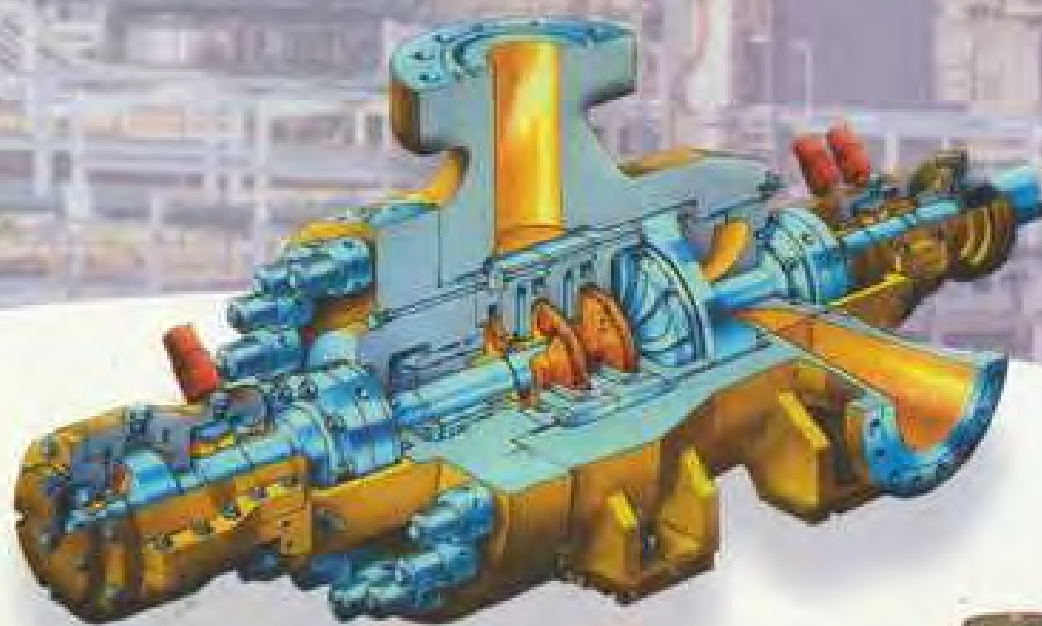




جمهوری اسلامی ایران
وزارت آموزش پرورش
شیر و تجهیزات

عملیات دستگاہی در صنایع شیمیایی

فنی و حرفه‌ای (رشته‌ی صنایع شیمیایی)



نظام جدید آموزش متوسطه

۴۹۲/۳

بِسْمِ اللّٰهِ الرَّحْمٰنِ الرَّحِیْمِ

عملیات دستگاہی در صنایع شیمیایی

رشته ی صنایع شیمیایی

زمینه ی صنعت

شاخه ی آموزش فنی و حرفه ای

نظام جدید آموزش متوسطه

شماره ی درس ۲۴۰۹

۵۴۳	توفیقی، سید پندار
ع ۱۵۳ / ت	عملیات دستگاہی در صنایع شیمیایی / مؤلفان: سید پندار توفیقی، ساسان
۱۳۸۱	صدرایی نوری، تهران - شرکت چاپ و نشر کتابهای درسی ایران، ۱۳۸۱
	۱۳۵ ص. - مضمون: - (آموزش فنی و حرفه ای، شماره ی درس ۲۴۰۹)
	موضوع درسی رشته ی صنایع شیمیایی، زمینه ی صنعت.
	برنامه ریزی و نظارت، بررسی و تصویب محتوا: کمیسیون برنامه ریزی و
	تألیف کتابهای درسی رشته ی صنایع شیمیایی دفتر برنامه ریزی و تألیف آموزشهای
	فنی و حرفه ای و کار دانش وزارت آموزش و پرورش.
	۱. تجزیه دستگاہی. ۲. صنایع شیمیایی. الف - ایران. وزارت آموزش و
	پرورش دفتر برنامه ریزی و تألیف آموزشهای فنی و حرفه ای و کار دانش. ب. عنوان.
	ج. فهرست.

همکاران محترم و دانش آموزان عزیز:

پیشنهادات و نظرات خود را درباره‌ی محتوای این کتاب به نشانی
تهران - صندوق پستی شماره‌ی ۴۸۷۴/۱۵ دفتر برنامه‌ریزی و تألیف
آموزشهای فنی و حرفه‌ای و کار دانش ارسال فرمایند.

وزارت آموزش و پرورش سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی

برنامه‌ریزی محتوا و نظارت بر تألیف: دفتر برنامه‌ریزی و تألیف آموزشهای فنی و حرفه‌ای و کار دانش

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

مؤلفان: مهندس سید پندار توفیقی، مهندس سامان صفرائی توری

اعضاء کمیسیون تخصصی: محسن رضا ارشدی، طیبه کشلور، مرغیبه گرده، عبدالعزیز لیاپ پور

اعظم صفاری و ناصر رضایی شوشتری

آماده‌سازی و نظارت بر چاپ: اداره‌ی کل چاپ و توزیع کتابهای درسی

حر و فنجیسی و صفحه‌آرایی: طرح و نگار

طراح جلد: بهرام شامی

ناشر: شرکت چاپ و نشر کتابهای درسی ایران: تهران - کیلومتر ۱۷ جاده‌ی مخصوص کرخ - خیابان ۶۱ (کاروبیختر)

تلفن: ۴ - ۴۰۲۴۲۴۱، دورنگار: ۴۰۲۴۲۴۰، صندوق پستی: ۱۳۴۴۵/۴۸۴

چاپخانه: اتحاد

سال انتشار و نوبت چاپ: چاپ دوم ۱۳۸۱

حق چاپ محفوظ است.

شابک X-۹۸۵-۰۵-۹۶۴ ISBN 964-05-0985-X



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 سره الشریف»

فهرست

۱۹	۲-۳- فشار مایعات	مقدمه
۲۰	۳-۳- فشار گازها	فصل اول - سیستم واحدهای
۲۰	۴-۳- واحدهای فشار	اندازه گیری
۲۱	۵-۳- فشار نسبی و فشار مطلق	۱-۱- مفهوم اندازه گیری و
۲۵	خودآزمایی	اهمیت آن
		۲-۱- انتخاب واحد اندازه گیری
	فصل چهارم - اندازه گیری	۳-۱- واحدها و ابعاد
۲۶	جریان سیالات	۴-۱- دستگاه و واحدها
۲۶	۱-۴- تعریف دبی	۵-۱- تبدیل واحدها
۲۶	۲-۴- دبی حجمی	خودآزمایی
۲۶	۳-۴- دبی جرمی	
	۴-۴- واحدهای دبی حجمی و	فصل دوم - اندازه گیری دما
۲۷	جرمی	۱-۲- دما و گرما
	۵-۴- روش های اندازه گیری	۲-۲- واحدهای اندازه گیری دما
۲۷	جریان سیالات	۱-۲-۲- درجه سلیسیوس
	۱-۵-۴- روش جابجایی مثبت	۲-۲-۲- درجه فارنهایت
۲۸	(روش پیمانه ای)	۳-۲-۲- درجه کلوین
۲۸	۲-۵-۴- روش اتسداد جریان	۴-۲-۲- درجه رنکین
	۳-۵-۴- روش اثرات مقاومت	۳-۲- تبدیل واحدهای دما به
۳۰	سیال (استفاده از روتامتر)	بکدیگر
	۶-۴- مقایسه اری فیس و	۴-۲- دماسنج (ترمومتر)
۳۰	وتوری متر	خودآزمایی
	۷-۴- روش اندازه گیری دبی	
۳۱	به وسیله سرعت جریان	فصل سوم - اندازه گیری فشار
۳۲	خودآزمایی	۱-۳- تعریف فشار

۴۹	حرارتی	فصل پنجم - ترازوها و
	۱-۲-۷- بر مبنای پیوستگی یا	چگالی سنج‌ها
۴۹	تناوب جریان	۳۳
۵۰	۲-۲-۷- بر مبنای پدیده انتقال	۳۳
	۳-۲-۷- بر مبنای ساختمان	۳۳
۵۰	مبدل	۳۴
	۳-۷- تقسیم‌بندی مبدل‌ها بر اساس	۳۶
۵۰	نوع جریان	۳۶
۵۲	۲-۷- مبدل‌های حرارتی لوله‌ای	۳۹
	۱-۴-۷- مبدل‌های حرارتی	
۵۲	دولوله‌ای	۴۰
	۲-۴-۷- مبدل‌های حرارتی	۴۰
۵۳	پوسته - لوله	۴۰
۵۴	۵-۷- برج‌های خنک‌کننده	۴۰
	۱-۵-۷- ساختمان برج‌های	۴۱
۵۴	خنک‌کننده	۴۱
۵۴	۶-۷- کوره‌ها	۴۱
	۱-۶-۷- ساختمان دیواره	۴۱
۵۴	کوره‌ها	۴۵
۵۵	۲-۶-۷- انواع کوره‌ها	۴۵
۵۶	۳-۶-۷- کوره هوفمن	۴۵
	۴-۶-۷- کوره‌های ماشین بخار	۴۵
۵۷		۴۶
۵۸	۵-۶-۷- کوره‌های مخصوص	۴۸
۵۸	۶-۶-۷- کوره‌های الکتریکی	۴۸
	۷-۶-۷- انواع کوره‌های	
۵۹	الکتریکی	۴۹
۶۱	خودآزمایی	۴۹
		فصل هفتم - مبدل‌های حرارتی
		۱-۷- مقدمه
		۲-۷- دسته‌بندی مبدل‌های

۱۰-۱-۱-۶- اختلاط جامدات	۸۴	فصل هشتم - کنترل فرآیندها	۶۲
۱۰-۱-۲- انواع مخلوط‌کن‌ها	۸۵	۸-۱- مقدمه	۶۲
۱۰-۱-۲-۱- مخلوط‌کن‌های		۸-۲- کنترل دما	۶۲
فاز مایع	۸۵	۸-۳- حلقه کنترل	۶۴
۱۰-۲-۲- مخلوط‌کن‌های		۸-۴- کنترل فشار	۶۶
فاز جامد	۹۲	۸-۵- کنترل سطح مایع	۶۷
۱۰-۳- اصول کار دستگاه‌های		۸-۶- اجزای یک سیستم کنترل	
کاهش اندازه	۹۶	ساده	۶۸
۱۰-۴- دستگاه‌های کاهش		۸-۷- شیرهای کنترل بادی	۶۸
اندازه مواد	۹۷	خودآزمایی	۷۰
۱۰-۴-۱- خردکن‌ها	۹۷		
۱۰-۴-۲- آسیاب‌ها	۹۹	فصل نهم - راکتورهای شیمیایی	۷۱
۱۰-۴-۳- دستگاه‌های برنده ۱۰۲		۹-۱- تقسیم‌بندی راکتورها	۷۱
۱۰-۵- عملکرد دستگاه‌های		۹-۲- راکتورهای ناپیوسته	۷۲
کاهش اندازه	۱۰۳	۹-۳- راکتورهای پیوسته	۷۴
خودآزمایی	۱۰۴	۹-۴- راکتورهای نیمه پیوسته	۷۶
		۹-۵- طراحی راکتور	۷۷
		خودآزمایی	۸۰
فصل یازدهم - برج‌های تقطیر و			
استخراج	۱۰۵		
۱۱-۱- اصول تقطیر	۱۰۶	فصل دهم - مخلوط‌کن‌ها	۸۱
۱۱-۲- انواع تقطیر	۱۰۷	۱۰-۱- انواع اختلاط	۸۲
۱۱-۲-۱- تقطیر ساده	۱۰۷	۱۰-۱-۱- اختلاط دو یا چند	
۱۱-۲-۲- تبخیر ناگهانی	۱۰۷	مایع محلول (یک فاز)	۸۳
۱۱-۲-۳- تقطیر جزء به جزء		۱۰-۱-۲- اختلاط دو یا چند	
(ناپیوسته)	۱۰۹	مایع نامحلول (دو یا چند فاز)	۸۳
۱۱-۲-۴- تقطیر جزء به جزء		۱۰-۱-۳- تعلیق جامد در مایع	۸۳
(پیوسته)	۱۱۰	۱۰-۱-۴- پخش گاز مایع	۸۴
۱۱-۳- فشار برج‌های تقطیر	۱۱۱	۱۰-۱-۵- تماس سه فاز	۸۴

- | | | | |
|-----|--------------------------|-----|---------------------------------------|
| ۱۲۸ | ۸-۱۱-۸- برج های استخراج | ۱۱۳ | ۴-۱۱- استخراج مایع از مایع |
| ۱۲۸ | ۱-۸-۱۱- برج های پاششی | ۱۱۳ | ۵-۱۱- عملیات استخراج (فرآیند استخراج) |
| ۱۲۸ | ۲-۸-۱۱- برج های سینی دار | ۱۱۴ | ۶-۱۱- انتخاب حلال |
| ۱۳۰ | ۳-۸-۱۱- برج های آکنده | ۱۱۵ | ۷-۱۱- برج های تقطیر |
| | ۴-۸-۱۱- استخراج کننده با | ۱۱۵ | ۱-۷-۱۱- برج های سینی دار |
| ۱۳۱ | همزن مکانیکی | ۱۱۸ | ۲-۷-۱۱- انواع سینی ها |
| ۱۳۳ | خودآزمایی | ۱۲۳ | ۳-۷-۱۱- برج های آکنده |
| ۱۳۵ | منابع و مراجع | ۱۲۶ | ۴-۷-۱۱- انواع آکنده ها |

مقدمه

بنا بر ضرورت و اهمیت رشته صنایع شیمیایی در کشور و با توجه به حجم ذخایر و میادین نفت و گاز و سایر مواد معدنی که پایه گذار تدوین رشته‌های ذیربط بوده‌اند، همواره توجه صاحب نظران 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 رشته 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 براساس نیازهای موجود تألیف گردیده است. فصل ششم پمپ‌ها و کاربردها 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 بارنگ 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 را کسب کرده باشد و توانایی لازم جهت انجام محاسبات مربوط به عملیات صنایع شیمیایی را به دست آورده باشد.

سیستم واحدهای اندازه گیری

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

اندازه‌گیری در فعالیت‌های روزانه ما نقش مهمی دارد. معمولاً سه واحد مهم اندازه‌گیری که روزانه با آن سر و کار داریم عبارت‌اند از: جرم، طول و زمان. برای درک این سه واحد به مثال‌های زیر توجه کنید:

جرم: وقتی ظرفیت کامیون را برحسب تن می‌سنجیم و یا وزن برنج را برحسب کیلوگرم بیان می‌کنیم، و یا طلا و الماس را برحسب مثقال بیان می‌کنیم با اندازه‌گیری جرم مواجه هستیم.

طول: 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.

زمان: موقعی که از سن خود صحبت می‌کنیم یا ساعات کارکردمان را مشخص می‌کنیم در واقع زمان را اندازه‌گیری می‌کنیم.

۱-۲- انتخاب واحد اندازه‌گیری

ابتدا لازم است با مفهوم کمیت آشنا شوید.

کمیت: هر مشخصه قابل اندازه‌گیری، قابل مقایسه و قابل تغییر از یک حجم را کمیت گویند.

کمیت‌ها دو نوع هستند:

۱- کمیت‌های اصلی (مستقل): مانند طول و جرم و زمان و دما و شدت جریان

و ...

۲- کمیت‌های فرعی (وابسته): کمیت‌هایی هستند که با استفاده از روابط فیزیکی

از کمیت‌های 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 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.

۱-۳- واحدها و ابعاد

در همه محاسبات مهندسی باید مقدار و واحد کمیت‌های مورد اندازه‌گیری را

ذکر کرد. بعدهایی مانند طول، جرم، زمان و دما که مربوط به کمیت‌های اصلی می‌باشند

را باید اندازه‌گیری کرد، اما بعدهایی مانند سرعت، حجم و چگالی که مربوط به کمیت‌های

فرعی هستند با استفاده از کمیت‌های اصلی و روابط محاسبه می‌شوند، مانند:

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

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.

$$3\text{cm} - 2\text{cm} = 1\text{cm}$$

به عنوان 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 در هم

ضرب و یا برهم تقسیم کرد، مانند:

$$rN \times r m = 12 N.m$$

$$\frac{\Delta km}{r hr} = r / \Delta km/h$$

$$r \frac{km}{h} \times r h = r \Delta km$$

$$r m \times r m = 18 m^2$$

$$\frac{r gf}{r gf} = r$$

(عدد سه بدون واحد یا بدون بعد می باشد)

۱-۴- دستگاه واحدها

دستگاه واحدها شامل اجزای زیر است:

الف- واحدهای اصلی (پایه): واحدهای مربوط به ابعاد 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 (cm³, ft/min و kg m/s²)

(و...)

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

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

$$1 lb_m \text{ (یک پوند جرم)} = 1 lb_f \text{ (یک پوند نیرو)}$$

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

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

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
سیلسیوس و کلوین	°C و °K	سیلسیوس و کلوین	°C و °K	فارنهایت و رانکین	°F و °R	دما
مول یا کیلوگرم مول	mole و kgmole	مول یا گرم مول	mole و grmole	مول یا پوند مول	mole و lbmole	مقدار ماده
متر مربع	m ²	سانتی متر مربع	cm ²	فوت مربع	ft ²	سطح
متر مکعب یا لیتر	m ³ و Liter	سانتی متر مکعب یا لیتر	cm ³ یا Liter	فوت مکعب	ft ³	حجم
کیلوگرم بر متر مکعب	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 و N	دین یا گرم سانتی متر بر مجذور ثانیه	dyne یا grcm/s ²	پوند نیرو	lb _f	نیرو
پاسکال یا نیوتن بر متر مربع	Pa و N/m ²	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

در سال ۱۹۶۰ 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.

$$\left. \begin{array}{l} \text{SI سیستم (۱)} \\ \text{CGS سیستم (۲)} \end{array} \right\} \text{(۱) متریک}$$

$$\left. \begin{array}{l} \text{سیستم واحدهای اندازه‌گیری} \\ \text{(۲) انگلیسی (آمریکایی): سیستم FPS} \end{array} \right\}$$

دستگاه SI پیشوند واحدها، توان‌هایی از ده را نمایش می‌دهد. معمول‌ترین این واحدها در جدول ۱-۲ آمده است.

۱-۵- تبدیل واحدها

یک کمیت اندازه‌گیری شده را می‌توان برحسب هر واحد مناسبی تعریف کرد. ساده‌ترین راه برای انجام تبدیل واحد استفاده از روش تردبانی می‌باشد. به این صورت که بایستی واحد قدیم و واحد جدید مورد نظر را به صورت یک کسر بیان کنیم. برای تبدیل کمیت بیان شده برحسب یک واحد به هم‌ارز آن برحسب واحد دیگر، کمیت 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 تردبانی به شکل زیر استفاده کرد. توجه کنید که چگونه واحد قدیم حذف می‌شود و واحد دلخواه باقی می‌ماند.

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

۱- SI (MKS) = meter- kilogram - second

۲- CGS (Metric) = Centimeter - Gram - Second

۳- FPS = Foot- Pound - Second

جدول ۱-۲- پیشوندهای واحدهای مضرب.

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

به وضوح مشخص است که چون جواب باید بر حسب GF باشد لذا میلی گرم بایستی حذف شود که به شکل محاسبه صفحه قبل عمل می کنیم.

در روش نردبانی واحدهای ضرایب را طوری می نویسیم که واحدهای قدیمی حذف و واحدهای مورد نظر جایگزین آنها شوند. سپس مقادیر ضرایب تبدیل را در جای خود می نویسیم و برای یافتن مقدار مورد نظر عملیات حسابی را انجام می دهیم. جداول ۱-۳ و ۱-۴ و ۱-۵ برای تبدیل واحدهای سیستم های مختلف به یکدیگر هستند. نیازی به حفظ کردن این جداول نیست چرا که در موقع محاسبه همیشه آنها را در اختیار می گذارند.

جدول ۱-۳- تبدیل واحدهای طول

مایل mile	فوت ft	اینچ inch	متر m
$6/212 \times 10^{-6}$	$3/2808$	$39/37$	۱
$1/58 \times 10^{-6}$	$8/333 \times 10^{-3}$	۱	$2/54 \times 10^{-1}$
$1/8939 \times 10^{-2}$	۱	۱۲	$0/3048$
۱	۵۲۸۰	$6/336 \times 10^6$	$1/61 \times 10^3$

جدول ۴-۱- تبدیل واحد برای جرم

کیلوگرم kg	گرم gr	پوند lbm
۱	۱۰۰۰	۲/۲
1×10^{-3}	۱	$2/2 \times 10^{-3}$
۰/۴۵۳۶	۴۵۳/۶	۱

جدول ۵-۱- تبدیل واحدها برای حجم

اینچ مکعب in ^۳	فوت مکعب ft ^۳	گالن US.gal.	لیتر Liter	مترمکعب m ^۳
۱	$5/787 \times 10^{-3}$	$4/329 \times 10^{-3}$	$1/639 \times 10^{-2}$	$1/629 \times 10^{-5}$
$1/728 \times 10^{-3}$	۱	۷/۴۸۱	۲۸/۳۲	$2/832 \times 10^{-2}$
$2/31 \times 10^{-2}$	۰/۱۳۳۷	۱	۳/۷۸۵	$3/785 \times 10^{-3}$
۶۱/۰۳	$3/53 \times 10^{-2}$	۰/۲۶۴۲	۱	1×10^{-3}
$6/102 \times 10^{-9}$	۳۵/۳۱	۲۶۴/۲	۱۰۰۰	۱

مثال ۱) ۳۷۰ متر چند سانتی‌متر و چند کیلومتر است؟
حل:

$$\frac{370 \text{ m}}{1 \text{ m}} \times \frac{100 \text{ cm}}{1 \text{ m}} = 37000 \text{ cm}$$

$$\frac{370 \text{ m}}{1000 \text{ m}} \times \frac{1 \text{ km}}{1000 \text{ m}} = 0.37 \text{ km}$$

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

$$\frac{14688000 \cancel{\text{s}}}{3600 \cancel{\text{s}}} \times \frac{1 \text{ hr}}{24 \cancel{\text{hr}}} \times \frac{1 \text{ day}}{24 \cancel{\text{hr}}} = 170 \text{ days}$$

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

مثال ۳) شتاب 1 cm/s^2 را بر حسب km/gr^2 تبدیل کنید

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

$$= \frac{(3600 \times 24 \times 365)^2}{100 \times 1000} \frac{\text{km}}{\text{yr}^2} = 9.95 \times 10^{-4} \text{ km/yr}^2$$

برای از بین بردن هر واحد قدیمی باید از نسبت هم ارزی متناسب با آن (به طوری که واحد قدیمی در مخرج آن نسبت باشد) استفاده کرد. توجه داشته باشید وقتی یک کمیت به توان می‌رسد واحدهای آن کمیت نیز به همان توان می‌رسند. این موضوع در مثال ۳ به وضوح 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:

$$\frac{980 \text{ cm}}{s^2} \left| \frac{1 \text{ in}}{2.54 \text{ cm}} \right| \left| \frac{1 \text{ ft}}{12 \text{ in}} \right. = 32.152 \text{ ft/s}^2$$

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

$$\frac{23 \text{ lbf} \cdot \text{ft}}{\text{min}^2} \left| \frac{0.4536 \text{ kg}}{1 \text{ lbf}} \right| \left| \frac{0.3048 \text{ m}}{1 \text{ ft}} \right| \left| \frac{(1 \text{ min})^2}{(60 \text{ s})^2} \right. = 12 \text{ in}$$

$$= \frac{23 \times 0.4536 \times 0.3048}{3600} = 8.83 \times 10^{-4} \text{ kg} \cdot \text{m}/\text{s}^2$$

مثال ۶) فاصله ماه تا زمین ۲۴۰۰۰۰ مایل است. این فاصله را به واحدهای الف) کیلومتر، ب) سال نوری تبدیل کنید.

حل:

با استفاده از جدول ۱-۳ خواهیم داشت

$$\frac{240,000 \text{ mile}}{1 \text{ mile}} \left| \frac{1.61 \text{ km}}{1 \text{ mile}} \right. = 386,400 \text{ km}$$

ب- می دانیم 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

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

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

$$= 9.4608 \times 10^{17} \text{ km}$$

پس هر سال نوری معادل $9.4608 \times 10^{17} \text{ km}$ می‌باشد. حال به راحتی تبدیل را انجام می‌دهیم.

$$\frac{386,400 \text{ km}}{9.4608 \times 10^{17} \text{ km}} = 4.084 \times 10^{-13} \text{ سال نوری}$$

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

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

حل:

الف) هر poise معادل ۱۰۰ cp و معادل ۱ g/cm-s^۲ می باشد.

$$\frac{۱/۵۷۵ \text{ cp}}{۱ \text{ cp}} \left| \frac{۰/۰۱ \text{ poise}}{۱ \text{ poise}} \right| \frac{۱ \text{ g/cm-s}}{۱ \text{ poise}} = ۱/۵۷۵ \times ۱۰^{-۲} \frac{\text{g}}{\text{cm.s}}$$

$$\text{ب) } \frac{۱/۵۷۵ \times ۱۰^{-۲} \text{ g}}{\text{cm-s}} \left| \frac{۱ \text{ kg}}{۱۰۰۰ \text{ g}} \right| \frac{۱۰۰ \text{ cm}}{۱ \text{ m}} = ۱/۵۷۵ \times ۱۰^{-۲} \frac{\text{kg}}{(\text{m.s})}$$

$$\text{ج) } \frac{۱/۵۷۵ \times ۱۰^{-۲} \text{ kg}}{\text{m-s}} \left| \frac{۱ \text{ lbm}}{۰/۴۵۴ \text{ kg}} \right| \frac{۰/۳۰۴۸ \text{ m}}{۱ \text{ ft}} = ۱/۰۵۷ \times ۱۰^{-۲} \frac{\text{lb}_m}{(\text{ft.sec.})}$$

خودآزمایی

۱- ویسکوزیته آب در دمای اتاق تقریباً 1 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.

$$\text{الف- } 235 \text{g} \text{ را به } \text{lb}_m$$

$$\text{ب- } \frac{\text{lb}_m}{\text{ft}^3} \text{ را به } \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\text{ج- } \frac{\text{mile}}{\text{min}} \text{ را به } \frac{\text{km}}{\text{hr}}$$

$$\text{د- } \frac{\text{gal}}{\text{hr}} \text{ را به } \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

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

و- 100000 نانوثانیه را به ساعت

۳- مخزنی استوانه‌ای شکل به حجم 90000 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 بر حسب $\frac{\text{mile}}{\text{hr}}$ و $\frac{\text{ft}}{\text{min}}$ به دست آورید:

۶- می خواهیم دیوارهای حمامی را تا ارتفاع 2 متری کاشی کنیم. طول و عرض و ارتفاع حمام به ترتیب 3 ، $2/2$ و $2/7$ متر است. اگر کاشی‌ها مربع شکل و به ضلع 6 اینچ باشند تعداد کاشی‌های لازم را پیدا کنید:

۷- 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 و گرما

دما عبارت است از شدت انرژی حرارتی ناشی از حرکات اتفاقی ملکول‌های 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 کمیت بخشیدن به حرارت و گرما مقیاس دما و دماسنجی ایجاد شده است.

۲-۲- واحدهای اندازه‌گیری دما

ساده‌ترین وسیله برای اندازه‌گیری دما، دماسنج جیوه‌ای است که متشکل از یک حباب شیشه‌ای و جیوه مایع درون شیشه مویین می‌باشد.

۱-۲-۲- درجه سلیسیوس^۱ (سانتی‌گراد): مقیاس علمی متداول سلیسیوس است که در آن صفر درجه نقطه انجماد و صد درجه نقطه جوش آب در فشار یک اتمسفر است. درجه سلیسیوس دمای نسبی سیستم SI می‌باشد.

^۱- Celsius (Centi grade)

۲-۲-۲- درجه فارنهایت^۱: نقاط منشأ این مقیاس دقیقاً روشن نیست ولی گزارش شده است که نقطه شروع و یا صفر درجه فارنهایت از قرار دادن حباب دماسنج در مخلوطی از برف یا یخ و کلرور آمونیم حاصل شده است و بالاترین نقطه این مقیاس، دمای شروع جوشش جیوه است. اختلاف بین این دو دما به ۶۰۰ قسمت یا درجه تقسیم شده است. نقطه انجماد آب ۳۲ درجه فارنهایت و نقطه جوش آب ۲۱۲ درجه فارنهایت می باشد. درجه فارنهایت دمای نسبی سیستم انگلیسی یا آمریکایی است.

۲-۲-۳- درجه کلوین^۲: در سیستم SI دمای مطلق را بر حسب درجه کلوین اندازه گیری می کنند. در حقیقت صفر مطلق در مقیاس کلوین $273/15^{\circ}\text{C}$ - توسط مخترع آن یعنی لرد کلوین در نظر گرفته شده است. این دما پائین ترین دمای ممکن است و در این دما انرژی جنبشی ملکولها به صفر می رسد. صفر مطلق در محاسبات جهت سادگی 273°C - فرض می شود.

۲-۲-۴- درجه رنکین^۳: در سیستم FPS مقیاس مطلق دما رنکین یا رنومر^۴ نامیده می شود که بر حسب درجه فارنهایت است. صفر مطلق در مقیاس رنکین $459/58^{\circ}\text{F}$ - درجه فارنهایت می باشد که در محاسبات 460°F فرض می شود.

۳-۲- تبدیل واحدهای دما به یکدیگر

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

$$T_K = T_C + 273 \quad (1-2)$$

$$T_R = T_F + 460 \quad (2-2)$$

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

۱- Fahrenheit

۲- Kelvin

۳- Rankine

۴- Reomer

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

$$T_F = (1/1.8)(T_C) + 32 \quad (3-2)$$

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

الف: $T_K = T_C + 273$ درجه کلوین K:

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

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

ب: درجه فارنهایت °F: $T_F = 1/1.8 T_C + 32$

نقطه انجماد آب: $T_F = (0 \times 1/1.8) + 32 = 32^\circ\text{F}$

نقطه جوش آب: $T_F = (100 \times 1/1.8) + 32 = 212^\circ\text{F}$

ج: درجه رنکین °R: $T_R = T_F + 460$

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

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

مثال ۲-۲-۲۰۰ درجه کلوین را به درجه رنکین تبدیل کنید.

حل:

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

$$T_R = 400 \times 1/8 = 500^\circ R$$

مثال ۲-۳- فاصله بین دماهای $20^\circ F$ تا $80^\circ F$ را بر حسب درجه $^\circ C$ به دست

آورید.

حل:

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

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

$$\text{در مقیاس سلیسیوس: } T_{C_2} - T_{C_1} = 26/67 - (-6/67) = 32/34^\circ C$$

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

چون فاصله درجات $^\circ C$ بیشتر از درجه $^\circ F$ می باشد پس در یک فاصله مشخص تعداد درجات کمتری نسبت به مقیاس فارنهایت در آن می گنجد.

۲-۴- دماسنج^۱ (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 به کار می رود. روش های اندازه گیری دما به تفصیل در کتاب کارگاه عملیات دستگاهی صنایع شیمیایی مقطع هنرستان آمده است. در اینجا به دماسنج مایعی اشاره می کنیم.

^۱- Thermometer



دماسنج مایعی: در لوله موئین با گرم شدن مایع (اساس ترمومترهای جیوه‌ای و الکل‌لی) 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

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

شکل ۲-۱- دماسنج مایعی

خود آزمایی

- ۱- نقاط مرجع در مقیاس‌های سلیسیوس و فارنهایت چیست؟
- ۲- یک روش ساده برای مدرج کردن یک لوله موئین حاوی جیوه بیان کنید؟
- ۳- ۳۰۰ درجه فارنهایت چند درجه سلیسیوس، کلوین و رنکین می‌باشد؟
- ۴- دماهای زیر را به هم تبدیل کنید؟

الف) $T = 400\text{K}$ را به F و R و C

ب) $T = -15^\circ\text{C}$ را به F و R و K

ج) $T = 600\text{R}$ را به F و C و K

د) $T = 122^\circ\text{F}$ را به R و C و K

- ۵- فاصله‌های دمایی زیر را به واحدهای زیر تبدیل کنید.

الف- از 100°C تا 170°C را به F، K و R

ب- از R ۶۰۰ تا R ۷۰۰ را به K و C و F

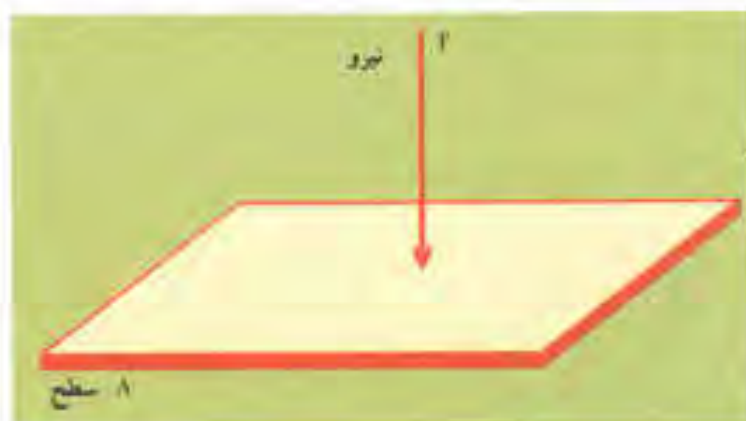
اندازه‌گیری فشار

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^۲ عمودی وارد بر واحد سطح^۳ را فشار می‌نامند.



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

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

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

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

$$\text{واحد فشار: } \frac{\text{نیوتن}}{\text{متر مربع}} = \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = \text{Pa} \text{ (پاسکال)}$$

بدین ترتیب یکی از واحدهای فشار پاسکال می باشد.
پاسکال: طبق تعریف اگر نیرویی معادل یک نیوتن به سطح یک متر مربع وارد شود فشاری معادل یک پاسکال خواهد داشت.

۳-۲- فشار مایعات

ستون مایع: ابتدایی ترین 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 می باشد و این فشار به ارتفاع و چگالی مایع وابسته است.

(ارتفاع) (شتاب ثقل) (چگالی) = فشار ستون مایع در نقطه (A)

$$P_A = P.g.h \text{ (۳-۲)}$$

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

$$\text{واحد فشار} = \frac{\text{kg}}{\text{m}} \left| \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right| \frac{\text{m}}{\text{m}} = \frac{\text{kg}}{\text{m.s}^2} = \text{Pa}$$

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

۳-۳- فشار گازها

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

۴-۳- 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 (in Hg)
- بار (bar)
- پوند بر اینچ مربع (Psi)
- دین بر سانتی‌متر مربع (dyne/cm^2)
- فوت آب (ft H₂O) یا متر آب (m H₂O) و...

جدول ۳-۱- واحدهای مختلف فشار و تبدیلات آنها.

	atm	Pa	bar	mmHg	psi	inHg	ftH ₂ O	dyne/cm ²
atm	۱	۱۰۱۳۲۵	۱/۰۱۳۲۵	۷۶۰	۱۴/۶۹۶	۲۹/۹۲۱	۳۳/۹	۱/۰۱۳۲۵×۱۰ ^۵

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

حل:

$$1) \frac{200 \text{ Psi} \quad | \quad 1 \text{ atm}}{14.696 \text{ Psi}} = 13.6 \text{ atm}$$

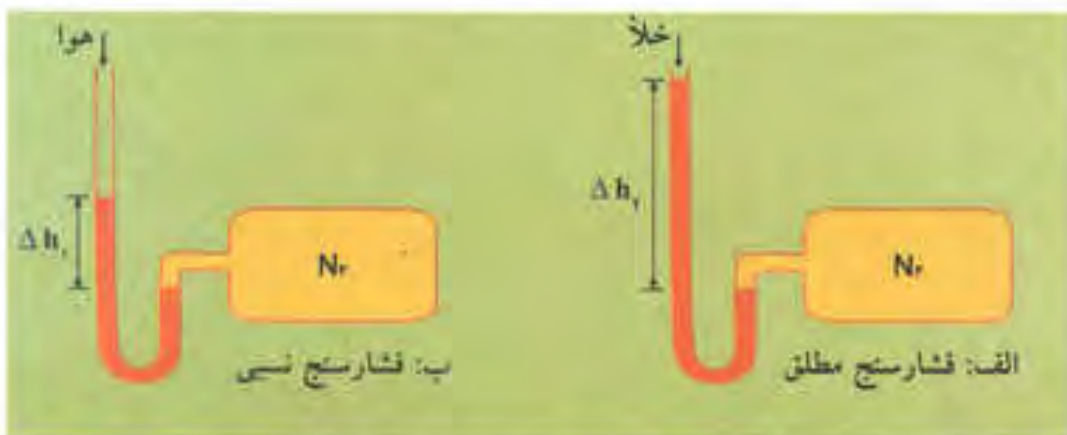
$$2) \frac{13.6 \text{ atm} \quad | \quad 101325 \text{ Pa}}{1 \text{ atm}} = 1378946.6 \text{ Pa}$$

$$3) \frac{13.6 \text{ atm} \quad | \quad 29.921 \text{ inHg}}{1 \text{ atm}} = 40.692 \text{ inHg}$$

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



شکل ۳-۳- نمایش فشار سنج مطلق و نسبی.

$$\Delta h_2 > \Delta h_1$$

۱- Relative pressure

۲- Absolute pressure

اندازه‌گیری می‌کنند لذا نقطه صفر در فشار مطلق منطبق بر خلاء 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.

