

بِسْمِ اللّٰهِ الرَّحْمٰنِ الرَّحِیْمِ

# عملیات دستگاه‌ها در صنایع شیمیایی

رشته صنایع شیمیایی  
گروه مواد و فراوری  
شاخه فنی و حرفه‌ای  
پایه دهم دوره دوم متوسطه



وزارت آموزش و پرورش  
سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی



نام کتاب: عملیات دستگاه‌ها در صنایع شیمیایی - ۲۱۰۵۲۳

پدیدآورنده:

سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی

مدیریت برنامه‌ریزی درسی و تألیف:

دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای و کار دانش

شناسه افزوده برنامه‌ریزی و تألیف:

طیبه کنشلو، بهرام قنبری، اعظم صفاری، سیدرضا سیف محدثی، رابعه شیخ زاده، قاسم حاجی قاسمی (اعضای شورای برنامه‌ریزی)

سیدرضا سیف محدثی، سپهر صدیقی، پریسا ظاهری، فرناز فرشاد، سجاد کریمی مزیدی، طیبه کنشلو (اعضای گروه تألیف) - سپیده دبیران (ویراستار)

استان‌های مشارکت‌کننده در فرایند اعتباربخشی: آذربایجان شرقی، خوزستان، سمنان، فارس، کرمان، مرکزی، همدان

مدیریت آماده‌سازی هنری:

اداره کل نظارت بر نشر و توزیع مواد آموزشی

شناسه افزوده آماده‌سازی:

سمیه نصری (طراح جلد) - نسرين اصغری (صفحه‌آرا) - سید مرتضی میرمجیدی، سید میثم میرمجیدی (رسام فنی)

نشانی سازمان:

تهران: خیابان ایرانشهر شمالی - ساختمان شماره ۴ آموزش و پرورش (شهیدموسوی)

تلفن: ۹-۸۸۸۳۱۱۶۱، دورنگار: ۸۸۳۰۹۲۶۶، کد پستی: ۱۵۸۴۷۴۷۳۵۹

وب‌گاه: www.chap.sch.ir و www.irtextbook.ir

ناشر:

شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران: تهران - کیلومتر ۱۷ جاده مخصوص کرج - خیابان ۶۱ (داروپخش)

تلفن: ۵-۴۴۹۸۵۱۶۱، دورنگار: ۴۴۹۸۵۱۶۰، صندوق پستی: ۱۳۹-۳۷۵۱۵

چاپخانه:

شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران «سهامی خاص»

سال انتشار و نوبت چاپ:

چاپ سوم ۱۳۹۷

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





ملت شریف ما اگر در این انقلاب بخواهد پیروز شود باید دست از آستین برآرد و به کار بپردازد. از متن دانشگاه‌ها تا بازارها و کارخانه‌ها و مزارع و باغستان‌ها تا آنجا که خودکفا شود و روی پای خود بایستد.

امام خمینی (قدس سره الشریف)



## فصل اول – محاسبات در صنایع شیمیایی

- ۱-۱- کمیت ها و یکاها ..... ۳
- ۱-۲- انواع کمیت ها ..... ۳
- ۱-۳- سیستم یکاها ..... ۴
- ۱-۴- انجام محاسبات ریاضی با کمیت ها ..... ۵
- ۱-۵- تبدیل یکاها ..... ۷
- ۱-۶- آنالیز (تجزیه) ..... ۱۳
- ۱-۷- قانون بقای جرم ..... ۲۲
- ۱-۸- موازنه مواد ..... ۲۴
- ارزشیابی شایستگی بکارگیری محاسبات در صنایع شیمیایی ..... ۳۴

## فصل دوم – دستگاه‌های حرارتی

- ۲-۱- انتقال حرارت ..... ۳۷
- ۲-۲- مبدل های حرارتی ..... ۳۹
- ۲-۳- انواع مبدل های حرارتی بر اساس ساختمان آنها ..... ۴۱
- ۲-۴- برج های خنک کننده ..... ۴۷
- ۲-۵- چیلر ..... ۵۵
- ۲-۶- خشک کن ها ..... ۵۷
- ارزشیابی شایستگی کار با دستگاه های حرارتی ..... ۶۳

## فصل سوم – دستگاه های دوار

- ۳-۱- پمپ ها ..... ۶۷
- ۳-۲- تقسیم بندی پمپ ها ..... ۶۸
- ۳-۳- پمپ های گریز از مرکز (سانتریفیوژ) ..... ۶۹
- ۳-۴- محاسبات در پمپ ..... ۷۵
- ۳-۵- پمپ های جابه جایی مثبت ..... ۷۹
- ۳-۶- پدیده کاویتاسیون یا حفره زایی ..... ۸۳
- ۳-۷- فرآیند اختلاط ..... ۸۴
- ۳-۸- انواع مخلوط کن ها ..... ۸۵

- ۳-۹- نقش پره ها در اختلاط و انواع آنها ..... ۸۹
- ۳-۱۰- سانتریفوژها ..... ۹۳
- ۳-۱۱- دستگاه های کاهش اندازه مواد ..... ۹۷
- ۳-۱۲- طبقه بندی دستگاه های کاهش اندازه ..... ۹۹
- ارزشیابی شایستگی دستگاه های دوار ..... ۱۰۸

### فصل چهارم – راکتور و مخازن

- ۴-۱- درصد تبدیل در واکنش های شیمیایی ..... ۱۱۱
- ۴-۲- سرعت واکنش شیمیایی ..... ۱۱۲
- ۴-۳- عوامل مؤثر بر سرعت واکنش شیمیایی ..... ۱۱۷
- ۴-۴- تقسیم بندی واکنش های شیمیایی بر اساس تعداد فاز ..... ۱۱۸
- ۴-۵- تقسیم بندی واکنش شیمیایی بر اساس گرمای واکنش ..... ۱۱۹
- ۴-۶- راکتورهای شیمیایی ..... ۱۲۱
- ۴-۷- راکتورهای ناپیوسته ..... ۱۲۲
- ۴-۸- راکتورهای نیمه ناپیوسته ..... ۱۲۴
- ۴-۹- راکتورهای پیوسته ..... ۱۲۵
- ۴-۱۰- مخازن ذخیره ..... ۱۳۰
- ۴-۱۱- دسته بندی مخازن ذخیره ..... ۱۳۱
- ۴-۱۲- ایمنی و کار با مخازن ذخیره ..... ۱۳۸
- ارزشیابی شایستگی راکتور و مخازن ..... ۱۴۲

### فصل پنجم – دستگاه های جداکننده

- ۵-۱- روش های جداسازی ..... ۱۴۵
- ۵-۲- جداسازی مکانیکی ..... ۱۴۵
- ۵-۳- جداسازی با استفاده از غشا ..... ۱۴۸
- ۵-۴- جداسازی براساس عملیات انتقال جرم ..... ۱۴۸
- ۵-۵- جداسازی به روش تقطیر ..... ۱۵۲
- ۵-۶- جداسازی به روش استخراج ..... ۱۶۱
- ۵-۷- دستگاه های استخراج ..... ۱۶۷
- ارزشیابی شایستگی کار با دستگاه های جداکننده ..... ۱۷۳
- منابع و مآخذ ..... ۱۷۴

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

۱. شایستگی‌های فنی برای جذب در بازار کار مانند توانایی کار با دستگاه‌های فرآیندی
  ۲. شایستگی‌های غیر فنی برای پیشرفت و موفقیت در آینده مانند نوآوری و مصرف بهینه
  ۳. شایستگی‌های فناوری اطلاعات و ارتباطات مانند کار با نرم افزارها
  ۴. شایستگی‌های مربوط به یادگیری مادام‌العمر مانند کسب اطلاعات از منابع دیگر
- بر این اساس دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای و کاردانش مبتنی بر اسناد بالادستی و با مشارکت متخصصان برنامه‌ریزی درسی فنی و حرفه‌ای و خبرگان دنیای کار مجموعه اسناد برنامه درسی رشته‌های شاخه فنی و حرفه‌ای را تدوین نموده‌اند که مرجع اصلی و راهنمای تألیف کتاب‌های درسی هر رشته است.
- این کتاب دومین کتاب کارگاهی است که ویژه رشته صنایع شیمیایی تألیف شده است و شما در طول دو سال تحصیلی پیش رو چهار کتاب کارگاهی و با شایستگی‌های متفاوت را آموزش خواهید دید. کسب شایستگی‌های این کتاب برای موفقیت در شغل و حرفه برای آینده بسیار ضروری است. هنرجویان عزیز سعی نمایید؛ تمام شایستگی‌های آموزش داده شده در این کتاب را کسب و در فرآیند ارزشیابی به اثبات رسانید.
- کتاب درسی عملیات دستگاه‌ها در صنایع شیمیایی شامل پنج پودمان است و هر پودمان دارای یک یا چند واحد یادگیری است و هر واحد یادگیری از چند مرحله کاری تشکیل شده است. شما هنرجویان عزیز پس از یادگیری هر پودمان می‌توانید شایستگی‌های مربوط به آن را کسب نمایید. هنرآموز محترم شما برای هر پودمان یک نمره در سامانه ثبت نمرات منظور می‌نماید و نمره قبولی در هر پودمان حداقل ۱۲ می‌باشد.

دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای و کاردانش

در راستای تحقق اهداف سند تحول بنیادین آموزش و پرورش و برنامه درسی ملی جمهوری اسلامی ایران و نیازهای متغیر دنیای کار و مشاغل، برنامه درسی رشته صنایع شیمیایی طراحی و بر اساس آن محتوای آموزشی نیز تألیف گردید. کتاب حاضر از مجموعه کتاب‌های کارگاهی می باشد که برای سال دهم تدوین و تألیف گردیده است این کتاب دارای ۵ پودمان است که هر پودمان از یک یا چند واحد یادگیری تشکیل شده است. همچنین ارزشیابی مبتنی بر شایستگی از ویژگی‌های این کتاب می باشد که در پایان هر پودمان شیوه ارزشیابی آورده شده است. هنرآموزان گرامی می بایست برای هر پودمان یک نمره در سامانه ثبت نمرات برای هر هنرجو ثبت کنند. نمره قبولی در هر پودمان حداقل ۱۲ می باشد و نمره هر پودمان از دو بخش تشکیل می گردد که شامل ارزشیابی پایانی در هر پودمان و ارزشیابی مستمر برای هر یک از پودمان‌ها است. از ویژگی‌های دیگر این کتاب طراحی فعالیت‌های یادگیری ساخت یافته در ارتباط با شایستگی‌های فنی و غیرفنی از جمله مدیریت منابع، اخلاق حرفه‌ای و مباحث زیست محیطی است. این کتاب جزئی از بسته آموزشی تدارک دیده شده برای هنرجویان است که لازم است از سایر اجزاء بسته آموزشی مانند کتاب همراه هنرجو، نرم افزار و فیلم آموزشی در فرایند یادگیری استفاده شود. کتاب همراه هنرجو در هنگام یادگیری، ارزشیابی و انجام کار واقعی مورد استفاده قرار می گیرد. شما می توانید برای آشنایی بیشتر با اجزای بسته- یادگیری، روش‌های تدریس کتاب، شیوه ارزشیابی مبتنی بر شایستگی، مشکلات رایج در یادگیری محتوای کتاب، بودجه بندی زمانی، نکات آموزشی شایستگی‌های غیرفنی، آموزش ایمنی و بهداشت و دریافت راهنما و پاسخ فعالیت‌های یادگیری و تمرین‌ها به کتاب راهنمای هنرآموز این درس مراجعه کنید

کتاب شامل پودمان‌های ذیل است:

بکارگیری محاسبات در صنایع شیمیایی که در سه مرحله : بکارگیری یکاها و ابعاد، تبدیل یکاها و موازنه مواد ورودی و خروجی به یک سیستم آموزش داده می شود. پودمان دوم دستگاه‌های حرارتی نام دارد، که در سه بخش: کار با مبدل‌های حرارتی، کار با برج‌های خنک کننده و کار با خشک کن‌ها بیان می شود.

پودمان سوم: دارای عنوان دستگاه های دوار است. در این پودمان ابتدا کار با پمپها آموزش داده شده و سپس کار با مخلوط کن ها و کار با سانتریفوژها و در ادامه کار با دستگاههای کاهش اندازه شرح داده شده است.

پودمان چهارم: راکتور و مخازن نام دارد. ابتدا سرعت واکنش و عوامل موثر بر آن شرح داده شده و سپس راکتور و انواع آن و در ادامه کار با مخازن آموزش داده می شود.

پودمان پنجم: تحت عنوان دستگاه های جدا کننده می باشد که در آن هنرجویان ابتدا با بکار گیری روش های جدا سازی در صنایع شیمیایی آشنا می شوند و سپس کار با برج های تقطیر و استخراج فرا می گیرند.

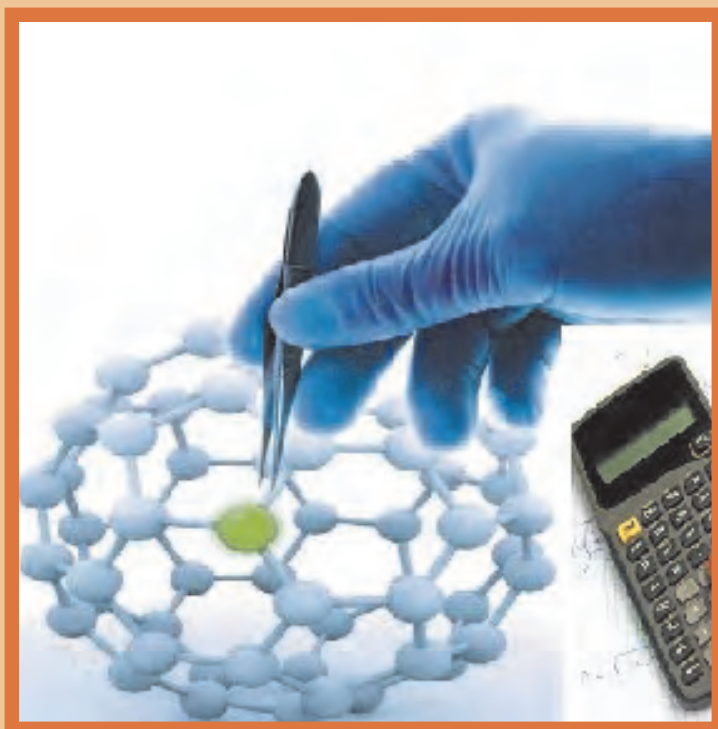
امید است که با تلاش و کوشش شما همکاران گرامی اهداف پیش بینی شده برای این درس محقق گردد.

دفتر تألیف کتاب های درسی فنی و حرفه ای و کاردانش



## فصل ۱

# محاسبات در صنایع شیمیایی



در رشته صنایع شیمیایی، روش‌های صنعتی برای تبدیل مواد اولیه به محصولات با بهای قابل فروش، مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. وظیفه متخصصان صنایع شیمیایی با توجه به توسعه سریع و چشمگیر این صنعت در طراحی، راه‌اندازی و بهره‌برداری می‌باشد؛ لذا برای درک و حل مسائلی که در ایجاد فناوری پیش خواهد آمد، لازم است اصول اساسی محاسبات در صنایع شیمیایی را فرا گرفت و کاربرد آن را تمرین نمود.

# واحد یادگیری ۱

## بکارگیری محاسبات در صنایع شیمیایی

### مقدمه

برای درک مسائل پیش رو در صنایع شیمیایی انجام صحیح محاسبات از اهمیت به‌سزایی برخوردار می‌باشد. اولین قدم در حل مسائل موجود، برقراری موازنه جرم و انرژی می‌باشد. در این بخش مباحثی در مورد انواع کمیت‌ها و یکاها در سیستم‌های مختلف بین‌المللی و ارتباط آنها با یکدیگر، محاسبات ریاضی با کمیت‌ها، تبدیل یکاها در صنایع شیمیایی و محاسبات مربوط به موازنه جرم برای فرایندهای شیمیایی (فرایندی که در آن واکنش شیمیایی اتفاق می‌افتد) و فرایندهای فیزیکی (فرآیندهایی که واکنش شیمیایی در آن اتفاق نمی‌افتد) مطرح خواهند شد.

### استاندارد عملکرد

انجام عملیات ریاضی در محاسبات صنایع شیمیایی.

شایستگی‌های غیر فنی:

- ۱- اخلاق حرفه‌ای: حضور منظم و وقت شناسی، انجام وظایف و کارهای محوله، پیروی از قوانین؛
- ۲- مدیریت منابع: شروع به کار به موقع، مدیریت مؤثر زمان، استفاده از مواد و تجهیزات؛
- ۳- کار گروهی: حضوری فعال در فعالیتهای گروهی - انجام کارها و وظایف محوله؛
- ۴- مستندسازی؛
- ۵- محاسبه و کاربست ریاضی.

شایستگی‌های فنی:

- ۱- به‌کارگیری یکاها و ابعاد؛
- ۲- تبدیل یکاها (واحدها)؛
- ۳- موازنه مواد ورودی و خروجی به یک سیستم.

## ۱-۱- کمیت‌ها و یکاها<sup>۱</sup>

هر مشخصه قابل اندازه‌گیری، قابل مقایسه و قابل تغییر از یک جسم را کمیت مینامند. مثلاً کمیت وزن دو جسم را می‌توان اندازه‌گیری و با هم مقایسه نمود.



آیا کمیت‌های دیگری را می‌شناسید؟ این کمیت‌ها با چه وسیله‌ای قابل اندازه‌گیری هستند؟

بحث گروهی



هر کمیت را با سه مشخصه مقدار، یکا<sup>۱</sup> و بعد<sup>۲</sup> شناسایی می‌کنند، به‌عنوان نمونه قد یک دانش‌آموز ۱۸۰ سانتیمتر است. بنابراین مقدار این کمیت (قد) ۱۸۰ و یکای آن سانتیمتر است. بعد هر کمیت نیز نشان‌دهنده جنس آن کمیت است که با یکی از حروف بزرگ انگلیسی یا ترکیبی از حروف بزرگ انگلیسی معرفی می‌شوند؛ به‌عنوان مثال بعد طول را با «L» نشان می‌دهند.

تمرین ۱: بعد قد دانش‌آموز در مثال بالا چیست؟

تمرین ۲: ارتفاع ساختمانی ۲۰ متر است. کمیت، یکا و بعد را مشخص کنید.

تمرین



## ۱-۲- انواع کمیت‌ها

با توجه به اینکه خواص فیزیکی به‌وسیله قوانین مکانیکی و فیزیکی به یکدیگر مربوط می‌شوند لذا بعضی از کمیت‌ها را اصلی و بعضی دیگر را فرعی می‌نامند.

### کمیت اصلی

کمیت اصلی کمیتی است که با ابزار مخصوص قابل اندازه‌گیری بوده، و وجودشان وابسته به کمیت دیگری نیست و مستقل‌اند. مهمترین کمیت‌های اصلی عبارت‌اند از: طول، جرم، زمان، دما و (مقدار ماده) مول.

### کمیت فرعی

کمیت فرعی کمیتی است که وجودش وابسته به کمیت‌های اصلی است و از ترکیب چند کمیت اصلی ایجاد می‌شود. تعداد کمیت‌های فرعی نامحدود بوده و از آنها می‌توان به نیرو، حجم و سرعت اشاره نمود.

۱- Units  
۲- Dimension



تمرین ۳: چهار کمیت فرعی را نام ببرید.

### ۳-۱- سیستم یکاها

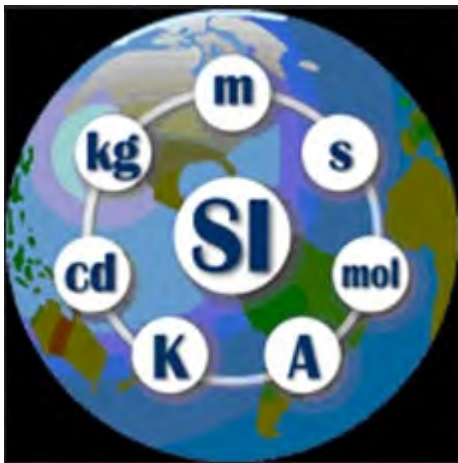
برای بیان یکاهای کمیت‌های اصلی و فرعی در محاسبات صنایع شیمیایی، از سه دسته بندی زیر استفاده میشود که اصطلاحاً هر کدام از این دسته‌بندی‌ها را یک سیستم می‌نامند.

#### سیستم یکاهای بین‌المللی (متریک):

در این دسته‌بندی کمیت‌های اصلی طول، جرم، زمان، دما و مقدار ماده را به ترتیب بر حسب واحدهای متر، کیلوگرم، ثانیه، سلسیوس و کیلومول بیان می‌کنند.

#### سیستم یکاهای بین‌المللی (CGS)

در این دسته‌بندی یا سیستم، کمیت‌های اصلی طول، جرم، زمان، دما و مقدار ماده را به ترتیب بر حسب واحدهای سانتیمتر، گرم، ثانیه، سلسیوس، گرم مول بیان می‌کنند.



#### سیستم آحاد انگلیسی

در این دسته بندی یا سیستم، کمیت های اصلی طول، جرم، زمان، دما و مول را به ترتیب بر حسب واحدهای فوت، پوند، ثانیه، فارنهایت و پوندمول بیان می کنند. در جدول شماره ۱-۱، آحاد و نماد کمیت های اصلی در سه سیستم مذکور آورده شده است.

جدول ۱-۱- سیستم آحاد کمیت های اصلی

سیستم	طول	جرم	زمان	مقدار ماده (مول)	دما
(متریک) (SI)	(متر) (m)	(کیلوگرم) (kg)	(ثانیه) (sec)	(کیلومول) (kmol)	سلسیوس (°C)
(CGS)	سانتیمتر (cm)	گرم (g)	ثانیه (sec)	گرم مول (gmol)	سلسیوس (°C)
انگلیسی (FPS)	فوت (ft)	پوند (lb)	ثانیه (sec)	پوندمول (lbmol)	فارنهایت (°F)

بعد کمیت‌های اصلی در تمام سیستم‌های متداول آحاد یکسان بوده و همانطور که بیان شد با حروف بزرگ انگلیسی نمایش داده میشوند. در جدول شماره ۲-۱، بعد کمیت‌های اصلی نشان داده شده است.

جدول ۲-۱ ابعاد کمیت‌های اصلی

مول	دما	زمان	جرم	طول	کمیت
N	$\theta$	T	M	L	بعد

## ۴-۱- انجام محاسبات ریاضی با کمیت‌ها

### جمع و تفریق کمیت‌ها

در جمع و تفریق کمیت‌های فیزیکی فقط کمیت‌هایی با یکدیگر قابل جمع یا تفریق هستند که جنس یا بعد آنها یکسان باشد.

**مثال:** دانش‌آموزی سه کیلوگرم سیب و دو متر سیم برق خریداری کرده است. این دانش‌آموز چند کیلوگرم خرید داشته است؟

**پاسخ:** در این مثال از دو کمیت جرم و طول استفاده شده است و با توجه به اینکه جنس (بعد) این دو کمیت متفاوت است، لذا با هم قابل جمع نیست و نمی‌توان گفت به‌طور کلی این دانش‌آموز چند کیلوگرم خرید کرده و یا چند متر خرید داشته است.

**مثال:** کدامیک از عملیات‌های زیر قابل انجام و کدامیک غیر قابل انجام است؟

$$2 \text{ kg} + 3 \text{ Sec}$$

الف) دو کیلوگرم + سه ثانیه

$$3 \text{ g} + 5 \text{ g}$$

ب) سه گرم + پنج گرم

$$2 \text{ ft} + 3 \text{ lb}$$

ج) دو فوت + سه پوند

$$3 \text{ lbmol} + 4 \text{ lbmol}$$

د) چهار پوندمول + سه پوندمول

**پاسخ:** الف) با توجه به تفاوت بعدها و جنس این دو کمیت (جرم، زمان)، قابل جمع نیستند.

ب) با توجه به تشابه بعد و جنس این دو کمیت (جرم)، قابل جمع هستند و حاصل آن هشت گرم می‌شود.

ج) با توجه به تفاوت بعدها و جنس این دو کمیت (طول، جرم)، قابل جمع نیستند.

د) با توجه به تشابه بعد و جنس این دو کمیت (مول)، قابل جمع هستند و حاصل آن هفت پوند مول است.

### ضرب و تقسیم کمیت‌ها

ضرب و تقسیم چند کمیت با جنس و بعد متفاوت، قابل انجام است.

**مثال:** کدامیک از عملیات زیر قابل انجام است؟ حاصل عملیات چیست؟

الف) سه فوت  $\times$  دو کیلوگرم



(ب) پنج ثانیه  $\times$  سه متر

(ج) صد کیلومتر تقسیم بر دو ساعت

**پاسخ:** چون عملیات های انجام شده در مثال مذکور ضرب و تقسیم بین کمیت ها است، پس تمامی عملیات ها قابل انجام است و حاصل آنها عبارتند از:

$$2\text{kg} \times 3\text{ft} = 6\text{kg}\cdot\text{ft} \quad (\text{الف})$$

$$5\text{sec} \times 3\text{m} = 15\text{sec}\cdot\text{m} \quad (\text{ب})$$

$$\frac{100\text{km}}{2\text{h}} = 50\frac{\text{km}}{\text{h}} \quad (\text{ج})$$

در مثال مذکور هر کدام از کمیت ها، یک کمیت اصلی است، ولی حاصل یک کمیت فرعی است.

نکته



مثال) مکعب مستطیلی دارای ۳ سانتی متر طول، ۲ سانتی متر عرض و ۵ سانتی متر ارتفاع است. مطلوب است:

(الف) تعیین حجم مکعب مستطیل

(ب) تعیین سطح یک وجه

(ج) تعیین بعد حجم مکعب مستطیل و سطح مکعب مستطیل

(د) تعیین حاصل تقسیم حجم بر سطح یک وجه مکعب مستطیل

(پاسخ)

(الف) حجم مکعب مستطیل از حاصل ضرب طول در عرض و ارتفاع به دست می آید.

ارتفاع  $\times$  عرض  $\times$  طول = حجم مکعب

$$(5\text{cm}) \times (2\text{cm}) \times (3\text{cm}) = (3 \times 2 \times 5)(\text{cm} \times \text{cm} \times \text{cm}) = 30\text{cm}^3$$

(ب) سطح مکعب از حاصل ضرب طول در عرض بدست می آید.

$$\text{طول} \times \text{عرض} = (2\text{cm}) \times (3\text{cm}) = 6\text{cm}^2$$

(ج) با توجه به اینکه هر سه کمیت طول، عرض و ارتفاع دارای بعد طول می باشند لذا:

$$\text{بعد طول} = L$$

$$\text{بعد عرض} = L \quad \text{حجم مکعب} = \text{طول} \times \text{عرض} \times \text{ارتفاع} = L \times L \times L = L^3$$

$$\text{بعد ارتفاع} = L$$

$$\text{سطح مکعب} = \text{طول} \times \text{عرض} \Rightarrow L \times L = L^2$$

$$\frac{\text{حجم مکعب}}{\text{سطح مکعب}} = \frac{30\text{cm}^3}{6\text{cm}^2} = 5\text{cm} \quad (\text{د})$$



- ۱: در این مثال کمیت‌های طول، عرض، ارتفاع کمیت‌های اصلی و کمیت‌های حجم و سطح کمیت‌های فرعی هستند.
- ۲: در ضرب واحدهای یکسان، به تعداد دفعات ضرب، واحد حاصل عملیات، توان می‌گیرد.
- ۳: در تقسیم واحدهای یکسان، واحدهای یکسان با توجه به توانشان از صورت و مخرج حذف می‌گردند.

**مثال** بعد کمیت فرعی سرعت، را تعیین نمایید.

**پاسخ** برای تعیین کمیت‌های فرعی، ابتدا باید فرمول آن کمیت را نوشت، سپس بعد کمیت‌های مورد استفاده را مشخص و نهایتاً بعد کمیت فرعی را تعیین نمود. سرعت از حاصل تقسیم مسافت طی شده بر واحد زمان بدست می‌آید.

\* بعد سرعت عبارت است از:

$$\text{سرعت} = \frac{\text{مسافت}}{\text{زمان}}$$

$$\text{سرعت} = \frac{\text{مسافت}}{\text{زمان}} = \frac{L}{T} = LT^{-1}$$

$\Rightarrow T = \text{بعد زمان و } L = \text{بعد مسافت}$

$$\text{سرعت} = \frac{L}{T} = LT^{-1}$$



- تمرین ۴: رابطه ابعادی شتاب و نیرو را تعیین نمایید.
- تمرین ۵: یکای کمیت‌های فرعی سرعت، شتاب و نیرو را در سیستم SI (متریک) تعیین کنید.
- تمرین ۶: یکای کمیت‌های فرعی سرعت، شتاب و نیرو را در سیستم یکای انگلیسی به دست آورید.
- تمرین ۷: یکای کمیت‌های انرژی جنبشی و انرژی پتانسیل را در دو سیستم یکای SI (متریک) و انگلیسی به دست آورید. فرمول‌های مورد نیاز:

$$\text{انرژی جنبشی} = \frac{1}{2} (\text{جرم}) (\text{سرعت})^2$$

$$\text{(ارتفاع) (شتاب) (جرم)} = \text{انرژی پتانسیل}$$

تمرین ۸: بعد انرژی جنبشی و انرژی پتانسیل را تعیین نمایید.

## ۵-۱- تبدیل یکها

بحث گروهی: چگونه می‌توان حاصل عملیات زیر را به دست آورد؟

الف) سه متر + بیست سانتیمتر  
ب) دو کیلوگرم + صد گرم

برای تعیین حاصل جمع مثال فوق چه راه‌هایی به ذهنتان می‌رسد؟

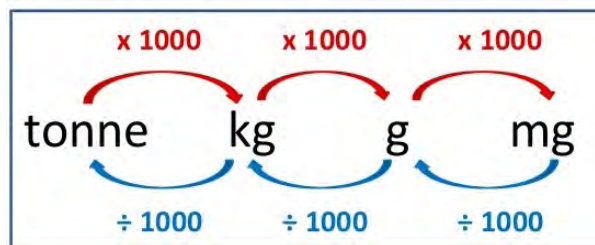
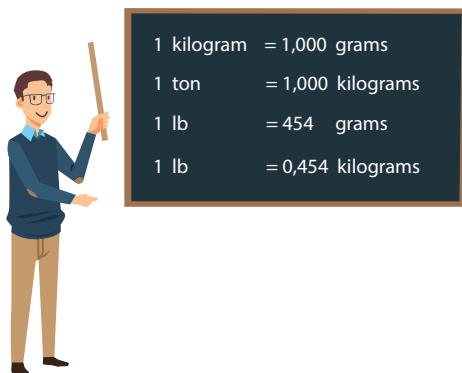


برای تبدیل یک‌کاهای یک کمیت اصلی یا فرعی می‌بایست از ضرایب تبدیل آن کمیت‌ها استفاده نمود. در جدول شماره ۱-۳، نمونه‌ای از ضرایب تبدیل برای کمیت‌های اصلی ارائه شده‌است.

جدول ۱-۳ ضرایب تبدیل

ضرایب تبدیل	کمیت
$1\text{m} = 100\text{cm}$ $1\text{ft} = 0.3048\text{m}$ $1\text{ft} = 30.48\text{cm}$ $1\text{ft} = 12\text{inch}$ $1\text{inch} = 2.54\text{cm}$	طول
$1\text{kg} = 1000\text{g}$ $1\text{lb} = 454\text{g}$ $1\text{lb} = 0.454\text{kg}$	جرم
$1\text{h} = 60\text{min}$ $1\text{h} = 3600\text{sec}$ $1\text{min} = 60\text{sec}$	زمان

برای تبدیل واحد یک کمیت از روش نردبانی استفاده می‌شود. در این روش باید از ضرایب تبدیل به گونه‌ای استفاده نمود که واحد قدیمی و واحد جدید در صورت و مخرج این نردبان قرار گیرد و واحد قدیمی حذف و واحد جدید ایجاد شود.



**مثال)** جرم جسمی ۲۵ کیلوگرم است، جرم این جسم را بر حسب واحدهای گرم و پوند به دست آورید.

**پاسخ)** در ابتدا بایست ضرایب تبدیل مورد نیاز را پیدا کرد.

$$1\text{lb} = 0.454\text{kg}$$

$$1\text{kg} = 1000\text{g}$$

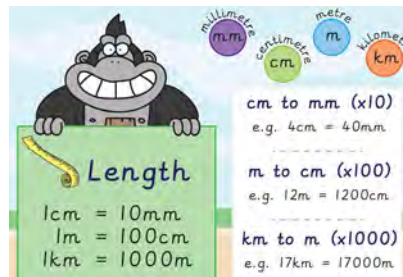
$$\text{جرم جسم} = 25\text{kg} \times \frac{1000\text{g}}{1\text{kg}} = 25000\text{g}$$

$$\text{جرم جسم} = 25\text{kg} \times \frac{1\text{lb}}{0.454\text{kg}} = 55.06\text{lb}$$

با توجه به ضرایب تبدیل برای جرم:

**مثال)** فاصله شهر تهران تا قم، ۱۳۰ کیلومتر است، این فاصله را بر حسب واحدهای متر و فوت به دست

آورید.



**پاسخ)** با توجه به ضرایب تبدیل طول:

$$1\text{km} = 1000\text{m} \quad \text{متر} = 1000 \text{ یک کیلومتر}$$

$$1\text{ft} = 0.3048\text{m} \quad \text{متر} = 0.3048 \text{ یک فوت}$$

$$\text{فاصله تهران تا قم} = 130\text{km} \times \frac{1000\text{m}}{1\text{km}} = 130000\text{m} \quad \text{الف)}$$

$$\text{فاصله تهران قم} = 130\text{km} \times \frac{1000\text{m}}{1\text{km}} \times \frac{1\text{ft}}{0.3048\text{m}} = 426509.186\text{ft} \quad \text{ب)}$$

**مثال):** خودرویی با سرعت ۱۰۰ کیلومتر بر ساعت در حال حرکت است. سرعت این خودرو را بر حسب

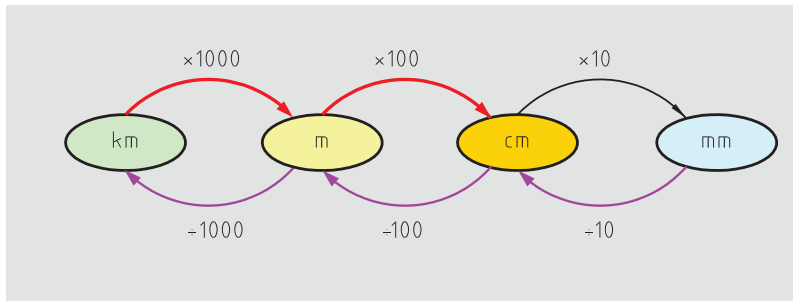
متر بر دقیقه به دست آورید.

پ) ضرایب تبدیل مورد نیاز:

$$1\text{km} = 1000\text{m}$$

$$1\text{h} = 60\text{min}$$

$$\text{سرعت خودرو} = 100 \frac{\text{km}}{\text{h}} \times \frac{1000\text{m}}{1\text{km}} \times \frac{1\text{h}}{60\text{min}} = 1666.6 \frac{\text{m}}{\text{min}}$$



تمرین ۹: سرعت خودرو را در مثال بالا بر حسب فوت بر ساعت و اینچ بر دقیقه حساب کنید.  
 تمرین ۱۰: هواپیمایی با سرعت  $500 \frac{\text{ft}}{\text{sec}}$  در حال حرکت است، سرعت این هواپیما را بر حسب  $\frac{\text{ft}}{\text{h}}$  و  $\frac{\text{km}}{\text{h}}$  به دست آورید.

تمرین



**مثال** حجم یک مخزن ۵ لیتر است، حجم این مخزن را بر حسب سانتیمتر مکعب به دست آورید.

**پاسخ** ضریب تبدیل مورد نیاز:

$$1 \text{ لیتر} = 1000 \text{ ml} = 1000 \text{ cm}^3$$

$$\text{حجم مخزن} = 5 \text{ L} \times \frac{1000 \text{ cm}^3}{1 \text{ L}} = 5000 \text{ cm}^3$$

**مثال** حجم یک بشر  $1000 \text{ cm}^3$  است، حجم آن را بر حسب متر مکعب به دست آورید.

$$1 \text{ m} = 100 \text{ cm}$$

**پاسخ** ضریب تبدیل مورد نیاز:

$$\text{حجم بشر} = 1000 \text{ cm}^3 \times \left( \frac{1 \text{ m}}{100 \text{ cm}} \right)^3 = 1000 \text{ cm}^3 \times \frac{1 \text{ m}^3}{1000000 \text{ cm}^3} = 0.001 \text{ m}^3$$

نکته



در هنگام استفاده از ضرایب تبدیل، می‌توان واحدها را به توان رساند.

تمرین



تمرین ۱۱: به وسیله یک لوله روزانه  $4 \text{ m}^3$  آب به داخل یک مخزن ریخته می‌شود، محاسبه کنید در هر دقیقه چند سانتیمتر مکعب آب داخل مخزن ریخته می‌شود؟

انجام محاسبات در صنایع شیمیایی اهمیت خاصی دارد. در این قسمت نحوه تبدیل واحدها در کمیتهای متداول صنایع شیمیایی ارائه می‌گردد.



**مقدار ماده (مول)<sup>۱</sup>**

واحدهای اصلی مول عبارت‌اند از: گرم مول (gmol)، پوند مول (lbmol) و کیلو مول (kmol).  
ضرایب تبدیل مولی عبارت‌اند از:

$$\begin{aligned} 1 \text{ kmol} &= 1000 \text{ gmol} \\ 1 \text{ lbmol} &= 454 \text{ gmol} \\ 1 \text{ lbmol} &= 0.454 \text{ kmol} \end{aligned}$$

چنانچه کلمه مول به تنهایی به کار رود، منظور گرم مول است.

نکته

**جرم اتمی و جرم مولکولی<sup>۲</sup>**

جرم یک گرم مول از هر اتم را جرم اتمی و جرم یک گرم مول از هر مولکول را جرم مولکولی می‌نامند.  
با توجه به تعریف جرم مولکولی می‌توان واحدهای زیر را برای آن بیان کرد:

$\frac{\text{g}}{\text{gmol}}$	سیستم CGS :	$\frac{\text{kg}}{\text{kmol}}$	سیستم SI :
...		$\frac{\text{lb}}{\text{lbmol}}$	سیستم انگلیسی:

با توجه به واحدهای جرم اتمی، جرم اتمی سدیم را ۲۳ و آب را ۱۸ در نظر می‌گیرند؛ یعنی یک گرم مول سدیم، ۲۳ گرم و یک گرم مول آب، ۱۸ گرم جرم دارد.

بحث کنید



**مثال** جرم اتمی مس  $64 \frac{\text{g}}{\text{gmol}}$  است، جرم اتمی آن را بر حسب  $\frac{\text{kg}}{\text{kmol}}$  و  $\frac{\text{lb}}{\text{lbmol}}$  به دست آورید.  
جواب) با استفاده از ضرایب تبدیل و روش نردبانی:

$$\text{جرم اتمی مس} = 64 \frac{\text{g}}{\text{gmol}} \times \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ g}} \times \frac{1000 \text{ gmol}}{1 \text{ kmol}} = 64 \frac{\text{kg}}{\text{kmol}}$$

$$\text{جرم اتمی مس} = 64 \frac{\text{g}}{\text{gmol}} \times \frac{1 \text{ lb}}{454 \text{ g}} \times \frac{454 \text{ gmol}}{1 \text{ lbmol}} = 64 \frac{\text{lb}}{\text{lbmol}}$$

۱- Mole

۲- molecular Weight (MW)

نکته

مقدار عددی جرم اتمی یا جرم مولکولی مواد در سیستم آحاد مختلف، یکسان است.



**کسر جرمی (جزء جرمی):** اگر ماده A یک جزء از یک مخلوط (یا محلول) باشد، کسر جرمی A عبارت است از جرم ماده A تقسیم بر جرم کل مخلوط (یا محلول). معمولاً کسر جرمی را با X نشان می‌دهند.

$$\text{کسر جرمی ماده A} = x_A = \frac{\text{جرم ماده A}}{\text{جرم کل مخلوط}} = \frac{m_A}{m_t} \quad (1-1)$$

در رابطه (1-1)، اندیس t اشاره به total یعنی کل است.

**کسر مولی (جزء مولی):** اگر مخلوطی از مواد وجود داشته باشد که A یکی از اجزاء این مخلوط باشد، کسر مولی ماده A برابر است با حاصل تقسیم مول A بر مول کل مخلوط. معمولاً کسر مولی را با y نشان می‌دهند.

$$\text{کسر مولی ماده A} = y_A = \frac{\text{مول ماده A}}{\text{مول کل مخلوط}} = \frac{N_A}{N_t} \quad (1-2)$$

**کسر حجمی (جزء حجمی):** در مخلوطی از مواد اگر A یکی از اجزاء تشکیل دهنده آن مخلوط باشد، کسر حجمی ماده A برابر است با حاصل تقسیم حجم A بر حجم کل مخلوط معمولاً کسر حجمی را با V نشان می‌دهند.

$$\text{کسر حجمی ماده A} = V_A = \frac{\text{حجم ماده A}}{\text{حجم کل مخلوط}} = \frac{V_A}{V_t} \quad (1-3)$$

مجموع کسرهای جرمی (مولی، حجمی) اجزاء تشکیل دهنده یک مخلوط همواره برابر با یک می‌باشد.

نکته



$$\sum x_i = 1 \quad (1-4)$$

$$\sum y_i = 1 \quad (1-5)$$

$$\sum v_i = 1 \quad (1-6)$$

$$x_A + x_B + x_C + \dots = 1$$

$$y_A + y_B + y_C + \dots = 1$$

$$v_A + v_B + v_C + \dots = 1$$

A, B, C و ... اجزای تشکیل دهنده مخلوط (یا محلول)

نکته



درصدهای جرمی (مولی، حجمی) اجزاء تشکیل دهنده یک مخلوط از حاصل ضرب کسرهای جرمی (مولی، حجمی) در عدد ۱۰۰ بدست می آید.

جرم (مول، حجم) یک جزء در مخلوط، از حاصل ضرب کسر جرمی (مولی، حجمی) همان جزء در جرم کل (مول کل، حجم کل) مخلوط بدست می آید.

نکته



مجموع درصدهای جرمی (مولی، حجمی) اجزای موجود در یک مخلوط همواره برابر با ۱۰۰ است.

## ۶-۱- آنالیز (تجزیه)

اگر مخلوطی (یا محلولی) از مواد در فاز مایع، جامد یا گاز وجود داشته باشد، تعیین درصدهای جرمی (مولی یا حجمی) اجزای تشکیل دهنده مخلوط را آنالیز آن مخلوط می نامند.

**مثال)** یک محلول شیمیایی تمیزکننده شامل ۵ کیلوگرم آب و ۵ کیلوگرم سدیم هیدروکسید است. آنالیز جرمی و مولی این محلول را تعیین نمایید.

**پاسخ)** برای آنالیز جرمی و مولی این محلول کافی است کسرهای جرمی و مولی اجزای محلول را به دست آورده و سپس در عدد ۱۰۰ ضرب کنید.

$$M_{w_{H_2O}} = 18 \frac{\text{kg}}{\text{kmol}}$$

$$M_{w_{NaOH}} = 40 \frac{\text{kg}}{\text{kmol}}$$

$$\begin{cases} m_{H_2O} = 5 \text{ kg} \\ m_{NaOH} = 5 \text{ kg} \end{cases} \rightarrow m_{\text{کل}} = 5 + 5 = 10 \text{ kg}$$

اطلاعات مورد نیاز:

**الف) آنالیز جرمی:**

$$\text{کسر جرمی آب} = \frac{\text{جرم آب}}{\text{جرم کل}} = \frac{5 \text{ kg}}{10 \text{ kg}} = 0.5$$

$$\text{درصد جرمی آب} = 0.5 \times 100 = 50$$

$$\text{کسر جرمی سدیم هیدروکسید} = \frac{\text{جرم سدیم هیدروکسید}}{\text{جرم کل}} = \frac{5 \text{ kg}}{10 \text{ kg}} = 0.5$$

$$\text{درصد جرم سدیم هیدروکسید} = 0.5 \times 100 = 50$$

**ب)** برای تعیین کسر مولی اجزاء، در ابتدا باید تعداد مول هر کدام را به دست آورد. با توجه به تعریف تعداد گرم مول:

$$n = \frac{m}{M_w}$$

$$\text{تعداد مول آب} = n_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{m_{\text{H}_2\text{O}}}{M_{w_{\text{H}_2\text{O}}}} = \frac{5}{18} = 0.27 \text{ kmol}$$

$$\text{تعداد مول سدیم هیدروکسید} = n_{\text{NaOH}} = \frac{m_{\text{NaOH}}}{M_{w_{\text{NaOH}}}} = \frac{5}{40} = 0.125 \text{ kmol}$$

$$\text{تعداد مول کل} = n_t = n_{\text{H}_2\text{O}} + n_{\text{NaOH}} = 0.27 + 0.125 = 0.395 \text{ mol}$$

$$\text{کسر مولی آب} = y_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{n_{\text{H}_2\text{O}}}{n_t} = \frac{0.27}{0.395} = 0.68$$

$$\text{کسر مولی سدیم هیدروکسید} = y_{\text{NaOH}} = \frac{n_{\text{NaOH}}}{n_t} = \frac{0.125}{0.395} = 0.32$$

**یادآوری:** مجموع کسرهای جرمی و یا مولی اجزای یک مخلوط همواره برابر با یک است.

$$\text{درصد مولی آب} = \text{کسر مولی آب} \times 100 = 0.68 \times 100 = 68$$

$$\text{درصد مولی سدیم هیدروکسید} = \text{کسر مولی سدیم هیدروکسید} \times 100 = 0.32 \times 100 = 32$$

**یادآوری:** مجموع درصدهای جرمی یا مولی اجزای یک مخلوط، همواره برابر با ۱۰۰ است، نتایج محاسبات در جدول زیر ارائه شده است.

مواد	جرم (کیلوگرم)	مول (کیلومول)	کسر جرمی	درصد جرمی	کسر مولی	درصد مولی
آب	۵	۰/۲۷	۰/۵	۵۰	۰/۶۸	۶۸
سدیم هیدرواکسید	۵	۰/۱۲۵	۰/۵	۵۰	۰/۳۲	۳۲
جمع	۱۰	۰/۳۹۵	۱/۰	۱۰۰	۱/۰	۱۰۰

**مثال:** هوا مخلوطی از گازهای نیتروژن و اکسیژن است، اگر مقدار نیتروژن و اکسیژن موجود در هوا به ترتیب ۱۵۸ گرم مول و ۴۲ گرم مول باشد، آنالیز مولی و جرمی هوا را به دست آورید.

**پاسخ:** برای تعیین آنالیز هوا (درصد مولی، درصد جرمی) ابتدا باید جرم و مول اجزای را تعیین نمود.

$$M_{w_{\text{O}_2}} = 32 \frac{\text{g}}{\text{gmol}}$$

$$M_{w_{\text{N}_2}} = 28 \frac{\text{g}}{\text{gmol}}$$

یادآوری



یادآوری



عملیات دستگاهها در صنایع شیمیایی

$$\begin{aligned} n_{O_2} &= 42 \text{ gmol} \\ n_{N_2} &= 158 \text{ gmol} \end{aligned} \longrightarrow n_{\text{مخلوط}} = n_t = 42 + 158 = 200 \text{ gmol}$$

الف) آنالیز مولی اجزا:

$$y_{O_2} = \frac{\text{مول اکسیژن}}{\text{مول کل}} = \frac{42}{200} = 0/21$$

$$y_{N_2} = \frac{\text{مول نیتروژن}}{\text{مول کل}} = \frac{158}{200} = 0/79$$

$$\text{درصد مولی اکسیژن} = 0/21 \times 100 = 21\%$$

$$\text{درصد مولی نیتروژن} = 0/79 \times 100 = 79\%$$

ب) آنالیز جرمی اجزای: برای آنالیز جرمی اجزا در ابتدا باید جرم هر جز را به دست آورد؛ بدین منظور با توجه به تعریف جرم مولکولی، برای تعیین جرم کافی است تعداد گرم مول را در جرم مولکولی ضرب نمود.

$$n = \frac{m}{Mw} \rightarrow m = n \times Mw$$

$$M_{W_{O_2}} = 32 \frac{\text{g}}{\text{gmol}}$$

$$M_{W_{N_2}} = 28 \frac{\text{g}}{\text{gmol}}$$

$$m_{O_2} = \text{جرم اکسیژن} = M_{W_{O_2}} \times n_{O_2} = 32 \times 42 = 1344 \text{ g}$$

$$m_{N_2} = \text{جرم نیتروژن} = M_{W_{N_2}} \times n_{N_2} = 28 \times 158 = 4424 \text{ g}$$

$$m_t = \text{جرم کل} = m_{O_2} + m_{N_2} = 1344 + 4424 = 5768 \text{ g}$$

$$x_{N_2} = \frac{\text{جرم نیتروژن}}{\text{جرم کل}} = \frac{m_{N_2}}{m_t} = \frac{4424}{5768} = 0/767$$

$$x_{O_2} = \frac{\text{جرم اکسیژن}}{\text{جرم کل}} = \frac{m_{O_2}}{m_t} = \frac{1344}{5768} = 0/233$$

$$\text{درصد جرمی اکسیژن} = 0/233 \times 100 = 23/3\%$$

$$\text{درصد جرمی نیتروژن} = 0/767 \times 100 = 76/7\%$$



نتایج محاسبات در جدول زیر ارائه شده است.

مواد	کسر جرمی	کسر مولی	درصد جرمی	درصد مولی
اکسیژن	۰/۲۳۳	۰/۲۱	۲۳/۳	۲۱
نیتروژن	۰/۷۶۷	۰/۷۹	۷۶/۷	۷۹
جمع	۱/۰	۱/۰	۱۰۰	۱۰۰

### جرم مولکولی متوسط یک مخلوط

بر اساس تعریف جرم مولکولی، جرم مولکولی یک مخلوط از حاصل تقسیم جرم کل بر تعداد مول کل مخلوط به دست می‌آید.

$$M_{W_{\text{مخلوط}}} = M_{W_{\text{کل}}} = \frac{\text{جرم کل مخلوط}}{\text{تعداد مول کل مخلوط}}$$

علاوه بر رابطه اصلی جرم مولکولی، می‌توان برای تعیین جرم مولکولی یک مخلوط با توجه به معلوم بودن کسرهای جرمی یا مولی اجزای تشکیل دهنده مخلوط از روابط ۱-۷ و ۱-۸ استفاده نمود.

(۱-۷)

$$M_{W_{\text{مخلوط}}} = \sum_{i=1}^n (M_{w_i} y_i) = M_{w_1} y_1 + M_{w_2} y_2 + \dots + M_{w_n} y_n$$

(۱-۸)

$$\frac{1}{M_w} = \sum_{i=1}^n \left( \frac{x_i}{M_{w_i}} \right) = \frac{x_1}{M_{w_1}} + \frac{x_2}{M_{w_2}} + \frac{x_3}{M_{w_3}} + \dots + \frac{x_n}{M_{w_n}}$$

$i$  = تعداد اجزای تشکیل دهنده مخلوط

$M_{w_i}$  = جرم مولکولی هر ماده در مخلوط

$y_i$  = کسر مولی هر ماده در مخلوط

$x_i$  = کسر جرمی هر ماده در مخلوط

نکته



**مثال)** جرم مولکولی متوسط مخلوط زیر را تعیین کنید.

مواد	درصد مولی
پروپان ( $C_3H_8$ )	۳۰
اتان ( $C_2H_6$ )	۵۰
متان ( $CH_4$ )	۲۰

**پاسخ)** با توجه به معلوم بودن درصد مولی اجزا، از رابطه شماره (۷-۱) میتوان استفاده نمود، ولی در ابتدا باید جرم مولکولی و کسر مولی هر جزء در این مخلوط را تعیین نمود.  
**یادآوری:** کسر مولی از حاصل تقسیم درصد مولی بر عدد ۱۰۰ به دست می آید.

مواد	درصد مولی	( $Y$ ) کسر مولی	( $M_w$ ) جرم مولکولی
$CH_4$	۲۰	$\frac{20}{100} = 0/2$	۱۶
$C_2H_6$	۵۰	$\frac{50}{100} = 0/5$	۳۰
$C_3H_8$	۳۰	$\frac{30}{100} = 0/3$	۴۴
جمع	۱۰۰	۱/	

$$\begin{aligned}
 M_{w \text{ مخلوط}} &= M_{wCH_4} \cdot y_{CH_4} + M_{wC_2H_6} \cdot y_{C_2H_6} + M_{wC_3H_8} \cdot y_{C_3H_8} \\
 &= 16 \times 0/2 + 30 \times 0/5 + 44 \times 0/3 \\
 &= 3/2 + 15 + 13/2 = 31/4
 \end{aligned}$$

تمرین ۱۲: محلولی حاوی ۲۰ درصد مولی آب و ۸۰ درصد مولی سدیم هیدروکسید (NaOH) است، جرم مولکولی این محلول را محاسبه نمایید.

تمرین ۱۳: هوا شامل ۲۱ درصد مولی اکسیژن ( $O_2$ ) و ۷۹ درصد مولی نیتروژن ( $N_2$ ) است. جرم مولکولی متوسط هوا را به دست آورید.

تمرین



**مثال)** در یک فرایند شیمیایی از اتانول با خلوص ۸۰ درصد جرمی استفاده می‌شود. جرم مولکولی این محلول را به دست آورید.

**پاسخ)** با توجه به درصد خلوص اتانول، این محلول حاوی ۸۰ درصد جرمی اتانول و ۲۰ درصد جرمی آب است؛ لذا برای تعیین جرم مولکولی از رابطه (۸-۱) می‌توان استفاده نمود ولی در ابتدا کسر جرمی و مولکولی هر جزء را باید محاسبه گردد.

