

بِسْمِ اللّٰهِ الرَّحْمٰنِ الرَّحِیْمِ

عملیات دستگاهی در صنایع شیمیایی

رشته صنایع شیمیایی

زمینه صنعت

شاخه آموزش فنی و حرفه‌ای

شماره درس ۲۴۰۹

| | |
|---|---------|
| توفیقی، سیدپندار | ۵۴۳ |
| عملیات دستگاهی در صنایع شیمیایی / مؤلفان: سید پندار توفیقی، ساسان صدرایی نوری. | ع ۸۵۳/ت |
| — تهران: شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران، ۱۳۹۴. | ۱۳۹۴ |
| ۱۱۲ص. : مصور. — (آموزش فنی و حرفه‌ای؛ شماره درس ۲۴۰۹) | |
| متون درسی رشته صنایع شیمیایی، زمینه صنعت. | |
| برنامه‌ریزی و نظارت، بررسی و تصویب محتوا: کمیسیون برنامه‌ریزی و تألیف کتاب‌های | |
| درسی رشته صنایع شیمیایی دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای و کار دانش وزارت | |
| آموزش و پرورش. | |
| ۱. تجزیه دستگاهی. ۲. صنایع شیمیایی. الف. ایران. وزارت آموزش و پرورش. دفتر | |
| تألیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای و کار دانش. ب. عنوان. ج. فروست. | |

همکاران محترم و دانش‌آموزان عزیز :

پیشنهادات و نظرات خود را درباره محتوای این کتاب به نشانی
تهران - صندوق پستی شماره ۴۸۷۴/۱۵ دفتر تألیف کتاب‌های درسی
فنی و حرفه‌ای و کاردانش، ارسال فرمایند.

پیام‌نگار(ایمیل) info@tvoccd.sch.ir

وب‌گاه (وبسایت) www.tvoccd.sch.ir

این کتاب در سال تحصیلی ۸۹-۸۸ بر اساس نظرها و پیشنهادهای هنرآموزان سراسر کشور پس از
تأیید در کمیسیون تخصصی رشته صنایع شیمیایی بازنگری و اصلاح شده است.

وزارت آموزش و پرورش سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی

برنامه‌ریزی محتوا و نظارت بر تألیف : دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای و کاردانش

نام کتاب : عملیات دستگاهی در صنایع شیمیایی - ۴۹۲/۳

مؤلفان : سیدپندار توفیقی، ساسان صدرایی نوری

اعضای کمیسیون تخصصی : محمدرضا ارشدی، طیبه کنشلو، مرضیه گرد، ساسان صدرایی نوری،

اعظم صفاری و ناصر رضایی شوشتری

آماده‌سازی و نظارت بر چاپ و توزیع : اداره کل نظارت بر نشر و توزیع مواد آموزشی

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

تلفن : ۸۸۸۳۱۱۶۱-۹، دورنگار : ۸۸۳۰۹۲۶۶، کدپستی : ۱۵۸۴۷۴۷۳۵۹،

وبسایت : www.chap.sch.ir

صفحه‌آرا : علی نجمی

طراح جلد : علیرضا رضائی کُر

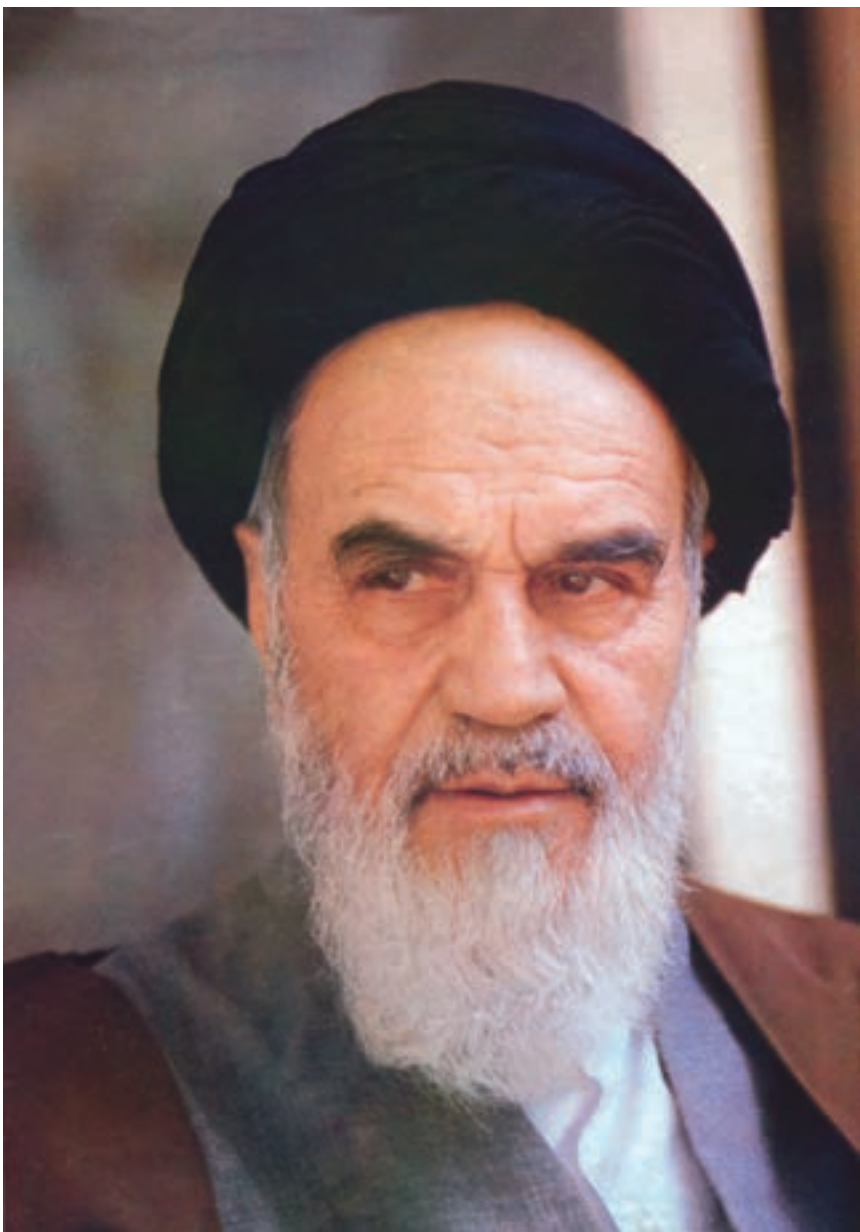
ناشر : شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران - تهران - کیلومتر ۱۷ جاده مخصوص کرج - خیابان ۶۱ (دارو پخش)

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

چاپخانه : شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران "سهامی خاص"

سال انتشار و نوبت چاپ : چاپ چهاردهم ۱۳۹۴

حق چاپ محفوظ است.



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

امام خمینی «قدس سرّه الشریف»

فهرست

| | | | |
|----|-----------------------------------|----|-----------------------------------|
| ۱۷ | ۳-۵ - فشار نسبی و فشار مطلق | | مقدمه |
| ۱۹ | خودآزمایی | | فصل اوّل - سیستم واحدهای |
| | | ۱ | اندازه‌گیری |
| | فصل چهارم - اندازه‌گیری جریان | ۱ | ۱-۱- مفهوم اندازه‌گیری و اهمیت آن |
| ۲۰ | سیالات | ۱ | ۲-۱- روش اندازه‌گیری |
| ۲۰ | ۴-۱- تعریف دبی | ۲ | ۳-۱- واحدها |
| ۲۰ | ۴-۲- دبی حجمی | ۳ | ۴-۱- دستگاه واحدها |
| ۲۰ | ۴-۳- دبی جرمی | ۵ | ۵-۱- تبدیل واحدها |
| ۲۰ | ۴-۴- واحدهای دبی حجمی و جرمی | ۹ | خودآزمایی |
| | ۴-۵- روش‌های اندازه‌گیری جریان | | |
| ۲۱ | سیالات | ۱۰ | فصل دوم - اندازه‌گیری دما |
| | ۴-۵-۱- روش جابه‌جایی مثبت | ۱۰ | ۱-۲- دما |
| ۲۱ | (روش پیمانه‌ای) | ۱۰ | ۲-۲- واحدهای اندازه‌گیری دما |
| ۲۲ | ۴-۵-۲- روش انسداد جریان | | ۲-۲-۱- درجه سلسیوس |
| | ۴-۵-۳- مقایسه اری فیس و | ۱۰ | (ساتنی‌گراد) |
| ۲۳ | وتوری‌متر | ۱۰ | ۲-۲-۲- درجه فارنهایت |
| | ۴-۵-۴- روش اثرات مقاومت | ۱۱ | ۳-۲-۲- درجه کلونین |
| ۲۳ | سیال (استفاده از روتامتر) | ۱۱ | ۴-۲-۲- درجه رنگین |
| | ۴-۶- روش اندازه‌گیری دبی به وسیله | ۱۱ | ۳-۲- تبدیل واحدهای دما به یکدیگر |
| ۲۴ | سرعت سیال | ۱۲ | ۴-۲- دماسنج (ترمومتر) |
| ۲۵ | خودآزمایی | ۱۳ | خودآزمایی |
| ۲۶ | فصل پنجم - ترازوها و چگالی سنج‌ها | ۱۴ | فصل سوم - اندازه‌گیری فشار |
| ۲۶ | ۵-۱- جرم و وزن | ۱۴ | ۱-۳- تعریف فشار |
| ۲۶ | ۵-۱-۱- تعریف جرم | ۱۵ | ۲-۳- فشار مایعات |
| ۲۶ | ۵-۱-۲- وزن | ۱۶ | ۳-۳- فشار گازها |
| ۲۷ | ۵-۲- چگالی (جرم حجمی) | ۱۶ | ۴-۳- واحدهای فشار |

| | | | |
|----|---------------------------------------|----|--------------------------------|
| ۲۹ | ۳-۵- چگالی نسبی | ۲۹ | ۲-۳-۷- مبدل های حرارتی |
| ۲۹ | ۴-۵- چگالی سنج | ۴۱ | پوسته - لوله |
| ۳۱ | خودآزمایی | ۴۲ | ۴-۷- برج های خنک کننده |
| ۳۲ | فصل ششم - پمپ ها | ۴۴ | ۵-۷- کوره ها |
| ۳۲ | ۱-۶- تعریف پمپ | ۴۴ | ۱-۵-۷- ساختمان دیواره کوره ها |
| ۳۲ | ۲-۶- انتخاب انواع پمپ | ۴۴ | ۲-۵-۷- انواع کوره ها |
| ۳۲ | ۳-۶- تقسیم بندی پمپ ها | ۴۴ | ۳-۵-۷- کوره های سوختی |
| ۳۳ | ۴-۶- پمپ های گریز از مرکز | ۴۵ | ۴-۵-۷- کوره های الکتریکی |
| ۳۳ | ۵-۶- تقسیم بندی پمپ های گریز از مرکز | ۴۶ | ۵-۵-۷- کوره های تابشی |
| ۳۳ | ۶-۶- مشخصات اصلی پمپ های گریز از مرکز | ۴۶ | خودآزمایی |
| ۳۶ | ۶-۶- مشخصات اصلی پمپ های گریز از مرکز | ۴۷ | فصل هشتم - کنترل فرآیندها |
| ۳۷ | ۷-۶- پمپ های رفت و برگشتی | ۴۷ | ۱-۸- مقدمه |
| ۳۷ | ۸-۶- مشخصات اصلی پمپ های رفت و برگشتی | ۴۷ | ۲-۸- کنترل دما |
| ۳۸ | ۹-۶- کاویتاسیون (حفره زایی) | ۴۸ | ۳-۸- حلقه کنترل |
| ۳۸ | خودآزمایی | ۴۹ | ۴-۸- کنترل فشار |
| ۳۹ | فصل هفتم - مبدل های حرارتی، کوره ها | ۵۰ | ۵-۸- کنترل سطح مایع |
| ۳۹ | ۱-۷- مقدمه | ۵۱ | ۶-۸- اجزای یک سیستم کنترل ساده |
| ۳۹ | ۲-۷- دسته بندی مبدل های حرارتی | ۵۲ | ۷-۸- شیرهای کنترل بادی |
| ۳۹ | ۱-۲-۷- بر مبنای ساختمان مبدل | ۵۲ | خودآزمایی |
| ۴۰ | ۲-۲-۷- تقسیم بندی مبدل ها | ۵۳ | فصل نهم - راکتورهای شیمیایی |
| ۴۰ | بر اساس نوع جریان | ۵۴ | ۱-۹- تقسیم بندی راکتورها |
| ۴۰ | ۳-۷- مبدل های حرارتی لوله ای | ۵۴ | ۲-۹- راکتورهای ناپیوسته |
| ۴۱ | ۱-۳-۷- مبدل های حرارتی دو لوله ای | ۵۶ | ۳-۹- راکتورهای پیوسته |
| | | ۵۸ | ۴-۹- راکتورهای نیمه پیوسته |
| | | ۵۸ | ۵-۹- طراحی راکتور |
| | | ۶۱ | خودآزمایی |

| | | |
|-----|----------------------------|---|
| ۸۴ | ۱۱-۱- اصول تقطیر | فصل دهم - مخلوط کن ها و دستگاه های |
| ۸۴ | ۱۱-۲- انواع تقطیر | کاهش اندازه ۶۲ |
| ۸۵ | ۱۱-۲-۱- تقطیر ساده | ۱۰-۱- انواع اختلاط ۶۲ |
| ۸۶ | ۱۱-۲-۲- تبخیر ناگهانی | ۱۰-۱-۱- اختلاط دو یا چند |
| | ۱۱-۲-۳- تقطیر جزء به جزء | ۶۳ مایع محلول (یک فاز) |
| ۸۶ | (نایبوسته) | ۱۰-۱-۲- اختلاط دو یا چند |
| | ۱۱-۲-۴- تقطیر جزء به جزء | ۶۴ مایع نامحلول (دو یا چند فاز) |
| ۸۷ | (پیوسته) | ۱۰-۱-۳- تعلیق جامد در مایع ۶۴ |
| ۸۹ | ۱۱-۳- فشار برج های تقطیر | ۱۰-۱-۴- پخش گاز در مایع ۶۴ |
| ۹۰ | ۱۱-۴- استخراج مایع از مایع | ۱۰-۱-۵- تماس سه فاز ۶۵ |
| | ۱۱-۵- عملیات استخراج | ۱۰-۱-۶- اختلاط جامدات ۶۵ |
| ۹۱ | (فرآیند استخراج) | ۱۰-۲- انواع مخلوط کن ها ۶۵ |
| ۹۱ | ۱۱-۶- انتخاب حلال | ۱۰-۲-۱- مخلوط کن های فاز |
| ۹۲ | ۱۱-۷- برج های تقطیر | مایع ۶۵ |
| ۹۲ | ۱۱-۷-۱- برج های سینی دار | ۱۰-۲-۲- مخلوط کن های فاز |
| ۹۵ | ۱۱-۷-۲- انواع سینی ها | جامد ۷۱ |
| ۹۹ | ۱۱-۷-۳- برج های آکنده | ۱۰-۳- اصول کار دستگاه های کاهش |
| ۱۰۲ | ۱۱-۷-۴- انواع آکنه ها | اندازه ۷۵ |
| ۱۰۴ | ۱۱-۸- برج های استخراج | ۱۰-۴- دستگاه های کاهش اندازه مواد ۷۶ |
| ۱۰۴ | ۱۱-۸-۱- برج های پاششی | ۱۰-۴-۱- خردکن ها ۷۶ |
| ۱۰۵ | ۱۱-۸-۲- برج های سینی دار | ۱۰-۴-۲- آسیاب ها ۷۸ |
| ۱۰۶ | ۱۱-۸-۳- برج های آکنده | ۱۰-۴-۳- دستگاه های رُنده ۸۱ |
| | ۱۱-۸-۴- استخراج کننده با | ۱۰-۵- عملکرد دستگاه های کاهش |
| ۱۰۷ | همزن مکانیکی | اندازه ۸۱ |
| ۱۰۹ | خودآزمایی | خودآزمایی ۸۲ |
| ۱۱۱ | منابع و مراجع | فصل یازدهم - برج های تقطیر و استخراج ۸۳ |

مقدمه

بنابر ضرورت و اهمیت رشته‌ی صنایع شیمیایی در کشور و با توجه به حجم ذخایر و میادین نفت و گاز و سایر مواد معدنی که پایه‌گذار تدوین رشته‌های ذی‌ربط بوده‌اند، همواره توجه صاحب‌نظران و متخصصین را به خود مشغول و معطوف داشته است. در همین راستا جهت پرورش افراد متخصص و ماهر در زمینه‌های مختلف صنایع شیمیایی هنرستان‌های این رشته تأسیس شده است تا نیروهای کارآمد را برای راهبری تأسیسات تربیت نماید. کتاب حاضر که جهت درس عملیات صنایع شیمیایی تألیف گردیده است شامل فصول متنوع و مورد نیاز هنرجویان رشته‌ی مذکور می‌باشد. در فصل‌های اول تا پنجم سیستم‌های اندازه‌گیری و تبدیل واحدها، فصول مربوط به دما، فشار، جریان سیالات، ترازوها و چگالی سنج‌ها مطرح و بر اساس نیازهای موجود تألیف گردیده است. فصل ششم پمپ‌ها و کاربرد آن در صنایع شیمیایی، فصل هفتم مبدل‌های حرارتی و فصل هشتم کنترل فرآیندهای شیمیایی را دربر می‌گیرد. در فصل نهم راکتورهای شیمیایی و انواع آنها شرح داده شده است. فصل دهم به بررسی مخلوط‌کن‌ها و خردکن‌ها می‌پردازد و فصل یازدهم عملیات استخراج و تقطیر و ستون‌های مربوطه را شرح می‌دهد. فصل یازدهم بازنویسی کتاب مبانی صنایع شیمیایی و مبحث مربوط به کوره‌ها و برج‌های خنک‌کن نیز از فصل هفتم کتاب مبانی صنایع شیمیایی اقتباس شده است.

قابل ذکر این که فصول ۱ تا ۸ توسط آقای سیدپندار توفیقی و فصول ۹ تا ۱۱ توسط آقای ساسان صدرایی نوری تألیف گردیده است.

برای جلب توجه بیشتر هنرجویان، فرمول‌ها و مثال‌ها در زمینه با رنگ صورتی ارائه شده‌اند.

هدف کلی

پس از پایان این درس از فراگیر انتظار می‌رود که اطلاعات لازم و اولیه را در مورد دستگاه‌های صنایع شیمیایی و عملیات مربوط به آن راکسب کرده باشد و توانایی لازم جهت انجام محاسبات مربوط به عملیات صنایع شیمیایی را به دست آورده باشد.

سیستم واحدهای اندازه‌گیری

هدف‌های رفتاری: پس از پایان این فصل از فراگیر انتظار می‌رود بتواند:

- ۱- سیستم‌های مختلف واحدهای اندازه‌گیری را بنویسد؛
- ۲- انواع واحدهای اندازه‌گیری را تعریف کند؛
- ۳- با استفاده از جداول، واحدهای مختلف را به هم تبدیل کند.

۱-۱- مفهوم اندازه‌گیری و اهمیت آن

برای این که پدیده‌های اطراف خود را بهتر بشناسیم، باید اطلاع درستی از آنها داشته باشیم. بخشی از این اطلاع از راه اندازه‌گیری به دست می‌آید. اندازه‌گیری در فعالیت‌های روزانه ما سهم بزرگی دارد. به این مثال‌ها توجه کنید:

وقتی ظرفیت کامیون را برحسب تن می‌سنجیم و یا وزن برنج را بر حسب کیلوگرم بیان می‌کنیم، و یا طلا و الماس را بر حسب گرم بیان می‌کنیم با اندازه‌گیری جرم مواجه هستیم. هنگامی که قد خود را اندازه می‌گیریم، چند متر پارچه می‌خریم و یا مسافتی را که با اتومبیل طی کرده‌ایم معین می‌کنیم، در واقع طول را اندازه‌گیری می‌کنیم. موقعی که از سن خود صحبت می‌کنیم یا ساعات کارکردمان را مشخص می‌کنیم در واقع زمان را اندازه‌گیری می‌کنیم.

۱-۲- روش اندازه‌گیری

ابتدا لازم است با مفهوم کمیّت آشنا شوید.

کمیّت: هر مشخصه قابل اندازه‌گیری، قابل مقایسه و قابل تغییر از یک ماده را کمیّت گویند. کمیّت‌ها دو نوع هستند:

- ۱- کمیّت‌های اصلی (مستقل): این کمیّت‌ها کاملاً مستقل هستند و با ابزارهای مخصوص قابل اندازه‌گیری می‌باشند. مانند طول، جرم، زمان، دما، شدت جریان و ...
- ۲- کمیّت‌های فرعی (وابسته): کمیّت‌هایی هستند که با استفاده از روابط ریاضی از کمیّت‌های

اصلی به دست می‌آیند مانند سطح، حجم، جرم مخصوص و فشار و
 وقتی می‌خواهیم کمیتی را اندازه‌گیری کنیم باید دو عمل جداگانه انجام دهیم:

۱- انتخاب واحد اندازه‌گیری (یا استاندارد) مناسب

۲- مقایسه کمیت اندازه‌گرفتنی با واحد انتخاب شده. مثلاً وقتی می‌گوییم طول اتاق، ۱۰ متر است به این معنی است که آن را با واحدی به نام متر سنجیده‌ایم و مقیاس اندازه‌گیری طول برای ما متر بوده است.

۳-۱- واحدها

در همه‌ی محاسبات مهندسی باید مقدار و واحد کمیت‌های مورد اندازه‌گیری را ذکر کرد. واحدهای طول، جرم، زمان و دما که کمیت‌های اصلی می‌باشند را می‌توان به‌طور مستقیم انتخاب کرد. اما واحدهای سرعت، حجم و چگالی و... که کمیت‌های فرعی هستند با استفاده از کمیت‌های اصلی و روابط محاسبه می‌شوند، مانند:

$$\frac{\text{واحد جرم}}{(\text{واحد طول})^3} = \text{واحد چگالی}, \quad (\text{واحد طول})^3 = \text{واحد حجم}, \quad \frac{\text{واحد طول}}{\text{واحد زمان}} = \text{واحد سرعت}$$

اعمال ریاضی بر روی واحدها باید مانند اعمال روی مقادیر جبری آموزش داده شوند. مقادیر عددی دو کمیت فقط در صورتی قابل جمع و تفریق هستند که آن دو کمیت دارای واحدهای یکسان باشند.

$$3 \text{ cm} - 2 \text{ cm} = 1 \text{ cm} \quad \text{به‌عنوان مثال:}$$

معادله فوق به راحتی قابل حل می‌باشد چون واحدهای یکسانی دارد، ولی امکان حل معادله زیر وجود ندارد:

$$3 \text{ m} - 2 \text{ kg} = ??$$

در رابطه فوق واحدهای یکسانی وجود ندارند لذا این عبارت قابل حل نخواهد بود. مقادیر عددی و واحدهای کمیت‌های مورد اندازه‌گیری را همیشه می‌توان درهم ضرب و یا برهم تقسیم کرد، مانند:

$$3 \text{ N} \times 4 \text{ m} = 12 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$\frac{5 \text{ km}}{2 \text{ hr}} = 2.5 \text{ km/h}$$

$$v \frac{\text{km}}{\text{h}} \times 4 \text{ h} = 28 \text{ km}$$

$$6 \text{ m} \times 3 \text{ m} = 18 \text{ m}^2$$

$$\frac{6 \text{ gf}}{2 \text{ gf}} = 3$$

(عدد سه بدون واحد می‌باشد)

۱-۴- دستگاه واحدها

دستگاه واحدها شامل اجزای زیر است:

الف- واحدهای اصلی (پایه): واحدهای مربوط به کمیت‌های جرم، طول، زمان، دما، شدت جریان الکتریکی و شدت نور.

ب- واحدهای مضرب: که به صورت مضرب‌ها یا کسرهایی از واحدهای پایه تعریف می‌شوند مانند: دقیقه، ساعت، میلی‌ثانیه که همگی برحسب واحد پایه ثانیه تعریف شده‌اند. واحدهای مضرب، اغلب به دلیل راحتی تعریف شده‌اند: (مثلاً ۲ تن معادل ۲۰۰۰ کیلوگرم و ۲۰۰۰۰۰۰ گرم می‌باشد).

پ- واحدهای مشتق شده: با یکی از دو روش زیر به دست می‌آیند:

۱- ضرب و تقسیم کردن واحدهای پایه یا مضرب (cm^2 , ft/min و $\text{kg m}/\text{s}^2$ و ...)

این نوع واحدهای مشتق شده به عنوان واحدهای مرکب شناخته می‌شوند.

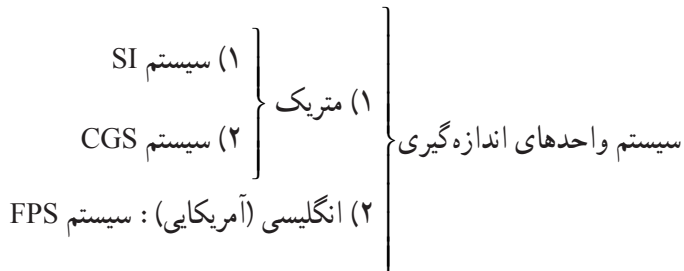
۲- به صورت هم‌ارزهایی از واحدهای مرکب تعریف می‌شوند مثل:

$$1 \text{ lb}_m (32/174 \text{ ft}/\text{s}^2) = 1 \text{ lb}_f \text{ (یک پوند جرم) (یک پوند نیرو)}$$

$$1 \text{ erg} = 1 \text{ dyne} \cdot (1 \text{ cm}) = (1 \text{ g}) \left(\frac{1 \text{ cm}}{\text{s}^2} \right) (1 \text{ cm}) =$$

$$1 \text{ g} \cdot \text{cm}^2/\text{s}^2 \frac{\text{گرم} \cdot (\text{سانتی متر})^2}{(\text{ثانیه})^2}$$

در سال ۱۹۶۰ میلادی یک کنفرانس بین‌المللی، دستگاهی از واحدهای متریک را فرمول‌بندی کرد که به سرعت مورد قبول جامعه علوم و مهندسی قرار گرفت. این سیستم به دستگاه بین‌المللی واحدها مشهور است که به اختصار دستگاه SI^۱ نامیده می‌شود. علاوه بر این، سیستم دستگاه CGS^۲ و سیستم انگلیسی (آمریکایی) FPS^۳ نیز وجود دارد.



پیشوند واحدها، توان‌هایی از ده را نمایش می‌دهد. معمول‌ترین این پیشوندها در جدول ۱-۲

آمده است.

۱- SI (MKS) = meter-kilogram-second

۲- CGS = Centimeter- Gram - Second

۳- FPS = Foot-Pound-Second

جدول ۱-۱- واحدهای SI، CGS و FPS

| SI | | CGS | | FPS | | کمیت |
|--|--------------------------|-------------------------------------|----------------------------|------------------------|--|---------------|
| واحد | نماد | واحد | نماد | واحد | نماد | |
| متر | m | سانتی متر | cm | فوت | ft | طول |
| کیلوگرم | kg | گرم | gr | پوند جرم | lbm | جرم |
| ثانیه | S | ثانیه | S | ثانیه | S | زمان |
| سلیسیوس و کلونین | C و K | سلیسیوس و کلونین | C و K | فارنهایت و رانکین | F و R | دما |
| مول یا کیلوگرم مول | mole یا kgmole | مول یا گرم مول | mole و grmole | مول یا پوند مول | mole و lbmole | مقدار ماده |
| مترمربع | m ² | سانتی مترمربع | cm ² | فوت مربع | ft ² | سطح |
| مترمکعب | m ³ | سانتی مترمکعب | cm ³ | فوت مکعب | ft ³ | حجم |
| کیلوگرم بر مترمکعب | kg/m ³ | گرم بر سانتی متر مکعب | gr/cm ³ | پوند جرم بر فوت مکعب | lbm/ft ³ | چگالی |
| نیوتن یا کیلوگرم متر بر مجذور ثانیه | kg.m/s ² یا N | دین یا گرم سانتی متر بر مجذور ثانیه | dyne یا gcm/s ² | پوند نیرو | lb _f | نیرو |
| پاسکال یا نیوتن بر متر مربع | N/m ² یا pa | دین بر سانتی متر مربع | dyne/cm ² | پوند نیرو بر اینچ مربع | lb _f /in ² = Psi | فشار |
| ژول یا نیوتن در متر | J یا N.m | ارگ یا دین در سانتی متر | erg یا dyne.cm | پوند نیرو در فوت | lb _f .ft | انرژی مکانیکی |
| کالری | Cal | کالری | cal | بی تی یو | Btu | انرژی حرارتی |
| وات | Watt | ارگ بر ثانیه | erg/s | بی تی یو بر ثانیه | Btu/s | توان |
| پاسکال - ثانیه یا کیلوگرم بر متر ثانیه | Pa.s یا kg/m.s | گرم بر سانتی متر. ثانیه یا پویز | g/cm.s یا poise | پوند بر فوت - ثانیه | lb/ft - s | گرانروی |

۱-۵- تبدیل واحدها

یک کمیّت اندازه‌گیری شده را می‌توان برحسب هر واحد مناسبی تعریف کرد. ساده‌ترین راه برای انجام تبدیل واحد استفاده از روش نردبانی می‌باشد. به این صورت که بایستی واحد قدیم و واحد جدید مورد نظر را به صورت یک کسر بیان کنیم. برای تبدیل کمیّت بیان شده برحسب یک واحد به هم‌ارز آن برحسب واحد دیگر، کمیّت داده شده را در ضریب تبدیل ضرب می‌کنیم. (واحد قدیم / واحد جدید) برای مثال، برای تبدیل ۳۶ میلی‌گرم به هم‌ارز آن به گرم خواهیم داشت:

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

به جای گذاشتن علامت ضربدر می‌توان از جدول نردبانی به شکل زیر استفاده کرد. توجه کنید که چگونه واحد قدیم حذف می‌شود و واحد دلخواه باقی می‌ماند.

$$\frac{36 \text{ mg}}{1000 \text{ mg}} \left| \frac{1 \text{ g}}{1000 \text{ mg}} \right. = 0.036 \text{ g}$$

جدول ۱-۲- پیشوندهای واحدهای مضرب

| مضرب | نماد |
|-----------|-----------|
| 10^6 | مگا (M) |
| 10^3 | کیلو (k) |
| 10^{-2} | سانتی (c) |
| 10^{-3} | میلی (m) |
| 10^{-6} | میکرو (.) |
| 10^{-9} | نانو (n) |

به وضوح مشخص است که چون جواب باید برحسب g باشد لذا میلی‌گرم بایستی حذف شود که به شکل محاسبه صفحه قبل عمل می‌کنیم. در روش نردبانی واحدهای ضرایب را طوری می‌نویسیم که واحدهای قدیمی حذف و واحدهای مورد نظر جایگزین آن‌ها شوند. سپس مقادیر ضرایب تبدیل را در جای خود می‌نویسیم و برای یافتن مقدار مورد نظر عملیات حسابی را انجام می‌دهیم.

جدول ۱-۳ و ۱-۴ و ۱-۵ برای تبدیل واحدهای سیستم‌های مختلف به یکدیگر هستند. نیازی به حفظ کردن این جداول نیست چرا که در موقع محاسبه همیشه آن‌ها را در اختیار می‌گذارند.

جدول ۱-۳- تبدیل واحدهای طول

| مایل mile | فوت ft | اینچ inch | متر m |
|-------------------------|------------------------|---------------------|-----------------------|
| $6/214 \times 10^{-4}$ | $3/2808$ | $39/37$ | ۱ |
| $1/58 \times 10^{-5}$ | $8/333 \times 10^{-2}$ | ۱ | $2/54 \times 10^{-2}$ |
| $1/8939 \times 10^{-4}$ | ۱ | ۱۲ | $0/3048$ |
| ۱ | ۵۲۸۰ | $6/336 \times 10^4$ | $1/61 \times 10^3$ |

جدول ۱-۴- تبدیل واحد برای جرم

| پوند جرم lbm | گرم g | کیلوگرم kg |
|----------------------|---------|--------------------|
| $2/2$ | ۱۰۰۰ | ۱ |
| $2/2 \times 10^{-3}$ | ۱ | 1×10^{-3} |
| ۱ | $453/6$ | $0/4536$ |

جدول ۱-۵- تبدیل واحدها برای حجم

| متر مکعب m ^۳ | لیتر Liter | گالن US.gal. | فوت مکعب ft ^۳ | اینچ مکعب in ^۳ |
|-------------------------|------------------------|------------------------|--------------------------|---------------------------|
| $1/639 \times 10^{-5}$ | $1/639 \times 10^{-2}$ | $4/329 \times 10^{-3}$ | $5/787 \times 10^{-4}$ | ۱ |
| $2/832 \times 10^{-2}$ | $28/32$ | $7/481$ | ۱ | $1/728 \times 10^3$ |
| $3/785 \times 10^{-3}$ | $3/785$ | ۱ | $0/1337$ | $2/31 \times 10^2$ |
| 1×10^{-3} | ۱ | $0/2642$ | $3/53 \times 10^{-2}$ | $61/03$ |
| ۱ | ۱۰۰۰ | $264/2$ | $35/31$ | $6/10^3 \times 10^4$ |

مثال (۱) ۳۷۰ متر چند سانتی متر و چند کیلومتر است؟

$$\frac{370 \text{ m}}{1 \text{ m}} \left| \frac{100 \text{ cm}}{1 \text{ m}} \right. = 37000 \text{ cm} \quad \text{حل:}$$

$$\frac{370 \text{ m}}{1000 \text{ m}} \left| \frac{1 \text{ km}}{1000 \text{ m}} \right. = 0.37 \text{ km}$$

مثال (۲) ۱۴۶۸۸۰۰۰ ثانیه، چند روز و چند سال است؟

حل:

$$\frac{146880000 \text{ s}}{3600 \text{ s}} \left| \frac{1 \text{ hr}}{24 \text{ hr}} \right| \left| \frac{1 \text{ day}}{24 \text{ hr}} \right. = 170 \text{ days}$$

$$\frac{170 \text{ days}}{365 \text{ days}} \left| \frac{1 \text{ year}}{365 \text{ days}} \right. = 0.466 \text{ year}$$

مثال (۳) شتاب 1 cm/s^2 را بر حسب $\text{km}/(\text{year})^2$ تبدیل کنید.

$$\frac{1 \text{ cm}}{\text{s}^2} \left| \frac{1 \text{ m}}{100 \text{ cm}} \right| \left| \frac{1 \text{ km}}{1000 \text{ m}} \right| \left| \frac{(3600 \text{ s})^2}{(1 \text{ hr})^2} \right| \left| \frac{(24 \text{ hr})^2}{(1 \text{ day})^2} \right| \left| \frac{(365 \text{ day})^2}{(1 \text{ year})^2} \right. \quad \text{حل:}$$

$$= \frac{(3600 \times 24 \times 365)^2}{100 \times 1000} \cdot \frac{\text{km}}{(\text{year})^2} = 9/95 \times 10^9 \text{ km}/(\text{year})^2$$

برای از بین بردن هر واحد قدیمی باید از نسبت هم‌ارزی متناسب با آن (به طوری که واحد قدیمی در مخرج آن نسبت باشد) استفاده کرد. توجه داشته باشید وقتی یک کمیّت به توان می‌رسد واحدهای آن کمیّت نیز به همان توان می‌رسند. این موضوع در مثال ۳ به‌وضوح نشان داده شده است.

مثال (۴) شتاب جاذبه زمین در سیستم CGS برابر 980 cm/s^2 است. این شتاب در

سیستم FPS چه قدر است؟

حل:

$$\frac{980 \text{ cm}}{\text{s}^2} \left| \frac{1 \text{ in}}{2.54 \text{ cm}} \right| \left| \frac{1 \text{ ft}}{12 \text{ in}} \right. = 32/152 \text{ ft/s}^2$$

مثال (۵) $23 \text{ lbm ft}/\text{min}^2$ را به معادل آن بر حسب $\text{kg} \cdot \text{m}/\text{s}^2$ تبدیل کنید.

حل:

$$\frac{23 \text{ lbm} \cdot \text{ft}}{\text{min}^2} \left| \frac{0.4536 \text{ kg}}{1 \text{ lbm}} \right| \left| \frac{0.3048 \text{ m}}{1 \text{ ft}} \right| \left| \frac{(1 \text{ min})^2}{(60 \text{ s})^2} \right. = \frac{23 \times 0.4536 \times 0.3048}{3600} = 8/83 \times 10^{-4} \text{ kg} \cdot \text{m}/\text{s}^2$$

مثال ۶) فاصله ماه تا زمین ۲۴۰۰۰۰۰ مایل است. این فاصله را به واحدهای الف (کیلومتر، ب) سال نوری تبدیل کنید.

حل:

الف — با استفاده از جدول ۳-۱ خواهیم داشت.

$$\frac{2400000 \text{ mile}}{1 \text{ mile}} \left| \frac{1.61 \text{ km}}{1 \text{ mile}} \right. = 386400 \text{ km}$$

ب — می‌دانیم سرعت نور عبارت است از $3 \times 10^8 \text{ km/s}$ و هر سال نوری فاصله‌ای است که نور در یک سال می‌پیماید، پس:

زمان \times سرعت = فاصله پیموده شده

$$3 \times 10^8 \frac{\text{km}}{\text{s}} \times 1 \text{ yr} = 3 \times 10^8 \frac{\text{km} \cdot \text{yr}}{\text{s}} =$$

$$3 \times 10^8 \frac{\text{km} \cdot \text{yr}}{\cancel{\text{s}}} \left| \frac{365 \text{ day}}{1 \text{ yr}} \right| \left| \frac{24 \text{ hr}}{1 \text{ day}} \right| \left| \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ hr}} \right| \left| \frac{60 \cancel{\text{s}}}{1 \text{ min}} \right.$$

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

پس هر سال نوری معادل $9.4608 \times 10^{12} \text{ km}$ می‌باشد. حال به راحتی تبدیل را انجام می‌دهیم.

$$\frac{386400 \text{ km}}{9.4608 \times 10^{12} \text{ km}} \left| \frac{1 \text{ سال نوری}}{9.4608 \times 10^{12} \text{ km}} \right. = 4.084 \times 10^{-8} \text{ سال نوری}$$

مثال ۷) یکی از خصوصیات فیزیکی مواد گرانروی (ویسکوزیته) می‌باشد. در دمای 600°C گرانروی ماده‌ای $1/575 \text{ cp}$ گزارش شده است. این مقدار را به واحدهای زیر تبدیل کنید.

$$\frac{\text{lb}_m}{\text{ft} \cdot \text{s}} \text{ (ج)} \quad \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}} \text{ (ب)} \quad \text{g/cm} \cdot \text{s} \text{ (الف)}$$

حل:

هر poise معادل 10^2 cp و معادل $\text{g/cm} \cdot \text{s}$ می‌باشد.

$$\text{الف)} \frac{1/575 \text{ cp}}{1 \text{ cp}} \left| \frac{1 \text{ poise}}{10^2 \text{ cp}} \right| \left| \frac{\text{g/cm} \cdot \text{s}}{1 \text{ poise}} \right. = 1/575 \times 10^{-2} \frac{\text{g}}{\text{cm} \cdot \text{s}}$$

$$\text{ب)} \frac{1/575 \times 10^{-2} \text{ g}}{\text{cm} \cdot \text{s}} \left| \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ g}} \right| \left| \frac{10^2 \text{ cm}}{1 \text{ m}} \right. = 1/575 \times 10^{-3} \frac{\text{kg}}{(\text{m} \cdot \text{s})}$$

$$\text{ج) } \frac{1/575 \times 10^{-3} \text{ kg}}{\text{cm} \cdot \text{s}} \quad \left| \quad \frac{1 \text{ lbm}}{0/454 \text{ kg}} \quad \right| \quad \frac{0/3048 \text{ m}}{1 \text{ ft}} = 1/057 \times 10^{-3} \frac{1 \text{ lb}_m}{(\text{ft} \cdot \text{sec})}$$

خودآزمایی

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

$$\text{الف) } \frac{\text{g}}{\text{cm} \cdot \text{s}} \quad \text{ب) } \frac{\text{lb}_m}{\text{ft} \cdot \text{s}}$$

۲- تبدیلات زیر را به وسیله جدول انجام دهید.

$$\text{الف) } 235 \text{ g را به lbm}$$

$$\text{ب) } \frac{\text{lb}_m}{\text{ft}^3} \text{ به } 57/5 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{ج) } \frac{\text{mile}}{\text{min}} \text{ به } 60 \frac{\text{km}}{\text{hr}}$$

$$\text{د) } \frac{\text{gal}}{\text{hr}} \text{ به } 12500 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\text{ه) } 200 \text{ ft}^3 \text{ را به لیتر (liter)}$$

$$\text{و) } 1000000 \text{ نانوثانیه را به ساعت}$$

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

۴- فاصله بین دو شهر A تا B 200 مایل است. فاصله بین دو شهر B تا C 200 کیلومتر می باشد. فاصله شهرهای A تا C چند کیلومتر می باشد؟

۵- سال نوری عبارت است از مسافتی که نور با سرعت $3 \times 10^8 \frac{\text{km}}{\text{s}}$ در یک سال می پیماید.

این سرعت را برحسب $\frac{\text{mile}}{\text{hr}}$ و $\frac{\text{ft}}{\text{min}}$ به دست آورید :

۶- مجموع چهارصد فوت و سیصد اینچ چند متر می شود؟

اندازه‌گیری دما

هدف‌های رفتاری: پس از پایان این فصل از فراگیر انتظار می‌رود بتواند:

- ۱- مفهوم دما و گرما را بیان کند.
- ۲- واحدهای مختلف دما و نحوه تبدیل آن‌ها را به هم توضیح دهد.

۱-۲- دما

دما عبارت است از شدت انرژی حرارتی ناشی از حرکات اتفاقی مولکول‌های یک جسم که در حالت تعادل حرارتی می‌باشد. درک ما از دما ممکن است ناشی از احساس فیزیکی ما از گرما یا سرما باشد. مثلاً اگر شما دست راست خود را در آب گرم و دست چپ خود را در آب سرد قرار دهید و پس از گذشت چند لحظه هر دو دست خود را همزمان در آب ولرم فرو برید، با دست راست خود آب ولرم را سرد و با دست چپ خود آب ولرم را گرم احساس خواهید کرد. این آزمایش ساده نشان می‌دهد که احساس فیزیکی از حرارت، نسبی است زیرا در واقع دمای آب ولرم برای هر دو دست یکی است. جهت دقت بیشتر و کمیّت بخشیدن به حرارت و گرما مقیاس دما و دماسنجی ایجاد شده است.

۲-۲- واحدهای اندازه‌گیری دما

اندازه‌گیری دما می‌تواند هم به صورت نسبی و هم به صورت مطلق انجام شود. اگر درجه حرارت نسبت به صفر مطلق سنجیده شود، دمای مطلق به دست می‌آید، مانند: کلوین و رنکین. ولی اگر مبنای اندازه‌گیری، درجه حرارتی غیر از صفر مطلق (دلخواه) در نظر گرفته شده باشد، دمای نسبی به دست می‌آید، مانند: سلسیوس و فارنهایت. لازم است بدانید صفر مطلق، پایین‌ترین دمای ممکن است و در این دما انرژی جنبشی مولکول‌ها به صفر می‌رسد. رسیدن به این دما امکان‌پذیر نیست.

