

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

کتاب معلّم

(راهنمای تدریس)

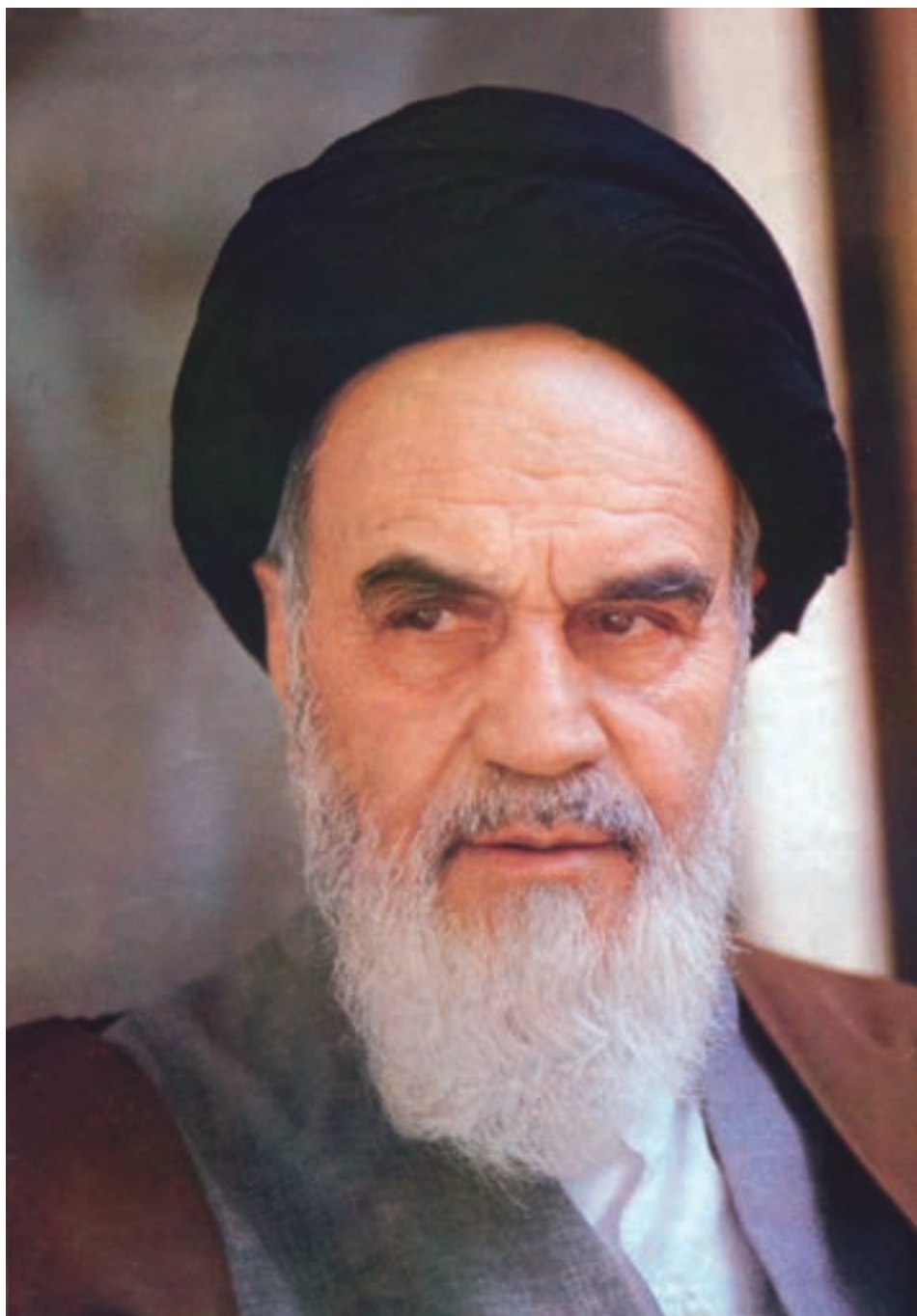
عملیات دستگاهی در صنایع شیمیایی

رشته صنایع شیمیایی

وزارت آموزش و پرورش سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی

برنامه‌ریزی محتوا و نظارت بر تألیف : دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای و کاردانش
نام کتاب : کتاب معلم عملیات دستگاهی در صنایع شیمیایی - ۵۵۲/۲
مؤلفان : مهرزاد کازرانی (فصل‌های اول تا یازدهم)، طیبه کنشلو (کلیات راهنمای معلم)
اعضای کمیسیون تخصصی : محمدرضا ارشدی، ساسان صدرایی، قاسم حاج‌قاسمی، اعظم صفاری، طیبه کنشلو و مرضیه گرد
ویراستار علمی : اعظم صفاری
ویراستار ادبی : حسین داودی
آماده‌سازی و نظارت بر چاپ و توزیع : اداره کل نظارت بر نشر و توزیع مواد آموزشی
تهران : خیابان ایرانشهر شمالی - ساختمان شماره ۴ آموزش و پرورش (شهید موسوی)
تلفن : ۸۸۸۳۱۱۶۱-۹ ، دورنگار : ۸۸۳۰۹۲۶۶ ، کدپستی : ۱۵۸۴۷۴۷۳۵۹ ،
وب سایت : www.chap.sch.ir

مدیر امور فنی و چاپ : لیدا نیک‌روش
صفحه‌آرا : زهره بهشتی‌شیرازی
حروفچین : زهرا ایمانی‌نصر
مصحح : معصومه صابری، پری ایلخانی‌زاده
امور آماده‌سازی خیر : زینت بهشتی‌شیرازی
امور فنی رایانه‌ای : حمید ثابت‌کلاچاهی، فاطمه رئیس‌یان فیروزآباد
ناشر : شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران : تهران - کیلومتر ۱۷ جاده مخصوص کرج - خیابان ۶۱ (داروبخش)
تلفن : ۴۴۹۸۵۱۶۱-۵ ، دورنگار : ۴۴۹۸۵۱۶۰ ، صندوق پستی : ۳۷۵۱۵-۱۳۹
چاپخانه : شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران «سهامی خاص»
سال انتشار و نوبت چاپ : چاپ دوم ۱۳۹۵
حق چاپ محفوظ است.



شما عزیزان کوشش کنید که از این وابستگی بیرون آید و احتیاجات کشور خودتان را برآورده سازید، از نیروی انسانی ایمانی خودتان غافل نباشید و از اتّکای به اجانب پرهیزید.

امام خمینی «قدّس سرّه الشّریف»

فهرست

کلیات راهنمای معلم	۱
فصل اول : سیستم واحدهای اندازه‌گیری	۱۰
فصل دوم : اندازه‌گیری دما	۳۳
فصل سوم : اندازه‌گیری فشار	۵۱
فصل چهارم : اندازه‌گیری جریان سیالات	۶۶
فصل پنجم : ترازوها و چگالی سنج‌ها	۹۴
فصل ششم : پمپ‌ها	۱۰۶
فصل هفتم : مبدل‌های حرارتی، کوره‌ها	۱۳۲
فصل هشتم : کنترل فرایندها	۱۴۹
فصل نهم : راکتورهای شیمیایی	۱۶۵
فصل دهم : مخلوط‌کن‌ها و دستگاه‌های کاهش اندازه	۱۷۶
فصل یازدهم : برج‌های تقطیر و استخراج	۱۹۷
منابع و مراجع	۲۲۹

کلیات راهنمای معلم

مقدمه

اهمیت آموزش متوسطه (فنی و حرفه‌ای - نظری - کار دانش) روز به روز در حال افزایش است زیرا در این مرحله دانش‌آموزان باید بتوانند با توجه به نگرش و علاقه‌مندی‌های خود درباره آینده تصمیم بگیرند و نیز قادر باشند توانایی‌هایی را که لازمه یک شغل مناسب در بزرگسالی است، به دست آورند. از این رو جهان در سال‌های اخیر شاهد تحولات فراوانی در زمینه آموزش و پرورش بوده است. این تغییرات، همه زمینه‌ها، اعم از محتوا، اهداف، روش یاددهی - یادگیری و روش‌های ارزش‌یابی را در برمی‌گیرد. و از نیمه دوم دهه هفتاد روش‌های فعال تدریس رسماً وارد سیستم کنونی کشور شده و اکنون بسیاری از کتاب‌های درسی با این رویکرد تولید شده است. به طور مثال تدریس به روش مستقیم (سخنرانی، توضیحی، ...) که سال‌هاست در آموزش به کار گرفته می‌شود، کم‌کم به سمت شیوه‌های آموزشی فعال هدایت شده است.

ضرورت تألیف کتاب راهنمای معلم عملیات دستگاهی در صنایع شیمیایی

درس عملیات دستگاهی در صنایع شیمیایی از دروس تخصصی و تا حدی محاسباتی رشته صنایع شیمیایی به حساب می‌آید. ارزش‌یابی پایانی آن نیز به صورت نهایی (کشوری) برگزار می‌شود و همچنین محتوای عملی آن به جهت کاربردی بودن در صنایع شیمیایی برای هنرجویان جدید است. این‌ها همه موجب تألیف کتاب راهنمای معلم در درس عملیات دستگاهی در صنایع شیمیایی شده است. هدف راهنمای معلم، هماهنگی و بالا بردن کیفیت آموزشی در سطح هنرستان‌های کشور است و اهمیت این راهنما، به خصوص در کمک به هنرآموز، در اجرای مطلوب برنامه درسی جهت تحقق اهداف آموزشی است.

درس عملیات دستگاهی در صنایع شیمیایی در سال سوم با سه واحد تخصصی، شامل فصول متنوع و مورد نیاز هنرجویان در صنعت است، ضمن این که اطلاعات لازم و اولیه برخی دستگاه‌های صنایع شیمیایی و عملیات مربوط به آنها را نیز ارائه می‌دهد. در کنار این درس، کارگاه عملیات دستگاهی در صنایع شیمیایی به ارزش دو واحد معادل چهار ساعت در هفته ارائه می‌شود تا مفاهیم علمی این درس، همزمان در کارگاه به صورت عملی برای هنرجویان اجرا شود.

سخنی با معلم

امروزه، دسترسی به دانش و اطلاعات بسیار آسان شده است و آنچه بیشتر مورد توجه است این است که چگونه می‌توان دانش‌آموزان را آموزش داد تا با اطلاع از دانش و فناوری روز و با توانایی در به کارگیری و پردازش آنها، به حل مسائل و مشکلات خود در آینده بپردازند. به همین دلیل نقش معلمان نسبت به قبل تغییر یافته است و معلم فقط انتقال‌دهنده دانش نیست، بلکه او می‌تواند در ایجاد نگرش مثبت و توانایی برخورد با مسئله در دانش‌آموزان نقش اساسی

ایفا نماید. در این راستا، ابتدا معلم با طرح پرسش، نشان دادن یک تصویر یا فیلم، طرح یک فعالیت، ... در دانش آموزان ایجاد انگیزه می نماید، سپس آنها را هدایت می کند تا در آموختن و تولید مفاهیم علمی مشارکت داشته باشند.

در مواردی که تدریس از طریق گفت و گوی کلاسی انجام می شود انتظارات معلم از دانش آموز آن است که :

۱- پرسش ها را به درستی بفهمد، ۲- پاسخ درست بدهد، ۳- دلایل منطقی بیاورد، ۴- پرسش های به جا و مناسب طرح کند و

تدریس این کتاب براساس یک «طرح درس سالانه» (که در ادامه مطلب آورده شده است) انجام می شود و با ارائه الگوهایی سعی شده است راه را برای آموزش بهتر هموار نماید. عناوین مطرح شده در این کتاب به اختصار عبارت اند از :

● **هدف ها :** ابتدای هر بخش با هدف های مربوط به درس (دانشی، مهارتی، نگرشی) همراه است.

● **دانسته های قبلی :** در این قسمت دانسته های قبلی هنرجویان، که در پایه های تحصیلی پایین تر مطرح شده و مرتبط با موضوع است، آمده است.

● **راهنمای تدریس :** روش هایی برای شروع درس به معلم پیشنهاد شده که کاملاً قابل انعطاف اند و معلم می تواند با توجه به شرایط کلاس، هر روش دیگری را که به ایجاد انگیزه و یادگیری بهتر هنرجویان کمک کند، به کارگیرد. استفاده از فیلم، تصویر، برنامه های نرم افزاری کامپیوتری مرتبط با موضوع به تدریس معلم عمق می بخشد و کار وی را آسان تر می کند.

● **فعالیت :** به منظور درک بهتر مفاهیم درسی و تشویق هنرجویان به انجام دادن کارهای گروهی، در بعضی موارد فعالیت هایی پیش بینی شده است. در عین حال، یک معلم مجرب می تواند، با توجه به وضعیت کلاس، فعالیت های دیگری را که مؤثر می داند به هنرجویان پیشنهاد دهد.

● **دانستنی ها :** بخش هایی با نام دانستنی ارائه شده که الزاماً نیازی به طرح آنها در کلاس درس نیست و صرفاً جهت ارائه اطلاعات بیشتر به معلم درباره موضوعات مرتبط با درس است و به صلاح دید همکاران عزیز تنها می توان تحقیق در مورد برخی از آنها را به عنوان فعالیت به گروه های دانش آموزی واگذار کرد.

● **سؤالات پیشنهادی :** در هر فصل تعدادی سؤال به صورت نمونه پیشنهاد شده است که بنا به نظر همکاران گرامی در بحث های کلاسی و آزمون ها مورد استفاده احتمالی قرار گیرد. بهتر است بعضی از آزمون ها به صورت شفاهی برگزار شوند، زیرا در این حالت با طرح سؤالات بیشتر و متنوع تر، مفاهیم فصل را می توان مرور کرد.

● **پاسخ تمرین ها :** پاسخ فعالیت ها و تمرین های آخر هر فصل و همچنین پاسخ برخی نمونه سؤالات در این قسمت آمده است.

هنرجویان علاقه مند می توانند نظرات و پیشنهادهای خود را به نشانی دفتر تألیف آموزش های فنی و حرفه ای، ارسال نمایند.

www.tvoccd.medu.ir

فرصت های یاددهی – یادگیری

شما با روش هایی نظیر سخنرانی در تدریس، که مطالب یک طرفه و توسط معلم ارائه می شود به خوبی آشنا هستید. کتاب راهنمای معلم تلاش دارد تا با همراهی شما بیشتر از روش های یاددهی – یادگیری فعال (اکتشافی،

- حل مسئله، کارگاهی، ...) استفاده شود. زیرا این شیوه پرورش مهارت‌های مختلفی چون اندیشیدن، نقد کردن، و به کارگیری آموخته‌ها را در موقعیت‌های مختلف برای یافتن پاسخ پرسش‌های موجود در پی دارد.
- در اینجا، با توجه به اهمیت موضوع، جنبه‌های اساسی فرآیند یاددهی - یادگیری فعال ذکر می‌شود.
- ۱- فعالیت‌های آموزشی هنرجویان گروهی است و تأکید عمده بر همیاری است.
 - ۲- مسئول یادگیری هنرجو، خود اوست.
 - ۳- معلم نقش تسهیل کننده یادگیری و راهنمای هنرجو را دارد.
 - ۴- به مهارت‌های تفکر و مطالعه، بهای بیشتری داده می‌شود.
 - ۵- فرصت‌های یادگیری برابر، برای همه دانش‌آموزان فراهم می‌شود.
 - ۶- اعتماد به نفس در هنرجویان تقویت می‌شود.
 - ۷- رقابت فردی به حداقل برسد و در مقابل، احساس موفقیت گروه تقویت می‌شود.

فضا و مواد آموزشی

هنرآموز می‌تواند از امکانات مختلفی برای تفهیم مطالب استفاده کند. به‌طور مثال بیان و توضیح مفاهیم مورد نظر، پیش‌بینی بازدیدهای محلی و منطقه‌ای، استفاده از فیلم، تصویر و پاورپوینت و دستگاه‌های موجود در کارگاه و... همچنین استفاده از فضاهای کلاس و کارگاه و واحدهای صنعتی محلی جهت آموزش.

ارزش‌یابی

ارزش‌یابی یکی از بخش‌های مهم فرآیند یاددهی - یادگیری است. ارزش‌یابی، داوری و قضاوت در مورد آموخته‌ها و تغییر رفتار دانش‌آموز برای نیل به اهداف آموزش و پرورش است که از طریق سنجش و اندازه‌گیری حاصل می‌شود. مواد و آیین‌نامه آموزشی دوره سه ساله متوسطه روزانه که مرتبط با ارزش‌یابی هستند، به شرح زیر است:

ماده ۴۳:

- ۱- بررسی و تعیین میزان پیشرفت آموزشی، پرورشی و تغییرات رفتاری دانش‌آموز؛
- ۲- آگاه کردن دانش‌آموز از میزان پیشرفت آموزشی و پرورشی خود و همچنین آگاه کردن اولیای وی از وضعیت تحصیلی فرزندشان؛
- ۳- تشخیص نارسایی‌های یادگیری دانش‌آموز و برنامه‌ریزی به منظور رفع آنها؛
- ۴- تشخیص استعداد و علاقه دانش‌آموز به راهنمایی آنان در امور شغلی و تحصیلی آینده؛
- ۵- تقویت انگیزه و روحیه تلاش و ایجاد رقابت‌های سالم در دانش‌آموز؛
- ۶- سنجش کیفیت و محتوای برنامه‌ها و عوامل مؤثر در آموزش از طریق تحلیل نتایج ارزش‌یابی‌ها به منظور یافتن نارسایی‌ها و رفع آنها؛
- ۷- حصول اطمینان از تحقق شرایط لازم در دانش‌آموز به منظور ارتقا یافتن به مراحل تحصیلی یا سطوح مهارتی بالاتر.

ماده ۴۴: (آیین‌نامه آموزش دوره سه ساله متوسطه روزانه در مورد ارزش‌یابی):

ارزش‌یابی از آموخته‌های دانش‌آموز در هر درس به صورت ورودی، تکوینی و پایانی با اهداف مشخص شده زیر به عمل می‌آید:

الف) ارزش‌یابی ورودی (آغازین) به منظور آگاهی از توانایی‌ها و آمادگی‌های دانش‌آموز برای شروع مناسب فرآیند یاددهی - یادگیری و جبران نارسایی‌ها و کاستی‌های احتمالی دانش‌آموز، در آغاز سال تحصیلی به وسیله معلمان انجام می‌گیرد.

ب) ارزش‌یابی تکوینی (مستمر): به منظور تقویت اعتماد به نفس، تحکیم آموخته‌های دانش‌آموز، آگاهی معلمان از نقاط قوت و ضعف درسی و نحوه عملکرد دانش‌آموز در فرآیند یاددهی - یادگیری و پرورش روحیه تحقیق، تفکر، تلاش، ابتکار و فعالیت‌های گروهی، تدارک باز خورد مناسب به معلمان، دانش‌آموزان، اولیا و اتخاذ روش‌های مناسب به منظور بهبود فرآیند یاددهی - یادگیری انجام می‌شود.

ج) ارزش‌یابی پایانی: به منظور حصول اطمینان از میزان تحقق هدف‌های آموزشی و پرورشی و حصول اطمینان لازم برای احراز شرایط قبولی در هر درس انجام می‌گیرد.

ماده ۴۵: ارزش‌یابی تکوینی به صورت مستمر از نحوه مشارکت دانش‌آموز در فعالیت‌های یاددهی - یادگیری و به شیوه‌های گوناگون با تکیه بر آزمون‌های کتبی، شفاهی، عملی با بررسی تکالیف فردی و گروهی، فهرست واریسی (چک لیست) مشاهده رفتار، میزان فعالیت، تلاش، ابتکار، خلاقیت و ... انجام می‌گیرد و نمره این ارزش‌یابی‌ها در هر ماده درسی در هر سال تحصیلی در دو نوبت تعیین و منظور می‌شود.

تبصره: برای درس‌هایی که در دوره تابستانی ارائه می‌شود و درس‌هایی از شاخه فنی و حرفه‌ای که فقط در طول یک نوبت ارائه می‌شود نمره ارزش‌یابی مستمر فقط یک بار تعیین و منظور می‌شود.

ماده ۴۶: ارزش‌یابی پایانی در طول سال تحصیلی در دو نوبت اول و دوم انجام می‌شود. ارزش‌یابی پایان نوبت اول از حدود پنجاه درصد اول محتوای برنامه درسی در دی ماه و ارزش‌یابی پایانی نوبت دوم از تمامی محتوای برنامه درسی (۵ نمره از محتوای نیمه اول برنامه درسی و ۱۵ نمره از محتوای نیمه دوم برنامه درسی) در خرداد ماه انجام می‌شود.

تبصره: ارزش‌یابی پایانی دوره تابستانی، شهریور ماه، دی ماه و همچنین امتحانات نهایی و درس‌های غیرحضور از کلیه محتوای برنامه درسی به عمل می‌آید.

ماده ۵۱: نمرات ارزش‌یابی تکوینی و پایانی هر نوبت از امتحانات داخلی باید به وسیله معلم مربوط، بدون خدشه و قلم‌خوردگی در برگ ریز نمرات ثبت شود و پس از امضا و درج تاریخ بلافاصله به دفتر واحد آموزشی تحویل گردد. نمرات ارزش‌یابی تکوینی باید دو هفته قبل از امتحانات پایانی و نمرات ارزش‌یابی پایانی باید حداکثر یک هفته بعد از انجام امتحانات هر درس در آن نوبت به دفتر واحد آموزشی تحویل داده شود.

تبصره: نمرات ارزش‌یابی مستمر باید در طول هر نوبت و قبل از امتحانات پایانی به اطلاع دانش‌آموز و ولی برسد.

ماده ۵۵: نمره هر درس در نوبت اول از مجموع نمره ارزش‌یابی مستمر با ضریب ۱ و نمره ارزش‌یابی پایانی با ضریب ۲ و در نوبت دوم از مجموع نمره ارزش‌یابی مستمر با ضریب ۱ و نمره ارزش‌یابی پایانی با ضریب ۶ به دست

می‌آید. نمره هر درس برابر جدول زیر محاسبه می‌شود:

نمره سالانه	نوبت دوم		نوبت اول	
مجموع نمرات ارزش‌یابی‌ها	نمره ارزش‌یابی پایانی	نمره ارزش‌یابی مستمر	نمره ارزش‌یابی پایانی	نمره ارزش‌یابی مستمر
با ضریب تقسیم بر ده	ضریب ۶	ضریب ۱	ضریب ۲	ضریب ۱

ماده ۵۵: نمره هر درس در دوره تابستانی از مجموع نمره ارزش‌یابی مستمر با ضریب ۱ و نمره ارزش‌یابی پایانی با ضریب ۴ به شرح جدول زیر محاسبه می‌شود:

نمره درسی تابستانی	نمره ارزش‌یابی پایانی	نمره ارزش‌یابی مستمر
مجموع نمرات ارزش‌یابی‌ها با ضریب تقسیم بر پنج	ضریب ۴	ضریب ۱

ماده ۵۶: نمره هر یک از امتحانات پایانی و ارزش‌یابی‌های مستمر دانش‌آموز در هر درس از صفر تا بیست است.

— علاقه‌مندان جهت کسب اطلاعات بیشتر می‌توانند به آدرس www.tvoccd.medu.ir مراجعه نمایند.

برخی نکات مهم در طراحی سؤال

- در نوع و طراحی سؤالات ابهامی وجود نداشته باشد.
- حتی‌الامکان سؤالات به صورت پیوسته و مرتبط با هم «طراحی نشوند» و هر سؤال مستقل و غیروابسته به سؤال قبل یا بعد طراحی شود.
- هر سؤال باید به اندازه‌گیری هدف معینی که قابل اندازه‌گیری باشد بپردازد.
- سؤال باید دارای اعتبار و روایی باشد. منظور از اعتبار این است که سؤالات از دقت اندازه‌گیری و ثبات برخوردار باشند، به طوری که فرضاً، اگر از دانش‌آموزی دو مرتبه امتحان از درسی به عمل آید نمرات دو امتحان به هم نزدیک باشد و منظور از روایی این است که سؤالات در جهت اهداف کتاب باشد.
- پرسش‌ها طوری نوشته شوند که خواندن آنها تسهیل گردد (خط خوانا، رعایت فاصله و ذکر علائم لازم مثل نقطه، علامت سؤال و ...) و از گمراه کردن امتحان‌شوندگان پرهیز شود.
- زمان پاسخ‌گویی به سؤالات در سرپرگ آنها نوشته شود.
- برای جلوگیری از گمراه شدن هنجریان فقط از نمادها و علائم اختصاری واحدهای اندازه‌گیری استاندارد استفاده شود.

جدول (۱) ارزشیابی درس عملیات دستگاهی در صنایع شیمیایی رشته صنایع شیمیایی زمینه صنعت شاخه فنی و حرفه‌ای (سال تحصیلی ۹۱-۹۰)

راهنمای ارزشیابی پیشرفت تحصیلی دروس نظری

رشته: صنایع شیمیایی
(سال تحصیلی ۹۱-۹۰)

پایه: سوم

درس: عملیات دستگاهی در صنایع شیمیایی

شاخه: فنی و حرفه‌ای

زمینه: صنعت

وزارت آموزش و پرورش



سازمان پژوهش و برنامه ریزی آموزشی
دفتر برنامه ریزی و تألیف آموزش‌های فنی و حرفه‌ای و کار دانش

نام کتاب: عملیات دستگاهی در صنایع شیمیایی کد کتاب: ۴۹۲/۳ چاپ معتبر: ۱۳۸۸ به بعد		واحد: ۳ نظری: ۳ عملی: ۰		مدل ارزشیابی: ۱-۲-۳-۴ نمره قبولی: ۱۰		نوع آزمون داخلی □ نهایی ■	
نوبت اول		عنوان					
نوبت اول	مستتر (تربیب ۱)	حیطه شناختی: اهداف رفتاری در حیطه شناختی مربوط به فصل‌های ۱ تا ۸ کتاب، که در ابتدای هر فصل آورده شده است به عنوان شاخص اصلی ارزشیابی در حیطه شناختی تلقی می‌شود که با استفاده از ابزارهای سنجش و اندازه‌گیری آموزشی می‌توان آنها را ارزشیابی کرد برخی از این ابزارها عبارتند از: ۱- آزمون پاسخ کوتاه ۲- آزمون چند گزینه‌ای (چهار جوابی) ۳- آزمون دو گزینه‌ای (۵۰ درصدی) ۴- آزمون‌های جور کردنی ۵- آزمون‌های تشریحی ۶- دریافت پاسخ‌های شفاهی در کلاس درس ۷- انجام پروژه‌های تحقیقاتی، تکلیف و... حیطه عاطفی: برخی از شاخص‌های اندازه‌گیری در حیطه عاطفی عبارتند از: میزان ذوق فراگیری، آمادگی پاسخ به پرسش‌های کلاسی، حضور به موقع، فعال و با آرمش در کلاس، اعتماد به نفس در ارائه و فراگیری مطالب، علاقه‌مندی به شرکت در فعالیت‌های گروهی، حل تمرین و انجام به موقع تکالیف، استفاده از نرم افزارهای آموزشی مرتبط، استفاده از سایر منابع درسی، داشتن برنامه درسی در منزل، روحیه کمک به همکلاسی‌ها، مراقبت و نگهداری و استفاده مناسب از ابزار و تجهیزات جمع نمرات ارزشیابی مستتر نوبت اول					۱۶
		فصل ۱: - سیستم‌های مختلف واحدهای اندازه‌گیری، واحدها و تبدیل واحدها فصل ۲: - واحد های دما و تبدیل آنها به یکدیگر فصل ۳: - مفهوم فشار - واحدهای فشار و تبدیل واحدهای فشار به یکدیگر فصل ۴: - مفهوم دبی حجمی و جرمی و روشهای اندازه‌گیری جریان سیالات فصل ۵: - مفهوم: جرم وزن - چگالی - چگالی نسبی فصل ۶: - انواع پمپ، کاربرد و طرز کار آنها فصل ۷: - ساختمان، طرز کار و انواع مبدل‌های حرارتی فصل ۸: - کنترل دما، فشار - سطح جمع نمرات پایانی نوبت اول					۲۰
نوبت دوم	مستتر (تربیب ۱)	حیطه شناختی: شاخص‌های ارزشیابی از فصل ۹ تا فصل ۱۱ مانند نوبت اول عمل شود. حیطه عاطفی: شاخص‌های ارزشیابی مانند نوبت اول عمل شود. جمع نمرات ارزشیابی مستتر نوبت دوم					۱۶
		فصل ۱: - از شاخص‌های ارزشیابی پایانی نوبت اول فصل ۲: - از شاخص‌های ارزشیابی پایانی نوبت اول فصل ۳: - از شاخص‌های ارزشیابی پایانی نوبت اول فصل ۴: - از شاخص‌های ارزشیابی پایانی نوبت اول فصل ۵: - از شاخص‌های ارزشیابی پایانی نوبت اول فصل ۶: - از شاخص‌های ارزشیابی پایانی نوبت اول فصل ۷: - از شاخص‌های ارزشیابی پایانی نوبت اول فصل ۸: - از شاخص‌های ارزشیابی پایانی نوبت اول فصل ۹: - راکتور (تعریف) و جایگاه راکتور در یک واحد صنعتی و انواع راکتورها فصل ۱۰: - توضیح مراحل مختلف طراحی راکتور فصل ۱۱: - طرز کار انواع مخلوط کن‌ها و دستگاههای کاهش اندازه مواد و مخلوطه کاربرد هر یک از این دستگاهها - اصول تقطیر، انواع تقطیر - اصول استخراج مایع از مایع، کاربرد انواع برجهای تقطیر و استخراج جمع نمرات پایانی نوبت دوم					۲۰
نوبت نهایی	پایانی	فصل	نمره	فصل	نمره	فصل	نمره
		۱	۱/۵	۴	۱/۵	۷	۲
		۲	۱	۵	۱	۸	۱
		۳	۱	۶	۱/۵	۹	۳
تکات اجرایی		نویسه می‌شود: - پس از پایان هر فصل، موضوع دوس با آزمایش و هرچون یک امتحان پایان فصل به عمل آید. - هر هفت فعالیت کلاسی هرچون ارزشیابی شده و از دفتر مخصوص ثبت گردد. - طرح درس مناسب برای سهولت تدریس و دریافت یادشود و هرچون این تهیه شود. - اهداف رفتاری مطرح در ابتدای هر فصل می‌تواند در ارزشیابی هر آموزش مجزوم باشد. - قسمت هدیه که برای مطالعه آورده و نظر گرفته شده است می‌تواند در ارزشیابی طرح شود. ۵- نمره هر درس در دوره ناستاسی از میانگین نمره ارزشیابی مستتر نامبریب ۱ و نمره ارزشیابی پایانی با ضرب ۲ محاسبه می‌گردد ۷- نمره دوس خارج حصری و دروسی که ناستاسی برای آنها کلاس تشکیل نمی‌شود، در شهریور و دیماه بدون ضرب محاسبه می‌گردد.					

جدول (۲) طرح درس سالانه پیشنهادی

ماه‌ها	هفته‌ها	فصل‌ها	عناوین دروس	موضوعات و اهداف کلی درس	فعالیت‌های دیگر
مهر ماه	هفته اول	فصل (۱)	معارفه سیستم واحدهای اندازه‌گیری	مفهوم اندازه‌گیری، کمیت و انواع آن، چگونگی اندازه‌گیری کمیت‌ها	تهیه جدول واحدها
	هفته دوم	فصل (۱)	سیستم واحدهای اندازه‌گیری	انواع سیستم‌ها، تهیه جدول واحدها، انواع واحدها، جدول پیشوندها	آزمون
	هفته سوم	فصل (۱)	سیستم واحدهای اندازه‌گیری	تبدیل واحد به روش نردبانی، استفاده از جدول تبدیل واحد چگونگی انجام اعمال ریاضی بر روی واحدها	آزمون
	هفته چهارم	فصل (۱)	سیستم واحدهای اندازه‌گیری	سال نوری و محاسبه مقدار آن، حل خودآزمایی فصل (۱)	آزمون
آبان ماه	هفته پنجم	فصل (۲)	اندازه‌گیری دما	مفهوم دما و گرما، انواع دماها و واحدهای مربوطه، نحوه تبدیل دماها به یکدیگر	آزمون فصل اول، تهیه جدول چهار مقیاس دما
	هفته ششم	فصل (۲)	اندازه‌گیری دما	مفهوم فاصله دمایی - دماسنج مایعی، حل خودآزمایی فصل (۲)	ارائه راه کوتاه برای حل مسائل فاصله دمایی در کنکور
	هفته هفتم	فصل (۳)	اندازه‌گیری فشار	مفهوم فشار، فشار گازها و مایعات، فشار ستون سیال، واحدهای فشار، مفهوم فشار نسبی و مطلق	آزمون فصل دوم
	هفته هشتم	فصل (۴)	اندازه‌گیری جریان سیالات	مفهوم دبی، دبی جرمی و حجمی واحدهای دبی، روابط فیزیکی جهت محاسبه دبی حجمی و جرمی، روش‌های اندازه‌گیری جریان سیالات، حل خودآزمایی فصل سوم	آزمون فصل سوم
آذر ماه	هفته نهم	فصل (۴)	اندازه‌گیری جریان سیالات	شرح انواع «جریان سنج‌ها»، حل خودآزمایی فصل (۴)	آزمون سه فصل (۱ و ۲ و ۳)
	هفته دهم	فصل (۵)	ترازوها و چگالی سنج‌ها	مفاهیم جرم، وزن، چگالی و چگالی نسبی - چگالی سنج (هیدرومتر)، حل خودآزمایی فصل (۵)	آزمون فصل چهارم
	هفته یازدهم	فصل (۶)	پمپ‌ها	پمپ و کاربردهای آن، انتخاب پمپ، انواع پمپ‌ها، خصوصیات پمپ‌های گریز از مرکز و رفت و برگشتی، انواع پمپ گریز از مرکز	آزمون فصل پنجم
	هفته دوازدهم	فصل (۶) فصل (۷)	پمپ‌ها مبدل‌های حرارتی و کوره‌ها	مفهوم حرره‌زایی، حل خودآزمایی فصل (۶) مبدل‌های حرارتی، برج‌های خنک‌کننده و کولرهای آبی مقایسه جریان همسو و ناهمسو	آزمون فصل ششم

ماه‌ها	هفته‌ها	فصل‌ها	عناوین دروس	موضوعات و اهداف کلی درس	فعالیت‌های دیگر
دی ماه	هفته سیزدهم	فصل (۷)	مبدل‌های حرارتی و کوره‌ها	کوره‌ها، دیواره کوره، انواع کوره‌ها، خودآزمایی فصل (۷)	آزمون مرور فصول گذشته
	هفته چهاردهم و پانزدهم		امتحانات نوبت اول		
	هفته شانزدهم	فصل (۸)	کنترل فرایندها	دلایل نصب سیستم‌های کنترلی بر روی فرایندها، اجزای یک سیستم کنترل ساده و نمودار جعبه‌ای، سیستم کنترل دما و نمودار جعبه‌ای آن	حل سؤالات امتحان نوبت اول
بهمن ماه	هفته هفدهم	فصل (۸)	کنترل فرایندها	سیستم کنترل فشار و سطح، شیر کنترل بادی	آزمون
	هفته هیجدهم	فصل (۹)	راکتورهای شیمیایی	تعریف راکتور، نقش راکتور در واحدهای صنایع شیمیایی، انواع راکتورها، راکتور ناپیوسته و پیوسته	آزمون فصل هشتم، حل خودآزمایی فصل (۸)
	هفته نوزدهم	فصل (۹)	راکتورهای شیمیایی	راکتور نیمه پیوسته، طراحی راکتور، طراحی یک واحد صنایع شیمیایی	آزمون
	هفته بیستم	فصل (۱۰)	مخلوط‌کن‌ها و دستگاه‌های کاهش اندازه	حل خودآزمایی فصل (۹)، همزدن و اهداف آن، انواع اختلاط	آزمون فصل نهم
اسفند ماه	هفته بیست و یکم	فصل (۱۰)	مخلوط‌کن‌ها و دستگاه‌های کاهش اندازه	انواع مخلوط‌کن‌های فاز مایع، مخزن مجهز به همزن مکانیکی و مخلوط‌کن ساکن	آزمون
	هفته بیست و دوم	فصل (۱۰)	مخلوط‌کن‌ها و دستگاه‌های کاهش اندازه	روش‌های اختلاط جامدات، دستگاه‌های مخلوط‌کن جامدات، مخلوط‌کن V، روبانی، ناتامیکس، ماریچ عمودی و هوایی	آزمون
	هفته بیست و سوم	فصل (۱۰)	مخلوط‌کن‌ها و دستگاه‌های کاهش اندازه	کاهش اندازه مواد و اهداف آن، روش‌های کاهش اندازه، دستگاه‌های کاهش اندازه: خردکن فکی و غلتکی، آسیاب دوار، دستگاه‌های برنده	آزمون
	هفته بیست و چهارم	فصل (۱۰)	مخلوط‌کن‌ها و دستگاه‌های کاهش اندازه	حل خودآزمایی فصل (۱۰)	آزمون فصل دهم

ماه‌ها	هفته‌ها	فصل‌ها	عناوین دروس	موضوعات و اهداف کلی درس	فعالیت‌های دیگر
فروردین ماه	هفته‌های بیست و پنجم و بیست و ششم		تعطیلات نوروز		
	هفته بیست و هفتم	فصل (۱۱)	برج‌های تقطیر و استخراج	تقطیر و انواع آن، فشار برج‌های تقطیر	تبریک سال جدید
	هفته بیست و هشتم	فصل (۱۱)	برج‌های تقطیر و استخراج	برج تقطیر سینی‌دار، انواع سینی‌ها	آزمون
اردیبهشت ماه	هفته بیست و نهم	فصل (۱۱)	برج‌های تقطیر و استخراج	برج تقطیر آکنده، انواع آکندها	آزمون، تکثیر چند نمونه امتحان نهایی
	هفته سی‌ام	فصل (۱۱)	برج‌های تقطیر و استخراج	استخراج، انتخاب حلال، برج‌های استخراج: پاششی، سینی‌دار، آکنده و استخراج‌کننده با همزن مکانیکی	آزمون، پخش چند نمونه امتحان نهایی بین هنرجویان
	هفته سی و یکم			حل خودآزمایی فصل (۱۱)، بررسی سؤالات چند نمونه امتحان نهایی سال‌های گذشته	آزمون فصل یازدهم
	هفته سی و دوم		برگزاری امتحانات کارگاه‌ها		

سیستم واحدهای اندازه‌گیری

چکیده فصل

در این فصل، هنجاریان با ضرورت اندازه‌گیری کمیت‌های مختلف و نحوه انجام این کار آشنا می‌شوند و با یادگیری انواع واحدهای اندازه‌گیری در سیستم‌های سه‌گانه رایج، توانایی تبدیل واحدها را به روش جدید نردبانی، کسب می‌کنند.

دانسته‌های قبلی: هنجاریان در سال‌های قبل، با برخی از این واحدها و با نحوه تبدیل آنها به روش مرسوم تناسب به طور پراکنده آشنا شده‌اند.

اهداف فصل: در پایان این فصل از هنجاریان انتظار می‌رود که مفاهیم زیر را آموخته باشند:

- ضرورت اندازه‌گیری
- تعریف کمیت و شناخت آن
- چگونگی اندازه‌گیری کمیت‌ها با استفاده از واحد استاندارد
- تفاوت واحد و کمیت
- انواع کمیت‌ها
- انواع سیستم‌های واحدهای اندازه‌گیری
- جدول صفحه (۴) کتاب درسی
- انواع واحدها
- نحوه ساخت واحدهای مضرب با استفاده از پیشوندها
- روش نردبانی جهت تبدیل واحدها با استفاده از جداول
- تعریف سال نوری و نحوه محاسبه مقدار آن

برنامه زمان‌بندی تدریس فصل اول

صفحه	موضوعات	هفته
۲-۱	مفهوم اندازه‌گیری - کمیت و انواع آن - چگونگی اندازه‌گیری کمیت‌ها	۱
۵-۳	انواع سیستم‌ها - تهیه جدول واحدها - انواع واحدها، جدول پیشوندهای واحدهای مضرب	۲
۸-۵	تبدیل واحد به روش نردبانی - استفاده از جداول تبدیل واحد - چگونگی انجام عملیات ریاضی بر روی واحدها	۳
۸	رفع اشکال - حل خودآزمایی، آزمون - تدریس (سال نوری و محاسبه مقدار آن)	۴

برنامه زمان بندی هفته اول			دقیقه
۱	آشنایی با هنرجویان – معرفی کتاب، روش تدریس و نحوه ارزشیابی	۳۰	
۲	تدریس	۹۵	
۳	استراحت میان تدریس (دو نوبت)	۱۰	

در این هفته، مفاهیم موردنظر به ترتیب عناوین زیر تدریس می شود :

– ضرورت اندازه گیری

– تعریف کمیّت

– انواع کمیّت و معرفی انواع کمیّت های مختلف مورد نیاز در صنایع شیمیایی

– چگونگی اندازه گیری کمیّت ها با استفاده از واحد استاندارد

– تفاوت کمیّت و واحد

راهنمای تدریس : معرفی کتاب عملیات دستگاهی در صنایع شیمیایی

ابتدا لازم است جهت آشنا شدن هنرآموز با هنرجویان و آشنایی مقدماتی با کتاب درسی، روش تدریس، نحوه ارزشیابی و...

دقایقی اختصاص داده شود، از جمله^۱ :

کتاب «عملیات دستگاهی در صنایع شیمیایی» یکی از شاخص ترین کتاب های تخصصی این رشته است که در سال سوم هنرستان تدریس می شود. پیش نیاز اصلی این درس «شناخت صنایع» است که سال گذشته ارائه شد.

این کتاب شامل یازده فصل است که به بیان مفاهیم مورد نیاز صنایع شیمیایی و عملکرد دستگاه های مربوطه می پردازد. این مطالب از آن جهت که پایه و اساس عملیات مختلف واحدهای صنایع شیمیایی هستند از اهمیت بالایی برخوردارند. لازم است یادآوری شود جهت تکمیل فرآیند یاددهی و یادگیری مفاهیم موجود در این کتاب، کتاب دیگری تحت عنوان «کارگاه عملیات دستگاهی در صنایع شیمیایی» در نظر گرفته شده و تدریس مفاهیم مذکور به کمک چندین آزمایش انجام شده است. اکثر فصول این دو کتاب دارای عناوین یکسان اند و در صورت یکی بودن مدرس، آموزش آنها بازده بسیار بالایی خواهد داشت.

مدت زمان این درس، سه ساعت آموزشی در هفته است. در هر جلسه بعد از رفع اشکال و حل خودآزمایی، آزمون شفاهی یا کتبی از مطالب هفته قبل به عمل می آید. پرسش های شفاهی به صورت «بحث در کلاس» انجام می شود که بسیار سودمند خواهد بود. تکالیف یا فعالیت های معین شده، بررسی می شود و در صورت اجرای مرتب و کامل آنها، امتیازی منظور می گردد که در نمره مستمر مؤثر خواهد بود. سپس تدریس، براساس برنامه زمان بندی شده سالانه، انجام می شود.

بعد از پایان هر سه فصل، یک آزمون بیست نمره ای برگزار می شود که برای جبران عقب ماندگی ها و رفع اشکالات احتمالی از

درس، فرصت مناسبی است.

۱- این سخنان خطاب به هنرجویان ایراد می شود.

امتحان نوبت اول تا آخر فصل هفتم برگزار می‌شود و سعی بر این است که قبل از تعطیلات نوروز، فصل دهم تمام شده باشد. بعد از تعطیلات سال نو فصل یازده تدریس می‌شود و در پایان، جهت آمادگی شرکت در امتحان نهایی، نمونه سؤالاتی از سال‌های قبل حل می‌شود و سپس یک آزمون از کل کتاب برگزار می‌گردد.^۱

راهنمای تدریس

این فصل از جمله مهم‌ترین فصول این کتاب است که جهت محاسبات، در تمام علوم کاربرد دارد، به همین دلیل توصیه می‌شود با تأنی و حوصله و دقت تدریس شود.

– برای جلب توجه هنرجویان، دو سؤال روی تابلو نوشته شود :

۱– هدف از اندازه‌گیری چیست؟

۲– چه مشخصه‌هایی اندازه‌گیری می‌شوند؟

با بیان چند مثال، این سؤالات پاسخ داده می‌شود، از جمله :

– خرید پارچه – خرید میوه – مزد کارگر

پولی که به‌هنگام خرید پارچه یا میوه به فروشنده پرداخت می‌شود یا در ازای کار کارگر به او داده می‌شود جز با اندازه‌گیری طول پارچه، جرم میوه و زمان کارکرد کارگر، قابل محاسبه نیست. در حقیقت اندازه‌گیری مقدار مشخصه‌هایی از هر پدیده، یکی از راه‌های شناسایی آن پدیده است. در این مثال‌ها، طول و جرم و زمان مشخصه‌هایی هستند که قابل اندازه‌گیری هستند به این گونه مشخصه‌ها، «کمیت» می‌گویند.

جهت ارائه تعریف جامعی از «کمیت»، سؤال دیگری روی تابلو نوشته شود :

روش اندازه‌گیری کمیت‌ها چگونه است؟

برای مثال، ابعاد این کلاس (طول و عرض و ارتفاع) چگونه اندازه‌گیری می‌شوند؟ هنرجویان به خوبی می‌توانند به این سؤال پاسخ دهند. نتیجه جمع‌آوری نظرات آنان به استفاده از نواری مدرج به نام «متر» ختم می‌شود.

چگونگی روش اندازه‌گیری کمیت‌ها را به این صورت می‌توان بیان نمود :

برای اندازه‌گیری کمیت‌ها، به یک کمیت استاندارد نیاز است تا کمیت مورد نظر با آن مقایسه گردد و مشخص شود که این کمیت چند برابر یا چه کسری از آن است. به کمیت استاندارد مورد استفاده برای اندازه‌گیری کمیت‌ها «واحد» می‌گویند.

کمیت‌ها را می‌توان با واحدهای مختلف اندازه‌گیری کرد و نتیجه را به صورت «یک عدد به همراه واحد» بیان کرد. مثلاً طول

یک قالی «۴ متر» است. واضح است در صورت تعویض واحد اندازه‌گیری، مقدار نیز تغییر می‌کند. برای مثال : $4\text{ m} = 400\text{ cm}$.

با این توضیحات، تعریف جامعی برای «کمیت» می‌توان بیان کرد :

«کمیت عبارت است از هر مشخصه قابل اندازه‌گیری، قابل مقایسه و قابل تغییر از یک جسم.»

انواع کمیت

۱– کمیت‌های اصلی یا مستقل : کمیت‌هایی است که با ابزارهای مخصوصی قابل اندازه‌گیری هستند، مانند :

طول، جرم، زمان، دما، شدت جریان الکتریکی و مقدار ماده.

۱– آزمون‌های اعلام شده، بنابر صلاحدید هنرآموز محترم، براساس وضعیت درسی هنرجویان انجام می‌شود. توصیه می‌شود آزمون سه فصل اول، به دلیل اهمیت آن برگزار گردد.

۲- کمیت‌های فرعی یا وابسته : کمیت‌هایی است که ابزار به خصوصی برای اندازه‌گیری آنها وجود ندارد تا بتوان به‌طور مستقل عمل کرد. این کمیت‌ها با استفاده از روابط فیزیکی و کمیت‌های اصلی محاسبه می‌شوند.

توصیه می‌شود که در همین قسمت، انواع کمیت‌های فرعی با ذکر روابط فیزیکی و یادآوری تعریف مختصری از آنها بیان شوند تا هنجاریان برای فراگیری جدول صفحه ۴ کتاب، آمادگی لازم را پیدا کنند. کمیت‌های فرعی مانند (هنرجویان می‌توانند در نوشتن روابط فیزیکی مشارکت داشته باشند): سطح ($A = L^2$)، حجم ($V = L^3$)، چگالی یعنی جرم واحد حجم ($\rho = \frac{m}{V}$)

$$\text{سرعت : مسافت پیموده شده در واحد زمان} \quad V = \frac{L}{t}$$

$$\text{شتاب : مشتق سرعت است} \quad a = \frac{L}{t^2}$$

نیرو : حاصل ضرب جرم در شتاب $F = ma$ (اختصاصاً نیروی وزن با W نشان داده می‌شود، که همان نیروی جاذبه زمین است در این حالت شتاب، شتاب جاذبه زمین است که با g شناخته می‌شود و رابطه فیزیکی آن عبارت است از: $W = mg$)

$$\text{فشار : نیروی عمود وارد بر واحد سطح} \quad P = F/A$$

$$\text{کار (یا انرژی) : حاصل ضرب نیرو در جابه‌جایی} \quad W = F.L$$

یادآوری می‌شود انرژی به شکل‌های مختلف وجود دارد، از جمله :

انرژی جنبشی $E_k = \frac{1}{2}mv^2$ ، انرژی پتانسیل $E_p = mgh$ و انرژی حرارتی $Q = mc\Delta T$. در این رابطه c نماد گرمای ویژه حرارتی است.

$$\text{توان : کار (یا انرژی) انجام شده در واحد زمان} \quad P = w/t$$

گرانروی یا ویسکوزیته : مقاومت سیال در برابر جاری شدن

برای سیالات، دو نوع گرانروی تعریف می‌شود :

$$\mu \rightarrow \frac{m}{L.t} \quad ۱- \text{گرانروی دینامیک یا مطلق که از نظر ابعادی به صورت روبه‌رو است :}$$

$$۲- \text{گرانروی سینماتیک که براساس گرانروی دینامیک به صورت زیر بیان می‌شود :}$$

$$\nu = \frac{\mu}{\rho}$$

و واحدهای آن در سیستم‌های مختلف از ابعاد $(\frac{L^2}{t})$ به‌دست می‌آیند.

۱- سطح و حجم دو کمیت مورد استفاده در علم هندسه‌اند، که برای هر شکل با رابطه فیزیکی خاصی محاسبه می‌شوند. در این جا شکل مهم نیست آن‌چه اهمیت دارد واحد است به این صورت که بدون توجه به شکل هندسی، واحد سطح از توان دوم طول و واحد حجم از توان سوم طول به دست می‌آید، مثلاً مترمربع و مترمکعب (m^2 , m^3) و به این‌گونه روابط، که برای بیان واحدها استفاده می‌شوند، «معادله ابعادی» می‌گویند.

دانستنی (۱)

نماد علمی کمیت‌ها، معمولاً براساس حرف اول نام لاتین آنهاست، به صورت زیر :

جدول ۱-۱- نماد علمی کمیت‌ها

نماد	نام لاتین کمیت	کمیت	نماد	نام لاتین کمیت	کمیت
F	Force	نیرو	L	Length	طول
W	Weight	وزن	m	mass	جرم
P	Pressure	فشار	t	time	زمان
W	Work	کار	T	Temperature	دما
E_k	Kinetic Energy	انرژی جنبشی	I	Induced Current	شدت جریان الکتریکی
E_p	Potential Energy	انرژی پتانسیل	n	Amount of substance	مقدار ماده
Q	Thermal Energy	انرژی حرارتی	A	Area	مساحت
P	Power	توان	V	Volume	حجم
μ	Dynamic Viscosity	گرانروی دینامیک	ρ	Density	چگالی
γ	Kinematic Viscosity	گرانروی سینماتیک	V	Velocity	سرعت
			a	acceleration	شتاب

برنامه زمان بندی هفته دوم			دقیقه
۱	آماده کردن کلاس (احوالپرسی، حضور و غیاب)	۵	
۲	رفع اشکال	۱۵	
۳	پرسش	۲۰	
۴	تدریس	۸۵	
۵	استراحت میان تدریس (دو نوبت)	۱۰	

تدریس این هفته می تواند به ترتیب عناوین زیر باشد :

– ضرورت مطرح شدن «سیستم واحدهای اندازه گیری»؛

– انواع سیستم واحدهای اندازه گیری؛

– جدول صفحه (۴) کتاب؛

– انواع واحدها؛

– جدول پیشوندها برای ساختن واحدهای مضرب.

راهنمای تدریس

با بیان خلاصه ای از مطالب هفته گذشته، به صورت پرسش و پاسخ، تدریس فصل اول ادامه می یابد.

در هفته گذشته، انواع کمیت ها معرفی شدند و روش اندازه گیری آنها توسط واحدهای مختلف بیان شد. هر کمیت می تواند با واحدهای مختلف اندازه گیری یا محاسبه شود، اما برای محاسبه مقدار یک کمیت برحسب واحد دلخواه از یک رابطه فیزیکی، نیاز به هماهنگی واحدهای پارامترهای مختلف موجود در آن رابطه نیاز است. یک مثال ساده، این مطلب را روشن می کند :

یکی از واحدهای نیرو نیوتن است^۱، رابطه، فیزیکی محاسبه نیرو به صورت زیر است :

$$F=ma$$

این رابطه دارای دو پارامتر جرم و شتاب است و فقط در صورتی که جرم برحسب کیلوگرم و شتاب برحسب متر بر مجذور ثانیه باشد، واحد نیرو نیوتن به دست می آید.

براین اساس، واحدهای اندازه گیری کمیت های مختلف در مجموعه هایی به نام «سیستم واحدهای اندازه گیری» به صورت هماهنگ با هم، تعریف می شوند که انواع رایج آن، به صورت زیرند :

۱- هنجاریان در سال های قبل نام این واحد نیرو را، شنیده اند.

$$\left. \begin{array}{l} \text{سیستم SI}^1 \text{ (MKS)} \\ \text{سیستم CGS}^2 \\ \text{انگلیسی (آمریکایی): FPS}^4 \end{array} \right\} \text{۱- متریک}$$

توصیه می‌شود نحوه نام‌گذاری این سیستم‌ها برای هنرجویان ذکر شود. جهت نام‌گذاری این سیستم‌ها، از اول نام واحدهای سه کمیت اصلی طول و جرم و زمان، به ترتیب از چپ به راست، استفاده شده است.

فعالیت

از هنرجویان خواسته شود اطلاعاتی را که تاکنون کسب کرده‌اند، با همکاری جمعی به صورت جدولی، نظیر جدول صفحه (۴) کتاب درسی تهیه کنند.

فعالیت

از هنرجویان خواسته شود جدول را روی برگه‌ای رسم کنند^۵. بهتر است یک ستون دیگر، تحت عنوان «نماد علمی یا رابطه فیزیکی یا معادله ابعادی» برای کمیت‌ها، به جدول صفحه (۴) کتاب اضافه شود.

^۱ SI: System International

سیستم بین‌المللی (واحدهای این سیستم مورد قبول همه جوامع علمی و مهندسی است)

^۲ MKS: meter – Kilogram – Second

^۳ CGS: Centimeter – Gram – Second

^۴ FPS: Foot – Pound – Second

^۵ تجربه نشان داده که بهترین روش جهت یادگیری جدول مذکور، رسم آن است که با توجه به میزان سرعت یادگیری هنرجویان بهتر است تکرار شود.

جدول ۱-۲

ردیف	کمیت	نماد، رابطه فیزیکی، معادله ابعادی	SI		CGS		FPS	
			نام واحد	نام واحد	نام واحد	نماد واحد	نام واحد	نماد واحد
۱	طول	L	متر	m	سانتی متر	cm	فوت	ft
۲	جرم	m	کیلوگرم	Kg	گرم	g	پوند جرم	lbm
۳	زمان	t	ثانیه	s	ثانیه	s	ثانیه	s
۴	دما	T	سانتی گراد، کلوین	°C و K	سانتی گراد، کلوین	°C و k	فارنهایت، رانکین	°F و °R
۵	مقدار ماده	n	مول، کیلوگرم مول	, mole kgmole	مول، گرم مول	mole, grmole	مول، پوند مول	mole, lbmole
۶	سطح	A=L ^۲	متر مربع	m ^۲	سانتی متر مربع	cm ^۲	فوت مربع	ft ^۲
۷	حجم	V=L ^۳	متر مکعب	m ^۳	سانتی متر مکعب	cm ^۳	فوت مکعب	ft ^۳
۸	چگالی	$\rho = \frac{m}{V}$	کیلوگرم بر متر مکعب	kg/m ^۳	گرم بر سانتی متر مکعب	gr/cm ^۳	پوند جرم بر فوت مکعب	Lbm/ft ^۳
۹	سرعت	V = L/t	متر بر ثانیه	m/s	سانتی متر بر ثانیه	cm/s	فوت بر ثانیه	ft/s
۱۰	شتاب	a = L/t ^۲	متر بر مجذور ثانیه	m/s ^۲	سانتی متر بر مجذور ثانیه	cm/s ^۲	فوت بر مجذور ثانیه	ft/s ^۲
۱۱	شتاب جاذبه زمین	g		۹ / ۸ m/s ^۲		۹۸۰ cm/s ^۲		۳۲ / ۱۷۴ ft/s ^۲
۱۲	نیرو	F=ma	نیوتن	kg.m/s ^۲ = N	دین	gr.cm/s ^۲ = dyne	پوند نیرو	(lbm)(۳۲ / ۱۷۴ ft/s ^۲) = L
۱۳	فشار	P = F/A	پاسکال	N/m ^۲ = Pa	دین بر سانتی متر مربع	dyne/cm ^۲	پی اس آی	lbf/in ^۲ = Psi
۱۴	کار (یا انرژی)	W=F.L	ژول	N.m=J	ارگ	Dyne.Cm=erg	پوند نیرو فوت	lbf.ft
۱۵	انرژی حرارتی	Q=mcΔT	کالری	Cal	کالری	Cal	بی تی یو	BTU
۱۶	توان مکانیکی	P = w/t	وات	J/s = Watt	ارگ بر ثانیه	erg/s	پوند نیرو فوت بر ثانیه	lbf.ft/s
۱۷	توان حرارتی	P = Q/t	کالری بر ثانیه	Cal/s	کالری بر ثانیه	Cal/s	بی تی یو بر ثانیه	BTU/s
۱۸	گرانروی دینامیک	$\mu = m/t.l$	کیلوگرم بر متر ثانیه یا پاسکال ثانیه	$\frac{kg}{m.s} = Pa.s$	پویز	gr/cm.s = Poise	پوند جرم بر فوت ثانیه	lbm/ft.s
۱۹	گرانروی سینماتیک	$v = \mu/\rho = L^۲/t$	متر مربع بر ثانیه	m ^۲ /s	استوکس	cm ^۲ /s = st.	فوت مربع بر ثانیه	ft ^۲ /s

راهنمای تدریس جدول (۲-۱)

واحدهای ۵ ردیف اول، که مربوط به کمیت‌های اصلی هستند، توسط خود هنرآموز محترم نوشته و نام هریک بیان شود و برای نوشتن واحدهای بقیه کمیت‌ها، از هنرجویان کمک گرفته شود، مثلاً به هنرجویان آموزش داده شود که برای نوشتن واحدهای چگالی در سیستم‌های مختلف، براساس رابطه فیزیکی مربوط ($\rho = \frac{m}{V}$)، به واحدهای جرم و حجم مراجعه شود. به این ترتیب جدول (۲-۱) کامل می‌گردد.

بسیاری از واحدهای کمیت‌های فرعی با اسامی خاص شناخته شده‌اند و نام برخی از فیزیک‌دانان به آنها اختصاص یافته است. برای مثال، به واحد kg.m/s^2 ، جهت تجلیل و نیز سهولت، عنوان نیوتن با نماد N داده شده است. هنرآموزان محترم توجه داشته باشند که تدریس و یاددهی جدول مذکور می‌تواند در یک جلسه انجام شود ولی توصیه می‌گردد یادگیری هنرجویان و پرسش از آن، در دو هفته صورت گیرد. مثلاً برای جلسه بعدی یادگیری ۱۲ ردیف اول تعیین شود و بقیه جدول به جلسه‌ای دیگر موکول گردد.

توضیحاتی در مورد جدول (۲-۱):

در ردیف (۱۳)؛ واحد رایج طول در سیستم FPS، فوت است. واحد دیگری به نام (اینچ) برای طول در این سیستم کاربرد دارد که معادل « $\frac{1}{12}$ فوت» است. براساس این واحد، مساحت می‌تواند برحسب اینچ مربع (in^2)، بیان شود که در واحد معروف فشار (Psi) مشاهده می‌شود.

در ردیف (۱۴) منظور از انرژی، انرژی مکانیکی است.

در ردیف (۱۵) واحد انرژی حرارتی در سیستم FPS، BTU^۱ است که یا به صورت سرواژه خوانده می‌شود یا با برگردان به فارسی آن را واحد حرارتی انگلیسی می‌گویند.

روش تدریس «انواع واحدها»

با ارجاع هنرجویان به جدول واحدها، (۲-۱)، سه نوع واحد معرفی می‌شود به این صورت:

۱- در کل جدول، واحدهای مربوط به ۵ ردیف اول، که متعلق به کمیت‌های اصلی هستند، به نام «واحدهای اصلی یا پایه^۲» معروف‌اند.

۲- در ۵ ردیف اول، واحدهای دو سیستم CGS و FPS نسبت به واحدهای سیستم SI، «مضرب» خوانده می‌شوند^۳.

تعریف واحد مضرب: واحدی که چند برابر یک واحد اصلی یا کسری از آن باشد، مضرب آن واحد خوانده می‌شود.

مثال: Kg و g و lbm واحدهای جرم هستند که نسبت به کل جدول، اصلی محسوب می‌شوند ولی نسبت به خودشان، kg اصلی است و g و lbm مضربی از kg هستند^۴. علاوه بر این، واحدهایی چون میلی‌گرم، میکروگرم، مَن^۵، تَن^۶ مضربی از واحدهای

^۱ - British Thermal Unit

^۲ - واحدهای طول، جرم، زمان، دما و مقدار ماده در سه سیستم (نسبت به کل جدول)

^۳ - واحدهای سیستم SI، نسبت به CGS و FPS اصلی هستند. (در مقایسه واحدهای اصلی با یکدیگر)

^۴ - این نحوه مقایسه در تست‌های کنکور بسیار مشاهده شده است.

^۵ - هر مَن معادل سه کیلوگرم است.

^۶ - هر تَن معادل هزار کیلوگرم است.

گرم و کیلوگرم به حساب می‌آیند.

۳- واحدهای کمیت‌های فرعی^۱ را «واحدهای مشتق شده» می‌نامند. چنانچه در جدول دیده می‌شود این واحدها به دو صورت معرفی شده‌اند:

الف) واحدهایی که به صورت ضرب و تقسیم‌هایی از واحدهای پایه یا مضرب هستند، مانند واحدهای مربوط به کمیت‌های سطح، حجم، چگالی، سرعت و شتاب. به این گونه واحدهای مشتق شده، «مرکب» هم می‌گویند.
ب) واحدهایی که به صورت معادله تعریف شده‌اند، مانند پوند نیرو، نیوتن، دین، ...
روش ساخت واحدهای مضرب: واحدهای مضرب به دو روش ساخته می‌شوند:
الف) با استفاده از پیشوندها^۲، مانند سانتی‌متر، کیلومتر و ...

نکته مهم: جهت تشخیص واحدهای مضرب، هنرجویان باید توجه داشته باشند که پیشوندهای مذکور قبل از واحدهای اصلی قرار می‌گیرند. با ذکر یک مثال، این مطلب روشن خواهد شد:

سانتی‌متر مضرب است اما سانتی‌پوز مضرب نیست، زیرا متر واحد اصلی و پوز، یک واحد مشتق شده است.
ب) یا با اسامی جدیدی مطرح می‌شوند. در این حالت نسبت آنها با واحد اصلی، اعداد ده دهی نیست، مثلاً واحدهای زمان، مانند دقیقه، ساعت، روز، ... واحدهای مضرب برای ثانیه هستند.

فعالیت

تهیه جدول واحدها، برای نصب در کلاس درسی

هنرجویان به صورت داوطلب، در گروه‌هایی تقسیم‌بندی شوند و جهت تهیه جدول واحدها در ابعاد بزرگ اقدام کنند. برای این فعالیت می‌توان امتیازی در نظر گرفت و آن را در نمره مستمرشان تأثیر داد. دو مورد از بهترین‌ها انتخاب گردد و در کلاس درسی و کارگاه نصب شوند.
هدف از این فعالیت، یادگیری بهتر هنرجویان است.

۱- این کمیت‌ها در ردیف‌های پنجم به بعد جدول (۲-۱)، قرار دارند.

۲- تعدادی از پیشوندها در جدول (۲-۱) صفحه (۵) کتاب درسی مشاهده می‌شوند. در دانستنی (۲)، جدولی کامل‌تر جهت اطلاع هنرآموزان محترم در اختیار آنان قرار

می‌گیرد.

دانشتني (۲) ^۱

پيشوندهاي متداول در سيستم SI : يكي از مزايای سيستم SI اين است که مي توان واحدهاي آن را با استفاده از پيشوندهاي مناسب، بزرگ تر يا کوچک تر نيز بيان کرد. جدول (۱-۳) مجموعه اي از اين پيشوندها را نشان مي دهد. لازم است متذکر شويم اين پيشوندها به صورت توان هايي از پايه 10^0 هستند ^۲.

جدول ۱-۳- پيشوندهاي متداول

نماد	پيشوند	مضرب	نماد	پيشوند	مضرب
a	آتو	10^{-18}	E	اگزا	10^{+18}
f	فمتو	10^{-15}	P	پتا	10^{+15}
p	پیکو	10^{-12}	T	ترا	10^{+12}
n	نانو	10^{-9}	G	گيگا	10^{+9}
μ	میکرو	10^{-6}	M	مگا	10^{+6}
m	ميلي	10^{-3}	K	کيلو	10^{+3}
c	سائتي	10^{-2}	H	هکتو	10^{+2}
d	دسي	10^{-1}	D	دکا	10^{+1}

– توصيه مي شود هيچ گاه از دو پيشوند پشت سر هم استفاده نشود، مثلاً میکرونانونتر صحيح نيست.

به مثال زير توجه شود :

$$1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m} \quad \text{رابطه (۱)}$$

$$1 \text{ m} = 10^{+9} \text{ nm} \quad \text{رابطه (۲)}$$

برای بيان رابطه متر و نانومتر ^۳ فرقي نمي کند که از کدام مورد، (۱) يا (۲) استفاده شود.

۱- دانشتني (۲) از کتاب «اصول بنياني و مباني محاسبات در مهندسي شيمي» اثر ديويدهيل بلا و ترجمه دکتر مرتضي سهرابي

۲- همان طور که مشاهده مي شود توان پيشوندهاي بزرگ تر کردن واحدها مثبت است و در مقابل توان پيشوندهاي کوچک تر کردن واحدها، منفي است.

۳- منظور مسائل تبديل واحد است. نمونه اي از اين مسائل در بخش «سوالات پيشنهادي» مطرح شده است.

برنامه زمان بندی هفته سوم			دقیقه
۱	آماده کردن کلاس (حضور و غیاب، احوالپرسی)	۵	
۲	رفع اشکال	۱۰	
۳	پرسش	۲۰	
۴	تدریس	۹۰	
۵	استراحت میان تدریس (دو نوبت)	۱۰	

تدریس ادامه فصل اول، می تواند به ترتیب عناوین زیر صورت گیرد :

- تبدیل واحدها به روش نردبانی
- نحوه استفاده از جداول تبدیل واحد
- چگونگی انجام عملیات ریاضی بر روی واحدها

روش تدریس

در این جلسه، نحوه تبدیل واحدهای مختلف به یکدیگر به روش «نردبانی»^۱ آموزش داده می شود.

مثال : تبدیل واحد روبهرو را انجام دهید :

$$۱۵ \frac{\text{kg}}{\text{m.s}} = ? \frac{\text{g}}{\text{cm.min}}$$

جهت تدریس و آموزش این روش، بهترین راه، حل یک مثال است. می توان از مثال خود کتاب درسی استفاده کرد و قدم به قدم

روش را توضیح داد، به این صورت :

$$۳۶ \text{ mg} = ? \text{ g}$$

نکته ۱ : فقط واحدهای مربوط به یک کمیت را می توان به هم تبدیل کرد.

یک خط افقی به نشانه یک خط کسری رسم می شود :

۳۶mg	
۳۶ mg	g
	mg

معلومات مسئله بصورت کسر روی خط مذکور، قرار داده می شود؛ یعنی صورت بالای

خط و مخرج زیر خط و یک خط عمود بر آن، به نشانه «ضربدر» کشیده می شود؛ همه قوانین کسرها در مورد کسر ($\frac{۳۶\text{mg}}{۱}$) صادق است. مثلاً ضرب صورتها یا ضرب مخرجها یا ساده

کردن صورت و مخرج را می توان اجرا کرد. حال باید دید واحد موردنظر چیست؟ آن نیز، به

صورت کسر در خانه بعدی نوشته می شود. مثلاً در این مثال، g در صورت قرار می گیرد و

واحدی که باید تبدیل شود بنابر معلومات مسئله در جایی نوشته می شود که حذف گردد مثلاً mg

در مخرج می آید، مانند روبهرو :

۱- حل چنین مسائلی با استفاده از تناسبهای چند مرحله ای بسیار پیچیده و وقت گیر و برخطاست.

حال رابطه این دو واحد یعنی واحد جدید و قدیم در جلوی آنها نوشته می‌شود. این رابطه یا جزو محفوظات ماست یا از جداول تبدیل واحد^۱ خوانده می‌شود :

با علم به این که $1\text{ g} = 1000\text{ mg}$ ، پس :

۳۶ mg	۱ g
	۱۰۰۰ mg

حال واحد قدیم (mg) حذف می‌شود و واحد جدید (g) باقی می‌ماند و محاسبه انجام می‌شود :

$$\frac{36\cancel{\text{mg}}}{1000\cancel{\text{mg}}} \times \frac{1\text{g}}{1} = \frac{36 \times 1}{1000} = 0.036\text{g} \leftarrow$$

در این مثال، در حقیقت جهت تبدیل ۳۶ mg به g، آن را در یک ضریب تبدیل (واحد قدیم / واحد جدید)^۲، ضرب می‌کنند.

ضرایب تبدیل : کسرهایی هستند که توسط آنها واحدهای قدیمی حذف و واحدهای موردنظر جایگزین می‌شوند. مقدار کسرهایی ضریب تبدیل برابر یک است و تنها جهت تبدیل واحد استفاده می‌شوند.

در مثال مذکور، $\frac{1\text{g}}{1000\text{mg}} = 1$ است، زیرا $1\text{g} = 1000\text{mg}$ است.

در این قسمت، مثال‌های کتاب یکی یکی حل می‌شوند^۳ و همراه با آنها، توضیحات لازم ارائه می‌گردد. بعد از حل دو مثال، معمولاً هنرجویان روش را می‌آموزند و می‌توانند در حل بقیه مثال‌ها همکاری کنند. برای جلب توجه و نظر آنان، توصیه می‌شود به هنگام حل کردن، با صدا زدن نام آنها، از چگونگی ادامه مسیر سؤال شود.

مثال :

$$1 \frac{\text{cm}}{\text{s}^2} = ? \frac{\text{km}}{(\text{year})^2}$$

۱ cm	۱ m	۱ km	۶۰^۲ s^۲	۶۰^۲ min^۲	۲۴^۲ hr^۲	۳۶۵^۲ Day^۲
s^۲	۱۰ ^۲ cm	۱۰ ^۳ m	۱ ^۲ min ^۲	۱ ^۲ hr ^۲	۱ ^۲ Day ^۲	۱ ^۲ (year) ^۲

$$= \frac{60^2 \times 60^2 \times 24^2 \times 365^2}{10^2 \times 10^3} = 9.95 \times 10^9 \frac{\text{km}}{(\text{year})^2}$$

نکته ۲ : وقتی یک کمیت به توان می‌رسد واحدهای آن کمیت نیز، به همان توان می‌رسند.

نکته ۳ : واحدهای موجود در یک کسر، جداگانه ولی در یک نردبان به واحدهای دلخواه تبدیل می‌شوند.

مثال : شتاب جاذبه زمین در سیستم CGS برابر 980 cm/s^2 است. این شتاب در سیستم FPS چقدر است؟

حل : در این مثال، علاوه بر تبدیل واحد، مفهوم دیگری مورد سؤال است و آن این‌که، واحد شتاب در سیستم FPS چیست؟

۱- جداول موجود در صفحه (۶) کتاب درسی.

۲- اگر واحد قدیم، که باید حذف شود، در مخرج نردبان باشد ضریب تبدیل به شکل (واحد جدید/ واحد قدیم) در نردبان قرار می‌گیرد.

۳- همه مثال‌ها، غیر از مثال (۶-ب) که در جلسه آینده تدریس می‌شود.

در جواب، کافی است هنجویان معادل cm و s را در سیستم FPS بدانند، پس مسئله لازم است به شکل زیر عنوان شود :

$$98 \frac{\text{cm}}{\text{s}^2} = ? \frac{\text{ft}}{\text{s}^2}$$

در این مثال، ضرایب تبدیل از جدول (۱-۳) صفحه (۶) کتاب به دست می‌آید و مسیر تبدیل این گونه است :

$$\text{cm} \rightarrow \text{m} \rightarrow \text{ft}$$

$98 \frac{\text{cm}}{\text{s}^2}$	1 m	1 ft	$= 32.152 \text{ ft/s}^2$
s^2	100 cm	0.3048 m	

نکته ۴ : به هنجویان توضیح داده شود که در نوشتن مقادیر ضرایب تبدیل، از جمله مثال (۵)، تفاوتی ندارد که نوشته شود :

$$1 \text{ m} = 3.2808 \text{ ft} \text{ یا } 1 \text{ ft} = 0.3048 \text{ m}$$

چگونگی اعمال ریاضی بر روی واحدها : عملیات جمع و تفریق، فقط بر روی واحدهای یکسان از یک کمیت، می‌تواند انجام شود^۱. مثلاً نمی‌توان ۴ cm را با ۵ mm جمع کرد. ولی در ضرب و تقسیم این محدودیت وجود ندارد، مثلاً :

$$\frac{8 \text{ km}}{2 \text{ hr}} = 4 \text{ km/hr}$$

$$4 \text{ m} \times 3 \text{ m} = 12 \text{ m}^2$$

هنجویان اکنون می‌توانند خودآزمایی فصل را حل کنند و برای جلسه بعد تحویل دهند.

فعالیت (تحقیق)

غیر از پیشوندهایی که در جدول (۱-۲) کتاب آمده است چه پیشنهادهای دیگری می‌توان داشت؟ همه را در یک جدول تنظیم کنید.

فعالیت (آزمون)

به اطلاع هنجویان برسد که هفته بعد آزمون برگزار می‌شود. موضوع آزمون، شناخت و تشخیص انواع کمیت‌ها، سیستم‌ها و واحدها از یکدیگر است.

– قبل از حل خودآزمایی توسط هنجویان، دفاتر تمرین آنها بررسی گردد و به نحوه حل کردن تمرین‌ها، از جمله مرتب و کامل بودن امتیاز مثبت دهند و به هنجویانی که در این خصوص فعالیتی نداشته‌اند امتیاز منفی داده شود. ضمناً از هنجویانی که راجع به موضوعات تعیین شده در هفته‌های گذشته، تحقیق و فعالیتی انجام داده‌اند، قدردانی به عمل آید و برای آنها امتیازی منظور گردد.

۱- این مطلب در صفحه (۲) کتاب درسی، توضیح داده شده است و براساس آن در بخش خودآزمایی دو مسئله (۴) و (۶) مطرح شده است.

هفته چهارم

برنامه زمان بندی هفته چهارم			دقیقه
۱	آماده کردن کلاس (احوالپرسی - حضور و غیاب)	۵	
۲	رفع اشکال	۱۰	
۳	حل خودآزمایی	۶۵	
۴	آزمون	۲۰	
۵	تدریس	۳۰	
۶	استراحت میان تدریس (یک نوبت)	۵	

عناوینی که در این هفته تدریس می شوند، عبارت اند از :

– تعریف سال نوری

– محاسبه مقدار سال نوری

خودآزمایی فصل ۱

۱- ویسکوزیته آب در دمای اتاق، تقریباً ۱ centi.poise است. این ویسکوزیته را به واحدهای زیر تبدیل کنید :

الف) g/cm.s

ب) lbm/ft.s

پاسخ :

الف) با علم به این که : ۱ poise = ۱ g/cm.s ، تبدیل واحد به صورت زیر انجام می شود :

$$\frac{1 \cancel{\text{cp}}}{1 \cancel{\text{Poise}}} = \frac{0.01 \cancel{\text{Poise}}}{1 \cancel{\text{Poise}}} = 0.01 \text{ g/cm.s}$$

ب) با استفاده از جداول تبدیل واحد جرم و طول که در آن $\left(\begin{matrix} 1 \text{ lbm} = 453.6 \text{ g} \\ 1 \text{ m} = 3.2808 \text{ ft} \end{matrix} \right)$ است تبدیل واحد انجام می شود :

$$\frac{0.01 \cancel{\text{g}}}{\cancel{\text{cm.s}}} = \frac{1 \text{ lbm}}{453.6 \cancel{\text{g}}} \times \frac{10^2 \cancel{\text{cm}}}{1 \cancel{\text{m}}} \times \frac{1 \cancel{\text{m}}}{3.2808 \text{ ft}} = 0.067 \times 10^{-3} \text{ lbm/ft.s}$$

۲- تبدیلات زیر را به وسیلهٔ جدول^۱ انجام دهید :

الف) ۲۳۵ g را به lbm

$$\frac{235 \cancel{g}}{453 \cancel{g}} \times \frac{1 \text{ lbm}}{1} = 0.52 \text{ lbm}$$

ب) kg/m^3 را به $57/5 \text{ lbm/ft}^3$

$$\frac{57/5 \cancel{\text{lbm}}}{\cancel{\text{ft}^3}} \times \frac{1 \text{ kg}}{2.2 \cancel{\text{lbm}}} \times \frac{(3/28.08)^3 \cancel{\text{ft}^3}}{1^3 \text{ m}^3} = 922/96 \text{ kg/m}^3$$

ج) 60 mile/min را به km/hr

$$\frac{60 \cancel{\text{mile}}}{\cancel{\text{min}}} \times \frac{1/61 \times 10^3 \cancel{m}}{1 \cancel{\text{mile}}} \times \frac{1 \text{ km}}{10^3 \cancel{m}} \times \frac{60 \cancel{\text{min}}}{1 \text{ hr}} = 5796 \text{ km/hr}$$

د) 12500 gal/hr را به m^3/s

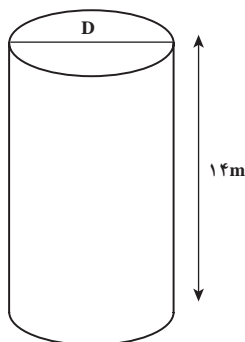
$$\frac{12500 \cancel{\text{gal}}}{\cancel{\text{hr}}} \times \frac{1 \text{ m}^3}{264/2 \cancel{\text{gal}}} \times \frac{1 \cancel{\text{hr}}}{3600 \cancel{\text{s}}} = \frac{12500}{264/2 \times 3600} = 0.013 \text{ m}^3/\text{s}$$

هـ) 200 ft^3 را به لیتر

$$\frac{200 \cancel{\text{ft}^3}}{1 \cancel{\text{ft}^3}} \times \frac{28/32 \text{ Lit}}{1 \cancel{\text{ft}^3}} = \left(\frac{200 \times 28/32}{1} \right) = 5664 \text{ Lit}$$

و) 1000000 نانو ثانیه را به ساعت

$$\frac{1000000 \cancel{\text{ns}}}{10^9 \cancel{\text{ns}}} \times \frac{1 \cancel{\text{s}}}{3600 \cancel{\text{s}}} \times \frac{1 \text{ hr}}{10^5 \times 3600} = 2/78 \times 10^{-8} \text{ hr}$$



۳- مخزنی به شکل استوانه به حجم 9000 gal دارای ارتفاع 14 متر است. قطر مخزن را پیدا کنید.

پاسخ: شکل مخزن رسم شود و روی آن معلومات و مجهولات مسئله نشان داده شود. مسئله در سیستم SI حل می‌شود، پس باید $\text{gal} \rightarrow \text{m}^3$ تبدیل شود:

$$V = \frac{9000 \cancel{\text{gal}}}{264/2 \cancel{\text{gal}}} \times \frac{1 \text{ m}^3}{1} = 34/06 \text{ m}^3$$

۱- جداول تبدیل واحد طول و جرم و حجم در صفحه (۶) کتاب درسی.

