

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، رابعه شیخ زاده، سیدرضا سیف محدثی، اعظم یوسفی، بهناز سامی و محسن کولیوند (اعضای شورای برنامه‌ریزی)
- مدیریت آماده‌سازی هنری: سیدرضا 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: جواد صفری (مدیر هنری) - الهه یعقوبی‌نیا (صفحه‌آرا) - مریم کیوان (طراح جلد) - سیدمرتضی میرمجیدی و الهام محبوب (رسام) - سید کیوان حسینی، علیرضا ملکان، زینت بهشتی شیرازی، حمید ثابت کلاچاهی و زهره برهانی زرنندی (امور آماده‌سازی)
- تلفن: ۸۸۸۳۱۱۶۱-۹، دورنگار: ۸۸۳۰۹۲۶۶، کد پستی: ۱۵۸۴۷۴۷۳۵۹
- وب سایت: www.chap.sch.ir و www.irtextbook.ir
- ناشر: شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران: تهران-کیلومتر ۱۷ جاده مخصوص کرج-خیابان ۶۱
- چاپخانه: (دارو پخش) تلفن: ۴۴۹۸۵۱۶۱-۵، دورنگار: ۴۴۹۸۵۱۶۰/صندوق پستی: ۳۷۵۱۵-۱۳۹
- سال انتشار و نوبت چاپ: شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران «سهامی خاص» چاپ اول ۱۴۰۵

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، عکس برداری، نقاشی، تهیه فیلم و تکتیر 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 نکنید. این عبادت است. امام خمینی (قَدَسَ سِرُّهُ)

پودمان اول: نقشه‌کشی فرایندها ۱

واحد یادگیری ۱: تفسیر نقشه‌های فرایندی ۲

واحد یادگیری ۲: تهیه نقشه‌های فرایندی ۴۰

پودمان دوم: اندازه‌گیری، ثبت و کنترل دما ۴۹

واحد یادگیری ۱: اندازه‌گیری دما ۵۰

واحد یادگیری ۲: کنترل دمای فرایند ۷۹

پودمان سوم: اندازه‌گیری، ثبت و کنترل فشار ۹۱

واحد یادگیری ۱: اندازه‌گیری فشار فرایند ۹۲

واحد یادگیری ۲: کنترل فشار فرایند ۱۱۳

پودمان چهارم: اندازه‌گیری، ثبت و کنترل دبی ۱۲۳

واحد یادگیری ۱: محاسبات دبی فرایند ۱۲۴

واحد یادگیری ۲: کنترل دبی سیال ۱۳۵

پودمان پنجم: اندازه‌گیری، ثبت و کنترل ارتفاع سطح مواد ۱۵۵

واحد یادگیری ۱: اندازه‌گیری ارتفاع سطح مواد ۱۵۶

واحد یادگیری ۲: کاربرد هوش مصنوعی در کنترل فرایندهای شیمیایی ۱۷۶

منابع ۱۸۹

این کتاب در سال‌های ۱۴۰۲ و ۱۴۰۳ از منظر چهار گروه از دنیای کار (کارفرمایان بزرگ، خبرگان حرفه‌ای، فروشندگان خدمات و کالا و انجمن‌های حرفه‌ای) و چهارگروه از دنیای آموزش (هنرآموزان خبره، مربیان آموزش فنی و حرفه‌ای، هنرجویان پایه دوازدهم و فارغ‌التحصیلان شاغل) مورد ارزشیابی کشوری قرار گرفت و نتایج آن در محتوا اعمال گردید.

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، ثبت و کنترل دما و فشار و ...

۲- شایستگی‌های غیرفنی برای پیشرفت و موفقیت در آینده مانند نوآوری و مصرف بهینه

۳- شایستگی‌های فناوری اطلاعات و ارتباطات مانند کار با نرم‌افزارها

۴- شایستگی‌های مربوط به یادگیری مادام‌العمر مانند کسب اطلاعات از منابع دیگر

بر این اساس دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای و کاردانش مبتنی بر اسناد بالادستی و با مشارکت متخصصان برنامه‌ریزی درسی فنی و حرفه‌ای و خبرگان دنیای کار 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، یکی از درس‌های شایستگی‌های فنی و کارگاهی سال یازدهم رشته صنایع شیمیایی است که ویژه این رشته 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 فرایند ارزشیابی به اثبات رسانید.

کتاب درسی کنترل فرایندهای شیمیایی شامل پنج پودمان است و هر پودمان دارای دو 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. شرط لازم برای کسب شایستگی در هر پودمان کسب شایستگی در هر دو واحد یادگیری آن پودمان است. در صورت احراز نشدن شایستگی در هر یک از واحدهای یادگیری پس از ارزشیابی اول، فرصت جبران و ارزشیابی دوباره تا پایان سال تحصیلی وجود دارد. ارزشیابی هر واحد یادگیری نیز از دو بخش نمره مستمر و نمره شایستگی فنی تشکیل شده است و شرط لازم برای محاسبه این دو بخش، کسب شایستگی در بخش شایستگی‌های غیر فنی است.

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

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

رعایت نکات ایمنی، بهداشتی و حفاظتی از اصول انجام کار است؛ لذا توصیه‌های هنرآموز محترمتان در خصوص رعایت مواردی که در کتاب آمده است، در انجام کارها جدی بگیرید.

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

دفتر برنامه‌ریزی و تألیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای و کاردانش

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 و بر اساس آن محتوای آموزشی نیز تألیف گردید. کتاب حاضر از مجموعه کتاب‌های کارگاهی می‌باشد که برای سال یازدهم تدوین و تألیف گردیده است. این کتاب دارای پنج پودمان است و شرط لازم برای کسب شایستگی در هر پودمان کسب شایستگی در هر دو واحد یادگیری آن پودمان است. در صورت احراز نشدن شایستگی در هر یک از واحدهای یادگیری پس از ارزشیابی اول، فرصت جبران و ارزشیابی دوباره تا پایان سال تحصیلی وجود دارد. ارزشیابی هر واحد یادگیری نیز از دو بخش نمره مستمر و نمره شایستگی فنی تشکیل شده است و شرط لازم برای محاسبه این دو بخش، کسب شایستگی در بخش شایستگی‌های غیرفنی است. از ویژگی‌های دیگر این کتاب طراحی فعالیت‌های یادگیری ساخت‌یافته در ارتباط با شایستگی‌های فنی و غیرفنی از جمله مدیریت منابع، اخلاق حرفه‌ای و مباحث زیست‌محیطی 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، نرم‌افزار 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. رعایت ایمنی و بهداشت، شایستگی‌های غیرفنی و مراحل کلیدی بر اساس استاندارد از ملزومات کسب شایستگی می‌باشند.

کتاب شامل پودمان‌های ذیل است:

پودمان اول: با عنوان «نقشه‌کشی فرایندها» است. در واحد یادگیری اول تفسیر نقشه‌های فرایندی و در واحد یادگیری دوم تهیه نقشه‌های فرایندی آموزش داده شده است.

پودمان دوم: عنوان «اندازه‌گیری، ثبت و کنترل دما» دارد در واحد یادگیری اول اندازه‌گیری دما و در واحد یادگیری دوم کنترل دمای فرایند آموزش داده شده است.

پودمان سوم: دارای عنوان «اندازه‌گیری، ثبت و کنترل فشار» است. در این پودمان ابتدا اندازه‌گیری فشار فرایند و سپس کنترل فشار فرایند آموزش داده شده است.

پودمان چهارم: «اندازه‌گیری، ثبت و کنترل دبی» نام دارد که در واحد یادگیری اول محاسبات دبی فرایند و در واحد یادگیری دوم کنترل دبی سیالات آموزش داده شده است.

پودمان پنجم: با عنوان «اندازه‌گیری، ثبت و کنترل ارتفاع سطح مواد» است که در واحد یادگیری اول اندازه‌گیری ارتفاع سطح مواد و در واحد یادگیری دوم کاربرد هوش مصنوعی در کنترل فرایندهای شیمیایی آموزش داده می‌شود. امید است که با تلاش و کوشش شما همکاران گرامی اهداف پیش‌بینی شده برای این درس محقق گردد.

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

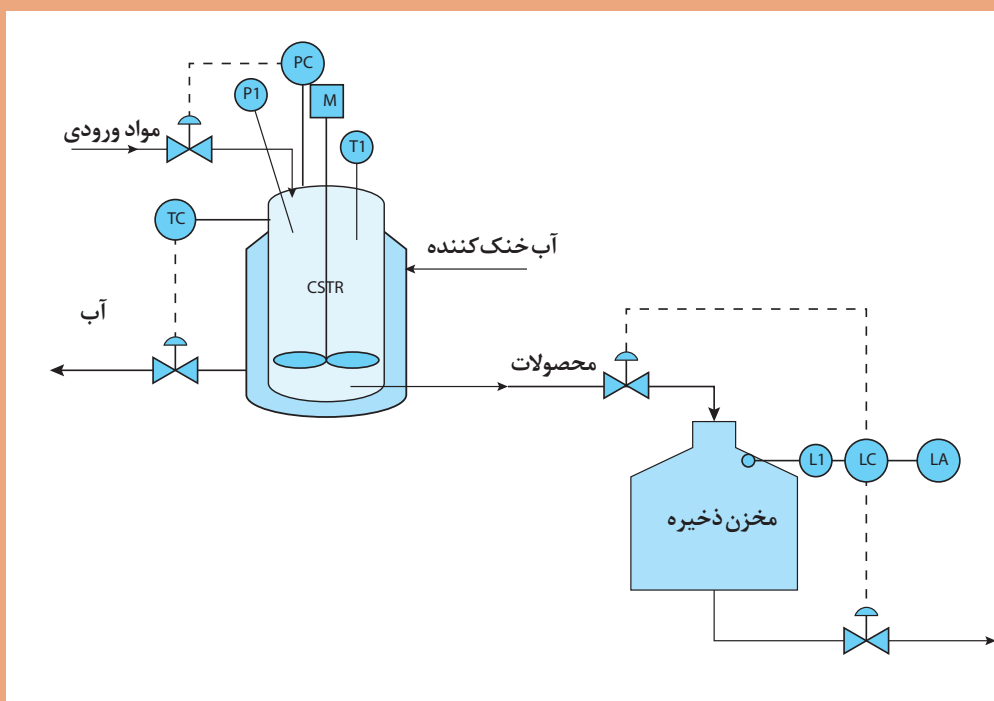


نظر سنجی کتاب درسی



پودمان ۱

نقشه‌کشی فرایندها



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

واحد یادگیری ۱

تفسیر نقشه‌های فرایندی

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 پیش‌رو مطلع سازد، بدین‌منظور در این پودمان بخش‌های نمودار جعبه‌ای فرایند (BFD)، نمودار جریان‌های فرایند (PFD) و نمودار لوله‌کشی و ابزار دقیق (P&ID) و نقشه جانمایی تجهیزات مطالعه شود.

استاندارد عملکرد

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

شایستگی‌های غیر فنی

- ۱ اخلاق حرفه‌ای: حضور منظم و وقت‌شناسی - انجام دادن وظایف و کارهای محول - پیروی از قوانین
- ۲ مدیریت منابع: شروع به کار به موقع - مدیریت مؤثر زمان - استفاده صحیح از مواد و تجهیزات
- ۳ کار گروهی: حضور فعال در فعالیت‌های گروهی - انجام دادن کارها و وظایف سپرده شده
- ۴ مستندسازی: گزارش‌نویسی فعالیت‌های کارگاهی
- ۵ محاسبه و کاربست ریاضی

شایستگی‌های فنی

- ۱ به‌کارگیری نمودار جعبه‌ای فرایند (BFD)
- ۲ به‌کارگیری نمودار جریان‌های فرایند (PFD)
- ۳ به‌کارگیری نمودار لوله‌کشی و ابزار دقیق (P&ID) و نقشه جانمایی تجهیزات

آشنایی با مراحل طراحی فرایند

روش و نوع عملکردی که بتوان توسط آن ماده‌ای را از حالتی به حالت دیگر یا به مواد 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.

مرحله طراحی مفهومی

در این مرحله، امکان‌پذیری اجرای فرایند از نظر فنی و اقتصادی بررسی می‌شود. اگر نتایج این بررسی‌ها نشان دهد که پروژه از نظر فنی قابل اجرا نیست یا از نظر اقتصادی صرفه ندارد (یا هر دو)، فرایند رد شده و وارد مراحل بعدی نخواهد شد.

مرحله طراحی پایه

طراحی پایه در واقع گسترش طراحی مفهومی است. در این مرحله، فرایندهای شیمیایی به‌صورت دقیق‌تر تعریف شده و تجهیزات اصلی، واحدها و امکانات آن مشخص می‌شود و نقشه‌های فرایندی تهیه می‌گردد.

مرحله طراحی جزئی

در این مرحله، تمامی اجزای فرایند شیمیایی به‌صورت کامل، دقیق و با جزئیات فنی طراحی می‌شوند. طراحی باید به اندازه‌ای شفاف و روشن انجام گیرد که در مرحله اجرا هیچ‌گونه ابهام، نقص یا پرسشی وجود نداشته باشد.

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 مهندسين 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 مهندسين 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.

۱- Process

۲- Process Design

۳- Conceptual Design

۴- Basic Engineering Design Package

۵- Detailed Design

۶- Block Flow Diagram

۷- Process Flow Diagram

۸- Piping and Instrument Diagram

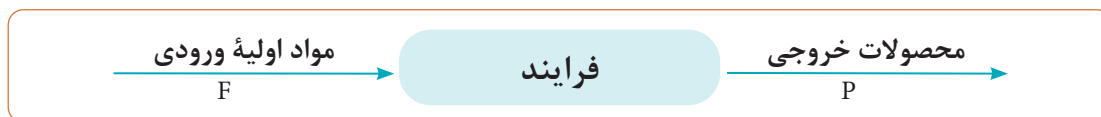
۹- Plant Layout

البته باید توجه داشت که در طراحی و ساخت یک کارخانه شیمیایی، علاوه بر نمودارهای فرایندی مذکور که رسم آنها با مهندسين شیمی است، انواع نقشه‌های مکانیک، برق، ابزار دقیق و ساختمان نیز توسط مهندسين مربوطه رسم می‌شوند. برای رسم نقشه‌های صنعتی اعم از نمودارهای جعبه‌ای، فرایند، ابزار دقیق و نقشه‌های مکانیک و ... معمولاً از نرم‌افزارهای اتوکد^۱ و ویزیو^۲ استفاده می‌شود.

نمودار جعبه‌ای جریان (BFD)

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

در نمودار جعبه‌ای جریان یک فرایند شیمیایی، تعدادی از دستگاه‌ها که در مجموع یک فرایند را به وجود می‌آورند، به صورت یک جعبه یا بلوک^۳ نشان داده می‌شوند (شکل ۱). با دنبال کردن خطوط (جریان‌ها) از چپ به راست می‌توان به شناخت کلی در خصوص یک فرایند دست یافت.



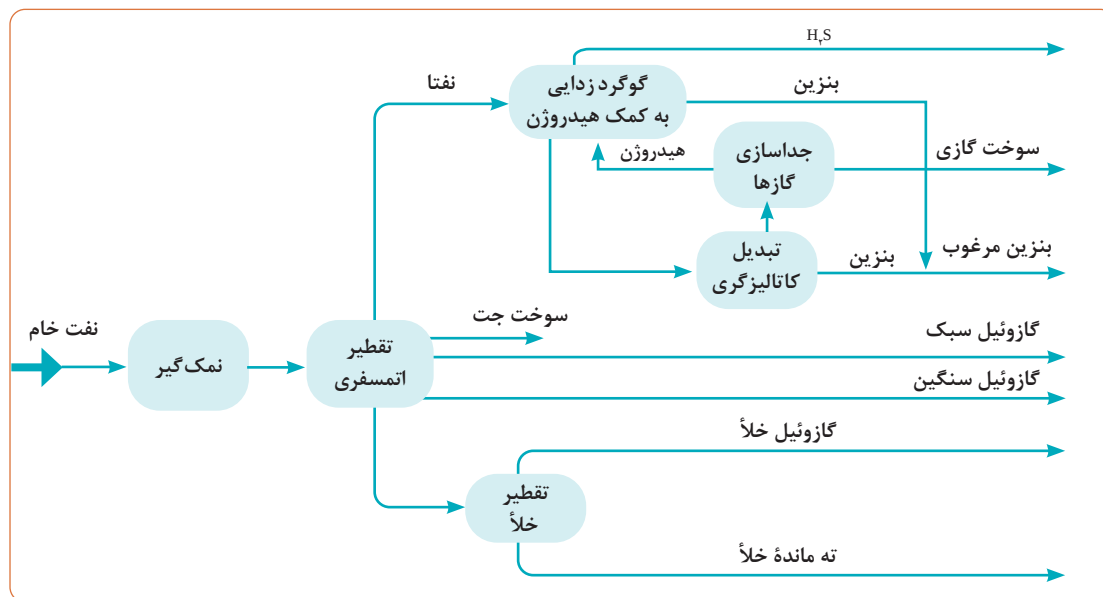
شکل ۱- نمونه یک نمودار جعبه‌ای

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



شکل ۲- تعیین حدود سامانه انتخاب شده

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



شکل ۳- نمودار جعبه‌ای یک پالایشگاه

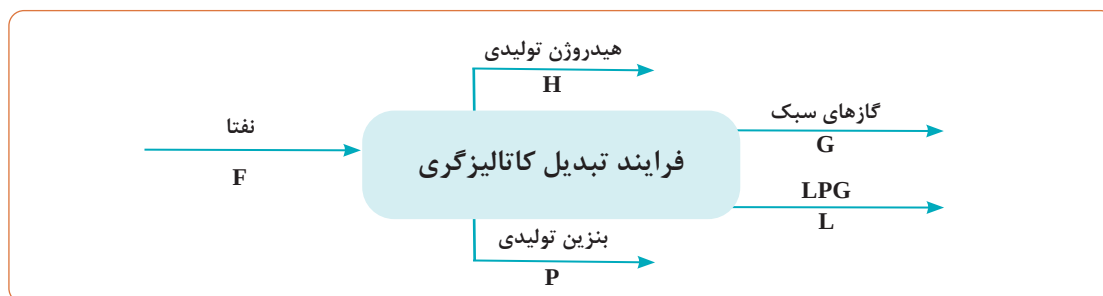
معمولاً برای رسم نمودارهای جعبه‌ای اشاره شده و همچنین نمودار جریان فرایند و نمودار لوله‌کشی و ابزار دقیق که در ادامه بحث خواهد شد، از نرم‌افزارهای اتوکد و ویزیو استفاده می‌شود. به طور کلی می‌توان کاربرد و استفاده‌های نمودار جعبه‌ای را شامل موارد زیر دانست:

- ۱ تهیه اولین نمودار یک فرایند شیمیایی جهت استفاده در طراحی؛
- ۲ تشخیص و شناسایی اولیه کل فرایند کارخانه؛
- ۳ تعیین موازنه جرم کلی.

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

الف) شرح فرایند؛

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



نمودار جعبه‌ای فرایند تبدیل کاتالیزگری

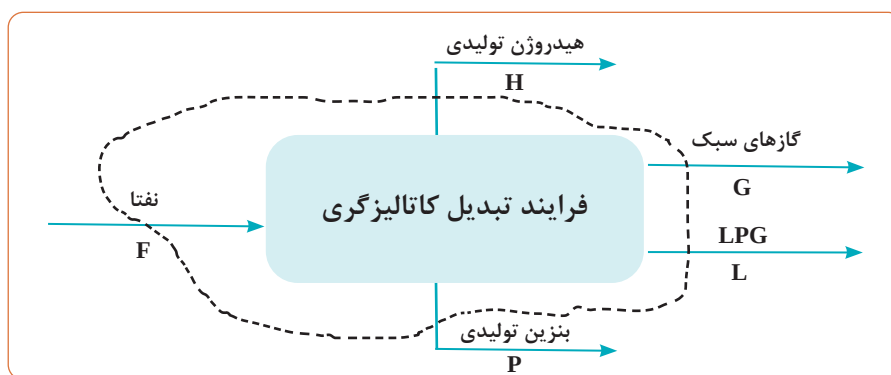
۱- Catalytic Reforming Process

جدول 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 صفحه قبل، 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 زیر، عبارت است از:



سامانه انتخاب شده جهت موازنه جرم

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

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

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

بنابراین:

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

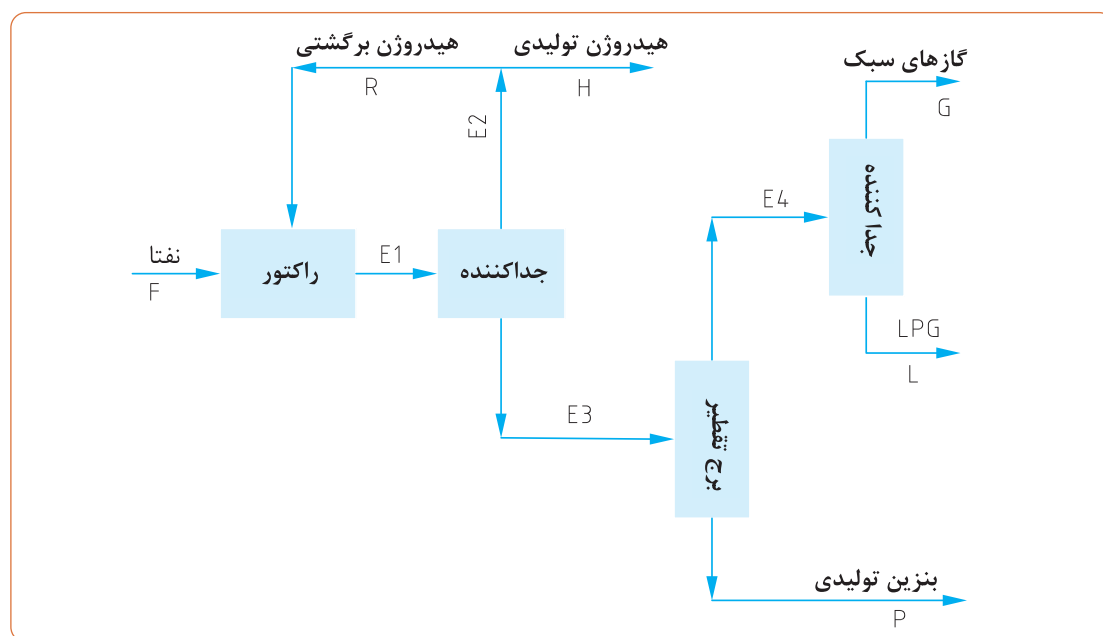
حال با معلوم بودن مقدار دبی جرمی جریان های P، G و H، می‌توان مقدار دبی جرمی جریان L را تعیین نمود.

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

مثال: مطابق مثال قبل، 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 زیر نشان داده شده است. مطلوب است:

الف) شرح نمودار؛

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



نمودار جعبه‌ای فرایند تبدیل کاتالیزگری

جدول مقادیر جریان‌های فرایند تبدیل کاتالیزگری

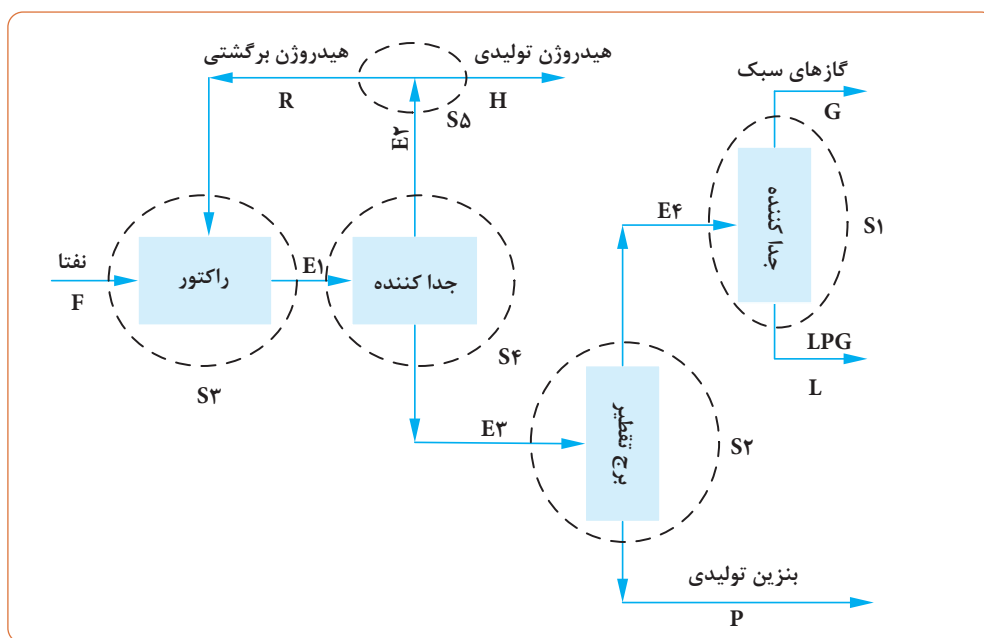
نام جریان	میزان دبی جرمی (کیلوگرم بر ساعت)
F	۱۶۳۰۰۰
P	۱۳۵۰۰۰
G	۳۲۶۰
H	۱۵۶۰۰
L	۹۱۴۰
E _۱	۲۴۶۴۰۰
R	؟
E _۲	؟
E _۳	؟
E _۴	؟

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 زیر سامانه‌های مختلفی می‌توان انتخاب کرد.



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 (S₂) 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 (S₃) 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 (S₄) 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 (S₅) انتخاب شده (سامانه خط چین): براساس موازنه، جرم کل ورودی برابر است با جرم کل خروجی لذا:

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

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

چون:

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

بنابراین:

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

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



به 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.

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.



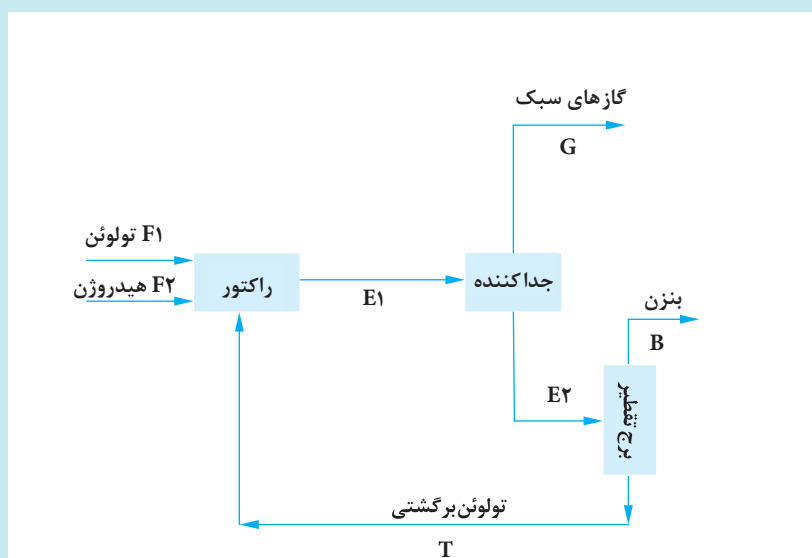
بنزن از واکنش هیدروژناسیون تولوئن به صورت زیر به دست می‌آید:



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

الف) شرح این نمودار

ب) موازنه جرم پیرامون این فرایند مطابق با داده‌های مندرج در جدول زیر و تعیین مقدار جریان‌های E_1 و تولوئن برگشتی (T)



نمودار جعبه‌ای فرایند تولید بنزن

جدول مقدار جریان‌های فرایند تولید بنزن

نام جریان	میزان دبی جرمی (کیلو گرم بر ساعت)
F _۱	۱۰۰۰۰
F _۲	۸۲۰
E _۲	۸۹۶۰
G	۲۶۱۰
B	۸۲۱۰
T	؟
E _۱	؟

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



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

پرسش



با مشاهده فیلم‌های آموزشی صنایع شیمیایی، نمودارهای جعبه‌ای هر کدام را رسم کنید.

فعالیت
عملی



۱- Sour Gas

۲- Sweet Gas

۳- Acid Gas

نمودار جریان فرايند (PFD)

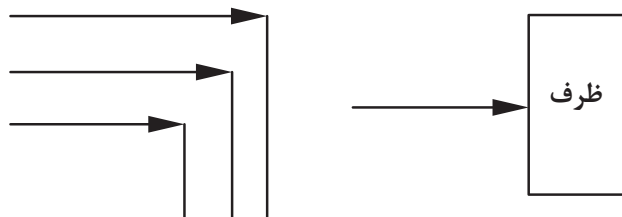
در نمودار جريان فرايند، كليۀ مراحل توليد يك واحد صنعتي از قبيل ترتيب دستگاه‌ها، چگونگي اتصال آنها توسط خطوط جريان، شرايط عملياتي دستگاه‌ها از قبيل دما، فشار و شدت جريان‌ها و جدول موازنه مواد و انرژي نشان داده مي‌شود. اجزاي اصلي در نمودار جريان فرايند عبارت‌اند از:

- خطوط اصلي فرايندي (جريان‌هاي فرايندي) شامل خطوط خوراك و محصولات؛
- تجهيزات فرايندي؛
- شكل ساده حلقه‌هاي كنترلي؛
- شرايط عملياتي تجهيزات؛
- مشخصات كارفرما (سمت راست پايين نمودار)؛
- فهرست علايم و اختصارات^۱ (سمت راست و بالاي مشخصات كارفرما)؛
- ارائه اطلاعات مربوط به تجهيزات دوار مانند پمپ‌ها و كمپرسورها در قسمت پايين نمودار جريان فرايند؛
- ارائه اطلاعات ساير تجهيزات در بالاي نمودار جريان فرايند؛
- كليۀ تأسيسات^۲ مورد نياز و مقدار آنها از جمله آب، هواي فشرده و غيره.

قواعد تهيه نمودار جريان فرايند

مقياس^۳: لازم نيست اندازه تمام دستگاه‌ها در يك مقياس رسم شوند، هر چند اندازه آنها بايد متناسب با طرح تجهيزات باشد.

جهت جريان: جهت جريان‌ها از چپ به راست بوده (شكل‌هاي ۴ و ۵) و با پيكان مشخص مي‌گردند. اصولاً تمامي خطوط جريان در محل ورود به تجهيزات، نقاط تقاطع و خم خطوط، با پيكان علامت گذاري مي‌شوند. گاهي خطوط جريان طولاني در ميانه مسير نيز پيكان گذاري مي‌شوند. لازم به ذكر است كه محدوديتي در تعداد پيكان‌هاي مورد استفاده وجود ندارد. علامت اتصال خط مرزي ورودي و خروجي از نمودار جريان فرايند به عنوان محدوده فرايند^۴ (B.L) در شكل ۶ نشان داده شده است.



شكل ۴- جهت جريان در خم جريان و ورود به تجهيزات در نمودار جريان فرايند



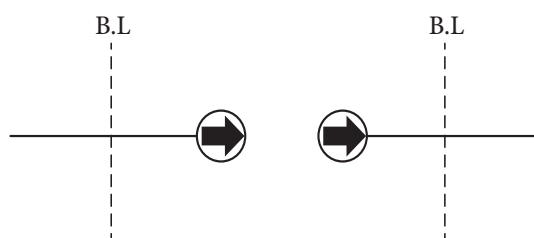
شكل ۵- جهت جريان در خطوط جريان طولاني نمودار جريان فرايند

۱- Legend

۳- Scale

۲- Utility

۴- Battery Limit



در شکل ۶، سمت راست، یعنی جریانی از بیرون وارد فرایند می‌شود و سمت چپ یعنی جریانی از درون فرایند به بیرون منتقل خواهد شد.

شکل ۶- نشانه اتصال خط مرزی ورودی و خروجی از نمودار جریان فرایند

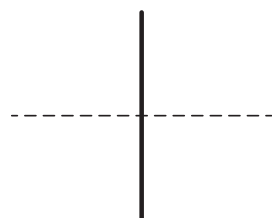
جریان‌های فرایندی و غیرفرایندی: جریان‌های فرایندی یا همان خطوط اصلی فرایند باید با خطوط ضخیم، و جریان‌های غیرفرایندی اعم از جریان‌های تأسیسات و کنترلی با خطوط نازک و خط چین نشان داده شوند (شکل‌های ۷ الی ۹).

شکل ۹- جریان‌های کنترلی در نمودار جریان فرایند

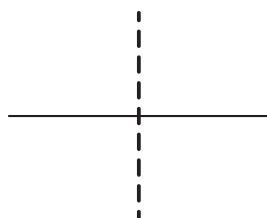
شکل ۸- جریان‌های غیر فرایندی (خطوط تأسیسات) در نمودار جریان فرایند

شکل ۷- جریان‌های فرایندی (خطوط اصلی) در نمودار جریان فرایند

زمانی که دو جریان یکدیگر را قطع می‌کنند، خطوط افقی همواره به شکل پیوسته و خطوط عمودی به صورت خط چین رسم می‌شوند. البته این قرارداد برای حلقه‌های کنترلی صدق نمی‌کند و در این حالت خطوط فرایند پیوسته و خطوط کنترلی، خط چین خواهند بود (شکل‌های ۱۰ الی ۱۲).



شکل ۱۲- تقاطع دو جریان فرایندی و کنترلی در نمودار جریان فرایند



شکل ۱۱- تقاطع دو جریان فرایندی و غیرفرایندی در نمودار جریان فرایند



شکل ۱۰- تقاطع دو جریان فرایندی در نمودار جریان فرایند

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

جعبه عنوان: در گوشه سمت راست پایین کلیه نمودارهای جریان فرایند یک قسمت به نام جعبه عنوان قرار دارد. مطابق شکل ۱۳، اطلاعات و نشان‌های^۲ مربوط به شرکت اصلی (کارفرما)^۳، مشتری^۴، عنوان پروژه^۵، عنوان نقشه^۶، در جعبه عنوان آورده می‌شوند.

[illegible]

شکل ۱۳- جعبه عنوان در نمودار جریان فرایند

اندازهٔ جعبهٔ عنوان نسبت به اندازهٔ نمودار جریان فرایند، مطابق جدول ۱ می‌باشد.

جدول ۱- اندازه جعبه عنوان در نمودار جریان فرایند

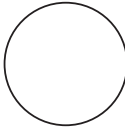
اندازهٔ جعبهٔ عنوان (mm × mm)	اندازهٔ نمودار جریان فرایند (mm × mm)	
۱۸۰×۱۹۰	۸۴۱×۱۱۸۹	A۰
۱۳۰×۱۷۵	۵۹۴×۸۴۱	A۱
۱۰۰×۱۵۵	۴۲۰×۵۹۴	A۲
۷۵×۱۲۰	۲۹۷×۴۲۰	A۳

مشخصات و شماره‌گذاری جریان‌ها 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 نزدیک‌ترین محل به خط عمود گذرنده از مرکز همان دستگاه نوشته می‌شود. تجهیزات یدکی مانند پمپ‌ها باید با پسوندهایی نظیر A یا B نشان داده شوند. ضمناً تجهیزات ابزار دقیق نیازی به شماره‌گذاری در نمودار جریان فرایند ندارند.

برچسب هر تجهیزات در نمودار جریان فرایند، با یک اسم و شماره مشخص می‌شود. مثلاً E-101 یعنی مبدل شماره ۱ مربوط به واحد شماره ۱۰۰. لازم است شرایط عملیاتی از قبیل دما، فشار و دبی برای یک جریان در نمودار جریان فرایند نشان داده شوند که این مقادارها در نمادهایی مطابق جدول ۲ وارد می‌شوند. البته لازم است به یکای کمیت‌های مورد استفاده در نمودار جریان فرایند اشاره گردد.

جدول ۲- 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 ۳ نوشته می‌شود.

جدول ۳- 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. به‌عنوان مثال اگر برای نشان دادن مبدل حرارتی از یک نماد استفاده شده است در تمامی قسمت‌های دیگر نمودار جریان فرایند آن کارخانه نیز باید از همین نماد استفاده نمود. زمانی که در استاندارد نمادی برای برخی از تجهیزات وجود نداشته باشد، تحت نظر شرکت، در هنگام اجرای پروژه تصمیم‌گیری می‌شود.

شکل‌ها و نمادها^۱ در نمودار جریان فرایند

نماد تجهیزات

تعدادی از نمادهای مهم تجهیزات که در نمودار جریان فرایند به‌کار برده می‌شوند، در جدول ۴ ارائه شده‌اند.

جدول ۴- 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 ۵ ارائه شده اند.

جدول ۵- 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

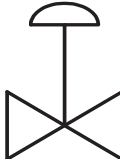
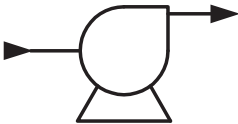
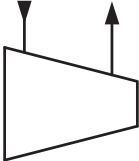
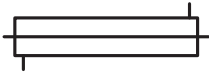
تعدادی از نمادهای مهم جریان‌های سیال که در نمودار جریان فرایند به کار برده می‌شوند در جدول ۶ ارائه شده‌اند.

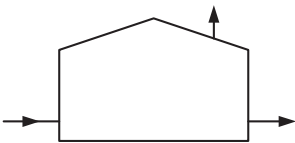
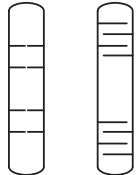
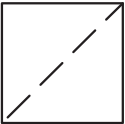
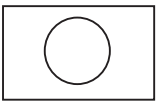
جدول ۶- نمادهای مهم جریان سیال

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

ترسیم و نماد استاندارد تجهیزات فرایندی
استاندارد ترسیم و نماد تعدادی از تجهیزات فرایندی در جدول ۷ ارائه شده است.

جدول ۷- نماد تجهیزات فرایندی

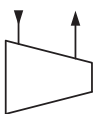
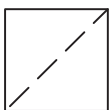
نماد	نام تجهیز		ردیف
	انگلیسی	فارسی	
	Valve	شیر	۱
	Control Valve	شیر کنترل	۲
	Pump	پمپ	۳
	Compressor	کمپرسور	۴
	Shell and Tube Heat Exchanger	مبدل حرارتی پوسته و لوله	۵
	Double Pipe Heat Exchanger	مبدل حرارتی دو لوله	۶

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



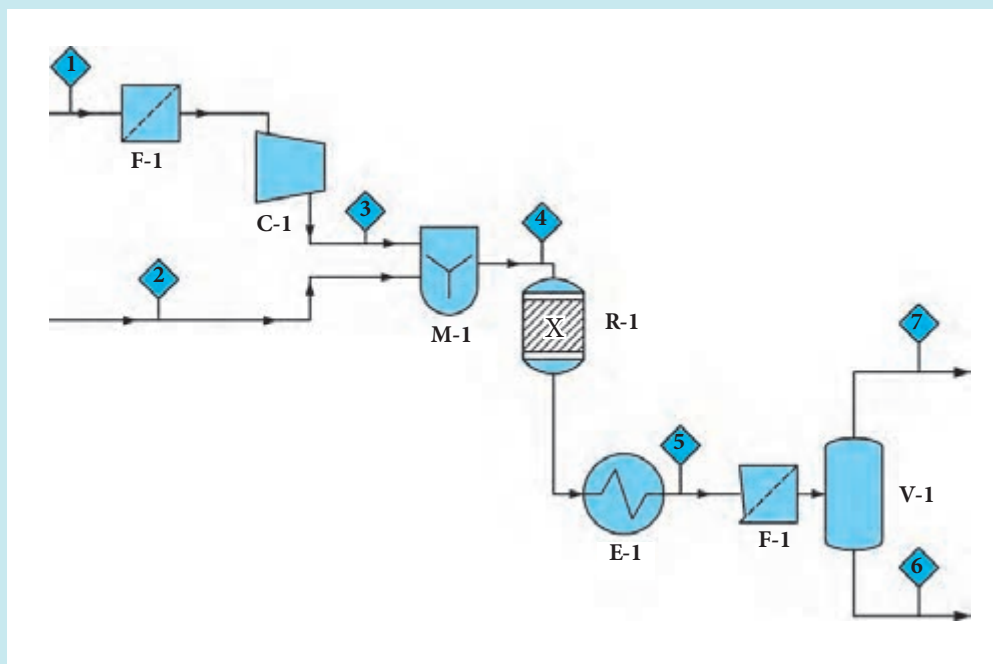
جدول زیر را کامل کنید.

جدول 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	؟



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



نمودار جریان فرایند

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

جدول 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	

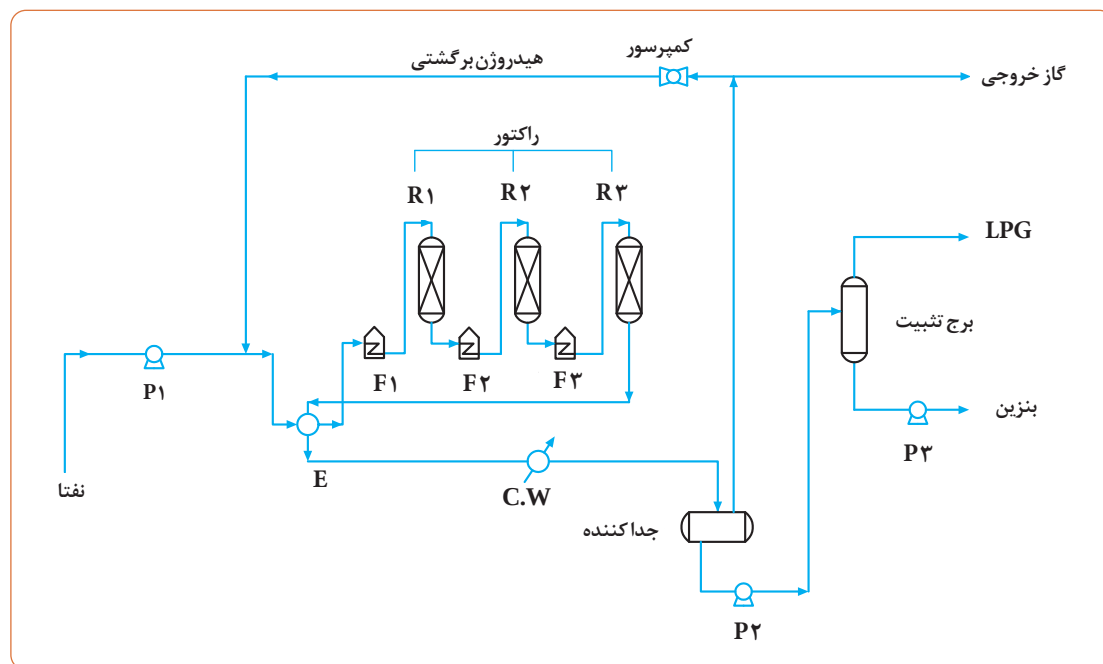
ب) تکمیل نام جریان‌های موجود در جدول زیر

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

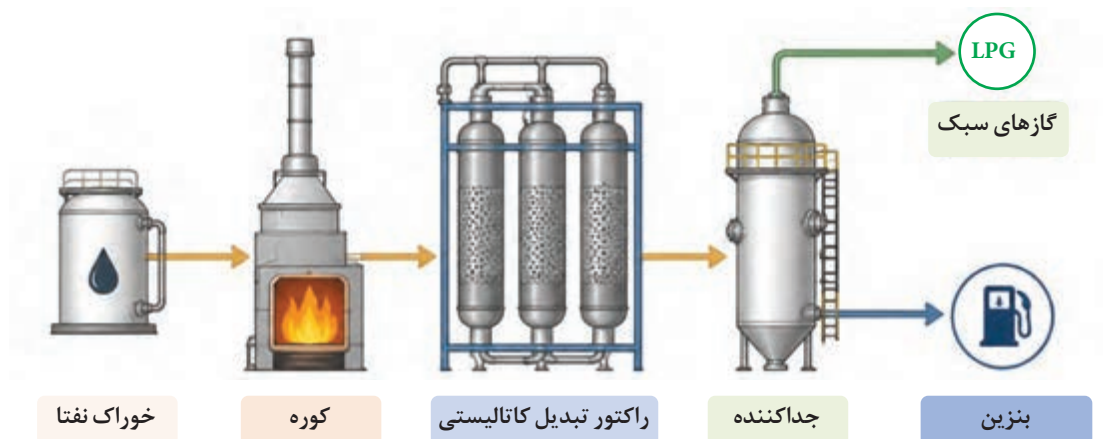


نمودار (ساده شده) جریان فرایند واحد تبدیل کاتالیزگری پالایشگاه نفت

پاسخ:

در این نمودار، نفتا به عنوان خوراک ورودی فرایند توسط پمپ P_۱، پمپ شده و توسط مبدل حرارتی پیش گرم می شود. دمای نفتا، توسط کوره F_۱ تا دمای مورد نظر افزایش یافته و سپس وارد راکتور اول (R_۱) 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 F_۲ وارد راکتور دوم (R_۲) می شوند. مواد خروجی از راکتور دوم نیز پس از گرم شدن در کوره F_۳، وارد راکتور سوم (R_۳) 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 (R_۱) برگردانده می شود و بخشی از آن، از فرایند خارج می شود.

