

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

اَللّٰهُمَّ صَلِّ عَلٰى مُحَمَّدٍ وَّآلِ مُحَمَّدٍ وَّعَجِّلْ فَرَجَهُمْ



کنترل فرایندهای شیمیایی

رشته صنایع شیمیایی

گروه مواد و فراوری

شاخه فنی و حرفه‌ای

پایه یازدهم دوره دوم متوسطه

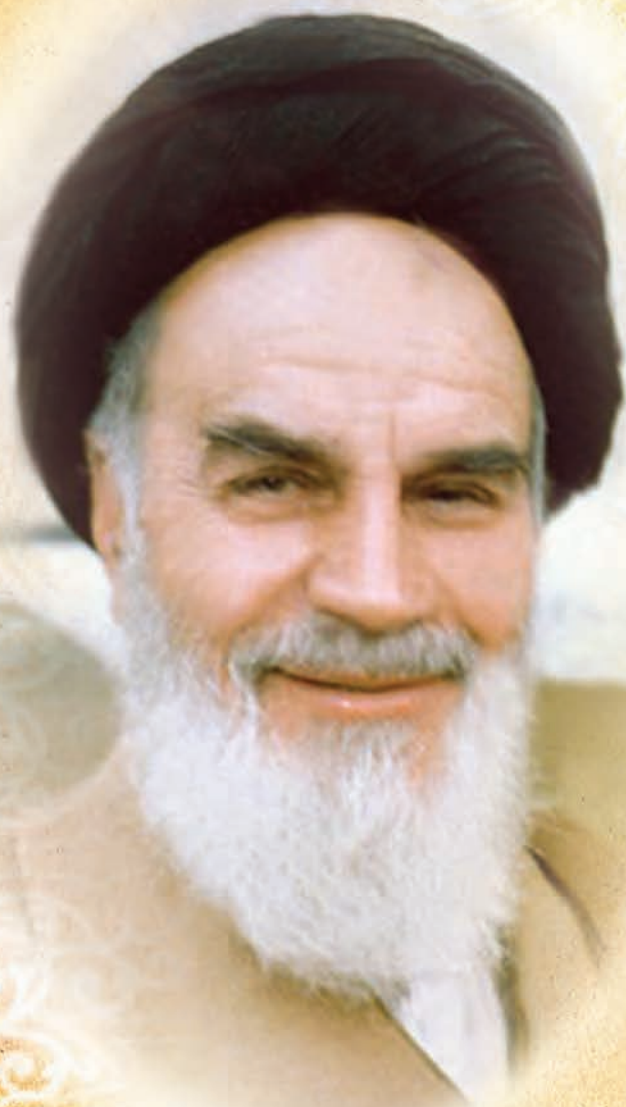


وزارت آموزش و پرورش
سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی



- نام کتاب: کنترل فرایندهای شیمیایی - ۲۱۱۵۲۰
پدیدآورنده: سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی
مدیریت برنامه‌ریزی درسی و تألیف: دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای و کاردانش
شناسه افزوده برنامه‌ریزی و تألیف: طیبه کنشلو، اعظم صفاری، رابعه شیخ زاده، سید رضا سیف محدثی، اعظم یوسفی و قاسم حاجی قاسمی (اعضای شورای برنامه‌ریزی)
مدیریت آماده‌سازی هنری: سید رضا سیف محدثی، حسین بیرجانیان، محسن کدیور و زهرا طاهری (اعضای گروه تألیف)
شناسه افزوده آماده‌سازی: اداره کل نظارت بر نشر و توزیع مواد آموزشی
نشانی سازمان: مجید ذاکری یونسی (مدیر هنری) - محمد عباسی، پوران نقدی (صفحه‌آرا) - مریم کیوان (طراح جلد) - سیدمرتضی میرمجیدی (رسام)
ناشر: تهران: خیابان ایرانشهر شمالی - ساختمان شماره ۴ آموزش و پرورش (شهیدموسوی)
چاپخانه: تلفن: ۸۸۸۳۱۱۶۱-۹، دورنگار: ۸۸۳۰۹۲۶۶، کد پستی: ۱۵۸۴۷۴۷۳۵۹
سال انتشار و نوبت چاپ: وب سایت: www.irtextbook.ir و www.chap.sch.ir
شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران: شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران: تهران-کیلومتر ۱۷ جاده مخصوص کرج-خیابان ۶۱
(دارو پخش) تلفن: ۴۴۹۸۵۱۶۱-۵، دورنگار: ۴۴۹۸۵۱۶۰/صندوق پستی: ۳۷۵۱۵-۱۳۹
چاپ چهارم ۱۳۹۹

کلیه 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 به صورت چاپی و الکترونیکی و ارائه در پایگاه‌های مجازی، نمایش، اقتباس، تلخیص، تبدیل، ترجمه، عکس‌برداری، نقاشی، تهیه فیلم و تکثیر به هر شکل و نوع بدون کسب مجوز از این سازمان ممنوع است و متخلفان تحت پیگرد قانونی قرار می‌گیرند.



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

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

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

پودمان ۲: اندازه‌گیری، ثبت و کنترل دما ۳۷

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

پودمان ۳: اندازه‌گیری، ثبت و کنترل فشار ۸۵

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

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

پودمان ۴: اندازه گیری، ثبت و کنترل دبی ۱۱۷

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

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

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

منابع ۱۷۰

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

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

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

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

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

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

فعالیت های یادگیری در ارتباط با شایستگی های غیرفنی از جمله مدیریت منابع، اخلاق حرفه ای، حفاظت از محیط زیست و شایستگی های یادگیری همیشگی و فناوری اطلاعات و ارتباطات همراه با شایستگی های فنی طراحی و در کتاب درسی و بسته آموزشی ارائه شده است. شما هنرجویان عزیز کوشش نمایید این شایستگی ها را در کنار شایستگی های فنی آموزش ببینید، تجربه کنید و آنها را در انجام فعالیت های یادگیری به کار گیرید.

رعایت نکات ایمنی، بهداشتی و حفاظتی از اصول انجام کار است، لذا توصیه های هنر آموز خود را در خصوص رعایت مواردی که در کتاب آمده است، در انجام کارها جدی بگیرید. امیدواریم با تلاش و کوشش شما هنرجویان عزیز و هدایت هنر آموزان گرامی، گام های مؤثری در جهت سربلندی و استقلال کشور و پیشرفت اجتماعی و اقتصادی و تربیت مؤثر و شایسته جوانان برومند میهن اسلامی برداشته شود.

دفتر تألیف کتاب های درسی فنی و حرفه ای و کار دانش

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

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

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

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

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

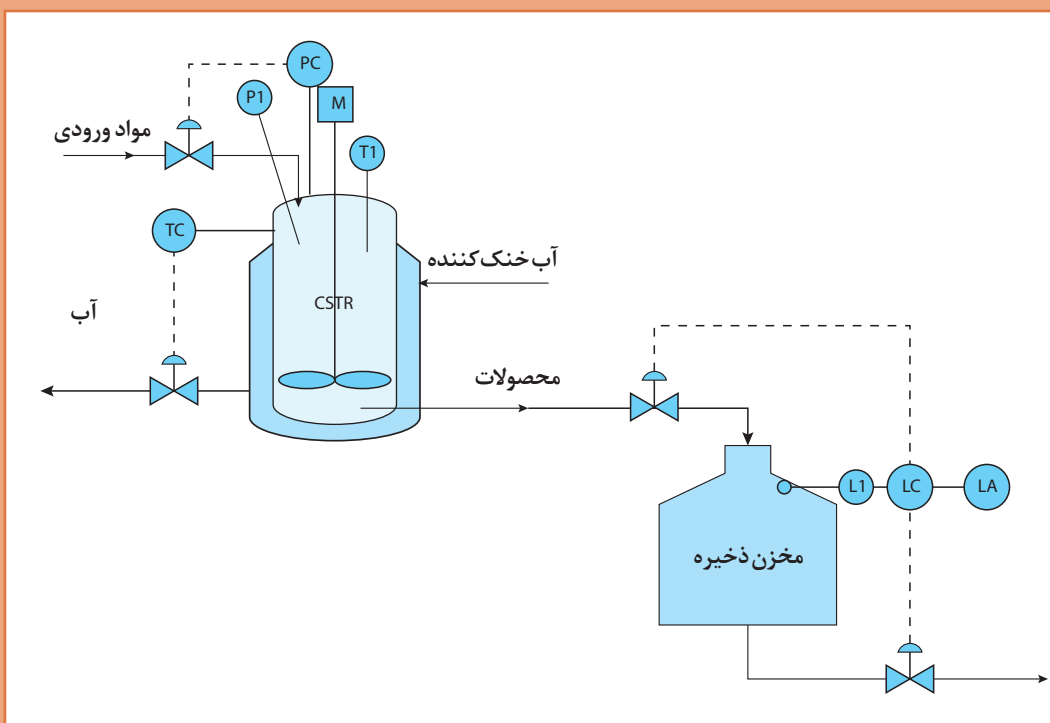
پودمان پنجم: با عنوان اندازه‌گیری، ثبت و کنترل ارتفاع سطح مواد می‌باشد که در آن هنرجویان ابتدا مفاهیم و محاسبات در اندازه‌گیری ارتفاع سطح، دستگاه‌های اندازه‌گیری آن و کنترل ارتفاع سطح آورده شده است.

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

دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای و کار دانش

پودمان ۱

نقشه خوانی و نقشه کشی در صنایع شیمیایی



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

واحد یادگیری ۱

نقشه خوانی و نقشه کشی در صنایع شیمیایی

مقدمه

بهره‌برداری از فرایندهای شیمیایی و پتروشیمیایی فرایندی حساس و دقیق می‌باشد که ممکن است یک اشتباه کوچک به ضررهای مالی و جانی جبران‌ناپذیری منجر گردد. بنابراین لازم است کارکنان بهره‌بردار علاوه بر آشنایی کامل با فرایند تحت کنترل، از چگونگی عملکرد دستگاه‌ها، اطلاعات کاملی داشته باشند. مطالعه نقشه‌ها یا اصطلاحاً نمودارهای فرایندی یکی از روش‌هایی است که می‌تواند کارکنان 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، استفاده مطلوب از مواد و تجهیزات و پرهیز از اسراف.
- ۳ **کار گروهی:** توجه به نظرات مربی و هنرآموز، مشارکت در انجام کارها و پیشبرد امور محوله، نظم‌پذیری و ...
- ۴ **مستندسازی:** تهیه گزارش دقیق و صحیح از فعالیت‌های کارگاهی
- ۵ **محاسبه و 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 به کار برند.
- ۲ نمودار جریان فرایند (PFD) را به کار برند.
- ۳ به کارگیری نمودار لوله‌کشی و ابزار دقیق (P&ID) و با نقشه جانمایی تجهیزات آشنا شوند.
- ۴ به کمک نرم‌افزار نقشه‌های فرایندی را رسم کنند.

آشنایی با مراحل طراحی فرایند

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

■ طراحی مفهومی^۳؛

■ طراحی پایه^۴؛

■ طراحی جزئی^۵.

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

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

- نمودار جعبه‌ای جریان^۶ (BFD)؛

- نمودار جریان فرایند^۷ (PFD)؛

- نمودار لوله‌کشی و ابزار دقیق^۸ (P & ID)؛

- نقشه جانمایی تجهیزات^۹.

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

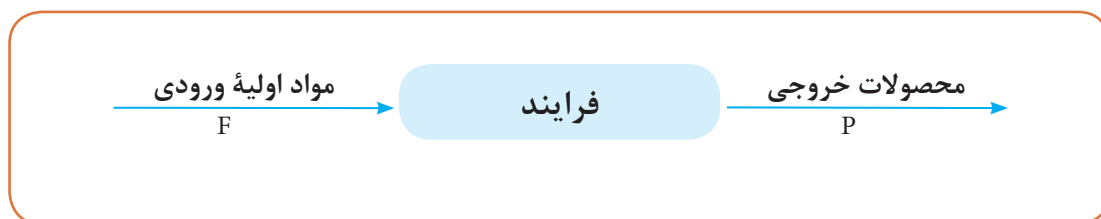
برای رسم نقشه‌های صنعتی اعم از نمودارهای جعبه‌ای، فرایند، ابزار دقیق و نقشه‌های مکانیک و ... معمولاً از نرم‌افزارهای اتوکد^{۱۰} و ویزیو^{۱۱} استفاده می‌شود.

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

نمودار جعبه‌ای جریان (BFD)

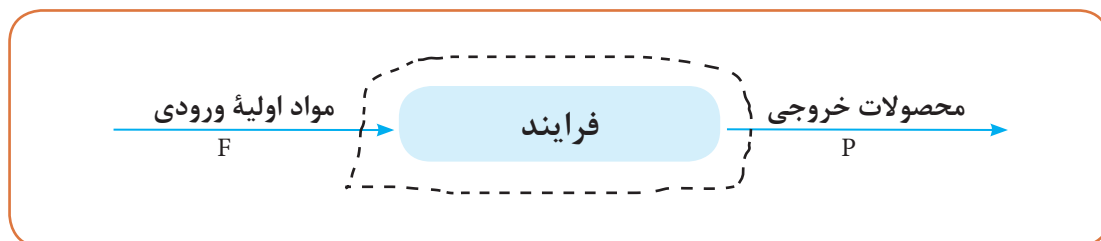
در مرحلهٔ اول طراحی کارخانجات شیمیایی لازم است اطلاعات کلی فرایند اعم از جریان‌های خوراک، محصولات خروجی و موازنهٔ جرم جریان‌ها نشان داده شوند. لذا از این نوع نمودار برای ارائهٔ اصول کلی و مفاهیم فرایند استفاده می‌گردد.

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



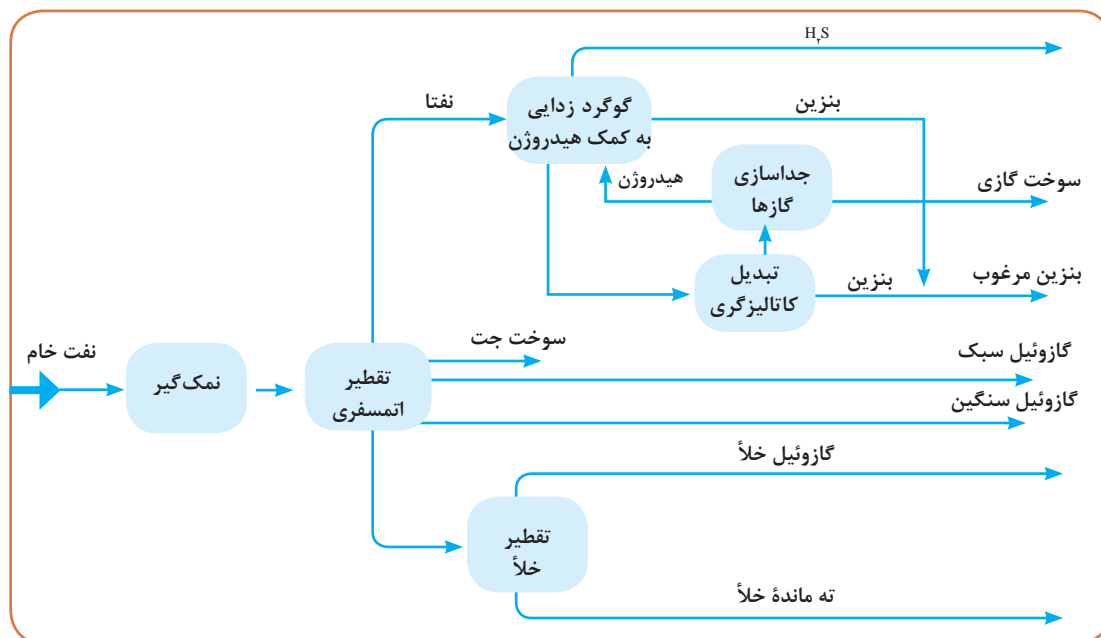
شکل ۱- نمونهٔ یک نمودار جعبه‌ای

اگر در شکل ۱، میزان دبی جرمی مواد 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 ۲- 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.



شکل ۳- نمودار جعبه‌ای یک پالایشگاه

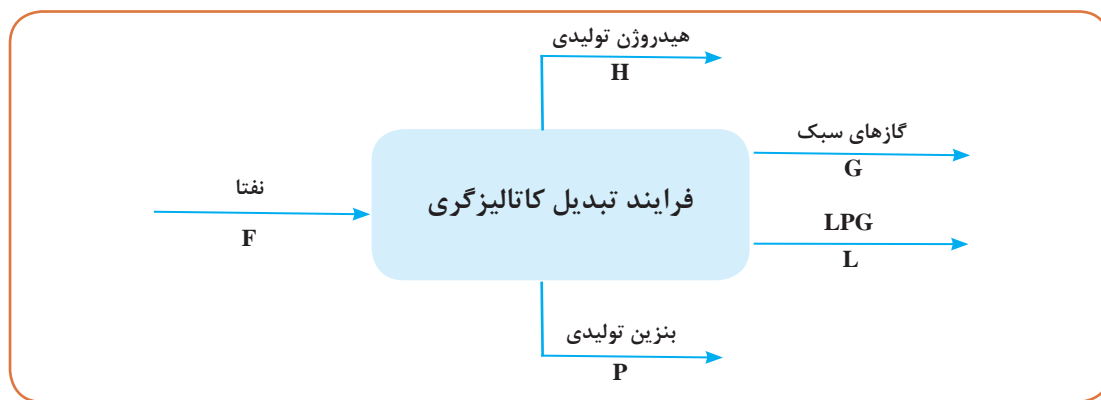
معمولاً برای رسم نمودارهای جعبه‌ای اشاره شده و همچنین نمودار جریان فرایند و نمودار لوله‌کشی و ابزار دقیق که در ادامه بحث خواهد شد، از نرم‌افزارهای اتوکد و ویزیو استفاده می‌شود.

مثال ۱

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

(الف) شرح فرایند؛

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



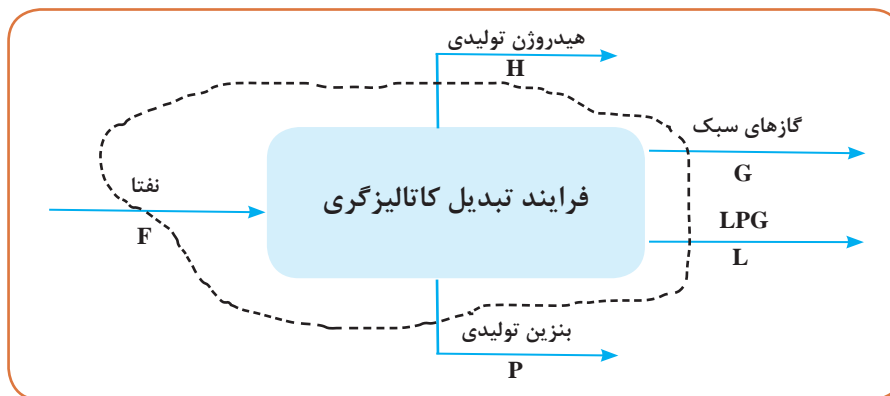
شکل ۴- نمودار جعبه‌ای فرایند تبدیل کاتالیزگری

جدول ۱- مقدار جریان های فرایند تبدیل کاتالیزگری

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

پاسخ

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



شکل ۵- سامانه انتخاب شده جهت موازنه جرم

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

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

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

بنابراین:

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

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

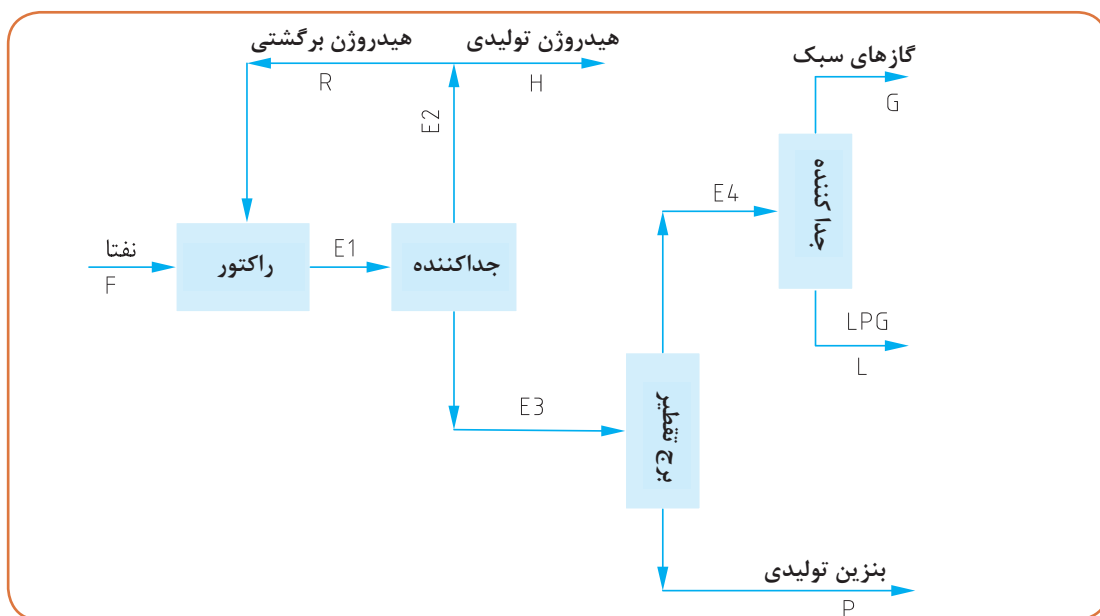
$$156000 + 3260 + L + 135000 = 163000 \longrightarrow L = 9140 \text{ kg/h}$$

مثال ۲

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

الف) شرح نمودار؛

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



شکل ۶- نمودار جعبه‌ای فرایند تبدیل کاتالیزگری

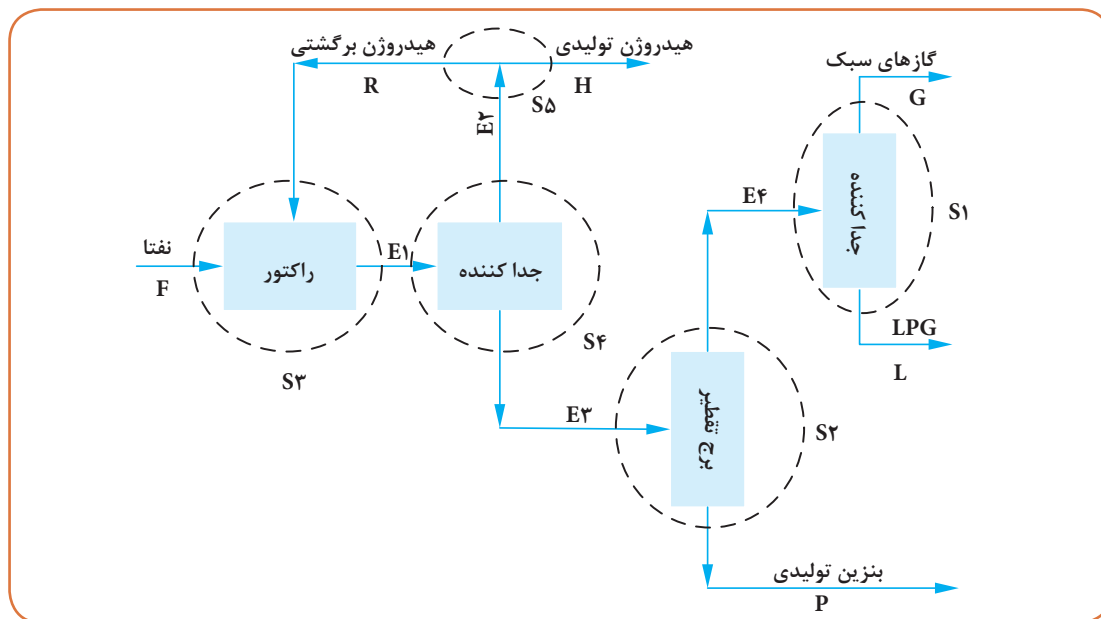
جدول ۲= مقادیر جریان‌های فرایند تبدیل کاتالیزگری

نام جریان	ميزان 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 باقیمانده آن به عنوان هیدروژن برگشتی، به راکتور برگشت داده می‌شود. جهت جداسازی بنزین مرغوب از دیگر محصولات، محصول پایین جداکننده، وارد برج تقطیر می‌شود. محصول پایین این برج که همان بنزین مرغوب تولیدی است، جهت مصرف از فرایند خارج می‌شود. محصول بالایی از برج وارد جداکننده دیگری می‌شود و دو محصول با نام‌های گازهای سبک و LPG در آن از یکدیگر جدا شده و هر دو محصول از فرایند خارج می‌گردند.

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



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

موازنه جرم مطابق سامانه ۱ (S1) انتخاب شده (سامانه خط‌چین): براساس موازنه، جرم کل ورودی برابر است با جرم کل خروجی لذا:

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

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

چون:

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

بنابراین:

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

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

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

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

چون:

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

بنابراین:

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

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

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

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

چون:

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

بنابراین:

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

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

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

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

چون:

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

بنابراین:

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

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

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

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

چون:

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

بنابراین:

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

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

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

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

۲ تشخیص و شناسایی اولیه کل فرایند کارخانه؛

۳ تعیین موازنه جرم کلی.

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

فعالیت عملی



پرسش ۱

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



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) موازنه جرم این فرایند.

پرسش ۲

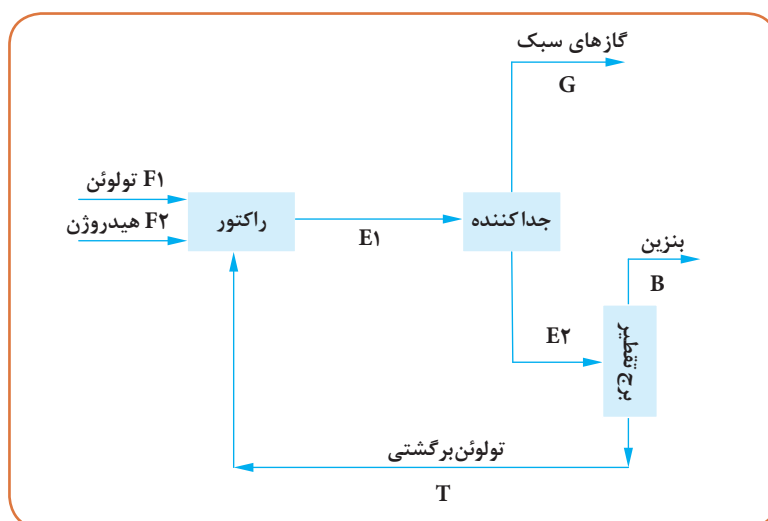
بنزن از واکنش هیدروژناسیون تولوئن به‌صورت زیر به‌دست می‌آید:



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 E_1 و تولوئن برگشتی (T)



شکل ۸- نمودار جعبه‌ای فرایند تولید بنزن

جدول ۳- 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.

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.

فعالیت عملی



۱- Sour Gas
۲- Sweet Gas
۳- Acid Gas

نمودار جریان فرایند (PFD)

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

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

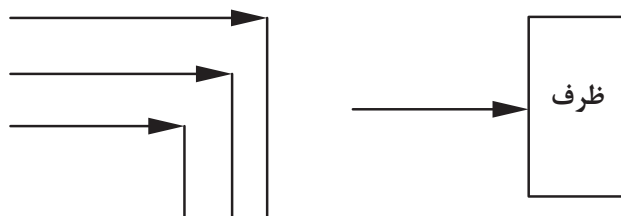
۱-۳- قواعد تهیه نمودار جریان فرایند

مقیاس^۳:

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

جهت جریان:

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



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

۱- Legend

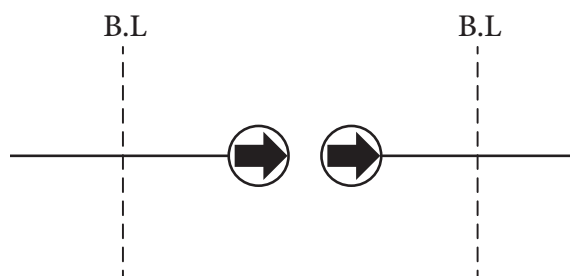
۳- Scale

۲- Utility

۴- Battery Limit



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



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

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

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

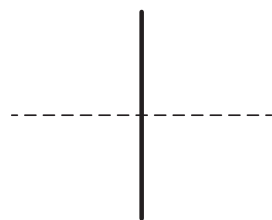
شکل ۱۳- جریان های غیر فرایندی (خطوط تأسیسات) در نمودار جریان فرایند

جریان های فرایندی و غیر فرایندی:

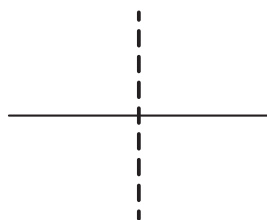
جریان های فرایندی یا همان خطوط اصلی فرایند باید با خطوط ضخیم، و جریان های غیر فرایندی اعم از جریان های تأسیسات و کنترلی با خطوط نازک و خط چین نشان داده شوند (شکل های ۱۲ الی ۱۴).

شکل ۱۴- جریان های کنترلی در نمودار جریان فرایند

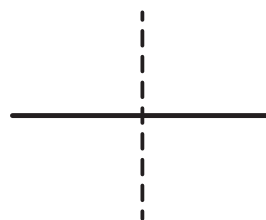
زمانی که دو جریان یکدیگر را قطع می کنند، خطوط افقی همواره به شکل پیوسته و خطوط عمودی به صورت خط چین رسم می شوند. البته این قرارداد برای حلقه های کنترلی صدق نمی کند و در این حالت خطوط فرایند پیوسته و خطوط کنترلی، خط چین خواهند بود (شکل های ۱۵ الی ۱۷).



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



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



شکل ۱۵- تقاطع دو جریان فرایندی در نمودار جریان فرایند

جعبهٔ عنوان^۱:

[illegible]

اندازهٔ جعبهٔ عنوان نسبت به اندازهٔ نمودار جریان فرایند، مطابق جدول ۴ می‌باشد.

اندازهٔ نمودار جریان فرایند (mm × mm)	اندازهٔ جعبهٔ عنوان (mm × mm)
۸۴۱×۱۱۸۹	A۰
۵۹۴×۸۴۱	A۱
۴۲۰×۵۹۴	A۲
۲۹۷×۴۲۰	A۳



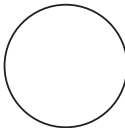





6_Drawing Title

مشخصات و شماره گذاری جریان ها و تجهیزات:

هر دستگاهی باید با یک شماره برچسب^۱ شامل تعدادی حروف و عدد (مطابق با استاندارد) مشخص گردد. معمولاً شماره هر دستگاه در بالا یا پایین صفحه در نزدیک ترین محل به خط عمود گذرنده از مرکز همان دستگاه نوشته می شود. تجهیزات یدکی مانند پمپ ها باید با پسوندهایی نظیر A یا B نشان داده شوند. ضمناً تجهیزات ابزار دقیق نیازی به شماره گذاری در نمودار جریان فرایند ندارند.


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

جدول ۵- اطلاعات و مشخصات تجهیزات در نمودار جریان فرایند

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

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

جدول ۶- شماره‌گذاری یک جریان در نمودار جریان فرایند

عنوان	نماد	مثال	مفهوم
شماره جریان			جریان شماره ۲۰

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

- فاز جریان (مایع، بخار و مخلوط)؛
- دبی جرمی؛
- دما؛
- فشار؛
- وزن مولکولی؛
- چگالی؛
- گرمای ویژه؛
- گرانشی؛
- 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 تبدیل حرارتی از یک نماد استفاده شده است در تمامی قسمت‌های دیگر نمودار جریان فرایند آن کارخانه نیز باید از همین نماد استفاده نمود. زمانی که در استاندارد نمادی برای برخی از تجهیزات وجود نداشته باشد، تحت نظر شرکت، در هنگام اجرای پروژه تصمیم‌گیری می‌شود.

شکل‌ها و نمادها^۱ در نمودار جریان فرایند

نماد تجهیزات:

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

جدول ۷- نمادهای مهم تجهیزات

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

نماد ابزار کنترلی:

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

جدول ۸- نمادهای کنترلی

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

نماد جریان‌های سیال:

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

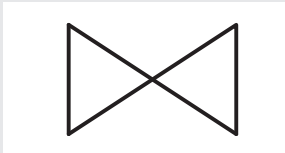
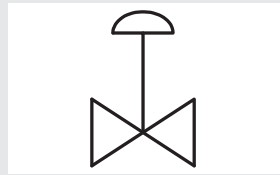
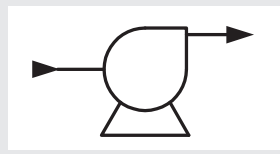
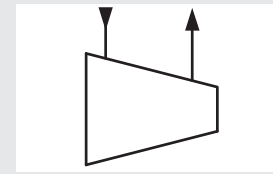

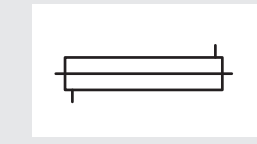
جدول ۹- نمادهای مهم جریان سیال


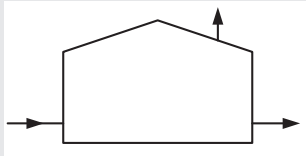
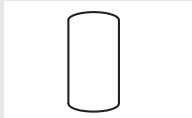
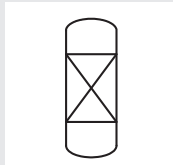
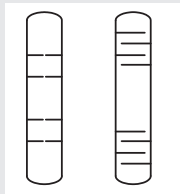
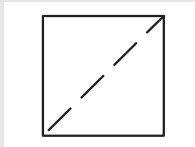

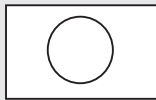
نماد	نام جریان سیال		ردیف
	انگلیسی	فارسی	
AI	Air Instrument	هوای ابزار دقیق	۱
AM	Amine	آمین	۲
ATM	Atmosphere	اتمسفر	۳
BW	Boiler Water	آب دیگ بخار	۴
CI	Chemical Injection	تزریق مواد شیمیایی	۵
CW	Cooling Water	آب خنک‌کننده	۶
DEG	Diethylene Glycol	دی‌اتیلن گلیکول	۷
PG	Production Gas	محصولات گازی	۸
DW	Drink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

ترسیم و نماد استاندارد تجهیزات فرایندی:

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

جدول ۱۰- نماد تجهیزات فرایندی


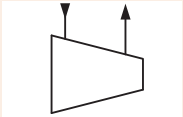

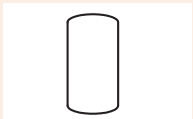
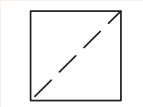
نماد	نام تجهیز		ردیف
	انگلیسی	فارسی	
	Valve	شیر	۱
	Control Valve	شیر کنترل	۲
	Pump	پمپ	۳
	Compressor	کمپرسور	۴
	Shell and Tube Heat Exchanger	مبدل حرارتی پوسته و لوله	۵
	Double Pipe Heat Exchanger	مبدل حرارتی دو لوله	۶

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

پرسش ۵

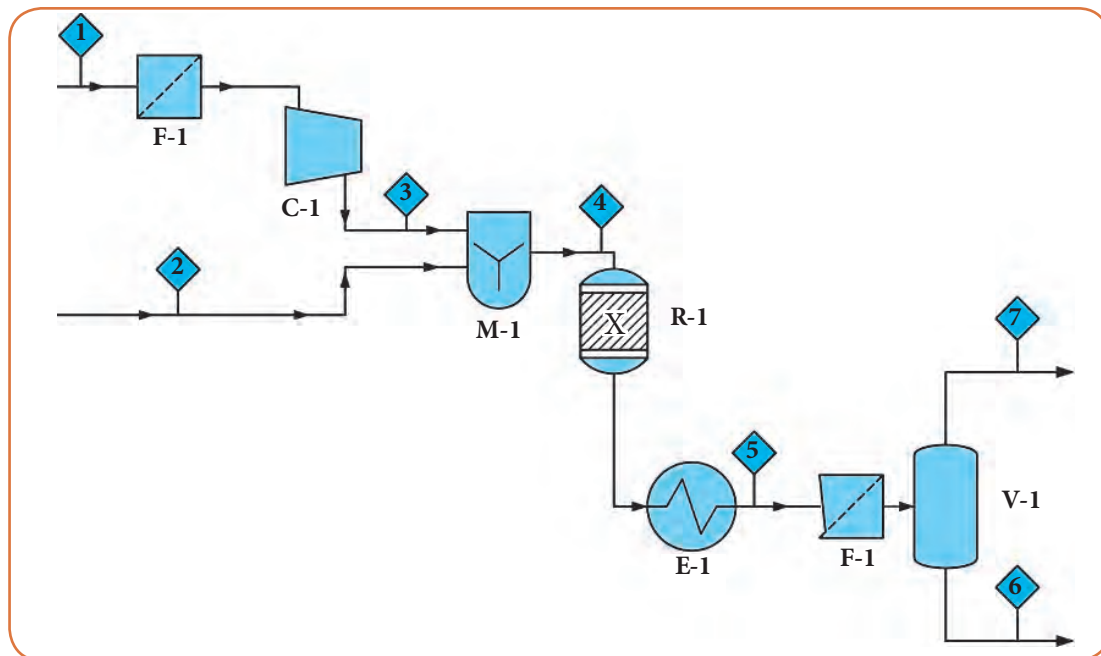
جدول ۱۱ را کامل کنید.

