بسم الله الرحمن الرحیم

اَللّٰهُمَّ صَلِّ عَلٰی مُحَمَّدٍ وَ آلِ مُحَمَّدٍ وَ عَجِّلْ فَرَجَهُمْ

کنترل فرایندهای شیمیایی

رشتهٔ صنایع شیمیایی

گروه مواد و فراوری

شاخهٔ فنی و حرفه‌ای

پایهٔ یازدهم دورهٔ دوم 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، سیدرضا 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 و 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 «سهامی خاص»
سال انتشار و نوبت چاپ: چاپ ششم ۱۴۰۱

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 از این 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.

امام‌خمینی (قُدِّسَ‌سِرُّهُ)

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 ـ حرفه‌ای شما، چهار دستهٔ شایستگی در نظر گرفته شده 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.

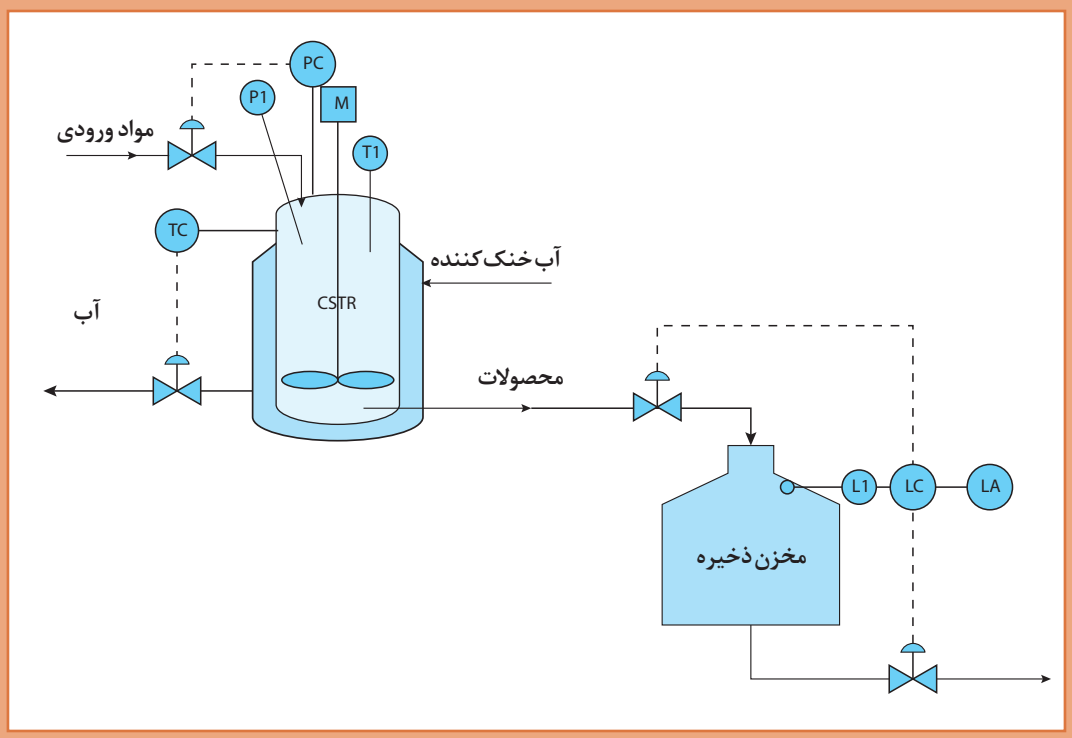
پودمان پنجم: با عنوان اندازه‌گیری ، ثبت و کنترل ارتفاع سطح مواد می‌باشد که در آن هنرجویان ابتدا مفاهیم و محاسبات در اندازه‌گیری ارتفاع سطح ، دستگاه‌های اندازه‌گیری آن وکنترل ارتفاع سطح آورده شده است.

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.

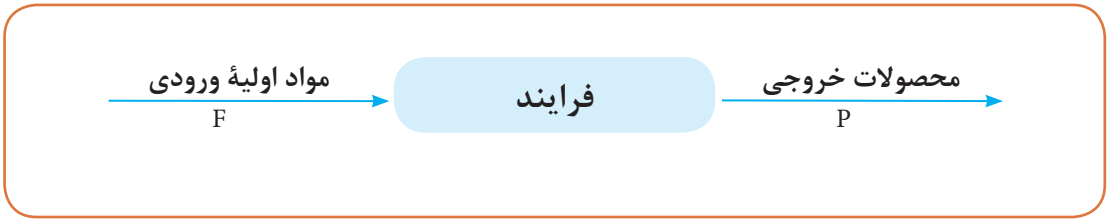
برای رسم نقشه‌های صنعتی اعم از نمودارهای جعبه‌ای، فرایند، ابزار دقیق و نقشه‌های مکانیک و ... معمولاً از نرم‌افزارهای اتوکد[۱۰] و ویزیو[۱۱] استفاده می‌شود.

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)

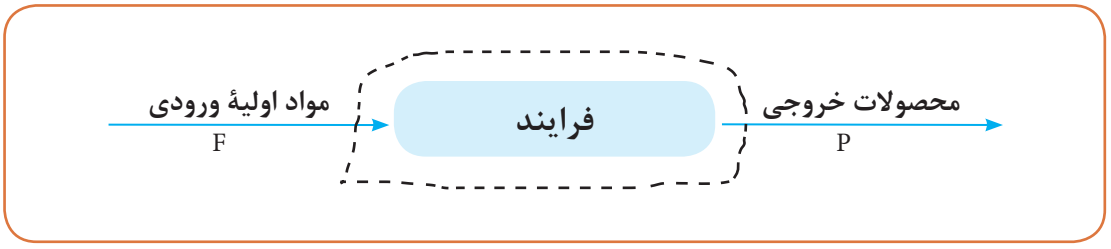
در مرحلهٔ اوّل طرّاحی کارخانجات شیمیایی لازم است اطلاعات کلی فرایند اعم از جریان‌های خوراک، محصولات خروجی و موازنهٔ جرم جریان‌ها نشان داده شوند. لذا از این نوع نمودار برای ارائهٔ اصول کلی و مفاهیم فرایند استفاده می‌گردد.

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

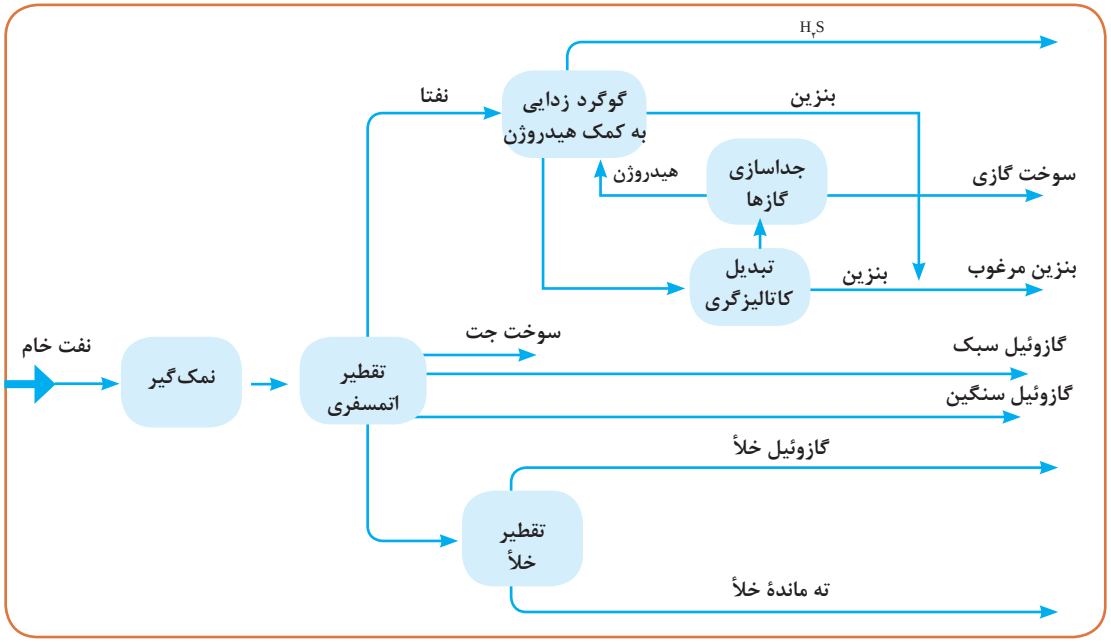
اگر در شکل ۱، میزان دبی جرمی‌مواد اولیهٔ ورودی ۱۰۰۰ کیلوگرم بر ساعت باشد، براساس موازنهٔ جرم پیرامون سامانهٔ انتخاب شدهٔ فرایند، در شکل ۲، میزان محصول خروجی نیز برابر با خوراک ورودی خواهد شد، لذا میزان محصول خروجی نیز ۱۰۰۰ کیلوگرم بر ساعت خواهد شد.



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

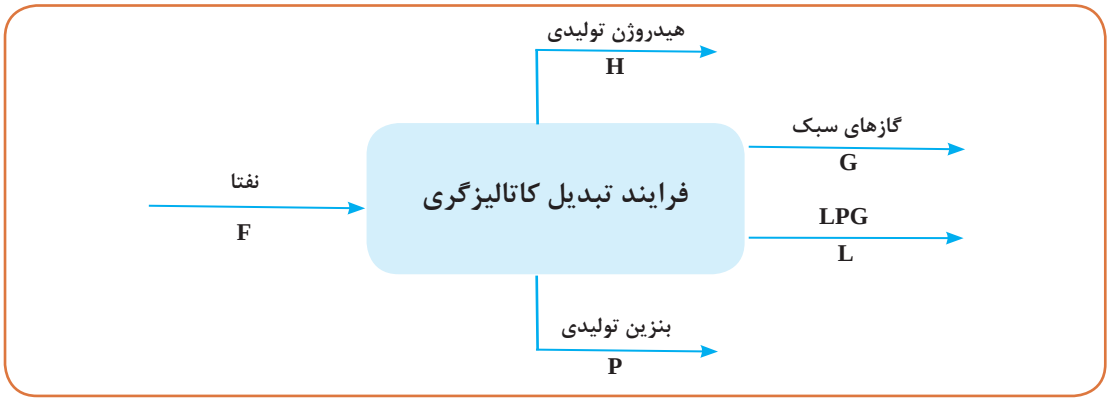
معمولاً برای رسم نمودارهای جعبه‌ای اشاره شده و همچنین نمودار جریان فرایند و نمودار لوله‌کشی و ابزار دقیق که در ادامه بحث خواهد شد، از نرم‌افزارهای اتوکد و ویزیو استفاده می‌شود.

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

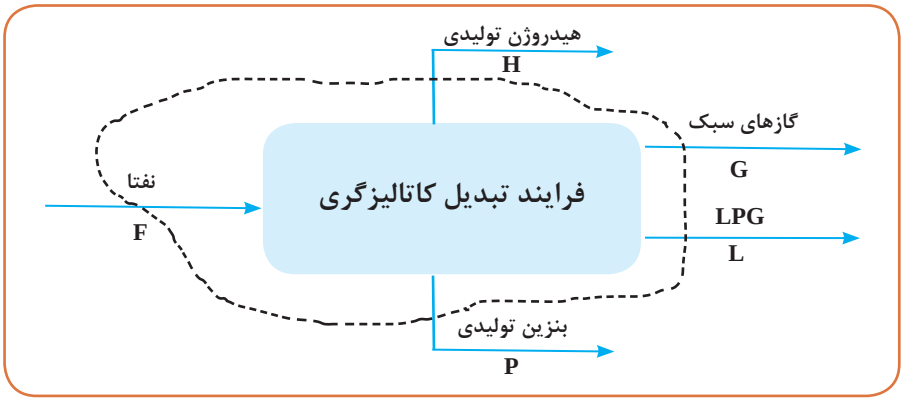
جدول ۱ــ مقدار جریان‌های فرایند تبدیل کاتالیزگری

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.

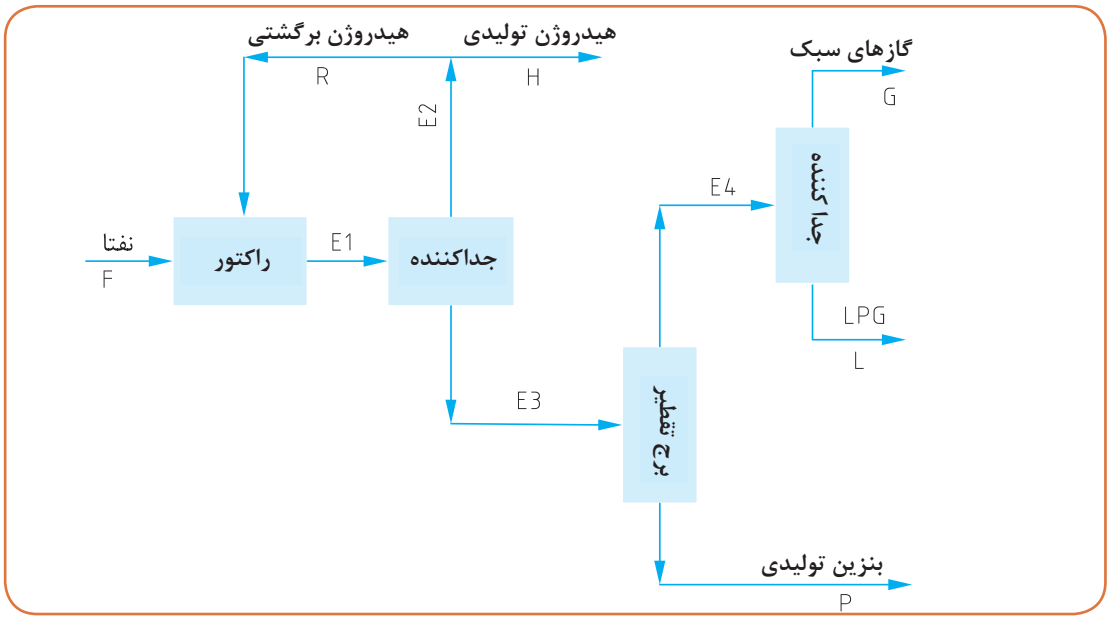
$$۱۵۶۰۰ + ۳۲۶۰ + L + ۱۳۵۰۰۰ = ۱۶۳۰۰۰ \longrightarrow L = ۹۱۴۰ \text{ kg/h}$$

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

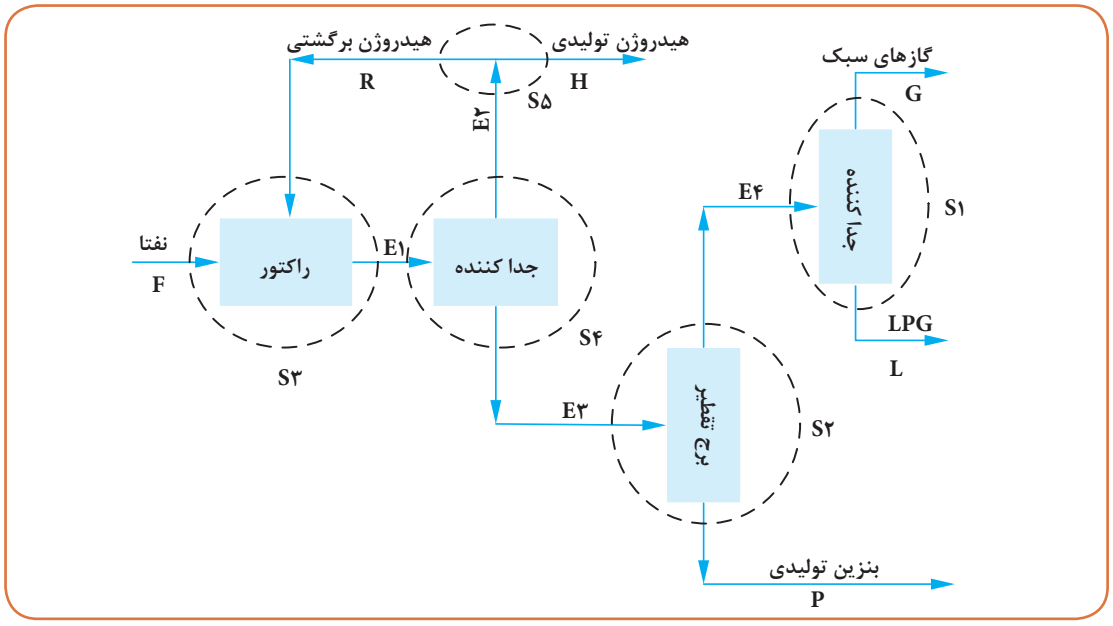
جدول ۲ـ مقادیر جریان‌های فرایند تبدیل کاتالیزگری

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

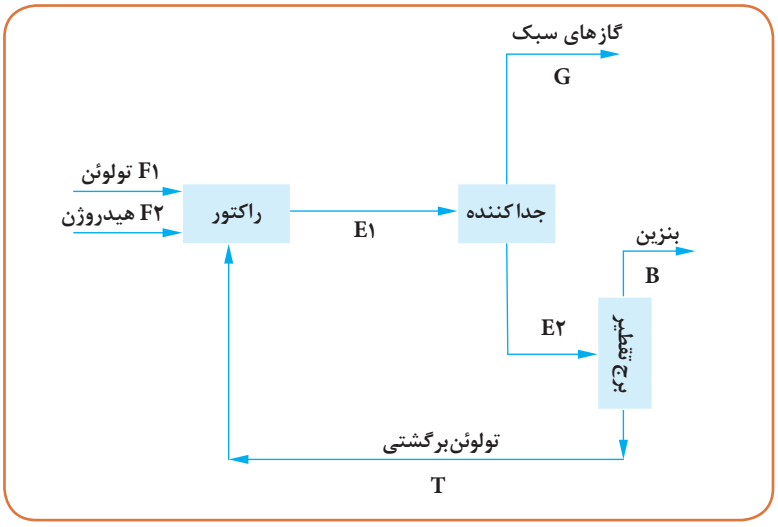
بنزن از واکنش هیدروژناسیون تولوئن به‌صورت زیر به‌دست می‌آید:

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

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.

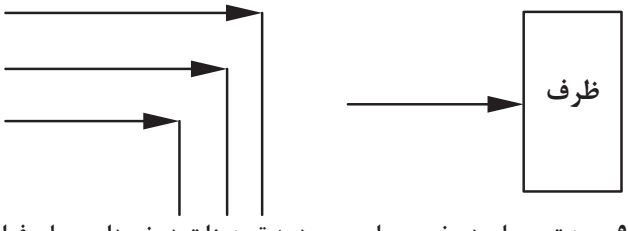
۱ـ ۳ـ قواعد تهیهٔ نمودار جریان فرایند

مقیاس[3]:

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

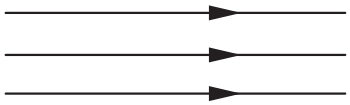
جهت جریان:

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.

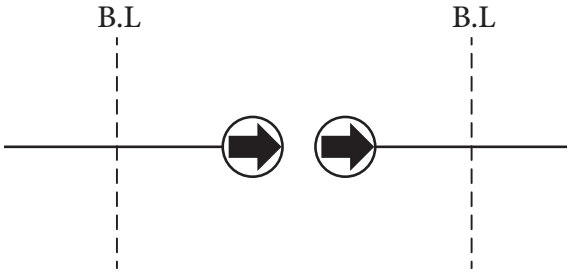


شکل ۹ـ جهت جریان در خم جریان و ورود به تجهیزات در نمودار جریان فرایند

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

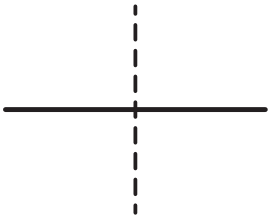
شکل ۱۳ـ جریان‌های غیر فرایندی (خطوط تأسیسات) در نمودار جریان فرایند

شکل ۱۴ـ جریان‌های کنترلی در نمودار جریان فرایند

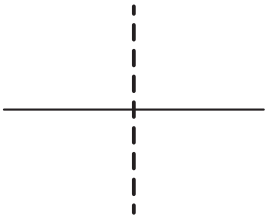
جریان‌های فرایندی و غیرفرایندی:

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).

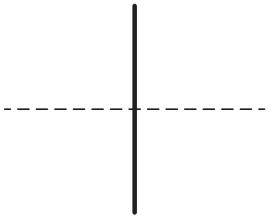
زمانی‌که دو جریان یکدیگر را قطع می‌کنند، خطوط افقی همواره به شکل پیوسته و خطوط عمودی به‌صورت خط‌چین رسم می‌شوند. البته این قرارداد برای حلقه‌های کنترلی صدق نمی‌کند و در این حالت خطوط فرایند پیوسته و خطوط کنترلی، خط‌چین خواهند بود (شکل‌های ۱۵ الی ۱۷).



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

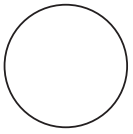
۱ـ Title Block
۲ـ Arms
۳ـ Contractor
۴ـ Client
۵ـ Project Title
۶ـ Drawing Title

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.

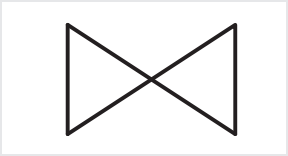
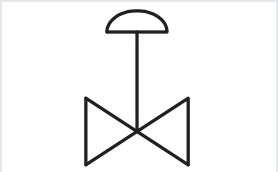
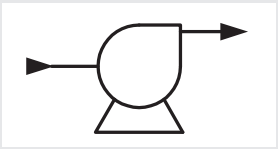
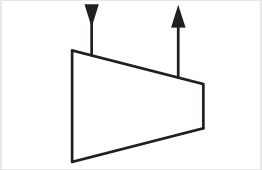
جدول ۹ـ نمادهای مهم جریان سیال

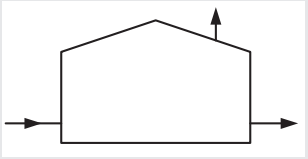
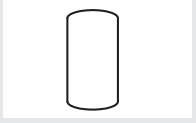
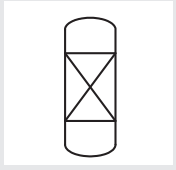
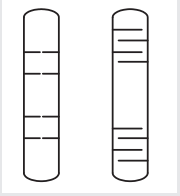
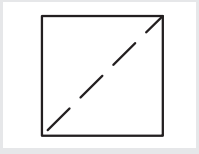
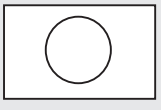
ردیف	نام جریان سیال		نماد
	فارسی	انگلیسی	
۱	هوای ابزار دقیق	Air Instrument	AI
۲	آمین	Amine	AM
۳	اتمسفر	Atmosphere	ATM
۴	آب دیگ بخار	Boiler Water	BW
۵	تزریق مواد شیمیایی	Chemical Injection	CI
۶	آب خنک‌کننده	Cooling Water	CW
۷	دی‌اتیلن گلایکول	Diethylene Glycol	DEG
۸	محصولات گازی	Production Gas	PG
۹	آب 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

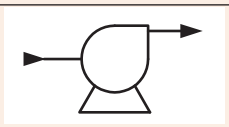
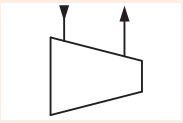
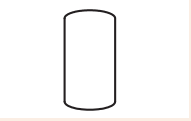
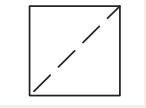
ردیف	نام تجهیز		نماد
	فارسی	انگلیسی	
۱	شیر	Valve	
۲	شیر کنترل	Control Valve	
۳	پمپ	Pump	
۴	کمپرسور	Compressor	
۵	مبدل حرارتی پوسته و لوله	Shell and Tube Heat Exchanger	
۶	مبدل حرارتی دو لوله	Double Pipe Heat Exchanger	

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

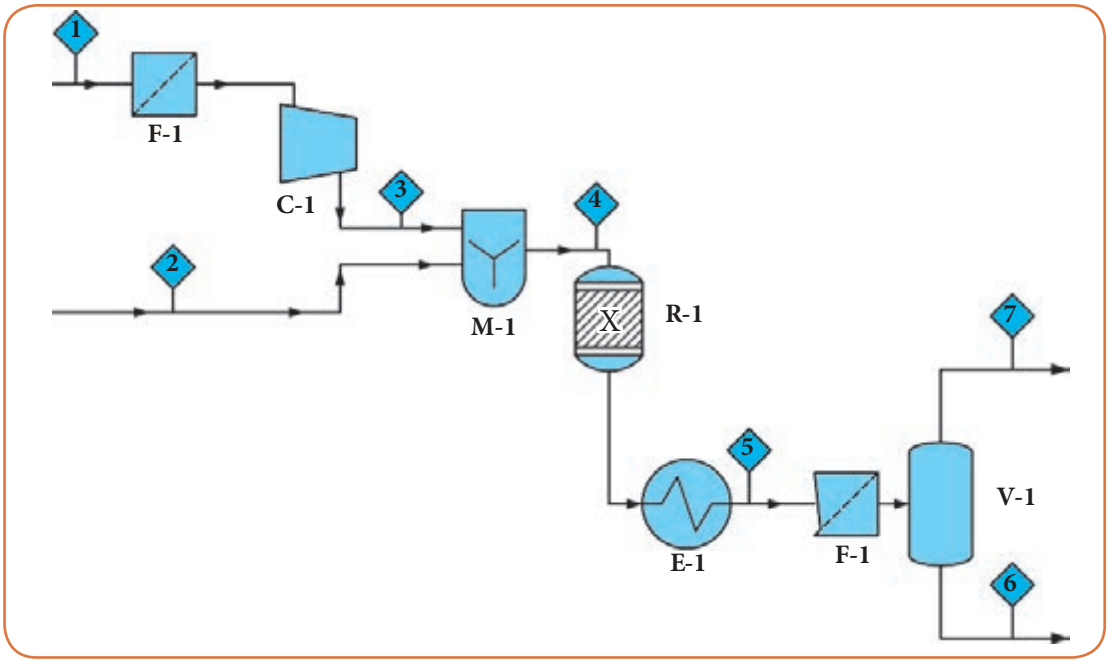
جدول ۱۱ را کامل کنید.

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

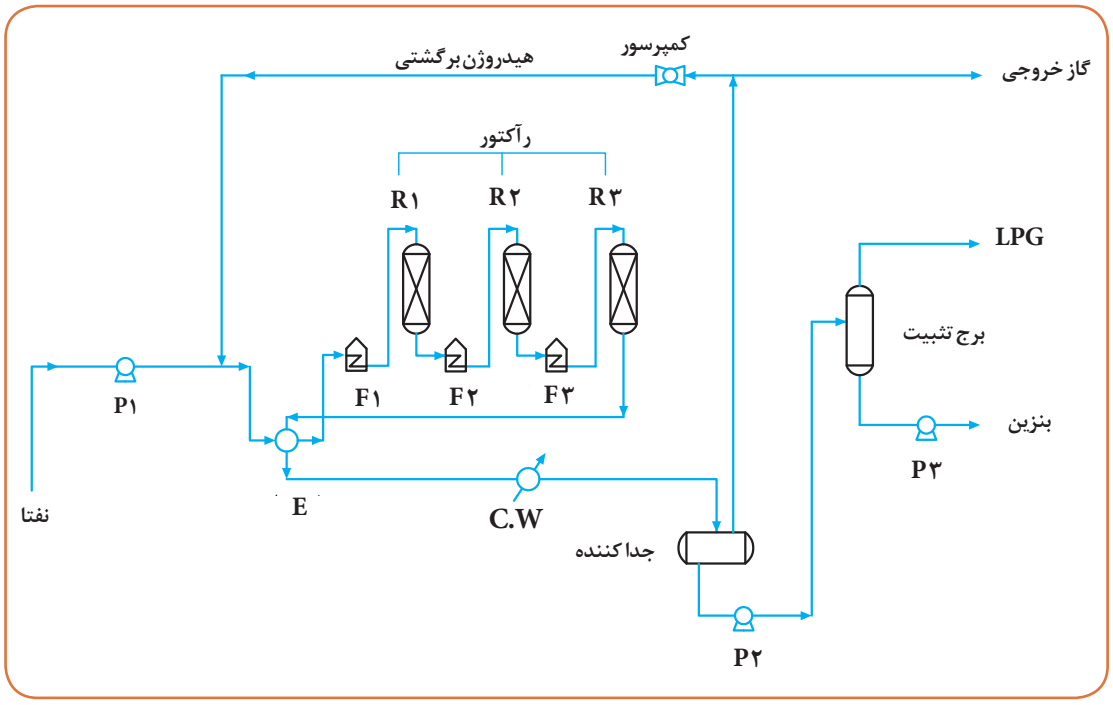
جدول ۱۳ـ نام جریان‌های موجود در نمودار جریان فرایند

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.



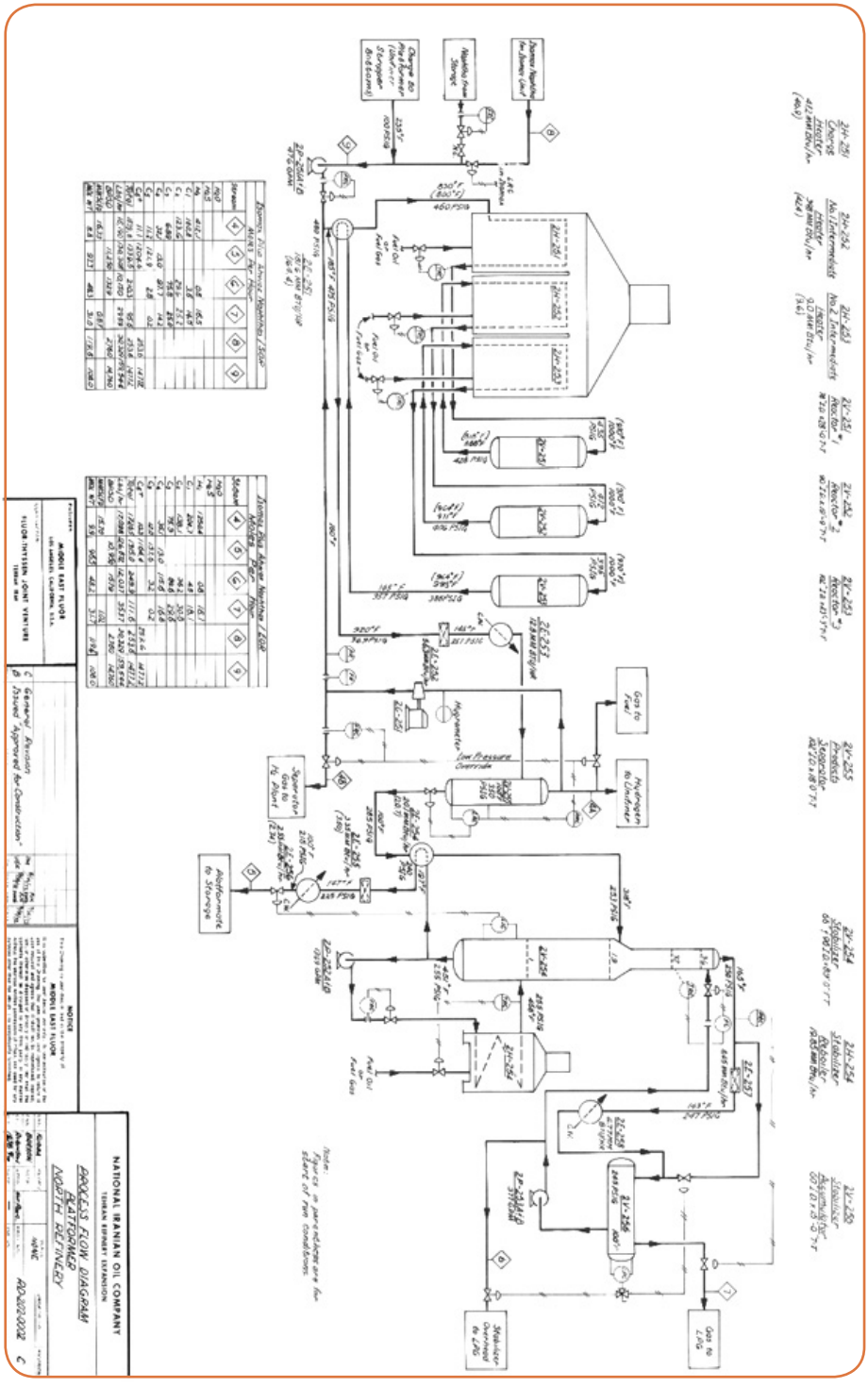
شکل ۲۰ـ نمودار (ساده شده) جریان فرایند واحد تبدیل کاتالیزگری پالایشگاه نفت

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؛

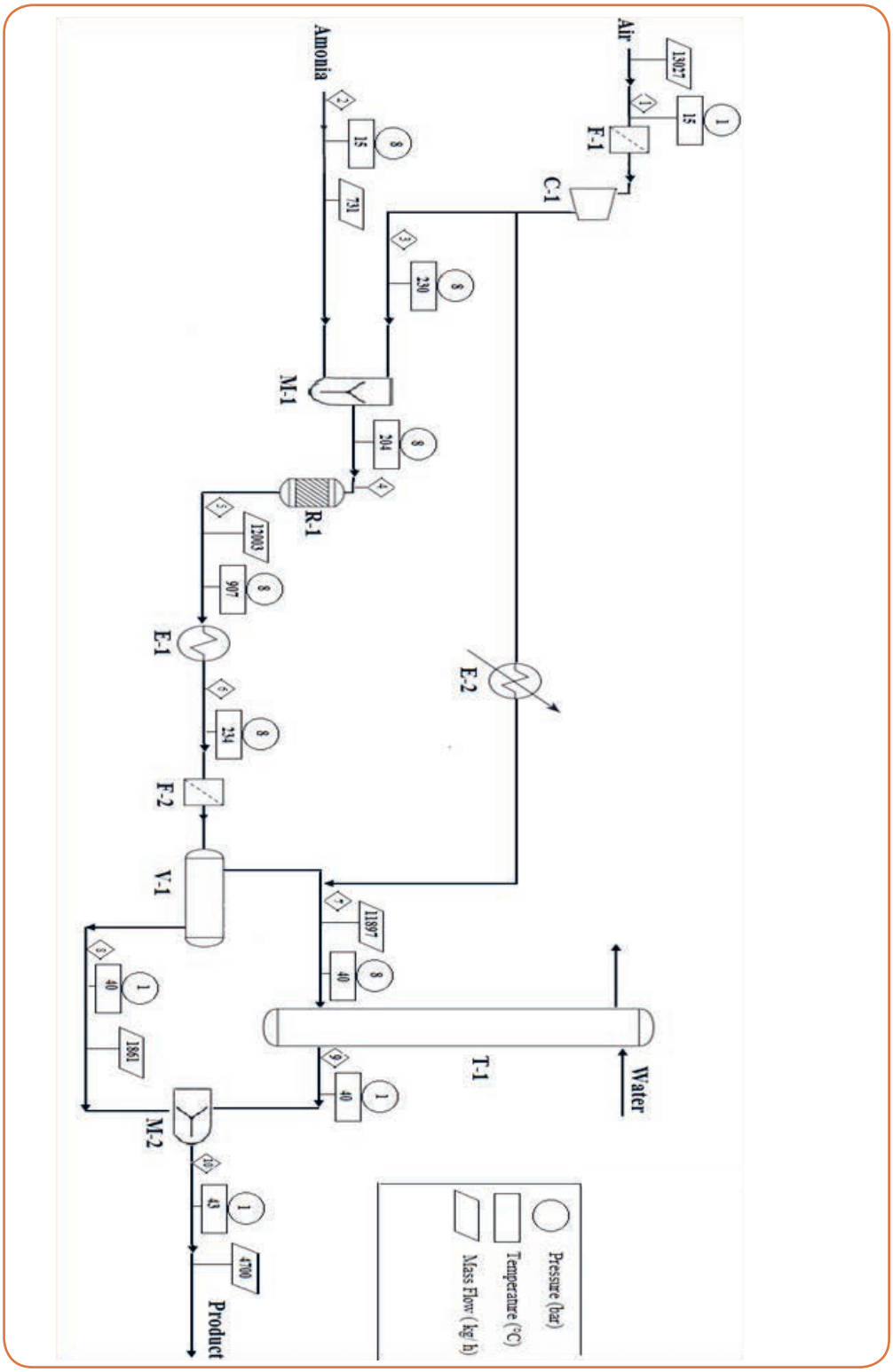
جدول ۱۴ــ اسامی تجهیزات نمودار جریان فرایند

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.

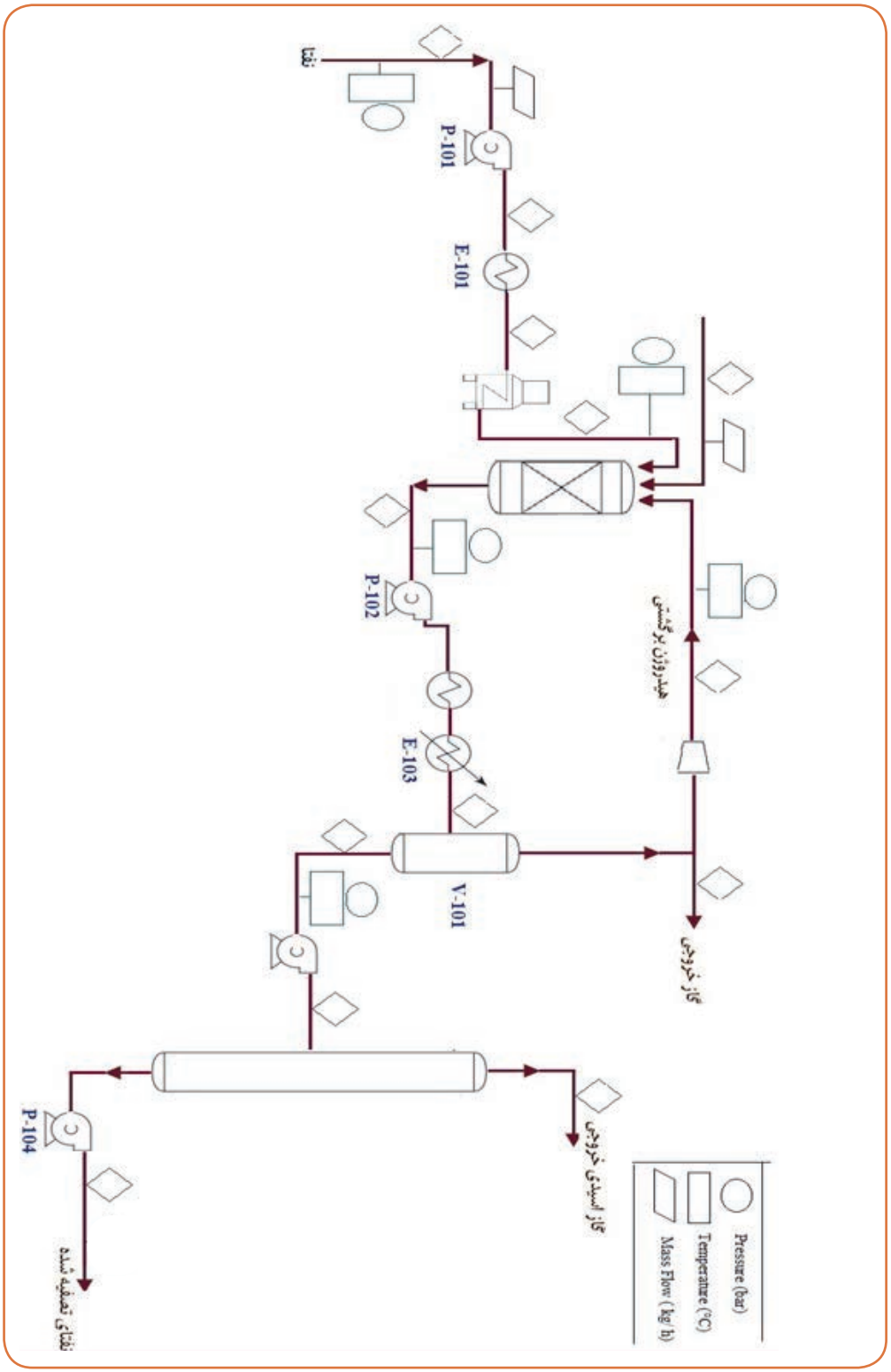
شرح فرایند گوگردزدایی نفتا به‌صورت زیر می‌باشد.

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.

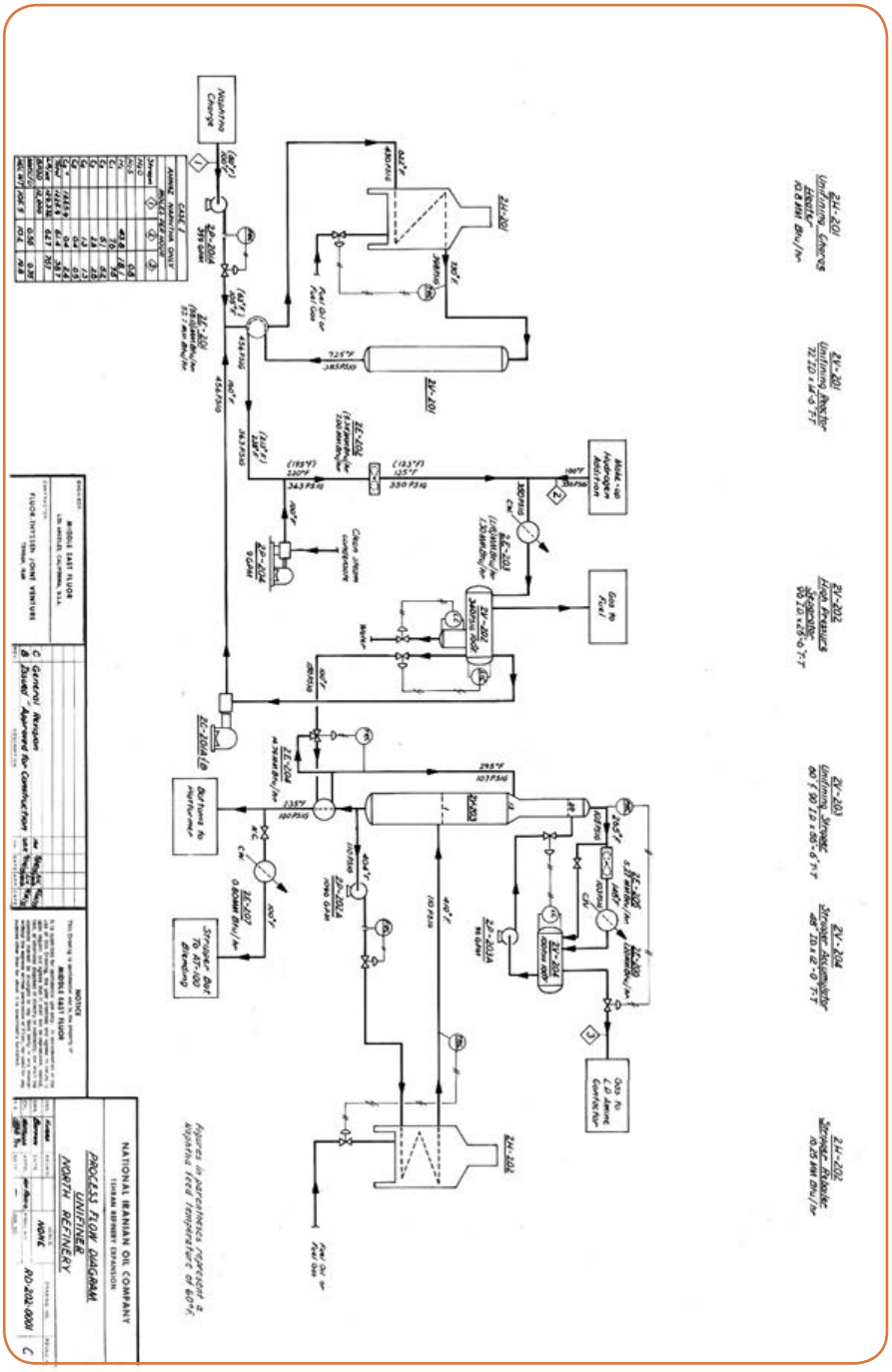
جهت جداسازی گازهای سبک از جریان خنک شدهٔ خروجی از کولر (E-۱۰۳)، جریان خروجی از کولر (E-۱۰۳) با شمارهٔ جریان ۷ وارد جداکننده (V-۱۰۱) می‌شود. جریان گاز خروجی از جداکننده که عمدتاً شامل گاز هیدروژن است به دو بخش تقسیم می‌شود. بخشی از آن به عنوان گاز خروجی با شمارهٔ ۸ از فرایند خارج می‌شود و بخش دیگر آن 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

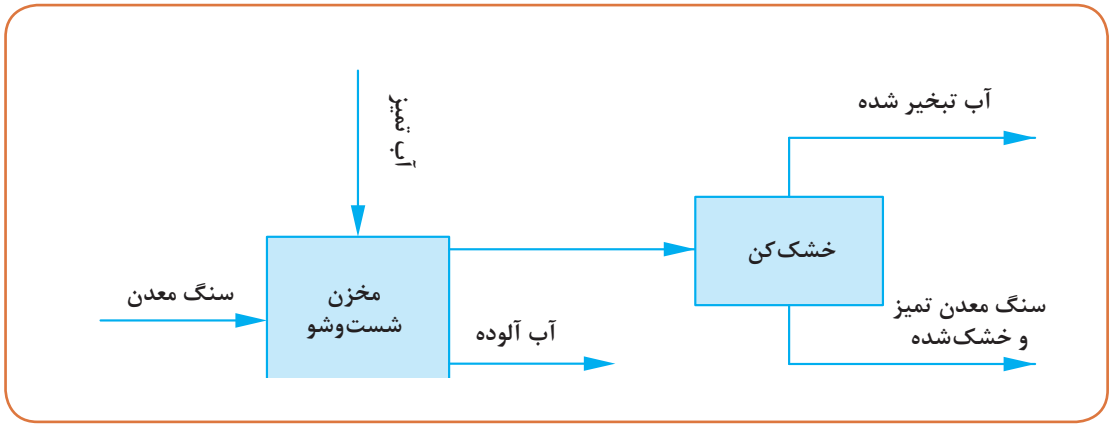
نمودار جریان فرایند گوگردزدایی نفتا به همراه تجهیزات کنترلی در شکل ۲۴ نشان داده شده است.



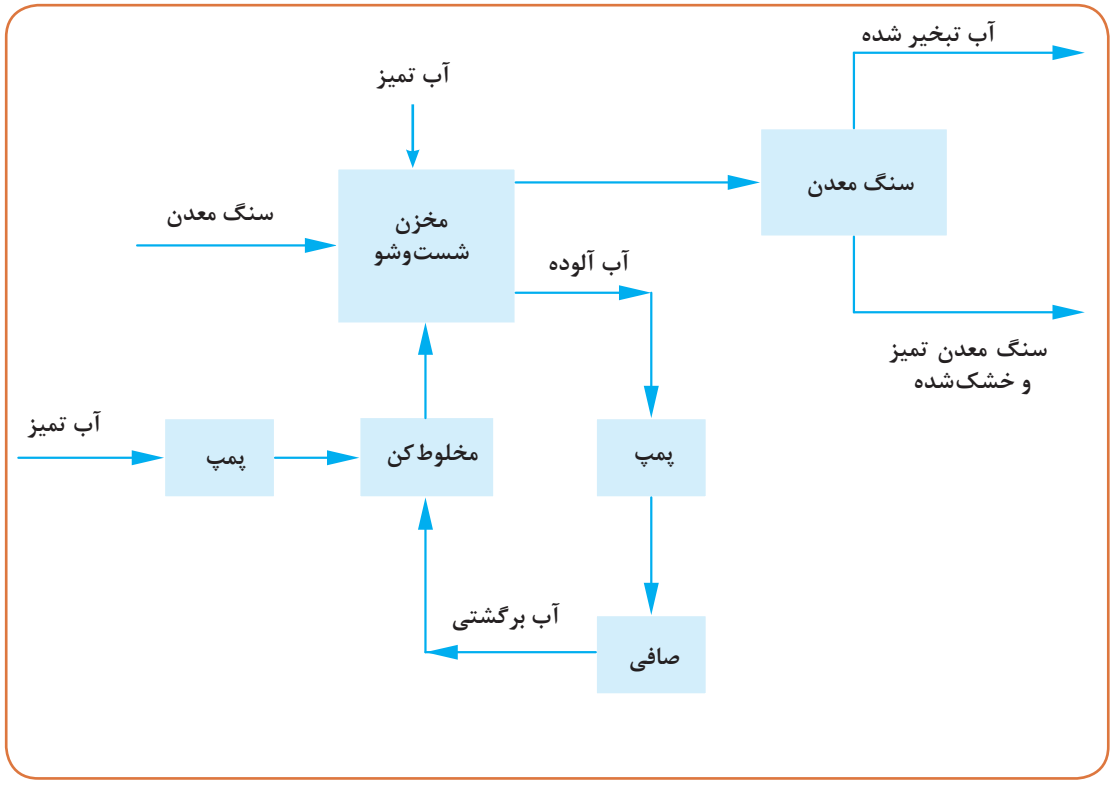
شکل ۲۴ـ نمودار جریان فرایند گوگردزدایی نفتا به همراه تجهیزات کنترلی

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.

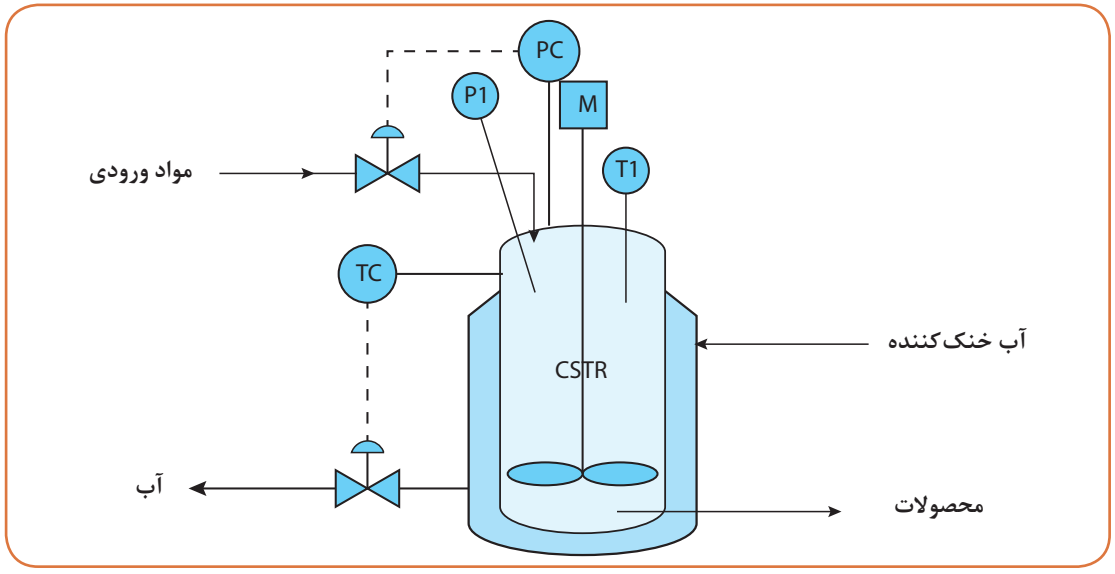
ـ کلیهٔ اطلاعات مربوط به وسایل اندازه‌گیری و ابزار دقیق شامل دماسنج‌ها، فشارسنج‌ها و سطح‌سنج‌ها.

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.



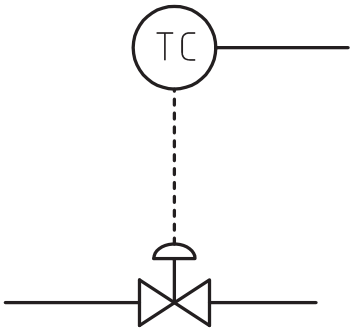
شکل ۲۷ـ نمودار لوله‌کشی و ابزار دقیق راکتور

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

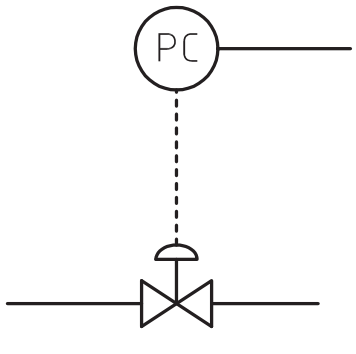
۱ـ CSTR

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.

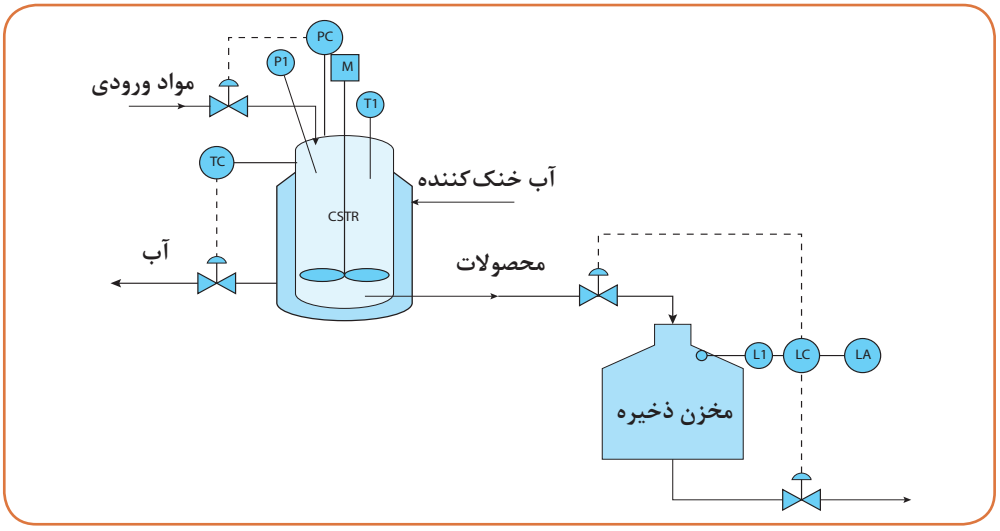


شکل ۲۹ـ سامانهٔ کنترل فشاردر نمودار لوله کشی و ابزار دقیق

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: الف) اخلاق حرفه‌ای ب) مدیریت منابع پ) محاسبه و کاربست ریاضی ۵ـ مستندسازی: گزارش نویسی**	۲	
	میانگین نمرات		*

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

پودمان ۲

اندازه‌گیری، ثبت و کنترل دما

اندازه‌گیری و کنترل دما نقش بسیار مهم و گسترده‌ای جهت کنترل کیفیت محصولات در صنایع مختلف نظیر پالایش، پتروشیمی، کارخانجات شیمیایی و به‌طور کلی هر صنعتی که شامل فرایندهای گرمایش و سرمایش است، دارد.