محصول مایع پایین جداکننده نیز توسط پمپ P_۲ به برج تثبیت منتقل می شود. در این برج محصول گازی بالای برج به عنوان گازهای سبک (مانند LPG) و محصول پایین به عنوان بنزین از فرایند خارج می گردند. نمودار جریان اصلی این فرایند در شکل صفحه بعد نشان داده شده است.



در این فرایند، نفتا در حضور کاتالیست و در دمای بالا و فشار مناسب تبدیل به بنزین با اکتان بالا و هیدروژن می‌شود.

فرایند تبدیل کاتالیستی نفتا برای تولید بنزین

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



نمودار جریان فرایند واحد تولید نیتریک اسید در شکل صفحه بعد نشان داده شده است. مطلوب است:
الف) شرح فرایند؛

ب) تعیین اسامی تجهیزات و تکمیل جدول زیر؛

جدول 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	

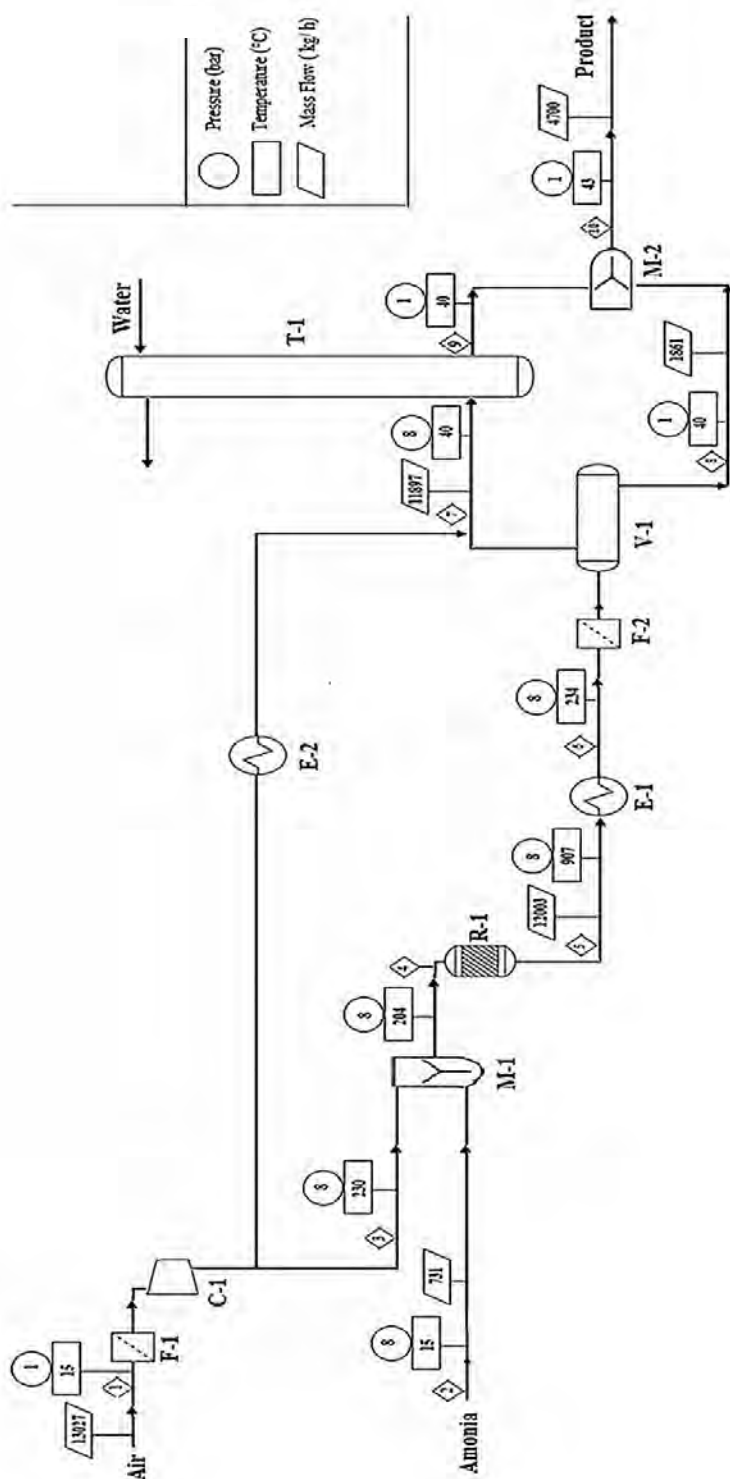
پرسش



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

جدول اسامی جریان‌های نمودار جریان فرایند

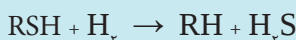
ردیف	نام تجهیز	شماره جریان	دما (سلسیوس)	فشار (بار)	دبی (کیلوگرم بر ساعت)
۱	هوای ورودی				
۲	جریان ورودی به راکتور				
۳	آمونیاک ورودی				
۴	جریان ورودی به صافی دوم				
۵	جریان ورودی به برج جذب				
۶	جریان خروجی از راکتور				
۷	جریان مایع خروجی از جداکننده				
۸	جریان مایع خروجی از برج جذب				
۹	محصول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



نمودار جریان فرایند تولید نیتریک اسید



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



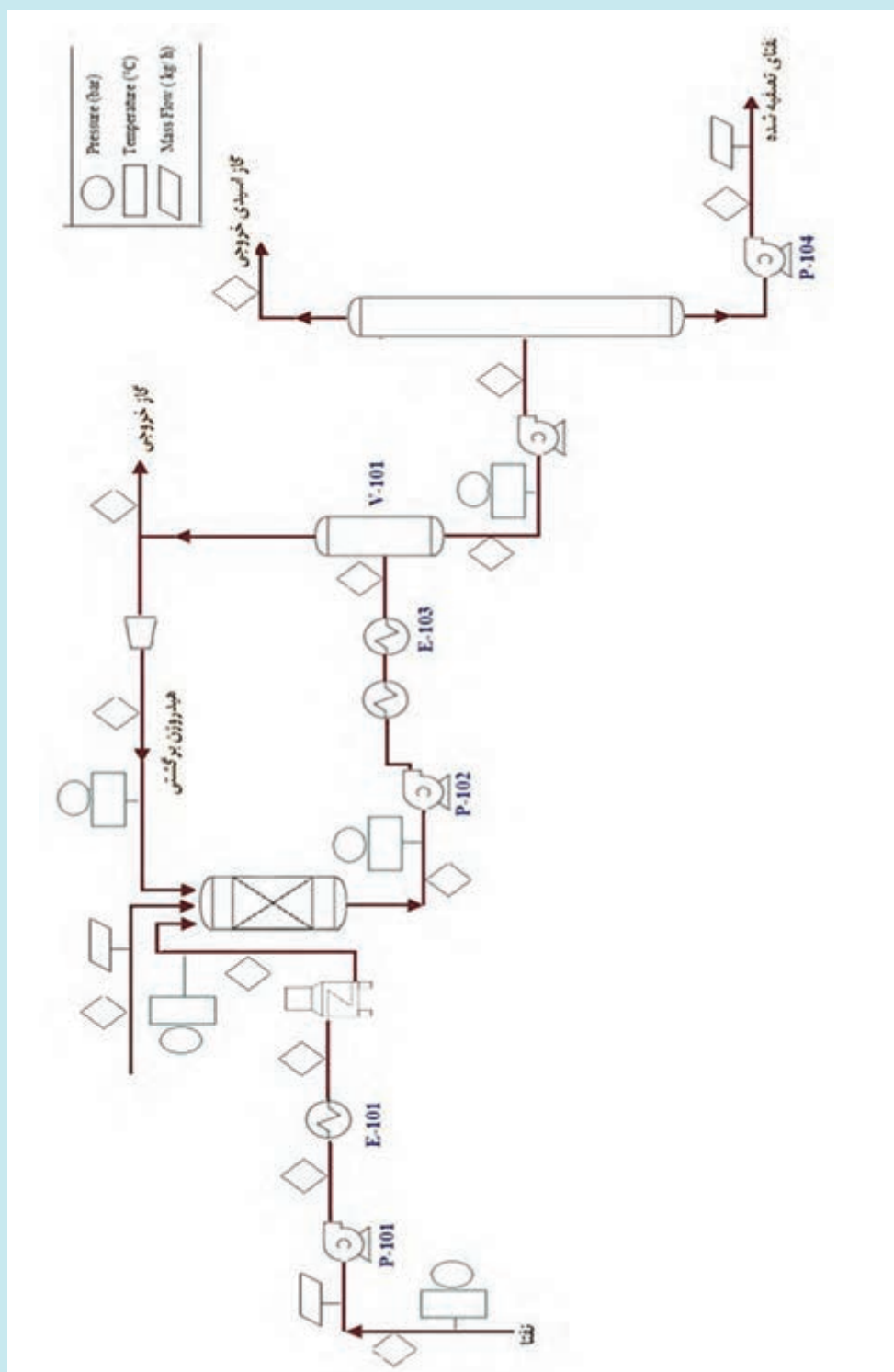
منظور از RSH ترکیبات نفتی گوگرددار است.

نمودار جریان فرایند این واکنش، بدون در نظر گرفتن تجهیزات کنترلی، در شکل صفحه بعد 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 فشارجریان خروجی از کمپرسور (جریان شماره ۹) به ۳۰/۶ بار افزایش یابد و سپس به عنوان جریان هیدروژن برگشتی به راکتور برگشت داده می‌شود. به دلیل تراکم گاز در کمپرسور، دمای جریان هیدروژن برگشتی به ۷۲ 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 تثبیت (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.

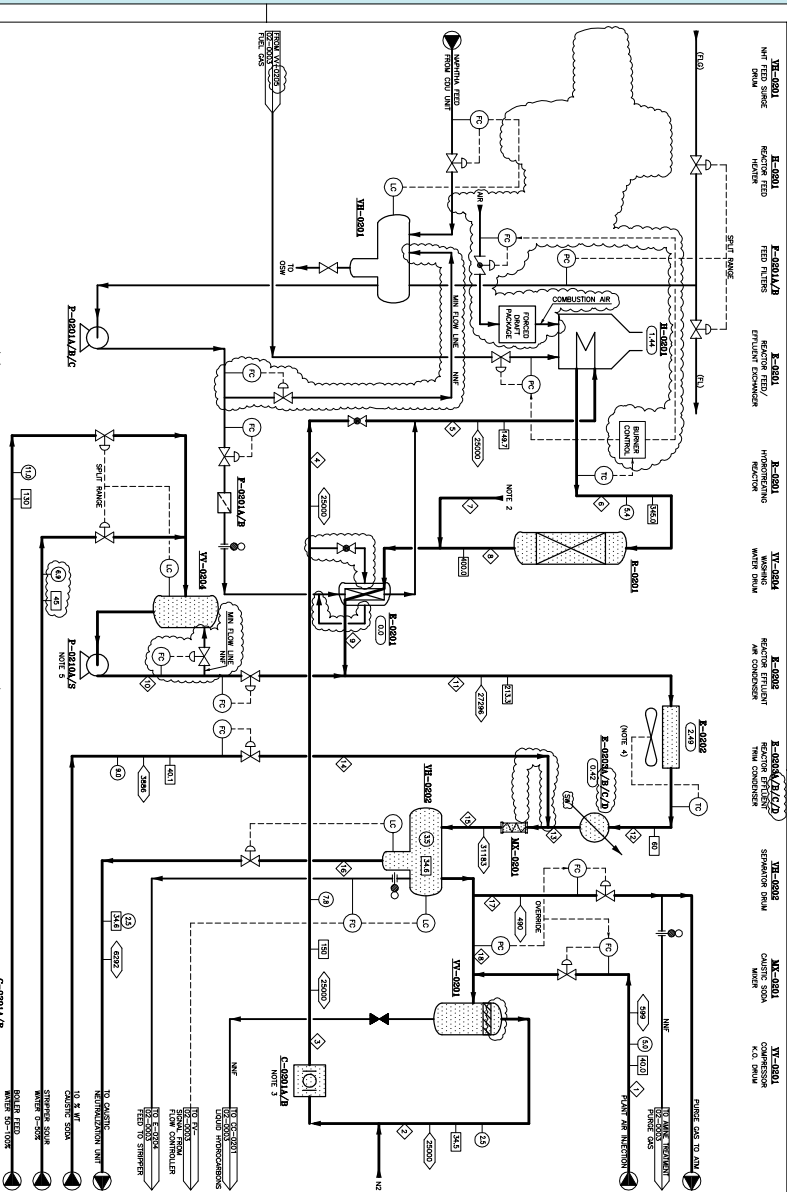


نمودار جریان فرایند گوگرد زدایی نفتا

REFERENCE DRAWINGS	No.
3034-00-ED-FR-470-0001	Srs. 1 to 3

NOTES:

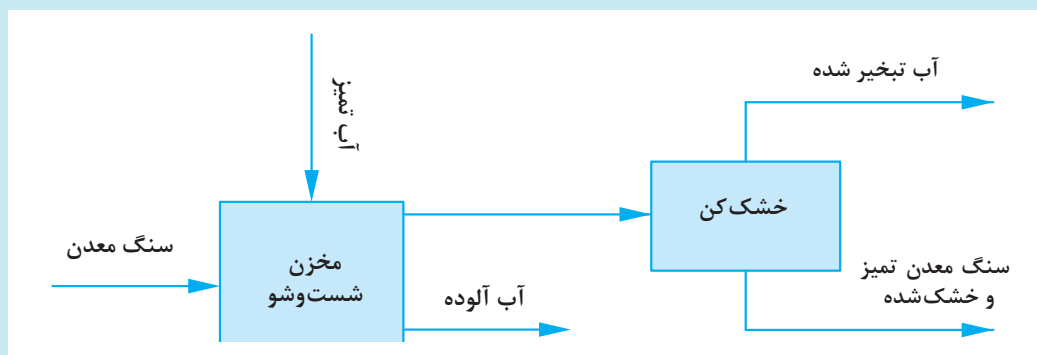
- 1- DURING REGENERATION.
- 2- CONNECTION TO INH CYLINDER.
- 3- TWO COMPRESSORS (A AND B) OPERATING IN PARALLEL DURING REGENERATION.
- 4- SORT PANS VARIABLE PITCH.
- 5- SPARE PUMP IN THE WARDHOUSE.

[illegible][illegible]

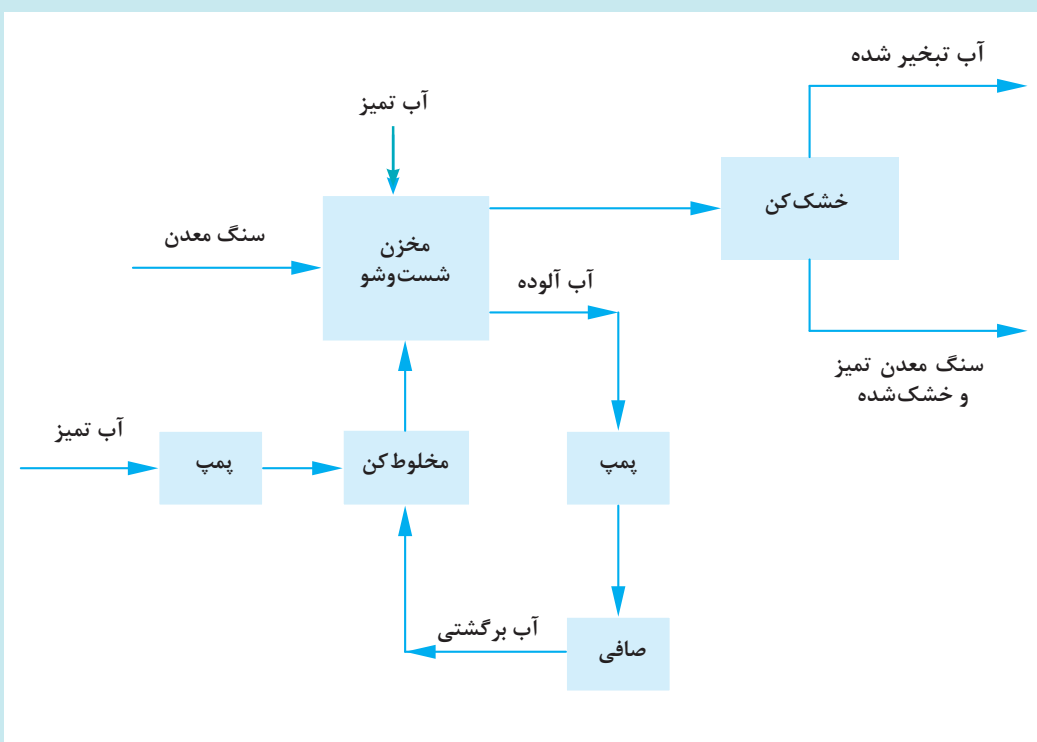
نمودار جریان فرایند گوگردزدایی نفتا به همراه تجهیزات کنترلی



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



نمودار فرایند شست‌وشوی سنگ معدن خام



نمودار جعبه‌ای جریان شست‌وشوی سنگ معدن خام

مطلوب است:

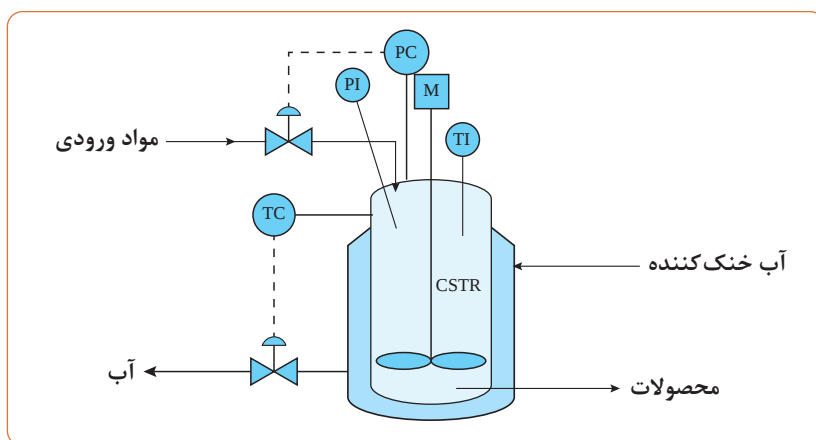
الف) شرح فرایند شست‌وشوی سنگ معدن خام براساس نمودارهای جعبه‌ای جریان؛
 ب) رسم نمودار جریان فرایند بر اساس شکل‌های استاندارد.

نمودار لوله‌کشی و ابزار دقیق (P&ID)

این نوع نقشه بر اساس نمودار PFD رسم 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: فرایندهای کنترلی ارائه شده در نمودار لوله‌کشی و ابزار دقیق شکل زیر را شرح دهید.



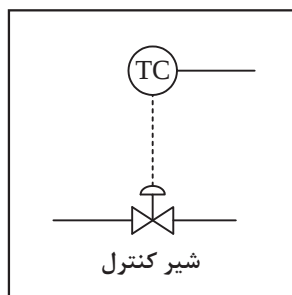
نمودار لوله‌کشی و ابزار دقیق راکتور

پاسخ:

در شکل بالا یک راکتور مخزنی همزن‌دار 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 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.

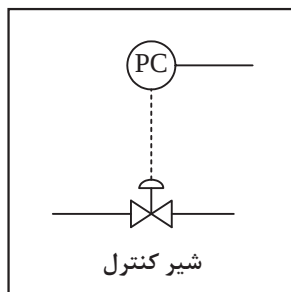
۱- CSTR: Continuous Stirred Tank Reactor

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



شکل 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 می دهد که در نتیجه منجر به تنظیم دمای درون راکتور می گردد. سامانه کنترل فشار در این نمودار لوله کشی و ابزار دقیق، مطابق شکل زیر می باشد. خط توپر متصل به (PC) نشان می دهد که کنترل کننده فشار (PC)، فشار درون راکتور را اندازه گیری می کند. خط چین متصل به (PC) نشان می دهد که کنترل کننده فشار، به شیری که بر روی جریان خوراک ورودی به راکتور نصب شده است، دستور مناسب را جهت کنترل فشار می دهد.

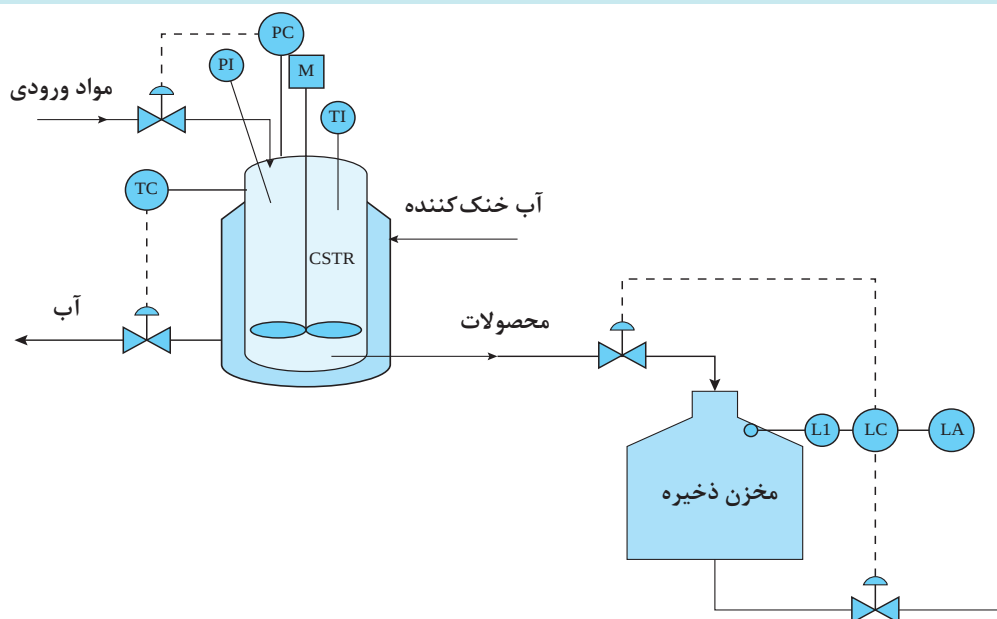


شکل سامانه کنترل فشار در نمودار لوله کشی و ابزار دقیق

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 می دهد که در نتیجه منجر به کنترل فشار درون راکتور می گردد.



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



سامانه کنترل راکتور مخزنی در نمودار لوله‌کشی و ابزار دقیق

با مشاهده به فیلم‌های آموزشی صنایع شیمیایی، نمودارهای لوله‌کشی و ابزار دقیق ساده‌ای از هر کدام را رسم کنید.



فعالیت با کمک هوش مصنوعی
برای یک فرایند ساده و آشنایانند تهیه آب مقطر، تهیه صابون و تهیه میوه خشک به ترتیب نمودارهای زیر را رسم کنید.



- ۱ نمودار جعبه‌ای
- ۲ نمودار جریان فرایند (PFD)
- ۳ نمودار لوله‌کشی و ابزار دقیق (P&ID)

هر کدام از هنرجویان که بتوانند نمودار ساده شده‌ای از جریان فرایند واحدی از واحدهای صنایع شیمیایی را ترسیم کنند و نمره شایستگی ۳ را دریافت کنند، در صورت تمایل نیازی به شرکت در آزمون کتبی واحد یادگیری اول ندارند.



نقشه‌ جانمایی تجهیزات

جانمایی تجهیزات در یک کارخانه صنایع شیمیایی، موضوع مهمی در ایمنی و اقتصاد طرح آن کارخانه می‌باشد. جانمایی می‌تواند از طریق جداکردن و کم کردن خطرات، کم کردن لوله‌کشی‌های آسیب‌پذیر، کاهش تماس با مواد سمی و اشتعال‌پذیر، ساخت کارخانه به شیوه ایمن و اقتصادی، نگهداری مطمئن و اقتصادی، طراحی مناسب اتاق فرمان، تجهیزات کنترل اضطراری، تجهیزات آتش‌نشانی و دسترسی به امکانات در شرایط اضطراری بر فرایندهای شیمیایی مؤثر باشد. البته جانمایی، تأثیر زیادی نیز بر روی اقتصاد فرایند خواهد گذاشت؛ چون با زیاد شدن مساحت کارخانه، اگرچه ایمنی فرایند بیشتر می‌شود، ولی از طرفی هزینه خرید زمین، لوله‌کشی و عملیات واحد بیشتر می‌شود.

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 پمپ‌ها، کمپرسورها، مخزن‌ها، مبدل‌ها، 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 هم‌زمان با نمودار لوله‌کشی و ابزار دقیق تهیه می‌گردد. این نوع نقشه، ضمن نشان دادن ابعاد دستگاه‌ها، محل استقرار آنها و فاصله میان هر یک را نشان می‌دهد. اگر یک واحد صنعتی در چند طبقه طراحی شده باشد، نقشه جانمایی تجهیزات برای هر طبقه باید به طور جداگانه رسم شود (شکل ۱۴).

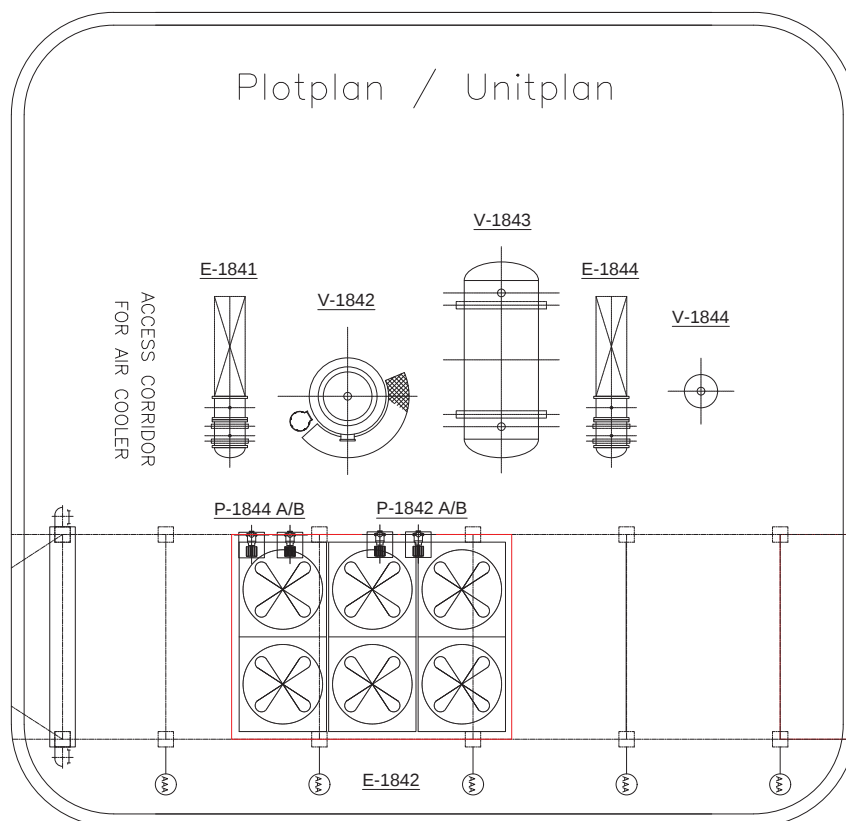


شکل ۱۴ - نمونه‌ای از نقشه سه‌بعدی جانمایی تجهیزات یک فرایند صنایع شیمیایی

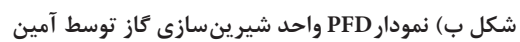


واحد شیرین سازی گاز طبیعی توسط آمین

گاز طبیعی به عنوان یکی از مهم ترین منابع انرژی فسیلی، حاوی ترکیبات ناخواسته ای نظیر کربن دی اکسید (CO_2) و هیدروژن سولفید (H_2S) است مجموعاً با نام گازهای اسیدی شناخته می شوند و حضور آنها در گاز تصفیه شده علاوه بر کاهش ارزش حرارتی موجب خوردگی خطوط لوله و چالش های زیست محیطی می شود. از این رو، فرایند شیرین سازی گاز برای جداسازی این گازهای اسیدی در واحدهای پالایشگاهی گاز ضروری است. با توجه به تعهدات زیست محیطی برای کاهش انتشار گازهای گلخانه ای، صنعت گاز ناگزیر به بهره گیری از فناوری های نوین شیرین سازی است. فرایند متداول شیرین سازی گاز ترش در پالایشگاه ها، جذب شیمیایی گازهای اسیدی با حلال های آمینی است. شکل های الف، ب و ج به ترتیب نشان دهنده نقشه های جانمایی، نقشه های PFD و P&ID فرایند شیرین سازی گاز طبیعی توسط حلال آمینی هستند. شکل ب مربوط به نمودار جریان فرایند کلی است؛ بخشی از این فرایند (که با هاشور مشخص شده) در شکل ج با جزئیات ابزار دقیقی نمایش داده شده است.



شکل الف) نمودار جانمایی واحد شیرین سازی گاز توسط آمین



ارزشیابی شایستگی تفسیر نقشه‌های فرایندی

شرح کار:

- ۱ آشنایی با مفهوم نقشه‌های فرایندی
- ۲ خواندن نقشه‌های فرایندی
- ۳ رسم نقشه‌های فرایندی

استاندارد عملکرد:

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

شاخص‌ها:

- انجام کار طبق دستور کار

شرایط انجام کار و ابزار و تجهیزات:

- مکان: کارگاه
- شرایط دستگاه: آماده به کار
- زمان: یک جلسه آموزشی
- ابزار و تجهیزات: وسایل ایمنی شخصی، ابزار عمومی، رایانه، دیتا پروژکتور

معیار شایستگی:

ردیف	مرحله کار	کمترین نمره قبولی از ۳	نمره هنجار
۱	به کارگیری نمودار جعبه‌ای فرایند (BFD)	۲	
۲	به کارگیری نمودار جریان فرایند (PFD)	۲	
۳	به کارگیری نمودار لوله‌کشی ابزار دقیق (P&ID) و نقشه جانمایی تجهیزات	۱	
	شایستگی‌های غیرفنی، ایمنی، بهداشتی، توجهات زیست‌محیطی و نگرش: ۱- ایمنی: انجام دادن کار با رعایت موارد ایمنی و استفاده از وسایل ایمنی شخصی ۲- نگرش: کاربرد علم نقشه‌کشی و شناسایی تجهیزات و جانمایی آنها ۳- توجهات زیست‌محیطی: انجام دادن کار بدون ریخت و پاش ۴- شایستگی‌های غیرفنی: اخلاق حرفه‌ای، مدیریت منابع، محاسبه کاربست ریاضی	۲	
میانگین نمرات**			

* شایستگی‌های غیرفنی تأثیر مستقیم در نمره واحد یادگیری ندارد؛ ولی شرط لازم برای محاسبه نمره شایستگی‌های فنی و مستمر است.

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

واحد یادگیری ۲

تهیه نقشه‌های فرایندی

مقدمه

در صنایع شیمیایی، نمایش تصویری فرایندها نقش مهمی در درک بهتر مراحل تولید، ارتباط بین واحدها و مسیر جریان مواد دارد. نمودارهای فرایندی از جمله ابزارهای اصلی برای نمایش این اطلاعات هستند و امکان بررسی، تحلیل و انتقال مفاهیم فرایندی را به شکلی ساده و قابل فهم فراهم می‌کنند. امروزه با استفاده از نرم‌افزارهای رایانه‌ای مانند اتوکد^۱ و ویزیو^۲، رسم این نمودارها با دقت و سرعت بیشتری انجام می‌شود. آشنایی با نحوه ترسیم نمودارهای BFD و PFD با استفاده از این نرم‌افزارها، هنرجویان را برای درک بهتر نقشه‌های فرایندی و آماده‌سازی برای فعالیت‌های صنعتی توانمند می‌سازد. در این واحد یادگیری، هنرجویان با روش رسم نمودار جعبه‌ای جریان و نمودار جریان فرایند با استفاده از نرم‌افزارهای اتوکد و ویزیو آشنا خواهند شد.

استاندارد عملکرد

رسم نمودارهای فرایندی با استفاده از نرم‌افزار

شایستگی‌های غیر فنی

- ۱ اخلاق حرفه‌ای: حضور منظم و وقت شناسی - انجام دادن وظایف و کارهای محول - پیروی از قوانین
- ۲ مدیریت منابع: شروع به کار به موقع - مدیریت مؤثر زمان - استفاده صحیح از مواد و تجهیزات
- ۳ کار گروهی: حضور فعال در فعالیت‌های گروهی - انجام دادن کارها و وظایف سپرده شده
- ۴ مستندسازی: گزارش‌نویسی فعالیت‌های کارگاهی
- ۵ محاسبه و کاربست ریاضی

شایستگی‌های فنی

- ۱ رسم نمودار جعبه‌ای جریان (BFD) و نمودار جریان فرایند (PFD) با کمک اتوکد
- ۲ رسم نمودار جعبه‌ای جریان (BFD) با کمک ویزیو
- ۳ رسم نمودار جریان فرایند (PFD) با کمک ویزیو

۱- AutoCAD

۲- Visio

رسم نقشه‌های فرایندی به کمک نرم‌افزار

در سال دهم، با نرم‌افزار اتوکد آشنا شدید و یاد گرفتید چگونه نقشه‌های فنی و تجهیزات صنعتی را رسم کنید. این مهارت پایه‌ای، زمینه را برای کار با نرم‌افزار ویزیو^۱ در سال یازدهم فراهم می‌کند، جایی که می‌توانید نمودارهای فرایندهای شیمیایی را طراحی کنید. به زبان ساده، دانستن اتوکد به دانش‌آموزان کمک می‌کند تا راحت‌تر سامانه‌های فرایندهای شیمیایی را در ویزیو شبیه‌سازی کنند.

با توجه به آموخته‌های سال گذشته در نرم‌افزار اتوکد، فعالیت‌های زیر را انجام دهید.

- ۱ نمودار جعبه‌ای مثال صفحه‌های ۵ و ۷ را با نرم‌افزار اتوکد رسم کنید.
- ۲ نمودار جریان‌های فرایند پرسش صفحه‌های ۲۲، ۲۵ و ۲۸ را با نرم‌افزار اتوکد رسم کنید.

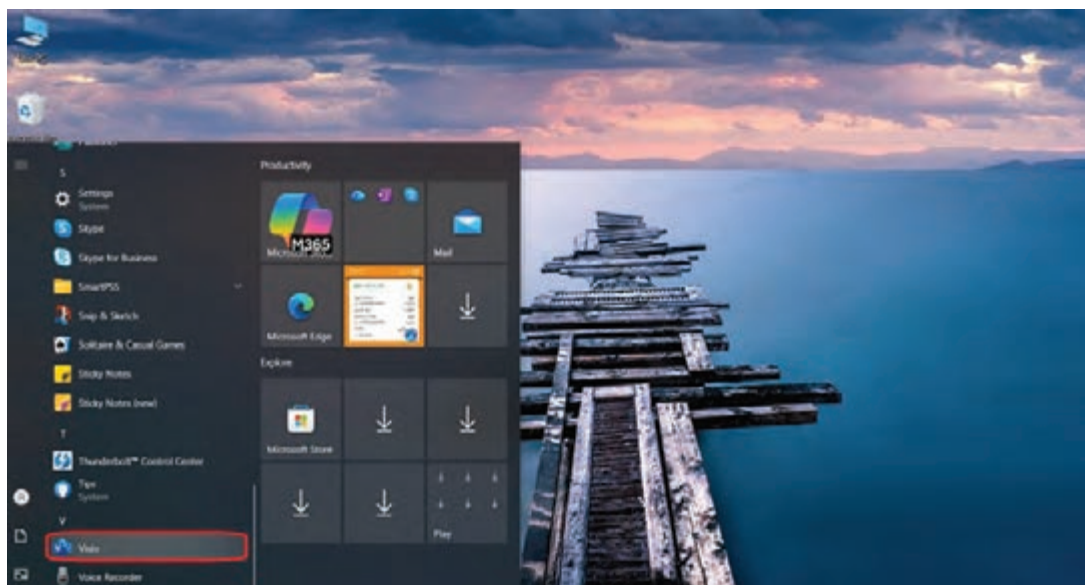
فعالیت
کارگاهی



مراحل کار با نرم‌افزار ویزیو

ویزیو نرم‌افزاری برای طراحی نمودارها است که تحت سیستم عامل ویندوز کار می‌کند. ویزیو را می‌توان به عنوان ابزاری پیشرفته جهت رسم نمودارهای سازمانی و فعالیت‌های کاری نام برد. نرم‌افزار ویزیو قالب‌های حرفه‌ای و جدید و همچنین شکل‌ها و آبجکت‌های پر کاربرد را مطابق با استانداردهای جهانی و به صورت از پیش طراحی شده در اختیار شما قرار داده و به شما کمک می‌کند تا به آسانی رسم نمودارهای پیچیده را انجام دهید. به وسیله ویزیو می‌توانید به طراحی نمودارهای فرایندهای صنایع مختلف شیمیایی بپردازید. برای اجرای نرم‌افزار بر روی دکمه Start کلیک کنید.

- نرم‌افزار Visio را جست‌وجو کنید.
- بر روی گزینه Visio کلیک کنید.
- با کلیک روی نرم‌افزار شکل زیر باز می‌شود.



شکل ۱۵

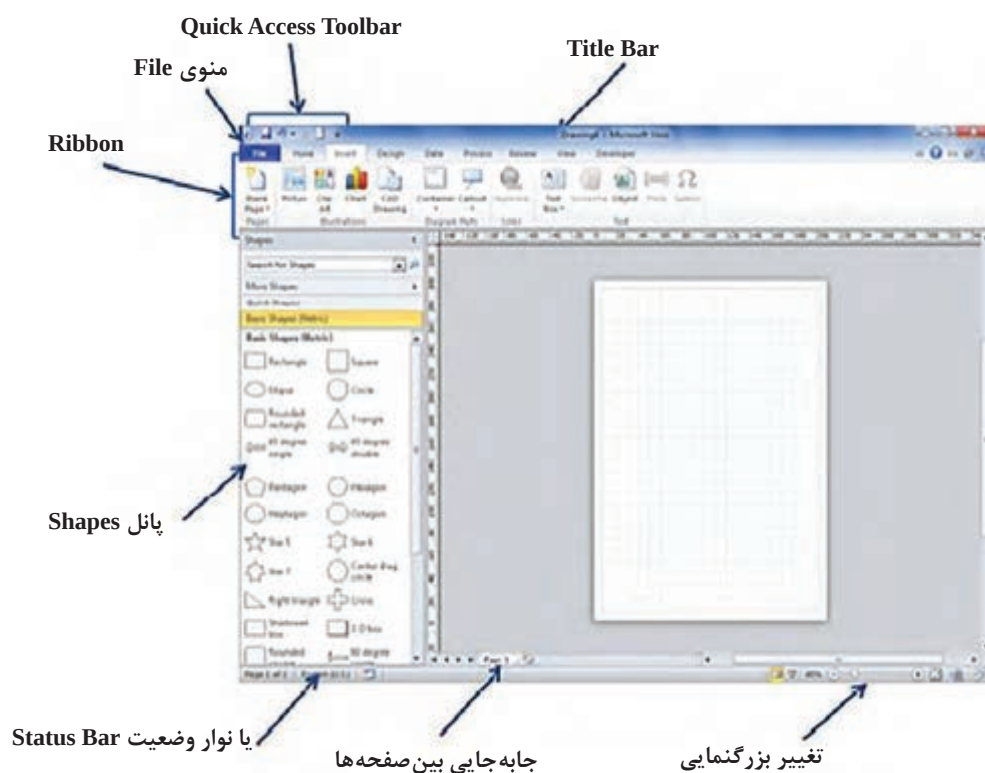
۱- Visio Microsoft

۲- جزئی از نقشه مانند خط، دایره، پمپ و مخزن Object



شکل ۱۶

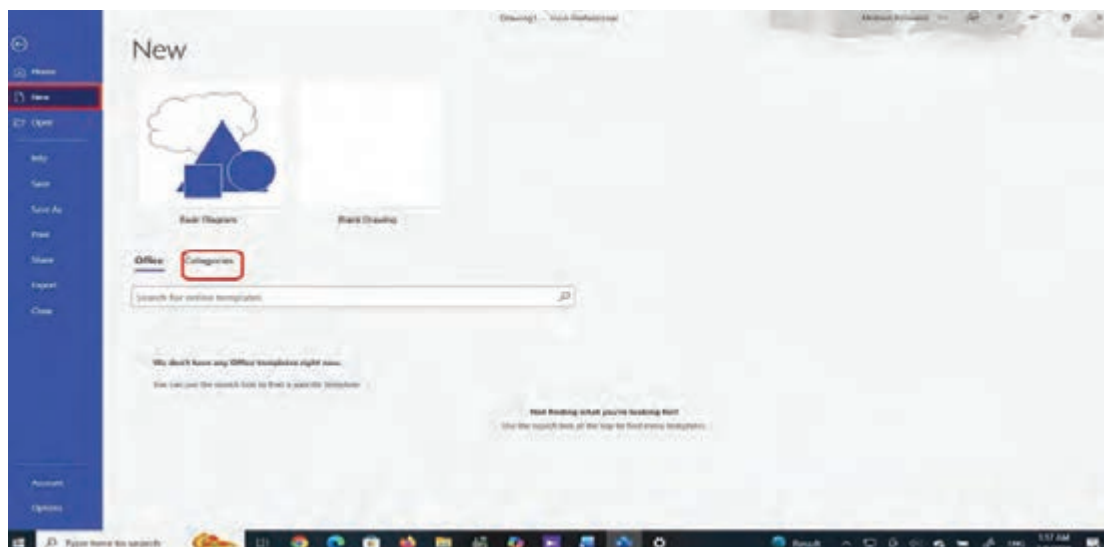
■ گزینه Basic Diagram را انتخاب کرده و به اختیار یکی از یکاها را انتخاب می کنیم و برنامه اجرا می شود.
در شکل زیر بخش های مختلف محیط نرم افزار ویزیو ۲۰۱۰ معرفی شده اند.