(۳-۴) فشار اتمسفری^۱ + فشار نسبی = فشار مطلق

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

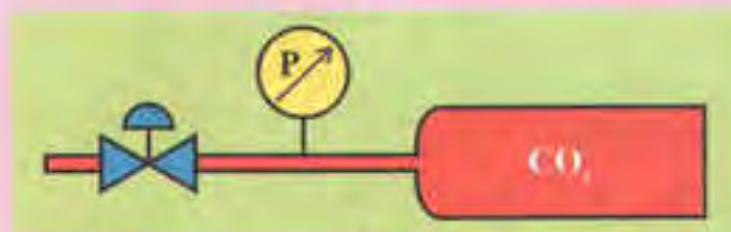
خلاصه:

- ۱- فشار مطلق: مقیاس اندازه‌گیری فشار نسبت به خلاء مطلق یا فشار صفر است
- ۲- فشار نسبی: مقیاس اندازه‌گیری فشار نسبت به فشار محیط یا گاز دیگری 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 (۳-۴) به هم تبدیل می‌شوند.

نکته: در سیستم انگلیسی EPS واحدهای فشار مطلق و نسبی را به شکل زیر تعریف می‌کنند.

$$\text{فشار نسبی} = \text{Psig}, \text{فشار مطلق} = \text{Psia}$$

مثال ۲-۳- فشار نسبی تانکی حاوی گاز CO_۲ برابر با ۵۱ psig خوانده می‌شود. اگر فشار اتمسفری محیط ۲۸ in Hg باشد فشار مطلق تانک را پیدا کنید.



شکل ۳-۴

- ۱- Atmospheric pressure ۲- Pound per square inch absolute
 ۳- Pound per square inch gage

حل:

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

کنیم:

$$\frac{28 \text{ inHg} \mid 14/696 \text{ psi}}{29/921 \text{ inHg}} = 13/75 \text{ psi}$$

$$P_A \text{ (فشار مطلق)} = P_R \text{ (فشار نسبی)} + P_{\text{atm}} \text{ (فشار محیط)}$$

$$P_A \text{ (فشار مطلق)} = 51 + 13/75 = 64/75 \text{ psia}$$

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 می‌باشد با توجه به این که فشار اتمسفری محیط ۱۴/۷psi می‌باشد، فشار مطلق مخزن اکسیژن را بر حسب واحد پاسکال به دست آورید.

حل:

$$P_A \text{ (فشار مطلق)} = P_R \text{ (فشار نسبی)} + P_{\text{atm}} \text{ (هوا)}$$

ابتدا بایستی فشارها را به واحد پاسکال تبدیل نمایید.

$$\text{فشار نسبی} = 2 \times 101325 = 202650 \text{ Pa}$$

هر اتمسفر ۱۴/۷psi و ۱۰۱۳۲۵pa می‌باشد. پس:

$$\text{فشار هوا} = 101325 \text{ Pa}$$

$$\text{فشار مطلق} = 202650 + 101325 = 303975 \text{ Pa}$$

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

حل:

با استفاده از روش نردبانی خواهیم داشت.

$$\begin{array}{c|c} 20 \text{ psia} & 29.92 \text{ inHg} \\ \hline & 14.7 \text{ psia} \end{array} = 40.70 \text{ inHg}$$

خودآزمایی

۱- معادله تبدیل فشار نسبی به فشار مطلق را در واحدهای Pa, atm, Psi, inHg, mmHg و ftH₂O بنویسید.

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

الف) psia ب) kpa ج) atm

د) ftH₂O ه) cmHg ی) 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 in Hg می باشد. اگر فشارسنج، فشار ۳/۷ inHg را نمایش دهد فشار اتمسفری محیط را برحسب mmHg, atm, kpa به دست آورید.

اندازه‌گیری جریان سیالات

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

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

۴-۱- تعریف دبی

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

۴-۲- دبی حجمی (Q)

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



شکل ۴-۱

۴-۳- دبی جرمی (m^o)

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



۴-۴- واحدهای دبی حجمی و جرمی

واحد دبی حجمی در دستگاه SI:

اگر حجم را برحسب مترمکعب و زمان را برحسب ثانیه بیان کنیم واحد دبی 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

اگر جرم را برحسب کیلوگرم و زمان را برحسب ثانیه بیان کنیم 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 می‌شود.

چگالی سیال \times دبی حجمی = دبی جرمی

$$m^o = \frac{m^3}{s} \times \frac{\text{kg}}{m^3} = \frac{\text{kg}}{s}$$



واحد دبی جرمی

$$\Rightarrow m^o = Q \times \rho$$

Q = دبی حجمی

ρ = چگالی

که در رابطه فوق

۴-۵- روش‌های اندازه‌گیری جریان سیالات

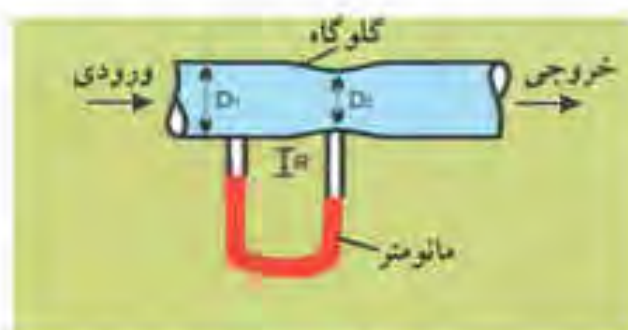
روش‌های مورد استفاده در سنجش جریان سیالات بسیار متنوع هستند. عوامل تعیین‌کننده روش عبارت‌اند از: نوع سیال، ویسکوزیته، فشار بخار، دما و ... در اندازه‌گیری جریان سیال روش‌های زیر قابل استفاده می‌باشند:

- ۱- روش جابه‌جایی مثبت (روش پیمان‌های یا مستقیم)
- ۲- روش انسداد جریان (ونتوری متر^۱، اری فیس متر^۲، نازل‌ها^۳)
- ۳- روش اثرات مقاومت سیال (روتامترها^۴)

۴-۵-۱- روش جابه‌جایی مثبت (روش پیمان‌های): در این روش حجم مشخص سیال را در مدت زمان معین اندازه‌گیری می‌کنند. با تقسیم حجم عبور کرده یا جمع‌آوری شده بر زمان 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 بر اساس تعداد دفعات پر و خالی شدن هر حجم در محفظه کنتور صورت می‌گیرد که این کار در کارخانجات تولیدکننده صورت گرفته و به طور 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 بر اثر 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 افت فشار در لوله ونتوری از یک مانومتر استفاده می‌شود. این مانومتر دیفرانسیلی^۵ 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

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

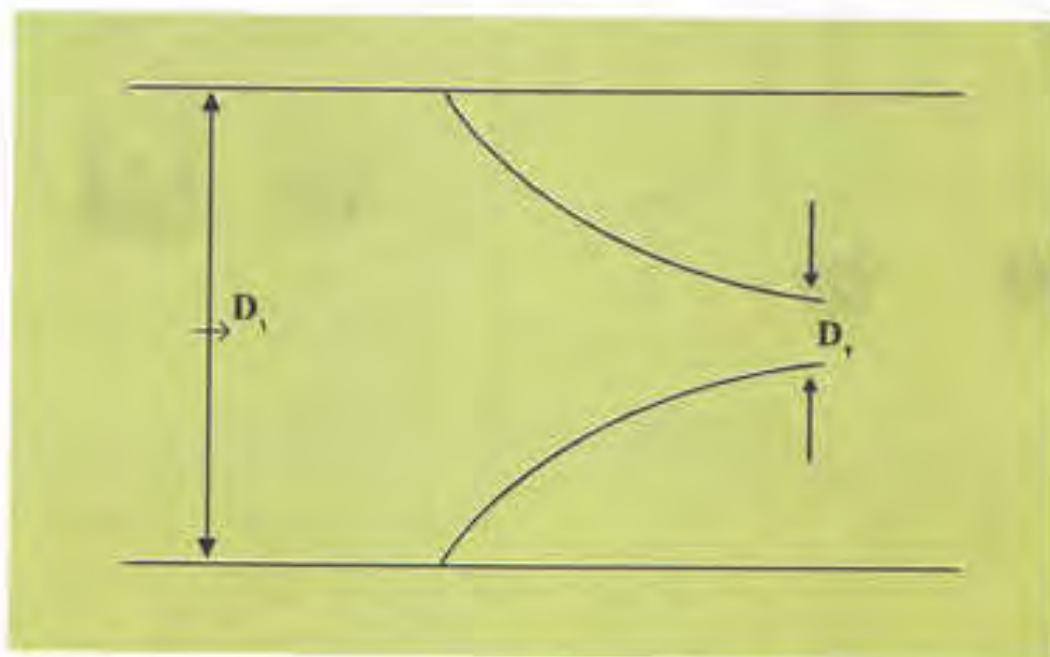
۱- Venturimeter ۲- Orifice meter ۳- Nazzle ۴- Rotameter
 ۵- مانومترها در کتاب کارگاه عملیات دستگاهی در صنایع شیمیایی به تفصیل آورده شده‌اند.

و مقدار افت فشار خوانده شده توسط مانومتر میزان دبی در اری فیس تعیین خواهد شد. شکل ۳-۴ یک اری فیس متر را نمایش می دهد.



شکل ۳-۴- شماتیک یک اری فیس

نازل (شیپوره): نازل یا شیپوره در خط لوله جریان قرار داده و باعث کاهش سطح مقطع لوله می شود و لذا افت فشار ایجاد می کند. از افت فشار ایجاد شده که به وسیله یک مانومتر قابل اندازه گیری است و روابط فیزیکی، می توان دبی جریان را یافت. شکل ۴-۴ یک نازل را نمایش می دهد.



شکل ۴-۴- شماتیک یک نازل.

۴-۵-۳- روش اثرات مقاومت سیال (استفاده از روتامتر)

روتامتر: ساده‌ترین وسایل سنجش میزان مایعات و گازها می‌باشد. روتامتر متشکل از یک استوانه شیشه‌ای است که درون آن یک شناور وجود دارد و به صورت عمودی در مسیر جریان قرار می‌گیرد. بر اساس دبی جریان عبوری از روتامتر، محل قرار گرفتن شناور متفاوت است. روی استوانه شیشه‌ای مدرج شده است و پس از قرار گرفتن در مسیر جریان به وسیله محل شناور میزان جریان خوانده خواهد شد. برای سیالات بی‌خطر مثل آب و هوا و دردهماهای عملیاتی پائین از شیشه‌های بور و سیلیکات برای بدنه روتامتر استفاده می‌شود. 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 می‌باشد. شکل ۴-۵ انواع روتامترهای صنعتی را نمایش می‌دهد.



شکل ۴-۵- انواع روتامترهای صنعتی

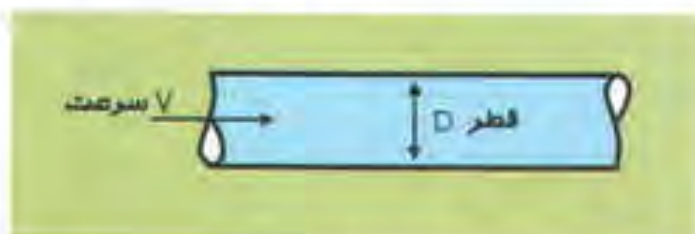
۴-۶- مقایسه اری فیس و ونتوری متر^۱

- ۱- دقت اندازه‌گیری اری فیس نسبت به ونتوری کم‌تر است.
- ۲- افت فشار تولید شده در اری فیس ۵۰ درصد افت فشار خط جریان است لذا

۱- جهت مطالعه بیشتر به کتاب کارگاه عملیات دستگاهی در صنایع شیمیایی مراجعه شود.

- در جریان‌های با فشار کم استفاده نمی‌شود.
- ۳- افت فشار در ونتوری نسبت به اری فیس خیلی کم است.
 - ۴- نصب و نگهداری ونتوری متخرج زیادی دارد.
 - ۵- چون طول ونتوری نسبتاً بلند است برای لوله‌های با طول کم استفاده نمی‌شود.

۴-۷- روش اندازه‌گیری دبی به وسیله سرعت سیال
 یک روش برای اندازه‌گیری دبی سیالات استفاده از سرعت می‌باشد. اگر سرعت یک سیال را داشته باشیم یا ضرب سرعت در سطح مقطع لوله دبی حاصل خواهد شد.



شکل ۲-۶- نمایش یک لوله

$$\text{سطح مقطع} \times \text{سرعت} = \text{دبی حجمی}$$

$$Q = V \times A \quad (۱-۴)$$

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 می‌شود:

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

که در رابطه فوق $r =$ شعاع و D معادل قطر خط لوله می‌باشد.
 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- محدوده استفاده از روتامتر را توضیح دهید.
- ۶- شدت جریان (دبی) $50 \text{ m}^3/\text{s}$ از یک خط لوله به قطر 12 inch جریان دارد. سرعت سیال را بر حسب m/s پیدا کنید.

ترازوها و چگالی سنج‌ها

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

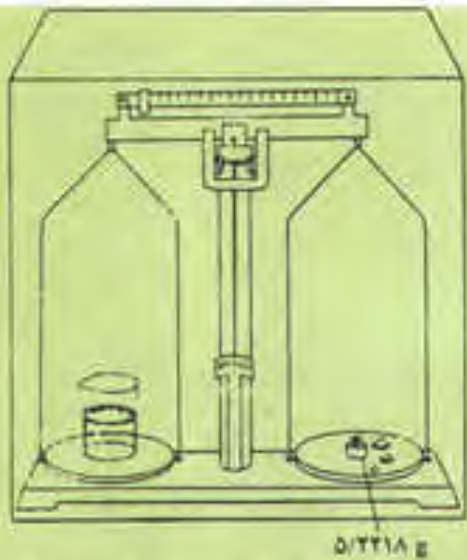
- ۱- جرم و وزن را توضیح دهد.
- ۲- یا ترازو آشنا شود.
- ۳- چگالی و چگالی نسبی را توضیح دهد.
- ۴- با چگالی سنج‌ها آشنا شود.

۱-۵- جرم^۱ و وزن^۲

۱-۱-۵- 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 سلیسیوس می‌باشد. برای اندازه‌گیری جرم‌های بزرگ از واحد تن استفاده می‌کنند و هر تن برابر ۱۰۰۰ کیلوگرم می‌باشد. جرم را با ترازو اندازه می‌گیرند. ترازوهای قدیمی براساس قانون اهرم‌ها کار می‌کنند. نمونه‌های مختلف ترازوها را در فروشگاه‌ها مشاهده نموده‌اید. در شکل ۱-۵ نمونه‌هایی از ترازوهای مختلف آمده است که بسته به نوع کار از دقت‌های مختلفی برخوردار هستند.

۱-۵-۲- وزن: در حقیقت میزان نیرویی 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.

$$\text{معادله (۱-۵) شتاب جاذبه} \times \text{جرم} = \text{وزن}$$



ترازوی دوکفه‌ای معروف به آنالیتیک برای
توزین دقیق (میزان دقت ۰/۰۰۰۱ گرم)



ترازوی سه‌اهرمی برای توزین سریع و تقریبی
در آزمایشگاه (میزان دقت تا ۰/۰۰۱ گرم)



ترازوی الکترونیکی



ترازو برای توزین سریع در اداره پست
و فروشگاه‌ها دقت تا ۱ گرم

شکل ۵-۱- ترازوهای مختلف

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

$$W = m \cdot g \quad (۲-۵) \text{ معادله}$$

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

۲-۵- چگالی (جرم حجمی)

چگالی یا جرم حجمی عبارت است از نسبت جرم به حجم اجسام که توسط

جدول ۵-۱- جرم واحد حجم اجسام

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

رابطه زیر به دست می آید.

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

واحد چگالی در سیستم SI کیلوگرم بر متر مکعب می باشد. برای یافتن چگالی مواد مختلف، از هر ماده یک سانتی متر مکعب تهیه می کنند و جرم هریک را با ترازو اندازه می گیرند. در واقع با این کار جرم واحد حجم را اندازه گرفته اند که همان مفهوم چگالی می باشد. به عنوان مثال، چگالی برخی از مواد بر این اساس به شرح زیر خواهد بود. واحد چگالی در دستگاه C.G.S به صورت کیلوگرم بر سانتی متر مکعب می باشد.

مثال ۵-۱- جرم گلوله ای از آلومینیم ۲۷ گرم و حجم آن ۱۰ سانتی متر مکعب است چگالی آن را حساب کنید.

$$m = 27g \quad \text{فرضیات:}$$

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

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

مثال ۲-۵- یک قطعه فلز به جرم ۷۲ گرم و به حجم 9 cm^3 در اختیار داریم چگالی فلز را بر حسب g/cm^3 و kg/m^3 به دست آورید.

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

برای قسمت دوم از روش نزدبانی استفاده می‌کنیم.

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

۳-۵- 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.

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

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

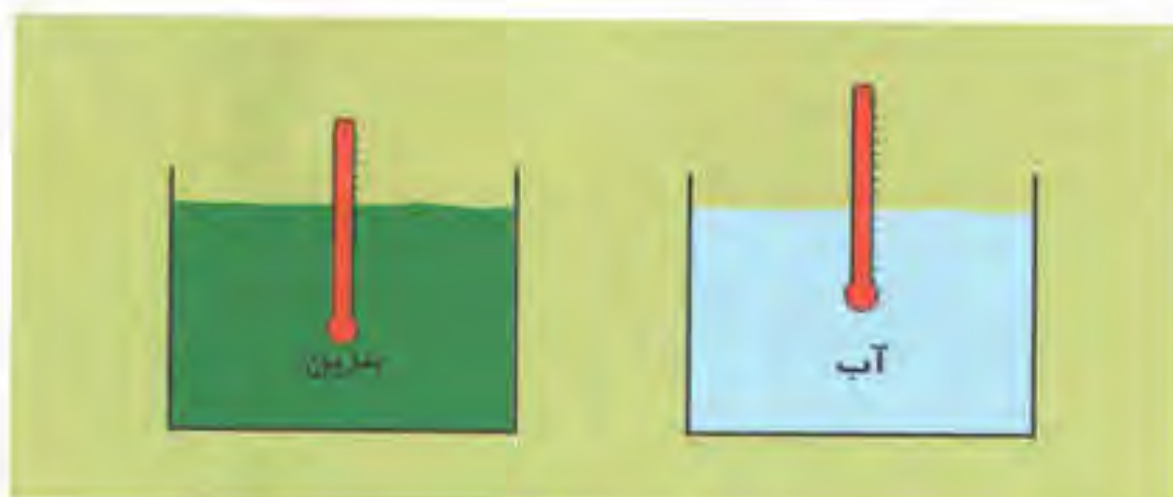
مثال ۳-۵- چگالی نسبی جیوه نسبت به آلومینیم تقریباً ۵ است. اگر چگالی آلومینیم $2/7 \text{ g/cm}^3$ باشد چگالی جیوه چه قدر خواهد بود؟

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

۳-۶- 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 ۲-۵ شرح داد.

^۱- Specific Gravity, Relative Density, Gas Gravity

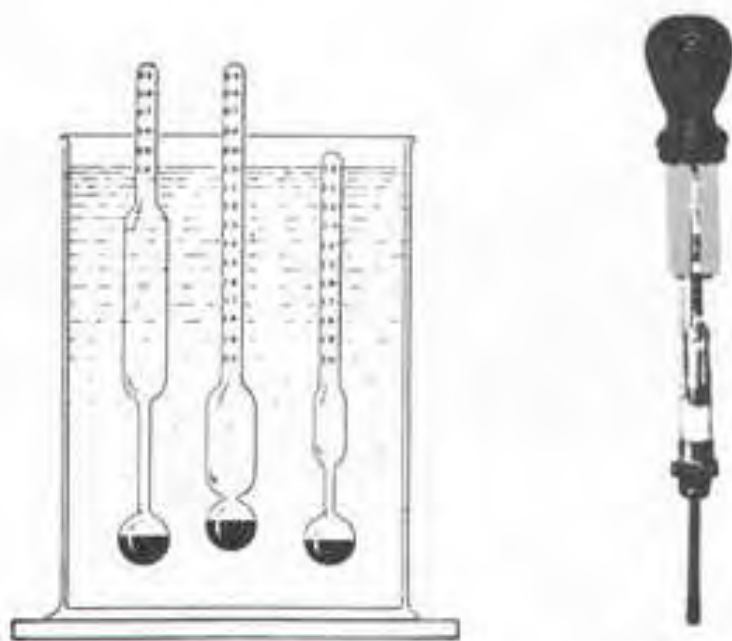


شکل ۵-۲- طرز کار چگالی سنج

در شکل فوق دو ظرف نمایش داده شده است که در یکی بنزین و در دیگری آب است. دو لوله به طور مجزا در این ظرف شناور هستند. هرچه مایع چگالی بالاتری داشته باشد حجم کمتری از 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 چگالی سنج کمک می‌کند تا این ابزار هنگام شناوری به طور قائم بایستد. معمولاً لوله چگالی سنج را خیلی باریک در نظر می‌گیرند تا به حساسیت آن افزوده شود و با کوچک‌ترین تغییری در چگالی مایع، تفاوت قابل مشاهده‌ای در ارتفاع چگالی سنج و میزان شناوری آن ایجاد می‌شود، در نتیجه فاصله درجات روی صفحه مدرج بیشتر و به روشنی قابل رؤیت خواهد بود.

از آن جایی که میزان قدرت باتری اتومبیل به چگالی اسید آن بستگی دارد می‌توان به وسیله چگالی سنج 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 چگالی سنج را برای تعیین دمای انجماد محلول ضدیخ که در سیستم خنک کاری اتومبیل (رادیاتور) وجود دارد به کار برد و در نتیجه این امکان فراهم می‌شود که نسبت ضد یخ موجود در آن را مشخص نمود.
در شکل ۵-۳- چند نمونه چگالی سنج نمایش داده شده است.



شکل ۵-۳- چند نمونه چگالی سنج

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 پراز 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 مشخص کره زمین 82 kg است در کره ماه چه وزنی دارد؟ چه جرمی دارد؟

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 در مدارهای مختلف هیدرولیکی و سیستم‌های لوله کشی و به طور کلی انتقال سیال از یک نقطه به نقطه دیگر استفاده می‌شود.

۲-۶- انتخاب انواع پمپ

در انتخاب نوع پمپ و طراحی آن، مشخصات هیدرولیک سیستم، 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، مد نظر 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^۱: پمپ‌هایی که انتقال انرژی از آن‌ها به سیال به طور دائمی انجام می‌شود را پمپ‌های دینامیکی می‌گویند. پمپ‌های گریز از مرکز از انواع پمپ‌های دینامیکی می‌باشند.

۲- پمپ‌های جابه‌جایی^۲: پمپ‌هایی که انتقال انرژی از آن‌ها به سیال به صورت متناوب صورت می‌گیرد را پمپ‌های جابه‌جایی می‌نامند. پمپ‌های پیستونی (رفت و برگشتی) از انواع پمپ‌های جابه‌جایی هستند.

جدول ۶-۱- تقسیم‌بندی پمپ‌ها را به‌طور کلی انجام داده است.

۶-۴- پمپ‌های گریز از مرکز^۳

متداول‌ترین نوع پمپ‌ها در صنعت نوع گریز از مرکز است زیرا: پمپ‌های گریز از مرکز در بین انواع پمپ‌ها به علت شکل ساده ساختمانی، نسبت پایین حجم به توان مصرفی و تنوع فراوان موارد مصرف در مقایسه با سایر پمپ‌ها از اهمیت بیشتری برخوردار می‌باشند.

هر پمپ گریز از مرکز دارای بخش‌های زیر می‌باشد:

۱- لوله ورودی یا قسمت مکش^۴

۲- لوله خروجی یا قسمت رانش^۵ (تخلیه)

۳- پوسته پمپ

۴- چرخ یا پروانه پمپ^۶

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

۶-۵- تقسیم‌بندی پمپ‌های گریز از مرکز

متداول‌ترین روش تقسیم‌بندی از دیدگاه طراحی و علمی، تقسیم‌بندی براساس مسیر حرکت سیال در پروانه است. از این نظر پمپ‌های گریز از مرکز به سه دسته اصلی تقسیم می‌شوند:

۱- پمپ‌های گریز از مرکز با جریان شعاعی^۷

۲- پمپ‌های گریز از مرکز با جریان محوری^۸

۳- پمپ‌های گریز از مرکز با جریان مختلط^۹

۱- Dynamic pump

۲- Displacement pump

۳- Centrifugal pump

۴- Suction

۵- Discharge

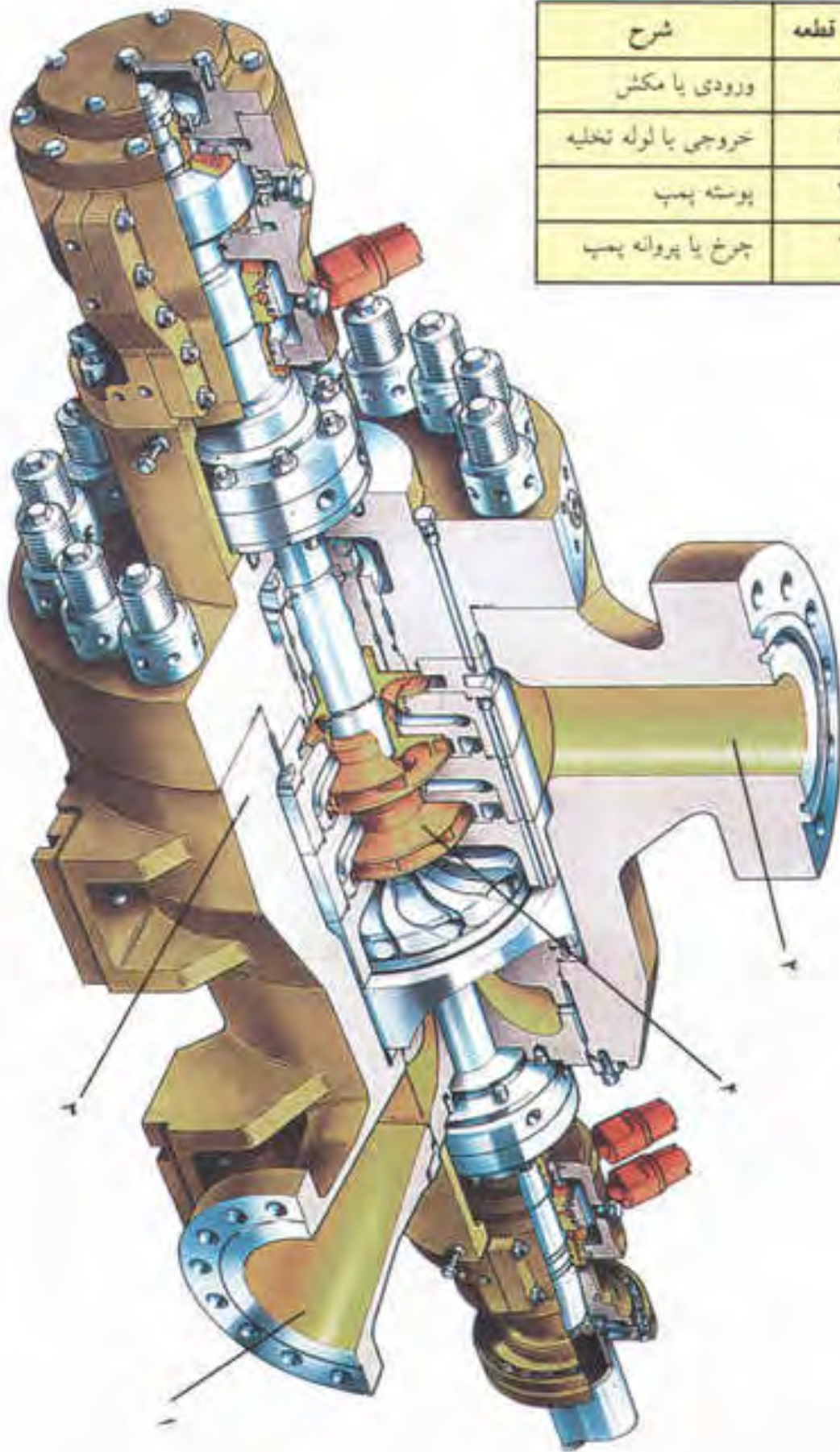
۶- Impeller

۷- Radial flow

۸- Axial flow

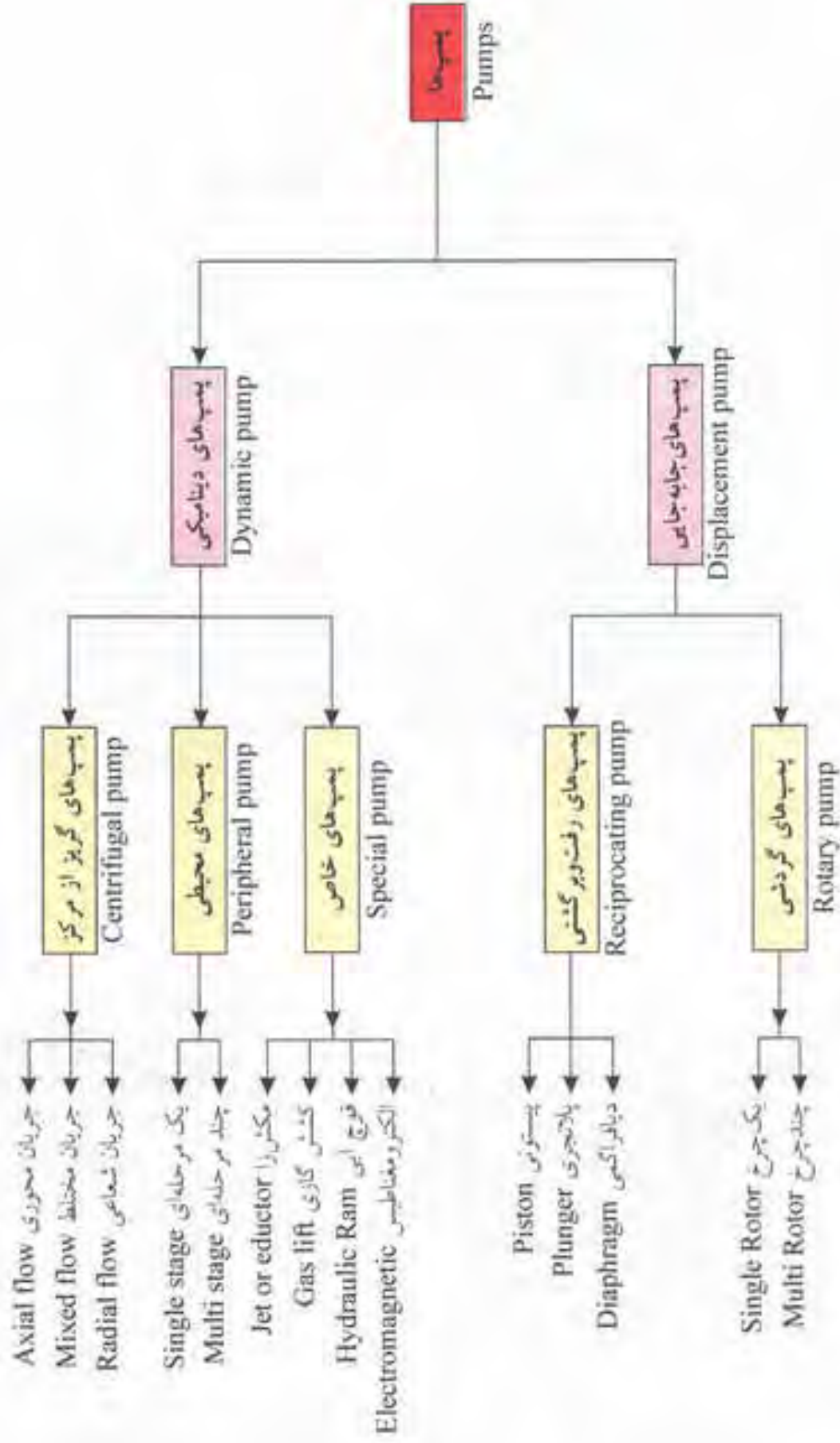
۹- Mixed flow

شماره قطعه	شرح
۱	ورودی یا مکش
۲	خروجی با لوله تخلیه
۳	پوشه پمپ
۴	چرخ یا پروانه پمپ

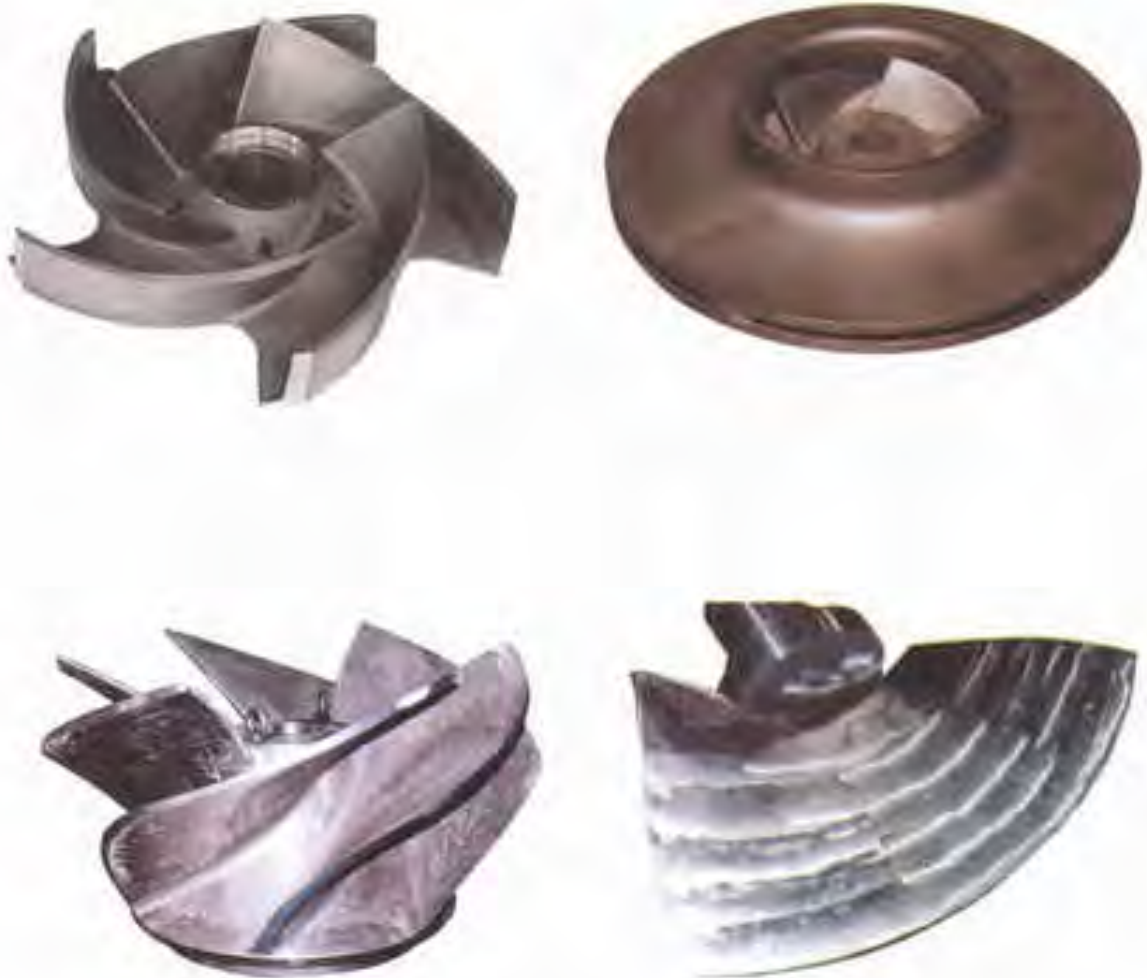


شکل ۱-۶-۱- ساختمان داخلی یک پمپ گریز از مرکز.

جدول ۱-۶-۱- تقسیم بندی پمپ‌ها



در نوع اول، سیال موازی محور وارد پروانه پمپ و عمود بر آن از پروانه خارج می‌شود از این نوع پمپ‌ها برای ایجاد فشارهای بالا در دبی‌های کم استفاده می‌شود. 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 (۲-۶) انواع پروانه‌های (چرخ‌های) پمپ‌های گریز از مرکز نمایش داده شده‌اند.



شکل ۲-۶- انواع پروانه‌های پمپ گریز از مرکز

^۱ ارتفاعی که پمپ به سیال می‌دهد. Head -

۶-۶- مشخصات اصلی پمپ‌های گریز از مرکز

- قیمت ارزان واحد پمپ نسبت به یک کیلووات قدرت مفید تولیدی.
- جریان سیال به طور 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.
- حداکثر گرانروی سیال بسته به نوع پمپ از حدود ۵۲۰ تا ۷۶۰ سانتی‌استوک^۱ نمی‌تواند تجاوز نماید. برای بیش از این حدود و سیالات با گرانروی بالا از پمپ‌های جابه‌جایی استفاده می‌شود.