واحد یادگیری ۲

اندازه‌گیری، ثبت و کنترل دما

مقدمه

اندازه‌گیری مقادیر کمیت‌های اصلی از قبیل دما از مهم‌ترین مباحث در صنایع شیمیایی و علوم مهندسی می‌باشد. هر چه اندازه‌گیری این کمّیت دقیق‌تر باشد، خطرات در محیط صنعتی کمتر خواهد بود. در برخی از فرایندهای شیمیایی دما، تنها نشان‌دهندهٔ پیشرفت واکنش است لذا با توجه به تأثیر دما بر روی کیفیت محصولات و ارتباط آن با ایمنی در صنایع مختلف، اندازه‌گیری دقیق و کنترل آن اهمیت فراوان دارد. در این پودمان مباحث به‌کارگیری مفاهیم و محاسبات در اندازه‌گیری دما، دستگاه‌های اندازه‌گیری دما، کالیبراسیون دماسنج و کنترل دما تشریح خواهد شد.

استاندارد عملکرد

به‌کارگیری محاسبات و اندازه‌گیری دما و کنترل آن مطابق دستورکار

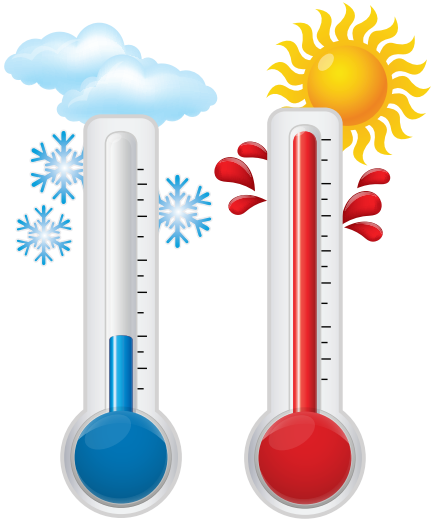
شایستگی‌های غیر فنی

۱ **اخلاق حرفه‌ای:** حضور منظم و وقت شناسی انجام وظایف و کارهای محوله پیروی از قوانین
۲ **مدیریت منابع:** شروع به کار به موقع، مدیریت مؤثر زمان، استفاده از مواد و تجهیزات
۳ **کار گروهی:** حضوری فعال در فعالیت‌های گروهی، انجام کارها و وظایف محوله
۴ **مستندسازی:** گزارش‌نویسی فعالیت‌های کارگاهی
۵ **محاسبه و کاربست ریاضی:** انجام مثال‌ها و تمرین‌ها، با کمک فرمول و محاسبات ریاضی

پس از اتمام این واحد یادگیری هنرجویان قادر خواهند بود

۱ مفاهیم و محاسبات در اندازه‌گیری دما را به کار گیرند.
۲ با روش‌های مختلف اندازه‌گیری دما را انجام دهند.
۳ کالیبراسیون دماسنج را انجام دهند.
۴ دمای فرایندها را کنترل نمایند.

مفهوم دما



آزمایش

سه ظرف یکسان مطابق شکل ۱ انتخاب کرده و در یک ظرف آب گرم، در ظرف دیگر آب سرد و در سومین ظرف آب معمولی بریزید. حال دست راست خود را در آب گرم و دست چپ خود را در آب سرد فرو برید. پس از مدتی هر دو دست را از ظرف‌ها بیرون آورده و سپس در آب معمولی وارد کنید. احساس شما چیست؟

شکل ۱ــ سه ظرف یکسان حاوی آب با دماهای مختلف

مفاهیم داغ، گرم و سرد برای انسان، به سادگی قابل تشخیص است، زیرا دمای محیط مجاور را میلیون‌ها عصب به مغز خبر می‌دهند. همان‌طور که از آزمایش قبل می‌توان نتیجه گرفت، پاسخ فیزیولوژیکی به دما اغلب گمراه‌کننده است. فرض کنید در یک روز سرد زمستانی، برای پذیرایی از دوست خود یک استکان چای آورده باشید. اگر دوست شما در نوشیدن چای کمی تأخیر کند، او را به نوشیدن چای ترغیب می‌کنید و می‌گویید «چای سرد می‌شود». منظور شما آن است که در صورت تأخیر در خوردن، چای سردتر از آن می‌شود که برای نوشیدن مناسب باشد.

با بیان این جمله، شما به هیچ وجه معلوم نکرده‌اید که چای چقدر سرد می‌شود. برای بیان پاسخ مشخص‌تر، از کمّیتی به نام دما استفاده می‌شود. به اجسام گرم‌تر دمای بیشتر و به اجسام سردتر دمای کمتر نسبت می‌دهند. به عبارتی دما معیاری است که میزان گرمی و سردی اجسام را مشخص می‌کند. اندازه‌گیری دما از متداول‌ترین اندازه‌گیری کمّیت‌ها در صنایع شیمیایی است.

تحقیق کنید

در فرهنگ لغات فارسی، کلمهٔ دما به چه معنی می‌باشد؟

دمای محیط کار، زندگی و دمای اجسامی که روزانه با آنها سروکار دارید، معمولاً تأثیر زیادی روی شیوهٔ کار و زندگی دارد. توجه داشته باشید که برای گرم کردن منزل، مدرسه و کارخانه در زمستان یا سرد کردن این محیط‌ها در تابستان چه هزینه‌ای پرداخت می‌شود؟ (شکل ۲).

شکل ۲ـ وسایل گرمایشی و سرمایشی معمولی

ایجاد یک دمای معیّن و حفظ آن در فنّاوری‌های مختلف، صنعت و همین‌طور در پژوهش‌های علمی، اهمیّت فراوان دارد.

دما

معیار سنجش گرمی و سردی اجسام را دما می‌نامند. بنابراین دما یک کمّیت فیزیکی است که دربارهٔ اینکه یک جسم چقدر گرم یا سرد است تصور و آگاهی می‌دهد. علاوه بر تعریف ذکر شده می‌توان دما را نمایانگر متوسط انرژی جنبشی مولکول‌ها در یک جسم دانست که نسبت مستقیم با انرژی ذرات اجسام دارد و آن را با دماسنج اندازه‌گیری می‌کنند.

پرسش

با توجه به آزمایش انجام شده در ابتدای این پودمان، آیا برای اندازه‌گیری دما می‌توان از حس لامسه استفاده نمود؟ چرا؟

یکاها و بعد دما

بعد دما را با نماد θ نشان می‌دهند و یکای آن در سامانه‌های مختلف عبارت‌اند از:

سامانهٔ بین‌المللی[1]

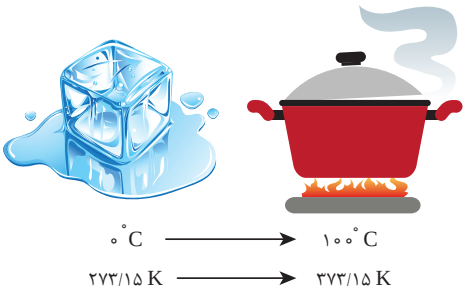
■ **درجهٔ سلسیوس:** در متداول‌ترین مقیاس دما (سلسیوس)، عدد صفر مختص به دمایی است که آب خالص در آن یخ می‌زند و عدد ۱۰۰ به دمای جوشیدن آب خالص (در فشار اتمسفریک) اختصاص دارد. فاصلهٔ بین این دو عدد به ۱۰۰ قسمت مساوی تقسیم شده است، هر قسمت را به افتخار آندره سلسیوس[2] یک‌درجهٔ سلسیوس می‌نامند و با نماد «$^\circ C$» نشان می‌دهند.

بیشتر بدانید

آندره سلسیوس منجم سوئدی در ۲۷ نوامبر ۱۷۰۱ میلادی به دنیا آمد و در ۲۵ آوریل ۱۷۴۴ میلادی درگذشت.
او بنیان گذار رصدخانه اُپسالا[3] (Uppsala) بود و در سال ۱۷۴۲ میلادی مقیاس دمای مشهور سلسیوس را پیشنهاد داد.

■ **درجهٔ کلوین[4]:** هنگامی که یک جسم سرد می‌شود، جنبش اتم‌ها و مولکول‌های آن کند می‌گردد. به‌عنوان مثال هنگام سرد شدن آب (مایع)، جنبش مولکول کند شده و اگر سرد شدن خیلی ادامه یابد، مولکول‌های آب بی‌حرکت شده و آب به‌صورت یخ (جامد) درمی‌آید. در تمام مواد، یک دمای حداقل وجود دارد که در آن دما، تمام جنبش مولکول‌ها به کمترین مقدار ممکن می‌رسد. دمای این نقطه را «صفر مطلق» می‌نامند. این یکا به افتخار ویلیام تامسون که به نام لرد کلوین مشهور است، نام‌گذاری شده است و با نماد (K) نشان داده می‌شود. صفر مطلق در مقیاس کلوین معادل دمای ۲۷۳/۱۵- درجهٔ سلسیوس است. مطابق مباحث تئوری، در صفر مطلق هیچ جنبشی، در هیچ‌یک از مولکول‌های مواد، نباید وجود داشته باشد. اما شواهد تجربی نشان می‌دهند که چنین چیزی رخ نمی‌دهد بلکه در صفر مطلق جنبش مولکول‌های مواد به کمترین مقدار ممکن می‌رسد.

همان‌طور که مشخص است در اندازه‌گیری دما با استفاده از یکای سلسیوس به‌طور نسبی دو مقیاس نقطهٔ ذوب یخ و جوش آب در نظر گرفته شده است (شکل ۳). لذا مقیاس دمایی سلسیوس را مقیاس دمایی نسبی و مقیاس دمایی کلوین، که در آن صفر مطلق مطرح است را، مقیاس دمایی مطلق می‌نامند.



شکل ۳ــ دو مقیاس دمایی در سامانهٔ بین المللی (SI)

رابطهٔ بین درجهٔ سلسیوس و کلوین مطابق معادلهٔ (۱) می‌باشد:

$$T(K) = T(^\circ C) + ۲۷۳/۱۵ \qquad (۱)$$

۱ـ SI (System International)
۲ـ Celsius
۳ـ Uppsala
۴ـ Kelvin

نکته

جهت سادگی محاسبات، برای تبدیل دمای سلسیوس به کلوین از عدد ثابت ۲۷۳ استفاده می‌شود.

مثال ۱ــ دمای ذوب یخ و جوش آب خالص در فشار اتمسفریک ۰ و ۱۰۰ درجهٔ سلسیوس است. این دو دما را برحسب یکای کلوین محاسبه نمایید.

پاسخ: با توجه به رابطهٔ (۱):

$T(K) = T(^{\circ}C) + ۲۷۳$

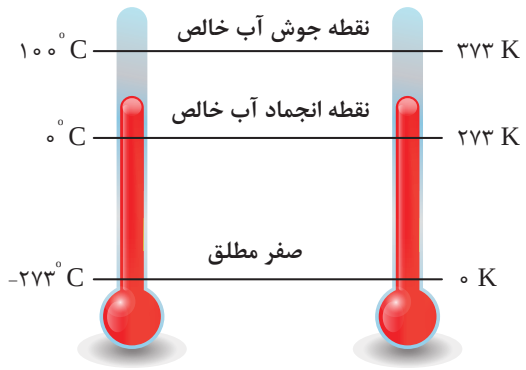
$T(K) = ۰\ (^{\circ}C) + ۲۷۳ = ۲۷۳\ K$

$T(K) = ۱۰۰\ (^{\circ}C) + ۲۷۳ = ۳۷۳\ K$

مطابق محاسبات انجام شده دمای صفر درجهٔ سلسیوس معادل ۲۷۳ درجهٔ کلوین و دمای ۱۰۰ درجهٔ سلسیوس معادل ۳۷۳ درجهٔ کلوین می‌باشد (شکل ۴).

جدول ۱ــ برخی دماهای رایج

ردیف	عنوان	دما ($^{\circ}C$)
۱	نقطهٔ جوش هیدروژن مایع	-۲۵۲/۹
۲	نقطهٔ جوش اکسیژن مایع	-۱۸۳
۳	نقطهٔ ذوب الکل (اتانول)	-۱۱۴/۱
۴	نقطهٔ ذوب جیوه	-۳۸/۸۳
۵	نقطهٔ ذوب یخ	۰
۶	دمای بدن انسان سالم	۳۷
۷	نقطهٔ جوش الکل (اتانول)	۷۸/۳۷
۸	نقطهٔ جوش آب	۱۰۰
۹	نقطهٔ جوش جیوه	۳۵۶/۷
۱۰	نقطهٔ ذوب طلا	۱۰۶۴
۱۱	نقطهٔ جوش طلا	۲۷۰۰
۱۲	دمای سطح خورشید	۶۲۰۰



شکل ۴ــ دماسنج سلسیوس و کلوین

تحقیق کنید

- اگر ناخالصی در آب وجود داشته باشد، دمای ذوب و جوش آب چه تغییری می‌کند؟
- اگر فشار هوا اتمسفریک نباشد، دمای ذوب و جوش آب چه تغییری می‌کند؟

پرسش: در جدول ۱، برخی دماهای رایج آورده شده است، آنها را به درجهٔ کلوین تبدیل کنید.

سامانهٔ انگلیسی[1]

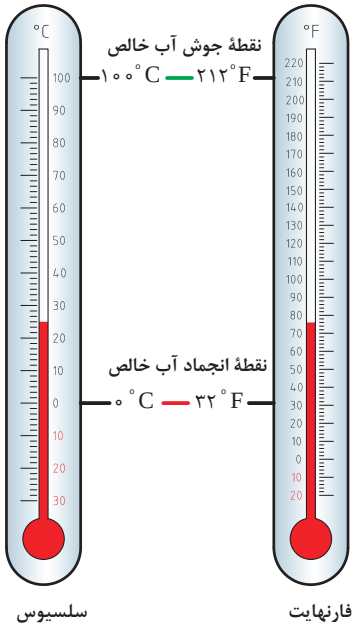
■ **درجهٔ فارنهایت:** فارنهایت واحد اندازه‌گیری دمای نسبی در سامانهٔ انگلیسی است و به افتخار مبتکر آن گابریل دانیل فارنهایت[2] در سال ۱۷۱۴ میلادی نام‌گذاری شده است. اگرچه درجهٔ فارنهایت درگذشته واحد اندازه‌گیری رایج دما بوده، اما در حال حاضر کاربرد آن محدودتر شده و فقط در برخی کشورها استفاده می‌شود. در مقیاس فارنهایت، دمای ذوب یخ برابر با ۳۲ و دمای جوش آب ۲۱۲ درجه در نظر گرفته شد. فاصلهٔ میان این دو دما به ۱۸۰ واحد مساوی تقسیم گردید و هر واحد معادل یک درجهٔ فارنهایت معرفی شد.

بیشتربدانید

گابریل فارنهایت دانشمند آلمانی (۱۷۳۶-۱۶۸۶)

رابطهٔ بین درجهٔ سلسیوس و فارنهایت مطابق معادلهٔ (۲) بوده و در شکل ۵ نشان داده شده است.

$$T(^{\circ}F) = T(^{\circ}C) \times ۱/۸ + ۳۲ \qquad (۲)$$



شکل ۵ـ مقایسهٔ دماهای سلسیوس و فارنهایت

۱- FPS (Foot-Pound-Second)

۲- Daniel Gabriel Farenheit

مثال ۲ـ دمای جریان ورودی به راکتور تبدیل کاتالیزگری پالایشگاه نفت می‌بایست حداقل ۴۸۰ درجهٔ سلسیوس باشد. نفتا به‌عنوان خوراک این راکتور ابتدا از یک کوره عبور کرده و دمای آن به ۶۶۲ درجهٔ فارنهایت می‌رسد. آیا می‌توان از این جریان به‌عنوان خوراک این واحد استفاده نمود؟

پاسخ: در ابتدا باید با توجه به معادلهٔ (۲)، دمای نفتای خروجی از کوره را برحسب درجهٔ سلسیوس تعیین نمود.

$$T(^\circ F)=T(^\circ C)\times ۱/۸+۳۲$$

$$T\,(^\circ C)=\frac{T(^\circ F)-۳۲}{۱/۸} \rightarrow T\,(^\circ C)=\frac{۶۶۲-۳۲}{۱/۸}=۳۵۰\,(^\circ C)$$

بنابراین دمای نفتای خروجی از کوره معادل ۳۵۰ درجهٔ سلسیوس است. درحالتی‌که دمای جریان خوراک واحد تبدیل کاتالیزگری حداقل ۴۸۰ درجهٔ سلسیوس باشد، از این جریان نمی‌توان به‌عنوان خوراک این واحد استفاده نمود.

پرسش

با توجه به شکل و جدول ارائه شده به سؤالات زیر پاسخ دهید:

الف) دماسنج داده شده در شکل ۶ بر اساس چه مقیاس‌هایی درجه‌بندی شده است؟

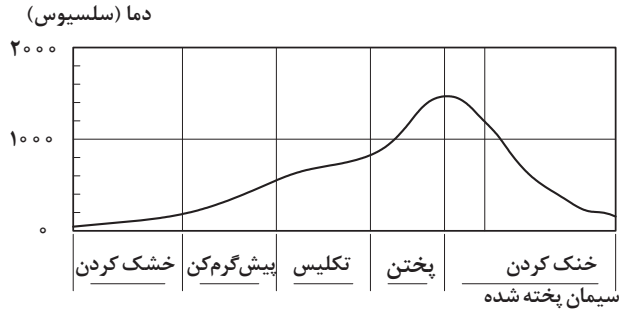
ب) جدول زیر را با این دماسنج به‌طور تقریبی کامل کنید.

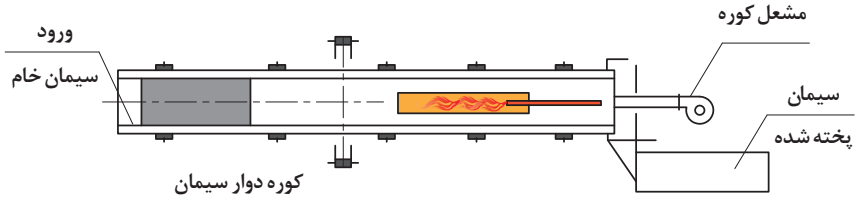
دما (درجهٔ سلسیوس)	-۴۰	۵	۳۰	۵۰
دما (درجهٔ فارنهایت)				

ج) دماهای واردشده را با استفاده از معادله (۲) به مقیاس فارنهایت تبدیل کنید.

شکل ۶ـ مقایسهٔ دماهای سلسیوس و فارنهایت

مثال ۳ـ مراحل تهیهٔ سیمان در شکل ۷ نشان داده شده است. دمای پایانی هر مرحله از کوره سیمان را برحسب درجهٔ کلوین و فارنهایت به‌دست آورید.





شکل ۷ـ مراحل تولید سیمان

خنک شدن	پختن	تکلیس	پیش‌گرم‌کن	خشک کردن	مراحل تهیهٔ سیمان
۱۵۰	۱۴۰۰	۹۰۰	۵۰۰	۲۰۰	دما (درجهٔ سلسیوس)

پاسخ: با توجه به معادله‌های (۱) و (۲):

ـ دمای کوره برحسب کلوین: $T(K) = T(^{\circ}C) + ۲۷۳$

ـ دمای کوره برحسب فارنهایت: $T(^{\circ}F) = T(^{\circ}C) \times ۱/۸ + ۳۲$

خواهیم داشت:

خنک شدن	پختن	تکلیس	پیش گرمکن	خشک کردن	مراحل تهیه سیمان
۱۵۰	۱۴۰۰	۹۰۰	۵۰۰	۲۰۰	دما (درجهٔ سلسیوس)
۳۰۲	۲۵۵۲	۱۶۵۲	۹۳۲	۳۹۲	دما (درجهٔ فارنهایت)
۴۲۳	۱۶۷۳	۱۱۷۳	۷۷۳	۴۷۳	دما (درجهٔ کلوین)

پرسش

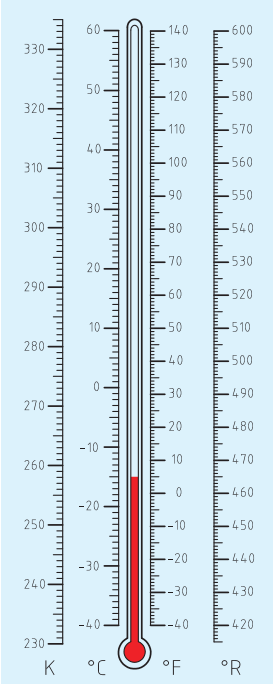
با توجه به رابطهٔ بین دمای سلسیوس و فارنهایت، معین کنید در چه دمایی مقدار دما برحسب سلسیوس و فارنهایت با هم برابرند؟

درجهٔ رانکین[۱]

درجهٔ رانکین مقیاسی مطلق در سامانهٔ FPS برای اندازه‌گیری دما می‌باشد که به افتخار مخترع آن، مهندس فیزیکدان اسکاتلندی ویلیام جان ماگورن رانکین، به این عنوان خوانده شده و با نماد $^{\circ}R$ نشان داده می‌شود. در مقیاس رانکین درجهٔ صفر، همان صفر مطلق می‌باشد ولی در تقسیم‌بندی درجه‌ها از مقیاس درجهٔ فارنهایت استفاده می‌شود یعنی صفر درجهٔ رانکین برابر با ۴۵۹/۶۷- درجهٔ فارنهایت می‌باشد. درجهٔ رانکین مطابق معادله (۳) با درجه فارنهایت ارتباط دارد.

$$T(^{\circ}R) = T(^{\circ}F) + ۴۵۹/۶۷ \qquad (۳)$$

در شکل ۸ مقایسهٔ دماهای سلسیوس، فارنهایت، کلوین و رانکین نشان داده شده است.



شکل ۸ــ مقایسهٔ دماهای سلسیوس، فارنهایت، کلوین و رانکین

۱ـ Rankine

نکته

برای سادگی محاسبات در تبدیل دمای فارنهایت به رانکین از عدد ثابت ۴۶۰ استفاده می‌گردد.

پرسش

۱ـ دمای خشک شدن رنگ بر پایهٔ رزین اکریلیک، ۵۳۷ درجهٔ رانکین می‌باشد. دمای خشک شدن رنگ را برحسب درجهٔ سلسیوس، فارنهایت و کلوین به‌دست آورید.

۲ـ پاستوریزه کردن شیر، فرایندی است که شیر را خالص می‌کند و باعث دوام بیشتر آن می‌شود. در عمل پاستوریزه کردن، شیر ابتدا به دمای ۳۴۵ درجهٔ کلوین رسیده و در مدت ۱۶ ثانیه گرم شده و سپس تا دمای ۴ درجهٔ سلسیوس به سرعت سرد می‌شود.

مطلوب است:

الف) دمای پاستوریزاسیون برحسب درجه‌های سلسیوس، فارنهایت و رانکین

ب) دمای سرد شدن شیر برحسب درجه‌های کلوین، فارنهایت و رانکین

۳ـ لاستیک کلروپرن به‌عنوان لاستیک مصنوعی برای اولین بار توسط شرکت آمریکایی دوپانت[۱] در سال ۱۹۳۱ تولید گردید. این لاستیک به روش پلیمریزاسیون امولسیونی در دمای ۱۰۰ درجهٔ فارنهایت در مجاورت گوگرد تهیه می‌شود. مطلوب است دمای پلیمریزاسیون برحسب درجه‌های سلسیوس، کلوین و رانکین.

مثال۴ـ دمای هوای شهر تهران در تابستان ۳۵ درجهٔ سلسیوس می‌باشد. دمای هوا را بر حسب درجه‌های کلوین، فارنهایت و رانکین محاسبه نمایید.

جواب) بر اساس معادله‌های (۱)، (۲) و (۳) خواهیم داشت:

$$T(K) = T(^\circ C) + ۲۷۳ \quad \rightarrow \quad T(K) = ۳۵ + ۲۷۳ = ۳۰۸\ K$$

$$T(^\circ F) = T(^\circ C) \times ۱/۸ + ۳۲ \quad \rightarrow \quad T(^\circ F) = ۳۵ \times ۱/۸ + ۳۲ = ۹۵\ ^\circ F$$

$$T(^\circ R) = T(^\circ F) + ۴۶۰ \quad \rightarrow \quad T(^\circ R) = ۹۵ + ۴۶۰ = ۵۵۵\ ^\circ R$$

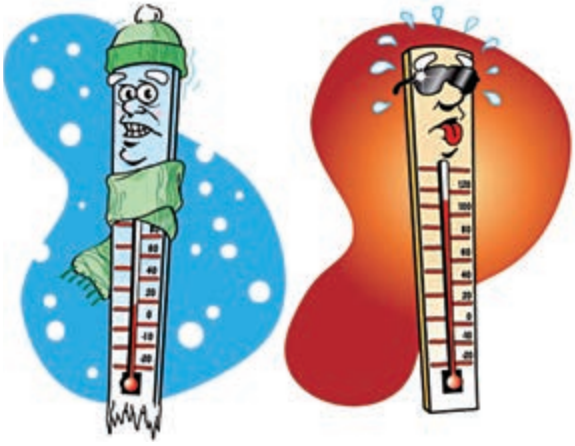
بنابراین:

۳۵ درجهٔ سلسیوس معادل است با		
۵۵۵ درجهٔ رانکین	۹۵ درجهٔ فارنهایت	۳۰۸ درجهٔ کلوین

۱- Dupont

دماسنج

دماسنج وسیله‌ای است که میزان سرما و گرما را نشان می‌دهد، که در انگلیسی به آن ترمومتر[۱] می‌گویند. این واژه در زبان یونانی برگرفته از «ترموس[۲]» به‌معنی گرما و «مترون[۳]» به معنی اندازه‌گیری می‌باشد.



تاریخچه: گالیله در سال ۱۵۹۲ میلادی نخستین وسیلهٔ علمی را برای اندازه‌گیری دما اختراع کرد. وی یک بطری شیشه‌ای گردن باریک انتخاب کرده بود. بطری با آب رنگین تا نیمه پر شده و به‌طور وارونه در یک ظرف محتوی همان نوع آب قرار گرفته بود. با تغییر دمای محیط، محتوای بطری منبسط یا منقبض می‌شد و ستون آب در گردن بطری بالا یا پایین می‌رفت. وسیلهٔ ساخته شده مقیاسی واقعی برای سنجش دما نبود. در واقع این وسیله، بیشتر دما نما بود تا دماسنج.

در سال ۱۶۳۱ میلادی «ری»[۴] تغییراتی را در دمانمای گالیله پیشنهاد کرد. پیشنهاد وی همان بطری وارونه گالیله بود که در آن فقط سرد و گرم شدن از روی انقباض و انبساط آب ثبت می‌شد. در سال ۱۶۳۵ میلادی دوک فردینالند توسکانی[۵]، دماسنجی ساخت که در آن از الکل استفاده کرد. سر لوله را چنان محکم بست که الکل نتواند تبخیر شود. سرانجام در سال ۱۶۴۰ میلادی دانشمندان آکادمی لینچی[۶] در ایتالیا نمونه‌ای از دماسنج‌های جدیدی را ساختند که در آن جیوه به کار برده و هوا را تا حدودی از قسمت بالای لولهٔ بسته خارج کرده بودند. توجه به این نکته جالب است که در حدود نیم قرن طول کشید تا دماسنج کاملاً تکامل یافت.

به دنبال کشف دماسنج، گابریل دانیل فارنهایت دانشمند هلندی، در قرن هفدهم نوعی دماسنج گازی ـ الکلی ساخت که با دقت بیشتری می‌توانست دما را اندازه‌گیری کند. او در سال ۱۷۱۴ میلادی دماسنج جیوه‌ای با دقت بالا و با شیوه‌ای خاص طراحی نمود. فارنهایت نتایج تحقیقات خود را در سال ۱۷۲۴ میلادی منتشر ساخت. آندرس سلسیوس دانشمند سوئدی به سال ۱۷۴۲ میلادی دماسنج جیوه‌ای را طراحی و با آن اندازه‌گیری دمای هوا را انجام داد.

فیلم ۱: ساخت یک دماسنج ساده

۱- Thermometer
۲- Thermos
۳- Metron
۴- Rey
۵- Tuseany
۶- Linchi

فعالیت کارگاهی

فعالیت کارگاهی ۱: ساخت یک دماسنج ساده

وسائل مورد نیاز: ـ شیشهٔ کوچک با درب چوب پنبه ـ لولهٔ شیشه‌ای یا نی ـ چسب یا خمیر بازی ـ کاغذ میلی‌متری

فرض کنید می‌خواهید برای اولین بار در دنیا یک دماسنج بسازید. برای این کار می‌توانید مطابق مراحل کار آن را بسازید و سپس واحدی برای اندازه‌گیری دما تعریف نمایید.

مراحل کار:

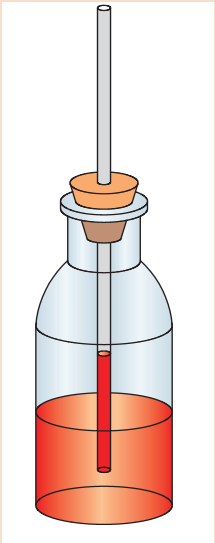
۱ یک شیشهٔ کوچک، ترجیحاً بی‌رنگ با درب چوب پنبه‌ای انتخاب کرده و آن را پر از آب کنید.

۲ یک سوراخ به اندازهٔ یک لولهٔ شیشه‌ای یا نی دقیقاً در وسط درپوش شیشه به وسیلهٔ یک میخ یا قیچی ایجاد نمایید.

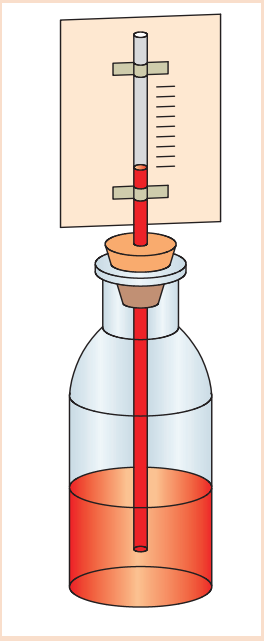
۳ لولهٔ شیشه‌ای را از درون درپوش عبور داده، به گونه‌ای تنظیم کنید که تا انتهای شیشه برسد ولی به کف آن نچسبد.

۴ پس از عبور لولهٔ شیشه‌ای لازم است دور تا دور سوراخ را کاملاً بسته و آب‌بندی نمایید. این کار را به کمک چسب آکواریوم یا خمیر بازی انجام دهید.

۵ اکنون آب را با مقداری از جوهر رنگی مخلوط نموده و درون شیشه بریزید. هنگامی که در شیشه را می‌بندید، آب به دلیل فشار هوایی که برروی سطح آن است، مقداری از نی بالا می‌آید. توجه کنید که بیشتر ارتفاع لولهٔ شیشه‌ای خالی باشد تا فضای کافی جهت افزایش ارتفاع آب با افزایش دما موجود باشد.

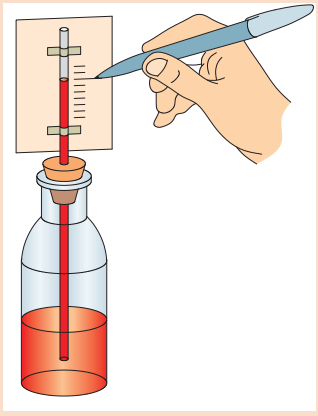


فعالیت عملی



۶ کاغذ میلی‌متری باریک را همچون پرچمی به لولهٔ شیشه‌ای بچسبانید.

۷ مقداری یخ در ظرفی ریخته و منتظر بمانید که یخ‌ها شروع به ذوب شدن نمایند، به‌گونه‌ای که درون ظرف مخلوطی از آب و یخ داشته باشید. سپس شیشهٔ آماده شده را درون ظرف آب و یخ قرار دهید، این زمان هنگامی است که یخ در دمای ذوب قرار گرفته و این همان دمای صفر درجهٔ سلسیوس است. در این حالت سطح آب در نی پایین می‌رود. اگر مشاهده کردید که سطح آب خیلی پایین رفته و از دید شما خارج شد، این کار را دوباره با افزایش مقداری آب رنگی درون شیشه تکرار کنید. ارتفاع آب را در حالت صفر درجه، روی کاغذ میلی‌متری علامت بزنید.



۸ در ظرفی دیگر مقداری آب را بجوشانید، سپس آن را از روی حرارت بردارید. شیشه را در ظرف آب جوش قرار دهید.
پس از مدتی به علت انبساط آب رنگی، سطح آن بالا رفته و ثابت می‌ماند. این ارتفاع را روی کاغذ به عنوان نقطهٔ ۱۰۰ درجه علامت بزنید.

۹ فاصلهٔ بین دو علامت صد و صفر درجه را، به صد قسمت مساوی تقسیم کنید.

به این ترتیب دماسنج آماده است و می‌توانید از آن جهت اندازه‌گیری دمای محیط‌های مختلف استفاده نمایید.

پرسش

با توجه به فعالیت عملی انجام یافته، به پرسش‌های زیر پاسخ دهید:
الف) دماسنج ساخته شده براساس چه مقیاسی دما را اندازه‌گیری می‌کند؟
ب) چگونه می‌توان دقت این دماسنج را بالا برد؟
پ) آیا می‌توان از این دماسنج جهت اندازه‌گیری دمای فریزر استفاده کرد؟ چرا؟ برای این منظور چه راه حلی پیشنهاد می‌کنید؟
ت) به کمک این دماسنج، دمای هوا را در زمان‌های مختلف اندازه‌گیری نمایید. آیا دماهای اندازه‌گیری‌شده، یکسان‌اند؟
ث) آیا اگر فرد دیگری چنین دماسنجی بسازد، دمایی که دماسنج او از یخ در حال ذوب نشان می‌دهد. با دماسنج شما برابر خواهد بود؟

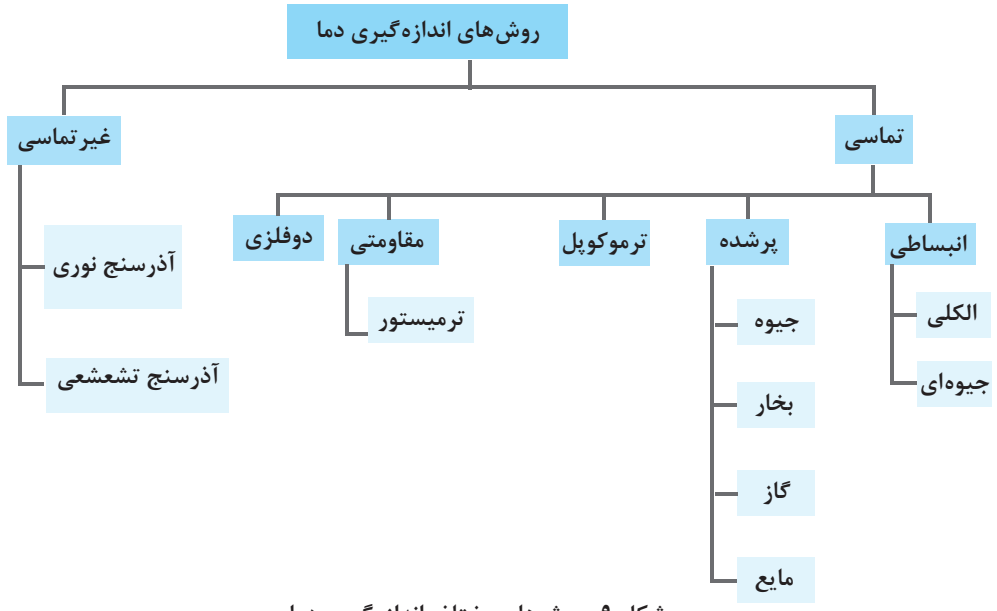
انواع دماسنج

دماسنج‌ها، وسایلی برای اندازه‌گیری دما هستند. انواع دماسنج‌ها براساس روش‌های مختلف اندازه‌گیری دما طراحی شده‌اند.

نکته

بسیاری از کمیت‌های فیزیکی مانند حجم با دما تغییر می‌کنند.

در شکل ۹ روش‌های مختلف اندازه‌گیری دما نشان داده شده است.



شکل ۹ــ روش‌های مختلف اندازه‌گیری دما

اندازه‌گیری تماسی دما

در دماسنج تماسی، اندازه‌گیری دما توسط تماس حسگر دما با سطح جسم یا سیال انجام می‌شود. دماسنج‌های تماسی بیشترین استفاده را در اندازه‌گیری دما دارند. این نوع دماسنج معمولاً کاربردهای آزمایشگاهی و صنعتی فراوانی دارد.

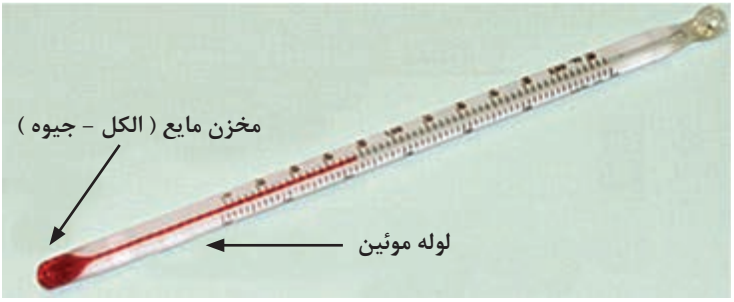
نکته

حسگر دما قسمتی از دماسنج است که به‌طور مستقیم در تماس با جسم مورد نظر بوده و باید با آن هم‌دما شود.

دماسنج‌های انبساطی

این نوع دماسنج یکی از رایج‌ترین انواع دماسنج‌های مورد استفاده در صنعت می‌باشد. معمولاً این نوع دماسنج را به عنوان دماسنج‌های جیوه‌ای یا الکلی می‌شناسند. این دماسنج‌ها از یک لولهٔ شیشه‌ای باریک (موئین) سربسته و خالی از هوا، که به یک مخزن نازک محتوی جیوه یا الکل متصل است، ساخته می‌شوند. جیوه یا الکل بر اثر گرما منبسط و بر اثر سرما منقبض می‌شود و بدین ترتیب در درون لولهٔ شیشه‌ای بالا و پایین می‌رود (شکل ۱۰). البته به این دماسنج‌ها، دماسنج ساقه شیشه‌ای نیز گفته می‌شود.

برای اندازه‌گیری دمای هر جسمی، مخزن دماسنج را در تماس با آن قرار دهید. مدتی صبر کنید تا ارتفاع مایع در لولهٔ باریک دماسنج، دیگر تغییر نکند. آنگاه عددی را که در مقابل سطح مایع در لوله نوشته شده است، بخوانید. این عدد دمای آن جسم را نشان می‌دهد.



شکل ۱۰ــ دماسنج‌های الکلی ــ جیوه‌ای

نکته

هرچه دما بالاتر باشد، ارتفاع مایع درون لولهٔ مویین بیشتر و هرچه دما پایین‌تر باشد، ارتفاع مایع کمتر است.

فیلم ۲: ساخت دماسنج شیشه‌ای

پرسش

۱ــ چرا ضخامت مخزن مایع در دماسنج الکلی یا جیوه‌ای، نازک است؟
۲ــ چرا دماسنج خالی از هوا می‌باشد؟
۳ــ با استفاده از جدول ۱ گسترهٔ اندازه‌گیری دما را در دماسنج‌های جیوه‌ای و الکلی تعیین کنید.
۴ــ آیا با استفاده از دماسنج جیوه‌ای، می‌توان دمای قطب جنوب که به ۵۰- درجهٔ سلسیوس می‌رسد را اندازه‌گیری کرد؟

نکات ایمنی

با توجه به سمّی بودن جیوه، در هنگام کار با دماسنج جیوه‌ای مواظب باشید که دماسنج نشکند. اگر دماسنج شکست، به هیچ وجه جیوهٔ آن را با دست جمع نکرده و از جاروبرقی هم استفاده نکنید، بهتر است پودر گوگرد روی آن ریخته شود تا تشکیل ملغمه داده، سپس جمع‌آوری گردد که در این صورت درجهٔ سمّیت آن کمتر گردد. در صورت نبود پودر گوگرد بهتر است از دو ورق کاغذ برای جمع‌آوری آن استفاده کنید. البته در این حالت هم احتمال استنشاق بخارات جیوه وجود دارد.

پرسش

اگر هدف اندازه‌گیری نقطهٔ جوش و یا نقطهٔ ذوب مواد موجود در جدول ۲ باشد، کدام دماسنج (الکلی یا جیوه‌ای) را برای اندازه‌گیری آن پیشنهاد می‌دهید؟

جدول ۲ـ نقطهٔ جوش و یا نقطهٔ ذوب مواد مختلف

ردیف	ماده	موضوع	مقدار (°C)	انتخاب دماسنج
۱	استیک اسید	دمای جوش	۱۱۸	
۲	سیکلو هگزان	دمای جوش	۸۰/۷۴	
۳	کلروفرم	نقطهٔ ذوب	-۶۳/۵	
۴	استون	نقطهٔ ذوب	-۹۵	

تحقیق کنید

با استفاده از منابع اینترنتی، مزایای دو نوع دماسنج جیوه‌ای و الکلی را بررسی نمایید.

فعالیت‌عملی

فعالیت کارگاهی ۲:

تعیین رطوبت نسبی هوا با استفاده از دمای مرطوب و خشک هوا

رطوبت نسبی هوا با معلوم بودن دمای خشک و دمای مرطوب هوا تعیین می‌گردد.

دمای خشک هوا، میزان دمایی است که توسط دماسنجی که در معرض هوا قرار دارد، خوانده می‌شود. دمای مرطوب هوا نیز یکی ازخواص ترمودینامیکی مخلوط هوا و بخار آب است که با تقریب مناسبی توسط یک دماسنج با سطح حسگر خیس که در معرض هوا قرار دارد، اندازه‌گیری می‌شود.

مراحل آزمایش:

۱ دو دماسنج جیوه‌ای را مطابق شکل ۱۱ کنار هم به یک پایه چوبی نصب کنید.

۲ در زیر یکی از دماسنج‌ها یک لیوان پر آب قرار داده و یک فتیله یا دستمال کاغذی را در آب درون لیوان قرار دهید و انتهای فتیله را با نخ به مخزن جیوه یکی از دماسنج‌ها ببندید.

۳ پنکه را روشن کرده و سرعت آن را در مقدار کم قرار دهید.

فعالیت‌عملی

۴ پس از گذشت چند دقیقه (با ثابت شدن دما) دمای هردو دماسنج را یادداشت نمایید.

۵ دمای دماسنجی که با دستمال خیس پوشیده شده را دمای مرطوب و دیگری را دمای خشک نام‌گذاری کنید.

۶ اختلاف دمای مرطوب و خشک را محاسبه کنید.

۷ با استفاده از دمای خشک، اختلاف دمای محاسبه شده و جدول ۳، رطوبت نسبی هوا را به‌دست آورید.

شکل ۱۱ــ آزمایش تعیین رطوبت نسبی هوا

جدول ۳ــ میزان رطوبت نسبی هوا برحسب دمای خشک و اختلاف دمای خشک و مرطوب

دمای خشک (°C) / اختلاف دمای خشک و مرطوب	۱۵	۱۸	۲۰	۲۲	۲۵	۲۷	۳۰	۳۳
۱	۹۰	۹۱	۹۱	۹۲	۹۲	۹۲	۹۳	۹۳
۲	۸۰	۸۲	۸۳	۸۴	۸۵	۸۵	۸۶	۸۷
۳	۷۱	۷۳	۷۵	۷۶	۷۷	۷۸	۷۹	۸۰
۴	۶۲	۶۵	۶۷	۶۸	۷۰	۷۱	۷۳	۷۴
۵	۵۳	۵۷	۵۹	۶۱	۶۴	۶۵	۶۷	۶۹
۶	۴۴	۴۹	۵۲	۵۴	۵۷	۵۹	۶۱	۶۳
۷	۳۶	۴۲	۴۵	۴۷	۵۱	۵۳	۵۵	۵۸
۸	۲۸	۳۴	۳۸	۴۱	۴۵	۴۷	۵۰	۵۳
۹	۲۱	۲۷	۳۱	۳۴	۳۹	۴۱	۴۵	۴۸
۱۰	۱۳	۲۰	۲۵	۲۸	۳۳	۳۶	۴۰	۴۳

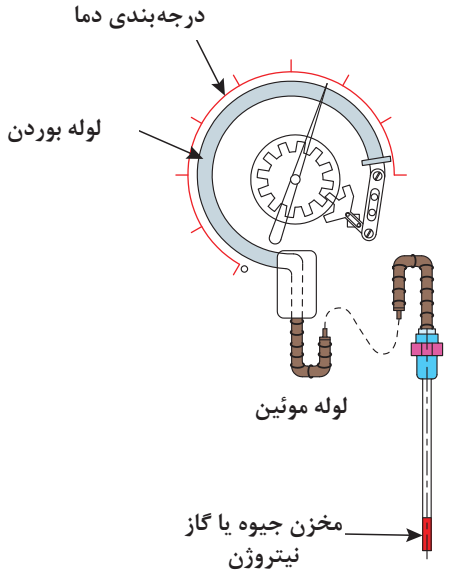
فعالیت‌عملی

فعالیت کارگاهی ۳:

این آزمایش را با استفاده از یک پنکهٔ روشن انجام دهید و رطوبت نسبی هوا را تعیین نمایید. (جریان هوای ایجاد شده با هر دو دماسنج برخورد داشته باشد).

دماسنج‌های پر شده[1]

دماسنج پر شده که به دماسنج دنباله‌دار هم معروف است شامل یک حباب به عنوان حسگر دما از جنس شیشه، چینی، کوارتز و یا پلاتین است که جنس حباب بستگی به گسترهٔ دمایی که دماسنج در آن به‌کار می‌رود، دارد. حباب به‌وسیلهٔ یک لولهٔ مسدود (لولهٔ بوردن) نازک که درون آن با یک گاز ایده‌آل مانند نیتروژن پر شده است به یک فشارسنج متصل شده است (شکل‌های ۱۲ و ۱۳).

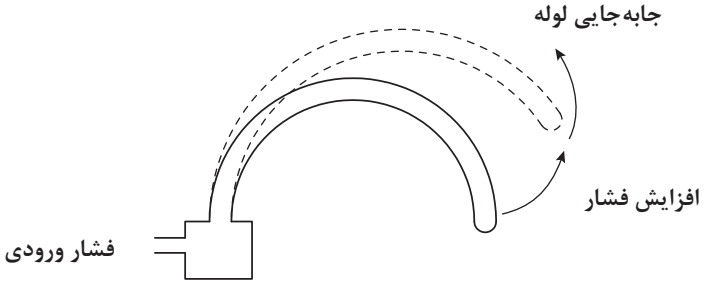


شکل ۱۲ــ نمای درونی دماسنج پر شده

شکل ۱۳ــ نمای بیرونی دماسنج پرشده

در حقیقت دنبالهٔ این دماسنج که گاهی اوقات طول آن چند متر هم خواهد بود از یک لولهٔ موئین تشکیل شده که معمولاً به کمک عایق از محیط اطراف جدا می‌شود و تنها قسمت حباب شکل انتهای آن به دما حساس بوده و به عنوان حسگر، در محیط مورد آزمایش قرار می‌گیرد.

با توجه به ثابت بودن حجم، در اثر افزایش دما مطابق قانون گازها، فشار گاز افزایش یافته و موجب جابه‌جایی لولهٔ بوردن می‌شود. این اثر به پدیدهٔ بوردن مشهور است (شکل ۱۴) و عقربهٔ فشارسنج که برحسب دما درجه‌بندی شده تغییر می‌کند و افزایش دما را نشان می‌دهد.

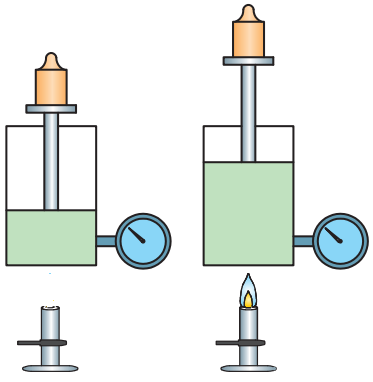


شکل ۱۴ــ نمایش پدیدهٔ بوردن

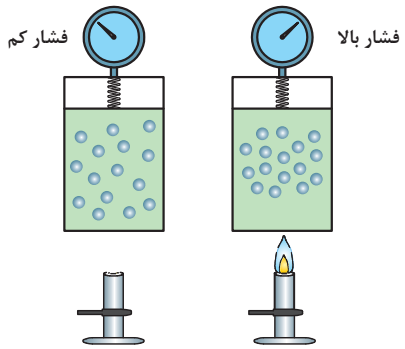
۱- Filled Type Thermometer

بیشتربدانید

بر اساس قانون شارل‌ـگیلوساک[1]، برای یک گاز آرمانی یا ایده‌آل در فشار ثابت، افزایش دما باعث افزایش حجم می شود (شکل ۱۵) و برای همان گاز ایده‌آل در حجم ثابت، افزایش دما باعث افزایش فشار می‌شود (شکل ۱۶).



شکل ۱۵ــ افزایش حجم در فشار ثابت



شکل ۱۶ــ افزایش فشار در حجم ثابت

دماسنج‌های پر شده معمولاً برای گسترهٔ دماهای متوسط قابل استفاده می‌باشند. دماسنج‌های پرشده براساس مواد پرکننده به چهار دستهٔ اصلی زیر تقسیم‌بندی می‌شوند:

- سامانهٔ پر شده با مایع؛
- سامانهٔ پرشده با بخار؛
- سامانهٔ پر شده با گاز؛
- سامانهٔ پر شده با جیوه.

نکته

به مخلوطی از مایع و گاز، بخار می‌گویند.

در اغلب کاربردهای صنعتی استفاده از سامانه‌های پر شده با جیوه، به دلیل خطرات مربوط به سلامتی، منسوخ شده است. در حال حاضر اغلب سامانه‌های دمایی پر شده مورد استفاده در صنایع شیمیایی، از نوع گاز و بخار هستند ولی این دو نوع نیز دارای محدودیت‌هایی هستند.

از مزایای این نوع دماسنج‌ها می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

- عملکرد ساده
- سخت و مقاوم
- ارزان
- نگه‌داری آسان
- حساسیت و دقت خوب
- ایمن در برابر انفجار

۱ـ Charles and Gay-Lussac

دماسنج پر شده با بخار، از لحاظ ساختمان و قطعات شبیه دماسنج پر شدهٔ گازی است، با این تفاوت که اولاً به جای گاز از یک مایع فرّار مانند اتر استفاده می‌شود، ثانیاً تمام حجم مخزن از مایع پر نمی‌شود بلکه در شرایط عادی در بالای مخزن و در لوله‌ها بخار وجود دارد و در واقع فشار توسط بخار به قسمت انتهایی لولهٔ بوردن منتقل می‌گردد.

در انتخاب مایع این نوع دماسنج باید به دو نکته توجه کرد:

ـ نقطهٔ جوش مایع می‌بایست کمتر از دمایی باشد که می‌خواهد اندازه‌گیری شود.

ـ مایع مورد استفاده باید از لحاظ شیمیایی برای مخزن و لوله‌ها خوردگی ایجاد ننماید.

بیشتربدانید

تفاوت بخار و گاز

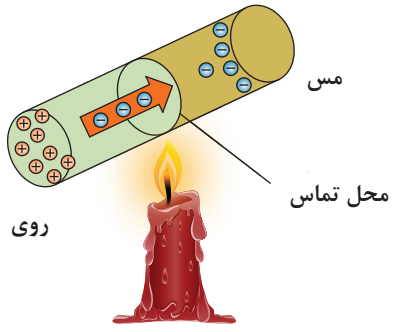
شاید در فارسی این دو واژه مشابه هم تعریف شوند ولی در مباحث شیمی، به ذرات تبخیر شده از یک مایع در هوا، بخار گفته می‌شود یعنی ذرات تبخیر شده هنوز در تماس با مایع مورد نظر هستند ولی گاز از مولکول‌های مجزا و منفرد در دما و فشار خاص تشکیل شده که دیگر در تماس با مایع نخواهد بود.

تحقیق کنید

دماسنج‌های پر شده در چه محدودهٔ دمایی قابل استفاده می‌باشند؟

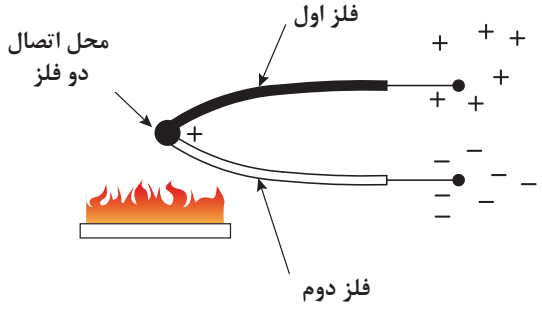
ترموکوپل

هر تغییری در دمای یک فلز، باعث به حرکت درآمدن الکترون‌های آن می‌گردد. هر قدر این تغییر دما، در یک فلز خاص، بیشتر باشد به همان نسبت جریان الکترون‌ها بیشتر خواهد بود که خود باعث تغییر بار الکتریکی در یک نقطه می‌شود (شکل ۱۷). با استفاده از این خاصیت و با اندازه‌گیری میزان اختلاف بار الکتریکی می‌توان تغییرات دما را تعیین نمود.



شکل ۱۷ـ تغییر بار در اثر تغییر دما

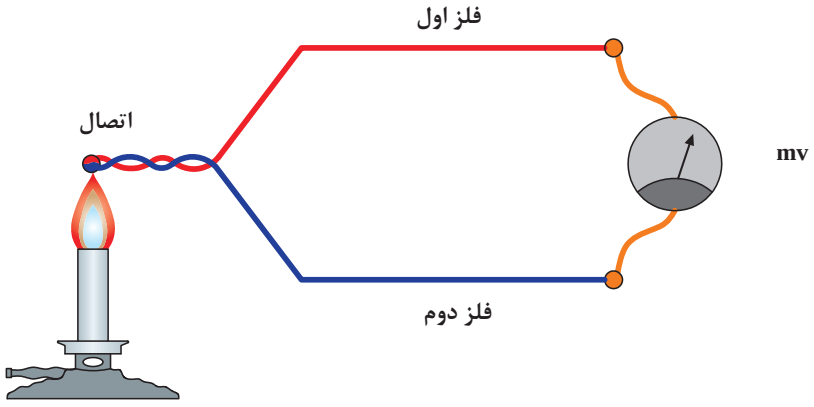
فیزیک‌دان آلمانی سی‌بک[1] در سال ۱۸۲۱ متوجه شد که هرگاه انتهای دو رشته سیم فلزی غیر هم‌جنس را مطابق شکل ۱۸ به یکدیگر وصل کند و نقطهٔ اتصال را حرارت دهد، در این هنگام الکترون‌ها جریان پیدا کرده، در نتیجه سر یک تیغه، تراکم بار مثبت و سر تیغهٔ دیگر، تراکم بار منفی پیدا می‌کند. بنابراین در آن محل یک اختلاف پتانسیل الکتریکی به‌وجود می‌آید.