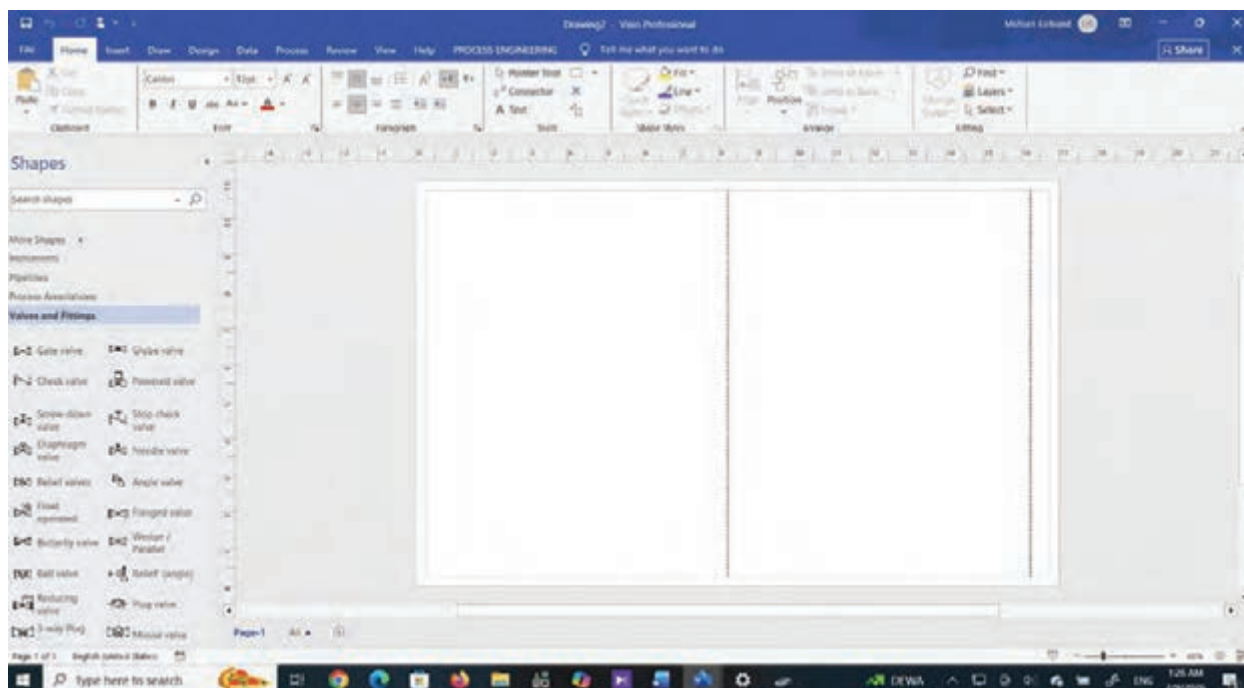
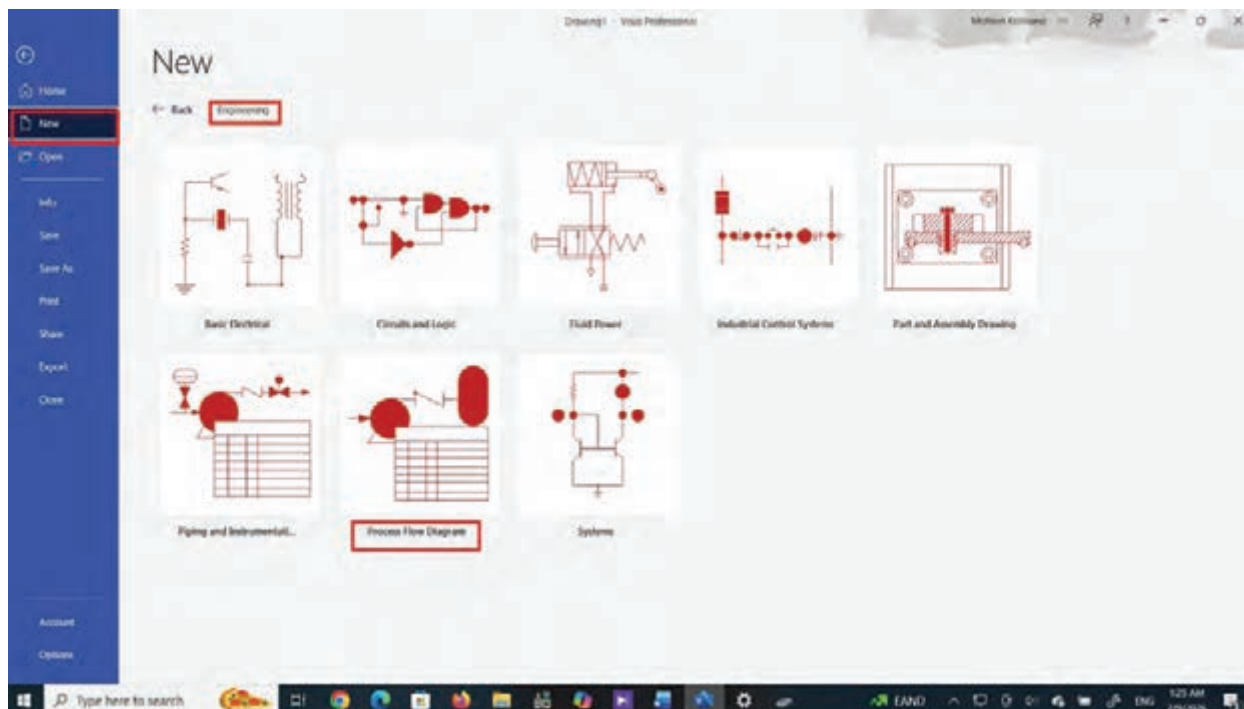
شکل ۱۷

پودمان اول - نقشه‌کشی فرایندها

مراحل زیر را انجام دهید و یک فایل جدید مربوط به PFD با واحد متریک انتخاب کنید.

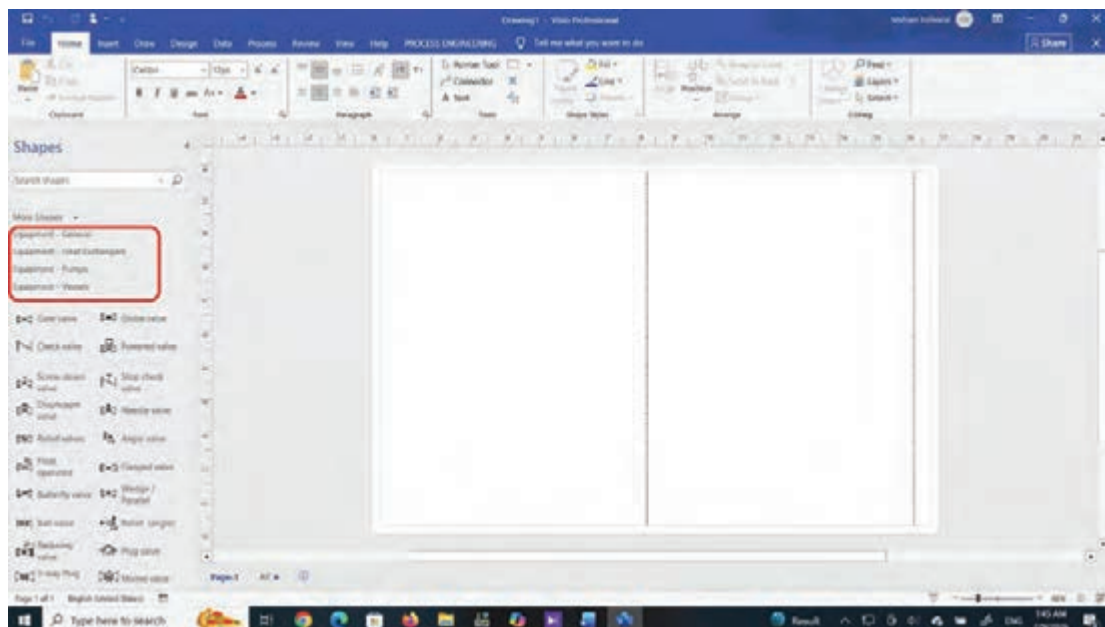


شکل ۱۸



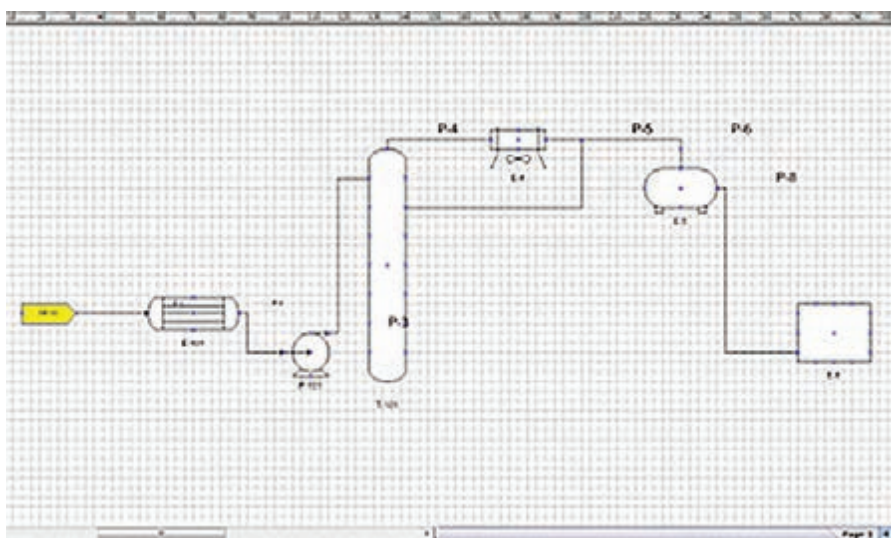
شکل ۱۹

صفحه باز شده آن، اغلب تجهیزات فرایندی را مشخص نموده که با انتخاب آن و درگ کردن می توان به نقشه خود اضافه نمود.



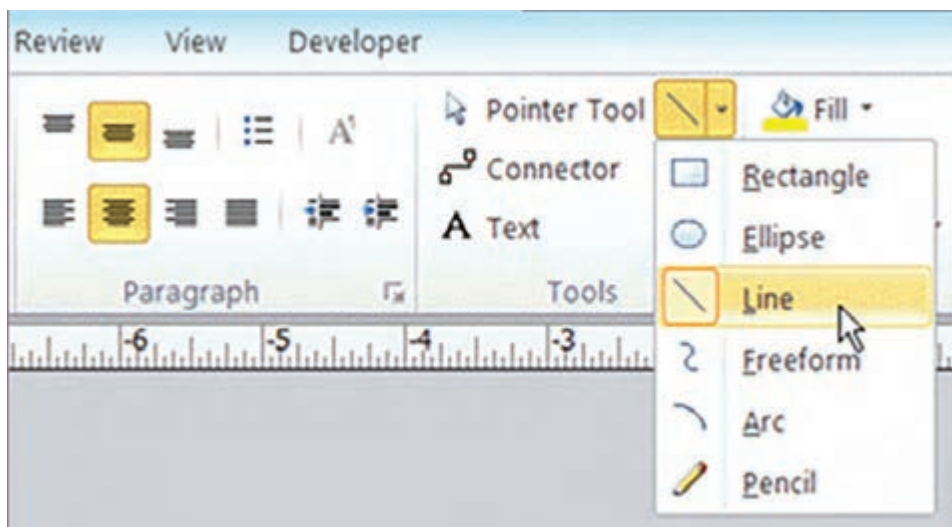
شکل ۲۰

با دانستن و آشنایی با فرایند مورد نظر جانمایی و اتصال تجهیزات از طریق PIPELINE مورد نظر (مسیر اصلی یا جانبی) مشخص می‌شود.



شکل ۲۱

برای رسم ارتباط بین دو شکل، می‌توانید از ابزار Line در گروه Tools از روبان Home استفاده کنید.



شکل ۲۲

روش دیگر استفاده از ابزار Connector می‌باشد. (نوع اتصال این ابزار با Line تفاوت دارد و همچنین جهت‌دار نیز می‌باشد) که با آن می‌توانید از هریک از نقاط اتصال پیرامون شکل اول به هر یک از نقاط شکل دوم درگ کنید (Point to Point Connector).

نوع دیگر استفاده از ابزار Connector این است که نشانگر را روی مرکز شکل برده و به سمت مرکز شکل دوم درگ کنید. ارتباط ایجاد شده در این روش هوشمند بوده و در صورت جابه‌جایی شکل‌ها از نقاط صحیح‌تری از پیرامون شکل برای برقراری ارتباط استفاده می‌کند (Shape to Shape Connector).

روش‌های متصل کردن ابزارهای رسم شده به یکدیگر

بعد از انتخاب Connector رسم شده می‌توانید با درگ کردن نقاط ابتدا و انتهای آن به محل دلخواه از شکل، نوع آن را تغییر دهید.

نکته



۱ برای برقراری ارتباط بین دو شکل، شکل دوم را به سمت شکل اول برده و با ظاهر شدن چهار فلش در چهار طرف شکل اول با جابجایی شکل دوم به سمت جهتی که می‌خواهید ارتباط برقرار شود، بعد از پررنگ شدن فلش شکل دوم را رها کنید.

۲ برای برقراری ارتباط بین دو شکل، بعد از رسم شکل اول، شکل دوم را از شابلن انتخاب کنید و سپس نشانگر را روی شکل اول برده و با ظاهر شدن چهار فلش در چهار طرف شکل، روی فلشی که می‌خواهید شکل دوم قرار گیرد کلیک کنید.

۳ برای برقراری ارتباط بین دو شکل، نشانگر را روی شکل اول برده و با ظاهر شدن چهار فلش چهار طرف شکل، روی فلشی که می‌خواهید شکل دوم در آن جهت ظاهر شود کلیک کرده و به سمت نقطه اتصال دلخواه از شکل دوم حرکت کنید.

۴ می‌توانید بعد از برقراری ارتباط بین دو شکل، شکل سوم را روی خط ارتباط بین دو شکل بکشید تا به‌طور خودکار بین دو شکل درج شود.

برای نوشتن بر روی یک Connector می‌توانید ابتدا آن را انتخاب کرده و سپس شروع به نوشتن کنید. در این حالت متن نوشته شده به‌طور خودکار در وسط خط Connector ظاهر می‌شود.

نکته



۱ نمودارهای جعبه‌ای مثال صفحه‌های ۵ و ۷ را با استفاده از نرم‌افزار ویزیو رسم کنید.

۲ نمودارهای جریان فرایندی پرسش صفحه‌های ۲۲، ۲۵ و ۲۸ را با استفاده از نرم‌افزار ویزیو رسم کنید. هنرجویان فعالیت‌های ۱ و ۲ را به‌درستی انجام دهند و نمره شایستگی ۳ را دریافت کنند، نیازی به شرکت در آزمون پایانی کتبی واحد یادگیری دوم را ندارند.

فعالیت
کارگاهی



ارزشیابی شایستگی تهیه نقشه‌های فرایندی

شرح کار:

- ۱ رسم نمودار جعبه‌ای جریان و نمودار جریان فرایند با نرم‌افزار اتوکد
- ۲ آشنایی با نرم‌افزار ویزیو
- ۳ رسم نمودارهای فرایندی با نرم‌افزار ویزیو

استاندارد عملکرد:

رسم نمودارهای فرایندی با استفاده از نرم‌افزار

شاخص‌ها:

– انجام کار طبق دستور کار

شرایط انجام کار و ابزار و تجهیزات:

- مکان: اتاق رایانه
- شرایط دستگاه: آماده به کار
- زمان: یک جلسه آموزشی
- ابزار و تجهیزات: رایانه، پروژکتور، تخته هوشمند

معیار شایستگی:

ردیف	مرحله کار	کمترین نمره قبولی از ۳	نمره هنجار
۱	رسم نمودار جعبه‌ای جریان (BFD) و نمودار جریان فرایند (PFD) با کمک اتوکد	۱	
۲	رسم نمودار جعبه‌ای جریان (BFD) با کمک ویزیو	۱	
۳	رسم نمودار جریان فرایند (PFD) با کمک ویزیو	۲	
	شایستگی‌های غیرفنی، ایمنی، بهداشتی، توجهات زیست‌محیطی و نگرش: ۱- ایمنی: انجام دادن کار با رعایت موارد ایمنی و استفاده از وسایل ایمنی شخصی ۲- نگرش: به کار بردن علم ریاضی در موازنه مواد و دقت در محاسبات ۳- توجهات زیست‌محیطی: انجام دادن کار بدون ریخت و پاش ۴- شایستگی‌های غیرفنی: اخلاق حرفه‌ای، مدیریت منابع، محاسبه کار بست ریاضی	۲	
میانگین نمرات **			

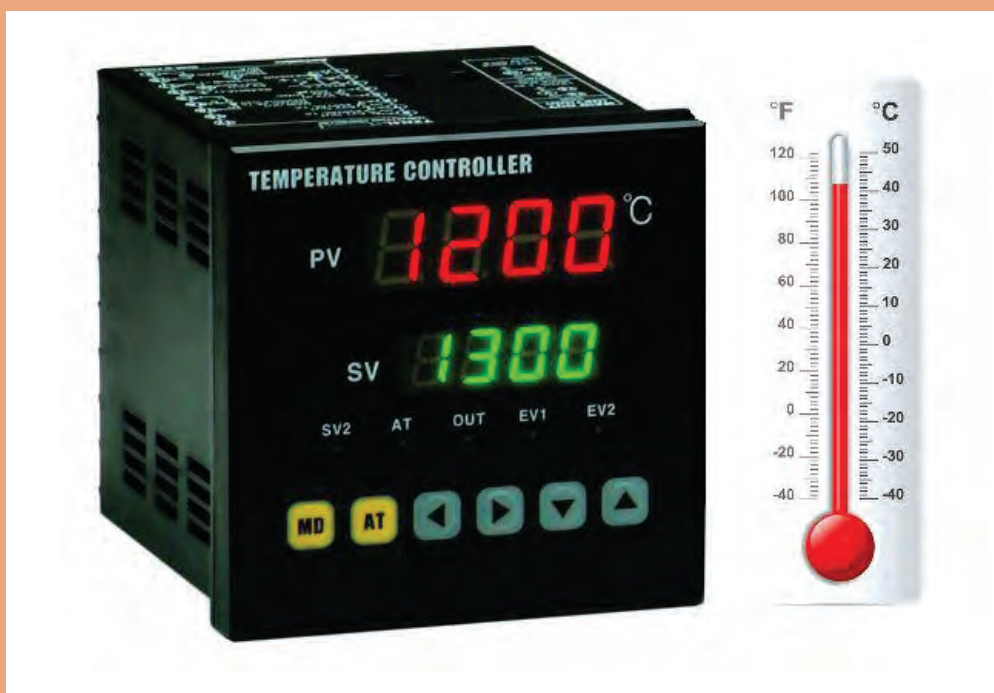
* شایستگی‌های غیرفنی تأثیر مستقیم در نمره واحد یادگیری ندارد؛ ولی شرط لازم برای محاسبه نمره شایستگی‌های فنی و مستمر است.

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



پودمان ۲

اندازه‌گیری، ثبت و کنترل دما



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

واحد یادگیری ۱

اندازه‌گیری دما

مقدمه

اندازه‌گیری مقادیر کمیت‌های اصلی مانند دما از مهم‌ترین مباحث در صنایع شیمیایی و علوم مهندسی است. هر چه اندازه‌گیری این کمیت‌ها دقیق‌تر انجام شود، خطرات محیط صنعتی کاهش یافته و ایمنی فرایند افزایش می‌یابد. در برخی از فرایندهای شیمیایی، دما تنها نشان‌دهنده پیشرفت واکنش است. از سوی دیگر، دما تأثیر مستقیم بر کیفیت محصولات و ایمنی فرایند دارد. به همین دلیل، اندازه‌گیری دقیق دما اهمیت فراوانی در کنترل فرایند، بهینه‌سازی تولید و جلوگیری از حوادث صنعتی دارد. در این واحد یادگیری، هنرجویان با مفاهیم، روش‌ها و محاسبات مربوط به اندازه‌گیری دما آشنا شده و توانایی به‌کارگیری آنها در شرایط عملی و صنعتی را کسب خواهند کرد.

استاندارد عملکرد

به‌کارگیری محاسبات و اندازه‌گیری دما مطابق دستورکار

شایستگی‌های غیرفنی

- ۱ اخلاق حرفه‌ای: حضور منظم و وقت‌شناسی - انجام وظایف و کارهای محول - پیروی از قوانین
- ۲ مدیریت منابع: شروع به کار به موقع - مدیریت مؤثر زمان - استفاده صحیح از مواد و تجهیزات
- ۳ کار گروهی: حضوری فعال در فعالیت‌های گروهی - انجام کارها و وظایف سپرده شده
- ۴ مستندسازی: گزارش‌نویسی فعالیت‌های کارگاهی
- ۵ محاسبه و کاربرست ریاضی

شایستگی‌های فنی

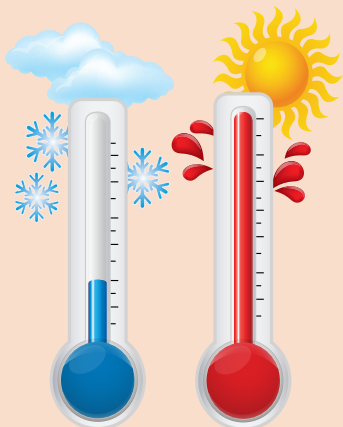
- ۱ به‌کارگیری مفاهیم اندازه‌گیری دما
- ۲ به‌کارگیری محاسبات در اندازه‌گیری دما
- ۳ انجام روش‌های اندازه‌گیری دما

مفهوم دما

بحث گروهی



پیرامون تصویر داده شده با هم گروهی‌های خود گفت‌وگو کنید.



آزمایش



سه ظرف یکسان حاوی آب با دماهای مختلف

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



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

با بیان این جمله، شما به هیچ وجه معلوم نکرده‌اید که چای چقدر سرد می‌شود. برای بیان پاسخ مشخص‌تر، از 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 ۱).



شکل ۱- 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؟

یک‌ها 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.

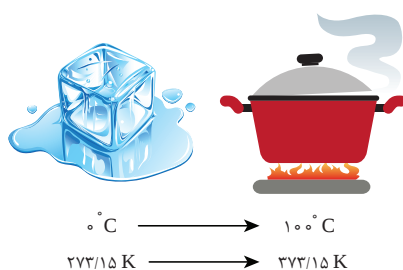


آندره سلسیوس منجم سوئدی در ۲۷ نوامبر ۱۷۰۱ میلادی به دنیا آمد و در ۲۵ آوریل ۱۷۴۴ میلادی درگذشت. او بنیان‌گذار رصدخانه آپسالا^۳ بود و در سال ۱۷۴۲ میلادی مقیاس دمای مشهور سلسیوس را پیشنهاد داد.

بیشتر بدانید



■ **درجه کلون:**^۴ هنگامی که یک جسم سرد می‌شود، جنبش اتم‌ها و مولکول‌های آن کند می‌گردد. به‌عنوان مثال هنگام سرد شدن آب (مایع)، جنبش مولکول کند شده و اگر سرد شدن خیلی ادامه یابد، مولکول‌های آب بی‌حرکت شده و آب به‌صورت یخ (جامد) درمی‌آید. در تمام مواد، یک دمای حداقل وجود دارد که در آن دما، تمام جنبش مولکول‌ها به کمترین مقدار ممکن می‌رسد. دمای این نقطه را «صفر مطلق» می‌نامند. این یکا به افتخار ویلیام تامسون که به نام لرد 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



شکل ۲- دو مقیاس دمایی در سامانه بین‌المللی (SI)

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 ۲). لذا مقیاس دمایی سلسیوس را مقیاس دمایی نسبی و مقیاس دمایی کلون، که در آن صفر مطلق مطرح است را، مقیاس دمایی مطلق می‌نامند.

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

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

۱- SI (System International)

۲- Celsius

۳- Uppsala

۴- Kelvin



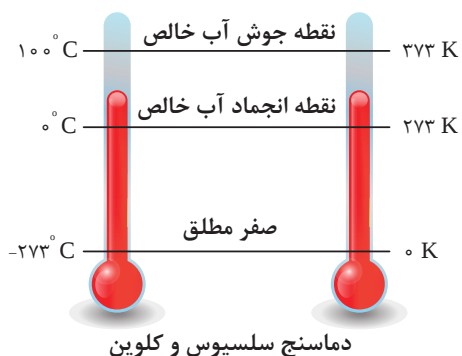
جهت سادگی محاسبات، برای تبدیل دمای سلسیوس به کلوین از عدد ثابت ۲۷۳ استفاده می‌شود.

مثال: 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 روبه‌رو).



- 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؟

جدول ۱- برخی دماهای رایج

ردیف	عنوان	دما (°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
ردیف	عنوان	دما (°C)
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



در جدول بالا، 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

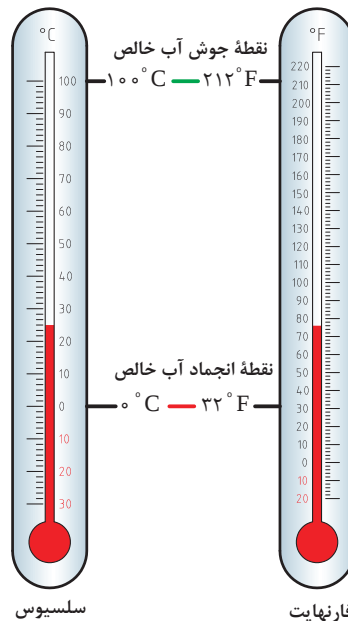


گابریل فارنهایت دانشمند آلمانی (۱۷۳۶-۱۶۸۶)



رابطه بین درجه سلسیوس و فارنهایت مطابق معادله (۲) بوده و در شکل ۳ نشان داده شده است.

$$T(^{\circ}\text{F}) = T(^{\circ}\text{C}) \times \frac{9}{5} + 32 \quad (2)$$



شکل ۳- مقایسه دماهای سلسیوس و فارنهایت

۱- FPS (Foot-Pound-Second)

۲- Daniel Gabriel Fahrenheit

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

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

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

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

پرسش



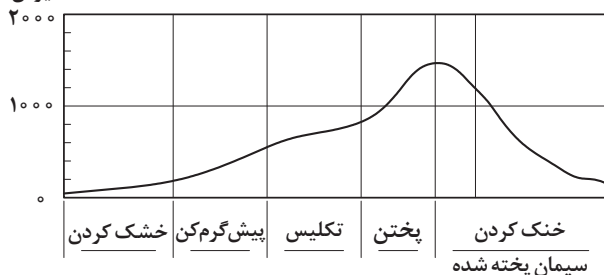
با توجه به شکل و جدول ارائه شده به سؤالات زیر پاسخ دهید:
 الف) دماسنج داده شده بر اساس چه مقیاس‌هایی درجه‌بندی شده است؟
 ب) جدول زیر را با این دماسنج به‌طور تقریبی کامل کنید.

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

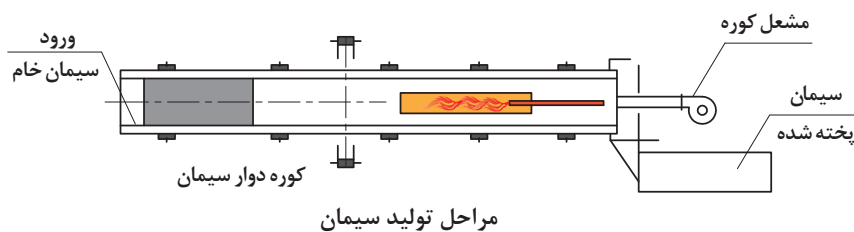
ج) دماهای واردشده را با استفاده از معادله (۲) به مقیاس فارنهایت تبدیل کنید.

مقایسهٔ دماهای سلسیوس و فارنهایت

دما (سلسیوس)



مثال: مراحل تهیهٔ سیمان در شکل زیر نشان داده شده است. دمای پایانی هر مرحله از کوره سیمان را برحسب درجهٔ کلون و فارنهایت به‌دست آورید.



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 کلونین:

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

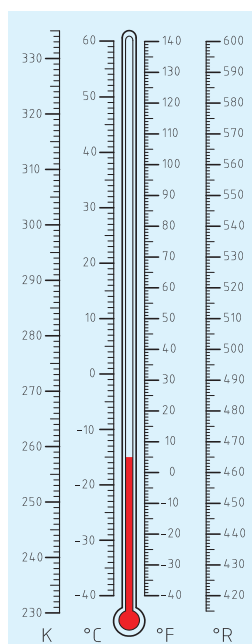
■ دمای کوره برحسب فارنهایت:

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 کلونین)

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:** 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 ۴ مقایسه دماهای سلسیوس، فارنهایت، کلونین و رانکین نشان داده شده است.

شکل ۴- مقایسه دماهای سلسیوس، فارنهایت، کلونین 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 کلون 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 کلون 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 کلون، 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، کلون و رانکین.

مثال: دمای هوای شهر تهران در تابستان ۳۵ درجه سلسیوس می‌باشد. دمای هوا را بر حسب درجه‌های کلون، فارنهایت و رانکین محاسبه کنید.

پاسخ:

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

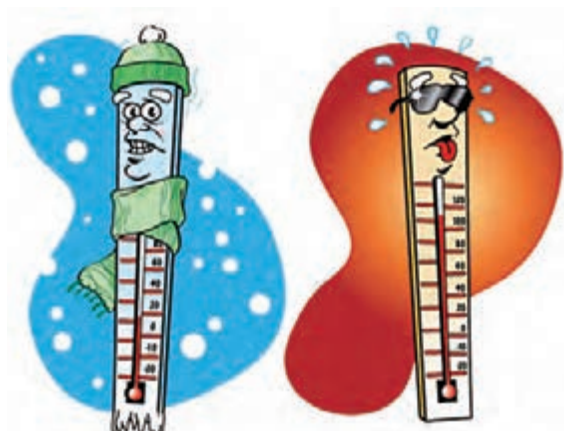
$$T(^{\circ}\text{K}) = T(^{\circ}\text{C}) + ۲۷۳ \rightarrow T(^{\circ}\text{K}) = ۳۵ + ۲۷۳ = ۳۰۸ \text{ }^{\circ}\text{K}$$

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

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

بنابراین:

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



دماسنج وسیله‌ای است که میزان سرما و گرما را نشان می‌دهد و 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: گاليله 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 گاليله پیشنهاد کرد. پیشنهاد وی همان بطری وارونه گاليله 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. سر لوله را چنان محکم بست که الکل نتواند تبخیر شود. سرانجام در سال ۱۶۴۰ میلادی دانشمندان آکادمی لینچی^۶ در ایتالیا نمونه‌ای از دماسنج‌های جدیدی را ساختند که در آن جیوه به کار برده و هوا را تا حدودی از قسمت بالای 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.

۱- Thermometer

۲- Thermos

۳- Metron

۴- Rey

۵- Tuseany

۶- Linchi

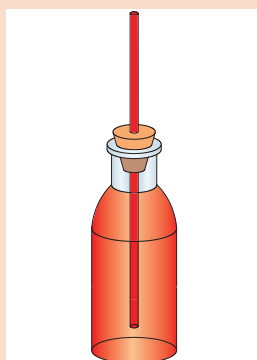
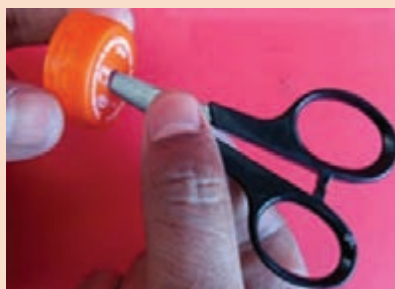


ساخت یک دماسنج ساده

وسایل لازم: شیشه کوچک با درب چوب پنبه - لوله شیشه‌ای یا نی بسیار نازک - 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 کنید.

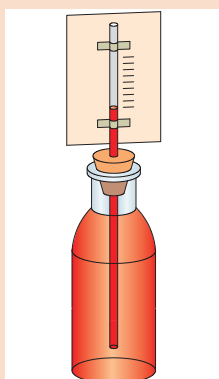
مراحل کار:

- 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.

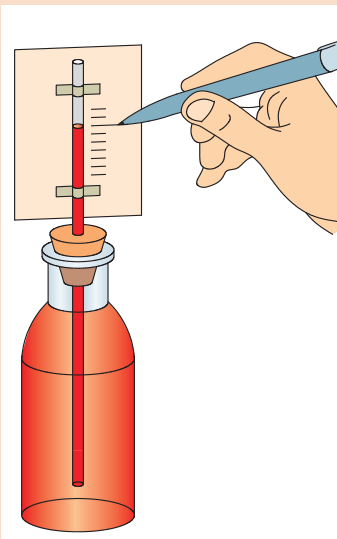


- ۳ لوله شیشه‌ای یا نی را از درون درپوش عبور داده، به گونه‌ای تنظیم کنید که تا انتهای شیشه برسد ولی به کف آن نچسبد (باریکی نی موجب می‌شود تغییرات ارتفاع در دمای مختلف سریع و واضح‌تر باشد).
- ۴ پس از عبور لوله شیشه‌ای لازم است دور تا دور سوراخ را کاملاً بسته و آب‌بندی نمایید. این کار را به کمک چسب آکواریوم 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 لوله شیشه‌ای بچسبانید.
- ۷ مقداری یخ در ظرفی ریخته و منتظر بمانید که یخ‌ها شروع به ذوب شدن نمایند، به گونه‌ای که درون ظرف مخلوطی از آب و یخ داشته باشید. سپس شیشه 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 درجه 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 نقطه ۱۰۰ درجه علامت بزنید.

دمای ۱۰۰ درجه سلسیوس نقطه جوش آب در سطح دریا است. در ارتفاعات بالاتر نقطه جوش آب کمتر از ۱۰۰ درجه خواهد بود.

نکته



۹ فاصله 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 کنید.

پرسش



با توجه به فعالیت عملی انجام یافته، به پرسش‌های زیر پاسخ دهید:

۱ دماسنج ساخته شده براساس چه مقیاسی دما را اندازه‌گیری می‌کند؟

۲ چگونه می‌توان دقت این دماسنج را بالا برد؟

۳ آیا می‌توان از این دماسنج جهت اندازه‌گیری دمای فریزر استفاده کرد؟ چرا؟ برای این منظور چه راه حلی پیشنهاد می‌کنید؟

۴ به کمک این دماسنج، دمای هوا را در زمان‌های مختلف اندازه‌گیری کنید. آیا دماهای اندازه‌گیری شده، یکسان‌اند؟

۵ آیا اگر فرد دیگری چنین دماسنجی بسازد، دمایی که دماسنج او از یخ در حال ذوب نشان می‌دهد با دماسنج شما برابر خواهد بود؟

انواع دماسنج

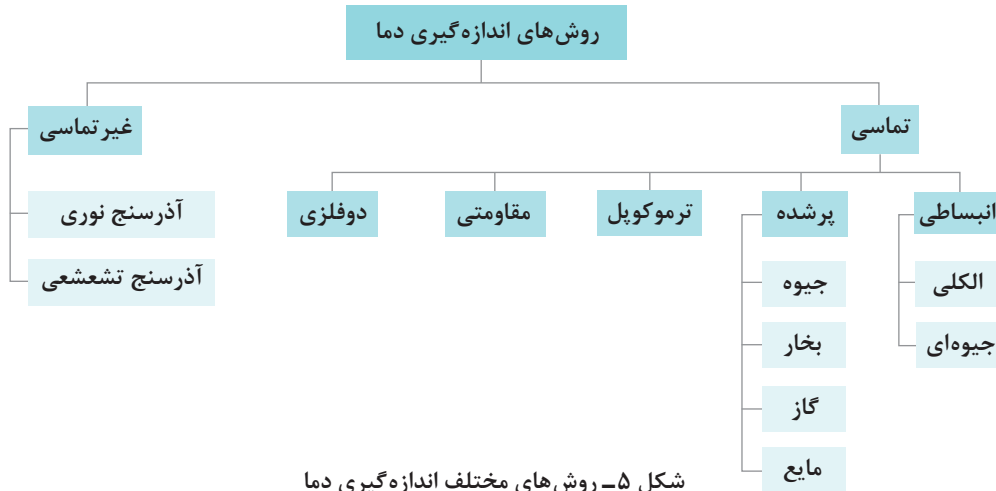
دماسنج‌ها، وسایلی برای اندازه‌گیری دما هستند. انواع دماسنج‌ها براساس روش‌های مختلف اندازه‌گیری دما طراحی شده‌اند.

بسیاری از کمیت‌های فیزیکی مانند حجم با دما تغییر می‌کنند.

نکته



در شکل ۵ روش‌های مختلف اندازه‌گیری دما نشان داده شده است.



شکل ۵- 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.

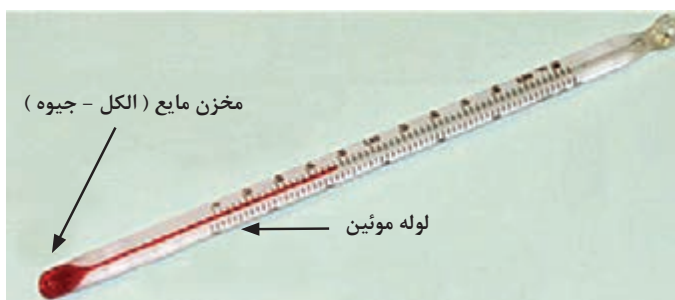
حسگر دما قسمتی از دماسنج است که به‌طور مستقیم در تماس با جسم مورد نظر بوده و باید با آن هم‌دما شود.

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 دماسنج‌ها از یک لوله شیشه‌ای باریک (موئین) سر بسته 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 ۶). البته به این دماسنج‌ها، دماسنج ساقه شیشه‌ای نیز گفته می‌شود.



شکل ۶- دماسنج‌های الکلی - جیوه‌ای

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.

نکته



پرسش



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



- 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، صفحه ۵۴ 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؟

نکته ایمنی



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.

پرسش



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 ($^{\circ}\text{C}$)	انتخاب دماسنج
۱	استیک اسید	دمای جوش	۱۱۸	
۲	سیکلو هگزان	دمای جوش	۸۰/۷۴	
۳	کلروفرم	نقطه ذوب	-۶۳/۵	
۴	است ون	نقطه ذوب	-۹۵	

تحقیق کنید



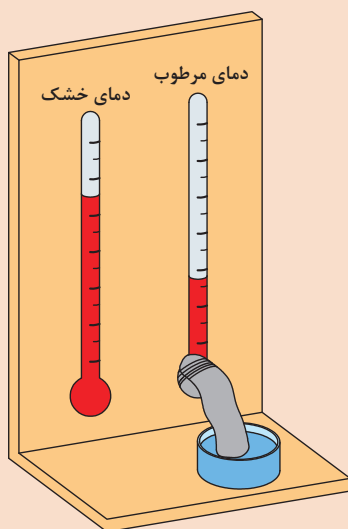
با استفاده از منابع اینترنتی، مزایای دو نوع دماسنج جیوه‌ای و الکلی را بررسی نمایید.



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

دمای خشک هوا، میزان دمایی است که توسط دماسنجی که در معرض هوا قرار دارد، خوانده می‌شود. دمای مرطوب هوا نیز یکی 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:



آزمایش تعیین رطوبت نسبی هوا

۱ دو دماسنج جیوه‌ای را مطابق شکل 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 زیر رطوبت نسبی هوا را به‌دست آورید.

جدول 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

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

فعالیت
کارگاهی



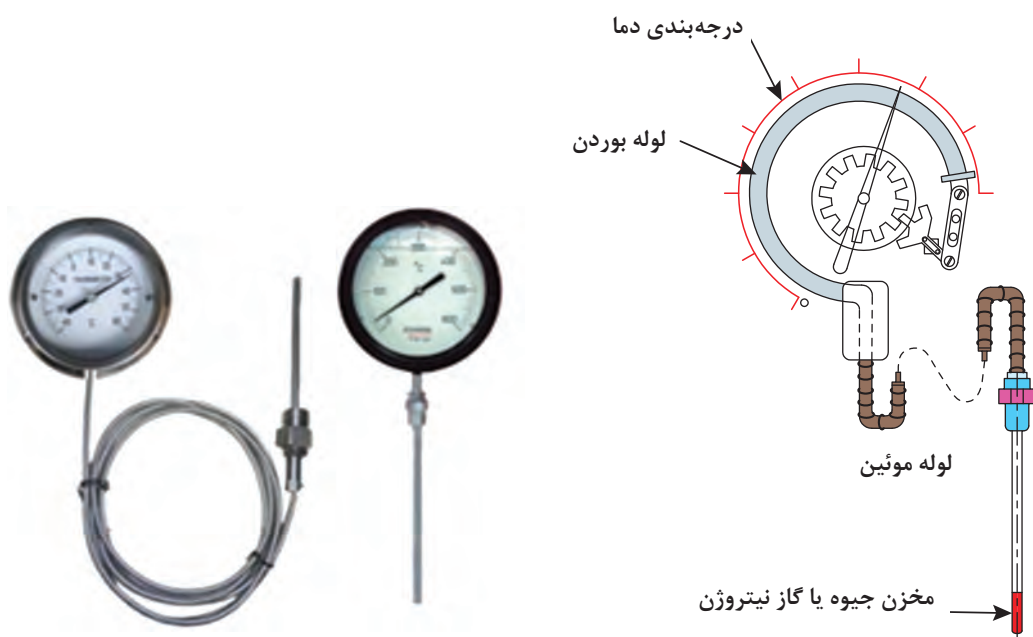
از مقایسه نتایج دو فعالیت کارگاهی اخیر چه برداشتی می‌کنید؟

پرسش



دماسنج‌های پر شده^۱

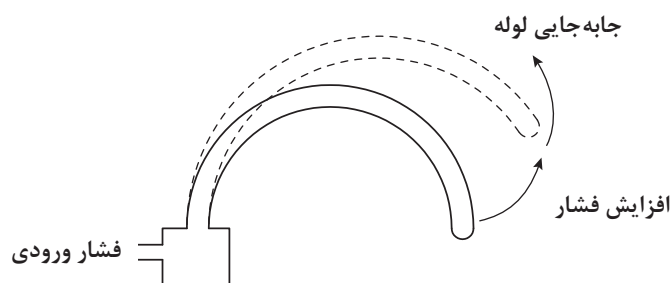
دماسنج پر شده که به دماسنج دنباله‌دار هم معروف است شامل یک حباب به عنوان حسگر دما از جنس شیشه، چینی، کوارتز و یا پلاتین است که جنس حباب بستگی به گستره دمایی که دماسنج در آن به کار می‌رود، دارد. حباب به وسیله یک لوله مسدود (لوله بوردن) نازک که درون آن با یک گاز ایده‌آل مانند نیتروژن پر شده است به یک فشارسنج متصل شده است (شکل‌های ۷ و ۸).



شکل ۸- نمای بیرونی دماسنج پر شده

شکل ۷- 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 لوله‌بوردن می‌شود. این اثر به پدیده‌بوردن مشهور است (شکل ۹) و عقربه‌فشارسنج که برحسب دما درجه‌بندی شده تغییر می‌کند و افزایش دما را نشان می‌دهد.



