بسم الله الرحمن الرحیم

اَللّٰهُمَّ صَلِّ عَلٰی مُحَمَّدٍ وَ آلِ مُحَمَّدٍ وَ عَجِّلْ فَرَجَهُمْ

عملیات دستگاه‌ها در صنایع شیمیایی

رشتهٔ صنایع شیمیایی

گروه مواد و فراوری

شاخهٔ فنی و حرفه‌ای

پایهٔ دهم دورهٔ دوم متوسطه

وزارت آموزش و پرورش
سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی

نام کتاب: عملیات دستگاه‌ها در صنایع شیمیایی ـ ۲۱۰۵۲۳
پدیدآورنده: سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی
مدیریت برنامه‌ریزی درسی و تألیف: دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای وکاردانش
شناسه افزوده‌برنامه‌ریزی و تألیف : طیبه کنشلو، بهرام قنبری، اعظم صفاری، سیدرضا سیف محدثی، رابعه شیخ‌زاده و قاسم حاجی قاسمی (اعضای شورای برنامه‌ریزی)
سیدرضا سیف محدثی، سپهر صدیقی، پریسا ظاهری، فرناز فرشاد، سجاد کریمی مزیدی و طیبه کنشلو (اعضای گروه تألیف)ـ سپیده دبیران (ویراستار)
استان‌های مشارکت‌کننده در فرایند اعتباربخشی: آذربایجان شرقی، خوزستان، سمنان، فارس، کرمان، مرکزی و همدان
مدیریت آماده‌سازی هنری: ادارهٔ کلّ نظارت بر نشر و توزیع مواد آموزشی
شناسه افزوده آماده‌سازی: سمیه نصری(طراح جلد)ـ نسرین اصغری(صفحه‌آرا) ـ سید مرتضی میرمجیدی و سیدمیثم میرمجیدی(رسام فنی)
نشانی سازمان: تهران: خیابان ایرانشهر شمالی ـ ساختمان شمارهٔ ۴ آموزش و پرورش (شهیدموسوی)
تلفن: ۹ـ۸۸۸۳۱۱۶۱، دورنـگار: ۸۸۳۰۹۲۶۶، کـد پستی: ۱۵۸۴۷۴۷۳۵۹
وبگاه: www.chap.sch.ir و www.irtextbook.ir
ناشر : شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران: تهران ـ کیلومتر ۱۷ جادهٔ مخصوص کرج ـ خیابان ۶۱ (داروپخش)
تلفن :۵ ـ۴۴۹۸۵۱۶۱، دورنگار: ۴۴۹۸۵۱۶۰، صندوق پستی: ۱۳۹ـ ۳۷۵۱۵
چاپخانه: شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران «سهامی خاص»
سال انتشار و نوبت چاپ: چاپ نهم ۱۴۰۳

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

شابک ۷– ۲۷۰۴ – ۰۵ – ۹۶۴ – ۹۷۸ **ISBN 978 - 964 - 05 - 2704-7**

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 (قُدِّسَ سِرُّهُ)

فهرست

پودمان اول ــ محاسبا ت در صنایع شیمیایی	۱
پودمان دوم ــ دستگاه‌های حرارتی	۳۵
پودمان سوم ــ دستگاه‌های دوّار	۵۹
پودمان چهارم ــ راکتور و مخازن	۱۰۳
پودمان پنجم ــ دستگاه های جداکننده	۱۳۷
منابع و مآخذ	۱۶۷

سخنی با هنرجویان عزیز

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 پیشین 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 دادن کار واقعی به‌طور استاندارد و درست تعریف شده است. توانایی شامل دانش، مهارت و نگرش می‌شود. در رشته تحصیلی حرفه‌ای شما، چهار دسته شایستگی در نظر گرفته شده است:

۱. شایستگی‌های فنی برای جذب در بازار کار مانند توانایی کار با دستگاه‌های فرایندی

۲. شایستگی‌های غیر فنی برای پیشرفت و موفقیت در آینده مانند نوآوری و مصرف بهینه

۳. شایستگی‌های فناوری اطلاعات و ارتباطات مانند کار با نرم افزارها

۴. شایستگی‌های مربوط به یادگیری همیشگی مانند کسب اطلاعات از منابع دیگر

بر این اساس دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای و 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 کرده‌اند 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 کنید تمام شایستگی‌های آموزش داده شده دراین کتاب را کسب و در فرایند ارزشیابی به اثبات رسانید.

کتاب درسی عملیات دستگاه‌ها درصنایع شیمیایی شامل پنج پودمان است و هر پودمان دارای یک یا چند واحد یادگیری است و هر واحد یادگیری از چند مرحله‌کاری تشکیل شده است. شما هنرجویان عزیز پس از یادگیری هر پودمان می‌توانید شایستگی‌های مربوط به آن را کسب کنید. هنرآموز محترم شما برای هر پودمان یک نمره در سامانه ثبت نمرات منظور می‌کند و نمره قبولی در هر پودمان حداقل ۱۲ است.

دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای و کاردانش

سخنی با هنرآموزان گرامی

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 تألیف گردید. کتاب حاضر از مجموعه کتاب‌های کارگاهی است که برای سال دهم تدوین و تألیف شده است. این کتاب دارای ۵ پودمان است که هر پودمان از یک یا چند واحد یادگیری تشکیل شده است. همچنین ارزشیابی مبتنی بر شایستگی از ویژگی‌های این کتاب می‌باشد که در پایان هر پودمان شیوه ارزشیابی آورده شده است. هنرآموزان گرامی می‌بایست برای هر پودمان یک نمره در سامانه ثبت نمرات برای هر هنرجو ثبت کنند. نمره قبولی در هر پودمان حداقل ۱۲ است و نمره هر پودمان از دو بخش تشکیل می‌شود که شامل ارزشیابی پایانی در هر پودمان و ارزشیابی مستمر برای هریک از پودمان‌ها است. از ویژگی‌های دیگر این کتاب طراحی فعالیت‌های یادگیری ساخت‌یافته در ارتباط با شایستگی‌های فنی و غیرفنی از جمله مدیریت منابع، اخلاق حرفه‌ای و مباحث زیست‌محیطی است. این کتاب جزئی از بسته آموزشی تدارک دیده‌شده برای هنرجویان است که لازم است از سایر اجزای بستهٔ آموزشی مانند کتاب همراه هنرجو، نرم‌افزار و فیلم آموزشی در فرایند یادگیری استفاده شود. کتاب همراه هنرجو در هنگام یادگیری، ارزشیابی و انجام دادن کار واقعی مورد استفاده قرار می‌گیرد. شما می‌توانید برای آشنایی بیشتر با اجزای بسته یادگیری، روش‌های تدریس کتاب، شیوه ارزشیابی مبتنی بر شایستگی، مشکلات رایج در یادگیری محتوای کتاب، بودجه‌بندی زمانی، نکات آموزشی شایستگی‌های غیرفنی، آموزش ایمنی و بهداشت و دریافت راهنما و پاسخ فعالیت‌های یادگیری و تمرین‌ها به کتاب راهنمای هنرآموز این درس مراجعه کنید.

کتاب شامل پودمان‌های ذیل است:

پودمان اول: محاسبات در صنایع شیمیایی که در سه مرحله: به‌کارگیری یکاها و ابعاد، تبدیل یکاها و موازنه مواد ورودی و خروجی به یک سامانه آموزش داده می‌شود.

پودمان دوم: دستگاه‌های حرارتی نام دارد، که در سه بخش: کار با مبدل‌های حرارتی، کار با برج‌های خنک‌کننده و کار با خشک‌کن‌ها بیان می‌شود.

پودمان سوم: دارای عنوان دستگاه‌های دوّار است. در این پودمان ابتدا کار با پمپ‌ها آموزش داده می‌شود و سپس کار با مخلوط‌کن‌ها و سانتریفیوژها و در ادامه کار با دستگاه‌های کاهش اندازه شرح داده شده است.

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

پودمان پنجم: با عنوان دستگاه‌های جداکننده است که در آن هنرجویان ابتدا با به‌کارگیری روش‌های جداسازی در صنایع شیمیایی آشنا می‌شوند و سپس کار با برج‌های تقطیر و استخراج را فرا می‌گیرند.

امید است که با تلاش و کوشش شما همکاران گرامی اهداف پیش‌بینی شده برای این درس محقق شود.

دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای و کاردانش

نظرسنجی کتاب درسی

پودمان ۱

محاسبات در صنایع شیمیایی

در رشتهٔ صنایع شیمیایی، روش‌های صنعتی اقتصادی برای تبدیل مواد اولیه به محصولات بررسی می‌شوند. وظیفهٔ متخصصان صنایع شیمیایی با توجه به توسعهٔ سریع و چشمگیر این صنعت در طراحی، راه‌اندازی و بهره برداری است؛ 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 کرد.

واحد یادگیری ۱
به‌کارگیری محاسبات در صنایع شیمیایی

مقدمه

برای درک مسائل پیش رو در صنایع شیمیایی انجام دادن صحیح محاسبات از اهمیّت به‌سزایی برخوردار است. اولین قدم در حل مسائل موجود، برقراری موازنه جرم و انرژی است. در این پودمان مباحثی در مورد انواع کمیّت‌ها و یکاها در دستگاه‌های 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 و فرایندهای فیزیکی مطرح خواهند شد.

استاندارد عملکرد

انجام دادن عملیّات ریاضی در محاسبات صنایع شیمیایی.

شایستگی‌های غیر فنی:

۱ اخلاق حرفه‌ای: حضور منظم و وقت‌شناسی، انجام دادن وظایف و کارهای محوّل، پیروی از قوانین؛
۲ مدیریت منابع: شروع به‌کار به‌موقع، مدیریت مؤثر زمان، استفاده از مواد و تجهیزات؛
۳ کار گروهی: حضور فعّال در فعالیت‌های گروهی، انجام دادن کارها و وظایف محوّل؛
۴ مستندسازی؛
۵ محاسبه و کاربست ریاضی.

شایستگی‌های فنی:

۱ به‌کارگیری یکاها و ابعاد؛
۲ تبدیل یکاها (واحدها)؛
۳ موازنهٔ مواد ورودی و خروجی به یک سامانه.

۱ـ۱ـ کمیت‌ها و یکاها[۱]

هر مشخصهٔ قابل اندازه‌گیری، قابل مقایسه و قابل تغییر از یک جسم را کمیت می‌نامند. مثلاً کمیت جرم دو جسم را اندازه‌گیری می‌کنند و وزن آنها را محاسبه می‌کنند. در پایان کمیت‌های مشابه را با یکدیگر مقایسه می‌کنند.

بحث گروهی ۱

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

هر کمیت را با سه مشخصهٔ مقدار، یکا و بعد[۲] شناسایی می‌کنند، به‌عنوان نمونه قد یک هنرجو ۱۸۰ سانتی‌متر است. بنابراین مقدار این کمیت (قد) ۱۸۰ و یکای آن سانتی‌متر است.
بعد هر کمیت نیز نشان‌دهندهٔ جنس آن کمیت است که با یکی از حروف بزرگ انگلیسی یا ترکیبی از حروف بزرگ انگلیسی معرفی می‌شود؛ به‌عنوان مثال بعد طول را با حرف «L» نشان می‌دهند.

تمرین ۱

۱ بعد قد هنرجو در مثال بالا چیست؟
۲ ارتفاع ساختمانی ۲۰ متر است. کمیت، یکا و بعد را مشخص کنید.

۲ـ۱ـ انواع کمیت‌ها

با توجه به اینکه خواص فیزیکی به‌وسیلهٔ 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 است، 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 محدود نیست و از آنها می‌توان به نیرو، حجم و سرعت اشاره کرد.

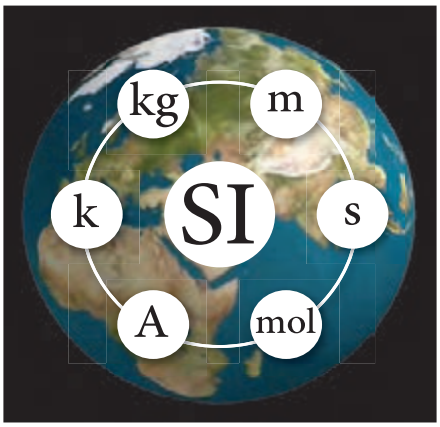
تمرین ۲

چهار کمیت فرعی را نام ببرید.

۱- Units ۲- Dimension

۳ـ۱ـ دستگاه یکاها

برای بیان یکاهای کمیت‌های اصلی و فرعی در محاسبات صنایع شیمیایی، از سه دسته‌بندی زیر استفاده می‌شود که اصطلاحاً هرکدام از این دسته‌بندی‌ها را یک دستگاه می‌نامند.



دستگاه یکاهای بین‌المللی[۱] (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[۲] بیان می‌کنند.

دستگاه یکاهای بین المللی (CGS)

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

دستگاه یکاهای انگلیسی

در این دسته‌بندی یا دستگاه، کمیت‌های اصلی طول، جرم، زمان، دما و مول را به ترتیب برحسب واحدهای فوت، پوند، ثانیه، فارنهایت و پوندمول بیان می‌کنند.

در جدول ۱ـ۱، آحاد و نماد کمیت‌های اصلی در سه دستگاه مذکور آورده شده است.

جدول ۱ـ ۱ـ دستگاه یکاهای کمیت‌های اصلی

دستگاه یکاها	طول	جرم	زمان	مقدار ماده (مول)	دما
متریک (SI)	متر (m)	کیلوگرم (kg)	ثانیه (s)	کیلومول (kmol)	سلسیوس ($^{\circ}C$)
(CGS)	سانتی‌متر (cm)	گرم (g)	ثانیه (s)	گرم مول (gmol)	سلسیوس ($^{\circ}C$)
انگلیسی (FPS)	فوت (ft)	پوند (lb)	ثانیه (s)	پوندمول (lbmol)	فارنهایت ($^{\circ}F$)

۱- SI (System- International)

۲- Mole

بعد کمیت‌های اصلی در تمام دستگاه‌های یکاها یکسان است و همان‌طور که بیان شد با حروف بزرگ انگلیسی نمایش داده می‌شوند. در جدول ۲ـ۱، بعد کمیت‌های اصلی نشان داده شده است.

جدول ۲ـ۱ـ ابعاد کمیت‌های اصلی

کمیت	طول	جرم	زمان	دما	مول
بعد	L	M	T	θ	N

۴ـ۱ـ محاسبات ریاضی 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 ۱: هنرجویی سه کیلوگرم سیب و دو متر سیم برق خریداری کرده‌است. این هنرجو چند کیلوگرم خرید داشته‌است؟

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

مثال ۲: کدام‌یک از عملیات زیر انجام شدنی و کدام‌یک انجام نشدنی است؟

الف) دو کیلوگرم + سه ثانیه — ۲ kg + ۳ S

ب) سه گرم + پنج گرم — ۳ g + ۵ g

ج) دو فوت + سه پوند — ۲ ft + ۳ lb

د) چهار پوندمول + سه پوندمول — ۳ lbmol + ۴ lbmol

پاسخ:

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

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

ضرب و تقسیم کمیت‌ها

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

مثال ۳: کدام‌یک از عملیات زیر انجام شدنی است؟ حاصل عملیات چیست؟

الف) سه فوت × دو کیلوگرم

ب) پنج ثانیه × سه متر

ج) صد کیلومتر تقسیم بر دو ساعت

پاسخ: چون عملیات انجام‌شده در مثال ۳ ضرب و تقسیم بین کمیت‌ها است، پس تمامی عملیات انجام‌شدنی است و حاصل آنها عبارت‌اند از:

الف) $۲\,kg \times ۳\,ft = ۶\,kg.ft$

ب) $۵s \times ۳m = ۱۵\,s.m$

ج) $\frac{۱۰۰\,km}{۲\,h} = ۵۰\,\frac{km}{h}$

نکته ۱

در مثال ۳ هر کدام از کمیت‌ها، یک کمیت اصلی است، ولی حاصل ضرب و تقسیم آنها، یک کمیت فرعی است.

مثال ۴: مکعب‌مستطیلی دارای ۳ سانتی‌متر طول، ۲ سانتی‌متر عرض و ۵ سانتی‌متر ارتفاع است.
مطلوب است:
الف) مقدار حجم مکعب‌مستطیل
ب) مقدار سطح یک وجه
ج) تعیین بعد حجم و سطح مکعب‌مستطیل
د) تعیین حاصل تقسیم حجم بر سطح یک وجه مکعب‌مستطیل

پاسخ:

الف) حجم مکعب‌مستطیل از حاصل‌ضرب طول در عرض و ارتفاع به دست می‌آید.

حجم مکعب‌مستطیل = طول × عرض × ارتفاع

$(۵\,cm) \times (۲\,cm) \times (۳\,cm) = (۳ \times ۲ \times ۵)(cm \times cm \times cm) = ۳۰\,cm^۳$

ب) سطح هر وجه مکعب‌مستطیل از حاصل‌ضرب طول در عرض به‌دست می‌آید.

سطح مکعب‌مستطیل = طول × عرض = $(۳\,cm) \times (۲\,cm) = ۶\,cm^۲$

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

بعد طول = L
بعد عرض = L
بعد ارتفاع = L

حجم مکعب‌مستطیل = طول × عرض × ارتفاع $= L \times L \times L = L^۳$

سطح مکعب مستطیل = طول × عرض $\Rightarrow L \times L = L^۲$

د) $\frac{\text{حجم مکعب‌مستطیل}}{\text{سطح مکعب‌مستطیل}} = \frac{۳۰\,cm^۳}{۶\,cm^۲} = ۵\,cm$

نکته ۲

۱: در مثال ۴ 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 می‌شوند.

مثال ۵) بعد کمیت فرعی سرعت، را تعیین کنید.

پاسخ: برای تعیین کمیت‌های فرعی، ابتدا باید فرمول آن کمیت را نوشت، سپس بعد کمیت‌های استفاده‌شده را مشخص و در پایان بعد کمیت فرعی را تعیین کرد. سرعت یک متحرک از تقسیم مسافت طی‌شده بر زمان به‌دست می‌آید.

* بنابراین بعد سرعت عبارت است از:

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

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

سرعت $= \frac{L}{T} = LT^{-1}$

تمرین ۳

۱: بعد کمیت‌های شتاب و نیرو را تعیین کنید.
۲: یکای کمیت‌های فرعی سرعت، شتاب و نیرو را در دستگاه SI (متریک) تعیین کنید.
۳: یکای کمیت‌های فرعی سرعت، شتاب و نیرو را در دستگاه یکای انگلیسی به دست آورید.
۴: یکای کمیت‌های انرژی جنبشی و انرژی پتانسیل را در دو دستگاه یکای SI (متریک) و انگلیسی به‌دست آورید. فرمول‌های مربوط عبارت‌اند از:

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

انرژی پتانسیل = (جرم) (شتاب) (ارتفاع)

۵: بعد انرژی جنبشی و انرژی پتانسیل را تعیین کنید.

۵-۱- تبدیل یکاها

بحث گروهی ۲

چگونه می‌توان حاصل عملیات زیر را به دست آورد؟

الف) سه متر + بیست سانتی‌متر **ب) دوکیلوگرم + صدگرم**

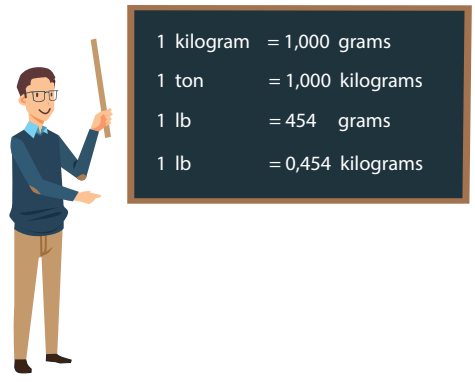
برای تعیین حاصل‌جمع مثال الف و ب چه راه‌هایی به ذهنتان می‌رسد؟

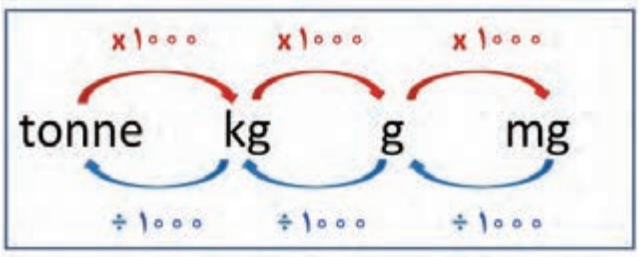
برای تبدیل یکاهای یک کمیت اصلی یا فرعی می‌بایست از ضرایب تبدیل[1] آن کمیت‌ها استفاده کرد. در جدول ۳-۱، نمونه‌ای از ضرایب تبدیل برای کمیت‌های اصلی ارائه شده‌است.

جدول ۳-۱- ضرایب تبدیل

کمیت	ضرایب تبدیل
طول	۱ m = ۱۰۰ cm ۱ ft = ۰/۳۰۴۸ m ۱ ft = ۳۰/۴۸ cm ۱ ft = ۱۲ in ۱ in = ۲/۵۴ cm
جرم	۱ kg = ۱۰۰۰ g ۱ lb = ۴۵۴ g ۱ lb = ۰/۴۵۴ kg
زمان	۱ h = ۶۰ min ۱ h = ۳۶۰۰ s ۱ min = ۶۰ s

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





۱- Conversion Factor

مثال ۶) جرم جسمی ۲۵ کیلوگرم است، جرم این جسم را بر حسب یکاهای گرم و پوند به‌دست آورید.

پاسخ: در ابتدا بایست ضرایب تبدیل مناسب را پیدا کرد.

با توجه به ضرایب تبدیل برای جرم:

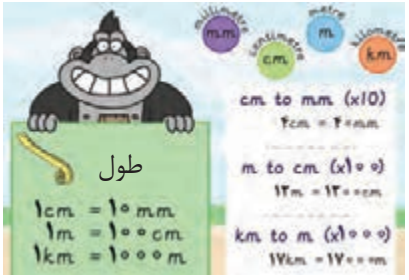
$$۱\,lb = ۰/۴۵۴\,kg$$

$$۱\,kg = ۱۰۰۰\,g$$

$$\text{جرم جسم} = ۲۵\,kg \times \frac{۱۰۰۰\,g}{۱\,kg} = ۲۵۰۰۰\,g$$

$$\text{جرم جسم} = ۲۵\,kg \times \frac{۱\,lb}{۰/۴۵۴\,kg} = ۵۵/۰۶\,lb$$

مثال ۷) فاصلهٔ شهر تهران تا قم، ۱۳۰ کیلومتر است، این فاصله را برحسب یکاهای متر و فوت به دست آورید.



پاسخ: با توجه به ضرایب تبدیل طول:

(۱ km =۱۰۰۰ m) یک کیلومتر = ۱۰۰۰ متر

(۱ ft =۰/۳۰۴۸ m) یک فوت = ۰/۳۰۴۸ متر

الف) فاصلهٔ تهران تا قم :

$$\text{فاصله تهران قم} = ۱۳۰\,km \times \frac{۱۰۰۰\,m}{۱\,km} = ۱۳۰۰۰۰\,m$$

ب)

$$\text{فاصله تهران قم} = ۱۳۰\,km \times \frac{۱۰۰۰\,m}{۱\,km} \times \frac{۱\,ft}{۰/۳۰۴۸\,m} = ۴۲۶۵۰۹/۱۸۶\,ft$$

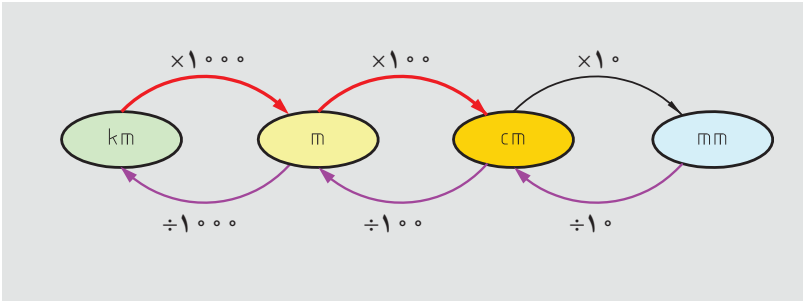
مثال ۸) خودرویی با سرعت ۱۰۰ کیلومتر بر ساعت در حال حرکت است. سرعت این خودرو را بر حسب متر بر دقیقه به دست آورید.

پ) ضرایب تبدیل لازم:

۱ km =۱۰۰۰ m

۱ h =۶۰ min

$$\text{سرعت خودرو} = ۱۰۰\frac{km}{h} \times \frac{۱۰۰۰\,m}{۱\,km} \times \frac{۱\,h}{۶۰\,min} = ۱۶۶۶/۶\,\frac{m}{min}$$



تمرین ۴

۱: سرعت خودرو را در مثال ۸ بر حسب فوت بر ساعت و اینچ بر دقیقه حساب کنید.

۲: هواپیمایی با سرعت $۵۰۰\frac{ft}{s}$ در حال حرکت است، سرعت این هواپیما را برحسب $\frac{ft}{h}$ و $\frac{km}{h}$ به‌دست آورید.

مثال ۹) حجم یک مخزن ۵ لیتر است، حجم این مخزن را بر حسب سانتی‌مترمکعب به‌دست آورید.

پاسخ: ضریب تبدیل مناسب:

$$۱ \text{ لیتر} = ۱۰۰۰ \text{ mL} = ۱۰۰۰ \text{ cm}^۳$$

$$\text{حجم مخزن} = ۵\text{L} \times \frac{۱۰۰۰\text{cm}^۳}{۱\text{L}} = ۵۰۰۰\text{cm}^۳$$

مثال ۱۰) حجم یک بشر $۱۰۰۰\text{cm}^۳$ است، حجم آن را بر حسب مترمکعب به‌دست آورید.

پاسخ: ضریب تبدیل مناسب:

$$۱\text{ m} = ۱۰۰\text{ cm}$$

$$\text{حجم بشر} = ۱۰۰۰\text{cm}^۳ \times \left(\frac{۱\text{m}}{۱۰۰\text{cm}}\right)^۳ = ۱۰۰۰\text{cm}^۳ \times \frac{۱\text{m}^۳}{۱۰۰۰۰۰۰\text{cm}^۳} = ۰/۰۰۱\text{ m}^۳$$

نکته ۳

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

تمرین ۵

به وسیله یک لوله روزانه $۴\text{m}^۳$ آب به داخل یک مخزن ریخته می‌شود، محاسبه کنید در هر دقیقه چند سانتی‌مترمکعب آب داخل مخزن ریخته می‌شود؟

انجام دادن محاسبات در صنایع شیمیایی اهمیّت خاصی دارد. در این قسمت شیوهٔ تبدیل یکاها در کمیت‌های متداول صنایع شیمیایی ارائه می‌شود.

مقدار ماده (مول)

یکاهای اصلی مول عبارت‌اند از: گرم‌مول (gmol)، پوندمول (lbmol) و کیلومول (kmol) و کیلوگرم مول (kgmol)
ضرایب تبدیل مولی عبارت‌اند از:

۱ kmol = ۱۰۰۰ mol
۱ kgmol = ۱۰۰۰ gmol
۱ lbmol = ۴۵۴ gmol
۱ lbmol = ۰/۴۵۴ kgmol

نکته ۴

چنانچه کلمهٔ مول به تنهایی به‌کار رود، منظور گرم‌مول است.

با توجه به تعریف جرم مولکولی می‌توان یکاهای زیر را در دستگاه‌های مختلف برای آن بیان کرد:

دستگاه SI : $\frac{kg}{kmol}$ دستگاه CGS : $\frac{g}{gmol}$

دستگاه انگلیسی: $\frac{lb}{lbmol}$

نکته ۵

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

مثال ۱۱) جرم اتمی مس $۶۴\frac{g}{gmol}$ است، جرم اتمی آن‌را بر حسب $\frac{kg}{kmol}$ و $\frac{lb}{lbmol}$ به دست آورید.

جواب) با استفاده از ضرایب تبدیل و روش نردبانی:

$$\text{جرم اتمی مس} = ۶۴\frac{g}{gmol}\times\frac{۱\,kg}{۱۰۰۰\,g}\times\frac{۱۰۰۰\,gmol}{۱\,kmol}=۶۴\frac{kg}{kmol}$$

$$\text{جرم اتمی مس} = ۶۴\frac{g}{gmol}\times\frac{۱\,lb}{۴۵۴\,g}\times\frac{۴۵۴\,gmol}{۱\,lbmol}=۶۴\frac{lb}{lbmol}$$

نکته ۶

مقدار عددی جرم اتمی یا جرم مولکولی مواد در دستگاه یکاهای مختلف، یکسان است.

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

$$\text{کسر جرمی ماده A} = x_A = \frac{\text{جرم ماده A}}{\text{جرم کل مخلوط}} = \frac{m_A}{m_t} \qquad (۱-۱)$$

در معادلهٔ (۱-۱)، زیروند t اشاره به total یعنی کل است.

کسر مولی (جزء مولی): اگر مخلوطی از مواد وجود داشته باشد که A یکی از اجزای 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.

$$\text{کسر مولی مادهٔ A} = y_A = \frac{\text{مول ماده A}}{\text{مول کل مخلوط}} = \frac{N_A}{N_t} \qquad (۱-۲)$$

کسر حجمی (جزء حجمی): در مخلوطی از مواد اگر A یکی از اجزای تشکیل‌دهنده 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.

$$\text{کسر حجمی مادهٔ A} = V_A = \frac{\text{حجم ماده A}}{\text{حجم کل مخلوط}} = \frac{V_A}{V_t} \qquad (۱-۳)$$

نکته ۷

مجموع کسرهای جرمی (مولی) یا (حجمی) اجزای تشکیل‌دهنده یک مخلوط همواره برابر با یک است.

$$\sum x_i = ۱ \quad \text{و} \quad X_A + X_B + X_C + \ldots = ۱ \qquad (۱-۴)$$

$$\sum y_i = ۱ \quad \text{و} \quad Y_A + Y_B + Y_C + \ldots = ۱ \qquad (۱-۵)$$

$$\sum v_i = ۱ \quad \text{و} \quad V_A + V_B + V_C + \ldots = ۱ \qquad (۱-۶)$$

در این معادله‌ها A، B، C و ... اجزای تشکیل‌دهنده مخلوط (یا محلول) هستند.

نکته ۸

درصدهـای جرمـی (مولـی یا حجمـی) اجزای تشـکیل‌دهنده یـک مخلـوط از حاصل‌ضرب کسـرهای جرمی (مولـی یـا حجمـی) در عـدد ۱۰۰ به‌دسـت می‌آید.

جـرم (مـول، حجـم) یـک جـزء در مخلـوط، از حاصل ضرب کسـر جرمـی (مولی، حجمـی) همان جـزء در جرم کل (مـول کل، حجـم کل) مخلـوط به‌دسـت می‌آید.

نکته ۹

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

۶-۱- تجزیه و تحلیل مخلوط‌ها

اگر مخلوطی (یا محلولی) از مواد در فاز مایع، جامد یا گاز وجود داشته باشد، تعیین درصدهای جرمی (مولی یا حجمی) اجزای تشکیل‌دهندهٔ مخلوط را تجزیه و تحلیل (آنالیز[1]) آن مخلوط می‌نامند.

مثـال ۱۲) یـک محلـول شـیمیایی تمیزکننـده شـامل ۵ کیلوگـرم آب و ۵ کیلوگـرم سدیم‌هیدروکسـید اسـت. درصدهـای جرمـی و مولـی ایـن محلـول را تعییـن کنید.

پاسـخ: بـرای تعییـن درصدهـای جرمـی و مولـی ایـن محلـول کافـی اسـت، کسـرهای جرمـی و مولـی اجزای محلـول را به‌دسـت آوریـد و سـپس هـر کـدام را در عـدد ۱۰۰ ضـرب کنیـد.

اطلاعات لازم:

$$M_{w\,H_2O} = 18\frac{kg}{kmol}$$

$$M_{w\,NaOH} = 40\frac{kg}{kmol}$$

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

الف) تجزیه و تحلیل جرمی:

$$\text{کسر جرمی آب} = \frac{\text{جرم آب}}{\text{جرم کل}} = \frac{5\,kg}{10\,kg} = 0/5$$

$$\text{درصد جرمی آب} = \text{کسر جرمی آب} \times 100 = 0/5 \times 100 = 50$$

$$\text{کسر جرمی سدیم‌هیدروکسید} = \frac{\text{جرم سدیم‌هیدروکسید}}{\text{جرم کل}} = \frac{5\,kg}{10\,kg} = 0/5$$

$$\text{درصد جرم سدیم‌هیدروکسید} = \text{کسر جرمی سدیم هیدروکسید} \times 100 = 0/5 \times 100 = 50$$

۱- Analyses

٪۱۰۰ = ٪۵۰ + ٪۵۰ = درصد جرمی سدیم هیدروکسید + درصد جرمی آب

ب) بـرای تعییـن کسـر مولـی اجـزا، در ابتدا بایـد تعداد مول هر کـدام را به‌دسـت آورد. با توجه بـه تعریف تعداد گرم مول:

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

$$\text{تعداد مول آب} = n_{H_2O} = \frac{m_{H_2O}}{Mw_{H_2O}} = \frac{۵}{۱۸} = ۰/۲۷ \text{ kmol}$$

$$\text{تعداد مول سدیم‌هیدروکسید} = n_{NaoH} = \frac{m_{NaOH}}{Mw_{NaOH}} = \frac{۵}{۴۰} = ۰/۱۲۵ \text{ kmol}$$

$$\text{تعداد مول کل} = n_t = n_{H_2O} + n_{NaOH} = ۰/۲۷ + ۰/۱۲۵ = ۰/۳۹۵ \text{ mol}$$

$$\text{کسر مولی آب} = y_{H_2O} = \frac{n_{H_2O}}{n_t} = \frac{۰/۲۷}{۰/۳۹۵} = ۰/۶۸$$

$$\text{کسر مولی سدیم‌هیدروکسید} = y_{NaOH} = \frac{n_{NaOH}}{n_t} = \frac{۰/۱۲۵}{۰/۳۹۵} = ۰/۳۲$$

مجموع کسرهای (درصدهای) جرمی و یا مولی اجزای تمیزکنندهٔ شیمیایی برابر با یک (صد) است.

درصد مولی آب = کسر مولی آب × ۱۰۰ = ۰/۶۸ × ۱۰۰ = ۶۸

درصد مولی سدیم‌هیدروکسید = کسر مولی سدیم هیدروکسید × ۱۰۰ = ۰/۳۲ × ۱۰۰ = ۳۲

نتایج محاسبات در جدول زیر خلاصه شده‌است.

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

مثـال ۱۳) هـوا مخلوطـی از گازهـای نیتروژن و اکسـیژن اسـت، اگر مقـدار نیتروژن و اکسـیژن موجـود در هوا بـه ترتیـب ۱۵۸ گرم‌مـول و ۴۲ گرم‌مـول باشـد، تجزیـه و تحلیـل مولـی و جرمـی هوا را انجـام دهید.

پاسخ: برای تعیین درصد مولی و درصد جرمی اجزای هوا، ابتدا باید جرم و مول اجزای آن را تعیین کرد.

اطلاعات مسئله:

$$M_{wO_2} = ۳۲ \frac{g}{gmole}$$

$$M_{wN_2} = 28 \frac{g}{gmole}$$

الف) تجزیه و تحلیل مولی اجزای هوا:

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

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

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

درصد مولی اکسیژن $=$ کسر مولی اکسیژن $\times 100 = 0/21 \times 100 = 21$

درصد مولی نیتروژن $=$ کسر مولی نیتروژن $\times 100 = 0/79 \times 100 = 79$

ب) تجزیه و تحلیل جرمی اجزای هوا: برای تجزیه و تحلیل جرمی اجزا، در ابتدا باید جرم هر جز را به‌دست آورد؛ بدین منظور با توجه به تعریف جرم مولکولی، برای تعیین جرم کافی است تعداد گرم‌مول را در جرم مولکولی ضرب کرد.

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

$$M_{wO_2} = 32 \frac{g}{gmole}$$

$$M_{wN_2} = 28 \frac{g}{gmole}$$

جرم اکسیژن $= m_{O_2} = Mw_{O_2} \times n_{O_2} = 32 \times 42 = 1344\,g$

جرم نیتروژن $= m_{N_2} = Mw_{N_2} \times n_{N_2} = 28 \times 158 = 4424\,g$

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

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

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

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

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

نتایج محاسبات در جدول زیر خلاصه 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

بـر اسـاس تعریـف جـرم مولکولـی، جـرم مولکولـی یک مخلوط از تقسـیمِ جـرم کل بـر تعداد مـول کل مخلوط به‌دسـت می‌آیـد.

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

عـلاوه بـر معادلـهٔ اصلـی جـرم مولکولی، می‌تـوان بـرای تعیین جـرم مولکولی یک مخلـوط با توجه بـه معلوم بـودن کسـرهای جرمـی یا مولی اجزای تشـکیل‌دهنده مخلـوط از معادله‌هـای ۷- ۱ و۸ -۱ اسـتفاده کرد.

(۱-۷)

$$Mw_{\text{مخلوط}} = \sum_{i=1}^{n}(Mw_i\, y_i) = Mw_1\, y_1 + Mw_2\, y_2 + \ldots + Mw_n\, y_n$$

(۱-۸)

$$\frac{1}{Mw} = \sum_{i=1}^{n}\left(\frac{x_i}{Mw_i}\right) = \frac{x_1}{Mw_1} + \frac{x_2}{Mw_2} + \frac{x_3}{Mw_3} + \ldots + \frac{x_n}{Mw_n}$$

i = تعداد اجزای تشکیل‌دهندهٔ مخلوط

Mwi = جرم مولکولی هر ماده در مخلوط

yi = کسر مولی هر ماده در مخلوط

xi = کسر جرمی هر ماده در مخلوط

مثال ۱۴) 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 معادلهٔ ۷-۱ می‌توان استفاده کرد، ولی در ابتدا باید جرم مولکولی و کسر مولی هر جزء در این مخلوط تعیین شود.

یادآوری: کسر مولی از تقسیمِ درصد مولی بر عدد ۱۰۰ به‌دست می‌آید.

مواد	درصد مولی	کسر مولی (Y)	جرم مولکولی (Mw)
CH_4	۲۰	$\frac{۲۰}{۱۰۰}=۰/۲$	۱۶
C_2H_6	۵۰	$\frac{۵۰}{۱۰۰}=۰/۵$	۳۰
C_3H_8	۳۰	$\frac{۳۰}{۱۰۰}=۰/۳$	۴۴
جمع	۱۰۰	۱/۰	

$$Mw_{\text{مخلوط}} = Mw_{CH_4}.y_{CH_4} + Mw_{C_2H_6}.y_{C_2H_6} + Mw_{C_3H_8}.yC_3H_8$$
$$= ۱۶\times ۰/۲ + ۳۰\times ۰/۵ + ۴۴\times ۰/۳$$
$$= ۳/۲ + ۱۵ + ۱۳/۲ = ۳۱/۴$$

تمرین ۶

۱: محلولی حاوی ۲۰ درصد مولی آب و ۸۰ درصد مولی سدیم‌هیدروکسید (NaOH) است، جرم مولکولی این محلول را محاسبه کنید.

۲: هوا شامل ۲۱ درصد مولی اکسیژن (O_2) و ۷۹ درصد مولی نیتروژن (N_2) است. جرم مولکولی متوسط هوا را به‌دست آورید.

مثـال۱۵) در یـک فراینـد شـیمیایی از اتانـول بـا خلـوص ۸۰ درصـد جرمی اسـتفاده می‌شـود. جـرم مولکولی ایـن محلـول را بـه دسـت آورید.

پاسـخ) بـا توجـه بـه درصد خلـوص اتانـول، این محلـول حـاوی ۸۰ درصـد جرمی اتانـول و ۲۰ درصـد جرمی آب اسـت؛ لـذا بـرای تعییـن جـرم مولکولـی از معادلـهٔ ۸-۱ می‌تـوان اسـتفاده کرد ولـی در ابتدا کسـر جرمی و مولکولـی هرجزء باید محاسـبه شـود.

نام ماده	Mw	درصد جرمی	کسرجرمی(=)
اتانول (C_2H_5OH)	۴۶	۸۰	$\frac{۸۰}{۱۰۰}=۰/۸$
H_2O	۱۸	۲۰	$\frac{۲۰}{۱۰۰}=۰/۲$
جمع		۱۰۰	۱/۰

$$\frac{۱}{Mw}=\sum\frac{x_i}{Mw_i}=\frac{x_{\text{آب}}}{Mw_{\text{آب}}}+\frac{x_{\text{اتانول}}}{Mw_{\text{اتانول}}}$$

$$\frac{۱}{Mw_{\text{مخلوط}}}=\frac{۰/۲}{۱۸}+\frac{۰/۸}{۴۶}=۰/۰۱۱+۰/۰۱۷=۰/۰۲۸$$

$$\frac{۱}{Mw_{\text{مخلوط}}}=۰/۰۲۸\rightarrow Mw_{\text{مخلوط}}=\frac{۱}{۰/۰۲۸}=۳۵/۷۱$$

تمرین ۷

درصدهـای مولـی اجـزای گاز خروجـی یک دودکـش در یک کارخانـهٔ صنایع شـیمیایی در جـدول زیر آورده شـده اسـت، جـرم مولکولی ایـن گاز را محاسـبه کنید.

گازهای دودکش	درصد مولی
کربن‌منوکسید (CO)	۵
کربن‌دی‌اکسید (CO_2)	۱۵
گوگرد دی‌اکسید (SO_2)	۵
بخار آب (H_2O)	۴۰
اکسیژن (O_2)	۶
نیتروژن‌منوکسید (NO)	۵
نیتروژن (N_2)	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 می‌شود؛ 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:

$$\text{کسر جرمی گوگرد در گازوئیل} = x_{\text{گوگرد}} = \frac{\text{جرم گوگرد}}{\text{جرم گازوئیل}} = \frac{۱۰}{۱۰^{۶}} = ۰/۰۰۰۰۱$$

درصد جرمی گوگرد = کسر جرمی گوگرد × ۱۰۰ = ۰/۰۰۰۰۱ × ۱۰۰ = ۰/۰۰۱

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

تمرین ۸

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.

مثال ۱۶) میزان مجاز ترکیبات گوگردی در نفت خام ۵۰۰ ppm است. در یک محمولهٔ نفتی با جرم ۴۲۰۰۰۰ کیلوگرم، مقدار ۱۰۰ کیلوگرم گوگرد وجود دارد. آیا مقدار گوگرد این محمولهٔ نفتی در حد مجاز است؟

پاسخ) با توجه به تعریف ppm، باید تعیین کرد که در ۱,۰۰۰,۰۰۰ کیلوگرم نفت خام، چند کیلوگرم گوگرد وجود دارد، لذا با یک تناسب ساده می‌توان آن را محاسبه کرد.

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

$$\frac{۴۲۰۰۰۰}{۱۰۰۰۰۰۰} = \frac{۱۰۰}{x} \rightarrow x = \frac{۱۰۰ \times ۱۰۰۰۰۰۰}{۴۲۰۰۰۰} = ۲۳۸ \text{ ppm}$$

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

تمرین ۹

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

تمرین ۱۰

میزان مجاز یک مادهٔ سمّی در پساب یک کارخانهٔ شیمیایی ppm ۰/۰۱ است. اگر ۵۰۰ هزار کیلوگرم از این پساب وارد رودخانه شده‌باشد،

الف) چند کیلوگرم از این مادهٔ سمّی وارد رودخانه شده است؟

ب) چند پوند از این ماده سمّی 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 یکاهای غلظت عبارت‌اند از:

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

استفاده از غلظت در مباحث آلودگی هوا بسیار رایج است؛ مثلاً میزان غلظت مجاز گاز so_2 در هوا $6\ \frac{mg}{m^3}$ است، یعنی در هر یک متر مکعب از هوا حداکثر می‌بایست ۶ میلی‌گرم (۰/۰۰۶ گرم) گاز so_2 وجود داشته باشد.

تمرین ۱۱

بیشترین مقدار مواد اسیدی‌کننده در آب لیمو، شربت هلو، گلابی و سیب (طبق استاندارد ملی ایران به شمارهٔ ۲۶۱۳)، ppm ۵۰۰ است، اگر هدف تولید ۱۵۰۰۰ کیلوگرم شربت هلو باشد، مقدار مجاز مواد اسیدی‌کننده آن چند کیلوگرم است؟

تمرین ۱۲

بیشترین مقدار مواد اکسیدکننده (آزودی‌کربنامید) در تهیهٔ آرد، برای انواع شیرینی و کیک ppm ۴۵ است (مطابق با استاندارد ملی ایران به شمارهٔ 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 ۱۷ بیشترین مقدار استفاده از مادهٔ شیرین‌کنندهٔ آسپارتام ($C_{14}H_{18}N_2O_5$) در تهیهٔ آدامس ppm ۲۵۰۰ است، در یک کارخانه برای تولید ۴۰۰۰ کیلوگرم آدامس، حداکثر از چند کیلوگرم آسپارتام باید استفاده کرد؟

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

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

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

بنابراین میزان مجاز آسپارتام در ۴۰۰۰ کیلوگرم آدامس، تا 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، درجهٔ سلسیوس است که به نام اخترشناس سوئدی آندره سلسیوس نام‌گذاری شد و بخشی از دستگاه بین‌المللی یکاها است. مبنای این مقیاس تخصیص دقیق صفر درجه برای دمای انجماد آب و صد درجه برای دمای جوش آب در فشار یک اتمسفر است.

یکاهای دما در دو دستگاه بین‌المللی و انگلیسی یکاها عبارت‌اند از:

الف) دستگاه SI، سلسیوس ($^\circ C$)؛

ب) دستگاه انگلیسی، فارنهایت ($^\circ F$).

معادلهٔ دو یکای دما با معادلهٔ (۹-۱) بیان می‌شود.

$$T(^\circ F) = T(^\circ C) \times ۱/۸ + ۳۲ \qquad (۹-۱)$$

مثال ۱۸) دمای بدن یک انسان سالم حدود ۳۷ درجهٔ سلسیوس است، این دما را بر حسب درجهٔ فارنهایت به‌دست آورید.

پاسخ:

$$T(^\circ F) = ۳۷ \times ۱/۸ + ۳۲ = ۹۸/۶\ ^\circ F$$

فشار

فشار یک کمیت فرعی است و نیرویی است که به طور عمود بر واحد سطح وارد می‌شود و آن را با نماد P نشان می‌دهند. در دستگاه یکاهای (SI)، فشار را با واحد پاسکال معرفی می‌کنند. یک پاسکال فشاری است که نیروی یک نیوتنی به‌طور عمود بر سطح یک متر مربع وارد می‌کند.

$$\text{فشار} = \frac{\text{نیروی عمودی}}{\text{سطح}} \rightarrow P = \frac{F}{A} \qquad (۱۰-۱)$$

P = فشار ، F = نیرو ، A = سطح

مثال ۱۹) با توجه به یکاهای کمیت‌های موجود در معادلهٔ (۱۰-۱)، یکای فشار و بعد آن را در دستگاه واحدها (SI) محاسبه کنید.