شکل ۱۸ـ نمای ساده‌ای از ترموکوپل

۱- Seebeck

هرقدر اختلاف دمای بین نقطهٔ اتصال و سرهای آزاد این دو فلز بیشتر باشد، به همان نسبت بار الکتریکی دوسر تیغه‌ها زیادتر بوده، اختلاف پتانسیل الکتریکی بیشتر خواهد بود. با اندازه‌گیری اختلاف پتانسیل الکتریکی دو سر آزاد تیغه‌ها (دو سر ترموکوپل) دمای نقطهٔ اتصال مشخص خواهد شد.
چنانچه به نقطهٔ اتصال و سرهای آزاد دو فلز، حرارت یکسانی داده شود، بار الکتریکی دو فلز مساوی شده و در نتیجه، اختلاف پتانسیل نیز صفر خواهد بود. بنابراین قابلیت استفادهٔ ترموکوپل، فقط درصورت وجود اختلاف دما بین نقطهٔ اتصال و سرهای آزاد تیغه‌های فلزی می‌باشد. در عمل دمای سرهای آزاد ثابت نگه داشته می‌شوند که آن را اصطلاحاً دمای مبنا می‌نامند. اگر به محل تماس دو فلز غیرهم‌جنس در ترموکوپل، حرارتی اعمال شود، اختلاف پتانسیلی در دو سر این دو فلز به‌وجود می‌آید که این اختلاف پتانسیل تابع میزان حرارت اعمال شده است. با اندازه‌گیری میزان ولتاژ خروجی می‌توان دمای اعمال شده به ترموکوپل را تعیین نمود (شکل ۱۹).



شکل ۱۹ــ شیوهٔ اندازه‌گیری دما با ترموکوپل

محدودهٔ دمای قابل اندازه‌گیری توسط یک ترموکوپل بستگی به جنس فلزاتی دارد که ترموکوپل از آن ساخته شده است. به‌عنوان نمونه، محدودهٔ دمای قابل اندازه‌گیری یک ترموکوپل با جنس پلاتین ایرودیوم از صفر تا ۱۶۰۰ درجهٔ سلسیوس است. یکی از مزایای ترموکوپل این است که به‌خاطر جرم کوچک، خیلی سریع با جسمی که اندازه‌گیری دمای آن مورد نظر است، به حالت تعادل گرمایی در می‌آید. لذا تغییرات دما به آسانی بر آن اثر می‌کند.
از مشخصات لازم برای انتخاب فلز در ساخت ترموکوپل می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

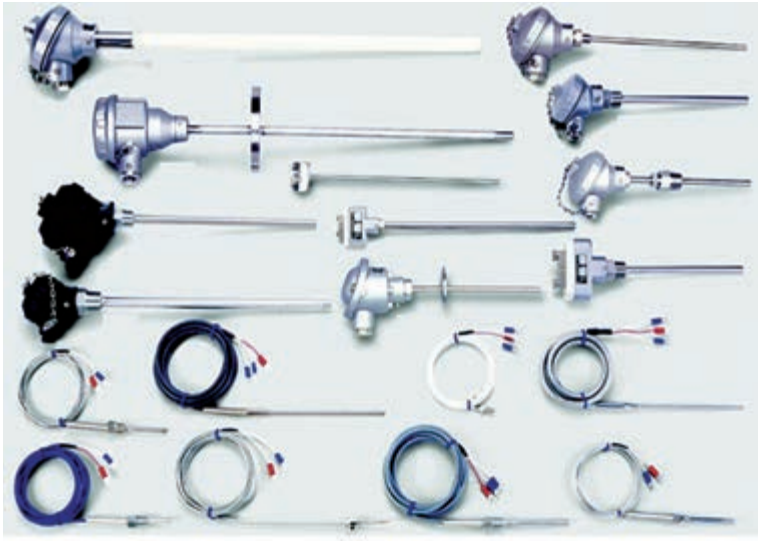
- نقطهٔ ذوب فلز
- پایداری و عدم واکنش پذیری در شرایط کاری
- میزان هدایت الکتریکی فلز
- هزینه
- ساخت و به‌کارگیری آسان

ترموکوپل‌ها ابزار حساس و ظریفی هستند که در به‌کارگیری به‌خصوص در نصب و ساخت نیاز به احتیاط زیاد دارند.

برای کمتر شدن خطای اندازه‌گیری، سعی می‌شود که ترموکوپل‌ها به صورت عمودی نصب شوند. ضمناً برای حفاظت مکانیکی ترموکوپل‌ها، آنها را در حفاظ‌های مقاوم (مثلاً سرامیکی) قرار می‌دهند شکل (۲۰).

شکل ۲۰ـ ترموکوپل با حفاظ

در شکل ۲۱ چند نمونه از ترموکوپل‌های صنعتی نشان داده شده است.

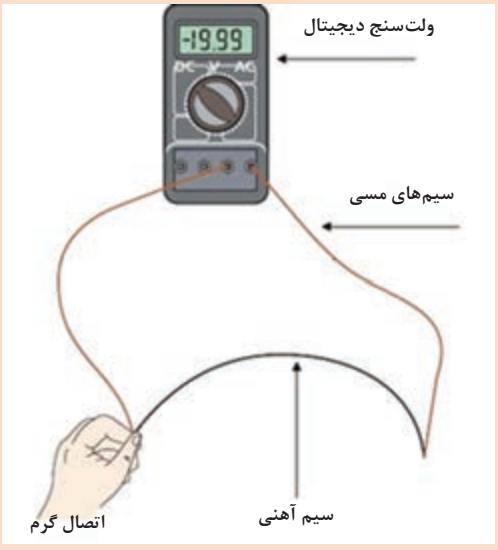

شکل ۲۱ـ چند نمونه ترموکوپل صنعتی

فعالیت کارگاهی

فعالیت کارگاهی ۴: ساخت یک ترموکوپل

وسایل مورد نیاز:

- دو قطعه سیم مسی
- یک قطعه سیم آهنی
- ولت‌متر
- ظرف یخ
- ظرف آب جوش
- دماسنج الکلی



شکل ۲۲ـ ساخت یک ترموکوپل ساده

فعالیت کارگاهی

مراحل کار اول:

۱ مطابق شکل، یک ولت‌سنج دیجیتال از آزمایشگاه تهیه کنید. ولت‌سنج DC را روی حساسیت بالای آن (مثلاً میلی‌ولت) تنظیم کنید.
۲ دو سیم مسی به پایانه‌های آن وصل کنید.
۳ هر سر آزاد سیم مسی را به یک طرف سیم آهنی بپیچید (متصل کنید).
۴ محل اتصال دو سیم مسی و آهنی را در یک طرف، با دست خود بگیرید.
۵ به دلیل تفاوت دما، ولت‌سنج عددی را نشان می‌دهد، آن عدد را یادداشت کنید.

مراحل کار دوم:

۱ مراحل ۱ تا ۳ را مطابق آزمایش اول انجام دهید.
۲ محل اتصال دو سیم مسی و آهنی را در یک طرف، درون ظرف یخ قرار دهید.
۳ به دلیل تفاوت دما، ولت‌سنج عددی را نشان می‌دهد، آن عدد را یادداشت کنید.
۴ دماسنج الکلی را درون ظرف یخ قرار دهید و پس از چند لحظه دما را یادداشت کنید.

مراحل کار سوم:

۱ مراحل ۱ تا ۳ را مطابق کار اول انجام دهید.
۲ محل اتصال دو سیم مسی و آهنی را در یک طرف درون ظرف آب جوش قرار دهید.
۳ به دلیل تفاوت دما، ولت‌سنج عددی را نشان می‌دهد، آن عدد را یادداشت کنید.
۴ دماسنج الکلی را درون ظرف آب جوش قرار دهید و پس از چند لحظه دما را یادداشت کنید.

الف) داده‌های ثبت شده از کارهای دوم و سوم را در جدول زیر پر کنید.

شماره آزمایش	عدد یادداشت شده از ولت‌متر (میلی‌ولت)	عدد یادداشت شده از دماسنج الکلی (سلسیوس)
اول		
دوم		
سوم		

ب) نقاط به‌دست آمده از اعداد یادداشت شده از ولت‌متر برای کارهای دوم و سوم را برحسب اعداد یادداشت شده از دماسنج الکلی برای همان کارها رسم کنید.
پ) این دو نقطه را با یک خط راست به هم وصل نمایید.
ت) با استفاده از خط رسم شده و مقدار عدد یادداشت شده از ولت‌متر برای کار اول، تعیین نمایید دمای دست در آزمایش اول چقدر بوده است؟
ث) همین کار را برای ترموکوپل ساخته‌شده از آهن ـ کنستانتان[1] انجام دهید.

۱ـ Constantan

تحقیق کنید

ترموپیل چیست و کاربرد آن کجا است؟

براساس ترکیب‌های ممکن از فلزها، می‌توان تعداد بی‌شماری ترموکوپل ساخت، ولی در عمل تعداد ترموکوپل‌ها مشخص و محدود است. تعدادی از ترموکوپل‌های متداول عبارت‌اند از:

- نوع T: مس و کنستانتان
- نوع J: آهن و کنستانتان
- نوع E: کرومل[1] و کنستانتان
- نوع K: کرومل و آلومینیوم
- نوع S و R: پلاتین و رودیوم.

در جدول ۴ محدودهٔ دمایی ترموکوپل‌های متداول ارائه شده است.

جدول ۴ـ محدودهٔ دمایی انواع ترموکوپل‌ها

نوع	جنس فلز	محدودهٔ دمایی (°C)
T	مس / کنستانتان	۲۰۰- الی ۴۰۰
J	آهن / کنستانتان	۰ الی ۸۷۰
E	کرومل / کنستانتان	۲۰۰- الی ۹۰۰
K	کرومل / آلومینیوم	۲۰۰- الی ۱۲۵۰
R	پلاتین / رودیوم (۱۳درصد)	۰ الی ۱۴۵۰
S	پلاتین / رودیوم (۱۰درصد)	۰ الی ۱۴۵۰
C	تنگستن / رنیوم	۰ الی ۲۷۶۰

پرسش

دماهای مورد نیاز در عملیات صنعتی مطابق جدول ۵ می‌باشد. چه ترموکوپلی را برای اندازه‌گیری دمای هر عملیات پیشنهاد می‌دهید.

۱- Chromel

جدول ۵ـ دماهای عملیات مختلف

ردیف	عملیات	دمای مورد نیاز (درجهٔ سلسیوس)
۱	رآکتور واحد بنزین سازی پالایشگاه	۵۰۰
۲	کورهٔ سیمان	۱۴۰۰
۳	کربن‌دهی سطحی در عملیات حرارتی فولاد	۹۰۰
۴	راکتور تولید هیدروژن	۸۰۰
۵	راکتور واحد تصفیهٔ گازوییل پالایشگاه	۳۵۰

روش‌های مختلفی برای اتصال سیم‌های ترموکوپل وجود دارد که می‌توان به این روش‌ها اشاره نمود:

- پیچیده شدن
- چفت شدن
- جوش دادن

مزایا و معایب اندازه‌گیری دما توسط ترموکوپل

مزایا:

- هزینهٔ کم
- اندازهٔ کوچک
- مقاوم بودن
- محدودهٔ کاری وسیع
- پایداری
- دقیق برای تغییرات دمایی بالا
- پاسخ سریع

معایب:

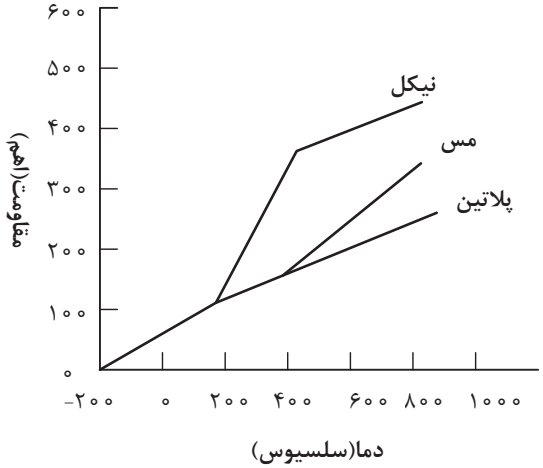
- خروجی خیلی ضعیف در حد میلی‌ولت
- دقت محدود برای تغییرات دمایی کم
- حساس بودن نسبت به نوسانات الکتریکی

دماسنج‌های مقاومتی[۱]:

مقاومت الکتریکی فلزات با تغییر دما، تغییر می‌کند. از این خاصیت برای ساخت دماسنج‌های مقاومتی (RTD) استفاده می‌شود. به طور کلی مواد نسبت به افزایش دما دو رفتار متفاوت در تغییر مقاومت الکتریکی از خود نشان می‌دهند.

۱- RTD (Resistance Temperature Detector)

در یک گروه با افزایش دما، مقاومت الکتریکی افزایش می‌یابد، به این گروه که دارای ضریب دمایی مثبت هستند، اصطلاحاً PTC[1] گفته می‌شود. پلاتین، نیکل و مس از این گروه می‌باشند (شکل۲۳). در گروه دیگر با افزایش دما، مقاومت الکتریکی کاهش می‌یابد. به این گروه که دارای ضریب دمایی منفی هستند، اصطلاحاً NTC[2] گفته می‌شود. در این گروه بیشتر از اکسیدهای فلزی استفاده می‌شود که به این حسگرها **ترمیستور**[3] گفته می‌شود.



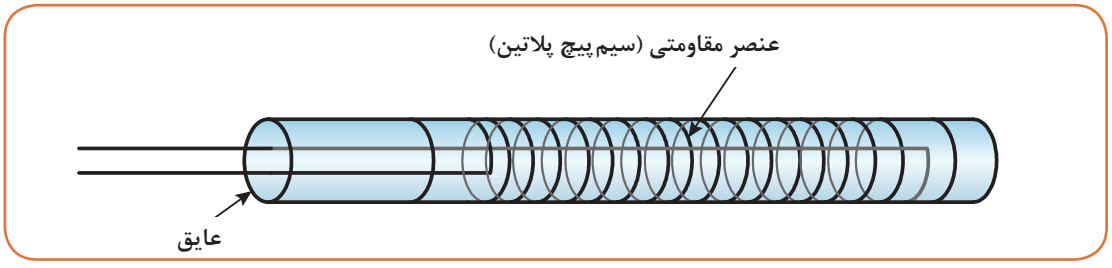
شکل ۲۳ـ تغییرات مقاومت برحسب دما برای دماسنج PTC

برای مثال، افزایش دمای یک سیم فلزی از گروه اول، منجر به افزایش مقاومت این سیم در مقابل عبور جریان الکتریسیته می‌شود. بنابراین مقاومت یک سیم گرم در برابر عبور جریان بیشتر از سیم سرد است.
محدودهٔ دمایی دماسنج‌های مقاومتی پلاتین، نیکل و مس در جدول ۶ ارائه شده است.

جدول ۶ـ محدودهٔ دمایی دماسنج‌های مقاومتی

جنس فلز	محدودهٔ دمایی (°C)
پلاتین	۸۵۰ـ۲۰۰
نیکل	۳۰۰ـ۸۰
مس	۲۶۰ـ۲۰۰

دماسنج مقاومتی غالباً به صورت یک سیم‌پیچ فلزی بلند و ظریف است که معمولاً آن را به دور یک قاب نازک از شیشه یا سرامیک می‌پیچند تا علاوه بر افزایش مقاومت از فشار ناشی از تغییر طول سیم که در اثر انقباض آن در هنگام سرد شدن پیش می‌آید، جلوگیری شود (شکل ۲۴). در شرایط ویژه هم می‌توان سیم را به دور جسمی که هدف اندازه‌گیری دمای آن است، پیچید یا در داخل آن قرار داد.

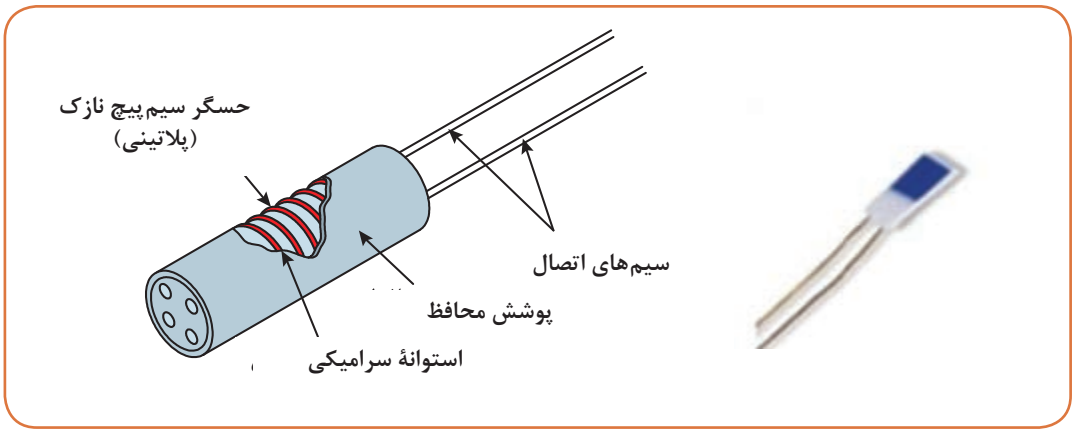


شکل ۲۴ـ دماسنج مقاومتی

۱- PTC (Positive Thermal Coefficient)
۲- NTC (Negative Thermal Coefficient)
۳- Thermistor

مهم‌ترین قسمت‌ها در ساختمان یک دماسنج مقاومتی مطابق شکل ۲۵ عبارت‌اند از:

- حسگر؛ مهم‌ترین قسمت یک دماسنج مقاومتی بوده و معمولاً سیم‌پیچ نازک پلاتینی است.
- سیم‌های اتصال؛ دماسنج‌های مقاومتی پلاتینی به صورت دو سیمی، سه سیمی و یا چهار سیمی ساخته می‌شوند.
- عایق سرامیکی؛
- غلاف حفاظت‌کننده؛
- سر خروجی؛



شکل ۲۵ــ ساختمان یک دماسنج مقاومتی

در دماسنج‌های مقاومتی PTC اندازه‌گیری دما بر اساس تغییرات مقاومت الکتریکی حسگر آنها انجام می‌شود.

مزایا و معایب دماسنج مقاومتی

مزایا:

- زمان پاسخ‌دهی سریع‌تر نسبت به ترموکوپل‌ها (در محدوده کسری از ثانیه)
- دقت و حساسیت بالاتر نسبت به ترموکوپل‌ها

معایب:

- به دلیل نیاز به فلزات با خلوص بالا جهت ساخت این نوع دماسنج، بسیار گران‌تر از ترموکوپل است.
- محدودهٔ اندازه‌گیری کمتر از ترموکوپل‌ها است.

مزیت مهم دماسنج مقاومتی نسبت به ترموکوپل، دقت اندازه‌گیری آن است که در دماسنج مقاومتی دقت در حدود ۰/۱ و در ترموکوپل در حدود ۱ درجهٔ سلسیوس است. در بسیاری از صنایع در دمای زیر ۶۰۰ درجهٔ سلسیوس به‌علت دقت بالاتر، دماسنج مقاومتی جایگزین ترموکوپل‌ها می‌شود.

فیلم ۳: فیلم دماسنج ترموکوپلی و RTD
فیلم ۴: فیلم دماسنج ترموکوپلی

فعالیت کارگاهی

فعالیت کارگاهی ۵: بررسی ظاهری و چشمی دماسنج‌های کارگاه

ـ دماسنج‌های کارگاه هنرستان خود را بررسی نموده و پاسخ سؤالات زیر را در جدول یادداشت کنید.

الف) چند نوع دماسنج در کارگاه هنرستان خود دارید؟

ب) آیا دماسنج‌های موجود قابل استفاده می‌باشند؟

ج) علت قابل استفاده نبودن دماسنج‌های موجود چیست؟

ردیف	نوع دماسنج	گسترهٔ دمایی قابل اندازه‌گیری (سلسیوس)	سالم/خراب	علت
۱				
۲				
۳				
۴				

فعالیت کارگاهی

فعالیت کارگاهی ۶: اندازه‌گیری دمای اجسام مختلف

با هر یک از دماسنج‌های موجود در کارگاه هنرستان خود، دمای اجسام اشاره شده در جدول زیر را اندازه‌گیری نمایید.

ردیف	نوع دماسنج	دمای هوای کارگاه	دمای آب خروجی از شیر	دمای ظرف پر از یخ	دمای کف دست خود	دمای کف دست هم گروه	دمای شعلهٔ شمع	دمای شعلهٔ گاز
۱								
۲								
۳								
۴								

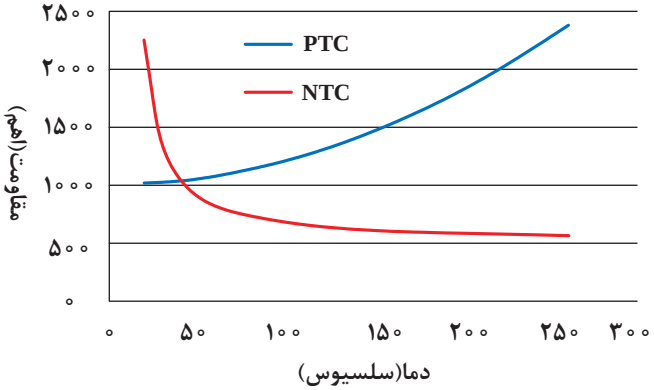
الف) آیا دماهای اندازه‌گیری شده با تمامی دماسنج‌ها یکسان است؟ چرا؟

ب) به نظر شما برای اندازه‌گیری دمای هر یک از موارد اشاره شده در جدول، کدام دماسنج مناسب‌تر است؟ چرا؟

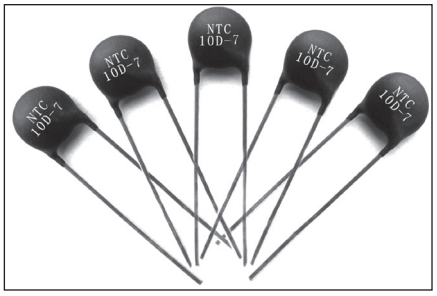
دماسنج‌های ترمیستور:

ترمیستورها همانند RTDها، یک مقاومت حساس به دما هستند با این تفاوت که برخلاف RTDها که از جنس فلز هستند، این حسگرها از جنس سرامیک، پلیمر و یا نیمه‌هادی می‌باشند که اصول عملکرد آنها مشابه RTDها می‌باشد.

همان‌طور که در بخش قبل اشاره شد، ترمیستورها هم دارای ضریب دمایی مثبت و هم دارای ضریب دمایی منفی می‌باشند (شکل ۲۶) ولی عمدهٔ ترمیستورها دارای ضریب دمایی منفی می‌باشند، ترمیستور حساس‌ترین حسگر دما می‌باشد. تنها تفاوت ترمیستورها با RTD، میزان مقاومت بالای آن نسبت به RTD ها می‌باشد. مقاومت معمول برای ترمیستورها ۵۰۰۰ اهم در ۲۵°C می‌باشد. در حالی که این مقدار برای RTD، ۱۰۰ اهم می‌باشد. محدودهٔ دمایی ترمیستورها بسته به نوع نیمه‌هادی از حدود ۵۰°C- درجه تا چند صد درجهٔ سلسیوس می‌باشد (شکل ۲۷).



شکل ۲۶ــ ترمیستورهای PTC و NTC



شکل ۲۷ــ دماسنج از نوع ترمیستور

معایب اندازه‌گیری دما با ترمیستور

- دقت آنها کمتر از RTDها می‌باشد.
- ترمیستورها شکننده‌تر از RTD و یا ترموکوپل هستند و باید در نصب آنها دقت فراوانی کرد.
- در دماهای بالا، در مقایسه با RTD و ترموکوپل زودتر خراب می‌شوند.
- عمر کوتاه‌تری نسبت به ترموکوپل و RTDها دارند.

مزایای اندازه‌گیری دما با ترمیستور:

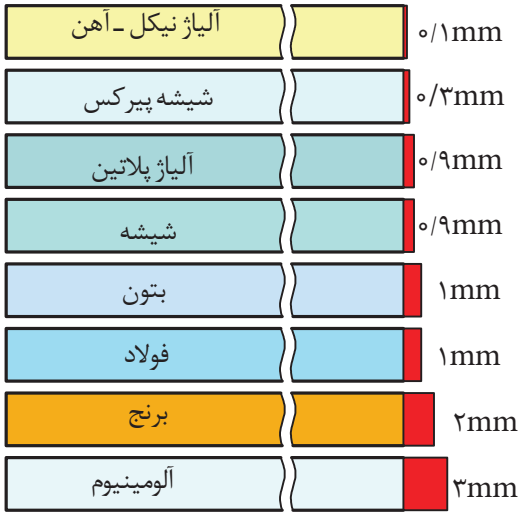
- ترمیستورها زمان پاسخ‌دهی کوتاهی دارند.
- قیمت پایین و مناسبی دارند.
- اندازهٔ کوچکی دارند.
- با تغییرات دما، تغییرات بزرگی در مقاومت نشان می‌دهند.

دماسنج‌های دو فلزی[1]

دماسنج‌های دوفلزی جزو پر مصرف‌ترین وسایل اندازه‌گیری سنجش دما می‌باشند و در بیشتر وسایل، نظیر ترموستات (دماپای) اتو یا سماور و یا نشان‌دهندهٔ دمای آبگرمکن کاربرد دارند. محدودهٔ دمایی که می‌توان از

۱ـ Bimetallic Thermometer

این دماسنج‌ها استفاده کرد، معمولاً از ۴۰- تا ۳۰۰ درجهٔ سلسیوس می‌باشد. دماسنج‌های دو فلزی بر اساس خاصیت متفاوت بودن ضریب انبساط اجسام، ساخته می‌شوند. ضریب انبساط طولی یک جسم به گونه‌ای بیانگر افزایش طول جسم، ناشی از افزایش دما است. در شکل ۲۸، انبساط فلزات و آلیاژهای مختلف، در اثر افزایش ۱۰۰ درجهٔ سلسیوسی دما، نشان داده شده است.



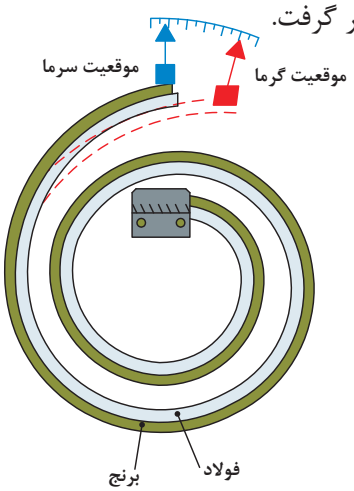
شکل ۲۸ـ میزان انبساط یک متر از اجسام مختلف در اثر افزایش دمای ۱۰۰ درجه سلسیوس

تحقیق کنید

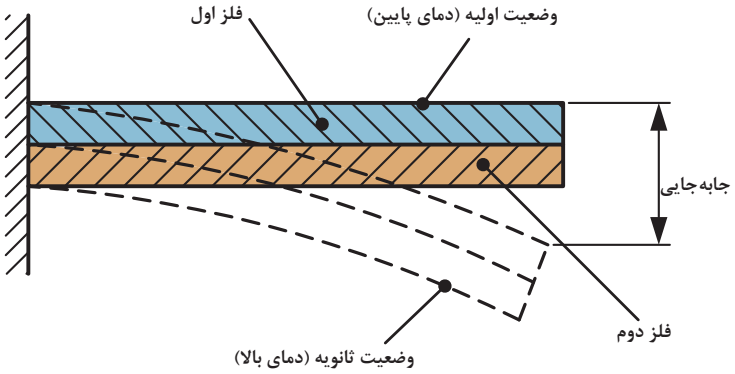
بررسی نمایید انبساط طولی اجسام با افزایش دما به چه صورت است و سپس ضرایب انبساط طولی چند ماده را پیدا کنید.

در دماسنج‌های دو فلزی، دو فلز غیر هم جنس را که در دمای محیط هم طول می‌باشند، به یکدیگر متصل می‌کنند (با فرض بیشتر بودن ضریب انبساط طولی فلز اول نسبت به دوم). با اعمال گرما به یک انتهای دماسنج، فلز با ضریب انبساط بالاتر تغییر طول بیشتری داشته و در نتیجه دماسنج در جهت فلز با ضریب انبساط پایین‌تر خم می‌شود (شکل ۲۹).

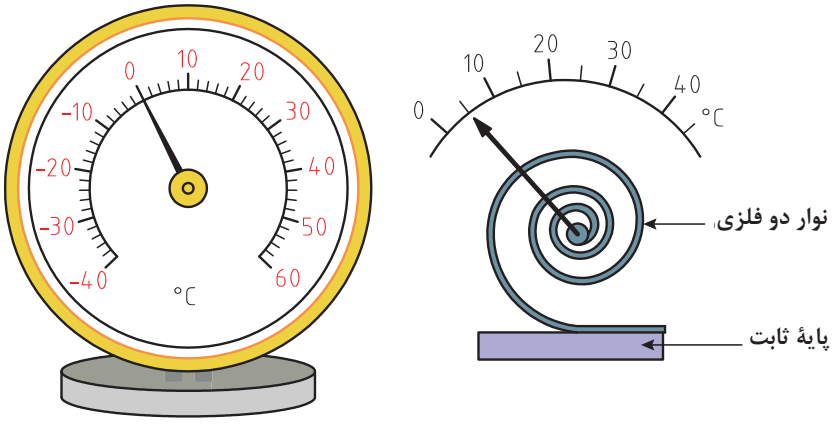
از این پدیده، در ساخت دماسنج‌های دوفلزی و ترموستات‌ها استفاده می‌شود. در عمل برای افزایش تغییرات طول در اثر تغییرات دما، دماسنج دو فلزی را به صورت حلزونی (شکل‌های ۳۰ و ۳۱) و یا مارپیچ (شکل ۳۲) می‌سازند. تغییرات طول را می‌توان مستقیماً به‌عنوان دمای اندازه‌گیری شده در نظر گرفت.



شکل ۳۰ـ دماسنج دو فلزی حلزونی شکل

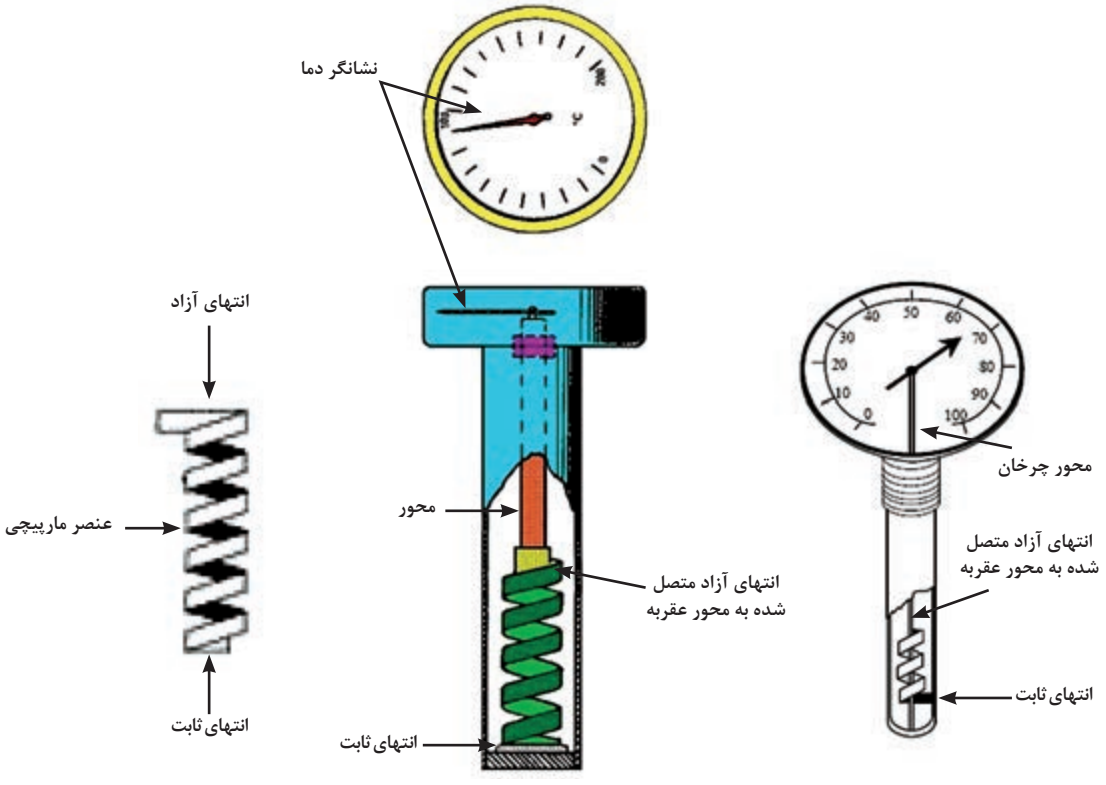


شکل ۲۹ـ اثر تغییر دما در دو فلز غیر هم جنس



شکل ۳۱ــ دماسنج دو فلزی حلزونی شکل

فلزهای مورد استفاده در دماسنج‌های دو فلزی معمولاً از آلیاژهای آهن ـ نیکل می‌باشند. از مزایای دماسنج‌های دو فلزی می‌توان به ارزان، ساده، محکم و با دوام بودن آنها اشاره کرد.



شکل ۳۲ــ دماسنج دو فلزی مارپیچی

فعالیت کارگاهی

فعالیت کارگاهی ۷: ساخت یک ترموستات

وسایل مورد نیاز:

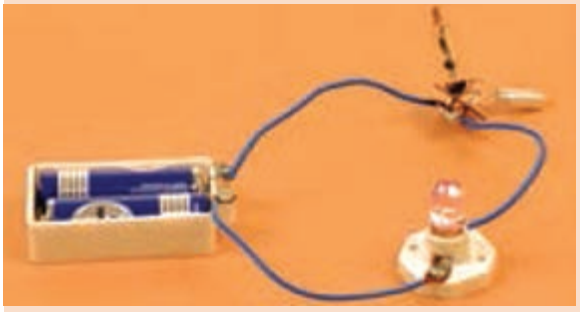
ـ استارت (راه‌انداز) لامپ مهتابی
ـ دو عدد باطری قلمی
ـ یک عدد لامپ سه ولتی
ـ ۱۰ تا ۲۰ سانتی‌متر سیم

شکل ۳۳ـ راه انداز (استارت) لامپ مهتابی

روش کار:

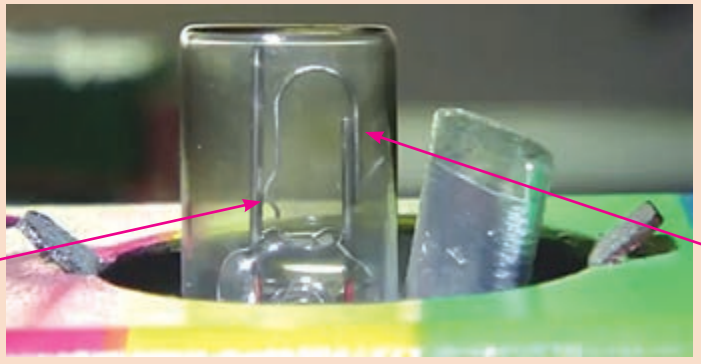
۱ محافظ یک راه‌انداز (استارت) لامپ مهتابی را مانند شکل ۳۳ جدا کنید.

۲ به کمک دوعدد باطری قلمی، یک لامپ سه ولتی و راه انداز مهتابی، یک مدار ساده الکتریکی مشابه شکل ۳۴ بسازید.



شکل ۳۴ـ مدار ساخته شده با راه انداز (استارت) لامپ مهتابی به‌عنوان ترموستات

۳ در این حالت چرا لامپ روشن نمی‌شود؟ به درون حباب شیشه‌ای به‌دقت نگاه کنید (شکل ۳۵).



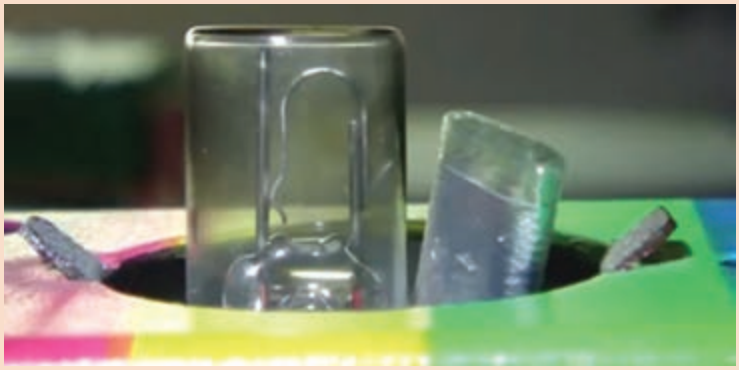
شکل ۳۵ـ راه انداز (استارت) لامپ مهتابی قبل از گرم شدن

همان‌طور که در شکل ۳۶ می‌توان مشاهده نمود اتصال بین میله (از جنس دو فلزی) با میله اتصال جریان، برقرار نمی‌باشد.

۴ با کمک یک فندک، حباب شیشه ای راه انداز را گرم کنید.

۵ پس از گرم شدن حباب شیشه‌ای، میله (از جنس دو فلزی) به میلهٔ اتصال جریان نزدیک شده و لامپ سه ولتی روشن می‌گردد (شکل ۳۶).

۶ پس از خنک شدن مجدد راه‌انداز، اتصال بین نوار دو فلزی و میلهٔ اتصال قطع شده و لامپ سه ولتی دوباره خاموش می‌شود.



شکل ۳۶ــ راه انداز (استارت) لامپ مهتابی پس از گرم شدن

فعالیت کارگاهی

فعالیت کارگاهی ۸: ساخت دماسنج دو فلزی

با امکانات موجود در کارگاه هنرستان خود، یک دماسنج دو فلزی بسازید.

دماسنج‌های غیرتماسی[1]

دماسنج غیرتماسی کاربرد بسیار وسیعی در بخش‌های مختلف صنعتی دارد به‌طوری‌که استفاده از آن در کنترل تولید فولاد، تولید آلیاژهای مختلف، ریخته‌گری‌های دقیق، آبکاری‌های صنعتی، جوشکاری‌های دقیق، تولید محصولات پتروشیمی اجتناب‌ناپذیر است. معمولاً به‌دلیل بالا بودن دمای فرایند (بیش از $1500^{\circ}C$) نمی‌توان از تجهیزات اندازه‌گیری دما با تماس مستقیم استفاده کرد، زیرا قرار دادن تجهیزات در چنین دمایی سبب ذوب شدن یا خراب شدن آنها خواهد شد. همچنین در مواردی که تماس حسگر دما با فرایند امکان‌پذیر نیست، (وقتی که فرایند متحرک باشد، یا دمای آن خیلی بالا باشد و هنگامی که فرایند دارای مواد مخرب و زیان‌آور است) استفاده از دماسنج‌های غیرتماسی بسیار ضروری خواهد بود.

برای تعیین دما به روش غیرتماسی معمولاً از دماسنج‌های آذرسنج[2] (پیرومتر) استفاده می‌شود. در روش اندازه‌گیری دما به‌صورت غیرتماسی در حقیقت از تشعشعاتی که از یک جسم داغ پراکنده شده و معمولاً در ناحیه مادون قرمز می‌باشد، استفاده کرده و با سازوکارهای مختلف این تشعشعات را اندازه‌گیری نموده و بر حسب دما مدرج می‌کنند. آذرسنج‌ها در دو نوع نوری[3] و تشعشعی[4] وجود دارند.

۱ـ Non-Contact Thermometer

۲ـ Pyrometer Thermometer

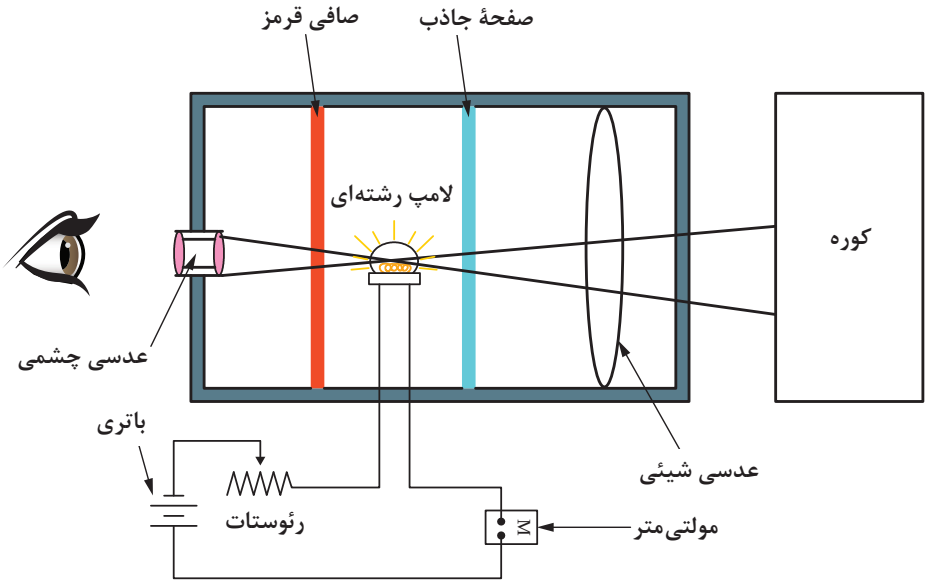
۳ـ Optical Pyrometer

۴ـ Radiation Pyrometer

آذرسنج نوری: آذرسنج‌های نوری معمولاً رایج هستند. اساس کار این دماسنج، تشخیص رنگ‌های نور انتشار یافته از جسم داغ بوده، که در نهایت دمای جسم مورد نظر را براساس آن اندازه‌گیری می‌کنند (شکل ۳۷).

شکل ۳۷ـ دماسنج آذرسنج

در این دماسنج، نور ایجاد شده توسط جسم داغ (کوره) از درون یک سامانهٔ نوری (با بزرگ‌نمایی معین) که در درون آن یک لامپ گداختهٔ کوچک قرار داده شده، گذرانده می‌شود. برای سهولت مقایسهٔ رنگ‌ها، یک صافی قرمز که تنها طول موج پرتو قرمز را عبور می‌دهد به‌کار می‌رود، البته اگر کسی از درون عدسی چشمی نگاه کند، شعاع نور بسیار باریکی را ملاحظه خواهد کرد. در برخورد این نور با رشته‌های لامپ، جریانی از رشته‌ها عبور خواهد کرد که تعیین‌کنندهٔ میزان دمای جسم است. این جریان توسط پتانسیومتری که بین منبع تغذیه (یک باطری) و لامپ قرار داده شده، کنترل می‌گردد (شکل ۳۸).



شکل ۳۸ـ چگونگی عملکرد دماسنج آذرسنج نوری

گسترهٔ کاری آذرسنج نوری معمولاً از ۷۶۰ تا ۱۳۱۵ درجهٔ سلسیوس است. حد بالایی دما تا اندازه‌ای بستگی به خطر خراب‌شدن رشتهٔ سیم و میزان خیره‌کنندگی ناشی از درخشش در دماهای بالاتر دارد. گسترهٔ دما ممکن است با به‌کارگیری پردهٔ جاذب بین عدسی شیئی و شبکهٔ رشتهٔ سیم به حد بالاتری افزایش یابد و به این وسیله سازگاری درخشش در دماهای پایین‌تر رشته ممکن می‌شود. بنابراین با به کارگیری پرده‌های جاذب مختلف، گسترهٔ دمایی بالای آذرسنج نوری (شکل ۳۹) را می‌توان از ۵۰۰۰ تا ۱۰۰۰۰ درجهٔ سلسیوس افزایش داد.

شکل ۳۹ــ دماسنج آذرسنج نوری

آذرسنج تشعشعی

بیشتر بدانید

تمامی اجسامی که دارای دمای بالای صفر مطلق باشند، از خود امواج مادون قرمز[1] منتشر می‌سازند. موج مادون قرمز در حقیقت یک انرژی نورانی ضعیف است که به‌صورت موج منتشر می‌شود و فرکانس آن در محدودهٔ فرکانس قابل دید برای چشم انسان نمی‌باشد. البته هر چه دمای یک جسم بیشتر باشد، میزان انرژی مادون قرمز بیشتری منتشر می‌سازد.

در آذرسنج‌های تشعشعی (شکل ۴۰) با قرار دادن دماسنج در جلوی جسم مورد نظر، آن قسمت از موج مادون قرمز منتشر شده توسط جسم که در محدودهٔ میدان دید عدسی دماسنج باشد، به عدسی برخورد می‌کند. عدسی دماسنج این انرژی دریافت شده را بر روی حسگر که در دستگاه وجود دارد متمرکز می‌کند. حسگر با اندازه‌گیری شدت انرژی، ولتاژی را در حد میکروولت در یکی از پایه‌های خود ایجاد می‌کند و مقدار دما با پردازشی که روی این ولتاژ و وضعیت دیگر پایه‌های حسگر انجام می‌گیرد، تشخیص داده شده و بر روی صفحهٔ نمایش آن، نشان داده می‌شود. تمامی این مراحل در مدت زمان بسیار کوتاهی انجام می‌گیرد.

شکل ۴۰ــ دماسنج آذرسنج تشعشعی

۱ـ Infrared Ray

فیلم۵: چگونگی کار با دماسنج غیر تماسی

نشانگر دما

همان‌طور که در مباحث قبل توضیح داده شد، دما را می‌توان به روش‌های مختلف اندازه‌گیری نمود. ولی برای نمایش مقدار عددی دما، معمولاً از انواع نشانگرهای شیشه‌ای، دیجیتالی و عقربه‌ای (شکل‌های ۴۱ الی ۴۴) استفاده می‌گردد.

شکل ۴۱ـ نشانگر شیشه‌ای دما

شکل ۴۲ـ نشانگر دیجیتالی دما (مصارف خانگی)

شکل ۴۳ـ نشانگر عقربه‌ای دما

شکل ۴۴ـ نشانگر دیجیتالی دما (مصارف صنعتی)

تنظیم دقیق وسایل اندازه‌گیری (کالیبراسیون[۱])

کیفیت مقوله‌ای است که با سرشت انسان سازگاری دارد و همواره نیاز مادی و معنوی اوست و نبود آن می‌تواند دشواری‌هایی برای وی به‌وجود آورد. به همین دلیل از گذشته‌های دور تلاش برای رسیدن به کیفیت و رفع دشواری‌های موجود در این راه موضوعی مطرح در جوامع انسانی بوده است.

امروزه این واژه از مرحلهٔ رفع نیاز پا فراتر گذاشته است زیرا با گسترش دنیای رقابت، کیفیت تنها زبانی است که می‌شود با آن در بازارهای جهانی سخن گفت. بدیهی است کنترل کیفیت و تضمین آن بر اندازه‌گیری استوار است.

فراگیری روش اندازه‌گیری کمیّت‌های گوناگون و در نگاهی وسیع‌تر کالیبراسیون دستگاه‌ها، راهی برای نیل به این خواسته است. با توجه به اینکه دستیابی به کیفیت برتر از طریق انجام آزمون‌ها و اندازه‌گیری‌های مطمئن ارزیابی می‌گردد، این بحث مطرح می‌شود که اندازه‌گیری مطمئن چه نوع سنجشی می‌باشد؟ آیا نو بودن تجهیزات یا استفاده از فناوری جدید دستگاهی، می‌تواند منجر به اندازه‌گیری مطمئن شود. پاسخ این است که تنها کالیبراسیون صحیح و دوره‌ای به نتایج خروجی دستگاه‌ها کیفیت می‌بخشد. اغلب استانداردهای مدیریت

۱ـ Calibration

کیفیت در بخش الزامات فنی، از کالیبراسیون تجهیزات نام برده و آن را الزام نموده‌اند.
تعاریف متعددی برای کالیبراسیون ارائه شده است. دراستاندارد ملی ایران در بخش «واژه‌ها و اصطلاحات پایه و عمومی اندازه‌شناسی» کالیبراسیون چنین تعریف شده است:

«مقایسهٔ ابزار دقیق با یک مرجع استاندارد آزمایشگاهی در شرایط مشخص، جهت اطمینان از دقت و سلامت آن و تعیین میزان خطای این وسیله نسبت به آن استاندارد».

برای اطمینان از عملکرد دستگاه‌های آزمون و اندازه‌گیرهایی مانند دماسنج، دبی‌سنج، سطح‌سنج و فشارسنج و اطمینان از درستی مقادیر خوانده شده توسط آنها، باید به طور دوره‌ای و در بازه‌های زمانی مشخص، تنظیم دقیق و به اصطلاح کالیبره شوند تا قابلیت ردیابی با استانداردهای ملی و بین‌المللی را داشته باشند. البته معمولاً کالیبراسیون اولیه این دستگاه‌ها در مرحلهٔ ساخت و تولید آن انجام می‌گیرد که می‌تواند شامل مراحل درجه‌بندی دستگاه، تنظیم مدارهای الکتریکی موجود مانند تنظیم نشان‌دهنده‌های دیجیتالی، تخمین پایداری دستگاه باشد. البته پس از این مراحل، وسیلهٔ اندازه‌گیری با توجه به طول عمر آن جهت اطمینان از عملکرد صحیح و کنترل کیفیت اجزای آنها لازم است دوباره کالیبره شود. بنابراین با کالیبراسیون مجدد می‌توان عوامل و اجزایی از دستگاه را که کیفیت خود را از دست داده‌اند، شناسایی کرد.

نکته

دستگاه‌های اندازه‌گیری باید به‌طور دوره‌ای کالیبره شوند. گذشت زمان، فرسودگی و حوادث غیر قابل پیش‌بینی، باعث می‌شوند تا میزان صحت کمیّت اندازه‌گیری شده دقیق نبوده و نیازمند تأیید مجدد باشند. برای تجهیزات کالیبره شده گواهی کالیبراسیون صادر شده و ضمیمه دستگاه می‌گردد.

تعیین زمان کالیبراسیون این دستگاه‌ها در بازه‌های زمانی بهینه، یکی از تصمیم‌های مهم و قابل توجه است. به طوری که بین هزینهٔ کالیبراسیون و هزینه‌های ناشی از عدم کالیبراسیون تعادل ایجاد شود.

دلیل انجام کالیبراسیون

کالیبراسیون اولیهٔ وسیلهٔ اندازه‌گیری، چگونگی کارایی مورد ادعای سازنده را به مشتری نشان می‌دهد. متغیرهایی که توسط دستگاه، اندازه‌گیری می‌شود به استانداردهای اندازه‌گیری قابل ردیابی ارجاع داده می‌شود که اگر چنین نباشد اطمینانی به آنها نمی‌توان داشت.
کالیبراسیون مجدد به خاطر کنترل و نگهداری فرایندهای اندازه‌گیری که با وسیلهٔ اندازه‌گیری انجام می‌شود لازم است. معمولاً خطای اندازه‌گیری دستگاه اندازه‌گیری نسبت به زمان و با استفاده‌های مکرر از آن افزایش می‌یابد.
شناسایی رشد تدریجی این خطا و افزایش آن به‌راحتی توسط کاربران امکان‌پذیر نیست. آنچه که در اندازه‌گیری بسیار ضروری است، قابلیت ردیابی می‌باشد. برقراری قابلیت ردیابی که با کالیبراسیون امکان‌پذیر می‌شود در کنترل سامانه اندازه‌گیری و تجارت بین‌المللی ضروری می‌باشد. قابلیت ردیابی عبارت است از قابلیت ارتباط مقدار یک استاندارد یا نتیجهٔ یک اندازه‌گیری با مرجع‌های ملی و بین‌المللی.
کالیبراسیون دستگاه‌ها معمولاً در آزمایشگاه‌های مرجع یا در مکانی که این دستگاه‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند نیز توسط شرکت‌های خاص انجام می‌پذیرد.

طبقه‌بندی تجهیزات از نظر کالیبراسیون

تجهیزات از نظر کالیبراسیون به دسته‌های زیر طبقه‌بندی می‌شوند:

۱- تجهیزاتی که اندازه‌گیر نبوده و نیاز به کالیبراسیون ندارند. مانند، دستگاه آب مقطرگیر، گرمکن بدون دماسنج، همزن مغناطیسی و... .

۲- تجهیزاتی که هر بار قبل از استفاده باید توسط کاربر کالیبره شوند. در این گروه می‌توان از دستگاه‌های pH متر نام برد. کاربر باید دورهٔ آموزشی کالیبراسیون و کنترل کیفی این گونه تجهیزات را بگذراند.

۳- تجهیزاتی که باید توسط واحدهای مورد تأیید مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران یا سازنده و یا کاربر در دوره‌های زمانی مشخص کالیبره شوند مانند انواع دماسنج‌ها، دبی‌سنج‌ها، ترازو، اتوکلاو و سطح سنج‌ها.

قبل از انجام کالیبراسیون دستگاه‌های اندازه‌گیری اقدامات زیر باید در نظر گرفته شود:

- تمام دستگاه‌ها را به تفکیک نوع اندازه‌گیری (دما، سطح، فشار، دبی و غیره) به‌صورت جداگانه باید وارد یک فهرست کرده و به هر یک کد یا مشخصه‌ای داده شود.
- برای هر دستگاه اندازه‌گیری شناسنامه تهیه گردد.
- تعیین دورهٔ تناوب کالیبراسیون
- شرایط محیطی کار (دما، رطوبت، ارتعاش و غیره)
- دقت اندازه‌گیری مورد نظر
- تعیین حد مجاز خطا (حد مجاز خطا بستگی به استاندارد مربوطه و روش کار دارد و اگر روشی فاقد حد مجاز خطا باشد، کامل نیست و باید یک مقام مسئول با ارائهٔ دلیل، حد مجاز را تعیین کند.)