۶-۷- پمپ‌های رفت و برگشتی^۲

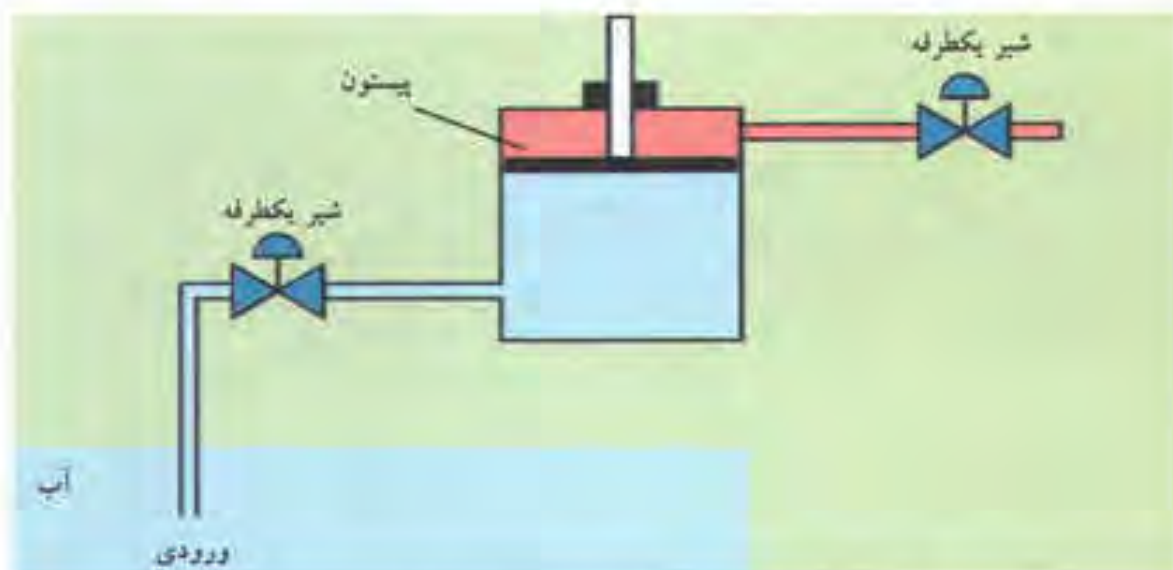
- از قدیمی‌ترین انواع پمپ‌ها که هنوز هم در صنعت استفاده می‌شود پمپ رفت و برگشتی می‌باشد. در این پمپ‌ها حرکت چرخشی میل‌لنگ به حرکت رفت و برگشتی پیستون در یک سیلندر تبدیل می‌شود.
- با عقب رفتن پیستون در سیلندر مکش ایجاد و مایع از طریق شیر ورودی وارد محفظه سیلندر می‌شود. با حرکت پیستون به سمت جلو دریچه 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 ۶-۳ یک پمپ رفت و برگشتی را نمایش می‌دهد.

۶-۸- مشخصات اصلی پمپ‌های رفت و برگشتی

- فشار خروجی بسیار بالا
- سرعت کم
- ظرفیت کم تا متوسط (حداکثر ۲۰۰ متر مکعب در ساعت)

۱- Centistock

۲- Reciprocating pumps



شکل ۳-۶- شماتیک ساده یک پمپ پیستونی

- جریان غیر یک نواخت
- راندمان بالا در صورت سرویس مرتب
- گران بودن نسبت به پمپ‌های گریز از مرکز

۹-۶- کاویتاسیون^۱ (حفره زایی)

آب یا هر مایع دیگر، در هر درجه حرارتی به ازای فشار معین تبخیر می‌شود به عنوان مثال آب در فشار اتمسفر در کنار دریا در ۱۰۰ درجه سلیسیوس و در فشار ۰/۲ اتمسفر و ۲۰ درجه سلیسیوس تبخیر می‌شود.

هرگاه در حین جریان مایع در داخل پروانه 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 متقطع 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 در می‌آید. در نهایت این صداهای منقطع به صداهایی شدید و دائمی مبدل می‌شود و دبی پمپ به شدت کاهش می‌یابد یا قطع می‌شود. در پمپ‌هایی که در آن‌ها سرعت دورانی یا دبی تولیدی یا درجه حرارت برابر بالا باشد پدیده کاویتاسیون حتی در یک زمان کوتاه می‌تواند ضایعات شدیدی را موجب شود.

خودآزمایی

- ۱- در انتخاب نوع پمپ چه مشخصاتی مد نظر 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

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.

۱-۷- مقدمه

مبدل‌های حرارتی دستگاه‌هایی هستند که به کمک آن‌ها می‌توان در اثر تماس غیر مستقیم 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 براساس سیال‌هایی که از آن عبور می‌کنند نقش مهمی در طراحی و محاسبات اقتصادی مبدل‌های حرارتی به دنبال خواهد داشت.

۲-۷- دسته‌بندی مبدل‌های حرارتی

۱-۲-۷- بر مبنای پیوستگی یا تناوب جریان: جریان سیال داخل مجاری مبدل‌های حرارتی پیوسته یا متناوب است. در مبدل‌های حرارتی با جریان پیوسته مجاری سیال گرم و سرد از هم تفکیک شده‌اند، به طوری که سیال گرم دایم در مجاری مخصوص خود و سیال سرد نیز در مجاری مربوط به خود جریان دارند. دو مجرای جریان توسط یک جداره لوله یا یک ورق از هم جدا شده‌اند. در مبدل‌های حرارتی با جریان متناوب برای هر دو سیال از یک مجموعه مجاری

1- Heat exchangers

جریان استفاده شده است. مجموع مجاری جریان هسته مبدل را تشکیل می دهند که دو سیال به تناوب از درون آن عبور می کنند. در حقیقت، مجاری مذکور انرژی را از یک سیال می گیرند و در خود ذخیره می کنند و سپس در مسیر جریان دیگر این انرژی را به آن پس می دهند.

۷-۲-۲- بر مبنای پدیده انتقال: تبادل انرژی بین دو سیال به صورت تماس مستقیم یا غیر مستقیم صورت می گیرد:

در نوع مستقیم، حرارت بین دو سیال که با هم تماس مستقیم دارند مبادله می شود. معمولاً یکی از این دو سیال گاز و دیگری مایع است که یا فشار بخار خیلی پایین و پس از تبادل حرارت به سادگی قابل تفکیک هستند.

در نوع غیر مستقیم، حرارت ابتدا از سیال گرم به یک سطح جامد نفوذناپذیر منتقل می شود و سپس از آن به سیال سرد انتقال می یابد.

۷-۲-۳- بر مبنای ساختمان مبدل: در بسیاری مواقع مبدل های حرارتی بر مبنای ساختمان تقسیم بندی می شوند. مبدل های حرارتی از نظر ساختمان به ۴ دسته تقسیم بندی می شوند که عبارتند از:

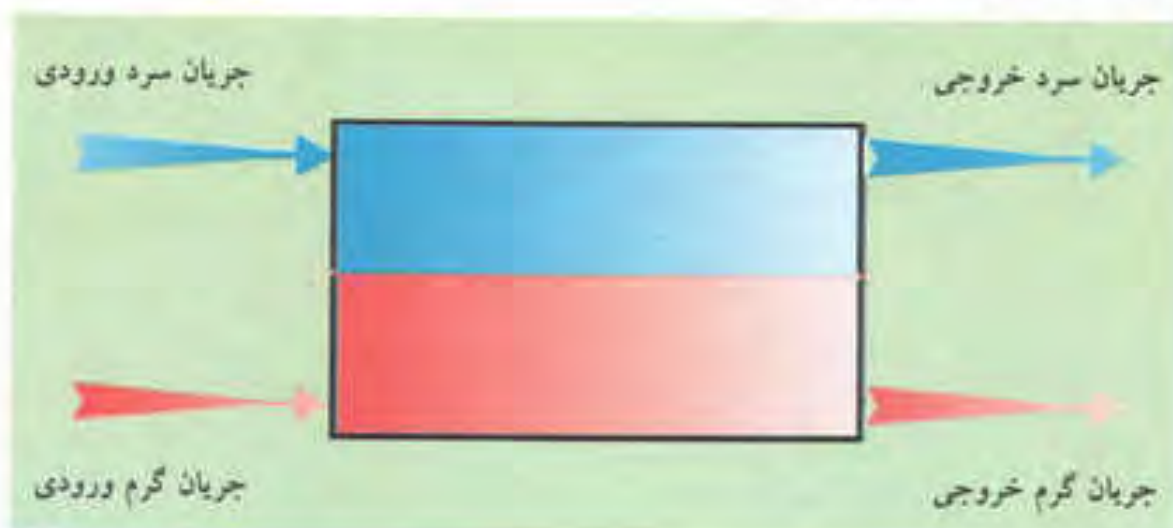
- ۱- مبدل های حرارتی لوله ای^۱
- ۲- مبدل های حرارتی صفحه ای^۲
- ۳- مبدل های حرارتی پره ای^۳
- ۴- بازیاب های حرارتی^۴

۷-۳- تقسیم بندی مبدل ها بر اساس نوع جریان

- جریان همسو^۵
- جریان ناهمسو^۶
- جریان متقاطع^۷

۱- Pipe heat exchanger
۲- plate heat exchanger
۳- fin heat exchanger
۴- Heat recovers
۵- Co-current
۶- Counter current
۷- Cross current

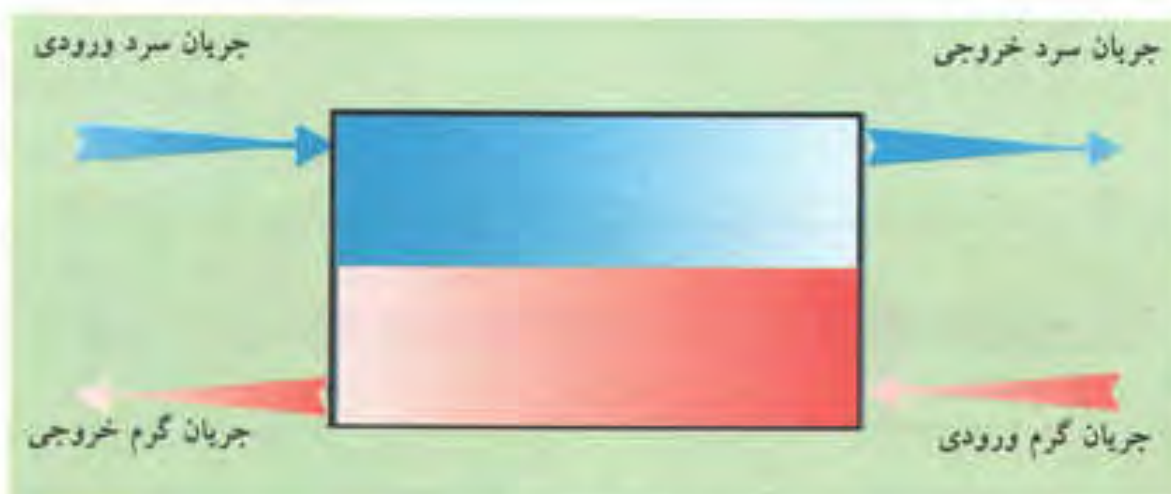
- جریان همسو (هم جهت): در این نوع مبدل‌ها سیال سرد و گرم هر دو در یک جهت حرکت می‌کنند و در حین عبور از مبدل تبادل حرارتی انجام می‌دهند. شکل ۱-۷-۱-۷ جریان همسو را نمایش می‌دهد.



شکل ۱-۷-۱-۷- جریان همسو

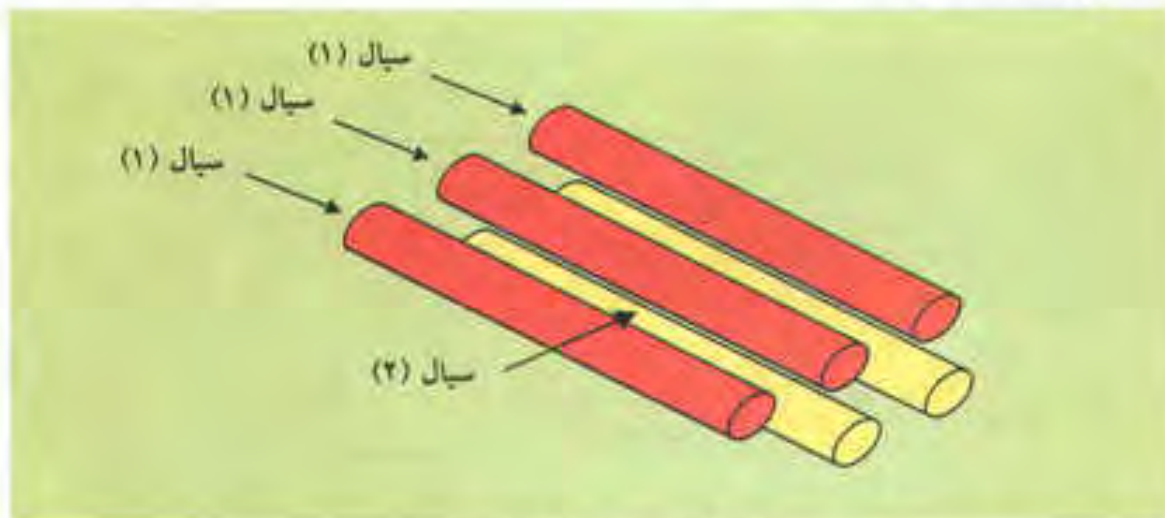
- جریان ناهمسو (مخالف جهت): در این مبدل سیال سرد در یک جهت و سیال گرم در جهت عکس آن وارد مبدل می‌شود و بدین ترتیب تبادل حرارتی صورت می‌پذیرد.

در شرایط یکسان برای یک مبدل با جریان ناهمسو میزان اتصال ناهمسو میزان انتقال حرارت بیشتر خواهد بود. در شکل ۲-۷-۲-۷- جریان ناهمسو نمایش داده شده است.



شکل ۲-۷-۲-۷- جریان ناهمسو

جریان متقاطع: چنانچه یک سیال در لوله و سیال دیگری به صورت عمود بر لوله‌ها جریان داشته باشد، نوع جریان متقاطع خواهد بود. شکل ۳-۷ مبدل حرارتی با جریان متقاطع را نشان می‌دهد.



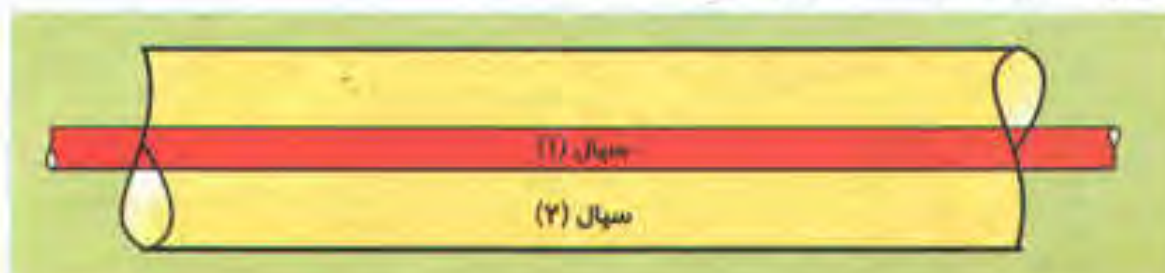
شکل ۳-۷- مبدل با جریان متقاطع.

مبدل‌های حرارتی با جریان متقاطع در گرمایش یا سرمایش هوا یا گازها کاربرد وسیعی دارند.

۴-۷- مبدل‌های حرارتی لوله‌ای

در این نوع مبدل‌ها اساس انتقال حرارت از نوع غیر مستقیم می‌باشد و مکانیزم انتقال حرارت جابه‌جایی می‌باشد. این مبدل‌ها به دو دسته عمده تقسیم‌بندی می‌شوند.
 ۱- دو لوله‌ای^۱ ۲- لوله و پوسته^۲

۴-۷-۱- 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 ۴-۷)



شکل ۴-۷- مبدل‌های حرارتی دو لوله‌ای

۱- Two pipes

۲- Shell & tube

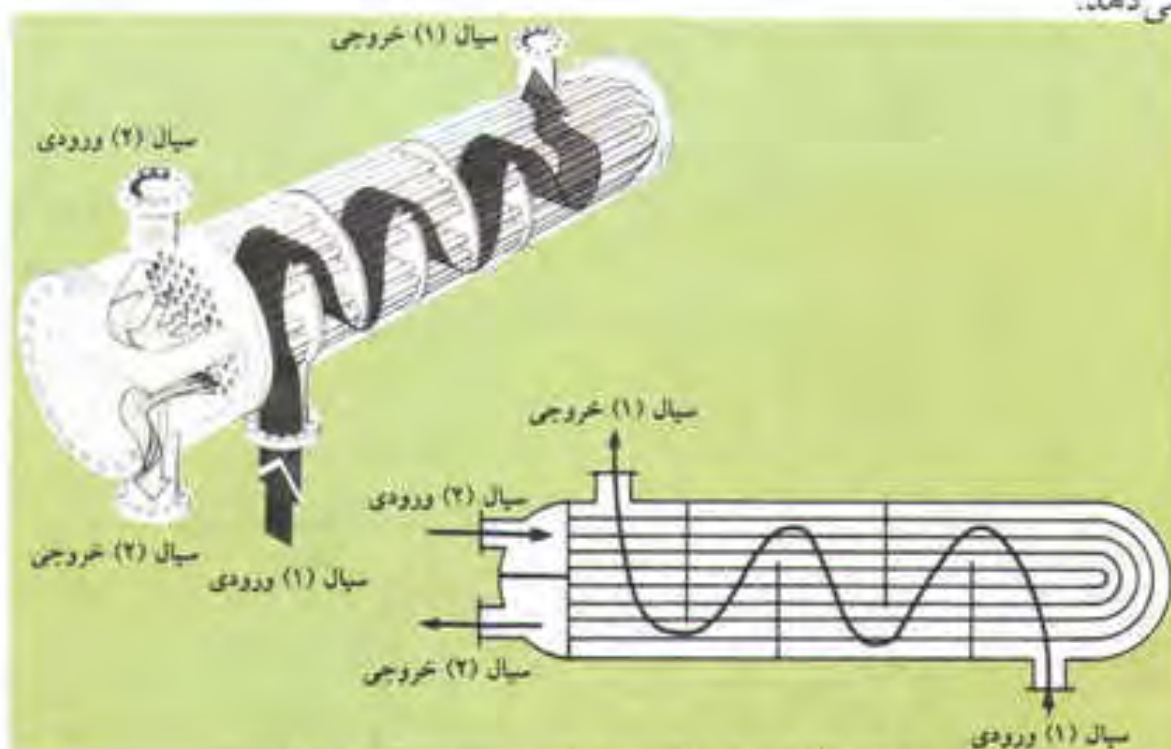
مبدل‌های حرارتی دو لوله‌ای زمانی کاربرد دارند که سطح تبادل کمی مورد لزوم باشد و در سرمایش و گرمایش هوا یا گازها کاربرد دارند.

۷-۴-۲- مبدل‌های حرارتی پوسته - لوله: نوعی از مبدل‌های حرارتی که در صنایع فرآیندهای شیمیایی بسیار مورد استفاده قرار می‌گیرد از نوع پوسته-لوله می‌باشد که در شکل ۷-۵ دیده می‌شود.



شکل ۷-۵- 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، موانعی در داخل پوسته قرار داده می‌شود. شکل ۷-۶ مکانیزم حرکت سیال را در مبدل‌های پوسته - لوله نمایش می‌دهد.



شکل ۷-۶- اساس کار مبدل‌های حرارتی پوسته - لوله

۷-۵- برج‌های خنک کننده

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.

۷-۵-۱- ساختمان برج‌های خنک کننده: وظیفه برج خنک کننده سرد کردن آب

مصرفی در مبدل‌ها جهت استفاده مجدد از آن است. برج خنک کننده تشکیل می‌شود از طبقات چوبی مشبک که به طور افقی بر روی هم نصب می‌شوند و این صفحات چوبی مشبک چنان ساخته می‌شوند که امکان جریان آب از بالا به پایین و بالعکس جریان هوا از پایین به بالا ممکن شود.

نتیجه این عمل در برج، خنک شدن آب و آماده شدن آن برای استفاده مجدد در سیستم‌های مختلف و مصارف صنعتی و مبدل‌های حرارتی است. در شکل ۷-۷ ساختمان برج خنک کننده^۱ نشان داده شده است.

۷-۶- کوره‌ها

کوره دستگاهی است که در آن سوخت در مجاورت هوا یا اکسیژن محترق می‌شود و شعله‌های طولانی ایجاد می‌کند. این شعله‌ها دیواره کوره و اجسام مجاور را گرم می‌کنند.

۷-۶-۱- 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.

پ- وسایل کشش دود به خارج، از قبیل دودکش یا تلمبه که از طرفی مواد را به داخل کانون آتش می‌کشد و عمل احتراق را تسهیل می‌کند و از طرف دیگر شعله‌ها را به طرف اجسام گرماپذیر هدایت می‌کند و بالاخره دودها را به خارج می‌فرستد. شکل بوته برحسب کاری که در آن انجام می‌گیرد فرق می‌کند. اجسامی که بیشتر متداولند به اسم‌های روبرو، اتاق تونل، کوره گردان و ... معروفند. ممکن است جسم گرماپذیر در مجاورت سوخت یا گازهای حاصله از احتراق، تغییر حالت دهد یا آن که در نتیجه گرما دادن به جسم، گاز و بخاراتی تولید شود. این گازها در صورتی که آزاد باشند از دست خواهند رفت، لذا جسم را در محفظه سرسته می‌ریزند و محفظه را تحت تأثیر گرما قرار می‌دهند. محفظه‌ها دارای اشکال مختلف هستند و به اسم بوته قرع یا موفل نامیده می‌شوند. جنس این محفظه‌ها دارای ویژگی‌هایی است که برای کوره‌ها ذکر شد با این تفاوت که دیواره کوره را عایق گرما می‌سازند. این محفظه‌ها هادی گرما هستند در ضمن گازها نیز در آن‌ها نفوذ نمی‌کنند.

۷-۶-۴- کوره‌های ماشین بخار: 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 عمل چنین خواهد بود:

الف- زغال را به قطعات کوچک روی سطح یک پنجره آهنی قرار می‌دهند، فاصله میان میله‌های پنجره را به نحوی تنظیم می‌کنند که هوا به طور یک‌نواخت عبور کند. پنجره و دیواره‌های مجاور آن خود کوره را تشکیل می‌دهند و پخش زغال ممکن است با دست یا با وسایل مکانیکی انجام گیرد. مصرف زغال سنگ معمولی یا زغال گرد شده یا سوخت‌های مایع مانند نفت و مازوت و سوخت‌های گازی در کوره‌ها عموماً بستگی به جنس و شکل کوره دارد.

ب- کوره‌های معمولی با پنجره ثابت: این کوره‌ها اصولاً شامل دو قسمت هستند:

۱- اتاق احتراق، ۲- ظرف خاکستر

این دو قسمت به وسیله پنجره از یکدیگر جدا می‌شوند، هر یک از این دو قسمت دارای دو دریچه است. یکی برای داخل کردن سوخت و دیگری برای خارج کردن خاکسترها که در انتهای پنجره و در مقابل دریچه دیواره آجری کار گذاشته شده است. این دیواره سطح پخش زغال را محدود می‌کند و به علاوه مسیر جریان گازهای

حاصل شده را تغییر می دهد و آن ها را به طرف جلو برمی گرداند. بدین طریق ترکیب و آمیزش گازها با هوا ممکن و سوخت کامل می شود. در دیگ ها یا لوله آبی که در ساختمان ماشین بخار به کار می رود در کوره به طرف داخل کوره باز می شود زیرا اگر اتفاقاً یکی از لوله ها بترکد، در اثر فشار بخار داخلی، در به خودی خود، بسته می شود و به خارج صدمه نمی زند.

۵-۶-۷- کوره های مخصوص: غیر از زغال سنگ معمولی، سوخت های دیگری نیز متداول است. وضع کوره با جنس سوخت تغییر می کند مثلاً برای استعمال سوخت های مایع یا بخار، پنجره لزومی ندارد در عوض باید سوخت گیر به کار رود.

۶-۶-۷- کوره های الکتریکی: اگر از سیمی به مقاومت R اهم جریانی به شدت I آمپر در مدت t ثانیه که اختلاف پتانسیل دوسر آن V ولت باشد عبور کند، مطابق قانون ژول انرژی مصرفی عبارت است از:

$$W = VI t = RI^2 t \quad (6-1)$$

و اگر در قسمتی از مدار که انرژی نامبرده مصرف می شود هیچ گونه فعل و انفعال شیمیایی صورت نگیرد تمام انرژی به گرما تبدیل می شود و به اندازه $Q = RI^2 t$ کالری گرما تولید می کند. چنانچه شدت جریان الکتریکی متناوب باشد این فرمول به شکل $W = KVI t$ در می آید. K را ضریب قدرت گویند و مقدار آن کم تر از واحد و با مشخصات مدار تعیین می شود. اگر جسم هادی، سیمی باشد که طول آن L سطح و مقطع اش S خواهیم داشت:

$$R = \rho \frac{L}{S} \quad (6-2)$$

و به این طریق، می توانیم از هادی طویل و نازک، مقاومت R استفاده کنیم و در نتیجه گرمای حاصل شده را زیاد کنیم. ساختمان کلیه کوره های الکتریکی که به وسیله آن ها ممکن است دماهای خیلی زیاد ایجاد کرد بر اساس مطالب ذکر شده در بالاست. کوره های الکتریکی مانند کوره های شعله ای متنوع و با توجه به موارد کاربرد آن ها، شکل و کارشان تغییر می کند و با توجه به سه عامل زیر ساخته می شوند:

- ۱- تأثیر شدت جریان الکتریکی.
- ۲- شکل و جنس ماده گرماده.
- ۳- فشار داخل کوره.

ساختمان کوره‌های الکتریکی: کوره‌های الکتریکی از شش قسمت اصلی تشکیل

می‌شوند:

۱- محفظه خارجی، ۲- جسم عایق گرما، ۳- نسوز، ۴- ماده گرماده،

۵- محفظه داخلی یا بوته، ۶- وسایل لازم برای ورود و خروج جریان الکتریکی.

۷-۶-۷- انواع کوره‌های الکتریکی:

الف - کوره ماریچی نیکروم: در این نوع کوره فلز گرماده از جنس نیکروم با

مقطع ۴ میلی‌متر، طول ۱۵ متر و تعداد ۵۸ عدد حلقه به وسیله سیمان مخصوصی روی لوله ثابت شده است که تا ۱۳۰۰ درجه سانتی‌گراد حرارت را تحمل می‌کند.

ب- کوره مقاومتی با ماریچ پلاتینی: برای دمای زیادتر از ۱۳۰۰ درجه از کوره

دیگری استفاده می‌شود که فلز گرماده آن به جای نیکروم نوار بسیار نازک پلاتین است.

باید مواظب بود که سیلیس خالص در مجاورت پلاتین قرار نگیرد. نوار با ضخامت از

هفت هزارم میلی‌متر به بالا موجود است. با استفاده از نوارهای ۰/۰۰۷ میلی‌متری می‌توان

ولتاژ معمولی ۱۱۰ تا ۲۲۰ ولت به کار برد. ولی بهتر آن است که نوارهای کلفت‌تر از

یک میلی‌متر با ولتاژ بیشتری به کار برده شود، و اگر کوره خوب عایق باشد، ممکن

است بتوان تا ۱۴۵۰ درجه دما برقرار کرد.

پ - کوره با ماریچ مولیبدن: در این کوره قطر حلقه ماریچ ۶ سانتی‌متر، طول

سیم ۲۰ متر، مقاومت الکتریکی ۱۰ اهم، توان ۲۰۰ وات، ولتاژ ۱۱۰ ولت و دمای حاصل

1560°C است. حلقه‌ها روی یک لوله که برای گازها غیر قابل نفوذ است، پیچیده

می‌شوند و در محفظه‌ای که از آن هیدروژن عبور می‌کند قرار داده شده است. در مرکز

آن لوله‌ای طویل موجود است در انتهای این لوله به وسیله جریان آب، سرد می‌شود.

ت- کوره القایی: اگر یک جسم هادی الکتریسته را داخل مدار ماریچی شکل

فلزی که از آن شدت جریان الکتریکی متناوب با فرکانس ۲۰۰۰ تا ۵۰۰۰ عبور می‌کند

قرار دهیم، در جسم هادی، جریان‌های القایی موسوم به جریان فوکو ایجاد می‌شود.

این جریان‌ها جسم را گرم می‌کند.

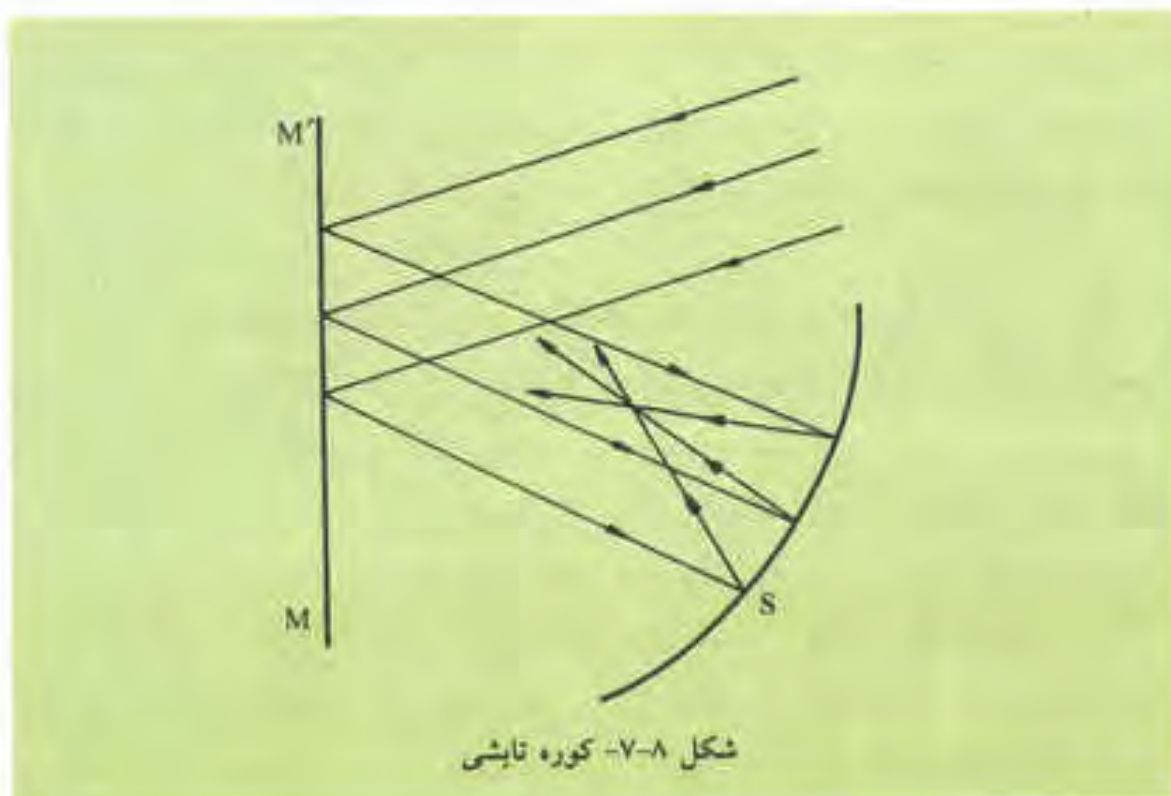
ث - کوره قوسی: اگر میان دو قلم زغال که دو نوک آن در مقابل یکدیگر قرار

گرفته‌اند اختلاف سطح الکتریکی برقرار کنیم، اثر پدیده‌های الکتریکی و حرارتی

مقداری الکترون از کاتد خارج و به طرف آنند متوجه می‌شود و در نتیجه، مثل این است

که مدار به وسیله الکترون‌ها بسته و جریان الکتریکی در مدار برقرار شده است. در

ضمن در محل فاصله دو الکتروود قوسی نورانی با درجه حرارت زیاد مشاهده می شود.
 ج - کوره تابشی: اگر جسم سیالی را در مقابل آفتاب قرار دهیم هر سانتی متر مربع آن در هر دقیقه ۲ کالری انرژی از شعاع های نورانی آفتاب جذب می کند. با استفاده از این انرژی می توان کوره های تابشی ساخت. ساختمان کوره های تابشی عبارت است از استفاده از یک یا چند آینه مسطح و یک یا چند آینه مقعر. شعاع های نورانی آفتاب نخست روی آینه مسطح برخورد می کند و با امتداد موازی محور اصلی آینه مقعر روی آن تابیده می شود. آینه مقعر اشعه را بازگشت می دهد و در کانون خود متمرکز می کند. بوته را در کانون آینه قرار می دهند یا این دستگاه ممکن است چندین کیلووات انرژی به دست آورد و حرارتی متجاوز از ۳۰۰۰ درجه سانتی گراد ایجاد کرد.
 (شکل ۷-۸)



خود آزمایی

- 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

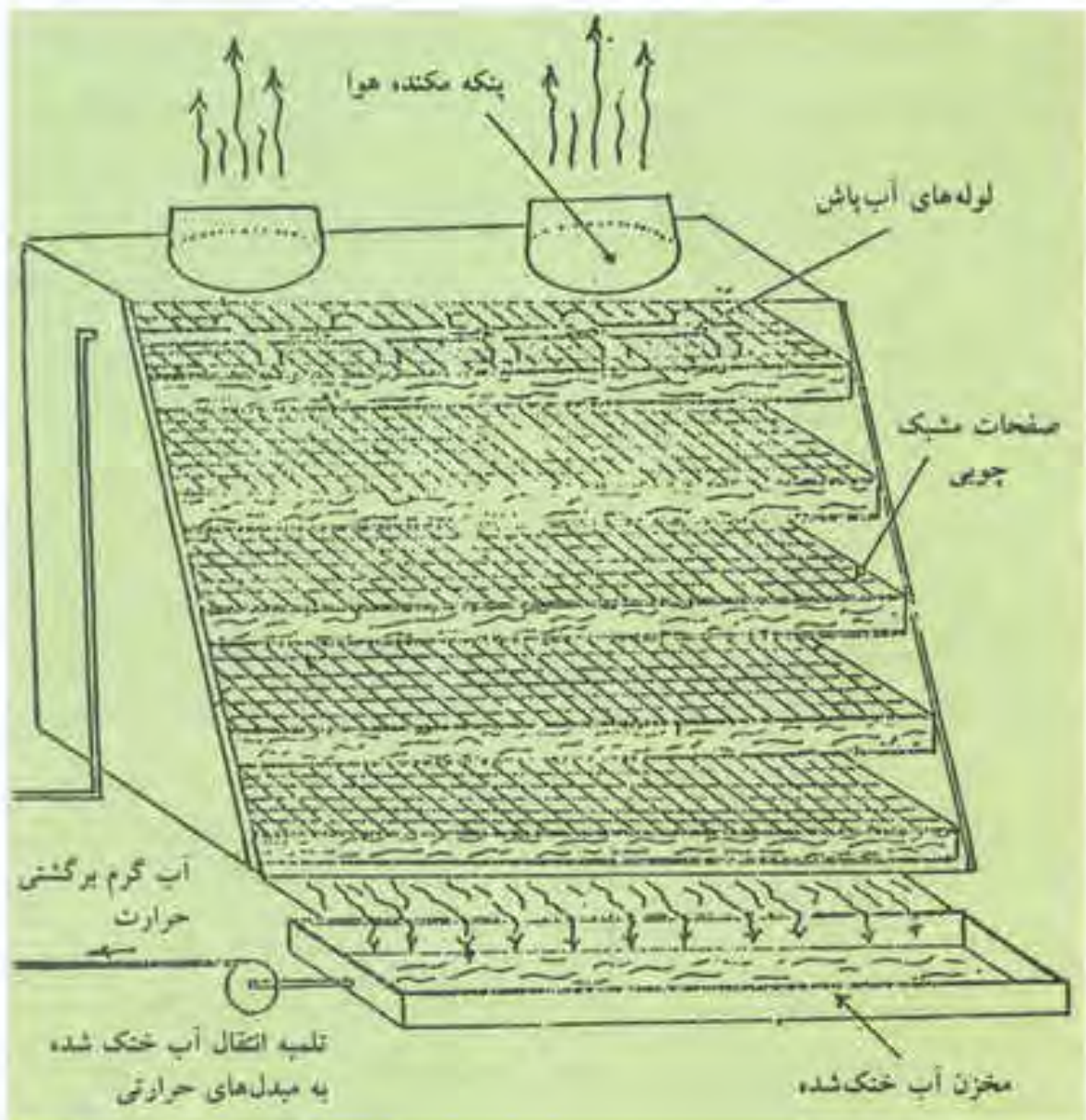
برای درک کنترل دما یک تانک همزن‌دار مجهز به سیستم حرارتی را در نظر بگیرید.

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. کنترل‌کننده دما که در این جا

۱- Temperature Control

۲- Set Point



شکل ۷-۷- برج خنک کننده

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

حجم - متخلخل نبودن موادی که در ساختمان کوره به کار می رود. مقاومت مکانیکی اجسام نسوز متداول عبارت اند از: آرزبیل، کائولن، سیلیس، آلومین، مانیزی، کریوراندوم، کربن و ...

۷-۶-۲- انواع کوره ها: کوره هایی که به اشکال گوناگون در صنعت به کار می روند از بعضی لحاظ شبیه به هم هستند و می توان آن ها را از نظر کاربرد به دو دسته تقسیم بندی کرد:

دسته اول: کوره‌هایی هستند که برای گرم کردن دیگ‌های مولد بخار، برای به کار انداختن ماشین بخار، ساخته می‌شوند. این دسته دارای چند نوع و با خواص تقریباً مشترک هستند.

دسته دوم: که به منظورهای مختلف مانند ذوب، تجزیه اعمال شیمیایی ساخته شده‌اند و به چند دسته تقسیم می‌شوند:

الف- کوره‌هایی که در آن‌ها اجسام گرماپذیر از سوخت جدا هستند.
ب- کوره‌هایی که در آن‌ها اجسام گرماپذیر از سوخت جدا هستند ولی با شعله تماس دارند.