۲- واحد گالن به دو صورت بیان می‌شود: گالن آمریکایی (US.gallon)، که معادل $3/785$ لیتر است و گالن انگلیسی (UK.gallon) که برابر $4/546$ لیتر است.

$$V = \pi r^2 h \Rightarrow r^2 = \frac{V}{\pi h}$$

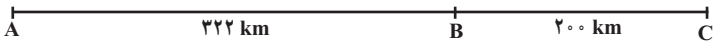
استوانه

$$r^2 = \frac{34 / 0.6 \text{ m}^3}{3 / 14 \times 14 \text{ m}} = 0.774 \text{ m}^2$$

$$r = \sqrt{0.774 \text{ m}^2} \approx 0.88 \text{ m}$$

$$D = 2r = 2 \times 0.88 \text{ m} = 1.76 \text{ m} \leftarrow$$

۴- فاصله بین دو شهر A تا B، ۲۰۰ مایل است. فاصله بین دو شهر B تا C، ۲۰۰ کیلومتر است. فاصله شهرهای A تا C چند کیلومتر است؟
پاسخ:

$$\frac{200 \text{ mile}}{1 \text{ mile}} \times \frac{1.61 \times 10^3 \text{ m}}{1 \text{ km}} = 322 \text{ km}$$


نکته: در جمع و تفریق، واحدها باید یکسان باشند.

$$AC = AB + BC$$

$$AC = 322 \text{ km} + 200 \text{ km} = 522 \text{ km} \leftarrow$$

۵- سال نوری عبارت است از مسافتی که نور با سرعت $3 \times 10^8 \text{ km/s}$ در یک سال می‌پیماید. این سرعت را بر حسب ft/min و mile/hr به دست آورید.
پاسخ:

$$\frac{3 \times 10^8 \text{ km}}{1 \text{ km}} \times \frac{1.0^3 \text{ m}}{1 \text{ km}} \times \frac{6 / 214 \times 10^{-4} \text{ mile}}{1 \text{ m}} \times \frac{3600 \text{ s}}{1 \text{ hr}} = \frac{3 \times 10^8 \times 1.0^3 \times 6 / 214 \times 10^{-4} \times 3600}{1}$$

$$= 6 / 7 \times 10^8 \text{ mile/hr}$$

$$\frac{3 \times 10^8 \text{ km}}{1 \text{ km}} \times \frac{1.0^3 \text{ m}}{1 \text{ km}} \times \frac{1 \text{ ft}}{0.3048 \text{ m}} \times \frac{60 \text{ s}}{1 \text{ min}} = \frac{3 \times 10^8 \times 1.0^3 \times 60}{0.3048}$$

$$= 5 / 9 \times 10^8 \text{ ft/min} \leftarrow$$

۶- مجموع چهارصد فوت و سیصد اینچ چند متر است؟

پاسخ: یکی از راه‌های حل این مسئله این است که فوت و اینچ جداگانه به متر تبدیل گردند، سپس با هم جمع شوند. راه دیگر به صورت زیر است:

$$\frac{30 \cancel{\text{in}}}{1 \cancel{\text{in}}} \times \frac{1 \text{ft}}{12 \cancel{\text{in}}} = 2.5 \text{ft}$$

$$40.0 \text{ft} + 2.5 \text{ft} = 42.5 \text{ft}$$

$$\frac{42.5 \cancel{\text{ft}}}{1 \cancel{\text{ft}}} \times \frac{1 \text{m}}{3.2808 \cancel{\text{ft}}} = 12.9 \text{m} \leftarrow$$

نمونه‌ای از آزمون‌های فصل اول

زمان : ۲۰ دقیقه

- ۱- نوع کمیت‌های زیر را مشخص کنید (اصلی یا فرعی) : (۱)

الف) گرانی	ب) دما	ج) توان حرارتی	د) فشار
------------	--------	----------------	---------
- ۲- واحد کمیت‌های زیر را در سیستم‌های نام‌برده، بنویسید. (۱)

الف) نیرو در CGS	ب) مقدار ماده در FPS
ج) فشار در SI	د) گرانی در CGS
- ۳- واحدهای زیر مربوط به کدام کمیت‌اند؟ (۱)

الف) وات	ب) Psi	ج) ژول	د) BTU
----------	--------	--------	--------
- ۴- واحدهای زیر مربوط به کدام سیستم‌اند؟ (۱)

الف) پویز	ب) پوندنیرو	ج) نیوتن	د) اِارگ
-----------	-------------	----------	----------
- ۵- نوع واحدهای زیر را مشخص کنید (اصلی، مضرب، مشتق شده) (۱)

الف) مگامتر	ب) کیلووات
ج) کیلوگرم بر مترمکعب	د) فوت

پاسخ سؤالات آزمون

- سؤال (۱)؛ هر مورد (۰/۲۵)
- | | | | |
|-----------|---------|---------|---------|
| الف) فرعی | ب) اصلی | ج) فرعی | د) فرعی |
|-----------|---------|---------|---------|
- سؤال (۲)؛ هر مورد (۰/۲۵)
- | | |
|--------------------------------------|-----------------------------------|
| الف) $\text{g.cm/s}^2 = \text{dyne}$ | ب) mole و lbmole |
| ج) $\text{Pa} = \text{N/m}^2$ | د) $\text{g/cm.s} = \text{Poise}$ |
- سؤال (۳)؛ هر مورد (۰/۲۵)
- | | | | |
|-----------|---------|-----------------|-----------------|
| الف) توان | ب) فشار | ج) کار یا انرژی | د) انرژی حرارتی |
|-----------|---------|-----------------|-----------------|
- سؤال (۴)؛ هر مورد (۰/۲۵)
- | | | | |
|----------|--------|-------|--------|
| الف) CGS | ب) FPS | ج) SI | د) CGS |
|----------|--------|-------|--------|
- سؤال (۵)؛ هر مورد (۰/۲۵)
- | | | | |
|-----------|-------------|-------------|---------|
| الف) مضرب | ب) مشتق شده | ج) مشتق شده | د) اصلی |
|-----------|-------------|-------------|---------|

روش تدریس مبحث «سال نوری»

معرفی «سال نوری» به عنوان یک واحد برای کمیت طول، در قالب یک مسئله مطرح شده است^۱:

مثال: فاصله ماه تا زمین ۲۴۰۰۰۰ مایل است. این فاصله را به واحد «سال نوری» تبدیل کنید.

جهت تدریس، ابتدا «سال نوری» را تعریف کرده و راجع به کلمات کلیدی موجود در آن، توضیحاتی داده شود. سپس مقدار

آن محاسبه گردد تا در مسائل تبدیل واحد مورد استفاده قرار گیرد، به صورت زیر:

سال نوری: مسافتی است که نور با سرعت $3 \times 10^5 \text{ km/s}$ در مدت یک سال می پیماید.

محاسبه مقدار سال نوری، در حقیقت محاسبه مقدار مسافتی است که نور با سرعت و زمان مشخص (ذکر شده در تعریف) طی

می کند. به این منظور رابطه فیزیکی سرعت، که این سه کمیت در آن وجود دارند، به صورت زیر مورد استفاده قرار می گیرد:

$$V = \frac{L}{t} \Rightarrow L = V.t$$

اطلاعات داده شده، در فرمول جایگزین می گردد:

$$L = 3 \times 10^5 \text{ km/s} \times 1 \text{ yr} \Rightarrow \text{هرسال نوری} = 3 \times 10^5 \text{ km.yr/s}$$

محاسبه باید به طریقی انجام شود که فقط واحد طول بماند، یعنی (Km) و واحدهای (yr) و (s) با تبدیل واحد یکی به دیگری

حذف شوند^۲، به صورت زیر:

$$\frac{3 \times 10^5 \text{ km.yr}}{\cancel{s}} \times \frac{\cancel{60 \text{ s}}}{1 \text{ min}} \times \frac{\cancel{60 \text{ min}}}{1 \text{ hr}} \times \frac{\cancel{24 \text{ hr}}}{1 \text{ Day}} \times \frac{365 \text{ Day}}{1 \text{ yr}} = 9.4608 \times 10^{12} \text{ km}$$

$$1 \text{ سال نوری} = 9.4608 \times 10^{12} \text{ km}$$

پس^۳:

طرح یک سؤال: سال نوری، چه نوع واحدی است؟ (مضرب، اصلی یا مشتق شده) نظرات و دلایل هنجریان را بررسی کنید

و پاسخ صحیح با ذکر دلیل اعلام گردد.

پاسخ: سال نوری، یک واحد مضرب است زیرا می توان آن را بر حسب متر بیان کرد و متر نیز واحد اصلی است:

$$1 \text{ سال نوری} = 9.4608 \times 10^{15} \text{ m}$$

فعالیت

پیشنهاد می شود یک آزمون کلی از فصل اول، در هفته آینده برگزار شود.

۱- مثال (۶) صفحه (۸) کتاب درسی عملیات دستگاهی

۲- (yr) مخفف (year) است.

۳- فرقی نمی کند که $S \rightarrow yr$ یا $yr \rightarrow S$ تبدیل شود. در کتاب درسی $yr \rightarrow S$ و در این راهنما، $S \rightarrow yr$ تبدیل شده است و نتیجه یکسان است.

۴- معمولاً هنجریان تمایل به حفظ کردن این رابطه دارند، زیرا محاسبه آن وقت گیر است.

نمونه سؤالات پیشنهادی^۱

این نمونه سؤالات را می‌توان برای هنرجویان به جای تکلیف مطرح کرد :

۱- جسمی به جرم 300° گرم با سرعت 3° متر بر ثانیه در حال حرکت است. انرژی جنبشی آن را برحسب ژول و اِرج حساب کنید.

۲- یک راکتور کروی شکل به قطر 3° متر، چند لیتر حجم دارد؟

۳- یک قطعه فلز به جرم 72° گرم و حجم 9° سانتی متر مکعب داریم چگالی آن را برحسب kg/m^3 به دست آورید.

۴- 10°kg/m.s را در سیستم FPS به دست آورید.

۵- یک نیوتن چند دین است؟

۶- یک نیوتن چند پوند نیرو است؟

۷- 4° مگامتر چند نانومتر است؟

۸- 10° میکرو وات چند کیلو وات است؟

پاسخ سؤالات پیشنهادی

سؤال (۱) :

$$m = 300^\circ \text{g}, V = 3^\circ \text{m/s}$$

$$E_K = ?J = ?\text{erg}$$

$$E_K = \frac{1}{2} m V^2$$

ژول، واحد انرژی در سیستم SI است. برای محاسبه انرژی برحسب این واحد، باید واحدهای جرم و سرعت را در سیستم SI انتخاب کرد و همین‌طور در مورد ارگ، که واحد انرژی در CGS است، باید واحدهای جرم و سرعت در سیستم CGS باشند.

$$E_K = \frac{1}{2} \left| \frac{300^\circ \cancel{\text{g}}}{1} \right| \left| \frac{3^\circ \cancel{\text{m}}^2}{\text{s}^2} \right| \left| \frac{1 \text{kg}}{10^3 \cancel{\text{g}}} \right| = 135 \text{J} \leftarrow$$

$$E_K = \frac{1}{2} \left| \frac{300^\circ \text{g}}{1} \right| \left| \frac{3^\circ \cancel{\text{m}}^2}{\text{s}^2} \right| \left| \frac{10^6 \text{cm}^2}{1^\circ \cancel{\text{m}}^2} \right| = 135 \times 10^6 \text{erg} \leftarrow$$

سؤال (۲) : حجم کره با فرمول روبه‌رو به دست می‌آید :

$$V = \frac{4}{3} \pi r^3 = \frac{4}{3} \pi \left(\frac{D}{2} \right)^3 = \pi \frac{D^3}{6}$$

۱- سؤالات مطروحه همگی از نوع «فردانشی و مفهومی» هستند. این سؤالات، بنا بر صلاحدید هنرآموزان محترم، می‌توانند مطرح و حل شوند.

$$V = \frac{3/14}{\cancel{6}} \left| \frac{3^3 \cancel{m^3}}{1} \right| \left| \frac{10^3 \text{ Lit}}{\cancel{1m^3}} \right| = 14/13 \times 10^3 \text{ Lit}$$

سؤال (۳):

$$\rho = \frac{m}{V}$$

$$\rho = \frac{72 \cancel{g}}{9 \cancel{cm^3}} \left| \frac{1 \text{ kg}}{10^3 \cancel{g}} \right| \left| \frac{(10^3)^3 \cancel{cm^3}}{1^3 m^3} \right| = \frac{72 \times 10^6}{9 \times 10^3} = 8000 \text{ kg/m}^3$$

سؤال (۴): برای حل این مسئله؛ $\text{Kg} \rightarrow \text{lbm}$ و $m \rightarrow \text{ft}$ تبدیل می‌شود، با استفاده از جداول صفحه (۶)

کتاب درسی:

$$\frac{10 \cancel{kg}}{m.s} \left| \frac{2/2 \text{ lbm}}{1 \cancel{kg}} \right| \left| \frac{0/3048 \cancel{m}}{1 \text{ ft}} \right| = \frac{10 \times 2 / 2 \times 0 / 3048}{1} = 6/7 \text{ lbm/ft.s}$$

سؤال (۵): برای حل این گونه مسائل، ابتدا فرمول هر واحد را نوشته تا مشخص شود هدف، به دست آوردن چه واحدهایی است. گفتنی است، اصولاً تا زمانی که واحدها از نوع کمیت‌های طول و جرم و زمان نباشند تبدیل واحد امکان ندارد.

$$1 \text{ N} = 1 \text{ kg.m/s}^2, \quad 1 \text{ dyne} = 1 \text{ g.cm/s}^2$$

$$\frac{1 \cancel{kg} . \cancel{m}}{s^2} \left| \frac{10^3 \text{ g}}{1 \cancel{kg}} \right| \left| \frac{10^2 \cancel{cm}}{1 \cancel{m}} \right| = 10^3 \times 10^2 = 10^5 \text{ g.cm/s}^2$$

$$\Rightarrow 1 \text{ N} = 10^5 \text{ dyne} \leftarrow$$

سؤال (۶): این یک نمونه سؤال فرادانشی است که هنرآموز محترم، به صلاحدید خود و در صورت بالا بودن سطح کلاس، می‌تواند آن را مطرح کند (با استفاده از جداول تبدیل واحد صفحه (۶) کتاب):

$$1 \text{ N} = 1 \text{ kg.m/s}^2, \quad 1 \text{ lbf} = 1(\text{lbm})(32/174 \text{ ft/s}^2)$$

$$\frac{1 \cancel{kg} . \cancel{m}}{s^2} \left| \frac{2/2 \text{ lbm}}{1 \cancel{kg}} \right| \left| \frac{1 \text{ ft}}{0/3048 \cancel{m}} \right|$$

همان‌طور که مشاهده می‌شود در تعریف lbf مقدار شتاب $32/174$ است، پس برای به دست آوردن فرمول lbf، صورت و مخرج را در $32/174$ ضرب می‌کنیم و بعد از $32/174$ موجود در صورت برای ساختن فرمول استفاده می‌شود و $32/174$ موجود در مخرج در ضریب منظور می‌شود، سپس به صورت زیر ادامه می‌یابد:

$$\left| \frac{32/174}{32/174} \right| = \frac{2/2}{0/3048 \times 32/174} \left[(\text{lbm})(32/174 \text{ ft/s}^2) \right]$$

$$\Rightarrow 1 \text{ N} = 0.22 \text{ lbf} \leftarrow$$

سؤال (٧) :

$$\frac{4 \cancel{\text{Mm}}}{1 \cancel{\text{Mm}}} \times \frac{10^6 \cancel{\text{m}}}{1 \cancel{\text{m}}} = 4 \times 10^6 \times 10^9 = 4 \times 10^{15} \text{ nm} \leftarrow$$

سؤال (٨) :

$$\frac{10^6 \cancel{\mu\text{W}}}{10^6 \cancel{\mu\text{W}}} \times \frac{1 \cancel{\text{W}}}{10^3 \cancel{\text{W}}} = \frac{10^6}{10^6 \times 10^3} = 10^{-3} \text{ kW}$$

$$\Rightarrow 10^6 \mu\text{W} = 10^{-3} \text{ kW} \leftarrow$$

اندازه‌گیری دما

چکیده فصل

در این فصل هنرجویان با مفهوم دما و فاصله دمایی، واحدهای مختلف دما و نحوه تبدیل مقیاس‌های دما به یکدیگر آشنا می‌شوند. در انتهای فصل نیز مختصراً در مورد یکی از انواع دماسنج‌ها، دماسنج مایعی، توضیحاتی داده می‌شود.

دانسته‌های قبلی: هنرجویان در سال‌های قبل، با مفاهیم دما و گرما و دماسنجی تا حدودی آشنا شده‌اند.

اهداف فصل: در پایان این فصل از هنرجویان انتظار می‌رود که مفاهیم زیر را آموخته باشند:

- مفهوم دما و گرما و تفاوت آنها
- انواع دما و تفاوت آنها
- علت انتخاب صفر مطلق (به جای صفرهای سلیقه‌ای)
- واحدهای مختلف دما
- نحوه تبدیل واحدهای دما به یکدیگر
- مفهوم فاصله دمایی
- تفاوت دما و فاصله دمایی
- دماسنج مایعی (اساس کار، ساختمان، کاربرد و عملکرد)

برنامه زمان‌بندی تدریس فصل دوم

صفحه	موضوعات	هفته
۱۰-۱۲	مفهوم دما و گرما - انواع دماها و واحدهای مربوطه - نحوه تبدیل دماها به یکدیگر	۵
۱۲-۱۳	مفهوم فاصله دمایی - دماسنج مایعی حل خودآزمایی	۶

برنامه زمان بندی هفته پنجم			دقیقه
۱	آماده کردن کلاس (احوالپرسی، حضور و غیاب)	۵	
۲	رفع اشکال	۱۰	
۳	آزمون فصل اول	۳۰	
۴	تدریس	۸۰	
۵	استراحت میان تدریس (دو نوبت)	۱۰	

نمونه ای از یک آزمون فصل (۱)

زمان : ۳۰ دقیقه

۱- در جدول زیر، در هر ردیف یک یا دو مشخصه از یک کمیت داده شده است. بنابر اطلاعات داده شده، جدول را تکمیل کنید. (۴/۵)

واحد	کمیت	سیستم	نوع واحد	نوع کمیت
Psi				
	نیرو	CGS		
پويز				
اینچ				
	انرژی حرارتی	SI		

۲- سال نوری را تعریف کرده و محاسبه کنید ۳ سال نوری چند متر است؟ (۲)

۳- تبدیل واحد زیر را انجام دهید. (۱)

$$3 \text{ kg/m.s} = ? \text{ lbm/ft.min}$$

$$(1 \text{ kg} = 2.2 \text{ lbm} \text{ و } 1 \text{ ft} = 0.3 \text{ m})$$

$$4 \text{ - } 400 \text{ in}^3/\text{Day} \text{ چند } \text{cm}^3/\text{min} \text{ است؟ (۱)}$$

۵- فاصله شهر A تا B، ۲۵۰ کیلومتر است. شهر A از C، ۴۰ مایل فاصله دارد. اگر شهر C بین دو شهر A و B قرار داشته باشد، از شهر B تا C چند کیلومتر است؟ (۱/۵)

$$(1 \text{ mile} = 1.61 \times 10^3 \text{ m})$$

(جمعاً ۱۰ نمره)

پاسخ امتحان آخر فصل (۱)

سؤال (۱): ردیف‌های جدول به ترتیب از چپ به راست؛ (هر مورد ۰/۲۵)

Psi – فشار – FPS – مشتق شده – فرعی

dyne – نیرو – CGS – مشتق شده – فرعی

پویز – گرانی – CGS – مشتق شده – فرعی

اینچ – طول – FPS – مضرب – اصلی

Cal – انرژی حرارتی – SI – مشتق شده – فرعی

سؤال (۲): تعریف سال نوری در متن راهنما وجود دارد. (۰/۵)

$$\frac{3 \text{ سال نوری}}{1 \text{ سال نوری}} \times \frac{9.4608 \times 10^{12} \text{ km}}{1 \text{ km}} \times \frac{10^3 \text{ m}}{1 \text{ km}} = 3 \times 9.4608 \times 10^{15} \text{ m}$$

$$= 28.3824 \times 10^{15} \text{ m}$$

(۰/۲۵) (۰/۲۵)

سؤال (۳)

$$\frac{3 \text{ kg}}{1 \text{ kg}} \times \frac{2/2 \text{ lbm}}{1 \text{ lbm}} \times \frac{0/3 \text{ m}}{1 \text{ ft}} \times \frac{60 \text{ s}}{1 \text{ min}} = (3 \times 2/2 \times 0/3 \times 60) \text{ lbm/ft.min}$$

$$= 118/8 \text{ lbm/ft.min}$$

(۰/۲۵)

سؤال (۴)

$$\frac{400 \text{ in}^3}{1 \text{ Day}} \times \frac{2/543 \text{ cm}^3}{1 \text{ in}^3} \times \frac{1 \text{ Day}}{24 \text{ hr}} \times \frac{1 \text{ hr}}{60 \text{ min}} = 4/55 \text{ cm}^3/\text{min}$$

(۰/۲۵)

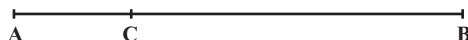
سؤال (۵)

$$\frac{40 \text{ mile}}{1 \text{ mile}} \times \frac{1/61 \times 1 \text{ m}}{1 \text{ mile}} \times \frac{1 \text{ km}}{1 \text{ m}} = 64/4 \text{ km}$$

(۰/۲۵) (۰/۲۵)

$$250 \text{ km} - 64/4 \text{ km} = 185/6 \text{ km}$$

(۰/۵) (۰/۲۵)



راهنمای تدریس

در هریک از فصول دوم تا پنجم، کمیتی مورد بحث قرار می‌گیرد و در خصوص آن کمیت، مطالبی با عناوین زیر را می‌توان ارائه نمود:

- ۱- معرفی کمیت و مفاهیم مربوط به آن
 - ۲- روابط فیزیکی جهت انجام محاسبات مربوطه
 - ۳- معرفی روش‌ها و دستگاه‌های^۱ اندازه‌گیری آن کمیت
- فصل دوم، راجع به «کمیت دما» است، با عنوان

تابلو ← اندازه‌گیری دما

۲-۱- دما

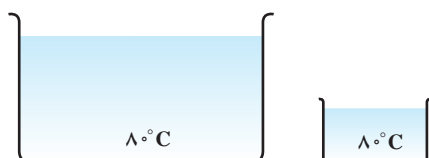
در این بخش هنرآموزان محترم می‌توانند در خصوص عناوین زیر توضیحاتی ارائه دهند:

- مفهوم دما و گرما
 - ضرورت اندازه‌گیری دما
 - وسیله اندازه‌گیری دما
- با مطرح کردن چند سؤال ساده، مفهوم دما^۲ برای هنرجویان روشن می‌شود، برای مثال:
- وقتی می‌گویند "این شخص تب دارد" یعنی چه؟
 - در زمستان در رادیاتور ماشین، ضدیخ می‌ریزند، چرا؟
 - ...
- بعد از جمع‌آوری نظرات هنرجویان، می‌توان «دما» را با عبارت‌های مختلف تعریف کرد^۳:
- دما، معیاری برای سنجش گرماست.
 - دما، درجه گرمی یک ماده را نشان می‌دهد.
 - دما، شدت انرژی جنبشی و حرارتی یک ماده را بیان می‌کند.
 - دما، متناسب با میزان جنبش مولکول‌های ماده است.
 - ...

و اما گرما؛ گرما با دما تفاوت دارد، مثال زیر می‌تواند مفید باشد:

«یک لیوان آب و یک مخزن آب را در نظر بگیرید که هر دو در دمای 8°C

هستند، مقدار گرمای کدام یک بیشتر است؟»



شکل ۲-۱

۱- شرح مفصل دستگاه‌های مربوطه، در کتاب «کارگاه عملیات دستگاهی» آمده است.

۲- بالا و پایین بودن درجه حرارت

۳- سطر اول بخش (۲-۱) فصل دوم کتاب درسی، تعریفی از «دما» را ارائه می‌دهد که لازم است آن نیز ذکر گردد.

جهت پاسخ‌گویی به این سؤال، به رابطه $Q = mc\Delta T$ اشاره شود، با این توضیحات :
چون محتویات هر دو ظرف یک ماده (آب) است پس ظرفیت حرارتی (C) نیز علاوه بر دما، یکسان است و تنها تفاوت، جرم آب است که با گرما رابطه مستقیم دارد.

نتیجه : با وجود یکسان بودن دما، میزان گرمای آنها برابر نیست. گرمای آب مخزن به علت جرم بیشتر، بیشتر است.
با طرح یک سؤال، می‌توان آموخته‌های فصل اول را، محک زد :
«دما و گرما را از نظر نوع کمیت بررسی کنید».

بعد از دریافت نظرات هنرجویان، پاسخ کامل به صورت زیر می‌تواند اعلام شود :
دما یک کمیت اصلی و مستقل است که با دماسنج اندازه‌گیری می‌شود. در حالی که گرما یک کمیت فرعی است و مقدار آن وابسته به مقادیر جرم ماده، دما و ظرفیت حرارتی آن است و با رابطه فیزیکی مذکور محاسبه می‌شود.
گرما، نوعی انرژی است و دما شدت آن انرژی را بیان می‌کند.

در خصوص ضرورت اندازه‌گیری دما توسط مقیاس‌های دما و دماسنجی، می‌توان پرسش‌هایی مانند زیر را مطرح کرد :
– آیا با لمس کردن پیشانی یک بیمار تبار، اطلاعات لازم برای درمان او به دست می‌آید؟
– آیا با دست زدن به آب یک ظرف، می‌توان میزان گرمای آن آب را محاسبه کرد؟
– ...

مثال کتاب نیز قابل بحث است که چگونه با وجود یکسان بودن محیط، احساس فیزیکی هر یک از دست‌ها می‌تواند متفاوت باشد و این به دلیل خطای حس لامسه است و به همین دلیل نمی‌تواند مبنای دقیقی برای سنجش دما باشد. از این رو، برای افزایش دقت و کمیت بخشیدن به دما^۱، به مطرح شدن مقیاس‌های دما و ساخت وسایلی جهت اندازه‌گیری آن نیاز است.

فعالیت^۲

هدف : نشان دادن بی‌دقتی حس لامسه است (ضرورت اندازه‌گیری دما)

روش : سه ظرف حاوی آب سرد، آب گرم و آب ولرم تهیه کنید. یک دست خود را در آب سرد و دست دیگر را در آب گرم قرار دهید. پس از چند ثانیه، هر دو دست را در آب ولرم فرو برید. احساس دست‌های شما متفاوت است، آن را گزارش کنید.

۲-۲- واحدهای اندازه‌گیری دما

مفاهیمی که در این بخش تدریس می‌شوند عبارت‌اند از :

– نحوه اندازه‌گیری دما $\left\{ \begin{array}{l} ۱- نسبی \\ ۲- مطلق \end{array} \right.$

– واحدهای اندازه‌گیری دمای نسبی و مطلق

– مبنای اندازه‌گیری دمای نسبی و مطلق

۱- منظور اعلام مقدار دماست.

۲- در وقت اضافی می‌توان آزمایش را سرکلاس انجام داد، در غیر این صورت از هنرجویان خواسته شود آن را در خانه انجام دهند.

— تعریف صفر مطلق

— بیان مقدار صفر مطلق در چهار مقیاس اندازه‌گیری دما

— معرفی مقیاس علمی متداول برای اندازه‌گیری دما

— نقاط منشأ (مرجع) جهت درجه‌بندی چهار مقیاس اندازه‌گیری دما

— نسبت فاصله درجات چهار مقیاس به یکدیگر

جهت تدریس مفاهیم مذکور، متن کتاب بهترین مرجع است.

تعریف صفر مطلق^۱: اگر جسمی را به تدریج سرد کنیم سرعت ذرات آن به تدریج کم می‌شود و در یک درجه حرارت معینی سرعت ذرات آن به صفر می‌رسد و به حالت سکون درمی‌آید. این درجه حرارت را صفر مطلق می‌نامند و واضح است که دمایی پایین‌تر از صفر مطلق نمی‌تواند وجود داشته باشد.

دانستنی (۱)

صفر مطلق چیست؟

در دماسنج‌های معمولی پایین‌ترین دما به صورت صفر درجه سلسیوس علامت‌گذاری شده است. امروزه دانشمندان می‌توانند دماهایی بسیار پایین‌تر از صفر درجه سلسیوس را ایجاد کنند.

کلوین ویلیام تامسون فیزیک‌دان انگلیسی، نخستین کسی بود که برای اندازه‌گیری دما مقیاسی براساس صفر مطلق ارائه داد. به همین جهت به درجه‌بندی‌ای که برای اندازه‌گیری دماهای پایین مورد استفاده قرار می‌گیرد درجه‌بندی کلوین یا درجه‌بندی مطلق می‌گویند. براساس این مقیاس دمای انجماد آب ۲۷۳ درجه کلوین است.

پایین‌ترین دمای ممکن ۲۳۷/۱۵- درجه سلسیوس است که به آن صفر مطلق می‌گویند. در این دما انرژی درونی ماده به کمترین مقدار خود می‌رسد و حرکت مولکول‌ها متوقف می‌شود.

از نظر تئوری حجم یک گاز با کاهش دما، کم می‌شود و در دمای صفر مطلق تمام انرژی جنبشی خود را از دست می‌دهد، ولی در عمل تمام گازها قبل از اینکه دمایشان به صفر مطلق برسد ابتدا مایع و سپس به جامد تبدیل می‌شوند.

دانشمندان هرگز نتوانسته‌اند در آزمایشگاه به دمای صفر مطلق دست یابند.

پایین‌ترین دمای ثبت شده از مغناطیسی کردن هسته مس در دمای پایین به دست آمده است. این دما یک میلیونیم درجه بالاتر از صفر مطلق است.

وقتی مواد تا دمای نزدیک به صفر مطلق سرد می‌شوند عکس‌العمل‌های عجیبی از خود نشان می‌دهند. در این دما گاز اکسیژن یخ می‌زند و به صورت جامدی به رنگ آبی روشن درمی‌آید. یک توپ پلاستیکی چنان شکننده می‌شود که با خوردن به زمین خرد می‌شود. حیوه که در حالت عادی مایع است همانند نقره، سخت و شکننده می‌شود. هیدروژن به مایع تبدیل می‌شود و شروع به چسبیدن به کناره‌های ظرف می‌کند برای مثال دمای میعان برای هیدروژن ۲۰ درجه کلوین و برای هلیوم ۴/۲ درجه کلوین است^۲.

۱- Absolute Zero

تعریفی برای صفر مطلق، در متن بخش (۲-۲) وجود دارد که در تکمیل آن، تعریف مذکور ارائه می‌شود.

۲- منبع: دانش‌نامه مصور، ترجمه و تلخیص از دکتر فربرز صادقی شهرستانی و شیرین‌نیک‌آیین.

— نقاط منشأ (مرجع) درجه‌بندی مقیاس‌های مختلف دما^۱: منظور از نقاط منشأ هر مقیاس، پایین‌ترین (صفر) و بالاترین نقطه آن مقیاس است که از قرار دادن یک دماسنج در محیط‌های مخصوصی به دست آمده تا بین آن دو نقطه درجه‌بندی صورت گیرد، برای مثال:

سلسیوس (سانتی‌گراد): صفر سانتی‌گراد پایین‌ترین نقطه این مقیاس است که در مخلوطی از آب و یخ در فشار یک اتمسفر حاصل شده است. به بیان دیگر، نقطه انجماد آب در فشار یک اتمسفر، صفر درجه سانتی‌گراد تعیین شده است. سلسیوس عدد صد را بالاترین نقطه این مقیاس انتخاب کرد که محیط انتخابی او بخار آب در حال جوش در فشار یک اتمسفر بود. به بیان دیگر، نقطه جوش آب در فشار یک اتمسفر، صد درجه سلسیوس معرفی شد.

دانستنی (۲)

مقیاس‌های اندازه‌گیری دما

به طور کلی چهار مقیاس اندازه‌گیری دما جهت مدرج کردن دماسنج‌ها وجود دارد که هر یک از آنها توسط دانشمندی ابداع شده و به نام هریک ثبت گردیده است.

جهت مدرج کردن هر دماسنج، به نقاط ثابت دماسنجی نیاز است. از این رو هر دانشمند اختصاصاً محیط‌هایی را برای ایجاد این نقاط انتخاب کرده است، به صورت زیر:

۱— **فارنهایت**: در سال ۱۷۱۴، گابریل فارنهایت^۲، اولین دماسنج جیوه‌ای استاندارد خود را ساخت. در گزارشی چنین آمده است که او نقطه شروع دماسنج دست‌ساز خود را از قرار دادن حباب دماسنج، در مخلوطی از یخ و کلرید آمونیم به دست آورد و آن را «صفر فارنهایت» نامید و بالاترین نقطه را، دمای شروع جوشش جیوه انتخاب کرد و بین این دو نقطه را به ۶۰۰ قسمت مساوی تقسیم نمود. ولی به علت مشکلات زیادی، که ناشی از انتخاب محیط^۳ و تعداد درجات بالا بود، تصمیم گرفت از محیط‌های مناسب‌تری استفاده کند. او مخلوط آب و یخ^۴ را برای حد پایین و بخار آب در حال جوش^۵ را جهت تعیین نقطه بالا انتخاب کرد و در یک شرایط استاندارد (فشار یک اتمسفر) دماسنج مدرج شده‌اش را در آن محیط‌ها قرار داد و به ترتیب اعداد ۳۲^۶ و ۲۱۲^۷ را به دست آورد و بین این دو را به ۱۸۰ قسمت یا درجه تقسیم کرد و هر قسمت را، یک درجه فارنهایت نامید.

۲— **سلسیوس**: در سال ۱۷۴۲، آندره سلسیوس دماسنج خود را در همان محیط‌های استاندارد فارنهایت قرار داد و نقطه انجماد آب را صفر و نقطه جوش آب را صد در نظر گرفت و بین این نقاط ثابت، دماسنج خود را به ۱۰۰ قسمت مساوی تقسیم کرد و هر قسمت را، یک درجه سانتی‌گراد^۸ نام نهاد.

۱— جهت کسب اطلاعات بیشتر و ارائه مطالب به صورت کامل‌تر به دانستنی (۲) مراجعه شود.

۲— فارنهایت یک شیشه‌گر ماهر نیز بود.

۳— محیط‌های انتخابی فارنهایت، به راحتی فراهم نمی‌شد، مضافاً بر اینکه سمی نیز بود (منظور جیوه است)

۴— نقطه انجماد آب

۵— نقطه جوش آب

۶— نقطه انجماد آب ۳۲°F است.

۷— نقطه جوش آب ۲۱۲°F است.

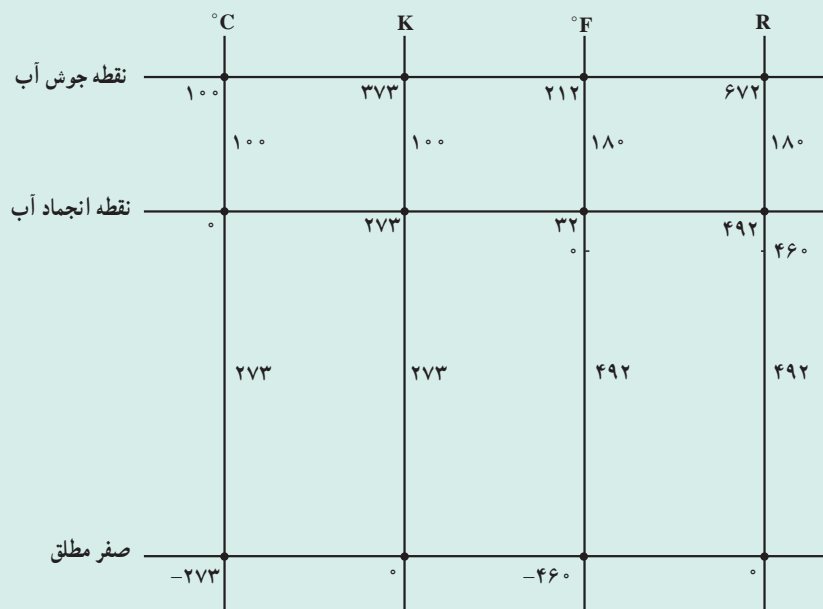
۸— چون هر قسمت از درجه‌بندی سلسیوس، $\frac{1}{100}$ کل است از این رو به آن، سانتی‌گراد می‌گویند.

هم‌چنان که مشاهده می‌شود هر دو دانشمند، پایین‌ترین نقطه ثابت دماسنجی خود را «صفر» معرفی کردند ولی آیا واقعاً دمایی پایین‌تر از صفر پیشنهادی آنها وجود ندارد؟
براین اساس، دو دانشمند دیگر به نام‌های کلون و رانکین صفر مطلق را، به صورت پایین‌ترین دمای ممکن، برگزیدند.

۳- کلون: در سال ۱۸۴۸ ویلیام کلون، مقیاس اندازه‌گیری خود را براساس (صفر مطلق) درجه‌بندی کرد. کلون، دماسنج خود را به طریقی مدرج کرد که از نظر فاصله درجات با سلسیوس برابر باشد.

۴- رنکین: در قرن نوزدهم، دانشمندی به نام رنکین مقیاس دیگری برای اندازه‌گیری دما بر مبنای صفر مطلق ارائه کرد که از نظر فاصله درجات با فارنهایت یکسان بود.

مقایسه چهار مقیاس مذکور، در نمودار شکل ۲-۲ مشهود است:



شکل (۲-۲)

با استفاده از این نمودار، روابط بین مقیاس‌های دمایی قابل اثبات است^۱.

۳-۲ تبدیل واحدهای دما به یکدیگر

در این بخش، توجه هنجریان به سه رابطه فیزیکی^۲ جهت تبدیل واحدهای دما به یکدیگر، جلب می‌گردد. توصیه می‌شود در حین نوشتن روابط مذکور روی تابلو، توضیحات^۳ لازم نیز ارائه گردد:

$$T_K = T_C + ۲۷۳ \quad (۱-۳-۲)$$

۱- اثبات روابط مذکور، در برنامه درسی هنجریان قرار ندارد.

۲- چگونگی اثبات روابط میان مقیاس‌های دمایی، در دانستنی (۳) ارائه شده است که در صورت درخواست هنجریان، می‌تواند در کلاس مطرح شود وگرنه صرفاً جهت اطلاع

هنرآموزان محترم است.

۳- مثلاً در خصوص نمادهای مقیاس‌های دما: C برای سلسیوس، K کلون، F فارنهایت و R رنکین است.

رابطه (۲-۳-۱) رابطه میان دو مقیاس کلوین و سلسیوس را نشان می‌دهد.

$$T_F = 1/8 T_C + 32 \quad (2-3-2)$$

رابطه (۲-۳-۲) رابطه میان مقیاس‌های فارنهایت و سلسیوس است.

$$T_R = T_F + 46^\circ \quad (3-3-2)$$

رابطه (۳-۳-۲) رابطه میان مقیاس‌های رنکین و فارنهایت است.

جهت یادگیری این روابط، مثال‌هایی مانند مثال (۱-۲) و (۲-۲) حل می‌شود^۱.

لازم به یادآوری است که تکرار استفاده از این روابط، به یادگیری آنها بسیار کمک می‌کند.

توضیح مثال (۲-۲) کتاب :

مثال : 40° درجه کلوین را به درجه رنکین تبدیل کنید.

حل : این تبدیل واحد از دو راه می‌تواند انجام شود :

الف) طی مسیر روبه‌رو؛ 40° درجه کلوین \leftarrow سلسیوس \leftarrow فارنهایت \leftarrow رنکین با استفاده از روابط تبدیل واحدهای دما

به یکدیگر

ب) استفاده از یک رابطه جدید که رابطه میان دو مقیاس کلوین و رنکین است.

$$T_R = 1/8 T_K \quad (4-3-2)$$

از هنجاریان خواسته شود این تبدیل واحد را از هر دو راه انجام دهند و جواب‌ها را با هم مقایسه کنند^۲.

فعالیت (تحقیق)

رابطه میان دو مقیاس کلوین و رنکین را به دست آورید.

تکلیف

از هنجاریان خواسته شود مسائل (۱) و (۲) و (۳) خودآزمایی را برای جلسه بعد انجام دهند.

۱- در این بخش، مثال‌های (۱-۲) و (۲-۲) کفایت می‌کند. مثال (۳-۲) پس از تدریس مبحث «فاصله دمایی» حل خواهد شد.

۲- اثبات رابطه (۴-۳-۲) در دانستنی (۳) ارائه شده است. اختلاف جواب‌ها (۶/۰) می‌تواند باشد.

دانستنی (۳)

اثبات روابط فیزیکی بین مقیاس‌های دمایی : ساده‌ترین راه برای اثبات، استفاده از مثال‌های عددی است.

الف) رابطه بین کلوین و سلسیوس : فرض می‌شود که: $T = 1^\circ \text{C}$ ، برای یافتن معادل آن روی درجه‌بندی کلوین کافی است یک درجه به 273 (معادل صفر سلسیوس) اضافه گردد، زیرا یک درجه کلوین از نظر فاصله دمایی برابر یک درجه سلسیوس است پس :

$$T_K = 1 + 273$$

پس هر دمایی در مقیاس کلوین برابر است با حاصل جمع معادل آن در سلسیوس و عدد 273 ، بنابراین :

$$T_K = T_C + 273$$

ب) رابطه بین رنکین و فارنهایت : به طریق مشابه عمل می‌شود، فقط برای درک بیشتر مطلب کافی است مبنای فارنهایت روی صفر بیاید که در این صورت مبنای رنکین نیز روی 460° می‌آید، زیرا : $460 = 32 - 492$ و با یک مثال می‌توان به رابطه زیر دست یافت :

$$T_R = T_F + 460$$

ج) رابطه بین فارنهایت و سلسیوس : با توجه به اینکه فاصله بین نقطه انجماد و نقطه جوش آب در مقیاس سلسیوس 100° درجه و همین فاصله در فارنهایت 180° درجه یا قسمت است می‌توان گفت تعداد درجات در فارنهایت بیشتر از سلسیوس است ($1/8$ برابر) اما فاصله درجات آن کمتر از سلسیوس است، که نسبت آن یک به $1/8$ است. اگر $T = 1^\circ \text{C}$ باشد برای یافتن معادل آن روی فارنهایت باید $1/8$ قسمت از 32 (معادل صفر سلسیوس) بالا رفت، یعنی :

$$T_F = 1/8 \times 1 + 32 = 33/8$$

پس در حالت کلی رابطه زیر وجود دارد :

$$T_F = 1/8 T_C + 32$$

د) رابطه رنکین و کلوین : برای یافتن این رابطه از سه رابطه اصلی بهره گرفته و یک سری جایگزینی‌ها انجام می‌شود؛ به صورت زیر :

$$T_R = T_F + 460 \quad (1)$$

$$T_F = T_C \times 1/8 + 32 \quad (2)$$

$$T_K = T_C + 273 \quad (3)$$

رابطه (۲) در (۱) جایگزین می‌شود :

$$\Rightarrow T_R = 1/8 T_C + 32 + 460 = 1/8 T_C + 492 \quad (4)$$

با جایگزینی رابطه (۳) در (۴)، رابطه به صورت زیر درمی‌آید :

$$\Rightarrow T_R = 1/8 [T_K - 273] + 492 = 1/8 T_K - 1/8 \times 273 + 492$$

$$= 1/8 T_K - 491/4 + 492$$

اگر از دو عدد آخر که فقط $6/100$ اختلاف دارند، صرف‌نظر شود، رابطه موردنظر به دست می‌آید :

$$\Rightarrow T_R = 1/8 T_K$$

برنامه زمان بندی هفته ششم			دقیقه
۱	آماده کردن کلاس (احوالپرسی، حضور و غیاب)	۵	
۲	رفع اشکال	۱۰	
۳	حل خودآزمایی	۴۰	
۴	تدریس	۷۰	
۵	استراحت میان تدریس (دو نوبت)	۱۰	

راهنمای تدریس

رفع اشکال را می توان به صورت پرسش و پاسخ انجام داد، سپس از دفتر حل تمرین هنرجویان بازدید به عمل آورد و به هنرجویانی که در حل خودآزمایی سستی کرده اند، نیز تذکر لازم داده شود. بعد مسائل تعیین شده توسط هنرجویان روی تابلو حل شود. سعی بر این است که هر تبدیل واحد را یک هنرجو انجام دهد.

تدریس این هفته، به «مفهوم فاصله دمایی» اختصاص دارد و توصیه می شود مسائل مربوط به آن نیز سرکلاس حل شود. در پایان راجع به یک نوع دماسنج (مایعی) مختصراً^۱ توضیح داده می شود.

بحث پیرامون فعالیت (۱): گزارش هنرجویان، در خصوص انجام آزمایش مطروحه در هفته گذشته، جمع آوری گردد و برای آنها، امتیازی منظور گردد و در مورد نتایج آزمایش بحث شود و در پایان می توان به صورت زیر نتیجه گرفت:

«وقتی دست راست خود را در آب سرد می گذاریم، گرما از دست ما به آب سرد منتقل می شود و در نتیجه احساس سرما می کنیم. برعکس، در آب گرم، گرما از آب به دست چپ ما انتقال می یابد، به همین دلیل احساس گرما می کنیم. در آب ولرم، دست راست گرما می گیرد و دست چپ گرما از دست می دهد. این است که احساس دست های ما متفاوت است، با اینکه محیط و دمای آن برای هر دو یکسان است، پس حس لامسه نمی تواند مبنای اندازه گیری دقیقی برای دما باشد (خطای حس لامسه)»

حل خودآزمایی فصل دوم

۱- نقاط مرجع در مقیاس های سلسیوس و فارنهایت، دمای نقطه انجماد و جوش آب در فشار یک اتمسفر است که به ترتیب: صفر و صد در مقیاس سلسیوس و ۳۲ و ۲۱۲ در مقیاس فارنهایت اند. این نتایج در محیط های «مخلوط آب و یخ» و «بخار آب در حال جوش» به دست آمده اند.

۲- ۳۰ درجه فارنهایت چند درجه سلسیوس، کلون و رنکین است؟

حل: تبدیل واحد می تواند به ترتیب زیر انجام شود:

$$T_F = 1/8 T_C + 32 \Rightarrow T_C = \frac{T_F - 32}{1/8}$$

۱- شرح تفصیلی انواع دماسنج ها به همراه آزمایش های مربوطه، در کتاب «کارگاه عملیات دستگاهی» موجود است و هنرجویان در درس کارگاه، با آنها به خوبی آشنا می شوند.

$$T_C = \frac{300 - 32}{1/8} = 148/89^\circ\text{C}$$

$$T_K = T_C + 273 \Rightarrow T_K = 148/89 - 273 = 421/89\text{K}$$

$$T_R = T_F + 460 \Rightarrow T_R = 300 + 460 = 760^\circ\text{R}$$

ممکن است T_R از رابطه زیر به دست آید^۱:

$$T_R = 1/8 T_K \Rightarrow T_R = 1/8 \times 421/89 = 759/4^\circ\text{R}$$

۳- دماهای زیر را به هم تبدیل کنید:

حل: مانند مسئله (۲)، تبدیل واحدها با استفاده از روابط انجام می‌شود. در این قسمت از حل تک‌تک آنها صرف‌نظر می‌کنیم و تنها به ارائه جواب اکتفا می‌شود:

$$T = 400^\circ\text{K} = 127^\circ\text{C} = 260/6^\circ\text{F} = 720/6^\circ\text{R} \quad (\text{الف})$$

$$T = -15^\circ\text{C} = 123\text{K} = -238^\circ\text{F} = 222^\circ\text{R} \quad (\text{ب})$$

$$T = 60^\circ\text{R} = 140^\circ\text{F} = 60^\circ\text{C} = 333\text{K} \quad (\text{ج})$$

$$T = 122^\circ\text{F} = 528^\circ\text{R} = 5^\circ\text{C} = 323\text{K} \quad (\text{د})$$

مفهوم «فاصله دمایی»: منظور از «فاصله دمایی» محاسبه تعداد درجات یا قسمت‌هایی است که بین دو دما وجود دارد، برای

مثال:

فاصله دمایی صفر و صد درجه سلسیوس، صد است

$$\Delta T_C = T_2 - T_1 = 100^\circ\text{C}$$

به روش مشابه، فاصله دمایی بین دو دمای انجماد و جوش آب در مقیاس‌های دیگر محاسبه می‌شود

$$\Delta T_F = 212 - 32 = 180^\circ\text{F} \quad \text{در مقیاس فارنهایت:}$$

$$\Delta T_K = 373 - 273 = 100^\circ\text{K} \quad \text{در مقیاس کلونین:}$$

$$\Delta T_R = 672 - 492 = 180^\circ\text{R} \quad \text{و در مقیاس رنکین:}$$

$$\Delta T_C = \Delta T_K \text{ و } \Delta T_F = \Delta T_R \quad \text{همان‌طوری که مشاهده می‌شود:}$$

در خصوص این نتیجه‌گیری، در بخش (۲-۲) اشاره شده بود:

«فاصله درجات کلونین با فاصله درجات سلسیوس برابر است و فاصله درجات رنکین با فاصله درجات فارنهایت مساوی

است.»

براساس محاسبات مذکور، نسبت فاصله دمایی فارنهایت به سلسیوس به صورت زیر است:

$$\frac{\Delta T_F}{\Delta T_C} = \frac{180^\circ}{100^\circ} = 1/8$$

۱- اختلاف درجه رنکین محاسبه شده از این دو رابطه، $6/^\circ$ است و این به دلیل اغمازی است که به هنگام به دست آوردن رابطه کلونین و رنکین صورت گرفته است (دانستنی

((۳)).

۲- در هیچ مرجعی، برای K علامت درجه گذاشته نشده است.

به این ترتیب، چون فاصله درجات در مقیاس سلسیوس و یا کلین بیشتر (۱/۸) از فاصله درجات در مقیاس فارنهایت و یا رنکین است پس در یک فاصله مشخص تعداد درجات کمتری نسبت به مقیاس فارنهایت یا رنکین در آن می‌گنجد^۱.

مثال (۳-۲) روش محاسبه فاصله دمایی را در مقیاس‌های مختلف نشان می‌دهد :

مثال (۳-۲) فاصله بین دماهای 2°F تا 8°F را برحسب درجه سلسیوس به دست آورید.

حل : جهت حل این گونه مسائل، ابتدا هر دما توسط روابط فیزیکی بین مقیاس‌های دمایی به مقیاس موردنظر تبدیل می‌شود و

بعد از محاسبه اختلاف آنها، فاصله دمایی به دست می‌آید. پس :

$$T_F = 2^{\circ}\text{F} \text{ و } T_F = 8^{\circ}\text{F}$$

$$T_F = 1/8 T_C + 32 \Rightarrow T_C = \frac{T_F - 32}{1/8}$$

$$T_{C_1} = \frac{2 - 32}{1/8} = -6/67^{\circ}\text{C},$$

$$T_{C_2} = \frac{8 - 32}{1/8} = 26/67^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta T_C = T_{C_2} - T_{C_1} = 26/67 - (-6/67) = 33/34^{\circ}\text{C} \leftarrow$$

در حالی که فاصله این دو دما در مقیاس فارنهایت 6° درجه است : $\Delta T_F = 8^{\circ} - 2^{\circ} = 6^{\circ}$

مشاهده می‌شود : $\Delta T_F / \Delta T_C$

نکته مهم : هرجویان باید تفاوت دما و فاصله دمایی را درک کنند و بدانند که روابط فیزیکی مذکور مختص تبدیل واحد دماها

به یکدیگر است و هرگز نباید از آنها برای تبدیل واحد فاصله دمایی استفاده کرد و این اشتباه بارها توسط هرجویان تکرار می‌شود،

به این صورت که مثلاً در مثال (۳-۲) این گونه عمل می‌کنند :

$$\Delta T_F = 8^{\circ} - 2^{\circ} = 6^{\circ}\text{F}$$

$$T_C = \frac{6 - 32}{1/8} = 15/5^{\circ}\text{C}$$

برای رفع این اشکال، می‌توان از رسم نمودار^۲ استفاده کرد.

کار در کلاس : در صورتی که زمان کافی در اختیار باشد، از هرجویان خواسته شود مسئله (۴) خودآزمایی را در کلاس حل

کنند. می‌توان حل این تمرین را به مسابقه گذاشت و به نفرات اول امتیاز مثبت داد.

۴-۲- دماسنج (ترمومتر)

در خصوص اساس کار، ساختمان، عملکرد، کاربرد و گستره دمایی دماسنج مایعی، توضیحاتی به اختصار داده شود.

گستره دمایی هر دماسنج مایعی، محدوده استفاده آن را در فاصله بین نقطه انجماد و نقطه جوش مایع درون آن دماسنج تعیین می‌کند.

مثلاً دماسنج جیوه‌ای فقط در فاصله بین 39°C تا 357°C کاربرد دارد و دماسنج الکلی بین 11°C تا 78°C قابل استفاده است^۳.

۱- این جمله، مفهوم بسیار مهمی را در بردارد که هرجویان باید آن را به خوبی درک کنند.

۲- نمودار مذکور در دانستنی (۴) مشاهده می‌شود.

۳- به همین دلیل برای اندازه‌گیری دماهای بالا از دماسنج جیوه‌ای و دماهای پایین از دماسنج الکلی استفاده می‌کنند.

شکل ۳-۲ یک دماسنج الکلی را نشان می‌دهد که برحسب دو مقیاس سلسیوس و فارنهایت مدرج

شده است :



شکل ۳-۲- دماسنج الکلی

شکل ۴-۲ یک دماسنج جیوه‌ای پزشکی را نشان می‌دهد که برای اندازه‌گیری دمای بدن انسان کاربرد دارد. در شکل ۵-۲

یک دماسنج جیوه‌ای دیجیتالی مشاهده می‌شود.



شکل ۵-۲



شکل ۴-۲

حل مسئله (۴) خودآزمایی فصل دوم

الف) فاصله دمایی از 100°C تا 170°C را به F و K و R تبدیل کنید.

$$T_1 = 100^{\circ}\text{C} \text{ و } T_2 = 170^{\circ}\text{C} \Rightarrow \Delta T_C = 170 - 100 = 70^{\circ}\text{C}$$

$$T_K = T_C + 273 \Rightarrow T_{K_1} = 100 + 273 = 373\text{K} \text{ و } T_{K_2} = 170 + 273 = 443\text{K}$$

$$\Delta T_K = T_{K_2} - T_{K_1} = 443 - 373 = 70\text{K}$$

به طریق مشابه، فاصله دمایی بین دو دمای مذکور در مقیاس‌های فارنهایت و رنکین به دست می‌آید :

$$\Delta T_F = 126^{\circ}\text{F} \text{ و } \Delta T_R = 126^{\circ}\text{R}$$

۱- شکل (۳-۲) از سایت www.mail.Colonial.net

۲- شکل (۴-۲) از سایت www.mail.Colonial.net

۳- شکل (۵-۲) از سایت www.visual.merrian.webster.Com

راه امتحان صحت مسئله

هم‌چنان که مشاهده می‌شود؛ $\Delta T_F = \Delta T_R = 126^\circ$ و $\Delta T_C = \Delta T_K = 7^\circ$
 ب) فاصله دمایی از $60^\circ R$ تا $70^\circ R$ را به K و C و F تبدیل کنید.
 بعد از حل مسئله به طریق مشابه، نتیجه به صورت زیر اعلام می‌گردد:
 $\Delta T_R = 100^\circ R$ و $\Delta T_F = 100^\circ F$ و $\Delta T_C = 55/5^\circ C$ و $\Delta T_K = 55/5 K$

فعالیت

یک مسئله پیشنهادی از نوع فرادانسی:
 دمای مشترک دو مقیاس سلسیوس و فارنهایت را به دست آورید.
 برای حل این مسئله، امتیازی به هنرجویان تعلق می‌گیرد.

برگزاری آزمون فصل دوم

از هنرجویان خواسته شود که خود را در هفته بعدی برای برگزاری یک آزمون از فصل دوم آماده کنند.

دانستنی (۲)

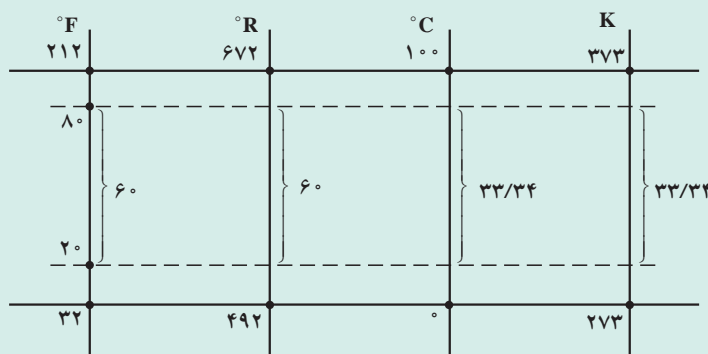
مسائل فاصله دمایی را می‌توان از یک راه بسیار کوتاه‌تر نیز حل کرد. به این صورت که کافی است مقدار آن (ΔT) در یک مقیاس مشخص باشد تا براساس نسبت‌های موجود بین فواصل دمایی در مقیاس‌های مختلف، مقدار آن را در هر مقیاس تعیین کرد.
 مثال (۲-۳) کتاب با این روش این‌گونه حل می‌شود:

$$\Delta T_F = 80 - 20 = 60^\circ F \leftarrow$$

$$\Delta T_F - \Delta T_R \Rightarrow \Delta T_R = 60^\circ R \leftarrow$$

$$\frac{\Delta T_F}{\Delta T_C} = 1/8 \Rightarrow \Delta T_C = \frac{\Delta T_F}{1/8} = \frac{60}{1/8} = 33/34^\circ C$$

$$\Delta T_C = \Delta T_K \Rightarrow \Delta T_K = 33/34 K$$



شکل ۲-۶ - نمایش یک فاصله دمایی در چهار مقیاس دما

برای درک عمیق‌تر هنرجویان، نتایج روی نمودار شکل ۲-۶ نشان داده می‌شود:
 در صورت مطرح شدن این راه‌حل در کلاس درس، به هنرجویان یادآوری کنید از این راه فقط می‌توانند در کنکور استفاده کنند و به کارگیری آن در امتحانات دیگر (از جمله نهایی) توصیه نمی‌شود.

دانستنی (۵)

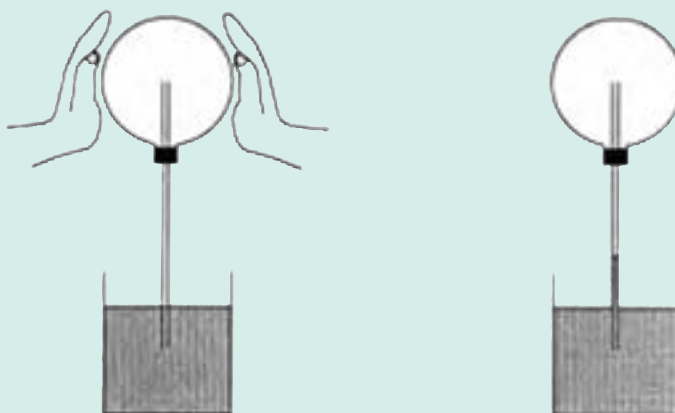
برخی انواع دماسنج‌ها

۱- ترموسکوپ^۱: طراحی و ساخت ترموسکوپ را به گالیله نسبت داده‌اند. ترموسکوپ، یک حباب شیشه‌ای بود که به لوله‌ای بلند و باریک متصل می‌شد. این حباب به‌طور واژگون درون ظرفی حاوی آب رنگین، قرار داشت. شکل ۲-۷ نمایی از ترموسکوپ گالیله را نشان می‌دهد.



شکل ۲-۷

این وسیله فقط برای مقایسه گرما مناسب بود، به طوری که وقتی شخصی با کف دست خود حباب را لمس می‌کرد، گرمای دست او موجب انبساط هوای حباب و پایین رفتن سطح آب در لوله متصل به آن می‌شد. در صورتی که شخص تب داشت، سطح آب در لوله پایین‌تر می‌رفت و به این ترتیب، گرمای بدن بیمار با فرد سالم مقایسه می‌شد. شکل ۲-۸ عملکرد ترموسکوپ را نشان می‌دهد.



شکل ۲-۸

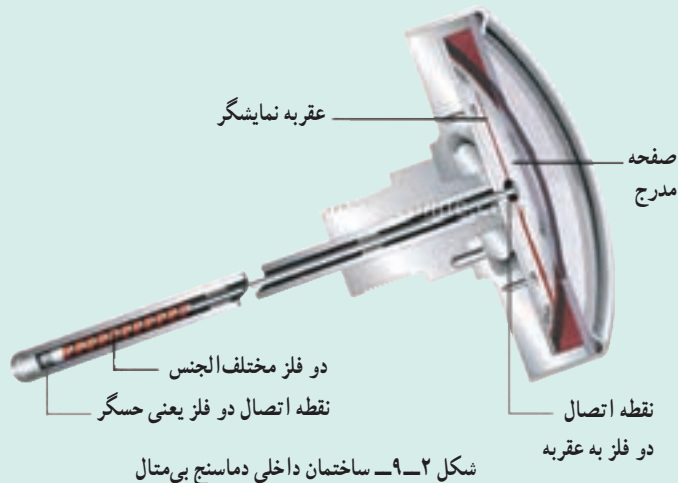
۲- دماسنج بی‌متال^۲ (دوفلزی): این دماسنج براساس اثر گرما بر طول فلزات ساخته شده است.

^۱ Thermoscope

^۲ شکل (۲-۷) از سایت www.webapps.Isa.umich.edu

^۳ شکل (۲-۸) از سایت www.buybarometers.Co.uk

^۴ Bimetal Thermometer



شکل ۹-۲- ساختمان داخلی دماسنج بی‌متال

در ساختمان این دماسنج، از دو فلز مختلف الجنس استفاده شده است، به طوری که از یک طرف به هم متصل شده و حسگر دماسنج را تشکیل داده‌اند و از طرف دیگر به عقر به متصل‌اند. دو فلز به صورت حلقه‌هایی درآمده‌اند (شکل ۹-۲).

به علت تفاوت ضریب انبساط حرارتی دو فلز با افزایش دما، طول یکی بیشتر و در نتیجه پیچش آنها از هم باز می‌شود و عقر به متناسب با آن، حرکت می‌کند.

در شکل‌های ۱۰-۲ و ۱۱-۲ دماسنج بی‌متال، که به ترتیب عقر به‌ای و دیجیتالی هستند، مشاهده می‌شود.

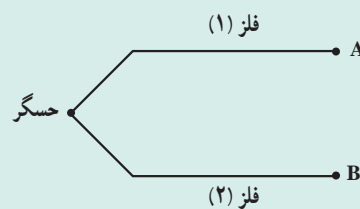


شکل ۱۱-۲- دماسنج بی‌متال دیجیتالی



شکل ۱۰-۲- دماسنج بی‌متال

۳- ترموکوپل: هرگاه مداری از دو سیم فلزی مختلف الجنس تشکیل شود، مانند شکل ۱۲-۲ و محل اتصال دو فلز (حسگر ترموکوپل) گرم شود جریان الکتریکی در مدار برقرار می‌گردد و اختلاف پتانسیلی در دو سر آزاد فلزات به وجود می‌آید که قابل اندازه‌گیری است، این اساس کار یک ترموکوپل است. در حقیقت ترموکوپل یک مولد برق^۱ است.



شکل ۱۲-۲

۱- البته برق تولیدی یک ترموکوپل بسیار ضعیف و در حد میلی ولت است.

ترموکوپل رایج‌ترین دماسنج مورد استفاده در صنعت است، زیرا با تغییر جنس فلزات می‌توان گستره‌های دمایی مختلفی را ایجاد کرد. در شکل‌های ۱۳-۲ و ۱۴-۲ دو نوع ترموکوپل دیجیتالی مشاهده می‌شود.



شکل ۱۴-۲



شکل ۱۳-۲

اندازه‌گیری فشار

چکیده فصل

در این فصل هنجریان با مفهوم کلی فشار، فشار مایعات و گازها، مفهوم فشار ستون سیال و همچنین مفهوم فشارنسبی و مطلق و نحوه اندازه‌گیری آنها آشنا می‌شوند.

دانسته‌های قبلی هنجریان در سال‌های قبل با مفهوم فشار و فرم محاسبه آن، در درس فیزیک، آشنا شده‌اند.

اهداف فصل از هنجریان انتظار می‌رود که در پایان فصل، مفاهیم زیر را آموخته باشند :

- مفهوم فشار و نحوه محاسبه آن
- فشار ستون سیال و نحوه محاسبه آن
- تفاوت فشار گازها و مایعات
- واحدهای فشار
- نحوه تبدیل واحدهای فشار به یکدیگر
- مفهوم فشار نسبی و مطلق
- عملکرد فشارسنج مطلق و نسبی
- رابطه فشارنسبی و مطلق
- تفاوت فشار اتمسفری و فشار اتمسفری استاندارد

برنامه زمان‌بندی تدریس فصل سوم

صفحه	موضوعات	هفته
۱۹-۱۴	مفهوم فشار- فشار گازها و مایعات - مفهوم فشار ستون سیال - واحدهای فشار و تبدیل واحدها به یکدیگر- مفهوم فشارنسبی و مطلق	۷

برنامه زمان بندی هفته هفتم			دقیقه
۱	آماده کردن کلاس (احوالپرسی، حضور و غیاب)	۵	
۲	رفع اشکال	۱۰	
۳	آزمون فصل دوم	۲۰	
۴	تدریس	۹۰	
۵	استراحت میان تدریس (دو نوبت)	۱۰	

نمونه‌ای از آزمون فصل (۲)

زمان: ۲۰ دقیقه

- ۱- صفر مطلق را تعریف کنید و مقدار آن را در چهار مقیاس دمایی بنویسید. (۱/۵)
- ۲- فاصله دمایی 20°K و 40°K را برحسب فارنهایت به دست آورید. (۲/۵)
- ۳- در یک فاصله مشخص تعداد درجات کلین ... از فارنهایت است. (۵/۰)
- ۴- محدوده کاربرد دماسنج‌های مایعی را بنویسید. (۵/۰)

(جمعاً ۵ نمره)

پاسخ سؤالات آزمون فصل (۲)

- ۱- صفر مطلق، پایین‌ترین دمای ممکن است که در آن انرژی جنبشی مولکول‌ها به صفر می‌رسد. رسیدن به این دما امکان‌پذیر نیست. (۵/۰)
- مقادیر صفر مطلق، 273°C و 460°F و 273°K و 460°R (هر مورد، ۲۵/۰)
- ۲-

$$T_R = 1/8 T_K \quad (5/0)$$

$$T_{1R} = 1/8 \times 200 = 36^{\circ}\text{R} \quad (25/0)$$

$$T_{2R} = 1/8 \times 400 = 72^{\circ}\text{R} \quad (25/0)$$

$$T_R = T_F + 460 \quad (5/0)$$

$$T_{1F} = 36 - 460 = -100^{\circ}\text{F} \quad (25/0)$$

$$T_{2F} = 72 - 460 = 260^{\circ}\text{F} \quad (25/0)$$

$$\Delta T = 260 - (-100) = 360^{\circ}\text{F} \quad (5/0)$$

۳- کمتر (۵/۰)

۴- بین نقطه انجماد و نقطه جوش مایع درون دماسنج (۵/۰)

سخنی با همکار محترم

از آنجا که اکثر مفاهیم موجود در این فصل و فصل سوم کتاب «کارگاه عملیات دستگاهی» مشترک‌اند و پیشتر در کارگاه تدریس شده‌اند، مطالب را می‌توان با سرعت بیشتری ارائه داد و حتی در صورتی که مدرس هر دو کتاب، یک هنرآموز باشد می‌توان از تکرار جلوگیری کرد و بر قسمت‌های غیرتکراری و ضروری تمرکز نمود. براین اساس زمان تدریس این فصل یک جلسه در نظر گرفته شده است.

راهنمای تدریس

ابتدا، جهت جلب توجه و ایجاد تمرکز در هنرجویان، اهمیت اندازه‌گیری فشار در واحدهای صنایع شیمیایی را به اختصار بیان کنید، از جمله:

«فشار یکی از مهم‌ترین کمیت‌هاست و اندازه‌گیری آن یکی از رایج‌ترین اندازه‌گیری‌ها در صنعت به شمار می‌آید. متناسب بودن فشار با برخی از کمیت‌ها^۱، باعث شده است که دستگاه‌های اندازه‌گیری کمیت‌های مزبور، در حقیقت یک فشارسنج باشند. لذا دستگاه‌های اندازه‌گیری فشار از اهمیت فوق‌العاده‌ای برخوردارند.»

تابلو ← اندازه‌گیری فشار

۳-۱- تعریف فشار

در این بخش، عناوین زیر، با توجه به متن کتاب، توضیح داده می‌شوند:

- تعریف فشار به طور کلی
- معرفی فرمول محاسبه فشار، بنابر تعریف آن
- تعریف «پاسکال»^۲ که یکی از رایج‌ترین واحدهای فشار در سیستم SI است.

فعالیت

پرسش از آموخته‌های فصل اول

- فشار چه نوع کمیتی است؟ (اصلی یا فرعی)
- واحدهای فشار را در سیستم‌های CGS و FPS بیان کنید.
- معادله ابعادی فشار را به دست آورید.
- نوع واحدهای فشار را مشخص کنید.

پاسخ پرسش‌های فعالیت (۱)، را می‌توان در همین زمان یا در جلسه بعد خواست و به صورت زیر است:

۱- برای مثال، متناسب بودن فشار با دما موجب طراحی و ساخت «دماسنج انبساط سیال» شده است که در فصل دوم کتاب کارگاه عملیات دستگاهی مورد بررسی قرار می‌گیرد یا با دی‌سیالات، باعث استفاده فشارسنج در دستگاه‌های اندازه‌گیری جریان سیالات شده است. این دستگاه‌ها در فصل چهارم هر دو کتاب عملیات و کارگاه عملیات، معرفی می‌شوند.

۲- برای دیگر واحدهای فشار نیز تعریفی مشابه با پاسکال، می‌توان ارائه داد.

فشار کمیتی فرعی یا وابسته است، زیرا براساس کمیت‌های اصلی محاسبه می‌شود. به این ترتیب که اگر فرمول فشار باز شود، در معادله ابعادی آن کمیت‌های اصلی طول و جرم و زمان مشاهده می‌شوند، مانند زیر :

$$P = \frac{F}{A} = \frac{ma}{A} = \frac{m.L/t^2}{L^2} = \frac{m}{L.t^2} \quad (۱-۳)$$

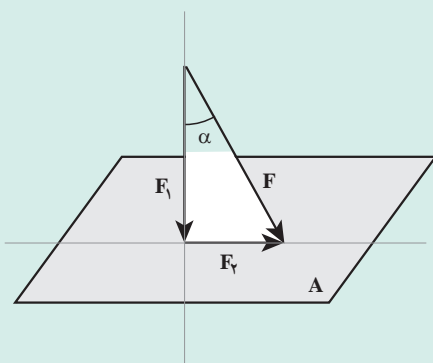
واحدهای فشار در سیستم‌های SI و CGS و FPS به ترتیب عبارت‌اند از : پاسکال (Pa)، دین بر سانتی‌متر مربع (dyne/cm^2) و پوند نیرو بر اینچ مربع (Psi) که همگی از نوع مشتق شده هستند.

دانستنی (۱)

درباره تعریف فشار : به هنگام ارائه تعریف فشار، بر ضرورت عمودی بودن نیرو جهت ایجاد فشار تأکید شود، زیرا؛

نیروی یک بردار است، پس دارای جهت و مقدار است. در تصویر بردار نیرو بر محورهای مختصات، دو مؤلفه افقی و عمودی آن به دست می‌آید، که فقط مؤلفه عمودی نیرو است که در ایجاد فشار نقش دارد.

مثال : فشار حاصله از نیروی (F) را بر سطح (A) محاسبه کنید.



شکل ۱-۳

حل : به شکل (۱-۳) توجه شود؛ مؤلفه عمودی F به صورت زیر به دست می‌آید :

$$F_v = F \cos(\alpha)$$

و از این جا، فشار را می‌توان محاسبه نمود :

$$P = \frac{F_v}{A} = \frac{F \cos(\alpha)}{A}$$

۲-۳- فشار مایعات

در این بخش؛

– مفهوم «فشار ستون سیال»

– روش محاسبه فشار ستون مایع

– عامل فشار در مایعات

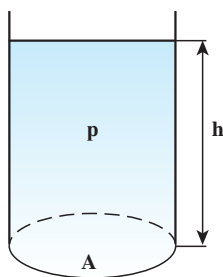
آموزش داده می‌شود.

ابتدا یادآوری می‌شود «هدف از مطرح کردن مبحث «فشار» در صنایع شیمیایی، فشار سیالات و اندازه‌گیری و کنترل آن است.»

چون درک «فشار مایعات» برای هنرجویان ساده‌تر و ملموس‌تر است، مبحث فشار را از «فشار مایعات» آن هم با طرح یک مسئله شروع کنید :

ظرفی استوانه‌ای شکل با سطح مقطع A، حاوی مایعی با چگالی ρ تا ارتفاع h، وجود دارد. فشار مایع را بر کف ظرف محاسبه

کنید.



شکل ۲-۳

حل : با توجه به داده‌ها، از رابطه کلی فشار و اطلاعات قبلی استفاده می‌شود تا رابطه جدیدی برای محاسبه فشار سیالات به دست آید :

$$P = \frac{F}{A}$$

نیروی وارد از طرف مایع ساکن بر کف ظرف، به اندازه وزن آن است، پس :

$$F = W \Rightarrow P = \frac{W}{A}$$

$$W = mg \Rightarrow P = mg/A$$

$$m = \rho V \Rightarrow P = \rho Vg/A$$

(V) حجم مایع^۱ است که از رابطه روبه‌رو به دست می‌آید :

$$V = hA \Rightarrow P = \frac{\rho gh A}{A} \Rightarrow \boxed{P = \rho gh} \quad (۱-۲-۳)$$

رابطه (۱-۲-۳) جهت محاسبه فشار ستونی از مایع با چگالی (ρ) و ارتفاع (h) به کار می‌رود. باید به خاطر داشت که از این رابطه «فشار سیالات» محاسبه می‌شود، که به نام «فشار ستون سیال» معروف است.

از رابطه (۱-۲-۳) می‌توان نتیجه گرفت :

«در دمای ثابت^۲، فشار سیالات فقط تابع ارتفاع آنهاست».

با توجه به مطالب ذکر شده، می‌توان تعریفی برای «فشار ستون سیال» ارائه داد : «فشار در هر نقطه از یک مایع ساکن، از وزن ذرات مایعی ناشی می‌شود که در ارتفاع بالاتر از آن قرار دارند. به این فشار «فشار ستون سیال» می‌گویند».

— واضح است که معادله ابعادی فشار با رابطه (۱-۲-۳) نیز مطابق رابطه (۱-۱-۳)، kg/m.s^2 است^۳.

دانستنی (۲)

بر اساس رابطه (۱-۲-۳) می‌توان گفت :

ارتفاع و چگالی سیال هر کدام جداگانه با فشار رابطه مستقیم دارند ولی با هم رابطه عکس پیدا می‌کنند. به همین دلیل است که در فشار سنج‌هایی چون مانومتر^۴ و بارومتر^۵، ترجیح می‌دهند از مایعی چون جیوه استفاده کنند، زیرا به علت چگالی بالا، در مقایسه با مایعی چون آب در فشارهای یکسان ارتفاع کمتری را نشان می‌دهد. این مسئله به صورت زیر قابل اثبات است :

ارتفاع جیوه در یک بارومتر جیوه‌ای، در فشار یک اتمسفر^۶ 76 cm است. ارتفاع آب در همین فشار به شکل

۱- فشار مایعات و گازها هر دو از این رابطه به دست می‌آیند و اگر در مواردی از فشار ستون گازی صرف نظر می‌شود به علت چگالی بسیار کم آنهاست.

۲- شرط دمای ثابت از این جهت مطرح شده که چگالی تابع دماست.

۳- اثبات آن در کتاب درسی صفحه ۱۵ آمده است.

۴- مانومتر : فشار سنجی است که می‌تواند اختلاف فشار دو سیال را بر حسب ارتفاع مایع درونش اندازه‌گیری کند.

۵- بارومتر : فشار سنجی است که فقط فشار هوا را اندازه می‌گیرد.

۶- فشار اتمسفر در سطح دریا، معادل 76° میلی‌متر جیوه است.

زیر محاسبه می‌شود :

$$P_{Hg} = P_{H_2O} \Rightarrow \rho_{Hg} h_{Hg} = \rho_{H_2O} h_{H_2O} \Rightarrow h_{H_2O} = \frac{\rho_{Hg} h_{Hg}}{\rho_{H_2O}}$$

با علم به اینکه :

$$\rho_{Hg} = 13.6 \text{ gr/cm}^3, \quad \rho_{H_2O} = 1 \text{ gr/cm}^3 \Rightarrow h_{H_2O} = \frac{13.6 \text{ gr/cm}^3 \times 0.76 \text{ m}}{1 \text{ gr/cm}^3} = 10.336 \text{ m}$$

مشاهده می‌شود که چون چگالی جیوه 13.6 برابر چگالی آب است، ارتفاع آب نیز 13.6 برابر ارتفاع جیوه است. بنابراین، ساخت چنین بارومتري از نظر ایمنی بسیار مشکل ساز است. گفتنی است محاسبه ارتفاع آب را می‌توان با یک تبدیل واحد نیز انجام داد، به این صورت :

760 mm Hg	$33.9 \text{ ft H}_2\text{O}$	0.3048 m	$= 10.333 \text{ m H}_2\text{O}$
760 mm Hg	1 ft		

ولی هدف، مطرح کردن رابطه چگالی و ارتفاع است.

۳-۳- فشار گازها

ماهیت فشار گازها و مایعات و تفاوت آنها با هم براساس فواصل مولکول‌ها، توضیح داده می‌شود. در یک جمله: «فشار در هر نقطه از یک گاز ساکن، ناشی از تعداد ضرباتی است که مولکول‌های گاز در آن نقطه به واحد سطح اعمال می‌کنند.»

بدآورد می‌شود هر عاملی مانند افزایش دما، کاهش حجم یا افزایش تعداد مولکول‌های گاز، موجب افزایش فشار گاز خواهد شد، زیرا میزان حرکت و تعداد ضربات مولکول‌ها را افزایش می‌دهد.

۳-۴- واحدهای فشار

انواع واحدهای فشار را می‌توان به صورت زیر معرفی نمود :

انواع واحدهای فشار، که در این بخش در قالب یک جدول^۱ بیان شده‌اند، به سه شکل هستند :

- ۱- براساس تعریف کلی فشار، مانند : نیوتن بر متر مربع (پاسکال)، دین بر سانتی متر مربع و پوند نیرو بر اینچ مربع (Psi)
- ۲- براساس ارتفاع یک مایع^۲، مانند : میلی متر جیوه، فوت آب و ...
- ۳- در واحدهایی که براساس شرایط خاصی انتخاب می‌شوند مانند اتمسفر و بار.

تبدیل واحدهای فشار را می‌توان به روش نردبانی انجام داد^۳.

۱- جدول (۱-۳) در صفحه ۱۶ کتاب درسی عملیات دستگاهی

۲- از آنجا که ارتفاع مایع نقش بسیار مهمی در محاسبه فشار دارد، فشار مایعات را برحسب ارتفاع آنها می‌توان بیان کرد، به شرط آن که نام مایع ذکر شود (مثلاً میلی متر جیوه)، زیرا چگالی مایع نیز در ایجاد ارتفاع مؤثر است.

۳- مانند مثال (۱-۳) صفحه ۱۶ کتاب، در اینجا برای تمرین بیشتر تبدیل 200 Psi به واحدهای دیگر انجام شده است.

مثال ۳-۱- فشار ۲۰۰ Psi را به بار و فوت آب و دین بر سانتی متر مربع تبدیل کنید.
حل :

۲۰۰ Psi	$\frac{1/0.1325 \text{ bar}}{14/696 \text{ Psi}} = 13/79 \text{ bar}$	(الف)
--------------------	---	-------

۲۰۰ Psi	$\frac{33/9 \text{ ft H}_2\text{O}}{14/696 \text{ Psi}} = 461/35 \text{ ft H}_2\text{O}$	(ب)
--------------------	--	-----

۲۰۰ Psi	$\frac{1/0.1325 \times 10^6 \text{ dyne/cm}^2}{14/696 \text{ Psi}} = 13/79 \times 10^6 \text{ dyne/cm}^2$	(ج)
--------------------	---	-----

۳-۵- فشار نسبی^۱ و فشار مطلق^۲

در این بخش، موارد زیر تدریس می شود :

– مفهوم فشار نسبی و مطلق

– فشارسنج نسبی و مطلق و تفاوت این دو

– رابطه فشار نسبی و مطلق

درک مفاهیم فشار نسبی و مطلق و چگونگی اندازه گیری آنها بسیار مهم است، ولی به نظر می رسد توضیح کتاب در این زمینه کافی و کامل نیست. لذا توصیه می شود در این خصوص مطالب بیشتری بیان گردد. فشار نیز مانند دما، به دو صورت اندازه گیری می شود :

۱- نسبی ۲- مطلق

بر حسب تعریف، اختلاف فشار دو سیال را فشار نسبی می نامند. یکی از این دو سیال، سیالی است که هدف اندازه گیری فشار آن است و سیال دیگر که به صورت معیار سنجش انتخاب می شود، معمولاً هواست که فشار آن معلوم است^۳.

فشارسنج ها، به طور معمول فشار نسبی را اندازه می گیرند و در این صورت به آنها، «فشارسنج نسبی» می گویند.

در صورتی که معیار سنجش فشار سیال در یک فشارسنج، فشار صفر یا خلأ کامل باشد فشارسنج مستقلاً فشار سیال مورد نظر را اندازه گیری می کند، که به آن «فشار مطلق» می گویند و فشارسنج مربوطه را «فشارسنج مطلق» می نامند.

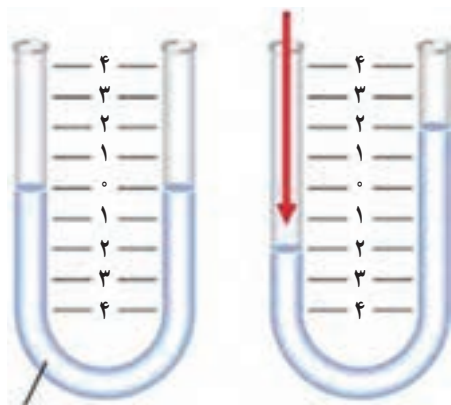
جهت ارائه توضیح کامل تر، مانومتر^۴ به منزله رایج ترین فشارسنج انتخاب می گردد و با ذکر یک مثال نحوه اندازه گیری فشار نسبی و مطلق سیال بیان می شود.

۱- Relative Pressure (P_R)

۲- Absolute Pressure (P_A)

۳- فشار هوا توسط بارومتر اندازه گیری می شود.

۴- مانومتر به هر دو صورت می تواند فشار سیال را اندازه گیری کند.



مایع

شکل ۳-۳

مثال : فشار گاز نیتروژن موجود در یک مخزن را توسط یک مانومتر اندازه‌گیری کنید.

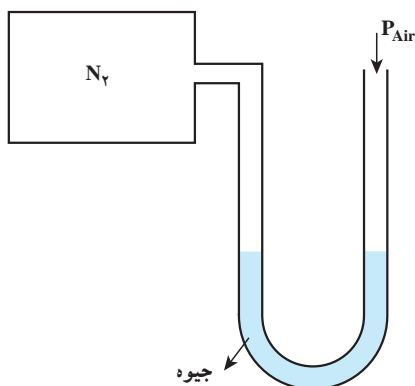
فرض بر این است که هنجریان با عملکرد مانومتر آشنا هستند. همان طوری که در شکل ۳-۳ مشاهده می‌شود اگر فشار در دو شاخه مانومتر یکسان باشد، مایع در مانومتر فاقد حرکت است و در دو شاخه، سطوح یکسان دارد. در غیر این صورت مایع به سمت فشار کمتر حرکت می‌کند و یک اختلاف سطح، ناشی از اختلاف فشار دو سر مانومتر است، برای آن ایجاد می‌شود.