۱-۲-۲- درجه سلسیوس^۱ (سانتی‌گراد): مقیاس علمی متداول سلسیوس است که در آن

صفر درجه، نقطه انجماد آب و صد درجه، نقطه جوش آب در فشار یک اتمسفر است.

۲-۲-۲- درجه فارنهایت^۲: نقاط منشأ این مقیاس دقیقاً روشن نیست ولی گزارش شده است

۱- Celsius (Centi grade)

۲- Fahrenheit

که نقطه‌ی شروع و یا صفر درجه‌ی فارنهایت از قراردادن حباب دماسنج در مخلوطی از برف یا یخ و آمونیم کلرید حاصل شده است و بالاترین نقطه‌ی این مقیاس، دمای شروع جوشش جیوه است. اختلاف بین این دو دما به ۶۰۰ قسمت یا درجه تقسیم شده است. نقطه‌ی انجماد آب ۳۲ درجه‌ی فارنهایت و نقطه‌ی جوش آب ۲۱۲ درجه‌ی فارنهایت می‌باشد. درجه‌ی فارنهایت دمای نسبی سیستم انگلیسی یا آمریکایی است.

۲-۲-۳- درجه کلوین^۱: در سیستم SI دمای مطلق را برحسب درجه کلوین اندازه‌گیری می‌کنند. در حقیقت صفر مطلق در مقیاس کلوین صفر و در مقیاس سلسیوس، C ۲۷۳/۱۵- توسط لردکلوین دانشمند انگلیسی در نظر گرفته شده است. صفر مطلق در محاسبات جهت سادگی C ۲۷۳- فرض می‌شود. فاصله درجات کلوین با فاصله درجات سلسیوس مساوی است.

۲-۲-۴- درجه رنکین^۲: در سیستم FPS مقیاس مطلق دما رنکین نامیده می‌شود که برحسب درجه فارنهایت است. صفر مطلق در مقیاس رنکین صفر و در مقیاس فارنهایت، ۴۵۹/۵۸- درجه فارنهایت می‌باشد که در محاسبات F ۴۶۰- فرض می‌شود. فاصله درجات رنکین با فاصله درجات فارنهایت مساوی است.

۳-۲- تبدیل واحدهای دما به یکدیگر

با استفاده از روابط زیر می‌توان دماهای مختلف را به هم تبدیل کرد. در این روابط از نماد C به جای سلسیوس، K به جای کلوین، F به جای فارنهایت و R به جای رنکین استفاده شده است.

$$T_K = T_C + ۲۷۳ \quad (۱-۲)$$

$$T_R = T_F + ۴۶۰ \quad (۲-۲)$$

فاصله‌ی بین نقطه انجماد آب و نقطه‌ی جوش آب در مقیاس سلسیوس به ۱۰۰ قسمت و در مقیاس فارنهایت به ۱۸۰ قسمت تقسیم شده است. یعنی هر واحد از مقیاس سلسیوس ۱/۸ برابر یک واحد از مقیاس فارنهایت است.

با استفاده از معادله (۳-۲) می‌توان دو دمای فارنهایت و سلسیوس را به هم تبدیل کرد.

$$T_F = (۱/۸)(T_C) + ۳۲ \quad (۳-۲)$$

مثال ۱-۲- تبدیل دما: نقطه انجماد آب صفر درجه سلسیوس و نقطه جوش آب ۱۰۰ درجه سلسیوس می‌باشد. نقطه انجماد و جوش آب را در واحدهای کلوین، فارنهایت و رنکین به دست آورید.

۱- Kelvin

۲- Rankine

حل:

$$\text{الف : درجه کلونین K : } T_K = T_C + 273$$

$$\text{نقطه انجماد آب : } T_K = 0 + 273 = 273 K$$

$$\text{نقطه جوش آب : } T_K = 100 + 273 = 373 K$$

$$\text{ب : درجه فارنهایت F : } T_F = 1/8 T_C + 32$$

$$\text{نقطه انجماد آب : } T_F = (0 \times 1/8) + 32 = 32 F$$

$$\text{نقطه جوش آب : } T_F = (100 \times 1/8) + 32 = 212 F$$

$$\text{ج : درجه رنکین R : } T_R = T_F + 460$$

$$\text{نقطه انجماد آب : } T_R = 32 + 460 = 492 R$$

$$\text{نقطه جوش آب : } T_R = 212 + 460 = 672 R$$

مثال ۲-۲-۴۰۰ درجه کلونین را به درجه رنکین تبدیل کنید.

حل:

$$\text{رنکین} = 1/8 \times \text{کلونین}$$

$$T_R = 400 \times 1/8 = 50 R$$

مثال ۲-۳-۲۰ فاصله بین دماهای ۲۰ F تا ۸۰ F را برحسب درجه C به دست آورید.

حل:

$$\text{دمای } 20 F . T_{C_1} = \frac{T_{(F)} - 32}{1/8} = \frac{20 - 32}{1/8} = -6/67 C$$

$$\text{دمای } 80 F . T_{C_2} = \frac{80 - 32}{1/8} = 26/67 C$$

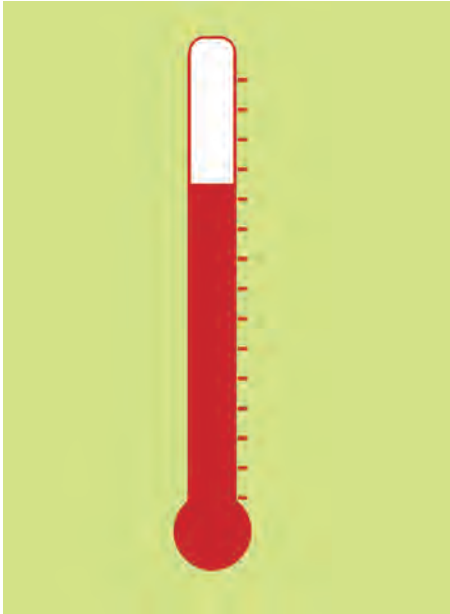
$$\text{در مقیاس سلسیوس : } T_{C_2} - T_{C_1} = 26/67 - (-6/67) = 33/67 C$$

$$\text{در مقیاس فارنهایت : } T_{F_2} - T_{F_1} = 80 - 20 = 60 F$$

چون فاصله درجات در مقیاس سلسیوس بیشتر از فاصله درجات در مقیاس فارنهایت می باشد پس در یک فاصله مشخص تعداد درجات کمتری نسبت به مقیاس فارنهایت در آن می گنجد.

۲-۴-۲ دماسنج (ترمومتر)

ترمومتر از کلمات ترمو به معنی حرارت و متر به معنای سنجش و اندازه گیری تشکیل شده و به معنای دماسنج است. دماسنج وسیله ای است که برای اندازه گیری میزان گرمی یا سردی هر جسم



شکل ۱-۲- دماسنج مایعی

به کار می‌رود. روش‌های اندازه‌گیری دما به تفصیل در کتاب کارگاه عملیات دستگاهی صنایع شیمیایی مقطع هنرستان آمده است. در این جا به دماسنج مایعی اشاره می‌کنیم.

دماسنج مایعی: در لوله موئین با گرم شدن مایع (اساس ترمومترهای جیوه‌ای و الکلی) انبساط حاصل می‌شود. ترمومترهای متداولی که شما احتمالاً در آزمایشگاه یا منزل، دمای هوا و یا چیزهای دیگر را با آن اندازه می‌گیرید بر این اساس ساخته شده‌اند. مقداری جیوه یا الکل در حباب شیشه‌ای ریخته می‌شود و این حباب به یک لوله موئین متصل است. با افزایش دما مایع منبسط می‌شود و در لوله شروع به بالا رفتن می‌کند. از آنجایی که ترمومترهای مایع را

نمی‌توان بالاتر از نقطه جوش مایع در آن به کار برد لذا ترمومترهای الکلی برای محدوده دماهای پایین به کار می‌رود در حالی که ترمومترهای جیوه‌ای برای محدوده‌های بالاتر دما به راحتی کاربرد دارد.

خودآزمایی

- ۱- نقاط مرجع در مقیاس‌های سلسیوس و فارنهایت چیست؟
- ۲- 300° درجه فارنهایت چند درجه سلسیوس، کلونین و رنکین می‌باشد؟
- ۳- دماهای زیر را به هم تبدیل کنید.
 - الف) $T = 40^\circ K$ را به F و R و C
 - ب) $T = -150^\circ C$ را به F و R و K
 - ج) $T = 600^\circ R$ را به F و C و K
 - د) $T = 122^\circ F$ را به R و C و K
- ۴- فاصله‌های دمایی زیر را به واحدهای زیر تبدیل کنید.
 - الف) از $100^\circ C$ تا $170^\circ C$ را به F و K و R
 - ب) از $600^\circ R$ تا $700^\circ R$ را به K و C و F

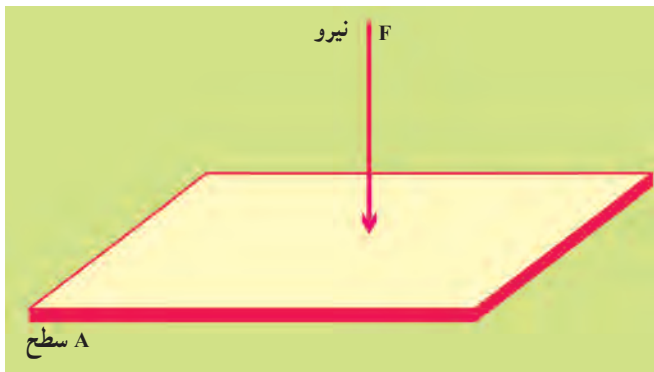
اندازه‌گیری فشار

هدف‌های رفتاری: پس از پایان این فصل از فراگیر انتظار می‌رود بتواند:

- ۱- مفهوم فشار را بیان کند.
- ۲- فشار گازها و مایعات را توضیح دهد.
- ۳- واحدهای فشار را توضیح دهد.
- ۴- واحدهای فشار را به هم تبدیل کند.

۱-۳- تعریف فشار^۱

طبق تعریف، نیروی عمودی وارد بر واحد سطح^۲ را فشار می‌نامند.



شکل ۱-۳

$$\text{فشار} = \frac{\text{نیرو}}{\text{سطح}}$$

اگر فشار را با P و نیرو را با F و سطح را با A نمایش دهیم خواهیم داشت:

$$P = \frac{F}{A} \quad (1-3)$$

۱- Pressure

۲- Force

۳- Area

در سیستم SI اگر در رابطه فوق نیرو را برحسب نیوتن و سطح را برحسب متر مربع بگذاریم به واحد فشار خواهیم رسید.

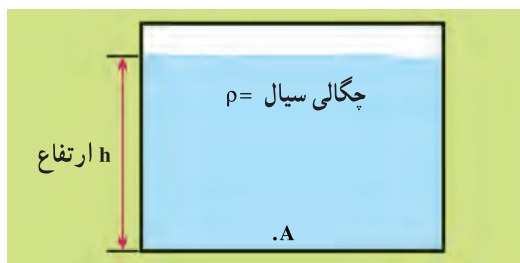
$$(۱-۱-۳) \quad \frac{\text{نیوتن}}{\text{متر مربع}} = \frac{N}{m^2} = Pa \quad (\text{پاسکال})$$

بدین ترتیب یکی از واحدهای فشار پاسکال می‌باشد.

پاسکال: طبق تعریف اگر نیرویی معادل یک نیوتن به سطح یک متر مربع وارد شود فشاری معادل یک پاسکال خواهد داشت.

۲-۳- فشار مایعات

ستون مایع: ابتدایی‌ترین مفهوم فشار مایعات مربوط به ستون سیال مایع است. بدین طریق که اگر در ظرفی مایعی وجود داشته باشد، فشار در نقطه A ناشی از وزن ذرات مایع در بالای نقطه A



شکل ۲-۳- ستون سیال مایع

می‌باشد و این فشار به ارتفاع و چگالی مایع وابسته است.

$$(\text{ارتفاع}) (\text{شتاب ثقل}) (\text{چگالی}) = \text{فشار ستون مایع در نقطه } (A)$$

$$P_A = \rho \cdot g \cdot h \quad (۲-۳)$$

اگر واحدهای چگالی و شتاب ثقل و ارتفاع را در رابطه فوق قرار دهیم واحد فشار پیدا خواهد شد.

$$\text{واحد فشار} = \frac{kg}{m^3} \left| \frac{m}{s^2} \right| \frac{m}{1} = \frac{kg}{m \cdot s^2} = Pa \quad (۱-۲-۳)$$

که بازهم با توجه به تعریف واحد پاسکال به جواب بالا خواهیم رسید.

۳-۳ فشار گازها

در گازها به سبب فاصله موجود بین مولکول‌ها، وزن مولکول‌ها تعیین کننده فشار سیال نخواهد بود. بلکه فشار در گازها ناشی از ضربات ملکول‌های گاز است که به سطح (دیواره ظرف) برخورد می‌کنند و به‌طور کلی می‌توان گفت که: فشار گاز حاصل تبادل اندازه حرکت میان مولکول‌های گاز و دیواره ظرف است.

۳-۴ واحدهای فشار

علاوه بر پاسکال واحدهای دیگری در سیستم‌های مختلف برای بیان فشار وجود دارند که ابتدایی‌ترین آن‌ها اتمسفر (atm) می‌باشد و طبق قرارداد فشار جو در سطح دریا را یک اتمسفر در نظر می‌گیرند و مابقی را نسبت به فشار سطح دریا می‌سنجند. واحدهای کاربردی فشار عبارت‌اند از:

– میلی‌متر جیوه (mmHg) یا سانتی‌متر جیوه (cmHg)، یا اینچ جیوه (inHg)

– بار (bar)

– پوند نیرو بر اینچ مربع (Psi)

– دین بر سانتی‌متر مربع ($\text{dyne} / \text{cm}^2$)

– فوت آب (ftH₂O) یا متر آب (mH₂O) و ...

جدول ۳-۱ واحدهای مختلف فشار و تبدیلات آن‌ها

| | atm | Pa | bar | mmHg | psi | inHg | FtH ₂ O | $\text{dyne} / \text{cm}^2$ |
|-----|-----|--------|---------|------|--------|--------|--------------------|-----------------------------|
| atm | ۱ | ۱۰۱۳۲۵ | ۱/۰۱۳۲۵ | ۷۶۰ | ۱۴/۶۹۶ | ۲۹/۹۲۱ | ۳۳/۹ | $۱/۰۱۳۲۵ \times ۱۰^۶$ |

مثال ۳-۱- فشار ۲۰۰ Psi را به اتمسفر و پاسکال و اینچ جیوه تبدیل کنید.

حل:

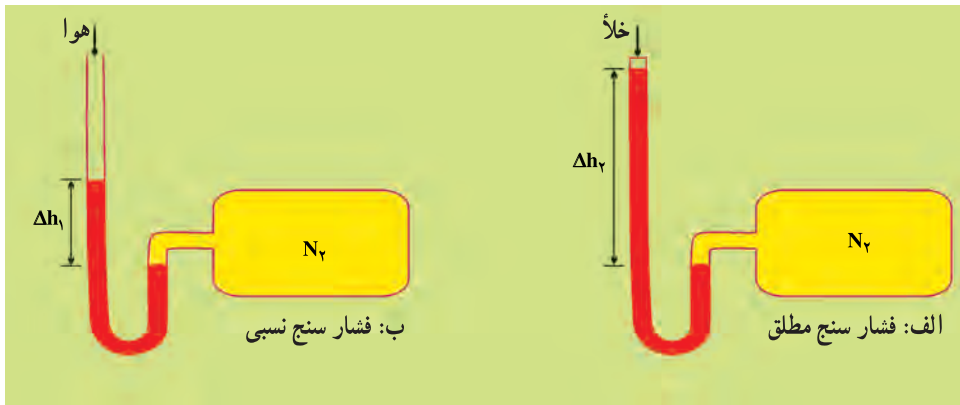
$$۱) \frac{۲۰۰ \text{ Psi}}{۱۴/۶۹۶ \text{ Psi}} \left| \frac{۱ \text{ atm}}{۱} \right. = ۱۳/۶ \text{ atm}$$

$$۲) \frac{۱۳/۶ \text{ atm}}{۱ \text{ atm}} \left| \frac{۱۰۱۳۲۵ \text{ Pa}}{۱} \right. = ۱۳۷۸۰۲۰ \text{ Pa}$$

$$۳) \frac{۱۳/۶ \text{ atm}}{۱ \text{ atm}} \left| \frac{۲۹/۹۲۱ \text{ inHg}}{۱} \right. = ۴۰۶/۹۲ \text{ inHg}$$

۳-۵- فشار نسبی^۱ و فشار مطلق^۲

فشار را نیز همانند دما می‌توانیم به صورت نسبی یا مطلق بیان کنیم. مطابق شکل ۳-۳ اگر از دستگاه فشار سنج سر باز در معرض فشار محیط استفاده کنیم فشار نسبی حاصل می‌شود. نظر به این که با توجه به شکل ۳-۳ الف، فشار مطلق را مجزا از محیط اندازه‌گیری می‌کنند لذا نقطه صفر در فشار مطلق منطبق بر خلأ کامل است. در صورتی که برای فشار نسبی نقطه صفر در حقیقت فشار هوای محیط اندازه‌گیری می‌باشد. بدین ترتیب فشار مطلق عبارت است از فشار اندازه‌گیری شده به علاوه فشار محیط.



شکل ۳-۳- نمایش فشار سنج مطلق و نسبی

$$\Delta h_2 > \Delta h_1$$

$$(۳-۳) \text{ فشار اتمسفری}^۳ + \text{فشار نسبی} = \text{فشار مطلق}$$

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

خلاصه:

- ۱- فشار مطلق: مقیاس اندازه‌گیری فشار نسبت به خلأ مطلق یا فشار صفر است.
- ۲- فشار نسبی: مقیاس اندازه‌گیری فشار نسبت به فشار محیط است.
- ۳- فشار اتمسفری: فشار هوای محیط اطراف ماست که نسبت به ارتفاع متغیر است.
- ۴- فشار اتمسفری استاندارد: فشار هوا در سطح دریاهای آزاد برابر ۱ atm یا ۷۶۰ mmHg در صفر درجه سلسیوس فرض می‌شود.
- ۵- فشار مطلق و نسبی توسط معادله (۳-۳) به هم تبدیل می‌شوند.

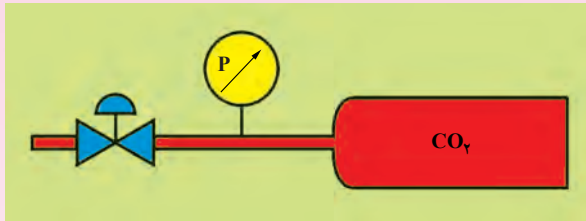
۱- Relative pressure

۲- Absolute pressure

۳- Atmospheric pressure

نکته: در سیستم انگلیسی FPS واحدهای فشار مطلق و نسبی را به شکل زیر تعریف می کنند.
 فشار نسبی .^۲ Psig ، فشار مطلق .^۱ Psia

مثال ۳-۲— فشار نسبی تانکی حاوی گاز CO_۲ برابر با ۵۱ psig خوانده می شود. اگر فشار اتمسفری محیط ۲۸ inHg باشد فشار مطلق تانک را پیدا کنید.



شکل ۳-۴

حل:

ابتدا بایستی تبدیل واحد انجام دهیم. یعنی هر دو فشار را به یک واحد تبدیل کنیم:

$$\frac{28 \text{ inHg}}{29.921 \text{ inHg}} \cdot 14.696 \text{ psi} = 13.75 \text{ psi}$$

(فشار محیط) P_{Air} . (فشار نسبی) P_R . (فشار مطلق) P_A

۶۴/۷۵ psia . ۱۳/۷۵ psia . ۵۱ psia (فشار مطلق) P_A

نکته: دستگاه‌های اندازه‌گیری فشار سیالات در کتاب کارگاه عملیات دستگاهی صنایع شیمیایی به تفصیل آورده شده است. جهت مطالعه به کتاب مذکور مراجعه شود.

مثال ۳-۳— فشار نسبی یک مخزن اکسیژن ۲ اتمسفر می باشد با توجه به این که فشار اتمسفری محیط ۱۴/۷ psi می باشد، فشار مطلق مخزن اکسیژن را بر حسب واحد پاسکال به دست آورید.

حل:

(هوا) P_{Air} . (فشار نسبی) P_R . (فشار مطلق) P_A

ابتدا بایستی فشارها را به واحد پاسکال تبدیل نمایید.

۲۰۲۶۵۰ Pa . ۱۰۱۳۲۵ Pa . ۲ . فشار نسبی

۱— Pound per square inch absolute

۲— Pound per square inch gage

هر اتمسفر ۱۴/۷psi و ۱۰۱۳۲۵Pa می باشد، پس:

۱۰۱۳۲۵Pa . فشار هوا

۳۰۳۹۷۵Pa . ۱۰۱۳۲۵Pa . ۲۰۲۶۵۰Pa . فشار مطلق

مثال ۳-۴- فشار ۲۰ psia را به اینچ جیوه تبدیل کنید.

حل: با استفاده از روش نردبانی خواهیم داشت.

$$\frac{۲۰ \text{ psia} \mid ۲۹/۹۲ \text{ inHg}}{۱۴/۷ \text{ psia}} \cdot ۴۰/۷۰ \text{ inHg}$$

خودآزمایی

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

۲- فشار ۱۰۰۰ inHg را به واحدهای زیر تبدیل کنید.

الف) psia ب) kpa ج) atm

د) ftH₂O ه) cmHg و) bar

۳- فشار مخزن مقابل توسط فشارسنج اندازه گیری و مقدار آن ۲۰۰ kpa گزارش شده است

فشار مطلق را برای گاز مذکور در واحد psia به دست آورید.



۴- فشار مطلق یک برج ۳۲ inHg می باشد. اگر فشارسنج، فشار ۳/۷ inHg را نمایش دهد

فشار اتمسفری محیط را بر حسب mmHg، atm، kpa به دست آورید.

اندازه‌گیری جریان سیالات

هدف‌های رفتاری: پس از پایان این فصل از فراگیر انتظار می‌رود بتواند:

- ۱- مفهوم دبی جرمی و حجمی را توضیح دهد.
- ۲- با روش‌های اندازه‌گیری جریان سیالات آشنا شود.

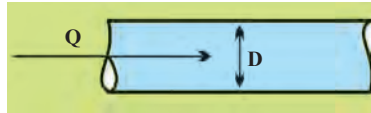
۱-۴- تعریف دبی

میزان مشخصی از سیال که در واحد زمان از یک مقطع عبور کند را دبی می‌نامند. در لفظ دیگر دبی همان شدت جریان سیال می‌باشد.

۲-۴- دبی حجمی^۱ (Q)

حجم معینی از سیال که از یک مقطع در واحد زمان عبور کند را دبی حجمی می‌نامند.

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

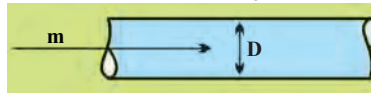


شکل ۱-۴

۳-۴- دبی جرمی^۲ (m)

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

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



۴-۴- واحدهای دبی حجمی و جرمی

واحد دبی حجمی:

در دستگاه SI حجم برحسب مترمکعب و زمان برحسب ثانیه بیان می‌شود بنابراین، واحد دبی

۱- Volumetric flowrate

۲- Mass flowrate

حجمی عبارت خواهد بود از :

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

واحد دبی جرمی:

در دستگاه SI جرم بر حسب کیلوگرم و زمان بر حسب ثانیه بیان می شود بنابراین، واحد دبی

جرمی عبارت خواهد بود از :

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

چگونگی تبدیل دبی حجمی و دبی جرمی به یکدیگر مشابه تبدیل حجم و جرم به یکدیگر است بدین ترتیب که در محاسبات جهت تبدیل دبی حجمی و جرمی به یکدیگر از چگالی سیال استفاده می شود.

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

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

$$\rho = \frac{m^\circ}{Q}$$

$$m^\circ = \rho \times Q$$

t : زمان

یا

۴-۵- روش های اندازه گیری جریان سیالات

روش های مورد استفاده در سنجش جریان سیالات بسیار متنوع هستند. عوامل تعیین کننده روش عبارتند از: نوع سیال، ویسکوزیته، فشار بخار، دما و ... در اندازه گیری جریان سیال روش های زیر قابل استفاده می باشد:

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

۲- روش انسداد جریان (وتوری متر^۱، اری فیس متر^۲، نازل ها^۳)

۳- روش اثرات مقاومت سیال (روتامترها^۴)

۴-۵-۱- روش جابه جایی مثبت (روش پیمانه ای): در این روش حجم مشخص سیال را در مدت زمان معین اندازه گیری می کنند. با تقسیم حجم عبور کرده یا جمع آوری شده بر زمان

۱- Venturimeter

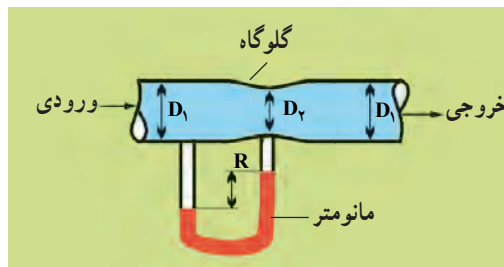
۲- Orifice meter

۳- Nzzle

۴- Rotameter

جمع‌آوری سیال دبی به دست خواهد آمد. از این روش در کنتورهای آب منازل نیز استفاده شده است. اساس کار به این شکل است که درجه‌بندی کنتور براساس تعداد دفعات پر و خالی شدن هر حجم در محفظه کنتور صورت می‌گیرد که این کار در کارخانجات تولیدکننده صورت گرفته و به‌طور دقیق درجه‌بندی می‌شوند.

۴-۵-۲- روش انسداد جریان: در این روش سیال را از مقطعی که کوچک‌تر از مسیر اصلی جریان است می‌گذرانند و با اندازه‌گیری افت فشار ایجاد شده و استفاده از روابط تجربی دبی جریان را پیدا می‌کنند. در این روش از وسایلی نظیر ونتوری متر، اری فیس متر و نازل‌ها استفاده می‌کنند. لوله ونتوری: لوله ونتوری دارای یک مدخل ورودی و خروجی معادل قطر لوله جریان است. هم‌چنین که گلوگاه در وسط لوله ونتوری تعبیه شده است که افت فشار در آن مقطع صورت می‌گیرد. معمولاً برای مشاهده و اندازه‌گیری افت فشار در لوله ونتوری از یک مانومتر استفاده می‌شود. این مانومتر دیفرانسیلی^۱ افت فشار مقطع گلوگاه و لوله ورودی ونتوری را نمایش می‌دهد. شکل ساده یک ونتوری متر در زیر آمده است.



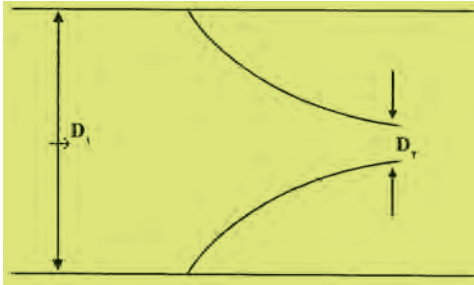
شکل ۴-۲- ونتوری متر



شکل ۴-۳- یک اری فیس

اری فیس متر: اری فیس عبارت است از صفحه‌ای که روی آن سوراخی تعبیه شده است. در حقیقت افت فشار در این روزنه اتفاق می‌افتد. با استفاده از روابط فیزیکی و مقدار افت فشار خوانده شده توسط مانومتر میزان دبی در اری فیس تعیین خواهد شد. شکل ۴-۳ یک اری فیس متر را نمایش می‌دهد.

۱- مانومترها در کتاب کارگاه عملیات دستگاهی در صنایع شیمیایی به تفصیل آورده شده‌اند.

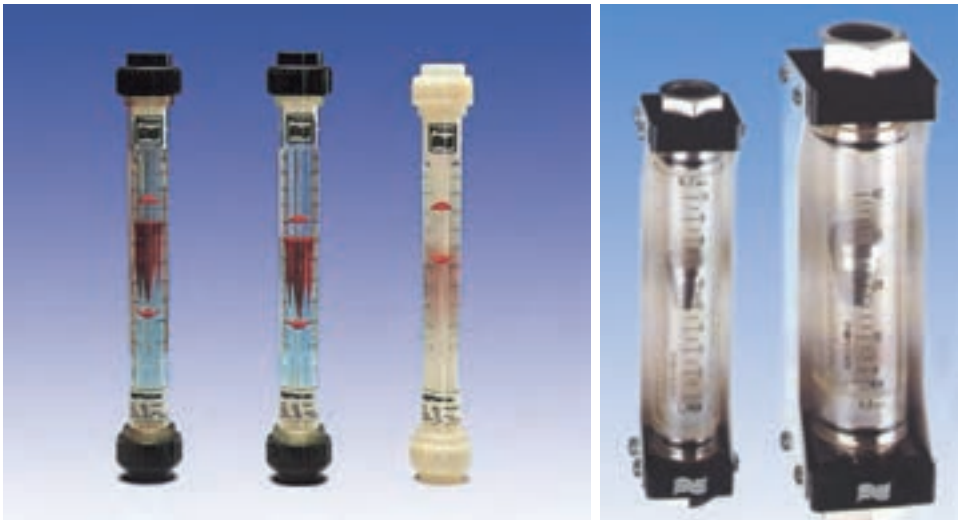


نازل (شیپوره): نازل یا شیپوره در خط لوله جریان قرار دارد و باعث کاهش سطح مقطع لوله می‌شود و لذا افت فشار ایجاد می‌کند. از افت فشار ایجاد شده که به وسیله یک مانومتر قابل اندازه‌گیری است و روابط فیزیکی، می‌توان دبی جریان را یافت. شکل ۴-۴ یک نازل را نمایش می‌دهد.

شکل ۴-۴ شماتیک یک نازل

۴-۵-۳ مقایسه اری فیس و ونتوری متر^۱

- ۱- دقت اندازه‌گیری اری فیس نسبت به ونتوری کم‌تر است.
 - ۲- افت فشار دائم^۲ تولید شده در اری فیس ۵۰ درصد افت فشار خط جریان است لذا در جریان‌های با فشار کم استفاده نمی‌شود.
 - ۳- افت فشار در ونتوری نسبت به اری فیس خیلی کم است.
 - ۴- نصب و نگهداری ونتوری مخارج زیادی دارد.
 - ۵- چون طول ونتوری نسبتاً بلند است برای لوله‌های با طول کم استفاده نمی‌شود.
- ۴-۵-۴- روش اثرات مقاومت سیال (استفاده از روتامتر)
 روتامتر: ساده‌ترین وسایل سنجش میزان مایعات و گازها می‌باشد. روتامتر شامل یک شناور



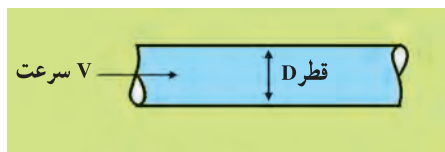
شکل ۴-۵- روتامترهای صنعتی

- ۱- جهت مطالعه بیشتر به کتاب کارگاه عملیات دستگاهی در صنایع شیمیایی مراجعه شود.
- ۲- افت فشار تولید شده در خط جریان به علت وجود مانع

یک ظرف است. ظرف معمولاً به صورت مخروط ناقص و از جنس شیشه می باشد که درون آن یک شناور وجود دارد و به صورت عمودی در مسیر جریان قرار می گیرد. بر اساس دبی جریان عبوری از روتامتر، محل قرارگرفتن شناور متفاوت است. روی ظرف شیشه ای مدرج شده است و پس از قرارگرفتن در مسیر جریان به وسیله محل شناور میزان جریان خوانده خواهد شد. برای سیالات بی خطر مثل آب و هوا و در دماهای عملیاتی پایین از شیشه های بور و سیلیکات برای بدنه روتامتر استفاده می شود. جهت فشارهای بالا و یا عبور مواد سمی و آتشزا استفاده از روتامترها ممنوع است. افت فشار در روتامترها ثابت است. بسته به قطر روتامتر افت فشار در حدود چند اینچ آب تا یک psi می باشد. شکل ۴-۵ چند روتامتر صنعتی را نمایش می دهد.

۴-۶- روش اندازه گیری دبی به وسیله سرعت سیال

یک روش برای اندازه گیری دبی سیالات استفاده از سرعت می باشد. اگر سرعت یک سیال را داشته باشیم با ضرب سرعت در سطح مقطع لوله دبی حاصل خواهد شد.



شکل ۴-۶- نمایش یک لوله

سطح مقطع \times سرعت = دبی حجمی

$$Q = V \times A \quad (۱-۴)$$

که در رابطه فوق :

Q: دبی : m^3/s

V: سرعت : m/s

A: سطح مقطع : m^2

برای به دست آوردن سطح مقطع از رابطه زیر استفاده می شود :

$$A = \pi r^2 = \pi \frac{D^2}{4} \quad (۲-۴)$$

که در رابطه فوق $r =$ شعاع و D معادل قطر خط لوله می باشد.

رابطه ۴-۱ نشان می‌دهد که در خط لوله در دبی ثابت با افزایش سطح مقطع سرعت کاهش می‌یابد و برعکس.

خودآزمایی

- ۱- روش‌های اندازه‌گیری جریان سیالات را نام ببرید.
- ۲- دبی حجمی و جرمی را تعریف کنید.
- ۳- 4000 kg/s آب با چگالی 1000 kg/m^3 در یک خط لوله جریان دارد دبی حجمی آب را پیدا کنید.
- ۴- مزایای ونتوری نسبت به اری فیس را نام ببرید.
- ۵- چرا کاربرد لوله شیشه‌ای برای روتامتر در فشارهای بالا صحیح نیست؟
- ۶- شدت جریان (دبی) $50 \text{ m}^3/\text{s}$ از یک خط لوله به قطر 12 inch جریان دارد سرعت سیال را برحسب m/s پیدا کنید.

ترازوها و چگالی سنج‌ها

هدف‌های رفتاری: پس از پایان این فصل از فراگیر انتظار می‌رود بتواند:

- ۱- جرم و وزن را توضیح دهد.
- ۲- با ترازو آشنا شود.
- ۳- چگالی و چگالی نسبی را توضیح دهد.
- ۴- با چگالی سنج‌ها آشنا شود.

۵-۱- جرم^۱ و وزن^۲

۵-۱-۱- تعریف جرم: مقدار ماده موجود در یک جسم را جرم می‌گویند که مقدار آن ثابت می‌باشد. واحد اندازه‌گیری جرم در دستگاه SI کیلوگرم است و هر کیلوگرم تقریباً برابر با جرم ۱۰۰۰ سانتی‌متر مکعب آب خالص در ۴ درجه سلسیوس می‌باشد. برای اندازه‌گیری جرم‌های بزرگ از واحد تن استفاده می‌کنند و هر تن برابر ۱۰۰۰ کیلوگرم می‌باشد. جرم را با ترازو اندازه‌گیری می‌گیرند. ترازوهای قدیمی بر اساس قانون اهرم‌ها کار می‌کنند. نمونه‌های مختلف ترازوها را در فروشگاه‌ها مشاهده نموده‌اید. در شکل ۵-۱ نمونه‌هایی از ترازوهای مختلف آمده است که بسته به نوع کار از دقت‌های مختلفی برخوردار هستند.

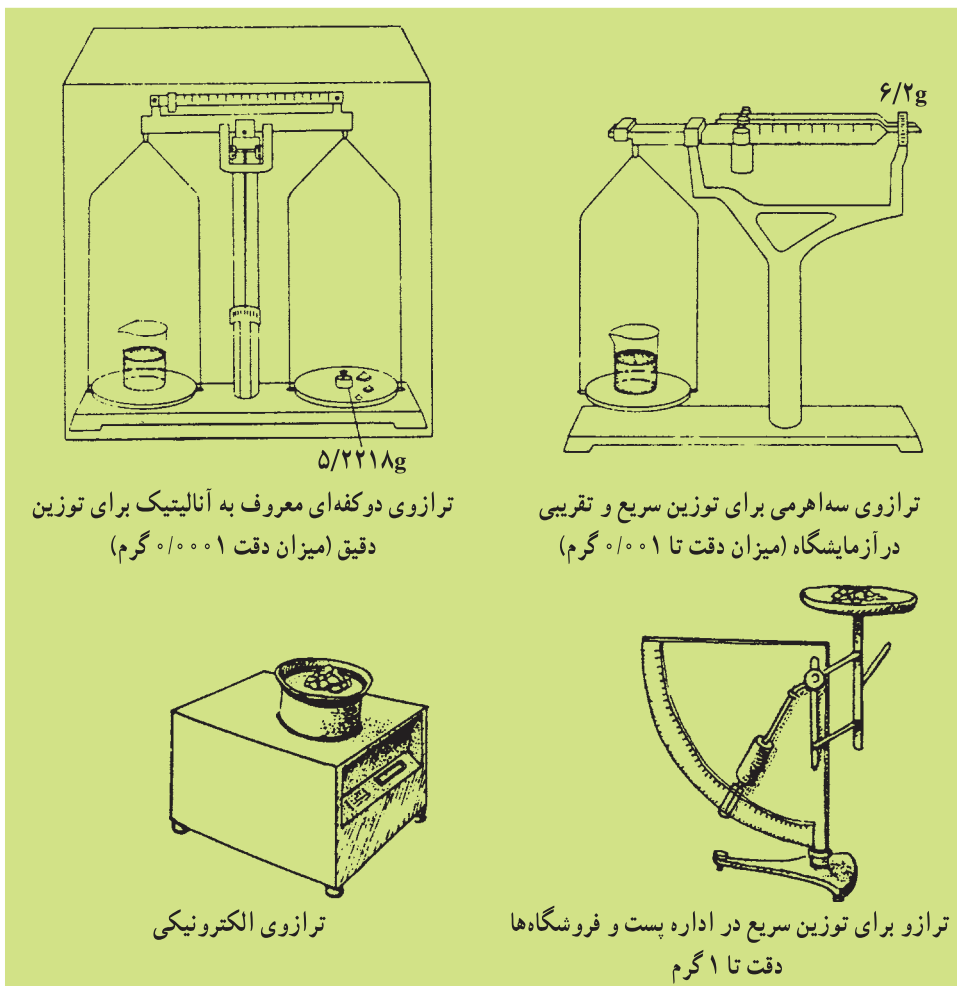
۵-۱-۲- وزن: در حقیقت میزان نیروی است که از مرکز ثقل زمین به جسم وارد می‌شود و براساس شدت جاذبه نقاط مختلف وزن اجسام متغیر خواهد بود. واحد وزن در دستگاه SI نیوتن می‌باشد.

معادله (۵-۱) شتاب جاذبه جرم . وزن

که اگر وزن را با W ، جرم را با m و شتاب جاذبه را با g نمایش دهیم:

معادله (۵-۲) $W = m \cdot g$

مقدار شتاب جاذبه را در حالت استاندارد معادل 9.806 m/s^2 در نظر می‌گیرند.



شکل ۵-۱- ترازوهای مختلف

۵-۲- چگالی (جرم حجمی)^۱

چگالی یا جرم حجمی عبارت است از نسبت جرم به حجم اجسام که توسط رابطه زیر به دست می‌آید.

$$\text{چگالی} = \frac{\text{جرم}}{\text{حجم}}, \rho = \frac{m}{V} \quad (۳-۵)$$

واحد چگالی در سیستم SI کیلوگرم بر متر مکعب می‌باشد.

برای یافتن چگالی مواد مختلف، از هر ماده یک سانی مترمکعب تهیه می‌کنند و جرم هریک را

^۱ - Density

جدول ۵-۱- جرم واحد حجم اجسام

| جرم | نام ماده |
|-------|----------|
| ۲۴۰mg | چوب پنبه |
| ۵۶۰mg | چوب بلوط |
| ۹۲۰mg | یخ |
| ۲/۶g | شیشه |
| ۱۱g | سرب |

با ترازو اندازه می‌گیرند. در واقع با این کار جرم واحد حجم را اندازه گرفته‌اند که همان مفهوم چگالی می‌باشد. به‌عنوان مثال، چگالی برخی از مواد در جدول (۵-۱) آمده است. واحد چگالی در دستگاه C.G.S به صورت گرم بر سانتی‌متر مکعب می‌باشد.

مثال ۵-۱- جرم گلوله‌ای از آلومینیم ۲۷ گرم و حجم آن ۱۰ سانتی‌متر مکعب است چگالی آن را حساب کنید.

$$m = 27g$$

$$V = 10 \text{ cm}^3$$

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{27g}{10 \text{ cm}^3} = 2.7 \text{ g/cm}^3 \quad \text{حل:}$$

مثال ۵-۲- یک قطعه فلز به جرم ۷۲ گرم و به حجم ۹ cm^۳ در اختیار داریم. چگالی فلز را بر حسب g/cm^۳ و kg/m^۳ به دست آورید.

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{72g}{9 \text{ cm}^3} = 8 \text{ g/cm}^3 \quad \text{حل:}$$

برای قسمت دوم از روش نردبانی استفاده می‌کنیم.

$$\frac{8 \text{ g}}{\text{cm}^3} \left| \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ g}} \right| \frac{(100)^3 \text{ cm}^3}{1 \text{ m}^3} = 8000 \text{ kg/m}^3$$

۵-۳- چگالی نسبی^۱

نسبت چگالی یک جسم را به چگالی جسم دیگر چگالی نسبی می‌گویند. معمولاً چگالی جامدات و مایعات را نسبت به آب و چگالی گازها را نسبت به هوا می‌سنجند.

$$\text{معادله (۵-۴)} = d = \frac{\rho_2}{\rho_1} = \text{چگالی نسبی}$$

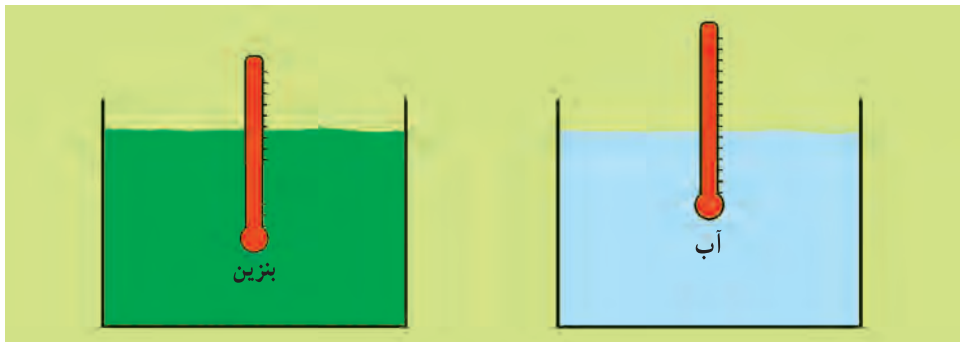
به عنوان مثال، وقتی می‌گوییم چگالی جیوه نسبت به آب $13/6$ است، یعنی چگالی جیوه $13/6$ برابر چگالی آب است.