شکل ۹- نمایش پدیده‌بوردن

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

- سامانه پر شده با مایع، مثل جیوه یا الکل؛
- سامانه پر شده با بخار، مثل اتر؛
- سامانه پر شده با گاز، مثل نیتروژن یا هلیوم؛

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 دماسنجهای 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



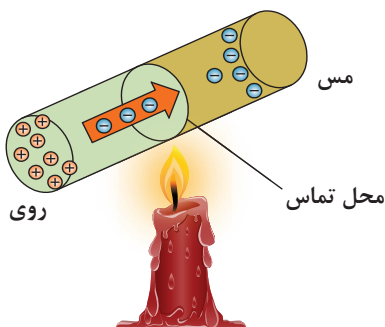
تفاوت بخار و گاز

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



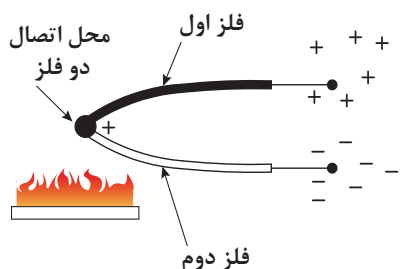
دماسنج‌های پر شده در چه محدوده دمایی قابل استفاده می‌باشند؟



شکل ۱۰- تغییر بار در اثر تغییر دما

ترموکوپل

هر تغییری در دمای یک فلز، باعث به حرکت در آمدن 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 ۱۰). با استفاده از این خاصیت و با اندازه‌گیری میزان اختلاف بار الکتریکی می‌توان تغییرات دما را تعیین نمود.



شکل ۱۱- 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 ۱۱ 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

هر قدر 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. ترموکوپل‌ها ابزار حساس و ظریفی هستند که در به‌کارگیری به‌خصوص در نصب و ساخت نیاز به احتیاط زیاد دارند. شکل ۱۲، یک ترموکوپل صنعتی را نشان می‌دهد.



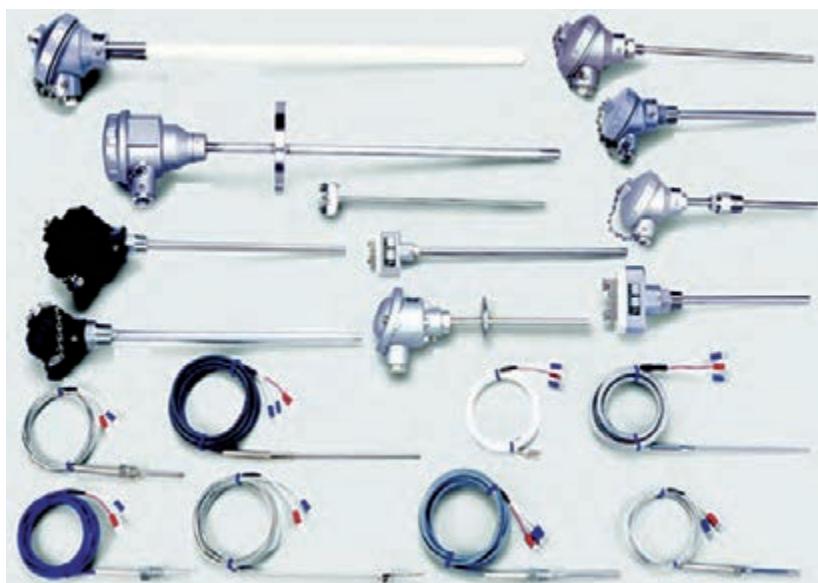
شکل ۱۲- ترموکوپل صنعتی

برای کمتر شدن خطای اندازه‌گیری، سعی می‌شود که ترموکوپل‌ها به صورت عمودی نصب شوند. ضمناً برای حفاظت مکانیکی ترموکوپل‌ها، آنها را در حفاظ‌های مقاوم (مثلاً سرامیکی) قرار می‌دهند (شکل ۱۳).



شکل ۱۳- ترموکوپل با حفاظ

در شکل ۱۴ چند نمونه از ترموکوپل‌های صنعتی نشان داده شده است.



شکل ۱۴- چند نمونه ترموکوپل صنعتی



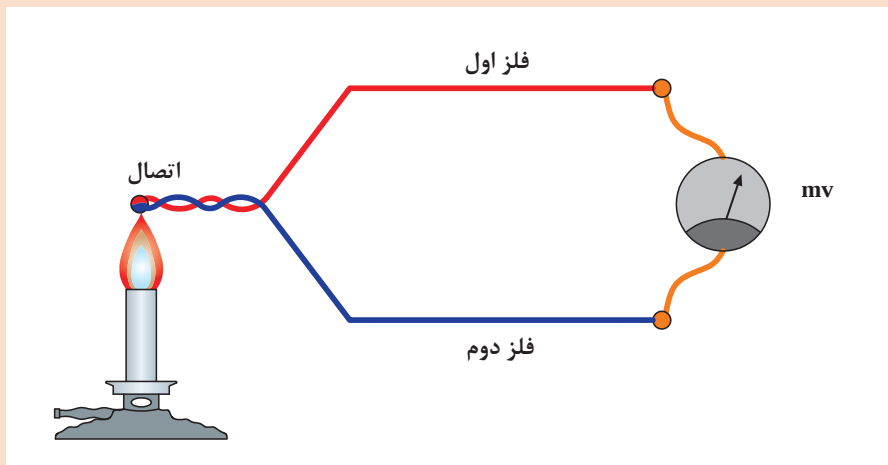
ساخت و بررسی عملکرد ترموکوپل

وسایل لازم:

یک تکه سیم مسی - یک تکه سیم آهنی - میکروولت‌سنج دیجیتال - منبع گرما (شعله کوچک، فندک یا آب داغ) - لیوان آب و یخ - گیره یا نوار عایق - سمباده برای تمیز کردن سر سیم‌ها

الف) ساخت ترموکوپل

- ۱ سر دو سیم را با سمباده تمیز کنید تا فلز خالص نمایان شود.
- ۲ یک سر سیم مسی و آهنی را محکم به هم بپیچانید.
- ۳ سرهای آزاد دو سیم را به ورودی‌های میکروولت‌سنج وصل کنید.



ساخت ترموکوپل ساده

ب) بررسی عملکرد ترموکوپل

- ۱ ابتدا محل اتصال دو سیم در دمای محیط باشد ولتاژ را یادداشت کنید.
- ۲ محل اتصال دو سیم را داخل آب در حال جوش بگذارید و ولتاژ را یادداشت کنید، این ولتاژ را به‌طور تقریب صد درجه سلسیوس در نظر بگیرید.
- ۳ حالا محل اتصال دو سیم را در آب یخ بگذارید و مقدار ولتاژ را بخوانید و این مقدار ولتاژ را معادل صفر درجه سلسیوس در نظر بگیرید.
- ۴ با استفاده از روابط ریاضی ولتاژ اندازه‌گیری شده قسمت ۱ را به درجه سلسیوس تبدیل کنید.
- ۵ با همین روش دمای شعله چراغ آزمایشگاه خود را اندازه‌گیری کنید.



- فقط محل اتصال دو سیم را حرارت بدهید.
- اتصالات محکم و تمیز باشند؛ اکسید شدن فلزها خطا ایجاد می‌کند.
- از شعله با احتیاط استفاده کنید.



ترموپیل چیست و کاربرد آن کجا است؟

محدوده دمای قابل اندازه گیری توسط یک ترموکوپل بستگی به جنس فلزاتی دارد که ترموکوپل از آن ساخته شده است. به عنوان نمونه، محدوده دمای قابل اندازه گیری 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 اندازه گیری دمای آن مورد نظر است، به حالت تعادل گرمایی در می آید. لذا تغییرات دما به آسانی بر آن اثر می کند.

از مشخصات لازم برای انتخاب فلز در ساخت ترموکوپل می توان 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

بر اساس ترکیب های ممکن از فلزها، می توان تعداد بی شماری ترموکوپل ساخت، ولی در عمل تعداد ترموکوپل ها مشخص و محدود است. تعدادی از ترموکوپل های متداول عبارت اند از:

■ نوع T: مس و کنستانتان (آلیاژی از مس و نیکل)

■ نوع J: آهن و کنستانتان

■ نوع E: کرومل^۱ (آلیاژی از کروم و نیکل) و کنستانتان

■ نوع K: کرومل و آلومل (آلیاژی از آلومینیوم و نیکل)

■ نوع S و R: پلاتین و رودیوم.

در جدول ۴ گستره دمایی ترموکوپل های متداول ارائه شده است.

جدول ۴- گستره دمایی انواع ترموکوپل ها

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



دماهای لازم 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

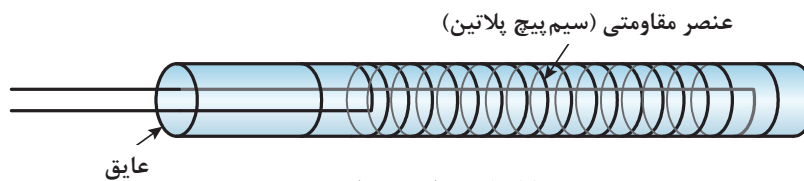
دماسنج‌های مقاومتی^۱

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.

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 ۱۵). در شرایط ویژه هم می‌توان سیم را به دور جسمی که هدف اندازه‌گیری دمای آن است، پیچید یا در داخل آن قرار داد.



شکل ۱۵- دماسنج مقاومتی

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



۱- RTD (Resistance Temperature Detector)



اندازه‌گیری دمای اجسام مختلف

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

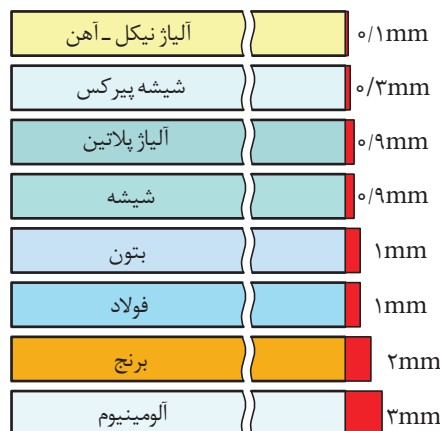
ردیف	نوع دماسنج	دمای هوای کارگاه	دمای آب خروجی از شیر	دمای ظرف پر از یخ	دمای کف دست خود	دمای کف دست هم‌گروه	دمای شعله شمع	دمای شعله گاز
۱								
۲								
۳								
۴								

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 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. گستره دمایی که می‌توان از این دماسنج‌ها استفاده کرد، معمولاً از ۴۰- تا ۳۰۰ درجه سلسیوس می‌باشد. دماسنج‌های دوفلزی بر اساس خاصیت متفاوت بودن ضریب انبساط اجسام، ساخته می‌شوند. ضریب انبساط طولی یک جسم به گونه‌ای بیانگر افزایش طول جسم، ناشی از افزایش دما است. در شکل ۱۶، انبساط فلزات و آلیاژهای مختلف، در اثر افزایش ۱۰۰ درجه سلسیوسی دما، نشان داده شده است.



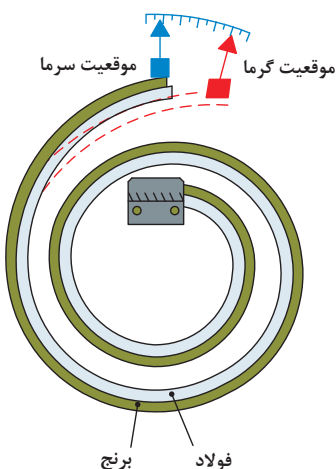
شکل ۱۶- میزان انبساط یک متر از اجسام مختلف در اثر افزایش دمای ۱۰۰ درجه سلسیوس



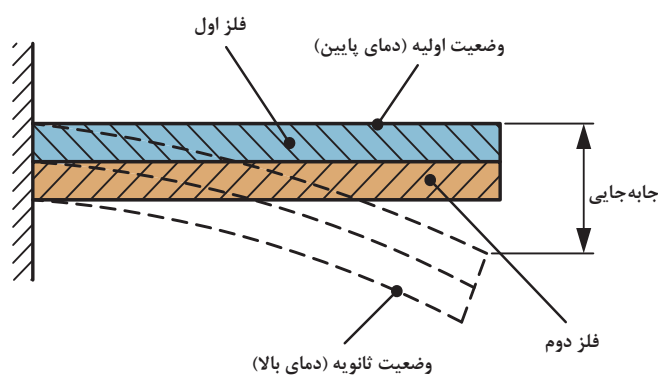
بررسی نمایید انبساط طولی اجسام با افزایش دما به چه صورت است و سپس ضرایب انبساط طولی چند ماده را پیدا کنید.

در دماسنج‌های دو فلزی، دو فلز غیر هم جنس را که در دمای محیط هم طول می‌باشند، به یکدیگر متصل می‌کنند (با فرض بیشتر بودن ضریب انبساط طولی فلز اول نسبت به دوم). با اعمال گرما به یک انتهای دماسنج، فلز با ضریب انبساط بالاتر تغییر طول بیشتری داشته و در نتیجه دماسنج در جهت فلز با ضریب انبساط پایین‌تر خم می‌شود (شکل ۱۷).

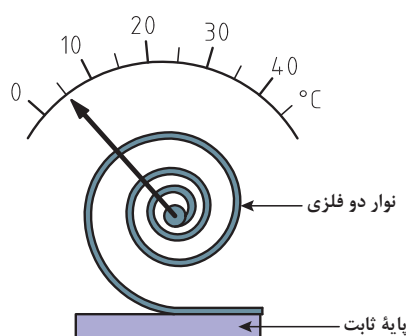
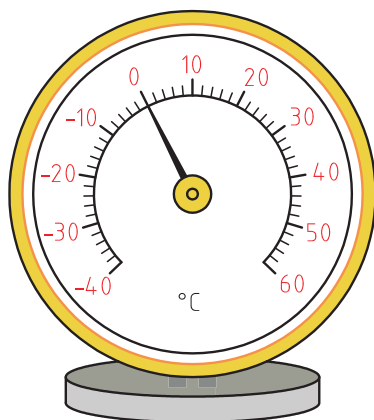
از این پدیده، در ساخت دماسنج‌های دوفلزی و ترموستات‌ها استفاده می‌شود. در عمل برای افزایش تغییرات طول در اثر تغییرات دما، دماسنج دو فلزی را به صورت حلزونی (شکل‌های ۱۸ و ۱۹) و یا مارپیچ (شکل ۲۰) می‌سازند. تغییرات طول را می‌توان مستقیماً به عنوان دمای اندازه‌گیری شده در نظر گرفت.



شکل ۱۸- دماسنج دو فلزی حلزونی شکل

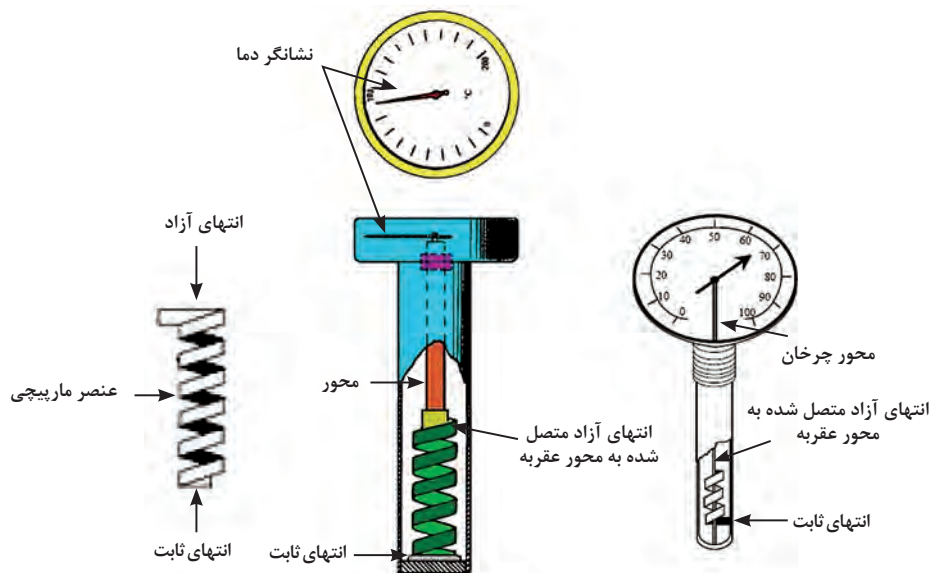


شکل ۱۷- اثر تغییر دما در دو فلز غیر هم جنس



شکل ۱۹- 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 ۲۰- دماسنج دو فلزی مارپیچی



ساخت یک ترموستات

وسایل لازم:

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



راه‌انداز (استارت) لامپ مهتابی (۱)

روش کار:

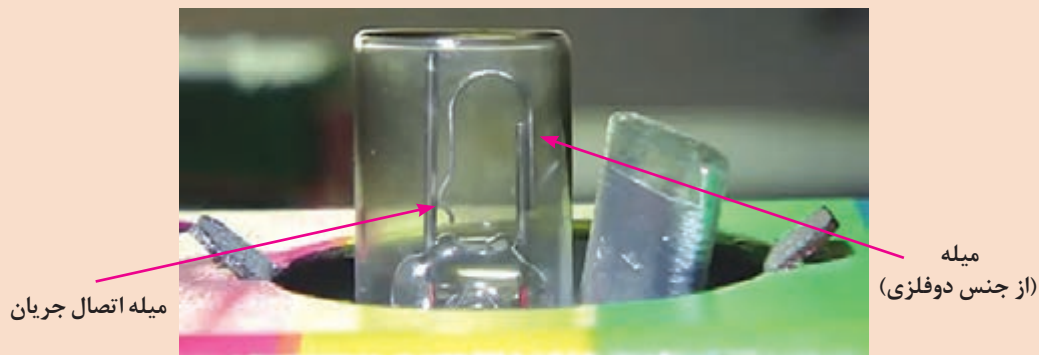
۱ محافظ یک راه‌انداز (استارت) لامپ مهتابی را مانند شکل جدا کنید.



مدار ساخته شده با راه‌انداز (استارت) لامپ مهتابی به عنوان ترموستات (۲)

۲ به کمک دو عدد باتری قلمی، یک لامپ سه ولتی و راه‌انداز مهتابی، یک مدار ساده الکتریکی بسازید.

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



راه‌انداز (استارت) لامپ مهتابی قبل از گرم شدن (۳)

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

۴ با کمک یک فندک، حباب شیشه‌ای راه‌انداز 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.

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



راه‌انداز (استارت) لامپ مهتابی پس از گرم شدن (۵ و ۶)

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 به طوری که استفاده از آن در کنترل تولید فولاد، تولید آلیاژهای مختلف، ریخته‌گری‌های دقیق، آبکاری‌های صنعتی، جوشکاری‌های دقیق، تولید محصولات پتروشیمی اجتناب‌ناپذیر است. معمولاً به دلیل 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 به صورت 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. آذر سنج نوری: آذر سنج‌های نوری معمولاً رایج هستند. اساس کار این دماسنج، تشخیص رنگ‌های نور انتشار یافته از جسم داغ بوده که در نهایت دمای جسم داغ را براساس آن اندازه‌گیری می‌کنند.

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 ۲۱ الی ۲۴) استفاده می‌گردد.



شکل ۲۴- نشانگر دیجیتالی دما (مصارف صنعتی)



شکل ۲۳- نشانگر عقربه‌ای دما



شکل ۲۲- نشانگر دیجیتالی دما (مصارف خانگی)



شکل ۲۱- نشانگر شیشه‌ای دما

۱- Non-Contact Thermometer

۲- Pyrometer Thermometer

۳- Optical Pyrometer

۴- Radiation Pyrometer

ارزشیابی شایستگی اندازه گیری دما

شرح کار:

- ۱ آشنایی با مفهوم دما و اندازه گیری دما
- ۲ محاسبات دما و تبدیل یکاهای مختلف اندازه گیری آن
- ۳ روش های اندازه گیری دما

استاندارد عملکرد:

به کارگیری محاسبات و اندازه گیری دما مطابق دستور کار

شاخص ها:

رعایت کردن مسائل ایمنی در هنگام انجام دادن کار - انجام دادن کار کارگاهی طبق دستور کار

شرایط انجام کار و ابزار و تجهیزات:

- مکان: کارگاه و آزمایشگاه
- زمان: یک جلسه آموزشی
- ابزار و تجهیزات: وسایل ایمنی شخصی، وسایل اندازه گیری دما

معیار شایستگی:

ردیف	مرحله کار	کمترین نمره قبولی از ۳	نمره هنجار
۱	به کارگیری مفاهیم اندازه گیری دما	۱	
۲	به کارگیری محاسبات در اندازه گیری دما	۲	
۳	انجام روش های اندازه گیری دما	۲	
	شایستگی های غیرفنی، ایمنی، بهداشتی، توجهات زیست محیطی و نگرش: ۱- ایمنی: انجام دادن کار کارگاهی با رعایت موارد ایمنی و استفاده از وسایل ایمنی شخصی ۲- نگرش: صرفه جویی در مواد مصرفی و وسایل اندازه گیری دما ۳- توجهات زیست محیطی: جلوگیری از صدمه زدن به محیط زیست از طریق انجام دادن کار بدون ریخت و پاش ۴- شایستگی های غیرفنی: اخلاق حرفه ای، مدیریت منابع، محاسبه و کاربرست ریاضی، مستندسازی، گزارش نویسی	۲	
میانگین نمرات**			

* شایستگی های غیرفنی تأثیر مستقیم در نمره واحد یادگیری ندارد؛ ولی شرط لازم برای محاسبه نمره شایستگی های فنی و مستمر است.

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

واحد یادگیری ۲

کنترل دمای فرایند

مقدمه

پس از آشنایی با مفهوم دما، روش‌های اندازه‌گیری آن و محاسبات مربوطه، در این بخش به تنظیم دقیق (کالبراسیون) دماسنج‌ها و اهمیت دقت در اندازه‌گیری دما پرداخته می‌شود. سپس عملکرد کنترل‌کننده‌های دما و نقش آنها در تنظیم شرایط عملیاتی تجهیزات شیمیایی مورد مطالعه قرار می‌گیرد. کنترل صحیح دما در فرایندهای شیمیایی، تأثیر مستقیمی بر کیفیت محصول، ایمنی و بهره‌وری واحد صنعتی دارد. آشنایی با این مبحث‌ها، زمینه‌ساز درک بهتر سامانه‌های کنترلی در صنعت می‌باشد.

استاندارد عملکرد

کنترل دمای فرایند مطابق دستور کار

شایستگی‌های غیر فنی

- ۱ اخلاق حرفه‌ای: حضور منظم و وقت‌شناسی - انجام وظایف و کارهای محول - پیروی از قوانین
- ۲ مدیریت منابع: شروع به کار به موقع - مدیریت مؤثر زمان - استفاده صحیح از مواد و تجهیزات
- ۳ کار گروهی: حضوری فعال در فعالیتهای گروهی - انجام کارها و وظایف سپرده شده
- ۴ مستندسازی: گزارش‌نویسی فعالیتهای کارگاهی
- ۵ محاسبه و کاربست ریاضی

شایستگی‌های فنی

- ۱ کالبراسیون دماسنج
- ۲ عملکرد کنترل‌کننده‌های دما در تجهیزات
- ۳ کنترل دمای تجهیزات

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:

«مقایسه 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 مرحله 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، وسیله 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.

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.

نکته



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



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

کالیبراسیون دماسنج

- یک ظرف حاوی آب و یخ را تهیه کرده و دماسنجی را درون آن بگذارید تا دمای آن ثابت شود.
- آیا دمای ثابت شده، $^{\circ}\text{C}$ می‌باشد؟ در غیر این صورت، عدد خوانده شده 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 تداعی گر 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.»

به طور 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 رایانه ها، 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 رایانه 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.

۱- Users

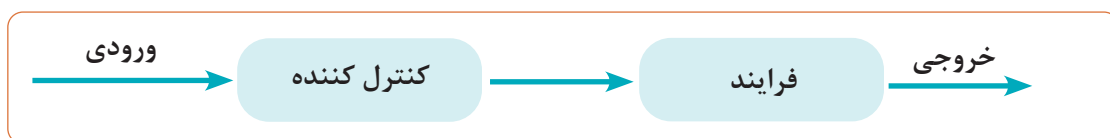
۲- Manual

مقدار مطلوب^۱ (SP or SV) یا ورودی: مقدار مشخص برای کمیتی که قرار است کنترل شود.
 مقدار فرایند^۲ (PV) یا خروجی: مقدار واقعی کمیتی که در حال کنترل می‌باشد.
 کنترل کننده^۳: دستگاهی که مقایسه بین مقدار مطلوب و واقعی را انجام داده و دستور تنظیم و تصحیح کنترل‌شونده را صادر می‌کند.
 محرک^۴: محرک معمولاً شیری است که دستور کنترل کننده توسط آن انجام می‌شود و به آن شیر کنترل می‌گویند.

بازخورد^۵: نتیجه و مقدار اندازه‌گیری توسط سامانه اندازه‌گیری
 انتقال دهنده (ترنسmitter)^۶: 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، کنترل کننده) انتقال دهد.

انواع سامانه‌های کنترلی

سامانه‌های کنترلی معمولاً به صورت سامانه‌های کنترلی مدار باز^۷ و مدار بسته^۸ تقسیم‌بندی می‌شوند. در سامانه‌های کنترلی مدار باز (شکل ۲۵)، مقدار خروجی، تأثیری بر عملکرد کنترل و دستورات صادر شده از کنترل کننده 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 رها می‌شود. در این سامانه، ورودی به دقت تنظیم می‌گردد و فقط در جاهایی کاربرد دارد که دقت بالایی لازم نیست.



شکل ۲۵- 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:
 فرایند: ماشین لباسشویی
 کنترل‌شونده: مدت زمان کارکرد ماشین لباسشویی
 بازخورد: میزان تمیزی لباس پس از شست‌وشو

۱- Set Point - Set Value

۲- Process variable

۳- Controller

۴- Actuator

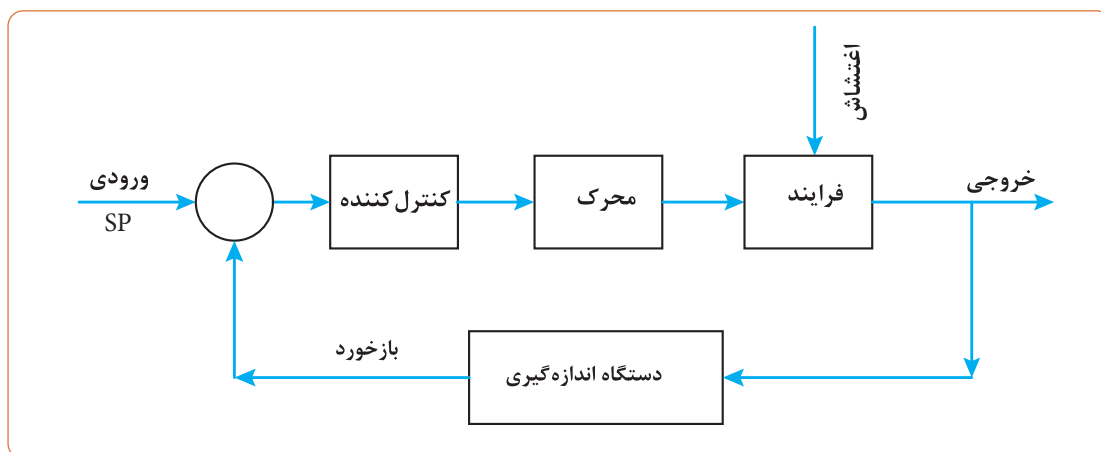
۵- Feedback

۶- Transmitter

۷- Open- Loop

۸- Closed- Loop

همان طور که مشخص است در این مثال ماشین نمی‌فهمد که چه زمانی لباس‌ها به خوبی شسته شده‌اند تا دستور دهد ماشین خاموش شود، لذا آن‌قدر کار می‌کند تا به مدت زمانی که تنظیم شده است برسد و خاموش شود. حال اگر لباس‌ها خوب شسته نشده بودند، باید مدت زمان را بیشتر کرد. بنابراین ماشین فقط بر اساس دستور داده شده کار می‌کند و به میزان تمیزی بعد از شستشو کاری ندارد، لذا این نوع کنترل را کنترل باز می‌نامند. در سامانه کنترل مدار بسته، خروجی اثر مستقیم بر ورودی می‌گذارد و باز خورد وجود دارد که کنترل‌کننده با توجه به میزان بازخورد، دستور را جهت اصلاح فرایند صادر می‌کند (شکل ۲۶).



شکل ۲۶- سامانه کنترلی مدار بسته

عملکرد یخچال چه نوع سامانه کنترلی است؟ توضیح دهید.

پرسش



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

پاسخ:

متغیرهای کنترلی در این مثال عبارت‌اند از:

کنترل شونده: دمای اتاق

دستگاه اندازه‌گیری: ترموکوپل

بازخورد: دمای اندازه‌گیری شده اتاق

ورودی: دمای تنظیمی یا دستور داده شده

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



ترموستات فن کوئل

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 کنترل کننده وجود ندارد، بنابراین بخاری گازی یک سامانه کنترل مدار باز می‌باشد.

در هنگام استفاده از فن کوئل، هم دستگاه اندازه‌گیری (ترموکوپل) و هم کنترل کننده (ترموستات) وجود دارد. در ابتدای کار با فن کوئل همیشه در زمستان دمای مشخصی را توسط ترموستات (شکل بالا) 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 کنترل کننده مقایسه می‌گردد. حال اگر دمای اتاق کمتر از دمای تنظیمی بود، کنترل کننده دستور می‌دهد که فن همچنان روشن بماند و اگر دمای اتاق برابر با دمای تنظیمی بود، کنترل کننده دستور خاموش می‌دهد و فن خاموش می‌شود. البته احتمال دارد به‌طور اشتباه 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 کنترل کننده منتقل می‌گردد و کنترل کننده 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

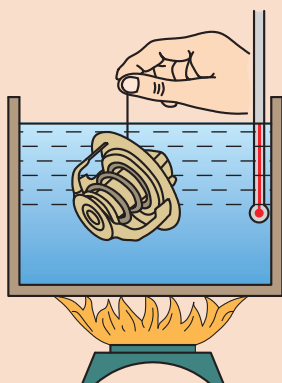
همان‌طور که در بخش قبل اشاره شد، دو سامانه کنترل مدار باز و مدار بسته وجود دارد که معمولاً در صنعت همواره از سامانه کنترل مدار بسته استفاده می‌گردد و ترموستات به‌عنوان کنترل کننده در عملیات کنترل دما بسیار رایج می‌باشد.



عملکرد یک ترموستات

وسایل لازم:

ترموستات - دماسنج - بشر - گیره - گرمکن الکتریکی



روش کار:

طرح ساده‌ای از فعالیت عملی عملکرد یک ترموستات

- 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.



نمای واقعی از فعالیت عملکرد یک ترموستات

کاربردهای ترموستات را در صنایع شیمیایی نام ببرید.



مثال: 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 زیر).

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

کنترل کننده: ترموستات

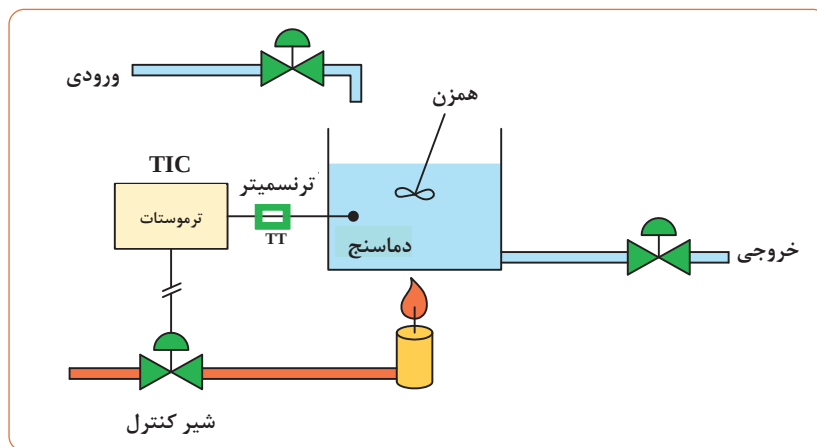
کنترل شونده: دمای مخزن

سامانه اندازه‌گیری: ترموکوپل

بازخورد: دمای مخزن

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

محرك: شیر کنترل



سامانه کنترل دمای مخزن

توسط ترموستات دمای مشخصی را برای محتویات داخل مخزن به عنوان 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 به صورت موج الکتریکی توسط ترنسmitter (TT) به کنترل کننده (TIC) فرستاده می‌شود. کنترل کننده 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 کنترل کننده 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.

تحقیق کنید



- ۱ چگونه دمای بدن انسان کنترل می‌شود؟
- ۲ سامانه اندازه‌گیری و کنترل دمای آب موتور در اتومبیل چگونه است؟

پرسش



مزایای کنترل فرایند در صنایع شیمیایی چیست؟

بیشتر بدانید



شیر کنترل



شیر کنترل

شیر کنترل در شکل مقابل، 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، به‌صورت الکتریکی، هیدرولیکی و یا پنوماتیکی است. همچنین این شیرها به‌طور معمول با ورودی سیگنال ۴ تا ۲۰ میلی‌آمپر عمل می‌کنند. شیر کنترل نقش مهم و اساسی در یک فرایند صنعتی ایفا می‌نماید و قسمت زیادی از هزینه‌های خرید قطعات و دستگاه‌ها در صنایع، مربوط به شیر کنترل و سامانه‌های جانبی آن می‌باشد.



کنترل دمای آب مخزن

وسایل لازم:

مخزن مجهز به گرم‌کن الکتریکی - ترموستات - دماسنج - زمان‌سنج

روش کار:

- تجهیزاتی همانند شکل صفحه ۸۳ را آماده کنید.
 - درون مخزن مجهز به گرم‌کن الکتریکی، آب بریزید.
 - ترموستات را روی 50° درجهٔ سلسیوس تنظیم کنید.
 - دماسنج را درون مخزن قرار دهید.
 - گرم‌کن را روشن کنید.
- الف) دمای اولیهٔ آب موجود در مخزن چند درجهٔ سلسیوس است؟
- ب) چه مدت طول می‌کشد تا دمای مخزن به 50° درجهٔ سلسیوس برسد؟
- ج) شیوهٔ کنترل دمای آب مخزن را شرح دهید.

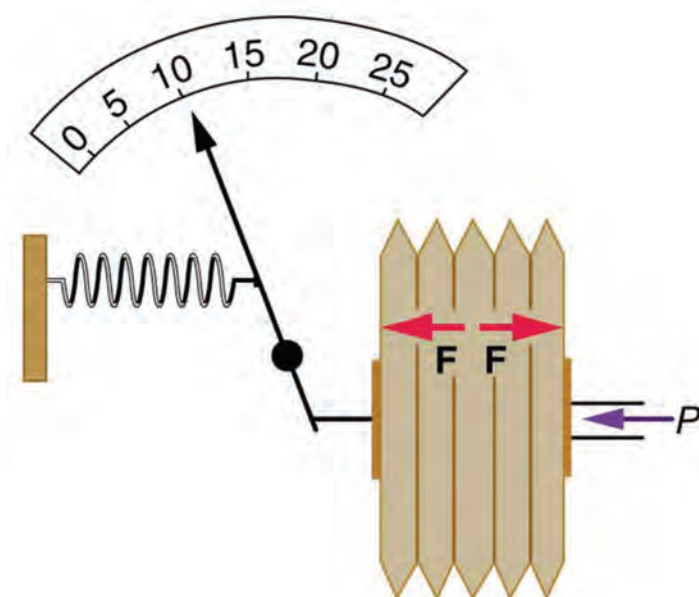
ارزشیابی شایستگی کنترل دمای فرایند

شرح کار: ۱ آشنایی با کالیبراسیون ۲ آشنایی با عملکرد کنترل کننده دما ۳ کنترل دمای تجهیزات			
استاندارد عملکرد: کنترل دمای فرایند مطابق دستور کار			
شاخص‌ها: - رعایت کردن مسایل ایمنی در هنگام انجام دادن کار - انجام دادن کار طبق دستور کار			
شرایط انجام کار و ابزار و تجهیزات: - مکان: کارگاه و آزمایشگاه - زمان: یک جلسه آموزشی - ابزار و تجهیزات: وسایل ایمنی شخصی، دماسنج‌های دیجیتال و دستی و کنترل کننده‌ها			
معیار شایستگی:			
ردیف	مرحله کار	کمترین نمره قبولی از ۳	نمره هنجار
۱	کالیبراسیون دماسنج	۱	
۲	عملکرد کنترل کننده‌های دما در تجهیزات	۲	
۳	کنترل دمای تجهیزات	۲	
	شایستگی‌های غیر فنی، ایمنی، بهداشتی، توجهات زیست محیطی و نگرش: ۱- ایمنی: انجام دادن کار کارگاهی با رعایت موارد ایمنی و استفاده از وسایل ایمنی شخصی ۲- نگرش: صرفه جویی مواد مصرفی و کالیبره کردن دماسنج‌های الکلی و جیوه‌ای و استفاده از دماسنج‌های دیجیتال ۳- توجهات زیست محیطی: جلوگیری از صدمه زدن به محیط زیست از طریق انجام دادن کار بدون ریخت و پاش ۴- شایستگی‌های غیر فنی: اخلاق حرفه‌ای، مدیریت منابع، محاسبه و کاربست ریاضی، مستندسازی، گزارش نویسی	۲	
میانگین نمرات**			
* شایستگی‌های غیر فنی تأثیر مستقیم در نمره واحد یادگیری ندارد؛ ولی شرط لازم برای محاسبه نمره شایستگی‌های فنی و مستمر است. ** حداقل میانگین نمرات هنجار برای قبولی و کسب شایستگی، ۲ می‌باشد.			



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 ۱

اندازه گیری فشار فرایند

مقدمه

بسیاری از فرایندهای شیمیایی در فشارهای بالا و بعضی دیگر در فشارهای بسیار پایین انجام می شوند. از این جهت درک مفهوم فشار برای کاربران و مهندسين فرایند، امری ضروری می باشد. امروزه فرایندهایی وجود دارند که در فشارهای تا ۱۵۰۰۰ بار و یا فشارهای خلأ تا 10^{-7} بار انجام می شوند. علاوه بر این زندگی موجودات وابسته به فشار جو می باشد و بسیاری از فرایندهای حیاتی وابستگی شدیدی به مقدار فشار دارند. در صنایع شیمیایی تولید بسیاری از محصولات مانند آمونیاک و پلیمرها در فشارهای نسبتاً بالا صورت می پذیرد. از این روی درک غلط از فشار و اندازه گیری و کنترل نادرست آن مانند تقطیر در خلأ، علاوه بر تأثیرات نامطلوب بر فرایند، باعث خسارات مالی و جانی می گردد. در این واحد یادگیری به مفهوم فشار، اندازه گیری و محاسبه آن و کار با فشارسنج ها پرداخته می شود.

استاندارد عملکرد

به کارگیری مفاهیم و محاسبات فشار و کار با فشار سنج ها مطابق دستور کار

شایستگی های غیر فنی

- ۱ اخلاق حرفه ای: حضور منظم و وقت شناسی - انجام دادن وظایف و کارهای محول - پیروی از قوانین
- ۲ مدیریت منابع: شروع به کار به موقع - مدیریت مؤثر زمان - استفاده صحیح از مواد و تجهیزات
- ۳ کار گروهی: حضوری فعال در فعالیتهای گروهی - انجام دادن کارها و وظایف سپرده شده
- ۴ مستندسازی: گزارش نویسی فعالیتهای کارگاهی
- ۵ محاسبه و کار بست ریاضی

شایستگی های فنی

- ۱ به کار گیری مفاهیم اندازه گیری فشار
- ۲ به کار گیری محاسبات در اندازه گیری فشار
- ۳ کار با فشارسنج



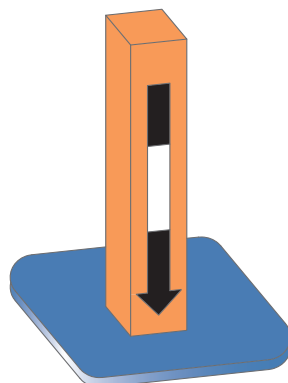
الف) شما می‌توانید به راحتی روی دو پا بایستید، در حالی که ایستادن روی یک پا دشوار بوده و زمان کوتاه‌تری قابل تحمل است. علت چیست؟
ب) با توجه به شکل روبه‌رو، در مورد فشار وارده بحث کنید.

هر جسمی مانند کتاب روی میز، آب موجود در یک لیوان و... بر روی سطحی که قرار دارند، نیرو وارد می‌کنند. 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.

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



شکل ۱- مفهوم فشار

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، $\frac{N}{\text{m}^2}$ محاسبه می‌گردد که به آن پاسکال^۱ (Pa) می‌گویند.



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

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

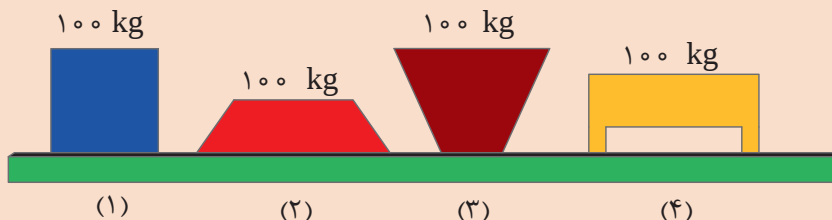
یک مکعب مستطیل فلزی یا از جنس دیگر تهیه کنید و فعالیت‌های زیر را انجام دهید:
الف) جرم مکعب را اندازه‌گیری کنید.

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 ایجاد شده توسط یک نیروی ۸۰۰ نیوتنی بر مساحت ۲ مترمربع را محاسبه کنید.
- ۲ یک سیلندر و پیستون را در نظر بگیرید. مساحت پیستون ۵/۰ مترمربع می‌باشد و درون سیلندر گازی با فشار ۳۰۰ Pa قرار دارد. نیروی وارده به پیستون را محاسبه کنید.
- ۳ در شکل زیر ضخامت کلیه اجسام یکسان و دارای جرم ۱۰۰ کیلوگرم می‌باشند. کدام شکل فشار بیشتری ایجاد می‌کند؟ 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: 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.

۱- bar

۲- Atmosphere

میلی‌متر جیوه^۱: 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^۲: یکای اندازه‌گیری PSI بر پایهٔ سامانهٔ انگلیسی بوده و معادل پوند نیرو بر اینچ مربع می‌باشد. این یکا متداول‌ترین یکای اندازه‌گیری فشار در صنعت می‌باشد. هر واحد PSI برابر است با فشار ناشی از یک پوند نیرو به سطحی با مساحت یک اینچ مربع و هر PSI برابر با ۶۸۹۴/۸ پاسکال می‌باشد.