برای اندازه‌گیری فشار گاز نیتروژن، یکی از شاخه‌های مانومتر به مخزن متصل و شاخه دیگر به هوا باز است.^۲ سه حالت ممکن است مشاهده شود :

حالت اول : مایع درون مانومتر (معمولاً جیوه است) حرکت نمی‌کند،

پس نتیجه (مانند شکل ۴-۳) این است :

$$P_{N_2} = P_{Air}$$



جیوه

شکل ۴-۳

حالت دوم : مطابق شکل ۵-۳ جیوه به سمت راست حرکت می‌کند. در

این صورت :

$$P_{N_2} > P_{Air}$$

در این حالت می‌گویند نیتروژن دارای «فشار مثبت» است و مقدار آن

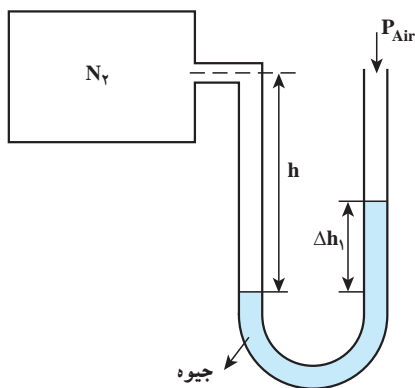
به صورت زیر محاسبه^۲ می‌گردد :

$$P_{N_2} + \gamma_{N_2} h - \gamma_{Hg} \Delta h_1 = P_{Air} \Rightarrow P_{N_2} - P_{Air} = \gamma_{Hg} \Delta h_1 - \gamma_1 h$$

چون مقدار چگالی گازها بسیار کم است از جمله $\gamma_{N_2} h$ می‌توان صرف‌نظر

کرد. پس رابطه به شکل زیر در می‌آید :

$$P_{N_2} - P_{Air} = \gamma_{Hg} \Delta h_1 \quad (۱-۵-۳)$$



جیوه

شکل ۵-۳

۱- هنجریان با فشار سنج‌های مختلفی، از جمله بارومتر و مانومتر در درس «کارگاه عملیات دستگاهی» آشنا شده‌اند.

۲- پس شکل ۴-۳ نمایش فشارسنج نسبی است که اصطلاحاً به آن «مانومتر سرباز» نیز می‌گویند.

۳- این نحوه محاسبه در کتاب «کارگاه عملیات دستگاهی»، بخش مانومتر دیفرانسیلی، آموزش داده می‌شود.

۴- γ نماد وزن مخصوص است و مقدار آن برابر با (ρg) است بر این اساس : $P = \rho gh = \gamma h$ است.

آنچه مانومتر نشان می‌دهد Δh_1 است که طبق رابطه (۵-۵-۱) اختلاف فشار دو سر آن است. پس براساس تعریف، $\gamma_{Hg} \Delta h_1$ مقدار فشار نسبی است که با توجه به بیشتر بودن فشار نیتروژن، می‌توان گفت در این حالت؛ فشار نسبی بیشتر از صفر است. از رابطه (۳-۵-۱) فشار نیتروژن را می‌توان محاسبه کرد:

$$P_{N_2} = P_{Air} + \gamma_{Hg} \Delta h_1 \quad (۳-۵-۲)$$

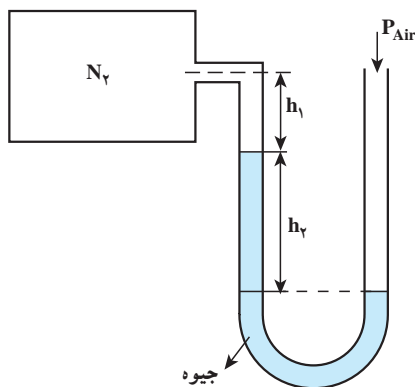
از آنجا که (P_{N_2}) نماد فشار مطلق نیتروژن است، رابطه (۳-۵-۲) را می‌توان به شکل زیر در آورد:

فشار نسبی + فشار هوا = فشار مطلق

$$P_A = P_{Air} + P_R$$

(۳-۵-۳)

حالت سوم: مطابق شکل ۳-۶ جیوه به سمت مخزن نیتروژن کشیده می‌شود،



شکل ۳-۶

$$P_{N_2} < P_{Air}$$

زیرا

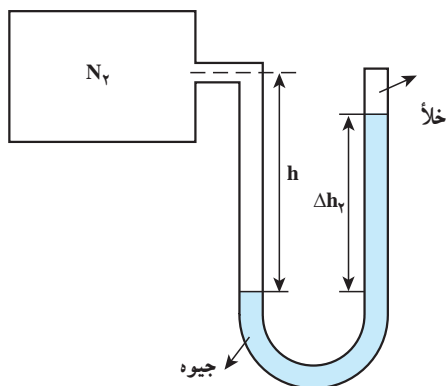
در این حالت می‌گویند نیتروژن دارای «فشار منفی»^۲ است، و مقدار آن با روش محاسبه مشابه حالت قبل، به صورت زیر به دست می‌آید:

$$P_{N_2} = P_{Air} - \gamma_{Hg} h_1 \Rightarrow P_A = P_{Air} + P_R \quad (۴-۵-۳)$$

خلاصه:

در اندازه‌گیری فشار نسبی یک سیال، نقطه صفر در حقیقت فشار هوای محیط اندازه‌گیری است.

با حذف فشار هوا و ایجاد خلأ در آن شاخه، فشارسنج نسبی به فشارسنج مطلق تبدیل می‌شود. در این صورت می‌توان فشار مطلق سیال را اندازه‌گیری کرد. همان‌طور که در شکل ۳-۷ مشاهده می‌شود:



شکل ۳-۷

در فشارسنج مطلق (مانومتر سر بسته) فقط همین حالت رخ می‌دهد، زیرا همیشه فشار سیال از فشار صفر (خلأ کامل)^۳ بیشتر است. در اثر محاسبه به روش مشابه، فشار گاز نیتروژن از رابطه (۳-۵-۵) به دست می‌آید:

$$P_{N_2} = \gamma_{Hg} \Delta h_1 \quad (۵-۵-۳)$$

- Absolute pressure (P_A)

در رابطه (۳-۵-۳):

- Relative Pressure (P_R)

۲- به عبارت دیگر نیتروژن «فشار زیر جو یا خلأ» دارد.

۳- واضح است که ایجاد خلأ کامل روی جیوه امکان ندارد، زیرا در آن فضا بخارات جیوه وجود دارند، ولی به علت فشار بخار کم جیوه، مقدار آنها بسیار کم و قابل اغماض

است و یکی از دلایل عمده برای انتخاب جیوه به منزله بهترین مایع مانومتری، همین است.

مشخص است که آنچه از مانومتر خوانده می‌شود، فشار مطلق سیال است و نیازی به محاسبه نیست. از مقایسه دو شکل ۳-۵ و ۳-۷ نتیجه مهمی حاصل می‌شود که :

$$\Delta h_r > \Delta h_l$$

دلیلش این است که وجود فشار هوا در فشارسنج نسبی مانع از بالا رفتن جیوه، (به اندازه‌ای که در فشارسنج مطلق مشهود است) می‌شود^۱.

خلاصه :

در اندازه‌گیری فشار مطلق یک سیال، نقطه صفر منطبق بر خلأ کامل است. به خاطر داشته باشید در کتاب درسی، برای فشارسنج نسبی فقط حالت دوم نشان داده شده و رابطه (۳-۵) مطرح گردیده است و براساس آن، مثال‌های (۳-۲) و (۳-۳) نیز حل می‌شوند.

فعالیت

از هنرجویان خواسته شود که خودآزمایی را برای جلسه آینده حل نمایند و خود را برای برگزاری امتحان کلاسی (کوئیز) آماده کنند.

دانستنی (۳)

انواع فشارسنج‌ها

اکثر فشارسنج‌هایی که در دانستنی (۳) مورد بررسی قرار می‌گیرند، در کتاب «کارگاه عملیات دستگاهی» معرفی شده‌اند، در این جا برای همکارانی که فقط تدریس کتاب «عملیات دستگاهی» را برعهده دارند، توضیحاتی مختصراً ارائه می‌شود :

به طور کلی فشارسنج‌ها براساس عملکردشان به دو دسته اساسی تقسیم می‌شوند :

۱- فشارسنج‌هایی که فشار را برحسب ارتفاع مایع درونشان، اندازه‌گیری می‌کنند، مانند بارومتر و انواع مانومترها (مانومتر U شکل، مانومتر دیفرانسیلی و پیزومتر).

۲- فشارسنج‌هایی که فشار را براساس تغییر شکل یک ماده الاستیک، اندازه‌گیری می‌کنند، مانند فشارسنج بوردن.

بارومتر^۲ :

فشار اتمسفر محلی را با بارومتر خشک یا بارومتر جیوه‌ای اندازه‌گیری می‌کنند. بارومتر خشک، اختلاف فشار اتمسفر و یک لوله خالی را اندازه می‌گیرد. طرز کار بارومتر خشک شبیه فشارسنج بوردن است، با این تفاوت که در این حالت درون لوله، خلأ کامل ایجاد شود.

بارومتر جیوه‌ای، عبارت از لوله‌ای است که یک طرف آن بسته است (مانند شکل ۳-۹). ابتدا لوله را از جیوه^۳ پر می‌نمایند، سپس آن را وارونه درون یک ظرف جیوه غوطه‌ور می‌کنند (مانند شکل ۳-۸) و به این ترتیب، در قسمت

۱- این مسئله در کارگاه عملیات دستگاهی، در آزمایش «محاسبه فشار ستون سیال توسط مانومتر جیوه‌ای» مشاهده می‌شود.

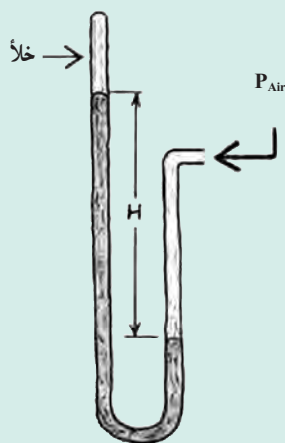
۲- Barometer

۳- به هنرجویان نکات ایمنی مربوط به کار با جیوه تذکر داده شود.

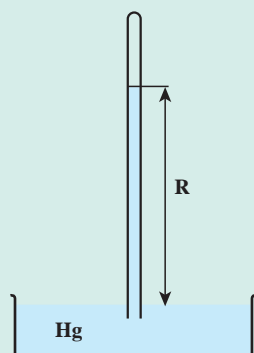
بالای لوله خلأ ایجاد می‌شود و جیوه در لوله پایین می‌آید، به حدی که ارتفاع جیوه در لوله نشان دهنده فشار هوا در آن محیط (R) است.

در سطح دریاهای آزاد در دمای صفر درجه سلسیوس، مقدار R برابر با ۷۶ سانتی‌متر است. فشار بارومتري، با تغییر محل و شرایط آب و هوایی تغییر می‌کند. برای مثال، اگر یک بارومتر را در قلّه کوهی قرار دهند مقدار R از زمانی که در دامنه کوه باشد، کمتر است.

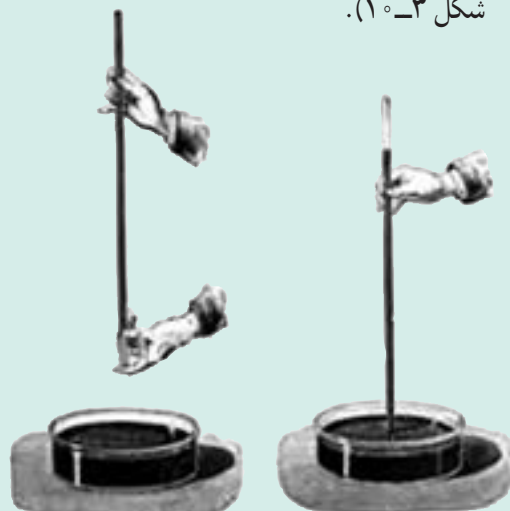
اگر بارومتر در دسترس نباشد، با یک مانومتر سر بسته نیز می‌توان فشار اتمسفری را اندازه‌گیری کرد (مانند شکل ۳-۱۰).



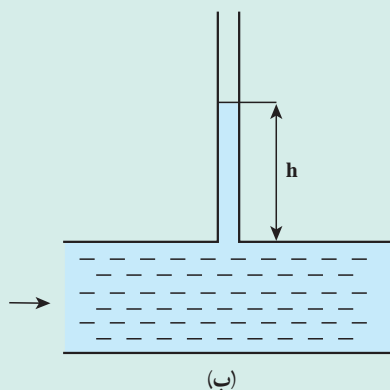
شکل ۳-۱۰



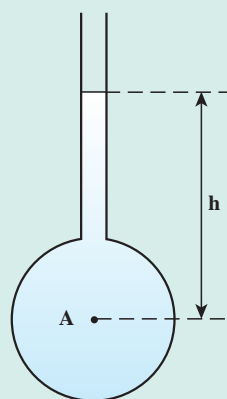
شکل ۳-۹- بارومتر جیوه‌ای



شکل ۳-۸- تهیه بارومتر جیوه‌ای



(ب)



(الف)

شکل ۳-۱۱- چگونگی نصب پیزومتر

پیزومتر^۱: ساده‌ترین مانومتر، پیزومتر است. این لوله شیشه‌ای به‌طور قائم به فضای داخل یک مخزن یا در مسیر جریان یک مایع^۲ نصب می‌شود همان طوری که به ترتیب در شکل‌های ۳-۱۱ الف و ۳-۱۱ ب مشاهده می‌شود. مایع متناسب با فشارش، در لوله پیزومتر صعود می‌کند تا اینکه تعادل برقرار شود. آن‌گاه برای تعیین فشار در هر نقطه کافی است فاصله

قائم آن نقطه تا سطح مایع درون لوله، قرائت شود. این فاصله معرّف فشار برحسب طول ستون مایع داخل مخزن یا کانال است. برای مثال، اگر مایع، آب و $h = ۱۲\text{ cm}$ باشد در این صورت فشار H_2O ۱۲ cm اعلام می‌شود.

^۱ Piezometer

^۲ پیزومتر فقط برای اندازه‌گیری فشار نسبی مایعات کاربرد دارد، به دلیل اینکه سر آن به هوا باز است.

روشن است که پیزومتر برای اندازه‌گیری فشارهای منفی کاربرد ندارد، زیرا در آن صورت هوا از طریق لوله به مخزن جریان خواهد یافت، هم‌چنین اندازه‌گیری فشارهای زیاد نیز با پیزومتر عملی نیست، زیرا مستلزم استفاده از یک لوله قائم بسیار بلند خواهد بود.

جهت کسب اطلاعات بیشتر در مورد انواع پیزومترها به منابع علمی موجود مراجعه نمایید.

فشارسنج بوردن^۱: یکی از رایج‌ترین فشارسنج‌ها برای اندازه‌گیری فشار نسبی سیالات، لوله بوردن است. این فشارسنج دارای یک لوله نازک^۲ فلزی خمیده به شکل C با سطح مقطع بیضی است. انتهای لوله بسته است و با مکانیزم خاصی به یک عقربه متصل شده است. ابتدای آن به سیال مورد نظر متصل می‌شود. سیال ورودی به لوله متناسب با فشارش، خمیدگی لوله را باز می‌کند (زیرا مقطع لوله در اثر فشار از حالت بیضی به دایره میل می‌کند) و عقربه را حرکت می‌دهد تا مقدار فشار را نمایش دهد. در شکل‌های ۱۲-۳ و ۱۳-۳ به ترتیب ساختمان داخلی و نمای خارجی فشارسنج بوردن مشاهده می‌شوند:



شکل ۱۳-۳ - فشارسنج بوردن



شکل ۱۲-۳ - فشارسنج بوردن

شکل ۱۴-۳ یک فشارسنج بوردن دیجیتالی را نشان می‌دهد:

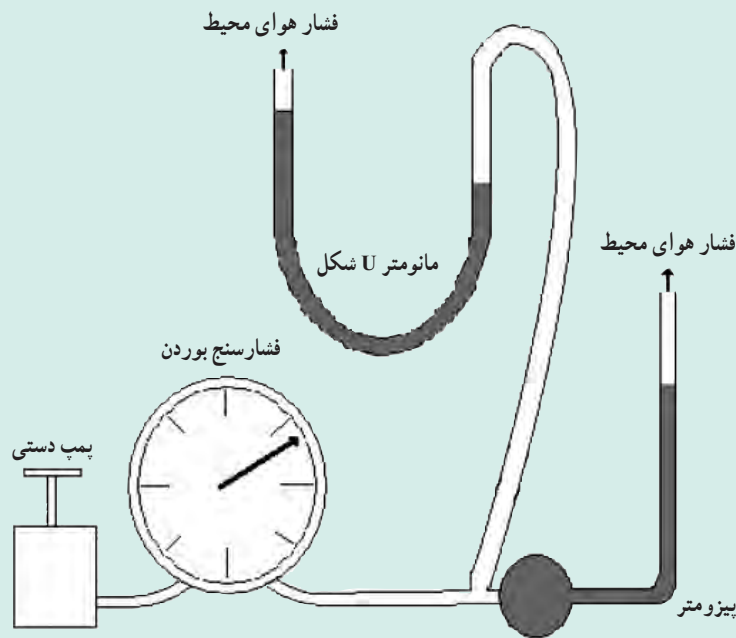


شکل ۱۴-۳ - فشارسنج بوردن دیجیتالی

۱- Bourdon tube gauge

۲- در فشارسنج بوردن، از یک فلز نرم، به عنوان ماده الاستیک (قابل ارتجاع)، استفاده می‌شود. گفتنی است که ماده الاستیک، ماده‌ای است که در اثر فشار تغییر شکل می‌دهد و پس از حذف فشار، به شکل اولیه‌اش برمی‌گردد.

در یک طرح کارگاهی، فشار تولیدی توسط یک پمپ دستی را می‌توان با سه فشارسنج مذکور اندازه‌گیری نمود (شکل ۳-۱۵).



شکل ۳-۱۵

مسائل پیشنهادی

۱- با استفاده از رابطه فشار ستون سیال ($P = \rho gh$)، واحد فشار را در سیستم CGS به دست آورید و ثابت کنید معادل dyne/cm^2 است.

حل: در رابطه مذکور، واحدهای کمیت‌های چگالی و شتاب جاذبه و ارتفاع در سیستم CGS، جایگزین می‌شوند:

$$\text{واحد فشار} = \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \times \frac{\text{cm}}{\text{s}^2} \times \text{cm} = \text{g/cm.s}^2$$

برای اثبات، به دو روش می‌توان عمل کرد:

$$\frac{\text{g}}{\text{cm.s}^2} \times \frac{\text{cm}}{\text{cm}} = \frac{\text{g.cm}}{\text{s}^2.\text{cm}^2} = \frac{\text{dyne}}{\text{cm}^2} \quad (\text{الف})$$

$$\frac{\text{dyne}}{\text{cm}^2} = \frac{\text{g.cm}}{\text{s}^2.\text{cm}^2} = \frac{\text{g}}{\text{cm.s}^2} \quad (\text{ب})$$

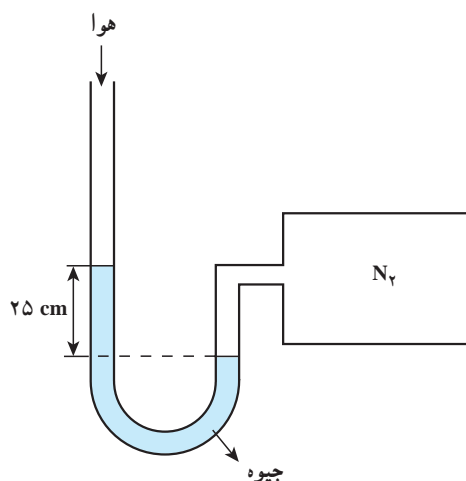
۲- فشار ستونی از آب را در سیستم CGS به ارتفاع 10 cm به دست آورید.

حل: در سیستم مذکور:

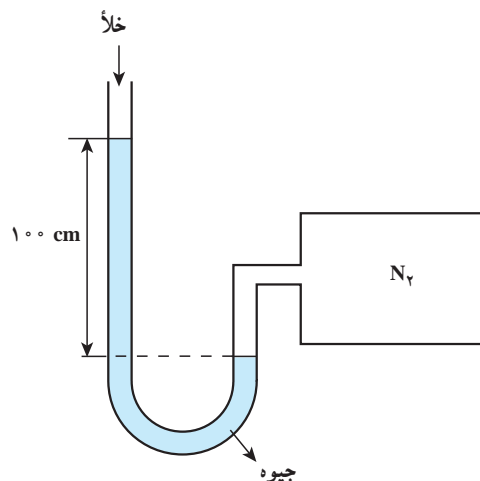
$$g = 980 \text{ cm/s}^2, \quad \rho_{\text{H}_2\text{O}} = 1 \text{ g/cm}^3$$

$$P = \rho gh = 1 \times 980 \times 10 = 9800 \text{ dyne/cm}^2$$

۳- با توجه به شکل ۳-۱۶، فشار هوا را به دست آورید :



شکل ۳-۱۶- ب



شکل ۳-۱۶- الف

حل : شکل (الف) یک فشارسنج مطلق است که توسط آن فشار مطلق گاز نیتروژن (P_A) به دست می آید و شکل (ب) یک فشار سنج نسبی است که فشار نسبی گاز نیتروژن (P_R) را نشان می دهد. با استفاده از رابطه (۳-۵-۳)، فشار هوا محاسبه می گردد :

$$P_A = P_{Air} + P_R \quad \Rightarrow \quad P_{Air} = P_A - P_R$$

$$P_{Air} = 100 - 25 = 75 \text{ cm Hg}$$

۴- تفاوت فشار اتمسفری و فشار اتمسفری استاندارد را بیان کنید.

پاسخ : فشار اتمسفری در هر مکانی، همان فشار هواست که بر حسب ارتفاع از سطح دریا تغییر می کند (با هم نسبت عکس دارند) و فشار اتمسفری استاندارد، فشار هوا در سطح دریاهای آزاد در دمای صفر درجه سلسیوس است که برابر با یک اتمسفر و دارای مقداری ثابت است.

۵- جاهای خالی را پر کنید :

(الف) مقیاس اندازه گیری فشار نسبت به را فشار مطلق می گویند.

(ب) مقیاس اندازه گیری فشار نسبت به فشار محیط را می گویند.

(ج) فشار اتمسفری با تغییر می کند.

(د) واحد فشار در سیستم SI، و در CGS، و در FPS، است.

(ه) در مایعات، فشار ناشی از است.

(و) فشار گازها ناشی از است.

(ز) واحد فشار مطلق و فشار نسبی در سیستم FPS به ترتیب و است.

(ح) اختلاف فشار مطلق و فشار محیط را می گویند.

(ط) ابتدایی ترین مفهوم فشار مایعات مربوط به است.

پاسخ‌ها:

الف) خلاً کامل یا فشار صفر

ج) ارتفاع

هـ) وزن ذرات مایع

ز) Psia و Psig

ط) ستون سیال مایع

ب) فشار نسبی

د) Pa و dyne/cm^2 و Psi

و) ضربات مولکول‌های گاز

ح) فشار نسبی

اندازه‌گیری جریان سیالات

چکیده فصل

در این فصل هنجریان با مفهوم دبی و انواع آن و چگونگی اندازه‌گیری جریان سیالات توسط دستگاه‌های مربوطه آشنا می‌شوند.

دانسته‌های قبلی: هنجریان در هیچ یک از دوران تحصیلی خود، مطالبی در این زمینه نیاموخته‌اند.

اهداف فصل: پس از پایان این فصل، از هنجریان انتظار می‌رود که مفاهیم زیر را آموخته باشند:

- مفهوم «اندازه‌گیری جریان سیالات»
- دبی و انواع آن (دبی جرمی و حجمی)
- واحدهای دبی در سیستم‌های مختلف
- رابطه ریاضی جهت محاسبه دبی جرمی و حجمی
- عوامل تعیین کننده در انتخاب روش‌های اندازه‌گیری جریان سیالات
- روش‌های اندازه‌گیری جریان سیالات
- شرح دستگاه‌های اندازه‌گیری جریان سیالات

برنامه زمان بندی تدریس فصل چهارم

صفحه	موضوعات	هفته
۲۰-۲۱ و ۲۴	مفاهیم دبی، دبی جرمی، دبی حجمی و واحدهای مربوطه، روابط فیزیکی جهت محاسبه دبی‌ها و روش‌های اندازه‌گیری جریان سیالات	۸
۲۱-۲۴	شرح انواع دستگاه‌های اندازه‌گیری جریان سیالات	۹

برنامه زمان بندی هفته هشتم			دقیقه
۱	آماده کردن کلاس (احوالپرسی، حضور و غیاب)	۵	
۲	رفع اشکال	۱۰	
۳	حل خودآزمایی	۳۰	
۴	برگزاری آزمون فصل سوم	۱۰	
۵	تدریس	۷۰	
۶	استراحت میان تدریس (دو نوبت)	۱۰	

حل مسائل خودآزمایی

۱- با توجه به روابط (۱-۱-۳) و (۱-۲-۳) معادل واحد نیوتن را به دست آورید.

حل: رابطه های مذکور نوشته می شود:

$$\text{واحد فشار} = \frac{N}{m^2} = Pa \quad (1-1-3)$$

$$\text{واحد فشار} = \frac{kg}{m.s^2} = Pa \quad (1-2-3)$$

چون طرف راست دو رابطه بالا یکسان است پس طرف چپ آنها نیز برابر است. بنابراین:

$$\frac{N}{m^2} = \frac{kg}{m.s^2}$$

از این تساوی N (معادل نیوتن) به دست می آید:

$$N = \frac{kg.m^2}{m.s^2} \Rightarrow N = kg.\frac{m}{s^2}$$

۲- فشار 1000 in Hg را به واحدهای زیر تبدیل کنید.

حل: با استفاده از جدول تبدیل واحدهای فشار در صفحه ۱۶ کتاب و روش نردبانی از مورد (الف) تا (و) حل

می شود، به صورت زیر:

Psia (الف)

$$1000 \text{ in Hg} = \frac{1000 \text{ in Hg}}{29.921 \text{ in Hg}} \times \frac{14.696 \text{ Psia}}{1} = 491.16 \text{ Psia}$$

ب) KPa

$$1000 \text{ in Hg} = \frac{1000 \cancel{\text{ in Hg}}}{29.921 \cancel{\text{ in Hg}}} \times \frac{101325 \cancel{\text{ Pa}}}{10^3 \cancel{\text{ Pa}}} = 3386.4 \text{ KPa}$$

ج) atm

$$1000 \text{ in Hg} = \frac{1000 \cancel{\text{ in Hg}}}{29.921 \cancel{\text{ in Hg}}} = 33.42 \text{ atm}$$

د) ft H₂O

$$1000 \text{ in Hg} = \frac{1000 \cancel{\text{ in Hg}}}{29.921 \cancel{\text{ in Hg}}} \times \frac{33.9 \text{ ft H}_2\text{O}}{1} = 1132.98 \text{ ft H}_2\text{O}$$

ه) cm Hg

می‌توان از جدول طول در صفحه (۶) کتاب درسی استفاده کرد؛

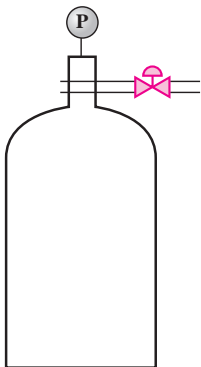
$$1000 \text{ in Hg} = \frac{1000 \cancel{\text{ in Hg}}}{39.37 \cancel{\text{ in}}} \times \frac{1 \cancel{\text{ m}}}{100 \text{ cm}} = 2540.0 \text{ cm Hg}$$

یا می‌توان از جدول فشار در صفحه (۱۶) کتاب درسی استفاده کرد؛

$$1000 \text{ in Hg} = \frac{1000 \cancel{\text{ in Hg}}}{29.921 \cancel{\text{ in Hg}}} \times \frac{760 \cancel{\text{ mm Hg}}}{10 \cancel{\text{ mm}}} = 2540.0 \text{ cm Hg}$$

و) bar

$$1000 \text{ in Hg} = \frac{1000 \cancel{\text{ in Hg}}}{29.921 \cancel{\text{ in Hg}}} \times \frac{101325 \text{ bar}}{10^5} = 33.86 \text{ bar}$$



۳- فشار مخزن مقابل توسط فشارسنج اندازه‌گیری و مقدار آن ۲۰۰ KPa گزارش شده است. فشار مطلق را برای گاز مذکور در واحد Psia به‌دست آورید.

حل: فشاری که توسط فشارسنج اندازه‌گیری شده، فشارنسبی است، پس:

$$P_R = 200 \text{ kPa}$$

چون مقدار فشار هوا در صورت مسئله قید نشده است، آن را یک اتمسفر فرض می‌کنیم و معادل آن، از جدول (۱-۳) صفحه (۱۶) کتاب درسی، برحسب واحد مورد نیاز استفاده می‌شود، یعنی :

$$P_{\text{air}} = 14/696 \text{ Psia}$$

$$P_A = P_{\text{air}} + P_R$$

جهت استفاده از این رابطه، ابتدا فشار نسبی برحسب Psig به دست می‌آید :

$$P_R = \frac{200 \text{ KPa} \quad | \quad 10^3 \text{ Pa} \quad | \quad 14/696 \text{ Psig}}{1 \text{ KPa} \quad | \quad 101325 \text{ Pa}} = 29/01 \text{ Psig}$$

$$P_A = 14/696 \text{ Psig} + 29/01 \text{ Psig} = 43/706 \text{ Psig}$$

۴- فشار مطلق یک برج ۳۲ in Hg است. اگر فشارسنج، فشار ۳/۷ in Hg را نمایش دهد فشار اتمسفری محیط را برحسب KPa، atm، mmHg به دست آورید.

حل :

$$P_A = P_{\text{Air}} + P_R \Rightarrow P_{\text{Air}} = P_A - P_R$$

$$P_{\text{Air}} = 32 \text{ in Hg} - 3/7 \text{ in Hg} = 28/3 \text{ in Hg}$$

با استفاده از جدول (۱-۳) کتاب درسی؛

$$1 \text{ atm} = 760 \text{ mmHg} = 29/921 \text{ inHg} = 101325 \text{ Pa}$$

$$P_{\text{Air}} = \frac{28/3 \text{ in Hg} \quad | \quad 760 \text{ mmHg}}{29/921 \text{ in Hg}} = 718/83 \text{ mmHg}$$

$$P_{\text{Air}} = \frac{28/3 \text{ in Hg} \quad | \quad 1 \text{ atm}}{29/921 \text{ in Hg}} = 0/946 \text{ atm}$$

$$P_{\text{Air}} = \frac{28/3 \text{ in Hg} \quad | \quad 101325 \text{ Pa} \quad | \quad 1 \text{ KPa}}{29/921 \text{ in Hg} \quad | \quad 10^3 \text{ Pa}} = 95/84 \text{ KPa}$$

یک نمونه آزمون فصل (۳)

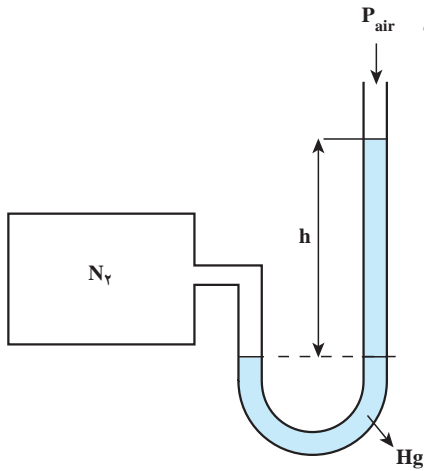
۱- فشار ستونی از یک مایع به چگالی $0/8 \text{ g/cm}^3$ و ارتفاع 1 m و شتاب 1000 cm/s^2 چند پاسکال است؟ (۲/۲۵)

۲- جاهای خالی را پر کنید :

الف) فشار مایعات به علت ناشی از وزن مولکول‌های مایع است. (۰/۲۵)

ب) ارتفاع جیوه در فشارسنج مطلق از ارتفاع جیوه در فشارسنج نسبی است. (۰/۲۵)

۳- دستگاه زیر چه نام دارد؟ کاربرد آن چیست؟ مقدار h را بایک رابطه به دست آورید. (۵/۰)



۴- اگر فشار گازی $30/7 \text{ Psia}$ باشد در صورتی که فشار هوا $14/7 \text{ Psia}$ باشد فشار نسبی را به دست آورید. (۱)
 ۵- طبق قرار داد، فشار جو در سطح دریا چقدر است؟ هر چه از سطح دریا بالاتر برویم، فشار جو چه تغییری می کند؟ (۵/۰)

(جمعاً ۵ نمره)

پاسخ سؤالات آزمون

۱- پاسکال واحد فشار در سیستم SI است. پس همه کمیت ها باید به این سیستم انتقال داده شوند :

$$\rho = \frac{1 \text{ Kg}}{1000 \text{ cm}^3} = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \quad \left(\frac{0}{25} \right)$$

$$g = \frac{1000 \text{ cm}}{1 \text{ s}^2} = 1000 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \quad \left(\frac{0}{25} \right)$$

$$P = \rho g h = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 1000 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \times 1 \text{ m} = 1000000 \frac{\text{kg}}{\text{m.s}^2} (= \text{Pa}) \quad \left(\frac{0}{25} \right)$$

۲- الف) فاصله کم بین مولکول ها (۲۵/۰) ب) بیشتر (۲۵/۰)

۳- فشار نسبی (۲۵/۰) اندازه گیری فشار نسبی گاز نیتروژن (۲۵/۰)

$$\rho_{\text{Hg}} g h = P_{\text{N}_2} - P_{\text{air}} \quad \left(\frac{0}{25} \right)$$

۴-

$$P_A = P_{\text{Air}} + P_R \Rightarrow P_R = P_A - P_{\text{Air}} \quad \left(\frac{0}{25} \right)$$

$$P_R = 30/7 \text{ Psia} - 14/7 \text{ Psia} \quad \left(\frac{0}{25} \right) = 16 - \text{Psia} \quad \left(\frac{0}{25} \right)$$

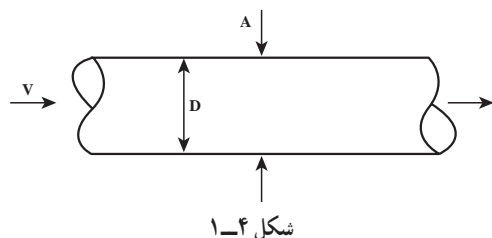
۵- اتمسفر (۲۵/۰)

۶- یک اتمسفر (۲۵/۰) کمتر می شود (۲۵/۰)

۱-۴- تعریف دبی^۱

راهنمای تدریس

توصیه می‌شود ابتدا هدف از «اندازه‌گیری جریان سیالات» و اهمیت و ضرورت آن مختصراً توضیح داده شود. مثال زیر می‌تواند به روشن شدن مطلب کمک کند:



سیالی با چگالی (ρ) از یک لوله به قطر (D)، با سرعت (V) می‌گذرد. محاسبه کنید در واحد زمان، چه مقدار از این سیال از مقطع (A) جابه‌جا می‌شود؟

کمیت مذکور، دبی یا شدت جریان سیال نام دارد و می‌توان آن را مطابق متن کتاب تعریف نمود. مقدار سیال را می‌توان برحسب جرم یا حجم آن، اندازه‌گیری کرد. بر این اساس، دبی جرمی^۲ و دبی حجمی^۳ تعریف می‌شود.

۲-۴- دبی حجمی (Q)

تعریف دبی حجمی با عبارتی دیگر:

«جرم سیال جابه‌جا شده در واحد زمان»، که براساس این تعریف، با رابطه (۱-۲-۴) محاسبه می‌شود:

(۱-۲-۴)

$$Q = \frac{V}{t}$$

۳-۴- دبی جرمی (m°)

به طریق مشابه، دبی جرمی این گونه تعریف می‌شود:

«جرم سیال جابه‌جا شده در واحد زمان»

(۱-۳-۴)

$$m^\circ = \frac{m}{t}$$

حال می‌توان در خصوص «اهمیت و ضرورت اندازه‌گیری دبی سیالات» در زندگی روزمره و صنعت، اطلاعاتی را به هنرجویان ارائه داد^۴.

۱- flow rate

۲- Volumetric flow rate

۳- Mass flow rate

۴- نمونه این اطلاعات در بخش مقدمه فصل چهارم کتاب کارگاه عملیات دستگاهی، وجود دارد.

دانستنی (۱)^۱

اهمیت و ضرورت اندازه‌گیری جریان سیالات :

- دبی از جمله متغیرهایی است که به دلایل زیر در صنایع به وفور اندازه‌گیری می‌شود :
- دبی مهم‌ترین کمیت قابل تغییر، جهت کنترل کمیت‌های دیگر است.
- یکی از پارامترهای مهم در ارزیابی کارایی یک فرآیند، ظرفیت است که توسط دبی، محاسبه می‌شود.
- کیفیت انجام بسیاری از واکنش‌های شیمیایی در مقیاس صنعتی، در گرو اندازه‌گیری صحیح دبی سیالاتی است که در آن واکنش دخالت دارند.
- برای مثال در واکنش احتراق سوخت در کوره‌ها یا اتومبیل‌ها، هر تغییری در میزان دبی اکسیژن یا سوخت به سوخت ناقص و تولید گاز منواکسید کربن منجر می‌شود یا بازده عمل کاهش می‌یابد.
- اندازه‌گیری دبی را می‌توان مستقیماً با مسائل اقتصادی و در نتیجه با سود و زیان مراکز مربوطه، مرتبط دانست. در این خصوص می‌توان از فروش بنزین، محاسبه میزان آب یا گاز مصرفی، فروش نفت و گاز طبیعی نام برد که چگونه یک خطای کوچک در اندازه‌گیری دبی بر اقتصاد خانواده و جامعه اثر می‌گذارد.
- اندازه‌گیری دبی در حیطه پزشکی نیز از اهمیت بالایی برخوردار است. برای مثال، می‌توان از اندازه‌گیری میزان سرم ورودی به بدن بیمار یا اکسیژن مصرفی توسط فرد نیازمند نام برد.

۴-۴- واحدهای دبی حجمی و جرمی

واحدهای دبی حجمی و جرمی براساس روابط آنها محاسبه می‌شوند^۲، یعنی :

$$\text{واحد جرم} = \frac{\text{واحد دبی جرم}}{\text{واحد زمان}} \quad \text{واحد حجم} = \frac{\text{واحد دبی حجمی}}{\text{واحد زمان}}$$

فعالیت

حال از هنرجویان خواسته شود، واحدهای این دو کمیت را در سه سیستم اندازه‌گیری، در جدولی مانند جدول

(۱-۴) بنویسند.

جدول ۱-۴

کمیت	SI	CGS	FPS
دبی حجمی	m ^۳ /s	cm ^۳ /s	ft ^۳ /s
دبی جرمی	kg/s	gr/s	lbm/s

۱- دانستنی (۱) برگرفته از کتاب «وسایل اندازه‌گیری و کنترل در فرآیندهای شیمیایی، متالورژی و معدنی» اثر و.ر.راداکیشنان ترجمه دکتر جمشید بهدین است.

۲- در فصل اول گفته شد؛ واحدهای کمیت‌های فرعی با استفاده از کمیت‌های اصلی و روابط محاسبه می‌شوند.

دانستنی (۲)

انتخاب و استفاده از واحدهای مختلف دبی حجمی، به نوع سیال بستگی دارد. برای مثال، جهت اندازه‌گیری دبی نفت و آب شور استخراجی از چاه‌های نفت از واحد؛

BPD : Barrel Per Day

بشکه در روز

و جهت اندازه‌گیری دبی گاز طبیعی از واحد؛

MMSCFPD : Million Standard Cubic Feet Per Day

میلیون فوت مکعب استاندارد در روز استفاده می‌شود.

یکی دیگر از واحدهای رایج دبی حجمی برای مایعات، لیتر بر ساعت (L/hr) است.

رابطه دبی حجمی و جرمی با یکدیگر : این رابطه در حل مسائل مربوط به دبی، کاربرد دارد. برای به‌دست آوردن این رابطه، می‌توان مطابق متن کتاب، از چگالی سیال استفاده کرد^۱ تا رابطه (۱-۴-۴) محاسبه گردد :

$$\dot{m} = \rho Q \quad (1-4-4)$$

دانستنی (۳)

روشی دیگر جهت محاسبه رابطه دبی حجمی و جرمی یک سیال :

از مزایای این روش، این است که در آن روابط مستقل دیگری مبتنی بر سرعت سیال^۲، جهت محاسبه دبی حجمی و جرمی به‌دست می‌آید.

در این روش اثر عوامل سرعت، سطح مقطع عبوری و چگالی سیال بر دبی مورد بررسی قرار می‌گیرد. این عوامل با جرم سیال عبوری از لوله در واحد زمان نسبت مستقیم دارد، بنابراین دبی جرمی از رابطه (۲-۴-۴) به‌دست می‌آید :

$$\dot{m} = \rho VA \quad (2-4-4)$$

برای دبی حجمی نیز، می‌توان رابطه‌ای مشابه به‌دست آورد، به طریق زیر :

واحد دبی جرمی براساس رابطه (۲-۴-۴) در سیستم SI، عبارت است از :

$$\dot{m} \text{ واحد} = \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times \frac{\text{m}}{\text{s}} \times \text{m}^2 = \frac{\text{kg}}{\text{s}} \quad (3-4-4)$$

با توجه به رابطه (۳-۴-۴)، مشاهده می‌شود که با حذف واحد چگالی، واحد حجم بر زمان که همان دبی حجمی است، به‌دست می‌آید $\left(\frac{\text{m}^3}{\text{s}}\right)$ و این واحد از حاصل ضرب واحدهای سرعت و سطح مقطع حاصل شده است، به‌صورت زیر :

$$Q = VA \quad (4-4-4)$$

با جایگزین کردن رابطه (۴-۴-۴) در (۲-۴-۴) رابطه مورد نظر به‌دست می‌آید :

$$\dot{m} = \rho Q$$

۱- یا می‌توان از روشی دیگر، برای به‌دست آوردن این رابطه بهره گرفت که در دانستنی (۳) بیان شده است.

۲- بخش (۶-۴) در همین رابطه است که با استفاده از سرعت سیال، دبی آن اندازه‌گیری شود.

۴-۵- روش‌های اندازه‌گیری جریان سیالات

قبل از بیان روش‌های متعددی که برای اندازه‌گیری جریان سیالات کاربرد دارند، بهتر است در مورد عوامل مؤثر بر انتخاب آنها سخنی به میان آید. در متن کتاب به چهار عامل اشاره شده است که در این بخش از عوامل دیگری نیز نام برده می‌شود. به طور کلی عوامل تعیین‌کننده روش عبارت‌اند از:

نوع سیال، دما، فشار بخار یا نقطه جوش، فشار، چگالی، هزینه، دقت اندازه‌گیری، میزان افت فشار دائم تولیدی برای سیال، نوع جریان سیال، ویسکوزیته، میزان خوردگی سیال، ...

در مورد هر یک از این عوامل می‌توان اطلاعات مختصری را در اختیار هنرجویان قرار داد. برای مثال، برحسب اینکه فشار بخار سیال چقدر باشد (میزان فراریت) روش انتخابی برای اندازه‌گیری دبی آن تفاوت می‌کند.

در این بخش، سه روش اساسی برای اندازه‌گیری جریان سیالات ذکر شده است که می‌توان آنها را براساس نحوه اندازه‌گیری و محاسبه دبی به صورت زیر تقسیم بندی نمود:

۱- روش مستقیم ← روش جابه‌جایی مثبت یا پیمانه‌ای

۲- روش غیر مستقیم ← $\left. \begin{array}{l} \text{روش انسداد جریان} \\ \text{روش اثرات مقاومت سیال} \end{array} \right\}$

در مورد این دو روش، مختصراً توضیح داده می‌شود:

در روش مستقیم، اندازه‌گیری دبی سیال با استفاده از تعریف^۱ دبی حجمی و جرمی انجام می‌شود. در حالی که در روش غیرمستقیم، اندازه‌گیری دبی مستقیماً انجام نمی‌شود بلکه کمیتی چون فشار که با دبی رابطه مستقیم دارد، اندازه‌گیری می‌شود و سپس دبی از طریق روابط ریاضی^۲ میان فشار و دبی محاسبه می‌گردد.

فعالیت

از هنرجویان خواسته شود که سوالات (۱ و ۲ و ۳ و ۶) خودآزمایی فصل را برای جلسه آینده حل کنند. ضمناً ممکن است مسائلی نیز به عنوان تکلیف برای آنها تعیین شود، مانند زیر:

مسائل پیشنهادی^۳ از کاربرد دبی:

- ۱- مخزنی به حجم 20° لیتر در 25 ثانیه پر می‌شود. دبی آب ورودی را به دست آورید.
 - ۲- مخزنی به حجم 30° لیتری با دبی 2 Lit/s پر می‌شود. زمان پر شدن مخزن را به دست آورید.
 - ۳- مخزنی در مدت 15 ثانیه با دبی 5 Lit/s پر می‌شود. حجم مخزن چقدر بوده است؟
- حل مسائل پیشنهادی (کاربرد دبی): توسط هنر جویان

$$V = 20 \text{ Lit} \quad , \quad t = 25 \text{ s} \quad Q = ? \quad \text{—۱—}$$

۱- تعاریف بخش‌های (۲-۴) و (۳-۴) کتاب عملیات دستگاهی

۲- نمونه‌هایی از این روابط در فصل چهارم کارگاه عملیات دستگاهی وجود دارد که همگی از «رابطه برنولی» به دست آمده‌اند.

۳- هر سه مسئله با استفاده از رابطه $Q = \frac{V}{t}$ حل می‌شوند.

$$Q = \frac{V}{t} \Rightarrow Q = \frac{3^\circ}{25} = 0.12 \text{ Lit/s}$$

$$V = 3^\circ \text{ Lit} \quad , \quad Q = 2 \text{ Lit/s} \quad t = ?$$

—2

$$Q = \frac{V}{t} \Rightarrow t = \frac{V}{Q} = \frac{3^\circ}{2} = 1.5 \text{ s}$$

$$t = 1.5 \text{ s} \quad Q = 0.5 \text{ Lit/s} \quad V = ?$$

—3

$$Q = \frac{V}{t} \Rightarrow V = Q.t = 0.5 \times 1.5 = 0.75 \text{ Lit}$$

برنامه زمان بندی هفته نهم			دقیقه
۱	آماده کردن کلاس (احوالپرسی، حضور و غیاب)	۵	
۲	رفع اشکال	۱۰	
۳	آزمون کلی سه فصل	۴۰	
۴	حل خود آزمایی	۱۰	
۵	تدریس	۶۰	
۶	استراحت میان تدریس (دو نوبت)	۱۰	

برگزاری آزمون یادآوری

برای یادآوری و یادگیری مطالب فصول گذشته، طبق برنامه، آزمونی بیست نمره‌ای برگزار می‌شود. (نمونه‌ای از این آزمون).

ارزشیابی از فصول ۱ و ۲ و ۳

زمان: ۴۰ دقیقه

۱- واحدهای زیر مربوط به کدام کمیت هستند؟ سیستم و نوع واحد را نیز مشخص کنید. (۴/۵)

الف) مگاوات (M Watt)

ب) lbm/ft^3

ج) کیلومتر

۲- به موارد زیر پاسخ دهید: (۱)

الف) واحد فشار در SI :

ب) واحد انرژی حرارتی در FPS :

ج) واحد نیرو در CGS :

د) واحد گرانش در CGS :

۳- تبدیل واحد زیر را انجام دهید: (۱/۷۵)

$$\frac{2 \cdot \text{kg}}{\text{cm} \cdot \text{s}^2} = ? \frac{\text{lbm}}{\text{ft} \cdot \text{min}^2} \quad (\text{1 kg} = 2.2 \text{ lbm} , \text{1 ft} = 0.3 \text{ m})$$

۴- صفر مطلق را تعریف کنید و مقدار آن را در چهار مقیاس اندازه‌گیری دما بنویسید. (۱/۵)

۵- فاصله دمای بین دو دمای 7°C و 9°C را برحسب سلسیوس و فارنهایت به دست آورید و رابطه بین آنها

را مشخص کنید. (۱/۷۵)

۶- محدوده استفاده از ترمومترهای مایعی را بنویسید. (۰/۷۵)

۷- نقاط مرجع در مقیاس فارنهایت چه بود؟ و در چه محیط‌هایی به‌دست آمد؟ (۱/۵)

۸- فشار مطلق و فشار نسبی را تعریف کنید. (۲)

۹- اگر اختلاف سطح جیوه در یک فشارسنج نسبی ۴۰ cm خوانده شود، با توجه به این‌که چگالی جیوه 13.6 gr/cm^3 است، فشار نسبی و فشار مطلق سیال را در سیستم CGS به‌دست آورید. (۲)

$$(P_{\text{Air}} = 1 \text{ atm} = 76 \text{ cmHg} = 1.01325 \times 10^6 \text{ dyne/cm}^2)$$

۱۰- اگر بخواهیم فشار مطلق یک گاز را مستقیماً از یک مانومتر بخوانیم، از چه نوع مانومتری استفاده می‌کنیم. شکل آن را رسم کنید و مقدار آن را، با توجه به شکل، به‌دست آورید. (۱/۷۵)

۱۱- جاهای خالی را پر کنید: (۳)

الف) جرم کمیتی و جرم مخصوص کمیتی است.

ب) lbf واحدی است و مقدار آن عبارت است از:

ج) نانومتر یعنی متر.

د) هر سال نوری معادل کیلومتر است.

هـ) فاصله درجات در مقیاس سلسیوس از فاصله درجات در مقیاس فارنهایت است. بنابراین در

یک فاصله مشخص تعداد درجات نسبت به مقیاس فارنهایت در آن می‌گنجد.

و) ترمومتر الکلی برای محدوده دماهای کاربرد دارد.

ز) برای فشار نسبی نقطه صفر در حقیقت فشار است.

ح) واحد فشار مطلق در سیستم FPS ، است. (جمعاً ۲۰ نمره)

پاسخ ارزش‌یابی از فصول ۱ و ۲ و ۳

۱- الف) توان (۰/۲۵) SI – (۰/۲۵) – مشتق شده (۰/۲۵)

ب) چگالی (۰/۲۵) FPS – (۰/۲۵) – مشتق شده (۰/۲۵)

ج) طول (۰/۲۵) SI – (۰/۲۵) – مضرب (۰/۲۵)

۲- الف) پاسکال (Pa) (۰/۲۵) – ب) بی‌تی‌یو (BTU) (۰/۲۵)

ج) دین بر سانتی‌متر مربع (dyne/cm²) (۰/۲۵)

د) پوینز (gr/cm.s) (۰/۲۵)

۳-

$\frac{20 \text{ kg}}{\text{cm.s}} = \frac{20 \cancel{\text{ kg}}}{\cancel{\text{cm}}.\cancel{\text{s}}}$	$2/2 \text{ Lbm}$	$100 \cancel{\text{ cm}}$	$0/3 \cancel{\text{ m}}$	$(60)^2 \cancel{\text{ s}}$
$\frac{20 \cancel{\text{ kg}}}{\cancel{\text{cm}}.\cancel{\text{s}}}$	$1 \cancel{\text{ kg}}_{(0/25)}$	$1 \cancel{\text{ m}}_{(0/25)}$	$1 \text{ ft}_{(0/25)}$	$1^2 \text{ min}^2_{(0/5)}$

$$= 20 \times 2 / 2 \times 100 \times 60^2 \times 0/3 = 4752 \times 10^3_{(0/25)} \text{ lbm/ft.min}^2_{(0/25)}$$

۴- صفر مطلق : پایین ترین دمایی که در آن جنبش مولکول ها به صفر می رسد و رسیدن به آن بسیار سخت و فرضی است. (°/۵)

$$-273^{\circ}\text{C} \quad (^\circ/25) = {}^{\circ}\text{K} \quad (^\circ/25) = -460^{\circ}\text{F} \quad (^\circ/25) = {}^{\circ}\text{R} \quad (^\circ/25)$$

۵-

$$\Delta T_C = 90 - 70 = 20^{\circ}\text{C} \quad (^\circ/25)$$

$$T_F = 1/8 T_C + 32 \quad (^\circ/25)$$

$$T_1 = (1/8 \times 70) + 32 = 158^{\circ}\text{F} \quad (^\circ/25)$$

$$T_2 = (1/8 \times 90) + 32 = 194^{\circ}\text{F} \quad (^\circ/25)$$

$$\Delta T_F = 194 - 158 = 36^{\circ}\text{F} \quad (^\circ/25)$$

$$\frac{\Delta T_F}{\Delta T_C} = \frac{36}{20} = 1/8 \quad (^\circ/5)$$

یعنی تعداد درجات در مقیاس فارنهایت ۱/۸ برابر مقیاس سلسیوس است.

۶- بین نقطه انجماد و نقطه جوش مایع درون ترمومتر (°/۷۵)

۷- صفر فارنهایت (°/۲۵)، در محیطی از مخلوط یخ و کلرید آمونیم (°/۵) به دست آمد و بالاترین نقطه آن در جیوه در حال جوش (°/۵) (عدد ۶۸°/۲۵) درجه فارنهایت انتخاب شد (دمای جوشش جیوه)

۸- فشار مطلق : مقیاس اندازه گیری فشار نسبت به خلأ کامل یا فشار صفر است. (۱)

فشار نسبی : مقیاس اندازه گیری فشار نسبت به فشار محیط و هم چنین اختلاف فشار مطلق و فشار محیط است. (۱)

۹-

$$h = 4^{\circ}\text{cm}$$

$$P_{\text{Air}} = 1 \text{ atm} = 76 \text{ cm Hg}$$

این مسئله را می توان در سیستم CGS، بر حسب دو واحد cm Hg یا (dyne/cm²)، به دست آورد :
الف) بر حسب cmHg؛ آنچه از فشار سنج خوانده می شود فشار نسبی است، پس $P_R = 4^{\circ}\text{cmHg}$ و بنابراین :

$$P_R = 4^{\circ}\text{cmHg} \quad (1)$$

$$P_A = P_{\text{Air}} + P_R \Rightarrow P_A = 76 \text{ cmHg} + 4^{\circ}\text{cmHg} = 80 \text{ cmHg} \quad (1)$$

ب) بر حسب dyne/cm² : در این صورت فشار نسبی به صورت فشار ستون جیوه به دست می آید، یعنی :

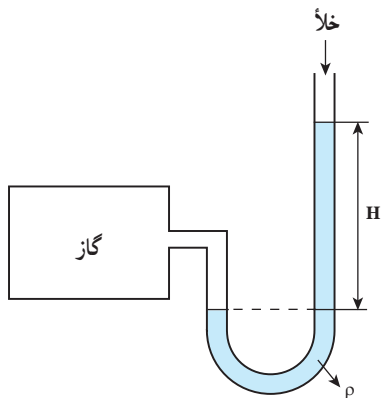
$$P_R = \rho_{\text{Hg}} g h = 13.6 \text{ g/cm}^3 \times 980 \text{ cm/s}^2 \times 4^{\circ}\text{cm} \quad (1)$$

$$P_{\text{Air}} = 1 \text{ atm} = 1.01325 \times 10^6 \text{ dyne/cm}^2 \quad \text{از جدول صفحه (۱۶)} :$$

$$P_A = P_{\text{Air}} + P_R \Rightarrow P_A = 1.01325 \times 10^6 \text{ dyne/cm}^2 + 53312^{\circ}\text{dyne/cm}^2$$

$$= 1.54637^{\circ}\text{dyne/cm}^2 \quad (1)$$

نکته : هنرجو از هر راهی حل کند نمره را کسب می کند.



(۵/۰)

۱۰- از فشارسنج مطلق یا مانومتر سر بسته (۵/۰)

$$P_{\text{گاز}} = \rho g H \quad (۵/۰)$$

۱۱-

الف) اصلی (۲۵/۰) - فرعی (۲۵/۰)

ب) مشتق شده (۲۵/۰) - $(\frac{ft}{s}) \times 1.74 / 32$ (۵/۰) lbf = (lbm)

ج) 10^{-9} (۲۵/۰)

د) 9.4608×10^{12} (۲۵/۰)

هـ) بیشتر (۲۵/۰) - کمتر (۲۵/۰)

و) پایین (۲۵/۰)

ز) هوای محیط اندازه گیری (۲۵/۰)

ح) Psia (۲۵/۰)

در رابطه با سؤال (۱) قسمت الف : توجه داشته باشند که مگوات، یک واحد مشتق شده است نه مضرب. زیرا پیشوندهایی مثل مگا (M) اگر جلوی واحدهای پایه قرار بگیرند واحد مضرب می سازند حال آنکه وات واحد اصلی نیست.

حل خودآزمایی صفحه (۲۵) : توسط هنرجویان

۱- روش های اندازه گیری جریان سیالات را نام ببرید.

پاسخ : سه روش برای اندازه گیری جریان سیالات وجود دارد :

۱- روش جابه جایی مثبت (روش پیمانه ای یا مستقیم)

۲- روش انسداد جریان

۳- روش اثرات مقاومت سیال

۲- دبی حجمی و دبی جرمی را تعریف کنید.

پاسخ :

دبی حجمی : حجم سیال جابه جا شده از یک مقطع در واحد زمان

دبی جرمی : جرم سیال جابه جا شده از یک مقطع در واحد زمان

۳- 4000 kg/s آب با چگالی 1000 kg/m^3 در یک خط لوله جریان دارد. دبی حجمی آب را پیدا کنید :

حل : از واحد مقدار سیال که kg/s است می توان فهمید دبی جرمی معین شده است. از رابطه دبی جرمی و

دبی حجمی استفاده می‌شود :

$$\dot{m} = \rho Q$$

$$Q = \frac{\dot{m}}{\rho} = \frac{4000 \text{ kg/s}}{1000 \text{ kg/m}^3} = 4 \text{ m}^3/\text{s}$$

۴- مزایای ونتوری نسبت به اری فیس را نام ببرید.

پاسخ :

الف - دقت ونتوری از اری فیس بیشتر است.

ب - ونتوری افت فشار کمتری ایجاد می‌کند.

ج - ونتوری برای اندازه‌گیری دبی سیالات کم فشار هم قابل استفاده است.

د - ونتوری سیال بیشتری از خود عبور می‌دهد.

۵- چرا کاربرد لوله شیشه‌ای برای روتامتر در فشارهای بالا صحیح نیست؟

زیرا احتمال شکستن لوله هست (در فشارهای بالا شناور به زائده بالا می‌چسبد و مقدار دبی مشخص نیست،

به همین دلیل در این فشارها استفاده از روتامتر ممنوع است بدون توجه به جنس آن).

۶- شدت جریان دبی) $5 \text{ m}^3/\text{s}$ از یک خط لوله به قطر 12 inch جریان دارد. سرعت سیال را بر حسب

m/s پیدا کنید (تا 1° تقریب محاسبه شود).

حل : چون سرعت در سیستم SI خواسته شده است پس قطر باید تبدیل به واحد شود؛ با استفاده از جدول

۱-۳ در صفحه (۶) کتاب :

$$D = \frac{12 \text{ inch}}{39/37 \text{ inch}} \times 1 \text{ m} \Rightarrow D = 0.3 \text{ m}$$

حال با استفاده از رابطه دبی حجمی در صفحه (۲۴)،

$$Q = VA \Rightarrow V = \frac{Q}{A}$$

$$A = \frac{\pi D^2}{4} = \frac{(3/14)(0.3 \text{ m})^2}{4} = 0.0177 \text{ m}^2$$

$$\Rightarrow V = \frac{5 \text{ m}^3/\text{s}}{0.0177 \text{ m}^2} = 282.48 \text{ m/s}$$

راهنمای تدریس

ابتدا در خصوص چگونگی انجام هر روش، صحبت می‌کنیم، سپس با معرفی دستگاه‌هایی^۱ که به آن روش کار می‌کنند. موارد مربوط به آنها را توضیح می‌دهیم، از جمله : اساس کار، ساختمان دستگاه، عملکرد، کاربرد و موارد متفرقه

۴-۵-۱- روش جابجایی مثبت (پیمانه‌ای)

– در این روش، که به «توزین مستقیم» نیز معروف است، اندازه‌گیری دبی جرمی که فقط خاص مایعات غیر فرار است، از «توزین مضاعف»^۲ استفاده می‌شود.

– روش جابه‌جایی مثبت در حقیقت یک روش حجم سنجی یا جرم سنجی است و دستگاه‌های این روش نیز، از این اصول تبعیت می‌کنند. کنتور آب منازل، مثالی از این دستگاه‌هاست.

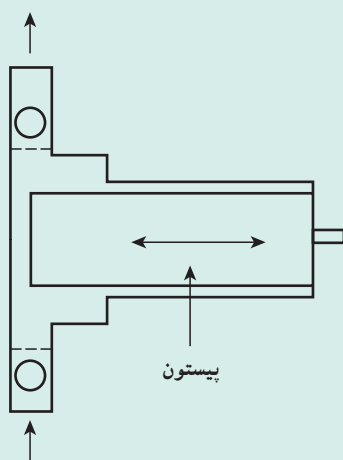
یکی از انواع این کنتورها، کنتور دیسکی است. در این کنتور، یک دیسک (صفحه) در مجرا نوسان می‌کند و در هر نوسان، حجم معینی آب از کنتور عبور می‌کند. تعداد نوسانات دیسک توسط یک دستگاه شمارنده، اندازه‌گیری می‌شود و توسط کنتور، حجم کل آب عبوری محاسبه می‌گردد و سپس نمایش داده می‌شود.

دانستنی (۴)^۳

پمپ‌های سنجشی یا اندازه‌گیرنده :

این پمپ‌ها براساس روش جابه‌جایی مثبت کار می‌کنند و علاوه بر پمپاژ مایع، شدت جریان آن را نیز اندازه می‌گیرند. یکی از انواع این پمپ‌ها، از نوع رفت و برگشتی (پیستونی) است. با توجه به این که حجم تخلیه شده در هر حرکت مشخص است، با شمارش تعداد حرکات در زمان مشخص، شدت جریان مایع به دست می‌آید. شکل ۴-۲ یک پمپ سنجشی پیستونی را نمایش می‌دهد.

از این وسیله، در صنایع شیمیایی جهت افزایش (تزریق) مقدار کنترل شده‌ای از افزودنی‌ها در جریان‌های فرآیندی، استفاده می‌کنند.



شکل ۴-۲- پمپ اندازه‌گیرنده

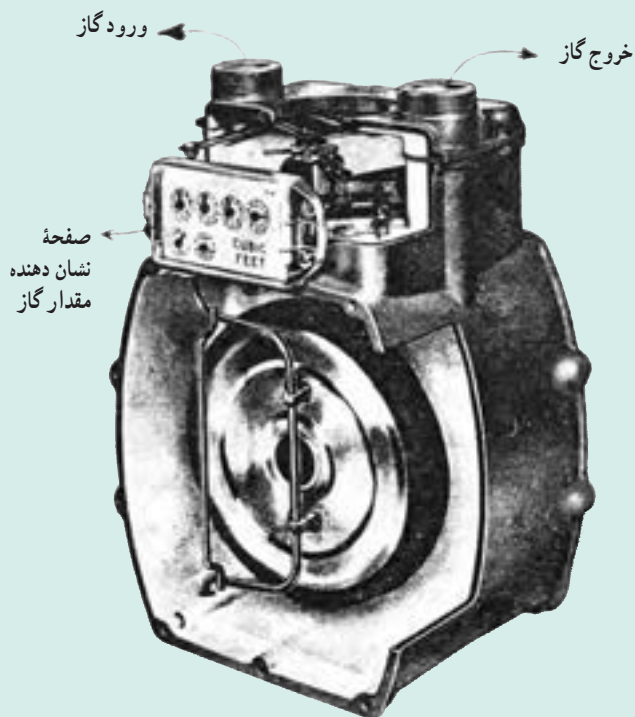
۱- در فصل چهارم کتاب «کارگاه عملیات دستگاهی»، این دستگاه‌ها بررسی شده‌اند، ضمناً محاسبه دبی، پس از انجام آزمایش با دستگاه‌های مربوطه، از روابط مختلف انجام

می‌شود.

۲- محاسبه دبی جرمی، در کارگاه عملیات دستگاهی انجام می‌شود، واضح است برای این آزمایش به یک ظرف، ترازو و کرومومتر نیاز است.

۳- از کتاب «وسایل اندازه‌گیری و کنترل در فرآیندهای شیمیایی، متالورژی و معدنی» اثر و.ر. راداکریشنان

دانستنی (۵)^۱



شکل ۴-۳- گاز سنج

سنجش دبی گازها به روش جابه‌جایی مثبت: اندازه‌گیری دبی گازها با این روش، به سهولت اندازه‌گیری دبی مایعات نیست، زیرا نوع گاز و تغییر مشخصات گاز در اثر تغییر دما و فشار در اندازه‌گیری مؤثر هستند. در شکل ۴-۳ گاز سنجی مشاهده می‌شود که در آن دیافراگم ارتجاعی، عمل پیستون را در پمپ انجام می‌دهد.

۴-۵-۲ روش انسداد جریان :

در روش انسداد جریان، دبی به طور غیر مستقیم اندازه‌گیری می‌شود. در این روش، برخلاف جابه‌جایی مثبت^۲، جریان سنجی انجام می‌شود و وسایلی که به این روش کار می‌کنند، به نام «جریان سنج»^۳ معروف‌اند. به دلیل رابطه‌ای که سرعت و فشار در معادله انرژی^۴ با یکدیگر دارند، در بسیاری از وسایلی که برای تعیین سرعت یا دبی جریان به کار می‌روند، ضرورت دارد که فشار اندازه‌گیری شود. برای مثال، می‌توان از لوله پیتوت^۵ جهت تعیین سرعت و جریان سنج‌های روش انسداد جریان برای اندازه‌گیری دبی نام برد. این جریان سنج‌ها طوری طراحی شده‌اند که در مقطع مورد نظر، مسیر عبور جریان را کوچک می‌کنند. در نتیجه سیال دچار افت فشار می‌شود که با یک مانومتر دیفرانسیلی جیوه‌ای (یا دوپیزومتر) قابل اندازه‌گیری است. سپس با استفاده از روابط تجربی^۶ میان دبی و افت فشار، دبی محاسبه می‌گردد. - جهت افزایش بازده آموزشی، ابتدای فیس متر، سپس نازل و در انتها و تئوری متر توضیح داده شود. این ترتیب براساس تکامل شکل دستگاه‌ها، افزایش دقت و بازده آنهاست.

۱- از کتاب «دستگاه‌های اندازه‌گیری و کنترل» اثر شهزاد برقی

۲- چنانکه قبلاً گفته شد جابه‌جایی مثبت یک روش حجم سنجی یا جرم سنجی است.

۳- Flow meter

۴- منظور «معادله برنولی» است که در قسمت‌های بعد توضیح داده می‌شود.

۵- در کتاب «کارگاه عملیات دستگاهی» لوله پیتوت در واقع ابزاری جهت تعیین سرعت نامیده شده است. این وسیله نیز براساس رابطه میان فشار و سرعت و دبی کار می‌کند.

۶- هنجریان در «کارگاه عملیات دستگاهی» با کاربرد این گونه «روابط تجربی»، در محاسبات آشنا می‌شوند. این روابط به طور کلی به صورت $Q = C\sqrt{\Delta P}$ مشاهده می‌شوند.

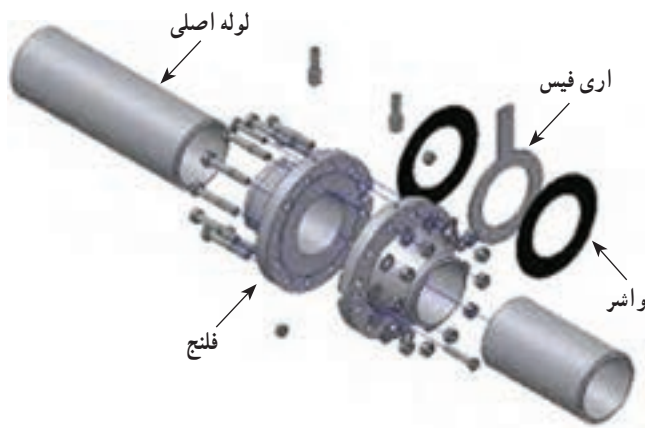
– تأکید بر این جمله کلیدی، ضروری است :

«با کوچک شدن سطح مقطع، فشار سیال کاهش و سرعت آن افزایش می‌یابد.»^(۱)

– سه جریان سنج به روش انسداد جریان، دبی را اندازه‌گیری می‌کنند که مختصراً در مورد هر کدام مطالبی بیان می‌شود :

۱– اری فیس متر : اری فیس‌ها، صفحات مدوری

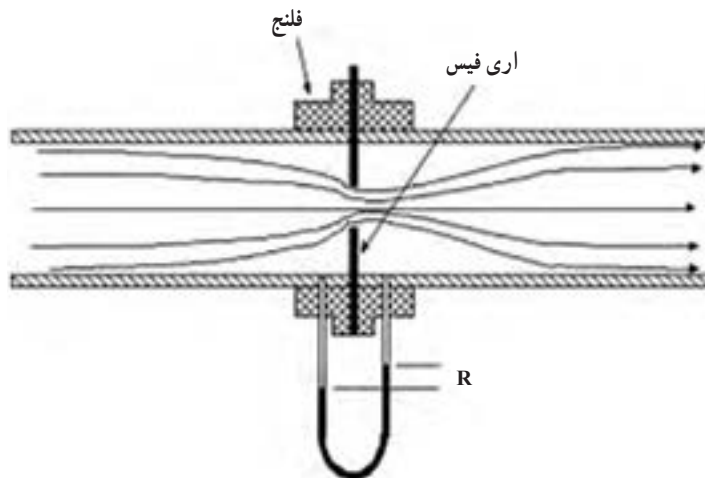
هستند معمولاً از جنس فولاد ضد زنگ که روی آنها سوراخی وجود دارد و افت فشار در همین روزنه به وجود می‌آید. جهت نصب اری فیس در لوله، آن را میان دو فلنج و بین دو لایه غیر فلزی (به صورت واشر برای آب‌بندی همراه با گریس) قرار می‌دهند، به طوری که روزنه در محل مناسبی در مقطع لوله اصلی قرار بگیرد و بعد با پیچ و مهره، فلنج‌ها را محکم می‌بندند. در شکل ۴-۴ اجزای مذکور مشاهده می‌شوند.



شکل ۴-۴ اجزای لازم جهت نصب اری فیس

شکل ۴-۵، یک اری فیس متر را نشان می‌دهد. هم‌چنان که مشاهده می‌شود شاخه‌های مانومتر دیفرانسیلی به ترتیب قبل از

روزنه (ناحیه فشار بالا) و بعد از روزنه (ناحیه فشار پایین) نصب می‌شوند و مقدار (R)، افت فشار موقت را مشخص می‌کند.



شکل ۴-۵ اری فیس متر

بعد از روزنه، مقطع عبور برای سیال افزایش می‌یابد و در نتیجه فشارش بالا می‌رود ولی هیچ زمان به اندازه فشار قبل از روزنه

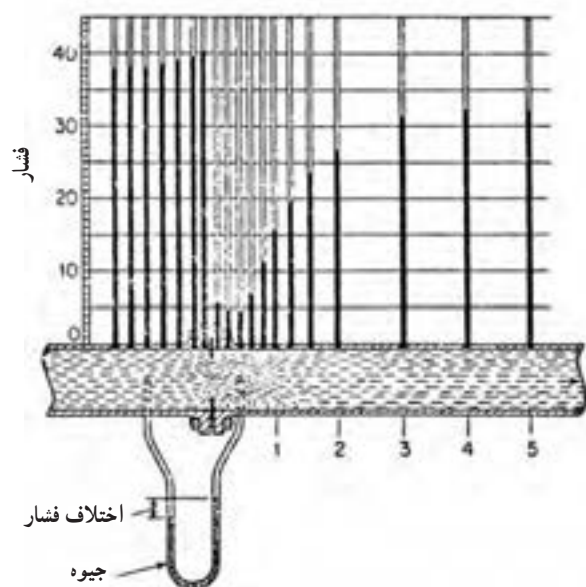
نمی‌رسد. اختلاف این دو فشار را «افت فشار دائم» می‌نامند که با انتخاب یک پمپ مناسب، می‌توان آن را جبران کرد. در شکل ۴-۶

این دو کمیت مهم با توجه به ارتفاع مایع درون پیژومترها، قابل اندازه‌گیری هستند. بر این اساس؛ افت فشار موقت و دائم با فرض

۱– کاهش فشار به دلیل کاهش مقدار سیال عبوری است و افزایش سرعت را می‌توان در پاسخ به این سؤال جست‌وجو کرد؛ چرا موقع آب دادن گل‌ها، انگشت خود را بر دهانه

شلنگ می‌گذارند؟ در این حالت مقدار آب کم می‌شود ولی در عوض، آب می‌تواند مسافت بیشتری را طی کند و فاصله دورتر را نیز سیراب کند که به معنی افزایش سرعت است. راه دیگر

اثبات افزایش سرعت، استفاده از ثابت بودن دبی در مقاطع A_1 و A_2 است، به این صورت : $A_1 > A_2 \Rightarrow V_1 < V_2$ و $Q_1 = Q_2 \Rightarrow A_1 V_1 = A_2 V_2$



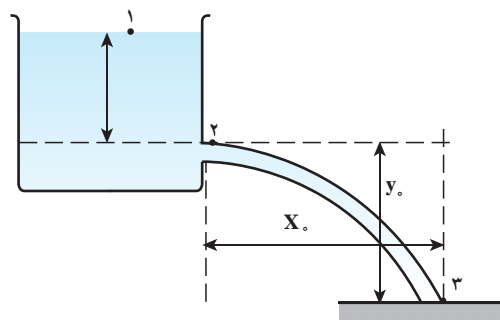
شکل ۴-۶ افت فشار در اثر قرار دادن اری فیس در مسیر جریان

این که سیال، آب باشد به صورت زیر محاسبه می شود :

$$\text{افت فشار موقت} = 37 - 15 = 12 \text{ cmH}_2\text{O}$$

$$\text{افت فشار دائم} = 37 - 32 = 5 \text{ cmH}_2\text{O}$$

در میان جریان سنج‌های روش انسداد جریان، اری فیس بیشترین افت فشار دائم را ایجاد می‌کند و این از معایب اری فیس متر است.



شکل ۴-۷ اری فیس در دیواره مخزن

یکی دیگر از کاربردهای رایج اری فیس، اندازه‌گیری دبی خروجی از یک مخزن است. (مانند شکل ۴-۷) در اری فیس متر، دبی سیال از روابط تجربی محاسبه می‌گردد.^۲

دانستنی (۶)

در مورد «اری فیس متر» بیشتر بدانیم :

قدیمی‌ترین و معمول‌ترین وسیله ایجاد افت فشار، اری فیس است که اولین بار توسط رومی‌ها در زمان سزار، برای کنترل مقدار آب در مجراهای مختلف به منظور آبیاری به کار رفته است. ساده‌ترین شکل اری فیس عبارت است از صفحه فلزی نازکی که در وسط آن سوراخ دایره‌ای شکلی وجود دارد. اری فیس براساس شکل لبه سوراخ در ضخامت صفحه، به دو صورت طراحی می‌شود :

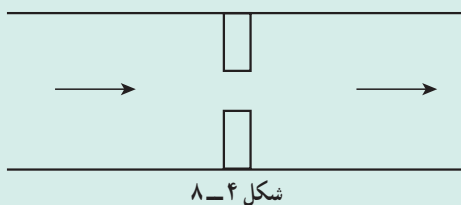
۱- این مسئله برای اری فیس محدودیت ایجاد می‌کند. بنابراین، نمی‌توان از آن، در فشارهای کم سیالات استفاده کرد.

۲- نمونه این روابط به شرح زیر است :

$$Q = CA_s \sqrt{2gR \left(\frac{s_2}{s_1} - 1 \right)}$$

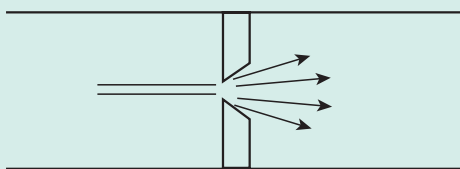
$$Q = CA_s \sqrt{\frac{2\Delta P}{\rho}}$$

این روابط که از معادله برنولی به دست آمده‌اند، در کارگاه عملیات دستگاهی، جهت محاسبه دبی کاربرد دارند. گفتنی است در این خصوص آزمایش‌هایی نیز انجام می‌شود.



شکل ۸-۴

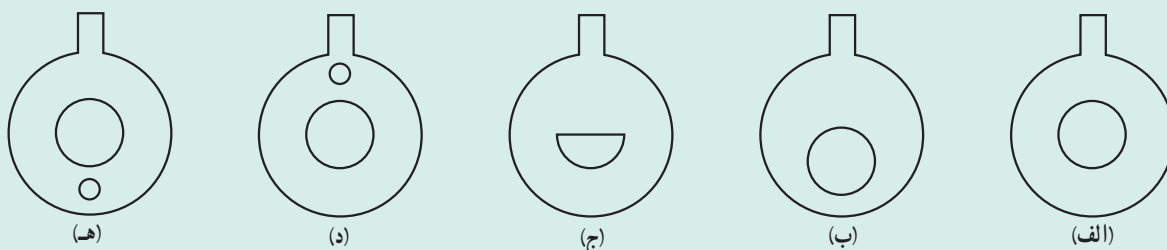
۱- اری فیس لبه مربعی؛ که ارزان‌ترین نوع است و برای سیالات چند فاز، به علت مسدود شدن، توصیه نمی‌شود، شکل ۸-۴ برشی از یک اری فیس لبه مربعی را نشان می‌دهد.



شکل ۹-۴

۲- اری فیس لبه مخروطی؛ که دارای افزایش تدریجی سطح مقطع در ضخامت صفحه است. این طرح انتخاب بهتری برای جریان‌های با سرعت کم و گرانروی بالاست. شکل ۹-۴ این نوع اری فیس را نمایش می‌دهد.

در هر دو طرح باید به این نکته توجه شود که لبه سوراخ در سمت فشار زیاد، کاملاً تیز باشد؛ زیرا در غیر این صورت اثر نامطلوبی بر جریان دارد و باعث کاهش دقت در اندازه‌گیری می‌شود. مکان، شکل و تعداد روزنه‌ها موجب می‌شوند صفحه اری فیس طراحی‌های مختلف داشته باشد (مانند شکل ۱۰-۴).



شکل ۱۰-۴ - انواع اری فیس (الف) اری فیس سوراخ در مرکز (رایج‌ترین) (ب) اری فیس سوراخ خارج از مرکز (برای سیالات سنگین و رسوب‌دار) (ج) اری فیس سوراخ نیم دایره (برای سیالات سنگین و رسوب‌دار) (د) اری فیس دو سوراخه (برای مایعاتی که در بالای آنها گاز است). (ه) اری فیس دو سوراخه (برای گازهایی که در زیر آنها رسوب مایع است).

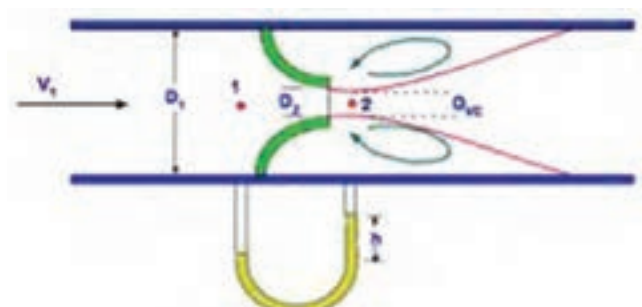
نازل^۱ (شیپوره):

نازل، جریان‌سنجی است که به روش انسداد جریان کار می‌کند. نازل، لوله‌ای است که سطح مقطع آن از ابتدا تا انتها کاهش می‌یابد. (مانند شکل ۱۱-۴)



شکل ۱۱-۴ - نازل

سیال در دهانه نازل، دچار افت فشار می‌شود که با یک مانومتر دیفرانسیلی قابل اندازه‌گیری است. (مانند شکل ۱۲-۴)



شکل ۴-۱۲

چنانکه در شکل ۴-۱۲ دیده می‌شود نقطه (۱) و (۲) به ترتیب ناحیه فشار بالا و پایین^۲ در لوله هستند که محل نصب مانومترند و معادله انرژی^۳ بین این دو نقطه نوشته می‌شود که از آن دبی محاسبه می‌گردد.

از خاصیت افزایش سرعت در دهانه نازل، جهت ورود یا خروج مایعات و گازها از لوله‌ها^۴ و مخازن^۵ استفاده می‌کنند. در شکل‌های ۴-۱۳ و ۴-۱۴ نمونه‌هایی از این وسایل مشاهده می‌شوند.



شکل ۴-۱۴- نازل‌های خروجی یا ورودی



شکل ۴-۱۳- نازل‌های ورودی یا خروجی

راهنمای تدریس

لوله ونتوری متر^۶

ونتوری متر نیز براساس روش انسداد جریان کار می‌کند. در شکل

۴-۱۵ یک ونتوری متر صنعتی نشان داده شده است.



شکل ۴-۱۵- ونتوری

۱- High Pressure (HP)

۲- Low Pressure (LP)

۳- منظور «معادله برنولی» است که براساس آن رابطه زیر به دست می‌آید:

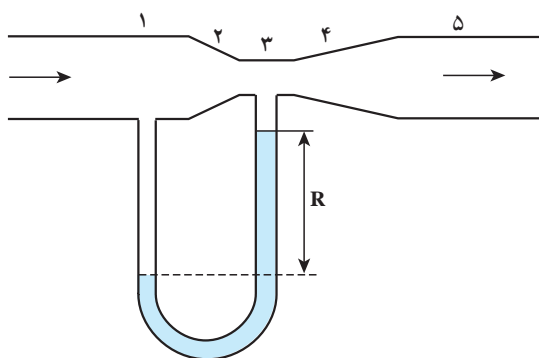
$$Q = CA_v \sqrt{\frac{2\Delta P}{\rho}}$$

این رابطه در کتاب «کارگاه عملیات دستگاهی» فصل چهارم، معرفی شده است.

۴- مثلاً به هنگام آبیاری، سر لوله را نازل قرار می‌دهند تا فاصله‌های دور را نیز پوشش دهند. یا جهت پخش مایع یا گاز در یک مخزن (به صورت توزیع کننده)

۵- مثلاً در تفکیک کننده‌های نفت و گاز، در ورودی و خروجی‌ها از نازل استفاده می‌شود.