نام ماده	Mw	درصد جرمی	(=) کسر جرمی
اتانول (C <sub>۲</sub> H <sub>۵</sub> OH)	۴۶	۸۰	$\frac{۸۰}{۱۰۰} = ۰/۸$
H <sub>۲</sub> O	۱۸	۲۰	$\frac{۲۰}{۱۰۰} = ۰/۲$
جمع		۱۰۰	۱/۰

$$\frac{1}{Mw} = \sum \frac{x_i}{Mw_i} = \frac{x_{\text{آب}}}{Mw_{\text{آب}}} + \frac{x_{\text{اتانول}}}{Mw_{\text{اتانول}}}$$

$$\frac{1}{Mw_{\text{مخلوط}}} = \frac{۰/۲}{۱۸} + \frac{۰/۸}{۴۶} = ۰/۰۱۱ + ۰/۰۱۷ = ۰/۰۲۸$$

$$\frac{1}{Mw_{\text{مخلوط}}} = ۰/۰۲۸ \rightarrow Mw_{\text{مخلوط}} = \frac{1}{۰/۰۲۸} = ۳۵/۷۱$$

تمرین ۱۴: آنالیز گاز خروجی یک دودکش در یک کارخانه صنایع شیمیایی در جدول آورده شده است، جرم مولکولی این گاز را محاسبه نمایید.

تمرین



گازهای دودکش	درصد مولی
کربن منواکسید (CO)	۵
کربن دی اکسید (CO <sub>۲</sub> )	۱۵
گوگرد دی اکسید (SO <sub>۲</sub> )	۵
بخار آب (H <sub>۲</sub> O)	۴۰
اکسیژن (O <sub>۲</sub> )	۶
نیتروژن منواکسید (NO)	۵
نیتروژن (N <sub>۲</sub> )	۲۴
	۱۰۰

در صنایع شیمیایی، نفت، گاز و پتروشیمی گاهی اوقات درصد جرمی (مولی یا حجمی) یک جزء بسیار پایین است؛ لذا در این صنعت از تعریف «یک جزء در میلیون» با نماد (ppm) استفاده می‌گردد؛ به‌عنوان مثال میزان مجاز ترکیبات گوگردی در گازوئیل طبق استاندارد یورو ۵ می‌بایست ۱۰ ppm باشد، یعنی در هر یک میلیون کیلوگرم گازوئیل باید حداکثر ۱۰ کیلوگرم گوگرد وجود داشته باشد. در این مثال کسر جرمی گوگرد و گازوئیل و درصد آن عبارت است از:

$$\text{کسر جرمی گوگرد} = \frac{\text{جرم گوگرد}}{\text{جرم گازوئیل}} = \frac{10}{10^6} = 0/000001$$

$$\text{درصد جرمی گوگرد} = \text{کسر جرمی گوگرد} \times 100 = 0/000001 \times 100 = 0/0001$$

بنابراین حد میزان گوگرد در گازوئیل باید حداکثر ۰/۰۰۱ درصد جرمی باشد، ولی به دلیل کم بودن این درصد، به جای این درصد از کمیت ۱۰ ppm استفاده می‌گردد.

تمرین ۱۵: با توجه به برچسب مواد غذایی، دارویی و شوینده در کالاهایی که خرید می‌کنید، در سه نمونه کالا که مقدار ماده‌ای را در حد ppm است، بیان کنید.

تمرین



**مثال** میزان مجاز ترکیبات گوگردی در نفت خام ۵۰۰ ppm است. در یک محموله نفتی با جرم ۴۲۰۰۰۰ کیلوگرم، مقدار ۱۰۰ کیلوگرم گوگرد وجود دارد. آیا مقدار گوگرد این محموله نفتی در حد مجاز است؟

**پاسخ** با توجه به تعریف ppm، باید تعیین نمود که در ۱۰۰۰۰۰۰ کیلوگرم نفت خام، چند کیلوگرم گوگرد وجود دارد، لذا با یک تناسب ساده میتوان آنرا محاسبه کرد.

نفت خام (kg)	گوگرد (kg)
۴۲۰۰۰۰	۱۰۰
۱۰۰۰۰۰۰	x

$$\frac{420000}{1000000} = \frac{100}{x} \rightarrow x = \frac{100 \times 1000000}{420000} = 238 \text{ ppm}$$

بنابراین با توجه به حد استاندارد گوگرد در نفت خام (۵۰۰ ppm)، میزان گوگرد این محموله نفتی در حد مجاز است.



تمرین ۱۶: میزان حداکثر مجاز گوگرد در گازوئیل ۱۰ ppm جرمی است، در یک تانکر حاوی ۲۵۸۰۰۰ کیلوگرم گازوئیل، چند کیلوگرم گوگرد وجود دارد؟

تمرین





تمرین ۱۷: میزان حد مجاز یک ماده سمی در پساب یک کارخانه شیمیایی ppm ۱/۰۱ است. اگر ۵۰۰ هزار کیلوگرم از این پساب وارد رودخانه شده باشد، مطلوب است:  
 الف) چند کیلوگرم از این ماده سمی وارد رودخانه شده است؟  
 ب) چند پوند از این ماده سمی وارد رودخانه شده است؟

### غلظت

غلظت یک ماده به مقدار جرم (مول) آن ماده در حجم معینی از محلول گفته میشود. در محاسبات صنایع شیمیایی واحدهای غلظت عبارتند از:

واحدهای غلظت جرمی	$\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$	$\frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$	$\frac{\text{lb}}{\text{ft}^3}$
واحدهای غلظت مولی	$\frac{\text{kmol}}{\text{m}^3}$	$\frac{\text{gmol}}{\text{cm}^3}$	$\frac{\text{lbmol}}{\text{ft}^3}$

استفاده از غلظت در مباحث آلودگی هوا بسیار رایج است؛ مثلاً میزان غلظت مجاز (SO<sub>۲</sub>) در هوا  $۶ \frac{\text{mg}}{\text{m}^3}$  است، یعنی در هر یک متر مکعب از هوا حداکثر می‌بایست ۶ میلی‌گرم (۰/۰۰۶ گرم) SO<sub>۲</sub> وجود داشته باشد.

تمرین ۱۸: حداکثر مواد اسیدی‌کننده در آب لیمو، نکتار (شربت) هلو، گلابی و سیب (طبق استاندارد ملی ایران به شماره ۲۶۱۳)، ۵۰۰ ppm است، اگر هدف تولید ۱۵۰۰۰ کیلوگرم شربت هلو باشد، حداکثر مجاز مواد اسیدی‌کننده آن چند کیلوگرم است؟

تمرین ۱۹: حداکثر مواد اکسیدکننده (آزودی کربن‌امید) در تهیه آرد برای انواع شیرینی و کیک ۴۵ ppm است (مطابق با استاندارد ملی ایران به شماره ۳۴۹۴)، در یک محموله آرد به جرم ۲۷۰۰۰ کیلوگرم اگر میزان ماده اکسیدکننده ۲ کیلوگرم باشد، آیا این مقدار ماده اکسیدکننده در حد مجاز است؟

**مثال)** حداکثر استفاده از ماده شیرین‌کننده اسپارتام (C<sub>۱۴</sub>H<sub>۱۸</sub>N<sub>۲</sub>O<sub>۵</sub>) در تهیه آدامس ۲۵۰۰ ppm است، در یک کارخانه برای تولید ۴۰۰۰ کیلوگرم آدامس، حداکثر از چند کیلوگرم اسپارتام باید استفاده نمود؟

**پاسخ)** با توجه به تعریف ppm و استفاده از تناسب زیر:

مقدار مجاز اسپارتام (kg)	آدامس (kg)
۲۵۰۰	۱۰۰۰۰۰۰
x	۴۰۰۰

$$x = \frac{۲۵۰۰ \times ۴۰۰۰}{۱۰۰۰۰۰۰} = ۱۰ \text{ kg}$$

بنابراین میزان مجاز اسپارتام در (۴۰۰۰ کیلوگرم آدامس)، حداکثر ۱۰ کیلوگرم است.



## دما

دما معیاری است که میزان گرمی و سردی جسم را مشخص میکند. برای اندازه‌گیری دما لازم است مقیاس دمایی داشت و برای این کار میتوان از هر مشخصه قابل اندازه‌گیری بهره جست که با گرمی و سردی جسم تغییر کند.

یکی از مقیاس‌های متداول دما، درجه سلسیوس است که به نام اخترشناس سوئدی آندره سلسیوس نامگذاری شده و بخشی از سیستم بین‌المللی است. مبنای این مقیاس تخصیص دقیق صفر درجه برای نقطه انجماد آب و صد درجه برای نقطه جوش آب در فشار یک اتمسفر است.

واحدهای دما در دو سیستم بین‌المللی و انگلیسی عبارتند از:

الف) سیستم SI، سلسیوس ( $^{\circ}\text{C}$ )؛

ب) سیستم انگلیسی، فارنهایت ( $^{\circ}\text{F}$ ).

رابطه دو واحد دما با رابطه (۹-۱) بیان شده است.

$$T(^{\circ}\text{F}) = T(^{\circ}\text{C}) \times 1/8 + 32 \quad (9-1)$$

**مثال** دمای بدن یک انسان سالم تقریباً ۳۷ درجه سلسیوس است، این دما را بر حسب فارنهایت به دست آورید.

جواب مطابق با رابطه (۹-۱):

$$T(^{\circ}\text{F}) = 37 \times 1/8 + 32 = 98/6^{\circ}\text{F}$$

## فشار

فشار یک کمیت فرعی است؛ نیرویی است که به طور عمود بر واحد سطح وارد می‌شود و عموماً آنرا با نماد P نشان می‌دهند. در سیستم آحاد (SI)، فشار را با واحد پاسکال معرفی می‌نمایند که یک پاسکال فشاری است که نیروی یک نیوتنی به طور عمود بر سطح یک متر مربع وارد می‌کند.

$$P = \frac{F}{A} \quad (10-1)$$

P = فشار ، F = نیرو ، A = سطح

**مثال** با توجه به یکاهای کمیت‌های موجود در رابطه فشار (۱۰-۱)، یکای فشار و بعد آنرا در سیستم آحاد (SI) محاسبه نمایید.

$$F = m.a = m \frac{v}{t} = \frac{\text{kg} \cdot \frac{\text{m}}{\text{sec}}}{\text{sec}} = \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{sec}^2}$$

$$A = \text{m}^2$$

$$P = \frac{F}{A} = \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{sec}^2 \cdot \text{m}^2} = \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{sec}^2}$$

$$\frac{\text{M}}{\text{L} \cdot \text{T}^2} = \text{ML}^{-1}\text{T}^{-2}$$

بعد فشار نیز عبارت است از:

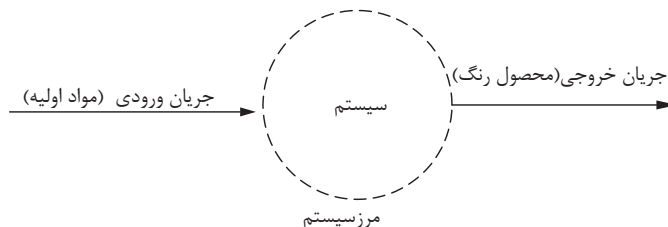
## ۷-۱- قانون بقای جرم

با توجه به جایگاه ویژه موازنه جرم در صنایع شیمیایی و ارتباط عمیق آن با سایر دروس اصلی این رشته، یادگیری این قسمت را ضروری جلوه می‌دهد.

سرآغاز شیمی جدید، آزمایش‌های دانشمند فرانسوی آنتوان لاوازیه است. مطابق با آزمایش‌های او، مجموعه کل جرم موجود در جهان مقداری ثابت است، لذا با استفاده از این قانون همانطور که در بخش‌های آتی می‌بینید می‌توان واکنش‌ها و اتفاقات فیزیکی و شیمیایی را از نظر جرمی بررسی کرد.

### سیستم<sup>۱</sup> و فرایند<sup>۲</sup>

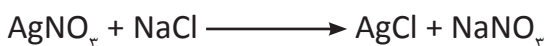
حجمی از فضا را که قانون بقای جرم روی آن مطالعه می‌شود، سیستم و تغییرات و اتفاقاتی را که داخل سیستم رخ می‌دهد فرایند می‌نامند. خطوطی که اطراف یک سیستم وجود دارد، مرز سیستم است. مطابق با شکل ۱-۱ در یک کارخانه رنگ‌سازی، مواد اولیه وارد کارخانه شده، طی یک فرایند که در کارخانه اتفاق می‌افتد، رنگ به عنوان محصول کارخانه خارج می‌شود.



شکل ۱-۱: نمونه‌ای از یک سیستم

درون این سیستم، فرایند تولید رنگ اتفاق می‌افتد البته فرایند اتفاق افتاده در سیستم می‌تواند از نوع واکنش شیمیایی یا غیر آن باشد.

اگر در یک سیستم واکنش شیمیایی اتفاق بیفتد، موادی به عنوان مواد اولیه مصرف شده و موادی هم به عنوان محصول تولید می‌شوند؛ ولی اگر در این سیستم واکنش شیمیایی رخ ندهد، مانند خشک شدن کاغذ در کارخانجات کاغذسازی ماده ای مصرف و ماده ای تولید نمی‌شود. در عمل خشک شدن رطوبت کاغذ کم می‌شود، ولی در مقابل در کارخانجات تولید نقره کلرید، هم سدیم کلرید (NaCl) و هم نقره نیترات (AgNO<sub>۳</sub>) مصرف شده، در نتیجه نقره کلرید (AgCl) و سدیم نیترات (NaNO<sub>۳</sub>) تولید می‌شود.



### انواع سیستم

**الف) سیستم پایدار:** در این سیستم متغیرهای آن با گذشت زمان ثابت می‌مانند و تغییرات آن با گذشت زمان صفر است. ورود یک اتومبیل را به بزرگراه مورد بررسی قرار دهید، قبل از ورود به بزرگراه اتومبیل

۱-System

۲-Process

مدام ترمز کرده و متوقف می‌شود و سپس شروع به حرکت می‌کند در این حالت سرعت مدام کم و زیاد می‌شود و مصرف بنزین متناسب با سرعت تغییر می‌کند لذا این عملیات یکنواخت نیست و میزان سرعت و مصرف بنزین با گذشت زمان تغییر می‌کند. ولی وقتی اتومبیل وارد بزرگراه می‌شود و در خط مشخصی از سرعت قرار می‌گیرد و سرعت خود را روی یک عدد مشخص تنظیم می‌کند تا مدتی در همان حالت باقی می‌ماند بدون اینکه ترمز کند و یا سرعتش را افزایش دهد لذا در این حالت این عملیات یکنواخت است و میزان مصرف بنزین و سرعت ماشین ثابت خواهد بود.

**(ب) سیستم ناپایدار:** در این سیستم متغیرهای آن با گذشت زمان ثابت نمی‌مانند و تغییرات آن با گذشت زمان صفر نیست.

معمولاً تغییرات یک متغیر در یک سیستم را تجمع می‌نامند؛ لذا برای سیستم‌های پایدار تجمع صفر و برای سیستم‌های ناپایدار تجمع صفر نیست.

مثال: مدرسه‌ای را با ۲۵۰ دانش‌آموز در نظر بگیرید، در این مدرسه ساعات کلاسی طوری است که طبق جدول زیر دانش‌آموزان وارد و خارج می‌شوند، حال اگر مدرسه را یک سیستم در نظر گرفته و تعداد دانش‌آموزان را متغیر، در چه مواقعی این سیستم پایدار و چه مواقعی ناپایدار است؟

ساعت ورودی	ساعت خروج	ساعت ورودی	ساعت خروج
۸	۱۴	۱۰	۱۶
۲۵۰	۲۵۰	-	-
۲۵۰	۲۱۰	-	۴۰
۲۵۰	۲۵۰	-	-
۱۰۰	-	۱۵۰	۲۵۰
-	-	۲۵۰	۲۵۰

**پاسخ:**

در روز شنبه بین ساعت ۸ و ساعت چهارده تعداد دانش‌آموزان (متغیر) با گذشت زمان تغییر نمی‌کند؛ بنابراین سیستم پایدار است.

در روز یکشنبه بین ساعت ۸ تا ساعت شانزده تعداد دانش‌آموزان حاضر در مدرسه با زمان تغییر می‌کند بنابراین سیستم ناپایدار است.

در بقیه روزهای هفته پایدار یا ناپایدار بودن سیستم را بررسی کنید.

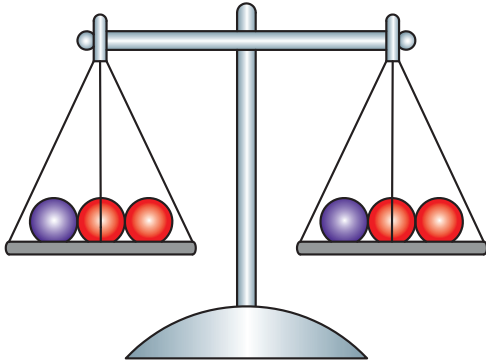
بحث کنید



تمرین



## ۸-۱- موازنه مواد



مطابق با قانون بقای جرم، مجموع کل جرم موجود در جهان ثابت است، پس در سیستم (شکل ۱-۱) همواره جرم کل ورودی برابر با جرم کل خروجی است.

$$(۱-۱) \text{ جرم کل خروجی} = \text{جرم کل ورودی}$$

قانون بقای جرم برای یک ماده (مثلاً ماده A) در سیستم مذکور عبارت است از:

$$\text{جرم ماده A تجمع یافته} = \text{جرم ماده A مصرفی} - \text{جرم ماده A تولیدی} + \text{جرم ماده A خروجی} - \text{جرم ماده A ورودی}$$

### موازنه مواد برای سیستم‌های بدون واکنش شیمیایی

اگر در سیستم، واکنش شیمیایی اتفاق نیفتد، جرم ماده A مصرفی و جرم ماده A تولیدی صفر است، لذا:

$$(۱-۱۲) \text{ جرم ماده A تجمع یافته} = \text{جرم ماده A خروجی} - \text{جرم ماده A ورودی}$$

اگر سیستم پایدار باشد (تجمع صفر است) پس:

$$0 = \text{جرم ماده A خروجی} - \text{جرم ماده A ورودی}$$

$$\text{جرم ماده A خروجی} = \text{جرم ماده A ورودی}$$

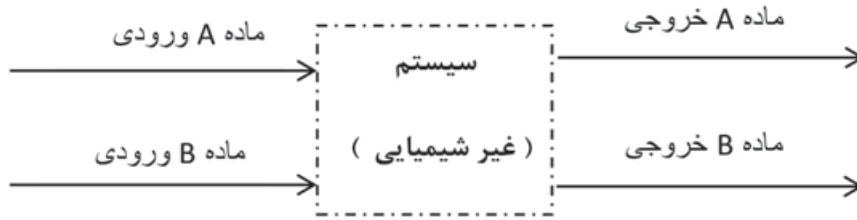
نکته



تمرین



تمرین ۲۱: تفاوت روابط (۱-۱۱) و (۱-۱۲) در چیست؟  
مثال) برای سیستم پایدار مطابق با شکل ۱-۲ که فقط فرآیند فیزیکی (غیر شیمیایی) در آن اتفاق می‌افتد، موازنه‌های قابل قبول را بنویسید.



شکل ۲ - ۱

**پاسخ:** سیستم بدون واکنش شیمیایی پایدار است، و موازنه‌های ذیل صادق است:

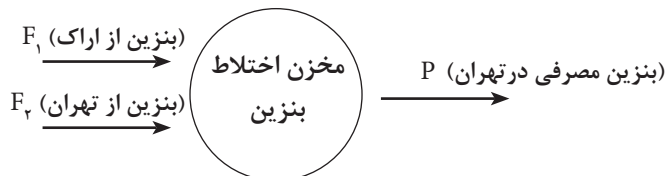
$$1) \text{جرم کل خروجی} = \text{جرم کل ورودی}$$

$$2) \text{جرم A خروجی} = \text{جرم A ورودی}$$

$$3) \text{جرم B خروجی} = \text{جرم B ورودی}$$

**مثال)** بنزین مصرفی مورد نیاز شهر تهران از دو پالایشگاه تهران و اراک تأمین میگردد. از پالایشگاه اراک روزانه ۱۲۰۰۰ کیلوگرم بنزین و از پالایشگاه تهران روزانه ۴۵۰۰۰ کیلوگرم بنزین وارد شهر تهران میشود، معین کنید در یک روز چند کیلوگرم بنزین مصرف می‌شود؟

**پاسخ)** در این مثال اختلاط دو جریان بنزین مطرح است که در اختلاط واکنش شیمیایی وجود نداشته و سیستم پایدار است.



**موازنه حول سیستم عبارت است از:**

جرم کل خروجی از سیستم = جرم کل ورودی به سیستم

(بنزین از پالایشگاه تهران) + (بنزین از پالایشگاه اراک) = جرم کل ورودی به سیستم

بنابراین:

$$\text{جرم کل ورودی به سیستم} = F_1 + F_2 = 12000 + 45000 = 57000 \text{ kg}$$

$$P = \text{بنزین مصرفی در شهر تهران} = \text{جرم کل خروجی از سیستم}$$

مطابق با موازنه جرم:

$$F_1 + F_2 = P \rightarrow P = 45000 + 12000 = 57000 \text{ kg}$$

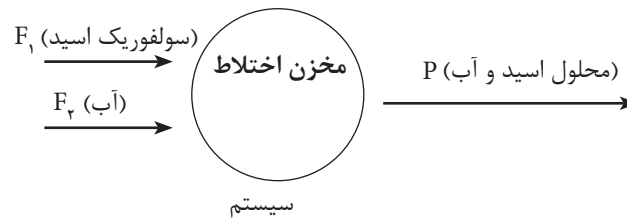
بنابراین میزان بنزین ورودی و مصرفی در تهران ۵۷۰۰۰ کیلوگرم خواهد بود.

**مثال)** جریانی حاوی آب خالص با جرم ۲۵ کیلوگرم و جریانی حاوی سولفوریک اسید با جرم ۷۵ کیلوگرم را در یک مخزن با هم مخلوط می‌کنند. برای محصول به دست آمده مطلوب است:

الف) جرم محلول به دست آمده؛

ب) آنالیز محلول به دست آمده.

**پاسخ)** در این مثال نیز هیچ واکنش شیمیایی اتفاق نمی‌افتد، ضمناً سیستم پایدار است.



موازنه کل جرم حول سیستم عبارت است از:

جرم کل خروجی از سیستم = جرم کل ورودی به سیستم

جرم محلول اسید و آب موجود در مخزن = جرم آب ورودی به مخزن + جرم اسید ورودی به مخزن

$$F_1 + F_2 = P$$

$$\text{جرم کل ورودی به مخزن} = F_1 + F_2 = 75 + 25 = 100 \text{ kg}$$

بنابراین:

$$P = 100 \text{ kg}$$

بنابراین در جریان خروجی یا همان محلول تهیه شده که وزن کل آن ۱۰۰ کیلوگرم است، ۷۵ کیلوگرم اسید و ۲۵ کیلوگرم آب وجود دارد.

$$x_{\text{اسید}} = \frac{\text{جرم اسید در جریان}}{\text{جرم کل}} = \frac{75}{100} = 0/75$$

$$x_{\text{آب}} = \frac{\text{جرم آب در جریان}}{\text{جرم کل}} = \frac{25}{100} = 0/25$$

$$x_{\text{اسید}} + x_{\text{آب}} = 0/75 + 0/25 = 1/0$$

$$\text{وزنی } \% = 0/75 \times 100 = 75 \%$$

$$\text{وزنی } \% = 0/25 \times 100 = 25 \%$$

تمرین ۲۲: در یک پالایشگاه ۸۹۰۰۰ کیلوگرم بنزین تولید شده است. معمولاً بنزین در پالایشگاه از دو واحد تبدیل کاتالیستی و ایزومریزاسیون به دست می آید. اگر در این پالایشگاه از واحد تبدیل کاتالیستی ۵۳۰۰۰ کیلوگرم بنزین تولید شده باشد، مقدار بنزین تولیدی در واحد ایزومریزاسیون چقدر است؟

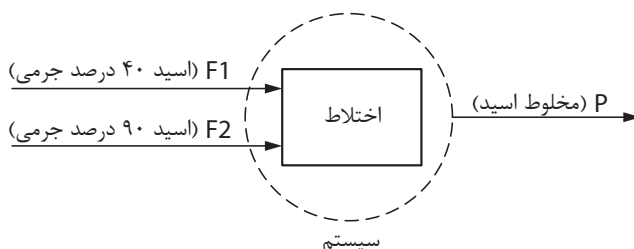
تمرین



**مثال)** دو جریان حاوی سولفوریک اسید با جرم ۷۵ و ۱۵۰ کیلوگرم به ترتیب با خلوص ۴۰ درصد جرمی و ۹۰ درصد جرمی با هم مخلوط می شوند، حال مطلوب است:

الف) وزن مخلوط سولفوریک اسید؛

ب) آنالیز اجزای سولفوریک اسید.



پاسخ: موازنه کل حول سیستم

جرم کل خروجی از سیستم = جرم کل ورودی به سیستم

جرم کل ورودی به سیستم =  $F_1 + F_2$

جرم کل خروجی از سیستم =  $P$

$$\longrightarrow \boxed{F_1 + F_2 = P}$$

اطلاعات مربوط به دو جریان اسید ورودی در جدول های زیر آورده شده است:

#### اطلاعات جریان $F_1$

مواد	درصد جرمی	کسر جرمی	جرم اجزا (kg)
اسید	۴۰	۰/۴	$۰/۴ \times ۷۵ = ۳۰$
آب	۶۰	۰/۶	$۰/۶ \times ۷۵ = ۴۵$
جمع	۱۰۰	۱/۰	۷۵

#### اطلاعات جریان $F_2$

مواد	درصد جرمی	کسر جرمی	جرم اجزا (kg)
اسید	۹۰	۰/۹	$/۹ \times ۱۵۰ = ۱۳۵$
آب	۱۰	۰/۱	$۰/۱ \times ۱۵۰ = ۱۵$
جمع	۱۰۰	۱/۰	۱۵۰

الف) موازنه کلی:

$$F_1 + F_2 = P$$

$$P = ۷۵ + ۱۵۰ = ۲۲۵ \text{ kg}$$

برای تعیین مقادیر اجزای جریان ترکیبی (P) می بایست موازنه اجزای را حول سیستم تعیین نمود.

**موازنه اسید حول سیستم:**

اسید خروجی در جریان  $P$  = اسید ورودی در جریان  $F_2$  + اسید ورودی در جریان  $F_1$

$$۳۰ + ۱۳۵ = ۱۶۵ \text{ kg}$$

**موازنه آب حول سیستم:**

آب خروجی در جریان  $P$  = آب ورودی در جریان  $F_2$  + آب ورودی در جریان  $F_1$

$$۴۵ + ۱۵ = ۶۰ \text{ kg}$$

خلاصه محاسبات برای جریان خروجی (P) عبارت است از:

مواد	جرم (kg)	کسر جرم	جرم اجزا (kg)
اسید	۱۶۵	$\frac{۱۶۵}{۲۲۵} = ۰/۷۳$	٪ ۷۳
آب	۶۰	$\frac{۶۰}{۲۲۵} = ۰/۲۷$	٪ ۲۷
جمع	۲۲۵	۱/۰	٪ ۱۰۰

بنابراین خلوص اسید ترکیبی، ۷۳ درصد وزنی خواهد بود.

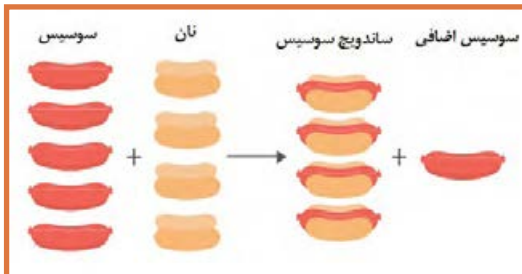
تمرین ۲۴: برای تولید ۱۰۰۰ کیلوگرم سولفوریک اسید از دو جریان اسید که مقدار یکی از دو جریان ۶۵۰ کیلوگرم است، استفاده میشود، با استفاده از موازنه مواد و رسم شکل مقدار جریان دیگر را تعیین نمایید.

تمرین ۲۵: برای تهیه ۱۰۰ کیلوگرم سولفوریک اسید با خلوص ۸۰ درصد وزنی سولفوریک اسید و مابقی آب، از یک جریان سولفوریک اسید خالص و یک جریان آب استفاده می شود. با استفاده از موازنه مواد و رسم شکل مقادیر هر دو جریان را تعیین نمائید.

تمرین



### موازنه مواد برای سیستم‌های دارای واکنش شیمیایی



برای سیستمی که درون آن یک واکنش شیمیایی اتفاق می افتد و در حالت پایاست، موازنه‌های کلی و اجزا صادق است.

جرم کل مواد خروجی = جرم کل مواد ورودی

جرم ماده A تجمع یافته = جرم ماده A مصرفی - جرم ماده A تولیدی + جرم ماده A خروجی - جرم ماده A ورودی



لازم به ذکر است که برای یک واکنش شیمیایی ابتدا باید فرمول واکنش (معادله واکنش) را موازنه نمود و سپس موازنه مواد را برای آن انجام داد.



### موازنه واکنشهای شیمیایی:

پس از نوشتن فرمول واکنش، اگر تعداد اتم های مواد مشابه در دو طرف واکنش یکسان باشند، آن واکنش را موازنه شده می نامند. بنا براین در واکنش های موازنه شده:

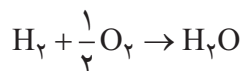
تعداد اتم های هر ماده در ترکیب شونده ها = تعداد اتم های همان ماده در محصولات

مثال) واکنش تولید آب ( $H_2 + O_2 \rightarrow H_2O$ ) در نظر بگیرید، آیا این واکنش موازنه شده است؟ در غیر اینصورت موازنه نمائید.

**جواب)** برای بررسی موازنه بودن یک واکنش باید تعداد اتم های هر ماده را در ترکیب شونده ها و محصولات مقایسه نمود.

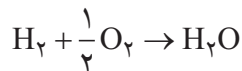
نام اتم	تعداد اتم ها در طرف اول ترکیب شونده ها	تعداد اتم ها از طرف دوم محصولات
H	۲	۲
O	۲	۱

پس این واکنش موازنه نیست چون تعداد اتم اکسیژن در ترکیب شونده ها برابر با محصولات نیست بنابراین اگر تعداد اتم های اکسیژن در ترکیب شونده ها نصف گردد این واکنش موازنه خواهد شد یعنی از این معادله واکنش برای تولید آب استفاده نمود:



نام اتم	تعداد اتم ها در طرف اول ترکیب شونده ها	تعداد اتم ها از طرف دوم محصولات
H	۲	۲
O	۱	۱

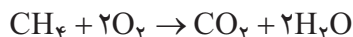
پس حالا واکنش موازنه شده است:



مثال) واکنش سوختن متان به صورت  $CH_4 + O_2 \rightarrow CO_2 + H_2O$  می باشد این واکنش را موازنه نمائید.

نام مواد	تعداد اتم ها در طرف اول ترکیب شونده ها	تعداد اتم ها در محصولات
C	۱	۱
H	۴	۲
O	۲	۳

**جواب)** برای موازنه می بایست با استفاده از ضرایبی در ترکیب شونده ها و یا محصولات تعداد اتم های هر ماده در طرفین واکنش را یکسان نمود. حال برای سوختن متان چنین واکنشی نوشته می شود.



با توجه به جدول تعداد اتم ها می توان دریافت که این واکنش موازنه شده می باشد.

**جواب)**

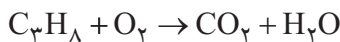
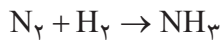
نام مواد	تعداد اتم ها در ترکیب شوونده ها	تعداد اتم ها در محصولات
C	۱	۱
H	۴	۴
O	۴	۴

پس از موازنه و تنظیم ضرایب همواره کنترل کنید که معادله واکنش موازنه باشد.

نکته



تمرین ۲۶: واکنش های زیر را موازنه نمائید.



**مثال)** ۱۰۰ کیلوگرم کربن در یک کوره سوخته می شود، حال مطلوب است:

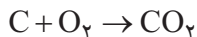
الف) میزان اکسیژن مصرفی؛

ب) میزان کربن دی اکسید تولیدی؛

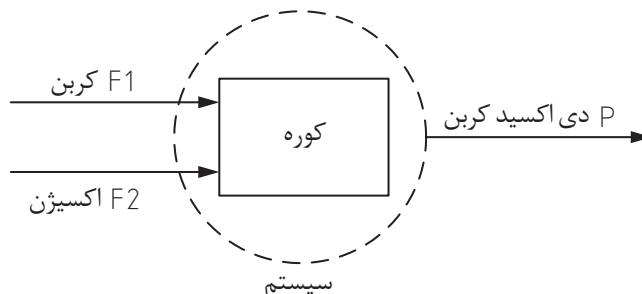
ج) موازنه کلی جرم و موازنه جرم هر یک از مواد.

$$Mw C = ۱۲ \quad , \quad Mw O_2 = ۳۲ \quad , \quad Mw CO_2 = ۴۴$$

**جواب)** در ابتدا همچنان که توضیح داده شد، می بایست معادله واکنش را نوشت و موازنه نمود.



این واکنش موازنه است و هر سه ماده دارای ضریب استوکیومتری یک هستند، یعنی برای سوزاندن یک مول کربن، یک مول اکسیژن مصرف میشود و یک مول کربن دی اکسید تولید می شود.



در ابتدا لازم است تعداد مول کربن را با توجه به تعریف جرم مولکولی تعیین نمود.

$$Mw = \frac{m}{w} \rightarrow n = \frac{m}{Mw} \rightarrow n_c = \frac{100}{12} = 8.33$$

حال با استفاده از موازنه مولی مقادیر اکسیژن مورد نیاز (مصرفی) و دی‌اکسید کربن تولیدی تعیین می‌گردد.

کربن مصرفی (Kmol)	اکسیژن مصرفی (Kmol)
۱	۱
۸/۳۳	x

$$X = \frac{8.33 \times 1}{1} = 8.33 \quad \text{اکسیژن مصرفی (کیلومول)}$$

حال با استفاده از تعریف جرم مولکولی، جرم اکسیژن مصرفی تعیین می‌گردد.

$$Mw O_2 = \frac{m O_2}{n O_2} \rightarrow m O_2 = Mw O_2 \times n O_2 = 32 \times 8.33 = 266.6 \text{ kg}$$

کربن دی‌اکسید

حال با استفاده از استوکیومتری، مقدار کربن دی‌اکسید را به دست می‌آوریم:

کربن مصرفی (Kmol)	کربن دی‌اکسید تولیدی (Kmol)
۱	۱
۸/۳۳	x

$$x = \frac{8.33 \times 1}{1} = 8.33 \quad \text{کربن دی‌اکسید تولیدی (کیلومول)}$$

حال با استفاده از تعریف جرم مولکولی، جرم کربن دی‌اکسید تولیدی تعیین می‌گردد.

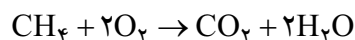
$$m CO_2 = Mw CO_2 \times n CO_2 = 44 \times 8.33 = 366.6 \text{ kg}$$

حال موازنه جرم کنترل می‌شود

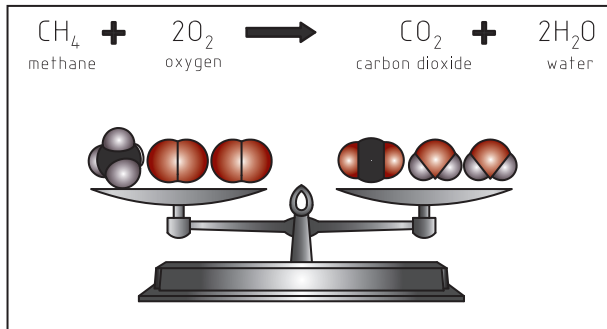
$$\begin{aligned} \text{کل جرم اکسیژن} + \text{کل جرم کربن} &= \text{کل جرم ورودی} \\ &= 100 + 266.6 = 366.6 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$366.6 = 366.6 \Rightarrow \text{کل جرم خروجی} = \text{کل جرم ورودی} \Rightarrow \text{بنابراین کل جرم خروجی}$$

**مثال)** یکصد و شصت کیلوگرم متان در کوره سوخته میشود و کربن دی‌اکسید و بخار آب تولید می‌شود، فرمول موازنه شده واکنش به این صورت می‌باشد.

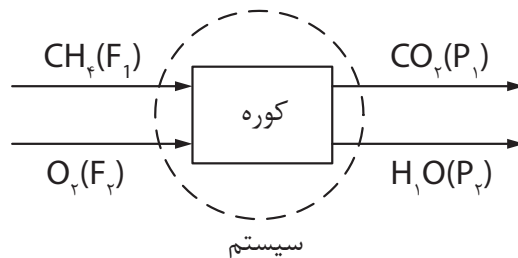


با توجه به اطلاعات ذیل مطلوب است آنالیز گاز خروجی از دودکش:



$$Mw_{H_2O} = 18, Mw_{CO_2} = 44, Mw_{O_2} = 32, Mw_{CH_4} = 16$$

$CO_2 = (P)$  پاسخ



با توجه به معلوم بودن جرم متان ابتدا باید مول متان تعیین گردد، سپس با استفاده از معادله واکنش مقادیر اکسیژن مصرفی،  $CO_2$  تولیدی و بخار آب تولیدی محاسبه می‌شود.

$$M_w = \frac{m}{n} \rightarrow n = \frac{m}{M_w}$$

$$n_{CH_4} = \frac{m_{CH_4}}{Mw_{CH_4}} = \frac{160}{16} = 10 \text{ kmol}$$

حال با استفاده از معادله واکنش مقایسه بین مواد انجام می‌شود.

CH <sub>4</sub> ورودی (Kmol)	اکسیژن مصرفی (Kmol)
1	2
10	X

$$\rightarrow X = \frac{10 \times 2}{1} = 20 \text{ kmol}$$

CH <sub>4</sub> ورودی (Kmol)	کربن دی‌اکسید تولیدی (Kmol)
1	1
10	X

عملیات دستگاهها در صنایع شیمیایی

$$\rightarrow X = \frac{1 \times 1}{1} = 1 \text{ kmol}$$

آب تولیدی (Kmol)	CH <sub>4</sub> ورودی (Kmol)
1	1
x	10

$$\rightarrow X = \frac{1 \times 2}{1} = 2 \text{ kmol}$$

با استفاده از رابطه جرم مولکولی ( $M_w = \frac{m}{n}$ )، جرم هر یک از اجزا تعیین می شود.

$$M_w = \frac{m}{n} \rightarrow m = M_w \times n$$

$$m_{O_2(\text{مصرفی})} = 32 \times 2 = 64 \text{ kg}$$

$$m_{CO_2(\text{تولیدی})} = 44 \times 1 = 44 \text{ kg}$$

$$m_{H_2O(\text{تولیدی})} = 18 \times 2 = 36 \text{ kg}$$

### بررسی موازنه جرم کلی:

$$F_1 + F_2 = 160 + 640 = 800 \text{ kg}$$

$$P_1 + P_2 = 440 + 360 = 800 \text{ kg}$$

جرم کل خروجی = جرم کل ورودی

$$F_1 + F_2 = P_1 + P_2$$

بنابراین:

### اطلاعات جریان خروجی:

مواد	جرم (kg)	کسر جرمی	درصد جرمی
CH <sub>4</sub>	0	0	0
O <sub>2</sub>	0	0	0
CO <sub>2</sub>	440	$\frac{440}{800} = 0.55$	55%
H <sub>2</sub> O	360	$\frac{360}{800} = 0.45$	45%
جمع	800	1	100%

بنابراین در جریان خروجی از این کوره، 55 درصد جرمی CO<sub>2</sub> و 45 درصد جرمی بخار آب وجود دارد.

## ارزشیابی شایستگی فصل به کارگیری محاسبات در صنایع شیمیایی

**شرح کار:**

- انجام محاسبات طبق دستورالعمل، انجام موازنه مواد برای سیستم‌های داده شده؛

**استاندارد عملکرد:**

- انجام عملیات ریاضی در محاسبات صنایع شیمیایی

**شاخص‌ها:**

- داشتن دانش پایه ریاضی
- توانایی تبدیل واحدهای اندازه‌گیری در سیستم‌های بین‌المللی
- توانایی موازنه مواد در فرایندهای فیزیکی و شیمیایی

**شرایط انجام کار و ابزار و تجهیزات:**

مکان: کلاس      زمان: یک جلسه آموزشی

**ابزار و تجهیزات:** جداول تبدیل واحدها در سیستم‌های اندازه‌گیری، ابزار عمومی

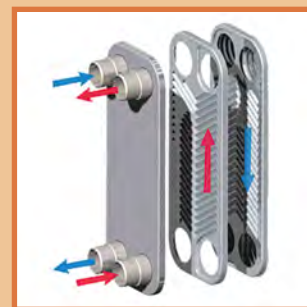
**معیار شایستگی:**

ردیف	مرحله کار	حداقل نمره قبولی از ۳	نمره هنرجو
۱	به کارگیری یکاها و ابعاد	۱	
۲	تبدیل یکاها	۲	
۳	موازنه مواد ورودی و خروجی به یک سیستم	۱	
	شایستگی‌های غیرفنی، ایمنی، بهداشت، توجهات زیست محیطی و نگرش: ۱- ایمنی: انجام کار کارگاهی با رعایت موارد ایمنی و استفاده از وسائل ایمنی شخصی؛ ۲- نگرش: ۳- توجهات زیست محیطی: جلوگیری از صدمه زدن به محیط زیست از طریق انجام کار بدون ریخت و پاش؛ ۴- شایستگی‌های غیرفنی: ۱- اخلاق حرفه‌ای، ۲- مدیریت منابع، ۳- محاسبه و کاربست ریاضی، ۴- مستندسازی: گزارش نویسی.	۲	
	<b>میانگین نمرات</b>		*

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

## فصل ۲

# دستگاه‌های حرارتی



در صنایع شیمیایی، همه فرآیندها در دمای محیط انجام نمی‌شوند. هنگامی که در بخشی از فرآیند دما بالا باشد، استفاده از دستگاه‌های حرارتی و آگاهی از طرز عملکرد آنها لازم است.

## واحد یادگیری ۲: دستگاه‌های حرارتی

### مقدمه

در صنایع شیمیایی، دستگاه‌های حرارتی برای انتقال حرارت استفاده قرار می‌گیرند. استفاده از هر یک از این دستگاه‌ها به هدف انتقال حرارت بستگی دارد؛ به‌عنوان مثال، هنگامی که هدف انتقال حرارت بین دو سیال باشد و هر دو سیال مهم باشند، از مبدل‌های حرارتی استفاده می‌شود. اگر هدف از انتقال حرارت، خنک کردن آب باشد، کافی است از برج‌های خنک‌کننده استفاده شود تا آب گرم، خنک شود و اگر تبخیر رطوبت یک ماده، هدف باشد، از خشک‌کن‌ها استفاده می‌شود تا از طریق انتقال حرارت، رطوبت ماده را خارج کنیم. در این بخش دستگاه‌های حرارتی، مبدل‌های حرارتی، برج‌های خنک‌کننده و خشک‌کن‌ها معرفی می‌گردند. روش عملکرد، اصول حاکم بر هر یک از این دستگاه‌ها و انواع آن معرفی خواهد شد و با انجام آزمایش و بازدیدهای علمی، طرز عملکرد هر یک را بهتر درک خواهید نمود.

### استاندارد عملکرد

کار با مبدل‌های حرارتی، برج‌های خنک‌کننده و خشک‌کن‌ها مطابق با دستورالعمل

شایستگی‌های غیر فنی:

- ۱- اخلاق حرفه‌ای: حضور منظم و وقت شناسی، انجام وظایف و کارهای محوله، پیروی از قوانین؛
- ۲- مدیریت منابع: شروع به کار به موقع، مدیریت مؤثر زمان، استفاده از مواد و تجهیزات؛
- ۳- کار گروهی: حضوری فعال در فعالیت‌های گروهی - انجام کارها و وظایف محوله؛
- ۴- مستندسازی: گزارش نویسی فعالیت‌های آزمایشگاهی؛
- ۵- محاسبه و کاربست ریاضی.

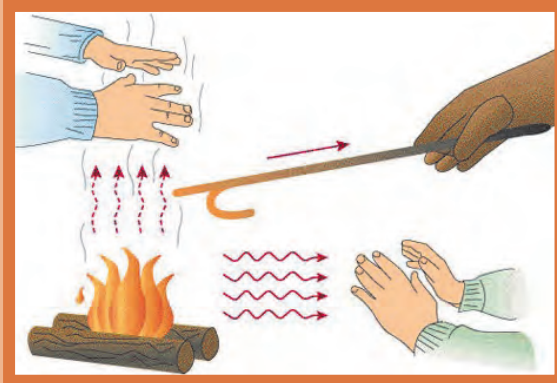
شایستگی‌های فنی:

- ۱- کار با مبدل‌های حرارتی؛
- ۲- کار با برج‌های خنک‌کننده؛
- ۳- کار با خشک‌کن‌ها.



## ۱-۲- انتقال حرارت

بحث کنید



آتش چگونه دست ما را گرم می کند؟

در اکثر کارخانجات صنایع شیمیایی اعم از پالایشگاههای نفت، گاز و پتروشیمی تبادل حرارت از جریان یا مواد اصلی فرایند اجتنابناپذیر است. این تبادل حرارت ممکن است با یک سیال دیگر فرآیند، آب، بخار آب، هوا و یا مانند آن صورت گیرد تا دمای آن افزایش یا کاهش یابد. رادیاتور موتور خودرو که آب در گردش داخل موتور را با جریان هوا خنک می کند، یا شوفاژها و سیستمهای تهویه از انواع دستگاههای حرارتی هستند.

نیروی محرکه انتقال حرارت، اختلاف دما می باشد. به این معنی که تا زمانی که اختلاف دمایی بین دو جسم برقرار نباشد، انتقال حرارتی صورت نمی گیرد؛ به طور کلی سه روش برای انتقال حرارت وجود دارد که عبارتند از: رسانایی<sup>۱</sup>، جابه جایی<sup>۲</sup> و تشعشع<sup>۳</sup> (تابش). روش انتقال حرارت رسانایی به تبادل حرارت از درون یک جسم جامد گفته می شود که از طریق جنبش مولکولها و الکترونها صورت می پذیرد. وقتی جسم گرم می شود سرعت مولکولهایش به سرعت افزایش می یابد لذا مولکولها با انرژی بالا به مولکولهای نزدیک برخورد نموده و آنها را نیز به حرکت وا می دارد بدین ترتیب انرژی گرمایی منتقل می شود. وقتی دست خود را با شوفاژ تماس می دهیم، انتقال حرارت رسانایی باعث گرم شدن دست ما می شود. انتقال حرارت جابه جایی به تبادل حرارتی از طریق حرکت سیالها (مایع و گاز) اطلاق می شود، خنک شدن بدن از طریق هوای کولر و گرم شدن بدن از طریق هوای بخاری خودرو از نمونه های انتقال حرارت جابه جایی است. انتقال حرارت به روش تشعشع زمانی کاربرد دارد که اختلاف دمای دو سطح بسیار زیاد باشد، به عنوان مثال هنگامی که نزدیک شعله های آتش باشیم، تشعشع زبانه های آتش باعث گرم شدن ما می شود.

۱-Conduction  
۲-Convection  
۳-Radiation



فیلم روش‌های انتقال حرارت را مشاهده نمایید و در مورد روش‌های مورد استفاده برای انتقال حرارت با هم کلاسی‌های خود بحث نمایید.

دستگاه‌های حرارتی با توجه به هدف از تبادل حرارت، نوع سیال‌های تبادل دهنده، حرارت و میزان تبادل حرارت سیال، انواع مختلفی دارند و به‌صورت زیر نام‌گذاری می‌گردند:

جدول ۱-۲- نام‌گذاری دستگاه‌های حرارتی بر اساس سیال‌های تبادل دهنده و هدف از تبادل

نام رایج در صنعت	هدف	سیال‌های تبادل دهنده	دسته‌بندی
Process to Process Heat Exchanger	کاهش دمای یک جریان و افزایش دمای جریان دیگر	دو جریان فرآیندی <sup>۲</sup>	مبدل حرارتی <sup>۱</sup>
Water Cooler	سرد کردن جریان فرآیندی	جریان فرآیندی - آب	
Steam Heater	گرم کردن جریان فرآیندی	جریان فرآیندی - بخار	
Air Cooler	سرد کردن جریان فرآیندی	جریان فرآیندی - هوا	کولر هوایی
Fired Heater	گرم کردن جریان فرآیندی به میزان بیشتر نسبت به گرم‌کننده	جریان فرآیندی - گاز حاصل از احتراق	کوره
Cooling Tower	سرد کردن آب برای استفاده در خنک‌کننده آبی	آب - هوا	برج خنک‌کننده
Dryer	خشک کردن رطوبت جامد	جامد مرطوب - هوا	خشک‌کن
Boiler	تولید بخار برای استفاده در گرم‌کننده	آب - گاز بدست آمده از احتراق	دیگ بخار

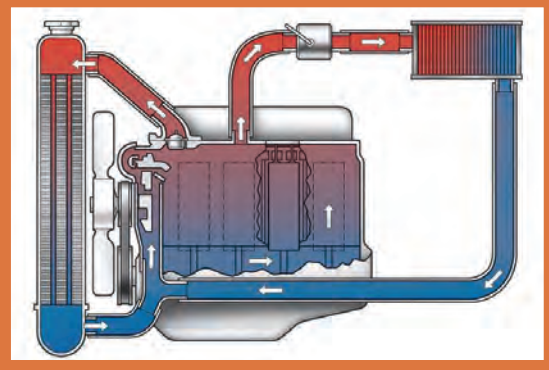
روش‌های انتقال حرارت رسانایی و جابه‌جایی در همه دستگاه‌های حرارتی فوق کاربرد دارند، در حالی که روش تشعشع تنها در کوره‌ها و دیگ بخار استفاده می‌شود.

<sup>۱</sup>- Heat Exchanger

<sup>۲</sup>- جریان فرآیندی: جریان مایع یا گاز موجود در یک کارخانه را جریان فرآیندی می‌گویند

## ۲-۲- مبدل‌های حرارتی

نحوه عملکرد شوفاژها و رادیاتور ماشین را مقایسه نموده و شرح دهید؟



بحث کنید



مبدل‌های حرارتی به آن دسته از دستگاه‌های حرارتی گفته می‌شود که در آن‌ها تبادل حرارت بدون تماس مستقیم بین دو سیال فرایندی، آب و یا بخار از طریق رسانایی دیواره لوله‌ها و نیز انتقال حرارت از نوع جابه‌جایی سیال صورت می‌گیرد. حرارت از سیال گرم به دیواره لوله‌ها و سپس به سیال سرد منتقل می‌گردد.

### انواع مبدل‌های حرارتی بر اساس نوع جریان

فیلم مبدل‌های دو لوله‌ای را ببینید و به هم‌سو و ناهم‌سو بودن جریان‌ها توجه نمایید. کدام یک کارایی و بازدهی بیشتری دارد؟

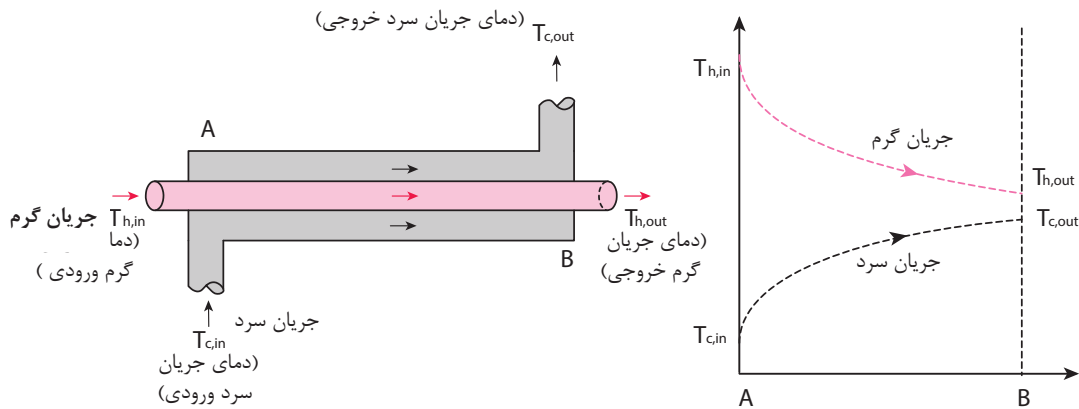
فیلم



در مبدل‌های حرارتی نحوه عبور جریان سرد و گرم یکی از مشخصه‌های مهم است که در میزان اختلاف دما (به‌عنوان نیروی محرکه تبادل حرارت) تأثیر دارد و به سه دسته تقسیم‌بندی می‌شود:

### جریان هم‌سو<sup>۱</sup>

در مبدل‌های با جریان هم‌سو، جریان سرد و جریان گرم از یک سو وارد مبدل شده و از سمت دیگر خارج می‌گردند (شکل ۱-۲).