تبدیل یکاهای فشار

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

- 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



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

تحقیق کنید



جدول ۱- ضرایب تبدیل واحدهای فشار به یکدیگر

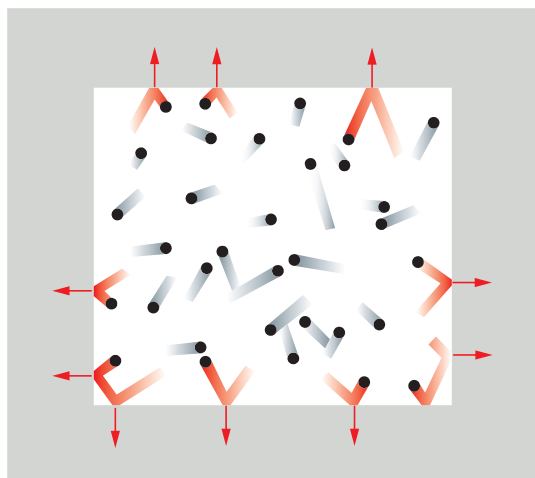
	bar	Pa	kPa	mmHg	atm	psi
bar	۱	10^5	$101/325$	$750/064$	$0/986923$	$14/503$
Pa	10^{-5}	۱	10^{-3}	$7/50064 \times 10^{-3}$	$9/86923 \times 10^{-6}$	$1/45 \times 10^{-4}$
kPa	$101/325$	10^3	۱	$7/50064$	$0/986923 \times 10^{-3}$	$1/45 \times 10^{-1}$
mmHg	$1/33322 \times 10^{-3}$	$133/322$	$1/33322 \times 10^{-1}$	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. واحد atm برای محاسبات آموزشی و واحد bar در صنعت بیشتر به کار می‌رود. واحدهای دیگری نیز برای فشار وجود دارد که می‌توانید دربارهٔ آنها تحقیق کنید.

۱- mmHg

۲- psi (lb/in²) Pound force per square inch



شکل ۲ - نمایش حرکت مولکول‌ها در گازها

همانند شکل ۲، مولکول‌های گاز را می‌توان به صورت کُرّه‌های 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. هرچه 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 سربسته بیشتر کرد؟

پرسش



گاز ایده‌آل

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

$$PV = nRT$$

معادله (۳)

در بسیاری از شرایط مانند فشارهای کم و گازهای غیرقطبی، گازها از خود رفتار ایده‌آل 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:

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

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

سامانه‌های اندازه‌گیری	---	SI	F.P.S
مقدار ثابت عمومی گازها R	۰/۰۸۲۰۵۷ lit.atm/(K.gmol)	۸/۳۱۴۵ Pa.m ^۳ /(K.kmol)	۱۰/۷۳ psi.ft ^۳ /(R.lbmole)

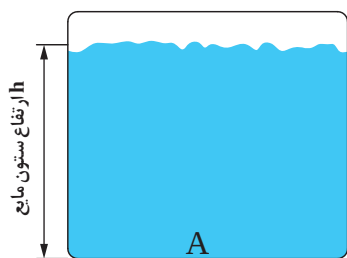
در علوم مهندسی، دمای صفر درجهٔ سلسیوس و فشار یک اتمسفر به‌عنوان شرایط استاندارد (STP)^۱ پذیرفته شده است. در این شرایط حجم یک مول از گازها ۲۲/۴۱۴ لیتر خواهد بود. این مقدار را «حجم مولی استاندارد گازها» می‌نامند.

تمرین



- ۱ یک کپسول حاوی گاز نیتروژن در دمای ۲۵ درجهٔ سلسیوس دارای حجم ۱۲ لیتر و فشار مطلق ۵ اتمسفر می‌باشد. با فرض ایده آل بودن گاز نیتروژن، محاسبه کنید چند گرم گاز نیتروژن در آن وجود دارد.
- ۲ گاز متان در خط لوله اصلی گاز ورودی به شهرها دارای فشار ۲۵۰ psi می‌باشد، در صورتی که دمای محیط ۳۴ درجهٔ سلسیوس باشد، چگالی گاز متان را در سامانه‌های SI محاسبه کنید.
- ۳ حجم اشغال‌شده توسط ۲/۳۴ گرم گاز کربن دی‌اکسید در شرایط استاندارد (STP) را محاسبه کنید.
- ۴ نمونه‌ای از گاز آرگون در شرایط استاندارد ۵۶/۲ لیتر حجم دارد. تعداد مول و جرم آرگون را محاسبه کنید.
- ۵ ۰/۶۵۴ مول گاز آرگون در فشار ۱/۹۵ اتمسفر حجمی معادل ۱۲/۳ لیتر دارد. دمای گاز را محاسبه کنید.
- ۶ یک کپسول اکسیژن در دمای ۲۵ درجهٔ سلسیوس حاوی ۴۰ کیلوگرم گاز اکسیژن در فشار ۱۸۰ بار می‌باشد. چگالی این گاز را محاسبه کنید و تفسیر کنید که آیا مقدار محاسبه‌شده دقیق می‌باشد یا خیر.
- ۷ ۳۰/۶ گرم از یک گاز در شرایط استاندارد (STP) 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

ابتدایی‌ترین مفهوم فشار مایعات مربوط به ستون مایع است. بدین طریق که اگر در یک ظرف، مایعی وجود داشته باشد، فشار در هر نقطهٔ مفروض A در کف ظرف، ناشی از وزن ذرات مایع در بالای آن نقطه می‌باشد (شکل ۳). فشار مایع توسط ارتفاع ستون سیال و چگالی آن توسط معادلهٔ (۴) قابل محاسبه خواهد بود.

$$\text{ارتفاع} \times \text{شتاب جاذبه} \times \text{چگالی} = \text{فشار ستون مایع در نقطه } A$$

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

که در این معادله، g شتاب جاذبه زمین (m/s^۲)، d چگالی سیال (kg/m^۳)، h ارتفاع ستون مایع از نقطه A تا سطح آزاد مایع (m) و P فشار برحسب Pa می‌باشند.

۱- Standard Temperature and Pressure

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

پاسخ:

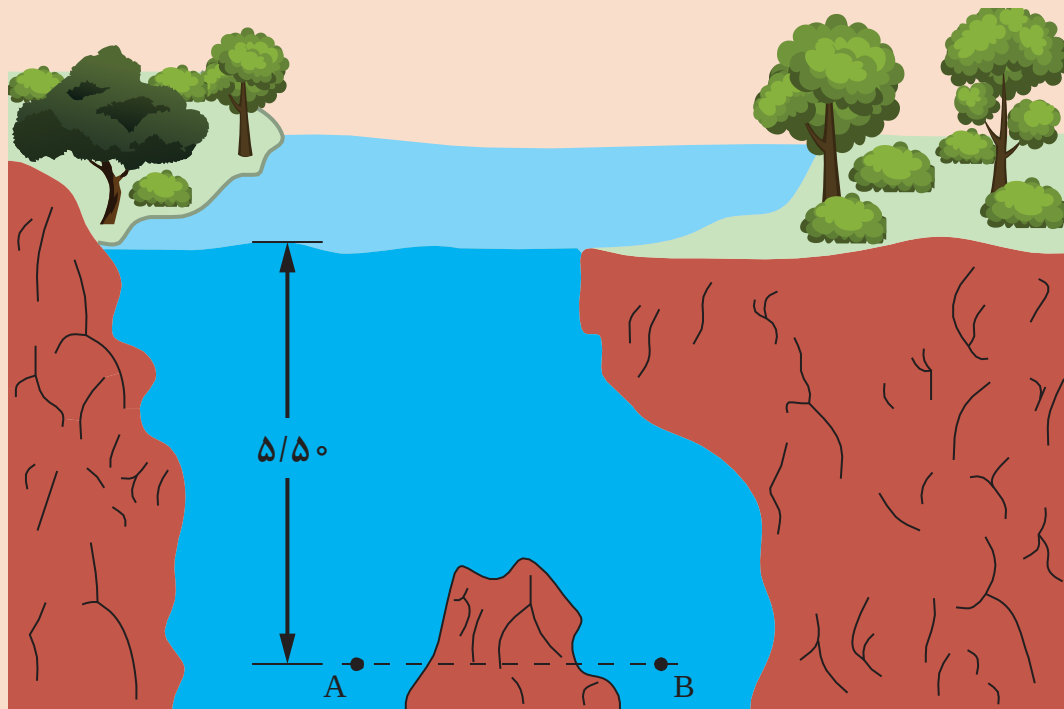
$$P = d.g.h = 1053 \text{ (kg/m}^3\text{)} \times 9/8 \text{ (m/s}^2\text{)} \times 3 \text{ m} = 30958/2 \text{ kg/m.s}^2 = 30958/2 \text{ Pa}$$

$$1 \text{ Pa} = 1 \text{ kg/m.s}^2$$

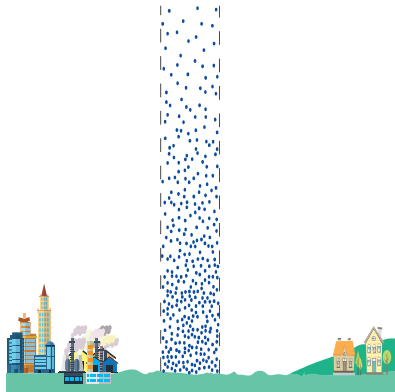
تمرین



- 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 ایجادشده در کف استخر چقدر است؟

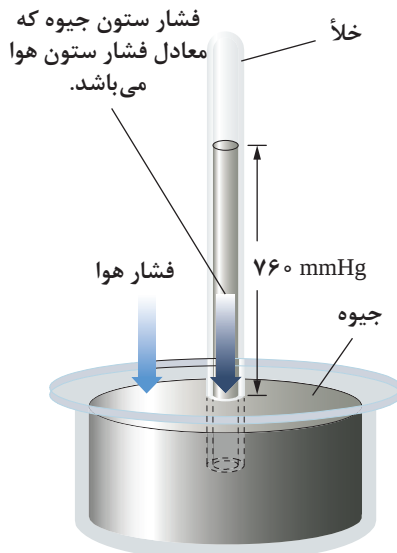


فشار جو



شکل ۴- ستون هوا روی سطح زمین

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 جریانات پرفشار و کم فشار هوا تا ۵٪ نوسان داشته باشد، به این مقدار فشار استاندارد جو یا فشار اتمسفریک گفته می‌شود. با افزایش ارتفاع از فشار جو کاسته شده تا به صفر مطلق (خلاً کامل) در خارج از اتمسفر برسد (شکل ۴).



شکل ۵- بارومتر جیوه‌ای

فشار جو توسط وسیله‌ای به نام بارومتر^۲ اندازه‌گیری می‌شود. این وسیله توسط یکی از شاگردان گالیله^۳ به نام اوانگلیستا توریکلی^۴ (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، خلأی 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- Ambient or Atmospheric Pressure

۲- Barometer

۳- Galileo

۴- Evangelista Torricelli



بارومتر جیوه‌ای مدت‌های طولانی جهت اندازه‌گیری فشار هوا برحسب 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 تورپچلی 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 است؛ نقطه‌ای که در آن هیچ فشاری وجود ندارد و خلأ کامل برقرار است. اگر فشار بر مبنای صفر مطلق اندازه‌گیری شود، به آن فشار مطلق گفته می‌شود. فشار نسبی که با نام فشار گیج^۳ نیز شناخته می‌شود، متداول‌ترین روش اندازه‌گیری فشار است. این فشار، اختلاف بین فشار مطلق و فشار جو (P_{amb}) می‌باشد. فشار نسبی می‌تواند بیشتر یا کمتر از فشار محیط باشد. به‌طور معمول، زمانی که از واژه «فشار» استفاده می‌شود. منظور فشار بالاتر از فشار محیط است و زمانی که فشار کمتر از فشار محیط باشد، از اصطلاح «خلأ»^۴ استفاده می‌شود. انواع فشار در شکل ۷ نشان داده شده است. رابطه بین فشار مطلق، نسبی و محیط مطابق معادله ۵ است.

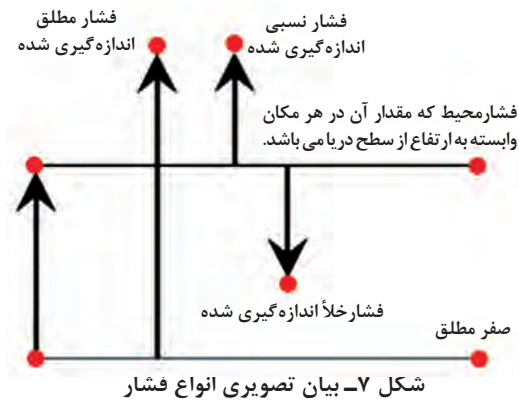
$$P_a = P_g + P_{amb} \quad (\text{معادله ۵})$$

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

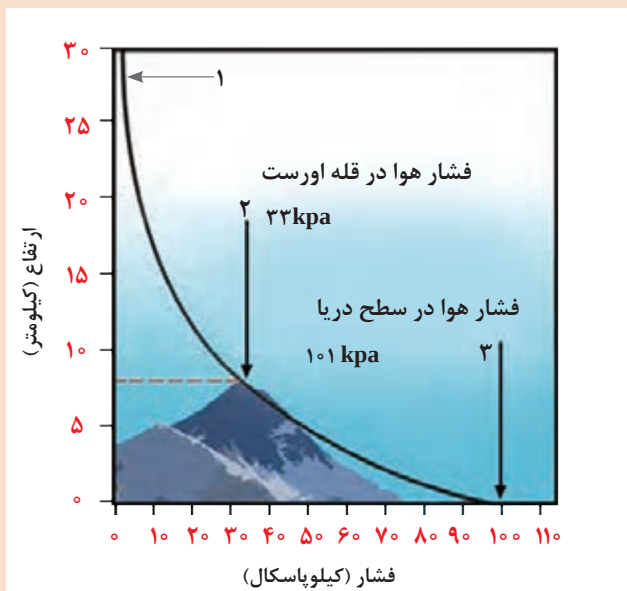
نکته



پودمان سوم - اندازه‌گیری، ثبت و کنترل فشار



با توجه به شکل زیر انواع فشار را در نقاط ۱ الی ۳ روی تصویر مشخص کنید.



تمرین



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 می‌کنیم.

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

$$P_g = d \cdot g \cdot h = 1000 \times 9/8 \times 80 = 784000 \text{ Pa}$$

فشار نسبی عبارت است از:

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

فشار مطلق عبارت است از:



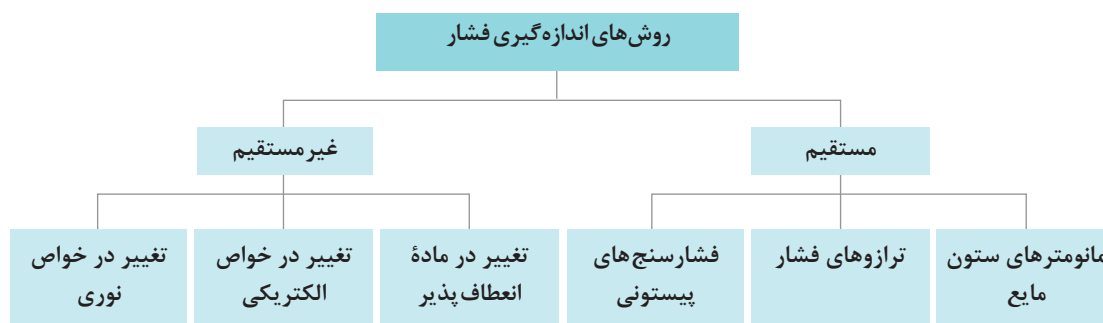
- ۱ فشارسنج نصب شده روی یک سیلندر گاز عدد ۱۰۰ بار را نشان می‌دهد. اگر فشار جو ۷۴۰ میلی‌متر جیوه باشد فشار نسبی و فشار مطلق گاز درون سیلندر را بر حسب بار، اتمسفر و میلی‌متر جیوه محاسبه کنید.
- ۲ فشار نسبی یک تبخیرکننده خلأ، ۴۵ کیلوپاسکال است. اگر فشار محیط ۹۳ کیلو پاسکال باشد، فشار مطلق را محاسبه کنید.
- ۳ غواصی در عمق ۱۰ متری آب دریا قرار دارد. چگالی آب دریا 1053 kg/m^3 می‌باشد و اداره هواشناسی فشار هوا را ۷۵۵ میلی‌متر جیوه اعلام کرده است. فشار نسبی و مطلق را که بدن غواص تحمل می‌کند، محاسبه کنید.

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

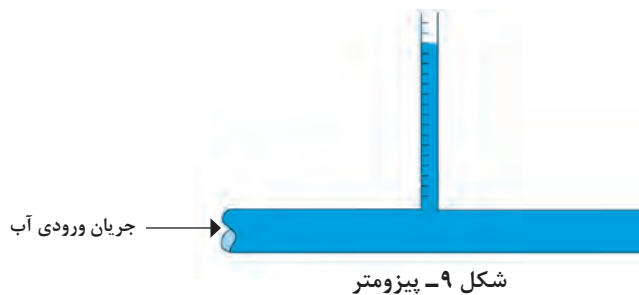
■ مانومترهای ستون مایع پیزومتر^۲

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

۱- Direct Measuring Pressure Instruments

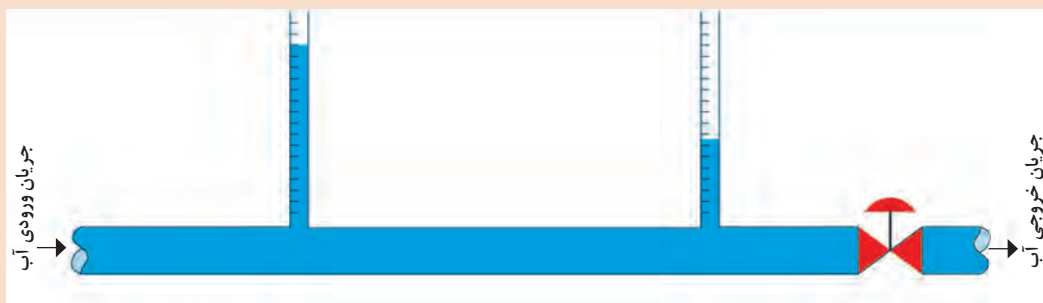
۲- Piezometer

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:

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



ارتفاع ستون آب در ظروف مرتبط چگونه است؟

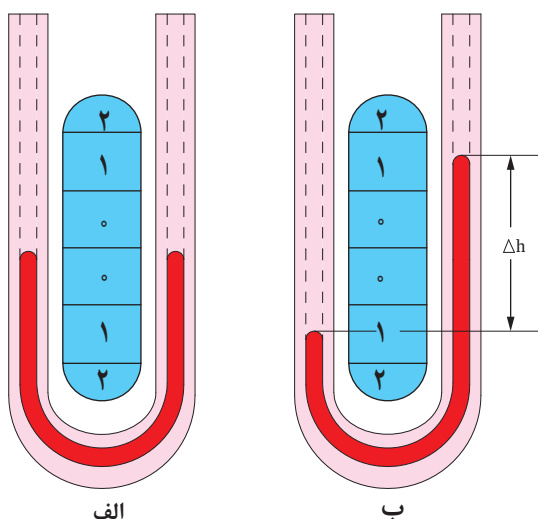
ردیف	ارتفاع آب در پیزومترها		اختلاف ارتفاع		اختلاف فشار	حجم آب جمع آوری شده		زمان	دبی حجمی ^۱
	h_r (cm)	h_l (cm)	(cm)	(m)	Pa	(cm ³)	(mL)	(s)	$\frac{mL}{s}$
۱									
۲									
۳									
۴									
۵									
۶									

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) محاسبه می‌گردد.

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

معادلهٔ (۶)

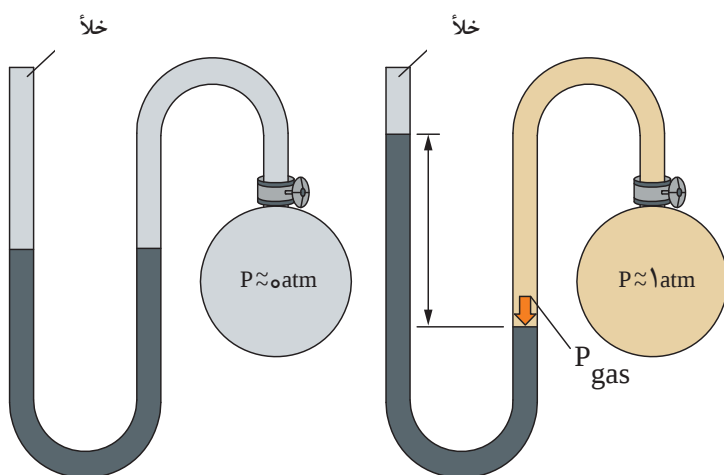


Δh اختلاف ارتفاع مایع در دو ستون است که از روی یک خط‌کش درجه‌بندی شده خوانده می‌شود (شکل ۱۰). انتخاب مایع مانومتر به اندازهٔ فشار مورد اندازه‌گیری بستگی دارد. الکل، جیوه و آب از متداول‌ترین مایعات مانومتری می‌باشند. چون چگالی سیال مانومتر وابسته به دما می‌باشد و شتاب جاذبهٔ زمین در نقاط مختلف متفاوت است، دقت این وسایل وابسته به مکان و دما است.

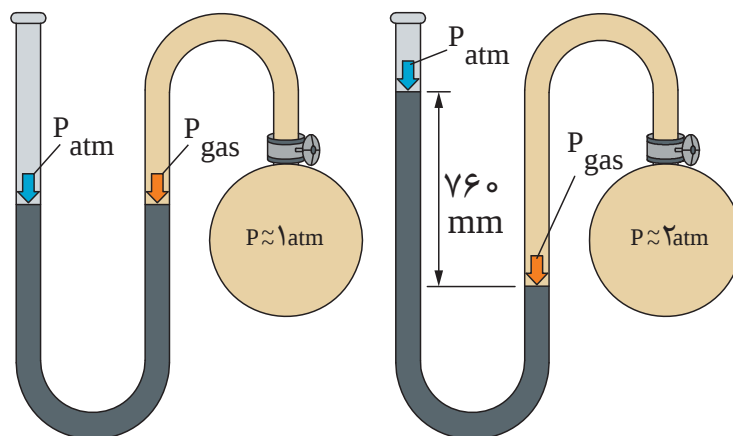
شکل ۱۰- مانومتر U شکل، در قسمت الف) فشار در هر دو شاخه یکسان است و در قسمت ب) فشار در شاخهٔ چپ بیشتر از شاخهٔ سمت راست است.

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

در شکل ۱۱ 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 ۱۲، 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 ۱۱- مانومتر با انتهای بسته (فشار مطلق)



شکل ۱۲- مانومتر با انتهای باز (فشار نسبی)



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



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 سَمی بودن جیوه تصمیم داریم از آب به جای جیوه درون مانومتر استفاده کنیم. برای آب به چه طولی از ستون نیازمندیم؟ در ۲۵ درجهٔ سلسیوس چگالی آب g/cm^3 ۰/۹۹۷۰ و چگالی جیوه g/cm^3 ۱۳/۵۳ می‌باشد.

۲ فرض کنید برای اندازه‌گیری فشاری معادل یک اتمسفر توسط مانومتر U شکل به جای جیوه در مکانی که دمای آن ۳۰ درجهٔ سلسیوس است از گالیوم با نقطهٔ ذوب $29/76^\circ C$ استفاده کنیم. چگالی گالیوم در برابر با g/cm^3 ۶/۱۱۴ است. در این حالت، به چه طولی از ستون مانومتر نیازمندیم؟

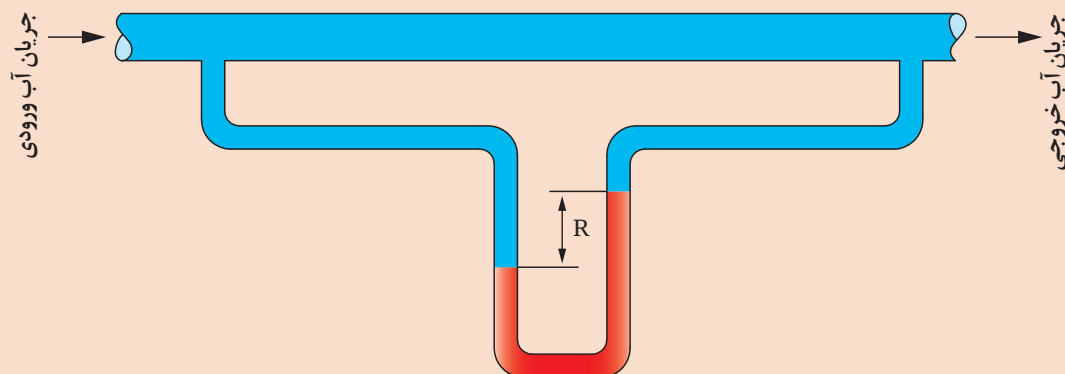


هنگام انتخاب مانومتر دقت کنید که بیشترین مقدار فشار فرایند، ۷۰ درصد فشار نهایی قابل اندازه‌گیری توسط مانومتر باشد. مثلاً برای فرایندی که بیشترین فشار آن ۷۰ بار است، از مانومتری استفاده می‌گردد که تا ۱۰۰ بار را بتواند اندازه‌گیری کند.



ساخت مانومتر U شکل

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



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 زیر وسایل آزمایش را سوار کنید.

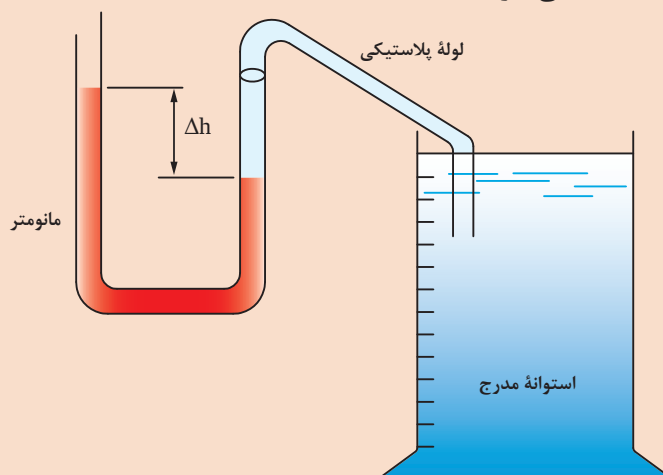
الف) ارتفاع استوانه مدرج را از بالا تا پایین برحسب سانتی‌متر درجه‌بندی کنید.

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

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

د) نمودار تغییرات فشار (ΔP) را بر حسب ارتفاع ستون مایع (Δh) رسم کنید.

ه) از این نمودار چه نتیجه‌ای می‌گیرید؟



استفاده از مانومتر U شکل برای اندازه‌گیری فشار ستون مایع

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

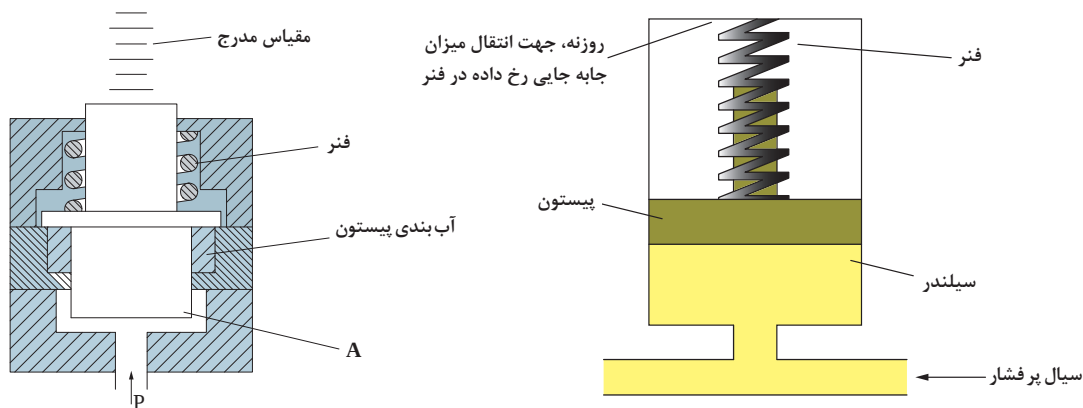
■ ترازوی فشار

وسایل دیگری مانند ترازوهای فشار^۱ وجود دارند که از فرمول $\Delta P = d. g. \Delta h$ برای اندازه‌گیری مستقیم فشار استفاده می‌کنند (شکل ۱۳). از ترازوی فشار برای کالیبراسیون و بررسی دقت و صحت فشارسنج‌های دیگر استفاده می‌شود.



شکل ۱۳- ترازوی فشار

فشارسنج پیستونی^۲: از این وسایل به روش مستقیم و از معادله اساسی فشار استفاده می‌کنند ($P = F / A$). در این وسایل فشار، بر سطح مشخص A یک پیستون آب‌بندی شده 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 ۱۴). دامنه اندازه‌گیری این وسیله ۱۵ تا ۱۵۰۰ psi و با دقت بین ۱ تا ۵ درصد است.



شکل ۱۴- مانومتر نوع پیستونی

۱- Pressure Balances

۲- Piston type Pressure Measuring Instrument

تجهیزات اندازه‌گیری غیر مستقیم فشار^۱

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

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 می‌باشد. فشار ورودی از سر باز لوله وارد می‌شود و سر مسدود به نسبت فشار وارده به سمت خارج از شعاع منحرف می‌گردد. این انحراف با انجام تنظیمات می‌تواند به عنوان مرجع اندازه‌گیری فشار مورد استفاده قرار گیرد. با انتقال این حرکت به یک عقربه، می‌توان فشار را اندازه‌گیری نمود. جنس لوله بوردون وابسته به نوع سیال و دامنه فشار مورد اندازه‌گیری می‌باشد. جدول ۳ جنس مناسب لوله بوردون سازگار با انواع سیالات را نشان می‌دهد.

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
فراورده‌های نفتی	انواع فولاد	۳۰۰۰
محصولات خورنده و یا دارای فشار بخار زیاد	فولاد ضد زنگ	۸۰۰

انواع لوله بوردون

۱ حسگر C شکل^۴: این نوع حسگر برای فشارهای نسبتاً پایین مناسب است. همان‌طور که در شکل ۱۵ 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 باز گردد.



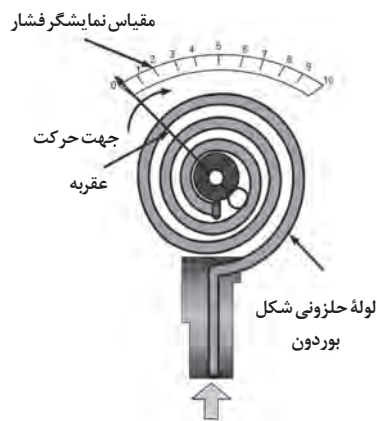
شکل ۱۵- نمای درونی و بیرونی فشارسنج بوردون از نوع C

۱- Indirect- Measuring Pressure Instruments

۲- Burdon Guage

۳- Burdon Tube

۴- C Type Sensor

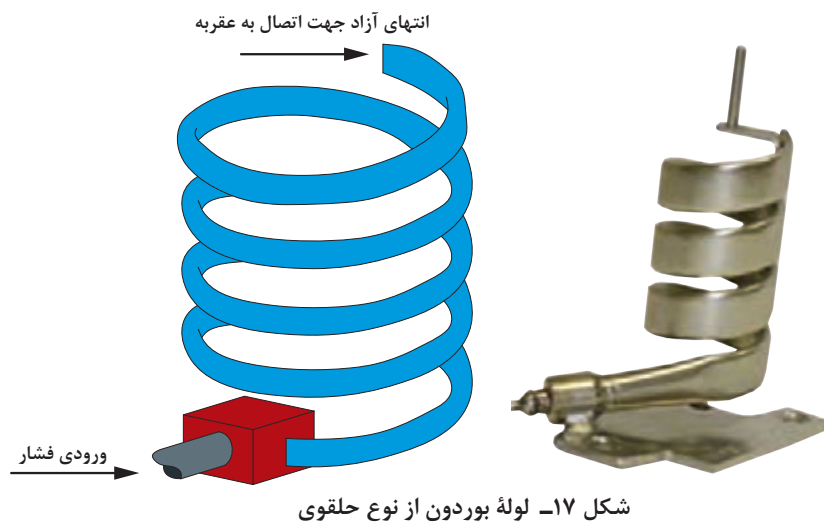


۲ حسگر نوع حلزونی^۱: برای افزایش حساسیت و دقت در اندازه‌گیری فشارهای پایین، طول لولهٔ ورودی را افزایش می‌دهند. گاهی ممکن است طول لولهٔ ورودی به قدری زیاد شود که زاویهٔ آن از ۳۶۰ درجه هم بگذرد (شکل ۱۶)، یعنی لوله به صورت یک دایرهٔ کامل در آمده و از آن هم تجاوز کند. در این حالت لوله به شکل مارپیچ در خواهد آمد، اما سازوکار اندازه‌گیری فشار همانند لولهٔ C شکل می‌باشد.



شکل ۱۶- لولهٔ ورودی از نوع حلزونی

۳ حسگر نوع حلقوی^۲: برای اندازه‌گیری فشارهای بالا تا ۱۰۰۰۰ پوند بر اینچ مربع از لولهٔ ورودی حلقوی استفاده می‌گردد. فشارسنج‌ها و ثبت‌کننده‌هایی که از لولهٔ ورودی نوع حلقوی و حلزونی استفاده می‌کنند، دارای اصطکاک کمتر و حساسیت زیاده‌تری می‌باشند. در این نمونه نیز سازوکار انتقال حرکت به عقربه مانند انواع دیگر می‌باشد (شکل ۱۷).



شکل ۱۷- لولهٔ ورودی از نوع حلقوی

علاوه بر فشارسنج‌های نوع ورودی، انواع دیگر فشارسنج که براساس تأثیر فشار بر یک مادهٔ انعطاف‌پذیر کار می‌کنند مانند فشارسنج دیافراگمی وجود دارند.

۱- Spirsl Sensor
۲- Helical Sensor



مقایسه ای بین مانومترها و فشارسنج بوردون از نظر کاربرد انجام دهید.

آشنایی با فشارسنج بوردون روش کار:

از یک فشارسنج بوردون و یک نوع کمپرسور هوا استفاده کنید. در صورت عدم دسترسی به کمپرسور، می‌توانید از لاستیک 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 بوردون، 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 بوردون و انتقال این حرکت به عقربه توجه کنید و مشاهدات خود را یادداشت کنید.



اگر لوله بوردونی 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 فشارسنج بوردون، 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 دیجیتالی می‌باشد (شکل ۱۸).



شکل ۱۸- مانومتر دیجیتال قابل حمل و ثابت

ارزشیابی شایستگی اندازه‌گیری فشار فرایند

شرح کار:

- ۱ آشنایی با مفهوم فشار
- ۲ محاسبات در اندازه‌گیری فشار
- ۳ کار با فشارسنج

استاندارد عملکرد:

به کارگیری مفاهیم و محاسبات فشار و کار با فشارسنج‌ها مطابق دستور کار

شاخص‌ها:

- در هنگام انجام دادن کار مسایل ایمنی را رعایت کند.
- انجام دادن کار طبق دستورالعمل

شرایط انجام کار و ابزار و تجهیزات:

- مکان: کارگاه و آزمایشگاه
- زمان: یک جلسه آموزشی
- ابزار و تجهیزات: وسایل ایمنی شخصی و انواع فشارسنج‌ها

معیار شایستگی:

ردیف	مرحله کار	حداقل نمره قبولی از ۳	نمره هنجار
۱	به کارگیری مفاهیم اندازه‌گیری فشار	۱	
۲	به کارگیری محاسبات در اندازه‌گیری فشار	۲	
۳	کار با فشارسنج	۲	
	شایستگی‌های غیرفنی، ایمنی، بهداشتی، توجهات زیست‌محیطی و نگرش: ۱- ایمنی: انجام دادن کار کارگاهی با رعایت موارد ایمنی و استفاده از وسایل ایمنی شخصی ۲- نگرش: صرفه‌جویی در مصرف مواد و تجهیزات و دستگاه‌ها جهت اندازه‌گیری فشار ۳- توجهات زیست‌محیطی: جلوگیری از صدمه زدن به محیط زیست از طریق انجام دادن کار بدون ریخت و پاش ۴- شایستگی‌های غیرفنی: اخلاق حرفه‌ای، مدیریت منابع، محاسبه کاربست ریاضی، مستندسازی، گزارش‌نویسی	۲	
میانگین نمرات**			

* شایستگی‌های غیرفنی تأثیر مستقیم در نمره واحد یادگیری ندارد؛ ولی شرط لازم برای محاسبه نمره شایستگی‌های فنی و مستمر است.

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

واحد یادگیری ۲

کنترل فشار فرایند

مقدمه

در این واحد یادگیری، کنترل فشار به عنوان یکی از عوامل تعیین کننده در عملکرد ایمن و پایدار فرایندهای شیمیایی بررسی می شود. در ابتدا، روش های کالیبراسیون فشارسنج ها به منظور اطمینان از دقت اندازه گیری فشار در تجهیزات صنعتی تشریح می شود. سپس شیوه عملکرد کنترل کننده های فشار در تجهیزات شیمیایی و تأثیر آنها بر تنظیم شرایط فرایندی توضیح داده می شود. کنترل مناسب فشار نقش مهمی در افزایش عمر تجهیزات، حفظ کیفیت محصول و پیشگیری از خطرات احتمالی دارد.

استاندارد عملکرد

کنترل فشار فرایند مطابق دستور کار

شایستگی های غیر فنی

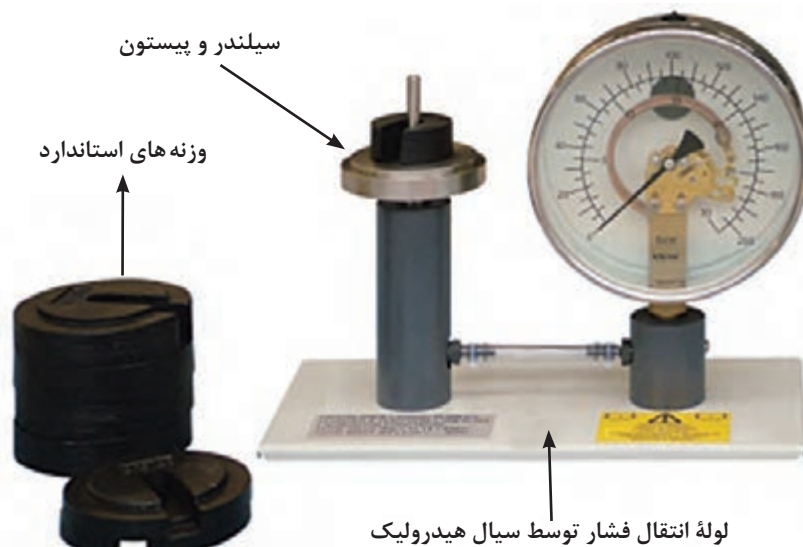
- ۱ اخلاق حرفه ای: حضور منظم و وقت شناسی - انجام دادن وظایف و کارهای محول - پیروی از قوانین
- ۲ مدیریت منابع: شروع به کار به موقع - مدیریت مؤثر زمان - استفاده صحیح از مواد و تجهیزات
- ۳ کار گروهی: حضوری فعال در فعالیتهای گروهی - انجام دادن کارها و وظایف سپرده شده
- ۴ مستندسازی: گزارش نویسی فعالیتهای کارگاهی
- ۵ محاسبه و کاربست ریاضی

شایستگی های فنی

- ۱ کالیبراسیون فشارسنج
- ۲ عملکرد کنترل کننده های فشار در تجهیزات
- ۳ کنترل فشار تجهیزات

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 ۱۹). 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 معادله 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 ۱۹- سامانه تنظیم فشارسنج بوردون به روش بار مرده

تنظیم‌کننده‌های فشار^۲

هوای فشرده، گازهای صنعتی، گاز شهری و انواع دیگر گازها، توسط سیلندرها، 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. اما مصرف‌کننده‌های گاز نیاز به فشارهای پایین‌تری در حد ۰/۲۵ psi دارند. کاهش فشار زیاد به فشار مناسب توسط تنظیم‌کننده‌های فشار یا رگولاتورها صورت می‌پذیرد.

۱- Dead Weight Method

۲- Pressure Regulators

متغیرهای زیادی در انتخاب یک رگولاتور مناسب نقش دارند که شامل دامنه فشار عملیاتی ورودی و خروجی، شدت جریان مورد نیاز، 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 مورد نظر

■ دامنه فشار کپسول و فشار مورد نیاز

■ دامنه دقت اندازه‌گیری

■ شدت جریان گاز

رگولاتورهای گازی دارای فشارها و کاربردهای مختلفی هستند (شکل‌های ۲۰ تا ۲۲). برخی مانند رگولاتورهای گاز شهری در مواقعی که فشار خط لوله کم می‌شود، جریان گاز را برای مصرف کننده قطع می‌کنند.



شکل ۲۲- رگولاتور گاز مایع



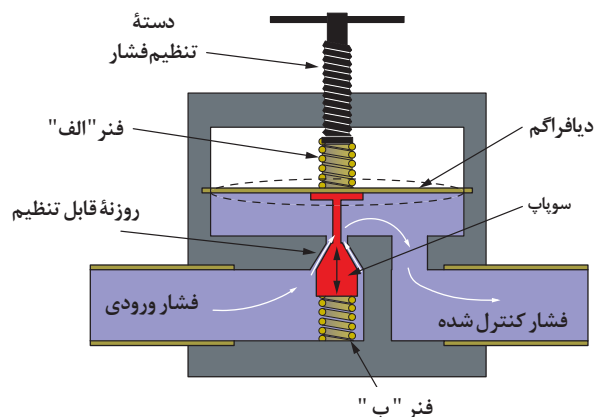
شکل ۲۱- رگولاتور گازهای صنعتی



شکل ۲۰- رگولاتور گاز شهری

شیر فشارشکن^۱

شیرهای فشارشکن، گونه‌ای از شیرهای صنعتی می‌باشند که جهت تنظیم، کاهش و ثابت نگه داشتن فشار خروجی سیالاتی مانند بخار، آب و گازهای صنعتی در خطوط انتقال، شبکه و توزیع مواد خام مورد استفاده قرار می‌گیرند. یک نوع از شیرهای فشارشکن با عملکرد مستقیم^۲ در شکل ۲۳ نشان داده شده است.



شکل ۲۳- طرح ساده‌ای از یک شیر فشارشکن با عملکرد مستقیم

۱- Pressure Reducing Valve

۲- Direct Acting Pressure Reducing Valve



طرز کار شیر فشارشکن 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.

با استفاده از اینترنت، انیمیشنی از شیوه عملکرد شیر فشارشکن تهیه کنید.

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 به طور دائم فشار را کنترل می‌کنند.

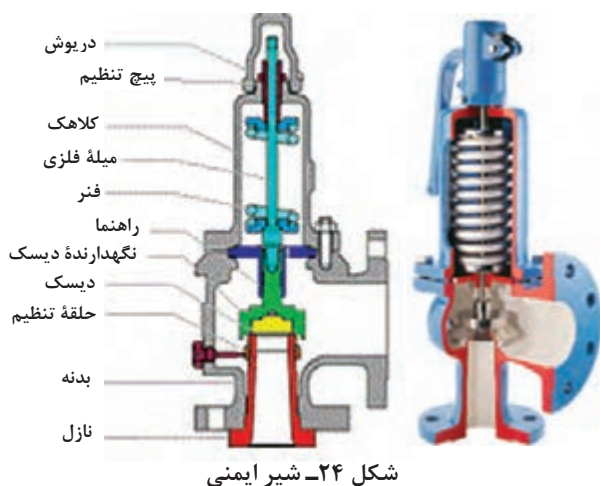
در صورت افزایش فشار و عدم توانایی سامانه‌های خودکار، سامانه‌های هشدار و ایمنی فعال می‌شوند و کاربرها به صورت دستی برای کنترل فشار اقدام خواهند کرد. چنانچه هیچ کدام از این راه حل‌ها فشار را کنترل نکنند، تجهیزات آرام‌سازی و رهاسازی فشار به عنوان آخرین عنصر از زنجیره ایمنی سامانه، فشار اضافه را به بیرون هدایت می‌کنند.