۶- Venturimeter tube



شکل ۴-۱۶- لوله ونتوری

اجزای ساختمانی یک لوله ونتوری براساس شکل ۴-۱۶

عبارتند از:

۱- مدخل ورودی ونتوری که به صورت یک استوانه کوتاه است. قطر این قسمت برابر قطر لوله ای است که لوله ونتوری در آن قرار می گیرد. یکی از شاخه های مانومتر دیفرانسیلی یا پیزومتر در این ناحیه، که فشار بالا است، نصب می شود.

۲- قسمت مخروطی هم گرا

۳- گلوگاه ونتوری که یک استوانه کوتاه است و افت فشار موقت در این ناحیه اتفاق می افتد. در این ناحیه، شاخه دیگر مانومتر متصل می شود (ناحیه فشار کم).

۴- قسمت مخروطی واگرا

۵- مدخل خروجی ونتوری که یک استوانه کوتاه است و قطر آن برابر قطر لوله اصلی است.

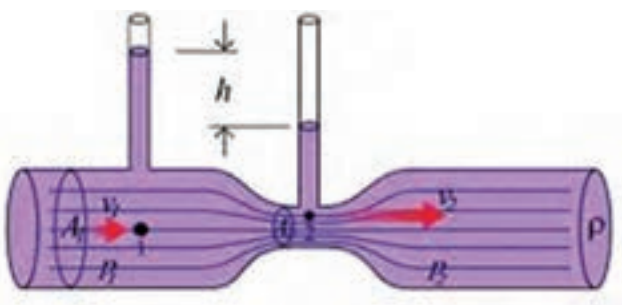
در لوله ونتوری از ابتدا تا گلوگاه، سطح مقطع برای عبور جریان کوچک می شود تا در گلوگاه به حداقل می رسد. در گلوگاه افت فشار به بالاترین حد خود می رسد، که قابل اندازه گیری است. بعد از گلوگاه تا مدخل خروجی، سطح مقطع دوباره افزایش می یابد و فشار نیز بیشتر می شود ولی هرگز به فشار در مدخل ورودی

نمی رسد و به این ترتیب سیال دچار افت فشار دائم می شود.

با خواندن اختلاف سطح مایع (جیوه) در مانومتر

دیفرانسیلی و مایع مورد نظر در پیزومترها (مطابق شکل

۴-۱۷) و استفاده از رابطه فیزیکی بین افت فشار و دبی، دبی سیال محاسبه می شود.



شکل ۴-۱۷- ونتوری متر

دانستنی (۷)

بیشتر در مورد ونتوری متر بدانیم:

اندازه ونتوری با قطر لوله و گلوگاه آن مشخص می شود، مثلاً اگر قطر لوله ۸ سانتی متر و قطر گلوگاه ۶ سانتی متر باشد اندازه این ونتوری متر به این صورت بیان می شود:

ونتوری ۸ در ۶ سانتی متر

برای این که نتایج حاصل از اندازه گیری دبی توسط ونتوری دقیق باشد، باید طول ونتوری حداقل ده برابر قطر لوله اصلی باشد.

روابط فیزیکی بین دبی سیال و افت فشار حاصله از نصب جریان سنج های انسداد جریان، که برای نازل واری فیس و ونتوری به ترتیب در صفحات قبل به صورت پاورقی ارائه شد از «معادله برنولی» به دست آمده اند^۱.

۱- جهت کسب اطلاعات بیشتر در این زمینه به کتاب مکانیک سیالات استریتروایلی یا کتاب های مرتبط مراجعه نمایید.

۴-۵-۳- مقایسه اری فیس و ونتوری متر

راهنمای تدریس

در کتاب عملیات دستگاهی به پنج مورد اشاره شده است. علاوه بر آنها، می‌توان موارد دیگری را نیز ذکر کرد :

۱- از نظر دقت؛ دقت اندازه‌گیری اری فیس نسبت به ونتوری کمتر است، به دو دلیل :

الف) ممکن است لبه‌های روزنه در اثر برخورد با سیال پر سرعت، تیزی خود را از دست بدهند و قطر تغییر کند (D) و این

باعث خطا می‌شود.

ب) روزنه اری فیس حکم گلوگاه را دارد و افت فشار موقت دقیقاً در آن جا اتفاق می‌افتد و برای اندازه‌گیری آن نمی‌توان شاخه

سمت راست مانومتر را در روزنه قرار داد و این نیز موجب خطاست.

۲- از نظر افت فشار دائم تولیدی؛ اری فیس افت فشار دائم بیشتری تولید می‌کند. حدود ۵٪ افت فشار موقت را به‌صورت

دائم در سیال حفظ می‌کند.

۳- از نظر هزینه ساخت، نصب، تعمیر و نگهداری، اری فیس به صرفه است و این برای اری فیس یک حسن است.

۴- از نظر میزان سیال عبوری؛ ونتوری می‌تواند ۲۰ تا ۵۰ درصد بیشتر از اری فیس؛ جریان را از خود عبور دهد.

۵- از نظر مقدار ضریب تخلیه؛ ضریب تخلیه ونتوری معمولاً بیشتر از اری فیس است.

۶- از نظر کاربرد؛ این دو وسیله هر کدام محدودیت‌هایی دارند. به این صورت که از اری فیس، به‌علت تولید افت فشار دائم

زیاد، برای اندازه‌گیری دبی سیالات کم فشار استفاده نمی‌کنند و ونتوری را، به‌علت بلند بودن طول لوله‌اش، در لوله‌های کوتاه به‌کار

نمی‌برند.

در یک مقایسه، از نظر افت فشار تولیدی، نتیجه زیر به‌دست می‌آید :

ونتوری > نازل > اری فیس

این ترتیب از نظر هزینه برعکس است.

۴-۵-۴- روش اثرات مقاومت سیال :

این روش براساس تعادل نیروهای وارده بر یک جسم غوطه‌ور در

سیالات، تعریف می‌شود. جریان سنجی که به این روش کار می‌کند، «روتامتر»^۱

نام دارد. نمونه‌هایی از روتامترها در شکل ۴-۱۸ مشاهده می‌شود. روتامتر،

تشکیل شده از یک لوله قائم مخروطی و اگرآ که در آن یک جسم به نام شناور^۲

یا شاقول وجود دارد. جنس شناور طوری انتخاب می‌شود که وزن مخصوص

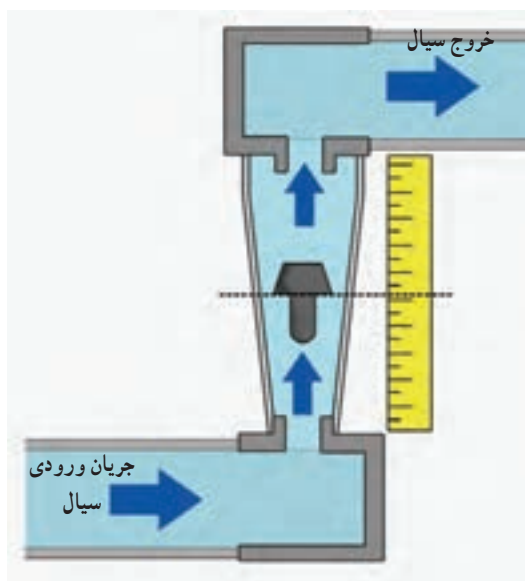
آن کمی بیشتر از سیال عبوری باشد.



شکل ۴-۱۸- روتامترهای صنعتی

۱- Rotameter

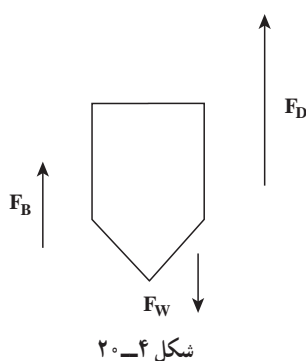
۲- Float



شکل ۴-۱۹- روماتر

وقتی سیالی از روماتر عبور نمی‌کند، شناور در پایین‌ترین نقطه روماتر (ناحیه فشار بالا) قرار می‌گیرد. سیال از پایین وارد روماتر می‌شود و متناسب با دبی و فشارش، شناور را به سمت بالا حرکت می‌دهد. لوله روماتر شفاف است و برحسب دبی مدرج شده است. مقدار دبی سیال در محل توقف شناور قرائت می‌شود مانند شکل ۴-۱۹ که عملکرد یک روماتر را نشان می‌دهد.

در صورتی که سیال تیره باشد، به طوری که مکان شناور مشخص نباشد، روماتر را از قسمت پشت، با چراغی روشن می‌کنند و شناور را با یک ماده فلورسانس می‌پوشانند تا عمل خواندن مقدار جریان را سهل‌تر سازد.



شکل ۴-۲۰

در روماتر، سطح مقطع عبور جریان از پایین به بالا افزایش می‌یابد^۱، در نتیجه افت فشار در طول روماتر ثابت می‌ماند. از طرف دیگر این اختلاف سطح جهت به تعادل رسیدن نیروهای وارده بر شناور یک عامل اصلی است و نهایتاً در نقطه‌ای از روماتر متوقف می‌شود. جهت بررسی عملکرد روماتر، به شکل ۴-۲۰ توجه شود.

نیروهای وارده بر شناور عبارتند از:

۱- نیروی وزن شناور (F_W) ^۲

۲- نیروی بالا برنده سیال (F_D) ناشی از سرعت و دبی سیال

۳- نیروی شناوری یا ارشمیدس (F_B) ^۳

اگر نیروهای رو به بالا، مثبت در نظر گرفته شوند، با توجه به این که زمانی شناور می‌ایستد که برآیند نیروهای وارده صفر باشد، توازن نیروها، به صورت زیر نوشته می‌شود:

$$F_D + F_B - F_W = 0$$

در طول روماتر، نیروی وزن تغییر چندانی نمی‌کند. در صورت ثابت ماندن دما (چگالی و حجم تابع دما هستند) نیروی شناوری نیز ثابت می‌ماند، پس می‌توان رابطه مذکور را به این صورت تنظیم کرد:

$$F_D = F_W - F_B$$

و فقط نیروی بالا برنده سیال است که به دو دلیل کاهش می‌یابد:

۱- حرکت رو به بالای سیال

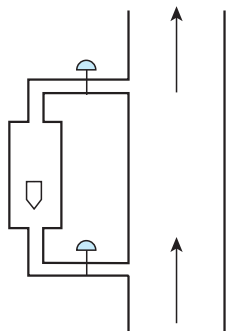
۱- در بعضی منابع روماتر را در واقع «جریان سنج با سطح مقطع متغیر» دانسته‌اند.

۲- در F ؛ (Force) و w نماد weight است که در فصل اول به آنها اشاره شده است.

۳- نیروی شناوری یا ارشمیدس: وقتی جسمی در سیالی قرار می‌گیرد، نیرویی از طرف سیال بر جسم وارد می‌شود که به آن شناوری می‌گویند که مقدار آن برابر است با وزن سیال جابه‌جا شده یا وزن سیال هم حجم جسم (و این باعث سبک شدن جسم می‌شود). مقدار این نیرو عبارت است از: $F = \rho v g$ که در آن: ρ = چگالی سیال، v = حجم سیال جابه‌جا شده، g = شتاب جاذبه

۲- افزایش سطح عبوری برای سیال، که باعث کاهش نیروی وارده از طرف سیال بر شناور F_D می‌شود. پس باتوجه به مطالب بالا می‌توان گفت تا وقتی $F_D > F_W - F_B$ باشد شناور رو به بالا حرکت می‌کند و چون F_D مدام در حال کاهش است زمانی می‌رسد که بین F_D و برآیند وزن و شناوری $(F_W - F_B)$ تعادل برقرار شود. یعنی $F_D = F_W - F_B$ شود که در این زمان شناور می‌ایستد که از قسمت بالای آن، دبی را از روتامتر می‌خوانند.

روتامتر ساده‌ترین و راحت‌ترین وسیله اندازه‌گیری دبی حجمی مایعات و گازهاست، که برای نمایش بصری دبی سیال استفاده می‌شود. بدنه روتامتر با استفاده از روابط تجربی دبی^۱، برحسب دبی مدرج شده است. گستره اندازه‌گیری روتامترها محدود است ولی دقت آنها نسبتاً بالاست و استفاده از آنها در صنعت بسیار رایج است. افت فشار حاصله در روتامترها در مقایسه با جریان سنج‌های انسداد جریان کمتر است.



شکل ۴-۲۱

به دو دلیل ممکن است روتامترها را خارج از مسیر اصلی جریان سیال نصب کنند:

۱- اگر اختلالی در کار روتامتر پیش بیاید، بدون ایجاد وقفه در جریان سیال، روتامتر تعویض می‌گردد. شکل ۴-۲۱ این طریق نصب روتامتر را نشان می‌دهد.

۲- اگر مقدار جریان سیال خارج از دامنه اندازه‌گیری روتامتر باشد می‌توان یک جریان فرعی از جریان اصلی مایع منشعب کرد و آن را به روتامتر فرستاد و با دانستن مقدار جریان فرعی و نسبت آن با جریان اصلی، دبی واقعی را مشخص نمود.

۴-۶- روش اندازه‌گیری دبی به وسیله سرعت سیال

این بخش با استفاده از سرعت حرکت سیال جهت محاسبه دبی حجمی، که در دانستنی (۳) به آن اشاره شده است، ارتباط دارد.

در این بخش تأکید بر جمله کلیدی زیر ضروری است:

در دبی ثابت، با افزایش سطح مقطع، سرعت کاهش می‌یابد.

۱- دبی حجمی جریان در روتامتر توسط رابطه زیر به دست می‌آید:

$$Q = C A_b \sqrt{\frac{\gamma_g \left(\frac{V_f (\rho_f - \rho)}{A_f} - \rho h_f \right)}{\rho [1 - (A_b/A_a)^2]}}$$

در این رابطه:

C ضریب تخلیه، A_b سطح مقطع روتامتر در بالای شناور، A_a سطح مقطع روتامتر در پایین شناور، V_f سرعت جریان، ρ_f چگالی شناور، ρ چگالی سیال و h_f ارتفاع شناور

است.

سؤالات پیشنهادی برای طرح آزمون

الف) تعاریف

- ۱- دبی حجمی را تعریف کنید و براساس آن رابطه‌ای برای دبی حجمی بنویسید.
- ۲- دبی جرمی را تعریف کنید و رابطه‌ی محاسبه آن را براساس تعریفش بنویسید.
- ۳- عوامل تعیین کننده‌ی روش‌های اندازه‌گیری جریان سیالات را بنویسید.
- ۴- روش‌های اندازه‌گیری جریان سیالات را نام ببرید و برای هر یک دستگاهی را مثال بزنید.
- ۵- روش جابه‌جایی مثبت را تعریف کنید و بگویید چه دستگاهی به این روش کار می‌کند؟
- ۶- کنتور آب منازل به چه روشی کار می‌کند؟ اساس کار آن به چه شکلی است؟
- ۷- روش انسداد جریان را تعریف کنید و دستگاه‌هایی را که به این روش کار می‌کنند، نام ببرید.
- ۸- لوله و تنوری را رسم کنید و قسمت‌های مختلف آن را روی شکل نشان دهید.
- ۹- اری فیس متر چیست؟ به چه روشی کار می‌کند؟ افت فشار در کدام قسمت اری فیس اتفاق می‌افتد؟
- ۱۰- توضیح دهید که چگونه دبی یک سیال با یک نازل اندازه‌گیری می‌شود؟
- ۱۱- آیا دستگاه‌هایی که به روش انسداد جریان کار می‌کنند، مستقیماً دبی سیال را اندازه می‌گیرند؟ توضیح دهید.

- ۱۲- اری فیس و تنوری را مقایسه کنید.
- ۱۳- روتامتر به چه روشی کار می‌کند؟ ساختمان آن و عملکرد آن را توضیح دهید.
- ۱۴- در چه مواردی استفاده از روتامتر ممنوع است؟
- ۱۵- اگر دبی سیال عبوری ثابت باشد، رابطه‌ی سطح مقطع و سرعت سیال چگونه است؟ (از روی رابطه توضیح دهید)

توجه : پاسخ تمامی سؤالات در متن کتاب وجود دارد.

ب) جاهای خالی را پر کنید :

- ۱- روتامتر به روش کار می‌کند.
- ۲- محل قرار گرفتن شناور در روتامتر به بستگی دارد.
- ۳- افت فشار در روتامترها است.
- ۴- میزان افت فشار در روتامترها بستگی به آن دارد.
- ۵- در دبی ثابت، سطح مقطع و سرعت سیال با هم رابطه دارند.
- ۶- با نصب اری فیس سر راه سیال، افت فشار در اتفاق می‌افتد.
- ۷- برای مشاهده افت فشار و اندازه‌گیری آن در لوله و تنوری از استفاده می‌شود.
- ۸- با نصب و تنوری سر راه سیال، افت فشار در اتفاق می‌افتد.
- ۹- لوله و تنوری دارای یک مدخل ورودی و خروجی معادل لوله جریان است.
- ۱۰- دقت اندازه‌گیری و تنوری نسبت به اری فیس است.

- ۱۱- افت فشار دائم تولیدی توسط ونتوری نسبت به اری فیس است.
- ۱۲- برای لوله‌های کوتاه از استفاده نمی‌شود.
- ۱۳- برای سیالات با فشار کم از استفاده نمی‌شود.
- ۱۴- هزینه نصب و نگهداری ونتوری از اری فیس است.
- ۱۵- در محاسبات جهت تبدیل دبی حجمی و جرمی به یکدیگر از سیال استفاده می‌شود.
- پاسخ: برای پر کردن جاهای خالی به متن فصل چهارم در کتاب درسی مراجعه شود.

ج) مسائلی مرتبط با دبی:

- ۱- 2000 Lit/min مایعی با چگالی 75 gr/cm^3 از لوله‌ای به قطر 2 m می‌گذرد. دبی جرمی مایع را در سیستم CGS به دست آورید.
- حل: اطلاعات مسئله عبارت‌اند از:

$$Q = 2000 \text{ L/min}$$

$$\rho = 75 \text{ gr/cm}^3, D = 2 \text{ m}$$

$$m^\circ = ?$$

فرمول مورد استفاده، رابطه دبی حجمی و دبی جرمی است:

$$m^\circ = \rho Q$$

چون دبی جرمی را در سیستم CGS خواسته‌اند، پس باید ρ و Q به سیستم CGS انتقال یابند.

$$Q = \frac{2000 \cancel{\text{L}}}{\text{min}} \times \frac{10^3 \text{ cm}^3}{1 \cancel{\text{L}}} = 2 \times 10^6 \text{ cm}^3/\text{min}$$

$$m^\circ = 75 \text{ gr/cm}^3 \times 2 \times 10^6 \text{ cm}^3/\text{min} = 1.5 \times 10^8 \text{ gr/min}$$

چنان‌که دیده می‌شود یکی از اطلاعات، یعنی قطر لوله (D) اضافی است.

- ۲- سیالی با سرعت 20 m/s از لوله‌ای به قطر 2 m می‌گذرد. اگر چگالی سیال 1000 kg/m^3 باشد، دبی حجمی و دبی جرمی سیال را محاسبه کنید.
- حل:

$$\begin{cases} V = 20 \text{ m/s} & , D = 2 \text{ m} & , \rho = 1000 \text{ kg/m}^3 \\ Q = ? & m^\circ = ? \end{cases}$$

$$Q = VA$$

$$A = \frac{\pi D^2}{4} = \frac{3.14 \times 2^2}{4} = 3.14 \text{ m}^2$$

$$Q = 20 \text{ m/s} \times 3.14 \text{ m}^2 = 62.8 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$m^{\circ} = \rho Q \Rightarrow m^{\circ} = 1000 \text{ kg/m}^3 \times 0.628 \text{ m}^3/\text{s} = 628 \text{ kg/s}$$

۳- مقدار ۱۰۰ cc آب را در مدت ۱۰ ثانیه جمع آوری کرده ایم. دبی آب چه قدر است؟
حل :

$$V = 100 \text{ cc (یا cm}^3 \text{ یا mL)}, \quad t = 10 \text{ s}$$

$$Q = \frac{V}{t} \Rightarrow Q = \frac{100 \text{ cm}^3}{10 \text{ s}} = 10 \text{ cm}^3/\text{s}$$

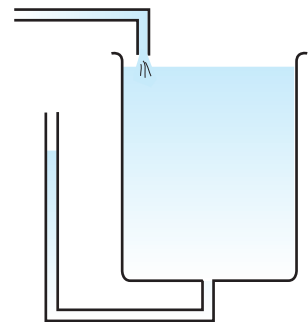
۴- مساحت کف یک مخزن به شکل مکعب مستطیل ۸ m^۲ است. با ورود جریان دائمی مایع به مدت ۱۲ دقیقه، عمق مایع در مخزن ۱/۳ m افزایش می یابد. دبی جریان را بر حسب لیتر بر ثانیه به دست آورید.
حل :

نکته : روش محاسبه دبی، جابه جایی مثبت است که در بعضی از کارگاه های عملیات دستگاهی مورد استفاده قرار می گیرد. به این صورت که در کنار مخزن، از نمایشگر سطح مایع استفاده می شود و زمان افزایش ارتفاع مایع در مخزن را با کروномتر اندازه می گیرند. سپس حجم مایع جابه جا شده در واحد زمان به صورت زیر به دست می آید :

افزایش ارتفاع مخزن \times سطح مقطع مخزن = حجم مایع جابه جا شده

$$\Rightarrow \text{حجم مایع جابه جا شده} = 8 \text{ m}^2 \times 1/3 \text{ m} = 10/4 \text{ m}^3$$

$$Q = \frac{V}{t} = \frac{10/4 \text{ m}^3}{12 \text{ min}} \times \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}} = 14/44 \text{ L/s}$$



شکل ۲۲-۴

نکته : این مسئله از راه محاسبه سرعت نیز به صورت زیر قابل حل است :

$$V = \frac{L}{t} = \frac{1/3 \text{ m}}{12 \text{ min}} \times \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}} = 1/8 \times 10^{-3} \text{ m/s}$$

$$Q = VA = 1/8 \times 10^{-3} \text{ m/s} \times 8 \text{ m}^2 = 14/44 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q = \frac{14/44 \times 10^{-3} \text{ m}^3}{\text{s}} \times \frac{10^3 \text{ L}}{1 \text{ m}^3} = 14/44 \text{ L/s}$$

ترازوها و چگالی سنجها

چکیده فصل

در این فصل، مروری بر مفاهیم جرم، وزن، چگالی و چگالی نسبی خواهد شد. در انتها، هنرجویان با چگالی سنج مایعات (هیدرومتر) نیز آشنا می‌شوند.

دانشته‌های قبلی: کل مطالب این فصل برای هنرجویان تکراری است.

اهداف فصل: در پایان این فصل از هنرجویان انتظار می‌رود که با مفاهیم زیر آشنا شده باشند:

- جرم و واحدهای آن
- وزن و واحدهای آن
- تفاوت جرم و وزن
- چگالی و واحدهای آن
- مفهوم چگالی (چگونگی به‌دست آوردن چگالی مواد مختلف)
- چگالی نسبی
- چگالی سنج مایعات (هیدرومتر)؛ اساس کار، ساختمان، عملکرد، کاربردها

برنامه زمان‌بندی تدریس فصل پنجم

صفحه	موضوعات	هفته
۲۶ - ۳۰	مفاهیم جرم، وزن، چگالی و چگالی نسبی، معرفی چگالی سنج مایعات (هیدرومتر)	۱۰

برنامه زمان بندی هفته دهم			دقیقه
۱	آماده کردن کلاس (احوالپرسی، حضور و غیاب)	۵	
۲	رفع اشکال	۱۰	
۳	آزمون فصل چهارم	۱۵	
۴	تدریس (و حل خودآزمایی)	۹۵	
۵	استراحت میان تدریس (دو نوبت)	۱۰	

طرح یک آزمون از فصل (۴)

گاهی در آزمون‌ها، می‌توان مستقیماً از سؤالات امتحانات نهایی سال‌های قبل استفاده کرد تا هنرجویان با کیفیت آنها آشنا شوند و از آنها بیمی نداشته باشند. نمونه‌ای از این آزمون‌ها را در زیر ملاحظه می‌کنید :

آزمون فصل چهارم

زمان : ۱۵ دقیقه

- ۱- آب در لوله‌ای به قطر ۳/۰ متر با سرعت ۶ متر بر ثانیه جریان دارد. اگر قطر انتهای لوله به ۱/۰ متر کاهش یابد، سرعت حرکت آب در انتهای لوله چقدر است؟ (خرداد ۸۸)، (۱/۵)
- ۲- روش‌های اندازه‌گیری جریان سیالات را نام ببرید. (دی ۸۴)، (۰/۷۵)
- ۳- روتا متر چیست؟ ساختمان و روش کار آن را شرح دهید. (دی ۸۲)، (۱/۵)
- ۴- افت فشار تولید شده در اری فیس افت فشار خط جریان است، لذا از آن در جریان‌های با فشار استفاده نمی‌شود. (شهرپور ۸۱)، (۰/۵)
- ۵- افت فشار در کدام قسمت لوله و تئوری صورت می‌گیرد؟ این افت فشار با کدام وسیله قابل اندازه‌گیری است؟ آن را رسم کنید. (خرداد ۸۲)، (۰/۷۵)

پاسخ :



- ۱- حل : با علم به این که در دبی ثابت، سرعت و سطح مقطع با هم نسبت عکس دارند، دبی سیال در این لوله ثابت است. پس با کوچک شدن سطح مقطع، سرعت باید افزایش یابد.

$$V_1 = ?$$

$$Q_1 = Q_2 \quad (0/25) \Rightarrow V_1 A_1 = V_2 A_2 \quad (0/25)$$

$$V_1 = \frac{V_2 A_2}{A_1} \Rightarrow V_1 = \frac{6 \text{ m/s} \times \frac{3/14 \times (0/3 \text{ m})^2}{4}}{\frac{3/14 \times (0/1 \text{ m})^2}{4}} \Rightarrow V_1 = 54 \quad (0/25) \text{ m/s} \quad (0/25)$$

۲- سه روش برای اندازه‌گیری جریان سیالات وجود دارد :

الف) جابه‌جایی مثبت (۰/۲۵) ب) انسداد جریان (۰/۲۵) ج) اثرات مقاومت سیال (۰/۲۵)

۳- روتامتر، ساده‌ترین وسیله برای سنجش میزان مایعات و گازهاست.

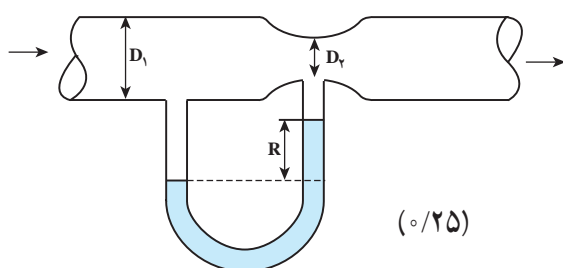
ساختمان : روتامتر شامل ظرف مخروطی شکلی است که در آن شناوری قرار دارد. جداره ظرف برحسب دبی مدرج شده است. (۰/۵)

عملکرد : روتامتر به‌صورت قائم در مسیر جریان قرار می‌گیرد، به‌طوری‌که سیال از پایین وارد آن می‌شود و براساس دبی، شناور را به بالا حرکت می‌دهد و نهایتاً در مقابل یک عدد می‌ایستد که دبی از جداره روتامتر خوانده می‌شود. (۱)

۴- ۵۰٪ (۰/۲۵) - کم (۰/۲۵)

۵- در گلوگاه (۰/۲۵)

- مانومتر دیفرانسیلی (۰/۲۵)



راهنمای تدریس

همان‌طور که گفته شد، تدریس این فصل در حقیقت مروری بر دانسته‌های قبلی هنرجویان است. به‌همین دلیل برای تدریس این فصل در جدول زمان بندی، فقط یک جلسه منظور شده است.

توصیه می‌شود تدریس این فصل، به‌صورت پرسش از هنرجویان، انجام شود. بر این اساس در خصوص مفاهیم مطرح شده در اهداف فصل، سؤالاتی روی تابلو نوشته می‌شود و پاسخ آنها از هنرجویان داوطلب دریافت می‌گردد و هر جا نیاز به اصلاح بود، پاسخ صحیح بیان می‌شود.

۵-۱- جرم و وزن

۱- جرم چیست؟

۲- وزن چیست؟

۳- جرم و وزن چه تفاوتی با هم دارند؟

۴- واحدهای جرم را در سه سیستم بیان کنید.

۵- برای اندازه‌گیری جرم‌های بزرگ از چه واحدی استفاده می‌کنند؟ نوع این واحد را مشخص کنید.

۶- وسیله اندازه‌گیری جرم چیست؟ این وسیله بر چه اساسی کار می‌کند؟

۷- واحدهای وزن را در سه سیستم بیان کنید.

۸- رابطه محاسبه وزن چیست؟

- وزن اجسام با ارتفاع مکان اندازه‌گیری از سطح زمین، نسبت عکس دارد. به این ترتیب با دور شدن از سطح زمین، شدت

جاذبه زمین بر اجسام کم می‌شود^۱ و وزن کاهش می‌یابد، به‌طوری که با خروج از حوزه جاذبه زمین، اجسام دچار بی‌وزنی^۲ می‌شوند. – انتخاب واحد جرم، بستگی به مقدار آن دارد. برای اندازه‌گیری جرم‌های بزرگ از «تن» استفاده می‌شود که یک واحد مضرب برای «کیلوگرم» است. برای اندازه‌گیری جرم‌های کوچک (مواد قیمتی و با ارزش) مانند طلا و زعفران از «مثقال»^۳ استفاده می‌شود.

– تعریف واحد «کیلوگرم» مهم است زیرا دارای واژه‌های کلیدی است.
«هر کیلوگرم عبارت است از جرم ۱۰۰۰ سانتی متر مکعب (یک لیتر) آب خالص در ۴ درجه سلسیوس».

دانستنی (۱)؛ انواع ترازوها^۴

۱- ترازوی دو کفه‌ای^۵:

این ترازو، قدیمی‌ترین و معمول‌ترین ابزار توزین است که براساس قانون اهرم‌ها کار می‌کند.



شکل ۱-۵- ترازوی دو کفه‌ای

۲- ترازوی یک کفه‌ای یا اهرمی^۶:

در این ترازو، جسم مورد نظر روی یک کفه قرار می‌گیرد و به‌جای کفه دوم از اهرم‌هایی استفاده می‌شود که با حرکت دادن سرباره‌هایی بر روی اهرم‌های مدرج شده، جرم جسم را تعیین می‌کنند. شکل‌های ۲-۵ و ۳-۵ نمونه‌هایی از این ترازوها را نشان می‌دهند.



شکل ۲-۵- ترازوی یک کفه‌ای سه اهرمی^۸ (مکانیکی)

۱- بیشترین حد شدت جاذبه زمین، در سطح زمین است.

۲- مانند بی‌وزنی فضاوردان

۳- «مثقال» یک واحد مضرب است که معادل $4/806$ گرم می‌باشد.

۴- دانستنی (۱) برگرفته از کتاب دستگاه‌های اندازه‌گیری و کنترل تألیف شهزاد برقی

۵- Balances

۶- double pan balances

۷- Beam balances

۸- Triple beam balance

ترازوهای یک کفه‌ای به دو صورت مکانیکی و الکتریکی وجود دارند. نوع الکتریکی آنها مقدار جرم را با دقت بسیار بالا، معمولاً تا 10^{-4} گرم، می‌تواند نشان دهد و بیشتر برای توزین در آزمایشگاه به کار می‌رود که باید قبل از عمل، صفر دستگاه تنظیم شود. در شکل ۴-۵ یک نمونه از ترازوی یک کفه‌ای الکتریکی مشاهده می‌شود.



شکل ۴-۵- ترازوی یک کفه‌ای الکتریکی^۲ (دیجیتالی)



شکل ۳-۵- ترازوی یک کفه‌ای آویزان سه اهرمی^۱ (مکانیکی)

۳- ترازوهای فنری^۳ یا نیروسنج: در این ترازوها، از تغییر طول فنر در اثر وزنه‌ای که به آن آویخته شده، جهت توزین سریع استفاده می‌شود. انتخاب جنس فنر بسیار مهم است زیرا باید بعد از توزین، به حالت اولیه برگردد. در این ترازو، تیغه‌ای وجود دارد که به فنر متصل است. تیغه در اثر تغییر طول فنر روی صفحه مدرجی جابه‌جا می‌شود و در نقطه‌ای متناسب با وزن جسم آویخته، می‌ایستد. شکل‌های ۵-۵ و ۶-۵ و ۷-۵ نمونه‌هایی از ترازوهای فنری را نشان می‌دهند.



شکل ۷-۵- ترازوی فنری حلقوی (دیجیتالی)



شکل ۶-۵- ترازوی فنری (حلقوی)^۴



شکل ۵-۵- ترازوی فنری

۱- Hanging pan balance

۲- Electrical (Digital) Analytical balance

۳- spring balances فنر ممکن است به صورت حلقه‌ای پیچیده شده باشد و میزان باز شدن آن، وزن را مشخص می‌کند، مانند شکل‌های (۶-۵) و (۷-۵)

۴- circular Hanging type spring balance

۵-۲- چگالی (جرم حجمی)

نمونه سؤالاتی را که جهت مباحثه، می‌توان در کلاس مطرح کرد، به شرح زیرند :

- ۱- چگالی چیست؟
- ۲- رابطه محاسبه چگالی چیست؟
- ۳- واحدهای چگالی را در سه سیستم بیان کنید.
- ۴- چگالی مواد مختلف را چگونه به دست آورده‌اند؟
- چگالی یکی از مهم‌ترین ثابت‌های فیزیکی است که با جرم یا وزن جسم، رابطه مستقیم و با حجم آن رابطه معکوس دارد.
- چگالی تابع دماست، به این صورت : $\rho \downarrow \Rightarrow V \uparrow \Rightarrow T \uparrow$
- (رابطه عکس)، به همین دلیل برای بیان چگالی یک ماده حتماً باید دمای آن نیز، به هنگام اندازه‌گیری ذکر شود.

فعالیت

توصیه می‌شود مثال‌های (۵-۱) و (۵-۲) توسط هنرجویان در کلاس حل شود.

۵-۳- چگالی نسبی^۲

نمونه سؤالات عبارت‌اند از :

- ۱- چگالی نسبی چیست؟
- ۲- رابطه محاسبه چگالی نسبی چیست؟
- ۳- واحد چگالی نسبی در سه سیستم چیست؟
- ۴- چگالی نسبی جیوه را در سه سیستم به دست آورید، اگر :

$$\rho_{\text{Hg}} = 13.6 \text{ g/cm}^3, \quad \rho_{\text{H}_2\text{O}} = 1 \text{ g/cm}^3$$

- جهت محاسبه چگالی نسبی، چگالی ماده‌ای که اول، نام آن برده می‌شود، در صورت رابطه قرار می‌گیرد. برای مثال، چگالی نسبی B به A با رابطه زیر محاسبه می‌شود :

$$d = \rho_B / \rho_A$$

- جهت محاسبه چگالی نسبی، یک مایع یا جامد، اگر نام ماده دوم برده نشود آن ماده طبق قرار داد، آب است و در خصوص گازها، ماده دوم هواست^۳.

- چگالی نسبی، واحد ندارد، زیرا نسبت دو کمیت یکسان است. بر این اساس تفاوتی ندارد که مقدار چگالی نسبی در کدام

۱- در «آزمایشگاه شیمی عمومی» سال دوم، آزمایش‌هایی جهت تعیین چگالی مواد انجام شده است. همچنین در «کارگاه فرآیندهای شیمیایی» سال سوم نیز راجع به تعیین چگالی مایعات توسط چگالی سنج‌ها، آموزش‌های لازم داده می‌شود.

۲- Specific Gravity , Relative Density

۳- چگالی هوا در ۲۵°C معادل ۱.۱۸ gr/cm³ است.

سیستم، محاسبه شود^۱. فقط باید واحدها یکسان باشد.

– در محاسبه چگالی نسبی، باید دمای دو ماده یکسان باشد. مثلاً در صنایع نفت و گاز و پتروشیمی طبق قرارداد، دمای °F ۶۰ انتخاب شده است و چگالی نسبی از رابطه زیر محاسبه می‌گردد:

$$\gamma_{\text{sp.gr. } 60/60^{\circ}\text{F}} = \frac{\rho(60^{\circ}\text{F})}{\rho_{\text{H}_2\text{O}}(60^{\circ}\text{F})}$$

– توصیه می‌شود مثال (۳-۵) توسط هنرجویان حل شود.

۴-۵- چگالی سنج

یادآوری می‌شود که در این کتاب، فقط از «هیدرومتر^۲»، که چگالی سنج مایعات است، نام برده می‌شود که هنرجویان با آن آشنایی کامل دارند^۴. بنابراین، مشابه روش تدریس بخش‌های گذشته این فصل، از طریق پرسش و پاسخ (مباحثه) مروری بر اساس کار، ساختمان، عملکرد و کاربردهای هیدرومتر داشته باشیم و هر نکته لازم دیگر را نیز بیان کنیم.

نمونه سؤالات:

۱- هیدرومتر بر چه اساسی کار می‌کند؟

۲- ساختمان هیدرومتر را توضیح دهید.

۳- عملکرد هیدرومتر را توضیح دهید.

۴- نقش گلوله‌های سرب در هیدرومتر چیست؟

۵- جهت افزایش حساسیت هیدرومتر، چه تغییری در ساختمان

آن انجام می‌شود؟

۶- کاربردهای هیدرومتر را ذکر کنید.

– از نظر ساختمانی، هیدرومترها به شکل‌های مختلفی ساخته

می‌شوند (مانند شکل ۵-۸) ولی در کل متشکل از یک مخزن حبایی شکل

حاوی سرب‌انده^۵ که به یک لوله باریک ته بسته، متصل شده‌اند. هیدرومتر

به گونه‌ای انتخاب می‌شود که در داخل نمونه مایع، غوطه‌ور شود. به عبارت

دیگر، هیدرومتر نباید آن قدر سنگین باشد که در کف ظرف بنشیند و نه

آن قدر سبک که روی سطح مایع بماند و اصلاً وارد نمونه مایع نشود. زیرا

مقدار نفوذ هیدرومتر در داخل نمونه مایع، نشان دهنده چگالی آن است و



شکل ۵-۸- انواع هیدرومتر

۱- زیرا ضرایب تبدیل در صورت و مخرج کسر چگالی نسبی، با هم ساده می‌شوند. به‌منظور راحتی، می‌توان چگالی نسبی را در سیستم CGS تعیین کرد زیرا فقط در این سیستم، چگالی نسبی مایعات و جامدات برابر با چگالی آنهاست (چون چگالی آب در این سیستم 1 gr/cm^3 است). مثلاً چگالی جیوه 13.6 gr/cm^3 است، پس چگالی نسبی آن (13.6) است.

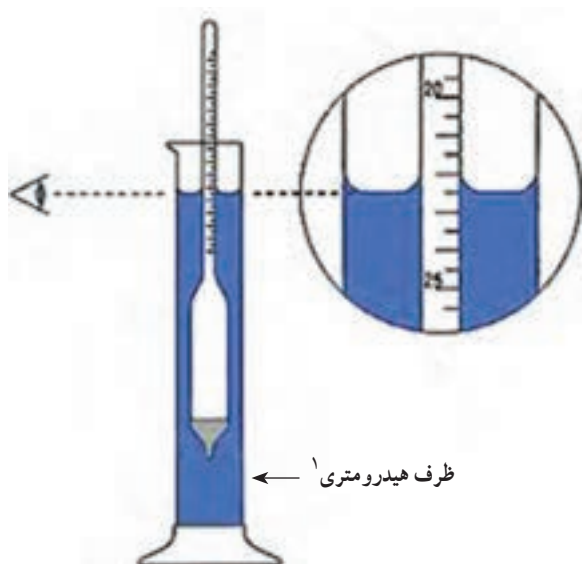
۲- sp. gr. مخفف معادل چگالی نسبی (specific gravity) است

۳- Hydrometer

۴- هنرجویان در سال تحصیلی جاری، در کارگاه فرآیندهای شیمیایی کاملاً با هیدرومتر و نحوه کار آن آشنا شده‌اند.

۵- جهت قائم ایستادن هیدرومتر بعد از نوسانات درون نمونه مایع، مقداری سرب در حباب آن قرار می‌دهند. با کم و زیاد کردن تعداد ساجمه‌های سری، دامنه کاربرد هیدرومتر

را تغییر می‌دهند.



شکل ۵-۹- نحوه خواندن هیدرومتر

با آن نسبت عکس دارد. بر این اساس، درجه‌بندی چگالی در هیدرومتر به گونه‌ای است که اعداد از بالا به پایین زیاد می‌شوند. نحوه خواندن عدد چگالی در شکل ۵-۹ نشان داده شده است. برای کاهش خطای خواندن هیدرومتر، لوله آن را باریک‌تر می‌سازند تا فاصله درجات بیشتر شود.



شکل ۵-۱۰- هیدرومتر

– معمولاً در دیواره داخلی لوله هیدرومتر، کاغذ مدرجی قرار می‌دهند. مانند شکل ۵-۱۰ که می‌تواند برحسب چگالی، غلظت، چگالی نسبی یا درجه API^۲ باشد.

– چون چگالی تابع دماست، به همین دلیل بعضی هیدرومترها در داخل خود دماسنج دارند تا همزمان درجه حرارت مایع، در زمان اندازه‌گیری چگالی آن، خوانده شود. در غیر این صورت، می‌توان از یک دماسنج در ظرف هیدرومتری استفاده کرد.

۱- Hydrometric jar

۲- درجه API، کمیتی است بدون بعد، که میزان مرغوبیت ترکیبات نفتی را نشان می‌دهد. اندازه‌گیری این کمیت در این ترکیبات از چگالی و چگالی نسبی بیشتر رایج است. درجه API از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$^{\circ}\text{API} = \frac{141.5}{\text{sp.gr}_{60/60}^{\circ}\text{F}} - 131.5$$

بدیهی است با اندازه‌گیری هر یک از سه فاکتور مذکور، دو فاکتور دیگر از طریق روابط میان آنها، قابل محاسبه‌اند. (جهت کسب اطلاعات بیشتر به کتاب کارگاه فرآیندهای شیمیایی مراجعه شود).

دانستنی (۲)

«کاربرد هیدرومتر»

یکی از کاربردهای هیدرومتر، تعیین نسبت ضدیخ موجود در رادیاتور اتومبیل جهت محافظت اتومبیل در برابر کاهش دما، از طریق تعیین دمای انجماد محلول ضدیخ است، که با استفاده از روابط زیر به دست می آید:

$$\Delta T_F = K_F \cdot m$$

در این رابطه؛ (ΔT_F) کاهش دمای انجماد، (K_F) ثابت نزول انجماد حلال و (m) مولالیت (غلظت محلول) است.

با توجه به این که:

$$\Delta T_F = T_F^\circ - T_F$$

که در آن، (T_F°) دمای انجماد حلال و (T_F) دمای انجماد محلول است، با اندازه گیری غلظت محلول فعلی رادیاتور توسط هیدرومتر، از رابطه (T_F) محاسبه می شود. حال با در نظر داشتن (T_F) مطلوب و محاسبه ΔT_F ، غلظت لازم برای این مقدار کاهش دمای انجماد محاسبه می گردد. سپس، با ایجاد نسبت مناسب ضدیخ در رادیاتور، آن را از خطر یخ زدگی و ترکیدگی نجات می دهند.

دانستنی (۳)

روش های اندازه گیری چگالی مواد: دو روش اساسی

برای اندازه گیری چگالی مواد وجود دارد:

۱- روش هیدرومتری

۲- روش پیکنومتری

روش پیکنومتری برای اندازه گیری چگالی هر سه حالت ماده، با استفاده از پیکنومتر^۱، کاربرد دارد، در حالی که روش هیدرومتری فقط برای اندازه گیری چگالی مایعات به کار می رود.

پیکنومترها، ظروفی شیشه ای با حجم های معین هستند که از طریق «توزین مضاعف» ابتدا جرم ماده و سپس به طور دقیق چگالی آن محاسبه می گردد^۲. در شکل ۵-۱۱ یک نمونه پیکنومتر مشاهده می شود.



شکل ۵-۱۱- پیکنومتر

۱- Pycnometer

۲- جهت کسب اطلاعات بیشتر به کتاب «کارگاه فرآیندهای شیمیایی» مراجعه شود.



شکل ۱۲-۵- پیکنومتر خلأ^۱

برای اندازه‌گیری چگالی گازها با پیکنومتر، ابتدا باید در پیکنومتر خلأ ایجاد کرد و بعد گاز را به‌درون آن هدایت کرد و مانند قبل چگالی را به‌دست آورد. شکل ۱۲-۵ یک «پیکنومتر خلأ» را نشان می‌دهد.

حل خود آزمایی فصل پنجم، صفحه ۳۱

۱- ثابت کنید :

(الف) اگر حجم دو جسم یکسان باشد نسبت جرم دو جسم، چگالی نسبی آنهاست.

(ب) چرا چگالی نسبی واحد ندارد؟

حل :

(الف)

$$V_1 = V_2$$

$$d = \frac{\rho_1}{\rho_2} = \frac{\frac{m_1}{V_1}}{\frac{m_2}{V_2}} = \frac{m_1 \cancel{V_2}}{m_2 \cancel{V_1}} = \frac{m_1}{m_2}$$

(ب) زیرا چگالی نسبی، نسبت دو کمیت یکسان چگالی است که واحدهای آنها در صورت و مخرج ساده می‌شوند و چگالی نسبی بدون واحد به‌دست می‌آید.

۲- اگر چگالی چوب 0.5 g/cm^3 باشد جرم 2 cm^3 و 10 cm^3 آن چند گرم است؟

حل :

$$\rho = 0.5 \text{ g/cm}^3$$

$$V_1 = 2 \text{ cm}^3$$

,

$$V_2 = 10 \text{ cm}^3$$

$$m_1 = ?$$

,

$$m_2 = ?$$

$$\rho = \frac{m_1}{V_1} \Rightarrow m_1 = \rho V_1 \Rightarrow m_1 = 0.5 \text{ g/cm}^3 \times 2 \text{ cm}^3 = 1 \text{ g}$$

^۱ - Vacume pycnometer

$$\rho = \frac{m_2}{V_2} \Rightarrow m_2 = \rho V_2 \Rightarrow m_2 = 1 \text{ g/cm}^3 \times 5 \text{ cm}^3 = 5 \text{ g}$$

۳- جرم یک بطری خالی ۷۰ gr و جرم بطری پر از آب ۹۰ gr است. هنگام پر بودن از مایع دیگری جرم ۹۴ gr می‌شود. چگالی مایع دوم چقدر است؟

حل: این مسئله از دو راه حل می‌شود، به این صورت:

(الف)

$$90 - 70 = 20 \text{ g} \quad (m_1) \quad \text{جرم آب}$$

$$94 - 70 = 24 \text{ g} \quad (m_2) \quad \text{جرم مایع دوم}$$

چون بطری برای هر دو یکسان است، پس حجم هر دو برابر است، یعنی: $V_1 = V_2$
پس براساس اثبات قسمت الف مسئله (۱)، چگالی نسبی این دو ماده، نسبت جرم‌های آنهاست، یعنی:

$$d = \frac{m_2}{m_1} = \frac{24 \text{ g}}{20 \text{ g}} = 1.2$$

از طرفی چگالی نسبی برابر است با نسبت چگالی این دو مایع، پس:

$$d = \frac{\rho_2}{\rho_1} = 1.2$$

و چگالی آب مشخص است، یعنی:

$$\rho_1 = 1 \text{ g/cm}^3$$

$$\Rightarrow \rho_2 = d\rho_1 \Rightarrow \rho_2 = (1.2)(1 \text{ g/cm}^3) = 1.2 \text{ g/cm}^3$$

(ب) با داشتن چگالی و جرم آب، حجم آب، که برابر با حجم مایع دوم به‌دست می‌آید:

$$90 - 70 = 20 \text{ g} \quad (m_1) \quad \text{جرم آب}$$

$$\rho_1 = \frac{m_1}{V_1} \Rightarrow V_1 = \frac{m_1}{\rho_1} \Rightarrow V_1 = \frac{20 \text{ g}}{1 \text{ g/cm}^3} = 20 \text{ cm}^3$$

حال با داشتن جرم مایع دوم و حجم آن، چگالی مایع دوم به‌دست می‌آید:

$$94 - 70 = 24 \text{ g} \quad (m_2) \quad \text{جرم مایع دوم}, \quad V_2 = 20 \text{ cm}^3$$

$$\rho_2 = \frac{m_2}{V_2} \Rightarrow \rho_2 = \frac{24 \text{ g}}{20 \text{ cm}^3} = 1.2 \text{ g/cm}^3$$

۴- چگالی طلا 19 g/cm^3 است. حجم ۹۵ گرم طلا چقدر است؟

حل:

$$\rho = 19 \text{ g/cm}^3, \quad V = ?, \quad m = 95 \text{ g}$$

$$\rho = \frac{m}{V} \Rightarrow V = \frac{m}{\rho} \Rightarrow V = \frac{95 \text{ g}}{19 \text{ g/cm}^3} = 5 \text{ cm}^3$$

۵- جرم شخصی در کره زمین ۸۲kg است. در کره ماه چه وزنی دارد؟ چه جرمی دارد؟

حل :

$$a = 1/6 \text{ m/s}^2 = \text{شتاب جاذبه ماه}$$

$$m = 82 \text{ kg}$$

$$W_{\text{در ماه}} = ?$$

$$m_{\text{در ماه}} = ?$$

جرم مقدار ثابتی است و وابسته به مکان نیست، پس جرم شخص در کره ماه نیز همان ۸۲kg است. اما وزن؛

$$W = mg_{\text{ماه}}$$

$$W = 82 \text{ kg} \times 1/6 \text{ m/s}^2 = 13.67 \text{ kg.m/s}^2 (= \text{N}) \quad (\text{نیوتن} = \text{N})$$

نکته : شتاب جاذبه ماه $\frac{1}{6}$ شتاب جاذبه زمین است.

از هنجریان خواسته شود که خود را برای انجام یک آزمون از فصل پنجم در جلسه آینده آماده کنند.

پمپ‌ها

چکیده فصل

در این فصل^۱، هنجریان با خصوصیات، عملکرد و کاربردهای پمپ‌های متداول در صنعت آشنا می‌شوند و در پایان «پدیدهٔ حفره‌زایی یا کاویتاسیون» به صورت یک معضل در کار پمپ‌ها، معرفی می‌گردد.

دانسته‌های قبلی : هنجریان در زندگی روزمره بارها نام پمپ را شنیده‌اند، از جمله پمپ کولر، پمپ بنزین، پمپ سرچاه، ... اما اطلاعات آنها در مورد پمپ‌ها بسیار کم است. به همین دلیل، مطالب این فصل برای آنها جدید است.

اهداف فصل : در پایان فصل، از هنجریان انتظار می‌رود که مفاهیم زیر را آموخته باشند و بتوانند در مورد آنها توضیحاتی ارائه دهند :

- تعریف پمپ
- کاربردهای پمپ
- معرفی «هد پمپ»، «ظرفیت» و «بازده پمپ»
- عوامل مؤثر در انتخاب پمپ
- تقسیم بندی پمپ‌ها بر مبنای نحوهٔ انتقال انرژی به مایع^۲
- دلایل انتخاب پمپ گریز از مرکز به منزلهٔ متداول‌ترین پمپ
- قسمت‌های مختلف یک پمپ گریز از مرکز (به صورت عینی در کارگاه یا از روی شکل)
- چگونگی عملکرد یک پمپ گریز از مرکز (به صورت نمایشی از پمپ موجود در کارگاه عملیات)
- انواع پمپ گریز از مرکز براساس مسیر حرکت مایع در پروانه (هنرجو باید بتواند انواع را نام ببرد و مشخصات و کاربرد هر کدام را بیان کند).
- آشنایی با انواع دیگر پمپ‌های دینامیکی، با استفاده از نمودار صفحهٔ ۳۵ کتاب
- آشنایی با انواع پروانه‌ها در صفحهٔ ۳۶ کتاب
- مشخصات اصلی پمپ‌های گریز از مرکز

۱- مطالب این فصل به صورت تعریف و نکته است و در برنامهٔ تدریس آن، محاسبات مربوطه گنجانده نشده است. در فصل پنجم «کارگاه عملیات دستگاهی» نمونهٔ محاسبات مذکور مشاهده می‌شود.

۲- چون پمپ‌ها فقط برای انتقال مایعات به کار می‌روند، بهتر است در این خصوص به جای لفظ «سیال»، که شامل گاز و مایع و بخار می‌شود، تنها از کلمهٔ «مایع» استفاده

- آشنایی با پمپ رفت و برگشتی پیستونی از نظر ساختمان و عملکرد
- آشنایی با نام انواع دیگر پمپ‌های جابه‌جایی، با استفاده از نمودار صفحه ۳۵ کتاب
- مشخصات اصلی پمپ‌های رفت و برگشتی
- مقایسه بین پمپ گریز از مرکز و رفت و برگشتی
- چگونگی وقوع «پدیده کاویتاسیون یا حفره‌زایی»، عوارض و راه‌های جلوگیری از آن

برنامه زمان‌بندی تدریس فصل ششم

صفحه	موضوعات	هفته
۳۷-۳۲	پمپ و کاربردهای آن، انتخاب پمپ، انواع پمپ، خصوصیات پمپ گریز از مرکز و رفت و برگشتی، انواع پمپ گریز از مرکز	۱۱
۳۸	مفهوم حفره‌زایی (کاویتاسیون)	۱۲

برنامه زمان بندی هفته یازدهم			دقیقه
۱	آماده کردن کلاس (احوالپرسی، حضور و غیاب)	۵	
۲	رفع اشکال	۱۰	
۳	برگزاری آزمون فصل پنجم	۱۰	
۴	تدریس	۱۰۰	
۵	استراحت میان تدریس (دو نوبت)	۱۰	

سؤالات پیشنهادی برای طرح یک آزمون از فصل پنجم

- سؤالات پیشنهادی را می توان به صورت پرکردنی، تشریحی، تستی و مسئله مطرح کرد.
- طرح یک آزمون ۵ نمره ای از این فصل کفایت می کند. نمونه ای از سؤالات مربوط به این فصل در زیر آورده می شود که به صلاح دید هنرآموز محترم، می توان از آنها استفاده کرد یا مشابه آنها را طراحی نمود:
- ۱- ترازوهای قدیمی براساس و هیدرومتر براساس کار می کند.
 - ۲- مقدار ماده موجود در یک جسم را می گویند.
 - ۳- وسیله اندازه گیری جرم است.
 - ۴- فاکتوری که باعث متغیر بودن وزن اجسام می شود است.
 - ۵- جرم اجسام است ولی وزن است.
 - ۶- هر کیلوگرم تقریباً برابر با جرم ساتی متر مکعب آب خالص در است.
 - ۷- واحد چگالی در سیستم SI، است.
 - ۸- چگالی جامدات و مایعات را نسبت به و چگالی گازها را نسبت به می سنجند.
 - ۹- هیدرومتر برای اندازه گیری به کار می رود.
 - ۱۰- چگالی آب از بنزین است، به همین دلیل طول از هیدرومتر داخل آب قرار می گیرد.
 - ۱۱- هر چه مایع، چگالی بالاتری داشته باشد حجم از لوله هیدرومتر بیرون از مایع است.
 - ۱۲- میزان قدرت باتری اتومبیل را با تعیین می کنند.
 - ۱۳- چگالی نسبی اسید یک باتری کاملاً شارژ شده و باتری کاملاً خالی یا دشارژ تا کاهش می یابد.
 - ۱۴- جرم و وزن را تعریف کنید و فرق آنها را بنویسید.

- ۱۵- وقتی می‌گوییم «سرب از آلومینیوم سنگین‌تر» است یعنی چه؟
 ۱۶- چگالی جسمی به جرم 2 g و حجم 10 cm^3 چقدر است؟
 ۱۷- چگالی سرب 11 g/cm^3 است. جرم 2 cm^3 آن چقدر است؟
 ۱۸- چگالی جیوه 13.6 g/cm^3 است. حجم $27/2\text{ g}$ آن چقدر است؟
 ۱۹- چگالی نسبی سرب به آلومینیوم تقریباً ۴ است. اگر چگالی سرب 11 g/cm^3 باشد، چگالی آلومینیوم چقدر است؟

- ۲۰- اساس کار هیدرومتر (چگالی سنج مایعات) و ساختمان آن را بنویسید.
 ۲۱- نقش گلوله‌های سربی در هیدرومتر چیست؟
 ۲۲- برای افزایش حساسیت هیدرومتر، آن را چگونه طراحی می‌کنند؟ چرا؟
 ۲۳- چگونه می‌فهمیم یک باتری ماشین شارژ یا دشارژ است؟
 ۲۴- دو کاربرد هیدرومتر را بنویسید.
 ۲۵- اگر طول هیدرومتر خارج از مایع A، 1 cm و خارج از مایع B، 3 cm باشد کدام مایع چگالی بیشتری دارد؟ چرا؟
 ۲۶- اگر دو مایع A و B را به طور جداگانه در یک ظرف استوانه‌ای شکل به ارتفاع 30 cm و قطر 10 cm می‌ریزیم تا پر شود. در صورتی که چگالی نسبی A به B، ۲ باشد نسبت جرم B به A چقدر است؟

پاسخ:

- (۱) قانون اهرم‌ها، قانون ارشمیدس
- (۲) جرم
- (۳) ترازو
- (۴) شتاب جاذبه یا ارتفاع از زمین
- (۵) ثابت، متغیر
- (۶) $1000^\circ\text{C} - 4^\circ\text{C}$
- (۷) کیلوگرم بر مترمکعب
- (۸) آب - هوا
- (۹) چگالی مایعات
- (۱۰) بیشتر - کمتری
- (۱۱) بیشتری
- (۱۲) چگالی سنج مایعات (هیدرومتر)
- (۱۳) $1/15 - 1/28$
- (۱۴) جواب در صفحه ۲۶ کتاب است.
- (۱۵) یعنی چگالی سرب بیشتر از چگالی آلومینیوم است.

۱۶ حل: $\rho = \frac{m}{V} \Rightarrow \rho = \frac{2\text{ g}}{10\text{ cm}^3} = 0.2\text{ g/cm}^3$

$$\rho = \frac{m}{V} \Rightarrow m = \rho V \Rightarrow m = 11 \text{ g/cm}^3 \times 2 \text{ cm}^3 = 22 \text{ g} \quad \text{حل (۱۷)}$$

$$\rho = \frac{m}{V} \Rightarrow V = \frac{m}{\rho} \Rightarrow V = \frac{22 \text{ g}}{13.6 \text{ g/cm}^3} = 1.62 \text{ cm}^3 \quad \text{حل (۱۸)}$$

$$d = \frac{\rho_{\text{pb}}}{\rho_{\text{Al}}} \Rightarrow \rho_{\text{Al}} = \frac{\rho_{\text{pb}}}{d} \Rightarrow \rho_{\text{Al}} = \frac{11 \text{ g/cm}^3}{4} = 2.75 \text{ g/cm}^3 \quad \text{حل (۱۹)}$$

(۲۰) جواب در صفحات ۲۹ و ۳۰ کتاب آمده است.

(۲۱) باعث می‌شوند هیدرومتر به هنگام شناوری، قائم بایستد.

(۲۲) لوله را باریک‌تر می‌سازند تا فاصله درج‌ات بیشتر شود و دقت خواندن بالا رود.

(۲۳) چگالی نسبی اسید آن را با هیدرومتر اندازه می‌گیرند اگر کمتر از ۱/۱۵ باشد دشارژ است و اگر ۱/۲۸ باشد، شارژ است.

(۲۴) به صفحه ۳۰ کتاب مراجعه کنید.

(۲۵) مایع B، زیرا به علت چگالی بیشتر، نیروی شناوری بیشتری بر هیدرومتر وارد کرده است.

(۲۶) حل : چون ظرف برای هر دو یکسان است، پس حجم‌ها برابر است و چگالی نسبی، نسبت جرم‌هاست؛

$$d = m_A / m_B = 2 \Rightarrow m_B / m_A = 0.5$$

راهنمای تدریس

از آنجا که مطالب این فصل برای هنرجویان جدید است، مشارکت چندانی در آموزش نخواهند داشت. به همین دلیل جهت تفهیم بهتر مطالب، پیشنهاد می‌شود تدریس در محیط کارگاه با استفاده از پمپ موجود در آن انجام شود.

۱-۶- تعریف پمپ

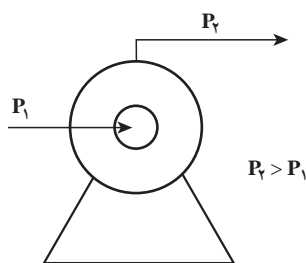
پمپ را می‌توان با تعاریف مختلفی معرفی کرد، از جمله :

– پمپ وسیله‌ای است که مایعات را از طریق افزایش فشار جا به جا می‌کند.

– پمپ وسیله‌ای است که انرژی مکانیکی خود را از یک منبع خارجی مانند موتور الکتریکی یا توربین می‌گیرد و به صورت انرژی فشاری به مایع می‌دهد تا آن را به جریان بیندازد.

شکل ۱-۶ یک پمپ را نشان می‌دهد که در آن میزان فشاری که پمپ به مایع عبوری می‌دهد، «هد پمپ» نام دارد و برابر است

$$h_p = (p_2 - p_1) \text{ با}$$



شکل ۱-۶- پمپ

دانستنی (۱)

تبدیل انرژی‌های مختلف به یکدیگر، موجب انتقال مایع توسط پمپ می‌شود، به صورتی که در قسمت زیر نشان داده می‌شود:

انرژی جنبشی مایع → انرژی مکانیکی در قسمت متحرک پمپ → انرژی الکتریکی موتور
→ انرژی فشاری مایع

جهت محاسبه راندمان پمپ، انرژی ورودی و خروجی پمپ مورد بررسی قرار می‌گیرد:
انرژی ورودی پمپ، از نوع الکتریکی است که با اندازه‌گیری آن در واحد زمان، «توان الکتریکی پمپ» به دست می‌آید، از رابطه (۱-۶)؛

$$P = VI \cos \Phi \quad (1-6)$$

در این رابطه؛

V = ولتاژ جریان، ولت، I = شدت جریان الکتریکی، آمپر،

Φ = اختلاف فاز بین ولتاژ و آمپر و P = توان الکتریکی پمپ، وات

انرژی خروجی از پمپ، از نوع فشاری است که با اندازه‌گیری آن در واحد زمان، «توان فرآیندی پمپ» از رابطه (۲-۶) به دست می‌آید:

$$P = Qh_{ppg} \quad (2-6)$$

در این رابطه؛

Q = دبی حجمی پمپ، m^3/s ، h_p = هد پمپ، متر مایع عبوری از پمپ

راندمان^۱ هر دستگاه، از تقسیم یک کمیت خروجی به ورودی به دست می‌آید، در پمپ نیز براساس رابطه (۳-۶)، محاسبه می‌شود:

$\eta = 100 \times (\text{توان الکتریکی} / \text{توان فرآیندی}) =$ راندمان پمپ

$$\eta = \frac{Qh_{ppg}}{VI \cos \Phi} \times 100 \quad (3-6)$$

از آنجا که راندمان دستگاه‌ها در شرایط واقعی، کمتر از ۱۰۰ است در پمپ نیز این گونه است، زیرا در تبدیل انرژی‌ها همیشه مقداری اتلاف انرژی در فرم حرارت وجود دارد.

– راجع به کاربردهای پمپ، توضیحات زیر را می‌توان اضافه کرد:

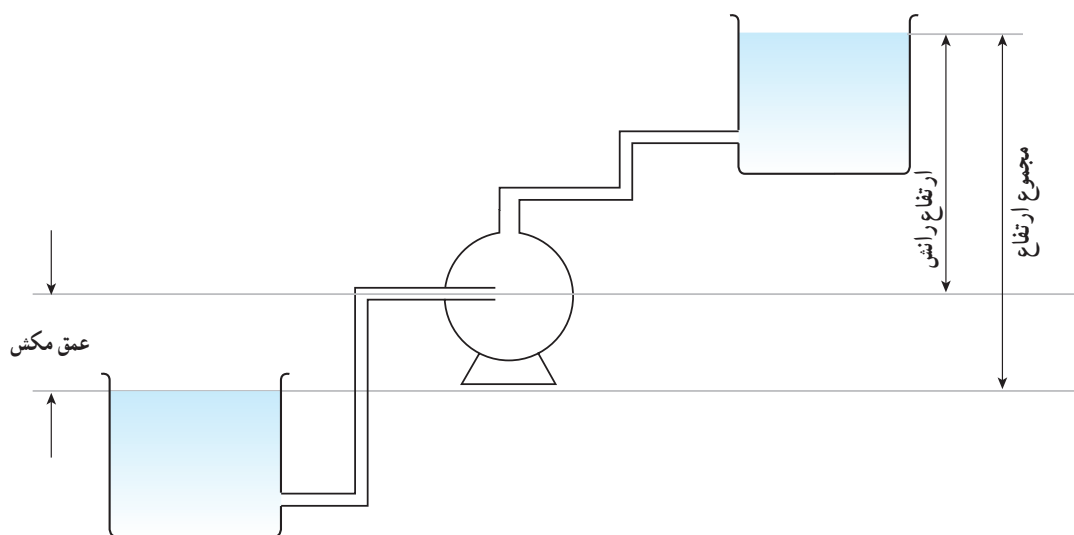
۱- انتقال مایع به یک ارتفاع معین:

حرکت مایع به سطوح بالاتر نیاز به انرژی دارد که بر جاذبه زمین غلبه کند. این انرژی توسط پمپ تأمین می‌شود. شکل ۲-۶

این کاربرد پمپ را نشان می‌دهد. در مثال‌های زیر به این کاربرد پمپ اشاره شده است:

کشیدن آب از چاه، استخراج نفت از اعماق زمین، پمپ بنزین، پمپ کولر (کشیدن آب از حوضچه کف کولر و پخش آن بر روی

پوشال‌ها)



شکل ۶-۲ - انتقال یک مایع به ارتفاع بالاتر توسط پمپ

۲- انتقال مایع در سیستم‌های لوله‌کشی : در این سیستم‌ها، انرژی مایع به دلیل اصطکاک با دیواره داخلی لوله یا عبور از مقاطع کوچک‌تر (نصب جریان سنج‌ها)، خم‌ها و زانو‌ها کاهش می‌یابد و در جریان مایع اختلال ایجاد می‌شود، که از طریق یک پمپ جبران می‌گردد.^۱

و به طور کلی در رابطه با کاربرد پمپ می‌توان گفت :
«پمپ قلب یک سیستم هیدرولیک است.»

۶-۲- انتخاب انواع پمپ

در این بخش عوامل مؤثر در انتخاب و طراحی انواع پمپ‌ها را، جهت استفاده در خطوط تولید صنایع شیمیایی نام می‌بریم و در صورت لزوم مختصراً در مورد آنها، توضیحاتی داده می‌شود. قیمت، جنس و نوع پمپ عوامل دیگری هستند که توصیه می‌شود آنها نیز مطرح گردند.

لازم است متذکر شویم «مقدار حجم عبوری سیال از پمپ در واحد زمان» به «ظرفیت^۲» پمپ معروف است و در بعضی منابع از «هد پمپ» به نام «میزان ارتفاع آبدهی» پمپ نیز استفاده شده است.

۶-۳- تقسیم‌بندی پمپ‌ها

یادآوری می‌شود پمپ‌ها را براساس معیارهای مختلف طبقه‌بندی می‌کنند، از جمله؛
از نظر ساختار داخلی یا به عبارت دیگر قسمت متحرک پمپ که عامل انتقال نیرو به مایع است، مانند : پروانه، پیستون، چرخ‌دنده، مارپیچ حلزونی شکل و ... که می‌توانند بر میزان فشار خروجی مایع اثر مستقیم داشته باشند.

۱- شکل (۶-۲) از کتاب «کارگاه مبانی صنایع شیمیایی (۱)» داوود رشتنجان، قطبی و غلامی سعیدی

۲- نصب ایستگاه‌های پمپاژ در خطوط طولانی انتقال نفت، این کاربرد مهم پمپ را نشان می‌دهد.

معیار دیگر، جنس پمپ است که براساس نوع سیال عبوری تفاوت می‌کند. بر این اساس پمپ‌ها به انواع چدنی، فولادی، پلاستیکی و غیره آنها طبقه‌بندی می‌شوند. برای مثال، برای انتقال مواد اسیدی و خورنده از پمپ‌هایی استفاده می‌شود که جنس آنها در برابر اسید مقاوم باشد و یا قسمت داخلی پوسته از لاستیک یا تفلون پوشیده باشد.

متداول‌ترین معیار جهت تقسیم‌بندی پمپ‌ها، نحوه انتقال انرژی به مایع است. بر این اساس پمپ‌ها به دو دسته دینامیکی و جابه‌جایی تقسیم می‌شوند.

بعد از تعریف هر کدام^۱، مثال‌هایی از رایج‌ترین نوع آنها ذکر می‌شود. در همین قسمت، نظر هنجریان به جدول (۶-۱) صفحه ۳۵ کتاب جلب می‌شود و تقسیم‌بندی کلی پمپ‌ها براساس معیار مذکور، آموزش داده می‌شود^۲.

از پمپ‌گریز از مرکز موجود در کارگاه، می‌توان به صورت یک وسیله کمک آموزشی استفاده کرد.

در این فصل براساس متن کتاب، از پمپ‌های دینامیکی رایج‌ترین نوع آن یعنی پمپ‌گریز از مرکز یا سانتریفیوژ و از پمپ‌های جابه‌جایی، پمپ رفت و برگشتی پیستونی انتخاب می‌شود و موارد مربوط به آنها، از جمله ساختمان، عملکرد و کاربردها مورد بررسی قرار می‌گیرد.

بخش‌های (۴-۶) تا (۹-۶) با استفاده از متن کتاب^۳ و تصاویر و وسایل کمک آموزشی چون پمپ موجود در کارگاه، به سادگی می‌تواند تدریس شود. در این فرصت، جهت بهبود فرآیند یاددهی و یادگیری، به نکاتی اشاره می‌شود:

– در پمپ‌های گریز از مرکز، عامل ایجاد فشار و انرژی جنبشی در مایع عبوری از پمپ، نیروی گریز از مرکز است (که به واسطه دوران پروانه و حرکت هم‌زمان مایع در آن، ایجاد می‌شود) و دلیل نام‌گذاری این پمپ نیز همین است.

پمپ‌گریز از مرکز را به دلایل زیر^۴ متداول‌ترین نوع پمپ‌ها دانسته‌اند، از جمله:

شکل ساختمانی ساده‌تر، قیمت ارزان‌تر، اشغال فضای کمتر، هزینه نگهداری پایین‌تر، طرحی با گستره وسیعی از ظرفیت‌ها و هدها^۵، راندمان بالا و نکته بسیار مهم و اساسی ایجاد جریان یکنواخت و دائم برای مایع عبوری.

– اجزای تشکیل دهنده یک پمپ‌گریز از مرکز به صورت کامل، به شکل زیر بیان می‌شود:

۱- قسمت ثابت، به نام پوسته^۶ خوانده می‌شود که بر روی آن دو لوله ورودی (مکش^۷) و خروجی (رانش^۸) پمپ وجود دارد.

۲- قسمت متحرک، که شامل محور^۹ پمپ و یک یا چند پروانه^{۱۰} است.

۱- جهت روشن شدن این تعاریف، می‌توان برای هر کدام مثالی آشنا ذکر کرد. پمپ کولر مثال خوبی برای پمپ‌های دینامیکی و عملکرد یک سرنگ برای پمپ‌های جابه‌جایی هستند که به این صورت مختصراً توضیح داده می‌شوند: در مدتی که کولر روشن است، پمپ آن جابه‌جایی آب را از کف به روی پوشال‌ها بدون وقفه انجام می‌دهد. به عبارت دیگر، ورود و خروج مایع به این گونه پمپ‌ها، هم‌زمان صورت می‌گیرد درحالی‌که با توجه به عملکرد یک سرنگ، مشاهده می‌شود که هر زمان فقط یکی از عملیات ورود یا خروج انجام می‌شود.

۲- در این فصل، از هر پمپ به یک نمونه رایج آن اشاره می‌شود برای کسب اطلاعات در مورد بقیه پمپ‌های موجود در صفحه ۳۵، به دانستنی (۵) مراجعه شود.

۳- جهت کسب اطلاعات بیشتر، به دانستنی‌ها که منابع مناسبی است، مراجعه کنید.

۴- این دلایل در بخش (۶-۶) تحت عنوان «مشخصات اصلی پمپ‌های گریز از مرکز»، ذکر گردیده‌اند که بیان آنها در این قسمت نیز مفید است.

۵- این طراحی در بخش (۶-۵) تقسیم‌بندی پمپ‌های گریز از مرکز، مشاهده می‌شود.

۶- Casing

۷- Suction

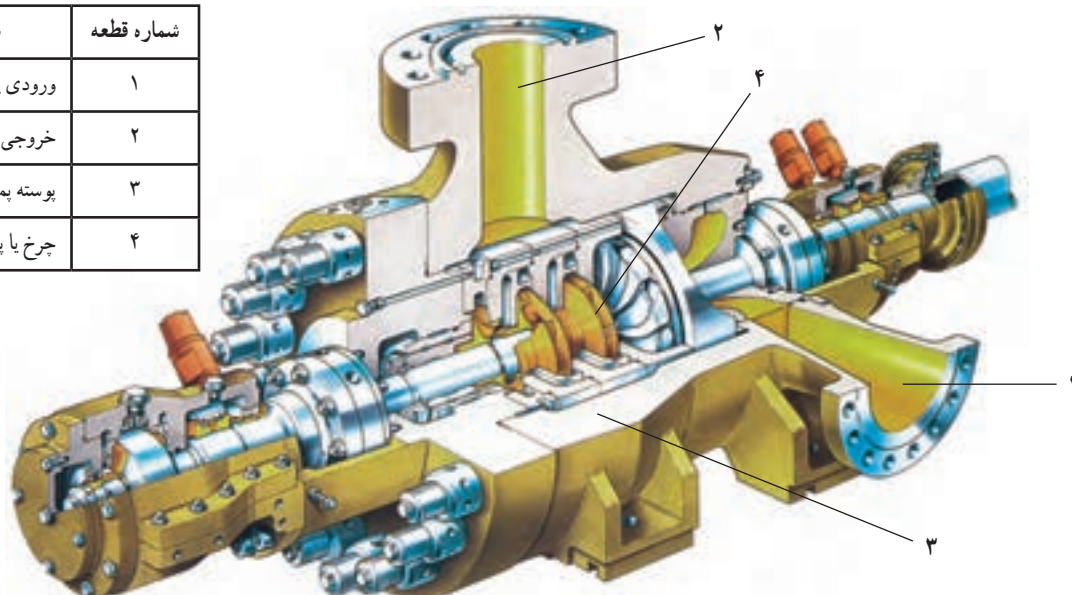
۸- Discharge

۹- shaft

۱۰- Impeller

۳- قسمت محرک یا تأمین انرژی پمپ مانند موتور الکتریکی^۱ یا توربین^۲.
 شکل ۳-۶ اجزای داخلی یک پمپ گریز از مرکز را نشان می‌دهد.

شماره قطعه	شرح
۱	ورودی یا مکش
۲	خروجی یا لوله تخلیه
۳	پوسته پمپ
۴	چرخ یا پروانه پمپ



شکل ۳-۶- اجزای داخلی یک پمپ گریز از مرکز

دانستنی (۲)

توضیحاتی در خصوص اجزای پمپ گریز از مرکز

محرک : محرک در پمپ‌های گریز از مرکز، سه نوع است :

۱- محرک الکترومغناطیسی یا موتور الکتریکی که انرژی الکتریکی را به انرژی مکانیکی تبدیل می‌کند و باعث حرکت دورانی قطعه‌ای به نام محور می‌شود. ابتدای محور در موتور و انتهای آن به پروانه متصل شده است. پس با حرکت محور، پروانه نیز می‌چرخد.

۲- محرک توربینی که به کمک انرژی بخار آب، محور پمپ را می‌چرخاند. پمپ‌هایی را که دارای محرک توربینی هستند به نام توربو پمپ می‌شناسند.

۳- محرک دیزلی، موتوری است که معمولاً با سوخت فسیلی گازوئیل کار می‌کند. در شکل ۴-۶ یک پمپ گریز از مرکز با موتور الکتریکی نشان داده شده است.



شکل ۴-۶- پمپ گریز از مرکز

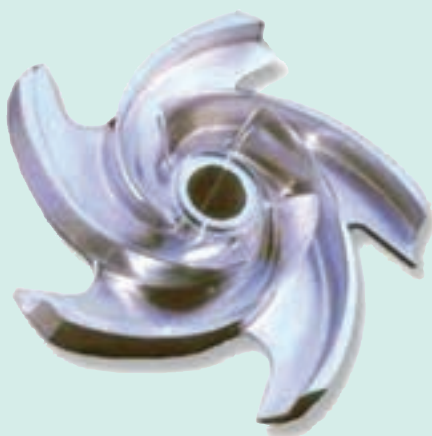
۱- در شکل (۳-۶) موتور الکتریکی پمپ مشاهده می‌شود.

۲- به پمپ‌هایی که نیروی محرکه آنها توربین است «توربو پمپ» می‌گویند.

چرخ یا پروانه پمپ :

چرخ یا پروانه پمپ گریز از مرکز، دارای تعدادی پره‌های خمیده است که بر حسب نوع و عملکرد مورد انتظار از پمپ، بین ۱ تا ۹ پره متغیر است. نوع پروانه مورد استفاده، در رانندگی پمپ اثر مستقیم دارد. پروانه‌ها به سه دسته تقسیم می‌شوند :

۱- پروانه باز^۱ : ساده‌ترین نوع پروانه است که جهت انتقال مایعات همراه با ناخالصی‌هایی چون ذرات شن و ماسه، مناسب است. شکل ۵-۶، یک پروانه باز را نشان می‌دهد.



شکل ۵-۶- پروانه باز

۲- پروانه نیمه بسته باز^۲ یا نیمه بسته^۳ : در این نوع پروانه، پره‌ها از یک طرف روی صفحه‌ای نصب شده‌اند. این پروانه بیشتر برای مایعات رسوب‌زا، قابل استفاده است. شکل ۶-۶ یک پروانه نیمه باز یا نیمه بسته را نشان می‌دهد.



شکل ۶-۶- پروانه نیمه بسته یا نیمه باز

۳- پروانه بسته^۴ یا پوشیده^۴ : در این نوع پروانه، پره‌ها بین دو صفحه قرار دارند. (مانند شکل ۷-۶)

گفتنی است که تعداد پروانه با فشار خروجی مایع نسبت مستقیم دارد.



شکل ۷-۶- پروانه بسته

۱- Opened impeller

۲- Semi Opened impeller

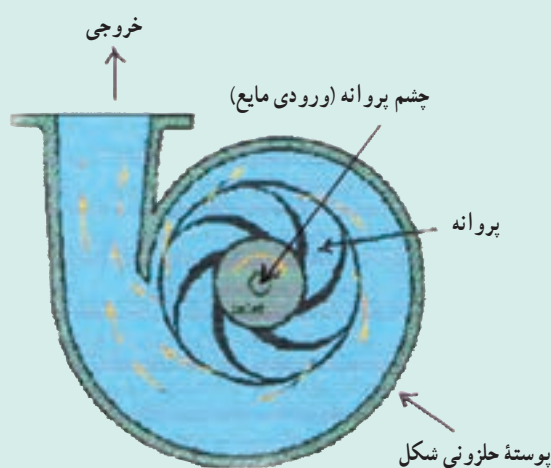
۳- Semi Closed impeller

۴- Closed impeller

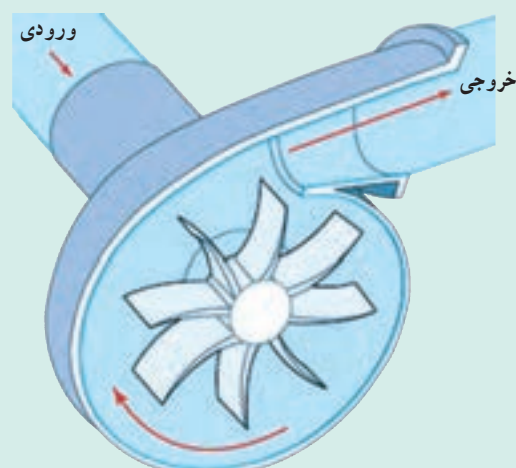
مقایسه انواع پروانه‌ها : پروانه بسته، نسبت به دو نوع دیگر با ظرفیت بالاتری کار می‌کند، زیرا مایع در مسیر معینی (بین دو صفحه و پره‌ها) حرکت می‌کند و اتلاف انرژی در پایین‌ترین حد است.

پوسته : پوسته محفظه‌ای است که پروانه در آن جای دارد و مایع را از محیط پروانه جمع می‌کند. پوسته انرژی جنبشی را به انرژی فشاری تبدیل می‌سازد. روی پوسته پمپ، دو قسمت مکش مایع و رانش یا تخلیه مایع وجود دارد. قسمت مکش مایع به صورت لوله‌ای به مرکز پروانه (چشم پروانه) متصل می‌شود و پوسته پمپ به قسمت رانش (دهانه خروجی) منتهی می‌شود و تحویل مایع به لوله رانش از این طریق صورت می‌گیرد.

پوسته پمپ‌های گریز از مرکز ممکن است شکل حلزونی داشته باشند، به طوری که کانال آن تدریجاً در جهت گردش پروانه بازتر می‌شود. هر چه مایع از پروانه به طرف لوله خروجی پیش می‌رود مقدار بیشتری مایع به جریان اضافه می‌شود. در شکل‌های ۶-۸ و ۶-۹ پوسته حلزونی شکل پمپ گریز از مرکز و اجزای دیگر آن مشاهده می‌شوند.



شکل ۶-۹- پمپ گریز از مرکز



شکل ۶-۸- پمپ گریز از مرکز

از نکات قابل توجه، فاصله بین پروانه و پوسته است که باید در حد بهینه باشد. به این معنی که نه آن قدر کم، که امکان ساییدگی وجود داشته باشد و نه آن قدر زیاد، که به هدر رفتن انرژی منتقل شده به مایع منجر شود و در نتیجه راندمان کاهش یابد. وجود مقداری مایع در این فاصله، حالت روغنکاری را در پمپ ایجاد می‌کند، که بسیار ضروری است. به همین جهت، پمپ گریز از مرکز را نباید بدون مایع راه‌اندازی کرد.

