آیندهٔ شغلی و حرفه ای شما بسیار ضروری است. هنرجویان عزیز سعی نمایید؛ تمام شایستگی‌های آموزش داده شده دراین 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 مرحلهٔ 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 سامانهٔ ثبت نمرات منظور می‌نماید و نمرهٔ 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. کارنامهٔ شما در این درس شامل ۵ پودمان و از دو بخش نمرهٔ مستمر و نمرهٔ شایستگی برای هر پودمان خواهد بود و اگر در یکی از پودمان‌ها نمرهٔ قبولی را کسب نکردید، تنها در همان پودمان لازم است مورد ارزشیابی قرار گیرید و پودمان‌های قبول شده در مرحلهٔ 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 بستهٔ آموزشی که برای شما طرّاحی و تألیف شده است، وجود دارد. یکی از این اجزای بستهٔ آموزشی، کتاب همراه هنرجو 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 بستهٔ آموزشی دیگری نیز برای شما در نظر گرفته شده است که با مراجعه به وبگاه رشتهٔ خود به نشانی www.tvoccd.medu.ir می‌توانید از عناوین آن مطلع شوید.

فعالیت‌های یادگیری در ارتباط با شایستگی‌های غیرفنی از جمله مدیریت منابع، اخلاق حرفه‌ای، حفاظت از محیط زیست و شایستگی‌های یادگیری همیشگی و فناوری اطلاعات و ارتباطات همراه با شایستگی‌های فنی طرّاحی و در کتاب درسی و بستهٔ 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 هنرآموز 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 شایستهٔ جوانان برومند میهن اسلامی برداشته شود.

دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای و کاردانش

سخنی با هنرآموزان گرامی

در راستای تحقق اهداف سند تحول بنیادین آموزش و پرورش و برنامهٔ درسی ملّی جمهوری اسلامی‌ایران و نیازهای متغیر دنیای کار و مشاغل، برنامهٔ درسی رشتهٔ صنایع شیمیایی طرّاحی و بر اساس آن محتوای آموزشی نیز تألیف گردید. کتاب حاضر از مجموعهٔ کتاب‌های کارگاهی می‌باشد که برای پایهٔ 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 شیوهٔ ارزشیابی آورده شده است. هنرآموزان گرامی‌می‌بایست برای هر پودمان یک نمره در سامانهٔ ثبت نمرات برای هر هنرجو ثبت کنند. نمرهٔ قبولی در هر پودمان حداقل ۱۲ می‌باشد و نمرهٔ هر پودمان از دو بخش تشکیل می‌گردد که شامل ارزشیابی پایانی در هر پودمان و ارزشیابی مستمر برای هریک از پودمان‌ها است. از ویژگی‌های دیگر این کتاب طرّاحی فعالیت‌های یادگیری ساخت‌یافته در ارتباط با شایستگی‌های فنی و غیرفنی از جمله مدیریت منابع، اخلاق حرفه ای و مباحث زیست محیطی است. این کتاب جزئی از بستهٔ آموزشی تدارک دیده شده برای هنرجویان است که لازم است از سایر اجزای بستهٔ 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 می توانید برای آشنایی بیشتر با اجزای بستهٔ یادگیری، روش‌های تدریس کتاب، شیوهٔ 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،کارنامهٔ صادر شده در سال تحصیلی قبل بر اساس نمرهٔ 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 به‌کارگیری 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 وکنترل 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 وکنترل آن آموزش داده شده است.

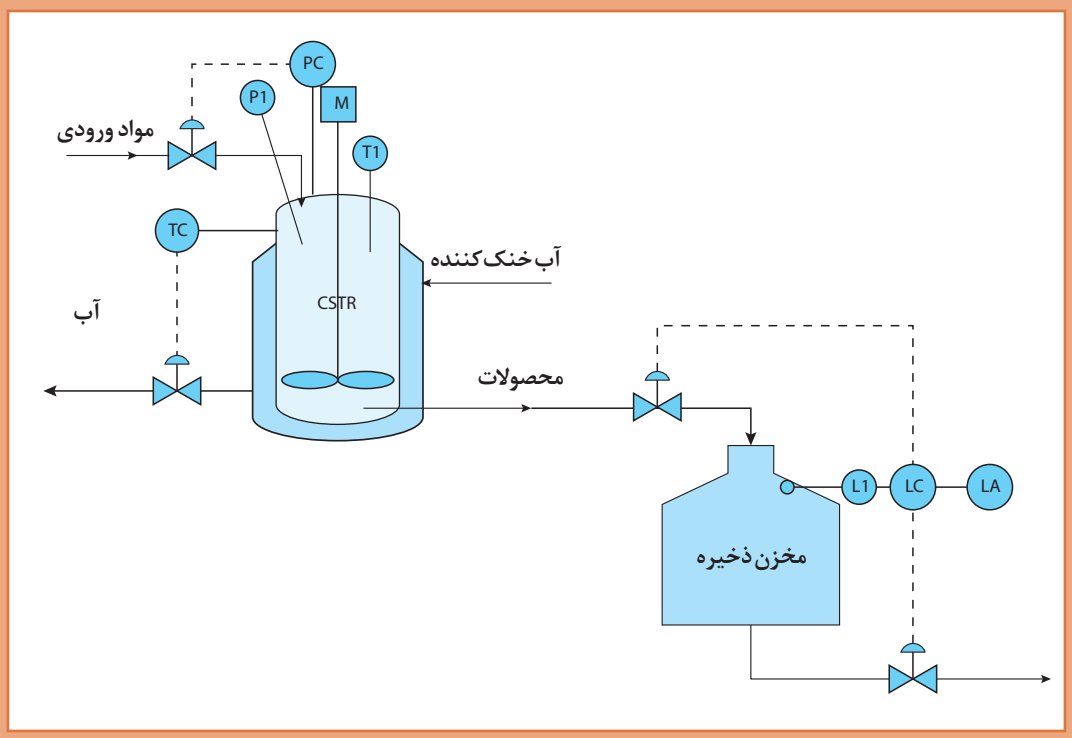
پودمان پنجم: با عنوان اندازه‌گیری ، ثبت و کنترل ارتفاع سطح مواد می‌باشد که در آن هنرجویان ابتدا مفاهیم و محاسبات در اندازه‌گیری ارتفاع سطح ، دستگاه‌های اندازه‌گیری آن وکنترل ارتفاع سطح آورده شده است.

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

دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه ای و کاردانش

پودمان ۱

نقشه‌خوانی و نقشه‌کشی 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

نقشه‌خوانی و نقشه‌کشی در صنایع شیمیایی

مقدمه

بهره‌برداری از فرایندهای شیمیایی و پتروشیمیایی فرایندی حساس و دقیق می‌باشدکه 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. مطالعهٔ نقشه‌ها یا اصطلاحاً نمودارهای فرایندی یکی از روش‌هایی است که می‌تواند کارکنان بهره‌برداری 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، استفادهٔ 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:** تهیهٔ گزارش دقیق و صحیح از فعالیت‌های کارگاهی

۵ **محاسبه و کاربست 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 به‌کار برند.

۲ نمودار جریان‌فرایند (PFD) را به‌کار برند.

۳ به کارگیری نمودار لوله‌کشی و ابزار دقیق(P&ID) و با نقشهٔ جانمایی تجهیزات آشنا شوند.

۴ به کمک نرم‌افزار نقشه‌های فرایندی را رسم کنند.

آشنایی با مراحل طرّاحی فرایند

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

- طرّاحی مفهومی[۳]؛
- طرّاحی پایه[۴]؛
- طرّاحی جزئی[۵].

در هر یک از مراحل طرّاحی مذکور، ایده‌ها و افکار مهندسین طرّاح، 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 محاسبهٔ سود و زیان پروژه باید انجام شود. اگر پس از این مرحله اثبات شد که ساخت کارخانهٔ مورد نظر، اقتصادی و سودآور است، در مرحلهٔ بعد، تجهیزات مورد نیاز فرایند انتخاب و طرّاحی آنها انجام می‌شود. پس از انجام مراحل طرّاحی، 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 شیمی‌شاغل در آن فرایند، علاوه بر آشنایی کامل با فرایند تحت‌کنترل، از چگونگی عملکرد دستگاه‌ها اطلاعات کاملی داشته باشند. مطالعهٔ نمودارهای فرایندی، یکی از روش‌هایی است که می‌تواند مهندسین را از فرایند واحدها مطّلع سازد. انواع نمودارهای فرایندی یک کارخانهٔ صنایع شیمیایی عبارت‌اند از:

ـ نمودار جعبه‌ای جریان[۶] (BFD)؛

ـ نمودار جریان فرایند[۷] (PFD)؛

ـ نمودار لوله‌کشی و ابزار دقیق[۸] (P & ID)؛

ـ نقشهٔ جانمایی تجهیزات[۹].

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

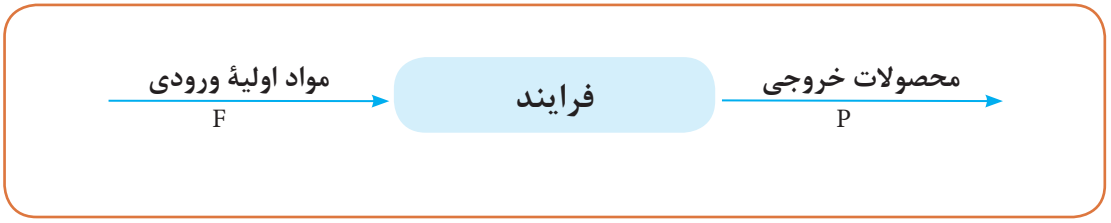
برای رسم نقشه‌های صنعتی اعم از نمودارهای جعبه‌ای، فرایند، ابزار دقیق و نقشه‌های مکانیک و ... معمولاً از نرم‌افزارهای اتوکد[۱۰] و ویزیو[۱۱] استفاده می‌شود.

۱ـ Process
۲ـ Process Design
۳ـ Conceptual Design
۴ـ Basic Engineering Design Package
۵ـ Detailed Design
۶ـ Block Flow Diagram
۷ـ Process Flow Diagram
۸ـ Piping and Instrument Diagram
۹ـ Plant Layout
۱۰ـ AutoCad
۱۱ـ Visio

نمودار جعبه‌ای جریان (BFD)

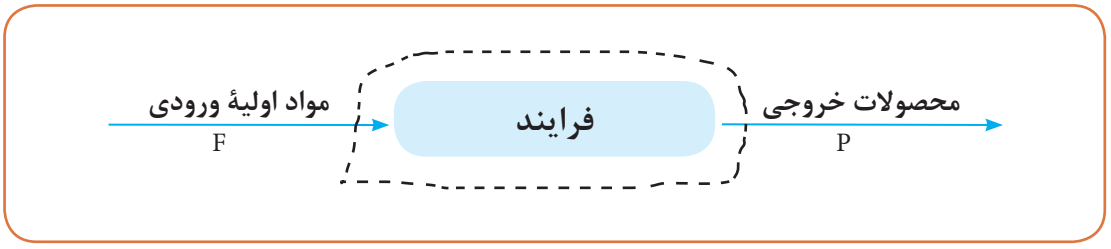
در مرحلهٔ اوّل طرّاحی کارخانجات شیمیایی لازم است اطلاعات کلی فرایند اعم از جریان‌های خوراک، محصولات خروجی و موازنهٔ جرم جریان‌ها نشان داده شوند. لذا از این نوع نمودار برای ارائهٔ اصول کلی و مفاهیم فرایند استفاده می‌گردد.