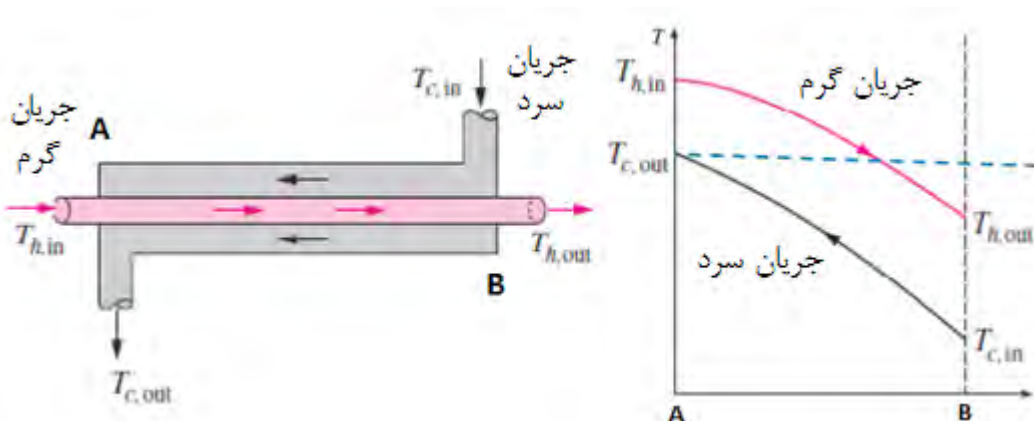


شکل ۱-۲- جریان هم‌سو در مبدل‌ها و نحوه تغییرات دما

در این حالت اختلاف دما در امتداد مبدل کاهش یافته و در نتیجه از شدت انتقال حرارت به مرور کاسته می‌شود و برای هم‌دما شدن دو سیال، به میزان بی‌نهایت سطح انتقال حرارت مورد نیاز است. این نوع جریان بازدهی کمی نسبت به سطح انتقال حرارت دارد.

### جریان ناهم‌سو<sup>۱</sup>

در مبدل‌های با جریان ناهم‌سو، جریان گرم و سرد از دو سمت مخالف وارد می‌شوند (شکل ۲-۲).

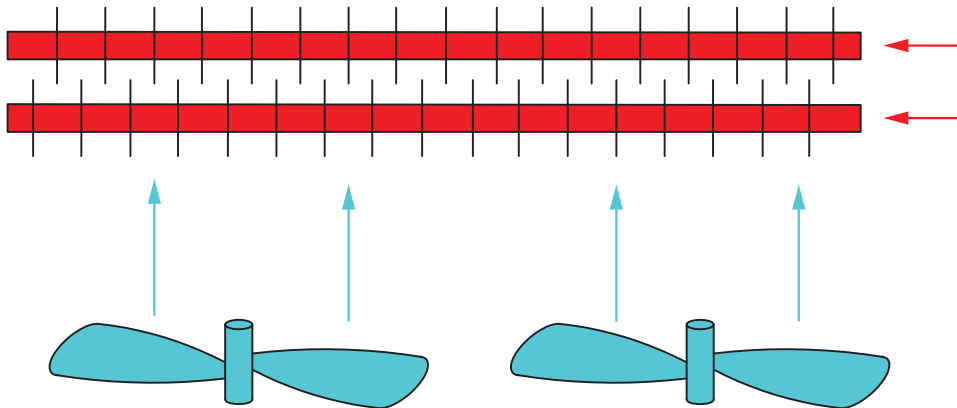


شکل ۲-۲- جریان ناهم‌سو در مبدل‌ها و نحوه تغییرات دما

در جریان‌های متقابل یا ناهم‌سو، اختلاف دمای دو سیال در امتداد مبدل تقریباً ثابت است و انتقال حرارت به‌خوبی صورت می‌پذیرد. این نوع جریان به‌علت بازدهی بالاتر نسبت به سطح انتقال حرارت کاربرد وسیع‌تری دارد.

### جریان متقاطع<sup>۱</sup>

در این حالت جریان‌های سرد و گرم بصورت متقاطع از کنار یکدیگر عبور می‌کنند، که در کولرهای هوایی اتفاق می‌افتد (شکل ۲-۳).



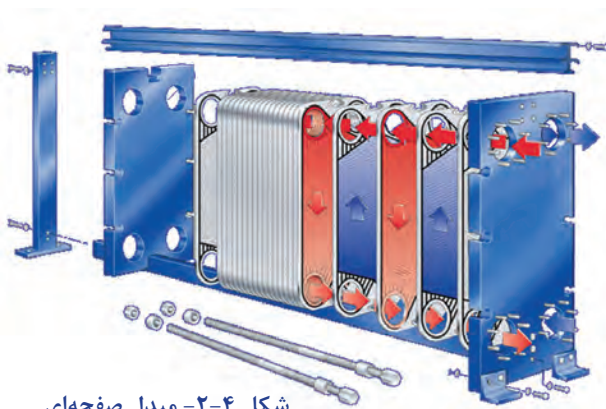
شکل ۲-۳- جریان متقاطع در کولرهای هوایی

### ۲-۳- انواع مبدل‌های حرارتی بر اساس ساختمان آنها

مبدل‌های حرارتی بر اساس ساختمان، به سه دسته مبدل‌های صفحه‌ای<sup>۲</sup> و مبدل‌های با سطوح پره‌دار<sup>۳</sup> و مبدل‌های لوله‌ای<sup>۴</sup>، تقسیم‌بندی می‌شوند.

#### مبدل‌های صفحه‌ای

این مبدل‌ها از صفحات نازک با سطوح چین‌دار تشکیل شده است (شکل ۲-۴) که سیال‌های سرد و گرم را از یکدیگر جدا می‌سازند. صفحه‌ها با استفاده از واشر، جوش یا لحیم به یکدیگر متصل می‌گردند تا از نشت سیال جلوگیری شود.



شکل ۲-۴- مبدل صفحه‌ای

- ۱- Cross Flow
- ۲- Plate and Frame Heat Exchanger
- ۳- Finned Surfaces Heat Exchanger
- ۴- Tubular Heat Exchanger

## مبدل‌های صفحه‌ای از بخش‌های زیر تشکیل شده است:

۱- صفحه ثابت؛ ۲- صفحه‌های انتقال حرارت؛ ۳- صفحه متحرک؛ ۴- تکیه‌گاه؛ ۵- میله حامل؛ ۶- پیچ محکم‌کننده.

در این مبدل‌ها نسبت سطح انتقال حرارت به حجم مبدل زیاد است، و به همین دلیل در زمان کوتاهی انتقال حرارت انجام می‌شود. مبدل‌های صفحه‌ای سبک‌ترین نوع مبدل است و معمولاً برای انتقال گرما بین گاز-مایع یا جریان‌های دو فاز استفاده می‌شوند؛ اما فشار و دمای عملیاتی آن کم است و برای سیالات خطرناک و عملیات در شرایط خلأ مناسب نیستند.

فیلم مبدل‌های صفحه‌ای را ببینید و در مورد نحوه عملکرد آن بحث کنید.

فیلم



## مبدل‌های با سطوح پره‌دار

در این نوع مبدل‌ها سطح صفحه یا لوله دارای پره (یا فین) می‌باشد. با توجه به اینکه ضریب انتقال حرارت در سمت گاز از سمت مایع کوچک‌تر است، با نصب پره‌ها در سمت گاز و ایجاد اغتشاش در آن، ضریب انتقال حرارت و در نتیجه میزان تبادل حرارت افزایش می‌یابد. در شکل ۵-۲ لوله‌های پره‌دار نشان داده شده است.



شکل ۵-۲- لوله‌ای پره‌دار مورد استفاده در مبدل‌های با سطوح پره‌دار

پره‌ها (فین‌ها) بصورت‌های طولی، عمود بر لوله یا مارپیچ روی لوله قرار دارند. از این لوله‌های پره‌دار، عمدتاً در کولرهای هوایی استفاده می‌شود.

## مبدل‌های لوله‌ای

فیلم مبدل‌های دو لوله‌ای را ببینید و به هم‌سو و ناهم‌سو بودن جریان‌ها توجه نمایید. کدام یک کارایی و بازدهی بیشتری دارد؟

فیلم



مبدل‌های لوله‌ای از رایج‌ترین مبدل‌های حرارتی هستند، که نوع دو لوله‌ای<sup>۱</sup> و پوسته-لوله‌ای<sup>۲</sup> آن پرکاربردترین گونه‌های آن است. در نوع دو لوله‌ای، یک لوله در داخل لوله‌ای با قطر بزرگتر قرار می‌گیرد. در مبدل‌های پوسته-لوله‌ای یک دسته لوله داخل پوسته قرار می‌گیرد. در این مبدل‌ها سیال‌های سرد یا گرم از یک سمت وارد لوله و از سمت دیگر آن خارج می‌شود. سیال دوم نیز به لوله بزرگ‌تر و یا پوسته وارد شده و پس از تبادل حرارت از سمت دیگر خارج می‌شوند.

۱- Double Pipe Heat Exchanger

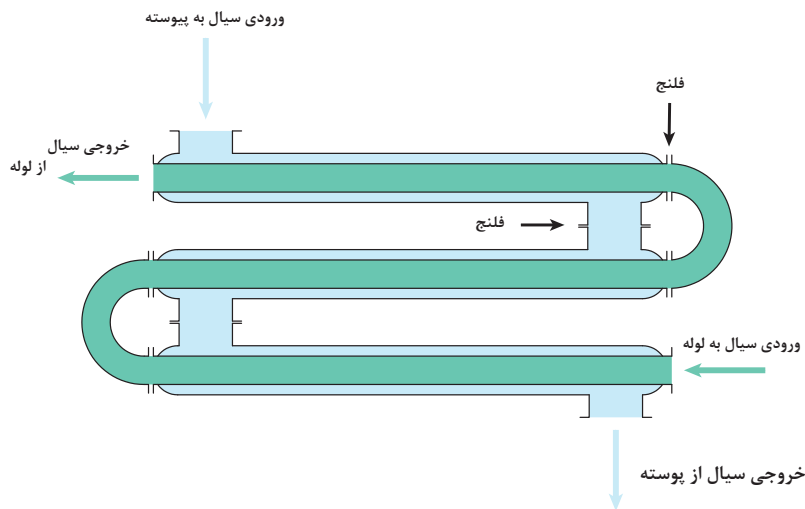
۲- Shell and Tube Heat Exchanger

## مبدل حرارتی دو لوله‌ای

این مبدل‌ها از دو لوله هم محور تشکیل شده است (شکل ۶-۲). کاربرد این تجهیز حرارتی هنگامی است که سطح مورد نیاز برای انتقال حرارت کوچک باشد و یا هنگامی که جریان یکی از دو سیال کم یا گرانی آن زیاد باشد.

در شکل ۶-۲ جریان‌ها به صورت هم‌سو، ناهم‌سو و یا متقاطع است؟ هر یک در کدام بخش اتفاق می‌افتد.

فکر کنید



شکل ۶-۲- مبدل دو لوله‌ای

به تعداد تماس سیال سرد و گرم، گذر<sup>۱</sup> گفته می‌شود؛ به عنوان مثال در شکل ۶-۲ مبدل دارای سه گذر می‌باشد.

در این آزمایش عملکرد مبدل حرارتی دو لوله‌ای را مورد بررسی کنید. وسایل مورد نیاز:

۱- لوله ۰/۲۵ اینچی برای عبور آب گرم؛

۲- لوله ۰/۷۵ اینچی برای عبور آب سرد؛

۳- مخزن ذخیره آب گرم؛

۴- پمپ انتقال آب؛

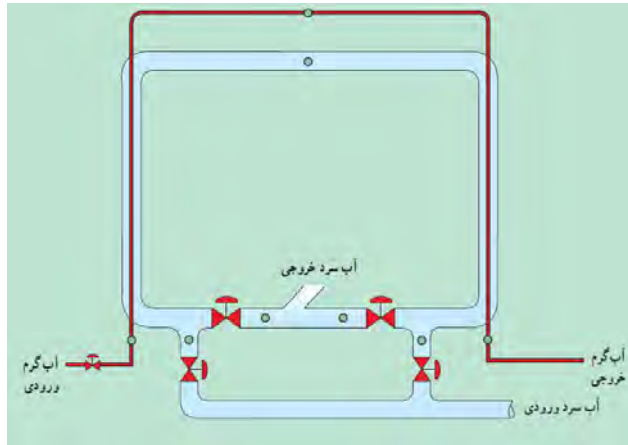
۵- عدد شیر برای بستن یا باز کردن مسیرهای آب گرم و سرد؛

۶- عدد دماسنج؛

۷- عایق برای عایق‌بندی لوله‌های آب سرد و گرم.

فعالیت  
کارگاهی





آزمایش مبدل حرارتی دولوله ای - U -

نکته ایمنی



- ۱- هنگام کار کردن با منبع سیال گرم با دمای بالا و استفاده از سطوح داغ، از دست‌کش‌های عایق حرارتی استفاده کنید.
- ۲- هنگام کار با دستگاه دقت کنید تا آب داخل مخزن همواره پر باشد.

### مراحل انجام آزمایش:

- ۱- آب گرم درون مخزن را تا دمای ۷۰ درجه سلسیوس گرم نمایید؛
- ۲- پمپ انتقال آب را روشن نمایید؛
- ۳- شیرهای آب سرد را باز نمایید تا آب سرد به صورت هم‌سو با آب گرم در لوله بیرونی جریان یابد؛
- ۴- دمای نقاط مختلف را در جدول زیر یادداشت نمایید. متوجه خواهید شد که پس از مدتی دمای نقاط به ثبات رسیده‌اند. در این هنگام، مبدل حرارتی به حالت پایدار رسیده است. مرحله اول آزمایش در این زمان به اتمام می‌رسد.
- ۵- شیرهای آب سرد را به گونه‌ای باز کنید تا بصورت ناهم‌سو با جریان آب گرم حرکت نماید و دوباره دمای نقاط را تا در زمان‌های متناظر با حالت هم‌سو، تا زمان رسیدن به حالت پایا یادداشت کنید؛
- ۶- دمای نقاط متناظر در حالت جریان هم سو و جریان ناهم سو را با هم مقایسه و نتیجه‌گیری نمایید؛
- ۷- نمودار دمایی پایدار آب سرد و گرم در دو حالت آزمایش را ترسیم نمایید.

**با توجه به کمبود منابع آب در کشور، آب خروجی از مبدل (آب سرد و آب گرم) به مخزن آب هدایت شده و مجدداً استفاده گردد.**

- ۱: در این آزمایش مقدار جریان و دمای آب سرد و گرم ورودی در هر دو حالت می‌بایست یکسان باشد. علت چیست؟

- ۲: در صورتی که مخزن آب در حال کار خالی شود، چه مشکلی می‌تواند ایجاد کند؟

پرسش



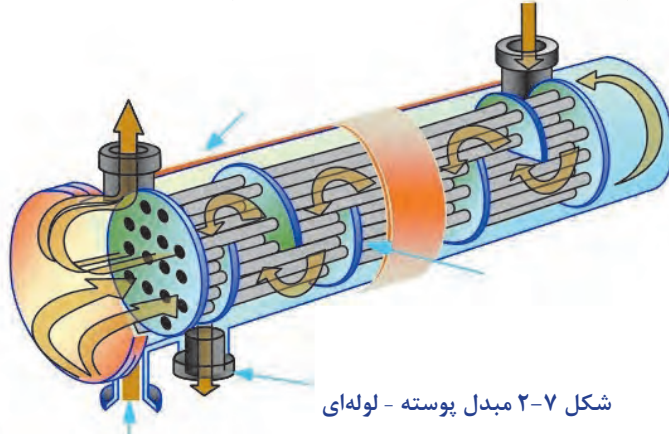


جدول ثبت نتایج:

		...	...	...	۶۰	۳۰	هم‌سو	زمان (دقیقه)
							هم‌سو	دمای آب سرد ورودی (سلسیوس)
							ناهم‌سو	
							هم‌سو	دمای آب سرد میانی (سلسیوس)
							ناهم‌سو	
							هم‌سو	دمای آب سرد خروجی (سلسیوس)
							ناهم‌سو	
							هم‌سو	دمای آب گرم ورودی (سلسیوس)
							ناهم‌سو	
							هم‌سو	دمای آب گرم میانی (سلسیوس)
							ناهم‌سو	
							هم‌سو	دمای آب گرم خروجی (سلسیوس)
							ناهم‌سو	

## مبدل حرارتی پوسته - لوله

مبدل‌های پوسته-لوله (شکل ۷-۲)، کاربرد بسیار وسیعی در صنایع نفت، گاز، پتروشیمی و صنایع غذایی دارند. این نوع مبدل از پوسته<sup>۱</sup>، دسته لوله<sup>۲</sup>، کله‌گی جلو<sup>۳</sup> و کله‌گی عقب<sup>۴</sup> تشکیل شده است. به محل ورود و خروج جریان‌ها نازل<sup>۵</sup> می‌گویند. دسته لوله‌ها با استفاده از صفحه لوله<sup>۶</sup> در ابتدا و انتها آن ثابت شده است، و برای ثابت نگه داشتن لوله‌ها و همچنین ایجاد اغتشاش در جریان سمت پوسته، از تیغه (بافل<sup>۷</sup>) استفاده می‌شود.



شکل ۷-۲ مبدل پوسته - لوله‌ای

فیلم مبدل‌های پوسته-لوله ای را ببینید و در مورد اجزای تشکیل‌دهنده آن بحث کنید.

فیلم



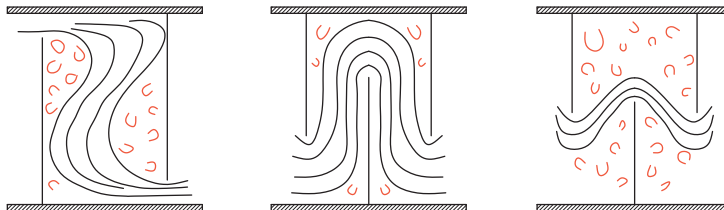
در آزمایشی مشابه فعالیت کارگاهی مبدل حرارتی دولوله ای، عملکرد مبدل حرارتی پوسته-لوله را بررسی نمایید

فعالیت کارگاهی



در کدام شکل زیر، اندازه و طراحی تیغه مناسب است؟ دلیل خود را بیان کنید.

پرسش



۱- در صورتی که یک سیال سمی یا دارای خوردگی بالا باشد، می‌بایست از درون لوله‌ها جریان یابد؛ زیرا تعویض و تمیز کردن لوله‌ها به راحتی انجام پذیر است.

نکته ایمنی

۲- در صورتی که جریان درون پوسته دارای دمای بالاتر از ۶۰ درجه سلسیوس باشد، پوسته مبدل می‌بایست عایق‌بندی شود.



۳- همه اتصالات می‌بایست به خوبی بسته شوند تا از نشت سیال به بیرون جلوگیری شود.

۱- Shell  
۴- Rear End Head

۲- Tube Bundle  
۵- Nozzle

۳- Front End Head  
۶- Tube sheet

۷- Baffle

## ۴-۲- برج‌های خنک کننده



در اکثر کارخانجات کوچک و بزرگ، یکی از مهم‌ترین و اساسی‌ترین دستگاه‌ها می‌توان انواع برج‌های خنک‌کننده را نام برد. برج‌های خنک‌کننده علاوه بر آب به منظور خنک کردن سیالاتی دیگر در صورت لزوم مورد استفاده واقع می‌شود.

برج‌های خنک‌کننده و چیلرها جهت خنک‌سازی آب استفاده می‌شوند. در برج‌های خنک‌کننده حرارت اضافی آب را به وسیله هوا و تبخیر آب، خنک می‌کنند تا حرارت ایجاد شده در فرایند را دفع کنند. برج خنک‌کننده یا برج خنک‌کن ' برای کاهش دمای آب در فرایندهای سردسازی سیستم‌های تهویه مطبوع، نیروگاه‌ها، پالایشگاه‌ها و دیگر واحدهای صنعتی استفاده می‌شود. این دستگاه حرارتی در قرن نوزدهم برای استفاده در موتور بخار کاربرد پیدا کرد.

در تمام کارخانه‌ها تعداد زیادی دستگاه‌های مبدل حرارتی وجود دارد که در بیشتر آنها آب عامل سردکنندگی است. علت چیست؟

پرسش



فرض کنید در یک واحد صنعتی، مبدلی جهت سرمایش جریان فرآیندی مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این مبدل آب مورد استفاده از دمای ۳۰ درجه سلسیوس به دمای ۴۰ درجه سلسیوس می‌رسد. آب مورد استفاده جهت سرد کردن جریان، می‌تواند از دریا فراهم گردد. در این صورت، آب با دمای ۴۰ درجه سلسیوس به سمت دریا هدایت می‌شود.

**دمای آب ورودی به دریا و رودخانه نباید از حد مجاز که از سوی سازمان محیط زیست اعلام می‌گردد بیش‌تر باشد، زیرا موجب تغییر در اکوسیستم آن و صدمه به آبزیان می‌گردد.**

نکته زیست محیطی



اما اگر واحد صنعتی در شهرهای غیر ساحلی قرار گرفته باشد، می‌بایست از آب بصورت گردش استفاده نمود تا از اتلاف آب جلوگیری شود. در این صورت، هنگامی که دمای آب از ۳۰ درجه سلسیوس به ۴۰ درجه سلسیوس رسید، دیگر برای خنک کردن دوباره مناسب نیست و برای استفاده مجدد از آن، باید آن را به دمای ۳۰ درجه سلسیوس برسانیم.



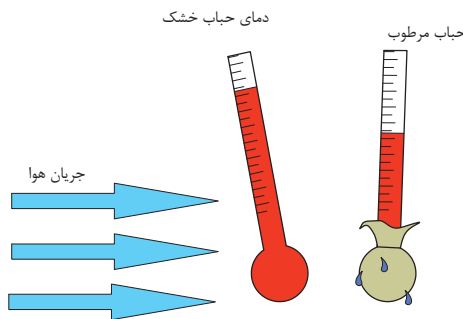
چرا در مثال بالا آب با دمای ۴۰ درجه سلسیوس برای خنک‌سازی جریان فرایندی مناسب نیست؟

برج‌های خنک‌کننده دارای اندازه‌های مختلفی هستند، که از برج‌های نصب شده بر روی بام ساختمان‌ها تا سازه‌های هذلولی شکل که ارتفاع آن ممکن است به ۲۰۰ متر و قطر ۱۰۰ متر نیز برسد، متغیر است. در رابطه با برج‌های خنک‌کننده، تقسیم‌بندی‌های مختلفی می‌توان انجام داد. سه مشخصه مهم در برج‌های خنک‌کن عبارتند از:

- ۱- روش انتقال حرارت: تماس بین آب و بخار می‌تواند بصورت مستقیم یا غیر مستقیم انجام بگیرد.
- ۲- نحوه گردش هوا: هوا می‌تواند بصورت طبیعی و یا بصورت مکانیکی (بوسیله پنکه یا فن) انجام شود.
- ۳- نحوه حرکت هوا نسبت به جریان آب (جریان هم‌جهت، جریان متقابل و جریان متقاطع).

### دمای حباب خشک<sup>۱</sup> و دمای حباب مرطوب<sup>۲</sup>

یکی از مهم‌ترین مشخصه‌های تأثیرگذار در عملکرد برج خنک‌کننده، دمای حباب مرطوب و دمای حباب خشک است. دمای حباب خشک دمایی است که با یک دماسنج که به‌طور مستقیم در معرض هوا و به دور از رطوبت و تشعشع مستقیم قرار گرفته باشد، اندازه‌گیری می‌شود.



دمای هوای که به وسیله دماسنجی که حباب آن توسط یک پارچه خیس پوشانده شده است و با محیط اطراف خود در تماس است نشان می‌دهد را دمای مرطوب می‌نامند. این دما کمتر از دمای هوای خشک است. این دما در سیستم‌های تبخیری و برج خنک‌کننده تعیین‌کننده می‌باشد و حداقل دمایی است که در این سیستم‌ها قابل دسترسی می‌باشد. دمای هوای مرطوب بستگی به رطوبت نسبی هوا و دمای خشک و ارتفاع و فشار هوا دارد.

آیا در رطوبت نسبی ۱۰۰، دمای حباب خشک و دمای حباب مرطوب با هم تفاوتی دارند؟ چرا؟ با هم‌گروهی خود بحث کنید و نتیجه را در کلاس ارائه دهید.



۱- Dry-bulb temperature

۲- Wet-bulb temperature

دمای حباب مرطوب و دمای حباب خشک را در آزمایشگاه و فضای آزاد اندازه گیری کنید. و نتیجه را ارائه دهید

فعالیت  
آزمایشگاهی



با توجه به روش انتقال حرارت، برج خنک کننده به انواع زیر تقسیم بندی می شود:

### برج خنک کننده مرطوب<sup>۱</sup>

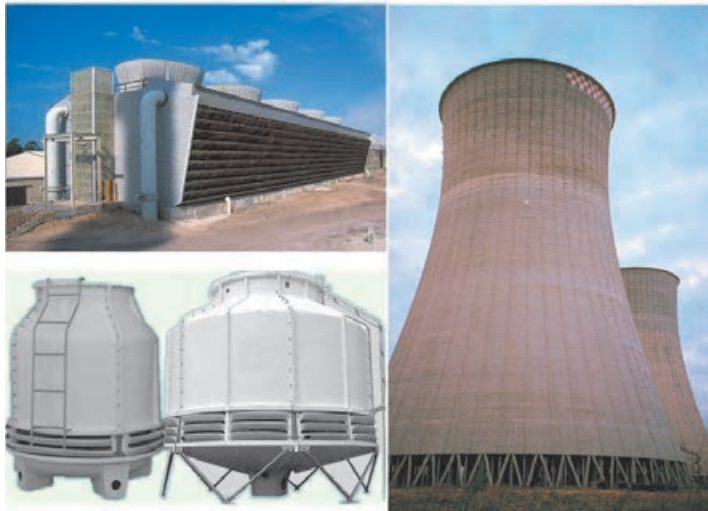
در برج های خنک کننده مرطوب، هوا با آب گرم تماس مستقیم دارد. برای مؤثر بودن برج خنک کننده مرطوب، هوا می بایست نسبتاً خشک باشد تا بخش اندکی از آب تبخیر شود. در این حالت انرژی مورد نیاز جهت تبخیر از آب تأمین می گردد و دمای آب باقی مانده کاهش می یابد. در این حالت، به علت تبخیر بخشی از آب، می بایست آن را جایگزین نمود تا مقدار آب در گردش ثابت بماند.

چرا برج خنک کننده مرطوب در شهرهای ساحلی و با رطوبت زیاد کاربرد ندارد؟

پرسش



برج های خنک کننده مرطوب (شکل ۸-۲) برای سرمایش در ساختمانها، نیروگاهها و صنایع نفت، گاز و پتروشیمی، کاربرد گسترده ای دارند.

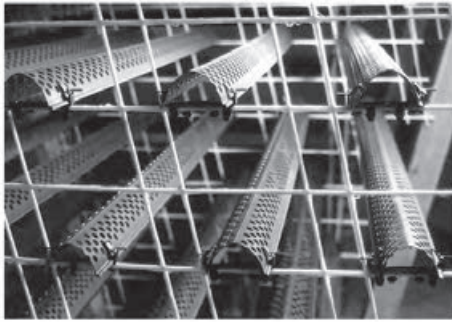


شکل ۸-۲- انواع برج های خنک کننده مرطوب

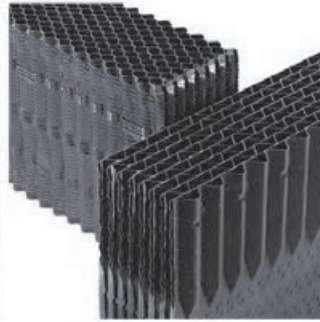
برج‌های خنک‌کننده مرطوب از بخش‌های مختلفی تشکیل شده‌اند که عبارتند از:

**توزیع‌کننده آب<sup>۱</sup>:** جریان آب گرم توسط پمپ به برج خنک‌کننده ارسال می‌گردد. توزیع‌کننده‌ها برای یکنواختی جریان آب گرم درون برج خنک‌کننده استفاده می‌شوند. توزیع‌کننده‌ها در بالای سطوح خنک‌کننده یا بخش پر شده نصب می‌شوند.

**بخش پر شده<sup>۲</sup>:** در این بخش، پرکننده‌ها برای افزایش میزان انتقال حرارت و بازدهی درون برج‌های خنک‌کننده مرطوب نصب می‌شوند. پرکننده‌ها با افزایش سطح تماس آب و هوا، کاهش سرعت جریان آب و در نتیجه افزایش مدت تماس آب و هوا در میزان خنک‌سازی جریان آب نقش مؤثری دارند. پرکننده‌ها به دو صورت استفاده می‌شوند که عبارت‌اند، از پرکننده‌های فیلمی یا لایه‌ای و پرکننده‌های مشبک که در صنایع به آن splash گفته می‌شود.

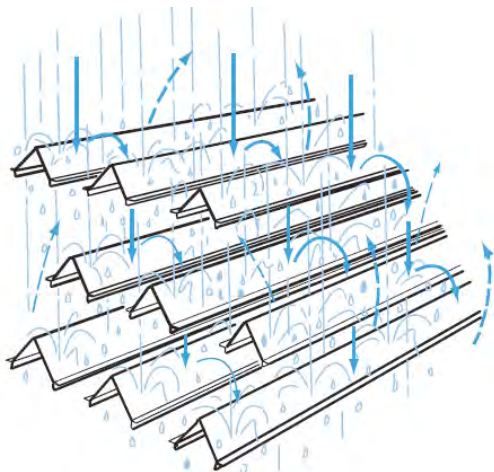


مشبک



فیلمی

۲-۹ انواع پرکننده‌ها مورد استفاده در برج‌های خنک‌کننده مرطوب



شکل ۱۰-۲ نحوه عملکرد پرکننده‌های مشبک در برج خنک‌کننده مرطوب

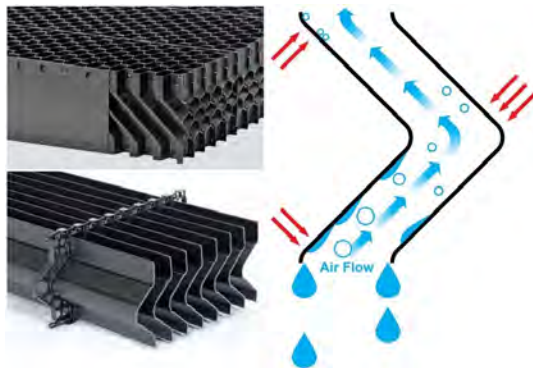
در شکل ۲-۹، پرکننده‌های فیلمی در سمت راست و پرکننده‌های مشبک در سمت چپ نشان داده شده‌اند. در پرکننده‌های فیلمی، یک لایه نازک از آب روی سطوح آن جریان می‌یابد، اما در پرکننده‌های مشبک، آب از طریق برخورد با سطوح آن، پخش شده و به سمت پایین برج حرکت می‌کند. انتخاب نوع پرکننده به میزان سطح مورد نیاز برای خنک‌سازی، ساختار برج و کیفیت آب بستگی دارد.

۱- Distributer

۲- Fill Media



**قطره گیر:** باتوجه به اینکه جریان آب گرم به صورت قطرات ریز درون برج خنک کننده جریان دارد، بخشی از آن با هوا به سمت بالا حرکت می کند و اگر این قطرات بازیابی نگردند، اتلاف آب افزایش می یابد. به همین دلیل درون برج های خنک کننده مرطوب از قطره گیر استفاده می شود.



شکل ۱۱-۲ نحوه عملکرد قطره گیر در برج خنک کننده مرطوب

قطره گیرها با تغییر اندکی در جهت جریان هوا، باعث می شوند قطرات آب همراه با هوا به دیواره ها برخورد کرده و قطرات بزرگتری تشکیل شده و به سمت پایین برج حرکت کند. در شکل ۱۱-۲ دو نوع قطره گیر و نحوه عملکرد آن نشان داده شده است. حوضچه آبگیر: آب خنک شده در حوضچه آبگیر برج خنک کننده جمع آوری می شود و مجدداً وارد چرخه خنک سازی واحد صنعتی می شود.

مجراهای کرکره ای عبور هوا: این مجراها برای عبور هوا تعبیه می گردند و در صورت لزوم میزان عبور هوا را می توان با باز و بسته کردن مجراها کنترل نمود (شکل ۱۲-۲).



شکل ۱۲-۲ مجراهای کرکره ای عبور هوا در برج خنک کننده مرطوب

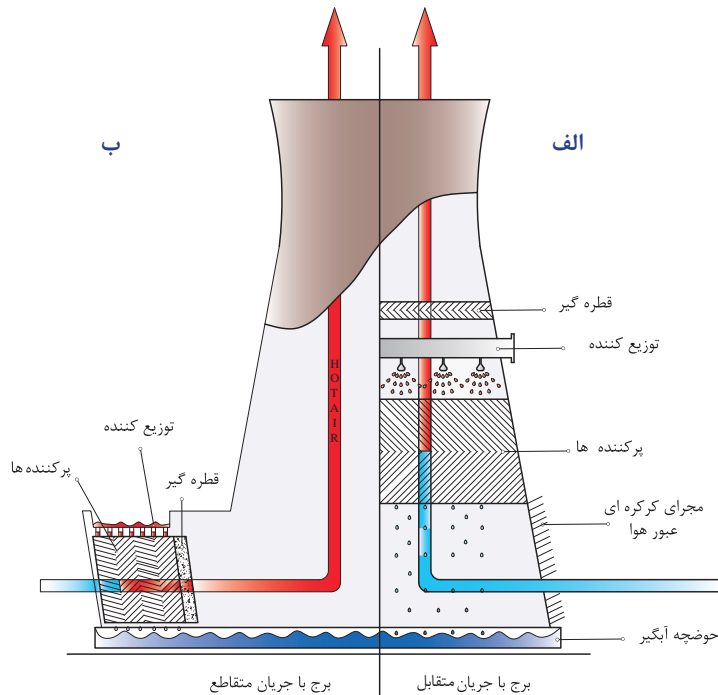
بخش هوادهی: جریان هوا در برج خنک کننده به دو صورت طبیعی و مکانیکی ایجاد می شود، بر این اساس برج های خنک کننده به دو دسته جریان هوای طبیعی<sup>۲</sup> و القایی (اجباری)<sup>۳</sup> تقسیم می شوند. در برج های خنک کننده هذلولی شکل بلند جریان هوا به صورت طبیعی اتفاق می افتد، اما

۱-Drift Eliminator

۲-Natural Draft

۳- Induced Draft

در دیگر برج‌های خنک‌کننده هوا با فن به درون برج دمیده می‌شود که در این حالت جریان القایی و یا اجباری نامیده می‌شود. یکی دیگر از مشخصه‌ها نحوه حرکت هوا و آب است که به صورت متقابل یا متقاطع صورت می‌گیرد.



شکل ۱۳-۲ برج خنک‌کننده مرطوب با جریان هوای طبیعی به صورت متقابل و متقاطع

در سمت راست شکل ۱۳-۲ برج خنک‌کننده با جریان متقابل نشان داده شده است (شکل الف). در این حالت قطره‌گیر، توزیع‌کننده آب و بخش پر شده بصورت عمودی و در بالای یکدیگر قرار می‌گیرند. در این حالت جریان هوای سرد که سنگین تر است از پایین برج وارد شده و پس از گرم شدن و در نتیجه سبکتر شدن به سمت بالا حرکت می‌کند و یک جریان هوا ایجاد می‌شود. در سمت چپ شکل ۱۳-۲، برج خنک‌کننده با جریان هوای طبیعی و از نوع متقاطع نشان داده شده است (شکل ب). در این حالت آب در ارتفاع کمتری نسبت به نوع جریان متقابل وارد توزیع‌کننده می‌شود و بنابراین پمپ به توان کمتری نیاز دارد.

فیلم مربوط به برج خنک‌کن مرطوب را مشاهده نمایید و در مورد نحوه عملکرد آن با هم‌گروهی خود بحث نمایید و گزارش خود را در مورد بخش‌های مختلف آن، متقابل و متقاطع بودن جریان آب و هوا و همچنین طبیعی یا القایی بودن جریان هوا در کلاس ارائه دهید.

فیلم





## برج خنک کننده خشک<sup>۱</sup>

در برج خنک کن خشک، تماس آب و هوا بصورت غیرمستقیم اتفاق می افتد. در این برجها، آب خنک کاری معمولاً داخل لوله جریان می یابد و هوا با سطح لولهها تماس دارد. برای افزایش انتقال حرارت، سطح لولهها دارای پره است. این نوع برجها گران تر از برج خنک کننده مرطوب هستند، اما از تبخیر و اتلاف آب جلوگیری می کنند. برجهای خنک کن خشک می توانند دمای آب را تا چند درجه پایین تر از دمای حباب خشک کاهش دهند که این اختلاف به طراحی برج خنک کننده خشک بستگی دارد.

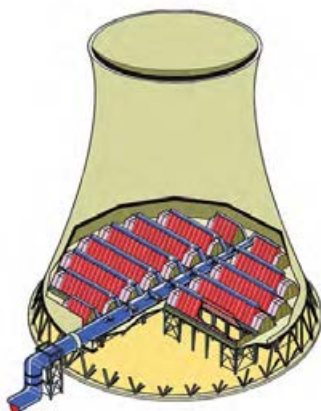
چرا افزایش دمای محیط، منجر به کاهش بازدهی برجهای خنک کننده خشک می شود؟

پرسش



برجهای خنک کننده خشک نیز می توانند با جریان هوای طبیعی یا جریان هوای القایی کار کنند. این نوع برجها علاوه بر آب، برای خنک کردن (و در نتیجه مایع کردن) بخار نیز استفاده می شوند (شکل ۲-۱۴ و ۲-۱۵).

در این نوع برج خنک کننده، آب گرم در لوله بالای برج عبور کرده و وارد لولههای پره دار که در دو طرف برج خنک کن قرار دارد به سمت پایین سرازیر می شود. با عبور جریان هوا از روی لولههای پره دار، گرمای آب به هوا منتقل شده و آب خنک می گردد. در صورتی که بخار آب وارد برج خنک کن گردد، با عبور درون لولههای پره دار، با کاهش دمای آن به مایع تبدیل شده و از آن خارج می شود. این نوع برج خنک کننده نیز برای کاهش دمای آب مورد استفاده قرار می گیرد.



شکل ۲-۱۵ برج خنک کننده خشک با جریان هوای طبیعی



شکل ۲-۱۴ برج خنک کننده خشک با جریان هوای القایی

<sup>۱</sup>- Dry cooling tower

پرسش



چرا افزایش دمای محیط، منجر به کاهش بازدهی برج‌های خنک‌کننده خشک می‌شود؟ پاسخ: با افزایش دمای محیط، دمای حباب خشک نیز افزایش می‌یابد. با توجه به اینکه دمای خروجی از برج خنک‌کن خشک حتماً از دمای حباب خشک کمتر است، با افزایش دمای محیط، دمای آب خروجی از برج خنک‌کن نیز بالاتر می‌رود و موجب کاهش بازدهی برج خنک‌کن می‌شود.

فیلم



فیلم مربوط به برج خنک‌کن خشک را مشاهده نمایید و در مورد نحوه عملکرد آن با هم‌گروهی خود بحث نمایید و نتیجه را در کلاس ارائه دهید.

نکته ایمنی



هنگام کار کردن در یک برج خنک‌کن در حال کار و نمونه‌گیری، از ماسک‌های محافظ ذرات هوا<sup>۱</sup> استفاده کنید. در غیر این صورت فن‌های برج خنک‌کننده می‌بایست خاموش گردند مخصوصاً زمانی که باکتری لژیونلا در آن تشخیص داده شود. همچنین از دستکش ایمنی، عینک محافظ و لباس ایمنی استفاده کنید.

بیشتر بدانیم



باکتری لژیونلا در سیستم‌های آبرسانی، منابع آبی، سیستم‌های تهویه مرکزی، کولرهای آبی و رطوبت سازها می‌تواند رشد کند و از آن راه منتشر گردد. منبع آب آلوده، به صورت قطراتی که دارای باکتری لژیونلا هستند، در هوا اسپری می‌گردند که به آنها آئروسول گفته می‌شود و بیماری از طریق استنشاق این قطرات و ورود آنها به سیستم تنفسی، منتقل می‌گردد ولی از انسان به انسان انتقال نمی‌یابد.



علائم بالینی در ابتلا با برخی گونه‌های آن خفیف بوده و شبیه به آنفلوآنزاست ولی در گونه پنوموفیلا سینه‌پهلوی حاد بروز می‌نماید. علائم آن شدیدتر و حادث‌تر از سینه‌پهلوی معمولی است. تب، سرفه، بیحالی و درد و خستگی عضلانی از علائم عمده است. وجود خلط سینه و درد قفسه صدی و تندتپشی از علائم همراه است.

<sup>۱</sup>- high-efficiency particulate air (HEPA) protective mask

از یک شرکت تولیدکننده برج‌های خنک‌کننده بازدید نموده و در مورد بخش‌های مورد استفاده در برج خنک‌کننده گزارش تهیه کنید.

## ۵-۲- چیلر

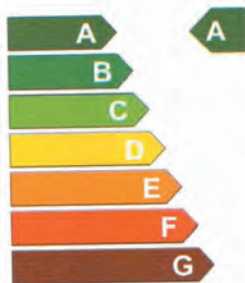
یکی از نیازهای هر ساختمانی تأمین سرمایش آن در فصل تابستان است، این مهم در ساختمان‌های بزرگ با استفاده از چیلر انجام می‌پذیرد چیلرها از جمله تجهیزات بسیار مهم در سرمایش است. چیلر دستگاهی است که برای خنک کاری هوا یا دستگاه‌ها استفاده می‌شود. چیلر دارای یک چرخه<sup>۱</sup> بسته است و ماده‌ای را که باعث کاهش دما می‌شود ماده مبرد<sup>۲</sup> می‌نامند. ماده مبرد در چرخه بسته چیلر حرکت نموده و باعث خنک‌سازی می‌گردد. چیلرها در



سیستم‌های تهویه مطبوع و در صنعت کاربرد مختلفی دارند. کولرهای گازی یک نوع چیلر محسوب می‌شود. هدف چنین دستگاهی دریافت بیشترین انرژی از محیط سرد (QL) در برابر کمترین مقدار انرژی مصرفی (W) است. نحوه عملکرد چیلرها را به وسیله عاملی به نام ضریب عملکرد (COP) بررسی می‌نمایند که این عامل بصورت رابطه زیر تعریف می‌شود:

$$COP = \frac{Q_L}{W}$$

کافی است واحد گرمای گرفته شده و کار انجام شده یکسان باشد، در صورتی که هر دو از جنس انرژی یا توان باشند، ضریب عملکرد نشان‌دهنده عملکرد دستگاه است.



از برچسب انرژی دستگاه‌هایی مانند یخچال و کولرگازی چه می‌دانید؟ برچسب انرژی دستگاه‌هایی مانند یخچال و کولرگازی چه ارتباطی با ضریب عملکرد دارد؟



**تمرین:**

۱- ضریب عملکرد یک یخچال با ظرفیت تبرید  $30000 \text{ BTU/hr}$  و توان کمپرسور  $2400$  وات چقدر است؟ برجسب انرژی این یخچال چیست؟

۲- ضریب عملکرد یک یخچال به ظرفیت تبرید  $10000$  وات، برابر با  $3/5$  است. توان کمپرسور آن چقدر است؟

۳- توان کمپرسور یک یخچال با ضریب عملکرد  $3$ ، برابر با  $3500$  وات است. ظرفیت تبرید این یخچال چقدر است؟

پس از مدتی از عملکرد چیلر، لوله‌ها و مسیر عبور سیال مبرد با رسوب گرفته می‌شود. در این حالت اسید شویی مسیر عبور سیال، مشکل را حل می‌نماید.

بخش‌های سردسازی یخچال را بررسی کرده و در مورد نحوه عملکرد و برجسب انرژی آن گزارش تهیه کنید.

فعالیت  
کارگاهی

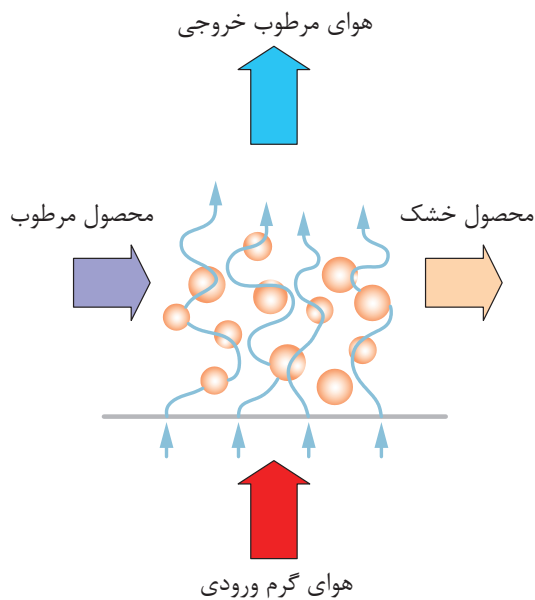


## ۶-۲- خشک‌کن‌ها



خشک کردن جامدات یکی از قدیمی‌ترین روش‌های مورد استفاده انسان است. خشک کردن گوشت، میوه‌ها و سبزیجات از رایج‌ترین موارد استفاده خشک کردن است که به صورت سنتی از طریق گرمای حاصل از آفتاب و هوا، یا از طریق خشک‌کن برقی قابل انجام است. خشک‌کن‌ها معمولاً آخرین مرحله یک فرایند هستند، مخصوصاً در حالتی که محصول برای بسته‌بندی نهایی آماده می‌شود.

خشک کردن جامد یعنی حذف مقادیر نسبتاً کم آب یا مایع دیگر از ماده جامد تا حد مورد نیاز، با استفاده از روش تبخیر. عملیات خشک کردن عموماً در حضور یک جریان گاز مانند هوا انجام می‌پذیرد که به آن گاز حامل نیز گفته می‌شود. این جریان گاز می‌تواند به صورت هم‌سو، ناهم‌سو یا متقاطع نسبت به جامد مرطوب جریان داشته باشد. شکل ۱۶-۲ را مشاهده کنید.



شکل ۱۶-۲ عملیات خشک کردن با هوا

هوای گرم ورودی با تبخیر رطوبت ماده خشک‌شونده، رطوبت را با خود حمل کرده و میزان رطوبت ماده را کاهش می‌دهد. توجه داشته باشید که جداسازی همین رطوبت از روش‌های مکانیکی مثل فشردن یا سانتریفیوژ را نمی‌توان خشک کردن نامید. از اهداف تبخیر کردن می‌توان به نگهداری موادی که در مجاورت رطوبت فاسد می‌شوند، کم کردن وزن محصول برای بسته‌بندی و حمل‌ونقل نام برد. خشک کردن در زمینه‌های مختلفی استفاده دارد، مثل کاتالیست‌ها، پلیمرها، محصولات غذایی، دارویی، کشاورزی، معدنی و مانند آن.

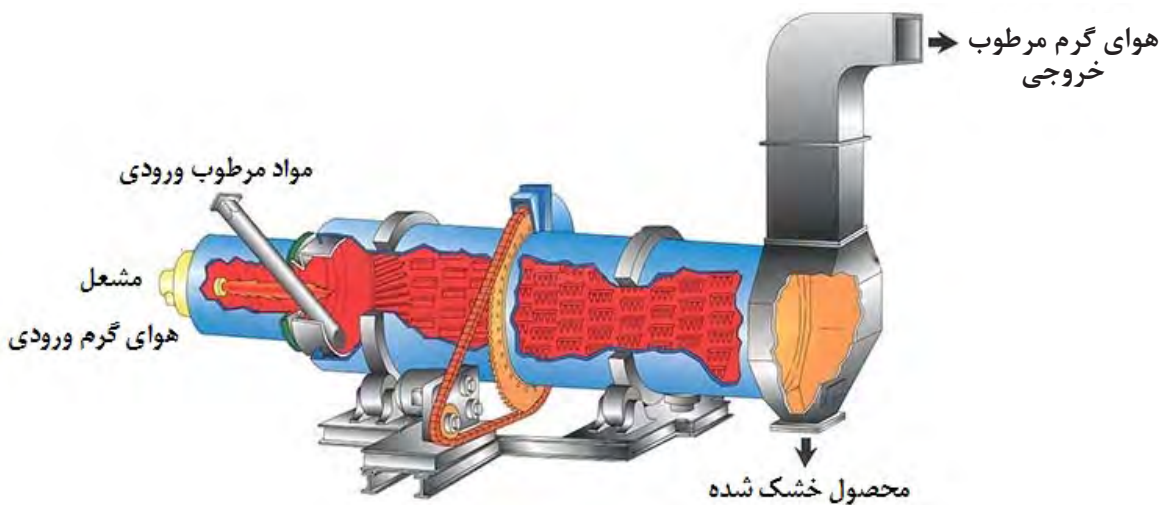
یک مثال روزمره از فرایند خشک شدن در زندگی خودتان بیان کنید.

پرسش



## روش‌های عملکرد خشک‌کن‌ها

ماده‌ای که باید خشک شود، می‌تواند به صورت پیوسته یا ناپیوسته در عملیات خشک کردن قرار گیرد. در خشک کردن ناپیوسته، مقدار ماده‌ای که باید خشک شود، درون دستگاه و در مسیر جریان مداوم از هوا قرار داده می‌شود تا رطوبت آن تبخیر گردد. خشک کردن ناپیوسته در کارگاه‌های کوچک، واحدهای آزمایشی و کارهای تحقیقاتی استفاده می‌شود، زیرا روش نسبتاً پرهزینه‌ای است؛ اما در عملیات خشک کردن پیوسته، ماده خشک‌شونده و جریان هوا به طور مداوم از دستگاه عبور می‌کنند.



۱۷-۲ عملکرد خشک‌کن

## متغیرهای مؤثر در خشک کردن

برای خشک کردن لباس‌های خیس، آنها را روی طناب پهن می‌کنند، چه عواملی در زودتر خشک شدن لباس‌های خیس مؤثر است؟

بحث کنید



هنگامی که یک جامد مرطوب در مجاورت گاز حامل قرار بگیرد، جسم جامد رطوبت خود را با تبخیر از دست می‌دهد. در این حالت گاز و جامد در حال تعادل خواهند بود و به مقدار رطوبت جسم در این حالت، رطوبت تعادلی در شرایط فرایند گفته می‌شود؛ بنابراین، هر چه گاز حامل خشک‌تر باشد، رطوبت بیشتری را از جسم جامد جذب می‌کند.

از متغیرهای مهم دیگر، می‌توان به درجه حرارت گاز حامل اشاره کرد. هرچه دمای گاز حامل بیشتر باشد، میزان تبخیر رطوبت بیشتر خواهد بود. به عنوان مثال در صورتی که یک پارچه مرطوب را در

معرض هوای گرم قرار دهیم در مقایسه با حالتی که هوا سرد باشد، مقدار رطوبت بیشتری را از دست می‌دهد.

طبیعت و شکل ماده خشک‌شونده هم از مشخصه‌های مهم می‌باشد. جسم جامد می‌تواند به صورت پودر، دانه‌های کروی، جامد کلوخه‌ای و مانند آن باشد. توجه داشته باشید که رطوبت مواد با ارزشی مثل مواد دارویی را در دمای پایین و با روشی متفاوت از آن خارج می‌نمایند تا ماده دارویی صدمه نبیند. زمان تماس هوا و جسم مرطوب متغیر مهم دیگر فرایند خشک کردن است. هر چه زمان تماس بیشتر باشد، رطوبت بیشتری از ماده خشک‌شونده جذب می‌شود؛ اما به علت مسائل اقتصادی، این عملیات می‌بایست در زمان بهینه انجام پذیرد که از طریق آزمایش به دست می‌آید.

### روش‌های خشک کردن

از تقسیم‌بندی‌های دیگر عملیات خشک کردن، می‌توان به روش حرارت دادن برای تبخیر رطوبت اشاره کرد در صورتی که حرارت از طریق تماس مستقیم گاز گرم با ماده خشک‌شونده تأمین شود تا رطوبت مورد نظر تبخیر گردد، به آن خشک کردن مستقیم گفته می‌شود؛ اما در خشک کردن‌های غیر مستقیم، حرارت به وسیله منبع گرمایی غیر از گاز حامل به ماده خشک‌شونده اعمال می‌شود؛ به عنوان مثال، حرارت ممکن است از روش رسانایی از دیواره فلزی یا از طریق تشعشع اشعه مادون قرمز به ماده منتقل شود.

### انواع خشک‌کن‌های صنعتی

ساختار این نوع خشک‌کن‌ها، تا حد زیادی به طبیعت ماده خشک‌شونده بستگی دارد. از انواع خشک‌کن‌ها می‌توان به خشک‌کن‌های کابینتی، خشک‌کن‌های تونلی و خشک‌کن‌هایی با جریان سراسری، اشاره کرد.

### الف) خشک‌کن‌های کابینتی

جامدهایی که باید روی سینی نگه‌داری شوند، مانند مواد خمیری، جامدات کلوخه‌ای که باید روی سینی پخش شوند، درون اتاقکی حاوی سینی‌های متحرک قرار داده می‌شود. بعد از بارگیری سینی‌ها، اتاقک بسته می‌شود و هوای گرم از بین سینی‌ها دمیده می‌شود تا رطوبت را از جامد خارج سازد. اگر مایع تبخیرشونده قابل اشتعال باشد یا جامد در اثر تماس با اکسیژن دچار تغییر گردد، از گازهای بی اثر به جای هوا استفاده می‌گردد. این نوع خشک‌کن‌ها در شکل ۱۸-۲ نشان داده شده است.



شکل ۱۸-۲ دستگاه خشک‌کن کابینتی



پرسش



عملیات در خشک‌کن کابینتی پیوسته است یا ناپیوسته؟ مستقیم است یا غیر مستقیم؟ دلیل خود را بیان کنید.

شکل ۱۸-۲ دستگاه خشک‌کن کابینتی است. که ماکارونی‌های شکل‌دار درون سینی‌ها قرار داده می‌شود. در این نوع خشک‌کن‌ها، هوای گرم با پنکه در اتاقک خشک‌کن جریان می‌یابد و از روی مواد مرطوب عبور می‌کند. حداکثر ظرفیت خشک کردن چنین خشک‌کنی برای میوه‌ها و سبزیجات می‌تواند تا حدود ۲۰ تن در روز باشد. مدت لازم برای خشک کردن در این نوع خشک‌کن ممکن است به ۲۰ ساعت هم برسد. نگهداری و کار با این خشک‌کن‌ها ساده است و از نظر تولید مواد مختلف بسیار قابل انعطاف هستند. عیب خشک‌کن‌های کابینتی این است که کنترل عملیات خشک کردن از نظر تولید محصولی با کیفیت مناسب و ثابت به خوبی میسر نیست.