— نحوه کار پمپ گریز از مرکز :

اصول کار این پمپ براساس استفاده از نیروی گریز از مرکز پایه‌گذاری شده است. با روشن کردن پمپ، نیروی الکتریکی باعث حرکت محور و در نتیجه پروانه می‌شود. در اثر حرکت دَوْرانی پروانه، یک خلأ نسبی در قسمت ورودی پمپ ایجاد می‌شود و باعث می‌گردد مایع به داخل پمپ وارد شود. مایع به همراه پره‌ها شروع به چرخش می‌کند و در اثر نیروی گریز از مرکز، شدیداً دارای انرژی جنبشی می‌گردد و به سمت دهانه خروجی رانده می‌شود. سپس، با فشار زیاد از پمپ خارج می‌شود. خروج مایع از پمپ، خود عامل دیگری برای ایجاد خلأ (مکش) در قسمت ورودی پمپ است، که باید به این کاهش فشار، توجه خاص کرد^۱.

۱- کاهش فشار در قسمت ورودی پمپ، امری طبیعی است، زیرا عامل مکش مایع به داخل پمپ می‌شود، ولی مقدار آن با توجه به فشار بخار مایع، باید کنترل شود تا مسئله

حفره‌زایی اتفاق نیفتد. این پدیده مهم در بخش (۹-۶) توضیح داده می‌شود.

۶-۵- تقسیم‌بندی پمپ‌های گریز از مرکز

یادآوری: پمپ‌های گریز از مرکز را می‌توان به اعتبار وضعیت آنها تقسیم کرد، از آن جمله:

۱- وضعیت مجرای ورودی به لحاظ یک راهه یا دو راهه بودن آن

۲- وضعیت مراحل پمپاژ از نوع یک مرحله‌ای و چند مرحله‌ای

۳- وضعیت پروانه مانند نوع پره‌ها و تعداد آنها

۴- وضعیت مسیر حرکت مایع در پروانه

در این کتاب، تقسیم‌بندی براساس مورد (۴) صورت گرفته است.

به بیان دیگر، می‌توان گفت این تقسیم‌بندی بر مبنای موقعیت ورودی و خروجی مایع نسبت به یکدیگر است. از این دیدگاه، سه

دسته پمپ گریز از مرکز تعریف می‌شود:

۱- پمپ گریز از مرکز با جریان شعاعی^۱

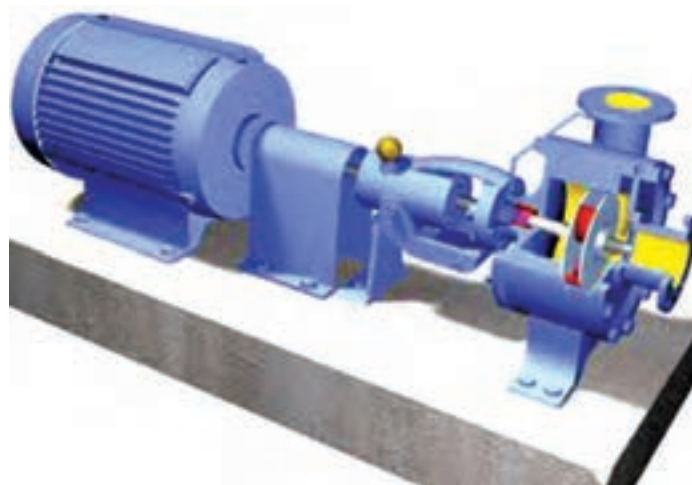
۲- پمپ گریز از مرکز با جریان محوری^۲

۳- پمپ گریز از مرکز با جریان مختلط^۳

انواع پمپ‌های گریز از مرکز، با تغییر زاویه بین مسیر ورودی و خروجی و انتخاب پروانه مناسب، قابل طراحی هستند.

۱- پمپ گریز از مرکز با جریان شعاعی:

مایع در این نوع پمپ موازی محور وارد پروانه می‌شود و به صورت شعاعی از پروانه خارج و نهایتاً عمود بر محور از پمپ تخلیه می‌گردد. به عبارت دیگر، زاویه بین ورودی و خروجی مایع 90° است. در این نمونه، عمل گریز از مرکز کامل‌تر از انواع دیگر صورت می‌گیرد و به همین دلیل هد بالاتری را ایجاد می‌کند^۴. معمولاً پروانه‌های بسته این جریان را ایجاد می‌کنند. شکل ۶-۹ نشان‌دهنده این نوع پمپ گریز از مرکز است.



شکل ۶-۱۰- پمپ گریز از مرکز با جریان شعاعی

۱- Radial Flow

۲- Axial Flow

۳- Mixed Flow

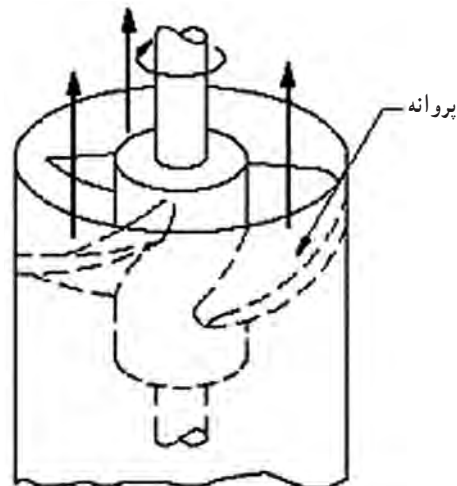
۴- چون در پمپ، «هد» و «ظرفیت» عکس یکدیگرند. پس این پمپ در دبی‌های پایین استفاده می‌شود.

۲- پمپ گریز از مرکز با جریان محوری :

ورود و خروج مایع در این نوع پمپ، در یک راستاست^۱ و زاویه بین آنها 180° است. به همین دلیل نیروی گریز از مرکز در تولید فشار دخالتی ندارد^۲. معمولاً پروانه‌های ملخی باز، این جریان را ایجاد می‌کنند. شکل‌های ۱۱-۶ و ۱۲-۶ پمپ گریز از مرکز با جریان محوری را نشان می‌دهند.



شکل ۱۲-۶- پمپ گریز از مرکز با جریان محوری



شکل ۱۱-۶- پمپ گریز از مرکز با جریان محوری

۳- پمپ گریز از مرکز با جریان مختلط :

مایع در این نوع پمپ، به موازات محور، وارد پروانه می‌شود و به صورت مایل از آن خارج می‌گردد. در این حالت، قسمتی از انرژی توسط نیروی گریز از مرکز و قسمتی به وسیله بالا بردن مایع، تبدیل می‌شود. در حقیقت در این نوع پمپ، جریان مایع مخلوطی از جریان‌های شعاعی و محوری است و نقص دو جریان قبلی را برطرف می‌سازد. در این صورت نسبت به جریان شعاعی، دبی بیشتری دارد و نسبت به جریان محوری، هد بالاتری را ایجاد می‌کند. معمولاً پروانه‌های نیمه‌باز یا نیمه بسته، می‌توانند این جریان را تولید کنند. در شکل‌های ۱۳-۶ و ۱۴-۶ پمپ گریز از مرکز با جریان مختلط مشاهده می‌شود.



شکل ۱۳-۶- پمپ گریز از مرکز (با جریان مختلط)



شکل ۱۴-۶- پمپ گریز از مرکز (با جریان مختلط)

۱- این امر، باعث افزایش ظرفیت (دبی) پمپ می‌شود.

۲- این مسئله باعث می‌شود که هد در این نمونه پمپ پایین باشد.

۶-۶- مشخصات اصلی پمپ‌های گریز از مرکز

پاره‌ای از ویژگی‌های پمپ گریز از مرکز که باعث استقبال روز افزون از آن شده است، در بخش (۴-۶) بیان شد. بقیه موارد، بعد از تدریس پمپ رفت و برگشتی، به صورت مقایسه با این پمپ بیان می‌شود.

۶-۷- پمپ‌های رفت و برگشتی

در این بخش، پمپ رفت و برگشتی پیستونی از دسته «پمپ‌های جابه جایی^۱» مورد بررسی قرار می‌گیرد.

سابقه و قدمت این پمپ‌ها از انواع پمپ‌های دیگر بیشتر است. در روزگاران قدیم که در شهرها لوله‌کشی آب نبود در هر محله از این نوع پمپ (برای کشیدن آب از منابع) استفاده می‌شد. یک نمونه از این پمپ، در شکل ۱۵-۶ مشاهده می‌شود.



شکل ۱۵-۶- تلمبه قدیمی

۱- بیان کاربردهای روزمره این نوع پمپ، در فرآیند یاددهی و یادگیری مؤثر است.

مثال : ساده‌ترین مثال برای این نمونه پمپ، سرنگ تزریق^۲ است (مانند شکل ۱۶-۶) این وسیله را می‌توان به کلاس آورد و عملکرد و ساختمان آن را بررسی کرد.

مثال : تلمبه‌هایی که برای باد کردن لاستیک دوچرخه به کار می‌روند^۳.

(مانند شکل ۱۷-۶)



شکل ۱۷-۶- تلمبه باد

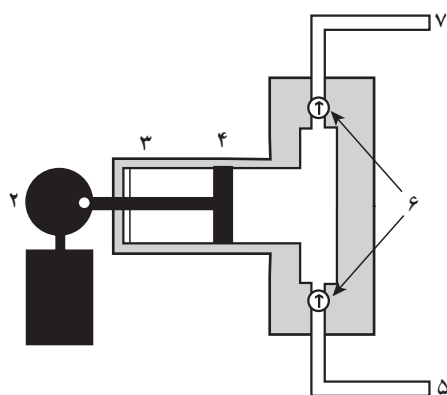


شکل ۱۶-۶- سرنگ تزریق

۱- در بعضی از منابع به آنها «پمپ‌های جابه جایی مثبت» گفته‌اند و هم چنین به نام «پمپ‌های تناوبی» نیز معروف‌اند (به سبب متناوب بودن جریان مایع توسط این پمپ‌ها)

۲- با یک سرنگ تزریق و دو ظرف آب، عملاً جابه جایی آب را می‌توان نشان داد.

۳- به این نکته توجه شود که تلمبه باد، یک کمپرسور رفت و برگشتی است و هدف از بیان آن در این قسمت فقط عملکرد و ساختمان آن است که با پمپ رفت و برگشتی تفاوتی



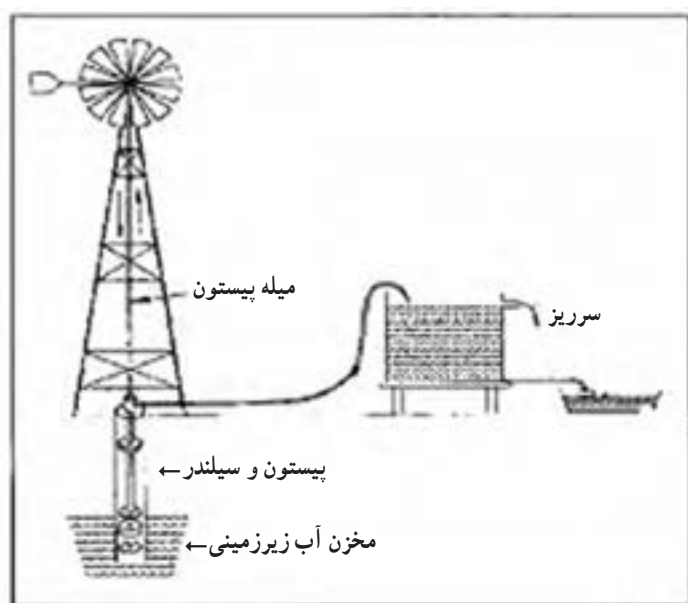
شکل ۱۸-۶ - پمپ پیستونی

– راجع به ساختمان و عملکرد پمپ رفت و برگشتی پیستونی، با توجه به شکل‌های ۱۸-۶ و ۱۹-۶ می‌توان گفت :

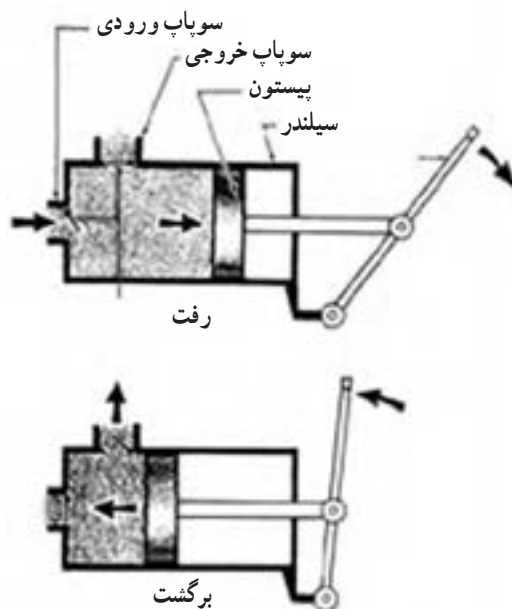
این پمپ تشکیل شده است از یک محفظه استوانه‌ای شکل که یک پیستون درون آن رفت و آمد می‌کند. پیستون و سیلندر هر دو آب‌بندی شده‌اند تا از نشتی مایع به بیرون جلوگیری شود.

دسته پیستون به یک چرخ دنده متصل است که توسط یک موتور، حرکت دورانی دارد. چرخش چرخ دنده به یک حرکت رفت و برگشت پیستون درون سیلندر تبدیل می‌شود. روی سیلندر دو دریچه یک طرفه^۲ به گونه‌ای نصب شده است که در هر حرکت رفت یا برگشت پیستون، یکی باز و دیگری بسته می‌شود. مانند آنچه که در شکل ۱۹-۶ نشان داده شده است و به این ترتیب عمل پر و خالی شدن سیلندر، به طور متناوب انجام می‌شود.

یکی از موارد استفاده از پمپ پیستون و سیلندر در شکل ۲۰-۶ نشان داده شده است : پره، در اثر نیروی باد می‌چرخد و در نتیجه دسته پیستون را در سیلندر به حرکت درمی‌آورد. به این ترتیب آب از مخزن زیرزمینی به مخزن بالا منتقل می‌شود.



شکل ۲۰-۶ - استفاده از قدرت باد جهت انتقال آب



شکل ۱۹-۶ عملکرد پمپ پیستونی

۱- در شکل (۱۸-۶) : (۱) موتور (۲) چرخ‌دنده (۳) واشر آب‌بندی (۴) پیستون (۵) ورودی (۶) شیرهای یک‌طرفه (۷) خروجی
۲- یا سوپاپ

۶-۸- مشخصات اصلی پمپ‌های رفت و برگشتی

چنان‌که در بخش (۶-۶) نیز ذکر شد، بهتر است مشخصات دو نوع پمپ به صورت مقایسه‌ای^۱ بیان شوند.

مقایسه پمپ گریز از مرکز و پمپ رفت و برگشتی:

- ۱- از نظر ظرفیت؛ پمپ رفت و برگشتی به دلیل متناوب بودن انتقال جریان، نسبت به پمپ گریز از مرکز ظرفیت کمتری دارد و این یکی از عیوب پمپ رفت و برگشتی است.
- ۲- از نظر هد یا میزان فشار خروجی؛ پمپ رفت و برگشتی فشار خروجی بسیار بالاتری را برای مایع ایجاد می‌کند و در کل، این یکی از عیوب پمپ گریز از مرکز و طبیعتاً از محاسن پمپ رفت و برگشتی است.
- ۳- از نظر سرعت؛ پمپ رفت و برگشتی سرعت کمتری دارد.
- ۴- از نظر نوع جریان مایع خروجی؛ پمپ رفت و برگشتی، مایع را به صورت متناوب و غیر یکنواخت منتقل می‌کند، درحالی‌که پمپ گریز از مرکز به طور دائم، و یکنواخت این عمل را انجام می‌دهد. این مسئله نیز از عیوب پمپ رفت و برگشتی محسوب می‌شود.
- ۵- از نظر قیمت؛ پمپ رفت و برگشتی گران‌تر است و هزینه نگهداری بیشتری دارد.
- ۶- از نظر اشغال فضا؛ پمپ رفت و برگشتی معمولاً فضای بیشتری اشغال می‌کند.
- ۷- از نظر راندمان؛ هر دو می‌توانند راندمان بالایی داشته باشند.
- ۸- از نظر توانایی انتقال مایعات براساس گرانروی آنها؛ مایعات با گرانروی بالا را با پمپ رفت و برگشتی، منتقل می‌کنند.
- ۹- از نظر دامنه کاربرد؛ پمپ گریز از مرکز دارای دامنه کاربرد وسیع‌تری است زیرا این پمپ‌ها را می‌توان با دبی‌ها، و هدهای مختلف، طراحی و مورد استفاده قرار داد^۲.

۱- اصولاً هنجاریان مباحث مقایسه‌ای را بهتر می‌آموزند.

۲- در بخش (۵-۶) انواع این پمپ‌ها مشاهده شد.

برنامه زمان بندی هفته دوازدهم			دقیقه
۱	آماده کردن کلاس (احوالپرسی، حضور و غیاب)	۵	
۲	رفع اشکال	۱۰	
۳	پرسش (حل خودآزمایی)	۱۵	
۴	تدریس (مبحث حفره زایی)	۳۰	
۵	تدریس فصل هفتم	۶۵	
۶	استراحت میان تدریس (دو نوبت)	۱۰	

توصیه می شود آزمون به صورت پرسش و پاسخ (مباحثه) برگزار گردد. سؤالات را می توان از خودآزمایی^۱ نیز برگزید.

سؤالات پیشنهادی^۲

- ۱- پمپ چگونه دستگاهی است؟
- ۲- دو کاربرد مهم پمپ را بنویسید.
- ۳- «هد پمپ» چیست؟
- ۴- «ظرفیت» پمپ چیست؟
- ۵- تقسیم بندی پمپ ها بر چه اساسی انجام شده است؟ نام ببرید و هر دسته را تعریف کنید و برای هر دسته مثالی بزنید.
- ۶- متداول ترین نوع پمپ ها را در صنعت نام ببرید، با ذکر دلیل.
- ۷- متداول ترین تقسیم بندی پمپ های گریز از مرکز، بر چه اساسی است؟
- ۸- پمپ گریز از مرکز با جریان شعاعی، محوری و مختلط را تعریف و مشخصات هر کدام را در مقایسه با دیگران، بیان کنید.
- ۹- مشخصات پمپ رفت و برگشتی را بنویسید.
- ۱۰- حداکثر گرانروی مایع، بسته به نوع پمپ، از حدود بیشتر نخواهد بود.
- ۱۱- برای انتقال مایعات با گرانروی بالا از چه نوع پمپ استفاده می شود؟
- ۱۲- با رسم شکل، عملکرد پمپ رفت و برگشتی پیستونی را توضیح دهید.

۱- پاسخ سؤالات مذکور را می توان با مراجعه به کتاب، به دست آورد.

۲- پاسخ سؤالات مذکور را می توان با مراجعه به کتاب، به دست آورد.

حفره‌زایی (کاویتاسیون)^۱

یکی از رایج‌ترین و مهم‌ترین اشکالاتی که معمولاً در کار پمپ‌ها پیش می‌آید پدیدهٔ حفره‌زایی (یا کاویتاسیون) است. برای افزایش راندمان فرآیند یاددهی و یادگیری این پدیده، توصیه می‌شود جلسه به صورت پرسش و پاسخ از دانسته‌های قبلی^۲ هنجریان انجام شود. به این ترتیب که هر زمان لازم باشد سؤالات پای تابلو نوشته شود و از هنجریان نظرخواهی به عمل آید و سپس پاسخ صحیح ارائه گردد:

– چه زمانی یک مایع تبخیر می‌شود؟

– چه عواملی بر تبخیر و میزان آن اثر دارند؟

با ذکر مثالی، هنجریان به سمت پاسخ صحیح هدایت می‌شوند:

چند ظرف حاوی مقدار مساوی آب، که در مکان‌های متفاوت (مانند یخچال، میز آشپزخانه، اجاق روشن، ...) قرار داده شده‌اند، بعد از مدتی مقدار آنها کاهش می‌یابد. چرا؟

– آیا برای تبخیر شدن، رسیدن به نقطهٔ جوش لازم است؟

– سرعت و میزان تبخیر کدام یک بیشتر است؟

پاسخ صحیح این است:

مایعات در هر دمایی تبخیر می‌شوند ولی بسته به دما و فشار محیطی که در آن قرار دارند، سرعت و میزان تبخیر آنها متفاوت است.

در مثال مذکور، اثر دما بر تبخیر مایعات مدنظر بوده است. برای بررسی اثر فشار بر تبخیر، سؤال زیر را می‌توان مطرح کرد:

– سرعت و میزان تبخیر مایعات، در پایین کوه یا بالای کوه، کدام بیشتر است؟ چرا؟

سرعت و میزان تبخیر مایعات، علاوه بر اینکه به ماهیت^۳ آنها بستگی دارد، با دما نسبت مستقیم و با فشار محیط نسبت عکس دارد. به همین دلیل، در بالای کوه به دلیل کمتر بودن فشار هوا، سرعت و میزان تبخیر بیشتر است.

تبخیر، یعنی انتقال مولکول‌های ماده از فاز مایع به فاز گاز، هم چنان‌که در شکل ۶-۲۱

مشاهده می‌شود. برای تبخیر شدن آب باید فشار بخار آب از فشار محیط حاکم بر آن بیشتر باشد.

به عبارت دیگر:

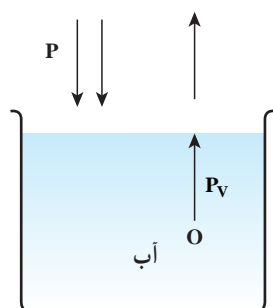
در هر شرایطی^۴ فشار از فشار بخار مایع کمتر شود ($P < P_v$)، تبخیر مایع اتفاق می‌افتد و در

نتیجه حباب‌های بخار تشکیل می‌شود^۵.

حال، هنجریان به بحث اصلی کشانده می‌شوند:

در هر نقطهٔ پمپ نیز که رابطهٔ $P < P_v$ محقق شود، مایع در آن نقطه تبخیر می‌شود.

در این هنگام صداها^۶ی منقطع می‌گردد. مایع و بخار در پمپ به حرکت درمی‌آیند



شکل ۶-۲۱ – تبخیر

^۱ – Cavitation

^۲ – هنجریان در سال‌های قبل با مفاهیم دمای جوش، فشار بخار، تبخیر و موارد مربوطه آشنا شده‌اند

^۳ – منظور پیوندهای بین مولکولی است.

^۴ – از نظر دما، مکان و زمان

^۵ – جملهٔ مذکور، بیان یک قانون است. ضمناً در رابطهٔ $P < P_v$ = فشار محیط وارد بر سطح مایع و P_v = فشار بخار مایع

^۶ – مانند صدای جوشیدن آب (غُل غُل)

و وارد پروانه می‌شوند. در این قسمت فشار بیشتر است در نتیجه حباب‌های بخار به دلیل مِيعَان^۱، می‌ترکند. با انهدام هر حباب، مایع اطراف آن برای پر کردن حفره ایجاد شده به داخل آن، هجوم می‌برد. نیروی حاصل از هجوم مایع، شدیداً فشار محلی ایجاد می‌کند، به طوری که اگر حباب‌ها در نزدیکی پروانه یا بدنه باشند، بر روی آنها خوردگی یا به عبارت دیگر، حفره به وجود می‌آورند. همزمان، پمپ نیز به لرزش و ارتعاش درمی‌آید. در اثر این اتفاق، فشار خروجی و دبی ورودی پمپ به شدت کاهش می‌یابد و نهایتاً پمپ از کار می‌افتد.

براساس مطالب ذکر شده، در کدام ناحیه پمپ، امکان تبخیر مایع وجود دارد؟ و در کدام ناحیه پمپ، حفره‌زایی رخ می‌دهد؟ عوارض حفره‌زایی چیست؟ چگونه از بروز حفره‌زایی جلوگیری می‌شود؟

بعد از نظرخواهی از هنرجویان، پاسخ صحیح به این صورت بیان می‌شود:

— امکان کاهش فشار، در قسمت ورودی پمپ است به دو دلیل عمده:

۱- چرخش پروانه

۲- خروج مایع از پمپ

اما نباید آن قدر پایین بیاید که کمتر از فشار بخار مایع بشود، زیرا در این صورت تبخیر، رخ می‌دهد که بیانگر احتمال حفره‌زایی است.

— حفره‌زایی در فضای داخلی پمپ، یعنی پروانه‌ها، رخ می‌دهد، زیرا در آن ناحیه افزایش فشار صورت می‌گیرد.

— عوارض حفره‌زایی، دو مورد عمده است که عبارت‌اند از:

۱- کاهش راندمان پمپ

۲- خوردگی پروانه و بدنه

— برای جلوگیری از حفره‌زایی، عوامل ایجاد افت فشار و تبخیر در دهانه ورودی پمپ را کنترل می‌کنند، یعنی سه مورد

زیر:

۱- چرخش پروانه با سرعت بالا

۲- دبی خروجی بالا

۳- دمای بالا

روش‌های زیر، از بروز پدیده حفره‌زایی (کاویتاسیون)، جلوگیری می‌کنند:

۱- کاهش دبی خروجی با نصب یک شیر در لوله خروجی، این کار موجب افزایش فشار در ناحیه ورودی پمپ می‌شود.

۲- کاهش قطر لوله خروجی نسبت به لوله ورودی، این کار باعث می‌شود که فشار در ورودی کمتر پایین آید.

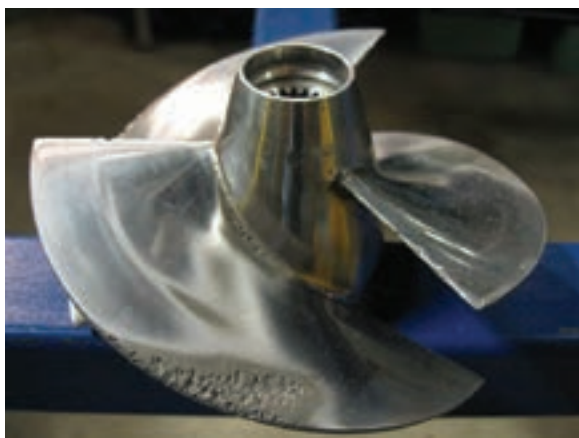
۳- کنترل درجه حرارت در پمپ، معمولاً در مناطق گرمسیر با نصب فن بر روی پمپ یا دو جداره ساختن پمپ و متصل کردن

آن به یک خنک کننده، دما را کنترل می‌کنند تا از تبخیر مایع جلوگیری شود.

۴- با کنترل سرعت دوران پمپ، هر چه سرعت دوران پروانه‌ها بیشتر باشد کاهش فشار در ورودی بیشتر است.

در شکل‌های ۶-۲۲ و ۶-۲۳ اثر پدیده حفره‌زایی مشاهده می‌شود:

۱- مِيعَان در اثر افزایش فشار یا کاهش دما صورت می‌گیرد.



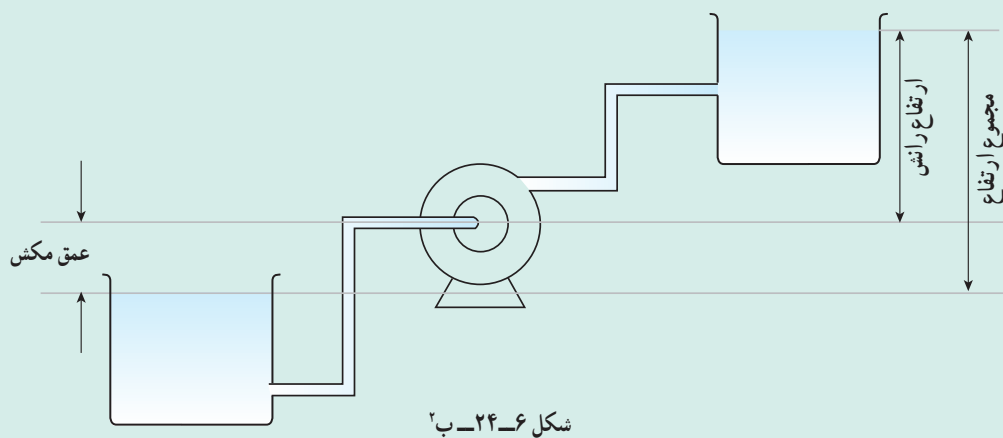
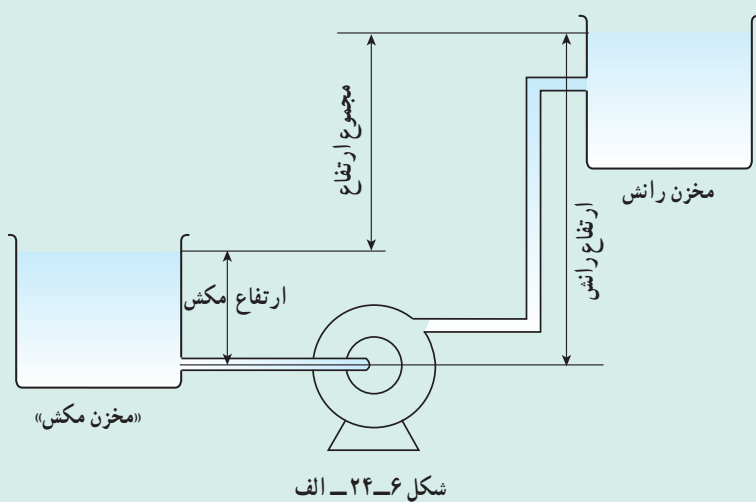
شکل ۶-۲۳- سایش ناشی از حفره زایی



شکل ۶-۲۲- حفره‌های ایجاد شده

دانستنی (۴)^۱

چگونگی قرار دادن
پمپ گریز از مرکز بین دو
مخزن مکش و رانش: پمپ
ممکن است به دو طریق نسبت به
مخزن مکش نصب شود. شکل
(۶-۲۴) این حالت‌ها را نشان
می‌دهد:



۱- دانستنی (۴) برگرفته از: کتاب «پمپ و پمپاژ» تألیف دکتر احمد نوربخش

۲- واژه‌های مورد استفاده در شکل عبارت‌اند از:

– ارتفاع مکش (suction head) – عمق مکش (suction lift) – ارتفاع رانش (discharge head) – مجموع ارتفاع (total head)

همان طور که در شکل مشاهده می‌شود محاسبه «مجموع ارتفاع» بستگی به موقعیت نصب پمپ دارد.

با توجه به شکل ۶-۲۴، ارتفاع یا عمق مکش در حقیقت فشار دهانه ورودی پمپ را مشخص می‌کنند که جهت جلوگیری از پدیده حفره‌زایی، هر کدام نسبت به فشار بخار مایع حدی دارند. به بیان واضح‌تر، ارتفاع مکش دارای یک حداقل مجاز و عمق مکش دارای یک حداکثر مجاز است. در صورتی که هر کدام به ترتیب از حد مربوطه کمتر یا بیشتر شوند، بروز حفره‌زایی (کاویتاسیون) برای پمپ حتمی است.

(NPSH)^۱ بیانگر حداقل فشار لازم در دهانه ورودی پمپ جهت جلوگیری از بروز حفره‌زایی است که به صورت زیر محاسبه می‌گردد:

$$NpsH = \frac{P_{o\min}}{\rho g} + \frac{V_v^2}{2g} - \frac{P_v}{\rho g}$$

در این رابطه؛

$P_{o\min}$ = حداقل فشار استاتیک در دهانه ورودی پمپ

V_v = سرعت مایع در دهانه ورودی پمپ

ρ = چگالی مایع در دمای عملیاتی

P_v = فشار بخار مایع در دمای عملیاتی

معمولاً مقدار NPSH، توسط شرکت سازنده بر روی پمپ نوشته می‌شود.

دانستنی (۵)

انواع پمپ‌ها:

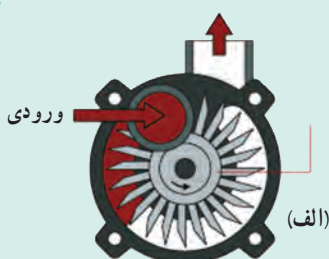
از نمودار صفحه ۳۵ کتاب درسی، به دو نمونه از انواع پمپ‌ها اشاره شده است. در این بخش، اطلاعات کامل‌تری در مورد دیگر پمپ‌ها داده می‌شود:

پمپ محیطی^۲:

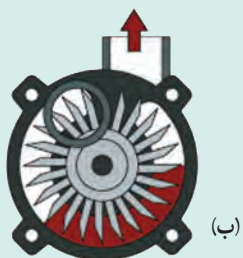
چنان‌که در شکل ۶-۲۵ مشاهده می‌شود پره‌های این پمپ به صورت تیغه‌های شعاعی هستند که مایع بعد از خروج از انتهای یک تیغه به ریشه تیغه بعدی وارد می‌شود و این عمل تا آخرین تیغه ادامه می‌یابد و در هر یک، انرژی بیشتری کسب می‌کند.

افزایش سرعت و فشار در این پمپ بیش از پمپ گریز از مرکز است و اصولاً این پمپ برای ایجاد هدهای بسیار بالا طراحی شده است.

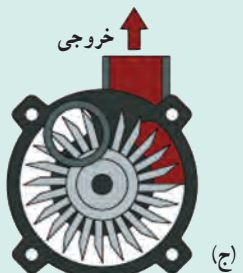
این پمپ از نظر ساختمان ظاهری، شبیه پمپ گریز از مرکز است. در شکل ۶-۲۵ مراحل انتقال مایع از ورودی تا خروج از پمپ نمایش داده شده است.



(الف)



(ب)



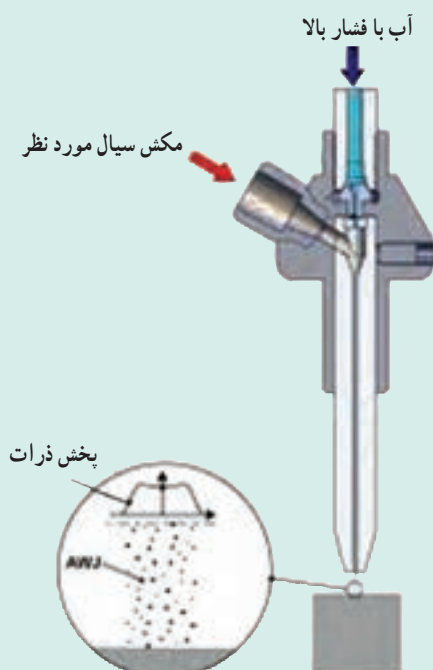
(ج)

شکل ۶-۲۵ — عملکرد پمپ محیطی

۱ — Net Positive Suction Head

۲ — Peripheral Pump

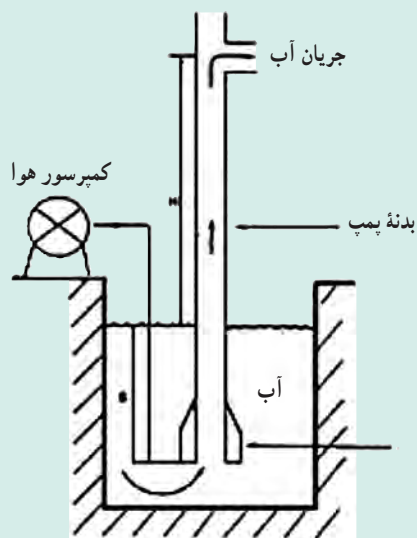
پمپ مکش‌زا^۱: در این پمپ از انرژی یک سیال، برای انتقال سیال دیگر استفاده می‌شود. این عمل براساس «اثر ونتوری^۲» صورت می‌گیرد، به این صورت که با عبور سیال اول از مسیری با مقطع کوچک‌تر، در آن ناحیه خلأ نسبی به وجود می‌آید و بر اثر آن سیال دوم به داخل مسیر کشیده می‌شود. خرطوم آبی، مثالی آشنا برای این نمونه پمپ است.^۳ در شکل‌های ۲۶-۶ و ۲۷-۶ پمپ مکش‌زا مشاهده می‌شود.



شکل ۲۷-۶- نمایشی از پمپ مکش‌زا



شکل ۲۶-۶- پمپ مکش‌زا



شکل ۲۸-۶- پمپ کشش گازی

پمپ کشش گازی^۴: در این پمپ، از یک گاز پرفشار بی‌اثر برای خارج کردن مایع از اعماق زمین استفاده می‌شود. در شکل ۲۸-۶ از هوای فشرده جهت بیرون کشیدن آب و در شکل ۲۹-۶ از گاز طبیعی با فشار بالا برای استخراج نفت سنگین^۵ استفاده کرده‌اند.

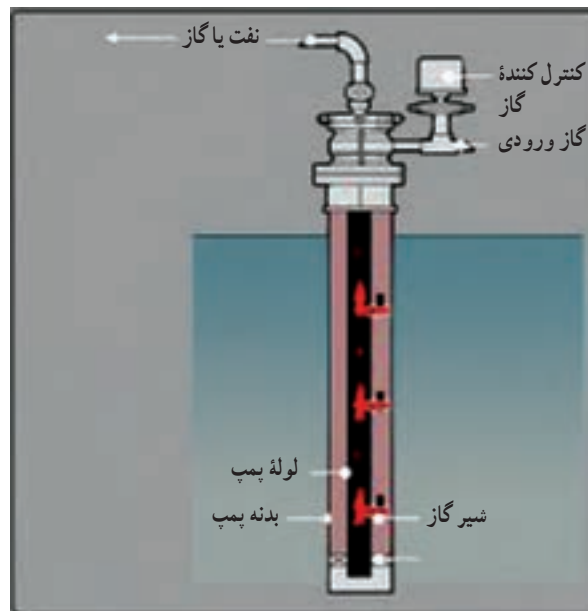
۱- جت پمپ یا اژکتور پمپ (Jet or Eductor Pump)

۲- ایجاد خلأ توسط سیالی که از نازل، اری فیس و ونتوری می‌گذرد. (Venturi effect)

۳- هنجریان با خرطوم آبی برای ایجاد خلأ در عملیات تقطیر، کار کرده‌اند.

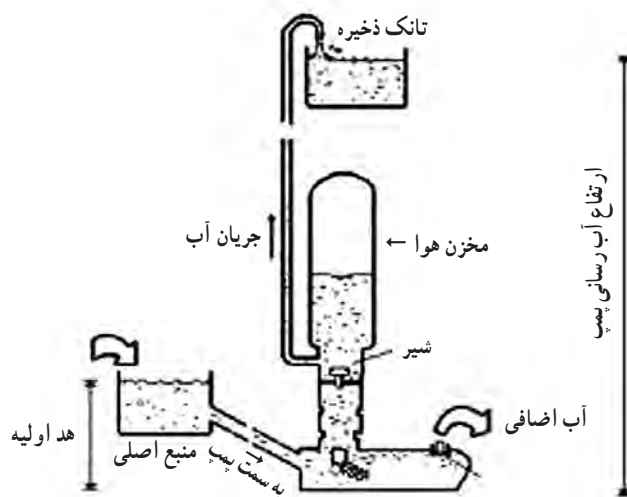
۴- Gas Lift Pump

۵- تزریق گاز به داخل چاه‌های نفت سنگین، هم به کاهش گرانی و هم ایجاد فشار جهت حرکت به سطح زمین منجر می‌شود.



شکل ۶-۲۹- پمپ کشش گازی

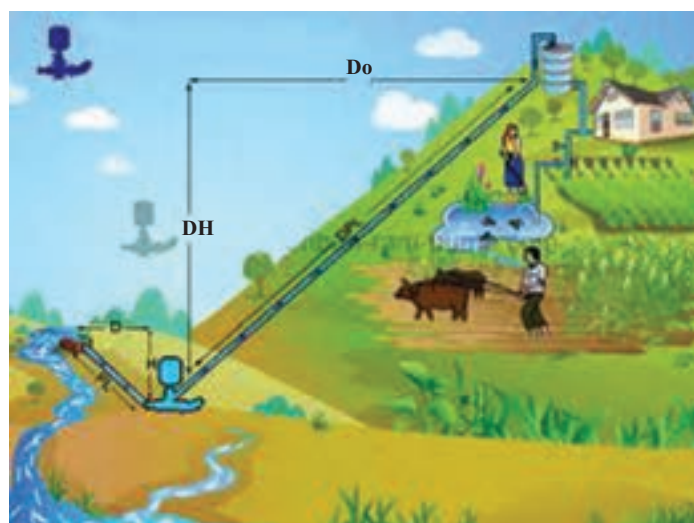
پمپ قوچ آبی^۱:



شکل ۶-۳۰- نمایشی از عملکرد پمپ قوچ آبی

این پمپ، ساختمان و عملکرد بسیار ساده‌ای دارد و برای کار کردن، به هیچ نیروی خارجی مانند موتور الکتریکی نیاز ندارد و تنها با نیروی آب جاری، عمل انتقال آب را انجام می‌دهد. در شکل ۶-۳۰ اساس کار این پمپ مشاهده می‌شود که هدف در این پمپ، انتقال آب از منبع اصلی به تانک ذخیره موجود در ارتفاعات است. پمپ پایین‌تر از منبع اصلی قرار می‌گیرد. انرژی پتانسیل آب در پمپ، به انرژی جنبشی تبدیل می‌شود و آب با سرعت بالا می‌رود تا جایی که به بالاترین حد، هوا را

فشرده می‌کند. سپس در اثر انبساط هوا، شیر ورودی آب بسته می‌شود و آب با فشار زیاد به سمت ارتفاع مورد نظر جریان می‌یابد. در این هنگام فشار پمپ کاهش می‌یابد و خلأ نسبی ایجاد شده موجب می‌شود آب از منبع اصلی به سمت پمپ جریان یابد و... مقصد نهایی آب، می‌تواند فاصله زیادی از پمپ و منبع آب داشته باشد. به هدر رفتن مقدار زیادی از آب جاری به سمت پمپ از عیوب این پمپ است، که البته سعی می‌شود به مصارف دیگر برسد. در شکل‌های ۶-۳۰ و ۶-۳۱ کاربرد این پمپ نشان داده شده است.

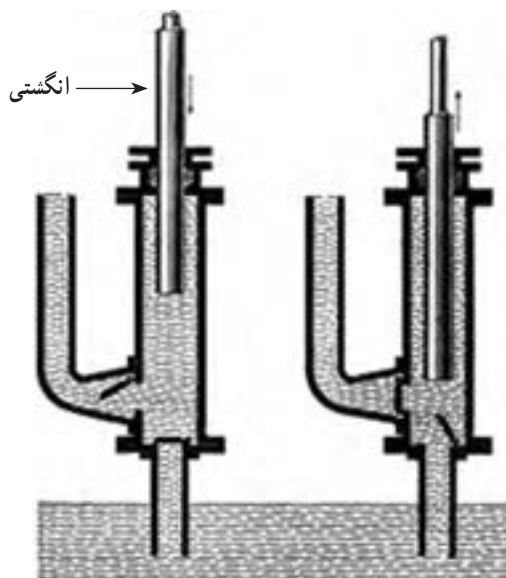


شکل ۶-۳۱- کاربرد پمپ قوچ آبی

پمپ الکترومغناطیسی^۱: در این نوع پمپ، هیچ گونه جزء متحرکی وجود ندارد و مایع تحت تأثیر میدان مغناطیسی منتقل می‌شود.

این پمپ فقط مخصوص انتقال مایعاتی است که رسانای الکتریسیته باشند. یک نمونه از این پمپ؛ که کاربردش سنجش میزان مایع مصرفی در صنایع داروسازی است، در شکل ۶-۳۲ مشاهده می‌شود.

پمپ پلانجری^۲: این پمپ از نظر ساختمانی و عملکرد بسیار شبیه به پمپ رفت و برگشتی پیستونی است، با این تفاوت که به جای پیستون، از یک انگشتی^۳ برای رفت و آمد در درون سیلندر استفاده می‌شود.



شکل ۶-۳۳- پمپ رفت و برگشتی پلانجری



شکل ۶-۳۲- پمپ سنجش میزان مایعات^۴ از نوع الکترومغناطیس

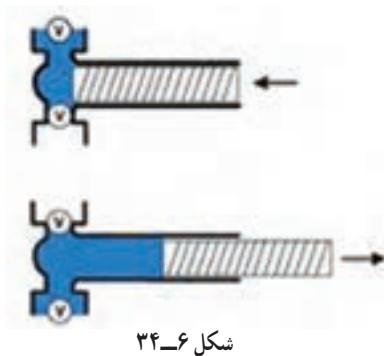
۱- Electromagnetic Pump

۲- Plunger Pump

۳- Plunger

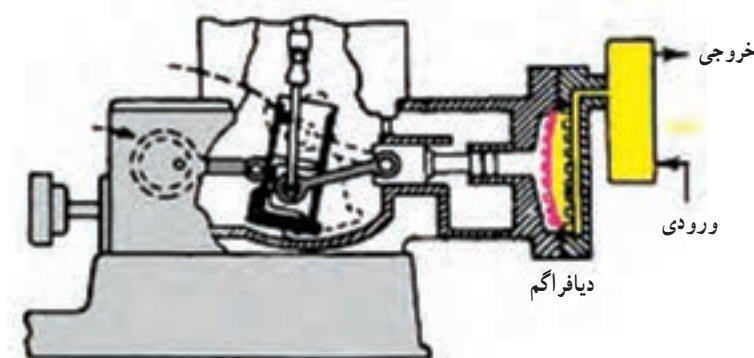
۴- Metering Pump

تفاوت پیستون و انگشتی: طول پیستون کمتر از طول سیلندر است، درحالی که طول انگشتی حداقل برابر طول سیلندر است. به شکل ۳۳-۶ توجه شود. یک نمونه از این پمپ، در شکل ۳۴-۶ مشاهده می شود و نمونه دیگر پمپ باد دوچرخه^۱ است که می توان آن را در شکل ۱۷-۶ دید.



شکل ۳۴-۶

پمپ رفت و برگشتی دیافراگمی: جزء متحرک این نوع پمپ، یک دیافراگم (پرده) قابل انعطاف است که به بدنه پمپ محکم شده است.^۲ مثل همه پمپ های رفت و برگشتی، در ورودی و خروجی این پمپ شیرهای یک طرفه کار گذاشته شده است و کار آنها کاملاً مخالف یکدیگر است، به طوری که وقتی شیر ورودی باز است شیر خروجی بسته است. و بالعکس. از این پمپ ها نمی توان برای فشار بالا و ظرفیت جابه جایی بالا استفاده کرد. (پمپ دیافراگمی در شکل ۳۵-۶ در حال تخلیه است) پمپ های دیافراگمی^۳ برای انتقال مایعات خورنده و سیالاتی که حاوی ذرات جامد معلق اند، مورد استفاده قرار می گیرد.



شکل ۳۵-۶ پمپ دیافراگمی در موقعیت تخلیه

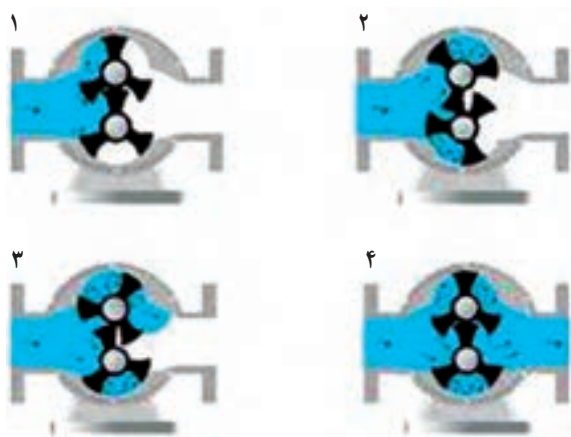
پمپ گردشی یا دورانی^۴: با وجود این که این پمپ از دسته «پمپ های جابه جایی» است ولی طراحی آن به گونه ای است که دارای جریان یکنواخت می باشد. این پمپ ها، اغلب از دو قسمت پوسته و جزء متحرک که اصولاً به صورت چرخ دندانه ای یا تیغه ای هستند، تشکیل شده اند. در شکل ۳۶-۶ نمای ظاهری یک پمپ دورانی چرخ دنده ای و در شکل ۳۷-۶ عملکرد این پمپ به نمایش درآمده است.

۱- bicycle Plunger

۲- چنان که در شکل نیز مشخص است حرکت دیافراگم توسط یک پیستون و سیلندر میسر می شود.

۳- Diaphragm Pump

۴- Rotary Pump



شکل ۶-۳۷ — عملکرد پمپ دَوَرانی چرخ دنده‌ای



شکل ۶-۳۶ — پمپ دَوَرانی چرخ دنده‌ای^۱

در این پمپ، مایع به وسیله دندانه‌های چرخ که آزاد می‌شوند، از ورود تا خروج جریان می‌یابد. شکل ۶-۳۸ یک پمپ دَوَرانی تیغه‌ای را نشان می‌دهد که در آن تیغه‌ها در میدان کارشان، دارای حرکت رفت و برگشتی هستند و تحت تأثیر نیروی گریز از مرکز، مایع را از ورود تا خروج هدایت می‌کنند. به طور کلی پمپ‌های دَوَرانی برای ظرفیت‌های کم با فشار متوسط کاربرد دارند.



شکل ۶-۳۸ — پمپ دَوَرانی تیغه‌ای

مبدل‌های حرارتی^۱، کوره‌ها^۲

چکیده فصل

در این فصل هنجریان با اساس کار، ساختمان و کاربرد مبدل‌های حرارتی، برج‌های خنک‌کننده و انواع کوره‌ها آشنا می‌شوند.

دانسته‌های قبلی

هنجریان به صورت پراکنده با بعضی از این دستگاه‌ها مانند مبرد، کولر آبی، شوفاژ خانگی و رادیاتور اتومبیل آشنایی دارند، ولی به طور کلی در مورد مبحث انتقال حرارت و دستگاه‌های مربوط به آن، در هیچ دوره تحصیلی مطلبی نیاموخته‌اند.

اهداف فصل : در پایان فصل، از هنجریان انتظار می‌رود که اطلاعات لازم را در مورد عناوین زیر کسب کنند و بتوانند توضیحات کافی در خصوص هر کدام ارائه دهند :

- مفهوم انتقال حرارت
- ضرورت انتقال حرارت میان سیالات
- مبدل‌های حرارتی
- هدف از به کار بردن مبدل‌های حرارتی در صنعت
- انواع مبدل‌های حرارتی بر مبنای ساختمان
- انواع جریان سیالات نسبت به یکدیگر در مبدل‌های حرارتی
- مقایسه جریان همسو و ناهمسو از نظر میزان انتقال حرارت
- انواع مبدل‌های حرارتی لوله‌ای
- آشنایی با مبدل حرارتی دو لوله‌ای از نظر ساختمان، عملکرد و کاربرد
- آشنایی با مبدل حرارتی پوسته - لوله از نظر ساختمان، عملکرد و کاربرد
- نقش بافل‌ها در مبدل‌های حرارتی پوسته - لوله
- عوامل مؤثر در میزان انتقال حرارت در مبدل‌های حرارتی

۱- Heat exchangers

۲- Furnaces

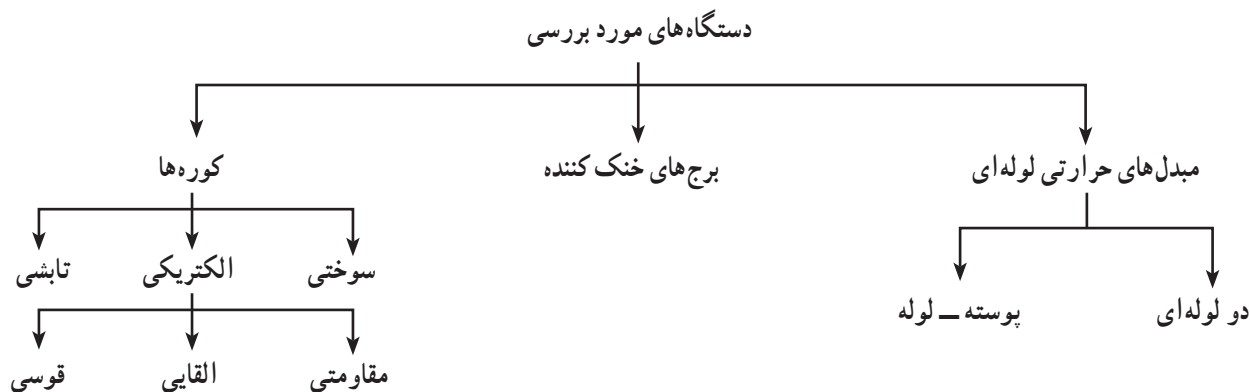
- آشنایی با برج‌های خنک کننده از نظر ساختمان، عملکرد و کاربرد
- مقایسه برج‌های خنک کننده و کولرهای آبی خانگی
- کوره
- مواد سازنده دیواره کوره
- انواع کوره‌ها از نظر نوع انرژی اولیه مورد نیاز
- کوره سوختی
- انواع کوره سوختی
- کوره الکتریکی
- انواع کوره الکتریکی
- کوره مقاومتی
- کوره القایی
- کوره قوسی
- کوره تابشی

برنامه زمان‌بندی تدریس فصل هفتم

صفحه	موضوعات	هفته
۴۴-۳۹	مبدل‌های حرارتی، جریان همسو و ناهمسو در مبدل‌های حرارتی، عملکرد مبدل‌های حرارتی دولوله‌ای و پوسته لوله، برج‌های خنک کننده و کولرهای آبی	۱۲
۴۶-۴۴	کوره‌ها، دیواره کوره‌ها، انواع کوره‌ها (سوختی و الکتریکی و تابشی)	۱۳

راهنمای تدریس

توصیه می‌شود قبل از هر توضیحی، مشخص کنید که در این فصل عملکرد کدام دستگاه‌ها بررسی خواهد شد. به این منظور می‌توان نمودار زیر را رسم کرد:



بهرتر است^۱ در مورد پدیده «انتقال حرارت»^۲ به اختصار توضیح دهید. ذکر مثال‌هایی می‌تواند اهمیت و کاربرد آن را در صنعت و موارد روزمره روشن کند؛

انتقال حرارت، علمی است که مبادله گرمای بین موادی را که اختلاف دما دارند، مورد مطالعه قرار می‌دهد. حرارت همیشه از ماده با دمای بیشتر به ماده با دمای کمتر منتقل می‌شود و این عمل تا زمانی که دمای دو ماده یکسان شوند، ادامه می‌یابد. انتقال حرارت امری طبیعی و اجتناب ناپذیر است و در صورت لزوم، می‌توان از طریق عایق‌بندی، از آن جلوگیری کرد، مانند عایق‌بندی مخزن آبگرم‌کن یا کانال‌های کولر روی پشت‌بام.

دانستنی (۱)^۳

روش‌های انتقال حرارت

گرما به سه طریق منتقل می‌شود: هدایت، جابه‌جایی و تابش

درک این مطلب که در هر وضعیت، گرما به چه روشی منتقل می‌شود بسیار مهم است.

۱- هدایت یا رسانش^۴: رسانش، انتقال گرما به صورت مولکول به مولکول در اجسام است. مولکول‌هایی که در فاصله نزدیک‌تری نسبت به منبع گرما قرار دارند، انرژی جنبشی بیشتری کسب می‌کنند و در نتیجه شروع به ارتعاش می‌نمایند. حرکت آنها مولکول‌های جانبی را تحت تأثیر قرار می‌دهد و به این ترتیب، انرژی حرارتی در سرتاسر ماده منتقل می‌شود. رسانش در جامدات^۵ بیشتر انجام می‌شود زیرا ساختار مولکولی در آنها فشرده‌تر است. فلزات رساناهای خوبی برای گرما هستند، زیرا عامل دیگری چون وجود الکترون‌های آزاد در آنها، حرارت را بیشتر و سریع‌تر انتقال می‌دهند. میزان انتقال حرارت به این روش، به عوامل زیر بستگی دارد:

اختلاف دما، ضخامت یا طول جسم، سطح مقطع جسم، جنس و میزان رسانایی گرمایی آن

۲- جابه‌جایی یا همرفت^۶: در این روش، انتقال گرما با حرکت ماده انجام می‌شود^۷. مؤثرترین روش انتقال حرارت در مایعات و گازها جریان همرفتی است. جریان همرفتی به علت تفاوت چگالی دو بخش از سیالی که دماهای مختلف دارند به وجود می‌آید. این جریان ابتدا به سمت بالا، سپس به سوی طرفین و در انتها به سمت پایین صورت می‌گیرد. گرم شدن هوای یک اتاق توسط بخاری و خنک شدن یک صفحه فلزی در مجاورت هوا نمونه‌هایی از انتقال حرارت به روش همرفتی است.

میزان انتقال حرارت به این روش، به عوامل زیر بستگی دارد:

اختلاف دما، سطح انتقال حرارت، خواص فیزیکی سیالات و سرعت حرکت آنها

۱- جهت کسب اطلاعات بیشتر به دانستنی (۱) مراجعه شود.

۲- Heat transfer

۳- دانستنی (۱) از کتاب: مبانی فیزیک، ترجمه مهدی حانمی و محمد حسین فدایی، نشر سمپاد، ۱۳۸۷.

۴- Conduction

۵- گازها و مایعات رساناهای ضعیفی هستند و به همین دلیل انتقال حرارت توسط آنها به روش هدایت، کمتر اتفاق می‌افتد.

۶- Convection

۷- برخلاف روش هدایت، که در آن انتقال حرارت بدون حرکت ماده انجام می‌شود.

۳- تابش یا تشعشع^۱: به طور کلی هر جسمی که دمای بیش از صفر مطلق باشد، از خود تشعشع دارد. هرچه دما بیشتر باشد، طول موج این اشعه کمتر و انرژی آن بیشتر خواهد بود. برخلاف دو روش قبل، انتقال حرارت با این روش در خلأ نیز صورت می‌گیرد، همان طوری که انرژی حرارتی خورشید به زمین منتقل می‌شود. به طور کلی هر جسم، ضمن تابش، خود دریافت کننده تابش دیگران نیز هست؛ بر این اساس روش تابش، بیشتر در مورد جامدات و مایعات است، زیرا فاصله مولکول‌های گاز از یکدیگر زیاد است و نمی‌توانند بر یکدیگر اثر متقابل داشته باشند. در نتیجه قوانین تابش در گازها با جامدات و مایعات بسیار متفاوت است. میزان انتقال حرارت از طریق تابش به عوامل زیر بستگی دارد:

اختلاف دما، سطح جسم و مشخصات آن، مانند جنس، میزان زبری و صافی، رنگ و چگونگی قرارگرفتن اجسام در برابر منبع تابش.

۱-۷- مقدمه

بعد از ارائه تعریف جامعی^۲ در معرفی مبدل‌های حرارتی، می‌توان مثال‌هایی نظیر دیگ‌بخار، مبرد^۳، تبخیرکننده، رادیاتور اتومبیل و... را عنوان کرد و یکی از آنها مانند رادیاتور اتومبیل را شرح داد:



شکل ۱-۷- رادیاتور اتومبیل

رادیاتور اتومبیل (شکل ۱-۷) نوعی مبدل حرارتی است که در صنعت مشابه آن را «کولر هوایی»^۴ می‌نامند. آب، درون لوله‌هایی، اطراف موتور می‌چرخد و گرما را جذب می‌کند و با دمای بالا، وارد رادیاتور می‌شود و در حین عبور از آن، با هوای بیرون تبادل حرارت می‌کند و با دمای پایین از رادیاتور خارج می‌شود و مسیر تکرار می‌گردد تا اصطلاحاً موتور داغ نکند. نصب یک پنکه بر روی رادیاتور، سرعت انتقال حرارت و در نتیجه خنک شدن آب را افزایش می‌دهد. طراحی مبدل‌های حرارتی در صنعت، از اهمیت بالایی برخوردار است زیرا این دستگاه‌ها موجب صرفه‌جویی در سوخت کوره‌ها و بازیافت انرژی حرارتی از سیالات می‌شوند. برای مثال؛

گازهای حاصله از احتراق در کوره‌های سوختی، به جای پراکنده شدن در محیط و ایجاد آلودگی، می‌توانند از طریق مبدل‌های حرارتی جهت گرم کردن مواد اولیه یک واکنش گرماگیر، مورد استفاده قرار گیرند^۵. در این رابطه می‌توان به شکل ۹-۶ در صفحه ۶۰ کتاب درسی، اشاره کرد.

۱- Radiation

۲- با استفاده از کتاب عملیات دستگاهی و کارگاه مربوطه، می‌توان تعریفی، مشابه زیر، بیان کرد:

«مبدل حرارتی، دستگاهی است که در آن حداقل دو سیال با دمای متفاوت در اثر تماس غیر مستقیم از طریق یک جسم جامد (دیواره لوله یا صفحه)، تبادل حرارت می‌کنند».

۳- مبرد یا کندانسور؛ هنجریان در آزمایشگاه شیمی آلی در بخش تقطیر با آن آشنا شده‌اند.

۴- Air cooler یا کولر هوایی در صنعت بسیار کاربرد دارد، در این وسیله، از جریان هوا به منظور سرد کردن سیال گرم استفاده می‌شود.

۵- نوع دیگر جریان سیالات نسبت به یکدیگر، «جریان عمود بر هم» است که بهترین مثال آن در رادیاتور اتومبیل است که هوا و آب به صورت عمود بر هم حرکت می‌کنند.

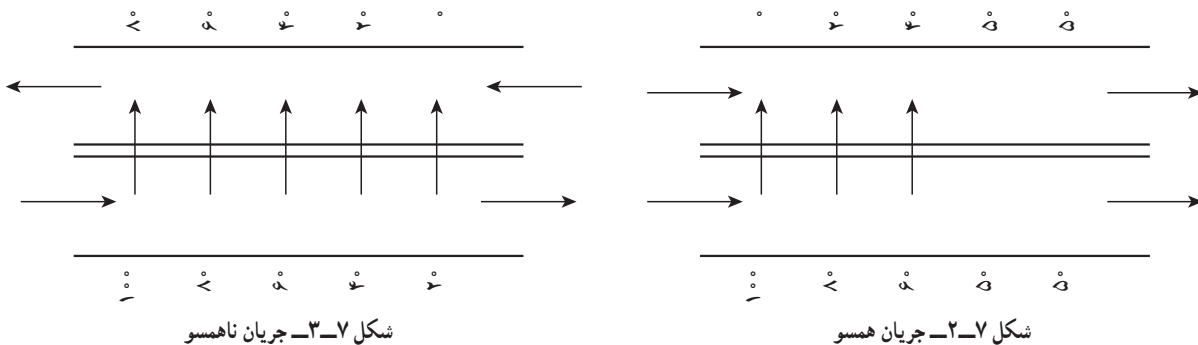
۲-۷- دسته‌بندی مبدل‌های حرارتی

دسته‌بندی مبدل‌های حرارتی، به صورتی که در کتاب درسی آمده است، توضیح داده می‌شود.

۱- براساس ساختمان ۲- براساس نوع جریان

- توصیه می‌شود علت بیشتر بودن میزان انتقال حرارت «جریان ناهمسو» نسبت به «همسو» را در مبدل‌های حرارتی، به صورت

زیر تبیین کنید :



در حالت ناهمسو، چنان‌که در شکل ۳-۷ مشاهده می‌شود، اختلاف دمای دو سیال در طول مبدل، تقریباً یکنواخت است و حتی در خروجی نیز، تبادل حرارت وجود دارد. درحالی‌که در جریان همسو، فقط در قسمتی از مسیر، به دلیل اختلاف دما، انتقال حرارت وجود دارد، که در شکل ۲-۷ نشان داده شده است. و همین باعث می‌شود که میزان انتقال حرارت در جریان همسو از ناهمسو کمتر باشد^۱.

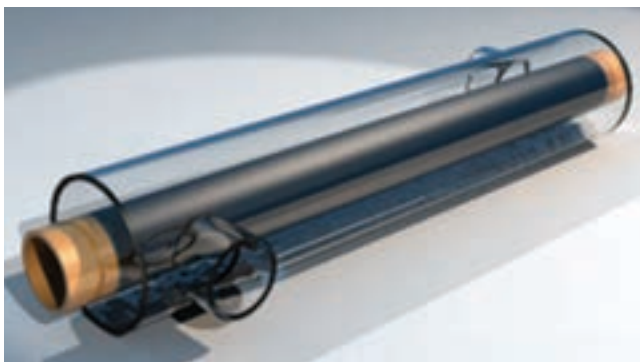
ضمناً در جریان همسو، به دلیل اختلاف دمای زیاد در ورودی، تنش‌های حرارتی بالایی وجود دارد. این نوع جریان در مواردی که یکی از سیالات به دما حساس باشد و نباید دمای آن از یک حدی بالاتر برود، کاربرد دارد.

۳-۷- مبدل‌های حرارتی لوله‌ای

مبدل‌های حرارتی دولوله‌ای و لوله - پوسته با استفاده از متن و تصاویر کتاب درسی، در حین رسم شکل روی تابلو، توضیح داده شوند.

- مبدل حرارتی لوله‌ای، برحسب شرایط مورد نیاز می‌تواند حداقل با دو لوله^۲ (داخلی و خارجی) طراحی شود مانند شکل ۴-۷ شرایط به این صورت است :

۱- تغییرات دمایی (ΔT) مورد نظر، کم باشد به‌طوری‌که سطح انتقال حرارت مبدل حرارتی دو لوله‌ای کافی است.

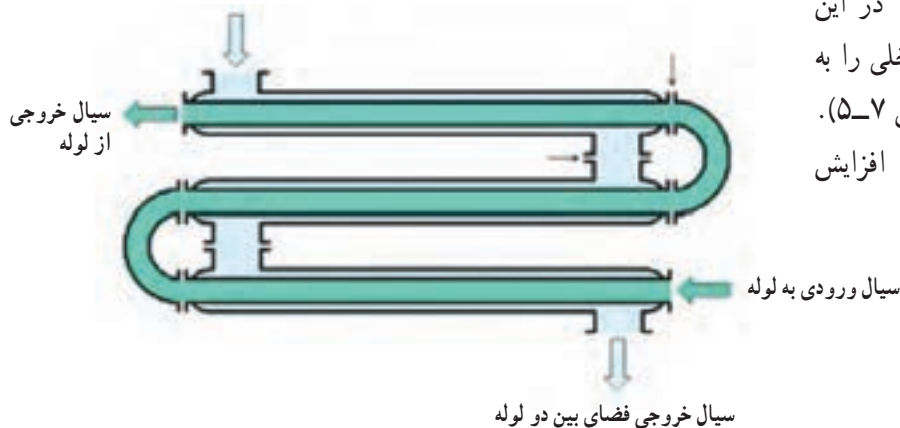


شکل ۴-۷- مبدل حرارتی دو لوله‌ای

۱- نحوه نصب میرد در عملیات تقطیر (آزمایشگاه شیمی آلی سال دوم) بر همین اساس است که در آن جریان آب سرد و بخار خروجی از بالن تقطیر در میرد، به صورت ناهمسوست. ضمناً این مطلب نیز در کارگاه عملیات دستگاهی فصل هفتم، مورد آزمایش قرار می‌گیرد.

۲- به نام مبدل حرارتی دو لوله‌ای معروف است (Double pipe heat exchanger)

سیال ورودی فضای بین دو لوله

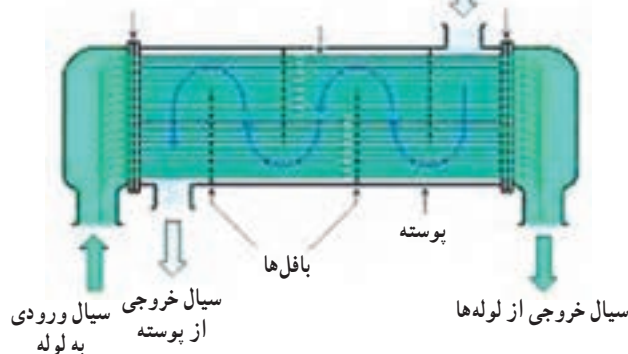


شکل ۵-۷ مبدل حرارتی دو لوله‌ای U شکل

۲- دبی سیال داخل لوله، کم است. در این حالت، اگر به ΔT بیشتری نیاز باشد لوله داخلی را به شکل مارپیچ یا U شکل می‌سازند (مانند شکل ۵-۷). در حقیقت سطح و زمان انتقال حرارت را افزایش می‌دهند.

سیال ورودی به پوسته

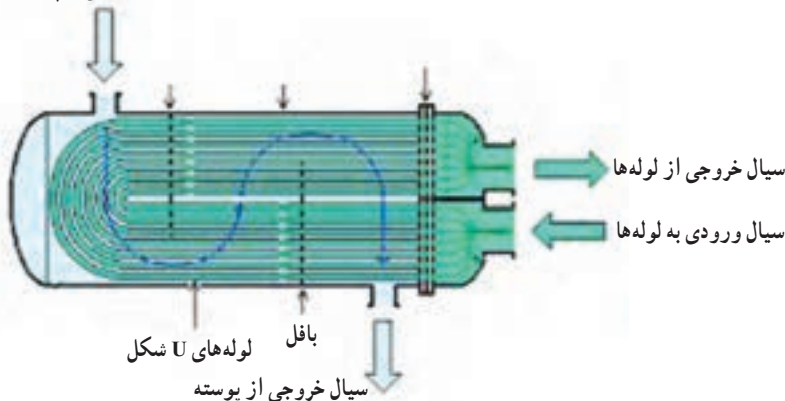
صفحه نگهدارنده لوله‌ها



شکل ۶-۷ مبدل حرارتی لوله مستقیم «لوله و پوسته»

در دبی‌های بالا، از مبدل حرارتی چند لوله‌ای یا لوله و پوسته^۱ استفاده می‌شود. شکل ۶-۷ یک نمونه مبدل حرارتی لوله و پوسته را نشان می‌دهد، که در آن سیال درون لوله‌ها، تنها یک بار طول لوله‌ها را طی کرده و از مبدل خارج می‌شود. در بعضی منابع، به این حالت، «مبدل لوله و پوسته تک مسیره^۲» هم می‌گویند.

سیال ورودی به پوسته



شکل ۷-۷ مبدل حرارتی U شکل «لوله و پوسته»

در صورتی که برای سیال درون لوله‌ها به تغییرات دمایی (ΔT) بیشتری نیاز باشد، باید زمان بیشتری را در مبدل طی کند و به این منظور لوله‌ها را به شکل U^۳ می‌سازند. در حقیقت مبدل حرارتی را «دومسیره» می‌سازند (مانند شکل ۷-۷).

۱- Shell and Tube Heat Exchanger

۲- One-pass Heat Exchanger

۳- در شکل (۶-۷)، با افزایش طول لوله‌ها به صورت مستقیم، طول مبدل نیز افزایش می‌یابد که به علت اشغال فضای بیشتر، مطلوب نیست.

– به طور کلی در مبدل‌های حرارتی، جهت افزایش میزان انتقال حرارت و دستیابی به ΔT مورد نظر به روش‌های زیر عمل می‌شود:

۱– افزایش تعداد لوله‌ها (مبدل حرارتی لوله و پوسته)

۲– افزایش سطح و زمان تماس دو سیال (مبدل حرارتی U

شکل) یا استفاده از لوله‌های پرده‌دار^۱ (مانند شکل ۷–۸)

در حقیقت، سطح جانبی لوله، به وسیله پرده‌ها توسعه یافته است. متداول‌ترین نوع آن در شکل ۷–۸ مشاهده می‌شود. این لوله‌ها به وسیله صفحات دایره‌ای شکلی که عمود بر محور لوله هستند^۲، احاطه شده‌اند.



شکل ۷–۸ – لوله‌های پرده‌دار

۳– ایجاد جریان ناهمسو برای سیالات درون لوله و پوسته

۴– نصب بافل‌ها جهت افزایش به هم خوردگی و ضریب جابه جایی سیال درون پوسته^۲، همان طوری که در شکل‌های ۷–۶ و ۷–۷ حرکت مارپیچی سیال درون پوسته بر روی لوله‌ها مشاهده می‌شود. در شکل ۷–۹، شکل بافل‌ها و نحوه نصب^۴ آنها درون مبدل حرارتی لوله و پوسته نشان داده شده است.



شکل ۷–۹ – بافل‌ها

۱– با این لوله‌ها که مبدل حرارتی پره‌ای را می‌سازند (Finned Tube heat exchanger). با استفاده از این لوله‌ها، به تعداد کمتری لوله نیاز است، به همین دلیل از نظر اقتصادی نیز مناسب هستند. بهترین مثال‌ها برای این نوع مبدل حرارتی، رادیاتور اتومبیل و رادیاتور شوفاژهای خانگی هستند.

۲– پرده‌ها می‌توانند به صورت مارپیچی و طولی نیز روی لوله نصب شوند. جهت مشاهده آنها می‌توان با واژه‌های Finned Tube heat exchanger در سایت گوگل، به جستجو پرداخت.

۳– وظیفه دیگر بافل‌ها، تحمل وزن لوله‌ها و جلوگیری از خمیدگی آنها به هنگام انبساط و حرکت و لرزش آنها است.

۴– به شکل ۷–۹ بافل‌ها دقت شود که از هر کدام فقط تعدادی از لوله‌ها عبور می‌کنند زیرا نیم‌دایره هستند و نحوه نصب آنها باعث برخورد عمود سیال با لوله‌ها شده است، که انتقال حرارت را افزایش می‌دهد.

فعالیت

تحقیق در مورد انواع مبدل‌های حرارتی

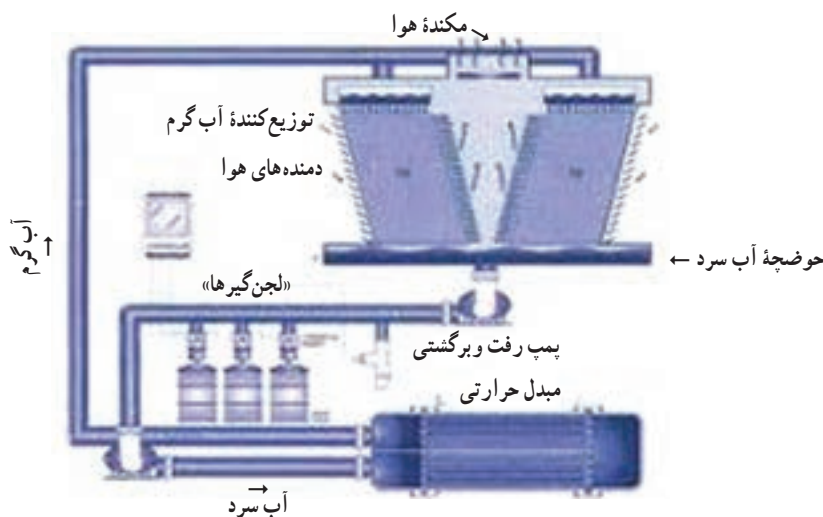
هنرجویان در گروه‌های سه تا چهار نفره تقسیم شوند و هر گروه تحقیق در مورد یک نوع مبدل حرارتی را به عهده گیرد. تحقیق شامل ساختمان، عملکرد و کاربرد مبدل حرارتی به همراه تصاویر مربوطه است. کلید واژه‌های تحقیق روی تابلو نوشته می‌شود.^۱ از هنرجویان بخواهید تحقیق خود را در یک لوح فشرده ارائه دهند. می‌توان بهترین تحقیق را انتخاب کرد و از آن در تدریس استفاده نمود.

۴-۷- برج‌های خنک‌کننده^۲

جهت معرفی برج‌های خنک‌کننده، مطالبی به شرح زیر را می‌توان بیان نمود :

استفاده از آب، جهت حذف گرمای اضافی سیستم‌ها، متداول‌ترین روش خنک کردن است. در این حالت دمای آب افزایش می‌یابد. جهت تأمین آب سرد مجدد، از برج‌های خنک‌کننده که در آنها خنک سازی آب توسط هوا صورت می‌گیرد، استفاده می‌کنند. در این راستا، هوا با جذب انرژی گرمایی آب و نیز تبخیر^۳ بخشی از آن، دمای آب را کاهش می‌دهد.

برج‌های خنک‌کننده در نیروگاه‌ها، پالایشگاه‌ها، صنایع پتروشیمی و مجتمع‌های آپارتمانی بزرگ بسیار کاربرد دارند. در شکل ۷-۱ نقش برج خنک‌کننده در صنعت، جهت تأمین آب سرد یک مبدل حرارتی نشان داده شده است :



شکل ۷-۱- برج خنک‌کننده

۱- کلید واژه‌ها عبارت‌اند از :

- Shell and Tube Heat exchanger
- Two pipes Heat exchanger
- Finned Tube heat exchanger
- Plate heat exchanger
- Heat recovers
- ۲- Cooling Towers

۳- یکی از روش‌های خنک شدن، تبخیر است، زیرا تبخیر یک پدیده گرماگیر محسوب می‌شود.

در شکل ۷-۱، یک برج خنک کننده و یک مبدل حرارتی، با هم در یک مدار بسته کار می کنند. با رسم شکل ساده ای مشابه شکل ۷-۱، ساختمان و عملکرد برج خنک کننده را می توان به شرح زیر توضیح داد :

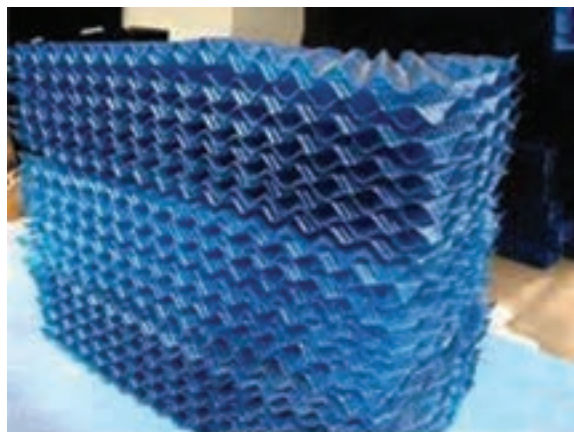
آب گرم خروجی از مبدل حرارتی، توسط توزیع کننده هایی از بالای برج، روی صفحات چوبی (یا پلیمری) پخش می شود و به سمت پایین حرکت می کند. هوای محیط به وسیله دمنده هایی^۱ به داخل برج فرستاده می شود که در جهت مخالف با آب، به سمت بالا حرکت می کند. در اثر تبادل حرارت بین دو سیال آب و هوا، هوای گرم و مرطوب از بالا و آب سرد از پایین برج خارج می شود و در حوضچه مخصوصی جمع آوری می گردد. آب سرد توسط یک پمپ، بعد از لجن گیری^۲، به مبدل حرارتی برمی گردد و این حلقه تکرار می شود.

در حین تدریس، مطرح کردن سؤال، تمرکز ایجاد می کند و ذهن هنرجو را فعال می سازد. در این قسمت، سؤال زیر را می توان عنوان کرد :

۱- چرا از صفحات چوبی استفاده می شود؟ و چرا امروزه به جای آنها، صفحات پلیمری را به کار می برند؟

پس از شنیدن نظرات هنرجویان، پاسخ صحیح بیان می شود :

صفحات چوبی به دلیل داشتن ضریب انتقال حرارت پایین، مورد استفاده قرار می گیرند ولی عیب بزرگ آنها، پوسیدگی در مجاورت آب است. به همین جهت امروزه از صفحاتی با جنس پی وی سی یا پلی پروپیلن استفاده می کنند. نمونه ای از این صفحات پلیمری در شکل ۷-۱۱ مشاهده می شود :



شکل ۷-۱۱- صفحات پلیمری

۲- تفاوت های برج های خنک کننده و مبدل های حرارتی را بیان کنید.

بعد از مباحثه پیرامون این سؤال، نظرات را می توان به صورت زیر جمع بندی کرد :

الف) مبدل های حرارتی محدودیتی در استفاده از سیالات ندارند. در حالی که برج های خنک کننده فقط از دو سیال آب و هوا استفاده می کنند.

ب) این دو دستگاه از نظر فرآیند انتقال حرارت با هم تفاوت دارند، به این صورت که در برج های خنک کننده برخلاف مبدل های حرارتی، دو سیال در تماس مستقیم با یکدیگر، تبادل حرارت می کنند.

ج) روش انتقال حرارت در مبدل های حرارتی به دلیل حرکت و سرعت جابه جایی^۳ است، در حالی که در برج های خنک کننده،

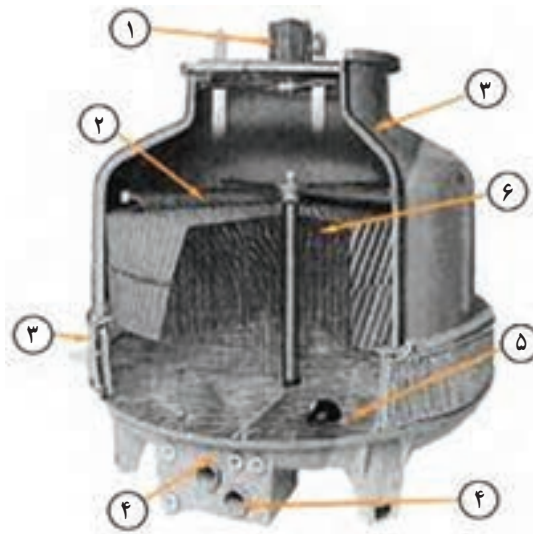
۱- جریان اجباری هوا می تواند به صورت فشاری توسط دمنده از پایین یا مکشی توسط مکنده از بالای برج، انجام شود. برای افزایش میزان انتقال حرارت ممکن است دمنده ها طوری نصب شوند که هوا از اطراف عمود بر جریان آب، بدمند.

۲- در صفحه (۴۴) کتاب درسی، شرایط آب مصرفی ذکر شده است. در صورت رعایت نکردن آنها، در کف حوضچه رسوبات لجنی جمع می شود، که باید قبل از ورود به مبدل آنها را برطرف کرد.

۳- البته در مبدل های حرارتی به سبب وجود سیالات متحرک و سطح انتقال حرارت جامد، هر سه روش انتقال حرارت وجود دارد ولی عمدتاً به روش «جابه جایی» انجام می شود.

علاوه بر این روش، تبخیر^۱ نیز بسیار مؤثر است.