در نمودار جعبه‌ای جریان یک فرایند شیمیایی، تعدادی از دستگاه‌ها که در مجموع یک فرایند را به‌وجود می‌آورند، به صورت یک جعبه یا بلوک[1] 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 ۱ـ نمونهٔ یک نمودار جعبه‌ای

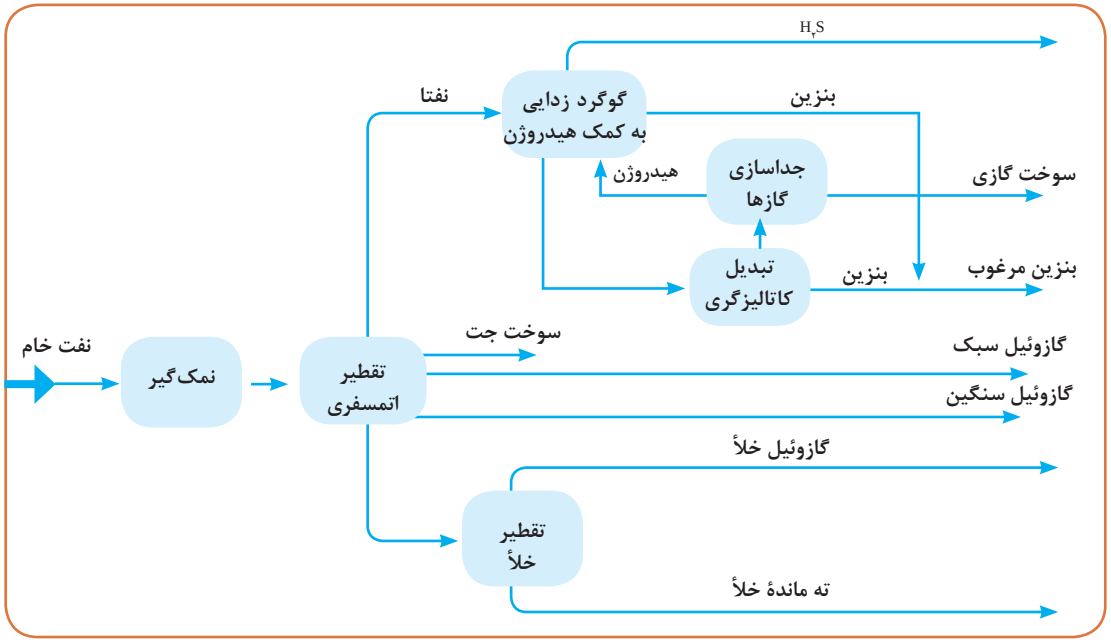
اگر در شکل ۱، میزان دبی جرمی‌مواد اولیهٔ ورودی ۱۰۰۰ کیلوگرم بر ساعت باشد، براساس موازنهٔ جرم پیرامون سامانهٔ انتخاب شدهٔ فرایند، در شکل ۲، میزان محصول خروجی نیز برابر با خوراک ورودی خواهد شد، لذا میزان محصول خروجی نیز ۱۰۰۰ کیلوگرم بر ساعت خواهد شد.



شکل ۲ـ تعیین حدود سامانهٔ 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.

۱ـ Block



شکل ۳ـ نمودار جعبه‌ای یک پالایشگاه

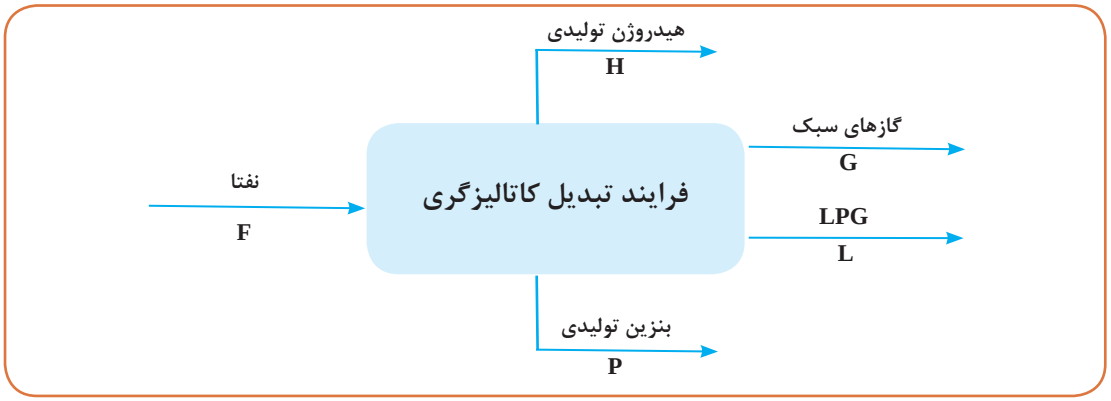
معمولاً برای رسم نمودارهای جعبه‌ای اشاره شده و همچنین نمودار جریان فرایند و نمودار لوله‌کشی و ابزار دقیق که در ادامه بحث خواهد شد، از نرم‌افزارهای اتوکد و ویزیو استفاده می‌شود.

مثال ۱

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

الف) شرح فرایند؛

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



شکل ۴ـ نمودار جعبه‌ای فرایند تبدیل کاتالیزگری

۱ـ Catalytic Reforming Process

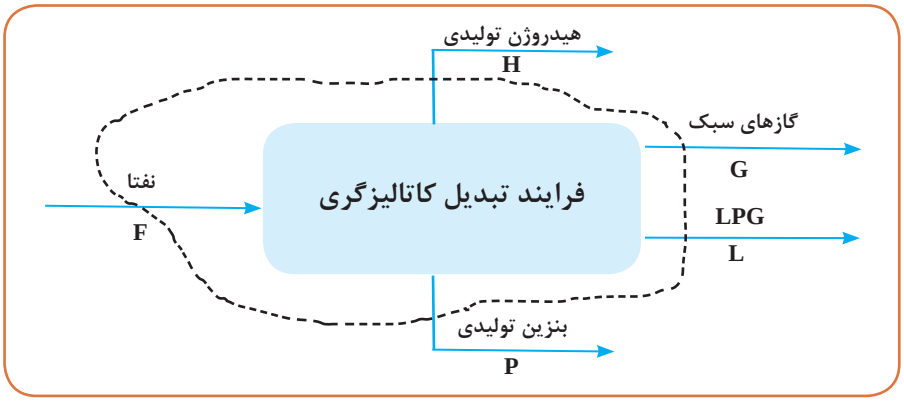
جدول ۱ــ مقدار جریان‌های فرایند تبدیل کاتالیزگری

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

پاسخ

الف) مطابق نمودار جعبه‌ای رسم شدهٔ 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 موازنهٔ جرم، در ابتدا باید یک سامانه برای فرایند انتخاب نمود. موازنهٔ جرم مطابق سامانهٔ انتخاب شده (سامانهٔ خط چین) شکل۵، عبارت است از:



شکل ۵ــ سامانه انتخاب شده جهت موازنهٔ جرم

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

جرم کل ورودی به سامانه = F = ۱۶۳۰۰۰ kg/h

جرم کل خروجی از سامانه = H + G + L+ P

بنابراین:

$$H + G + L + P = ۱۶۳۰۰۰ \text{ kg/h}$$

حال با معلوم بودن مقدار دبی جرمی‌جریان‌های P، G و H، می‌توان مقدار دبی جرمی‌جریان L را تعیین نمود.

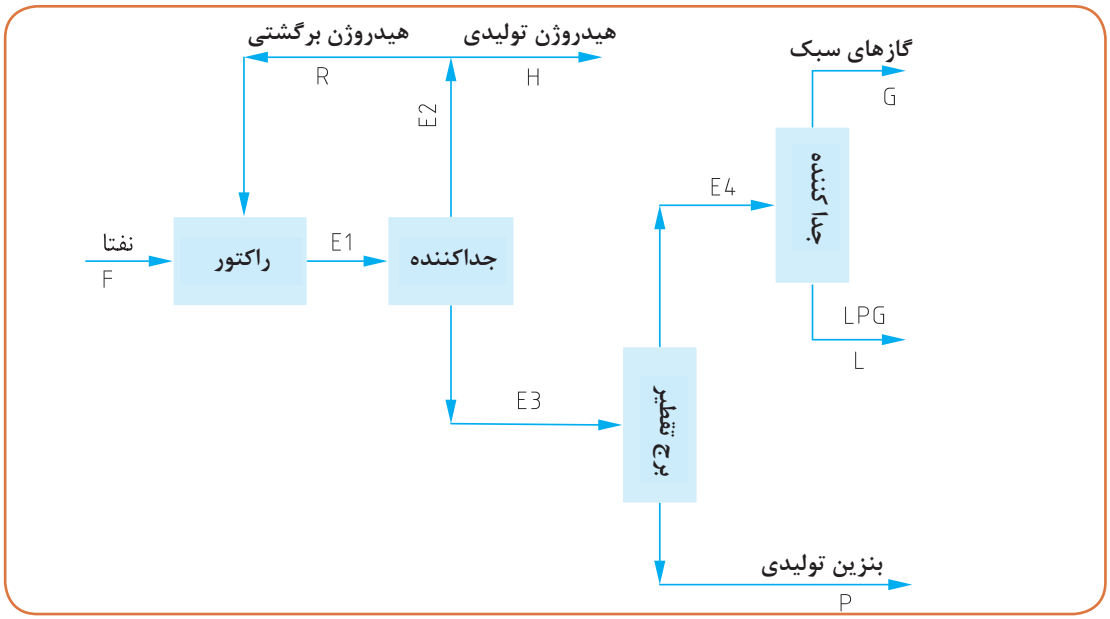
$$۱۵۶۰۰ + ۳۲۶۰ + L + ۱۳۵۰۰۰ = ۱۶۳۰۰۰ \longrightarrow L = ۹۱۴۰ \text{ kg/h}$$

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 کامل‌تر شدهٔ فرایند تبدیل کاتالیزگری در شکل ۶ نشان داده شده است. مطلوب است:

الف) شرح نمودار؛

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



شکل ۶ـ نمودار جعبه‌ای فرایند تبدیل کاتالیزگری

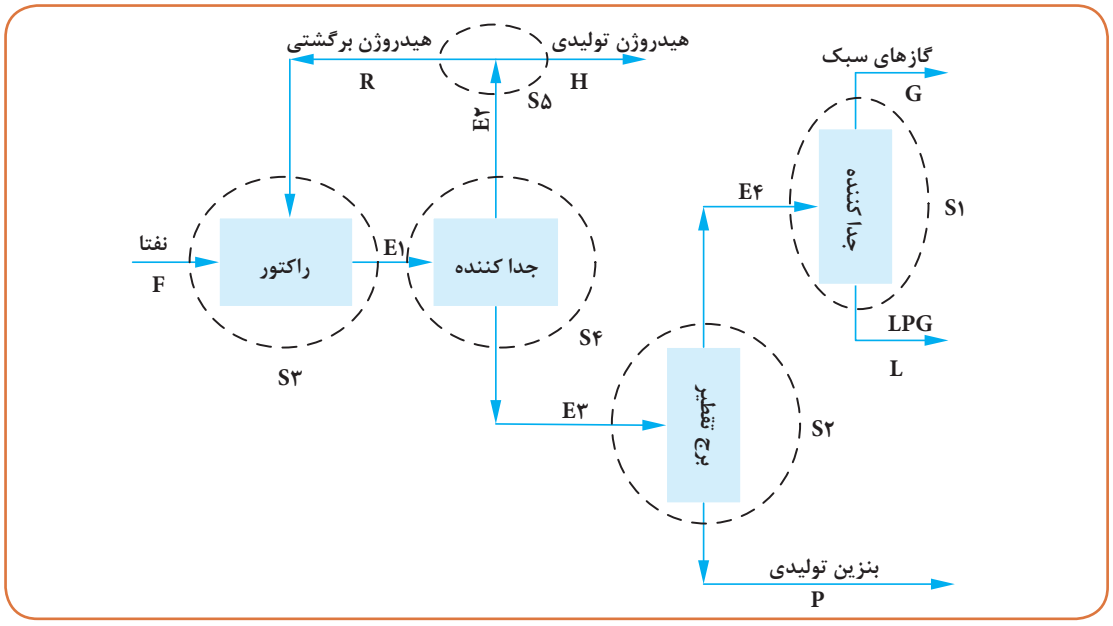
جدول ۲ـ مقادیر جریان‌های فرایند تبدیل کاتالیزگری

نام جریان	میزان دبی جرمی (کیلو گرم بر ساعت)
F	۱۶۳۰۰۰
P	۱۳۵۰۰۰
G	۳۲۶۰
H	۱۵۶۰۰
L	۹۱۴۰
E۱	۲۴۶۴۰۰
R	؟
E۲	؟
E۳	؟
E۴	؟

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 باقیماندهٔ 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 پایین این برج که همان بنزین مرغوب تولیدی است، جهت مصرف از فرایند خارج می‌شود. محصول بالایی از برج وارد جداکنندهٔ 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 موازنهٔ جرم، در ابتدا باید یک سامانه برای فرایند انتخاب نمود. مطابق شکل ۷ سامانه‌های مختلفی می‌توان انتخاب کرد.



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

موازنهٔ جرم مطابق سامانهٔ ۱ (S۱) انتخاب شده (سامانهٔ خط‌چین) : براساس موازنهٔ جرم کل ورودی برابر است با جرم کل خروجی لذا:

جرم کل ورودی به سامانه = E۴ =?

جرم کل خروجی از سامانه = G + L= ۳۲۶۰ + ۹۱۴۰ = ۱۲۴۰۰ kg/h

چون:

جرم کل خروجی از سامانه = جرم کل ورودی به سامانه

بنابراین:

E۴ = ۱۲۴۰۰ kg/h

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

جرم کل ورودی به سامانه = E۳ =?

جرم کل خروجی از سامانه = E۴ + P = ۱۲۴۰۰ + ۱۳۵۰۰۰ = ۱۴۷۴۰۰ kg/h

چون:

جرم کل خروجی از سامانه = جرم کل ورودی به سامانه

بنابراین:

E۳ = ۱۴۷۴۰۰ kg/h

موازنهٔ جرم مطابق سامانهٔ ۳ (S۳) انتخاب شده (سامانهٔ خط‌چین): براساس موازنه، جرم کل ورودی برابر است با جرم کل خروجی لذا:

جرم کل ورودی به سامانه = F + R

جرم کل خروجی از سامانه = E۱ = ۲۴۶۴۰۰ kg/h

چون:

جرم کل خروجی از سامانه = جرم کل ورودی به سامانه

بنابراین:

F + R = ۲۴۶۴۰۰ kg/h ⟶ ۱۶۳۰۰۰ + R = ۲۴۶۴۰۰ ⟶ R = ۸۳۴۰۰ kg/h

موازنهٔ جرم مطابق سامانهٔ ۴ (S۴) انتخاب شده (سامانهٔ خط‌چین): براساس موازنه، جرم کل ورودی برابر است با جرم کل خروجی لذا:

جرم کل ورودی به سامانه = E۱ = ?

جرم کل خروجی از سامانه = E۲ + E۳

چون:

جرم کل خروجی از سامانه = جرم کل ورودی به سامانه

بنابراین:

E۱ = E۲ + E۳ ⟶ ۲۴۶۴۰۰ = E۲ + ۱۴۷۴۰۰ ⟶ E۲ = ۹۹۰۰۰ 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:

جرم کل ورودی به سامانه = E۲ = ۹۹۰۰۰ kg/h

جرم کل خروجی از سامانه = R + H

چون:

جرم کل خروجی از سامانه = جرم کل ورودی به سامانه

بنابراین:

E۲ = R + H ⟶ ۹۹۰۰۰ = ۸۳۴۰۰+۱۵۶۰۰

۹۹۰۰۰ = ۹۹۰۰۰ kg/h

به‌طور کلی می‌توان کاربرد و استفاده‌های نمودار جعبه‌ای را شامل موارد زیر دانست:

۱ تهیهٔ اولین نمودار یک فرایند شیمیایی جهت استفاده در طرّاحی؛

۲ تشخیص و شناسایی اولیهٔ کل فرایند کارخانه؛

۳ تعیین موازنهٔ جرم کلی.

فعالیت‌عملی

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

پرسش ۱

سولفوریک اسید از واکنش تری‌اکسید گوگرد (SO_3) با آب تولید می‌گردد.

$$SO_3 + H_2O \longrightarrow H_2SO_4$$

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

الف) رسم نمودار جعبه‌ای فرایند تولید سولفوریک اسید؛

ب) موازنهٔ جرم این فرایند.

پرسش ۲

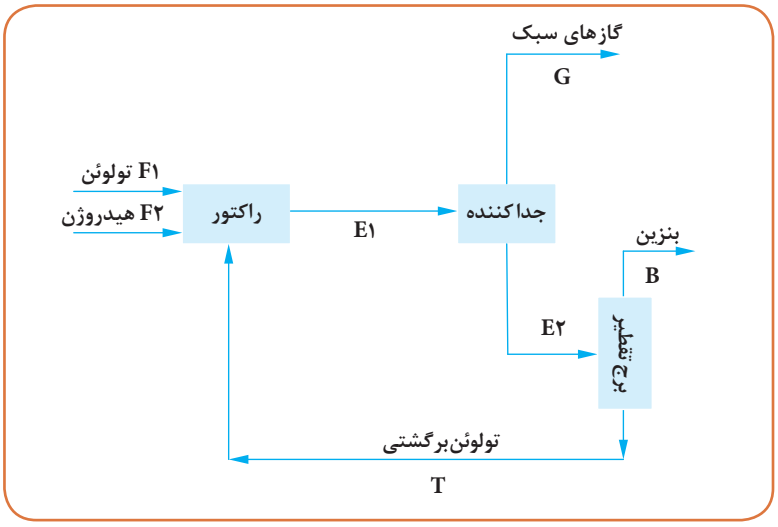
بنزن از واکنش هیدروژناسیون تولوئن به‌صورت زیر به‌دست می‌آید:

$$C_7H_8 + H_2 \longrightarrow C_6H_6 + CH_4$$

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

الف) شرح این نمودار

ب) موازنه جرم پیرامون این فرایند مطابق با داده‌های مندرج در جدول ۳ و تعیین مقدار جریان‌های E۱ و تولوئن برگشتی (T)



شکل ۸ــ نمودار جعبه‌ای فرایند تولید بنزن

جدول ۳ـ مقدار جریان‌های 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[۱] به نوعی از گاز طبیعی گفته می‌شود که شامل مقدار اندکی هیدروژن سولفید (H_2S) است. برای مصرف گاز طبیعی می‌بایست این گاز شیرین[۲] گردد، یعنی هیدروژن سولفید موجود در آن حذف گردد.
شیرین‌سازی گاز ترش در یک برج جذب با استفاده از حلال آمین انجام می‌شود. به‌طوری‌که حلال آمین از بالا و گاز ترش از پایین وارد برج می‌شوند. محصول بالای برج جذب، گاز شیرین است که برای مصرف از فرایند خارج می‌شود. محصول پایین برج جذب محلول آمینی است که مقداری هیدروژن سولفید دارد. لذا محصول پایین برج جذب به برج تقطیر احیاء آمین فرستاده می‌شود که محصول بالای این برج تقطیر شامل گازهای سبکی است که هیدروژن سولفید نیز دارد که آن را گازهای اسیدی[۳] می‌نامند. محصول پایین برج تقطیر نیز حلال آمین احیاء شده و بدون گاز هیدروژن سولفید می‌باشد. مطلوب است:
رسم نمودار جعبه‌ای فرایند شیرین‌سازی گاز طبیعی ترش

پرسش ۴

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

فعالیت‌عملی

با توجه به فیلم‌های آموزشی صنایع مختلف شیمیایی که تاکنون دیده‌اید، نمودارهای جعبه‌ای هر کدام را رسم کنید. هر گروه از هنرجویان دو نمودار را رسم کند.

۱ـ Sour Gas
۲ـ Sweet Gas
۳ـ Acid Gas

نمودار جریان فرایند (PFD)

در نمودار جریان فرایند، کلیهٔ 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 سادهٔ حلقه‌های کنترلی؛
- شرایط عملیاتی تجهیزات؛
- مشخصات کارفرما (سمت راست پایین نمودار)؛
- فهرست علایم و اختصارات[1] (سمت راست و بالای مشخصات کارفرما)؛
- ارائهٔ اطلاعات مربوط به تجهیزات دوّار مانند پمپ‌ها و کمپرسورها در قسمت پایین نمودار جریان فرایند؛
- ارائهٔ اطلاعات سایر تجهیزات در بالای نمودار جریان فرایند؛
- کلیهٔ تأسیسات[2] مورد نیاز و مقدار آنها از جمله آب، هوای فشرده و غیره.

۱ـ ۳ـ قواعد تهیهٔ نمودار جریان فرایند

مقیاس[3]:

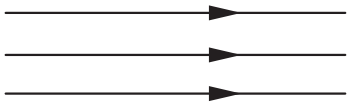
لازم نیست اندازه تمام دستگاه‌ها در یک مقیاس رسم شوند، هر چند اندازهٔ آنها باید متناسب با طرح تجهیزات باشد.