مثال ۵-۳- چگالی نسبی جیوه نسبت به آلومینیم تقریباً ۵ است. اگر چگالی آلومینیم $2/7 \text{ g/cm}^3$ باشد چگالی جیوه چه قدر خواهد بود؟

$$\text{حل: } d = \frac{\rho_2}{\rho_1} \Rightarrow 5 = \frac{\rho_2}{2/7} \Rightarrow \rho_2 = 13/5 \text{ g/cm}^3$$

۵-۴- چگالی سنج

چگالی سنج دستگاه بسیار ساده‌ای دارد که بر مبنای قانون ارشمیدس ساخته شده است و برای اندازه‌گیری چگالی مایعات به کار می‌رود. دقت این ابزار و روش آن به اندازه روش‌های دیگر نیست ولی کار با آن سریع‌تر و با صرفه‌تر است. طرز کار چگالی سنج را می‌توان به کمک شکل ۵-۲ شرح داد.



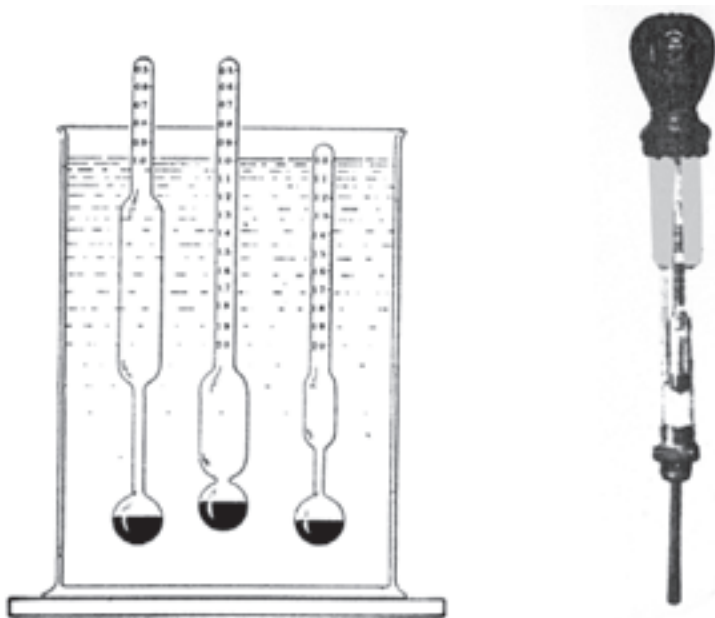
شکل ۵-۲- طرز کار چگالی سنج

در شکل فوق دو ظرف نمایش داده شده است که در یکی بنزین و در دیگری آب است. دو لوله به‌طور مجزا در این دو ظرف شناور هستند. هرچه مایع چگالی بالاتری داشته باشد حجم کم‌تری از

^۱ Specific Gravity, Relative Density, Gas Gravity

لوله در مایع غوطه‌ور می‌شود و با همین حجم کم‌تر، نیروی شناوری لازم برای شناور شدن لوله فراهم می‌شود. بدیهی است که در این حالت طول بیشتری از لوله در بالای سطح مایع دیده خواهد شد. بنابراین، لوله در مایع با چگالی بیشتر مثل آب بالاتر از بنزین قرار می‌گیرد. گلوله‌های کوچک سرب موجود در ته حباب چگالی‌سنج کمک می‌کند تا این ابزار هنگام شناوری به‌طور قائم بایستد. معمولاً لوله چگالی‌سنج را خیلی باریک در نظر می‌گیرند تا به حساسیت آن افزوده شود و با کوچک‌ترین تغییری در چگالی مایع، تفاوت قابل مشاهده‌ای در ارتفاع چگالی‌سنج و میزان شناوری آن ایجاد می‌شود. در نتیجه فاصله درجات روی صفحه مدرج بیشتر و به روشنی قابل رؤیت خواهد بود. از آنجایی که میزان قدرت باتری اتومبیل به چگالی اسید آن بستگی دارد می‌توان به وسیله چگالی‌سنج قدرت باتری را معین نمود. چگالی نسبی اسید یک باطری کاملاً شارژ شده، $1/28$ است و وقتی باتری کاملاً خالی یا دشارژ شود، چگالی نسبی اسید آن تا $1/15$ کاهش می‌یابد. هم‌چنین می‌توان چگالی‌سنج را برای تعیین دمای انجماد محلول ضدیخ که در سیستم خنک‌کاری اتومبیل (رادیاتور) وجود دارد به‌کار برد و در نتیجه این امکان فراهم می‌شود که نسبت ضدیخ موجود در آن را مشخص نمود.

در شکل ۳-۵ چند نمونه چگالی‌سنج نمایش داده شده است.



شکل ۳-۵- چند نمونه چگالی‌سنج

خودآزمایی

۱- ثابت کنید:

الف) اگر حجم دو جسم یکسان باشد نسبت جرم دو جسم، چگالی نسبی آنهاست؟
ب) چرا چگالی نسبی واحد ندارد؟

۲- اگر چگالی چوب 0.5 g/cm^3 باشد جرم 2 cm^3 و 10 cm^3 آن چند گرم است؟

۳- جرم یک بطری خالی 70 g و جرم بطری پر از آب 90 g است هنگام پر بودن از مایع دیگری جرم 94 g می شود. چگالی مایع دوم چه قدر است؟

۴- چگالی طلا 19 g/cm^3 است حجم 95 گرم طلا چه قدر است؟

۵- جرم شخصی در کره زمین 82 kg است در کره ماه چه وزنی دارد؟ چه جرمی دارد؟

$$= 9.8 \text{ m/s}^2 \text{ شتاب جاذبه زمین}$$

$$= 1.6 \text{ m/s}^2 \text{ شتاب جاذبه ماه}$$

پمپ‌ها

هدف‌های رفتاری: پس از پایان این فصل از فراگیر انتظار می‌رود بتواند:

- ۱- پمپ را تعریف کند.
- ۲- انواع پمپ و کاربردهایشان را توضیح دهد.
- ۳- طرز کار پمپ‌ها را توضیح دهد.

۱-۶- تعریف پمپ

به طور کلی پمپ به دستگاهی گفته می‌شود که انرژی مکانیکی را از یک منبع خارجی می‌گیرد و به سیالی که از آن عبور می‌کند انتقال می‌دهد. در نتیجه انرژی سیال بعد از خروج از پمپ افزایش می‌یابد. از این وسیله برای انتقال سیال به یک ارتفاع معین و یا حرکت سیال سیستم‌های لوله‌کشی و به طور کلی انتقال سیال از یک نقطه به نقطه دیگر استفاده می‌شود. میزان افزایش فشاری را که پمپ به سیال می‌دهد، «هد پمپ» می‌گویند.

۲-۶- انتخاب انواع پمپ

در انتخاب نوع پمپ و طراحی آن، خصوصیات فیزیکی و شیمیایی سیال نظیر گرانشی، وزن مخصوص، درجه حرارت، خوردگی و هم‌چنین وجود اجسام ناخالص و گازهای همراه با سیال و سرانجام مقدار حجم عبوری سیال از پمپ در واحد زمان، هد پمپ و بازده پمپ مدنظر قرار می‌گیرد.

۳-۶- تقسیم‌بندی پمپ‌ها

متداول‌ترین نحوه تقسیم‌بندی پمپ‌ها بر مبنای نحوه انتقال انرژی به سیال است. در این روش پمپ‌ها به دو دسته اصلی تقسیم می‌شوند.

۱- پمپ‌های دینامیکی^۲: پمپ‌هایی که انتقال انرژی از آن‌ها به سیال به طور دائمی انجام

می شود را پمپ های دینامیکی می گویند. پمپ های گریز از مرکز از انواع پمپ های دینامیکی می باشند.

۲- پمپ های جابه جایی^۱: پمپ هایی که انتقال انرژی از آن ها به سیال به صورت متناوب صورت می گیرد را پمپ های جابه جایی می نامند. پمپ های پیستونی (رفت و برگشتی) از انواع پمپ های جابه جایی هستند.

جدول ۶-۱ تقسیم بندی پمپ ها را به طور کلی انجام داده است.

۶-۴- پمپ های گریز از مرکز^۲

متداول ترین نوع پمپ ها در صنعت نوع گریز از مرکز است زیرا :
پمپ های گریز از مرکز در بین انواع پمپ ها شکل ساختمانی ساده ای دارند.
هر پمپ گریز از مرکز دارای بخش های زیر می باشد :

۱- لوله ورودی یا قسمت مکش^۳

۲- لوله خروجی یا قسمت رانش^۴ (تخلیه)

۳- پوسته پمپ

۴- چرخ یا پروانه پمپ^۵

شکل ۶-۱ ساختمان داخلی یک پمپ گریز از مرکز را نمایش می دهد.

۶-۵- تقسیم بندی پمپ های گریز از مرکز

متداول ترین روش تقسیم بندی از دیدگاه طراحی و علمی، تقسیم بندی بر اساس مسیر حرکت سیال در پروانه است. از این نظر پمپ های گریز از مرکز به سه دسته اصلی تقسیم می شوند :

۱- پمپ های گریز از مرکز با جریان شعاعی^۶

۲- پمپ های گریز از مرکز با جریان محوری^۷

۳- پمپ های گریز از مرکز با جریان مختلط^۸

در نوع اول، سیال موازی محور وارد پروانه پمپ و عمود بر آن از پروانه خارج می شود از این نوع پمپ ها برای ایجاد فشارهای بالا در دبی های کم استفاده می شود.

۱- Displacement pump

۲- Centrifugal pump

۳- Suction

۴- Discharge

۵- Impeller

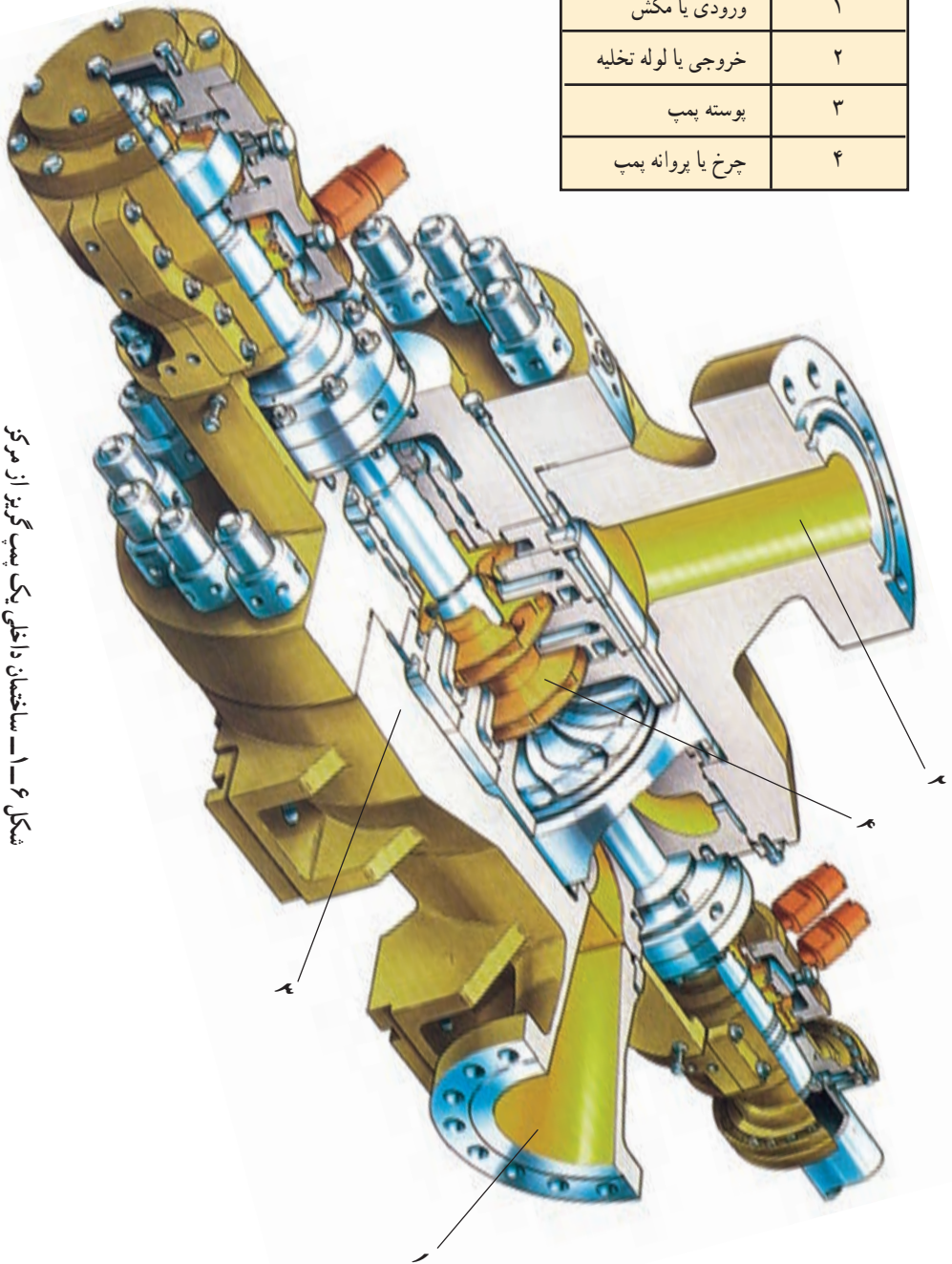
۶- Radial flow

۷- Axial flow

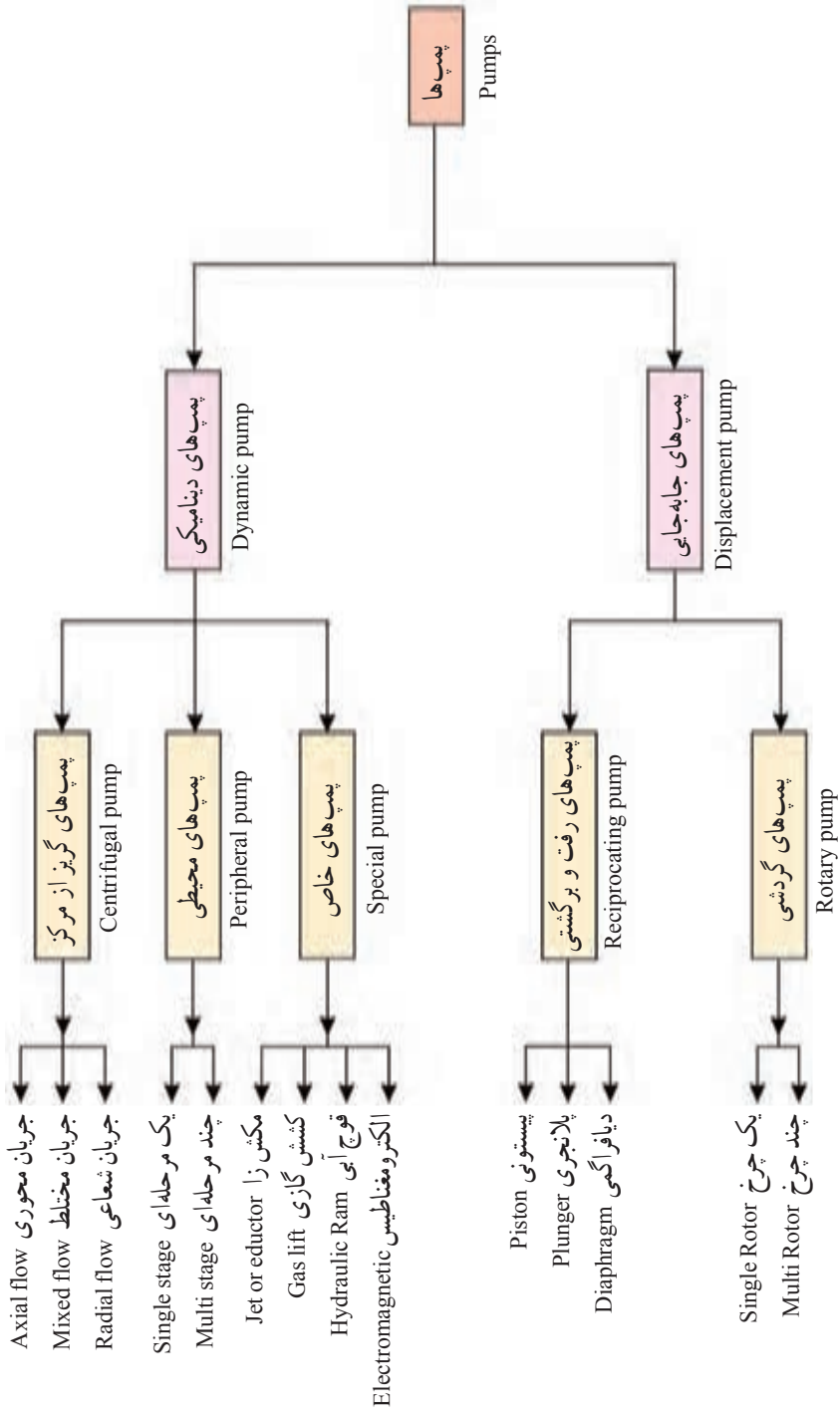
۸- Mixed flow

| شماره قطعه | شرح |
|------------|---------------------|
| ۱ | ورودی یا مکش |
| ۲ | خروجی یا لوله تخلیه |
| ۳ | پوسته پمپ |
| ۴ | چرخ یا پروانه پمپ |

شکل ۱-۶- ساختمان داخلی یک پمپ گریز از مرکز



جدول ۱-۶ - تقسیم بندی پمپ ها



در نوع دوم سیال موازی با محور وارد پروانه شده و موازی با آن نیز خارج می‌شود. از این نوع پمپ برای تولید دبی‌های زیاد و ارتفاع‌های کم^۱ استفاده می‌شود.
 در نوع سوم سیال موازی محور وارد پروانه و به‌طور مایل نسبت به محور از پروانه خارج می‌شود. از این پمپ‌ها برای فشارها و دبی‌های متوسط استفاده می‌شود.
 در شکل (۶-۲) انواع پروانه‌های (چرخ‌های) پمپ‌های گریز از مرکز نمایش داده شده‌اند.



شکل ۶-۲- انواع پروانه‌های پمپ گریز از مرکز

۶-۶- مشخصات اصلی پمپ‌های گریز از مرکز

- قیمت ارزان واحد پمپ نسبت به یک کیلووات قدرت مفید تولیدی.
- جریان سیال به‌طور یک‌نواخت و دائم می‌باشد.
- فضای کم‌تری را متناسب با قدرت تولیدی اشغال می‌کنند.
- هزینه نگهداری نسبتاً کمی دارند.
- راندمان بالایی در فرآیندها دارند.
- چون این نوع پمپ‌ها از نظر دبی و ارتفاع تولیدی گستره وسیعی دارد، دامنه کاربرد آنها در پروژه‌های صنعتی، کشاورزی و آبرسانی فوق‌العاده بالا است.

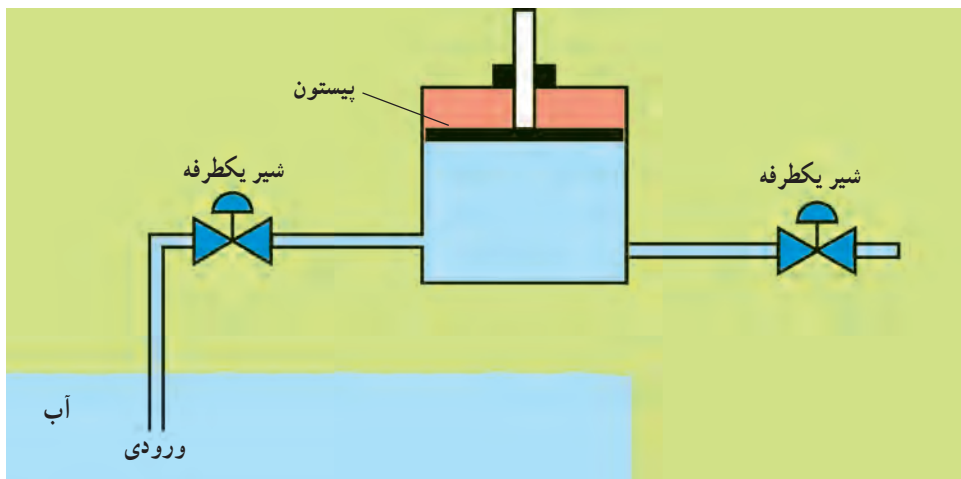
^۱- ارتفاعی که پمپ به سیال می‌دهد Head

– حداکثر گرانروی سیال بسته به نوع پمپ از حدود ۵۲° تا ۷۶° سانتی استوک^۱ نمی تواند تجاوز نماید. برای بیش از این حدود و سیالات با گرانروی بالا از پمپ‌های جابه‌جایی استفاده می‌شود.

۶-۷- پمپ‌های رفت و برگشتی^۲

از قدیمی‌ترین انواع پمپ‌ها که هنوز هم در صنعت استفاده می‌شود پمپ رفت و برگشتی می‌باشد. در این پمپ‌ها حرکت چرخشی میل‌لنگ به حرکت رفت و برگشتی پیستون در یک سیلندر تبدیل می‌شود.

با عقب رفتن پیستون در سیلندر مکش ایجاد و مایع از طریق شیر ورودی وارد محفظه سیلندر می‌شود. با حرکت پیستون به سمت جلو دریچه ورود بسته و مایع از طریق شیر خروجی خارج می‌شود. شیرهای ورودی، خروجی یک‌طرفه بوده و طوری ساخته شده‌اند که در مراحل رفت و آمد پیستون، از ورود مایع داخل سیلندر به قسمت فشار کم و بالعکس جلوگیری شود شکل ۳-۶ یک پمپ رفت و برگشتی را نمایش می‌دهد.



شکل ۳-۶- شماتیک ساده یک پمپ پیستونی

۶-۸- مشخصات اصلی پمپ‌های رفت و برگشتی

- فشار خروجی بسیار بالا
- سرعت کم
- ظرفیت کم تا متوسط (حداکثر ۲۰۰ مترمکعب در ساعت)
- جریان غیر یک‌نواخت

۱- Centistock

۲- Reciprocating pumps

- راندمان بالا در صورت سرویس مرتب
- گران بودن نسبت به پمپ‌های گریز از مرکز

۹-۶- کاویتاسیون^۱ (حفره‌زایی)

آب یا هر مایع دیگر، در هر درجه حرارتی دارای فشار بخار مشخصی است به عنوان مثال فشار بخار آب در کنار دریا در 10° درجه سلسیوس برابر یک اتمسفر است و در 20° درجه سلسیوس $2/0$ اتمسفر است.

هر گاه در حین جریان مایع در داخل یک پمپ، فشار در نقطه‌ای از فشار بخار مایع در درجه حرارت مربوطه کم‌تر شود، حباب‌های بخاری به وجود می‌آید که به همراه مایع به نقطه‌ای دیگر با فشار بالاتر حرکت می‌نمایند. اگر در محل جدید فشار مایع به اندازه کافی زیاد باشد حباب‌های بخار در این محل می‌ترکند و در نتیجه ذراتی از مایع از مسیر اصلی خود منحرف می‌شوند و با سرعت‌های فوق‌العاده زیاد به اطراف و از جمله پروانه برخورد می‌نمایند. در چنین مکانی، بسته به شدت برخورد، سطح پروانه خورده و متخلخل می‌شود. این پدیده را کاویتاسیون می‌نامند. کاویتاسیون همواره با صداهای منقطع شروع می‌شود و سپس در صورت تداوم کاهش فشار دهانه ورودی پمپ، بر شدت این صداها افزوده می‌شود.

صداهای کاویتاسیون مخصوص و مشخص می‌باشد و شبیه به برخورد گلوله‌هایی به یک سطح فلزی است. همزمان با تولید این صدا پمپ نیز به ارتعاش درمی‌آید. در نهایت این صداهای منقطع به صداهایی شدید و دائمی مبدل می‌شود و دبی ورودی پمپ به شدت کاهش می‌یابد یا قطع می‌شود. در پمپ‌هایی که در آن‌ها سرعت دورانی یا دبی تولیدی یا درجه حرارت بالا باشد پدیده کاویتاسیون حتی در یک زمان کوتاه می‌تواند ضایعات شدیدی را موجب شود.

خودآزمایی

- ۱- در انتخاب نوع پمپ چه مشخصاتی مدنظر قرار می‌گیرند؟
- ۲- پمپ‌ها به چند دسته تقسیم می‌شوند برای هر کدام دو نمونه نام ببرید.
- ۳- اجزای پمپ گریز از مرکز کدامند؟
- ۴- پمپ‌های گریز از مرکز به چند دسته تقسیم می‌شوند؟
- ۵- مشخصات پمپ گریز از مرکز و رفت و برگشتی را بنویسید هر کدام سه مورد.

مبدل‌های حرارتی^۱، کوره‌ها

هدف‌های رفتاری: پس از پایان این فصل از فراگیر انتظار می‌رود بتواند:

- ۱- ساختمان مبدل‌های حرارتی را بشناسد.
- ۲- طرز کار مبدل‌های حرارتی را توضیح دهد.
- ۳- انواع مبدل‌های حرارتی را توضیح دهد.
- ۴- طرز کار خنک‌کن را توضیح دهد.
- ۵- کوره‌ها را توضیح دهد.

۷-۱- مقدمه

مبدل‌های حرارتی دستگاه‌هایی هستند که به کمک آن‌ها می‌توان در اثر تماس غیرمستقیم دو سیال، سیالی را گرم یا سرد نمود.

کاربرد اصول انتقال حرارت در طراحی تجهیزات برای مقاصد خاص مهندسی اهمیت بسیار زیادی دارد و هدف از به‌کارگیری اصول انتقال حرارت در طراحی، تلاش برای رسیدن به هدف توسعه تولید برای سوددهی اقتصادی است. در حقیقت دانستن نوع مبدل بر اساس سیال‌هایی که از آن عبور می‌کنند نقش مهمی در طراحی و محاسبات اقتصادی مبدل‌های حرارتی به‌دنبال خواهد داشت.

۷-۲- دسته‌بندی مبدل‌های حرارتی

۷-۲-۱- بر مبنای ساختمان مبدل: در بسیاری مواقع مبدل‌های حرارتی بر مبنای ساختمان تقسیم‌بندی می‌شوند. مبدل‌های حرارتی از نظر ساختمان به ۴ دسته تقسیم‌بندی می‌شوند که عبارت‌اند از:

- ۱- مبدل‌های حرارتی لوله‌ای^۱
- ۲- مبدل‌های حرارتی صفحه‌ای^۲
- ۳- مبدل‌های حرارتی پره‌ای^۳
- ۴- بازیاب‌های حرارتی^۴

۱- Heat exchangers

۲- Pipe heat exchanger

۳- plate heat exchanger

۴- fin heat exchanger

۵- Heat recovers

۲-۲-۷- تقسیم بندی مبدل ها بر اساس نوع جریان

۱- جریان همسو^۱

۲- جریان ناهمسو^۲

۳- جریان همسو (هم جهت): در این نوع مبدل ها سیال سرد و گرم هر دو در یک جهت حرکت می کنند و در حین عبور از مبدل تبادل حرارتی انجام می دهند. شکل ۱-۷ جریان همسو را نمایش می دهد.



شکل ۱-۷- جریان همسو

۴- جریان ناهمسو (مخالف جهت): در این مبدل سیال سرد در یک جهت و سیال گرم در جهت عکس آن وارد مبدل می شود و بدین ترتیب تبادل حرارتی صورت می پذیرد. در شرایط یکسان برای یک مبدل با جریان ناهمسو میزان انتقال حرارت بیشتر خواهد بود. در شکل ۲-۷ جریان ناهمسو نمایش داده شده است.



شکل ۲-۷- جریان ناهمسو

۳-۷- مبدل های حرارتی لوله ای

در این نوع مبدل ها اساس انتقال حرارت بین دو سیال از طریق دیواره بین آنها می باشد. این مبدل ها به دو دسته عمده تقسیم بندی می شوند.

۱- دو لوله ای^۳

۲- لوله و پوسته^۴

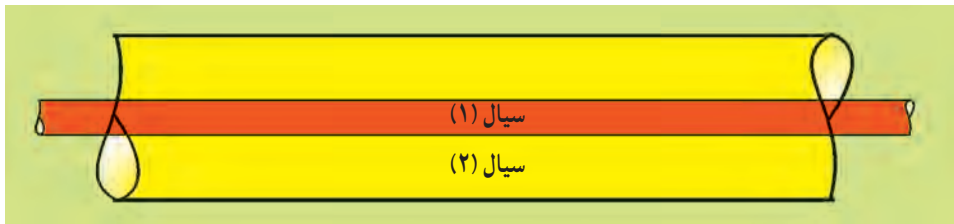
۱- Co-current

۲- Counter current

۳- Two pipes

۴- Shell & tube

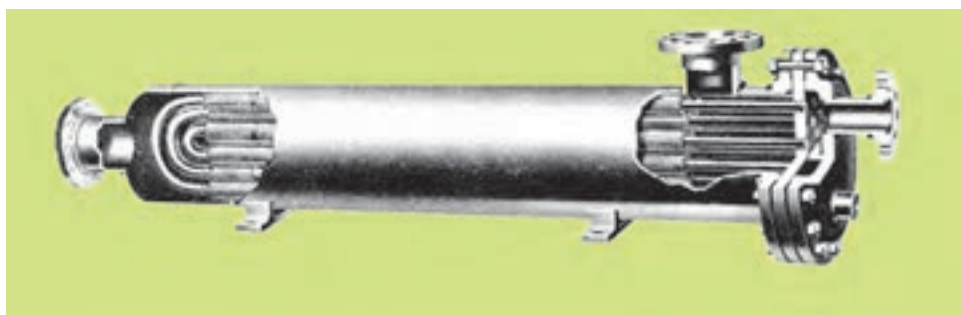
۷-۳-۱- مبدل‌های حرارتی دو لوله‌ای: ساده‌ترین نوع مبدل‌های حرارتی دو لوله‌ای هستند که یک سیال از درون لوله داخلی می‌گذرد و سیال دیگر در فضای بین دو لوله جریان دارد. (مطابق شکل ۷-۳)



شکل ۷-۳- مبدل‌های حرارتی دو لوله‌ای

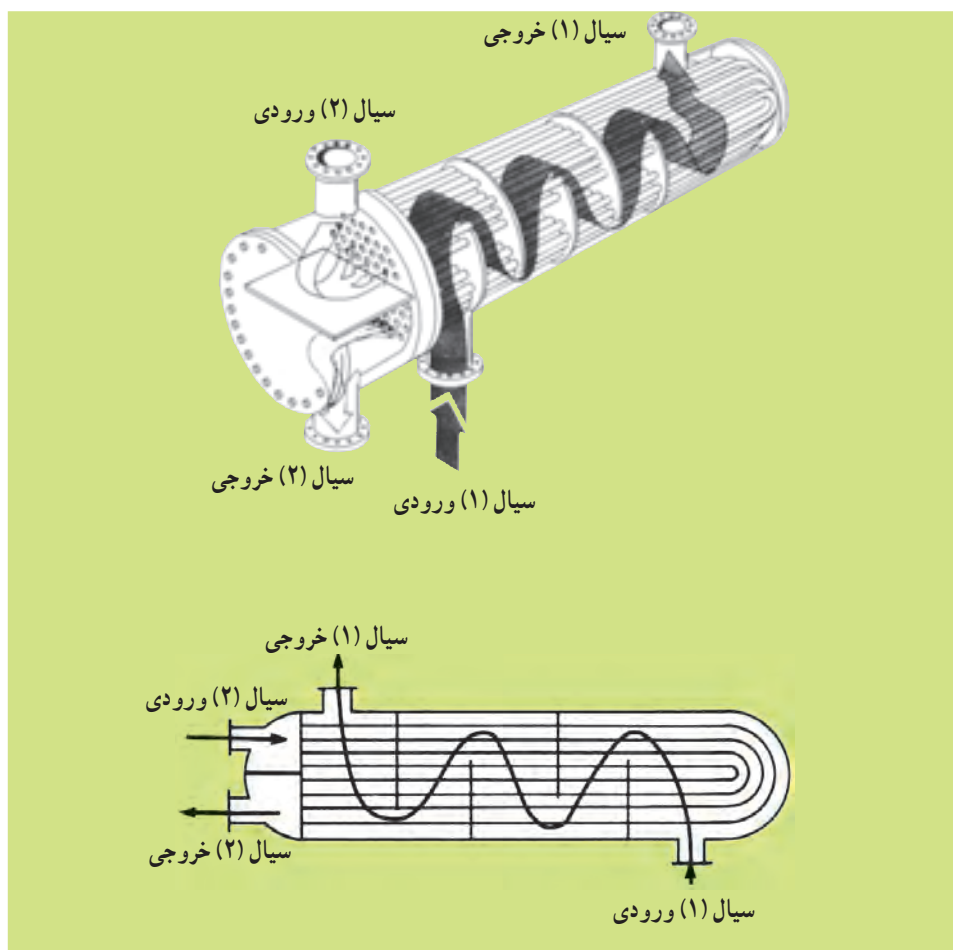
مبدل‌های حرارتی دو لوله‌ای زمانی کاربرد دارند که سطح تبادل کمی مورد لزوم باشد و در سرمایش و گرمایش هوا یا گازها کاربرد دارند.

۷-۳-۲- مبدل‌های حرارتی پوسته - لوله: مبدل‌های حرارتی که در صنایع فرآیندهای شیمیایی بسیار مورد استفاده قرار می‌گیرند از نوع پوسته - لوله می‌باشند که در شکل ۷-۴ دیده می‌شود.



شکل ۷-۴- ساختمان داخلی مبدل‌های حرارتی پوسته - لوله

یک سیال در لوله‌ها جریان می‌یابد در حالی که سیال دیگر از درون پوسته و از روی لوله‌ها عبور می‌کند. جهت اطمینان از این که سیال درون پوسته از روی لوله‌ها می‌گذرد و در نتیجه انتقال حرارت بیشتری صورت می‌گیرد و هم‌چنین به‌عنوان نگهدارنده لوله‌ها موانعی در داخل پوسته قرار داده می‌شود که بافل نام دارند. شکل ۷-۵ مکانیزم حرکت سیال را در مبدل‌های پوسته - لوله نمایش می‌دهد.



شکل ۷-۵- اساس کار مبدل‌های حرارتی پوسته-لوله

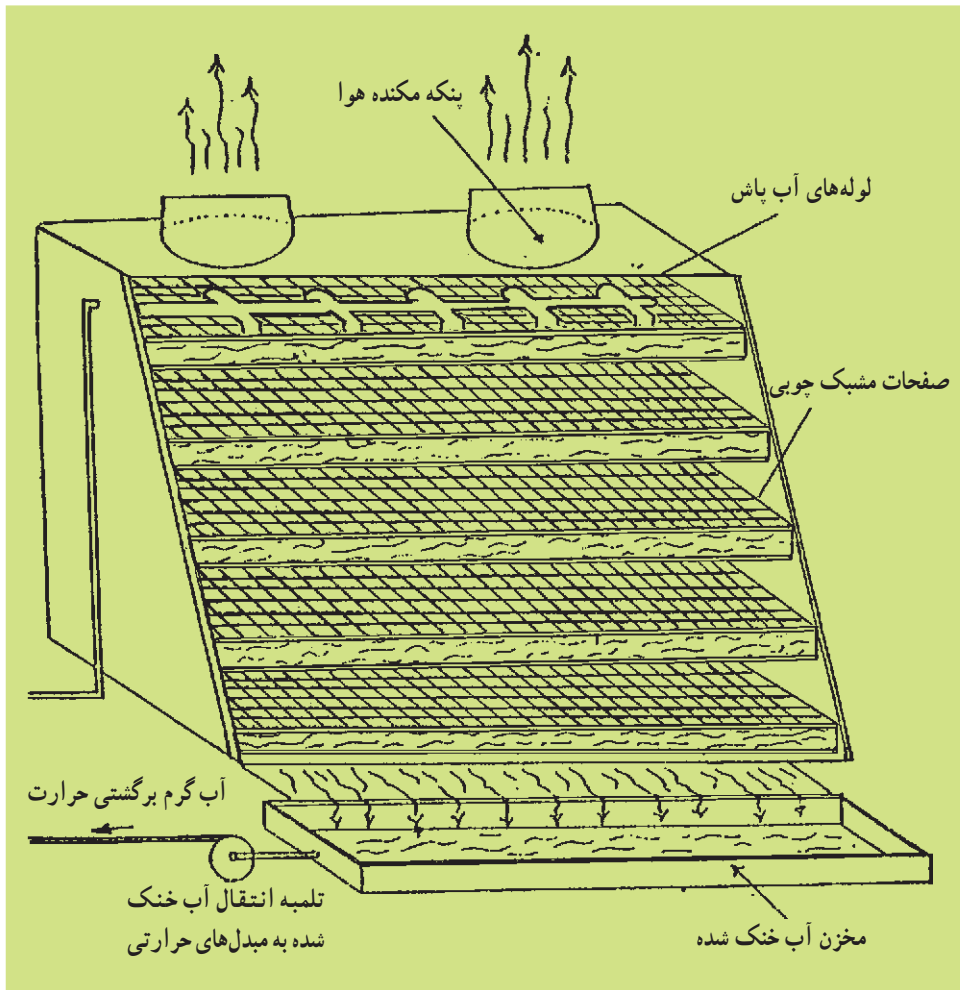
۴-۷- برج‌های خنک‌کننده

وظیفه برج خنک‌کننده سرد کردن آب مصرفی در مبدل‌ها جهت استفاده مجدد از آن است. برج خنک‌کننده تشکیل می‌شود از طبقات چوبی مشبک که به‌طور افقی بر روی هم نصب می‌شوند و این صفحات چوبی مشبک (امروزه از صفحات پلیمری نیز استفاده می‌شود). چنان ساخته می‌شوند که امکان جریان آب از بالا به پایین و بالعکس جریان هوا از پایین به بالا ممکن شود.

اساس کار چنین است که بخشی از گرمای آب ورودی در اثر تماس مستقیم با هوا به آن منتقل می‌گردد. علاوه بر آن مقداری از آب در اثر این تماس تبدیل به بخار گردیده و همراه هوا از بالای برج خارج می‌شود. گرمای لازم برای این تبخیر نیز از بقیه آب گرفته می‌شود. بنابراین جریان آب ورودی به دو طریق یکی در اثر تبخیر بخشی از آن و دیگری توسط انتقال حرارت به جریان هوا خنک می‌شود

و برای استفاده مجدد در سیستم‌های مختلف و مصارف صنعتی و مبدل‌های حرارتی آماده می‌شود. در شکل ۶-۷ ساختمان یک برج خنک‌کننده نشان داده شده است.

اساس کار کولرهای آبی نیز شبیه برج‌های خنک‌کننده می‌باشد، با این تفاوت که در آن‌ها هوای خشک و گرم بیرون ساختمان توسط جریان آب خنک شده و به داخل ساختمان هدایت می‌شود. به جای طبقات چوبی برج خنک‌کننده در کولرهای آبی از صفحات جانبی کولر که با مواد جاذب آب پر شده‌اند استفاده می‌شود. هوای بیرون با عبور از بین لایه‌هایی از این مواد با آب در تماس قرار گرفته و ضمن خنک شدن، بخشی از بخار آب حاصل را همراه خود به داخل ساختمان انتقال می‌دهد. بدین وسیله هوای خنک با مقدار رطوبت مناسب وارد ساختمان می‌شود.



شکل ۶-۷. برج خنک‌کننده

استفاده از آب به عنوان خنک کننده در مبدل‌های حرارتی کولر آبی و مصارف صنعتی دیگر تابع شرایطی است که از جمله این شرایط می‌توان نکات زیر را برشمرد:

الف - آب باید تصفیه شود و از گل و لای و رسوبات عاری باشد.

ب - املاح آب تا حد امکان جدا شود.

پ - درجه حرارت آب در حد معینی کنترل شود.

ت - جهت جلوگیری از تشکیل رسوبات احتمالی، مواد لازم به آب اضافه شود.

ث - آب مصرفی مجدداً قابل مصرف شود.

۷-۵- کوره‌ها

کوره‌ها دستگاه‌هایی هستند که به وسیله اکسیداسیون شیمیایی سوخت‌ها و یا با استفاده از الکتریسیته و یا دیگر انرژی‌ها در آن‌ها گرما تولید می‌شود. حرارت حاصل به مصرف گرم کردن، ذوب، تبخیر یا انجام واکنش‌های شیمیایی اجسام داخل کوره می‌رسد.

۷-۵-۱- ساختمان دیواره کوره‌ها: ساختمان دیواره کوره از موادی ساخته می‌شوند که دمای ذوب و نرم شدن آن‌ها خیلی زیاد باشد و بتواند حرارت‌هایی را که در کوره به وجود می‌آید تحمل کند و هم چنین مقاومت مکانیکی داشته باشد و تحت تأثیر فعل و انفعالات شیمیایی قرار نگیرد. این گونه اجسام را به طور عام نسوز می‌گویند. نسوزهای خوب معمولاً گران تمام می‌شوند؛ لذا دیواره کوره‌ها را نازک اختیار می‌کنند و برای استحکام، پشت دیواره‌ها را با آجرهای نسوز و ارزان قیمت می‌سازند. در انتخاب جنس نسوز باید نکات زیر را منظور کرد.

- ذوب نشدن، تغییر نکردن و مقاومت در مقابل تأثیرات شیمیایی اجسامی که در کوره گرم می‌شوند.

متخلخل نبودن موادی که در ساختمان کوره به کار می‌رود، مقاومت مکانیکی اجسام نسوز متداول عبارت‌اند از: آرژیل، کائولن، سیلیس، آلومین، مانیزی، کربورانوم و ...

۷-۵-۲- انواع کوره‌ها: کوره‌هایی که به اشکال گوناگون در صنعت به کار می‌روند از بعضی لحاظ شبیه به هم هستند و می‌توان آن‌ها را از نظر نوع اولیه انرژی مورد نیاز به سه دسته‌ی سوختی، الکتریکی و تابشی تقسیم‌بندی کرد:

۷-۵-۳- کوره‌های سوختی: در این نوع کوره، از احتراق مواد سوختی در حضور اکسیژن هوا حرارت ایجاد می‌شود. مواد سوختی معمولاً سوخت‌های فسیلی هستند که شامل فراورده‌های حاصل از نفت خام و یا زغال سنگ می‌باشند. در این کوره‌ها معمولاً اجسام گرماپذیر از

سوخت جدا هستند و ممکن است با شعله در تماس مستقیم یا غیرمستقیم باشند.

الف - کوره‌های حرارتی سیستم گرمایش فضاهای مسکونی یا اداری: سوخت مصرفی این کوره‌ها گاز طبیعی و یا نفت گاز می‌باشد که معمولاً قبل از ورود به محوطه احتراق توسط مشعل با هوا مخلوط شده و سپس در فضای احتراق مشتعل می‌گردد. سیال عامل انتقال حرارت که آب می‌باشد از داخل یک سری لوله که در داخل کوره تعبیه شده عبور می‌کند و بدین وسیله به درجه حرارت تعیین شده (حدود 50° تا 70° درجه سلسیوس) می‌رسد. سپس آب گرم بعد از عبور از لوله‌های سیستم حرارت مرکزی وارد رادیاتورها شده و در آنجا حرارت خود را به هوای مجاور انتقال داده و دوباره برای گرم شدن به کوره برمی‌گردد.