پاسخ:

$$\text{نیرو } F = m.a = m\frac{v}{t} = \frac{kg.\frac{m}{s}}{s} = \frac{kg.m}{s^۲}$$

$$\text{سطح } A = m^۲$$

$$\text{فشار } P = \frac{F}{A} = \frac{\frac{kg.m}{s^۲}}{m^۲} = \frac{kg}{m.s^۲}$$

بنابراین بعد فشار عبارت است از:

$$\frac{M}{L.T^۲} = ML^{-۱}T^{-۲}$$

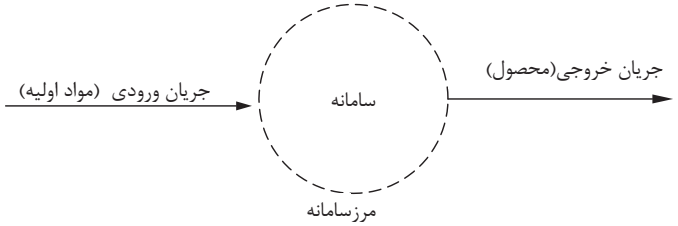
۷-۱- قانون بقای جرم

با توجه به جایگاه ویژهٔ موازنهٔ جرم در صنایع شیمیایی و ارتباط عمیق آن با سایر دروس تخصصی رشتهٔ صنایع شیمیایی، یادگیری این قسمت ضروری است.

سرآغاز شیمی جدید، آزمایش‌های دانشمند فرانسوی آنتوان لاوازیه است. مطابق با آزمایش‌های او، مجموعهٔ 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.

سامانه (سیستم[۱]) و فرایند[۲]

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



شکل ۱-۱: نمونه‌ای از یک سامانه

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

اگر در یک سامانه واکنش شیمیایی اتفاق بیفتد، موادی به‌عنوان مواد اولیه مصرف می‌شوند و موادی هم به‌عنوان محصول تولید می‌شوند؛ ولی اگر در آن واکنش شیمیایی رخ ندهد، مانند خشک شدن کاغذ در کارخانجات کاغذسازی، ماده‌ای مصرف و ماده‌ای تولید نمی‌شود. در عمل خشک شدن رطوبت کاغذ کم می‌شود، ولی در مقابل در کارخانه‌های تولید نقره‌کلرید، هم سدیم‌کلرید ($NaCl$) و هم نقره‌نیترات ($AgNO_3$) مصرف می‌شوند، و مطابق واکنش شیمیایی زیر نقره‌کلرید ($AgCl$) و سدیم‌نیترات ($NaNO_3$) تولید می‌شود.

$$AgNO_3 + NaCl \longrightarrow AgCl + NaNO_3$$

انواع سامانه

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

۱-System
۲-Process

مـدام ترمـز می‌کنـد و متوقـف می‌شـود و سـپس دوبـاره شـروع بـه حرکـت می‌کنـد. در ایـن حالـت سـرعت به‌طـور پیوسـته کـم و زیـاد می‌شـود و مصـرف بنزیـن متناسـب بـا سـرعت تغییـر می‌کنـد؛ لـذا ایـن عملیـات یکنواخـت نیسـت و میـزان سـرعت و مصـرف بنزیـن بـا گذشـت زمـان تغییر می‌کنـد. ولـی وقتی خـودرو وارد بزرگـراه می‌شـود و در خط مشـخصی از سـرعت قرار می‌گیرد و سـرعت خـود را روی یک عدد مشـخص تنظیم می‌کنـد تـا مدتـی در همـان حالـت باقی می‌مانـد بدون اینکـه ترمز کنـد و یا سـرعتش را افزایش دهـد؛ لذا در ایـن حالـت ایـن عملیـات یکنواخـت اسـت و میزان مصـرف بنزین و سـرعت ماشـین ثابت خواهـد بود .

ب) سـامانه ناپایـدار: در ایـن سـامانه متغیرهـا با گذشـت زمان ثابـت نمی‌ماننـد و تغییرات آن با گذشـت زمان صفر نیسـت.

معمـولاً تغییـرات یـک متغیـر در یک سـامانه را تجمـع می‌نامند؛ لـذا برای سـامانه‌های پایدار تجمع صفر اسـت و بـرای سـامانه‌های ناپایدار تجمع صفر نیسـت.

مثـال ۲۰) هنرسـتانی را بـا ۲۵۰ هنرجـو در نظـر بگیریـد، در این هنرسـتان سـاعت کلاس‌ها طوری اسـت که طبـق جـدول زیـر هنرجویـان وارد و خارج می‌شـوند، حال اگر هنرسـتان را یک سـامانه در نظـر بگیرید و تعداد هنرجویـان را متغیـر، در چـه روزهایـی این سـامانه پایـدار و چه مواقعی ناپایدار اسـت؟

روز	ساعت ورودی ۸	ساعت ورودی ۱۰		ساعت خروج ۱۴	ساعت خروج ۱۶
شنبه	۲۵۰	–	–	۲۵۰	–
یکشنبه	۲۵۰	–	–	۲۱۰	۴۰
دوشنبه	۲۵۰	–	–	۲۵۰	–
سه شنبه	۱۰۰	۱۵۰	–	–	۲۵۰
چهارشنبه	–	۲۵۰	–	–	۲۵۰

پاسخ:

در روز شـنبه بیـن سـاعت ۸ و سـاعت چهـارده تعـداد هنرجویـان (متغیـر) بـا گذشـت زمـان تغییـر نمی‌کنـد؛ بنابرایـن سـامانه پایدار اسـت.

در روز یکشـنبه بیـن سـاعت ۸ تـا سـاعت شـانزده تعـداد هنرجویـان حاضر در مدرسـه بـا زمان تغییـر می‌کند بنابراین سـامانه ناپایداراسـت.

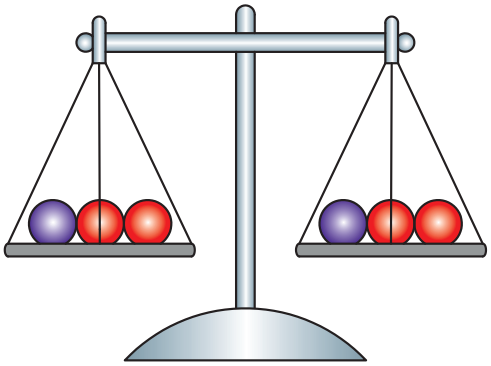
بحث کنید ۱

در بقیهٔ روزهای هفته پایدار یا ناپایدار بودن هنرستان را بررسی کنید.

تمرین ۱۳

با دو مثال سادهٔ دیگر، سامانهٔ پایدار و ناپایدار را توضیح دهید.

۸ـ۱ـ موازنه مواد



مطابـق با قانـون بقای جـرم، مجموع کل جـرم موجود در جهـان ثابـت اسـت، پـس در سـامانه (شـکل ۱-۱) همـواره جـرم کل ورودی برابـر بـا جـرم کل خروجـی است.

(۱-۱۱) جرم کل خروجی= جرم کل ورودی

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

جرم ماده A تجمع‌یافته = جرم ماده A مصرفی - جرم مادهٔ A تولیدی + جرم مادهٔ A خروجی - جرم ماده A ورودی

موازنهٔ مواد برای سامانه‌های بدون واکنش شیمیایی

اگـر در سـامانه‌ای، واکنـش شـیمیایی اتفـاق نیفتد، جـرم مادهٔ A مصرفـی و جرم مـادهٔ A تولیدی صفر اسـت، لذا:

(۱-۱۲) جرم ماده A تجمع‌یافته= جرم مادهٔ A خروجی - جرم ماده A ورودی

نکته ۱۰

اگر سامانه پایدار باشد (تجمع صفر است) پس:

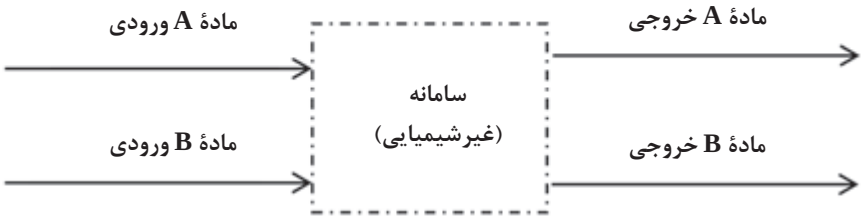
۰ = جرم مادهٔ A خروجی – جرم مادهٔ A ورودی

بنابراین: جرم مادهٔ A خروجی = جرم مادهٔ A ورودی

تمرین ۱۴

تفاوت معادله‌های (۱-۱۱) و (۱-۱۲) در چیست؟

مثـال ۲۱) بـرای سـامانه پایـدار مطابـق با شـکل ۲-۱ کـه فقـط فراینـد فیزیکـی (غیرشـیمیایی) در آن اتفاق می‌افتـد، موازنه‌هـای قابـل قبـول را بنویسـید.



شکل ۲ـ۱

پاسخ: سامانه بدون واکنش شیمیایی پایدار است، و موازنه‌های زیر صادق است:

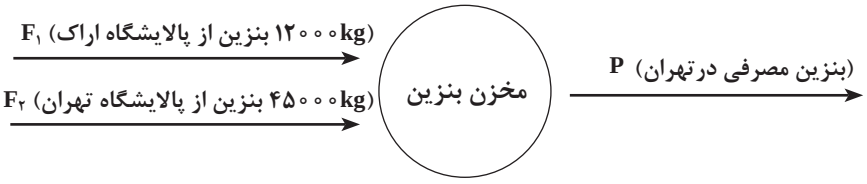
۱) جرم کل خروجی = جرم کل ورودی

۲) جرم A خروجی = جرم A ورودی

۳) جرم B خروجی = جرم B ورودی

مثـال ۲۲) بنزیـن مصرفی خودروهای شـهر تهـران از دو پالایشـگاه تهران و اراک تأمین می‌شـود. از پالایشـگاه اراک روزانـه ۱۲۰۰۰ کیلوگـرم بنزیـن و از پالایشـگاه تهـران روزانـه ۴۵۰۰۰ کیلوگـرم بنزین وارد شـهر تهران می‌شـود، معیـن کنیـد در یـک روز چنـد کیلوگـرم بنزین مصرف می‌شـود؟

پاسـخ) در ایـن مثـال مخلـوط شـدن دو جریـان بنزیـن مطـرح اسـت کـه در عمـل مخلـوط کـردن، واکنـش شـیمیایی وجـود نـدارد و سـامانه پایـدار اسـت.



موازنه جرم به دور سامانه عبارت است از:

جرم کل خروجی از سامانه = جرم کل ورودی به سامانه

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

بنابراین:

جرم کل ورودی به سامانه = $F_۱ + F_۲ = ۱۲۰۰۰ + ۴۵۰۰۰ = ۵۷۰۰۰$ kg

P = بنزین مصرفی در شهر تهران = جرم کل خروجی از سامانه

مطابق با موازنهٔ جرم:

$F_۱ + F_۲ = P \rightarrow P = ۴۵۰۰۰ + ۱۲۰۰۰ = ۵۷۰۰۰$ kg

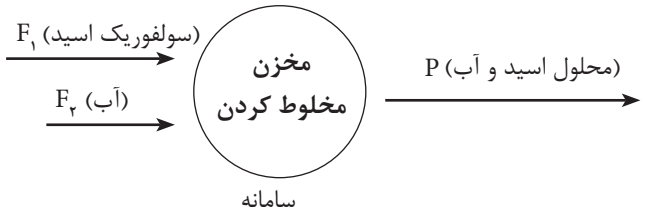
بنابراین میزان روزانهٔ بنزین ورودی و مصرفی در تهران ۵۷۰۰۰ کیلوگرم است.

مثـال ۲۳) جریانـی حـاوی آب خالـص بـا جـرم ۲۵ کیلوگـرم و جریانـی حـاوی سولفوریک‌اسـید بـا جـرم ۷۵ کیلوگـرم را در یـک مخـزن بـا هـم مخلـوط می‌کننـد. بـرای محصـول به‌دسـت‌آمده مطلـوب اسـت تعییـن:

الف) جرم محلول به‌دست‌آمده؛

ب) درصد جرمی اجزای محلول به‌دست‌آمده.

پاسخ) در این مثال هیچ واکنش شیمیایی اتفاق نمی‌افتد و سامانه پایدار است.



موازنهٔ کل جرم به دور سامانه عبارت است از:

جرم کل خروجی از سامانه = جرم کل ورودی به سامانه

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

$F_۱ + F_۲ = P$

جرم کل ورودی به مخزن $= F_۱ + F_۲ = ۷۵ + ۲۵ = ۱۰۰ \text{ kg}$

$P = ۱۰۰ \text{ kg}$

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

$$\text{کسر جرمی اسید در جریان P} = x_{\text{اسید}} = \frac{\text{جرم اسید در جریان P}}{\text{جرم کل P}} = \frac{۷۵}{۱۰۰} = ۰/۷۵$$

$$\text{کسر جرمی آب در جریان P} = x_{\text{آب}} = \frac{\text{جرم آب در جریان P}}{\text{جرم کل P}} = \frac{۲۵}{۱۰۰} = ۰/۲۵$$

$x_{\text{اسید}} + x_{\text{آب}} = ۰/۷۵ + ۰/۲۵ = ۱/۰$

درصد جرمی اسید در محلول $= ۰/۷۵ \times ۱۰۰ = ٪۷۵$

درصد جرمی آب در محلول $= ۰/۲۵ \times ۱۰۰ = ٪۲۵$

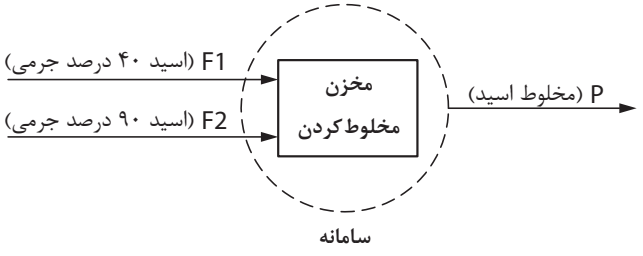
تمرین ۱۵

در یک پالایشگاه ۸۹,۰۰۰ کیلوگرم بنزین تولید شده‌است. معمولاً بنزین در پالایشگاه از دو واحد تبدیل کاتالیزگری و ایزومریزاسیون به‌دست می‌آید. اگر در این پالایشگاه از واحد تبدیل کاتالیزگری ۵۳۰۰۰ کیلوگرم بنزین تولید شده باشد، مقدار بنزین تولیدی در واحد ایزومریزاسیون چقدر است؟

مثال ۲۴) دو جریان حاوی سولفوریک‌اسید با جرم ۷۵ و ۱۵۰ کیلوگرم به ترتیب با خلوص ۴۰ درصد جرمی و ۹۰ درصد جرمی با هم مخلوط می‌شوند، مطلوب است مقدار:

الف) جرم مخلوط سولفوریک‌اسید؛

ب) خلوص مخلوط سولفوریک‌اسید.



پاسخ: موازنه کل به دور سامانه

جرم کل خروجی از سامانه = جرم کل ورودی به سامانه

جرم کل ورودی به سامانه = $F_1 + F_2$

جرم کل خروجی از سامانه = P ⟶ $F_1 + F_2 = P$

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

اطلاعات جریان F_1

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

اطلاعات جریان F_2

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

الف) موازنهٔ کلی:

$F_1 + F_2 = P$ $\quad\quad$ $P = ۷۵ + ۱۵۰ = ۲۲۵$ kg

ب) برای تعیین مقدار اجزای جریان ترکیبی (P)، می‌بایست موازنه اجزا را حول سامانه تعیین کرد.

موازنهٔ اسید به دور سامانه:

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

$۳۰ + ۱۳۵ = ۱۶۵$ kg

موازنهٔ آب به دور سامانه:

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

$۴۵ + ۱۵ = ۶۰$ kg

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

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

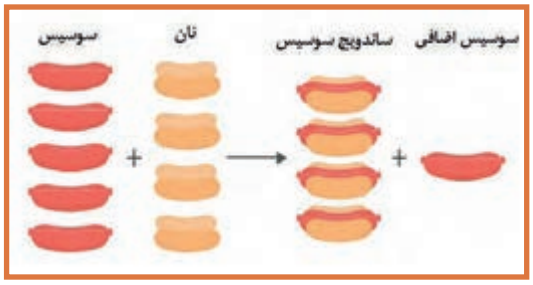
بنابراین خلوص اسید ترکیبی، ۷۳ درصد جرمی خواهد بود.

تمرین ۱۶

۱: برای تولید ۱۰۰۰ کیلوگرم سولفوریک‌اسید از دو جریان اسید که مقدار یکی از دو جریان ۶۵۰ کیلوگرم است، استفاده می‌شود، با استفاده از موازنهٔ مواد و رسم شکل مقدار جریان دیگر را تعیین کنید .

۲: برای تهیهٔ ۱۰۰ کیلوگرم سولفوریک‌اسید با خلوص ۸۰ درصد جرمی سولفوریک اسید و مابقی آب، از یک جریان سولفوریک‌اسید خالص و یک جریان آب استفاده می‌شود. با استفاده از موازنه مواد و رسم شکل، مقدار هردو جریان را تعیین کنید.

موازنهٔ مواد برای سامانه‌های دارای واکنش شیمیایی



برای سامانه‌ای که درون آن یک واکنش شیمیایی اتفاق می‌افتد و در حالت پایاست، موازنه‌های کلی و اجزا صادق است.

جرم کل مواد خروجی = جرم کل مواد ورودی

جرم مادهٔ A تجمع‌یافته = جرم مادهٔ A مصرفی – جرم مادهٔ A تولیدی + جرم مادهٔ A خروجی – جرم مادهٔ A ورودی

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

موازنه واکنش‌های شیمیایی:

پس از نوشتن فرمول واکنش، اگر تعداد اتم‌های مواد مشابه در دو طرف واکنش یکسان باشند، آن واکنش را موازنه‌شده می‌نامند. بنابراین در واکنش‌های موازنه‌شده:

تعداد اتم‌های هر ماده در ترکیب شونده‌ها = تعداد اتم‌های همان ماده در محصولات

مثال ۲۵) واکنش تولید آب ($H_۲ + O_۲ \rightarrow H_۲O$) را در نظر بگیرید، آیا این واکنش موازنه شده است؟ در غیر این صورت آن را موازنه کنید.

پاسخ) برای بررسی موازنه بودن یک واکنش باید تعداد اتم‌های هرماده را در ترکیب شونده‌ها و محصولات مقایسه کرد.

نام اتم	تعداد اتم‌ها در طرف اول (ترکیب‌شونده‌ها)	تعداد اتم‌ها در طرف دوم (محصولات)
H	۲	۲
O	۲	۱

پس این واکنش موازنه نیست، چون تعداد اتم اکسیژن در ترکیب‌شونده‌ها برابر با محصولات نیست، بنابراین اگر تعداد اتم‌های اکسیژن در ترکیب‌شونده‌ها نصف شود، این واکنش موازنه خواهد شد. یعنی:

$$H_۲ + \frac{۱}{۲}O_۲ \rightarrow H_۲O$$

نام اتم	تعداد اتم‌ها در طرف اول (ترکیب‌شونده‌ها)	تعداد اتم‌ها در طرف دوم (محصولات)
H	۲	۲
O	۱	۱

پس واکنش موازنه شده است:

$$H_۲ + \frac{۱}{۲}O_۲ \rightarrow H_۲O$$

مثال ۲۶) واکنش سوختن متان به صورت $CH_۴ + O_۲ \rightarrow CO_۲ + H_۲O$ است، این واکنش را موازنه کنید.

نام مواد	تعداد اتم‌ها در ترکیب‌شونده‌ها	تعداد اتم‌ها در محصولات
C	۱	۱
H	۴	۲
O	۲	۳

پاسخ) برای موازنه می‌بایست با استفاده از ضرایبی در ترکیب‌شونده‌ها و یا محصولات تعداد اتم‌های هر ماده، در دو طرف واکنش را یکسان کرد. حال برای سوختن متان چنین واکنشی نوشته می‌شود.

$$CH_۴ + ۲O_۲ \rightarrow CO_۲ + ۲H_۲O$$

با توجه به جدول تعداد اتم‌ها، می‌توان دریافت که این واکنش موازنه‌شده است.

جواب)

نام اتم	تعداد اتم‌ها در ترکیب‌شونده‌ها	تعداد اتم‌ها در محصولات
C	۱	۱
H	۴	۴
O	۴	۴

نکته ۱۱

پس از موازنه و تنظیم ضرایب، دوباره کنترل کنید که معادلهٔ واکنش موازنه باشد.

واکنش‌های زیر را موازنه کنید.

$$C_۲H_۴ + O_۲ \rightarrow CO_۲ + H_۲O$$
$$N_۲ + H_۲ \rightarrow NH_۳$$
$$C_۳H_۸ + O_۲ \rightarrow CO_۲ + H_۲O$$

مثال ۲۷) ۱۰۰ کیلوگرم کربن در یک کوره سوخته می‌شود، مطلوب است:

الف) میزان اکسیژن مصرفی؛

ب) میزان کربن دی‌اکسید تولیدی؛

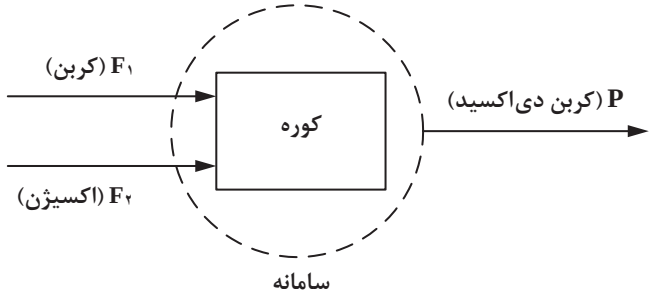
ج) موازنهٔ کلی جرم و موازنهٔ جرم هر یک از مواد.

$Mw(C) = ۱۲$ ، $Mw(O_۲) = ۳۲$ ، $Mw(CO_۲) = ۴۴$

پاسخ: در ابتدا می‌بایست معادلهٔ واکنش را نوشت و سپس آن را موازنه کرد.

$$C + O_۲ \rightarrow CO_۲$$

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 کربن‌دی‌اکسید تولید می‌شود.



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

$$Mw = \frac{m}{n} \rightarrow n = \frac{m}{Mw} \rightarrow n_c = \frac{۱۰۰}{۱۲} = ۸/۳۳ \quad \text{مول}$$

حال با استفاده از موازنهٔ مولی مقدار اکسیژن مصرفی و کربن‌دی‌اکسید تولیدی تعیین می‌شود.

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

$$X = \frac{۸/۳۳ \times ۱}{۱} = ۸/۳۳ \quad \text{اکسیژن مصرفی (کیلومول)}$$

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

$$Mw\,O_۲ = \frac{m\,O_۲}{n\,O_۲} \rightarrow m\,O_۲ = Mw\,O_۲ \times n\,O_۲ = ۳۲ \times ۸/۳۳ = ۲۶۶/۶\,kg$$

حال با استفاده از ضریب‌های استوکیومتری، مقدار کربن‌دی‌اکسید را به دست می‌آوریم:

کربن‌دی‌اکسید تولیدی (kmol)	کربن مصرفی (kmol)
۱	۱
x	۸/۳۳

$$x = \frac{۸/۳۳ \times ۱}{۱} = ۸/۳۳ \quad \text{کربن‌دی‌اکسید تولیدی (کیلومول)}$$

حال با استفاده از تعریف جرم مولکولی، جرم کربن‌دی‌اکسید تولیدی تعیین می‌شود.

$$m_{CO_۲} = M_{wCO_۲} \times nCO_۲ = ۴۴ \times ۸/۳۳ = ۳۶۶/۶\,kg$$

حال موازنه جرم کنترل می‌شود:

کل جرم اکسیژن + کل جرم کربن= کل جرم ورودی

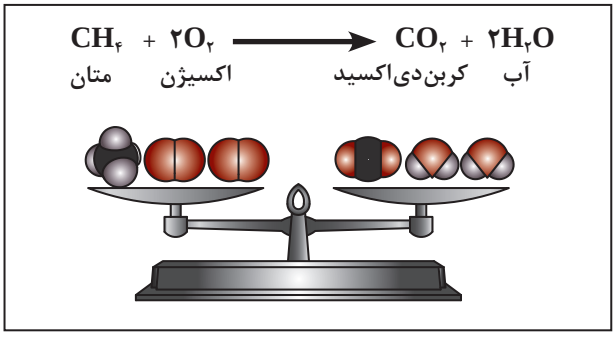
$= ۱۰۰ + ۲۶۶/۶ = ۳۶۶/۶$ kg

کل جرم خروجی =۳۶۶/۶ بنابراین ⇒ کل جرم خروجی = کل جرم ورودی ⇒۳۶۶/۶=۳۶۶/۶ kg

مثـال ۲۸) یکصـد و شـصت کیلوگـرم متـان در کـوره سـوخته می‌شـود و گازهـای کربن‌دی‌اکسـید و بخار آب تولیـد می‌شـود، فرمـول موازنه‌شـدهٔ واکنـش به‌ایـن صورت اسـت:

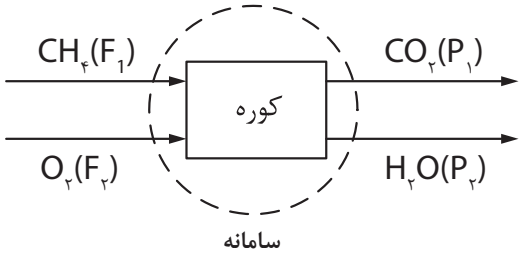
$$CH_۴ + ۲O_۲ \rightarrow CO_۲ + ۲H_۲O$$

با توجه به اطلاعات زیر مطلوب است تجزیه و تحلیل گاز خروجی از دودکش:



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

پاسخ: $CO_2=(P)$



با توجه به معلوم بودن جرم متان ابتدا باید مول متان تعیین شود، سپس با استفاده از معادلهٔ واکنش مقدارهای اکسیژن مصرفی، CO_2 تولیدی و بخار آب تولیدی محاسبه می‌شود.

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

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

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

CH_4 ورودی (kmol)	اکسیژن مصرفی (kmol)
1	2
10	x

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

CH_4 ورودی (kmol)	کربن‌دی‌اکسید تولیدی (kmol)
1	1
10	x

$$\rightarrow X = \frac{۱۰ \times ۱}{۱} = ۱۰ \, kmol$$

آب تولیدی (kmol)	$CH_۴$ ورودی (kmol)
۱	۱
x	۱۰

$$\rightarrow X = \frac{۱۰ \times ۲}{۱} = ۲۰ \, kmol$$

با استفاده از رابطهٔ جرم مولکولی ($Mw = \frac{m}{n}$) ، جرم هر یک از اجزا تعیین می‌شود.

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

$$m_{O_۲ \text{ (ورودی (مصرفی}} = ۳۲ \times ۲۰ = ۶۴۰ \, kg$$

$$m_{Co_۲ \text{(تولیدی (خروجی}} = ۴۴ \times ۱۰ = ۴۴۰ \, kg$$

$$m_{H_۲O \text{ (تولیدی (خروجی}} = ۱۸ \times ۲۰ = ۳۶۰ \, kg$$

بررسی موازنهٔ جرم کلی:

جرم کل ورودی $F_۱ + F_۲ = ۱۶۰ + ۶۴۰ = ۸۰۰ \, kg$

جرم کل خروجی $P_۱ + P_۲ = ۴۴۰ + ۳۶۰ = ۸۰۰ \, kg$

جرم کل خروجی = جرم کل ورودی

بنابراین:

$$F_۱ + F_۲ = P_۱ + P_۲$$

اطلاعات جریان خروجی

مواد	جرم (kg)	کسر جرمی	درصد جرمی
$CH_۴$	۰	۰	۰
$O_۲$	۰	۰	۰
$CO_۲$	۴۴۰	$\frac{۴۴۰}{۸۰۰} = ۰/۵۵$	٪۵۵
$H_۲O$	۳۶۰	$\frac{۳۶۰}{۸۰۰} = ۰/۴۵$	٪۴۵
جمع	۸۰۰	۱	٪۱۰۰

بنابراین در جریان خروجی از این کوره، ۵۵ درصد جرمی گاز $CO_۲$ و ۴۵ درصد جرمی، بخار آب وجود دارد.

ارزشیابی شایستگی پودمان به‌کارگیری محاسبات در صنایع شیمیایی

شرح کار:

- انجام دادن محاسبات طبق روش کار و انجام دادن موازنهٔ مواد برای سامانه‌های داده‌شده؛

استاندارد عملکرد:

- انجام دادن عملیات ریاضی در محاسبات صنایع شیمیایی

شاخص‌ها:

- داشتن دانش پایهٔ ریاضی
- توانایی تبدیل واحدهای اندازه‌گیری در دستگاه‌های بین‌المللی یکاها
- توانایی موازنهٔ مواد در فرایندهای فیزیکی و شیمیایی

شرایط انجام دادن کار و ابزار و تجهیزات:

مکان: کلاس **زمان:** یک جلسهٔ آموزشی

ابزار و تجهیزات: جدول تبدیل یکاها در دستگاه‌های اندازه‌گیری، ابزار عمومی

معیار شایستگی:

ردیف	مرحلهٔ کار	کمترین نمرهٔ قبولی از ۳	نمرهٔ هنرجو
۱	به‌کارگیری یکاها و ابعاد	۱	
۲	تبدیل یکاها	۲	
۳	موازنهٔ مواد ورودی و خروجی به یک سامانه	۱	
	شایستگی‌های غیرفنی، ایمنی، بهداشت، توجهات زیست‌محیطی و نگرش: ۱- ایمنی: انجام دادن کار کارگاهی با رعایت موارد ایمنی و استفاده از وسائل ایمنی شخصی؛ ۲- نگرش: ۳- توجهات زیست‌محیطی: جلوگیری از صدمه زدن به محیط زیست از طریق انجام دادن کار بدون ریخت و پاش؛ ۴- شایستگی‌های غیرفنی: ۱- اخلاق حرفه‌ای، ۲- مدیریت منابع، ۳- محاسبه و کاربست ریاضی، ۵- مستندسازی: گزارش‌نویسی.	۲	
	میانگین نمرات		*

* کمترین میانگین نمرات هنرجو برای قبولی و کسب شایستگی، ۲ است.

پودمان ۲

دستگاه‌های حرارتی

در صنایع شیمیایی، همهٔ فرایندها در دمای محیط انجام نمی‌شوند. هنگامی‌که در بخشی از فرایندها دما بالاتر یا پایین‌تر از محیط است، 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 گرما استفاده می‌شوند. کاربرد هر یک از این دستگاه‌ها به هدف انتقال حرارت بستگی دارد؛ به‌عنوان مثال، هنگامی‌که هدف، انتقال حرارت بین دو سیالِ مهم باشد، از مبدل‌های حرارتی استفاده می‌شود. اگر هدف از انتقال حرارت، فقط 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 گرما، رطوبت ماده خارج شود. در این بخش انواع دستگاه‌های حرارتی، مبدل‌های حرارتی، برج‌های خنک‌کننده و خشک‌کن‌ها معرفی می‌شوند. روش عملکرد، اصول حاکم بر هر یک از این دستگاه‌ها و انواع آن معرفی خواهد شد و با انجام دادن آزمایش و بازدیدهای علمی، طرز عملکرد هر یک را بهتر درک خواهید کرد.

استاندارد عملکرد

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

شایستگی‌های غیر فنی:

۱ـ اخلاق حرفه‌ای: حضور منظم و وقت‌شناسی، انجام دادن وظایف و کارهای محوّله، پیروی از قوانین؛

۲ـ مدیریت منابع: شروع به‌کار به‌موقع، مدیریت مؤثر زمان، استفاده از مواد و تجهیزات؛

۳ـ کار گروهی: حضور فعّال در فعالیت‌های گروهی، انجام دادن کارها و وظایف محوّله؛

۴ـ مستندسازی: گزارش‌نویسی فعالیت‌های آزمایشگاهی؛

۵ـ محاسبه و کاربست ریاضی.

شایستگی‌های فنی:

۱ـ کار با مبدل‌های حرارتی؛

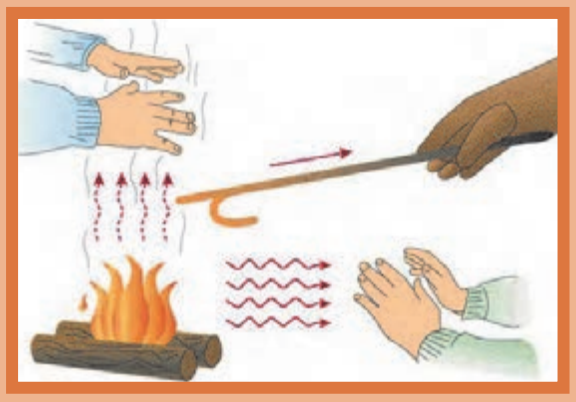
۲ـ کار با برج‌های خنک‌کننده؛

۳ـ کار با خشک‌کن‌ها.

۱ـ۲ـ انتقال حرارت

بحث کنید ۱

به‌نظر شما آتش چگونه دست ما را گرم می‌کند؟



در بیشتر کارخانه‌های صنایع شیمیایی اعم از پالایشگاه‌های نفت، گاز و پتروشیمی تبادل گرما از جریان یا مواد اصلی فرایند اجتناب‌ناپذیر است. این تبادل گرما ممکن است با یک سیال دیگر فرایند، 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 می‌کند، یا شوفاژها و سامانه‌های تهویه از انواع دستگاه‌های حرارتی هستند.

نیروی محرکهٔ انتقال گرما، اختلاف دما است. به این معنی که تا زمانی‌که اختلاف دمایی بین دو جسم نباشد، انتقال گرمایی صورت نمی‌گیرد؛ به‌طور کلی سه روش برای انتقال حرارت وجود دارد که عبارت‌اند از: رسانایی[۱]، جابه‌جایی[۲] و تشعشع[۳] (تابش). روش انتقال حرارت رسانایی به تبادل گرما از درون یک جسم جامد گفته می‌شود، که از طریق جنبش مولکول‌ها و الکترون‌ها صورت می‌پذیرد. وقتی جسم گرم می‌شود، سرعت مولکول‌های آن به‌سرعت افزایش می‌یابد؛ لذا مولکول‌ها با انرژی بالا به مولکول‌های نزدیک برخورد می‌کنند و آنها را به حرکت وا می‌دارند. بدین ترتیب انرژی گرمایی منتقل می‌شود. وقتی دست خود را با شوفاژ تماس می‌دهیم، انتقال گرمای رسانایی باعث گرم شدن دست ما می‌شود. انتقال گرمای جابه‌جایی به تبادل حرارتی از طریق حرکت سیال‌ها (مایع و گاز) اطلاق می‌شود، خنک شدن بدن از طریق هوای کولر و گرم شدن بدن از طریق هوای بخاری خودرو از نمونه‌های انتقال حرارت جابه‌جایی است. انتقال حرارت به‌روش تشعشع زمانی کاربرد دارد که اختلاف دمای دو سطح بسیار زیاد است، به‌عنوان مثال هنگامی‌که نزدیک شعله‌های آتش باشیم، تابش زبانه‌های آتش باعث گرم شدن ما می‌شود.

۱ـ Conduction
۲ـ Convection
۳ـ Radiation

فیلم ۱

فیلـم روش‌هـای انتقـال حرارت را مشـاهده کنید و در مورد روش‌های اسـتفاده شـده بـرای انتقال گرمـا بـا هم‌کلاسـی‌های خود بحـث کنید.

دسـتگاه‌های حرارتـی بـا توجـه به هـدف از تبـادل گرما، نـوع سـیال‌های تبادل‌دهنده، حـرارت و میـزان تبادل گرمـای سـیال، انـواع مختلفـی دارنـد و به‌صورت زیـر نام‌گذاری می‌شـوند:

جدول ۱ـ۲ـ نام‌گذاری دستگاه‌های حرارتی بر اساس سیال‌های تبادل‌دهنده و هدف از تبادل

دسته‌بندی	سیال‌های تبادل دهنده	هدف	نام رایج در صنعت
مبدل حرارتی[1]	دو جریان فرایندی[2]	کاهش دمای یک جریان و افزایش دمای جریان دیگر	Process to Process Heat Exchanger
	جریان فرایندی - آب	سردکردن جریان فرایندی	Water Cooler
	جریان فرایندی - بخار	گرم‌کردن جریان فرایندی	Steam Heater
کولر هوایی	جریان فرایندی - هوا	سردکردن جریان فرایندی	Air Cooler
کوره	جریان فرایندی - گاز حاصل از سوختن	گرم‌کردن جریان فرایندی به میزان بیشتر نسبت به گرم‌کننده	Fired Heater
برج خنک‌کننده	آب - هوا	سردکردن آب برای استفاده در خنک‌کننده آبی	Cooling Tower
خشک‌کن	جامد مرطوب - هوا	خشک‌کردن رطوبت جامد	Dryer
دیگ بخار	آب - گاز به‌دست‌آمده از سوختن	تولید بخار برای استفاده در گرم‌کننده	Boiler

روش‌هـای انتقـال حـرارت رسـانایی و جابه‌جایـی در همه دسـتگاه‌های حرارتی فـوق کاربرد دارنـد، در حالی که روش تابـش تنهـا در کوره‌هـا و دیگ بخار اسـتفاده می‌شـود.

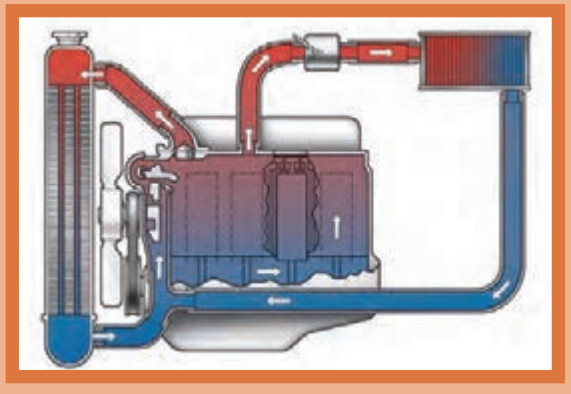
۱ـ Heat Exchanger

۲ـ جریان مایع یا گاز موجود در یک کارخانه را جریان فرایندی می‌گویند.

۲ـ۲ـ مبدل‌های حرارتی

بحث کنید ۲

شیوهٔ عملکرد شوفاژها و رادیاتور ماشین را مقایسه کنید و شرح دهید؟



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 دیوارهٔ لوله‌ها و نیز انتقال حرارت از نوع جابه‌جایی سیال صورت می‌گیرد. گرما از سیال گرم به دیوارهٔ لوله‌ها و سپس به سیال سرد منتقل می‌شود.

انواع مبدل‌های حرارتی بر اساس نوع جریان

فیلم ۲

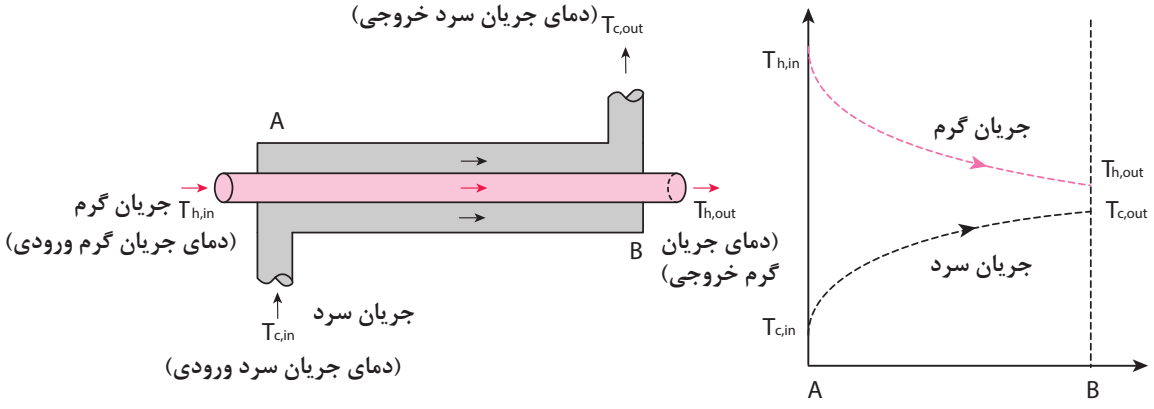
فیلم مبدل‌های دو لوله‌ای را ببینید و به هم‌سو و ناهم‌سو بودن جریان ها توجه کنید. کدام‌یک کارایی و بازدهی بیشتری دارد؟

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

جریان هم‌سو [۱]

در مبدل‌ها با جریان هم‌سو، جریان سرد و جریان گرم از یک سو وارد مبدل شده و هر دو از سمت دیگر خارج می‌شوند (شکل ۱ـ۲).

۱-Co-Current

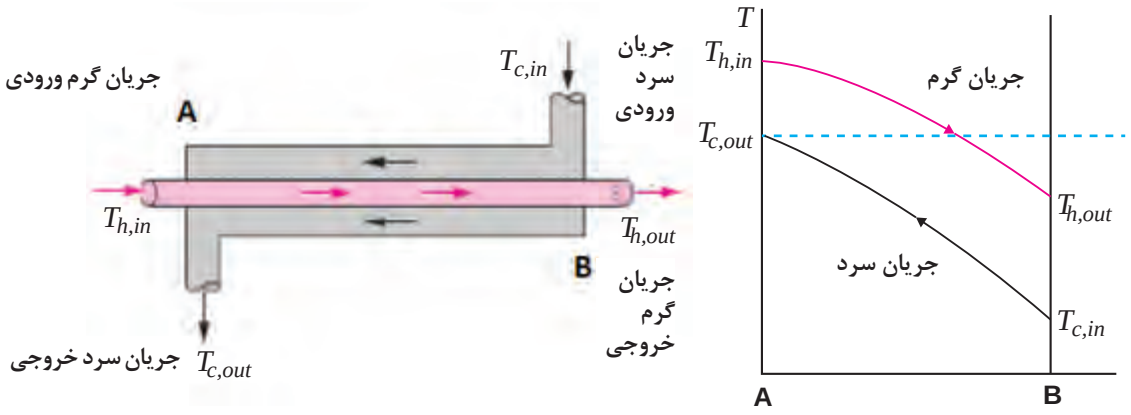


شکل ۱ـ۲ـ جریان هم‌سو در مبدل‌ها و شیوهٔ تغییرات دما

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

جریان ناهم‌سو[1]

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



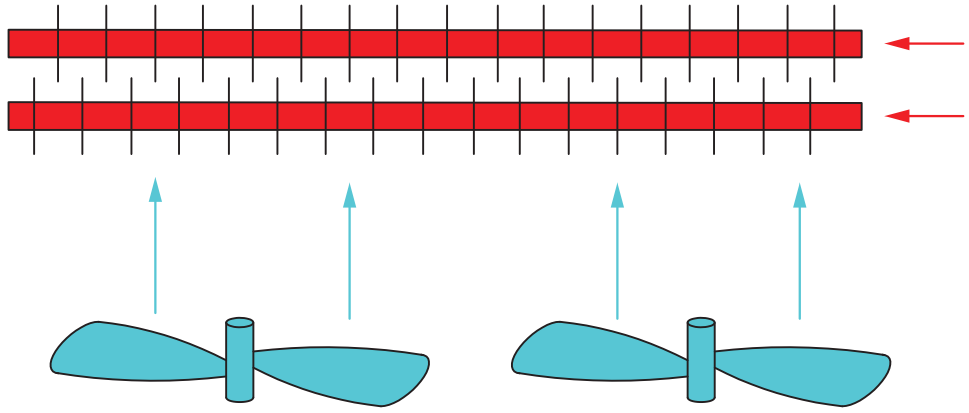
شکل ۲ـ۲ـ جریان ناهم‌سو در مبدل‌ها و تغییرات دما در طول مبدل

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.

۱- Counter Current

جریان متقاطع[1]

در این حالت جریان‌های سرد و گرم به‌صورت متقاطع از کنار یکدیگر عبور می‌کنند، که در کولرهای هوایی اتفاق می‌افتد (شکل ۳ـ۲).



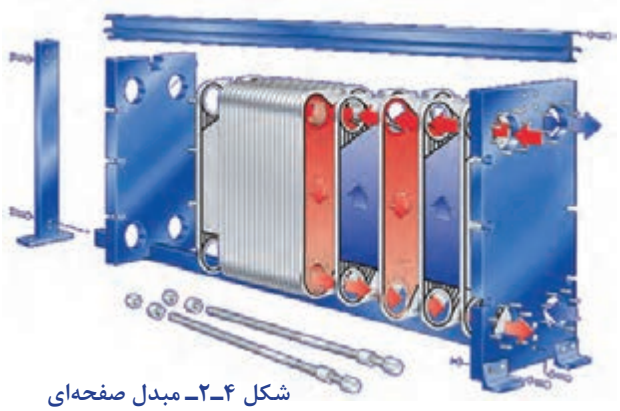
شکل ۳ـ۲ـ جریان متقاطع در کولرهای هوایی

۳ـ۲ـ انواع مبدل‌های حرارتی براساس ساختمان آنها

مبدل‌های‌حرارتی بر اساس ساختمان، به‌سه دسته مبدل‌های صفحه‌ای[2] و مبدل‌های با سطوح پره‌دار[3] و مبدل‌های لوله‌ای[4]، تقسیم‌بندی می‌شوند.

مبدل‌های صفحه‌ای

این مبدل‌ها از صفحات نازک با سطوح چین‌دار تشکیل شده‌اند (شکل ۴ـ۲) که سیال‌های سرد و گرم را از یکدیگر جدا می‌سازند. صفحه‌ها با استفاده از واشر، جوش یا لحیم به یکدیگر متصل می‌شوند تا از نشت سیال جلوگیری شود.



شکل ۴ـ۲ـ 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 ـ صفحـهٔ ثابـت؛ ۲ـ صفحه‌هـای انتقـال حـرارت؛ ۳ـ صفحـهٔ متحـرک؛ ۴ـ تکیـه‌گاه؛ ۵ـ میلـه حامـل؛ ۶ـ پیچ محکم‌کننـده.

در ایـن مبدل‌هـا نسـبت سـطح انتقـال حـرارت به حجم مبـدل زیاد اسـت، و به همیـن دلیل در زمـان کوتاهی انتقـال حـرارت انجـام می‌شـود. مبـدل صفحه‌ای سـبک‌ترین نـوع مبدل اسـت و معمولاً بـرای انتقـال گرما بین گاز- مایـع یـا جریان‌هـای دو فـازی اسـتفاده می‌شـود؛ اما فشـار و دمای عملیاتی آن کم اسـت و برای سـیالات خطرناک و عملیات در شـرایط خلأ مناسـب نیسـت.

فیلم ۳

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

مبدل‌ها با سطوح پره‌دار

در ایـن نـوع مبدل‌هـا سـطح صفحـه یـا لولـه دارای پـره (یـا فیـن) اسـت. بـا توجـه بـه اینکـه ضریـب انتقـال حـرارت در سـمت گاز از سـمت مایـع کوچک‌تر اسـت، با نصـب پره‌هـا در سـمت گاز و ایجاد اغتشـاش در آن، ضریـب انتقـال حـرارت و در نتیجـه میـزان تبـادل گرمـا افزایـش می‌یابـد. در شـکل ۵-۲ لوله‌هـای پـره‌دار نشـان داده شـده اسـت.