جهت جریان:

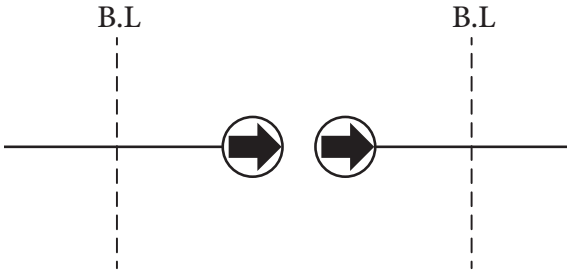
جهت جریان‌ها از چپ به راست بوده (شکل‌های ۹ و ۱۰) و با پیکان مشخص می‌گردند. اصولاً تمامی خطوط جریان در محل ورود به تجهیزات، نقاط تقاطع و خم خطوط، با پیکان علامت‌گذاری می‌شوند. گاهی خطوط جریان طولانی در میانه مسیر نیز پیکان‌گذاری می‌شوند. لازم به ذکر است که محدودیتی در تعداد پیکان‌های مورد استفاده وجود ندارد. علامت اتصال خط مرزی ورودی و خروجی از نمودار جریان فرایند به عنوان محدودهٔ فرایند[4] (B.L) در شکل ۱۱ نشان داده شده است.

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

۱ـ Legend
۲ـ Utility
۳ـ Scale
۴ـ Battry Limit



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



شکل ۱۱ـ نشانهٔ اتصال خط مرزی ورودی و خروجی از 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 ۱۲ـ جریان‌های فرایندی (خطوط اصلی) در نمودار جریان فرایند

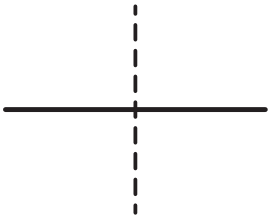
شکل ۱۳ـ جریان‌های غیر فرایندی (خطوط تأسیسات) در نمودار جریان فرایند

شکل ۱۴ـ جریان‌های کنترلی در نمودار جریان فرایند

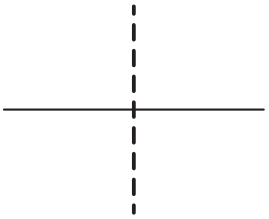
جریان‌های فرایندی و غیرفرایندی:

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

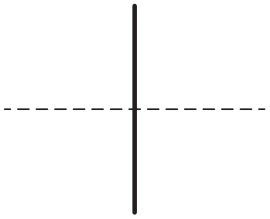
زمانی‌که دو جریان یکدیگر را قطع می‌کنند، خطوط افقی همواره به شکل پیوسته و خطوط عمودی به‌صورت خط‌چین رسم می‌شوند. البته این قرارداد برای حلقه‌های کنترلی صدق نمی‌کند و در این حالت خطوط فرایند پیوسته و خطوط کنترلی، خط‌چین خواهند بود (شکل‌های ۱۵ الی ۱۷).



شکل ۱۵ـ تقاطع دو جریان فرایندی در نمودار جریان فرایند



شکل ۱۶ـ تقاطع دو جریان فرایندی و غیرفرایندی در نمودار جریان فرایند



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

زمانی‌که فرایند، دارای دو یا چند مسیر جریان کاملاً همانند باشد، یک مسیر به عنوان نماینده در نمودار جریان فرایند نشان داده می‌شود و از سایر مسیرها صرف‌نظر می‌شود. البته جهت جلوگیری از اشتباه، باید مسیرهای حذف شده، در قسمت نکات، بیان شوند.

جعبهٔ عنوان[1]:

در گوشهٔ سمت راست پایین کلیهٔ نمودارهای جریان فرایند یک قسمت به نام جعبهٔ عنوان قرار دارد. مطابق شکل ۱۸، اطلاعات و نشان‌های[2] مربوط به شرکت اصلی (کارفرما[3])، مشتری[4]، عنوان پروژه[5]، عنوان نقشه[6]، در جعبهٔ عنوان آورده می‌شوند.

شکل ۱۸ـ جعبه عنوان در نمودار جریان فرایند

اندازهٔ جعبهٔ عنوان نسبت به اندازهٔ نمودار جریان فرایند، مطابق جدول۴ می‌باشد.

جدول ۴ـ اندازهٔ جعبهٔ عنوان در نمودار جریان فرایند

اندازهٔ نمودار جریان فرایند (mm × mm)		اندازهٔ جعبهٔ عنوان (mm × mm)
A۰	۸۴۱×۱۱۸۹	۱۸۰×۱۹۰
A۱	۵۹۴×۸۴۱	۱۳۰×۱۷۵
A۲	۴۲۰×۵۹۴	۱۰۰×۱۵۵
A۳	۲۹۷×۴۲۰	۷۵×۱۲۰

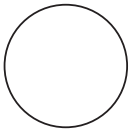
۱ـ Title Block
۲ـ Arms
۳ـ Contractor
۴ـ Client
۵ـ Project Title
۶ـ Drawing Title

مشخصات و شماره‌گذاری جریان‌ها و تجهیزات:

هر دستگاهی باید با یک شمارهٔ برچسب[1] شامل تعدادی حروف و عدد (مطابق با استاندارد) مشخص گردد. معمولاً شمارهٔ 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 شماره‌گذاری در نمودار جریان فرایند ندارند.

برچسب هر تجهیزات در نمودار جریان فرایند، با یک اسم و شماره مشخص می‌شود. مثلاً E-101 یعنی مبدل شمارهٔ ۱ مربوط به واحد شمارهٔ ۱۰۰. لازم است شرایط عملیاتی از قبیل دما، فشار و دبی برای یک جریان در نمودار جریان فرایند نشان داده شوندکه این مقدارها در نمادهایی مطابق جدول۵ وارد می‌شوند. البته لازم است به یکای کمّیت‌های مورد استفاده در نمودار جریان فرایند اشاره گردد.

جدول ۵ـ اطلاعات و مشخصات تجهیزات در نمودار جریان فرایند

ردیف	کمّیت	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.

۱ـ Tag Number

شمارهٔ جریان‌ها روی خط جریان در داخل یک علامت لوزی مطابق جدول۶ نوشته می‌شود.

جدول ۶ـ شماره‌گذاری یک جریان در نمودار جریان فرایند

عنوان	نماد	مثال	مفهوم
شمارهٔ جریان			جریان شمارهٔ ۲۰

معمولاً در نمودار جریان فرایند برای جریان‌های مهم و اصلی، خواص و مشخصاتی را در جدول موازنهٔ 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؛
- گرانروی؛
- 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 تمامی‌قسمت‌های دیگر نمودار جریان فرایند آن کارخانه نیز باید از همین نماد استفاده نمود. زمانی‌که در استاندارد نمادی برای برخی از تجهیزات وجود نداشته باشد، تحت نظر شرکت، در هنگام اجرای پروژه تصمیم‌گیری می‌شود.

شکل‌ها و نمادها[1] در نمودار جریان فرایند

نماد تجهیزات:

تعدادی از نمادهای مهم تجهیزات که در نمودار جریان فرایند به‌کار برده می‌شوند، در جدول۷ ارائه شده‌اند.

۱ـ Symbols

جدول ۷ـ نمادهای مهم تجهیزات

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

نماد ابزار کنترلی:

تعدادی از نمادهای کنترلی که در نمودار جریان فرایند به‌کار برده می‌شوند در جدول ۸ ارائه شده‌اند.

جدول ۸ـ نمادهای کنترلی

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

نماد جریان‌های سیّال:

تعدادی از نمادهای مهم جریان‌های سیّال که در نمودار جریان فرایند به‌کار برده می‌شوند در جدول ۹ ارائه شده‌اند.

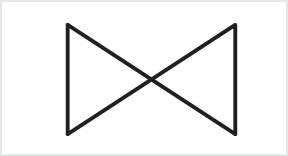
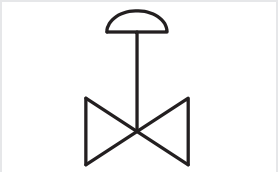
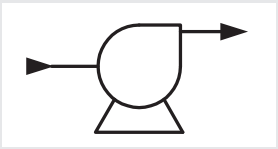
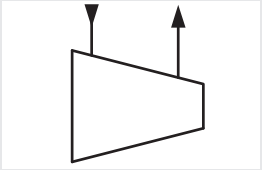
جدول ۹ـ نمادهای مهم جریان سیال

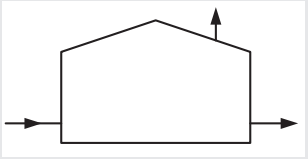
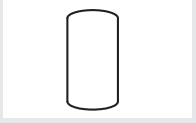
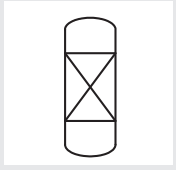
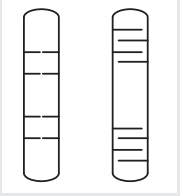
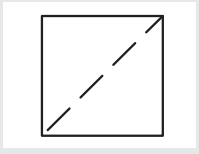
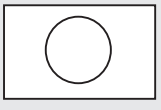
ردیف	نام جریان سیال		نماد
	فارسی	انگلیسی	
۱	هوای ابزار دقیق	Air Instrument	AI
۲	آمین	Amine	AM
۳	اتمسفر	Atmosphere	ATM
۴	آب دیگ بخار	Boiler Water	BW
۵	تزریق مواد شیمیایی	Chemical Injection	CI
۶	آب خنک‌کننده	Cooling Water	CW
۷	دی‌اتیلن گلایکول	Diethylene Glycol	DEG
۸	محصولات گازی	Production Gas	PG
۹	آب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

ترسیم و نماد استاندارد تجهیزات فرایندی:

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

جدول ۱۰ـ نماد تجهیزات فرایندی

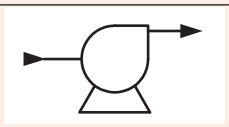
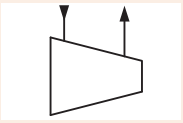
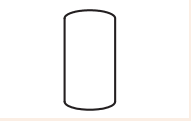
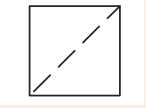
ردیف	نام تجهیز		نماد
	فارسی	انگلیسی	
۱	شیر	Valve	
۲	شیر کنترل	Control Valve	
۳	پمپ	Pump	
۴	کمپرسور	Compressor	
۵	مبدل حرارتی پوسته و لوله	Shell and Tube Heat Exchanger	
۶	مبدل حرارتی دو لوله	Double Pipe Heat Exchanger	