جدول ۱۱- نام و نماد تعدادی از تجهیزات فرایندی

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

پرسش ۶

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



شکل ۱۹- نمودار جریان فرایند

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

جدول ۱۲- تجهیزات موجود در نمودار جریان فرایند

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

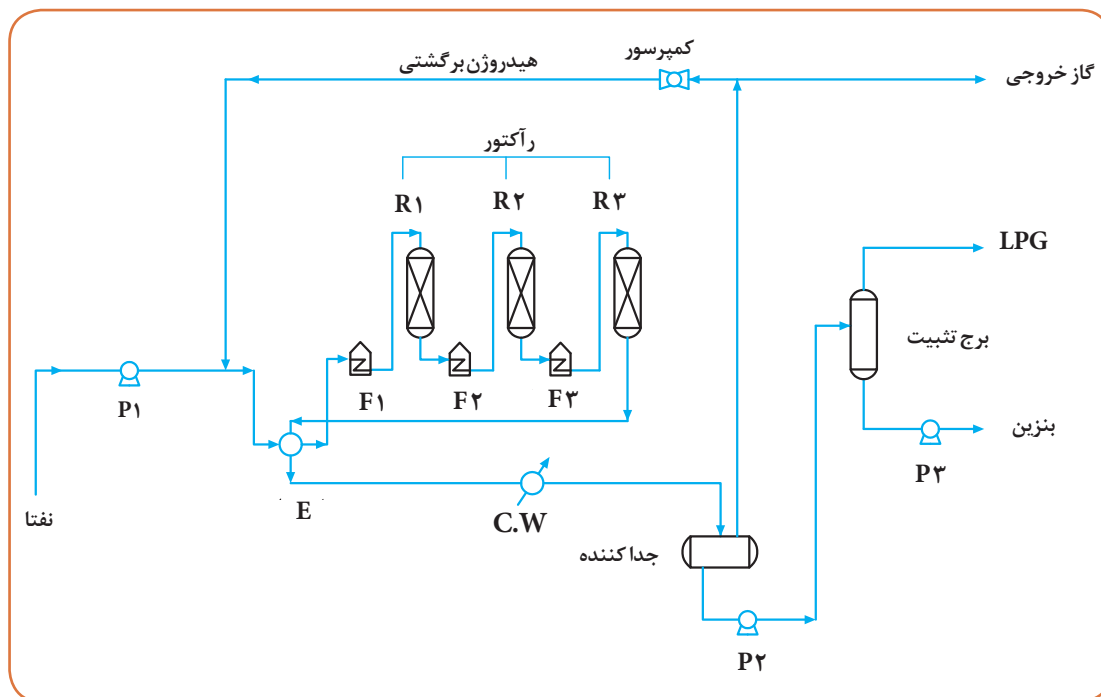
جدول ۱۳- نام جریان‌های موجود در نمودار جریان فرایند

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

پ) شرح فرایند

مثال ۳

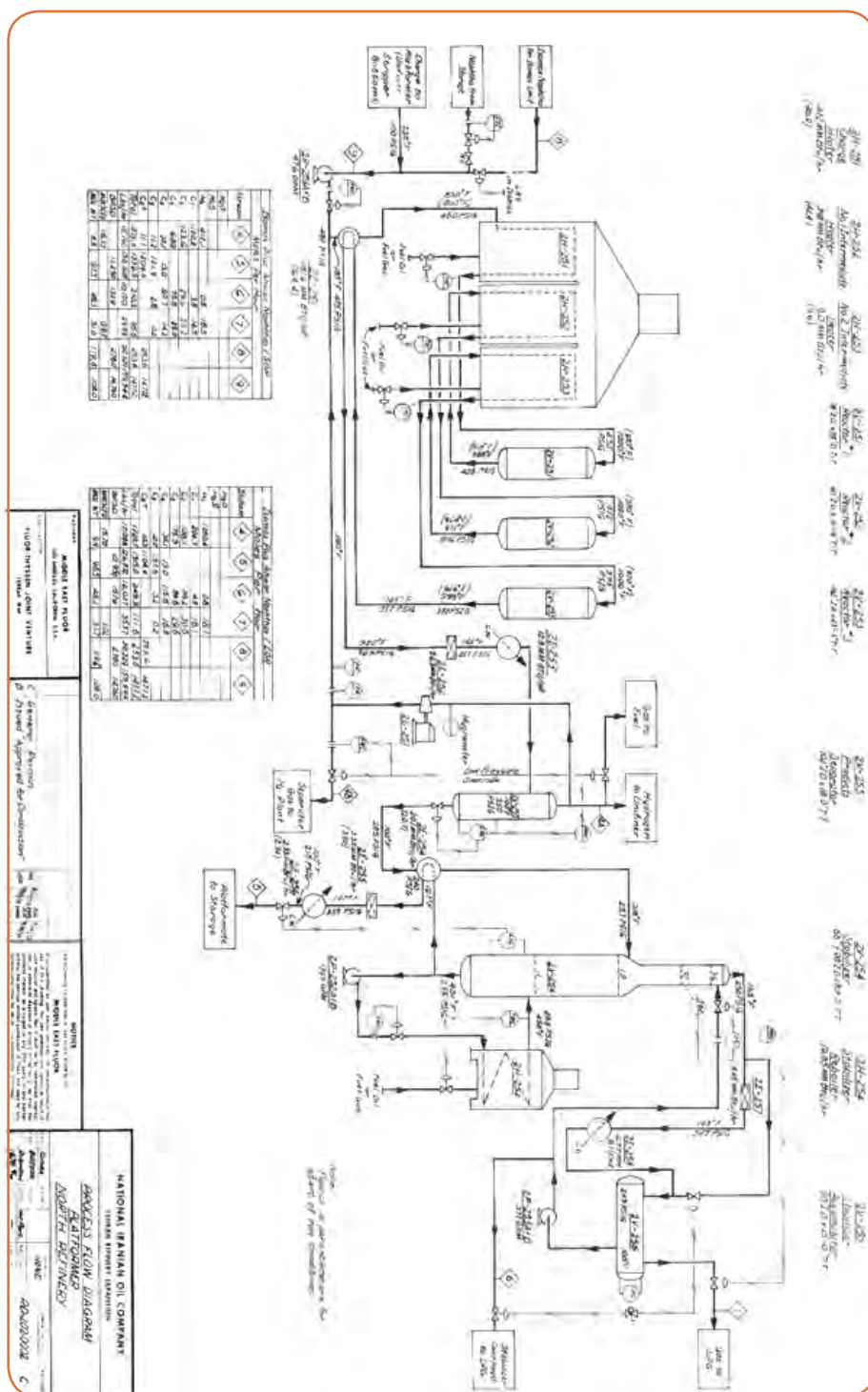
شرح نمودار (ساده شده) جریان فرایند واحد تبدیل کاتالیزگری^۱ پالایشگاه نفت را مطابق با شکل ۲۰ بنویسید.



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

پاسخ

در این نمودار، نفتا به عنوان خوراک ورودی فرایند توسط پمپ P1، پمپ شده و توسط مبدل حرارتی پیش گرم می شود. دمای نفتا، توسط کوره F1 تا دمای مورد نظر افزایش یافته و سپس وارد راکتور اول (R1) می شود. پس از انجام واکنش در راکتور اول، محصولات از راکتور خارج شده و وارد کوره می گردند و پس از عبور از کوره F2 وارد راکتور دوم (R2) می شوند. مواد خروجی از راکتور دوم نیز پس از گرم شدن در کوره F3، وارد راکتور سوم (R3) می شوند. محصول خروجی از راکتور سوم پس از تبادل حرارتی با مبدل (E) و کولر (C.W) خنک شده، وارد جداکننده می گردد. فشار بخشی از محصول گازی بالای جداکننده، توسط کمپرسور افزایش یافته و به ورودی راکتور (R1) برگردانده می شود و بخشی از آن، از فرایند خارج می شود. محصول مایع پایین جداکننده نیز توسط پمپ P2 به برج تثبیت منتقل می شود. محصول گازی بالای برج به عنوان گازهای سبک (LPG) و محصول پایین به عنوان بنزین از فرایند خارج می گردند. نمودار جریان اصلی این فرایند در شکل ۲۱ نشان داده شده است.



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

پرسش ۷

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



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

(الف) شرح فرایند؛

(ب) تعیین اسامی تجهیزات و تکمیل جدول ۱۴؛

جدول ۱۴- اسامی تجهیزات نمودار جریان فرایند

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

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

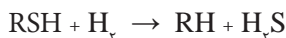
جدول ۱۵- اسامی جریان‌های نمودار جریان فرایند

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



پرسش ۸

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



منظور از RSH ترکیبات نفتی گوگرددار است.

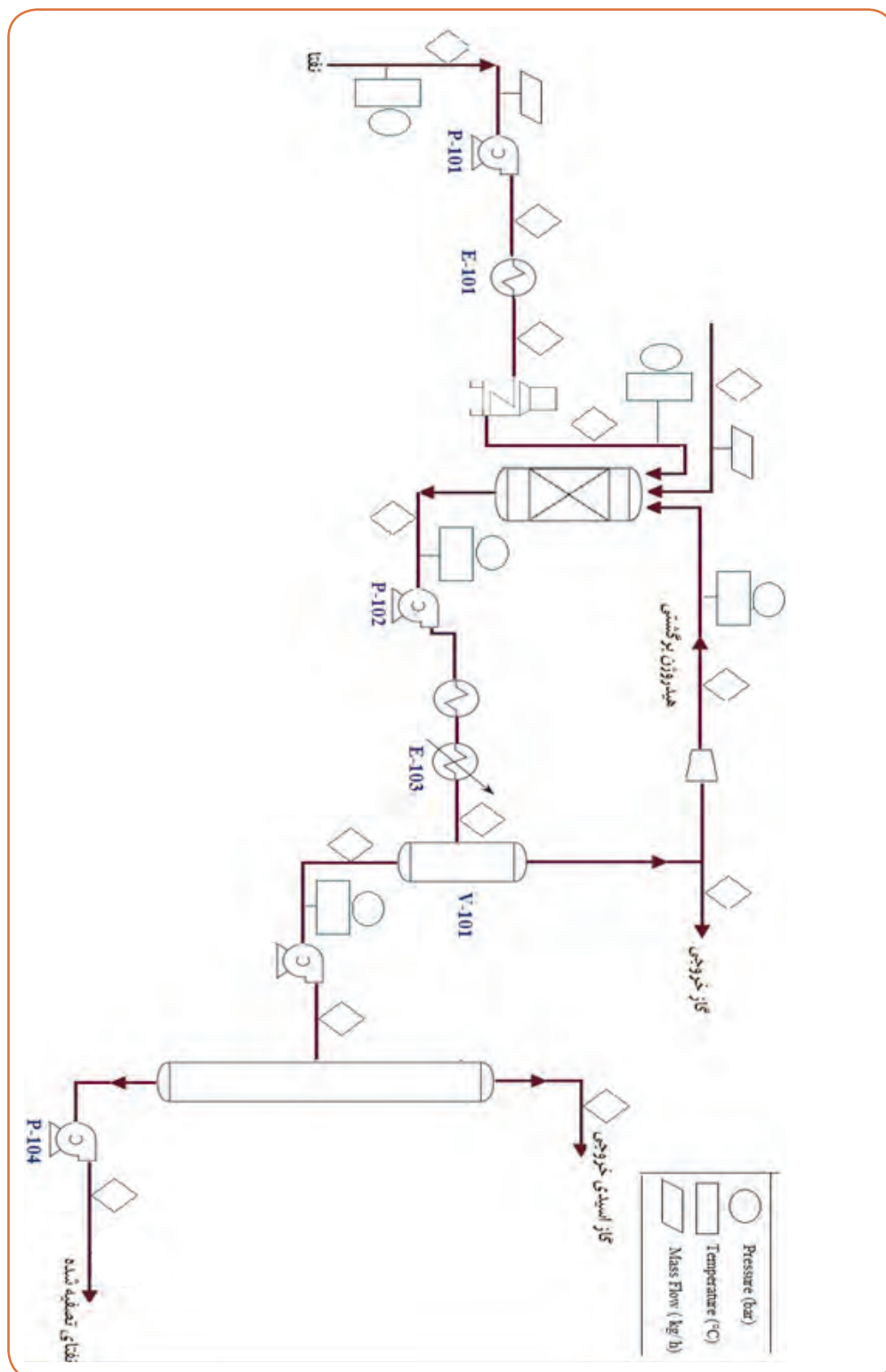
نمودار جریان فرایند این واکنش، بدون در نظر گرفتن تجهیزات کنترلی، در شکل ۲۳ نشان داده شده است. شرح فرایند گوگردزدایی نفتا به صورت زیر می‌باشد.

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

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

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

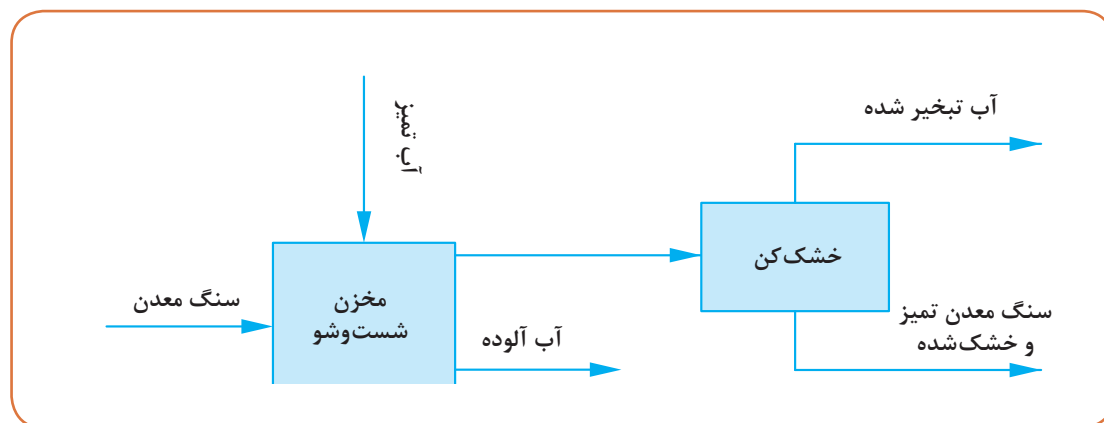
تکمیل نمودار جریان فرایند (شماره جریان، نام جریان، دما، فشار و دبی) با استفاده از شرح فرایند.



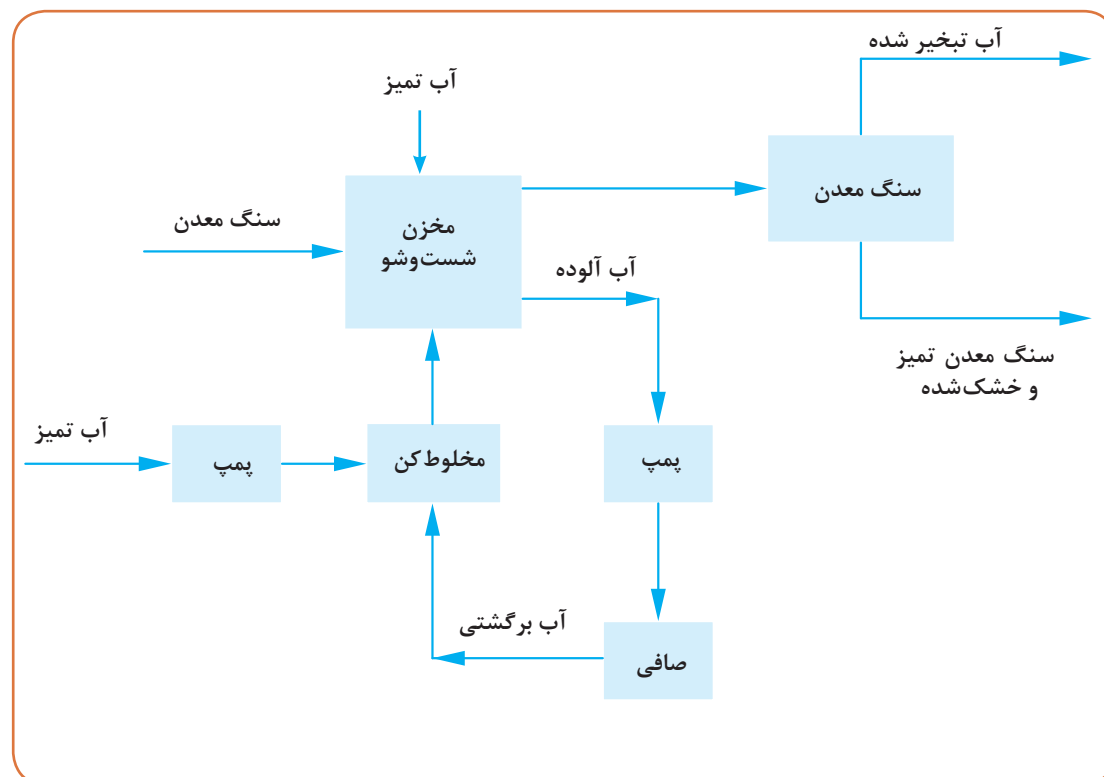
شکل ۲۳- نمودار جریان فرآیند گاوگرد زدایی نفتا

پرسش ۹

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



شکل ۲۵- فرایند شست و شوی سنگ معدن خام



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

مطلوب است:

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

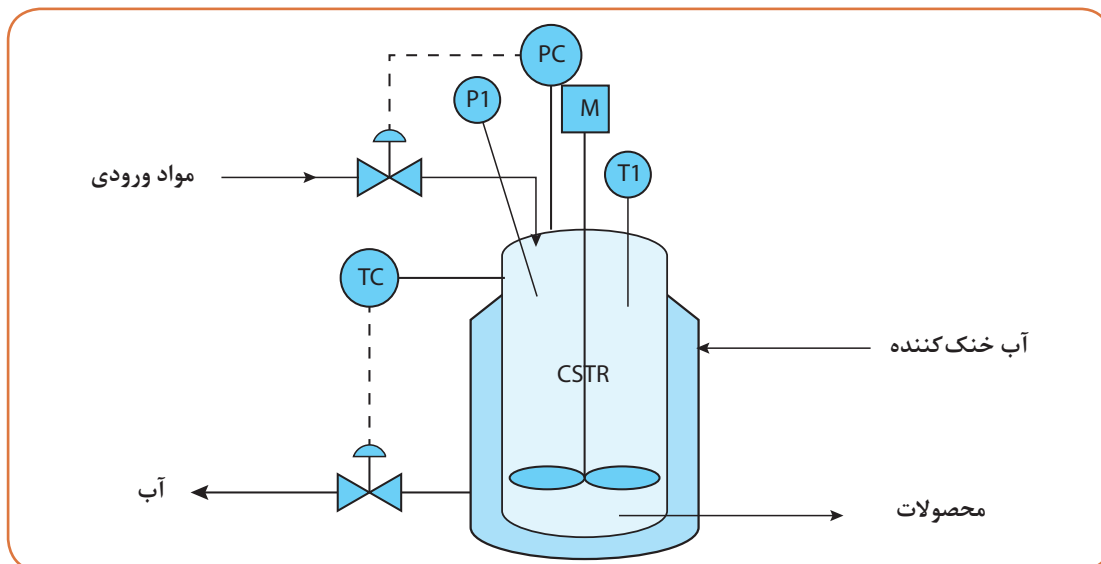
نمودار لوله‌کشی و ابزار دقیق (P&ID)

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

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

مثال ۴

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



شکل ۲۷- نمودار لوله‌کشی و ابزار دقیق راکتور

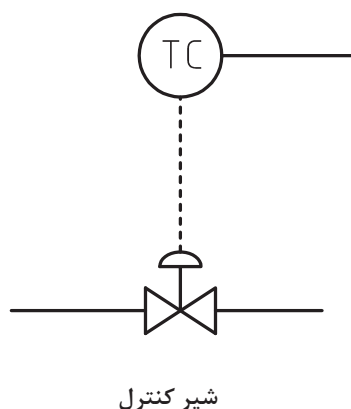
پاسخ

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

۱- CSTR

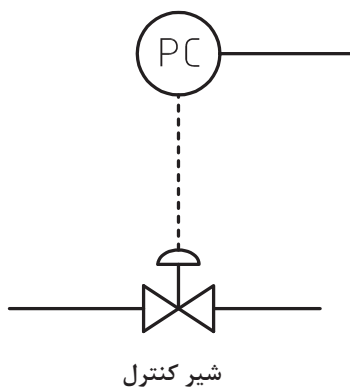
مربوطه، فشار درون راکتور تغییر کرده و نشانگر فشار (PI)، مقدار فشار را نشان می‌دهد. دمای درون راکتور نیز توسط نشانگر دما (TI) نشان داده می‌شود.

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



شکل ۲۸- سامانه کنترل دما در نمودار لوله کشی و ابزار دقیق

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

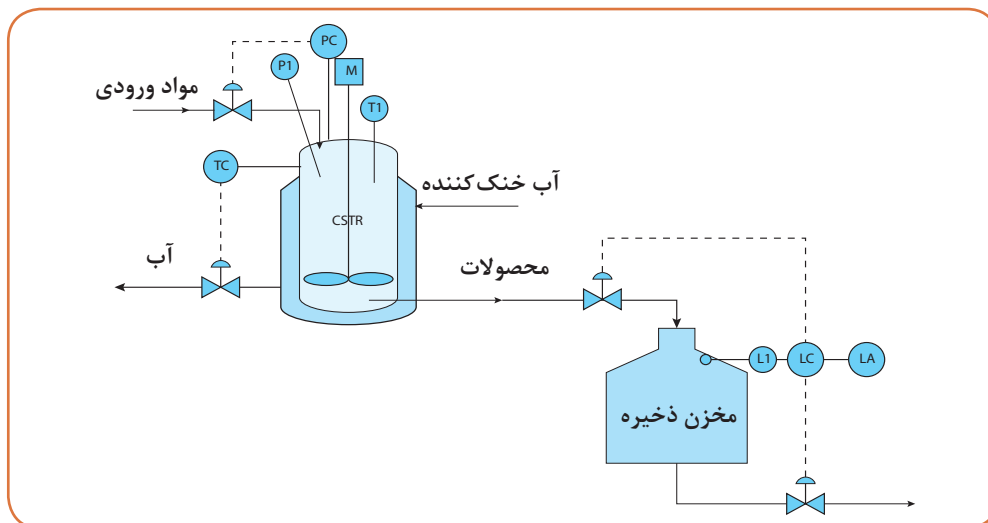


شکل ۲۹- سامانه کنترل فشار در نمودار لوله کشی و ابزار دقیق

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

پرسش ۱۰

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



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

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

فعالیت عملی



نقشه جانمایی تجهیزات

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

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

معرفی نرم افزار ویزیو و آموزش آن

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

فعالیت عملی



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

ارزشیابی شایستگی نقشه خوانی و نقشه کشی در صنایع شیمیایی

<p>شرح کار:</p> <p>۱- نقشه های فرایندی را تشخیص دهد.</p> <p>۲- نمودار جعبه ای فرایند (BFD) را به کار برد.</p> <p>۳- نمودار جریان فرایند (PFD) را به کار برد.</p> <p>۴- به کمک نرم افزار، نقشه های فرایندی را رسم کند.</p>			
<p>استاندارد عملکرد:</p> <p>کار با نقشه های فرایندی (خواندن، ترسیم و ارجاع آن به تجهیزات)</p>			
<p>شاخص ها:</p> <p>- انجام کار طبق دستورکار</p>			
<p>شرایط انجام کار و ابزار و تجهیزات:</p> <p>- شرایط مکان: کلاس و سایت کامپیوتر</p> <p>- شرایط دستگاه: آماده به کار</p> <p>- زمان: یک جلسه آموزشی</p> <p>- ابزار و تجهیزات: کاغذ- قلم- کامپیوتر مجهز به نرم افزار ویزو و اتو کد</p>			
<p>معیار شایستگی:</p>			
ردیف	مرحله کار	کمترین نمره قبولی از ۳	نمره هنرجو
۱	به کارگیری نمودار جعبه ای جریان (BFD)	۲	
۲	به کارگیری نمودار جریان فرایند (PFD)	۲	
۳	به کارگیری نمودار لوله کشی ابزار دقیق (P&ID) و نقشه جانمایی تجهیزات	۱	
۴	رسم نقشه فرایندی به کمک نرم افزار	۱	
	شایستگی های غیر فنی، ایمنی، بهداشتی، توجهات زیست محیطی و نگرش:		
	۱- ایمنی:		
	۲- نگرش: استفاده بهینه از نرم افزار در رسم نقشه های فرایندی، صرفه جویی در زمان، کاغذ، قلم و ...	۲	
	۳- توجهات زیست محیطی: کاهش دور ریز کاغذ ...		
	۴- شایستگی های غیر فنی: الف) اخلاق حرفه ای ب) مدیریت منابع پ) محاسبه و کاربست ریاضی ۵- مستندسازی: گزارش نویسی		
میانگین نمرات			*
* حداقل میانگین نمرات هنرجو برای قبولی و کسب شایستگی، ۲ می باشد.			

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 کمیت دقیق‌تر باشد، خطرات در محیط صنعتی کمتر خواهد بود. در برخی از فرایندهای شیمیایی دما، تنها نشان‌دهنده 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 به کارگیری مفاهیم و محاسبات در اندازه‌گیری دما، دستگاه‌های اندازه‌گیری دما، کالیبراسیون دماسنج و کنترل دما تشریح خواهد شد.

استاندارد عملکرد

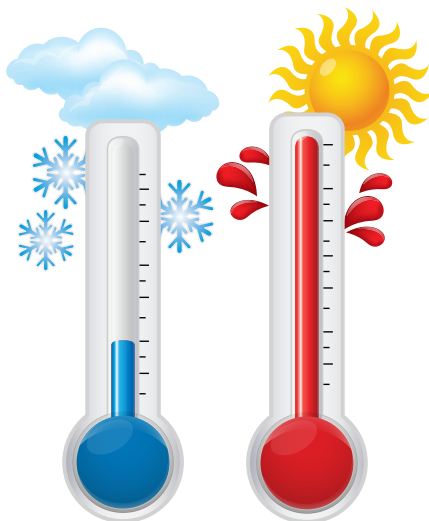
به کارگیری محاسبات و اندازه‌گیری دما و کنترل آن مطابق دستورکار

شایستگی‌های غیر فنی

- ۱ اخلاق حرفه‌ای: حضور منظم و وقت‌شناسی 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 کاربرست 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.



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 ببرید. پس از مدتی هر دو دست را از ظرف‌ها بیرون آورده و سپس در آب معمولی وارد کنید. احساس شما چیست؟

آزمایش



شکل ۱- 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 همراه‌کننده 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 کمیتی 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 کمیت‌ها در صنایع شیمیایی است.

تحقیق کنید



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

دمای محیط کار، زندگی و دمای اجسامی که روزانه با آنها سروکار دارید، معمولاً تأثیر زیادی روی شیوه 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 ۲- وسایل گرمایشی و سرمایشی معمولی

ایجاد یک دمای معین و حفظ آن در فناوری‌های مختلف، صنعت و همین‌طور در پژوهش‌های علمی، اهمیت فراوان دارد.

دما

معیار سنجش گرمی و سردی اجسام را دما می‌نامند. بنابراین دما یک کمیت فیزیکی است که درباره 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؟

یکایا و بعد دما

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

سامانه بین‌المللی^۱

■ **درجه 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. فاصله بین این دو عدد به ۱۰۰ قسمت مساوی تقسیم شده است، هر قسمت را به افتخار آندره سلسیوس^۲ یک درجه سلسیوس می‌نامند و با نماد «°C» نشان می‌دهند.



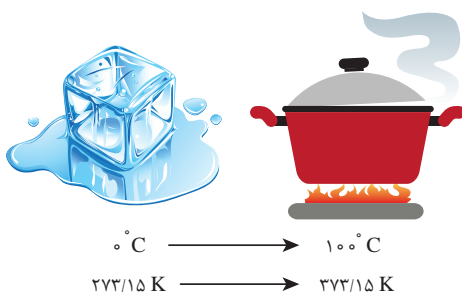
آندره سلسیوس منجم سوئدی در ۲۷ نوامبر ۱۷۰۱ میلادی به دنیا آمد و در ۲۵ آوریل ۱۷۴۴ میلادی درگذشت. او بنیان‌گذار رصدخانه آپسالا^۳ (Uppsala) بود و در سال ۱۷۴۲ میلادی مقیاس دمای مشهور سلسیوس را پیشنهاد داد.

بیشتر بدانید



■ **درجه کلون:** هنگامی که یک جسم سرد می‌شود، جنبش اتم‌ها و مولکول‌های آن کند می‌گردد. به‌عنوان مثال هنگام سرد شدن آب (مایع)، جنبش مولکول‌ها 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 کلون مشهور است، نام‌گذاری شده است و با نماد (K) نشان داده می‌شود. صفر مطلق در مقیاس کلون معادل دمای ۲۷۳/۱۵- درجه 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 نقطه ذوب یخ و جوش آب در نظر گرفته شده است (شکل ۳). لذا مقیاس دمایی سلسیوس را مقیاس دمایی نسبی و مقیاس دمایی کلون، که در آن صفر مطلق مطرح است را، مقیاس دمایی مطلق می‌نامند.



شکل ۳- دو مقیاس دمایی در سامانه بین‌المللی (SI)

رابطه بین درجه سلسیوس و کلون مطابق معادله (۱) می‌باشد:

$$T(\text{K}) = T(^{\circ}\text{C}) + 273.15 \quad (1)$$

۱- SI (System International)

۴- Kelvin

۲- Celsius

۳- Uppsala



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

مثال ۱- دمای ذوب یخ و جوش آب خالص در فشار اتمسفریک ۰ و ۱۰۰ درجه سلسیوس است. این دو دما را برحسب یکای کلوین محاسبه نمایید.
پاسخ: با توجه به رابطه (۱):

$$T(K) = T(^{\circ}C) + 273$$

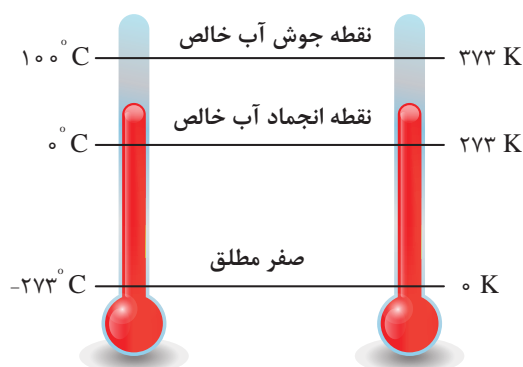
$$T(K) = 0 (^{\circ}C) + 273 = 273 \text{ K}$$

$$T(K) = 100 (^{\circ}C) + 273 = 373 \text{ K}$$

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

جدول ۱- برخی دماهای رایج

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



شکل ۴- دماسنج سلسیوس و کلوین

تحقیق کنید

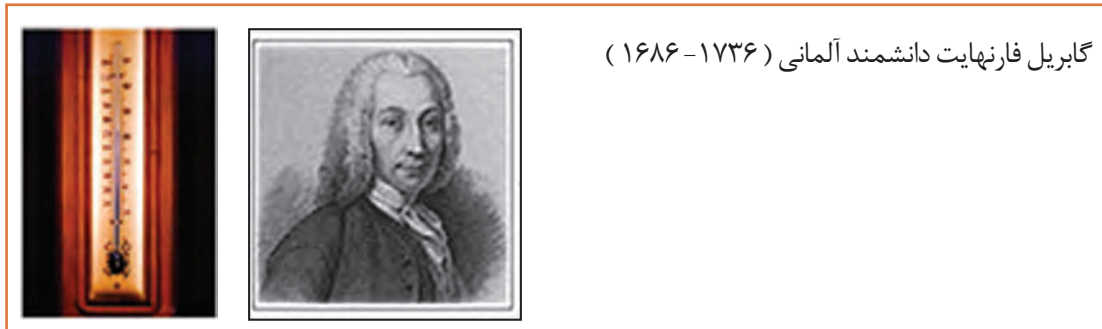


■ اگر ناخالصی در آب وجود داشته باشد، دمای ذوب و جوش آب چه تغییری می‌کند؟
■ اگر فشار هوا اتمسفریک نباشد، دمای ذوب و جوش آب چه تغییری می‌کند؟

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

سامانه انگلیسی^۱

■ **درجه فارنهایت:** فارنهایت واحد اندازه‌گیری دمای نسبی در سامانه انگلیسی است و به افتخار مبتکر آن گابریل دانیل فارنهایت^۲ در سال ۱۷۱۴ میلادی نام‌گذاری شده است. اگرچه درجه فارنهایت در گذشته 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. فاصله میان این دو دما به ۱۸۰ واحد مساوی تقسیم گردید و هر واحد معادل یک درجه فارنهایت معرفی شد.

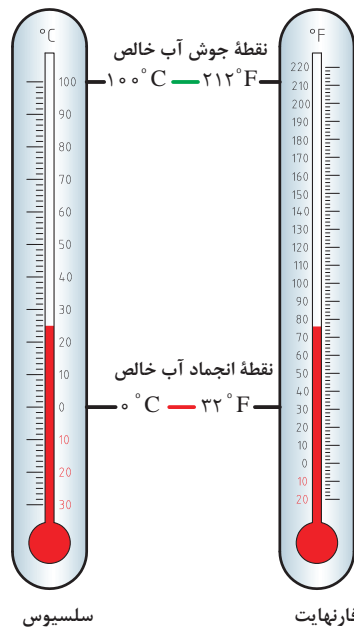


بیشتر بدانید



رابطه بین درجه سلسیوس و فارنهایت مطابق معادله (۲) بوده و در شکل ۵ نشان داده شده است.

$$T(^{\circ}\text{F}) = T(^{\circ}\text{C}) \times 1/8 + 32 \quad (2)$$



شکل ۵- مقایسه دماهای سلسیوس و فارنهایت

۱- FPS (Foot-Pound-Second)

۲- Daniel Gabriel Fahrenheit

مثال ۲- دمای جریان ورودی به راکتور تبدیل کاتالیزگری پالایشگاه نفت می‌بایست حداقل ۴۸۰ درجه سلسیوس باشد. نفتا به‌عنوان خوراک این راکتور ابتدا از یک کوره عبور کرده و دمای آن به ۶۶۲ درجه فارنهایت می‌رسد. آیا می‌توان از این جریان به‌عنوان خوراک این واحد استفاده نمود؟
پاسخ: در ابتدا باید با توجه به معادله (۲)، دمای نفتای خروجی از کوره را برحسب درجه سلسیوس تعیین نمود.

$$T(^{\circ}\text{F}) = T(^{\circ}\text{C}) \times 1.8 + 32$$

$$T(^{\circ}\text{C}) = \frac{T(^{\circ}\text{F}) - 32}{1.8} \rightarrow T(^{\circ}\text{C}) = \frac{662 - 32}{1.8} = 350(^{\circ}\text{C})$$

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



شکل ۶- مقایسه دماهای سلسیوس و فارنهایت

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.