امروزه در بازار انواع مختلف تجهیزات کاهش فشار وجود دارند که به دو دسته 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 ۲۴).



۱- Pressure Relief Devices

۲- Reclosing Pressure Relief Devices

۳- Non - Reclosing Pressure Relief Devices

۴- Safety Valve

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. بسته شدن 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. 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.



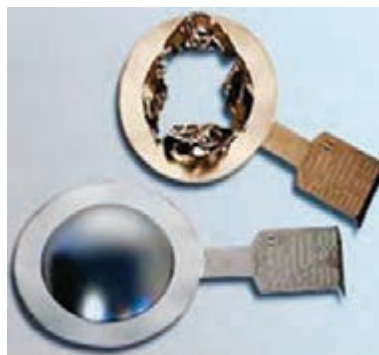
شکل ۲۵- نمای بیرونی و درونی شیر رهاسازی

۲ شیر رهاسازی: 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 ۲۵). مشابه این شیر را می‌توانید بالای مخازن آبگرمکن‌های مخزنی مشاهده کنید.

۳ شیر ایمنی اطمینان: 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 ۲۶).



شکل ۲۶- دیسک انفجاری قبل و بعد از پاره شدن و چگونگی نصب آن

۱- Relief Valves
۲- Safety Relief Valves
۳- Rupture Disc



شکل ۲۷- مجرای ذوب شدنی روی شانه
یک سیلندر گاز تحت فشار و یک مجرای
ذوب شدنی مجزا قبل از نصب

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 ذوب شدنی»^۱ 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 ۲۷).

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

پرسش



اتاق فرمان^۲

در اتاق فرمان، متخصصین فرایند، بر کلیه تحولات، نظارت دقیق دارند و در صورت لزوم فرمان‌های دستی یا خودکار را صادر می‌کنند (شکل ۲۸). 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. در اتاق‌های فرمان علاوه بر کنترل فرایند، کلیه اتفاقات فرایندی توسط نشانگرها^۳ نمایش داده و ثبت می‌گردند.



شکل ۲۸- اتاق فرمان موجود در پالایشگاه گاز

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.

۱- Fusible Plug

۲- Control Room

۳- Indicators

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.

ثبات‌ها^۱

برای ثبت اندازه‌گیری‌ها از ثبات استفاده می‌شود. ثبات زمانی استفاده می‌گردد که نیاز به دانستن و داشتن جزئیات تغییرات در طول زمان می‌باشد. ثبات‌ها انواع گوناگونی دارند که عبارت‌اند از: **ثبات‌های کاغذی^۲:** این ثبات‌ها دارای کاغذ می‌باشند و متغیرهای فرایندی نظیر فشار را بر حسب زمان روی کاغذ ثبت می‌کنند (شکل ۲۹). کاغذ ثبات با سرعت معلوم حرکت می‌کند و یک قلم، تغییرات متغیرهای مورد نظر را روی کاغذ ثبت می‌کند و کاربر می‌تواند با رجوع به آن، تاریخچه‌ای از زمان وقوع رخدادها را داشته باشد. به علاوه این اتفاقات ثبت شده را می‌توان بایگانی نمود. برخی از این نوع ثبات‌ها تا ۱۶ عدد قلم برای ثبت ۱۶ متغیر هم‌زمان را دارا هستند. **ثبات‌های بدون کاغذ:** این نمونه‌ها نسل جدیدی از ثبات‌ها می‌باشند که نیاز به کاغذ و قلم در آنها به کمک فناوری‌های جدید از بین رفته است. این ثبات‌ها دارای صفحه نمایش، قابلیت اتصال به اینترنت، ارسال داده‌ها و ... می‌باشند (شکل ۳۰).



شکل ۳۰- یک نوع ثبات جدید



شکل ۲۹- دو نوع ثبات کاغذی

۱- Recorders

۲- Pen Recorder



کنترل فشار

روش کار:

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

۱ حدود $\frac{1}{5}$ از مخزن را از آب پر نموده و درب مخزن را مطابق دفترچه راهنمای آن ببندید.

۲ اتوکلاو را روشن کنید تا آب درون مخزن شروع به گرم شدن کند.

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

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

۵ بگذارید آزمایش ۲-۳ دقیقه دیگر هم ادامه یابد.

نکته ایمنی :

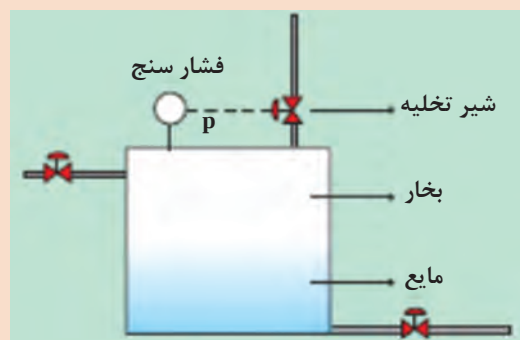
در هنگام کار کردن با اتوکلاو و دیگ زودپز، مراقب نشتی‌ها باشید و سامانه را کاملاً آب‌بندی نمایید.

۱ از سلامت دستگاه و اتصالات اطمینان حاصل کنید. هیچ نشتی، ترک یا زنگ‌زدگی نباید وجود داشته باشد.

۲ به آرامی فشار سامانه را تخلیه کنید تا از شوک فشاری به تجهیزات جلوگیری شود.

۳ شیرها را ببندید و اتصالات را بررسی کنید تا نشتی وجود نداشته باشد.

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



شکل سامانه کنترل فشار مخزن

به پرسش‌های زیر پاسخ دهید:

۱ نمودار تغییرات دما بر حسب زمان را رسم نمایید.

۲ نمودار تغییرات فشار بر حسب زمان را رسم کنید.

۳ نمودار تغییرات فشار بر حسب دما را رسم نمایید.

۴ در چه زمانی شیر اطمینان عمل کرد؟

ارزشیابی شایستگی کنترل فشار فرایند

شرح کار:

- ۱ آشنایی با کالیبراسیون فشارسنج
- ۲ آشنایی با عملکرد کنترل‌کننده فشار در تجهیزات
- ۳ کنترل فشار تجهیزات

استاندارد عملکرد:

کنترل فشار فرایند مطابق دستورکار

شاخص‌ها:

- رعایت مسائل ایمنی در هنگام انجام دادن کار
- انجام کارها طبق دستور کار

شرایط انجام کار و ابزار و تجهیزات:

- مکان: کارگاه و آزمایشگاه
- شرایط دستگاه: آماده به کار
- زمان: یک جلسه آموزشی
- ابزار و تجهیزات: وسایل ایمنی شخصی، تجهیزات کالیبراسیون فشار و اندازه‌گیری فشار تجهیزات

معیار شایستگی:

ردیف	مرحله کار	حداقل نمره قبولی از ۳	نمره هنجار
۱	کالیبراسیون فشارسنج	۲	
۲	عملکرد کنترل‌کننده فشار در تجهیزات	۱	
۳	کنترل فشار تجهیزات	۲	
	شایستگی‌های غیرفنی، ایمنی، بهداشتی، توجهات زیست‌محیطی و نگرش: ۱- ایمنی: انجام دادن کار کارگاهی با رعایت موارد ایمنی و استفاده از وسایل ایمنی شخصی ۲- نگرش: صرفه‌جویی در مصرف مواد اولیه در هنگام کار با دستگاه‌ها و اندازه‌گیری فشار تجهیزات ۳- توجهات زیست‌محیطی: جلوگیری از صدمه زدن به محیط‌زیست از طریق انجام دادن کار بدون ریخت و پاش ۴- شایستگی‌های غیرفنی: اخلاق حرفه‌ای، مدیریت منابع، محاسبه و کاربست ریاضی، مستندسازی، گزارش‌نویسی	۲	
میانگین نمرات **			

* شایستگی‌های غیرفنی تأثیر مستقیم در نمره واحد یادگیری ندارد؛ ولی شرط لازم برای محاسبه نمره شایستگی‌های فنی و مستمر است.

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



پودمان ۴

اندازه‌گیری، ثبت و کنترل دبی



تجهیزات اندازه‌گیری جریان سیالات نظیر اریفیس متر، روتامتر و ونتوری متر، از مهم‌ترین وسایل اندازه‌گیری، طراحی و امور راهبردی صنایع شیمیایی است.

واحد یادگیری ۱

محاسبات دبی فرایند

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 دبی‌سنج‌ها انجام می‌شود. میزان دقیق مواد ورودی و خروجی فرایندها، توسط دبی‌سنج‌ها صورت می‌گیرد. این واحد یادگیری اهمیت محاسبات در اندازه‌گیری دبی سیالات (مایعات و گازها) و بررسی انواع جریان آنها را نشان می‌دهد. آشنایی با این مباحث نقش مؤثری در افزایش دقت عملیاتی و ایمنی واحدهای صنعتی دارد.

استاندارد عملکرد

به کارگیری محاسبات و اندازه‌گیری دبی مایعات و گازها

شایستگی‌های غیر فنی

- ۱ اخلاق حرفه‌ای: حضور منظم و وقت‌شناسی - انجام دادن وظایف و کارهای محول - پیروی از قوانین
- ۲ مدیریت منابع: شروع به کار به موقع - مدیریت مؤثر زمان - استفاده صحیح از مواد و تجهیزات
- ۳ کار گروهی: حضوری فعال در فعالیتهای گروهی - انجام دادن کارها و وظایف سپرده شده
- ۴ مستندسازی: گزارش نویسی فعالیتهای کارگاهی
- ۵ محاسبه و کاربرست ریاضی

شایستگی‌های فنی

- ۱ به کارگیری مفاهیم دبی
- ۲ انجام دادن محاسبات دبی
- ۳ تعیین نوع جریان

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 «کمّی کردن» و «اندازه گیری» موضوعات مطرح در زندگی روزانه او بوده است.

نکته



شدت جریان (دبی)

چند تعریف

■ سیال: سیال یا شارژ به ماده ای گفته می شود که بتواند جاری شود و تحت تأثیر نیروهای کوچک، تغییر شکل قابل ملاحظه ای داشته باشد. مایعات و گازها سیال هستند.



درباره سیالیت موادی مانند عسل، قیر، آب، یخ، هوا و ژله با هم گروهی‌های خود گفت‌وگو کنید.

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

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. جریان‌پذیری از جمله خواص ذاتی سیال‌ها و تفاوت آنها با جامدات به شمار می‌رود. این خاصیت سبب آسانی انتقال آنها از محلی به محل دیگر می‌باشد. در بسیاری از صنایع و کاربردهای فنی، دانستن میزان دقیق یک جریان عبوری سیال (مایع یا گاز) در واحد زمان از یک لوله یا دیگر تجهیزات، لازم است. کیفیت مناسب محصولات یک فرایند تولیدی، به نسبت مواد 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.

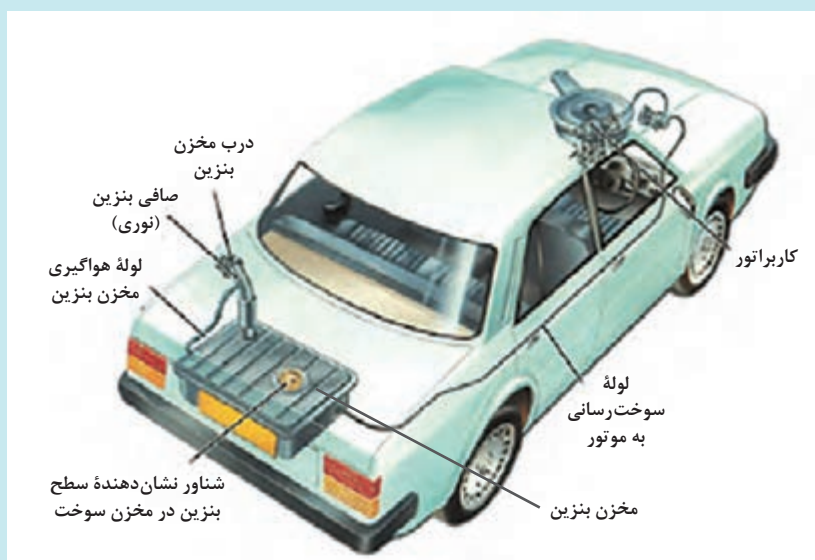


درباره پر کردن یک مخزن آب یا استخر با توجه به دبی آب با هم گروهی‌های خود گفت‌وگو کنید:

- چه ارتباطی بین حجم آب و زمان وجود دارد؟
- دبی چگونه سرعت پر شدن مخزن را تعیین می‌کند؟
- اگر دبی آب ورودی زیاد یا کم شود، زمان پر شدن مخزن چگونه تغییر می‌کند؟
- چه عواملی می‌توانند دبی را افزایش یا کاهش دهند؟
- چه شرایطی باعث می‌شود سطح آب ثابت بماند؟
- گروه شما چه روش‌هایی برای کاهش زمان پر شدن مخزن یا استخر پیشنهاد می‌کند؟



فرض کنید که مخزن سوخت خودرویی ۴۵ لیتر گنجایش بنزین دارد. پمپ بنزین جایگاه عرضه سوخت با شدت ۹ لیتر بر 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؟



جایگاه مخزن بنزین در خودرو



آیا می‌دانید که مقدار نفت خام تحویل شده به کشتی‌های نفت کش اقیانوس‌پیما را چگونه اندازه‌گیری می‌کنند؟



یک نمونه کشتی نفت کش اقیانوس‌پیما

پیش‌تر 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 می‌شود.

پرسش

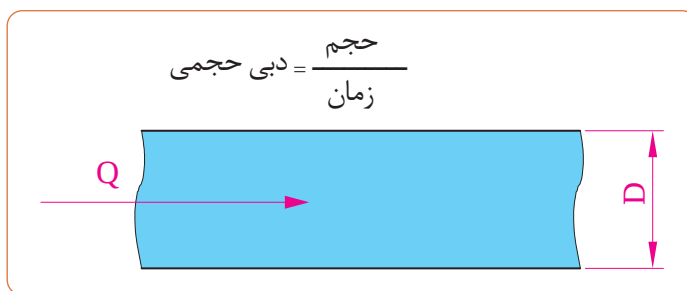


حتماً دیده‌اید که بنزین موتور بر حسب لیتر (یعنی به صورت حجمی) فروخته می‌شود؛ اما از کپسول‌های گاز مایع با عنوان «کپسول هجده کیلویی» (یعنی به صورت جرمی) نام برده می‌شود. آیا می‌دانید چرا؟

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

دبی حجمی (Q)

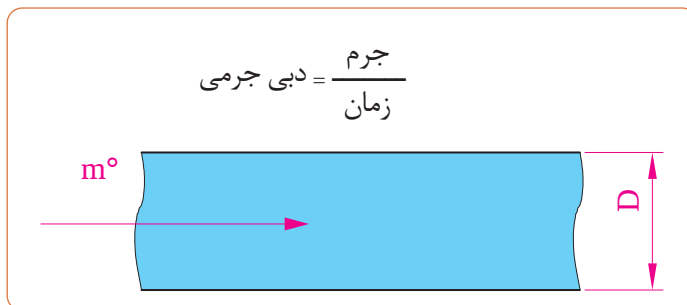
به حجم معینی از سیال که از یک مقطع در واحد زمان عبور کند، دبی حجمی می‌گویند (شکل ۱).



شکل ۱- 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 (شکل ۲).



شکل ۲- 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^3 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 می آید. برای اندازه گیری دقیق انتقال یک سیال (اعم از مایع و گاز یا حتی مخلوط آنها) وسایل گوناگونی ساخته شده که به آنها جریان سنج یا دبی سنج گفته می شود. به دلیل دشواری این اندازه گیری 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 بین المللی SI، از یکای «مترمکعب بر ثانیه (m^3/s)» برای دبی حجمی و یکای «کیلوگرم بر ثانیه (kg/s)» برای دبی جرمی استفاده می شود.

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

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

در سامانه های انگلیسی (FPS) از یکای فوت مکعب بر ثانیه (ft^3/s) برای دبی حجمی استفاده می گردد. یکای جرمی در سامانه های 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 یکاهای دبی به یکدیگر

چون دبی را می توان با واحدهای مختلف مانند لیتر بر ثانیه (L/s)، متر مکعب بر ساعت (m^3/h)، یا گالن بر دقیقه (gpm) بیان کرد، گاهی لازم است واحدها را به یکدیگر تبدیل کنیم تا محاسبات دقیق تر انجام شود یا با استانداردهای مختلف سازگار باشد. تبدیل واحدهای دبی معمولاً بر اساس ضریب تبدیل بین حجم ها و زمان ها انجام می شود. یادگیری این تبدیل ها کمک می کند تا بتوانید:

- زمان لازم برای پر شدن مخزن را محاسبه کنید،
- دبی های مختلف ورودی یا خروجی را با هم جمع کنید،
- در مسائل مهندسی یا آزمایشگاهی دقت لازم را داشته باشید.

مثال:

۱ پر کردن استخر خانگی

یک استخر ۱۰,۰۰۰ لیتری دارید و دبی شیر آب ۵۰ لیتر بر دقیقه است.
زمان لازم برای پر شدن استخر چقدر است؟

حل:

$$\text{زمان} = \frac{\text{حجم استخر}}{\text{دبی}} = \frac{10000}{50} = 200 \text{ min} = 3\text{h}, 20 \text{ min}$$

۲ محاسبه دبی رودخانه

اگر در هر ثانیه ۲ متر مکعب آب از یک رودخانه عبور کند، دبی آن را به لیتر بر ثانیه و متر مکعب بر ساعت محاسبه کنید.

حل:

$$2 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \times \frac{1000 \text{ L}}{1 \text{ m}^3} = 2000 \text{ L/s}$$

$$2 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \times \frac{3600 \text{ s}}{1 \text{ h}} = 7200 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

۳ آبیاری کشاورزی با پمپ

یک پمپ با دبی ۵۰۰ لیتر بر ساعت دارید. می‌خواهید زمین خود را آبیاری کنید. اگر زمین به ۲/۵۰۰ لیتر آب نیاز دارد، پمپ چه مدت باید کار کند؟

پاسخ:

$$\text{زمان} = \frac{\text{حجم}}{\text{دبی}} = \frac{2500 \text{ L}}{500 \text{ L/h}} = 5 \text{ ساعت}$$

۴ تبدیل واحدهای دبی در صنعت

دبی کارخانه‌ای ۳ لیتر بر ثانیه است، دبی آن را برحسب مترمکعب بر ساعت تبدیل کنید.

حل:

$$3 \frac{\text{L}}{\text{s}} \times \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ L}} \times \frac{3600 \text{ s}}{1 \text{ h}} = 3 \times \frac{3600 \text{ m}^3}{1000 \text{ h}} = 10.8 \text{ m}^3 / \text{h}$$

۵ هم‌زمانی چند شیر آب

دو شیر آب با دبی‌های ۳۰ L/min و ۵۰ L/min به یک مخزن وصل هستند. دبی کل چقدر است؟

حل:

$$\text{دبی کل} = 50 \text{ L/min} + 30 \text{ L/min} = 80 \text{ L/min}$$

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

$$\text{حجم مخزن} = 45 \text{ L} \times \frac{1 \text{ Gal}}{3.78 \text{ L}} = 10 \text{ Gal}$$

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

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

پرسش



عدد رینولدز^۱

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

$$Re = \frac{d \cdot V \cdot D}{\mu}$$

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

جریان آرام: هرگاه عدد رینولدز از رقم ۲۰۰۰ کمتر باشد، جریان را «آرام» می نامیم.

جریان آشفته: سیالات با عدد رینولدز بیش از ۴۰۰۰ را «جریان آشفته» می گویند.

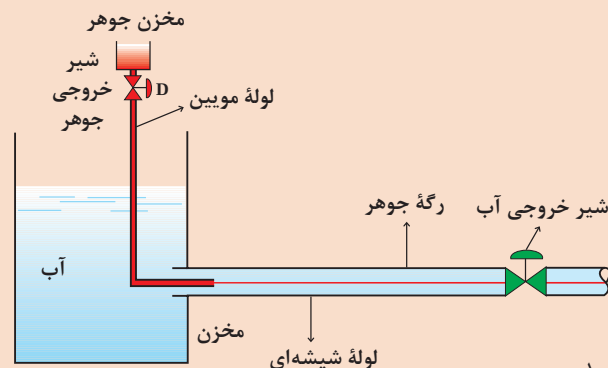
جریان گذرا^۲: محدوده بین عدد رینولدز ۲۰۰۰ تا ۴۰۰۰ را «جریان گذرا» می نامند که حالت ناپایدار دارد و با کوچک ترین تحریکی به سمت جریان آشفته گرایش پیدا می کند.

فعالیت
کارگاهی



محاسبه میزان دبی و تعیین نوع جریان

وسایل لازم: مخزن شیشه ای - لوله موئین و مخزن جوهر - لوله شیشه ای خروجی از مخزن - 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 دبی های مختلف انجام دهید.
- ۷ مشاهدات خود را شرح دهید.
- ۸ به ازای دبی های مختلف عدد رینولدز را محاسبه کنید و در جدولی یادداشت کنید.

۱- Reynolds Number

۲- Transition Flow

تغییرات رژیم جریان بر اثر افزایش عدد رینولدز در این آزمایش به خوبی قابل مشاهده است. در حقیقت محدوده جریان‌های آرام و آشفته به وسیله این آزمایش مشخص خواهد شد. در این فعالیت، که در دمای محیط انجام می‌پذیرد 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 اصطکاک در جریان آرام

معمولاً برای جریان آرام از معادله زیر استفاده می‌شود:

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

$$f = \frac{64}{\text{Re}}$$

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

فعالیت
کارگاهی



تغییرات گرانروی

در محدوده جریان آرام ($\text{Re} < 2000$) براساس معادله زیر می‌توان اثر دما را بر گرانروی سیال پیدا کرد. از این معادله می‌توان گرانروی سیال را در محدوده جریان آرام پیدا کرد.

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

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

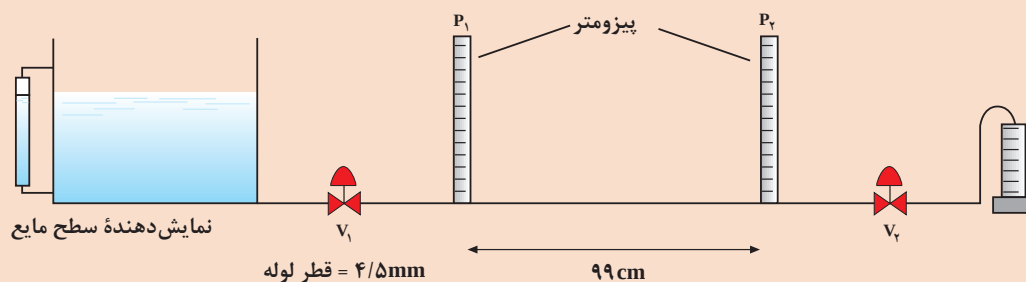
(معادله گرانروی نیازی به حفظ کردن ندارد.)

(با اندازه‌گیری اختلاف فشار در دبی‌های مختلف از طریق پیزومتر و در حالت سرعت ثابت در دماهای مختلف گرانروی محاسبه خواهد شد.)

مراحل کار:

- ۱ شیرهای V_1 و V_7 (مطابق شکل صفحه بعد) را بسته نگاه دارید و تانک ذخیره را پر کنید.
- ۲ شیر V_1 را باز کرده V_7 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_7 را باز کنید تا جریان آرام برقرار شود.
- ۵ زمان لازم برای پر شدن 50 میلی‌لیتر از استوانه مدرج را اندازه‌گیری کنید.
- ۶ مراحل «۳» الی «۵» را برای دماهای 45°C ، 50°C ، 55°C و 60°C تکرار نمایید.

جدول (۱) را تکمیل کنید و در دماهای مختلف گرانیوی سیال را پیدا نمایید.



جدول ۱- تغییرات گرانیوی با دما

	۴۰°C	۴۵°C	۵۰°C	۵۵°C	۶۰°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



ارزشیابی شایستگی محاسبات دبی فرایند

شرح کار:

۱ آشنایی با مفاهیم دبی

۲ محاسبات دبی

۳ تشخیص نوع جریان

استاندارد عملکرد:

به کارگیری محاسبات و اندازه گیری دبی مایعات و گازها

شاخص ها:

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

شرایط انجام کار و ابزار و تجهیزات:

- مکان: کارگاه و آزمایشگاه

- زمان: یک جلسه آموزشی

- ابزار و تجهیزات: تجهیزات اندازه گیری دبی جریان

معیار شایستگی:

ردیف	مرحله کار	کمترین نمره قبولی از ۳	نمره هنجار
۱	آشنایی با مفاهیم دبی	۱	
۲	محاسبات دبی	۲	
۳	تشخیص نوع جریان	۲	
	شایستگی های غیر فنی، ایمنی، بهداشت، توجهات زیست محیطی و نگرش: ایمنی: انجام دادن کار کارگاهی با رعایت موارد ایمنی و استفاده از وسایل ایمنی شخصی نگرش: صرفه جویی در مصرف مواد و اندازه گیری دبی جریان توجهات زیست محیطی: جلوگیری از صدمه زدن به محیط زیست از طریق انجام دادن کار بدون ریخت و پاش شایستگی های غیر فنی: اخلاق حرفه ای، مدیریت منابع، محاسبه و کاربست ریاضی، مستندسازی، گزارش نویسی	۲	
میانگین نمرات**			

* شایستگی های غیر فنی تأثیر مستقیم در نمره واحد یادگیری ندارد؛ ولی شرط لازم برای محاسبه نمره شایستگی های فنی و مستمر است.

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

واحد یادگیری ۲

کنترل دبی سیال

مقدمه

در این واحد یادگیری، پس از آموزش مفهوم دبی، محاسبات مربوط به آن و تعیین نوع جریان سیال، به بررسی روش‌های اندازه‌گیری دبی مایعات و گازها پرداخته می‌شود. در ادامه، کاربرد هر یک از این روش‌ها در فرایندهای شیمیایی مطالعه می‌شود. همچنین اهمیت کنترل دبی سیال در تنظیم شرایط بهره‌برداری تجهیزات و حفظ پایداری فرایند تشریح می‌شود. سپس با انجام دادن آزمایش و بازدیدهای علمی، طرز عملکرد هر یک را بهتر درک خواهید کرد.

استاندارد عملکرد

کنترل دبی سیال مطابق دستورکار

شایستگی‌های غیر فنی

- ۱ اخلاق حرفه‌ای: حضور منظم و وقت‌شناسی - انجام دادن وظایف و کارهای محول - پیروی از قوانین
- ۲ مدیریت منابع: شروع به کار به موقع - مدیریت مؤثر زمان - استفاده صحیح از مواد و تجهیزات
- ۳ کار گروهی: حضوری فعال در فعالیتهای گروهی - انجام دادن کارها و وظایف سپرده شده
- ۴ مستندسازی: گزارش نویسی فعالیتهای کارگاهی
- ۵ محاسبه و کاربست ریاضی

شایستگی‌های فنی

- ۱ اندازه‌گیری دبی مایعات
- ۲ اندازه‌گیری دبی گازها
- ۳ کنترل دبی سیال



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



ج



ب



الف

در اندازه‌گیری میزان جریان سیال به چند روش اشاره می‌شود:

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

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

۳ اندازه‌گیری به کمک پمپ‌های جابه‌جایی مثبت^۱ (کنتورهای آب و گاز)، در این روش حجم معینی از سیال در هر بار حرکت مکش یا چرخش پمپ، اندازه‌گیری شده و تعداد دفعات آن دبی را تعیین می‌کند.

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

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

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



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

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

وسایل لازم:

بطری پلاستیکی شفاف (مانند بطری آب معدنی) - زمان سنج - استوانه مدرج

روش کار:

بالای بطری پلاستیکی را ببرید تا یک ظرف استوانه ای دهان گشاد به دست آید. در پایین سطح جانبی آن (مثلاً به فاصله دو سانتی متر از ته بطری) سوراخ کوچکی (مثلاً به قطر سه میلی متر ایجاد کنید. برای دستیابی به دبی مناسب، شیر آب را آن قدر باز کنید که در مدت ۱۰ ثانیه، ۱۰۰ میلی لیتر آب در

استوانه مدرج جمع آوری شود. بطری را زیر شیر آب بگذارید؛ پس از مدت کمی، سطح آب جمع شده در بطری ثابت می شود. همان لحظه بر روی بطری علامتی بگذارید، که نشان دهنده دبی ۱۰ میلی لیتر بر ثانیه باشد، سپس دبی شیر آب را تغییر دهید. با تکرار این کار برای مقادیر مختلف جریان و به همین صورت، یک جریان سنج ساده آب (از نوع منفذدار) و به روش مستقیم ساخته اید. توجه داشته باشید که در هر مرتبه، حتماً باید سطح آب در بطری ثابت بماند، چرا که فقط در این صورت مقدار اندازه گیری شده با جریان آب شیر برابر خواهد بود.



استوانه مدرج



زمان سنج

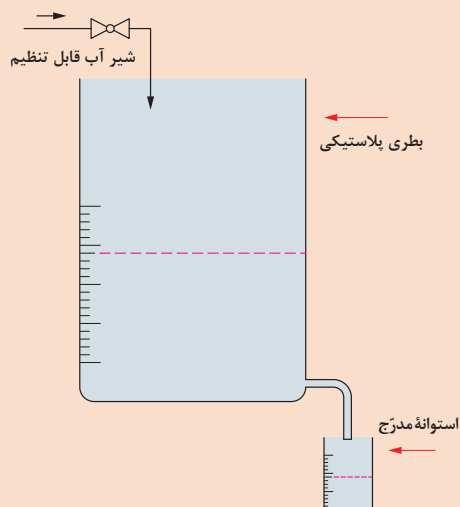


بطری پلاستیکی
شفاف

وسایل اندازه گیری دبی حجمی

نکته:

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.

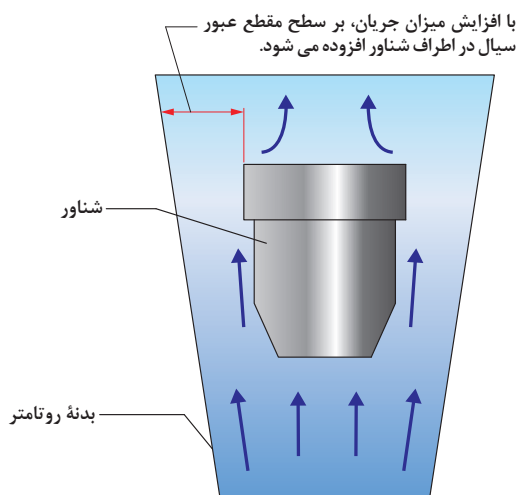


شکل طرح ساده ای از آزمایش جریان سنج آب

روش اثرات مقاومت سیال یا روش سطح متغیر (روتامتر)

روتامتر ساده‌ترین و متداول‌ترین وسیلهٔ سنجش جریان مایعات و گازهاست. این وسیله از یک شناور (با چگالی بیشتر از سیال) و یک ظرف فلزی یا شیشه‌ای (به‌صورت مخروط ناقص وارونه) تشکیل شده است (شکل ۳). شناور در داخل ظرف قرار دارد. نصب بدنهٔ روتامتر به‌صورت عمودی و جریان سیال از پایین به بالاست. با جریان یافتن سیال، شناور براساس نیروی رانش سیال به‌صورت غوطه‌ور در می‌آید (شکل ۴). 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 ۵). 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 به‌دست آورد. جنس شناور غالباً فلزی بوده، در اشکال گوناگونی ساخته می‌شود. روتامترها معمولاً برای اندازه‌گیری جریان در مقیاس‌های کوچک به کار می‌روند. بیشترین میزان جریان قابل اندازه‌گیری در روتامترها حدود ۱۵ برابر حداقل مقدار آن است، اما در عمل، برای نسبت‌های بالاتر از ۱۰ به ۱ از دو یا چند روتامتر به‌صورت موازی استفاده می‌شود. مزیت روتامترها در این است که گرانروی سیال تأثیر کمی در اندازه‌گیری و دقت آنها دارند.

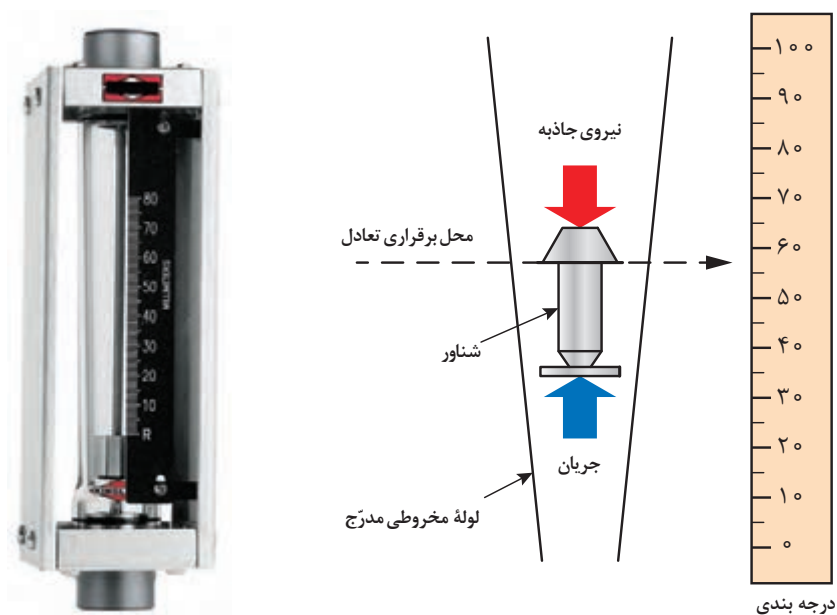
برخی از روتامترها یک سیم یا میلهٔ هدایت‌کننده در درون ظرف خود دارند که حرکت عرضی شناور را مهار کرده، از چسبیدن آن به دیوارهٔ ظرف جلوگیری می‌کند (شکل ۶). در نتیجه روتامتر تنها می‌تواند حرکت رو به بالا یا پایین در امتداد آن داشته باشد. دقت این دستگاه ۱ تا ۵ درصد است. جنس بدنه (مخروطی شکل) روتامتر در دماها و فشارهای کم و سیالات بی‌خطر (غیرخورنده، غیرسمی و غیرآتش‌گیر) شیشه پیرکس (بوروسیلیکات) است، اما در فشارهای بیشتر، از فلز استفاده می‌گردد.



شکل ۴- نمایش حرکت سیال در روتامتر



شکل ۳- یک نمونه روتامتر معمولی



شکل ۶- روتامتر با میله هدایت کننده

شکل ۵- طرح ساده‌ای از نیروهای وارد بر شناور

روتامترها علاوه بر کاربردهای صنعتی، در مراکز بهداشتی مثل کپسول‌های اکسیژن بیمارستانی نیز استفاده فراوانی دارند (شکل ۷ و ۸).



شکل ۸- روتامتر اندازه‌گیری جریان اکسیژن



شکل ۷- کپسول اکسیژن طبی به همراه روتامتر



اندازه‌گیری دبی سیال با روتامتر

وسایل لازم:

مخزن ذخیره آب - پمپ (از نوع گریز مرکز) - شیر تنظیم‌کننده - روتامتر - استوانه مدرج - زمان‌سنج

روش کار:

ابتدا مداری بسته مانند شکل ۹ تشکیل دهید. مراقب باشید که مقدار آب در مخزن ذخیره هیچ‌گاه 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 زمان‌سنج میزان دقیق جریان آب را (با سه بار تکرار و متوسط‌گیری نتایج) به دست آورید. نتیجه را به همراه مقدار اندازه‌گیری 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.

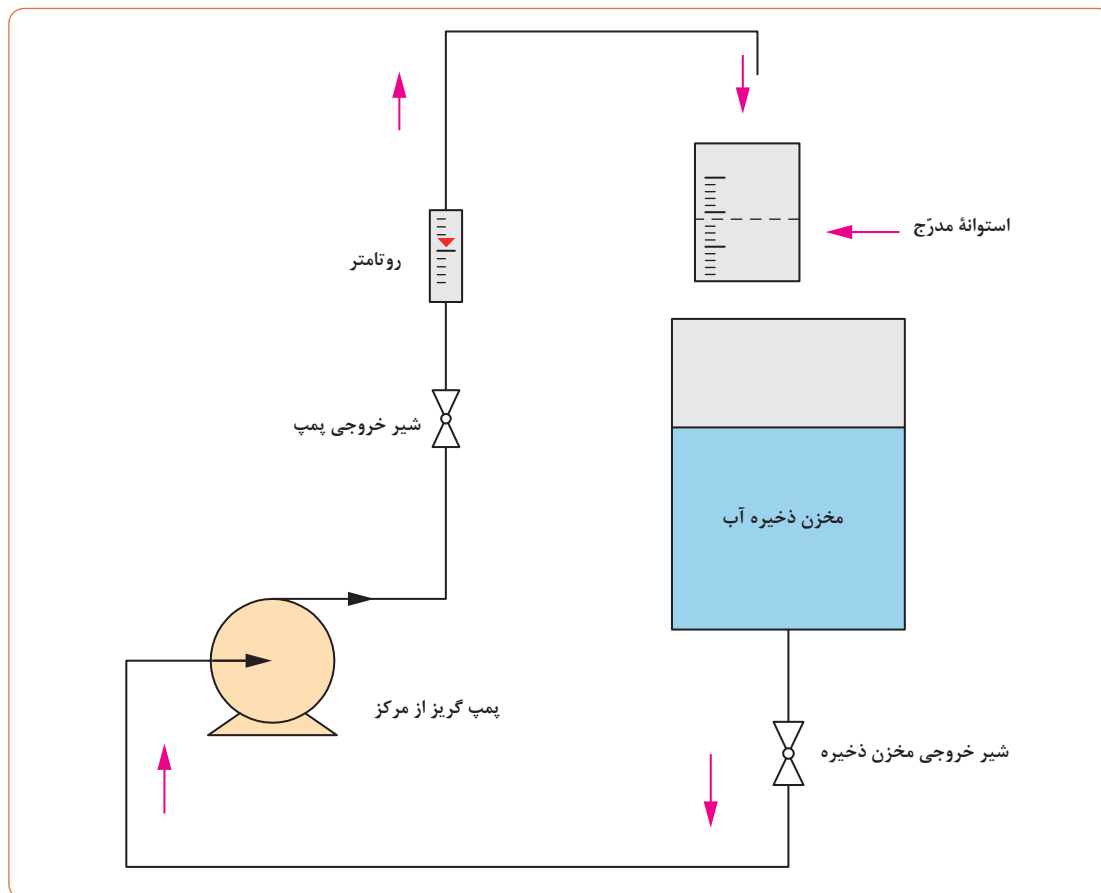
درصد خطا را از فرمول زیر محاسبه کنید

$$\text{دبی اندازه‌گیری شده با استفاده از استوانه مدرج} - \text{دبی اندازه‌گیری شده با روتامتر} \\ \text{درصد خطا} = \frac{\text{دبی اندازه‌گیری شده با استفاده از استوانه مدرج}}{\text{دبی اندازه‌گیری شده با روتامتر}} \times 100$$

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 اندازه‌گیری 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 ۹- طرح ساده‌ای از آزمایش اندازه‌گیری دبی سیال با روتامتر

روتامتری میزان جریان حجمی نفت گاز (گازوئیل) را در لوله‌ای، برابر با ۹۰ لیتر بر 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 به دست آورید.

تمرین



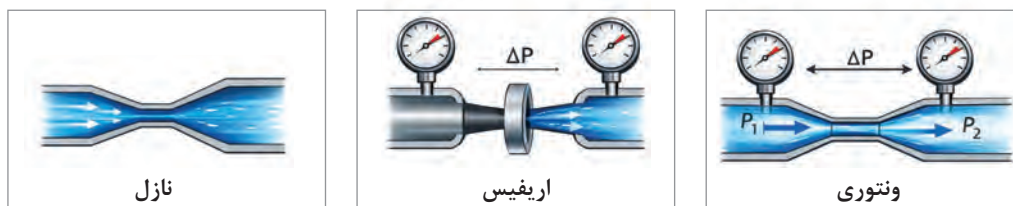
وسایل جریان سنج سیالات بر پایه نصب موانع

در این تجهیزات موانعی بر سر جریان آزاد سیالات تعبیه می‌شود 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 (شکل ۱۰).

۱- Orifice

۲- Venturi

۳- Nozzle



شکل ۱۰- وسایل اندازه‌گیری جریان سیالات

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 می‌توان استفاده کرد.

هرچه شکل مانع، باعث شود سیال با سهولت بیشتری از آن عبور کند (مانند ونتوری متر) افت فشار کمتر و دقت اندازه‌گیری بالاتر خواهد بود.

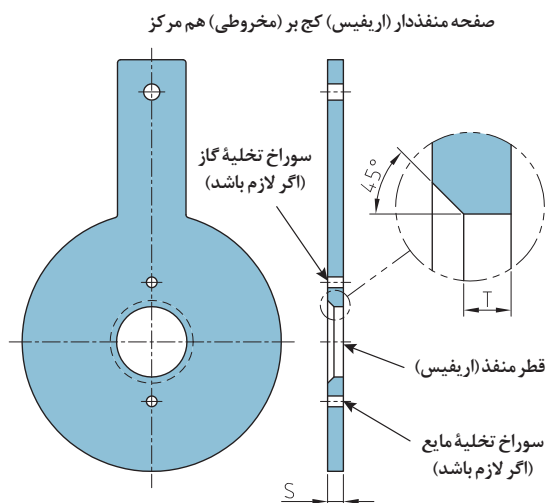
نکته



اریفیس متر

این وسیله به صورت صفحه‌ای است که روی آن سوراخی تعبیه شده است و در مسیر جریان سیال قرار داده می‌شود (شکل ۱۱). وجود این قطعه باعث ایجاد افت فشاری در جریان سیال می‌شود که با اندازه‌گیری آن میزان جریان سیال قابل محاسبه است.

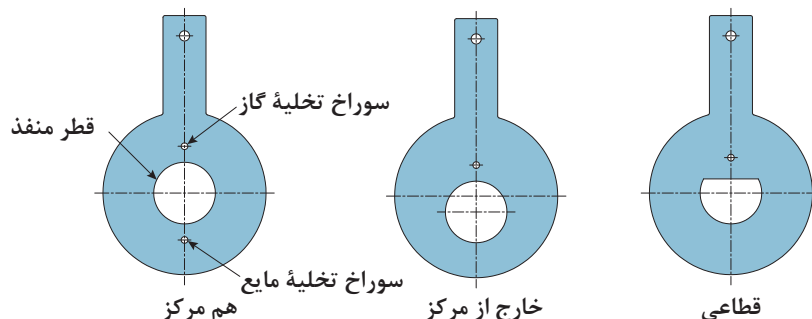
دقت اندازه‌گیری جریان، وابسته به دقت ماشین‌کاری منفذ و لبه‌های آن و مشخصات سوراخ‌های متصل به مانومتر یا فشارسنج، از جمله محل نصب مناسب و بهینه است (شکل ۱۲). این موارد به وسیله استانداردهایی مشخص شده است.