ب - کوره‌هایی که برای گرم کردن دیگ‌های مولد بخار ساخته می‌شوند: بخار حاصل برای به کار انداختن ماشین بخار، توربین‌های مولد برق و یا سایر مصارف صنعتی استفاده می‌شود. سوخت مصرفی در این کوره‌ها زغال سنگ معمولی یا زغال گرد شده یا سوخت‌های مایع نفت و مازوت و سوخت‌های گازی می‌تواند باشد که بستگی به جنس و شکل کوره دارد. برای این که عمل سوخت به خوبی انجام پذیرد باید هوا آزادانه در کوره جریان پیدا کند و در تمام توده سوخت به طور یکنواخت پخش شود. اگر سوخت زغال باشد می‌توان به طریق زیر عمل نمود:

زغال را به قطعات کوچک روی سطح یک پنجره آهنی قرار داد و فاصله میان میله‌های پنجره را به نحوی تنظیم کرد که هوا به طور یکنواخت عبور کند.

۷-۵-۴- کوره‌های الکتریکی: در این نوع کوره‌ها انرژی الکتریکی به انرژی حرارتی تبدیل می‌شود. سه نوع متداول آنها عبارت است از: مقاومتی، القایی و قوسی.

الف - کوره مقاومتی: اگر از سیمی به مقاومت R اهم جریانی به شدت I آمپر در مدت t ثانیه عبور کند، مطابق قانون ژول انرژی Q قابل تبدیل به حرارت برابر است با:

$$Q = RI^2t$$

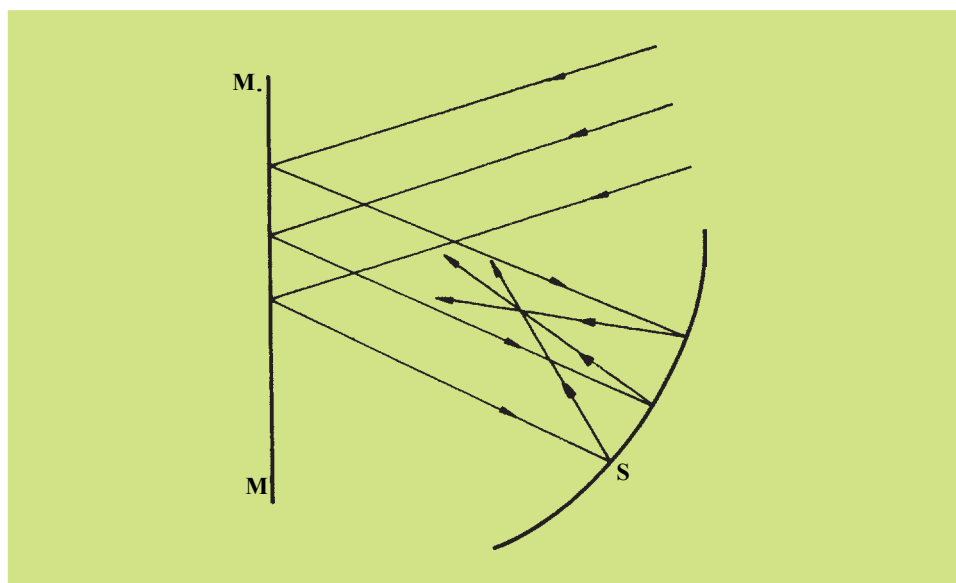
مقدار انرژی حرارتی حاصل بستگی به نوع فلز گرماده دارد. بدیهی است هر چقدر نقطه ذوب ماده گرماده بالاتر باشد حداکثر دمای قابل دسترس بیشتر خواهد بود. فلزاتی که برای ساخت سیم (مقاومت) از آن استفاده می‌شود عبارت است از: پلاتین، مولیبدن، نیکروم و ...

ب - کوره القایی: اگر یک جسم هادی الکتریسته را داخل مدار ماریچی شکل فلزی که از آن شدت جریان الکتریکی متناوب با فرکانس 2000 تا 5000 عبور می‌کند قرار دهیم، در جسم هادی، جریان‌های القایی موسوم به جریان فوکو ایجاد می‌شود. این جریان‌ها جسم را گرم می‌کند.

پ - کوره قوسی: اگر میان دو قلم زغال که دو نوک آن در مقابل یکدیگر قرار گرفته‌اند

اختلاف سطح الکتریکی ایجاد کنیم، جریان الکترون از کاتد به آند (دو قلم زغال) برقرار گشته و باعث ایجاد قوسی نورانی با درجه حرارت زیاد در محل فاصله دو الکتروود می‌گردد.

۷-۵-۵- کوره تابشی: اگر جسم سیاهی را در مقابل آفتاب قرار دهیم هر سانتی متر مربع آن در هر دقیقه ۲ کالری انرژی از شعاع‌های نورانی آفتاب جذب می‌کند. با استفاده از این انرژی می‌توان کوره‌های تابشی ساخت. ساختمان کوره‌های تابشی عبارت است از استفاده از یک یا چند آینه مسطح و یک یا چند آینه مقعر. شعاع‌های نورانی آفتاب نخست روی آینه مسطح برخورد می‌کند و با امتداد موازی محور اصلی آینه مقعر روی آن تابیده می‌شود. آینه مقعر اشعه را بازگشت می‌دهد و در کانون خود متمرکز می‌کند. بوته را در کانون آینه قرار می‌دهند با این دستگاه ممکن است چندین کیلووات انرژی به دست آورد. (شکل ۷-۷)



شکل ۷-۷- کوره تابشی

خودآزمایی

- ۱- طرز کار مبدل‌ها و انواع آن را توضیح دهید.
- ۲- طرز کار و ساختمان برج‌های خنک‌کننده را شرح دهید.
- ۳- ساختمان کوره‌ها و انواع آن را شرح دهید.
- ۴- انواع جریان در مبدل‌های حرارتی را شرح دهید.

کنترل فرآیندها

هدف‌های رفتاری: پس از پایان این فصل از فراگیر انتظار می‌رود بتواند:

- ۱- کنترل دما را توضیح دهد.
- ۲- کنترل فشار را توضیح دهد.
- ۳- کنترل سطح را توضیح دهد.

۸-۱- مقدمه

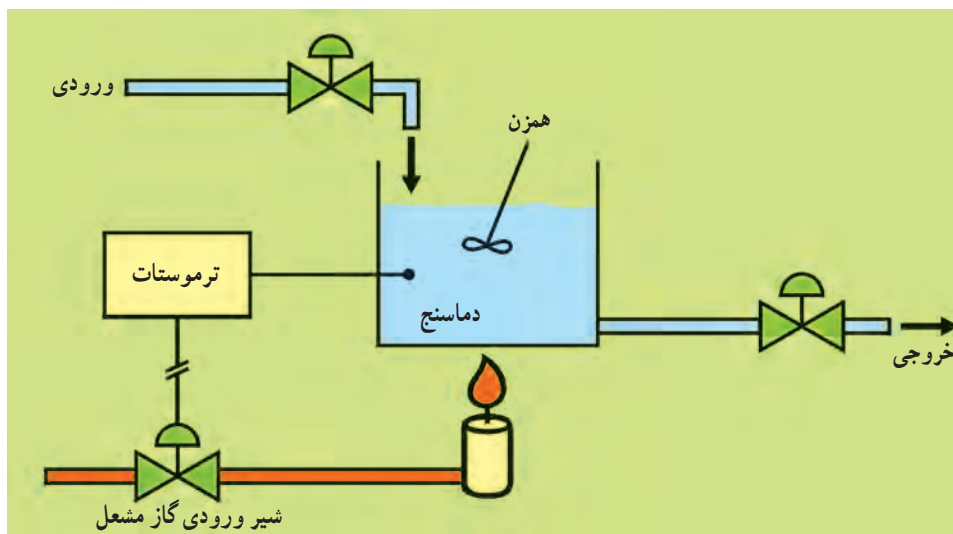
امروزه علم کنترل در همه ابعاد زندگی کاربرد دارد، اعم از کنترل سیستم‌های اقتصادی و اجتماعی و فنی. از مهم‌ترین مسائلی که در صنایع مختلف همواره مورد توجه بوده و کنکاش برای بهینه‌تر کردن آن صورت گرفته است، بالا بردن کیفیت محصولات و مهم‌تر از آن بالا بردن ایمنی سیستم می‌باشد و این عملی نیست جز با قرار دادن سیستم کنترل مطلوب بر روی خط تولید، که توسط طراحان سیستم‌های کنترل اجرا می‌گردد.

۸-۲- کنترل دما^۱

برای درک کنترل دما یک تانک همزن‌دار مجهز به سیستم حرارتی را در نظر بگیرید. مطابق شکل ۸-۱ چنانچه یک مشعل سیال درون تانک را گرم کند و دمای داخل تانک به وسیله همزن یک‌نواخت بشود، می‌توان سیستم کنترل دما را روی این فرآیند اعمال نمود. چنانچه دمای سیستم از یک حد معین فراتر برود توسط دماسنج داخل تانک سنجیده و با مقدار مقرر^۲ (مطلوب) مقایسه می‌شود. کنترل کننده دما که در این جا ترموستات است فرمانی جهت کاهش شدت جریان گاز ورودی به مشعل صادر می‌کند. از این رو با کاهش شدت جریان گاز مشعل دمای داخل تانک کاهش می‌یابد تا به مقدار مطلوب خود برسد.

۱- Temperature Control

۲- Set Point



شکل ۸-۱- شماتیک تانک گرم کن همزن دار

۸-۳- حلقه کنترل

برای بررسی سیستم کنترل دما در تانک همزن دار فوق لازم است بخش‌های مختلفی که در حلقه کنترل وجود داشته‌اند بررسی شوند.

۱- حس کننده دما^۱: برای اندازه‌گیری دما نیاز به یکی از وسایل اندازه‌گیری مثل ترموکوپل یا دماسنج و ... می‌باشد. در حقیقت مقدار دما توسط یکی از وسایل اندازه‌گیری که «عنصر اندازه‌گیری» نامیده می‌شود دریافت و گزارش می‌شود.

۲- مقایسه کننده^۲: در هر حلقه کنترل، از مقایسه کننده جهت یافتن تفاضل بین دمای اندازه‌گیری شده و دمای مطلوب (مقرر) بهره‌برداری می‌شود. در حقیقت مقایسه کننده دمای اندازه‌گیری شده توسط عنصر اندازه‌گیری (ترموکوپل) و دمای مطلوب مقرر فرآیند را با هم مقایسه و اختلاف این دو را محاسبه می‌کند.

۳- کنترل کننده^۳: اختلاف به دست آمده از مقایسه کننده به عنصر کنترل کننده که در این مثال ترموستات می‌باشد، ارسال می‌شود و کنترل کننده بر اساس میزان اختلاف، فرمانی را در راستای رسیدن به شرایط مطلوب صادر می‌کند که در این مثال باعث قطع و یا وصل مسیر جریان گاز به مشعل خواهد شد.

۴- عنصر کنترل کننده نهایی^۴: فرمان ارسالی از کنترل کننده باید به یک وسیله مثل شیر کنترل

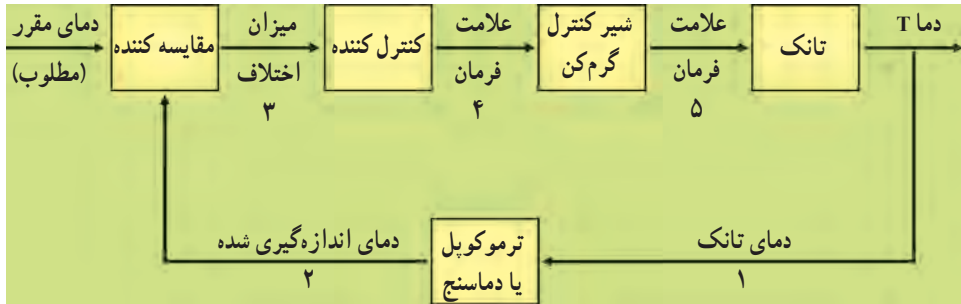
۱- Sensor

۲- Comparator

۳- Controller

۴- Final element controller

گاز ورودی، ارجاع شود و شیر کنترل که در این جا عنصر کنترل کننده نهایی است بر اساس فرمان ارسالی باز یا بسته خواهد شد. با عمل کردن این وسیله، فرآیند به شرایط مطلوب می‌رسد و حلقه کنترل کامل می‌شود. شماتیک حلقه کنترل برای یک تانک همزن دار مجهز به گرم کن در شکل ۸-۲ آمده است.



شکل ۸-۲- نمودار جعبه‌ای حلقه کنترل برای تانک همزن دار مجهز به گرم کن

شرح نمودار جعبه‌ای حلقه کنترل:

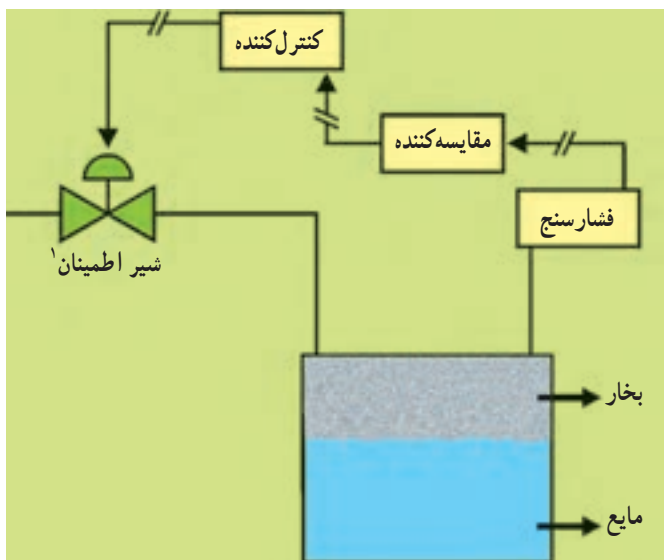
- ۱- دمای سیال درون تانک توسط ترموکوپل یا دماسنج حس می‌شود.
- ۲- دمای اندازه‌گیری شده به مقایسه‌کننده ارسال می‌شود.
- ۳- میزان اختلاف دمای اندازه‌گیری شده و دمای مطلوب از مقایسه‌کننده به سمت کنترل کننده ارسال می‌شود.
- ۴- بر اساس میزان اختلاف، فرمان کنترل به شیر کنترل گرم کن فرستاده می‌شود.
- ۵- شیر کنترل بر اساس نوع فرمان باز یا بسته می‌شود و گرمای ورودی به تانک را جهت کاهش یا افزایش دما تنظیم می‌کند.

۸-۴- کنترل فشار^۱

در برج‌ها و ستون‌ها، تانک‌های ذخیره و اکثر قریب به اتفاق ادوات صنایع مختلف، خصوصاً صنایع شیمیایی، کنترل فشار نقش مهمی را ایفا می‌کند چه بسا عدم کنترل فشار باعث بروز خطرات جانی و مالی بسیار شود. به شکل ۸-۳ توجه کنید.

در اثر افزایش فشار بخارات موجود در سیستم کنترل کننده فرمانی به شیر اطمینان بالای مخزن می‌فرستد و این شیر پس از باز شدن بخشی از بخارات را خارج می‌کند تا فشار به مقدار مقرر خود برسد.

۱- Pressure control



شکل ۸-۳- تانک ذخیره مجهز به کنترل فشار

پس از انجام عمل کنترل، شیر به حالت عادی خود باز خواهد گشت. دیگ‌های زودپز در منازل بهترین مثال برای این حالت است. مشابه آنچه برای کنترل دما گفته شد، می‌توان حلقه کنترل برای فشار را نیز ترسیم نمود.

۸-۵- کنترل سطح مایع^۲

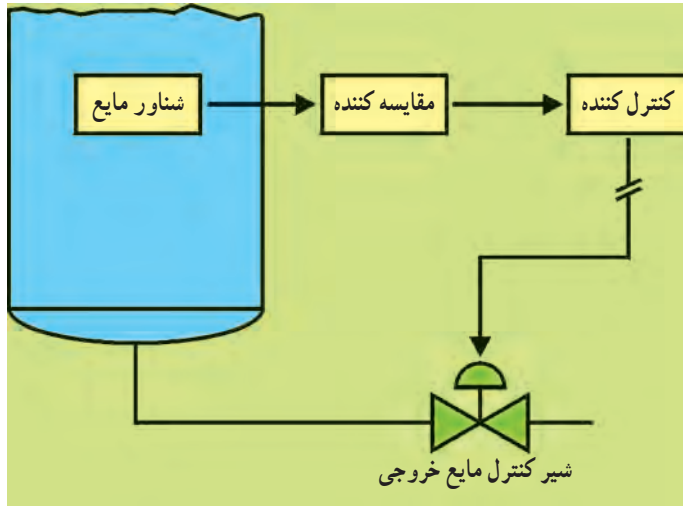
از ساده‌ترین انواع کنترل می‌توان به کنترل سطح مایع درون مخازن برج‌ها و جداکننده‌های^۳ نفت و گاز و ... اشاره نمود. در این ادوات برای جلوگیری از طغیان مایع و یا جلوگیری از تخلیه کامل مخزن نیاز به پیش‌بینی یک سیستم کنترل جهت ارتفاع مایع احساس می‌شود. به‌عنوان مثال چنانچه مخازن جداکننده نفت و گاز فاقد سیستم کنترل سطح مایع باشند، نه‌تنها مخزن دیگر عمل جداسازی را انجام نمی‌دهد، بلکه ممکن است بر اساس افزایش سطح مایع در مخزن طغیانی پیش‌آید و مشکلات عدیده‌ای نیز در پی داشته باشد. به شکل ۸-۴ توجه نمایید.

مکانیزم عملکرد کنترل سطح مایع به سادگی صورت می‌پذیرد. میزان ارتفاع مایع به‌وسیله شناور با مقدار مقرر مقایسه می‌شود و سپس کنترل‌کننده به‌منظور تخلیه بخشی از مایع فرمانی به شیر کنترل صادر می‌کند و در نتیجه حالت تعادل برقرار می‌گردد. البته از فشار ستون سیال نیز جهت تخمین میزان ارتفاع مایع استفاده می‌شود که مکانیسم کلی کنترل یکی است.

۱- Safety valve

۲- Level control

۳- Separator



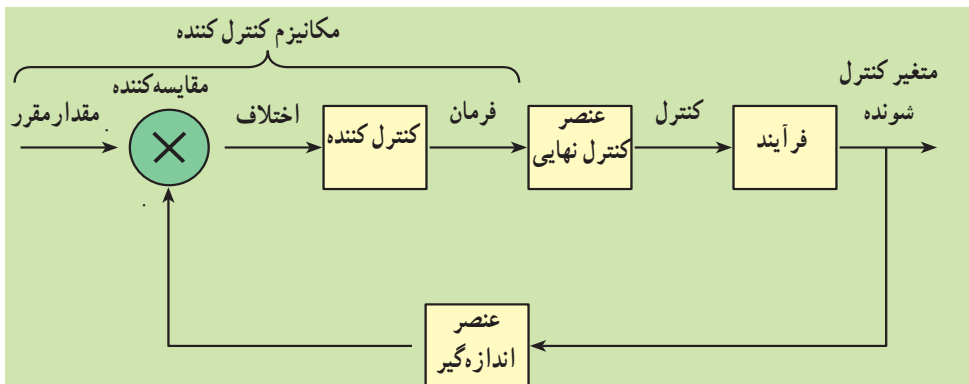
شکل ۸-۴- کنترل مایع در پایین ستون

۸-۶- اجزای یک سیستم کنترل ساده

در حالت کلی اجزای یک سیستم کنترل عبارتند از:

- ۱- فرآیند (عملیاتی که بایستی کنترل روی آن‌ها صورت پذیرد).
- ۲- عنصر اندازه‌گیرنده (دماسنج، فشارسنج و اندازه‌گیر سطح مایع و ...)
- ۳- سیستم کنترل کننده (مشکل از نوع کنترل کننده و مقایسه‌گر می‌باشد).
- ۴- عنصر کنترل نهایی (شیر کنترل).

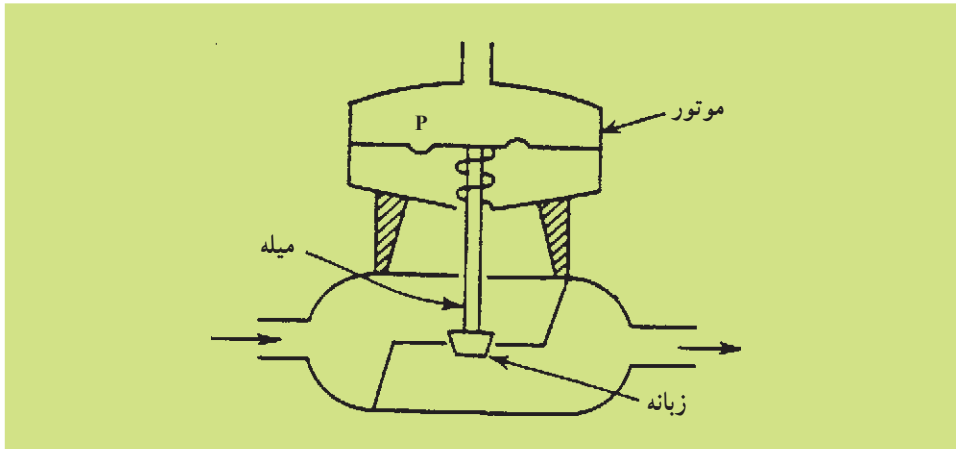
برای درک بهتر سیستم کنترل از نمودار جعبه‌ای در مسایل کنترل فرآیندها استفاده می‌شود. چنین نموداری تجسم رابطه میان علائم مختلف را بسیار آسان‌تر می‌کند شکل ۸-۵ نمودار جعبه‌ای را به‌طور کلی برای انواع کنترل بیان می‌کند.



شکل ۸-۵- نمودار جعبه‌ای یک سیستم کنترل ساده

۸-۷- شیرهای کنترل بادی^۱

شیر کنترل مطابق شکل ۸-۶ شامل یک دستگاه بادی (موتور شیر) است که با تغییر فشار روی دیافراگمی که تحت نیروی یک فنر قرار دارد، میله شیر را حرکت می‌دهد. میله، پیستونی را در دهانه شیر قرار می‌دهد. با افزایش فشار، پیستون به طرف پایین حرکت می‌کند و جریان سیال را داخل شیر محدود می‌سازد. این عمل را بسته شدن با باد^۲ می‌گویند. هم‌چنین شیر را می‌توان طوری ساخت که عمل باز شدن با باد^۳ را انجام دهد. موتورهای شیرها اغلب طوری ساخته می‌شوند که موقعیت میله شیر متناسب با فشار بالای شیر باشد. بیشتر شیرهای تجارتي با تغییر بالای شیر از ۳ psig تا ۱۵ psig از موقعیت کاملاً باز به موقعیت کاملاً بسته حرکت می‌کنند. به‌طور کلی، شدت جریان سیال درون شیر به فشارهای ورودی، خروجی سیال و اندازه شکاف دهانه شیر بستگی دارد.



شکل ۸-۶- شیر کنترل بادی (بسته شدن با باد)

خودآزمایی

- ۱- نمودار جعبه کنترل را برای شکل ۸-۳ رسم کنید.
- ۲- مکانیزم کنترل دما را به‌طور ساده شرح دهید.
- ۳- شیر کنترل به چه منظوری استفاده می‌شود؟
- ۴- در صورت عمل نکردن کنترل سطح مایع در یک مخزن چه اتفاقی خواهد افتاد؟
- ۵- علت استفاده از کنترل‌کننده در فرآیندهای شیمیایی چیست؟

۱- Pneumatic control valves

۲- Air to close

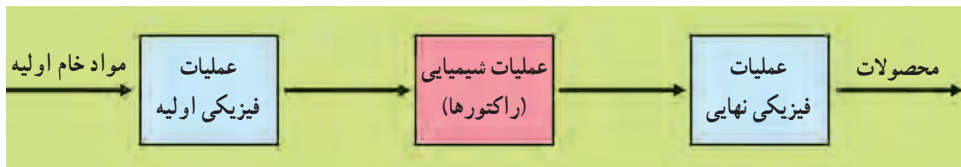
۳- Air to open

راکتورهای شیمیایی

هدف‌های رفتاری: پس از پایان این فصل از فراگیر انتظار می‌رود بتواند:

- ۱- راکتور را تعریف کند.
- ۲- جایگاه راکتورها را در یک واحد صنعتی شرح دهد.
- ۳- انواع راکتورها را شرح دهد.
- ۴- اطلاعات مورد نیاز و مراحل مختلف طراحی راکتور را شرح دهد.

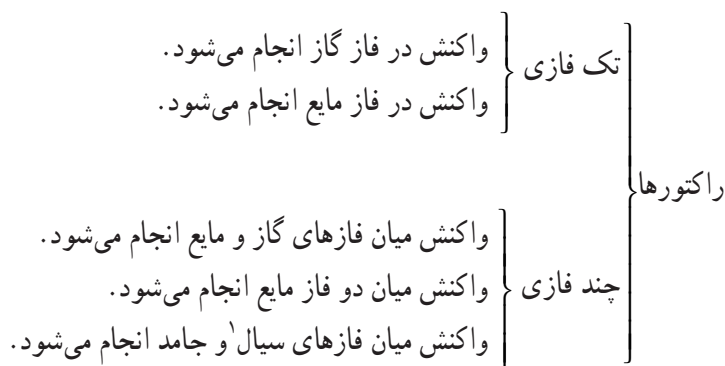
راکتور^۱ (واکنشگاه) شیمیایی دستگاهی است که در آن واکنش یا واکنش‌های شیمیایی نظیر تبدیل، ترکیب یا تجزیه به منظور تولید مواد مورد نظر انجام می‌شود. طبق قرارداد دستگاهی که در آن واکنش سوختن به منظور تولید انرژی انجام می‌شود، راکتور نیست. شکل ۹-۱ عملیات اصلی در یک واحد صنایع شیمیایی را نشان می‌دهد. مواد خام ابتدا از یک رشته فرآیندهای تغییر فیزیکی اولیه از قبیل جداسازی، مخلوط کردن و ... عبور می‌کنند تا آماده ورود به مرحله بعدی یعنی تغییرات شیمیایی شوند. در این مرحله به کمک راکتور یا راکتورهای مناسب واکنش‌های شیمیایی مورد نظر انجام و محصول تهیه می‌شود. به دلیل انجام بعضی از واکنش‌های ناخواسته یا وجود مقداری از مواد خام که در راکتور فرصت انجام واکنش را نداشته و همراه محصول از راکتور خارج شده‌اند، این محصول غالباً قابل عرضه به بازار نمی‌باشد و لازم است عملیات فیزیکی نهایی از قبیل جداسازی، خالص‌سازی و ... بر روی آن انجام شود. در صنایع شیمیایی، آن بخش از عملیات شیمیایی که در راکتورها صورت می‌گیرد مهم‌ترین و حساس‌ترین عملیات کارخانه محسوب می‌گردد.



شکل ۹-۱- بخش‌های اصلی در یک واحد صنعتی شیمیایی

۹-۱- تقسیم بندی راکتورها

بر اساس دیدگاه‌های متفاوت، تقسیم بندی‌های متنوعی برای راکتورهای شیمیایی انجام شده است. یکی از مهم ترین مشخصه‌های واکنش‌های شیمیایی تعداد و نوع فازهایی است که واکنش در آن صورت می‌گیرد. بر این مبنا می‌توان راکتورهای شیمیایی را نیز تقسیم بندی نمود. این تقسیم بندی در زیر آورده شده است:



تقسیم بندی دیگر راکتورها بر اساس نوع عملیات آن‌ها است. این تقسیم بندی به شکل زیر است:

- ۱- راکتورهای ناپیوسته^۲: مثل راکتور تولید پلی کلرید وینیل (PVC) از طریق پلیمر کردن کلرید وینیل.
- ۲- راکتورهای پیوسته یا جریان پایدار^۳: مثل راکتور تولید آمونیاک از طریق واکنش گازهای هیدروژن و نیتروژن.
- ۳- راکتورهای نیمه پیوسته^۴: مثل راکتور هیدروژن دار کردن روغن مایع به منظور اشباع آن و تولید روغن جامد.

۹-۲- راکتورهای ناپیوسته

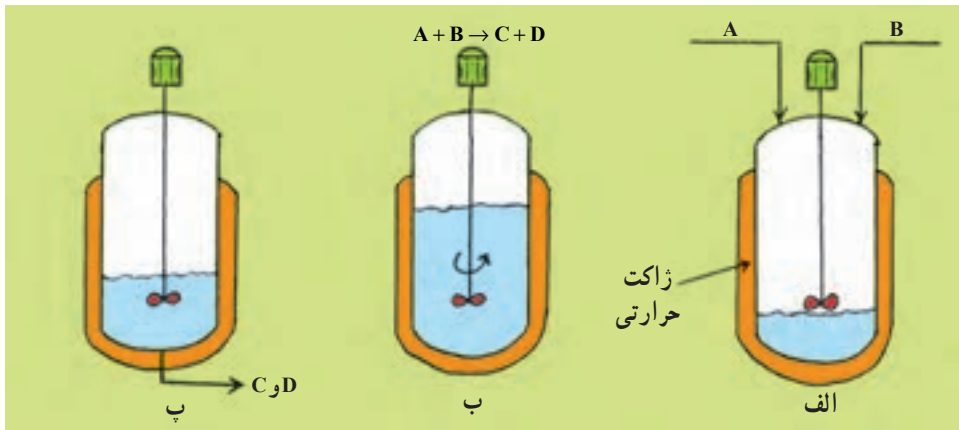
در این راکتورها مواد اولیه به مقدار معین وارد راکتور می‌شود. در زمان مشخص واکنش انجام می‌گیرد و سپس محصول از راکتور تخلیه می‌شود. بدین ترتیب یک دوره کار راکتور که شامل بارگیری، انجام واکنش و تخلیه است پایان می‌پذیرد و راکتور برای انجام واکنش در دوره بعد پاکسازی و آماده سازی می‌شود. (شکل ۹-۲)

۱- سیال منظور مایع یا گاز یا مایع + گاز است.

۲- Batch Reactors

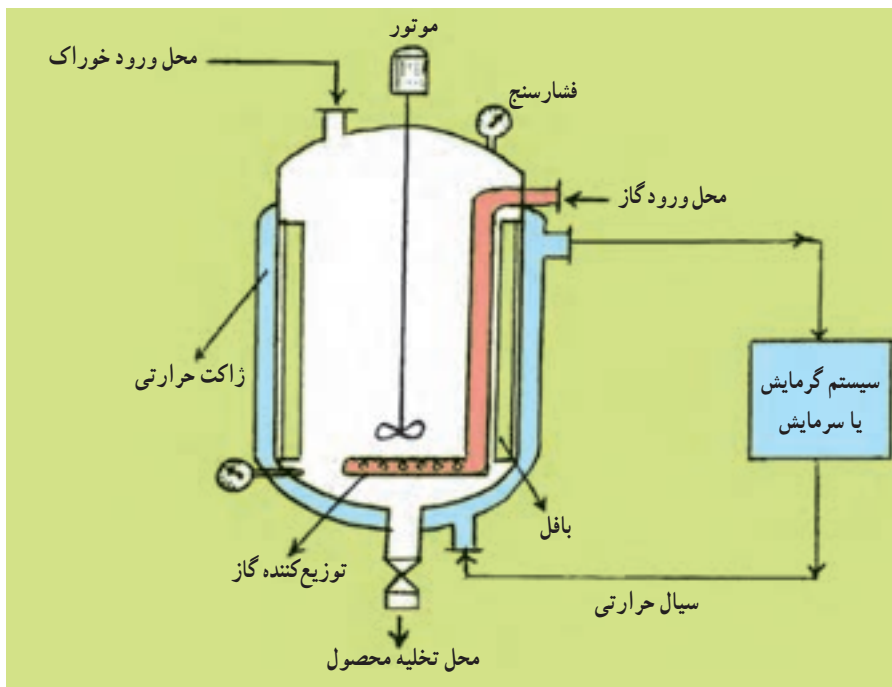
۳- Continuous or Steady Flow Reactors

۴- Semi Batch Reactors



شکل ۹-۲- مراحل مختلف عملیات یک راکتور ناپیوسته. الف- بارگیری ب- انجام واکنش پ- تخلیه

این نوع راکتورها نسبتاً ساده هستند و احتیاج به وسایل کمکی و سیستم‌های کنترل کمتری دارند. در صنعت از این نوع راکتورها برای انجام واکنش‌های کند، که احتیاج به زمان اقامت زیادی دارند، استفاده می‌شود. مدت اقامت مواد واکنش دهنده در داخل راکتور، که طی آن واکنش‌گرها فرصت انجام واکنش را پیدا می‌کنند، زمان اقامت گویند. یکی دیگر از کاربردهای راکتورهای ناپیوسته هنگامی است که هدف تولید محصول به مقدار کم و مقطعی بوده و دایمی نمی‌باشد. شکل ۹-۳ قسمت‌های مختلف یک راکتور ناپیوسته صنعتی را نشان می‌دهد. این راکتورها به‌طور معمول



شکل ۹-۳- یک راکتور ناپیوسته صنعتی

مجهر به موتور و همزن می‌باشند. شکل همزن بسته به نوع سیال و گرانروی آن متفاوت است. قطر پره همزن بسته به نوع آن معمولاً $\frac{1}{3}$ تا $\frac{1}{2}$ قطر راکتور است^۱. این راکتورها غالباً دو جداره می‌باشند. به جداره خارجی این راکتورها، که در آن بسته به گرمازا یا گرماگیر بودن واکنش سیال سرد یا گرم عبور داده می‌شود، ژاکت حرارتی گویند. سیالی که در داخل یک سیکل بسته جریان دارد و فضای داخل ژاکت را پر می‌کند، می‌تواند آب سرد (جهت سرمایش) یا بخار آب (جهت گرمایش) یا روغن (برای هر دو منظور) باشد. معمولاً تعداد ۴ تیغه عمودی در جداره داخلی راکتور نصب می‌شود. این تیغه‌ها با فل^۲ نام دارند و باعث می‌شوند به هنگام چرخش پره‌های همزن، در مقابل حرکت دورانی سیال مانع ایجاد شده، آشفتگی شدیدی به وجود آمده، اختلاط به نحو مطلوب انجام شود. ارتفاع بافل باید به گونه‌ای باشد که از سطح مایع (که معمولاً $\frac{2}{3}$ حجم راکتور را پر می‌کند) بالاتر باشد.

۹-۳- راکتورهای پیوسته

در این نوع راکتورها، مواد اولیه به‌طور دایم وارد راکتور می‌شود و پس از انجام واکنش محصول، پیوسته از راکتور خارج می‌شود. این گونه راکتورها هنگامی در صنعت مورد استفاده قرار می‌گیرند که هدف تولید مقدار زیادی محصول به‌طور دایم باشد در ضمن راکتورهای پیوسته برای انجام واکنش‌های سریع مناسب‌تر می‌باشند.

این نوع راکتورها نیاز به سیستم‌های کمکی و کنترلی متنوع‌تر و دقیق‌تر دارند. به کمک سیستم‌های کنترل دما، فشار، غلظت و ... تولید محصول با کیفیت بهتر امکان‌پذیر می‌شود. از این راکتورها در بسیاری از صنایع شیمیایی، به خصوص صنایع نفت، گاز و پتروشیمی استفاده می‌شود. راکتورهای پیوسته به دو شکل راکتورهای لوله‌ای^۱ و راکتورهای تانکی^۲ ساخته می‌شوند. شکل ۹-۴ این دو نوع راکتور را نشان می‌دهد. در شرایط ایده‌آل، در راکتور لوله‌ای، ذرات مسیر مستقیم را طی می‌کنند و واکنش در غیاب همزن انجام می‌شود. ولی در راکتور تانکی، مواد در داخل راکتور کاملاً هم‌زده و مخلوط می‌شوند. یکی از کاربردهای مهم راکتورهای لوله‌ای انجام واکنش‌های ناهمگن در حضور کاتالیزگر جامد می‌باشد. زمان اقامت برای راکتورهای پیوسته (جریان پایدار) از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$\text{زمان اقامت} = \frac{\text{حجم راکتور (m}^3\text{)}}{\text{دبی حجمی}^5 \text{ خوراک (m}^3\text{/h)}}$$

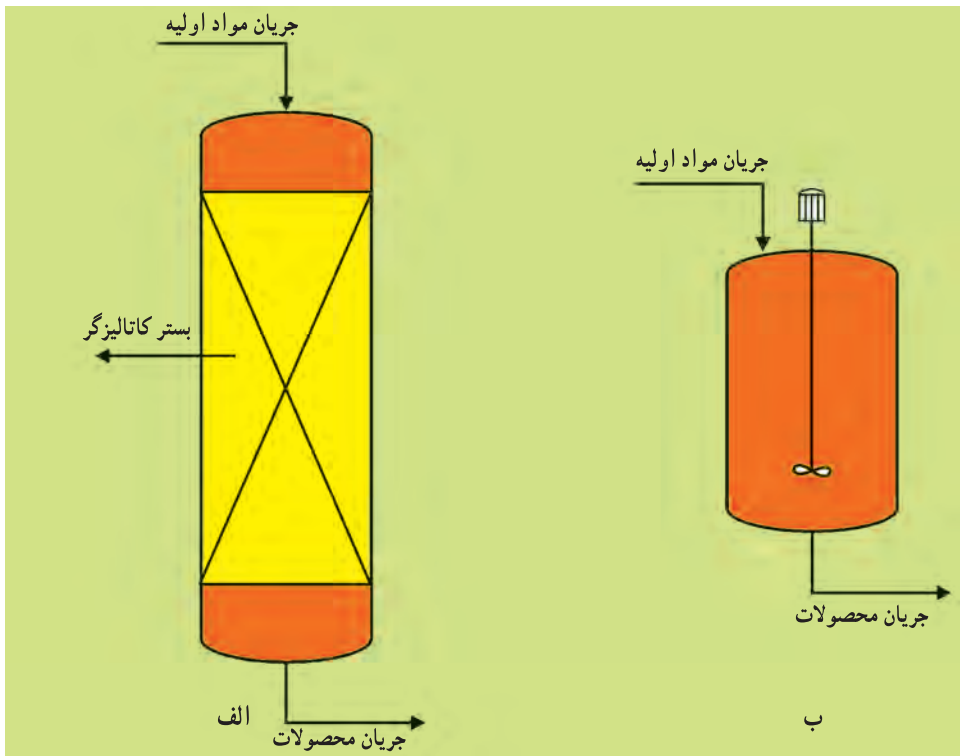
۱- در خصوص انواع همزن‌ها در فصل بعد توضیح داده شده است.

۲- Baffle

۳- Plug Flow Reactor

۴- Mixed Flow Reactor

۵- Volumetric Flow Rate



شکل ۹-۴- دو نوع راکتور پیوسته الف - لوله‌ای (با بستر کاتالیزگر) ب - تانکی

مثال ۱- جرم مخصوص خوراک یک راکتور جریان پایدار لوله‌ای به قطر ۱ m و ارتفاع ۵ m برابر 1000 kg/m^3 می‌باشد. اگر سرعت جریان جرمی خوراک 500 kg/min باشد، زمان اقامت مواد در داخل راکتور را به دست آورید.

$$D = 1 \text{ m}$$

$$h = 5 \text{ m}$$

$$\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$$

$$\dot{m} = 500 \text{ kg/min}$$

حل:

$$\text{سرعت جریان حجمی خوراک} = \dot{V} = \frac{\dot{m}}{\rho} \Rightarrow \dot{V} = \frac{500 \text{ kg/min}}{1000 \text{ kg/m}^3} = 0.5 \text{ m}^3/\text{min}$$

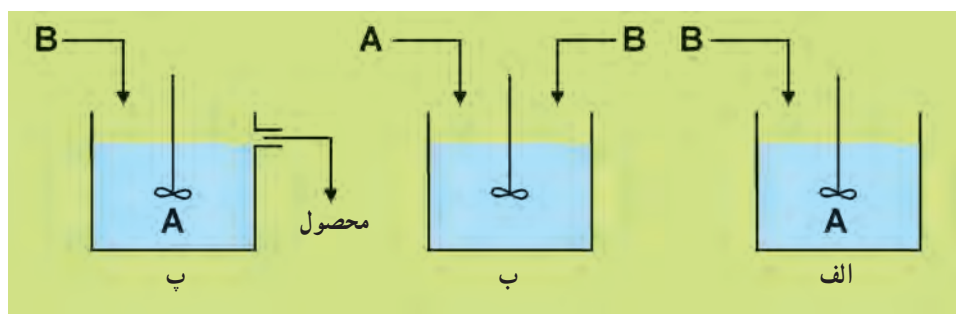
$$\text{حجم راکتور} = V = \frac{\pi D^2}{4} \times L = \frac{3.14 \times (1)^2}{4} \times 5 = 3.925 \text{ m}^3$$

$$\text{زمان اقامت} = t = \frac{3.925 \text{ m}^3}{0.5 \text{ m}^3/\text{min}} = 7.85 \text{ min}$$

یعنی به طور متوسط ۷ دقیقه و ۵۱ ثانیه طول می‌کشد تا ذرات از داخل راکتور عبور کنند.

۹-۴- راکتورهای نیمه پیوسته

این نوع راکتورها دارای انواع متنوعی هستند که سه نوع آن‌ها در شکل ۹-۵ نشان داده شده است. در نوع متداول آن (الف) یکی از مواد اولیه ابتدا در داخل راکتور بارگیری و سپس به تدریج ماده یا مواد اولیه دیگر به آن اضافه می‌شود. شکل (ب) نوع دیگری از راکتورهای نیمه پیوسته را نشان می‌دهد که مواد اولیه به طور همزمان به راکتور وارد می‌شود ولی تا پایان واکنش هیچ ماده‌ای از راکتور خارج نمی‌شود. در شکل (پ) نیز یکی از مواد اولیه در داخل راکتور بارگیری شده است و ماده اولیه دیگر به تدریج به آن اضافه می‌گردد و همزمان با آن محصول نیز از راکتور خارج می‌شود.



شکل ۹-۵- انواع راکتورهای نیمه پیوسته

۹-۵- طراحی راکتور

یک راکتور باید به نحوی عمل کند که محیط مناسب جهت انجام واکنش را فراهم نماید. منظور از محیط مناسب محیطی است که شرایط مورد نیاز واکنش نظیر دما، فشار، غلظت، زمان اقامت و چگونگی حرکت سیالات به نحوی باشد که محصول مورد نظر با بهترین کیفیت ممکن و بیشترین بازده به دست آید. جهت دستیابی به این هدف لازم است در طراحی و انتخاب راکتورهای مورد نظر، اطلاعات، دانش و تجربه در زمینه‌های زیر را به کار گرفت.