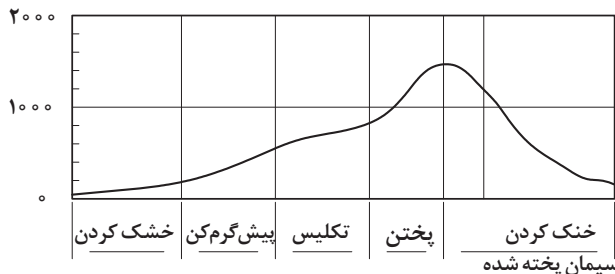
دما (درجه سلسیوس)	-۴۰	۵	۳۰	۵۰
دما (درجه فارنهایت)				

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

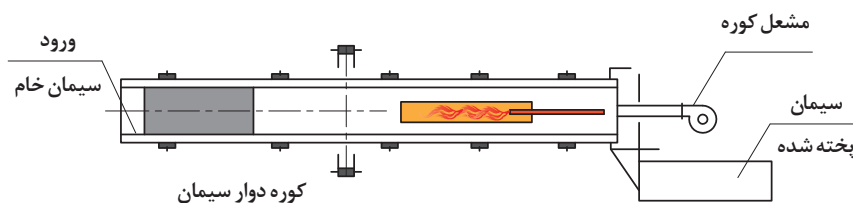
پرسش



دما (سلسیوس)



مثال ۳- مراحل تهیه سیمان در شکل ۷ نشان داده شده است. دمای پایانی هر مرحله از کوره سیمان را برحسب درجه کلون و فارنهایت به دست آورید.



شکل ۷- مراحل تولید سیمان

پودمان دوم - اندازه‌گیری، ثبت و کنترل دما

خنک شدن	پختن	تکلیس	پیش گرم کن	خشک کردن	مراحل تهیه سیمان
۱۵۰	۱۴۰۰	۹۰۰	۵۰۰	۲۰۰	دما (درجه سلسیوس)

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

$$T(K) = T(^{\circ}C) + ۲۷۳$$

- دمای کوره برحسب کلوین:

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

- دمای کوره برحسب فارنهایت:

خواهیم داشت:

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

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

پرسش

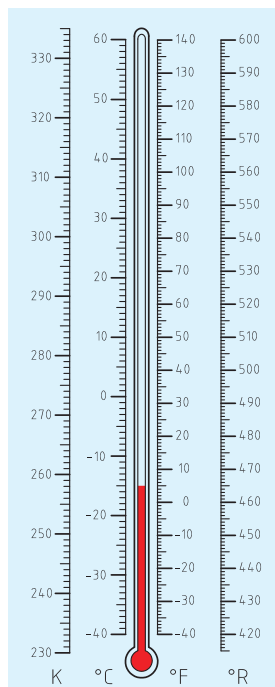


■ درجه رانکین^۱

درجه رانکین مقیاسی مطلق در سامانه 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 درجه صفر، همان صفر مطلق می‌باشد ولی در تقسیم‌بندی درجه‌ها از مقیاس درجه فارنهایت استفاده می‌شود یعنی صفر درجه رانکین برابر با $۴۵۹/۶۷$ - درجه فارنهایت می‌باشد. درجه رانکین مطابق معادله (۳) با درجه فارنهایت ارتباط دارد.

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

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



شکل ۸- مقایسه دماهای سلسیوس، فارنهایت، کلوین و رانکین



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



- ۱- دمای خشک شدن رنگ بر پایه رزین اکریلیک، ۵۳۷ درجه رانکین می‌باشد. دمای خشک شدن رنگ را بر حسب درجه سلسیوس، فارنهایت و کلوین به دست آورید.
- ۲- 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 درجه کلوین رسیده و در مدت ۱۶ ثانیه گرم شده و سپس تا دمای ۴ درجه سلسیوس به سرعت سرد می‌شود.

مطلوب است:

- الف) دمای پاستوریزاسیون بر حسب درجه‌های سلسیوس، فارنهایت و رانکین
- ب) دمای سرد شدن شیر بر حسب درجه‌های کلوین، فارنهایت و رانکین

۳- لاستیک کلروپرن به عنوان لاستیک مصنوعی برای اولین بار توسط شرکت آمریکایی دوپانت^۱ در سال ۱۹۳۱ تولید گردید. این لاستیک به روش پلیمریزاسیون امولسیون در دمای ۱۰۰ درجه فارنهایت در مجاورت گوگرد تهیه می‌شود. مطلوب است دمای پلیمریزاسیون بر حسب درجه‌های سلسیوس، کلوین و رانکین.

مثال ۴- دمای هوای شهر تهران در تابستان ۳۵ درجه سلسیوس می‌باشد. دمای هوا را بر حسب درجه‌های کلوین، فارنهایت و رانکین محاسبه نمایید.
جواب) بر اساس معادله‌های (۱)، (۲) و (۳) خواهیم داشت:

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

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

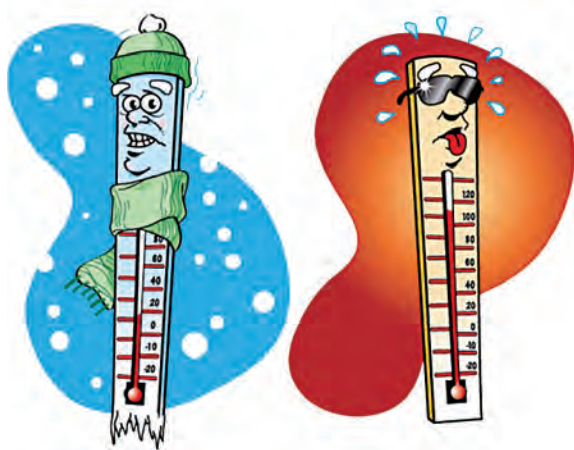
$$T(^{\circ}R) = T(^{\circ}F) + ۴۶۰ \rightarrow T(^{\circ}R) = ۹۵ + ۴۶۰ = ۵۵۵ ^{\circ}R$$

بنابراین:

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

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» به معنی گرما و «مترون^۳» به معنی اندازه‌گیری می‌باشد.



تاریخچه: گالیله در سال ۱۵۹۲ میلادی نخستین وسیله 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. وسیله 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 فردیناند توسکانی^۵، دماسنجی ساخت که در آن از الکل استفاده کرد. سرلوله را چنان محکم بست که الکل نتواند تبخیر شود. سرانجام در سال ۱۶۴۰ میلادی دانشمندان آکادمی لینیچی^۶ در ایتالیا نمونه‌ای از دماسنج‌های جدیدی را ساختند که در آن جیوه به کار برده و هوا را تا حدودی از قسمت بالای لوله بسته خارج کرده بودند. توجه به این نکته جالب است که در حدود نیم قرن طول کشید تا دماسنج کاملاً تکامل یابد.

به دنبال کشف دماسنج، گابریل دانیل فارنهایت دانشمند هلندی، در قرن هفدهم نوعی دماسنج گازی-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 ۱: ساخت یک دماسنج ساده

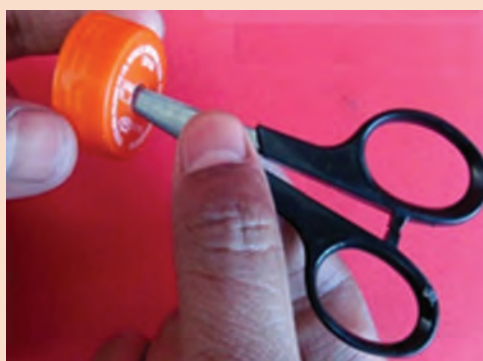
وسایل مورد نیاز: - شیشه کوچک با درب چوب پنبه - لوله شیشه‌ای یا نی - چسب یا خمیر بازی - کاغذ میلی‌متری

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:

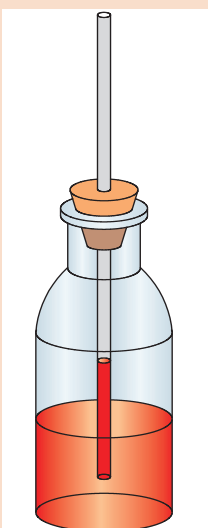
- ۱ یک شیشه کوچک، ترجیحاً بی‌رنگ با درب چوب پنبه‌ای انتخاب کرده و آن را پر از آب کنید.
- ۲ یک سوراخ به اندازه یک لوله شیشه‌ای یا نی دقیقاً در وسط درپوش شیشه به وسیله یک میخ یا قیچی ایجاد نمایید.

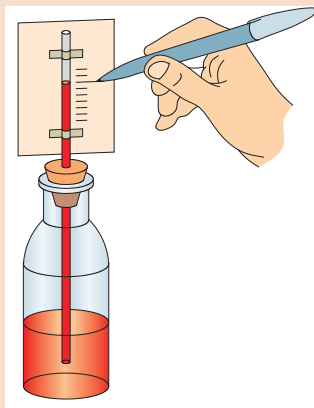
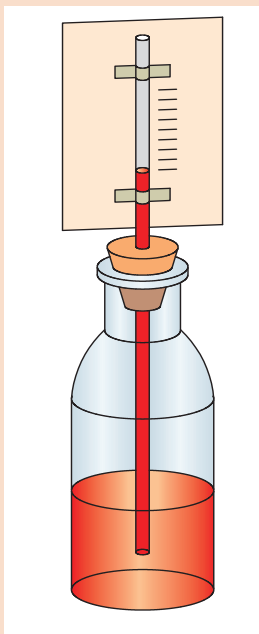


۳ لوله شیشه‌ای را از درون درپوش عبور داده، به گونه‌ای تنظیم کنید که تا انتهای شیشه برسد ولی به کف آن نچسبد.

۴ پس از عبور لوله 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 بر روی سطح آن است، مقداری از نی بالا می‌آید. توجه کنید که بیشتر ارتفاع لوله شیشه‌ای خالی باشد تا فضای کافی جهت افزایش ارتفاع آب با افزایش دما موجود باشد.





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.



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 اندازه‌گیری شده، 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؟

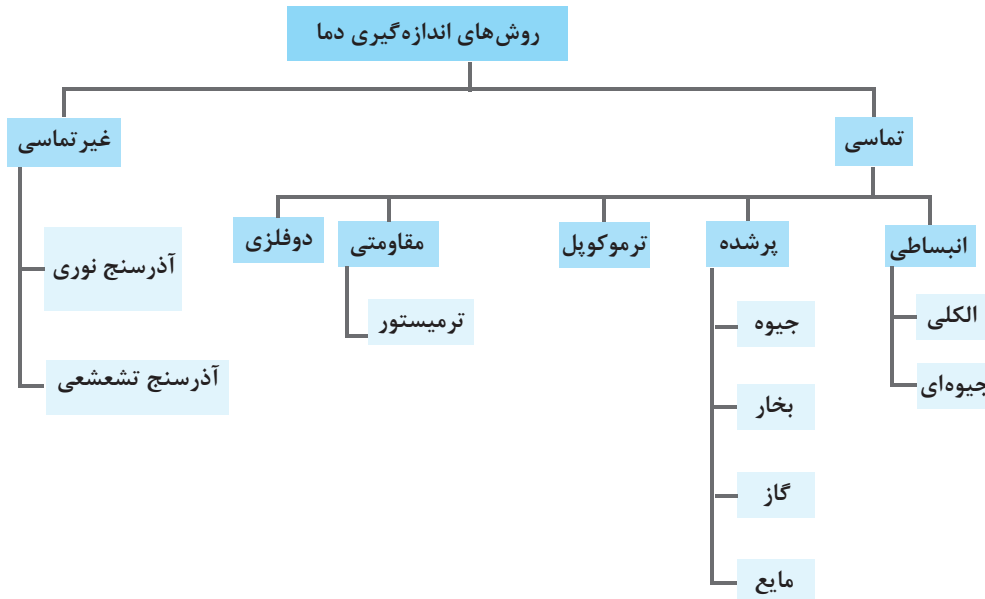
انواع دماسنج

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

بسیاری از کمیت‌های فیزیکی مانند حجم با دما تغییر می‌کنند.

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

نکته



شکل ۹- 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.

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

نکته

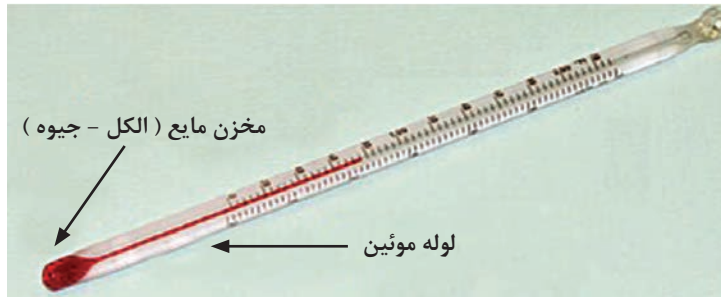


دماسنجهای انبساطی

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 دماسنجهای از یک لوله 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 لوله شیشه‌ای بالا و پایین می‌رود (شکل ۱۰). البته به این دماسنجهای، دماسنج ساقه شیشه‌ای نیز گفته می‌شود.

پودمان دوم - اندازه‌گیری، ثبت و کنترل دما

برای اندازه‌گیری دمای هر جسمی، مخزن دماسنج را در تماس با آن قرار دهید. مدتی صبر کنید تا ارتفاع مایع در لوله 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 ۱۰- دماسنج‌های الکلی - جیوه‌ای

هرچه دما بالاتر باشد، ارتفاع مایع درون لوله موئین بیشتر و هرچه دما پایین‌تر باشد، ارتفاع مایع کمتر است.

نکته



فیلم ۲: ساخت دماسنج شیشه‌ای



- ۱- چرا ضخامت مخزن مایع در دماسنج الکلی یا جیوه‌ای، نازک است؟
- ۲- چرا دماسنج خالی از هوا می‌باشد؟
- ۳- با استفاده از جدول ۱ گستره اندازه‌گیری دما را در دماسنج‌های جیوه‌ای و الکلی تعیین کنید.
- ۴- آیا با استفاده از دماسنج جیوه‌ای، می‌توان دمای قطب جنوب که به 50° - درجه سلسیوس می‌رسد را اندازه‌گیری کرد؟

پرسش



با توجه به سمی بودن جیوه، در هنگام کار با دماسنج جیوه‌ای مواظب باشید که دماسنج نشکند. اگر دماسنج شکست، به هیچ وجه جیوه 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 درجه سمیت 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.

نکات ایمنی





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

جدول ۲- نقطه جوش و یا نقطه 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	نقطه ذوب	-۶۳/۵	
۴	استون	نقطه ذوب	-۹۵	



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



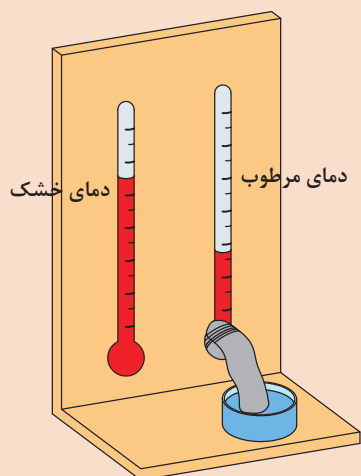
فعالیت کارگاهی ۲:

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 دمای است که توسط دماسنجی که در معرض هوا قرار دارد، خوانده می‌شود.
دمای مرطوب هوا نیز یکی از خواص 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.



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 ۱۱- آزمایش تعیین رطوبت نسبی هوا

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

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



فعالیت کارگاهی ۳:

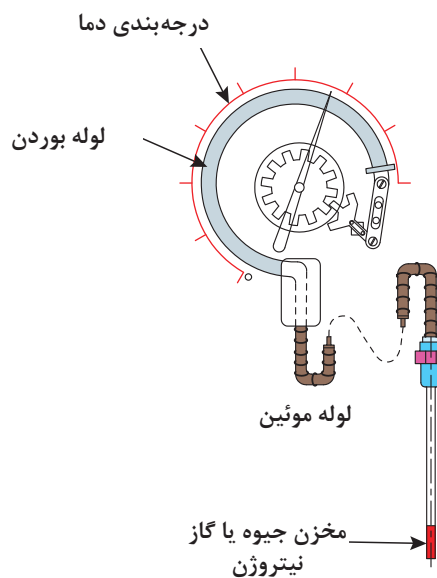
این آزمایش را با استفاده از یک پنکه روشن انجام دهید و رطوبت نسبی هوا را تعیین نمایید. (جریان هوای ایجاد شده با هر دو دماسنج برخورد داشته باشد).

دماسنج‌های پر شده^۱

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 گستره دمایی که دماسنج در آن به کار می‌رود، دارد. حباب به وسیله یک لوله مسدود (لوله بوردن) نازک که درون آن با یک گاز ایده‌آل مانند نیتروژن پر شده است به یک فشارسنج متصل شده است (شکل‌های ۱۲ و ۱۳).



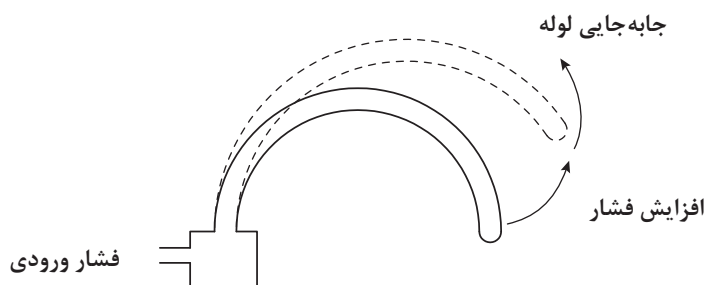
شکل ۱۳- نمای بیرونی دماسنج پر شده



شکل ۱۲- نمای درونی دماسنج پر شده

در حقیقت دنباله این دماسنج که گاهی اوقات طول آن چند متر هم خواهد بود از یک لوله 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 لوله بوردن می‌شود. این اثر به پدیده بوردن مشهور است (شکل ۱۴) و عقربه فشارسنج که برحسب دما درجه‌بندی شده تغییر می‌کند و افزایش دما را نشان می‌دهد.

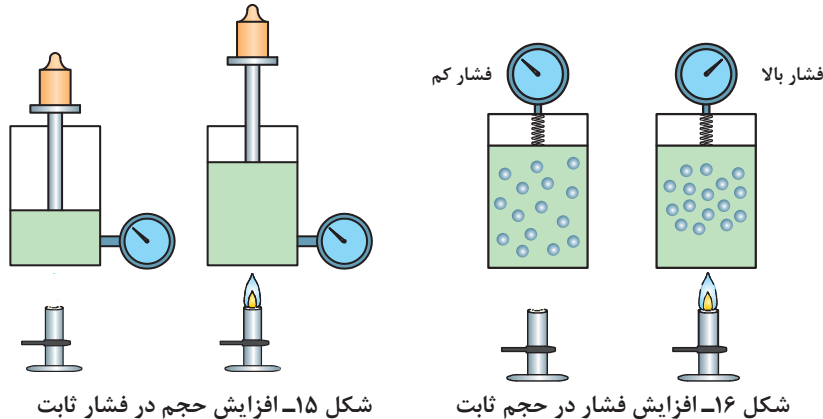


شکل ۱۴- نمایش پدیده بوردن

۱- Filled Type Thermometer



بر اساس قانون شارل-گیلوساک^۱، برای یک گاز آرمانی یا ایده‌آل در فشار ثابت، افزایش دما باعث افزایش حجم می‌شود (شکل ۱۵) و برای همان گاز ایده‌آل در حجم ثابت، افزایش دما باعث افزایش فشار می‌شود (شکل ۱۶).



شکل ۱۵- افزایش حجم در فشار ثابت

شکل ۱۶- افزایش فشار در حجم ثابت

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

- سامانه پر شده با مایع؛
- سامانه پر شده با بخار؛
- سامانه پر شده با گاز؛
- سامانه 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

دماسنج پر شده با بخار، از لحاظ ساختمان و قطعات شبیه دماسنج پر شده گازی است، با این تفاوت که اولاً به جای گاز از یک مایع فرار 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 لوله بودن منتقل می‌گردد.

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

– نقطه جوش مایع می‌بایست کمتر از دمایی باشد که می‌خواهد اندازه‌گیری شود.

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

بیشتر بدانید



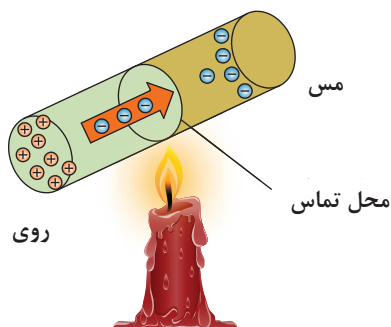
تفاوت بخار و گاز

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



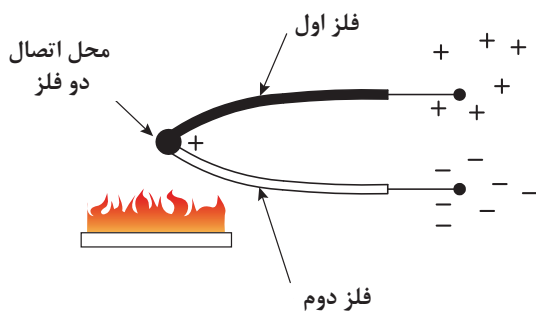
دماسنج‌های پر شده در چه محدوده دمایی قابل استفاده می‌باشند؟



شکل ۱۷- تغییر بار در اثر تغییر دما

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.

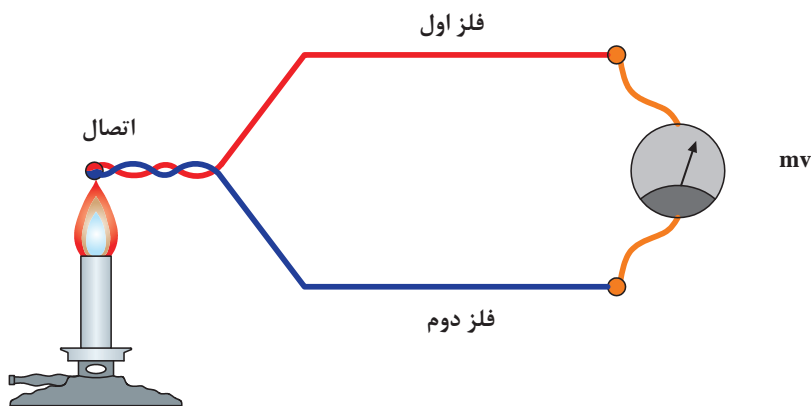


شکل ۱۸- نمای ساده‌ای از ترموکوپل

فیزیک‌دان آلمانی سی‌بک^۱ در سال ۱۸۲۱ متوجه شد که هرگاه انتهای دو رشته سیم فلزی غیر هم‌جنس را مطابق شکل ۱۸ به یکدیگر وصل کند و نقطه اتصال را حرارت دهد، در این هنگام الکترون‌ها جریان پیدا کرده، در نتیجه سر یک تیغه، تراکم بار مثبت و سر تیغه دیگر، تراکم بار منفی پیدا می‌کند. بنابراین در آن محل یک اختلاف پتانسیل الکتریکی به وجود می‌آید.

^۱ - Seebeck

هرقدر اختلاف دمای بین نقطه اتصال و سرهای آزاد این دو فلز بیشتر باشد، به همان نسبت بار الکتریکی دوسر تیغه‌ها زیاده‌تر بوده، اختلاف پتانسیل الکتریکی بیشتر خواهد بود. با اندازه‌گیری اختلاف پتانسیل الکتریکی دو سر آزاد تیغه‌ها (دو سر ترموکوپل) دمای نقطه اتصال مشخص خواهد شد. چنانچه به نقطه 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 استفاده ترموکوپل، فقط در صورت وجود اختلاف دما بین نقطه 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 به وجود 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 ۱۹- شیوه اندازه‌گیری دما با ترموکوپل

محدوده دمای قابل اندازه‌گیری توسط یک ترموکوپل بستگی به جنس فلزاتی دارد که ترموکوپل از آن ساخته شده است. به عنوان نمونه، محدوده دمای قابل اندازه‌گیری یک ترموکوپل با جنس پلاتین ایرودیوم از صفر تا ۱۶۰۰ درجه سلسیوس است. یکی از مزایای ترموکوپل این است که به خاطر 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:

— نقطه ذوب فلز

— پایداری و عدم واکنش پذیری در شرایط کاری

— میزان هدایت الکتریکی فلز

— هزینه

— ساخت و به کارگیری آسان

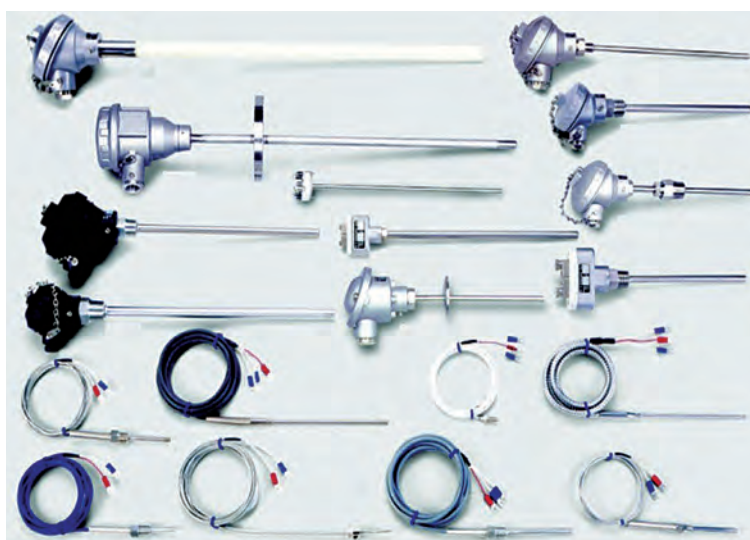
ترموکوپل‌ها ابزار حساس و ظریفی هستند که در به کارگیری به خصوص در نصب و ساخت نیاز به احتیاط زیاد دارند.



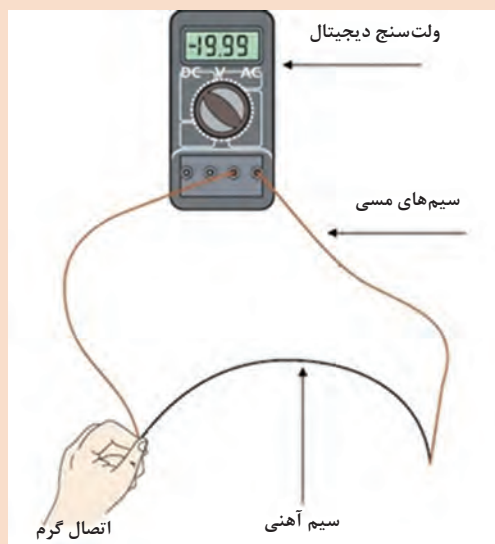
شکل ۲۰- ترموکوپل با حفاظ

برای کمتر شدن خطای اندازه گیری، سعی می شود که ترموکوپل ها به صورت عمودی نصب شوند. ضمناً برای حفاظت مکانیکی ترموکوپل ها، آنها را در حفاظ های مقاوم (مثلاً سرامیکی) قرار می دهند (شکل ۲۰).

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



شکل ۲۱- چند نمونه ترموکوپل صنعتی



شکل ۲۲- ساخت یک ترموکوپل ساده

فعالیت کارگاهی ۴: ساخت یک ترموکوپل

فعالیت
کارگاهی



وسایل مورد نیاز:

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



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-کنستانتان^۱ انجام دهید.



ترموپیل چیست و کاربرد آن کجاست؟

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^۱ و کنستانتان

■ نوع K: کرومل و آلومینیوم

■ نوع S و R: پلاتین و رودیوم.

در جدول ۴ محدوده دمایی ترموکوپل‌های متداول ارائه شده است.

جدول ۴- محدوده دمایی انواع ترموکوپل‌ها

نوع	جنس فلز	محدوده 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

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



جدول ۵- دماهای عملیات مختلف

ردیف	عملیات	دمای مورد نیاز (درجه سلسیوس)
۱	راکتور واحد بنزین سازی پالایشگاه	۵۰۰
۲	کوره سیمان	۱۴۰۰
۳	کربن‌دهی سطحی در عملیات حرارتی فولاد	۹۰۰
۴	راکتور تولید هیدروژن	۸۰۰
۵	راکتور واحد تصفیه 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:

- هزینه کم
- اندازه کوچک
- مقاوم بودن
- محدوده کاری وسیع
- پایداری
- دقیق برای تغییرات دمایی بالا
- پاسخ سریع

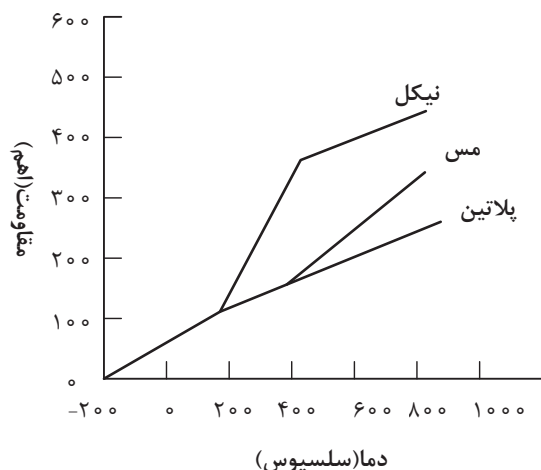
معایب:

- 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^۱ PTC گفته می‌شود. پلاتین، نیکل و مس از این گروه می‌باشند (شکل ۲۳). در گروه دیگر با افزایش دما، مقاومت الکتریکی کاهش می‌یابد. به این گروه که دارای ضریب دمایی منفی هستند، اصطلاحاً^۲ NTC گفته می‌شود. در این گروه بیشتر از اکسیدهای فلزی استفاده می‌شود که به این حسگرها ترمیستور^۳ گفته می‌شود.

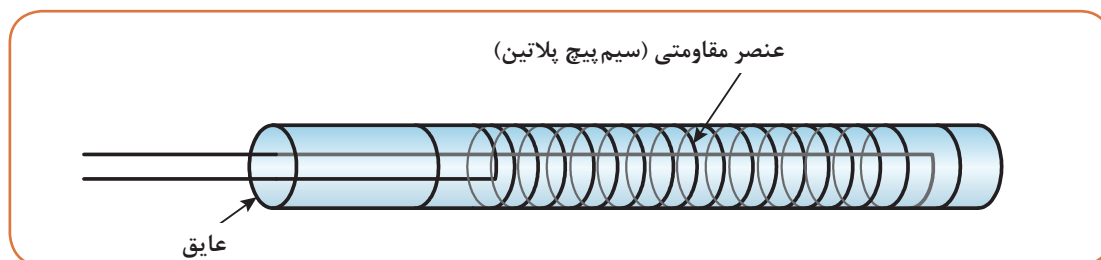
شکل ۲۳- تغییرات مقاومت برحسب دما برای دماسنج PTC

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. محدوده دمایی دماسنج‌های مقاومتی پلاتین، نیکل و مس در جدول ۶ ارائه شده است.

جدول ۶- محدوده دمایی دماسنج‌های مقاومتی

جنس فلز	محدوده دمایی (°C)
پلاتین	۲۰۰-۸۵۰
نیکل	۸۰-۳۰۰
مس	۲۰۰-۲۶۰

دماسنج مقاومتی غالباً به صورت یک سیم پیچ 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.



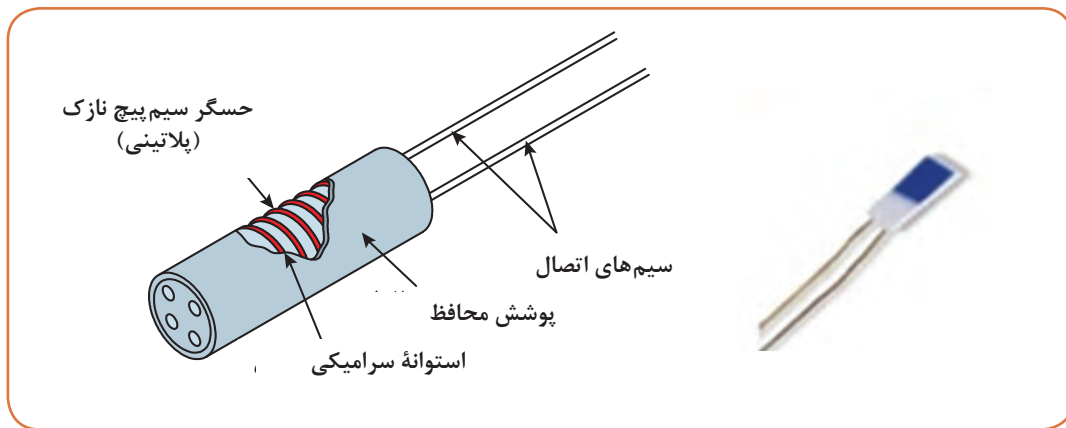
شکل ۲۴- دماسنج مقاومتی

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 ۲۵- 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.
 - محدوده 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 درجه سلسیوس است. در بسیاری از صنایع در دمای زیر ۶۰۰ درجه سلسیوس به علت دقت بالاتر، دماسنج مقاومتی جایگزین ترموکوپل‌ها می‌شود.

فیلم ۳: فیلم دماسنج ترموکوپلی و RTD

فیلم ۴: فیلم دماسنج ترموکوپلی



فعالیت کارگاهی ۵: بررسی ظاهری و چشمی دماسنج‌های کارگاه

– 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	گستره دمایی قابل اندازه‌گیری (سلسیوس)	سالم/خراب	علت
۱				
۲				
۳				
۴				



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 هم‌گروه	دمای شعله شمع	دمای شعله 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؟

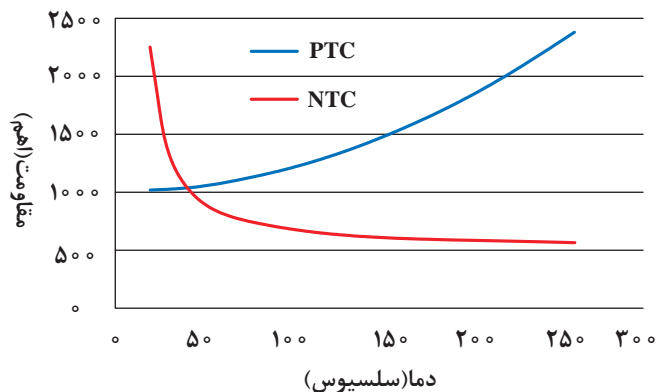
دماسنج‌های ترمیستور:

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

همان‌طور که در بخش قبل اشاره شد، ترمیستورها هم دارای ضریب دمایی مثبت و هم دارای ضریب دمایی منفی می‌باشند (شکل ۲۶) ولی عمده 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 25°C می‌باشد. در حالی که این مقدار برای RTD، ۱۰۰ اهم می‌باشد. محدوده دمایی ترمیستورها بسته به نوع نیمه‌هادی از حدود 50°C - درجه تا چند صد درجه سلسیوس می‌باشد (شکل ۲۷).



شکل ۲۷- دماسنج از نوع ترمیستور



شکل ۲۶- ترمیستورهای PTC و NTC

معایب اندازه‌گیری دما با ترمیستور

- دقت آنها کمتر از RTD ها 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 RTD ها دارند.

مزایای اندازه‌گیری دما با ترمیستور:

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

دماسنج‌های دوفلزی^۱

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

۱- Bimetallic Thermometer



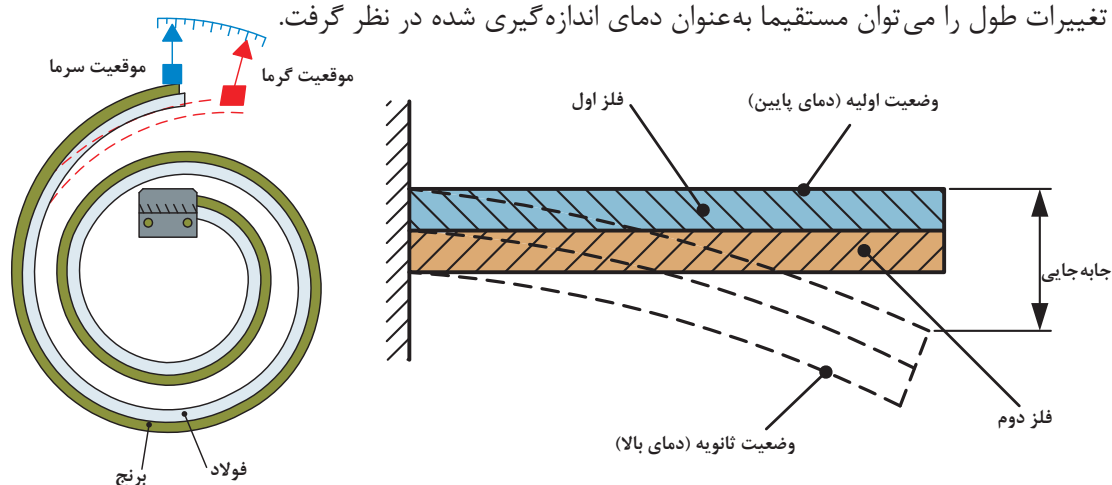
تحقیق کنید



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

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).