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

پرسش ۵

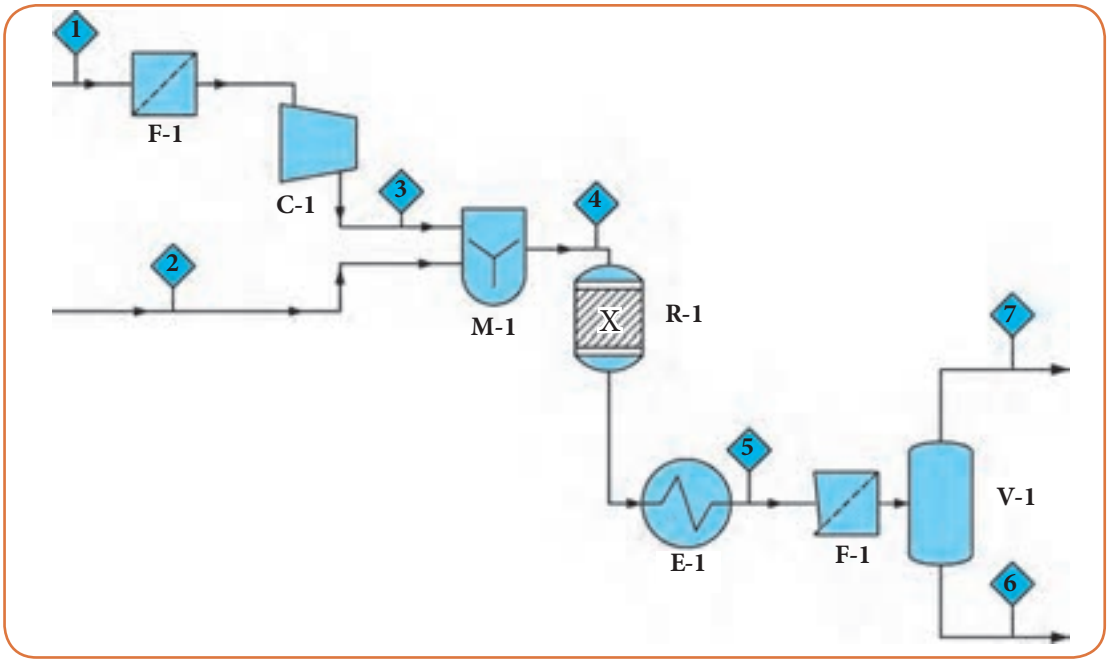
جدول ۱۱ را کامل کنید.

جدول ۱۱ـ 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 به‌کار رفته در نمودار جریان فرایند شکل ۱۹ مطلوب است:



شکل ۱۹ــ نمودار جریان فرایند

الف) نام تجهیزات موجود در نمودار جریان فرایند با توجه به نمادهای نشان داده شده در جدول۱۲؛

جدول ۱۲ــ تجهیزات موجود در نمودار جریان فرایند

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

ب) تکمیل نام جریان‌های موجود در جدول ۱۳

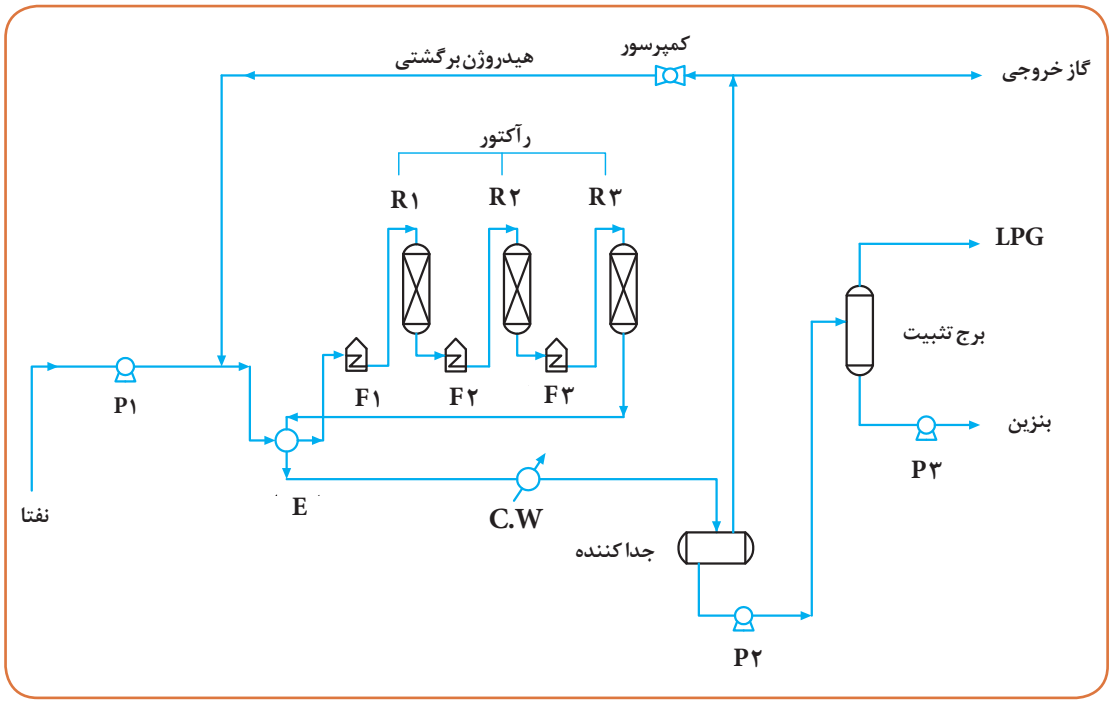
جدول ۱۳ـ نام جریان‌های موجود در نمودار جریان فرایند

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

پ) شرح فرایند

مثال ۳

شرح نمودار (ساده شده) جریان فرایند واحد تبدیل کاتالیزگری[۱] پالایشگاه نفت را مطابق با شکل ۲۰ بنویسید.



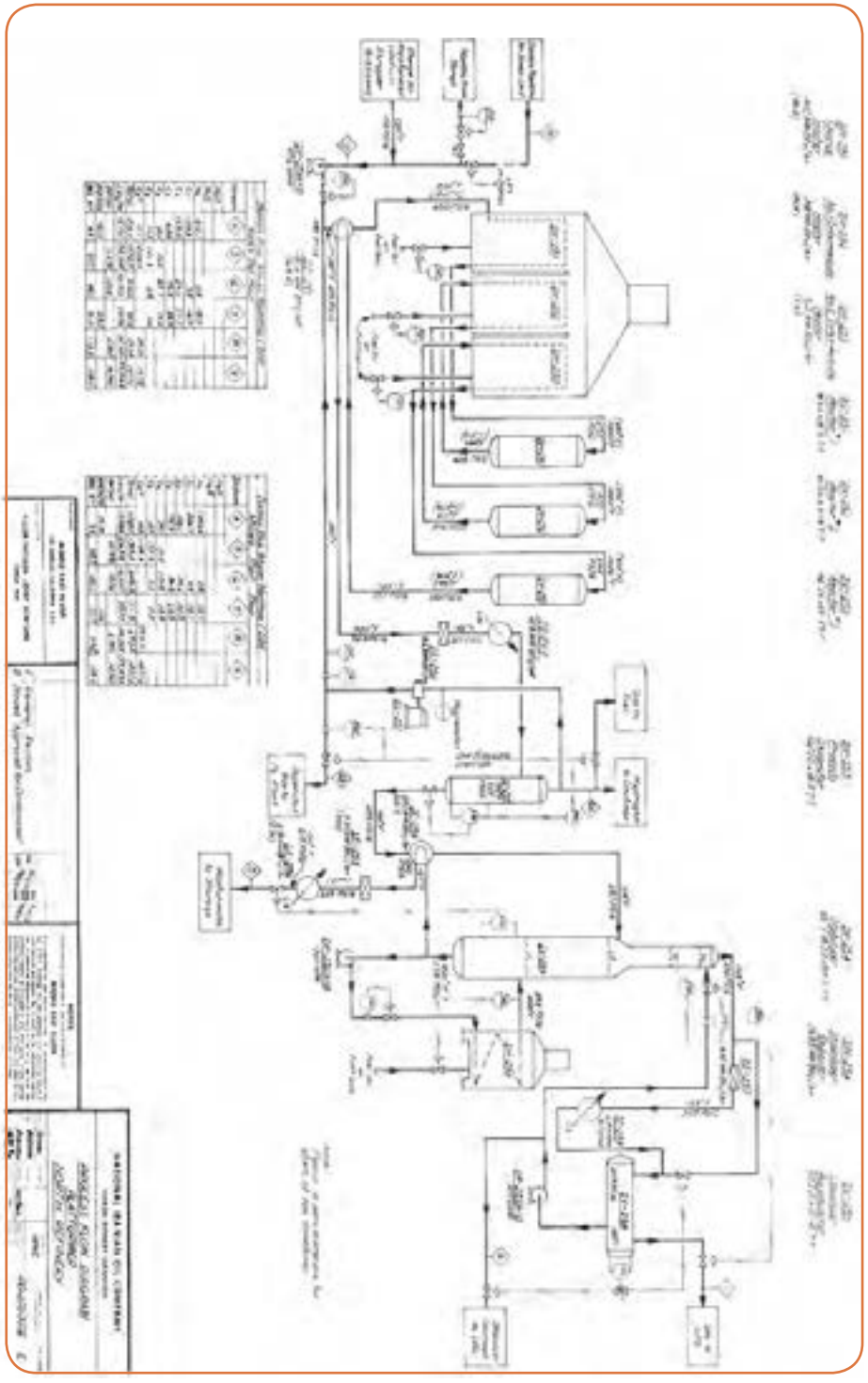
شکل ۲۰ـ نمودار (ساده شده) جریان فرایند واحد تبدیل کاتالیزگری پالایشگاه نفت

پاسخ

دراین نمودار، نفتا به عنوان خوراک ورودی فرایند توسط پمپ P۱، پمپ شده و توسط مبدل حرارتی پیش گرم می‌شود. دمای نفتا، توسط کورهٔ F۱ تا دمای مورد نظر افزایش یافته و سپس وارد راکتور اول (R۱) می‌شود. پس از انجام واکنش در راکتور اول، محصولات از راکتور خارج شده و وارد کوره می‌گردند و پس از عبور از کورهٔ F۲ وارد راکتور دوم (R۲) می‌شوند. مواد خروجی از راکتور دوم نیز پس از گرم شدن در کورهٔ F۳، وارد راکتور سوم (R۳)می‌شوند. محصول خروجی از راکتور سوم پس از تبادل حرارتی با مبدل (E) و کولر(C.W) خنک شده، وارد جداکننده می‌گردد. فشار بخشی از محصول گازی بالای جداکننده، توسط کمپرسور افزایش یافته و به ورودی راکتور (R۱) برگردانده می‌شود و بخشی از آن، از فرایند خارج می‌شود.

محصول مایع پایین جداکننده نیز توسط پمپ P۲ به برج تثبیت منتقل می‌شود. محصول گازی بالای برج به عنوان گازهای سبک (LPG) و محصول پایین به عنوان بنزین از فرایند خارج می‌گردند. نمودار جریان اصلی این فرایند در شکل ۲۱ نشان داده شده است.