مشاهده فیلم:

فیلم خشک‌کن کابینتی را مشاهده نمایید و در مورد نحوه عملکرد آن بحث کنید.

فیلم



یک جامد خمیری شکل را درون دستگاه آن که نوعی خشک‌کن کابینتی است قرار دهید و مدت زمان لازم برای خشک‌شدن آن را در دماهای  $100^{\circ}\text{C}$ ،  $200^{\circ}\text{C}$  و  $300^{\circ}\text{C}$  را بیابید. از این آزمایش چه نتیجه‌ای می‌گیرید؟

فعالیت  
کارگاهی

هنگام کار کردن با آن، از دست‌کش عایق حرارتی استفاده کنید.

نکته ایمنی



## خشک‌کن‌های تونلی

در این نوع دستگاه، جامدهای مرطوب روی نوار نقاله یا سینی‌هایی قرار داده می‌شود که در واگن‌هایی تعبیه شده‌اند، و از درون تونلی که دارای حرارت بالا یا دارای جریان هوای گرم است، عبور می‌کند. واگن‌ها می‌توانند بیرون از خشک‌کن بارگیری و به داخل و خارج تونل خشک‌کن حرکت داده شوند. زمان اقامت واگن‌ها باید آنقدر باشد که رطوبت جسم به مقدار مطلوب برسد. تخلیه این واگن‌ها بعد از خشک شدن و بیرون از تونل انجام می‌پذیرد؛ بنابراین، اتلاف زمانی بین چرخه‌های خشک‌کن وجود ندارد.



### عملیات دستگاهها در صنایع شیمیایی

جهت حرکت هوا نسبت به حرکت ماده جامد ممکن است هم‌سو و یا ناهم‌سو باشد. هم‌سو بودن حرکت هوا این مزیت را دارد که هوا با بالاترین درجه حرارت با ماده‌ای تماس پیدا می‌کند که دارای حداکثر رطوبت است. این شکل توزیع و استفاده از حرارت عمل خشک کردن را به نحو مؤثری انجام داده و از طرفی هوای خروجی نیز به میزان قابل توجهی سرد شده است. در صورتی که جهت حرکت هوا مخالف جهت حرکت ماده مرطوب باشد، هوای داغ در ابتدا با ماده‌ای که به میزان زیاد خشک شده در تماس قرار می‌گیرد و از این نظر نیز ماده بسیار خشکی به دست می‌آید.

بر اساس طبیعت و ساختار ماده خشک‌شونده، ممکن است به جای واگن سینی‌دار، الیاف را از میله‌هایی آویزان نمود یا چوب و الوار را روی یکدیگر انباشته کرد تا لایه‌های مختلف با قطعات فاصله دهنده‌ای از هم جدا شوند. از این نوع خشک‌کن‌ها می‌توان برای کریستال‌ها، خمیرها و سفال‌ها نیز استفاده نمود. شکل ۱۹-۲ یک خشک‌کن تونلی واگن‌دار را نشان می‌دهد.



شکل ۱۹-۲ دستگاه خشک‌کن تونلی واگن‌دار

عملیات در خشک‌کن تونلی شکل ۲۰-۲ پیوسته است یا ناپیوسته؟ مستقیم است یا غیرمستقیم؟

پرسش



شکل ۲۰-۲ دستگاه خشک‌کن تونلی دارای نوار نقاله

آنچه در شکل ۲۰-۲ مشاهده می‌شود نیز نوعی خشک‌کن تونلی است که حرارت مورد نیاز از طریق المنت‌های حرارتی تأمین می‌گردد. همان‌گونه که در شکل مشخص است، این نوع خشک‌کن‌ها می‌توانند یک یا چندین بستر متفاوت داشته باشند و دمای هر بستر را می‌توان به صورت مجزا و از طریق تجهیزات کنترلی که روی آن نصب شده‌اند، تنظیم نمود.

۱- هنگام کار کردن با خشک‌کن‌ها مواظب سطوح داغ باشید. از دستکش‌های محافظ استفاده نمایید؛

۲- در صورتی که رطوبت تبخیر شده سمی و یا مضر است، از ماسک استفاده نمایید؛

۳- در صورتی که بخارهای موجود در خشک‌کن موجب صدمه به چشم می‌شود، از عینک‌های محافظ استفاده نمایید.

نکته ایمنی



یکی از مسائل مهم زیست محیطی در خشک‌کن‌ها، سوخت مورد استفاده برای تأمین حرارت مورد نیاز است. بهترین سوخت برای جلوگیری از ایجاد آلودگی، گاز تصفیه شده و سوخت‌های تصفیه شده مانند گاز شهری یا گازوئیل و نفت سفید استاندارد است.

در صورتی که گاز خروجی از خشک‌کن دارای ترکیبات سمی و مضر باشد، آن را به صورت فیزیکی و شیمیایی خنثی نموده و مواد مضر را به شیوه ای ایمن که برای محیط زیست خطر نداشته باشد، آنرا دفع نمایید.

نکته زیست محیطی



از یک شرکت تولیدکننده مواد غذایی یا دیگر صنایع در نزدیکی محل تحصیل خود بازدید نموده و در رابطه با خشک‌کن مورد استفاده گزارش تهیه کنید.

آیا نکات ایمنی رعایت می‌شود؟

آیا این فرآیند برای محیط زیست خطری دارد؟ برای حل آن راهکار ارائه دهید.

بازدید

## ارزشیابی شایستگی فصل دستگاه‌های حرارتی

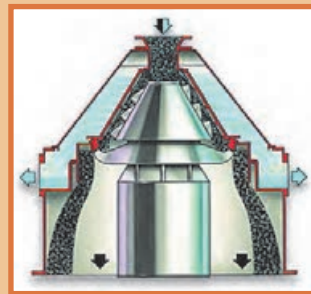
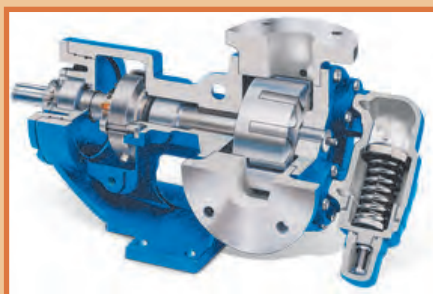
<p><b>شرح کار:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● چگونگی استفاده از تجهیزات کارگاهی را بداند و کار داده شده را با دقت انجام دهد؛</li> <li>● هنگام کار مراقب باشد که دستگاه صدمه نبیند؛</li> <li>● پس از انجام کار وسایل را تمیز و سالم در حالت اولیه قرار دهد.</li> </ul>			
<p><b>استاندارد عملکرد:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● کار با مبدل حرارتی، برج خنک کننده و خشک کن ها مطابق دستورالعمل</li> </ul>			
<p><b>شاخص‌ها:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● رعایت مسایل ایمنی در حین کار؛</li> <li>● انجام کار طبق دستورالعمل.</li> </ul>			
<p><b>شرایط انجام کار و ابزار و تجهیزات:</b>          مکان: کارگاه و آزمایشگاه      زمان: یک جلسه آموزشی  <b>ابزار و تجهیزات:</b> وسایل ایمنی شخصی، مبدل‌های حرارتی، برج خنک کننده، خشک کن</p>			
<p><b>معیار شایستگی:</b></p>			
ردیف	مرحله کار	حداقل نمره قبولی از ۳	نمره هنرجو
۱	کار با مبدل های حرارتی	۲	
۲	کار با برج های خنک کننده	۱	
۳	کار با خشک کن ها	۱	
	شایستگی‌های غیرفنی، ایمنی، بهداشت، توجهات زیست محیطی و نگرش: ۱- ایمنی: انجام کار کارگاهی با رعایت موارد ایمنی و استفاده از وسایل ایمنی شخصی؛ ۲- نگرش: صرفه‌جویی در آب مصرفی مبدل‌ها؛ ۳- توجهات زیست محیطی: جلوگیری از صدمه زدن به محیط زیست از طریق انجام کار بدون ریخت و پاش؛ ۴- شایستگی‌های غیرفنی: ۱- اخلاق حرفه‌ای، ۲- مدیریت منابع، ۳- محاسبه و کاربست ریاضی، ۴- مستندسازی: گزارش نویسی.	۲	
<p><b>میانگین نمرات</b></p>			*

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



## فصل ۳

# دستگاه‌های دوار



انواع دستگاه‌های دوار کاربرد گسترده‌ای در صنایع شیمیایی دارند؛ پمپ‌ها، مخلوط‌کننده‌ها، سانتریفیوژها و دستگاه‌های کاهش اندازه مواد در فرآیندهای مختلف استفاده می‌شوند؛ بنابراین آگاهی از انواع آنها و اصول عملکرد آن لازم است.

## واحد یادگیری ۳

### دستگاه‌های دوار

#### مقدمه

دستگاه و تجهیزات دوار، وسایلی هستند که انرژی جنبشی را به یک فرایند اضافه می‌کنند به نحوی که باعث انتقال مواد و یا تغییر شکل در مواد می‌گردند. از تجهیزات دواری که در صنایع شیمیایی مورد استفاده قرار می‌گیرد، می‌توان به پمپ‌ها، مخلوط‌کن‌ها و سانتریفوژها اشاره کرد. پمپ‌ها برای افزایش فشار مایعات استفاده می‌شوند و دارای کاربرد وسیعی در صنایع شیمیایی، صنایع غذایی، منازل و ... هستند. در این بخش انواع پمپ‌ها و ساختار هر یک از آن‌ها و انواع پروانه که در پمپ استفاده می‌شوند و انجام محاسبات پمپ‌ها مطرح می‌شود. مخلوط‌کن‌ها برای هم‌زدن دو یا چند ماده مورد استفاده قرار می‌گیرند و در این بخش به انواع عملیات اختلاط و همچنین مخلوط‌کن‌ها پرداخته می‌شود و انواع پره‌ها، که از مشخصه‌های مهم مخلوط‌کن‌ها هستند، معرفی خواهند شد. سانتریفوژها از دیگر دستگاه‌های دواری هستند که از نیروی گریز از مرکز برای جداسازی مواد بهره می‌گیرند و اجزای تشکیل دهنده آن، کاربردهای آزمایشگاهی و کاربردهای صنعتی آن معرفی خواهند شد. استفاده از دستگاه‌های کاهش اندازه ذرات در صنعت از اهمیت بالایی برخوردار است. در صنایع مختلف از قبیل صنایع معدن، داروسازی، غذایی، بازیافت مواد و اندازه... جامدات را به روش‌های مختلف و برای اهداف مختلف کاهش می‌دهند. انواع دستگاه‌های کاهش اندازه و نحوه عملکرد آن‌ها نیز در انتهای بخش ارائه گردیده است.

#### استاندارد عملکرد

کار با پمپ‌ها، مخلوط‌کن‌ها و سانتریفوژها و دستگاه‌های کاهش اندازه مطابق با دستورالعمل

#### شایستگی‌های غیر فنی:

- ۱- اخلاق حرفه‌ای: حضور منظم و وقت شناسی، انجام وظایف و کارهای محوله، پیروی از قوانین؛
- ۲- مدیریت منابع: شروع به کار به موقع، مدیریت مؤثر زمان، استفاده از مواد و تجهیزات؛
- ۳- کار گروهی: حضوری فعال در فعالیتهای گروهی - انجام کارها و وظایف محوله؛
- ۴- مستندسازی: گزارش نویسی فعالیتهای آزمایشگاهی؛

#### ۵- محاسبه و کاربست ریاضی.

#### شایستگی‌های فنی:

- ۱- کار با پمپ‌ها؛
- ۲- کار با مخلوط‌کن‌ها؛
- ۳- کار با سانتریفوژها؛
- ۴- کار با دستگاه‌های کاهش اندازه.

## ۱-۳- پمپها

تصاویر زیر نشان دهنده چه نیازی در زندگی و راههای برطرف کردن آن است؟

بحث



نیاز انسان به آب و لزوم جابه‌جایی آن از نقطه‌ای به نقطه دیگر، همیشه به‌عنوان یک موضوع حیاتی در زندگی بشر مطرح بوده‌است. اهمیت این موضوع سبب شد که به فکر اختراع دستگاهی برای رفع این مشکل باشد. اولین نمونه پمپها با نیروی محرکه انسان یا حیوان در ۱۷ قرن پیش از میلاد مسیح توسط مصریان ساخته شده‌است. امروزه پمپها یکی از پرکاربردترین و حیاتی‌ترین تجهیزات در صنعت و زندگی روزمره ما هستند.

پمپ دستگاهی است که انرژی مکانیکی را از یک منبع خارجی گرفته و به سیالی انتقال می‌دهد که از آن عبور می‌کند. در نتیجه انرژی سیال بعد از خروج از پمپ افزایش می‌یابد. از این وسیله برای انتقال سیال به یک ارتفاع معین یا حرکت سیال سیستم‌های لوله‌کشی و به‌طور کلی انتقال سیال از یک نقطه به نقطه دیگر استفاده می‌گردد.

فکر کنید



چند نمونه از کاربردهای پمپها را در زندگی نام ببرید؟



آیا با عملکرد پمپ کولرهای آبی آشنایی دارید؟ در مورد کاربری و نحوه عملکرد آنها بحث کنید؟



## ۲-۳- تقسیم‌بندی پمپ‌ها

متداول‌ترین روش تقسیم‌بندی پمپ‌ها، بر مبنای نحوه انتقال انرژی به سیال است. با این دیدگاه پمپ‌ها را به دو گروه تقسیم‌بندی می‌کنند.

### ۱- پمپ‌های دینامیکی

اساس کار این نوع پمپ‌ها، انتقال انرژی به سیال و افزایش انرژی جنبشی آن است، این افزایش انرژی جنبشی با سرعت بخشیدن به سیال از طریق چرخش پروانه پمپ صورت می‌گیرد و در نتیجه توانایی تولید فشار پمپ تابعی از سرعت دوران پروانه است. در این پمپ‌ها انتقال انرژی به سیال به صورت دائمی انجام می‌شود. این پمپ‌ها، سیال را با دبی زیاد و فشار کم انتقال می‌دهند و در حین انتقال سیال قسمت ورودی و خروجی پمپ با هم در ارتباط هستند. معروف‌ترین پمپ دینامیکی پمپ‌های سانتریفوژ است.

### ۲- پمپ‌های جابه‌جایی مثبت

پمپ‌هایی را که در آن انتقال انرژی به سیال به صورت متناوب است پمپ‌های جابه‌جایی مثبت می‌نامند. پمپ‌های پیستونی از انواع پمپ‌های جابه‌جایی مثبت هستند. شکل ۱-۳ تقسیم‌بندی این دو نوع پمپ را به صورت کلی نمایش می‌دهد.

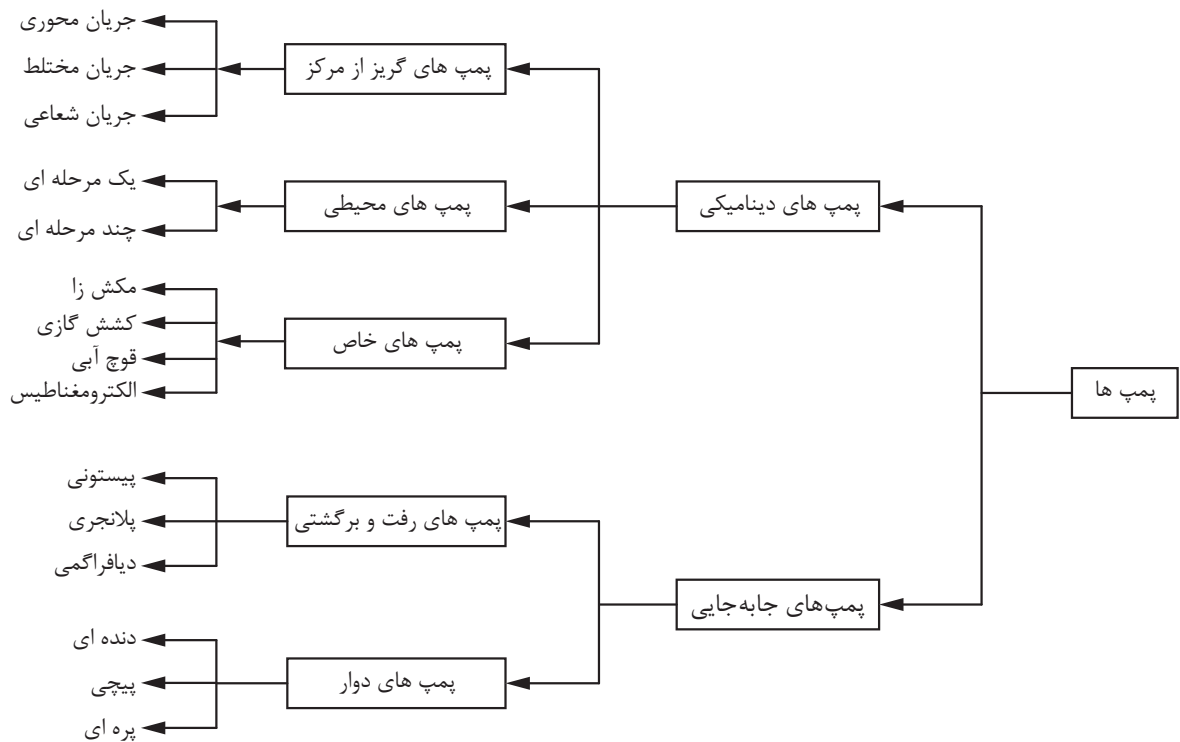
فیلم آموزشی عملکرد پمپ‌های دینامیکی و جابه‌جایی مثبت را مشاهده نمایید.







با توجه به فیلم، در خصوص تفاوت‌های عملکردی و ساختاری دو نوع پمپ اشاره شده، بحث نمایید.



شکل ۱-۳- نمودار تقسیم بندی پمپ ها<sup>۱</sup>

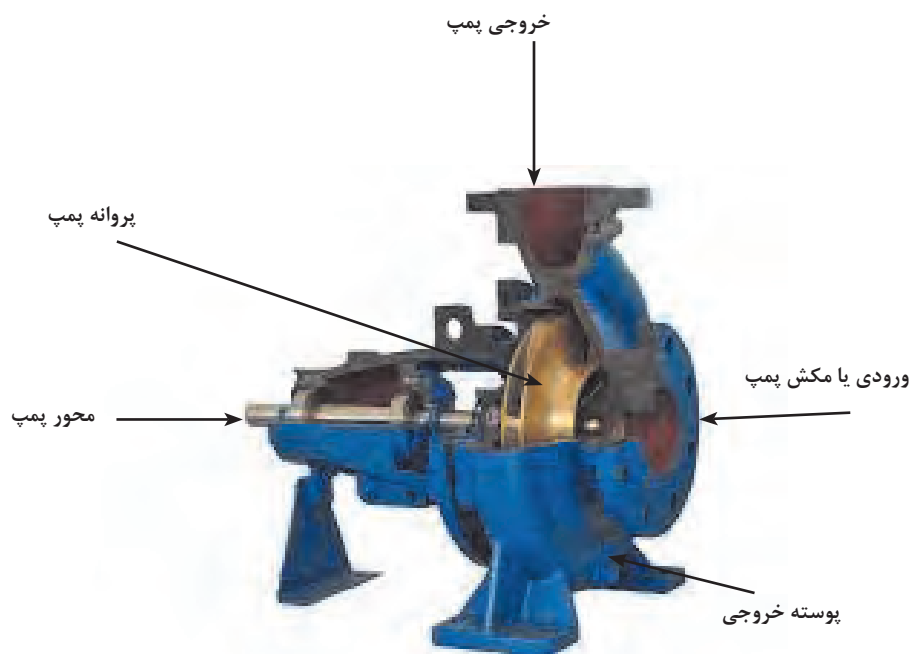
### ۳-۳- پمپ‌های گریز از مرکز (سانتریفوژ)

#### ساختمان پمپ‌های گریز از مرکز

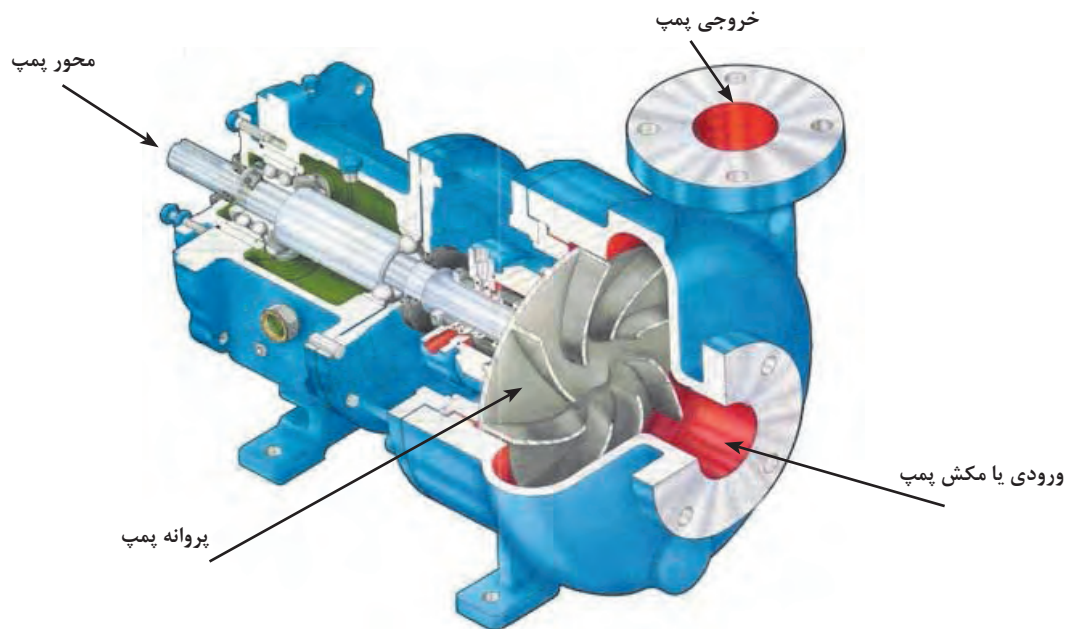
شکل‌های (۲-۳)، (۳-۳)، شماره ۱ و ۲ ساختمان و بخش‌های مختلف پمپ گریز از مرکز را به صورت شماتیک نشان می‌دهند. اجزای اصلی یک پمپ گریز از مرکز عبارتند از:

- ۱- محور پمپ؛
- ۲- پروانه؛
- ۳- پوسته حلزونی پمپ؛
- ۴- خروجی پمپ؛
- ۵- ورودی پمپ.

۱- نمودار داده شده برای آگاهی است و نیازی به حفظ کردن آن نیست.



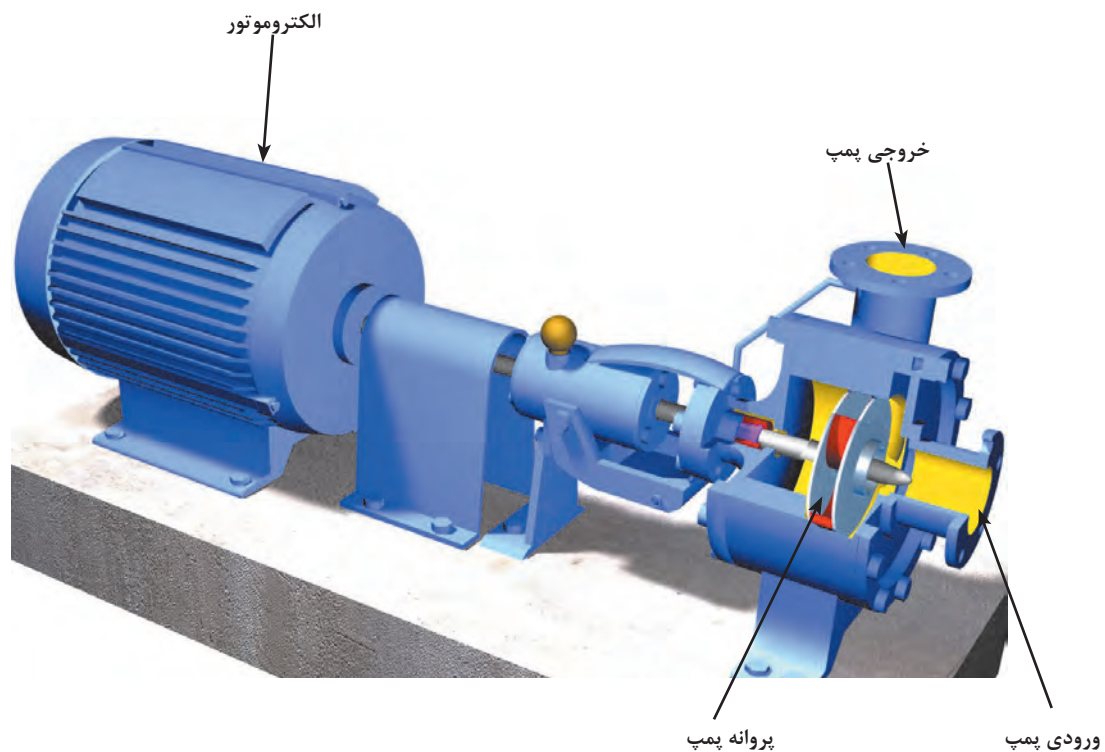
شکل ۲-۳- نمایی از ساختمان پمپ گریز از مرکز



شکل ۳-۳- نمایی از ساختمان پمپ گریز از مرکز

قطعات یک پمپ گریز از مرکز را باز کرده، آن را شناسایی کنید.

فعالیت  
آزمایشگاهی



شکل ۴-۳- پمپ گریز از مرکز

### اصول و عملکرد پمپ‌های گریز از مرکز

در این نوع پمپ‌ها چرخش قطعه‌ای داخل پوسته پمپ، موجب گردش سیال می‌گردد. در نتیجه این عمل، سیال تحت تأثیر نیروی گریز از مرکز واقع شده و از مجرای خروجی خارج می‌گردد. این قطعه پروانه پمپ نامیده می‌شود.

مجرای ورودی یا مکش سیال در مرکز پروانه قرار داشته و مجرای خروجی در اطراف بدنه واقع شده‌است. در پمپ‌های سانتریفوژ سیال در اثر نیروی مکش از مرکز پروانه وارد شده و در اثر چرخش پروانه سیال تحت تأثیر نیروی گریز از مرکز پروانه را ترک کرده و از مجرای خروجی خارج می‌گردد.



شکل ۵-۳ مسیر حرکت سیال در پمپ گریز از مرکز

## انواع پروانه‌ها

پروانه پمپ‌ها را از نظر ساختمان مکانیکی پروانه و جهت جریان مایع می‌توان تقسیم‌بندی نمود.

۱- **ساختمان مکانیکی:** پروانه پمپ از نظر ساختمان به سه دسته تقسیم شده و بر اساس نوع و گرانروی<sup>۱</sup> سیال پروانه مناسب انتخاب می‌گردد؛

**پروانه بسته:** این نوع پروانه برای انتقال مایعاتی که گرانروی آنها کم است استفاده می‌شود. در این نوع پروانه‌ها، پره‌های پروانه بین دو صفحه به نام لفافه پروانه قرار می‌گیرند.

**پروانه نیمه‌باز:** این نوع پروانه برای انتقال سیالات با گرانروی بالا مانند فاضلاب، خمیر کاغذ، محلول شکر و مانند آن به کار می‌روند. برای به حداقل رساندن انسداد پروانه تعداد پره‌ها کم و طول آنها بلند انتخاب می‌شود. در این نوع پروانه‌ها، پره‌ها از یک طرف به وسیله صفحه لفافه بسته شده‌است.

**پروانه باز:** این نوع پروانه دارای صفحه لفافه نیست و برای پمپاژ سیالاتی با رسوبات و ذرات معلق بالا استفاده می‌شود.



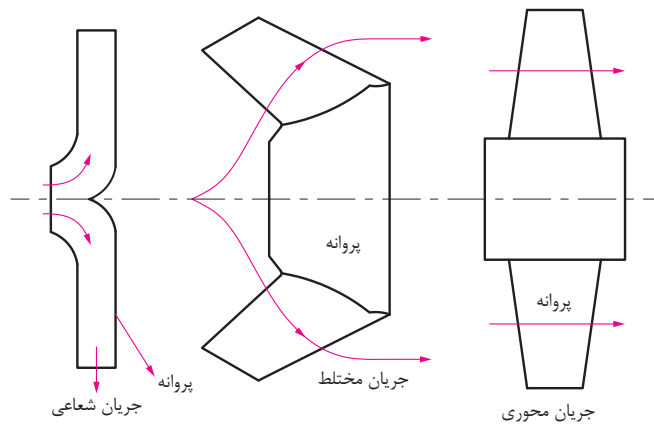
شکل ۶-۳ انواع پروانه‌ها

۱- یک مشخصه فیزیکی است که مقاومت سیال را در برابر جاری شدن نشان می‌دهد.



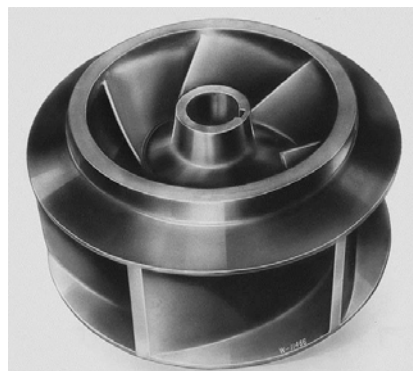
## کاربرد انواع پروانه‌ها را در صنایع شیمیایی ایران بیان کنید.

- ۲- جهت جریان مایع: از نظر جریان مایع پروانه‌ها به سه دسته تقسیم می‌شوند؛
- الف: پروانه با جریان شعاعی؛
  - ب: پروانه با جریان مختلط؛
  - ج: پروانه با جریان محوری.



شکل ۷-۳- جهت جریان مایع در انواع پروانه‌ها

**پروانه با جریان شعاعی:** در این نوع پروانه‌ها، مایع در جهت محور پمپ به پره‌ها وارد و در جهت شعاعی از آن خارج می‌گردد. در این نوع پروانه‌ها عمل گریز از مرکز کامل‌تر از انواع دیگر صورت می‌گیرد. هد<sup>۱</sup> در این پمپ‌ها زیاد و دبی آنها کم است.



شکل ۸-۳ پروانه با جریان شعاعی

۱- میزان افزایش فشاری که پمپ به سیال می‌دهد، هد پمپ نامیده می‌شود.

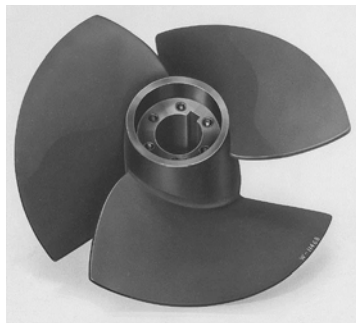
**پروانه با جریان مختلط:** در این نوع پروانه، مایع موازی با محور وارد پروانه شده و به‌طور مایل نسبت به محور از آن خارج می‌گردد. در نتیجه قسمتی از تبدیل انرژی به‌وسیله عمل گریز از مرکز و قسمتی به‌وسیله انتقال سیال انجام می‌گیرد. قطر طرف خروجی پره‌ها بزرگ‌تر از قطر طرف ورودی آنهاست.



شکل ۹-۳ پروانه با جریان مختلط

پروانه نوع مختلط در واقع یک نوع پروانه شعاعی است که پره‌های آن تغییر یافته‌اند و از آنها بیشتر در مواقعی استفاده می‌شود که فشار و دبی متوسط نیاز داریم. بعضی از این پروانه‌ها پیچی شکل هستند و پروانه پیچی نامیده می‌شوند.

**پروانه با جریان محوری:** در این نوع پروانه مایع موازی با محور وارد پروانه می‌شود و موازی با آن نیز خارج می‌گردد. در این پروانه‌ها نیروی گریز از مرکز برای تولید فشار دخالتی ندارد و بدین دلیل پمپ با جریان محوری را، در بعضی از تقسیم بندی‌ها، جدای از پمپ‌های گریز از مرکز تقسیم بندی می‌کنند. این پروانه‌ها را برای دبی زیاد و ارتفاع کم به کار می‌برند.



شکل ۱۰-۳ پروانه با جریان محوری

**جنس پروانه:** جنس پروانه به نوع کاربرد پمپ و سیال پمپ شونده بستگی دارد. متغیرهای مؤثر در انتخاب جنس آن مقاومت مقابل زنگ‌زدگی و سایش، قابلیت فلزکاری و تراشکاری و قیمت مناسب است.



برای هر یک از پروانه‌ها در صنعت مثالی بیان کنید.

## ۴-۳- محاسبات در پمپ

### هد پمپ

میزان افزایش فشاری که پمپ به سیال می‌دهد، هد پمپ نامیده می‌شود. این هد می‌تواند به صورت فشاری یا ارتفاع بیان شود. در محاسبات پمپ هد ارتفاع کاربرد بیشتری دارد. علت اینکه به جای فشار، از هد ارتفاع برای قابلیت پمپ استفاده می‌شود، این است که سازندگان بتوانند ویژگی‌های عملکرد پمپ‌ها را فارغ از دانسیته و سایر خواص فیزیکی مایعات معرفی نمایند.

$$P = \rho gh$$

$$h = \frac{P}{\rho g} = \frac{P}{\gamma}$$

نسبت اختلاف فشار مایع در نقطه ورودی به سیستم پمپ و نقطه خروجی از سیستم پمپ بر متغیر گاما ( $\gamma = \rho g$ ) هد فشار گفته می‌شود.

$$\text{هد پمپ} = h = \frac{P_2 - P_1}{\gamma}$$

### توان تولیدی یا توان هیدرولیک

میزان انرژی‌ای را که پمپ در واحد زمان به مایع منتقل می‌کند، توان تولیدی یا توان هیدرولیک پمپ نامیده می‌شود و با استفاده از رابطه زیر محاسبه می‌گردد:

$$P_O = P_h = \Delta P \times Q$$

در این رابطه:

$P_O$  و  $P_h$  توان تولیدی یا هیدرولیک بر حسب وات (**W**)

$\Delta P$  اختلاف فشار در دو سر پمپ بر حسب پاسکال (**Pa**)

$Q$  دبی مایع بر حسب متر مکعب بر ثانیه ( $m^3/s$ )

## توان الکتریکی مصرفی

میزان انرژی الکتریکی مصرف شده برای تأمین نیروی محرکهٔ پمپ را توان الکتریکی مصرفی پمپ می‌نامند که با استفاده از رابطهٔ زیر محاسبه می‌گردد:

$$P_i = V \times I$$

در این رابطه:

$P_O$  توان مصرفی بر حسب وات (W)

$V$  اختلاف پتانسیل بر حسب ولت (V)

$I$  شدت جریان بر حسب آمپر (A)

## بازده پمپ

بازده پمپ نیز بر اساس نسبت توان تولیدی یا هیدرولیک پمپ به توان مصرفی آن محاسبه می‌گردد.

$$\eta = \frac{P_O}{P_i} = \frac{\Delta P \times Q}{V \times I}$$

بازده پمپ همواره عددی بین صفر و یک است و بازده درصدی پمپ از ضرب این عدد در ۱۰۰ به دست می‌آید.

**مسئله:** برای تأمین نیروی محرکهٔ یک پمپ به ظرفیت ۲/۲ لیتر بر ثانیه، جریان الکتریکی با شدت ۳۰ آمپر و اختلاف پتانسیل ۲۲۰ ولت استفاده شده است، در صورتی که اختلاف فشار در دو سر پمپ ۱۰<sup>۶</sup> پاسکال باشد، توان تولیدی، مصرفی و بازده پمپ را محاسبه کنید؟

**روش حل:**

$$Q = 2/2 \frac{\text{Lit}}{\text{s}} = 2/2 \times 10^{-3} \text{ m}^3 / \text{s}$$

$$P_O = 2/2 \times 10^{-3} \times 10^6 = 2200$$

$$P_i = 30 \times 220 = 6600$$

$$\eta = \frac{P_O}{P_i} = \frac{2200}{6600} = 0/33$$

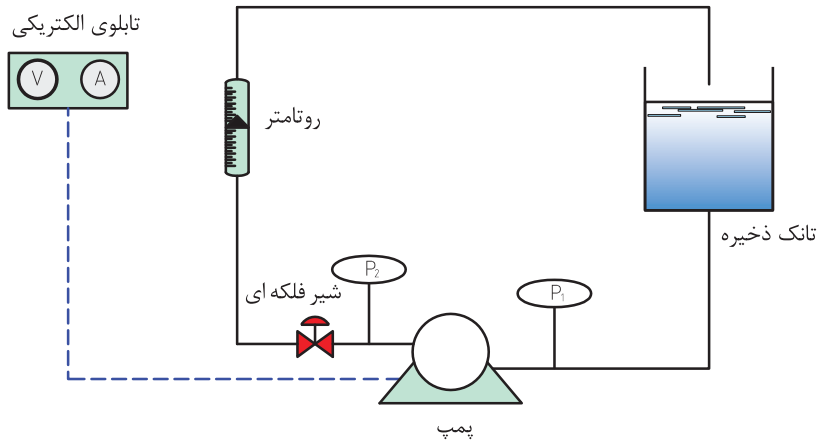
بازده پمپ مورد نظر ۳۳٪ یا ۳۳ درصد است.

**مسئله:** یک پمپ دارای بازدهی ۶۴ درصد است، اگر ظرفیت پمپ برابر با ۷ لیتر در ثانیه، شدت جریان الکتریکی ۲۶ آمپر و اختلاف پتانسیل الکتریکی ۲۲۰ ولت باشد، این پمپ چه اختلاف فشاری را می‌تواند تأمین کند؟





از یک پمپ گریز از مرکز در پمپاژ آب از یک تجهیز به تجهیز دیگر استفاده کنید، با راهنمایی مربی پمپ را راهاندازی نموده و توان تولیدی و مصرفی و بازدهی آن را محاسبه نمایید؟  
راهنمایی: برای آشنایی با عملکرد پمپ و محاسبات مربوط به آن یک نمونه شکل و روش کار ارائه می‌شود.



## روش کار

- ۱- با تنظیم شیر دبی‌های مختلفی را اندازه‌گیری کنید؛
- ۲- در هر دبی ایجاد شده فشارهای ورودی و خروجی را بخوانید و اختلاف فشار برای هر شدت جریان را محاسبه نمایید؛
- ۳- در هر دبی ایجاد شده ولتاژ و آمپر را بخوانید و توان الکتریکی را محاسبه نمایید؛
- ۴- توان تولیدی را محاسبه نموده؛ سپس بازده را به دست آورید؛
- ۵- ارتفاع آب‌دهی (هد دهی) را برحسب دبی رسم کنید؛
- ۶- بازده را برحسب دبی رسم کنید؛
- ۷- با استفاده از نمودارها، نتیجه بگیرید در کدام دبی، پمپ بیشترین بازده را دارد.

نکته ایمنی



نکات ایمنی در هنگام راه‌اندازی پمپ:  
هنگام راه‌اندازی پمپ چه نکاتی را باید مد نظر قرار داد؟  
اطمینان از نصب صافی در لوله مکش پمپ؛  
اطمینان از بسته نبودن شیر تخلیه؛  
باز کردن کامل شیر مکش پمپ؛  
حصول اطمینان از نبود نشتی غیر عادی سیستم آب‌بندی؛  
هرگز پمپ را در دبی‌های زیر دبی مینیمم یا با وجود مسیرهای مکش و تخلیه بسته راه‌اندازی نکنید.  
این امر ممکن است موجب صدمات فیزیکی به دستگاه شود.

مزایا و معایب استفاده از پمپ‌های سانتریفوژ چیست؟

تحقیق کنید



## ۵-۳- پمپ‌های جابه‌جایی مثبت

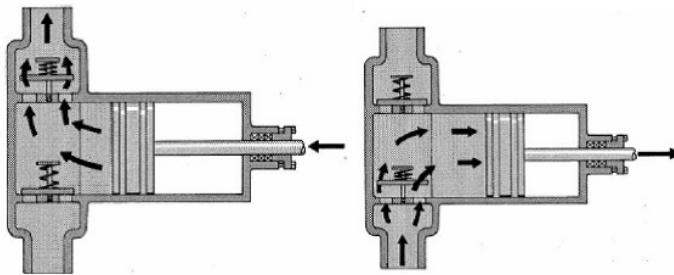


پمپ‌های جابه‌جایی مثبت به دو دسته تقسیم می‌شوند:

- ۱- پمپ‌های رفت و برگشتی<sup>۱</sup>
- ۲- پمپ‌های دوار<sup>۲</sup>

### پمپ‌های رفت و برگشتی

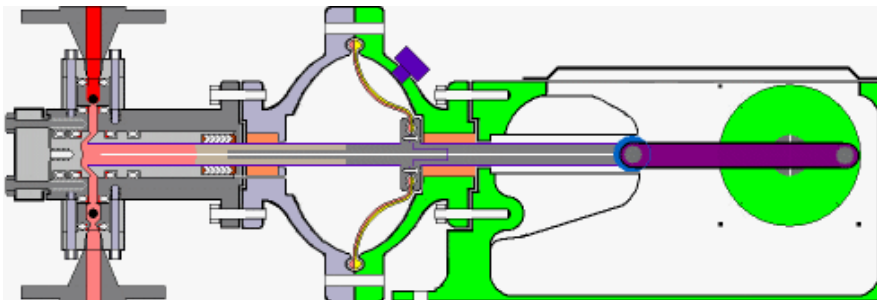
در این پمپ‌ها انتقال انرژی به سیال به صورت دورهای است. اساس عملکرد این پمپ‌ها حرکت رفت و برگشتی پیستون است. با عقب رفتن پیستون مکش ایجاد شده و در نتیجه مایع از طریق شیر ورودی داخل محفظه می‌گردد. با حرکت پیستون به طرف جلو دریچه ورودی بسته و مایع از طریق شیر خروجی به خارج هدایت می‌گردد. مزیت مهم این پمپ‌ها تولید هد و بازده بالا است. تلمبه دوچرخه و سرنگ تزریق نمونه‌هایی از پمپ‌های رفت و برگشتی هستند.



### انواع پمپ‌های رفت و برگشتی

- ۱- پمپ‌های پیستونی<sup>۳</sup>؛
- ۲- پمپ‌های پلانجری<sup>۴</sup>؛
- ۳- پمپ‌های دیافراگمی<sup>۵</sup>.

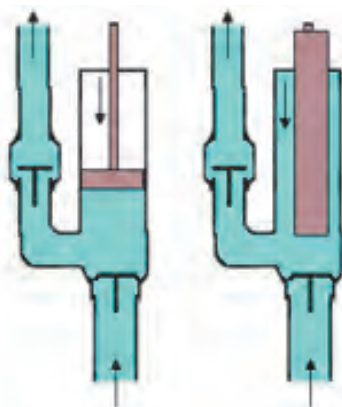
۱۱-۳ نحوه عملکرد پمپ‌های پیستونی



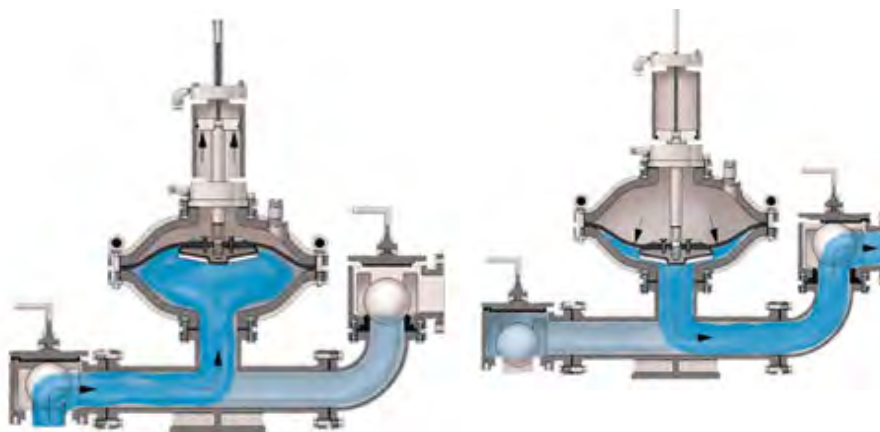
۱۲-۳ نحوه عملکرد پمپ‌های پلانجری

- ۱-reciprocating pumps)<sup>۴</sup>  
 ۲-rotary pumps  
 ۳-piston pumps  
 ۴- plunger pumps  
 ۵- diaphragm pumps

پمپ پیستونی      پمپ پلانجری



۳-۱۳ - تفاوت پمپ پیستونی و پلانجری



۳-۱۴ - نحوه عملکرد پمپ های دیافراگمی

فیلم آموزشی پمپ‌های رفت و برگشتی را مشاهده نمایید.

فیلم



تحقیق  
گروهی



در مورد کاربرد پمپ‌های رفت و برگشتی در صنایع شیمیایی تحقیق نموده و گزارشی تهیه نماید.

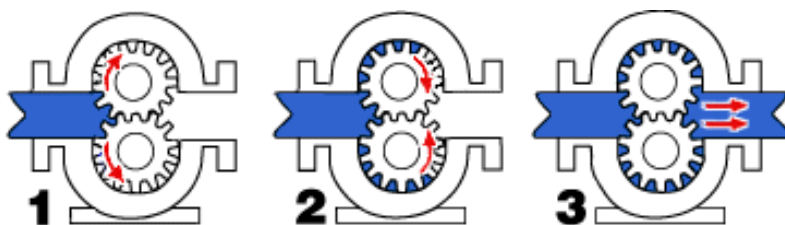
### ب) پمپ‌های دوار

این پمپ‌ها اگرچه دوار هستند، ولی پروانه ندارند بلکه قطعات چرخنده‌ای یا مارپیچی در آنها وجود دارد که مایع در بین دنده‌های چرخنده پمپ به دام می‌افتد و در اثر چرخیدن چرخنده‌ها فشرده شده و

با فشار به بیرون رانده می‌شود. این پمپ‌ها به ویژه برای مایعات دارای ویسکوزیته بالا مناسب هستند و بازده بالایی نیز دارند.

انواع پمپ‌های دوار:

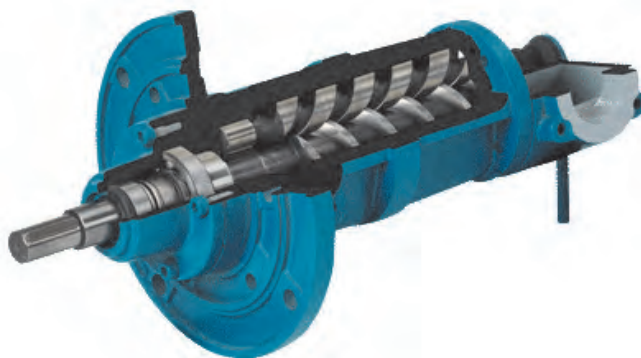
- ۱- پمپ‌های دنده ای؛
- ۲- پمپ‌های پیچی؛
- ۳- پمپ‌های پره ای.



شکل ۱۵-۳ نحوه عملکرد پمپ‌های دنده‌ای

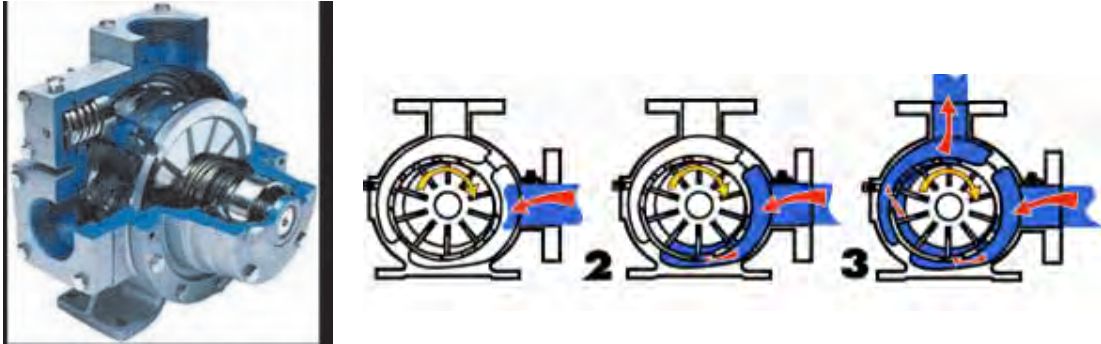
فیلم آموزشی پمپ‌های دوار را مشاهده نمایید.

فیلم



شکل ۱۶-۳ نحوه عملکرد پمپ‌های پیچی

- ۱- gear pumps
- ۲- screw pumps
- ۳- vane pumps



شکل ۱۷-۳ نحوه عملکرد پمپ‌های پره‌ای

با راهنمایی مربی دو نوع پمپ جابه‌جایی مثبت را از نظر ظاهری و قطعات با هم مقایسه کنید؟

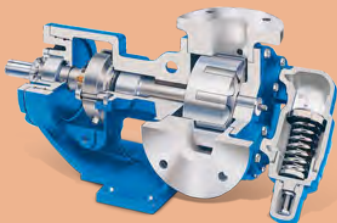
فعالیت  
کارگاهی



نکته ایمنی در پمپ‌های جابه‌جایی مثبت:

زمانی که پمپ مشغول کار است، باید از بسته نبودن خروجی پمپ اطمینان حاصل نمود و چنانچه شخص مسئول بهره‌برداری از پمپ بخواهد، اقدام به بستن مجرای خروجی آن نماید، باید کاملاً مطمئن گردد که مجرای خروجی دیگری برای تخلیه مایع وجود دارد. در غیر این صورت بر روی قطعات پمپ فشار وارد شده و ممکن است که منجر به سوختن الکتروموتور، از کار افتادن پمپ، سوختن فیوز و ترکیدن محفظه و لوله‌ها و سایر معایب دیگر شود.

نکته ایمنی



## ۶-۳ پدیده کاویتاسیون یا حفره‌زایی

کاویتاسیون در لغت به معنای ایجاد حفره یا حفره‌زایی است. پیش از توضیح پدیده کاویتاسیون لازم است اشاره به نقطه جوش و فشار بخار مایعات صورت گیرد. نقطه جوش مایعات به فشاری بستگی دارد که مایع در آن قرار دارد؛ مثلاً آب در فشار یک اتمسفر در دمای ۱۰۰ درجه سلسیوس می‌جوشد که این دما در فشار ۰/۵ اتمسفر در حدود ۸۰ درجه است.

هرگاه در حین جریان مایع در داخل یک پمپ، فشار مایع در نقطه‌ای از فشار تبخیر مایع در درجه حرارت مربوط به آن کمتر شود، حباب‌های بخار در فاز مایع به وجود می‌آیند این حباب‌های کوچک همراه با مایع به نقاط دارای فشار بالاتر منتقل شده و می‌ترکند و باعث ایجاد آسیب به بدنه و پروانه پمپ می‌شوند. این پدیده مخرب در پمپ‌ها را کاویتاسیون می‌نامند. پدیده کاویتاسیون برای پمپ بسیار خطرناک بوده و ممکن است پس از مدت کوتاهی پره‌های پمپ را از بین ببرد؛ بنابراین باید از وجود چنین پدیده‌ای در پمپ جلوگیری گردد. کاویتاسیون همواره با صداهای منقطع شروع شده و سپس در صورت ادامه کاهش فشار در دهانه ورودی پمپ، بر شدت این صداها افزوده می‌گردد. صدای کاویتاسیون مخصوص و مشخص بوده و شبیه برخورد گلوله‌هایی به یک سطح فلزی است. هم‌زمان با تولید این صدا پمپ نیز به ارتعاش در می‌آید. در انتها این صداهای منقطع به صداهایی شدید و دائم تبدیل می‌گردد و در همین حال نیز بازده پمپ به شدت کاهش می‌یابد. شکل زیر آسیب‌دیدگی پروانه پمپ در اثر پدیده کاویتاسیون را نشان می‌دهد.



شکل ۱۸-۳ آسیب‌دیدگی پروانه پمپ در اثر پدیده کاویتاسیون

فیلم آموزشی مربوط به پدیده کاویتاسیون را مشاهده نمایید.

فیلم



در ایران شرکت‌های توانمند بسیاری وجود دارند که در زمینه ساخت پمپ‌های باکیفیت فعالیت می‌نمایند. هم‌اینک در اکثر صنایع کشور از این پمپ‌ها استفاده می‌شود.

## ۳-۷ فرایند اختلاط



فکر کنید : تفاوت میان همزدن و اختلاط چیست؟

فکر کنید



همزدن از ایجاد حرکت و آشفتگی در مایع یا جامد است. یکی از اهداف همزدن، اختلاط دو یا چند ماده است. اختلاط می‌تواند به‌منظور انجام یک تغییر فیزیکی یا شیمیایی انجام شود. در اکثر صنایع شیمیایی و در بسیاری از صنایع دیگر از عملیات اختلاط استفاده می‌شود. در صنایع غذایی، دارویی، کاغذ، لاستیک، پلاستیک و حتی گاز و پتروشیمی این عملیات کاربرد دارد. در اغلب واکنش‌های چند فازی، نحوه، شدت و مدت زمان اختلاط مواد در بازده واکنش تأثیر چشمگیر دارد. اگر اختلاط به‌شکل مطلوب انجام نشود، برخورد میان مولکول‌های مواد واکنش دهنده به نحو مطلوب انجام نمی‌شود و در نتیجه یا واکنش انجام نخواهد شد یا بازده آن کم‌تر از حد انتظار خواهد بود.

نکته مهم آن است که در بسیاری از موارد همزدن شدید یا طولانی، علاوه بر اتلاف انرژی بر کیفیت محصول نیز اثر نامطلوب می‌گذارد؛ برای مثال در فرایند تشکیل کریستال یا بعضی فرایندهای زیست‌شناسی، افزایش توان همزن باعث شکسته شدن دانه‌های کریستال یا صدمه دیدن میکروارگانیسم‌ها و در نهایت کاهش کیفیت محصول می‌شود، همچنین در بسیاری از واکنش‌های شیمیایی اگر زمان اختلاط بیش از حد طولانی شود، محصول شروع به تجزیه شدن می‌نماید و به مواد ناخواسته تبدیل می‌گردد. بدین ترتیب بازده واکنش کاهش می‌یابد.