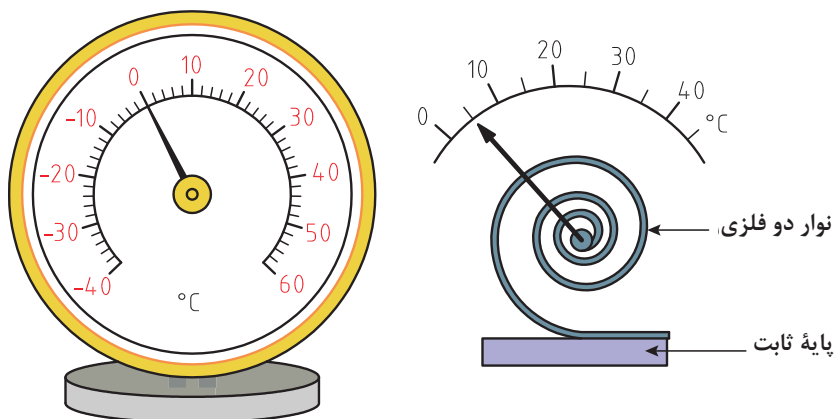
از این پدیده، در ساخت دماسنج‌های دوفلزی و ترموستات‌ها استفاده می‌شود. در عمل برای افزایش تغییرات طول در اثر تغییرات دما، دماسنج دو فلزی را به صورت حلزونی (شکل‌های ۳۰ و ۳۱) و یا مارپیچ (شکل ۳۲) می‌سازند. تغییرات طول را می‌توان مستقیماً به عنوان دمای اندازه‌گیری شده در نظر گرفت.



شکل ۳۰- دماسنج دو فلزی حلزونی شکل

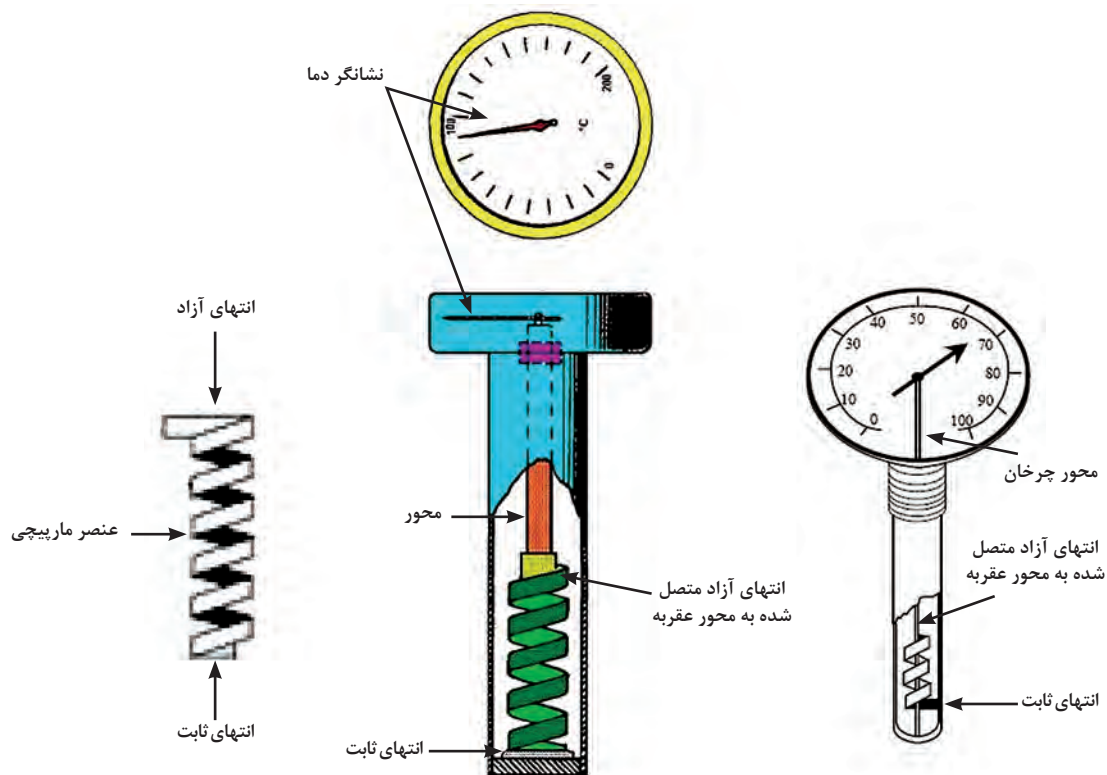
شکل ۲۹- اثر تغییر دما در دو فلز غیر هم جنس

پودمان دوم - اندازه‌گیری، ثبت و کنترل دما



شکل ۳۱- دماسنج دو فلزی حلزونی شکل

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



شکل ۳۲- دماسنج دو فلزی مارپیچی



فعالیت کارگاهی ۷: ساخت یک ترموستات

وسایل مورد نیاز:

- استارت (راه انداز) لامپ مهتابی
- دو عدد باطری قلمی
- یک عدد لامپ سه ولتی
- ۱۰ تا ۲۰ سانتی متر سیم

روش کار:

- ۱ محافظ یک راه انداز (استارت) لامپ مهتابی را مانند شکل ۳۳ جدا کنید.



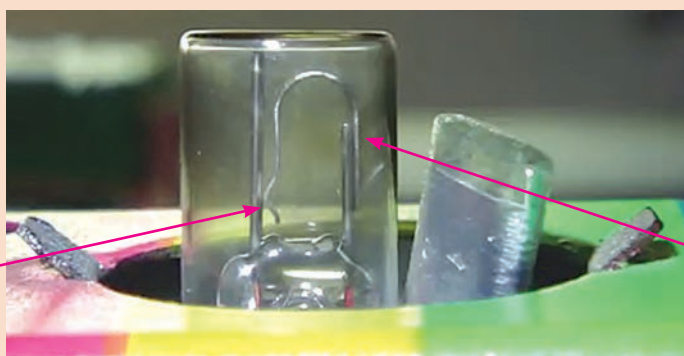
شکل ۳۳- راه انداز (استارت) لامپ مهتابی

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



شکل ۳۴- مدار ساخته شده با راه انداز (استارت) لامپ مهتابی به عنوان ترموستات

- ۳ در این حالت چرا لامپ روشن نمی شود؟ به درون حباب شیشه ای به دقت نگاه کنید (شکل ۳۵).



میلۀ اتصال جریان

میلۀ (از جنس دوفلزی)

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

همان طور که در شکل ۳۶ می توان مشاهده نمود اتصال بین میلۀ (از جنس دوفلزی) با میلۀ اتصال جریان، برقرار نمی باشد.

- 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 میله 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 میله اتصال قطع شده و لامپ سه ولتی دوباره خاموش می‌شود.



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

فعالیت کارگاهی ۸: ساخت دماسنج دو فلزی

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

فعالیت
کارگاهی



دماسنج‌های غیر تماسی^۱

دماسنج غیر تماسی 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°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 غیر تماسی بسیار ضروری خواهد بود.

برای تعیین دما به روش غیر تماسی معمولاً از دماسنج‌های آذر سنج^۲ (پیرومتر) استفاده می‌شود. در روش اندازه‌گیری دما به‌صورت غیر تماسی 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. آذر سنج‌ها در دو نوع نوری^۳ و تشعشعی^۴ وجود دارند.

۱- Non-Contact Thermometer

۲- Pyrometer Thermometer

۳- Optical Pyrometer

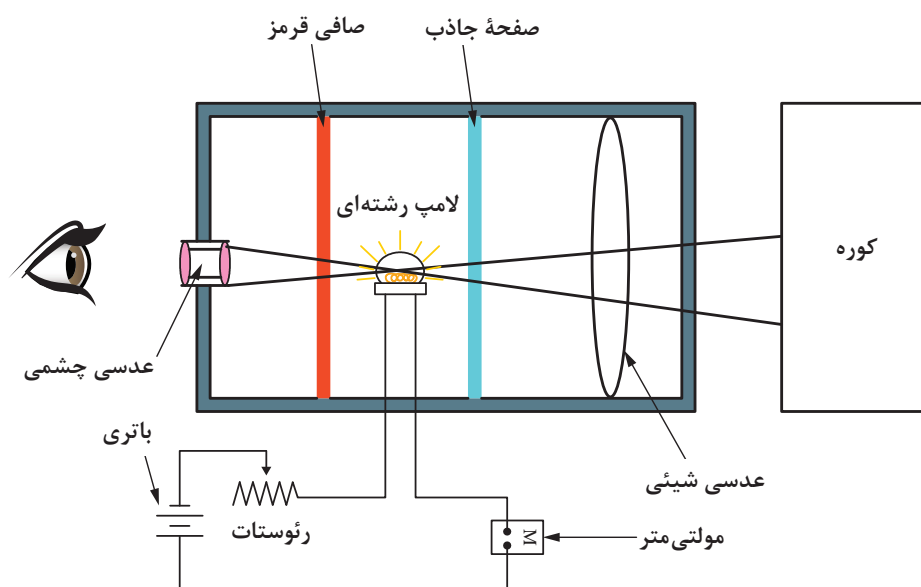
۴- Radiation Pyrometer

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 ۳۷- دماسنج آذرسنج

در این دماسنج، نور ایجاد شده توسط جسم داغ (کوره) از درون یک سامانه نوری (با بزرگ‌نمایی معین) که در درون آن یک لامپ گداخته کوچک قرار داده شده، گذرانده می‌شود. برای سهولت مقایسه رنگ‌ها، یک صافی قرمز که تنها طول موج پرتو قرمز را عبور می‌دهد به کار 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 تعیین‌کننده میزان دمای جسم است. این جریان توسط پتانسیومتری که بین منبع تغذیه (یک باتری) و لامپ قرار داده شده، کنترل می‌گردد (شکل ۳۸).



شکل ۳۸- چگونگی عملکرد دماسنج آذرسنج نوری



شکل ۳۹- دماسنج آذرسنج نوری

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

آذرسنج تشعشعی

تمامی اجسامی که دارای دمای بالای صفر مطلق باشند، از خود امواج مادون قرمز^۱ منتشر می‌سازند. موج مادون قرمز در حقیقت یک انرژی نورانی ضعیف است که به‌صورت موج منتشر می‌شود و فرکانس آن در محدوده فرکانس قابل دید برای چشم انسان نمی‌باشد. البته هر چه دمای یک جسم بیشتر باشد، میزان انرژی مادون قرمز بیشتری منتشر می‌سازد.

بیشتر بدانید



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 محدوده 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 صفحه نمایش آن، نشان داده می‌شود. تمامی این مراحل در مدت زمان بسیار کوتاهی انجام می‌گیرد.



شکل ۴۰- دماسنج آذرسنج تشعشعی



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 ۴۲- نشانگر دیجیتالی دما (مصارف خانگی)

شکل ۴۱- نشانگر شیشه‌ای دما



شکل ۴۴- نشانگر دیجیتالی دما (مصارف صنعتی)

شکل ۴۳- نشانگر عقربه‌ای دما

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 به وجود 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 مرحله 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 کمیت‌های 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

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 کمیت 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 به راحتی 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 دوره 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 سطح‌سنج‌ها.

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 دوره 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 ارائه 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 دفترچه 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 را تمیز نگه داشته شود و برای هر یک 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 دسته 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؟



فیلم ۶: کالیبراسیون دماسنج پر شده

فعالیت عملی



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، $^{\circ}\text{C}$ 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. کلمه 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 به صورت 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 به وسیله 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 بازده 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 محدوده مجاز کنترل شوند. بنابراین کاربرها^۱ در صورت مشاهده تغییر در شرایط فرایند باید بتوانند به سرعت تصمیمات لازم را اتخاذ کرده و مثلاً بایستی شیرهای مربوطه را باز و بسته کنند. این بدان معناست که باید به طور 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 پیچیده تر، کاربرها نتوانند تصمیمات لازم و به موقع اتخاذ کنند، لذا این شیوه کنترل که توسط کاربر انجام می شود و به کنترل دستی^۲ معروف است می تواند منجر به عملکرد نامناسب واحد و خطرات جانی شود. بنابراین می بایست برای رفع این مشکل، یعنی تشخیص و محاسبه دقیق میزان باز و بسته شدن هر یک از شیرها و کاهش تعداد کاربران و در نتیجه کاهش خطای تصمیم گیری آنها، از سامانه کنترل خودکار (اتوماتیک) استفاده نمود.

کنترل خودکار (اتوماتیک) دارای دقت و سرعت بیشتری نسبت به کنترل دستی می باشد. امروزه با پیشرفت کامپیوترها، از آنها به عنوان مغز متفکر در کنترل فرایندها استفاده می شود و می توان فرایندهای بزرگ شیمیایی، پالایشگاه ها و مجتمع های پتروشیمی که دارای تجهیزات و پیچیدگی های زیادی هستند را توسط تعداد کمی کاربر و به طور خودکار، کنترل نمود. کنترل خودکار متغیرهای فرایندی، علاوه بر نگهداشتن فرایند در شرایط مطلوب، باعث دستیابی به ایمنی بیشتر و نیز رعایت بهتر قوانین زیست محیطی می شود. بدین معنی که با استفاده از این روش سرعت و دقت بسیاری از تصمیمات و در نتیجه اقدامات پیشگیرانه افزایش می یابد و به علاوه مدیریت بحران بهتری در این گونه موارد پدید می آید.

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

وظیفه شناور در کولر، ثابت نگه داشتن ارتفاع سطح آب در حدی است که هیچگاه پمپ کولر بدون آب کار نکند و پوشال های 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 می بایست از سامانه های کنترل غیردستی استفاده نمود. البته سامانه کنترل سطح آب در کولر آبی به صورت خودکار به آن معنا که از کامپیوتر استفاده شود، نیست ولی به هر حال از نوعی سامانه کنترل خودکار برای کنترل سطح استفاده می شود.

اجزای سامانه های کنترلی

فرایند یا کنترل شونده: دستگاه یا فرایندی که قرار است یکی از کمیت های آن مورد بررسی یا کنترل قرار گیرد.
سامانه اندازه گیری: دستگاهی که برای اندازه گیری کمیت هایی از قبیل دما، فشار، سطح و دبی به کار می رود.
مقدار مطلوب^۳ (SP or SV) یا ورودی: مقدار مشخص برای کمیتی که قرار است کنترل شود.

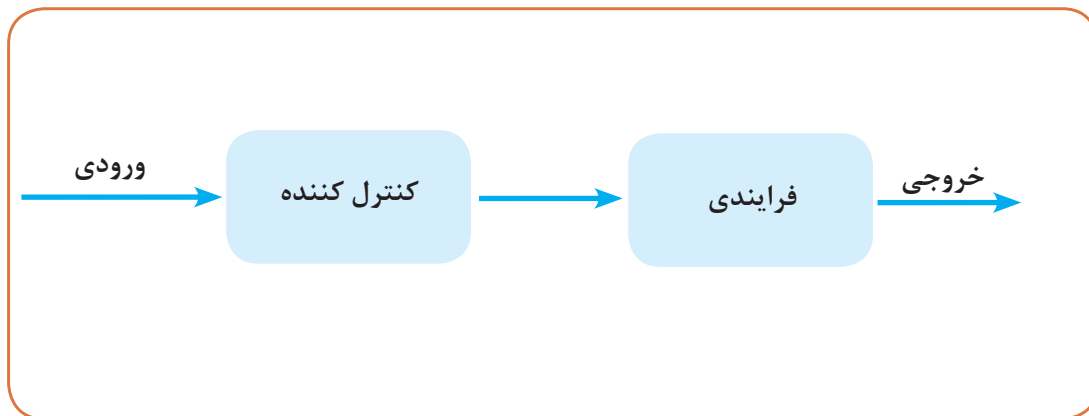
۱- Users

۲- Manual

۳- Set Point - Set Value

مقدار فرایند^۱ (PV) یا خروجی: مقدار واقعی کمیتی که در حال کنترل می‌باشد.
کنترل کننده^۲: دستگاهی که مقایسه بین مقدار مطلوب و واقعی را انجام داده و دستور تنظیم و تصحیح کنترل‌شونده را صادر می‌کند.
محرك^۳: محرك معمولاً شیری است که دستور کنترل‌کننده توسط آن انجام می‌شود و به آن شیر کنترل می‌گویند.

بازخورد^۴: نتیجه و مقدار اندازه‌گیری توسط سامانه اندازه‌گیری
انتقال دهنده (ترنس‌میتور)^۵: دستگاهی که بتواند یک کمیت 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 به صورت سامانه‌های کنترلی مدار باز^۶ و مدار بسته^۷ 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 هر کدام به حال خود می‌شود. در این سامانه، ورودی به دقت تنظیم می‌گردد و فقط در جاهایی کاربرد دارد که دقت بالایی لازم نیست.



شکل ۴۵- سامانه کنترلی مدار باز

به عنوان 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 سامانه کنترل:

۱- Process variable

۲- Controller

۳- Actuator

۴- Feedback

۵- Transmitter

۶- Open- Loop

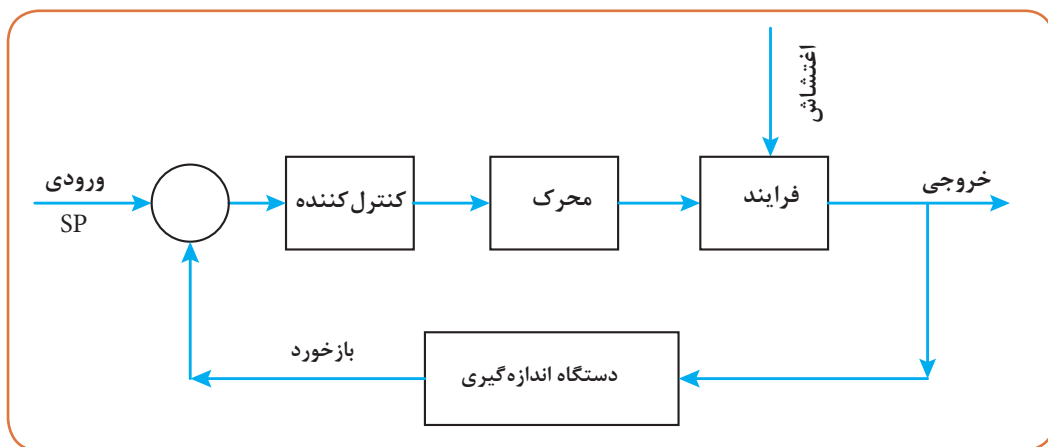
۷- Closed- Loop

فرایند: ماشین لباسشویی

کنترل شونده: مدت زمان کارکرد ماشین لباسشویی

باز خورد: میزان تمیزی لباس پس از شست و شو

همان طور که مشخص است در این مثال ماشین نمی فهمد که چه زمانی لباس ها به خوبی شسته شده اند تا دستور دهد ماشین خاموش شود، لذا آن قدر کار می کند تا به مدت زمانی که تنظیم شده است برسد و خاموش شود. حال اگر لباس ها خوب شسته نشده بودند، باید مدت زمان را بیشتر کرد. بنابراین ماشین فقط بر اساس دستور داده شده کار می کند و به میزان تمیزی بعد از شستشو کاری ندارد، لذا این نوع کنترل را کنترل باز می نامند. در سامانه کنترلی مدار بسته، خروجی اثر مستقیم بر ورودی می گذارد و باز خورد وجود دارد که کنترل کننده با توجه به میزان باز خورد، دستور را جهت اصلاح فرایند صادر می کند (شکل ۴۶).



شکل ۴۶- سامانه کنترلی مدار بسته

پرسش

عملکرد یخچال چه نوع سامانه کنترلی است؟ توضیح دهید.



فیلم های شماره ۷، ۸ و ۹: کنترل فرایند

مثال ۴: در منازل در هنگام زمستان معمولاً برای گرمایش از فن کوئل و یا بخاری گازی استفاده می شود. چگونگی کنترل در این دو دستگاه را توضیح دهید.

پاسخ: متغیرهای کنترلی در این مثال عبارت اند از:

کنترل شونده: دمای اتاق

دستگاه اندازه گیری: ترموکوپل

باز خورد: دمای اندازه گیری شده اتاق

ورودی: دمای تنظیمی یا دستور داده شده



شکل ۴۷- 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 سامانه استفاده از بخاری گازی دستگاه اندازه‌گیری و کنترل‌کننده وجود ندارد، بنابراین بخاری گازی یک سامانه کنترل مدار باز می‌باشد.

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

وقتی فن کوئل روشن می‌شود، پس از مدتی دمای محیط اتاق بالا می‌رود لذا سامانه 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، کنترل‌کننده دستور خاموش می‌دهد و فن خاموش می‌شود. البته احتمال دارد به‌طور اشتباه پنجره 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 سامانه کنترل دمای اتاق به‌صورت مدار بسته می‌باشد.

کنترل دما

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



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 سامانه 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 لوله مویین به داخل دیافراگم رفته و باعث انبساط می‌شود. به وسیله 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.

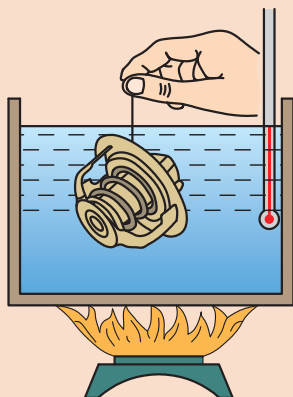
■ **ترموستات الکترونیکی:** این نوع ترموستات فرمان دریافت شده از حسگر دمایی را توسط جریان الکترونیکی منتقل کرده و سبب قطع و وصل جریان الکتریکی می‌گردد.



فعالیت عملی ۹: عملکرد یک ترموستات

وسایل مورد نیاز:

- ترموستات
- دماسنج
- بشر
- گیره
- گرمکن الکتریکی



روش کار:

- درون بشر تا نیمه آب بریزید.
- دماسنج را توسط گیره درون بشر قرار دهید.
- بشر را به همراه دماسنج روی گرمکن قرار دهید.
- گرمکن را روشن کنید و دمای آن را ۸۰ درجه 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 ۴۸- طرح ساده‌ای از فعالیت عملی عملکرد یک ترموستات



شکل ۴۹- نمای واقعی از فعالیت عملی عملکرد یک ترموستات



کاربردهای ترموستات را در صنایع شیمیایی نام ببرید.

مثال ۵: عملکرد یک مخزن همزن دار مجهز به سامانه حرارتی با استفاده از سامانه 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).

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

کنترل‌کننده: ترموستات

کنترل‌شونده: دمای مخزن

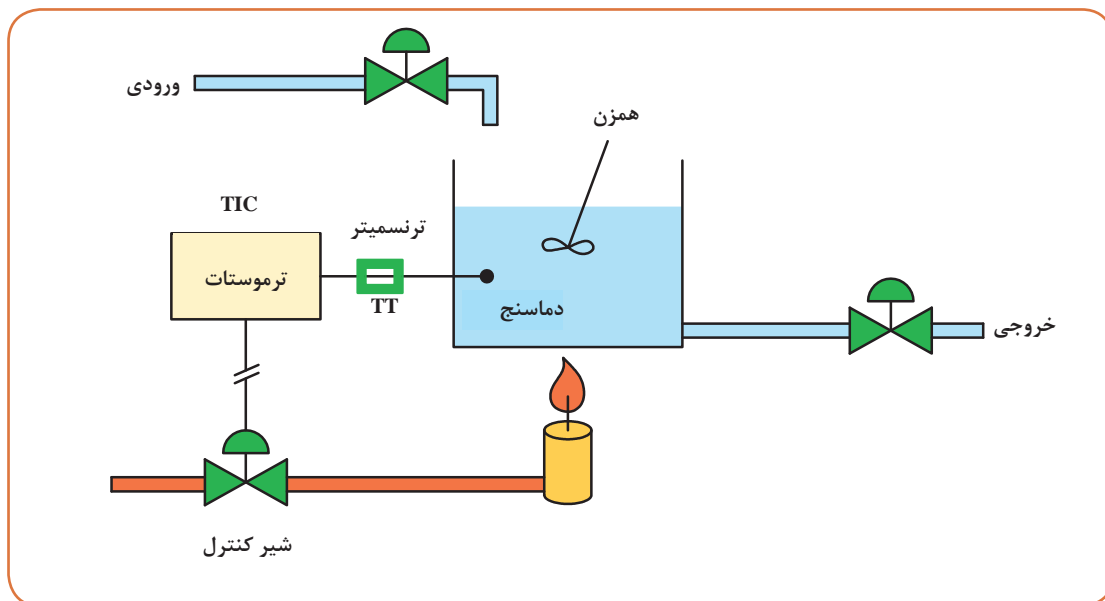
سامانه اندازه‌گیری: ترموکوپل

بازخورد: دمای مخزن

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

محرك: شیر کنترل

توسط ترموستات دمای مشخصی را برای محتویات داخل مخزن به‌عنوان ورودی انتخاب و تنظیم می‌کنیم. در ابتدا شیر کنترل باز است و سامانه 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 ۵۰ - سامانه کنترل دمای مخزن

الکتریکی توسط ترنس‌میتور (TT) به کنترل‌کننده (TIC) 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 سامانه 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 سامانه 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، اندازه 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.

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^۲ می‌گویند.

بیشتر بدانید



تحقیق کنید



۱- چگونه دمای بدن انسان کنترل می‌شود؟

۲- سامانه اندازه‌گیری و کنترل دمای آب موتور در اتومبیل چگونه است؟

۱- Temperature Indicator Controller

۲- Cascade

پرسش



بیشتر بدانید



مزایای کنترل فرایند در صنایع شیمیایی چیست؟

شیر کنترل



شکل ۵۱ - 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 به کار می‌رود. نیروی مورد نیاز برای باز و بسته کردن این شیرها، به صورت الکتریکی، هیدرولیکی و یا پنوماتیکی است. همچنین این شیرها به طور معمول با ورودی سیگنال ۴ تا ۲۰ میلی آمپر 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.

فعالیت عملی ۱۰: کنترل دمای آب مخزن

فعالیت عملی



وسایل مورد نیاز:

- مخزن مجهز به گرم‌کن الکتریکی
- ترموستات
- دماسنج
- زمان‌سنج

روش کار:

- تجهیزاتی همانند شکل ۵۰ را آماده کنید.
- درون مخزن مجهز به گرم‌کن الکتریکی، آب بریزید.
- ترموستات را روی ۵۰ درجه سلسیوس تنظیم کنید.
- دماسنج را درون مخزن قرار دهید.
- گرم‌کن را روشن کنید.
- الف) دمای اولیه آب موجود در مخزن چند درجه سلسیوس است؟
- ب) چه مدت طول می‌کشد تا دمای مخزن به ۵۰ درجه سلسیوس برسد؟
- ج) شیوه کنترل دمای آب مخزن را شرح دهید.

ارزشیابی شایستگی اندازه‌گیری ثبت و کنترل دما

شرح کار:

چگونگی استفاده از تجهیزات کارگاهی را بدانند 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 دما و کنترل آن مطابق دستورکار

شاخص‌ها:

- رعایت مسایل ایمنی هنگام کار
- انجام کار طبق دستورکار

شرایط انجام کار و ابزار و تجهیزات:

شرایط مکان: کارگاه

شرایط دستگاه: آماده به کار

زمان: یک جلسه آموزشی

ابزار و تجهیزات: شیشه کوچک با درب چوب پنبه‌ای، لوله شیشه‌ای، چسب، کاغذ میلی‌متری، انواع دماسنج، دو قطعه سیم مسی، یک قطعه سیم آهنی و سیم‌های مختلف ترموکوپل، ولت‌متر، ارلن، استارت لامپ مهتابی، باتری قلمی، لامپ سه ولتی، انواع سیم رابط، ترموستات، گیره، گرمکن الکتریکی، زمان‌سنج

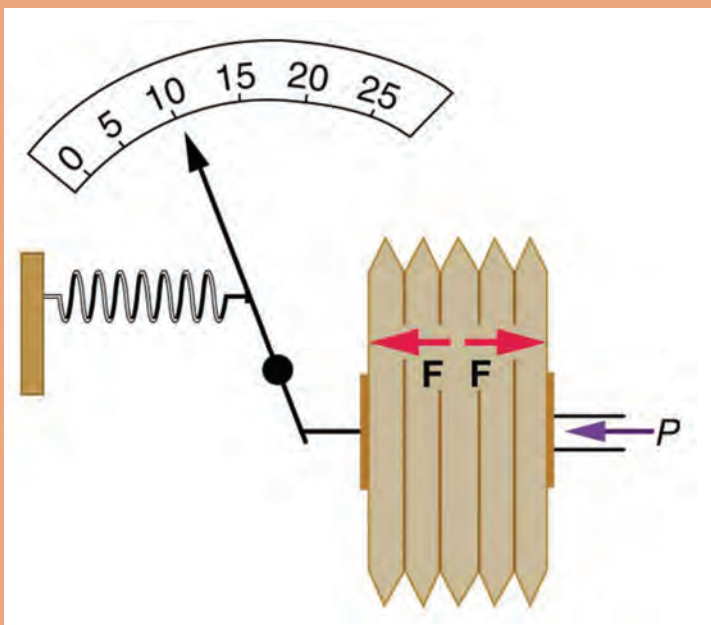
معیار شایستگی:

ردیف	مرحله کار	کمترین نمره قبولی از ۳	نمره هنجار
۱	به کارگیری 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: ۱- ایمنی: انجام کار کارگاهی با رعایت موارد ایمنی و استفاده از وسایل ایمنی شخصی ۲- نگرش: صرفه جویی در مواد مصرفی ۳- توجهات زیست‌محیطی: جلوگیری از صدمه زدن به محیط زیست از طریق انجام کار بدون ریخت و پاش ۴- شایستگی‌های غیرفنی: الف) اخلاق حرفه‌ای ب) مدیریت منابع پ) محاسبه و کاربست ریاضی ۵- مستندسازی: گزارش نویسی	۲	
	میانگین نمرات		*

* حداقل میانگین نمرات هنجار 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 می‌گیرند. بنابراین دقت در اندازه‌گیری و کنترل فشار اهمیت 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 مهندسين 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 می‌گردد.

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 - 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: گزارش نویسی فعالیتهای کارگاهی
- ۵ محاسبه و کاربرست 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 به کار گیرند.
- ۲ با روش‌های مختلف، اندازه‌گیری فشار فرایندها را انجام دهند.
- ۳ فشار سامانه‌های مختلف را کنترل نمایند.



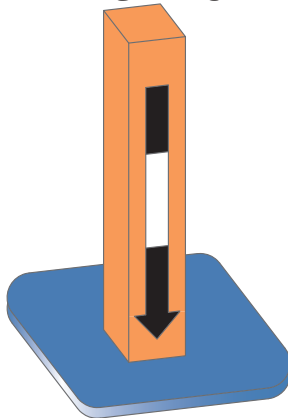
الف) شما می‌توانید به راحتی روی دو پا بایستید، در حالی که ایستادن روی یک پا دشوار بوده و زمان کوتاه‌تری قابل تحمل است. علت چیست؟
ب) با توجه به شکل زیر، در مورد فشار وارده بحث کنید.



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

$$F = m \cdot g \quad \text{معادله (۱)}$$

در سامانه اندازه‌گیری SI (متریک)، نمادهای F ، نماد نیرو بر حسب نیوتن، m ، نماد جرم بر حسب کیلوگرم و g شتاب جاذبه زمین می‌باشند که مقدار متوسط آن در این سامانه 9.8 m/s^2 است. یک بادکنک پر از هوا را در نظر بگیرید. در این بادکنک به دلیل حرکت مولکول‌های هوا و برخورد آنها با دیواره بادکنک، نیروی (F) بر سطح داخلی بادکنک (A) وارد می‌شود و فشار (P) را بر سطح بادکنک ایجاد می‌کند. بنابراین مطابق شکل ۱ و معادله (۲) فشار (P) عبارت از نیروی عمودی (F) وارد بر سطح (A) می‌باشد.



$$P = \frac{F}{A} \quad \text{معادله (۲)}$$

معادله (۲) نشان می‌دهد که فشار، وابسته به دو کمیت است:

۱- نیروی اعمال شده

۲- مساحتی که این نیرو به صورت عمودی به آن وارد می‌شود.

در سامانه SI، یکای نیروی (N) و یکای سطح (m^2) می‌باشد. بنابراین یکای فشار در این سامانه، $\frac{N}{m^2}$ محاسبه می‌گردد که به آن پاسکال^۱ (Pa) می‌گویند.

شکل ۱- مفهوم فشار



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



فیلم شماره ۱: فشار و نیرو

فیلم شماره ۲: مفهوم فشار



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



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 معادله (۱) محاسبه کنید.

(ج) مساحت وجوه مختلف مکعب مستطیل را محاسبه کنید.

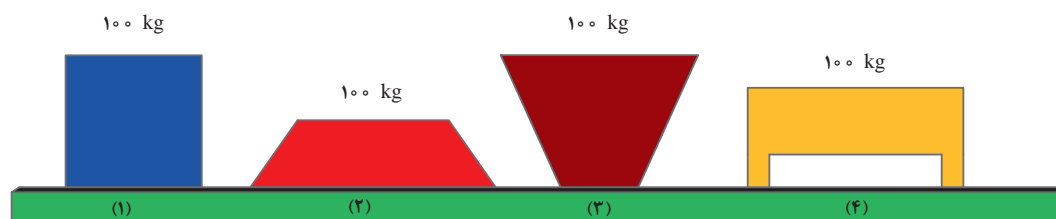
(د) با استفاده از معادله (۲) محاسبه کنید که در حالت‌های مختلفی که مکعب مستطیل روی سطح قرار می‌گیرد چه فشاری ایجاد می‌کند؟



۱ فشار ایجادشده توسط یک نیروی 800 نیوتنی بر مساحت 2 متر مربع را محاسبه کنید.

۲ یک سیلندر و پیستون را در نظر بگیرید. مساحت پیستون 0.5 متر مربع می‌باشد و درون سیلندر گازی با فشار 300 Pa قرار دارد. نیروی وارده به پیستون را محاسبه کنید.

۳ در شکل زیر ضخامت کلیه اجسام یکسان و دارای جرم 100 کیلوگرم می‌باشند. کدام شکل فشار بیشتری ایجاد می‌کند؟ کدام یک 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. ($1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2$)

بار^۱: بار یکای اندازه‌گیری فشار در سامانه 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.

پی‌اس‌آی^۴: یکای اندازه‌گیری psi بر پایه سامانه 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.

- ۱- فشار چاه‌های گاز می‌تواند تا ۵۰۰۰ psi باشد. این فشار را به اتمسفر، کیلوپاسکال و میلی‌متر جیوه تبدیل کنید.
- ۲- فشار داخلی راکتور تولید آمونیاک، ۲۵۰ بار می‌باشد. این فشار را به میلی‌متر جیوه، psi و پاسکال تبدیل کنید.

تمرین



تحقیق کنید



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

۱- bar

۲- Atmosphere

۳- mmHg

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

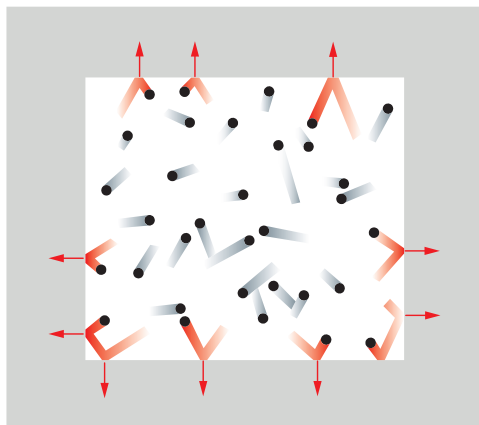
جدول ۱- ضرایب تبدیل واحدهای فشار به یکدیگر

	bar	Pa	kPa	mmHg	atm	psi
bar	۱	10^5	$101/325$	$750/064$	$0/986923$	$14/503$
Pa	10^{-5}	۱	10^{-3}	$7/50064 \times 10^{-3}$	$9/86923 \times 10^{-6}$	$1/45 \times 10^{-4}$
kPa	$101/325$	10^3	۱	$7/50064$	$0/986923 \times 10^{-3}$	$1/45 \times 10^{-1}$
mmHg	$1/33322 \times 10^{-3}$	$133/322$	$1/33322 \times 10^{-1}$	۱	$1/31579 \times 10^{-3}$	$1/9446 \times 10^{-2}$
atm	$1/01325$	$101/325 \times 10^3$	$101/325$	۷۶۰	۱	$14/695$
psi	$6/894757 \times 10^{-3}$	$6/894757 \times 10^3$	$6/894757$	$51/7149$	$6/805 \times 10^{-2}$	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



شکل ۲ - نمایش حرکت مولکول‌ها در گازها

همانند شکل ۲، مولکول‌های گاز را می‌توان به صورت گره‌های کوچکی تجسم کرد که در یک ظرف بسته در حال حرکت تصادفی می‌باشند. این مولکول‌ها تمام فضای ظرف را اشغال می‌کنند و در هنگام حرکت، با یکدیگر و دیواره 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. هر چه تعداد مولکول‌های گاز و انرژی جنبشی افزایش پیدا کند، تعداد برخوردها به دیواره ظرف محتوی گاز افزایش می‌یابد، بنابراین میزان نیرو بر واحد سطح و در نتیجه آن فشار نیز افزایش خواهد داشت.