۱- Catalytic Reforming Unit



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

پرسش ۷

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

$$۴NH_۳ + ۵O_۲ \rightarrow ۴NO + ۶H_۲O \quad (۱)$$

$$۲NO + O_۲ \rightarrow ۲NO_۲ \rightarrow N_۲O_۴ \quad (۲)$$

$$۳NO_۲ + H_۲O \rightarrow ۲HNO_۳ + NO \quad (۳)$$

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؛

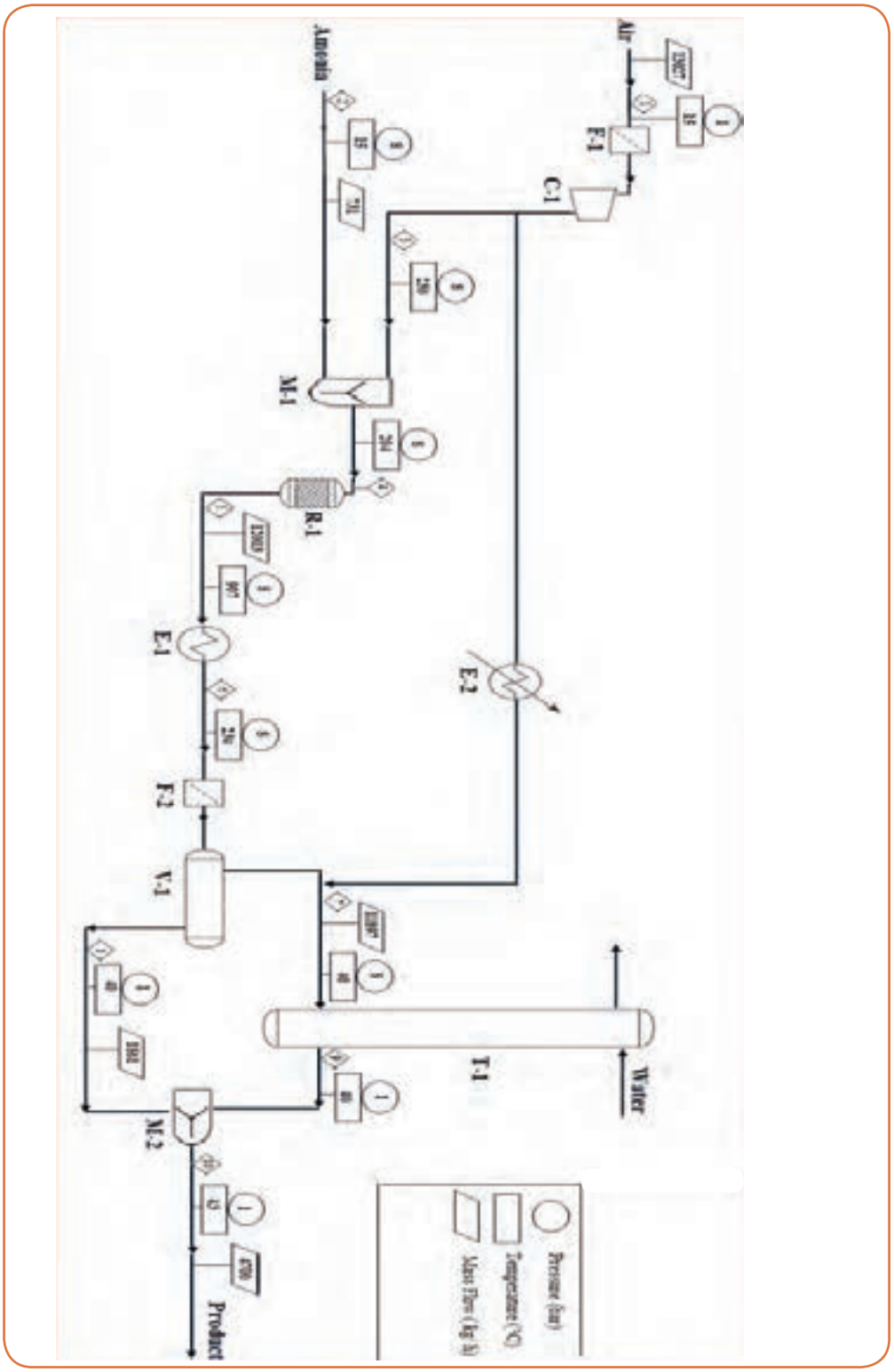
جدول ۱۴ــ اسامی تجهیزات نمودار جریان فرایند

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

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

جدول ۱۵ــ اسامی جریان‌های نمودار جریان فرایند

ردیف	نام تجهیز	شمارهٔ 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 ۲۲ـ 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.

$$RSH + H_2 \rightarrow RH + H_2S$$

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.

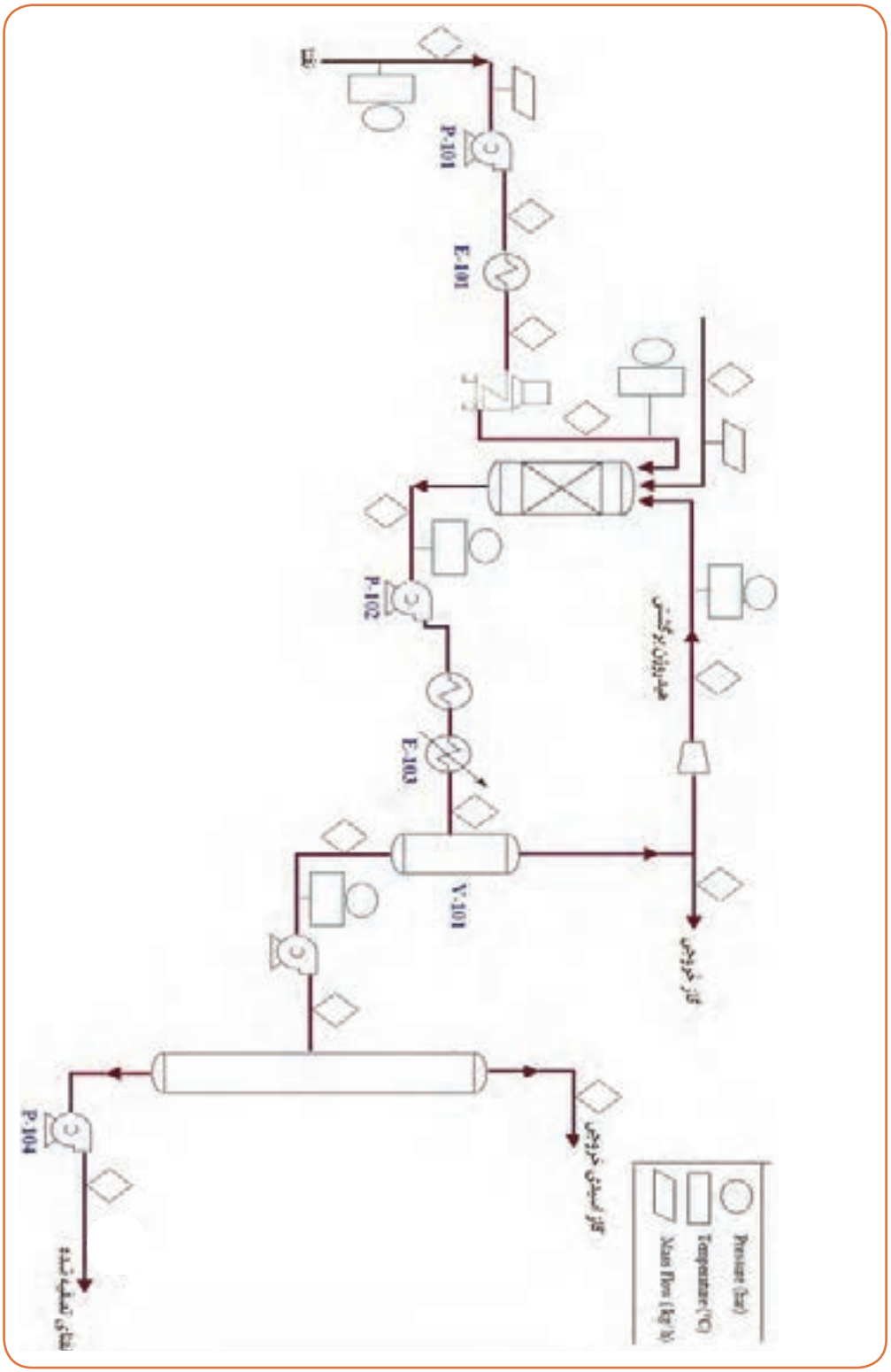
شرح فرایند گوگردزدایی نفتا به‌صورت زیر می‌باشد.

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

جریان گرم شدهٔ 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 شمارهٔ ۵) با دبی ۱۷۳۴ کیلوگرم بر ساعت استفاده می‌شود. برای خنک کردن محصول خروجی از راکتور که در دمای ۳۲۱/۱ درجهٔ 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.