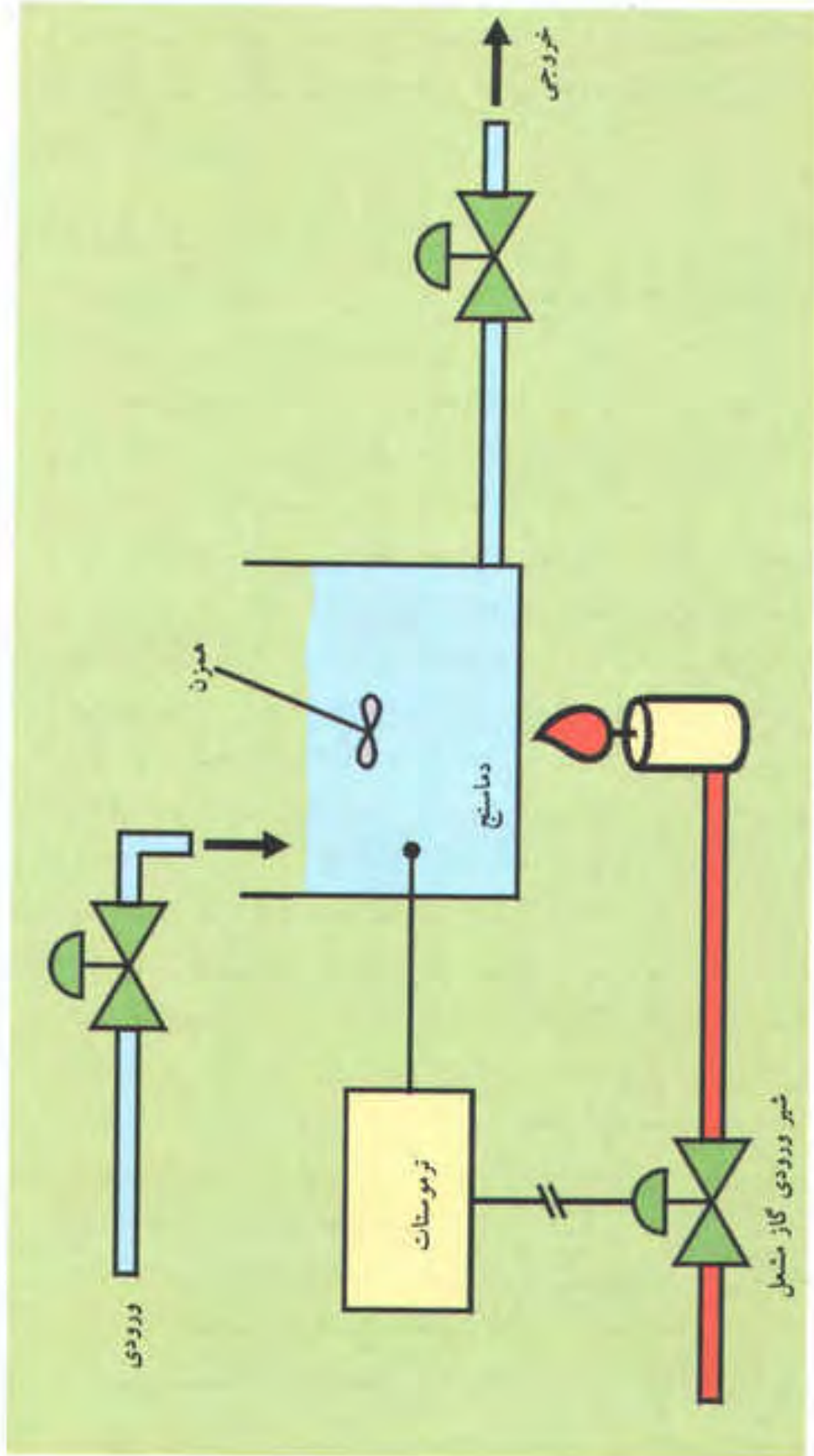
پ- کوره‌هایی که در آن‌ها اجسام گرماپذیر در محفظه‌های سر بسته هستند و به هیچ وجه با سوخت و یا دود و شعله تماس ندارند.

کوره‌های دسته اول: کوره‌های دسته اول شامل کوره‌های مخلوطی یا کوره‌های بلند و کوره هوفمن است. این کوره‌ها شامل دیواره‌ای به شکل مخروط ناقص است که به یک استوانه منتهی می‌شود و در پایین کوره، پنجره و وسایل خارج کردن مواد داخل کوره قرار دارد. خروج دود و گازها به واسطه کشش دودکش‌ها یا با دمیدن هوا از پایین انجام می‌گیرد.

۷-۶-۳- کوره هوفمن: کوره هوفمن از اتاق‌های متعدد که در مجاورت یکدیگر قرار دارند تشکیل می‌شود، به طوری که اگر یک اتاق در حال احتراق باشد دوده‌های حاصله قبل از خارج شدن، داخل اتاق‌های مجاور می‌شود و مواد موجود در آن‌ها را گرم می‌کند. وقتی که احتراق اتاق اول خاتمه یافت، عمل احتراق در اتاق دوم شروع می‌شود و هوای تازه از اتاقی که احتراق آن تمام شده عبور می‌کند و سپس داخل اتاق دیگری که در حال احتراق است می‌شود. بدین ترتیب گرمایی که در دوده‌ها موجود است صرف گرم کردن مواد پخته شده می‌شود. به این طریق مقدار زیادی صرفه‌جویی به عمل می‌آید. در ضمن، در نتیجه عبور هوای سرد، مواد پخته زودتر سرد می‌شوند و می‌توان آن‌ها را زودتر خارج و کوره را برای نوبت دوم حاضر کرد.

کوره‌های دسته دوم: این کوره‌ها شامل سه قسمت اصلی و مجزا هستند:

الف- کانون آتش که در آن عمل احتراق صورت می‌گیرد.
ب- بوتله که محتوای مواد گرماپذیر است و عمل‌های ذوب و تجزیه و ... در آن انجام می‌گیرد.



شکل ۱-۸- شماتیک تانک گرم کن همزن‌دار

ترموستات است فرمانی جهت کاهش شدت جریان گاز ورودی به مشعل صادر می کند از این رو با کاهش شدت جریان گاز مشعل دمای داخل تانک کاهش می یابد تا به مقدار مطلوب خود برسد.

۸-۳- حلقه کنترل

برای بررسی سیستم کنترل در تانک همزن دار فوق لازم است بخش های مختلفی که در حلقه کنترل وجود داشته اند بررسی شوند.

۱- حس کننده دما: برای اندازه گیری دما نیاز به یکی از وسایل اندازه گیری مثل ترموکوپل یا دماسنج و ... می باشد. در حقیقت مقدار دما توسط یکی از وسایل اندازه گیری که «عنصر اندازه گیری» نامیده می شود دریافت و گزارش می شود.

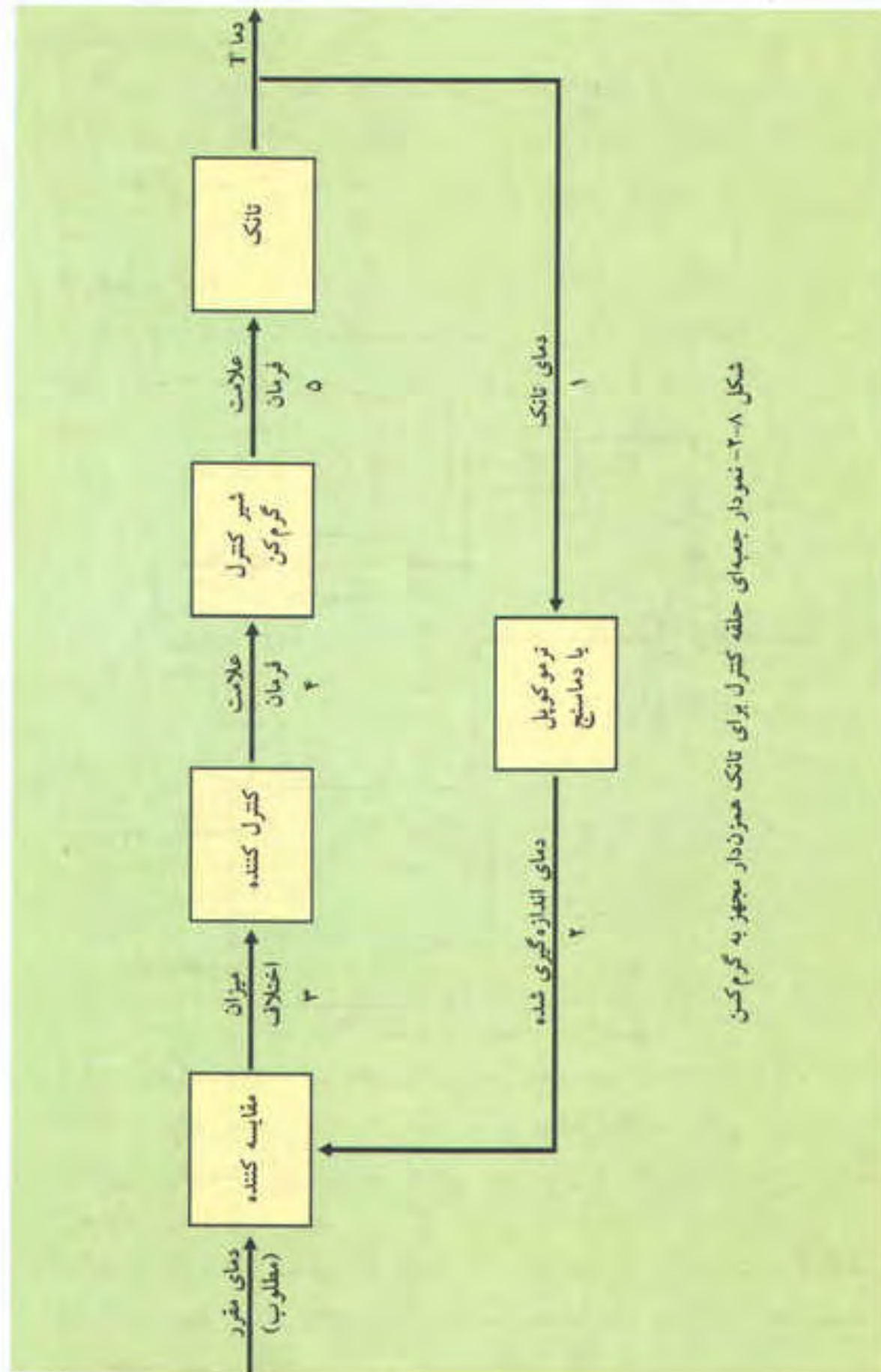
۲- مقایسه کننده: در هر حلقه کنترل، از مقایسه کننده جهت یافتن تفاضل بین دمای اندازه گیری شده و دمای مطلوب (مقرر) بهره برداری می شود. در حقیقت مقایسه کننده دمای اندازه گیری شده توسط عنصر اندازه گیری (ترموکوپل) و دمای مطلوب مقرر فرآیند را با هم مقایسه و اختلاف این دو را محاسبه می کند.

۳- کنترل کننده: اختلاف به دست آمده از مقایسه کننده به عنصر کنترل کننده که در این مثال ترموستات می باشد، ارسال می شود و کنترل کننده براساس میزان اختلاف، فرمانی را در راستای رسیدن به شرایط مطلوب صادر می کند که در این مثال باعث قطع و یا وصل مسیر جریان گاز به مشعل خواهد شد.

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

شرح نمودار جعبه ای حلقه کنترل:

- ۱- دمای سیال درون تانک توسط ترموکوپل یا دماسنج حس می شود.
- ۲- دمای اندازه گیری شده به مقایسه کننده ارسال می شود.
- ۳- میزان اختلاف دمای اندازه گیری شده و دمای متعدد از مقایسه کننده به سمت



شکل ۲-۸- نمودار جعبه‌ای حلقه کنترل برای تانک همزن‌دار مجهز به گرم‌کن

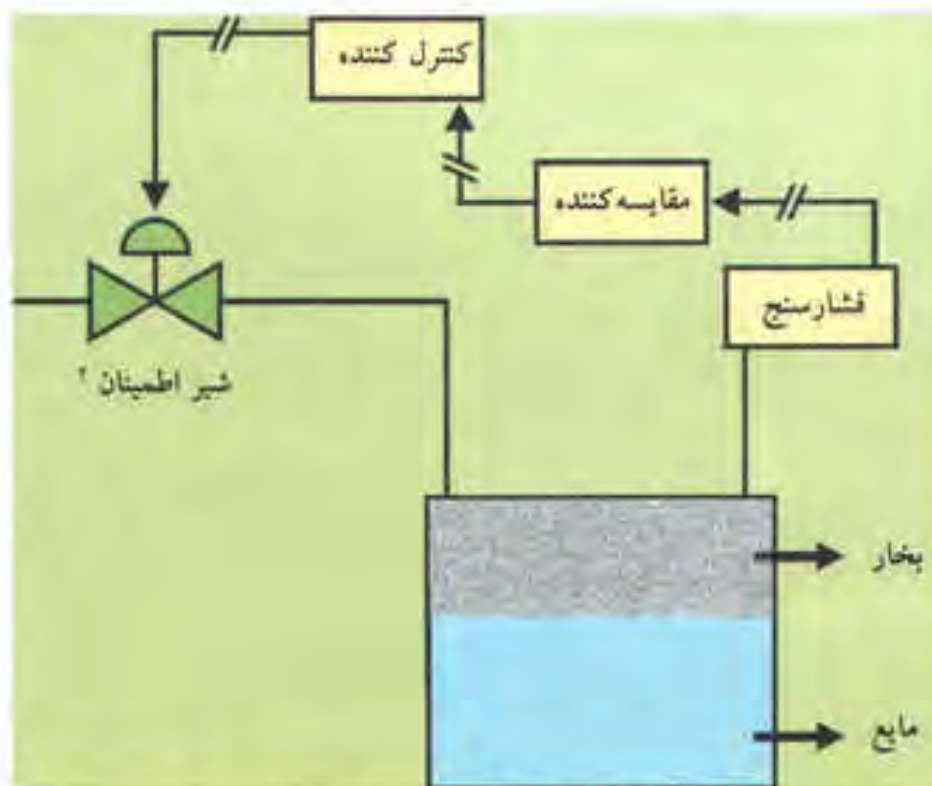
کنترل کننده ارسال می شود.

۴- براساس میزان اختلاف، فرمان کنترل به شیر کنترل گرم کن فرستاده می شود.

۵- شیر کنترل براساس نوع فرمان باز یا بسته می شود و گرمای ورودی به تانک را جهت کاهش یا افزایش دما تنظیم می کند.

۴-۸- کنترل فشار^۱

در برج ها و ستون ها، تانک های ذخیره و اکثر قریب به اتفاق ادوات صنایع مختلف، خصوصاً صنایع شیمیایی، کنترل فشار نقش مهمی را ایفا می کند چه بسا عدم



شکل ۳-۸- تانک ذخیره مجهز به کنترل فشار

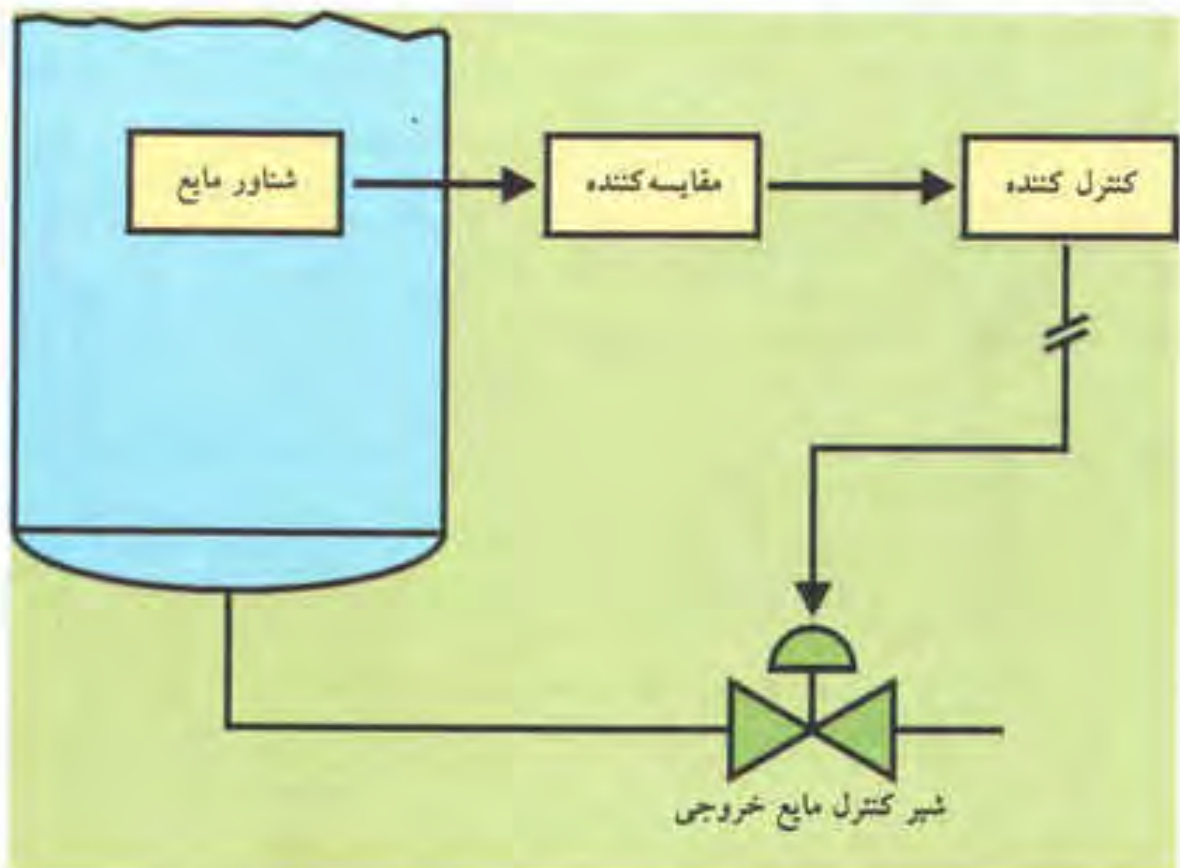
کنترل فشار باعث بروز خطرات جانی و مالی بسیار شود. به شکل ۳-۸ توجه کنید. در اثر افزایش فشار بخارات موجود در سیستم کنترل کننده فرمانی به شیر اطمینان بالای مخزن می فرستد و این شیر پس از باز شدن بخشی از بخارات را خارج می کند تا فشار به مقدار مقرر خود برسد.

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

۸-۵- کنترل سطح مایع^۱

از ساده‌ترین انواع کنترل می‌توان به کنترل سطح مایع درون مخازن برج‌ها و جداکننده‌های^۲ 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، نه تنها مخزن دیگر عمل جداسازی را انجام نمی‌دهد بلکه ممکن است براساس افزایش سطح مایع در مخزن طغیانی پیش آید و مشکلات عدیده‌ای نیز در پی داشته باشد.

به شکل ۸-۴ توجه نمایید.



شکل ۸-۴- کنترل مایع در پایین ستون

مکانیزم عملکرد کنترل سطح مایع به سادگی صورت می‌پذیرد. میزان ارتفاع مایع به وسیله شناور با مقدار مقرر مقایسه می‌شود و سپس کنترل‌کننده به منظور تخلیه بخشی از مایع فرمانی به شیر کنترل صادر می‌کند و در نتیجه حالت تعادل برقرار

۱- Level control

۲- Separator

می‌گردد. البته از فشارستون سیال نیز جهت تخمین میزان ارتفاع مایع استفاده می‌شود که مکانیسم کلی کنترل یکی است.

۸-۶- اجزای یک سیستم کنترل ساده

بر اساس شکل ۸-۴ 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- کنترل‌کننده (متشکل از نوع سیستم کنترل‌کننده و مقایسه‌گر می‌باشد).
- ۴- عنصر کنترل نهایی (شیر کنترل).

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



شکل ۸-۵- نمودار جعبه‌ای یک سیستم کنترل ساده

۸-۷- شیرهای کنترل بادی^۱

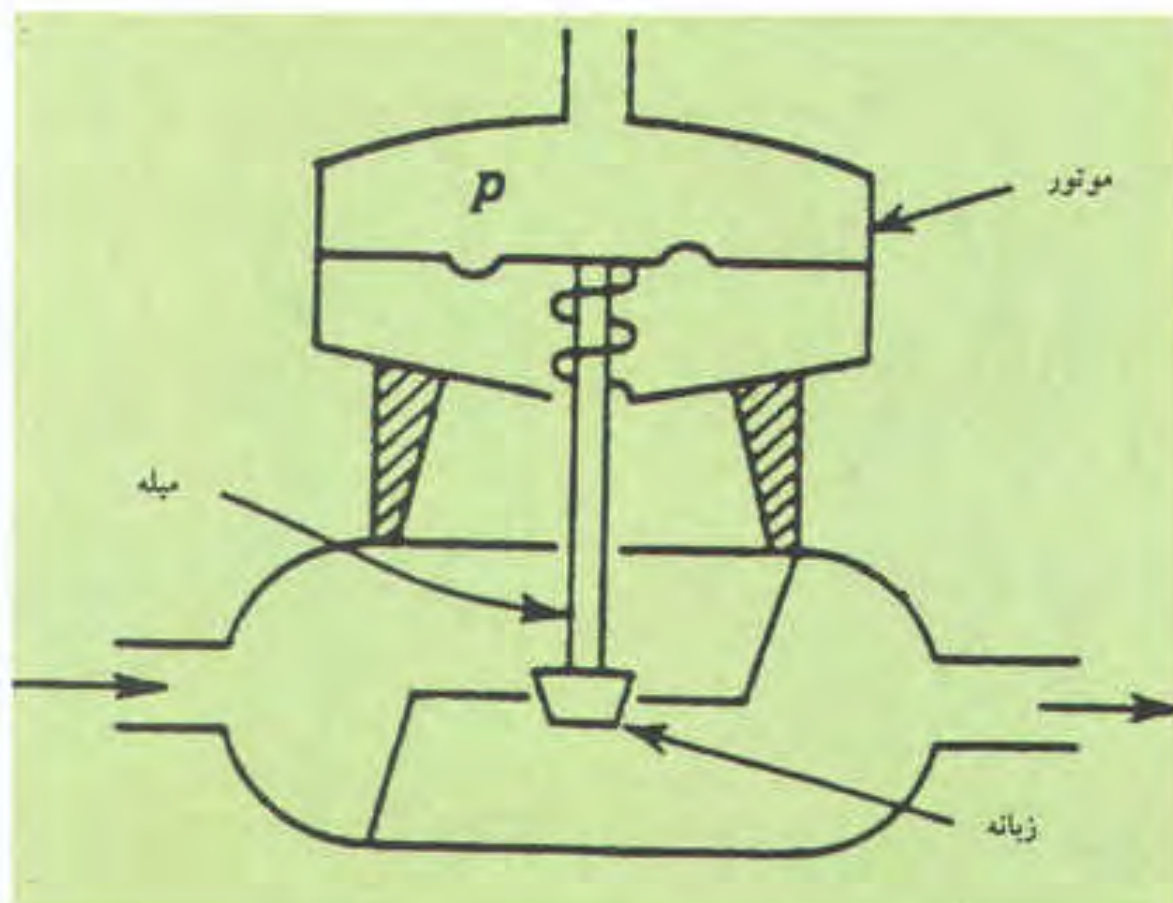
شیر کنترل مطابق شکل ۸-۶ شامل یک دستگاه بادی (موتور شیر) است که با تغییر فشار روی دیافراگمی که تحت نیروی یک فنر قرار دارد، میله شیر را حرکت می‌دهد. میله، پیستونی را در دهانه شیر قرار می‌دهد. با افزایش فشار، پیستون به طرف پایین حرکت می‌کند و جریان سیال را داخل شیر محدود می‌سازد. این عمل را بسته شدن با 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

۱- Pneumatic control valves

۲- Air to close

۳- Air to open

متناسب با فشار بالای شیر باشد. بیشتر شیرهای تجارتمی با تغییر بالای شیر از ۳ psig تا ۱۵ psig از موقعیت کاملاً باز به موقعیت کاملاً بسته حرکت می‌کنند. به طور 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 به طور ساده شرح دهید؟
- ۳- شیر کنترل به چه منظوری استفاده می‌شود و در حالت کلی چند نوع داریم؟
- ۴- در صورت عمل نکردن کنترل سطح مایع در یک مخزن چه اتفاقی خواهد افتاد؟
- ۵- علت استفاده از کنترل‌کننده در فرآیندهای شیمیایی چیست؟

راکتورهای شیمیایی

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

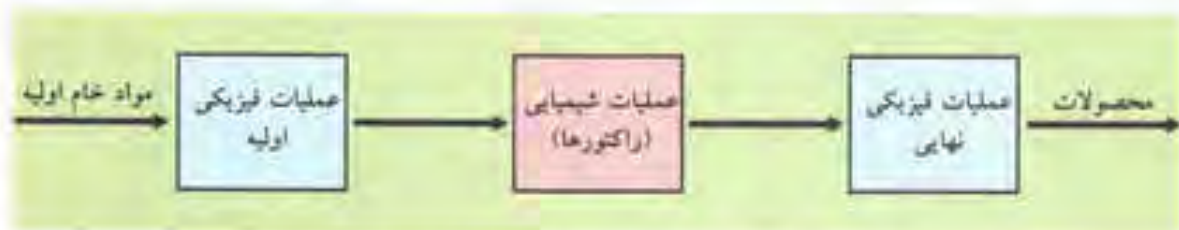
- ۱- راکتور را تعریف کند.
- ۲- جایگاه راکتورها را در یک واحد صنعتی شرح دهد.
- ۳- انواع راکتورها را شرح دهد.
- ۴- اطلاعات مورد نیاز و مراحل مختلف طراحی راکتور را شرح دهد.

راکتور^۱ 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.

۹-۱- تقسیم‌بندی راکتورها

بر اساس دیدگاه‌های متفاوت، تقسیم‌بندی‌های متنوعی برای راکتورهای شیمیایی

۱- Reactor



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

انجام شده است. یکی از مهم ترین مشخصه های واکنش های شیمیایی تعداد و نوع فازهایی است که واکنش در آن صورت می گیرد. بر این مبنا می توان راکتورهای شیمیایی را نیز تقسیم بندی نمود. این تقسیم بندی در زیر آورده شده است:

<p>واکنش در فاز گاز انجام می شود.</p> <p>واکنش در فاز مایع انجام می شود.</p> <p>واکنش میان فازهای گاز و مایع انجام می شود.</p> <p>واکنش میان دو فاز مایع انجام می شود.</p> <p>واکنش میان فازهای سیال^۱ و جامد انجام می شود.</p>	<p>تک فازي</p> <p>چند فازي</p>	<p>راکتورها</p>
---	--------------------------------	-----------------

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

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

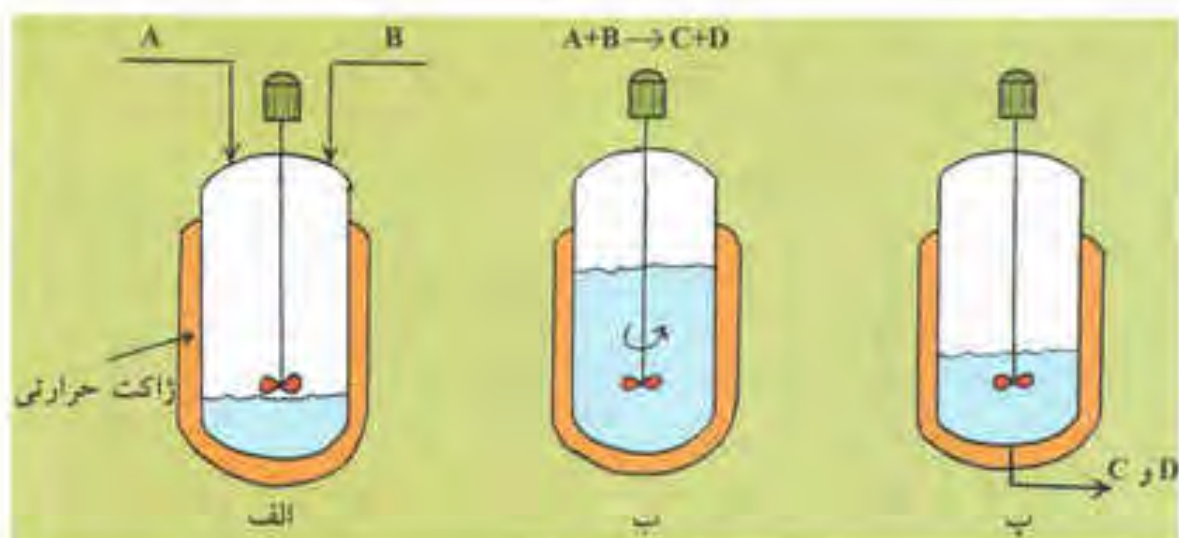
۹-۲- راکتورهای ناپيوسته

در این راکتورها مواد اولیه به مقدار معین وارد راکتور می شود. در زمان مشخص واکنش انجام می گیرد و سپس محصول از راکتور تخلیه می شود. بدین ترتیب یک دوره

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

۲- Batch Reactors ۳- Continuous or Steady Flow Reactors

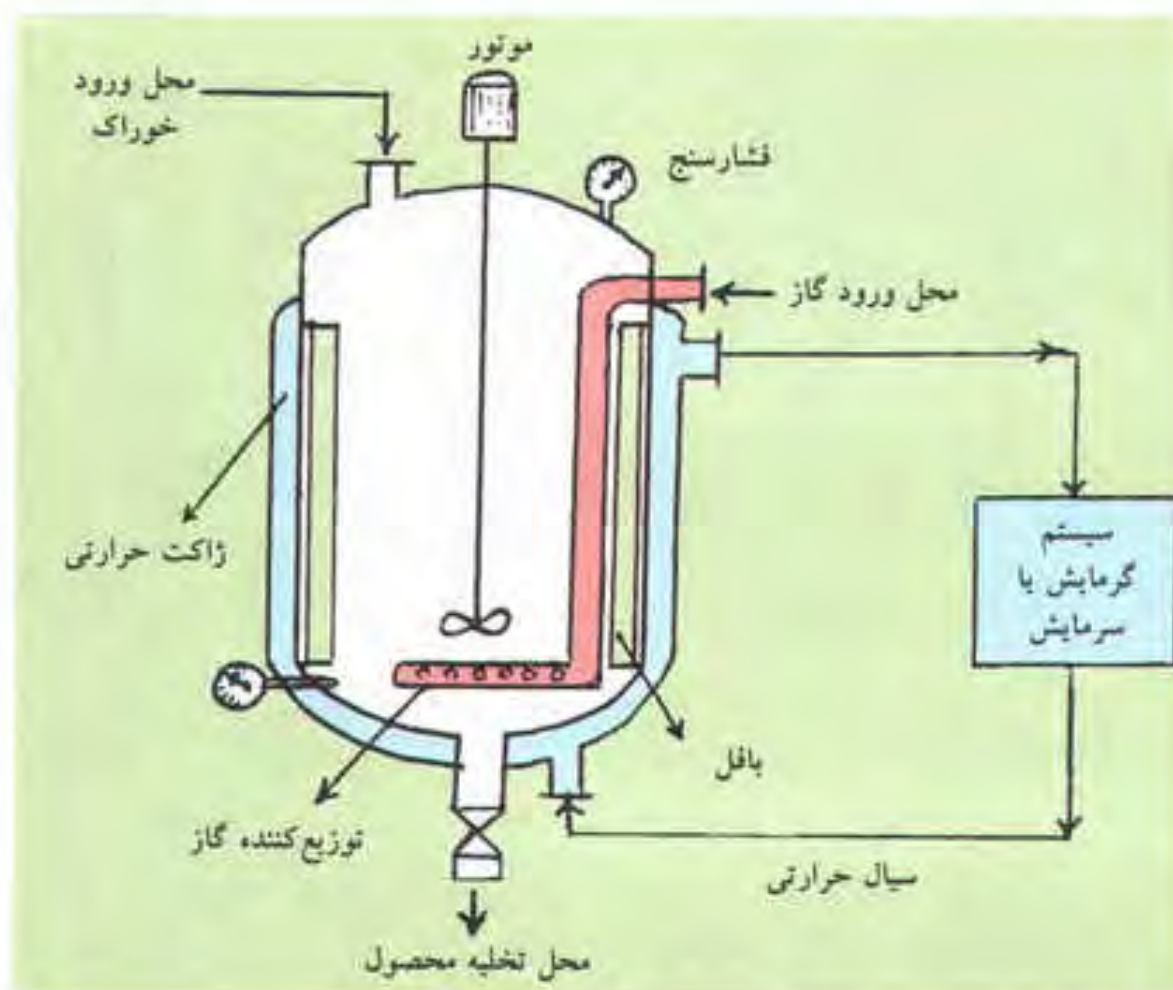
۴- Semi Batch Reactors



شکل ۹-۲- مراحل مختلف عملیات یک راکتور ناپیوسته: الف- بارگیری ب- انجام واکنش پ - تخلیه کار راکتور که شامل بارگیری، انجام واکنش و تخلیه است پایان می پذیرد و راکتور برای انجام واکنش در دوره بعد پاکسازی و آماده سازی می شود (شکل ۹-۲)

این نوع راکتورها نسبتاً ساده هستند و احتیاج به وسایل کمکی و سیستم های کنترل کمتری دارند. در صنعت از این نوع راکتورها برای انجام واکنش های کند، که احتیاج به زمان اقامت زیادی دارند، استفاده می شود. مدت اقامت مواد واکنش دهنده در داخل راکتور، که طی آن واکنش گرها فرصت انجام واکنش را پیدا می کنند، زمان اقامت گویند. یکی دیگر از کاربردهای راکتورهای ناپیوسته هنگامی است که هدف تولید محصول به مقدار کم باشد. شکل ۹-۳ قسمت های مختلف یک راکتور ناپیوسته صنعتی را نشان می دهد. این راکتورها به طور معمول مجهز به موتور و همزن می باشند. شکل همزن بسته به نوع سیال و گرانتروی 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 می باشند. به جداره خارجی این راکتورها، که در آن بسته به گرمازا یا گرماگیر بودن واکنش سیال سرد یا گرم عبور داده می شود، ژاکت حرارتی گویند. سیالی که در داخل یک سیکل بسته جریان دارد و فضای داخل ژاکت را پر می کند، می تواند آب سرد (جهت سرمایش) یا بخار آب (جهت گرمایش) یا روغن (برای هردو منظور) باشد. معمولاً تعداد ۴ تیغه عمودی در جداره داخلی راکتور نصب می شود. این تیغه ها با قفل^۲ نام دارند و باعث می شوند به هنگام چرخش پره های همزن، در مقابل حرکت دورانی سیال مانع ایجاد

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



شکل ۳-۹- یک راکتور ناپیوسته صنعتی

شده، آشفتنگی شدیدی به وجود آمده، اختلاط به نحو مطلوب انجام شود، ارتفاع بافل باید به گونه‌ای باشد که از سطح مایع (که معمولاً $\frac{1}{3}$ حجم راکتور را پر می‌کند) بالاتر باشد.

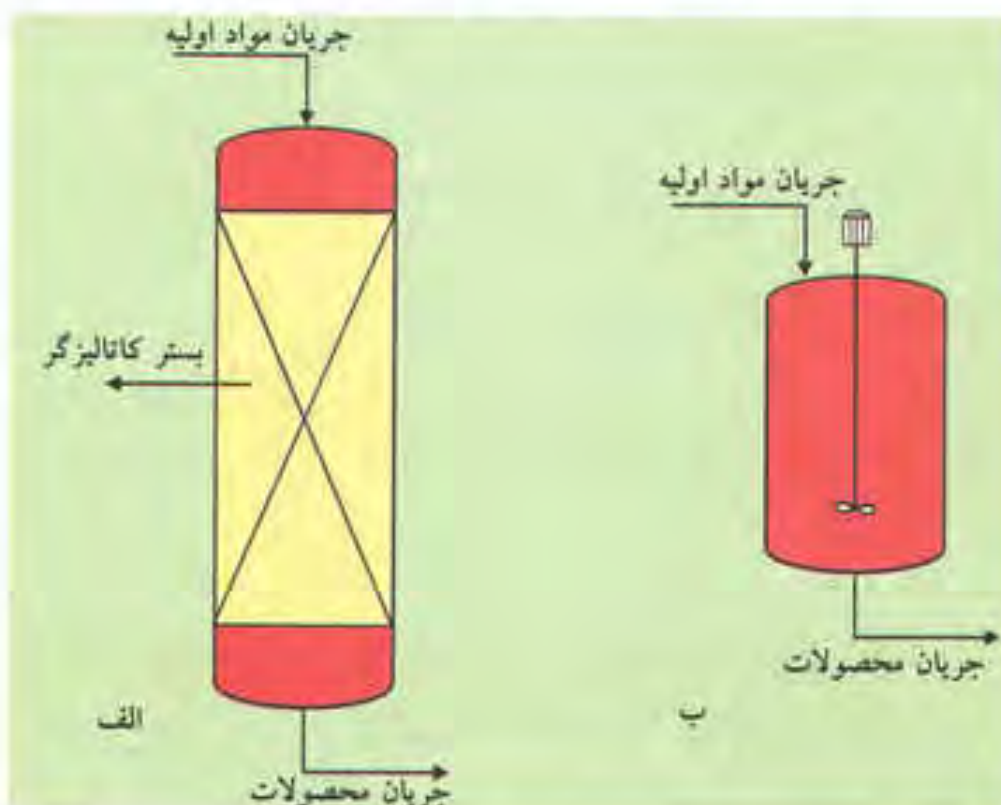
۳-۹- راکتورهای پیوسته

در این نوع راکتورها، مواد اولیه به‌طور دائم 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 باشد در ضمن راکتورهای پیوسته برای انجام واکنش‌های سریع مناسب‌تر می‌باشند.

این نوع راکتورها نیاز به سیستم‌های کمکی و کنترلی متنوع و دقیقی 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 کاتالیزور جامد می‌باشد. زمان اقامت برای راکتورهای پیوسته (جریان پایدار) از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

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



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 ۱m و ارتفاع ۵m برابر 1000 kg/m^3 می‌باشد. اگر سرعت جریان جرمی خوراک 500 kg/min

۱- Plug Flow Reactor

۲- Mixed Flow Reactor

۳- Volumetric Flow Rate (به آن اصطلاحاً دبی حجمی نیز گفته می‌شود)

باشد. زمان اقامت مواد در داخل راکتور را به دست آورید.