چگونه می‌توان فشار گاز را در یک ظرف سر بسته بیشتر کرد؟

پرسش



فیلم شماره ۳: فشار گازها

گاز ایده آل

از آن جایی که مطالعه گازها، به دلیل محدودیت‌هایی مشکل می‌باشد، دانشمندان برای حل این موضوع، گاز ایده آل را معرفی کرده‌اند. گاز ایده آل، گازی است که هیچ نیروی بین مولکولی، 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 رابطه بین دما، فشار، حجم و تعداد مول گازها را بهتر درک کنیم و محاسبات ساده را انجام دهیم. در گاز ایده آل بین متغیرهای نام‌برده معادله (۳) برقرار است.

$$PV = nRT \quad \text{معادله (۳)}$$

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 رابطه 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:

$$R = 0.082057 \text{ lit.atm/(K.gmol)}$$

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

نکته



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

جدول ۲- مقدار R در سامانه‌های مختلف اندازه‌گیری

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

در علوم مهندسی، دمای صفر درجه سلسیوس و فشار یک اتمسفر به عنوان 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 ایده آل

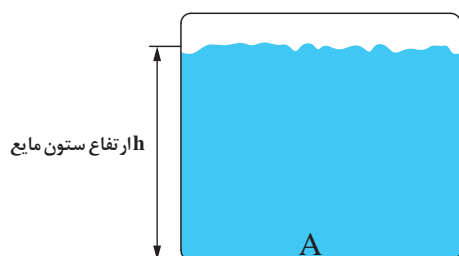


۱- Standard Temperature and Pressure



- ۱ یک کپسول حاوی گاز نیتروژن در دمای ۲۵ درجه سلسیوس دارای حجم ۱۲ لیتر و فشار مطلق ۵ اتمسفر می باشد. 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 می باشد، در صورتی که دمای محیط ۳۴ درجه سلسیوس باشد، چگالی گاز متان را در سامانه های SI محاسبه کنید.
- ۳ حجم اشغال شده توسط ۲/۳۴ گرم گاز کربن دی اکسید در شرایط متعارفی را محاسبه کنید.
- ۴ نمونه ای 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 درجه سلسیوس حاوی ۴۰ کیلوگرم گاز اکسیژن در فشار ۱۸۰ بار می باشد. چگالی این گاز را محاسبه کنید و تفسیر کنید که آیا مقدار محاسبه شده دقیق می باشد 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



شکل ۳- ستون مایع

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

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

ارتفاع \times شتاب جاذبه \times چگالی = فشار ستون مایع در نقطه A

$$P = d \cdot g \cdot h \quad \text{معادله (۴)}$$

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 می باشند.

مثال:

ریه های 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 می کند؟ چگالی آب دریا 1053 kg/m^3 و شتاب جاذبه را 9.8 m/s^2 فرض کنید.

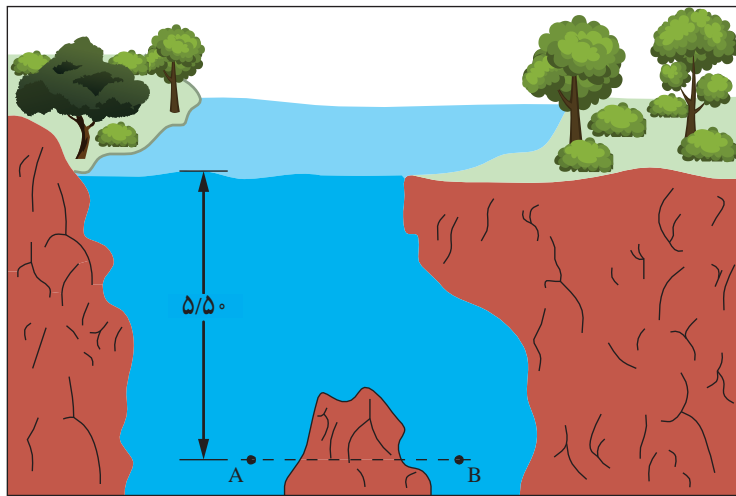
پاسخ:

$$P = d.g.h = 1053 \text{ (kg/m}^3\text{)} \times 9/8 \text{ (m/s}^2\text{)} \times 3 \text{ m} = 30958/2 \text{ kg/m.s}^2$$

تمرین



- ۱ با فرض اینکه چگالی آب 1000 kg/m^3 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 1000 kg/m^3 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 ایجاد شده در کف استخر چقدر است؟

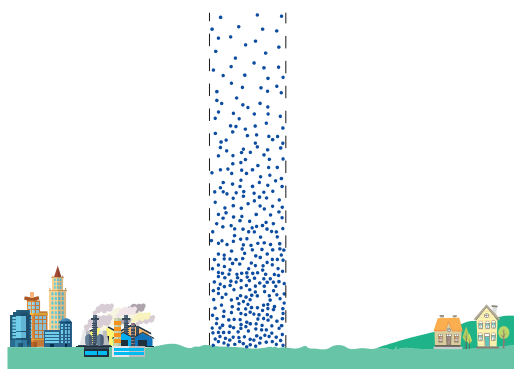
فیلم شماره ۵: فشار مایعات



فشار جو

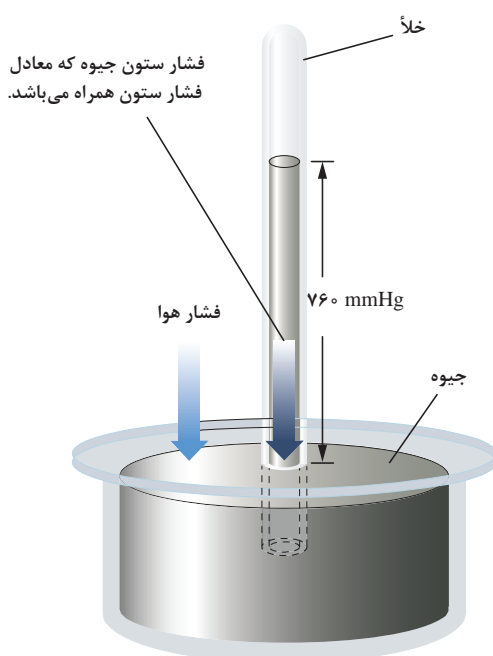
مهم‌ترین فشار برای زندگی موجودات زنده، فشار هوای جو^۱ (P_{amb}) می‌باشد. این فشار توسط هوایی که کره زمین را تا ارتفاع تقریبی ۵۰۰ کیلومتر احاطه کرده است، ایجاد می‌گردد. در سطح دریا، جرم هوایی که می‌تواند روی یک متر مربع از سطح زمین قرار گیرد، ۱۰۰۰۰ کیلوگرم است. این جرم، فشاری معادل ۷۶۰ mmHg که برابر با ۱ atm است، ایجاد می‌کند و می‌تواند به دلیل جریان‌های 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).

۱- Ambient or Atmospheric Pressure



شکل ۴- ستون هوا روی سطح زمین

فیلم شماره ۶: نیروی فشار هوای اتمسفریک



شکل ۵- بارومتر جیوه‌ای

فشار جو توسط وسیله‌ای به نام بارومتر^۱ اندازه‌گیری می‌شود. این وسیله توسط یکی از شاگردان گالیله^۲ به نام اوانگلیستا توریکلی^۳ (۱۶۴۷-۱۶۰۸) اختراع شد. بارومتر شامل یک لوله شیشه‌ای بلند است که انتهای آن بسته شده و توسط جیوه پر شده است. این لوله وارونه درون تشتکی پر از جیوه به گونه‌ای 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).

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

نکته



سؤال این است که چرا تمام جیوه 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.

۱- Barometer

۲- Galileo

۳- Evangelista Torricelli

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



شکل ۶- 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 تورپچی 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 قلّه 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 به صورت نسبی هستند اما در محاسبات مهندسی همان‌گونه که در قانون گاز ایده‌آل مشاهده کردید نیازمند فشار به صورت مطلق می‌باشیم.

مرجع تعریف‌شده 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.

۱- Absolute Pressure

۲- Relative Pressure

۳- Gauge Pressure

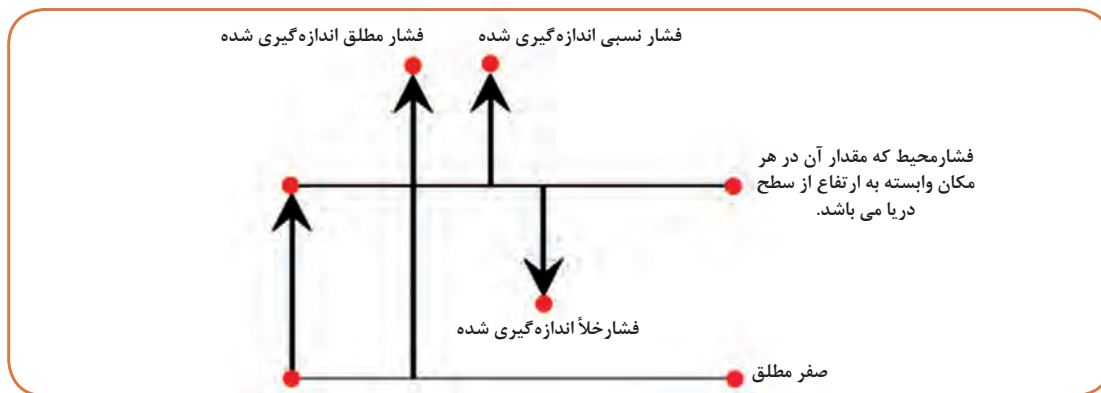
۴- Vacuum

رابطه بین فشار مطلق، نسبی و محیط مطابق معادله ۵ است.

$$P_a = P_g + P_{amb} \quad (\text{معادله ۵})$$

در صورتی که فشار سامانه کمتر از فشار محیط (خلاء) باشد، عدد فشار نسبی به صورت عددی منفی در معادله (۵) قرار داده شود.

نکته



شکل ۷- بیان تصویری انواع فشار

مثال:

عمق آب در پشت دیواره سدها ممکن است تا ۸۰ متر باشد. اگر فشار محیط ۷۱۴ میلی متر 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 می کنیم.

$$714 \text{ mmHg} \times 101325 \text{ Pa/760 mmHg} = 95192/17 \text{ Pa}$$

فشار نسبی عبارت است از:

$$P_g = d.g.h = 1000 \times 9.8 \times 80 = 784000 \text{ Pa}$$

فشار مطلق عبارت است از:

$$P_a = P_g + P_{amb} = 784000 + 95192/17 = 879192/17 \text{ Pa}$$

تمرین



- ۱ فشارسنج نصب شده روی یک سیلندر گاز عدد ۱۰۰ بار را نشان می دهد. اگر فشار جو ۷۴۰ میلی متر جیوه باشد فشار نسبی و فشار مطلق گاز درون سیلندر را بر حسب بار، اتمسفر و میلی متر جیوه محاسبه کنید.
- ۲ فشار نسبی یک تبخیر کننده خلاء، ۴۵ کیلو پاسکال است. اگر فشار محیط ۹۳ کیلو پاسکال باشد، فشار مطلق را محاسبه کنید.

۳ غواصی در عمق ۱۰ متری آب دریا قرار دارد. چگالی آب دریا 1053 kg/m^3 می باشد و اداره هواشناسی فشار هوا را ۷۵۵ میلی متر جیوه اعلام کرده است. فشار نسبی و مطلق را که بدن غواص تحمل می کند، محاسبه کنید.



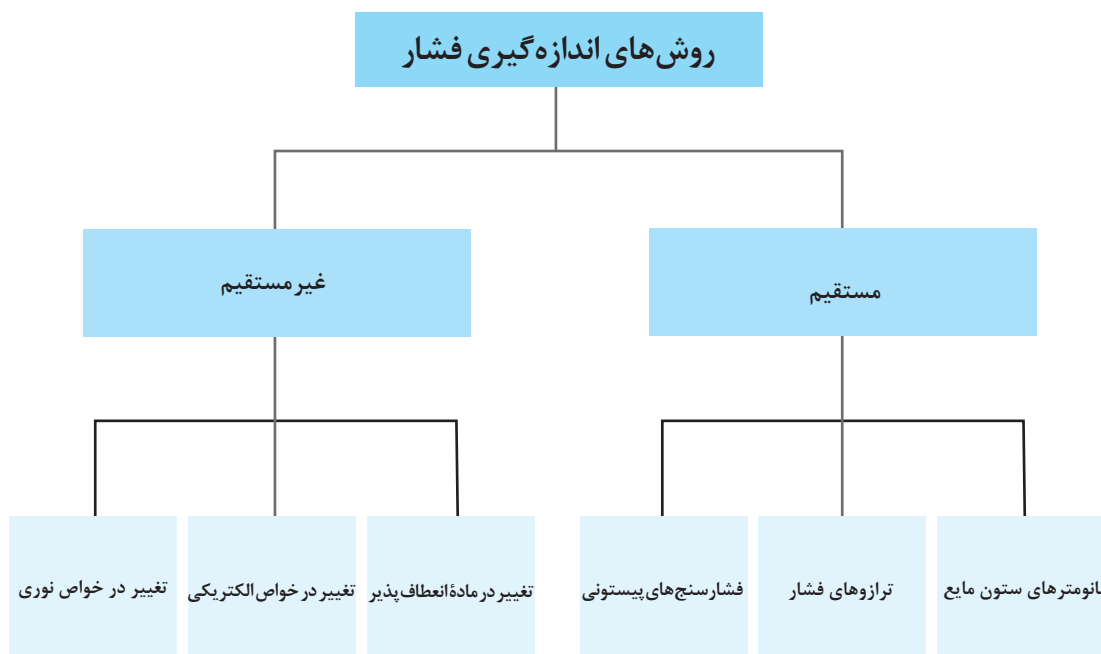
فیلم شماره ۷: بارومتر
بخش فیلم: طرز کار بارومتر عقربه‌ای

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 $P = d \cdot g \cdot h$ 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 ماده انعطاف‌پذیر یا تغییر در خواص نوری، الکتریکی، یا شیمیایی سامانه، اندازه‌گیری می‌شود.

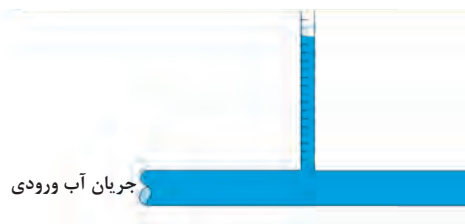


شکل ۸- نمایش روش‌های اندازه‌گیری فشار

تجهیزات اندازه‌گیری مستقیم فشار^۱

– مانومترهای ستون مایع

پیزومتر^۲



شکل ۹- پیزومتر

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

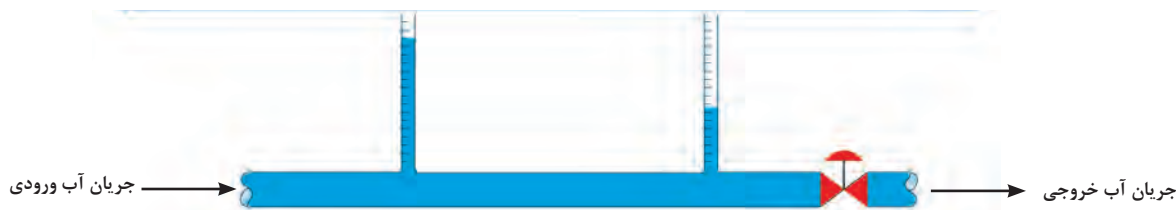
این نوع فشارسنج گرچه خیلی ساده می‌باشد، اما در مورد مایعات سمی، فشارهای بالا، گازها و فشار خلاً کاربردی ندارد.

استفاده از پیزومتر برای اندازه‌گیری فشار

روش کار:

- ۱- یک جفت لوله شیشه‌ای با قطر یکسان تهیه کنید و روی یک خط لوله با فاصله ۳۰ سانتی‌متر از یکدیگر وصل کنید (شکل ۱۰).
- ۲- دقت کنید که اگر شیر جریان خروجی بسته باشد، طبق قانون ظروف مرتبط ارتفاع آب در هر دو لوله یکی است.
- ۳- الف) شیر خروجی را باز کنید و ارتفاع مایع در ستون پیزومترها را بخوانید (از جدول زیر کمک بگیرید).
- ۴- ب) به‌طور هم‌زمان با قسمت الف، دبی حجمی آب را به‌وسیله استوانه مدرج و کرنومتر محاسبه کنید.
- ۵- ج) اختلاف ارتفاعها و فشار معادل آن را محاسبه کنید.
- ۶- د) بندهای الف تا ج را در دبی‌های مختلف تکرار کنید.
- ۷- ه) منحنی افت فشار بر حسب دبی را رسم کنید.

فعالیت عملی



شکل ۱۰- کاربرد پیزومترها در خط لوله

ارتفاع ستون آب در ظروف مرتبط چگونه است؟

تحقیق کنید



۱- Direct Measuring Pressure Instruments

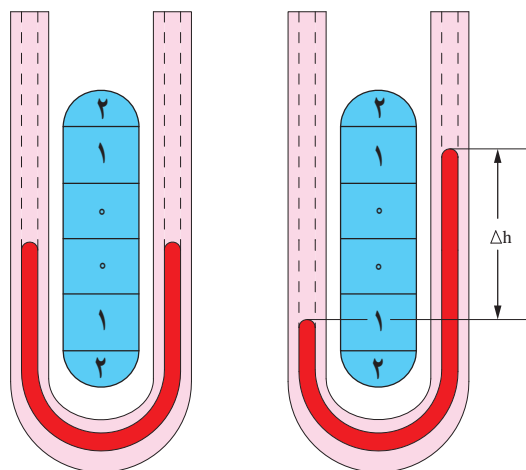
۲- Piezometer

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

مانومتر U شکل^۲

ابزارهای زیادی برای اندازه‌گیری فشار سیالات با استفاده از ستون مایع به کار 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 فراریت کم که به مایع مانومتری معروف است، پر شده باشد. اختلاف فشار از ارتفاع ستون مایع طبق معادلهٔ (۶) زیر محاسبه می‌گردد.

$$K\Delta P = dg\Delta h \quad \text{معادلهٔ (۶)}$$



Δh اختلاف ارتفاع مایع در دو ستون است که از روی یک خط کش 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.

الف

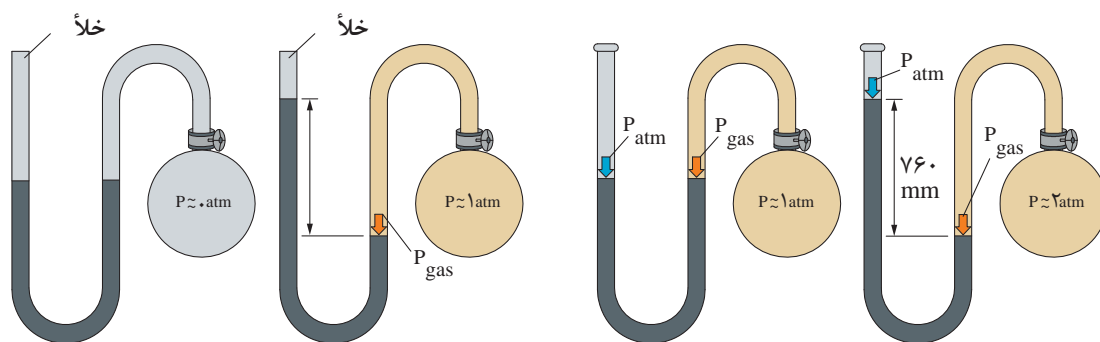
شکل ۱۱- مانومتر U شکل، در قسمت الف) فشار در هر دو شاخه یکسان است و در قسمت ب) فشار در شاخهٔ چپ بیشتر از شاخهٔ سمت راست است.

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

۲- U Type Manometer

در شکل ۱۲ مانومتر با انتهای بسته مشاهده می‌گردد که در بالای شاخه 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 فشار مطلق گاز بر حسب طول ستون سیال به کار رفته در مانومتر خواهد بود (فشار مطلق).

در شکل ۱۳، لوله 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، جیوه درون شاخه سمت راست لوله U شکل جابه‌جا شده و اختلاف فشار بین محیط و حباب به صورت 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 ۱۲- مانومتر با انتهای بسته (فشار مطلق)

شکل ۱۳- مانومتر با انتهای باز (فشار نسبی)

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؟

پرسش



تمرین

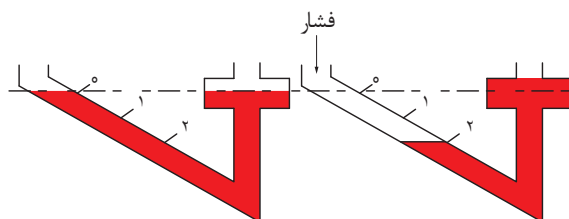


۱ قرار است با یک مانومتر با انتهای بسته فشار گازی را اندازه‌گیری کنید که بین ۰ تا ۰/۲ اتمسفر در نوسان است. به دلیل سمی بودن جیوه تصمیم داریم از آب به جای جیوه درون مانومتر استفاده کنیم. برای آب به چه طولی از ستون نیازمندیم؟ در ۲۵ درجه سلسیوس چگالی آب ۰/۹۹۷ g/cm^۳ و چگالی جیوه ۱۳/۵۳ g/cm^۳ می‌باشد.

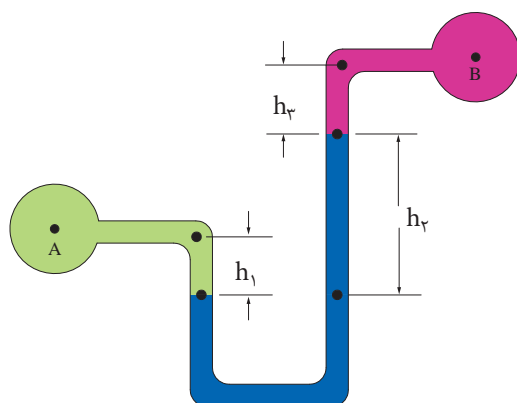
۲ فرض کنید برای اندازه‌گیری فشاری معادل یک اتمسفر توسط مانومتر U شکل به جای جیوه در مکانی که دمای آن ۳۰ درجه سلسیوس است از گالیوم با نقطه ذوب ۲۹/۷۶°C استفاده کنیم. چگالی گالیوم در برابر با ۶/۱۱۴ g/cm^۳ است. در این حالت، به چه طولی از ستون مانومتر نیازمندیم؟

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.

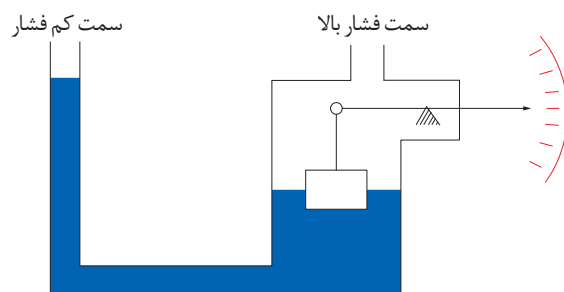
انواع دیگر مانومترهای ستون مایع، مانومتر با لولهٔ مورب^۱، مانومتر با چند مایع مانومتری^۲، مانومترهای نوع شناور^۳ می‌باشند (شکل‌های ۱۴-۱۶).



شکل ۱۴- مانومتر با لولهٔ مورب



شکل ۱۵- مانومتر با چند مایع مانومتری



شکل ۱۶- مانومتر نوع شناور

۱- Inclined- Tube Manometer

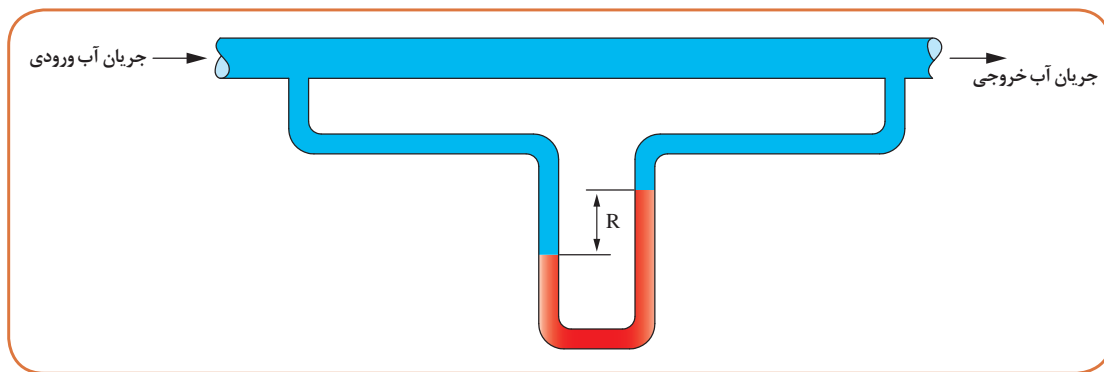
۲- Multiple Liquid Manometer

۳- Float- type Manometer



ساخت مانومتر U شکل

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



شکل ۱۷- یک نمونه مانومتر U شکل



استفاده از مانومتر U شکل برای اندازه‌گیری فشار ستون مایع

روش کار:

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

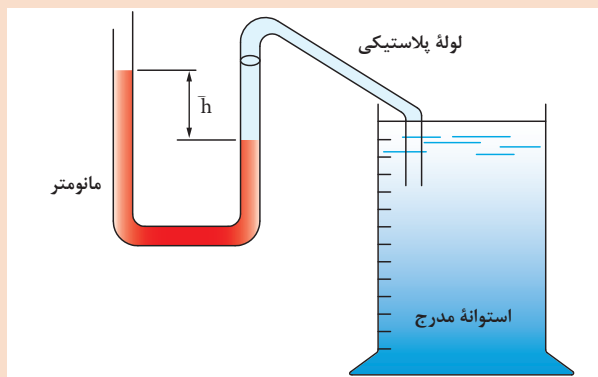
الف) ارتفاع استوانه مدرج را از بالا تا پایین بر حسب سانتی‌متر درجه‌بندی کنید.

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

ج) جدولی مطابق جدول صفحه بعد رسم کرده و با فرو بردن نوک لوله 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 ۱۸- استفاده از مانومتر U شکل برای اندازه‌گیری فشار ستون مایع

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

- ترازوی فشار

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

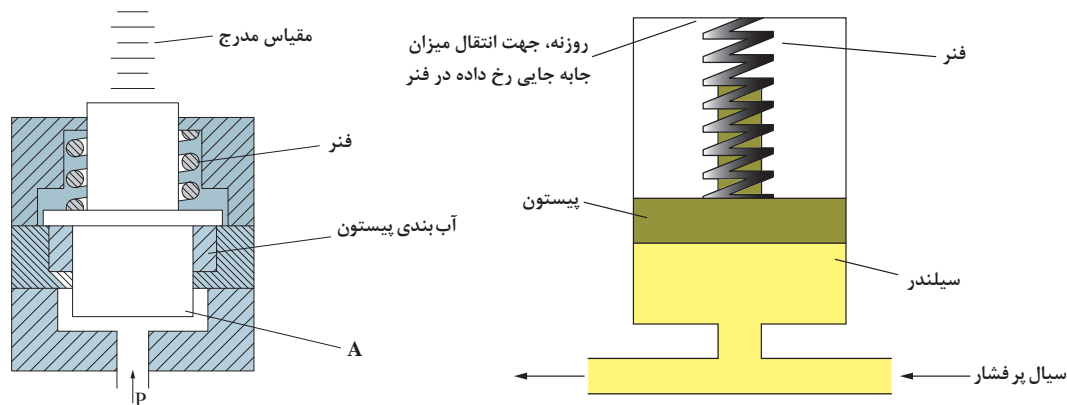


شکل ۱۹- ترازوی فشار

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 جمع شدن یک فنر می‌گردد که میزان جابه‌جایی فنر تابعی از فشار می‌باشد و می‌توان آن را روی یک مقیاس مدرج مشاهده نمود (شکل ۲۰). دامنهٔ اندازه‌گیری این وسیله ۱۵ تا ۱۵۰۰۰ psi و با دقت بین ۱ تا ۵ درصد است.

۱- Pressure Balances

۲- Piston type Pressure Measuring Instrument



شکل ۲۰- مانومتر نوع پیستونی

فیلم شماره ۸: مانومتر U شکل

تجهیزات اندازه گیری غیر مستقیم فشار^۱

در این روش ها از تأثیر فشار بر یک ماده انعطاف پذیر و تغییر شکل آن و یا تغییر در خواص الکتریکی، مغناطیسی، نوری و یا شیمیایی مواد در اثر فشار استفاده می گردد. فشارسنج بوردون^۲ متداول ترین نوع فشارسنج از این دسته است. در ادامه انواع فشارسنج بوردون توضیح داده می شود.

لوله بوردون^۳: لوله بوردون از یک لوله خمیده عمدتاً از جنس فلز و با قابلیت ارتجاعی تشکیل شده است. این لوله از یک طرف مسدود و از طرف دیگر آزاد می باشد. فشار ورودی از سر باز لوله وارد می شود و سر مسدود به نسبت فشار وارده به سمت خارج از شعاع منحرف می گردد. این انحراف با انجام تنظیمات می تواند به عنوان مرجع اندازه گیری فشار مورد استفاده قرار گیرد. با انتقال این حرکت به یک عقربه، می توان فشار را اندازه گیری نمود. جنس لوله بوردون وابسته به نوع سیال و دامنه فشار مورد اندازه گیری می باشد. جدول ۳ جنس مناسب لوله بوردون سازگار با انواع سیالات را نشان می دهد.

جدول ۳- جنس مناسب لوله بوردون برای فرایندها و فشارهای مختلف

سیال	جنس لوله بوردون	دامنه فشار (psi)
آب و هوا	آلیاژ فسفر برنز	۱۰۰۰
فراورده های نفتی	انواع فولاد	۳۰۰۰
محصولات خورنده و یا دارای فشار بخار زیاد	فولاد ضد زنگ	۸۰۰

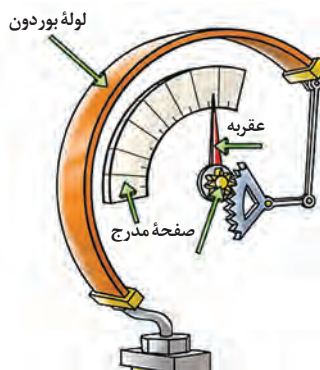
۱- Indirect- Measuring Pressure Instruments

۲- Burdon Guage

۳- Burdon Tube

انواع لوله‌بوردون

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

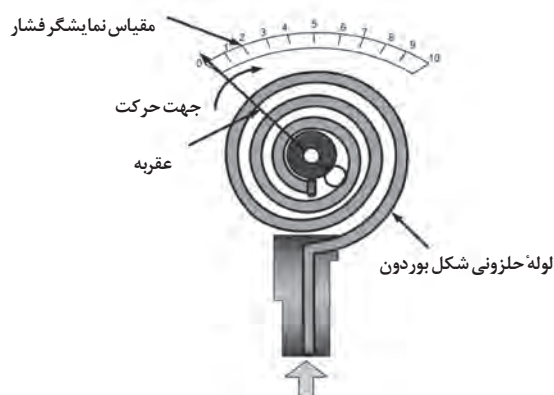


شکل ۲۱- نمای درونی و بیرونی فشارسنج بوردون از نوع C

۲- حسگر نوع حلزونی: برای افزایش حساسیت و دقت در اندازه‌گیری فشارهای پایین، طول لوله‌بوردون را افزایش می‌دهند. گاهی ممکن است طول لوله‌بوردون به قدری زیاد شود که زاویه آن از ۳۶۰ درجه هم بگذرد (شکل ۲۲)، یعنی لوله به صورت یک دایره کامل در آمده و از آن هم تجاوز کند. در این حالت لوله به شکل مارپیچ در خواهد آمد، اما سازوکار اندازه‌گیری فشار همانند لوله C شکل می‌باشد.

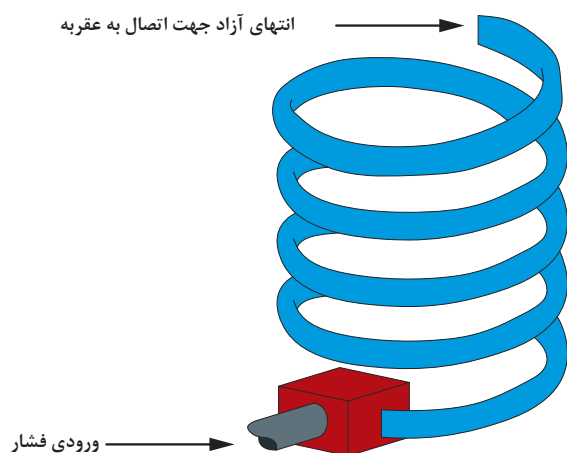
۱- C Type Sensor

۲- Spiral Sensor



شکل ۲۲- لوله بوردون از نوع حلزونی

۳- حسگر نوع حلقوی^۱: برای اندازه‌گیری فشارهای بالا تا ۱۰۰۰۰ پوند بر اینچ مربع از لوله بوردون حلقوی استفاده می‌گردد. فشارسنج‌ها و ثبت‌کننده‌هایی که از لوله 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 ۲۳- لوله بوردون از نوع حلقوی

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

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





مقایسه‌ای بین مانومترها و فشارسنج‌های بردون از نظر کاربرد انجام دهید.

آشنایی با فشارسنج‌های بردون

روش کار: از یک فشارسنج‌های بردون و یک نوع کمپرسور هوا استفاده کنید. در صورت عدم دسترسی به کمپرسور، می‌توانید از لاستیک بادشده خودرو و یا تلمبه دستی استفاده کنید. الف) ابتدا فشارسنج را باز کنید و اجزای داخلی آن را مورد بررسی قرار دهید و با تکان دادن ملایم لوله بردون، سازوکار انتقال حرکت به عقربه را بررسی کنید. ب) با اتصال فشارسنج به یک منبع پرفشار مانند کمپرسور و یا لاستیک خودرو، به شیوه تغییر شکل لوله بردون و انتقال این حرکت به عقربه توجه کنید و مشاهدات خود را یادداشت کنید.



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

اندازه‌گیری الکتریکی فشار

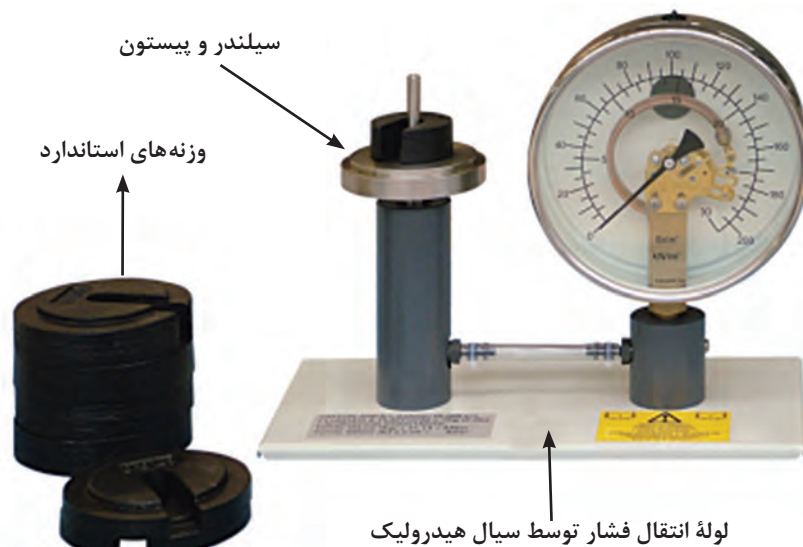
در اندازه‌گیری‌های ارتجاعی مانند فشارسنج‌های بردون، معمولاً فشار اندازه‌گیری شده باید به کمیتی الکتریکی تبدیل شود. این امر استفاده از قطعات و اجزای اضافی و افزایش هزینه را به دنبال داشته و همچنین میزان خطا را افزایش می‌دهد. اندازه‌گیری‌های الکتریکی فشار، فشار را مستقیماً به کمیتی الکتریکی مانند ولتاژ 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 دیجیتال می‌باشد (شکل ۲۴).