- ترمودینامیک: وضعیت واکنش از نظر رسیدن به نقطه تعادل و گرمای واکنش را مشخص می‌کند.
- سینتیک: سرعت و نحوه انجام واکنش را تعیین می‌کند.
- مکانیک سیالات: با توجه به اطلاعات سینتیکی و ترمودینامیکی، سرعت و نحوه حرکت سیالات در داخل راکتور را مشخص می‌کند.
- انتقال حرارت: چگونگی گرم کردن یا سرد کردن راکتور را تعیین می‌کند.

— انتقال جرم: با توجه به اطلاعات سینتیکی و ترمودینامیکی روش اختلاط مواد و جداسازی مخلوط‌ها را مشخص می‌کند.

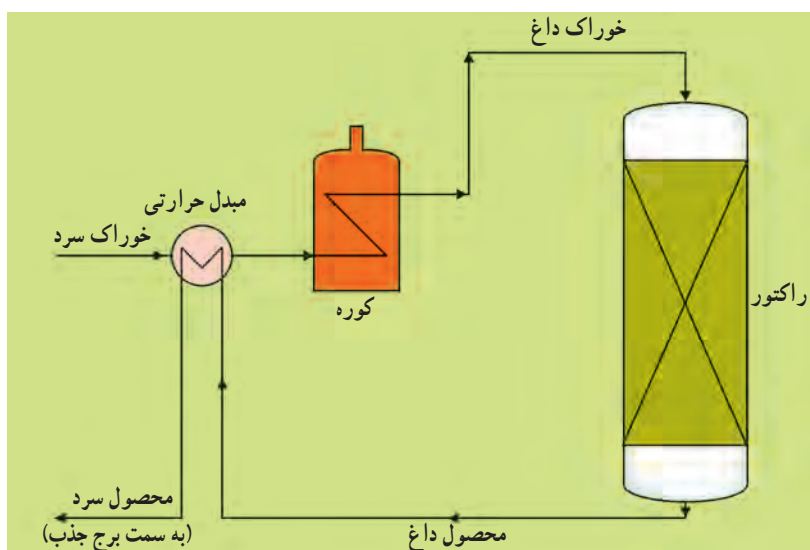
— اقتصاد: با استفاده از زمینه‌های فوق‌الذکر، در نهایت طراحی راکتور باید به نحوی انجام شود که واحد صنعتی بیشترین سوددهی را داشته باشد.

اصولاً مهم‌ترین عامل در طراحی یک واحد صنعتی، توجه به مسایل اقتصادی است. بدین معنی که طراحی قسمت‌های مختلف یک کارخانه باید به گونه‌ای انجام شود که هزینه‌های ساخت و عملیات آن حداقل و مرغوبیت و در نتیجه قیمت محصول آن حداکثر باشد. بنابراین طراحی راکتور یا راکتورهای یک واحد صنعتی مستقل از بخش‌های عملیات فیزیکی مفید نخواهد بود. به عبارت دیگر در یک طرح اقتصادی تنها هزینه‌های مربوط به راکتور شیمیایی نیست که باید به حداقل برسد، زیرا ممکن است بتوان هزینه راکتور را کاهش داد ولی این امر باعث افزایش هزینه‌های جداسازی ناخالصی‌های همراه محصول گردد و در مجموع باعث افزایش هزینه‌های عملیات کل کارخانه شود. بنابراین در یک واحد صنعتی باید تمامی دستگاه‌ها از جمله راکتورها را به گونه‌ای طراحی نمود که سوددهی آن واحد حداکثر شود. طراحی راکتور در واقع مرحله اصلی طراحی یک فرآیند شیمیایی است.

پس از طراحی راکتور، نوبت به طراحی سیستم‌های جداسازی (عملیات فیزیکی اولیه و نهایی) می‌رسد. در این مرحله دستگاه‌هایی نظیر برج جذب، برج تقطیر، فیلتر، کریستالیزور، خشک‌کن، و ... طراحی می‌شوند، در پایان این مرحله دمای عملیاتی کلیه دستگاه‌ها از جمله راکتور مشخص شده است و این آمادگی به وجود آمده است تا مرحله سوم طراحی، یعنی طراحی شبکه مبدل‌های حرارتی انجام شود. این طراحی باید به گونه‌ای انجام شود که اتلاف انرژی به حداقل برسد. برای مثال اگر خروجی راکتور گرم باشد و بخواهیم آن را سرد کرده به برج جذب بفرستیم و ورودی راکتور سرد باشد و بخواهیم آن را گرم کنیم، این دو جریان را وارد یک مبدل حرارتی می‌نماییم تا با یکدیگر تبادل حرارت نموده از اتلاف انرژی جلوگیری شود. شکل ۹-۶ این طرح را نشان می‌دهد. البته باید توجه داشت که ورودی راکتور همچنان نیاز به کوره جهت رسیدن به دمای مورد نظر را دارد، اما با عبور از مبدل حرارتی، از بار حرارتی کوره کاسته می‌شود.

آخرین مرحله طراحی مربوط به طراحی سیستم‌های سرمایش و گرمایش می‌باشد. معمولاً برج‌های خنک‌کننده یا چیلرها جهت سرمایش و دیگ‌های تولید بخار یا کوره‌های روغن داغ جهت گرمایش به کار می‌روند. این گونه تجهیزات را تسهیلات جانبی^۱ می‌نامند. مراحل مختلف طراحی یک فرآیند شیمیایی که به الگوی پوست پیازی معروف است در شکل ۹-۷ نشان داده شده است.

در کلیه مراحل طراحی یک فرآیند، مهندسين شيمي نقش اصلي را دارند، اما طراحی راکتورها مبحثی است که با توجه به اطلاعات مورد نیاز تنها در حیطه فعالیت مهندسين شيمي می باشد و شاید بتوان گفت تنها زمینه ای است که مهندسي شيمي را به عنوان رشته جداگانه ای از رشته های مهندسي توجیه می نماید.



شکل ۹-۶- نمونه ای از طراحی شبکه مبدل حرارتی به منظور جلوگیری از اتلاف انرژی



شکل ۹-۷- مراحل مختلف طراحی یک فرآیند (الگوی پوست پیازی)

خودآزمایی

- ۱- راکتور شیمیایی را تعریف کنید و با رسم شکل، بخش‌های اصلی یک کارخانه شیمیایی و موقعیت راکتور در آن را شرح دهید.
- ۲- انواع مهم راکتورهای شیمیایی را فقط نام ببرید. الف) بر اساس فاز مواد واکنش دهنده، ب) بر اساس نوع عملیات.
- ۳- مراحل مختلف عملیاتی در یک راکتور ناپیوسته را نام ببرید، دو کاربرد این نوع راکتورها را بنویسید.
- ۴- دو نوع راکتور پیوسته (جریان پایدار) را نام ببرید. تفاوت آن‌ها را بیان کنید و دو کاربرد راکتورهای پیوسته را بنویسید.
- ۵- سه نوع از راکتورهای نیمه پیوسته را با رسم شکل شرح دهید.
- ۶- شش زمینه علمی و مهندسی که در طراحی راکتور به کار می‌روند را نام ببرید و بگویید در هر مورد چه موضوعاتی مشخص می‌گردد؟
- ۷- در هر مورد نوع راکتور را از نظر فاز و عملیات مشخص کنید:
 - الف) گاز کلر از داخل اسید استیک مایع در دمای 80°C عبور می‌کند و در حضور کاتالیزگر ایندیرید استیک (مایع)، منوکلرواستیک اسید (مایع) تولید می‌شود. در صورتی که بخشی از گاز کلر واکنش انجام ندهد و از بالای راکتور خارج شود آن را به مخازن محتوی سود هدایت می‌نمایند تا جذب آن گردد.
 - ب) جهت تولید گاز سنتز (مخلوط CO و H_2) گاز متان با بخار آب در دمای بالا از روی نوعی کاتالیزگر عبور داده می‌شود.
 - ج) وینیل کلرید را به همراه کاتالیزگر مناسب مایع وارد راکتور پلیمریزاسیون می‌نماییم سپس با تنظیم دما و فشار موردنظر، زمان لازم جهت انجام واکنش پلیمریزاسیون را به آن می‌دهیم.
- ۸- نحوه عملکرد راکتور را در دو جمله توضیح دهید.

مخلوط کن ها و دستگاه های کاهش اندازه

- هدف های رفتاری: پس از پایان این فصل از فراگیر انتظار می رود بتواند:
- ۱- طرز کار انواع مخلوط کن ها و دستگاه های کاهش اندازه مواد را شرح دهد.
 - ۲- محدوده کاربرد هریک از این دستگاه ها را توضیح دهد.

همزدن عبارت است از ایجاد حرکت و آشفتگی در مایع یا جامد. یکی از اهداف همزدن، اختلاط دو یا چند ماده است. اختلاط می تواند به منظور انجام یک تغییر فیزیکی یا شیمیایی انجام شود. در اکثر صنایع شیمیایی و در بسیاری از صنایع دیگر از عملیات اختلاط استفاده می شود. در صنایع غذایی، دارویی، کاغذ، لاستیک، پلاستیک و حتی نفت و گاز و پتروشیمی این عملیات کاربرد دارد. در اغلب واکنش های شیمیایی، به خصوص واکنش های چند فاز، نحوه، شدت و مدت زمان اختلاط مواد در بازده واکنش تأثیر چشمگیر دارد. اگر اختلاط به شکل مطلوب انجام نشود، برخورد میان مولکول های مواد واکنش دهنده به نحو مطلوب انجام نمی شود و در نتیجه یا واکنش انجام نخواهد شد یا بازده آن کم تر از حد انتظار خواهد بود.

نکته مهم آن است که در بسیاری از موارد همزدن شدید یا طولانی، علاوه بر اتلاف انرژی، بر کیفیت محصول نیز اثر نامطلوب می گذارد. برای مثال در فرآیند تشکیل کریستال^۱ یا بعضی فرآیندهای بیولوژیکی، افزایش توان همزن باعث شکسته شدن دانه های کریستال یا صدمه دیدن میکروارگانیسم ها و در نهایت کاهش کیفیت محصول می شود. همچنین در بسیاری از واکنش های شیمیایی اگر زمان اختلاط بیش از حد طولانی شود، محصول شروع به تجزیه شدن می نماید و به مواد ناخواسته تبدیل می گردد. بدین ترتیب بازده واکنش کاهش می یابد.

۱۰-۱- انواع اختلاط

عملیات اختلاط را می توان بدون توجه به ماهیت صنعتی که این عملیات در آن انجام می شود،

^۱ - Crystallization

به شش گروه تقسیم بندی کرد :

– اختلاط دو یا چند مایع محلول (یک فاز)

– اختلاط دو یا چند مایع نامحلول (دو یا چند فاز)

– تعلیق جامد در مایع

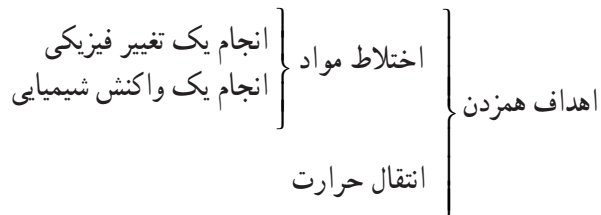
– پخش گاز در مایع

– اختلاط سه فاز (جامد – مایع – گاز)

– اختلاط جامدات

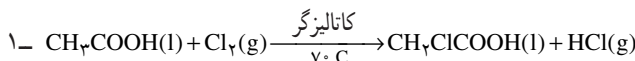
باید توجه داشت که هریک از عملیات فوق می تواند صرفاً جنبه فیزیکی داشته باشد، برای مثال در بسیاری از فرآیندها، هدف از اختلاط، انحلال یک جامد در مایع یا تولید امولسیون یا تولید سوسپانسیون یا ... می باشد. هم چنین عملیات اختلاط می تواند به منظور انجام یک واکنش شیمیایی انجام شود. برای مثال در واکنش کلردار کردن استیک اسید به منظور تولید منوکلرواستیک اسید، چگونگی پخش گاز کلر در داخل استیک اسید تأثیر عمده بر بازده واکنش دارد^۱.

نکته قابل توجه آن که همواره همزدن به منظور اختلاط دو یا چند ماده انجام نمی شود بلکه ممکن است با هدف بهبود وضعیت انتقال حرارت انجام گیرد. برای مثال : به هنگام پختن آش در یک دیگ بزرگ، همزدن دائم محتویات داخل دیگ الزامی است زیرا موادی که با جداره و به خصوص کف ظرف در تماس هستند حرارت بیشتری دیده، مواد واقع در قسمت های میانی حرارت کمتری می بینند. با همزدن آش، انتقال حرارت به کلیه مواد داخل دیگ، یکسان انجام خواهد شد. با این توضیحات می توان اهداف همزدن را در نمودار زیر خلاصه نمود :



جهت آشنایی بیشتر با ۶ نوع اختلاط مواد، لازم است در خصوص هریک توضیح مختصر داده شود :

۱-۱-۱- اختلاط دو یا چند مایع محلول (یک فاز): در بسیاری از فرآیندها لازم



است چند مایع را که به‌طور کامل در یکدیگر محلول هستند، با یکدیگر مخلوط کنیم تا محصولی کاملاً یک‌نواخت به‌دست آید. در صنعت به این عمل «بلندینگ»^۱ می‌گویند. در این عمل هیچ‌گونه واکنش شیمیایی انجام نمی‌شود. در آخرین مراحل تولید محصولات نفتی نظیر نفت سفید، بنزین، گازوئیل و روغن‌های موتور لازم است مواد مختلف با محصول مورد نظر مخلوط شود تا آماده عرضه به بازار گردد. کاربرد دیگر این نوع اختلاط هنگامی است که وقتی دو یا چند مایع در یکدیگر حل می‌شوند، واکنش شیمیایی نیز انجام می‌دهند. در این حالت اختلاط باید به‌نحوی انجام شود که برخورد کافی در سطح مولکول‌های مواد واکنش دهنده پدید آید.

۱-۱-۲- اختلاط دو یا چند مایع نامحلول (دو یا چند فاز): هنگامی که دو فاز مایع نامحلول هم‌زده می‌شوند، معمولاً مایعی که حجم کمتری دارد به‌صورت ذرات معلق در می‌آید و در داخل مایعی که حجم بیشتری دارد و به شکل یک فاز پیوسته است پراکنده می‌شود. در صورت توقف عمل اختلاط، دو فاز از یکدیگر جدا می‌شوند. هدف از این نوع اختلاط سرعت بخشیدن به نفوذ مولکول‌های مایعات در یکدیگر است. این عملیات در فرآیند استخراج توسط حلال کاربرد دارد. هم‌چنین در تهیه امولسیون‌های^۲ غذایی و دارویی از این نوع اختلاط استفاده می‌شود. در ساخت این نوع امولسیون‌ها سعی می‌شود با استفاده از مواد مختلف مخلوط نسبتاً پایداری که زمان جدا شدن فازهای آن تا حد ممکن طولانی است تهیه شود.

۱-۱-۳- تعلیق جامد در مایع: این نوع اختلاط در فرآیندهایی نظیر تشکیل کریستال، واکنش میان جامد و مایع، واکنش در فاز مایع به کمک کاتالیزگر جامد، انحلال جامد در مایع و ... به‌کار می‌رود. در این عملیات باید ذرات جامد در داخل مایع به‌خوبی پراکنده شوند و از ته‌نشین شدن ذرات سنگین یا به‌سطح آمدن ذرات سبک جلوگیری شود. بدین ترتیب تماس لازم میان مولکول‌های جامد و مایع و نفوذ مولکول‌های جامد در فاز مایع به‌منظور انحلال جامد یا انجام واکنش شیمیایی به‌نحو مطلوب انجام می‌شود. هم‌چنین این نوع اختلاط جهت پراکنده کردن ذرات بسیار ریز جامد در داخل فاز مایعی که گرانروی بالایی دارد به‌کار می‌رود. برای مثال در ساخت لاستیک اتومبیل باید ذرات ریز کربن در داخل لاستیک مذاب پخش شوند. به‌عبارت دیگر در این فرآیند نوعی سوسپانسیون پایدار ساخته می‌شود.

۱-۱-۴- پخش گاز در مایع: فرآیندهای صنعتی مهم نظیر اکسایش، هیدروژن‌دار کردن (در غیاب کاتالیزگر جامد) و تخمیر بیولوژیکی از طریق تماس گاز با مایع انجام می‌شود. مهم‌ترین عامل در این نوع فرآیندها، اختلاط گاز و مایع است به‌نحوی که حباب‌های گاز در فاز مایع کاملاً پراکنده شوند. هرچه اندازه حباب‌های گاز کوچک‌تر و مدت زمان بیشتری در فاز مایع اقامت داشته

باشند، نفوذ مولکول‌های گاز در فاز مایع بهتر انجام می‌شود و بازده واکنش افزایش می‌یابد. اگر عمل همزدن متوقف شود، فاز گاز به سرعت از فاز مایع جدا می‌گردد. بنابراین در واکنش‌های گاز - مایع نقش عملیات اختلاط بسیار حایز اهمیت است.

۱۰-۱-۵- تماس سه فاز: در بعضی از فرآیندها نظیر هیدروژن‌دار کردن (در حضور کاتالیزگر جامد) و تشکیل کریستال به روش تبخیر، سه فاز جامد، مایع و گاز با یکدیگر در تماس می‌باشند. طراحی این نوع دستگاه‌ها بسیار مشکل است زیرا اختلاط باید به گونه‌ای انجام شود که مولکول‌های مایع و گاز همزمان در سطح جامد حضور داشته باشند. برای این منظور فاز گاز باید به حباب‌های ریز تقسیم شوند و زمان اقامت این حباب‌ها داخل فاز مایع کافی باشد، ضمناً ذرات جامد نباید در کف ظرف ته‌نشین شوند.

۱۰-۱-۶- اختلاط جامدات: در انواع عملیات اختلاط که تا این جا بیان شد، فاز مایع حضور داشت. در بسیاری از فرآیندهای صنعتی نیاز است تا در غیاب فاز مایع، دو یا چند جامد (غالباً به شکل پودر) مخلوط شوند. یکی از مشکلات اختلاط جامدات آن است که ذرات جامد تمایل به از هم جدا شدن دارند. با وجود مایع، عمل جدا شدن فازها هنگامی اتفاق می‌افتد که همزدن متوقف شود؛ در حالی که در اختلاط جامدات عمل جدا شدن فازها به هنگام همزدن رخ می‌دهد. عوامل مؤثر در جدا شدن دو فاز جامد از یکدیگر دانسته و اندازه ذرات جامد است. مخلوط‌کن‌های فاز جامد باید به گونه‌ای طراحی شوند که تا حد ممکن از پدیده جدا شدن فازهای جامد ممانعت به عمل آید.

۱۰-۲- انواع مخلوط‌کن‌ها

مخلوط‌کن‌ها را می‌توان به دو دسته کلی تقسیم‌بندی نمود:

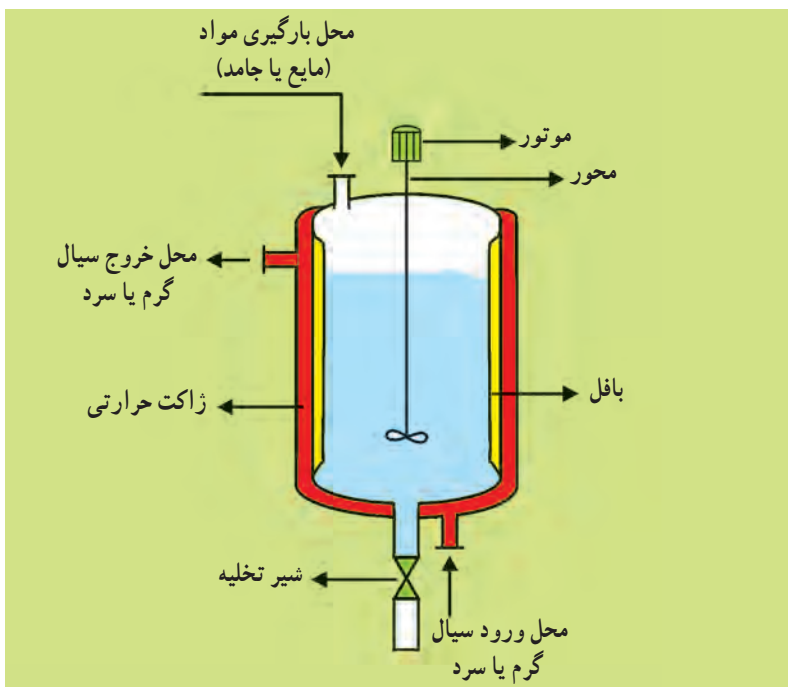
مخلوط‌کن‌های فاز مایع که در آن‌ها حداقل یک فاز مایع وجود دارد.

مخلوط‌کن‌های فاز جامد که در آن‌ها فاز مایع یا گاز وجود ندارد.

۱۰-۲-۱- مخلوط‌کن‌های فاز مایع: در این نوع دستگاه‌ها حداقل یک فاز مایع وجود دارد و در کنار آن فازهای دیگر نیز می‌توانند حضور داشته باشند. دستگاه‌های گوناگونی جهت انجام اشکال مختلف اختلاط در فاز مایع وجود دارد، اما مهم‌ترین و پرکاربردترین آن‌ها مخزن مجهز به همزن مکانیکی^۱ است. شکل ۱۰-۱ یک نمونه از این نوع دستگاه‌ها را نشان می‌دهد. همان‌طور که در فصل قبل (شکل ۹-۳) بیان شد، اگر در این دستگاه‌ها واکنش شیمیایی انجام شود، به آن‌ها راکتور ناپیوسته^۲ گویند.

۱- Mechanically - Agitated Vessel

۲- Batch Reactor



شکل ۱-۱۰. یک نمونه از مخزن مجهز به همزن مکانیکی جهت اختلاط مایع - مایع یا جامد - مایع

مخزن معمولاً به شکل استوانه است و قسمت بالای آن می‌تواند باز یا بسته باشد. کف مخزن را به شکل محدب (غیر مسطح) می‌سازند تا به هنگام تخلیه، تمامی مواد داخل مخزن به آسانی خارج شود. هم‌چنین شکل محدب کمک می‌کند تا از پدید آمدن سیال ساکن در گوشه‌ها جلوگیری شود. غالباً $\frac{2}{3}$ حجم مخزن را از مایع پر می‌کنند و عمق مایع معمولاً برابر قطر تانک است. در مورد اختلاط گاز - مایع ممکن است عمق مایع حتی تا سه برابر قطر مخزن طراحی شود تا گاز به مدت کافی در داخل مایع اقامت نماید (شکل ۱-۲). برای آن‌که فاز گاز به شکل حباب‌های ریز وارد مایع شود از یک توزیع کننده گاز^۱ استفاده می‌شود. توزیع کننده گاز می‌تواند یک لوله ساده یا شبکه‌ای از لوله‌ها به اشکال مختلف باشد که سوراخ‌های ریزی بر روی آن‌ها ایجاد شده است. به کمک توزیع کننده، گاز به صورت حباب‌های کوچک در زیر پره تزریق می‌گردد. با چرخش پره^۲ حباب‌های گاز در داخل مایع پخش می‌شوند. در چنین حالتی، جهت اختلاط بیشتر مواد از چند پره بر روی یک محور^۳ استفاده می‌شود.

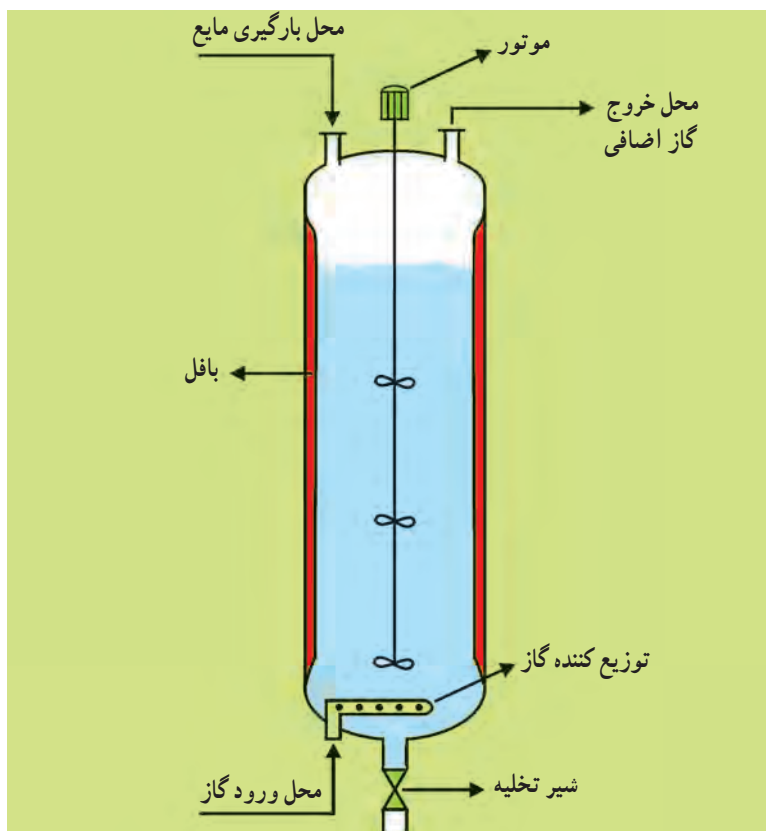
بسته به نوع اختلاط و نیاز عملیات، بعضی تجهیزات جانبی برای مخزن مجهز به همزن مکانیکی در نظر می‌گیرند. موتور که عامل دوران محور و پره متصل به آن است می‌تواند به جعبه‌دنده^۴ دور متغیر متصل باشد تا بتوان سرعت دوران پره را به دلخواه تنظیم کرد. ژاکت حرارتی در همه مخازن

۱- Sparger

۲- Impeller

۳- Shaft

۴- Gearbox



شکل ۱۰-۲. یک نمونه از مخزن مجهز به همزن مکانیکی جهت اختلاط گاز مایع

پیش‌بینی نمی‌شود و فقط هنگامی در طراحی و ساخت مورد توجه قرار می‌گیرد که ضمن انجام عملیات اختلاط نیاز باشد تا محتویات مخزن گرم یا سرد شوند. همچنین نصب دماسنج و فشارسنج بستگی به شرایط عملیات دارد. غالباً جهت ایجاد آشفتگی بیشتر در مایع و جلوگیری از حرکت دورانی و یک‌نواختی آن، ۴ عدد تیغه به نام بافل (مانع) در جداره داخلی مخزن نصب می‌شود. در مواردی که گرانیوی سیال زیاد است و مایع حالت خمیری دارد به بافل نیاز نیست زیرا چرخش همزمان توده سیال رخ نخواهد داد.

انواع پره‌ها با اشکال مختلف جهت همزدن مایعات به کار برده می‌شوند. پره‌های ملخی^۱، توربینی^۲ و پارویی^۳ از مهم‌ترین انواع پره‌ها هستند که برای همزدن مایعات با گرانیوی پایین به کار می‌روند. این نوع همزن‌ها با سرعت زیاد دوران می‌کنند. پره‌های لنگری^۴ و حلزونی^۵ برای همزدن مایعات با گرانیوی زیاد به کار می‌روند. این دو نوع همزن با سرعت کم دوران می‌کنند. شکل‌های ۱-۳ انواع این پره‌ها را نشان می‌دهد.

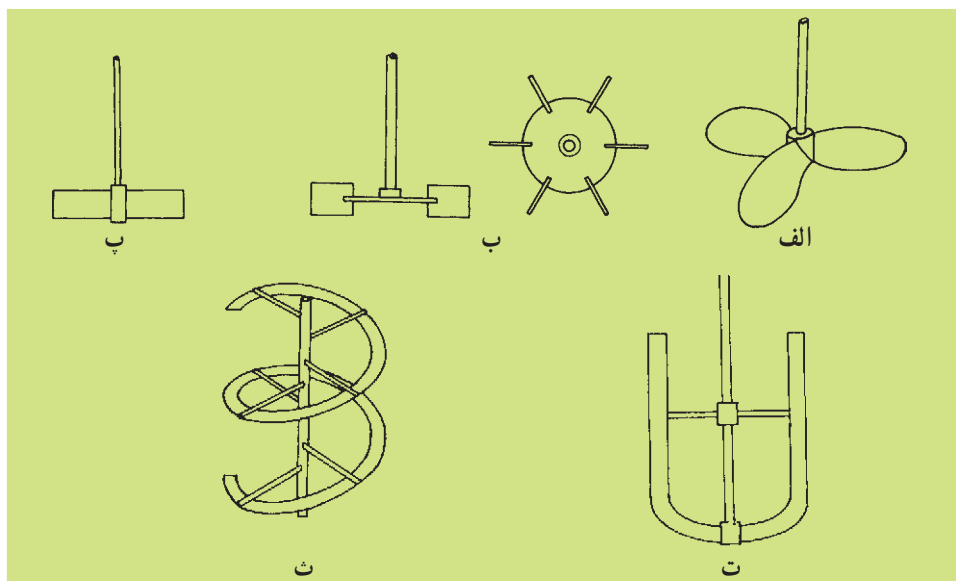
۱- Propeller

۲- Turbine

۳- Paddle

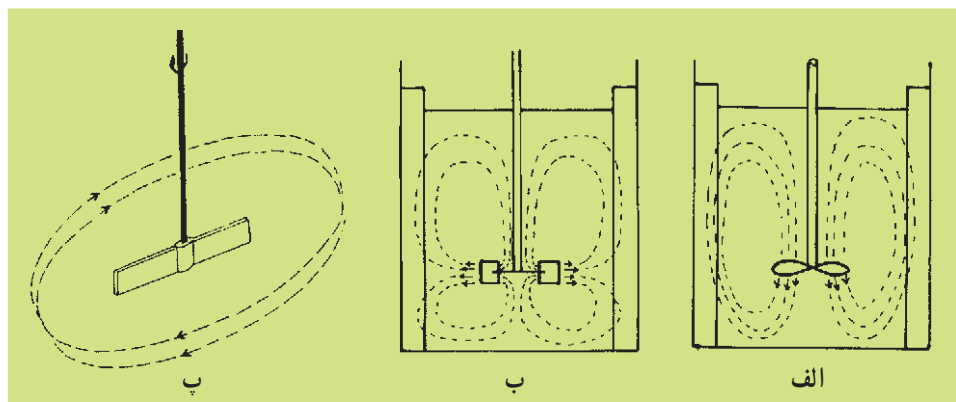
۴- Anchor

۵- Helical



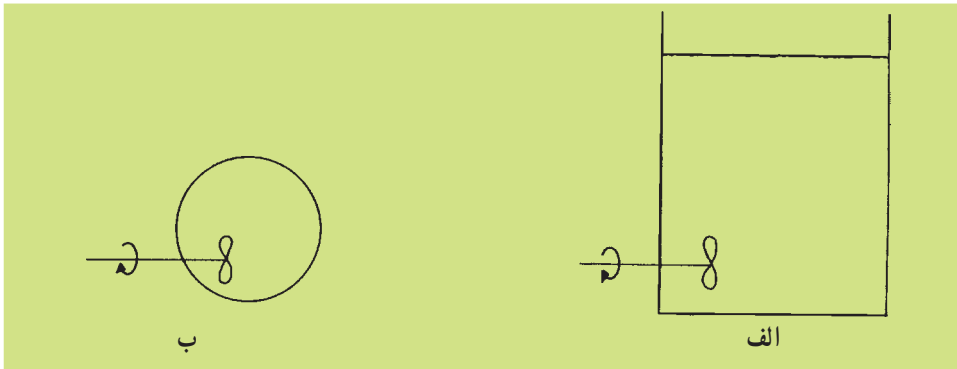
شکل ۱-۳- انواع پره‌ها. الف - ملخی ب - توربینی (نمای پهلو و بالا) پ - پارویی ت - لنگری ث - حلزونی

شکل ۱-۴- الف مسیر جریان سیال را به هنگام دوران یک پره ملخی نشان می‌دهد. همان طور که مشاهده می‌شود این نوع پره سیال را در امتداد محور به جریان می‌اندازد به همین دلیل به این نوع پره «جریان محوری» گویند. بسته به جهت نصب پره ملخی، جهت جریان محوری می‌تواند به سمت پایین (همانند شکل ۱-۴) یا به سمت بالا باشد. برای مخازن بسیار بزرگ، جهت انجام

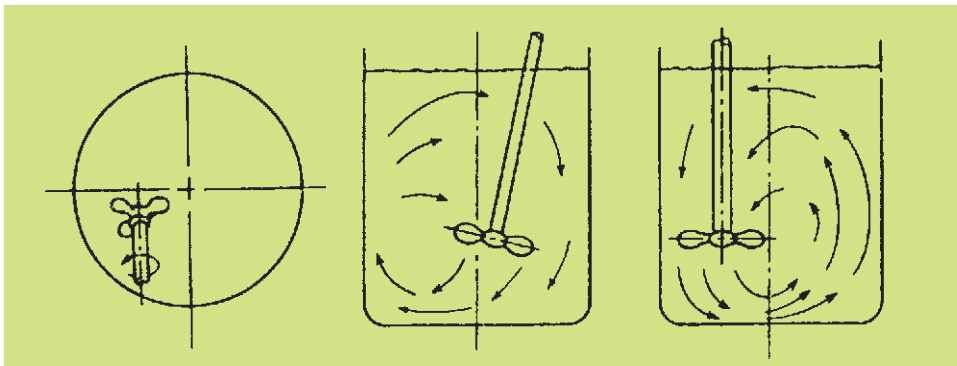


شکل ۱-۴- انواع جریان‌های سیالات به هنگام همزدن. الف - جریان محوری در پره ملخی
ب - جریان شعاعی در پره توربینی پ - جریان مماسی در پره پارویی

عملیات بلندینگ این نوع همزن را به صورت افقی از کنار مخزن وارد می کنند (شکل ۱-۵). بدین ترتیب به کمک فقط یک پره، که طول محور آن نیز زیاد بلند نخواهد بود مایعات داخل مخزن را مخلوط می کنند. در مواردی جهت افزایش آسفنگی در داخل مخازن و از بین بردن نقاط ساکن در گوشه های مخازن، همزن را خارج از مرکز استوانه قرار می دهند. شکل ۱-۵ طرز قرار گرفتن همزن ملخی در چنین حالتی را نشان می دهد.



شکل ۱-۵ - طرز قرار گرفتن همزن ملخی به صورت افقی. الف - نمای پهلو ب - نمای بالا



شکل ۱-۶ - همزن های خارج از مرکز

همان طور که قبلاً بیان شد، سرعت دوران پره های ملخی زیاد است. بسته به ابعاد این نوع پره ها، حداکثر سرعت دوران آن ها جهت انجام اختلاط به نحو مطلوب حدود 800° تا 1000° دور در دقیقه^۱ است. قطر پره های ملخی بین 25° تا 50° درصد قطر داخلی ظرف است.

پره های توربینی: شکل ۱-۴ ب نشان می دهد که چگونه یک پره توربینی سیال را به جریان می اندازد. همان طور که مشاهده می شود با حرکت این پره، سیال در امتداد شعاع ظرف (عمود بر محور) حرکت می کند. به همین دلیل به این نوع پره «جریان شعاعی^۲» گویند. پره های توربینی در

۱- rpm = revolution per minute

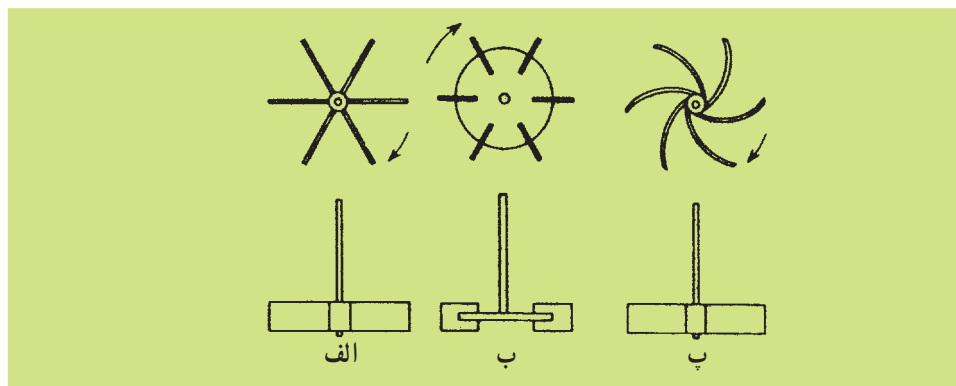
۲- Radial Flow

محدوده گسترده‌ای از سیالات با گرانروی‌های مختلف کاربرد دارد. در صنایع شیمیایی، به خصوص برای اختلاط گاز در مایع، این نوع پره مناسب‌ترین انتخاب است. شکل ۱-۷ انواع پره‌های توربینی را نشان می‌دهد. در این شکل زاویه صفحات با سطح افقی 90° است، به همین دلیل به این نوع پره‌ها «عمودی» گویند.

در بعضی از انواع پره‌های توربینی صفحات با سطح افق زاویه 45° می‌سازند. ضمناً تعداد صفحات می‌تواند ۴، ۶ یا ۸ عدد باشد. قطر پره‌های توربینی معمولاً بین 3° تا 5° درصد قطر داخلی ظرف است. بسته به ابعاد، از این نوع پره‌ها حداکثر با سرعت 800 تا 1000 دور در دقیقه استفاده می‌کنند.

پره‌های پارویی: شکل ۱-۴- پ چگونگی حرکت سیال به هنگام چرخش پره‌پارویی را نشان می‌دهد. این پره سیال را مماس بر دایره مسیر به جریان می‌اندازد. به همین دلیل به این نوع پره «جریان مماسی»^۱ گویند. این نوع پره تمام مایع داخل ظرف را همزمان و یک‌نواخت به شکل یک جریان گردابی حرکت می‌دهد. لذا جهت ایجاد آشفتنگی و انجام عمل اختلاط به نحو مطلوب نیاز است که حتماً از بافل استفاده شود.

ساخت این نوع پره بسیار ساده است زیرا از یک صفحه صاف متصل به محور تشکیل شده است. پره پارویی با دو یا چهار صفحه نیز متداول است. معمولاً صفحات بر سطح افق عمود است اما برای آن‌که این نوع پره‌ها سیال را به شکل محوری نیز به جریان بیاندازد، آن‌ها را زاویه‌دار می‌سازند. طول پره‌های پارویی نوعاً بین 5° تا 8° درصد قطر داخلی ظرف است. پهنای پره‌های پارویی $\frac{1}{6}$ تا $\frac{1}{4}$ طول آن است.



شکل ۱-۷- سه نوع پره توربینی عمودی. الف- صفحات صاف متصل به محور
ب- صفحات صاف متصل به دیسک پ- صفحات منحنی متصل به محور

پره‌های لنگری و حلزونی: این دو نوع پره برای همزدن مایعات با گرانشی زیاد و حتی خمیرها به کار می‌روند. فاصله این پره‌ها با دیواره ظرف نسبتاً کم است بدین ترتیب با چرخش خود از چسبیدن سیال به دیواره‌های ظرف جلوگیری می‌شود. سرعت دوران این نوع همزن‌ها نسبتاً پایین است و معمولاً نیاز به استفاده از بافل ندارند.

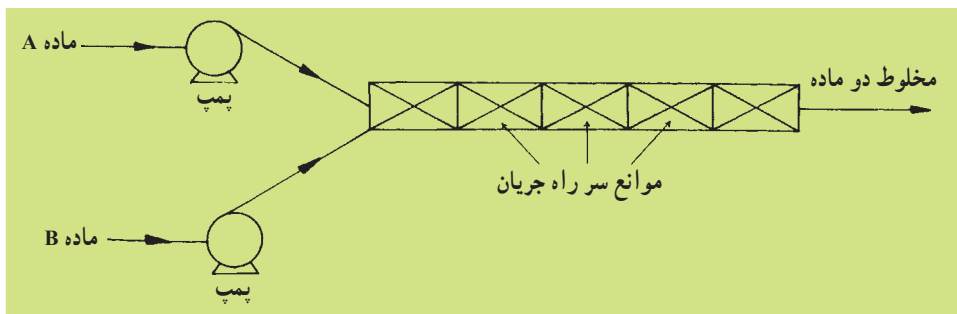
جدول ۱-۱۰ کاربرد انواع پره‌ها را خلاصه نموده است.

جدول ۱-۱۰ کاربرد انواع پره‌ها

| نوع پره | موارد کاربرد |
|---------|--|
| ملخی | انحلال مایعات با گرانشی کم - پخش گاز در داخل مایع |
| توربینی | با گرانشی کم - اختلاط دو فاز مایع نامحلول - تعلیق جامد |
| پارویی | در مایع با گرانشی کم |
| لنگری | اختلاط مایعات با گرانشی زیاد |
| حلزونی | |

افزایش گرانشی سیال
افزایش سرعت پره

نکته مهم: علاوه بر مخزن مجهز به همزن مکانیکی، دستگاه‌های دیگری نیز برای اختلاط فاز مایع وجود دارد. یکی از جدیدترین دستگاه‌ها، مخلوط‌کن‌های ساکن^۱ می‌باشند که برای اختلاط دو فاز مایع یا پخش گاز در مایع به صورت پیوسته^۲ به کار می‌رود. در این روش مواد به داخل یک لوله که در داخل آن موانعی جهت اختلاط بهتر پیش‌بینی شده است وارد و با حرکت به سمت انتهای لوله به تدریج مخلوط می‌شوند. (شکل ۱-۸)



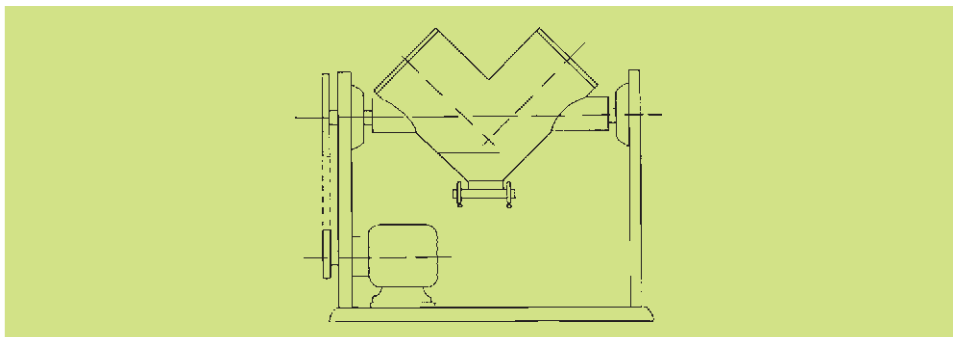
شکل ۱-۸ - نحوه کار یک مخلوط‌کن ساکن

۱-۲-۲- مخلوط‌کن‌های فاز جامد: جهت اختلاط جامدات دستگاه‌های گوناگونی ساخته شده است با این وجود روش‌های اختلاط در این دستگاه‌ها را می‌توان به سه دسته اصلی تقسیم کرد:

۱- Static Mixers

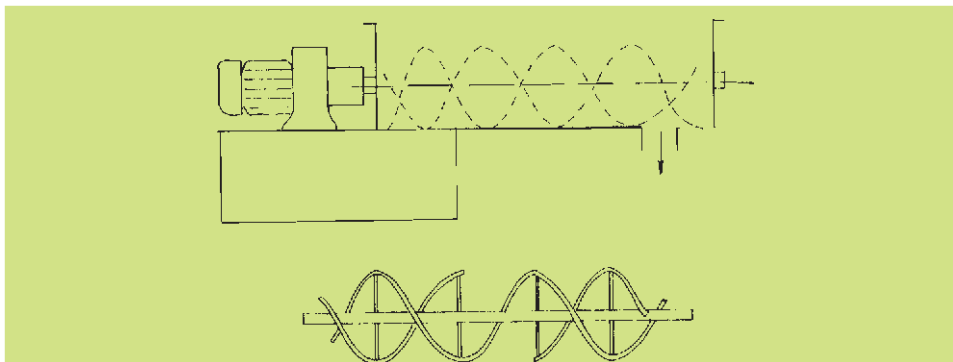
۲- Continous

الف - اختلاط به روش نفوذ: در این نوع دستگاه‌ها ضمن انجام یک حرکت دورانی، ذرات جامد در یکدیگر نفوذ می‌کنند و کاملاً مخلوط می‌شوند. یک نمونه از این دستگاه‌ها مخلوط‌کن «V» می‌باشد که در شکل ۹-۱۰ نشان داده شده است. این دستگاه یک ظرف بسته به شکل «V» یا گاهی به شکل «Y» می‌باشد که پودر دو یا چند نوع جامد در داخل آن ریخته می‌شود و سپس ظرف دوران می‌کند. این نوع دستگاه‌ها را حتی تا ظرفیت ۵۰ متر مکعب نیز ساخته‌اند. سرعت دوران ظرف معمولاً حدود نصف سرعت بحرانی مخلوط است. منظور از سرعت بحرانی سرعتی است که نیروی گریز از مرکز با نیروی جاذبه وارد بر ذرات برابر شود. در سرعت بحرانی ذرات پودر به جداره ظرف می‌چسبند و عمل اختلاط انجام نمی‌شود. در بخش بعد با محاسبات مربوط به تعیین سرعت بحرانی در آسیاب‌ها آشنا می‌شوید.