حل:

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

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

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

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

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

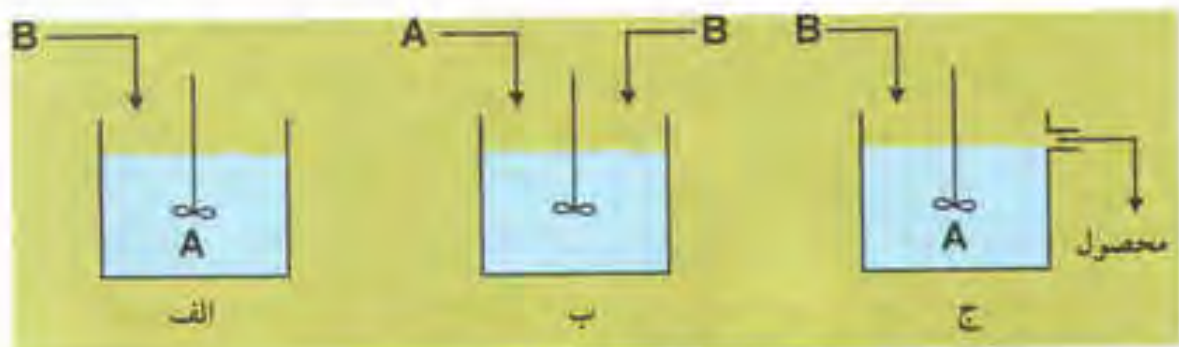
$$\text{حجم راکتور} = V = \frac{\pi D^2}{4} \times L = \frac{3.14 \times (1)^2}{4} \times 5 = 3.925\text{ m}^3$$

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

یعنی به طور متوسط ۷ دقیقه و ۵۱ ثانیه طول می کشد 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 می شود. شکل (ب) نوع دیگری از راکتورهای نیمه پیوسته را نشان می دهد که مواد اولیه به طور همزمان به راکتور وارد می شود ولی تا پایان واکنش هیچ ماده‌ای از راکتور خارج نمی شود. در شکل



شکل ۹-۵- انواع راکتورهای نیمه پیوسته

(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.

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 انجام 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^۱ 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: با توجه به اطلاعات ترمودینامیکی و سینتیکی چگونگی گرم

کردن یا سرد کردن راکتور را تعیین می‌کند.

- انتقال جرم: با توجه به اطلاعات سینتیکی و ترمودینامیکی روش اختلاط مواد

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

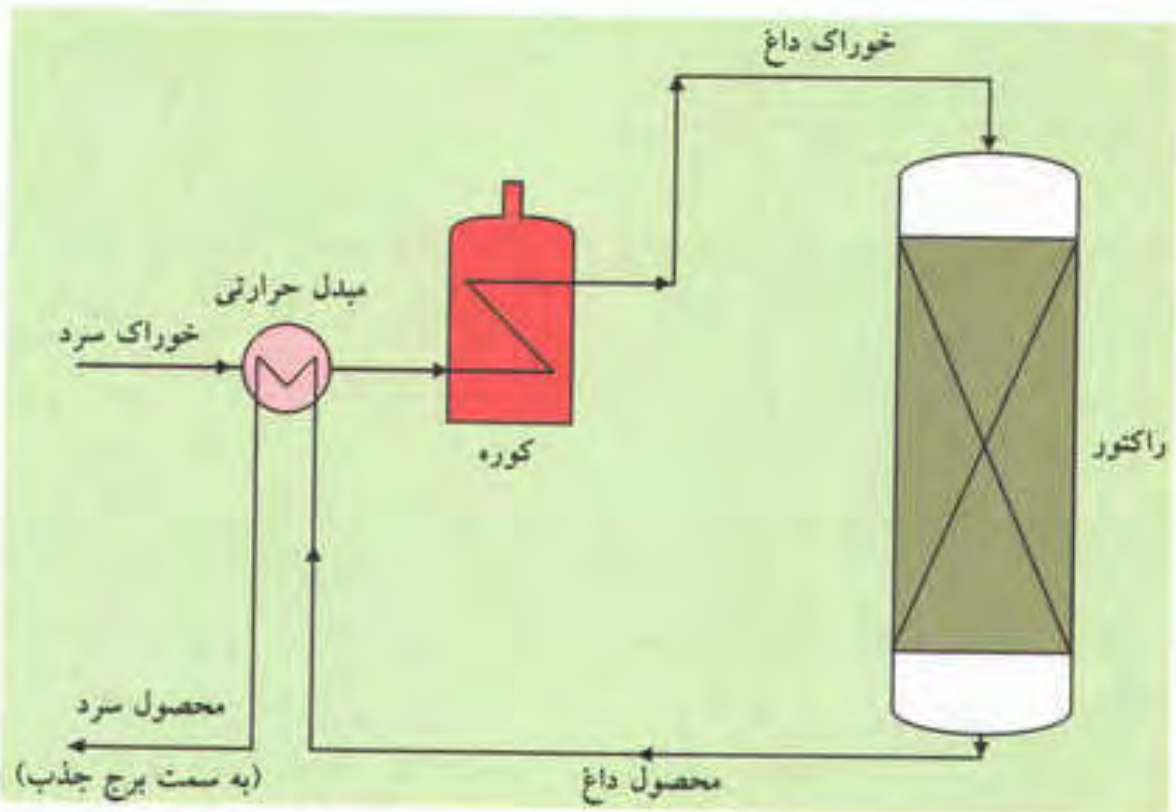
^۱ - Mechanism

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، تویب به طراحی سیستم‌های جداسازی (عملیات فیزیکی اولیه و نهایی) می‌رسد. در این مرحله دستگاه‌هایی نظیر برج جذب، برج تقطیر، فیلتر، کریستالیزاتور، خشک کن، 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 ۶-۹ 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 خنک کننده 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 ۷-۹ 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 می‌باشد و شاید بتوان گفت تنها زمینه‌ای است که مهندسي شيمي را به عنوان رشته جداگانه‌ای از رشته‌های مهندسي توجیه می‌نماید.



شکل ۹-۶- نمونه‌ای 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) براساس 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. 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 انیدرید 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 ستز (مخلوط CO و H_2) گاز متان با بخار آب در دمای بالا از روی نوعی کاتالیزگر عبور داده می‌شود.
 - پ- کلرید وینیل را به همراه کاتالیزگر مناسب وارد راکتور پلیمریزاسیون می‌نماییم سپس با تنظیم دما و فشار مورد نظر، زمان لازم جهت انجام واکنش پلیمریزاسیون را به آن می‌دهیم.
- ۸- نحوه عملکرد راکتور را در دو جمله توضیح دهید.

مخلوط کن‌ها

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

- ۱- طرز کار انواع مخلوط کن‌ها و دستگاه‌های کاهش اندازه مواد را شرح دهد.
- ۲- محدوده کاربرد هر یک از این دستگاه‌ها 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 می‌تواند به منظور انجام یک تغییر فیزیکی یا شیمیایی انجام شود. در اکثر صنایع شیمیایی و در بسیاری از صنایع دیگر از عملیات اختلاط استفاده می‌شود. در صنایع غذایی، دارویی، کاغذ، لاستیک، پلاستیک و حتی نفت و گاز و پتروشیمی این عملیات کاربرد دارد. در اغلب واکنش‌های شیمیایی، به خصوص واکنش‌های چندفازی، نحوه، شدت و مدت زمان اختلاط مواد در بازده واکنش تأثیر چشمگیر دارد. اگر اختلاط به شکل مطلوب انجام نشود، برخورد میان مولکول‌های مواد واکنش دهنده به نحو مطلوب انجام نمی‌شود و در نتیجه یا واکنش انجام نخواهد شد یا بازده آن کم‌تر از حد انتظار خواهد بود.

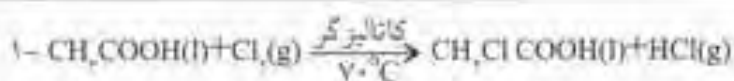
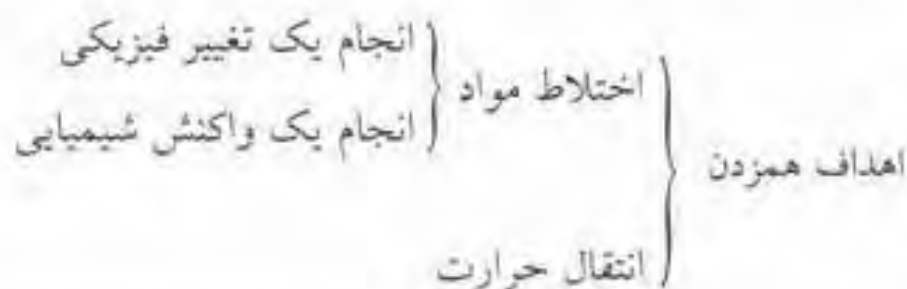
نکته مهم آن است که در بسیاری از موارد همزدن شدید یا طولانی، علاوه بر اتلاف انرژی، بر کیفیت محصول نیز اثر نامطلوب می‌گذارد. برای مثال در قرآیند تشکیل کریستال یا بعضی فرآیندهای بیولوژیکی، افزایش توان همزن باعث شکسته شدن دانه‌های کریستال یا صدمه دیدن میکروارگانیسم‌ها و در نهایت کاهش کیفیت محصول می‌شود.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

۱-۱۰- انواع اختلاط

- عملیات اختلاط را می‌توان بدون توجه به ماهیت صنعتی که این عملیات در آن انجام می‌شود، 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 هر یک از عملیات فوق می‌تواند 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 ... می‌باشد. هم چنین عملیات اختلاط می‌تواند 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.

نکته قابل توجه آن که همواره همزدن به منظور اختلاط دو یا چند ماده انجام نمی‌شود 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 قسمت‌های میانی حرارت کمتری می‌بینند، با همزدن آش، انتقال حرارت به کلیه مواد داخل دیگ به یکسان انجام خواهد شد. با این توضیحات می‌توان 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:

۱-۱-۱۰- اختلاط دو یا چند مایع محلول (یک فاز): در بسیاری از فرآیندها لازم است چند مایع را که به طور کامل در یکدیگر محلول هستند، با یکدیگر مخلوط کنیم تا محصولی کاملاً یک نواخت به دست آید. در صنعت به این عمل «بلندینگ» می گویند. در این عمل هیچ گونه واکنش شیمیایی انجام نمی شود. در آخرین مراحل تولید محصولات نفتی نظیر نفت سفید، بنزین، گازوییل و روغن های 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 می شوند، واکنش شیمیایی نیز انجام می دهند. در این حالت اختلاط باید به نحوی انجام شود که برخورد کافی در سطح مولکول های 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 می شوند، معمولاً مایعی که حجم کمتری دارد به صورت ذرات معلق در می آید و در داخل مایعی که حجم بیشتری دارد و به شکل یک فاز پیوسته است پراکنده می شود. در صورت توقف عمل اختلاط، دو فاز از یکدیگر جدا می شوند. هدف از این نوع اختلاط سرعت بخشیدن به نفوذ مولکولهای مایعات در یکدیگر است. این عملیات در فرآیند استخراج توسط حلال کاربرد دارد. هم چنین در تهیه امولسیون های غذایی و دارویی از این نوع اختلاط استفاده می شود. در ساخت این نوع امولسیون هاسعی می شود 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 ... به کار می رود. در این عملیات باید ذرات جامد در داخل مایع به خوبی پراکنده شوند و از ته نشین شدن ذرات سنگین یا به سطح آمدن ذرات سبک جلوگیری شود. بدین ترتیب تماس لازم میان مولکول های جامد و مایع و نفوذ مولکول های جامد در فاز مایع به منظور انحلال جامد یا انجام واکنش شیمیایی به نحو

مطلوب انجام می‌شود. هم‌چنین این نوع اختلاط جهت پراکنده کردن ذرات بسیار ریز جامد در داخل فاز مایعی که گرانشی بالایی دارد به کار می‌رود. برای مثال در ساخت تایر اتومبیل باید ذرات ریز کربن در داخل لاستیک مذاب پخش شوند. به عبارت دیگر در این فرآیند نوعی سوسپانسیون پایدار ساخته می‌شود.

۱۰-۱-۴- 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 به نحوی 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 ته نشین 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 مخلوط کن‌ها

مخلوط کن‌ها را می‌توان به دو دسته کلی تقسیم‌بندی نمود:
مخلوط کن‌های فاز مایع که در آن‌ها حداقل یک فاز مایع وجود دارد.
مخلوط کن‌های فاز جامد که در آن‌ها فاز مایع یا گاز وجود ندارد.

۱۰-۲-۱- مخلوط کن‌های 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 ۱-۱۰ 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 تاپوسته^۲ گویند.

مخزن معمولاً به شکل استوانه است و قسمت بالایی آن می‌تواند باز یا بسته باشد. کف مخزن را به شکل محدب (غیرمسطح) 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 $\frac{1}{3}$ 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 ۱۰-۲). برای آن که فاز گاز به شکل حباب‌های ریز وارد مایع شود از یک توزیع کننده گاز^۳ 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 پره‌توربیک می‌گردد. با چرخش پره^۴ حباب‌های گاز در داخل مایع پخش می‌شوند. در چنین حالتی، جهت اختلاط بیشتر مواد از چند پره بر روی یک محور^۵ 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^۶ دور متغیر متصل باشد تا بتوان سرعت دوران پره را به دلخواه تنظیم کرد. ژاکت حرارتی در همه مخازن پیش‌بینی نمی‌شود و فقط هنگامی در طراحی و ساخت مورد توجه قرار می‌گیرد که ضمن انجام عملیات اختلاط نیاز باشد تا

۱- Mechanically-Agitated Vessel

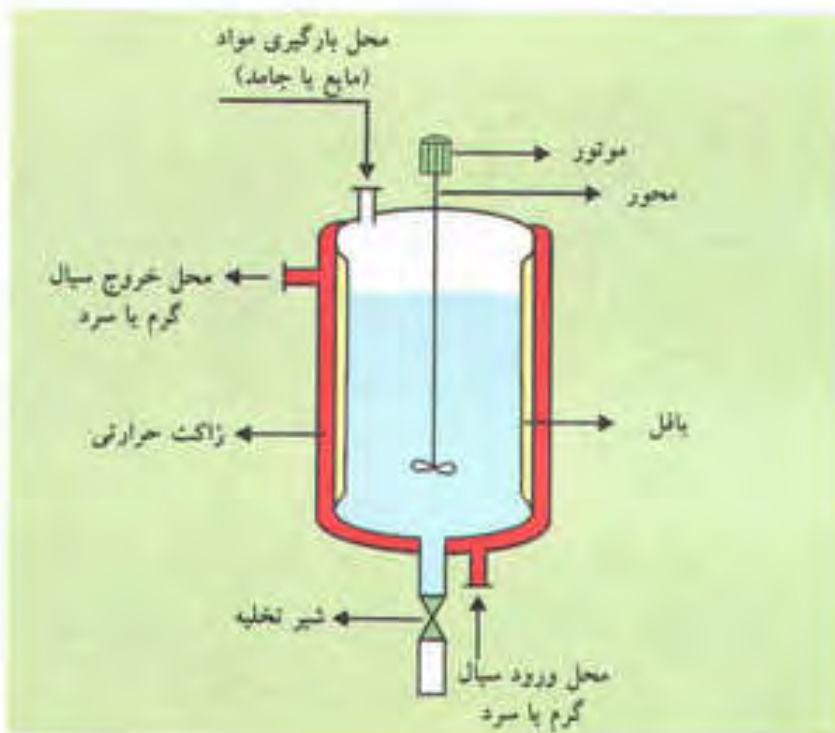
۲- Batch Reactor

۳- Sparger

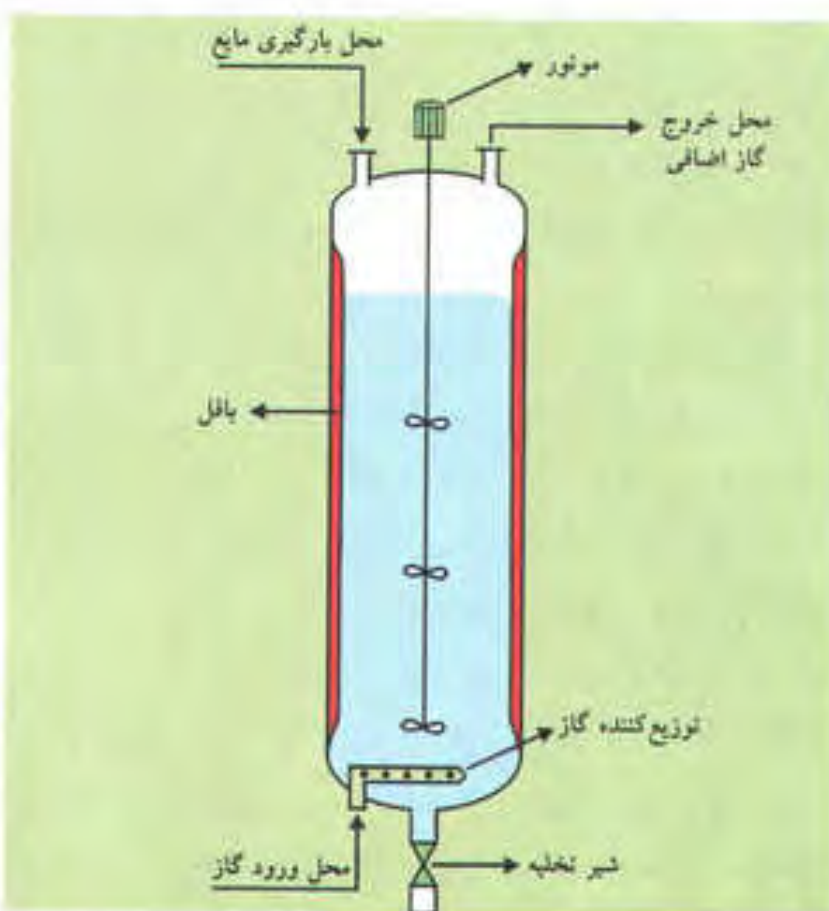
۴- Impeller

۵- Shaft

۶- Gearbox



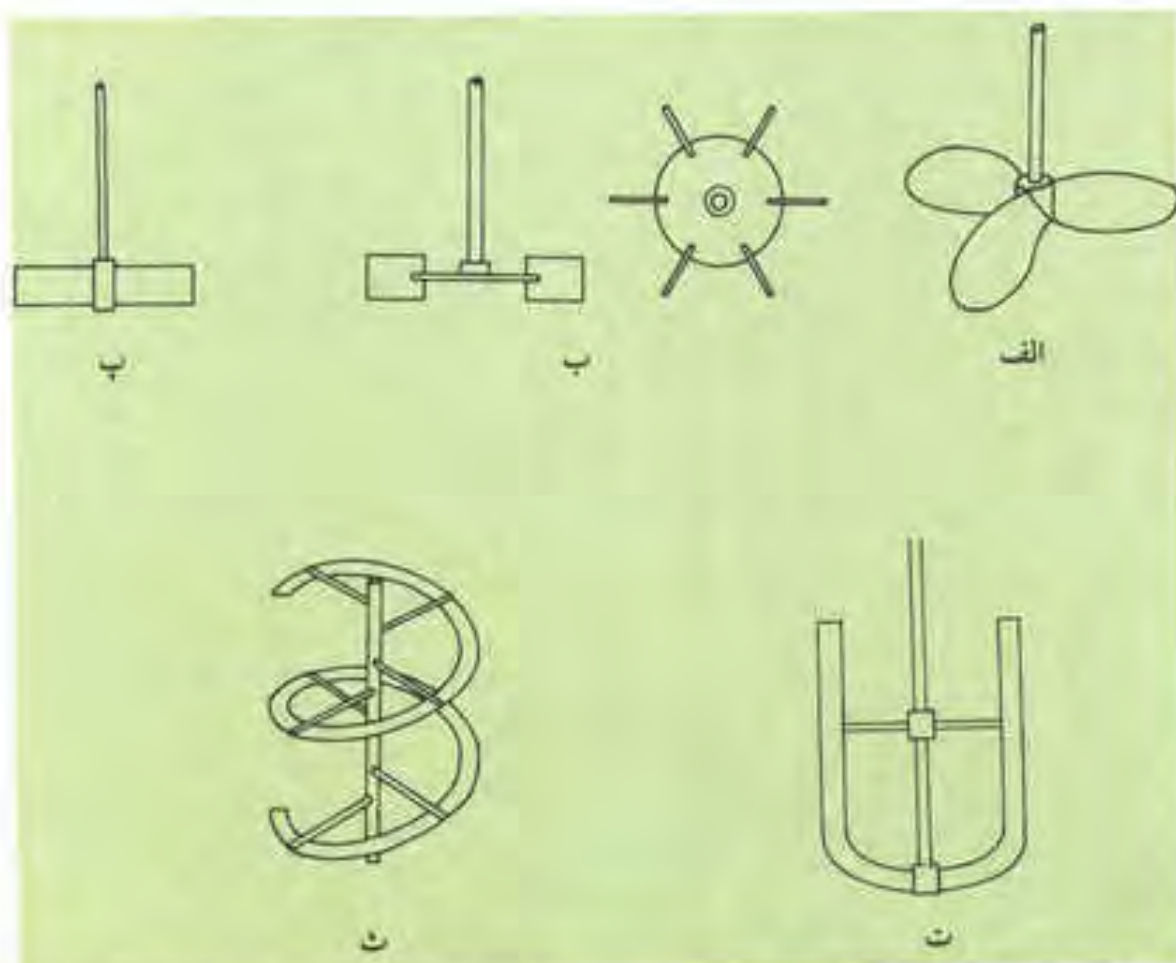
شکل ۱۰-۱- یک نمونه از مخزن مجهز به همزن مکانیکی جهت اختلاط مایع - مایع یا جامد - مایع



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

محتویات مخزن گرم یا سرد شوند. هم چنین نصب دماسنج و فشار سنج بستگی به شرایط عملیات دارد. غالباً جهت ایجاد آشفستگی بیشتر در مایع و جلوگیری از حرکت دورانی و یکنواخت آن، ۴ عدد تیغه به نام بافل (مانع) در جداره داخلی مخزن نصب می شود. در مواردی که گرانیوی سیال زیاد است و مایع حالت خمیری دارد به بافل نیاز نیست زیرا چرخش همزمان توده سیال رخ نخواهد داد.

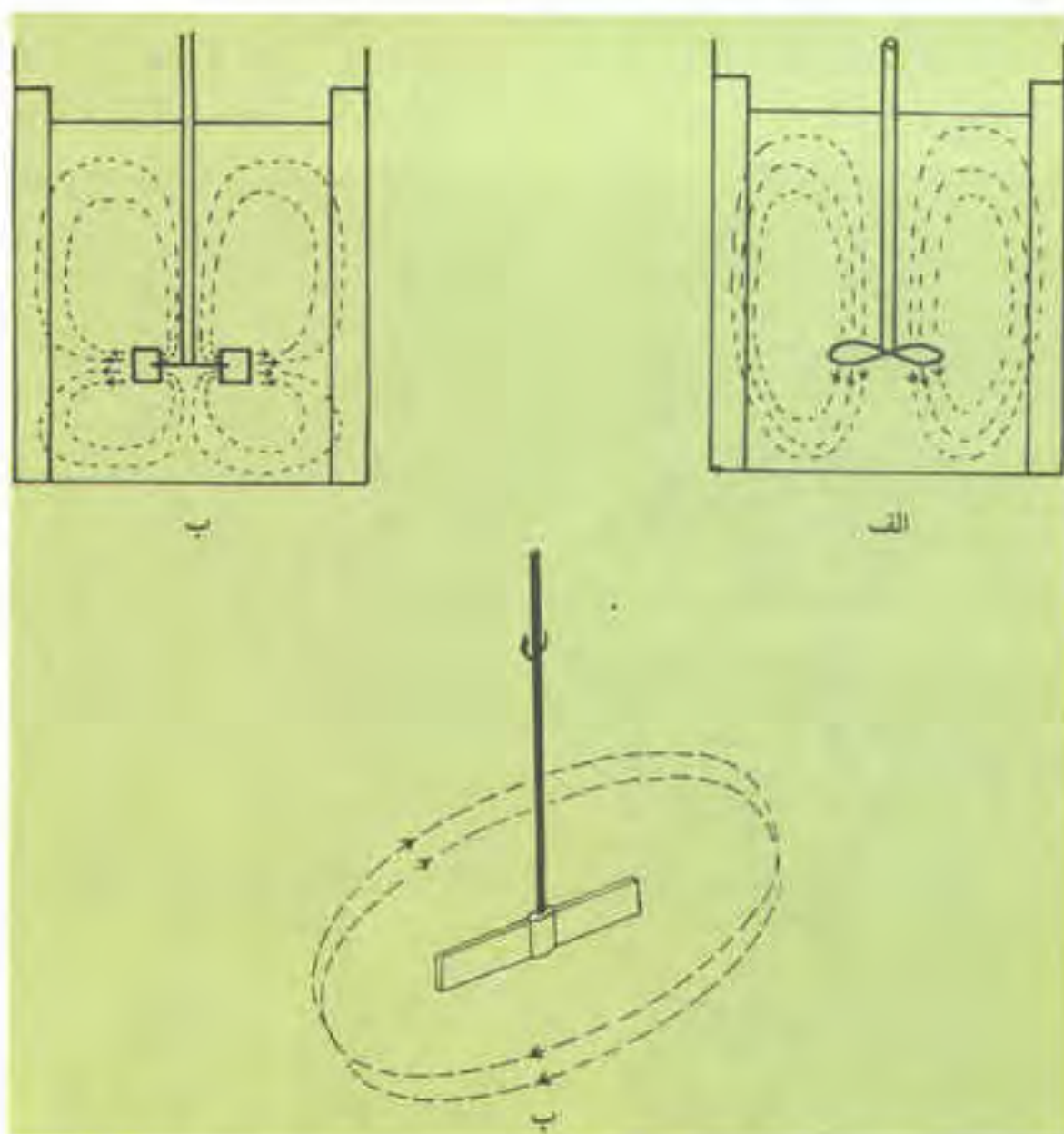
انواع پره ها با اشکال مختلف جهت همزدن مایعات به کار برده می شوند. پره های ملخی^۱، توربینی^۲ و پارویی^۳ از مهم ترین انواع پره ها هستند که برای همزدن مایعات با گرانیوی پایین به کار می روند. این نوع همزن ها با سرعت زیاد دوران می کنند. پره های لنگری^۴ و حلزونی^۵ برای همزدن مایعات با گرانیوی زیاد به کار می روند. این دو نوع همزن با سرعت کم دوران می کنند. شکل های ۱۰-۳ انواع این پره ها را نشان می دهد.



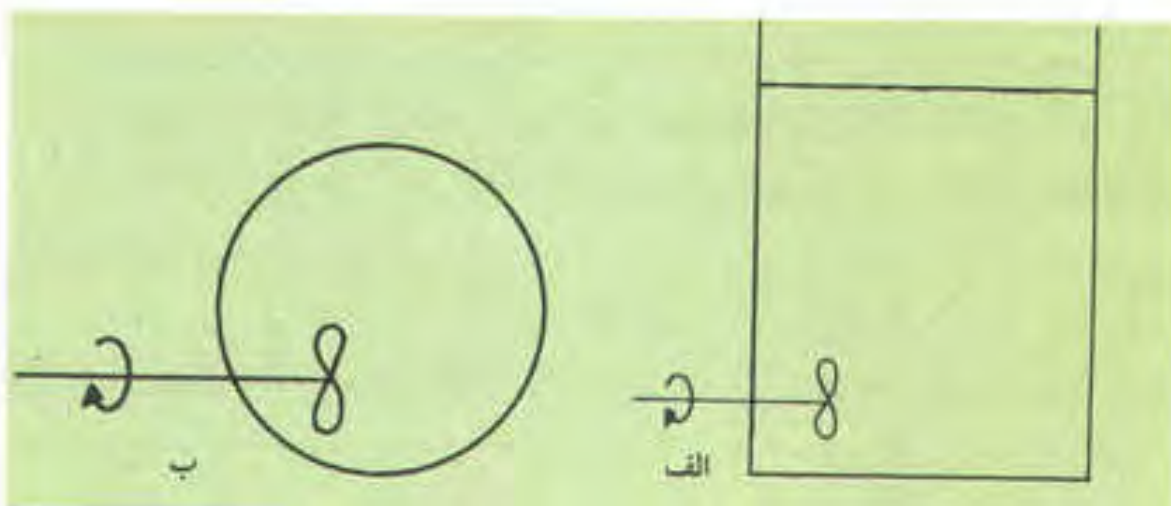
شکل ۱۰-۳- انواع پره ها. الف- ملخی ب- توربینی (نمای پهلو و بالا) پ- پارویی ت- لنگری
ث- حلزونی

۱- Propeller ۲- Turbine ۳- Paddle ۴- Anchor ۵- Helical

پره‌های ملخی؛ شکل ۱۰-۴-الف مسیر جریان سیال را به هنگام دوران یک پره ملخی نشان می‌دهد. همان‌طور 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 ۱۰-۴) یا به سمت بالا باشد. برای مخازن بسیار بزرگ، جهت انجام عملیات بلندینگ این نوع همزن را به صورت افقی از کنار مخزن وارد می‌کنند (شکل ۱۰-۵). بدین



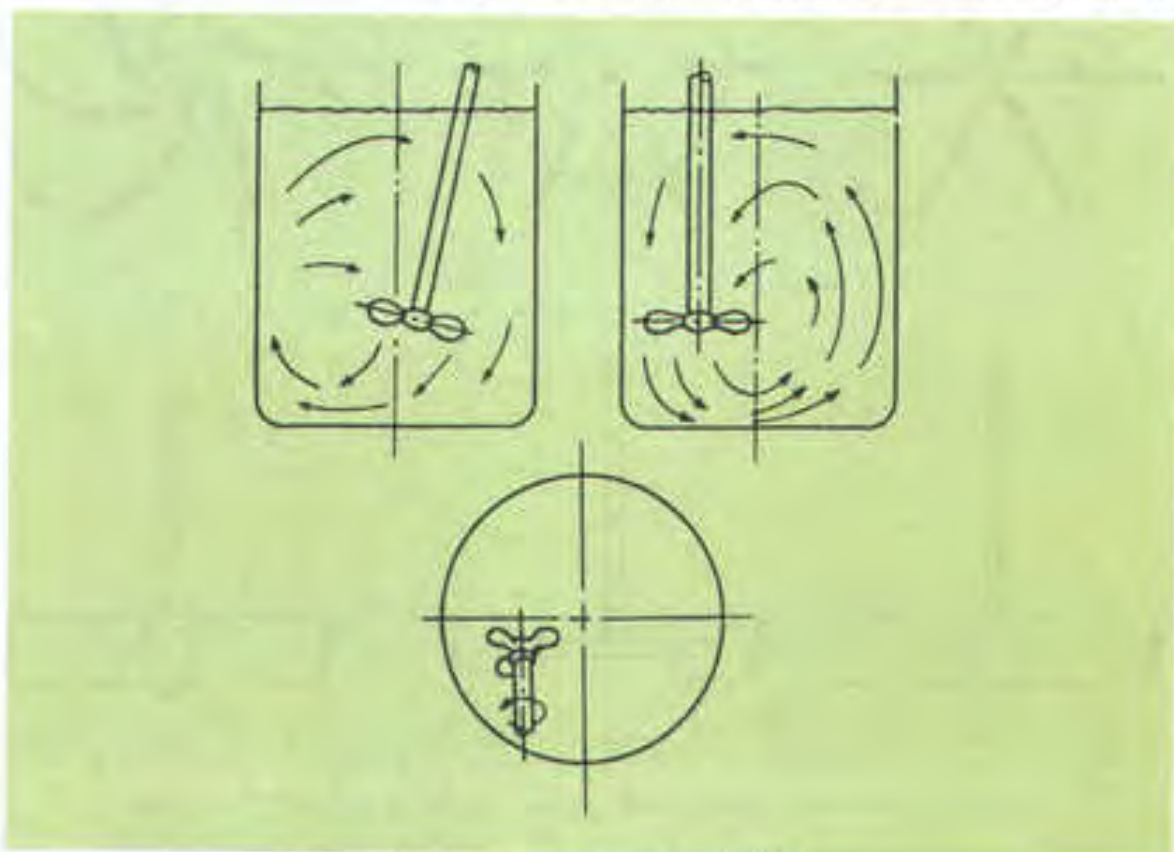
شکل ۱۰-۴- انواع جریان‌های سیالات به هنگام همزدن: الف- جریان محوری در پره ملخی
ب- جریان شعاعی در پره توربینی پ - جریان مماسی در پره پارویی



شکل ۱۰-۵- طرز قرار گرفتن همزن ملخی به صورت افقی. الف- نمای پهلو ب- نمای بالا

ترتیب به کمک فقط یک پره، که طول محور آن نیز زیاد بلند نخواهد بود مایعات داخل مخزن را مخلوط می‌کنند.

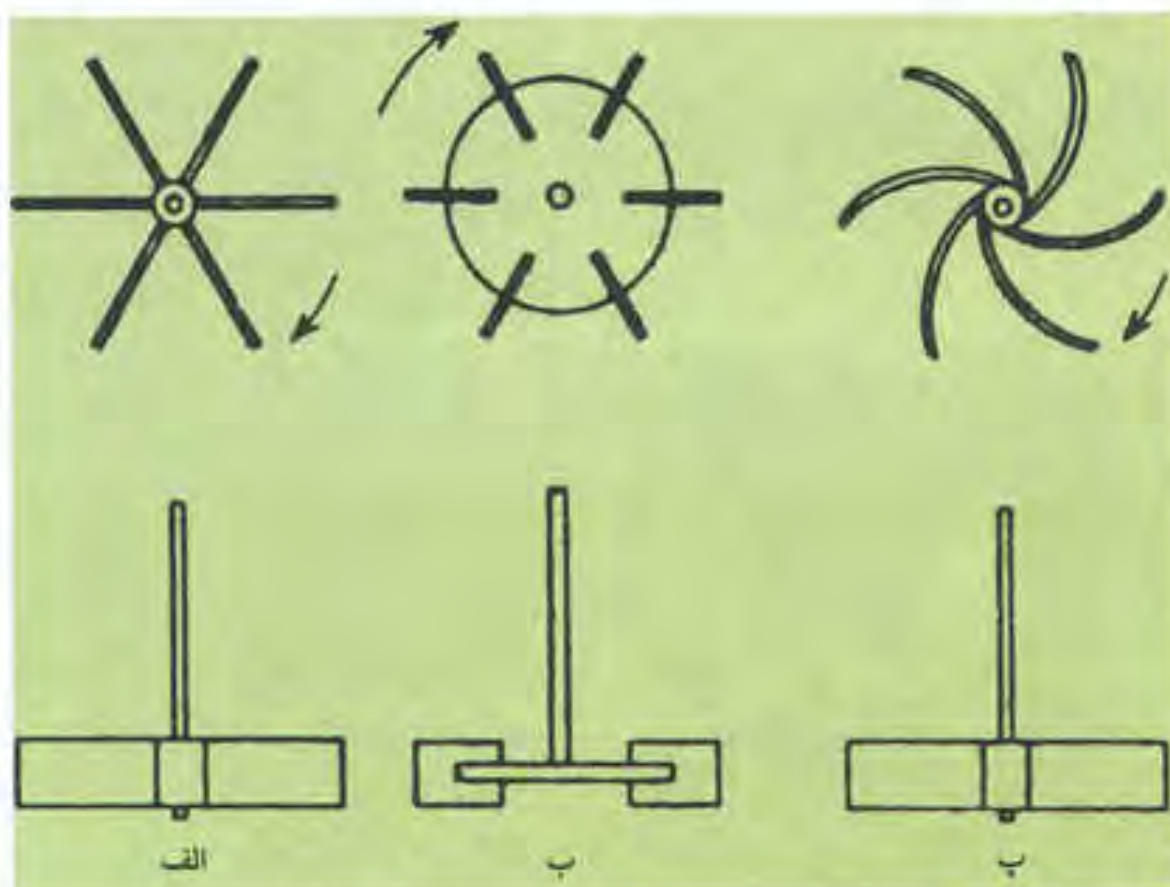
در مواردی جهت افزایش آشفتنگی در داخل مخازن و از بین بردن نقاط ساکن در گوشه‌های مخازن، همزن را خارج از مرکز استوانه قرار می‌دهند. شکل ۱۰-۵ طرز قرار گرفتن همزن ملخی در چنین حالتی را نشان می‌دهد.



شکل ۱۰-۶- همزن‌های خارج از مرکز

همان‌طور که قبلاً بیان شد، سرعت دوران پره‌های منحنی زیاد است، بسته به ابعاد این نوع پره‌ها، حداکثر سرعت دوران آن‌ها جهت انجام اختلاط به نحو مطلوب حدود ۸۰۰ تا ۱۰۰۰ دور در دقیقه است. قطر پره‌های منحنی بین ۲۵ تا ۵۰ درصد قطر داخلی ظرف است.

پره‌های توربینی: شکل ۱۰-۴ - ب نشان می‌دهد که چگونه یک پره توربینی سیال را به جریان می‌اندازد. همان‌طور که مشاهده می‌شود با حرکت این پره، سیال در امتداد شعاع ظرف (عمود بر محور) حرکت می‌کند. به همین دلیل به این نوع پره «جریان شعاعی»^۱ گویند. پره‌های توربینی در محدوده گسترده‌ای از سیالات با گرانشی‌های مختلف کاربرد دارد. در صنایع شیمیایی، به خصوص برای اختلاط گاز در مایع، این نوع پره مناسب‌ترین انتخاب است. شکل ۱۰-۷ انواع پره‌های توربینی را نشان می‌دهد. در این شکل زاویه صفحات با سطح افقی 90° است به همین دلیل به این نوع پره‌ها «عمودی»^۲ گویند.