هدف از همزدن چیست و هم‌زدن در فرایندهای مختلف با چه اهدافی انجام می‌شود؟ با ذکر مثال بحث کنید.

بحث کنید



### انواع اختلاط

عملیات اختلاط بدون توجه به ماهیت صنعتی آن به شش گروه تقسیم‌بندی نمود:

اختلاط دو یا چند محلول (یک فاز)؛

اختلاط دو یا چند مایع نامحلول (چند فاز)؛

تعلیق جامد در مایع؛

پخش گاز در مایع؛

اختلاط سه فاز؛

اختلاط جامدات.





جدول زیر را تکمیل نمایید؟

کاربردها	هدف از هم‌زدن	فرایند اختلاط
		دو یا چند محلول (یک فاز)
		دو یا چند مایع نامحلول (چند فاز)
		تعلیق جامد در مایع
		پخش گاز در مایع
		اختلاط سه فاز
		اختلاط جامدات

### ۳-۸ انواع مخلوط کن ها

مخلوط‌کننده‌ها را می‌توان به دو دسته کلی تقسیم‌بندی نمود:

۱- مخلوط‌کننده‌های فاز مایع که در آنها حداقل یک فاز مایع وجود دارد؛

۲- مخلوط‌کننده‌های فاز جامد که در آنها فاز مایع یا گاز وجود ندارد.

**مخلوط‌کننده‌های فاز مایع:** در این نوع دستگاه حداقل یک فاز مایع وجود دارد و در کنار آن فازهای دیگر هم می‌توانند حضور داشته باشند. پرکاربردترین دستگاه‌ها برای اختلاط در فاز مایع مخزن مجهز به هم‌زن مکانیکی<sup>۱</sup> است.



شکل ۱۹-۳ مخلوط‌کن



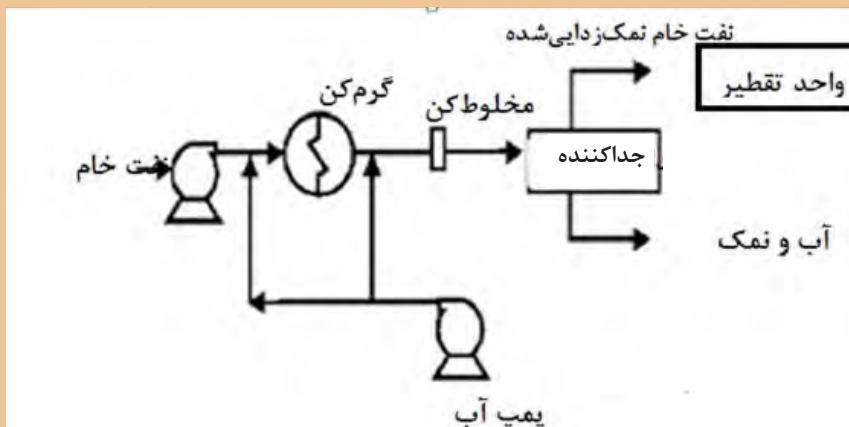
کف مخازن مجهز به هم‌زن به شکل محدب طراحی می‌شود، به نظر شما دلیل آن چیست؟

۱- Mechanically-Agitated vessel

علاوه بر مخازن مجهز به همزن مکانیکی، مخلوط‌کن‌های ساکن یا داخلی<sup>۱</sup> نیز برای اختلاط مایع در مایع یا پخش جامدات و گازها در مایعات استفاده می‌شوند. این نوع همزن دارای قطعات متحرک نبوده و از نظر ساختمان ساده و هزینه آن در مقایسه با سایر مخلوط‌کن‌ها مناسب‌تر است. این مخلوط‌کننده‌ها در محدوده وسیعی از گرانی‌های قابل استفاده بوده و حتی در مخلوط نمودن پلیمرهای مذاب نیز می‌توان از آنها استفاده نمود.

هدف از استفاده از این نوع همزن، دستیابی به توزیع یکنواختی از غلظت و دما است در این مسیر مواد در داخل لوله‌ای که در آن موانعی برای اختلاط بیشتر پیش‌بینی شده، وارد و با حرکت به سمت انتهای لوله به تدریج مخلوط می‌شوند. بیش از ۳۰ نوع متفاوت از این نوع مخلوط‌کننده (با آرایش‌های مختلفی از این موانع) در جهان استفاده می‌شود.

فرایند نمک‌زدایی از نفت خام در پالایشگاه‌ها پیش از فرایند تقطیر و پالایش نفت به منظور جداسازی ترکیبات نمکی از نفت به منظور کاهش خوردگی انجام می‌گیرد و به این منظور نفت را با آب مخلوط کرده و این ترکیبات از فاز آلی وارد فاز آبی شده و در یک جداکننده این دو فاز از هم جدا می‌گردند. به این ترتیب ترکیبات نمکی از نفت جدا می‌گردد. با توجه به مطالب عنوان شده، برای فرایند زیر یک همزن انتخاب کنید:



مزیت این مخلوط‌کن‌ها قابلیت استفاده در فرایندهای پیوسته است.

بحث کنید



۱- In line or static mixer



شکل ۲۰-۳ مخلوط‌کننده‌های فاز مایع

## مخلوط‌کننده‌های فاز جامد

اختلاط در جامدات به سه دسته اصلی تقسیم می‌شوند:

**اختلاط به روش نفوذ:** در این روش ضمن انجام یک حرکت دورانی ذرات جامد در یکدیگر نفوذ می‌کنند، یک نمونه از این دستگاه‌ها مخلوط‌کن V است که در شکل ذیل نمایش داده شده است.

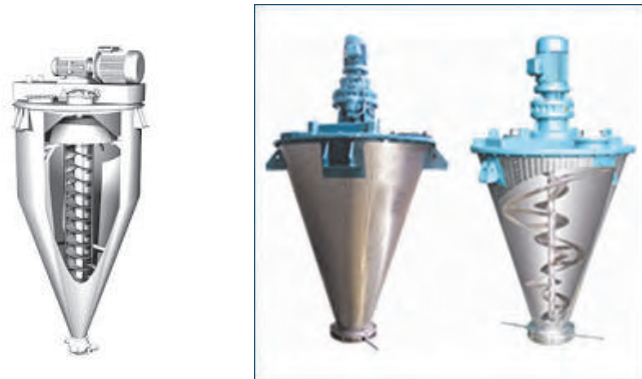


شکل ۲۱-۳- مخلوط‌کن V

**اختلاط به روش جابه‌جایی:** در این روش با حرکت انتقالی پودر انواع جامدات عمل اختلاط انجام می‌شود؛ به عنوان مثال می‌توان به دستگاه‌های مخلوط‌کن روبانی و دستگاه مخلوط‌کن مارپیچ عمودی اشاره کرد که ساختمان آنها در شکل‌های ۲۲-۳ و ۲۳-۳ نمایش داده شده است.



شکل ۲۲-۳- دستگاه مخلوط‌کن روبانی



شکل ۲۳-۳- دستگاه مخلوطکن مارپیچ عمودی

اختلاط به روش ایجاد سیالیت: اگر مقداری جامد را به صورت پودر در یک ظرف استوانه ای ریخته و از میان آنها گاز عبور دهیم، به تدریج با افزایش سرعت گاز و متناسب با سنگینی پودر، ذرات جامد از جای خود بلند شده و حالت سیالیت پیدا می کنند. در این حالت سرعت گاز به حدی است که ذرات جامد آشفته گی و اختلاط لازم را پدید آورد؛ اما قادر نیست که ذرات را با خود همراه کرده و از ظرف خارج نماید. یک نمونه از دستگاه های مخلوطکن بستر سیال<sup>۱</sup> در شکل زیر نمایش داده شده است.



شکل ۲۴-۳- مخلوطکن بستر سیال

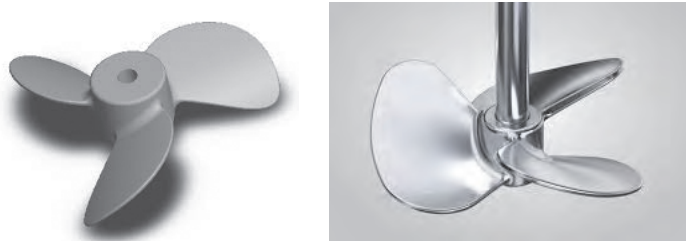
فیلم آموزشی مخلوط کننده بستر سیال را مشاهده نمایید.

فیلم



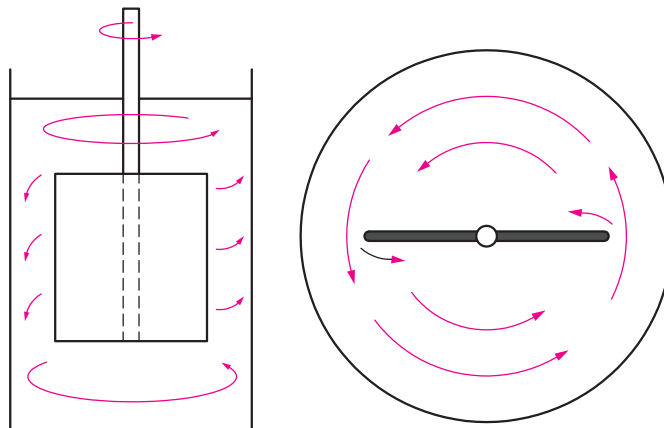
## ۹-۳ نقش پره‌ها در اختلاط و انواع آنها

انواع پره‌ها به اشکال مختلف برای همزدن مایعات به کار برده می‌شوند. متداول‌ترین پره‌ها عبارت‌اند از: **پره‌های ملخی**<sup>۱</sup>: از متداول‌ترین انواع پره‌ها است. شکل زیر نمایی از این پره‌ها را نشان می‌دهد. از این نوع اغلب برای معلق کردن ذرات جامد در داخل سیال استفاده می‌شود و در محدوده وسیعی از سرعت می‌تواند کار کند. این نوع پره برای مایعاتی با گرانش کمی به کار می‌رود. پره‌های ملخی به علت ایجاد جریان‌های پایدار، در مخازن بسیار بزرگ کارایی خوبی دارند و قیمت آنها نیز مناسب است.



شکل ۲۵-۳ پره ملخی

شکل ۲۶-۳ مسیر حرکت سیال را به هنگام دوران یک پره ملخی نشان می‌دهد. همان طور که مشاهده می‌شود این نوع پره، سیال را در امتداد محور به جریان می‌اندازد و به همین خاطر به این نوع پره جریان محوری نیز می‌گویند.



شکل ۲۶-۳ نمای بالایی و جانبی جریان محوری در پره ملخی

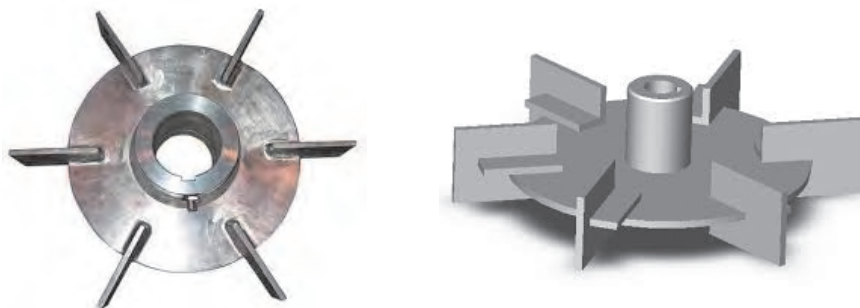
در مواردی برای ایجاد آشفتگی بیشتر در مخازن و از بین بردن نقاط ساکن در گوشه‌های مخازن، همزن را خارج از مرکز استوانه قرار می‌دهند. شکل ۲۷-۳ طرز قرار گرفتن همزن در این حالت و تأثیر آن را نشان می‌دهد.

۱- Propeller



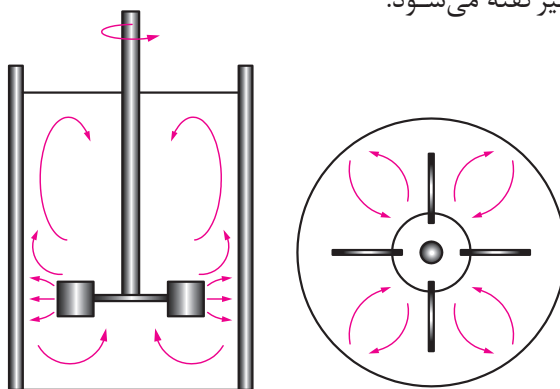
شکل ۲۷-۳ قرار دادن همزن خارج از مرکز و افزایش آشفته‌گی

پره‌های توربینی<sup>۱</sup>: شکل زیر نمایی از این پره‌ها را نشان می‌دهد. در صنایع شیمیایی به‌خصوص برای اختلاط گاز در مایع، این نوع پره مناسب‌ترین انتخاب می‌باشد و در محدوده وسیعی از سرعت می‌تواند کار کند. پره‌های توربینی در محدوده گسترده‌ای از سیالات با گرانی‌های مختلف کاربرد دارد.



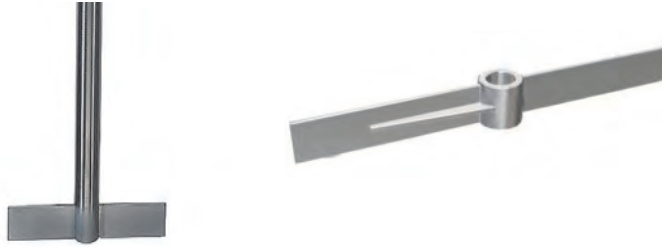
شکل ۲۸-۳ پره‌های توربینی

شکل نشان می‌دهد که چگونه یک پره توربینی سیال را به جریان می‌اندازد. همان‌طور که مشاهده می‌شود با حرکت این پره، سیال در امتداد شعاع ظرف (عمود بر محور) حرکت می‌کند و به همین دلیل به این نوع پره، جریان شعاعی نیز گفته می‌شود.



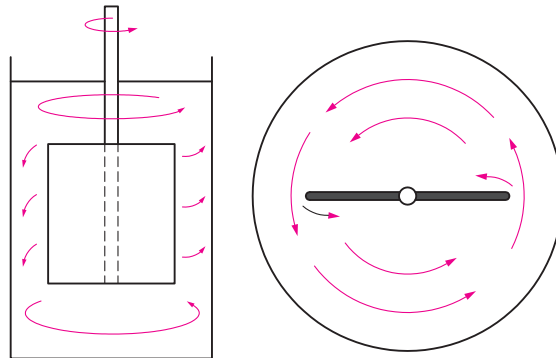
شکل ۲۹-۳- نمای بالایی و جانبی جریان شعاعی در پره توربینی

**پره پارویی<sup>۱</sup>**: شکل زیر نمایی از این پره‌ها را نشان می‌دهد. این نوع پره از یک محور و یک پره به شکل پارو تشکیل شده است. در طیف وسیعی از گرانی‌ها مناسب است و به سادگی در عملیات خراب نمی‌شود. از لحاظ قیمت ارزان و ساخت آن ساده است. در ظرف‌های عمیق چند پارو روی یک محور نصب می‌شود. یکی از مهمترین کاربردهای این نوع از پره‌ها، استفاده جهت انتقال حرارت می‌باشد.



شکل ۳۰-۳ پره‌های پارویی

شکل ۳۱-۳ چگونگی حرکت سیال را به هنگام چرخش پره پارویی نشان می‌دهد. این پره سیال را مماس بر دایره مسیر به جریان می‌اندازد. به همین دلیل به این نوع پره جریان مماسی می‌گویند.



شکل ۳۱-۳ نمای بالایی و جانبی جریان مماسی در پره پارویی

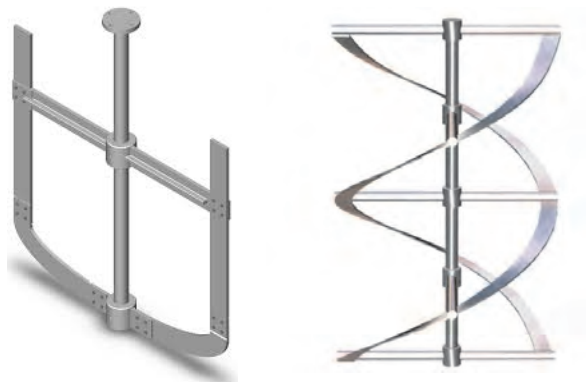
فیلم آموزشی پره‌های پارویی را مشاهده نمایید.

فیلم



**پره‌های لنگری<sup>۲</sup> و حلزونی<sup>۳</sup>**: شکل زیر نمایی از این پره‌ها را نشان می‌دهد. این دو نوع پره برای هم‌زدن مایعات با گرانی زیاد و حتی خمیرها به کار می‌روند. فاصله این پره‌ها با دیواره ظرف نسبتاً کم است و به این ترتیب با چرخش خود از چسبیدن سیال به دیواره‌های ظرف جلوگیری می‌شود. سرعت دوران این نوع همزن‌ها نسبتاً پایین است.

۱-Paddle  
۲-Anchor  
۳-Helical



شکل ۳-۳۲ پره حلزونی و پره لنگری

فیلم آموزشی انواع پره ها و مقایسه عملکرد آن ها را مشاهده نمایید.

فیلم



با راهنمایی مربی انواع مختلف پره ها را از نظر ظاهری و عملکرد با هم مقایسه نموده و جدول زیر را تکمیل کنید:

فعالیت گروهی



موارد کاربرد	نوع پره
	ملخی
	توربینی
	پارویی
	لنگری
	حلزونی





نکات ایمنی در خصوص کار با همزن ها

- ۱- پیش از شروع به کار از محکم بودن اتصالات اطمینان حاصل نمایید.
- ۲- دقت کنید که بخش موتور همزن خیس نشود و در صورت خیس شدن سریعاً آن را خشک کنید.
- ۳- از دست زدن به دستگاه در حین کار جدا خودداری کنید، هیچ گاه همزن را به سمت دوستان خود نگیرید و از شوخی کردن در حین کار پرهیز نمایید به خاطر داشته باشید که گاه یک شوخی دوستانه می تواند صدمات جبران ناپذیری برای شما و دوستانتان در پی داشته باشد.
- ۴- پس از اتمام کار پره ها را تمیز نموده و در جای خود قرار دهید.

### ۱۰-۳ سانتریفیوژها

اولین بار یک مهندس ارتش انگلیس، بنیامین رابینز (۱۷۰۷-۱۷۵۱) بازوی چرخشی را اختراع کرد که میزان جابه جایی اجسام را اندازه بگیرد. در سال ۱۸۶۴ آنتونی پراندی اولین سانتریفیوژ به معنای کنونی را برای جدا کردن شیر و خامه اختراع کرد. در سال ۱۸۷۹ گوستاو لاول اولین جدا ساز اتوماتیک و تجاری را ساخت.



سانتریفیوژ اولیه در قرن ۱۷

سانتریفیوژ دستگاهی است که در آن با استفاده از نیروی گریز از مرکز مواد را از یکدیگر جدا می کنند. معمولاً دستگاه سانتریفیوژ را برای جدا کردن ذرات جامد از یک مایع یا تقسیم مخلوط مایعات با چگالی متفاوت به اجزای مختلف آن به کار می گیرند. سانتریفیوژها برای مخلوط هایی که حاوی ذرات ریز جامد و یا مایعاتی با چگالی نزدیک به هم که به راحتی جدا نمی شوند کارایی خوبی دارند.

فیلم آموزشی : معرفی و عملکرد سانتریفوژ ها را مشاهده نمایید.

فیلم



با توجه به فیلم، مزیت استفاده از سانتریفوژ به روش ته نشینی ساده چیست؟ در مورد عملکرد سانتریفوژ بحث کنید؟

پرسش

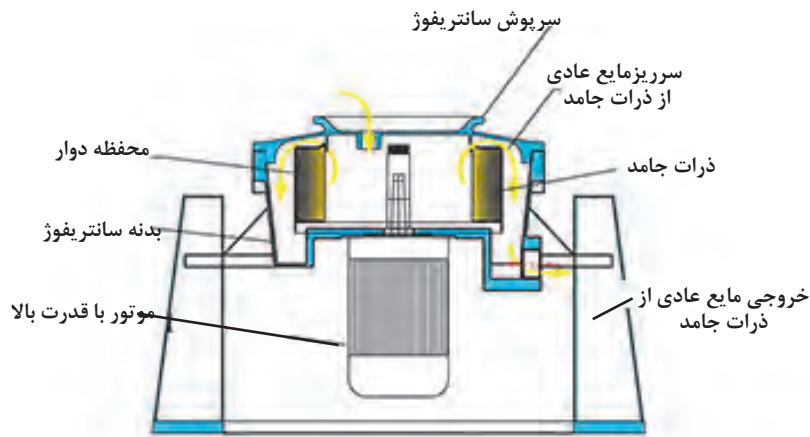


چند نمونه از کاربردهای سانتریفوژ ها را در زندگی نام ببرید؟

فکر کنید



شکل ۳-۳۳ اجزای یک نمونه سانتریفوژ صنعتی را نشان می‌دهد:



شکل ۳-۳۳ - اجزای یک نمونه سانتریفوژ صنعتی

به عنوان نمونه هایی از کاربردهای سانتریفوژ ها می توان به موارد زیر اشاره نمود:

- ۱- جداسازی ذرات گرد و غبار از هوا؛
- ۲- خشک کردن کریستال ها؛
- ۳- جداسازی امولسیون های مایعات و یا مخلوط های مایع و جامد؛
- ۴- کاربرد در صنایع غذایی مثل روغن های گیاهی، آبمیوه ها، جداسازی خامه از شیر و ...

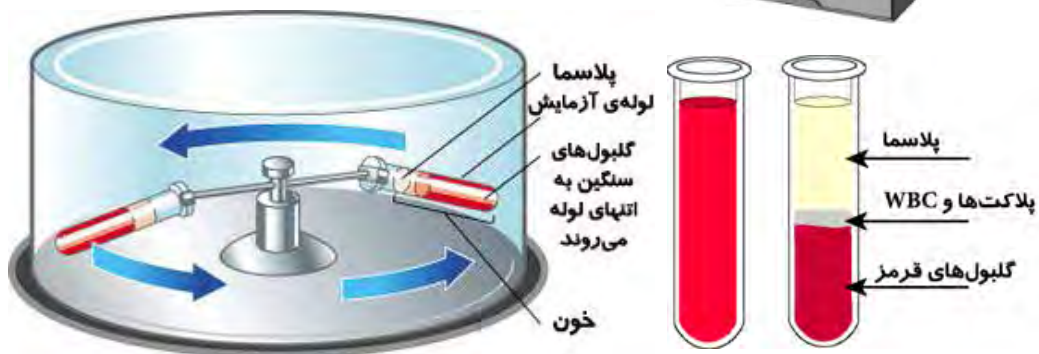
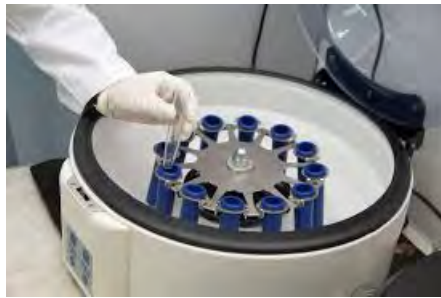
به کمک مربی قطعات یک دستگاه سانتریفوژ را مورد بررسی قرار دهید.

کار  
کارگاهی



### سانتریفوژ های آزمایشگاهی

یکی دیگر از موارد استفاده از سانتریفیوژ، در پزشکی، و تجزیه و تحلیل نمونه‌های خونی است. زمانی که نمونه خونی در دستگاه سانتریفوژ قرار می‌گیرد، دستگاه شروع به چرخش بسیار سریع کرده و در ادامه، عناصر سازنده خون از یکدیگر جدا می‌شوند؛ طوری که گلبول‌های قرمز در لایه پایینی و گلبول‌های سفید و پلاکت‌ها در لایه میانی و پلاسما در لایه فوقانی قرار می‌گیرند.



شکل ۳۴-۳- سانتریفوژ آزمایشگاهی

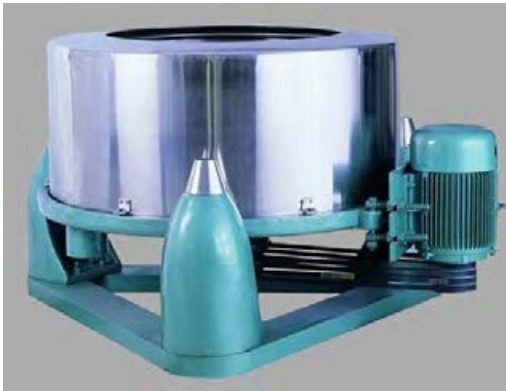


نکات ایمنی در خصوص کار با دستگاه سانتریفوژ آزمایشگاهی

- ۱- قبل از قرار دادن لوله ها در دستگاه ابتدا آن ها را از نظر ترک یا شکستگی چک کنید
- ۲- لوله ها را به صورت برابر و متقارن در سانتریفوژ قرار دهید به طوری که با هم بالانس باشند. در غیر این صورت باعث ارتعاش ، سایش و شکستن لوله ها می شود.
- ۳- پیش از روشن نمودن دستگاه از قفل بودن درب آن اطمینان حاصل نمایید و در خاتمه کار نیز بعد از توقف کامل سانتریفوژ، در دستگاه را باز کرده و لوله ها را به آرامی بیرون بیاورید.

### استفاده از سانتریفوژها در صنعت

در صنایع مختلف، سانتریفوژهای صنعتی با موتورهای قوی و در ابعاد بزرگ برای جداسازی مواد بکار می رود. استفاده در صنعت هوانوردی و صنایع غذایی و شیمیایی و صنایع هسته ای از جمله کاربردهای صنعتی سانتریفوژها می باشد.



شکل ۳۵-۳- سانتریفوژ صنعتی



فرض کنید که مخلوطی از آب، نفت و ذرات معلق جامد داشته باشیم، برای جداسازی آنها از دو روش ته نشینی و سانتریفوژ کردن استفاده می شود چیدمان فازها را در دو حالت رسم کنید .

## ۱۱-۳ - دستگاههای کاهش اندازه مواد



شکل ۳-۳۶ دستگاه کاهش اندازه مواد

فیلم دستگاههای کاهش اندازه مواد را مشاهده کنید.

فیلم



هدف از کاهش اندازه ذرات در صنایع شیمیایی چیست؟

بحث کنید



واژه کاهش اندازه در تمام مواردی که ذرات جامد شکسته و به ذرات کوچکتر تبدیل می‌شوند، به کار می‌رود. در تمام صنایع مختلف، کاهش اندازه جامدات با روش‌های مختلف و برای اهداف گوناگون انجام می‌شود. به‌طور مثال در صنایع معدن، قطعات بزرگ سنگ معدن را به اندازه‌های کوچکتر خرد می‌کنند؛ در صنایع داروسازی مواد شیمیایی مختلف را آسیاب می‌کنند؛ در صنایع بازیافت، قطعات پلاستیکی، کاغذی و ... را به اندازه‌های مورد نظر برش می‌دهند.

مهم ترین روش های کاهش اندازه عبارتند از:

- ۱- تحت فشار قرار دادن جامد بین دو سطح ( متراکم کردن )
- ۲- ضربه زدن به ماده جامد
- ۳- ساییدن جامد بین دو سطح
- ۴- برش دادن جامد

بحث کنید



برای هر یک از روش های کاهش اندازه یک مثال از وسایلی که در زندگی روزمره استفاده می شود. بیان کنید.

پرسش



استفاده از هاون چینی در آزمایشگاه. کاهش اندازه ذرات به کدام یک از روش های بالا است؟



شکل ۳۷-۳ هاون چینی

زمانی که ابعاد قطعات جامد درشت باشد. از روش متراکم کردن استفاده می شود. برای تولید ذراتی با اندازه متوسط و ریز از روش ضربه زدن و برای تولید ذرات خیلی نرم و ریز از روش سایش استفاده می شود. برای تولید ذرات با شکل و اندازه معین، روش برش دادن بکار گرفته می شود.

پرسش



به نظر شما استفاده از روش برش دادن، برای چه نوع موادی مناسب است؟

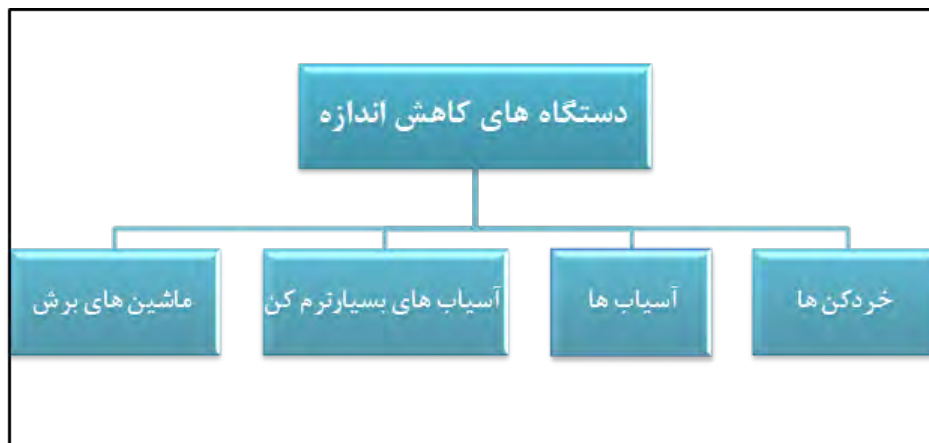
## ویژگی های دستگاه کاهش اندازه

- ۱- ظرفیت (مقدار ماده جامد به ازای واحد زمان کاهش اندازه می دهد) بالایی داشته باشد؛
- ۲- مصرف انرژی کمی داشته باشد؛
- ۳- اندازه ذرات تولید شده توسط آن یکنواخت باشد.

دستگاه های کاهش اندازه معمولاً راندمان پایینی دارند. یعنی به ازای مصرف انرژی بالا محصول حاصل از آنها اندازه های یکسانی ندارند. ذراتی با اندازه های بزرگ تا اندازه های خیلی کوچک تولید می شوند. وجود ذرات بسیار ریز در این دستگاه ها غیر قابل کنترل است ولی می توان آن را به کمترین مقدار ممکن رساند.

## ۱۲-۳ طبقه بندی دستگاه های کاهش اندازه

طبقه بندی دستگاه های کاهش اندازه در شکل آورده شده است.



شکل ۳-۳۸ طبقه بندی دستگاه های کاهش اندازه

## خردکن ها

فیلم آموزشی خردکن ها را مشاهده نمایید.

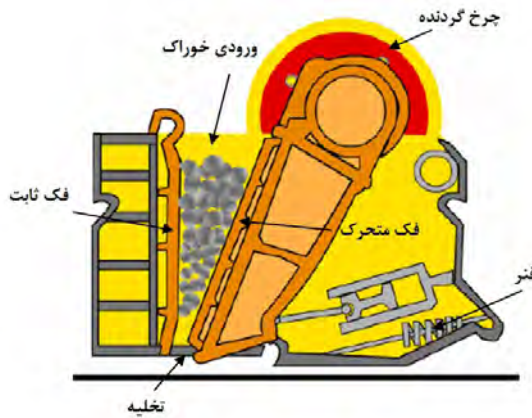
فیلم



خردکن ها ماشین هایی با سرعت کم هستند و برای خرد کردن جامدات بزرگ و تبدیل آنها به ذراتی با اندازه های ۱۵ تا ۲۵ سانتی متر به کار می روند. در ادامه درباره دو نوع از معمول ترین خردکن ها توضیح داده می شود.

## خردکن فکی

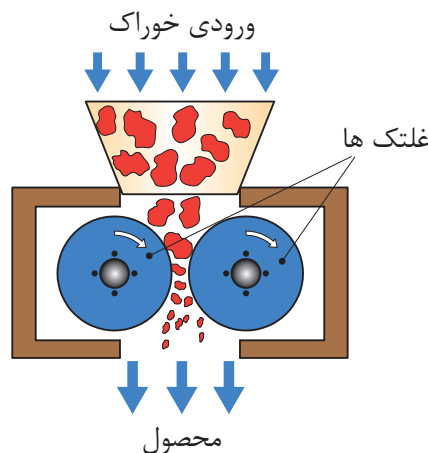
در این نوع خردکن ( شکل ۳۹-۳)، خوراک بین دو فک که با یکدیگر شکل تقریباً V شکل می سازند قرار می گیرد. یکی از فکها ثابت است که تقریباً عمودی است و دیگری متحرک است و در یک صفحه افقی عقب و جلو می رود. سطح فکها می تواند صاف یا شیاردار باشد. کلوخه‌هایی که بین فکها گیر می افتند تحت نیروی فشاری بزرگی قرار گرفته و شکسته می شوند و در فضای تنگ‌تر زیر می ریزند و با بسته شدن فک دوباره خرد می شوند. پس از کاهش اندازه ذرات به اندازه کافی، از ته ماشین به پایین می ریزند. فکها در هر دقیقه ۲۵۰ تا ۴۰۰ بار باز و بسته می شوند. گلوگاه این نوع خردکن با توجه به کاهش اندازه مورد نظر، قابل تنظیم است.



شکل ۳-۳۹ خردکن فکی

## خردکن غلتکی

قسمت‌های اصلی این خردکن از دو غلتک فلزی سنگین تشکیل شده است که روی محور افقی موازی می چرخند. شکل ۴۰-۳ نشان‌دهنده این نوع خردکن هاست. قطعات بزرگ‌تر وارد غلتک می شوند و پس از خرد شدن از پایین خارج می شوند. دو غلتک معمولاً به طرف یکدیگر و با سرعت مساوی می چرخند.



شکل ۳-۴۰ خردکن غلتکی

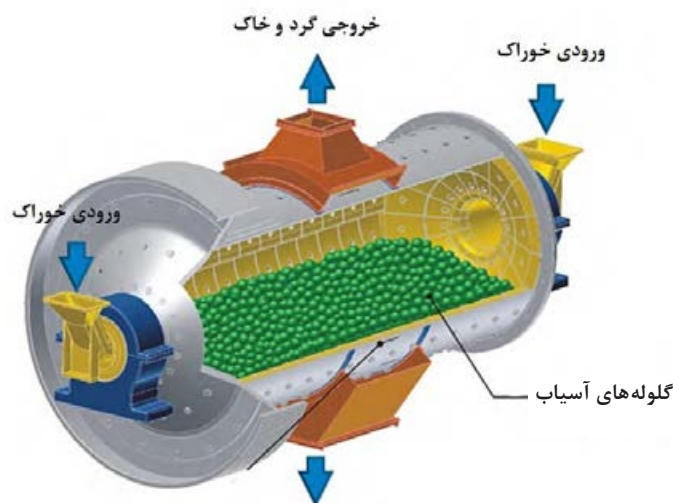


قطر غلتک‌ها را معمولاً زیاد و فاصله بین آنها را کم در نظر می‌گیرند؛ به طوری که این نوع خردکن‌ها قادرند که قطعات نسبتاً بزرگ را به قطعات کوچک‌تر تبدیل کنند. قطر این نوع غلتک‌ها از ۶۰ تا ۲۰۰ سانتی‌متر تغییر می‌کند و معمولاً با سرعت ۵۰ تا ۳۰۰ دور در دقیقه می‌چرخند. طبیعی است که اندازه خردده‌های به دست آمده بستگی به فاصله بین غلتک‌ها دارد. در این نوع خردکن‌ها مقدار کمی محصول نرم، به صورت پودر نیز تولید می‌شود. در خردکن‌های مذکور نیروی اعمال شده از غلتک‌ها بسیار بالاست و معمولاً بین ۲۲۲۴۰ تا ۱۷۷۹۰۰ نیوتن بر هر اینچ از عرض غلتک است. وقتی مواد غیر قابل خردشدن وارد این دستگاه بشوند، برای جلوگیری از صدمات وارده به غلتک‌ها معمولاً حداقل یکی از غلتک‌ها را به فنر متصل می‌کنند.

### آسیاب‌ها

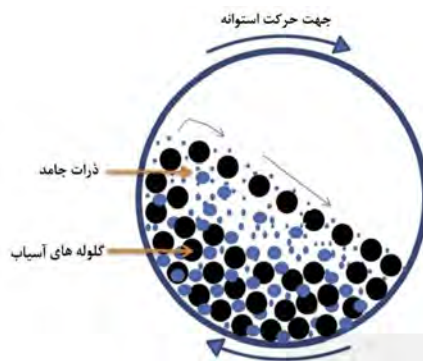
**آسیاب‌ها:** محصولات خروجی خردکن‌ها معمولاً خوراک ورودی آسیاب‌ها را تشکیل می‌دهد و هدف آسیاب‌ها در واقع خردکردن ذرات متوسط و تولید ریزتر است. در این جا تنها به تشریح نمونه مرسوم آسیاب‌ها پرداخته می‌شود که بیشتر در صنایع شیمیایی کاربرد دارد.

**آسیاب دوار:** شکل ۳-۴۱ آسیاب دوار را نشان می‌دهد. این آسیاب از یک استوانه دوار تشکیل شده است که در حالت ساکن، حدود نیمی از حجم داخل آن را با مواد ساینده پر می‌کنند. جنس این استوانه معمولاً از فولاد است که برای جلوگیری از سایش، سطح داخلی آن را از ورقه‌های فولاد سخت، چینی، سلیس و یا حتی لاستیک می‌پوشانند. این استوانه با سرعت کم حول محور افقی خود می‌چرخد. مواد ساینده آسیاب دوار می‌تواند به صورت میله یا ساچمه از جنس‌های فلزی، لاستیکی و یا چرمی باشد. حتی گاهی از سنگ‌های چخماق یا گلوله‌هایی از جنس چینی به عنوان مواد ساینده استفاده می‌کنند.



شکل ۳-۴۱ آسیاب دوار

آسیاب‌های دوار می‌توانند هم به‌صورت پیوسته<sup>۱</sup> و هم به‌صورت ناپیوسته<sup>۲</sup> کار کنند. در آسیاب‌های ناپیوسته مقدار معینی از جنس را از دهانه استوانه به داخل آن می‌ریزند، سپس دهانه استوانه را می‌بندند و آسیاب را برای مدتی طولانی می‌چرخانند. پس از آن آسیاب را متوقف می‌کنند و محصولات آن را خارج می‌کنند. در آسیاب‌های پیوسته، اجسام با حرکت مستمر و یکنواخت از مسیر مشخصی وارد و پس از آسیاب شدن از مسیر دیگری خارج می‌شوند. اساس کار آسیاب‌های دوار بر این است که در اثر حرکت چرخشی استوانه مواد ساییده از کنار استوانه تا نزدیک سقف استوانه بالا می‌آیند و در آنجا در اثر نیروی ثقل روی ذراتی که در کف استوانه است، فرو می‌افتند. در بعضی از آسیاب‌های دوار به‌جای گلوله از میله به‌عنوان عامل ساییده استفاده می‌شود. در آسیاب‌های میله‌ای دوار، قسمت اعظم خرد شدن در اثر فشار و سایش در هنگام غلتیدن میله‌ها روی یکدیگر انجام می‌گیرد، ولی در آسیاب‌های ساچمه‌ای دوار یا قلوه سنگی دوار قسمت اعظم خرد شدن در اثر برخورد در هنگام ریزش قلوه سنگ‌ها یا گلوله‌ها از بالای استوانه صورت می‌گیرد. در آسیاب‌های گلوله‌ای معمولاً قطر استوانه را حدود ۳ متر و طول آنها را حدود ۳/۵ متر در نظر می‌گیرند. قطر گلوله‌ها بین ۲/۵ تا ۱۲/۵ سانتی‌متر تغییر می‌کند.



شکل ۴۲-۳ آسیاب دوار (گلوله ای) و نمایی از سطح مقطع آن

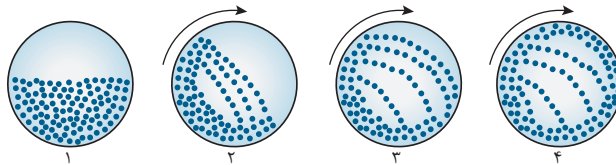
همان‌طور که بیان شد، تعداد گلوله‌ها یا میله‌ها در آسیاب‌های دوار باید طوری باشد که در حالت سکون بیش از نیمی از حجم استوانه را اشغال کند. گلوله‌ها در اثر حرکت استوانه به‌طرف بالا حمل می‌شوند و هر چه آسیاب با سرعت بیشتری بچرخد گلوله‌ها تا ارتفاع زیادتری بالا می‌روند و هر چه گلوله‌ها از ارتفاع بیشتری سقوط کنند، طبیعتاً شدت اصابت با کف آسیاب افزایش می‌یابد و بازده آسیاب کردن بالاتر می‌رود. باید به این نکته توجه کرد که اگر سرعت آسیاب کردن از حدی بگذرد دیگر گلوله‌ها ریزش نمی‌کنند و در استوانه فقط از نقطه‌ای به نقطه دیگر منتقل می‌شوند. در این حالت در آسیاب نیروی گریز از مرکز بر نیروی جاذبه غالب می‌شود. سرعت این مرحله را سرعت بحرانی می‌گویند. در حالت بحرانی تقریباً عمل خرد شدن انجام نمی‌گیرد، لذا سرعت آسیاب در شرایط عملیاتی همواره باید کمتر از سرعت بحرانی باشد.

۱- Continous

۲- Batch



شکل زیر سطح مقطع یک آسیاب گلوله ای را نشان می دهد که نیمی از آن با گلوله های سائیده پر می شود. این آسیاب شروع به چرخش کرده و سرعت آن مدام افزایش می یابد در شکل سرعت چرخش آسیاب تا اندازه ای است که تعدادی از گلوله ها به دیواره آسیاب چسبیده و ریزش نمی کنند. به نظر شما علت آن چیست؟ و چه تاثیری بر راندمان آسیاب دارد؟



یک کارخانه سیمان را در نظر بگیرید. تحقیق کنید آسیاب مورد استفاده در این کارخانه از چه نوعی است و چگونه کار می کند. گزارش تهیه شده را در کلاس ارائه دهید.

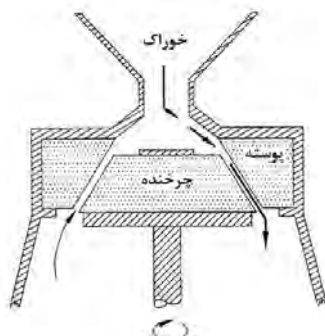


## آسیاب های بسیار نرم کن

بسیاری از پودرهای تجاری باید شامل ذراتی باشند که اندازه آن ها به طور میانگین ۱ تا ۲۰ میکرومتر است. به آسیاب هایی که جامدات را تا این اندازه خرد می کنند. آسیاب های بسیار نرم کن یا فوق ریز گفته می شود، یک نوع از این آسیاب ها بنام آسیاب کلوییدی در زیر توضیح داده شده است.

## آسیاب کلوییدی

در این نوع آسیاب، برخلاف دستگاه های کاهش اندازه اشاره شده، خوراک به صورت یک محلول کلوییدی است. بدین صورت که ابتدا جامد موردنظر را درون یک مایع به صورت کلویید درآورده و سپس این خوراک مایع بین سطح چرخنده و پوسته که فاصله نزدیکی دارند جریان می یابد. شکلی از این نوع آسیاب به صورت ترسیمی در زیر نشان داده شده است.

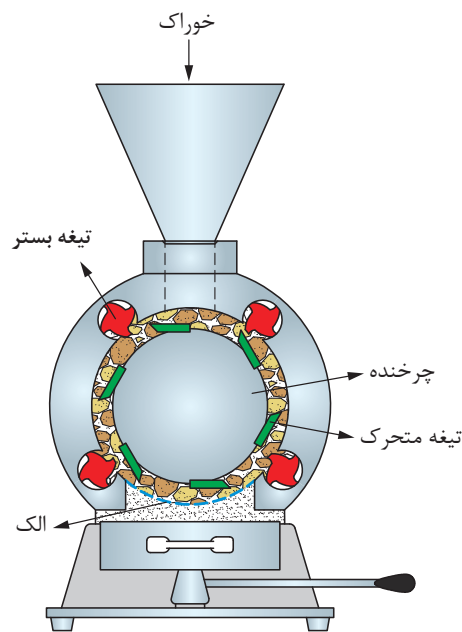


شکل ۴۳-۳ شکل ترسیمی آسیاب کلوییدی

به‌طور مثال در صنایع غذایی ذرات چربی موجود در شیر را به این روش به ذراتی بسیار ریز تبدیل می‌کنند و در نتیجه شیر تبدیل به امولسیون پایدار می‌شود و چربی آن جدا نمی‌گردد.

**ماشین‌های برش:** در بعضی از مواقع که قطعات جامدات بسیار محکم (مانند فولاد، آهن و ...) و یا انعطاف‌پذیر هستند (مانند پلاستیک، پارچه، کاغذ و ...)، اعمال فشار، ضربه یا سایش منجر به کاهش اندازه آنها نمی‌شود. این نوع مواد توسط ماشین‌های برش بوسیله تیغه‌های برنده به قطعات ریزتر تبدیل می‌شوند. در شکل ۳-۴۴ یک نمونه از ماشین‌های برش نشان داده شده است. این ماشین برش دارای یک محفظه استوانه‌ای است که درون آن چرخاننده‌ای با سرعت ۲۰۰ تا ۹۰۰ دور در دقیقه می‌چرخد. روی این چرخاننده تعدادی تیغه یا کاردک متغیر نصب از جنس فولاد آبدیده شده است که به فاصله نزدیکی از روی تیغه‌های ثابت موجود در سطح داخلی استوانه عبور کرده؛ عمل بریدن را انجام می‌دهند.

ذرات خوراک که از بالا وارد محفظه می‌شوند، چند صد بار در دقیقه برش می‌خورند و در پایین دستگاه از الکی با مش مناسب عبور می‌کنند. تیغه‌های متحرک با تیغه‌های ثابت می‌توانند موازی یا دارای زاویه باشند.



شکل ۳-۴۴ ترسیمی ماشین برش

سازوکار مورد استفاده در هر یک از دستگاه‌های کاهش اندازه زیر را مشخص کنید.

پرسش



دستگاه کاهش اندازه	متراکم کردن	برش دادن	ساییدن	ضربه زدن
خردکن فکی				
خردکن غلتکی				
آسیاب گلوله‌ای				
ماشین برش				

## عملکرد دستگاههای کاهش اندازه

- انتخاب مناسب دستگاه کاهش اندازه و به کارگیری اقتصادی آن از اهمیت بالایی برخوردار است. بدین منظور موارد زیر را در بکارگیری از آنها باید رعایت کرد:
- ۱- خوراک ورودی به دستگاه اندازه مناسب آن دستگاه را داشته باشد و با سرعت یکنواختی وارد آن شود؛
  - ۲- پس از کاهش اندازه ذرات به میزان مورد نظر، بلافاصله از دستگاه خارج شوند؛
  - ۳- مانع از ورود مواد غیر قابل خرد شدن به دستگاه شود؛
  - ۴- در رابطه با مواد حساس به دما، گرمای حاصل از آسیاب از آن گرفته شود تا ماهیت مواد عوض نشود؛
  - ۵- تمام دستگاه های جانبی از قبیل پمپها، دمندهها، سردکنها، جداکنندهها و ... در شرایط عملیاتی مناسب کار کنند.

در دستگاههای کاهش اندازه ذرات جامد، کنترل گرد و غبار خروجی از دستگاه اهمیت بالایی دارد؛ مثلاً اگر ماده مورد نظر سمی باشد یا سازگار با محیط زیست نباشد. گرد و غبار حاصل از کاهش اندازه آن می تواند برای محیط زیست و انسان خطرناک باشد. یکی از روشهای کنترل این گرد و غبار، استفاده از فیلتر در خروجی دستگاه است.

پرسش



وسایل مورد نیاز	مواد مورد نیاز
یک سری الک با اندازههای مختلف، لرزاننده ترازو و آسیاب گلوله ای	خاک حاوی ذرات درشت و ریز

فعالیت کارگاهی



## روش کار

- ۱- مقداری خاک را که حاوی ذرات ریز و درشت باشد، تهیه کنید؛
- ۲- خاک را وزن کرده و جرم آن را یادداشت کنید؛
- ۳- الکهای موجود در آزمایشگاه را تمیز کرده و به ترتیب اندازه مش<sup>۱</sup> از بزرگ به کوچک روی هم قرار دهید و به هم متصل کنید؛
- ۴- مجموعه الکها را روی یک دستگاه لرزاننده قرار دهید و خاک را بر روی الک بالایی بریزید؛
- ۵- لرزاننده را روشن کنید تا به مدت ۳۰ دقیقه کار کند؛
- ۶- لرزاننده را خاموش کرده و الکها را از هم جدا کنید؛
- ۷- جرم دانههای خاک باقی مانده بر روی هر الک را اندازه گرفته و یادداشت کنید؛

۱-اندازه مش: تعداد روزنه در یک اینچ مربع

## ۸ - جدول زیر را کامل کنید.

اندازه مش الک	وزن خاک باقی مانده بر روی الک	درصد جرمی خام باقی مانده روی الک

۹- تمام خاک باقی مانده بر روی الکها را جمع کرده، دوباره مخلوط کنید؛

۱۰- آسیاب گلوله‌ای موجود در آزمایشگاه را تمیز کرده و نصف حجم آن را با گلوله‌های سرامیکی پر کنید؛

۱۱- مقداری مناسبی از خاک را با توجه به حجم آسیاب گلوله‌ای موجود در آزمایشگاه برداشته و وزن کنید و به درون آسیاب بریزید؛

۱۲- آسیاب گلوله‌ای را با کمترین سرعت روشن کرده و به تدریج سرعت آن را افزایش دهید. توجه کنید که نیروی گریز از مرکز مانع از غلتیدن گلوله‌ها نشود. سرعت در حدی باشد که گلوله‌ها آزادانه بغلتند؛

۱۳- پس از مدت ۳۰ دقیقه آسیاب را خاموش کنید و خاک درون آن را خالی کنید؛

۱۴- خاک بدست آمده را دوباره با الکها دانه‌بندی کرده و جدول زیر را کامل کنید؛

(بعد از آسیاب)

اندازه مش هر الک	وزن خاک باقی مانده بر روی الک	درصد جرمی خام باقی مانده روی الک

۱۵- برای نشان دادن تأثیر آسیاب گلوله‌ای بر اندازه ذرات، نمودار «درصد جرمی خاک باقی مانده روی الک» را بر حسب «اندازه مش» رسم کنید.

۱۶- نمودارها را با هم مقایسه کنید و تأثیر آسیاب گلوله‌ای را توضیح دهید.



از وسایل ایمنی شخصی (دستکش، روپوش، عینک و ...) استفاده کنید؛  
به هنگام کار با خاک حتماً از ماسک استفاده کنید؛  
قبل از روشن کردن آسیاب، از بسته بودن درب آن اطمینان حاصل نمایید.

### پرسش‌ها:

- ۱- به چه دلیل در صنعت از فرایندهای کاهش اندازه استفاده می‌شود؟
- ۲- سازوکارهای کاهش اندازه را نام ببرید.
- ۳- در صنعت بازیافت پلاستیک، پارچه و کاغذ از کدام سازوکار برای کاهش اندازه مواد استفاده می‌شود؟
- ۴- دستگاه‌های کاهش اندازه به چند دسته طبقه‌بندی می‌شوند؟ نام ببرید.
- ۵- دستگاه‌های مورد استفاده برای کاهش اندازه مواد چه ویژگی‌هایی باید داشته باشند؟
- ۶- روش کار خردکن فکی را توضیح دهید.
- ۷- سازوکارهای اصلی کاهش اندازه در آسیاب دوار کدامند؟
- ۸- عملکرد آسیاب‌های دوار در شرایط سرعت بحرانی به چه صورت است؟ و چه تأثیری بر بازده آسیاب دارد؟
- ۹- مواردی که در بکارگیری دستگاه‌های کاهش اندازه باید در نظر گرفت، کدامند؟

## ارزشیابی شایستگی فصل دستگاه‌های دوار

### شرح کار:

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

### استاندارد عملکرد:

- توانایی کار با پمپ‌ها، دستگاه‌های کاهش اندازه مواد، مخلوط‌کن‌ها و سانتریفوژها مطابق با دستورالعمل

### شاخص‌ها:

- رعایت مسایل ایمنی در حین کار؛
- انجام کار طبق دستورالعمل.

### شرایط انجام کار و ابزار و تجهیزات:

مکان: کارگاه و آزمایشگاه      زمان: یک جلسه آموزشی.  
**ابزار و تجهیزات:** وسایل ایمنی شخصی، پمپ‌ها، دستگاه‌های کاهش اندازه مواد، مخلوط‌کن‌ها و سانتریفوژها.

### معیار شایستگی:

ردیف	مرحله کار	حداقل نمره قبولی از ۳	نمره هنرجو
۱	کار با پمپ‌ها	۲	
۲	کار با مخلوط‌کن‌ها	۲	
۳	کار با سانتریفوژها	۱	
۴	کار با دستگاه‌های کاهش اندازه	۱	
	شایستگی‌های غیرفنی، ایمنی، بهداشت، توجهات زیست محیطی و نگرش: ۱- ایمنی: انجام کار کارگاهی با رعایت موارد ایمنی و استفاده از وسائل ایمنی شخصی؛ ۲- نگرش: ۳- توجهات زیست محیطی: جلوگیری از صدمه زدن به محیط زیست از طریق انجام کار بدون ریخت و پاش؛ ۴- شایستگی‌های غیرفنی: ۱- اخلاق حرفه‌ای، ۲- مدیریت منابع، ۳- محاسبه و کاربست ریاضی، ۴- مستندسازی: گزارش نویسی.	۲	
	<b>میانگین نمرات</b>		*

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



## فصل ۴

# راکتور و مخازن



بخش اصلی در یک واحد شیمیایی، واکنش شیمیایی است که در رآکتور انجام می‌شود و با توجه به اینکه در اکثر فرایندهای صنایع شیمیایی، خوراک یا محصولات فرایند می‌بایست ذخیره گردند لذا برای نگهداری مواد از مخازن ذخیره‌سازی استفاده می‌شود .