پره‌هـا (فین‌هـا) به‌صورت‌هـای طولـی، عمـود بـر لولـه یـا مارپیـچ روی لولـه قراردارنـد. از ایـن لوله‌هـای پـره‌دار، عمدتـاً در کولرهـای هوایـی اسـتفاده می‌شـود.

شکل ۵ـ۲ـ لوله‌های پره‌دار استفاده شده در مبدل‌ها با سطوح پره‌دار

مبدل‌های لوله‌ای

فیلم ۴

فیلـم مبدل‌هـای دو لولـه ای را ببینیـد و به هم‌سـو و ناهم‌سـو بـودن جریان‌ها توجه کنیـد. کدام‌یک کارایی و بازدهی بیشـتری دارد؟

مبدل‌هـای لولـه‌ای از رایج‌تریـن مبدل‌هـای حرارتـی هسـتند، کـه نـوع دو لولـه‌ای[۱] و پوسـته ـ لولـه‌ای[۲] آن پرکاربردتریـن اسـت. در نـوع دو لولـه‌ای، یـک لوله در داخـل لوله‌ای با قطـر بزرگتر قرار می‌گیـرد. در مبدل‌های پوسـته ـ لولـه‌ای یـک دسـته لولـه داخل پوسـته قـرار می‌گیرد. در این مبدل‌ها سـیال‌های سـرد یا گـرم از یک سـمت وارد لولـه و از سـمت دیگـر آن خـارج می‌شـود. سـیال دوم بـه لولـه بزرگ‌تر و یا پوسـته وارد می‌شـود و پـس از تبـادل گرمـا از سـمت دیگر خارج می‌شـوند.

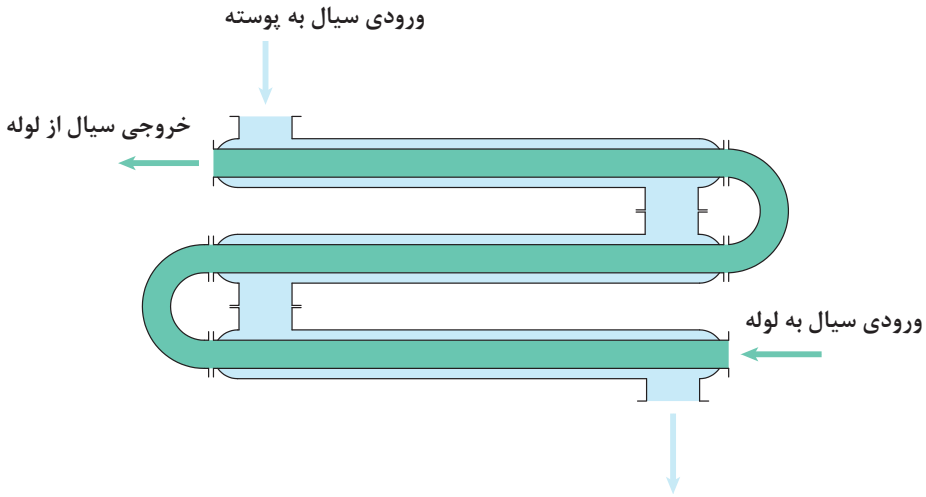
۱- Double Pipe Heat Exchanger
۲- Shell and Tube Heat Exchanger

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 انتقال گرما کوچک باشد و یا جریان یکی از دو سیال کم یا گران‌روی آن زیاد باشد.

فکر کنید ۱

در شکل ۶ـ۲ جریان‌ها به‌صورت هم‌سو، ناهم‌سو و یا متقاطع است؟ هر یک در کدام بخش اتفاق می‌افتد.



شکل ۶ـ۲ـ مبدل دو لوله‌ای

به تعداد تماس سیال سرد و گرم، گذر[۱] گفته می‌شود؛ به عنوان مثال در شکل ۶-۲ مبدل دارای سه گذر است.

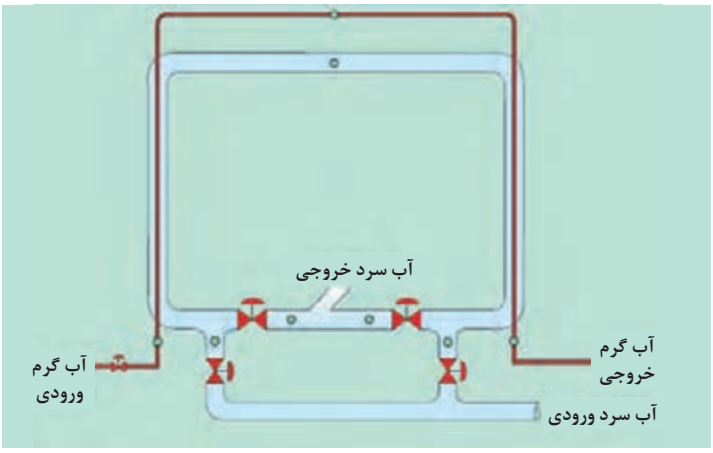
فعالیت کارگاهی ۱

در این فعالیت عملکرد مبدل حرارتی دو لوله‌ای را بررسی کنید.

وسایل لازم:

۱ـ لولهٔ ۰/۲۵ اینچی برای عبور آب گرم؛
۲ـ لولهٔ ۰/۷۵ اینچی برای عبور آب سرد؛
۳ـ مخزن ذخیرهٔ آب گرم؛
۴ـ پمپ انتقال آب؛
۵ـ ۴ عدد شیر برای بستن یا باز کردن مسیرهای آب گرم و سرد؛
۶ـ ۷ عدد دماسنج؛
۷ـ عایق برای عایق‌بندی لوله‌های آب سرد و گرم.

۱-Pass



آزمایش مبدل حرارتی دولوله‌ای ـ U ـ شکل

نکته ایمنی ۱

۱ـ هنگام کار کردن با منبع سیال گرم با دمای بالا و استفاده از سطوح داغ، از دست‌کش‌های عایق گرما استفاده کنید.
۲ـ هنگام کار با دستگاه دقّت کنید تا آب داخل مخزن کاملاً خالی نشود.

مراحل فعالیت کارگاهی:

۱ـ آب گرم درون مخزن را تا دمای ۷۰ درجهٔ سلسیوس گرم کنید؛
۲ـ پمپ انتقال آب را روشن کنید؛
۳ـ شیرهای آب سرد را باز کنید تا آب سرد به‌صورت هم‌سو با آب گرم در لوله بیرونی جریان یابد؛
۴ـ دمای نقاط مختلف را در جدول صفحهٔ بعد یادداشت کنید. متوجه خواهید شد که پس از مدتی دمای نقاط به ثبات رسیده‌اند. در این هنگام، مبدل حرارتی به حالت پایداری رسیده است و مرحلهٔ اول آزمایش در این زمان به پایان رسیده است.
۵ـ شیرهای آب سرد را به گونه‌ای باز کنید تا به‌صورت ناهم‌سو با جریان آب گرم حرکت کند و دوباره دمای نقاط را در زمان‌های متناظر با حالت هم‌سو، تا زمان رسیدن به حالت پایا یادداشت کنید؛
۶ـ دمای نقاط متناظر در حالت جریان هم‌سو و جریان ناهم‌سو را با هم مقایسه و نتیجه‌گیری کنید؛
۷ـ نمودار دمایی پایدار آب سرد و گرم در دو حالت آزمایش را ترسیم کنید.

نکته ۱

با توجه به کمبود منابع آب در کشور، آب خروجی از مبدل (آب سرد و آب گرم) به مخزن ذخیرهٔ آب هدایت شود.

پرسش ۱

۱ : در این آزمایش مقدار جریان و دمای آب سرد و گرم ورودی در هر دو حالت می‌بایست یکسان باشد. علت چیست؟
۲ : در صورتی‌که مخزن آب در حال کار خالی شود، چه مشکلی می‌تواند ایجاد کند؟

جدول ثبت نتایج:

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

مبدل حرارتی پوسته ـ لوله

مبدل‌های پوسته ـ لوله (شکل ۷ـ۲)، کاربرد بسیار وسیعی در صنایع نفت، گاز، پتروشیمی و صنایع غذایی دارند. این نوع مبدل از پوسته[۱]، دستهٔ لوله[۲]، کله‌گی جلو[۳] و کله‌گی عقب[۴] تشکیل شده است. به محل ورود و خروج جریان‌ها نازل[۵] می‌گویند. دسته لوله‌ها با استفاده از صفحهٔ لوله[۶] در ابتدا و انتهای آن ثابت شده است، و برای ثابت نگه داشته‌شدن لوله‌ها و همچنین ایجاد اغتشاش در جریان سمت پوسته، از تیغه (بافل[۷]) استفاده می‌شود.

شکل ۷ـ۲ـ مبدل پوسته ـ لوله

فیلم ۵

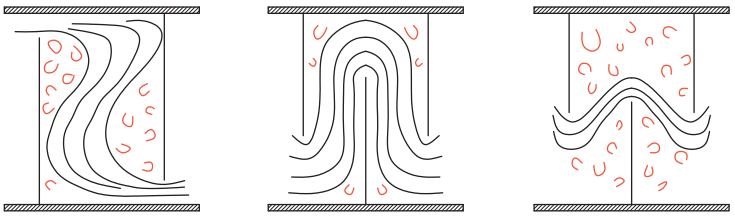
فیلم مبدل‌های پوسته-لوله‌ای را ببینید و در مورد اجزای تشکیل‌دهندهٔ آن بحث کنید.

فعالیت کارگاهی ۲

در آزمایشی مشابه فعالیت کارگاهی مبدل حرارتی دولوله‌ای ، عملکرد مبدل حرارتی پوسته- لوله را بررسی کنید.

پرسش ۲

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



نکته‌ایمنی۲

۱ـ در صورتی که یک سیال سمّی یا دارای خورندگی بالا باشد، می‌بایست از درون لوله‌ها جریان یابد؛ زیرا تعویض و تمیز کردن لوله‌ها به‌راحتی انجام می‌شود.

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

۳ـ همه اتصالات می‌بایست به‌خوبی بسته شوند تا از نشت سیال به بیرون جلوگیری شود.

۱ـ Shell
۲ـ Tube Bundle
۳ـ Front End Head
۴ـ Rear End Head
۵ـ Nozzle
۶ـ Tube sheet
۷ـ Baffle

۴ـ۲ـ برج‌های خنک‌کننده[1]

در بیشتر کارخانه‌های کوچک و بزرگ، یکی از مهم‌ترین و اساسی‌ترین دستگاه‌ها، انواع برج‌های خنک‌کننده است. برج‌های خنک‌کننده علاوه‌بر آب به منظور خنک‌کردن سیالات دیگر استفاده می‌شود.

شکل ۸ـ۲ـ برج خنک‌کن

برج‌های خنک‌کننده و چیلر[2]ها جهت خنک‌سازی آب استفاده می‌شوند. در برج‌های خنک‌کننده گرمای اضافی آب را به وسیلهٔ هوا و تبخیر آب، حذف می‌کنند تا گرمای ایجادشده در فرایند را دفع کنند (شکل ۸ـ۲). برج خنک‌کننده یا برج خنک‌کن برای کاهش دمای آب در فرایندهای سردسازی سامانه‌های تهویه مطبوع، نیروگاه‌ها، پالایشگاه‌ها و دیگر واحدهای صنعتی استفاده می‌شود.

پرسش ۳

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

فرض کنید در یک واحد صنعتی، مبدلی جهت سرمایش جریان فرایندی استفاده می‌شود. در این مبدل آب مصرفی از دمای ۳۰ درجهٔ سلسیوس به ۴۰ درجهٔ سلسیوس می‌رسد. آب مصرفی برای سرد کردن جریان، می‌تواند از دریا فراهم شود، در این صورت آب با دمای ۴۰ درجهٔ سلسیوس به دریا هدایت می‌شود.

نکته زیست محیطی ۱

دمای آب ورودی به دریا و رودخانه نباید از حد مجاز که از سوی سازمان محیط‌زیست اعلام می‌شود بیشتر باشد، زیرا موجب تغییر در محیط اطراف آن و صدمه به آبزیان می‌شود.

اما اگر واحد صنعتی در شهرهای غیر ساحلی قرار گرفته باشد، می‌بایست از آب به‌صورت گردشی استفاده کرد تا از اتلاف آب جلوگیری شود. در این صورت، هنگامی که دمای آب از ۳۰ درجهٔ سلسیوس به ۴۰ درجهٔ سلسیوس رسید، برای خنک کردن دوباره مناسب نیست و باید آن را برای استفادهٔ دوباره به دمای ۳۰ درجهٔ سلسیوس رساند.

۱ـ Cooling Tower ۲ـ Chiller

پرسش ۴

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

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

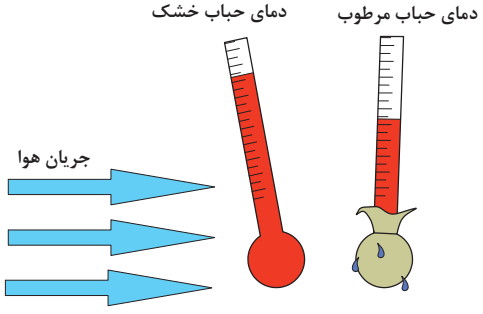
۱ـ روش انتقال گرما: تماس بین آب و هوا می‌تواند به‌صورت مستقیم یا غیر مستقیم انجام بگیرد.

۲ـ شیوهٔ گردش هوا: هوا می‌تواند به‌صورت طبیعی و یا به‌صورت مکانیکی (به‌وسیله پنکه یا فن) انجام شود.

۳ـ شیوهٔ حرکت هوا نسبت به جریان آب (جریان هم‌جهت، جریان متقابل و جریان متقاطع).

دمای حباب خشک[1] و دمای حباب مرطوب[2]

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



دمای هوا را که دماسنج (که حباب آن توسط یک پارچهٔ خیس پوشانده شده است و با محیط اطراف خود در تماس است) نشان می‌دهد، دمای حباب مرطوب می‌نامند. این دما کمتر از دمای هوای خشک است. این دما در سامانه‌های تبخیری و برج خنک‌کننده تعیین‌کننده است و کمترین دمایی است که در این سامانه‌ها قابل دسترس هست. دمای هوای مرطوب بستگی به رطوبت نسبی هوا، دمای خشک، ارتفاع و فشار هوا دارد.

بحث کنید ۳

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

تحقیق کنید ۱

به چه دلیل در صنعت، دمای حباب خشک و مرطوب هوا اهمیّت دارد.

۱ـ Dry-bulb Temperature

۲ـ Wet-bulb Temperature

فعالیت آزمایشگاهی ۱

دمـای حبـاب مرطـوب و دمـای حباب خشـک هوای محیـط را در آزمایشـگاه و فضای آزاد انـدازه گیری کنید و نتیجـه را ارائه دهید

بـا توجـه بـه روش انتقـال گرمـا، برج‌هـای خنک‌کننده بـه انواع بـرج خنک‌کنندۀ مرطـوب[۱] و بـرج خنک‌کنندۀ خشـک[۲] تقسـیم‌بندی می‌شود:

فیلم ۶

فیلـم مربـوط به برج خنک‌کن مرطوب را مشـاهده کنید و دربارۀ شـیوۀ عملکرد آن بـا هم‌گروهی‌های خـود بحـث کنید و گـزارش خود را دربـارۀ بخش‌های مختلـف آن، متقابل و متقاطع بـودن جریان آب و هـوا و همچنیـن طبیعی یا القایی بـودن جریان هـوا در کلاس ارائه دهید.

فیلم ۷

فیلـم مربـوط بـه برج خنک‌کن خشـک را مشـاهده کنیـد و دربارۀ شـیوۀ عملکـرد آن بـا هم‌گروهی‌های خود بحـث کنیـد و نتیجـه را در کلاس ارائه دهید.

نکته ایمنی ۳

هنـگام کار کـردن در یـک بـرج خنک‌کـن در حـال کار و نمونه‌گیـری، از ماسـک‌های محافـظ ذرّات هـوا[۳] اسـتفاده کنیـد. در غیـر این‌صـورت فن‌هـای بـرج خنک‌کننـده می‌بایسـت خامـوش شـوند. همچنیـن از دستکش ایمنی، عینک محافظ و لباس ایمنی استفاده کنید.

۵ـ۲ـ چیلر

یکـی از نیازهـای هر سـاختمانی تأمین سـرمایش آن در فصل تابسـتان اسـت، ایـن مهم در سـاختمان‌های بزرگ بـا اسـتفاده از چیلـر انجام می‌گیرد. چیلرها از جمله تجهیزات بسـیار مهم در سـرمایش سـاختمان هسـتند. چیلر دسـتگاهی اسـت کـه برای خنـک‌کاری هوا یا دسـتگاه‌ها اسـتفاده می‌شـود. چیلر دارای یک چرخۀ[۴] بسـته اسـت و مـاده‌ای را کـه باعـث کاهـش دمـا می‌شـود، مـادۀ سـردکننده (مبـرد[۵]) می‌نامنـد. مـادۀ مبـرد در چرخۀ بسـتۀ چیلـر حرکـت می‌کنـد و باعث خنک‌سـازی می‌شـود. چیلرهـا در سـامانه‌های تهویۀ مطبـوع و در صنعـت کاربرد مختلفـی دارنـد. کولرهـای گازی یک نوع چیلر محسـوب می‌شـوند.

۱ـ Wet Cooling Tower
۲ـ Dry Cooling Tower
۳- High-Efficiency Particulate Air (HEPA) Protective Mask
۴ـ Cycle
۵ـ Refrigerant

هـدف چنیـن دسـتگاهی دریافت بیشـترین انـرژی از محیط سـرد (Q_L) در برابـر کمتریـن مقـدار انـرژی مصرفـی (W) اسـت. شـیوهٔ عملکـرد چیلرهـا را به‌وسـیلهٔ عاملـی بـه نـام ضریـب عملکـرد (COP) بررسـی می‌کننـد کـه ایـن عامـل به‌صـورت معادلـهٔ زیـر تعریـف می‌شـود:

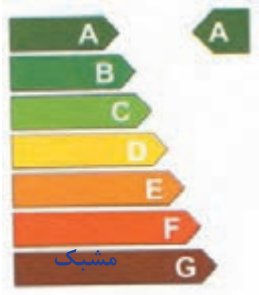
$$COP = \frac{Q_L}{W}$$

شکل ۹ـ۲ـ یک نمونه چیلر

کافـی اسـت واحـد گرمـای گرفته‌شـده و کار انجام‌شـده یکسـان باشـد، در صورتی‌که هـر دو از جنـس انرژی یا تـوان باشـند، ضریب عملکرد نشـان‌دهندهٔ عملکرد دسـتگاه اسـت.

پرسش ۵

از برچسـب انـرژی دسـتگاه‌هایی ماننـد یخچـال و کولـرگازی چـه می‌دانید؟ برچسـب انـرژی دسـتگاه‌هایی ماننـد یخچال و کولـرگازی چـه ارتباطـی بـا ضریب عملکـرد دارد؟



تمرین:

۱ـ ضریـب عملکـرد یـک یخچـال با ظرفیـت تبریـد ۳۰۰۰۰ BTU/hr و توان کمپرسـور ۲۴۰۰ وات چقدر اسـت؟ برچسـب انـرژی این یخچال چیسـت؟

۲ـ ضریـب عملکـرد یـک یخچـال به ظرفیـت سـرمایش ۱۰۰۰۰ وات، برابر با ۳/۵ اسـت. توان کمپرسـور آن چقدر اسـت؟

۳ـ تـوان کمپرسـور یـک یخچـال بـا ضریـب عملکـرد ۳، برابـر بـا ۳۵۰۰ وات اسـت. ظرفیـت سـرمایش این یخچـال چقدر اسـت؟

نکتـه ۱: پـس از مدتـی از عملکـرد چیلرهـا، لوله‌ها و مسـیر عبور سـیال سـردکننده رسـوب می‌گیـرد. در این حالـت اسیدشـویی مسـیرهای عبور سـیال، مشـکل را حـل می‌کند.

فعالیت کارگاهی ۳

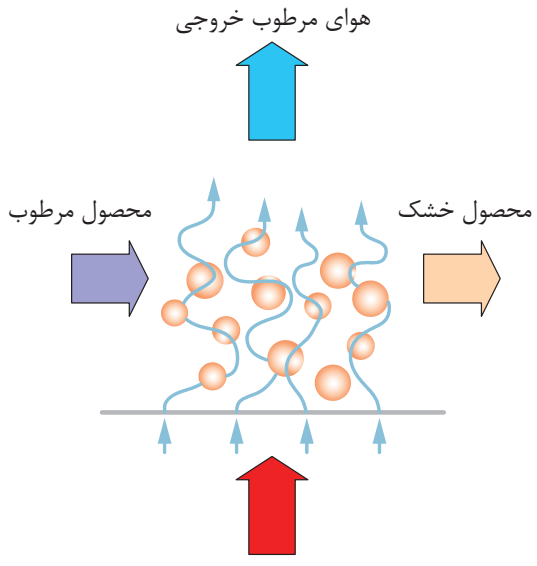
بخش‌هـای سردسـازی یخچـال را بررسـی کنیـد و دربـارهٔ شـیوهٔ عملکـرد و برچسـب انـرژی آن گـزارش تهیـه کنید .

۶ـ۲ـ خشک‌کن‌ها[۱]

شکل ۱۰ـ۲ـ یک نمونه خشک‌کن

فرایند خشک‌کردن جامدات یکی از قدیمی‌ترین فعالیت‌های انسان است. خشک‌کردن گوشت، میوه‌ها و سبزیجات از رایج‌ترین روش‌های نگهداری مواد است که به‌صورت سنتی از طریق گرمای حاصل از آفتاب و هوا، یا از طریق خشک‌کن برقی انجام می‌شود (شکل ۱۰ـ۲). خشک‌کردن معمولاً آخرین مرحله یک فرایند است، مخصوصاً در حالتی‌که محصول برای بسته‌بندی نهایی آماده می‌شود.

خشک‌کردن جامد یعنی حذف آب یا مایع دیگر از مادهٔ جامد تا حد مجاز، با استفاده از روش تبخیر. عملیات خشک‌کردن عموماً در حضور یک جریان گاز مانند هوا انجام می‌پذیرد که به آن گاز حامل گفته می‌شود. این جریان گاز می‌تواند به‌صورت هم‌سو، ناهم‌سو یا متقاطع نسبت به جامد مرطوب باشد. شکل ۱۱ـ۲ را مشاهده کنید.



شکل ۱۱ـ۲ـ عملیات خشک‌کردن با هوا

هوای گرم ورودی با تبخیر رطوبت مادهٔ خشک‌شونده، رطوبت را با خود حمل می‌کند و میزان رطوبت ماده را کاهش می‌دهد. توجه داشته باشید که جداسازی همین مقدار رطوبت را از روش‌های مکانیکی (مثل فشردن یا سانتریفیوژ) نمی‌توان خشک‌کردن نامید. از اهداف تبخیرکردن 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 می‌شود، مثل کاتالیزگرها، بسپارها (پلیمرها)، محصولات غذایی، دارویی، کشاورزی و معدنی.

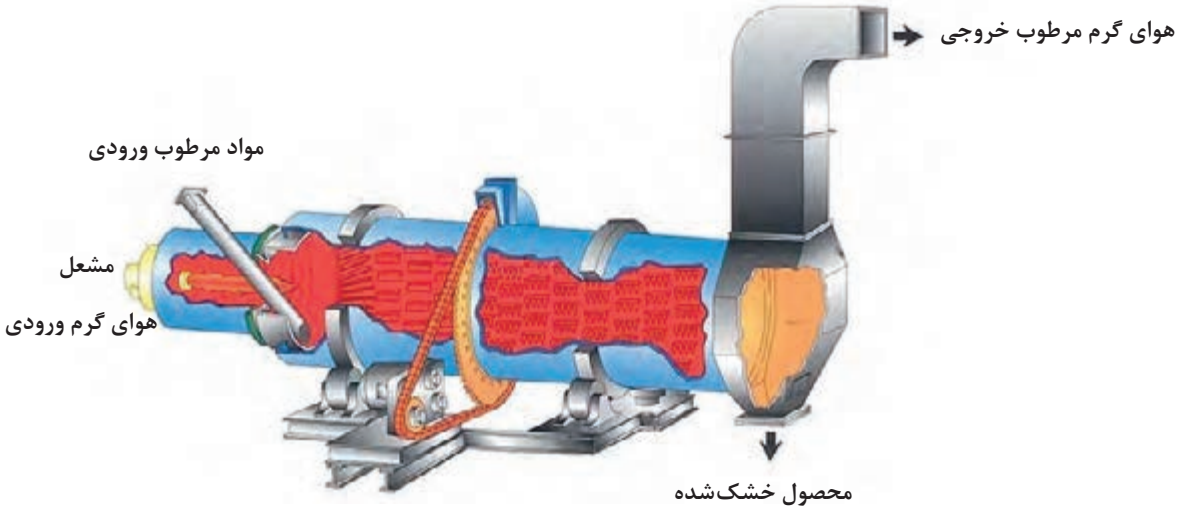
پرسش ۶

یک مثال روزمره از فرایند خشک‌شدن در زندگی خود بیان کنید.

۱- Dryer

روش‌های عملکرد خشک‌کن‌ها

مـاده‌ای کـه بایـد خشـک شـود، می‌توانـد به‌صـورت پیوسـته یـا ناپیوسـته در عملیّـات خشـک‌کردن قـرار گیـرد. در خشـک‌کردن ناپیوسـته، مقـدار مـاده‌ای کـه بایـد خشـک شـود، درون دسـتگاه و در مسـیر جریـان پیوسـته از هـوا قـرار داده می‌شـود تـا رطوبـت آن تبخیر شـود. خشـک‌کردن ناپیوسـته در کارگاه‌هـای کوچک، واحدهای آزمایشـی و کارهای تحقیقاتی اسـتفاده می‌شـود، زیرا روش نسـبتاً پر هزینه‌ای اسـت؛ اما در عملیّات خشـک‌کردن پیوسـته، مـاده خشک‌شـونده و جریـان هـوا به‌طـور پیوسـته از دسـتگاه عبـور می‌کننـد.



۱۲ـ۲ـ عملکرد خشک‌کن

متغیرهای مؤثر در خشک‌کردن

بحث کنید ۴

بـرای خشـک‌کردن لباس‌هـای خیـس، آنهـا را روی طنـاب پهـن می‌کننـد، چـه عواملـی در خشک‌شـدن لباس‌هـای خیـس مؤثـر اسـت؟

هنگامـی کـه یـک جامـد مرطـوب در مجـاورت گاز حامـل قـرار بگیرد، جسـم جامـد رطوبت خـود را بـا فرایند تبخیـر از دسـت می‌دهـد. ایـن عمـل تـا زمانـی ادامـه می‌یابـد که رطوبـت موجـود در جسـم جامد بـا رطوبت گاز حامـل بـه تعـادل برسـد. در ایـن حالـت گاز حامـل و جسـم جامـد در حـال تعادل خواهنـد بود و بـه مقدار رطوبـت جسـم جامـد در ایـن حالـت، رطوبـت تعادلـی در شـرایط فرایند گفتـه می‌شـود؛ بنابراین، هـر چه گاز حامـل خشـک‌تر باشـد، رطوبـت بیشـتری را از جسـم جامـد جـذب می‌کند.

از متغیّرهـای مهـم دیگـر، می‌تـوان به دمـای گاز حامل اشـاره کرد. هرچه دمای گاز حامل بیشـتر باشـد، میزان تبخیـر رطوبـت بیشـتر خواهـد بود. به‌عنـوان مثـال در صورتی‌که یـک پارچه مرطـوب را در معرض هـوای گرم

قرار دهید در مقایسه با حالتی که هوا سرد باشد، مقدار رطوبت بیشتری را از دست می‌دهد.
طبیعت و شکل مادهٔ خشک‌شونده هم از مشخصه‌های مهم است. جسم جامد می‌تواند به‌صورت پودر، دانه‌های کروی، جامد کلوخه‌ای و مانند آن باشد. توجه داشته باشید که رطوبت مواد باارزشی مثل مواد دارویی را در دمای پایین و با روشی متفاوت از آن خارج می‌کنند تا مادهٔ دارویی صدمه نبیند.
زمان تماس هوا و جسم مرطوب، متغیر مهم دیگر فرایند خشک‌کردن است. هر چه زمان تماس بیشتر باشد، رطوبت بیشتری از مادهٔ خشک‌شونده جذب می‌شود؛ اما به دلیل مسائل اقتصادی، این عملیّات می‌بایست در زمان بهینه انجام پذیرد که از طریق آزمایش به‌دست می‌آید.

روش‌های خشک‌کردن

از تقسیم‌بندی‌های دیگر عملیات خشک‌کردن، می‌توان به روش گرمادادن برای تبخیر رطوبت اشاره کرد. در صورتی‌که گرما از راه تماس مستقیم گاز گرم با مادهٔ خشک‌شونده تأمین شود تا رطوبت جسم تبخیر شود، به آن خشک‌کردن مستقیم گفته می‌شود؛ امّا در خشک‌کردن‌های غیرمستقیم، گرما به‌وسیلهٔ منبع گرمایی غیر از گاز حامل به مادهٔ خشک‌شونده اعمال می‌شود؛ به‌عنوان مثال، گرما ممکن است از روش رسانایی از دیوارهٔ فلزی یا از طریق تابش پرتو مادون قرمز به ماده منتقل شود.

انواع خشک‌کن‌های صنعتی

ساختار خشک‌کن‌های صنعتی تا حد زیادی به طبیعت مادهٔ خشک‌شونده بستگی دارد. از انواع خشک‌کن‌های صنعتی 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. پس 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 سوختن باشد یا جامد در اثر تماس با اکسیژن دچار تغییر شود، از گازهای بی‌اثر به جای هوا استفاده می‌شود. خشک‌کن کابینتی (قفسه‌ای) در شکل ۱۳ـ۲ نشان داده شده است.

شکل ۱۳ـ۲ـ دستگاه خشک‌کن کابینتی (قفسه‌ای)

پرسش ۷

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

شکل ۱۳ـ۲ 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. بیشترین ظرفیت خشک‌کردن چنین خشک‌کنی برای میوه‌ها و سبزیجات می‌تواند تا حدود ۲۰ تن در روز باشد. مدت زمان لازم برای خشک‌کردن 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 انعطاف‌پذیر هستند. عیب خشک‌کن‌های کابینتی این است که کنترل عملیّات خشک‌کردن از نظر تولید محصولی با کیفیت مناسب و ثابت به خوبی میسر نیست.

فیلم ۸

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

فعالیت کارگاهی ۴

یک جامد خمیری شکل را درون دستگاه اون که نوعی خشک‌کن کابینتی است قرار دهید و مدت زمان لازم برای خشک‌شدن آن را در دماهای ۵۰°C، ۷۰ °C و ۹۰ °C به‌دست آورید. از این فعالیت چه نتیجه‌ای می‌گیرید؟

نکته ایمنی ۴

هنگام کار کردن با اون، از دست‌کش عایق گرما استفاده کنید.

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 دمای 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. تخلیهٔ واگن‌ها پس از خشک‌شدن و بیرون از تونل انجام می‌پذیرد؛ بنابراین، اتلاف زمانی بین چرخه‌های خشک‌کن وجود ندارد.

سمت‌وسوی حرکت هوا نسبت به حرکت مادهٔ جامد ممکن است هم‌سو و یا ناهم‌سو باشد. هم‌سو بودن حرکت هوا این مزیت را دارد که هوا با بالاترین دما با ماده‌ای تماس پیدا می‌کند که دارای بیشترین رطوبت است. این شکل توزیع و استفاده از گرما عمل خشک‌کردن را به شیوهٔ مؤثرتری انجام می‌دهد و از طرفی هوای خروجی به میزان قابل توجهی سرد شده است. در صورتی که جهت حرکت هوا مخالف جهت حرکت مادهٔ مرطوب باشد، هوای داغ در ابتدا با ماده‌ای که به میزان زیاد خشک شده است در تماس قرار می‌گیرد و بنابراین مادهٔ بسیار خشکی به‌دست می‌آید.

بر اساس طبیعت و ساختار مادهٔ خشک‌شونده، ممکن است به‌جای واگن سینی‌دار، الیاف را از میله‌هایی آویزان کنند و یا چوب و الوار را روی یکدیگر انباشته کنند تا لایه‌های مختلف با قطعات فاصله‌دهنده از هم جدا شوند. از این نوع خشک‌کن‌ها می‌توان برای بلورها، خمیرها و سفال‌ها استفاده کرد. شکل ۲ـ۱۴ یک خشک‌کن تونلی واگن‌دار را نشان می‌دهد.

شکل ۲ـ۱۴ـ دستگاه خشک‌کن تونلی واگن‌دار

پرسش ۸

عملیّات در خشک‌کن تونلی شکل ۲ـ۱۵ پیوسته است یا ناپیوسته؟ مستقیم است یا غیرمستقیم؟

شکل ۲ـ۱۵ـ دستگاه خشک‌کن تونلی دارای نوار نقاله

آنچه در شکل ۱۵ـ۲ مشاهده می‌شود نیز نوعی خشک‌کن تونلی است که گرمای لازم از جریان برق (المنت‌های گرمایی) تأمین می‌شود. همان‌گونه که در شکل مشخص است، این نوع خشک‌کن‌ها می‌توانند یک یا چندین بستر متفاوت داشته باشند و دمای هر بستر را می‌توان به‌صورت مجزا و از طریق تجهیزات کنترلی تنظیم کرد.

نکته ایمنی ۵

۱ـ هنگام کار کردن با خشک‌کن‌ها مواظب سطوح داغ باشید. از دستکش‌های محافظ استفاده کنید؛
۲ـ در صورتی‌که رطوبت تبخیرشده سمّی و یا مضر است، از ماسک استفاده کنید؛
۳ـ در صورتی‌که بخارهای موجود در خشک‌کن موجب صدمه به چشم می شود، از عینک‌های محافظ استفاده کنید.

نکته زیست محیطی ۲

یکی از مسائل مهم زیست‌محیطی در خشک‌کن‌ها، سوخت برای تأمین گرمای لازم است. بهترین سوخت برای جلوگیری از ایجاد آلودگی، گاز تصفیه‌شدهٔ شهری یا گازوئیل و نفت سفید استاندارد است. در صورتی‌که گاز خروجی از خشک‌کن دارای ترکیبات سمّی و مضرباشد، آن را به‌صورت فیزیکی و شیمیایی خنثی کنید و مواد مضر را به شیوه‌ای ایمن که برای محیط‌زیست خطر نداشته باشد، دفع کنید .

بازدید ۱

از یک شرکت تولیدکنندهٔ مواد غذایی بازدید کنید و در رابطه با خشک‌کن‌های آن گزارش تهیه کنید.
آیا نکات ایمنی در شرکت تولیدی بازدید شده رعایت می‌شود؟
آیا فرایندهای شرکت تولیدی بازدیدشده برای محیط‌زیست خطری دارد؟ برای حل آن راهکار ارائه دهید.

ارزشیابی شایستگی پودمان دستگاه‌های حرارتی

شرح کار:

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

استاندارد عملکرد:

- کار با مبدل حرارتی، برج خنک‌کننده و خشک‌کن‌ها مطابق دستورکار

شاخص‌ها:

- رعایت مسایل ایمنی در هنگام انجام دادن کار؛
- انجام دادن کار طبق دستورکار.

شرایط انجام کار و ابزار و تجهیزات:

مکان: کارگاه و آزمایشگاه **زمان :** یک جلسهٔ آموزشی

ابزار و تجهیزات: وسایل ایمنی شخصی، مبدل‌های حرارتی، برج خنک‌کننده، خشک‌کن.

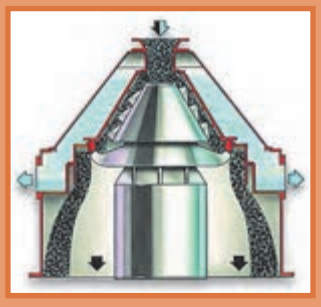
معیار شایستگی:

ردیف	مرحلهٔ کار	کمترین نمرهٔ قبولی از ۳	نمرهٔ هنرجو
۱	کار با مبدل‌های حرارتی	۲	
۲	کار با برج‌های خنک‌کننده	۱	
۳	کار با خشک‌کن‌ها	۱	
	شایستگی‌های غیرفنی، ایمنی، بهداشت، توجهات زیست‌محیطی و نگرش: ۱ـ ایمنی : انجام دادن کار کارگاهی با رعایت موارد ایمنی و استفاده از وسائل ایمنی شخصی؛ ۲ـ نگرش: صرفه‌جویی در آب مصرفی مبدل‌ها؛ ۳ـ توجهات زیست‌محیطی: جلوگیری از صدمه زدن به محیط‌زیست از طریق انجام دادن کار بدون ریخت و پاش؛ ۴ـ شایستگی‌های غیرفنی: ۱ـ اخلاق حرفه‌ای، ۲ـ مدیریت منابع، ۳ـ محاسبه و کاربست ریاضی، ۵ـ مستندسازی: گزارش‌نویسی.	۲	
	میانگین نمرات		*

* کمترین میانگین نمرات هنرجو برای قبولی و کسب شایستگی، ۲ است.

پودمان ۳

دستگاه‌های دوّار



انواع دستگاه‌های دوّار کاربرد گسترده‌ای در صنایع شیمیایی دارند؛ پمپ‌ها، مخلوط‌کننده‌ها، سانتریفیوژها و دستگاه‌های کاهش اندازهٔ مواد در فرایندهای مختلف استفاده می‌شوند؛ بنابراین آگاهی از آنها و اصول عملکرد حاکم بر آنها لازم است.

واحد یادگیری ۳

دستگاه‌های دوّار

مقدمه

دستگاه و تجهیزات دوّار، وسایلی هستند که انرژی جنبشی را به یک فرایند اضافه می‌کنند به‌طوری که باعث انتقال مواد و یا تغییر شکل در مواد می‌شوند. از تجهیزات دوّاری که در صنایع شیمیایی مورد استفاده قرار می‌گیرد، می‌توان به پمپ‌ها، مخلوط‌کن‌ها و سانتریفیوژها اشاره کرد. پمپ‌ها برای افزایش فشار مایعات استفاده می‌شوند و دارای کاربرد وسیعی در صنایع شیمیایی، صنایع غذایی و منازل هستند. در این بخش انواع پمپ‌ها و ساختار هریک از آنها و انواع پروانه که در پمپ استفاده می‌شوند و محاسبات پمپ‌ها مطرح می‌شود. از مخلوط‌کن‌ها برای هم‌زدن دو یا چند ماده استفاده می‌شود و در این پودمان به انواع عملیّات اختلاط و مخلوط‌کن‌ها پرداخته می‌شود و انواع پره‌ها، که از مشخصه‌های مهّم مخلوط‌کن‌ها هستند، معرفی خواهند شد. سانتریفیوژها از دیگر دستگاه‌های دوّاری هستند که از نیروی گریز از مرکز برای جداسازی مواد بهره می‌گیرند و اجزای تشکیل‌دهنده آن، کاربردهای آزمایشگاهی و صنعتی آن معرفی خواهند شد. استفاده از دستگاه‌های کاهش اندازهٔ ذرّات در صنعت از اهمیّت بالایی برخوردار است. در صنایع مختلف از قبیل صنایع معدن، داروسازی، غذایی و بازیافت مواد اندازه جامدات را با روش‌های مختلف کاهش می‌دهند. انواع دستگاه‌های کاهش اندازه و شیوهٔ عملکرد آنها در انتهای پودمان ارائه شده‌است.

استاندارد عملکرد

کار با پمپ‌ها، مخلوط‌کن‌ها، سانتریفیوژها و دستگاه‌های کاهش اندازه مطابق با دستورکار

شایستگی‌های غیر فنی:

۱ـ اخلاق حرفه‌ای: حضور منظم و وقت‌شناسی، انجام دادن وظایف و کارهای محوّل، پیروی از قوانین؛

۲ـ مدیریت منابع: شروع به‌کار به‌موقع، مدیریت مؤثر زمان، استفاده از مواد و تجهیزات؛

۳ـ کار گروهی: حضور فعّال در فعالیت‌های گروهی، انجام دادن کارها و وظایف محوّل؛

۴ـ مستندسازی: گزارش‌نویسی فعالیت‌های آزمایشگاهی؛

۵ـ محاسبه و کاربست ریاضی.

شایستگی‌های فنی:

۱ـ کار با پمپ‌ها؛

۲ـ کار با مخلوط‌کن‌ها؛

۳ـ کار با سانتریفیوژها؛

۴ـ کار با دستگاه‌های کاهش اندازه.

۱ـ۳ـ پمپ‌ها

بحث گروهی ۱

تصویرهای زیر نشان‌دهنده چه نیازی در زندگی و راه‌های برطرف‌کردن آن است؟

نیاز انسان به آب و لزوم جابه‌جایی آن از نقطه‌ای به نقطه دیگر، همیشه به‌عنوان یک موضوع حیاتی در زندگی بشر مطرح بوده‌است. اهمیّت این موضوع سبب شد که فکر اختراع دستگاهی برای رفع این مشکل به‌وجود آید. اولین نمونهٔ 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 روزمرهٔ ما هستند.

پمپ دستگاهی است که انرژی مکانیکی را از یک منبع خارجی می‌گیرد و به سیالی انتقال می‌دهدکه 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 سامانه‌های لوله‌کشی و به‌طور کلی انتقال سیال از یک نقطه به نقطه دیگر استفاده می‌شود.

فکر کنید ۱

چند نمونه از کاربردهای پمپ‌ها را در زندگی نام ببرید؟

بحث گروهی ۲

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

۲ـ۳ـ تقسیم‌بندی پمپ‌ها

متداول‌ترین روش تقسیم‌بندی پمپ‌ها، برمبنای شیوهٔ انتقال انرژی به سیال است. با این دیدگاه و مطابق شکل ۱ـ۳ پمپ‌ها را به دوگروه بزرگ تقسیم‌بندی می‌کنند.

۱ـ 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 پروانهٔ پمپ صورت می‌گیرد و در نتیجه توانایی تولید فشار پمپ تابعی از سرعت دوران پروانه است. در این پمپ‌ها انتقال انرژی به سیال به‌صورت پیوسته انجام می‌شود. این پمپ‌ها، سیال را با دبی[1] زیاد و فشار کم انتقال می‌دهند و در هنگام انتقال سیال قسمت ورودی و خروجی پمپ با هم در ارتباط هستند. معروف‌ترین پمپ دینامیکی پمپ‌های گریز از مرکز (سانتریفیوژ) است.

۲ـ پمپ‌های جابه‌جایی مثبت

پمپ‌هایی را که در آن انتقال انرژی به سیال به‌صورت متناوب و دوره‌ای است، پمپ‌های جابه‌جایی مثبت می‌نامند. پمپ‌های پیستونی از انواع پمپ‌های جابه‌جایی مثبت هستند. شکل ۱ـ۳ تقسیم‌بندی این دو نوع پمپ را بهتر نمایش می‌دهد.

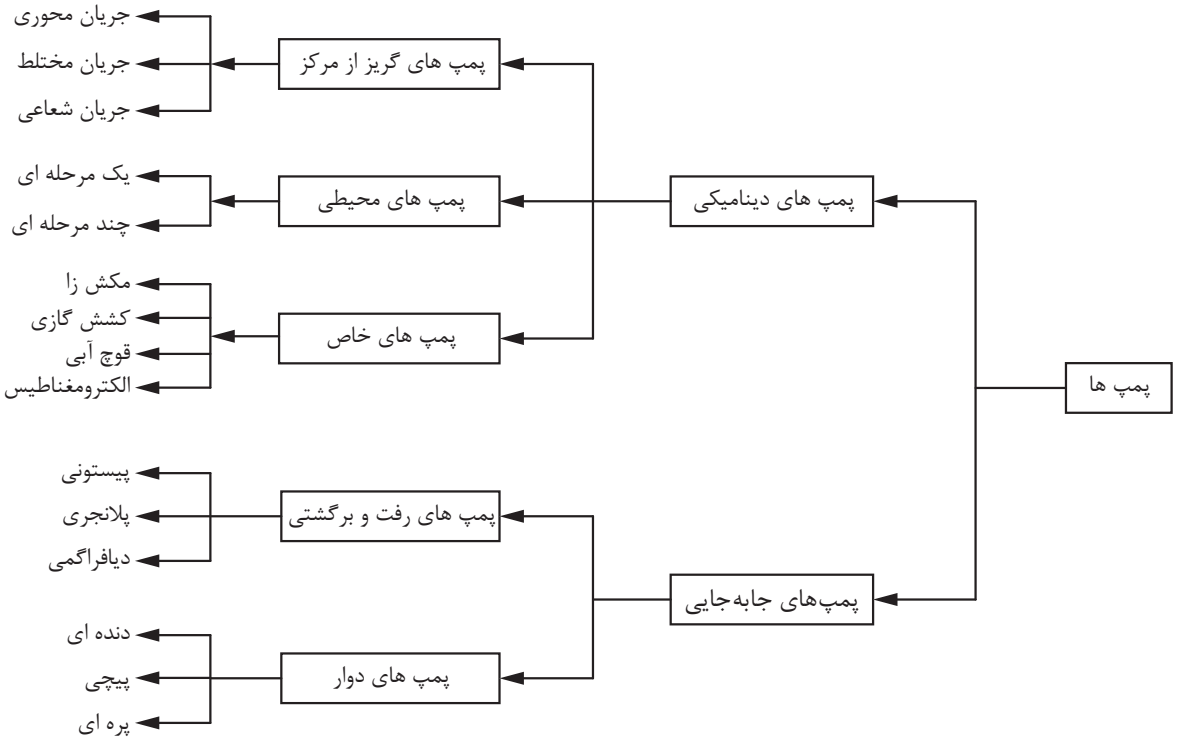
فیلم ۱

فیلم آموزشی عملکرد پمپ‌های دینامیکی و جابه‌جایی مثبت را مشاهده کنید و گزارش آن را بنویسید.

۱ـ دبی یا شدت جریان سیال به مقدار سیال عبوری از سطح مقطع جریان در واحد زمان گفته می‌شود.