نکات لازم برای کالیبره نمودن دستگاه‌های اندازه‌گیری

- با توجه به اینکه در حال حاضر دستگاه‌های اندازه‌گیری متفاوتی توسط شرکت‌های ابزار دقیق طراحی و ساخته می‌شود، بهتر آن است که قبل از کالیبره نمودن هر دستگاه به دفترچهٔ راهنمای آن مراجعه شود تا در هنگام کار، با مشکلی مواجه نشوید.
- در مورد کالیبره نمودن دستگاه‌هایی که بر اساس اختلاف فشار کار می‌کنند، باید به این نکته توجه داشت که چون در بیشتر اوقات، حد پایین اختلاف فشار تجهیزات را مقداری برابر با فشار اتمسفر در نظر می‌گیرند، در ابتدای کالیبراسیون صفر آن را شرایط اتمسفر قرار دهید.
- اگر برای کالیبراسیون دستگاه‌ها به سیال آب نیاز بود، از آبی استفاده شود که ناخالصی کمتری داشته باشد.
- در هنگام کالیبره کردن، با موبایل و یا اشخاصی که در اطراف هستند، صحبت نشود.
- سعی شود محل کار تمیز نگه داشته شود و برای هریک از دستگاه‌ها یک جعبه فراهم شود.
- ابزار کار از قبل به‌طور کامل فراهم شود تا در هنگام کار با کمبود ابزار مواجه نگردد.

اعلام نتایج کالیبراسیون

پس از کالیبراسیون می‌توان دستگاه‌های اندازه‌گیری را بر مبنای خطای مجاز به سه دستهٔ زیر طبقه‌بندی کرد:

- **قبول:** خطای به‌دست آمده کمتر یا مساوی خطای مجاز باشد.
- **مشروط:** هنگامی که تعدادی از الزامات مورد نیاز، توسط دستگاه برآورده می‌شود.
- **مردود:** در صورت بیشتر بودن خطای دستگاه از خطای مجاز، دستگاه مردود اعلام می‌شود و این به آن معنی است که کمترین الزامات مورد نیاز، توسط دستگاه رعایت نمی‌شود. در این مورد نباید از دستگاه برای اندازه‌گیری استفاده کرد.

پرسش

به نظر شما چگونه می‌توان پی برد که یک دماسنج درست کار می‌کند یا خیر؟

فیلم۶: کالیبراسیون دماسنج پر شده

فعالیت‌عملی

فعالیت عملی: کالیبراسیون دماسنج

- یک ظرف حاوی آب و یخ را تهیه کرده و دماسنجی را درون آن بگذارید تا دمای آن ثابت شود.
- آیا دمای ثابت‌شده، $^{\circ}C$ می‌باشد؟ در غیر این صورت، عدد خوانده‌شده را صفر در نظر گرفته و دماسنج را تنظیم کنید.
- این فعالیت را با دماسنج‌های دیگر موجود در کارگاه هنرستان خود تکرار کنید.

کنترل فرایند

قبل از بیان مفهوم کنترل در فرایندهای شیمیایی، لازم است تأکید گردد که چه چیزهایی و چه کارهایی، کنترل محسوب نمی‌شوند. کلمهٔ کنترل بعد از ورود به زبان فارسی، بیشتر تداعی‌گر مفاهیمی مانند محدود کردن، مهار کردن و تلاش برای قرار دادن قید و بند بوده است. لذا می‌توان مفهوم کنترل را به‌صورت زیر تعریف نمود:

«کنترل یعنی نظارت دائمی بر یک فعالیت، تا مطمئن شویم همه چیز مطابق برنامه‌ای که از پیش تعیین شده، به همان ترتیب و در چارچوب اصول آن، پیش رفته است و در صورت نیاز، اقدام اصلاحی انجام پذیرد.»

به‌طور کلی فرایندهای شیمیایی شامل تعداد زیادی تجهیزات مختلف می‌باشند که این تجهیزات به‌وسیلهٔ خطوط لوله که در آنها مواد شیمیایی جریان دارند، به یکدیگر متصل شده‌اند. برای آنکه این واحدها در شرایط مناسب عملیاتی کار کنند، باید متغیرهای فرایندی از قبیل دما، فشار، ارتفاع سطح مایع و دبی سیال در محدوده‌های خاصی نگه داشته شوند. یا به عبارت دیگر، این متغیرها کنترل شوند. به عنوان مثال در یک راکتور شیمیایی، مواد اولیه باید با یک نسبت مشخص وارد شده و در دما و فشار معینی با هم واکنش دهند. تغییر نسبت مواد اولیه، دما و یا فشار راکتور، می‌تواند، منجر به تولید محصولات ناخواسته یا بازدهی کم راکتور گردد و یا حتی خطراتی را از قبیل انفجار برای فرایند در پی داشته باشد. لذا کنترل فرایند را به منظور حفظ مشخصات مطلوب محصولات، رعایت قوانین زیست محیطی و دسترسی به بازدهٔ مشخص انجام می‌دهند.

همان‌طور که اشاره شد معمولاً در یک فرایند شیمیایی تعداد زیادی دستگاه فرایندی وجود دارد و برای

درست کار کردن هر یک از آنها لازم است متغیرهای فرایندی مربوطه در محدودهٔ مجاز کنترل شوند. بنابراین کاربرها[1] در صورت مشاهده تغییر در شرایط فرایند باید بتوانند به‌سرعت تصمیمات لازم را اتخاذ کرده و مثلاً بایستی شیرهای مربوطه را باز و بسته کنند. این بدان معناست که باید به‌طور همزمان تعداد زیادی شیر باز و بسته شود. با توجه به اینکه اولاً برای باز و بسته کردن همزمان این تعداد شیر، تعداد زیادی کاربر لازم است و ثانیاً ممکن است در واحدهای پیچیده‌تر، کاربرها نتوانند تصمیمات لازم و به‌موقع اتخاذ کنند، لذا این شیوهٔ کنترل که توسط کاربر انجام می‌شود و به کنترل دستی[2] معروف است می‌تواند منجر به عملکرد نامناسب واحد و خطرات جانی شود. بنابراین می‌بایست برای رفع این مشکل، یعنی تشخیص و محاسبهٔ دقیق میزان باز و بسته شدن هر یک از شیرها و کاهش تعداد کاربران و در نتیجه کاهش خطای تصمیم‌گیری آنها، از سامانهٔ کنترل خودکار (اتوماتیک) استفاده نمود.

کنترل خودکار (اتوماتیک) دارای دقت و سرعت بیشتری نسبت به کنترل دستی می‌باشد. امروزه با پیشرفت کامپیوترها، از آنها به‌عنوان مغز متفکر در کنترل فرایندها استفاده می‌شود و می‌توان فرایندهای بزرگ شیمیایی، پالایشگاه‌ها و مجتمع‌های پتروشیمی که دارای تجهیزات و پیچیدگی‌های زیادی هستند را توسط تعداد کمی کاربر و به‌طور خودکار، کنترل نمود. کنترل خودکار متغیرهای فرایندی، علاوه بر نگهداشتن فرایند در شرایط مطلوب، باعث دستیابی به ایمنی بیشتر و نیز رعایت بهتر قوانین زیست‌محیطی می‌شود. بدین معنی که با استفاده از این روش سرعت و دقت بسیاری از تصمیمات و در نتیجه اقدامات پیشگیرانه افزایش می‌یابد و به علاوه مدیریت بحران بهتری در این گونه موارد پدید می‌آید.

مثال: با فرض خراب بودن شناور کولر آبی، چگونه می‌توان به‌صورت کنترل دستی از کولر به بهترین صورت استفاده نمود؟ آیا امکان پذیر است؟

وظیفهٔ شناور در کولر، ثابت نگه داشتن ارتفاع سطح آب در حدی است که هیچگاه پمپ کولر بدون آب کار نکند و پوشال‌های کولر نیز خشک نمانند. حال اگر شناور خراب باشد لازم است یک نفر مدام کنار کولر باشد که هنگام کار کردن کولر و کاهش ارتفاع سطح آب، آب مورد نیاز کولر را اضافه نماید. همانطور که مشخص است این کار عملی نیست. لذا در این مثال ساده کنترل سطح آب توسط انسان تقریباً انجام شدنی نیست لذا می‌بایست از سامانه‌های کنترل غیردستی استفاده نمود. البته سامانهٔ کنترل سطح آب در کولر آبی به‌صورت خودکار به آن معنا که از کامپیوتر استفاده شود، نیست ولی به هرحال از نوعی سامانهٔ کنترل خودکار برای کنترل سطح استفاده می‌شود.

اجزای سامانه‌های کنترلی

فرایند یا کنترل شونده: دستگاه یا فرایندی که قرار است یکی از کمیّت‌های آن مورد بررسی یا کنترل قرار گیرد.

سامانهٔ اندازه‌گیری: دستگاهی که برای اندازه‌گیری کمیّت‌هایی از قبیل دما، فشار، سطح و دبی به‌کار می‌رود.

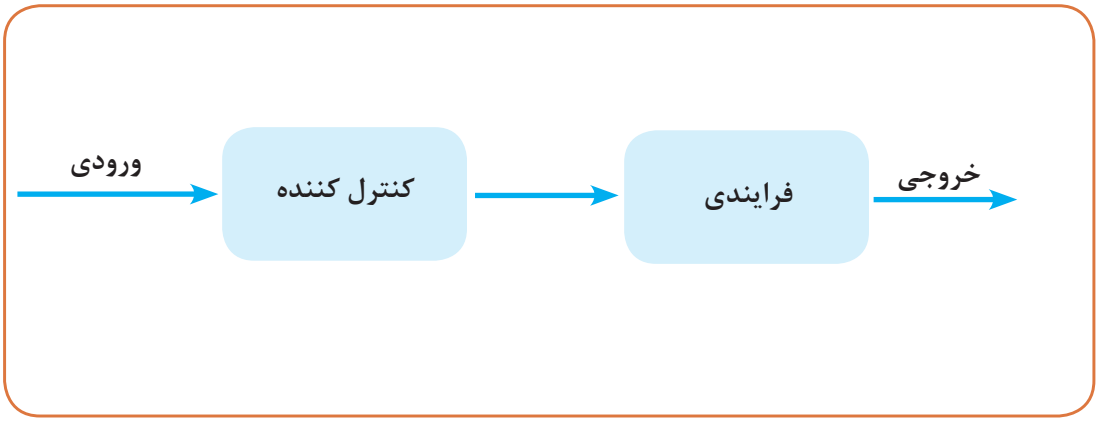
مقدار مطلوب (SPor SV)[3] یا ورودی: مقدار مشخص برای کمیّتی که قرار است کنترل شود.

۱ـ Users

۲ـ Manual

۳ـ Set Point - Set Value

مقدار فرایند[1] (PV) یا خروجی: مقدار واقعی کمیّتی که در حال کنترل می‌باشد.
کنترل کننده[2]: دستگاهی که مقایسهٔ بین مقدار مطلوب و واقعی را انجام داده و دستور تنظیم و تصحیح کنترل‌شونده را صادر می‌کند.
محرک[3]: محرک معمولاً شیری است که دستور کنترل‌کننده توسط آن انجام می‌شود و به آن شیر کنترل می‌گویند.
بازخورد[4]: نتیجه و مقدار اندازه‌گیری توسط سامانهٔ اندازه‌گیری
انتقال دهنده (ترنسمیتر)[5]: دستگاهی که بتواند یک کمیّت فیزیکی (دما، فشار، دبی، سطح، وزن و سرعت) را اندازه‌گیری و آن را به موج الکتریکی تبدیل کرده و به مکانی دورتر (اتاق فرمان، کنترل‌کننده) انتقال دهد.
سامانه‌های کنترلی معمولاً به‌صورت سامانه‌های کنترلی مدار باز[6] و مدار بسته[7] تقسیم‌بندی می‌شوند. در سامانه‌های کنترلی مدار باز (شکل ۴۵)، مقدار خروجی، تأثیری بر عملکرد کنترل و دستورات صادر شده از کنترل‌کننده ندارد. در این نوع کنترل هیچ بازخوردی وجود ندارد و خروجی هیچ تأثیری بر ورودی ندارد و به هیچ وجه با هم مقایسه نمی‌شوند و هرکدام به حال خود رها می‌شود. در این سامانه، ورودی به دقت تنظیم می‌گردد و فقط در جاهایی کاربرد دارد که دقت بالایی لازم نیست.

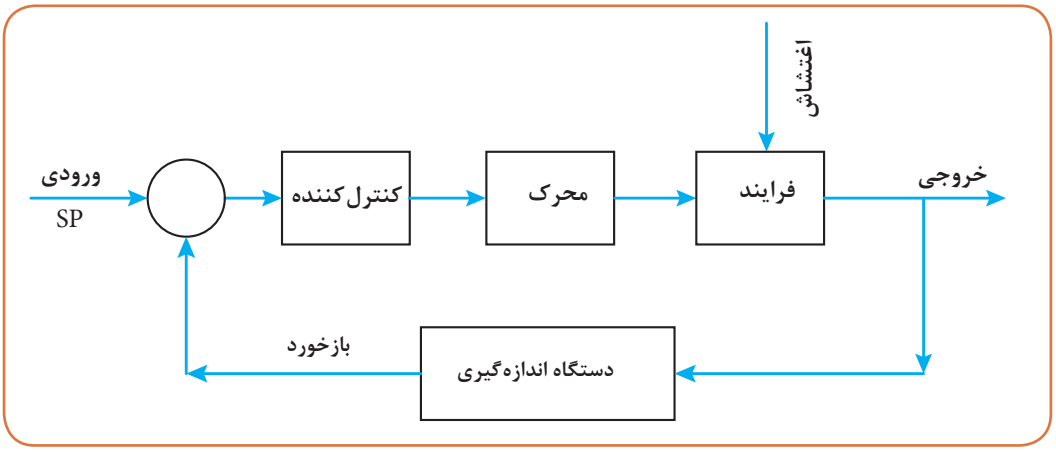


شکل ۴۵ــ سامانه کنترلی مدار باز

به‌عنوان نمونه ماشین لباسشویی نمونه‌ای از سامانه کنترلی مدار باز است. در ماشین لباسشویی لباس‌ها بر اساس زمانی که به ماشین داده می‌شود، شسته می‌شوند و ماشین لباسشویی در زمان مشخص که توسط کاربر مشخص شده است خاموش می‌شود. بنابراین در این سامانهٔ کنترل:

۱ـ Process variable
۲ـ Controller
۳ـ Actuator
۴ـ Feedback
۵ـ Transmitter
۶ـ Open- Loop
۷ـ Closed- Loop

فرایند: ماشین لباسشویی
کنترل‌شونده: مدت زمان کارکرد ماشین لباسشویی
باز خورد: میزان تمیزی لباس پس از شست‌وشو
همان‌طور که مشخص است در این مثال ماشین نمی‌فهمد که چه زمانی لباس‌ها به‌خوبی شسته شده‌اند تا دستور دهد ماشین خاموش شود، لذا آن‌قدر کار می‌کند تا به مدت زمانی که تنظیم شده است برسد و خاموش شود. حال اگر لباس‌ها خوب شسته نشده بودند، باید مدت زمان را بیشتر کرد. بنابراین ماشین فقط بر اساس دستور داده شده کار می‌کند و به میزان تمیزی بعد از شستشو کاری ندارد، لذا این نوع کنترل را کنترل باز می‌نامند.
در سامانهٔ کنترلی مدار بسته، خروجی اثر مستقیم بر ورودی می‌گذارد و باز خورد وجود دارد که کنترل‌کننده با توجه به میزان بازخورد، دستور را جهت اصلاح فرایند صادر می‌کند (شکل ۴۶).



شکل ۴۶ـ سامانه کنترلی مدار بسته

پرسش

عملکرد یخچال چه نوع سامانهٔ کنترلی است؟ توضیح دهید.

فیلم‌های شمارهٔ ۷، ۸ و ۹: کنترل فرایند

مثال ۴: در منازل در هنگام زمستان معمولاً برای گرمایش از فن‌کوئل و یا بخاری گازی استفاده می‌شود. چگونگی کنترل در این دو دستگاه را توضیح دهید.
پاسخ: متغیرهای کنترلی در این مثال عبارت‌اند از:
کنترل شونده: دمای اتاق
دستگاه اندازه‌گیری: ترموکوپل
بازخورد: دمای اندازه‌گیری شدهٔ اتاق
ورودی: دمای تنظیمی یا دستور داده شده

شکل ۴۷ــ ترموستات فن کوئل

کنترل‌کننده: ترموستات

خروجی: دمای اتاق

در هنگام استفاده از بخاری گازی، فقط بخاری را روشن کرده و منتظر گرم شدن خانه می‌شویم. حال اگر بخاری چند ساعت روشن بود و دمای اتاق خیلی بالا رفت چون هیچ دستگاه اندازه‌گیری و هیچ بازخوردی وجود ندارد و در ادامه هیچ کنترلی وجود ندارد، بنابراین هرچه اتاق گرم‌تر شود، باز هم بخاری روشن خواهد ماند. در سامانهٔ استفاده از بخاری گازی دستگاه اندازه‌گیری و کنترل‌کننده وجود ندارد، بنابراین بخاری گازی یک سامانهٔ کنترل مدار باز می‌باشد.

در هنگام استفاده از فن‌کوئل، هم دستگاه اندازه‌گیری (ترموکوپل) و هم کنترل‌کننده (ترموستات) وجود دارد. در ابتدای کار با فن‌کوئل همیشه در زمستان دمای مشخصی را توسط ترموستات (شکل ۴۷) انتخاب می‌کنیم که این دما، همان دمای دستوری یا دمای تنظیمی (SP ـ SV) می‌باشد.

وقتی فن‌کوئل روشن می‌شود، پس از مدتی دمای محیط اتاق بالا می‌رود لذا سامانهٔ اندازه‌گیری که همان ترموکوپل است دمای واقعی (PV) را اندازه‌گیری می‌کند و با دمای تنظیم شده توسط کنترل‌کننده مقایسه می‌گردد. حال اگر دمای اتاق کمتر از دمای تنظیمی بود، کنترل‌کننده دستور می‌دهد که فن همچنان روشن بماند و اگر دمای اتاق برابر با دمای تنظیمی بود، کنترل کننده دستور خاموش می‌دهد و فن خاموش می‌شود. البته احتمال دارد به‌طور اشتباه پنجرهٔ اتاق باز شود که این اتفاق، پیش‌بینی شده نبوده و باعث می‌شود دمای محیط اتاق تغییر یابد و اغتشاشی در عملیات کنترل به‌وجود آید. لذا در این حالت ترموکوپل دمای واقعی اتاق را حس کرده و بازخورد آن به ترموستات یا همان کنترل‌کننده منتقل می‌گردد و کنترل‌کننده دستور می‌دهد که فن دوباره روشن شود و فن آن‌قدر روشن می‌ماند تا دمای آن به دمای تنظیمی برسد و دمای خروجی همان دمای تنظیمی گردد. بنابراین سامانهٔ کنترل دمای اتاق به‌صورت مدار بسته می‌باشد.

کنترل دما

همان‌طور که در بخش قبل اشاره شد، دو سامانهٔ کنترل مدار باز و مدار بسته وجود دارد که معمولاً در صنعت همواره از سامانهٔ کنترل مدار بسته استفاده می‌گردد و ترموستات به‌عنوان کنترل‌کننده در عملیات کنترل دما بسیار رایج می‌باشد.

بیشتربدانید

عملکرد دو نوع ترموستات رایج در کنترل دما

■ ترموستات الکترومکانیکی: این نوع ترموستات با استفاده از فرمان حسگر حرارتی توسط تعداد زیادی رابط مکانیکی به میکروسوئیچ، سبب قطع و وصل مدار الکتریکی می‌شود. محصول این نوع فناوری دارای عمری طولانی است. ترموستات الکترومکانیکی دو نوع حسگر دما دارد. در یک نوع آن حسگر براساس اصل انبساط مایع عمل می‌کند. این سامانهٔ حرارتی با نام ترموستات مویین نیز شناخته شده است و دارای حسگر، لوله مویین و دیافراگم می‌باشد. هنگامی که دمای حسگر بالا می‌رود، مایع از طریق لولهٔ مویین به داخل دیافراگم رفته و باعث انبساط می‌شود. به وسیلهٔ این انبساط، کلید فنری به کار می‌افتد که می‌تواند مدار را باز کند یا ببندد. در نوع دیگر، که حسگر توسط انبساط فلز کار می‌کند و ترموستات دو فلزی نامیده می‌شود، مستقیماً با انبساط فلز، کلید فنری فعال می‌شود.

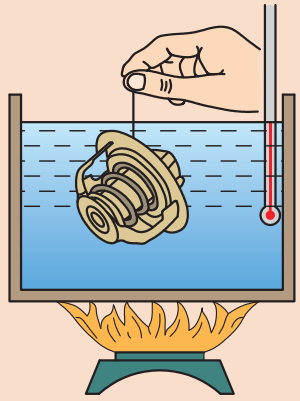
■ ترموستات الکترونیکی: این نوع ترموستات فرمان دریافت شده از حسگر دمایی را توسط جریان الکترونیکی منتقل کرده و سبب قطع و وصل جریان الکتریکی می‌گردد.

فعالیت‌عملی

فعالیت عملی ۹: عملکرد یک ترموستات

وسایل مورد نیاز:

ـ ترموستات
ـ دماسنج
ـ بشر
ـ گیره
ـ گرمکن الکتریکی



شکل ۴۸ــ طرح ساده‌ای از فعالیت عملی عملکرد یک ترموستات

روش کار:

■ درون بشر تا نیمه آب بریزید.
■ دماسنج را توسط گیره درون بشر قرار دهید.
■ بشر را به‌همراه دماسنج روی گرمکن قرار دهید.
■ گرمکن را روشن کنید و دمای آن را ۸۰ درجهٔ سلسیوس قرار دهید.
■ ترموستات را با یک گیره درون آب قرار دهید.
■ با گرم شدن آب درون بشر چگونگی عملکرد ترموستات را مشاهده و بحث نمایید.
■ گرمکن را خاموش کنید و کمی آب درون بشر بریزید.
■ با خنک شدن آب درون بشر چگونگی عملکرد ترموستات را مشاهده و بحث نمایید.

شکل ۴۹ــ نمای واقعی از فعالیت عملکرد یک ترموستات

پرسش

کاربردهای ترموستات را در صنایع شیمیایی نام ببرید.

مثال ۵: عملکرد یک مخزن همزن‌دار مجهز به سامانهٔ حرارتی با استفاده از سامانهٔ کنترل مدار بسته چگونه است؟

پاسخ: عملکرد دمای این مخزن را می‌توان با استفاده از یک ترموستات کنترل نمود. چنانچه یک مشعل محتویات درون مخزن را گرم کند و دمای داخل مخزن نیز توسط یک همزن یکنواخت گردد، می‌توان کنترل دما را بر روی این سامانه اعمال نمود (شکل ۵۰).

سامانهٔ کنترل دمای مخزن یک سامانهٔ مدار بسته می‌باشد و متغیرهای آن عبارت‌اند از:

کنترل‌کننده: ترموستات

کنترل‌شونده: دمای مخزن

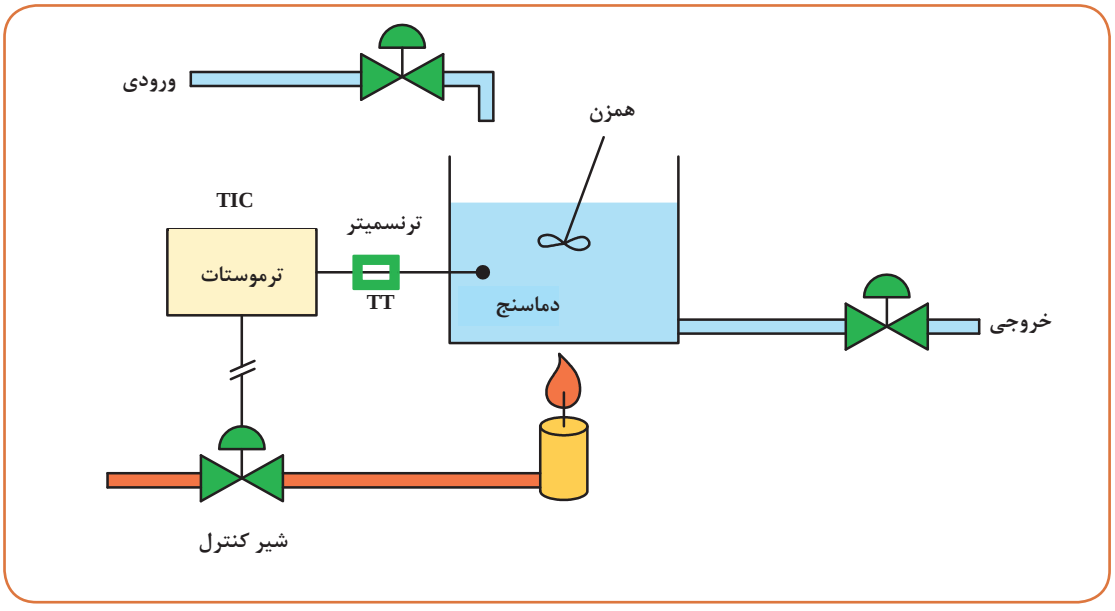
سامانهٔ اندازه‌گیری: ترموکوپل

بازخورد: دمای مخزن

دمای تنظیمی (ورودی) SP: دمای تنظیم شده توسط ترموستات

محرک: شیر کنترل

توسط ترموستات دمای مشخصی را برای محتویات داخل مخزن به‌عنوان ورودی انتخاب و تنظیم می‌کنیم. در ابتدا شیر کنترل باز است و سامانهٔ انتقال سوخت به مشعل برقرار می‌باشد لذا، مخزن گرم می‌شود و مدام در هر لحظه دمای واقعی محتویات مخزن توسط ترموکوپل اندازه‌گیری شده و بازخورد آن به‌صورت موج



شکل ۵۰ــ سامانهٔ کنترل دمای مخزن

الکتریکی توسط ترنسمیتر (TT) به کنترل‌کننده (TIC)[1] فرستاده می‌شود. کنترل‌کننده دمای تنظیمی یا دستوری را با دمای واقعی اندازه‌گیری شده با ترموکوپل مقایسه می‌کند. به این ترتیب که اگر دمای محتویات مخزن کمتر از دمای مورد نیاز بود به ترموستات اطلاع داده می‌شود و ترموستات یا همان کنترل‌کننده دستور بیشتر باز شدن شیر کنترل را می‌دهد، لذا شیر بیشتر باز شده و در ادامه سوخت بیشتری وارد مشعل شده و احتراق بیشتری صورت می‌گیرد و دمای شعله بالاتر رفته و دمای مخزن نیز بالاتر خواهد رفت. اما اگر دما از حد موردنظر بیشتر شد، عکس عملیات بالا اتفاق می‌افتد و میزان سوخت ورودی به مشعل کم شده و دمای مخزن نیز کاهش می‌یابد.

البته شرایط بالا درحالی برقرار است که شرایط محیط ثابت بمانند، به‌عنوان نمونه اگر دمای محیط و مخزنی که در آن واقع شده تغییر کند، این تغییر به‌عنوان یک اغتشاش تلقی شده و تغییراتی در سامانهٔ کنترل ایجاد خواهد شد، یعنی در این حالت شیر کنترل بیشتر باز شده تا دمای مخزن را به همان دمای موردنیاز و دلخواه برساند. پس چون سامانهٔ کنترل مدار بسته وجود دارد علاوه بر تنظیم دمای مخزن، شرایط را هم به گونه‌ای تغییر می‌دهد که با هرگونه اغتشاش مقابله کند. اگر این مخزن قرار بود به‌صورت کنترل مدار باز عمل کند، باید با استفاده از متغیرهای فرایند (میزان محتویات داخل مخزن، دمای هوای محیط، اندازهٔ مخزن، خواص سوخت و غیره) و انجام محاسبات انتقال حرارت، میزان باز بودن شیر کنترل را تعیین نمود و به همان اندازه، شیر را باز کرد و مشاهده کرد که دمای مخزن چه مقدار خواهد شد. البته در این حالت اگر اغتشاش و تغییر ناخواسته‌ای رخ بدهد، لازم است تمامی محاسبات را دوباره انجام داد و دوباره میزان باز بودن شیر را محاسبه نمود. بدیهی است این روش هم خیلی مشکل و هم از دقت کمتری برخوردار خواهد بود.

بیشتربدانید

کنترل چند متغیر به طور هم‌زمان

در مثال بالا علاوه بر ثابت ماندن شرایط محیط، می‌بایست ارتفاع مایع داخل مخزن هم ثابت باشد. در غیر این‌صورت مدام باید با میزان باز بودن شیر کنترل تغییر کند.

البته ارتفاع مایع داخل مخزن تابع مقدار جریان ورودی و خروجی است، اگر جریان خروجی ثابت باشد، هرچه میزان جریان ورودی افزایش یابد، ارتفاع سطح مایع در مخزن بیشتر می‌شود. بدین‌منظور در پروژه‌های صنعتی علاوه بر کنترل دما لازم است ارتفاع سطح مایع نیز کنترل گردد. یعنی دو متغیر (دمای مخزن، ارتفاع سطح مایع) هم‌زمان با هم کنترل شوند. این کار بحث مهندسی کنترل را سخت‌تر و پیچیده‌تر می‌کند. البته در فرایندهای صنعتی چندین متغیر به‌صورت هم‌زمان کنترل می‌شوند که معمولاً به این نوع کنترل، کنترل هم‌زمان چند متغیر[2] می‌گویند.

تحقیق کنید

۱ـ چگونه دمای بدن انسان کنترل می‌شود؟

۲ـ سامانهٔ اندازه‌گیری و کنترل دمای آب موتور در اتومبیل چگونه است؟

۱- Temperature Indicator Controller

۲- Cascade

پرسش

مزایای کنترل فرایند در صنایع شیمیایی چیست؟

بیشتربدانید

شیر کنترل

شکل ۵۱ ـ شیر کنترل

شیر کنترل در شکل ۵۱، گونه‌ای از شیرهای صنعتی می‌باشد که در سامانه‌های کنترلی فرایند به کار می‌روند. این نوع از شیرها با فرمان گرفتن از کنترل‌کننده، باز یا بسته می‌شوند، در نتیجه دخالت مستقیم انسان در آن وجود ندارد. این نوع شیرها برای کنترل فشار، دما، دبی و یا ارتفاع مایعات به‌کار می‌رود. نیروی مورد نیاز برای باز و بسته کردن این شیرها، به‌صورت الکتریکی، هیدرولیکی و یا پنوماتیکی است. همچنین این شیرها به‌طور معمول با ورودی سیگنال ۴ تا ۲۰ میلی‌آمپر عمل می‌کنند.

شیر کنترل نقش مهم و اساسی در یک فرایند صنعتی ایفا می‌نماید و قسمت زیادی از هزینه‌های خرید قطعات و دستگاه‌ها در صنایع، مربوط به شیر کنترل و سامانه‌های جانبی آن می‌باشد.

فعالیت‌عملی

فعالیت عملی ۱۰: کنترل دمای آب مخزن

وسایل مورد نیاز:

ـ مخزن مجهز به گرم‌کن الکتریکی

ـ ترموستات

ـ دماسنج

ـ زمان‌سنج

روش کار:

- تجهیزاتی همانند شکل ۵۰ را آماده کنید.
- درون مخزن مجهز به گرم‌کن الکتریکی، آب بریزید.
- ترموستات را روی ۵۰ درجهٔ سلسیوس تنظیم کنید.
- دماسنج را درون مخزن قرار دهید.
- گرم‌کن را روشن کنید.

الف) دمای اولیهٔ آب موجود در مخزن چند درجهٔ سلسیوس است؟

ب) چه مدت طول می‌کشد تا دمای مخزن به ۵۰ درجهٔ سلسیوس برسد؟

ج) شیوهٔ کنترل دمای آب مخزن را شرح دهید.

ارزشیابی شایستگی اندازه‌گیری ثبت و کنترل دما

شرح کار:

چگونگی استفاده از تجهیزات کارگاهی را بداند و کار داده شده را با دقت انجام دهد.
هنگام کار مراقب باشد که دستگاه صدمه نبیند.
پس از انجام کار وسایل را تمیز و سالم در حالت اولیه قرار دهد.

استاندارد عملکرد:

به‌کارگیری محاسبات و اندازه‌گیری دما و کنترل آن مطابق دستورکار

شاخص‌ها:

ـ رعایت مسایل ایمنی هنگام کار
ـ انجام کار طبق دستورکار

شرایط انجام کار و ابزار و تجهیزات:

شرایط مکان: کارگاه
شرایط دستگاه: آماده به کار
زمان: یک جلسهٔ آموزشی
ابزار و تجهیزات: شیشهٔ کوچک با درب چوب پنبه‌ای، لولهٔ شیشه‌ای، چسب، کاغذ میلی‌متری، انواع دماسنج، دو قطعه سیم مسی، یک قطعه سیم آهنی و سیم‌های مختلف ترموکوپل، ولت‌متر، ارلن، استارت لامپ مهتابی، باطری قلمی، لامپ سه ولتی، انواع سیم رابط، ترموستات، گیره، گرمکن الکتریکی، زمان‌سنج

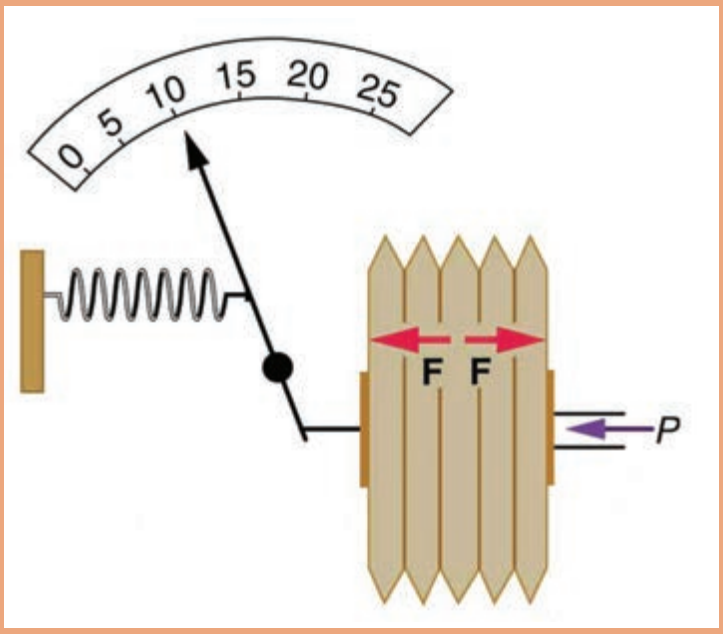
معیار شایستگی:

ردیف	مرحلهٔ کار	کمترین نمرهٔ قبولی از ۳	نمرهٔ هنرجو
۱	به‌کارگیری مفاهیم و محاسبات در اندازه‌گیری دما	۱	
۲	انجام روش‌های اندازه‌گیری دما	۲	
۳	کالیبراسیون دماسنج	۱	
۴	کنترل دما	۱	
	شایستگی‌های غیرفنی، ایمنی، بهداشت، توجهات زیست‌محیطی و نگرش: **۱ـ ایمنی: انجام کار کارگاهی با رعایت موارد ایمنی و استفاده از وسایل ایمنی شخصی** **۲ـ نگرش: صرفه جویی در مواد مصرفی** **۳ـ توجهات زیست‌محیطی: جلوگیری از صدمه‌زدن به محیط زیست از طریق انجام کار بدون ریخت و پاش** **۴ـ شایستگی‌های غیرفنی: الف) اخلاق حرفه‌ای ب) مدیریت منابع پ) محاسبه و کاربست ریاضی** **۵ـ مستندسازی: گزارش نویسی**	۲	
	میانگین نمرات		*

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

پودمان ۳

اندازه‌گیری، ثبت و کنترل فشار



بسیاری از فرایندهای شیمیایی در فشارهای بالا و بعضی دیگر در فشارهای پایین صورت می گیرند. بنابراین دقّت در اندازه‌گیری و کنترل فشار اهمیّت زیادی دارد.

واحد یادگیری ۳

اندازه‌گیری، ثبت و کنترل فشار

مقدمه

بسیاری از فرایندهای شیمیایی در فشارهای بالا و بعضی دیگر در فشارهای بسیار پایین انجام می‌شوند. از این جهت درک مفهوم فشار برای کاربران و مهندسین فرایند امری ضروری می‌باشد. امروزه فرایندهایی وجود دارند که در فشارهای تا ۱۵۰۰۰ بار و یا فشارهای خلأ تا 10^{-7} بار انجام می‌شوند. علاوه بر این زندگی موجودات وابسته به فشار جو می‌باشد و بسیاری از فرایندهای حیاتی وابستگی شدیدی به مقدار فشار دارند. در صنایع شیمیایی تولید بسیاری از محصولات مانند آمونیاک، پلیمرها و... در فشارهای نسبتاً بالا صورت می‌پذیرد. از این روی درک غلط از فشار و اندازه‌گیری و کنترل نادرست آن مانند تقطیر در خلأ، علاوه بر تأثیرات نامطلوب بر فرایند، باعث خسارات مالی و جانی می گردد.

در این پودمان مباحث به‌کارگیری مفاهیم و محاسبات در اندازه‌گیری فشار، دستگاه‌های اندازه‌گیری فشار و کنترل آن توضیح داده شده است.

استاندارد عملکرد

به‌کارگیری محاسبات و اندازه‌گیری فشار و کنترل آن مطابق دستور کار

شایستگی‌های غیر فنی

۱ **اخلاق حرفه‌ای:** حضور منظم و وقت‌شناسی ـ انجام وظایف و کارهای محوله ـ پیروی از قوانین

۲ **مدیریت منابع:** شروع به کار به‌موقع ـ مدیریت مؤثر زمان ـ استفاده از مواد و تجهیزات

۳ **کار گروهی:** حضوری فعال در فعالیت‌های گروهی ـ انجام کارها و وظایف محوله

۴ **مستندسازی:** گزارش‌نویسی فعالیت‌های کارگاهی

۵ **محاسبه و کاربست ریاضی:** انجام مثال‌ها و تمرین‌ها با کمک فرمول و محاسبات ریاضی

پس از اتمام این واحد یادگیری هنرجویان قادر خواهند بود

۱ مفاهیم و محاسبات در اندازه‌گیری فشار را به‌کار گیرند.

۲ با روش‌های مختلف، اندازه‌گیری فشار فرایندها را انجام دهند.

۳ فشار سامانه‌های مختلف را کنترل نمایند.

فشار

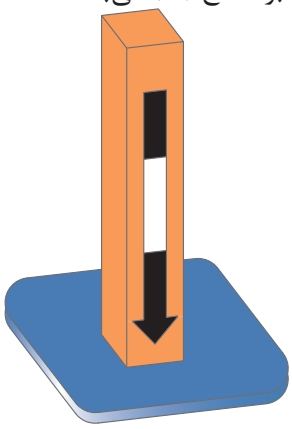
بحث گروهی

الف) شما می‌توانید به‌راحتی روی دو پا بایستید، درحالی‌که ایستادن روی یک پا دشوار بوده و زمان کوتاه‌تری قابل تحمل است. علت چیست؟
ب) با توجه به شکل زیر، در مورد فشار وارده بحث کنید.

هر جسمی مانند کتاب روی میز، آب موجود در یک لیوان و... بر روی سطحی که قرار دارند، نیرو وارد می‌کند. مطابق معادلهٔ (۱) این نیرو حاصل‌ضرب شتاب جاذبهٔ زمین و جرم جسم بوده و نیروی وزن نامیده می‌شود.

معادلهٔ (۱) $$F=m.g$$

در سامانهٔ اندازه‌گیری **SI** (متریک)، نمادهای **F** نماد نیرو بر حسب نیوتن **m** نماد جرم بر حسب کیلوگرم و **g** شتاب جاذبهٔ زمین می‌باشند که مقدار متوسط آن در این سامانه $۹/۸\ m/s^۲$ است.
یک بادکنک پر از هوا را در نظر بگیرید. در این بادکنک به‌دلیل حرکت مولکول‌های هوا و برخورد آنها با دیوارهٔ بادکنک، نیروی (**F**) بر سطح داخلی بادکنک (**A**) وارد می‌شود و فشار (**P**) را بر سطح بادکنک ایجاد می‌کند. بنابراین مطابق شکل ۱ و معادلهٔ (۲) فشار (**P**) عبارت از نیروی عمودی (**F**) وارد بر سطح (**A**) می‌باشد.



شکل ۱ـ مفهوم فشار

معادلهٔ (۲) $$P=\frac{F}{A}$$

معادلهٔ (۲) نشان می‌دهد که فشار، وابسته به دو کمیت است:
۱ـ نیروی اعمال‌شده
۲ـ مساحتی که این نیرو به‌صورت عمودی به آن وارد می‌شود.

در سامانهٔ SI، یکای نیروی (N) و یکای سطح ($m^۲$) می‌باشد. بنابراین یکای فشار در این سامانه، $\frac{N}{m^۲}$ محاسبه می‌گردد که به آن پاسگال[۱] (Pa) می‌گویند.

۱ـ Pascal

پرسش

چرا سوزن خیاطی با نیروی کمی و به راحتی در اجسام فرو می‌رود؟

فیلم شمارهٔ ۱: فشار و نیرو
فیلم شمارهٔ ۲: مفهوم فشار

بحث گروهی

با استفاده از معادلهٔ (۲)، در مورد چگونگی افزایش یا کاهش فشار با تغییر سطح و یا نیرو بحث کنید.

فعالیت عملی

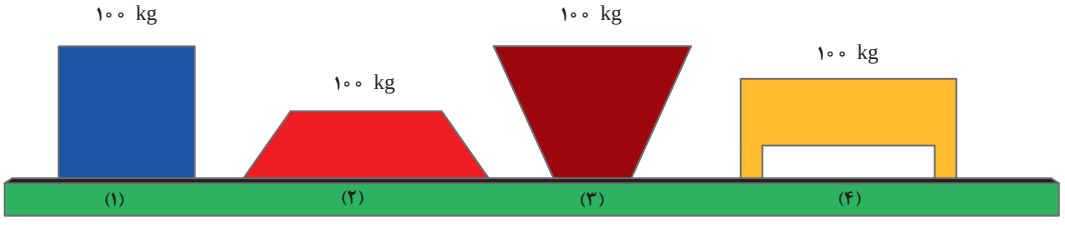
یک مکعب مستطیل فلزی یا از جنس دیگر تهیه کنید و فعالیت‌های زیر را انجام دهید:
الف) جرم مکعب را اندازه‌گیری کنید.
ب) نیروی وزن مکعب مستطیل را با استفاده از معادلهٔ (۱) محاسبه کنید.
ج) مساحت وجوه مختلف مکعب مستطیل را محاسبه کنید.
د) با استفاده از معادلهٔ (۲) محاسبه کنید که در حالت‌های مختلفی که مکعب مستطیل روی سطح قرار می‌گیرد چه فشاری ایجاد می‌کند؟

تمرین

۱ فشار ایجادشده توسط یک نیروی ۸۰۰ نیوتنی بر مساحت ۲ متر مربع را محاسبه کنید.

۲ یک سیلندر و پیستون را در نظر بگیرید. مساحت پیستون ۰/۵ متر مربع می‌باشد و درون سیلندر گازی با فشار ۳۰۰ Pa قرار دارد. نیروی وارده به پیستون را محاسبه کنید.

۳ در شکل زیر ضخامت کلیه اجسام یکسان و دارای جرم ۱۰۰ کیلوگرم می‌باشند. کدام شکل فشار بیشتری ایجاد می‌کند؟ کدام‌یک کمترین فشار را ایجاد می‌کند؟



یکاهای اندازه‌گیری فشار

با توجه به یکاهای نیرو و سطح در سامانه‌های مختلف اندازه‌گیری، یکاهای متنوعی برای اندازه‌گیری فشار وجود دارد. متداول‌ترین یکاهای اندازه‌گیری فشار عبارت‌اند از:

پاسکال: یکای اندازه‌گیری فشار در دستگاه بین‌المللی SI پاسکال می‌باشد که با نماد Pa نشان داده می‌شود. استفاده از این یکا در اندازه‌گیری‌های علمی بسیار متداول است. یک پاسکال فشار ناشی از نیروی یک نیوتن بر سطحی با مساحت یک مترمربع می‌باشد. ($۱Pa = ۱N/m^۲$)

بار[۱]: بار یکای اندازه‌گیری فشار در سامانهٔ متریک می‌باشد. یک بار معادل صد کیلو پاسکال می‌باشد.

اتمسفر[۲]: یک اتمسفر برابر با فشار ناشی از ستون آب به ارتفاع ۱۰/۳ متر است و تقریباً معادل با میانگین فشار هوا در سطح آب‌های آزاد در سطح دریا می‌باشد. هر اتمسفر برابر با ۱۰۱۳۲۵ پاسکال است.

میلی‌متر جیوه[۳]: مقدار فشار ناشی از ستون جیوه به ارتفاع یک میلی‌متر را «یک میلی‌متر جیوه» گویند. هر میلی‌متر جیوه برابر با ۱۳۳/۳۲۲۴ پاسکال می‌باشد.

پی اس آی[۴]: یکای اندازه‌گیری psi بر پایهٔ سامانهٔ انگلیسی بوده و معادل پوند نیرو بر اینچ مربع می‌باشد. این یکا متداول‌ترین یکای اندازه‌گیری فشار در صنعت می‌باشد. هر واحد psi برابر است با فشار ناشی از یک پوند نیرو به سطحی با مساحت یک اینچ مربع و هر psi برابر با ۶۸۹۴/۸ پاسکال می‌باشد.

تبدیل یکاهای فشار

در سال‌های گذشته، با تبدیل واحدها در سامانه‌های مختلف آشنا شده‌اید. به کمک جدول ۱ می‌توانید واحدهای فشار را به یکدیگر تبدیل کنید.

تمرین

۱ـ فشار چاه‌های گاز می‌تواند تا ۵۰۰۰ psi باشد. این فشار را به اتمسفر، کیلوپاسکال و میلی‌متر جیوه تبدیل کنید.

۲ـ فشار داخلی راکتور تولید آمونیاک، ۲۵۰ بار می‌باشد. این فشار را به میلی‌متر جیوه، psi و پاسکال تبدیل کنید.

تحقیق کنید

به تارنمای هواشناسی شهر خود رجوع کنید و یا از ادارهٔ هواشناسی محل سکونت خود فشار هوای محیط را بپرسید. به کمک جدول ۱ این فشار را در سامانه‌های دیگر اندازه‌گیری محاسبه کنید.

۱ـ bar

۲ـ Atmosphere

۳ـ mmHg

۴ـ psi ($lb_f/in^۲$) Pound force per square inch

جدول ۱ــ ضرایب تبدیل واحدهای فشار به یکدیگر

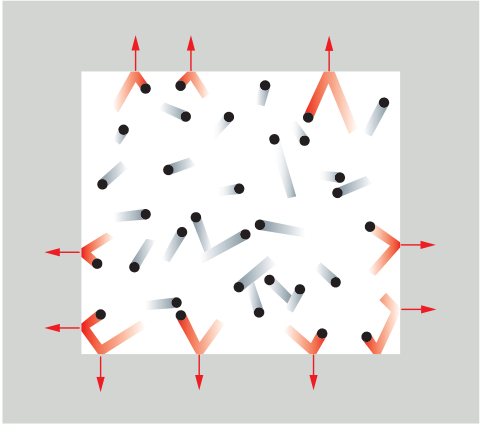
	bar	Pa	kPa	mmHg	atm	psi
bar	۱	$۱۰^{۵}$	۱۰۱/۳۲۵	۷۵۰/۰۶۴	۰/۹۸۶۹۲۳	۱۴/۵۰۳
Pa	$۱۰^{-۵}$	۱	$۱۰^{-۳}$	$۷/۵۰۰۶۴\times۱۰^{-۳}$	$۹/۸۶۹۲۳\times۱۰^{-۶}$	$۱/۴۵\times۱۰^{-۴}$
kPa	۱۰۱/۳۲۵	$۱۰^{۳}$	۱	۷/۵۰۰۶۴	$۰/۹۸۶۹۲۳\times۱۰^{-۲}$	$۱/۴۵\times۱۰^{-۱}$
mmHg	$۱/۳۳۳۲۲\times۱۰^{-۳}$	۱۳۳/۳۲۲	$۱/۳۳۳۲۲\times۱۰^{-۱}$	۱	$۱/۳۱۵۷۹\times۱۰^{-۳}$	$۱/۹۴۴۶\times۱۰^{-۲}$
atm	۱/۰۱۳۲۵	$۱۰۱/۳۲۵\times۱۰^{۳}$	۱۰۱/۳۲۵	۷۶۰	۱	۱۴/۶۹۵
psi	$۶/۸۹۴۷۵۷\times۱۰^{-۳}$	$۶/۸۹۴۷۵۷\times۱۰^{۳}$	۶/۸۹۴۷۵۷	۵۱/۷۱۴۹	$۶/۸۰۵\times۱۰^{-۲}$	۱

* به خاطر سپردن اعداد جدول الزامی نیست.

در جدول ۱، واحدهای کاربردی و متداول آمده است. واحدهای دیگری نیز برای فشار وجود دارد که می‌توانید در مورد آنها تحقیق کنید.

فشار گازها

همانند شکل ۲، مولکول‌های گاز را می‌توان به‌صورت کُره‌های کوچکی تجسم کرد که در یک ظرف بسته در حال حرکت تصادفی می‌باشند. این مولکول‌ها تمام فضای ظرف را اشغال می‌کنند و درهنگام حرکت، با یکدیگر و دیوارهٔ ظرف برخورد کرده و تولید فشار می‌کنند. فشار گاز وابسته به تعداد مولکول‌ها (عده مول)، جرم آنها و سرعت متوسط مولکول‌های گاز می‌باشد. سرعت وابسته به انرژی جنبشی گاز می‌باشد و انرژی جنبشی بیشتر به مفهوم دمای بالاتر است. هرچه تعداد مولکول‌های گاز و انرژی جنبشی افزایش پیدا کند، تعداد برخوردها به دیوارهٔ ظرف محتوی گاز افزایش می‌یابد، بنابراین میزان نیرو بر واحد سطح و در نتیجهٔ آن فشار نیز افزایش خواهد داشت.



شکل ۲ ــ نمایش حرکت مولکول‌ها در گازها

پرسش

چگونه می‌توان فشار گاز را در یک ظرف سربسته بیشتر کرد؟

فیلم شماره ۳: فشار گازها

گاز ایده آل

از آن‌جایی که مطالعهٔ گازها، به‌دلیل محدودیت‌هایی مشکل می‌باشد، دانشمندان برای حل این موضوع، گاز ایده آل را معرفی کرده‌اند. گاز ایده آل، گازی است که هیچ نیروی بین‌مولکولی، بین ذرات آن وجود ندارد و حجم مولکول‌های آن صفر می‌باشد. گرچه از دیدگاه عملی چنین گازی وجود ندارد اما این فرض کمک می‌کند تا رابطهٔ بین دما، فشار، حجم و تعداد مول گازها را بهتر درک کنیم و محاسبات ساده را انجام دهیم. در گاز ایده‌آل بین متغیرهای نام‌برده معادلهٔ (۳) برقرار است.

$$PV = nRT$$ معادلهٔ (۳)

در بسیاری از شرایط مانند فشارهای کم و گازهای غیرقطبی، گازها از خود رفتار ایده آل نشان می‌دهند و این معادله به خوبی کاربرد دارد.

لازم است در این رابطهٔ مقدار R را بدانیم. اگر حجم (V) بر حسب لیتر، فشار مطلق (P) بر حسب اتمسفر، دما (T) بر حسب کلوین و مقدار ماده (n) بر حسب گرم مول بیان شود، مقدار R ثابت عمومی گازها عبارت خواهد بود از:

$$R = ۰/۰۸۲۰۵۷ \text{ lit.atm/(K.gmol)}$$

نکته

در سامانه‌های دیگر، چنانچه واحدهای حجم، فشار و دما متفاوت باشد، مقدار R متفاوت خواهد بود.

مقدار R در سامانه‌های مختلف در جدول (۲) آمده است:

جدول ۲ـ مقدار R در سامانه‌های مختلف اندازه‌گیری

سامانه‌های اندازه‌گیری	ــــ	SI	F.P.S
مقدار ثابت عمومی گازها R	۰/۰۸۲۰۵۷ lit.atm/(K.gmol)	۸/۳۱۴۵ $Pa.m^3/(K.kmol)$	۱۹/۳۳ $psi.ft^3/(R.lbmole)$

در علوم مهندسی، دمای صفر درجهٔ سلسیوس و فشار یک اتمسفر به‌عنوان شرایط استاندارد (STP)[۱] پذیرفته شده است. در این شرایط حجم یک مول از گازها ۲۲/۴۱۴ لیتر خواهد بود. این مقدار را «حجم مولی استاندارد گازها» می‌نامند.

فیلم شماره ۴: گاز ایده‌آل

۱ـ Standard Temprature and Pressure

تمرین

۱ یک کپسول حاوی گاز نیتروژن در دمای ۲۵ درجهٔ سلسیوس دارای حجم ۱۲ لیتر و فشار مطلق ۵ اتمسفر می‌باشد. با فرض ایده آل بودن گاز نیتروژن، محاسبه کنید چند گرم گاز نیتروژن در آن وجود دارد.

۲ گاز متان در خط لوله اصلی گاز ورودی به شهرها دارای فشار ۲۵۰ psi می‌باشد، در صورتی که دمای محیط ۳۴ درجهٔ سلسیوس باشد، چگالی گاز متان را در سامانه‌های SI محاسبه کنید.

۳ حجم اشغال‌شده توسط ۲/۳۴ گرم گاز کربن دی‌اکسید در شرایط متعارفی را محاسبه کنید.

۴ نمونه‌ای از گاز آرگون در شرایط استاندارد ۵۶/۲ لیتر حجم دارد. تعداد مول و جرم آرگون را محاسبه کنید.

۵ ۰/۶۵۴ مول گاز آرگون در فشار ۱/۹۵ اتمسفر حجمی معادل ۱۲/۳ لیتر دارد. دمای گاز را محاسبه کنید.

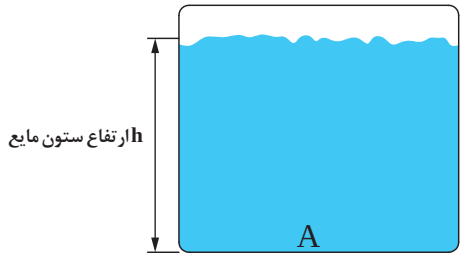
۶ یک کپسول اکسیژن در دمای ۲۵ درجهٔ سلسیوس حاوی ۴۰ کیلوگرم گاز اکسیژن در فشار ۱۸۰ بار می‌باشد. چگالی این گاز را محاسبه کنید و تفسیر کنید که آیا مقدار محاسبه‌شده دقیق می‌باشد یا خیر.