## واحد یادگیری ۴

### راکتور و مخازن

#### مقدمه

راکتور های شیمیایی از بخش های اصلی یک واحد صنعتی شیمیایی هستند که در آن واکنش های شیمیایی انجام می شوند در این بخش سرعت واکنش، عوامل مؤثر بر سرعت واکنش شیمیایی و انواع راکتورهای شیمیایی مورد بررسی قرار خواهند گرفت. مخازن ذخیره سازی دارای کاربرد گسترده ای در اکثر صنایع می باشد و برای نگهداری گازها و مایعات مورد استفاده قرار می گیرند. در ادامه این بخش به معرفی مخازن ذخیره سازی مایعات و انواع آن پرداخته می شود و همچنین تعیین نقطه اشتعال، ایمنی و کار با مخازن ذخیره سازی ارائه خواهد شد.

#### استاندارد عملکرد

تعیین سرعت واکنش، کار با راکتورهای شیمیایی و مخازن ذخیره طبق دستورالعمل شایستگی های غیرفنی:

- ۱- اخلاق حرفه ای: حضور منظم و وقت شناسی، انجام وظایف و کارهای محوله، پیروی از قوانین
  - ۲- مدیریت منابع: شروع به کار به موقع، مدیریت مؤثر زمان، استفاده از مواد و تجهیزات
  - ۳- کار تیمی: حضوری فعال در فعالیت های تیمی، انجام کارها و وظایف محوله
  - ۴- مستند سازی: گزارش نویسی فعالیت های آزمایشگاهی
  - ۵- محاسبه و کاربست ریاضی
- شایستگی های فنی:
- ۱- تعیین سرعت واکنش
  - ۲- کار با راکتورهای شیمیایی
  - ۳- کار با مخازن ذخیره

## ۱-۴- درصد تبدیل در واکنش های شیمیایی

واکنش شیمیایی فرایندی است که طی آن یک یا چند ماده به مواد دیگر تبدیل می شوند، بنابراین با یک واکنش شیمیایی مواد اولیه یا ترکیب شونده ها به محصولات با ارزش اقتصادی بالا تبدیل می شوند. از این واکنش ها به واکنش تولید بنزین و گازوئیل در پالایشگاه های نفت، تولید پودرهای ماشین لباسشویی در کارخانجات صنایع شوینده، تولید دارو در کارخانجات تولید دارو، تولید مواد غذایی در کارخانجات صنایع غذایی و غیره می توان نام برد.

پرسش



### درصد تبدیل ترکیب شونده:

پرسش ۱: واکنش شیمیایی  $A \rightarrow C$  در یک رآکتور با ۱۰ مول از ماده اولیه A آغاز می گردد، مقدار مول ماده A موجود در واکنش پس از ۱۰۰ دقیقه، ۲۰۰ دقیقه و ۳۰۰ دقیقه از شروع واکنش، کدامیک می تواند باشد؟

(ب) ۱۰ مول، ۸ مول، ۷ مول

(الف) ۸ مول، ۶ مول، ۷ مول

(د) ۴ مول، ۶ مول، ۸ مول

(ج) ۸ مول، ۶ مول، ۴ مول

در یک رآکتور شیمیایی درصد تبدیل یک ترکیب شونده از حاصل تقسیم مقدار مول مصرفی بر مقدار مول اولیه ترکیب شونده ضرب در عدد ۱۰۰، به دست می آید. اگر واکنش شیمیایی A در حال انجام باشد، میزان درصد تبدیل ترکیب شونده A مطابق با رابطه (۱) محاسبه می گردد.

$$(1) \quad \text{درصد تبدیل ترکیب شونده A} = \frac{\text{تعداد مول مصرفی ماده A}}{\text{تعداد مول اولیه ماده A}} \times 100$$

**مثال ۱:** واکنش  $A \rightarrow C$  با ۱۰ مول از ترکیب شونده A در یک رآکتور آغاز می گردد. پس از گذشت دو ساعت از شروع واکنش، سه مول از A در رآکتور باقی می ماند. درصد تبدیل ماده A در این رآکتور چند درصد است؟

**پاسخ:** مطابق با رابطه (۱)، می بایست در ابتدا تعداد مول مصرفی تعیین گردد. برای این منظور می توان تعداد مول اولیه را از تعداد مول باقی مانده کم نمود.

تعداد مول باقیمانده - تعداد مول اولیه = تعداد مول مصرفی

$$7 \text{ mol} = 10 - 3 = \text{تعداد مول مصرفی}$$

$$\text{درصد تبدیل ترکیب شونده} = \frac{\text{تعداد مول مصرفی ماده A}}{\text{تعداد مول اولیه ماده A}} \times 100 = \frac{7}{10} \times 100 = 70\%$$



به نظر شما در پایان واکنش در مثال ۱ میزان درصد تبدیل چند درصد خواهد شد؟ توضیح دهید؟  
الف) ۸۰ (ب) ۶۰ (ج) ۳۰ (د) ۱۰۰  
میزان درصد تبدیل ماده A را در زمان های مختلف برای پرسش ۱ تعیین نمایید.

## ۲-۴- سرعت واکنش شیمیایی

سرعت یک واکنش، میزان پیشرفت واکنش و روند تبدیل مواد ترکیب شونده به محصول را در مدت زمان معین نشان می دهد. سرعت واکنش یکی از مهم ترین مباحث در علم شیمی است؛ لذا شیمی دان ها همیشه دنبال راهی هستند که سرعت واکنش را بالا ببرند. مطالعه سرعت یک واکنش شیمیایی<sup>۱</sup>، باعث ایجاد شاخه ای در علم شیمی به نام سینتیک<sup>۲</sup> شده است. به طور کلی سرعت یک واکنش شیمیایی از حاصل تقسیم تغییرات غلظت ماده ترکیب شونده بر مدت زمان معین مطابق رابطه ۲ به دست می آید.

$$(۲) \quad \text{سرعت واکنش} = \frac{\text{تغییرات غلظت ترکیب شونده}}{\text{مدت زمان}}$$

**تغییرات غلظت ترکیب شونده به صورت ذیل محاسبه می گردد:**

غلظت مصرفی ترکیب شونده = غلظت باقی مانده - غلظت اولیه = تغییرات غلظت ترکیب شونده

اگر واحد غلظت، مول بر لیتر و واحد زمان دقیقه باشد. واحد سرعت واکنش عبارت است از:

$$\text{واحد سرعت واکنش} = \frac{\left(\frac{\text{mol}}{\text{lit}}\right)}{(\text{min})} = \frac{\text{mol}}{\text{lit} \cdot \text{min}}$$



واحدهای دیگری برای سرعت بیان کنید.

برای تعریف سرعت می توان به جای رابطه (۲) و به جای تغییرات غلظت ترکیب شونده از تغییرات تعداد مول ترکیب شونده مطابق رابطه شماره (۳) استفاده نمود.

$$(۳) \quad \text{سرعت واکنش} = \frac{1}{V_R} \times \frac{\text{تغییرات تعداد مول ترکیب شونده}}{\text{مدت زمان}}$$

<sup>۱</sup>-Reaction Rate

<sup>۲</sup>-kinetic

در رابطه (۳)،  $V_R$  حجم رآکتور است.

البته به جای تغییرات تعداد مول ترکیب‌شونده می‌توان از تعداد مول مصرفی ترکیب‌شونده نیز استفاده نمود؛ لذا:

$$(۴) \quad \text{تعداد مول مصرفی ترکیب شونده} \times \frac{۱}{V_R} = \text{سرعت واکنش} \\ \text{مدت زمان}$$

واحدهای سرعت واکنش را مطابق با رابطه ۴ بیان کنید.

پرسش



توجه: واحد سرعت واکنش بر اساس روابط (۲) و (۳) تفاوتی نمی‌کند.

**مثال ۲:** واکنش  $A \rightarrow C$  با تعداد ۷ مول از ماده A در یک رآکتور یک لیتری انجام شده است؛ پس از گذشت دو ساعت، ۳ مول از A در رآکتور باقی مانده است، مطلوب است:

الف) درصد تبدیل ترکیب‌شونده در این مدت

ب) سرعت واکنش در این مدت

پاسخ: برای تعیین درصد تبدیل از رابطه (۱) و سرعت واکنش از رابطه (۴) استفاده می‌شود.

تعداد مول A باقی مانده - تعداد مول A اولیه = تعداد مول A مصرفی

$7 - 3 = 4 \text{ mol}$  تعداد مول A مصرفی

$$\text{درصد تبدیل ماده A} = \frac{\text{تعداد مول مصرفی ماده A}}{\text{تعداد مول اولیه ماده A}} = \frac{4}{7} \times 100 = 57\%$$

$$\text{سرعت واکنش} = \frac{۱}{V_R} \times \frac{\text{تعداد مول مصرفی ترکیب شونده}}{\text{مدت زمان}} = \frac{۱}{۱} \times \frac{۴}{۲ \times ۶۰} = \frac{۴}{۱۲۰} = 0.033 \frac{\text{mol}}{\text{l.min}}$$

واکنش  $A \rightarrow C$  با تعداد ۵ مول از ماده اولیه A در یک رآکتور ۵ لیتری آغاز شده است. پس از گذشت دو دقیقه از شروع واکنش، تعداد ۳ مول محصول C تولید می‌شود. حال مطلوب است:

الف) درصد تبدیل ترکیب شونده  
ب) سرعت واکنش

پرسش



- هدف از مطالعهٔ سرعت یک واکنش شیمیایی، تعیین میزان سرعت و روند پیشرفت واکنش است. از لحاظ مقدار سرعت، معمولاً واکنش‌ها را به صورت ذیل دسته‌بندی می‌کنند.
- واکنش‌های خیلی سریع: مدت زمان انجام این واکنش‌ها خیلی کوتاه و در حدود ۱/۰۰۰٪ ثانیه است؛
  - واکنش‌های سریع: مدت زمان انجام این واکنش‌ها کم و در حدود حساسیت انسان به زمان (ثانیه) است؛
  - واکنش‌های معمولی: اکثر واکنش‌هایی که در آزمایشگاه انجام می‌شود، از این نوع هستند و مدت زمان آن در حدود دقیقه یا چند ساعت است؛
  - واکنش‌های کند: مدت زمان انجام این واکنش‌ها در حدود روزها و هفته‌اند؛
  - واکنش‌های خیلی کند: مدت زمان انجام این واکنش‌ها در حدود سال‌هاست.
- از واکنش‌های خیلی سریع می‌توان به تشکیل رسوب نقرهٔ کلرید به هنگام مخلوط شدن محلول‌های حاوی یون‌های کلرید و نقره و از واکنش‌های کند می‌توان به زنگ زدن آهن اشاره نمود.

با استفاده از تحقیق اینترنتی، چند نمونه از واکنش‌های با سرعت کم و زیاد را نام ببرید.

تحقیق



بررسی تأثیر غلظت بر سرعت واکنش‌های شیمیایی:

هدف: انجام واکنش سولفوریک اسید با نمک سدیم تیوسولفات با غلظت‌های متفاوت از سولفوریک اسید



به علت تولید رسوب گوگرد، رنگ محلول کدر می‌شود.

فعالیت  
آزمایشگاهی



وسایل مورد نیاز	مواد مورد نیاز
بشر ۵۰ میلی‌لیتری استوانهٔ مدرج ۵۰ میلی‌لیتری زمان سنج (کرونومتر)	محلول سولفوریک اسید با غلظت‌های ۰/۵، ۱/۰، ۱/۵، ۲ مولار محلول سدیم تیوسولفات با غلظت ۰/۵ مولار

**روش آزمایش: برای انجام آزمایش مراحل زیر را به ترتیب انجام دهید:**

- ۱- ۵ میلی‌لیتر محلول سولفوریک اسید ۰/۵ مولار را داخل مزور ریخته و ۵ میلی‌لیتر محلول سدیم تیوسولفات ۰/۵ مولار به آن اضافه کنید و زمان را از لحظه اضافه کردن آن تا هنگام کدر شدن رنگ محلول اندازه گیری کنید (t<sub>۱</sub>)؛

- ۲- آزمایش مرحله ۱ را با محلول‌های سولفوریک اسید ۱، ۱/۵ و ۲ مولار و محلول سدیم تیوسولفات ۰/۵ مولار تکرار کرده و هر بار زمان کدر شدن محلول را با زمان سنج (کرونومتر) اندازه بگیرید.
- ( $t_1$ ،  $t_2$ ،  $t_3$ )؛
- ۳- نتایج آزمایش‌ها را در جدول زیر یادداشت کنید:

غلظت سولفوریک اسید (مولار)	مدت زمان واکنش (ثانیه)
۰/۵	
۱/۰	
۱/۵	
۲/۰	

چه نتیجه‌ای از این آزمایش می‌توان گرفت؟ بحث نمایید.

بررسی تأثیر دما بر سرعت واکنش‌های شیمیایی:

هدف: انجام واکنش سولفوریک اسید با نمک سدیم تیوسولفات در دماهای مختلف



به علت تولید رسوب گوگرد، رنگ محلول کدر می‌شود.

فعالیت  
آزمایشگاهی



مواد مورد نیاز	وسایل مورد نیاز
محلول سولفوریک اسید با غلظت‌های ۰/۵ مولار محلول سدیم تیوسولفات با غلظت ۰/۵ مولار	بشر ۱۰۰ میلی‌لیتری، لوله آزمایش، گیره لوله آزمایش، توری نسوز، سه پایه، چراغ بونزن، پایه فلزی، دماسنج، زمان سنج.

**روش آزمایش: برای انجام آزمایش مراحل زیر را به ترتیب انجام دهید:**

- دو لوله آزمایش را برداشته و در یکی از آنها ۳ میلی‌لیتر سولفوریک اسید ۰/۵ مولار و در دیگری ۳ میلی‌لیتر محلول سدیم تیوسولفات ۰/۵ مولار بریزید و سپس هر دو لوله را به کمک گیره لوله آزمایش در داخل بشر گذاشته و بشر را تا نیمه آن پر از آب کنید و بعد دماسنجی را به کمک گیره بورت به پایه فلزی نصب کرده؛ به طوری که مخزن دماسنج داخل بشر و درون آب قرار بگیرد و چند لحظه صبر کنید تا دماسنج دمای آب داخل بشر را نشان دهد.
- حال چراغ بونزن زیر بشر را روشن کنید و چند لحظه صبر کرده تا دمای آب داخل بشر به حدود ۵۰ درجه سلسیوس برسد سپس محلول سدیم تیوسولفات را به محلول سولفوریک اسید اضافه کرده و زمان را از لحظه اضافه کردن آن تا هنگام کدر شدن رنگ محلول اندازه‌گیری کنید. ( $t_1$ ).
- مجدداً آزمایش را تکرار کنید فقط این بار باید دمای آب داخل بشر به حدود ۶۵ درجه سلسیوس برسد و آزمایش را انجام داده و زمان کدر شدن رنگ محلول را اندازه‌گیری کنید ( $t_2$ ).

۴- آزمایش را مجدداً در حمام با دمای ۷۵ درجه سلسیوس تکرار کرده و زمان کدر شدن رنگ محلول اندازه‌گیری کنید. (۴۳).

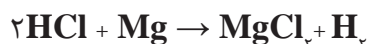
۵- نتایج آزمایش‌ها را جدول زیر را ثبت کنید:

مدت زمان واکنش (ثانیه)	دمای محلول واکنش (سلسیوس)
	۵۰
	۶۵
	۷۵

۶- چه نتیجه‌ای از این آزمایش می‌توان گرفت؟ بحث نمایید.

بررسی تأثیر اندازه ذرات بر سرعت واکنش‌های شیمیایی:

هدف: انجام واکنش هیدروکلریک اسید با فلز منیزیم



فعالیت  
آزمایشگاهی



وسایل مورد نیاز	مواد مورد نیاز
۲ عدد بشر ۱۰۰ میلی لیتری زمان سنج (کرونومتر)	محلول هیدروکلریک اسید با غلظت ۰/۵ مولار نوار منیزیم ۱ گرم پودر منیزیم ۱ گرم

**روش آزمایش: برای انجام آزمایش مراحل زیر را به ترتیب انجام دهید:**

- ۱- دو بشر را برداشته و در هر دوی آنها ۸۵ میلی لیتر هیدروکلریک اسید با غلظت ۰/۵ مولار بریزید. در یکی از بشرها ۱ گرم نوار منیزیم و در دیگری ۱ گرم پودر منیزیم بریزید و آنقدر صبر کنید تا کاملاً نوار و پودر در اسید حل شود و مدت زمان حل شدن را برای هر دو بشر یادداشت نمایید.
- ۲- نتایج حاصل از آزمایش را در جدول ثبت کنید:

مدت زمان واکنش (ثانیه)	شماره بشر
	بشر حاوی نوار منیزیم
	بشر حاوی پودر منیزیم

۳- چه نتیجه‌ای از این آزمایش می‌توان گرفت؟ بحث نمایید.



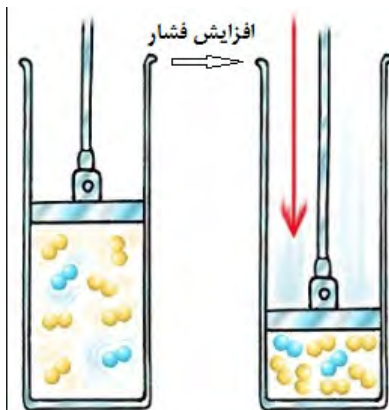
## ۳-۴- عوامل مؤثر بر سرعت واکنش شیمیایی

عوامل مؤثر بر سرعت واکنش شیمیایی عبارتند از:

- ۱- دما
- ۲- فشار
- ۳- غلظت ترکیب‌شونده
- ۴- اندازه ذرات ترکیب‌شونده و سطح تماس
- ۵- کاتالیست

### تأثیر دما بر سرعت واکنش شیمیایی

در اغلب واکنش‌های شیمیایی بین دما و سرعت واکنش رابطه مستقیم وجود دارد؛ یعنی با افزایش دما، تعداد بیشتری از ذرات ترکیب‌شونده با هم برخورد کرده و برخوردها با شدت بیشتری اتفاق می‌افتد. در نتیجه سرعت واکنش شیمیایی افزایش می‌یابد. به‌طور کلی به ازای افزایش دما به میزان ۱۰ درجه سلسیوس، سرعت واکنش شیمیایی دو برابر می‌شود.



شکل ۱-۴: تأثیر فشار بر سرعت واکنش

### تأثیر فشار بر سرعت واکنش شیمیایی

برای بعضی از واکنش‌های شیمیایی با افزایش فشار تعداد برخوردهای مواد ترکیب‌شونده بیشتر می‌شود و در نتیجه میزان سرعت واکنش افزایش می‌یابد. (شکل ۱-۴).

### تأثیر غلظت ترکیب‌شونده‌ها بر سرعت واکنش شیمیایی:

افزایش در تعداد برخوردها باعث افزایش سرعت واکنش می‌شود. تراشه چوب در هوای عادی که شامل ۲۰ درصد اکسیژن است، به خوبی می‌سوزد، اما همین تراشه در اکسیژن خالص، بسیار سریع‌تر می‌سوزد. هر چه غلظت مواد واکنش‌گر بیشتر باشد، به همان میزان تعداد برخوردها به یکدیگر بیشتر شده که پیامد آن افزایش سرعت واکنش است.

### تأثیر اندازه ذرات ترکیب‌شونده بر سرعت واکنش شیمیایی:

همان‌طور که مطرح گردید هر چه سطح مؤثر برخورد در ترکیب‌شونده‌ها بیشتر باشد، واکنش‌ها با

سرعت بیشتری اتفاق می‌افتند. اگر کبریت روشنی را در مقابل تکه بزرگی از زغال بگیرید، شاید اتفاق خاصی نیفتد، اما اگر همین زغال را به تکه‌های بسیار ریز خرد کرده و آنها را به هوا پرت کنید و کبریتی را روشن کنید، انفجاری را خواهید دید که به دلیل افزایش سطح مؤثر برخورد ذرات واکنش‌دهنده است. علت زنگ‌زدگی سریع‌تر براده‌های آهن به نسبت یک میخ آهنی نیز همین افزایش سطح تماس است؛ بنابراین افزایش سطح تماس تعداد برخورد ذرات را افزایش می‌دهد و در نتیجه روی سرعت واکنش اثر می‌گذارد.

### تأثیر کاتالیست بر سرعت واکنش شیمیایی:

یکی دیگر از عوامل مؤثر بر سرعت واکنش‌های شیمیایی وجود کاتالیست مناسب در واکنش است و اصولاً در یک تعریف کلی به تمامی موادی که در محیط واکنش حضور دارند و موجب افزایش سرعت و یا تغییر مسیر پیشرفت واکنش شده و در خاتمه واکنش هم بدون هیچ‌گونه تغییر شیمیایی در ساختار مولکولی‌اش در محیط واکنش باقی می‌مانند، کاتالیست گفته می‌شود.

هر واکنشی کاتالیست مخصوص به خود را دارد؛ ولی در عین حال ممکن است نوع کاتالیست برای چند نوع واکنش شیمیایی مختلف مناسب باشد. در هر ماده کاتالیست به شیوه‌ای وارد عمل شده و روی سرعت واکنش شیمیایی اثر می‌گذارد. در واکنش‌ها کاتالیست با اتصال به مواد اولیه واکنش،

سطح تماس را افزایش می‌دهد و همچنین انرژی مورد نیاز برای آغاز واکنش را کم می‌کند که پیامد هر دو روش افزایش سرعت است. یکی دیگر از محاسن استفاده از کاتالیست انتخابی عمل کردن کاتالیست در واکنش‌های شیمیایی است، یعنی اگر در یک راکتور چند واکنش هم‌زمان صورت بگیرد، یک کاتالیست مناسب می‌تواند سرعت تشکیل و تولید محصول مطلوب را افزایش داده سرعت واکنش‌های نامطلوب و ناخواسته را کاهش دهد (شکل ۲-۴).



شکل ۲-۴ تأثیر کاتالیست بر پیشرفت واکنش

## ۴-۴- تقسیم‌بندی واکنش‌های شیمیایی بر اساس تعداد فاز

بر اساس تعداد فازهای مواد، تقسیم‌بندی واکنش‌ها عبارتند از:

**واکنش همگن (هموزن):** در این واکنش تمامی مواد شرکت‌کننده (ترکیب شونده‌ها) همگی در یک فاز هستند. تولید صابون از محلول قلیایی و اسیدهای چرب به صورت همگن و در فاز مایع و تولید سیمان نیز به صورت همگن و در فاز جامد انجام می‌شود.

**واکنش ناهمگن (هتروژن):** اگر مواد شرکت کننده در واکنش در یک فاز نباشند، این واکنش را ناهمگن می گویند. از واکنش های ناهمگن می توان به واکنش تولید گاز هیدروژن، تولید بنزین، (گاز جامد)، تولید استیلن (مایع و جامد)، تولید گازوئیل (گاز- جامد- مایع) اشاره نمود.

سه نمونه واکنش همگن و سه نمونه واکنش ناهمگن را نام ببرید.

پرسش



## ۵-۴- تقسیم بندی واکنش شیمیایی بر اساس گرمای واکنش

واکنش گرمازا: واکنش هایی هستند که در حین انجام واکنش، گرما ایجاد می کنند و به محیط اطراف خود انرژی می دهند. واکنش های سوختن، خنثی شدن و بسیاری از واکنش های که با اکسیژن انجام می شوند، گرمازا هستند.

### انجام واکنش گرمازا

فعالیت  
آزمایشگاهی

مواد مورد نیاز	وسایل مورد نیاز
مس (II) سولفات پودر روی	بشر ۱۰۰ میلی لیتر دماسنج

### روش انجام آزمایش :

۵۰ میلی لیتر محلول مس (II) سولفات (یک مولار) را در یک بشر ۱۰۰ میلی لیتری ریخته و به آن مقداری پودر روی اضافه کنید، سپس مخلوط را به آرامی هم بزنید و دماسنج را درون محتویات بشر قرار دهید و دمای مخلوط را مشاهده کنید.

### واکنش های گرماگیر:

تعدادی از واکنش های شیمیایی برای انجام شدن از محیط اطراف خود گرما می گیرند، معمولاً واکنش هایی که در آن یک ترکیب شونده به چند محصول تبدیل می شود، از نوع گرماگیر هستند.

### انجام واکنش گرماگیر

فعالیت  
آزمایشگاهی

مواد مورد نیاز	وسایل مورد نیاز
آمونیم نیترات آب	بشر ۱۰۰ میلی لیتر، گرم کن الکتریکی دماسنج لوله آزمایش شیشه ای

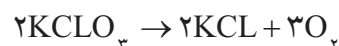
**روش انجام آزمایش:** ۲ گرم آمونیوم نیترات خشک را درون بشر ریخته و روی آن ۵ میلی لیتر آب ۲۰ درجه سیلیسیوس اضافه کنید و دماسنج را درون بشر قرار دهید. چه چیزی مشاهده می‌کنید؟ دماسنج چه عددی را نشان می‌دهد؟

**مثال:** واکنش تولید پتاسیم کلرید (KCL) از (KClO<sub>۳</sub>) در یک رآکتور ناپیوسته مطابق با واکنش انجام می‌شود. غلظت ماده ترکیب‌شونده در مدت زمان ۴۰ دقیقه مطابق با جدول ذیل اندازه‌گیری شده است، حال مطلوب است:  
الف) موازنه مولی فرمول واکنش  
ب) میزان سرعت واکنش

زمان (دقیقه)	۰	۱۰	۲۰	۴۰
غلظت ترکیب‌شونده (مواد)	۱	.۸	.۶۶۷	.۵

**( پاسخ )**

الف) موازنه مولی فرمول واکنش با توجه به تعداد اتم‌های مواد یکسان در طرفین واکنش انجام و فرمول موازنه شده ذیل مطرح می‌گردد.



ب) برای تعیین مقدار سرعت از رابطه ۲ استفاده می‌گردد.

$$\text{سرعت} = \frac{\text{غلظت ماده مصرفی ترکیب شونده}}{\text{مدت زمان}}$$

غلظت مصرفی ماده ترکیب‌شونده هم که از تفاضل غلظت اولیه ترکیب‌شونده و غلظت باقی‌مانده ترکیب‌شونده به دست می‌آید. در این مثال غلظت اولیه همان مقدار غلظت در لحظه صفر است (چون در لحظه صفر هنوز واکنشی شروع نشده است، لذا غلظت آن، غلظت اولیه است) بنابراین:

زمان (دقیقه)	۰	۱۰	۲۰	۴۰
غلظت ترکیب‌شونده	۱	۰/۸	۰/۶۶۷	۰/۵
غلظت مصرفی ترکیب‌شونده	-	۱-۰/۸=۰/۲	۱-۰/۶۶۷=۰/۳۳۳	۱-۰/۵=۰/۵
سرعت	-	$\frac{۰/۲}{۱۰} = ۰/۰۲$	$\frac{۰/۳۳۳}{۲۰} = ۰/۰۱۶$	$\frac{۰/۵}{۴۰} = ۰/۰۱۲۵$



واحد سرعت در این مثال  $\frac{\text{مولار}}{\text{دقیقه}}$  است.



- ۱- سرعت واکنش را تعریف کرده و عوامل تأثیرگذار بر آن را توضیح دهید.
- ۲- دو روش برای تعیین سرعت یک واکنش شیمیایی را توضیح دهید.
- ۳- دلایل تأثیر دما بر سرعت واکنش شیمیایی چیست؟
- ۴- واکنش های همگن و غیر همگن را با ذکر مثال توضیح دهید.
- ۵- در یک واکنش شیمیایی با گذشت زمان، میزان درصد تبدیل چه تغییری می کند؟ چرا؟
- ۶- واکنش  $2A \rightarrow 3C$  با ۵ مول از ترکیب شونده A در یک رآکتور لوله ای ۲ لیتری آغاز می گردد. پس از گذشت نیم ساعت از شروع واکنش، دو مول از A در رآکتور باقی می ماند. درصد تبدیل ماده A در این رآکتور چند درصد است؟ سرعت واکنش بر حسب  $\frac{\text{mol}}{\text{lit. min}}$  چقدر است؟
- ۷- کاتالیست ها چه نقشی در انجام یک واکنش شیمیایی دارند؟ توضیح دهید.

## ۶-۴- رآکتورهای شیمیایی

رآکتور<sup>۱</sup> دستگاهی است که در آن واکنش های شیمیایی انجام می شود. رآکتورهای شیمیایی می توانند در



ابعاد بزرگ و برای مصارف صنعتی یا در ابعاد کوچک برای کاربردهای آزمایشگاهی و تحقیقاتی ساخته شوند. در یک کارخانه صنایع شیمیایی، مواد خام<sup>۲</sup> اولیه یا همان ترکیب شونده ها از یک سری فرایندهای فیزیکی اولیه از قبیل جداسازی، خالص سازی عبور می کنند تا آماده ورود به مرحله بعدی یعنی انجام واکنش شیمیایی شوند.

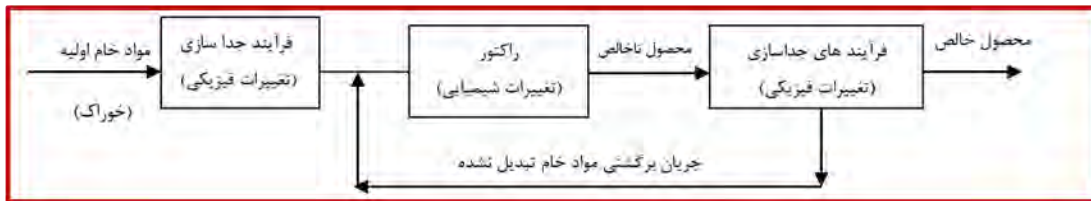
در این مرحله با استفاده از یک رآکتور یا رآکتورهای مناسب، تغییرات شیمیایی مورد نظر انجام می شوند و محصول تولید می شود. به دلیل انجام بعضی از واکنش های ناخواسته یا وجود مقداری از مواد اولیه ورودی به رآکتور که فرصت انجام واکنش را پیدا نکرده اند و همراه محصول از رآکتور خارج شده اند، محصول تولیدی قابل فروش به بازار نیست و لازم است عملیات های فیزیکی از قبیل جداسازی، خالص سازی بر روی آن انجام شود، سپس به عنوان محصول خالص نهایی<sup>۳</sup>

۱-Reactor

۲-Raw material

۳-Net product

برای فروش به بازار عرضه شود. در یک فرآیند شیمیایی احتمال اینکه تمام مواد خام اولیه در راکتور مصرف نشوند؛ وجود دارد؛ لذا آن مقدار مواد اولیه که در راکتور مصرف نشده‌اند می‌بایست به راکتور برگرداند که اصطلاحاً به این جریان، جریان برگشتی<sup>۱</sup> می‌گویند.



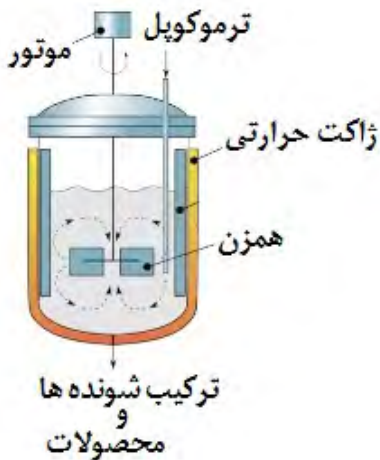
شکل ۳-۴ شمای ساده از یک فرآیند شیمیایی

در صنایع شیمیایی، راکتور به‌عنوان قلب فرآیند شیمیایی و مهم‌ترین و حساس‌ترین عملیات در کارخانه محسوب می‌شود.



راکتورهای شیمیایی براساس نوع عملیات به سه دسته راکتورهای ناپیوسته، راکتورهای نیمه ناپیوسته و راکتورهای پیوسته تقسیم می‌شوند.

## ۷-۴- راکتورهای ناپیوسته



شکل ۴-۴- راکتور ناپیوسته

از دیدگاه تاریخی، راکتورهای ناپیوسته از آغاز صنعت شیمیایی مورد استفاده بوده و هنوز هم به‌صورت وسیعی در تولید مواد شیمیایی با ارزش افزودنی بالا استفاده می‌شوند. در این راکتورها مواد اولیه یا همان ترکیب‌شونده‌ها در همان ابتدای عمل وارد راکتور می‌شوند. محتویات راکتور برای مدت مشخصی کاملاً و به‌شدت مخلوط شده و پس از مدت زمان معینی که واکنش پیشرفت کرد، محتویات داخل راکتور تخلیه می‌شوند؛ بنابراین در این راکتور در هنگام واکنش هیچ گرمی وارد نشده و هیچ گرمی خارج نمی‌شود (شکل ۴-۴). تولید PVC در کارخانجات پتروشیمی در راکتور ناپیوسته انجام می‌شود.



چند واکنش شیمیایی را که در رآکتور ناپیوسته انجام می‌شود، را نام ببرید.



شکل ۴-۵ رآکتور ناپیوسته با سیستم حرارتی کویل

انتقال حرارت فرایند چه از نظر عملیاتی و چه از نظر ایمنی از اهمیت بالایی برخوردار است. همان‌طور که توضیح داده شد، واکنش‌های شیمیایی یا گرمازا هستند یا گرماگیر. در نتیجه در حین انجام واکنش ممکن است محتویات درون رآکتور سرد یا گرم شوند. بالا رفتن بیش از حد دما در رآکتور می‌تواند موجب اختلال در عملکرد و تجهیزات کنترلی آن شود و از همه مهم‌تر، خطر انفجار و نشست مواد را افزایش می‌دهد. همچنین در صورتی که واکنش گرماگیر باشد، با پیشرفت واکنش محتویات رآکتور سردتر می‌شود و ممکن است موجب کندی سرعت واکنش یا انجماد در رآکتور و تجهیزات آن شود. در نتیجه می‌بایست در رآکتورها، همواره دما را در حد مناسب و ایمن نگه داشت. برای این منظور از مبدل‌های حرارتی و تجهیزات انتقال حرارت استفاده می‌شود. یکی از متداول‌ترین روش‌ها برای کنترل دمای رآکتورها استفاده از ژاکت و یا کویل‌های تبادل حرارت است. در ژاکت‌ها، جریانی از یک ماده مثل روغن یا آب با دمای بالاتر و

یا پایین‌تر برای تنظیم دما، در اطراف رآکتور و بدون تماس جرمی با محتویات رآکتور، مرتباً در چرخش است. در روش کویل نیز لوله‌هایی که حاوی همان جریان سردتر یا گرم‌تر است به‌صورت مارپیچ و یا اشکال دیگر در اطراف رآکتور قرار داده می‌شود تا تبادل حرارت با رآکتور انجام شود (شکل ۴-۵). فرایند هم‌زدن و انتقال جرم در رآکتورها از اهمیت بالایی برخوردار است، زیرا در صورتی که محتویات داخل رآکتور به‌خوبی ترکیب نشوند، امکان واکنش ندادن بخشی از مواد و در نتیجه پایین آمدن کیفیت محصول فراهم می‌شود. عمل هم‌زدن در رآکتورهای مخزنی شکل، با استفاده از هم‌زن‌های دوار انجام می‌شود که به شفت و الکتروموتور متصل است (شکل ۴-۶). شکل، نحوه قرارگیری و سرعت چرخش هم‌زن بستگی به عواملی چون، حجم مخزن، شکل مخزن، گرانش سیال دارد.



شکل ۴-۶ انواع هم‌زن‌های مورد استفاده در رآکتور



همچنین انتخاب جنس هم‌زن و بدنهٔ راکتور به مواد داخل راکتور بستگی دارد؛ مثلاً اگر مواد داخل راکتور خورنده باشند، استفاده از فولاد و موادی که امکان خورده شدن در آن وجود دارد، غیر منطقی است. در این گونه موارد انتخاب مواد جایگزین یا پوشش‌دهی تجهیزات با لعاب‌های سرامیکی یا پوشش‌های پلیمری روش مناسبی در جلوگیری از خوردگی و واکنش‌های ناخواسته است. در این راکتورها میزان درصد تبدیل در طول زمان تغییر می‌کند، اما اختلاط کامل باعث می‌شود که در هر لحظه درجهٔ حرارت و میزان درصد تبدیل در سرتاسر راکتور یکنواخت باشد.

• معمولاً این راکتورها در موارد زیر استفاده دارند.

• تولید در مقیاس کوچک صنعتی (ظرفیت کم)؛

• آزمایش کردن فرایندهای ناشناخته؛

• تولید صنعتی محصولات گران‌قیمت؛

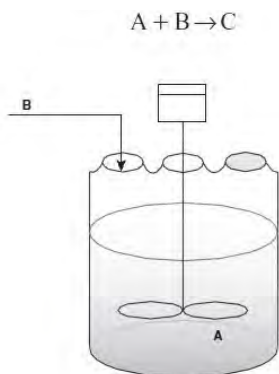
• برای محصولاتی که تولید آنها در شرایط مداوم مشکل باشد.

امتیاز راکتورهای ناپیوسته (Batch) در این است که با دادن زمان لازم برای انجام واکنش مواد اولیه، با درصد تبدیل بالا به محصولات مورد نظر تبدیل می‌گردند.

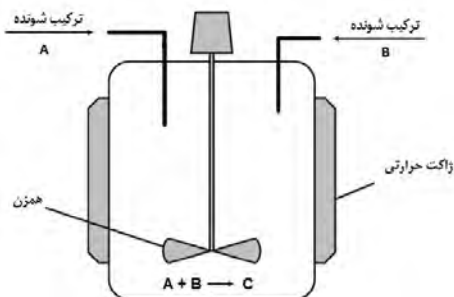
در حالی که استفاده از این نوع راکتورها محدود به واکنش‌های هم‌گن فاز مایع است. از دیگر محدودیت‌های این نوع راکتورها بالا بودن هزینهٔ تولید در واحد حجم محصول تولید شده است، همچنین تولید صنعتی در مقیاس بالا در این گونه راکتورها مشکل است..

## ۴-۸- راکتورهای نیمه ناپیوسته

این نوع راکتورها دارای انواع متنوعی هستند. در نوع متداول آن یکی از مواد اولیه ابتدا در داخل راکتور پر می‌شود و سپس به تدریج ماده یا مواد اولیهٔ دیگر به آن اضافه می‌شود (شکل ۴-۷).



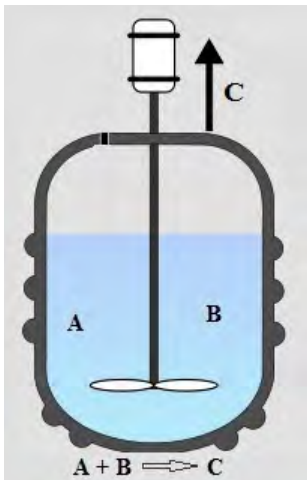
شکل ۴-۷ راکتور نیمه ناپیوسته



شکل ۴-۸ راکتور نیمه ناپیوسته

در نوع دیگر، مواد اولیه به‌طور هم‌زمان وارد راکتور می‌شود، ولی تا پایان واکنش هیچ ماده‌ای از راکتور خارج نمی‌شود (شکل ۴-۸).





شکل ۹-۴ رآکتور نیمه ناپیوسته

نوع دیگری از آن وجود دارد که تمامی مواد اولیه در داخل رآکتور بارگیری شده است و در حین واکنش ماده‌ای داخل رآکتور نمی‌گردد ولی هم‌زمان با انجام واکنش محصول که معمولاً به صورت گاز است از رآکتور خارج می‌شود. (شکل ۹-۴).

رآکتورهای نیمه ناپیوسته نیز همان محدودیت‌های رآکتور ناپیوسته را دارد. از امتیازات رآکتورهای نیمه ناپیوسته کنترل خوب حرارت و کنترل واکنش‌های نامطلوب و محدود کردن تولید محصولات ناخواسته آن است. این عمل از طریق وارد کردن تدریجی یکی از اجزای ترکیب‌شونده با غلظت کم میسر می‌گردد. رآکتورهای نیمه ناپیوسته اغلب برای واکنش‌های دو فازی استفاده می‌شوند که یکی از اجزای ترکیب‌شونده، گاز باشد و جزء گازی به صورت حباب به داخل فاز مایع درون رآکتور تغذیه می‌گردد.

## ۹-۴- رآکتورهای پیوسته

در این نوع رآکتورها، مواد اولیه دائماً وارد رآکتور می‌شود و پس از انجام واکنش، محصول به طور پیوسته از رآکتور خارج می‌شود. این گونه رآکتورها هنگامی در صنعت استفاده می‌شوند که هدف تولید مقدار زیادی محصول باشد در ضمن رآکتورهای پیوسته برای انجام واکنش‌های سریع مناسب‌تر می‌باشند از این رآکتورها در بسیاری از صنایع شیمیایی، به خصوص صنایع نفت، گاز و پتروشیمی استفاده می‌شود.

### رآکتورهای لوله‌ای (Plug):



شکل ۱۰-۴ رآکتور لوله‌ای

در صنایع شیمیایی برای فرایندهای بزرگ مقیاس، معمولاً از رآکتورهای لوله‌ای استفاده می‌شود. زیرا نگهداری سیستم رآکتورهای لوله‌ای آسان است (چون دارای قسمت‌های متحرک نیستند). این رآکتورها معمولاً بالاترین درصد تبدیل مواد اولیه در واحد حجم رآکتور را در مقایسه با سایر رآکتورهای سیستم پیوسته دارند. در این رآکتورها، از یک لوله برای انجام واکنش استفاده می‌شود. این نوع رآکتورها نسبت به شکل مخزنی آن، فضای کمتری را اشغال می‌کنند (شکل ۱۰-۴).

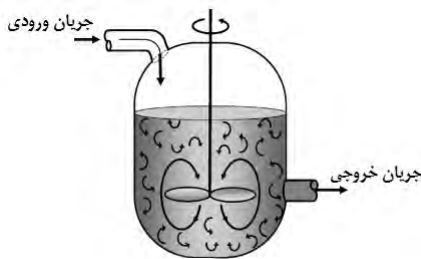
در عین حال به دلیل ساختار لوله‌ای، سطح تماس بیشتری با محیط اطراف داشته و تبادل گرما راحت‌تر انجام می‌شود. درون رآکتورهای لوله‌ای غلظت از نقطه‌ای به نقطه دیگر تغییر می‌کند. از محدودیت‌های این نوع رآکتورها، مشکل بودن کنترل دما برای واکنش‌های گرمازا است. رآکتورهای لوله‌ای یا به صورت تک لوله‌ای بوده یا به صورت مجموعه‌ای از چندین لوله کوتاه‌تر که به صورت موازی به یکدیگر متصل هستند. اغلب واکنش‌های غیرهمگن گازی در این نوع رآکتورها انجام می‌گیرد.

### رآکتور مخزنی همزن دار مداوم (CSTR):

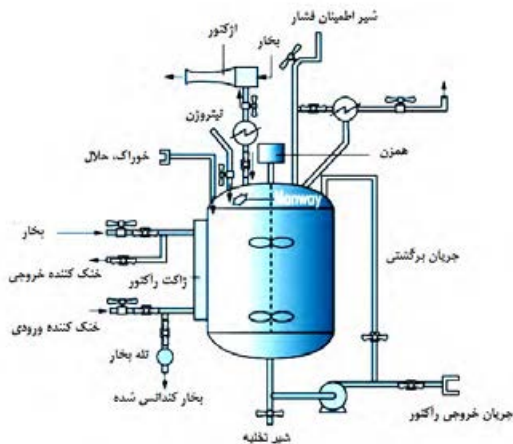
رآکتورهای مخزنی همزن دار مداوم، گونه‌ای متداول از رآکتورها هستند که در آنها یک یا چند جریان ورودی به سیستم، مواد ترکیب‌شونده را به داخل رآکتور می‌آورد و پس از واکنش، از خروجی یا خروجی‌های رآکتور محصولات خارج می‌شوند. به طور معمول شدت جریان ورودی و خروجی از این رآکتورها ثابت است. در غیر این صورت امکان سر ریز یا تخلیه سریع مخزن رآکتور وجود دارد.

رآکتور مخزنی همزن دار مداوم یا اصطلاحاً رآکتور مخلوط‌شونده، در شرایطی که یک واکنش شیمیایی احتیاج به اختلاط شدید داشته باشد، استفاده می‌شود. رآکتورهای مخلوط‌شونده یا به تنهایی و یا به صورت پشت سر هم متصل می‌گردند. کنترل حرارتی در این نوع رآکتورها به آسانی انجام می‌گیرد. عمل اختلاط

و هم‌زدن مواد با شفت و پروانه صورت می‌گیرد. در مقایسه با سایر رآکتورها درصد تبدیل مواد در آنها به ازای واحد حجم محصول تولیدی پایین‌تر است و به همین دلیل برای دستیابی به میزان درصد تبدیل بیشتر محصول مورد نظر، از رآکتور با حجم‌های بزرگ‌تر استفاده می‌شود. رآکتورهای مخلوط‌شونده برای اغلب واکنش‌های همگن در فاز مایع استفاده می‌شود (شکل‌های ۴-۱۱ و ۴-۱۲).



شکل ۴-۱۱ رآکتور مخزنی همزن دار مداوم



شکل ۴-۱۲ رآکتور مخزنی همزن دار مداوم

در رآکتورهای مخلوط‌شونده به علت وجود هم‌زن، خوراک ورودی به سرعت در سرتاسر ظرف پراکنده شده و غلظت در هر نقطه درون ظرف تقریباً یکسان است؛ لذا سرعت واکنش در تمام نقاط درون سیستم تقریباً یکسان می‌گردد. به طور کلی در رآکتورهای مخلوط‌شونده تغییرات مکانی غلظت (یا خواص فیزیکی) درون رآکتور یا در خروجی آن وجود ندارد و خواص درون سیستم یکنواخت است.

این نوع رآکتورها عمدتاً برای تولید محصولاتی با حجم بالا از قبیل محصولات پتروشیمی، مواد شوینده،

بهداشتی و محصولاتی استفاده می‌شود که میزان تقاضای آنها به صورت ثابت در بازار وجود دارد استفاده می‌شود. این نوع رآکتورهای پیوسته در مقایسه با رآکتورهای لوله ای حجم بیشتری نیاز دارند اما حجم تولید در آنها بالاتر است.

### زمان اقامت در رآکتورهای پیوسته :

در رآکتورهای پیوسته که به طور مداوم مواد خام به آن وارد و محصولات از آن خارج می‌شوند، نمی‌توان زمان مشخصی برای انجام واکنش و تبدیل مواد اولیه به محصول بیان کرد. در نتیجه از کمیتی به نام زمان اقامت استفاده می‌شود. زمان اقامت، متوسط زمانی است که یک ذره وارد رآکتور شده و تا زمان خروج در آنجا در حال واکنش است. این کمیت به صورت زیر نشان داده می‌شود:

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

در این معادله،  $V$  نشان دهنده حجم رآکتور،  $Q$  شدت جریان حجمی ورودی به رآکتور و  $t$  زمان اقامت است. زمان اقامت یکی از متغیرهای مورد استفاده در طراحی رآکتورهای شیمیایی است.

**مثال)** واکنش  $A + B \rightarrow C$  قرار است در یک رآکتور لوله‌ای ۵۰ لیتری و در رآکتور مخزنی هم‌زن دار پیوسته (مداوم) ۷۵ لیتری انجام شود. میزان شدت جریان ورودی به هر دو رآکتور ۲۵ لیتر بر دقیقه است. حال تعیین نمایید مدت زمان اقامت مواد در این دو رآکتور چقدر است؟

**پاسخ:** با توجه به رابطه (۳) و تعریف زمان اقامت:

$$\text{زمان اقامت} = \frac{\text{حجم رآکتور}}{\text{شدت جریان حجمی ورودی به رآکتور}}$$

$$t = \frac{50}{25} = 2 \text{ min} \quad \text{زمان اقامت در رآکتور لوله‌ای:}$$

$$t = \frac{75}{25} = 3 \text{ min} \quad \text{زمان اقامت در رآکتور مخلوط شده پیوسته:}$$

به نظر شما میزان تبدیل در کدام رآکتور بیشتر است؟ چرا؟

پرسش



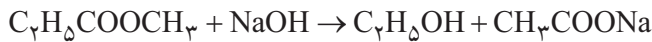
فعالیت  
آزمایشگاهی



به دست آوردن میزان تبدیل در یک رآکتور ناپیوسته

شرح آزمایش:

در این آزمایش، از واکنش سود و اتیل استات یعنی واکنش صابونی شدن استفاده شده است.



این واکنش به دلیل سرعت مناسب آن اندازه‌گیری پیشرفت واکنش انتخاب شده است. چون در این جا برای تعیین غلظت‌ها از تیتراسیون استفاده می‌شود، لذا از این طریق می‌توان غلظت سود موجود در محیط واکنش را محاسبه کرد.

### دستگاه‌ها و مواد مورد نیاز:

رآکتور آزمایشگاهی ناپیوسته، ارلن، بورت، ترازو، سود (NaOH) ۱/۱ مولار، اتیل استات، شناساگر فنل فتالئین، پیپت، هیدروکلریک اسید (HCL) ۱/۱ مولار.

### روش انجام آزمایش:

در ابتدا در دو ارلن مجزا محلول ۱/۱ مولار از سود و اتیل استات به میزان هر کدام ۱ لیتر تهیه می‌گردد؛ سپس این دو محلول را به صورت همزمان درون رآکتور بریزید. همزن را با دور بسیار کم روشن کرده و سپس به ازای هر ۵ دقیقه یکبار به میزان ۱ میلی لیتر از محلول واکنش را برداشته و غلظت محصول را اندازه‌گیری کنید (تیتراسیون معکوس انجام دهید). و برای این کار طی مراحل زیر عمل کنید: نمونه‌ای به حجم ۱۰ میلی لیتر از محلول واکنش بردارید؛ نمونه را با حجم ۵ میلی لیتر محلول ۱/۱ مولار هیدروکلریک اسید مخلوط نمایید. حال حجم محلول به ۱۵ میلی لیتر حاصل می‌شود؛ این محلول را با سود ۱/۱ مولار سنجش نمایید (تیترا) و با استفاده از حجم سود مصرفی مقدار اسید مصرف شده در قسمت دوم برای خنثی‌سازی سود و از این طریق غلظت سود در سیستم به دست می‌آید. تصویر با بورت محاسبات:

$$\text{غلظت سود موجود در نمونه} = \frac{\text{حجم سود تیترا شده} \times ۱/۱}{۱۵} - ۱/۱$$

حال میزان تبدیل سود را می‌توان از این رابطه تعیین نمود:

$$\text{میزان درصد تبدیل} = \frac{\text{غلظت سود موجود در نمونه} - ۱/۱}{۱/۱}$$

ردیف	مدت زمان (دقیقه)	میزان غلظت سود در واکنش	میزان تبدیل سود



- ۱- دو کاربرد از رآکتورهای ناپیوسته را بیان کنید و دو واکنش را که در صنایع شیمیایی در رآکتور ناپیوسته انجام می‌شود، نام ببرید.
- ۲- واکنش  $A \rightarrow 2C$  قرار است در یک رآکتور مخلوط‌شونده ۱۰۰ لیتری با ۱۰ مول از ماده A آغاز شود. میزان شدت جریان ورودی به رآکتور ۵۰ لیتر بر دقیقه است. حال تعیین نمایید که مدت زمان اقامت مواد در رآکتور چقدر است؟
- ۳- واکنش  $A \rightarrow 2C$  قرار است در یک رآکتور مخلوط‌شونده ۱۰۰ لیتری با ۱۰ مول از ماده A آغاز می‌شود. پس از گذشت ۲۰ دقیقه از شروع واکنش میزان محصول تولیدی ۱۰ مول می‌گردد. تعیین نمایید میزان تبدیل در رآکتور چقدر است؟ میزان سرعت واکنش بر حسب  $\frac{\text{mol}}{\text{lit. min}}$  چقدر می‌شود؟
- ۴- مزایای رآکتورهای لوله‌ای و مخلوط‌شونده را نام ببرید.
- ۵- تفاوت رآکتور ناپیوسته و پیوسته چیست؟
- ۶- معمولاً گرمای مورد نیاز در رآکتورها را چگونه تأمین می‌کنند؟ توضیح دهید.
- ۷- هم زدن در کدامیک از رآکتورهای شیمیایی تأثیرگذار است؟ نحوه تأثیر را توضیح دهید.
- ۸- برای تولید بنزین در یک پالایشگاه از چه رآکتوری استفاده می‌شود؟ چرا؟
- ۹- انواع رآکتورهای نیمه پیوسته را نام برده و توضیح دهید.
- ۱۰- آیا از مقایسه میزان تبدیل در دو رآکتور می‌توان به مناسب بودن آنها پی برد؟ چگونه؟
- ۱۱- در یک کارخانه شیمیایی که واکنشی در فاز مایع در آن اتفاق می‌افتد، برای افزایش میزان سرعت واکنش از میان راهکارهای ذیل، کدام راهکار را پیشنهاد می‌دهید؟ چرا؟
  - افزایش دما
  - افزایش فشار
- ۱۲- انجام عملیات در یک رآکتور ناپیوسته را به همراه شکل کاملاً توضیح دهید.
- ۱۳- از میان متغیرهای «سرعت واکنش» «درصد تبدیل»، کدامیک در تصمیم‌گیری نوع عملیات مهم‌تر است؟ توضیح دهید.



چرا باید ذخیره‌سازی کنیم؟ آیا در منزل مسکونی شما مخزن ذخیره‌سازی وجود دارد؟ چه چیزی را ذخیره کرده‌اید؟ چرا؟

پرسش



در صنایع شیمیایی، مواد ارزشمند طی فرآیندهای مختلفی از مواد شیمیایی خام جدا شده و یا از آنها به وجود می‌آیند. چند راه برای انتقال مواد خام از منابع تامین کننده به کارخانه وجود دارد که بر حسب مورد و شرایط، از یکی از آنها مانند خطوط انتقال یا تانکر استفاده می‌گردد. همچنین محصولات تولیدی نیز به روش‌های مختلف به بازار داخلی یا خارجی عرضه می‌شوند.