شکل ۱۱- صفحه اریفیس متر همراه با اتصالات

شکل ۱۲- طرح ساده‌ای از روبه‌رو و پهلوی اریفیس متر

اریفیس مترها به سه دسته عمده تقسیم بندی می شوند (شکل ۱۳): ۱- هم مرکز؛ ۲- خارج از مرکز؛ ۳- قطاعی.



شکل ۱۳- انواع صفحات اریفیس متر

در واحد تصفیه آب یک کارخانه، برای اندازه گیری مقدار آب ورودی از اریفیس متر استفاده می شود، چون ارزان است و نصب آن ساده تر از سایر روش ها است. اما در یک واحد پتروشیمی که دقت بالا اهمیت دارد، معمولاً از ونتوری متر استفاده می شود.

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

تحقیق 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.

اندازه گیری جریان سیالات به وسیله صفحه اریفیس متر

وسایل لازم:

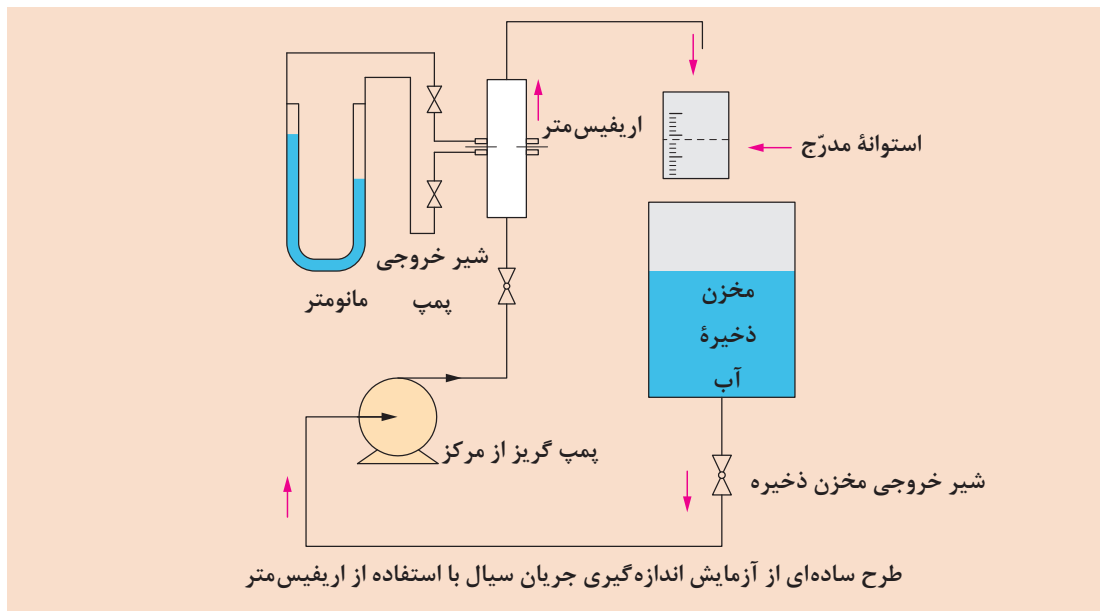
مخزن ذخیره آب - پمپ (از نوع گریز از مرکز) - شیر تنظیم کننده - اریفیس متر - استوانه مدرج - زمان سنج.

روش کار:

ابتدا مداری بسته مانند شکل صفحه بعد 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 (QC). در همین زمان اختلاف ارتفاع دو سر مانومتر خوانده و یادداشت شود. اطلاعات به دست آمده را در جدول (۳) یادداشت کنید.

فعالیت
کارگاهی





با استفاده از فرمول شکل ۱۴، پس از مقایسه، مقدار دبی سیال (Q^*) را محاسبه و با مقدار دبی واقعی مقایسه کنید. میزان ضریب تخلیه اریفیس متر (C) را از روی بدنه دستگاه با کتابچه راهنمای دستگاه بخوانید. در صورت نبود این عدد آن را ۰/۶۵ در نظر بگیرید ($g=9/8 \text{ (m/s}^2\text{)}$). اکنون با تغییر دادن شیر خروجی پمپ، مقدار جریان آب را بیشتر کنید و این کار را با تکرار آزمایش ادامه دهید.

$$Q^* = C.A. \sqrt{\frac{2(\text{اختلاف فشار})}{\text{چگالی}}}$$

$$Q^* = C.A. \sqrt{\frac{2\Delta P}{d}}$$

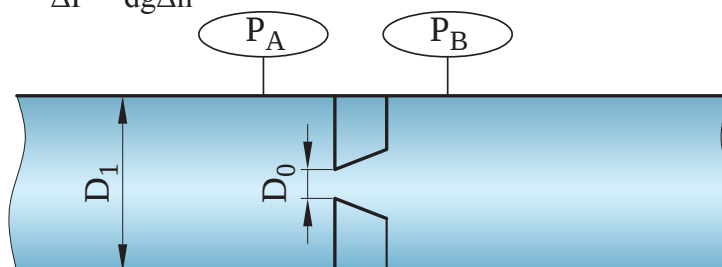
C = ضریب تخلیه

$$A = \frac{\pi D^2}{4} = \text{سطح مقطع اریفیس متر (m}^2\text{)}$$

$$\Delta P = P_A - P_B \quad \text{اختلاف فشار (Pa)}$$

$$d = 1000 \quad \text{چگالی آب (kg/m}^3\text{)}$$

$$\Delta P = dg\Delta h$$



بنابراین:

شکل ۱۴- محاسبه دبی نظری سیال به وسیله 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 ۱۵، از بخش های زیر تشکیل شده است:

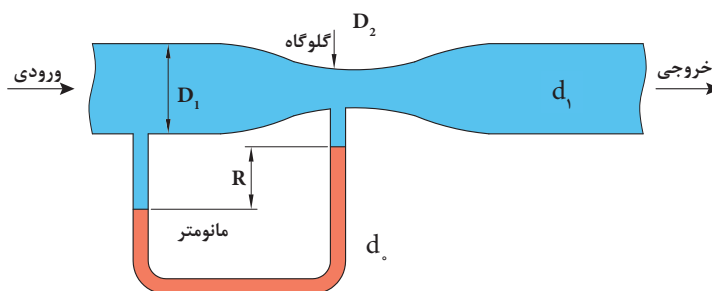
- ۱) بخش ورودی جریان که قطر آن برابر قطر لوله است (D_1)؛
- ۲) قسمت مخروطی هم گرا؛
- ۳) گلوگاه استوانه ای (D_2)؛
- ۴) قسمت مخروطی با واگرایی تدریجی که نهایتاً اندازه آن برابر با قطر لوله می شود؛
- ۵) بخش خروجی جریان که قطر آن برابر قطر لوله است.

در قسمت هم گرا انرژی فشاری سیال به انرژی جنبشی تبدیل می گردد؛ زیرا سطح مقطع لوله به تدریج کم می شود. به دلیل ثابت بودن دبی حجمی سیال، سرعت آن افزایش پیدا می کند. در قسمت واگرا سطح مقطع لوله به تدریج زیاد می شود و در این حالت انرژی جنبشی به انرژی فشاری تبدیل می گردد. 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 اندازه گیری اختلاف فشار، یک مانومتر دیفرانسیلی که یک سر آن به بخش بالادست و یک سر آن به گلوگاه متصل است، لازم است (شکل ۱۶).

اندازه ونتوری متر با قطر لوله و گلوگاه آن مشخص می شود. برای مثال ونتوری ۶ در ۴ سانتی متر، یعنی قطر لوله ۶ سانتی متر و قطر گلوگاه ونتوری متر ۴ سانتی متر است.



شکل ۱۶- یک نمونه ونتوری متر صنعتی



شکل ۱۵- ونتوری متر با مانومتر دیفرانسیلی

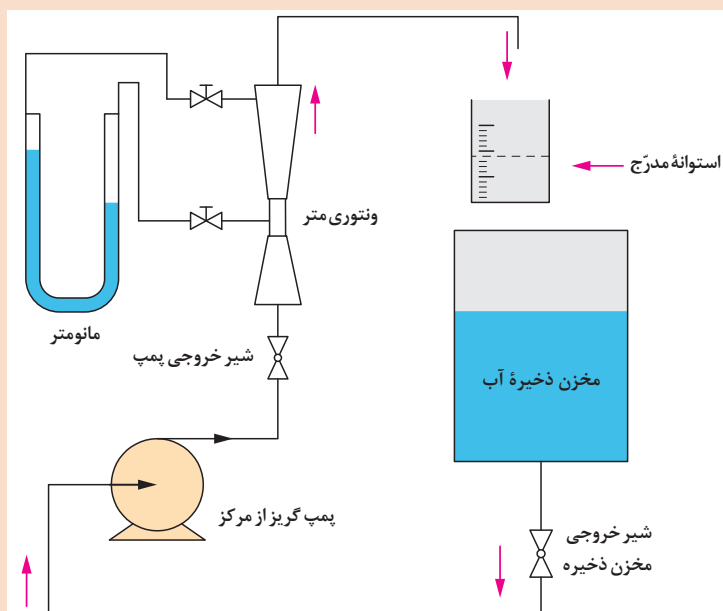
اندازه گیری دبی سیال با ونتوری متر

فعالیت
کارگاهی



وسایل لازم:

مخزن ذخیره آب - پمپ (از نوع گریز از مرکز) - شیر تنظیم کننده - ونتوری متر - استوانه مدرج - زمان سنج دقیق.
روش کار: ابتدا مداری بسته مانند شکل زیر 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 (QC). در همین زمان اختلاف ارتفاع دو سر مانومتر خوانده و یادداشت گردد. اطلاعات به دست آمده را در جدول ۴ یادداشت کنید.



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

با فرمول‌های شکل ۱۷ مقدار دبی سیال (Q) را محاسبه و با مقدار دبی واقعی مقایسه کنید.
میزان ضریب تخلیه و نتوری متر (C) را از روی بدنه دستگاه بخوانید. در صورت نبود این عدد، آن را 0.9827 در نظر بگیرید، $g = 9.8 \text{ (m/s}^2\text{)}$ 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.

$$Q_v = C.A_r \cdot \sqrt{\frac{\left(\frac{\text{اختلاف فشار}}{\text{شدت جاذبه} \times \text{چگالی}} \right) (\text{شدت جاذبه}) (2)}{1 - \left(\frac{\text{قطر و نتوری}}{\text{قطر لوله}} \right)^4}} \cdot \sqrt{\frac{2g \left(\frac{\Delta P}{\gamma} \right)}{1 - \left(\frac{D_r}{D_l} \right)^4}}$$

(سطح مقطع و نتوری) (ضریب تخلیه) = دبی

شکل ۱۷- فرمول محاسبه دبی حجمی سیال به وسیله و نتوری متر

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

یادآوری



جدول ۴- آزمایش اندازه‌گیری دبی سیال با استفاده از و نتوری متر

کمیت	زمان	حجم آب درون استوانه	دبی واقعی	اختلاف ارتفاع دوسر نانومتر	اختلاف فشار	دبی محاسبه شده و نتوری متر	درصد خطا
نماد	t	v	Q_c	Δh	ΔP	Q	%
واحد	ثانیه	سانتی متر مکعب	متر مکعب بر ثانیه	میلی متر جیوه	پاسکال	سانتی متر مکعب در ثانیه	

در جدول ۵ مقایسه‌ای بین روش‌های مختلف اندازه‌گیری دبی آورده شده است:
جدول ۵- مقایسه روش‌های مختلف اندازه‌گیری دبی

روش اندازه‌گیری	ویژگی‌ها	مزایا	معایب	محدوده دبی
روتامتر	شناور در لوله شفاف که با افزایش دبی بالا می‌رود	ساده، قابل مشاهده، بدون نیاز به برق	دقت متوسط، محدود به سیالات شفاف، حساس به گرانش	کم تا متوسط
اُریفیس متر	مانع صفحه‌ای با سوراخ مرکزی	ساده، ارزان، قابل استفاده در فشار و دماهای مختلف	افت فشار زیاد، دقت کمتر نسبت به ونتوری، نیاز به کالیبراسیون	کم تا زیاد
ونتوری متر	لوله با انقباض و انبساط تدریجی	افت فشار کم، دقت بالا، مناسب جریان بالا	بزرگ و گران، نصب و نگهداری سخت	متوسط تا زیاد
روش مستقیم	اندازه‌گیری حجم یا جرم سیال عبوری در زمان مشخص	ساده، مستقیم، نیاز به ابزار کمتر	زمان‌بر، مناسب فقط برای جریان‌های قابل دسترس و محدود	کم تا متوسط

نکات کاربردی:

- **روتامتر** برای آزمایشگاه‌ها و جریان‌های کوچک مناسب است.
- **اُریفیس متر** برای خطوط صنعتی رایج است اما افت فشار بالایی دارد.
- **ونتوری متر** در خطوط اصلی و دبی‌های بزرگ بهتر عمل می‌کند.
- **روش مستقیم** مناسب اندازه‌گیری‌های دوره‌ای یا آزمایشی است، نه جریان پیوسته صنعتی.

جریان سنج گاز



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

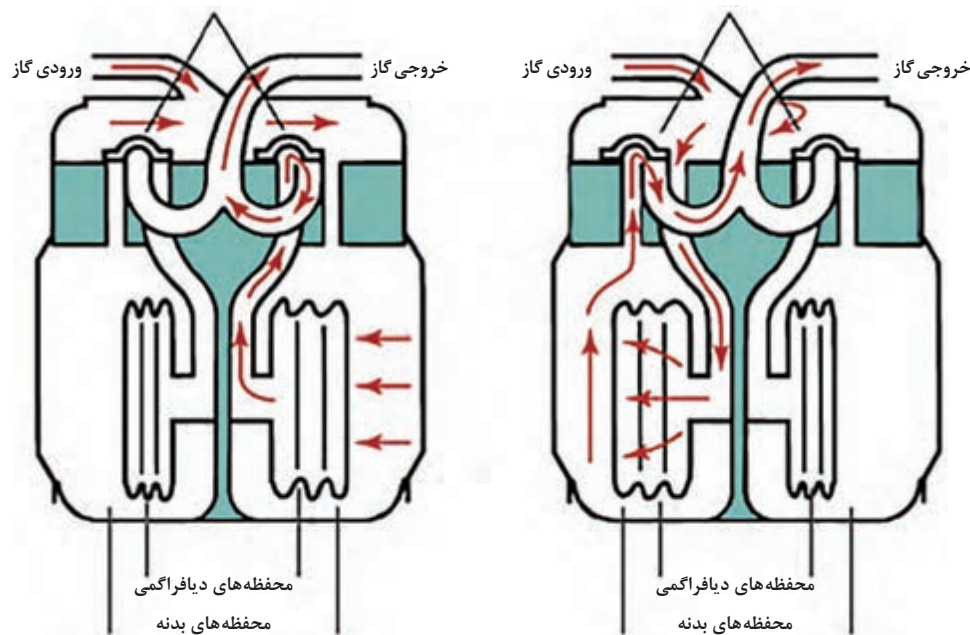
پرسش



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. اندازه‌گیری جریان گاز طبیعی به دو روش خشک و تر انجام می‌شود.

۱- روش خشک:

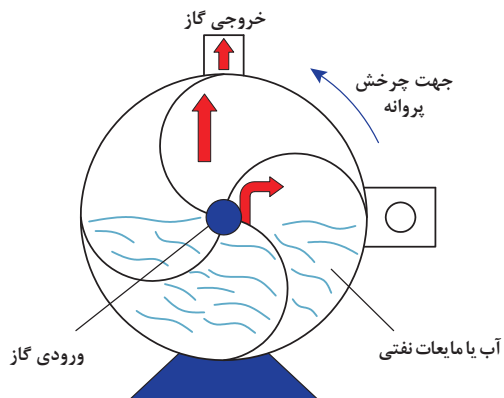
در روش خشک، از یک جریان سنج یا کنتور گاز استفاده می‌شود. کنتور گاز وسیله‌ای است که وظیفه اصلی آن اندازه‌گیری دقیق حجم یا دبی (نرخ جریان حجمی) گاز عبوری از یک مسیر مشخص است. در این روش، حجم مشخصی از گاز به صورت متوالی در محفظه‌هایی جدا شده و شمارش می‌شود. کنتورهای گاز خانگی که اغلب از دیافراگم‌های انعطاف‌پذیر و شیرهای تقسیم‌کننده تشکیل شده‌اند، نمونه‌ای از این دسته هستند. با حرکت این دیافراگم‌ها تحت تأثیر فشار گاز، حجم مشخصی از گاز به دام افتاده و سپس به سمت خروجی هدایت می‌شود. این چرخه تکرار شده و با شمارش تعداد دفعات پر شدن و خالی شدن محفظه‌ها، حجم کل عبوری محاسبه می‌شود (شکل ۱۸).



شکل ۱۸- نمای درونی و عملکرد کنتور گاز

۲- روش تر:

جریان سنج تر برای اندازه‌گیری جریان گاز همراه با مایع استفاده می‌شود. که این وسیله شامل یک محفظه خارجی استوانه‌ای و یک محفظه داخلی (شناور یا پروانه) است که می‌تواند آزادانه به دور محور افقی خود بچرخد. محفظه خارجی تا سطح مشخصی با آب یا مایعات نفتی (شکل ۱۹) پر می‌شود. این مایع نقش آب‌بندی فضاهای بین پره‌های شناور را هنگام چرخش ایفا می‌کند. گاز مورد اندازه‌گیری از طریق ورودی



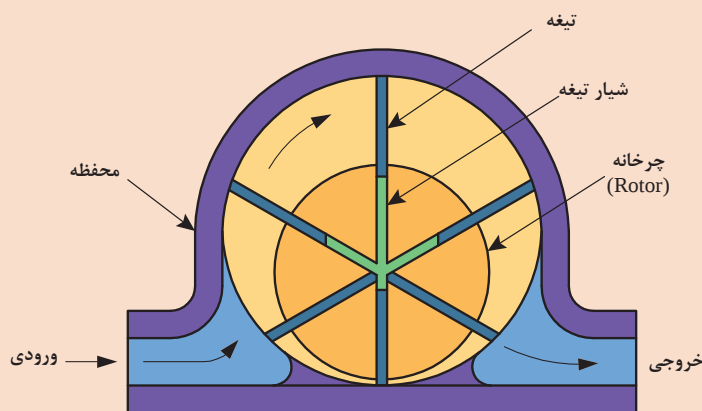
شکل ۱۹- نمای درونی جریان سنج گاز به روش تر

وارد دستگاه می‌شود. گاز وارد فضاهای پر شده از مایع در محفظه داخلی می‌گردد. همزمان با چرخش شناور داخلی این فضاها مرتباً پر و خالی می‌شوند. مقدار دبی گاز از طریق خروجی گاز (که در شکل ۱۹ مشخص شده) اندازه‌گیری می‌شود.

به عبارت ساده‌تر، گاز ورودی باعث چرخش پروانه‌های شناور در مایع می‌شود و میزان این چرخش یا جابه‌جایی گاز در هر مرحله، نمایانگر دبی آن است.

شرکت نفت ایران در حدود سال ۱۳۴۹ شمسی تصمیم گرفت که جریان‌سنج‌های خطوط لوله صادرات نفت خام خود را از نوع صفحه‌منفذدار (اریفیس) به نوع جابه‌جایی مثبت شکل زیر 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 شرایط زیر به دست آورید و آنها را در یک جدول با هم مقایسه کنید.

تمرین



جریان سنج نوع جابه‌جایی مثبت - پره‌گردان

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

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



کامیون نفت کش شهری



کشتی نفت کش اقیانوس پیما

با استفاده از شبکه جهانی اینترنت و در گروه‌های دو تا سه نفره، دو جدول در مورد انواع جریان سنج 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.

تحقیق 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، پرها 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. سپس باید یک جریان سنج 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 شکل‌های ۲۰ و ۲۱ آورده شده است.



شکل ۲۱- شیر کنترل با محور چرخان



شکل ۲۰- 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.

۱- Sliding Stem

۲- Rotary Shaft

۳- Steady State

۴- Operator

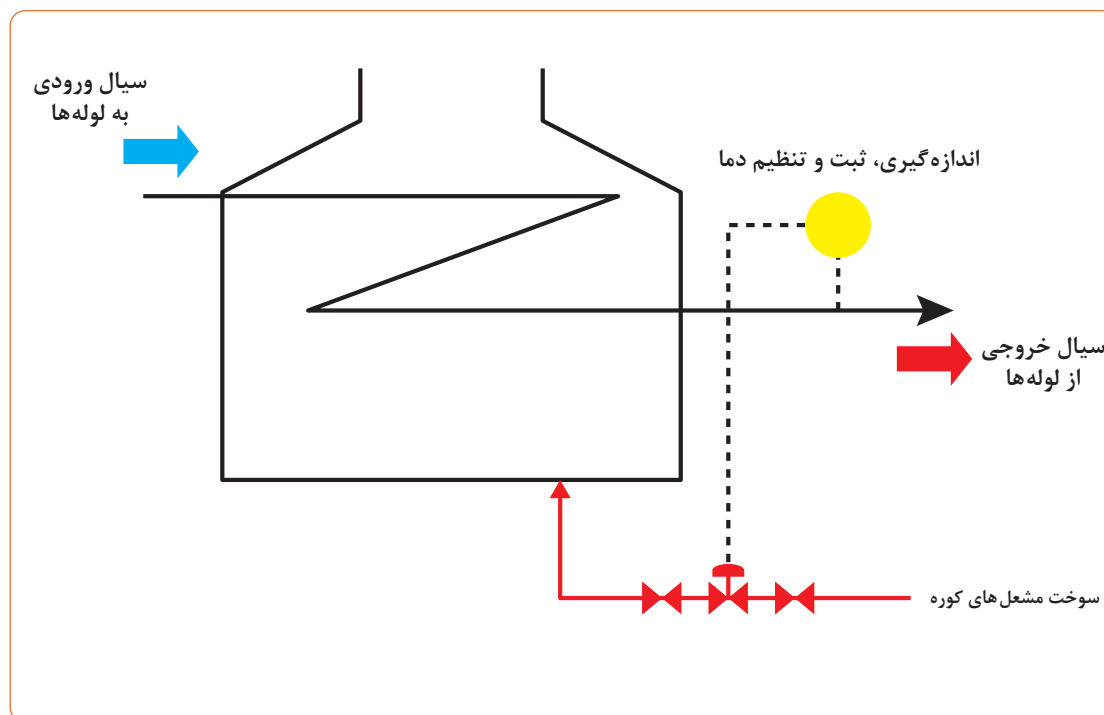
به عنوان مثالی از تفاوت یا تضاد رفتار برخی از متغیرها در مواقع راه اندازی و بستن واحدهای شیمیایی، می توان شیر تنظیم سوخت مصرفی کوره های احتراقی را ذکر کرد. در حالت عملیات فرایندی پایا، این شیر اندکی باز است. با کاهش دمای سیال خروجی کوره (یا افزایش جریان ورودی آن) سوخت بیشتری را به مشعل های کوره می فرستد. در صورتی که هنگام راه اندازی واحد، کوره سرد است و اگر این شیر در وضعیت عملکرد خودکار باشد، کاملاً باز شده، کوره را با مقدار بسیار زیاد سوخت به آتش یا انفجار خواهد کشید. به این دلیل، چنین مواردی بر عهده انسان گذارده می شود. 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 می توان با تنظیم هوشمند انجام داد.

کنترل دستی شیر آب کارگاه

وسایل لازم: استوانه مدرج - زمان سنج
روش کار:

با تنظیم دستی شیر آب کارگاه، دبی آب خروجی را روی ۰/۶ لیتر بر دقیقه تنظیم و کنترل کنید.

فعالیت
کارگاهی



شکل ۲۲- شیر کنترل خودکار تنظیم کننده سوخت مشعل ها، در کوره های فرایندی

ارزشیابی شایستگی کنترل دبی سیال

شرح کار:

۱ اندازه گیری دبی مایعات

۲ اندازه گیری دبی گازها

۳ کنترل دبی سیال

استاندارد عملکرد:

اندازه گیری دبی سیالات مطابق دستور کار

شاخص ها:

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

شرایط انجام کار و ابزار و تجهیزات:

شرایط: کارگاه و آزمایشگاه

زمان: یک جلسه آموزشی

ابزار و تجهیزات: تجهیزات آزمایشگاهی، وسایل ایمنی شخصی، وسایل اندازه گیری دبی مایع و گاز و کنترل دبی سیال

معیار شایستگی:

ردیف	مرحله کار	کمترین نمره قبولی از ۳	نمره هنگام
۱	اندازه گیری دبی مایعات	۲	
۲	اندازه گیری دبی گازها	۱	
۳	کنترل دبی سیال	۱	
	شایستگی های غیر فنی، ایمنی، بهداشت، توجهات زیست محیطی و نگرش: ایمنی: انجام دادن کار کارگاهی با رعایت موارد ایمنی و استفاده از وسایل ایمنی شخصی نگرش: صرفه جویی در مصرف مواد اولیه و وسایل اندازه گیری دبی مایع و گاز و کنترل دبی سیالات توجهات زیست محیطی: جلوگیری از صدمه زدن به محیط زیست از طریق انجام دادن کار بدون ریخت و پاش. شایستگی های غیر فنی: اخلاق حرفه ای، مدیریت منابع، محاسبه و کاربست ریاضی، مستندسازی، گزارش نویسی		
	میانگین نمرات**		

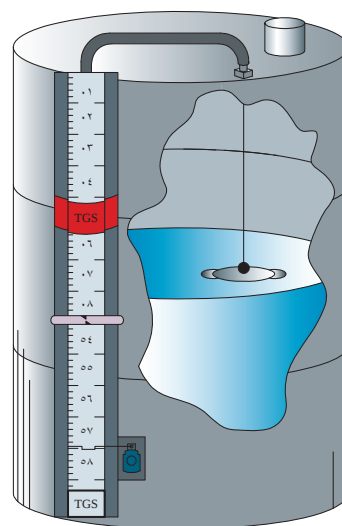
* شایستگی های غیر فنی تأثیر مستقیم در نمره واحد یادگیری ندارد؛ ولی شرط لازم برای محاسبه نمره شایستگی های فنی و مستمر است.

** حداقل میانگین نمرات هنگام 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 ۱

اندازه‌گیری ارتفاع سطح مواد

مقدمه

اندازه‌گیری ارتفاع سطح مواد و کنترل آن یکی از مهم‌ترین کمیت‌ها در صنایع شیمیایی، نفت و پتروشیمی است. مواد موجود در مخازن و تجهیزات فرایندی می‌توانند به صورت جامد، مایع یا چند مایع با چگالی‌های متفاوت باشند. با اندازه‌گیری ارتفاع سطح، می‌توان مقدار موجودی ماده در مخزن، وضعیت فازها و روند فرایندهای جداسازی و واکنش‌ها را بررسی کرد. انتخاب روش و ابزار مناسب برای اندازه‌گیری، با توجه به نوع ماده، شرایط دما و فشار و محدوده تغییرات ارتفاع انجام می‌شود.

استاندارد عملکرد

به کارگیری محاسبات، اندازه‌گیری و کنترل ارتفاع سطح مواد

شایستگی‌های غیر فنی

- ۱ اخلاق حرفه‌ای: حضور منظم و وقت‌شناسی - انجام دادن وظایف و کارهای محول - پیروی از قوانین
- ۲ مدیریت منابع: شروع به کار به موقع - مدیریت مؤثر زمان - استفاده صحیح از مواد و تجهیزات
- ۳ کار گروهی: حضور فعال در فعالیت‌های گروهی - انجام دادن کارها و وظایف سپرده شده
- ۴ مستندسازی: گزارش نویسی فعالیت‌های کارگاهی
- ۵ محاسبه و کاربست ریاضی

شایستگی‌های فنی

- ۱ به کارگیری مفاهیم و محاسبات ارتفاع سطح ماده
- ۲ اندازه‌گیری ارتفاع سطح مواد
- ۳ کنترل ارتفاع سطح مواد

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. یکی از نمونه‌های بارز اهمیت سطح‌سنج در صنعت، کاربرد آن در ظروف دو فازی 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.



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

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



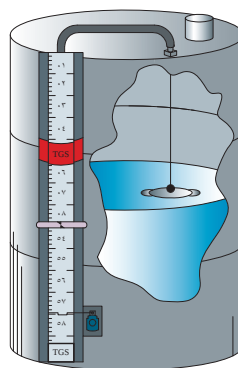
نمونه‌هایی از سطح‌سنج و کنترل سطح مایعات را در زندگی روزمره نام ببرید.

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

سطح‌سنج

به چه دلایلی از سطح‌سنج استفاده می‌گردد؟

استفاده از سطح‌سنج برای تعیین مقدار دقیق و مداوم حجم یا وزن مواد موجود در مخازن ذخیره، یکی از مهم‌ترین روش‌ها است. در شکل ۳ نمایشگر سطح به موازات تانک نصب‌شده و به صورت مدرج سطح مواد را نشان می‌دهد. مخازن نگهداری مواد هر چند از روش‌های کنترلی دیگری نیز در صنایع استفاده می‌گردد، ولی این روش قابل اعتمادتر بوده و از دقت بالایی برخوردار است. اندازه‌گیری مقدار دقیق و مداوم ارتفاع سطح مواد موجود در مخازن ذخیره، مخازن صادراتی واقع در پایانه‌های صادرات مواد نفتی، کشتی‌ها و همچنین مخازن موجود در پالایشگاه‌ها، نیروگاه‌ها و واحدهای پتروشیمی، با توجه به ارزش بالای این گونه مواد، بسیار 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؟



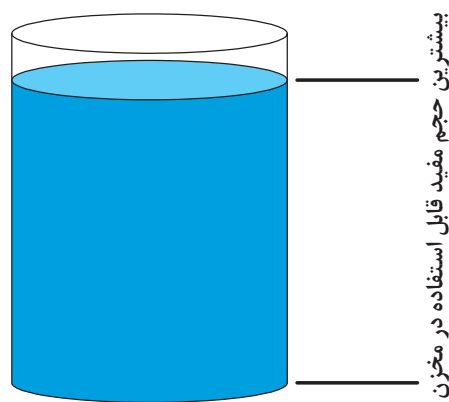
دلایل استفاده از سطح‌سنج‌ها را می‌توان به صورت زیر بیان کرد:

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

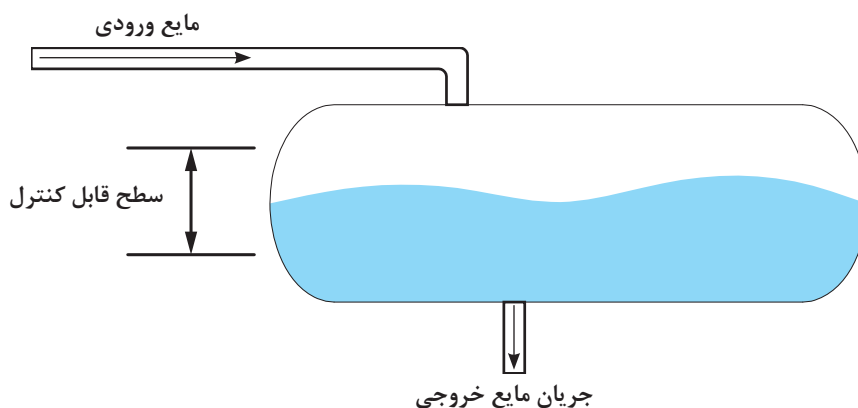
۳- ایمنی:

زمانی که مخازن بیشتر از ظرفیت خود پر شوند، امکان سرریز شدن آنها وجود دارد و در صورتی که این مواد، بازی، اسیدی، آتش‌گیر و همراه با حرارت باشند، خطرات جبران‌ناپذیری به همراه خواهند داشت. همین‌طور اگر سطح مواد درون مخزن، از حد لازم پایین‌تر بیاید، کاهش سطح مایع ممکن است 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 انتقال‌دهنده مواد) صدمه برساند. بنابراین استفاده از سطح‌سنج، اطمینان از نگهداری مواد در سطح مناسب را به همراه دارد. جهت پی بردن به اهمیت تضمین ایمنی توسط سطح‌سنج‌ها، به حادثه سال ۱۹۷۹ میلادی در نیروگاه اتمی واقع در ایالت پنسیلوانیای آمریکا اشاره می‌گردد. در یکی از راکتورهای آن نیروگاه، سطح‌سنج مقدار آب داخل راکتور را نزدیک به بالاترین سطح در راکتور و آماده برای سرریز شدن نشان داد. به دلیل مسائل ایمنی و مخاطرات آب موجود در داخل راکتور، ساکنین نزدیک نیروگاه مجبور به ترک منازل و خروج از 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

عوامل تأثیر گذار 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 گل ولای همراه با مواد است، در صورتی که سطح سنج در داخل مخزن نصب شود، لازم است آسیب های 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 می گیرد نیز، قبل از تعیین و انتخاب نوع سطح سنج باید مورد بررسی قرار گیرد. همچنین میزان کمینه و بیشینه فشار، دمای واقعی مخزن، محدوده اندازه گیری و دقت سطح مورد نظر نیز در انتخاب سطح سنج تأثیر گذار است.

برای انتخاب نوع سطح‌سنج، 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 گرانروی پایین می‌توان انتخاب نمود، بیشتر از دستگاه‌هایی است که می‌توان برای محلول‌های دوغابی با گرانروی بالا انتخاب کرد. علاوه بر شرایطی که ذکر شد، ساختار مخزن و نوع واکنش‌هایی که در آن انجام می‌گردد نیز در انتخاب نوع سطح‌سنج مؤثر است.

مخازن از نظر ساختاری به دو دسته کلی تقسیم‌بندی می‌گردند:

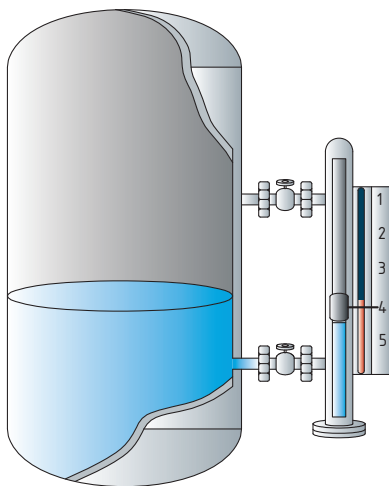
■ مخازن با تجهیزات داخلی

مانند مخلوط‌کن‌ها، برج‌های جذب، دفع، تقطیر و راکتورهای شیمیایی که در آنها واکنش شیمیایی رخ داده و نوع سطح‌سنج 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).

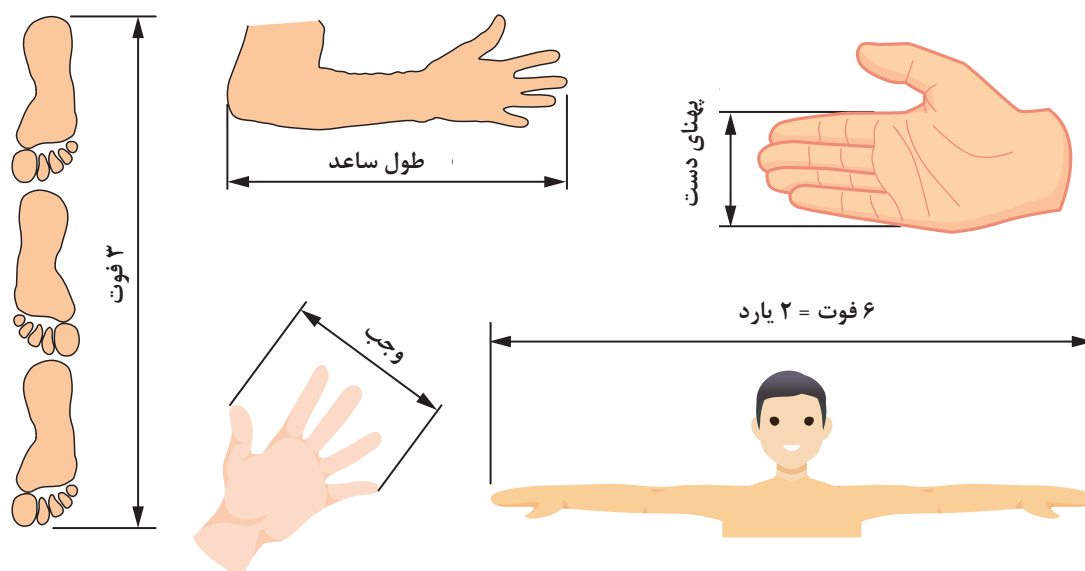
در این ظروف زمان اقامت سیال، بیش از چند دقیقه به طول نمی‌انجامد و هر جا که شرایط مخزن بر عملکرد حسگر سطح‌سنج تأثیر گذار باشد، این شرایط نیز باید در نظر گرفته شود.



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 کمیته‌ی 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

پودمان پنجم - اندازه‌گیری، ثبت و کنترل ارتفاع سطح مواد

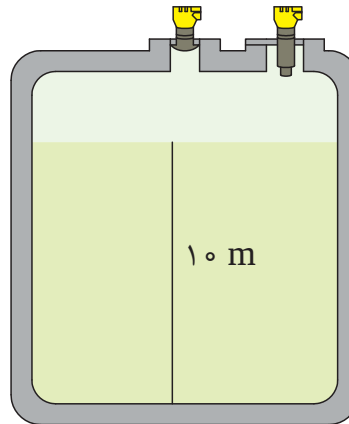
مثال: ارتفاع سیال حاوی برش‌های سنگین نفتی در مخزن ذخیره‌ای مشابه شکل زیر، به ۱۰ متر می‌رسد. این مقدار معادل چند سانتی‌متر، چند فوت و چند اینچ می‌باشد؟

h = ارتفاع سیال

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

$$h(\text{ft}) = 10 \text{ m} \times \frac{1 \text{ ft}}{0.3048 \text{ m}} = 32.81 \text{ ft}$$

$$h(\text{in}) = 10 \text{ m} \times \frac{1 \text{ ft}}{0.3048 \text{ m}} \times \frac{12 \text{ in}}{1 \text{ ft}} = 393.7 \text{ in}$$



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؟

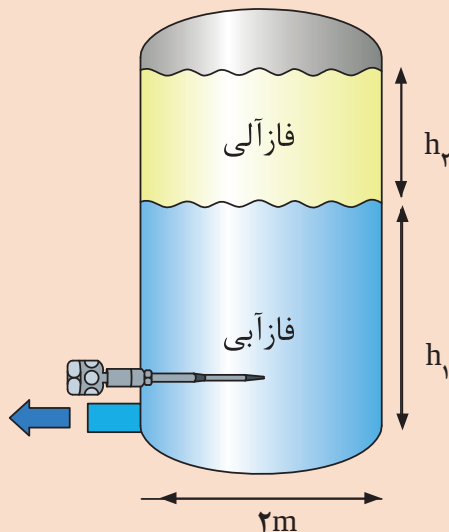
۲ حجم آب داخل استخری ۷۵۰۰ مترمکعب است. طول این استخر ۵۰ متر و عرض آن ۲۵ متر است. عمق آب داخل استخر را بر حسب یکاهای متر و اینچ محاسبه نمایید؟

تمرین



h_1 = ارتفاع سطح فاز آبی

h_2 = ارتفاع سطح فاز آلی



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

روش‌های اندازه‌گیری ارتفاع سطح مواد

سطح‌سنج‌های استفاده شده 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.

■ سطح‌سنج‌هایی که سطح مواد درون مخزن را به طور پیوسته اندازه‌گیری می‌کنند و بر سطح مواد به‌طور پیوسته نظارت شده و هر گونه تغییری ثبت می‌گردد. این سطح‌سنج‌ها را ترانسمیتر سطح^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



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.

نکته



دستگاه‌های اندازه‌گیری ارتفاع سطح مواد

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

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

در ادامه انواع دستگاه‌های استفاده شده 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.

۱- Level Gauge ۲- Level Transmitter

روش‌ها و دستگاه‌های اندازه‌گیری ارتفاع سطح

اندازه‌گیری ارتفاع سطح به صورت نقطه‌ای					اندازه‌گیری ارتفاع سطح به صورت پیوسته			نمایش فیزیکی ارتفاع سطح					
سطح سنج نوری	سطح‌سنج پره متحرک	سطح‌سنج ارتفاعی	سطح‌سنج خازنی	سطح‌سنج شناوری	سطح‌سنج راداری	سطح‌سنج راديو اکتيو	سطح‌سنج فراصوت	سطح‌سنج اختلاف فشاری	سطح‌سنج تغییر مکانی	سطح‌سنج شناوری	نمایشگر با شناور مغناطیسی	نمایشگر انعکاسی	نمایشگر شیشه‌ای

شکل ۸- دسته‌بندی روش‌ها و دستگاه‌های اندازه‌گیری ارتفاع سطح مواد

نمایشگرهای فیزیکی سطح

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

نمایشگرهای شیشه‌ای سطح^۱

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



شکل ۹- نمونه‌ای از نمایشگر شیشه‌ای



شکل ۱۰- نمایشگر انعکاسی

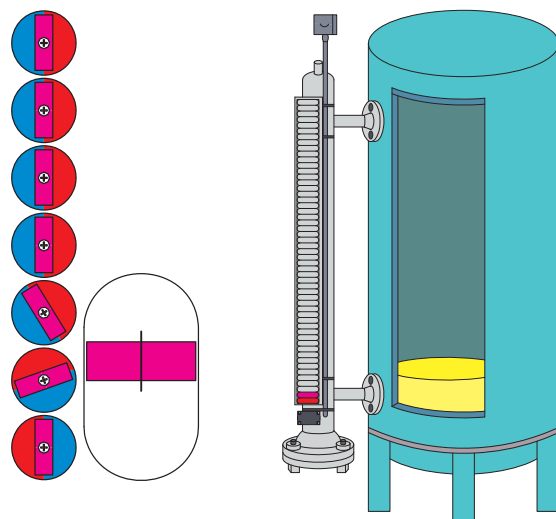
نمایشگرهای انعکاسی^۱

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 سطح سنج 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). سطح سنج 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 سطح‌سنج با عملکرد پیوسته

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

سطح‌سنج شناوری



شکل ۱۲- سطح‌سنج شناوری

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

این وزنه تعادل، هم‌زمان با بالا و پایین رفتن شناور در اثر تغییر ارتفاع مایع درون مخزن، جابه‌جا شده و ارتفاع سطح ماده را بر روی درجه‌بندی که در بیرون از مخزن نصب شده است، نمایش می‌دهد (شکل ۱۲). این سطح‌سنج‌ها دقیق می‌باشند ولی از معایب مکانیکی آنها، می‌توان به اصطکاک میان کابل و چرخ‌دنده اشاره کرد.

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

تحقیق کنید



سطح‌سنج اختلاف فشاری^۴

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

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

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 می‌باشد. جهت محاسبه ارتفاع مایع درون یک مخزن با این روش، نیاز است که فشار ستون مایع و فشار بالای مخزن اندازه‌گیری شوند. به این منظور انتقال‌دهنده‌های (ترانسسمیترهای) اختلاف

۱- Float Level Switch

۲- Ultrasonic Level Meter

۳- Servo Level Transmitter

۴- Differential Pressure Level Transmitters



شکل ۱۳- سطح سنج اختلاف فشاری

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 ۱۴- سطح سنج فراصوت (اولتراسونیک)

سطح سنج فراصوت
در سطح سنج فراصوت از اصل انعکاس امواج استفاده می‌شود، به این صورت که ترانسسمیتر 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. ترانسسمیتر 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.