۷ ۳۰/۶ گرم از یک گاز در شرایط متعارفی ۲۲/۴۱۴ لیتر حجم دارد. جرم مولکولی گاز را محاسبه کنید.

۸ حجم یک مول از گاز در شرایط استاندارد را محاسبه کنید.

فشار مایعات

ابتدایی‌ترین مفهوم فشار مایعات مربوط به ستون مایع است. بدین طریق که اگر در یک ظرف، مایعی وجود داشته باشد، فشار در هر نقطهٔ مفروض A در کف ظرف، ناشی از وزن ذرات مایع در بالای آن نقطه می‌باشد.



شکل ۳ــ ستون مایع

فشار مایع توسط ارتفاع ستون سیال و چگالی آن توسط معادلهٔ (۴) قابل محاسبه خواهد بود.

ارتفاع × شتاب جاذبه × چگالی = فشار ستون مایع در نقطهٔ A

$$P = d.g.h$$ معادلهٔ (۴)

که در این معادله، g شتاب جاذبه زمین (m/s^2)، d چگالی سیال (kg/m^3)، h ارتفاع ستون مایع از نقطه A تا سطح آزاد مایع (m) و P فشار بر حسب Pa می‌باشند.

مثال:

ریه‌های یک فرد سالم تنها تا عمق سه متری آب قادر است به خوبی عمل کند. اگر در عمق ۳ متری دریا قرار بگیرید، بدن شما چه فشاری را تحمل می‌کند؟ چگالی آب دریا $1053\ kg/m^3$ و شتاب جاذبه را $9/8\ m/s^2$ فرض کنید.

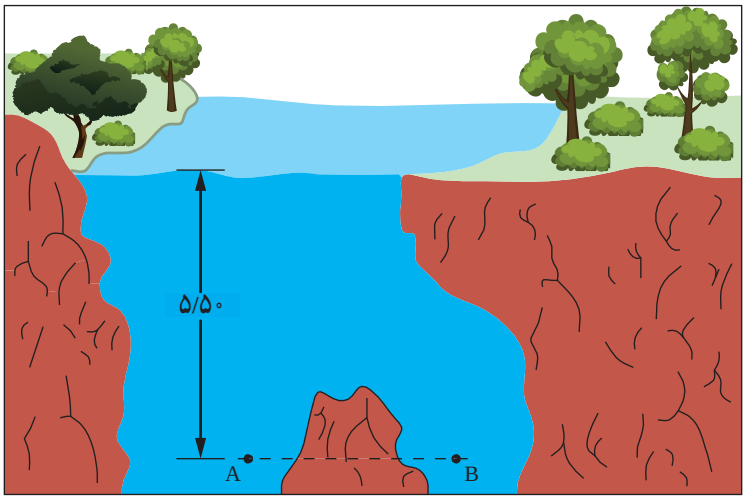
پاسخ:

$$P = d.g.h = ۱۰۵۳\ (kg/m^۳)\times ۹/۸\ (m/s^۲)\times ۳\ m = ۳۰۹۵۸/۲\ kg/m.s^۲$$

تمرین

۱ با فرض اینکه چگالی آب $kg/m^۳$ ۱۰۰۰ باشد، فشار را در کف لیوانی که تا ارتفاع ۱۵ سانتی‌متر از آب پر شده است، بر حسب پاسکال، میلی‌متر جیوه، بار و اتمسفر محاسبه کنید.

۲ فشار را در نقطه‌های A و B از شکل زیر به دست آورید. آیا این دو فشار با یکدیگر برابرند؟ در صورت جواب مثبت، علت را توضیح دهید. چگالی آب را $kg/m^۳$ ۱۰۰۰ در نظر بگیرید.



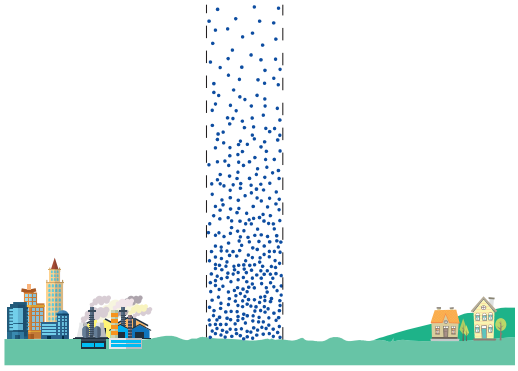
۳ یک استخر شنا دارای عرض ۹ متر و طول ۲۴ متر می‌باشد که تا عمق ۳ متر از آب پر شده است. آب موجود در استخر چه نیرویی به کف آن وارد می‌کند؟ فشار ایجادشده در کف استخر چقدر است؟

فیلم شماره ۵: فشار مایعات

فشار جو

مهم‌ترین فشار برای زندگی موجودات زنده، فشار هوای جو[۱] (P_{amb}) می‌باشد. این فشار توسط هوایی که کرهٔ زمین را تا ارتفاع تقریبی ۵۰۰ کیلومتر احاطه کرده است، ایجاد می‌گردد. در سطح دریا، جرم هوایی که می‌تواند روی یک متر مربع از سطح زمین قرار گیرد، ۱۰۰۰۰ کیلوگرم است. این جرم، فشاری معادل ۷۶۰ mmHg که برابر با ۱atm است، ایجاد می‌کند و می‌تواند به دلیل جریانات پرفشار و کم فشار هوا تا ۵٪ نوسان داشته باشد، به این مقدار فشار استاندارد جو یا فشار اتمسفریک گفته می‌شود. با افزایش ارتفاع از فشار جو کاسته شده تا به صفر مطلق (خلأ کامل) در خارج از اتمسفر برسد (شکل ۴).

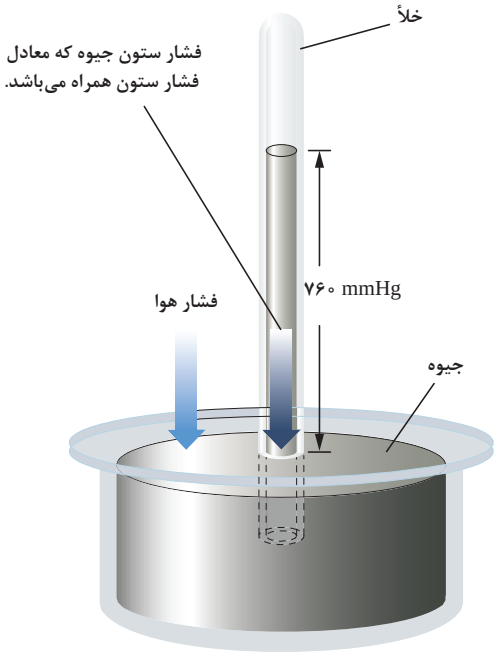
۱ـ Ambient or Atmospheric Pressure



شکل ۴ـ ستون هوا روی سطح زمین

فیلم شماره ۶: نیروی فشار هوای اتمسفریک

فشار جو توسط وسیله‌ای به نام بارومتر[۱] اندازه‌گیری می‌شود. این وسیله توسط یکی از شاگردان گالیله[۲] به نام اوانگلیستا توریچلی[۳] (۱۶۴۷ـ۱۶۰۸) اختراع شد. بارومتر شامل یک لولهٔ شیشه‌ای بلند است که انتهای آن بسته شده و توسط جیوه پر شده است. این لولهٔ وارونه درون تشتکی پر از جیوه به‌گونه‌ای فرو رفته است که هوا وارد لوله نشود. در این حال مقداری جیوه از لوله خارج خواهد شد و فضای خالی تشکیل شده، خلأیی خواهد بود که با بخار جیوه پر شده است (شکل ۵).



شکل ۵ـ بارومتر جیوه‌ای

نکته

خلأ به محیطی گفته می‌شود که فشار آن از فشار اتمسفر کمتر است. یا به‌عبارت دیگر چگالی ذرات در آن خیلی کمتر از محیط جو می‌باشد.

سؤال این است که چرا تمام جیوهٔ موجود درون لوله در تشتک تخلیه نمی‌گردد؟ قطعاً نیروی وزن جیوه ناشی از گرانش باید باعث تخلیه جیوه از لوله گردد اما این اتفاق رخ نمی‌دهد. چرا؟
علت این است که نیرویی مخالف در جهت نیروی وزن جیوه وجود دارد که باعث می‌گردد جیوه به درون لوله رانده شود. این نیرو برابر با نیروی وزن ستون جیوه موجود در لوله است. اگر این وسیله در سطح دریا باشد، مشاهده می‌شود که ارتفاع ستون جیوه برابر با ۷۶۰ میلی‌متر است.

۱ـ Barometer

۲ـ Galileo

۳ـ Evangelista Torricelli

بارومتر جیوه‌ای مدت‌های طولانی جهت اندازه‌گیری فشار هوا بر حسب میلی‌متر جیوه استفاده می‌شد، امّا امروزه بارومترهای دیجیتالی و عقربه‌ای جایگزین آن شده است (شکل ۶).

شکل ۶ــ نمونه‌ای از بارومترهای دیجیتالی و عقربه‌ای

تمرین

۱ به نظر شما اگر بارومتر را در مکانی که ۱۸۰۰ متر از سطح دریا ارتفاع دارد قرار دهیم، ارتفاع ستون جیوه از ۷۶۰ میلی‌متر جیوه کمتر خواهد بود یا بیشتر؟

۲ به نظر شما چرا توریچلی از جیوه استفاده نمود و به جای آن از آب استفاده نکرد. در صورت استفاده از آب آیا ارتفاع ستون آب همین مقدار ۷۶۰ میلی‌متر خواهد بود؟

۳ ارتفاع قلهٔ زردکوه ۴۵۴۱ متر از سطح دریا می‌باشد، فشار محیط در آنجا ۴۵۰ میلی‌متر جیوه است. این فشار را به کیلو پاسکال و اتمسفر تبدیل کنید.

فشار مطلق[۱] و فشار نسبی[۲]

فشار یک سامانه به دو صورت نسبی (P_g) و مطلق (P_a) بیان می‌گردد. عمدتاً لوازم اندازه‌گیری موجود قادر به اندازه‌گیری فشار به‌صورت نسبی هستند اما در محاسبات مهندسی همان‌گونه که در قانون گاز ایده‌آل مشاهده کردید نیازمند فشار به‌صورت مطلق می‌باشیم.

مرجع تعریف‌شدهٔ اندازه‌گیری فشار، صفر مطلق می‌باشد و مکانی است که هیچ فشاری در آن وجود ندارد و خلأ کامل برقرار است. اگر فشار را با مبنای صفر مطلق اندازه‌گیری کنیم، فشار مطلق نامیده می‌شود.

فشار نسبی که فشار گیج[۳] نیز نامیده می‌شود، متداول‌ترین روش اندازه‌گیری فشار می‌باشد. این فشار اختلاف بین فشار مطلق و فشار جو (P_{amb}) می‌باشد. فشار نسبی می‌تواند بیشتر یا کمتر از فشار محیط باشد. زمانی که از لفظ «فشار» استفاده می‌کنیم، منظور فشار بالاتر از فشار محیط می‌باشد و زمانی که منظور فشار کمتر از فشار محیط باشد از لفظ «خلأ»[۴] استفاده می‌گردد. انواع فشار در شکل ۷، نشان داده شده است.

۱ـ Absolute Pressure

۲ـ Relative Pressure

۳ـ Guage Pressure

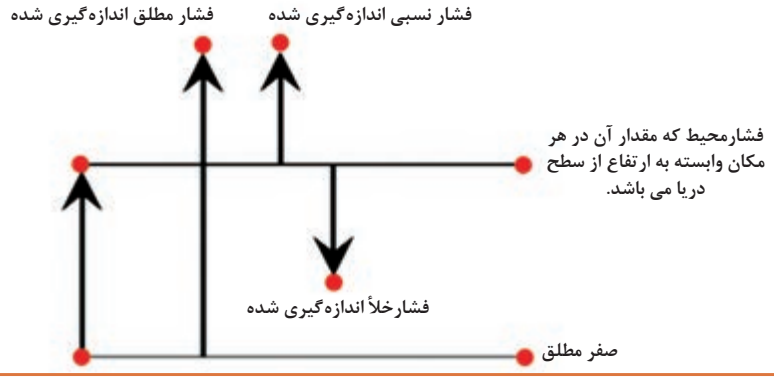
۴ـ Vaccum

رابطهٔ بین فشار مطلق، نسبی و محیط مطابق معادلهٔ ۵ است.

$$P_a = P_g + P_{amb} \qquad \text{(معادلهٔ ۵)}$$

نکته

در صورتی که فشار سامانه کمتر از فشار محیط (خلأ) باشد، عدد فشار نسبی به‌صورت عددی منفی در معادلهٔ (۵) قرار داده شود.



شکل ۷ــ بیان تصویری انواع فشار

مثال:

عمق آب در پشت دیوارهٔ سدها ممکن است تا ۸۰ متر باشد. اگر فشار محیط ۷۱۴ میلی‌متر جیوه باشد، فشار نسبی و فشار مطلق بر حسب پاسکال در بستر نزدیک دیواره را محاسبه کنید. چگالی آب را $1000\ kg/m^3$ فرض کنید.

پاسخ:

ابتدا فشار محیط را به واحد پاسکال تبدیل می‌کنیم.

$$۷۱۴\ mmHg \times ۱۰۱۳۲۵\ Pa/۷۶۰\ mmHg = ۹۵۱۹۲/۱۷\ Pa$$

فشار نسبی عبارت است از:

$$P_g = d.g.h = ۱۰۰۰ \times ۹/۸ \times ۸۰ = ۷۸۴۰۰۰\ Pa$$

فشار مطلق عبارت است از:

$$P_a = P_g + P_{amb} = ۷۸۴۰۰۰ + ۹۵۱۹۲/۱۷ = ۸۷۹۱۹۲/۱۷\ Pa$$

تمرین

۱ فشارسنج نصب‌شده روی یک سیلندر گاز عدد ۱۰۰ بار را نشان می‌دهد. اگر فشار جو ۷۴۰ میلی‌متر جیوه باشد فشار نسبی و فشار مطلق گاز درون سیلندر را بر حسب بار، اتمسفر و میلی‌متر جیوه محاسبه کنید.

۲ فشار نسبی یک تبخیرکنندهٔ خلأ، ۴۵ کیلوپاسکال است. اگر فشار محیط ۹۳ کیلو پاسکال باشد، فشار مطلق را محاسبه کنید.

۳ غوّاصی در عمق ۱۰ متری آب دریا قرار دارد. چگالی آب دریا $1053\ kg/m^3$ می‌باشد و ادارهٔ هواشناسی فشار هوا را ۷۵۵ میلی‌متر جیوه اعلام کرده است. فشار نسبی و مطلقی را که بدن غوّاص تحمل می‌کند، محاسبه کنید.

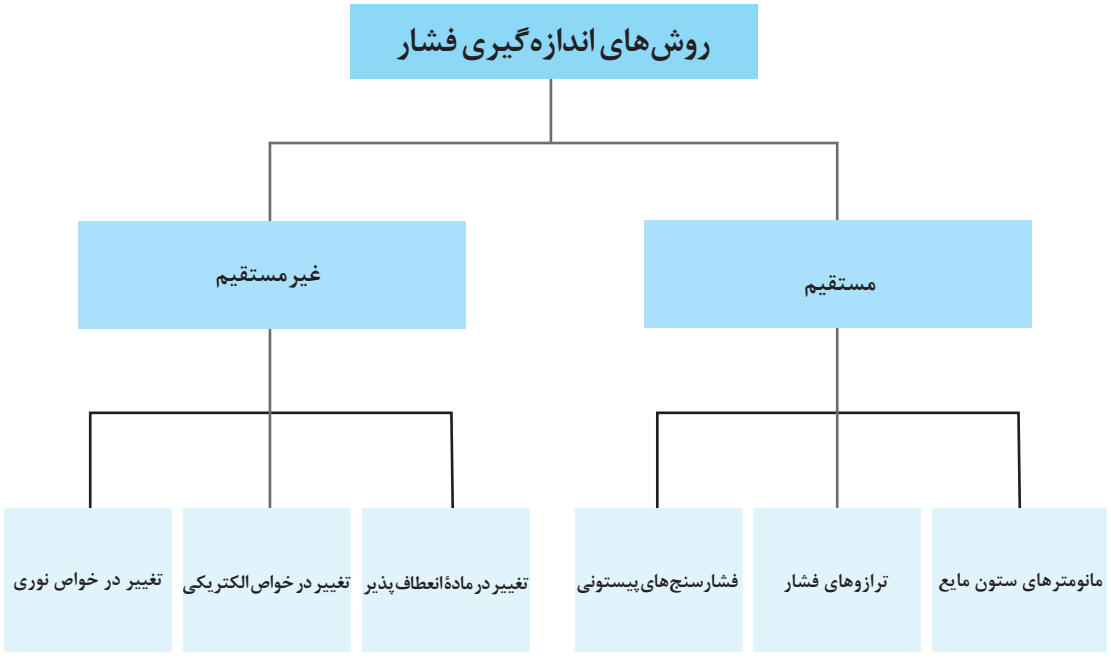
فیلم شماره ۷: بارومتر
پخش فیلم: طرز کار بارومتر عقربه‌ای

روش‌های اندازه‌گیری فشار

اندازه‌گیری و کنترل موفقیت‌آمیز فشار بستگی زیادی به روش و ابزار اندازه‌گیری فشار دارد. امروزه این وسایل دامنه‌ای بین ۱ میلی‌بار تا 10^5 بار را با دقت زیاد اندازه‌گیری می‌کنند. برای اندازه‌گیری فشار دو روش وجود دارد: مستقیم و غیرمستقیم (شکل ۸).

روش مستقیم: در این روش از معادلات اساسی فشار $P = d.g.h$ یا $P = F/A$ استفاده می‌شود و در نهایت با اندازه‌گیری مستقیم متغیرهای مربوطه، فشار محاسبه می‌گردد.

روش غیرمستقیم: در این روش مقدار فشار از انحراف در یک مادهٔ انعطاف‌پذیر یا تغییر در خواص نوری، الکتریکی، یا شیمیایی سامانه، اندازه‌گیری می‌شود.



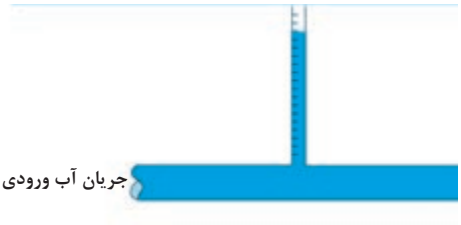
شکل ۸ـ نمایش روش‌های اندازه‌گیری فشار

تجهیزات اندازه‌گیری مستقیم فشار[1]

ـ مانومترهای ستون مایع

پیزومتر[2]

ساده‌ترین ابزار اندازه‌گیری مستقیم فشار، یک لولهٔ شیشه‌ای است که پیزومتر نامیده می‌شود. برای درک طرز کار پیزومتر، یک خط لولهٔ محتوی مایعی را در نظر بگیرید. نقطه‌ای از این خط لوله را سوراخ کنید و به آن یک لولهٔ شیشه‌ای بلند وصل کنید (شکل ۹). مشاهده می‌گردد که مایع تا ارتفاعی در لولهٔ شیشه‌ای بالا خواهد آمد، اگر این ارتفاع با h نامگذاری شود، فشار از معادلهٔ $P = d.g.h$ قابل محاسبه خواهد بود.



شکل ۹ـ پیزومتر

این نوع فشارسنج گرچه خیلی ساده می‌باشد، امّا در مورد مایعات سمّی، فشارهای بالا، گازها و فشار خلأ کاربردی ندارد.

فعالیت‌عملی

استفاده از پیزومتر برای اندازه‌گیری فشار

روش کار:

یک جفت لولهٔ شیشه‌ای با قطر یکسان تهیه کنید و روی یک خط لوله با فاصلهٔ ۳۰ سانتی‌متر از یکدیگر وصل کنید (شکل ۱۰).

دقت کنید که اگر شیر جریان خروجی بسته باشد، طبق قانون ظروف مرتبط ارتفاع آب در هر دو لوله یکی است.

الف) شیر خروجی را باز کنید و ارتفاع مایع در ستون پیزومترها را بخوانید (از جدول زیر کمک بگیرید).

ب) به‌طور هم‌زمان با قسمت الف، دبی حجمی آب را به‌وسیله استوانهٔ مدرج و کرنومتر محاسبه کنید.

ج) اختلاف ارتفاع‌ها و فشار معادل آن را محاسبه کنید.

د) بندهای الف تا ج را در دبی‌های مختلف تکرار کنید.

ه) منحنی افت فشار بر حسب دبی را رسم کنید.

شکل ۱۰ـ کاربرد پیزومترها در خط لوله

تحقیق کنید

ارتفاع ستون آب در ظروف مرتبط چگونه است؟

۱ـ Direct_ Measuring Pressure Instruments

۲ـ Piezometer

ردیف	ارتفاع آب در پیزومترها (cm)		اختلاف ارتفاع (cm)	اختلاف ارتفاع (m)	اختلاف فشار Pa	حجم آب جمع‌آوری شده (cm^3)	حجم آب جمع‌آوری شده (ml)	زمان (s)	دبی حجمی[1] $\frac{ml}{s}$
۱									
۲									
۳									
۴									
۵									
۶									

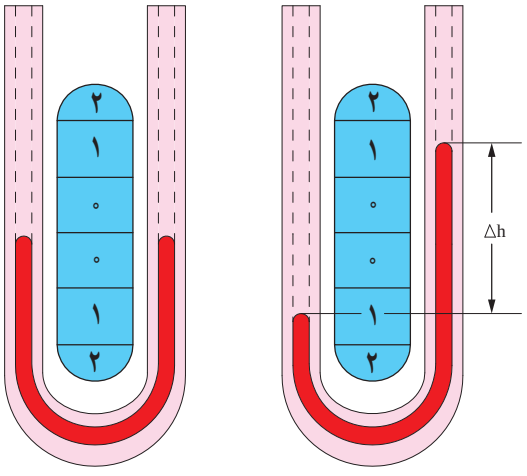
مانومتر U شکل[2]

ابزارهای زیادی برای اندازه‌گیری فشار سیالات با استفاده از ستون مایع به‌کار می‌روند. یک نوع از این فشارسنج‌ها، مانومترهای U شکل می‌باشند. معمولاً این نمونه از مانومترها، لولهٔ شیشه‌ای، U شکلی است که توسط جیوه و یا یک مایع با فرّاریت کم که به مایع مانومتری معروف است، پر شده باشد. اختلاف فشار از ارتفاع ستون مایع طبق معادلهٔ (۶) زیر محاسبه می‌گردد.

$$K\Delta P = dg\Delta h$$ معادلهٔ (۶)

Δh اختلاف ارتفاع مایع در دو ستون است که از روی یک خط‌کش درجه‌بندی شده خوانده می‌شود (شکل ۱۱).

انتخاب مایع مانومتر به اندازهٔ فشار مورد اندازه‌گیری بستگی دارد. الکل، جیوه و آب از متداول‌ترین مایعات مانومتری می‌باشند. چون چگالی سیال مانومتر وابسته به دما می‌باشد و شتاب جاذبهٔ زمین در نقاط مختلف متفاوت است، دقت این وسایل وابسته به مکان و دما است.



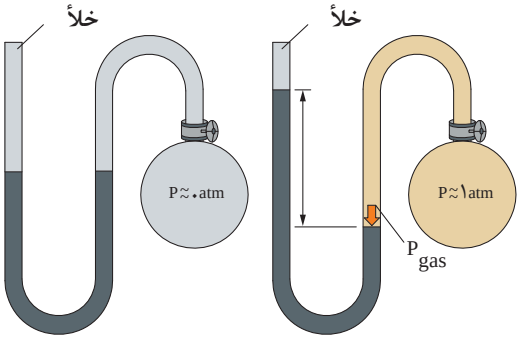
شکل ۱۱ـ مانومتر U شکل، در قسمت الف) فشار در هر دو شاخه یکسان است و در قسمت ب) فشار در شاخهٔ چپ بیشتر از شاخهٔ سمت راست است.

۱- دبی حجمی: میزان حجم سیال عبوری در واحد زمان می‌باشد که یکای آن در سامانهٔ SI بر حسب مترمکعب بر ثانیه است.

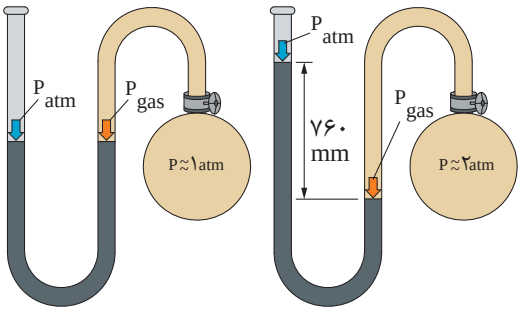
۲ـ U Type Manometer

در شکل ۱۲ مانومتر با انتهای بسته مشاهده می‌گردد که در بالای شاخهٔ سمت چپ خلأ برقرار است. زمانی که حباب سمت راست حاوی هیچ گازی نباشد و درون آن نزدیک به خلأ باشد، ارتفاع ستون جیوه در دو طرف لوله یکسان است و چنانچه در این حباب گازی با فشار یک اتمسفر وارد کنیم، ارتفاع جیوه در ستون‌ها تغییر خواهد کرد. اختلاف بین ارتفاع این دو ستون برابر با فشارمطلق گاز بر حسب طول ستون سیال به کار رفته در مانومتر خواهد بود (فشار مطلق).

در شکل ۱۳، لولهٔ سمت چپ مانومتر باز بوده و در معرض فشار محیط قرار دارد و فشار نسبی گاز را نشان می‌دهد. چنانچه حباب گازی دارای فشار یک اتمسفر باشد و فشار محیط نیز استاندارد و معادل یک اتمسفر، ارتفاع ستون جیوه در هر دو شاخه برابر خواهد بود. در صورتی که فشار گاز درون حباب از فشار محیط بیشتر شود، جیوهٔ درون شاخه سمت راست لولهٔ U شکل جابه‌جا شده و اختلاف فشار بین محیط و حباب به‌صورت اختلاف در طول ستون جیوه نمایان می‌گردد. در این حالت فشار مطلق گاز، برابر مجموع فشار ناشی از اختلاف ارتفاع ستون‌های جیوه و فشار محیط می‌باشد.



شکل ۱۲ــ مانومتر با انتهای بسته (فشار مطلق)



شکل ۱۳ــ مانومتر با انتهای باز (فشار نسبی)

پرسش

اگر فشار درون حباب شکل ۱۳ کمتر از فشار محیط (خلأ) باشد، اختلاف ارتفاع ستون‌های جیوه چگونه خواهد بود. در این صورت فشار مطلق گاز چگونه محاسبه می‌گردد؟

تمرین

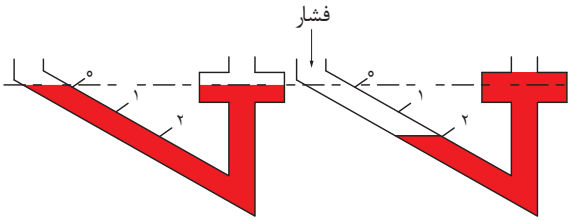
۱ قرار است با یک مانومتر با انتهای بسته فشار گازی را اندازه‌گیری کنید که بین ۰ تا ۰/۲ اتمسفر در نوسان است. به دلیل سمّی بودن جیوه تصمیم داریم از آب به جای جیوه درون مانومتر استفاده کنیم. برای آب به چه طولی از ستون نیازمندیم؟ در ۲۵ درجهٔ سلسیوس چگالی آب $0/9970\ g/cm^3$ و چگالی جیوه $13/53\ g/cm^3$ می‌باشد.

۲ فرض کنید برای اندازه‌گیری فشاری معادل یک اتمسفر توسط مانومتر U شکل به جای جیوه در مکانی که دمای آن ۳۰ درجهٔ سلسیوس است از گالیوم با نقطهٔ ذوب $29/76^\circ C$ استفاده کنیم. چگالی گالیوم در برابر با $6/114\ g/cm^3$ است. در این حالت، به چه طولی از ستون مانومتر نیازمندیم؟

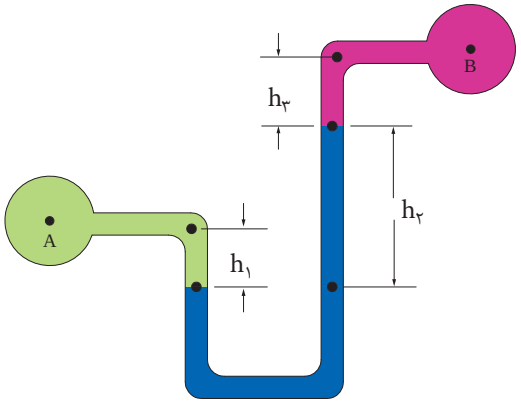
نکته

هنگام انتخاب مانومتر دقت کنید که بیشترین مقدار فشار فرایند، ۷۰ درصد فشار نهایی قابل اندازه‌گیری توسط مانومتر باشد. مثلاً برای فرایندی که بیشترین فشار آن ۷۰ بار است، از مانومتری استفاده می‌گردد که تا ۱۰۰ بار را بتواند اندازه‌گیری کند.

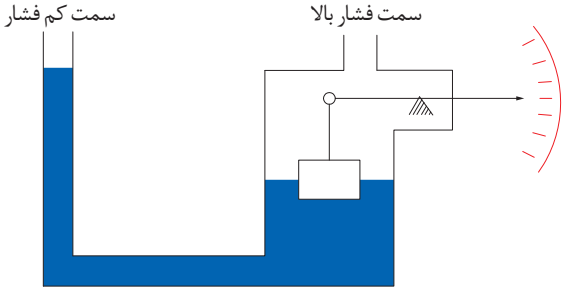
انواع دیگر مانومترهای ستون مایع، مانومتر با لولهٔ مورب[۱]، مانومتر با چند مایع مانومتری[۲]، مانومترهای نوع شناور[۳] می‌باشند (شکل‌های ۱۶ـ۱۴).



شکل ۱۴ـ مانومتر با لولهٔ مورب



شکل ۱۵ـ مانومتر با چند مایع مانومتری



شکل ۱۶ـ مانومتر نوع شناور

۱ـ Inclined- Tube Manometer

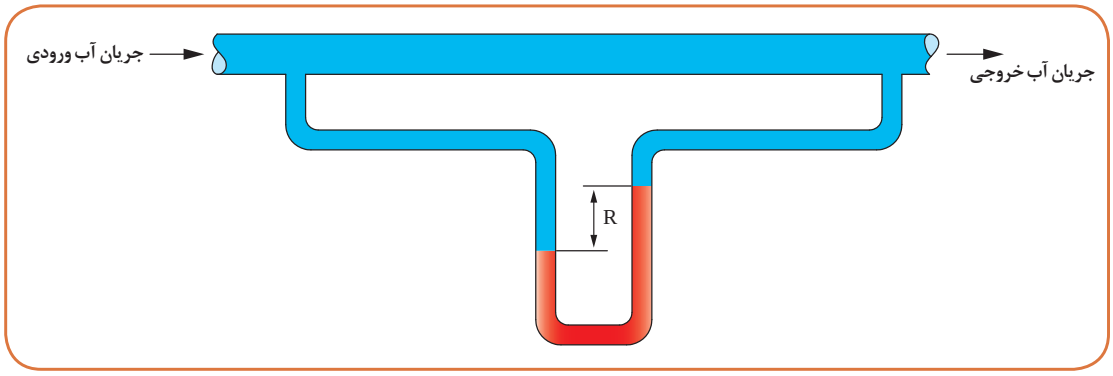
۲ـ Multiple Liquid Manometer

۳ـ Float- type Manometer

فعالیت‌عملی

ساخت مانومتر U شکل

مطابق شکل ۱۷ و با استفاده از انواع لوله‌های شیشه‌ای و پلیمری، یک مانومتر U شکل مدرج متصل به خط لولهٔ آب بسازید. آیا می‌توانید توسط مانومتر ساخته شده اختلاف فشار آب را تا فاصله یک متری اندازه‌گیری کنید؟



شکل ۱۷ــ یک نمونه مانومتر U شکل

فعالیت‌عملی

استفاده از مانومتر U شکل برای اندازه‌گیری فشار ستون مایع

روش کار:

با استفاده از یک لولهٔ پلیمری و نوارهای کاغذی، یک مانومتر U شکل مدرج آماده کنید. مطابق شکل ۱۸ وسایل آزمایش را سوار کنید.

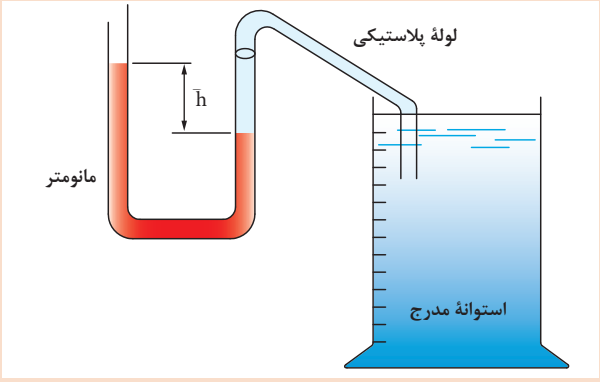
الف) ارتفاع استوانهٔ مدرج را از بالا تا پایین بر حسب سانتی‌متر درجه‌بندی کنید.

ب) استوانه را تا نقطهٔ صفر درجه‌بندی شده از آب پر نمایید.

ج) جدولی مطابق جدول صفحهٔ بعد رسم کرده و با فرو بردن نوک لولهٔ پلاستیکی درون استوانه، در ارتفاع‌های مختلف اطلاعات خواسته‌شده را تکمیل کنید.

د) نمودار تغییرات فشار (P) را بر حسب ارتفاع ستون مایع (h) رسم کنید.

ه) از این نمودار چه نتیجه‌ای می‌گیرید؟



شکل ۱۸ــ استفاده از مانومتر U شکل برای اندازه‌گیری فشار ستون مایع

ردیف	ارتفاع ستون مایع h		اختلاف ارتفاع ستون مایع مانومتری		فشار P
	cm	m	cm	m	Pa
۱	۰	۰	۰	۰	۰
۲	۱۰	۰/۱			
۳	۲۰				
۴	۳۰				
۵	۴۰				
۶	۵۰				
۷	۶۰				

ــ ترازوی فشار

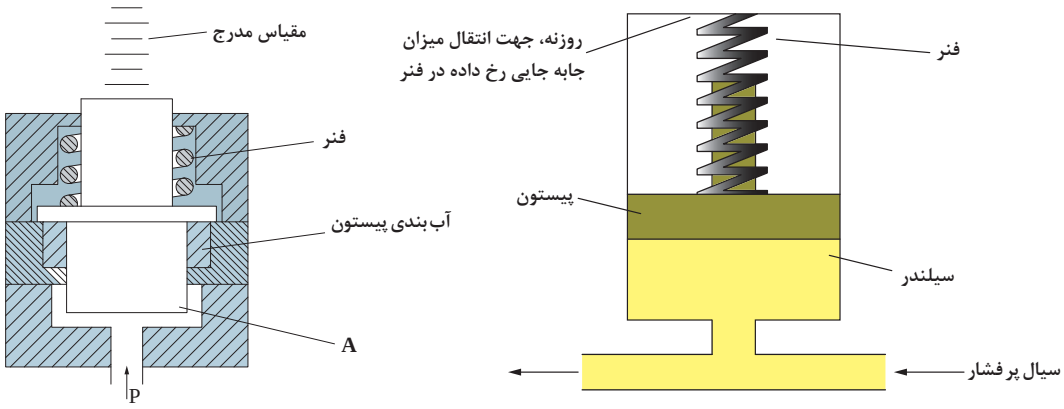
وسایل دیگری مانند ترازوهای فشار[۱] وجود دارند که از فرمول $\Delta P = d.g.\Delta h$ برای اندازه‌گیری مستقیم فشار استفاده می‌کنند (شکل ۱۹).

شکل ۱۹ــ ترازوی فشار

فشارسنج پیستونی[۲]: از این وسایل به روش مستقیم و از معادلهٔ اساسی فشار استفاده می‌کنند (P=F/A). در این وسایل فشار، بر سطح مشخص A یک پیستون آب‌بندی‌شدهٔ وارد می‌شود و تولید نیروی F می‌نماید. این نیرو باعث جمع‌شدن یک فنر می‌گردد که میزان جابه‌جایی فنر تابعی از فشار می‌باشد و می‌توان آن را روی یک مقیاس مدّرج مشاهده نمود (شکل ۲۰). دامنهٔ اندازه‌گیری این وسیله ۱۵ تا ۱۵۰۰۰ psi و با دقت بین ۱ تا ۵ درصد است.

۱ـ Pressure Balances

۲ـ Piston type Pressure Measuring Istrument



شکل ۲۰ـ مانومتر نوع پیستونی

فیلم شماره ۸: مانومتر U شکل

تجهیزات اندازه‌گیری غیرمستقیم فشار[۱]

در این روش‌ها از تأثیر فشار بر یک مادهٔ انعطاف‌پذیر و تغییر شکل آن و یا تغییر در خواص الکتریکی، مغناطیسی، نوری و یا شیمیایی مواد در اثر فشار استفاده می‌گردد. فشارسنج بوردون[۲] متداول‌ترین نوع فشارسنج از این دسته است. در ادامه انواع فشارسنج بوردون توضیح داده می‌شود.

لولهٔ بوردون[۳]: لولهٔ بوردون از یک لولهٔ خمیده عمدتاً از جنس فلز و با قابلیت ارتجاعی تشکیل شده است. این لوله از یک طرف مسدود و از طرف دیگر آزاد می‌باشد. فشار ورودی از سر باز لوله وارد می‌شود و سر مسدود به نسبت فشار وارده به سمت خارج از شعاع منحرف می‌گردد. این انحراف با انجام تنظیمات می‌تواند به عنوان مرجع اندازه‌گیری فشار مورد استفاده قرار گیرد. با انتقال این حرکت به یک عقربه، می‌توان فشار را اندازه‌گیری نمود. جنس لولهٔ بوردون وابسته به نوع سیال و دامنهٔ فشار مورد اندازه‌گیری می‌باشد. جدول ۳ جنس مناسب لولهٔ بوردون سازگار با انواع سیالات را نشان می‌دهد.

جدول ۳ـ جنس مناسب لولهٔ بوردون برای فرایندها و فشارهای مختلف

سیال	جنس لولهٔ بوردون	دامنهٔ فشار (psi)
آب و هوا	آلیاژ فسفر برنز	۱۰۰۰
فراورده‌های نفتی	انواع فولاد	۳۰۰۰
محصولات خورنده و یا دارای فشار بخار زیاد	فولاد ضد زنگ	۸۰۰

۱- Indirect- Measuring Pressure Instruments
۲- Burdon Guage
۳- Burdon Tube

انواع لولهٔ بوردون

۱ـ حسگر C شکل[۱]: این نوع حسگر برای فشارهای نسبتاً پایین مناسب است. همان‌طور که در شکل ۲۱ مشاهده می‌کنید با وارد شدن فشار به یک لولهٔ C شکل، سر دیگر به سمت بیرون منحرف می‌شود. این حرکت توسط یک اهرم که انتهای آن به یک چرخ دندهٔ قطاعی متصل شده، منتقل می‌گردد. چرخ دندهٔ قطاعی با یک چرخ دندهٔ کوچک‌تر درگیر شده که عقربه را می‌چرخاند. در نتیجه با واردشدن فشار به فشارسنج، موقعیت عقربه در روی صفحه تغییر می‌کند و مقدار فشار را نشان می‌دهد. یک فنر پیچشی متصل به چرخ‌دندهٔ دوّار نیز کمک می‌کند تا با برداشته شدن فشار، عقربه به موقعیت قبلی بازگردد.

شکل ۲۱ـ نمای درونی و بیرونی فشارسنج بوردون از نوع C

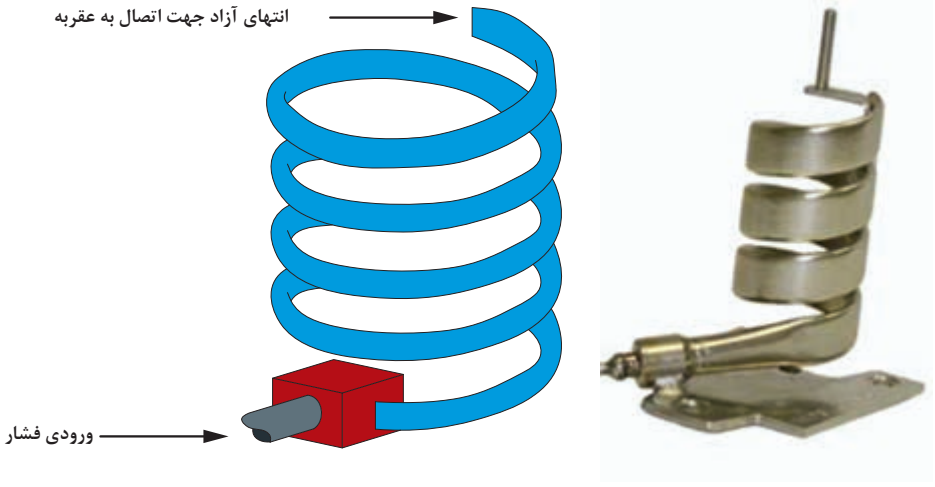
۲ـ حسگر نوع حلزونی[۲]: برای افزایش حساسیت و دقت در اندازه‌گیری فشارهای پایین، طول لولهٔ بوردون را افزایش می‌دهند. گاهی ممکن است طول لولهٔ بوردون به قدری زیاد شود که زاویهٔ آن از ۳۶۰ درجه هم بگذرد (شکل ۲۲)، یعنی لوله به‌صورت یک دایرهٔ کامل در آمده و از آن هم تجاوز کند. در این حالت لوله به شکل مارپیچ درخواهد آمد، اما سازوکار اندازه‌گیری فشار همانند لولهٔ C شکل می‌باشد.

۱ـ C Type Sensor

۲ـ Spirsl Sensor

شکل ۲۲ـ لوله بوردون از نوع حلزونی

۳ـ حسگر نوع حلقوی[1]: برای اندازه‌گیری فشارهای بالا تا ۱۰۰۰۰ پوند بر اینچ مربع از لولهٔ بوردون حلقوی استفاده می‌گردد. فشارسنج‌ها و ثبت‌کننده‌هایی که از لولهٔ بوردون نوع حلقوی و حلزونی استفاده می‌کنند، دارای اصطکاک کمتر و حساسیت زیادتری می‌باشند. در این نمونه نیز سازوکار انتقال حرکت به عقربه مانند انواع دیگر می‌باشد (شکل ۲۳).



شکل ۲۳ـ لولهٔ بوردون از نوع حلقوی

علاه بر فشارسنج‌های نوع بوردون، انواع دیگر فشارسنج که بر اساس تأثیر فشار بر یک مادهٔ انعطاف‌پذیر کار می‌کنند مانند فشارسنج دیافراگمی وجود دارند.

فیلم شماره ۹: فشارسنج بوردون
فیلم شماره ۱۰: ساخت فشارسنج بوردون

۱ـ Helical Sensor

تحقیق کنید

مقایسه‌ای بین مانومترها و فاشرسنج بوردون از نظر کاربرد انجام دهید.

فعالیت‌عملی

آشنایی با فشارسنج بوردون

روش کار: از یک فشارسنج بوردون و یک نوع کمپرسور هوا استفاده کنید. در صورت عدم دسترسی به کمپرسور، می‌توانید از لاستیک بادشدهٔ خودرو و یا تلمبهٔ دستی استفاده کنید.

الف) ابتدا فشارسنج را باز کنید و اجزای داخلی آن را مورد بررسی قرار دهید و با تکان دادن ملایم لولهٔ بوردون، سازوکار انتقال حرکت به عقربه را بررسی کنید.

ب) با اتصال فشارسنج به یک منبع پرفشار مانند کمپرسور و یا لاستیک خودرو، به شیوهٔ تغییر شکل لولهٔ بوردون و انتقال این حرکت به عقربه توجه کنید و مشاهدات خود را یادداشت کنید.

پرسش

اگر لولهٔ بوردونی که برای فشار ۱۰ بار طراحی گردیده است، در معرض فشار بالاتری قرار بگیرد، چه اتفاقی رخ خواهد داد؟

اندازه‌گیری الکتریکی فشار

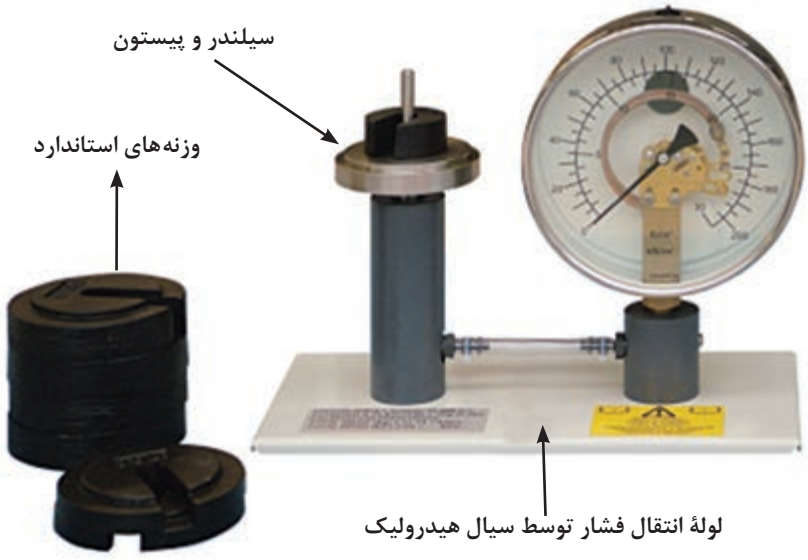
در اندازه‌گیرهای ارتجاعی مانند فشارسنج بوردون، معمولاً فشار اندازه‌گیری‌شده باید به کمیتی الکتریکی تبدیل شود. این امر استفاده از قطعات و اجزای اضافی و افزایش هزینه را به دنبال داشته و همچنین میزان خطا را افزایش می‌دهد. اندازه‌گیرهای الکتریکی فشار، فشار را مستقیماً به کمیتی الکتریکی مانند ولتاژ و یا شدت جریان الکتریکی تبدیل می‌نمایند و از این نظر صرفه‌جویی قابل ملاحظه‌ای در هزینه‌ها می‌شود و دقت اندازه‌گیری نیز افزایش می‌یابد. این ابزار بر اساس تغییر در مقاومت الکتریکی ناشی از فشار، ایجاد جریان الکتریکی، تغییر در ظرفیت یک خازن و ...، فشار را به یک موج الکتریکی قابل اندازه‌گیری تبدیل می‌کند. یک نمونه از اندازه‌گیری‌های الکتریکی فشار، انواع فشارسنج‌های دیجیتالی می‌باشد (شکل ۲۴).

شکل ۲۴ـ مانومتر دیجیتال قابل حمل و ثابت

تنظیم فشارسنج‌ها

تمامی وسایل اندازه‌گیری پس از مدتی، از دقت و حساسیت آنها کاسته می‌شود و باید دوباره تنظیم شوند. اصول تنظیم فشارسنج‌ها وابسته به نوع فشارسنج می‌باشد. در مورد فشارسنج‌های بوردون این کار بسیار ساده بوده و از قانون $P=F/A$ استفاده می‌شود. این روش به روش بار مرده[1] معروف است (شکل ۲۵).

در این روش، یک وزنه با جرم معلوم روی یک پیستون آب‌بندی‌شده با سطح مقطع ثابت قرار می‌گیرد. نیروی وزن وزنه تقسیم بر مساحت پیستون فشاری ایجاد می‌کند که میزان آن از معادلهٔ اساسی فشار معلوم است این فشار توسط یک سیال هیدرولیک به فشارسنج منتقل می‌گردد. اگر فشارسنج عدد صحیح را نشان بدهد، تنظیم (کالیبره) است و در غیر این صورت تنظیم می‌شود.



شکل ۲۵ـ سامانهٔ تنظیم فشارسنج بوردون به روش بار مرده

تنظیم‌کننده‌های فشار[2]

هوای فشرده، گازهای صنعتی، گاز شهری و انواع دیگر گازها، توسط سیلندرهای فلزی و کامپوزیتی و یا خطوط لوله منتقل می‌شوند. جهت ایجاد نیروی محرکه در خط لوله‌های گاز و غلبه بر افت فشار در طول مسیر و نیز جهت ذخیره‌سازی بیشتر گاز در سیلندرها و خطوط لوله، آنها را تحت فشار ذخیره و منتقل می‌کنند. به‌عنوان مثال گاز طبیعی موجود در خط لوله‌های گاز بین شهرها تا ۶۰۰ psi فشار دارد.

۱ـ Dead Weight Method

۲ـ Pressure Regulators

اما مصرف‌کننده‌های گاز نیاز به فشارهای پایین‌تری در حد ۰/۲۵psi دارند. کاهش فشار زیاد به فشار مناسب توسط تنظیم‌کننده‌های فشار یا رگولاتورها صورت می‌پذیرد.

متغیرهای زیادی در انتخاب یک رگولاتور مناسب نقش دارند که شامل دامنهٔ فشار عملیاتی ورودی و خروجی، شدت جریان موردنیاز، نوع و مشخصات سیال (گاز یا مایع بودن و یا سمّی و خورنده بودن)، دمای عملیاتی و... می‌باشد. معمولاً جنس رگولاتورها از انواع کامپوزیت،برنج، آلومینیوم و فولادهای ضدزنگ است.

انتخاب رگولاتور مناسب بر چهار اصل استوار است که عبارت‌اند از:

ـ طرّاحی مناسب و جنس متناسب با گاز موردنظر

ـ دامنهٔ فشار کپسول و فشار موردنیاز

ـ دامنهٔ دقت اندازه‌گیری

ـ شدت جریان گاز

رگولاتورهای گازی دارای فشارها و کاربردهای مختلفی هستند (شکل‌های ۲۶ تا ۲۸). برخی مانند رگولاتورهای گاز شهری در مواقعی که فشار خط لوله کم می‌شود، جریان گاز را برای مصرف‌کننده قطع می‌کنند.

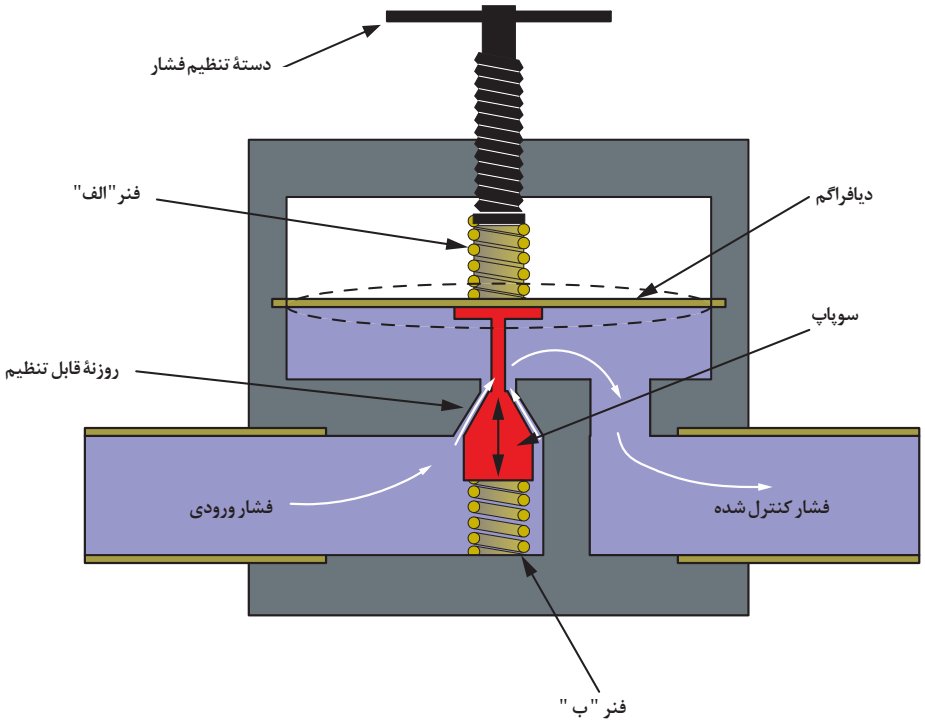
شکل ۲۶ـ رگولاتور گاز شهری

شکل ۲۷ـ رگولاتور گازهای صنعتی

شکل ۲۸ـ رگولاتور گاز مایع

شیر فشارشکن[1]

شیرهای فشارشکن، گونه‌ای از شیرهای صنعتی می‌باشند که جهت تنظیم، کاهش و ثابت نگه داشتن فشار خروجی سیالاتی مانند بخار، آب و گازهای صنعتی در خطوط انتقال، شبکه و توزیع مواد خام مورد استفاده قرار می‌گیرند. یک نوع از شیرهای فشارشکن با عملکرد مستقیم[2] در شکل ۲۹ نشان داده شده است.



شکل ۲۹ـ طرح ساده‌ای از یک شیر فشارشکن با عملکرد مستقیم

طرز کار شیر فشارشکن با عملکرد مستقیم به این صورت است که با چرخاندن دستهٔ تنظیم فشار در جهت عقربهٔ ساعت، فنر «الف» به دیافراگم نیرو وارد می‌کند، این نیرو به سوپاپ وارد می‌شود و سوپاپ، علاوه بر کنار رفتن و باز کردن مسیر سیال، فنر «ب» را فشرده می‌کند. چنانچه فشار سیال ورودی به هر دلیلی افزایش یابد، در اثر نیروی ایجاد شده ناشی از افزایش فشار، نیروی وارده به دیافراگم افزایش پیدا می‌کند و فنر «الف» را فشرده می‌کند و سپس فنر «ب» سوپاپ را به بالا می‌راند و مسیر عبور سیال را محدود می‌کند تا زمانی که فشار سیال ورودی آن‌قدر کم شود که نیروی وارده به دیافراگم و نیروی فنر «الف» برابر شوند.