بحث گروهی ۳

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



شکل ۱ـ۳ـ نمودار تقسیم‌بندی پمپ‌ها[1]

۳ـ۳ـ پمپ‌های گریز از مرکز

ساختمان پمپ‌های گریز از مرکز یا سانتریفیوژ

شکل‌های ۲ـ۳، ۳ـ۳ و ۴ـ۳ ساختمان و بخش‌های مختلف پمپ گریز از مرکز را نشان می‌دهند. اجزای اصلی یک پمپ گریز از مرکز عبارت‌اند از:

۱ـ محور پمپ؛

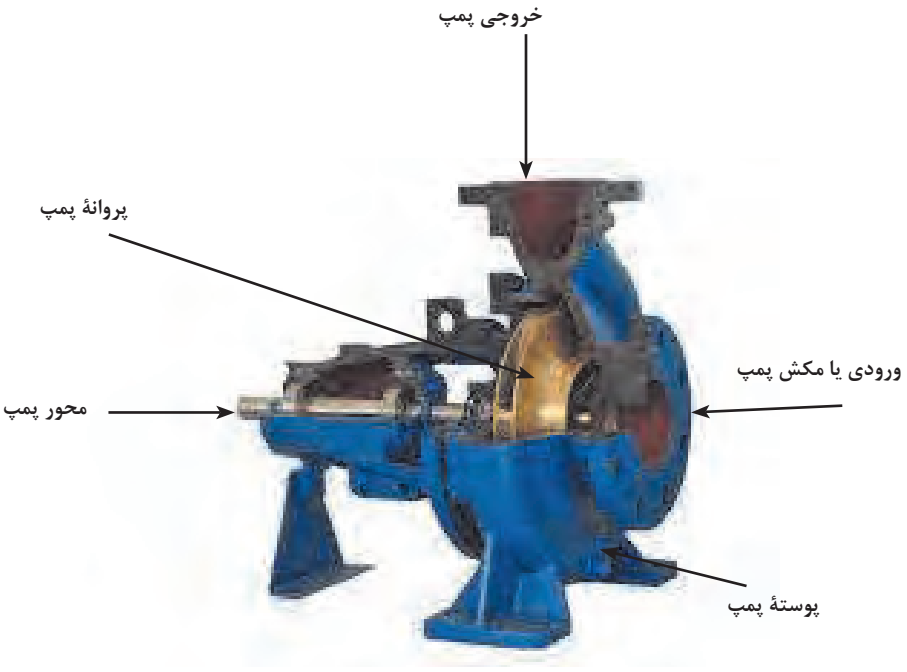
۲ـ پروانه؛

۳ـ پوستهٔ حلزونی پمپ؛

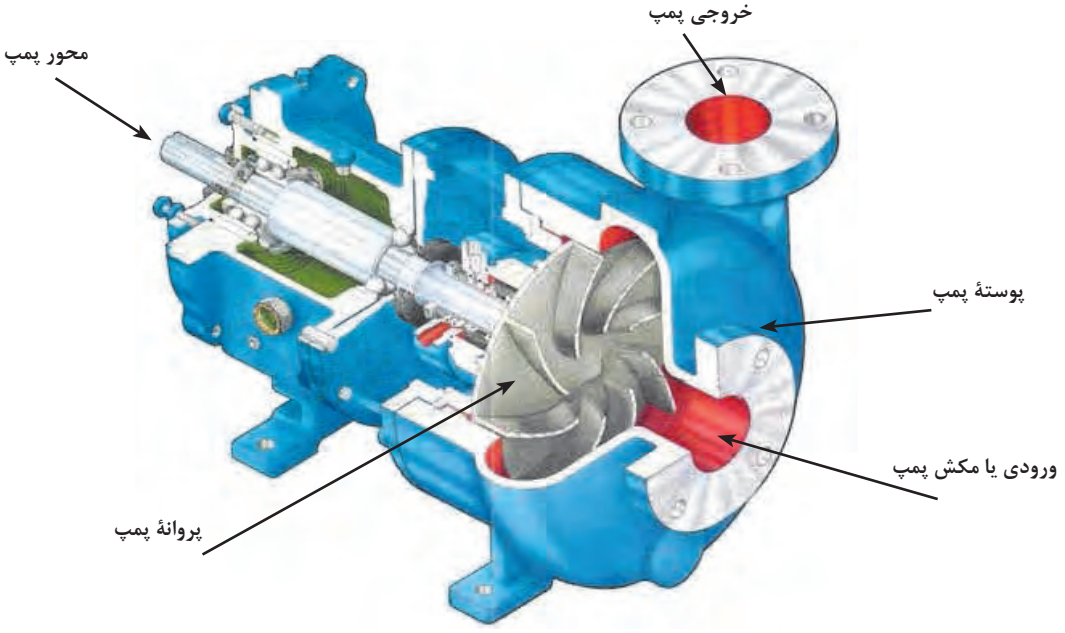
۴ـ خروجی پمپ؛

۵ـ ورودی پمپ.

۱ـ نمودار داده‌شده برای آگاهی بیشتر هنرجویان است و نیازی به حفظ‌کردن آن نیست.



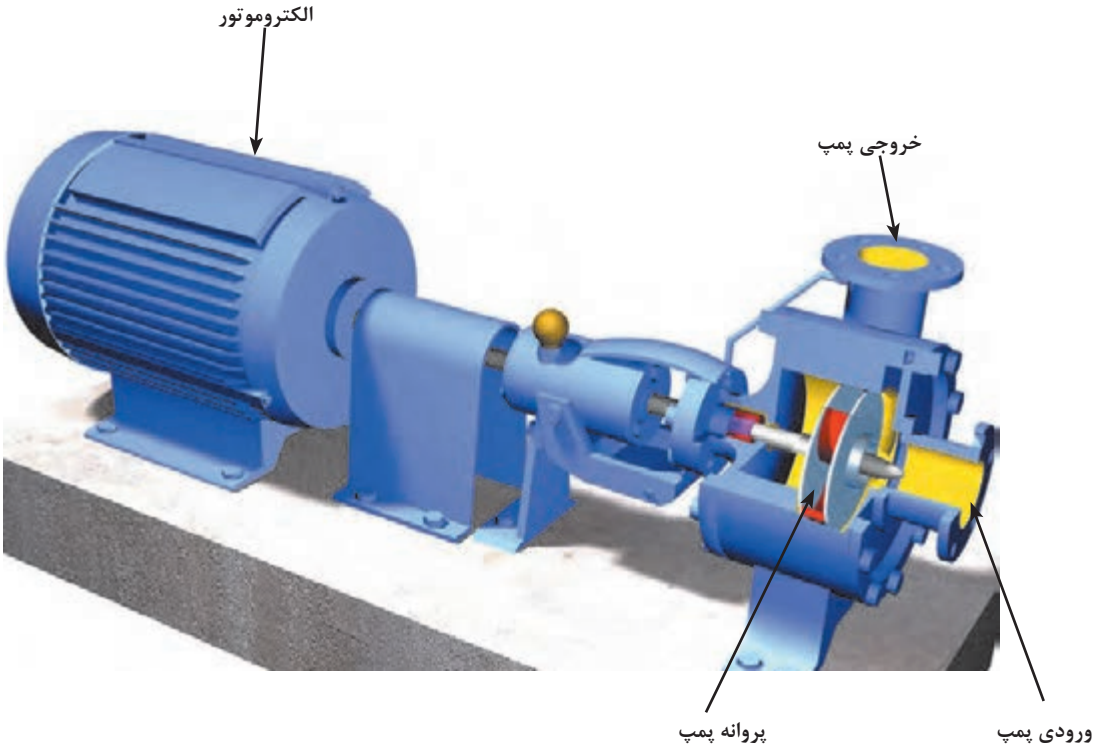
شکل ۲ـ۳ـ نمایی از ساختمان پمپ گریز از مرکز



شکل ۳ـ۳ـ نمایی از ساختمان پمپ گریز از مرکز با یک نوع پروانهٔ متفاوت

فعالیت آزمایشگاهی ۱

قطعات یک پمپ گریز از مرکز را باز کنید و آنها را شناسایی کنید.



شکل ۴ـ۳ـ پمپ گریز از مرکز همراه با الکتروموتور آن

عملکرد پمپ‌های گریز از مرکز

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

مطابق شکل ۵ـ۳، مجرای ورودی یا مکش سیال در مرکز پروانه قرار دارد و مجرای خروجی در اطراف بدنه واقع شده‌است. در پمپ‌های سانتریفیوژ سیال دراثر نیروی مکش از مرکز پروانه وارد پمپ می‌شود و در اثر چرخش پروانه، تحت تأثیر نیروی گریز از مرکز پروانه قرار می‌گیرد و پمپ را ترک می‌کند و از مجرای خروجی خارج می‌شود.

شکل ۵ـ۳ـ مسیر حرکت سیال در پمپ گریز از مرکز

انواع پروانه‌ها

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

۱ـ ساختمان مکانیکی: پروانه پمپ از نظر ساختمان به سه دسته تقسیم‌بندی می‌شود و براساس نوع و گران‌روی[۱] سیال پروانه مناسب انتخاب می‌گردد؛

پروانهٔ 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 لفافهٔ پروانه قرار می‌گیرند.

پروانهٔ نیمه‌باز: این نوع پروانه برای انتقال سیالات با گران‌روی بالا مانند فاضلاب، خمیر کاغذ و محلول شکر به کار می‌روند. برای کمتر شدن گرفتگی پروانه، تعداد پره‌ها کم و طول آنها بلند انتخاب می‌شود. در این نوع پروانه‌ها، پره‌ها از یک طرف به‌وسیله صفحه لفافه بسته شده‌است.

پروانهٔ باز: این نوع پروانه دارای صفحهٔ لفافه نیست و برای پمپ‌کردن سیالاتی با رسوبات و ذرّات معلق زیاد استفاده می‌شود.

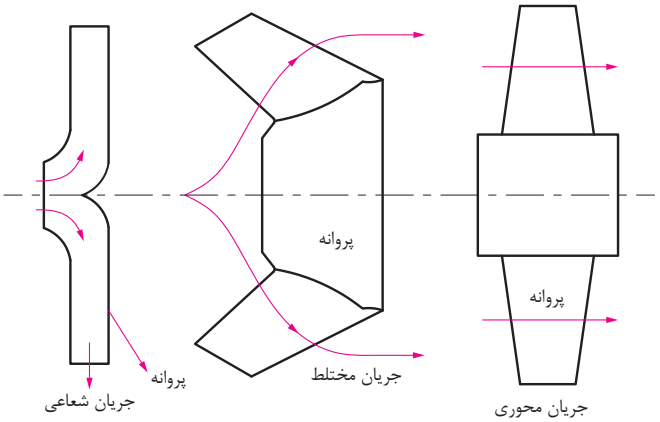
شکل ۶ـ۳ انواع پروانه‌ها از نظر ساختمان مکانیکی

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

فعالیت کارگاهی ۱

۱ـ کاربرد انواع پروانه‌ها را در صنایع شیمیایی ایران بیان کنید.
۲ـ انواع پمپ‌های موجود در هنرستان و منزل خود را شناسایی کنید و نوع پروانهٔ آنها را مشخص کنید.

۲ـ جهت جریان مایع: از نظر جریان مایع، مطابق شکل ۷ـ۳ پروانه‌ها به سه دسته تقسیم‌بندی می‌شوند؛
الف: پروانه با جریان شعاعی؛
ب: پروانه با جریان مختلط؛
ج: پروانه با جریان محوری.



شکل ۷ـ۳ـ 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 می‌شود. در این نوع پروانه‌ها عمل گریز از مرکز کامل‌تر از انواع دیگر صورت می‌گیرد. هد[1] این پمپ‌ها زیاد و دبی آنها کم است (شکل ۸ـ۳).

شکل ۸ـ۳ـ پروانه با جریان شعاعی

۱ـ 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 می‌شود 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 ۹ـ۳ پروانه با جریان مختلط را نشان می‌دهد.

شکل ۹ـ۳ـ پروانه با جریان مختلط

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

پروانه با جریان محوری: در این نوع پروانه مایع موازی با محور وارد پروانه می‌شود و موازی با آن 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 تقسیم‌بندی می‌کنند. این پروانه‌ها را برای دبی زیاد سیال و ارتفاع کم آن به کار می‌برند.

شکل ۱۰ـ۳ـ پروانه با جریان محوری

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

تمرین ۱

برای هر یک از پروانه‌ها در صنعت مثالی بیان کنید.

۴ـ۳ـ محاسبات در پمپ‌ها

هد پمپ

میزان افزایش فشاری که پمپ به سیال می‌دهد، هد پمپ نامیده می‌شود. این هد می‌تواند به‌صورت فشاری یا ارتفاع بیان شود. در محاسبات پمپ، ارتفاع کاربرد بیشتری نسبت به فشار 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 چگالی و سایر خواص فیزیکی مایعات معرفی کنند. به هد پمپ، ارتفاع آب‌دهی نیز می‌گویند. $P=dgh$

$$h=\frac{P}{dg}=\frac{P}{۲}$$

نسبت اختلاف فشار مایع در نقطهٔ ورودی به سامانهٔ پمپ و نقطهٔ خروجی از سامانهٔ پمپ بر متغیر گاما $(۲=dg)$ هد پمپ گفته می‌شود.

$$\text{هد پمپ}=h=\frac{P_۲-P_۱}{۲}$$

توان تولیدی یا توان هیدرولیک

میزان انرژی‌ای را که پمپ در واحد زمان به مایع منتقل می‌کند، توان تولیدی یا توان هیدرولیک پمپ می‌نامند و با استفاده از معادلهٔ روبه‌رو محاسبه می‌شود:

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

در این معادله:

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

ΔP: اختلاف فشار در دو سر پمپ بر حسب پاسکال (Pa)

Q: دبی مایع بر حسب مترمکعب بر ثانیه $(m^۳/s)$

توان الکتریکی مصرفی

میزان انرژی الکتریکی مصرف‌شده برای تأمین نیروی محرکهٔ پمپ را توان الکتریکی مصرفی پمپ می‌نامند که با استفاده از معادلهٔ روبه‌رو محاسبه می‌شود:

$$P_i = V \times I$$

در این معادله:

P_i : توان مصرفی بر حسب وات (W)

V : اختلاف پتانسیل بر حسب ولت (V)

I: شدت جریان بر حسب آمپر (A)

بازده پمپ

بازده پمپ بر اساس تقسیم مقدار توان تولیدی یا (هیدرولیک) پمپ به مقدار توان مصرفی آن محاسبه می‌شود.

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

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

مثال ۱) 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 شده‌است، در صورتی که اختلاف فشار در دو سر پمپ 10^6 پاسکال باشد، توان تولیدی، مصرفی و بازده پمپ را محاسبه کنید؟

پاسخ:

$$Q = ۲/۲ \frac{L}{s} = ۲/۲ \times ۱۰^{-۳}\, m^{-۳}/s$$

$$P_o = ۲/۲ \times ۱۰^{-۳} \times ۱۰^{۶} = ۲۲۰۰ W$$

$$P_i = ۳۰ \times ۲۲۰ = ۶۶۰۰ W$$

$$\eta = \frac{P_O}{P_i} = \frac{۲۲۰۰}{۶۶۰۰} = ۰/۳۳$$

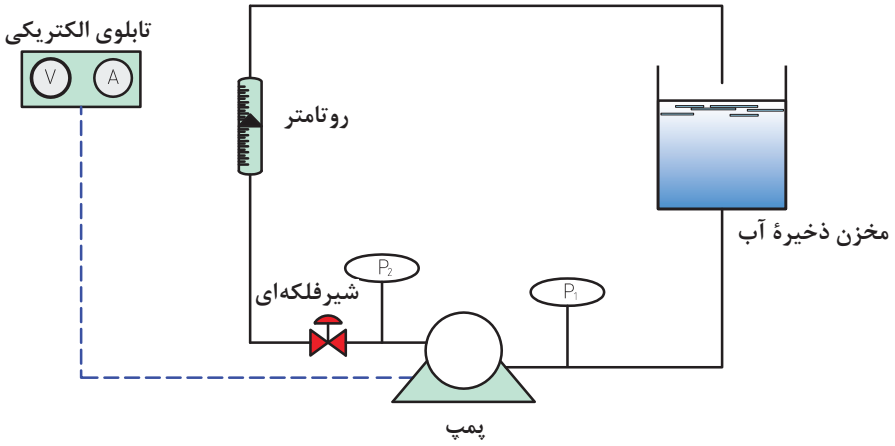
بنابراین بازده پمپ ۰/۳۳ یا ۳۳ درصد است.

تمرین ۱: 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؟

فعالیت کارگاهی ۲

از یک پمپ گریز از مرکز برای پمپ کردن آب از یک تجهیز به تجهیز دیگر استفاده کنید، با راهنمایی مربی پمپ را راه‌اندازی کنید و توان تولیدی و مصرفی و بازده آن را محاسبه کنید.

راهنمایی: برای آشنایی با عملکرد پمپ و محاسبات مربوط به آن یک نمونه شکل و روش کار ارائه می‌شود.



روش کار:

۱ـ با تنظیم شیر فلکه‌ای دبی‌های مختلفی را ایجاد کنید؛

۲ـ در هر دبی ایجادشده فشارهای ورودی و خروجی را بخوانید و اختلاف فشار برای هر شدت جریان را محاسبه کنید؛

۳ـ در هر دبی ایجادشده ولتاژ و آمپر را بخوانید و توان الکتریکی را محاسبه کنید؛

۴ـ توان تولیدی و ارتفاع آب‌دهی را محاسبه کنید و سپس بازده پمپ را به‌دست آورید. چگالی آب را $۱۰۰۰ \frac{kg}{m^3}$ و مقدار شتاب جاذبهٔ زمین را $۱۰ \frac{m}{s^2}$ درنظر بگیرید.

۵ـ داده‌های جمع‌آوری‌شده را در جدول زیر یادداشت کنید و سپس ارتفاع آب‌دهی(هد پمپ) را برحسب دبی رسم کنید؛

۶ـ بازده پمپ را برحسب دبی رسم کنید؛

۷ـ با استفاده از نمودارها، نتیجه بگیرید در کدام دبی، پمپ بیشترین بازده را دارد.

ردیف	Q (L/min، m^3/s)	P_1 (P_a)	P_2 (P_a)	ΔP (P_a)	h(m)	V(v)	I(A)	P_i(w)	P_o(w)	η
۱										
۲										
۳										
۴										

نکته ایمنی ۱

هنگام راه‌اندازی پمپ نکات زیر را باید در نظر گرفت:
اطمینان از نصب صافی در لولهٔ مکش پمپ؛
اطمینان از بسته نبودن شیر تخلیه؛
باز کردن کامل شیر مکش پمپ؛
اطمینان از نبود نشتی غیر عادی در سامانهٔ آب‌بندی؛
هرگز پمپ را در دبی‌های کمتر از دبی کمینه یا با وجود مسیرهای مکش و تخلیهٔ بسته راه اندازی نکنید. این امر ممکن است موجب صدمات فیزیکی به دستگاه شود.

تحقیق کنید ۱

مزایا و معایب استفاده از پمپ‌های سانتریفیوژ چیست؟

۵ـ۳ـ پمپ‌های جابه‌جایی مثبت

پمپ‌های جابه‌جایی مثبت به دو دسته تقسیم‌بندی می‌شوند (شکل ۱۱ـ۳):

۱ـ پمپ‌های رفت و برگشتی [۱]

۲ـ پمپ‌های دوّار [۲]

شکل ۱۱ـ۳ یک نمونه پمپ جابه‌جایی مثبت را نشان می‌دهد.

شکل ۱۱ـ۳ـ یک نمونه پمپ جابه‌جایی مثبت

الف) پمپ‌های رفت و برگشتی

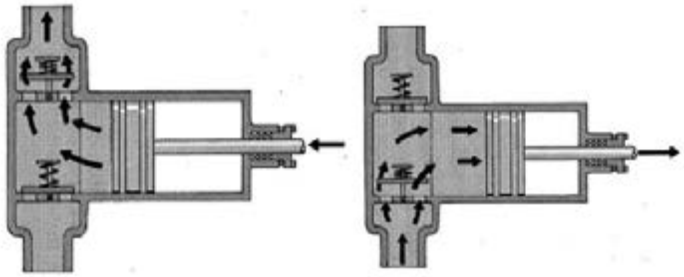
در این پمپ‌ها انتقال انرژی به سیال به‌صورت دوره‌ای است. اساس عملکرد این پمپ‌ها حرکت رفت و برگشتی پیستون است. با عقب رفتن پیستون مکش ایجاد می‌شود و در نتیجه مایع از طریق شیر ورودی داخل محفظه می‌شود. با حرکت پیستون به طرف جلو دریچهٔ ورودی بسته و مایع از طریق شیر خروجی به خارج هدایت می‌گردد. مزیت مهم این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

انواع پمپ‌های رفت و برگشتی

۱ـ پمپ‌های پیستونی [۳]؛

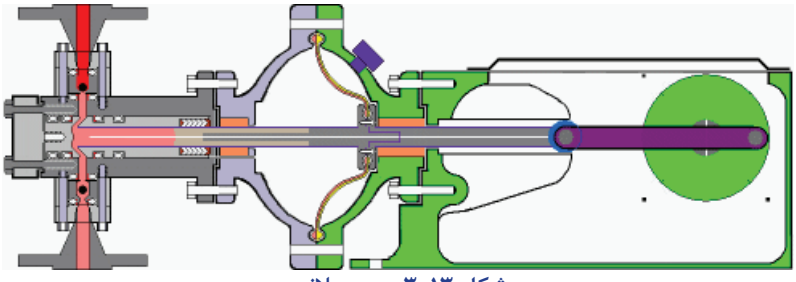
۲ـ پمپ‌های پلانجری [۴]؛

۳ـ پمپ‌های دیافراگمی [۵].



شکل ۱۲ـ۳ـ شیوهٔ عملکرد پمپ پیستونی

شیوهٔ عملکرد پمپ پیستونی در شکل ۱۲ـ۳ نشان داده شده است. همچنین طرح ساده‌ای از پمپ پلانجری در شکل ۱۳ـ۳ آورده شده است. تفاوت ساختاری پمپ‌های پیستونی و پلانجری در شکل ۱۴ـ۳ دیده می‌شود.

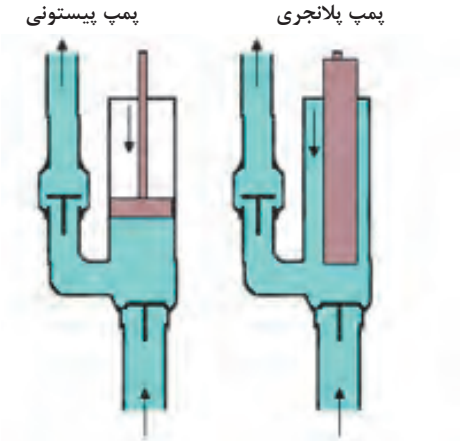


شکل ۱۳ـ۳ـ پمپ پلانجری

۱ـ Reciprocating Pumps
۲ـ Rotary Pumps
۳ـ Piston Pumps
۴ـ Plunger Pumps
۵ـ Diaphragm Pumps

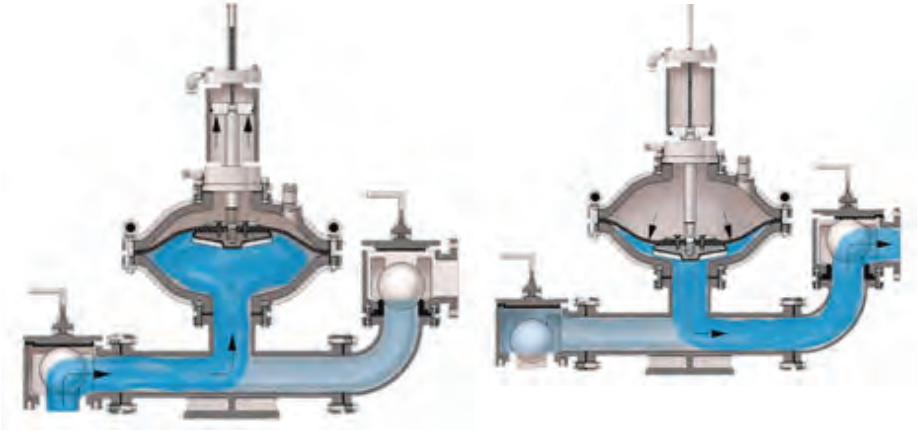
تحقیق‌کنید۲

دربارهٔ پمپ‌های پیستونی و پلانجری تحقیق کنید و نتیجه آن را در کلاس ارائه دهید.



شکل ۱۴ـ۳ ـ تفاوت پمپ پیستونی و پلانجری

پمپ دیافراگمی نمونهٔ دیگری از پمپ‌های رفت‌و برگشتی است. شیوهٔ عملکرد پمپ دیافراگمی با حرکت رو به بالا و پایین صفحهٔ دیافراگم آن در شکل ۱۵ـ۳ نشان داده شده است.



شکل ۱۵ـ۳ ـ شیوهٔ عملکرد پمپ دیافراگمی

فیلم ۲

فیلم آموزشی پمپ‌های رفت و برگشتی پیستونی و پلانجری را مشاهده کنید و در پایان گزارش آنها را بنویسید.

تحقیق گروهی ۱

در مورد کاربرد پمپ‌های رفت و برگشتی در صنایع شیمیایی تحقیق کنید و نتیجهٔ آن را در کلاس ارائه دهید.

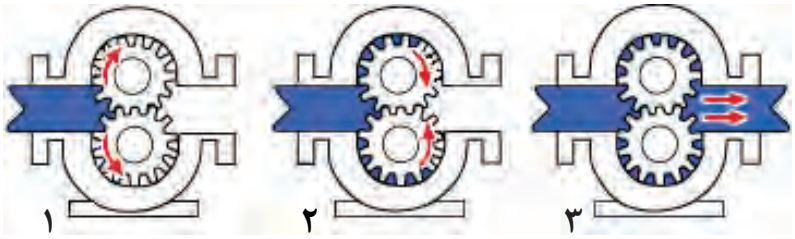
ب) پمپ‌های دوّار

این پمپ‌ها اگرچه دوّار هستند، ولی پروانه ندارند بلکه قطعات چرخ‌دنده‌ای یا مارپیچی در آنها وجود دارد که مایع در بین دنده‌های چرخ‌دنده پمپ به دام می‌افتد و در اثر چرخیدن چرخ‌دنده‌ها فشرده شده و با فشار به بیرون رانده می‌شود. این پمپ‌ها به ویژه برای مایعات با گران‌روی بالا مناسب هستند و بازده بالایی دارند.

انواع پمپ‌های دوّار عبارت‌اند از:

۱ـ پمپ‌های دنده‌ای[۱]؛
۲ـ پمپ‌های پیچی[۲]؛
۳ـ پمپ‌های پره‌ای[۳].

شیوهٔ عملکرد پمپ دنده‌ای در شکل ۱۶ـ۳ نشان داده شده است.

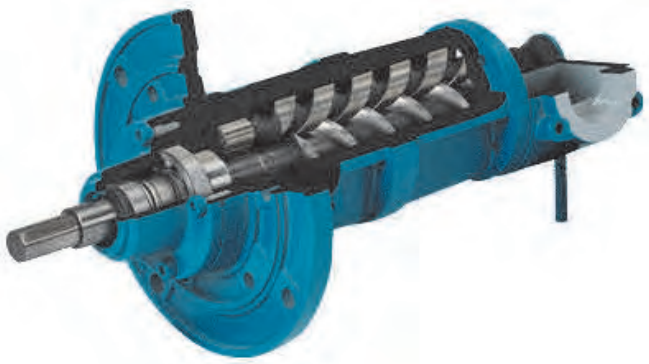


شکل ۱۶ـ۳ـ شیوهٔ عملکرد پمپ دنده‌ای

فیلم ۳

فیلم آموزشی پمپ‌های دوّار را مشاهده کنید و در پایان گزارش آن را بنویسید.

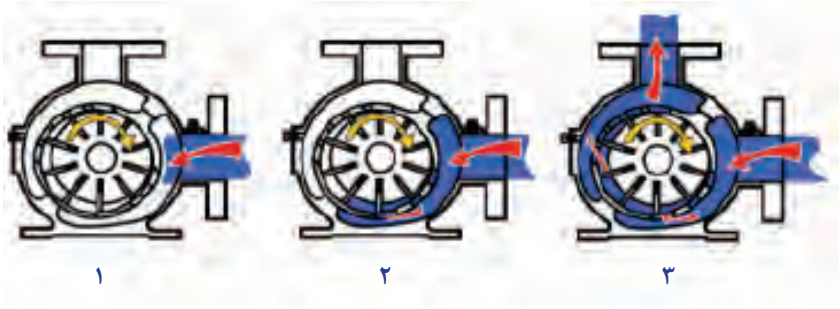
طرح ساده‌ای از پمپ پیچی در شکل ۱۷ـ۳ نشان داده شده است.



شکل ۱۷ـ۳ـ پمپ پیچی

۱ـ Gear Pumps
۲ـ Screw Pumps
۳ـ Vane Pumps

شیوهٔ عملکرد پمپ پره‌ای در شکل ۱۸ـ۳ نشان داده شده است.



شکل ۱۸ـ۳ـ شیوهٔ عملکرد پمپ پره‌ای

فعالیت کارگاهی ۳

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

نکته ایمنی ۲

زمانی‌که پمپ جابه‌جایی مثبت در حال کار کردن است، باید از باز بودن دریچهٔ خروجی پمپ اطمینان حاصل کرد. چنانچه مسئول بهره‌برداری بخواهد، اقدام به بستن مجرای خروجی پمپ کند، باید مطمئن شود که مجرای خروجی دیگری برای تخلیه مایع وجود دارد. در غیر این صورت بر قطعات پمپ فشار وارد می‌شود و ممکن است الکتروموتور پمپ بسوزد یا پمپ از کار بیفتد و یا سوختن فیوز و ترکیدن محفظه و لوله‌ها و سایر معایب را درپی داشته باشد.

۶ـ۳ پدیدهٔ حفره‌زایی

پدیدهٔ حفره‌زایی در صنعت به «کاویتاسیون[۱]» معروف است. کاویتاسیون در لغت به معنای ایجاد حفره یا حفره‌زایی است. پیش از توضیح پدیدهٔ کاویتاسیون لازم است به دمای جوش و فشار بخار مایعات اشاره شود. نقطهٔ جوش مایعات به فشار محیطی بستگی دارد که مایع در آن قرار دارد؛ مثلاً آب در فشار یک اتمسفر در دمای ۱۰۰ درجهٔ‌سلسیوس می‌جوشد که این دما در فشار ۰/۵ اتمسفر در حدود ۸۰ درجهٔ سیلسیوس است. یعنی با کاهش فشار محیط، دمای جوش آب کاهش می‌یابد و برعکس.

هرگاه در هنگام جریان مایع در داخل یک پمپ، فشار مایع در نقطه‌ای از فشار تبخیر مایع در دمای 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 می‌شوند و می‌ترکند و باعث ایجاد آسیب به بدنه و پروانه پمپ می‌شوند. این پدیدهٔ مخرّب در پمپ‌ها را کاویتاسیون می‌نامند. پدیدهٔ کاویتاسیون برای پمپ بسیار خطرناک است و پس از مدت کوتاهی پره‌ها و پوستهٔ پمپ را از بین می‌برد؛ بنابراین باید از به‌وجودآمدن چنین پدیده‌ای در پمپ جلوگیری کرد. کاویتاسیون همواره با صداهای منقطع شروع می‌شود و سپس در صورت ادامهٔ کاهش فشار در دهانهٔ ورودی پمپ، بر شدت این صداها افزوده می‌شود. صدای کاویتاسیون مخصوص و مشخص است و شبیه برخورد گلوله‌هایی به یک سطح فلزی است. هم‌زمان با تولید این صداها پمپ به ارتعاش در می‌آید. در انتها این صداهای منقطع به صداهایی شدید و پیوسته تبدیل می‌شود و در همین حال بازده پمپ به‌شدت کاهش می‌یابد. شکل ۱۹ـ۳ آسیب‌دیدگی پروانهٔ پمپ در اثر پدیدهٔ کاویتاسیون را نشان می‌دهد.

شکل ۱۹ـ۳ـ آسیب‌دیدگی پروانهٔ پمپ در اثر پدیدهٔ کاویتاسیون

فیلم ۴

فیلم آموزشی مربوط به پدیده کاویتاسیون را مشاهده کنید و در پایان گزارش آن را تهیه کنید.

در ایران شرکت‌های توانمند بسیاری وجود دارند که در زمینهٔ ساخت پمپ‌های باکیفیت فعالیت می‌کنند. هم‌اینک در بیشتر صنایع کشور از این پمپ‌ها استفاده می‌شود.

۱ـ Cavitation

۳ـ۷ فرایند اختلاط

فکر کنید ۲

تفاوت میان هم زدن و مخلوط کردن چیست؟

فرایند هم‌زدن به مفهوم ایجاد کردن حرکت و آشفتگی در مایع یا جامد است. یکی از اهداف هم‌زدن، مخلوط کردن دو یا چند ماده است. اختلاط می‌تواند به‌منظور انجام دادن یک تغییر فیزیکی یا شیمیایی باشد. در بیشتر صنایع شیمیایی و در بسیاری از صنایع دیگر از عملیّات اختلاط استفاده می‌شود. در صنایع غذایی، دارویی، کاغذ، لاستیک، پلاستیک و حتی گاز و پتروشیمی عملیات مخلوط‌کردن کاربرد دارد. در اغلب واکنش‌های چند فازی، شیوه، شدت و مدت زمان اختلاط مواد در بازده واکنش تأثیر چشمگیر دارد. اگر اختلاط به‌شکل مطلوب انجام نشود، برخورد میان مولکول‌های مواد واکنش‌دهنده به شکل مطلوب انجام نمی‌شود و در نتیجه یا واکنش انجام نخواهد شد یا بازده آن کمتر از حد انتظار خواهد بود.

نکتهٔ مهم آن است که در بسیاری از فرایندها هم‌زدن شدید یا طولانی مدت، علاوه بر اتلاف انرژی بر کیفیت محصول اثر نامطلوب می‌گذارد؛ برای مثال در فرایند تشکیل بلور یا بعضی فرایندهای زیست‌شناسی، افزایش توان هم‌زن باعث شکسته شدن دانه‌های بلور یا صدمه دیدن ریزاندامگان و کاهش کیفیت محصول می‌شود، همچنین در بسیاری از واکنش‌های شیمیایی اگر زمان اختلاط بیش از حد طولانی شود، محصول شروع به تجزیه‌شدن می‌کند و به مواد ناخواسته تبدیل می‌شود. بدین ترتیب بازده واکنش کاهش می‌یابد.

بحث کنید ۱

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

انواع اختلاط

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

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 (جامد، مایع و گاز)؛

اختلاط جامدات.

بحث کنید ۲

جدول زیر را کامل کنید.

فرایند اختلاط	هدف از هم‌زدن	کاربردها
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		

۸ـ۳ انواع مخلوط کن‌ها

مخلوط‌کننده‌ها را می‌توان به دو دستهٔ کلی تقسیم‌بندی کرد:

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

۲ـ 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 دستگاه برای مخلوط‌شدن در فاز مایع، مخزن مجهز به هم‌زن مکانیکی[۱] است. طرح ساده‌ای از این مخلوط‌کن در شکل ۲۰ـ۳ نشان داده شده است.

شکل ۲۰ـ۳ـ طرح ساده‌ای از مخلوط‌کن ساده

فکر کنید ۳

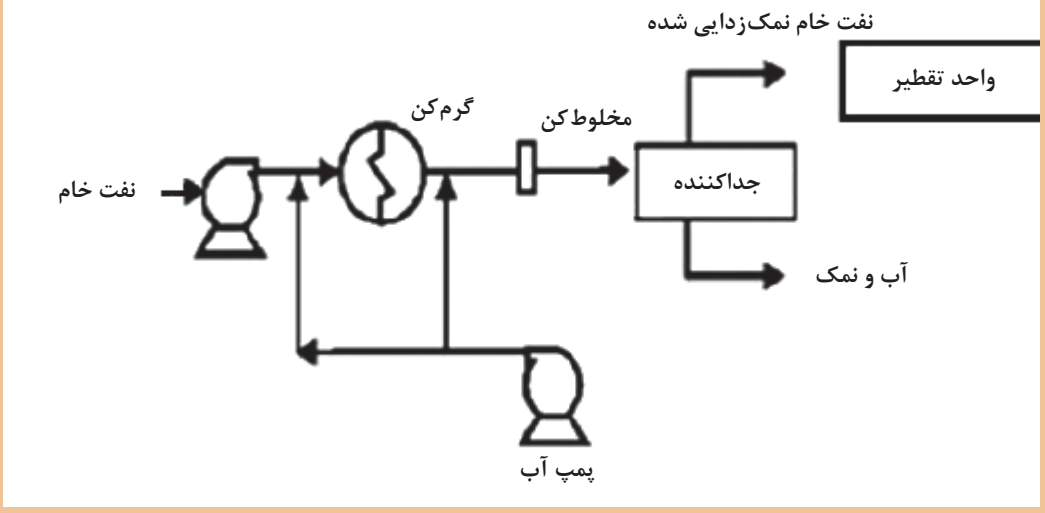
کف مخازن مجهز به هم‌زن به شکل محدب طرّاحی می‌شود، به نظر شما دلیل آن چیست؟

۱ـ Mechanically-Agitated Vessel

علاوه بر مخازن مجهز به هم‌زن مکانیکی، مخلوط‌کن‌های ساکن یا داخلی[1] نیز برای اختلاط مایع در مایع یا پخش جامدات و گازها در مایعات استفاده می‌شوند. این نوع هم‌زن دارای قطعات متحرک نیست و از نظر ساختمان ساده و هزینهٔ آن در مقایسه با سایر مخلوط‌کن‌ها مناسب‌تر است. این مخلوط‌کننده‌ها در گسترهٔ وسیعی از گران‌روی قابل استفاده هستند و حتی در مخلوط کردن(بسپارهای) مذاب نیز می‌توان از آنها استفاده کرد.
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 است، وارد و با حرکت به سمت انتهای لوله به‌تدریج مخلوط می‌شوند. بیش از ۳۰ نوع متفاوت از این نوع مخلوط‌کننده (با آرایش‌های مختلفی از موانع) وجود دارد.

بحث کنید ۳

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



یک نمونه از مخلوط‌کن‌های ساکن در شکل ۲۱ـ۳ نشان داده شده است. مزیت این مخلوط‌کن‌ها قابلیت استفاده در فرایندهای پیوسته است.

۱ـ In line or Static Mixer

شکل ۲۱ـ۳ـ مخلوط‌کن ساکن

مخلوط‌کننده‌های فاز جامد

مخلوط‌کردن جامدات به سه دستهٔ اصلی تقسیم‌بندی می‌شوند:

اختلاط به روش نفوذ: در این روش ضمن انجام دادن یک حرکت دورانی، ذرّات جامد در یکدیگر نفوذ می‌کنند. یک نمونه از این دستگاه‌ها مخلوط‌کن V شکل است که در شکل ۲۲ـ۳ نمایش داده شده‌است.

شکل ۲۲ـ۳ـ دستگاه مخلوط‌کن V شکل

اختلاط به روش جابه‌جایی: در این روش با حرکت انتقالی پودر انواع جامدات، عمل مخلوط‌کردن انجام می‌شود؛ به عنوان‌مثال می‌توان به دستگاه‌های مخلوط‌کن روبانی و دستگاه مخلوط‌کن مارپیچ عمودی اشاره کرد که ساختمان آنها در شکل‌های ۲۳ـ۳ و ۲۴ـ۳ نمایش داده شده‌است.

شکل ۲۳ـ۳ـ دستگاه مخلوط‌کن روبانی

شکل ۲۴ـ۳ـ دستگاه مخلوط‌کن مارپیچ عمودی

اختلاط به روش ایجاد سیالیت: اگر مقداری جامد را به‌صورت پودر در یک ظرف استوانه‌ای بریزید و از میان آنها گاز عبور دهید، به‌تدریج با افزایش سرعت گاز و متناسب با سنگینی پودر، ذرّات جامد از جای خود بلند می‌شوند و حالت سیالیت پیدا می‌کنند. در این حالت سرعت گاز به حدی است که در ذرّات جامد آشفتگی و اختلاط لازم را پدید آورد؛ اما قادر نیست که ذرّات را با خود همراه کند و از ظرف خارج نماید. یک نمونه از دستگاه‌های مخلوط‌کن بستر سیال [۱] در شکل ۲۵ـ۳ نمایش داده شده‌است.

شکل ۲۵ـ۳ـ دستگاه مخلوط‌کن بستر سیال

فیلم ۵

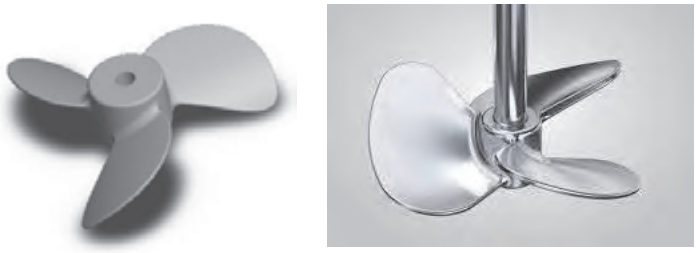
فیلم آموزشی مخلوط‌کننده بستر سیال را مشاهده کنید و سپس گزارش آن را تهیه کنید.

۱ـ Ribbon Mixer

۹ـ۳ نقش پره‌ها در اختلاط و انواع آنها

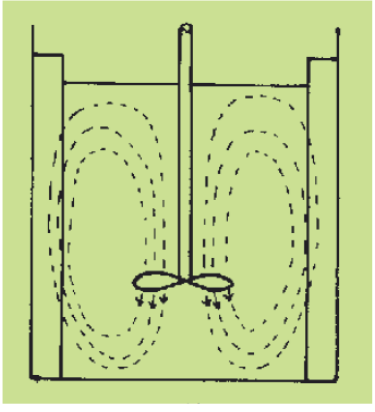
انواع پره‌ها به شکل‌های مختلف برای هم‌زدن مایعات به کار برده می‌شوند. متداول‌ترین پره‌ها عبارت‌اند از:

پره‌های ملخی[1]: این نوع پره از متداول‌ترین انواع پره‌ها است. شکل ۲۶ـ۳ نمایی از این پره‌ها را نشان می‌دهد. از این نوع اغلب برای معلق کردن ذرّات جامد در داخل سیال استفاده می‌شود و در گسترهٔ وسیعی از سرعت می‌تواند کار کند. این نوع پره برای مایعاتی با گران‌روی کم به‌کار می‌رود. پره‌های ملخی به‌علت ایجاد جریان‌های پایدار، در مخزن‌های بسیار بزرگ کارایی خوبی دارند و قیمت آنها مناسب است.



شکل ۲۶ـ۳ـ پرهٔ ملخی

شکل ۲۷ـ۳ مسیر حرکت سیال را به هنگام دوران یک پرهٔ ملخی نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود این نوع پره، سیال را در امتداد محور به جریان می‌اندازد و به همین خاطر به این نوع پرهٔ جریان محوری نیز می‌گویند.



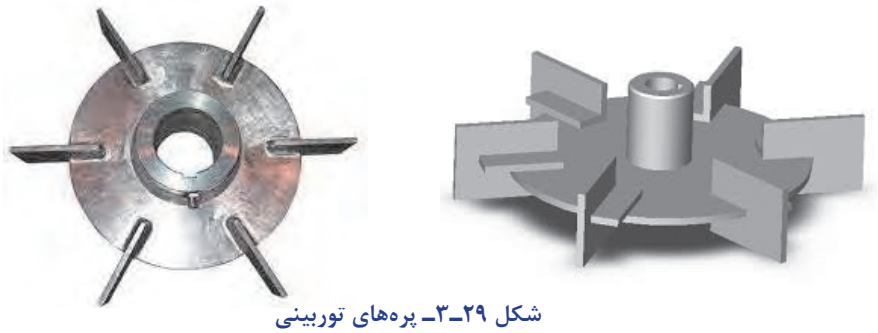
شکل ۲۷ـ۳ـ نمای جریان محوری در پرهٔ ملخی

در مواردی برای ایجاد آشفتگی بیشتر در مخزن و از بین بردن نقاط ساکن در گوشه‌های آن، هم‌زن را خارج از مرکز استوانهٔ مخزن قرار می‌دهند. شکل ۲۸ـ۳ طرز قرار گرفتن هم‌زن در این حالت و تأثیر آن را نشان می‌دهد.

۱ـ Propleller

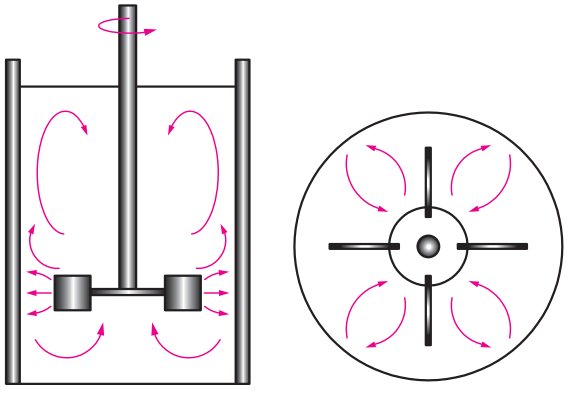
شکل ۲۸ـ۳ـ قرار دادن هم‌زن خارج از مرکز و افزایش آشفتگی سیال

پره‌های توربینی[1]: شکل ۲۹ـ۳ نمایی از این پره‌ها را نشان می‌دهد. در صنایع شیمیایی به‌خصوص برای مخلوط‌کردن گاز در مایع، این نوع پره مناسب‌ترین انتخاب است و در گسترهٔ وسیعی از سرعت می‌تواند کار کند. پره‌های توربینی در بازهٔ گسترده‌ای از سیالات با گران‌روی مختلف کاربرد دارد.



شکل ۲۹ـ۳ـ پره‌های توربینی

شکل ۳۰ـ۳ نشان می‌دهد که چگونه یک پرهٔ 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.



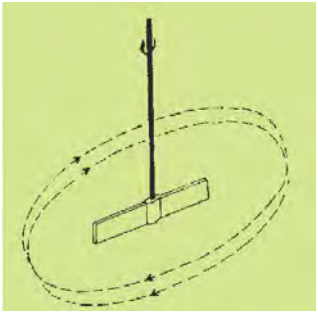
شکل ۳۰ـ۳ـ نمای بالایی و جانبی جریان شعاعی در پرهٔ توربینی

۱ـ Turbine

پره پارویی[1]: شکل ۳۱ـ۳ نمایی از پره‌های پارویی را نشان می‌دهد. این نوع پره از یک محور و یک پره به شکل پارو تشکیل شده است. در طیف وسیعی از گران‌روی‌ها مناسب است و به سادگی 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 برای انتقال گرما است.

شکل ۳۱ـ۳ـ پره‌های پارویی

شکل ۳۲ـ۳، چگونگی حرکت سیال را به هنگام چرخش پرهٔ پارویی نشان می‌دهد. این پره سیال را مماس بر دایرهٔ مسیر به جریان می‌اندازد. به همین دلیل به این نوع پره، جریان مماسی نیز می‌گویند.