به دلایل زیادی از جمله یکسان کردن کیفیت محصول، اندازه‌گیری حجم محصول جهت فروش، امکان بارگیری و انتقال به تانکر یا کشتی در حداقل زمان ممکن و دلایل دیگر سبب می‌شود تا محصولات را بعد از تولید، در مخازن یا تانک‌های مناسب ذخیره نمایند. از اصطلاح تانک برای ظروف ذخیره‌سازی بزرگ با کاربرد جابجا کردن، ذخیره‌سازی، اندازه‌گیری و حمل و نقل مایعات استفاده می‌گردد. به طور کلی مخازن چند وظیفه اصلی به عهده دارند:

- ذخیره مواد اولیه و خوراک کارخانجات
- ذخیره فرآورده‌ها و محصولات
- ذخیره مواد برای بارگیری و پخش
- همسان نمودن کیفیت محصول
- معیاری جهت اندازه‌گیری حجم خوراک و محصول تولید شده

### اصول ذخیره‌سازی مایعات

ساختار و اندازه مخزن ذخیره‌سازی به ماهیت ماده مورد نظر برای ذخیره‌سازی و حجم مورد نیاز برای ذخیره‌سازی بستگی دارد.

مهم‌ترین متغیرهایی که در انتخاب نوع مخزن تأثیرگذار هستند، عبارتند از:

#### ۱- فشار بخار ماده یا به عبارت دیگر فراریت

در صورتی که فشار بخار ماده بالا باشد، می‌بایست آن را در مخازن تحت فشار ذخیره نمود، در غیر

این صورت می‌توان ماده مورد نظر را در مخازن کم فشار نگه‌داری کرد.

## ۲- سمی بودن ماده

در صورتی که ماده ذخیره‌شونده سمی باشد، می‌بایست در مخازنی ذخیره شوند که خطر نشت مواد سمی به حداقل برسد.

## ۳- میزان آتش‌گیری ماده (نقطه اشتعال)

نقطه اشتعال پایین‌ترین دمایی است که در آن دما، بخار قابل احتراق از ماده تولید می‌شود. هر چه نقطه اشتعال ماده بالاتر باشد، در دمای بالاتری از آن بخار قابل احتراق تولید می‌شود؛ به عنوان مثال نقطه اشتعال بنزین حدود ۴۲- درجه سلسیوس است، بنابراین، بنزین در دمای معمولی دارای بخار قابل احتراق است. در حالی که نقطه اشتعال گازوئیل حدود ۱۲۰ درجه سلسیوس است. هر چه نقطه اشتعال بالاتر باشد، ذخیره‌سازی ماده آسان‌تر و خطرات کمتری هم دارد.

گازها، سیالات آتش‌گیر، مواد شیمیایی خطرناک مانند اسیدها و بازها و یا سیالاتی که از خود گازهای سمی منتشر می‌کنند می‌بایست درون مخازن در بسته نگهداری شوند.

نکات زیست  
محیطی



## ۱۱-۴- دسته بندی مخازن ذخیره



شکل ۱۳-۴ مخزن ذخیره‌سازی بدون سقف



شکل ۱۴-۴ مخازن استوانه‌ای کم فشار

برای دسته‌بندی مخازن معیارهای مختلفی وجود دارد از قبیل شکل هندسی (استوانه‌ای یا کروی)، نوع سیال (مایع یا گاز) و فشار بخار ماده. مخازن به صورت روباز و سقف‌دار ساخته می‌شوند. مخازن بدون سقف در صورتی استفاده می‌شوند که امکان ذخیره‌سازی ماده‌ای، مانند آب، در آن وجود داشته باشد. (شکل ۱۳-۴).

با توجه به فشار درون مخزن ذخیره‌سازی، مخازن به دو دسته کم فشار و تحت فشار دسته‌بندی می‌شوند که پرکاربردترین مخازن مورد استفاده در صنایع هستند. مخازن کم فشار به صورت مخازن استوانه‌ای عمودی یا افقی ساخته می‌شوند (شکل ۱۴-۴).

مخازن تحت فشار به صورت ظروف استوانه‌ای و کروی ساخته می‌شوند و برای ذخیره‌سازی ترکیباتی استفاده



می‌شوند که تحت فشار مایع قرار دارند. (شکل ۱۵-۴).



۴-۱۵ مخازن تحت فشار

برای حجم‌های کم از مخازن استوانه‌ای افقی، و برای حجم‌های زیاد از مخازن استوانه‌ای عمودی و یا کروی استفاده می‌شود. مایعاتی که دارای فشار بخار پایین هستند، یعنی در فشارهای پایین به بخار تبدیل می‌گردند، در مخازن استوانه‌ای عمودی و فشار پایین ذخیره‌سازی می‌گردند. در حالی که برای ذخیره‌سازی پروپان، بوتان، و گازهای مایع<sup>۱</sup> که در فشار اتمسفریک بخار می‌شوند می‌بایست از مخازن کروی و تحت فشار استفاده نمود.

مخازن ذخیره‌سازی مایع فشار پایین به دو نوع عمده مخازن سقف ثابت و مخازن سقف شناور تقسیم‌بندی می‌گردند.

### مخازن سقف ثابت

سقف این نوع مخازن می‌تواند به‌صورت مخروطی و یا گنبدی باشد که به بدنه مخزن جوش شده‌اند (شکل ۱۵-۴).

فیلم مربوط به مخازن سقف ثابت را مشاهده کنید و در رابطه با نحوه عملکرد این نوع مخزن بحث کنید.



این نوع مخازن در صنایع کاربرد زیادی دارند؛ زیرا بیشتر محصولات دارای فشار بخار پایین هستند و در دمای محیط به‌صورت مایع باقی می‌مانند. مواد شیمیایی مانند محلول‌های سدیم هیدروکسید (NaOH)، آب، هیدروکربن‌های دارای فشار بخار پایین (مثل گازوئیل)، در این نوع مخازن ذخیره‌سازی می‌شوند.

۱- Liquefied Petroleum Gas(LPG)





۴-۱۶ مخازن سقف ثابت، سمت راست: سقف گنبدی. سمت چپ: سقف مخروطی

انتخاب قطر و ارتفاع این مخازن به ظرفیت مورد نیاز برای ذخیره‌سازی و میزان فضای در دسترس برای نصب، بستگی دارد.

در مورد کاربرد، مزایا و معایب مخازن با سقف مخروطی و گنبدی گزارش تهیه نموده و در کلاس ارائه دهید.

فعالیت  
آزمایشگاهی



## مخازن سقف شناور

در این نوع مخازن، سقف مخزن به صورت شناور روی سطح مایع قرار دارد و با بالا و پایین رفتن سطح مایع، سقف نیز حرکت می‌کند و با حرکت سقف روی سطح مایع از تبخیر بیشتر مایع جلوگیری می‌شود.

فیلم مربوط به مخازن سقف شناور را مشاهده کنید و در رابطه با نحوه عملکرد این نوع مخزن بحث کنید.

فیلم



۴-۱۷ مخازن سقف شناور بیرونی

این نوع مخازن برای ترکیباتی که دارای نقطه اشتعال پایین یا فشار بخار بالا هستند، مثل بنزین، کاربرد دارند. این نوع مخازن به دو صورت مخازن سقف شناور بیرونی (شکل ۴-۱۷) و سقف شناور درونی (شکل ۴-۱۷) استفاده می‌شوند.



۴-۱۸ مخازن سقف شناور درونی

در مخازن سقف شناور بیرونی، سقف در معرض هوای آزاد قرار دارد و در صورت بارش باران و برف، روی سقف قرار می‌گیرند. در این حالت می‌بایست مسیر تخلیه روی سقف تعبیه گردد تا آب باران و همچنین آبی که برای شست‌وشوی سقف استفاده می‌شود، از طریق لوله‌هایی به روی زمین هدایت گردد.

در صورتی که استفاده از سقف شناور بیرونی با مشکل مواجه باشد، می‌بایست از مخازن سقف شناور درونی استفاده نمود. در این مخازن، همان‌گونه که در شکل ۴-۱۸ مشاهده می‌شود، سقف شناور روی سطح مایع قرار دارد و یک سقف دیگر روی بدنه مخزن تعبیه می‌شود تا از انباشت بار اضافی روی سقف شناور جلوگیری شود.

### انتخاب نوع مخزن

بر اساس روش طراحی مخازن مورد استفاده شرکت‌های طراحی، نوع مخزن به نقطه اشتعال و قطر مخزن ذخیره‌سازی بستگی دارد. در جدول زیر نحوه انتخاب مخزن بر اساس معیارهای ذکر شده ارائه شده است.

جدول ۴-۱ راهنمای انتخاب مخزن ذخیره‌سازی مایعات

قطر مخزن (بر حسب متر)				نقطه اشتعال ماده
۴۲ - ۷۲	۲۲/۵ - ۳۹	۱۵ - ۲۰	۳ - ۱۲/۵	کمتر از ۲۱°C
مخزن سقف شناور بیرونی	مخزن سقف ثابت مخروطی یا گنبدی با فشار پایین / مخزن سقف شناور بیرونی (ترجیحاً)	مخزن سقف ثابت مخروطی یا گنبدی با فشار بالا و یا پایین / مخزن سقف شناور درونی یا بیرونی	مخزن سقف ثابت مخروطی با فشار بالا و یا پایین	بین ۲۱°C و ۵۵°C
مخزن سقف ثابت مخروطی یا گنبدی اتمسفریک (تا قطر ۶۰ متر)	مخزن سقف ثابت مخروطی یا گنبدی اتمسفریک		مخزن سقف ثابت مخروطی اتمسفریک	بیشتر از ۵۵°C

عملیات دستگاهها در صنایع شیمیایی

به عنوان مثال، برای ذخیره‌سازی گازویلی که دارای نقطه اشتعال بیش از  $55^{\circ}\text{C}$  در مخزنی که دارای قطر ۱۷ متر است، بهتر است از مخزن سقف ثابت مخروطی یا گنبدی با فشار اتمسفریک استفاده شود.

اگر مخزن مورد نیاز برای ذخیره سازی بنزین دارای قطر ۲۵ متر باشد، چه نوع مخزنی مناسب است؟

پرسش



### اندازه‌گیری نقطه اشتعال

به منظور اندازه‌گیری نقطه اشتعال، متناسب با نوع ماده نفتی، دستگاه‌های مختلفی وجود دارد؛ به طور کلی برای ترکیبات سبک، نمونه در یک ظرف سربسته الف و برای ترکیبات سنگین‌تر در یک ظرف سرباز ب و ج حرارت داده می‌شود.

فعالیت  
آزمایشگاهی



در مورد انواع دستگاه‌های اندازه‌گیری نقطه اشتعال و کاربرد آن‌ها برای مایعات نفتی خاص تحقیق کرده و نتایج را در جدول زیر ارائه نمایید.

تحقیق



بعضی از انواع دستگاه‌های اندازه‌گیری نقطه اشتعال و کاربرد آنها

نوع ظرف	نام دستگاه	مناسب فراورده‌هایی نظیر
بسته		
باز		



الف) ظرف سربسته



ب) دستگاه (اتوماتیک) روباز



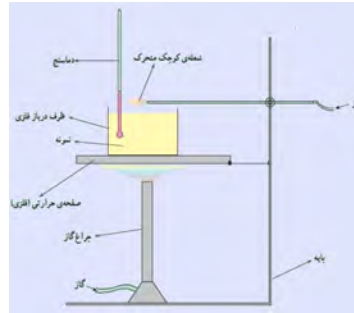
ج) دستگاه روباز

## اجزای دستگاه تعیین نقطه اشتعال:

ساده‌ترین نوع این دستگاه ظرف سرباز کلیولند است. شکل‌های (الف) شماتیک، و (ب) تصویر واقعی آن را نشان می‌دهد.



(ب)



(الف)

- ظرف (فنجان) در باز فلزی به ارتفاع حدود  $3/3$  سانتیمتر و قطر حدود  $6/8$  سانتیمتر؛
- صفحه حرارتی فلزی که ظرف در باز بر روی آن و شعله در زیر آن قرار می‌گیرد؛
- شعله کوچک که اندازه آن از شعله کبریت کوچکتر است و می‌توان به آسانی آن را از روی سطح نمونه (ظرف در باز) عبور داد. با استفاده از گاز به عنوان سوخت و لوله بلندی که قطر دهانه آن حدود  $0/8$  میلیمتر باشد، این شعله کوچک و متحرک ساخته می‌شوند؛
- منبع حرارتی که می‌تواند یک گرم‌کن الکتریکی یا شعله گاز باشد. در هر حالت، نباید شعله آنقدر بالا بیاید که به اطراف ظرف در باز برسد. بدین ترتیب که در صورت استفاده از چراغ گازی، شعله باید صفحه حرارتی را داغ کند. استفاده از گرم‌کن الکتریکی قابل تنظیم ترجیح داده می‌شود؛
- دماسنج جیوه‌ای با محدوده دمایی مناسب (حدود  $0^{\circ}\text{C}$  تا  $400^{\circ}\text{C}$ )؛
- پایه و گیره مناسب برای نگهداری صفحه حرارتی و ظرف (فنجان) که بر روی آن قرار می‌گیرد.

## شرح کار با دستگاه نقطه اشتعال:

اندازه‌گیری نقطه اشتعال به دو روش انجام می‌شود: ظرف سرباز و ظرف سربسته. در تجهیزات سرباز نمونه را درون ظرف سربازی ریخته و حرارت می‌دهند و هر چند درجه یکبار، شعله‌ای را از روی سطح آن عبور می‌دهند. نقطه اشتعال اندازه گرفته شده در حقیقت با تغییر ارتفاع شعله از سطح مایع متفاوت خواهد شد. معروف‌ترین نمونه این دستگاه مدل «سرباز کلیولند» است. در نوع «سربسته» منبع احتراق را در فضای در بسته‌ای مهیا می‌کنند که مایع را در آن ریخته‌اند. در حالت عادی دستگاه‌های سربسته مقادیر پایین‌تری را نسبت به نوع سرباز نشان می‌دهند (نوعاً بین ۵ تا ۱۰ درجه سیلیسوس).



در انجام این آزمایش باید کلیه نکات ایمنی رعایت شود:

- ۱) دستگاه در محلی مطمئن و دور از مواد قابل اشتعال (حتماً در زیر هواکش کارگاه) قرار گیرد؛
- ۲) برای این که هود به طور مناسب عمل کند، از باز بودن مسیر جریان هوا در داخل هود اطمینان حاصل کنید؛
- ۳) استفاده از لوازم ایمنی (ماسک، دستکش و عینک) الزامی است.

### روش کار:

۱) ابتدا ظرف مخصوص (فنجان) را با حلال مناسب شست و شو دهید، سپس ظرف را از نمونه (روغن موتور) پر کنید، به گونه‌ای که سطح مایع حدود یک سانتیمتر پایینتر از لبه ظرف باشد. (تاخط نشانه ظرف پر کنید). اگر مقدار نمونه‌ای که داخل ظرف ریخته می‌شود، بیش از مقدار تعیین شده باشد، حتماً اضافی آن را خارج کنید؛

۲) دماسنج باید به شکل عمودی در داخل نمونه قرار گیرد. هنگامی که مطمئن شدید دستگاه آماده است و کلیه اتصالات محکم شده است، حرارت دادن به نمونه را آغاز کنید. توصیه می‌شود شدت حرارت به گونه‌ای باشد که در ابتدا در هر دقیقه  $15^{\circ}\text{C}$  دمای نمونه افزایش یابد. وقتی که دمای نمونه به حدود  $50^{\circ}\text{C}$  کمتر از نقطه اشتعال تخمینی رسید، شدت حرارت را کاهش داده، به گونه‌ای که در هر دقیقه  $5^{\circ}\text{C}$  درجه به دمای نمونه اضافه شود.

۳) از حدود  $30^{\circ}\text{C}$  پایین‌تر از نقطه اشتعال تخمینی، با افزایش هر  $2^{\circ}\text{C}$  یک بار شعله را از روی سطح نمونه عبور دهید. مدت زمانی که شعله روی سطح روغن قرار می‌گیرد، نباید از حدود یک ثانیه تجاوز کند؛

در صورتی که تخمینی از حدود نقطه اشتعال نمونه ندارید، می‌تواند از همان ابتدا به آهستگی نمونه را حرارت دهید. بدین ترتیب که در هر دقیقه  $5^{\circ}\text{C}$  دما را افزایش داده و با افزایش هر  $2^{\circ}\text{C}$  یک بار شعله را از روی نمونه عبور دهید؛

۴) هنگامی که یک جرقه یا احتراق آنی و خفیف (فلاش) در سطح نمونه ظاهر شد، دما را یادداشت کنید. برای افزایش اطمینان از نتایج آزمایش،  $2^{\circ}\text{C}$  از این عدد کم کنید. این دما نقطه اشتعال نمونه مورد آزمایش (مثلاً روغن موتور) است.

۵) برای تعیین نقطه احتراق، حرارت دادن را به همان شکل ادامه دهید، به ترتیبی که هر یک دقیقه حدود  $5^{\circ}\text{C}$  به دمای نمونه افزوده شود و با افزایش هر  $2^{\circ}\text{C}$  شعله کوچک را به سطح نمونه نزدیک کنید. هنگامی که بخارات سطح نمونه آتش گرفت و شعله‌های آن حداقل برای ۵ ثانیه ادامه یافت، دما را یادداشت کنید. برای افزایش اطمینان به نتایج آزمایش  $2^{\circ}\text{C}$  از آن کم کنید. این دما نقطه احتراق نمونه را نشان می‌دهد.



مقدار اندازه‌گیری شده نقطه اشتعال متناسب نوع دستگاه، کاهش و افزایش دما (در مدل‌های خودکار)، زمان تخصیص داده شده، حجم نمونه و حتی هم زدن آن، نتیجه‌های متفاوتی خواهد داشت؛ لذا ضروری است که طبق استاندارد مرتبط با آن آزمایش انجام شود.

در صورتی که نمونه مشتعل شد و شعله‌های آن خاموش نشود، یک درپوش فلزی بر روی ظرف قرار دهید تا با نرسیدن هوا به نمونه شعله خاموش شود. فوراً حرارت دادن را قطع کرده اجازه دهید دستگاه خنک شود.

طبق تعریف، نقطه اشتعال و نقطه احتراق در فشار ۷۶۰ mmHg تعریف شده‌اند. به همین منظور فشار کارگاه را اندازه‌گیری کرده و با استفاده از روابط زیر دماها را تصحیح کنید:

$$F = P - 0.3 \quad (760 - P) \quad (^\circ C)$$

$$C = (^\circ C) \quad \text{نقطه اشتعال یا احتراق اندازه‌گیری شده در فشار کارگاه}$$

$$P = \text{فشار کارگاه بر حسب میلی متر جیوه}$$



- حرارت دادن مواد نفتی باید با دقت کامل و رعایت کلیه مسائل ایمنی انجام شود؛
- به هیچ عنوان در دستگاه کلیولند ترکیبات سبک نظیر بنزین را آزمایش نکنید؛
- برای اندازه‌گیری نقطه اشتعال ترکیبات سبک، باید از ظروف در بسته استفاده کرد.

## ۱۲-۴-ایمنی و کار با مخازن ذخیره

برای هر مخزن ذخیره ادوات و تجهیزات زیر لازم و ضروری هستند:

**دریچه آدم رو:** هر مخزن ذخیره می‌بایست دارای دریچه آدم‌رو باشد تا برای پاک‌سازی و تعمیرات از طریق آن وارد مخزن شد (شکل ۱۹-۴). تعداد این دریچه‌ها برای بدنه و سقف به قطر مخزن بستگی دارد؛ به عنوان مثال، یک دریچه آدم‌رو در سقف برای مخازن تا قطر ۲۰ متر، و دو دریچه برای قطر بالاتر از ۲۰ متر الزامی است.



شکل ۱۹-۴- دریچه آدم‌رو مخزن



هنگام ورود به مخزن، مطمئن باشید که جریان هوا درون مخزن برقرار است، به عنوان مثال باید چند دریچه آدم رو باز باشد تا هوا درون مخزن جریان یابد. تا هنگام فعالیت درون مخزن با مشکلات تنفسی مواجه نشوید.



شکل ۲۰-۴ ارتفاع سنج مغناطیسی روی مخزن

**ارتفاع سنج مایع<sup>۱</sup>:** برای اطلاع از ارتفاع مایع درون مخزن، از ارتفاع سنج استفاده می‌شود که پرکاربردترین آنها ارتفاع سنج مغناطیسی، ارتفاع سنج راداری و ارتفاع سنج مافوق صوت است. در شکل ۲۰-۴ یک ارتفاع سنج مغناطیسی نشان داده شده است.

**شیر خلأ شکن<sup>۲</sup>:** در شرایطی که به علت کاهش ارتفاع مایع، فشار درون مخزن کاهش یابد، ممکن است مخزن دچار آسیب شود. در این حالت شیر خلأ شکن باز شده و هوا وارد مخزن می‌شود و خلأ از بین می‌رود.

فیلم عملکرد شیر خلأ شکن را مشاهده نمایید و در مورد نحوه عملکرد آن بحث کنید.



شکل ۲۱-۴ دیسک شکست

**دیسک شکست<sup>۳</sup>:** دیسک شکست قسمتی از سقف مخزن است که ضعیف‌تر از سایر قسمت‌های سقف ساخته می‌شود. اگر به هر دلیلی فشار مخزن ذخیره‌سازی بالا یا پایین رود و شیر اطمینان عمل نکند، دیسک شکست پاره شده و فشار درون مخزن به حالت عادی برمی‌گردد (شکل ۲۱-۴).

فیلم‌های عملکرد دیسک شکست و ملاحظات نگهداری آن را مشاهده نمایید و در مورد نحوه عملکرد آن بحث کنید.

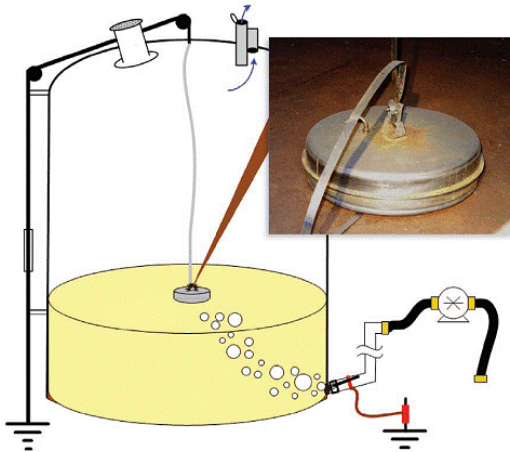


- ۱-Level Gauge
- ۲-Vacuum Breaker Valve
- ۳-Rupture Disk



توجه به موارد زیر از نظر ایمنی برای مخازن الزامی است:

**رنگ مخزن‌ها:** برای کاهش جذب انرژی تابشی آفتاب و همچنین جذب گرما از محیط، مخزن‌های محصولات سبک و میان تقطیر مانند بنزین، نفت سفید و گازوئیل به رنگ سفید، رنگ آمیزی می‌شود. در این حالت دمای مایع درون مخزن تغییر چندانی نخواهد داشت و در نتیجه مقدار تبخیر مایع کاهش می‌یابد.



شکل ۴-۲۲ تخلیه الکتریسیته ساکن مخزن به زمین

**خطر الکتریسیته ساکن در مخزن:** هنگام انتقال مواد نفتی و قابل احتراق، اصطکاک مایعات هنگام جریان در خط لوله و پخش شدن مایعات به قطرات کوچک، باعث بارور شدن مخزن می‌گردند. در این حالت، حتی جرقه کوچکی در حضور بخارات نفتی و هوای موجود درون مخزن باعث ایجاد انفجار و آتش‌سوزی می‌شود. به همین علت می‌بایست مخزن‌ها با سیم به زمین متصل گردد تا بار الکتریسیته ساکن از مخزن به زمین هدایت شود (شکل ۴-۲۲).



شکل ۴-۲۳ تخلیه الکتریسیته ساکن بدنه مخزن به زمین

همان‌گونه که در شکل ۴-۲۲ مشخص است، نصب یک وسیله فلزی ساده روی سقف مخزن و اتصال آن به زمین باعث تخلیه بار تجمع شده در مخزن می‌گردد. اتصال بدنه مخازن به زمین در شکل ۴-۲۳ نشان داده شده است.



برای تخلیه الکتریسیته ساکن در مخازن سقف شناور، نوع دیگری از اتصالات استفاده می‌شود که در شکل ۴-۲۴ نشان داده شده است.

شکل ۴-۲۴ تخلیه الکتریسیته ساکن در مخزن سقف شناور



با توجه به اینکه در مخازن سقف شناور، سطح مایع در تماس با سقف است، اصطکاک ایجاد شده بین مایع و سقف باعث تجمع بار الکتریکی در سقف می‌گردد و به همین دلیل بار الکتریکی سقف از طریق سیم به بدنه و سپس به زمین منتقل می‌گردد.



**جریان‌های باد:** طراحی مخزن باید به گونه‌ای باشد که در مقابل نیرویی که جریان باد به دیواره مخزن وارد می‌کند، مقاومت داشته باشد. شکل ۴-۲۵ را مشاهده کنید، وزش باد شدید می‌تواند ساختار مخزن را دگرگون کند.

شکل ۴-۲۵ آسیب دیدن مخزن به دلیل وزش باد

## ارزشیابی شایستگی فصل راکتور و مخازن

### شرح کار:

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

### استاندارد عملکرد:

- توانایی اندازه گیری سرعت واکنش ، راکتورهای شیمیایی و کار با مخازن ذخیره طبق دستورالعمل

### شاخص‌ها:

- رعایت مسایل ایمنی در حین کار؛
- انجام کار طبق دستورالعمل.

### شرایط انجام کار و ابزار و تجهیزات:

مکان: کارگاه و آزمایشگاه      زمان: یک جلسه آموزشی .  
 ابزار و تجهیزات: تجهیزات آزمایشگاهی ، راکتور ، خازن ذخیره مایع، وسایل ایمنی شخصی

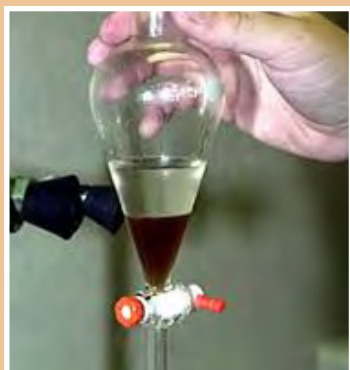
### معیار شایستگی:

ردیف	مرحله کار	حداقل نمره قبولی از ۳	نمره هنرجو
۱	تعیین سرعت واکنش های شیمیایی	۲	
۲	کار با راکتورهای شیمیایی	۱	
۳	کار با مخازن ذخیره	۱	
	شایستگی‌های غیرفنی، ایمنی، بهداشت، توجهات زیست محیطی و نگرش: ۱- ایمنی: انجام کار کارگاهی با رعایت موارد ایمنی و استفاده از وسائل ایمنی شخصی؛ ۲- نگرش: ۳- توجهات زیست محیطی: جلوگیری از صدمه زدن به محیط زیست از طریق انجام کار بدون ریخت و پاش؛ ۴- شایستگی‌های غیرفنی: ۱- اخلاق حرفه‌ای، ۲- مدیریت منابع، ۳- محاسبه و کاربست ریاضی، ۴- مستندسازی: گزارش نویسی.	۲	
<b>میانگین نمرات</b>			*

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

## فصل ۵

# دستگاه‌های جداکننده



جداسازی اجزای یک محلول یا مخلوط از یکدیگر، یکی از مهم‌ترین فرایندهای صنایع شیمیایی می‌باشد. عملیات جداسازی می‌تواند شامل جدا کردن اجزای یک مخلوط با استفاده از یک سری عملیات مانند فیلتر کردن، غربال کردن (الک کردن) و ... یا جدا کردن اجزای یک محلول از طریق عملیات انتقال جرم مانند تبخیر، تقطیر و ... باشد.

## واحد یادگیری ۵

### کار با دستگاه‌های جدا کننده

#### مقدمه

هدف بسیاری از عملیات در صنایع شیمیایی، جداسازی اجزای یک مخلوط یا محلول یا یکدیگر و یا دستیابی به یک ماده خالص از ترکیب دو یا چند جزء است. عملیات جداسازی می‌تواند شامل جدا کردن اجزای یک مخلوط با استفاده از یک سری عملیات مکانیکی از قبیل فیلتر کردن، غربال کردن (الک کردن) یا جدا کردن اجزای یک محلول از طریق عملیات انتقال جرم از قبیل تقطیر، استخراج باشد. تقطیر یکی از مهم‌ترین و متداول‌ترین روش‌های جداسازی در صنعت، به‌ویژه صنعت نفت است. محصولات حاصل از تقطیر نفت خام مصارف مهم و حیاتی در زندگی ما انسان‌ها دارند.

#### استاندارد عملکرد

انجام عملیات انتقال جرم (در صنایع شیمیایی)، کار با برج‌های تقطیر و برج‌های استخراج طبق دستورالعمل

شایستگی‌های غیر فنی:

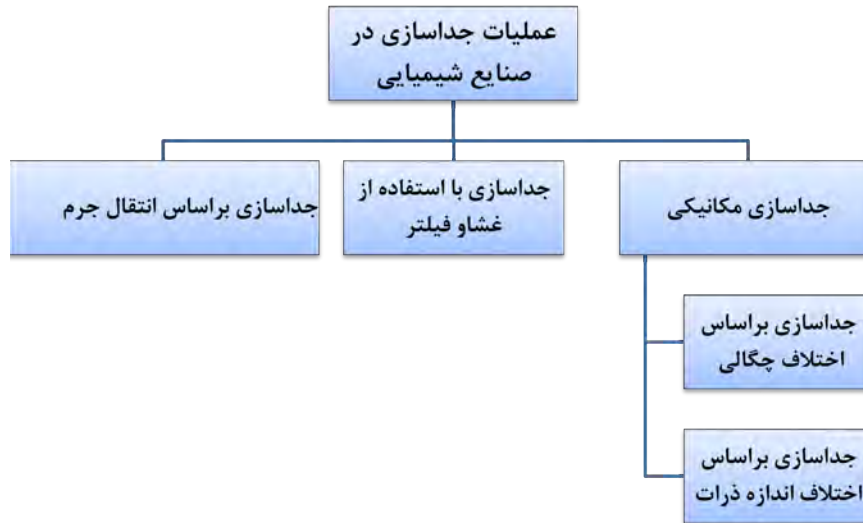
- ۱- اخلاق حرفه‌ای: حضور منظم و وقت شناسی، انجام وظایف و کارهای محوله، پیروی از قوانین؛
- ۲- مدیریت منابع: شروع به کار به موقع، مدیریت مؤثر زمان، استفاده از مواد و تجهیزات؛
- ۳- کار گروهی: حضوری فعال در فعالیتهای گروهی - انجام کارها و وظایف محوله؛
- ۴- مستندسازی: گزارش نویسی فعالیتهای آزمایشگاهی؛
- ۵- محاسبه و کاربست ریاضی.

شایستگی‌های فنی:

- ۱- بکارگیری روش‌های جداسازی در صنایع شیمیایی؛
- ۲- کار با برج‌های تقطیر؛
- ۳- کار با برج‌های استخراج.

## ۵-۱- روش‌های جداسازی

عملیات جداسازی در صنایع شیمیایی از اهمیت بالایی برخوردار است. در شکل ۵-۱ روش‌های مختلف جداسازی نشان داده شده است.



شکل ۵-۱- روش‌های مختلف جداسازی

## ۵-۲- جداسازی مکانیکی

### جداسازی مکانیکی بر اساس اختلاف اندازه ذرات

اگر مخلوطی از مواد جامد با اندازه‌های مختلف وجود داشته باشد، می‌توان اجزای آن را به دلیل اختلاف اندازه از هم جدا کرد. الک کردن مواد یک مثال ساده از این نوع جداسازی است.

آیا تاکنون در زندگی روزمره از الک استفاده کرده‌اید؟

پرسش



الک‌ها یا غربال‌ها وسایلی هستند که برای جداسازی ذرات جامد بر اساس اندازه به کار می‌روند. در اکثر آنها این کار بر اساس نیروی جاذبه یا با تکان‌دهنده‌ها یا لرزاننده‌ها انجام می‌شود. صفحه مشبک الک‌ها به وسیله سیم بافته می‌شود و ابعاد منافذ آن دارای مقادیر استاندارد و معینی است. برای بیان قطر منافذ الک‌ها از واحد میکرون و مش استفاده می‌شود.



شکل ۲-۵ مجموعه الک‌ها بر روی دستگاه لرزاننده

به‌طور مثال برای الک کردن خاک از یک‌سری الک که اندازه‌های آنها از بالا به پایین کوچک‌تر است، استفاده می‌کنند. شکل ۲-۵ - خاک را بر روی الک اول می‌ریزند و با یک دستگاه لرزاننده، مجموعه الک‌ها را تکان می‌دهند. بر روی هر الک دانه‌های ریزتر از سوراخ‌های الک از آن عبور می‌کنند و ذرات درشت‌تر باقی می‌مانند. به این ترتیب دانه‌های خاک براساس اندازه بر روی هر الک قرار می‌گیرند که به اصطلاح به آن «دانه‌بندی» گفته می‌شود. برای دستیابی درصد وزنی دانه‌ها بر روی هر الک از فرمول زیر استفاده می‌شود.

$$\text{وزن دانه های باقیمانده بر روی هر الک} \times 100 = \frac{\text{درصد وزنی دانه های باقیمانده بر روی هر الک}}{\text{وزن اولیه خاک}}$$

### جداسازی بر اساس اختلاف چگالی

اگر مخلوطی از دو ماده با چگالی‌های مختلف وجود داشته باشد، می‌توان اجزای این مخلوط را به کمک دکانتور (قیف جداکننده) از هم جدا کرد.

فکر کنید

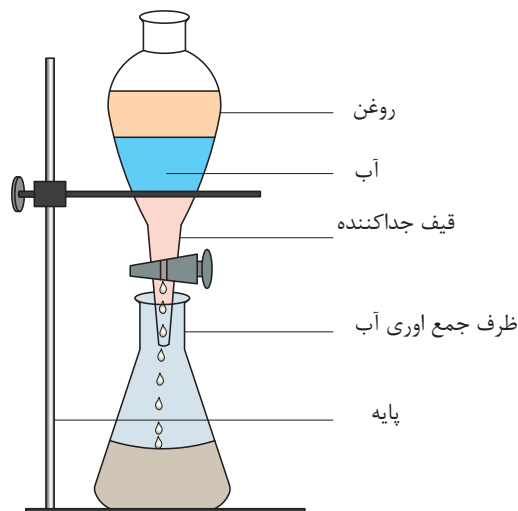
به نظر شما چگونه می‌توان مخلوط آب و روغن را از هم جدا کرد؟

فکر کنید



**دکانتور (قیف جداکننده):** دکانتور وسیله‌ای است قیف مانند که در انتهای آن یک شیر تعبیه شده است. این وسیله مایعات را بر اساس اختلاف چگالی از هم جدا می‌کند.

همان طور که در شکل ۳-۵ نشان داده شده است. اگر مخلوط آب و روغن در ظرف دکانتور ریخته شود، روغن که دارای چگالی کمتر است، در بالا قرار می گیرد و آب در قسمت پایین قرار می گیرد. با باز کردن شیر ظرف، آب از قسمت انتهایی خارج می شود تا اینکه به مرز جدایی آب و روغن برسد. در این لحظه شیر ظرف بسته می شود و در نتیجه آب و روغن از هم جدا می شوند.



شکل ۳-۵ قیف جداکننده

### جداسازی آب و روغن

در یک بشر به مقدار مساوی آب و روغن گیاهی یا آب و نفت بریزید و آن را با یک همزن شیشه‌ای به خوبی مخلوط کرده، در داخل قیف جداکننده بریزید. مطمئن باشید که شیر قیف جدا کننده بسته باشد. چند دقیقه صبر کنید تا آب و روغن کاملاً از هم جدا شوند. پس با باز و بسته کردن شیر آب و روغن را از هم جدا کنید.

فعالیت  
آزمایشگاهی



توجه داشته باشید که مجموع حجم آب و روغن یا آب و نفت از حجم قیف جداکننده بیشتر نباشد.

نکته ایمنی



### ۳-۵- جداسازی با استفاده از غشا<sup>۱</sup>

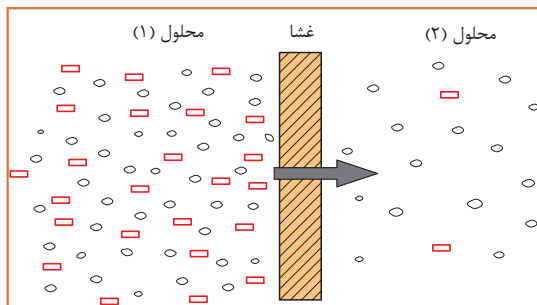
به نظر شما اگر دو محلول در یکدیگر قابل حل باشند، برای انتقال جرم بین آن دو می توان آن‌ها را در تماس مستقیم قرار داد؟

بحث گروهی



#### تعریف غشا

غشا لایه‌ای بسیار نازک است که می‌تواند اجزای یک محلول را به‌طور انتخابی از آن جدا کرد. در یک فرایند غشایی معمولاً دو محلول وجود دارد که با غشا به‌طور فیزیکی از هم جدا شده‌اند؛ یعنی ارتباط مستقیم بین این دو محلول وجود ندارد. غشا انتقال جرم بین دو محلول را کنترل می‌کند. غشاها دارای سوراخ‌های بسیار ریزی هستند که فقط ذرات خاصی از آنها می‌توانند عبور کنند، بنابراین عمل جداسازی انجام می‌شود.



از انواع کاربردهای غشا به موارد زیر می‌توان اشاره کرد:

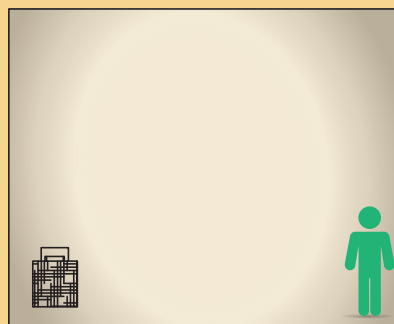
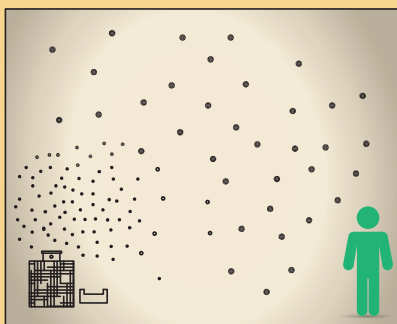
- ۱- شیرین‌سازی آب دریا
- ۲- جداسازی و خالص‌سازی پروتئین‌های آب پنیر
- ۳- حذف ذرات کلوییدی از ماء‌الشعیر

شکل ۴-۵ فرایند انتقال از میان غشا

### ۳-۵- جداسازی بر اساس عملیات انتقال جرم

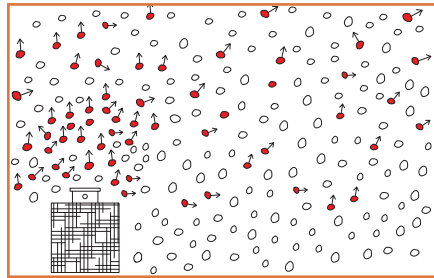
شکل زیر اتاقی را نشان می‌دهد که در یک گوشه آن شیشه عطری قرار دارد. در شکل ۲ درب شیشه عطر باز است. فردی که در گوشه دیگر اتاق نشسته است، پس از گذشت چند دقیقه بوی عطر را احساس می‌کند. به نظر شما چه اتفاقی افتاده است؟

بحث گروهی





وقتی درب شیشه عطر باز می‌شود، مولکول‌های عطر از لابه‌لای مولکول‌های هوا حرکت کرده و در فضای وقتی درب شیشه عطر باز می‌شود، مولکول‌های عطر از لابه‌لای مولکول‌های هوا حرکت کرده و در فضای اتاق پخش می‌شوند. مولکول‌ها از جایی که غلظت بیشتر است به جایی که غلظت کمتر است حرکت می‌کنند. ( شکل ۵-۵ )



شکل ۵-۵ انتقال مولکول‌های عطر به هوا

استشمام بوی عطر در فضای اتاق به معنی انتقال یک ماده یا جرم از مکانی به مکان دیگر است. بنابراین انتقال یک یا چند جزء از یک ماده از بین یک ماده دیگر را انتقال جرم گویند. عملیات انتقال جرم معمولاً به دو روش زیر انجام می‌شود:

**نفوذ مولکولی:** اگر انتقال جرم فقط به دلیل حرکت مولکول‌ها از لابه‌لای یکدیگر انجام شود، به آن نفوذ مولکولی گفته می‌شود.

**حرکت توده‌ای:** در انتقال جرم توده‌ای، علاوه بر انتقال جرم از طریق نفوذ مولکولی، ماده منتقل‌شونده با حرکت توده سیال نیز منتقل می‌شود.

به نظر شما در اتاق حاوی شیشه‌ی عطر در باز، پخش مولکول‌های عطر در هوا به کدام روش انجام می‌شود؟ اگر پنجره‌ی اتاق باز باشد و جریان هوایی در اتاق برقرار شود، بوی عطر زودتر به مشام می‌رسد. چرا؟

بحث گروهی



فکر کنید

در یک ظرف پر از آب، یک قطره جوهر بریزید. چه اتفاقی می‌افتد؟ اگر با یک همزن شیشه‌ای حرکتی در آب ایجاد کنید، جوهر زودتر در آب پخش می‌شود. چرا؟

فکر کنید





آیا موارد دیگری از عملیات انتقال جرم را می‌توانید نام ببرید؟

فرض کنید گازهای خروجی از یک کارخانه تولید محصولات شوینده، آلوده به کلر است. کلر یک ماده سمی و آلاینده محیط زیست است. برای رفع این مشکل در کارخانه، این گازها قبل از ورود به محیط زیست، به داخل یک ستون هدایت می‌شوند. گازها در داخل ستون به سمت بالا در حرکت هستند. آب با چند پخش کننده به صورت قطرات ریز از بالای ستون به سمت پایین حرکت می‌کند. کلر ماده‌ای است که به آسانی در آب حل می‌شود و به همین علت، ماده کلر موجود در گاز خروجی در اثر تماس با آب در ستون، به داخل آب وارد می‌شود و به این ترتیب گاز خروجی تصفیه می‌شود.



در این عملیات انتقال جرم، کدام دو حالت ماده در تماس با یکدیگر قرار می‌گیرند؟ جزء منتقل‌شونده کدام است؟

تماس مستقیم دو ماده نامحلول در یکدیگر، مهم‌ترین روش در عملیات انتقال جرم است. هر یک از مواد در حال تماس با یکدیگر می‌توانند شامل یک یا چندین جزء باشند. پس از انجام انتقال جرم، اجزای تشکیل‌دهنده هر یک از مواد دارای غلظت‌های متفاوتی خواهند بود. تماس مستقیم دو ماده نامحلول در یکدیگر شامل موارد ذیل می‌شود.

### تماس گاز - مایع

این حالت فرایندهای زیر را شامل می‌شود:

**الف) تقطیر:** تقطیر تماس بخار با مایع در حال جوش است. در این عملیات اجزای سبک‌تر (با نقطه جوش پایین‌تر) به سیال بخار و اجزای سنگین‌تر (با نقطه جوش بالاتر) به سیال مایع منتقل می‌شوند. **ب) تماس دو فاز گاز و مایع و انتقال یک یا چند جزء از فاز گاز به مایع** را عملیات جذب می‌گویند. انتقال کلر از گازهای خروجی یک کارخانه به درون آب، یک نمونه از عملیات جذب است. اگر عکس این عمل اتفاق افتد، یعنی جزء منتقل‌شونده از فاز مایع به گاز منتقل شود، فرایند دفع نامیده می‌شود.

### تماس گاز - جامد

یکی از فرایندهای متداول که در آن فاز گاز و جامد در تماس با هم قرار می‌گیرند، جذب سطحی است؛ برای مثال، در پالایشگاه‌های گاز، گاز طبیعی به همراه مقداری رطوبت تولید می‌گردد. این رطوبت در پالایش گاز عامل مزاحم بوده و باید حذف گردد. برای این منظور گاز طبیعی به داخل ستون‌هایی هدایت می‌شود که با ماده جامد خشک‌کننده پر شده است. رطوبت گاز طبیعی در این فرایند ضمن عبور از اطراف ذرات ماده خشک‌کننده، به سطح این ذرات جذب می‌شود. با پیشروی گاز در ستون تقریباً تمام آب موجود در گاز با ماده خشک‌کننده جامد جذب شده و در نهایت گاز خشک از انتهای ستون خارج می‌شود.

### تماس مایع - مایع

واحد عملیاتی تماس دو مایع نامحلول در یکدیگر، استخراج مایع- مایع نامیده می‌شود. استخراج مایع - مایع فرایندی است که در آن اجزای موجود در یک محلول مایع، از مایع دیگری که حلال نامیده می‌شود، جدا می‌گردد.

### تماس مایع - جامد

متداول‌ترین فرایند تماس مایع- جامد، استخراج جامد- مایع نامیده می‌شود. در این فرایند اجزای موجود در یک مخلوط جامد، از یک مایع که حلال نامیده می‌شود، جدا می‌گردد.

بارزترین نمونه استخراج مایع- جامد در زندگی روزمره چیست؟

بحث



به نظر شما، هر یک از فرایندهای جداسازی زیر به چه طریقی انجام می‌شود؟

پرسش



جداسازی با استفاده از فیلتروغشا	جداسازی با استفاده از عملیات انتقال جرم	جداسازی مکانیکی براساس اختلاف چگالی	جداسازی بر اساس اختلاف اندازه	
				جداسازی سنگریزه ها از خاک
				جداسازی کلراز هوا از طریق تماس هوا و آب
				جداسازی آب از نفت
				دم کردن چای
				تصفیه آب خانگی
				جداسازی گرد و خاک از هوا

## ۵-۵- جداسازی به روش تقطیر

فیلم مربوط به تقطیر را مشاهده کنید.

فیلم



به نظر شما در پالایشگاه‌های نفت، چگونه بنزین و گازوئیل را از نفت خام جدا می‌کنند؟

پرسش



جداسازی مخلوط مایعات به اجزای تشکیل‌دهنده آن، یکی از مهم‌ترین فرایندهای مورد استفاده در صنایع شیمیایی و نفت است. تقطیر یکی از روش‌های اصلی و متداول است که برای جداسازی مخلوط مایعات به کار می‌رود.

### تقطیر

تقطیر فرایندی است که در آن اجزای یک مخلوط مایع یکنواخت (محلول)، به دلیل اختلاف در نقطه جوش از یکدیگر جدا می‌شوند. تقطیر بر اساس دو فرایند تبخیر و مایع شدن (میعان) انجام می‌شود. به اجزایی از این مخلوط مایع که نقطه جوش بالایی دارند، اجزای سنگین و به اجزایی که نقطه جوش پایین‌تری دارند، اجزای سبک یا فرار گفته می‌شود.

چه رابطه‌ای بین نقطه جوش مواد، قابلیت تبخیر مواد و فشار بخار مواد وجود دارد؟

پرسش



### قابلیت تبخیر

اصطلاحی است که نشان‌دهنده کیفیت تبخیر یک مایع است. مایعاتی که به آسانی به بخار تبدیل می‌شوند، دارای قابلیت تبخیر زیاد و مایعاتی که به سادگی بخار نمی‌شوند، قابلیت تبخیر کمی دارند. وقتی نقطه جوش مایعی پایین باشد، فشار بخار آن زیاد و قابلیت تبخیرش زیاد است و برعکس مایعی که دارای نقطه جوش بالایی است، فشار بخار آن کم و قابلیت تبخیرش کم است.

برای دو هیدروکربن هگزان و پنتان جدول زیر را کامل کنید.

جرم مولکولی	فشار بخار	نقطه جوش	ماده
			پنتان
			هگزان

تحقیق



پرسش



با توجه به رابطه بین نقطه جوش و جرم مولکولی جمله زیر را کامل کنید:  
هر چه جرم مولکولی یک ماده ..... باشد، نقطه جوش آن ماده ..... است.

فرض کنید مخلوطی مساوی از دو ماده پنتان و هگزان داشته باشیم. این مخلوط را داخل ظرفی ریخته، آن را حرارت می‌دهیم. با رسیدن دمای مخلوط به دمای نقطه جوش پنتان، پنتان شروع به تبخیر شدن می‌کند. با ادامه حرارت دادن و افزایش دمای مخلوط، هگزان نیز به همراه پنتان تبخیر می‌شود؛ اما چون نقطه جوش هگزان بیشتر از پنتان است، میزان تبخیر آن کمتر از پنتان خواهد بود؛ بنابراین بخارات خارج شده از ظرف دارای مقدار بیشتری پنتان بوده و مایع باقی‌مانده در ظرف هگزان بیشتری دارد. فرایند تقطیر به دو روش زیر انجام می‌شود:

۱- تقطیر ساده یا یک مرحله‌ای؛

۲- تقطیر چند مرحله‌ای.

### تقطیر ساده

آیا تا به حال از گلاب‌گیری در کاشان بازدید داشته‌اید؟ به نظر شما گلاب‌گیری کدام یک از روش‌های جداسازی است؟

پرسش



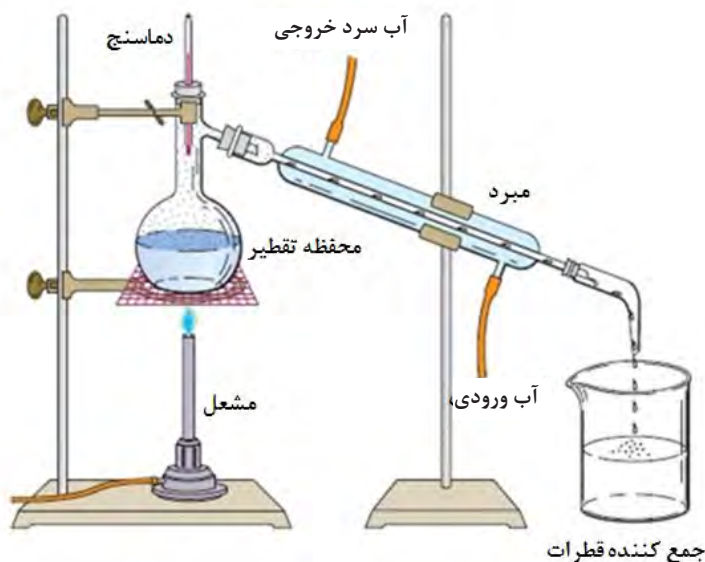
تقطیر ساده یکی از ساده‌ترین روش‌های جداسازی است. در این روش ابتدا مخزن تقطیر را از محلول مورد نظر پر می‌کنند و تحت حرارت یکنواخت قرار می‌دهند. در اثر جوشیدن مایع، قسمتی از آن بخار می‌شود و از بالای مخزن وارد یک خنک‌کننده (مبرد) می‌شود. و مجدداً تبدیل به مایع می‌شود. این بخار مایع شده، نسبت به مایع باقی‌مانده در مخزن، دارای اجزای سبک‌تر بیشتری است و مایع باقی‌مانده در مخزن اجزای سنگین‌تر بیشتری دارد. بدین ترتیب محلول اولیه به دو محصول سبک و سنگین تبدیل شده است.

### جداسازی آب از اتانول به روش تقطیر ساده

فعالیت  
کارگاهی



مواد مورد نیاز	وسایل مورد نیاز
آب اتانول	بالن ته‌گرد، مبرد، دماسنج، پایه و گیره، سه‌راهی شیشه‌ای، سنگ جوش ظرف برای جمع‌آوری، وسیله گرم‌کننده



شکل ۵-۶ سیستم تقطیر ساده

## روش کار

- ۱- مقدار مساوی از آب و اتانول را در بالن ته‌گرد بریزید و درون آن یک سنگ جوش بیندازید؛
- ۲- اگر برای حرارت دادن از شعله استفاده می‌کنید، بالن را در چند سانتی‌متری از توری نسوز با یک گیره به پایه متصل کنید. اگر وسیله گرم‌کننده دستگاه برقی است، بالن را مستقیم روی دستگاه قرار دهید و اگر از حمام گرم استفاده می‌کنید، بالن را تا گردن وارد حمام کنید؛
- ۳- دماسنج را در سهراهی قرار داده و سهراهی را به سر بالن نصب کنید؛
- ۴- مبرد را به سهراهی نصب کنید و بلافاصله آن را با گیره محکم کنید؛
- ۵- شلنگ‌های ورودی و خروجی آب سرد را به مبرد وصل کنید و جریان آب را به اندازه مناسب باز کنید؛
- ۶- در خروجی مبرد یک ظرف مناسب برای جمع‌آوری محصول قرار دهید؛
- ۷- بعد از اطمینان از اتصال اجزای دستگاه، وسیله گرم‌کننده را روشن کنید؛
- ۸- دما را در حدود ۹۰ درجه سلسیوس ثابت نگه دارید؛
- ۹- پس از اینکه نصف محلول داخل بالن تبخیر گردید، وسیله گرم‌کننده را خاموش کنید؛
- ۱۰- کمی تأمل کنید تا تمام بخارات داخل مبرد به‌طور کامل به مایع تبدیل شود؛
- ۱۱- میزان اتانول موجود در ظرف جمع‌آوری محصول را اندازه‌گیری کنید.

به نکات زیر قبل از شروع آزمایش توجه کنید:

- بالن ته‌گرد را به میزان یک سوم تا دو سوم آن از آب و الکل پر کنید. اگر مقدار محلول بیش از دو سوم حجم بالن ته‌گرد باشد، احتمال پاشیدن محلول به درون مبرد وجود دارد.
- مخزن دماسنج باید پایین‌تر از شاخه جانبی سه‌راهی قرار گیرد تا دمای جوش را به‌درستی نشان دهد.
- محل ارتباط لوازم شیشه‌ای را قبل از اتصال با گریس یا وازلین چرب کنید تا در پایان کار به راحتی از هم جدا شوند.