فیلم شمارهٔ ۱۱ و ۱۲: شیر فشارشکن

۱ـ Pressure Reducing Valve

۲ـ Direct Acting Pressure Reducing Valve

تجهیزات آرام‌سازی و کاهش فشار[1]

در واحدهای صنعتی ممکن است به دلایل گوناگون فشار سامانه از حد مجاز و یا حد قابل تحمّل طرّاحی‌شده، بیشتر شود، در این صورت احتمال نشتی سیال و انفجار سامانه وجود خواهد داشت. به همین دلیل سامانه‌های کنترل به‌طور دائم فشار را کنترل می‌کنند.

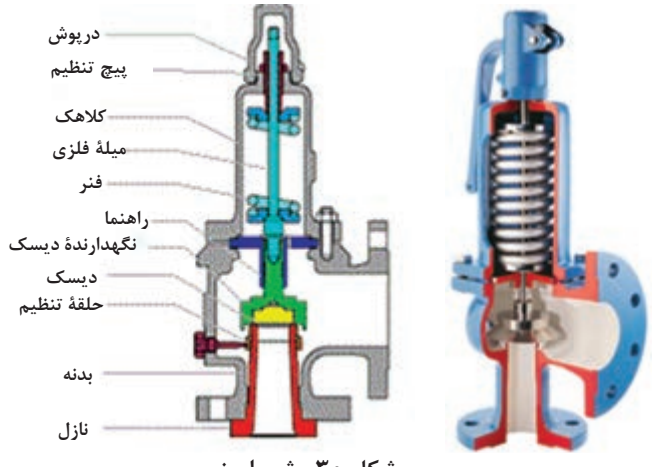
در صورت افزایش فشار و عدم توانایی سامانه‌های خودکار، سامانه‌های هشدار و ایمنی فعّال می‌شوند و کاربرها به‌صورت دستی برای کنترل فشار اقدام خواهند کرد. چنانچه هیچ‌کدام از این راه‌حل‌ها فشار را کنترل نکنند، تجهیزات آرام‌سازی و رهاسازی فشار به عنوان آخرین عنصر از زنجیرهٔ ایمنی سامانه، فشار اضافه را به بیرون هدایت می‌کنند.

امروزه در بازار انواع مختلف تجهیزات کاهش فشار وجود دارند که به دو دستهٔ بسته‌شونده[2] و غیر بسته‌شونده[3] تقسیم‌بندی می‌گردند. در ادامه توضیح مختصر این نوع تجهیزات آورده شده است.

الف) تجهیزات کاهش فشار بسته‌شونده

این وسایل به گونه‌ای طراحی شده‌اند که بتوانند پس از آزادکردن فشار اضافی، دوباره بسته شوند تا نه تنها مواد اضافی از سامانه خارج نشود بلکه سامانه بتواند به عملیات خود ادامه دهد. انواع این تجهیزات عبارت‌اند از:

۱ـ شیر ایمنی[4]: این وسیله در سامانه‌های بخار استفاده می‌شود و در اثر نیروی ناشی از افزایش فشار درون سامانه، باز می‌شود و با کاهش فشار، بسته می‌شود (شکل ۳۰).



شکل ۳۰ـ شیر ایمنی

این شیر از قسمت نازل به بدنهٔ سامانهٔ تحت فشار متصل می‌گردد، با برداشتن درپوش و با محکم‌کردن پیچ تنظیم، می‌توان دامنهٔ عملکرد فشاری شیر ایمنی را بالا برد تا در فشار بالاتری عمل کند. بسته‌شدن این پیچ باعث می‌گردد، فنر تحت فشار جمع شود و نیروی بیشتری روی دیسک وارد کند. چنانچه فشار سامانه از حدی که تنظیم گردیده است بالاتر رود، فشار وارده به دیسک، نیرویی ایجاد می‌کند که بر نیروی فنر غلبه می‌نماید و دیسک به عقب رانده شده و مسیر خروج بخار باز می‌شود.

۱ـ Pressure Relief Devices

۲ـ Reclosing Pressure Relief Devices

۳ـ Non- Reclosing Pressure Relief Devices

۴ـ Safety Valve

با تخلیهٔ بخارات، فشار سامانه کاهش می‌یابد و نیروی وارده به دیسک کمتر می‌شود و زمانی که فشار کمتر از نیروی فنر شود، دیسک به جای خود باز می‌گردد و مسیر را مسدود می‌کند.

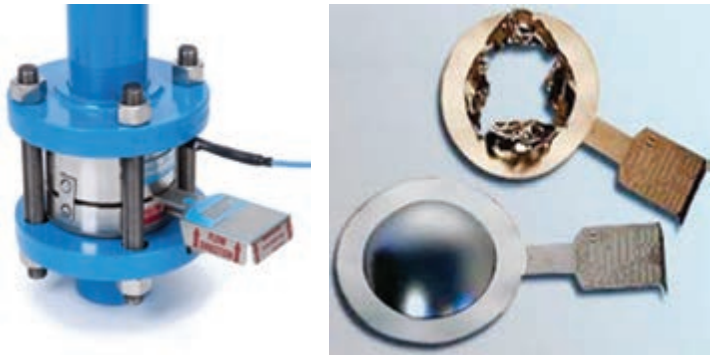
۲ـ شیر رهاسازی[۱]: این شیر برای سامانه‌های تحت فشار حاوی مایعات مورد استفاده قرار می‌گیرد. این نمونه از شیر از دید ظاهری و عملکرد مشابه شیر ایمنی می‌باشد ولی برای سامانه‌های مایع طراحی شده است (شکل ۳۱). مشابه این شیر را می‌توانید بالای مخازن آبگرمکن‌های مخزنی مشاهده کنید.

شکل ۳۱ـ نمای بیرونی و درونی شیر رهاسازی

۳ـ شیر ایمنی اطمینان[۲]: عملکرد این نوع شیر هم مانند دو مورد قبلی می‌باشد و تنها تفاوت آن در این است که به گونه‌ای طراحی شده است که در سامانه‌های مایع و بخار نیز قابلیت استفاده دارد.

ب) تجهیزات کاهش فشار غیر بسته‌شونده

اگر شیرهای ایمنی و اطمینان به هر دلیلی عمل نکنند، آخرین عضو سامانهٔ ایمنی وارد عمل می‌شود و با باز کردن یک مسیر خروجی، مواد اضافه را به بیرون از سامانه هدایت می‌کند. این نمونه پس از عمل کردن بسته نمی‌شود. یک نمونه از این سامانه‌ها دیسک پاره‌شونده یا دیسک‌انفجاری[۳] می‌باشد (شکل ۳۲).



شکل ۳۲ـ دیسک انفجاری قبل و بعد از پاره‌شدن و چگونگی نصب آن

این دیسک‌ها در هنگام افزایش فشار مخزن پاره شده و فشار درون مخزن را آزاد می‌کنند و سامانه را از ترکیدن و یا آتش‌سوزی محافظت می‌کنند. این دیسک‌ها پس از پاره‌شدن قابلیت استفاده ندارند و باید تعویض گردند.

نمونهٔ دیگری از این تجهیزات «مجرای ذوب‌شدنی»[۴] می باشد. این مجرا یک قطعهٔ فلزی سوراخ‌دار است که سوراخ‌های آن توسط یک آلیاژ فلزی از سرب، بیسموت، آنتیموان و قلع با نقطهٔ ذوب معین پر شده است. در صورت بالا رفتن دمای سامانه‌های تحت فشار، این آلیاژ ذوب می‌شود و مسیر را برای خروج فشار اضافه باز می‌کند (شکل ۳۳).

۱ـ Relief Valves ۲ـ Safety Relief Valves ۳ـ Rupture Disc ۴ـ Fusible Plug

شکل ۳۳ـ مجرای ذوب شدنی روی شانه یک سیلندر گاز تحت فشار و یک مجرای ذوب‌شدنی مجزا قبل از نصب

فیلم شماره ۱۳: دیسک انفجاری

پرسش

آیا بدون اندازه‌گیری و کنترل فشار می‌توان محصولات مختلف را در صنایع شیمیایی تولید کرد؟

اتاق فرمان[1]

در اتاق فرمان، متخصصین فرایند، بر کلیهٔ تحولات، نظارت دقیق دارند و در صورت لزوم فرمان‌های دستی یا خودکار را صادر می‌کنند (شکل ۳۴). در حالت عادی، فرایند به صورت خودکار کنترل می‌شود و محصولات به صورت ایمن و با ملاحظات زیست‌محیطی و با کیفیّت و کمیّت مورد نظر تولید می‌گردند.

شکل ۳۴ـ اتاق فرمان موجود در پالایشگاه گاز

۱ـ Control Room

در اتاق‌های فرمان علاوه بر کنترل فرایند، کلیهٔ اتفاقات فرایندی توسط نشانگرها[1] نمایش داده و ثبت می‌گردند. نشانگرها برای نمایش مقدار عددی یک متغیر در تابلو کنترل و یا اتاق فرمان مورد استفاده قرار می‌گیرند. در اتاق‌های فرمان امروزی، مشاهده و ثبت متغیرهای فرایندی نظیر دما و فشار توسط سامانه‌های رایانه‌ای صورت می‌پذیرد و به‌راحتی می‌توان به اطلاعات آنی و یا ذخیره‌شده دسترسی داشت.

فیلم شماره۱۴: اتاق فرمان

نشانگرها

یکی از اجزای مهم سامانهٔ کنترل یا همان ابزار دقیق، نشان‌دادن متغیرهای اندازه‌گیری به‌گونه‌ای است که کاربران به سادگی به آن دسترسی داشته باشند. نشانگرها دو دسته‌اند: نشانگر آنالوگ و نشانگر دیجیتال.

نشانگر آنالوگ: این نشانگرها مقدار خوانده‌شده متغیر را به یک قلم که بر روی یک صفحهٔ شطرنجی در حال حرکت است، منتقل می‌کنند. نشانگرهای آنالوگ معمولاً عقربه‌ای دارند که روی یک صفحهٔ مقیاس کالیبره‌شده حرکت می‌کند. به‌عنوان مثال در فشارسنج نوع بوردون نشانگر یا همان عقربه عدد فشار را روی یک مقیاس مدوّر که همان صفحهٔ فشارسنج است، نشان می‌دهد.

نشانگر دیجیتال: در نوع دیجیتال مقدار خوانده‌شده به شکل عدد، یا موج مغناطیسی و یا نقطه‌ای که روی کاغذهای حرارتی شکل می‌گیرند، ثبت می‌شوند.

ثبات‌ها[2]

برای ثبت اندازه‌گیری‌ها از ثبات استفاده می‌شود. ثبات زمانی استفاده می‌گردد که نیاز به دانستن و داشتن جزییات تغییرات در طول زمان می‌باشد. ثبات‌ها انواع گوناگونی دارند که عبارت‌اند از:

شکل ۳۵ـ دو نوع ثبات کاغذی

ثبات‌های کاغذی[3]: این ثبات‌ها دارای کاغذ می‌باشند و متغیرهای فرایندی نظیر فشار را بر حسب زمان روی کاغذ ثبت می‌کنند (شکل ۳۵). کاغذ ثبات با سرعت معلوم حرکت می‌کند و یک قلم، تغییرات متغیرهای مورد نظر را روی کاغذ ثبت می‌کند و کاربر می‌تواند با رجوع به آن، تاریخچه‌ای از زمان وقوع رخدادها را داشته باشد. به‌علاوه این اتفاقات ثبت‌شده را می‌توان بایگانی نمود. برخی از این نوع ثبات‌ها تا ۱۶ عدد قلم برای ثبت ۱۶ متغیر هم‌زمان را دارا هستند.

ثبات‌های بدون کاغذ

این نمونه‌ها نسل جدیدی از ثبات‌ها می‌باشند که نیاز به کاغذ و قلم در آنها به کمک فناوری‌های جدید از بین رفته است. این ثبات‌ها دارای صفحهٔ نمایش، قابلیت اتصال به اینترنت، ارسال داده‌ها و... می‌باشند (شکل ۳۶).

شکل ۳۶ـ یک نوع ثبات جدید

۱ـ Indicators ۲ـ Recorders ۳ـ Pen Recorder

فعالیت‌عملی

کنترل فشار:

روش کار:

برای انجام این فعالیت از یک اتوکلاو یا یک دیگ زودپز مجهز به فشارسنج، مطابق شکل ۳۷ استفاده کنید.

الف) حدود $\frac{۱}{۵}$ از مخزن را از آب پر نموده و درب مخزن را مطابق دفترچهٔ راهنمای آن ببندید.

ب) اتوکلاو را روشن کنید تا آب درون مخزن شروع به گرم‌شدن کند.

پ) در طول فعالیت، جدول زیر را با دقت پر نمایید.

ت) فعالیت را ادامه دهید تا شیر اطمینان عمل کرده و بخارات اضافی را خارج کند.

ث) بگذارید آزمایش ۳ـ۲ دقیقه دیگر هم ادامه یابد.

ج) نمودار تغییرات دما برحسب زمان را رسم نمایید.

چ) نمودار تغییرات فشار برحسب زمان را رسم کنید.

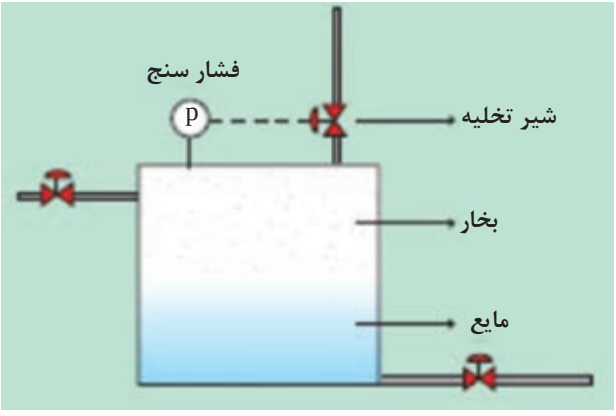
ح) نمودار تغییرات فشار بر حسب دما را رسم نمایید.

خ) در چه زمانی شیر اطمینان عمل کرد؟

نکته

در هنگام کار کردن با اتوکلاو و دیگ زودپز، مراقب نشتی‌ها باشید و سامانه را کاملاً آب‌بندی نمایید.

ردیف	فشار (Pa)	دما (°C)	زمان (s)	
۱	۰	۲۰	۰	۰
۲				
۳				
۴				زمان عملکرد شیر اطمینان
۵				



شکل ۳۷ـ سامانهٔ کنترل فشار مخزن

ارزشیابی شایستگی اندازه‌گیری، ثبت و کنترل فشار

شرح کار:
چگونگی استفاده از تجهیزات کارگاهی را بداند و کار داده‌شده را با دقت انجام دهد.
هنگام کار مراقب باشد که دستگاه صدمه نبیند.
پس از انجام کار وسایل را تمیز و سالم در حالت اولیه قرار دهد.

استاندارد عملکرد:
به‌کارگیری محاسبات و اندازه‌گیری فشار و کنترل آن مطابق دستور کار

شاخص‌ها:
ـ رعایت مسائل ایمنی هنگام کار
ـ انجام کار طبق دستور کار

شرایط انجام کار و ابزار و تجهیزات:
شرایط مکان: کارگاه
شرایط دستگاه: آماده به‌کار
زمان: یک جلسهٔ آموزشی
ابزار و تجهیزات: تعدادی مکعب مستطیل فلزی، چوبی و پلیمری ـ ترازو ـ مانومتر ـ مانومتر Uشکل ـ فشارسنج بوردون ـ استوانهٔ مدرج ـ یک نوع کمپروسر هوا یا تلمبهٔ دستی ـ اتوکلا و یا دیگ زودپز مجهز به فشارسنج

معیار شایستگی:

ردیف	مرحله کار	کمترین نمرهٔ قبولی از ۳	نمرهٔ هنرجو
۱	به‌کارگیری مفاهیم و محاسبات در اندازه‌گیری فشار	۱	
۲	انجام اندازه‌گیری فشار با روش‌های مختلف	۲	
۳	کنترل فشار	۱	
	شایستگی‌های غیرفنی، ایمنی، بهداشت، توجهات زیست‌محیطی و نگرش **۱ـ ایمنی: انجام کار کارگاهی با رعایت موارد ایمنی و استفاده از وسایل ایمنی شخصی** **۲ـ نگرش: صرفه‌جویی در مواد مصرفی** **۳ـ توجهات زیست‌محیطی: جلوگیری از صدمه زدن به محیط‌زیست از طریق انجام کار بدون ریخت و پاش** **۴ـ شایستگی‌های غیرفنی: الف) اخلاق حرفه‌ای ب) مدیریت منابع پ) محاسبه و کاربست ریاضی** **۵ـ مستندسازی: گزارش‌نویسی**	۲	
میانگین نمرات			*

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

پودمان ۴

اندازه‌گیری، ثبت و کنترل دبی

تجهیزات اندازه‌گیری جریان سیالات نظیر اریفیس‌متر، روتامتر و ونتوری‌متر، از مهم‌ترین وسایل اندازه‌گیری، طراحی و امور راهبردی صنایع شیمیایی است.

واحد یادگیری ۴

انجام ثبت مشخصات و کنترل دبی

مقدمه

مبنای همه فناوری‌ها و رشته‌های علمی و صنعتی بشر امروز، اندازه‌گیری صحیح کمیّت‌ها می‌باشد. یکی از مهم‌ترین کمیّت‌ها دبی می‌باشد. اندازه‌گیری دبی در صنایع شیمیایی توسط تجهیزاتی به نام دبی‌سنج انجام می‌شود. میزان دقیق مواد ورودی و خروجی فرایندها، توسط دبی‌سنج‌ها صورت می‌گیرد. این پودمان کتاب به اهمیّت به کارگیری محاسبات در اندازه‌گیری دبی جریان مایعات و گازها، انواع و شیوهٔ کار با آنها و کنترل دبی سیالات می‌پردازد. سپس با انجام آزمایش و بازدیدهای علمی، طرز عملکرد هر یک را بهتر درک خواهید کرد.

استاندارد عملکرد

به کارگیری محاسبات و اندازه‌گیری شدت جریان (دبی) مایعات و گازها، کنترل دبی سیال مطابق دستور کار

شایستگی‌های غیر فنی

۱ **اخلاق حرفه‌ای:** حضور منظم و وقت‌شناسی ـ انجام وظایف و کارهای محوله ـ پیروی از قوانین
۲ **مدیریت منابع:** شروع به کار به موقع ـ مدیریت مؤثر زمان ـ استفاده از مواد و تجهیزات
۳ **کار گروهی:** حضوری فعّال در فعالیت‌های گروهی ـ انجام کارها و وظایف محوله
۴ **مستندسازی:** گزارش نویسی فعالیت‌های کارگاهی
۵ **محاسبه و کاربست ریاضی**

پس از اتمام این واحد یادگیری هنرجویان قادر خواهند بود

۱ مفاهیم و محاسبات در اندازه‌گیری دبی سیال را به‌کار گیرند.
۲ اندازه‌گیری دبی مایعات را انجام دهند.
۳ اندازه‌گیری دبی گازها را انجام دهند.
۴ دبی سیال را کنترل نمایند.

اندازه‌گیری مقدار سیالات

بحث گروهی

آیا این مکان را می‌شناسید؟ آیا می‌دانید که این دستگاه چیست؟

(الف)

(ب)

بشر با اندازه‌گیری بسیاری از کمیّت‌ها، توانسته است در ادارهٔ امور زندگی خود نظم و ترتیب برقرار کند که نتیجهٔ آن پیشرفت در زمینه‌های مادی، مالی، علمی، فنی و به دنبال آنها در زمینه‌های اجتماعی و اقتصادی است. نیاز بشر به زندگی در اجتماع و بیشتر شدن خواسته‌های او پیوسته، اهمیّت این کار را بیشتر می‌کند. بنابراین، ضروری است که به «اندازه‌گیری» و نقش آن در صنایع شیمیایی نگاهی دقیق‌تر داشته باشیم.

یکی از عوامل پیشرفت بشر «کمّی کردن» و «اندازه‌گیری» موضوعات مطرح در زندگی روزانهٔ او بوده است.

شدت جریان (دبی[1])

چند تعریف

■ سیال:

سیال به جسمی گفته می‌شود که بتواند جاری شود و تحت تأثیر نیروهای کوچک، تغییر شکل قابل ملاحظه‌ای داشته باشد.

■ گرانروی

خاصیتی است که سبب مقاومت سیال در برابر جریان یافتن می‌شود. به بیان دیگر، گرانروی به اصطکاک داخلی مولکول‌های سیال با یک‌دیگر گفته می‌شود.

۱ - Flow Rate

دبی یا شدت جریان سیال

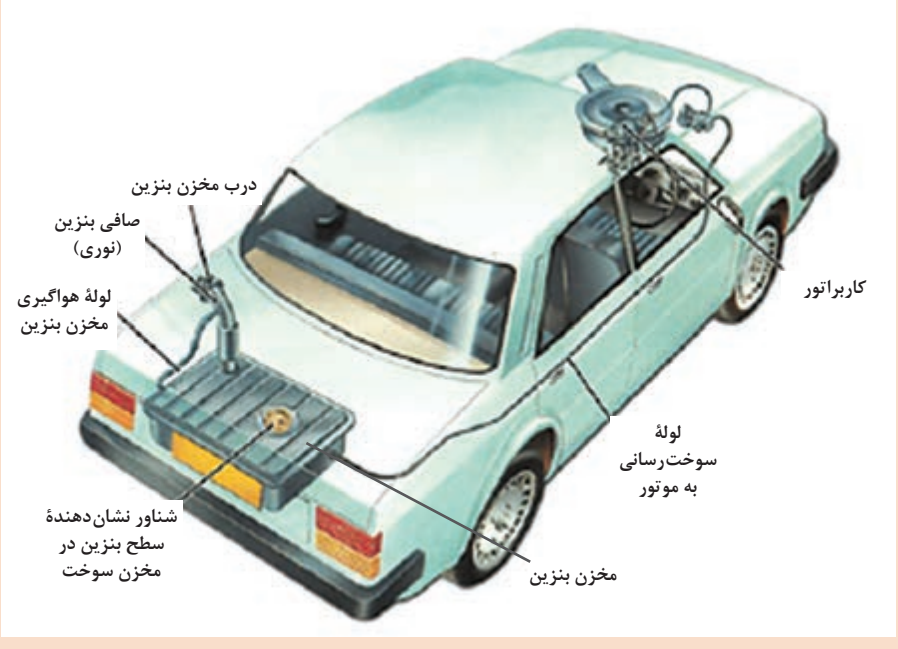
دبی، به مقدار سیال عبوری از یک سطح مقطع مشخص در واحد زمان گفته می‌شود. اگر مقدار سیال براساس جرم باشد، به آن دبی جرمی و اگر براساس حجم باشد، دبی حجمی گویند.

دبی یک کمیّت فیزیکی است که نتیجهٔ جاری شدن سیال می‌باشد. جریان‌پذیری از جمله خواص ذاتی سیال‌ها و تفاوت آنها با جامدات به شمار می‌رود. این خاصیت سبب آسانی انتقال آنها از محلی به محل دیگر می‌باشد. در بسیاری از صنایع و کاربردهای فنی، دانستن میزان دقیق یک جریان عبوری سیال (مایع یا گاز) در واحد زمان از یک لوله یا دیگر تجهیزات، لازم است. کیفیت مناسب محصولات یک فرایند تولیدی، به نسبت مواد اولیهٔ سازندهٔ آن بستگی دارد. این نسبت، از اندازه‌گیری شدت جریان آنها مشخص می‌گردد. گاهی هم اندازه‌گیری و تنظیم یک کمیّت، برای تنظیم و مدیریت یک کمیّت دیگر ضروری است؛ مانند شدت جریان سوخت کوره در یک واحد فرایندی که مقدار دمای خروجی و دیگر شرایط عملیاتی، مقدار آن را تعیین می‌کند.

به عنوان مثال، چون میزان حجم مخزن بنزین خودرو معلوم است، با دانستن شدت جریان عبور بنزین، می‌توانیم مدت زمان لازم برای پر کردن آن را به‌دست آوریم.

پرسش

فرض کنید که مخزن سوخت خودرویی ۴۵ لیتر گنجایش بنزین دارد (شکل ۱). پمپ بنزین جایگاه عرضهٔ سوخت با شدت ۹ لیتر در دقیقه، بنزین تحویل می‌دهد. اگر این مخزن کاملاً خالی باشد، بیشترین زمان پرشدن آن را به‌دست آورید. در صورت انجام سوخت‌رسانی به مدت پنج و نیم دقیقه چه اتفاقی می‌افتد؟



شکل ۱ــ جایگاه مخزن بنزین در خودرو

بحث گروهی

آیا می‌دانید که مقدار نفت خام تحویل شده به کشتی‌های نفت‌کش اقیانوس‌پیما (شکل ۲) را چگونه اندازه‌گیری می‌کنند؟

شکل ۲ ـ یک نمونه کشتی نفت‌کش اقیانوس‌پیما

انواع دبی

پیش‌تر گفتیم که در بسیاری از صنایع و کاربردهای فنّی، دانستن کمیّت یک جریان عبوری سیال از برخی تجهیزات در واحد زمان، ضروری است؛ به این کمیّت دبی گفته می‌شود.

پرسش

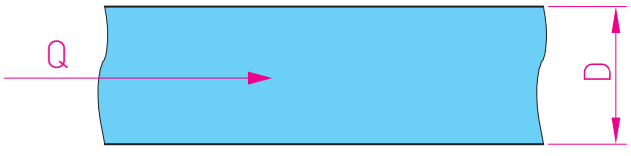
حتماً دیده‌اید که بنزین موتور بر حسب لیتر (یعنی به‌صورت حجمی) فروخته می‌شود؛ اما از کپسول‌های گاز مایع با عنوان «کپسول هجده کیلویی» (یعنی به‌صورت جرمی) نام برده می‌شود. آیا می‌دانید چرا؟

معمولاً دو نوع دبی به کار می رود: **دبی حجمی** و **دبی جرمی**.

دبی حجمی (Q)

به حجم معینی از سیال که از یک مقطع در واحد زمان عبور کند، دبی حجمی می گویند.

$$\text{دبی حجمی} = \frac{\text{حجم}}{\text{زمان}}$$

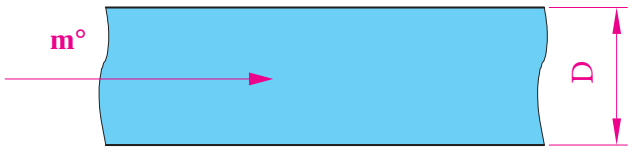


شکل ۳ ـ نمایشی از دبی حجمی در خط لوله (Q: دبی حجمی سیال و D: قطر خط لوله)

دبی جرمی (m°)

جرم معینی از سیال را که از یک مقطع در واحد زمان عبورکند، دبی جرمی می‌گویند.

$$\text{دبی جرمی} = \frac{\text{جرم}}{\text{زمان}}$$



شکل ۴ ـ نمایشی از دبی جرمی در خط لوله (m°: دبی جرمی سیال و D: قطر خط لوله)

چگونگی تبدیل دبی حجمی و دبی جرمی به یکدیگر مانند تبدیل حجم و جرم به یکدیگر است، به این ترتیب که در محاسبات برای تبدیل دبی حجمی و دبی جرمی از چگالی سیال استفاده می‌شود.

$d=m/v$

$d=(m/t)/(v/t)$

$d=m^\circ/Q$

$m^\circ=d\times Q$

که در آن m° دبی جرمی، Q دبی حجمی، v حجم، d چگالی سیال و t زمان عبور آن است.

بنابراین دبی جرمی از حاصل ضرب دبی حجمی در چگالی سیال به دست می‌آید.

برای اندازه‌گیری دقیق انتقال یک سیال (اعم از مایع و گاز یا حتی مخلوط آنها) وسایل گوناگونی ساخته شده که به آنها جریان‌سنج یا دبی‌سنج گفته می‌شود. به دلیل دشواری این اندازه‌گیری و امکان بروز خطای بیشتر در این زمینه، طراحی، انتخاب و نصب این تجهیزات نیازمند دانش، تجربه و دقت بیشتری است.

یکاهای دبی

در سامانهٔ واحدهای بین‌المللی SI، از یکای «مترمکعب بر ثانیه (m^3/s)» برای دبی‌حجمی و یکای «کیلوگرم بر ثانیه (kg/s)» برای دبی جرمی استفاده می‌شود.

$$\text{واحد دبی حجمی} = \frac{\text{مترمکعب}}{\text{ثانیه}} = \frac{m^3}{s}$$

$$\text{واحد دبی جرمی} = \frac{\text{کیلوگرم}}{\text{ثانیه}} = \frac{kg}{s}$$

در سامانه‌های انگلیسی (FPS) از یکای فوت مکعب بر ثانیه (ft^3/s) برای دبی حجمی استفاده می‌گردد.
یکای جرمی در سامانه‌های انگلیسی پوند (lb) است که معادل ۴۵۴ گرم است.
البته یکای گالن بر دقیقه (GPM) هم در کشورهای انگلیسی زبان استفاده دارد. فوت مکعب، ۲۸/۳۱۷ لیتر، گالن آمریکایی ۳/۷۸۵ لیتر و گالن انگلیسی ۴/۵ لیتر، هستند.

تبدیل یکاهای دبی

ضرورت تبدیل یکاها به یکدیگر

یکاها برای بیان اندازه‌گیری کمیّت‌های مورد نظر به‌کار می‌روند. یکنواختی یکاها، در ارتباطات و تبادلات علمی، فنی، اقتصادی، فرهنگی و غیره درون کشورها و بین کشورها اهمیّت زیادی دارد. دستگاه متریک را لاوازیه شیمی‌دان فرانسوی برای اولین بار در سال ۱۱۷۰ شمسی (۱۷۹۰ میلادی) ارائه کرد. قبل از اختراع آن، چندین نوع دستگاه متفاوت و پیچیده برای اندازه‌گیری اجسام وجود داشت. سپس، در سال ۱۳۳۹ شمسی (۱۹۶۰ میلادی) دستگاه بین‌المللی استاندارد شده یکاها (SI) پایه‌گذاری شد. این دستگاه، نوع پیشرفتهٔ دستگاه متریک برای سنجش کمیّت‌ها است. دستگاه SI در چند کمیّت اصلی مانند طول، جرم و زمان با دستگاه متریک مشترک است؛ اما در بسیاری از کمیّت‌های اصلی و فرعی دیگر با آن تفاوت دارد؛ مانند درجه‌های کلوین و سلسیوس برای دما، یا ژول و کیلوکالری برای انرژی. درنتیجه لازم است که با تبدیل یکاها آشنایی کافی داشته باشیم.

مثال

اگرحجم مخزن بنزین خودرویی ۴۵ لیتر باشد، این حجم در سامانهٔ انگلیسی برابر خواهد بود با:

$$\text{حجم مخزن} = ۴۵\ L \times \frac{۱\ Gal}{۴/۵\ L}$$

$$\text{حجم مخزن} = ۱۰\ Gal$$

از دیگر یکاهای متداول برای دبی می‌توان لیتر بر دقیقه و فوت مکعب بر دقیقه را هم نام برد.

پرسش

یک گالن انگلیسی بر دقیقه معادل چند لیتر بر دقیقه و چند مترمکعب بر ثانیه است؟

عدد رینولدز[1]

سیّالات با سرعت‌های کم معمولاً در محدودهٔ جریان آرام هستند. برای تعیین نوع جریان عدد رینولدز تعریف می‌شود. این عدد کمیتی بدون یکا است و تابع خصوصیات فیزیکی سیّال است و نسبت مستقیم با سرعت و سطح مقطع لوله‌ای دارد که سیّال در آن جاری است. عدد رینولدز براساس معادلهٔ زیر محاسبه می‌شود:

$$\text{عدد رینولدز} = \frac{\text{(قطر) (سرعت) (چگالی)}}{\text{(گرانروی)}}$$

$$\text{Re No} = \frac{d.V.D}{\mu} \qquad \text{مخزن}$$

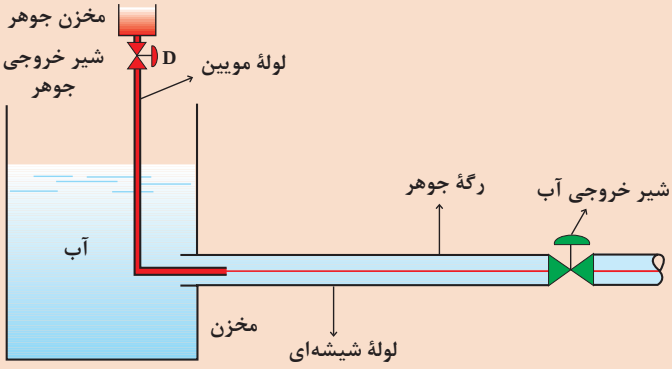
جریان آرام: هرگاه عدد رینولدز از رقم ۲۰۰۰ کمتر باشد، جریان را «آرام» می‌نامیم.
جریان آشفته: سیّالات با عدد رینولدز بیش از ۴۰۰۰ را «جریان آشفته» می‌گویند.
جریان گذرا[2]: محدودهٔ بین عدد رینولدز ۲۰۰۰ تا ۴۰۰۰ را «جریان گذرا» می‌نامند که حالت ناپایدار دارد و با کوچک‌ترین تحریکی به سمت جریان آشفته گرایش پیدا می‌کند.

فعالیت کارگاهی

محاسبهٔ میزان دبی و تعیین نوع جریان

وسایل مورد نیاز برای انجام فعالیت مطابق شکل زیر عبارت‌اند از:

۱ـ مخزن شیشه‌ای
۲ـ لولهٔ مویین و مخزن جوهر
۳ـ لولهٔ شیشه‌ای خروجی از مخزن
۴ـ شیرهای قطع و وصل جریان



روش کار

۱ـ مخزن را از آب پر کنید.
۲ـ جوهر را درون مخزن بریزید.
۳ـ شیر خروجی آب را کمی باز کنید.
۴ـ شیر خروجی جوهر را باز کنید.
۵ـ نوع جریان را درون لوله مشاهده نمایید.
۶ـ این فعالیت را در دبی‌های مختلف انجام دهید.
۷ـ مشاهدات خود را شرح دهید.

۱- Reynolds Number
۲- Transition Flow

۸ـ به‌ازای دبی‌های مختلف عدد رینولدز را محاسبه کنید و در جدولی یادداشت کنید.
تغییرات رژیم جریان بر اثر افزایش عدد رینولدز در این آزمایش به‌خوبی قابل مشاهده است. در حقیقت محدودهٔ جریان‌های آرام و آشفته به‌وسیلهٔ این آزمایش مشخص خواهد شد.
در این فعالیت، که در دمای محیط انجام می‌پذیرد از مقدارهای زیر برای انجام محاسبات استفاده نمایید:

گرانروی آب: $۸/۹۴\times۱۰^{-۴}(Pa.s)$

چگالی آب: $۹۹۷/۱(kg/m^{۳})$

محاسبهٔ ضریب اصطکاک در جریان آرام

معمولاً برای جریان آرام از معادلهٔ زیر استفاده می‌شود:

$$\text{ضریب اصطکاک} = \frac{۶۴}{\text{عدد رینولدز}}$$

$$f = \frac{۶۴}{Re\ No}$$

ـ با استفاده از جدول بالا، ضریب اصطکاک جریان‌های آرام را محاسبه کنید.

فعالیت کارگاهی

تغییرات گرانروی

در محدودهٔ جریان آرام ($R_e<۲۰۰۰$) براساس معادلهٔ زیر می‌توان اثر دما را بر گرانروی سیّال پیدا کرد.
از این معادله می‌توان گرانروی سیال را در محدودهٔ جریان آرام پیدا کرد.

$$\text{گرانروی} = \frac{(\text{قطر لوله})^{۴}\ (\text{عدد پی})\ (\text{اختلاف فشار})}{(\text{طول لوله})\ (\text{دبی})\ (۱۲۸)}$$

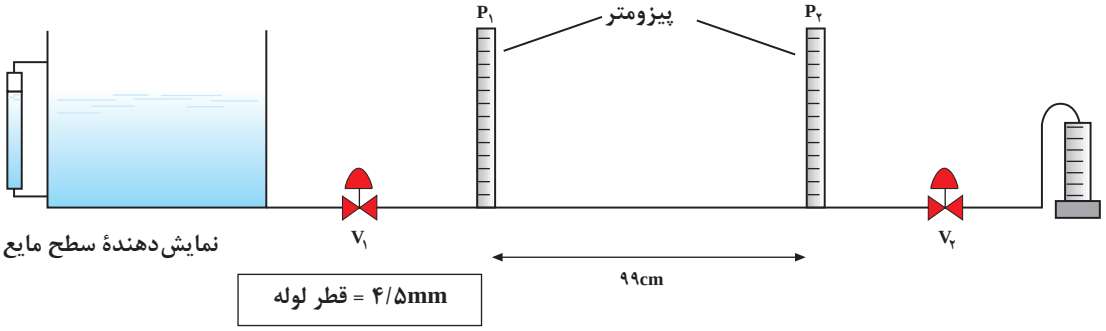
$$\mu = \frac{\Delta P.\pi.D^{۴}}{۱۲۸.Q.L}$$

(معادلهٔ گرانروی نیازی به حفظ کردن ندارد.)
(با اندازه‌گیری اختلاف فشار در دبی‌های مختلف از طریق پیزومتر و در حالت سرعت ثابت در دماهای مختلف گرانروی محاسبه خواهد شد.)

مراحل کار:

۱ـ شیرهای $V_۱$ و $V_۲$ (مطابق شکل صفحه بعد)را بسته نگاه دارید و تانک ذخیره را پر کنید.
۲ـ شیر $V_۱$ را باز کرده $V_۲$ را همچنان بسته نگاه دارید.
۳ـ به‌وسیلهٔ یک المنت برقی مجهز به ترموستات آب را تا ۴۰ درجهٔ سلسیوس گرم کنید.
۴ـ شیر $V_۲$ را باز کنید تا جریان آرام برقرار شود.
۵ـ زمان لازم برای پر شدن ۵۰ میلی‌لیتر از استوانهٔ مدرّج را اندازه‌گیری کنید.

۶ـ مراحل «۳» الی «۵» را برای دماهای ۴۵°C، ۵۰°C، ۵۵°C و ۶۰°C تکرار نمایید.
۷ـ جدول (۱) را تکمیل کنید و در دماهای مختلف گرانروی سیال را پیدا نمایید.



جدول ۱ تغییرات گرانروی با دما

	۴۰°C	۴۵°C	۵۰°C	۵۵°C	۶۰°C
زمان (ثانیه)					
حجم پر شده (ml)					
اختلاف ارتفاع (cm)					
گرانروی					

پرسش

جدول (۱) را برای دبی‌های مختلف تهیه کنید و تأثیر دما را بر روی گرانروی در دبی‌های مختلف محاسبه نمایید.

روش‌های اندازه‌گیری دبی مایعات

بحث گروهی

به تصویرهای زیر با دقت نگاه کنید، این تجهیزات چه کاری را برای ما انجام می‌دهند؟ آیا وسایل دیگری را می‌شناسید که عملی مانند آنها انجام دهند؟

الف)

ب)

پ)

دراندازه‌گیری میزان جریان سیال به چند روش اشاره می‌شود:

۱ روش مستقیم توزینی: این روش، معمولاً برای مایعات غیر فرّار مثل آب به‌کار می‌رود، به این صورت که زمان لازم برای جمع‌آوری مقدار معینی مایع در یک ظرف را اندازه می‌گیرند و سپس مایع جمع‌آوری شده را به دقت وزن کرده و دبی را محاسبه می‌کنند.

۲ اندازه‌گیری مستقیم حجم با پیمانه هنگام فروش مایعات در خرده‌فروشی (نفت، شیر و مانند آن)

۳ اندازه‌گیری به کمک پمپ‌های جابه‌جایی مثبت[1]، کنتورهای آب و گاز

۴ روش اثرات مقاومت سیال یا روش سطح متغیر (در روتامترها)

۵ روش اندازه‌گیری به کمک انسداد جریان با استفاده از وسایل: صفحهٔ منفذدار یا اریفیس‌متر، نازل و ونتوری‌متر

روش‌های مورد استفاده در اندازه‌گیری دبی مایعات بسیار متنوع هستند. ویژگی‌های سیال مانند جنس، گران‌روی و فشار بخار، دما، هدایت الکتریکی، مقدار جامد معلق در سیال و ..... از جمله عواملی هستند که نوع روش را مشخص می‌کند.

فعالیت کارگاهی

با استفاده از یک استوانهٔ مدرّج و کرنومتر (زمان‌سنج)، دبی حجمی و جرمی شیر آب کارگاه هنرستان خود را، در حالت‌های مختلف، محاسبه کنید.

ساخت یک جریان‌سنج آب (از نوع منفذدار و به روش مستقیم)

وسایل لازم:

۱ـ یک بطری پلاستیکی شفاف (مانند بطری آب معدنی)

۲ـ زمان‌سنج

۳ـ استوانهٔ مدرج

۱ـ Positive Displacement

روش کار :

بالای بطری پلاستیکی را ببرید تا یک ظرف استوانه‌ای دهان‌گشاد به‌دست آید. در پایین سطح جانبی آن (مثلاً به فاصلهٔ دو سانتی‌متر از ته بطری) سوراخ کوچکی (مثلاً) به قطر سه میلی‌متر ایجاد کنید. برای دستیابی به دبی مناسب، شیر آب را آن‌قدر باز کنید که در مدت ۱۰ ثانیه، ۱۰۰ میلی‌لیتر آب در استوانهٔ مدرّج جمع‌آوری شود. بطری را زیر شیر آب بگذارید؛ پس از مدت کمی، سطح آب جمع شده در بطری ثابت می‌شود. همان لحظه بر روی بطری علامتی بگذارید، که نشان‌دهندهٔ دبی ۱۰ میلی‌لیتر بر ثانیه باشد، سپس دبی شیر آب را تغییر دهید. با تکرار این کار برای مقادیر مختلف جریان و به همین صورت، یک جریان‌سنج ساده آب (از نوع منفذدار) و به‌روش مستقیم ساخته‌اید. توجه داشته باشید که در هر مرتبه، حتماً باید سطح آب در بطری ثابت بماند، چرا که فقط در این صورت مقدار اندازه‌گیری شده با جریان آب شیر برابر خواهد بود.

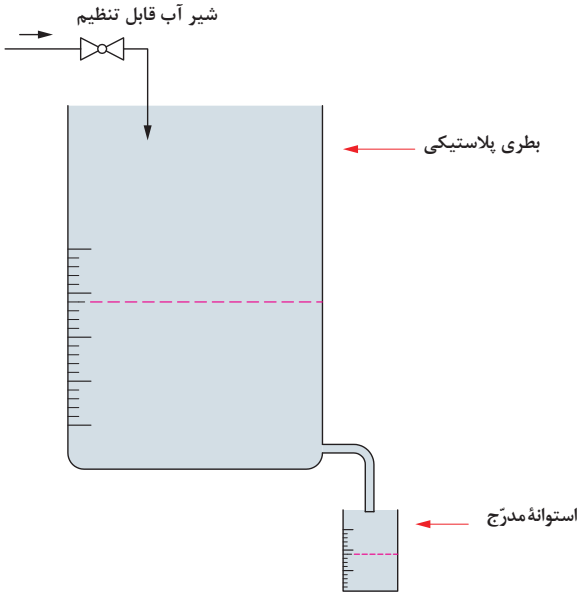
بطری پلاستیکی شفاف

زمان‌سنج

استوانه مدرج

شکل ۵ ــ وسایل اندازه‌گیری دبی حجمی

با توجه به لزوم پرهیز از اسراف و ریخت و پاش آب، سعی کنید تا حد امکان این آزمایش را با مقدار کم آب انجام دهید.



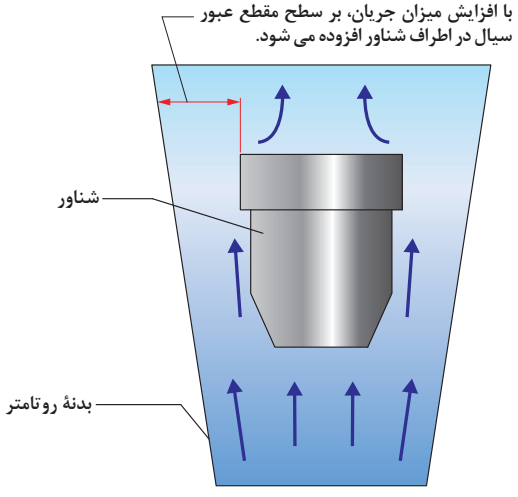
شکل ۶ ــ طرح ساده‌ای از آزمایش جریان‌سنج آب

روش اثرات مقاومت سیال یا روش سطح متغیر (روتامتر)

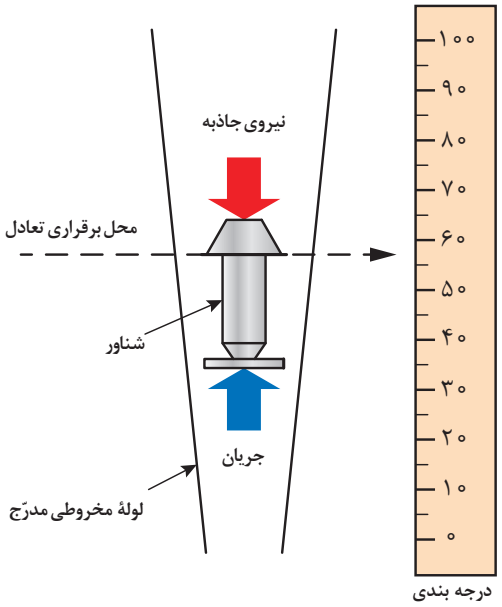
روتامتر ساده‌ترین و متداول‌ترین وسیلهٔ سنجش جریان مایعات و گازهاست. این وسیله از یک شناور (با چگالی بیشتر از سیال) و یک ظرف فلزی یا شیشه‌ای (به‌صورت مخروط ناقص وارونه) تشکیل شده است (شکل ۷). شناور در داخل ظرف قرار دارد. نصب بدنهٔ روتامتر به‌صورت عمودی و جریان سیال از پایین به بالاست. با جریان یافتن سیال، شناور براساس نیروی رانش سیال به‌صورت غوطه‌ور در می‌آید (شکل ۸). هرچه شدت جریان سیال بیشتر گردد، نیروی وارد بر شناور نیز بیشتر می‌شود و در نتیجه شناور رو به بالا حرکت می‌کند. چون سطح مقطع داخل ظرف رو به بالا بیشتر می‌شود، سرعت خطی سیال در هر مقطع از ارتفاع بالاتر، کمتر می‌گردد و در نتیجه نیروی وارده از سیال بر شناور کم شده، دوباره با وزن شناور مساوی می‌شود و به تعادل می‌رسند (شکل ۹). پس شناور در این سطح بالاتر می‌ایستد.کل بازهٔ جابه‌جایی شناور در بدنهٔ روتامتر برحسب دبی مدرّج گشته است. در نتیجه، با کم و زیاد شدن جریان سیال، محل تعادل جدید، میزان جدید جریان سیال را نشان می‌دهد. به بیان دیگر، براساس اصول نظری، در روتامتر از موازنهٔ نیروهای وارد بر شناور، می‌توان دبی حجمی سیال را به‌دست آورد. جنس شناور غالباً فلزی بوده، در اشکال گوناگونی ساخته می‌شود. مقادیر قابل اندازه‌گیری جریان سیال به‌وسیلهٔ روتامترها معمولاً در گستره و مقیاس کوچکی هستند. بیشترین میزان جریان در روتامترها، ۱۵ برابر میزان حداقل آن است، ولی عملاً برای نسبت ۱۰ به بالا از دو یا چند روتامتر موازی استفاده می‌گردد. مزیت روتامترها در این است که گران‌روی و جرم مخصوص سیال تأثیر کمی در اندازه‌گیری و دقت آنها دارند.

برخی از روتامترها یک سیم یا میلهٔ هدایت‌کننده در درون ظرف خود دارند که حرکت عرضی شناور را مهار کرده، از چسبیدن آن به دیوارهٔ ظرف جلوگیری می‌کند (شکل ۱۰). در نتیجه روتامتر تنها می‌تواند حرکت رو به بالا یا پایین در امتداد آن داشته باشد. دقّت این دستگاه ۱ تا ۵ درصد است. جنس بدنه (مخروطی شکل) روتامتر در دماها و فشارهای کم و سیالات بی‌خطر (غیرخورنده، غیرسمی و غیرآتش‌گیر) شیشه پیرکس (بوروسیلیکات) است، اما در فشارهای بیشتر، از فلز استفاده می‌گردد.

شکل ۷ ــ یک نمونه روتامتر معمولی



شکل ۸ ــ نمایش حرکت سیال در روتامتر



شکل ۹ ــ طرح ساده‌ای از نیروهای وارد بر شناور

شکل ۱۰ ــ روتامتر با میلهٔ هدایت‌کننده

روتامترها علاوه بر کاربردهای صنعتی، در مراکز بهداشتی مثل کپسول‌های اکسیژن بیمارستانی نیز استفاده فراوانی دارند (شکل ۱۱ و ۱۲).

شکل ۱۱ــ کپسول اکسیژن طبی به همراه روتامتر

شکل ۱۲ ــ روتامتر اندازه‌گیری جریان اکسیژن

فعالیت کارگاهی

اندازه‌گیری دبی سیال با روتامتر

وسایل لازم:

۱ـ مخزن ذخیرهٔ آب؛
۲ـ پمپ (از نوع گریز مرکز)؛
۳ـ شیر تنظیم‌کننده؛
۴ـ روتامتر؛
۵ـ استوانهٔ مدرّج؛
۶ـ زمان سنج.

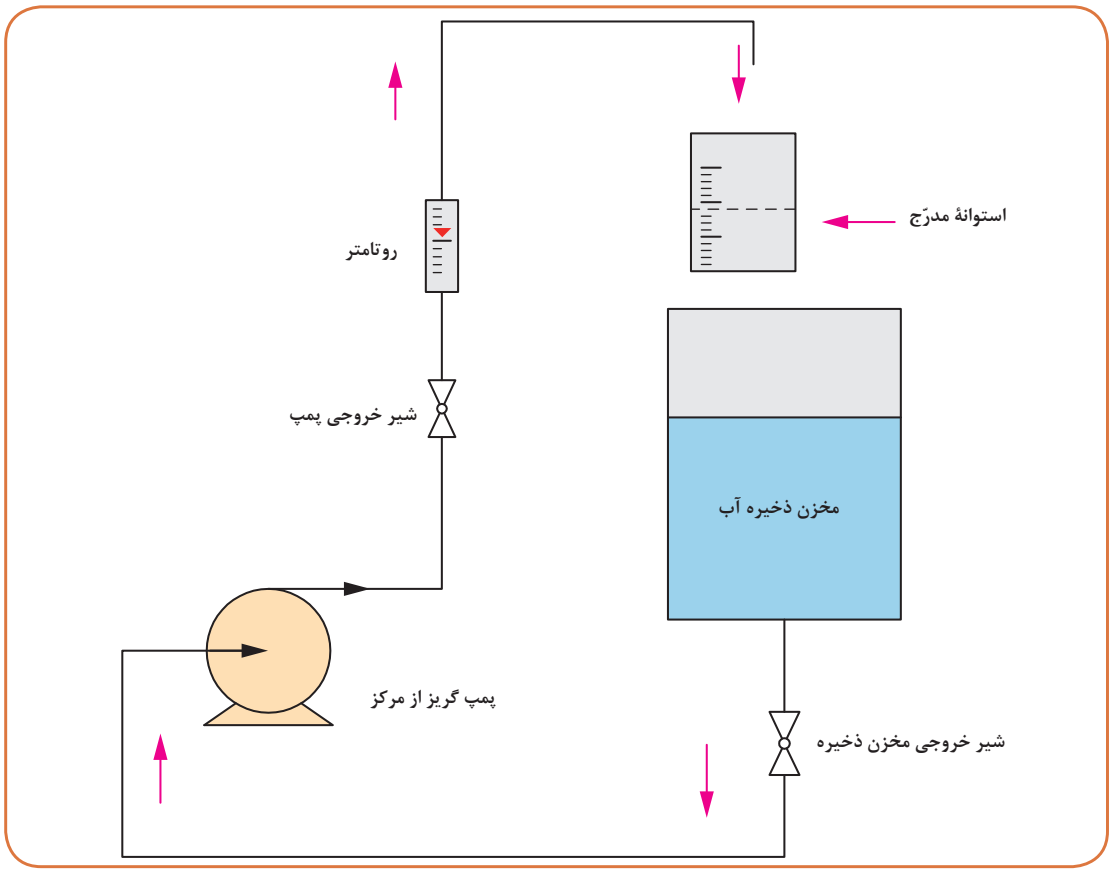
وسایل لازم:

ابتدا مداری بسته مانند شکل ۱۳ را تشکیل دهید. مراقب باشید که مقدار آب در مخزن ذخیره هیچ‌گاه از ۸۰ درصد ظرفیت کل آن بیشتر نباشد.

با اجازهٔ مربی خود، ابتدا شیر خروجی پمپ را ببندید و شیر خروجی مخزن ذخیره را باز کنید، پس از اینکه حجم آب درون مخزن ذخیره را به حدود ۸۰ درصد ظرفیت کل آن رساندید، پمپ را روشن کنید. شیر خروجی پمپ را آهسته و با احتیاط باز کنید. با استفاده از روتامتر میزان کمی جریان آب را (مثلاً ۵ درصد کل جریان) در مدار برقرار کنید و صبر کنید تا ثابت شود. حال با کمک استوانهٔ مدرّج و زمان‌سنج میزان دقیق جریان آب را (با سه بار تکرار و متوسط‌گیری نتایج) به‌دست آورید. نتیجه را به همراه مقدار اندازه‌گیری شدهٔ روتامتر در جدول (۲) یادداشت کنید. اکنون با تغییر دادن مقدار باز شدن شیر خروجی پمپ، مقدار جریان آب را بیشتر کنید. همانند قبل میزان جریان آب را به کمک روتامتر و استوانهٔ مدرّج در هر حالت به‌دست آورید، سپس در ستون سوم درصد خطا را بنویسید. این کار را با تکرار آزمایش ادامه دهید (تا چند سطر کافی است). نتایج جدول را مقایسه و دربارهٔ آنها (یعنی دقت شرکت سازنده روتامتر و کار عملی خود) بحث کنید.