چرا به این سطح سنج فراصوت می‌گویند؟

پرسش



سطح سنج راداری

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

۱- Static Pressure

۲- Hydrostatic



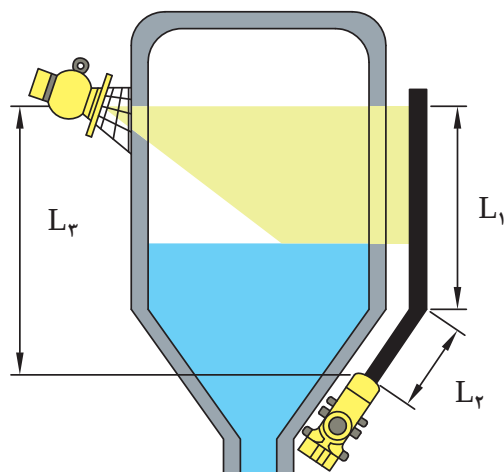
شکل ۱۵- سطح‌سنج راداری

امواج راداری در اواخر دهه ۱۹۳۰ میلادی در صنایع نظامی جهت تخمین مسافت‌های هوایی ارائه شد. از آن زمان به بعد رادار علاوه بر کاربردهای نظامی در حوزه‌هایی از جمله 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 اندازه‌گیری ارتفاع سطح درون مخزن استفاده می‌شود.

بیشتر بدانید



سطح‌سنج رادیواکتیو



شکل ۱۶- سطح‌سنج رادیواکتیو

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

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

نکات ایمنی



انواع سطح سنج نقطه‌ای

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



شکل ۱۷- سطح‌سنج شناوری

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

در رابطه با مزایا و معایب سطح‌سنج شناوری بحث کنید.

بحث کلاسی



شکل ۱۸- سطح‌سنج با پره متحرک

سطح‌سنج با پره متحرک^۲: 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 طراحی 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.



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^۱: 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



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



تفاوت‌ها و شباهت‌های سطح‌سنج‌های پیوسته و نقطه‌ای را بنویسید.



اندازه‌گیری ارتفاع سطح مایع در کارگاه

وسایل مورد نیاز:

یک مخزن ۴ لیتری

لوله پلاستیکی یا شیشه‌ای

روش کار:

مطابق شکل صفحه بعد، مخزن ۴ لیتری یا بزرگ‌تر فلزی را از کناره 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.



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

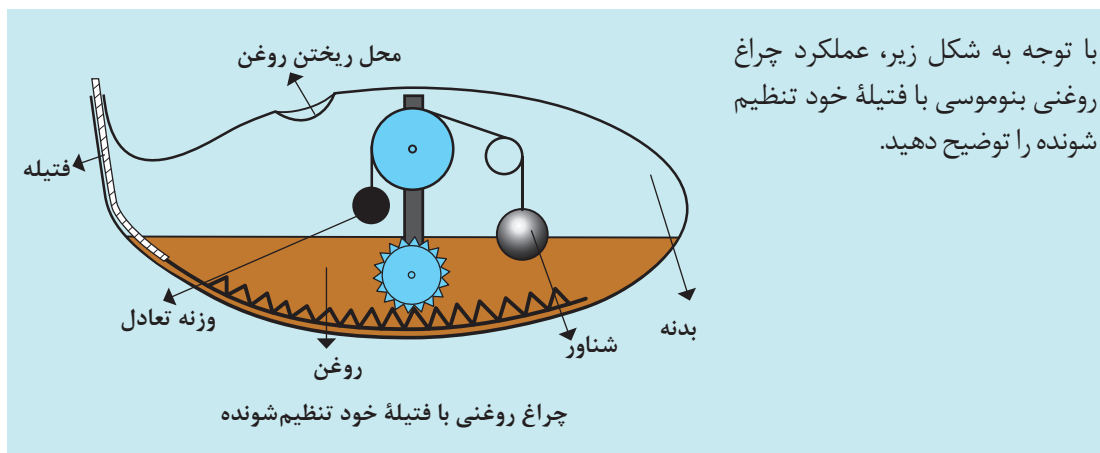
احمد بن موسی، دانشمند قرن نهم هجری است، که بدون شک در گشایش دروازه‌های علم و صنعت به روی دنیای اسلام، ایفاگر نقشی مهم و کارساز بوده است. در کتاب ابتکارات خارق‌العاده مکانیکی این دانشمند، طراحی و ساخت حدود ۱۰۰ دستگاه مکانیکی تشریح شده است که برخی از آنان جز شاهکارهای مهندسی کنترل و مکانیک در زمان خود 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 ۲۰).

پودمان پنجم - اندازه‌گیری، ثبت و کنترل ارتفاع سطح مواد



شکل ۲۰- نمونه‌های ساخته شده از چراغ روغنی بنوموسی



پرسش



کنترل ارتفاع سطح مایع در کارگاه

فعالیت
کارگاهی



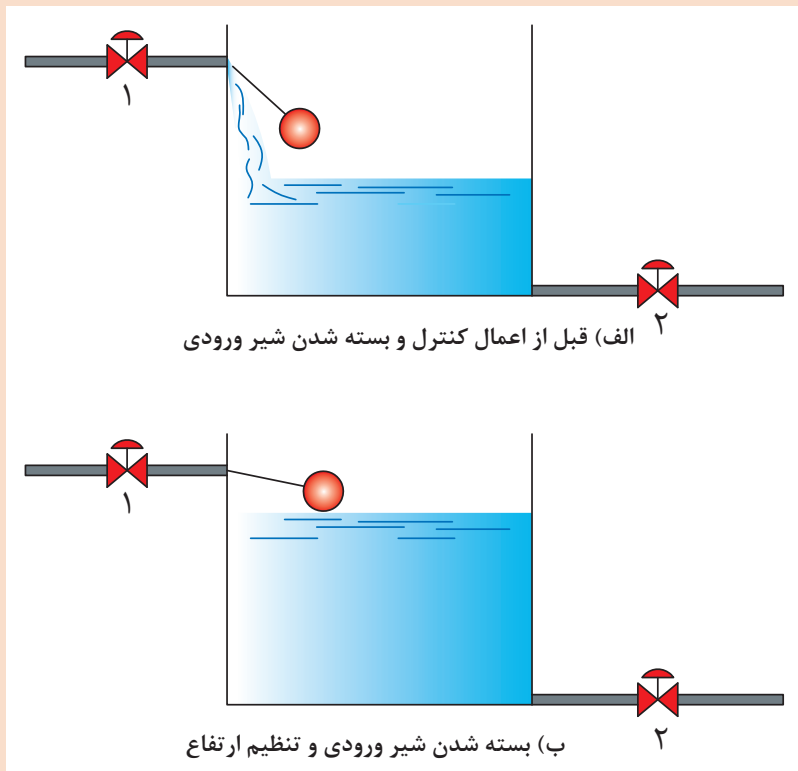
وسایل مورد نیاز:

یک مخزن مجهز به شناور

روش کار:

مخزن ساخته شده در فعالیت صفحه ۱۷۱ را به یک شناور مجهز کنید تا دستگاهی همانند شکل صفحه بعد 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 می‌گردد و سطح آب درون مخزن ثابت می‌شود. حال شیر خروجی مخزن را باز کنید، تا جریان خروجی آب ایجاد شود (پس از یک دقیقه شیر خروجی را ببندید). خواهید دید که شناور مخزن، دستور باز شدن 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. با این توضیحات شکل ساده ای از شیوه کنترل سطح و حلقه کنترل را رسم کنید، سپس 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.



طرح ساده ای از فعالیت عملی کنترل ارتفاع سطح مایع در کارگاه

ارزشیابی شایستگی اندازه‌گیری ارتفاع سطح مواد

شرح کار:

۱ آشنایی با مفاهیم و محاسبات ارتفاع سطح ماده

۲ انتخاب و نصب سطح سنج مناسب

۳ اندازه‌گیری ارتفاع سطح مواد

استاندارد عملکرد:

به کارگیری محاسبات، اندازه‌گیری و کنترل ارتفاع سطح مواد

شاخص‌ها:

- رعایت نکات ایمنی در هنگام انجام دادن کار

- انجام دادن کار طبق دستور کار

شرایط انجام کار و ابزار و تجهیزات:

مکان: کارگاه و آزمایشگاه

زمان: یک جلسه آموزشی

ابزار و تجهیزات: استفاده از وسایل ایمنی شخصی، تجهیزات اندازه‌گیری ارتفاع سطح مواد

معیار شایستگی:

ردیف	مرحله کار	کمترین نمره قبولی از ۳	نمره هنجار
۱	به کارگیری مفاهیم و محاسبات ارتفاع سطح ماده	۱	
۲	اندازه‌گیری ارتفاع سطح مواد	۲	
۳	کنترل ارتفاع سطح یک مخزن	۱	
	شایستگی‌های غیرفنی، ایمنی، بهداشت، توجهات زیست‌محیطی و نگرش: ایمنی: انجام دادن کار کارگاهی با رعایت موارد ایمنی و استفاده از وسایل ایمنی شخصی نگرش: صرفه‌جویی در مصرف مواد مصرفی توجهات زیست‌محیطی: جلوگیری از صدمه زدن به محیط‌زیست از طریق انجام دادن کار بدون ریخت و پاش شایستگی‌های غیرفنی: اخلاق حرفه‌ای، مدیریت منابع، محاسبه و کاربست ریاضی، مستندسازی، گزارش‌نویسی	۲	
میانگین نمرات**			

* شایستگی‌های غیرفنی تأثیر مستقیم در نمره واحد یادگیری ندارد؛ ولی شرط لازم برای محاسبه نمره شایستگی‌های فنی و مستمر است.

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

واحد یادگیری ۲

کاربرد هوش مصنوعی در کنترل فرایندهای شیمیایی

مقدمه

در کارخانه‌های صنایع شیمیایی که فرایندهای پیچیده و حساسی انجام می‌شود، هوش مصنوعی نقش بسیار مهمی دارد. هوش مصنوعی با تحلیل اطلاعات، عملکرد واحدهای مختلف صنعتی را پایش می‌کند و در صورت مشاهده رفتار غیرعادی، قبل از وقوع خرابی هشدار می‌دهد. همچنین، بهترین شرایط کاری تجهیزات را پیشنهاد می‌کند تا مصرف انرژی کمتر و کیفیت محصول بهتر شود. در بسیاری از کارخانه‌های صنایع شیمیایی جدید، هوش مصنوعی حتی می‌تواند روند تولید را به صورت خودکار تنظیم کند و به مهندسان کمک کند تصمیم‌های دقیق‌تری بگیرند. به این ترتیب، هم ایمنی افزایش می‌یابد و هم بهره‌وری کارخانه‌های صنایع شیمیایی بیشتر می‌شود. در این صنایع انواع حسگرها روی تجهیزات مختلف نصب است که اطلاعات مربوط به دما، فشار، جریان و سطح را به صورت لحظه‌ای ارسال می‌کنند. در این واحد یادگیری با کاربرد هوش مصنوعی، تحلیل و بهینه‌سازی دقیق‌تری از دما، فشار، دبی و کنترل ارتفاع سطح مواد انجام می‌شود.

استاندارد عملکرد

کنترل فرایندهای شیمیایی به کمک هوش مصنوعی

شایستگی‌های غیر فنی

- ۱ اخلاق حرفه‌ای: حضور منظم و وقت‌شناسی - انجام دادن وظایف و کارهای محول - پیروی از قوانین
- ۲ مدیریت منابع: شروع به کار به موقع - مدیریت مؤثر زمان - استفاده صحیح از مواد و تجهیزات
- ۳ کار گروهی: حضور فعال در فعالیت‌های گروهی - انجام دادن کارها و وظایف سپرده شده
- ۴ مستندسازی: گزارش‌نویسی فعالیت‌های کارگاهی
- ۵ محاسبه و کار بست ریاضی

شایستگی فنی

- ۱ کاربرد هوش مصنوعی در پایش و پیش‌بینی دما
- ۲ کاربرد هوش مصنوعی در تشخیص نشتی و شرایط خطرناک فشار
- ۳ تحلیل و بهینه‌سازی دبی سیالات با هوش مصنوعی
- ۴ کنترل هوشمند سطح مخازن با استفاده از هوش مصنوعی

کاربرد هوش مصنوعی^۱ در کنترل دما

در صنایع شیمیایی، دما یکی از مهم‌ترین کمیت‌های فرایندی است که تغییرات نادرست آن می‌تواند باعث کاهش کیفیت محصول، افزایش مصرف انرژی و یا بروز حوادث خطرناک شود. امروزه در کنار روش‌های معمول کنترلی، از هوش مصنوعی برای تحلیل داده‌های دما و کمک به تصمیم‌گیری اپراتور استفاده می‌شود (شکل ۲۱).



شکل ۲۱- کاربرد هوش مصنوعی در کنترل فرایندهای شیمیایی

هوش مصنوعی به سامانه‌هایی گفته می‌شود که می‌توانند با بررسی داده‌ها، روش‌ها و راهکارها را تشخیص دهند و نتایج منطقی ارائه دهند.

در کنترل دما، هوش مصنوعی می‌تواند:

- تغییرات غیرعادی دما را تشخیص دهد.
- افزایش یا کاهش خطرناک دما را پیش‌بینی کند.
- به اپراتور هشدار زودهنگام بدهد.

هوش مصنوعی جایگزین اپراتور نیست، بلکه ابزاری برای افزایش دقت و ایمنی فرایند است.

نکته مهم



پیش‌بینی و تشخیص خطای دما با هوش مصنوعی

به نظر شما در کارخانه‌ها، هوش مصنوعی چگونه می‌تواند کمک کننده باشد؟

بحث‌گروهی



مثال

در یک راکتور شیمیایی، طبق جدول ۱ دمای فرایند در هر ۵ دقیقه ثبت شده است (حد مجاز دما: 80°C است).

جدول ۱

دما (°C)	زمان (دقیقه)
۷۰	۰
۷۲	۵
۷۵	۱۰
۷۹	۱۵
۸۵	۲۰

هوش مصنوعی با بررسی داده‌ها متوجه می‌شود:

- روند افزایش دما با گذشت زمان بیشتر شده است.
- دما از حد مجاز عبور کرده است.
- در نتیجه سامانه هوش مصنوعی هشدار افزایش غیرعادی دما را صادر می‌کند.

تمرین



۱ اطلاعات مثال بالا را به هوش مصنوعی بدهید (به صورت متنی یا صوتی).

۲ از هوش مصنوعی بخواهید داده‌ها را بررسی کند.

۳ پاسخ هوش مصنوعی را با نتایج بالا مقایسه کنید.

فعالیت
کارگاهی



تحلیل داده‌های دما با کمک هوش مصنوعی

هدف فعالیت:

- یادگیری تحلیل داده‌های دما
 - تشخیص شرایط خطرناک
 - استفاده آگاهانه از هوش مصنوعی
- نمونه اطلاعات کوره ذوب فلزات در یک کارخانه ریخته‌گری در جدول زیر آمده است.

مصرف انرژی Kw.h	دمای کوره (°C)	زمان نمونه برداری
۱۲۰	۱۱۵۰	۸:۰۰
۱۲۶	۱۱۷۵	۹:۰۰
۱۳۰	۱۱۹۰	۱۰:۰۰
۱۲۸	۱۱۸۰	۱۱:۰۰
۱۲۲	۱۱۶۵	۱۲:۰۰

روش کار:

- a جدول داده‌های دما را وارد ابزار هوش مصنوعی کنید.
- b سؤال‌های زیر را از هوش مصنوعی بپرسید و پاسخ هوش مصنوعی را مطالعه و یادداشت کنید.
- ۱ با توجه به داده‌های دما و زمان، منحنی دما - زمان را رسم کن.
- ۲ با توجه به داده‌های مصرف انرژی و زمان، منحنی مصرف انرژی - زمان را رسم کن.

- ۳ با توجه به داده‌های دما و مصرف انرژی، منحنی مصرف انرژی - دما را رسم کن.
- ۴ با توجه به داده‌های دما و زمان، آیا روند دما طبیعی است؟ در صورت غیرعادی بودن، علت احتمالی را توضیح دهید.
- ۵ با توجه به داده‌های دما و مصرف انرژی، آیا روند آنها طبیعی است؟ در صورت غیرعادی بودن، علت احتمالی را توضیح دهید.
- ۶ بهترین حالت برای مصرف انرژی چیست؟
- ۷ یک گزارش ساده از فعالیت کارگاهی خود از هوش مصنوعی بخواهید.
- ۸ یک گزارش کارگاهی کامل از فعالیت خود توسط هوش مصنوعی تهیه کنید.
- ۹ سؤالات مرتبط دیگری را از هوش مصنوعی بپرسید و در رابطه با پاسخ‌های آن، با هم گروهی‌های خود صحبت کنید.

- هوش مصنوعی ممکن است دچار خطا شود.
- تصمیم‌نهایی در فرایندهای صنعتی باید توسط اپراتور یا مسئول فنی گرفته شود.
- از خروجی هوش مصنوعی فقط به‌عنوان راهنما استفاده می‌شود.
- رعایت اصول ایمنی همیشه بر هر نوع تحلیل هوشمند مقدم است.

نکته ایمنی



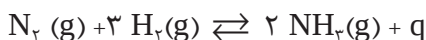
کاربرد هوش مصنوعی در کنترل فشار فرایندهای شیمیایی

هوش مصنوعی در کنترل فشار فرایندهای شیمیایی نقش مهمی دارد و باعث افزایش دقت، ایمنی و بهره‌وری می‌شود. با بهره‌گیری از روش‌های هوشمند یادگیری داده‌ها، هوش مصنوعی می‌تواند تغییرات فشار را پیش‌بینی کرده و تنظیمات بهینه را به‌صورت خودکار اعمال کند. این کار نوسانات فشار را کاهش می‌دهد، از شرایط خطرناک جلوگیری می‌کند و امکان تحلیل سریع داده‌های گذشته و لحظه‌ای را برای مهندسان فراهم می‌آورد تا تصمیمات کنترل فرایند با دقت بالاتری گرفته شود. در کاربردهای صنعتی، هوش مصنوعی تغییرات فشار، نشی لوله، گرفتگی مسیر و خرابی شیرها را تشخیص می‌دهد (شکل ۲۲).



شکل ۲۲- کاربرد هوش مصنوعی در کنترل فشار

در واکنش تولید آمونیاک که یک واکنش گرماده است، کنترل فشار و دما برای بهینه‌سازی تولید بسیار حیاتی است.



با بهره‌گیری از روش‌های هوشمند، هوش مصنوعی می‌تواند تغییرات فشار را پیش‌بینی کرده و تنظیمات بهینه را به صورت خودکار اعمال کند. این کار نوسانات فشار را کاهش داده، شرایط خطرناک را کنترل می‌کند و به مهندسان امکان می‌دهد تصمیمات فرایندی سریع‌تر و دقیق‌تر اتخاذ کنند.

در فرایند صنعتی تولید آمونیاک مقادیر فشار و دما در جدول ۲ به صورت عددی و واقعی آورده شده است:

جدول ۲

شرایط عملیاتی واکنش تولید آمونیاک	
توضیح	مقدار معمول صنعتی
فشار بالای لازم برای جابه‌جایی به سمت تولید NH_3	۲۰۰-۳۰۰ اتمسفر
دمای متوسط برای ترکیب و سرعت واکنش	۴۰۰-۵۰۰ درجه سلسیوس
زمان انجام واکنش در واحد صنعتی	چند دقیقه تا حدود ۱ ساعت

تمرین



از هوش مصنوعی بخواهید طبق داده‌های جدول روبه‌رو:

- ۱ نمودار تغییرات فشار برحسب زمان را رسم کند. پاسخ هوش مصنوعی را مطالعه و یادداشت کنید.
- ۲ نمودار تغییرات دما برحسب زمان را رسم کند. پاسخ هوش مصنوعی را مطالعه و یادداشت کنید.
- ۳ نمودار تغییرات فشار با دما را رسم کند. پاسخ هوش مصنوعی را مطالعه و یادداشت کنید.

۴ آیا این تغییرات طبیعی است؟

زمان (ساعت)	فشار (اتمسفر)	دما (درجه سلسیوس)
۰	۱۵۰	۴۰۰
۱	۱۵۵	۴۰۵
۲	۱۶	۴۱۰
۳	۱۵۸	۴۰۸
۴	۱۶۲	۴۱۲
۵	۱۶۰	۴۱۰

مثال: نمونه اطلاعات خط لوله گاز طبیعی مطابق جدول روبه‌رو است.

داده‌های «زمان» و «فشار (bar)» مربوط به یک خط لوله صنعتی است. فشار بهینه و ایمن، بین ۴۵-۴۸ بار است.

ردیف	ساعت کاری	فشار (بار)
۱	۸:۰۰	۴۵/۲
۲	۸:۳۰	۴۴/۷
۳	۹:۰۰	۴۶/۸
۴	۹:۳۰	۴۸/۳
۵	۱۰:۰۰	۴۷/۵
۶	۱۰:۳۰	۴۴/۹
۷	۱۱:۰۰	۴۸
۸	۱۱:۳۰	۴۶

به ترتیب مراحل زیر را انجام دهید:

- ۱ اطلاعات جدول به صورت ستونی برای هوش مصنوعی خوانده شود.
- ۲ بازه فشار ایمن سامانه بین ۴۵ تا ۴۸ بار تعریف شود.
- ۳ اگر در هر ردیف مقدار فشار کمتر از ۴۵ بار بود، آن وضعیت را به عنوان «ناایمن - نشستی در خط لوله» تشخیص بده و ذکر کن که «کاهش فشار می‌تواند ناشی از خروج سیال یا افت فشار در مسیر باشد».
- ۴ اگر مقدار فشار بیشتر از ۴۸ بار بود، آن وضعیت را به عنوان «ناایمن - انسداد در خط لوله» مشخص کن و توضیح بده که «افزایش فشار می‌تواند به علت گرفتگی یا بسته شدن مسیر جریان رخ داده باشد».
- ۵ اگر مقدار فشار در بازه ۴۵ تا ۴۸ بار قرار داشت، وضعیت را «ایمن - عملکرد طبیعی سامانه» اعلام کن.
- ۶ در پایان، خروجی را به صورت یک جدول منظم ارائه کن که شامل زمان، فشار (bar)، وضعیت ایمنی و یک توضیح فیزیکی کوتاه و آموزشی برای هر ردیف باشد.
- ۷ خطاهای احتمالی با هوش مصنوعی را تشخیص دهید؟

بیشتر بدانید



کاربرد هوش مصنوعی در تبدیل یکاهای فشار یکی دیگر از کاربردهای هوش مصنوعی تبدیل یکاهای مختلف فشار به یکدیگر می‌باشد. هوش مصنوعی به عنوان یکی از فناوری‌های پیشرفته، توانایی تحلیل سریع و دقیق داده‌ها را دارد و در زمینه‌های مهندسی، از جمله تبدیل یکاهای فیزیکی، کاربرد چشمگیری یافته است. تبدیل یکاهای مختلف فشار، که در مهندسی شیمی، مکانیک و صنایع مرتبط اهمیت دارد، معمولاً نیازمند محاسبات دقیق و زمان‌بر است. با استفاده از روش‌های هوش مصنوعی، این تبدیل‌ها به صورت خودکار، سریع و با حداقل خطا انجام می‌شوند و موجب بهینه‌سازی فرایندها و کاهش اشتباهات انسانی می‌شود.

تمرین



فشار ۳/۵ بار را به پاسکال و اتمسفر تبدیل کنید و مراحل تبدیل را توضیح دهید.

کاربرد هوش مصنوعی در کنترل دبی فرایندهای شیمیایی

در بسیاری از صنایع مانند مجتمع‌های پتروشیمی، تصفیه‌خانه آب و فاضلاب، نیروگاه‌ها و سامانه‌های گرمایشی و سرمایشی، کنترل دقیق دبی سیالات نقش حیاتی دارد. تغییرات غیرعادی در جریان می‌تواند منجر به هدررفت انرژی، کاهش کارایی سامانه و خطرات عملیاتی شود. هوش مصنوعی به کنترل بهتر دبی در فرایندهای شیمیایی کمک می‌کند. در این روش، اطلاعاتی مانند فشار و دما با حسگرهای مربوط جمع‌آوری شده و توسط سامانه هوش مصنوعی بررسی می‌شود. سپس سامانه می‌تواند مقدار جریان مواد را به صورت خودکار تنظیم کند تا فرایند به درستی انجام شود. استفاده از هوش مصنوعی باعث دقت بیشتر در کنترل دبی، کاهش خطاهای انسانی و بهبود عملکرد واحدهای صنعتی می‌شود (شکل ۲۳).



شکل ۲۳- کاربرد هوش مصنوعی در کنترل دبی فرایندهای شیمیایی

در یک کارخانه تولید آمونیاک، گازهای نیتروژن و هیدروژن باید با دبی مشخص وارد راکتور شوند. اگر دبی گازها زیاد یا کم شود، کیفیت محصول کاهش می‌یابد. در این واحد، حسگرها مقدار فشار و دما را اندازه‌گیری می‌کنند و اطلاعات به سامانه هوش مصنوعی ارسال می‌شود. سامانه با بررسی این داده‌ها، تشخیص می‌دهد که دبی از مقدار بهینه خارج شده است و به‌صورت خودکار فرمان لازم را به شیر کنترل می‌دهد تا دبی اصلاح شود. به این ترتیب، فرایند پایدار مانده و تولید با کیفیت بهتر و مصرف انرژی کمتر انجام می‌شود.

مثال:

در یک واحد تولید آمونیاک، دبی گاز نیتروژن ورودی به راکتور باید $1000 \text{ m}^3/\text{h}$ باشد. حسگرها نشان می‌دهند که با کاهش فشار از 200 بار به 185 بار، دبی به $920 \text{ m}^3/\text{h}$ افت کرده است. سامانه هوش مصنوعی این تغییر را تشخیص داده و فرمان افزایش بازشدگی شیر کنترلی را صادر می‌کند. پس از اصلاح دبی دوباره به $1000 \text{ m}^3/\text{h}$ باز می‌گردد. و فرایند به‌صورت پایدار ادامه می‌یابد.

تمرین



در یک واحد صنعتی تولید آمونیاک، دبی گاز نیتروژن ورودی به راکتور برابر $980 \text{ m}^3/\text{h}$ تنظیم شده است. فشار خط لوله 190 bar و دما 420°C می‌باشد. با کاهش فشار به 180 bar (به دلیل افت کارایی کمپرسور)، دبی اندازه‌گیری شده توسط جریان سنج به $910 \text{ m}^3/\text{h}$ می‌رسد. با بهره‌گیری از هوش مصنوعی سؤالات زیر را پاسخ دهید:

- ۱ دبی چند مترمکعب بر ساعت کاهش یافته است؟
- ۲ اگر هدف بازگشت دبی به $980 \text{ m}^3/\text{h}$ باشد، نقش هوش مصنوعی در این اصلاح چیست؟
- ۳ چرا افت فشار باعث کاهش دبی شده است؟

تحلیل و بهینه‌سازی دبی سیالات با هوش مصنوعی

استفاده از هوش مصنوعی امکان تحلیل برخط داده‌های جریان و پیش‌بینی رفتار سیالات را فراهم می‌سازد. بر پایه شبیه‌سازی‌های هوشمند، سامانه قادر است دبی بهینه را متناسب با شرایط عملیاتی مختلف تعیین نماید. در نتیجه، نوسانات جریان کاهش یافته و مصرف انرژی بهینه می‌شود. این امر به افزایش کارایی و ارتقای سطح ایمنی سامانه منجر خواهد شد.

زمان (min)	دبی اندازه‌گیری شده (m^3/h)
۰	۱۰۰۰
۵	۹۵۰
۱۰	۹۰۰
۱۵	۱۰۳۰
۲۰	۱۰۸۰

مثال: در یک واحد صنعتی شیمیایی، دبی بهینه گاز ورودی به راکتور برابر $1000 m^3/h$ است. دبی در زمان‌های مختلف توسط جریان‌سنج اندازه‌گیری شده و نتایج در جدول روبه‌رو آمده است:

سؤال‌ها

- در کدام زمان‌ها دبی از مقدار بهینه کمتر بوده است؟
- بیشترین مقدار انحراف از دبی بهینه چقدر است؟
- هوش مصنوعی چه اقدامی انجام می‌دهد تا دبی را پایدار کند؟
- انتظار دارید پس از اعمال کنترل هوشمند، دبی به چه مقداری برسد؟

زمان (دقیقه)	دبی (m^3/h)	مقایسه با بهینه
۰	۱۰۰۰	برابر بهینه
۵	۹۵۰	کمتر
۱۰	۹۰۰	کمتر
۱۵	۱۰۳۰	بیشتر
۲۰	۱۰۸۰	بیشتر

پاسخ سؤال اول: در کدام زمان‌ها دبی از مقدار بهینه کمتر بوده است؟
دبی بهینه $1000 m^3/h$
مطابق جدول روبه‌رو زمان‌های ۵ و ۱۰ دقیقه کمتر از مقدار بهینه است.

پاسخ سؤال دوم: بیشترین مقدار انحراف از دبی بهینه چقدر است؟

دبی بهینه $1000 m^3/h$
انحراف = دبی اندازه‌گیری شده - دبی بهینه

زمان (دقیقه)	دبی (m^3/h)	انحراف (m^3/h)
۰	۱۰۰۰	۰
۵	۹۵۰	۵۰
۱۰	۹۰۰	۱۰۰
۱۵	۱۰۳۰	۳۰
۲۰	۱۰۸۰	۸۰

طبق جدول روبه‌رو بیشترین انحراف به میزان ۱۰۰ مترمکعب بر ساعت در زمان ده دقیقه است

پاسخ سؤال ۳: هوش مصنوعی چه اقدامی انجام می‌دهد تا دبی پایدار بماند؟

هوش مصنوعی با تحلیل لحظه‌ای داده‌های دبی فشار و دما را تشخیص می‌دهد که جریان از مقدار بهینه

خارج شده است. سپس فرمان اصلاحی به شیر کنترل یا کمپرسور ارسال می کند تا دبی به مقدار مطلوب نزدیک شود. به عبارت ساده هوش مصنوعی افت یا افزایش دبی را پیش بینی و اصلاح می کند تا فرایند پایدار بماند.

پاسخ سؤال ۴: انتظار دارید پس از اعمال کنترل هوشمند، دبی به چه مقداری برسد؟
پس از اعمال کنترل هوشمند دبی به مقدار بهینه $1000 \text{ m}^3/\text{h}$ نزدیک می شود و نوسانات شدید کاهش می یابد. در عمل ممکن است، دبی، انحراف کمی به میزان ۵ مترمکعب بر ساعت داشته باشد اما سامانه به طور کلی پایدار و نزدیک به هدف باقی می ماند.

تمرین



- اطلاعات جدول دبی - زمان پرسش بالا را برای هوش مصنوعی بخوانید و از آن بخواهید دستورهای زیر را انجام دهد.
- ۱ نمودار دبی - زمان را رسم کن.
 - ۲ نمودار انحراف دبی - زمان را رسم کن.
 - ۳ تحلیل کوتاهی از هر کدام از نمودارها ارائه کن.

کنترل هوشمند ارتفاع سطح مواد

کنترل ارتفاع سطح مواد در مخازن یکی از مسائل کلیدی در صنایع شیمیایی و تولیدی است. هدف این است که سطح مایع داخل مخزن همیشه در حد مطلوب بماند و از سرریز یا کم شدن بیش از حد جلوگیری شود. هوش مصنوعی می تواند کمک کند تا این کنترل دقیق تر انجام شود. سامانه هوش مصنوعی با اندازه گیری ارتفاع سطح مواد موجود مخازن در زمان های مختلف، تغییرات را پیش بینی کرده و به پمپ ها یا شیرها دستور می دهد تا ورودی یا خروجی مایع را تنظیم کنند. با این روش، حتی وقتی دبی ورودی یا خروجی تغییر می کند، سطح مخزن پایدار می ماند و نیازی به کنترل دستی دائم نیست. به زبان ساده، هوش مصنوعی مثل یک نگهبان هوشمند عمل می کند که همیشه ارتفاع سطح مخزن را نگاه می کند و در صورت نیاز، آن را تنظیم می کند (شکل ۲۴).

فرض کنید مخزنی از آب داریم که توسط یک پمپ تغذیه می شود و در خروجی آن یک شیر کنترل قرار دارد. هدف این است که سطح آب همواره روی 50 سانتی متر ثابت بماند. هوش مصنوعی در بازه های زمانی مشخص (مثلاً هر 5 دقیقه) سطح آب را اندازه گیری می کند. اگر سطح کمتر از 50 سانتی متر باشد، توان پمپ را افزایش می دهد. اگر سطح بیشتر از 50 سانتی متر باشد، توان پمپ را کاهش می دهد یا شیر خروجی را بیشتر باز می کند. به این ترتیب، سطح آب به طور پیوسته حول مقدار مطلوب تنظیم و پایدار نگه داشته می شود.

جدول ۳

واکنش هوش مصنوعی	ارتفاع سطح آب (سانتی متر)	زمان (دقیقه)
هیچ کاری نمی کند.	۵۰	۰
پمپ را روشن تر می کند.	۴۸	۵
پمپ را کم می کند.	۵۱	۱۰
پمپ را کمی روشن می کند.	۴۹	۱۵
هیچ کاری نمی کند.	۵۰	۲۰



داده‌های ارتفاع سطح مواد و زمان جدول ۳ را برای سامانه هوش مصنوعی بخوانید. از هوش مصنوعی بخواهید نمودار تغییرات ارتفاع سطح و زمان را رسم کند.

مثال: کنترل ارتفاع سطح سیلوی گندم با هوش مصنوعی

در یک مجتمع ذخیره‌سازی و فراوری گندم، ارتفاع سطح سیلوی گندم خشک با ارتفاع مطلوب ۱۰ متر توسط هوش مصنوعی کنترل می‌شود. نوار نقاله ورودی، گندم را به داخل سیلو می‌ریزد و سامانه تخلیه، گندم را به خط تولید منتقل می‌کند. حسگر سطح هر ۳۰ دقیقه ارتفاع گندم را اندازه‌گیری می‌کند و هوش مصنوعی با تحلیل داده‌ها، سرعت نوار نقاله ورودی و میزان برداشت از سیلو را تنظیم می‌کند تا سطح گندم همیشه نزدیک ۱۰ متر باقی بماند و از سرریز یا کمبود بیش از حد جلوگیری شود.



شکل ۲۴- کنترل ارتفاع سطح سیلوی گندم با هوش مصنوعی

زمان (ساعت)	سطح گندم (متر)
۰	۹/۵
۰/۵	۹/۰
۱	۱۰/۲
۱/۵	۹/۸
۲	۱۰

پاسخ تحلیلی توسط هوش مصنوعی

سطح کمتر از ۱۰ متر: سرعت نوار نقاله ورودی افزایش یابد.
سطح بیشتر از ۱۰ متر: سرعت نوار ورودی کاهش یابد یا برداشت از سیلو بیشتر شود.
سطح برابر با ۱۰ متر: هیچ اقدامی لازم نیست.
نتیجه گیری:

- جلوگیری از سرریز گندم که می تواند خطرناک باشد و هزینه ایجاد کند.
- حفظ تولید مداوم آرد یا محصولات جانبی
- کنترل هوشمند سطح گندم بدون نیاز به نظارت دائم انسان

تمرین



کنترل ارتفاع سطح مخزن سولفوریک اسید ۱۰٪ در واحد تولید باتری با استفاده از هوش مصنوعی انجام می شود. این مخزن ذخیره اسید برای تغذیه خطوط تولید است و هدف این است که ارتفاع سطح آن همیشه ۵ متر باقی بماند تا از سرریز یا کم شدن بیش از حد جلوگیری شود. پمپ ورودی اسید را به مخزن اضافه می کند و شیر خروجی، اسید را تخلیه می کند. حسگر ارتفاع سطح هر ۱۰ دقیقه ارتفاع اسید را اندازه گیری می کند و سامانه هوش مصنوعی با تحلیل داده ها، پمپ و شیر را تنظیم می کند تا سطح اسید پایدار بماند.

ارتفاع سطح مخزن سولفوریک اسید مطابق اطلاعات جدول زیر می باشد، به پرسش های زیر پاسخ دهید:

زمان (ساعت)	سطح اسید (متر)
۰	۴/۸
۱۰	۴/۶
۲۰	۵/۲
۳۰	۴/۹
۴۰	۵/۱

- ۱ با استفاده از هوش مصنوعی نمودار ارتفاع سطح اسید بر حسب زمان را رسم کنید.
- ۲ پاسخ های هوش مصنوعی برای ارتفاع سطح بیشتر، کمتر و مساوی ۵ متر چیست؟

کاربرد واقعی استفاده از هوش مصنوعی:

- اطمینان از ایمنی کارکنان و تجهیزات
 - حفظ تولید مداوم در خط تولید باتری
- پیشگیری از سرریز یا کمبود اسید که می تواند فرایند تولید را مختل کند.



در حال حاضر در ایران کارخانه‌های فولاد شادگان، فولاد خراسان و فولاد مبارکه از هوش مصنوعی در بخش‌های مختلف خط تولید، تحلیل داده و کنترل فرایند استفاده کرده‌اند یا پروژه‌های AI را اجرایی کرده‌اند. با اینکه AI هنوز در همه بخش‌های کنترل فرایندی (مثل کنترل دقیق دما در کوره ذوب) به صورت گسترده پیاده‌سازی نشده، این مجتمع‌ها پیشگام در ورود این فناوری به صنعت فولاد کشور هستند.



- ۱ هوش مصنوعی در کنترل دما چه کمکی به اپراتور می‌کند؟
- ۲ چه داده‌هایی برای تحلیل دما توسط هوش مصنوعی لازم است؟
- ۳ چرا نباید تصمیم نهایی را فقط به هوش مصنوعی سپرد؟
- ۴ اگر دما به سرعت افزایش یابد، هوش مصنوعی چه هشدار می‌دهد؟
- ۵ هوش مصنوعی چگونه به کاهش خطای تبدیل واحد کمک می‌کند؟
- ۶ چرا قبل از انتخاب دستگاه اندازه‌گیری فشار باید محدوده کاری آن بررسی شود؟

ارزشیابی شایستگی کاربرد هوش مصنوعی در کنترل فرایندهای شیمیایی

شرح کار:

- ۱ کاربرد هوش مصنوعی در پایش و پیش‌بینی دما
- ۲ کاربرد هوش مصنوعی در تشخیص نشتی و شرایط خطرناک فشار
- ۳ تحلیل و بهینه‌سازی دبی سیالات با هوش مصنوعی
- ۴ کنترل هوشمند سطح مخازن با استفاده از هوش مصنوعی

استاندارد عملکرد:

کنترل فرایندهای شیمیایی به کمک هوش مصنوعی

شاخص‌ها:

- رعایت نکات ایمنی در هنگام انجام دادن کار
- انجام دادن کار طبق دستور کار

شرایط انجام کار و ابزار و تجهیزات:

مکان: کارگاه و آزمایشگاه

زمان: یک جلسه آموزشی

ابزار و تجهیزات: رایانه، اینترنت پرسرعت

معیار شایستگی:

ردیف	مرحله کار	کمترین نمره قبولی از ۳	نمره هنجار
۱	کاربرد هوش مصنوعی در پایش و پیش‌بینی دما	۲	
۲	کاربرد هوش مصنوعی در تشخیص نشتی و شرایط خطرناک فشار	۲	
۳	تحلیل و بهینه‌سازی دبی سیالات با هوش مصنوعی	۱	
۴	کنترل هوشمند سطح مخازن با استفاده از هوش مصنوعی	۱	
	شایستگی‌های غیر فنی، ایمنی، بهداشت، توجهات زیست‌محیطی و نگرش: ایمنی: انجام دادن کار کارگاهی با رعایت موارد ایمنی و استفاده از وسایل ایمنی شخصی نگرش: صرفه‌جویی در مصرف مواد توجهات زیست‌محیطی: جلوگیری از صدمه زدن به محیط‌زیست از طریق انجام دادن کار بدون ریخت و پاش شایستگی‌های غیر فنی: اخلاق حرفه‌ای، مدیریت منابع، محاسبه و کاربست ریاضی، مستندسازی، گزارش‌نویسی	۲	
میانگین نمرات**			

* شایستگی‌های غیر فنی تأثیر مستقیم در نمره واحد یادگیری ندارد؛ ولی شرط لازم برای محاسبه نمره شایستگی‌های فنی و مستمر است.

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

- ۱ برنامه‌درسی درس کنترل فرایندهای شیمیایی، ۱۴۰۳، سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای و کاردانش
- ۲ پورعطا، رحمت ا....، سید دراجی، میرسعید (۱۳۸۷)، جزوه گرافیک و نقشه‌خوانی، دانشگاه زنجان
- ۳ توللی، حسین و دیگران (۱۳۹۵)، سیلندرهای گاز تحت فشار: اصول ایمنی در آزمایشگاه و در صنعت (چاپ اول)، قم، انتشارات منگان.
- ۴ حکیمی سبینی، معصومه (۱۳۹۳)، کلید مهندسی نقشه‌کشی و نقشه‌خوانی P & ID، انتشارات سپها دانش
- ۵ رازی فر، مهدی (۱۳۹۲)، آشنایی با نقشه‌خوانی و ترسیم نقشه‌های فرایندی PFD، BFD، UFD، ESD، انتشارات اندیشه سرا، چاپ دوم
- ۶ رحمتی، مصطفی، رحمانی، حسین (۱۳۹۳)، کنترل دما (فرایند) به صورت تشریحی و مفهومی، انتشارات قدیس
- ۷ عابدینی، محمد (۱۳۸۷)، اندازه‌گیری و کالیبراسیون دما، انتشارات صفار اشرافی
- ۸ قنبری، عبدالله (۱۳۸۴)، اصول اندازه‌گیری دما و کالیبراسیون دماسنج‌ها، انتشارات مرکز آموزش و تحقیقات صنعتی ایران
- ۹ محسنی هماگرانی، مرتضی؛ رزم‌آرا، مهرداد؛ سپهری‌نیا، محمد (۱۳۹۱)، مرجع کامل طراحی تجهیزات ابزار دقیق و کنترل نفت - گاز - پتروشیمی. تهران: نشر اتحاد
- ۱۰ توفیقی، سیدپندار، صدراپی، ساسان (۱۳۹۵)، عملیات دستگاهی در صنایع شیمیایی، سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی
- ۱۱ توفیقی، سیدپندار، ۱۳۹۵، عملیات دستگاهی در صنایع شیمیایی، سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی
- ۱۲ صدراپی، ساسان، ۱۳۹۵، فرایندهای شیمیایی، سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی
- 13- Alan S.Morris., & Reza Langari.(2011). Measurement and Instrumentation: Theory and Application : Academic Press
- 14- Eugen Gaßmann.,& Anna Gries. (2009) Electronic Pressure Measurement Basics, applications and instrument selection. Germany (Munich): Süddeutscher Verlag on pact GmbH,
- 15- Alan S. Morris(2001). Measurement and Instrumentation Principles.3nd ed. UK: Butterworth-Heinemann
- 16- Bahner, Martin. 2001. A Practical Overview of Level Measurement Technologies. WWW. gilsonengineering.net/reference/Levelpap.pdf
- 17- Marshall Cavendish Benchmark, “Temperature”, , 2007, Navin Sullivan, ISBN-13:978-0-7614-2322-5