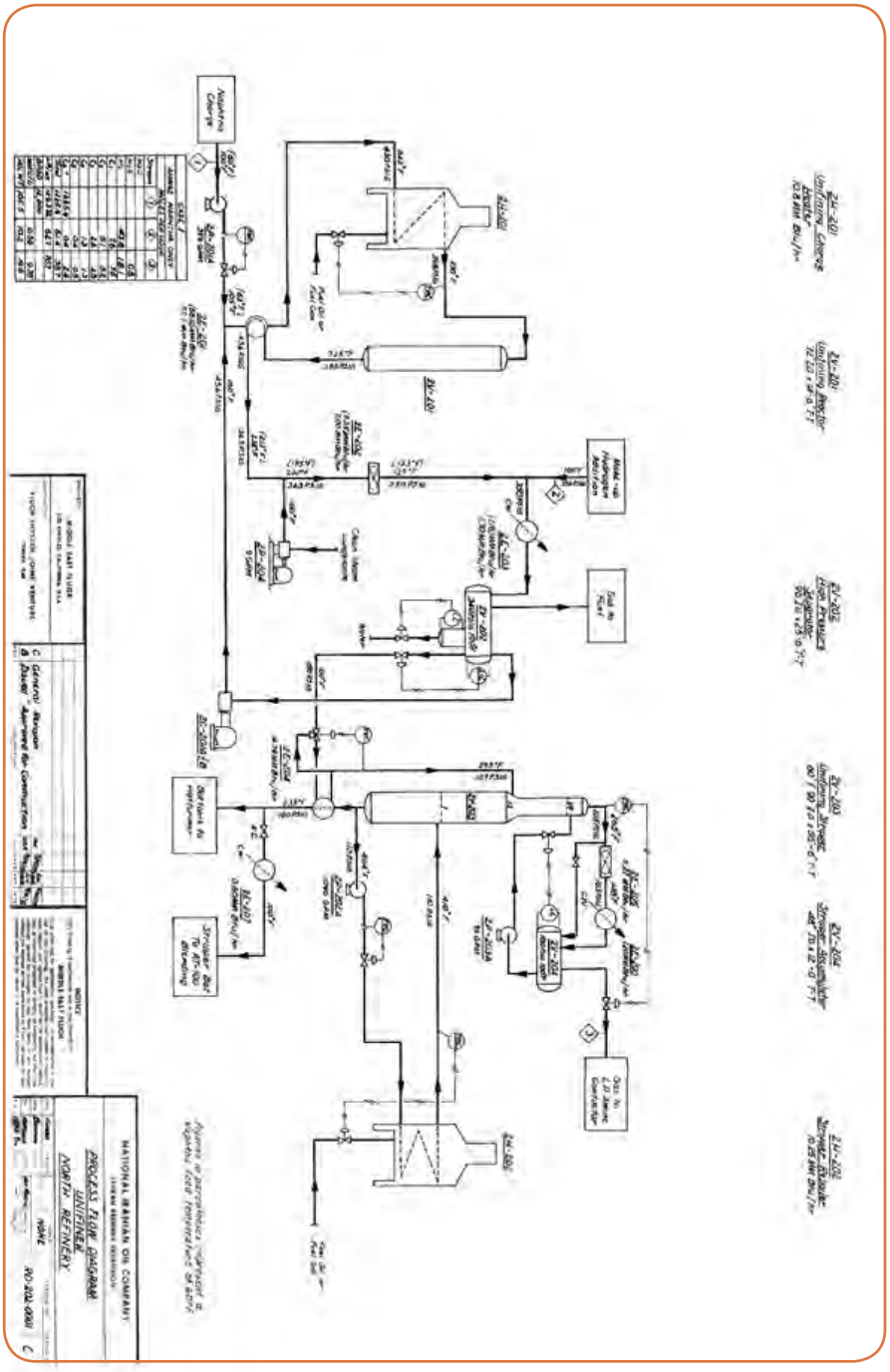
جهت جداسازی گازهای سبک از جریان خنک شدهٔ خروجی از کولر (E-۱۰۳)، جریان خروجی از کولر (E-۱۰۳) با شمارهٔ جریان ۷ وارد جداکننده (V-۱۰۱) می‌شود. جریان گاز خروجی از جداکننده که عمدتاً شامل گاز هیدروژن است به دو بخش تقسیم می‌شود. بخشی از آن به عنوان گاز خروجی با شمارهٔ ۸ از فرایند خارج می‌شود و بخش دیگر آن ابتدا وارد کمپرسور (C-۱۰۱) شده تا فشارجریان 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 درجهٔ سلسیوس می‌رسد. جریان مایع خروجی از جداکننده (V-۱۰۱) به شمارهٔ جریان ۱۰، که در دمای ۳۷ درجهٔ سلسیوس و فشار ۱۰ بار قرار دارد، توسط پمپ (P-۱۰۳) به برج تقطیر (T-۱۰۱) جداکنندهٔ گازهای اسیدی (گازهای حاوی هیدروژن سولفید) انتقال می‌یابد. جریانی که وارد برج شده (جریان شمارهٔ ۱۱) به دو محصول با نام‌های محصول بالای برج (جریان شمارهٔ 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 شمارهٔ۱۲) نیز توسط پمپ (P-۱۰۴) به مخازن نگهداری نفتا انتقال می‌یابد. مطلوب است:

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



شکل ۲۳ـ نمودار جریان فرایند گوگرد زدایی نفتا

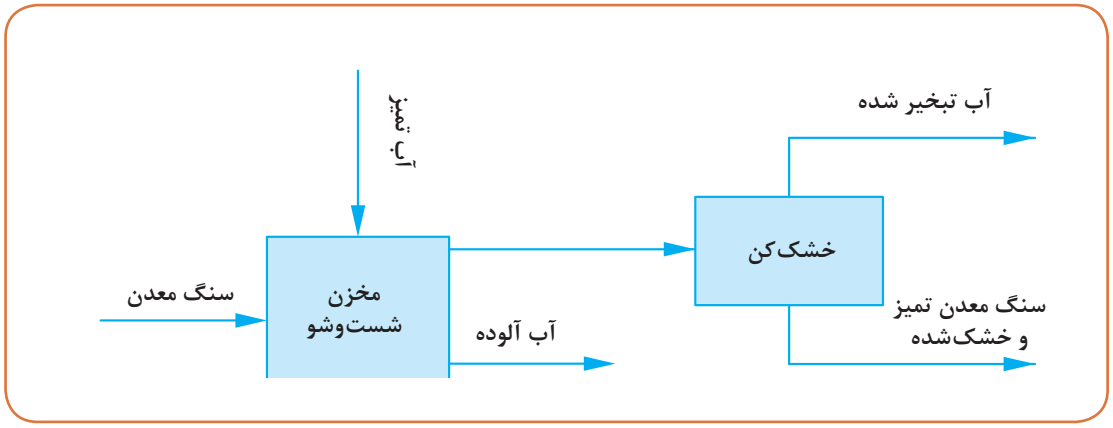
نمودار جریان فرایند گوگردزدایی نفتا به همراه تجهیزات کنترلی در شکل ۲۴ نشان داده شده است.



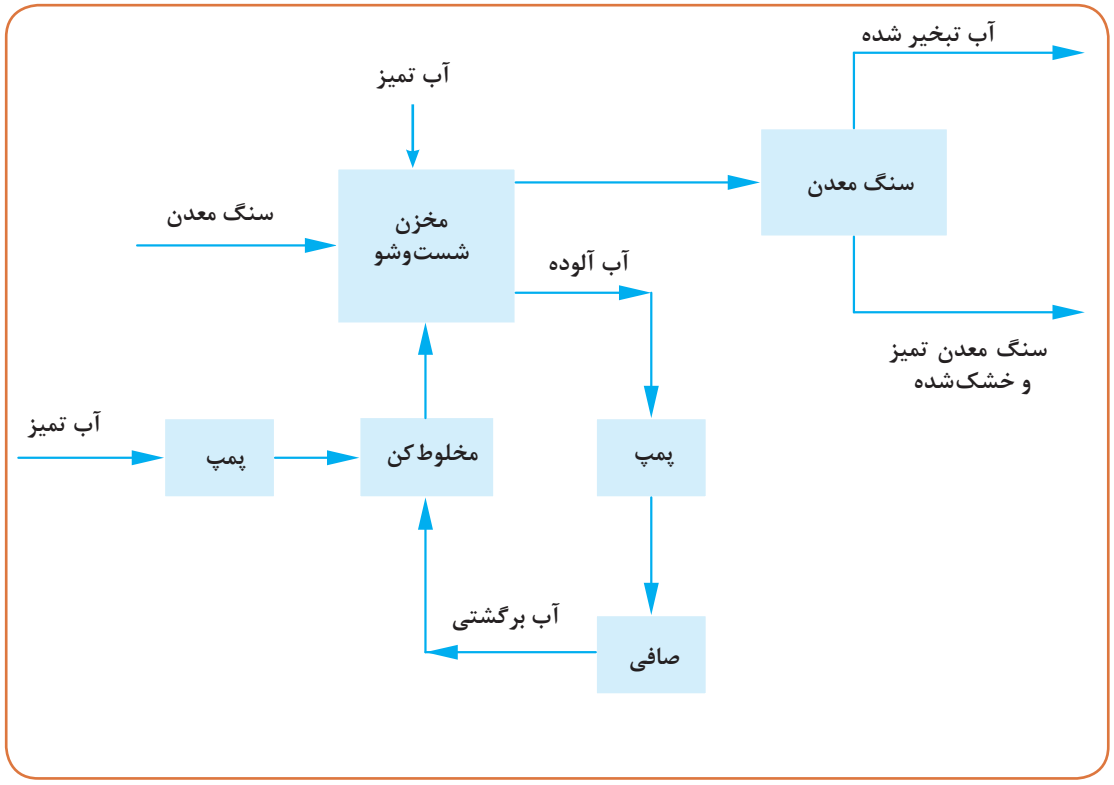
شکل ۲۴ـ نمودار جریان فرایند گوگردزدایی نفتا به همراه تجهیزات کنترلی

پرسش ۹

سنگ معدن خام در کارخانجات پس از مرحلهٔ شست‌وشو با آب و تمیز شدن به مرحلهٔ استخراج شیمیایی فرستاده می‌شود. نمودار جعبه‌ای این فرایند در شکل‌های ۲۵ و ۲۶ نشان داده شده است.



شکل ۲۵ـ فرایند شست‌وشوی سنگ معدن خام



شکل ۲۶ـ نمودار جعبه‌ای جریان شست‌وشوی سنگ معدن خام

مطلوب است:

الف) شرح فرایند شست‌وشوی 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 می شود؛ به عبارت دیگر، P&ID به نوعی تکمیل شدهٔ PFD می باشد. در این نقشه کلیهٔ تجهیزات، حتی تجهیزات فرعی، نشان داده می شوند. 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:

ـ قطر و جنس هر لوله و اینکه آیا عایق حرارتی دارد یا خیر.

ـ نوع، مقدار و ترکیب سیال داخل لوله‌ها، دما و فشاری که هر لوله تحمل می‌کند.

ـ مشخصات دقیق شیرهای معمولی، شیرهای کنترل و شیرهای اطمینان؛ شامل نوع، اندازه و شرایط عملیاتی هر یک.

ـ کلیهٔ اطلاعات مربوط به حلقه‌های کنترل با ذکر جزئیات آنها.

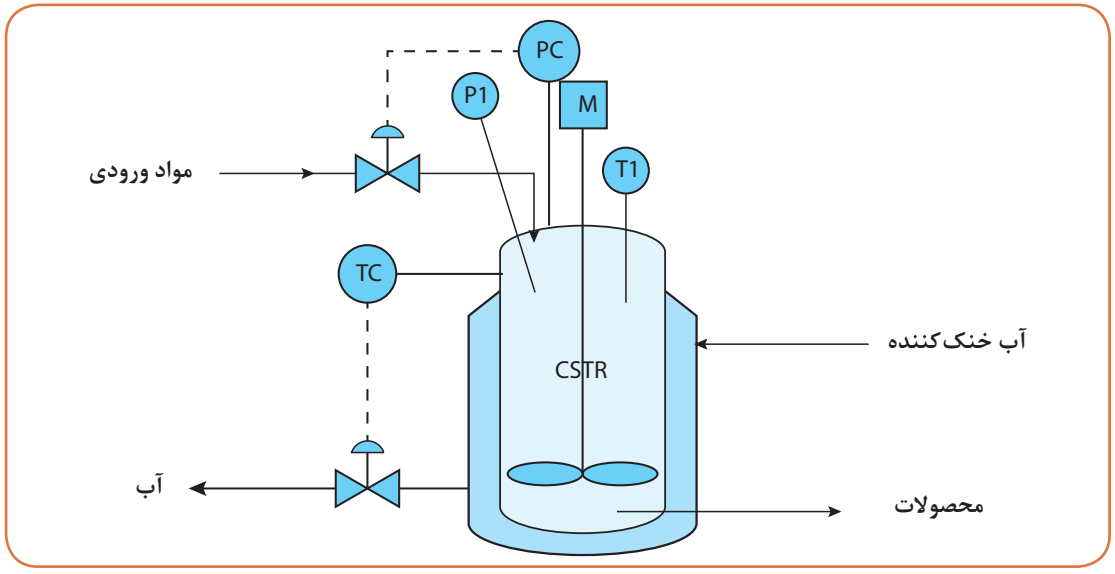
ـ کلیهٔ اطلاعات مربوط به وسایل اندازه‌گیری و ابزار دقیق شامل دماسنج‌ها، فشارسنج‌ها و سطح‌سنج‌ها.