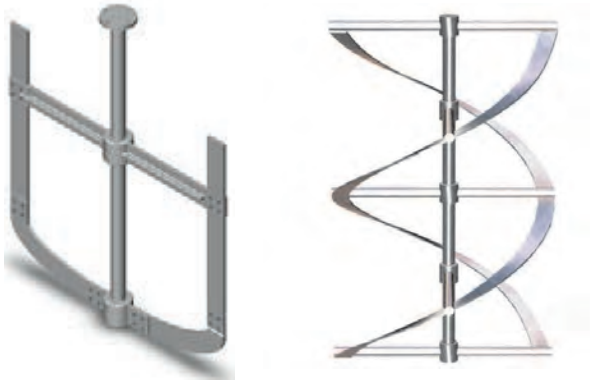
شکل ۳۲ـ۳ـ نمای جریان مماسی در پره پارویی

فیلم ۶

فیلم آموزشی پره‌های پارویی را مشاهده کنید و در پایان گزارش آن را تهیه کنید.

پره‌های لنگری[2] **و حلزونی**[3]: شکل ۳۳ـ۳ نمایی از پره‌های لنگری و حلزونی را نشان می‌دهد. این دو نوع پره برای هم‌زدن مایعات با گران‌روی زیاد و حتی خمیرها به‌کار می‌روند. فاصله این پره‌ها با دیواره ظرف 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.

۱ـ Paddle
۲ـ Anchor
۳ـ Helical



شکل ۳۳ـ۳ـ پرهٔ حلزونی و پرهٔ لنگری

فیلم ۷

فیلم آموزشی انواع پره‌ها و مقایسه عملکرد آنها را مشاهده کنید و در پایان گزارش آن را تهیه کنید.

با راهنمایی مربی خود انواع پره‌ها را از نظر ظاهری و عملکرد با هم مقایسه کنید و جدول زیر را تکمیل کنید:

فعالیت گروهی ۱

نوع پره	موارد کاربرد
ملخی	
توربینی	
پارویی	
لنگری	
حلزونی	

نکته ایمنی ۳

۱ـ پیش از شروع به کار هم‌زن‌ها از محکم بودن اتصالات اطمینان حاصل کنید.
۲ـ دقّت کنید که بخش موتور هم‌زن خیس نشود و در صورت خیس‌شدن سریعاً آن را خشک کنید.
۳ـ از دست زدن به دستگاه در هنگام کار خودداری کنید، هیچ‌گاه هم‌زن را به سمت دوستان خود نگیرید و از شوخی‌کردن در هنگام کار پرهیز کنید. به خاطر داشته باشید که گاه یک شوخی دوستانه می‌تواند صدمات جبران‌ناپذیری در پی داشته باشد.
۴ـ پس از پایان کار پره‌ها را تمیز کنید و در جای خود قرار دهید.

۱۰ـ۳ سانتریفیوژها

اولین بار یک مهندس ارتش انگلیس، بنیامین رابینز (۱۷۰۷ـ۱۷۵۱) بازوی چرخشی را اختراع کرد که میزان جابه‌جایی جسم‌ها را اندازه می‌گرفت. در سال ۱۸۶۴ آنتونی پراندی اولین سانتریفیوژ به معنای کنونی را برای جدا کردن شیر و خامه اختراع کرد. در سال ۱۸۷۹ گوستاو لاوال اولین جداساز خودکار و تجاری را ساخت. شکل ۳ـ۳۴ اولین سانتریفیوژ قرن هفدهم را نشان می‌دهد.

شکل ۳ـ۳۴ـ سانتریفیوژ اولیه در قرن ۱۷

سانتریفیوژ دستگاهی است که در آن با استفاده از نیروی گریز از مرکز مواد را از یکدیگر جدا می‌کند. معمولاً دستگاه سانتریفیوژ را برای جدا کردن ذرّات جامد از یک مایع و یا تقسیم مخلوط مایعات با چگالی متفاوت به اجزای مختلف آن به کار می‌گیرند. سانتریفیوژها برای مخلوط‌هایی مناسب هستند که یا شامل ذرّات ریز جامداند و یا مایعاتی دارند که چگالی آنها نزدیک به‌هم است و به راحتی جدا نمی‌شوند.

فیلم ۸

معرفی و عملکرد سانتریفیوژها را مشاهده کنید و در پایان گزارش آن را تهیه کنید.

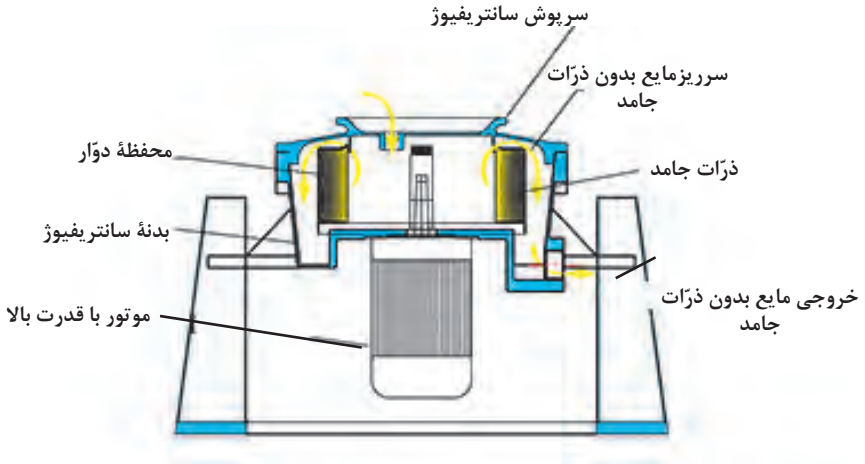
پرسش ۱

با توجه به فیلم، مزیت استفاده از سانتریفیوژ به روش ته‌نشینی ساده چیست؟ در مورد عملکرد سانتریفیوژ بحث کنید؟

فکر کنید ۴

چند نمونه از کاربردهای سانتریفیوژها را در زندگی نام ببرید؟

شکل ۳۵ـ۳ اجزای یک نمونه سانتریفیوژ صنعتی را نشان می‌دهد:



شکل ۳۵ـ۳ ـ اجزای یک نمونه سانتریفیوژ صنعتی

نمونه‌هایی از کاربردهای سانتریفیوژها عبارت‌اند از:

۱ـ جداسازی ذرّات گرد و غبار از هوا؛

۲ـ خشک کردن بلورها؛

۳ـ جداسازی امولسیون‌های مایعات و یا مخلوط‌های مایع و جامد؛

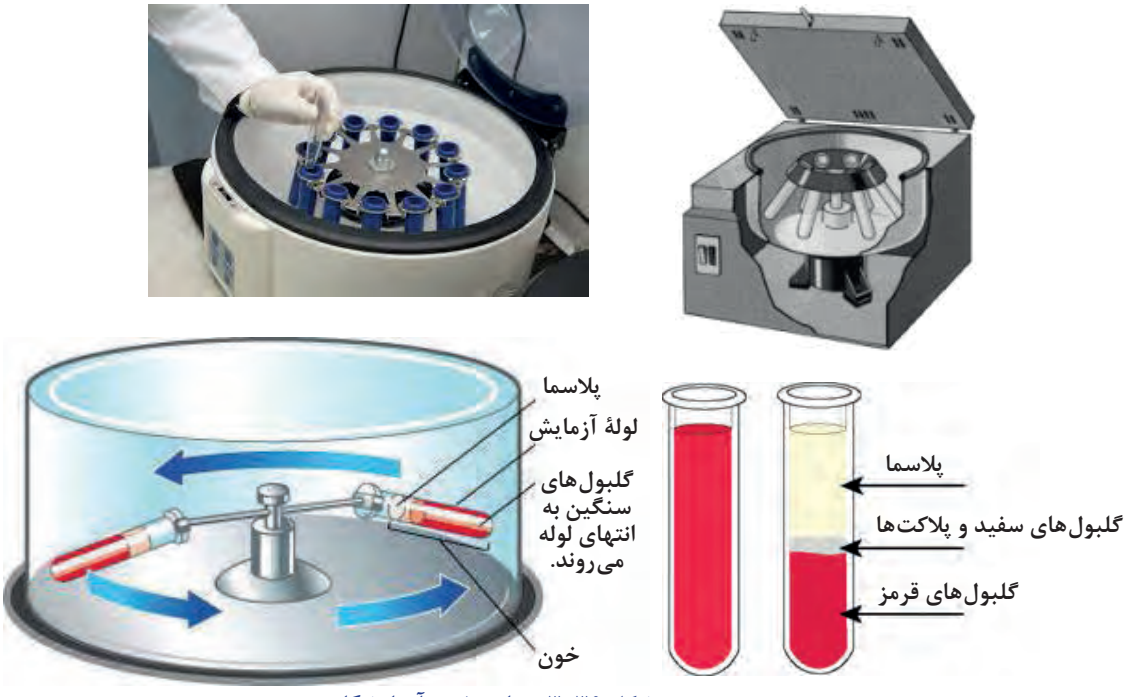
۴ـ کاربرد در صنایع غذایی مانند روغن‌های گیاهی، آبمیوه‌ها، جداسازی خامه از شیر.

فعالیت کارگاهی ۴

به کمک مربی خود قطعات یک دستگاه سانتریفیوژ را بررسی کنید.

سانتریفیوژهای آزمایشگاهی

یکی دیگر از موارد استفاده از سانتریفیوژ، در پزشکی، و تجزیه و تحلیل نمونه‌های خونی است. زمانی که نمونهٔ خونی در دستگاه سانتریفیوژ قرار می‌گیرد، دستگاه شروع به چرخش بسیار سریع می‌کند و در ادامه، عناصر سازندهٔ خون از یکدیگر جدا می‌شوند؛ طوری‌که گلبول‌های قرمز در لایهٔ پایینی و گلبول‌های سفید و پلاکت‌ها در لایهٔ میانی و پلاسما در لایهٔ بالایی قرار می‌گیرند (شکل ۳۶ـ۳).



شکل ۳۶ـ۳ـ سانتریفیوژ آزمایشگاهی

نکته ایمنی ۴

۱ـ پیش از قرار دادن لوله‌ها در دستگاه سانتریفیوژ آزمایشگاهی، ابتدا آنها را از نظر ترک یا شکستگی کنترل کنید.
۲ـ لوله‌ها را به‌صورت برابر و متقارن در سانتریفیوژ قرار دهید به‌طوری‌که با هم متعادل باشند. در غیر این صورت باعث ارتعاش، سایش و شکستن لوله‌ها می‌شود.
۳ـ پیش از روشن کردن دستگاه از قفل بودن در آن اطمینان حاصل کنید و در پایان کار پیش از توقف کامل سانتریفیوژ، درِ دستگاه را باز کنید و لوله‌ها را به آرامی بیرون بیاورید.

استفاده از سانتریفیوژها در صنعت

در صنایع مختلف، سانتریفیوژهای صنعتی با موتورهای قوی و در اندازهٔ بزرگ برای جداسازی مواد به‌کار می‌رود (شکل ۳۷ـ۳). استفاده در صنعت هوانوردی، صنایع غذایی، شیمیایی و صنایع هسته‌ای از جمله کاربردهای صنعتی سانتریفیوژها است.

شکل ۳۷ـ۳ـ سانتریفیوژ صنعتی

پرسش ۲

فرض کنید که مخلوطی از آب، نفت و ذرّات معلق جامد دارید، برای جداسازی آنها از دو روش ته‌نشینی و سانتریفیوژ کردن استفاده می‌شود، چیدمان فازها را در دو حالت رسم کنید.

۱۱ـ۳ ـ دستگاه‌های کاهش اندازه مواد

یکی دیگر از دستگاه‌های صنعتی، دستگاه کاهش اندازهٔ مواد است که در شکل ۳۸ـ۳ نشان داده شده است.

شکل ۳۸ـ۳ـ دستگاه کاهش اندازه مواد

فیلم ۹

فیلم دستگاه‌های کاهش اندازه مواد را مشاهده کنید و در پایان گزارش آن را تهیه کنید.

بحث کنید ۴

به‌نظر شما، هدف از کاهش اندازه ذرّات در صنایع شیمیایی چیست؟

معمولاً واژهٔ کاهش اندازه دربارهٔ مواد جامد شکسته شده که به ذرّات کوچک‌تر تبدیل شده‌اند، به کار می‌رود. در 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 و کاغذی را به اندازه‌های معین برش می‌دهند.

مهم‌ترین روش‌های کاهش اندازه عبارت‌اند از:

۱ـ تحت فشار قرار دادن جامد بین دو سطح (متراکم کردن)

۲ـ ضربه‌زدن به ماده جامد

۳ـ ساییدن جامد بین دو سطح

۴ـ برش‌دادن جامد

بحث کنید ۵

برای هر یک از روش‌های کاهش اندازه، یک مثال بیان کنید.

پرسش ۳

استفاده از هاون چینی در آزمایشگاه برای کاهش اندازه ذرّات، مطابق با کدام‌یک از روش‌های بالا است؟

هاون چینی و شیوهٔ حرکت دست برای کاهش اندازه جامدات

زمانی‌که اندازه قطعات جامد درشت باشد، از روش متراکم کردن استفاده می‌شود. برای تولید ذرّاتی با اندازه متوسط و ریز از روش ضربه‌زدن و برای تولید ذرّات خیلی نرم و ریز از روش سایش استفاده می‌شود. برای تولید ذرّات با شکل و اندازه معین، روش برش‌دادن به‌کار گرفته می‌شود.

پرسش ۴

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

ویژگی‌های دستگاه‌های کاهش اندازه عبارت‌اند از:

۱ـ ظرفیت بالایی داشته باشد؛
۲ـ مصرف انرژی کمی داشته باشد؛
۳ـ اندازه ذرّات تولیدشده توسط آن یکنواخت باشد.

دستگاه‌های کاهش اندازه معمولاً راندمان پایینی دارند. یعنی به ازای مصرف انرژی بالا محصول حاصل از آنها اندازه‌های یکسانی ندارند. ذرّاتی با اندازه‌های بزرگ تا اندازه‌های خیلی کوچک تولید می‌شوند. وجود ذرّات بسیار ریز در این دستگاه‌ها غیر قابل کنترل است ولی می‌توان آن را به کمترین مقدار ممکن رساند.

۱۲ـ۳ ـ طبقه‌بندی دستگاه‌های کاهش اندازه

طبقه‌بندی دستگاه‌های کاهش اندازه در شکل ۳۹ـ۳ آورده شده است.

شکل ۳۹ـ۳ـ طبقه‌بندی دستگاه‌های کاهش اندازه

خردکن‌ها

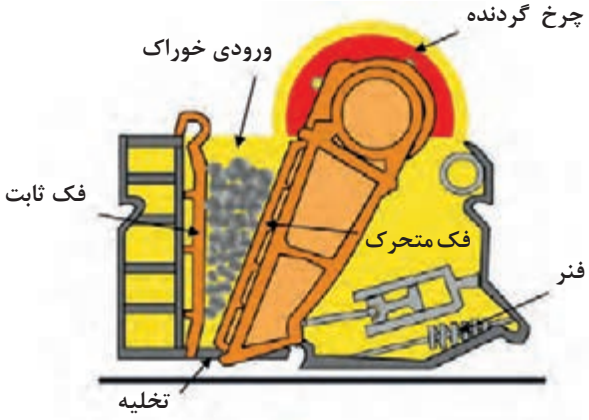
فیلم ۱۰

فیلم آموزشی خردکن‌ها را مشاهده کنید و در پایان گزارش آن را تهیه کنید.

خردکن‌ها ماشین‌هایی با سرعت کم هستند و برای خردکردن جامدات بزرگ و تبدیل آنها به ذرّاتی با اندازه‌های ۱۵ تا ۲۵ سانتی‌متر به کار می‌روند. در ادامه دربارهٔ دو نوع ازمعمول‌ترین خردکن‌ها توضیح داده می‌شود.

خردکن فکی

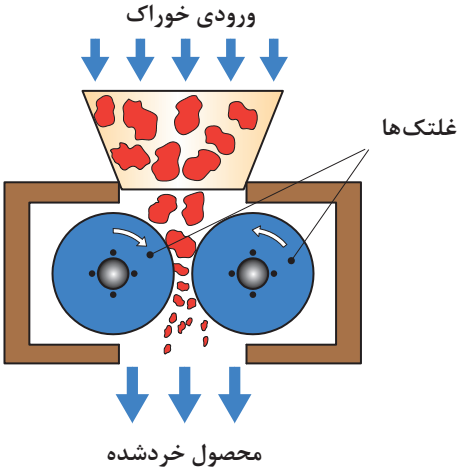
در این نوع خردکن (شکل ۴۰ـ۳)، خوراک (سنگ معدن) بین دو فک که با یکدیگر شکل V می‌سازند، قرار می‌گیرد. یکی از فک‌ها ثابت است که تقریباً عمودی است و دیگری متحرک است و در یک صفحه افقی عقب و جلو می‌رود. سطح فک‌ها می‌تواند صاف یا شیاردار باشد. کلوخه‌هایی که بین فک‌ها گیر می‌افتند، تحت نیروی فشاری بزرگی قرار می‌گیرند و شکسته می‌شوند و در فضای تنگ‌تری می‌ریزند و با بسته‌شدن فک دوباره خرد می‌شوند. پس از کاهش اندازهٔ ذرّات به اندازهٔ کافی، از قسمت پایین دستگاه به پایین می‌ریزند. فک‌ها در هر دقیقه ۲۵۰ تا ۴۰۰ بار باز و بسته می‌شوند. گلوگاه این نوع خردکن با توجه به کاهش اندازه مطلوب، قابل تنظیم است.



شکل ۴۰ـ۳ـ خردکن فکی

خردکن غلتکی

قسمت‌های اصلی این خردکن از دو غلتک فلزی سنگین تشکیل شده است که روی محور افقی موازی می‌چرخند. شکل ۴۱ـ۳ نشان‌دهندهٔ این نوع خردکن‌هاست. قطعات بزرگ‌تر وارد غلتک می‌شوند و پس از خرد شدن از پایین خارج می‌شوند. دو غلتک معمولاً به طرف یکدیگر و با سرعت مساوی می‌چرخند.



شکل ۴۱ـ۳ـ خردکن غلتکی

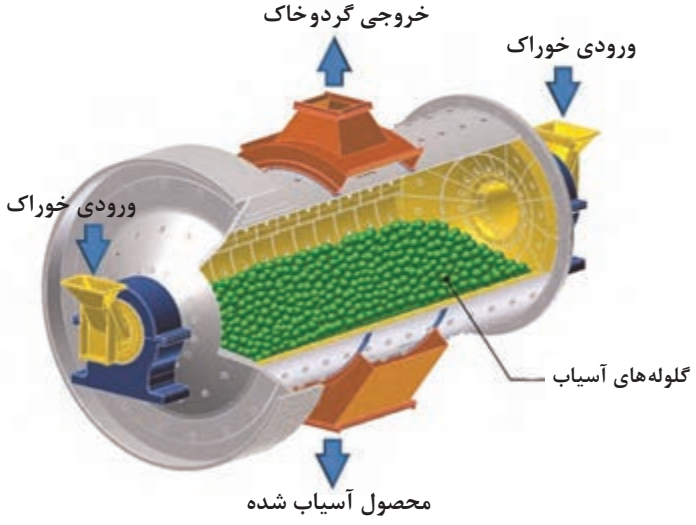
قطر غلتک‌ها را معمولاً زیاد و فاصلهٔ بین آنها را کم در نظر می‌گیرند؛ به‌طوری که این نوع خردکن‌ها قادرند که قطعات بزرگ را به قطعات کوچک‌تر تبدیل کنند. قطر این نوع غلتک‌ها از ۶۰ تا ۲۰۰ سانتی‌متر تغییر می‌کند و معمولاً با سرعت ۵۰ تا ۳۰۰ دور در دقیقه می‌چرخند.

طبیعی است که اندازهٔ خرده‌های به‌دست‌آمده بستگی به فاصلهٔ بین غلتک‌ها دارد. در این نوع خردکن‌ها مقدار کمی محصول نرم، به‌صورت پودر نیز تولید می‌شود. در خردکن‌های غلتکی نیروی اعمال‌شده از غلتک‌ها بسیار بالاست. وقتی مواد غیر قابل خردشدن وارد این دستگاه بشوند، برای جلوگیری از صدمات‌وارده به غلتک‌ها معمولاً یکی از غلتک‌ها را به فنر متصل می‌کنند.

آسیاب‌ها

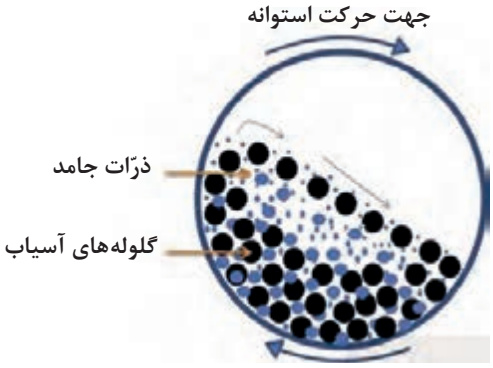
آسیاب‌ها: محصولات خروجی خردکن‌ها معمولاً خوراک ورودی آسیاب‌ها را تشکیل می‌دهد و هدف آسیاب‌ها در واقع خردکردن ذرّات متوسط و تولید ذرّات ریزتر است. در این‌جا تنها به تشریح نمونهٔ مرسوم آسیاب‌ها پرداخته می‌شود که بیشتر در صنایع شیمیایی کاربرد دارد.

آسیاب دوّار: شکل ۴۲ـ۳ آسیاب دوّار را نشان می‌دهد. این آسیاب از یک استوانهٔ دوّار 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، سیلیس و یا حتی لاستیک می‌پوشانند. این استوانه با سرعت کم به‌دور محور افقی خود می‌چرخد. مواد سایندهٔ آسیاب دوّار می‌تواند به‌صورت میله یا ساچمه از جنس‌های فلزی، لاستیکی و یا چرمی باشد. حتی گاهی از سنگ‌های چخماق یا گلوله‌هایی از جنس چینی به‌عنوان مواد ساینده استفاده می‌کنند.



شکل ۴۲ـ۳ـ آسیاب دوّار

آسیاب‌های دوّار می‌توانند هم به‌صورت پیوسته[1] و هم به‌صورت ناپیوسته[2] کار کنند. در آسیاب‌های ناپیوسته مقدار معینی از ذرّات درشت را از دهانهٔ استوانه به داخل آن می‌ریزند، سپس دهانهٔ 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 دوّار بر این است که در اثر حرکت چرخشی استوانه مواد ساینده از کنار استوانه تا نزدیک سقف استوانه بالا می‌آیند و در آن‌جا در اثر نیروی وزن روی ذرّاتی که در کف استوانه است، فرو می‌افتند. در بعضی از آسیاب‌های دوّار به‌جای گلوله از میله به‌عنوان عامل ساینده استفاده می‌شود. در آسیاب‌های میله‌ای دوّار، قسمت اعظم خردشدن در اثر فشار و سایش در هنگام غلتیدن میله‌ها روی یکدیگر انجام می‌گیرد، ولی در آسیاب‌های ساچمه‌ای دوّار یا قلوه سنگی دوّار قسمت اعظم خردشدن در اثر برخورد در هنگام ریزش قلوه‌سنگ‌ها 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.



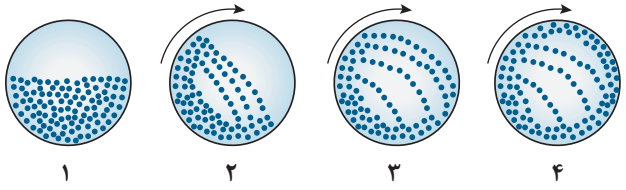
شکل ۴۳ـ۳ـ نمایی از سطح مقطع آسیاب دوّار (گلوله‌ای)

گلوله‌ها در اثر حرکت استوانه به‌طرف بالا حمل می‌شوند و هر چه آسیاب با سرعت بیشتری بچرخد، گلوله‌ها تا ارتفاع زیادتری بالا می‌روند و هرچه گلوله‌ها از ارتفاع بیشتری سقوط کنند، شدت اصابت با کف آسیاب افزایش می‌یابد و بازده آسیاب‌کردن بالاتر می‌رود. باید به این نکته توجه کرد که اگر سرعت آسیاب‌کردن 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 عمل خردشدن انجام نمی‌گیرد، لذا سرعت آسیاب در شرایط عملیاتی همواره باید کمتر از سرعت بحرانی باشد.

۱ـ Continous
۲ـ Batch

پرسش ۵

شکل زیر سطح مقطع یک آسیاب گلوله‌ای را نشان می‌دهد که نیمی از آن با گلوله‌های سائیده پر شده است. این آسیاب شروع به چرخش می‌کند و سرعت آن افزایش می‌یابد در شکل سرعت چرخش آسیاب تا اندازه‌ای است که تعدادی از گلوله‌ها به دیوارهٔ آسیاب چسبیده و ریزش نمی‌کنند. به نظر شما علت آن چیست؟ و چه تاثیری بر بازده آسیاب دارد؟



کار کارگاهی ۱

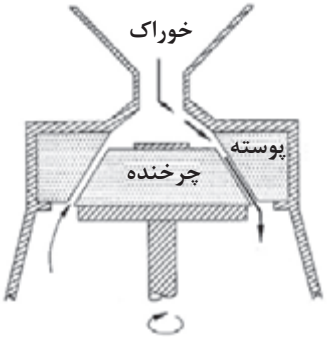
یک کارخانهٔ سیمان را در نظر بگیرید. تحقیق کنید آسیاب استفاده شده در این کارخانه از چه نوعی است و چگونه کار می‌کند. گزارش تهیه‌شده را در کلاس ارائه دهید.

آسیاب‌های بسیار نرم‌کن

بسیاری از پودرهای تجاری باید شامل ذرّاتی باشند که اندازهٔ آنها به طور میانگین ۱ تا ۲۰ میکرومتر است. به آسیاب‌هایی که جامدات را تا این اندازه خرد می‌کنند، آسیاب‌های بسیار نرم‌کن یا فوق‌ریز گفته می‌شود، یک نوع از این آسیاب‌ها آسیاب کلوییدی است.

آسیاب کلوییدی

در این نوع آسیاب، برخلاف دستگاه‌های کاهش اندازه اشاره‌شده، خوراک به صورت یک محلول کلوییدی است. بدین صورت که ابتدا جسم جامد را درون یک مایع به‌صورت کلویید درمی‌آورند و سپس خوراک مایع بین سطح چرخنده و پوسته که فاصلهٔ نزدیکی دارند، جریان می‌یابد. شکل ۴۴ـ۳ طرح ساده‌ای از آسیاب کلوییدی را نشان می‌دهد.

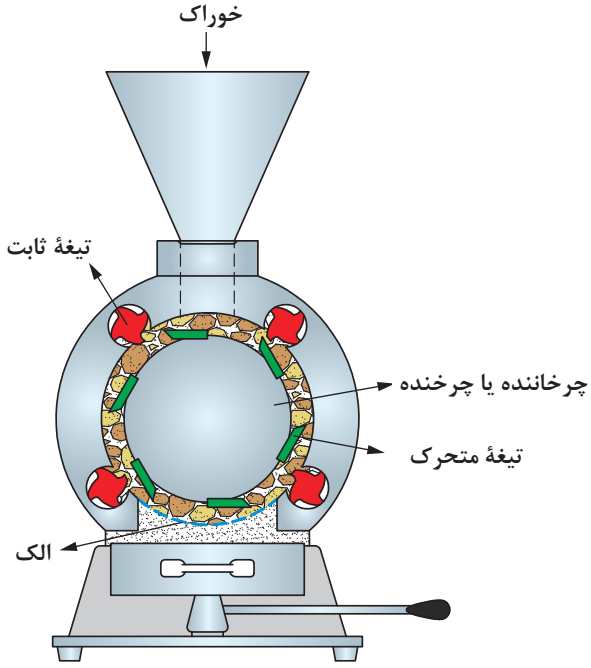


شکل ۴۴ـ۳ـ طرح ساده‌ای از آسیاب کلوییدی

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

ماشین‌های برش: در بعضی از مواقع که قطعات جامدات بسیار محکم (مانند فولاد و آهن) و یا انعطاف‌پذیر (مانند پلاستیک، پارچه و کاغذ) هستند، اعمال فشار، ضربه یا سایش منجر به کاهش اندازه آنها نمی‌شود. این نوع مواد توسط ماشین‌های برش به‌وسیلهٔ تیغه‌های برنده به قطعات ریزتر تبدیل می‌شوند. در شکل ۴۵ـ۳ 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 از جنس فولادآبدیده نصب شده است که به فاصلهٔ نزدیکی از روی تیغه‌های ثابت موجود در سطح داخلی استوانه عبور می‌کند و عمل بریدن را انجام می‌دهند.

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



شکل ۴۵ـ۳ـ طرح ساده‌ای از ماشین برش

پرسش ۶

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

اندازهٔ دستگاه کاهش اندازه	متراکم‌کردن	برش‌دادن	ساییدن	ضربه‌زدن
خردکن فکی				
خردکن غلتکی				
آسیاب گلوله‌ای				
ماشین برش				

عملکرد دستگاه‌های کاهش اندازه

انتخاب مناسب دستگاه کاهش اندازه و به‌کارگیری اقتصادی آن از اهمیّت بالایی برخوردار است. بدین منظور نکات زیر را در به‌کارگیری از آنها باید رعایت کرد:

۱ـ خوراک ورودی به دستگاه اندازهٔ مناسب آن دستگاه را داشته باشد و با سرعت یکنواختی وارد آن شود؛

۲ـ پس از کاهش اندازهٔ ذرّات به میزان مناسب، بلافاصله از دستگاه خارج شوند؛

۳ـ مانع از ورود مواد غیر قابل خردشدن به دستگاه شود؛

۴ـ در هنگام کار با مواد حساس به دما، گرمای حاصل از آسیاب‌کردن از آن گرفته شود، تا ماهیت مواد عوض نشود؛

۵ـ تمام دستگاه‌های جانبی از قبیل پمپ‌ها، دمنده‌ها، سردکن‌ها و جداکننده‌ها در شرایط عملیاتی مناسب کار کنند.

پرسش ۷

در دستگاه‌های کاهش اندازهٔ ذرّات جامد، کنترل گرد و غبار خروجی از دستگاه اهمیّت بالایی دارد؛ مثلاً اگر مادهٔ مورد نظر سمّی باشد یا سازگار با محیط زیست نباشد، گرد و غبار حاصل از کاهش اندازهٔ آن می‌تواند برای محیط‌زیست و انسان خطرناک باشد. یکی از روش‌های کنترل گرد و غبار، استفاده از صافی‌ها در خروجی دستگاه است.

فعالیت کارگاهی ۵

مواد لازم	وسایل لازم
خاک حاوی ذرّات درشت و ریز	مجموعهٔ الک‌ها با اندازه‌های مختلف، لرزاننده، ترازو و آسیاب‌گلوله‌ای

روش کار

۱ـ مقداری خاک را که حاوی ذرّات ریز و درشت است، تهیه کنید؛

۲ـ خاک را وزن کنید و جرم آن را یادداشت کنید؛

۳ـ الک‌های موجود در آزمایشگاه را تمیز کنید و به ترتیب اندازهٔ مش[1] از بزرگ به کوچک روی هم قرار دهید و به‌هم متصل کنید؛

۴ـ مجموعهٔ الک‌ها را روی یک دستگاه لرزاننده قرار دهید و خاک را بر روی الک بالایی بریزید؛

۵ـ لرزاننده را روشن کنید تا به مدت ۳۰ دقیقه کار کند؛

۶ـ لرزاننده را خاموش کنید و الک‌ها را از هم جدا کنید؛

۷ـ جرم دانه‌های خاک باقی‌مانده بر روی هر الک را اندازه بگیرید و یادداشت کنید؛

۱ـ اندازه مش: تعداد روزنه در یک اینچ مربع

۸ ـ با توجه به تعریف کسر جرمی و درصد جرمی که در پودمان اول یاد گرفتید، جدول زیر را کامل کنید.

اندازهٔ مش الک	جرم خاک باقی‌مانده بر روی الک	کسر جرمی خاک باقی‌مانده روی الک	درصد جرمی خاک باقی‌مانده روی الک

۹ـ تمام خاک باقی‌مانده بر روی الک‌ها را جمع کنید و دوباره مخلوط کنید؛

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

۱۱ـ مقدار مناسبی از خاک را با توجه به حجم آسیاب گلوله‌ای موجود در آزمایشگاه بردارید و وزن کنید و به درون آسیاب بریزید؛

۱۲ـ آسیاب گلوله‌ای را با کمترین سرعت روشن کنید و به‌تدریج 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؛

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

۱۴ـ خاک بدست‌آمده را دوباره با الک‌ها دانه‌بندی کنید و جدول زیر را کامل کنید؛

(بعد از آسیاب)

اندازهٔ مش هر الک	جرم خاک باقی‌مانده بر روی الک	کسر جرمی خاک باقی‌مانده روی الک	درصد جرمی خاک باقی‌مانده روی الک

۱۵ـ برای نشان دادن تأثیر آسیاب گلوله‌ای بر اندازهٔ ذرّات، نمودار «درصد جرمی خاک باقی‌مانده روی الک» را بر حسب «اندازهٔ مش» رسم کنید.

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

نکته ایمنی ۵

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

پرسش‌ها:

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

ارزشیابی شایستگی پودمان دستگاه‌های دوّار

شرح کار:

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

استاندارد عملکرد:

- توانایی کار با پمپ‌ها، دستگاه‌های کاهش اندازهٔ مواد، مخلوط‌کن‌ها و سانتریفیوژها مطابق با دستورکار.

شاخص‌ها:

- رعایت مسایل ایمنی در هنگام انجام دادن کار؛
- انجام دادن کار طبق دستورکار.

شرایط انجام کار و ابزار و تجهیزات:

مکان: کارگاه و آزمایشگاه **زمان:** یک جلسهٔ آموزشی.

ابزار و تجهیزات: وسایل ایمنی شخصی، پمپ‌ها، دستگاه‌های کاهش اندازهٔ مواد، مخلوط‌کن‌ها و سانتریفیوژها.

معیار شایستگی:

ردیف	مرحلهٔ کار	کمترین نمرهٔ قبولی از ۳	نمرهٔ هنرجو
۱	کار با پمپ‌ها	۲	
۲	کار با مخلوط‌کن‌ها	۲	
۳	کار با سانتریفیوژها	۱	
۴	کار با دستگاه‌های کاهش اندازه	۱	
	شایستگی‌های غیرفنی، ایمنی، بهداشت، توجهات زیست‌محیطی و نگرش: ۱ـ ایمنی: انجام دادن کار کارگاهی با رعایت موارد ایمنی و استفاده از وسایل ایمنی شخصی؛ ۲ـ نگرش: ۳ـ توجهات زیست‌محیطی: جلوگیری از صدمه‌زدن به محیط زیست از طریق انجام دادن کار بدون ریخت و پاش؛ ۴ـ شایستگی‌های غیرفنی: ۱ـ اخلاق حرفه‌ای، ۲ـ مدیریت منابع، ۳ـ محاسبه و کاربست ریاضی، ۵ـ مستندسازی: گزارش‌نویسی.	۲	
	میانگین نمرات		*

* کمترین میانگین نمرات هنرجو برای قبولی و کسب شایستگی، ۲ است.

پودمان ۴

راکتور و مخازن

بخش اصلی در یک واحد شیمیایی، واکنش شیمیایی است که در راکتور انجام می‌شود، در بیشتر فرایندهای صنایع شیمیایی، خوراک یا محصولات فرایند می‌بایست ذخیره و نگهداری شوند، لذا انواع مخزن‌های ذخیره‌سازی استفاده می‌شود.

واحد یادگیری ۴
راکتور ومخازن

مقدمه

راکتورهای شیمیایی از بخش‌های اصلی یک واحد صنعتی شیمیایی هستند که درآن واکنش‌های شیمیایی انجام می‌شوند. در این پودمان سرعت واکنش، عوامل مؤثر بر سرعت واکنش‌های شیمیایی و انواع راکتورهای شیمیایی بررسی می‌شوند.
مخازن ذخیره‌سازی دارای کاربرد گسترده‌ای در بیشتر صنایع هستند و برای نگهداری گازها و مایعات استفاده می‌شوند. در ادامه این پودمان به معرفی مخازن ذخیره‌سازی مایعات و انواع آن پرداخته می‌شود و همچنین تعیین نقطه اشتعال، ایمنی و کار با مخازن ذخیره‌سازی ارائه خواهد شد.

استاندارد عملکرد

تعیین سرعت واکنش، کار با راکتورهای شیمیایی و مخازن ذخیره طبق دستورکار

شایستگی‌های غیرفنی:

۱ـ اخلاق حرفه‌ای: حضور منظم و وقت‌شناسی، انجام‌دادن وظایف وکارهای محوّل، پیروی از قوانین؛
۲ـ مدیریت منابع: شروع به کار به موقع، مدیریت مؤثر زمان، استفاده از مواد و تجهیزات؛
۳ـ کار گروهی: حضوری فعّال در فعالیت‌های گروهی، انجام کارها و وظایف محوّل؛
۴ـ مستندسازی: گزارش نویسی فعالیت‌های آزمایشگاهی؛
۵ـ محاسبه و کاربست ریاضی.

شایستگی‌های فنی:

۱ـ تعیین سرعت واکنش‌ها؛
۲ـ کار با راکتورهای شیمیایی؛
۳ـ کار با مخازن ذخیره.

۱ـ۴ـ درصد تبدیل در واکنش‌های شیمیایی

واکنش شیمیایی فرایندی است که طی آن یک یا چند ماده به مواد دیگر تبدیل می‌شوند، بنابراین با یک واکنش شیمیایی مواد اولیه یا ترکیب‌شونده‌ها به محصولات با ارزش اقتصادی بالا تبدیل می‌شوند. از این واکنش‌ها به واکنش تولید بنزین و گازوئیل در پالایشگاه‌های نفت، تولید پودرهای ماشین لباسشویی در کارخانه‌های صنایع شوینده، تولید دارو در کارخانه‌های تولید دارو و تولید مواد غذایی در کارخانه‌های صنایع غذایی و غیره می‌توان اشاره کرد. به دستگاهی که واکنش شیمیایی در آن صورت می‌گیرد، واکنشگاه یا راکتور[۱] گفته می‌شود.

پرسش ۱

درصد تبدیل ترکیب‌شونده[۲]:

واکنش شیمیایی $A \rightarrow C$ در یک راکتور با ۱۰ مول از مادهٔ اولیه A آغاز می‌شود، مقدار مول مادهٔ A موجود در واکنش پس از ۱۰۰ دقیقه، ۲۰۰ دقیقه و ۳۰۰ دقیقه از شروع واکنش، کدام‌یک می‌تواند باشد؟

الف) ۸ مول، ۶ مول، ۷ مول
ب) ۱۰ مول، ۸ مول، ۷ مول
پ) ۸ مول، ۶ مول، ۴ مول
ت) ۴ مول، ۶ مول، ۸ مول

دریک راکتور شیمیایی درصد تبدیل یک ترکیب‌شونده از تقسیم مقدار مول مصرفی بر مقدار مول اولیهٔ ترکیب‌شونده ضرب در عدد ۱۰۰، به‌دست می‌آید.

اگر واکنش شیمیایی A در حال انجام باشد، میزان درصد تبدیل ترکیب‌شوندهٔ A مطابق با معادلهٔ (۱) محاسبه می‌شود.

$$\text{درصد تبدیل ترکیب‌شونده A} = \frac{\text{تعداد مول مصرفی مادهٔ A}}{\text{تعداد مول اولیه مادهٔ A}} \times ۱۰۰ \qquad (۱)$$

مثال ۱: واکنش $A \rightarrow C$ با ۱۰ مول از ترکیب‌شوندهٔ A در یک راکتور آغاز می‌شود. پس از گذشت دو ساعت از شروع واکنش، سه مول از A در راکتور باقی می‌ماند. درصد تبدیل مادهٔ A در این راکتور چند درصد است؟

پاسخ: مطابق با معادلهٔ (۱)، می‌بایست در ابتدا تعداد مول مصرفی تعیین شود. برای این منظور می‌توان تعداد مول باقی مانده را از تعداد مول اولیه کم کرد.

تعداد مول مصرفی = تعداد مول اولیه − تعداد مول باقی‌مانده

تعداد مول مصرفی $= ۱۰ - ۳ = ۷ \text{ mol}$

$$\text{درصد تبدیل ترکیب‌شونده} = \frac{\text{تعداد مول مصرفی مادهٔ A}}{\text{تعداد مول اولیه مادهٔ A}} \times ۱۰۰ = \frac{۷}{۱۰} \times ۱۰۰ = ٪۷۰$$

۱ـ Reactor
۲ـ Conversion Percent

پرسش ۲

۱ـ به نظر شما در پایان واکنش در مثال ۱ میزان درصد تبدیل چند درصد خواهد شد؟ توضیح دهید؟

الف) ۸۰ ب) ۶۰ پ) ۳۰ ت) ۱۰۰

۲ـ میزان درصد تبدیل ماده A را در زمان‌های مختلف برای پرسش ۱ تعیین کنید.

۲ـ۴ـ سرعت واکنش شیمیایی

سرعت یک واکنش، میزان پیشرفت واکنش و روند تبدیل مواد ترکیب‌شونده به محصول را در مدت زمان معین نشان می‌دهد. سرعت واکنش یکی از مهم‌ترین مباحث در علم شیمی است؛ لذا شیمی‌دانان همیشه دنبال راهی هستند که سرعت واکنش را بالا ببرند. مطالعهٔ سرعت یک واکنش شیمیایی[۱]، باعث ایجاد شاخه‌ای در علم شیمی به نام سینتیک[۲] شده است.

به‌طور کلی سرعت یک واکنش شیمیایی از تقسیم تغییرات غلظت مادهٔ ترکیب‌شونده بر مدت زمان معین مطابق معادلهٔ (۲) به‌دست می‌آید.

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

تغییرات غلظت ترکیب‌شونده به‌صورت زیر محاسبه می‌شود:

غلظت مصرفی ترکیب‌شونده= غلظت باقی‌مانده ـ غلظت اولیه = تغییرات غلظت ترکیب‌شونده

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

$$\text{یکای سرعت واکنش} = \frac{\left(\frac{\text{mol}}{\text{L}}\right)}{(\text{min})} = \frac{\text{mol}}{\text{L.min}}$$

پرسش ۳

یکاهای دیگری برای سرعت بیان کنید.

برای تعریف سرعت می‌توان به جای معادلهٔ (۲) و به جای تغییرات غلظت ترکیب‌شونده از تغییرات تعداد مول ترکیب‌شونده مطابق معادلهٔ (۳) استفاده کرد.

$$\text{سرعت واکنش} = \frac{۱}{V_R} \times \frac{\text{تغییرات تعداد مول ترکیب شونده}}{\text{مدت زمان}} \qquad (۳)$$

۱ـ Reaction Rate

۲ـ kinetic

در رابطهٔ (۳)، V_R حجم راکتور است.
البته به جای تغییرات تعداد مول ترکیب‌شونده می‌توان از تعداد مول مصرفی ترکیب‌شونده نیز استفاده کرد؛ لذا:

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

پرسش ۴

یکاهای سرعت واکنش را مطابق با معادلهٔ ۴ بیان کنید.

توجه

یکای سرعت واکنش بر اساس معادله‌های (۲) و (۳) تفاوتی نمی‌کند.

مثال ۲: واکنش $A \rightarrow C$ با تعداد ۷ مول از مادهٔ A در یک راکتور یک لیتری انجام شده است؛ پس از گذشت دو ساعت، ۳ مول از A در راکتور باقی‌مانده است، مطلوب است:
الف) درصد تبدیل ترکیب‌شونده در این مدت
ب) سرعت واکنش در این مدت
پاسخ: برای تعیین درصد تبدیل از معادلهٔ (۱) و سرعت واکنش از معادلهٔ (۴) استفاده می‌شود.

تعداد مول A مصرفی = تعداد مول A اولیه ـ تعداد مول A باقی‌مانده

تعداد مول A مصرفی = ۷ـ۳=۴ mol

$$\text{درصد تبدیل مادهٔ A} = \frac{\text{تعداد مول مصرفی مادهٔ A}}{\text{تعداد مول اولیه مادهٔ A}} = \frac{۴}{۷} \times ۱۰۰ = ٪۵۷$$

$$\text{سرعت واکنش} = \frac{۱}{V_R} \times \frac{\text{تعداد مول مصرفی ترکیب شونده}}{\text{مدت زمان}} = \frac{۱}{۱} \times \frac{۴}{۲\times۶۰} = \frac{۴}{۱۲۰} = ۰/۰۳۳ \frac{\text{mol}}{\text{L.min}}$$

پرسش ۵

واکنش $A \rightarrow C$ با تعداد ۵ مول از مادهٔ اولیهٔ A در یک راکتور 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 ترکیب‌شونده ب) سرعت واکنش

هدف از مطالعهٔ سرعت یک واکنش شیمیایی، تعیین میزان سرعت و روند پیشرفت واکنش است. از لحاظ مقدار سرعت، معمولاً واکنش‌ها را به‌صورت ذیل دسته‌بندی می‌کنند.

- واکنش‌های خیلی سریع: مدت زمان انجام شدن این واکنش‌ها خیلی کوتاه و در حدود ۰/۰۰۰۱ ثانیه است؛
- واکنش‌های سریع: مدت زمان انجام شدن این واکنش‌ها کم و در حدود حساسیت انسان به زمان (ثانیه) است؛

- واکنش‌های معمولی: بیشتر واکنش‌هایی که در آزمایشگاه انجام می‌شود، از این نوع هستند و مدت زمان آن در حدود دقیقه یا ساعت است؛
- واکنش‌های کند: مدت زمان انجام شدن این واکنش‌ها در حدود روزها و هفته‌اند؛
- واکنش‌های خیلی کند: مدت زمان انجام شدن این واکنش‌ها در حدود سال‌هاست.

از واکنش‌های خیلی سریع می‌توان به تشکیل رسوب نقره‌کلرید به هنگام مخلوط شدن محلول‌های حاوی یون‌های کلرید و نقره و از واکنش‌های کند می‌توان به زنگ زدن آهن اشاره کرد.

تحقیق کنید ۱

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

۳ـ۴ـ عوامل مؤثر بر سرعت واکنش شیمیایی

عوامل مؤثر بر سرعت واکنش‌های شیمیایی عبارت‌اند از:

۱ـ دما

۲ـ فشار

۳ـ غلظت ترکیب‌شونده

۴ـ اندازهٔ ذرّات ترکیب‌شونده و سطح تماس

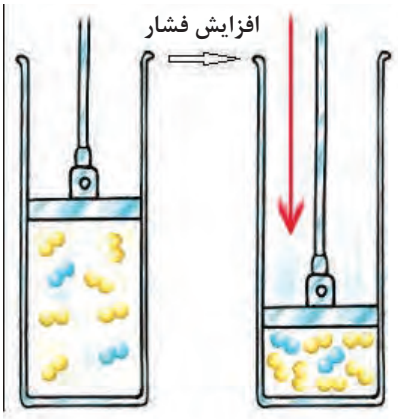
۵ـ کاتالیزگر

تأثیر دما بر سرعت واکنش شیمیایی:

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

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 ۱ـ۴).