در شکل‌های ۱۲-۷ و ۱۳-۷ به ترتیب نمای بیرونی و اجزای داخلی برج خنک کننده نشان داده شده است :



شکل ۷-۱۳- اجزای ساختمان برج خنک کننده



شکل ۷-۱۲- برج خنک کننده

در شکل ۷-۱۳ اجزای برج خنک کننده به ترتیب معرفی می‌شوند :

- | | |
|---------------------------------|---------------------------------------|
| ۱- موتور مکنده | ۲- توزیع کننده آب |
| ۳- بدنه برج | ۴- خروجی آب خنک از حوضچه یا ورودی پمپ |
| ۵- شناور جهت کنترل سطح آب حوضچه | ۶- صفحات مشبک |

دانستنی (۲)



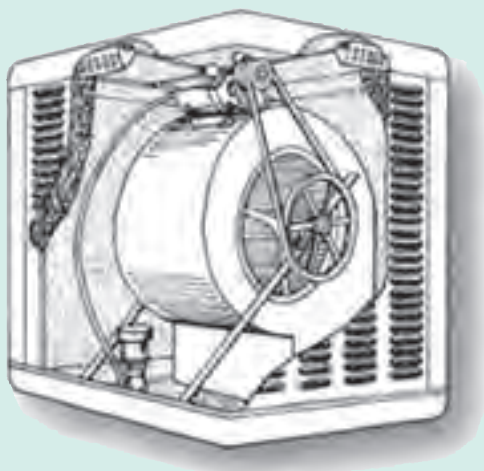
شکل ۷-۱۴- برج‌های اتمسفریک خنک کننده

در اولین برج‌های خنک کننده از جریان طبیعی هوا (مانند باد در برج‌های خنک کننده) استفاده می‌شده است، که به آنها «برج‌های اتمسفریک خنک کننده»^۲ می‌گویند مانند (شکل ۷-۱۴). این برج‌ها طویل و باریک‌اند و به علت ثابت نبودن شرایط محیطی، عملکرد یکنواختی ندارند. به همین دلیل امروزه برای عبور هوا از وسایل مکانیکی استفاده می‌شود.

۱- گفتنی است مقدار آب در برج خنک کننده به دلیل تبخیر کم می‌شود، که با افزودن آن به حوضچه جبران می‌گردد.

۲- در بعضی مناطق هنوز هم از این نمونه برج‌های خنک کننده در صنعت استفاده می‌شود.

در این قسمت، شباهت‌ها و تفاوت‌های کولر آبی و برج
خنک‌کننده بیان شود^۱.



شکل ۷-۱۵- کولر آبی خانگی

فعالیت (تحقیق)

عملکرد کولر آبی خانگی را، با توجه به اجزای داخلی آن، شرح دهید. از هنجریان خواسته شود که نتیجه را بنویسند و آن را در جلسه بعد تحویل دهند.

نتایج تحقیق‌ها

بعد از جمع‌آوری تحقیق‌ها در جلسه بعد و تشویق هنجریانی که کار خود را کامل ارائه داده‌اند توضیحاتی در خصوص موضوع تحقیق را می‌توان مانند آنچه در زیر آمده است ارائه کرد :

در کولر آبی خانگی، آب توسط یک پمپ از حوضچه کف به روی پوشال‌های موجود در صفحات جانبی منتقل می‌شود و در حرکت رو به پایین خود، آنها را مرطوب می‌سازد. هوای گرم توسط مکنده به داخل فضای کولر کشیده می‌شود و در حین عبور از لابه‌لای پوشال‌های مرطوب، تبادل حرارت صورت می‌گیرد و در نتیجه، ضمن تبخیر شدن بخشی از آب، هوا خنک می‌شود. هوای سرد و مرطوب به داخل خانه فرستاده می‌شود. درون حوضچه، شناوری مشاهده می‌شود که سطح آب موجود در حوضچه را کنترل می‌کند.

۱- با توجه به متن کتاب در صفحه (۴۳) کتاب درسی.

برنامه زمان بندی هفته سیزدهم			دقیقه
۱	آماده کردن کلاس (احوالپرسی، حضور و غیاب)	۵	
۲	رفع اشکال	۱۰	
۳	پرسش	۱۵	
۴	تدریس	۴۰	
۵	استراحت میان تدریس	۱۰	
۶	مرور فصول گذشته جهت آمادگی آزمون نوبت اول	۵۵	

در این جلسه توصیه می شود قسمت حفره زایی از فصل ششم تا ابتدای مبحث کوره ها از فصل هفتم، از طریق پرسش و پاسخ رفع اشکال گردد و بهتر است به صورت بحث کلاسی انجام شود. با این روش می توان نکات مهم فصل را دوباره بررسی کرد.

سؤالات پیشنهادی

- ۱- سؤالات مختلف در مورد بخش حفره زایی، از جمله :
 - آیا لازم است مایع برای تبخیر به نقطه جوش خود برسد؟
 - در چه شرایطی یک مایع تبخیر می شود؟
 - حفره زایی چگونه اتفاق می افتد؟
 - چگونه می توان فهمید که پمپی دچار حفره زایی شده است؟
 - عوارض حفره زایی (کاویتاسیون) چیست؟
 - سه عامل مهم را که در حفره زایی نقش دارند، نام ببرید.
- ۲- مبدل حرارتی را تعریف کنید؟
- ۳- چند نوع مبدل حرارتی بر مبنای ساختمان آنها وجود دارد؟
- ۴- در شرایط یکسان، میزان انتقال حرارت همسو یا ناهمسو، کدام یک بیشتر است؟ چرا؟
- ۵- مبدل های حرارتی دو لوله ای چه زمانی کاربرد دارند؟
- ۶- بافل چیست؟ نقش آن را در مبدل های لوله و پوسته بیان کنید.
- ۷- وظیفه برج خنک کننده چیست؟
- ۸- ساختمان برج خنک کننده را مختصراً شرح دهید.
- ۹- جریان آب ورودی به برج خنک کننده چگونه خنک می شود؟
- ۱۰- تفاوت مهم مبدل های حرارتی و برج های خنک کننده در چیست؟

۱۱- تفاوت‌ها و شباهت‌های برج‌های خنک کننده و کولرهای آبی خانگی را بیان کنید.

۱۲- چرا هوای کولر آبی رطوبت دارد؟

۷-۵- کوره‌ها

کوره‌ها، در صنایع مختلف، به خصوص صنایع نفت و صنایع شیمیایی معدنی نظیر سیمان، کاربردهای فراوانی دارند، از جمله :
- در پالایشگاه‌ها، نفت خام را قبل از ورود به برج تقطیر، توسط کوره گرم می‌کنند.

- مواد اولیه یک واکنش گرماگیر را، قبل از ورود به راکتور، در یک کوره به دمای مورد نظر می‌رسانند و...
کوره‌ها نیز، مانند تجهیزات دیگر، سیر تکاملی داشته و با پیشرفت دانش مهندسی، با طراحی‌های جدید روز به روز به کارآیی و ایمنی آنها افزوده شده است.

ابتدا تعریف جامعی از کوره^۱ ارائه می‌شود.

۷-۵-۱- ساختمان دیواره کوره‌ها : در این بخش به مواد نسوز، که مواد سازنده دیواره کوره‌هاست، اشاره می‌شود و خصوصیات آنها ذکر می‌گردد. مثال‌هایی از چند ماده نسوز، ضروری است.

۷-۵-۲- انواع کوره‌ها : چنان‌که در آغاز فصل گفته شد، سه نوع کوره، براساس «انرژی اولیه» برای تولید حرارت بررسی خواهد شد.

۷-۵-۳- کوره سوختی^۲ : در این کوره‌ها، در اثر احتراق سوخت‌های مختلف جامد، مایع و گاز، حرارت تولید می‌گردد و به مواد گرماپذیر منتقل می‌شود. از مثال‌های روزمره آشنا، می‌توان به فرو آب گرم‌کن گازی اشاره کرد.
دو نمونه از کاربردهای کوره سوختی، که در کتاب معرفی شده‌اند، توضیح داده می‌شود^۳.

دانستنی (۲)^۴

کوره‌های سوختی

در این کوره‌ها توجه به نکات زیر، ضروری است :

- نوع سوخت انتخابی؛ در این کوره‌ها از سوخت‌هایی چون نفت سفید، نفت کوره، گازوئیل، گاز طبیعی و زغال سنگ استفاده می‌شود. از این میان، گاز طبیعی از جهت ایجاد آلودگی کمتر و عملکرد بهتر، مناسب‌ترین سوخت است.

- میزان اکسیژن مورد نیاز سوخت : هوا تأمین کننده اکسیژن مورد نیاز سوخت است و مقدار آن باید در حد بهینه، محاسبه گردد، به طوری که نه آن قدر کم باشد که موجب سوخت ناقص گردد و در نتیجه کربن و منواکسید کربن تولید شود و نه آن قدر زیاد که محدودیت حجمی برای کوره ایجاد کند. معمولاً در محاسبات، مقدار هوا را بیشتر از حد نیاز سوخت^۵ در نظر می‌گیرند تا از کامل بودن عمل احتراق، مطمئن شوند.

۱- این تعریف در کتاب درسی آمده است.

۲- Fuel Furnace

۳- در صفحه (۴۵) کتاب درسی عملیات دستگاهی، در بندهای «الف و ب» توضیحات کافی آمده است.

۴- دانستنی (۲)، با استفاده از کتاب «ماشین آلات صنعتی»، تألیف شه زاد برقی.

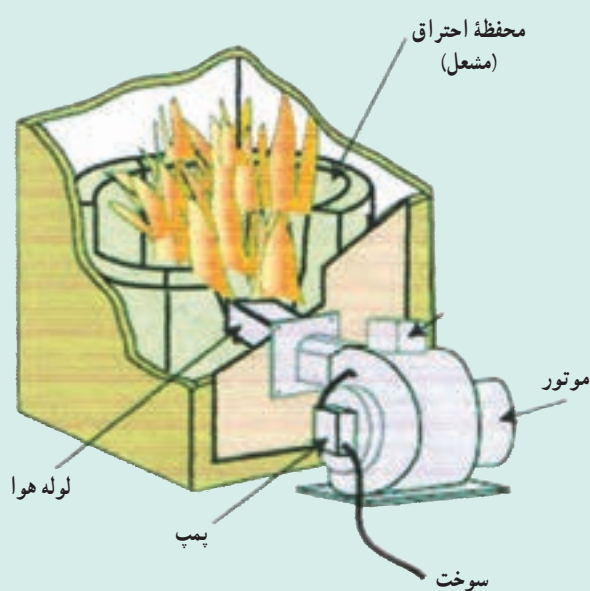
۵- Excess air

— کوره‌های سوختی معمولاً به شکل جعبه‌ای یا استوانه‌ای ساخته می‌شوند. به منظور خروج گازهای حاصله از احتراق سوخت‌ها، دودکش‌هایی در سقف آنها نصب می‌گردد. به منظور انتقال سریع‌تر این گازها، مکندehایی در دهانه دودکش‌ها قرار می‌دهند که موجب مکش هوای مورد نیاز به درون کوره نیز می‌شود. در صورتی که برای ورود هوا کشش لازم، ایجاد نشده باشد از دمنده‌هایی برای رساندن هوا استفاده می‌شود.

— معمولاً سوخت و هوا را قبل از ورود به کوره در یک مخلوط‌کن^۱، کاملاً با هم مخلوط می‌کنند^۲، زیرا این عمل بازده حرارتی کوره را افزایش می‌دهد.

— عمل احتراق به وسیله مشعل‌ها^۳ آغاز می‌شود و ادامه می‌یابد. نوع سوخت در نوع مشعل^۴ و نحوه عملکرد آن تأثیرگذار است. تنظیم مقدار سوخت و هوا به وسیله مشعل انجام می‌گیرد.

شکل ۷-۱۶ محفظه احتراق یک کوره سوختی را نشان می‌دهد.



شکل ۷-۱۶ کوره سوختی

— در صورتی که تأکید شده باشد مواد گرماپذیر با سوخت، شعله و گازهای حاصل از احتراق در تماس نباشد می‌توان از ظروف دربسته‌ای به نام بوته برای جامدات و خطوط لوله، برای سیالات استفاده کرد.

— توجه به رنگ شعله، در کوره‌های سوختی نیز بسیار مهم است. رنگ آبی شعله، نشانه سوخت کامل است. در این صورت در گازهای خروجی از دودکش، مقداری اکسیژن نیز وجود دارد. در احتراق ناقص، رنگ شعله زرد و پر دود است و از وجود کربن خبر می‌دهد که موجب آلودگی خواهد شد.

۷-۵-۴ کوره‌های الکتریکی^۵: جهت دستیابی به درجه حرارت‌های بسیار بالا، استفاده از کوره‌های سوختی به دلایل

زیر توصیه نمی‌شود:

داشتن نیاز به ساختمانی پیچیده‌تر، سوخت بیشتر، شدت احتراق بالاتر، زیاد بودن حجم گازهای تولیدی و مشکلات انتقال آنها و داشتن آلودگی بیشتر.

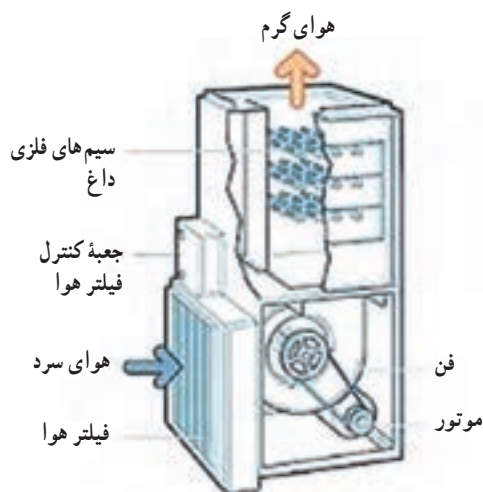
۱- Mixer

۲- در صورتی که سوخت مورد استفاده گازی باشد، عمل اختلاط به آسانی انجام می‌شود. اگر سوخت به شکل مایع باشد، باید به پودر تبدیل شود. در این صورت از نازل استفاده می‌کنند، به طوری که سوخت مایع به هنگام خروج از دهانه نازل، با جریان شدیدی از هوا همراه می‌شود و به شکل پودر درمی‌آید.

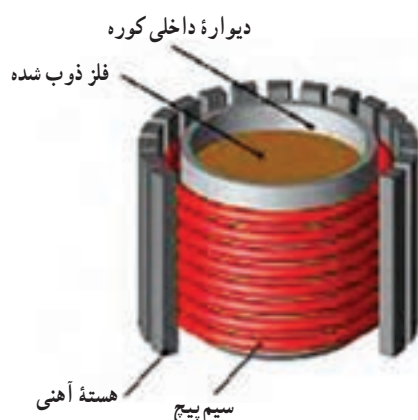
۳- مشعل‌ها در کف کوره قرار دارند و عمل اختلاط سوخت و هوا نیز در مشعل، صورت می‌گیرد.

۴- بر این اساس، هم مشعل‌های گازی و هم مشعل‌های سوخت مایع موجود است. تنظیم و کنترل مشعل‌های سوخت مایع از اهمیت بیشتری برخوردار است، زیرا خواص فیزیکی سوخت مایع در چگونگی عمل پودر کردن مؤثر است.

۵- Electrical Furnaces



شکل ۷-۱۷- کوره مقاومتی



شکل ۷-۱۸- کوره القایی

جایگزین این کوره‌ها، کوره‌های الکتریکی هستند، با منبع حرارتی بسیار تمیز، که بعضاً تا دمای 4000°C و حتی بالاتر را ایجاد می‌کنند.

در این بخش، ابتدا کوره‌های الکتریکی را تعریف و سه نوع متداول آنها را معرفی می‌کنیم. سپس در مورد هریک از آنها توضیحات تکمیلی بیان می‌شود.

الف) کوره مقاومتی^۱: در این کوره، برای تبدیل جریان الکتریکی به حرارت از سیم‌های فلزی استفاده می‌شود. جهت تولید حرارت بیشتر، باید سیم فلزی دارای شرایط^۲ زیر باشد:

نقطه ذوب بالا، مقاومت زیاد، قطر کم و طول زیاد. از جمله مثال‌هایی که می‌توان به آنها اشاره کرد، عبارت‌اند از: بخاری برقی، هیتر برقی، اتو، ششوار، ...

شکل ۷-۱۷ یک نمونه از کوره مقاومتی (آلمانی) را نشان می‌دهد که در آن هوا توسط یک دمنده^۳ به روی سیم‌های فلزی داغ، فرستاده می‌شود. از هوای گرم خروجی می‌توان جهت گرمایش فضاهای مسکونی، اداری، کارخانه‌ها و در مبدل‌های حرارتی استفاده کرد.

ب) کوره القایی^۴: فضای میان یک سیم پیچ فلزی که از آن جریان الکتریکی نسبتاً زیادی عبور می‌کند، کوره القایی نامیده می‌شود. از این فضا می‌توان جهت ذوب فلزاتی چون آهن، مس، آلومینیم و... استفاده کرد، چنان‌که در شکل ۷-۱۸ نشان داده شده است. در شکل ۷-۱۹ نیز یک کوره القایی مشاهده می‌شود.

دانستنی (۳)^۵

کوره القایی: این کوره براساس القای میدان مغناطیسی، طراحی و ساخته می‌شود. به این صورت که ابتدا جریان نسبتاً زیادی (بیش از ۱۰۰۰ آمپر) با فرکانس ۳۰۰ تا ۱۰۰۰۰ هرتز و با استفاده از برق شهر، ساخته و به سیم پیچ کوره اعمال می‌شود و با عبور از آن، به ایجاد یک میدان مغناطیسی در وسط سیم پیچ، با همان فرکانس، منجر می‌گردد.

۱- Electric Elements Furnaces

۲- این شرایط براساس قانون ژول ($Q = RI^2t$) و رابطه $R = \rho \frac{L}{S}$ ، بیان شده است (در رابطه اخیر؛ ρ مقاومت ویژه است که به جنس فلز بستگی دارد و L طول سیم و S سطح مقطع آن است).

۳- هوا قبل از ورود به دمنده (فن) از فیلتر عبور می‌کند تا آلودگی‌ها و ناخالصی‌های آن حذف شود.

۴- Induction Furnace

۵- دانستنی (۳) برگرفته از سایت www.en.wikipedia.org است.



شکل ۷-۱۹- کوره القایی

در صورتی که در فضای داخل سیم پیچ کوره، یک جسم هادی مانند فولاد قرار گیرد میدان مغناطیسی ایجاد شده و به القای جریان‌های گردابی به نام «فوکو»، در این جسم می‌انجامد. در نتیجه جسم گرم می‌شود و تا حد ذوب پیش می‌رود. با تغییر فرکانس و قدرت کوره، می‌توان آن را برای انواع کاربردها آماده کرد.

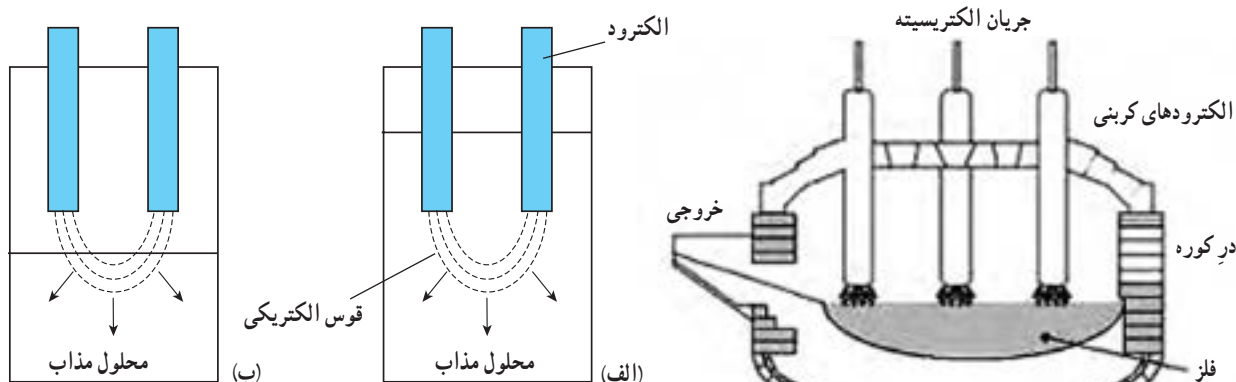
از خصوصیات این کوره می‌توان به موارد زیر اشاره کرد: سرعت و راندمان بالا در انجام عملیات، آلودگی نداشتن، امکان کنترل دقیق دما و اشغال فضای کمتر. کاربردها:

- ذوب فلزات در صنایع ریخته‌گری فولاد، مس، چدن، آلومینیم، برنج و...
- داشتن قابلیت پیش گرم کنندگی در صنایع شکل دهی
- قابلیت سخت کاری سطحی قطعات فلزی در صنایع ماشین‌سازی، مانند چرخ دنده و میل لنگ

ب) کوره قوسی^۱: ابتدا ساختمان کوره، توضیح داده می‌شود^۲، سپس با استفاده از تصاویر و ارائه توضیحات لازم، سعی می‌شود که هنرجویان از عملکرد این کوره به درک صحیحی دست یابند.

اساس این کوره بر تولید قوس الکتریکی میان دو الکترود کربنی حامل جریان الکتریسته، بنا شده است. شکل ۷-۲۰ یک کوره قوسی را نشان می‌دهد. الکترودها در بالای کوره نصب می‌شوند و توسط قوس نورانی و بحرارتی که در فضای بین خود، ایجاد می‌کنند دمای کوره را به حد مورد نیاز می‌رسانند. فلز مورد نظر در کف کوره قرار می‌گیرد و پس از ذوب شدن، از دهانه آن خارج می‌گردد.

الکترودها ممکن است درون ماده گرم‌پذیر و در تماس مستقیم با آن باشند یا خارج از ماده قرار بگیرند (مانند شکل ۷-۲۱)



شکل ۷-۲۱- الف) کوره قوسی با تماس مستقیم

ب) کوره قوسی با تماس غیرمستقیم

شکل ۷-۲۰- کوره قوسی



شکل ۷-۲۲- کوره خورشیدی

۷-۵-۵- کوره تابشی^۱: این کوره براساس قوانین تابش و بازتابش نور در آینه‌های مختلف، بنا شده است. داستان تام ادیسون و جمع‌آوری شعاع‌های نورانی شمع، بر روی تخت عمل جراحی مادرش، مثال^۲ خوبی از عملکرد سطوح شفاف آینه‌ها در جمع‌آوری بازتاب‌های نور، در یک نقطه مشخص^۳ است. این نقطه، «کوره تابشی» نامیده می‌شود. در شکل ۷-۲۲ یک کوره خورشیدی مشاهده می‌شود، که از یک آینه مقعر بزرگ تشکیل شده است و کوره در کانون آن قرار دارد.

خودآزمایی فصل هفتم

پاسخ سؤالات خودآزمایی در متن کتاب وجود دارد.

آمادگی جهت امتحانات نوبت اول:

از آنجا که امتحانات مذکور معمولاً در هفته‌های چهاردهم و پانزدهم سال تحصیلی برگزار می‌شود. با برنامه‌ریزی دقیق پس از پایان فصل هفتم، فرصتی فراهم شود تا با مروری بر فصول گذشته، هنرجویان آمادگی لازم را کسب کنند. به همین منظور با طرح سؤالات و مسائلی، می‌توان مفاهیم مربوطه را یادآوری کرد. توجه: جهت دسترسی هنرجویان به سؤالات امتحانی، آنها را برای مراجعه به سایت اداره کل سنجش و ارزشیابی تحصیلی، به آدرس <http://aee.medu.ir> راهنمایی کنید.

۱- Radiation Furnace

۲- مثال دیگر، تقریباً همه در کودکی سوزاندن برگ یا تکه کاغذ را با ذره‌بین آزمایش کرده‌اند. ذره‌بین یک عدسی محدب است که شعاع‌های نورانی خورشید را بعد از عبور، در کانون خود جمع می‌کند و آن نقطه یک کوره است.

۳- آن نقطه، کانون آینه مقعر است.

کنترل فرآوردها

چکیده فصل

در این فصل، هنجاریان با چگونگی کنترل سه کمیت مهم در فرآوردهای شیمیایی یعنی دما، فشار و سطح یا ارتفاع مایعات در مخازن آشنا می‌شوند. دانسته‌های قبلی: این مبحث برای هنجاریان کاملاً جدید است. اهداف فصل: در پایان فصل، از هنجاریان انتظار می‌رود که بتوانند در خصوص عناوین زیر، توضیحات کافی ارائه دهند.

- دلایل و فواید کنترل کمیت‌های مختلف در فرآوردهای شیمیایی
- چگونگی کنترل دما در یک فرآیند
- رسم نمودار جعبه‌ای کنترل دما
- تشریح یک سیستم کنترلی ساده به طور کلی (اجزا - نمودار جعبه‌ای)
- چگونگی کنترل فشار در یک فرآیند (اجزا - نمودار جعبه‌ای)
- چگونگی کنترل سطح یا ارتفاع مایعات در مخازن (اجزا - نمودار جعبه‌ای)
- انواع شیرهای کنترل
- چگونگی عملکرد شیر کنترل بادی

برنامه زمان‌بندی تدریس فصل هشتم

صفحه	موضوعات	هفته
۴۷ - ۴۹ ۵۱	دلایل نصب سیستم‌های کنترلی روی فرآوردها، سیستم کنترل دما، اجزای یک سیستم کنترلی ساده	۱۶
۴۹ - ۵۰ ۵۲	سیستم کنترل فشار، سیستم کنترل سطح، شیر کنترل بادی	۱۷

برنامه زمان بندی هفته شانزدهم			دقیقه
۱	آماده کردن کلاس (احوالپرسی، حضور و غیاب)	۵	
۲	حل سؤالات امتحان نوبت اول	۳۰	
۳	تدریس	۹۰	
۴	استراحت میان تدریس (دو نوبت)	۱۰	

۸-۱- مقدمه

راهنمای تدریس

با توجه به جدید بودن مفاهیم این فصل و به منظور درک بیشتر هنجاریان، توصیه می شود قبل از ورود به مباحث اصلی، با طرح سؤالات و ذکر مثال های آشنا، دلایل و فواید قرار دادن سیستم های کنترلی را بر روی خطوط تولید، بیان کنید.

سؤال: کنترل کردن یک کمیت مانند قیمت یک محصول، جمعیت یک کشور، دمای یک مخزن و... چه معنی دارد؟ و چرا باید چنین کمیت هایی کنترل شوند؟

پاسخ این است:

به طور کلی، هدف از کنترل کردن کمیت ها، تنظیم و تثبیت مقدار آنها در حد مطلوب است. می توان گفت کنترل کردن، ایجاد شرایطی مناسب جهت نگه داشتن مقدار یک کمیت در یک محدوده خاص است.

مثال: وسیله ای انتخاب شود که در آن کمیتی کنترل می شود، مانند اتو و عملکرد آن توضیح داده شود؛

معمولاً در اتوها، براساس جنس لباس مورد نظر، درجه ای تعریف شده است که با انتخاب آن، دما در محدوده مشخصی کنترل می شود که مناسب آن جنس است.

در اتوهایی که به چراغ نمایشگر مجهزند کنترل دما کاملاً محسوس است، زیرا با قطع و وصل جریان برق در محدوده دمایی مذکور، چراغ خاموش و روشن می شود. کنترل نشدن دما در اتو، باعث می شود که جریان برق به موقع قطع نشود و دما آن قدر بالا رود که سیم های داخل آن بسوزد.

با توجه به محدود بودن دقت بشر در اندازه گیری کمیت های مختلف و کنترل آنها، استفاده از سیستم های کنترل کننده تقریباً در اکثر صنایع معمول است و فواید زیر را دربردارد:

۱- افزایش کیفیت فرآورده ها و نگه داشتن آن در حد مطلوب

۲- صرفه جویی از نظر نیروی انسانی

۳- حذف خطرات احتمالی ناشی از تغییر ناگهانی کمیت ها (بالا بردن ایمنی سیستم)

۴- جلوگیری از ضایعات و خسارات اقتصادی

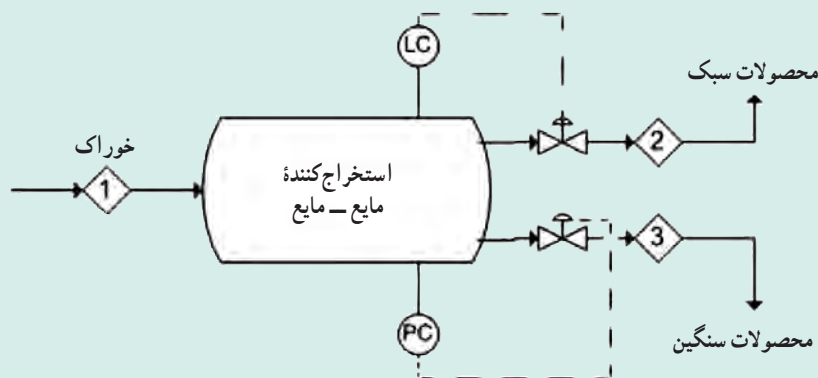
دما، فشار و سطح (یا ارتفاع) مایعات موجود در مخازن، سه کمیت مهم و مؤثر در فرآیندهای شیمیایی هستند که با نصب

سیستم‌های کنترل کننده^۱ روی دستگاه‌های مختلف^۲ مورد نظر، مقدار آنها به طور اتوماتیک در محدوده مجاز کنترل می‌شود. کنترل نشدن کمیت‌های مذکور در واکنش‌های شیمیایی، اثرات جبران ناپذیری بر جا می‌گذارد.

دانستنی (۱)

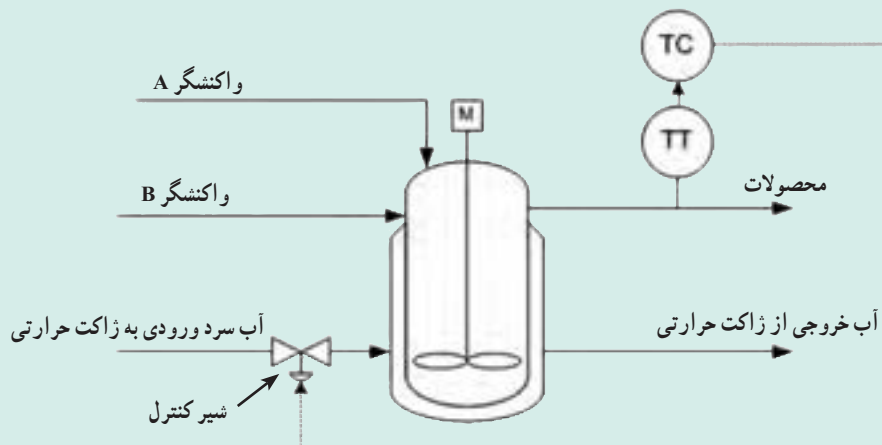
نصب سیستم‌های کنترل کننده بر روی دستگاه‌ها در نقشه پی اف دی (PFD)

در این نقشه‌ها، سیستم‌های کنترل کننده با علائم مخصوص خود، روی دستگاه‌ها قرار می‌گیرند. شکل ۸-۱، یک استخراج کننده مایع-مایع را نشان می‌دهد که سیستم‌های کنترل کننده سطح و فشار بر روی آن نصب شده‌اند و در زمان لازم، فرمان مناسب از طریق شیرهای کنترل اجرا می‌گردد.



شکل ۸-۱- کنترل سطح و فشار در یک استخراج کننده

و در شکل ۸-۲، دبی آب سرد ورودی به ژاکت حرارتی یک راکتور توسط سیستم کنترل کننده دما، از طریق اندازه‌گیری دمای محصولات و به وسیله یک شیر کنترل، تنظیم می‌شود.



شکل ۸-۲- کنترل دما در یک راکتور

۱- در نقشه‌های پی اف دی (PFD) فرآیندهای شیمیایی هر یک از این سیستم‌ها، با علامت خاصی مشخص می‌شوند، از جمله کنترل کننده دما (TC)، کنترل کننده فشار (PC)،

کنترل کننده سطح (LC) و کنترل کننده جریان سیالات (FC)

۲- در دانستنی (۱)، دو نمونه از این دستگاه‌ها مشاهده می‌شود. جهت کسب اطلاعات بیشتر به فصل (۱) کتاب «فرآیندهای شیمیایی» مراجعه شود.

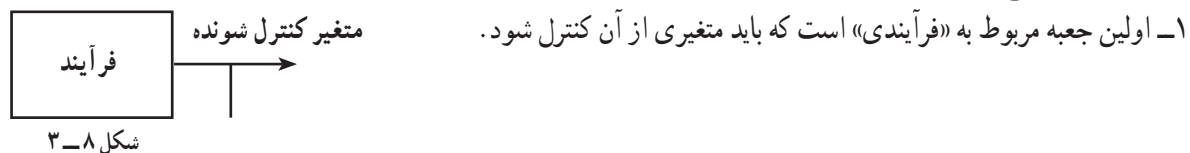
راهنمای تدریس بخش‌های (۸-۲) تا (۸-۶):

توصیه می‌شود ابتدا بخش ۸-۶ تدریس شود، زیرا چنان که ملاحظه می‌شود در این بخش، به طور کلی یک سیستم کنترل، بدون در نظر گرفتن کمیته خاص، به همراه نمودار جعبه‌ای آن مورد بررسی قرار می‌گیرد. به این ترتیب، اگر هنرجویان این بخش را به خوبی فراگیرند، یاددهی و یادگیری بخش‌های دیگر آسان‌تر، سریع‌تر و با مشارکت آنها، انجام خواهد شد.

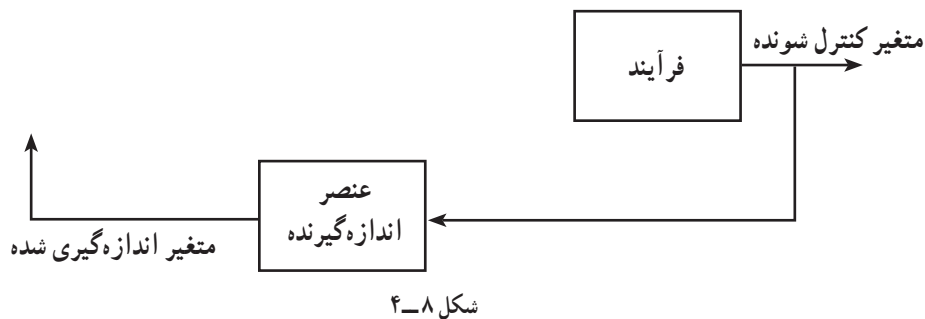
۸-۶ اجزای یک سیستم کنترل ساده

اجزای یک سیستم کنترل ساده در حالت کلی^۱، معرفی شود و سپس نمودار جعبه‌ای^۲ آن، که رابطه بین این اجزا را مشخص می‌کند به روش^۳ زیر رسم شود.

راهنمای تدریس «رسم نمودار جعبه‌ای یک سیستم کنترل ساده»: رسم نمودار جعبه‌ای مذکور از اولین جعبه، که متعلق به «فرآیند» است، آغاز می‌گردد و به ترتیب جعبه‌ها رسم می‌شوند تا به فرآیند ختم گردد (مانند شکل ۸-۳) و در مورد هر کدام در حد لازم به صورت زیر توضیح داده می‌شود:



۲- دومین جعبه متعلق به «عنصر اندازه گیرنده» است. وسیله‌ای که در فرآیند قرار می‌گیرد تا کمیت یا متغیر مورد نظر را اندازه‌گیری کند و مقدار آن را گزارش دهد.



۳- سومین جعبه «مقایسه کننده» است که گزارش عنصر اندازه گیرنده را دریافت می‌کند و با مقدار مطلوب یا مقرر^۴ متغیر فرآیند، ضمن مقایسه، اختلاف آن دو را محاسبه می‌نماید و به کنترل کننده می‌دهد^۵.

۴- چهارمین جعبه مربوط به «کنترل کننده» است که فرماندهی سیستم کنترل را به عهده دارد و تصمیم‌گیری با این وسیله است.

۱- نام اجزای مذکور، در صفحه (۵۱) کتاب درسی درج شده است که با استفاده از آن تدریس می‌شود.

۲- Block Diagram

۳- روش تدریس «رسم نمودار جعبه‌ای یک سیستم کنترل ساده».

۴- Set point

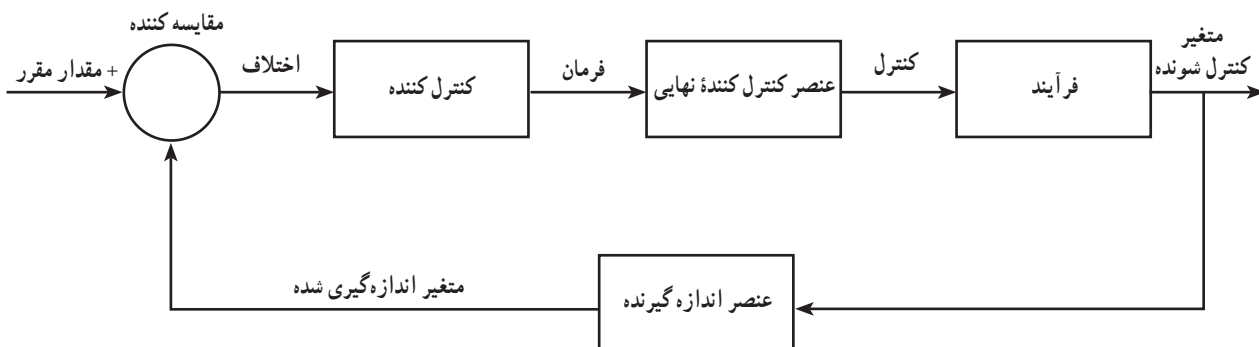
۵- برای درک بهتر هنرجویان، روند افزودن جعبه‌ها به همان صورت که در مورد (۲) دیده می‌شود، ادامه یابد تا نهایتاً به فرآیند ختم شود.

کنترل کننده، اختلاف را می‌گیرد و براساس آن فرمان لازم را صادر می‌کند. این فرمان می‌تواند در جهت افزایش (یا کاهش) آن متغیر باشد.

نکته مهم: در حلقه‌های کنترلی، «مقایسه کننده و کنترل کننده» با نام «سیستم کنترل کننده» شناخته می‌شوند و اغلب یک وسیله، هر دو وظیفه را انجام می‌دهد.

۵- پنجمین جعبه مربوط به وسیله‌ای به نام «عنصر کنترل کننده نهایی» است که همان شیر کنترل است و فرمان صادره از کنترل کننده را بر روی فرآیند اجرا می‌کند که موجب کنترل آن متغیر می‌شود.

مهم: یک سیستم کنترل، در حقیقت یک مدار بسته^۱ است که در آن اطلاعات از فرآیند گرفته می‌شود و کنترل روی فرآیند صورت می‌گیرد.



شکل ۸-۵- نمودار جعبه‌ای یک سیستم کنترل ساده^۲

۸-۲- کنترل دما

در این بخش، با استفاده از یک مثال، مانند «آب گرم کن گازی» که دمای آب درون آن کنترل می‌شود و رسم یک شکل ساده^۳ از آن، روش کنترل دما^۴ را می‌توان توضیح داد.

۸-۳- حلقه^۵ کنترل دما

برای بررسی سیستم کنترل دما، اجزای آن را معرفی می‌کنیم و وظیفه هر کدام را شرح می‌دهیم، سپس نمودار جعبه‌ای آن رسم می‌گردد^۶.

در رسم نمودار جعبه‌ای، با طرح پرسش‌هایی، هنرجویان در امر تدریس شرکت داده می‌شوند، برای مثال:

در سیستم کنترل دما، فرآیند چیست؟ متغیر کنترل شونده، کدام کمیت است؟

برای اندازه‌گیری دما، از چه وسیله‌ای استفاده می‌شود؟

۱- سیستم‌های کنترلی ممکن است باز باشند، مانند چراغ راهنما برای کنترل عبور و مرور وسایل نقلیه که در این فصل، مدنظر نیستند.

۲- این نمودار مخصوص حالت‌هایی است که هدفش از کنترل متغیر آن باشد که متغیر از مقدار مقرر فرآیند، تجاوز نکند یا به عبارت دیگر، مقدار مقرر بالاترین حد ممکنه برای آن متغیر در نظر گرفته شده است. شکل (۸-۵) از صفحه (۵۱) کتاب درسی عملیات دستگاهی گرفته شده است.

۳- می‌توان از شکل (۸-۱) در صفحه (۴۸) کتاب درسی عملیات دستگاهی استفاده کرد.

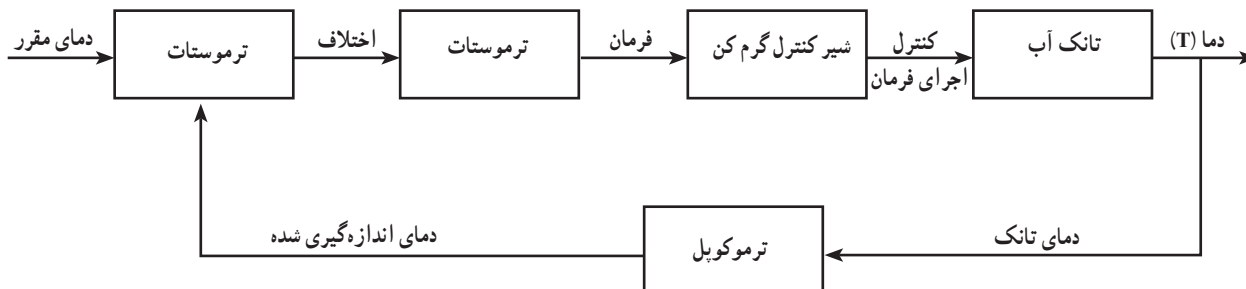
۴- مکانیزم کنترل دما، که مورد سؤال (۲) خودآزمایی نیز هست، در صفحه (۴۷) کتاب توضیح داده شده است.

۵- چنان‌که قبلاً اشاره شد، سیستم‌های کنترلی به صورت مدار بسته هستند. به همین دلیل از کلمه «حلقه» استفاده شده است.

۶- به همان روشی که در بخش (۸-۶) به تفصیل بیان شد.

یادآوری می‌شود چون این نمودار جعبه‌ای به سیستم کنترل دما، اختصاص دارد در آن از هر جزء با نام واقعی خود استفاده می‌شود، برای مثال؛

در سیستم کنترل دما، ترموستات وظیفه کنترل دما را بر عهده دارد. پس در نمودار از این کلمه استفاده می‌شود. بر این اساس، نمودار جعبه‌ای سیستم کنترل دما برای مثال مذکور در شکل ۸-۶، مشاهده می‌شود.



شکل ۸-۶- نمودار جعبه‌ای حلقه کنترل دما برای یک تانک آب

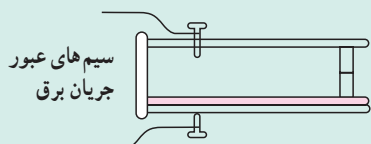
دانستنی (۲)^۱

ترموستات^۲

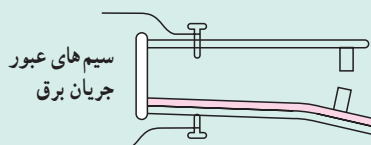
ترموستات، وسیله تنظیم و کنترل دما، در سیستم‌های گرمایشی و سرمایشی است. هر ترموستات، دارای یک قطعه حساس نسبت به تغییرات دماست، که به آن «حسگر^۳» ترموستات می‌گویند.

ترموستات، دماسنج نیست^۴ بلکه با قطع یا وصل سیستم حرارتی، دما را در محدوده معین کنترل می‌کند.

یکی از رایج‌ترین انواع ترموستات‌ها، «ترموستات بی‌متال^۵» است که براساس اختلاف انبساط طولی فلزات



ترموستات وصل است و هنوز دما به درجه تنظیم شده نرسیده است.



دما به درجه تنظیم شده می‌رسد، در نتیجه ترموستات جدا و جریان قطع می‌شود.

شکل ۸-۷ عملکرد ترموستات

در اثر گرما، کار می‌کند. در این ترموستات، دو تیغه فلزی غیر هم جنس که در دمای معمولی هم طول هستند، به هم متصل شده‌اند. در اثر افزایش دما، یکی بیش از دیگری منبسط می‌گردد. در نتیجه ترموستات خم می‌شود. با این خم شدن دستگاه برقی خاموش و روشن می‌شود^۶ (مانند شکل ۸-۷)؛

۱- دانستنی (۲) از سایت www.Khodroha.com برگرفته شده است.

۲- Thermostat

۳- Sensor

۴- در بعضی منابع، از «دمایا» به معنی برگردان فارسی ترموستات، نام برده شده است.

۵- ترموستات دوفلزی Bimetal thermostat

۶- مانند ترموستات اتو، یخچال و فریزر که به «on - off controller» معروف است.

۷- در علوم دوره راهنمایی، ترموستات (یا دمایا) با این شکل‌ها، معرفی می‌شود.

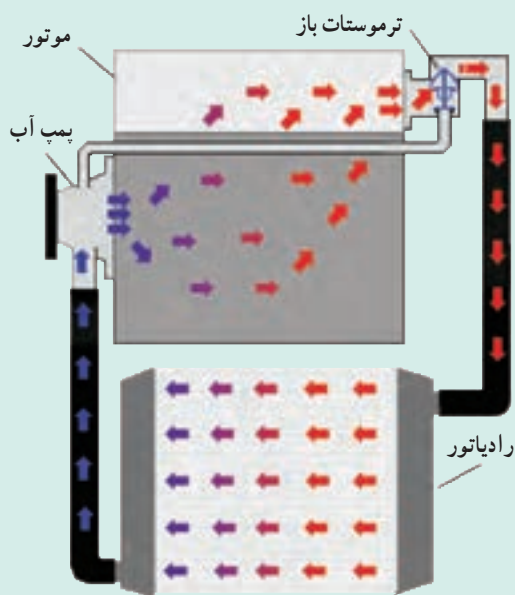
شکل ۸-۸ ترموستات غوطه‌وری را برای مخازنی چون تانک‌های آبگرم‌کن‌های سوختی نشان می‌دهد. این ترموستات، به صورت مکانیکی مسیر سوخت مشعل را باز و بسته می‌نماید و به این ترتیب دما را در یک محدوده معین، کنترل می‌کند. شکل ۸-۹ ترموستات اتومبیل را نشان می‌دهد. وظیفه ترموستات در اتومبیل این است که به صورت مکانیکی، با باز و بسته کردن مسیر ورود آب به رادیاتور و کنترل دمای آب، درجه حرارت موتور را نیز تنظیم و کنترل کند. عملکرد ترموستات در اتومبیل، در شکل ۸-۱۰ و ۸-۱۱ مشاهده می‌شود.



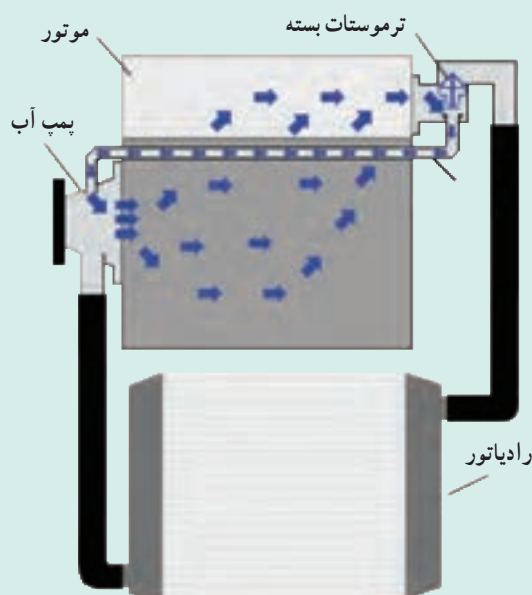
شکل ۸-۹- ترموستات اتومبیل^۱



شکل ۸-۸- ترموستات غوطه‌وری



شکل ۸-۱۱- ترموستات باز



شکل ۸-۱۰- ترموستات بسته

در شکل ۸-۱۰ دمای آبی که اطراف موتور می‌چرخد، پایین است به همین دلیل ترموستات مسیر ورود آب به رادیاتور را بسته است. در شکل ۸-۱۱ دمای آب بالا می‌رود و نیاز به تبادل حرارت در رادیاتور، دارد. به همین دلیل ترموستات مسیر را باز می‌کند.

۱- چنان‌که مشاهده می‌شود، ممکن است دو سیم فلزی ترموستات، به صورت سیم پیچ طراحی شوند که در اثر افزایش دما، به علت تفاوت میزان انبساط طولی دو فلز، حلقه‌های

سیم پیچ باز می‌شود و باعث باز شدن مسیر مذکور می‌گردد.

برنامه زمان بندی هفته هفدهم			دقیقه
۱	آماده کردن کلاس (احوالپرسی، حضور و غیاب)	۵	
۲	رفع اشکال	۱۰	
۳	پرسش	۳۰	
۴	تدریس	۸۰	
۵	استراحت میان تدریس (دو نوبت)	۱۰	

توصیه می شود پرسش به صورت مرور مطالب تدریس شده در هفته گذشته، انجام شود. در این رابطه می توان از سؤالات پیشنهادی زیر، نیز استفاده کرد :

- فواید نصب سیستم های کنترلی بر روی خطوط تولید، چیست؟
- مکانیزم کنترل دما را در یک «تانک همزن دار مجهز به سیستم حرارتی» توضیح دهید. (با رسم شکل)
- در سیستم کنترل دما، وظیفه مقایسه کننده چیست؟ و نام وسیله مورد نظر را، ذکر کنید.
- در سیستم کنترل دما، عنصر کنترل کننده چه وظیفه ای دارد؟ این وظیفه بر عهده چه دستگاهی است؟
- وظیفه عنصر کنترل کننده نهایی چیست؟ نام وسیله مورد نظر را ذکر کنید.
- آخرین وسیله کنترل کننده در هر سیستم کنترلی چه نام دارد؟
- نمودار جعبه ای حلقه کنترل دما را رسم کنید و در حین رسم، توضیح دهید.
- اطلاعات ورودی و خروجی مقایسه کننده را، بیان کنید.
- وظیفه شیر کنترل چیست؟
- اجزای یک سیستم کنترل ساده را نام ببرید و در مورد هر کدام، توضیح دهید.

۸-۴- کنترل فشار

همان طور که مشاهده می شود دو مبحث کنترل فشار و سطح نسبت به کنترل دما، بسیار خلاصه بیان شده اند. از آنجا که هنجاریان جهت درک بیشتر، به توضیحات کامل تری نیاز دارند، براساس روش تدریس بخش کنترل دما، این دو بخش نیز تدریس می شوند.

در این بخش، ابتدا در خصوص اهمیت کنترل فشار در فرایندها و مخازن تحت فشار^۱، توضیحاتی ارائه می شود و سپس مکانیزم کنترل فشار^۲ بیان می گردد و در پایان رسم نمودار جعبه ای حلقه کنترل فشار با کمک هنجاریان، به این صورت انجام خواهد شد.

۱- Pressure Vessels

۲- مکانیزم کنترل فشار در پایین صفحه (۴۹)، بیان شده است که با توجه به شکل (۸-۳) کتاب درسی، عنوان می شود.

فشار یکی از متغیرهای بسیار مهم در فرآیندهای صنایع شیمیایی است و کنترل نشدن آن خسارات جانی و مالی فراوانی به بار می‌آورد.

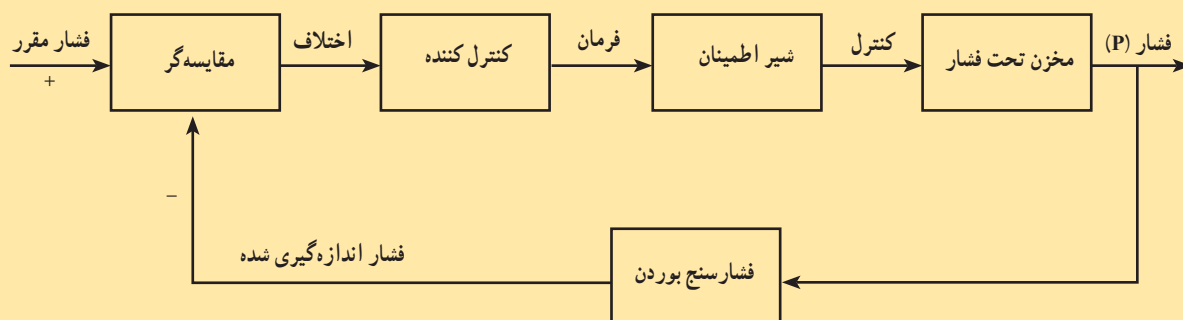
فشار فرآیندها، نقش بسیار مهمی در طراحی دستگاه‌های مختلف، از جمله راکتورها، پمپ‌ها، کمپرسورها و مخازن دارد. به طور کلی هر دستگاهی که نیاز به کنترل فشار داشته باشد، یک مخزن تحت فشار محسوب می‌شود. دیگ زودپز و آب‌گرم‌کن‌های سوختی، مثال‌های خوبی از این مخازن هستند. در این گونه مخازن، وجود بخارات مایع یا گاز، باعث افزایش فشار در آنها می‌شود. اگر این مخازن به سیستم کنترل فشار مجهز نباشند یا سیستم کنترل فشار آنها درست و به موقع عمل نکند، انفجار آنها فجایعی سنگین در پی خواهد داشت^۱.

به طور خلاصه می‌توان گفت همه فرآیندهای گرماگیر به کنترل دما و فشار نیاز دارند و در صورتی که سیستم کنترل دما به درستی انجام وظیفه کند فشار نیز تا حد زیادی به طور خودبه‌خودی، کنترل شده است^۲.
با رسم شکل ۸-۳ کتاب درسی عملیات دستگاهی، اجزای سیستم کنترل فشار را نام ببرید و چگونگی عملکرد این سیستم را توضیح دهید.

فعالیت (۱)

رسم نمودار جعبه‌ای سیستم کنترل فشار

از هنرجویان خواسته شود که نمودار جعبه‌ای کنترل فشار را سر کلاس، رسم کنند. بعد از نظارت و رفع اشکال، نمودار روی تابلو کشیده شود. هنرجویانی که کمترین خطا را در رسم نمودار داشته‌اند امتیازی کسب کنند.
در شکل ۸-۱۲ نمودار جعبه‌ای سیستم کنترل فشار مشاهده می‌شود:



شکل ۸-۱۲ نمودار جعبه‌ای سیستم کنترل فشار

فعالیت (۲)

عملکرد یک دیگ زودپز خانگی

از هنرجویان خواسته شود عملکرد یک دیگ زودپز خانگی را بررسی کنند و نتیجه تحقیق خود را در جلسه بعد تحویل دهند. برای این تحقیق امتیازی در نظر گرفته شود.

۱- مانند پرتاب دیگ زودپز از روی اجاق و متلاشی شدن آن.

۲- نقش و عملکرد صحیح ترموستات‌ها، بسیار مهم است.

۸-۵- کنترل سطح مایع^۱

راهنمای تدریس

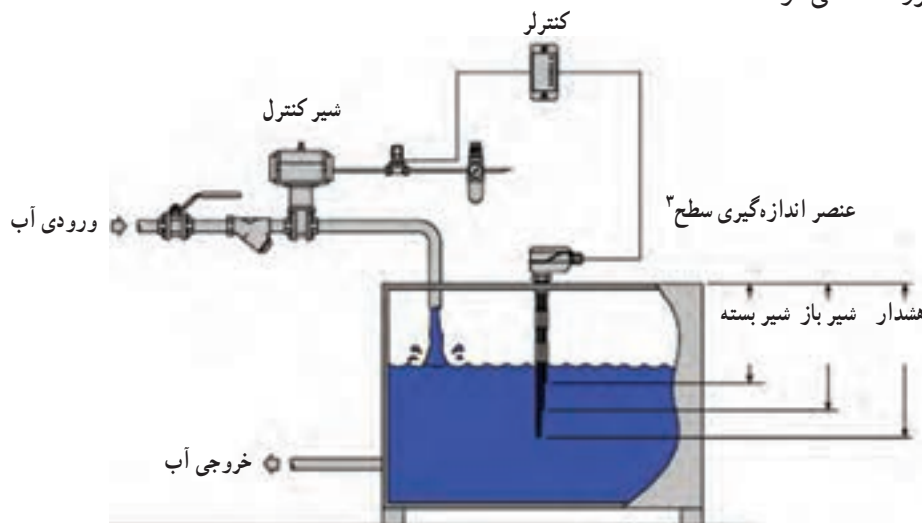
مشابه تدریس کنترل دما و فشار، در این بخش نیز ابتدا اهمیت کنترل سطح مایعات در مخازن و دلایل آن را ذکر کنید. سپس مثال‌های مختلفی از دستگاه‌هایی که دارای سیستم کنترل سطح هستند ارائه دهید و در پایان مکانیزم عملکرد کنترل سطح مایع به همراه نمودار جعبه‌ای آن توضیح داده می‌شود.

در صنعت، آگاهی از میزان سطح مایعات درون مخازن، بسیار لازم و پراهمیت است زیرا بی‌توجهی به این مسئله دو مشکل اساسی را پدید می‌آورد:

۱- افزایش سطح مایع ممکن است موجب طغیان شود و مایع از مخزن سرریز کند و در صورت سمی، داغ یا آتش‌زا بودن فاجعه می‌آفریند. پس سطح مایعات درون مخازن نباید از یک حد مقرر بیشتر باشد.

۲- کاهش سطح مایع ممکن است تخلیه کامل مخزن را به همراه داشته باشد و به هنگام نیاز، موجودی آن قدر کم باشد که در کار تولید وقفه پیش آید. پس سطح مایعات درون مخازن نباید از یک حد کمتر باشد.

از مثال‌های مهم در این رابطه، می‌توان به تفکیک کننده‌های نفت و گاز^۲ اشاره کرد. در این تفکیک کننده‌ها حتماً باید سیستم کنترل سطح برای نفت وجود داشته باشد زیرا در غیر این صورت، افزایش سطح نفت، موجب خروج نفت به همراه گاز از بالای تفکیک کننده می‌شود و در صورت کاهش سطح نفت، گاز به همراه نفت از پایین آن خارج می‌گردد. و این هر دو، اختلال در کار تفکیک کننده محسوب می‌شود زیرا نشانه جدانشدن نفت از گاز است. با وجود سیستم کنترل سطح در تفکیک کننده، به ترتیب شدت جریان نفت ورودی کاهش می‌یابد یا ته‌کش‌ها باز می‌شوند و در حالت کاهش سطح نفت، فرمان زیاد شدن جریان نفت ورودی توسط کنترلر سطح داده می‌شود. چند مثال برای مخازنی که سیستم کنترل سطح دارند و همگی با آن آشنا هستند به شرح زیرند: سیفون دست‌شویی، مخزن ذخیره آب روی پشت‌بام‌ها، کولر آبی، برج‌های خنک کننده و... در شکل ۸-۱۳، سطح مخزن توسط یک سیستم کنترل سطح، در حد مقرر حفظ می‌شود.



شکل ۸-۱۳- یک سیستم کنترل سطح را بر روی یک مخزن نشان می‌دهد.

۱- Level Control

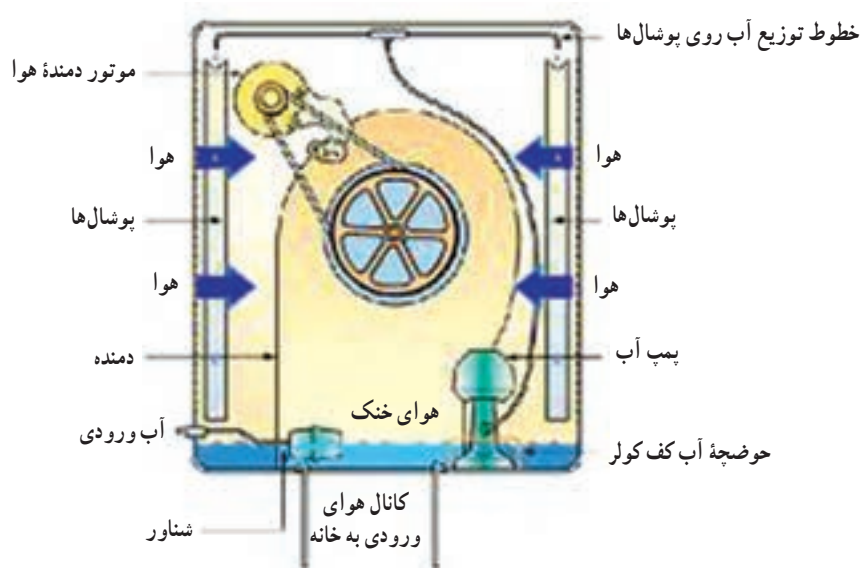
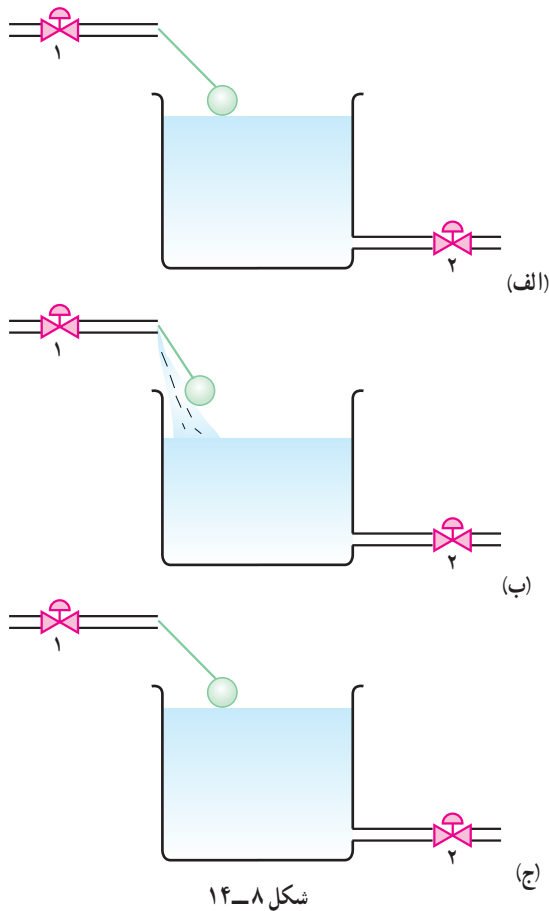
۲- برای اطلاعات بیشتر به فصل ۸ کتاب کارگاه عملیات دستگاهی مراجعه شود.

۳- Level prob

توصیه می‌شود برای بیان مکانیزم عملکرد کنترل سطح مایع از شکل ۸-۱۴ استفاده شود.^۱

و به صورت زیر توضیح داده شود :

در این شکل، مخزن مایعی وجود دارد که توسط یک شناور^۲ سطح مایع موجود در آن به سادگی کنترل می‌شود. شیر کنترل (۱) همیشه باز است ولی شیر (۲)، که شیر مصرف است، بر اساس نیاز باز می‌شود. در حالت (الف) مخزن تا سطح مقرر، پر است. بر اثر مصرف از طریق شیر خروجی (۲)، در حالت (ب) سطح پایین می‌آید و همراه با آن شناور نیز پایین می‌آید و مسیر مایع ورودی به مخزن باز می‌شود. در حالت (ج) با افزایش سطح مایع در مخزن، شناور به سمت بالا رانده می‌شود و در نتیجه مسیر ورودی بسته خواهد شد. تا زمانی که شناور دچار مشکل نشود، این سیستم به طور اتوماتیک سطح مایع را کنترل می‌کند. این نمونه کنترل سطح در کولر آبی خانگی، نیز وجود دارد (مانند شکل ۸-۱۵).



شکل ۸-۱۵- شناور سطح آب موجود در کف کولر را کنترل می‌کند.

۱- شکل ۸-۱۴ برگرفته از شکل ۷-۱ صفحه (۷۴) کتاب کارگاه عملیات دستگاهی است.

۲- (Float) در این سیستم، شناور همه وظایف را برعهده دارد.

در برج‌های خنک کننده نیز، سطح آب موجود در حوضچهٔ آب سرد توسط یک شناور، کنترل می‌شود. یا این تفاوت که در این دستگاه، عنصر کنترل کنندهٔ نهایی، خروجی آب است.

سؤال: اجزای موجود در سیستم کنترل سطح، توسط شناور را نام ببرید.

پاسخ به ترتیب زیر، با مشارکت هنجریان بر روی تابلو نوشته شود:

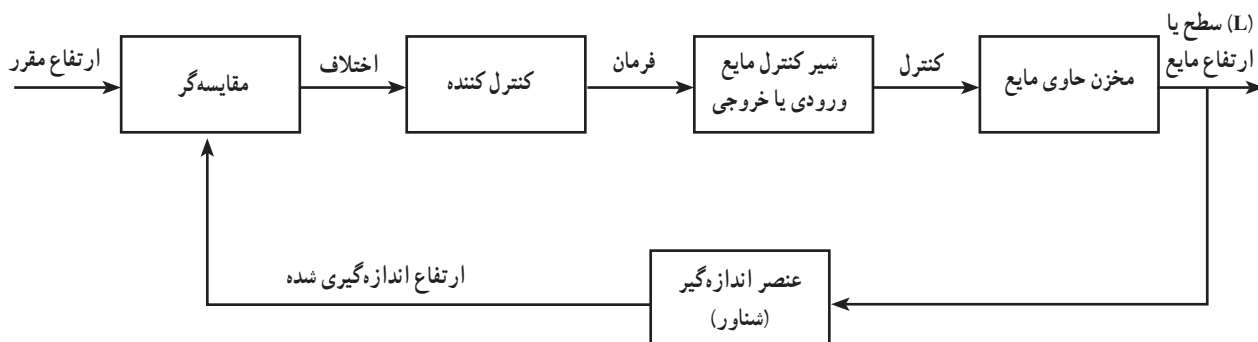
- ۱- فرآیند: مخزن حاوی مایع
- ۲- متغیر کنترل شونده: سطح یا ارتفاع مایع
- ۳- عنصر اندازه گیرنده: شناور
- ۴- مقایسه کننده و کنترل کننده: شناور
- ۵- عنصر کنترل کننده نهایی: شیر ورودی یا خروجی مایع

فعالیت ۱ (۳)

رسم نمودار جعبه‌ای سیستم کنترل سطح یا ارتفاع مایع یک مخزن

بعد از بررسی نمودارهای رسم شده توسط هنجریان^۲، توصیه می‌شود یک هنجروی داوطلب آن را پای تابلو بکشد و یا خود هنجراموز محترم، آن را رسم کند، درحالی‌که برای هر مورد، پرسش همگانی انجام می‌گیرد.

نمودار جعبه‌ای سیستم کنترل سطح به صورت زیر است:

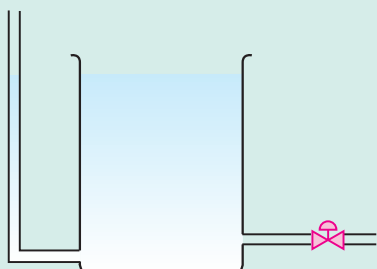


شکل ۸-۱۶- حلقهٔ کنترل سطح یا ارتفاع مایع

دانستنی (۳)

نمایشگر سطح مایع^۳

نمایشگر سطح، لولهٔ شیشه‌ای یا پلاستیکی شفاف است که به صورت ظروف مرتبطه با مخزن نصب می‌شود و از این رو مایع درونش با مایع درون مخزن هم ارتفاع است و می‌تواند نشان دهندهٔ آن باشد. این نمایشگرها ممکن است مدرج باشند یا در کنار خود، نوار مدرجی داشته باشند (مانند شکل ۸-۱۷).



شکل ۸-۱۷

۱- این فعالیت را می‌توان به صورت تکلیف برای جلسهٔ آینده نیز مطرح کرد.

۲- برای هنجریانی که بیش از ۸۰٪ نمودار را صحیح رسم کرده‌اند امتیاز در نظر گرفته شود.

۸-۷- شیرهای کنترل بادی

با توجه به شکل ۸-۶ صفحه (۵۲) کتاب درسی عملیات دستگاهی، اجزا و عملکرد و ویژگی‌های «شیر کنترل بادی» توضیح داده می‌شود.^۱

از هنجاریان خواسته شود که خودآزمایی را حل کنند و جهت انجام آزمونی از فصل هشتم در هفته آینده آماده شوند.

دانستنی (۴)

شیرهای کنترل

شیرهای کنترل، همان عناصر کنترل کننده نهایی در سیستم‌های کنترلی هستند که فرمان را از کنترل کننده می‌گیرند و بر روی فرآیند، اجرا می‌نمایند و متغیر مورد نظر را کنترل می‌کنند. فرمان‌ها می‌توانند الکتریکی، هوایی و مکانیکی باشند. فرمان‌های الکتریکی بیشتر برای مسافت‌های دور کاربرد دارند (مانند باز و بسته شدن درهای پارکینگ‌ها).

فرمان‌های هوایی در فواصل کوتاه مورد استفاده قرار می‌گیرند. ممکن است به جای هوا، از گازهای مناسب یا مایعات نیز استفاده شود. عامل انتقال در این گونه فرمان‌ها، تغییرات فشار سیال است، مانند شیر کنترل بادی که با این نوع فرمان‌ها مسیر جریان یک سیال را باز و بسته می‌کند. فرمان‌های مکانیکی، که در مدارهای کنترل با استفاده از اهرم‌ها و فنرها به اجرا درمی‌آید. این گونه فرمان در عملکرد شناور دیده می‌شود.

فرمان‌های نامبرده توسط شیرهای کنترل، که آخرین وسیله کنترل کننده مدار کنترل‌اند، اجرا می‌شوند. پس انواع شیرهای کنترل عبارت‌اند از:

۱- شیرهایی که با فرمان الکتریکی باز و بسته می‌شوند و تنظیم یا قطع و وصل جریان یک سیال را برعهده دارند (مانند شیرهای پروانه‌ای).

۲- شیرهایی که با فرمان هوایی، باعث قطع و وصل و تنظیم جریان سیالات می‌شوند (مانند شیرهای پرده‌ای و شیرهای کنترل بادی).

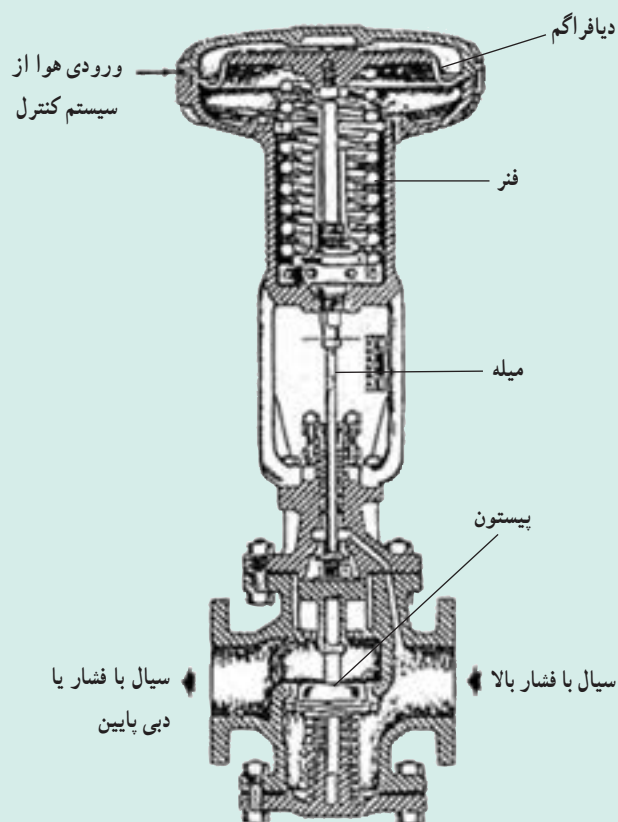
۳- شیرهایی که با فرمان مکانیکی کار می‌کنند (مانند شیرهای گلوله‌ای یا تویی). شیر کنترل بادی: توسط این شیر کنترل، دبی سیال و در نتیجه فشار آن را می‌توان کنترل کرد. ساختمان آن شامل دو قسمت اساسی است:

۱- گیرنده فرمان ۲- عمل

قسمت گیرنده فرمان از طریق هوای فشرده با دیگر اجزای حلقه کنترل در ارتباط است. و قسمت عمل شامل یک دیافراگم لاستیکی (یا قابل انعطاف) است که به یک فنر، میله و پیستون متصل است. هر تصمیم‌گیری در مورد تغییر دبی سیال موجب تغییر فشار هوای روی پرده می‌شود و در نتیجه موقعیت پیستون در دهانه شیر تغییر می‌کند.

در شکل ۸-۱۸، یک شیر کنترل بادی مشاهده می‌شود که از طریق کاهش دبی سیال، برای آن (سیال) افت فشار ایجاد می‌کند و در واقع یک شیر فشارشکن است.

۱- جهت ارائه توضیحات بیشتر، به دانستنی (۴) مراجعه شود.



شکل ۸-۱۸ شیر کنترل بادی^۱

دانستنی (۵)

شیرها

مصارف عمده شیرها به صورت زیر بیان می گردد :

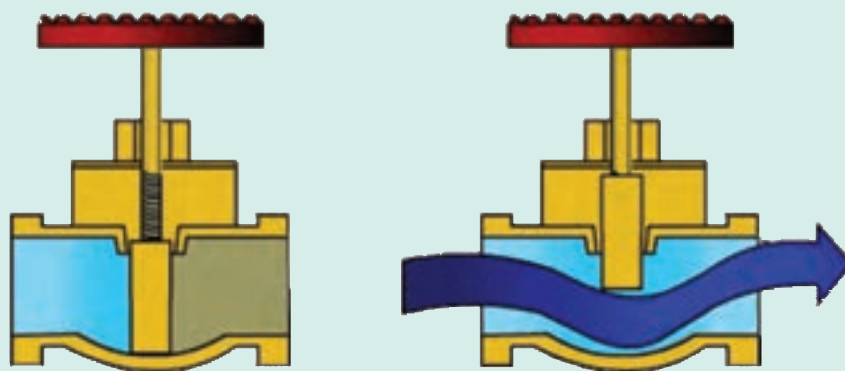
- ۱- کنترل دبی سیالات (تنظیم یا قطع و وصل کامل)
- ۲- کنترل فشار سیالات
- ۳- جلوگیری از بازگشت سیال پس از عبور از شیر
- ۴- کنترل ایمنی در دستگاه‌های تحت فشار

معرفی چند نوع شیر رایج

الف) شیر کشویی (دروازه‌ای)^۲ : معمول‌ترین و پرمصرف‌ترین شیر جهت قطع و وصل کامل جریان سیالات، شیر کشویی است. از این شیر برای تنظیم جریان استفاده نمی‌شود. در این شیر مسیر عبور جریان به وسیله حرکت یک کُشو که عمود بر جریان است، باز یا بسته می‌شود (مانند شکل ۸-۱۹).

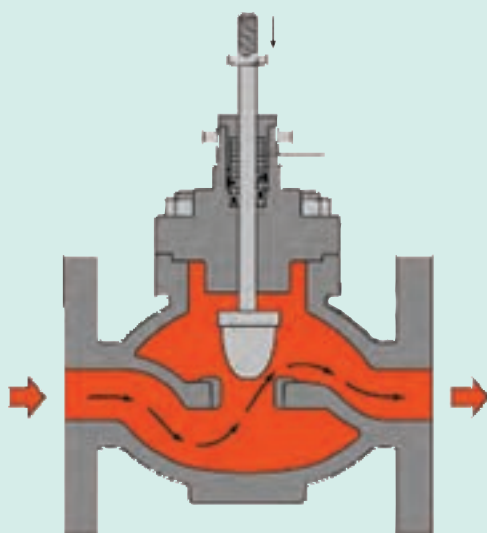
۱- در بعضی منابع، این شیر با نام «Diaphragm Pressure Valve»، معرفی شده است، زیرا هم برای کنترل فشار و هم دبی کاربرد دارد.

۲- Gate Valve



شکل ۸-۱۹- شیر دروازه‌ای در دو حالت باز و بسته

ب) شیر کروی^۱: از این شیر برای تنظیم و کنترل جریان سیالات استفاده می‌شود. ساختمان این شیر به گونه‌ای است که سیال هنگام عبور از آن، تغییر جهت می‌دهد. به همین دلیل به شدت افت فشار نیز به وجود می‌آید. در شکل‌های ۸-۲۰ و ۸-۲۱ شیر کروی نمایش داده شده است.



شکل ۸-۲۱- عملکرد شیر کروی



شکل ۸-۲۰- نمای بیرونی شیر کروی

ج) شیر گلوله‌ای یا توپی^۲: از این شیر، در سیستم‌های کنترل از راه دور استفاده می‌کنند. این شیر تشکیل شده است از یک کره فلزی که در آن سوراخی به قطر لوله اصلی وجود دارد. کره به اهرمی متصل است. با چرخش اهرم، سوراخ کره در امتداد یا عمود بر لوله قرار می‌گیرد و به ترتیب شیر باز یا بسته می‌شود. افت فشار در این شیرها کم است. این شیر نیز، برای قطع و وصل کامل جریان، کاربرد دارد. به شکل‌های ۸-۲۲ و ۸-۲۳، که نمایشی از شیر گلوله‌ای هستند، توجه شود.

۱- Globe Valve

۲- Ball Valve



شکل ۸-۲۳ - نمای درونی شیر گلوله‌ای (حالت باز)

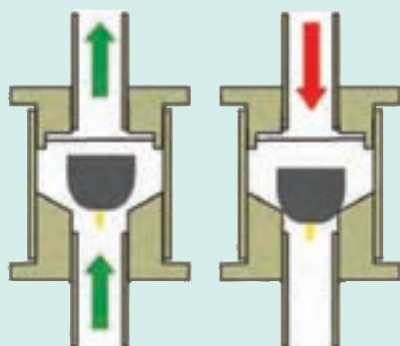


شکل ۸-۲۲ - نمای بیرونی شیر گلوله‌ای



شکل ۸-۲۴ - شیر پروانه‌ای

د) شیر پروانه‌ای^۱: در این شیرها، صفحه‌ای عمود بر جریان، حول محوری می‌چرخد و عمل تنظیم و قطع و وصل جریان را انجام می‌دهد. شکل ۸-۲۴ یک شیر پروانه‌ای را نشان می‌دهد.



شکل ۸-۲۵ - شیر یک طرفه

ه) شیر یک طرفه^۲: از این شیرها، برای جلوگیری از بازگشت سیال به لوله اصلی استفاده می‌کنند. در این شیرها، معمولاً قطعه‌ای، به صورت دریچه یا توپ، قرار دارد که در اثر فشار سیال بالا می‌رود و مسیر باز می‌شود و اگر به هر دلیلی، جریان قطع شود قطعه مسیر را می‌بندد و اجازه نمی‌دهد سیال عبوری، به لوله اصلی برگردد. این نمونه شیر در لوله آب ورودی به ساختمان‌ها، خروجی پمپ‌ها و ... کاربرد فراوانی دارد.

۱- Butter fly Valve

۲- Check Valve

راکتورهای شیمیایی

چکیده فصل

در این فصل، هنجاریان مطالبی در خصوص راکتور و انواع آن می‌آموزند. هم چنین با اطلاعات مورد نیاز جهت طراحی راکتور و ترتیب طراحی دستگاه‌های مختلف یک واحد صنایع شیمیایی آشنا می‌شوند. دانسته‌های قبلی: هنجاریان در سال اول رشته صنایع شیمیایی، در کتاب «شناخت صنایع شیمیایی» با عملیات پیوسته و ناپیوسته به اختصار آشنا شده‌اند، ولی اکثر مطالب فصل برای آنها جدید است. اهداف فصل: در پایان این فصل، از هنجاریان انتظار می‌رود که بتوانند درباره عناوین زیر، توضیحات کافی ارائه دهند:

- تعریف راکتور
- جایگاه راکتور در یک واحد صنعتی
- تقسیم‌بندی راکتورها از نظر تعداد فاز، نوع فاز، نوع عملیات و شکل ساختمانی
- کسب اطلاعات در مورد هر یک از راکتورها، شامل عملکرد، کاربرد، تجهیزات و انواع آنها
- چگونگی حل مسائل مربوط به زمان اقامت
- اطلاعات لازم از منابع علمی مختلف برای طراحی یک راکتور
- مراحل مختلف طراحی دستگاه‌های موجود در یک فرآیند (الگوی پوست پیازی)

برنامه زمان‌بندی تدریس فصل نهم

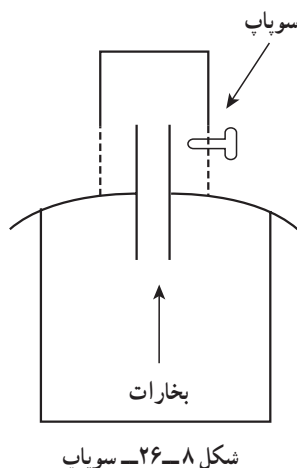
صفحه	موضوعات	هفته
۵۳-۵۷	تعریف راکتور، نقش راکتور در واحدهای صنعتی شیمیایی، تقسیم‌بندی راکتورها، راکتور ناپیوسته، راکتور پیوسته	۱۸
۵۸-۶۰	راکتور نیمه پیوسته، طراحی راکتور، طراحی یک واحد صنایع شیمیایی	۱۹

برنامه زمان بندی هفته هیجدهم			دقیقه
۱	آماده کردن کلاس (احوالپرسی، حضور و غیاب)	۵	
۲	رفع اشکال	۱۰	
۳	حل خودآزمایی فصل (۸)	۲۰	
۴	آزمون فصل (۸)	۱۵	
۵	تدریس	۷۵	
۶	استراحت میان تدریس (دو نوبت)	۱۰	

هفته گذشته، یک فعالیت تحقیقی، با عنوان «عملکرد دیگ زودپزهای خانگی»، برعهده هنرجویان گذاشته شد. برای هنرجویانی که موفق به انجام آن شده اند، امتیازی در نظر گرفته می شود و بعد از بحث در مورد آن، توضیحاتی بیان می گردد. خودآزمایی فصل (۸) به صورت پرسش از هنرجویان داوطلب حل می شود. و فصل هشتم با برگزاری آزمون خاتمه می یابد.