ـ مشخصات دقیق و جزئیات مخازن و ظروف، شامل اندازه و محل کلیهٔ 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.



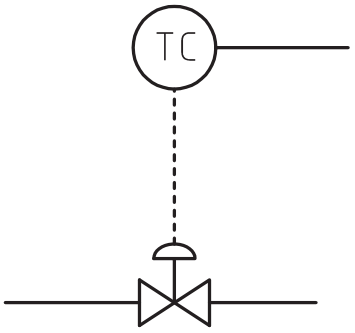
شکل ۲۷ـ نمودار لوله‌کشی و ابزار دقیق راکتور

پاسخ

در شکل شمارهٔ ۲۷ یک راکتور مخزنی همزن‌دار مداوم[۱] نشان داده شده است. این راکتور توسط آبی که وارد جدارهٔ خارجی آن می‌گردد، خنک می‌شود. با ورود جریان مواد به داخل راکتور و انجام واکنش

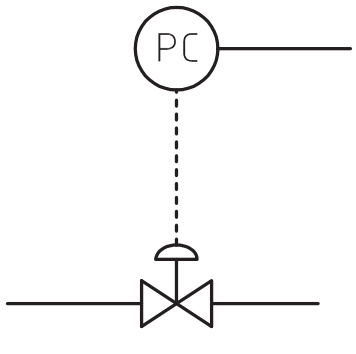
۱ـ CSTR

مربوطه، فشار درون راکتور تغییرکرده و نشانگر فشار (PI)، مقدار فشار را نشان می‌دهد. دمای درون راکتور نیز توسط نشانگر دما (TI) نشان داده می‌شود.
سامانهٔ کنترل دما در این نمودار لوله‌کشی و ابزار دقیق مطابق شکل ۲۸ می‌باشد. خط توپر متصل به (TC) نشان می‌دهد که کنترل‌کنندهٔ دما (TC)، دمای درون راکتور را اندازه‌گیری می‌کند. خط‌چین متصل به (TC) نشان می‌دهد که کنترل‌کنندهٔ دما، به شیر کنترل که بر روی جریان خروجی آب خنک‌کننده نصب شده است، دستور مناسب را جهت کنترل دما می‌دهد.



شکل ۲۸ـ سامانهٔ کنترل دما در نمودار لوله‌کشی و ابزار دقیق

اگر دمای راکتور به هر دلیلی تغییر کرد، کنترل‌کنندهٔ 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.
سامانهٔ کنترل فشار در این نمودار لوله‌کشی و ابزاردقیق، مطابق شکل ۲۹ می‌باشد. خط توپر متصل به (PC) نشان می‌دهد که کنترل‌کنندهٔ فشار (PC)، فشار درون راکتور را اندازه‌گیری می‌کند. خط‌چین متصل به (PC) نشان می‌دهد که کنترل‌کنندهٔ فشار، به شیری که بر روی جریان خوراک ورودی به راکتور نصب شده است، دستور مناسب را جهت کنترل فشار می‌دهد.

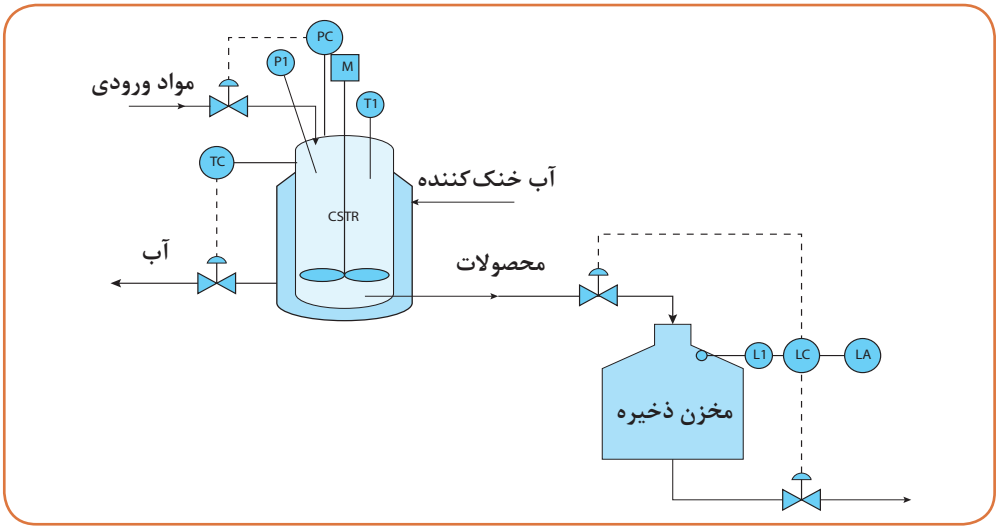


شکل ۲۹ـ سامانهٔ کنترل فشاردر نمودار لوله کشی و ابزار دقیق

به این ترتیب که اگر به هر دلیلی فشار درون راکتور تغییر کرد، کنترل‌کنندهٔ 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 لوله‌کشی و ابزار دقیق شکل ۳۰ را شرح دهید.



شکل ۳۰ـ سامانهٔ کنترل راکتور مخزنی در نمودار لوله‌کشی و ابزار دقیق

فعالیت‌عملی

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

نقشهٔ جانمایی تجهیزات

جانمایی تجهیزات در یک کارخانهٔ صنایع شیمیایی، موضوع مهمی در ایمنی و اقتصاد طرح آن کارخانه می‌باشد. جانمایی می‌تواند از طریق جداکردن و کم کردن خطرات، کم کردن لوله‌کشی‌های آسیب‌پذیر، کاهش تماس با مواد سمّی و اشتعال‌پذیر، ساخت کارخانه به شیوهٔ ایمن و اقتصادی، نگهداری مطمئن و اقتصادی، طراحی مناسب اتاق فرمان، تجهیزات کنترل اضطراری، تجهیزات آتش‌نشانی 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 می‌شود، ولی از طرفی هزینهٔ خرید زمین، لوله‌کشی و عملیات واحد بیشتر می‌شود.

بنابراین زمین باید به اندازهٔ کافی در دسترس باشد ولی هیچ مساحتی از آن نباید به هدر رود. لذا در طرّاحی یک فرایند شیمیایی، اصول جانمایی تجهیزات از اهمیت بالایی برخوردار است و برای فراگیری این اصول نیاز به مطالعهٔ استانداردهای خاص برای تجهیزاتی مانند پمپ‌ها، کمپرسورها، مخزن‌ها، مبدل‌ها، راکتورها و تجهیزات مهم دیگر و همچنین تجربهٔ کاری در این زمینه است. نقشهٔ جانمایی تجهیزات یک فرایند شیمیایی بعد از تکمیل نمودار جریان فرایند و هم‌زمان با نمودار لوله‌کشی و ابزار دقیق تهیه می‌گردد. این نوع نقشه، ضمن نشان دادن ابعاد دستگاه‌ها، محل استقرار آنها و فاصلهٔ میان هر یک را نشان می‌دهد. اگر یک واحد صنعتی در چند طبقه طرّاحی شده باشد، نقشهٔ جانمایی تجهیزات برای هر طبقه باید به طور جداگانه رسم شود.

معرفی نرم افزار ویزیو و آموزش آن

میکروسافت ویزیو[1] نرم افزاری برای طرّاحی نمودارها و انواع نقشه‌های فرایندی است که تحت سیستم عامل ویندوز کار می‌کند. نرم‌افزار ویزیو را می‌توان به عنوان ابزاری پیشرفته جهت رسم نمودارهای جعبه‌ای جریان، جریان فرایندی، لوله‌کشی و ابزار دقیق، نمودارهای فعالیت‌های کاری، سازمانی و ... نام برد. مایکروسافت ویزیو قالب‌های حرفه‌ای، جدید و همچنین شکل‌های پر کاربرد را مطابق با استانداردهای جهانی و به صورت از پیش طرّاحی شده در اختیار کاربران قرار داده و به آنها کمک می‌کند تا به آسانی رسم نمودارهای پیچیده خود را انجام دهند.

فعالیت‌عملی

۱ـ نمودارهای جعبه‌ای مثال‌های ۱و۲ را ابتدا با استفاده از نرم افزار اتوکد و سپس توسط نرم‌افزار ویزیو رسم کنید.

۲ـ نمودارهای جریان فرایندی پرسش‌های ۶، ۷و۸ را ابتدا با استفاده از نرم افزار اتوکد و سپس توسط نرم‌افزار ویزیو رسم کنید.

۱ـ Visio Microsoft

ارزشیابی شایستگی نقشه‌خوانی و نقشه‌کشی در صنایع شیمیایی

شرح کار:

۱ـ نقشه‌های فرایندی را تشخیص دهد.
۲ـ نمودار جعبه‌ای فرایند (BFD) را به کار برد.
۳ـ نمودار جریان فرایند (PFD) را به کار برد.
۴ـ به کمک نرم‌افزار، نقشه‌های فرایندی را رسم کند.

استاندارد عملکرد:

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

شاخص‌ها:

ـ انجام کار طبق دستورکار

شرایط انجام کار و ابزار و تجهیزات:

ـ **شرایط مکان:** کلاس و سایت کامپیوتر
ـ **شرایط دستگاه:** آماده به کار
ـ **زمان:** یک جلسه آموزشی
ـ **ابزار و تجهیزات:** کاغذ- قلم- کامپیوتر مجهز به نرم‌افزار ویزیو و اتوکد

معیار شایستگی:

ردیف	مرحلهٔ کار	کمترین نمرهٔ قبولی از ۳	نمرهٔ هنرجو
۱	به‌کارگیری نمودار جعبه‌ای جریان (BFD)	۲	
۲	به‌کارگیری نمودار جریان فرایند (PFD)	۲	
۳	به کارگیری نمودار لوله‌کشی ابزار دقیق (P&ID) و نقشهٔ جانمایی تجهیزات	۱	
۴	رسم نقشهٔ فرایندی به کمک نرم‌افزار	۱	
	شایستگی‌های غیرفنی، ایمنی، بهداشتی، توجهات زیست‌محیطی و نگرش: **۱ـ ایمنی:** **۲ـ نگرش: استفاده بهینه از نرم افزار در رسم نقشه‌های فرایندی، صرفه‌جویی در زمان، کاغذ، قلم و ...** **۳ـ توجهات زیست محیطی: کاهش دور ریز کاغذ ...** **۴ـ شایستگی‌های غیر فنی: ۱ـ اخلاق حرفه‌ای ۲ـ مدیریت منابع ۳ـ محاسبه و کاربست ریاضی ۴ـ مستندسازی: گزارش نویسی**	۲	
	میانگین نمرات		*

* حداقل میانگین نمرات هنرجو برای قبولی و کسب شایستگی، ۲ می‌باشد.