شکل ۲۴ - 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^۱ معروف است (شکل ۲۵). در این روش، یک وزنه با جرم معلوم روی یک پیستون آب‌بندی شده 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 ۲۵- سامانهٔ تنظیم فشارسنج بوردون به روش بار مرده

تنظیم‌کننده‌های فشار^۲

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.

۱- Dead Weight Method

۲- Pressure Regulators

اما مصرف‌کننده‌های گاز نیاز به فشارهای پایین‌تری در حد 25 psi 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 دامنه فشار عملیاتی ورودی و خروجی، شدت جریان موردنیاز، نوع و مشخصات سیال (گاز یا مایع بودن و یا سمی 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:

- طراحی مناسب و جنس متناسب با گاز موردنظر

- دامنه فشار کپسول و فشار موردنیاز

- دامنه دقت اندازه‌گیری

- 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 ۲۷- رگولاتور گازهای صنعتی



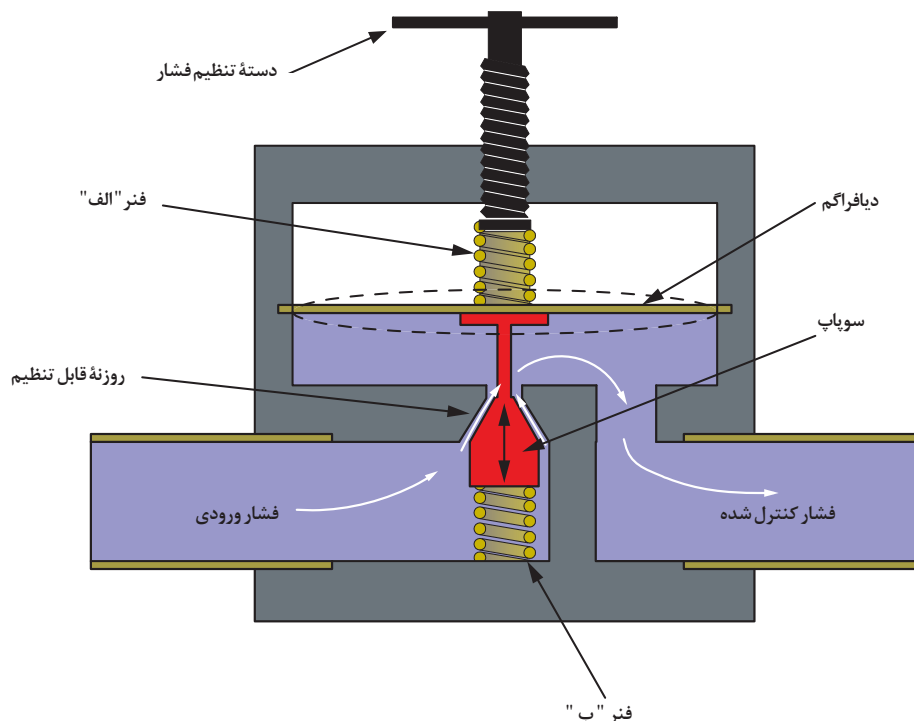
شکل ۲۶- رگولاتور گاز شهری



شکل ۲۸- رگولاتور گاز مایع

شیر فشار شکن^۱

شیرهای فشار شکن، 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 فشار شکن با عملکرد مستقیم^۲ در شکل ۲۹ نشان داده شده است.



شکل ۲۹- طرح ساده‌ای از یک شیر فشار شکن با عملکرد مستقیم

طرز کار شیر فشار شکن با عملکرد مستقیم به این صورت است که با چرخاندن دسته تنظیم فشار در جهت عقربه 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 آن قدر کم شود که نیروی وارده به دیافراگم و نیروی فنر «الف» برابر شوند.

فیلم شماره ۱۱ و ۱۲: شیر فشار شکن



۱- Pressure Reducing Valve

۲- Direct Acting Pressure Reducing Valve

تجهیزات آرام‌سازی و کاهش فشار^۱

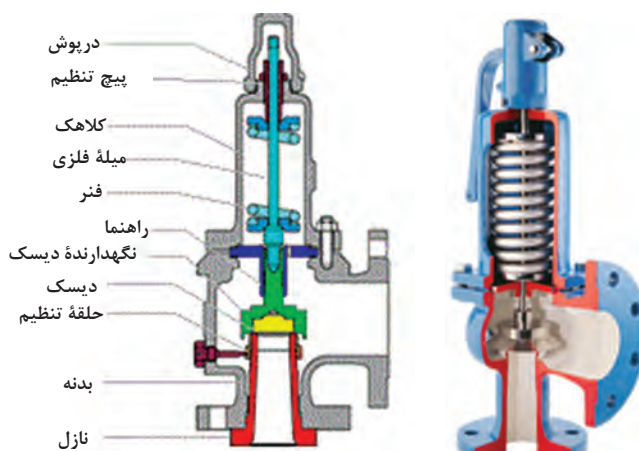
در واحدهای صنعتی ممکن است به دلایل گوناگون فشار سامانه از حد مجاز و یا حد قابل تحمل طراحی شده، بیشتر شود، در این صورت احتمال نشتی سیال و انفجار سامانه وجود خواهد داشت. به همین دلیل سامانه‌های کنترل به‌طور دائم فشار را کنترل می‌کنند.

در صورت افزایش فشار و عدم توانایی سامانه‌های خودکار، سامانه‌های هشدار و ایمنی فعال 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 زنجیره ایمنی سامانه، فشار اضافه را به بیرون هدایت می‌کنند. امروزه در بازار انواع مختلف تجهیزات کاهش فشار وجود دارند که به دودسته بسته‌شونده^۲ و غیر بسته‌شونده^۳ 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 آزاد کردن 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:

۱- شیر ایمنی^۴: 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 ۳۰- شیر ایمنی

این شیر از قسمت نازل به بدنه سامانه تحت فشار متصل می‌گردد، با برداشتن درپوش و با محکم کردن پیچ تنظیم، می‌توان دامنه 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.

۱- Pressure Relief Devices

۲- Reclosing Pressure Relief Devices

۳- Non- Reclosing Pressure Relief Devices

۴- Safety Valve



شکل ۳۱- نمای بیرونی و درونی شیر رهاسازی

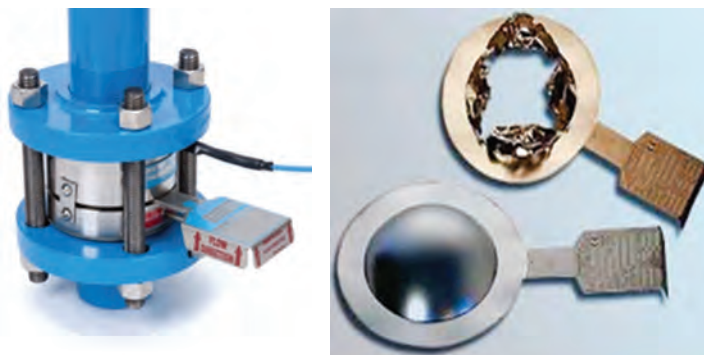
با تخلیه بخارات، فشار سامانه کاهش می‌یابد و نیروی وارده به دیسک کمتر می‌شود و زمانی که فشار کمتر از نیروی فنر شود، دیسک به جای خود باز می‌گردد و مسیر را مسدود می‌کند.

۲- 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.

۳- 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 سامانه 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 دیسک انفجاری^۳ می‌باشد (شکل ۳۲).



شکل ۳۲- دیسک انفجاری قبل و بعد از پاره شدن 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 پاره شدن قابلیت استفاده ندارند و باید تعویض گردند. نمونه دیگری از این تجهیزات «مجرای ذوب‌شدنی»^۴ می‌باشد. این مجرا یک قطعه فلزی سوراخ‌دار است که سوراخ‌های آن توسط یک آلیاژ فلزی از سرب، بیسموت، آنتیموان و قلع با نقطه 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).

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

پودمان سوم - اندازه‌گیری، ثبت و کنترل فشار



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

فیلم شماره ۱۳: دیسک انفجاری



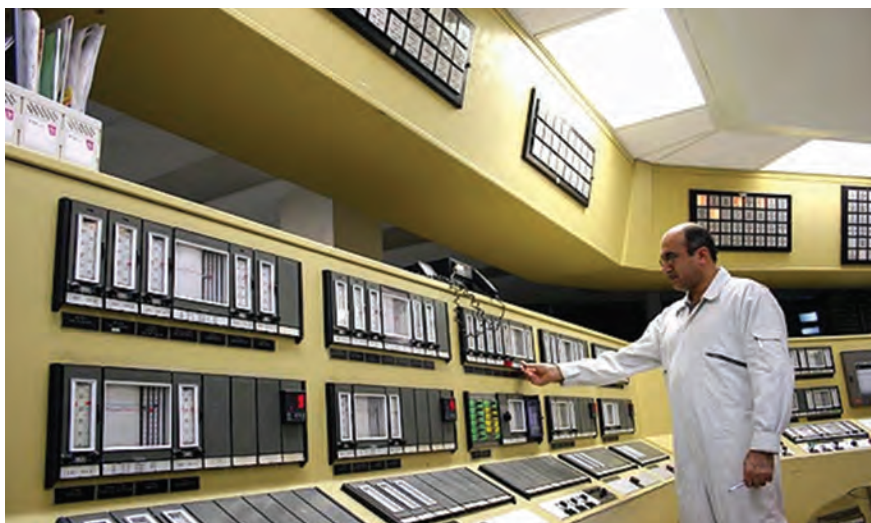
آیا بدون اندازه‌گیری و کنترل فشار می‌توان محصولات مختلف را در صنایع شیمیایی تولید کرد؟

پرسش



اتاق فرمان^۱

در اتاق فرمان، متخصصین فرایند، بر کلیه 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 کیفیت و کمیت مورد نظر تولید می‌گردند.



شکل ۳۴- اتاق فرمان موجود در پالایشگاه گاز

در اتاق‌های فرمان علاوه بر کنترل فرایند، کلیه اتفاقات فرایندی توسط نشانگرها 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 به راحتی می‌توان به اطلاعات آنی و یا ذخیره شده دسترسی داشت.

فیلم شماره ۱۴: اتاق فرمان



نشانگرها

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

نشانگر آنالوگ: این نشانگرها مقدار خوانده شده متغیر را به یک قلم که بر روی یک صفحه شطرنجی در حال حرکت است، منتقل می‌کنند. نشانگرهای آنالوگ معمولاً عقربه‌ای دارند که روی یک صفحه مقیاس کالیبره شده حرکت می‌کند. به عنوان مثال در فشارسنج نوع بوردون نشانگر یا همان عقربه عدد فشار را روی یک مقیاس مدور که همان صفحه فشارسنج است، نشان می‌دهد.

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

ثبت‌ها^۲



شکل ۳۵- دو نوع ثبت کاغذی

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

ثبت‌های کاغذی^۳: این ثبت‌ها دارای کاغذ می‌باشند و متغیرهای فرایندی نظیر فشار را بر حسب زمان روی

کاغذ ثبت می‌کنند (شکل ۳۵). کاغذ ثبت 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. به علاوه این اتفاقات ثبت شده را می‌توان بایگانی نمود. برخی از این نوع ثبت‌ها تا ۱۶ عدد قلم برای ثبت ۱۶ متغیر هم‌زمان را دارا هستند.

ثبت‌های بدون کاغذ

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



شکل ۳۶- یک نوع ثبت جدید



کنترل فشار:

روش کار:

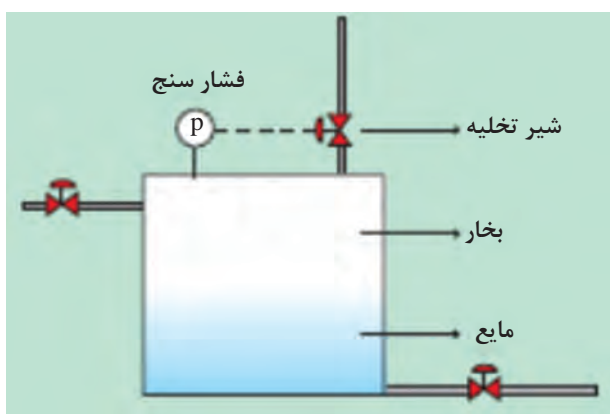
- برای انجام این فعالیت از یک اتوکلاو یا یک دیگ زودپز مجهز به فشارسنج، مطابق شکل ۳۷ استفاده کنید.
- (الف) حدود $\frac{1}{5}$ از مخزن را از آب پر نموده و درب مخزن را مطابق دفترچه راهنمای آن ببندید.
- (ب) اتوکلاو را روشن کنید تا آب درون مخزن شروع به گرم شدن کند.
- (پ) در طول فعالیت، جدول زیر را با دقت پر نمایید.
- (ت) فعالیت را ادامه دهید تا شیر اطمینان عمل کرده و بخارات اضافی را خارج کند.
- (ث) بگذارید آزمایش ۲-۳ دقیقه دیگر هم ادامه یابد.
- (ج) نمودار تغییرات دما بر حسب زمان را رسم نمایید.
- (چ) نمودار تغییرات فشار بر حسب 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	دما	زمان	
	(Pa)	(°C)	(s)	
۱	۰	۲۰	۰	۰
۲				
۳				
۴				زمان عملکرد شیر اطمینان
۵				



شکل ۳۷- سامانه 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:

به کارگیری محاسبات و اندازه‌گیری فشار و کنترل آن مطابق دستور کار

شاخص‌ها:

- 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 جلسه آموزشی

ابزار و تجهیزات: تعدادی مکعب مستطیل فلزی، چوبی و پلیمری - ترازو - مانومتر - مانومتر U شکل - فشارسنج
بوردون - استوانه مدرج - یک نوع کمپروسر هوا یا تلمبه دستی - اتوکلا و یا دیگ زودپز مجهز به فشارسنج

معیار شایستگی:

ردیف	مرحله کار	کمترین نمره قبولی از ۳	نمره هنجار
۱	به کارگیری 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 (۱- ایمنی: انجام کار کارگاهی با رعایت موارد ایمنی و استفاده از وسایل ایمنی شخصی ۲- نگرش: صرفه‌جویی در مواد مصرفی ۳- توجهات زیست‌محیطی: جلوگیری از صدمه زدن به محیط زیست از طریق انجام کار بدون ریخت و پاش ۴- شایستگی‌های غیرفنی: الف) اخلاق حرفه‌ای ب) مدیریت منابع پ) محاسبه و کاربست ریاضی ۵- مستندسازی: گزارش‌نویسی	۲	
	میانگین نمرات		*

* حداقل میانگین نمرات هنجار 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 کمیت‌ها می‌باشد. یکی از مهم‌ترین کمیت‌ها 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 اهمیت به کارگیری محاسبات در اندازه‌گیری دبی جریان مایعات و گازها، انواع و شیوه 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 - 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: گزارش نویسی فعالیتهای کارگاهی
- ۵ محاسبه و کاربست ریاضی

پس از اتمام این واحد یادگیری هنر جوان قادر خواهند بود

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

اندازه گیری مقدار سیالات

بحث گروهی



آیا این مکان را می شناسید؟ آیا می دانید که این دستگاه چیست؟



(ب)



(الف)

بشر با اندازه گیری بسیاری از کمیت ها، توانسته است در اداره امور زندگی خود نظم و ترتیب برقرار کند که نتیجه آن پیشرفت در زمینه های مادی، مالی، علمی، فنی و به دنبال آنها در زمینه های اجتماعی و اقتصادی است. نیاز بشر به زندگی در اجتماع و بیشتر شدن خواسته های او پیوسته، اهمیت این کار را بیشتر می کند. بنابراین، ضروری است که به «اندازه گیری» و نقش آن در صنایع شیمیایی نگاهی دقیق تر داشته باشیم.

یکی از عوامل پیشرفت بشر «کمی کردن» و «اندازه گیری» موضوعات مطرح در زندگی روزانه او بوده است.

شدت جریان (دبی)

چند تعریف

■ سیال:

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

■ گرانروی

خاصیتی است که سبب مقاومت سیال در برابر جریان یافتن می شود. به بیان دیگر، گرانروی به اصطکاک داخلی مولکول های سیال با یک دیگر گفته می شود.

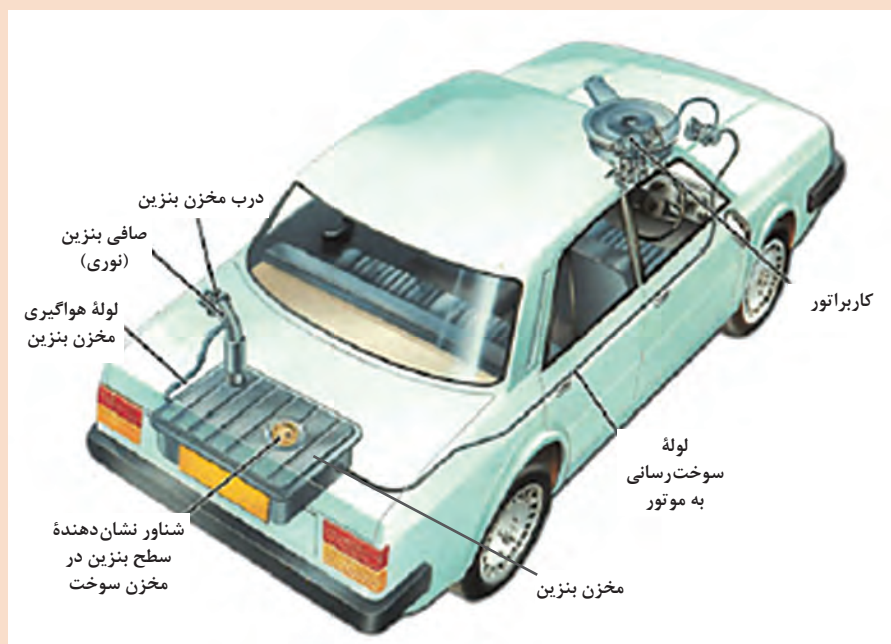
دبی یا شدت جریان سیال

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 کمیت فیزیکی است که نتیجه جاری شدن سیال می‌باشد. جریان پذیری 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 اولیه سازنده آن بستگی دارد. این نسبت، از اندازه‌گیری شدت جریان آنها مشخص می‌گردد. گاهی هم اندازه‌گیری و تنظیم یک کمیت، برای تنظیم و مدیریت یک کمیت 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 به دست آوریم.

پرسش



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



شکل ۱- جایگاه مخزن بنزین در خودرو



آیا می دانید که مقدار نفت خام تحویل شده به کشتی های نفت کش اقیانوس پیما (شکل ۲) را چگونه اندازه گیری می کنند؟



شکل ۲ - یک نمونه کشتی نفت کش اقیانوس پیما

انواع دبی

پیش تر گفتیم که در بسیاری از صنایع و کاربردهای فنی، دانستن کمیت یک جریان عبوری سیال از برخی تجهیزات در واحد زمان، ضروری است؛ به این کمیت دبی گفته می شود.



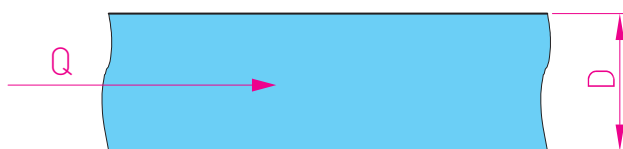
حتماً دیده اید که بنزین موتور بر حسب لیتر (یعنی به صورت حجمی) فروخته می شود؛ اما از کپسول های گاز مایع با عنوان «کپسول هجده کیلویی» (یعنی به صورت جرمی) نام برده می شود. آیا می دانید چرا؟

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.

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

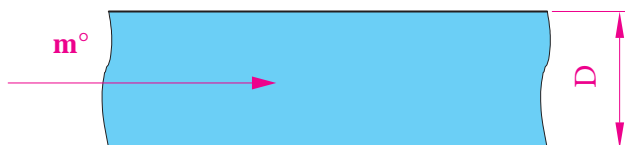


شکل ۳ - نمایشی از دبی حجمی در خط لوله (Q: دبی حجمی سیال و D: قطر خط لوله)

دبی جرمی (m°)

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

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



شکل ۴ - 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 سامانه واحدهای بین‌المللی SI، از یکای «مترمکعب بر ثانیه (m^3/s)» برای دبی حجمی و یکای «کیلوگرم بر ثانیه (kg/s)» برای دبی جرمی استفاده می‌شود.

$$\begin{aligned} \text{مترمکعب بر ثانیه} &= \frac{m^3}{s} \\ \text{کیلوگرم بر ثانیه} &= \frac{kg}{s} \end{aligned}$$

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

یک‌ها برای بیان اندازه‌گیری کمیت‌های مورد نظر به کار می‌روند. یکنواختی یکاها، در ارتباطات و تبادلات علمی، فنی، اقتصادی، فرهنگی و غیره درون کشورها و بین کشورها اهمیت 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 پیشرفته دستگاه متریک برای سنجش کمیت‌ها است. دستگاه SI در چند کمیت اصلی مانند طول، جرم و زمان با دستگاه متریک مشترک است؛ اما در بسیاری از کمیت‌های اصلی و فرعی دیگر با آن تفاوت دارد؛ مانند درجه‌های کلوین و سلسیوس برای دما، یا ژول و کیلوکالری برای انرژی. در نتیجه لازم است که با تبدیل یکاها آشنایی کافی داشته باشیم.

مثال



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

$$\text{حجم مخزن} = 45 \text{ L} \times \frac{1 \text{ Gal}}{4/5 \text{ L}}$$

$$\text{حجم مخزن} = 10 \text{ Gal}$$

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^۱

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

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

$$\text{Re No} = \frac{d \cdot V \cdot D}{\mu} \quad \text{مخزن}$$

جریان آرام: هرگاه عدد رینولدز از رقم ۲۰۰۰ کمتر باشد، جریان را «آرام» می‌نامیم.
جریان آشفته: سیالات با عدد رینولدز بیش از ۴۰۰۰ را «جریان آشفته» می‌گویند.
جریان گذرا^۲: محدوده 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.

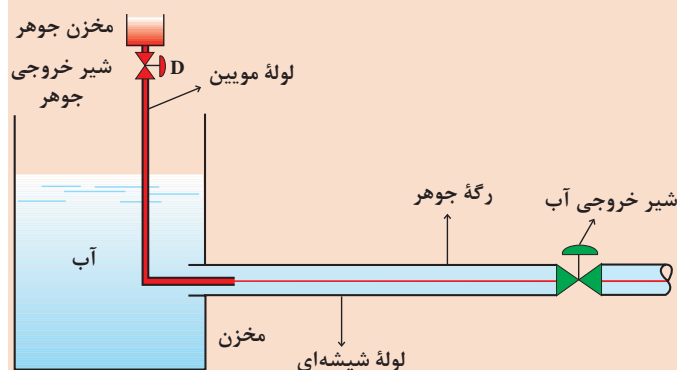
فعالیت
کارگاهی



محاسبه میزان دبی و تعیین نوع جریان

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

- ۱- مخزن شیشه‌ای
- ۲- لوله موئین و مخزن جوهر
- ۳- لوله شیشه‌ای خروجی از مخزن
- ۴- شیرهای قطع و وصل جریان



روش کار

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

۱- Reynolds Number

۲- Transition Flow

۸- به ازای دبی های مختلف عدد رینولدز را محاسبه کنید و در جدولی یادداشت کنید. تغییرات رژیم جریان بر اثر افزایش عدد رینولدز در این آزمایش به خوبی قابل مشاهده است. در حقیقت محدوده جریان های آرام و آشفته به وسیله این آزمایش مشخص خواهد شد.

در این فعالیت، که در دمای محیط انجام می پذیرد از مقدارهای زیر برای انجام محاسبات استفاده نمایید:

گرانروی آب: $8.94 \times 10^{-4} \text{ (Pa.s)}$

چگالی آب: $997.1 \text{ (kg/m}^3\text{)}$

محاسبه ضریب اصطلاک در جریان آرام

معمولاً برای جریان آرام از معادله زیر استفاده می شود:

$$\text{ضریب اصطلاک} = \frac{64}{\text{عدد رینولدز}}$$

$$f = \frac{64}{\text{Re No}}$$

- با استفاده از جدول بالا، ضریب اصطلاک جریان های آرام را محاسبه کنید.

تغییرات گرانروی

در محدوده جریان آرام ($Re < 2000$) براساس معادله زیر می توان اثر دما را بر گرانروی سیال پیدا کرد. از این معادله می توان گرانروی سیال را در محدوده جریان آرام پیدا کرد.

$$\text{گرانروی} = \frac{f (\text{قطر لوله}) (\text{عدد پی}) (\text{اختلاف فشار})}{(\text{طول لوله}) (\text{دبی}) (128)}$$

$$\mu = \frac{\Delta P \cdot \pi \cdot D^4}{128 \cdot Q \cdot L}$$

(معادله گرانروی نیازی به حفظ کردن ندارد.)

(با اندازه گیری اختلاف فشار در دبی های مختلف از طریق پیزومتر و در حالت سرعت ثابت در دماهای مختلف گرانروی محاسبه خواهد شد.)

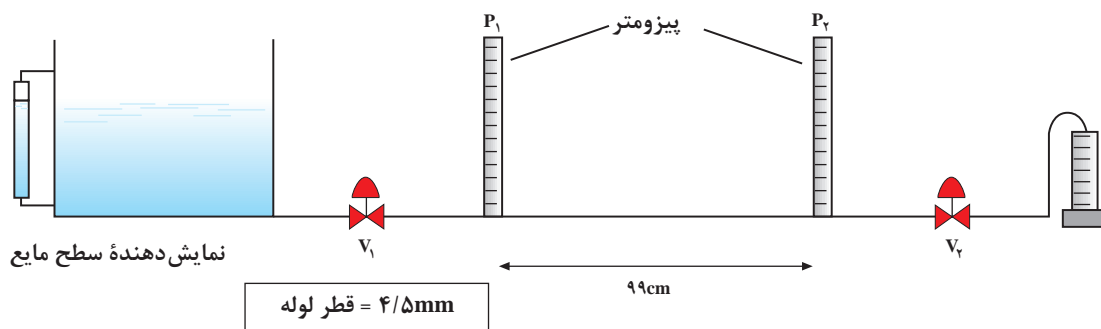
مراحل کار:

- ۱- شیرهای V_1 و V_2 (مطابق شکل صفحه بعد) را بسته نگاه دارید و تانک ذخیره را پر کنید.
- ۲- شیر V_1 را باز کرده V_2 را همچنان بسته نگاه دارید.
- ۳- به وسیله یک المنت برقی مجهز به ترموستات آب را تا 40°C درجه سلسیوس گرم کنید.
- ۴- شیر V_2 را باز کنید تا جریان آرام برقرار شود.
- ۵- زمان لازم برای پر شدن 50 میلی لیتر از استوانه مدرج را اندازه گیری کنید.

فعالیت
کارگاهی



۶- مراحل «۳» الی «۵» را برای دماهای 45°C ، 50°C و 55°C تکرار نمایید.
۷- جدول (۱) را تکمیل کنید و در دماهای مختلف گرانیوی سیال را پیدا نمایید.



جدول ۱ تغییرات گرانیوی با دما

	40°C	45°C	50°C	55°C	60°C
زمان (ثانیه)					
حجم پر شده (ml)					
اختلاف ارتفاع (cm)					
گرانیوی					

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

پرسش



روش های اندازه گیری دبی مایعات

بحث گروهی



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



(پ)



(ب)



(الف)

در اندازه گیری میزان جریان سیال به چند روش اشاره می شود:

- ۱ روش مستقیم توزینی: این روش، معمولاً برای مایعات غیر فزّار مثل آب به کار می رود، به این صورت که زمان لازم برای جمع آوری مقدار معینی مایع در یک ظرف را اندازه می گیرند و سپس مایع جمع آوری شده را به دقت وزن کرده و دبی را محاسبه می کنند.
- ۲ اندازه گیری مستقیم حجم با پیمانه هنگام فروش مایعات در خرده فروشی (نفت، شیر و مانند آن)
- ۳ اندازه گیری به کمک پمپ های جابه جایی مثبت^۱، کنتورهای آب و گاز
- ۴ روش اثرات مقاومت سیال یا روش سطح متغیر (در روتامترها)
- ۵ روش اندازه گیری به کمک انسداد جریان با استفاده از وسایل: صفحه منفذدار یا اریفیس متر، نازل و ونتوری متر

روش های مورد استفاده در اندازه گیری دبی مایعات بسیار متنوع هستند. ویژگی های سیال مانند جنس، گران روی و فشار بخار، دما، هدایت الکتریکی، مقدار جامد معلق در سیال و از جمله عواملی هستند که نوع روش را مشخص می کند.

فعالیت
کارگاهی



با استفاده از یک استوانه مدرّج و کرنومتر (زمان سنج)، دبی حجمی و جرمی شیر آب کارگاه هنرستان خود را، در حالت های مختلف، محاسبه کنید.

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

وسایل لازم:

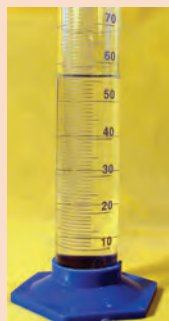
۱- یک بطری پلاستیکی شفاف (مانند بطری آب معدنی)

۲- زمان سنج

۳- استوانه مدرّج

روش کار :

بالای بطری پلاستیکی را ببرید تا یک ظرف استوانه‌ای دهان‌گشاد به‌دست آید. در پایین سطح جانبی آن (مثلاً به فاصله 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 مدرج 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



استوانه مدرج



زمان‌سنج

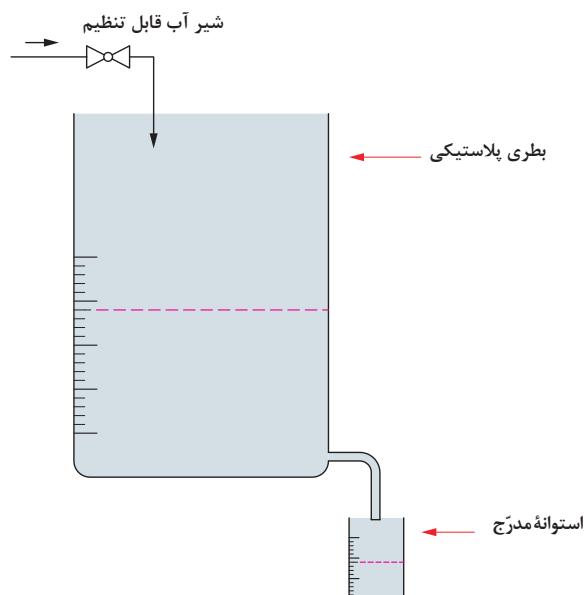


بطری پلاستیکی شفاف

شکل ۵ - وسایل اندازه‌گیری دبی حجمی

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.

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.

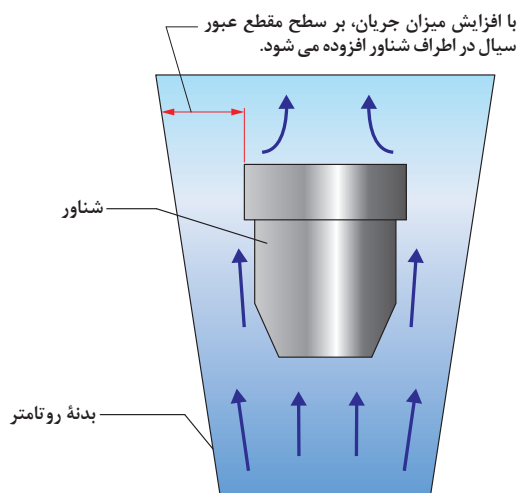


شکل ۶ - طرح ساده‌ای از آزمایش جریان‌سنج آب

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 (به صورت مخروط ناقص وارونه) تشکیل شده است (شکل ۷). شناور در داخل ظرف قرار دارد. نصب بدنهٔ روتامتر به صورت عمودی و جریان سیال از پایین به بالاست. با جریان یافتن سیال، شناور براساس نیروی رانش سیال به صورت 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 مدرج 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 به دست آورد. جنس شناور غالباً فلزی بوده، در اشکال گوناگونی ساخته می‌شود. مقادیر قابل اندازه‌گیری جریان سیال به وسیلهٔ 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. دقت 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 (پوروسیلیکات) است، اما در فشارهای بیشتر، از فلز استفاده می‌گردد.



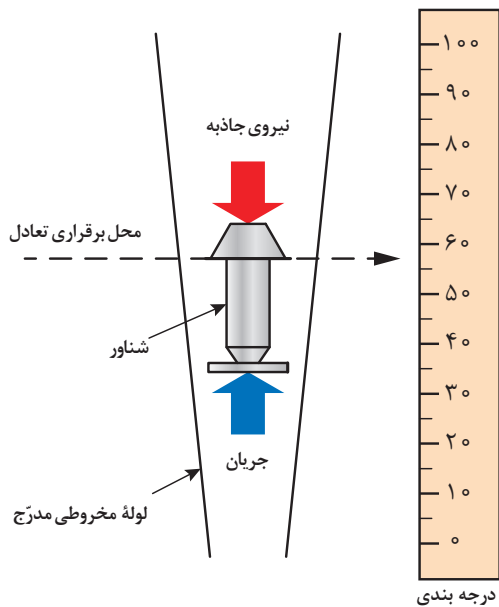
شکل ۸ - نمایش حرکت سیال در روتامتر



شکل ۷ - یک نمونه روتامتر معمولی



شکل ۱۰- روتامتر با میله هدایت کننده



شکل ۹- طرح ساده‌ای از نیروهای وارد بر شناور

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



شکل ۱۲- روتامتر اندازه‌گیری جریان اکسیژن



شکل ۱۱- کپسول اکسیژن طبی به همراه روتامتر



اندازه گیری دبی سیال با روتامتر

وسایل لازم:

- ۱- مخزن ذخیره آب؛
- ۲- پمپ (از نوع گریز مرکز)؛
- ۳- شیر تنظیم کننده؛
- ۴- روتامتر؛
- ۵- استوانه مدرج؛
- ۶- زمان سنج.