شکل ۱ـ۴ـ تأثیر فشار بر سرعت واکنش

تأثیر غلظت ترکیب‌شونده‌ها بر سرعت واکنش شیمیایی:

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

تأثیر اندازهٔ ذرّات ترکیب‌شونده بر سرعت واکنش شیمیایی:

هر چه سطح مؤثر برخورد در ترکیب‌شونده‌ها بیشتر باشد، واکنش‌ها با سرعت بیشتری اتفاق می‌افتند. اگر کبریت روشنی را در مقابل تکهٔ بزرگی از زغال بگیرید، شاید اتفاق خاصی نیفتد، اما اگر همین زغال را به تکه‌های بسیار ریز خرد کنید و آنها را به هوا پرت کنید و کبریتی را روشن کنید، انفجاری را خواهید دید که این پدیده به‌دلیل افزایش سطح مؤثر برخورد ذرّات واکنش‌دهنده است. علت زنگ‌زدگی سریع‌تر براده‌های آهن نسبت به یک میخ آهنی نیز همین افزایش سطح تماس است؛ بنابراین افزایش سطح تماس، تعداد برخورد ذرّات را افزایش می‌دهد و بر روی سرعت واکنش تأثیر می‌گذارد.

تأثیر کاتالیزگر بر سرعت واکنش شیمیایی:

یکی دیگر از عوامل مؤثر بر سرعت واکنش‌های شیمیایی وجود کاتالیزگر مناسب است. در یک تعریف کلی، به موادی که در محیط واکنش حضور دارند و موجب افزایش سرعت و تغییر مسیر پیشرفت واکنش می‌شوند و در خاتمهٔ واکنش بدون هیچ تغییر شیمیایی در محیط واکنش باقی می‌مانند، کاتالیز گفته می‌شود.

هر واکنشی کاتالیزگر مخصوص به خود را دارد؛ ولی در عین حال ممکن است یک نوع کاتالیزگر برای چند واکنش شیمیایی مختلف مناسب باشد. در هر ماده کاتالیزگر به شیوه‌ای وارد عمل می‌شود و روی سرعت واکنش شیمیایی اثر می‌گذارد. در واکنش‌ها کاتالیزگر با اتصال به مواد اولیهٔ واکنش، سطح تماس را افزایش می‌دهد و همچنین انرژی لازم برای آغاز واکنش را کم می‌کند که پیامد هر دو روش افزایش سرعت است. یکی دیگر از محاسن استفاده از کاتالیزگر انتخابی عمل‌کردن آن است، یعنی اگر در یک راکتور چند واکنش هم‌زمان صورت بگیرد، یک کاتالیزگر مناسب می‌تواند سرعت تشکیل و تولید محصول مطلوب را افزایش دهد و سرعت واکنش‌های نامطلوب و ناخواسته را کاهش دهد (شکل ۲ـ۴).

شکل ۲ـ۴ـ تأثیر کاتالیزگر بر پیشرفت واکنش

فعالیت آزمایشگاهی ۱

بررسی تأثیر غلظت بر سرعت واکنش‌های شیمیایی:

انجام دادن واکنش سولفوریک‌اسید با نمک سدیم‌تیوسولفات

نکته ۱

واکنش انجام شده به‌صورت زیر است.

$$Na_2S_2O_3 + H_2SO_4 \rightarrow Na_2SO_4 + H_2O + S + SO_2$$

نکته: به علت تولید رسوب گوگرد، رنگ محلول کدر می‌شود

مواد لازم	وسایل لازم
محلول سولفوریک‌اسید با غلظت‌های ۰/۵، ۱/۰، ۱/۵ و ۲ مولار محلول سدیم‌تیوسولفات با غلظت ۰/۵ مولار	بشر ۵۰ میلی‌لیتری استوانهٔ مدرّج ۵۰ میلی‌لیتری زمان‌سنج (کرونومتر)

روش کار:

۱ـ ۵ میلی‌لیتر محلول سولفوریک‌اسید ۰/۵ مولار را داخل استوانهٔ مدرّج بریزید، ۵میلی‌لیتر محلول سدیم‌تیوسولفات ۰/۵ مولار به آن اضافه کنید و زمان را از لحظه اضافه‌کردن آن تا هنگام کدر شدن رنگ محلول اندازه‌گیری کنید (t_1)؛

۲ـ آزمایش مرحلهٔ ۱ را با محلول‌های سولفوریک اسید ۱، ۱/۵ و ۲ مولار و محلول سدیم‌تیوسولفات ۰/۵ مولار تکرار کنید و هر بار زمان کدرشدن محلول را با زمان‌سنج اندازه بگیرید. (t_2، t_3، t_4)؛

۳ـ نتایج آزمایش‌ها را درجدول زیر یادداشت کنید:

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

چه نتیجه‌ای از این آزمایش می‌توان گرفت؟ بحث کنید.

فعالیت آزمایشگاهی ۲

بررسی تأثیر دما بر سرعت واکنش‌های شیمیایی:

انجام دادن واکنش سولفوریک‌اسید با نمک سدیم‌تیوسولفات در دماهای مختلف

مواد لازم	وسایل لازم
محلول سولفوریک‌اسید با غلظت ۰/۵ مولار محلول سدیم‌تیوسولفات با غلظت ۰/۵ مولار	بشر ۱۰۰ میلی‌لیتری، لولهٔ آزمایش، گیرهٔ لولهٔ آزمایش، توری‌نسوز، سه‌پایه، چراغ گاز، پایه فلزی، دماسنج و زمان‌سنج.

روش کار:

۱ـ دو لولهٔ آزمایش را بردارید و در یکی از آنها ۳ میلی‌لیتر سولفوریک‌اسید ۰/۵ مولار و در دیگری ۳ میلی‌لیتر محلول سدیم‌تیوسولفات ۰/۵ مولار بریزید. سپس هر دو لوله را به کمک گیرهٔ لولهٔ آزمایش در داخل بشر بگذارید و بشر را تا نیمهٔ آن پر از آب کنید. بعد دماسنجی را به کمک گیره به پایهٔ فلزی نصب کنید؛ به‌طوری که مخزن دماسنج داخل بشر و درون آب قرار گیرد. چند لحظه صبر کنید تا دماسنج دمای رقیق آب داخل بشر را نشان دهد.

۲ـ حال بشر را روی چراغ گاز روشن قرار دهید و چند لحظه صبر کنید تا دمای آب داخل بشر به حدود ۵۰درجهٔ سلسیوس برسد. سپس محلول سدیم‌تیوسولفات را به محلول سولفوریک‌اسید اضافه کنید و زمان را از لحظهٔ اضافه‌کردن تا هنگام کدرشدن محلول اندازه‌گیری کنید (t_1).

۳ـ آزمایش را دوباره انجام دهید و این بار دمای آب داخل بشر را حدود ۶۵ درجهٔ سلسیوس برسانید و زمان کدر شدن محلول را اندازه‌گیری کنید (t_2).

۴ـ آزمایش را در حمام با دمای ۷۵ درجهٔ سلسیوس تکرار کنید و زمان کدرشدن محلول را اندازه‌گیری کنید (t_3).

۵ـ نتایج آزمایش‌ها را در جدول زیر ثبت کنید:

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

۶ـ چه نتیجه‌ای از این آزمایش می‌توان گرفت؟ بحث کنید.

فعالیت آزمایشگاهی ۳

بررسی تأثیر اندازهٔ ذرّات بر سرعت واکنش‌های شیمیایی:

واکنش هیدروکلریک اسید با فلز منیزیم به‌صورت زیر انجام می‌شود:

$$2HCl + Mg \longrightarrow MgCl_2 + H_2$$

مواد لازم		وسایل لازم	
محلول هیدروکلریک اسید با غلظت ۰/۵ مولار		بشر ۱۰۰میلی‌لیتری	۲ عدد
نوار منیزیم	۱ گرم	زمان‌سنج	
پودر منیزیم	۱ گرم		

روش کار:

۱ـ دو بشر را بردارید و در هر دوی آنها ۸۵ میلی‌لیتر هیدروکلریک‌اسید با غلظت ۰/۵ مولار بریزید. در یکی از بشرها ۱ گرم نوار منیزیم و در دیگری ۱ گرم پودر منیزیم بریزید و صبر کنید تا کاملاً نوار و پودر در اسید حل شود و مدت زمان حل‌شدن فلز منیزیم را در هر دو بشر اندازه بگیرید.

۲ـ نتایج حاصل از آزمایش را در جدول ثبت کنید:

بشر حاوی	مدت زمان حل شدن فلز منیزیم (ثانیه)
نوار منیزیم	
پودر منیزیم	

۳ـ چه نتیجه‌ای از این آزمایش می‌گیرید؟

۴ـ۴ـ تقسیم بندی واکنش‌های شیمیایی براساس تعداد فاز

بر اساس تعداد فازهای مواد، تقسیم‌بندی واکنش‌ها عبارت‌اند از:

واکنش همگن (هموژن[۱]): در این واکنش تمامی مواد شرکت‌کننده در یک فاز هستند. تولید صابون از محلول قلیایی و اسیدهای چرب به‌صورت همگن و در فاز مایع و تولید سیمان نیز به‌صورت همگن و در فاز جامد انجام می‌شود.

واکنش ناهمگن (هتروژن[۲]): اگر مواد شرکت‌کننده در واکنش در یک فاز نباشند، این واکنش را ناهمگن می‌گویند. از واکنش‌های ناهمگن می‌توان به واکنش تولید گاز هیدروژن، تولید بنزین (گاز و جامد)، تولید استیلن (مایع و جامد)، تولید گازوئیل (گاز ـ جامد ـ مایع) اشاره کرد.

۱ـ Homogeneous

۲ـ Hetrogeneous

پرسش ۶

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

۵ـ۴ـ تقسیم بندی واکنش‌های شیمیایی براساس گرمای واکنش

واکنش گرمازا (گرماده): واکنش‌هایی هستند که در هنگام انجام شدن، گرما ایجاد می‌کنند و به محیط اطراف خود انرژی می‌دهند. واکنش‌های سوختن، خنثی شدن و بسیاری از واکنش‌هایی که با اکسیژن انجام می‌شوند، گرمازا هستند.

فعالیت آزمایشگاهی ۴

واکنش گرمازا (گرماده)

مواد لازم	وسایل لازم
مس (II) سولفات پودر روی	بشر ۱۰۰ میلی‌لیتر دماسنج

روش کار:

۵۰ میلی‌لیتر محلول مس (II) سولفات (یک مولار) را در یک بشر ۱۰۰ میلی‌لیتری بریزید و به آن مقداری پودر روی اضافه کنید. سپس مخلوط را به‌آرامی هم بزنید و دماسنج را درون محتویات بشر قرار دهید و دمای مخلوط را اندازه‌گیری کنید.

واکنش‌های گرماگیر: تعدادی از واکنش‌های شیمیایی برای انجام شدن از محیط اطراف خود گرما می‌گیرند، معمولاً واکنش‌هایی که در آن یک ترکیب‌شونده به چند محصول تبدیل می‌شود، از نوع گرماگیر هستند.

فعالیت آزمایشگاهی ۵

واکنش گرماگیر

مواد لازم	وسایل لازم
آمونیوم نیترات آب	بشر ۱۰۰ میلی‌لیتر، گرم‌کن الکتریکی، دماسنج و لولهٔ آزمایش شیشه‌ای

روش کار: ۲ گرم نمک آمونیوم‌نیترات خشک را درون بشر بریزید و روی آن ۵ میلی‌لیتر آب ۲۰ درجهٔ سلسیوس اضافه کنید و دماسنج را درون بشر قرار دهید. چه چیزی مشاهده می‌کنید؟ دماسنج چه عددی را نشان می‌دهد؟

مثال ۳: واکنش تولید پتاسیم‌کلرید (KCL) از ($KCLO_3$) در یک راکتور ناپیوسته انجام می‌شود. غلظت مادهٔ ترکیب‌شونده در مدت زمان ۴۰ دقیقه مطابق با جدول ذیل اندازه‌گیری شده است، حال مطلوب است:

الف) موازنهٔ مولی فرمول واکنش

ب) میزان سرعت واکنش

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

پاسخ:

الف) موازنهٔ مولی فرمول واکنش با توجه به تعداد اتم‌های مواد در دوطرف واکنش به‌صورت زیر است:

$$2KCLO_3 \rightarrow 2KCL + 3O_2$$

ب) برای تعیین مقدار سرعت از معادلهٔ ۲ استفاده می‌شود.

$$\text{سرعت واکنش} = \frac{\text{غلظت مادهٔ مصرفی ترکیب‌شونده}}{\text{مدت زمان}}$$

غلظت مصرفی مادهٔ ترکیب‌شونده، از تفاضل غلظت اولیه و باقی‌ماندهٔ ترکیب‌شونده به‌دست می‌آید. در این مثال غلظت اولیهٔ همان مقدار غلظت در لحظهٔ صفر است (چون در لحظهٔ صفر هنوز واکنشی شروع نشده است) بنابراین:

زمان (دقیقه)	۰	۱۰	۲۰	۴۰
غلظت ترکیب‌شونده	۱	۰/۸	۰/۶۶۷	۰/۵
غلظت مصرفی ترکیب‌شونده	-	$1-0/8=0/2$	$1-0/667=0/333$	$1-0/5=0/5$
سرعت	-	$\frac{0/2}{10}=0/02$	$\frac{0/333}{20}=0/016$	$\frac{0/5}{40}=0/0125$

نکته ایمنی ۱

یکای سرعت در این مثال $\frac{\text{مولار}}{\text{دقیقه}}$ یا $\frac{\text{mol}}{\text{L.min}}$ است.

پرسش ۷

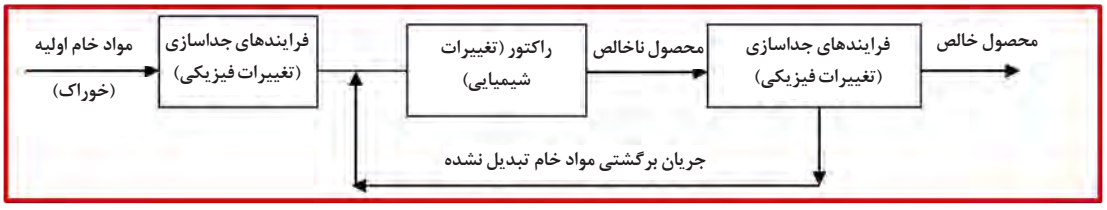
۱ـ سرعت واکنش را تعریف کنید و عوامل تأثیرگذار بر آن را توضیح دهید.
۲ـ دو روش برای تعیین سرعت یک واکنش شیمیایی را توضیح دهید.
۳ـ چرا دما بر سرعت واکنش شیمیایی تأثیر دارد؟
۴ـ واکنش‌های همگن و ناهمگن را با ذکر مثال توضیح دهید.
۵ـ در یک واکنش شیمیایی با گذشت زمان، میزان درصد تبدیل چه تغییری می‌کند؟ چرا؟
۶ـ واکنش $2A \rightarrow 3C$ با ۵ مول از ترکیب‌شوندهٔ A در یک راکتور ۲ لیتری آغاز می‌شود. پس از گذشت نیم ساعت از شروع واکنش، دو مول از A در راکتور باقی می‌ماند. درصد تبدیل ماده A در این راکتور چند درصد است؟ سرعت واکنش بر حسب $\frac{mol}{L.min}$ چقدر است؟
۷ـ کاتالیزگرها چه نقشی در انجام شدن واکنش شیمیایی دارند؟ توضیح دهید.

۶ـ۴ـ راکتورهای شیمیایی

راکتور دستگاهی است که در آن واکنش‌های شیمیایی انجام می‌شود. راکتورهای شیمیایی می‌توانند در اندازه بزرگ و برای مصارف صنعتی یا در اندازه کوچک برای کاربردهای آزمایشگاهی و تحقیقاتی ساخته شوند (شکل زیر).

در یک کارخانهٔ صنایع شیمیایی، مواد خام اولیه یا همان ترکیب‌شونده‌ها از تعدادی فرایندهای فیزیکی اولیه از قبیل جداسازی و خالص‌سازی عبور می‌کنند تا آمادهٔ ورود به مرحلهٔ واکنش شیمیایی شوند.

در این مرحله با استفاده از یک راکتور، تغییرات شیمیایی مناسب انجام می‌شوند و محصول تولید می‌شود. به دلیل انجام‌شدن بعضی از واکنش‌های ناخواسته یا وجود مقداری از مواد اولیهٔ ورودی به راکتور که فرصت انجام واکنش را پیدا نکرده‌اند و همراه محصول از راکتور خارج شده‌اند، محصول تولیدی قابل فروش به بازار نیست و لازم است عملیات فیزیکی دیگری از قبیل جداسازی و خالص‌سازی بر روی آن انجام شود و سپس به عنوان محصول خالص نهایی به بازار عرضه شود. در یک فرایند 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 برگردانده شوند که اصطلاحاً به این جریان، جریان برگشتی[۱] می‌گویند (شکل ۳ـ۴).



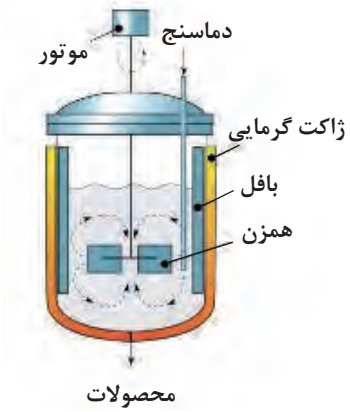
شکل ۳ـ۴ـ طرح ساده‌ای از یک فرایند شیمیایی

۱ـ Recycle Flow

در صنایع شیمیایی، راکتور به‌عنوان قلب فرایند شیمیایی و مهم‌ترین و حساس‌ترین عملیات در کارخانه محسوب می‌شود. راکتورهای شیمیایی براساس نوع عملیات به سه دسته راکتورهای ناپیوسته[1]، پیوسته[2] و نیمه‌پیوسته[3] تقسیم‌بندی می‌شوند. در ادامه توضیح بیشتر این راکتورها آورده شده است.

۷ـ۴ـ راکتورهای ناپیوسته

از دیدگاه تاریخی، راکتورهای ناپیوسته از آغاز صنعت شیمیایی مورد استفاده بوده‌اند و هنوز هم به‌صورت وسیعی در تولید مواد شیمیایی با ارزش افزودهٔ بالا استفاده می‌شوند. در این راکتورها مواد اولیه یا همان ترکیب‌شونده‌ها در همان ابتدای عمل وارد راکتور می‌شوند. محتویات راکتور برای مدت‌زمان مشخصی مخلوط می‌شوند و پس از مدت زمان معینی که واکنش پیشرفت کرد، محتویات داخل راکتور تخلیه می‌شوند؛ بنابراین در این راکتور در هنگام واکنش هیچ جرمی وارد و خارج نمی‌شود (شکل ۴ـ۴). تولید PVC در کارخانجات پتروشیمی در راکتورهای ناپیوسته انجام می‌شود.



شکل ۴ـ۴ـ راکتور ناپیوسته

پرسش ۸

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

انتقال گرمای 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 و یا گرماگیر. در نتیجه در هنگام انجام‌شدن واکنش ممکن است محتویات درون راکتور سرد یا گرم شوند. بالا رفتن بیش از حد دما در راکتور می‌تواند موجب اختلال در عملکرد و تجهیزات کنترلی آن شود و از همه مهم‌تر، خطر انفجار و نشت مواد را افزایش می‌دهد. همچنین در صورتی که واکنش گرماگیر باشد، با پیشرفت واکنش محتویات راکتور سردتر می‌شود و ممکن است موجب کندی سرعت واکنش یا انجماد مواد در راکتور و تجهیزات آن شود. در نتیجه می‌بایست، همواره دما را در حد مناسب و ایمن نگه داشت. برای این منظور از مبدل‌های حرارتی و تجهیزات انتقال گرما استفاده می‌شود. یکی از متداول‌ترین

۱ـ Batch
۲ـ Continuous
۳ـ Semi-Continuous , Semi - batch

شکل ۵ـ۴ـ راکتور ناپیوستهٔ صنعتی با سامانهٔ گرمایی

روش‌ها برای کنترل دمای راکتورها استفاده از ژاکت و یا کویل‌های تبادل گرما است. در ژاکت‌ها، جریانی از یک ماده مثل روغن یا آب با دمای بالاتر و یا پایین‌تر برای تنظیم دما، در اطراف راکتور و بدون تماس جرمی با محتویات راکتور، درحال چرخش است. در روش کویل لوله‌هایی که حاوی همان جریان سردتر یا گرم‌تر است، به‌صورت مارپیچ و یا طراحی دیگر در اطراف راکتور قرار داده می‌شود تا تبادل گرما انجام شود (شکل ۵ـ۴).

فرایند هم‌زدن و انتقال جرم در راکتورها از اهمیّت بالایی برخوردار است، زیرا در صورتی که محتویات داخل راکتور به‌خوبی ترکیب نشوند، امکان واکنش‌ندادن بخشی از مواد و در نتیجه پایین‌آمدن کیفیت محصول فراهم می‌شود. عمل هم زدن در راکتورهای مخزنی شکل، با استفاده از همزن‌های دوار انجام می‌شود که به محور و الکتروموتور متصل است (شکل ۶ـ۴). شیوهٔ قرارگیری و سرعت چرخش همزن بستگی به عوامل حجم مخزن، شکل مخزن و گرانروی سیال دارد.

شکل ۶ـ۴ـ انواع همزن در راکتور

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 خورده‌شدن در آن وجود دارد، غیر منطقی است. در این حالت انتخاب مواد جایگزین یا پوشش‌دهی تجهیزات با لعاب‌های سرامیکی یا پوشش‌های بسپاری (پلیمری)، روش مناسبی در جلوگیری از خوردگی و واکنش‌های ناخواسته است. در این راکتورها میزان درصد تبدیل در طول زمان تغییر می‌کند، امّا اختلاط کامل باعث می‌شود که در هر لحظه دما و میزان درصد تبدیل در سرتاسر راکتور یکنواخت باشد.

معمولاً راکتورهای ناپیوسته در موارد زیر استفاده دارند.

- تولید در مقیاس کوچک صنعتی (ظرفیت کم)؛
- آزمایش‌کردن فرایندهای ناشناخته؛
- تولید صنعتی محصولات گران‌قیمت؛
- برای محصولاتی که تولید آنها در شرایط مداوم مشکل باشد.

امتیاز راکتورهای ناپیوسته در این است که با دادن زمان لازم برای انجام‌شدن واکنش درصد تبدیل بالا برای محصولات به‌وجود می‌آید.

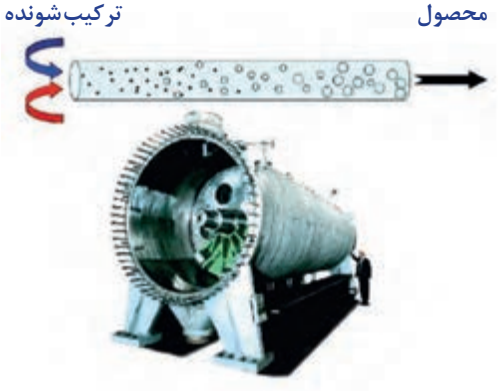
در حالی که استفاده از این نوع راکتورها محدود به واکنش‌های همگن فاز مایع است. از دیگر محدودیت‌های این نوع راکتورها بالا بودن هزینهٔ تولید در واحد حجم محصول تولید شده است، همچنین تولید صنعتی در مقیاس بالا در این گونه راکتورها مشکل است.

۸ـ۴ـ راکتورهای پیوسته

در این نوع راکتورها، مواد اولیه به‌طور دائم وارد راکتور می‌شود و پس از انجام دادن واکنش، محصول به‌طور پیوسته از راکتور خارج می‌شود. این‌گونه راکتورها هنگامی در صنعت استفاده می‌شوند که هدف تولید مقدار زیادی محصول باشد، در ضمن راکتورهای پیوسته برای انجام‌دادن واکنش‌های سریع مناسب‌تر هستند. از این راکتورها در بسیاری از صنایع شیمیایی، به‌خصوص صنایع نفت، گاز و پتروشیمی استفاده می‌شود.

راکتورهای لوله‌ای[1]:

در صنایع شیمیایی برای فرایندهای بزرگ مقیاس، معمولاً از راکتورهای لوله‌ای استفاده می‌شود. زیرا نگه‌داری سامانهٔ راکتورهای لوله‌ای آسان است (چون دارای قسمت‌های متحرک نیستند). این راکتورها معمولاً بالاترین درصد تبدیل مواد اولیه در واحد حجم راکتور را در مقایسه با سایر راکتورهای سامانهٔ پیوسته دارند. در این راکتورها، از یک لوله برای انجام‌شدن واکنش استفاده می‌شود. این نوع راکتورها نسبت به شکل مخزنی آن، فضای کمتری را اشغال می‌کنند (شکل ۷ـ۴).



شکل ۷ـ۴ـ راکتور لوله‌ای

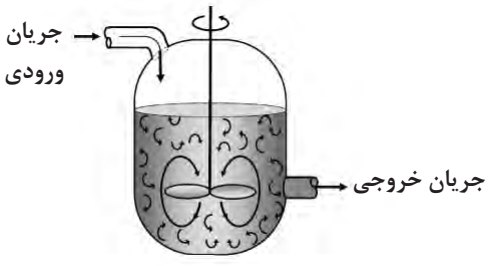
به دلیل ساختار لوله‌ای، این راکتورها سطح تماس بیشتری با محیط اطراف دارند و تبادل گرما راحت‌تر انجام می‌شود. درون راکتورهای لوله‌ای غلظت مواد از نقطه‌ای به نقطه دیگر تغییر می‌کند. از محدودیت‌های این نوع راکتورها، مشکل بودن کنترل دما برای واکنش‌های گرمازاست. راکتورهای لوله‌ای یا به‌صورت تک لوله‌ای هستند یا به‌صورت مجموعه‌ای از چندین لولهٔ کوتاه‌تر که به‌صورت موازی به یکدیگر متصل هستند. اغلب واکنش‌های ناهمگن گازی در این راکتورها انجام می‌شود.

۱ـ Plug

راکتور مخزنی همزن‌دار پیوسته[1]:

راکتورهای مخزنی همزن‌دار پیوسته، گونه‌ای متداول از راکتورها هستند که در آنها یک یا چند جریان ورودی به سامانه، مواد ترکیب‌شونده را به داخل راکتور می‌آورد و پس از انجام شدن واکنش، محصولات خارج می‌شوند. به طور معمول شدت جریان ورودی و خروجی از این راکتورها ثابت است. در غیر این صورت امکان سرریز یا تخلیه سریع مخزن راکتور وجود دارد.

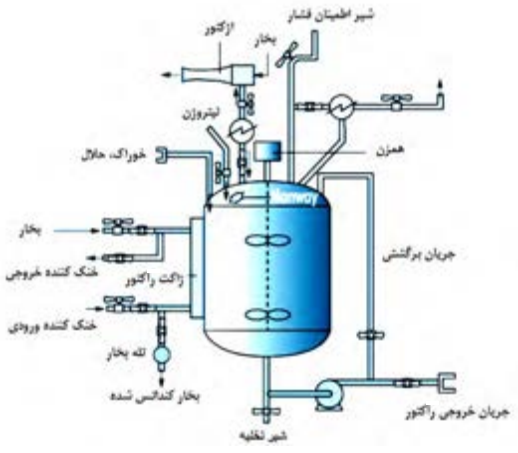
راکتور مخزنی همزن‌دار پیوسته یا اصطلاحاً راکتور مخلوط‌شونده، در شرایطی که یک واکنش شیمیایی احتیاج به اختلاط شدید داشته باشد، استفاده می‌شود. راکتورهای مخلوط‌شونده یا به‌تنهایی و یا به‌صورت پشت سر هم استفاده می‌شوند.کنترل دمایی در این نوع راکتورها به‌آسانی انجام می‌گیرد. عمل اختلاط و هم‌زدن مواد با محور و پروانه صورت می‌گیرد. در مقایسه با سایر راکتورها 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 مطلوب، از راکتور با حجم‌های بزرگ‌تر استفاده می‌شود. راکتورهای مخلوط‌شونده برای اغلب واکنش‌های همگن در فاز مایع استفاده می‌شود (شکل‌های ۸ـ۴ و ۹ـ۴).



شکل ۸ـ۴ـ راکتور مخزنی همزن‌دار پیوسته

در راکتورهای مخلوط‌شونده به‌علت وجود همزن، خوراک ورودی به‌سرعت در سرتاسر ظرف پراکنده می‌شود و غلظت در هر نقطه درون ظرف تقریباً یکسان است؛ لذا سرعت واکنش در تمام نقاط درون راکتور یکسان است. به‌طور کلی در راکتورهای مخلوط‌شونده تغییرات مکانی غلظت (یا خواص فیزیکی) درون راکتور یا در خروجی آن وجود ندارد و خواص آن یکنواخت است.

این نوع راکتورها برای تولید محصولاتی با حجم بالا از قبیل محصولات پتروشیمی، مواد شوینده، بهداشتی و محصولاتی که میزان تقاضای آنها به‌صورت ثابت در بازار وجود دارد، استفاده می‌شود. این نوع راکتورهای پیوسته در مقایسه با راکتورهای لوله‌ای حجم بیشتری نیاز دارند و حجم تولید در آنها بالاتر است.



شکل ۹ـ۴ـ راکتور مخزنی همزن‌دار پیوسته به همراه جزئیات

۱ـ CSTR

زمان اقامت در راکتورهای پیوسته:

در راکتورهای پیوسته که به‌طور مدام مواد خام به آن وارد و محصولات از آن خارج می‌شوند، از کمیتی به نام زمان اقامت استفاده می‌شود. زمان اقامت، متوسط زمانی است که یک ذره وارد راکتور می‌شود و تا زمان خروج در حال انجام دادن واکنش است. این کمیت به‌صورت زیر نشان داده می‌شود:

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

در این معادله، v نشان‌دهندهٔ حجم راکتور، Q شدت جریان حجمی ورودی به راکتور و t زمان اقامت است. زمان اقامت یکی از متغیرها در طراحی راکتورهای شیمیایی است.

مثال ۴: واکنش $A + B \rightarrow C$ قرار است در یک راکتور لوله‌ای ۵۰ لیتری و در راکتور مخزنی همزن‌دار پیوسته ۷۵ لیتری انجام شود. میزان شدت جریان ورودی به هر دو راکتور ۲۵ لیتر بر دقیقه است. تعیین کنید مدت زمان اقامت مواد در این دو راکتور چقدر است.

پاسخ:

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

زمان اقامت در راکتور لوله‌ای:

$$t = \frac{۵۰}{۲۵} = ۲\,\text{min}$$

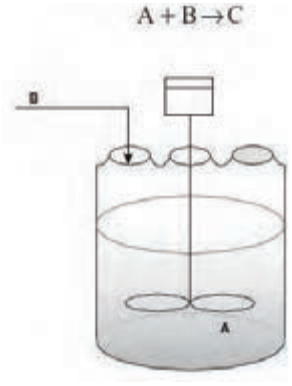
زمان اقامت در راکتور مخلوط شدهٔ پیوسته:

$$t = \frac{۷۵}{۲۵} = ۳\,\text{min}$$

تحقیق کنید ۲

دربارهٔ راکتورهای پیوسته صنعتی، مثال‌هایی را پیدا کنید.

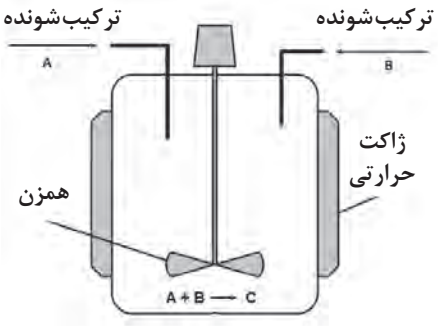
۹ـ۴ـ راکتورهای نیمه پیوسته



این نوع راکتورها دارای انواع متنوعی هستند. در نوع متداول آن یکی از مواد اولیه (A) ابتدا وارد راکتور می‌شود و سپس به تدریج مادهٔ اولیهٔ دیگر (B) به آن اضافه می‌شود (شکل ۱۰ـ۴).

شکل ۱۰ـ۴ـ راکتور نیمه پیوسته

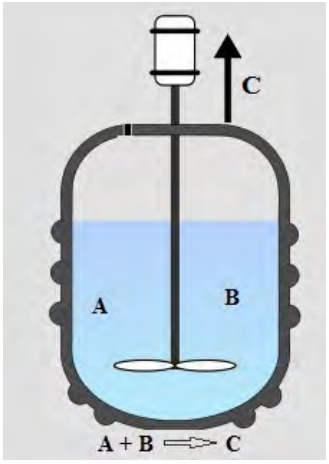
در نوع دیگر، مواد اولیه (A و B) به‌طور هم‌زمان وارد راکتور می‌شود، ولی تا پایان واکنش هیچ محصولی (C) از راکتور خارج نمی‌شود (شکل ۱۱ـ۴).



شکل ۱۱ـ۴ـ راکتور نیمه پیوسته

نوع دیگری از آن وجود دارد که تمامی مواد اولیه (A و B) در داخل راکتور بارگیری شده است و در هنگام واکنش ماده‌ای داخل راکتور نمی‌شود ولی هم‌زمان با واکنش، محصول (C) که معمولاً به‌صورت گاز است از راکتور خارج می‌شود (شکل ۱۲ـ۴).

راکتورهای نیمه‌پیوسته همان محدودیت‌های راکتور ناپیوسته را دارد. از امتیازات راکتورهای نیمه‌پیوسته کنترل بهتر دما و کنترل واکنش‌های نامطلوب و محدود کردن تولید محصولات ناخواسته است. این عمل از طریق وارد کردن تدریجی یکی از اجزای ترکیب‌شونده با غلظت کم میسر می‌شود. راکتورهای نیمه‌پیوسته اغلب برای واکنش‌های دو فازی استفاده می‌شوند که یکی از اجزای ترکیب‌شونده، گاز است و جزء گازی به‌صورت حباب به داخل فاز مایع درون راکتور تزریق می‌شود.



شکل ۱۲ـ۴ـ راکتور نیمه پیوسته

پرسش ۹

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

فعالیت عملی ۱

کار با راکتور ناپیوسته

تهیه ماست:

مواد و وسایل لازم:

۱ـ دو نمونهٔ مختلف ماست (نمونهٔ A و نمونهٔ B)
۲ـ چهار عدد بشر ۲۵۰ میلی‌لیتری
۳ـ یک لیتر شیر پاستوریزه
۴ـ چراغ گاز
۵ـ لیوان یک بار مصرف (۱۲ عدد)
۶ـ فویل آلومینیومی

۷ـ قاشق (چهارعدد)
۸ـ محفظهٔ گرم
۹ـ یخچال
۱۰ـ دماسنج الکلی

روش کار:

۱ـ ابتدا نمونهٔ ماست‌ها را به دو قسمت تقسیم کنید (داخل بشر) و آنها را A_1، A_2، B_1 و B_2 شماره‌گذاری کنید. (بهتر است نمونه‌های ماست متفاوت باشند. مثلاً یک نمونه ماست تازه و نمونهٔ دومی ماست ترش باشد.)

۲ـ نمونه‌های A_1 و B_1 را روی شعلهٔ گاز ضمن اینکه به آرامی حرارت می‌دهید به هم بزنید. بعد از جوشانیدن ماست اجازه بدهید تا ماست‌ها خنک شوند.

۳ـ شیر را تادمای $72^{\circ}C$ گرم کنید.

۴ـ اجازه دهید شیر تادمای $45^{\circ}C$ سرد شود، سپس آن را داخل لیوان‌های یک‌بار مصرف تقسیم کنید.

۵ـ به سه لیوان شیر یک قاشق از ماست نمونهٔ A_1 اضافه کنید و خوب مخلوط کنید و در لیوان‌ها را با فویل ببندید و روی آنها را برچسب بزنید.

۶ـ به سه لیوان شیر دیگر یک قاشق از ماست نمونهٔ A_2 اضافه کرده و خوب مخلوط کنید و در لیوان‌ها را با فویل ببندید و روی آنها را برچسب بزنید.

۷ـ به سه لیوان دیگر نمونهٔ B_1 را اضافه کرده و به همان ترتیب عمل کنید.

۸ـ به سه لیوان دیگر نمونهٔ B_2 را اضافه کرده و به همان ترتیب عمل کنید. (توجه داشته باشید که بهتر است برای هر نمونه از یک قاشق جداگانه استفاده کنید.)

۹ـ لیوان‌ها را به مدت چند ساعت (۵ـ۳ ساعت) در جای گرم قرار دهید ($37^{\circ}C$) و سپس آنها را به یخچال منتقل کنید.

۱۰ـ روز بعد ماست‌ها را از نظر بو، طعم، مزه و قوام ظاهری بررسی کنید و دلایل اختلاف آنها را توضیح دهید.

پرسش ۱۰

۱ـ ماست چگونه تهیه می‌شود؟
۲ـ میکروب‌های ماست چگونه به نگهداری شیر کمک می‌کنند؟
۳ـ جوشاندن ماست چه تأثیری روی میکروب‌های آن دارد.
۴ـ ماست‌های حاصل از نمونه‌های A_1 و A_2 چه اختلافی با هم دارند؟ دلیل آن را توضیح دهید.
۵ـ ماست‌های حاصل از نمونه‌های B_1 و B_2 چه اختلافی با هم دارند؟ دلیل آن را توضیح دهید.
۶ـ ماست‌های حاصل از نمونه‌های A_2 و B_2 چه اختلافی با هم دارند؟ دلیل آن را توضیح دهید.

تحقیق کنید:

دربارهٔ راکتورهای پیوستهٔ صنعتی، مثال‌هایی را پیدا کنید.

پرسش ۱۱

۱ـ دو کاربرد از راکتورهای ناپیوسته را بیان کنید و دو واکنش را که در صنایع شیمیایی در راکتور ناپیوسته انجام می‌شود، نام ببرید.

۲ـ واکنش $2C \rightarrow A$ قرار است در یک راکتور مخلوط‌شوندهٔ ۱۰۰ لیتری با ۱۰ مول از مادهٔ A آغاز شود. میزان شدت جریان ورودی به راکتور ۵۰ لیتر بر دقیقه است. مدت زمان اقامت مواد در راکتور چقدر است؟

۳ـ واکنش $2C \rightarrow A$ قرار است در یک راکتور مخلوط‌شوندهٔ ۱۰۰ لیتری با ۱۰ مول از مادهٔ A آغاز شود. پس از گذشت ۲۰ دقیقه از شروع واکنش میزان محصول تولیدی ۱۰ مول است. میزان تبدیل در راکتور چقدر است؟ میزان سرعت واکنش بر حسب $\frac{mol}{L.min}$ چقدر است؟

۴ـ مزایای راکتورهای لوله‌ای و مخلوط‌شونده را نام ببرید.

۵ـ تفاوت راکتور ناپیوسته و پیوسته چیست؟

۶ـ معمولاً گرمای لازم در راکتورها را چگونه تأمین می‌کنند؟ توضیح دهید.

۷ـ هم زدن در کدام‌یک از راکتورهای شیمیایی تأثیرگذار است؟ شیوهٔ تأثیر را توضیح دهید.

۸ـ برای تولید بنزین در یک پالایشگاه از چه راکتوری استفاده می‌شود؟ چرا؟

۹ـ انواع راکتورهای نیمه‌پیوسته را نام ببرید و توضیح دهید.

۱۰ـ آیا از مقایسه میزان تبدیل در دو راکتور می‌توان به مناسب بودن آنها پی برد؟ چگونه؟

۱۱ـ در یک کارخانهٔ شیمیایی که واکنشی در فاز مایع در آن اتفاق می‌افتد، برای افزایش میزان سرعت واکنش از میان راهکارهای زیر، کدام راهکار را پیشنهاد می‌دهید؟ چرا؟

- افزایش دما
- افزایش فشار

۱۲ـ عملیات در یک راکتور ناپیوسته را به همراه شکل توضیح دهید.

۱۳ـ از میان متغیرهای «سرعت واکنش» و «درصد تبدیل»، کدام‌یک در تصمیم‌گیری نوع عملیات مهم‌تر است؟ توضیح دهید.

۱۰ـ۴ـ مخازن ذخیره

پرسش ۱۲

ـ آیا در منزل مسکونی شما مخزن ذخیره‌سازی وجود دارد؟ چه چیزی را ذخیره می‌کنید؟ چرا؟
ـ به‌نظر شما در صنعت نیازی به ذخیره‌سازی مواداولیه و محصول وجود دارد؟ چرا؟

در صنایع شیمیایی، مواد ارزشمند طی فرایندهای مختلفی از مواد شیمیایی خام جدا می‌شوند و یا از آنها تهیه می‌شوند. چندین راه برای انتقال مواد خام از منابع تأمین‌کننده به کارخانه وجود دارد که بر حسب شرایط از خطوط انتقال یا تانکرها استفاده می‌شود. همچنین محصولات تولیدی به روش‌های مختلف به بازار داخلی یا خارجی عرضه می‌شوند.

به دلایل زیادی از جمله یکسان‌کردن کیفیت محصول، اندازه‌گیری حجم محصول ، بارگیری و انتقال توسط تانکر یا کشتی در کمترین زمان ممکن محصولات را، در مخازن یا تانک‌های مناسب ذخیره می‌کنند. از اصطلاح تانک برای ظروف ذخیره‌سازی بزرگ با کاربرد جابه‌جا کردن، ذخیره‌سازی، اندازه‌گیری و حمل‌ونقل مایعات استفاده می‌شود. به طور کلی مخازن چند وظیفه اصلی به عهده دارند:

- ذخیرهٔ مواد اولیه و خوراک کارخانه‌ها
- ذخیره فراورده‌ها و محصولات
- ذخیره مواد برای بارگیری و پخش
- همسان کردن کیفیت محصول
- معیاری جهت اندازه‌گیری حجم خوراک و محصول تولیدشده

اصول ذخیره‌سازی مایعات

ساختار و اندازهٔ مخزن ذخیره‌سازی به ماهیت مادهٔ ذخیره شده و حجم لازم برای ذخیره‌سازی بستگی دارد. مهم‌ترین متغیرهایی که در انتخاب نوع مخزن تأثیرگذار هستند، عبارت‌اند از:

۱ـ فشار بخار ماده یا به عبارت دیگر فرّاریت

در صورتی که فشار بخار ماده بالا باشد، می‌بایست آن‌را در مخازن تحت فشار ذخیره کرد، در غیر این‌صورت می‌توان آن را در مخازن کم فشار نگه‌داری کرد.

۲ـ سمّی بودن ماده

در صورتی که مادهٔ ذخیره‌شونده سمّی باشد، می‌بایست در مخازنی ذخیره شود که خطر نشت مواد سمّی به کمترین مقدار برسد.

۳ـ میزان آتش‌گیری ماده (نقطهٔ اشتعال)

دمای اشتعال پایین‌ترین دمایی است که در آن دما، بخار قابل سوختن از ماده تولید می‌شود. هر چه نقطهٔ اشتعال ماده بالاتر باشد، در دمای بالاتری از آن بخار قابل سوختن تولید می‌شود؛ به‌عنوان مثال نقطهٔ اشتعال بنزین حدود ۴۲ـ درجهٔ سلسیوس است، بنابراین، بنزین در دمای معمولی دارای بخار قابل سوختن است. در حالی‌که نقطهٔ اشتعال گازوئیل حدود ۱۲۰ درجه سلسیوس است. هر چه نقطهٔ اشتعال ماده‌ای بالاتر باشد، ذخیره‌سازی آن آسان‌تر و خطرات کمتر هستند.

نکات زیست محیطی ۱

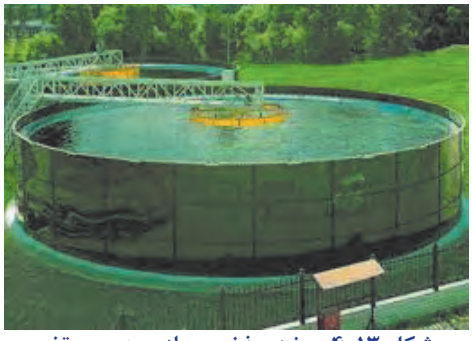
گازها، سیالات آتش‌گیر و مواد شیمیایی خطرناک مانند اسیدها و بازها و یا سیالاتی که از خود گازهای سمی منتشر می‌کنند می‌بایست درون مخازن در بسته نگهداری شوند.

۱۱ـ۴ـ دسته بندی مخازن ذخیره

برای دسته‌بندی مخازن معیارهای مختلفی از قبیل شکل هندسی (استوانه‌ای یا کروی)، نوع سیال (مایع یا گاز) و فشار بخار ماده وجود دارد. مخازن به‌صورت روباز (بدون سقف) و سقف‌دار ساخته می‌شوند. مخازن بدون سقف در صورتی استفاده می‌شوند که امکان ذخیره‌سازی ماده‌ای، مانند آب، در آن وجود داشته باشد (شکل ۱۳ـ۴).

با توجه به فشار درون مخزن ذخیره‌سازی، مخازن به دو دستهٔ کم فشار و تحت فشار دسته‌بندی می‌شوند که پرکاربردترین مخازن در صنایع هستند. مخازن کم‌فشار به‌صورت مخازن استوانه‌ای عمودی یا افقی ساخته می‌شوند (شکل ۱۴ـ۴).

مخازن تحت فشار به‌صورت ظروف استوانه‌ای و کروی ساخته می‌شوند و برای ذخیره‌سازی ترکیباتی استفاده می‌شوند که تحت فشار هستند. (شکل ۱۵ـ۴).



شکل ۱۳ـ۴ـ مخزن ذخیره‌سازی بدون سقف

شکل ۱۴ـ۴ـ مخزن ذخیره‌سازی استوانه‌ای کم فشار

شکل ۱۵ـ۴ 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 فشاربخار پایین هستند، در مخازن استوانه‌ای عمودی ذخیره‌سازی می‌شوند. در حالی که برای ذخیره‌سازی پروپان، بوتان و گاز مایع[۱] که در فشار اتمسفر بخار می‌شوند می‌بایست از مخازن کروی و تحت فشار استفاده کرد.

مخازن ذخیره‌سازی مایع بافشار بخار پایین به دو نوع عمدهٔ مخازن سقف ثابت و مخازن سقف شناور تقسیم‌بندی می‌شوند.

مخازن سقف ثابت

سقف این نوع مخازن می‌تواند به‌صورت مخروطی و یا گنبدی باشد که به بدنهٔ مخزن جوش شده‌اند (شکل ۱۶ـ۴).

فیلم ۱

فیلم مربوط به مخازن سقف ثابت را مشاهده کنید و در رابطه با شیوهٔ عملکرد این نوع مخزن بحث کنید.

مخازن سقف ثابت در صنایع کاربرد زیادی دارند؛ زیرا بیشتر محصولات دارای فشار بخار پایین هستند و در دمای محیط به‌صورت مایع باقی می‌مانند. مواد شیمیایی مانند محلول سدیم‌هیدروکسید (NaOH)، آب و هیدروکربن‌های دارای فشار بخار پایین (مثل گازوئیل)، در این نوع مخازن ذخیره‌سازی می‌شوند.