شکل ۱۰-۷ - سه نوع پره توربینی عمودی. الف - صفحات صاف متصل به محور
ب - صفحات صاف متصل به دیسک پ - صفحات منحنی متصل به محور

۱ - rpm = revolution per minute

۲ - Radial Flow

در بعضی از انواع پره‌های توربینی صفحات با سطح افق زاویه 45° می‌سازند. ضمناً تعداد صفحات می‌تواند ۶،۴ یا ۸ عدد باشد. قطر پره‌های توربینی معمولاً بین ۳۰ تا ۵۰ درصد قطر داخلی ظرف است. بسته به ابعاد، از این نوع پره‌ها حداکثر با سرعت ۸۰۰ تا ۱۰۰۰ دور در دقیقه استفاده می‌کنند.

پره‌های پارویی: شکل ۱۰-۴- پ چگونگی حرکت سیال به هنگام چرخش پره پارویی 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 آشفنگی 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 آن که این نوع پره‌ها سیال را به شکل محوری نیز به جریان بیاندازد، آن‌ها را زاویه‌دار می‌سازند. طول پره‌های پارویی نوعاً بین ۵۰ تا ۸۰ درصد قطر داخلی ظرف است. پهنای پره‌های پارویی ^۱ تا ^۱ طول آن است.

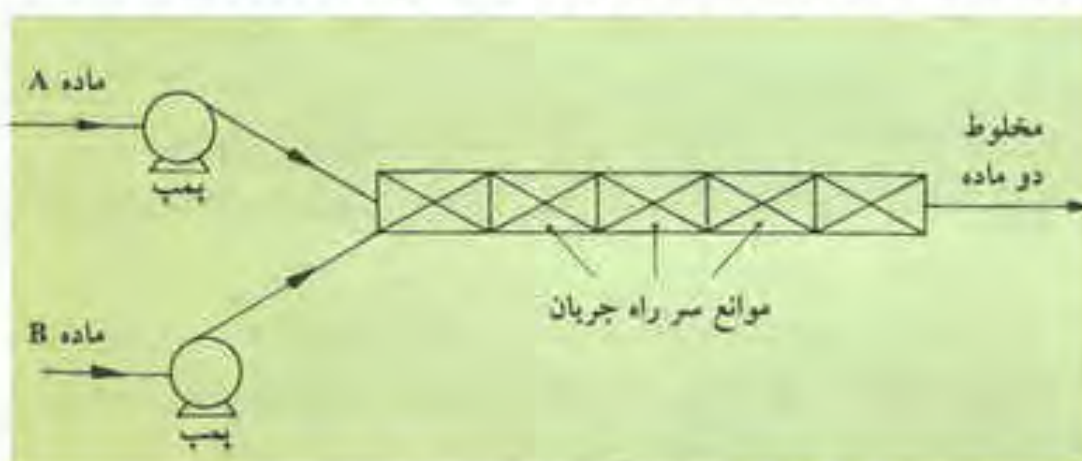
پره‌های لنگری و حلزونی: این دو نوع پره برای همزدن مایعات با گرانروی زیاد و حتی خمیرها به کار می‌روند. فاصله این پره‌ها با دیواره ظرف نسبتاً کم است بدین ترتیب با چرخش خود از چسبیدن سیال به دیواره‌های ظرف جلوگیری می‌شود. سرعت دوران این نوع همزن‌ها نسبتاً پایین است و معمولاً نیاز به استفاده از بافل ندارند. جدول ۱۰-۱ کاربردهای انواع پره‌ها را خلاصه نموده است.

نکته مهم: علاوه بر مخزن مجهز به همزن مکانیکی، دستگاه‌های دیگری نیز برای اختلاط فاز مایع وجود دارد. یکی از جدیدترین دستگاه‌ها، مخلوط‌کن‌های ساکن^۲ می‌باشند که برای اختلاط دو فاز مایع یا پخش گاز در مایع به صورت پیوسته^۳ 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 ۱۰-۸)

جدول ۱۰-۱- کاربردهای انواع پره‌ها

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

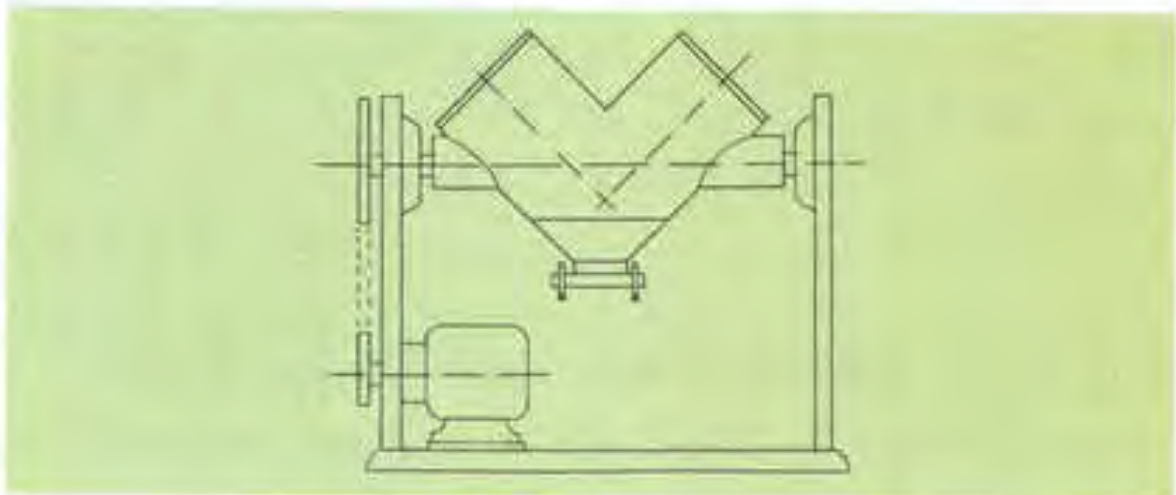
↑
کمتر چسبندگی
↓
افزایش گرانش سیال



شکل ۱۰-۸- نحوه کار یک مخلوط‌کن ساکن

۱۰-۲-۲- 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:

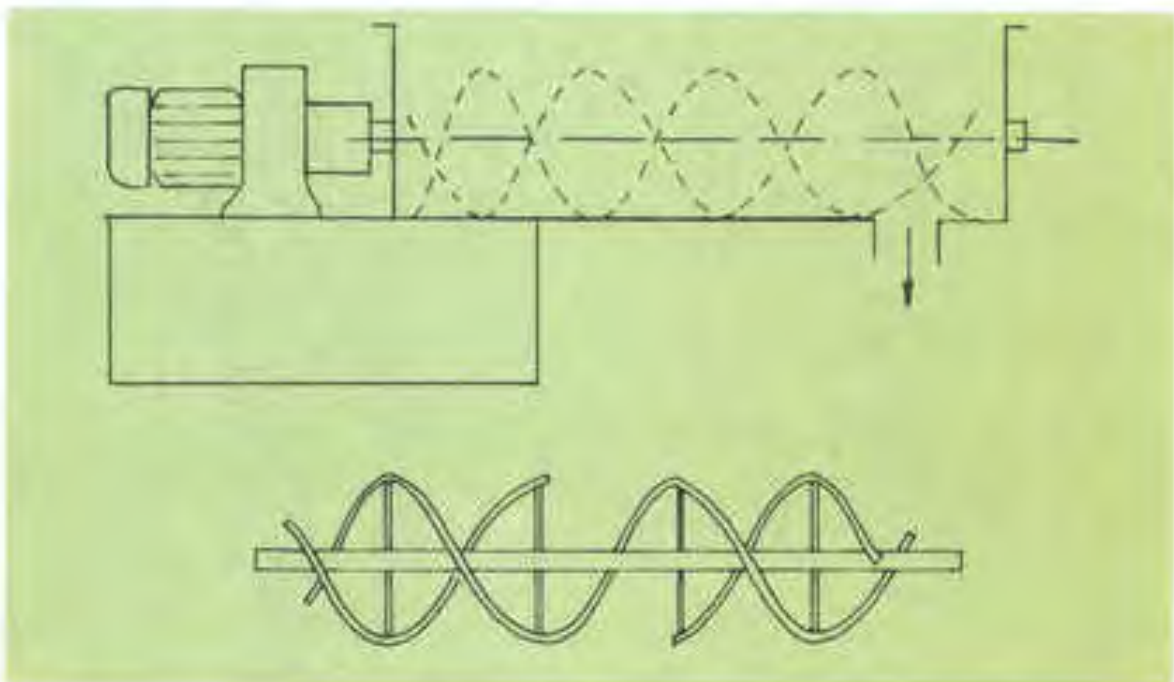
الف- اختلاط به روش نفوذ: در این نوع دستگاه‌ها ضمن انجام یک حرکت دورانی، ذرات جامد در یکدیگر نفوذ می‌کنند و کاملاً مخلوط می‌شوند. یک نمونه از این دستگاه‌ها مخلوط‌کن «V» می‌باشد که در شکل ۱۰-۹ نشان داده شده است. این دستگاه یک ظرف بسته به شکل «V» یا گاهی به شکل «Y» می‌باشد که پودر دو یا چند نوع جامد در 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



شکل ۱۰-۹- مخلوط کن «V»

گریز از مرکز با نیروی جاذبه وارد بر ذرات برابر شود. در سرعت بحرانی ذرات پودر به جداره ظرف می چسبند و عمل اختلاط انجام نمی شود. در بخش بعد با محاسبات مربوط به تعیین سرعت بحرانی در آسیاب‌ها آشنا می شوید.

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



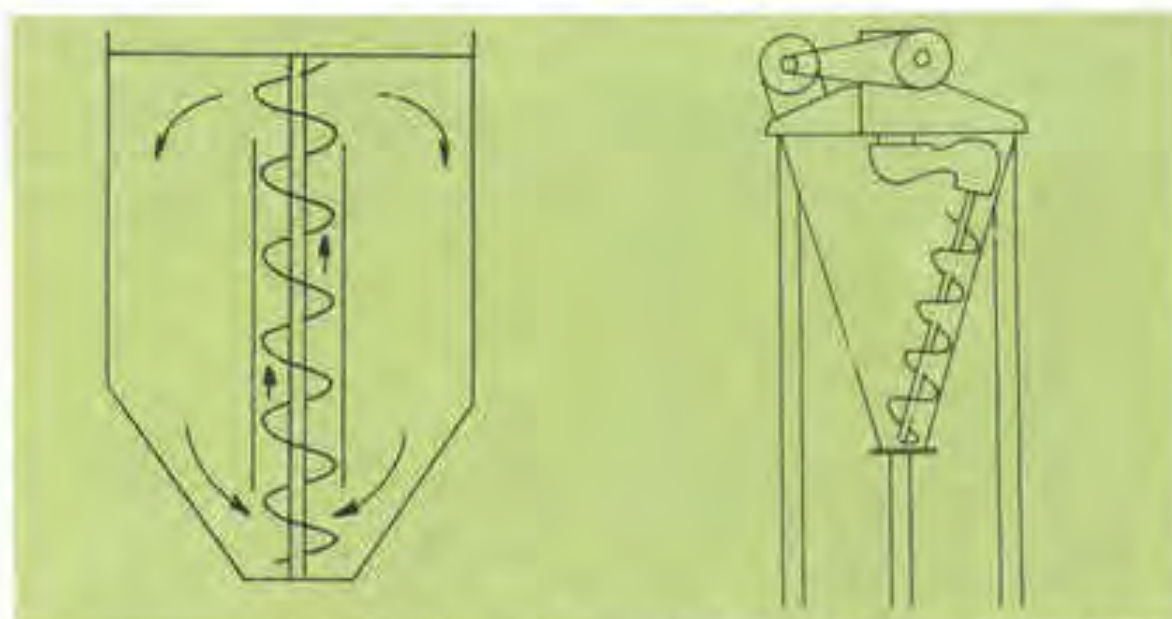
شکل ۱۰-۱۰- مخلوط کن روبانی

۱- Ribbon mixer

نوع دیگر این نوع مخلوط کن‌ها در شکل ۱۰-۱۱ نشان داده شده است.^۱ در این دستگاه تیغه مارپیچ^۲ ضمن حرکت دورانی به دور محور خود، حرکت انتقالی آرامی نیز به موازات جداره داخلی ظرف دارد. بدین ترتیب که با دوران تیغه مارپیچ 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 «مخلوط کن مارپیچ عمودی»^۳ نام دارد نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود تیغه مارپیچ 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.

پ- اختلاط به 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 کم کم 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.



شکل ۱۰-۱۲- مخلوط کن مارپیچ عمودی

شکل ۱۰-۱۱- مخلوط کن Nautamix

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

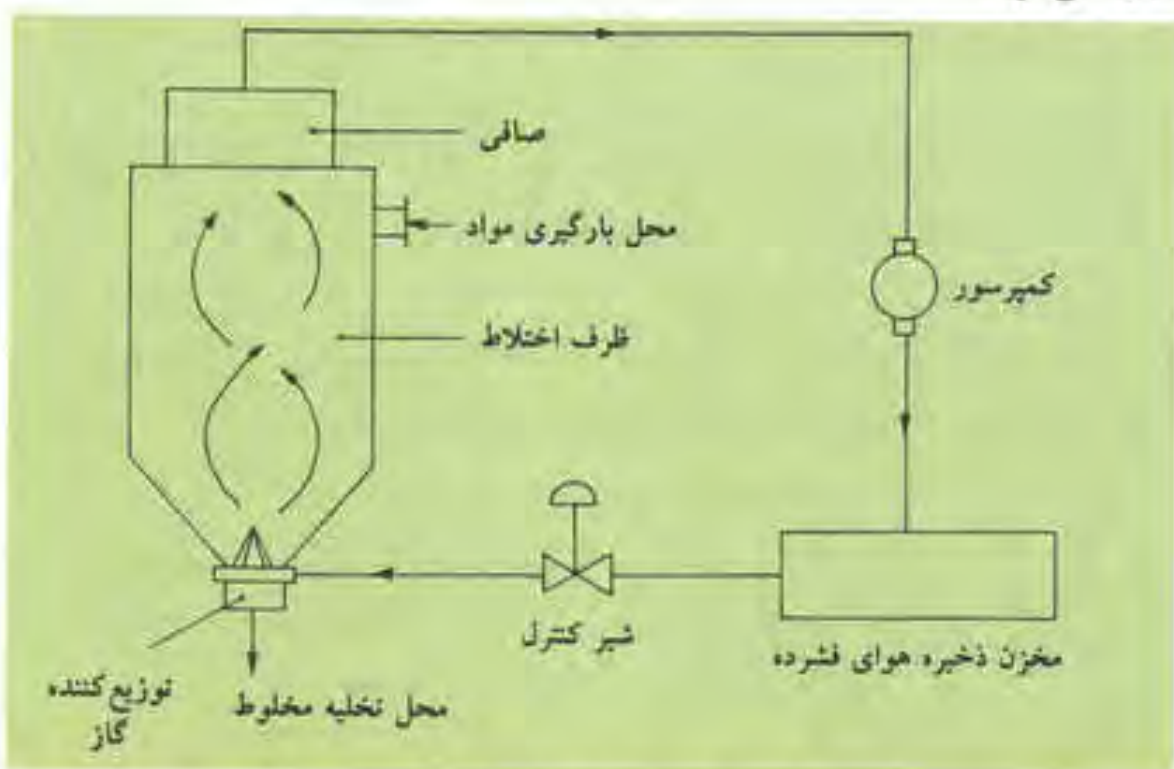
۲- Screw

۳- Vertical Screw Mixer

۴- Fluidity

شکل ۱۰-۱۳ یک مخلوط کن هوایی^۱ را نشان می‌دهد که براساس 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 مخلوط کن نیاز به تجهیزات جانبی نسبتاً گران قیمت 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- مخلوط کن هوایی (مخلوط کن 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 در می‌آورند، 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 تراکم کردن مانند استفاده از فندق‌شکن
 - کاهش اندازه به روش ضربه زدن، مانند استفاده از پتک یا چکش
 - کاهش اندازه به روش سایش، مانند سوهان
 - کاهش اندازه به روش قطع کردن یا بریدن مانند تیغه یا چاقو.
- به طور کلی از روش تراکم برای کاهش اندازه قطعات سخت و ایجاد قطعات ریزتر، از روش ضربه زدن 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 بریدن 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.
- یازده 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 هیچ وجه 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 ۰/۵ تا ۱ سانتی‌متر بزرگ‌تر باشد. از دستگاه‌های برنده معمولاً برای تولید محصولاتی به اندازه معین، از ۰/۱ تا ۱ سانتی‌متر استفاده می‌شود.

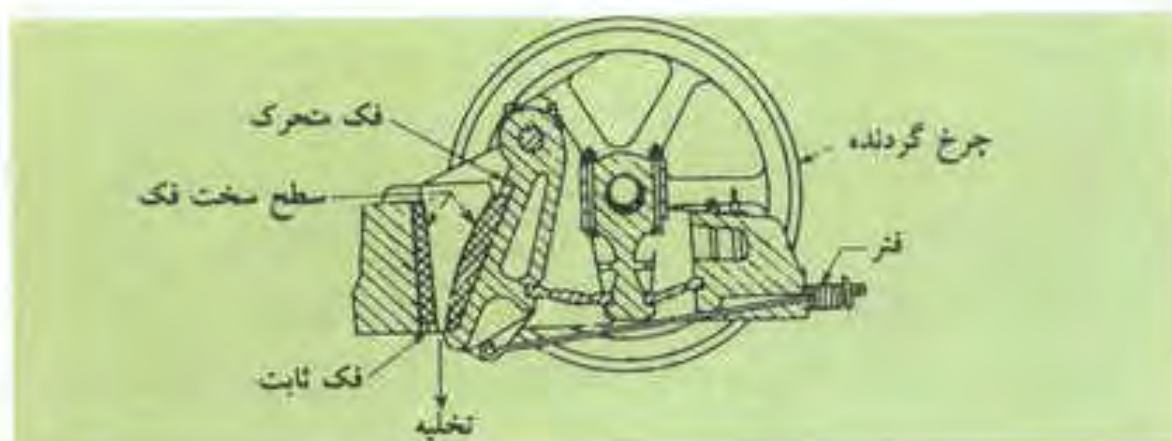
۱۰-۴-۱- خردکن‌ها: خردکن‌ها دستگاه‌هایی هستند که برای خرد کردن مقادیر

زیاد مواد جامد به کار می‌روند. از این دستگاه‌ها اغلب برای خرد کردن مواد سخت از قبیل سنگ معدن استفاده می‌شود. در زیر در باره 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

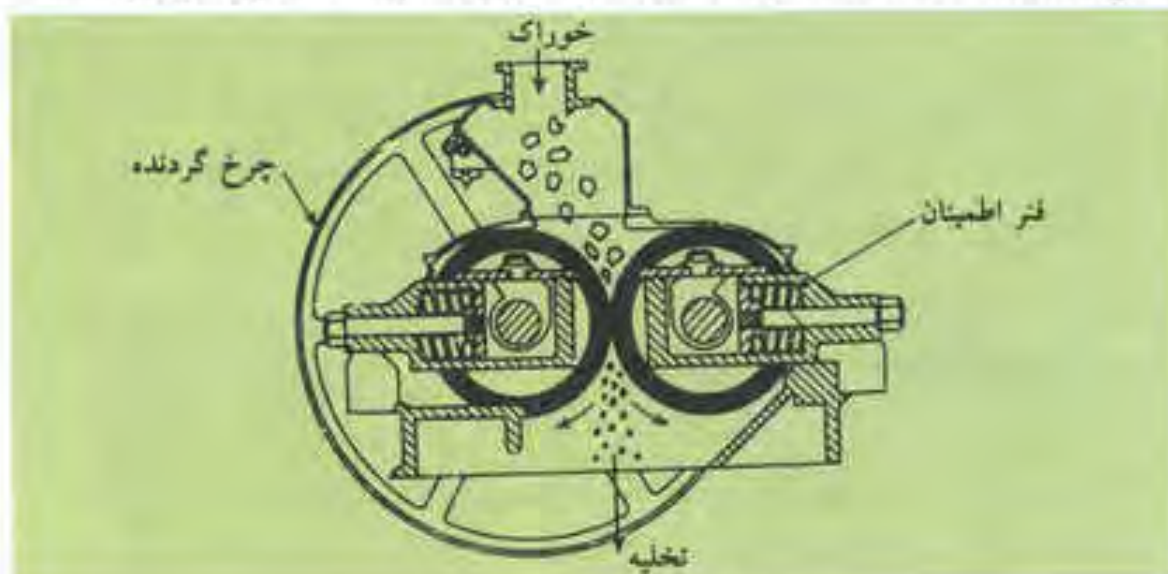
۱- Crushers ۲- Grinders ۳- Cutting Machines ۴- Ultra Fine Grinders



شکل ۱۰-۱۴- خردکن فکی

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 بالایی 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.

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



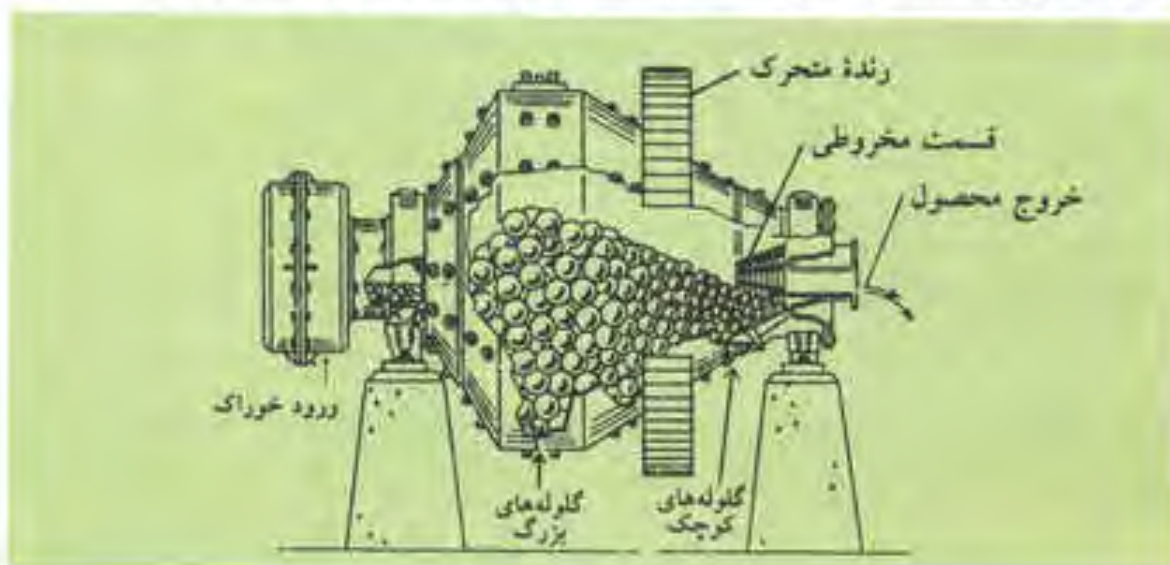
شکل ۱۰-۱۵- خردکن غلتکی

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 غیرقابل خرد شدن وارد این دستگاه بشوند برای جلوگیری از صدمات وارده به غلتک‌ها معمولاً حداقل یکی از غلتک‌ها را به فترمتصل می‌کنند.

۱۰-۴-۲- 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 ساینده پر می‌کنند. جنس این استوانه معمولاً از فولاد است که برای جلوگیری از سایش، سطح داخلی آن را از ورقه‌های فولاد سخت، چینی، سیلیس و یا حتی لاستیک می‌پوشانند. این استوانه با سرعت کم حول محور افقی خود می‌چرخد. مواد



شکل ۱۰-۱۶- آسیاب دوار

ساینده آسیاب دوار می‌تواند به صورت میله پاساچمه از جنس‌های فلزی، لاستیکی و یا چرمی باشد. حتی گاهی از سنگ‌های چخماق و یا گلوله‌هایی از جنس چینی به عنوان مواد ساینده استفاده می‌کنند.

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 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 آن جا در اثر نیروی ثقل روی ذراتی که در کف استوانه است فرومی‌افتند. در بعضی آسیاب‌های دوار به جای گلوله از میله به عنوان 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 ساچمه‌ای دوار یا قلوه‌سنگی دوار قسمت اعظم خرد شدن در اثر برخورد در هنگام ریزش قلوه‌سنگ‌ها یا گلوله‌ها از بالای استوانه صورت می‌گیرد. در آسیاب‌های گلوله‌ای معمولاً قطر استوانه را حدود ۳ متر و طول آن‌ها را حدود ۳/۵ متر در نظر می‌گیرند. قطر گلوله‌ها بین ۲/۵ تا ۱۲/۵ سانتی‌متر تغییر می‌کند.

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 به طرف 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 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 ۱۷-۱۰ وضعیت یک گلوله در نقطه A و نیروهای مؤثر بر آن را که عبارت‌اند از نیروی ثقل و نیروی گریز از مرکز، نشان می‌دهد. اگر نیروی گریز از مرکز $mu'(R-r)$ از مؤلفه شعاعی نیروی ثقل 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:

$$mg \cos \alpha = \frac{m \cdot u'^2}{(R-r)} \quad (1-10)$$

m = جرم گلوله

g = شتاب ثقل

u = سرعت خطی مرکز گلوله

R = شعاع استوانه

r = شعاع گلوله

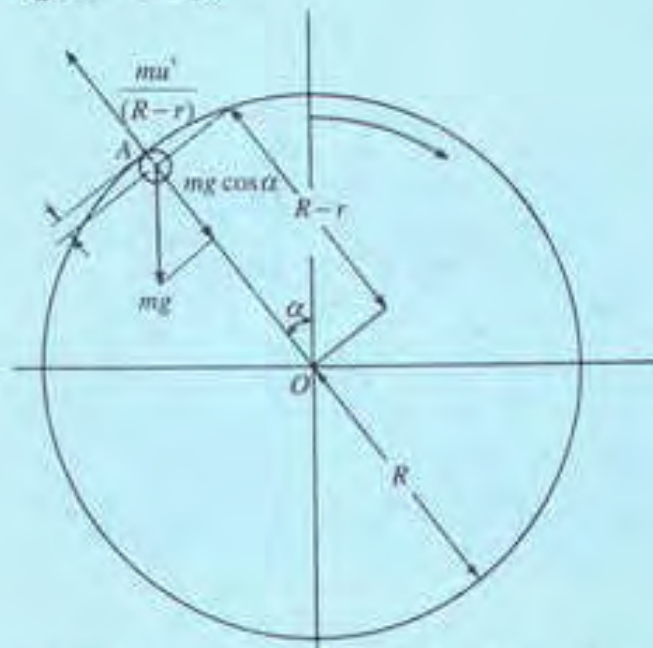
در نتیجه خواهیم داشت:

$$\cos \alpha = \frac{u'^2}{(R-r)g} \quad (2-10)$$

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

$$u = v\pi(R-r)n \quad (3-10)$$

n = سرعت دورانی استوانه



شکل ۱۷-۱۰- نمایش نیروهای وارد بر یک گلوله

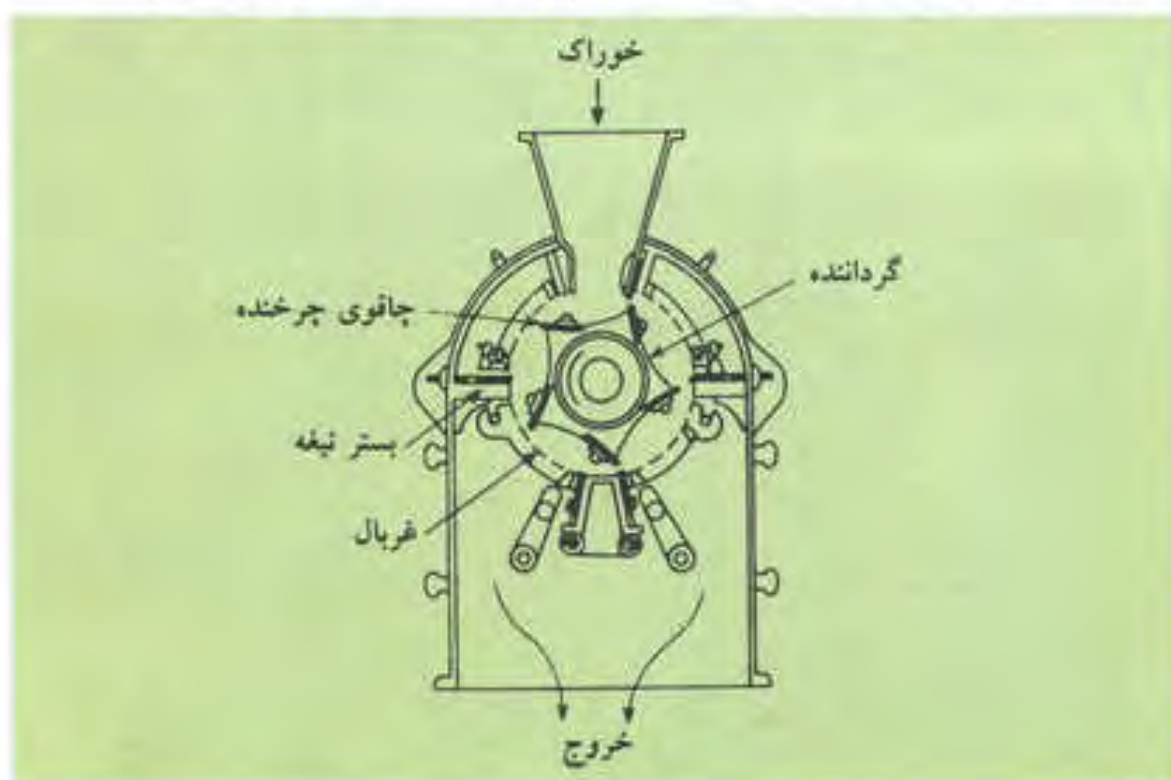
در نتیجه اگر رابطه (۳-۱۰) را در رابطه (۲-۱۰) خواهیم داشت

$$\cos\alpha = \frac{4\pi^2 n^2 (R-r)}{g} \quad (4-10)$$

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:

$$n_c = 54/2 \sqrt{\frac{1}{R-r}} \quad (5-10)$$

۱۰-۴-۳- دستگاه‌های برنده: 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 فرسایش 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



شکل ۱۰-۱۸- دستگاه برنده

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 هر یک 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.

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 این که محصولات به اندازه تعیین شده در آمدند، از انتهای دستگاه خارج شوند.

- قطعات نشکن از پایین خارج شوند.

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.

خود آزمایی

- 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 گرانشی 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 غلنگی 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 (هموزن) به کار می‌رود نظیر آب، الکل، بنزن 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 ۰/۳ تا ۱۰ متر قطر و از ۳ تا ۷۵ متر ارتفاع دارند. به‌طور 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.

۱- Distillation

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



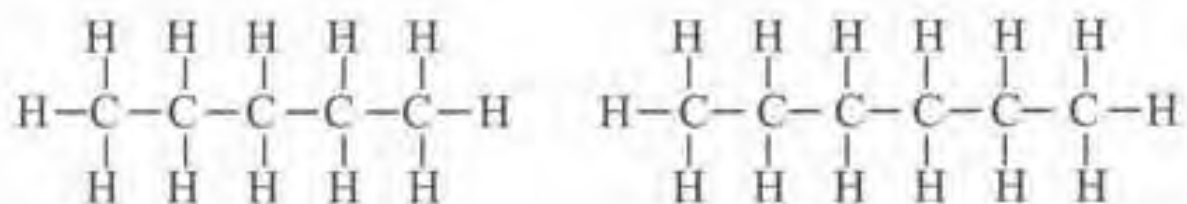
شکل ۱-۱۱- جداسازی یک مخلوط دو جزئی

۱-۱۱- اصول تقطیر

تقطیر یک روش جداسازی است که براساس 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 غیرفرارند 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)

^۱- Volatility

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:
 پیوسته^۳
 ناپیوسته^۴

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 میرد^۵ و مجدداً مایع می‌شود. این بخار مایع شده نسبت به مایع باقی مانده در دیگ از جسم سبک غنی‌تر است و به همان میزان مایع باقی مانده، 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).

۱۱-۲-۲- تبخیر ناگهانی: این روش غالباً به صورت پیوسته انجام می‌گیرد

۱- Simple Distillation

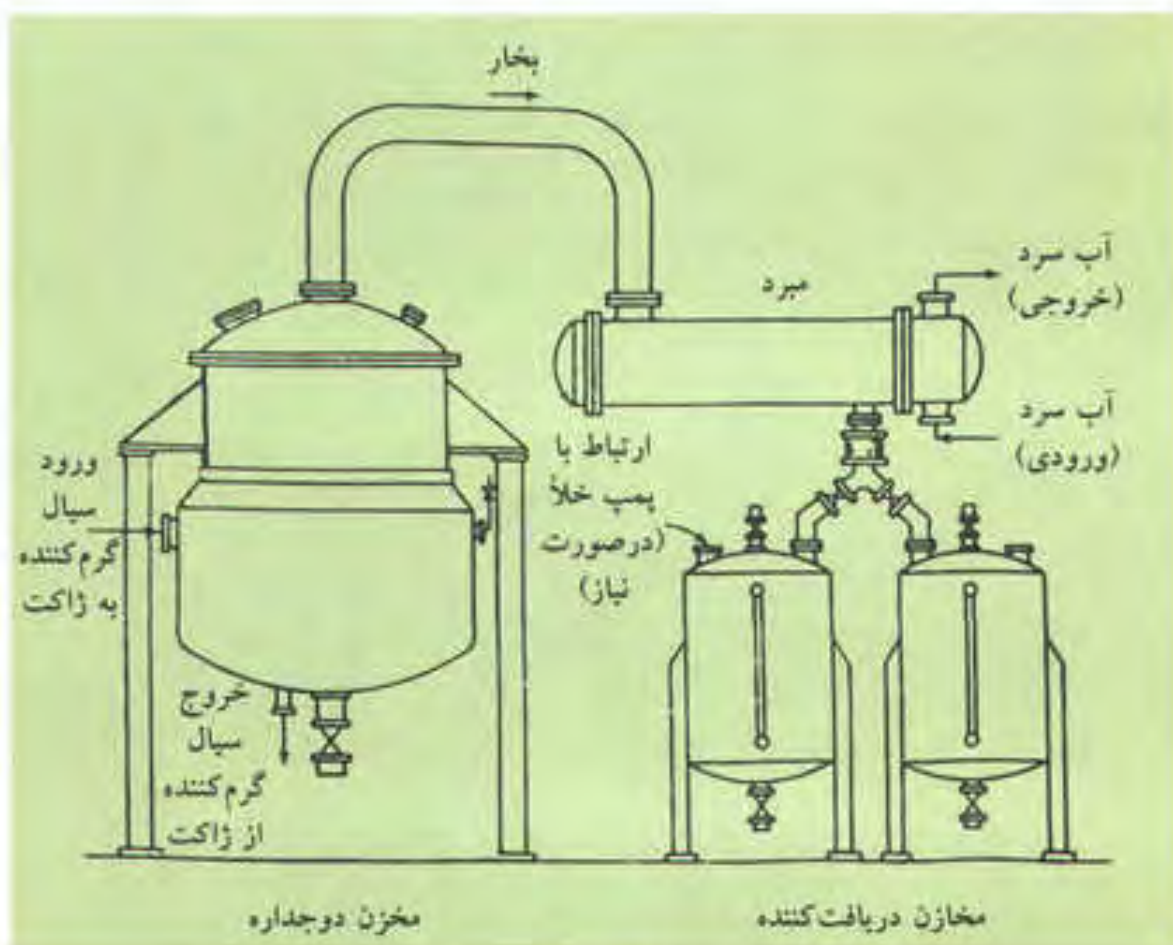
۲- Flash Vaporization

۳- Fractional Distillation

۴- Continuous

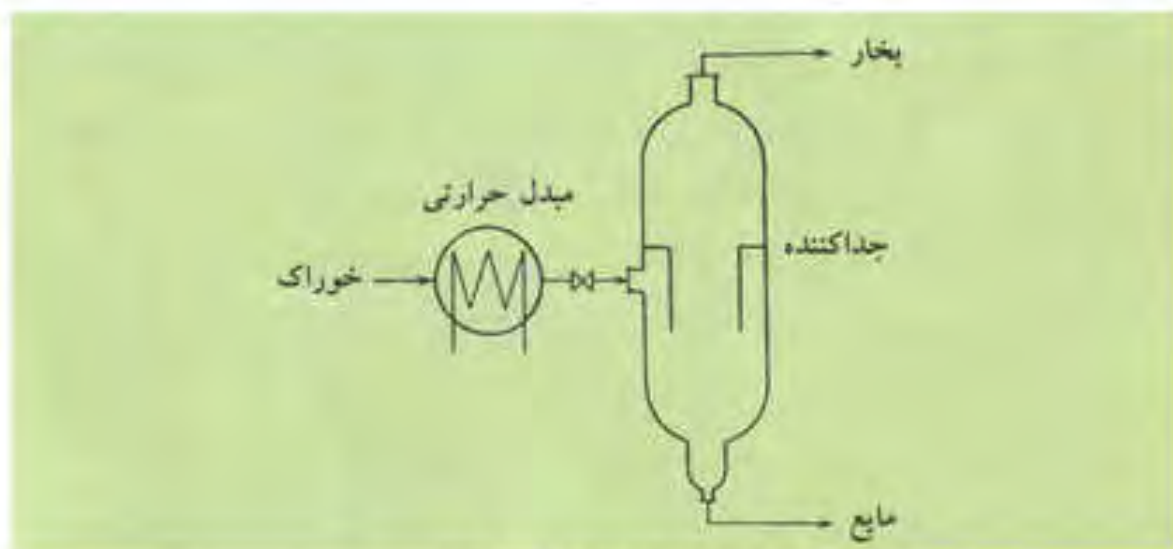
۵- Batch

۶- Cooler (condenser)



شکل ۱۱-۲- تقطیر کننده ساده

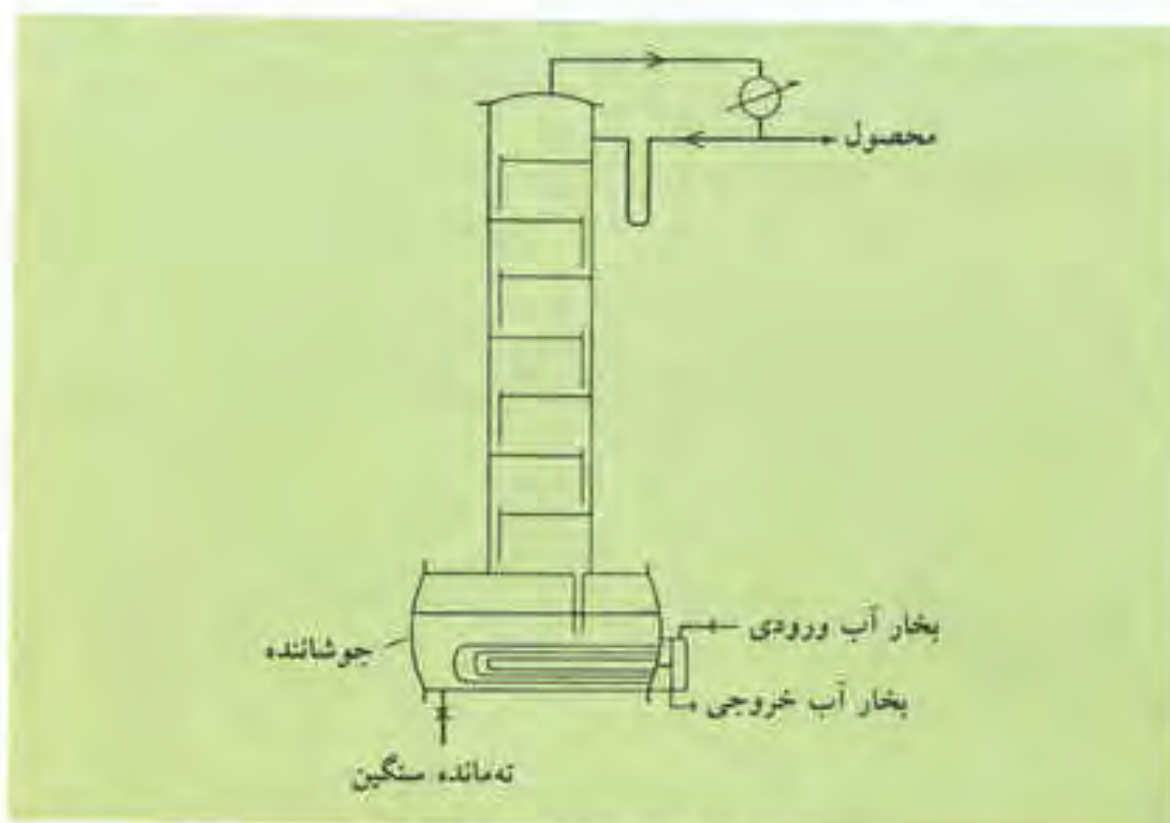
(شکل ۱۱-۳) بدین منظور با کاهش فشار یا افزایش درجه حرارت خوراک، آن را به دو فاز مایع و بخار تبدیل می کنند و سپس آن را وارد یک جداکننده می کنند. در این ظرف فاز بخار که قسمت های سبک خوراک است از بالای ظرف خارج می شود و



شکل ۱۱-۳- تبخیر کننده ناگهانی

فاز مایع که سنگین تر است از پایین ظرف خارج می شود. از این روش در صنعت نفت به طور گسترده استفاده می شود. به عنوان مثال نفت خام با دمای 440 K و فشار 900 kPa وارد یک مخزن لوله ای می شود و در دمای 520 K و فشار 400 kPa آن را ترک می کند که تقریباً 15% خوراک که حاوی مواد سنگ است تبخیر می شود. نکته مهم این است که با یک بار عمل تقطیر، با تبخیر ناگهانی یا تقطیر ساده، نمی توان به خالص سازی ماده مورد نظر تا درجه دلخواه رسید، بنابراین برای خالص تر کردن خوراک باید متوسل به روش های دیگر تقطیر شد.