توضیح فعالیت (۲)

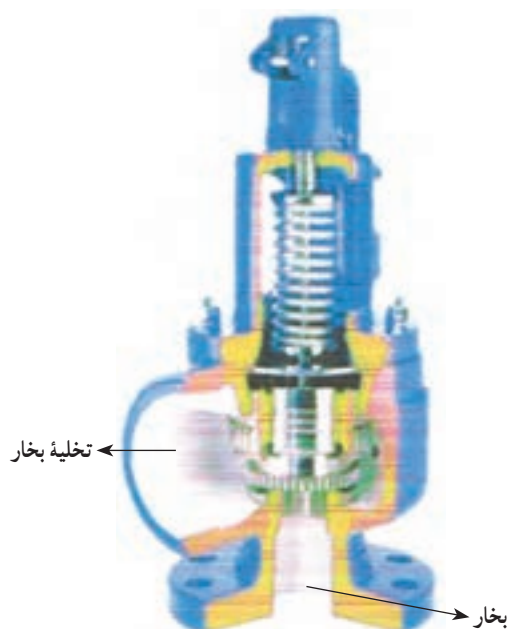
در دیگ زودپزهای خانگی، حلقه کنترل فشار^۱، به آن صورت که در فصل ۸ تدریس شده است، وجود ندارد. شرکت های سازنده جهت افزایش ایمنی این سیستم، از شیر اطمینان^۲ (سوپاپ) که با طراحی های مختلف ساخته می شود، استفاده می کنند. در دیگ زودپزهای معمولی، سوپاپ به شکل کلاهکی است که در اطراف آن روزنه هایی وجود دارد. با افزایش مقدار و فشار بخارات، کلاهک در جهات مختلف حرکت می کند و تخلیه بخارات از طریق روزنه ها صورت می گیرد و فشار دیگ کاهش می یابد. شکل ۸-۲۶ شماتیک این نمونه سوپاپ را نشان می دهد.



در دیگ زودپزهای مجهزتر، سوپاپ دارای یک فنر متصل به میله ای است که در حالت عادی راه خروج بخار را بسته است و در اثر فشار بیش از حد مجاز بخارات، منقبض می شود و مسیر تخلیه بخار را باز می کند. البته شرکت های سازنده، توصیه می کنند که

۱- در این مورد، کنترل فشار به صورت باز انجام می شود زیرا در کاهش دما، انسان دخالت دارد و اتوماتیک نیست.

بعد از شنیدن صدای مخصوصی، دما کاهش یابد. در شکل ۸-۲۷ یک نمونه شیر اطمینان (سوپاپ)، که بر این اساس ساخته شده، مشاهده می‌شود.



شکل ۸-۲۷- شیر اطمینان صنعتی

حل خودآزمایی فصل (۸)

۱- نمودار جعبه‌ای کنترل را برای شکل ۸-۳ رسم کنید.

پاسخ : منظور، رسم نمودار جعبه‌ای حلقه کنترل فشار است که در متن راهنما در بخش مربوطه آمده است. سؤال مشابه می‌تواند با شکل ۸-۴ در ارتباط باشد که آن نیز در قسمت مربوط به کنترل سطح وجود دارد.

۲- مکانیزم کنترل دما را به طور ساده شرح دهید.

پاسخ : سؤالات مشابه را نیز می‌توان طرح نمود، از جمله :

مکانیزم کنترل فشار را شرح دهید و همین طور مکانیزم کنترل سطح را شرح دهید.

برای پاسخ به این سؤالات، هنجاریان به متن کتاب ارجاع داده شوند یا به صورت زیر بیاموزند :

مکانیزم کنترل دما : چنانچه دمای سیستم از یک حد معین فراتر برود و توسط دماسنج داخل تانک سنجیده می‌شود و با مقدار مقرر (مطلوب) مقایسه می‌گردد. کنترل کننده دما، که در این جا ترموستات است، فرمانی جهت کاهش شدت جریان گاز ورودی به مشعل صادر می‌کند. از این رو با کاهش شدت جریان گاز مشعل، دمای تانک کاهش می‌یابد تا به مقدار مطلوب خود برسد.

مکانیزم کنترل فشار : در اثر افزایش فشار بخارات موجود در سیستم، کنترل کننده به شیر اطمینان بالای مخزن فرمان می‌دهد و این شیر پس از باز شدن، بخشی از بخارات را خارج می‌کند تا فشار به مقدار مقرر خود برسد.

مکانیزم کنترل سطح مایع : میزان ارتفاع مایع به وسیله شناور با مقدار مقرر مقایسه می‌شود و سپس کنترل کننده

به منظور تخلیه بخشی از مایع، فرمانی به شیر کنترل صادر می‌کند و در نتیجه حالت تعادل برقرار می‌گردد.

۳- شیر کنترل به چه منظوری استفاده می‌شود؟

پاسخ: شیر کنترل، آخرین عنصر کنترل کننده مدار است که از کنترل کننده فرمان می‌گیرد و بر روی فرآیند، اجرا می‌کند و در نتیجه کنترل صورت می‌گیرد.

۴- در صورت عمل نکردن کنترل سطح مایع در یک مخزن، چه اتفاقی خواهد افتاد؟
پاسخ: طغیان یا تخلیه کامل مایع از مخزن پیش می‌آید.

۵- دلیل استفاده از کنترل کننده در فرآیندهای شیمیایی چیست؟

پاسخ: کنترل کننده براساس اطلاعاتی که از مقایسه کننده دریافت می‌کند، تصمیم می‌گیرد و در جهت تنظیم و کنترل متغیر مورد نظر به شیر کنترل فرمان می‌دهد.
ممکن است منظور از کنترل کننده، حلقه کنترل باشد که در این صورت دو دلیل «بالا بودن کیفیت محصولات» و «بالا بردن ایمنی سیستم» را باید ذکر کرد.

سوالات پیشنهادی برای آزمون

۱- در سیستم‌های کنترلی زیر، نام وسیله مورد نظر برای هر جزء را بنویسید.

الف) در سیستم کنترل دما؛

عنصر اندازه گیرنده : عنصر کنترل کننده :

ب) در سیستم کنترل فشار؛

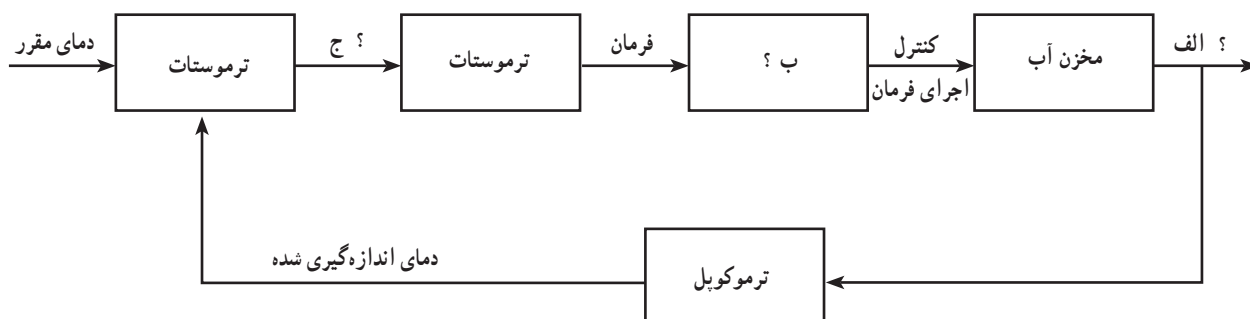
عنصر اندازه گیرنده : عنصر کنترل کننده نهایی :

فرآیند :

ج) در سیستم کنترل سطح مایع؛

مقایسه کننده : عنصر اندازه گیرنده :

۲- در حلقه کنترل زیر، در جاهایی که با (?) مشخص شده است، مورد مناسب را بنویسید :



۳- اجزای یک سیستم کنترل ساده را نام ببرید.

۴- اجزای یک شیر کنترل بادی را نام ببرید.

۵- عمل بسته شدن با باد (یا باز شدن با باد) را در شیر کنترل بادی بنویسید.

۶- شدت جریان سیال درون شیر به چه عواملی بستگی دارد؟

۷- جاهای خالی را پر کنید :

الف) بیشتر شیرهای تجارتي با تغيير فشار هوای بالای شیر از تا از موقعیت کاملاً باز به کاملاً بسته حرکت می کنند.

ب) موقعیت میله شیر با متناسب است.

پاسخ سوالات پیشنهادی^۱

۱- به ترتیب از راست به چپ :

الف) یک دماسنج مانند ترموکوپل، ترموستات

ب) یک فشارسنج مانند فشارسنج بودن، شیر اطمینان، یک مخزن تحت فشار

ج) شناور، شناور

۲- الف) دما ب) شیر کنترل ج) اختلاف

۳- فرآیند - عنصر اندازه گیرنده، سیستم کنترل کننده، عنصر کنترل کننده نهایی

۴- موتور شیر (یک دستگاه بادی)، دیافراگم، فنر، میله شیر، پیستون

۵- با افزایش فشار هوا روی دیافراگم، پیستون به طرف پایین حرکت می کند و جریان سیال را داخل شیر محدود می سازد (عکس این توضیح برای باز شدن با باد است).

۶- فشار ورودی سیال، فشار خروجی سیال و اندازه شکاف دهانه شیر

۷- الف) ۳ psig - ۱۵ psig

ب) فشار بالای شیر

مقدمه

راهنمای تدریس فصل نهم

مفاهیم موجود در این فصل، بسیار ساده، واضح و در حد درک هنرجویان بیان شده اند و تدریس می تواند به ترتیب عناوین مطروحه در «اهداف فصل» با استفاده از متن کتاب درسی، انجام شود. بر این اساس، هر قسمت که نیاز به تأکید یا توضیح تکمیلی داشته باشد، مورد بحث قرار می گیرد :

- دستگاهی که در آن واکنش سوختن به منظور تولید انرژی گرمایی انجام می شود، کوره است.

- جهت جلب مشارکت هنرجویان در امر تدریس، از آنان خواسته شود که مثال هایی برای عملیات فیزیکی موجود در صنایع شیمیایی و دستگاه های مربوطه ذکر کنند.

عملیات فیزیکی مذکور عبارت اند از : انواع جداسازی ها، تغییر حالت ها^۲، اختلاط، خرد کردن، گرمایش و سرمایش و...

دستگاه های مربوط به این عملیات عبارت اند از : برج های تقطیر، استخراج، جذب، کریستالیزور، خشک کن، فیلتر، انواع

مخلوط کن ها، خردکن ها، مبدل حرارتی، برج خنک کننده، چیلر، کوره و...

۱- بارم بندی دل خواه است.

۲- مانند تبخیر، میعان، تصعید، ...

– با رسم نمودار جعبه‌ای «بخش‌های اصلی در یک واحد صنعتی شیمیایی»^۱ بر موقعیت مهم و حساس راکتور تأکید شود.

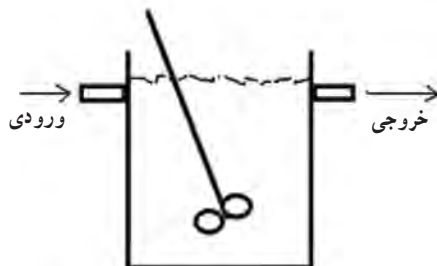
۹-۱- تقسیم‌بندی راکتورها

– راکتورها براساس چهار موضوع تقسیم‌بندی می‌شوند :

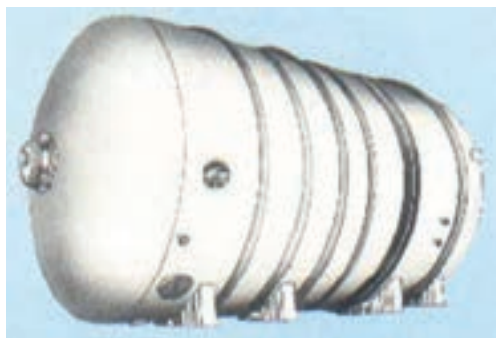
تعداد فاز، نوع فاز، نوع عملیات، شکل ساختمانی

– راکتورها براساس شکل ساختمانی، به سه دسته کلی تقسیم می‌شوند :

الف) راکتور تانکی : معمولاً این راکتورها، دارای مخازن همزن دار هستند.



شکل ۹-۱- راکتور تانکی



شکل ۹-۲- راکتور لوله‌ای

ب) راکتور لوله‌ای



شکل ۹-۳- راکتور کروی

ج) راکتور کروی

۹-۲- راکتورهای ناپیوسته^۲

– در راکتورهای ناپیوسته، توجه به زمان اقامت^۳ بسیار مهم است.

۱- شکل ۹-۱ صفحه ۵۳ کتاب درسی عملیات دستگاهی

۲- Batch Reactors

۳- Residence time

– مراحل مختلف عملیات یک راکتور ناپیوسته، با توجه به شکل^۱ مربوطه تفهیم شود.

– راکتورهای ناپیوسته، به شکل تانک‌های همزن‌دار هستند.

– تجهیزات مربوط به راکتور ناپیوسته صنعتی (از جمله همزن الکتریکی، ژاکت حرارتی^۲، بافل و...) با توجه به شکل^۳ آنها،

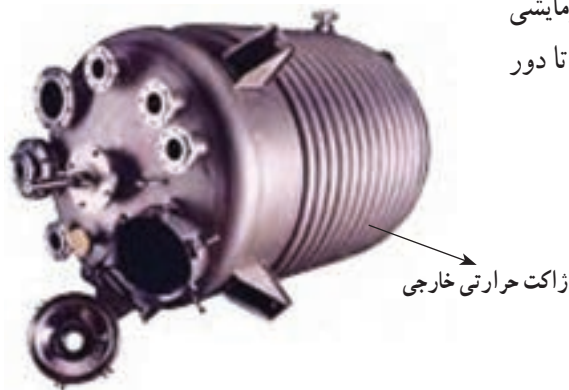
توضیح داده شود^۴.

– در راکتورها، ژاکت حرارتی دو نوع است :

الف) ژاکت حرارتی خارجی؛ که در آن لوله‌های حاوی سیال گرمایشی

یا سرمایشی با مواد درون راکتور تماس مستقیم، ندارند و از بیرون دور تا دور

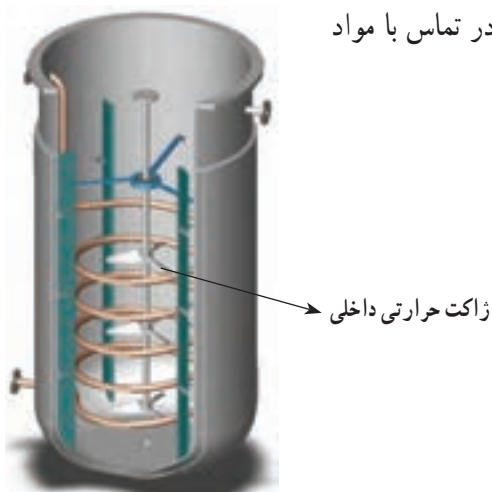
راکتور را فراگرفته‌اند (مانند شکل ۹-۴).



شکل ۹-۴ ژاکت حرارتی خارجی

ب) ژاکت حرارتی داخلی؛ که در این نوع، لوله‌ها درون راکتور و در تماس با مواد

هستند. شکل ۹-۵، یک ژاکت حرارتی داخلی را نشان می‌دهد.



شکل ۹-۵ ژاکت حرارتی داخلی

۹-۳ راکتورهای پیوسته

– چون راکتور پیوسته برای یک واکنش شیمیایی خاص طراحی می‌شود، به کنترل زمان نیاز ندارد. در عین حال به سیستم‌های

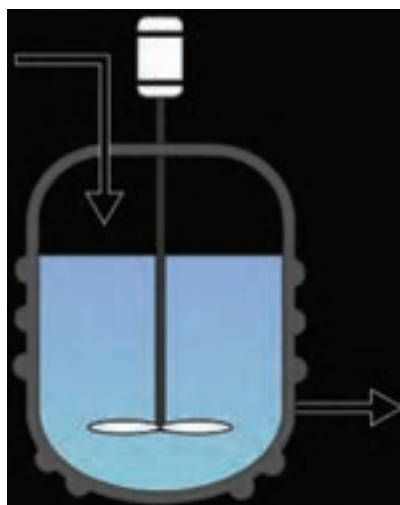
کنترل دما، فشار و غلظت مجهز است.

۱- شکل ۹-۲ صفحه ۵۵ کتاب درسی عملیات دستگاهی

۲- Thermal Jacket

۳- شکل ۹-۳ صفحه ۵۵ کتاب درسی عملیات دستگاهی

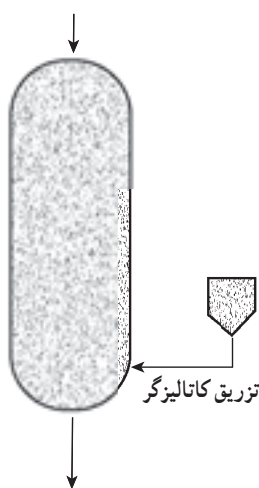
۴- توصیه می‌شود که این مبحث به خوبی تفهیم شود، زیرا با «مخزن مجهز به همزن مکانیکی» در فصل ۱۰ مشابه است.



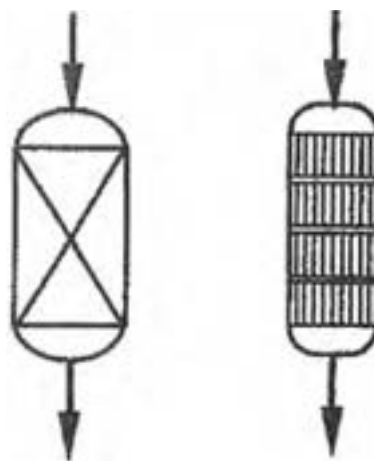
شکل ۹-۶ نماد راکتور تانکی همزن‌دار پیوسته

– راکتورهای پیوسته، به طور هم‌زمان هم ورودی دارند و هم خروجی.
 – در صورتی که در خلال واکنش، مسئله اختلاط اهمیت داشته باشد، ترجیحاً از راکتور تانکی همزن‌دار پیوسته^۱ استفاده می‌شود، که در شکل ۹-۶ مشاهده می‌شود.

– راکتورهای لوله‌ای پیوسته با بستر ثابت یا متحرک کاتالیزگر طراحی می‌شوند (مانند شکل‌های ۹-۷ و ۹-۸)



شکل ۹-۸ راکتور لوله‌ای پیوسته با بستر متحرک کاتالیزگر



شکل ۹-۷ راکتور لوله‌ای پیوسته با بستر ثابت کاتالیزگر

– در راکتورهای لوله‌ای، اگر مسئله اختلاط مطرح باشد، از بافل‌های لرزان^۲ استفاده می‌کنند.
 – در راکتور لوله‌ای پیوسته، ممکن است مواد اولیه در قسمت‌های مختلفی غیر از ورودی، وارد راکتور شوند که در این صورت علاوه بر افزایش بازدهی، بر اندازه و قیمت راکتور نیز اثر می‌گذارد.
 – در حجم یکسان، راکتور لوله‌ای پیوسته بازده بالاتری نسبت به تانکی همزن‌دار پیوسته دارد.
 – رابطه‌ای که برای محاسبه زمان اقامت معرفی شده، براساس تعریف دبی حجمی است، به این صورت $Q = \frac{V}{t} \Rightarrow t = \frac{V}{Q}$ که در این رابطه، V = حجم راکتور، Q = دبی حجمی و t = زمان اقامت است.

^۱ – Continuous Stirred-Tank reactor (CSTR)

^۲ – Oscillatory baffles

مسائل مختلفی^۱ راجع به راکتور لوله‌ای پیوسته، با استفاده از رابطه‌ی زمان اقامت حل شوند.

– حجم یک راکتور لوله‌ای عبارت است از : حاصل ضرب مساحت قاعده در ارتفاع

– با استفاده از روش نردبانی، کسرهای زمان تبدیل واحد می‌شوند، برای مثال؛

$$\text{زمان اقامت} = 7/85 \text{ min}$$

$$\begin{array}{c|c} \circ/85 \text{ min} & 60 \text{ s} \\ \hline & 1 \text{ min} \end{array} = 51 \text{ s}$$

و به این ترتیب زمان اقامت، ۷ دقیقه و ۵۱ ثانیه است.

۱- می‌توان مسائلی چون مثال ۱ صفحه ۵۷ کتاب درسی را طراحی کرد.

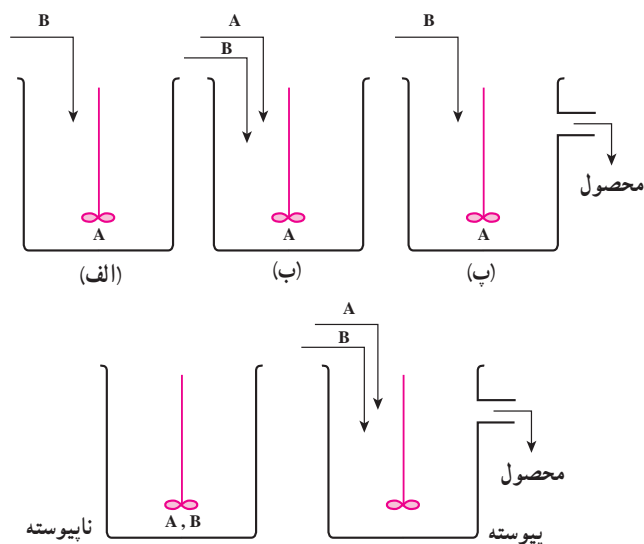
برنامه زمان بندی هفته نوزدهم			دقیقه
۱	آماده کردن کلاس (احوالپرسی، حضور و غیاب)	۵	
۲	رفع اشکال	۱۰	
۳	پرسش	۳۰	
۴	تدریس	۸۰	
۵	استراحت میان تدریس (دو نوبت)	۱۰	

پرسش، به صورت مروری بر مطالب مطروحه در هفته گذشته انجام می شود. سؤالات را می توان، با استفاده از خودآزمایی یا «سؤالات پیشنهادی» که در انتهای فصل ارائه شده اند، طرح کرد. توضیح شکل ها نیز از اهمیت ویژه ای برخوردار است.

۹-۴- راکتورهای نیمه پیوسته

– این راکتور، دارای جریان ورودی در خلال انجام واکنش است و به طور کلی از بعضی جهات شبیه راکتور پیوسته و از جهاتی دیگر شبیه ناپیوسته است.

– در این بخش، سه نوع راکتور نیمه پیوسته معرفی شده است. توصیه می شود بعد از توضیح هر مورد، مقایسه آنها با راکتورهای پیوسته و ناپیوسته نیز به صورت زیر انجام شود :



شکل ۹-۹- نماد انواع راکتورهای پیوسته، ناپیوسته و نیمه پیوسته

— مقایسهٔ راکتور نیمه پیوستهٔ نوع (الف) با راکتورهای پیوسته و ناپیوسته :

این راکتور در خلال واکنش، خروجی ندارد و از این نظر شبیه راکتور ناپیوسته است و از نظر ورودی مواد اولیه، با هر دو متفاوت است، زیرا در راکتور ناپیوسته مواد اولیه با هم در راکتور بارگیری می‌شوند و در آن بسته می‌شود. در راکتور پیوسته، مواد اولیه با هم ولی به تدریج با دبی مشخصی وارد راکتور می‌شوند. همان طوری که در شکل ۹-۹ ملاحظه می‌کنید در این راکتور، یکی از مواد اولیه بارگیری می‌شود و دیگری به تدریج با دبی مشخصی، به آن اضافه می‌گردد. تیتراسیون، مثالی ساده و آشنا برای این نمونه فرآیند نیمه پیوسته است.

— مقایسهٔ راکتور نیمه پیوستهٔ نوع (ب) با راکتورهای پیوسته و ناپیوسته :

با توجه به شکل ۹-۹، از هرجویان خواسته شود که مقایسه را انجام دهند و سپس نتیجه اعلام شود؛

این راکتور از نظر ورودی مواد اولیه شبیه راکتور پیوسته و از نظر خروجی، شبیه راکتور ناپیوسته است.

— مقایسهٔ راکتور نیمه پیوستهٔ نوع (پ) با راکتورهای پیوسته و ناپیوسته :

این مقایسه نیز توسط هرجویان انجام شود و نتیجه اعلام گردد؛

این راکتور از نظر خروجی محصولات، شبیه راکتور پیوسته است و از نظر ورودی مواد اولیه با هر دو متفاوت است.^۱

از مثال‌هایی که می‌توان برای استفاده از راکتور نیمه پیوستهٔ نوع پ ذکر کرد، تهیهٔ روغن جامد از روغن مایع است که هیدروژن

به تدریج به روغن مایع موجود در راکتور اضافه می‌شود و همزمان روغن جامد تهیه شده، از راکتور خارج می‌گردد.

۹-۵- طراحی راکتور

— جهت طراحی و راه‌اندازی یک واحد صنعتی شیمیایی برای تولید فرآورده‌های مورد نظر، به طراحی و ساخت دستگاه‌های

مختلفی نیاز است تا عملیات فیزیکی و شیمیایی آن واحد، در آنها انجام شود.

دستگاه‌های مذکور، توسط متخصصین رشته‌های مختلف مرتبط با یکدیگر، به ترتیب خاصی، طراحی می‌شوند.^۲

مهندسین شیمی، با توجه به تسلط داشتن بر زمینه‌های علمی مورد نیاز در این بخش، طراحی راکتور را انجام می‌دهند.

— نکتهٔ کلیدی در طراحی قسمت‌های مختلف یک واحد صنعتی شیمیایی این است که هزینه‌های ساخت و عملیات، باید حداقل

و مرغوبیت و قیمت محصول، حداکثر باشد تا سوددهی آن واحد بهینه گردد.

۱- می‌توان گفت : از جهتی شبیه پیوسته و از جهت دیگر شبیه ناپیوسته است.

۲- این طراحی را می‌توان براساس «الگوی پوست پیازی»، که در شکل ۷-۹ کتاب درسی عملیات دستگاهی مشاهده می‌شود، انجام داد. توصیه می‌شود هرجویان نام

دستگاه‌های مختلفی را که در مراحل چهارگانه الگوی پوست پیازی طراحی می‌شوند، فرا بگیرند.

مخلوط‌کن‌ها و دستگاه‌های کاهش اندازه

چکیده فصل

در این فصل، هنجریان با عملیات فیزیکی اختلاط مواد و کاهش اندازه جامدات آشنا می‌شوند. همچنین عملکرد دستگاه‌های مربوطه را می‌آموزند. این دستگاه‌ها شامل انواع مخلوط‌کن‌ها و خردکن‌ها هستند. دانسته‌های قبلی: مطالب این فصل برای هنجریان جدید است و از پیش، اطلاعات خاصی در این زمینه ندارند.

اهداف فصل: پس از پایان این فصل، از هنجریان انتظار می‌رود که درباره عناوین زیر اطلاعات لازم و جامعی کسب کرده باشند و بتوانند در مورد آنها توضیح دهند:

- تعریف و اهداف همزدن
- فاکتورهای مؤثر در اختلاط
- انواع اختلاط
- انواع مخلوط‌کن‌های فاز مایع
- انواع پرها
- روش‌های اختلاط جامدات
- انواع مخلوط‌کن‌های فاز جامد
- اهداف خردکردن مواد
- روش‌های کاهش اندازه مواد
- انواع دستگاه‌های کاهش اندازه
- چگونگی عملکرد دستگاه‌های کاهش اندازه جهت افزایش بازده

برنامه زمان‌بندی تدریس فصل دهم

صفحه	موضوعات	هفته
۶۵-۶۲	همزدن و اهداف آن، عوامل مؤثر در اختلاط، انواع اختلاط	۲۰
۷۱-۶۵	مخلوط‌کن‌های فاز مایع	۲۱
۷۴-۷۱	مخلوط‌کن‌های فاز جامد	۲۲
۸۲-۷۵	دستگاه‌های کاهش اندازه	۲۳

برنامه زمان بندی هفته بیستم			دقیقه
۱	آماده کردن کلاس (احوالپرسی، حضور و غیاب)	۵	
۲	رفع اشکال	۱۰	
۳	حل خودآزمایی فصل (۹)	۲۰	
۴	آزمون فصل (۹)	۱۵	
۵	تدریس	۷۵	
۶	استراحت میان تدریس (دو نوبت)	۱۰	

خودآزمایی فصل نهم

جواب اکثر سؤالات در متن کتاب درسی موجود است. لذا از تکرار آنها خودداری می شود^۱. بهترین و کاربردی ترین سؤال^۲ در این خودآزمایی، سؤال ۷ است که به آن پرداخته می شود؛ الف) نوع راکتور از نظر تعداد و نوع فاز؛ چندفازی، گاز – مایع است. نوع راکتور از نظر عملیات نیمه پیوسته نوع پ است، زیرا اسید استیک، که از مواد اولیه آن است، داخل راکتور بارگیری می شود و گاز کلر به تدریج به آن اضافه می شود. بخشی از آن نیز که واکنش نداده، در واقع خروجی راکتور است.

ب) نوع راکتور از نظر تعداد و نوع فاز؛ چندفازی، گاز – جامد^۳ است. نوع راکتور از نظر عملیات، پیوسته است زیرا راکتور، همزمان ورودی و خروجی دارد. ج) نوع راکتور از نظر تعداد و نوع فاز؛ چندفازی، گاز^۴ – مایع است. نوع راکتور از نظر عملیات، ناپیوسته است، زیرا صحبت از زمان لازم برای انجام واکنش شده است.

۱- یادآوری می شود پاسخ سؤال ۸، در ابتدای بخش ۹-۵ صفحه ۵۸ کتاب درسی مشاهده می شود.

۲- هنرآموزان محترم می توانند نظیر سؤال ۷ را با استفاده از فرآیندهای شیمیایی، جهت اطلاعات بیشتر هنرجویان، طرح کنند.

۳- کاتالیزگر، نیکل جامد است.

۴- وینیل کلرید، به حالت گازی بیرنگ است.

بعد از حل خودآزمایی، آزمون فصل نهم^۱ نیز برگزار می‌شود.

چنانکه مشاهده می‌شود، مطالب فصل دهم شامل تعریف موارد مختلف و توضیح عملکرد دستگاه‌هاست که براساس متن کتاب

درسی، تدریس می‌شوند.

در این راهنما، به هر قسمتی که نیاز به توضیح تکمیلی داشته باشد، اشاره خواهد شد. استفاده از لوح‌های فشرده آموزشی،

بازدید از کارخانه‌های مرتبط و تهیه تصاویر دستگاه‌ها، با هدف فعال‌سازی هرجویان، نقش بسیار مهمی در فرآیند یاددهی و یادگیری

این فصل دارند.

سؤالات پیشنهادی

۱- به سؤالات زیر پاسخ کوتاه بدهید :

الف) مهم‌ترین و حساس‌ترین عملیات کارخانه در چه دستگاهی انجام می‌شود؟

ب) برای راکتور پیوسته، مثالی از یک فرآیند شیمیایی ذکر کنید.

ج) شکل همزن در راکتور به چه عواملی بستگی دارد؟

د) سیالات مورد استفاده در ژاکت حرارتی را نام ببرید.

هـ) یکی از کاربردهای مهم راکتورهای لوله‌ای چیست؟

و) علم سینتیک چه اطلاعاتی برای طراحی راکتور تعیین می‌کند؟

ز) مهم‌ترین عامل در طراحی یک واحد صنعتی چیست؟

ح) در الگوی پوست پیازی، اولین دستگاهی که طراحی می‌شود چه نام دارد؟

ط) دو نمونه از دستگاه‌های مربوط به «تسهیلات جانبی» را نام ببرید.

ی) در الگوی پوست پیازی، برج تقطیر در چه مرحله‌ای طراحی می‌شود؟

ک) مواد اولیه، همزمان با یک دبی مشخص، وارد راکتور می‌شود ولی تا پایان، واکنش خروجی وجود ندارد،

این چه راکتوری است؟

۲- موارد زیر را تعریف کنید :

الف) عملکرد یک راکتور ناپیوسته را توضیح دهید.

ب) زمان اقامت را تعریف کنید و بگوئید در یک راکتور پیوسته، زمان اقامت به چه عواملی بستگی دارد؟

ج) ژاکت حرارتی چیست؟

د) بافل چیست؟ نقش آن را بنویسید.

هـ) عملکرد یک راکتور پیوسته را توضیح دهید.

و) «تسهیلات جانبی» چیست؟ دستگاه‌های مربوط به آن را نام ببرید.

ز) هر یک از دستگاه‌های زیر در کدام مرحله الگوی پوست پیازی طراحی می‌شوند؟

چیلر - خشک‌کن - راکتور - شبکه مبدل‌های حرارتی

۱- آزمون فصل نهم را می‌توان به صورت کتبی یا شفاهی برگزار کرد.

۳- مشخص کنید در موارد زیر از کدام نوع راکتور استفاده می‌شود؟^۱

(الف) تولید منوکلرو استیک اسید مایع

(ب) هیدروژن‌دار کردن روغن، به منظور اشباع آن و تولید روغن جامد

(ج) تولید پلی کلرید وینیل (PVC)

(د) تولید آمونیاک

(هـ) تولید گاز سنتز (مخلوط H_2 و CO)

۴- سرعت جریان حجمی خوراک یک راکتور جریان پایدار لوله‌ای به قطر ۲ متر، $5 \text{ m}^3/\text{min}$ است. اگر زمان اقامت مواد داخل راکتور ۸ دقیقه باشد، ارتفاع راکتور را حساب کنید.^۲

۵- جاهای خالی را با کلمات مناسب پر کنید :

(الف) تولید آمونیاک در راکتور انجام می‌شود.

(ب) برای انجام واکنش‌های کند از راکتور استفاده می‌شود.

(ج) ارتفاع بافل باید از سطح مایع باشد.

(د) اگر هدف تولید مقدار زیاد محصول باشد از راکتور استفاده می‌شود.

(هـ) برای انجام واکنش در حضور همزن از راکتور پیوسته استفاده می‌شود.

(و) کریستالیزور در مرحله الگوی پوست پیازی طراحی می‌شود.

این سؤالات می‌تواند در پرسش شفاهی یا کتبی مورد استفاده قرار گیرد.

پاسخ سؤالات پیشنهادی

۱- الف) راکتور

(ب) تولید آمونیاک

(ج) نوع سیال و گرانروی سیال

(د) آب سرد (جهت سرمایش)، بخار آب (جهت گرمایش)، روغن (هر دو منظور)

(هـ) انجام واکنش‌های ناهمگن در حضور کاتالیزگر جامد (و) سرعت و نحوه انجام واکنش

(ز) توجه به مسائل اقتصادی (ح) راکتور

(ط) برج‌های خنک کننده، چیلر، دیگ‌های تولید بخار، کوره‌های روغن داغ (دو تا)

(ی) مرحله دوم (طراحی سیستم‌های جداسازی) (ک) نیمه پیوسته

۲- تعاریف

(الف) مواد اولیه به مقدار معین وارد راکتور می‌شود. در زمان مشخص واکنش صورت می‌گیرد و سپس محصول از راکتور تخلیه می‌شود.

(ب) زمان اقامت : مدت اقامت مواد واکنش دهنده در داخل راکتور جهت انجام واکنش

زمان اقامت با حجم راکتور نسبت مستقیم و با دبی حجمی خوراک نسبت معکوس دارد.

(ج) ژاکت حرارتی : جداره خارجی راکتور را گویند که بسته به گرمازا یا گرماگیر بودن واکنش، در آن سیال

۱ و ۲- سؤالات ۳ و ۴ از سؤالات نهایی شهریور ماه ۱۳۸۹ انتخاب شده است.

سرد یا گرم عبور می‌کند.

(د) بافل: تیغه‌های عمودی که در جداری داخلی راکتور نصب می‌شود.

نقش بافل: از حرکت دورانی سیال، که در اثر چرخش پره‌های همزن ایجاد می‌شود جلوگیری می‌کند و باعث آشفته‌گی و اختلاط بیشتر می‌شود.

(ه) مواد اولیه به طور دائم وارد راکتور می‌شود و پس از انجام واکنش، محصول پیوسته از راکتور خارج می‌گردد.

(و) تجهیزات مربوط به سیستم‌های سرمایش و گرمایش را «تسهیلات جانبی» گویند. از جمله دستگاه‌های مربوطه می‌توان برج‌های خنک‌کننده، چیلرها، دیگ‌های تولید بخار و کوره‌های داغ را نام برد.

(ز) مرحله چهارم - مرحله دوم - مرحله اول - مرحله سوم

۳- الف) نیمه پیوسته ب) نیمه پیوسته ج) ناپیوسته د) پیوسته ه) پیوسته

۴- اطلاعات مسئله به صورت زیر است:

$$D = 2 \text{ m}, \quad Q = 0.5 \text{ m}^3/\text{min}, \quad t = 8 \text{ min}, \quad h = ?$$

$$t = \frac{V}{Q} \Rightarrow V = Q \times t \Rightarrow V = 0.5 \text{ m}^3/\text{min} \times 8 \text{ min} = 4 \text{ m}^3$$

$$V = \frac{\pi D^2}{4} \times h \Rightarrow 4 \text{ m}^3 = \frac{\pi (2 \text{ m})^2}{4} \times h \Rightarrow h = 1.27 \text{ m} \quad \leftarrow$$

۵- الف) پیوسته ب) ناپیوسته ج) بالاتر
د) پیوسته ه) تانکی و) دوم

مقدمه

موفقیت بسیاری از فرآیندهای فیزیکی و شیمیایی، به میزان اختلاط و همزدگی مواد شرکت‌کننده در آنها بستگی دارد. همزدگی، همان اختلاط نیست. همزدگی به حرکت مواد اطلاق می‌شود و در مورد یک ماده نیز معنی دارد، مثلاً برای خنک کردن آب داغ، آن را هم می‌زنند^۱. اما در اختلاط، وجود داشتن بیش از یک ماده الزامی است، ولی می‌توان گفت لازمه اختلاط، همزدن است.

اصولاً هدف از همزدن دو یا چند ماده^۲، ایجاد یک مخلوط یکنواخت برای مصارف گوناگون است، با ویژگی‌های زیر:

۱- میزان دما، فشار و غلظت در هر نقطه آن یکسان است و نمونه‌گیری از هر نقطه آن فاقد هر گونه تفاوت است.

۲- همهٔ مولکول‌ها به یک میزان شانس شرکت در واکنش‌های شیمیایی را دارند.

لازم است متذکر شویم یکنواخت بودن مادهٔ مخلوط در هنگام استفاده از آن، بسیار مهم است، زیرا ممکن است مخلوط مورد نظر، در شرایط معمولی دو یا چند فازی نیز باشد، برای مثال؛

۱- همزدن در این حالت باعث می‌شود سرعت انتقال حرارت افزایش یابد.

۲- همزدن در این حالت باعث می‌شود سرعت انتقال جرم افزایش یابد.

آنتی‌بیوتیک‌ها، که همزدن آنها قبل از مصرف ضروری است.
عناوین و مطالبی که در این هفته تدریس می‌شوند، عبارت‌اند از:

— تعریف همزدن

— اهداف همزدن با ذکر مثال‌های مربوطه

از مثال‌هایی که می‌توان برای ضرورت همزدن در تغییرات فیزیکی بیان کرد تهیهٔ سوسپانسیون‌هاست، که به صورت زیر تعریف می‌شوند:

به ذرات معلق جامد در مایع سوسپانسیون می‌گویند.

— عوامل مؤثر در اختلاط، جهت انجام تغییرات فیزیکی و شیمیایی با ذکر مثال

توصیه می‌شود نقش این عوامل در فرآیندهای مذکور^۱، واضح‌تر بیان شود، برای مثال:

در فرآیند کریستالیزاسیون، که جداسازی یک ماده به شکل جامد بلوری در اثر تغییر دماست، همزدن بازده انتقال حرارت و انتقال جرم را افزایش می‌دهد اما اگر شدت و مدت زمان همزدن، کنترل نشود^۲ موجب از هم پاشیدگی ساختمان بلوری ماده خواهد شد.

یا در فرآیندهای بیولوژیکی، که میکروارگانیسم‌ها در آنها نقش کاتالیزگر دارند، همزدن، پخش آنها را در محیط یکنواخت می‌کند. همزدن شدید یا طولانی موجب صدمه دیدن آنها می‌شود.

— انواع اختلاط

— توضیح در مورد هر یک از انواع اختلاط با ذکر مثال‌های^۳ مربوطه

— مثالی که می‌توان برای اختلاط دو یا چند مایع محلول مطرح کرد، تهیهٔ ضدیخ برای اتومبیل‌هاست، که از بلندینگ آب و نوعی الکل^۴ به دست می‌آید.

— فرآیند استخراج مایع — مایع توسط حلال، مثالی برای اختلاط دو یا چند مایع نامحلول، است. زمانی که حلال به خوراک^۵ اضافه می‌شود تا جزء مورد نظر را در خود حل کند و جدا نماید، همزدن عاملی جهت افزایش بازده انتقال جرم^۶ و در نتیجه جداسازی آن است.

— از امولسیون‌های غذایی، می‌توان به تهیهٔ «سس مایونز»، که در آن زردهٔ تخم‌مرغ عامل امولسیون‌کنندهٔ روغن و سرکه است، اشاره کرد.

— آنتی‌بیوتیک‌ها، نوعی سوسپانسیون دارویی خوراکی^۷ هستند که می‌توان آنها را برای تعلیق جامد در مایع مثال زد.

— یک مثال ساده و آشنا برای پخش گاز در مایع، تهیهٔ نوشابهٔ گازدار است.

— تشکیل کریستال به روش تبخیر، مثالی است که برای اختلاط سه فاز و تشکیل کریستال^۸ برای تعلیق جامد در مایع، ذکر شده

۱— منظور مثال‌های نام برده شده در کتاب درسی است.

۲— یعنی بیشتر از حد مجاز شود.

۳— در جهت یادگیری مثال‌ها، تأکید شود.

۴— الکل مورد استفاده در تهیهٔ ضدیخ «اتیلن گلیکول» نام دارد.

۵— در فرآیند استخراج، خوراک، محلول دو یا چند مایع است.

۶— انتقال جرم جزء مورد نظر از خوراک به حلال

۷— مثال دیگر، آنتی‌اسیدها هستند، مانند «منیزیم و آلومینیم هیدروکسید در آب» که به نام «آلومینیم‌ام‌جی» معروف است و در درمان ناراحتی‌های معده کاربرد دارند.

۸— منظور «کریستالیزاسیون به روش سرد کردن» است.

است. هنجویان باید تفاوت این دو مثال را درک کنند. ساده‌ترین راه برای بیان تفاوت این دو روش^۱، ذکر مثال‌هایی از آنهاست، از جمله تهیهٔ نمک از آب دریا و نبات از محلول فوق سیر شدهٔ شکر در آب. — یکی از مثال‌های اختلاط سه فاز، هیدروژن‌دار کردن در حضور کاتالیزگر جامد است (مانند تهیهٔ روغن جامد^۲).

۱- تفاوت این دو روش براساس اثر دما بر حلالیت آنها، می‌تواند بیان شود. مثلاً حلالیت شکر در آب با دما رابطهٔ مستقیم دارد و حلالیت نمک طعام در آب، مستقل از دماست.

۲- روغن جامد از هیدروژناسیون روغن مایع در حضور کاتالیزگر «نیکل جامد» به‌دست می‌آید.

برنامه زمان بندی هفته بیست و یکم			دقیقه
۱	آماده کردن کلاس (احوالپرسی، حضور و غیاب)	۵	
۲	رفع اشکال	۱۰	
۳	پرسش	۳۰	
۴	تدریس	۸۰	
۵	استراحت میان تدریس (دو نوبت)	۱۰	

سؤالات پیشنهادی

تذکر : جواب سؤالات در متن فصل موجود است و تنها در حالتی که نیاز به توضیح بیشتر باشد، پاسخ بیان می شود.

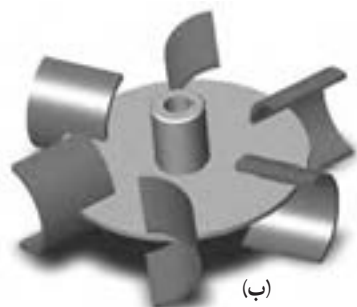
- همزدن را تعریف کنید.
- اهداف همزدن را بیان کنید.
- فاکتورهای مؤثر در اختلاط را نام ببرید و برای هر مورد توضیح دهید که رعایت نکردن آنها موجب چه مشکلاتی می شود.
- انواع اختلاط را نام ببرید.
- هدف از اختلاط دو یا چند مایع محلول، چیست؟
- «بلندینگ» چیست؟ ویژگی آن کدام است؟
- مثال هایی از کاربرد «بلندینگ» را در صنعت بنویسید.
- اختلاط دو یا چند مایع نامحلول، چگونه انجام می شود؟ هدف از این نوع اختلاط چیست؟
- فرآیندهایی را مثال بزنید که در آنها، اختلاط دو یا چند مایع نامحلول، کاربرد دارد.
- هدف از همزدن در اختلاط «جامد در مایع» چیست؟ مثال هایی از فرآیندهای فیزیکی و شیمیایی را که این نوع اختلاط در آنها کاربرد دارد، بیان کنید.
- عوامل مؤثر در بهبود اختلاط گاز در مایع را بنویسید.
- فرآیندهایی مثال بزنید که در اثر تماس گاز با مایع، انجام می شوند.
- فرآیندهایی مثال بزنید که در اثر تماس سه فاز مایع و جامد و گاز، انجام می شوند.
- عوامل مؤثر در فرآیندهایی که نیاز به اختلاط سه فاز دارند کدام هستند؟ نام ببرید.
- چرا طراحی دستگاه هایی که در آنها اختلاط سه فاز، صورت می گیرد مشکل است؟
- مشکل مهمی که در خصوص اختلاط جامدات وجود دارد، چیست؟

- عوامل مؤثر در جدایی فازهای جامد را، به هنگام همزدن، نام ببرید.
- جدا شدن فازها در اختلاط، با حضور مایع و بدون حضور مایع (اختلاط جامدات) چه تفاوتی دارد؟

ادامه تدریس فصل دهم

- عناوین و مطالبی که در این هفته تدریس می‌شوند، عبارت‌اند از :
- دسته‌بندی مخلوط‌کن‌ها^۱ به طور کلی
- انواع مخلوط‌کن‌های فاز مایع :
- (الف) مخزن مجهز به همزن مکانیکی (یعنی مهم‌ترین و پرکاربردترین مخلوط‌کن فاز مایع)
- (ب) مخلوط‌کن ساکن
- مقایسه مخزن مجهز به همزن مکانیکی و راکتور ناپیوسته^۲
- ساختمان، تجهیزات و عملکرد مخزن مجهز به همزن مکانیکی^۳
- از نظر طراحی، به ارتفاع «مخزن مجهز به همزن مکانیکی» جهت اختلاط گاز – مایع^۴ (نسبت به انواع دیگر اختلاط) بیشتر توجه می‌کنند تا زمان اقامت گاز در مایع افزایش یابد و اختلاط بهتر انجام شود.
- معرفی انواع پره‌های مورد استفاده در مخازن مجهز به همزن مکانیکی، با توجه به خصوصیات^۵ آنها از نظر شکل، سرعت، نحوه جریان سیال به هنگام همزدن و کاربرد در صنعت.

تصاویری از انواع پره‌ها



(ب)



(الف)



شکل ۱-۱۰-۱ ملخی



(د)



(ج)

شکل ۱-۱۰-۲ انواع پره توربینی

۱- Mixers

۲- تدریس با ارجاع هنرجویان به شکل‌های (۳-۹) و (۱-۱۰) یا (۲-۱۰)، انجام می‌شود.

۳- با توجه به شکل‌های (۱-۱۰) و (۲-۱۰)

۴- مقایسه دو شکل (۱-۱۰) و (۲-۱۰)

۵- از شکل‌های (۳-۱۰) تا (۷-۱۰) و جدول (۱-۱۰) استفاده شود.



شکل ۱۰-۵- پره حلزونی



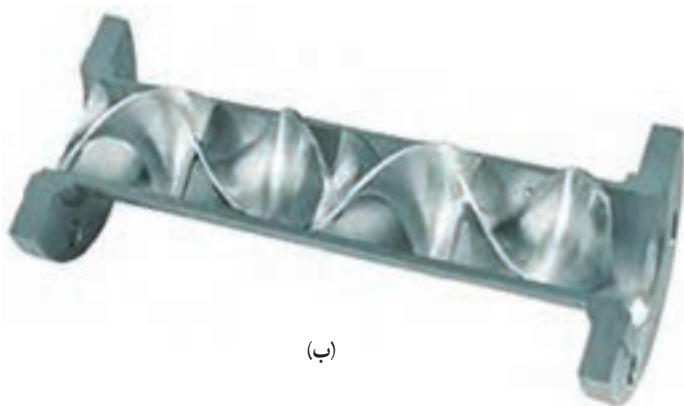
شکل ۱۰-۴- پره لنگری



شکل ۱۰-۳- پره بارویی

— مخلوط‌کن ساکن

در شکل ۱۰-۶، موانع درون مخلوط‌کن ساکن مشاهده می‌شود.



(ب)



(الف)

شکل ۱۰-۶- مخلوط‌کن ساکن

— مقایسه دو مخلوط‌کن فاز مایع؛

۱- نحوه اختلاط : در مخزن مجهز به همزن مکانیکی، جهت اختلاط از همزن‌های برقی استفاده می‌شود، درحالی‌که در مخلوط‌کن ساکن، برخورد سیالات با موانع ساکن درون مخلوط‌کن، ایجاد آشفتگی می‌کند.

۲- نوع عملیات : مخزن مجهز به همزن مکانیکی به صورت ناپيوسته کار می‌کند، درحالی‌که نوع عملیات در مخلوط‌کن ساکن، پیوسته است.

۳- کاربرد : مخزن مجهز به همزن مکانیکی برای انواع اختلاط به کار می‌رود، درحالی‌که در مخلوط‌کن ساکن، فقط سیالات با هم مخلوط می‌شوند و جهت ورود آنها به مخلوط‌کن به پمپ یا دمنده نیز احتیاج است.

برنامه زمان بندی هفته بیست و دوم			دقیقه
۱	آماده کردن کلاس (احوالپرسی، حضور و غیاب)	۵	
۲	رفع اشکال	۱۰	
۳	پرسش	۳۰	
۴	تدریس	۸۰	
۵	استراحت میان تدریس (دو نوبت)	۱۰	

سؤالات پیشنهادی

- ۱- انواع مخلوط کن ها را به طور کلی نام ببرید.
- ۲- انواع مخلوط کن های فاز مایع را نام ببرید.
- ۳- مهم ترین و پرکاربردترین مخلوط کن فاز مایع چه نام دارد؟
- ۴- تفاوت اصلی مخزن مجهز به همزن مکانیکی و راکتور ناپیوسته چیست؟
- ۵- چرا کف مخزن مجهز به همزن مکانیکی را محدب می سازند؟
- ۶- در صورتی که مخزن مجهز به همزن مکانیکی جهت اختلاط گاز - مایع باشد، طراحی آن چگونه است؟ چرا؟ تفاوت آن را با وقتی که این مخلوط کن برای اختلاط مایع - مایع یا جامد - مایع باشد، ذکر کنید.
- ۷- دلیل استفاده از توزیع کننده گاز در مخلوط کن چیست؟
- ۸- جهت سرمایش و گرمایش مخزن مجهز به همزن مکانیکی چه وسیله ای در نظر گرفته شده است؟
- ۹- نقش بافل چیست؟ چه زمانی به بافل نیازی نیست؟
- ۱۰- انواع پره های قابل استفاده در مخزن مجهز به همزن مکانیکی را نام ببرید.
- ۱۱- برای اختلاط مایعات با گرانروی پایین، از کدام پره ها استفاده می شود؟
- ۱۲- پره های مورد استفاده برای اختلاط مایعات ویسکوز (گرانروی بالا) را نام ببرید.
- ۱۳- انواع پره ها را، با توجه به کاربرد و سرعت، دسته بندی کنید.
- ۱۴- انواع جریان های سیالات به هنگام همزدن را نام ببرید و بگوئید که هر کدام توسط کدام پره ایجاد می شوند؟ و چگونگی جریان ها را به اختصار تعریف کنید.
- ۱۵- راجع به پره ملخی به موارد زیر پاسخ دهید :
 الف) نوع جریانی که در مایع ایجاد می کند چیست؟
 ب) از پره ملخی برای چه نوع عملیاتی استفاده می شود؟
 ج) در مخازن بزرگ، پره ملخی را چگونه نصب می کنند؟ چرا؟

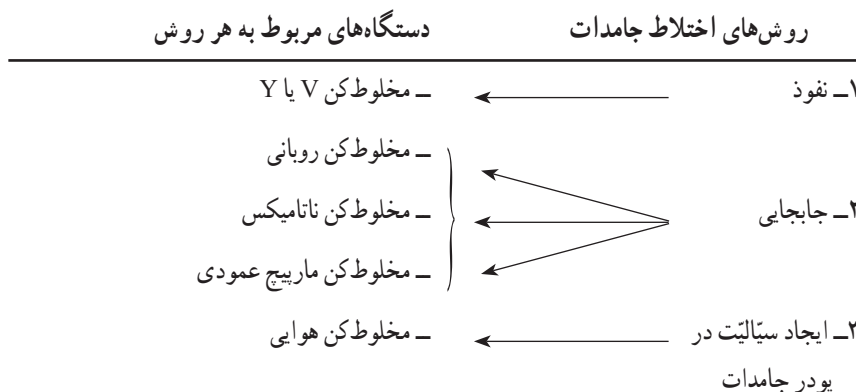
- (د) به چه دلایلی، همزن ملخی را خارج از مرکز استوانه نصب می‌کنند؟
 (ه) پره ملخی را، از نظر سرعت و گرانروی سیال مورد استفاده، مورد بررسی قرار دهید.
- ۱۶- راجع به پره توربینی به موارد زیر پاسخ دهید :
- (الف) نوع جریانی که این پره در مایع ایجاد می‌کند چیست؟
 (ب) کاربرد آن در صنایع شیمیایی چیست؟
 (ج) نام دیگر این پره چیست؟ و چرا به این نام نیز معروف است؟
 (د) پره توربینی را، از نظر سرعت و گرانروی سیال مورد استفاده، بررسی کنید.
- ۱۷- در خصوص پره پارویی به موارد زیر پاسخ دهید :
- (الف) نوع جریانی که در مایع ایجاد می‌کند چیست؟
 (ب) آیا در صورت استفاده از این پره، نیازی به بافل هست؟ چرا؟
 (ج) برای اینکه این پره علاوه بر جریان مماسی جریان محوری را نیز ایجاد کند، چگونه آن را می‌سازند؟
 (د) پره پارویی را، از نظر سرعت و گرانروی سیال مورد استفاده، بررسی کنید.
- ۱۸- برای همزدن مایعات با گرانروی زیاد، از چه پره‌هایی استفاده می‌شود، به ترتیب نام ببرید.
- ۱۹- آیا در صورت استفاده از پره‌های لنگری و حلزونی به بافل نیازی هست؟ چرا؟
- ۲۰- مناسب‌ترین پره برای اختلاط گاز در مایع چیست؟

توصیه می‌شود، یاددهی و یادگیری به طریقی باشد که هنرجویان هم توانایی رسم شکل‌ها را کسب کنند و هم بتوانند شکل‌ها را از یکدیگر تشخیص دهند.

ادامه تدریس فصل دهم

عناوین و مطالبی که در این هفته تدریس می‌شوند، عبارت‌اند از :

- روش‌های اختلاط جامدات و معرفی دستگاه‌هایی که به هر روش کار می‌کنند؛ به صورت زیر :



- معرفی مخلوط‌کن V یا Y، با توجه به موارد زیر :

ساختمان همراه با رسم شکل^۱، عملکرد مخلوط‌کن، رابطه بازده مخلوط‌کن و سرعت دوران آن.

در شکل ۱-۷، یک مخلوط‌کن V مشاهده می‌شود. توجه به سرعت بحرانی^۱ دستگاه، بسیار حائز اهمیت است.



شکل ۱-۷- مخلوط‌کن V

— سرعت بحرانی یا حد : توجه به سرعت بحرانی در دستگاه‌هایی که حرکت دَوْرانی دارند، مهم و ضروری است، زیرا در این سرعت دستگاه نمی‌تواند وظیفه اصلی‌اش را انجام دهد. به همین دلیل توصیه می‌شود این گونه دستگاه‌ها با کمتر از سرعت بحرانی، کار کنند.

سرعت بحرانی در مخلوط‌کن V، سرعتی است که در آن نیروی گریز از مرکز با نیروی وزن ذرات جامد برابر می‌شود و به علت عدم تحرک و نفوذ نداشتن ذرات، اختلاط متوقف می‌گردد.

— معرفی مخلوط‌کن روبانی با توجه به موارد زیر :

— ساختمان همراه با رسم شکل و عملکرد

در شکل ۱-۸، یک مخلوط‌کن روبانی مشاهده می‌شود. یکی از مثال‌های آشنا برای این مخلوط‌کن، چرخ گوشت^۲ است.

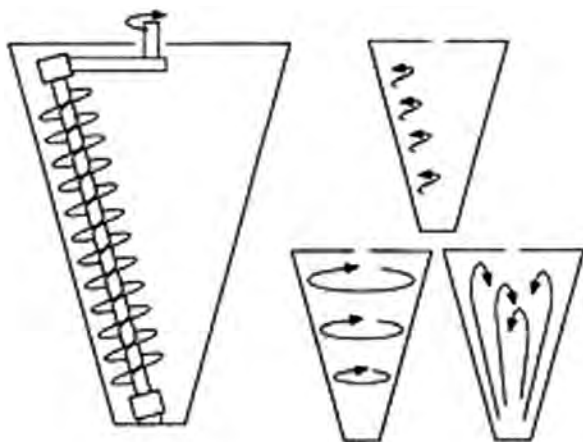
— معرفی مخلوط‌کن ناتامیکس با توجه به ساختمان و عملکرد آن.

در شکل ۱-۹، نحوه حرکت ذرات درون مخلوط‌کن نشان داده شده

است.



شکل ۱-۸- مخلوط‌کن روبانی



شکل ۱-۹- مخلوط‌کن ناتامیکس

۱- Critical Velocity

۲- البته چرخ گوشت هم مخلوط‌کن و هم خردکن است.

در شکل ۱۰-۱، یک مخلوط‌کن ناتامیکس در حال انجام اختلاط، مشاهده می‌شود.



شکل ۱۰-۱- مخلوط‌کن ناتامیکس

– معرفی مخلوط‌کن ماریپچ عمودی با توجه به ساختمان و عملکرد آن.

در شکل ۱۰-۱۱، مخلوط‌کن ماریپچ عمودی مشاهده می‌شود.

– توصیه می‌شود دو مخلوط‌کن ناتامیکس و ماریپچ عمودی از نظر ساختمان و عملکرد

با هم مقایسه شوند :

نتیجه مقایسه این است که بازده ناتامیکس، به علت ایجاد آشفته‌گی بیشتر، بالاتر از

مخلوط‌کن ماریپچ عمودی است.

– تعریف روش «اختلاط با کمک ایجاد سیالیت در پودر جامدات»

– معرفی مخلوط‌کن هوایی با توجه به موارد زیر :

ساختمان همراه با رسم شکل^۱، تجهیزات جانبی مورد استفاده، عملکرد مخلوط‌کن، نوع

عملیات و تعیین سرعت هوا (یا گاز)



شکل ۱۰-۱۱- مخلوط‌کن ماریپچ عمودی

۱- شکل (۱۰-۳) کتاب درسی عملیات دستگاهی (صفحه ۷۴) توضیح داده می‌شود.

برنامه زمان بندی هفته بیست و سوم			دقیقه
۱	آماده کردن کلاس (احوالپرسی، حضور و غیاب)	۵	
۲	رفع اشکال	۱۰	
۳	پریش	۳۰	
۴	تدریس	۸۰	
۵	استراحت میان تدریس (دو نوبت)	۱۰	

سؤالات پیشنهادی

- ۱- روش های اختلاط جامدات را نام ببرید و برای هر روش دستگاهی را مثال بزنید.
- ۲- اختلاط جامدات به روش نفوذ، چگونه انجام می شود؟
- ۳- مخلوط کن V یا Y به چه روشی کار می کند؟ ساختمان و عملکرد آن را بنویسید.
- ۴- سرعت بحرانی را تعریف کنید و بگوئید سرعت مخلوط کن V نسبت به سرعت بحرانی چگونه باید باشد؟ چرا؟
- ۵- اختلاط به روش جابجایی را توضیح دهید و دستگاه هایی را که به این روش کار می کنند، نام ببرید.
- ۶- ساختمان و عملکرد مخلوط کن روبانی را توضیح دهید.
- ۷- ساختمان و عملکرد مخلوط کن ناتامیکس را توضیح دهید.
- ۸- ساختمان و عملکرد مخلوط کن ماریچ عمودی را توضیح دهید.
- ۹- تفاوت دو مخلوط کن ناتامیکس و ماریچ عمودی را توضیح دهید و بگوئید به نظر شما راندمان کدامیک بیشتر است؟ چرا؟
- ۱۰- اختلاط به روش «ایجاد سیالیت در پودر جامدات» را توضیح دهید و دستگاهی را که به این روش کار می کند نام ببرید.
- ۱۱- مخلوط کن هوایی^۱ به چه روشی کار می کند؟ ساختمان و عملکرد آن را توضیح دهید.
- ۱۲- سرعت گاز ورودی به مخلوط کن هوایی چگونه و با چه وسیله ای تنظیم می شود؟
- ۱۳- تجهیزات جانبی مخلوط کن هوایی را نام ببرید و همراه با رسم شکل، نقش هر یک را بیان کنید.
- ۱۴- عملکرد مخلوط کن های جامدات را از نظر نوع عملیات بررسی کنید.

پاسخ سؤال (۱۲): سرعت گاز ورودی به مخلوط کن هوایی توسط یک شیر کنترل دبی، در حدی تنظیم

۱- نام دیگر مخلوط کن هوایی، مخلوط کن بسترسیال است.

می‌شود که از طرفی قدرت و فشار لازم جهت ایجاد سیالیت را داشته باشد تا اختلاط به خوبی انجام شود و از طرف دیگر آن قدر زیاد نباشد که ذرات جامد را با خود از بالای مخلوط‌کن بیرون ببرد.

پاسخ سؤال (۱۳) :

۱- صافی جهت جداسازی پودرهای جامد خروجی به همراه گاز (هوا)

۲- کمپرسور برای افزایش فشار و انرژی گاز (هوا)

۳- مخزن ذخیره هوای فشرده

۴- شیر کنترل دبی گاز جهت تنظیم مقدار گاز ورودی به مخلوط‌کن

۵- توزیع کننده گاز برای ایجاد جریان‌های بیشتر گاز به منظور افزایش بازده اختلاط

پاسخ سؤال (۱۴) : همهٔ مخلوط‌کن‌های جامدات به روش ناپیوسته کار می‌کنند، به جز مخلوط‌کن روبانی که به هر دو روش پیوسته و ناپیوسته می‌تواند کار کند.

ادامهٔ تدریس فصل دهم

عناوین و مطالبی که در این هفته تدریس می‌شوند، عبارت‌اند از :

– کاهش اندازهٔ مواد و اهداف آن

«کاهش اندازهٔ مواد» در هر سه حالت ماده با هدف «افزایش سطح تماس^۱» توسط دستگاه‌های مربوطه انجام می‌شود.

در این فصل، کاهش اندازهٔ جامدات بررسی می‌شود، ضمن این‌که اهداف دیگری نیز مد نظر است، از جمله :

۱- ایجاد شکل مطلوب

۲- اشغال فضای کمتر

۳- انتقال آسان

جهت کاهش اندازهٔ مایعات و گازها از «توزیع کننده‌ها^۲» و برای جامدات از، خردکن‌ها^۳ و آسیاب‌ها^۴ و دستگاه‌های برنده^۵

استفاده می‌کنند.

– روش‌های مختلف کاهش اندازهٔ جامدات با ذکر مثال‌های مربوطه

نمونه‌های یاد شده، وسایل مورد استفادهٔ روزمره‌اند. توصیه می‌شود در همین قسمت، علاوه بر آنها، دستگاه‌های صنعتی مربوطه

نیز به صورت زیر نام برده شوند :

۱- خردکن فکی^۶ به روش متراکم کردن

۲- خردکن غلتکی^۷ به روش سایش

۱- افزایش سطح تماس، عامل مهمی در بهبود عملیات فیزیکی و شیمیایی است.

۲- در فصل ۱۱ کتاب درسی عملیات دستگاهی (صفحات ۱۰۱ و ۱۰۲) توزیع کننده‌های مایع و گاز مشاهده می‌شوند.

۳- Crushers

۴- Grinders

۵- Cutting machines

۶- Jaw crusher

۷- roll crusher

۳- آسیاب دوار^۱ به روش ضربه زدن

۴- دستگاه‌های برنده به روش بریدن یا قطع کردن

- خصوصیات یک دستگاه کاهش اندازه مطلوب

- تفاوت عملکرد واقعی دستگاه‌های کاهش اندازه و عملکرد ایده‌آل آنها

- بازده و هزینه دستگاه‌های کاهش اندازه

بازده این دستگاه‌ها به دلیل تولید دانه‌های خیلی ریز غیر قابل کنترل، پایین است ولی هزینه آنها بالاست.

- تقسیم‌بندی دستگاه‌های کاهش اندازه جامدات و مقایسه عملکرد آنها با هم

- معرفی خردکن فکی با توجه به موارد زیر:

اساس کار، ساختمان، عملکرد و کاربرد

در شکل ۱۰-۱۲، یک خردکن فکی مشاهده می‌شود.



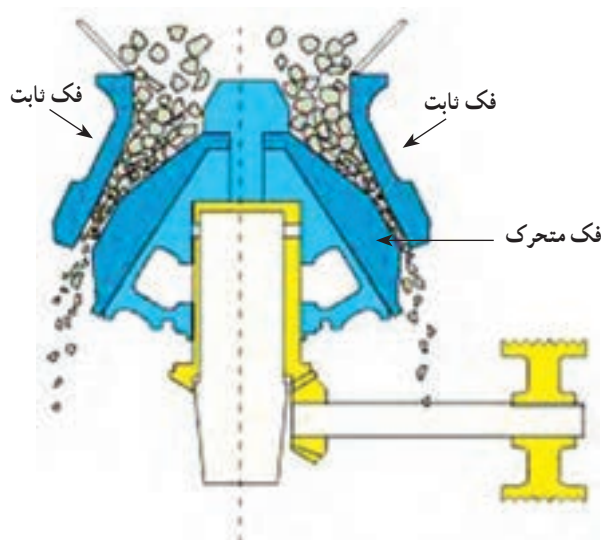
شکل ۱۰-۱۲- خردکن فکی

در شکل ۱۰-۱۳، یک خردکن فکی با ظرفیت بالاتر، مشاهده

می‌شود. این خردکن دارای دو فک ثابت و یک فک متحرک

مشترک است، که با حرکت رفت و برگشتی، تراکم و خردکردن مواد

روی دو فک ثابت، انجام می‌شود.



شکل ۱۰-۱۳- خردکن فکی

– معرفی خردکن غلتکی، با توجه به موارد زیر؛

اساس کار، ساختمان، عملکرد، دلیل استفاده از فنر اطمینان

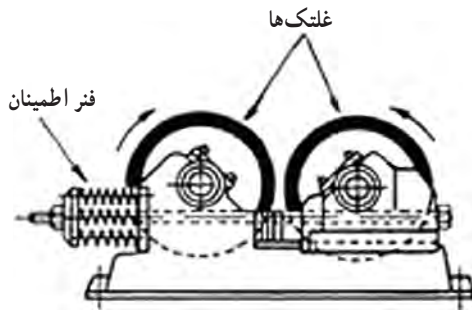
خردکن‌های غلتکی در صنعت، به دو صورت طراحی و ساخته می‌شوند :

۱- تک غلتکی مانند شکل ۱۴-۱۰ الف، که مواد بین غلتک چرخان و یک دیواره ساکن خرد می‌شوند.

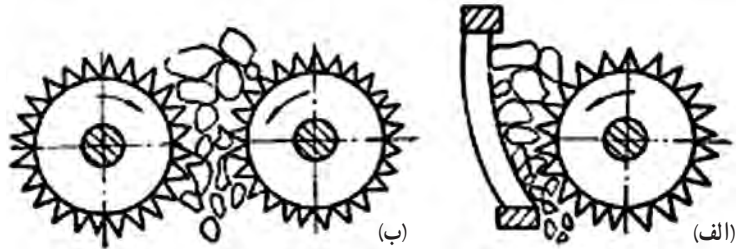
۲- دوغلتکی مانند شکل ۱۴-۱۰ ب، سطح غلتک‌ها ممکن است دندانه‌دار یا صاف باشند، همانطور که در شکل‌های ۱۴-۱۰

و ۱۵-۱۰ به ترتیب، مشاهده می‌شوند.

– هدف استفاده از آسیاب‌ها



شکل ۱۵-۱۰- خردکن غلتکی



شکل ۱۴-۱۰- خردکن غلتکی

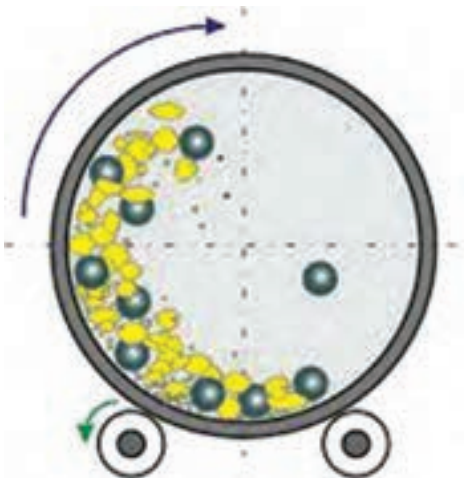
– معرفی آسیاب دوار با توجه به موارد زیر :

اساس کار، ساختمان، عملکرد، شکل و جنس و نقش مواد ساینده،

انواع آسیاب دوار بر مبنای نوع مواد ساینده و مقایسه آنها با هم از نظر اساس

کار، سرعت بحرانی در آسیاب دوار، ... شکل ۱۶-۱۰ عملکرد یک آسیاب

دوار را نشان می‌دهد.



شکل ۱۶-۱۰- عملکرد مواد ساینده در آسیاب دوار



در شکل ۱۷-۱۰، یک آسیاب دوار مشاهده می‌شود.

شکل ۱۷-۱۰- آسیاب دوار

– کاربرد دستگاه‌های برنده

– معرفی دستگاه‌های برنده با توجه به اساس کار، ساختمان و تجهیزات آنها و عملکردشان. در شکل‌های ۱۸-۱۰ و ۱۹-۱۰، نمونه‌هایی از دستگاه‌های برنده مشاهده می‌شود.



شکل ۱۰-۱۹ – دستگاه برنده کاغذ



شکل ۱۰-۱۸ – دستگاه برنده چوب

– چگونگی مطلوب کردن عملکرد دستگاه‌های کاهش اندازه

فعالیت

هنرجویان با استفاده از واژه‌های کلیدی مربوط به نام دستگاه‌ها، مجموعه‌هایی از تصاویر را به صورت گروهی تهیه کنند.

این مجموعه را می‌توان به صورت نرم‌افزارهای آموزشی تهیه کرد. به بهترین مجموعه امتیاز ویژه‌ای تعلق گیرد و برای بقیه نیز امتیازی منظور گردد.

به هنرجویان یادآوری گردد که خودآزمایی را حل کنند و برای یک آزمون از کل فصل دهم، آماده شوند.

برنامه زمان بندی هفته بیست و چهارم			دقیقه
۱	آماده کردن کلاس (احوالپرسی، حضور و غیاب)	۵	
۲	رفع اشکال	۱۰	
۳	حل خودآزمایی فصل نهم	۱۵	
۴	پرسش	۳۵	
۵	برگزاری یک آزمون از فصل دهم	۶۰	
۶	استراحت (دو نوبت)	۱۰	

خودآزمایی فصل دهم صفحه (۸۲)

جواب همه سؤالات خودآزمایی در متن فصل موجود است. تنها به سؤال ۱۰، به منظور توضیح بیشتر، پاسخ داده می شود:

سؤال ۱۰- در آسیاب های دوار، گلوله ها یا میله ها حداکثر چه حجم از مخزن را می توانند اشغال کنند؟ چرا؟
پاسخ: گلوله ها یا میله ها حدود نیمی از حجم مخزن آسیاب را پر می کنند و در این حالت است که حداکثر تحرک، حداکثر قدرت ضربه و حداکثر ظرفیت خرد کردن وجود دارد.

سؤالات پیشنهادی

- اصطلاح کاهش اندازه، به چه روش هایی اطلاق می شود؟
- اهداف خرد کردن جامدات را بیان کنید.
- روش های مختلف کاهش اندازه جامدات را نام ببرید و برای هر کدام مثالی از دستگاه های روزمره و صنعتی ذکر کنید.
- کاربرد هر یک از روش های تراکم، ضربه زدن، سایش و قطع کردن را بنویسید. (از نظر اندازه محصول)
- دستگاه کاهش اندازه باید دارای چه خصوصیتی باشد؟
- چرا بازده دستگاه های کاهش اندازه پایین است؟
- انواع دستگاه های کاهش اندازه را نام ببرید و کاربرد هر کدام را بگوئید.
- کاربرد «آسیاب های تولید مواد بسیار ریز» چیست؟
- اساس کار خردکن فکی چیست؟
- ساختمان خردکن فکی را توضیح دهید و عملکرد آن را بیان کنید.

- ۱۱- اختلاف خردکن‌های فکی در چیست؟
 - ۱۲- خردکن غلتکی به چه روشی کار می‌کند؟
 - ۱۳- یک خردکن غلتکی از چه قسمت‌هایی تشکیل شده است؟
 - ۱۴- طرز کار یک خردکن غلتکی را بیان کنید.
 - ۱۵- اندازه خرده‌های محصول در خردکن غلتکی به چه عاملی بستگی دارد؟
 - ۱۶- علت استفاده از فنر اطمینان در خردکن غلتکی چیست؟
 - ۱۷- اگر در خوراک یک خردکن غلتکی، ماده غیر قابل خرد شدن (نشکن) باشد که بین دو غلتک عامل فشار شود، در این صورت محافظت از خردکن، چگونه انجام می‌شود؟
 - ۱۸- خوراک آسیاب‌ها، چیست؟
 - ۱۹- آسیاب دوار به چه شکلی است؟ جنس آن را از چه ماده‌ای انتخاب می‌کنند؟
 - ۲۰- آسیاب دوار، به چه روشی کار می‌کند؟
 - ۲۱- ساختمان آسیاب دوار و تجهیزات مربوط به آن را توضیح دهید.
 - ۲۲- نقش مواد ساینده در آسیاب دوار چیست و از نظر شکل، جنس و تعداد چگونه هستند؟
 - ۲۳- آسیاب دوار از نظر عملیاتی، چگونه است؟
 - ۲۴- عملکرد آسیاب دوار را توضیح دهید.
 - ۲۵- انواع آسیاب دوار را نام ببرید و اساس کار خرد شدن در هر کدام را توضیح دهید.
 - ۲۶- تأثیر سرعت چرخش آسیاب دوار در بازده آن چیست؟ با توجه به سرعت بحرانی، در این مورد بحث کنید.
 - ۲۷- در سرعت بحرانی، عمل خرد کردن چگونه انجام می‌شود؟ چرا؟
 - ۲۸- دستگاه‌های بُرنده، برای خرد کردن چه نوع قطعاتی قابل استفاده هستند؟
 - ۲۹- یک دستگاه بُرنده از چه قسمت‌هایی تشکیل شده است؟
 - ۳۰- برای عملکرد مطلوب دستگاه‌های کاهش اندازه، چه مواردی را باید در نظر داشت؟
- یادآوری:

هفته‌های «بیست و پنجم» و «بیست و ششم» جزء تعطیلات نوروز است.

برج‌های تقطیر و استخراج

چکیده فصل

در این فصل، هنرجویان با عملیات فیزیکی تقطیر و استخراج به منظور تخلیص مایعات، آشنا می‌شوند. همچنین عملکرد دستگاه‌های مربوطه یعنی برج‌های تقطیر و استخراج را می‌آموزند.

دانسته‌های قبلی: هنرجویان در سال گذشته، اطلاعات مختصری در مورد این دو عملیات، به صورت تئوری و عملی کسب کرده‌اند.

اهداف فصل: از هنرجویان انتظار می‌رود که بتوانند پس از پایان فصل، راجع به عناوین زیر توضیحات لازم را ارائه دهند.

- تعریف تقطیر
- اصول تقطیر
- انواع تقطیر از نظر عملیاتی و تشریح هر کدام
- انواع تقطیر از نظر فشار عملیاتی
- استخراج و موارد مربوطه
- موارد انتخاب حلال
- انواع برج‌های تقطیر، سینی‌دار و آکنده
- انواع برج‌های استخراج؛ پاششی، سینی‌دار، آکنده و استخراج کننده با همزن مکانیکی

برنامه زمان‌بندی تدریس فصل یازدهم

صفحه	موضوعات	هفته
۸۳ تا ۸۹	تقطیر و انواع آن	۲۷
۹۲ تا ۹۸	برج‌های تقطیر سینی‌دار	۲۸
۹۹ تا ۱۰۳	برج‌های تقطیر - آکنده	۲۹
۹۰ تا ۹۲ ۱۰۴ تا ۱۰۸	استخراج - برج‌های استخراج	۳۰

برنامه زمان بندی هفته بیست و هفتم			دقیقه
۱	آماده کردن کلاس (احوالپرسی، تریک سال جدید، حضور و غیاب و ...)	۲۰	
۲	تدریس	۱۰۰	
۳	استراحت میان تدریس (سه نوبت)	۱۵	

تقطیر و انواع آن

عناوین و مطالبی که در این هفته تدریس می شوند، عبارت اند از :

- تعریف جامعی از تقطیر
- خصوصیات مایعات سبک (فزار) و سنگین
- تعریف قابلیت تبخیر یا فزاریت
- انواع تقطیر
- تشریح تقطیرهای ساده، ناگهانی و جزء به جزء، از نظر :
- عملکرد، نوع عملیات، دستگاه، درجه خلوص محصولات، کاربرد و خصوصیات دیگر
- انواع تقطیر از نظر فشار عملیاتی :
- تقطیر در فشار بالا، تقطیر اتمسفریک، تقطیر در خلأ
- توضیح مثال های عملی تقطیر

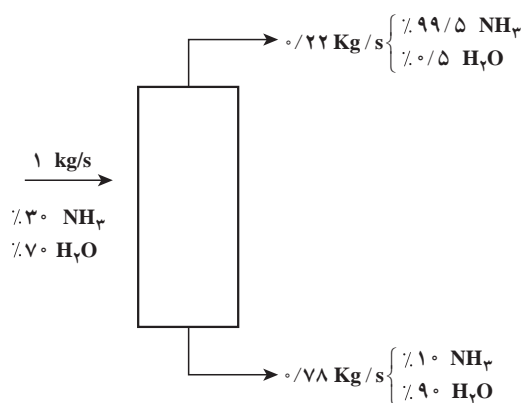
راهنمای تدریس

متن کتاب درسی عملیات دستگاهی، برای تدریس عناوین مطروحه مرجع خوبی است، لذا به مواردی اشاره خواهد شد که نیاز به توضیح تکمیلی داشته باشند، به صورت زیر :

- **تعریف تقطیر :** بهتر است برای تقطیر تعریف جامعی به هنرجویان ارائه داد، مثلاً :
- تقطیر فرآیندی است که در آن اجزای یک مخلوط مایع یکنواخت، به دلیل اختلاف در نقطه جوش براساس دو عمل تبخیر و میعان از یکدیگر جدا می شوند.
- دستگاه های مورد استفاده برای تقطیر، به نام برج یا ستون تقطیر معروف هستند، که به دو صورت سینی دار و آکنده طراحی می شوند و تقطیر جزء به جزء در این برج ها انجام می شود.
- تدریس این هفته، بیشتر در خصوص تقطیر و انواع آن از دید عملکردی است و راجع به برج های تقطیر، در هفته بعد صحبت خواهد شد.
- یکی از قسمت های مهم این فصل، فشار برج های تقطیر است که براساس نوع خوراک از نظر سبکی و سنگینی، تعیین می شود.

— توضیح در مورد مثال‌های عملی تقطیر :

مثال (۱) به جداسازی اتانل از آب در یک برج تقطیر ناپیوسته مربوط می‌شود. این مثال شاهدهی بر مباحث مطروحه در بخش تقطیر جزء به جزء ناپیوسته است. اول اینکه نقش زمان را در عملیات ناپیوسته بیان می‌کند. به این صورت که ختم تقطیر را زمانی اعلام می‌دارد که درصد مولی اتانل در داخل دیگ به ۵٪ برسد. در ثانی، چنان‌که از نتایج پیداست، بیشترین درصد ماده سبک، که اتانل باشد، در شروع عملیات، یعنی در اولین قطره محصول بالای برج است (۷۸ درصد) و با ادامه کار برج، درصد خلوص آن کاهش می‌یابد. به طوری که در آخرین قطره محصول، درصد اتانل به ۷۴٪ تنزل می‌کند زیرا به مرور، ماده سنگین‌تر که آب است نیز تبخیر می‌شود.



شکل ۱-۱۱

در مثال (۲)، گزارشی از جداسازی آمونیاک از آب در یک برج تقطیر پیوسته مشاهده می‌شود. در این برج هر ثانیه یک کیلوگرم محلول ۳۰٪ وزنی آمونیاک در آب، به صورت خوراک وارد برج می‌شود و از بالای برج ۲۲٪ کیلوگرم و از پایین برج مقدار ۷۸٪ کیلوگرم بر ثانیه، محصولات خارج می‌گردد.

با توجه به شکل ۱-۱۱، در هر ثانیه ۳ kg آمونیاک و ۷ kg آب وارد برج می‌شوند و با حضور ۹ سینی، تقطیر صورت می‌گیرد و در هر ثانیه ۲۱۸۹ kg آمونیاک جدا می‌شود و از بالای برج خارج می‌گردد و مابقی همراه با آب از پایین برج بیرون می‌رود، محاسبات ساده زیر بیانگر این نتایج است :

$$1 \times 0.30 = 0.3 \text{ kg/s } \text{NH}_3, \quad 1 \times 0.70 = 0.7 \text{ kg/s } \text{H}_2\text{O}$$

$$0.22 \text{ kg/s} \times \frac{99.5}{100} = 0.2189 \text{ kg/s } \text{NH}_3$$

$$0.22 - 0.2189 = 0.0011 \text{ kg/s } \text{H}_2\text{O}$$

آب موجود در محصول بالای برج

آمونیاک تفکیک نشده، به همراه آب، که محصول پایین برج است، از آن خارج می‌شود.

$$0.78 \text{ kg/s} \times \frac{10}{100} = 0.078 \text{ kg/s } \text{NH}_3$$

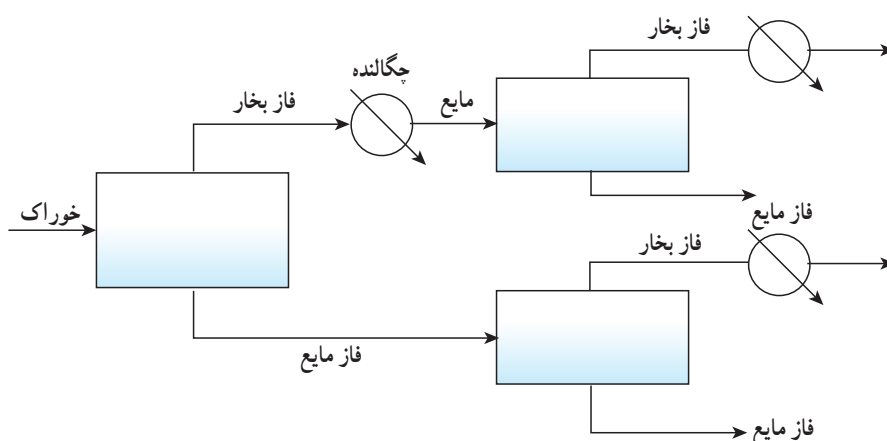
با یک محاسبه، بازده جداسازی آمونیاک از خوراک مورد نظر، حدوداً ۷۲/۹۷٪ است:

$$\frac{0.2189}{0.3} \times 100 = 72.97\%$$

نکته : با علم به این که این فصل، این نمونه مسائل را مد نظر ندارد ولی توضیح این دو مثال ذهن هنرجویان را نسبت به عملیات تقطیر در صنعت روشن می‌سازد.