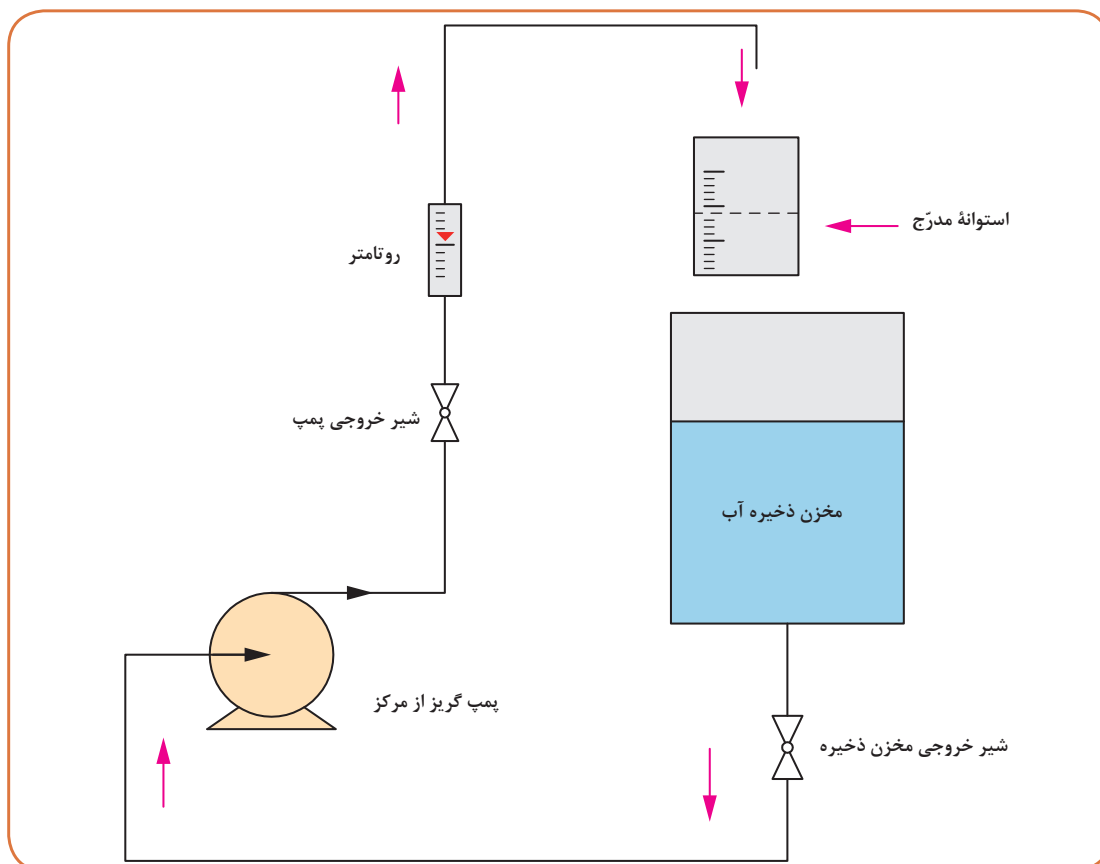
وسایل لازم:

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

با اجازه 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 استوانه مدرج و زمان سنج میزان دقیق جریان آب را (با سه بار تکرار و متوسط گیری نتایج) به دست آورید. نتیجه را به همراه مقدار اندازه گیری شده 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 استوانه مدرج در هر حالت به دست 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 درباره آنها (یعنی دقت شرکت سازنده روتامتر و کار عملی خود) بحث کنید.

جدول ۲- آزمایش اندازه گیری دبی سیال با استفاده از روتامتر

میزان جریان آب با استوانه مدرج (لیتر بر دقیقه)	میزان جریان آب با روتامتر (لیتر بر دقیقه)	درصد خطا



شکل ۱۳- 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 جریان سنج سیالات بر پایه 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 وسیله این موانع، محاسبه می‌گردد. این قبیل موانع انواع گوناگونی دارند و در صنعت بسیار به کار می‌روند. مهم‌ترین انواع آنها را اریفیس متر یا منفذ^۱، ونتوری متر^۲ (شیپوره هم‌گرا - واگرا) و نازل^۳ تشکیل می‌دهند. قیمت اریفیس متر کمتر از نازل و قیمت نازل کمتر از ونتوری متر است.

۱- Orifice

۲- Venturi

۳- Nozzle

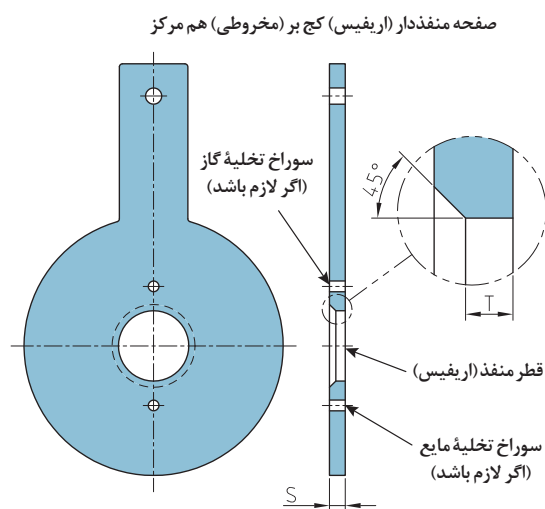
افت فشار نازل کمتر از اریفیس متر، و افت فشار ونتوری متر کمتر از نازل است. از این وسایل هم برای سنجش جریان مایعات و هم گازها می توان استفاده کرد.

اریفیس متر

این وسیله به صورت صفحه ای است که روی آن سوراخی تعبیه شده است و در مسیر جریان سیال قرار داده می شود (شکل ۱۴). وجود این قطعه باعث ایجاد افت فشاری در جریان سیال می شود که با اندازه گیری آن میزان جریان سیال قابل محاسبه است.



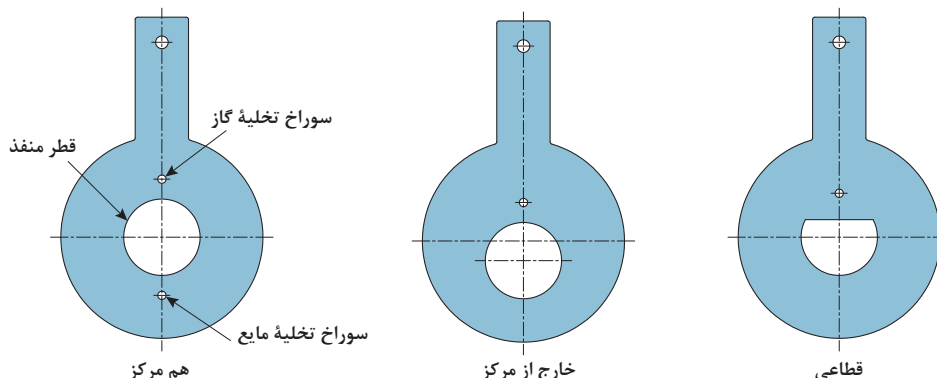
شکل ۱۴ - صفحه اریفیس متر همراه با اتصالات



دقت اندازه گیری جریان، وابسته به دقت ماشین کاری منفذ و لبه های آن، و مشخصات سوراخ های متصل به مانومتر یا فشارسنج، از جمله محل نصب مناسب و بهینه است (شکل ۱۵). این موارد به وسیله استانداردهایی مشخص شده است.

شکل ۱۵ - طرح ساده ای از روبه رو و پهلوی اریفیس متر

اریفیس مترها به سه دسته عمده تقسیم بندی می گردند (شکل ۱۶): ۱- هم مرکز؛ ۲- خارج از مرکز؛ ۳- قطاعی.



شکل ۱۶- انواع صفحات اریفیس متر

تحقیق کنید



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

اریفیس متر برای اندازه گیری دبی سیالات اعم از مایع و گاز به کار می رود. از آنجا که اندازه گیری دبی گازها در کارگاه هنرستان مشکل است، در این قسمت اندازه گیری دبی آب با اریفیس متر انجام می شود.

فعالیت
کارگاهی



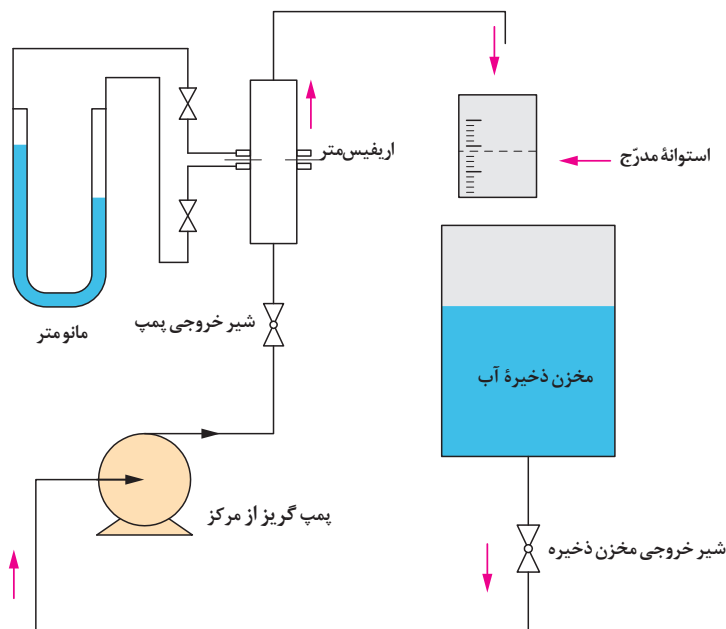
اندازه گیری جریان سیالات به وسیله صفحه اریفیس متر

وسایل لازم:

- ۱- مخزن ذخیره آب؛
- ۲- پمپ (از نوع گریز از مرکز)؛
- ۳- شیر تنظیم کننده؛
- ۴- اریفیس متر؛
- ۵- استوانه مدرج؛
- ۶- زمان سنج؛

وسایل لازم:

ابتدا مداری بسته مانند شکل ۱۷ را تشکیل دهید. با اجازه 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 استوانه مدرج و زمان سنج، میزان دقیق جریان آب را (با سه بار تکرار و متوسط گیری نتایج) به دست آورید. در همین زمان اختلاف ارتفاع دو سر مانومتر خوانده و یادداشت شود. اطلاعات به دست آمده را در جدول (۳) یادداشت کنید.



شکل ۱۷- طرح ساده‌ای از آزمایش اندازه‌گیری جریان سیال با استفاده از اریفیس متر

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 اریفیس متر (C) را از روی بدنه دستگاه بخوانید. در صورت نبود این عدد آن را 0.8782 در نظر بگیرید ($g = 9.8 \text{ m/s}^2$).

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

روابط:

$$Q_v = C \cdot A_o \cdot \sqrt{\frac{2 \Delta P}{\rho}}$$

(اختلاف فشار) / چگالی

(سطح مقطع اریفیس) (ضریب تخلیه) = دبی

C = ضریب تخلیه

شکل ۱۸ - فرمول محاسبه دبی نظری سیال به وسیله اریفیس متر

بنابراین:

$$A_o = \frac{\pi D^2}{4}$$

(m²) سطح مقطع اریفیس متر

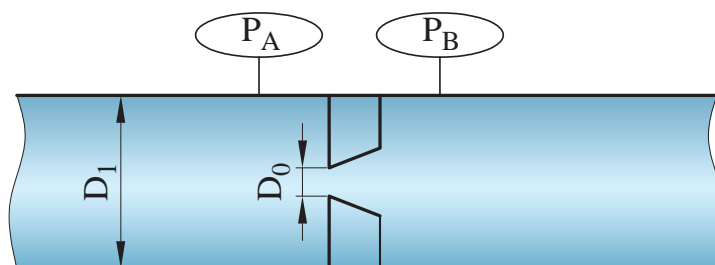
$$\Delta P = P_A - P_B$$

(Pa) اختلاف فشار

$$\rho = 1000$$

(kg/m³) چگالی آب

$$\Delta P = \rho g h$$



شکل ۱۹- اریفیس متر

جدول ۳- آزمایش اندازه گیری دبی سیال با استفاده از اریفیس متر

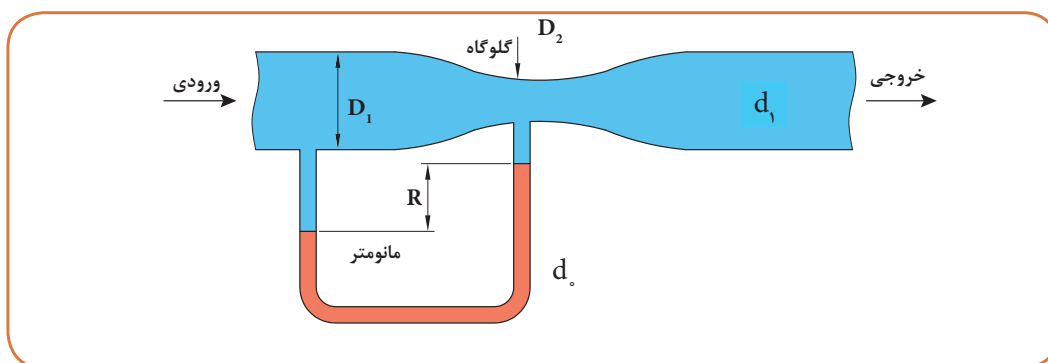
کمیت	زمان	حجم آب موجود در استوانه	دبی واقعی	اختلاف ارتفاع ستون جیوه	اختلاف فشار	دبی محاسبه شده به وسیله اریفیس	درصد خطا
نماد	t	V	Q_c	Δh	ΔP	Q_v	%
واحد	ثانیه	سانتی متر مکعب	سانتی متر مکعب بر ثانیه	میلی متر جیوه	پاسکال	سانتی متر مکعب در ثانیه	

ونتوری متر

در این روش با استفاده از ونتوری متر در مسیر جریان، که باعث ایجاد اختلاف فشار می شود، میزان دبی اندازه گیری می گردد. ونتوری متر برای اندازه گیری دبی در لوله ها استفاده می شود. این وسیله همانند شکل ۲۰، از بخش های زیر تشکیل شده است:

- ۱) بخش ورودی جریان که قطر آن برابر قطر لوله است (D_1)؛
- ۲) قسمت مخروطی هم گرا؛
- ۳) گلوگاه استوانه ای (D_0)؛
- ۴) قسمت مخروطی با واگرایی تدریجی که نهایتاً اندازه آن برابر با قطر لوله می شود (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 به تدریج کم می‌شود. به دلیل ثابت بودن دبی حجمی سیال، سرعت آن افزایش پیدا می‌کند. در قسمت واگرا سطح مقطع لوله به تدریج زیاد می‌شود و در این حالت انرژی جنبشی به تدریج به انرژی فشاری تبدیل می‌گردد. واضح است که سرعت سیال در گلوگاه ونتوری از همه نقاط بیشتر است. در هنگام عبور سیال از ونتوری متر 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. اندازه ونتوری متر با قطر لوله و گلوگاه آن مشخص می‌شود. برای مثال ونتوری ۶ در ۴ سانتی‌متر، یعنی قطر لوله ۶ سانتی‌متر و قطر گلوگاه ونتوری متر ۴ سانتی‌متر است.



شکل ۲۰- ونتوری متر با مانومتر دیفرانسیلی



شکل ۲۱- یک نمونه ونتوری متر صنعتی

اندازه گیری دبی سیال با ونتوری متر

وسایل لازم:

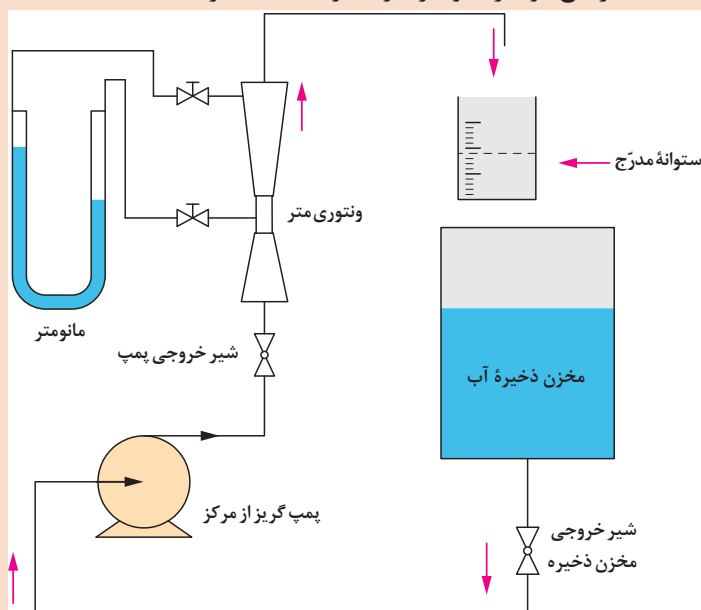
- ۱- مخزن ذخیره آب؛
- ۲- پمپ (از نوع گریز از مرکز)؛
- ۳- شیر تنظیم‌کننده؛
- ۴- ونتوری متر؛
- ۵- استوانه مدرج؛
- ۶- زمان سنج دقیق.

روش کار: ابتدا مداری بسته مانند شکل ۲۲ را تشکیل دهید. با اجازه 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.





حال با کمک استوانه مدرج و زمان سنج میزان دقیق جریان آب را (با سه بار تکرار و متوسط گیری نتایج) به دست آورید. در همین زمان اختلاف ارتفاع دو سر مانومتر خوانده و یادداشت گردد. اطلاعات به دست آمده را در جدول ۴ یادداشت کنید.



شکل ۲۲- طرح ساده ای از آزمایش اندازه گیری دبی سیال با ونتوری متر

با فرمول های شکل ۲۳ مقدار دبی سیال (Q_v) را محاسبه و با مقدار دبی واقعی مقایسه کنید. میزان ضریب تخلیه ونتوری متر (C) را از روی بدنه دستگاه بخوانید. در صورت نبود این عدد، آن را ۰/۹۸۲۷ در نظر بگیرید، $g = ۹/۸ \text{ (m/s}^2\text{)}$ 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.

$$Q_v = C.A_v \cdot \sqrt{\frac{\left(\frac{\text{اختلاف فشار}}{\text{شدت جاذبه} \times \text{چگالی}} \right) (\text{شدت جاذبه})^2}{1 - \left(\frac{\text{قطر ونتوری}}{\text{قطر لوله}} \right)^4}}$$

$$Q_v = C.A_v \cdot \sqrt{\frac{\gamma g \left(\frac{\Delta P}{\gamma} \right)}{1 - \left(\frac{D_v}{D_1} \right)^4}}$$

(سطح مقطع و نتوری) (ضریب تخلیه) = دبی

شکل ۲۳- فرمول محاسبه دبی حجمی سیال به وسیله ونتوری متر



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

جدول ۴- آزمایش اندازه گیری دبی سیال با استفاده از ونتوری متر

کمیت	زمان	حجم آب درون استوانه	دبی واقعی	اختلاف ارتفاع دو سر مانومتر	اختلاف فشار	دبی محاسبه شده ونتوری متر	درصد خطا
نماد	t	v	Q_c	Δh	ΔP	Q_v	%
واحد	ثانیه	سانتی متر مکعب	متر مکعب بر ثانیه	میلی متر جیوه	پاسکال	متر مکعب بر ثانیه	

جریان سنج گاز



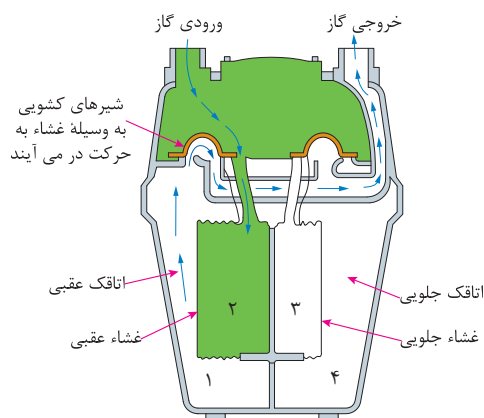
پس از انقلاب اسلامی، تقریباً به همه شهرها و روستاهای کشور گازرسانی شده است. در نتیجه، تصویر آشنای زیر در همه جای ایران دیده می شود. آیا می دانید که نام این دستگاه چیست و چه کاری انجام می دهد؟



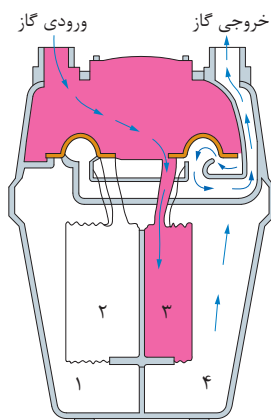
با اینکه بسیاری از جریان سنج‌های مایعات را برای اندازه‌گیری‌های گازها و بخارها می‌توان استفاده کرد، اما تجهیزاتی اختصاصی برای اندازه‌گیری جریان گازها هم وجود دارند که با آنها آشنا می‌شویم. نکته مهم در مورد گازها و بخارها این است که برای دانستن میزان جریان، باید دما و فشار آنها هم معلوم باشد. لذا غالباً این میزان برای 15°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 در ادامه دو روش آن توضیح داده می‌شود.

۱- روش خشک:

در روش خشک، از یک محفظه فلزی (جریان سنج یا اصطلاحاً کنتور گاز) استفاده می‌شود که یک صفحه نازک فلزی و افقی فضای داخلی آن را به دو قسمت بالایی و پایینی تقسیم کرده است. قسمت پایینی هم به وسیله یک «صفحه جداکننده 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 بقیه محفظه پایینی (بخش ۱) مجزا کرده است. یک صفحه مدور 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 ۲۴- مرحله اول کار یک کنتور گاز خانگی

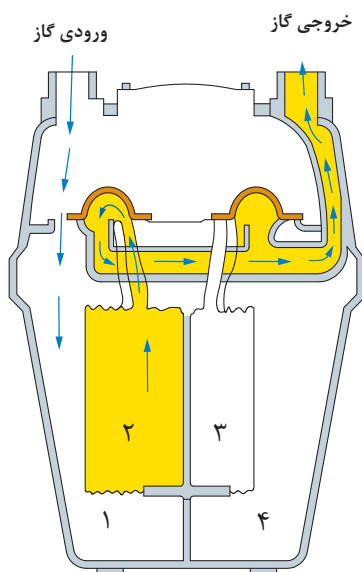


شکل ۲۵- مرحله دوم کار یک کنتور گاز خانگی

■ **مرحله 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 صفحه مدور روی اتاقک عقب (شماره ۲) از «صفحه جداکننده وسط» دور شود (مسیر سبز رنگ). همچنین، گاز داخل محفظه ۱ از خروجی کنتور به بیرون برود.

■ **مرحله دوم:** پس از رسیدن صفحه مدور اتاقک عقبی به انتهای مسیر خود، اهرم جابه‌جا کننده شیرها به وسیله این صفحه مدور به کار 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 محفظه ۱ به بیرون را می‌بندد. هم‌زمان، شیر کشویی سمت راست، مسیر ورود گاز به اتاقک ۳ (قرینه اتاقک ۲) و نیز مسیر خروج گاز از محفظه ۴ (قرینه محفظه ۱) به خروجی کنتور را باز می‌کند (مسیر قرمز رنگ). در پایان این مرحله، اتاقک ۳ پر از گاز شده است و صفحه مدور آن به انتهای مسیر خود رسیده است.

گاز موجود در محفظه ۴ هم از خروجی کنتور به بیرون رفته است. شیرهای کشویی به وسیله اهرم مربوط به صفحه مدور اتاقک ۳، و یک بار دیگر به (منتهی الیه) سمت راست حرکت می کنند. در نتیجه، مسیر ورودی گاز به محفظه ۱ و خروج گاز از اتاقک ۲ به خروجی کنتور باز می شود. همچنین خروجی های اتاقک ۳ و محفظه ۴ بسته می شود.



شکل ۲۶- مرحله سوم کار یک کنتور گاز خانگی

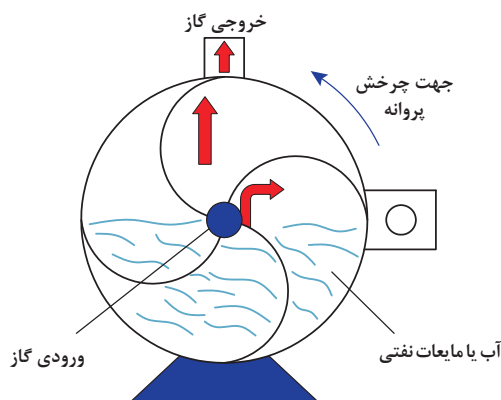
■ مرحله سوم: محفظه ۱ پر از گاز می شود و گاز

موجود در اتاقک ۲ از خروجی کنتور به بیرون می رود. پس از پایان این مرحله، شیرها توسط صفحه مدور اتاقک ۲ (که این بار به سمت «صفحه جداکننده وسط» بسیار نزدیک می شود)، و اهرم مربوطه، یک بار دیگر کاملاً به (منتهی الیه) سمت چپ رانده می شوند (مسیر زرد رنگ). در نتیجه، ورودی گاز به اتاقک ۲ و خروجی گاز از محفظه ۱ باز می شود.

از این لحظه به بعد مراحل فوق دوباره تکرار می گردد. یک ساز و کار مکانیکی، حرکت متناوب دو شیر کشویی را به شمارنده کنتور وصل می کند. چون حجم اتاقک ها و محفظه ها دقیقاً مشخص است، میزان گاز طبیعی مصرف شده متناسب با دفعات پر و خالی شدن آنها به دست می آید. توجه داشته باشید که فشار گاز طبیعی در لوله کشی تأمین کننده آن، در میزان معینی و به طور پیوسته به وسیله ابزار دقیق مربوطه تنظیم و تثبیت می گردد. استفاده از دو اتاقک، به میزان زیادی نوسانات جریان گاز خروجی از کنتور را حذف می کند.

۲- روش تر:

روش دوم، روش تر نامیده می شود. جریان سنج یک محفظه (خارجی) است که شامل یک محفظه استوانه ای دوار داخلی با چند پره است. محفظه دوار داخلی می تواند آزادانه به دور محور افقی خود بچرخد. وقتی دستگاه تا سطح معینی از مایع (غالباً آب) پر شود، این مایع، آب بندی فضاهای ما بین پره ها را انجام می دهد. هر فضای بین پره ها ضمن چرخش محفظه دوار داخلی، مرتباً پر و خالی می گردد. گاز مورد اندازه گیری، از داخل محور دوران دستگاه وارد یکی از فضاهای پر از مایع می شود. با این کار آن را خالی از مایع و خیلی سبک تر می کند. در نتیجه، محفظه دوار داخلی آن قدر می چرخد که آن فضا کاملاً از مایع خارج گردد. گاز آزاد شده هم از خروجی بالای دستگاه به بیرون می رود. با ادامه ورود گاز به فضای بعدی، چرخش محفظه دوار داخلی به همین ترتیب ادامه می یابد. 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 اندازه گیری می شود که به سرعت دورانی محفظه داخلی بستگی دارد. یک شمارنده نیز مجموع حجم عبوری گاز را در هر لحظه نشان می دهد.



شکل ۲۸- نمای درونی جریان سنج گاز به روش تر



شکل ۲۷- نمای بیرونی جریان سنج گاز به روش تر (که در آزمایشگاه‌ها کاربرد دارد- با یکای لیتر بر ثانیه)

تمرین کنید



شرکت نفت ایران در حدود سال ۱۳۴۹ شمسی تصمیم گرفت که جریان سنج‌های خطوط لوله صادرات نفت خام خود را از نوع صفحه 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 نفت کش اقیانوس پیما بزرگ‌ترین شناورهای موجود جهان هستند. برای نمونه یکی از آنها که ۴۵۸ متر طول دارد، می‌تواند 280850 تن نفت خام را حمل کند. چگالی نسبی این نوع نفت خام را 0.85 فرض کنید. اگر هر بشکه نفت خام 159 لیتر باشد، این میزان ظرفیت چند بشکه، چند مترمکعب، چند لیتر و چند گالن است؟

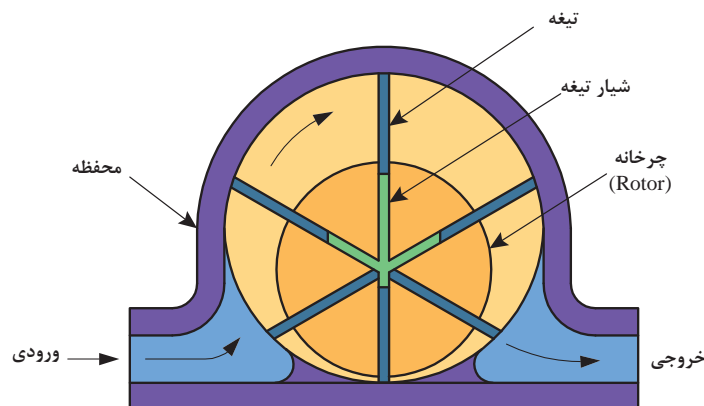
مورد دوم: یک کامیون نفت کش شهری، 28000 لیتر ظرفیت دارد. با فرض استفاده از نفت خام با چگالی نسبی 0.85 ، این میزان ظرفیت چند تن، چند بشکه، چند مترمکعب و چند گالن است؟



شکل ۳۰- کامیون نفت کش شهری



شکل ۲۹- کشتی نفت کش اقیانوس پیما



شکل ۳۱- جریان سنج نوع جابه جایی مثبت

تحقیق کنید



با استفاده از شبکه 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^۱ به کار می‌روند، اما 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 (اندازه‌گیری).

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 (کنترل‌کننده). روشن است که نتیجه مقایسه باید دائماً به او اطلاع داده شود. بدیهی است که ادامه 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 فرایندها از وسیله‌ای به نام شیر کنترل استفاده می‌کنیم.

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 تنظیم‌کننده 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 کشویی^۱ و شیرهای با محور چرخان^۲ در شکل های ۳۲ و ۳۳ آورده شده است.



شکل ۳۳ - شیر کنترل با محور چرخان



شکل ۳۲ - شیر کنترل با محور کشویی

متغیرهای مهم در انتخاب نوع و اندازه شیرهای کنترل

این متغیرها عبارت‌اند از: نوع وظیفه 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 خاموش کردن 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 متضاد است. در نتیجه، معمولاً این کار به عهده متصدی واحد^۴ گذارده می‌شود. 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.

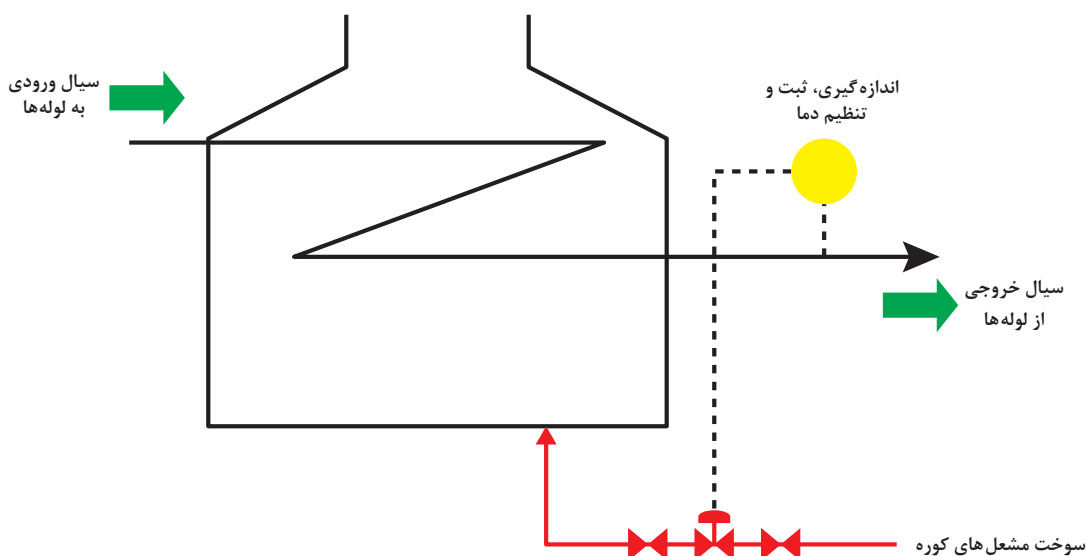
۱- Sliding Stem

۲- Rotary Shaft

۳- Steady State

۴- Operator

در حالت عملیات فرایندی پایه، 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 خود کار 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 - شیر کنترل خودکار تنظیم‌کننده سوخت مشعل‌ها، در کوره‌های فرایندی

کنترل دستی شیر آب کارگاه

فعالیت
کارگاهی



وسایل لازم:

استوانهٔ مدرج

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

شاخص‌ها:

- 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 جلسه آموزشی
ابزار و تجهیزات: زمان سنج، استوانه مدرج، پمپ (از نوع گریز از مرکز)، شیر تنظیم‌کننده، روتامتر، اریفیس متر، ونتوری متر

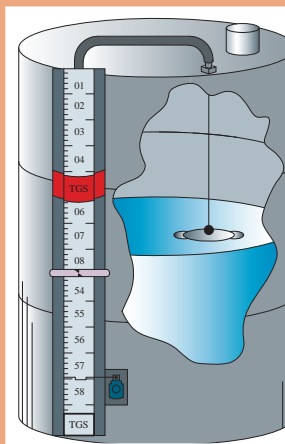
معیار شایستگی:

ردیف	مرحله کار	کمترین نمره قبولی از ۳	نمره 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 غیر فنی، ایمنی، بهداشت، توجهات زیست محیطی و نگرش: ۱- ایمنی: انجام کار کارگاهی با رعایت موارد ایمنی و استفاده از وسایل ایمنی شخصی ۲- نگرش: صرفه جویی در مصرفی ۳- توجهات زیست محیطی: جلوگیری از صدمه زدن به محیط زیست از طریق انجام کار بدون ریخت و پاش ۴- شایستگی‌های غیر فنی: الف) اخلاق حرفه‌ای ب) مدیریت منابع پ) محاسبه و کاربست ریاضی ۵- مستندسازی: گزارش نویسی	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 اهمیت دارد. بدین منظور سطح سنج‌ها با دقت‌های مختلف طراحی شده‌اند.

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 به صورت 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.

استاندارد عملکرد

به کارگیری محاسبات و اندازه‌گیری ارتفاع سطح سیال و کنترل آن مطابق دستور کار

شایستگی‌های غیر فنی

- ۱ اخلاق حرفه‌ای: حضور منظم و وقت‌شناسی - 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 کار بست ریاضی: انجام مثال‌ها و تمرین‌ها با کمک فرمول و محاسبات ریاضی

پس از اتمام این واحد یادگیری هنر جوان قادر خواهند بود:

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

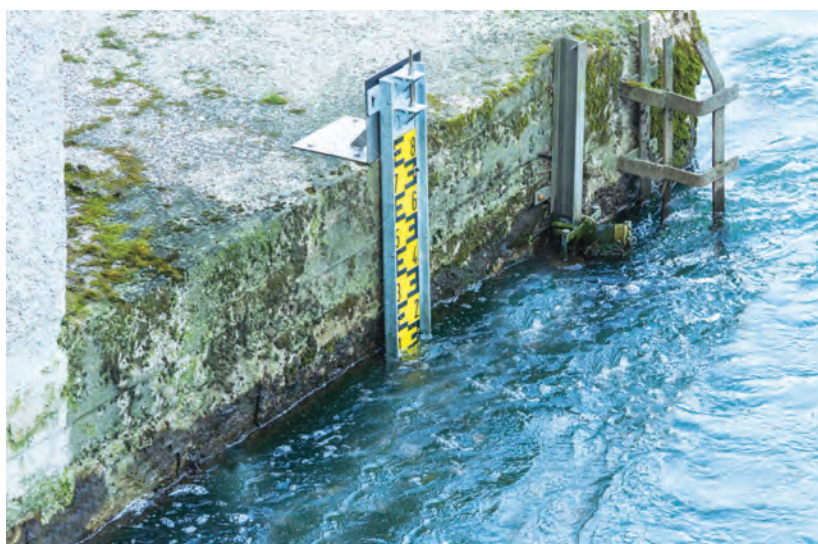
اندازه‌گیری ارتفاع سطح مواد

بحث گروهی



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 سامانه کنترل و ابزار دقیق به عنوان مغز متفکر یک صنعت، متضمن ایمنی و کنترل بهینه 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 اهمیت 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^۱ استفاده می‌گردد.

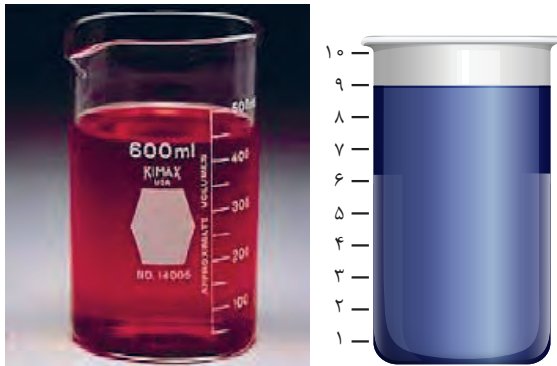


شکل ۱- نمایی از یک سطح‌سنج برای سنجش ارتفاع سطح آب

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

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 ۲- درجه‌بندی ارتفاع سطح سیال

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

پرسش



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

تحقیق کنید



سطح‌سنج

به چه دلایلی از سطح‌سنج استفاده می‌گردد؟

بحث گروهی



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 اهمیت 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 ۳- اندازه‌گیری ارتفاع سطح سیال با استفاده از سطح‌سنج در تانک ذخیره

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

پرسش



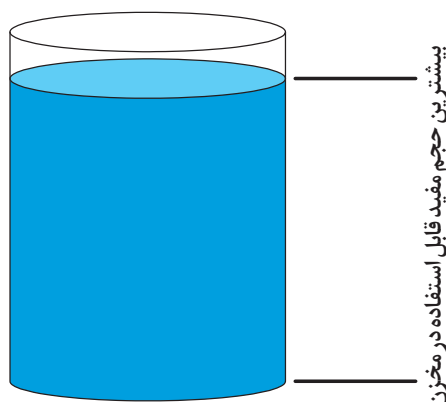
دلایل استفاده از سطح‌سنج‌ها را می‌توان به صورت زیر بیان کرد:

۱- انتقال مواد

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

۲- 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 ماده 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 بدین ترتیب دیگر نیازی به خرید تجهیز و مخازن اضافه نمی‌باشد.