شکل ۹-۱۰- مخلوط‌کن «V»

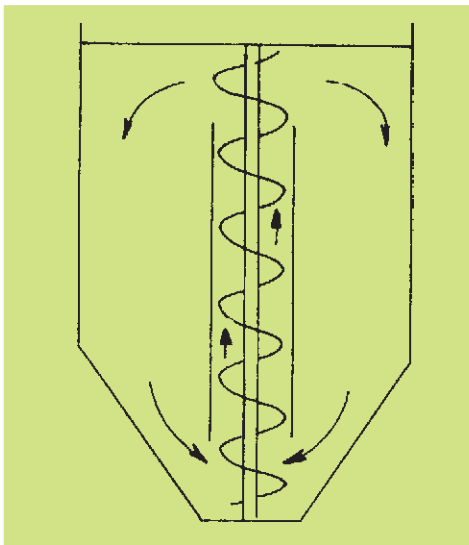
ب - اختلاط به روش جابه‌جایی: در این دستگاه‌ها با حرکت انتقالی پودر انواع جامدات عمل اختلاط انجام می‌شود. در شکل ۱۰-۱۱ یک نوع از این مخلوط‌کن‌ها به نام مخلوط‌کن روبانی^۱ نشان داده شده است. با حرکت دورانی تیغه که به صورت افقی قرار گرفته است، ذرات جامد ضمن حرکت به جلو با یکدیگر مخلوط می‌شوند.



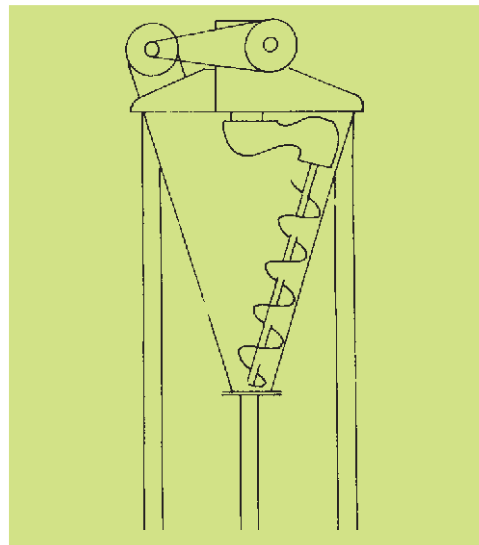
شکل ۱۰-۱۱- مخلوط‌کن روبانی

۱- Ribbon mixer

نوع دیگر این نوع مخلوط‌کن‌ها در شکل ۱۰-۱۱ نشان داده شده است^۱. در این دستگاه تیغه ماریچ^۲ ضمن حرکت دورانی به دور محور خود، حرکت انتقالی آرامی نیز به موازات جداره داخلی ظرف دارد. بدین ترتیب که با دوران تیغه ماریچ به دور محور خود، ذرات جامد از کف ظرف به سمت بالا جابه‌جا می‌شوند و با حرکت انتقالی تیغه این جابه‌جایی در تمام نقاط ظرف یکسان انجام می‌گردد. شکل ۱۰-۱۲ نوع دیگری از این دستگاه‌ها را که «مخلوط‌کن ماریچ عمودی»^۳ نام دارد نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود تیغه ماریچ به شکل عمودی و ثابت در مرکز ظرف و در داخل یک لوله که دو سر آن باز است قرار گرفته است. با دوران تیغه ذرات پودر در داخل لوله به سمت بالا هدایت می‌شوند. بدین ترتیب در نواحی خارج لوله، حرکت ذرات پودر از بالا به پایین خواهد بود. این جابه‌جایی ذرات سبب اختلاط کامل آن‌ها می‌شود.



شکل ۱۰-۱۲- مخلوط‌کن ماریچ عمودی



شکل ۱۰-۱۱- مخلوط‌کن Nautamix

پ- اختلاط با کمک ایجاد سیالیت^۴ در پودر جامدات: اگر مقداری جامد را به صورت پودر در یک ظرف استوانه‌ای بریزیم و از داخل آن گاز عبور دهیم به تدریج با افزایش سرعت عبور گاز و بسته به سنگینی پودر ذرات جامد کم‌کم از جای خود بلند می‌شوند و حالت سیالیت پیدا می‌کنند. البته ممکن است سرعت گاز به حدی زیاد شود که ذرات جامد را همراه با خود از ظرف خارج سازد.

۱- نام این نوع مخلوط‌کن‌ها Nautamix می‌باشد که معادل فارسی مناسب ندارد.

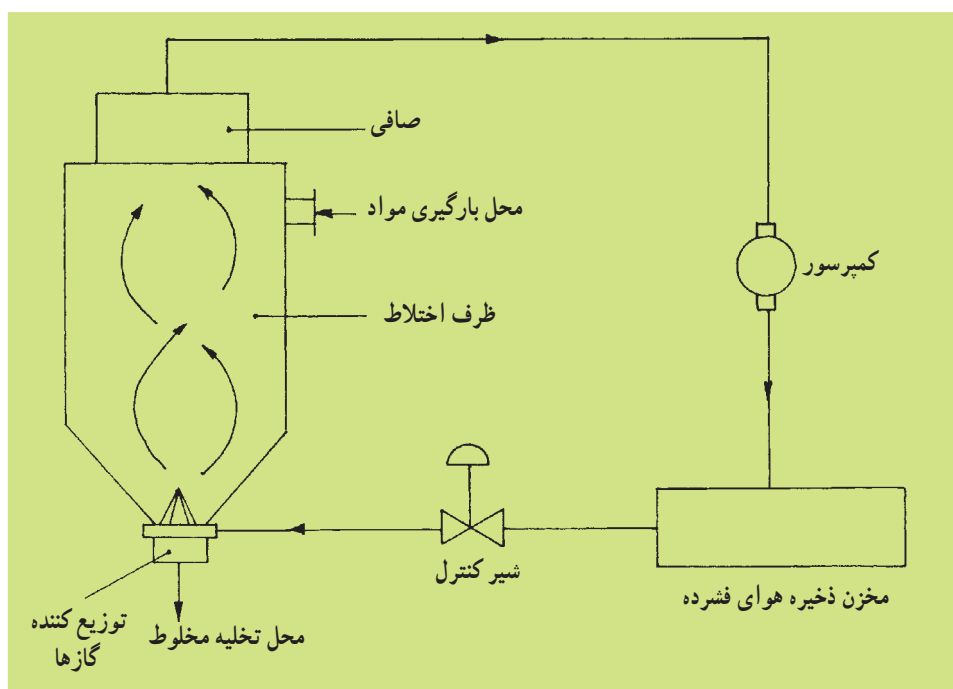
۲- Screw

۳- Vertical Screw Mixer

۴- Fluidity

شکل ۱۰-۱۳ یک مخلوط‌کن هوایی^۱ را نشان می‌دهد که بر اساس سیالیت ذرات جامد کار می‌کند. با عبور گاز هوا از داخل بستر ذرات جامد، این ذرات از جای خود تکان می‌خورند و به حرکت درمی‌آیند به عبارت بهتر پودر حالت سیالیت پیدا می‌کند. البته در این حالت سرعت گاز به حدی زیاد است که می‌تواند در داخل ذرات جامد آشفستگی و اختلاط لازم را پدید آورد، اما قادر نیست که ذرات پودر را با خود از ظرف خارج کند.

این نوع مخلوط‌کن نیاز به تجهیزات جانبی نسبتاً گران‌قیمت دارد. هوا یا گاز مورد نظر توسط کمپرسور به فشار مورد نیاز می‌رسد. مقدار گاز ورودی به «ظرف اختلاط»^۲، توسط یک «شیر کنترل»^۳، تنظیم می‌شود. گاز توسط توزیع کننده در داخل ظرف پخش می‌شود و با حرکت چرخشی به سمت بالا حرکت می‌کند و ضمن حرکت پودرها را به خوبی مخلوط می‌نماید. گاز به هنگام خروج از ظرف اختلاط از یک صافی^۴ عبور می‌کند تا ذرات جامدی را که احتمالاً با خود دارد، جدا شوند. این دستگاه به صورت ناپیوسته کار می‌کند بدین ترتیب که در ابتدای عملیات مواد جامد به شکل پودر از بالای ظرف ریخته می‌شوند و بعد از پایان عملیات مخلوط نهایی از پایین ظرف تخلیه می‌گردد.



شکل ۱۰-۱۳- مخلوط‌کن هوایی (مخلوط‌کن بستر سیال)

۱- Airmix (Fluidized Mixer)

۲- Mixing Chamber

۳- Control Valve

۴- Filter

دستگاه‌های کاهش اندازه مواد

اصطلاح کاهش اندازه به روش‌هایی اطلاق می‌شود که به وسیله آن قطعات بزرگ جامد به قطعات کوچک شکسته شود. در عملیات مختلف صنعتی جامدات را با روش‌های مختلف و برای اهداف متنوع خرد و کوچک می‌کنند. مثلاً مواد مختلف شیمیایی را آسیاب می‌کنند، قطعات بزرگ سنگ معدن را به اندازه‌های مورد نظر درمی‌آورند، صفحات پلاستیک را به شکل مکعب مستطیل یا شکل‌های دیگری می‌برند، اجزای نامطلوب را به طریق مکانیکی جدا می‌کنند و انتقال مواد را از طریق خرد کردن آسان می‌سازند. اصولاً جامدات به صورت پودر در عملیات فیزیکی نظیر انحلال و واکنش‌های شیمیایی بهتر شرکت می‌کنند.

۱۰-۳- اصول کار دستگاه‌های کاهش اندازه

روش‌های مختلفی برای کاهش اندازه جامدات وجود دارد که مهم‌ترین آن‌ها چهار روش اصلی زیر است:

- کاهش اندازه به روش متراکم کردن مانند استفاده از فندق‌شکن
 - کاهش اندازه به روش ضربه‌زدن، مانند استفاده از پتک یا چکش
 - کاهش اندازه به روش سایش، مانند سوهان
 - کاهش اندازه به روش قطع کردن یا بُردن مانند تیغه یا چاقو.
- به‌طور کلی از روش تراکم برای کاهش اندازه قطعات سخت و ایجاد قطعات ریزتر، از روش ضربه‌زدن برای تولید محصولات متوسط و ریز، از روش سایش برای تولید محصولات خیلی ریز و نرم از مواد نرم اولیه و از روش قطع کردن یا بردن برای تولید ذراتی با اندازه و شکل معین استفاده می‌شود.
- یک دستگاه کاهش اندازه باید دارای خواص زیر باشد:
 - دارای ظرفیت بالا باشد.
 - به ازای تولید هر واحد محصول، انرژی کمی مصرف کند.
 - اندازه ذرات محصول تولید شده تا حد ممکن یک‌سان باشد.
- بازده این دستگاه‌ها نسبتاً پایین است. به عبارت دیگر اختلاف بین عملکرد واقعی دستگاه‌ها با عملکرد ایده‌آل آن‌ها بسیار زیاد است. در حالت ایده‌آل فرض بر آن است که محصول خروجی از دستگاه دارای اندازه ذرات کاملاً یکسان باشد. اما در عمل طیف وسیعی از خرده‌هایی از اندازه‌های بزرگ تا اندازه‌های خیلی کوچک میکروسکوپی تولید می‌شود.

بعضی از دستگاه‌های کاهش اندازه طوری طراحی می‌شوند که اندازه قطعات بزرگ خروجی از آن‌ها قابل کنترل باشد ولی در این دستگاه‌ها اندازه ذرات ریزتر قابل کنترل نیستند. در بعضی از دستگاه‌های کاهش اندازه می‌توان تولید دانه‌های خیلی ریز را به حداقل رساند ولی به هیچ‌وجه نمی‌توان آن‌ها را از بین برد.

۱۰-۴- دستگاه‌های کاهش اندازه مواد

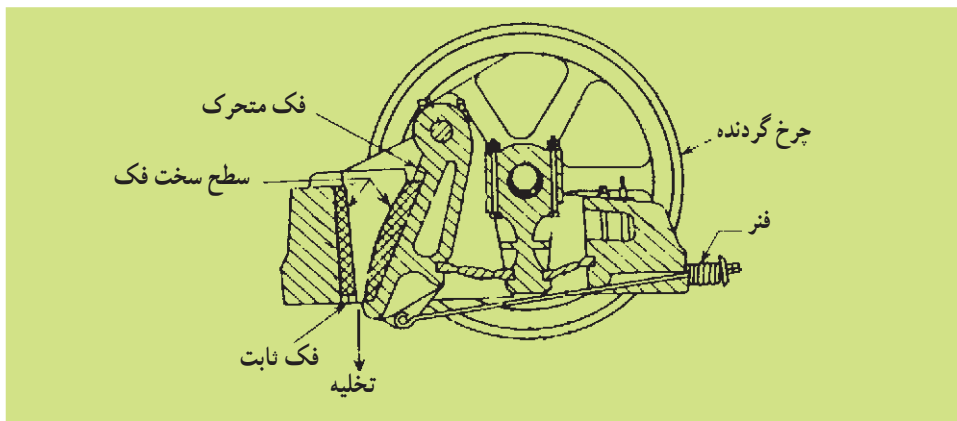
این دستگاه‌ها را به سه دسته اصلی تقسیم می‌کنند:

- خردکن‌ها^۱
- آسیاب‌ها^۲
- دستگاه‌های برنده^۳

خردکن‌ها معمولاً قطعات بزرگ‌تر را به قطعات کوچک‌تر تبدیل می‌کنند. از بیشتر خردکن‌ها، برای تبدیل قطعاتی که از معدن استخراج می‌شوند به قطعات کوچک‌تر، استفاده می‌شود. محصولات خروجی از خردکن‌ها معمولاً به صورت پودر است. بعضی از آسیاب‌ها می‌توانند پودرهایی از ۱ تا ۵۰ میکرون تولید نمایند. این نوع آسیاب‌ها را «آسیاب‌های تولید مواد بسیار ریز» می‌نامند. اندازه مواد ورودی به این نوع آسیاب‌ها نباید از حدود ۵/۰ تا ۱ سانتی‌متر بزرگ‌تر باشد. از دستگاه‌های برنده معمولاً برای تولید محصولات به اندازه معین، از ۱/۰ تا ۱ سانتی‌متر استفاده می‌شود.

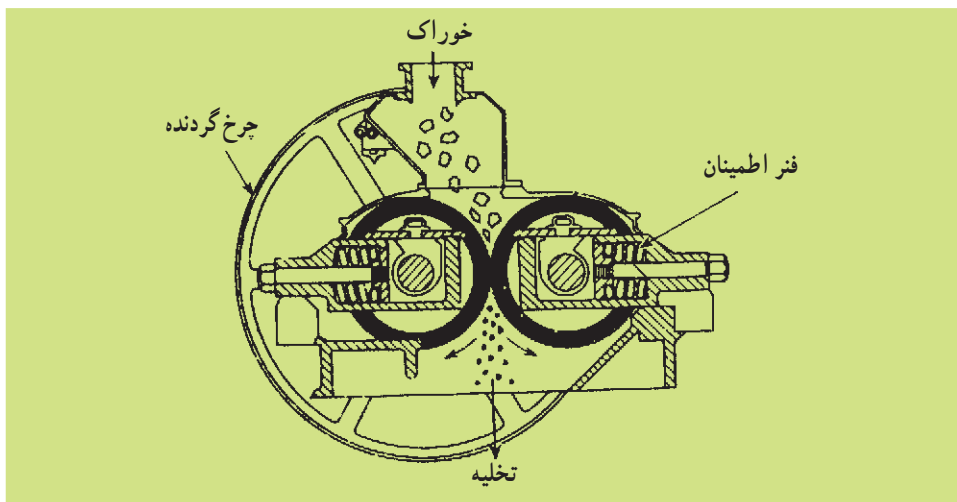
۱۰-۴-۱- خردکن‌ها: خردکن‌ها دستگاه‌هایی هستند که برای خرد کردن مقادیر زیاد مواد جامد به کار می‌روند. از این دستگاه‌ها اغلب برای خرد کردن مواد سخت از قبیل سنگ معدن استفاده می‌شود. در زیر درباره دو نوع از معمول‌ترین خردکن‌ها توضیح داده می‌شود.

خردکن فکی: در شکل ۱۰-۱۴ یک نمونه خردکن فکی نشان داده شده است. در این خردکن، ماده اولیه بین دو فک قرار داده می‌شود. این دو فک به صورت «V» قرار گرفته‌اند. یکی از فک‌ها ثابت و دیگری متحرک است. این دو فک زاویه‌ای در حدود ۲۰ تا ۳۰ با یکدیگر ایجاد می‌کنند. فک متحرک نیروی فشاری زیادی به قطعات بین فک‌ها وارد می‌کند. سطح فک‌ها معمولاً صاف و گاهی برآمده است و ممکن است دارای شیارهای کم عمق افقی نیز باشند. قطعات بزرگی که در قسمت بالای دو فک قرار می‌گیرند خرد می‌شوند و در فضای تنگ‌تر پایین می‌ریزند و برای بار دوم که فک بسته می‌شود دوباره خرد می‌شوند و پس از آنکه به اندازه کافی خرد شدند از انتهای دستگاه به بیرون می‌ریزند. فک‌ها در حدود ۲۵۰ تا ۴۰۰ دور در دقیقه باز و بسته می‌شوند. اختلاف خردکن‌های فکی معمولاً در چگونگی حرکت فک متحرک آن‌ها است.



شکل ۱۰-۱۴- خردکن فکی

خردکن غلتکی: قسمت‌های اصلی این خردکن از دو غلتک فلزی سنگین که روی دو محور افقی موازی می‌چرخند تشکیل شده است. شکل ۱۰-۱۵ نشان دهنده این نوع خردکن‌ها است. 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.

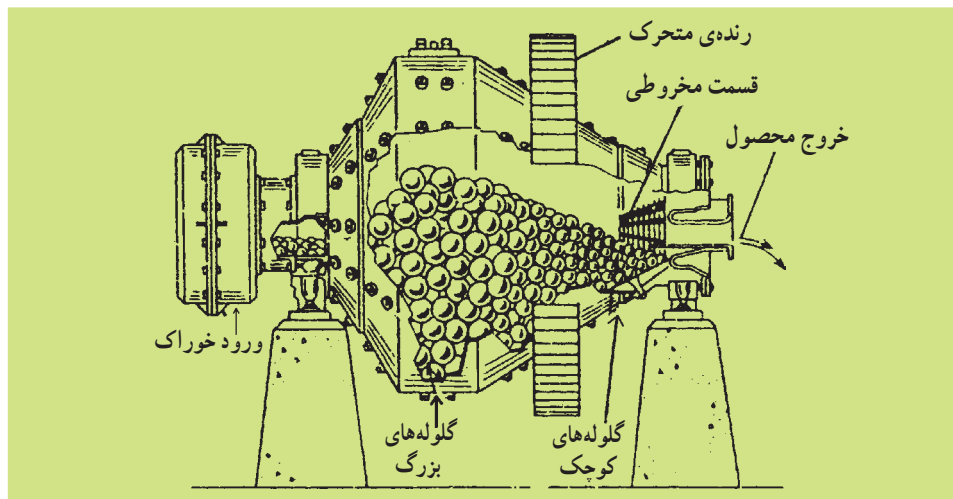


شکل ۱۰-۱۵- خردکن غلتکی

قطر غلتک‌ها را معمولاً زیاد و فاصله بین آن‌ها را کم در نظر می‌گیرند به طوری که این نوع خردکن‌ها قادرند که قطعات نسبتاً بزرگ را به قطعات کوچک‌تر تبدیل کنند. قطر این نوع غلتک‌ها از ۶۰ تا ۲۰۰ سانتی‌متر تغییر می‌کند و معمولاً با سرعت ۵۰ تا ۳۰۰ دور در دقیقه می‌چرخند. طبیعی است که اندازه خرده‌های محصول بستگی به فاصله بین غلتک‌ها دارد. در این نوع

خردکن‌ها مقدار کمی محصول نرم، به صورت پودر نیز تولید می‌شود. در خردکن‌های مذکور نیروی اعمال شده از طرف غلتک‌ها بسیار بالاست و معمولاً بین ۵۰۰۰ تا ۴۰۰۰۰ پوند نیرو بر هر اینچ از عرض غلتک است. وقتی مواد غیر قابل خرد شدن وارد این دستگاه بشوند برای جلوگیری از صدمات وارده به غلتک‌ها معمولاً حداقل یکی از غلتک‌ها را به فتر متصل می‌کنند.

۱-۴-۲- آسیاب‌ها: محصولات خروجی خردکن‌ها معمولاً خوراک ورودی به آسیاب‌ها را تشکیل می‌دهد و هدف آسیاب‌ها در واقع خردکردن ذرات متوسط و تولید ذرات ریزتر است. در این جا تنها به تشریح نمونه مرسوم آسیاب‌ها که بیشتر در صنایع شیمیایی کاربرد دارد می‌پردازیم. آسیاب دوار: شکل ۱۰-۱۶ طرح یک آسیاب دوار را نشان می‌دهد. این آسیاب از یک استوانه دوار تشکیل شده است که در حالت ساکن، حدود نیمی از حجم داخل آن را با مواد ساییده 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 حول محور افقی خود می‌چرخد. مواد ساییده آسیاب دوار می‌تواند به صورت میله یا ساچمه از جنس‌های فلزی، لاستیکی و یا چرمی باشد. حتی گاهی از سنگ‌های چخماق و یا گلوله‌هایی از جنس چینی به عنوان مواد ساییده استفاده می‌کنند.



شکل ۱۰-۱۶- آسیاب دوار

آسیاب‌های دوار می‌توانند هم به صورت پیوسته^۱ و هم به صورت ناپیوسته^۲ کار کنند. در آسیاب‌های ناپیوسته مقدار معینی از جسم را از دهانه استوانه به داخل آن می‌ریزند، سپس دهانه

۱- Continous

۲- Batch

استوانه را می‌بندند و آسیاب را برای مدتی طولانی می‌چرخانند. سپس آسیاب را متوقف می‌کنند و محصولات آن را خارج می‌کنند. در آسیاب‌های پیوسته، اجسام با حرکت مستمر و یک‌نواخت از مسیر مشخصی وارد و پس از آسیاب شدن از مسیر دیگری خارج می‌شوند. اساس کار آسیاب‌های دوار بدین صورت است که در اثر حرکت چرخشی استوانه مواد ساینده از کنار استوانه تا نزدیک سقف استوانه بالا می‌آیند و در آنجا در اثر نیروی ثقل روی ذراتی که در کف استوانه است فرو می‌افتند. در بعضی آسیاب‌های دوار به جای گلوله از میله به‌عنوان عامل ساینده استفاده می‌شود. در آسیاب‌های میله‌ای دوار، قسمت اعظم خرد شدن در اثر فشار و سایش در هنگام غلتیدن میله‌ها روی یکدیگر انجام می‌گیرد ولی در آسیاب‌های ساجمه‌ای دوار یا قلوه‌سنگی دوار قسمت اعظم خرد شدن در اثر برخورد در هنگام ریزش قلوه سنگ‌ها یا گلوله‌ها از بالای استوانه صورت می‌گیرد. در آسیاب‌های گلوله‌ای معمولاً قطر استوانه را حدود ۳ متر و طول آن‌ها را حدود ۳/۵ متر در نظر می‌گیرند. قطر گلوله‌ها بین ۲/۵ تا ۱۲/۵ سانتی‌متر تغییر می‌کند.

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

مطالعه آزاد

شکل ۱۷-۱° وضعیت یک گلوله در نقطه A و نیروهای مؤثر بر آن را که عبارت‌اند از: نیروی جاذبه و نیروی گریز از مرکز، نشان می‌دهد. اگر نیروی گریز از مرکز $\mu^2(R-r)$ از مؤلفه شعاعی نیروی جاذبه یعنی $mg \cos \alpha$ بیشتر باشد گلوله از بدنه استوانه جدا نمی‌شود. هنگامی که این دو نیرو با هم برابر شوند، گلوله در معرض سقوط قرار می‌گیرد:

$$mg \cos \alpha = \frac{m \cdot u^2}{(R-r)} \quad (17-1)$$

m = جرم گلوله
 g = شتاب جاذبه
 u = سرعت خطی مرکز گلوله
 R = شعاع استوانه
 r = شعاع گلوله

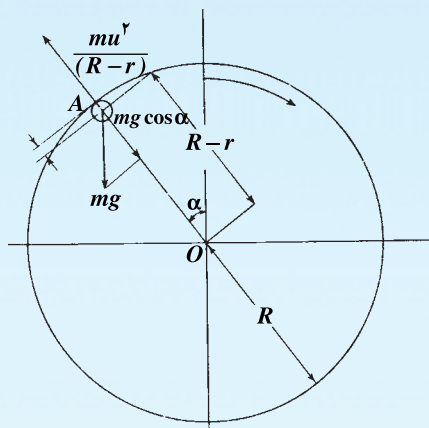
در نتیجه خواهیم داشت :

$$\cos \alpha = \frac{u^2}{(R-r)g} \quad (2-1)$$

رابطه بین سرعت خطی گلوله و سرعت دورانی به قرار زیر است :

$$u = 2\pi(R-r)n \quad (3-1)$$

n = سرعت دورانی استوانه



شکل ۱۷-۱- نمایش نیروهای وارد بر یک گلوله

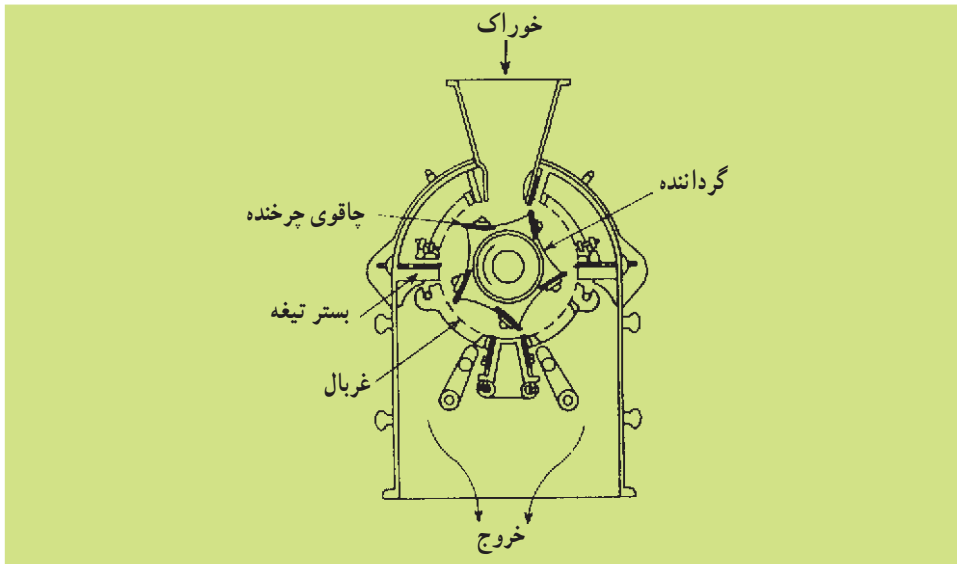
در نتیجه رابطه ۳-۱ را در رابطه ۲-۱ خواهیم داشت

$$\cos \alpha = \frac{4\pi^2 n^2 (R-r)}{g} \quad (4-1)$$

در حالت بحرانی که $\alpha = 0$ و $\cos \alpha = 1$ است، سرعت بحرانی را n_c می‌نامیم
 ($n = n_c$). اگر سرعت بحرانی بر حسب دور بر دقیقه (rpm) و R و r بر حسب ft و g
 بر حسب ft/min^2 قرار دهیم، سرعت بحرانی استوانه از رابطه زیر به دست می‌آید :

$$n_c = 54 / 2 \sqrt{\frac{1}{R-r}} \quad (5-1)$$

۱۰-۴-۳- دستگاه‌های بُرنده: در بعضی از مواقع قطعات ماده اولیه به قدری محکم و یا قابل ارتجاع هستند که شکستن و خرد کردن آن‌ها به کمک عامل فشار، ضربه یا سایش امکان‌پذیر نیست ولی به هر حال لازم است که این قطعات به قطعات ریزتر با ابعاد مشخص تبدیل شوند. در این مواقع از دستگاه‌هایی که عمل بریدن و یا پاره و تکه کردن قطعات را انجام می‌دهند، استفاده می‌شود. شکل ۱۰-۱۸ یک نوع دستگاه برنده با تیغه‌های گردان را نشان می‌دهد. این دستگاه دارای چرخاننده‌ای است که با سرعت ۲۰۰ تا ۹۰۰ دور در دقیقه در یک محفظه استوانه‌ای می‌چرخد. روی چرخاننده ۲ تا ۱۲ تیغه چاقو وجود دارد که لبه هریک از آن‌ها از فولاد سخت و آبدیده ساخته شده است. این تیغه‌ها با فاصله‌های کمی از روی تیغه‌های ثابت می‌گذرند. مواد اولیه از بالا وارد دستگاه می‌شود و پس از بریده شدن از پایین خارج و وارد غربال با قطر سوراخ مناسب می‌شود.



شکل ۱۰-۱۸- دستگاه برنده

۱۰-۵- عملکرد دستگاه‌های کاهش اندازه

هزینه خرد کردن و آسیاب کردن قطعات نسبتاً بالاست. بنابراین عواملی که به نحوی این هزینه‌ها را کنترل می‌کنند، اهمیت دارند و باید شناسایی و مورد بررسی قرار گیرند. در انتخاب مناسب و اقتصادی دستگاه‌های کاهش اندازه قطعات باید به جزئیات بسیاری از مواد و قسمت‌های کمکی این دستگاه‌ها توجه کرد تا عملکرد این دستگاه‌ها مطلوب باشد، به عنوان مثال:

- مواد اولیه باید اندازه مشخصی داشته باشند و با سرعت یک‌نواختی وارد شوند.
- به محض این‌که محصولات به اندازه تعیین شده درآمدند، از انتهای دستگاه خارج شوند.

– قطعات نشکن از پایین خارج می‌شوند.

در مواردی که اجسام خرد شونده نسبت به حرارت حساس باشند، باید حرارت ایجاد شده در این دستگاه‌ها به نحوی خارج شود.

– گرم‌کن‌ها و سردکن‌ها، غربال‌ها، پمپ‌ها، دمنده‌ها و تغذیه‌کننده‌ها از قسمت‌های فرعی مهم دستگاه‌های کاهش اندازه قطعات هستند که عملکرد آن‌ها نقش مستقیمی در عملکرد این دستگاه‌ها دارند.

خودآزمایی

۱– هدف از همزدن مواد چیست؟ توضیح دهید.

۲– انواع اختلاط را نام ببرید.

۳– عمل جدا شدن فازها در اختلاط مایعات و اختلاط جامدات چه تفاوتی دارد؟

۴– برای پخش گاز در مایع از چه نوع پره‌ای استفاده می‌شود؟ این نوع پره چه نوع جریانی

(محوری، شعاعی، مماسی) ایجاد می‌کند؟

۵– دو نوع پره که برای همزدن مایعات با گرانروی بالا به کار می‌روند، نام ببرید. سرعت دوران

آن‌ها چگونه است؟

۶– نحوه کار مخلوط‌کن‌های ساکن را توضیح دهید.

۷– سه روش اصلی در اختلاط جامدات را نام ببرید و در هر مورد طرز کار یک دستگاه را

شرح دهید.

۸– طرز کار یک خردکن غلتکی و یک آسیاب ساچمه‌ای را توضیح دهید.

۹– پنج مورد که در انتخاب مناسب و اقتصادی دستگاه‌های کاهش اندازه مؤثر می‌باشند نام

ببرید.

۱۰– در آسیاب‌های دوار، گلوله‌ها یا میله‌ها حداکثر چه حجم از مخزن را می‌توانند اشغال

کنند؟ چرا؟

برج‌های تقطیر و استخراج

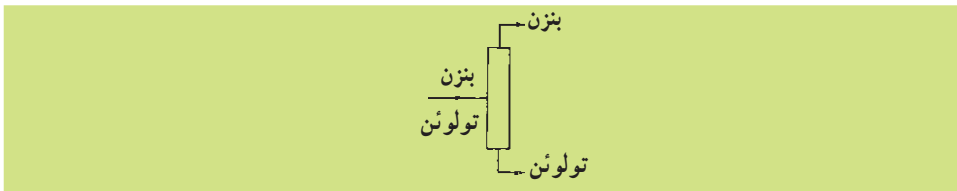
هدف‌های رفتاری: پس از پایان این فصل از فراگیر انتظار می‌رود بتواند:

- ۱- اصول تقطیر را توضیح دهد.
- ۲- انواع تقطیر را شرح دهد.
- ۳- اصول استخراج مایع از مایع را توضیح دهد.
- ۴- کاربرد انواع برج‌های تقطیر را توضیح دهد.
- ۵- کاربرد انواع برج‌های استخراج را توضیح دهد.

تقطیر^۱

جداسازی مخلوط مایعات به چند جزء یکی از مهم‌ترین فرآیندهای مورد استفاده در صنایع شیمیایی و صنایع نفت است و تقطیر یکی از روش‌های بسیار متداولی است که برای این منظور به کار می‌رود. این روش در مورد جداسازی اکثر مخلوط مایعات یک‌نواخت (هموژن) به کار می‌رود نظیر آب، الکل، بنزین و تولوئن و

در محدوده کاربرد تقطیر در صنایع شیمیایی، ستون‌های تقطیر با ظرفیت‌های بسیار بالاتری نسبت به هرگونه تجهیزات دیگر، طراحی و ساخته می‌شوند. مانند ستون‌های تقطیر که از ۳/۰ تا ۱۰ متر قطر و از ۳ تا ۷۵ متر ارتفاع دارند^۲. به طور کلی نتیجه می‌شود که در مواردی امکان استفاده از عمل تقطیر وجود دارد که محصولات عمل تقطیر به صورت خالص بوده و نیاز به تفکیک مجدد ندارند و بدین جهت می‌توان ادعا کرد که تقطیر متداول‌ترین و مهم‌ترین عمل در میان عملیات جداسازی است.



شکل ۱۱-۱- جداسازی یک مخلوط دو جزئی

^۱ - Distillation

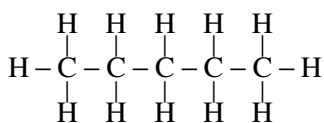
^۲ - اعداد و ارقام این فصل فقط جنبه آگاهی دارد و نباید حفظ شوند.

۱۱-۱- اصول تقطیر

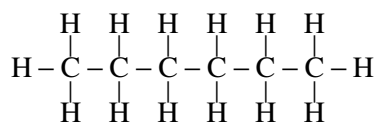
تقطیر یک روش جداسازی است که بر اساس عمل تبخیر و میعان صورت می‌پذیرد و مواد به دلیل اختلاف نقطه جوش از هم جدا می‌شوند. مایعاتی که دارای فشار بخار کم‌تر هستند دارای نقطه جوش بالاتر و مایعاتی که دارای فشار بخار بیشتری هستند نقطه جوش پایین‌تری دارند. در اصطلاح به موادی که دارای فشار بخار کم‌تر هستند مواد سنگین‌تر و موادی که دارای فشار بخار بالاتر هستند، سبک‌تر (فرارتر) گفته می‌شود.

بنابراین مایعی که از مولکول‌های کوچک تشکیل شده است و به آسانی به بخار تبدیل می‌شود جزء سبک و مایعی که از مولکول‌های بزرگ تشکیل یافته است و به سختی به بخار تبدیل می‌شود جزء سنگین نامیده می‌شود.

قابلیت تبخیر (فراریت^۱) اصطلاحی است که مبین کیفیت تبخیر یک مایع می‌باشد. مایعاتی که به آسانی تبدیل به بخار می‌شوند دارای قابلیت تبخیر زیاد و مایعاتی که به سادگی تبدیل به بخار نمی‌شوند قابلیت تبخیر کم دارند. وقتی نقطه جوش مایعی پایین باشد فشار بخار آن زیاد و قابلیت تبخیرش زیاد است و برعکس مایعاتی که دارای فشار بخار کم هستند غیر فرارند و دارای قابلیت تبخیر کم هستند. دو مایع الف و ب را در نظر می‌گیریم. مایع الف دارای مولکول‌های سبک، قابلیت تبخیر بیشتر، فشار بخار بالاتر و نقطه جوش پایین‌تر از مایع ب است. به فرمول‌های گسترده زیر توجه کنید.



پنتان مولکول کوچک‌تر (مایع الف)



هگزان مولکول بزرگ‌تر (مایع ب)

به عنوان مثال اگر مخلوط مایعی از دو جزء پنتان و هگزان به مقدار مساوی از هر کدام داشته باشیم و آن را حرارت بدهیم و قسمتی از آن را تبخیر کنیم، مشاهده خواهیم کرد که مقدار پنتان در فاز بخار بیشتر از هگزان خواهد بود و برعکس، در فاز مایع، باقی مانده مقدار هگزان بیشتر از پنتان است. دلیل این امر قابلیت تبخیر بالاتر پنتان نسبت به هگزان است. البته اگر تمام مخلوط تبخیر شود و بخار حاصل به مایع تبدیل شود، همان درصد ترکیب‌ها و همان میزان از جسم سبک و سنگین در بخار مایع شده موجود خواهد بود.