جدول ۲ـ آزمایش اندازه‌گیری دبی سیال با استفاده از روتامتر

میزان جریان آب با استوانهٔ مدرّج (لیتر بر دقیقه)	میزان جریان آب با روتامتر (لیتر بر دقیقه)	درصد خطا



شکل ۱۳ــ طرح ساده‌ای از آزمایش اندازه‌گیری دبی سیال با روتامتر

تمرین

روتامتری میزان جریان حجمی نفت گاز (گازوئیل) را در لوله‌ای، برابر با ۹۰ لیتر در دقیقه اندازه‌گیری کرده است. با توجه به چگالی این ماده که ۸۵۰ گرم بر لیتر است، دبی جرمی آن را در سامانه‌های بین‌المللی SI و انگلیسی به‌دست آورید.

وسایل جریان‌سنج سیالات بر پایهٔ نصب موانع

در این تجهیزات موانعی بر سر جریان آزاد سیالات تعبیه می‌گردد که میزان جریان حجمی آنها از روی افت فشار ایجاد شده به وسیلهٔ این موانع، محاسبه می‌گردد. این قبیل موانع انواع گوناگونی دارند و در صنعت بسیار به‌کار می‌روند. مهم‌ترین انواع آنها را اریفیس متر یا منفذ[۱]، ونتوری متر[۲] (شیپورهٔ هم‌گرا ـ واگرا) و نازل[۳] تشکیل می‌دهند. قیمت اریفیس‌متر کمتر از نازل و قیمت نازل کمتر از ونتوری‌متر است.

۱ـ Orifice
۲ـ Venturi
۳ـ Nozzle

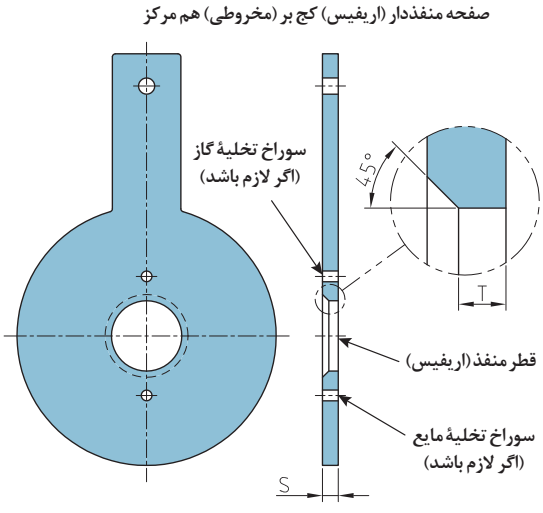
افت فشار نازل کمتر از اریفیس‌متر، و افت فشار ونتوری‌متر کمتر از نازل است. از این وسایل هم برای سنجش جریان مایعات و هم گازها می‌توان استفاده کرد.

اریفیس‌متر

این وسیله به‌صورت صفحه‌ای است که روی آن سوراخی تعبیه شده است و در مسیر جریان سیال قرار داده می‌شود (شکل ۱۴). وجود این قطعه باعث ایجاد افت فشاری در جریان سیال می‌شود که با اندازه‌گیری آن میزان جریان سیال قابل محاسبه است.

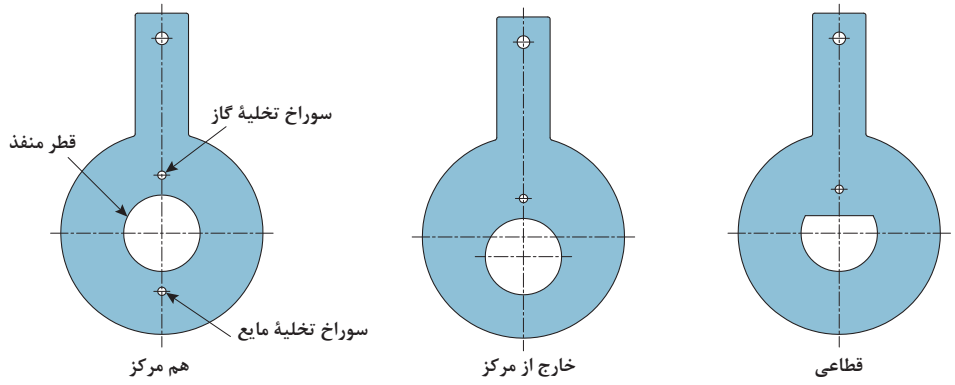
شکل ۱۴ ــ صفحهٔ اریفیس‌متر همراه با اتصالات

دقت اندازه‌گیری جریان، وابسته به دقت ماشین‌کاری منفذ و لبه‌های آن، و مشخصات سوراخ‌های متصل به مانومتر یا فشارسنج، از جمله محل نصب مناسب و بهینه است (شکل ۱۵). این موارد به وسیلهٔ استانداردهایی مشخص شده است.



شکل ۱۵ــ طرح ساده‌ای از روبه‌رو و پهلوی اریفیس‌متر

اریفیس‌مترها به سه دستهٔ عمده تقسیم‌بندی می‌گردند (شکل ۱۶): ۱ـ هم مرکز[۱]؛ ۲ـ خارج از مرکز[۲]؛ ۳ـ قطاعی[۳].



شکل ۱۶ـ انواع صفحات اریفیس‌متر

تحقیق کنید

در مورد هر یک از انواع اریفیس‌مترها و کاربرد آنها گزارشی تهیه کنید.

اریفیس‌متر برای اندازه‌گیری دبی سیالات اعم از مایع و گاز به‌کار می‌رود. از آنجا که اندازه‌گیری دبی گازها در کارگاه هنرستان مشکل است، در این قسمت اندازه‌گیری دبی آب با اریفیس‌متر انجام می‌شود.

فعالیت کارگاهی

اندازه‌گیری جریان سیالات به‌وسیلهٔ صفحهٔ اریفیس متر

وسایل لازم:

۱ـ مخزن ذخیرهٔ آب؛

۲ـ پمپ (از نوع گریز از مرکز)؛

۳ـ شیر تنظیم کننده؛

۴ـ اریفیس‌متر؛

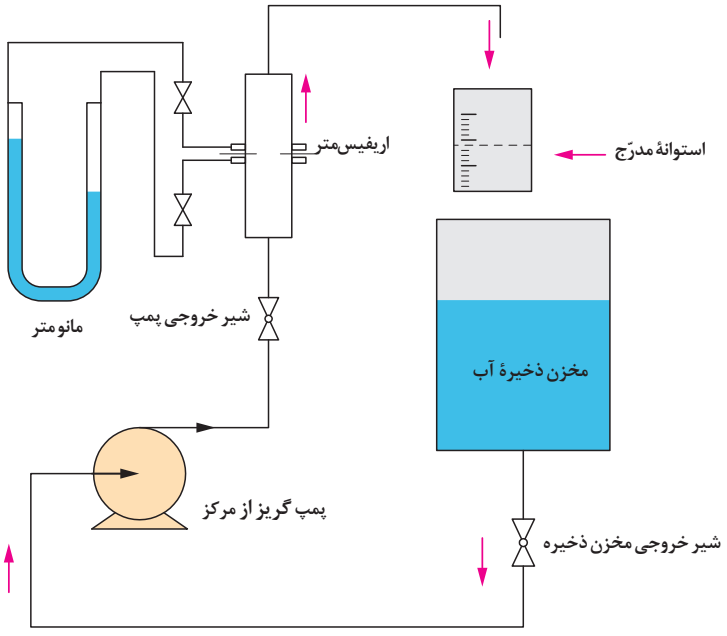
۵ـ استوانهٔ مدرّج؛

۶ـ زمان‌سنج؛

وسایل لازم:

ابتدا مداری بسته مانند شکل ۱۷ را تشکیل دهید. با اجازهٔ مربی خود، شیر خروجی پمپ را بسته، شیر خروجی مخزن ذخیره را باز کنید. پس از اینکه حجم آب درون مخزن ذخیره را به حدود ۸۰ درصد ظرفیت کل آن رساندید، پمپ را روشن کنید. شیر خروجی پمپ را آهسته و با احتیاط باز کنید. میزان کمی جریان آب را (مثلاً ۵ درصد کل جریان) در مدار برقرار کنید و صبر کنید تا ثابت شود. حال با کمک استوانهٔ مدرّج و زمان‌سنج، میزان دقیق جریان آب را (با سه بار تکرار و متوسط‌گیری نتایج) به‌دست آورید. در همین زمان اختلاف ارتفاع دو سر مانومتر خوانده و یادداشت شود. اطلاعات به‌دست آمده را در جدول (۳) یادداشت کنید.

۱ـ Concentric Orifice ۲ـ Eccentric Orifice ۳ـ Segmental Orifice



شکل ۱۷ــ طرح ساده‌ای از آزمایش اندازه‌گیری جریان سیال با استفاده از اریفیس‌متر

با استفاده از فرمول شکل ۱۸، پس از مقایسه، مقدار دبی سیال (Q°_{v}) را محاسبه و با مقدار دبی واقعی مقایسه کنید.
میزان ضریب تخلیه اریفیس‌متر (C) را از روی بدنهٔ دستگاه بخوانید. در صورت نبود این عدد آن را ۰/۸۷۸۲ در نظر بگیرید ($g=۹/۸\ (m/s^{۲})$).
اکنون با تغییر دادن شیر خروجی پمپ، مقدار جریان آب را بیشتر کنید و این کار را با تکرار آزمایش ادامه دهید.

روابط:

$$\text{دبی} = (\text{ضریب تخلیه})\ (\text{سطح مقطع اریفیس})\ \sqrt{\frac{۲(\text{اختلاف فشار})}{\text{چگالی}}}$$

$$Q^{\circ}_{v} = C.A_{\circ}.\sqrt{\frac{۲\Delta P}{d}}$$

$$C = \text{ضریب تخلیه}$$

شکل ۱۸ ــ فرمول محاسبهٔ دبی نظری سیال به وسیله اریفیس متر

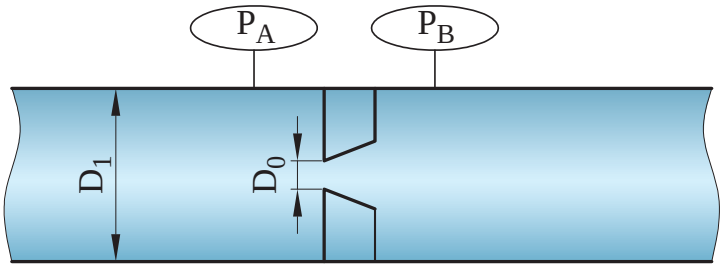
بنابراین:

$A_{\circ} = \frac{\pi D^{۲}}{۴} =$ سطح مقطع اریفیس‌متر $(m^{۲})$

$\Delta P = P_A - P_B$ اختلاف فشار (Pa)

$d = ۱۰۰^{\circ}$ چگالی آب $(kg/m^{۳})$

$\Delta P = dgh$



شکل ۱۹ــ اریفیس‌متر

جدول ۳ــ آزمایش اندازه‌گیری دبی سیال با استفاده از اریفیس‌متر

کمیت	زمان	حجم آب موجود در استوانه	دبی واقعی	اختلاف ارتفاع ستون جیوه	اختلاف فشار	دبی محاسبه شده به وسیلهٔ اریفیس	درصد خطا
نماد	t	V	Q_c°	Δh	ΔP	Q_v°	٪
واحد	ثانیه	سانتی‌متر مکعب	سانتی‌متر مکعب بر ثانیه	میلی‌متر جیوه	پاسکال	سانتی‌مترمکعب در ثانیه	

ونتوری‌متر

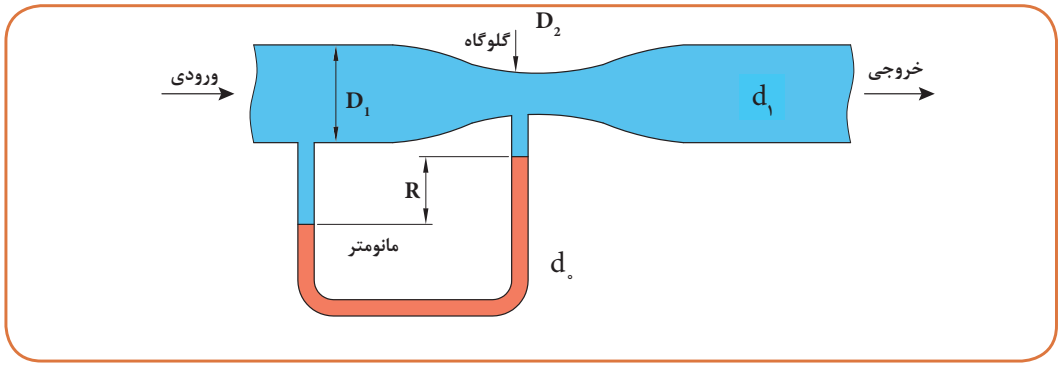
در این روش با استفاده از ونتوری‌متر در مسیر جریان، که باعث ایجاد اختلاف فشار می‌شود، میزان دبی اندازه‌گیری می‌گردد. ونتوری‌متر برای اندازه‌گیری دبی در لوله‌ها استفاده می‌شود. این وسیله همانند شکل ۲۰، از بخش‌های زیر تشکیل شده است:

۱ بخش ورودی جریان که قطر آن برابر قطر لوله است (D_1)؛
۲ قسمت مخروطی هم‌گرا؛
۳ گلوگاه استوانه‌ای (D_2)؛
۴ قسمت مخروطی با واگرایی تدریجی که نهایتاً اندازهٔ آن برابر با قطر لوله می‌شود (S_1)؛
۵ بخش خروجی جریان که قطر آن برابر قطر لوله است.

در قسمت هم‌گرا انرژی فشاری سیال به انرژی جنبشی تبدیل می‌گردد؛ زیرا سطح مقطع لوله به‌تدریج کم می‌شود. به دلیل ثابت بودن دبی حجمی سیال، سرعت آن افزایش پیدا می‌کند. در قسمت واگرا سطح مقطع لوله به‌تدریج زیاد می‌شود و در این حالت انرژی جنبشی به‌تدریج به انرژی فشاری تبدیل می‌گردد. واضح است که سرعت سیال در گلوگاه ونتوری از همهٔ نقاط بیشتر است. در هنگام عبور سیال از ونتوری‌متر انرژی کل آن کمی کاهش خواهد یافت. به هر حال افت فشار سیال در عبور از ونتوری متر مرتبط با دبی آن است.

برای اندازه‌گیری اختلاف فشار، یک مانومتر دیفرانسیلی که یک سر آن به بخش بالادست و یک سر آن به گلوگاه متصل است، لازم است.

اندازهٔ ونتوری‌متر با قطر لوله و گلوگاه آن مشخص می‌شود. برای مثال ونتوری ۶ در ۴ سانتی‌متر، یعنی قطر لوله ۶ سانتی‌متر و قطر گلوگاه ونتوری‌متر ۴ سانتی‌متر است.



شکل ۲۰ــ ونتوری‌متر با مانومتر دیفرانسیلی

شکل ۲۱ــ یک نمونه ونتوری‌متر صنعتی

فعالیت کارگاهی

اندازه گیری دبی سیال با ونتوری‌متر

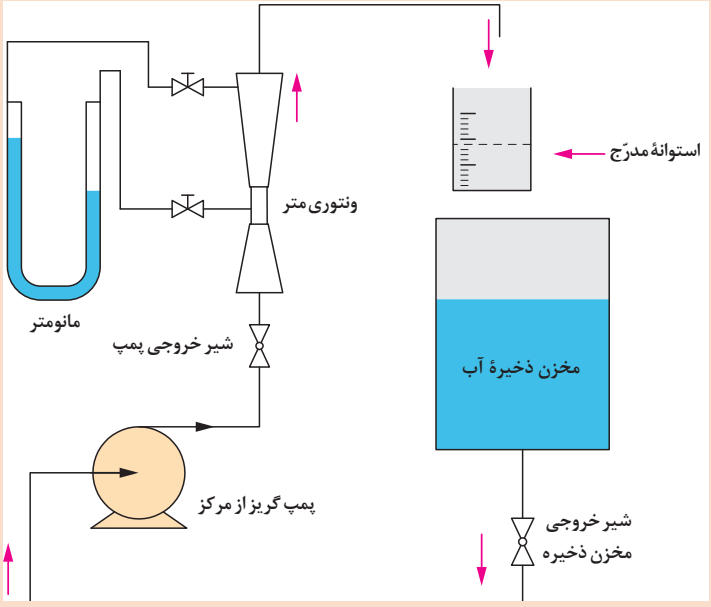
وسایل لازم:

1- مخزن ذخیرهٔ آب؛ ۲ـ پمپ (از نوع گریز از مرکز)؛ ۳ـ شیر تنظیم‌کننده؛
۴ـ ونتوری‌متر؛ ۵ـ استوانهٔ مدرّج؛ ۶ـ زمان‌سنج دقیق.

روش کار: ابتدا مداری بسته مانند شکل ۲۲ را تشکیل دهید. با اجازهٔ مربی خود، ابتدا شیر خروجی پمپ را ببندید و شیر خروجی مخزن ذخیره را باز کنید. پس از اینکه حجم آب درون مخزن ذخیره را به حدود ۸۰ درصد ظرفیت کل آن رساندید، پمپ را روشن کنید. شیر خروجی پمپ را آهسته و با احتیاط باز کنید. میزان کمی جریان آب را (مثلاً ۵ درصد کل جریان) در مدار برقرار ، و صبر کنید تا ثابت شود.

فعالیت کارگاهی

حال با کمک استوانهٔ مدرّج و زمان‌سنج میزان دقیق جریان آب را (با سه بار تکرار و متوسط‌گیری نتایج) به دست آورید. در همین زمان اختلاف ارتفاع دو سر مانومتر خوانده و یادداشت گردد. اطلاعات به‌دست آمده را در جدول ۴ یادداشت کنید.



شکل ۲۲ــ طرح ساده ای از آزمایش اندازه‌گیری دبی سیال با ونتوری متر

با فرمول‌های شکل ۲۳ مقدار دبی سیال (Q_v°) را محاسبه و با مقدار دبی واقعی مقایسه کنید.

میزان ضریب تخلیهٔ ونتوری متر (C) را از روی بدنهٔ دستگاه بخوانید. در صورت نبود این عدد، آن را ۰/۹۸۲۷ در نظر بگیرید، ($g = ۹/۸\ (m/s^۲)$ و $\gamma = d \times g$).

اکنون با تغییر دادن شیر خروجی پمپ، مقدار جریان آب را بیشتر کنید و این کار را با تکرار آزمایش ادامه دهید.

$$\text{دبی} = (\text{ضریب تخلیه})\ (\text{سطح مقطع و نتوری}) \sqrt{\frac{(۲)(\text{شدت جاذبه})\left(\frac{\text{اختلاف فشار}}{\text{شدت جاذبه} \times \text{چگالی}}\right)}{۱-\left(\frac{\text{قطر و نتوری}}{\text{قطر لوله}}\right)^۴}}$$

$$Q_v^{\circ} = C.A_۲ \sqrt{\frac{۲g(\frac{\Delta P}{\gamma})}{۱-(\frac{D_۲}{D_۱})^۴}}$$

شکل ۲۳ــ فرمول محاسبهٔ دبی حجمی سیال به وسیلهٔ ونتوری متر

یادآوری

روابط داده شده برای محاسبه در کارگاه استفاده می‌شود و نیازی به حفظ کردن آن نیست.

جدول ۴ــ آزمایش اندازه‌گیری دبی سیال با استفاده از ونتوری‌متر

کمیت	زمان	حجم آب درون استوانه	دبی واقعی	اختلاف ارتفاع دو سر مانومتر	اختلاف فشار	دبی محاسبه شده ونتوری‌متر	درصد خطا
نماد	t	V	Q_c°	Δh	ΔP	Q_v°	٪
واحد	ثانیه	سانتی‌متر مکعب	متر مکعب بر ثانیه	میلی‌متر جیوه	پاسکال	متر مکعب بر ثانیه	

جریان‌سنج گاز

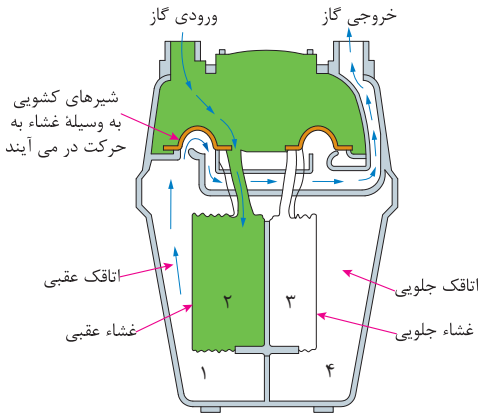
پرسش

پس از انقلاب اسلامی، تقریباً به همه شهرها و روستاهای کشور گازرسانی شده است. در نتیجه، تصویر آشنای زیر در همه جای ایران دیده می‌شود. آیا می‌دانید که نام این دستگاه چیست و چه کاری انجام می‌دهد؟

با اینکه بسیاری از جریان سنج‌های مایعات را برای اندازه‌گیری‌های گازها و بخارها می‌توان استفاده کرد، امّا تجهیزاتی اختصاصی برای اندازه‌گیری جریان گازها هم وجود دارند که با آنها آشنا می‌شویم. نکتهٔ مهم در مورد گازها و بخارها این است که برای دانستن میزان جریان، باید دما و فشارآنها هم معلوم باشد. لذا غالباً این میزان برای $15^{\circ}C$ و فشار یک جو اعلام می‌گردد. این پیچیدگی به خاطر خاصیت تراکم‌پذیری گازها و بخارها است. برای اندازه‌گیری جریان گاز طبیعی چند روش وجود دارد،که درادامه دو روش آن توضیح داده می‌شود.

۱ـ روش خشک:

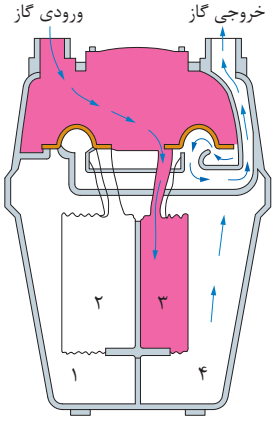
در روش خشک، از یک محفظهٔ فلزی (جریان‌سنج یا اصطلاحاً کنتور گاز) استفاده می شود که یک صفحهٔ نازک فلزی و افقی فضای داخلی آن را به دو قسمت بالایی و پایینی تقسیم کرده است. قسمت پایینی هم به‌وسیلهٔ یک «صفحهٔ جداکنندهٔ وسط» به دو قسمت متقارن تقسیم گشته است. با دانستن طرز عملکرد یک قسمت، عملکرد کل کنتور مشخص می‌گردد. در قسمت پایینی کنتور، یک غشاء لاستیکی یا چرمی، اتاقک فانوسی (شکل ۲۴) را با حجم مشخص تشکیل داده، از بقیهٔ محفظهٔ پایینی (بخش۱) مجزا کرده است. یک صفحهٔ مدوّر در سطح بیرونی اتاقک قرار دارد. در بخش بالایی کنتور دو شیر کشویی ورود و خروج گاز (به رنگ نارنجی) قرار دارند که به یکدیگر متصل بوده، با هم حرکت می‌کنند. این شیر با یک اهرم به چپ یا راست حرکت می‌کند. با حرکت هر شیر، مسیرهای ورود و خروج گاز اتاقک مربوطه به نوبت باز و بسته می‌گردد.



شکل ۲۴ـ مرحلهٔ اول کار یک کنتور گاز خانگی

■ **مرحلهٔ اول:** ابتدا (که مثلاً شیر در سمت چپ کنتور قرار دارد)، فشار ورودی کنتور، گاز را از ورودی به داخل اتاقک ۲ می‌راند؛ یعنی اتاقک ۲ با فشار گاز پر می‌شود. این فشار سبب می‌گردد که صفحهٔ مدوّر روی اتاقک عقب (شمارهٔ ۲) از «صفحهٔ جداکنندهٔ وسط» دور شود (مسیر سبز رنگ). همچنین، گاز داخل محفظهٔ ۱ از خروجی کنتور به بیرون برود.

■ **مرحلهٔ دوم:** پس از رسیدن صفحهٔ مدوّر اتاقک عقبی به انتهای مسیر خود، اهرم جابه‌جا کنندهٔ شیرها به وسیلهٔ این صفحهٔ مدوّر به‌کار می‌افتد و در نتیجه، شیر مذکور به سمت راست رانده می‌شود. با این کار، شیر کشویی سمت چپ، مسیر ورود گاز به اتاقک ۲، و هم‌زمان مسیر خروج گاز از محفظهٔ ۱ به بیرون را می‌بندد. هم‌زمان، شیر کشویی سمت راست، مسیر ورود گاز به اتاقک ۳ (قرینهٔ اتاقک ۲) و نیز مسیر خروج گاز از محفظهٔ ۴ (قرینهٔ محفظهٔ ۱) به خروجی کنتور را باز می‌کند (مسیر قرمز رنگ). در پایان این مرحله، اتاقک ۳ پر از گاز شده است و صفحهٔ مدوّر آن به انتهای مسیر خود رسیده است.

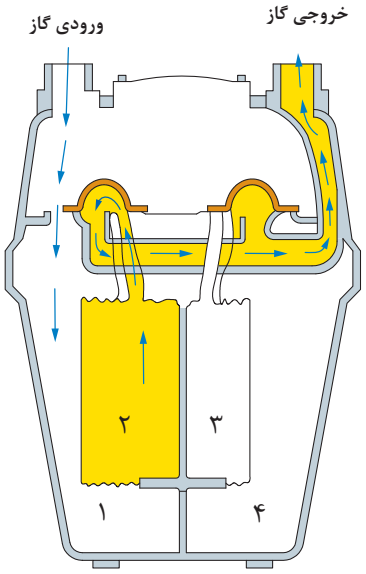


شکل ۲۵ـ مرحلهٔ دوم کار یک کنتور گاز خانگی

گاز موجود در محفظهٔ ۴ هم از خروجی کنتور به بیرون رفته است. شیرهای کشویی به وسیلهٔ اهرم مربوط به صفحهٔ مدوّر اتاقک ۳، و یک بار دیگر به (منتهی‌الیه) سمت راست حرکت می‌کنند. در نتیجه، مسیر ورودی گاز به محفظهٔ ۱ و خروج گاز از اتاقک ۲ به خروجی کنتور باز می‌شود. همچنین خروجی‌های اتاقک ۳ و محفظهٔ ۴ بسته می‌شود.

■ **مرحلهٔ سوم :** محفظهٔ ۱ پر از گاز می‌شود و گاز موجود در اتاقک ۲ از خروجی کنتور به بیرون می‌رود. پس از پایان این مرحله، شیرها توسط صفحهٔ مدوّر اتاقک ۲ (که این بار به سمت «صفحهٔ جداکنندهٔ وسط» بسیار نزدیک می‌شود)، و اهرم مربوطه، یک بار دیگر کاملاً به (منتهی‌الیه) سمت چپ رانده می‌شوند (مسیر زرد رنگ). درنتیجه، ورودی گاز به اتاقک ۲ و خروجی گاز از محفظه ۱ باز می‌شود.

از این لحظه به بعد مراحل فوق دوباره تکرار می‌گردد. یک ساز و کار مکانیکی، حرکت متناوب دو شیر کشویی را به شمارندهٔ کنتور وصل می‌کند. چون حجم اتاقک‌ها و محفظه‌ها دقیقاً مشخص است، میزان گاز طبیعی مصرف شده متناسب با دفعات پر و خالی شدن آنها به دست می‌آید. توجه داشته باشید که فشار گاز طبیعی در لوله‌کشی تأمین‌کنندهٔ آن، در میزان معینی و به طور پیوسته به وسیلهٔ ابزار دقیق مربوطه تنظیم و تثبیت می‌گردد. استفاده از دو اتاقک، به میزان زیادی نوسانات جریان گاز خروجی از کنتور را حذف می‌کند.

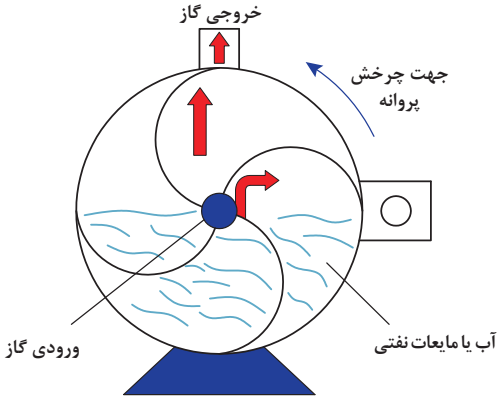


شکل ۲۶ـ مرحلهٔ سوم کار یک کنتور گاز خانگی

۲ـ روش تر:

روش دوم، روش تر نامیده می‌شود. جریان‌سنج یک محفظهٔ (خارجی) است که شامل یک محفظهٔ استوانه‌ای دوّار داخلی با چند پره است. محفظهٔ دوّار داخلی می‌تواند آزادانه به دور محور افقی خود بچرخد. وقتی دستگاه تا سطح معینی از مایع (غالباً آب) پر شود، این مایع، آب‌بندی فضاهای ما بین پره‌ها را انجام می‌دهد. هر فضای بین پره‌ها ضمن چرخش محفظهٔ دوّار داخلی، مرتباً پر و خالی می‌گردد. گاز مورد اندازه‌گیری، از داخل محور دوران دستگاه وارد یکی از فضاهای پر از مایع می‌شود. با این کار آن را خالی از مایع و خیلی سبک‌تر می‌کند. در نتیجه، محفظهٔ دوّار داخلی آن‌قدر می‌چرخد که آن فضا کاملاً از مایع خارج گردد. گاز آزاد شده هم از خروجی بالای دستگاه به بیرون می‌رود. با ادامهٔ ورود گاز به فضای بعدی، چرخش محفظهٔ دوّار داخلی به همین ترتیب ادامه می‌یابد. در واقع، این کار نوعی «پیمانه کردن» گاز مذکور است. چون حجم این فضاها و سطح مایع دقیقاً مشخص است، حجم عبوری گاز به دقت اندازه‌گیری می‌شود که به سرعت دورانی محفظهٔ داخلی بستگی دارد. یک شمارنده نیز مجموع حجم عبوری گاز را در هرلحظه نشان می‌دهد.

شکل ۲۷ــ نمای بیرونی جریان‌سنج گاز به روش‌تر
(که در آزمایشگاه‌ها کاربرد دارد ــ با یکای لیتر بر ثانیه)



شکل ۲۸ــ نمای درونی جریان‌سنج
گاز به روش‌تر

تمرین کنید

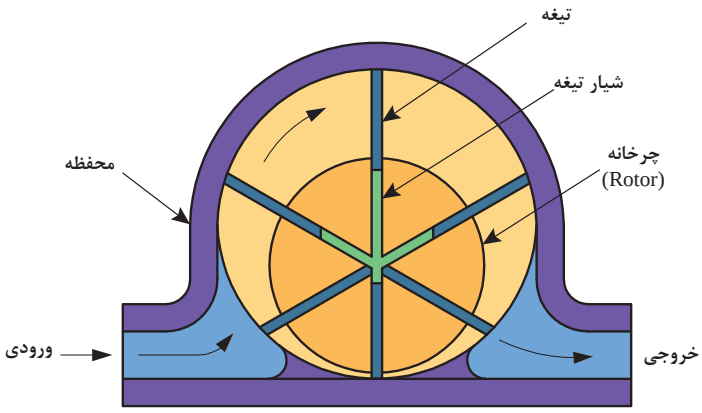
شرکت نفت ایران در حدود سال ۱۳۴۹ شمسی تصمیم گرفت که جریان‌سنج‌های خطوط لولهٔ صادرات نفت خام خود را از نوع صفحهٔ منفذدار (اریفیس) به نوع جا به جایی مثبت (شکل ۳۱) تغییر دهد. هدف از این کار کاهش خطای اندازه‌گیری بود. با توجه به آنچه که تاکنون خوانده‌اید و در گروه‌های دو نفره، میزان ظرفیت و نیز خطای اندازه‌گیری یک درصد را برای دو مورد زیر به دست آورید و آنها را در یک جدول با هم مقایسه کنید.

مورد اول: کشتی‌های نفت‌کش اقیانوس‌پیما بزرگ‌ترین شناورهای موجود جهان هستند. برای نمونه یکی از آنها که ۴۵۸ متر طول دارد، می‌تواند ۲۸۰۸۵۰ تن نفت خام را حمل کند. چگالی نسبی این نوع نفت خام را ۰/۸۵ فرض کنید. اگر هر بشکهٔ نفت خام ۱۵۹ لیتر باشد، این میزان ظرفیت چند بشکه، چند مترمکعب ، چند لیتر و چند گالن است؟

مورد دوم: یک کامیون نفت‌کش شهری، ۲۸۰۰۰ لیتر ظرفیت دارد. با فرض استفاده از نفت خام با چگالی نسبی ۰/۸۵ ، این میزان ظرفیت چند تن، چند بشکه، چند مترمکعب و چند گالن است؟

شکل ۲۹ــ کشتی نفت‌کش اقیانوس پیما

شکل ۳۰ــ کامیون نفت‌کش شهری



شکل ۳۱ـ جریان سنج نوع جابه‌جایی مثبت

تحقیق کنید

با استفاده از شبکهٔ جهانی اینترنت و در گروه‌های دو تا سه نفره، دو جدول در مورد انواع جریان‌سنج مایعات و گازها تشکیل دهید که حاوی اطلاعات خلاصه شده‌ای از کاربردها و موارد مربوط به هریک در صورت امکان با یک تصویر از هر کدام باشد، سپس نتایج خود را با یکدیگر مقایسه کنید.

کنترل دبی جریان

در صنایع شیمیایی با انواع فرایندها سروکار داریم، اما غالباً بسیاری از اجزای آنها مشابه یا حتی مشترک‌اند. مثلاً برای تنظیم جریان سیالات بسیاری از تجهیزات مانند تلمبه‌های اندازه‌گیری، پره‌ها و تنظیم‌کننده‌های سرعت چرخش محرکه‌ها[1] به کار می روند، امّا ساده‌ترین و متداول‌ترین آنها شیرها هستند. عملکرد شیر در تنظیم جریان سیالات عبارت است از ایجاد یک مقاومت بر سر راه جریان سیال. مثلاً برای حفظ کیفیت محصول در یک واحد شیمیایی، کمترین کار ثابت نگهداشتن میزان جریان خوراک ورودی واحد است. به این منظور لازم است که:

۱- ابتدا از میزان جریان خوراک در هر لحظه مطلع شویم. پس باید یک جریان‌سنج را در مسیر خوراک نصب کنیم (اندازه گیری).

۲- همچنین باید از میزان مقرر برای جریان خوراک مطلع باشیم تا در صورت کم یا زیاد شدن جریان خوراک آن را جبران کنیم (مقایسه).

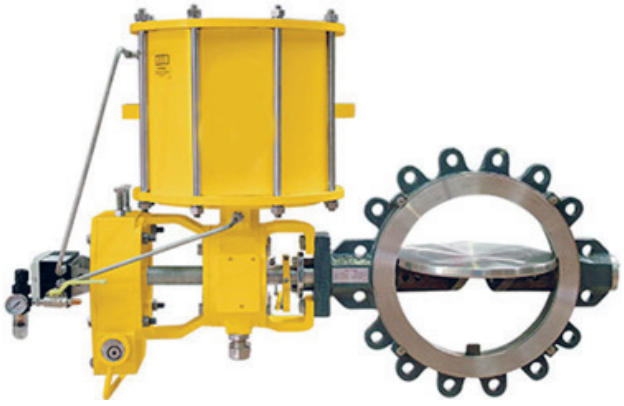
۳- برای تغییر میزان جریان باید (حداقل) از یک شیر استفاده کنیم. اما استفاده از شیر نیاز به یک شخصی دارد که در تمام لحظات آماده و هوشیار باشد (کنترل کننده). روشن است که نتیجهٔ مقایسه باید دائماً به او اطلاع داده شود. بدیهی است که ادامهٔ این کار برای نیروی انسانی بسیار خسته‌کننده و دشوار است. به علاوه، برای تعداد زیاد متغیرهای فرایندی در واحد شیمیایی مورد نظر، افراد زیادی لازم است که جمع دستمزد آنها ممکن است فرایند را غیر اقتصادی کند. به این دلیل برای ایجاد قابلیت تنظیم خودکار در فرایند ها از وسیله ای به نام شیر کنترل استفاده می کنیم.

۱ـ Motors

شیر کنترل خودکار

وسیله‌ای است که با اعمال نیرویی غیر از نیروی دست عمل کرده، میزان جریان را در سامانه تنظیم می‌کند. این وسیله شامل یک شیر است و توانایی تغییر در عامل تنظیم‌کنندهٔ سیال را دارد. این تجهیز بسیار مهم بوده، بخش قابل توجهی از مخارج سرمایه‌ای اولیه واحدهای فرایندی را تشکیل می‌دهد. نیروی محرکه برای کار این شیر می‌تواند هوای فشرده، برق، فشار روغن (هیدرولیکی)، یا حتی ترکیبی از آنها باشد. نمونه‌ای از شیرهای با محور کشوئی[۱] و شیرهای با محور چرخان[۲] در شکل های ۳۲و ۳۳ آورده شده است.

شکل ۳۲ - شیرکنترل با محور کشوئی



شکل ۳۳ - شیرکنترل با محور چرخان

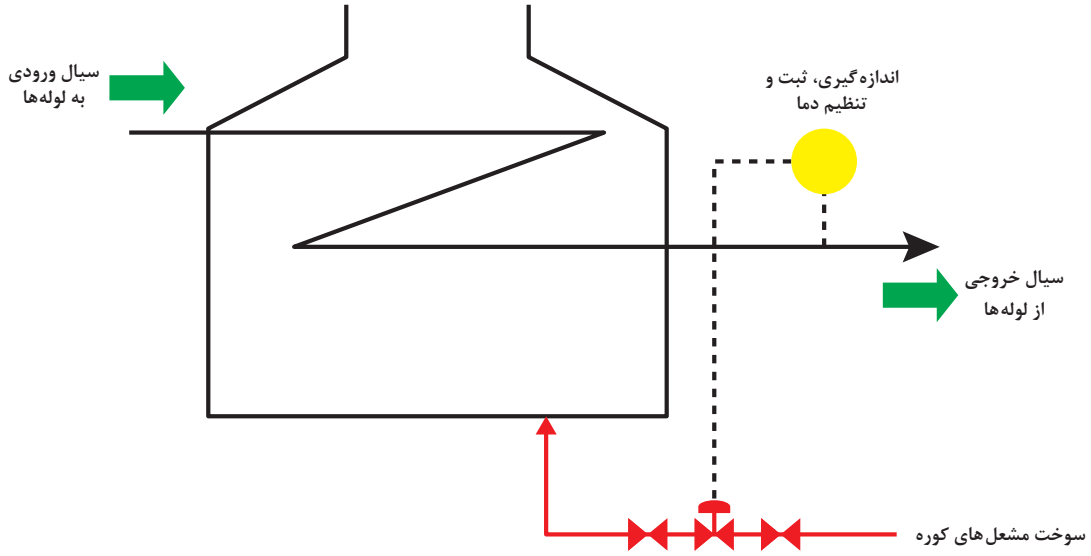
متغیرهای مهم در انتخاب نوع و اندازهٔ شیرهای کنترل

این متغیرها عبارت‌اند از: نوع وظیفهٔ مورد نظر (قطع و وصل جریان سیال، کم و زیاد کردن پیوسته آن، بستن سریع و غیره)، فشار عملیاتی، دمای عملیاتی، قابلیت خوردگی سیال نسبت به آن، گران‌روی سیال، قیمت خرید، قابلیت تعمیراتی کم‌هزینه، نشتی‌های مجاز، افت فشار، بیشترین جریانی که می‌تواند از خود عبور دهد و مانند آنها.

در مواقع راه‌اندازی و بستن واحدهای شیمیایی (یعنی خاموش‌کردن کارخانه برای انجام تعمیرات سالیانه یا بروز نقص‌های پیش‌بینی نشده مانند قطع برق، آب، آتش‌سوزی و غیره) نیز، عملکرد برخی از متغیرها با عملیات پایا[۳] (یکنواخت) واحد متفاوت یا حتی متضّاد است. در نتیجه، معمولاً این کار به عهدهٔ متصدی واحد[۴] گذارده می شود. به عنوان مثالی از تفاوت یا تضاد رفتار برخی از متغیرها در مواقع راه‌اندازی و بستن واحدهای شیمیایی، می‌توان شیر تنظیم سوخت مصرفی کوره‌های احتراقی را ذکر کرد.

۱ـ Sliding Stem ۲ـ Rotary Shaft ۳ـ Steady State ۴ـ Operator

در حالت عملیات فرایندی پایا، این شیر اندکی باز است. با کاهش دمای سیال خروجی کوره (یا افزایش جریان ورودی آن) سوخت بیشتری را به مشعل‌های کوره می‌فرستد.
در صورتی که هنگام راه‌اندازی واحد، کوره سرد است و اگر این شیر در وضعیت عملکرد خودکار باشد، کاملاً باز شده، کوره را با مقدار بسیار زیاد سوخت به آتش یا انفجار خواهد کشید. به این دلیل، چنین مواردی بر عهدهٔ انسان گذارده می‌شود. به بیان دیگر، شیر تنظیم سوخت باید در حالت تنظیم دستی توسط متصدی دستگاه قرار گیرد. در حالی که کارهای پیچیده، دشوار، یا نیازمند به واکنش سریع و دقیق را به خوبی و با ایمنی بیشتر می‌توان با تنظیم هوشمند انجام داد.



شکل ۳۴ ــ شیر کنترل خودکار تنظیم‌کنندهٔ سوخت مشعل‌ها، درکوره‌های فرایندی

فعالیت کارگاهی

کنترل دستی دبی شیرآب کارگاه

وسایل لازم:
استوانهٔ مدرّج
زمان‌سنج
روش کار:
با تنظیم دستی شیر آب کارگاه، دبی آب خروجی را روی ۰/۶ لیتر بر دقیقه تنظیم و کنترل کنید.

ارزشیابی شایستگی اندازه‌گیری، ثبت و کنترل دبی سیال

شرح کار:

چگونگی استفاده از تجهیزات کارگاهی را بداند و کار داده شده را با دقت انجام دهد.
هنگام کار مراقب باشد که دستگاه صدمه نبیند.
پس از انجام کار وسایل را تمیز و سالم در حالت اولیه قرار دهد.

استاندارد عملکرد:

به کارگیری محاسبات و اندازه‌گیری شدت جریان دبی مایعات و گازها و کنترل دبی سیال مطابق دستور کار

شاخص ها:

- رعایت مسائل ایمنی هنگام کار
- انجام کار طبق دستور کار

شرایط انجام کار و ابزار و تجهیزات:

شرایط: مکان کارگاه
شرایط دستگاه: آماده به کار
زمان: یک جلسهٔ آموزشی
ابزار و تجهیزات: زمان‌سنج، استوانهٔ مدرّج، پمپ (از نوع گریز از مرکز)، شیر تنظیم‌کننده، روتامتر، اریفیس‌متر، ونتوری متر

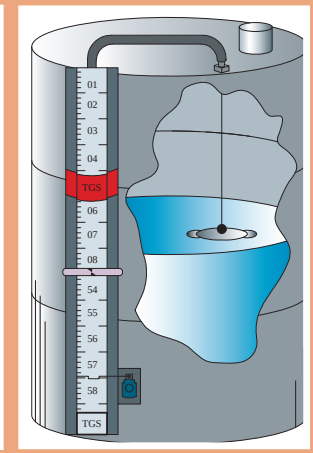
معیار شایستگی:

ردیف	مرحلهٔ کار	کمترین نمرهٔ قبولی از ۳	نمرهٔ هنرجو
۱	به کارگیری مفاهیم و محاسبات در اندازه‌گیری دبی	۱	
۲	اندازه‌گیری دبی مایعات	۲	
۳	اندازه‌گیری دبی گازها	۱	
۴	کنترل دبی سیال	۱	
	شایستگی‌های غیرفنی، ایمنی، بهداشت، توجهات زیست‌محیطی و نگرش: **۱ـ ایمنی: انجام کار کارگاهی با رعایت موارد ایمنی و استفاده از وسایل ایمنی شخصی** **۲ـ نگرش: صرفه‌جویی در مصرفی** **۳ـ توجهات زیست‌محیطی: جلوگیری از صدمه زدن به محیط‌زیست از طریق انجام کار بدون ریخت و پاش** **۴ـ شایستگی‌های غیر فنی: الف) اخلاق حرفه‌ای ب) مدیریت منابع پ) محاسبه و کاربست ریاضی** **۵ـ مستندسازی: گزارش‌نویسی**	۲	
	میانگین نمرات		*

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

پودمان ۵

اندازه‌گیری، ثبت و کنترل ارتفاع سطح مواد



اندازه‌گیری ارتفاع سطح مایع و جامد یکی از مهم‌ترین اندازه‌گیری‌ها در صنایع شیمیایی می‌باشد. اندازه‌گیری دقیق و مداوم ارتفاع سطح مواد موجود در سیلوهای گندم، مخازن صادراتی نفتی، کشتی‌ها و ... بسیار اهمیّت دارد. بدین‌منظور سطح سنج‌ها با دقت‌های مختلف طرّاحی شده اند.

واحد یادگیری ۵

اندازه‌گیری، ثبت و کنترل ارتفاع سطح مواد

مقدمه

اندازه‌گیری ارتفاع سطح مواد و کنترل آن یکی از مهم‌ترین اندازه‌گیری‌ها در صنایع شیمیایی نظیر نفت، پتروشیمی و ... می‌باشد. مواد می‌توانند به‌صورت جامد، مایع و یا چند مایع با چگالی‌های مختلف باشند. با اندازه‌گیری ارتفاع سطح مواد در مخازن و برخی از دستگاه‌های فرایندی، علاوه بر اطلاع از وجود مواد در ارتفاع خاص، کنترل جداسازی فازهای مواد، واکنش‌های شیمیایی، تأمین ایمنی فرایند و جلوگیری از سرریز شدن یا تخلیهٔ مواد صورت می‌پذیرد. انتخاب سطح‌سنج‌ها بر اساس عواملی نظیر نوع ماده، شرایط دما و فشار و محدودهٔ تغییرات ارتفاع، صورت می‌گیرد.

استانداردعملکرد

به‌کارگیری محاسبات و اندازه‌گیری ارتفاع سطح سیال و کنترل آن مطابق دستور کار

شایستگی‌های غیر فنی

۱ **اخلاق حرفه‌ای:** حضور منظم و وقت‌شناسی ـ انجام وظایف و کارهای محوله ـ پیروی از قوانین
۲ **مدیریت منابع:** شروع به کار به موقع ـ مدیریت مؤثر زمان ـ استفاده از مواد و تجهیزات
۳ **کار گروهی:** حضوری فعال در فعالیت‌های گروهی ـ انجام کارها و وظایف محوله
۴ **مستندسازی:** گزارش‌نویسی فعالیت‌های کارگاهی
۵ **محاسبه و کاربست ریاضی:** انجام مثال‌ها و تمرین‌ها با کمک فرمول و محاسبات ریاضی

پس از اتمام این واحد یادگیری هنرجویان قادر خواهند بود:

۱ مفاهیم و محاسبات در اندازه‌گیری ارتفاع سطح مواد را به‌کار گیرند.
۲ ارتفاع سطح مواد را اندازه‌گیری نمایند.
۳ ارتفاع سطح یک مخزن را کنترل نمایند.

اندازه‌گیری ارتفاع سطح مواد

بحث‌گروهی

آیا تاکنون عمق آب یک مخزن یا استخر را اندازه گرفته‌اید؟ با چه روش‌هایی این کار را انجام می‌دهید؟

معمولاً در بیشتر صنایع، از تجهیزات ابزار دقیق برای اندازه‌گیری چهار متغیر دما، فشار، دبی جریان و ارتفاع سطح مواد موجود در مخازن استفاده می‌شود. به طور کلی سامانهٔ کنترل و ابزار دقیق به عنوان مغز متفکر یک صنعت، متضمن ایمنی و کنترل بهینهٔ فرایند است. اندازه‌گیری ارتفاع سطح مایع و جامد یکی از مهم‌ترین اندازه‌گیری‌ها در صنایع مختلف می‌باشد. اندازه‌گیری ارتفاع سطح مایع یکی از مواردی است که هم در زندگی روزمره و هم در صنعت اهمیّت زیادی دارد. اگر مخازن، شیشه‌ای باشند، سطح سیال موجود در آنها قابل دید بوده و ارتفاع آن به راحتی اندازه‌گیری می‌شود. ولی در صنعت، بیشتر تجهیزات و مخازن، مات و فلزی هستند که به منظور اندازه‌گیری ارتفاع سطح سیال درون آن از وسیله‌ای به نام سطح‌سنج[1] استفاده می‌گردد.

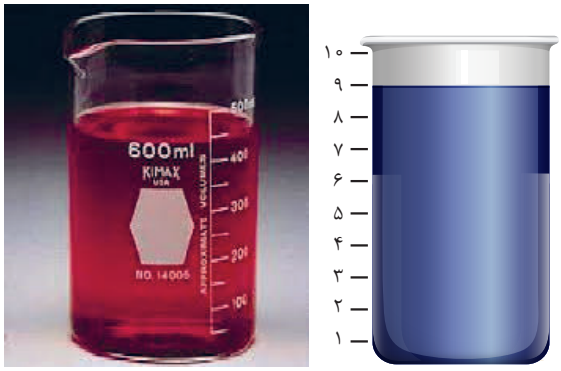
شکل ۱ـ نمایی از یک سطح‌سنج برای سنجش ارتفاع سطح آب

یکی از نمونه‌های بارز اهمیّت سطح‌سنج در صنعت، کاربرد آن در ظروف دو فازی جداساز نفت و گاز است. در این جداسازها، وجود سامانهٔ کنترل ارتفاع سطح نفت ضروری است، زیرا در غیر این صورت ممکن است دو مشکل به‌وجود آید: ۱ـ افزایش سطح نفت و خروج نفت به همراه گاز از بالای ظرف جداساز. ۲ـ کاهش سطح نفت و خروج گاز به همراه نفت از پایین ظرف، که این دو مسئله، جداسازی نامناسب نفت و گاز و تولید محصول بی‌کیفیت را به همراه دارد.

۱ـ Level Measurement

مفهوم سطح مواد

منظور از سطح مواد، ارتفاع یا عمق مواد از کف مخزن تا راستای سطح آزاد آن می‌باشد. سطح آزاد، سطحی است که مواد در آنجا با هوای بیرون در تماس هستند. برای بیان سطح مواد درون مخزن معمولاً از یک درجه‌بندی که متناسب با اندازه و شکل مخزن است، استفاده می‌گردد (شکل ۲). سطح‌سنج در هر لحظه، درصدی از مخزن را که توسط مواد اشغال شده است، نشان می‌دهد. در مواقعی، به جای نشان دادن ارتفاع سطح مواد از حجم مواد استفاده می‌شود.



شکل ۲ــ درجه‌بندی ارتفاع سطح سیال

پرسش

نمونه‌هایی از سطح‌سنج و کنترل سطح مایعات را در زندگی روزمره نام ببرید.

تحقیق کنید

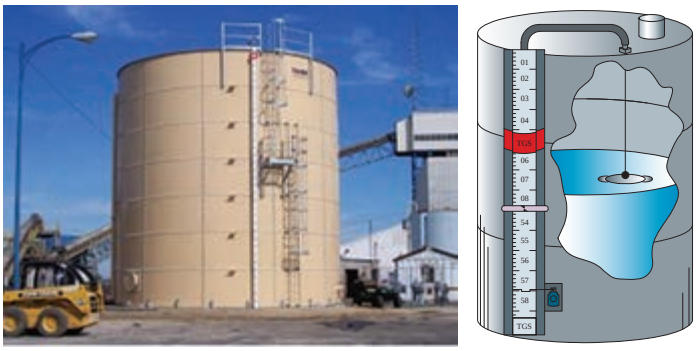
آیا می‌دانید عمیق‌ترین اقیانوس چه نام دارد؟ فکر می‌کنید عمق اقیانوس‌ها را چگونه اندازه‌گیری می‌کنند؟

سطح‌سنج

بحث گروهی

به چه دلایلی از سطح‌سنج استفاده می‌گردد؟

استفاده از سطح‌سنج برای تعیین مقدار دقیق و مداوم حجم یا وزن مواد موجود در مخازن ذخیره، یکی از مهم‌ترین روش‌ها است. در شکل ۳ نمایشگر سطح به موازات تانک نصب‌شده و به صورت مدرج سطح مواد را نشان می‌دهد. مخازن نگه‌داری مواد هر چند از روش‌های کنترلی دیگری نیز در صنایع استفاده می‌گردد، ولی این روش قابل اعتمادتر بوده و از دقت بالایی برخوردار است. اندازه‌گیری مقدار دقیق و مداوم ارتفاع سطح مواد موجود در مخازن ذخیره، مخازن صادراتی واقع در پایانه‌های صادرات مواد نفتی، کشتی‌ها و همچنین مخازن موجود در پالایشگاه‌ها، نیروگاه‌ها و واحدهای پتروشیمی، با توجه به ارزش بالای این گونه مواد، بسیار اهمیّت دارد. در این شرایط، درون مخزن هیچ‌گونه واکنش شیمیایی انجام نمی‌گیرد و مواد به صورت دوره‌ای یا پیوسته به مخزن وارد و یا از آن خارج می‌گردد و همچنین همان‌طور که ذکر شد این روش اندازه‌گیری از دقت بالایی برخوردار می‌باشد.



شکل ۳ـ اندازه‌گیری ارتفاع سطح سیال با استفاده از سطح‌سنج در تانک ذخیره

پرسش

به نظر شما در چه صنایعی اندازه‌گیری ارتفاع سطح مواد انجام می‌گیرد؟

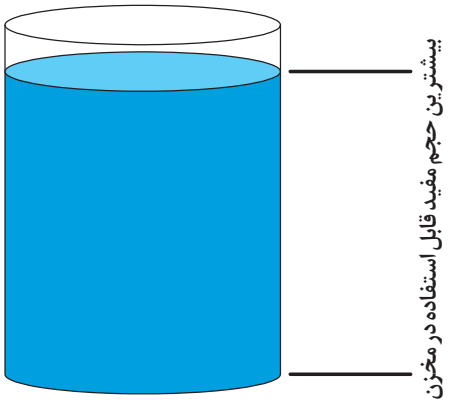
دلایل استفاده از سطح‌سنج‌ها را می‌توان به‌صورت زیر بیان کرد:

۱ـ انتقال مواد

در انتقال موادی مانند نفت خام، که از طریق خط لوله به مخزن نفت‌کش‌ها انتقال می‌یابد، توسط سطح‌سنج مقدار مادهٔ موجود در مخزن مشخص می‌شود. با توجه به مقدار زیاد مادهٔ جابه‌جا شده، این روش اندازه‌گیری، خطای ناچیزی دارد.