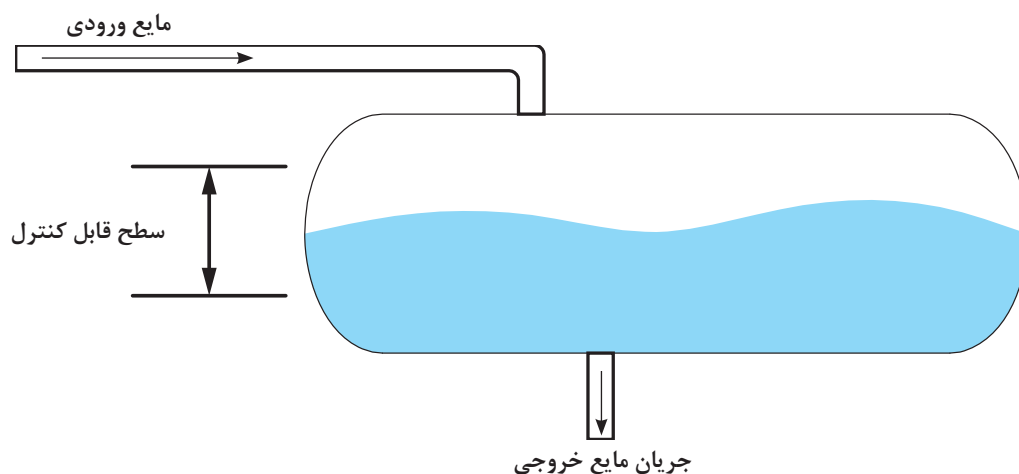
شکل ۴- استفاده از بیشترین حجم مفید مخزن با کمک سطح‌سنج

۳- ایمنی

زمانی که مخازن بیشتر از ظرفیت خود پر شوند، امکان سرریز شدن آنها وجود دارد و در صورتی که این مواد، بازی، اسیدی، آتش گیر و همراه با حرارت باشند، خطرات جبران ناپذیری به همراه خواهند داشت. همین طور اگر سطح مواد درون مخزن، از حد لازم پایین تر بیاید، کاهش سطح مایع ممکن است تخلیه 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 وسیله انتقال دهنده مواد) صدمه برساند. بنابراین استفاده از سطح سنج، اطمینان از نگهداری مواد در سطح مناسب را به همراه دارد. جهت پی بردن به اهمیت تضمین ایمنی توسط سطح سنج ها، به حادثه سال ۱۹۷۹ میلادی در نیروگاه اتمی واقع در ایالت پنسیلوانیای آمریکا اشاره می گردد. در یکی از راکتورهای آن نیروگاه، سطح سنج 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 منطقه مسکونی شدند. در پایان مشخص شد که فعال شدن سطح سنج نصب شده 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 اندازه گیری ارتفاع سطح مایع و فعال شدن اشتباه آن شده است. این مثال اهمیت به کارگیری و انتخاب مناسب سطح سنج را نشان می دهد.

۴- ثابت نگاه داشتن مقدار ماده 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 سطح سنج قابل کنترل می باشد. به طور مثال می توان به ظروف نگهداری مواد که در میان واحدهای فرایندی هستند، اشاره کرد. در صنعت می توان به کاربرد ظروفی که تلاطم سیال^۲ را کنترل می کنند تا فازهای سیال فرصت جدا شدن را پیدا نمایند، اشاره نمود. این مخازن می بایستی در مدت زمان مشخصی سیال را در خود نگه دارند (شکل ۵).



شکل ۵- ثابت نگاه داشتن مایع داخل مخزن از طریق کنترل ارتفاع آن

۱- Consistent Supply

۲- Surge Drum

عوامل تأثیرگذار در انتخاب نوع سطح سنج

اولین نکته در انتخاب سطح سنج، 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 سطح سنج در داخل مخزن بررسی شود. به عنوان مثال در شرایطی که وجود ذرات جامد یا گل‌ولای همراه با مواد است، در صورتی که سطح سنج در داخل مخزن نصب شود، لازم است آسیب‌های وارده به آن به دلیل تماس و آلودگی با مواد، بررسی گردد. همچنین در مخزنی که سطح سنج در آن قرار گرفته است، در صورت نیاز به تعمیرات مخزن، وجود سطح سنج نباید مانع از تعمیرات گردد. میزان تلاطم سطح مایعی که در بالاترین ارتفاع سطح مخزن قرار می‌گیرد نیز، قبل از تعیین و انتخاب نوع سطح سنج باید مورد بررسی قرار گیرد. همچنین میزان کمینه و بیشینه فشار، دمای واقعی مخزن، محدوده اندازه‌گیری و دقت سطح مورد نظر نیز در انتخاب سطح سنج تأثیرگذار است.

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

- محدوده تغییرات ارتفاع سطح مایع
- خصوصیات فیزیکی مواد مانند چگالی
- تمیز یا کثیف بودن مایع
- میزان بخارات یا ذرات جامد موجود در مواد
- خوردگی مواد
- تمایل مایع به رسوب‌دهی بر روی دیواره ظرف یا وسیله 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 گرانش پایینی می‌توان انتخاب نمود، بیشتر از دستگاه‌هایی است که می‌توان برای محلول‌های دوغابی با گرانش بالا انتخاب کرد. علاوه بر شرایطی که ذکر شد، ساختار مخزن و نوع واکنش‌هایی که در آن انجام می‌گردد نیز در انتخاب نوع سطح سنج مؤثر است.

مخازن از نظر ساختاری به دو دسته کلی تقسیم‌بندی می‌گردند:

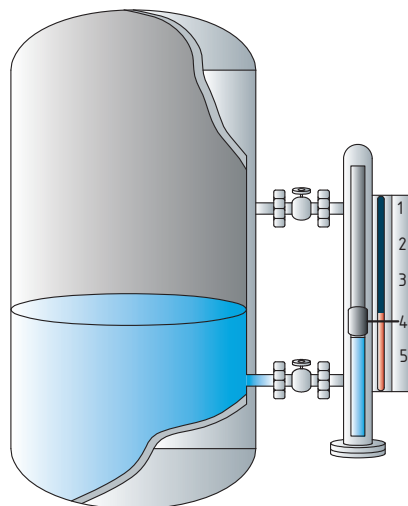
- مخازن با تجهیزات داخلی

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

- 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).

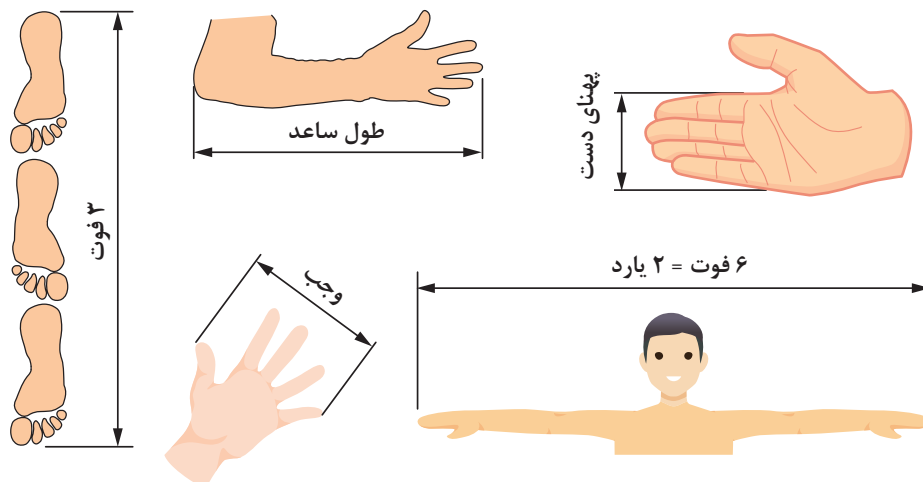
در این ظروف زمان اقامت سیال، بیش از چند دقیقه به طول نمی‌انجامد و هر جا که شرایط مخزن بر عملکرد حسگر سطح‌سنج تأثیرگذار باشد، این شرایط نیز باید در نظر گرفته شود.



شکل ۶ - 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 توسعه جامعه بشری و تغییر نیازهای داد و ستد، این نوع ابزارها کفایت نمی‌کردند. از طرفی اندازه دست و پای افراد با یکدیگر متفاوت بود. به همین دلیل برای اندازه‌گیری کمیتی مانند ارتفاع مشکلات فراوانی ایجاد می‌شد. لذا وجود یک استاندارد معین برای اندازه‌گیری ضروری به نظر می‌رسید (شکل ۷).



شکل ۷ - نمونه‌هایی از شاخص‌های اندازه‌گیری طول

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

جدول ۱- تبدیل یکاهای مختلف ارتفاع سطح مواد

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

مثال

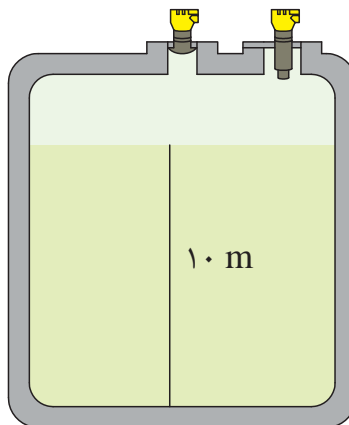
ارتفاع سیال حاوی برش‌های سنگین نفتی در مخزن ذخیره‌ای مشابه شکل زیر، به ۱۰ متر می‌رسد. این مقدار معادل چند سانتی‌متر، چند فوت و چند اینچ می‌باشد؟

ارتفاع سیال = h

$$h(\text{cm}) = 10\text{ m} \times \frac{100\text{ cm}}{1\text{ m}} = 1000\text{ cm}$$

$$h(\text{ft}) = 10\text{ m} \times \frac{1\text{ ft}}{0.305\text{ m}} = 32.8\text{ ft}$$

$$h(\text{in}) = 10\text{ m} \times \frac{1\text{ ft}}{0.305\text{ m}} \times \frac{12\text{ in}}{1\text{ ft}} = 393.7\text{ in}$$



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

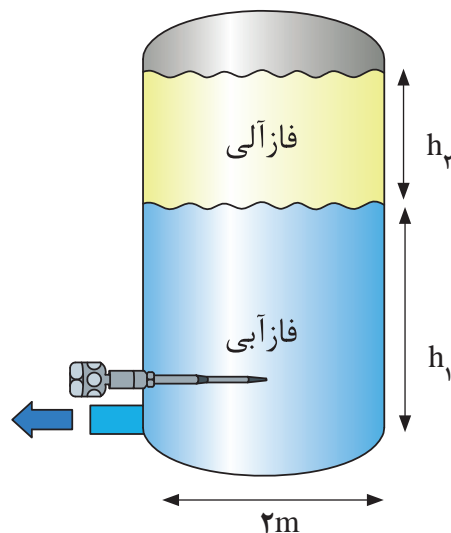
۲ حجم آب داخل استخری ۷۵۰۰ مترمکعب است. طول این استخر ۵۰ متر و عرض آن ۲۵ متر است. عمق آب داخل استخر را بر حسب یکاهای متر و اینچ محاسبه نمایید؟



۳ در یک ظرف جداساز سیالات دو فازی (شکل زیر)، حجم فاز آبی موجود در مخزن ۱۳ متر 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؟

ارتفاع سطح فاز آبی = h_1

ارتفاع سطح فاز آلی = h_2



روش‌های اندازه‌گیری ارتفاع سطح مواد

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

- سطح‌سنج‌هایی که جهت نمایش فیزیکی ارتفاع سطح مواد به کار می‌روند که به آنها نمایشگرهای سطح^۱ 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.
- سطح‌سنج‌هایی که سطح مواد درون مخزن را به طور پیوسته اندازه‌گیری می‌کنند و بر سطح مواد به طور پیوسته نظارت شده و هر گونه تغییری ثبت می‌گردد. این سطح‌سنج‌ها را ترانسمیتر سطح^۲ می‌گویند. وظیفه ترانسمیتر، ثبت و انتقال ارتفاع سطح مواد به اتاق فرمان برای مخازن در بسته است.
- سطح‌سنج‌های نقطه‌ای که ارتفاع سطح مواد را در یک نقطه از پیش تعیین شده بررسی می‌کنند و به این ترتیب از سرریزی و یا پایین آمدن مواد جلوگیری می‌شود.

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

پرسش



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 بر حسب نوع کاربرد آنها، ساده تا پیچیده می‌باشد. در نوع ساده آنها، ساختار و عملکرد دستگاه به صورت دستی - 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 به صورت 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 فاصله 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.

روش ها و دستگاه های اندازه گیری ارتفاع سطح

اندازه گیری ارتفاع سطح به صورت نقطه ای					اندازه گیری ارتفاع سطح به صورت پیوسته			نمایش فیزیکی ارتفاع سطح					
سطح سنج نوری	سطح سنج پره متحرک	سطح سنج ارتعاشی	سطح سنج خازنی	سطح سنج شناوری	سطح سنج راداری	سطح سنج راديو اکتيو	سطح سنج فراصوت	سطح سنج اختلاف فشاری	سطح سنج تغییر مکانی	سطح سنج شناوری	نمایشگر با شناور مغناطیسی	نمایشگر انعکاسی	نمایشگر شیشه ای

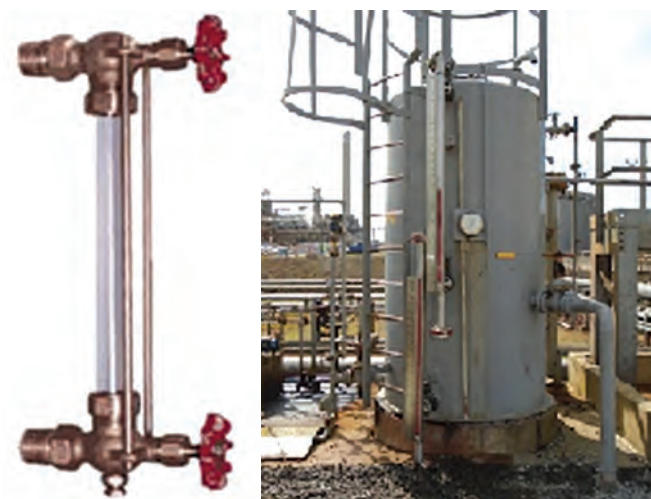
شکل ۸- دسته بندی روش ها و دستگاه های اندازه گیری ارتفاع سطح مواد

نمایشگرهای فیزیکی سطح

این نمایشگرها به شیشه های مدرج قابل دید (نشانگر شیشه ای) و شناورهایی که به صورت مکانیکی یا الکتریکی به یک نشانگر یا وسیله هشداردهنده وصل شده تقسیم بندی می گردند. در این روش، محفظه سطح سنج به صورت موازی با مخزن نصب می گردد 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 ساده این نمایشگرها در شکل ۶ آورده شده است. در ادامه توضیحات هر کدام به طور جداگانه آمده است.

نمایشگرهای شیشه ای سطح^۱

ساختار این دستگاه و عملکرد آن به شکل دستی - مکانیکی است. نمایشگر سطح، لوله شیشه ای یا پلاستیکی شفافی است که به صورت ظروف مرتبطه به مخزن نصب می شود و از این رو مایع درونش با مایع درون مخزن هم ارتفاع است. با توجه به شفافیت شیشه، ارتفاع سطح مایع درون مخزن از پشت شیشه قابل مشاهده می باشد. نمایشگرها ممکن است مدرج باشند یا در کنار خود، نوار مدرجی داشته باشند (شکل ۹).



شکل ۹- نمونه ای از نمایشگر شیشه ای

۱- Gauge Glass



شکل ۱۰- نمایشگر انعکاسی

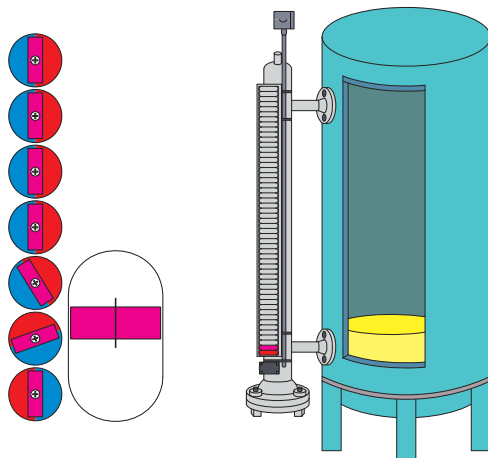
نمایشگرهای انعکاسی^۱

محفظه 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 محفظه آنها دارای شیشه 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 محفظه مقاوم‌تر، تا فشار حدود ۳۵psi نیز کاربرد دارد.

نمایشگرهای با شناورهای مغناطیسی^۲

در این نوع نمایشگرها از خاصیت شناور بودن اجسام در سطح مایع استفاده می‌شود. شیوه کار به این صورت است که یک آهن‌ربا توسط شناوری در محفظه 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 ۱۱- نمایشگر با شناور مغناطیسی

۱- Reflex Level Gauge

۲- Magnetic Float Level Gauge

انواع سطح سنج با عملکرد پیوسته

در بررسی پیوسته سطح سنج، ارتفاع سطح ماده درون مخزن دائماً اندازه گیری می شود. انواع دستگاه های مورد استفاده با عملکرد پیوسته مطابق شکل ۸ شامل سطح سنج شناوری^۱، تغییر مکانی، اختلاف فشاری، فراصوت (اولتراسونیک)^۲، راداری، رادیواکتیو و سرووموتوری^۳ می باشد که در ادامه چند نوع از آنها توضیح داده شده است:

سطح سنج شناوری

خاصیت شناوری در اندازه گیری ارتفاع سطح ماده به طور پیوسته قابل استفاده است. در اندازه گیری پیوسته می توان به کمک سازوکارهایی موقعیت شناور را در هر نقطه از داخل مخزن اندازه گیری و به اتاق فرمان ارسال کرد. در سطح سنج های شناوری می توان از وزنه و کابل یا زنجیر استفاده نمود. در این نوع از سطح سنج ها یک وزنه به وسیله کابل به شناوری که درون مخزن است، متصل می شود.



شکل ۱۲- سطح سنج شناوری

این وزنه تعادل، همزمان با بالا و پایین رفتن شناور در اثر تغییر ارتفاع مایع درون مخزن، جابه جا شده و ارتفاع سطح ماده را بر روی درجه بندی که در بیرون از مخزن نصب شده است، نمایش می دهد (شکل ۱۲). این سطح سنج ها دقیق می باشند ولی از معایب مکانیکی آنها، می توان به اصطکاک میان کابل و چرخ دنده اشاره کرد.

نمایش فیلم: سطح سنج شناوری



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

تحقیق کنید



سطح سنج اختلاف فشاری^۴

همان طور که می دانیم فشار را می توان براساس شیوه عملکرد مانومترها و با محاسبه فشار ستونی از مایع اندازه گیری کرد. در سطح سنج هایی که براساس محاسبه فشار کار می کنند، می توان طبق رابطه زیر با اندازه گیری فشار و معلوم بودن مقدار چگالی مایع (d)، ارتفاع ستون مایع (h) درون مخزن را به دست آورد:

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

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 می باشد. جهت محاسبه ارتفاع مایع درون یک مخزن با این روش، نیاز است که فشار ستون

۱- Float Level Switch

۲- Ultrasonic Level Meter

۳- Servo Level Transmitter

۴- 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^۱ مایعی می‌باشد که در حالت سکون درون مخزن قرار دارد. لذا به این روش اندازه‌گیری هیدرواستاتیک^۲ 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 ۱۳- 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، نمی‌باشد زیرا امواج توسط کف و بخار بالای مخزن جذب شده و اندازه‌گیری ارتفاع سطح انجام نمی‌گیرد.



شکل ۱۴- سطح‌سنج فراصوت (اولتراسونیک)

۱- Static Pressure

۲- Hydrostatic



چرا به این سطح سنج فراصوت می گویند؟



نمایش فیلم: سطح سنج فراصوت

سطح سنج راداری

امواج راداری می تواند برای تشخیص مسافت استفاده شود. فرکانس کاری این امواج در محدوده ۳ تا ۳۰ گیگاهرتز می باشد. این محدوده فرکانسی کاملاً ایمن می باشد. سطح سنج های راداری با ارسال امواج به سطح سیال، فضای خالی مخزن را اندازه گیری می کنند و با کسر مقدار اندازه گیری شده از ارتفاع واقعی مخزن که به عنوان مقدار اولیه به ترانسمیتر داده شده است، ارتفاع مایع درون مخزن را محاسبه می کنند (شکل ۱۵).



شکل ۱۵- سطح سنج راداری

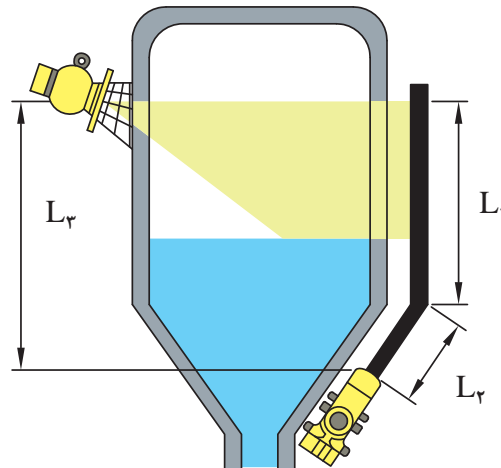


امواج راداری در اواخر دهه ۱۹۳۰ میلادی در صنایع نظامی جهت تخمین مسافت های هوایی ارائه شد. از آن زمان به بعد رادار علاوه بر کاربردهای نظامی در حوزه هایی از جمله سامانه ناوبری کشتی و هواپیما، هواشناسی، وسایل خانگی و ... به کار گرفته شد. در حدود ۵۰ سال است که با ساخت حسگرهای راداری، از این امواج جهت اندازه گیری ارتفاع سطح درون مخزن استفاده می شود.

سطح سنج راديو اکتیو

نوع دیگری از حسگرهای اندازه گیری سطح، از ارسال و دریافت امواج راديو اکتیو استفاده می کنند. این حسگرها مطابق شکل ۱۶ بیرون از مخزن نصب شده و یک منبع راديو اکتیو، امواج را به درون مخزن می فرستند، امواج ارسالی توسط گیرنده راديو اکتیو که در سمت دیگر مخزن نصب شده است، دریافت و به موج الکتریکی متناسب با سامانه کنترل تبدیل می شوند. این سطح سنج به دلیل آنکه در بیرون مخزن نصب می شود، تحت تأثیر خوردگی سیال و بخارات آن قرار نمی گیرد و به خوبی در مخازن تحت فشار با ضخامت بالا پاسخگو می باشد. این سطح سنج ها گران قیمت بوده و طول عمر بالا و هزینه نگهداری پایینی دارند.

نمایش فیلم: سطح‌سنج راداری



شکل ۱۶- سطح‌سنج رادیاکتیو

امواج رادیاکتیو برای انسان در محدوده خطرناک قرار دارند، لذا منبع ارسال امواج رادیاکتیو باید به گونه‌ای طراحی شود که امواج هیچ‌گونه خطری برای افراد شاغل در واحد صنعتی نداشته باشد. این منبع، مجموعه‌ای از امواج رادیاکتیو 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، فاصله بین منبع رادیاکتیو و گیرنده امواج و چگالی سیال درون مخزن می‌باشد.

نکات ایمنی



انواع سطح‌سنج نقطه‌ای

هدف از سنجش نقطه‌ای، تعیین رسیدن یا نرسیدن سطح ماده در مخزن به یک مقدار مشخص می‌باشد، که به این کار، سویچ 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: همان گونه 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).

۱- Switch



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.

شکل ۱۷- سطح‌سنج شناوری

در رابطه با مزایا و معایب سطح‌سنج شناوری بحث کنید.

بحث کلاسی



سطح‌سنج با پره 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 شیوه 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 طراحي شده برای حسگر بیشتر نباشد (شکل ۱۸). این حسگرها نسبت به شوک و لرزه در سامانه حساس است و نباید در محلی که لرزش زیادی وجود دارد، نصب شود.



شکل ۱۸- سطح‌سنج با پره متحرک

پودمان پنجم - اندازه‌گیری، ثبت و کنترل ارتفاع سطح مواد

بحث گروهی



یکی از روش‌های اندازه‌گیری وزن و یا حجم مواد موجود در سیلوهای گندم یا سیمن، اندازه‌گیری ارتفاع مواد موجود در آن می‌باشد که پس از آن می‌توان به محاسبه 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: 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 ۱۹- سطح‌سنج‌های نوری

تحقیق کنید



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

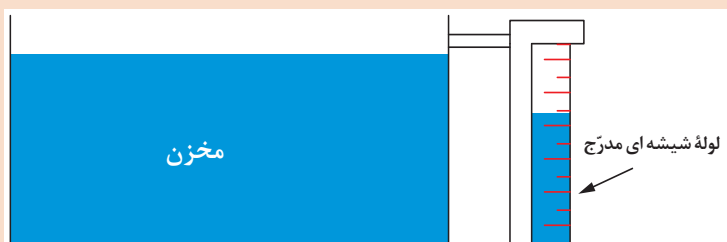
اندازه‌گیری ارتفاع سطح مایع در کارگاه

وسایل مورد نیاز:

یک مخزن ۴ لیتری
لوله پلاستیکی یا شیشه‌ای

روش کار:

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



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

به ترتیب زیر فعالیت کارگاهی را ادامه دهید.

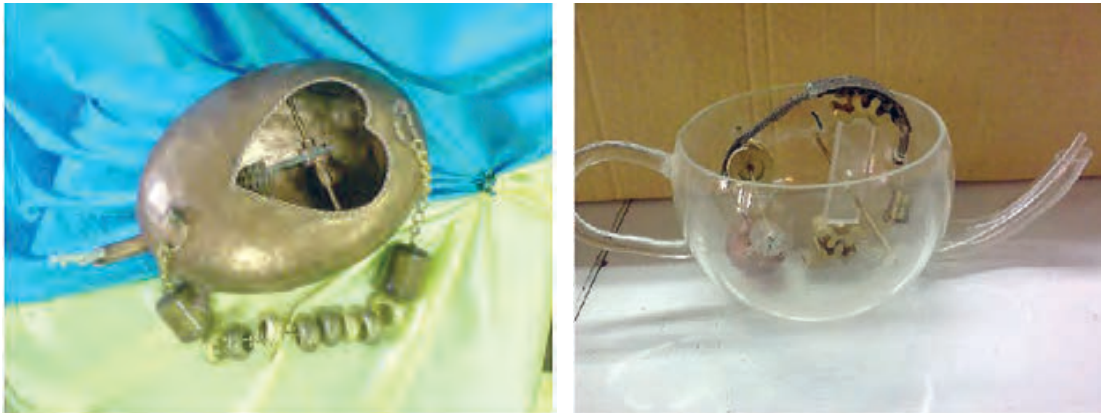
- ۱ حجم مشخصی از آب (V_0) را داخل مخزن بریزید.
 - ۲ ارتفاع آب درون مخزن را، از روی لوله شیشه‌ای مدرج بخوانید.
 - ۳ سطح مقطع مخزن را محاسبه کنید.
 - ۴ با داشتن سطح مقطع مخزن و ارتفاع آب خوانده شده، حجم آب موجود در مخزن محاسبه شود (V).
 - ۵ این حجم با حجم آب ریخته شده در مخزن مقایسه و تفاوت آنها یادداشت 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 خارق‌العاده مکانیکی این دانشمند، طراح و ساخت حدود ۱۰۰ دستگاه مکانیکی تشریح شده است که برخی از آنان جز شاهکارهای مهندسی کنترل و مکانیک در زمان خود بوده است.

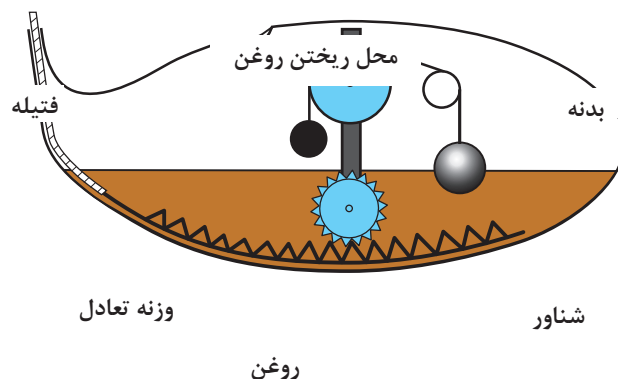
می‌توان به چراغ‌های روغنی که ارتفاع روغن در مخزن آنها ثابت نگه داشته می‌شود و یا چراغ روغنی که فتیله آن به طور خودکار تنظیم می‌شود، اشاره کرد. چراغ روغنی بنوموسی با فتیله خود تنظیم شونده می‌توانست برای مدت طولانی روشن بماند.



شکل ۲۱- نمونه‌های ساخته شده از چراغ روغنی بنوموسی

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

پرسش



شکل ۲۲- چراغ روغنی با فتیله خود تنظیم شونده



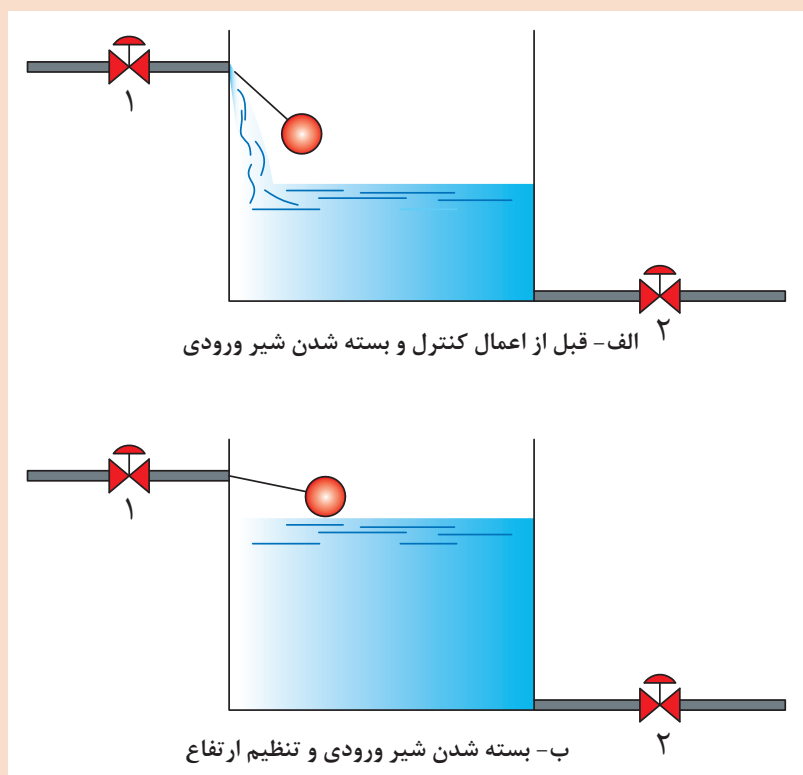
کنترل ارتفاع سطح مایع در کارگاه

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 به داخل آن برقرار گردد. خواهید دید که پس از رسیدن سطح آب به ارتفاع تنظیم شده توسط شناور، به طور خودکار شیر آب ورودی قطع می گردد و سطح آب درون مخزن ثابت می شود. 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 دوباره شیر ورودی را تا رسیدن آب به ارتفاع تنظیم شده اولیه، می دهد. به این ترتیب، ارتفاع سطح آب مخزن در مقدار تنظیم شده اولیه، کنترل می گردد. این کار را با تغییر دادن میزان آب خروجی از مخزن تکرار کنید و هر بار، مدت زمانی را که شیر آب ورودی باز می ماند، یادداشت کنید.



شکل ۲۱- 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 بدانند 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:

- 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 جلسه آموزشی
ابزار و تجهیزات: تجهیزات کارگاهی مورد نیاز و وسایل ایمنی شخصی

معیار شایستگی:

ردیف	مرحله کار	کمترین نمره قبولی از ۳	نمره 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: ۱- ایمنی: انجام کار کارگاهی با رعایت موارد ایمنی و استفاده از وسایل ایمنی شخصی ۲- نگرش: صرفه‌جویی در مواد مصرفی ۳- توجهات زیست‌محیطی: جلوگیری از صدمه زدن به محیط زیست از طریق انجام کار با کمترین ضایعات ۴- شایستگی‌های غیر فنی: الف) اخلاق حرفه‌ای ب) مدیریت منابع پ) محاسبه و کاربست ریاضی ۵- مستندسازی: گزارش‌نویسی	۲	
میانگین نمرات			*

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

- ۱- سند استاندارد ارزشیابی صنایع شیمیایی، ۱۳۹۳، سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای و کار دانش
- ۲- سند استاندارد شایستگی حرفه صنایع شیمیایی، ۱۳۹۲، سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای و کار دانش
- ۳- برنامه‌درسی درس کنترل فرایندهای شیمیایی، ۱۳۹۴، سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای و کار دانش
- ۴- پورعطا، رحمت‌ا...، سید دراجی، میرسعید (۱۳۸۷)، جزوه گرافیک و نقشه‌خوانی، دانشگاه زنجان
- ۵- توللی، حسین و دیگران (۱۳۹۵)، سیلندرهای گاز تحت فشار: اصول ایمنی در آزمایشگاه و در صنعت (چاپ اول)، قم، انتشارات منگان.
- ۶- حکیمی سبینی، معصومه (۱۳۹۳)، کلید مهندسی نقشه‌کشی و نقشه خوانی P & ID، انتشارات سها دانش
- ۷- رازی فر، مهدی (۱۳۹۲)، آشنایی با نقشه‌خوانی و ترسیم نقشه‌های فرایندی BFD, PFD, P & ID, UFD, ESD، انتشارات اندیشه سرا، چاپ دوم
- ۸- رحمتی، مصطفی، رحمانی، حسین (۱۳۹۳)، کنترل دما (فرایند) به صورت تشریحی و مفهومی، انتشارات قدیس
- ۹- عابدینی، محمد (۱۳۸۷)، اندازه‌گیری و کالیبراسیون دما، انتشارات صفار اشرافی
- ۱۰- قنبری، عبدالله (۱۳۸۴)، اصول اندازه‌گیری دما و کالیبراسیون دماسنج‌ها، انتشارات مرکز آموزش و تحقیقات صنعتی ایران
- ۱۱- محسنی هماگرانی، مرتضی؛ رزم‌آرا، مهرداد؛ سپهری‌نیا، محمد (۱۳۹۱)، مرجع کامل طراحی تجهیزات ابزار دقیق و کنترل نفت - گاز - پتروشیمی. تهران: نشر اتحاد
- ۱۲- توفیقی، سیدپندار، صدراپی، ساسان (۱۳۹۵)، عملیات دستگاهی در صنایع شیمیایی، سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی
- ۱۳- توفیقی، سیدپندار، ۱۳۹۵، عملیات دستگاهی در صنایع شیمیایی، سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی
- ۱۴- صدراپی، ساسان، ۱۳۹۵، فرایندهای شیمیایی، سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی

-
- ١٥_ Alan S.Morris., & Reza Langari.(2011). Measurement and Instrumentation: Theory and Application : Academic Press
- ١٦_ Eugen Gaßmann.,& Anna Gries. (2009) Electronic Pressure Measurement Basics, applications and instrument selection. Germany (Munich): Süddeutscher Verlag on pact GmbH,
- ١٧_ Alan S. Morris(2001). Measurement and Instrumentation Principles.3rd ed. UK: Butterworth-Heinemann
- ١٨_ Bahner, Martin. 2001. A Practical Overview of Level Measurement Technologies. WWW. gilsonengineering.net/reference/Levelpap.pdf
- ١٩_ 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 درباره 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 دبیرخانه 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 ارائه نظرات خود سازمان را در بهبود محتوای این کتاب یاری کرده‌اند به شرح زیر اعلام می‌شود.

کتاب کنترل فرایندهای شیمیایی - 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	محمد رضا انجم شاع	کرمان
۳	الهه وهابی نژاد	خراسان رضوی	۱۵	شکراله شمسی	مرکزی
۴	سمیه باقری وانانی	چهارمحال و بختیاری	۱۶	اسدالله امیدی بیرگانی	خوزستان
۵	نعیمه سیف الدینی	کرمان	۱۷	محمد رضا 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 ایرندگان	سیستان و بلوچستان
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	محمد صالح صدیقی	قزوین			