— دلیل بالاتر بودن درجه خلوص محصولات در تقطیر جزء به جزء نسبت به تقطیر ساده، این گونه توضیح داده می‌شود :
تقطیر ساده، یک تقطیر یک مرحله‌ای است و به همین دلیل از درجه خلوص بالایی برخوردار نیست. برای افزایش درجه خلوص محصولات، می‌توان هر کدام از فاز بخار یا مایع ایجاد شده را به صورت خوراک جدید، بار دیگر مورد تقطیر قرار داد و در صورت دست نیافتن به درجه خلوص مورد نظر، این کار ادامه می‌یابد. واضح است که این تقطیرهای پی در پی یا چند مرحله‌ای

به فضای بسیار بزرگی نیاز دارد (مانند شکل ۲-۱۱).



شکل ۲-۱۱

برای حل این مشکل، برج‌های سینی‌دار جهت انجام تقطیر جزء به جزء یا چند مرحله‌ای طراحی می‌شوند و در آنها هر سینی نقش یک مخزن تقطیر را دارد. در هر سینی تماس مایع و بخار انجام می‌شود و انتقال حرارت و انتقال جرم صورت می‌گیرد. تعداد سینی‌ها بستگی به درجه خلوص مطلوب دارد.

– تأکید بر این مطلب ضروری است:

«به دلیل ثابت بودن وضعیت عملیاتی، تقطیر پیوسته بر ناپیوسته ارجح است.»

– مقدار، دما، فشار و سرعت مایع برگشتی، نقش بسیار مهمی در عملکرد برج تقطیر دارند. با تنظیم مقدار مایع برگشتی، می‌توان سه عامل دیگر را نیز کنترل کرد.

چون دمای مایع برگشتی، از دمای سینی‌های بالای برج کمتر است، با این عمل، دمای بالای برج کنترل می‌شود و شیب حرارتی مناسب به دست می‌آید.

فشار و سرعت این مایع نیز در نحوه حرکت مایع و بخار درون برج و کنترل فشار و دبی آنها نسبت به یکدیگر مؤثر هستند. با تنظیم مقدار مایع مذکور و U شکل ساختن مسیر حرکت آن، از چگالنده تا اولین سینی برج، این دو عامل در حد بهینه کنترل می‌شوند و از اختلالات احتمالی برج می‌کاهند.

دانستنی (۱)

تقطیر؛ فرّاریت نسبی: تقطیر یکی از روش‌های مهم و متداول برای تفکیک و تخلیص مواد موجود در مخلوط‌های همگن مایع (محلول‌های مایع)، در صنایع شیمیایی و به خصوص در صنعت نفت است. بارش باران و تشکیل شبنم بر برگ گل‌ها و شیشه‌ها در فصل زمستان از مثال‌های تقطیر در طبیعت است. اختلاف نقطه جوش مایعات موجود در یک مخلوط مایع، اساس فرآیند تقطیر است. یادآوری می‌شود اختلاف نقطه جوش، شرط لازم جهت انجام عمل تقطیر است ولی الزاماً کافی نیست و عامل دیگری به نام «فرّاریت» اجزاء،

۱- در جواب به سؤال مطروحه در صفحه (۸۷) کتاب درسی عملیات دستگاهی (دلیل U شکل ساختن مسیر مایع برگشتی)

از عوامل اصلی برای امکان پذیر بودن عمل تقطیر به حساب می آید.
 هر چه اختلاف فشاریت نسبی بین اجزا بیشتر باشد، عمل تفکیک توسط تقطیر ساده تر و با درجه خلوص بالاتری صورت می گیرد.

فشاریت نسبی را با (α) نمایش می دهند که تابعی از غلظت است، و برای هر دو جزء، نسبت به هم محاسبه می شود.
 برای مثال، در مخلوط دو جزئی A و B، فشاریت نسبی جزء A نسبت به جزء B عبارت است از:
 خارج قسمت نسبت غلظت A به B در فاز بخار بر نسبت غلظت A به B در فاز مایع.
 اگر x نشانگر کسر مولی^۱ اجزا در فاز مایع و y نشانگر کسر مولی اجزا در فاز بخار باشد طبق تعریف ذکر شده برای فشاریت نسبی، رابطه زیر به دست می آید:

$$\alpha_{AB} = \frac{y_A/y_B}{x_A/x_B} = \frac{y_A x_B}{y_B x_A}$$

از آنجا که

$$x_A + x_B = 1, \quad y_A + y_B = 1$$

$$\Rightarrow \alpha_{AB} = \frac{y_A (1 - x_A)}{x_A (1 - y_A)} \quad \text{رابطه (۱-۱۱)}$$

در صورتی که $\alpha = 1$ باشد عمل تقطیر امکان پذیر نیست، زیرا نشان دهنده این است که هر دو جزء به یک اندازه در فاز مایع و بخار وجود دارند. هر قدر α از یک بزرگ تر باشد تفکیک ساده تر انجام می شود.
 فشاریت نسبی در محلول های ایده آل^۲، براساس فشار بخارهای اجزا محاسبه می شود، به صورت رابطه زیر:

$$\alpha_{AB} = \frac{P_{VA}}{P_{VB}} \quad \text{رابطه (۲-۱۱)}$$

در رابطه (۲-۱۱)، P_V نماد فشار بخار است.

۱- کسر مولی نسبت تعداد مول هر جزء به کل مول های موجود است (mole Fraction)

۲- محلول ایده آل محلولی است که دارای شرایط زیر باشد:

(الف) تغییر نیافتن نیروهای بین مولکولی در اثر اختلاط

(ب) تغییر نیافتن حجم در اثر اختلاط

(ج) جذب یا دفع نشدن انرژی حرارتی در اثر اختلاط

(د) فشار بخار محلول با کسر مولی اجزای تشکیل دهنده آن متناسب باشد.

واضح است با این شرایط، محلول ایده آل واقعاً وجود ندارد ولی این فرض برای حل مسائل و محاسبات لازم است.

۳- این رابطه در مسئله ۲ خودآزمایی فصل ۱۱ معرفی شده است.

فعالیت

تهیه تصاویر بزرگی از یک برج سینی دار و آکنده جهت تدریس :

دو شکل ۵-۱۱ و ۶-۱۱ کتاب درسی برای تدریس هفته آینده مرجع خوبی هستند. از هنرجویان خواسته شود تصاویر بزرگ این دو شکل را داوطلبانه تهیه کنند. آنها می توانند این دو شکل را به صورت دستی یا با دستگاه کپی در ابعاد بزرگ تهیه کنند و به کلاس درس بیاورند و امتیاز بگیرند. برای این فعالیت دو هنرجو کافی است.

فعالیت

تهیه تصاویر از سایت های اینترنتی :

هنرآموز محترم با آموزش کلمات کلیدی، مانند

Tray Towers – Packing Towers – Packings – Trays

و روش تحقیق در سایت ها، از هنرجویان بخواهند تصاویری از این وسایل تهیه کنند و به صورت مجموعه درآورند و ارائه دهند و امتیاز کسب کنند. برای این کار نیاز به گروه بندی هنرجویان است که به انتخاب خودشان، انجام می شود.

برنامه زمان بندی هفته بیست و هشتم			دقیقه
۱	آماده کردن کلاس (احوالپرسی، حضور و غیاب)	۵	
۲	رفع اشکال	۱۰	
۳	پرسش	۳۰	
۴	تدریس	۸۰	
۵	استراحت میان تدریس (دو نوبت)	۱۰	

سوالات پیشنهادی

- ۱- تقطیر را تعریف کنید.
- ۲- عمل تقطیر برای جداسازی چه نوع مخلوط‌هایی است؟ مثال بزنید.
- ۳- در چه مواردی امکان استفاده از عمل تقطیر وجود دارد؟
- ۴- متداول‌ترین و مهم‌ترین عمل در میان عملیات جداسازی، چیست؟
- ۵- تقطیر براساس دو فرآیند فیزیکی انجام می‌شود، آنها را نام ببرید.
- ۶- دلیل جدا شدن مواد در فرآیند تقطیر چیست؟
- ۷- چهار خصوصیت برای «جزء سبک» در تقطیر ذکر کنید.
- ۸- چهار خصوصیت برای «جزء سنگین» در تقطیر ذکر کنید.
- ۹- «قابلیت تبخیر یا فراریت» چیست؟
- ۱۰- اگر مخلوطی از پنتان و هگزان داشته باشیم، مقدار کدامیک در محصول بالای برج بیشتر است؟ چرا؟
- ۱۱- در چه صورت بازده عمل تقطیر بالاتر است؟
- ۱۲- انواع تقطیر را نام ببرید.
- ۱۳- مختصراً توضیح دهید «تقطیر ساده» چگونه انجام می‌شود.
- ۱۴- تجهیزات لازم برای انجام یک «تقطیر ساده» را نام ببرید.
- ۱۵- آیا در تقطیر ساده، امکان تولید محصولات به صورت خالص وجود دارد؟ توضیح دهید.
- ۱۶- هدف اصلی از «تقطیر ساده» چیست؟
- ۱۷- تقطیر ساده از نظر عملیاتی، چگونه انجام می‌شود؟
- ۱۸- دلیل اصلی خالص نبودن محصولات در تقطیر ساده، چیست؟
- ۱۹- «تبخیر ناگهانی» را مختصراً توضیح دهید.
- ۲۰- «تبخیر ناگهانی» و تقطیر ساده را از نظر شرایط عملیاتی فشار و دما و درجه خلوص محصولات مقایسه کنید.

- ۲۱- برای رسیدن به درجه خلوص بالا در تقطیر، چه نوع تقطیری پیشنهاد می‌کنید؟
- ۲۲- «نفت خام با دمای 44°K و فشار 900 kPa وارد یک مخزن لوله‌ای می‌شود و در دمای 520 K و فشار 400 kPa آن را ترک می‌کند و وارد برج تقطیر می‌شود.» مشخص کنید :
اولاً به نظر شما در این مخزن لوله‌ای چه دستگاه‌هایی وجود دارد؟
ثانیاً این فرآیند، چه نوع تقطیری را نشان می‌دهد؟
- ۲۳- چرا سرعت «تبخیر ناگهانی» از تقطیر ساده بیشتر است؟
- ۲۴- در تقطیر جزء به جزء ناپیوسته، زمان چگونه و بر چه اساسی تعیین می‌شود؟
- ۲۵- در تقطیر جزء به جزء ناپیوسته، ترکیب محصولات بالای برج به چه عواملی بستگی دارد؟
- ۲۶- در تقطیر جزء به جزء، چرا بخشی از محصول به برج بازگشت داده می‌شود؟
- ۲۷- در تقطیر جزء به جزء، بالاترین درصد خلوص برای محصول بالای برج چه زمانی است؟ و با ادامه کار برج این درصد چگونه تغییر می‌کند؟ چرا؟
- ۲۸- در تقطیر ناپیوسته، عامل مهمی که در خلوص محصول نقش دارد، چیست؟
- ۲۹- تجهیزات یک ستون تقطیر را نام ببرید.
- ۳۰- «مایع برگشتی» چیست؟
- ۳۱- گرمادهی در ستون تقطیر چگونه انجام می‌شود؟
- ۳۲- نقش هر سینی در ستون تقطیر چیست؟
- ۳۳- در ستون تقطیر، بخار که به طرف بالای برج حرکت می‌کند و به عکس مایع برگشتی از بالای برج با پایین آمدن می‌شود.
- ۳۴- در ستون تقطیر، خوراک از چه قسمتی به برج وارد می‌شود؟ چرا؟
- ۳۵- بخش «تصفیه» و «عاری‌سازی» را در یک ستون تقطیر مشخص کنید.
- ۳۶- از نظر عملیاتی، کدام نوع تقطیر ارجح است؟ چرا؟
- ۳۷- از نظر فشار عملیاتی، برج‌های تقطیر چگونه می‌توانند کار کنند؟ اقتصادی‌ترین روش کدام است؟ در چه مواردی نمی‌توان با این روش کار کرد؟
- ۳۸- خوراک‌های سنگین در چه فشاری تقطیر می‌شوند؟ چرا؟
- ۳۹- چرا خوراک‌های سنگین را نمی‌توان در فشار اتمسفری تقطیر کرد؟
- ۴۰- خوراک‌های سبک در چه فشاری تقطیر می‌شوند؟ چرا؟
- ۴۱- چرا خوراک‌های سبک را نمی‌توان در فشار اتمسفری تقطیر کرد؟
- ۴۲- خوراک‌های سنگین را در فشار و خوراک‌های سبک را در فشار تقطیر می‌کنند.
- ۴۳- برای جدا کردن برش روغن از نفت خام از برج تقطیر در استفاده می‌کنند.
- ۴۴- برای جدا کردن پروپان از بوتان از برج تقطیر در استفاده می‌کنند.
- ۴۵- رابطه فشار و نقطه جوش مواد چیست؟

پاسخ برخی از سؤالات پیشنهادی

پاسخ سؤال (۷): نقطه جوش پایین‌تر، فشار بخار بالاتر، مولکول‌های کوچک‌تر، قابلیت تبخیر (فشاریت)

بیشتر

یادآوری می‌شود خصوصیات جزء سنگین، که مورد سؤال (۸) است، در همه موارد وضعیت عکس دارد. پاسخ سؤال (۱۱): هر چه اختلاف نقطه جوش اجزا نسبت به هم، بیشتر باشد یا به عبارت دیگر، فشاریت نسبی اجزا نسبت به هم بیشتر باشد، درجه خلوص محصولات بیشتر و در نتیجه بازده تقطیر و کارایی آن بالاتر است. پاسخ سؤال (۱۴): تجهیزات لازم برای یک عمل تقطیر ساده عبارت‌اند از:

۱- مخزن خوراک ۲- سیستم گرمایشی مانند ژاکت حرارتی ۳- مبرد

پاسخ سؤال (۱۶): چون تقطیر ساده یک تقطیر یک مرحله‌ای است پس نباید از محصولات درجه خلوص بالا را انتظار داشت مگر اینکه اختلاف فشاریت اجزا نسبت به هم خیلی زیاد باشد. به طور کلی هدف اصلی از تقطیر ساده، تبدیل خوراک به اجزای سبک و سنگین است. به طور مثال در بسیاری از پالایشگاه‌های مجهز و معتبر، ابتدا نفت خام را با یک تقطیر ساده در فشار بالا، تقطیر می‌کنند تا اجزای سبک کاملاً از اجزای سنگین جدا شده و از بالای برج خارج شوند. سپس، بر روی هر کدام در فشارهای مناسب تقطیر مجدد انجام می‌دهند.

پاسخ سؤال (۲۰): از نظر فشار و دما، تبخیر ناگهانی با تقطیر ساده تفاوت دارد. در تبخیر یا تقطیر ناگهانی، با کاهش فشار و افزایش دما (نسبت به تقطیر ساده) خوراک را قبل از ورود به مخزن تقطیر، دو فازی می‌کنند تا به محض ورود، با سرعت بالا دو فاز از هم جدا شود. در نتیجه، از نظر سرعت انجام تفکیک نیز با هم تفاوت دارند که از این نظر تبخیر ناگهانی ارجح است. از نظر نوع عملیات، تبخیر ناگهانی معمولاً به صورت پیوسته انجام می‌شود، درحالی‌که تقطیر ساده را هم به صورت پیوسته و هم ناپیوسته می‌توان انجام داد.

از نظر درجه خلوص، چون هر دو یک مرحله‌ای هستند درجه خلوص بالایی ندارند.

پاسخ سؤال (۲۲): به طور طبیعی چون خوراک پس از خروج از مخزن لوله‌ای، به کاهش فشار و افزایش دما دچار می‌شود می‌توان حدس زد که در این مخزن به اصطلاح لوله‌ای کوره یا مبدل حرارتی جهت افزایش دما و مثلاً شیر فشار شکنی برای کاهش فشار وجود دارد.

نوع تقطیر: تقطیر ناگهانی

هنرآموز محترم می‌تواند از اعداد دیگری برای مطرح کردن این سؤال استفاده کند.

پاسخ سؤال (۲۴): در این نوع تقطیر، مدت عملیات را براساس درصد مورد انتظار جزء سبک در فاز بخار یا فاز مایع تعیین می‌کنند.

پاسخ سؤال (۲۶): به دلایل زیر، بخشی از محصول بالای برج به برج بازگشت داده می‌شود، که به نام «مایع برگشتی»^۱ معروف است:

۱- تأمین مایع روی سینی‌ها جهت خشک نشدن آنها

۲- تنظیم دمای برج

۳- دست یابی به درجه خلوص بالاتر

۴- ایجاد حالت پایدار^۱ برای برج

پاسخ سؤال (۲۹) :

۱- بدنه فلزی استوانه‌ای شکل

۲- سینی‌های سوراخ‌دار (یا آکنه‌ها)

۳- دستگاه جوش‌آور^۲ برای تأمین بخار آب

۴- کندانسور جهت میعان بخار خروجی از بالای برج

پاسخ سؤال (۳۱) : خوراک پس از عبور از یک کوره یا مبدل حرارتی به دمای لازم می‌رسد و به برج وارد می‌شود. در طول تقطیر ممکن است از بخار آب جهت تأمین حرارت استفاده شود.

پاسخ سؤال (۳۳) : سبک‌تر - سنگین‌تر

پاسخ سؤال (۳۴) : معمولاً خوراک در برج به جایی وارد می‌شود که جریان مایع یا بخار داخل برج تقریباً دارای همان ترکیب خوراک باشد و این عمل در حقیقت یک صرفه‌جویی در میزان انرژی است. (در مقایسه با اینکه خوراک از پایین وارد برج شود که در این صورت انرژی حرارتی بیشتری مورد نیاز است).

ادامه تدریس فصل یازدهم

عناوین و مطالبی که در این هفته تدریس می‌شوند، عبارت‌اند از :

- تقسیم‌بندی برج‌های تقطیر از نظر نوع عملیات

- تقسیم‌بندی برج‌های تقطیر از نظر ساختمان داخلی

- ساختمان و عملکرد برج تقطیر سینی‌دار^۳؛

- شکل برج و جنس آن

- شکل سینی‌ها

- سرریز یا بند

- ناودان

- چگونگی نصب سینی‌ها در برج (نحوه جریان مایع بر روی سینی‌ها)

- فاصله بین سینی‌ها

- نقش سینی‌ها

- محل ورود خوراک و خروج محصولات

- عملکرد برج

- انواع سینی‌ها و مقایسه آنها از جهات مختلف

- برج‌های تقطیر، از نظر نوع عملیات، به دو دسته پیوسته و ناپیوسته تقسیم می‌شوند.

۱- Steady State

۲- Reboiler

۳- تدریس برج تقطیر سینی‌دار، با استفاده از شکل‌های (۱۱-۶) الی (۱۱-۱۵) کتاب درسی عملیات دستگاهی، انجام می‌شود.

– برج‌های تقطیر سینی‌دار جهت انجام سه فرآیند جداسازی تقطیر، جذب^۱ و استخراج، در واحدهای صنعتی مورد استفاده قرار می‌گیرند.

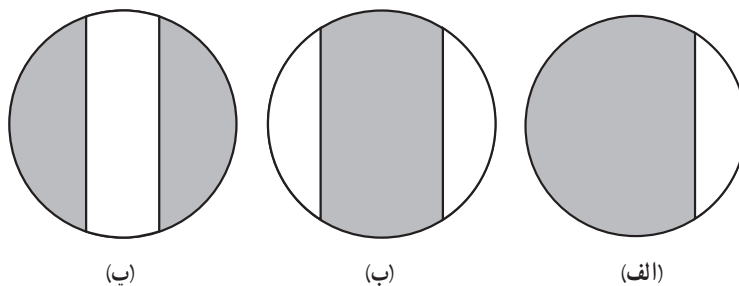
در شکل ۱۱-۳، تعدادی برج تقطیر سینی‌دار در یک واحد صنعتی مشاهده می‌شود :



شکل ۱۱-۳- برج‌های تقطیر سینی‌دار

– تدریس قسمت‌های داخلی برج‌های سینی‌دار و عملکرد آنها، با استفاده از شکل‌های مربوطه انجام می‌شود^۲.

– در رابطه با شکل سینی‌ها : همیشه قطر فعال^۳ سینی‌ها، کمتر از قطر برج می‌باشد زیرا جهت حرکت مایع در برج، فضایی در نظر گرفته می‌شود که به «ناودان» معروف است، این فضا، براساس میزان جریان مایع نسبت به بخار، به شکل‌های مختلفی طراحی می‌شود. شکل ۱۱-۴، نمای بالای یک سینی را با طرح‌های مختلفی از ناودان، نشان می‌دهد :



شکل ۱۱-۴- طراحی ناودان بر روی سینی‌ها

شکل ۱۱-۴- الف، جهت جریان‌های متوسط مایع و بخار است. نحوه جریان مایع بر روی این سینی‌ها، «مقاطع^۴» نام دارد. در جریان‌های بالا، یک ناودان کفایت نمی‌کند و معمولاً دو نوع (ب) و (پ) را به صورت یک در میان، به کار می‌برند و به آن «جریان

۱- گفتنی است شکل (۱۱-۶) کتاب درسی عملیات دستگاهی، برج سینی‌داری را نشان می‌دهد که جهت انجام یک فرآیند جذب گازی، مورد استفاده قرار گرفته است.

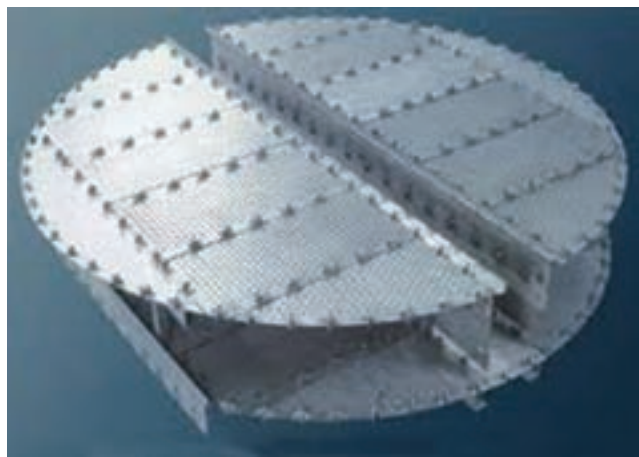
۲- شکل‌های (۱۱-۵) الی (۱۱-۱۵)، همچنین تصویر بزرگ شده شکل‌های (۱۱-۵) و (۱۱-۶) کتاب که به صورت فعالیت، مطرح شده بود نیز می‌توانند مورد استفاده قرار

گیرند.

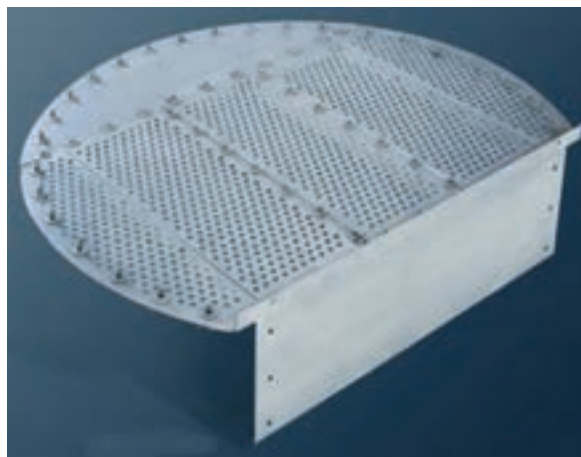
۳- منظور از قطر فعال سینی، قسمتی از سینی است که جهت عبور بخار و تماس دوفاز مایع و بخار در نظر گرفته می‌شود.

۴- Cross Flow (Single Pass Flow)

دوگذره^۱ می‌گویند. این دو نوع جریان مایع بر روی سینی‌ها، در شکل‌های ۵-۱۱ و ۶-۱۱ مشاهده می‌شود.



شکل ۶-۱۱- جریان دوگذره



شکل ۵-۱۱- سینی تک گذره (جریان متقاطع)

— معرفی انواع سینی‌ها : جهت سهولت در فرآیند یاددهی و یادگیری این بخش، با توجه به تصاویر هر کدام از سینی‌ها، خصوصیات آنها با عنوان مزایا و معایب بیان می‌شوند. به این ترتیب مقایسه‌ای بین سینی‌های مختلف نیز انجام شده است، برای مثال؛



شکل ۷-۱۱- سینی غربالی

خصوصیات سینی‌های غربالی^۲؛ (شکل ۷-۱۱)

مزایا :

- ۱- ساخت ساده و ارزان
- ۲- مقاوم در برابر گرفتگی (قابل استفاده برای مایعات رسوب‌زا یا دارای جامدات معلق)
- ۳- افت فشار کم
- ۴- تعمیرات و نظافت آسان

معایب :

- ۱- انعطاف پذیری کم در برابر تغییرات جریان مایع و بخار (فقط برای جریان‌های ثابت قابل استفاده هستند).
 - ۲- سطح تماس کم دو فاز مایع و بخار
- به روش مشابه، خصوصیات سینی‌های دریچه‌ای^۳ و کلاهکی^۴ بیان می‌شوند. در شکل‌های ۸-۱۱ و ۹-۱۱ به ترتیب نمایی از سینی‌های دریچه‌ای و کلاهکی مشاهده می‌شوند.

۱ _ Double Pass Flow

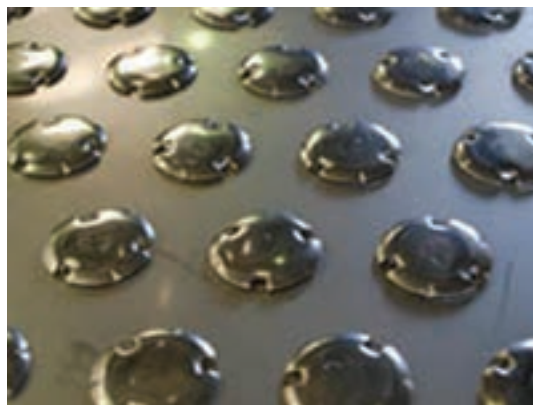
۲ _ Sieve Trays

۳ _ Valve Trays

۴ _ Bubble – Cap Trays



شکل ۱۱-۹- سینی کلاهی



شکل ۱۱-۸- سینی دریچه‌ای

ساده‌ترین نوع سینی، سینی غربالی است. روی این سینی‌ها، سوراخ‌هایی جهت عبور بخار به سمت بالا وجود دارد که به آنها «بالا برنده بخار» می‌گویند. به منظور ایجاد شرایط مناسب‌تر جهت توزیع بخار در مایع و تماس بیشتر این دو فاز، کلاهک‌ها یا دریچه‌هایی روی سوراخ‌ها نصب می‌شوند.

در مقایسه، می‌توان سینی‌های دریچه‌ای را بهترین سینی معرفی و انتخاب کرد، زیرا سطح تماس نسبتاً زیاد، افت فشار نسبتاً کم، قابلیت استفاده در شدت جریان‌های متغیر مایع و بخار و قیمت نسبتاً مناسب دارند.

— ذکر این نکته ضروری است که قسمت‌های مختلف یک برج سینی‌دار، همه براساس محاسبات دقیق و هدفمند طراحی می‌شوند، برای مثال؛

ارتفاع بند یا سرریز، که باید در حد بهینه باشد زیرا بلند بودن آن باعث افت فشار زیاد فاز بخار می‌شود و کوتاه بودن آن، مانع از تماس لازم دو فاز مایع و بخار بر روی سینی‌ها می‌شود و در نتیجه فرصت کافی جهت انتقال حرارت و انتقال جرم، وجود ندارد و بازده برج کاهش می‌یابد. و یا تعیین تعداد سینی‌های لازم و محل ورود خوراک به برج، مثالی دیگر است که با روش‌های مختلف محاسبه می‌شوند.^۲

— در رابطه با فواصل بین سینی‌ها : تعیین فاصله بین سینی‌ها از اهمیت بالایی برخوردار است، به دلایل زیر :

۱- در اثر فشار بخار، مقداری از قطرات مایع به زیر سینی بالاتر حمل می‌شود، فاصله مناسب بین سینی‌ها، به این قطرات فرصت بازگشت می‌دهد.

۲- در اثر انتقال حرارت از بخار به مایع روی سینی‌ها، ممکن است بعضی از مولکول‌های مایع که متعلق به سینی‌های بالاتر نیستند، نیز تبدیل به بخار شوند، فاصله بین سینی‌ها موجب می‌شود که این گونه مولکول‌ها دوباره به مایع تبدیل شوند و به پایین برج برگردند و در سینی مخصوص خود قرار گیرند.

۳- در فواصل بین سینی‌ها از دریچه‌های آدمرو، برای تعمیرات استفاده می‌شود.

۲- دو روش برای محاسبه تعداد سینی‌های ایده‌آل و محل ورود خوراک وجود دارد :

الف) روش تقریبی و سریع مک کیب – تیل (McCabe – Thiele)

ب) روش دقیق پانچون – ساواریت (Panchon – Savarit)

هنر آموزان برای کسب اطلاعات بیشتر می‌توانند به کتاب عملیات واحدها (unit operation) اثر McCabe – Smith مراجعه کنند (فصل ۱۹).

دانستنی (۲)

واحد تقطیر: به طور کلی در هر واحد تقطیر، سه دستگاه اصلی مشاهده می‌شود:

ستون تقطیر^۱، جوش‌آور^۲، کندانسور^۳

این سه دستگاه در ارتباط با یکدیگر کار می‌کنند، به طوری که اختلال در کار هر کدام اثر نامطلوبی بر بازده واحد می‌گذارد.

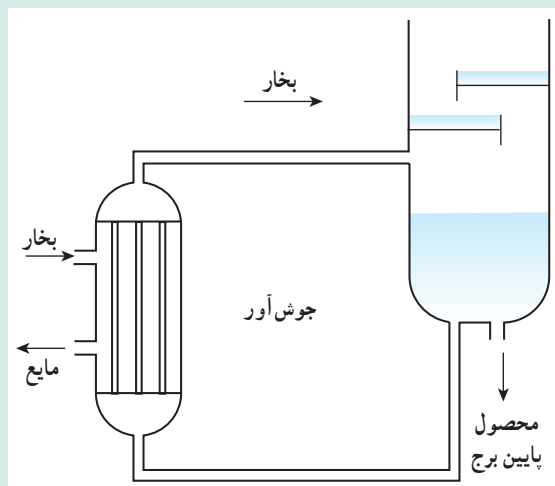
در ستون‌های تقطیر تعدادی سینی یا آکنه جهت تماس فازهای مایع و بخار وجود دارد. در یک برج تقطیر سینی‌دار، جریان مایع و بخار به صورت غیر همسو حرکت کرده و روی سینی‌ها با هم انتقال حرارت و انتقال جرم انجام می‌دهند. هر سینی یک مرحله تقطیر تلقی می‌شود.

در آغاز عملیات^۴، همه خروجی محصول بالای برج بعد از عبور از کندانسور به صورت مایع به بالاترین سینی برگردانده می‌شود^۵ ولی بعد از مدتی که برج به حالتی^۶ می‌رسد که هر جزء در سینی مخصوص خود قرار می‌گیرد، فقط بخشی از آن به نام مایع برگشتی به برج برگردانده می‌شود که در درجه خلوص محصول بالای برج، نقش مؤثری دارد. مایع برگشتی در حقیقت موجب مایع شدن قسمتی از بخارات بالای برج می‌شود و در نتیجه اجزای غیر فرّار سریع‌تر به مایع تبدیل می‌شوند و به پایین می‌ریزند و غلظت اجزای فرّار در محصول بالای برج افزایش می‌یابد.

جوش‌آور: جوش‌آورها، مبدل‌های حرارتی و در واقع منبع تأمین انرژی حرارتی هستند که در قسمت پایین برج تقطیر قرار دارند. مایع خروجی از برج، به جوش‌آور وارد می‌شود و در اثر تماس غیر مستقیم با بخار آب یا روغن داغ،

مجدداً تبخیر نسبی می‌شود. بخار حاصل وارد برج می‌شود و مایع باقی مانده به صورت محصول پایین برج تقطیر، جمع‌آوری می‌گردد. طرح یک نوع جوش‌آور در شکل ۱۱-۱۰ مشاهده می‌شود^۷.

کندانسور: کندانسور یک مبدل حرارتی است که در بالای برج تقطیر جهت مایع بخار خروجی از برج، استفاده می‌شود. سیال سرد می‌تواند آب یا هوای سرد باشد.



شکل ۱۱-۱۰ - یک نوع جوش‌آور

۱- Distillation Column

۲- Reboiler

۳- Condensor

۴- Start up

۵- Total Reflux

۶- Steady state

۷- جوش‌آورها به طرق مختلف در واحد تقطیر مورد استفاده قرار می‌گیرند. نوعی از آنها به صورت لوله‌های حاوی بخار درون مخزن است که مایع خروجی از برج در آن قرار

دارد. شکل از کتاب «آشنایی با مهندسی شیمی» تألیف مختاریان و محمد نصیری انتخاب شده است.

دانستنی (۳)

عوامل مؤثر در بازده تفکیک :

۱- سطح تماس دو فاز : هر چه سطح تماس دو فاز بیشتر باشد انتقال جرم، که عامل تفکیک است، بیشتر انجام می‌شود. افزایش سطح تماس از دو طریق کلی محقق می‌شود :

الف) کوچک کردن اندازه حباب‌های بخار (گاز)

ب) استفاده از برج‌های آکنده

۲- زمان تماس دو فاز : هر چه زمان تماس دو فاز بیشتر باشد، بازده تفکیک بیشتر می‌شود. افزایش زمان تماس به طرق زیر امکان پذیر است :

الف) در برج‌های سینی‌دار، حتی‌المقدور ارتفاع مایع روی سینی‌ها زیاد باشد.

ب) در برج‌های آکنده، تخلخل آکنه‌ها در این امر مؤثر است.

۳- سرعت حرکت حباب‌های بخار (گاز) : افزایش سرعت حرکت حباب‌های بخار در فاز مایع، به هم خوردگی را بیشتر می‌کند و در نتیجه انتقال جرم مؤثرتر می‌شود.

۴- افت فشار : افت فشار در برج‌ها بسیار مسئله ساز و ناشی از حرکت رو به بالای سیالات است. مثلاً در برج‌های تقطیر عبور بخار از سینی‌ها و ارتفاع مایع روی آنها یا از میان آکنه‌ها، افت فشار ایجاد می‌کند که باعث بروز مشکلاتی در کار برج خواهد شد که بیشتر متوجه مصرف انرژی است. در اثر افت فشار زیاد، فشار در پایین برج بالا می‌رود و در نتیجه نقطه جوش اجزا نیز بالا می‌رود و برای تقطیر، به انرژی حرارتی بیشتری نیاز است که در این صورت ممکن است به تجزیه شیمیایی و تغییر خواص مواد منجر گردد.

در کل، هر چه مسیر عبور بخار باریک‌تر و ارتفاع مایع روی سینی‌ها بیشتر یا تخلخل آکنه‌ها بیش از حد لازم باشد افت فشار بیشتر خواهد بود.

به منظور اطمینان از عملکرد برج، در نقاط مختلف آن فشارسنج، دماسنج و شیرهای نمونه‌گیری نصب می‌کنند.

برنامه زمان بندی هفته بیست و نهم			دقیقه
۱	آماده کردن کلاس (احوالپرسی، حضور و غیاب)	۵	
۲	رفع اشکال	۱۰	
۳	پرسش	۳۰	
۴	تدریس	۸۰	
۵	استراحت میان تدریس (دو نوبت)	۱۰	

سؤالات پیشنهادی

- ۱- برج های تقطیر براساس ساختمان داخلی شان، به چند دسته تقسیم می شوند، آنها را نام ببرید.
- ۲- شکل و جنس برج های سینی دار به چه صورت است؟
- ۳- در یک برج تقطیر سینی دار، نقش ناودان و سرریز را تعریف کنید.
- ۴- در یک برج تقطیر سینی دار، حرکت مایع و بخار چگونه است؟ و روی هر سینی چگونه تفکیک صورت می گیرد؟
- ۵- مایعی که از هر سینی سرریز می شود به صورت است.
- ۶- به چه دلیل فاصله سینی ها باید به اندازه کافی باشد؟
- ۷- رابطه قطر برج و فاصله سینی ها چگونه است؟
- ۸- نحوه جریان مایع بر روی سینی ها به چه عاملی بستگی دارد؟
- ۹- به چند صورت مایع بر روی سینی ها جریان می یابد؟ نام ببرید.
- ۱۰- برای جریان های متوسط مایع و گاز، مایع به چه صورت روی سینی ها حرکت می کند؟
- ۱۱- برای جریان های بالای مایع، نحوه حرکت مایع روی سینی ها چگونه است؟
- ۱۲- در برج های با قطر بزرگ، نحوه جریان مایع بر روی سینی چگونه است؟
- ۱۳- انواع سینی های مورد استفاده در برج های تقطیر را نام ببرید.
- ۱۴- خصوصیات (معايب و مزایا) سینی غربالی را بنویسید.
- ۱۵- ساده ترین و ارزان ترین نوع سینی کدام است؟
- ۱۶- سینی ها را از نظر قیمت از پایین به بالا، ردیف کنید.
- ۱۷- کدام یک از سینی ها در برابر گرفتگی، مقاوم هستند؟
- ۱۸- برای جریان ثابت مایع و بخار، کدام سینی مناسب تر است؟
- ۱۹- یک سینی غربالی را چگونه می سازند؟

- ۲۰- قطر سوراخ‌ها در سینی‌های دریچه‌ای از قطر آنها سینی‌های غربالی است.
- ۲۱- عملکرد دریچه‌ها در سینی‌های دریچه‌ای چگونه است؟
- ۲۲- معایب سینی دریچه‌ای را نسبت به غربالی نام ببرید.
- ۲۳- انعطاف پذیری سینی‌های دریچه‌ای را با سینی‌های غربالی مقایسه کنید.
- ۲۴- کدامیک برای جریان‌های متغیر مایع و بخار کاربرد دارد؟ دریچه‌ای - غربالی
- ۲۵- دو نمونه از انواع سینی‌های دریچه‌ای را نام ببرید.
- ۲۶- دو نوع سینی را که برای جریان‌های متغیر مایع و بخار کاربرد دارند، نام ببرید.
- ۲۷- قابلیت انعطاف سینی‌های کلاهکی در برابر تغییر جریان خوراک است.
- ۲۸- به چه دلیل امروزه، استفاده از سینی‌های کلاهکی منسوخ شده است؟

پاسخ سوالات پیشنهادی

پاسخ همهٔ سوالات در متن کتاب وجود دارد پس نیازی به تکرار آنها نیست.

ادامهٔ تدریس فصل یازدهم

عناوین و مطالبی که در این هفته تدریس می‌شوند، عبارت‌اند از:

- معرفی برج‌های آکنده
- کاربردهای برج‌های آکنده در فرآیندهای مختلف صنایع شیمیایی
- مورد استفاده قرار دادن یا ندادن برج‌های آکنده به جای سینی‌دار
- ساختمان و عملکرد برج تقطیر آکنده^۱
- نقش آکنده‌ها
- نحوهٔ چیدمان آکنده‌ها در برج
- کاربرد صفحات نگهدارنده
- انواع آکنده‌ها
- خصوصیات آکندهٔ مناسب
- خصوصیات مواد جامد خرد شده
- خصوصیات آکنده‌های شکل داده شده
- انواع متداول آکنده‌های شکل داده شده
- خصوصیات آکنده‌های شکل داده شدهٔ سرامیکی
- مواردی که تحت تأثیر اندازهٔ آکنده‌ها هستند
- خصوصیات آکندهٔ منظم
- مقایسهٔ انواع آکنده‌ها

— میزان انتقال جرم^۱ بین فازها، در برج‌های آکنده^۲ بیشتر از برج‌های سینی‌دار است زیرا :
 آکنه‌ها^۳ به سبب شکل خاصی^۴ که دارند، سطح و زمان تماس بیشتری را در اختیار فازها قرار می‌دهند. ولی به همین دلیل، میزان افت فشار فاز بخار نیز، بیشتر می‌شود که با انتخاب آکنه‌های مناسب، می‌توان مقدار آن را در حد قابل ملاحظه‌ای کاهش داد.
 — خصوصیات آکنه مناسب^۵ :

- سطح زیاد و قابل دسترس
- وزن کم
- مقاومت مکانیکی بالا
- مقاومت شیمیایی بالا
- مقاوم در برابر خوردگی
- ایجاد افت فشار کم
- قیمت مناسب

دانستنی (۴)

— آکنه‌ها از جهات مختلف از جمله شکل، جنس، عملکرد، کاربرد، چیدمان در برج و ... دسته‌بندی می‌شوند.

آکنه‌ها به دو دسته کلی تقسیم‌بندی می‌شوند :

۱- آکنه‌های نامنظم ۲- آکنه‌های منظم

۱- آکنه نامنظم : رایج‌ترین و پرکاربردترین نوع آکنه، آکنه‌های نامنظم هستند، که ممکن است به جهت محدودیت مالی، از ضایعات بعضی کارخانه‌ها تهیه شوند یا در شکل‌های مختلف با طراحی‌های حساب شده از نظر میزان سطح تماس و افت فشار، ساخته شوند که طبعاً قیمت بالاتری دارند. معمولاً نحوه چیدمان این گونه آکنه‌ها در برج، نامنظم است.

دسته‌بندی آکنه‌ها از نظر جنس و کاربرد : سرامیکی، پلاستیکی و فلزی

۱- آکنه‌های نامنظم سرامیکی؛ خصوصیات

— مقاوم در برابر خوردگی (قابل استفاده در محیط‌های اسیدی و قلیایی)

— مقاومت مکانیکی پایین (شکننده)

— مقاومت شیمیایی بالا

— ایجاد افت فشار بالا

— قابلیت ترشوندگی مناسب

۱- عامل اصلی جداسازی مواد از یکدیگر، انتقال جرم آنها بین فازهاست.

۲- یا برج‌های پر شده

۳- یا پرکن‌ها

۴- معمولاً آکنه‌ها را متخلخل می‌سازند تا سطح گسترده‌ای را جهت تماس بیشتر ایجاد کنند.

۵- در انتخاب آکنه‌ها، باید به این خصوصیات توجه کرد.



شکل ۱۱-۱۱- آکنه‌های نامنظم سرامیکی

– قابل استفاده در دماهای بالا
تعدادی از آکنه‌های نامنظم سرامیکی، در شکل ۱۱-۱۱ مشاهده می‌شود.

۲- آکنه‌های نامنظم پلاستیکی؛ خصوصیات



شکل ۱۱-۱۲- آکنه‌های نامنظم پلاستیکی

– مقاوم در برابر خوردگی
– مقاومت مکانیکی مناسب
– مقاومت شیمیایی مناسب
– قابلیت ترشوندگی محدود (پلاستیک‌ها آب گریز هستند).
– محدودیت استفاده در دماهای بالا
– شکل پذیری بالا
تعدادی از آکنه‌های نامنظم پلاستیکی در شکل ۱۱-۱۲ مشاهده می‌شود.

۳- آکنه‌های نامنظم فلزی؛ خصوصیات



شکل ۱۱-۱۳- آکنه‌های نامنظم فلزی

– غیر قابل استفاده در محیط‌های خورنده
– مقاومت مکانیکی بالا
– قابل استفاده در دماهای بالا
– قابلیت ترشوندگی مناسب
تعدادی از آکنه‌های نامنظم فلزی در شکل ۱۱-۱۳ مشاهده می‌شود.
در کل، استفاده از آکنه‌های پلاستیکی و فلزی رایج‌تر است. در صورت انتخاب آکنه‌های فلزی، آلیاژی انتخاب می‌شود که مقاومت لازم در محیط‌های خورنده را داشته باشد.

آکنه‌های نامنظم به شکل‌های زیر ساخته می‌شوند :



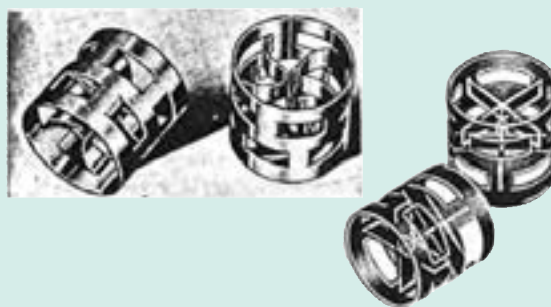
شکل ۱۱-۱۵- آکنه اینتالوکس



شکل ۱۱-۱۴- حلقه‌های راشیگ

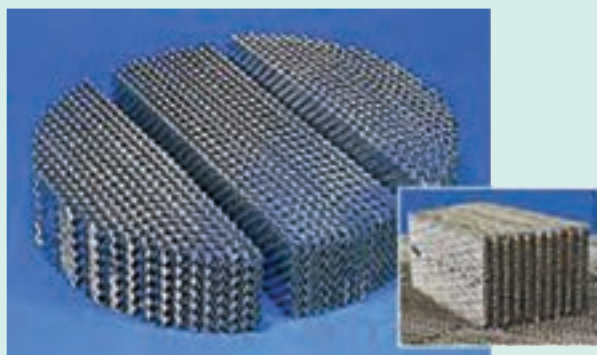


شکل ۱۱-۱۷- آکنه اینتالوکس زین اسبی

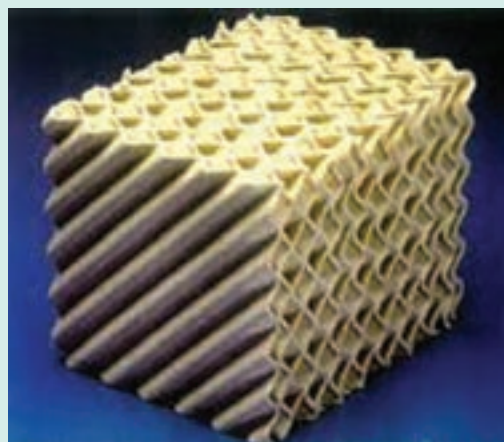


شکل ۱۱-۱۶- حلقه‌های پال

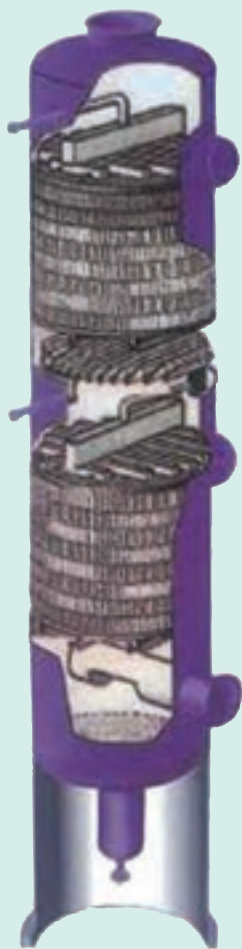
۲- آکنه منظم : شکل‌های ۱۱-۱۸ تا ۱۱-۲۱ تصاویری از آکنه‌های منظم هستند که به دلیل طراحی مناسب، افت فشار کمتر و سطح تماس بیشتر را در برج فراهم می‌سازند و در نتیجه بازدهی را افزایش می‌دهند.



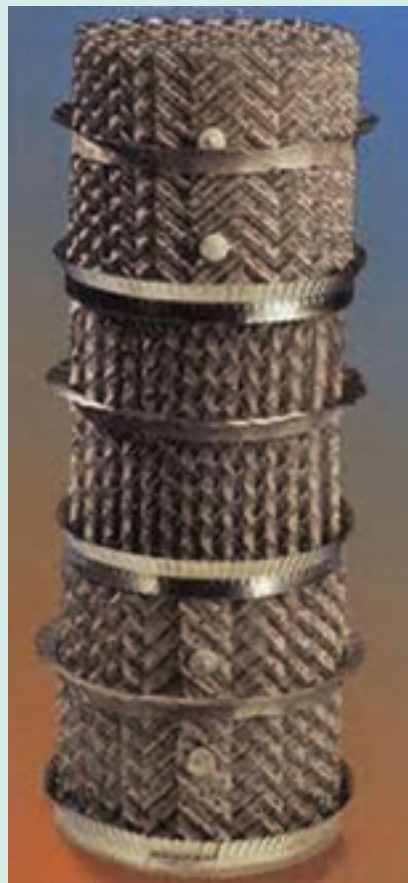
شکل ۱۱-۱۹- آکنه منظم



شکل ۱۱-۱۸- آکنه منظم



شکل ۱۱-۲۱- نمایی از یک برج آکنده



شکل ۱۱-۲۰- آکنه منظم

دانستنی (۵)

اختلال در کار برج تقطیر: کنترل نسبت جریان گاز (بخار) به مایع در برج‌های تقطیر بسیار مهم است، به طوری که اگر این نسبت از یک حدی بیشتر شود، گاز قسمتی از مایع روی سینی‌ها را با خود به سمت سینی‌های بالاتر حمل می‌کند و به مرور فاصله بین سینی‌ها از مایع و کف پر می‌شود که به این پدیده «ماندگی مایع»^۱ می‌گویند و در اثر آن، بازده برج کاهش می‌یابد. برای جلوگیری از بروز این پدیده، سرعت گاز را باید کم کرد. و اگر این نسبت از یک حدی کمتر شود، امکان بارش و ریزش مایع از سوراخ‌های سینی فراهم می‌شود که در این صورت حرکت گاز یا بخار به سمت بالا مختل می‌شود و در نتیجه بازده برج کاهش می‌یابد. نام این پدیده «ریزش»^۲ است و برای کنترل آن، باید سرعت گاز را کاهش داد.

۱- Liquid Entrainment

۲- Wierping

برنامه زمان بندی هفته سیام			دقیقه
۱	آماده کردن کلاس (احوالپرسی، حضور و غیاب)	۵	
۲	رفع اشکال	۱۰	
۳	پرسش	۳۰	
۴	تدریس	۸۰	
۵	استراحت میان تدریس (دو نوبت)	۱۰	

سوالات پیشنهادی

- ۱- برج های آکنده در چه فرآیندهایی استفاده می شوند؟ آنها را نام ببرید.
- ۲- در چه مواردی برج های آکنده جایگزین برج های سینی دار می شوند؟
- ۳- در چه مواردی استفاده از برج های آکنده، توصیه نمی شود؟ چرا؟
- ۴- حرکت مایع و بخار در برج های آکنده چگونه است؟
- ۵- آکنده ها با چه هدفی استفاده می شوند؟
- ۶- سه خصوصیت مهم آکنده ها را ذکر کنید.
- ۷- «صفحات نگه دارنده» به چه منظور در برج های آکنده استفاده می شوند و باید دارای چه خصوصیتی باشند؟
- ۸- دلیل استفاده از «توزیع کننده مایع و گاز» چیست؟ و چه زمانی از «صفحات توزیع کننده میانی» استفاده می کنند؟
- ۹- انواع آکنده ها را نام ببرید.
- ۱۰- خصوصیات «مواد جامد خرد شده» را به عنوان آکنه ذکر کنید (معایب و محاسن).
- ۱۱- چرا «مواد جامد خرد شده» کمتر مورد استفاده قرار می گیرند.
- ۱۲- انواع متداول آکنده های شکل داده شده را نام ببرید.
- ۱۳- کدام یک از آکنده های شکل داده شده، امروزه بیشتر استفاده می شوند؟ چرا؟
- ۱۴- معایب و محاسن آکنده های سرامیکی را بنویسید.
- ۱۵- اندازه آکنده ها، روی چه پارامترهایی از برج اثر دارند؟
- ۱۶- با افزایش اندازه آکنه، هزینه ساخت، افت فشار،
سطح تماس، میزان انتقال جرم و ارتفاع برج خواهد یافت.
- ۱۷- نحوه چیدن مواد جامد خرد شده و آکنده های شکل داده شده در برج چگونه است؟
- ۱۸- دلایل استفاده از آکنده های منظم را بیان کنید.
- ۱۹- ساختمان آکنده های منظم از چه قسمت هایی تشکیل شده اند؟

پاسخ سؤالات پیشنهادی

پاسخ سؤالات مذکور، در متن کتاب موجود است و تنها چند مورد از آنها نیاز به توضیح دارد.

— پاسخ سؤال (۶) :

۱- سطح تماس مناسب ۲- خروج آسان مایع ۳- ایجاد افت فشار کم
پاسخ سؤال (۱۶) : کاهش - کاهش - کاهش - افزایش

ادامه تدریس فصل یازدهم

عناوین و مطالبی که در این هفته تدریس می‌شود، عبارت‌اند از :

- موارد استفاده استخراج به جای تقطیر
- تعریف «استخراج مایع - مایع»
- معرفی اجزای موجود در یک فرآیند استخراج
- تشریح فرآیند استخراج پی در پی (چند مرحله‌ای)
- تعریف جداسازی نسبی، در فرآیند استخراج
- تعریف استخراج دو حلالی یا جزئی
- مشخصات حلال
- انواع برج‌های استخراج (ذکر نام دستگاه‌ها)
- دو عمل موجود در یک مرحله استخراج
- فاکتورهای تعیین کننده تعداد مراحل استخراج
- تشریح هر یک از برج‌های استخراج
- مقایسه عملکرد و بازده برج‌های استخراج

راهنمای تدریس

در آغاز به نظر می‌رسد که یاددهی و یادگیری هشت صفحه در یک هفته برای هنرآموزان و هنرجویان مشکل باشد، ولی با توجه به دانسته‌های قبلی هنرجویان در خصوص این فرآیند و آموزش دو برج سینی‌دار و آکنده در هفته‌های پیش، تدریس مطالب جدید در این مدت زمان امکان پذیر است.

توصیه می‌شود عناوین مطروحه با توجه به متن کتاب تدریس شود. در این قسمت تنها مواردی که نیاز به توضیح بیشتر دارند

بیان می‌شوند :

— بعد از ارائه تعریف فرآیند استخراج با حلال، راجع به اجزای موجود در آن، یعنی خوراک^۱، حلال^۲، فاز استخراج شده^۳ و

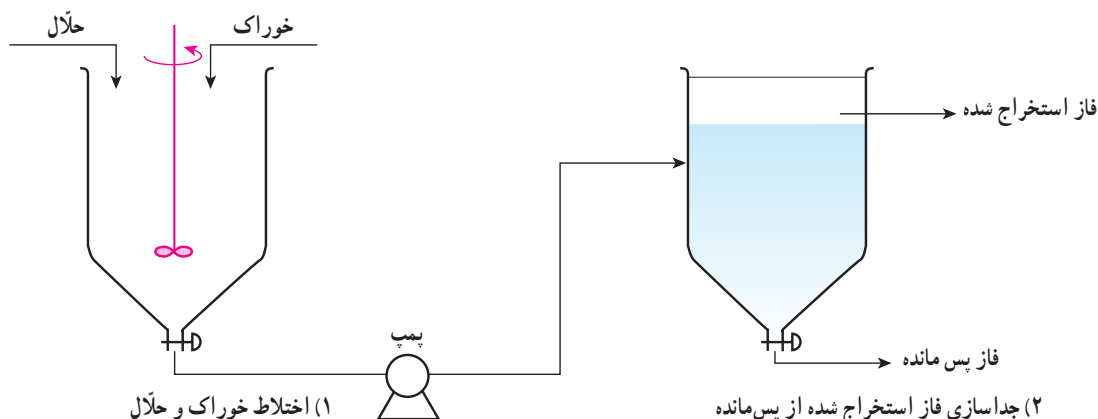
۱- Feed

۲- Solvent

۳- Extract

پس مانده^۱ توضیحاتی داده می‌شود.

برای تشریح عملیات موجود در یک مرحله از فرآیند استخراج، می‌توان یک شکل ساده نیز رسم کرد (مانند شکل ۱۱-۲۲)^۲



شکل ۱۱-۲۲- طرحی از فرآیند استخراج یک مرحله‌ای

در یک فرآیند استخراج یک مرحله‌ای، سه دستگاه اصلی وجود دارد که عبارت‌اند از :

- ۱- مخلوط‌کن^۳ جهت اختلاط خوراک و حلال
- ۲- پمپ برای انتقال مخلوط خوراک و حلال به جداکننده
- ۳- ته‌نشین کننده^۴ که در آن دو فاز نامحلول تشکیل شده به نام‌های «فاز استخراج شده» و «فاز پس مانده»، طی زمان معینی از یکدیگر جدا می‌شوند^۵.

– هدف از انجام فرآیند استخراج پی در پی یا چند مرحله‌ای، افزایش بازده تفکیک جزء مورد نظر از خوراک است. در فرآیند استخراج پی در پی، فاز استخراج شده و پس مانده، هر یک جداگانه به عنوان یک خوراک، عمل استخراج را تکرار می‌کنند تا درصد خلوص جزء مورد نظر در فاز استخراج شده نهایی بالا رود. برای انجام استخراج‌های پی در پی جهت صرفه‌جویی در فضای اشغالی توسط دستگاه‌ها و ایجاد شرایط عملیاتی مناسب از برج‌های سینی‌دار و آکنده استفاده می‌کنند.

– در خصوص مشخصات حلال انتخابی برای یک فرآیند استخراج، توصیه می‌شود مورد (۴)، به صورت جملات زیر بیان گردد :

«هر قدر حلال مصرفی در یکی از اجزای خوراک محلول‌تر و نسبت به بقیه نامحلول‌تر باشد محدوده دوفازی وسیع‌تری را ایجاد می‌کند و...»

– یادآوری می‌شود، در همه برج‌های استخراج، خوراک (مایع سنگین) از بالا و حلال (مایع سبک) از پایین وارد برج می‌شوند

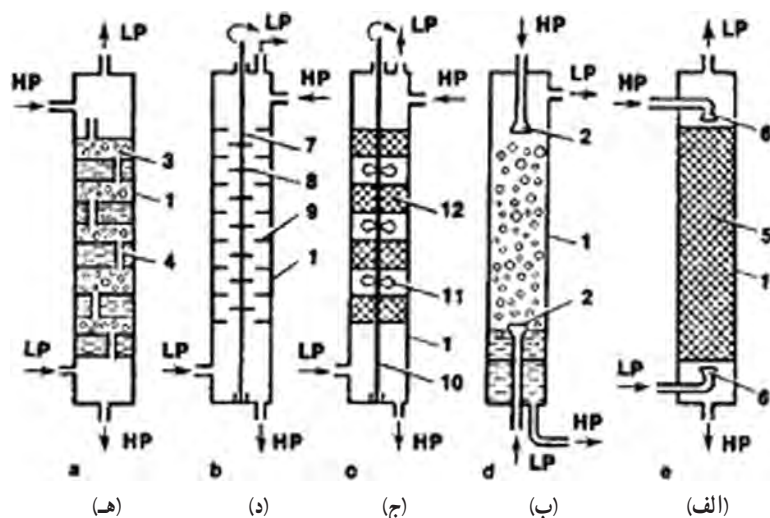
۱- Raffinate

۲- این شکل به نام : «Mixer – settler» معروف است.

۳- Mixer

۴- Settler

۵- هنرجویان در سال دوم در آزمایشگاه شیمی آلی، از یک قیف دکانتور جهت تفکیک دو فاز نامحلول استفاده کرده‌اند.



شکل ۱۱-۲۳- انواع برج‌های استخراج

و حرکت آنها در درون برج، به دلیل اختلاف چگالی است. در پایان عمل استخراج، فاز استخراج شده در بالای برج و فاز پس مانده در پایین آن جمع‌آوری می‌گردد.

شکل ۱۱-۲۳ انواع برج‌های استخراج

را نشان می‌دهد:

در شکل ۱۱-۲۳ برج‌ها به شرح زیر

معرفی می‌گردند:

(الف) برج استخراج آکنده^۱

(ب) برج پاششی^۲

(ج) مخلوط‌کن ته‌نشین کننده^۳

(د) استخراج کننده با همزن مکانیکی^۴

(ه) برج استخراج سینی دار^۵

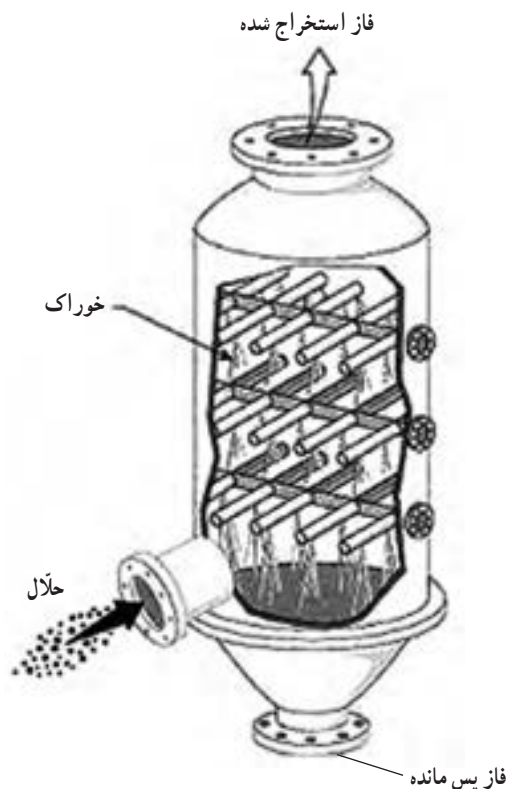
— مقایسهٔ برج‌های استخراج :

۱- برج پاششی: ساده‌ترین دستگاه استخراج است که در آن خوراک

توسط توزیع کننده‌هایی در برج پخش می‌شود. این برج به دلیل اختلاط

نامطلوب، بازده بسیار پایینی دارد و کم استفاده می‌شود. در شکل ۱۱-۲۴

یک نوع برج پاششی مشاهده می‌شود.



شکل ۱۱-۲۴- برج پاششی استخراج

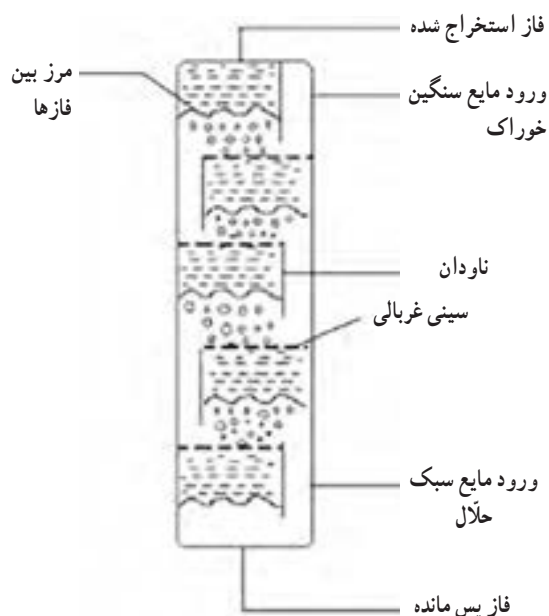
۱- Packing Tower Extractor

۲- Spray Tower Extractor

۳- Mixer settler Extractor

۴- Mechanically Agitated Extractor

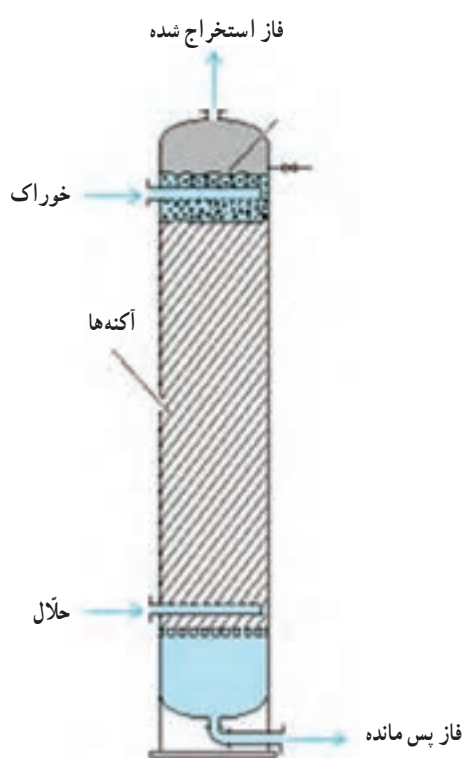
۵- Tray Tower Extractor



شکل ۱۱-۲۵- برج استخراج سینی دار

۲- برج استخراج سینی دار: این برج برای استخراج از مخلوط مایعاتی است که کشش سطحی آنها کم است و نیروی زیادی جهت اختلاط، لازم ندارد.

بازده این برج، به مراتب از برج پاششی بالاتر است. شکل ۱۱-۲۵ یک برج استخراج سینی دار را نشان می دهد.

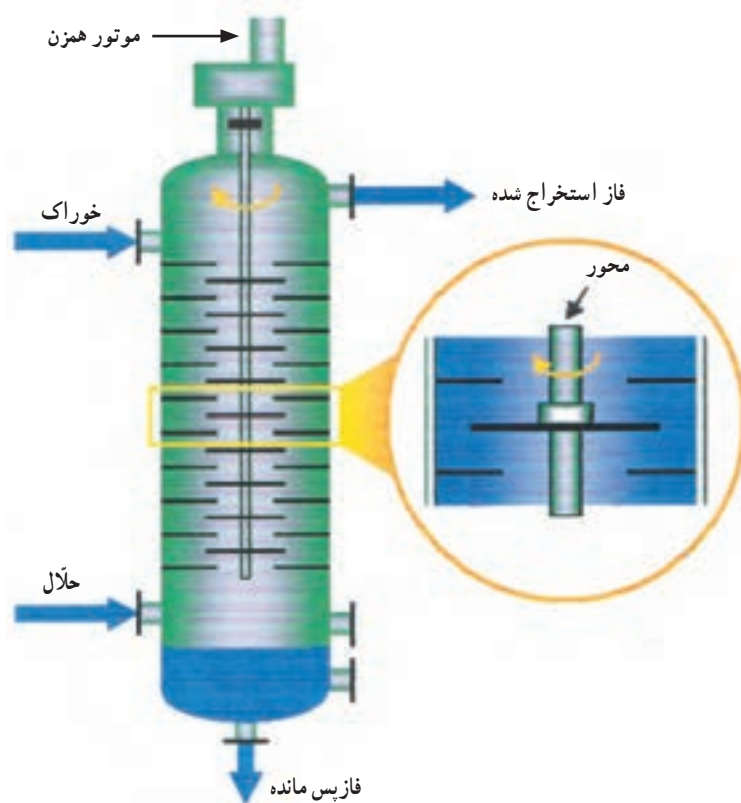


شکل ۱۱-۲۶- برج استخراج آکنده

۳- برج استخراج آکنده: این برج ها، بین دو فاز مایع، شدیداً تماس ایجاد می کنند و به همین دلیل کارایی بیشتری نسبت به دو برج پاششی و سینی دار دارند.

در شکل ۱۱-۲۶، نمای یک برج استخراج آکنده مشاهده می شود.

۴- استخراج کننده با همزن مکانیکی: این برج برای مخلوط مایعاتی است که کشش سطحی زیاد و اختلاف چگالی کم دارند. در این صورت اختلاط و جداسازی هر دو به سختی انجام می‌شود و به همزن الکتریکی نیاز دارد. شکل ۱۱-۲۷ یک استخراج کننده با همزن مکانیکی را نشان می‌دهد.



شکل ۱۱-۲۷- استخراج کننده با همزن مکانیکی

فعالیت (تحقیق)

چرا محلول آب و استیک اسید را نمی‌توان با تقطیر از هم جدا کرد؟

بعد از پایان تدریس، از هنرجویان خواسته شود که خودآزمایی را برای هفته بعد، حل کنند.

برنامه زمان بندی هفته سی و یکم			دقیقه
۱	آماده کردن کلاس (احوالپرسی، حضور و غیاب)	۵	
۲	رفع اشکال	۱۰	
۳	حل خودآزمایی فصل (۱۱)	۱۵	
۴	پرسش	۲۰	
۵	برگزاری آزمون فصل یازدهم	۴۰	
۶	بررسی سؤالات چند نمونه امتحان نهایی	۴۵	

سؤالات خودآزمایی، توسط هنجریان پاسخ داده شوند.

با مطرح کردن سؤالاتی از درس، اشکالات هنجریان برطرف گردد و سپس یک آزمون کلی از فصل یازدهم، به عمل آید. در پایان، سؤالات چند نمونه امتحان نهایی سال های قبل، بررسی شود و در صورت امکان، نمونه های دیگری در اختیار آنان گذاشته شود.

این آخرین جلسه سال جاری است زیرا هفته آینده (هفته آخر اردیبهشت)، امتحانات عملی کارگاه ها و آزمایشگاه ها برگزار می شود.

«موفق و مؤید باشید»

پاسخ سؤالات خودآزمایی^۱

پاسخ سؤال (۱) : توضیح :

نقطه جوش و فشار بخار با هم رابطه عکس دارند، بنابراین آن که نقطه جوش پایین تر دارد فشار بخار بیشتری دارد و سبک تر است، یعنی ماده (A)

و آن که نقطه جوش بالاتر دارد فشار بخار کمتری دارد و سنگین تر است، یعنی ماده (B)

پاسخ سؤال (۲) :

$$\alpha_{AB} = \frac{P_A}{P_B} \Rightarrow \alpha_{AB} = \frac{600}{118/5} = 5/06$$

$$\alpha_{AC} = \frac{P_A}{P_C} \Rightarrow \alpha_{AC} = \frac{600}{402} = 1/49$$

$$\alpha_{CB} = \frac{P_C}{P_B} \Rightarrow \alpha_{CB} = \frac{402}{118/5} = 3/39$$

۱- پاسخ اکثر سؤالات در متن کتاب وجود دارد.

هر دو آمیزه‌ای که قابلیت فزایت نسبی آنها بیشتر باشد، جداسازی آنها با تقطیر راحت‌تر است، یعنی (A و B)، زیرا از اختلاف بیشتر نقطه جوش یا فشار بخار خبر می‌دهد.

پاسخ سؤال (۸): زیرا در این صورت انتقال جرم سریع‌تر و کامل‌تر انجام می‌شود و مرز بین دو فاز، مشخص‌تر و واضح‌تر دیده می‌شود.

پاسخ سؤال (۱۵):

الف) یک مرحله ب) اختلاط – جدا شدن ج) تقطیر

سؤالات پیشنهادی

- ۱- فرآیند استخراج با حلال را توضیح دهید.
- ۲- در چه صورت در فرآیند استخراج، جداسازی نسبی حاصل می‌شود؟
- ۳- چه مواقعی به جای تقطیر از استخراج برای جداسازی اجزای موجود در یک محلول مایع استفاده می‌کنند؟
- ۴- تشابهات و تفاوت‌های دو فرآیند تقطیر و استخراج را بیان کنید.
- ۵- جهت استخراج اسید استیک از محلول آن با آب، از چه حلالی استفاده می‌کنند؟
- ۶- نام اجزای موجود در فرآیند استخراج را بگوئید و مختصراً در مورد هر کدام توضیح دهید.
- ۷- یک مرحله از فرآیند استخراج، شامل چه عملیاتی است؟
- ۸- در چه فرآیندهایی، برای جداسازی اجزای خوراک از دو حلال استفاده می‌شود؟ با یک مثال، استخراج دو حلالی یا جزئی را توضیح دهید.
- ۹- چهار مورد از مشخصاتی را که در انتخاب حلال مد نظر قرار می‌گیرد، ذکر کنید.
- ۱۰- «ضرب گزینش» را تعریف کنید و کاربرد آن را بیان کنید.
- ۱۱- «ضرب گزینش» بسیار شبیه به در تقطیر است.
- ۱۲- چه زمانی از مقدار کمتری حلال برای فرآیند استخراج استفاده می‌کنند؟
- ۱۳- جهت بازیابی حلال، از چه عملیاتی می‌توان استفاده کرد؟
- ۱۴- به چه دلیل حلال را بازیابی می‌کنند؟
- ۱۵- هر چه تفاوت دانسیته بین فازهای استخراج شده و پس مانده باشد، جداسازی فازها انجام می‌شود.
- ۱۶- زیاد بودن کشش سطحی بین دو فاز، چه عیب و چه حسنی دارد؟ آیا در نهایت به نفع فرآیند استخراج است؟ توضیح دهید.
- ۱۷- بر چه اساسی، تعداد مراحل استخراج مشخص می‌شود؟
- ۱۸- انواع برج‌های استخراج را نام ببرید.
- ۱۹- ساده‌ترین برج استخراج چیست؟ ساختمان آن را با رسم شکل، توضیح دهید.
- ۲۰- آیا بازده برج پاششی بالاست؟ چرا؟

- ۲۱- حرکت فازها در داخل برج‌های استخراج به چه دلیل، انجام می‌شود؟
- ۲۲- چه زمانی از برج‌های سینی‌دار غربالی جهت فرآیند استخراج استفاده می‌شود و کارایی آنها نسبت به برج‌های پاششی چگونه است؟
- ۲۳- یک برج استخراج با تعداد ۱۲ سینی در واحد مربوطه کار می‌کند، چند مرحله استخراج در این برج انجام می‌شود؟
- ۲۴- عملکرد یک برج استخراج آکنده را مختصراً شرح دهید.
- ۲۵- در یک برج استخراج آکنده، سطح جدایی فازها در تشکیل می‌شود.
- ۲۶- در یک برج استخراج آکنده، هر چه اندازه آکنه‌ها باشد، اختلاط انجام می‌شود.
- ۲۷- بازده برج استخراج آکنده را نسبت به برج پاششی، بررسی کنید.
- ۲۸- در چه مواردی از برج آکنده به جای سینی‌دار جهت استخراج استفاده می‌کنند؟
- ۲۹- چه مواقعی از «استخراج کننده با همزن مکانیکی» استفاده می‌شود؟ چرا؟
- ۳۰- دو نوع همزن مکانیکی مورد استفاده در برج استخراج را نام ببرید و بگوئید در صورت استفاده از کدامیک، از بافل استفاده نمی‌شود؟
- ۳۱- سرعت دوران صفحات چرخان (RDC) از پره‌های توربینی است.

پاسخ سؤالات پیشنهادی

- پاسخ اکثر سؤالات در متن کتاب وجود دارد. در این قسمت به تعدادی از آنها، جهت اطمینان، پاسخ داده می‌شود:
- پاسخ سؤال (۴)
- تشابهات:
- ۱- هر دو فرآیند از عملیات فیزیکی جداسازی هستند و با انتقال جرم انجام می‌شوند.
 - ۲- هر دو جهت جداسازی اجزای محلول‌های مایع به کار می‌روند.
- تفاوت‌ها:
- ۱- در تقطیر حتماً نیاز به حرارت‌دهی است.
 - ۲- اساس جداسازی در تقطیر، اختلاف در فشاریت اجزا است، درحالی که در استخراج اختلاف در حلالیت باعث تفکیک اجزا از یکدیگر است.
 - ۳- تقطیر از جمله عملیات مستقیم^۱ است، که با تغییر دما انجام می‌شود. درحالی که استخراج نیاز به حضور یک مادهٔ سوم یعنی حلال مایع دارد.
 - ۴- بعد از فرآیند استخراج، برای دستیابی به مادهٔ مورد نظر، به انجام فرآیند تفکیک دیگری چون تبخیر یا تقطیر

۱- در فصل هشتم کتاب «کارگاه عملیات دستگاهی»، عملیات جداسازی به دو دستهٔ مستقیم و غیرمستقیم تقسیم‌بندی شده است. برای اطلاعات بیشتر به صفحهٔ ۸۶ کتاب

مذکور مراجعه شود.

نیاز است که طی آن حلال نیز بازیابی می‌شود. درحالی‌که اگر فرآیند تقطیر با طراحی‌های دقیق صورت گیرد، درصد خلوص محصولات می‌تواند در حد انتظار باشد و عمل تفکیک دیگری در کار نیست.

پاسخ سؤال (۱۴): جهت صرفه‌جویی اقتصادی، حلال را طوری انتخاب می‌کنند که قابل بازیابی باشد. به این صورت که بین نقطه جوش حلال و جزء مورد نظر، اختلاف لازم وجود داشته باشد.

پاسخ سؤال (۱۷): براساس خواص فیزیکی خوراک و حلال (نظیر حلالیت، دانسیته و کشش سطحی) و خلوص مورد نیاز برای محصول

پاسخ سؤال (۲۳): به تعداد سینی‌ها، یعنی ۱۲ مرحله، زیرا در هر سینی یک مرحله استخراج انجام می‌شود. توجه: جهت دسترسی هنرجویان به سؤالات امتحان نهایی، می‌توانید از سایت اداره سنجش و ارزشیابی تحصیلی به آدرس <http://aee.medu.ir> استفاده کنید و آنها را به هنرجویان معرفی نمایید.

معرفی چند نرم‌افزار کاربردی رایج در مهندسی شیمی

۱- Aspen (محصول شرکت Aspen Tech): یکی از معروف‌ترین و برقدرت‌ترین نرم‌افزارهای مهندسی شیمی «Aspen» است، که شامل چندین بسته نرم‌افزار مرتبط به هم است. با این نرم‌افزار می‌توان شبیه‌سازی و طراحی سیستم‌های پالایشگاهی و پتروشیمی را انجام داد. از نقاط قوت این نرم‌افزار، بانک اطلاعاتی بسیار قوی آن در خصوص جامدات، مایعات و گازها و همچنین قابلیت شبیه‌سازی سیستم‌های پلیمری است.

۲- Hysys (محصول شرکت Hyprotech): این نرم‌افزار جهت طراحی و شبیه‌سازی سیستم‌های پالایشگاهی، پتروشیمی، الکترولیتی و جامد قابل استفاده است.

۳- Pro II (محصول شرکت Provision): کار با این نرم‌افزار ساده و خوب است. با این نرم‌افزار شبیه‌سازی برج‌های تقطیر، سیستم‌های پالایشگاهی و پتروشیمیایی غیر پلیمری انجام می‌شود.

۴- Chem Cad (محصول شرکت Chemstation): محیط کاری این نرم‌افزار، بسیار ساده است. از این نرم‌افزار برای شبیه‌سازی فرآیندهای شیمیایی، سیستم‌های پالایشگاهی و الکترولیتی می‌توان استفاده کرد.

۵- Design II (محصول شرکت Winsim): از این نرم‌افزار نیز برای شبیه‌سازی استفاده می‌شود ولی مانند نرم‌افزارهای معرفی شده دیگر، مورد توجه نیست.

منابع و مراجع

- ۱- دیوید هیمبل بلاو (ترجمه دکتر مرتضی سهرابی)، اصول بنیانی و مبانی محاسبات در مهندسی شیمی، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، ۱۳۸۳.
- ۲- استریتروایلی (ترجمه مهندس علیرضا انتظار)، مکانیک سیالات، نوپردازان، ۱۳۸۲.
- ۳- محمد نصیری و نادر مختاریان، آشنایی با مهندسی شیمی، ندای مصلح، ۱۳۸۵.
- ۴- مهندس محمدتقی معاضد، حسن عباس نژاد، محمد اشراقی، مهرداد هوشمندی و حجت عشرتی، کتاب مهندسی شیمی، نشر ارکان اصفهان، ۱۳۸۲.
- ۵- دکتر احمد نوربخش، پمپ و پمپاژ، دانشکده فنی تهران، ۱۳۷۹.
- ۶- وارون مک کیب (ترجمه عطاءالله امینی)، عملیات واحد در مهندسی شیمی، ۱۳۷۹.
- ۷- مهندس ساسان صدرایی نوری، فرآیندهای شیمیایی، شرکت چاپ و نشر کتابهای درسی ایران، ۱۳۸۱.
- ۸- داوود رشتچیان، سیروس قطبی و غلامحسین غلامی سعیدی، مبانی صنایع شیمیایی (۱)، شرکت چاپ و نشر کتابهای درسی ایران، ۱۳۷۷.
- ۹- داوود رشتچیان، سیروس قطبی و غلامحسین غلامی سعیدی، کارگاه مبانی صنایع شیمیایی (۱)، شرکت چاپ و نشر کتابهای درسی ایران، ۱۳۷۷.
- ۱۰- شه زاد برقی، ماشین آلات صنعتی، شرکت چاپ و نشر کتابهای درسی ایران، ۱۳۶۸.
- ۱۱- شه زاد برقی، دستگاههای اندازه گیری و کنترل، شرکت چاپ و نشر کتابهای درسی ایران، ۱۳۶۸.
- ۱۲- سید پندار توفیقی و ساسان صدرایی نوری، عملیات دستگاهی در صنایع شیمیایی، شرکت چاپ و نشر کتابهای درسی ایران، ۱۳۸۹.
- ۱۳- سید پندار توفیقی، کارگاه عملیات دستگاهی در صنایع شیمیایی، شرکت چاپ و نشر کتابهای درسی ایران، ۱۳۸۸.
- ۱۴- شه زاد برقی، اصول عملیات، شرکت چاپ و نشر کتابهای درسی ایران، ۱۳۶۵.
- ۱۵- و.ر. راداکریشان (ترجمه دکتر جمشید بهین)، وسایل اندازه گیری و کنترل در فرآیندهای شیمیایی، متالورژی و معدنی.

16 – Treyball , Mass transfer operation , Mc – Graw Hill , 1979.

17 – Gessner G. Hawley , Condensed Chemical Dictionary ,

۱۳۶۳ ، جهاد دانشگاهی دانشگاه شهید بهشتی

18 – J.P. Holman , Heat transfer , Mc – Graw Hil , 1999.

19 – Robert H. Perry and Cecil H. Chilton , Chemical Engineering Handbook , Mc – Graw

Hill

20 – Mc Cabe , W.L., Smith , J.G., Unit operations of Chemical Engineering , Mc – Graw

Hill