۱ـ Liquefied Petroleum Gas (LPG)

شکل ۱۶ـ۴ـ مخازن سقف ثابت: (سمت راست) سقف گنبدی و (سمت چپ) سقف مخروطی

انتخاب قطر و ارتفاع این نوع مخازن به ظرفیت ذخیره‌سازی و میزان فضای در دسترس بستگی دارد.

فعالیت آزمایشگاهی ۶

در مورد کاربرد، مزایا و معایب مخازن با سقف مخروطی و گنبدی گزارش تهیه کنید و نتیجه را در کلاس ارائه دهید.

مخازن سقف شناور

در این نوع مخازن، سقف مخزن به‌صورت 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 ۲

فیلم مربوط به مخازن سقف شناور را مشاهده کنید و در رابطه با شیوهٔ عملکرد این نوع مخزن بحث کنید.

این نوع مخازن برای ترکیباتی که دارای نقطهٔ اشتعال پایین یا فشار بخار بالا هستند، مثل بنزین، کاربرد دارند. این نوع مخازن به دو صورت مخازن سقف شناور بیرونی (شکل ۱۷ـ۴) و سقف شناور درونی (شکل۱۸ـ۴) استفاده می‌شوند.

شکل ۱۷ـ۴ـ مخازن سقف شناور بیرونی

در مخازن سقف شناور بیرونی، سقف در معرض هوای آزاد قرار دارد و در صورت بارش باران و برف، روی آن قرار می‌گیرند. در این حالت می‌بایست مسیر تخلیه روی سقف تعبیه شود تا آب باران و همچنین آبی که برای شست‌وشوی سقف استفاده می‌شود، از طریق لوله‌هایی به روی زمین هدایت شود.

شکل ۱۸ـ۴ـ مخازن سقف شناور درونی

در صورتی که استفاده از سقف شناور بیرونی با مشکل مواجه باشد، می‌بایست از مخازن سقف شناور درونی استفاده کرد. در این مخازن، همان‌گونه که در شکل ۱۸ـ۴ مشاهده می‌شود، سقف شناور روی سطح مایع قرار دارد و یک سقف دیگر روی بدنهٔ مخزن تعبیه می‌شود تا از انباشت بار اضافی روی سقف شناور جلوگیری شود.

انتخاب نوع مخزن

نوع مخزن ذخیره‌سازی به نقطهٔ اشتعال ماده و قطر مخزن ذخیره‌سازی بستگی دارد. در جدول زیر شیوهٔ انتخاب مخزن ارائه شده است.

جدول ۱ـ۴ـ راهنمای انتخاب مخزن ذخیره‌سازی مایعات (نیازی به حفظ کردن مطالب جدول نیست)

نقطهٔ اشتعال ماده	قطر مخزن (بر حسب متر)			
	۳ ـ ۱۲/۵	۱۵ ـ ۲۰	۲۲/۵ ـ ۳۹	۴۲ ـ ۷۲
کمتر از ۲۱°C	مخزن سقف ثابت مخروطی با فشار بالا و یا پایین	مخزن سقف ثابت مخروطی یا گنبدی با فشار بالا و یا پایین / مخزن سقف شناور درونی یا بیرونی	مخزن سقف ثابت مخروطی یا گنبدی با فشار پایین / مخزن سقف شناور بیرونی	مخزن سقف شناور بیرونی
بین ۲۱°C و ۵۵°C	مخزن سقف ثابت مخروطی با فشار پایین	مخزن سقف ثابت مخروطی یا گنبدی با فشار پایین / مخزن سقف شناور درونی یا بیرونی	مخزن سقف ثابت مخروطی یا گنبدی با فشار پایین / مخزن سقف شناور درونی یا بیرونی	
بیشتر از ۵۵°C	مخزن سقف ثابت مخروطی اتمسفری	مخزن سقف ثابت مخروطی یا گنبدی اتمسفری		مخزن سقف ثابت مخروطی یا گنبدی اتمسفری (تا قطر ۶۰ متر)

به‌عنوان مثال، برای ذخیره‌سازی گازوئیلی که دارای نقطهٔ اشتعال بیش از $55^{\circ}C$ در مخزنی که ۱۷متر قطر دارد، بهتر است از مخزن سقف ثابت مخروطی یا گنبدی با فشار اتمسفری استفاده کرد.

پرسش ۱۳

با استفاده از اطلاعات جدول ۱ـ۴ اگر مخزن ذخیره‌سازی بنزین دارای قطر ۲۵ متر باشد، چه نوع مخزنی مناسب است؟

فعالیت آزمایشگاهی ۷

اندازه‌گیری نقطهٔ اشتعال

به منظور اندازه‌گیری نقطهٔ اشتعال، متناسب با نوع مادهٔ نفتی، دستگاه‌های مختلفی وجود دارد؛ به طور کلی برای ترکیبات سبک، نمونه در یک ظرف سربسته «الف» و برای ترکیبات سنگین‌تر در یک ظرف روباز «ب» و «پ» گرما داده می‌شود.

تحقیق کنید ۳

در مورد انواع دستگاه‌های اندازه‌گیری نقطهٔ اشتعال و کاربرد آنها برای مایعات نفتی خاص تحقیق کنید و نتایج را در جدول زیر ارائه دهید.

بعضی از دستگاه‌های اندازه‌گیری نقطهٔ اشتعال و کاربرد آنها

مناسب فراورده‌هایی نظیر	نام دستگاه	نوع ظرف
		بسته
.		باز

الف) ظرف سربسته

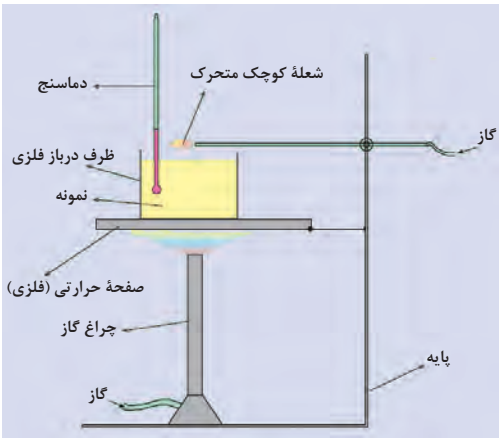
ب) دستگاه (خودکار) روباز

پ) دستگاه روباز

شکل ۱۹ـ۴

اجزای دستگاه تعیین نقطهٔ اشتعال:

ساده‌ترین نوع این دستگاه، ظرف روباز کلیولند است. شکل‌های (الف) و (ب) طرح ساده و تصویر واقعی آن را نشان می‌دهد.



(الف)

(ب)

شکل ۲۰ـ۴

اجزای دستگاه کلیوند عبارت‌اند از:

- ظرف (فنجان) درباز فلزی به ارتفاع حدود ۳/۳ سانتی‌متر و قطر حدود ۶/۸ سانتی‌متر؛
- صفحهٔ گرمایی فلزی که ظرف درباز بر روی آن و شعله در زیر آن قرار می‌گیرد؛
- شعلهٔ کوچک که اندازهٔ آن از شعلهٔ کبریت کوچک‌تر است و می‌توان به‌آسانی آن را از روی سطح نمونه (ظرف درباز) عبور داد. با استفاده از گاز به عنوان سوخت و لولهٔ بلندی که قطر دهانهٔ آن حدود ۰/۸ میلی‌متر باشد، این شعلهٔ کوچک و متحرک ساخته می‌شوند؛
- منبع گرمایی که می‌تواند یک گرمکن الکتریکی یا شعلهٔ گاز باشد. در هر حالت، نباید شعله آنقدر بالا بیاید که به اطراف ظرف درباز برسد. بدین ترتیب که در صورت استفاده از چراغ گازی، شعله باید صفحهٔ گرمایی را داغ کند. استفاده از گرمکن الکتریکی قابل تنظیم ترجیح داده می‌شود؛
- دماسنج جیوه‌ای با گسترهٔ دمایی مناسب (حدود $0^{\circ}C$ تا $400^{\circ}C$)؛
- پایه و گیرهٔ مناسب برای نگه‌داری صفحهٔ گرمایی و ظرف (فنجان) که بر روی آن قرار می‌گیرد.

شرح کار دستگاه نقطهٔ اشتعال:

در تجهیزات سرباز نمونه را درون ظرف سربازی می‌ریزند و گرما می‌دهند و هر چند درجه یکبار، شعله‌ای را از روی سطح آن عبور می‌دهند. نقطهٔ اشتعال اندازه گرفته‌شده در حقیقت با تغییر ارتفاع شعله از سطح مایع متفاوت خواهد شد. در نوع «سربسته» منبع گرمایی را در فضای دربسته‌ای آماده می‌کنند که مایع را در آن ریخته‌اند. در حالت عادی دستگاه‌های سربسته مقدار پایین‌تری را نسبت به نوع سرباز نشان می‌دهند (بین ۵ تا ۱۰ درجهٔ سلسیوس).

نکته ایمنی ۲

۱ـ دستگاه در محلی مطمئن و دور از مواد قابل سوختن (حتماً در زیر هواکش کارگاه) قرارگیرد؛
۲ـ برای اینکه هود به‌طور مناسب عمل کند، از باز بودن مسیر جریان هوا در داخل هود اطمینان حاصل کنید؛
۳ـ استفاده از لوازم ایمنی (ماسک، دستکش و عینک) الزامی است.

روش کار:

۱ـ ابتدا ظرف مخصوص (فنجان) را با حلّال مناسب شست‌وشو دهید، سپس ظرف را از نمونه (روغن موتور) پُر کنید، به گونه‌ای که سطح مایع حدود یک سانتی‌متر پایین‌تر از لبهٔ ظرف باشد (تاخط نشانه ظرف پر کنید). اگر مقدار نمونه‌ای که داخل ظرف ریخته می‌شود، بیش از مقدار تعیین‌شده باشد، اضافی آن را خارج کنید؛

۲ـ دماسنج باید به شکل عمودی در داخل نمونه قرار گیرد. هنگامی که مطمئن شدید دستگاه آماده است و کلیهٔ اتصالات محکم شده است، گرما دادن به نمونه را آغاز کنید. توصیه می‌شود شدت گرما به گونه‌ای باشد که در ابتدا در هر دقیقه $15^{\circ}C$ دمای نمونه افزایش یابد. وقتی که دمای نمونه به حدود $50^{\circ}C$ کمتر از نقطهٔ اشتعال تخمینی رسید، شدت گرما را کاهش دهید، به گونه‌ای که در هر دقیقه، ۵ درجه سلسیوس به دمای نمونه اضافه شود.

۳ـ از حدود $30^{\circ}C$ پایین‌تر از نقطهٔ اشتعال تخمینی، با افزایش هر $2^{\circ}C$ 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 نقطهٔ اشتعال نمونه ندارید، می‌توان از همان ابتدا به آهستگی نمونه را گرما دهید. بدین ترتیب که در هر دقیقه $5^{\circ}C$ دما را افزایش دهید و با افزایش هر $2^{\circ}C$ یک بار شعله را از روی نمونه عبور دهید؛

۴ـ هنگامی که یک جرقه یا سوختن آنی و خفیف (فلاش) در سطح نمونه ظاهر شد، دما را یادداشت کنید. برای افزایش اطمینان از نتایج آزمایش، $2^{\circ}C$ از این عدد کم کنید. این دما نقطهٔ اشتعال نمونه (روغن موتور) است.

۵ـ برای تعیین نقطهٔ احتراق، گرما دادن را به همان شکل ادامه دهید، به ترتیبی که هر یک دقیقه حدود $5^{\circ}C$ به دمای نمونه افزوده شود و با افزایش هر $2^{\circ}C$ شعلهٔ کوچک را به سطح نمونه نزدیک کنید. هنگامی که بخارات سطح نمونه آتش گرفت و شعله‌های آن برای ۵ ثانیه ادامه یافت، دما را یادداشت کنید. برای افزایش اطمینان به نتایج آزمایش $2^{\circ}C$ از آن کم کنید. این دما نقطهٔ احتراق نمونه را نشان می‌دهد.

نکته ایمنی ۳

مقدار نقطه اشتعال اندازه‌گیری شده براساس نوع دستگاه، کاهش و افزایش دما (در نمونه‌های خودکار)، زمان تخصیص داده‌شده، حجم نمونه و حتی هم‌زدن، نتیجه‌های متفاوتی خواهد داشت؛ لذا ضروری است که آزمایش طبق استاندارد مرتبط انجام شود.

در صورتی‌که 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. گرما دادن را قطع کنید و اجازه دهید دستگاه خنک شود.
طبق تعریف، نقطهٔ اشتعال و نقطهٔ احتراق در فشار ۷۶۰ mmHg تعریف شده‌اند. به همین منظور فشار کارگاه را اندازه‌گیری کنید و با استفاده از معادله‌های زیر دماها را تصحیح کنید:

نقطهٔ اشتعال یا احتراق تصحیح شده ($^{\circ}C$) = $C + ۰/۰۳ (۷۶۰-P)$

C = نقطهٔ اشتعال یا احتراق اندازه‌گیری شده در فشار کارگاه

P = فشار کارگاه بر حسب میلی متر جیوه

نکته ایمنی ۴

- **گرما دادن مواد نفتی باید با دقت کامل و رعایت کلیهٔ مسائل ایمنی انجام شود؛**
- **به هیچ عنوان در دستگاه کلیولند ترکیبات سبک نظیر بنزین را آزمایش نکنید؛**
- **برای اندازه‌گیری نقطهٔ اشتعال ترکیبات سبک، باید از ظروف سر بسته استفاده کرد.**

۱۲ـ۴ـ ایمنی و کار با مخازن ذخیره

برای هر مخزن ذخیره تجهیزات زیر لازم و ضروری هستند:

۱ـ دریچه آدم‌رو[۱]: هر مخزن ذخیره می‌بایست دارای دریچهٔ آدم‌رو باشد تا بتوان برای پاک‌سازی و تعمیرات به‌راحتی وارد مخزن شد (شکل ۲۱ـ۴). تعداد این دریچه‌ها برای بدنه و سقف به قطر مخزن بستگی دارد؛ به عنوان مثال، یک دریچهٔ آدم‌رو در سقف برای مخازن تا قطر ۲۰ متر، و دو دریچه برای قطر بالاتر از ۲۰ متر الزامی است.

شکل ۲۱ـ۴ـ دریچهٔ آدم رو مخزن

۱ـ Manway

نکته ایمنی ۵

هنگام ورود به مخزن، مطمئن باشید که جریان هوا درون مخزن برقرار است، به‌عنوان مثال باید چند دریچهٔ آدم‌رو باز باشد تا هوای درون مخزن جریان یابد و هنگام فعالیت درون مخزن با مشکلات تنفسی مواجه نشوید.

۲ـ ارتفاع‌سنج مایع[۱]: برای اطلاع از ارتفاع مایع درون مخزن، از ارتفاع‌سنج استفاده می‌شود که پرکاربردترین آنها ارتفاع‌سنج مغناطیسی، ارتفاع‌سنج راداری و ارتفاع‌سنج فراصوت است. در شکل ۲۲ـ ۴ یک ارتفاع‌سنج مغناطیسی نشان داده شده است.

شکل ۲۲ـ۴ـ ارتفاع‌سنج مغناطیسی روی مخزن

۳ـ شیر خلأشکن[۲]: 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 ۳

فیلم عملکرد شیر خلأشکن را مشاهده کنید و در مورد شیوهٔ عملکرد آن بحث کنید.

۴ـ صفحهٔ شکست[۳]: صفحهٔ 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، صفحهٔ شکست پاره می‌شود و فشار درون مخزن به حالت عادی برمی‌گردد (شکل ۲۳ـ۴).

شکل ۲۳ـ۴ـ صفحهٔ شکست

فیلم ۴

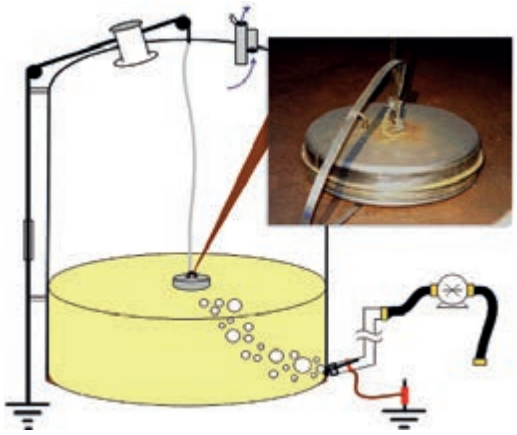
فیلم‌های عملکرد صفحهٔ شکست و ملاحظات نگه‌داری آن را مشاهده کنید و دربارهٔ شیوهٔ عملکرد آن بحث کنید.

۱ـ Level Gauge
۲ـ Vacuum Breaker Valve
۳ـ Rupture Disk

توجه به موارد زیر از نظر ایمنی برای مخازن الزامی است:

رنگ مخزن‌ها: برای کاهش جذب انرژی تابشی خورشید و همچنین جذب گرما از محیط، مخزن‌های محصولات سبک و میان‌تقطیر مانند بنزین، نفت سفید و گازوئیل به رنگ سفید، رنگ‌آمیزی می‌شود. در این حالت دمای مایع درون مخزن تغییر چندانی نخواهد داشت و در نتیجه مقدار تبخیر مایع کاهش می‌یابد.

خطر الکتریسیتهٔ ساکن در مخزن: انتقال مواد نفتی و قابل سوختن، اصطکاک مایعات هنگام جریان در خط لوله و پخش شدن مایعات به قطرات کوچک، همگی باعث بارور شدن مخزن می‌شوند. در این حالت، حتی جرقهٔ 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 شوند تا بار الکتریسیتهٔ ساکن از مخزن به زمین هدایت شود (شکل ۲۴ـ۴).



شکل ۲۴ـ۴ـ تخلیهٔ الکتریسیتهٔ ساکن مخزن به زمین

همان‌گونه که در شکل ۲۴ـ۴ مشخص است، نصب یک وسیلهٔ فلزی ساده روی سقف مخزن و اتصال آن به زمین باعث تخلیهٔ بار جمع‌شده در مخزن می‌شود. اتصال بدنهٔ مخازن به زمین در شکل ۲۵ـ۴ نشان داده شده است.

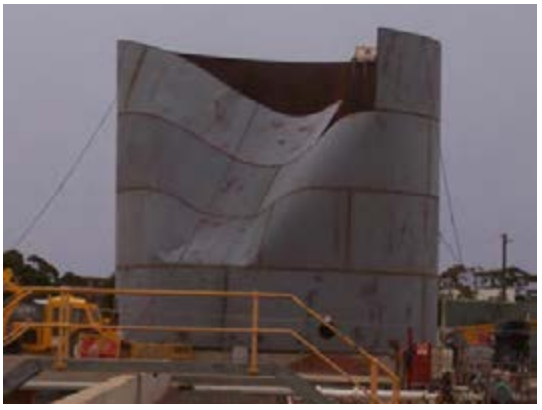
شکل ۲۵ـ۴ـ تخلیهٔ الکتریسیتهٔ ساکن بدنهٔ مخزن به زمین

برای تخلیهٔ الکتریسیته ساکن در مخازن سقف شناور، نوع دیگری از اتصالات استفاده می‌شود که در شکل ۲۶ـ۴ نشان داده شده است.

شکل ۲۶ـ۴ـ تخلیهٔ الکتریسیتهٔ ساکن در مخزن سقف شناور

با توجه به اینکه در مخازن سقف شناور، سطح مایع در تماس با سقف است، اصطکاک ایجادشده بین مایع و سقف باعث تجمع بار الکتریکی در سقف می‌شود و به همین دلیل بار الکتریکی سقف از طریق سیم به بدنه و سپس به زمین منتقل می‌شود.

جریان‌های باد: طراحی مخزن باید به گونه‌ای باشد که در مقابل نیرویی که جریان باد به دیوارهٔ مخزن وارد می‌کند، مقاومت داشته باشد. همانند شکل ۲۷ـ۴ وزش باد شدید می‌تواند ساختار مخزن را دگرگون کند.



شکل ۲۷ـ۴ـ آسیب دیدن مخزن به‌دلیل وزش باد

ارزشیابی شایستگی پودمان راکتور و مخازن

شرح کار:

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

استاندارد عملکرد:

- توانایی اندازه‌گیری سرعت واکنش، راکتورهای شیمیایی و کارکردن با مخازن ذخیره طبق دستورکار.

شاخص‌ها:

- رعایت مسائل ایمنی در هنگام انجام دادن کار؛
- انجام دادن کار طبق دستورکار.

شرایط انجام کار و ابزار و تجهیزات:

مکان: کارگاه و آزمایشگاه زمان : یک جلسهٔ آموزشی .

ابزارو تجهیزات: تجهیزات آزمایشگاهی، راکتور، مخازن ذخیره مایع و وسایل ایمنی شخصی.

معیار شایستگی:

ردیف	مرحلهٔ کار	کمترین نمرهٔ قبولی از ۳	نمرهٔ هنرجو
۱	تعیین سرعت واکنش‌های شیمیایی	۲	
۲	کار با راکتورهای شیمیایی	۱	
۳	کار با مخازن ذخیره	۱	
	شایستگی‌های غیرفنی، ایمنی، بهداشت، توجهات زیست محیطی و نگرش: ۱ـ ایمنی: انجام‌دادن کار کارگاهی با رعایت موارد ایمنی و استفاده از وسائل ایمنی شخصی؛ ۲ـ نگرش: ۳ـ توجهات زیست‌محیطی: جلوگیری از صدمه زدن به محیط‌زیست از طریق انجام‌دادن کار بدون ریخت و پاش؛ ۴ـ شایستگی‌های غیرفنی: ۱ـ اخلاق حرفه‌ای، ۲ـ مدیریت منابع، ۳ـ محاسبه و کاربست ریاضی، ۵ـ مستندسازی: گزارش نویسی.	۲	
	میانگین نمرات		*

* کمترین میانگین نمرات هنرجو برای قبولی و کسب شایستگی، ۲ است.

پودمان ۵

دستگاه‌های جداکننده

جداسازی اجزای یک محلول یا مخلوط از یکدیگر، یکی از مهم‌ترین فرایندهای صنایع شیمیایی است. فرایند جداسازی می‌تواند شامل جدا کردن اجزای یک مخلوط با استفاده از عملیّات صاف کردن و غربال کردن و یا جدا کردن اجزای یک محلول از طریق عملیّات انتقال جرم مانند تبخیر و تقطیر باشد.

واحد یادگیری۵

کار با دستگاه‌های جداکننده

مقدمه

هدف بسیاری از عملیّات در صنایع شیمیایی، جداسازی اجزای یک محلول یا مخلوط از یکدیگر و دستیابی به یک مادهٔ خالص است. عملیّات جداسازی می‌تواند شامل جدا کردن اجزای یک مخلوط با استفاده از عملیّات صاف‌کردن و غربال‌کردن (الک‌کردن) و یا جدا کردن اجزای یک محلول از طریق عملیّات انتقال جرم از قبیل تقطیر و 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 انسان‌ها دارند.

استاندارد عملکرد

انجام دادن عملیّات انتقال جرم (در صنایع شیمیایی)، کار با برج‌های تقطیر و برج‌های استخراج طبق دستور کار

شایستگی‌های غیر فنی:

۱ـ اخلاق حرفه‌ای: حضور منظم و وقت‌شناسی، انجام دادن وظایف و کارهای محوّل، پیروی از قوانین؛

۲ـ مدیریت منابع: شروع به‌کار به‌موقع، مدیریت مؤثر زمان، استفاده از مواد و تجهیزات؛

۳ـ کار گروهی: حضور فعّال در فعالیت‌های گروهی، انجام دادن کارها و وظایف محوّل؛

۴ـ مستندسازی: گزارش‌نویسی فعالیت‌های آزمایشگاهی؛

۵ـ محاسبه و کاربست ریاضی.

شایستگی‌های فنی:

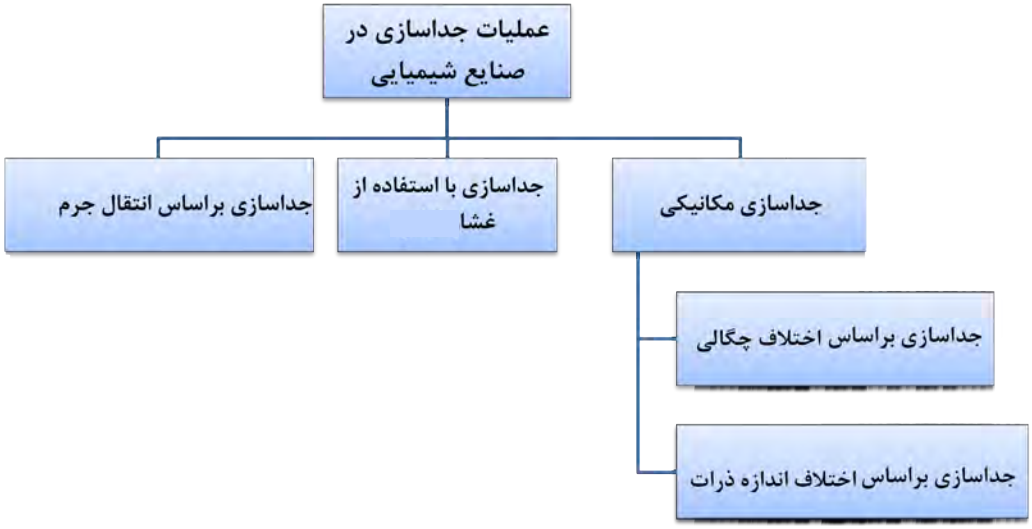
۱ـ به‌کارگیری روش‌های جداسازی در صنایع شیمیایی؛

۲ـ کار با برج‌های تقطیر؛

۳ـ کار با برج‌های استخراج.

۱ـ۵ـ روش‌های جداسازی

عملیّات جداسازی در صنایع شیمیایی از اهمیّت بالایی برخوردار است. در شکل ۱ـ۵ روش‌های مختلف جداسازی نشان داده شده است.



شکل ۱ـ۵ـ روش‌های مختلف جداسازی

۲ـ۵ـ جداسازی مکانیکی

جداسازی مکانیکی بر اساس اختلاف اندازهٔ ذرات

اگر مخلوطی از مواد جامد با اندازه‌های مختلف وجود داشته باشد، می‌توان اجزای آن را به‌دلیل اختلاف اندازه از هم جدا کرد. الک‌کردن مواد یک مثال ساده از این نوع جداسازی است.

پرسش ۱

آیا تاکنون در زندگی روزمره از الک استفاده کرده‌اید؟

الک‌ها یا غربال‌ها وسایلی هستند که برای جداسازی ذرّات جامد براساس اندازه به‌کار می‌روند (شکل ۲ـ۵). در بیشتر آنها این کار بر اساس نیروی جاذبه و با استفاده از دستگاه‌های تکان‌دهنده یا لرزاننده انجام می‌شود. صفحهٔ مشبک الک‌ها به‌وسیله سیم بافته می‌شود و اندازهٔ سوراخ‌های آن دارای مقدارهای استاندارد و معینی است. برای بیان قطر سوراخ‌های الک‌ها از یکای میکرون یا مش استفاده می‌شود.

الف

ب

شکل ۲ـ۵ الف) یک نمونه الک (غربال)، ب) مجموعه الک‌ها بر روی دستگاه لرزاننده

به‌طور مثال برای الک کردن خاک از تعدادی الک که برروی یکدیگر چیده شده‌اند و اندازه‌های آنها از بالا به پایین کوچک‌تر می‌شود، استفاده می‌کنند. در شکل ۲ـ۵ ـ ب خاک را بر روی الک بالایی می‌ریزند و با یک دستگاه لرزاننده، مجموعهٔ الک‌ها را تکان می‌دهند. بر روی هر الک دانه‌های ریزتر از سوراخ‌های الک عبور می‌کند و ذرّات 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 به درصد جرمی (وزنی) دانه‌ها بر روی هر الک از تعریف‌های پودمان اول و فرمول زیر استفاده می‌شود.

$$\text{درصد جرم (وزنی) دانه‌های باقی‌مانده بر روی هر الک} = \frac{\text{جرم (وزن) دانه‌های باقی‌مانده بر روی هر الک}}{\text{جرم (وزن) خاک اولیه}} \times ۱۰۰$$

جداسازی بر اساس اختلاف چگالی

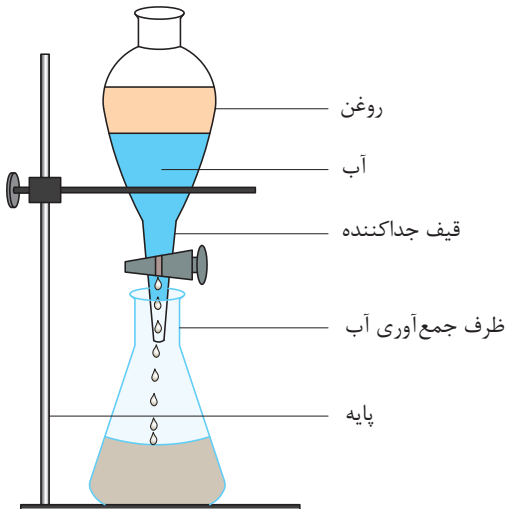
اگر مخلوطی از دو ماده با چگالی‌های مختلف وجود داشته باشد، می‌توان اجزای این مخلوط را به کمک (قیف جداکننده) دکانتور از هم جدا کرد.

فکر کنید ۱

به نظر شما چگونه می‌توان مخلوط آب و روغن را از هم جدا کرد؟

(قیف جداکننده) دکانتور: دکانتور وسیله‌ای است قیف‌مانند که در انتهای آن یک شیر تعبیه شده است. این وسیله مایعات را بر اساس اختلاف چگالی از هم جدا می‌کند.

همان‌طور که در شکل ۳ـ۵ نشان داده شده است. اگر مخلوط آب و روغن در ظرف ریخته شود، روغن که دارای چگالی کمتر است، در بالا قرار می‌گیرد و آب در قسمت پایین قرار می‌گیرد. با باز کردن شیر ظرف، آب از قسمت انتهایی خارج می‌شود تا اینکه به مرز جدایی آب و روغن برسد. در این لحظه شیر ظرف بسته می‌شود و در نتیجه آب و روغن از هم جدا می‌شوند.



شکل ۳ـ۵ـ قیف جداکننده

فعالیت آزمایشگاهی ۱

جداسازی آب و روغن

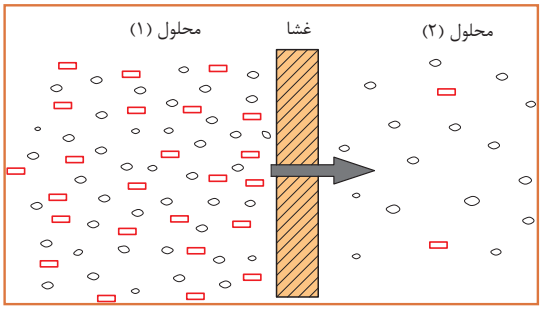
در یک بشر به مقدار مساوی آب و روغن گیاهی یا آب و نفت بریزید و آن را با یک همزن شیشه‌ای به‌خوبی مخلوط کنید و سپس مخلوط را در داخل قیف جداکننده بریزید. مطمئن باشید که شیر قیف جداکننده بسته باشد. چند دقیقه صبر کنید تا آب و روغن کاملاً از هم جدا شوند. سپس با باز و بسته کردن شیر آب و روغن را از هم جدا کنید.

نکته ایمنی ۱

توجه داشته باشید که مجموع حجم آب و روغن یا آب و نفت از حجم قیف جداکننده بیشتر نباشد.

۳ـ۵ـ جداسازی با استفاده از غشا[1]

غشا لایه‌ای بسیار نازک است که می‌تواند اجزای یک محلول را به‌طور انتخابی جدا کند.
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 ذرّات خاصی از آنها می‌توانند عبور کنند (شکل۴ـ۵)، بنابراین عمل جداسازی انجام می‌شود .



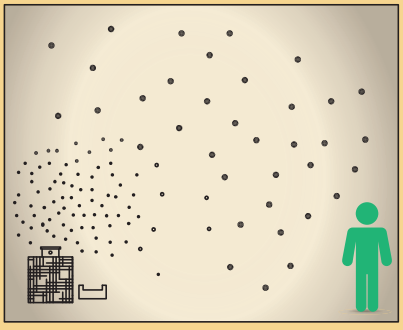
شکل ۴ـ۵ـ فرایند انتقال از میان غشا

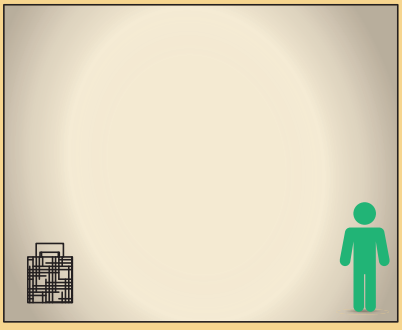
از انواع کاربردهای غشا به موارد زیر می‌توان اشاره کرد:
۱ـ شیرین‌سازی آب دریا
۲ـ جداسازی و خالص‌سازی پروتئین‌های آب پنیر
۳ـ حذف ذرّات کلوییدی از ماءالشعیر

۴ـ۵ـ جداسازی براساس عملیّات انتقال جرم

بحث گروهی ۱

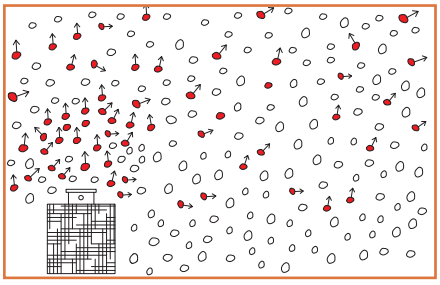
شکل الف اتاقی را نشان می‌دهد که در یک گوشهٔ آن شیشهٔ عطری قرار دارد. در شکل ب درپوش شیشه عطر باز شده است. فردی که در گوشهٔ دیگر اتاق نشسته است، پس از گذشت لحظه‌ای بوی عطر را احساس می‌کند. به نظر شما چه اتفاقی افتاده است؟


ب


الف

۱ـ Membrane

وقتی درپوش شیشه عطر باز می‌شود، مولکول‌های عطر از لابه‌لای مولکول‌های هوا حرکت می‌کند و در اتاق پخش می‌شوند. مولکول‌ها از جایی که غلظت بیشتر است به جایی که غلظت کمتر است حرکت می کنند. (شکل ۵ـ۵).



شکل ۵ـ۵ـ 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 را از بین مادهٔ دیگر انتقال جرم می‌گویند. عملیّات انتقال جرم معمولاً به دو روش انجام می‌شود:

نفوذ مولکولی: اگر انتقال جرم فقط به‌دلیل 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، مادهٔ منتقل‌شونده با حرکت تودهٔ سیال نیز منتقل می‌شود.

بحث گروهی ۲

به نظر شما در اتاق حاوی شیشهٔ عطر در باز، پخش مولکول‌های عطر در هوا به کدام روش انجام می‌شود؟ اگر پنجرهٔ اتاق باز باشد و جریان هوایی در اتاق برقرار شود، بوی عطر زودتر به مشام می‌رسد.چرا؟

فکرکنید ۲

در یک ظرف 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؟

پرسش ۲

آیا نمونه‌های دیگری از عملیّات انتقال جرم را می‌توانید نام ببرید؟

فرض کنید گازهای خروجی از یک کارخانهٔ تولید محصولات شوینده، آلوده به گاز کلر است. کلر یک مادهٔ سمّی و آلایندهٔ 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 پخش‌کننده به‌صورت قطرات ریز از بالای ستون به سمت پایین حرکت می‌کند. کلر ماده‌ای است که به‌آسانی در آب حل می‌شود و به همین علت، مادهٔ 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.

پرسش ۳

در این عملیات انتقال جرم، کدام دو حالت ماده در تماس با یکدیگر قرار می‌گیرند؟ جزء منتقل‌شونده کدام است؟

تماس مستقیم دو مادهٔ 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 شدن انتقال جرم، اجزای تشکیل‌دهنده هر یک از مواد دارای غلظت‌های متفاوتی خواهند بود.
تماس مستقیم دو مادهٔ نامحلول در یکدیگر شامل موارد زیر می‌شود.

تماس گاز ـ مایع

تماس گاز ـ مایع فرایندهای تقطیر، جذب و دفع را شامل می‌شود:
الف) تقطیر: تقطیر تماس بخار با مایع در حال جوش است. در این عملیات اجزای سبک‌تر (با نقطهٔ جوش پایین‌تر) به سیال بخار و اجزای سنگین‌تر (با نقطهٔ جوش بالاتر) به سیال مایع منتقل می‌شوند.
ب) جذب و دفع: 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 ـ جامد

یکی از فرایندهای متداول که در آن فاز گاز و جامد در تماس با هم قرار می‌گیرند، فرایند جذب سطحی است؛ برای مثال، در پالایشگاه‌های گاز، گاز طبیعی به همراه مقداری رطوبت تولید می‌شود. این رطوبت در پالایش گاز عامل مزاحم است و باید حذف شود. برای این منظور گاز طبیعی به داخل ستون‌هایی هدایت می‌شود که با مادهٔ جامد خشک‌کننده پر شده است. رطوبت گاز طبیعی در این فرایند ضمن عبور از اطراف ذرّات مادهٔ خشک‌کننده، به سطح این ذرّات جذب می‌شود. با پیشروی گاز در ستون تقریباً تمام آب موجود در گاز با مادهٔ خشک‌کنندهٔ جامد جذب می‌شود و گاز خشک از انتهای ستون خارج می‌شود.

تماس مایع ـ مایع

واحد عملیّاتی تماس دو مایع نامحلول در یکدیگر، استخراج مایع ـ مایع نامیده می‌شود. استخراج مایع ـ مایع فرایندی است که در آن اجزای موجود در یک محلول مایع، از مایع دیگری که حلّال نامیده می‌شود، جدا می‌شود.

تماس مایع ـ جامد

متداول‌ترین فرایند تماس مایع ـ جامد، استخراج جامد ـ مایع نامیده می‌شود. در این فرایند اجزای موجود در یک مخلوط جامد، توسط یک مایع (حلاّل) جدا می‌شود.

بحث گروهی ۳

بارزترین نمونهٔ استخراج مایع ـ جامد در زندگی روزمره چیست؟

پرسش ۴

به نظر شما، هر یک از فرایندهای جداسازی زیر به چه طریقی انجام می‌شود؟

	جداسازی بر اساس اختلاف اندازه	جداسازی براساس اختلاف چگالی	جداسازی با استفاده از عملیّات انتقال جرم	جداسازی با استفاده از غشا
جداسازی سنگریزه‌ها از خاک				
جداسازی گاز کلر از هوا (تماس هوا و آب)				
جداسازی آب از نفت				
دم‌کردن چای				
تصفیهٔ آب خانگی				
جداسازی گردوخاک از هوا				

۵ــ۵ــ جداسازی به روش تقطیر

فیلم ۱

فیلم مربوط به تقطیر را مشاهده کنید و در پایان گزارش آن را تهیه کنید.

پرسش ۵

به نظر شما در پالایشگاه‌های نفت، چگونه بنزین و گازوئیل را از نفت خام جدا می‌کنند؟

جداسازی مخلوط مایعات به اجزای تشکیل‌دهندهٔ آن، یکی از مهم‌ترین فرایندهای صنایع شیمیایی و نفت است. تقطیر یکی از روش‌های اصلی و متداول است که برای جداسازی مخلوط مایعات به‌کار می‌رود.

تقطیر فرایندی است که در آن اجزای یک مخلوط مایع یکنواخت (محلول)، به‌دلیل اختلاف در نقطهٔ جوش از یکدیگر جدا می‌شوند. تقطیر بر اساس دو فرایند تبخیر و مایع شدن (میعان) انجام می‌شود. به اجزایی از این مخلوط مایع که نقطهٔ جوش بالایی دارند، اجزای سنگین و به اجزایی که نقطه جوش پایین‌تری دارند، اجزای سبک یا فرّار گفته می‌شود.

پرسش ۶

چه رابطه‌ای بین نقطهٔ جوش، قابلیت تبخیر و فشار بخار مواد وجود دارد؟

قابلیت تبخیر

اصطلاح قابلیت تبخیر، نشان‌دهندهٔ کیفیت تبخیر یک مایع است. مایعاتی که به‌آسانی به بخار تبدیل می‌شوند، دارای قابلیت تبخیر زیاد و مایعاتی که به‌سادگی بخار نمی‌شوند، قابلیت تبخیر کمی دارند. وقتی نقطهٔ جوش مایعی پایین باشد، فشار بخار و قابلیت تبخیر آن زیاد است و برعکس مایعی که دارای نقطهٔ جوش بالایی است، فشار بخار و قابلیت تبخیرِ کمی دارد.

تحقیق کنید ۱

برای دو هیدروکربن هگزان و پنتان جدول زیر را کامل کنید.

ماده	نقطهٔ جوش	فشار بخار	جرم مولکولی
پنتان			
هگزان			

پرسش ۷

با توجه به رابطهٔ 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 مادهٔ پنتان و هگزان وجود دارد. این مخلوط را داخل ظرفی ریخته، آن‌را گرما می‌دهیم. با رسیدن دمای مخلوط به دمای نقطهٔ جوش پنتان، پنتان شروع به تبخیر شدن می‌کند. با ادامهٔ گرما دادن و افزایش دمای مخلوط، هگزان نیز به همراه پنتان تبخیر می‌شود؛ اما چون نقطهٔ جوش هگزان بیشتر از پنتان است، میزان تبخیر آن کمتر از پنتان خواهد بود؛ بنابراین بخارات خارج شده از ظرف دارای مقدار بیشتری پنتان هستند و مایع باقی‌مانده در ظرف، هگزان بیشتری دارد.

فرایند تقطیر به دو روش زیر انجام می‌شود:

۱ـ تقطیر ساده یا یک مرحله‌ای؛

۲ـ تقطیر چند مرحله‌ای.

تقطیر ساده

پرسش ۸

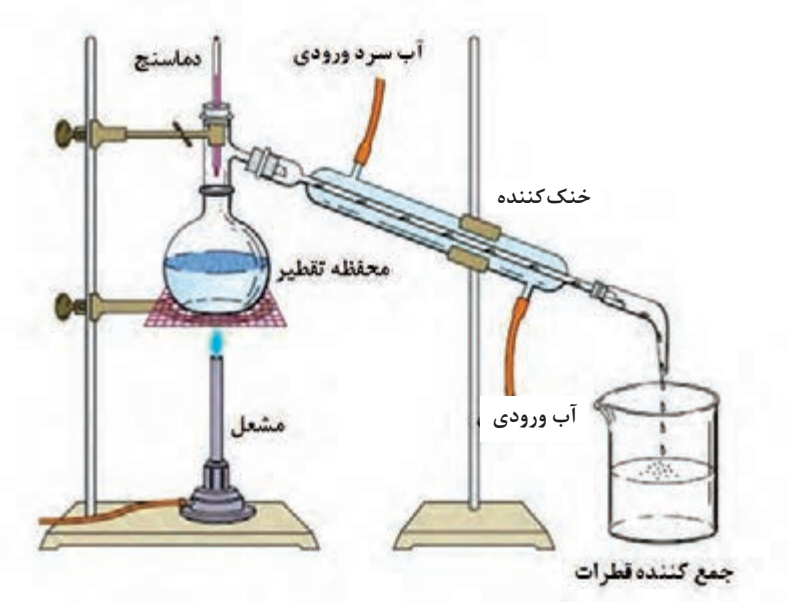
آیا تا به حال از گلاب‌گیری شهر کاشان بازدیدی داشته‌اید؟ به نظر شما گلاب‌گیری کدام یک از روش‌های جداسازی است؟

تقطیر ساده یکی از ساده‌ترین روش‌های جداسازی است. در این روش ابتدا خوراک مایع را به مخزن تقطیر وارد می‌کنند و گرما می‌دهند. در اثر جوشیدن مایع، قسمتی از آن بخار می‌شود و از بالای مخزن وارد یک خنک‌کننده (مبرد) می‌شود و 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.

فعالیت
کارگاهی ۱

جداسازی آب از اتانول به روش تقطیر ساده

مواد مورد نیاز	وسایل مورد نیاز
آب اتانول	بالن ته‌گرد، خنک‌کننده، دماسنج، پایه و گیره، سه‌راهی شیشه‌ای، سنگ جوش، ظرف جمع‌آوری و گرم‌کن



شکل ۶ـ۵ـ سامانهٔ تقطیر ساده

روش کار:

۱ـ مقدار مساوی از آب و اتانول را در بالن ته‌گرد بریزید و درون آن تعدادی سنگ جوش بیندازید؛

۲ـ اگر برای گرما 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؛

۳ـ دماسنج را در سه‌راهی قرار دهید و سه‌راهی را به سر بالن نصب کنید؛

۴ـ خنک‌کننده را به سه‌راهی وصل کنید و بلافاصله آن‌را با گیره محکم کنید؛

۵ـ شیلنگ‌های ورودی و خروجی آب سرد را به خنک‌کننده وصل کنید و جریان آب را به اندازهٔ کافی باز کنید؛

۶ـ در خروجی خنک‌کننده یک ظرف مناسب برای جمع‌آوری محصول قرار دهید؛
۷ـ بعد از اطمینان از اتصال اجزای دستگاه، وسیلهٔ گرم‌کننده را روشن کنید؛
۸ـ دما را در حدود ۸۰ درجهٔ سلسیوس ثابت نگه دارید؛
۹ـ پس از اینکه نصف محلول داخل بالن تبخیر شد، وسیلهٔ گرم‌کننده را خاموش کنید؛
۱۰ـ کمی تأمل کنید تا تمام بخارات داخل خنک‌کننده به‌طور کامل به مایع تبدیل شود؛
۱۱ـ میزان تقریبی اتانول موجود در ظرف جمع‌آوری محصول را اندازه‌گیری کنید.

نکته

به نکات زیر پیش از شروع آزمایش توجه کنید:
ـ 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 خنک‌کننده وجود دارد.
ـ مخزن دماسنج باید پایین‌تر از شاخه جانبی سه راهی قرار گیرد تا دمای جوش را به‌درستی نشان دهد.
ـ محل ارتباط لوازم شیشه‌ای را قبل از اتصال با گریس یا وازلین چرب کنید تا در پایان کار به راحتی از هم جدا شوند.

نکته ایمنی ۲

ـ از سالم بودن بالن ته‌گرد اطمینان حاصل کنید؛
ـ بالن ته‌گرد را نباید تا خشک‌شدن و تبخیر کامل محلول گرما داد؛
ـ استفاده از لوازم و وسایل ایمنی شخصی (روپوش آزمایشگاهی، عینک و دستکش) الزامی است؛
ـ در هنگام استفاده از لوازم شیشه‌ای و گرما دادن، دقت بالایی داشته باشید.