۱۱-۲-۳- تقطیر جزء به جزء (ناپیوسته): در تقطیر ناپیوسته بیشتر اجزای سبک تر از مخزن (دیگ) تبخیر می شود. در نتیجه به تدریج و در طول زمان عملیات، خوراک از اجزای سنگین تر غنی تر می شود. تقطیر تا وقتی ادامه پیدا می کند که میزان اجزای سبک (فرار) در داخل ظرف به میزان مجاز خود برسد. تقطیر ناپیوسته به عنوان یک فرآیند آسان در بسیاری از صنایع شیمیایی به کار می رود. در این حالت تمام خوراک در شروع عملیات در دیگ ریخته و حرارت داده می شود. سپس بخارها از درون یک ستون جداکننده (برج تقطیر) عبور می کند. ترکیب محصولات بالای برج، بستگی به ترکیب



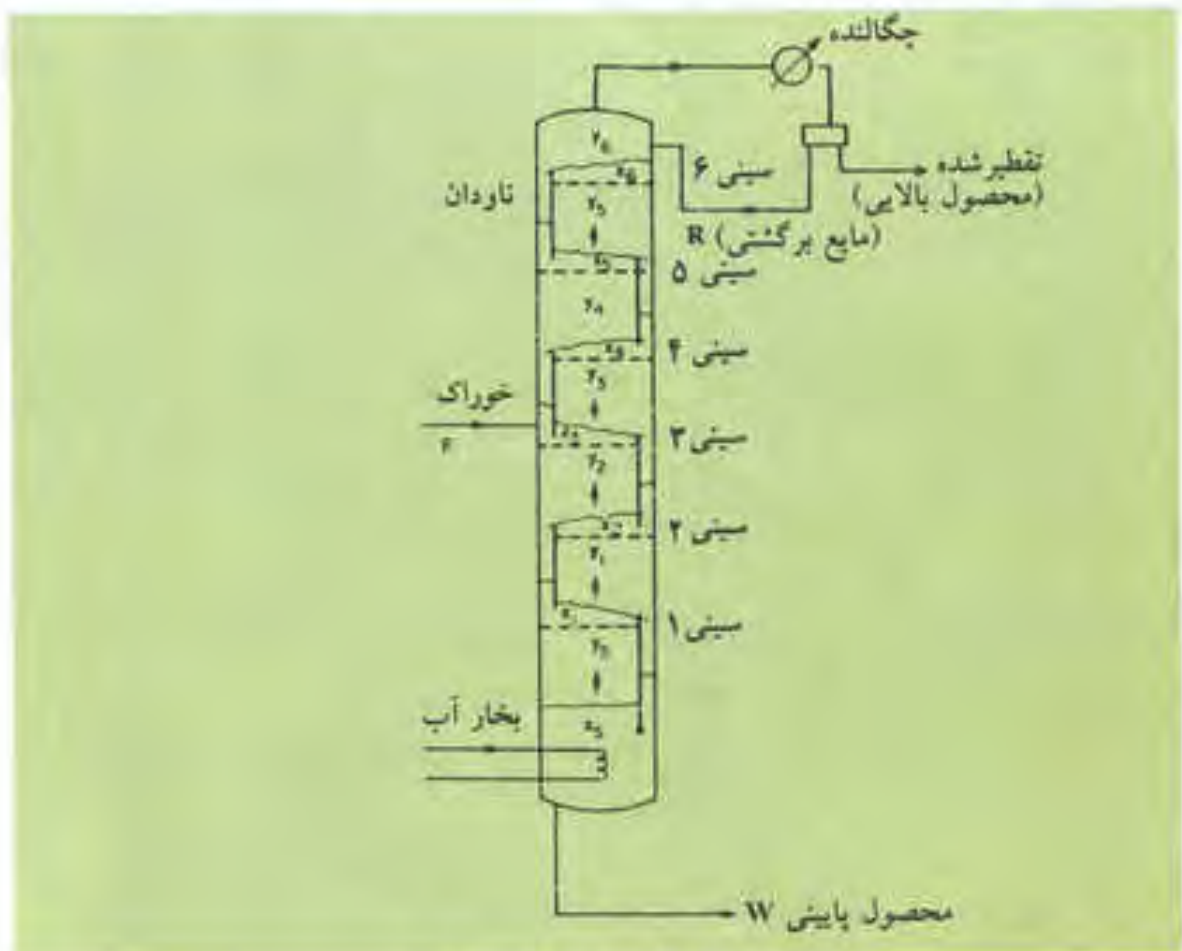
شکل ۱۱-۲- ستون برای برج تقطیر ناپیوسته

خوراک، ارتفاع برج و میزان تماس مایع و بخار در داخل برج دارد. (شکل ۱۱-۴).
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 نیخیر 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



شکل ۱۱-۵- ستون تقطیر پیوسته

را به سمت بالا و گذراندن مایع را به سمت پایین دارند. بخاری که به طرف بالا می‌رود از آخرین سینی بالایی 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 بالایی برج، از روی هر 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 باهم 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 بالایی برج حرکت می‌کند سبک‌تر می‌شود. به عکس مایع برگشتی از بالایی 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^۳ و قسمت پایین به عنوان قسمت غازی‌سازی^۴ نامیده می‌شود. با توجه به این مطالب خوراک ورودی به برج در اثر تماس‌های متوالی مایع و بخار روی سینی‌های داخل برج به دو محصول سبک (خروجی از بالایی برج) و سنگین (خروجی از پایین برج) تبدیل می‌شود. با این روش، می‌توان به طور 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 به منظور 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

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

۲- Reflux ۳- Rectifying Section ۴- Stripping Section

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 به درجه حرارت محیط رساند. در این حالت، عملیات تقطیر تحت فشار انجام خواهد شد؛ به عنوان مثال جهت جدا کردن پروپان از بوتان باتوجه به این که 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٪

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 ۰/۲۲ کیلوگرم
ثانیه

مقدار محصول پایین برج ۰/۷۸ کیلوگرم در ثانیه

تعداد سینی‌های لازم ۹ سینی

استخراج^۱

۱۱-۴- استخراج مایع از مایع

عمل استخراج فرآیندی است که به آن استخراج با 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 جزئی از محلول اولیه هستند به مقداری متفاوت در دو فاز مایع بخش 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 اسید استیک 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.

۱۱-۵- عملیات استخراج (فرآیند استخراج)

در تمام عملیات استخراج، محلولی که استخراج از آن انجام شود «خوراک^۳» و مایعی که خوراک با آن مجاور می‌شود «حلال^۴» نامیده می‌شود. محلولی که از حلال غنی است «استخراج شده^۵» و مایع باقی مانده که از آن جدا شده است «پس مانده^۶» نامیده می‌شود.

فرض کنید محلول دوجزبی A و B را داریم و می‌خواهیم ماده A را از ماده B

۱- Extraction

۲- Liquid-Liquid Extraction

۳- Feed

۴- Solvent

۵- Extract

۶- Raffinate

جدا کنیم و چون قرار است این دو ماده نزدیک به یکدیگر است، استفاده از عمل تقطیر امکان پذیر 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 «احتلاط 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» نیتروبنزونیک 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 با جزیی 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- انتخابی بودن: مؤثر بودن حلال برای جداسازی با پارامتری به نام ضریب گزینش^۱ سنجیده می‌شود. این پارامتر که بسیار شبیه به قدرت فرار است در تقطیر است مقایسه‌ای است بین میزان مواد موجود در فاز استخراج شده به میزان مواد موجود در فاز پس مانده، در حالت تعادل.

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

۳- قابلیت بازیابی: 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. همان‌طور که قبلاً بیان شد هرچه اختلاف فراریت حلال و ماده استخراج شده بیشتر باشد سهولت عملیات تقطیر افزایش می‌یابد.

۴- دانسیته: 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.

۵- کشش بین سطوح: هرچه قدر 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.

۶- فعالیت شیمیایی: حلال باید از نظر شیمیایی پایدار باشد و نسبت به دیگر اجزای سیستم و مواد سازنده دستگاه‌ها، خنثی باشد (حلال خورنده نباشد).

۷- حلال نباید سمی و قابل اشتعال باشد و در ضمن باید ارزان باشد.

۱۱-۷- برج‌های تقطیر

جهت انجام فرآیند تقطیر جزء به جزء در صنعت، از برج‌هایی استفاده می‌کنند که با توجه به ساختمان داخلی اشان 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.

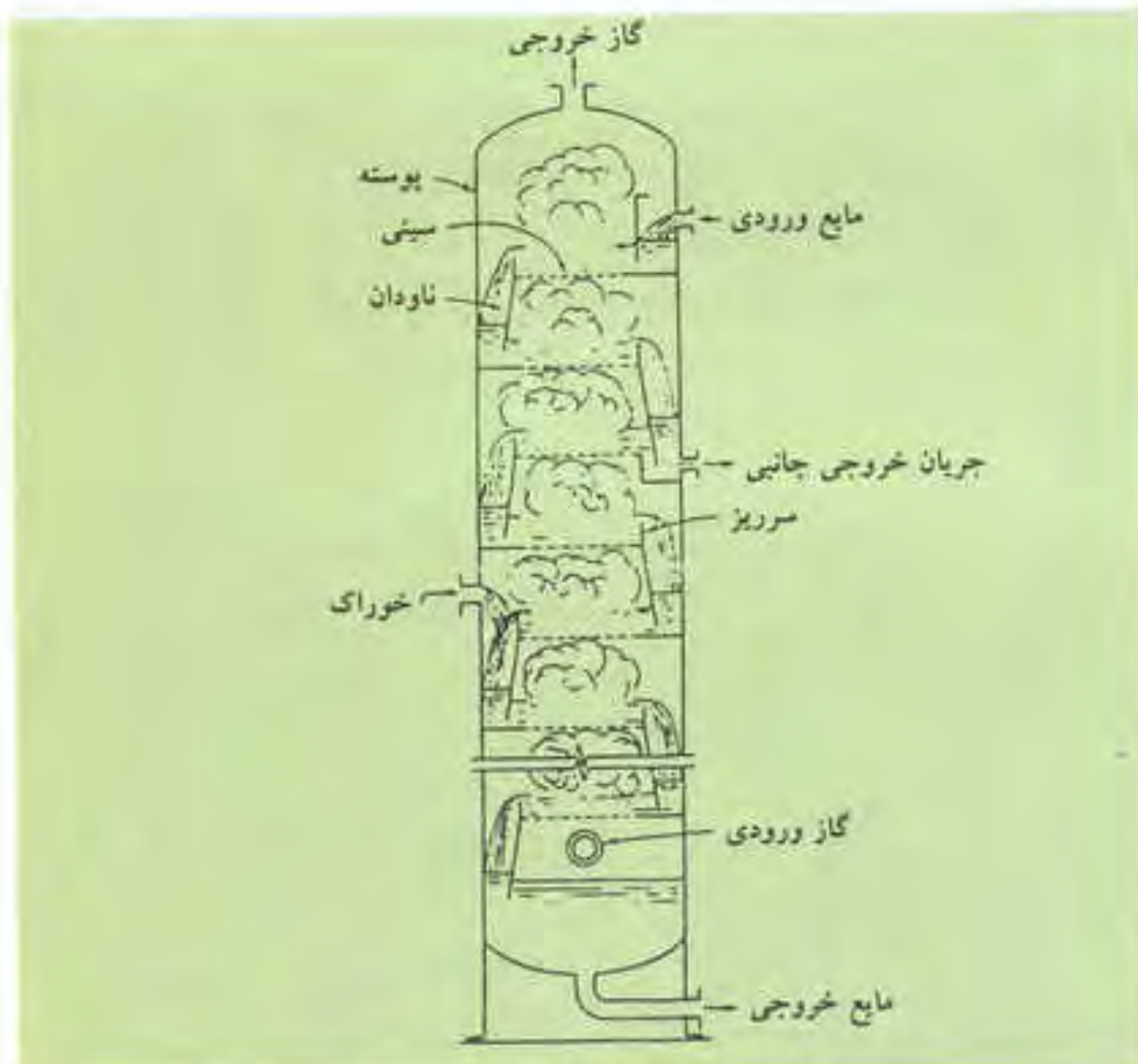
۱۱-۷-۱- برج‌های سینی‌دار: همان‌طور که قبلاً گفته شد در برج‌های سینی‌دار تماس بین فازهای مایع و بخار (گاز) روی سینی‌ها انجام می‌شود. این‌گونه برج‌ها اغلب فلزی و استوانه‌ای شکل هستند. یک طرح عمومی از برج‌های سینی‌دار در شکل ۱۱-۶ آمده است.

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

۱- Tray Towers

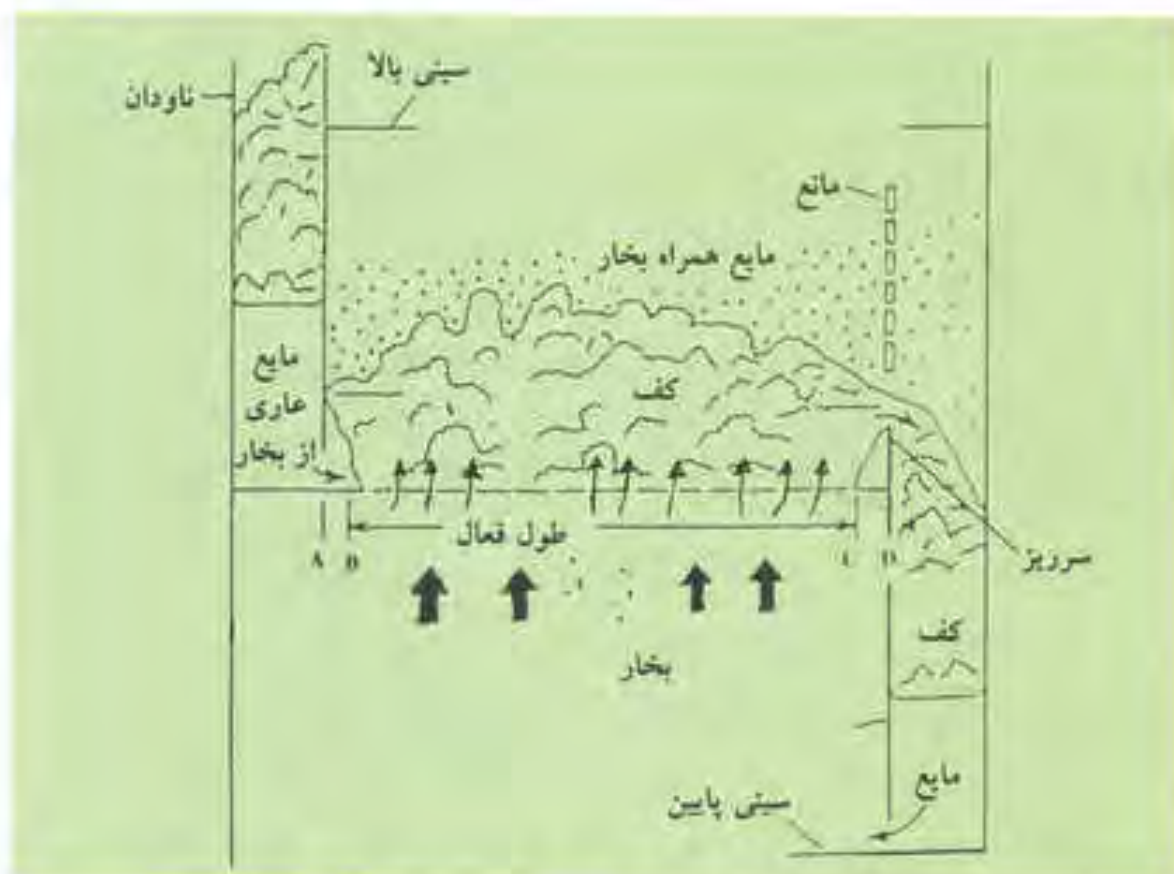
۲- Packed Towers

۳- Downcomers



شکل ۱۱-۶- طرح عمومی برج های سینی دار

امکان انتقال جرم این دو فاز میسر می شود. حرکت بخار از طریق منافذ به طرف بالا مانع عبور مایع از داخل سوراخ ها به طرف پایین می شود. به منظور نگه داشتن ارتفاع مناسبی از مایع بر روی هر سینی، از سرریز استفاده می شود و وقتی که ارتفاع مایع بالاتر از ارتفاع سرریز شد از طریق ناودان به سینی پایینی می ریزد مایعی که سرریز شده است به صورت مخلوطی از مایع و بخار است و بخار همراه مایع، در طول ناودان از آن جدا می شود و مجدداً به طرف بالا حرکت می کند و بدین ترتیب مایع عاری از بخار، به سینی پایینی می ریزد. برای این که زمان لازم برای جدا شدن مایع از بخاری که به طرف بالا حرکت می کند وجود داشته باشد باید فاصله سینی ها به اندازه کافی باشد تا از بردن مایع توسط بخار به سینی بالایی جلوگیری شود. شکل ۱۱-۷ طرح ساده ای از این گونه پدیده ها را بر روی یک سینی



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

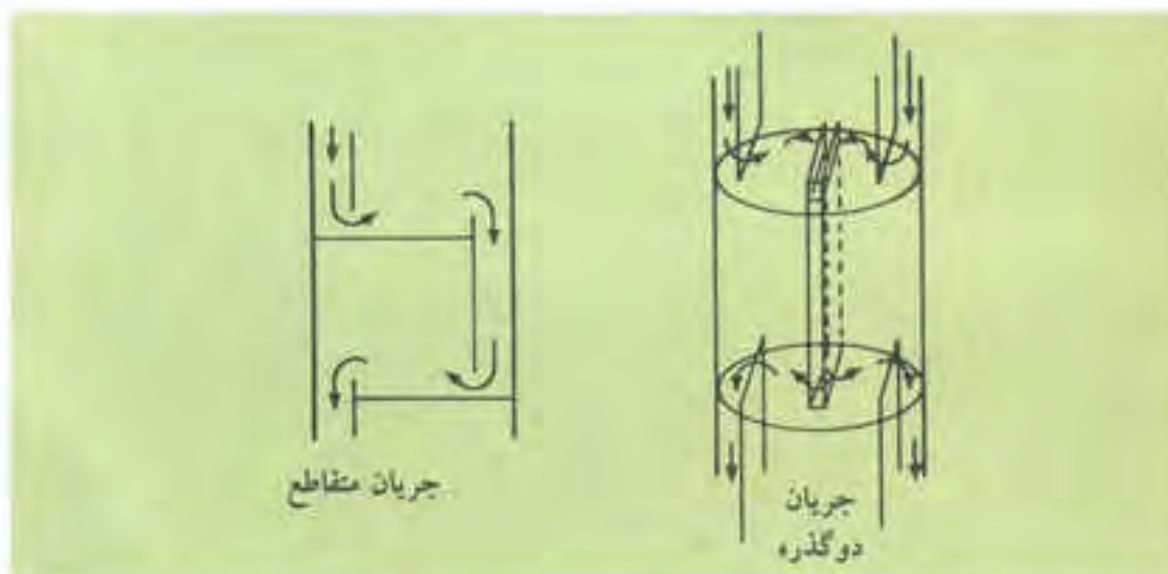
نشان می‌دهد.

فاصله بین سینی‌ها از حدود ۲ اینچ (۵ سانتی‌متر) تا حدود ۴ اینچ (۱۲۰ سانتی‌متر) تغییر می‌کند و هرچه قطر برج بزرگ‌تر باشد این فاصله نیز بیشتر می‌شود. 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 چندگذره^۲ که شکل کلی از این دو نوع جریان در شکل ۱۱-۸ نشان داده شده است.

جریان متقاطع یکی از متداول‌ترین نوع جریان بر روی سینی است و معمولاً برای میزان جریان‌های متوسط مایعات و گازها مورد استفاده است. در این نوع جریان می‌توان سینی را طوری طراحی کرد که برای خوراک‌هایی که دارای مواد جامد معلق هستند نیز مورد استفاده باشد. جریان‌های دو یا چند گذره برای برج‌های با قطر بزرگ و با میزان جریان بالای مایع، مورد استفاده‌اند. در جریان‌های دوگذره جریان مایع به منظور کاهش بار ناودان به دو قسمت تقسیم می‌شود.

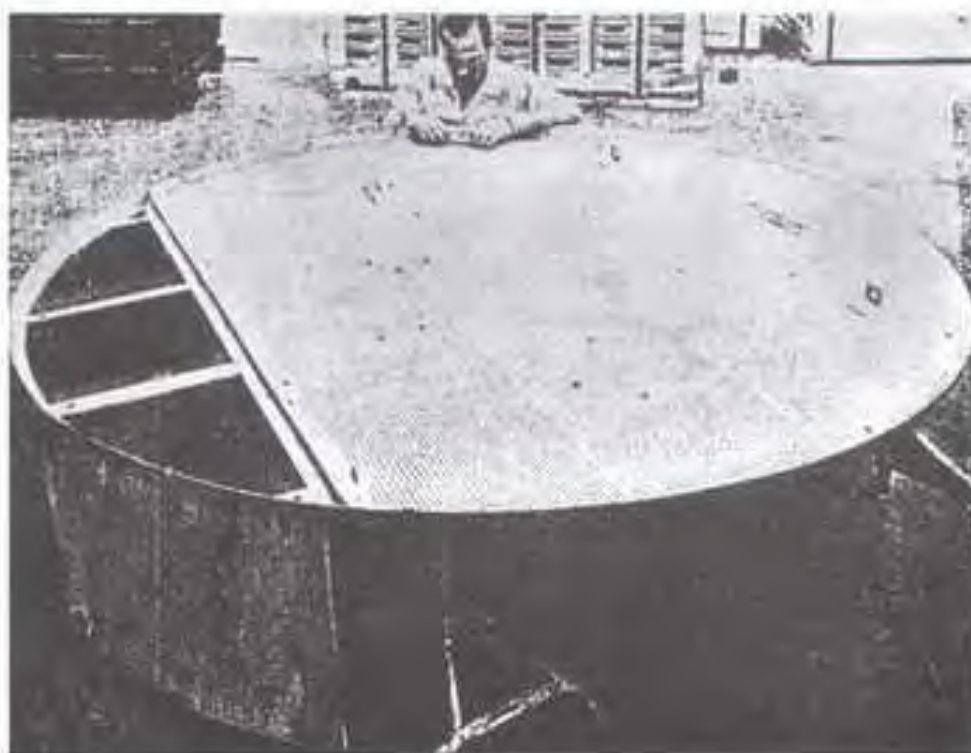
۱- Cross Flow

۲- Double Pass



شکل ۱۱-۸- نحوه جریان مایع بر روی سینی

۱۱-۷-۲- انواع سینی‌ها: مهم‌ترین انواع سینی‌های برج‌های تقطیر عبارت‌اند از: سینی‌های غربالی^۱، سینی‌های دریچه‌ای^۲ و سینی‌های کلاهکی^۳. سینی‌های غربالی: یک شمای کلی از سینی‌های غربالی در شکل ۱۱-۹ آمده است. این سینی‌ها براساس ایجاد منافذی (سوراخ‌هایی) به کمک مته بر روی یک



شکل ۱۱-۹- طرح یک سینی غربالی با ناودان

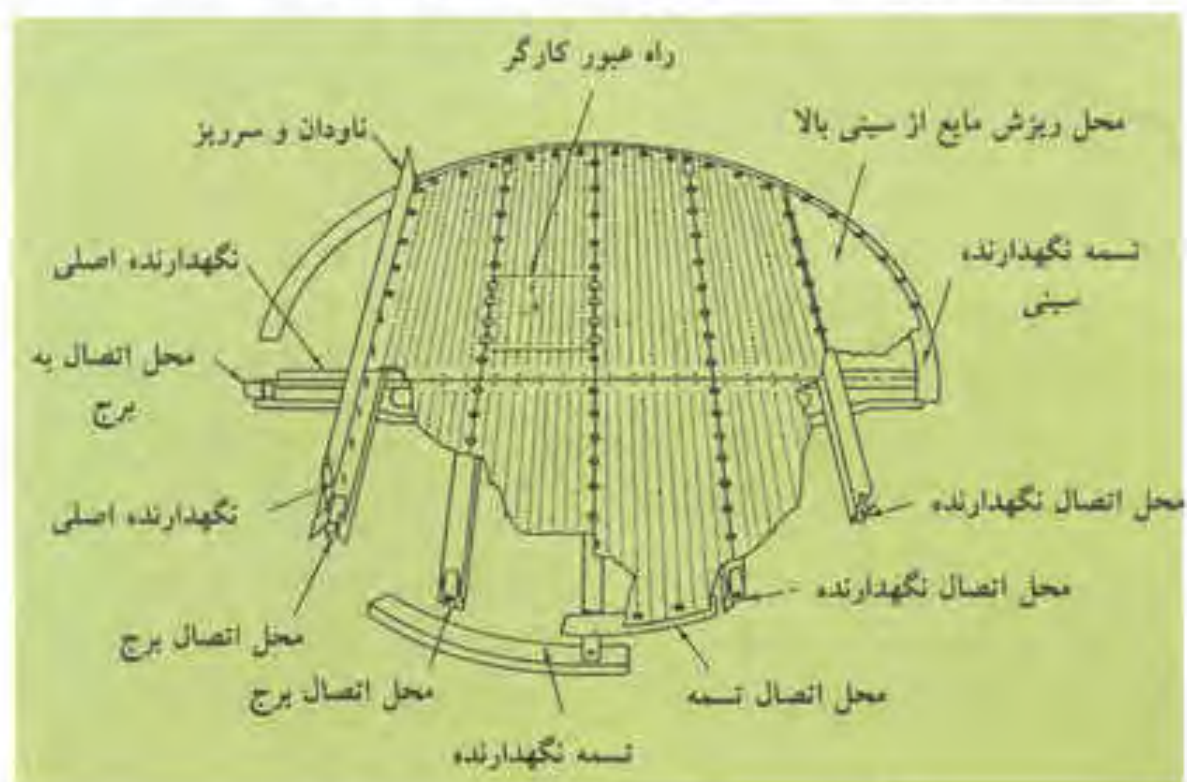
۱- Sieve Trays

۲- Volve Trays

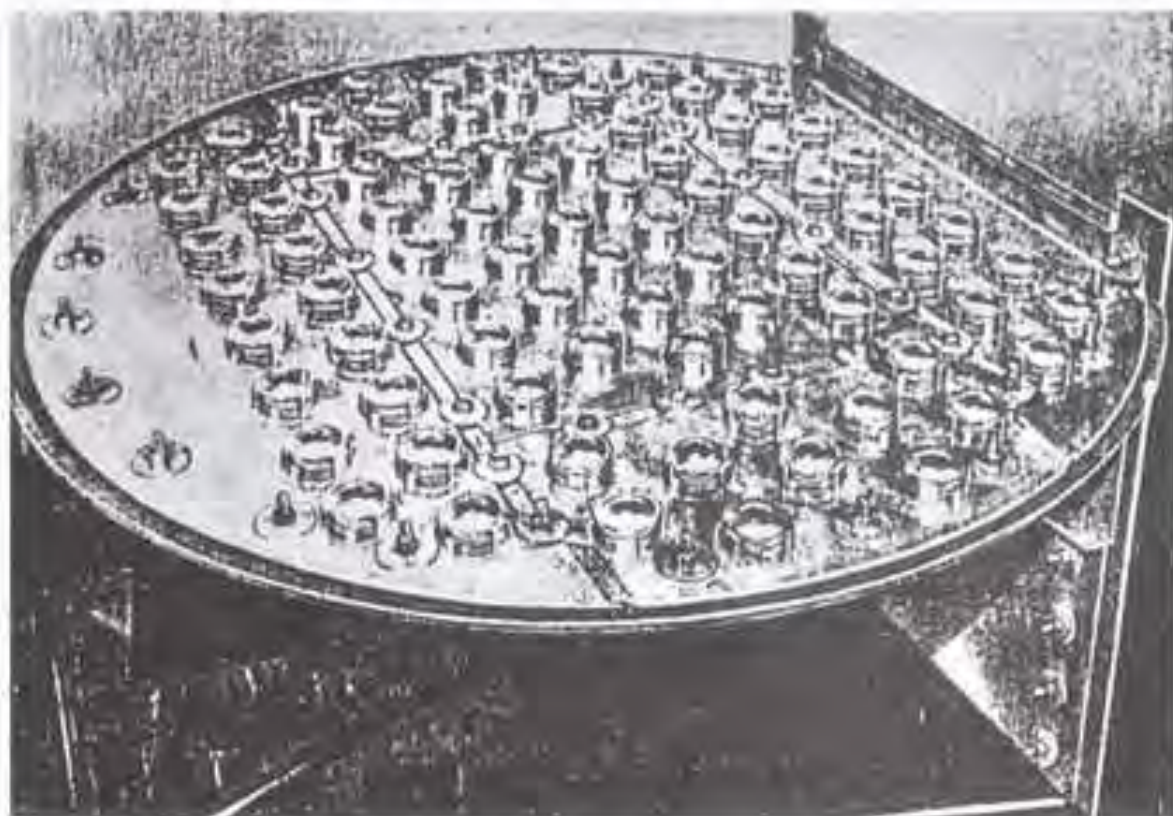
۳- Bubble- Cap Trays

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 ۱ اینچ (۰/۳ تا ۲/۵۴ سانتی‌متر) متغیر است و اکثراً این اندازه بین $\frac{1}{4}$ تا $\frac{1}{3}$ اینچ (۰/۶ تا ۱/۲۷ سانتی‌متر) است. فاصله بین سوراخ‌ها معمولاً بین ۲/۵ تا ۵ اینچ (۶/۳۵ تا ۱۲/۷ سانتی‌متر) در نظر گرفته می‌شوند. شکل ۱۰-۱۱ اجزای تشکیل‌دهنده یک سینی غربالی را نشان می‌دهد.

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



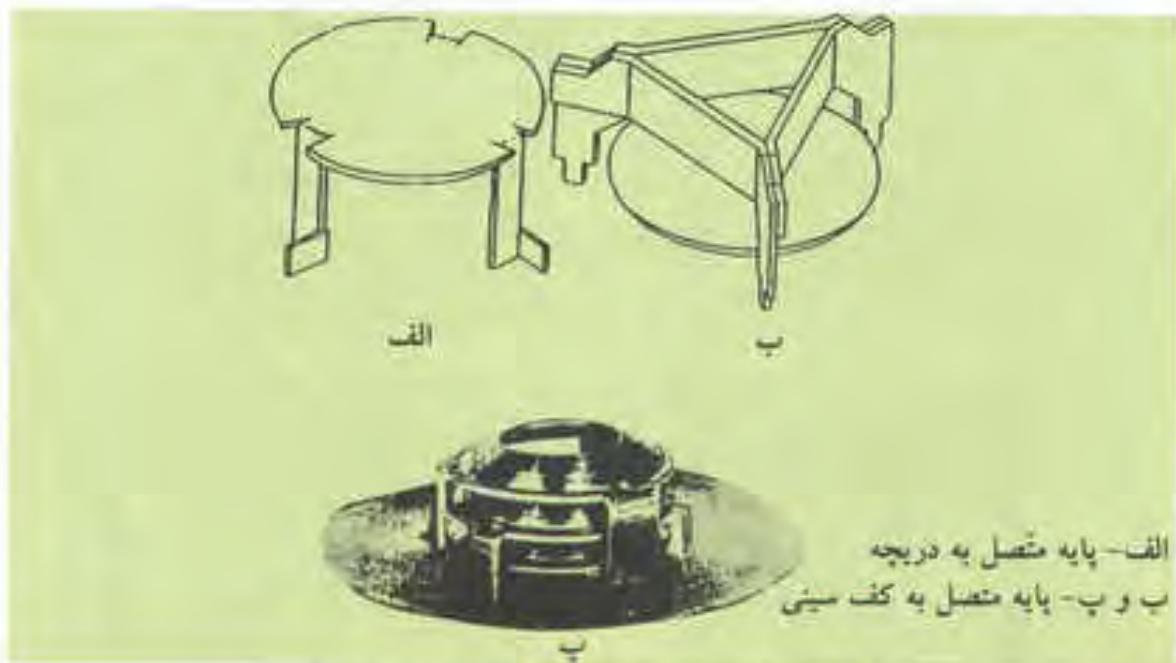
شکل ۱۰-۱۱- اجزای تشکیل‌دهنده یک سینی غربالی



شکل ۱۱-۱۱- شمای کلی سینی‌های دریچه‌ای

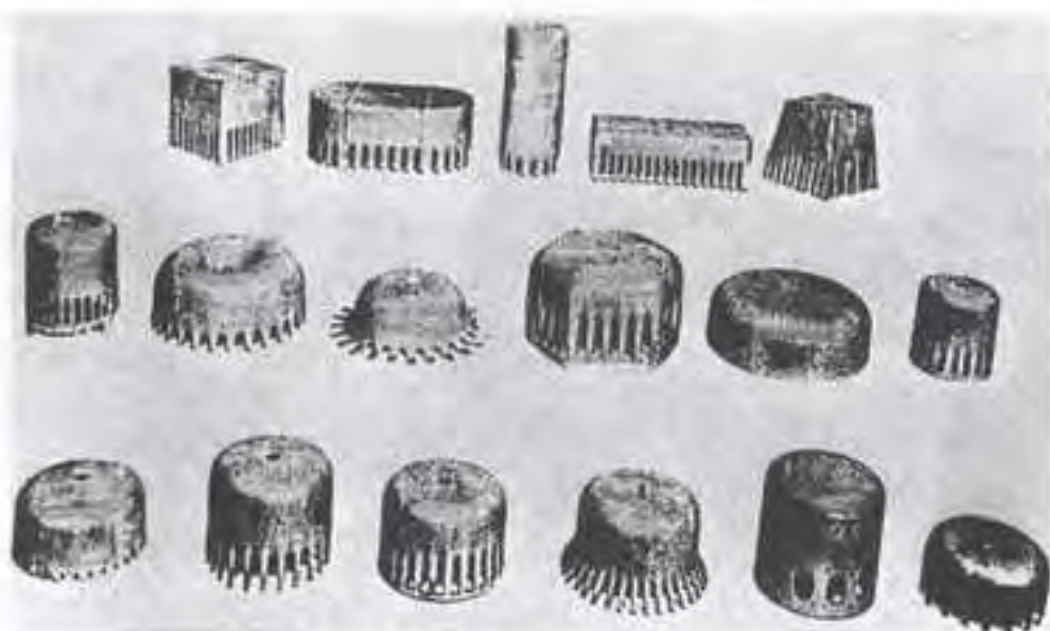
بیشتری خواهند داشت. قطر سوراخ‌های این گونه سینی‌ها نسبت به سینی‌های غربالی بزرگ‌تر است و توسط دریچه‌ای یک طرفه و متحرک که با تغییر فشار مایع و بخار از روی سطح سینی بالا می‌رود، پوشانده شده است. هر دریچه دارای پایه‌ای است که فقط حرکت آن را به طرف بالا محدود می‌کند. در حالتی که میزان جریان بخار زیاد است، 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 یا 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.