۱۱-۲- انواع تقطیر

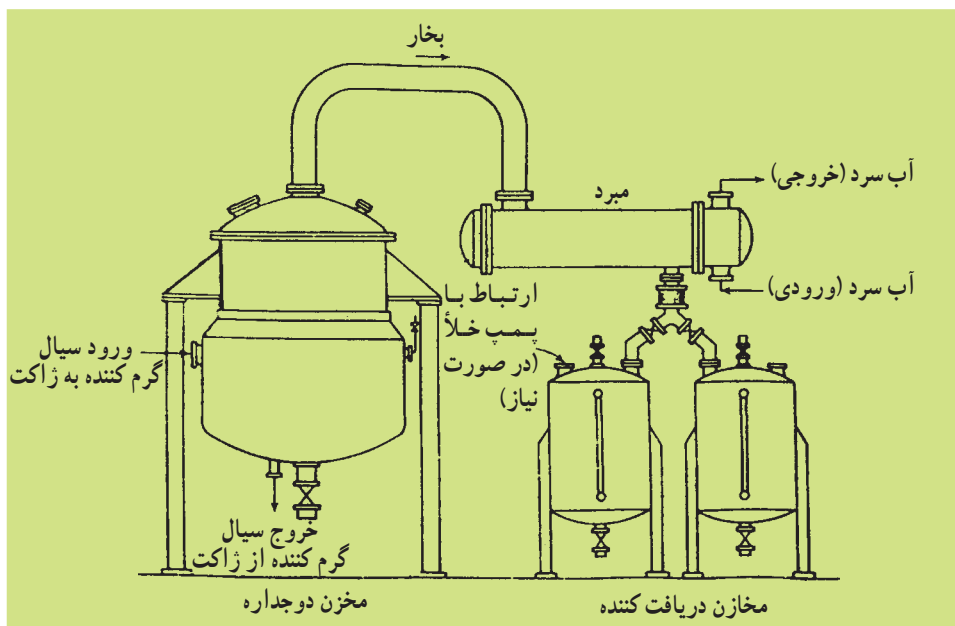
در عمل، چند روش اصلی برای تقطیر وجود دارد:

۱- تقطیر ساده^۱ (یا یک مرحله‌ای): } پیوسته
 ناپیوسته

۲- تبخیر ناگهانی^۲ (پیوسته)

۳- تقطیر چندمرحله‌ای یا جزء به جزء^۳: } پیوسته^۴
 ناپیوسته^۵

۱۱-۲-۱- تقطیر ساده: یکی از ساده‌ترین روش‌های جداسازی، تقطیر ساده است. در این روش، در ابتدا دیگ را از مخلوط مورد نظر پر می‌کنیم و تحت حرارت ثابت و یک‌نواخت قرار می‌دهیم. در این فرآیند، در اثر جوشیدن قسمتی از مایع بخار می‌شود و از بالای دیگ وارد یک مبرد^۶ و مجدداً مایع می‌شود. این بخار مایع شده نسبت به مایع باقی‌مانده در دیگ از جسم سبک غنی‌تر است و به همان میزان مایع باقی‌مانده، از جسم سبک تهی‌تر و از جسم سنگین‌تر غنی‌تر است. به این ترتیب خوراک به دو محصول سبک‌تر و سنگین‌تر تبدیل شده است. در این روش فقط در صورتی که اختلاف فراریت مواد نسبت به هم خیلی زیاد باشد، امکان تولید محصولات به صورت خالص وجود دارد. این تقطیر ممکن است به دو صورت پیوسته یا ناپیوسته انجام شود. (شکل ۱۱-۲)



شکل ۱۱-۲- تقطیرکننده ساده

۱- Simple Distillation

۲- Flash Vaporization

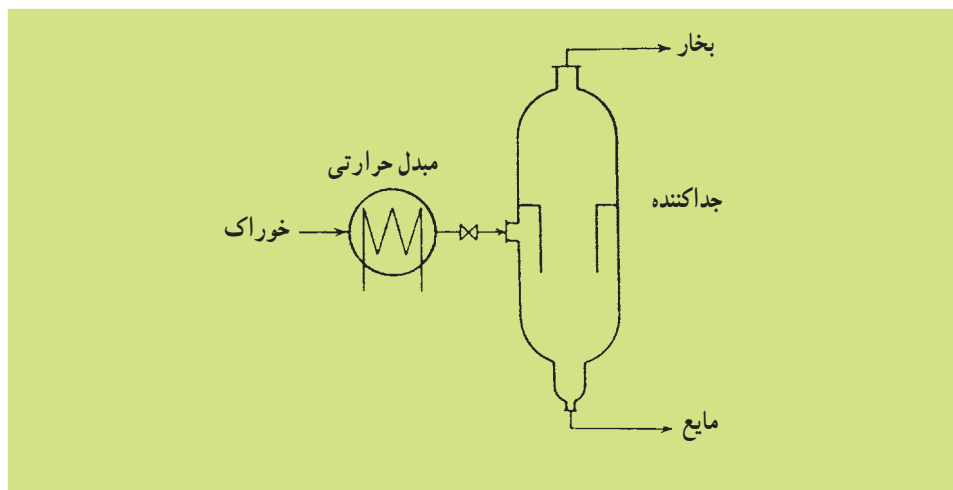
۳- Fractional Distillation

۴- Continuous

۵- Batch

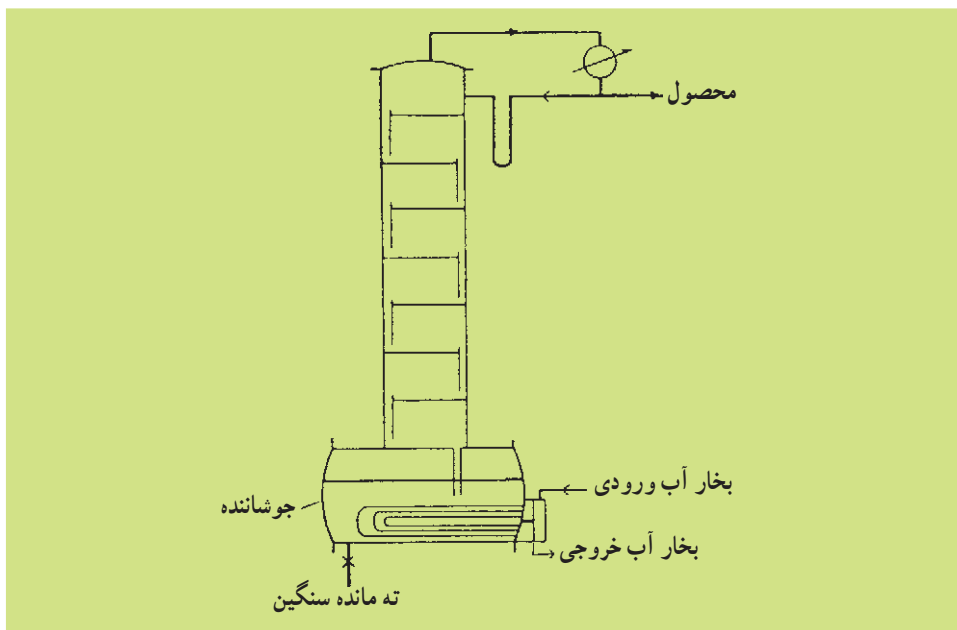
۶- Cooler (condenser)

۱۱-۲-۲- تبخیر ناگهانی: این روش غالباً به صورت پیوسته انجام می‌گیرد. (شکل ۱۱-۳) بدین منظور با کاهش فشار و افزایش درجه حرارت خوراک، آن را به دو فاز مایع و بخار تبدیل می‌کنند و سپس آن را وارد یک ظرف جداکننده می‌کنند. در این ظرف فاز بخار که قسمت‌های سبک خوراک است از بالای ظرف خارج می‌شود و فاز مایع که سنگین‌تر است از پایین ظرف خارج می‌شود. از این روش در صنعت نفت به‌طور گسترده استفاده می‌شود. به عنوان مثال نفت خام با دمای 44°K و فشار 90°kPa وارد یک مخزن لوله‌ای می‌شود و در دمای 52°K و فشار 40°kPa آن را ترک می‌کند که تقریباً ۱۵٪ خوراک که حاوی مواد سبک است تبخیر می‌شود. نکته مهم این است که با یک بار عمل تقطیر، با تبخیر ناگهانی یا تقطیر ساده، نمی‌توان به خالص‌سازی ماده مورد نظر تا درجه دلخواه رسید، بنابراین برای خالص‌تر کردن خوراک باید متوسل به روش‌های دیگر تقطیر شد.



شکل ۱۱-۳- تبخیر کننده ناگهانی

۱۱-۲-۳- تقطیر جزء به جزء (نایبوسته): در تقطیر نایبوسته بیشتر اجزای سبک‌تر از مخزن (دیگ) تبخیر می‌شود. در نتیجه به تدریج و در طول زمان عملیات، مخزن از اجزای سنگین‌تر غنی‌تر می‌شود. تقطیر تا وقتی ادامه پیدا می‌کند که میزان اجزای سبک (فرآر) در داخل مخزن به میزان مورد نظر برسد. تقطیر نایبوسته به‌عنوان یک فرآیند آسان در بسیاری از صنایع شیمیایی به کار می‌رود. در این حالت تمام خوراک در شروع عملیات در دیگ ریخته و حرارت داده می‌شود. سپس بخارها از درون یک ستون جداکننده (برج تقطیر) عبور می‌کنند. ترکیب محصولات بالای برج، بستگی به ترکیب خوراک، ارتفاع برج و میزان تماس مایع و بخار در داخل برج دارد. (شکل ۱۱-۴)



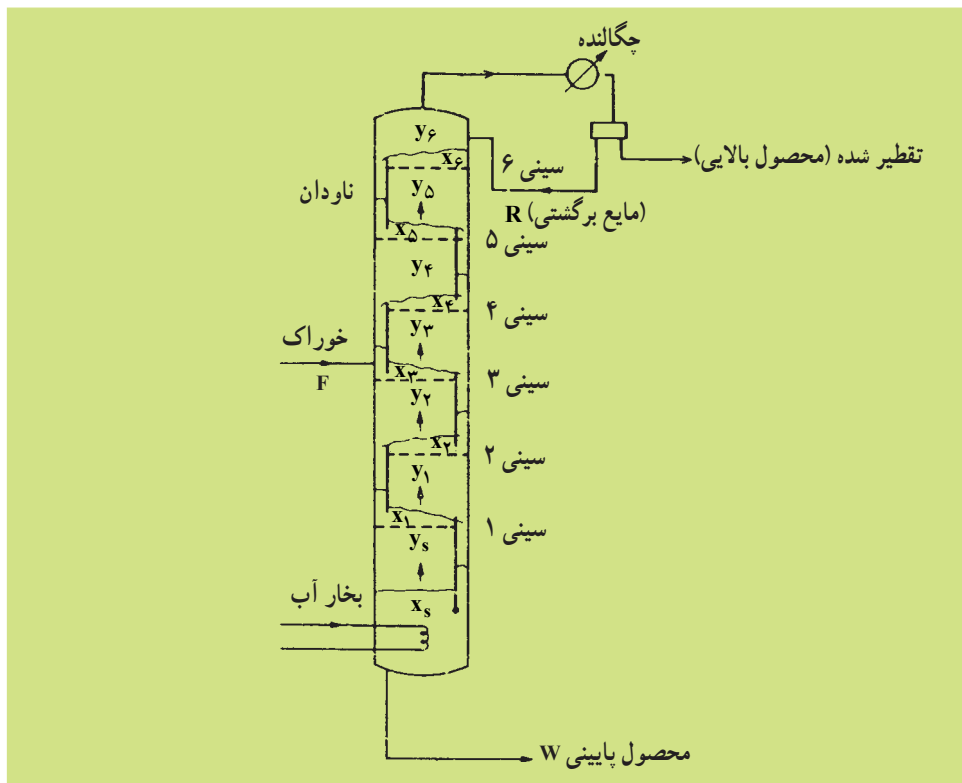
شکل ۱۱-۴- ستون برای برج تقطیر ناپیوسته

در شروع عملیات، محصول بالای برج، بیشترین درصد از ماده سبک را خواهد داشت. پرسش: به شکل ۱۱-۴ توجه کنید. چرا بخشی از محصول به برج برگشت داده می‌شود؟ چرا این جریان برگشتی به شکل U است؟ در هنگام عملیات محصول بالای برج، نسبت به مایع باقی مانده در ظرف همواره از اجزای سبک‌تر، غنی‌تر است با ادامه کار برج، خلوص محصول بالای برج، به تدریج کاهش پیدا می‌کند زیرا ترکیبات سنگین نیز تبخیر می‌شوند. بنابراین در تقطیر ناپیوسته مدت زمانی که عملیات ادامه می‌یابد، نقش مهمی در خلوص محصول دارد.

۱۱-۲-۴- تقطیر جزء به جزء (پیوسته): عملیات یک ستون تقطیر پیوسته مطابق شکل ۱۱-۵ است. یک ستون، شامل یک بدنه فلزی استوانه‌ای است که توسط سینی‌های سوراخ‌دار به چندین بخش تقسیم شده است. این سینی‌ها قابلیت عبور بخار را به سمت بالا و گذراندن مایع را به سمت پایین دارند. بخاری که به طرف بالا می‌رود از آخرین سینی بالای برج عبور می‌کند، به یک چگالنده^۱ می‌رود و به مایع تبدیل می‌شود. قسمتی از مایع تولیدی به عنوان محصول گرفته می‌شود و قسمتی دیگر به بالاترین سینی داخل برج برگردانده می‌شود. مایع برگشتی^۲ از بالای برج، از روی هر

۱- به مبردی که بخار را به مایع تبدیل می‌کند، چگالنده (Condenser) می‌گویند.

۲- Reflux



شکل ۱۱-۵ - ستون تقطیر پیوسته

سینی که عبور می‌کند از سرریز و ناودان به سینی پایینی می‌ریزد. مایع در پایین برج در داخل جوشاننده توسط بخار آب و یا یک جریان روغن داغ گرم می‌شود و قسمتی از آن به بخار تبدیل می‌شود و مایع باقی‌مانده به عنوان محصول از پایین برج خارج می‌شود. بخارهای حاصله از پایین برج با عبور از سوراخ‌های سینی‌های برج به طرف بالا می‌رود. روی هر سینی مایع و بخار ورودی به آن در تماس با هم قرار می‌گیرند و اجزای سبک‌تر به داخل فاز بخار و اجزای سنگین‌تر به داخل فاز مایع می‌روند. بدین ترتیب نقش هر سینی در داخل برج تقطیر، ایجاد تماس بین مایع و بخار، سبک‌تر کردن بخار و سنگین‌تر کردن مایع خواهد بود. در نتیجه بخار به تدریج که به طرف بالای برج حرکت می‌کند سبک‌تر می‌شود. به عکس مایع برگشتی از بالای برج به تدریج با پایین آمدن سنگین‌تر می‌شود.

جریان خوراک در برج به جایی وارد می‌شود که جریان مایع یا بخار داخل برج تقریباً دارای همان ترکیب خوراک باشد. قسمتی از برج که بالای نقطه خوراک است به عنوان بخش تصفیه^۱ و قسمت پایین به عنوان قسمت عاری‌سازی^۲ نامیده می‌شود. با توجه به این مطالب خوراک ورودی

۱- Rectifying Section

۲- Stripping Section

به برج در اثر تماس‌های متوالی مایع و بخار روی سینی‌های داخل برج به دو محصول سبک (خروجی از بالای برج) و سنگین (خروجی از پایین برج) تبدیل می‌شود. با این روش، می‌توان به‌طور پیوسته، محصولاتی با خلوص بالا تولید کرد. به دلیل ثابت بودن وضعیت عملیاتی، تقطیر غیر پیوسته ارجح است.

۱۱-۳- فشار برج‌های تقطیر

معمولاً سعی می‌شود که به‌منظور راحتی و کاهش هزینه‌ها، تقطیر تحت فشار اتمسفریک انجام شود. در مواردی که خوراک ورودی به برج بسیار سنگین باشد، به دلیل بالا بودن نقطه جوش، احتمال تجزیه مواد قبل از رسیدن به نقطه جوش، ممکن است تقطیر زیر فشار اتمسفریک (تحت خلأ) انجام گیرد. مثلاً در پالایشگاه نفت برای جدا کردن برش روغن از نفت خام جهت جلوگیری از تجزیه خوراک از برج تقطیر تحت خلأ استفاده می‌شود. در ضمن در مواردی نیز که خوراک بسیار سبک است نقطه جوش خوراک تحت فشار اتمسفریک در زیر درجه حرارت محیط است در چنین شرایطی انجام عملیات تقطیر تحت فشار اتمسفریک پرهزینه است و لازم است که با افزایش فشار عملیات نقطه جوش محصولات را به درجه حرارت محیط رساند. در این حالت، عملیات تقطیر تحت فشار انجام خواهد شد؛ به عنوان مثال جهت جدا کردن پروپان از بوتان با توجه به این‌که نقطه جوش این مواد تحت فشار اتمسفریک زیر صفر درجه سانتی‌گراد است از برج تقطیر تحت فشار حدود ۱۰ اتمسفر استفاده می‌شود.

مثال‌های عملی

مثال ۱: مخلوط ۵۵٪ مولی اتانل، ۴۵٪ مولی آب در داخل دیگ یک برج تقطیر غیر پیوسته تحت فشار اتمسفریک ریخته می‌شود و عملیات تقطیر تا وقتی که درصد الکل در داخل دیگ به ۱۰/۵٪ مولی برسد ادامه یابد. نتایج زیر به دست خواهد آمد:

درصد مولی اتانل در اولین قطره محصول بالای برج ۷۸٪

درصد مولی اتانل در آخرین قطره محصول بالای برج ۷۴٪

درصد مولی متوسط اتانل در محصول بالای برج ۷۷٪

به ازای هر صد کیلو مول ورودی مقدار محصول بالای برج ۶۶/۷ کیلومول

مثال ۲: جهت جدا کردن یک کیلوگرم در ثانیه محلول ۳۰٪ وزنی آمونیاک در آب از یک برج

تقطیر پیوسته استفاده می‌شود. نتایج حاصل از عملیات به شرح زیر است:

درصد آمونیاک در محصول بالای برج ۹۹/۵٪

درصد آب موجود در محصول بالای برج ۰/۵٪

درصد آمونیاک در محصول پایین برج ۱۰٪
 درصد آب در محصول پایین برج ۹۰٪

مقدار محصول بالای برج ۲۲/۰ کیلوگرم
 ثانیه

مقدار محصول پایین برج ۷۸/۰ کیلوگرم در ثانیه
 تعداد سینی‌های لازم ۹ سینی

استخراج^۱

۱۱-۴- استخراج مایع از مایع

عمل استخراج فرآیندی است که به آن استخراج یا حلال نیز می‌گویند. در آن اجزای یک محلول مایع را از طریق تماس با حلالی که اجزای محلول را به نسبت متفاوت در خود حل می‌کند و باعث تشکیل دو فاز مایع نامحلول در هم می‌شود جدا می‌کند. اگر موادی که جزیی از محلول اولیه هستند به مقداری متفاوت در دو فاز مایع پخش شوند جداسازی نسبی حاصل می‌شود. وقتی فشار بخار دو ماده خیلی به هم نزدیک باشد یا وقتی که در اثر حرارت دادن یکی از مواد، طبیعت و خاصیت خود را از دست دهد روش تقطیر کاربرد نداشته، از استخراج مایع - مایع^۲ استفاده می‌کنیم.

مثال: اگر محلولی از استیک اسید در آب را که با روش تقطیر از هم قابل تفکیک نیستند با مایعی مثل اتیل استات مخلوط کنیم مقداری اسید و مقدار خیلی کم آب وارد فاز استر می‌شوند و مابقی اسید و آب در فاز آب باقی می‌ماند چون در حال تعادل، دانسیته فاز آبی و استری با هم متفاوت هستند بعد از آن که همزدن متوقف شود، از هم جدا می‌شوند و می‌توان به وسیله عمل سرریز کردن، آن دو را از هم جدا کرد. در این حالت چون نسبت اسید به آب در لایه استری با محلول اولیه و محلول آبی باقی مانده متفاوت است عمل جداسازی تا حدودی انجام شده است. این حالت مثالی از یک مرحله عملیات استخراج است. مایع آبی باقی مانده را می‌توان برای کاهش مقدار اسید دوباره با استر مجاور ساخت.

۱- Extraction

۲- Liquid - Liquid Extraction

۱۱-۵- عملیات استخراج (فرآیند استخراج)

در تمام عملیات استخراج، محلولی که استخراج از آن انجام می‌شود «خوراک» و مایعی که خوراک با آن مجاور می‌شود «حلال^۱» نامیده می‌شود. محلولی که از حلال غنی است «استخراج شده^۲» و مایع باقی مانده که از آن جدا شده است «پس مانده^۳» نامیده می‌شود.

فرض کنید محلول دو جزئی A و B را داریم و می‌خواهیم ماده A را از ماده B جدا کنیم و چون فراریت این دو ماده نزدیک به یکدیگر است، استفاده از عمل تقطیر امکان‌پذیر نیست. به همین دلیل از عملیات استخراج به کمک حلال «S» استفاده می‌کنیم. ابتدا حلال S را با خوراک (محلول A و B) به خوبی مخلوط می‌کنیم تا جزء A در حلال حل شود. محلول «استخراج شده» که شامل S، A و مقدار کمی B است با «محلول پس مانده» که شامل B و مقدار کمی A است دو فاز را تشکیل می‌دهد و اگر زمان کافی به آن‌ها داده شود از یکدیگر جدا می‌شوند. این دو عملیات یعنی «اختلاط خوراک و حلال» و «جداسازی محلول استخراج شده و محلول پس مانده» یک مرحله از عملیات استخراج را تشکیل می‌دهند. در کلیه دستگاه‌های استخراج (پیوسته یا ناپیوسته) عملیات استخراج در چند مرحله انجام می‌شود تا جداسازی به نحو مطلوب انجام شود.

در فرآیندهای پیچیده‌تر استخراج، ممکن است برای جداسازی اجزای یک خوراک از دو حلال استفاده شود.

مثال: مخلوطی از اسید «ارتو» و «پارا» نیتروبنزویک را می‌توان با پخش آن‌ها بین دو مایع نامحلول آب و کلروفرم جدا کرد. بدین ترتیب کلروفرم ایزومر «پارا» را بهتر حل می‌کند و آب ایزومر «ارتو» را بهتر حل می‌کند. این عمل، استخراج دو حلالی یا جزئی نامیده می‌شود.

۱۱-۶- انتخاب حلال

معمولاً حلال‌های فراوانی برای عملیات استخراج قابل استفاده هستند؛ اما در هریک از آن‌ها باید مشخصات زیر را برای حلال در نظر گرفت.

- ۱- حلال نباید سمی و قابل اشتعال باشد و از نظر اقتصادی مقرون به صرفه باشد.
- ۲- حلال باید از نظر شیمیایی پایدار بوده و با اجزای سیستم وارد واکنش‌های شیمیایی نگردد.
- ۳- مؤثر بودن حلال برای جداسازی با پارامتری به نام ضریب‌گزیش^۵ سنجیده می‌شود. این پارامتر که بسیار شبیه به قدرت فراریت در تقطیر است مقایسه‌ای است بین میزان مواد موجود در فاز استخراج شده به میزان مواد موجود در فاز پس مانده، در حالت تعادل.

۱- Feed

۲- Solvent

۳- Extract

۴- Raffinate

۵- Selectivity

۴- هر قدر حلال مصرفی در یکی از اجزای خوراک نامحلول تر باشد محدوده دو فازی وسیع‌تری را ایجاد می‌کند و با مقدار کمتری از حلال امکان جداسازی میسر می‌شود.

۵- حلال باید به آسانی بازیابی شود، یعنی به راحتی از موادی که در خود حل کرده است جدا شود. در بیشتر فرآیندها برای بازیابی حلال از عملیات تبخیر یا تقطیر استفاده می‌شود.

۶- تفاوت دانسیته بین فازهای استخراج شده و پس مانده هم در سیستم ناپیوسته و هم در سیستم پیوسته، شرط مهمی برای جداسازی فازها است و هرچه این تفاوت بیشتر باشد بهتر است.

۷- هرچقدر کشش سطحی بین دو فاز تشکیل شده بیشتر باشد پیوستگی ذرات امولسیون راحت‌تر ولی پراکندگی یک مایع در دیگری مشکل‌تر می‌شود. به هم پیوستن ذرات معمولاً از اهمیت بیشتری برخوردار است، زیرا این امر باعث می‌شود که زمان جداسازی فازها کوتاه‌تر شود و در نتیجه کشش بین سطوح باید زیاد باشد.

۱۱-۷- برج‌های تقطیر

جهت انجام فرآیند تقطیر جزء به جزء در صنعت، از برج‌هایی استفاده می‌کنند که با توجه به ساختمان داخلی شان به دو دسته سینی‌دار^۱ و آکنده^۲ تقسیم می‌شوند. به دلیل اهمیت این برج‌ها و کاربرد وسیع آن‌ها در صنایع مختلف به خصوص صنایع پالایش و پتروشیمی، لازم است با ساختمان و عملکرد آن‌ها آشنا شوید.

۱۱-۷-۱- برج‌های سینی‌دار: همان‌طور که قبلاً گفته شد در برج‌های سینی‌دار تماس بین فازهای مایع و بخار (گاز) روی سینی‌ها انجام می‌شود. این گونه برج‌ها اغلب فلزی و استوانه‌ای شکل هستند. یک طرح عمومی از برج‌های سینی‌دار در شکل ۱۱-۶ آمده است.

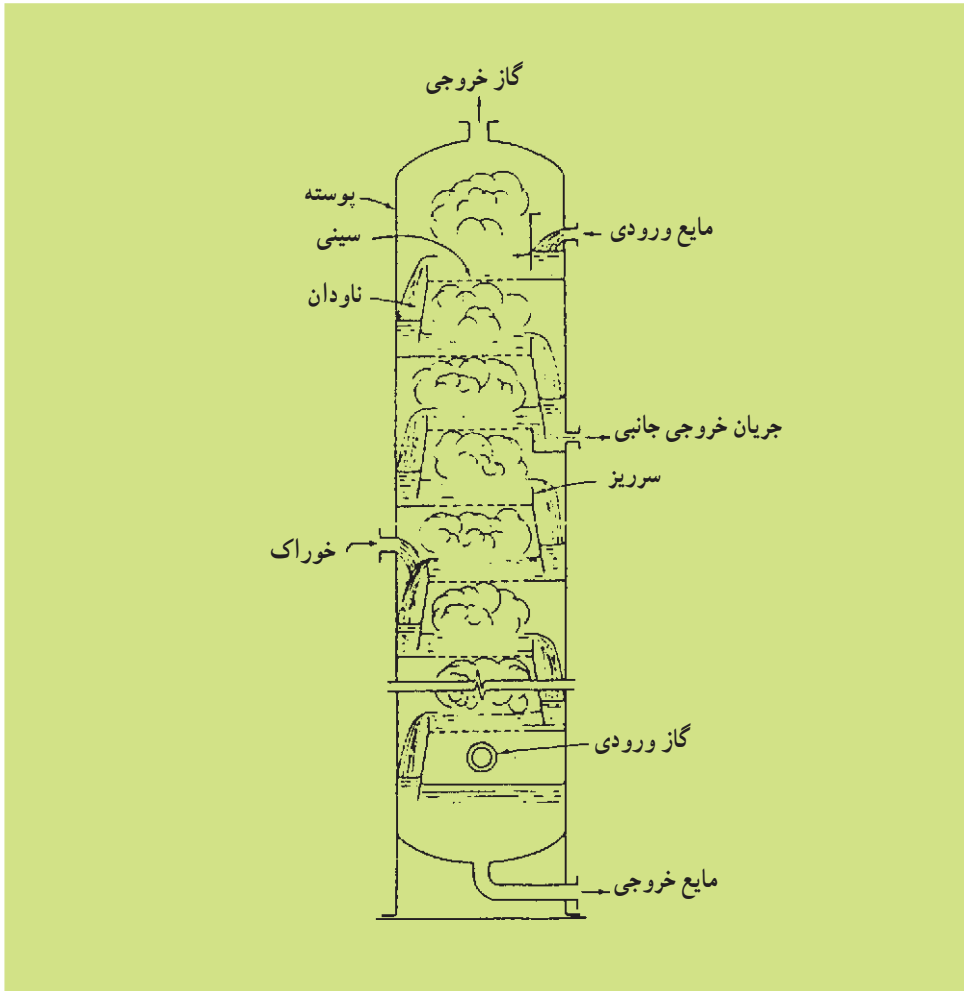
در این برج‌ها مایع از بالای برج از روی سینی‌ها عبور کرده و از طریق ناودان^۳ به طرف پایین حرکت می‌کند. بخار نیز از پایین از طریق منافذ سینی‌ها به طرف بالا حرکت می‌کند و بدین ترتیب در روی هر سینی مایع و بخار با هم مخلوط می‌شوند و امکان انتقال جرم این دو فاز میسر می‌شود. حرکت بخار از طریق منافذ به طرف بالا مانع عبور مایع از داخل سوراخ‌ها به طرف پایین می‌شود.

به منظور نگاه داشتن ارتفاع مناسبی از مایع بر روی هر سینی، از سرریز استفاده می‌شود و وقتی که ارتفاع مایع بالاتر از ارتفاع سرریز شد از طریق ناودان به سینی پایینی می‌ریزد. مایعی که سرریز شده است به صورت مخلوطی از مایع و بخار است و بخار همراه مایع، در طول ناودان از آن جدا می‌شود و مجدداً به طرف بالا حرکت می‌کند و بدین ترتیب مایع عاری از بخار، به سینی پایینی می‌ریزد. برای

۱- Tray Towers

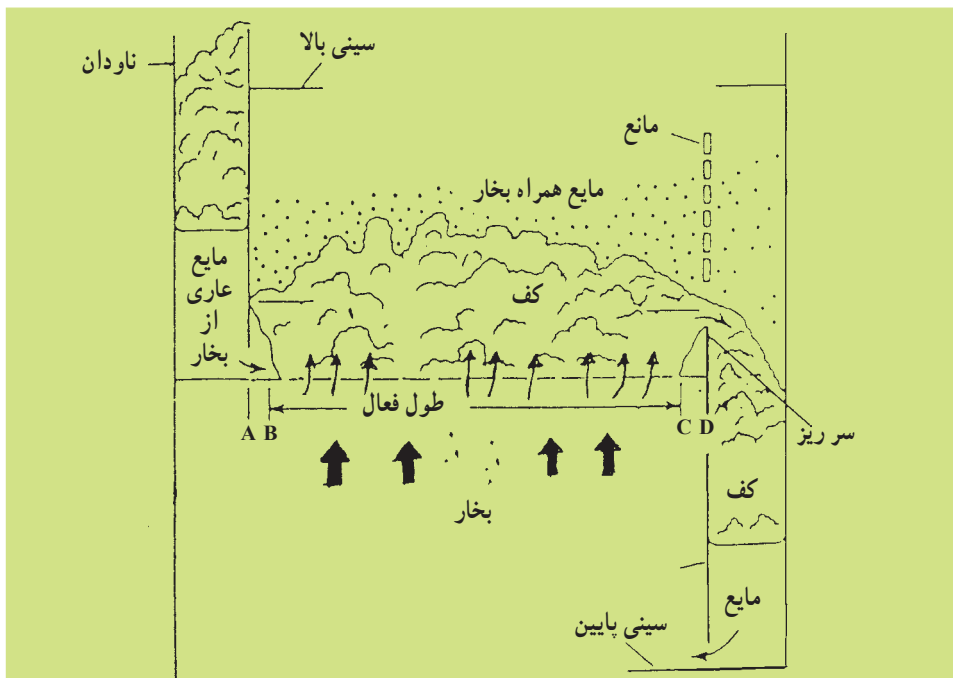
۲- Packed Towers

۳- Downcomers



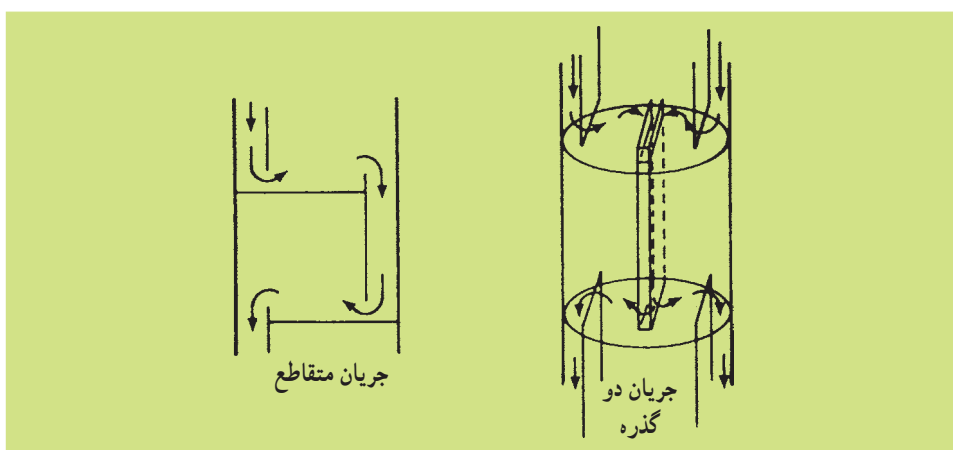
شکل ۱۱-۶- طرح عمومی برج‌های سینی‌دار

این‌که زمان لازم برای جدا شدن مایع از بخاری که به طرف بالا حرکت می‌کند وجود داشته باشد باید فاصله سینی‌ها به اندازه کافی باشد تا از بردن مایع توسط بخار به سینی بالایی جلوگیری شود. شکل ۱۱-۷ طرح ساده‌ای از این‌گونه پدیده‌ها را بر روی یک سینی نشان می‌دهد. فاصله بین سینی‌ها از حدود ۲ اینچ (۵ سانتی‌متر) تا حدود ۴ اینچ (۱۰ سانتی‌متر) تغییر می‌کند و هرچه قطر برج بزرگ‌تر باشد این فاصله نیز بیشتر می‌شود.



شکل ۱۱-۷- طرح ساده‌ای از نحوه جریان مایع و بخار بر روی یک سینی

نحوه جریان مایع بر روی سینی: نحوه جریان مایع بر روی سینی، بستگی زیادی به نسبت میزان جریان مایع به میزان جریان بخار دارد. دو نوع جریان متداول بر روی سینی‌ها عبارت‌اند از: جریان متقاطع^۱ و جریان دو یا چند گذره^۲ که شکل کلی از این دو نوع جریان در شکل ۱۱-۸ نشان داده شده است.

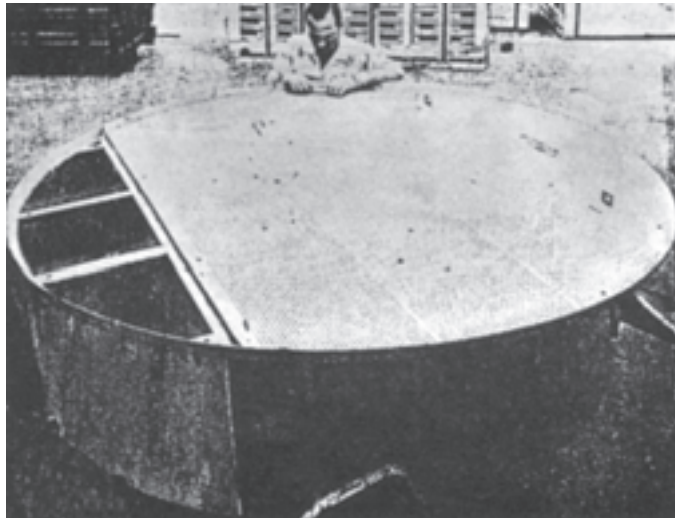


شکل ۱۱-۸- نحوه جریان مایع بر روی سینی

جریان متقاطع یکی از متداول‌ترین نوع جریان بر روی سینی است و معمولاً برای میزان جریان‌های متوسط مایعات و گازها مورد استفاده است. جریان‌های دو یا چند گذره برای برج‌های با قطر بزرگ و با میزان جریان بالای مایع، مورد استفاده‌اند. در جریان‌های دو گذره جریان مایع به منظور کاهش بار ناودان به دو قسمت تقسیم می‌شود.

۱۱-۷-۲- انواع سینی‌ها: مهم‌ترین انواع سینی‌های برج‌های تقطیر عبارت‌اند از: سینی‌های غربالی^۱، سینی‌های درجه‌ای^۲ و سینی‌های کلاهکی^۳.

سینی‌های غربالی: یک شمای کلی از سینی‌های غربالی در شکل ۱۱-۹ آمده است. این سینی‌ها بر اساس ایجاد منافذی (سوراخ‌هایی) به کمک مته بر روی یک صفحه فلزی ساخته می‌شوند. در نتیجه ساخت این سینی‌ها ساده و ارزان است. اطلاعات مربوط به طراحی این گونه سینی‌ها به راحتی در منابع مختلف موجود است. کارایی این سینی‌ها در شرایطی که میزان جریان مایع و بخار همواره ثابت باشد خوب است ولی استفاده از آن در واحدهایی که میزان جریان مایع یا بخار متغیر است توصیه نمی‌شود. سینی‌های غربالی در مواردی که مایعات، قابلیت رسوب‌دهی داشته باشند و یا دارای ذرات جامد معلق باشند نیز به خوبی قابل استفاده است. زیرا این گونه سینی‌ها در برابر گرفتگی مقاومند و می‌توانند دارای سوراخ‌های بزرگ باشند و در ضمن به راحتی قابل تمیز کردن هستند. قطر سوراخ‌ها بین $\frac{1}{8}$ تا $\frac{1}{4}$ اینچ ($\frac{3}{8}$ تا $\frac{2}{54}$ سانتی‌متر) متغیر است و اکثراً این اندازه بین $\frac{1}{4}$ تا $\frac{1}{8}$ اینچ



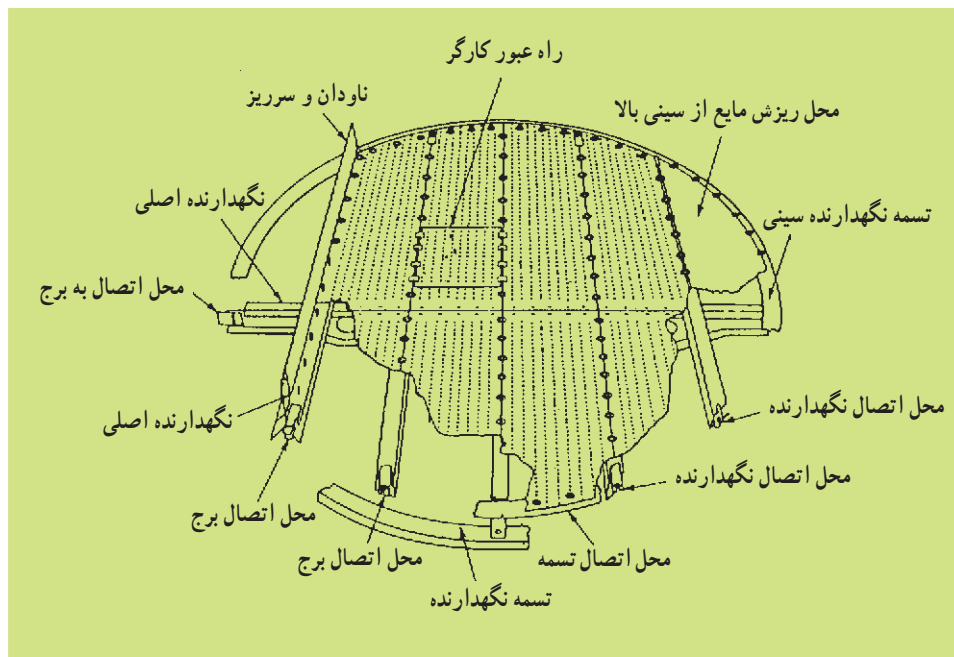
شکل ۱۱-۹- طرح یک سینی غربالی با ناودان

۱- Sieve Trays

۲- Volve Trays

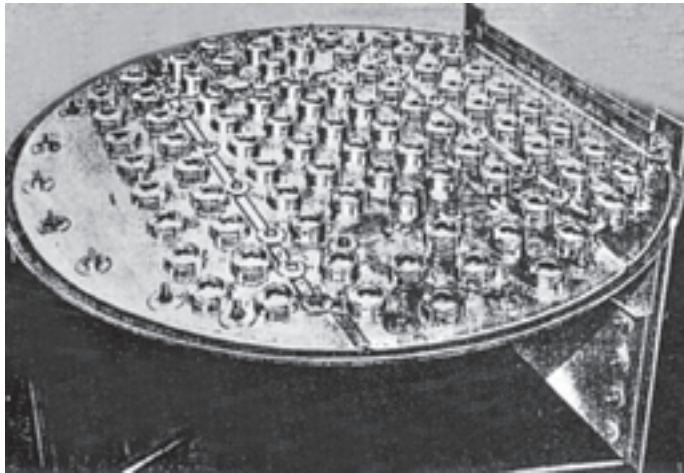
۳- Bubble - Cap Trays

(۶/۰ تا ۲۷/۱ سانتی‌متر) است. فاصله بین سوراخ‌ها معمولاً بین ۵ تا ۲/۵ اینچ (۳۵/۶ تا ۷/۱۲ سانتی‌متر) در نظر گرفته می‌شوند. شکل ۱۱-۱۰ اجزای تشکیل‌دهنده یک سینی غربالی را نشان می‌دهد.



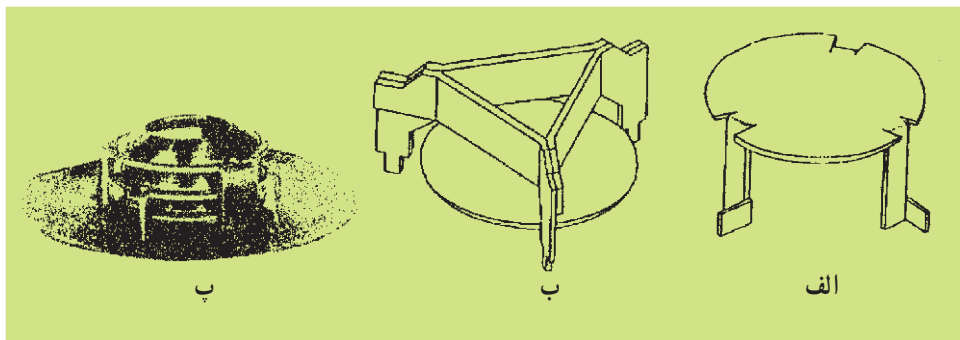
شکل ۱۱-۱۰ اجزای تشکیل‌دهنده یک سینی غربالی

سینی‌های دریچه‌ای: شکل ۱۱-۱۱ شمای کلی سینی‌های دریچه‌ای را نشان می‌دهد. با تغییر میزان جریان‌های مایع و بخار داخل برج، سینی‌های دریچه‌ای نسبت به سینی‌های غربالی کارایی بهتری دارند. در نتیجه، با تغییر میزان جریان خوراک، قابلیت انعطاف بیشتری خواهند داشت. قطر سوراخ‌های این گونه سینی‌ها نسبت به سینی‌های غربالی بزرگ‌تر است و توسط دریچه‌ای یک‌طرفه و متحرک که با تغییر فشار مایع و بخار از روی سطح سینی بالا می‌رود، پوشانده شده است. هر دریچه دارای پایه‌ای است که فقط حرکت آن را به طرف بالا محدود می‌کند. در حالتی که میزان جریان بخار زیاد است، دریچه کاملاً باز می‌شود و بیشترین فضا را جهت عبور گاز از مجاری پایه تأمین می‌کند. وقتی که میزان جریان گاز کاهش پیدا می‌کند دریچه‌ها پایین‌تر می‌روند و مجاری عبور گاز کوچک‌تر می‌شود و بدین ترتیب سرعت عبور گاز از داخل مجاری پایه، تقریباً ثابت باقی می‌ماند و کارایی سینی با تغییر جریان گاز عملاً تغییر نمی‌کند. از معایب سینی‌های دریچه‌ای گران‌تر بودن آن نسبت به سینی‌های غربالی (حدود ۲۰٪) و قابلیت بسته شدن منافذ توسط مایعات جرم‌زا است.



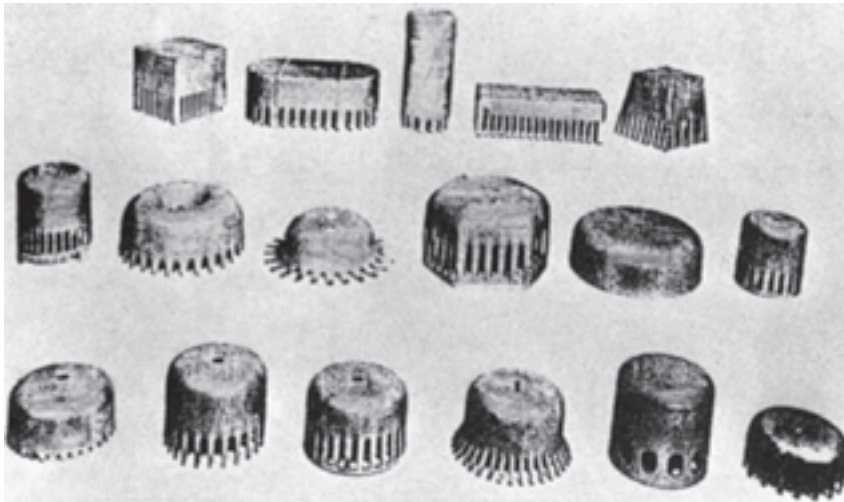
شکل ۱۱-۱۱- شمای کلی سینی‌های دریچه‌ای

قطر سوراخ‌ها معمولاً حدود $1/5$ اینچ ($3/81$ سانتی‌متر) است ولی قطرهای بزرگ‌تر تا 6 اینچ ($15/24$ سانتی‌متر) نیز گاهی اوقات به کار می‌رود. فاصله بین سوراخ‌ها 3 تا 6 اینچ ($7/62$ تا $15/24$ سانتی‌متر) است. سه نوع مختلف دریچه‌های این‌گونه سینی‌ها در شکل ۱۱-۱۲ آمده است.