پرسش ۹

۱ـ محصول به‌دست آمده از فعالیت عملی تقطیر ساده، دارای چند درصد الکل اتانول است؟ آیا می‌توان این محلول را دوباره تقطیر کرد تا به اتانول با درجهٔ خلوص بالاتر دست یافت؟

۲ـ تقطیر ساده برای چه محلول‌هایی مناسب است؟

تقطیر چند مرحله‌ای

تقطیر ساده، یک فرایند تک‌مرحله‌ای 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 عملیّات تقطیر را تکرار نمود و این فرایند را تا جایی ادامه داد که محصول به‌دست آمده به خلوص مطلوب برسد. بنابراین از چندین دستگاه تقطیر پشت سر هم باید استفاده کرد. به این روش تقطیر چند مرحله‌ای گفته می‌شود؛ امّا 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 چندمرحله‌ای به صورت پیوسته انجام می‌شود. فرایند تقطیر چند مرحله‌ای دارای برج‌های تقطیر سینی‌دار و برج‌های آکنده (یا پرشده حاوی) آکنه است.

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 مرحلهٔ تقطیر ساده را دارد. یک طرح کلی از برج تقطیر سینی‌دار در شکل ۷ـ۵ نشان داده شده است.

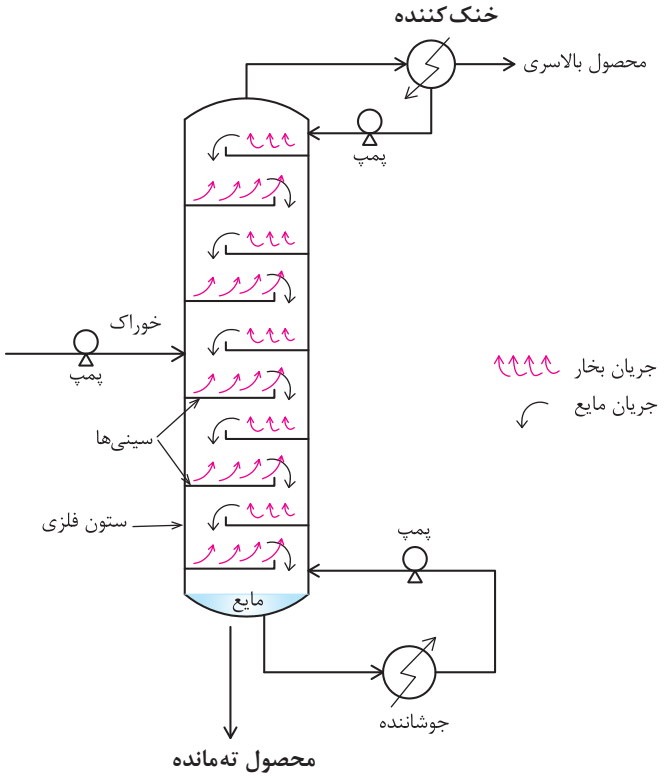
برج تقطیر سینی‌دار از بخش‌های اصلی زیر تشکیل شده است.

۱ـ ستون (برج)؛

۲ـ سامانه جوشاننده؛

۳ـ سامانه خنک‌کننده؛

۴ـ سینی‌ها.



شکل ۷ـ۵ـ برج تقطیر چند مرحله‌ای

در فرایند تقطیر، سامانهٔ جوشاننده گرمای لازم برای انجام شدن عمل تقطیر و جداسازی اجزای یک محلول را تأمین می‌کند. بخار ایجادشده به‌وسیله جوشاننده از پایین وارد برج می‌شود و به سمت بالا حرکت می‌کند. بخار بالارونده 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 می‌شود و بخشی از ترکیبات فرّار مایع تبخیر می‌شوند و وارد بخار می‌گردند. بخشی از ترکیبات سنگین بخار نیز با از دست دادن گرما مایع می‌شود و به مایع پایین‌رونده در برج می‌پیوندد. بدین‌ترتیب با پیشروی بخار در برج، به‌تدریج مقدار اجزای سنگین آن کم شده و از اجزای سبک‌تر غنی می‌شود و مایعی که به سمت پایین برج در حرکت است، از اجزای سنگین‌تر غنی می‌شود. بخارهای خروجی از بالای برج وارد یک خنک‌کننده 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 جمع‌شده در انتهای برج نیز خارج شده، قسمتی از آن به عنوان محصول ته‌ماند جمع‌آوری می‌شود و باقیمانده وارد سامانهٔ جوشاننده می‌شود تا به بخار تبدیل شود. بخار خروجی از جوشاننده به داخل برج بازگردانده می‌شود. خوراک ورودی به برج می‌تواند به صورت مایع و یا ترکیبی از مایع و بخار باشد، محل ورود خوراک را خط خوراک می‌نامند.

تحقیق کنید ۲

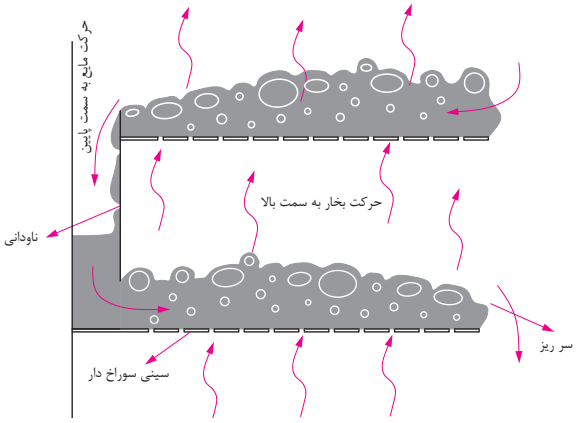
به نظر شما چرا بخشی از محصول بالای برج، به داخل برج بازگردانده می‌شود؟

فیلم ۲

فیلم مربوط به شیوهٔ حرکت مایع و بخار در داخل برج تقطیر را مشاهده کنید و گزارش آن را تهیه کنید.

شیوهٔ حرکت مایع و بخار در داخل برج تقطیر

شکل ۸ـ۵ طرح ساده‌ای از شیوهٔ 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 بدین‌ترتیب در روی هر سینی مایع و بخار در تماس با هم قرار می‌گیرند و اجزای سبک در مایع به بخار و اجزای سنگین در بخار به مایع منتقل می‌شوند.



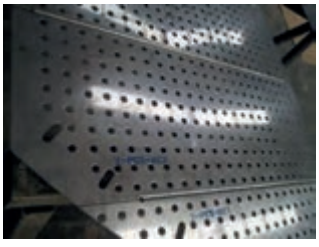
شکل ۸ـ۵ـ شیوهٔ حرکت مایع و بخار در داخل برج تقطیر

همان‌طور که در شکل نشان داده شده است، برای نگه‌داشتن 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 پایین منتقل می‌شود.

پرسش ۱۰

چرا مایعی که بر روی سینی‌های سوراخ‌دار جریان دارد، از سوراخ سینی‌ها به پایین نمی‌ریزد؟

مهم‌ترین انواع سینی‌های برج‌های تقطیر عبارت‌اند از: سینی‌های غربالی، سینی‌های دریچه‌ای و سینی‌های کلاهکی (شکل ۹ـ۵).



سینی غربالی

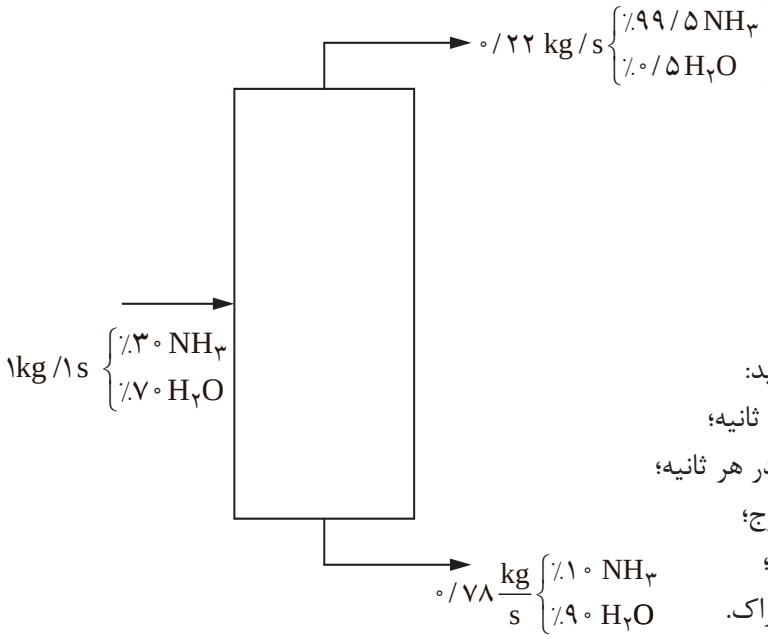
سینی دریچه‌ای

سینی کلاهکی

شکل ۹ـ۵ ـ انواع سینی‌های برج تقطیر

پرسش ۱۱

گزارشی از جداسازی آب و آمونیاک در یک برج تقطیر سینی‌دار طبق شکل مشاهده می‌شود. در این برج در هر ثانیه یک کیلوگرم محلول ۳۰ درصد جرمی آمونیاک در آب، به‌صورت خوراک وارد برج می‌شود و از بالای برج ۰/۲۲کیلوگرم در ثانیه و از پایین برج ۰/۷۸ کیلوگرم در ثانیه محصول خارج می‌شود.



هر یک از موارد زیر را محاسبه کنید:

۱ـ میزان آب ورودی به برج در هر ثانیه؛

۲ـ میزان آمونیاک ورودی به برج در هر ثانیه؛

۳ـ آب موجود در محصول بالای برج؛

۴ـ میزان آمونیاک جدانشده از آب؛

۵ـ بازده جداسازی آمونیاک از خوراک.

فعالیت آزمایشگاهی ۲

جداسازی آب و اتانول با استفاده از برج تقطیر سینی‌دار

مواد لازم	وسایل لازم
آب	برج تقطیر سینی‌دار
اتانول	

روش کار:

محلول حاوی مقادیر مساوی از آب و اتانول تهیه کنید.
طبق دستور کار برج تقطیر موجود در آزمایشگاه، آب را از اتانول جدا کنید.

فیلم ۳

چگونگی فرایند تقطیر در برج‌های سینی‌دار را مشاهده کنید و گزارش آن را تهیه کنید.

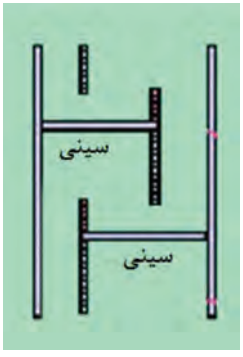
فعالیت گروهی ۱

در مورد ملاحظات زیست ـ محیطی پالایشگاه گزارشی تهیه کنید و نتیجه را در کلاس ارائه دهید.

پرسش ۱۲

۱ـ به نظر شما اگر میزان جریان بخار نسبت به مایع از یک حدی کمتر باشد، چه اتفاقی خواهد افتاد؟
۲ـ اساس فرایند جداسازی در صافی‌ها و الک‌ها، اندازه ذرّات می‌باشد. تفاوت این دو روش چیست و هر کدام برای چه حالتی از ماده (گاز، مایع، جامد) مناسب هستند؟
۳ـ همان‌طور که در این پودمان به آن اشاره شد مایعاتی که دارای اختلاف چگالی هستند را می‌توان توسط قیف جداکننده از هم جدا کرد. آیا جامدات را نیز می‌توان بر اساس اختلاف چگالی از هم جدا کرد؟ مثال بزنید.

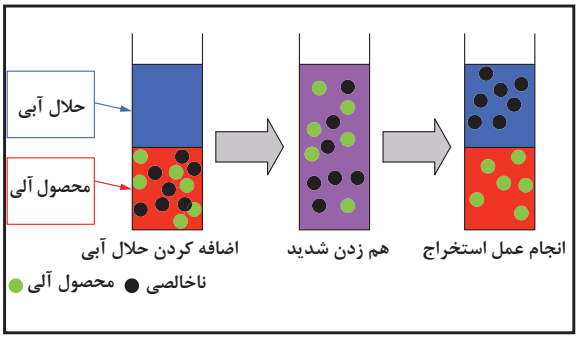
۴ـ شیوهٔ جریان بخار و مایع در یک برج تقطیر را بر روی شکل زیر مشخص کنید.



۵ـ کدام یک از سینی‌ها برای استفاده در ستون‌های تقطیر رایج‌تر است؟چرا؟
۶ـ اگر فشار بخار بالارونده از سوراخ سینی‌ها کم باشد، چه اتفاقی می‌افتد و چه تأثیری بر بازده برج دارد؟

۶ـ۵ـ جداسازی به روش استخراج

استخراج فرایندی است که در آن اجزای موجود در یک محلول مایع یا مخلوط جامد، به‌وسیلهٔ مایع دیگر (حلّال[۱]) جدا می‌شود. زمانی‌که عمل استخراج با مایعی از یک مخلوط جامد صورت پذیرد، آن را فرایند استخراج جامد ـ مایع[۲] می‌گویند و زمانی‌که فاز اولیه که جداسازی از آن صورت می‌پذیرد، مایع باشد، فرایند را استخراج مایع ـ مایع می‌نامند (شکل ۱۰ـ۵).



شکل ۱۰ـ۵ ـ استخراج مایع ـ مایع

پرسش ۱۳

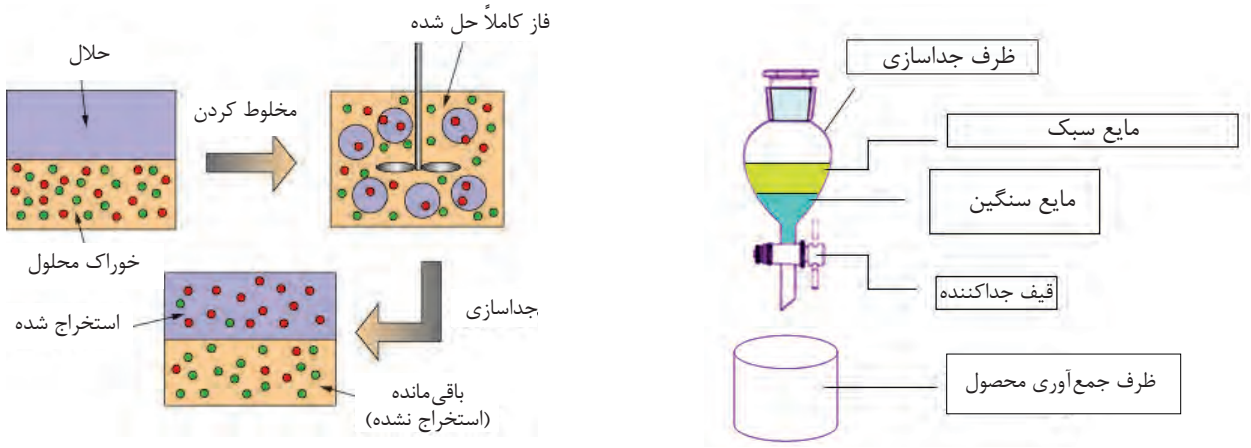
یک فرایند استخراج جامد ـ مایع معمولی را نام ببرید.

استخراج مایع ـ مایع

در فرایند استخراج مایع ـ مایع، محلولی که استخراج از آن انجام می‌شود، خوراک[۳] نامیده می‌شود و مایعی را که خوراک با آن در تماس قرار می‌گیرد تا جزء حل‌شونده[۴] از آن جدا شود، حلّال می‌نامند. پس از تماس خوراک و حلّال و انتقال جزء حل‌شونده از خوراک به آن، محصولی را که از حلّال غنی است، فاز استخراج شده[۵] و مایع باقی‌مانده را که حل‌شونده از آن جدا شده، فاز پس‌مانده[۶] می‌نامند.

شرط اصلی برای انجام شدن این فرایند، اختلاف چگالی بین حلّال و خوراک است تا حل‌شونده از آن جدا شود. مطابق با شکل ۱۱ـ۵، حلّال و خوراک تماس پیدا می‌کنند و درهم آمیخته می‌شوند تا حلّال بتواند جزء حل‌شونده را در خود حل کند، سپس به این مخلوط زمان داده می‌شود تا بر اثر اختلاف چگالی، دو فاز استخراج شده و پس‌مانده از هم جدا شوند.

۱ـ Solvent
۲ـ Leaching
۳ـ Feed
۴ـ Solute
۵ـ Extract
۶ـ Raffinate



شکل ۱۱ـ۵ فرایند استخراج مایع ـ مایع

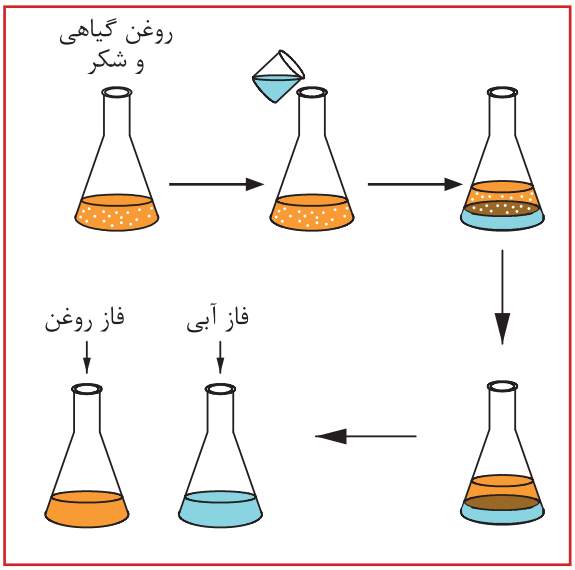
فیلم ۴

فیلم استخراج مایع ـ مایع را مشاهده کنید و گزارش آن را تهیه کنید.

فعالیت آزمایشگاهی ۳

۱ـ مقدار ۳ گرم شکر را در ۳۰ میلی‌لیتر روغن گیاهی مایع بریزید و مخلوط را به‌خوبی تکان دهید. شکر را از مخلوط جدا کنید. آیا به‌نظر شما صاف کردن این مخلوط راه‌حل مناسبی است؟ چه راه‌حل دیگری را پیشنهاد می‌کنید؟ دلیل جدایی آب و روغن و تشکیل دو فاز مجزا چیست؟

۲ـ روغنی را که بر روی آب قرار گرفته است از بشر خارج کنید. در این آزمایش جزء حل‌شونده (شکر) را از روغن با حلاّل (آب) با روش استخراج مایع ـ مایع جدا کرده‌اید.



شکل ۱۲ـ۵ ـ جداسازی شکر از روغن با استخراج مایع ـ مایع

کاربردهای استخراج مایع ـ مایع

استخراج مایع ـ مایع به‌دلیل یکی از شرایط زیر به‌عنوان فرایند جداسازی استفاده می‌شود:

الف) در مواقعی که جداسازی لازم است در دمای پایین انجام شود تا جزء حل شونده تجزیهٔ حرارتی نگردد؛

ب) در مواقعی‌که مقدار جزء حل‌شونده بسیار کم است و عمل تقطیر موجب صرف انرژی بیش از حد برای تغییر فاز مواد از حالت مایع به بخار می‌شود.

پ) مواقعی که نقطه جوش مواد به‌هم نزدیک است و تقطیر باعث تبخیر همه مواد بدون جداسازی شود.

بحث گروهی ۴

به نظر شما در هریک از فرایندهای زیر، به چه دلیل عمل استخراج مایع ـ مایع پیشنهاد می‌شود؟

الف) جداسازی اسیداستیک از آب در غلظت‌های کم؛

ب) جداسازی اسیدهای چرب و ویتامین‌ها از روغن‌های گیاهی؛

پ) جداسازی آنتی‌بیوتیک‌ها از فاز آبی.

پرسش ۱۴

مزیت روش استخراج مایع ـ مایع در این است که برخلاف فرایند تقطیر، انرژی کمتری نیاز دارد. از توضیحات ارائه‌شده در فرایند استخراج مایع ـ مایع، مشخص شد که جداسازی حل‌شونده از حلّال نیاز به تقطیر و مصرف انرژی هم دارد. آیا بهتر نیست از همان ابتدا، حل‌شونده از مخلوط با تقطیر جدا شود؟

انتخاب حلّال

حلّالی که برای استخراج مایع ـ مایع انتخاب می‌شود، باید خواص زیر را داشته باشد:

الف) حلّال باید بتواند حل شونده را بیش از دیگر اجزای موجود در خوراک در خود حل کند؛

ب) نقطهٔ جوش حلّال و حل‌شونده با هم اختلاف قابل ملاحظه‌ای داشته باشد تا بتوان آنها را به‌راحتی با فرایند تقطیر جدا کرد؛

پ) چگالی حلّال باید با چگالی خوراک اختلاف قابل قبولی داشته باشد تا بتوان آنها را از هم جدا کرد؛

ت) حلّال باید در تماس با خوراک و حل‌شونده پایدار بماند و با آنها وارد واکنش شیمیایی نشود.

بحث گروهی ۵

به‌نظر شما حلّال باید چه ویژگی‌های دیگری داشته باشد تا فرایند استخراج مایع ـ مایع ایمن‌تر و اقتصادی‌تر انجام شود؟

تحقیق ۳

به‌نظر شما فرایند استخراج چه مزایا و معایبی از نظر محیط‌زیست دارد؟

محاسبات استخراج

برای محاسبهٔ مقدار جزء حل‌شونده که از خوراک وارد حلّال می‌شود، از ضریبی به‌نام ضریب توزیع[1] استفاده می‌شود که آن‌را با K_D نشان می‌دهند. این ضریب به‌صورت ذیل تعریف می‌گردد:

$$K_D = \frac{\text{غلظت حل شونده در فاز استخراج شده}}{\text{غلظت حل شونده در فاز باقی‌مانده}}$$

۱ـ Distribution Coefficient

پرسش ۱۵

به‌نظر شما برای آنکه فرایند استخراج مایع ـ مایع امکان‌پذیر باشد، ضریب توزیع باید چه مقداری داشته باشد؟

مثال ۱:

برای جدا سازی پنی‌سیلین از یک محلول آبی، از حلّال متیل‌استات استفاده شده است. نتایج نشان می‌دهد که در ۲/۰۵ میلی‌لیتر از خوراک، ۰/۰۹۷ گرم پنی‌سیلین وجود دارد. در آزمایشگاه، به این خوراک ۱/۹۷ میلی‌لیتر متیل‌استات اضافه شده است و ۰/۰۵۹ گرم پنی‌سیلین از خوراک خارج شد. مطلوب است محاسبهٔ ضریب توزیع پنی‌سیلین در حلّال.

$$\text{غلظت پنی‌سیلین در فاز استخراج‌شده} = \frac{۰/۰۵۹}{۱/۹۷} \approx ۰/۰۲۹۹۵ \frac{g}{mL}$$

$$\text{غلظت پنی‌سیلین در فاز پسماند} = \frac{۰/۰۹۷ - ۰/۰۵۹}{۲/۰۵} \approx ۰/۰۱۸۵۳ \frac{g}{mL}$$

پرسش ۱۶

محلول حاوی ۵۰ میلی‌لیتر آب و ۵ میلی‌مول بنزوییک‌اسید است. به این محلول ۲۰ میلی‌لیتر دی‌کلرومتان اضافه شده است و پس از هم‌زدن، به مخلوط اجازه داده می‌شود تا فاز پس‌مانده و استخراج‌شده از هم جدا شوند. نتایج نشان می‌دهد که ۰/۸۸ میلی‌مول بنزوییک‌اسید در فاز آبی باقی می‌ماند. مطلوب است محاسبهٔ ضریب توزیع بنزوییک اسید در حلال دی‌کلرومتان و بازده استخراج تک‌مرحله‌ای.

$$\text{بازده استخراج} = \frac{\text{مقدار حل‌شونده در فاز استخراج شده}}{\text{مقدار حل‌شونده درخوراک}} \times ۱۰۰$$

تحقیق کنید ۴

۱ـ در صنایع پالایش روغن‌موتور از روش استخراج مایع ـ مایع چه استفاده‌ای می‌شود؟
۲ـ آیا می‌توانید برای فرایند استخراج مایع ـ مایع در صنایع هسته‌ای، کاربردی را بیابید؟

۷ـ۵ـ دستگاه‌های استخراج

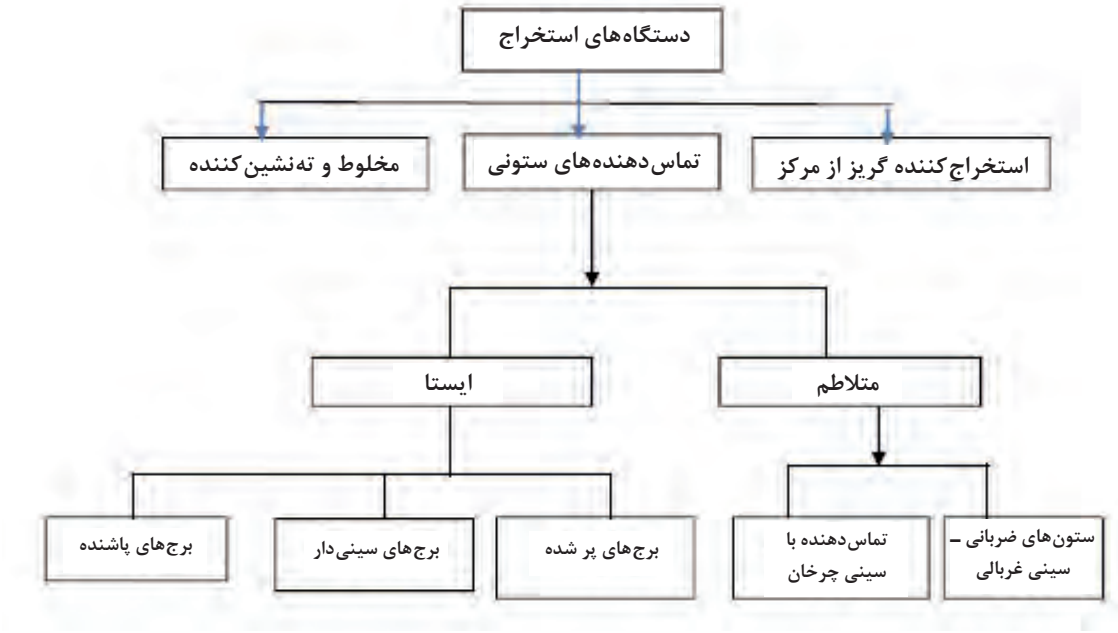
همان‌طور که ذکر شد، شرط امکان‌پذیری فرایند استخراج مایع ـ مایع، اختلاف چگالی بین خوراک و حلّال است. نقش اصلی یک دستگاه استخراج آن است که یکی از فازها (حلّال یا خوراک) را در دیگری پخش کند تا عمل انتقال حل‌شونده از خوراک به حلّال صورت بگیرد و سپس فازهای استخراج‌شده و پس‌مانده از یکدیگر جدا شوند. به‌عنوان مثال استون و آب تشکیل خوراکی را می‌دهند که جداسازی استون از آن با حلّال تولوئن امکان‌پذیر است. تولوئن به‌خوبی استون را در خود حل می‌کند. امّا در آب حل نمی‌شود. پس برای جداسازی می‌توان ستونی را از آب و استون پرکرد و تولوئن را که چگالی کمتری نسبت به آب دارد، از پایین در داخل ستون و به‌صورت قطرات وارد کرد. تولوئن به‌صورت قطرات در برج بالا می‌رود و استون را در خود حل می‌کند. در این فرایند آب را فاز پیوسته[۱] و تولوئن را فاز پراکنده[۲] می‌نامند.

پرسش ۱۷

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، نقشه یا شکل ساده‌ای را برای برج جداسازی ارائه کنید.

بر اساس توضیحات فوق، می‌توان نتیجه گرفت که یک استخراج‌کننده سه عمل اصلی زیر را انجام می‌دهد:
الف) حلّال و خوراک را در تماس با هم قرار می‌دهد.
ب) فاز پراکنده را به‌صورت قطرات درمی‌آورد تا سطح تماس دو فاز بیشتر شود.
پ) فاز استخراج شده و پس‌ماند را پس از تبادل جزء حل‌شونده، از هم جدا می‌کند.
مطابق با شکل ۱۳ـ۵، دستگاه‌های استخراج را می‌توان به سه گروه اصلی تقسیم‌بندی کرد که عبارت‌اند از:
۱ـ مخلوط و ته‌نشین‌کننده[۳]
۲ـ تماس‌دهنده‌های ستونی[۴]
۳ـ استخراج‌کننده‌های گریز از مرکز[۵]

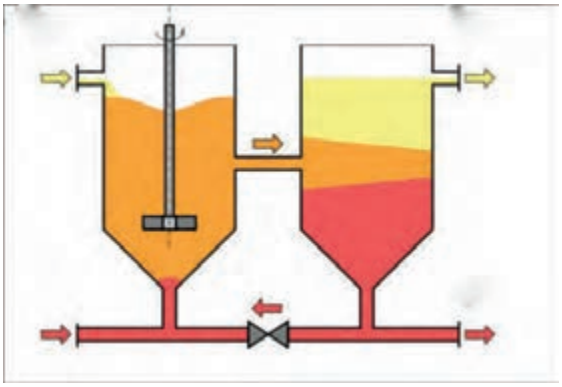
۱ـ Continuous Phase
۲ـ Dispersed Phase
۳ـ Mixer-Settler
۴ـ Column Contactors
۵ـ Centrifugal Extractors

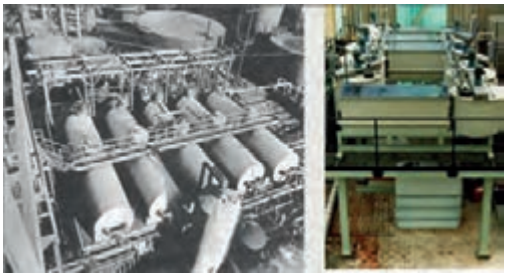


شکل ۱۳ـ ۵ ـ تقسیم‌بندی دستگاه‌های استخراج

دستگاه مخلوط‌کننده ـ ته‌نشین‌کننده

این نوع تجهیز، ساده‌ترین دستگاه استخراج مایع ـ مایع است که خوراک و حلّال در یک مخزن با یک همزن به‌خوبی مخلوط شده و سپس برای ته‌نشینی به مخزن دیگر هدایت می‌شود (شکل ۱۴ـ۵). زمان اختلاط و ته‌نشینی توسط آزمایش‌های عملی تعیین می‌شود، امّا 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.

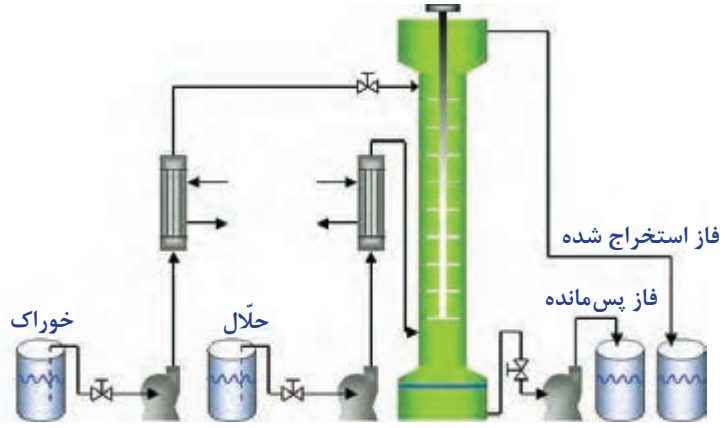




شکل ۱۴ـ۵ـ دستگاه‌های استخراج مخلوط‌کننده و ته‌نشین‌کننده

دستگاه تماس‌دهنده‌های ستونی[1]

این نوع دستگاه استخراج خود به دو دستهٔ ایستا[2] و متلاطم[3] تقسیم‌بندی می‌شوند (شکل ۱۵ـ۵). در نوع ایستا قطعه متحرکی وجود ندارد و فاز سبک و سنگین تنها به‌دلیل اختلاف چگالی، در طول ستون حرکت می‌کنند. اما در نوع متلاطم، یک عامل مکانیکی موجب اختلاط خوراک و حلّال در طول ستون می‌شود.



شکل ۱۵ـ۵ ـ فرایند استخراج مایع ـ مایع با تماس‌دهنده‌های ستونی

دستگاه استخراج گریز از مرکز

در این نوع استخراج‌کننده، محفظهٔ استوانه‌ای شکل که دارای پوسته سوراخ‌دار هم مرکز است و روی یک محورافقی نصب شده است با سرعت ۳۰ تا ۸۵ دور در ثانیه می‌چرخد. مایعات (خوراک و حلّال) از داخل محور وارد دستگاه می‌شوند (شکل ۱۶ـ۵). مایع سنگین در راستای قسمت بیرونی، به طرف خارج و مایع سبک به سمت داخل حرکت می‌کند.

این نوع استخراج‌کننده‌ها بسیار گران‌قیمت هستند، اما قادرند در یک فضای کوچک و زمان کوتاه، حجم بالایی از خوراک و حلّال را در تماس قرار دهد. کاربرد اصلی آن‌ها در صنایع دارویی و استخراج مواد حساس به‌دما مانند آنتی‌بیوتیک‌ها و ویتامین‌ها است.

شکل ۱۶ـ ۵ـ دستگاه‌های استخراج مایع - مایع گریز از مرکز

۱- Column Contactors
۲- Static
۳- Agitated

فکر کنید ۳

علت رانده شدن مایع سنگین به پیرامون و مایع سبک به داخل در استخراج‌کننده گریز از مرکز چیست؟

بیشتر دانه‌های روغنی حاوی ۱۲ تا ۶۵ درصد روغن هستند و با توجه به درصد روغن یکی از دو روش استخراج به‌وسیلهٔ فشار (پرس) و استخراج با حلّال استفاده می‌شود؛ البته برای دانه‌هایی که درصد روغن آنها تا حدود ۲۰ درصد باشد، فقط از روش استخراج با حلّال استفاده می‌شود و برای دانه‌های پر روغن توسط فشار و سپس استخراج با حلّال پیشنهاد می‌شود.

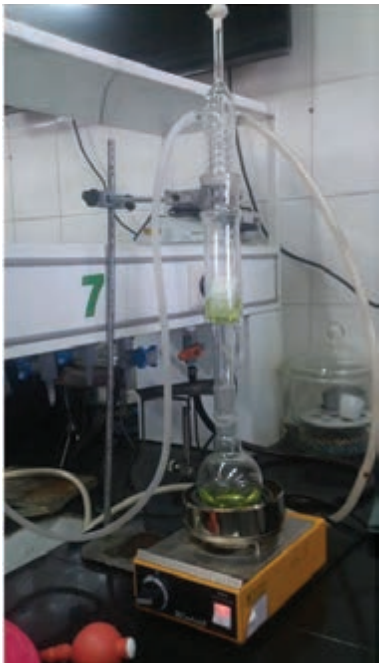
سازوکار فرایند استخراج روغن در حقیقت همان فرایند یا استخراج از درون جامد با مایع (حلّال) است و بر این اساس استوار است که روغن تا زمانی که حل شدن حلّال (نرمال هگزان) به حد سیرشده نرسیده باشد، در آن حل شده و از خلل و فرج دانه‌های روغنی خارج می‌شود و زمانی‌که حل شدن در حلّال (هگزان) به‌حد سیرشده رسید، یک تعادل بین مایع خارج و مایع داخل جامد برقرار شده و به‌میزانی که مولکول روغن از دانهٔ روغنی پولک شده خارج می‌شود، به همان تعداد مولکول روغنی وارد فاز جامد می‌شود. عواملی از قبیل دما، مدت زمان استخراج، میزان حلّال، درصد رطوبت دانه، شکل هندسی و اندازهٔ ذرّات پولک‌شده بر فرایند استخراج تأثیر می‌گذارند.

عصاره‌گیر سوکسله

عصاره‌گیر سوکسله یک دستگاه آزمایشگاهی است که در سال ۱۸۷۹ به دست فرانتس فون سوکسلت [۱] اختراع شد. دستگاه سوکسله از جنس شیشه و در اندازه‌های مختلف برای عصاره‌گیری مقدارهای متفاوت گیاه ساخته شده است.

مطابق شکل ۱۷ـ۵، دستگاه سوکسله از چهار قسمت منبع گرمایی، بالن، دستگاه سوکسله و خنک‌کننده تشکیل می‌شود. با این دستگاه می‌توان در سطح آزمایشگاهی از چند گرم تا چند کیلوگرم پودر گیاه را به‌کار برد. نمونه در مخزن سوکسله شکل (۱۸ـ۵) ریخته می‌شود و حلّال در بالن ریخته می‌شود که در اثر گرما حلّال بخار می‌شود و روی نمونه می‌ریزد. این چرخه وقتی که مخزن سوکسله پرشد، از طریق سیفون نازک شیشه‌ای دوباره به بالن برمی‌گردد و به این ترتیب چرخه تکرار می‌شود.

۱- Franz von Soxhlet



شکل ۱۷ـ۵ـ شمای ساده‌ای از سوکسله

شکل ۱۸ـ۵ـ مخزن سوکسله

فعالیت آزمایشگاهی

استخراج پیوسته به‌وسیله سوکسله

مواد لازم	وسایل لازم
مغز گردو و اترنفت (پترولیوم اتر).	کاغذ صافی انگشتی، ترازو، سوکسله، بالن ته‌گرد، بشر، خنک‌کننده، گرم‌کن برقی، شیلنگ، گیره و پایه.

شرح آزمایش

۱ـ مقدار ۱۰ گرم مغز گردو را خرد کنید (هرچه ذرّات خردتر باشد بهتر است).

۲ـ گردوهای خردشده را داخل کاغذ صافی انگشتی[۱] بریزید و به‌آرامی وارد سوکسله کنید.

۳ـ داخل بالن ته‌گرد ۲۰۰ میلی‌لیتر اتر نفت بریزید و آن را به گیره ببندید.

۴ـ در این مرحله سوکسله و خنک‌کننده را روی بالن نصب کنید.

۵ـ شیر آب را باز کنید تا آب درون خنک‌کننده جریان یابد.

۶ـ در این مرحله گرمکن زیر بالن را روشن کنید.

۷ـ وقتی که اولین قطرهٔ حلّال تقطیر شد و از سر خنک‌کننده چکه کرد، زمان را ثبت کنید. (توجه داشته باشید دستگاهی که نصب کرده‌اید، کاملاً عمودی باشد تا قطره‌های حلّال روی مواد درون کاغذ بریزد).

۸ـ استخراج را به مدت پنج ساعت ادامه دهید.

۱- Thimble

نکته

هر چه زمان استخراج بیشتر باشد، روغن بیشتری استخراج می‌شود.

۹ـ بعد از پنج ساعت گرم‌کردن را قطع کنید و اجازه دهید سامانه خنک شود و همهٔ بخارات در خنک‌کننده سرد و وارد فاز مایع شوند.

۱۰ـ ابتدا خنک‌کننده را بردارید و سپس سوکسله و در مرحلهٔ آخر بالن را از گیره جدا کنید.

۱۱ـ محتویات بالن را به بشر انتقال دهید و بگذارید حلّال تبخیر شود. جرم روغن استخراج شده را حساب کنید و درصد روغن را به‌دست آورید.

نکته

اگر مقداری محلول درون سوکسله مانده است، آن را به‌آرامی و با دقت طوری‌که خرده‌های گردو وارد آن نشود، به بالن بریزید.

برای راحتی اندازه‌گیری جرم روغن، بهتر است بشر خشک را پیش از ریختن محلول وزن کنید و در مرحلهٔ آخر بشر و روغن را با هم توزین کنید و سپس جرم بشر را از آن کم کنید.

نکته ایمنی ۳

ـ در طول انجام دادن آزمایش باید شیلنگ‌های خنک‌کننده را به شکل مناسب تنظیم کنید و مراقب باشید شیلنگ‌ها با سطوح داغ تماس نداشته باشد، زیرا باعث ذوب‌شدن شیلنگ می‌شود.

ـ باید در تمام طول انجام دادن آزمایش آب درون خنک‌کننده جریان داشته باشد در غیر این‌صورت بخارات محلول از سامانه خارج می‌شود.

در طول انجام دادن آزمایش به‌دلیل فرّار بودن اتر نفت از ماسک ایمنی استفاده کنید.

ارزشیابی شایستگی پودمان دستگاه‌های جداکننده

شرح کار:

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

استاندارد عملکرد:

- انجام دادن عملیّات انتقال جرم (در صنایع شیمیایی)، کار با برج‌های تقطیر و برج‌های استخراج طبق دستور کار.

شاخص‌ها:

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

شرایط انجام کار و ابزار و تجهیزات:

مکان: کارگاه و آزمایشگاه زمان : یک جلسهٔ آموزشی

ابزار و تجهیزات: برج‌های تقطیر پرشده و سینی‌دار، الک‌ها، لوازم شیشه‌ای آزمایشگاهی، دستگاه سوکسله و گرمکن برقی

معیار شایستگی:

ردیف	مرحلهٔ کار	کمترین نمرهٔ قبولی از ۳	نمرهٔ هنرجو
۱	به‌کارگیری روش‌های جداسازی 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: ۱ـ ایمنی : انجام دادن کار کارگاهی با رعایت موارد ایمنی و استفاده از وسایل ایمنی شخصی؛ ۲ـ نگرش: ۳ـ توجهات زیست‌محیطی : جلوگیری از صدمه زدن به محیط زیست از طریق انجام‌دادن کار بدون ریخت و پاش؛ ۴ـ شایستگی‌های غیرفنی: ۱ـ اخلاق حرفه‌ای، ۲ـ مدیریت منابع، ۳ـ محاسبه و کاربست ریاضی، ۵ـ مستندسازی: گزارش‌نویسی.	۲	
	میانگین نمرات		*

* کمترین میانگین نمرات هنرجو برای قبولی و کسب شایستگی، ۲ است.

منابع و مآخذ

۱ـ برنامه درسی درس عملیات و دستگاه‌ها در صنایع شیمیایی رشته صنایع شیمیایی، دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه ای و کاردانش، ۱۳۹۲.

۲ـ ارنست لودویگ، «طراحی فرآیندهای کاربردی»، جلد سوم، ویرایش سوم، ۲۰۰۱.

۳ـ استنلی والاس، ۲۰۱۲، «تجهیزات فرآیندهای شیمیایی»،ویرایش سوم.

۴ـ « استاندارد مهندسی برای طراحی فرآیندی و انتقال مایع و گاز و ذخیره سازی»، استانداردهای نفت ایران شماره PR - E - IPS - ۳۶۰، ویرایش اول، اسفند ۱۳۸۷.

۵ـ اکتاو لوناشپیل، ترجمه: مرتضی سهرابی ، ۱۳۹۲، چاپ چهارم ، طراحی رآکتورهای شیمیایی ، انتشارات دانشگاه امیرکبیر.

۶ـ بهمنیار، حسین ۱۳۹۴. انتقال جرم، تهران، جهاد دانشگاهی دانشگاه تهران.

۷ـ توفیقی، سید پندار ، صدرایی نوری، ساسان،۱۳۹۴، عملیات دستگاهی در صنایع شیمیایی، چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران.

۸ـ توفیقی سید پندار ، صدرایی نوری، ساسان،۱۳۹۴، کارگاه عملیات دستگاهی در صنایع شیمیایی، چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران.

۹ـ چالکش امیری، محمد ۱۳۸۶ اصول انتقال جرم، تهران، انتشارات ارکان.

۱۰ـ خراط ریاض ، محبی، علی ، فضائلی‌پور، محمدحسن، ۱۳۸۸، «اصول موازنه مواد و انرژی در مهندسی شیمی و نفت» ، چاپ اول انتشارات دانشگاه شهید باهنر.

۱۱ـ دیویدهمیل بلاو ، مرتضی سهرابی ، ۱۳۹۲ ، اصول بنیانی و محاسبات در مهندسی شیمی ، چاپ بیست و دوم، انتشارات امیرکبیر.

۱۲ـ رازی فر، مهدی ، ۱۳۹۴، طراحی تجهیزات فرآیندی، انتشارات اندیشه سرا.

۱۳ـ رابرت تریبال ۱۹۸۱. عملیّات واحد، ترجمه: پریسا زینی ۱۳۹۳، تهران: نهر دانش.

۱۴ـ رابرت مادوکس، آنتونی هانیز ۱۹۸۴. اصول و کاربرد انتقال جرم، ترجمه: جلال الدین هاشمی و محمد علی آرون ۱۳۸۵. تهران: انتشارات آینده سازان.

۱۵ـ سمیع پور، محمد ۱۳۸۹. انتقال جرم و عملیّات واحد، تهران، انتشارات پوران پژوهش.

۱۶ـ سیف محدثی، سیدرضا، محمود سلیمی، مهندسی واکنش‌ها و اصول اولیه طراحی رآکتورهای شیمیایی، انتشارات دانشگاه آزاد اسلامی اراک، چاپ اول ،زمستان، ۱۳۹۴.

۱۷ـ فرانک اینکروپرا، ۲۰۱۱، اصول انتقال حرارت و انتقال جرم، ویرایش هفتم، انتشارات آوند دانش.

۱۸ـ عابدینی ، منصور ، ۱۳۹۴، آزمایشگاه شیمی عمومی، چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران.

۱۹ـ مجتهدی، علی ، باقری، مهدی، ۱۳۸۷، مبانی مهندسی واکنش‌های شیمیایی و طراحی رآکتورها، چاپ اول، انتشارات جنگل.

۲۰ـ مک کیب، اسمیت ـ هریوت ۱۹۵۶، عملیّات واحد مهندسی شیمی. ترجمه: بهرام پوستی ۱۳۹۰ تهران: نشر کتاب دانشگاهی.

۲۱ـ نصرازادانی، مهدی، پمپ‌ها، انواع، اصول کار، بهره برداری، تعمیرات و عیب یابی، اداره آموزش پالایشگاه نفت اصفهان.

22 - Ludwig, -Applied process design for chemical and petrochemicalplants,Volume 1, third edition

23 - Harry silla,2003,Chemical Process engineering design and economics

24 - “Improve Selection and Sizing of Storage Tanks”, A. Heydari Gorji, H. Kalat Jari, Sazeh Consultant, Hydrocarbon Processing, 2006

25 - cCabe, W., Smith, J.C., & Harriott, P. (2004), Unit Operations of Chemical Engineering, 7th ed., Mc GrawHill Chemical Engineering Series.

26 - Treybal, R. E. (1990), Mass Transfer Operations, 3rd ed., Mc Graw Hill Chemical Engineering Series.

هنرآموزان محترم، هنرجویان عزیز و اولیای آنـــان مـــی‌توانند نظر اصلاحـــی خـــود را دربـــاره مطالب کتاب‌های درســی از طریق ســامانه «نظرسنجی از محتوای کتاب درسی» به نشــانی «nazar. roshd.ir» یا نامه به نشانی تهران ـ صندوق پستی ۴۸۷۴ ـ ۱۵۸۷۵ ارسال کنند.

سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی

همکاران هنرآموز که در فرایند اعتبارسنجی این کتاب مشارکت داشته اند

۱ـ استان فارس: محسن کدیور، گوهر دیلمی راد
۲ـ استان کرمان: نعیمه سیف الدینی، نسرین اسلامی
۳ـ استان آذربایجان شرقی: نادر مولوی، فرهاد همتی
۴ـ استان همدان: حسن بشیریان
۵ـ استان خوزستان: اسدالله امیدی بیرگانی، فرحناز چهارمحالی جعفرزاده
۶ـ استان سمنان: شهرزاد جورابلو، مریم هدایتی
۷ـ استان مرکزی: سید محمد میرنظامی