۲ـ استفاده از بیشترین حجم مفید مخازن

با تعیین ارتفاع سطح مایع داخل مخزن (تانک) توسط سطح‌سنج و مشخص بودن سطح مقطع مخزن ذخیره، حجم مایع داخل مخزن محاسبه می‌گردد. بر اساس نوع مادهٔ ذخیره شده در مخازن از بیشترین حجم مفید آنها برای ذخیره‌سازی مواد استفاده می‌گردد. همان‌طور که در شکل ۴ نشان داده شده با قرار دادن سطح‌سنج در مخزن، این حجم مفید نشان داده می‌شود. لذا برای ذخیره‌سازی مواد، بیشترین حجم بهینه مشخص شده و بدین‌ترتیب دیگر نیازی به خرید تجهیز و مخازن اضافه نمی‌باشد.



شکل ۴ـ استفاده از بیشترین حجم مفید مخزن با کمک سطح‌سنج

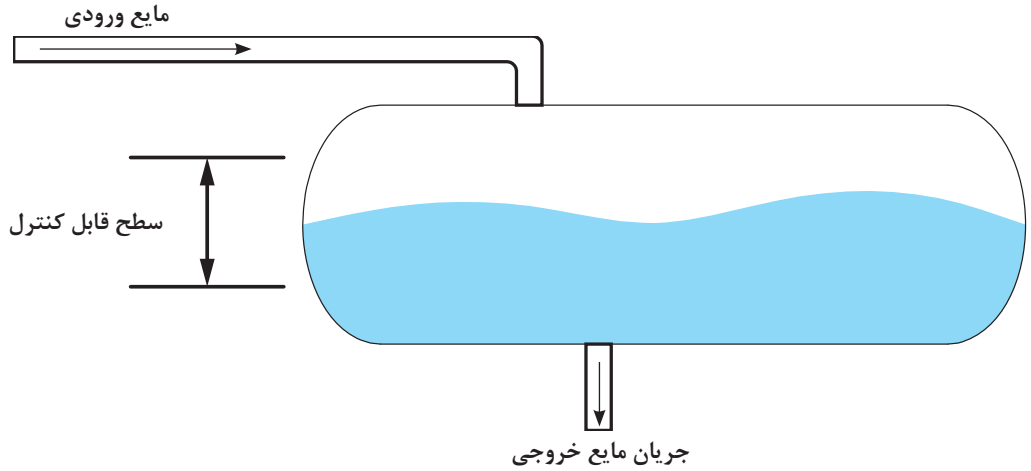
۳ـ ایمنی

زمانی که مخازن بیشتر از ظرفیت خود پر شوند، امکان سرریز شدن آنها وجود دارد و در صورتی که این مواد، بازی، اسیدی، آتش‌گیر و همراه با حرارت باشند، خطرات جبران‌ناپذیری به همراه خواهند داشت.

همین‌طور اگر سطح مواد درون مخزن، از حد لازم پایین‌تر بیاید، کاهش سطح مایع ممکن است تخلیهٔ کامل مخزن را به همراه داشته باشد و به هنگام نیاز، موجودی آن قدر کم باشد که تولید را متوقف نماید. همچنین کاهش سطح ممکن است به تجهیزات اطراف خود (نظیر وسیلهٔ انتقال‌دهندهٔ مواد) صدمه برساند. بنابراین استفاده از سطح‌سنج، اطمینان از نگه‌داری مواد در سطح مناسب را به همراه دارد. جهت پی بردن به اهمیّت تضمین ایمنی توسط سطح‌سنج‌ها، به حادثهٔ سال ۱۹۷۹ میلادی در نیروگاه اتمی واقع در ایالت پنسیلوانیای آمریکا اشاره می‌گردد. در یکی از راکتورهای آن نیروگاه، سطح‌سنج مقدار آب داخل راکتور را نزدیک به بالاترین سطح در راکتور و آماده برای سرریز شدن نشان داد. به دلیل مسائل ایمنی و مخاطرات آب موجود در داخل راکتور، ساکنین نزدیک نیروگاه مجبور به ترک منازل و خروج از منطقهٔ مسکونی شدند. در پایان مشخص شد که فعال‌شدن سطح‌سنج نصب‌شده در بالای مخزن، به دلیل پر شدن مخزن نبوده، بلکه بر عکس، مقدار کم آب درون مخزن، موجب پرش و برخورد ذرات جوشان آب به حسگر اندازه‌گیری ارتفاع سطح مایع و فعال‌شدن اشتباه آن شده است. این مثال اهمّیت به‌کارگیری و انتخاب مناسب سطح‌سنج را نشان می‌دهد.

۴ـ ثابت نگاه داشتن مقدار مادهٔ داخل مخزن[۱]

در فرایندهایی که نگهداری ثابت مقدار ماده موجود در مخزن مد نظر است، میزان ورودی و خروجی مواد به مخزن از طریق سطح‌سنج قابل کنترل می‌باشد. به‌طور مثال می‌توان به‌ظروف نگه‌داری مواد که در میان واحدهای فرایندی هستند، اشاره کرد. در صنعت می‌توان به‌کاربرد ظروفی که تلاطم سیال[۲] را کنترل می‌کنند تا فازهای سیال فرصت جدا شدن را پیدا نمایند، اشاره نمود. این مخازن می‌بایستی در مدت زمان مشخصی سیال را در خود نگه دارند (شکل ۵).



شکل۵ـ ثابت نگه داشتن مایع داخل مخزن از طریق کنترل ارتفاع آن

۱ـ Consistent Supply

۲ـ Surge Drum

عوامل تأثیرگذار در انتخاب نوع سطح‌سنج

اولین نکته در انتخاب سطح‌سنج، آن است که آیا امکان تماس آن با مواد داخل مخزن وجود دارد یا خیر. در این شرایط بسته به نوع ماده از نظر حالت گاز، مایع و جامد بودن، باید قرار گرفتن سطح‌سنج در داخل مخزن بررسی شود. به عنوان مثال در شرایطی که وجود ذرات جامد یا گل‌ولای همراه با مواد است، در صورتی که سطح‌سنج در داخل مخزن نصب شود، لازم است آسیب‌های وارده به آن به‌دلیل تماس و آلودگی با مواد، بررسی گردد. همچنین در مخزنی که سطح‌سنج در آن قرار گرفته است، در صورت نیاز به تعمیرات مخزن، وجود سطح‌سنج نباید مانع از تعمیرات گردد. میزان تلاطم سطح مایعی که در بالاترین ارتفاع سطح مخزن قرار می‌گیرد نیز، قبل از تعیین و انتخاب نوع سطح‌سنج باید مورد بررسی قرار گیرد. همچنین میزان کمینه و بیشینهٔ فشار، دمای واقعی مخزن، محدودهٔ اندازه‌گیری و دقت سطح مورد نظر نیز در انتخاب سطح‌سنج تأثیرگذار است.

برای انتخاب نوع سطح‌سنج، عوامل زیر باید در نظر گرفته شوند:

- محدودهٔ تغییرات ارتفاع سطح مایع
- خصوصیات فیزیکی مواد مانند چگالی
- تمیز یا کثیف بودن مایع
- میزان بخارات یا ذرات جامد موجود در مواد
- خورندگی مواد
- تمایل مایع به رسوب‌دهی بر روی دیوارهٔ ظرف یا وسیلهٔ اندازه‌گیری
- دما و فشار فرایند
- ترکیب شیمیایی مواد
- قوانین زیست‌محیطی
- وجود رطوبت

به عنوان مثال تعداد دستگاه‌هایی که برای اندازه‌گیری ارتفاع سطح مایعات تمیز و با گرانروی پایین می‌توان انتخاب نمود، بیشتر از دستگاه‌هایی است که می‌توان برای محلول‌های دوغابی با گرانروی بالا انتخاب کرد. علاوه بر شرایطی که ذکر شد، ساختار مخزن و نوع واکنش‌هایی که در آن انجام می‌گردد نیز در انتخاب نوع سطح‌سنج مؤثر است.

مخازن از نظر ساختاری به دو دستهٔ کلی تقسیم‌بندی می‌گردند:

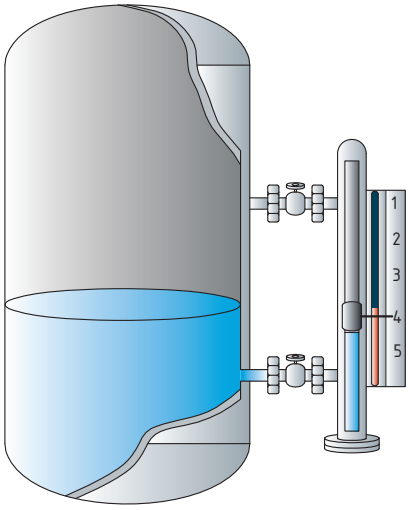
ـ مخازن با تجهیزات داخلی

مانند مخلوط‌کن‌ها، برج‌های جذب، دفع، تقطیر و راکتورهای شیمیایی که در آنها واکنش شیمیایی رخ داده و نوع سطح‌سنج با در نظر گرفتن این شرایط انتخاب می‌گردد.

ـ مخازن بدون تجهیزات داخلی

مانند تانک‌های ذخیره و ظروف جداسازی که در این نوع تانک‌ها، معمولاً سیال در حال سکون بوده و فقط تحت تأثیر دما و فشار است (شکل ۶).

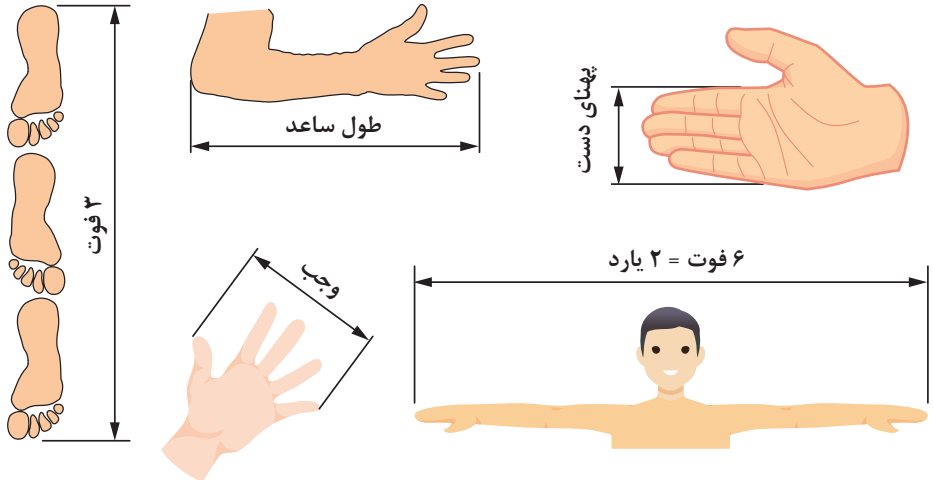
در این ظروف زمان اقامت سیال، بیش از چند دقیقه به طول نمی‌انجامد و هر جا که شرایط مخزن بر عملکرد حسگر سطح‌سنج تأثیرگذار باشد، این شرایط نیز باید در نظر گرفته شود.



شکل ۶ ــ اندازه‌گیری ارتفاع سطح مایع داخل مخزن بدون تجهیزات داخلی

یکاهای ارتفاع سطح مواد و تبدیل آنها به یکدیگر

از دیرباز بشر برای اندازه‌گیری طول، عرض و ارتفاع از ابزارهای قابل دسترس خود استفاده می‌نموده، که طبعاً این ابزار می‌توانست اعضای بدن مثل دست و پا باشد. با گذشت زمان و توسعهٔ جامعهٔ بشری و تغییر نیازهای داد و ستد، این نوع ابزارها کفایت نمی‌کردند. از طرفی اندازهٔ دست و پای افراد با یکدیگر متفاوت بود. به همین دلیل برای اندازه‌گیری کمیّتی مانند ارتفاع مشکلات فراوانی ایجاد می‌شد. لذا وجود یک استاندارد معین برای اندازه‌گیری ضروری به نظر می‌رسید (شکل ۷).



شکل ۷ــ نمونه‌هایی از شاخص‌های اندازه‌گیری طول

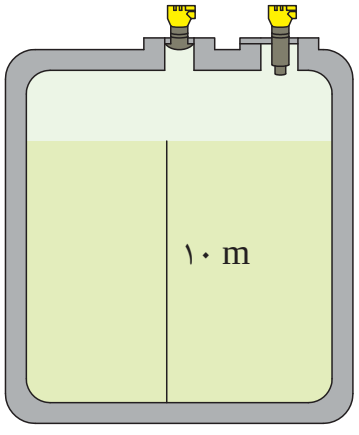
در جدول ۱ تبدیل یکاهای مختلف ارتفاع سطح مواد نشان داده شده است.

جدول ۱ـ تبدیل یکاهای مختلف ارتفاع سطح مواد

۱ متر	۱۰۰۰ میلی‌متر
۱ متر	۱۰۰ سانتی‌متر
۱ فوت	۰/۳۳۳ یارد
۱ فوت	۱۲ اینچ
۱ فوت	۰/۳۰۵ متر
۱ اینچ	۲/۵۴ سانتی‌متر

مثال

ارتفاع سیال حاوی برش‌های سنگین نفتی در مخزن ذخیره‌ای مشابه شکل زیر، به ۱۰ متر می‌رسد. این مقدار معادل چند سانتی‌متر، چند فوت و چند اینچ می‌باشد؟



h = ارتفاع سیال

$$h(cm) = ۱۰m \times \frac{۰/۰۱cm}{۱m} = ۱۰۰۰cm$$

$$h(ft) = ۱۰m \times \frac{۱ft}{۰/۳۰۵m} = ۳۲/۸ft$$

$$h(in) = ۱۰m \times \frac{۱ft}{۰/۳۰۵m} \times \frac{۱۲in}{۱ft} = ۳۹۳in$$

تمرین

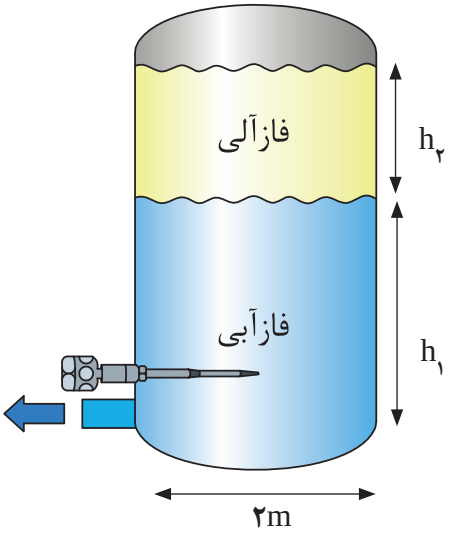
۱ عمق آب دریای خزر در قسمت شمالی آن به طور میانگین به ۵ متر می‌رسد، این عمق در سامانهٔ انگلیسی معادل چند فوت است؟

۲ حجم آب داخل استخری ۷۵۰۰ مترمکعب است. طول این استخر ۵۰ متر و عرض آن ۲۵ متر است. عمق آب داخل استخر را بر حسب یکاهای متر و اینچ محاسبه نمایید؟

۳ در یک ظرف جداساز سیالات دو فازی (شکل زیر)، حجم فاز آبی موجود در مخزن ۱۳متر مکعب و فاز آلی ۵ مترمکعب است. قطر مخزن ۲ متر می‌باشد. ارتفاع سیال‌های آلی و آبی در این مخزن چند متر و چند سانتی‌متر می‌باشد؟

h_1 = **ارتفاع سطح فاز آبی**

h_2 = **ارتفاع سطح فاز آلی**



روش‌های اندازه‌گیری ارتفاع سطح مواد

سطح‌سنج‌های مورد استفاده در صنعت، به سه روش، اندازه‌گیری ارتفاع سطح مواد را انجام می‌دهند:

ـ سطح‌سنج‌هایی که جهت نمایش فیزیکی ارتفاع سطح مواد به کار می‌روند که به آنها نمایشگرهای سطح[1] گفته می‌شوند. با کمک این نمایشگرها، سطح واقعی مواد از طریق مشاهده یا به کمک مشخصات فیزیکی مواد اندازه‌گیری می‌شود و تغییرات دما و چگالی مواد بر اندازه‌گیری سطح تأثیرگذار نمی‌باشد.

ـ سطح‌سنج‌هایی که سطح مواد درون مخزن را به طور پیوسته اندازه‌گیری می‌کنند و بر سطح مواد به‌طور پیوسته نظارت شده و هر گونه تغییری ثبت می‌گردد. این سطح‌سنج‌ها را ترانسمیتر سطح[2] می‌گویند. وظیفهٔ ترانسمیتر، ثبت و انتقال ارتفاع سطح مواد به اتاق فرمان برای مخازن دربسته است.

ـ سطح‌سنج‌های نقطه‌ای که ارتفاع سطح مواد را در یک نقطهٔ از پیش تعیین‌شده بررسی می‌کنند و به این ترتیب از سرریزی و یا پایین آمدن مواد جلوگیری می‌شود.

پرسش

مخزنی توسط پمپ در حال پر شدن است. سطح‌سنج به کار رفته از نوع نقطه‌ای است یا پیوسته؟

نکته

در مدارک مهندسی و ابزار دقیق چنانچه حرف L در ابتدا ذکر گردد، نشانگر سطح است. برای معرفی نمایشگر محلی سطح از LG، برای سطح نقطه‌ای از LS و برای ترانسمیتر سطح از LT استفاده می‌گردد.

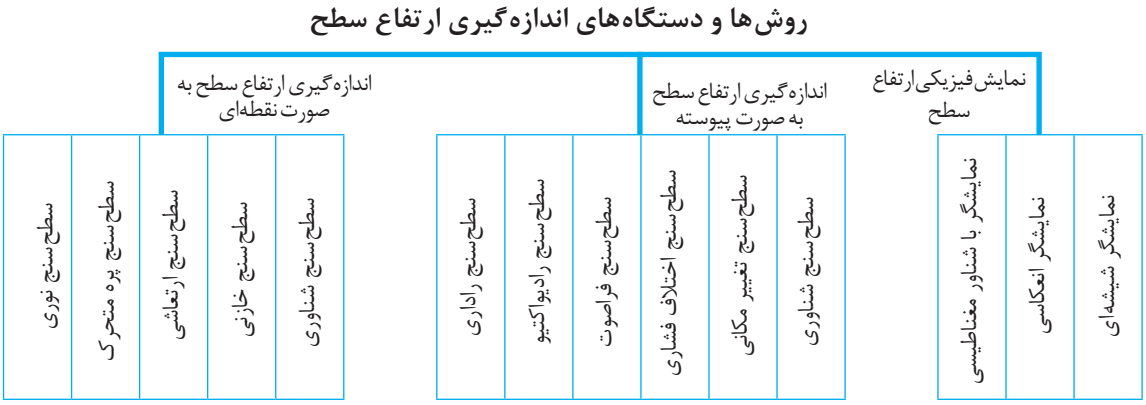
دستگاه‌های اندازه‌گیری ارتفاع سطح مواد

در سه روش اندازه‌گیری ارتفاع سطح مواد که پیش‌تر توضیح داده شد، ساختار دستگاه‌های سطح‌سنجی برحسب نوع کاربرد آنها، ساده تا پیچیده می‌باشد. در نوع ساده آنها، ساختار و عملکرد دستگاه به صورت دستی ـ مکانیکی است، هیچ خروجی الکترونیکی برای آن تعبیه نشده و کاربر برای مشخص شدن ارتفاع سطح مواد از تجهیزات دیداری استفاده می‌نماید. این تجهیزات خودکار (اتوماتیک) نبوده و قیمت پایینی دارند.

ساختار و عملکرد گروه دیگری از این دستگاه‌ها به شکل الکترومکانیکی است و شامل بخش مکانیکی با تعدادی اجزای متحرک برای تولید یک خروجی الکترونیکی برای کنترل سطح می‌باشد و به همین دلیل به‌صورت خودکار از راه دور قابل کنترل هستند. بخش متحرک سطح‌سنج‌ها نیاز به نگهداری و تعمیرات مناسب دارد. بخش مکانیکی سطح‌سنج در صورتی که در تماس با روغن و یا مواد خورنده باشد، بایستی برای دوری از رسوب‌گذاری مواد روی آن، در فاصلهٔ زمانی کوتاه‌تری تمیز شوند.

در ادامه انواع دستگاه‌های مورد استفاده در سه روش نمایشگرهای سطح، سطح‌سنج‌های پیوسته و نقطه‌ای توضیح داده شده و عملکرد، مزایا و معایب تعدادی از آنها بررسی می‌شود. دسته‌بندی روش‌ها و دستگاه‌های اندازه‌گیری مطابق شکل ۸ می‌باشد.

۱ـ Level Gauge ۲ـ Level Transmitter



شکل ۸ــ دسته‌بندی روش‌ها و دستگاه‌های اندازه‌گیری ارتفاع سطح مواد

نمایشگرهای فیزیکی سطح

این نمایشگرها به شیشه‌های مدّرج قابل دید (نشانگر شیشه‌ای) و شناورهایی که به صورت مکانیکی یا الکتریکی به یک نشانگر یا وسیلهٔ هشداردهنده وصل شده تقسیم‌بندی می‌گردند. در این روش، محفظهٔ سطح‌سنج به صورت موازی با مخزن نصب می‌گردد و از پایین با مایع درون مخزن مرتبط است و محفظه نیز تحت تأثیر فشاری برابر با فشار وارده بر سطح مایع درون مخزن است. طرح سادهٔ این نمایشگرها در شکل ۶ آورده شده است. در ادامه توضیحات هر کدام به‌طور جداگانه آمده است.

نمایشگرهای شیشه‌ای سطح[1]

ساختار این دستگاه و عملکرد آن به شکل دستی ـ مکانیکی است. نمایشگر سطح، لولهٔ شیشه‌ای یا پلاستیکی شفافی است که به صورت ظروف مرتبطه به مخزن نصب می‌شود و از این رو مایع درونش با مایع درون مخزن هم‌ارتفاع است. با توجه به شفافیت شیشه، ارتفاع سطح مایع درون مخزن از پشت شیشه قابل مشاهده می‌باشد. نمایشگرها ممکن است مدّرج باشند یا در کنار خود، نوار مدرّجی داشته باشند (شکل ۹).

شکل ۹ــ نمونه‌ای از نمایشگر شیشه‌ای

۱ـ Gauge Glass

نمایشگرهای انعکاسی[1]

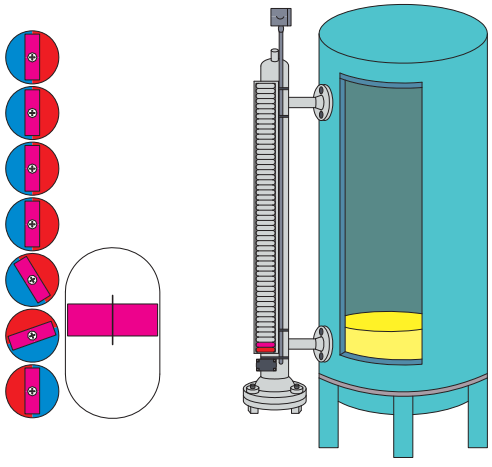
شکل ۱۰ـ نمایشگر انعکاسی

محفظهٔ این نمایشگرها از شیشه‌هایی با قسمت‌های رنگی ساخته شده است. نور در بخشی که سیال وجود ندارد، شکسته شده و این قسمت روشن دیده می‌شود. در بخشی که مایع حضور دارد، نور جذب می‌شود و آن قسمت به صورت تیره است. این نمایشگرها نسبت به نمایشگرهای شیشه‌ای استحکام بیشتری دارند و محفظهٔ آنها دارای شیشهٔ مقاوم‌تری است (شکل ۱۰).

در نمایشگرهای شیشه‌ای و انعکاسی، مایع وارد محفظه شده و امکان شکستن محفظه و سرریز شدن آن وجود دارد، لذا از این نوع نمایشگرها در دما و فشار محدودی استفاده می‌شود. نوع اول تا فشار حدود ۱۵ psi و نوع دوم به دلیل محفظهٔ مقاوم‌تر، تا فشار حدود ۳۵psi نیز کاربرد دارد.

نمایشگرهای با شناورهای مغناطیسی[2]

در این نوع نمایشگرها از خاصیت شناور بودن اجسام در سطح مایع استفاده می‌شود. شیوهٔ کار به این صورت است که یک آهن‌ربا توسط شناوری در محفظهٔ سطح‌سنج بالا و پایین می‌رود. یک ستون از آهن‌رباها در طول مسیر حرکت وجود دارد که روی هم چیده شده‌اند و یک طرف هر آهن‌ربا سفید و طرف دیگر، رنگی می‌باشد. هرگاه آهن‌ربای متصل به شناور از مقابل آنها عبور کند، بر اثر جذب و دفع قطب‌های مغناطیسی، هرکدام از این آهن‌رباها چرخیده و ارتفاع سطح مایع را نمایش می‌دهند (شکل ۱۱). سطح‌سنج مغناطیسی در مخازن آب، اسید، سوخت، دیگ‌های آب گرم و بخار و صنایع نفت، گاز و پتروشیمی کاربرد دارد.



شکل ۱۱ـ نمایشگر با شناور مغناطیسی

۱ـ Reflex Level Gauge

۲ـ Magnetic Float Level Gauge

انواع سطح‌سنج با عملکرد پیوسته

در بررسی پیوستهٔ سطح‌سنج، ارتفاع سطح مادهٔ درون مخزن دائماً اندازه‌گیری می‌شود. انواع دستگاه‌های مورد استفاده با عملکرد پیوسته مطابق شکل ۸ شامل سطح‌سنج شناوری[۱]، تغییر مکانی، اختلاف فشاری، فراصوت (اولتراسونیک[۲])، راداری، رادیواکتیو و سروموتوری[۳] می‌باشد که در ادامه چند نوع از آنها توضیح داده شده است:

سطح‌سنج شناوری

خاصیت شناوری در اندازه‌گیری ارتفاع سطح ماده به طور پیوسته قابل استفاده است. در اندازه‌گیری پیوسته می‌توان به کمک سازوکارهایی موقعیت شناور را در هر نقطه از داخل مخزن اندازه‌گیری و به اتاق فرمان ارسال کرد. در سطح‌سنج‌های شناوری می‌توان از وزنه و کابل یا زنجیر استفاده نمود. در این نوع از سطح‌سنج‌ها یک وزنه به وسیله کابل به شناوری که درون مخزن است، متصل می‌شود.

این وزنهٔ تعادل، هم‌زمان با بالا و پایین رفتن شناور در اثر تغییر ارتفاع مایع درون مخزن، جابه‌جا شده و ارتفاع سطح ماده را بر روی درجه‌بندی که در بیرون از مخزن نصب شده است، نمایش می‌دهد (شکل۱۲). این سطح‌سنج‌ها دقیق می‌باشند ولی از معایب مکانیکی آنها، می‌توان به اصطکاک میان کابل و چرخ‌دنده اشاره کرد.

شکل ۱۲ــ سطح‌سنج شناوری

نمایش فیلم: سطح‌سنج شناوری

تحقیق کنید

در خصوص نصب و کاربرد سطح‌سنج شناوری چه الزاماتی بایستی رعایت گردد؟

سطح‌سنج اختلاف فشاری[۴]

همان‌طور که می‌دانیم فشار را می‌توان براساس شیوهٔ عملکرد مانومترها و با محاسبهٔ فشار ستونی از مایع اندازه‌گیری کرد. در سطح‌سنج‌هایی که براساس محاسبهٔ فشار کار می‌کنند، می‌توان طبق رابطهٔ زیر با اندازه‌گیری فشار و معلوم بودن مقدار چگالی مایع (d)، ارتفاع ستون مایع (h) درون مخزن را به دست آورد:

$$P_{abs} = P_1 + dgh \qquad (1)$$

در این رابطه، P_1 فشار گاز و بخار بالای مخزن و P_{abs} فشار مطلق است که در مخازن بدون سقف با فشار جو در منطقه برابر می‌باشد. جهت محاسبهٔ ارتفاع مایع درون یک مخزن با این روش، نیاز است که فشار ستون

۱ـ Float Level Switch
۲ـUltrasonic Level Meter
۳ـ Servo Level Transmitter
۴ـ Differential Pressure Level Transmitters

مایع و فشار بالای مخزن اندازه‌گیری شوند. به این منظور انتقال‌دهنده‌های (ترانسمیترهای) اختلاف فشاری ساخته شده‌اند که با محاسبهٔ اختلاف فشار مخزن، موجی متناسب با ارتفاع سیال درون آن ارسال می‌کنند. فشاری که در این حالت اندازه‌گیری می‌شود، فشار استاتیک[1] مایعی می‌باشد که در حالت سکون درون مخزن قرار دارد. لذا به این روش اندازه‌گیری هیدرواستاتیک[2] سطح نیز گفته می‌شود. اندازه‌گیری سطح با این روش پیچیدگی خاصی ندارد و استفاده از این نوع سطح‌سنج به دلیل سادگی و قیمت پایین بسیار فراگیر شده است (شکل ۱۳).

شکل ۱۳ـ سطح‌سنج اختلاف فشاری

نمایش فیلم: سطح‌سنج اختلاف فشاری

سطح‌سنج فراصوت

در سطح‌سنج فراصوت از اصل انعکاس امواج استفاده می‌شود، به این صورت که ترانسمیتر امواج فراصوت را تولید و به سطح مواد ارسال می‌کند. این امواج پس از برخورد با سطح مواد برگشت داده می‌شوند و یک گیرنده، امواج برگشتی از سطح مواد را دریافت می‌کند. ترانسمیتر با محاسبهٔ زمان رفت و برگشت امواج، ارتفاع سطح مواد را اندازه‌گیری می‌کند (شکل ۱۴). حسگرهای فراصوت معمولاً در بالای مخزن نصب می‌شوند و بدون تماس با مواد، ارتفاع را اندازه‌گیری می‌کنند و با توجه به این ویژگی برای سیالات خورنده مناسب می‌باشد. این سطح‌سنج‌ها مناسب محیط‌هایی که کف و بخار دارند، نمی باشد زیرا امواج توسط کف و بخار بالای مخزن جذب شده و اندازه‌گیری ارتفاع سطح انجام نمی‌گیرد.

شکل ۱۴ـ سطح‌سنج فراصوت (اولتراسونیک)

۱ـ Static Pressure
۲ـ Hydrostatic

پرسش

چرا به این سطح‌سنج فراصوت می‌گویند؟

نمایش فیلم: سطح‌سنج فراصوت

سطح‌سنج راداری

امواج راداری می‌تواند برای تشخیص مسافت استفاده شود. فرکانس کاری این امواج در محدودهٔ ۳ تا ۳۰ گیگاهرتز می‌باشد. این محدودهٔ فرکانسی کاملاً ایمن می‌باشد. سطح‌سنج‌های راداری با ارسال امواج به سطح سیال، فضای خالی مخزن را اندازه‌گیری می‌کنند و با کسر مقدار اندازه‌گیری شده از ارتفاع واقعی مخزن که به عنوان مقدار اولیه به ترانسمیتر داده شده است، ارتفاع مایع درون مخزن را محاسبه می‌کنند (شکل ۱۵).

شکل ۱۵ــ سطح‌سنج راداری

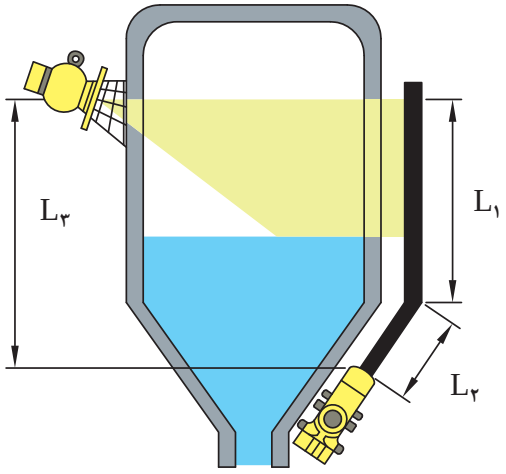
بیشتربدانید

امواج راداری در اواخر دههٔ ۱۹۳۰ میلادی در صنایع نظامی جهت تخمین مسافت‌های هوایی ارائه شد. از آن زمان به بعد رادار علاوه بر کاربردهای نظامی در حوزه‌هایی از جمله سامانهٔ ناوبری کشتی و هواپیما، هواشناسی، وسایل خانگی و ... به‌کار گرفته شد. در حدود ۵۰ سال است که با ساخت حسگرهای راداری، از این امواج جهت اندازه‌گیری ارتفاع سطح درون مخزن استفاده می‌شود.

سطح‌سنج رادیواکتیو

نوع دیگری از حسگرهای اندازه‌گیری سطح، از ارسال و دریافت امواج رادیواکتیو استفاده می‌کنند. این حسگرها مطابق شکل ۱۶ بیرون از مخزن نصب شده و یک منبع رادیواکتیو، امواج را به درون مخزن می‌فرستند، امواج ارسالی توسط گیرنده رادیواکتیو که در سمت دیگر مخزن نصب شده است، دریافت و به موج الکتریکی متناسب با سامانهٔ کنترل تبدیل می‌شوند. این سطح‌سنج به‌دلیل آنکه در بیرون مخزن نصب می‌شود، تحت تأثیر خوردگی سیال و بخارات آن قرار نمی‌گیرد و به‌خوبی در مخازن تحت فشار با ضخامت بالا پاسخگو می‌باشد. این سطح‌سنج‌ها گران‌قیمت بوده و طول عمر بالا و هزینهٔ نگه‌داری پایینی دارند.

نمایش فیلم: سطح‌سنج راداری



شکل ۱۶ـ سطح‌سنج رادیواکتیو

نکات ایمنی

امواج رادیواکتیو برای انسان در محدودهٔ خطرناک قرار دارند، لذا منبع ارسال امواج رادیواکتیو باید به گونه‌ای طرّاحی شود که امواج هیچ‌گونه خطری برای افراد شاغل در واحد صنعتی نداشته باشد. این منبع، مجموعه‌ای از امواج رادیواکتیو را به صورت موازی با مخزن ارسال و از انتشار امواج در جهت‌های دیگر جلوگیری می‌کند. نیرو و انرژی امواج ارسالی وابسته به ضخامت مخزن، فاصلهٔ بین منبع رادیواکتیو و گیرندهٔ امواج و چگالی سیال درون مخزن می‌باشد.

انواع سطح‌سنج نقطه‌ای

هدف از سنجش نقطه‌ای، تعیین رسیدن یا نرسیدن سطح ماده در مخزن به یک مقدار مشخص می‌باشد، که به این کار، سوییچ کردن[۱] می‌گویند. انواع دستگاه‌های مورد استفاده با عملکرد نقطه‌ای مطابق شکل ۸ شامل سطح‌سنج شناوری، خازنی و رسانایی، ارتعاشی، پره متحرک و نوری می‌باشند که در ادامه، تعدادی از آنها توضیح داده شده است:

سطح‌سنج شناوری: همان‌گونه که در اندازه‌گیری پیوسته ارتفاع سطح از خاصیت شناوری سیالات استفاده می‌گردد، در اندازه‌گیری نقطه‌ای نیز از این سازوکار استفاده می‌شود. با توجه به قانون ارشمیدس، بر هر جسم شناور در سطح سیال، یک نیروی رو به بالا وارد می‌شود، که با به‌کارگیری این نیرو در حسگرهای شناوری می‌توان ارتفاع سطح سیال را اندازه‌گیری کرد (شکل ۱۷).

۱ـ Switch

شکل ۱۷ــ سطح‌سنج شناوری

این نیروی روبه بالا، منجر به جابه‌جایی شناور در سطح مواد شده که با تعیین محل شناور می‌توان سطح مواد را اندازه‌گیری کرد. شناور به یک اهرم متصل است و با حرکت آن در سطح مواد جابه‌جا می‌گردد.

بحث کلاسی

در رابطه با مزایا و معایب سطح‌سنج شناوری بحث کنید.

سطح‌سنج با پرهٔ متحرک[۱]: این حسگرها از پره‌هایی تشکیل شده‌اند که به کمک یک موتور الکتریکی و با دور کم به چرخش در می‌آیند. وقتی که سطح مواد داخل مخزن بالا می‌آید و با این پره‌ها برخورد کرده، مانع چرخش پره‌ها می‌شود، در این زمان کلید عمل کرده و ارتفاع سطح مواد را نشان می‌دهد. این حسگرها بیشتر در اندازه‌گیری ارتفاع سطح پودرها و جامدات به کار می‌روند و بسیار ساده، ارزان و قابل اطمینان هستند. تغییرات دما و چگالی بر شیوهٔ عملکرد این حسگرها تأثیرگذار نیست. چنانچه این حسگرها برای اندازه‌گیری سطح مایعات به کار گرفته شوند، باید به این مسئله توجه داشت که چسبندگی سیال، از میزان طرّاحی شده برای حسگر بیشتر نباشد (شکل۱۸). این حسگرها نسبت به شوک و لرزه در سامانه حساس است و نباید در محلی که لرزش زیادی وجود دارد، نصب شود.

شکل۱۸ــ سطح‌سنج با پرهٔ متحرک

۱ـ Paddle Wheel Switches

بحث‌گروهی

یکی از روش‌های اندازه‌گیری وزن و یا حجم مواد موجود در سیلوهای گندم یا سیمان، اندازه‌گیری ارتفاع مواد موجود در آن می‌باشد که پس از آن می‌توان به محاسبهٔ حجم و وزن مواد موجود در مخزن پرداخت. بررسی کنید سطح‌سنج داخل سیلو بایستی از نظر نوع و مکان نصب چه ویژگی‌هایی داشته باشد؟

سطح‌سنج‌های نوری[1]: سطح‌سنج‌های نوری از یک فرستنده و گیرنده نوری ساخته شده‌اند و براساس بازتابش نور از سطح اجسام و یا عبور نور از درون مواد عمل می‌کنند (شکل ۱۹).

شکل ۱۹ـ سطح‌سنج‌های نوری

تحقیق‌کنید

برای نمایش و انتقال اطلاعات مربوط به میزان عمق آب درون چاه‌های عمیق و یا مخازن آب، از چه دستگاه‌هایی استفاده می‌شود؟

نمایش فیلم: اندازه‌گیری ارتفاع سطح سیال در مخازن

۱ـ Beam Breaker Switches

فعالیت عملی

اندازه‌گیری ارتفاع سطح مایع در کارگاه

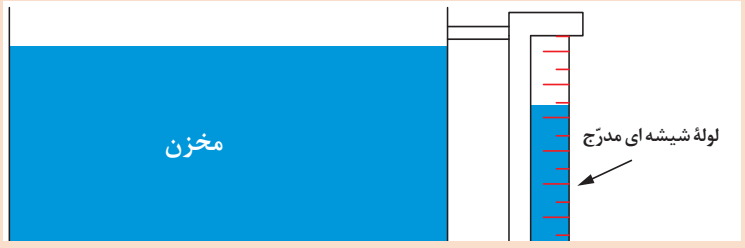
وسایل مورد نیاز:

یک مخزن ۴ لیتری

لولهٔ پلاستیکی یا شیشه‌ای

روش کار:

مطابق شکل ۲۰، مخزن ۴ لیتری یا بزرگ‌تر فلزی را از کناره آن سوراخ کنید. یک لولهٔ فلزی خروجی، در قسمت پایین مخزن بر بدنهٔ آن نصب نمایید. به قسمت فلزی خروجی یک لولهٔ پلاستیکی یا شیشه‌ای وصل کنید. این لوله می‌تواند مدّرج باشد و یا برای مدّرج کردن آن از یک خط‌کش کاغذی استفاده نمایید که به کنار لوله چسبانده شود. قسمت بالایی مخزن نیز سوراخ و انتهای لولهٔ مدّرج توسط لولهٔ فلزی به قسمت سوراخ‌شده متصل شود.



شکل ۲۰ــ طرح ساده‌ای از فعالیت عملی اندازه‌گیری ارتفاع سطح مایع در کارگاه

به ترتیب زیر فعالیت کارگاهی را ادامه دهید.

۱ حجم مشخصی از آب (V_0) را داخل مخزن بریزید.

۲ ارتفاع آب درون مخزن را، از روی لولهٔ شیشه‌ای مدّرج بخوانید.

۳ سطح مقطع مخزن را محاسبه کنید.

۴ با داشتن سطح مقطع مخزن و ارتفاع آب خوانده شده، حجم آب موجود در مخزن محاسبه شود (V).

۵ این حجم با حجم آب ریخته شده در مخزن مقایسه و تفاوت آنها یادداشت گردد.

۶ آزمایش را دو بار دیگر تکرار کنید.

چه نتیجه‌ای از این فعالیت می‌گیرید؟

کنترل سطح

مهندسان ایرانی نخستین مخترعان سامانه‌های کنترل جریان

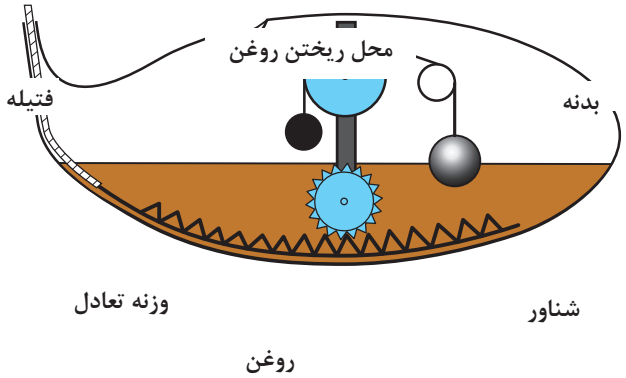
احمد بن موسی، دانشمند قرن نهم هجری است، که بدون شک در گشایش دروازه‌های علم و صنعت به روی دنیای اسلام، ایفاگر نقشی مهم و کارساز بوده است. در کتاب ابتکارات خارق‌العادهٔ مکانیکی این دانشمند، طرّاحی و ساخت حدود ۱۰۰ دستگاه مکانیکی تشریح شده است که برخی از آنان جز شاهکارهای مهندسی کنترل و مکانیک در زمان خود بوده است.

می‌توان به چراغ‌های روغنی که ارتفاع روغن در مخزن آنها ثابت نگه داشته می‌شود و یا چراغ روغنی که فتیلهٔ آن به طور خودکار تنظیم می‌شود، اشاره کرد. چراغ روغنی بنوموسی با فتیلهٔ خود تنظیم شونده می‌توانست برای مدت طولانی روشن بماند.

شکل۲۱ـ نمونه‌های ساخته شده از چراغ روغنی بنوموسی

پرسش

با توجه به شکل زیر، عملکرد چراغ روغنی بنوموسی با فتیلهٔ خود تنظیم شونده را توضیح دهید.



شکل۲۲ـ چراغ روغنی با فتیلهٔ خود تنظیم‌شونده

فعالیت عملی

کنترل ارتفاع سطح مایع در کارگاه

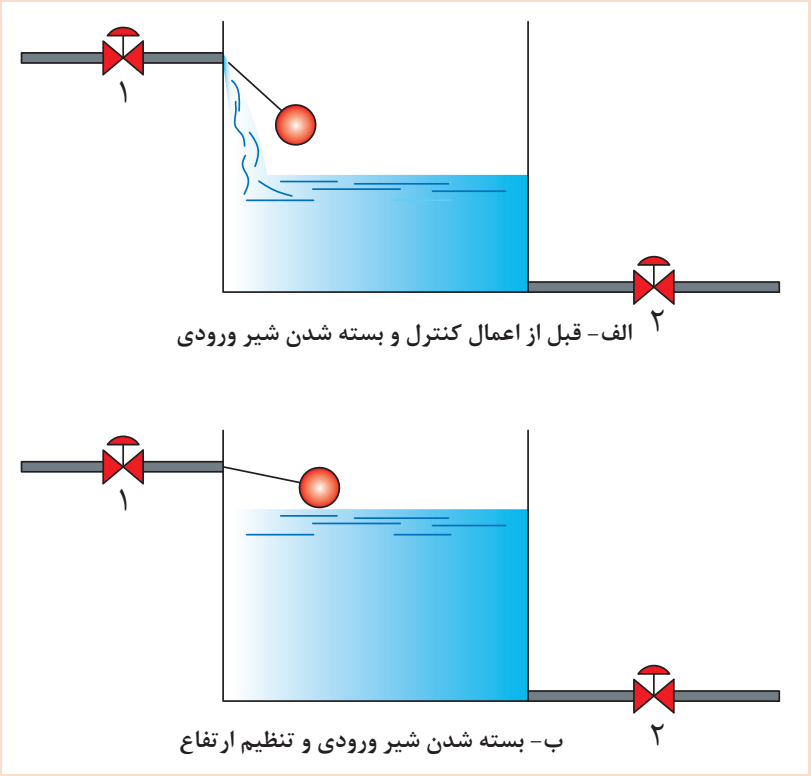
وسایل مورد نیاز:

یک مخزن مجهز به شناور

روش کار:

مخزن ساخته شده در فعالیت ۱ را به یک شناور مجهز کنید تا دستگاهی همانند شکل زیر آماده شود. شناور مخزن را بر روی ارتفاعی مشخص تنظیم نمایید. سپس شیر آب ورودی به مخزن را باز کنید تا جریان آب به‌داخل آن برقرار گردد. خواهید دید که پس از رسیدن سطح آب به ارتفاع تنظیم شده توسط شناور، به‌طور خودکار شیر آب ورودی قطع می‌گردد و سطح آب درون مخزن ثابت می‌شود. حال شیر خروجی مخزن را باز کنید، تا جریان خروجی آب ایجاد شود (پس از یک دقیقه شیر خروجی را ببندید). خواهید دید که شناور مخزن، دستور باز شدن دوبارهٔ شیر ورودی را تا رسیدن آب به ارتفاع تنظیم شدهٔ اولیه، می‌دهد. به این ترتیب، ارتفاع سطح آب مخزن در مقدار تنظیم‌شدهٔ اولیه، کنترل می‌گردد.

این کار را با تغییر دادن میزان آب خروجی از مخزن تکرار کنید و هر بار، مدت زمانی را که شیر آب ورودی باز می‌ماند، یادداشت کنید.



الف- قبل از اعمال کنترل و بسته شدن شیر ورودی

ب- بسته شدن شیر ورودی و تنظیم ارتفاع

شکل ۲۱ـ طرح ساده‌ای از فعالیت عملی کنترل ارتفاع سطح مایع در کارگاه

ارزشیابی شایستگی اندازه‌گیری، ثبت و کنترل ارتفاع سطح مواد

شرح کار:

چگونگی استفاده از تجهیزات کارگاهی را بداند و کار داده شده را با دقت انجام دهد.
هنگام کار مراقب باشد که دستگاه صدمه نبیند.
پس از انجام کار وسایل را تمیز و سالم در حالت اولیه قرار دهد.

استاندارد عملکرد:

به‌کارگیری محاسبات و اندازه‌گیری ارتفاع سطح مواد و کنترل آن مطابق دستور کار

شاخص‌ها:

ـ رعایت مسائل ایمنی هنگام کار
ـ انجام کار طبق دستور کار

شرایط انجام کار و ابزار و تجهیزات:

شرایط مکان: کارگاه
شرایط دستگاه: آماده به‌کار
زمان: یک جلسهٔ آموزشی
ابزار و تجهیزات: تجهیزات کارگاهی مورد نیاز و وسایل ایمنی شخصی

معیار شایستگی:

ردیف	مرحلهٔ کار	کمترین نمرهٔ قبولی از ۳	نمرهٔ هنرجو
۱	به‌کارگیری مفاهیم و محاسبات در اندازه‌گیری ارتفاع سطح مواد	۱	
۲	اندازه‌گیری ارتفاع سطح مواد	۲	
۴	انجام کنترل ارتفاع سطح یک مخزن	۱	
	شایستگی‌های غیرفنی، ایمنی، بهداشت، توجهات زیست‌محیطی و نگرش: **۱ـ ایمنی: انجام کار کارگاهی با رعایت موارد ایمنی و استفاده از وسایل ایمنی شخصی** **۲ـ نگرش: صرفه‌جویی در مواد مصرفی** **۳ـ توجهات زیست‌محیطی: جلوگیری از صدمه زدن به محیط زیست از طریق انجام کار با کمترین ضایعات** **۴ـ شایستگی‌های غیر فنی: الف) اخلاق حرفه‌ای ب) مدیریت منابع پ) محاسبه و کاربست ریاضی** **۵ـ مستندسازی: گزارش‌نویسی**	۲	
میانگین نمرات			*

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

منابع

۱ـ سند استاندارد ارزشیابی صنایع شیمیایی،۱۳۹۳، سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه ای و کاردانش

۲ـ سند استاندارد شایستگی حرفه صنایع شیمیایی،۱۳۹۲،سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی وحرفه‌ای وکاردانش

۳ـ برنامه‌درسی درس کنترل فرایندهای شیمیایی،۱۳۹۴،سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی وحرفه‌ای و کاردانش

۴ـ پورعطا، رحمت ا...، سید دراجی، میرسعید (۱۳۸۷)، جزوهٔ گرافیک و نقشه‌خوانی، دانشگاه زنجان

۵ـ توللی، حسین و دیگران (۱۳۹۵)، سیلندرهای گاز تحت فشار: اصول ایمنی در آزمایشگاه و در صنعت (چاپ اوّل)،قم، انتشارات منگان.

۶ـ حکیمی سیبنی، معصومه (۱۳۹۳)، کلید مهندسی نقشه‌کشی و نقشه خوانی P & ID، انتشارات سها دانش

۷ـ رازی فر، مهدی (۱۳۹۲)، آشنایی با نقشه‌خوانی و ترسیم نقشه‌های فرایندیESD ، UFD، P & ID، PFD، BFD، انتشارات اندیشه سرا، چاپ دوم

۸ـ رحمتی، مصطفی، رحمانی،حسین (۱۳۹۳)، کنترل دما (فرایند) به صورت تشریحی و مفهومی، انتشارات قدیس

۹ـ عابدینی، محمد (۱۳۸۷)، اندازه‌گیری و کالیبراسیون دما، انتشارات صفار اشراقی

۱۰ـ قنبری، عبداله (۱۳۸۴)، اصول اندازه‌گیری دما و کالیبراسیون دماسنج‌ها، انتشارات مرکز آموزش و تحقیقات صنعتی ایران

۱۱ـ محسنی هماگرانی، مرتضی؛ رزم‌آرا، مهراد؛ سپهری‌نیا، محمد(۱۳۹۱)، مرجع کامل طرّاحی تجهیزات ابزار دقیق و کنترل نفت ـ گاز ـ پتروشیمی. تهران: نشر اتحاد

۱۲ـ توفیقی، سیدپندار، صدرایی، ساسان (۱۳۹۵)، عملیات دستگاهی در صنایع شیمیایی، سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی

۱۳ـ توفیقی، سیدپندار، ۱۳۹۵، عملیات دستگاهی در صنایع شیمیایی، سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی

۱۴ـ صدرایی، ساسان، ۱۳۹۵، فرایندهای شیمیایی، سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی

۱۵ـ Alan S.Morris., & Reza Langari.(2011). Measurement and Instrumentation: Theory and Application : Academic Press
۱۶ـ Eugen Gaßmann.,& Anna Gries. (2009) Electronic Pressure Measurement Basics, applications andinstrument selection. Germany (Munich): Süddeutscher Verlag on pact GmbH,
۱۷ـ Alan S. Morris(2001). Measurement and Instrumentation Principles.3nd ed. UK: Butterworth-Heinemann
۱۸ـ Bahner, Martin. 2001. A Practical Overview of Level Measurement Technologies. WWW. gilsonengineering.net/reference/Levelpap.pdf
۱۹ـ Marshall Cavendish Benchmark,“ Temperature”, , 2007, Navin Sullivan, ISBN-13:978-0-7614-2322-5

بسمه تعالی

سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی جهت ایفای نقش خطیر خود در اجرای سند تحول بنیادین در آموزش و پرورش و برنامه درسی ملی جمهوری اسلامی ایران، مشارکت معلمان را به‌عنوان یک سیاست اجرایی مهم دنبال می‌کند. برای تحقق این امر در اقدامی نوآورانه سامانه تعاملی بر خط اعتبارسنجی کتاب‌های درسی راه‌اندازی شد تا با دریافت نظرات معلمان دربارهٔ کتاب‌های درسی نونگاشت، کتاب‌های درسی را در اولین سال چاپ، با کمترین اشکال به دانش‌آموزان و معلمان ارجمند تقدیم نماید. در انجام مطلوب این فرایند، همکاران گروه تحلیل محتوای آموزشی و پرورشی استان‌ها، گروه‌های آموزشی و دبیرخانهٔ راهبری دروس و مدیریت محترم پروژه آقای محسن باهو نقش سازنده‌ای را بر عهده داشتند. ضمن ارج نهادن به تلاش تمامی این همکاران، اسامی دبیران و هنرآموزانی که تلاش مضاعفی را در این زمینه داشته و با ارائهٔ نظرات خود سازمان را در بهبود محتوای این کتاب یاری کرده‌اند به شرح زیر اعلام می‌شود.

کتاب کنترل فرایندهای شیمیایی ـ کد ۲۱۱۵۲۰

ردیف	نام و نام خانوادگی	استان محل خدمت	ردیف	نام و نام خانوادگی	استان محل خدمت
۱	حسن بشیریان	همدان	۱۳	مسعود آری	گیلان
۲	گوهر دیلمی‌راد	فارس	۱۴	محمدرضا انجم شعاع	کرمان
۳	الهه وهابی نژاد	خراسان رضوی	۱۵	شکراله شمسی	مرکزی
۴	سمیه باقری وانانی	چهارمحال وبختیاری	۱۶	اسدالله امیدی بیرگانی	خوزستان
۵	نعیمه سیف الدینی	کرمان	۱۷	محمدرضا شاهسون	شهرستان‌های تهران
۶	فرشید مجاهدی	هرمزگان	۱۸	مهناز مجاهد	یزد
۷	زینب باقری تبار	قم	۱۹	احمد مرسلی	زنجان
۸	ژاکلین راه حق	کردستان	۲۰	محمد ایرندگانی	سیستان وبلوچستان
۹	زهرا سادات	اصفهان	۲۱	فرشته آزادی	یزد
۱۰	سلیمه یزدانمهر	خراسان شمالی	۲۲	حسین نیروزاده	ایلام
۱۱	نادر مولوی	آذربایجان شرقی	۲۳	نادر عباسی نوا	آذربایجان غربی
۱۲	محمدصالح صدیقی	قزوین			