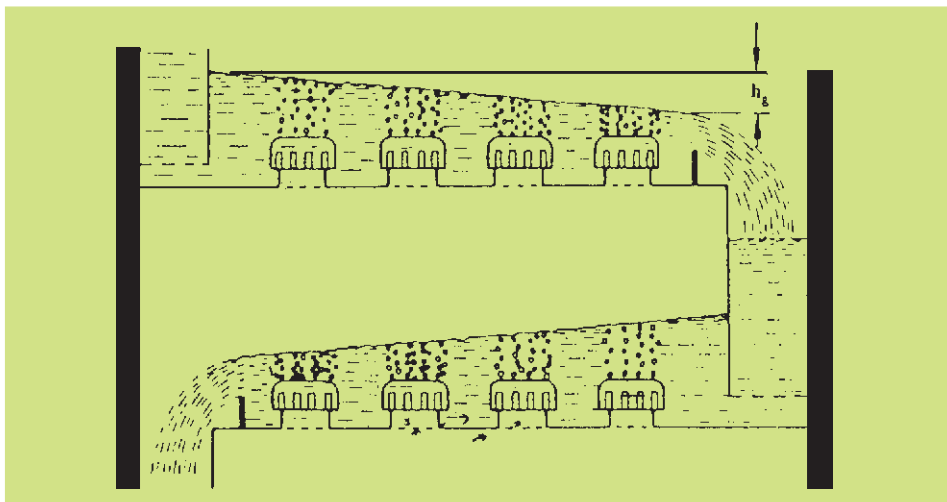
شکل ۱۱-۱۲- چند نمونه از انواع سینی‌های دریچه‌ای
الف - پایه متصل به دریچه ب و پ - پایه متصل به کف سینی

سینی‌های کلاهکی: انواع کلاهک‌ها در شکل ۱۱-۱۳ نشان داده شده است. در یک سینی کلاهکی، اطراف هر سوراخ روی سطح سینی یک پایه ثابت نصب شده است و کلاهکی دارای منافذ روی پایه قرار می‌گیرد و در نتیجه بخار با عبور از پایه و گذشتن از منافذ کلاهک، به داخل فاز مایع وارد می‌شود و با آن در تماس قرار می‌گیرد. این نوع سینی‌ها می‌توانند در مواردی که میزان جریان مایع خیلی کم یا خیلی زیاد باشد مورد استفاده قرار گیرند.

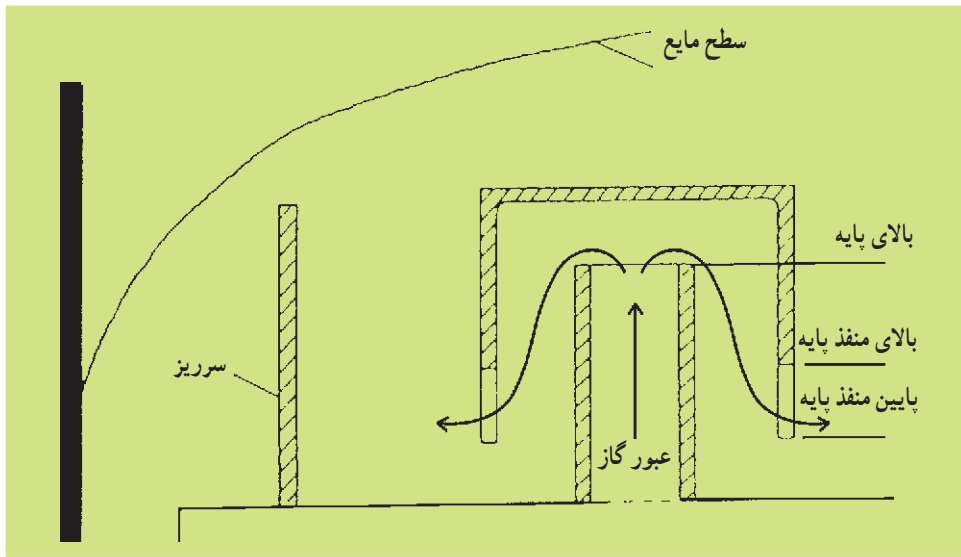


شکل ۱۱-۱۳- چند نمونه کلاهک

شکل ۱۱-۱۴ نحوه عبور گاز از داخل مایع را در یک سینی کلاهکی و شکل ۱۱-۱۵ شکل ساده کلاهک را نشان می‌دهد. در سینی‌های کلاهکی میزان مایعی که همراه بخار به طرف بالا می‌رود حدود ۳ برابر سینی‌های غربالی است کارایی این گونه سینی‌ها معمولاً مشابه یا کمتر از سینی‌های غربالی است و قابلیت انعطاف آن در برابر تغییر میزان جریان خوراک ورودی بسیار کم است. در این گونه سینی‌ها مشکلات تشکیل کک تشکیل پلیمر یا جرم گرفتگی وجود دارد. سینی‌های کلاهکی تقریباً ۴ برابر گران‌تر از سینی‌های دریچه‌ای هستند. بدین ترتیب در واحدهای جدید صنعتی عملاً استفاده از این گونه سینی‌ها منسوخ شده است.



شکل ۱۱-۱۴- نحوه عبور گاز از داخل فاز مایع روی سینی



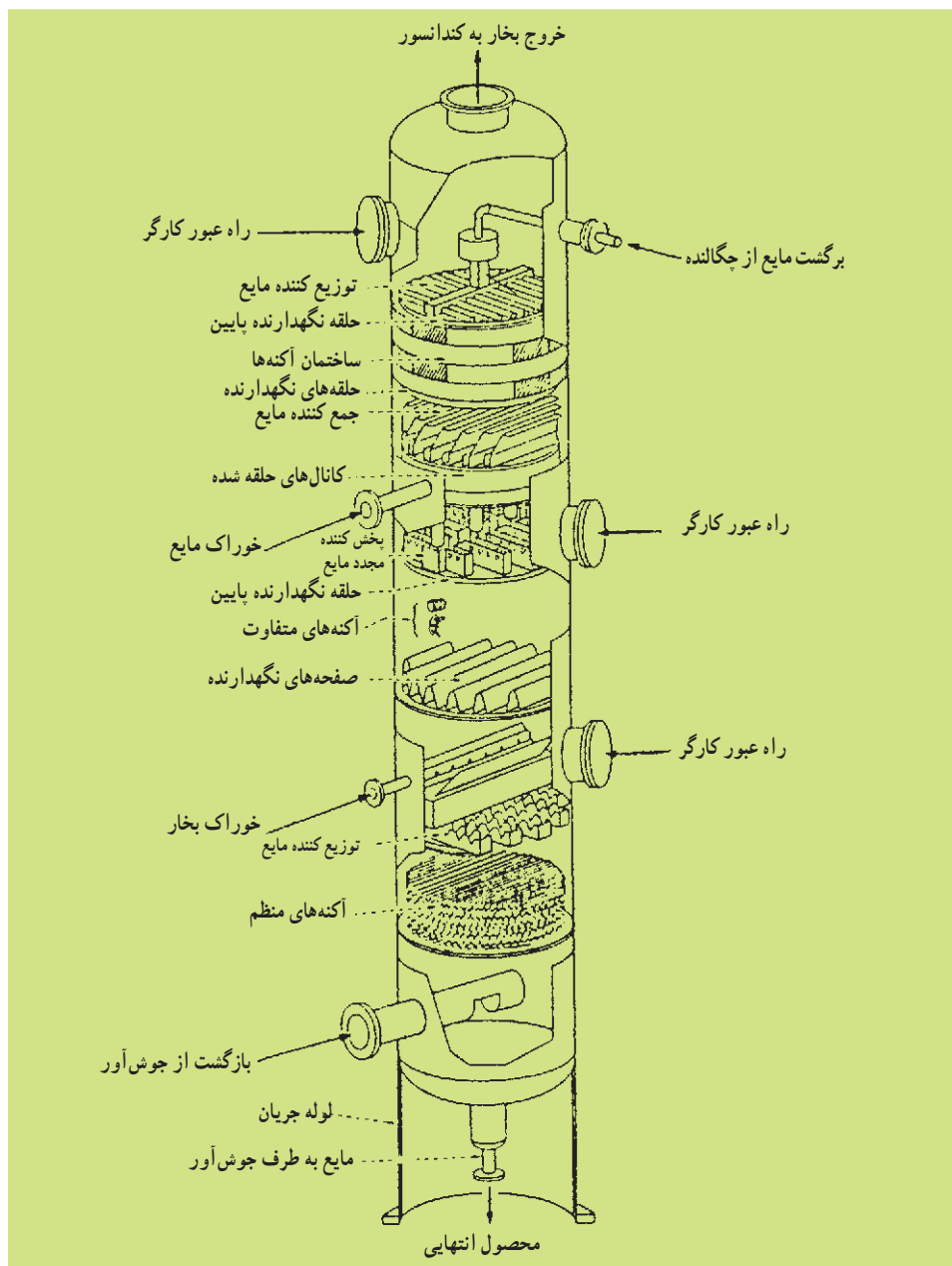
شکل ۱۱-۱۵- شکل ساده کلاهک روی سینی

۱۱-۷-۳- برج‌های آکنده^۱: برج‌های آکنده جهت تماس بین دو سیال غیر قابل امتزاج گاز و مایع یا دو مایع به‌طور وسیع مورد استفاده است. به‌عنوان مثال: ایجاد تماس بین گاز و مایع در یک فرآیند جذب و یا تماس بین مایع و بخار در واحدهای تقطیر و همچنین تماس بین دو فاز مایع در واحدهای استخراج را می‌توان در یک برج آکنده تأمین کرد. در مواردی که قطر برج کم (معمولاً کم‌تر از ۲ فوت) و یا این‌که افت فشار کم مورد نیاز است (برج‌های تحت خلأ) و یا نیاز به استفاده از موادی مانند سرامیک یا پلاستیک است (به‌عنوان مثال برای جلوگیری از خوردگی). برج‌های آکنده می‌توانند جایگزین برج‌های سینی‌دار شوند. در برج‌های با قطر بزرگ و به‌خصوص در مواردی که میزان جریان مایع کم و جریان بخار زیاد است استفاده از برج‌های آکنده به دلیل مشکل توزیع مناسب مایع روی سطح آکنه توصیه نمی‌شود. شکل ۱۱-۱۶ شمای کلی از اجزای مختلف یک برج آکنده را نشان می‌دهد.

در مواردی که از برج آکنده برای تماس مایع - بخار استفاده می‌شود، مایع روی سطح آکنه به طرف پایین جریان می‌یابد و بخار از فضای خالی داخل آکنه به طرف بالا عبور می‌کند. هدف استفاده از آکنه^۲ تأمین تماس لازم بین مایع و بخار در یک سطح گسترده به منظور انجام بهتر عمل انتقال جرم بین دو فاز است. در عین حال مواد آکنه باید خروج آسان مایع و همچنین افت فشار کم برای جریان بخار را تأمین کنند. برای نگهداری بستر آکنه در داخل برج، از صفحات نگهدارنده

۱- Packed Towers

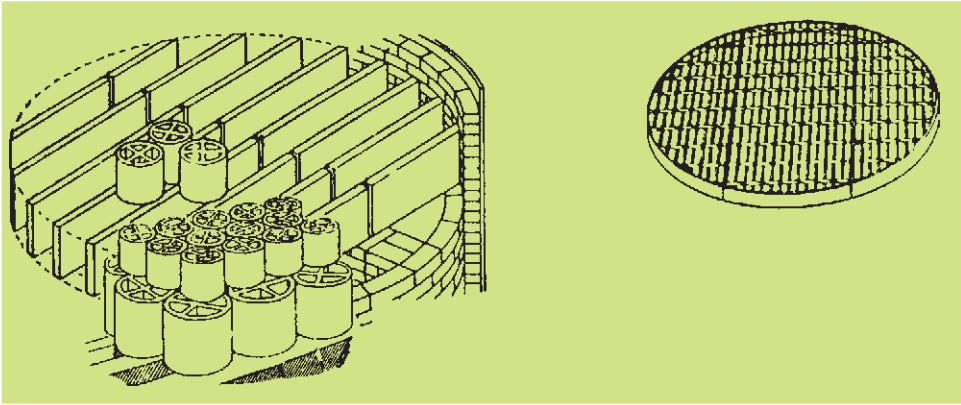
۲- Packing



شکل ۱۱-۱۶- شمای کلی برج آکنده

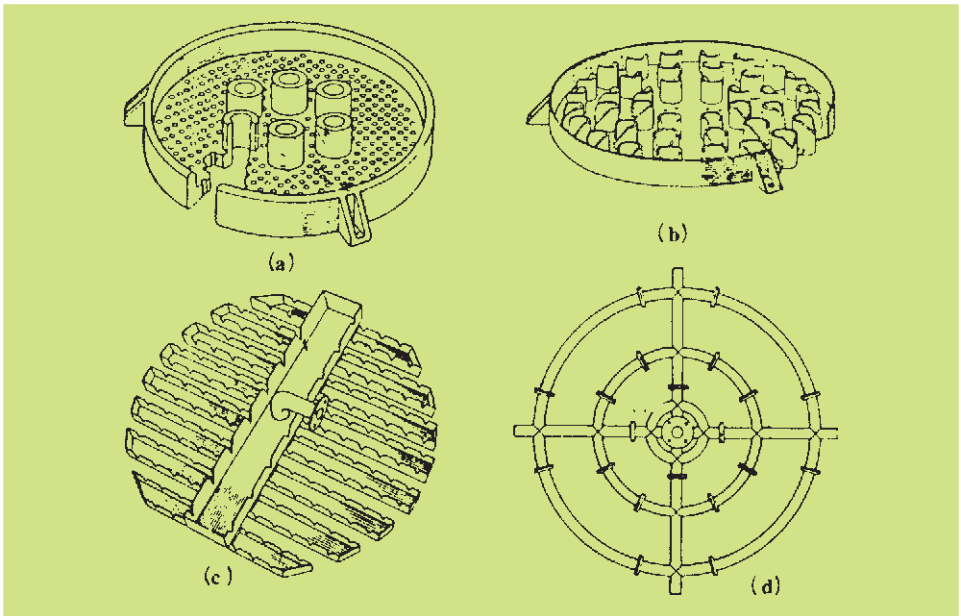
استفاده می‌شود که حداقل باید دارای ۷۵٪ سطح آزاد جهت عبور گاز با حداقل مقاومت در برابر جریان باشد. نمونه‌ای از صفحات نگهدارنده در شکل ۱۱-۱۷ آمده است. در بالای بستر آکنده، از توزیع کننده مایع^۱، جهت پخش یک نواخت مایع بر روی آکنه استفاده می‌شود.

۱- Liquid Distributer



شکل ۱۱-۱۷- صفحات نگهدارنده آگنه

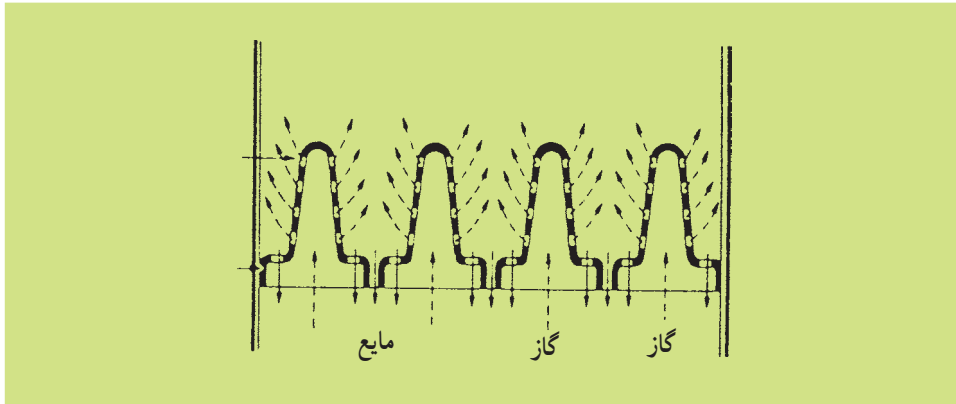
چند نوع از انواع توزیع کننده‌ها در شکل ۱۱-۱۸ آمده است.



شکل ۱۱-۱۸- چند نوع از انواع توزیع کننده مایع

هنگامی که ارتفاع برج زیاد باشد استفاده از صفحات توزیع کننده میانی در داخل برج ضروری است. فاصله بین دو صفحه متوالی پخش کننده نباید از ۶ متر بیشتر باشد. جهت تزریق گاز از پایین برج و به منظور تأمین مسیرهای متفاوت مایع و گاز در انتهای برج می‌توان از صفحات توزیع گاز که در شکل ۱۱-۱۹ نشان داده شده است استفاده کرد. در این صفحات ورودی گاز در سطحی بالاتر از

سطح خروجی مایع قرار دارد.



شکل ۱۱-۱۹- توزیع کننده گاز

۱۱-۷-۴- انواع آکنه‌ها: آکنه‌ها را می‌توان به سه دسته اصلی: ۱- مواد جامد خرد شده، ۲- آکنه‌های شکل داده شده، ۳- آکنه‌های منظم، تقسیم کرد. مواد جامد خرد شده ارزان‌ترین نوع مواد آکنه هستند و از اندازه ۱۰ تا ۱۰۰ میلی‌متر با توجه به اندازه برج، استفاده می‌شوند. با وجود این که معمولاً این گونه آکنه‌ها مواد مقاوم در برابر خوردگی هستند گاهی به علت عدم تأمین سطح مناسب جهت انتقال جرم و توزیع نامناسب جریان مایع بر روی آکنه، نسبت به انواع دیگر، کم‌تر به کار گرفته می‌شوند.

از انواع متداول آکنه‌های شکل داده شده می‌توان از حلقه‌های راشیگ^۱، حلقه‌های پال^۲، حلقه‌های سینگ^۳، و نوع زین اسبی^۴ نام برد. در ضمن آکنه‌های جدیدتر مانند اینتالوکس^۵، های‌پک^۶ به علت کارایی بهتر و ایجاد افت فشار کمتر، جایگزین انواع قدیمی‌تر شده‌اند. شکل ۱۱-۲۰ تعدادی از این گونه آکنه‌ها را نشان می‌دهد. اکثر این آکنه‌ها از مواد مختلف مانند سرامیک، فلز، شیشه، پلاستیک یا لاستیک هستند. آکنه‌های سرامیکی در برابر خوردگی مقاوم و به نسبت ارزان ولی نسبتاً سنگین هستند. اندازه آکنه‌های مورد استفاده روی قطر و ارتفاع برج، افت فشار و هزینه ساخت تأثیر می‌گذارد. به‌طور کلی با افزایش اندازه آکنه هزینه ساخت برج به ازای واحد حجم آکنه و هم‌چنین افت فشار به ازای طول آن کاهش می‌یابد ولی با توجه به کاهش سطح تماس مایع-بخار میزان انتقال جرم نیز کاهش می‌یابد و ارتفاع برج نیز به دنبال آن افزایش خواهد یافت. در هر صورت معمولاً اندازه آکنه‌های مورد استفاده کم‌تر از ۵۰ میلی‌متر است.

۱- Raschig Rings

۲- Pall Rings

۳- Lessing Ring

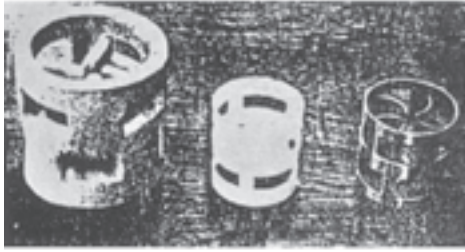
۴- Saddle Type

۵- Intalox

۶- Hy - Pak



الف - حلقه‌های راشیگ و سینگ سرامیکی و فلزی در اندازه‌های مختلف



پ - حلقه‌های سرامیکی - پلاستیکی و فلزی پال



ب - حلقه‌های یک فلزی



ت - آکنه‌های اینتالوکس زین اسبی سرامیکی
(Intalox Saddles)



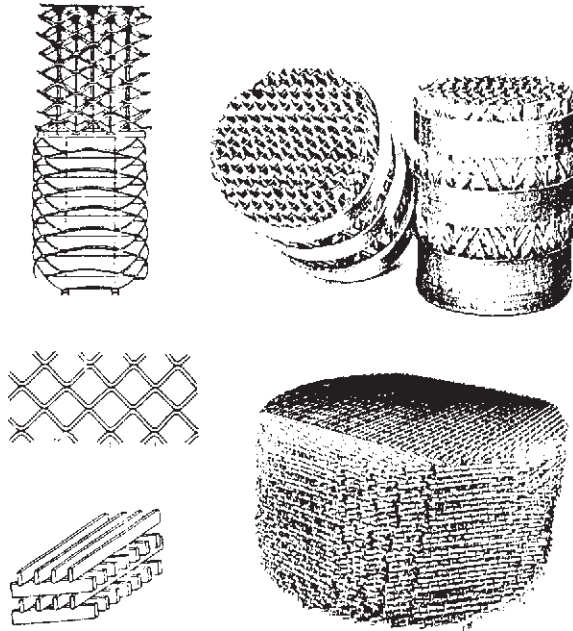
ث - آکنه‌های اینتالوکس پلاستیکی



ج - آکنه زین اسبی

شکل ۱۱-۲۰ - چند نمونه آکنه

معمولاً نحوه چیدن مواد جامد خرد شده و آکنه‌های شکل داده شده در داخل برج به صورت نامنظم است. جهت کاهش افت فشار و افزایش کارایی آکنه‌ها می‌توان از آکنه‌های منظم استفاده کرد. این نوع آکنه‌ها اغلب از چندین لایه حلقه‌های بزرگ توری که به‌طور منظم بر روی هم قرار می‌گیرند تشکیل شده‌اند. شکل ۱۱-۲۱ نمونه‌هایی از آکنه‌های منظم را نشان می‌دهد.



شکل ۱۱-۲۱- چند نمونه آکنه منظم

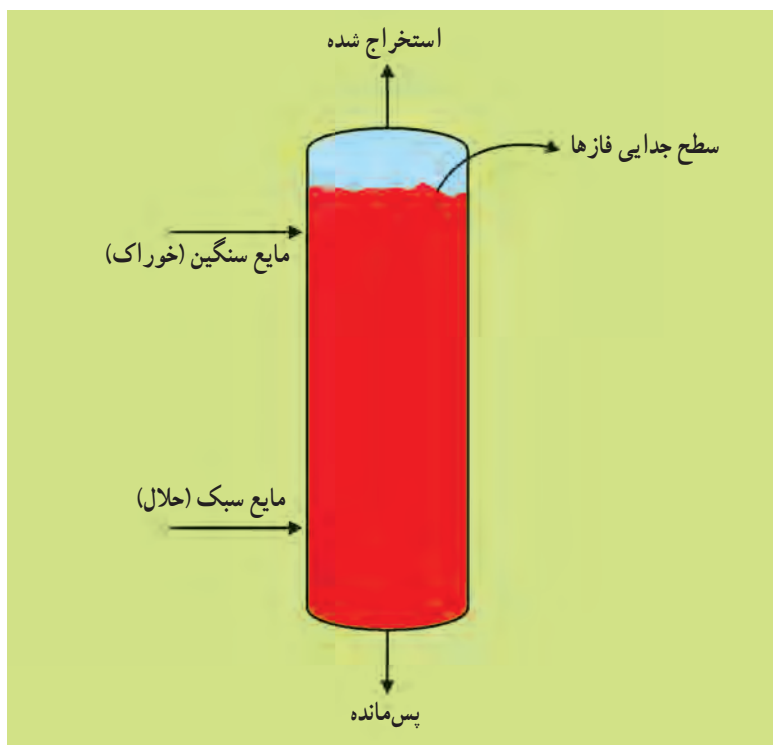
۱۱-۸- برج‌های استخراج

در کلیه دستگاه‌های استخراج باید دو عمل «اختلاط خوراک و حلال» و «جدا شدن محلول استخراج شده و محلول باقی‌مانده» که در مجموع یک مرحله از عملیات استخراج را تشکیل می‌دهند، انجام شود. در اغلب برج‌های استخراج بسته به خواص فیزیکی خوراک و حلال (نظیر حلالیت، دانسیته، کشش سطحی) و خلوص مورد نیاز برای محصول، چندین مرحله عملیات استخراج اجرا می‌شود. دستگاه‌های استخراج^۱ بسیار متنوع هستند. در زیر با چند نوع از این دستگاه‌ها آشنا می‌شوید.

۱۱-۸-۱- برج‌های پاششی^۲: این دستگاه‌ها ساده‌ترین وسیله برای اجرای عملیات استخراج می‌باشند که صرفاً شامل یک محفظه توخالی هستند که در بالا و پایین آن محل‌هایی برای ورود و خروج مایعات پیش‌بینی شده است. در این برج‌ها فقط یک مرحله عملیات استخراج اجرا می‌شود که در آن عمل اختلاط خوراک و حلال به ساده‌ترین و بدترین شکل انجام می‌گردد. محلول استخراج شده و محلول پس‌مانده به دلیل اختلاف دانسیته از یکدیگر جدا، یکی از بالا و دیگری از پایین برج خارج می‌شوند. شکل ۱۱-۲۲ چگونگی عمل این برج‌ها را نشان می‌دهد.

۱- Extractors

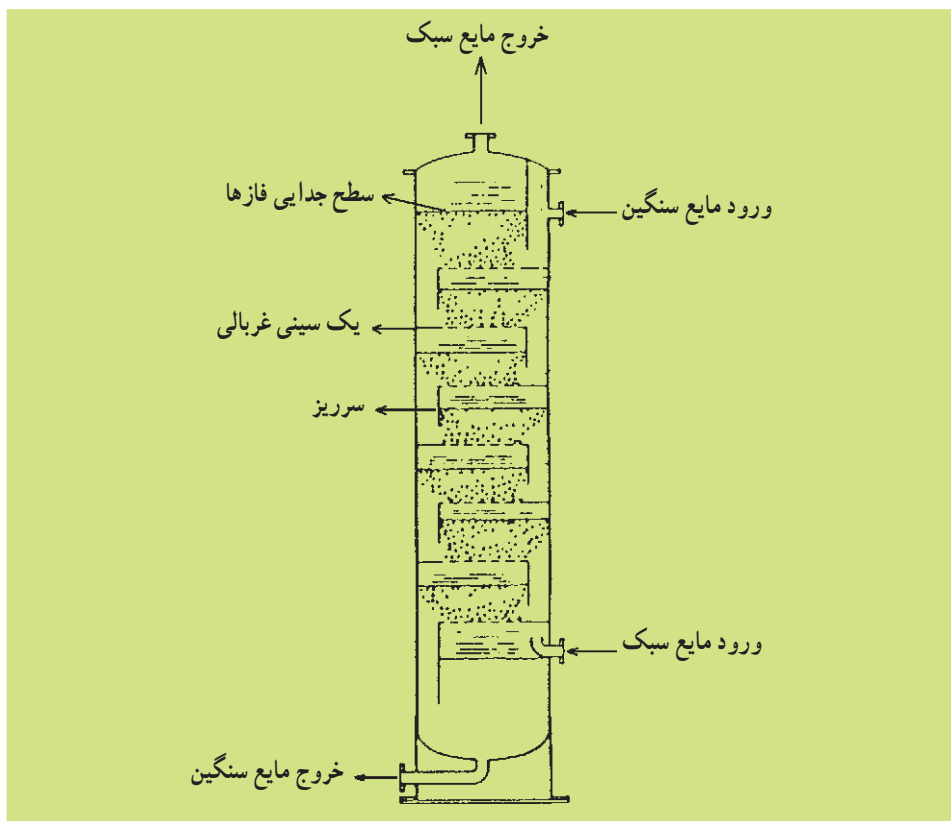
۲- Spray Towers



شکل ۱۱-۲۲- عملیات استخراج تک مرحله‌ای در برج پاششی وقتی خوراک سنگین‌تر از حلال باشد.

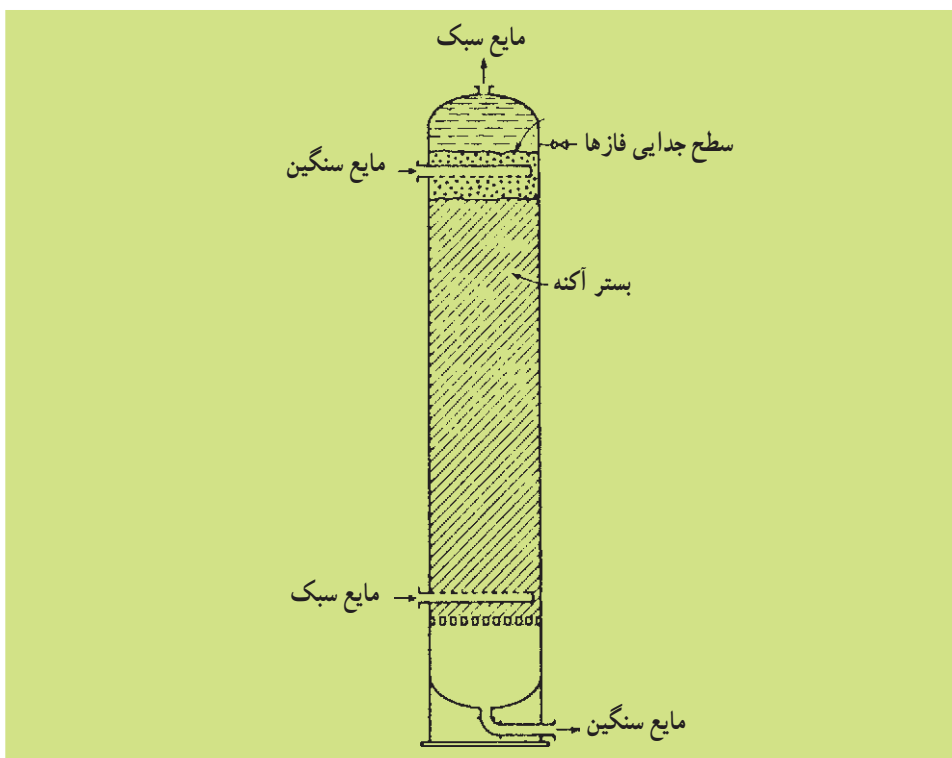
۱۱-۸-۲- برج‌های سینی‌دار: شکل ۱۱-۲۳ یک برج سینی‌دار غربالی را که به منظور اجرای عملیات استخراج مورد استفاده قرار می‌گیرد نشان می‌دهد. مایع سبک از پایین برج وارد می‌شود و به سمت بالا حرکت می‌کند. به هنگام عبور این مایع از سوراخ‌های سینی به صورت قطرات کوچک درآمده در مایع سنگین که روی سینی حرکت می‌کند و از طریق سرریزها به سمت پایین برج جریان دارد، پخش می‌شود. بدین ترتیب عمل اختلاط دو مایع که یکی خوراک و دیگری حلال است انجام می‌شود. قطرات مایع سبک قبل از رسیدن به سینی بالاتر به یکدیگر پیوسته از مایع سنگین جدا می‌شود. بدین ترتیب عمل جداسازی فازها انجام شده و یک مرحله از عملیات استخراج کامل می‌شود. با طراحی صحیح، ارتفاع برج، و تعداد سینی‌ها را به گونه‌ای پیش‌بینی می‌کنند تا تعداد مراحل استخراج به تعداد کافی برسد و محصول (جریان محلول استخراج شده) به خلوص مورد نظر دست یابد. بسته به دانسیته خوراک و حلال، مایع سبک و سنگین تعیین می‌شود.

در سیستم‌هایی که دو فاز به آسانی مخلوط و سپس سریعاً از یکدیگر جدا می‌شوند، از برج‌های استخراج سینی‌دار غربالی استفاده می‌شود. بدیهی است این برج‌ها کارایی بالاتری نسبت به برج‌های استخراج پاششی دارند.



شکل ۱۱-۲۳- برج استخراج با سینی غربالی که برای بخش مایع سبک طراحی شده است.

۱۱-۸-۳- برج‌های آکنده: برج‌های آکنده نیز همانند برج‌های سینی دار در عملیات تقطیر، جذب (تماس گاز-مایع) و استخراج به کار می‌روند. در اجرای عملیات استخراج، این برج‌ها از مواد آکنه به صورت تصادفی پر می‌شوند. شکل ۱۱-۲۴ این نوع برج‌ها را نشان می‌دهد که فاز مایع سبک از پایین برج وارد می‌شود و در داخل فاز سنگین که از بالا وارد شده است پخش می‌گردد. فضای خالی میان آکنه‌ها از مایع سنگین که یک فاز پیوسته را تشکیل داده، پر شده است. قطرات مایع سبک از لابه‌لای آکنه‌ها و از داخل مایع سنگین بالا می‌رود و در نهایت در قسمت بالای بستر آکنه به صورت یک فاز مجتمع می‌گردد. سطح جدایی فازها در بالای بستر آکنه تشکیل می‌شود. جهت اختلاط بهتر، اندازه آکنه‌ها باید به قدر کافی کوچک باشد. در هر حال اندازه هر آکنه نباید از $\frac{1}{8}$ قطر برج بیشتر باشد. در برج‌های آکنده نیز عملیات استخراج بهتر از برج‌های پاششی انجام می‌شود. در مواردی که حلال یا خوراک خورنده باشد و استفاده از سینی‌های فلزی امکان‌پذیر نباشد، استفاده از برج‌های آکنده با آکنه‌هایی از جنس سرامیک یا پلاستیک بهترین جایگزین است.



شکل ۱۱-۲۴- برج های آکنده برای استخراج (مایع سبک پخش شده است)

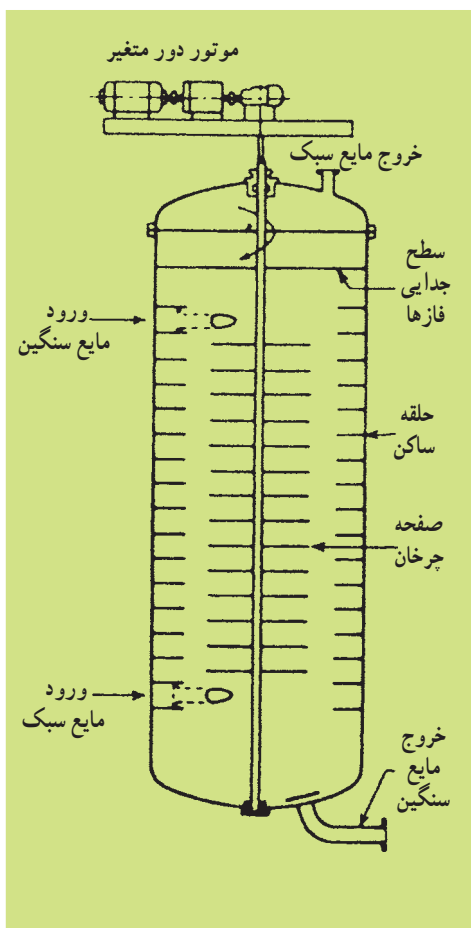
۱۱-۸-۴- استخراج کننده با همزن مکانیکی^۱: در برج های پاششی، سینی دار غربالی و آکنده وقتی که اختلاف دانسیته خوراک و حلال 0.1 g/cm^3 یا کم تر می باشد و کشش سطحی آن ها زیاد است، پخش و اختلاط خوراک و حلال در یکدیگر به خوبی انجام نمی شود و در نتیجه عمل استخراج با کیفیت مطلوب انجام نخواهد شد. در چنین شرایطی با استفاده از همزن مکانیکی عمل پخش شدن به خوبی انجام و عمل اختلاط کامل می شود. در نتیجه عملیات استخراج به نحو مطلوب صورت می گیرد انواع مختلف همزن های مکانیکی در داخل برج های استخراج به کار می رود. شکل ۱۱-۲۵ یک نوع برج استخراج با همزن مکانیکی با پره های توربینی^۲ را نشان می دهد. همان طور که در شکل مشاهده می شود، جهت اختلاط بهتر این برج مجهز به بافل و توزیع کننده فازهای مایع است.

شکل ۱۱-۲۶ نوع دیگری از برج های استخراج را که استخراج کننده با صفحات چرخان (RDC)^۳ نام دارد نشان می دهد. در این دستگاه بافل های عمودی وجود ندارد و اختلاط در اثر حرکت صفحات چرخان به وجود می آید که سرعت دوران صفحات چرخان از پره های توربینی بیشتر است.

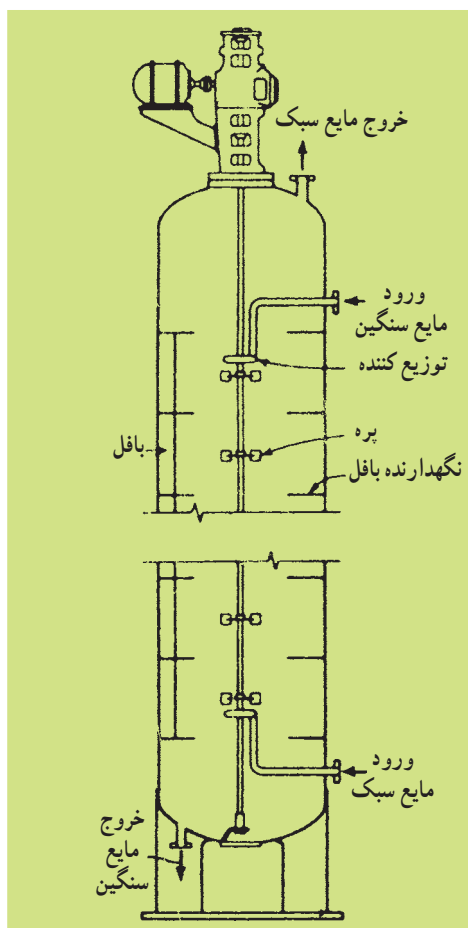
۱- Mechanically Agitated Extractor

۲- این نوع استخراج کننده ها را Oldshue-Rushton می نامند.

۳- Rotating-Disk Contactor



شکل ۱۱-۲۶- برج استخراج RDC



شکل ۱۱-۲۵- برج استخراج با همزن مکانیکی با پره‌های توربینی

خودآزمایی

۱- مواد A، B و C در دمای C ۲۵ به ترتیب دارای فشار بخارهای ۰.۶۰، ۱۱۸/۵ و ۴۰۲ میلی متر جیوه هستند. کدام یک از این مواد سبک تر و دارای نقطه جوش پایین تر و کدام یک سنگین تر و دارای نقطه جوش بالاتر است؟

۲- قابلیت تبخیر (فراریت) نسبی را با فرمول زیر نشان می‌دهیم.

$$P_{AB} = \frac{P_A}{P_B}$$

• فراریت نسبی ماده A نسبت به B

• فشار بخار جزء A

• فشار بخار جزء B

P_A و P_B هم واحد هستند. با استفاده از اطلاعات سؤال قبل فراریت نسبی A نسبت به B، A نسبت به C و C نسبت به B را به دست آورید و بگویید جداسازی کدام دو آمیزه به روش تقطیر راحت تر است؟ چرا؟

۳- اصول تقطیر را با بیان یک مثال شرح دهید.

۴- انواع تقطیر را فقط نام ببرید و بگویید در کدام روش جداسازی بهتر انجام می‌شود؟ چرا؟

۵- در چه مواردی عمل تقطیر تحت خلأ یا تحت فشار انجام می‌شود؟

۶- اصول استخراج مایع از مایع را توضیح دهید (فرض کنید محلول دوجزئی A و B را داریم و می‌خواهیم این دو ماده را به کمک حلال S از یکدیگر جدا کنیم).

۷- مشخصات یک حلال مناسب برای انجام عملیات استخراج را بنویسید.

۸- چرا هرچه تفاوت دانسیته بین فازهای «استخراج شده» و «پس مانده» بیشتر باشد، بهتر است؟

۹- با رسم یک شکل ساده، نحوه جریان مایع و بخار روی یک سینی را شرح دهید.

۱۰- سه نوع سینی را نام ببرید و موارد کاربرد، مشخصات و محاسن و معایب هر یک را بنویسید.

۱۱- در عملیات تقطیر در چه مواردی برج‌های آکنده می‌توانند جایگزین برج‌های سینی‌دار

شوند؟ در چه مواردی استفاده از برج‌های آکنده توصیه نمی‌شود؟

۱۲- سه دسته اصلی آکنه‌ها را نام ببرید. سه نوع آکنه شکل داده شده را نام ببرید.

۱۳- طرز کار یک برج سینی‌دار غربالی در عملیات استخراج مایع از مایع را شرح دهید.

۱۴- هنگامی که عمل اختلاط فازها در برج‌های سینی‌دار و آکنده به نحو مطلوب انجام نشود،

از چه نوع استخراج‌کننده‌ای استفاده می‌کنیم؟

۱۵- عبارتهای زیر را به شکل صحیح بنویسید.

الف) در یک برج استخراج سینی دار روی هر سینی $\frac{\text{یک مرحله}}{\text{چند مرحله}}$ عملیات استخراج انجام می شود؟

ب) هر مرحله از عملیات استخراج ابتدا با $\frac{\text{اختلاط}}{\text{جدا شدن}}$ فازها آغاز می شود و سپس در پی آن

$\frac{\text{اختلاط}}{\text{جدا شدن}}$ فازها انجام می شود.

ج) متداول ترین و مهم ترین عملیات جداسازی $\frac{\text{تقطیر}}{\text{استخراج}}$ است.

منابع و مراجع

- ۱- مکانیک سیالات و هیدرولیک، تألیف: دکتر مدنی، ۱۳۷۴، تهران
- ۲- اصول بنیانی و مبانی محاسبات در مهندسی شیمی، تألیف: دیوید هیمل بلاو، ترجمه دکتر مرتضی سهرابی، ۱۳۷۰ پبلی تکنیک
- ۳- کنترل فرآیندها، تألیف: کاک ناور + کاپل، ترجمه دکتر گودرز نیا، ۱۳۷۰
- ۴- طراحی و تنظیم سیستم‌های کنترل در واحدهای شیمیایی نفت و گاز، تألیف: سید پندار توفیقی، سال ۱۳۷۴، انتشارات شرکت نفت جنوب
- ۵- پمپ و پمپاژ، تألیف: دکتر احمد نوربخش، ۱۳۷۹، دانشکده فنی تهران
- ۶- عملیات واحد در مهندسی شیمی، تألیف: وارون مک کیب چاپ پنجم، ترجمه عطاءالله امینی ۱۳۷۹
- ۷- مبانی صنایع شیمیایی (۱) کد (۴۸۰)، تألیف: دکتر داوود رشتچیان، سیروس قطبی، غلامحسین غلامی سعیدی
- ۸- جزوه آموزش اصول انتخاب و طراحی همزن‌ها، مصطفی زراعی آبیانه، انتشارات واحد آموزش و برنامه‌ریزی نیروی انسانی پژوهشگاه صنعت نفت، ۱۳۷۹
- ۹- کارگاه عملیات دستگاهی صنایع شیمیایی، تألیف: سیدپندار توفیقی، ۱۳۸۰
- ۱۰- Fluid Mechanics, by: Streeter 9th ed. -2000, Mc. GrawHill
- ۱۱- Heat transfer, by: J.P. Holman. 1999, Mc. GrawHill
- ۱۲- Experimental method of Engineering, by: Holman. 1990
- ۱۳- Fluid Measurement Engineering Handbook, by: Miller, 1980
- ۱۴- Pump handbook, by: Karrasik, 1986
- ۱۵- Coluson and Richardsonts, Chemical Engineering, by: Coluson, Richardson, 1999, Vol: 1-6, Mc GrawHill
- ۱۶- Shell & Tube Heat Exchanger, by: William R. Aplolett. Jr. Fosterweeler development Corporation, 1989
- ۱۷- Industrial Heat Exchanger a book guid, walker, university of Colgary.

١٨_ Pump for the offshore oil industry, Sulzer company, 1991

١٩_ Casing Manual by: Ebara corporation, 1995

٢٠_ Centrifugal pump of the oil and gas industry, by: Mannes Mann Demag company, 1995.

٢١_ Platon, instrumentation flow bit, Flow, pressure measurment and control experiment, by: Platon corporting, 1991

٢٢_ Mass transfer operation, by: Treyball 3th Edition, 1979. Mc-GrawHill

٢٣_ Mixing in the proces industries. N. Harn by M.F edwards, A. W. Nienow, Butterworth and Co. 1989.