قطر سوراخ‌ها معمولاً حدود ۱/۵ اینچ (۳/۸۱ سانتی‌متر) است ولی قطرهای بزرگ‌تر تا ۶ اینچ (۱۵/۲۴ سانتی‌متر) نیز گاهی اوقات به کار می‌رود. فاصله بین سوراخ‌ها ۳ تا ۶ اینچ (۷/۶۲ تا ۱۵/۲۴ سانتی‌متر) است. سه نوع مختلف دریچه‌های این گونه سینی‌ها در شکل ۱۱-۱۲ آمده است.



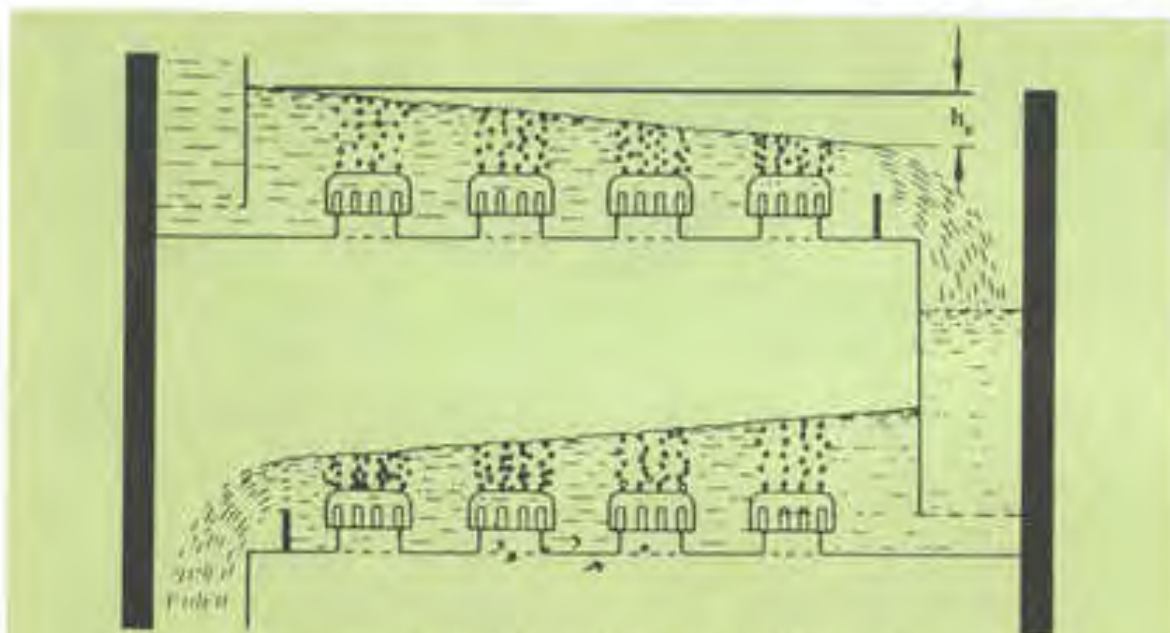
شکل ۱۱-۱۲- چند نمونه از انواع سینی های دریچه ای

سینی های کلاهکی: انواع کلاهک ها 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 می گیرد و در نتیجه بخار با عبور از پایه و گذشتن از منافذ کلاهک، به داخل فاز مایع وارد می شود و با آن در تماس قرار می گیرد. این نوع سینی ها می توانند در مواردی که میزان جریان مایع خیلی کم یا خیلی زیاد باشد مورد استفاده قرار گیرند.

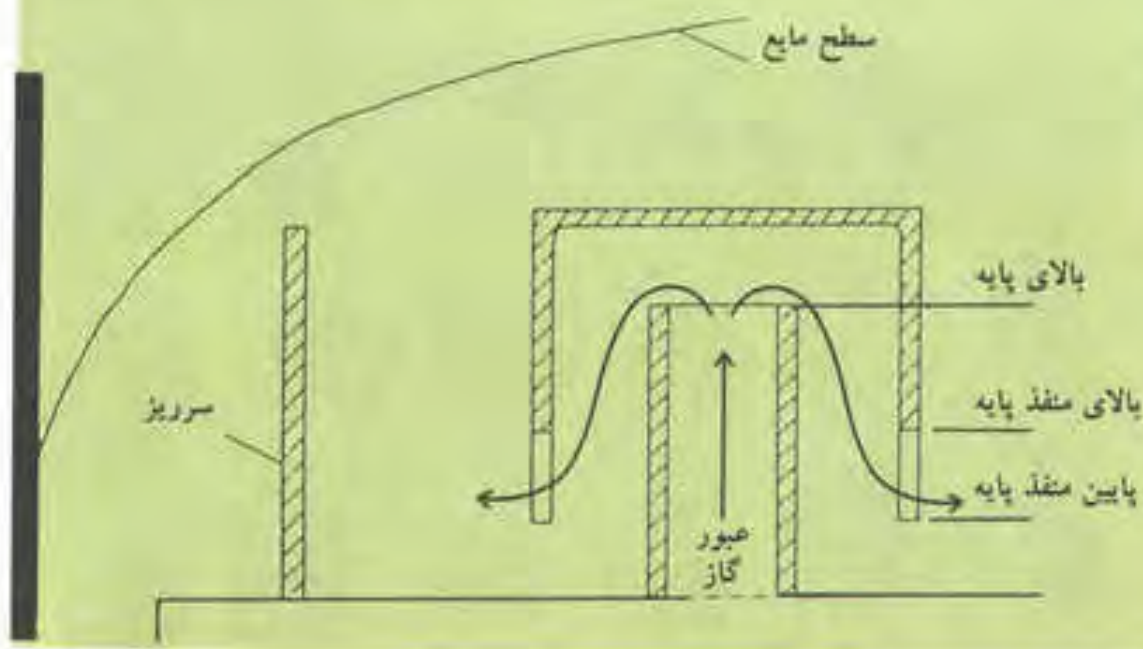


شکل ۱۱-۱۳- چند نمونه کلاهک

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 بالای رود 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



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



شکل ۱۱-۱۵- شکل ساده کلاهک روی سینی

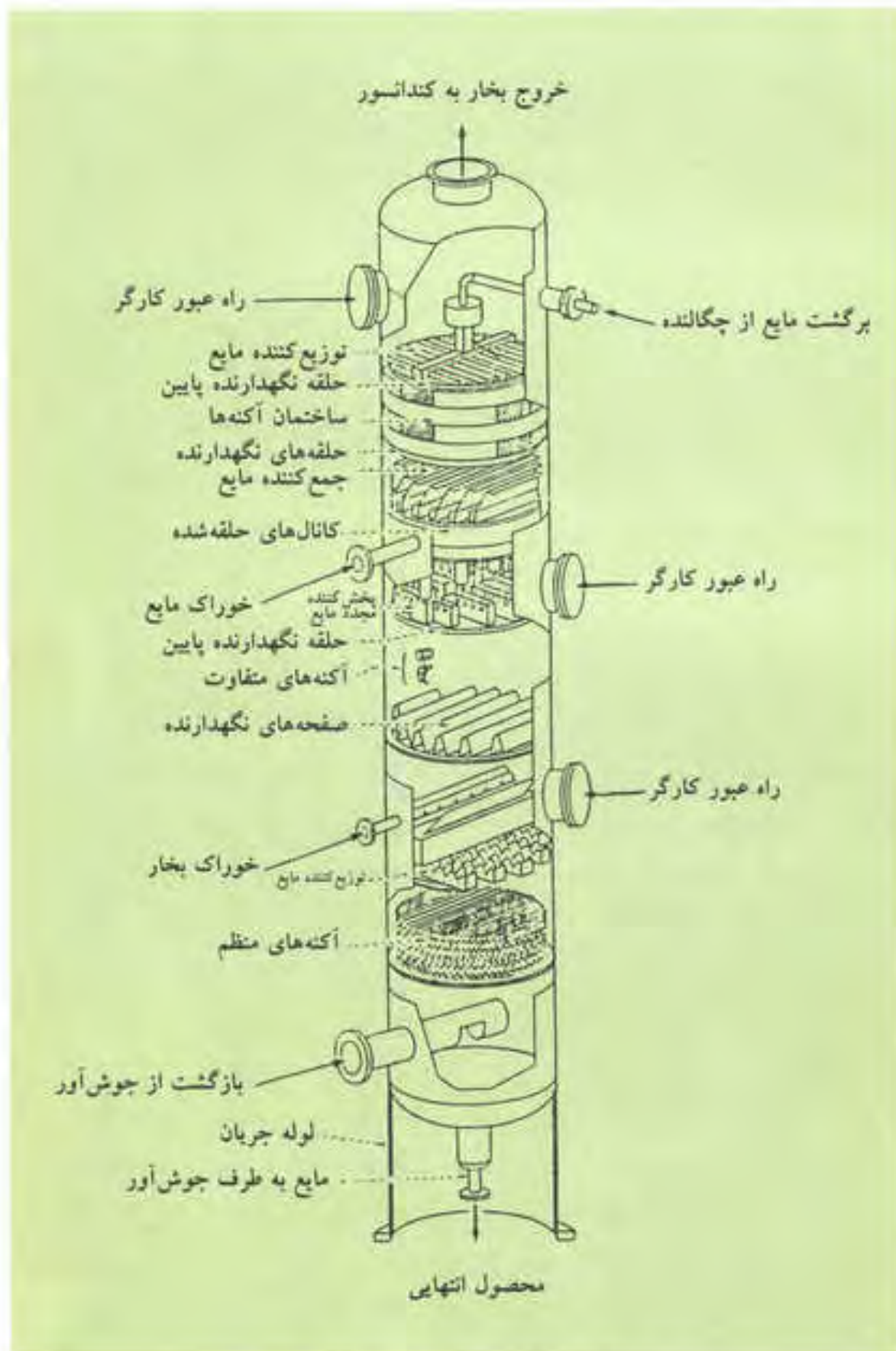
تشکیل کک تشکیل پلیمر یا جرم گرفتگی وجود دارد.

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. ۱۱-۷-۳- برج‌های آکنده^۱: برج‌های آکنده جهت تماس بین دو سیال غیرقابل امتزاج گاز و مایع یا دو مایع به طور وسیع مورد استفاده است. به عنوان 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 (به عنوان مثال برای جلوگیری از خوردگی) برج‌های آکنده می‌توانند جایگزین برج‌های سینی‌دار شوند. در برج‌های با قطر بزرگ و به خصوص 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.

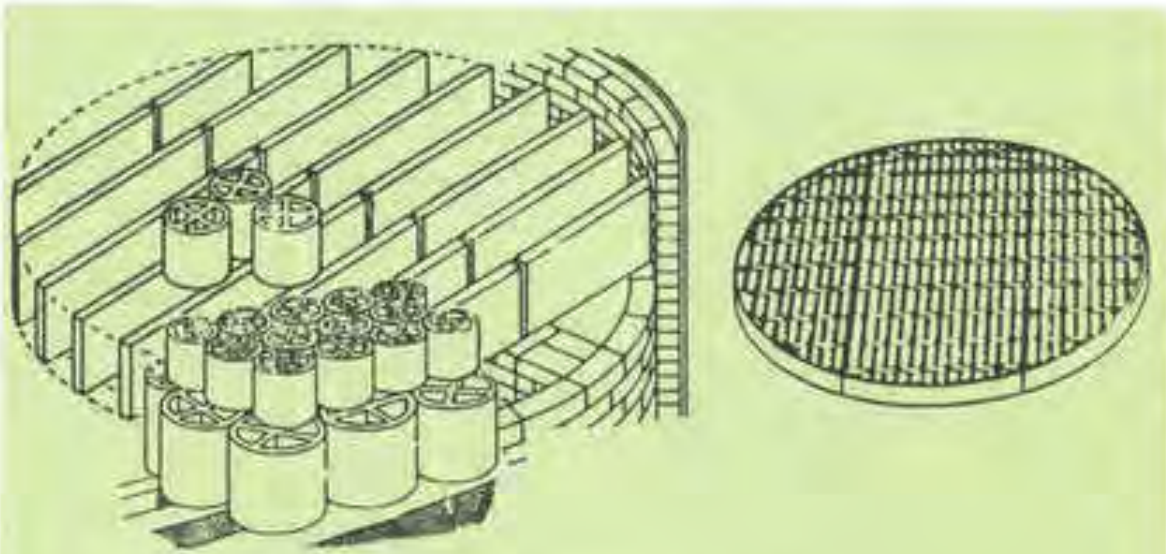
در مواردی که از برج آکنده برای تماس مایع - بخار استفاده می‌شود، مایع روی سطح آکنه به طرف پایین جریان می‌یابد و بخار از فضای خالی داخل آکنه به طرف بالا عبور می‌کند. هدف استفاده از آکنه^۱ تأمین تماس لازم بین مایع و بخار در یک سطح گسترده به منظور انجام بهتر عمل انتقال جرم بین دو فاز است. در عین حال مواد 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 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 آکنه، از توزیع‌کننده مایع^۲ جهت پخش یک‌نواخت مایع بر روی آکنه استفاده می‌شود.

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

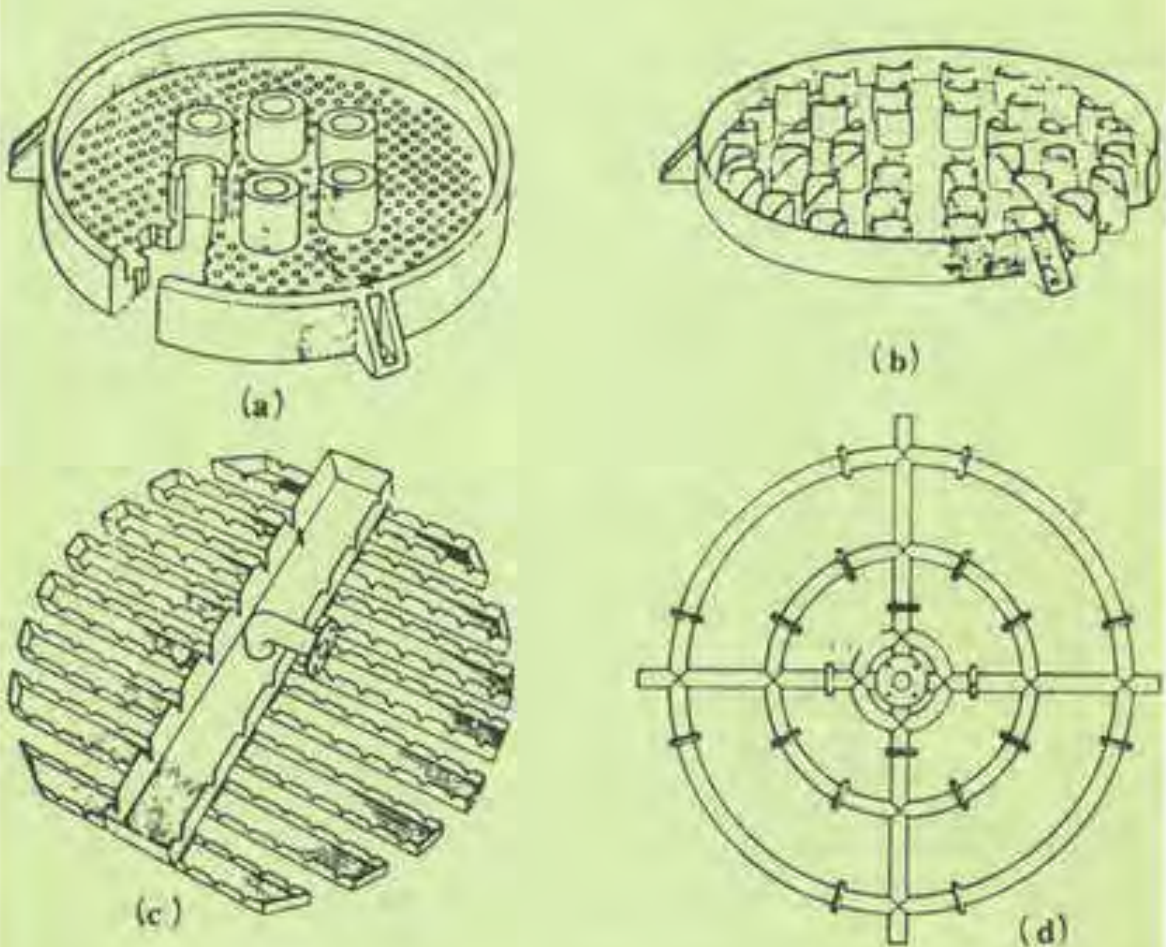
هنگامی که ارتفاع برج زیاد باشد، استفاده از صفحات توزیع‌کننده میانی در داخل برج ضروری است. فاصله بین دو صفحه متوالی پخش‌کننده نباید از ۶ متر بیشتر باشد. جهت تزیق گاز از پایین برج و به منظور تأمین مسیرهای متفاوت مایع و گاز در انتهای



شکل ۱۱-۱۶- شمای کلی برج آکنده

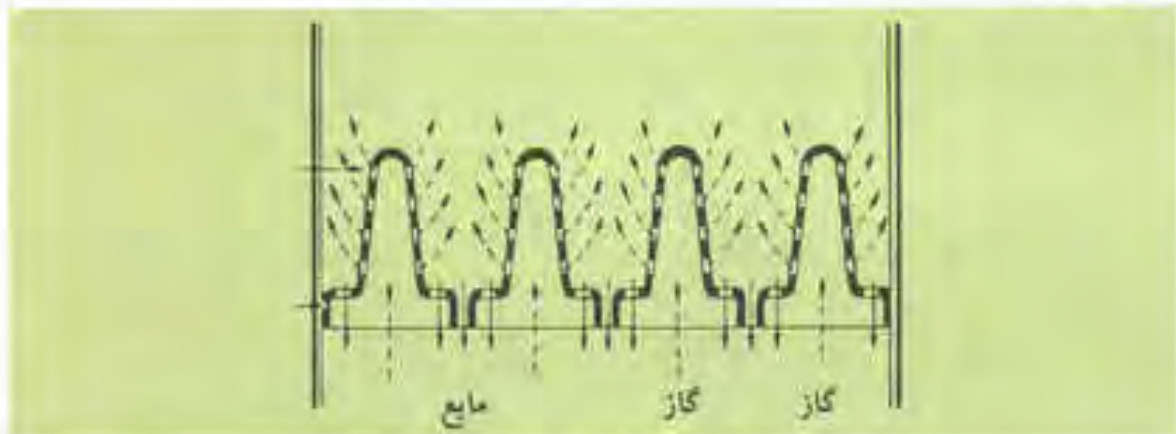


شکل ۱۱-۱۷- صفحات نگهدارنده آگنه



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

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. هنگامی که ارتفاع برج زیاد باشد، استفاده از صفحات توزیع کننده مایع در داخل برج ضروری است.



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 راشینگ^۱، حلقه‌های پال^۲، حلقه‌های سینگ^۳، و نوع زین اسبی^۴ نام برد. در ضمن آکنه‌های جدیدتر مانند ابتالوکس^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. به طور کلی با افزایش اندازه آکنه هزینه ساخت برج به ازای واحد حجم آکنه و همچنین

۱- Raschig Rings

۲- Pall Rings

۳- Lessing Ring

۴- Saddle Type

۵- Intalox

۶- Hy-Pak



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



ب- حلقه‌های سرامیکی-پلاستیکی و فلزی پال



ب- حلقه‌های یک‌فلزی



ت- آکنه‌های ایتالوکس زین‌اسبی سرامیکی (Intalox Saddles)



ث- آکنه‌های ایتالوکس پلاستیکی



ج- آکنه زین‌اسبی

شکل ۱۱-۲۰- چند نمونه آکنه

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. 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 به طور منظم بر روی هم قرار می‌گیرند تشکیل شده‌اند. شکل ۱۱-۲۱ نمونه‌هایی از آکنه‌های منظم را نشان می‌دهد.



شکل ۱۱-۲۱- چند نمونه آکند منظم

۱۱-۸- برج های استخراج

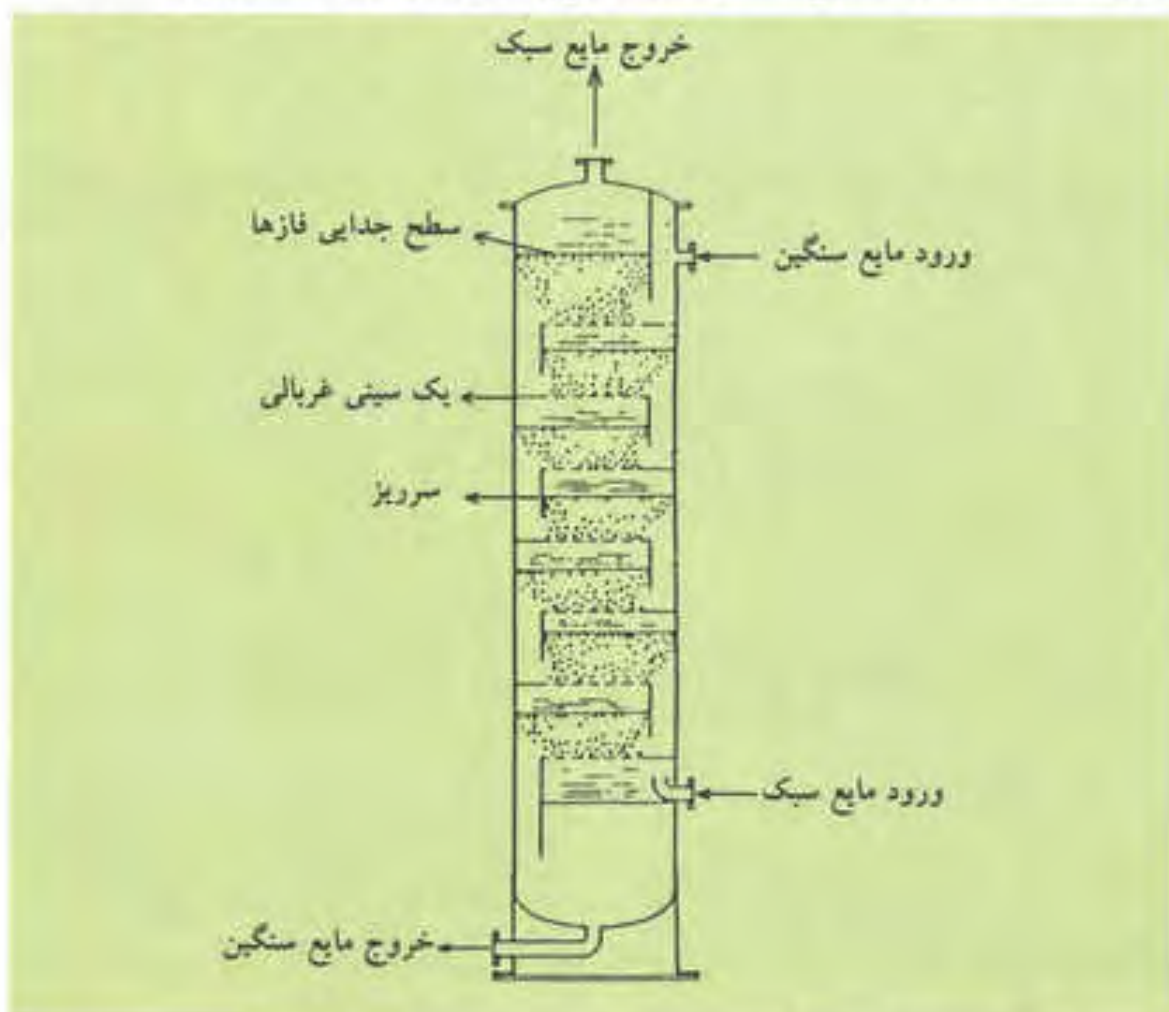
در کلیه دستگاه های استخراج باید دو عمل «اختلاط خوراک و حلال» و «جدا شدن محلول استخراج شده و محلول باقی مانده» که در مجموع یک مرحله از عملیات استخراج را تشکیل می دهند، انجام شود. در اغلب برج های استخراج بسته به خواص فیزیکی خوراک و حلال (نظیر حلالیت، دانسیته، کشش سطحی) و خلوص مورد نیاز برای محصول، چندین مرحله عملیات استخراج اجرا می شود. دستگاه های استخراج بسیار متنوع هستند. در زیر با چند نوع از این دستگاه ها آشنا می شوید.

۱۱-۸-۱- برج های پاششی: این دستگاه ها ساده ترین وسیله برای اجرای عملیات استخراج می باشند که صرفاً شامل یک محفظه توخالی هستند که در بالا و پایین آن محل هایی برای ورود و خروج مایعات پیش بینی شده است. در این برج ها فقط یک مرحله عملیات استخراج اجرا می شود که در آن عمل اختلاط خوراک و حلال به ساده ترین و بدترین شکل انجام می گردد. محلول استخراج شده و محلول پس مانده به دلیل اختلاف دانسیته از یکدیگر جدا، یکی از بالا و دیگری از پایین برج خارج می شوند. شکل ۱۱-۲۲ چگونگی عمل این برج ها را نشان می دهد.

۱۱-۸-۲- برج های سینی دار: شکل ۱۱-۲۳ یک برج سینی دار غربالی را که به منظور اجرای عملیات استخراج مورد استفاده قرار می گیرد نشان می دهد. مایع مهبک از پایین برج وارد می شود و به سمت بالا حرکت می کند. به هنگام عبور این مایع از



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

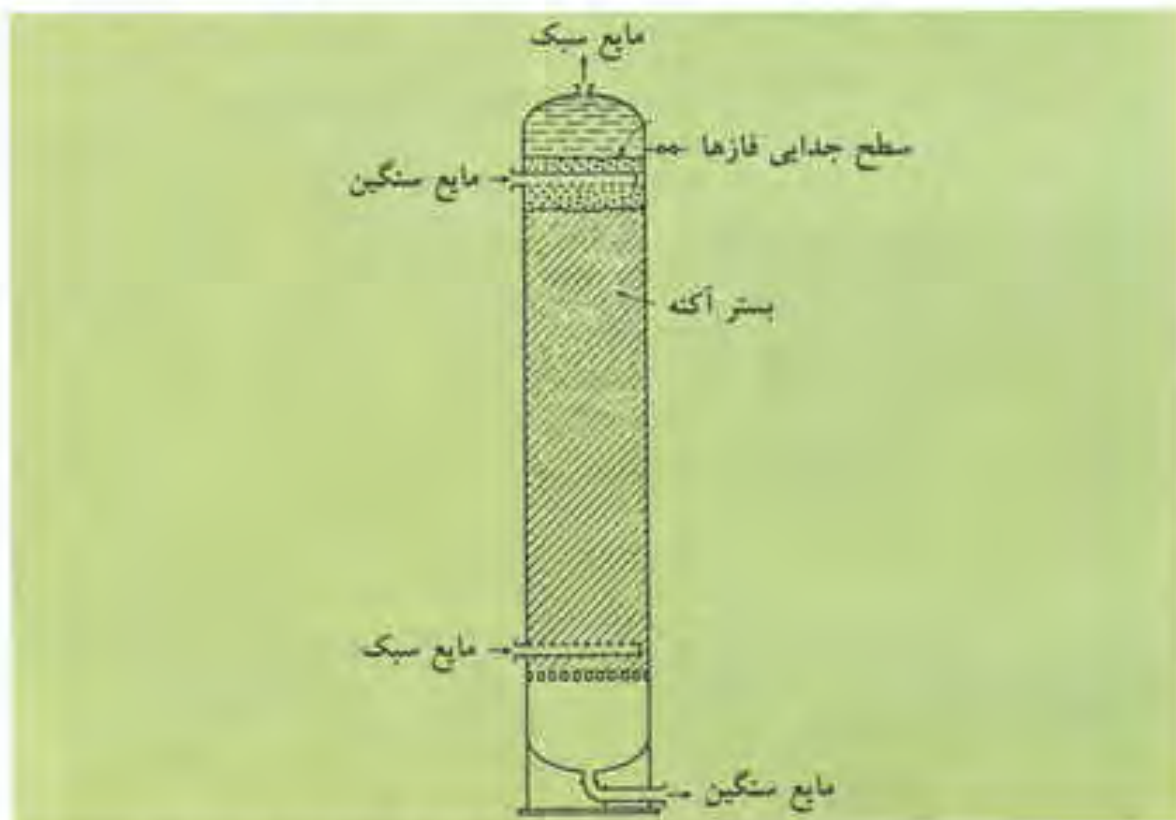


شکل ۱۱-۲۳- برج استخراج با سینی غربالی که برای پخش مایع سبک طراحی شده است.

سوراخ‌های سینی به صورت قطرات کوچک درآمد 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.

۱۱-۸-۳- برج‌های آکنده: برج‌های آکنده نیز همانند برج‌های سینی‌دار در عملیات تقطیر، جذب (تماس گاز-مایع) و استخراج به کار می‌روند. در اجرای عملیات استخراج،



شکل ۱۱-۲۶- برج‌های آکنده برای استخراج (مایع سبک پخش شده است)

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 لایه‌های آکنه‌ها و از داخل مایع سنگین بالا می‌رود و در نهایت در قسمت بالایی بستر آکنه به صورت یک فاز مجتمع می‌گردد. سطح جدایی فازها در بالایی 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 مینی‌های فلزی امکان‌پذیر نباشد، استفاده از برج‌های آکنده با آکنه‌هایی از جنس سرامیک یا پلاستیک بهترین جایگزین است.

۱۱-۸-۴- استخراج کننده با همزن مکانیکی^۱: در برج‌های پاششی، سینی‌دار، غربالی و آکنده وقتی که اختلاف دانسیته خوراک و حلال 0.1 g/cm^3 یا کم‌تر می‌باشد و کشش سطحی آن‌ها زیاد است، پخش و اختلاط خوراک و حلال در یکدیگر به خوبی انجام نمی‌شود 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 می‌شود. در نتیجه عملیات استخراج به نحو مطلوب صورت می‌گیرد. انواع مختلف همزن‌های مکانیکی در داخل برج‌های استخراج به کار می‌رود. شکل ۱۱-۲۵ یک نوع برج استخراج با همزن مکانیکی با پره‌های توربینی^۲ را نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل مشاهده می‌شود، جهت اختلاط بهتر این برج مجهز به بافل و توزیع‌کننده فازهای مایع است.

شکل ۱۱-۲۶ نوع دیگری از برج‌های استخراج را که استخراج‌کننده با صفحات چرخان (RDC)^۳ نام دارد نشان می‌دهد. در این دستگاه بافل‌های عمودی وجود ندارد و اختلاط در اثر حرکت صفحات چرخان به وجود می‌آید که سرعت دوران صفحات چرخان از پره‌های توربینی بیشتر است.

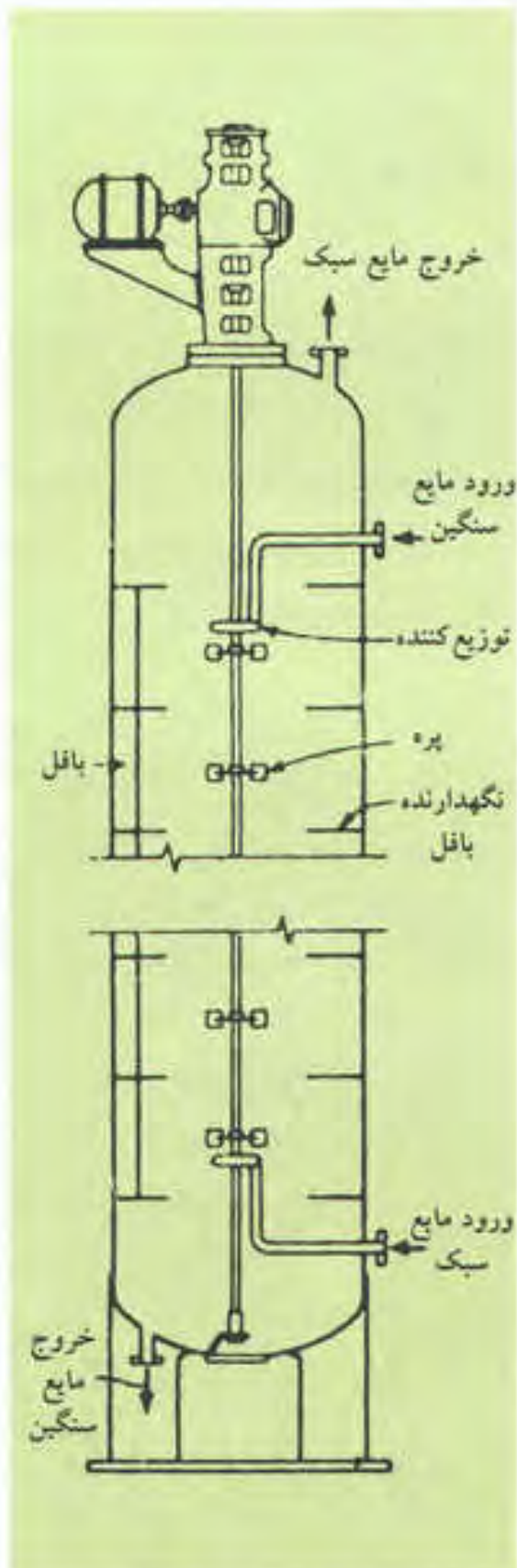
۱- Mechanically Agitated Extractor

۲- این نوع استخراج‌کننده‌ها را Oldshue-Rushon می‌نامند.

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 25°C به ترتیب دارای فشار بخارهای ۶۰۰، ۱۱۸/۵ و ۴۰۲ میلی متر جیوه هستند. کدامیک از این مواد سبک تر و دارای نقطه جوش پایین تر و کدامیک سنگین تر و دارای نقطه جوش بالاتر است؟
- ۲- قابلیت تبخیر (فراریت) نسبی را با فرمول زیر نشان می دهیم.

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

فراریت نسبی ماده A نسبت به B

$P_A = A$ فشار بخار جزء A

$P_B = B$ 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 B نسبت به C 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 می شود؟ چرا؟

- ۵- در چه مواردی عمل تقطیر تحت خلأ یا تحت فشار انجام می شود؟
- ۶- اصول استخراج مایع از مایع را توضیح دهید (فرض کنید محلول دوجزئی A و B را داریم و می خواهیم 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 برج های آکنده می توانند جایگزین

برج‌های سینی دار شوند؟ در چه موردی 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 سینی دار غربالی در عملیات استخراج مایع از مایع را شرح دهید.

۱۴- هنگامی که عمل اختلاط فازها در برج‌های سینی دار 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 می‌شود؟

ب- هر مرحله از عملیات استخراج ابتدا با $\frac{\text{اختلاط}}{\text{جدا شدن}}$ فازها آغاز می‌شود و سپس در پی آن $\frac{\text{اختلاط}}{\text{جدا شدن}}$ فازها انجام می‌شود.

ج- متداول‌ترین و مهم‌ترین 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 هپل بلاو، ترجمه دکتر مرتضی سهرابی، ۱۳۷۰ پلی تکنیک
- ۳- کنترل فرآیندها، تألیف: کاک ناور + کابل، ترجمه دکتر گو درزیبا، ۱۳۷۰
- ۴- طراحی و تنظیم سیستم‌های کنترل در واحدهای شیمیایی نفت و گاز، تألیف: سیدپندار 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 مکا کیب چاپ پنجم، ترجمه عطاء الله امینی ۱۳۷۹
- ۷- مبانی صنایع شیمیایی (۱) کد (۴۸۰)، تألیف: دکتر داوود رشتجیان، سیروس قطبی، غلامحسین غلامی سعیدی
- ۸- جزوه آموزش اصول انتخاب و طراحی همزن‌ها، مصطفی زارعی 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 Richardsons, 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
۱۸. Pump for the offshore oil industry, Sulzer company, 1991
۱۹. Casing Manual by: Ebara corporation, 1995
۲۰. Centrifugal pump of the oil and gas industry, by: Mannes Mann Demag company, 1995
۲۱. Platon, instrumentation flow bit, Flow, pressure measurement and control experiment. by: Platon corporting, 1991
۲۲. Mass transfer operation, by: Treyball 3th Edition, 1979, Mc-GrawHill
۲۳. Mixing in the proces industries. N. Ham by M.F edwards, A.W. Nienow, Butterworth and Co. 1989.





شابک X - ۹۸۵ - ۰ - ۹۶۴
ISBN 964-05-0985-X

۱۳۸۱

قیمت در تمام کشور ۳۱۰۰ ریال