- از سالم بودن بالن ته‌گرد اطمینان حاصل نمایید؛
- بالن ته‌گرد را نباید تا خشک شدن و تبخیر کامل محلول حرارت داد؛
- استفاده از لوازم و وسایل ایمنی شخصی (روپوش آزمایشگاهی، عینک، دست‌کش و ...) الزامی است؛
- در حین استفاده از لوازم شیشه‌ای و حرارت دادن، دقت بالایی داشته باشید.

نکته ایمنی





- ۱- محصول بدست آمده از فعالیت عملی تقطیر ساده، دارای چند درصد الکل اتانول است؟ آیا می‌توان این محلول را دوباره تقطیر کرد تا به اتانول با درجه خلوص بالا دست یافت؟
- ۲- تقطیر ساده برای چه محلول‌هایی مناسب است؟

### تقطیر چند مرحله‌ای

تقطیر ساده، یک فرایند تک مرحله‌ای است و به همین علت محصول این روش، خلوص بالایی ندارد. برای افزایش میزان خلوص می‌توان محصول مایع به‌دست آمده را دوباره وارد مخزن تقطیر کرد و عملیات تقطیر را تکرار نمود و این فرایند را تا جایی ادامه داد که محصول بدست آمده به خلوص مورد نظر برسد. بنابراین از چندین دستگاه تقطیر پشت سر هم باید استفاده کرد. به این روش تقطیر چند مرحله‌ای گفته می‌شود؛ اما این روش به‌دلیل اینکه به‌صورت ناپیوسته انجام می‌شود و به فضای بسیار بزرگی نیاز دارد. در مقیاس صنعتی (به‌طور مثال در پالایشگاه) امکان‌پذیر نیست. برای حل این مشکل برج‌های تقطیر طراحی شده‌اند که در آنها فرایند تقطیر چند مرحله‌ای به صورت پیوسته انجام می‌شود. تقطیر چند مرحله‌ای شامل برج‌های تقطیر سینی‌دار و برج‌های با آکنه است که در این کتاب به توضیح برج‌های تقطیر سینی‌دار اکتفا می‌شود.

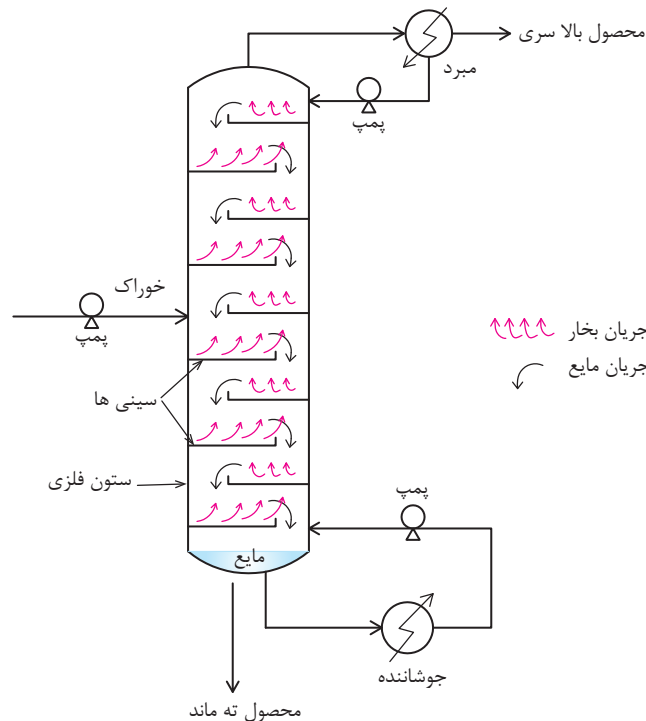
### برج تقطیر سینی‌دار

یکی از پرکاربردترین برج‌های تقطیر در صنعت، برج تقطیر سینی‌دار است. این برج تقطیر استوانه‌ای است از جنس فلز که با سینی‌های سوراخ‌دار افقی به چندین قسمت تقسیم شده است. در این برج، هر سینی نقش یک مرحله تقطیر ساده را دارد. یک طرح کلی از برج تقطیر سینی‌دار در شکل ۷-۵ نشان داده شده است.

برج تقطیر سینی‌دار از بخش‌های اصلی زیر تشکیل شده است.

- ۱- ستون (برج)؛
- ۲- سیستم جوشاننده؛
- ۳- سیستم مبرد (خنک‌کننده)؛
- ۴- سینی‌ها.





شکل ۷-۵ برج تقطیر چند مرحله‌ای

در فرایند تقطیر، سیستم جوشاننده حرارت لازم برای انجام عمل تقطیر و جداسازی یک محلول را تأمین می‌کند. بخار ایجاد شده به وسیله جوشاننده از پایین وارد برج می‌شود و به سمت بالا حرکت می‌کند. بخار بالا رونده در برج با مایعی تماس می‌یابد که به سمت پایین برج بر روی سینی‌ها جریان دارد. با تماس مایع و بخار داغ بر روی هر سینی، قسمتی از گرمای بخار به مایع منتقل شده و بخشی از ترکیبات فرار مایع تبخیر می‌شوند و وارد بخار می‌گردند. بخشی از ترکیبات سنگین بخار نیز با از دست دادن حرارت مایع شده و به مایع پایین رونده در برج می‌پیوندند. بدین ترتیب با پیشروی بخار در برج، به تدریج مقدار اجزای سنگین آن کم شده و از اجزای سبک تر غنی می‌شود و مایعی که به سمت پایین برج در حرکت است از اجزای سنگین تر غنی می‌شود. بخارهای خروجی از بالای برج وارد یک مبرد شده و به مایع تبدیل می‌شوند. قسمتی از این مایع به عنوان محصول بالاسری برج جمع‌آوری شده و قسمتی دیگر به برج برگردانده می‌شود، که به آن مایع برگشتی گفته می‌شود. مایعات جمع شده در انتهای برج نیز خارج شده، قسمتی از آن به عنوان محصول ته ماند جمع‌آوری می‌شود و باقیمانده وارد سیستم جوشاننده می‌شود تا به بخار تبدیل شود. بخار خروجی از جوشاننده به داخل برج بازگردانده می‌شود. خوراک ورودی به برج می‌تواند به صورت مایع، گاز و یا ترکیبی از هر دو باشد، محل ورود خوراک را سینی خوراک می‌نامند.

به نظر شما چرا بخشی از محصول بالای برج، به داخل برج بازگردانده می‌شود؟

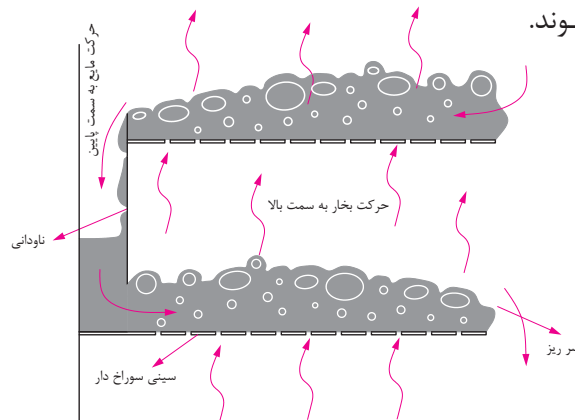




فیلم مربوط به نحوه حرکت مایع و بخار در داخل برج را مشاهده کنید

## نحوه حرکت مایع و بخار در داخل برج

شکل (۵-۸) طرح ساده‌ای از نحوه جریان بخار و مایع را بر روی سینی‌ها نشان می‌دهد. مایع وارد شده به داخل برج، از روی سینی‌های سوراخ‌دار عبور کرده و از طریق ناودانی به سمت سینی پایینی حرکت می‌کند. بخار نیز از پایین سینی و از طریق سوراخ‌های سینی به طرف بالا حرکت می‌کند و بدین ترتیب در روی هر سینی مایع و بخار در تماس با هم قرار گرفته و اجزای سبک در مایع به بخار و اجزای سنگین در بخار به مایع منتقل می‌شوند.



شکل ۸-۵ نحوه حرکت مایع و بخار در داخل برج تقطیر

همان‌طور که در شکل نشان داده شده است، برای نگاه‌داشتن مقدار معینی مایع روی هر سینی از سرریز استفاده می‌شود. وقتی که ارتفاع مایع بالاتر از ارتفاع سرریز شد، مایع از طریق ناودانی به سینی پایینی منتقل می‌شود.

چرا مایعی که بر روی سینی‌های سوراخ‌دار جریان دارد، از سوراخ سینی‌ها به پایین نمی‌ریزد؟

مهم‌ترین انواع سینی‌های برج‌های تقطیر عبارتند از: سینی‌های غربالی، سینی‌های دریچه‌ای، سینی‌های کلاهکی



سینی غربالی



سینی دریچه‌ای



سینی کلاهکی

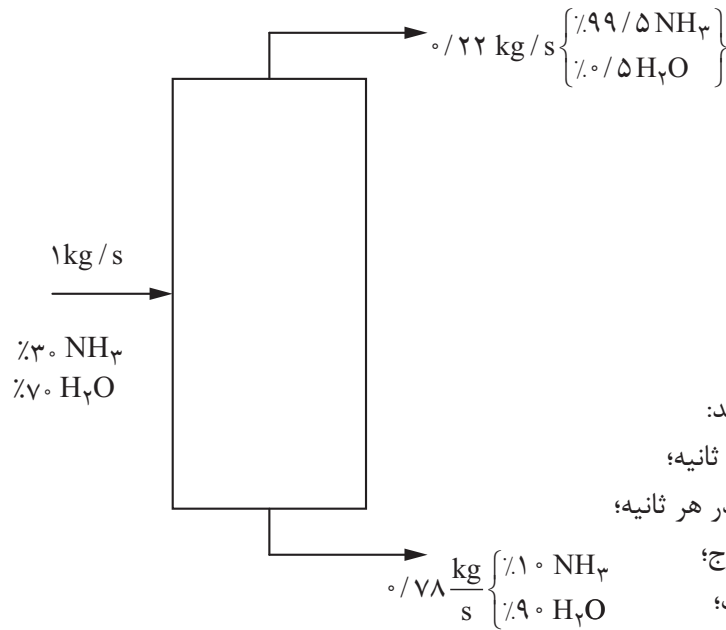
شکل ۹-۵ انواع سینی‌های برج تقطیر



پرسش



گزارشی از جداسازی آب و آمونیاک در یک برج تقطیر سینی دار طبق شکل مشاهده می‌شود. در این برج در هر ثانیه یک کیلوگرم محلول ۳۰ درصد وزنی آمونیاک در آب، به صورت خوراک وارد برج می‌شود و از بالای برج ۰/۲۲ کیلوگرم در ثانیه و از پایین برج ۰/۷۸ کیلوگرم در ثانیه محصول خارج می‌شود.



هر یک از موارد زیر را محاسبه کنید:

- ۱- میزان آب ورودی به برج در هر ثانیه؛
- ۲- میزان آمونیاک ورودی به برج در هر ثانیه؛
- ۳- آب موجود در محصول بالای برج؛
- ۴- میزان آمونیاک جدا نشده از آب؛
- ۵- بازده جداسازی آمونیاک از خوراک.

### جداسازی آب و اتانول با استفاده از برج تقطیر سینی دار

فعالیت  
آزمایشگاهی



مواد مورد نیاز	وسایل مورد نیاز
آب	برج تقطیر سینی دار
اتانول	

## روش کار:

محلول حاوی مقادیر مساوی از آب و اتانول تهیه کنید. طبق دستورالعمل برج تقطیر موجود در آزمایشگاه، آب را از اتانول جدا کنید.

چگونگی انجام تقطیر در برج‌های تقطیر سینی‌دار را مشاهده کنید

در مورد ملاحظات زیست محیطی پالایشگاه گزارشی تهیه کرده و در کلاس ارائه دهید.

فیلم



فعالیت گروهی



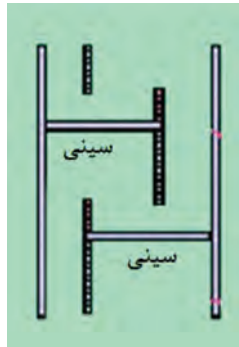
پرسش



- ۱- به نظر شما اگر میزان جریان بخار نسبت به مایع از یک حدی کمتر باشد، چه اتفاقی خواهد افتاد؟
- ۲- اساس فرایند جداسازی در فیلترها و الک‌ها، اندازه ذرات می‌باشد. تفاوت این دو روش چیست و هر کدام برای چه حالتی از ماده (گاز، مایع، جامد) مناسب هستند؟
- ۳- همان‌طور که در این فصل به آن اشاره شد مایعاتی که دارای اختلاف چگالی باشند را می‌توان توسط قیف جداکننده از هم جدا کرد. آیا جامدات را نیز می‌توان بر اساس اختلاف چگالی از هم جدا کرد؟ مثال بزنید.



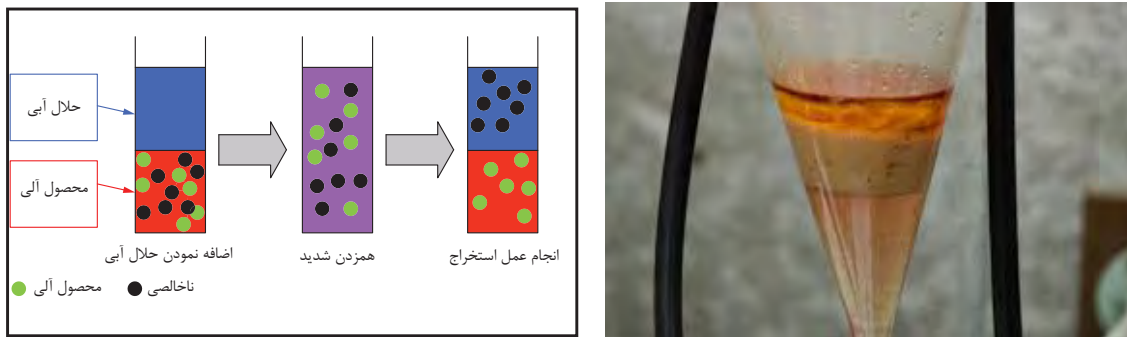
- ۴- نحوه جریان بخار و مایع در یک برج تقطیر را بر روی شکل زیر مشخص کنید.



- ۵- کدام یک از سینی‌ها برای استفاده در ستون‌های تقطیر رایج‌تر است؟ چرا؟
- ۶- اگر فشار بخار بالارونده از سوراخ سینی‌ها کم باشد، چه اتفاقی می‌افتد؟ و چه تأثیری بر راندمان برج دارد؟
- ۷- در برج‌های تقطیر، بخشی از محصول بالای برج به داخل برج بازگردانده می‌شود که به آن مایع برگشتی می‌گویند. دلیل استفاده از مایع برگشتی در برج‌های تقطیر چیست؟

## ۶-۵- جداسازی به روش استخراج

استخراج فرایندی است که در آن اجزای موجود در یک محلول مایع یا مخلوط جامد، به وسیله مایع دیگر که حلال نامیده شده، جدا می‌گردد. زمانی که عمل استخراج با مایعی از یک مخلوط جامد صورت پذیرد، آنرا فرایند استخراج جامد - مایع<sup>۱</sup> نامیده و زمانی که فاز اولیه که جداسازی از آن صورت می‌پذیرد، مایع باشد، فرایند را استخراج مایع - مایع می‌نامند (شکل ۱۰-۵).



شکل ۱۰-۵ استخراج مایع - مایع

پرسش



در زندگی روزمره خود یک فرایند استخراج جامد - مایع را نام ببرید؟

### استخراج مایع - مایع

در فرایند استخراج مایع - مایع، محلولی که استخراج از آن انجام می‌شود، خوراک<sup>۲</sup> نامیده شده و مایعی را که خوراک با آن در تماس قرار می‌گیرد تا جزء مورد نظر<sup>۳</sup> از آن جدا شود، حلال می‌نامند. پس از تماس خوراک و حلال<sup>۴</sup> و انتقال جزء حل‌شونده از خوراک به آن، محصولی را که از حلال غنی است، استخراج شده<sup>۵</sup> و مایع باقی‌مانده را که حل‌شونده از آن جدا شده، پس‌مانده<sup>۶</sup> می‌نامند. شرط اصلی برای انجام این فرایند، اختلاف دانسیته بین حلال و خوراک است تا حل‌شونده از آن جدا گردد. مطابق با شکل (۱۱-۵)، حلال و خوراک تماس پیدا نموده و در هم آمیخته می‌شوند تا حلال بتواند جزء مورد نظر را در خود حل نماید، سپس به این مخلوط زمان داده می‌شود تا بر اثر اختلاف دانسیته، دو فاز (استخراج شده و پس‌مانده) از هم جدا شوند.

۱-Leaching

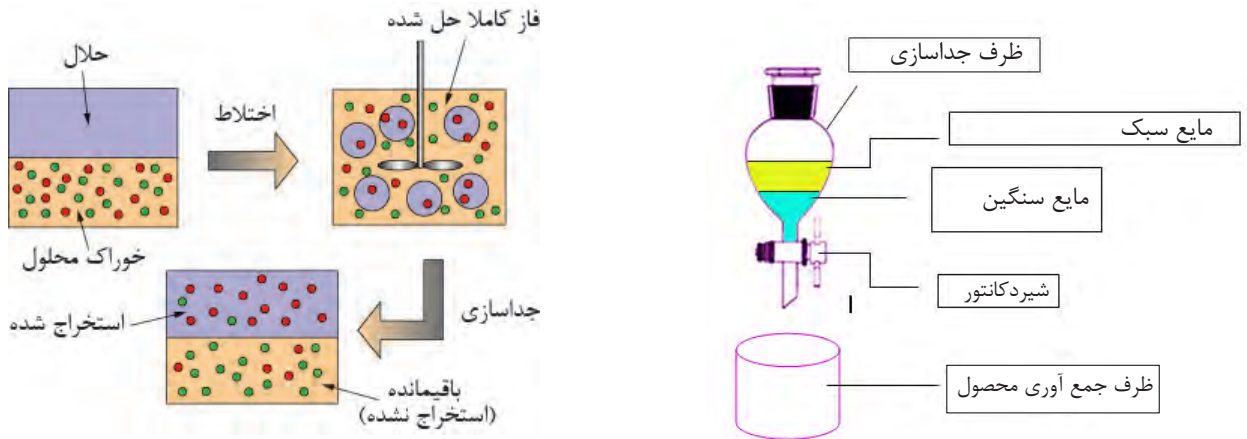
۲-Feed

۳- Solute

۴- Solvent

۵- Extract

۶- Raffinate



شکل ۱۱-۵ فرایند استخراج مایع - مایع

فیلم استخراج مایع - مایع را مشاهده نمایید.

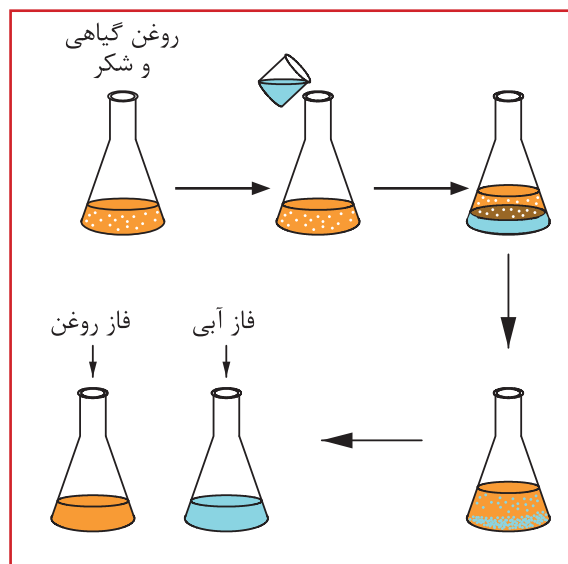
فیلم



۱- مقدار ۳ گرم شکر را در ۳۰ میلی لیتر روغن گیاهی مایع ریخته و مخلوط را به خوبی تکان دهید. حال می خواهیم شکر را از مخلوط جدا نماییم. آیا بنظر شما فیلتر نمودن این مخلوط راه حل مناسبی است؟ چه راه حل دیگری را پیشنهاد می نمایید؟ دلیل جدائی آب و روغن و تشکیل دو فاز مجزا چیست؟  
 ۲- روغنی را که بر روی آب قرار گرفته را از بشر خارج می نماییم. در این آزمایش جزء حل شونده (شکر) را از روغن با حلال (آب) با روش استخراج مایع - مایع جدا نموده ایم. به نظر شما تقطیر مخلوط اولیه (۳ گرم شکر + ۳۰ میلی لیتر روغن) انرژی کمتری نیاز دارد یا تقطیر حلال و حل شونده (۱۵ میلی لیتر آب + ۳ گرم شکر)؟

فعالیت  
آزمایشگاهی





شکل ۱۲-۵ جداسازی شکر از روغن با استخراج مایع - مایع

### کاربردهای استخراج مایع - مایع

استخراج مایع - مایع به دلیل یکی از شرایط زیر به عنوان یکی از فرایندهای جداسازی مورد توجه قرار می‌گیرد:

(الف) در مواقعی که جداسازی لازم است در دمای پایین انجام شود تا جزء حل شونده تجزیه حرارتی نگردد؛

(ب) در مواقعی که جزء حل شونده بسیار کم است و عمل تقطیر موجب مصرف انرژی بیش از حد برای تغییر فاز مواد از حالت مایع به بخار می‌گردد.

(ج) مواقعی که نقطه جوش (فراریت) مواد بهم نزدیک بوده و تقطیر باعث تبخیر همه مواد بدون جداسازی گردد.

به نظر شما در هریک از فرایندهای زیر، به چه دلیل عمل استخراج مایع - مایع پیشنهاد می‌گردد؟  
 الف) جداسازی اسید استیک از آب در غلظت‌های کم؛  
 ب) جداسازی اسیدهای چرب و ویتامین‌ها از روغن‌های گیاهی؛  
 ج) جداسازی آنتی بیوتیک‌ها از فاز آبی.

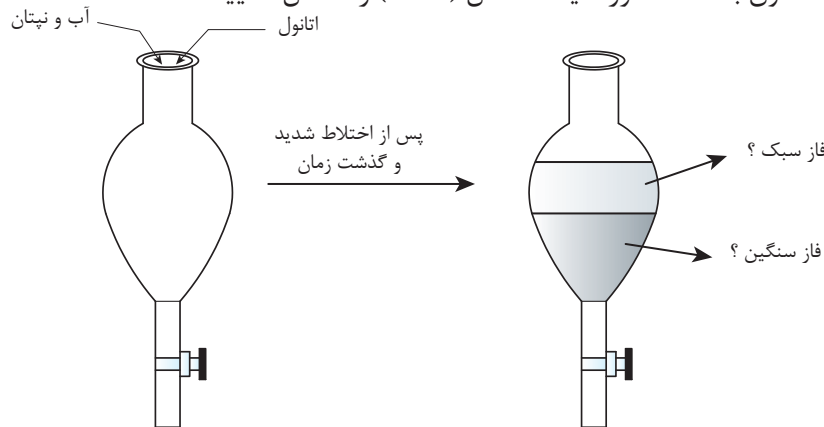
بحث گروهی



پرسش



برای جداسازی پنتان از یک مخلوط آب و پنتان از حلال اتانول استفاده می‌شود. پس از تماس محلول با اتانول، به مخلوط زمان داده می‌شود تا فاز استخراج شده و پس مانده تشکیل شود. با توجه به اطلاعاتی که تاکنون به دست آورده‌اید، شکل (۵-۱۳) را کامل نمایید.



شکل ۵-۱۳ جداسازی پنتان از یک مخلوط آبی

پرسش



همان‌طوری که ذکر گردید، مزیت روش استخراج مایع-مایع در این است که برخلاف فرایند تقطیر، انرژی کمتری نیاز دارد. از توضیحات ارائه شده در فرایند استخراج مایع-مایع، مشخص شد که جداسازی حل‌شونده از حلال مجدداً نیاز به تقطیر و مصرف انرژی دارد. آیا بهتر نیست از همان ابتدا، حل‌شونده از مخلوط با تقطیر جدا گردد؟

## انتخاب حلال

- حلالی که برای استخراج مایع - مایع انتخاب می‌شود، باید خواص ضروری ذیل را داشته باشد:
- حلال باید بتواند جزء مورد نظر (حل‌شونده) را بیش از دیگر اجزای موجود در خوراک در خود حل نماید؛
  - باید بعد از فرایند استخراج، نقطه جوش حلال و حل‌شونده با هم اختلاف قابل ملاحظه‌ای داشته باشد تا بتوان آنها را به راحتی با فرایند تقطیر جدا نمود؛
  - دانسیتة حلال باید با دانسیته خوراک اختلاف قابل قبولی داشته باشد تا بتوان آنها را از هم تفکیک نمود؛
  - حلال باید در تماس با خوراک و حل‌شونده پایدار بماند و با آنها وارد واکنش نشود.



به نظر شما غیر از خواصی ضروری فوق، حلال باید چه ویژگی‌هایی داشته باشد تا فرایند استخراج مایع - مایع ایمن و اقتصادی‌تر باشد؟

بحث گروهی



به نظر شما فرایند استخراج چه مزایا و معایبی از نظر محیط زیستی دارد؟

تحقیق



### محاسبات استخراج

برای محاسبه مقدار جزء حل‌شونده که از خوراک به حلال وارد شده، از ضریبی به نام ضریب توزیع<sup>۱</sup> استفاده می‌شود که آن را با  $K_D$  نشان می‌دهند. این ضریب به صورت ذیل تعریف می‌گردد:

$$K_D = \frac{\text{غلظت حل شونده در استخراج}}{\text{غلظت حل شونده در باقیمانده}}$$

به نظر شما برای آنکه فرایند استخراج مایع - مایع امکان‌پذیر باشد، ضریب توزیع باید چه مقداری داشته باشد؟

پرسش



### مثال

برای جدا سازی پنی سیلین از یک محلول آبی، از حلال متیل استات استفاده شده است. نتایج نشان می‌دهد که در ۲/۰۵ میلی‌لیتر از خوراک، ۰/۰۹۷ گرم پنی سیلین وجود دارد. در آزمایشگاه، به این خوراک ۱/۹۷ میلی‌لیتر متیل استات اضافه شد و ۰/۰۵۹ گرم پنی سیلین از خوراک خارج گردید. مطلوب است محاسبه ضریب توزیع پنی سیلین در حلال.

<sup>۱</sup>- coefficient

$$\text{غلظت پنی سیلین در استخراج شده} = \frac{0/059}{1/97} \approx 0/02995 \frac{\text{g}}{\text{ml}}$$

$$\text{غلظت پنی سیلین در پسماند} = \frac{0/097 - 0/059}{2/05} \approx 0/01853 \frac{\text{g}}{\text{ml}}$$

$$K_D = \frac{0/02995}{0/01853} = 1/616$$

محلول حاوی ۵۰ میلی لیتر آب و ۵ میلی مول بنزوئیک اسید است. به این محلول ۲۰ میلی لیتر دی کلرومتان اضافه شده و بعد از هم زدن به مخلوط اجازه داده می شود تا فاز پس مانده و استخراج شده از هم جدا شوند. نتایج نشان می دهد که ۰/۸۸ میلی مول بنزوئیک اسید در فاز آبی باقی می ماند. در آزمایش دیگر استخراج فوق به صورت دو مرحله ای انجام گرفت. بدین صورت که ابتدا ۱۰ میلی لیتر حلال دی کلرومتان به ۵۰ میلی لیتر محلول اضافه شد و پس از اختلاط و ته نشینی، فاز استخراج شده، جدا گردید. سپس به این مایع استخراج شده از مرحله اول، مجدداً ۱۰ میلی لیتر حلال دی کلرومتان اضافه شد و جداسازی انجام گرفت. مطلوب است محاسبه ضریب توزیع بنزوئیک اسید در حلال دی کلرومتان و مقدار مول بنزوئیک اسید جدا شده از آب در استخراج دو مرحله ای؟ برای تمرین بالا مقدار بازده استخراج تک مرحله ای و دو مرحله ای را محاسبه نمائید؟

پرسش



$$\text{مقدار حل شونده در فاز استخراج شده} = \frac{\text{مقدار حل شونده در خوراک}}{\text{بازده استخراج}}$$

پرسش



۱- از مقایسه بازده استخراج تک مرحله ای و دو مرحله ای چه نتیجه ای می گیرید؟

۲- آیا در تمرین فوق، می توانستیم ۲۰ میلی لیتر حلال را به ۱۰ قسمت تقسیم نموده و در هر مرحله استخراج (در ۱۰ مرحله)، ۲ میلی لیتر به خوراک و سپس به پس مانده هر مرحله، اضافه کنیم؟

تحقیق



۱- در صنایع پالایش روغن موتور (مانند نفت بهران و ایرانول) از روش استخراج مایع - مایع چه استفاده ای می شود؟

۲- آیا می توانید برای فرایند استخراج مایع - مایع در صنایع هسته ای، کاربردی را بیابید؟

## ۷-۵- دستگاههای استخراج

همان‌طور که قبلاً ذکر گردید، شرط امکان‌پذیری فرایند استخراج مایع - مایع، اختلاف دانسیته بین خوراک و حلال است. نقش اصلی یک دستگاه استخراج آن است که یکی از فازها (حلال یا خوراک) را در دیگری پخش نموده تا عمل انتقال حل‌شونده از خوراک به حلال صورت گرفته و سپس استخراج شده و پس‌مانده را از یکدیگر جدا نماید. به‌عنوان مثال استون و آب تشکیل خوراکی را می‌دهند که جداسازی استون از آن با حلال تولوئن امکان‌پذیر است. تولوئن به‌خوبی استون را در خود حل می‌نماید. اما در آب حلالیتی ندارد. پس برای جداسازی می‌توان ستونی را از آب و استون پر نمود و تولوئن را که دانسیته کمتری نسبت به آب دارد، از پایین در داخل ستون و به‌صورت قطرات وارد نمود. تولوئن به‌صورت قطرات در برج بالا رفته و استون را در خود حل می‌نماید. در این فرایند آب را فاز پیوسته<sup>۱</sup> و تولوئن را فاز پراکنده<sup>۲</sup> می‌نامند.

چرا استون از آب جدا شده و در تولوئن حل می‌شود؟  
محل تزریق فاز پراکنده (بالا یا پایین برج) بر چه اساسی انتخاب می‌شود؟  
در فرایند جداسازی استون از آب به‌وسیله تولوئن، دیاگرامی را برای برج جداسازی ارائه نمایید؟

پرسش

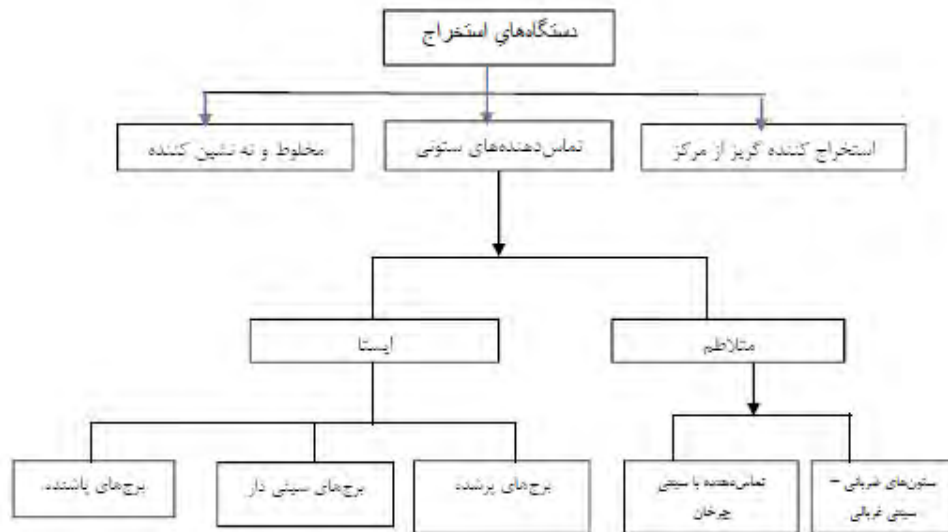


بر اساس توضیحات فوق، می‌توان نتیجه گرفت که یک استخراج‌کننده سه عمل اصلی زیر را انجام می‌دهد:

الف) حلال و خوراک را در تماس با هم قرار می‌دهد.  
ب) فاز پراکنده را به‌صورت قطرات درمی‌آورد تا سطح تماس دو فاز بیشتر شود.  
ج) فاز استخراج شده و پس‌ماند را پس از تبادل جزء حل‌شونده، از هم جدا می‌نماید.  
مطابق با شکل (۱۴-۵)، دستگاههای استخراج را می‌توان به سه گروه اصلی تقسیم‌بندی نمود که عبارتند از:

- ۱- مخلوط و ته‌نشین کننده<sup>۳</sup>
- ۲- تماس‌دهنده‌های ستونی<sup>۴</sup>
- ۳- استخراج‌کننده‌های گریز از مرکز<sup>۵</sup>

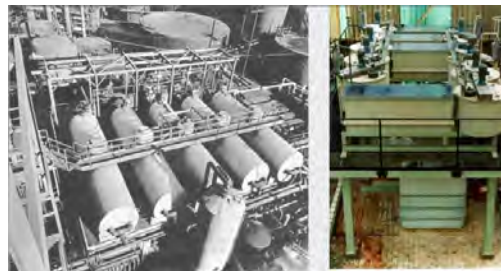
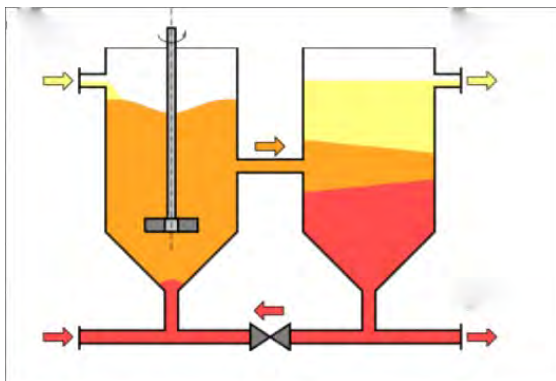
۱- Continuous phase  
۲- Dispersed phase  
۳- Mixer-settler  
۴- Column contactors  
۵- Centrifugal extractors



شکل ۱۴-۵ تقسیم‌بندی دستگاه‌های استخراج

### دستگاه مخلوط کننده - ته‌نشین کننده

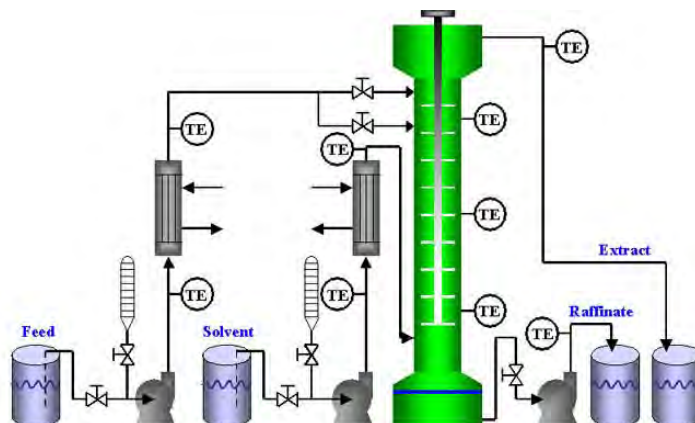
این نوع تجهیز، ساده‌ترین دستگاه استخراج مایع - مایع است که خوراک و حلال در یک مخزن با یک همزن به خوبی مخلوط شده و سپس برای ته‌نشینی به مخزن دیگر هدایت می‌شود (شکل ۱۵-۵). زمان اختلاط و ته‌نشینی توسط آزمایش‌های عملی تعیین می‌شود اما به ترتیب زمان‌های ۵ و ۱۰ دقیقه را می‌توان به عنوان تخمین اولیه در نظر گرفت. این نوع استخراج‌کننده می‌تواند شامل چند مخزن اختلاط و ته‌نشینی پشت سر هم (استخراج چند مرحله‌ای) باشد. این نوع دستگاه در صنایع استخراج فلزات کاربرد فراوان دارد.



شکل ۱۵-۵ دستگاه‌های استخراج مخلوط و ته‌نشین کننده

## دستگاه تماس دهنده‌های ستونی<sup>۱</sup>

این نوع دستگاه استخراج خود به دو دسته ایستا<sup>۲</sup> و متلاطم<sup>۳</sup> تقسیم‌بندی می‌شوند (شکل ۱۶-۵). در نوع ایستا قطعه متحرکی وجود نداشته و فاز سبک و سنگین تنها به دلیل اختلاف دانسیته، در طول ستون حرکت می‌نمایند. اما در نوع متلاطم، یک عامل مکانیکی موجب اختلاط خوراک و حلال در طول ستون می‌گردد.



شکل ۱۶-۵ فرایند استخراج مایع - مایع با تماس دهنده‌های ستونی

## دستگاه استخراج گریز از مرکز

در این نوع استخراج کننده، محفظه استوانه‌ای شکل که دارای پوسته سوراخ‌دار هم مرکز است و روی یک محور افقی نصب شده با سرعت ۳۰ تا ۸۵ دور در ثانیه می‌چرخد. مایعات (خوراک و حلال) از داخل محور وارد دستگاه می‌گردند (شکل ۱۷-۵). مایع سنگین در راستای قسمت بیرونی به طرف خارج حرکت نموده و مایع سبک به سمت داخل حرکت می‌نماید.

این نوع استخراج کننده‌ها بسیار گرانبه هستند اما قادرند در یک فضای کوچک و زمان کوتاه، حجم بالایی از خوراک و حلال را در تماس قرار دهد. کاربرد اصلی آن‌ها در صنایع دارویی و استخراج مواد حساسی مانند آنتی بیوتیک‌ها و ویتامین‌ها است.



شکل ۱۷-۵ دستگاه‌های استخراج مایع - مایع گریز از مرکز

۱. Column contactors

۲- Static

۳- Agitated



علت رانده شدن مایع سنگین به پیرامون و مایع سبک به داخل در این نوع استخراج کننده، چیست؟



استخراج مداوم به وسیله سوکسله

## تئوری آزمایش استخراج

اکثر دانه‌های روغنی حاوی ۱۲ تا ۶۵ درصد روغن هستند و با توجه به درصد روغن یکی از دو روش استخراج به وسیله پرس و استخراج با حلال و یا از هر دو روش استفاده می‌شود؛ به این ترتیب که برای دانه‌هایی که درصد روغن آنها تا حدود ۲۰ درصد باشد، فقط از روش استخراج با حلال استفاده می‌شود و برای دانه‌های پر روغن توسط پرس و سپس استخراج با حلال پیشنهاد می‌شود. سازوکار فرایند استخراج روغن در حقیقت همان فرایند (Leaching) یا استخراج از درون جامد با مایع (حلال) است و بر این اساس استوار است که روغن تا زمانی که حلالیت حلال که معمولاً نرمال هگزان است، به حد اشباع نرسیده باشد، در آن حل شده و از خلل و فرج دانه‌های روغنی خارج می‌شود و زمانی که حلالیت در هگزان به حد اشباع رسید، یک تعادل بین مایع خارج و مایع داخل جامد برقرار شده و به میزانی که مولکول روغن از دانه روغنی پولک شده خارج می‌شود، به همان تعداد مولکول روغنی وارد فاز جامد می‌شود. عواملی از قبیل درجه حرارت، مدت زمان استخراج، میزان حلال، میزان رطوبت دانه، شکل هندسی و اندازه ذرات پولک شده بر فرآیند استخراج تأثیر می‌گذارند.

## عصاره‌گیر سوکسله

عصاره‌گیر سوکسله یک دستگاه آزمایشگاهی است که در سال ۱۸۷۹ به دست فرانتس فون سوکسلت<sup>۱</sup> اختراع شد. دستگاه سوکسله از جنس شیشه و در اندازه‌های مختلف برای عصاره‌گیری مقادیر متفاوت گیاه ساخته شده است.

دستگاه سوکسله از چهار قسمت منبع گرمایی (هیتر)، بالن، دستگاه سوکسله و مبرد تشکیل می‌شود. با این دستگاه می‌توان در سطح آزمایشگاهی از چند گرم تا چند کیلوگرم پودر گیاه را استخراج کرد. نمونه در مخزن سوکسله ریخته می‌شود و یک حلال مورد نظر در بالن ریخته می‌شود که در اثر حرارت حلال بخار شده و روی نمونه ریخته می‌شود این چرخه وقتی که مخزن سوکسله پر شد، از طریق سیفون نازک شیشه‌ای دوباره به بالن بر می‌گردد و به این ترتیب این چرخه انجام می‌شود.

۱- Franz von Soxhlet

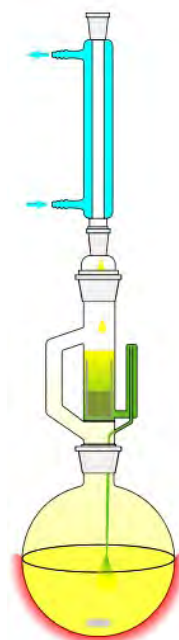
۲- Soxhlet Thimble



شکل ۱۹-۵ مخزن سوکسله



شکل ۱۸-۵ شمای ساده‌ای از سوکسله



وسایل مورد نیاز	مواد مورد نیاز
کاغذ صافی انگشتی، ترازو، سوکسله، بالن ته گرد، بشر، مبرد، گرم‌کن برقی، شلنگ، گیره و پایه.	مغز گردو، اترنفت (پترولیوم اتر).

### شرح آزمایش

- مقدار ۱۰ گرم مغز گردو را خرد کنید (هرچه ذرات خردتر باشد بهتر است).
  - گردوهای خرد شده را داخل کاغذ صافی انگشتی ریخته، به آرامی وارد سوکسله کنید.
  - داخل بالن ته‌گرد ۲۰۰ میلی لیتر پترولیوم اتر ریخته، آن را به گیره ببندید.
  - در این مرحله سوکسله و مبرد را روی فلاسک نصب کنید.
  - شیر آب را باز کرده تا آب درون مبرد جریان یابد.
  - در این مرحله هیتر زیر بالن را روشن نمایید.
  - وقتی که اولین قطره حلال تقطیر شد و از سر مبرد چکه کرد، زمان را ثبت کنید (توجه داشته باشید که دستگاهی که نصب کرده‌اید، کاملاً عمودی باشد تا قطره‌های حلال دقیقاً روی مواد درون کاغذ بریزد.
  - استخراج را به مدت پنج ساعت ادامه دهید.
- (نکته: هر چه زمان استخراج بیشتر باشد، روغن بیشتری استخراج می‌شود)

- ۹- بعد از پنج ساعت حرارت را قطع کرده، اجازه دهید سیستم کمی خنک شود و همه بخارات در مبرد سرد شده و به فاز مایع وارد شوند.
- ۱۰- ابتدا مبرد را برداشته و سپس سوکسله را جدا نمایید و در مرحله آخر بالن را از گیره جدا کنید.  
نکته: اگر مقداری محلول درون سوکسله مانده آن را به آرامی و با دقت طوری که خرده‌های گردو وارد آن نشود، به بالن می‌ریزید.
- ۱۱- محتویات بالن را به بشر انتقال داده و فرصت دهید تا حلال تبخیر شود. بعد از این که حلال تبخیر شد. جرم روغن استخراج شده را حساب کرده و درصد روغن را به دست آورید.  
نکته: برای راحتی اندازه‌گیری وزن روغن بهتر است بشر خشک را قبل از ریختن محلول درون آن وزن کنید و در مرحله آخر دو باره بشر و روغن را با هم توزین کرده، وزن بشر را از آن کم نمایید.  
وزن دقیق روغن بدست می‌آید.

در طول انجام آزمایش باید شلنگ‌های مبرد را به شکل مناسب تنظیم کنید و مراقب باشید شلنگ‌ها با سطوح داغ تماس نداشته باشد، زیرا باعث ذوب شدن شلنگ می‌شود.  
باید در تمام طول انجام آزمایش آب درون مبرد جریان داشته باشد در غیر این صورت بخارات محلول از سیستم خارج می‌شود.  
در طول انجام آزمایش به دلیل فرار بودن اتر نفت از ماسک ایمنی استفاده نمایید.

نکته ایمنی





## ارزشیابی شایستگی فصل دستگاههای جداکننده

## شرح کار:

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

## استاندارد عملکرد:

- انجام عملیات انتقال جرم (در صنایع شیمیایی)، کار با برج‌های تقطیر و برج‌های استخراج طبق دستور العمل

## شاخص‌ها:

- رعایت مسایل ایمنی در حین کار
- انجام کار طبق دستورالعمل.

## شرایط انجام کار و ابزار و تجهیزات:

مکان: کارگاه و آزمایشگاه    زمان: یک جلسه آموزشی  
 ابزار و تجهیزات: برج‌های تقطیر پرشده و سینی‌دار، الک‌ها، لوازم شیشه‌ای آزمایشگاهی، دستگاه سوکسله و گرمکن برقی

## معیار شایستگی:

ردیف	مرحله کار	حداقل نمره قبولی از ۳	نمره هنرجو
۱	بکارگیری روش‌های جدا سازی در صنایع شیمیایی	۲	
۲	کار با برج‌های تقطیر	۲	
۳	کار با برج‌های استخراج	۱	
	شایستگی‌های غیرفنی، ایمنی، بهداشت، توجهات زیست محیطی و نگرش: ۱- ایمنی: انجام کار کارگاهی با رعایت موارد ایمنی و استفاده از وسائل ایمنی شخصی؛ ۲- نگرش: ۳- توجهات زیست محیطی: جلوگیری از صدمه زدن به محیط زیست از طریق انجام کار بدون ریخت و پاش؛ ۴- شایستگی‌های غیرفنی: ۱- اخلاق حرفه‌ای، ۲- مدیریت منابع، ۳- محاسبه و کاربست ریاضی، ۴- مستندسازی: گزارش نویسی.	۲	
	میانگین نمرات		*

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

- ۱- برنامه درسی رشته صنایع شیمیایی، ۱۳۹۳، دفتر تألیف کتاب های درسی فنی و حرفه ای و کاردانش
- ۲- ارنست لودویگ، ۲۰۰۱، «طراحی فرآیندهای کاربردی»، جلد سوم، ویرایش سوم
- ۳- استنلی والاس، ۲۰۱۲، «تجهیزات فرآیندهای شیمیایی»، ویرایش سوم
- ۴- «استاندارد مهندسی برای طراحی فرآیندی و انتقال مایع و گاز و ذخیره سازی»، استاندارد های نفت ایران شماره IPS-E-PR-۳۶۰، ویرایش اول، اسفند ۱۳۸۷
- ۵- اصول و ساختمان توربین های گازی، شرکت ره آوران فنون پتروشیمی
- ۶- اکتاو لوناشپیل، ترجمه: مرتضی سهرابی، ۱۳۹۲، چاپ چهارم، طراحی راکتور های شیمیایی، انتشارات دانشگاه امیر کبیر
- ۷- باغمیشه، غلامرضا، سیدعلی اکبر، نخلی، ۱۳۸۹، طراحی راکتور کارشناسی ارشد مجموعه مهندسی شیمی، چاپ اول انتشارات مهر سبحان
- ۸- بهمنیار، حسین (۱۳۹۴). انتقال جرم، تهران، جهاد دانشگاهی دانشگاه تهران.
- ۹- «تبخیر کننده تک مرحله ای»، شرکت صنایع داتیس انرژی
- ۱۰- توفیقی سید پندار، صدرایی نوری ساسان، ۱۳۹۴، عملیات دستگاهی در صنایع شیمیایی
- ۱۱- توفیقی سید پندار، صدرایی نوری ساسان، ۱۳۹۴، کارگاه عملیات دستگاهی در صنایع شیمیایی
- ۱۲- چالکش امیری، محمد (۱۳۸۶). اصول انتقال جرم، تهران، انتشارات ارکان.
- ۱۳- خراط ریاض، محبی علی، فضائلی پور محمدحسن، ۱۳۸۸، «اصول موازنه مواد و انرژی در مهندسی شیمی و نفت»، چاپ اول انتشارات دانشگاه شهید باهنر
- ۱۴- دیویدهمیل بلاو، مرتضی سهرابی، ۱۳۹۲، اصول بنیانی و محاسبات در مهندسی شیمی، چاپ ۲۲، انتشارات امیر کبیر
- ۱۵- رازی فر مهدی، ۱۳۹۴، طراحی تجهیزات فرآیندی، انتشارات اندیشه سرا
- ۱۶- رازی فر مهدی، ۱۳۹۱ «طراحی تجهیزات فرآیندی»
- ۱۷- رابرت تریبال (۱۹۸۱). عملیات واحد، ترجمه: پریسا زینی (۱۳۹۳)، تهران: نهر دانش.
- ۱۸- رابرت مادوکس، آنتونی هانیز (۱۹۸۴). اصول و کاربرد انتقال جرم، ترجمه: جلال الدین هاشمی و محمد علی آرون (۱۳۸۵). تهران: انتشارات آینده سازان.
- ۱۹- سمیع پور، محمد (۱۳۸۹). انتقال جرم و عملیات واحد، تهران، انتشارات پوران پژوهش.
- ۲۰- سیف محدثی، سید رضا، محمود سلیمی، ۱۳۹۴، مهندسی واکنش ها و اصول اولیه طراحی راکتور های شیمیایی، انتشارات دانشگاه آزاد اسلامی اراک، چاپ اول، زمستان
- ۲۱- صدیقی، سپهر (دی ۱۳۸۰). نصب، راه اندازی و بررسی عملکرد برج استخراج ضربانی با سینی های غربالی، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی شریف: دانشکده مهندسی شیمی
- ۲۲- فرانک اینکروپرا، ۲۰۱۱، «اصول انتقال حرارت و انتقال جرم»، ویرایش هفتم
- ۲۳- عابدینی، منصور، ۱۳۹۴: آزمایشگاه شیمی عمومی

۲۴- کویانی احمد، مبانی کمپرسورها، شرکت ره آوران فنون پتروشیمی،  
۲۵- مجتهدی علی، باقری مهدی، ۱۳۸۷، مبانی مهندسی واکنش های شیمیایی و طراحی رآکتورها، چاپ اول،  
انتشارات جنگل

۲۶- مک کیب، اسمیت- هریوت (۱۹۵۶). عملیات واحد مهندسی شیمی. ترجمه: بهرام پوستی (۱۳۹۰)، تهران: نشر  
کتاب دانشگاهی.

۲۷- نصرزادانی مهدی پمپ ها، انواع، اصول کار، بهره برداری، تعمیرات و عیب یابی، اداره آموزش پالایشگاه نفت  
اصفهان

۲۸- Cunha, Burke A; Burillo, Almudena; Bouza, Emilio (۲۰۱۵). «Legionnaires» disease». The Lancet. doi:۱۰.۱۰۱۶/  
S۲-۶۰۰۷۸(۱۵)۶۷۳۶-۰۱۴۰. ISSN ۶۷۳۶-۰۱۴۰.

۲۹-Ludwig, -Applied process design for chemical and petrochemical plants, Volume ۱, third edition

۳۰- Harry silla, ۲۰۰۳, Chemical Process engineering design and economics

۳۱- "Improve Selection and Sizing of Storage Tanks", A. Heydari Gorji, H. Kalat Jari, Sazeh Consultant, Hydrocarbon  
Processing, ۲۰۰۶

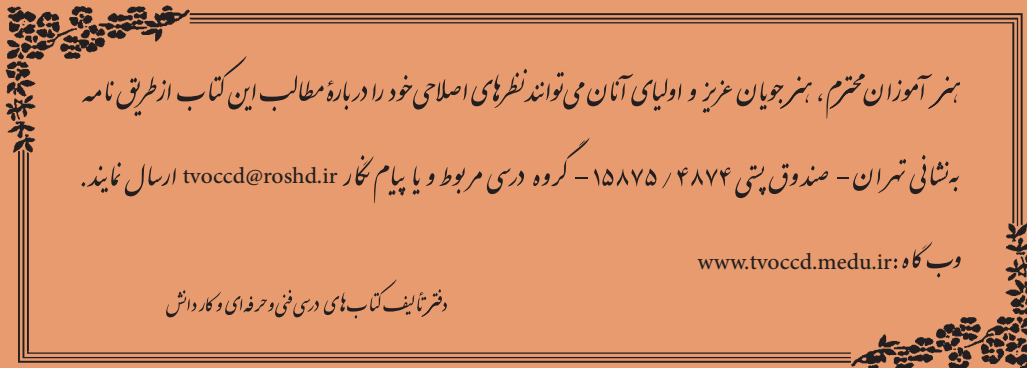
۳۲-cCabe, W., Smith, J.C., & Harriott, P. (۲۰۰۴), Unit Operations of Chemical Engineering, ۷th ed., Mc GrawHill  
Chemical Engineering Series.

۳۳-Treybal, R. E. (۱۹۹۰), Mass Transfer Operations, ۳rd ed., Mc Graw Hill Chemical Engineering Series.

۳۴-Zulkarnain, M. I., Liquid-Liquid Extraction (LLE), Bioseparation Engineering Course, ERT ۳۱۳, portal.unimap.edu.

my





### همکاران هنر آموز که در فرآیند اعتبارسنجی این کتاب مشارکت داشته‌اند

- ۱- استان فارس : محسن کدیور ، گوهر دیلمی راد
- ۲- استان کرمان : نعیمه سیف‌الدینی، نسرین اسلامی
- ۳- استان آذربایجان شرقی : نادر مولوی ، فرهاد همتی
- ۴- استان همدان : حسن بشیریان
- ۵- استان خوزستان : اسدالله امیدی بیرگانی ، فرحناز چهارمحالی جعفرزاده
- ۶- استان سمنان : شهرزاد جورابلو ، مریم هدایتی
- ۷- استان مرکزی: سید محمد میرنظامی