دانشگاه گیلان
۱۳۵۳-1974

سیستم ها و تجهیزات تکنولوژی فرایند

تألیف : چارلز ای.توماس

ترجمه :

ناز چائی بخش

دانشیار دانشکده علوم پایه دانشگاه گیلان

لیلا ارشادی افشار، ریحانه رحیم پورلنگرودی،
سید مهدی میرباهوش

چاپ اول

مرکز نشر دانشگاه گیلان

سیستم ها و تجهیزات تکنولوژی فرایند

ترجمه : ناز چائی بخش، لیلا ارشادی افشار، ریحانه رحیم پور لنگرودی، سید مهدی میرباهوش

Process Technology Equipment & Systems

By:Charles E. Thomas

Translated by:

Naz Chaibakhsh, Ph.D
Leila Ershadi Afshar
Reyhaneh Rahimpour Langroudi
Seyyed Mehdi Mirbahoush

University Of Guilan Press

9786001532702

ISBN :978-600-153-270-2

بسم الله الرحمن الرحیم

سیستم‌ها و تجهیزات تکنولوژی فرآیند

تألیف:

چارلز ای. توماس

ترجمه:

دکترناز چائی‌بخش

دانشیار دانشکده علوم پایه دانشگاه گیلان

لیلا ارشادی‌افشار، ریحانه رحیم‌پورلنگرودی،

سیّد مهدی میرباهوش

مرکز نشر دانشگاه گیلان

۱۴۰۱

دانشگاه گیلان
۱۳۵۳-1974

شابک: ۲ـ۲۷۰ـ ۱۵۳ ـ ۶۰۰ ـ ۹۷۸

سرشناسه	: توماس، چارلز ای. Thomas, Charles E.
عنوان و نام پدیدآور	: سیستم‌ها و تجهیزات تکنولوژی فرآیند/چارلزای توماس ؛ ترجمه ناز چائی‌بخش‌لنگرودی...[و دیگران] ؛ ویراستار علمی علیرضا پنداشته ؛ ویراستار ادبی فرشته گلچین‌راد.
مشخصات نشر	: رشت: دانشگاه گیلان، ۱۴۰۱.
مشخصات ظاهری	: ۵۵۵ص.؛ مصور، جدول.
شابک	: 978-600-153-270-2
وضعیت فهرست نویسی	: فیپا
یادداشت	: عنوان اصلی: Process technology equipment and systems,3rd ed ,2011.
یادداشت	: ترجمه ناز چائی‌بخشلنگرودی، لیلا ارشادی‌افشار، ریحانه رحیم‌پورلنگرودی، سیدمهدی میرباهوش.
یادداشت	: واژه‌نامه.
موضوع	: شیمی -- فرایندها -- وسایل و تجهیزات Chemical processes -- Equipment and supplies شیمی -- فرایندها Chemical processes
شناسه افزوده	: چایی‌بخش لنگرودی، ناز، مترجم
شناسه افزوده	: پنداشته، علیرضا، ۱۳۵۱ -، ویراستار
شناسه افزوده	: دانشگاه گیلان
رده بندی کنگره	: TP۱۵۵/۷
رده بندی دیویی	: ۶۶۰/۲۸
شماره کتابشناسی ملی	: ۸۸۶۹۲۸۹
اطلاعات رکورد کتابشناسی	: فیپا

مرکز نشر دانشگاه گیلان

نام کتاب : سیستم‌ها و تجهیزات تکنولوژی فرآیند
تألیف : چارلز ای. توماس
مترجمان : دکتر ناز چائی بخش، لیلا ارشادی‌افشار، ریحانه رحیم‌پورلنگرودی، سیّدمهدی میرباهوش
ویراستار علمی : دکتر علیرضا پنداشته
ویراستار ادبی : فرشته گلچین راد
نوبت چـاپ : اول، ۱۴۰۱
ناشـر : مرکز نشردانشـگاه گیـلان

* هر گونه چاپ و تکثیر صرفاً در اختیار مرکز نشر دانشگاه گیلان است.*

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

پیشگفتار نویسنده ..... ط

پیشگفتار مترجمین ..... ع

فصل اول: مقدمه‌ای بر تجهیزات فرایند

۱–۱– ابزاردستی اولیه ۲

۱–۲– تجهیزات دوار ۳

۱–۲–۱– گرداننده‌ها و تجهیزات متحرک ۴

۱–۲–۲– جعبه‌دنده و انتقال نیرو ۶

۱–۲–۳– موتورهای الکتریکی ۷

۱–۲–۴– پمپ‌های گریز از مرکز ۸

۱–۲–۵– پمپ‌های جابجایی مثبت ۸

۱–۲–۶– کمپرسورهای دینامیکی ۹

۱–۲–۷– کمپرسورهای جابه‌جایی مثبت ۹

۱–۲–۸– توربین بخار ۱۰

۱–۲–۹– روانکاری تجهیزات ۱۰

۱–۲–۱۰– یاتاقان‌ها ۱۱

۱–۲–۱۱– آب‌بندها ۱۱

۱–۳– تجهیزات ثابت ۱۲

۱–۳–۱– لوله‌ها و مخازن ۱۲

۱–۳–۲– شیرهای دروازه‌ای، کروی و توپی ۱۵

۱–۳–۳– فیلترها ۱۶
۱–۳–۴– مبدل‌های حرارتی ۱۷
۱–۳–۵– برج‌های خنک‌کن ۱۸
۱–۳–۶– بویلرها ۱۹
۱–۳–۷– کوره ۱۹
۱–۳–۸– راکتور ۲۰
۱–۳–۹– ستون‌های تقطیر ۲۲
۱–۴ چک‌لیست‌های تجهیزات ۲۳
خلاصه ۲۴
سؤالات مروری ۲۶
فصل دوم: شیرها
۲–۱– کاربردهای شیر و تئوری عملکرد ۲۸
۲–۱–۱– طبقه‌بندی شیرها ۲۹
۲–۱–۲– حک بدنه ۲۹
۲–۲– شیرهای دروازه‌ای ۲۹
۲–۲–۱– دریچه‌های رایج ۳۱
۲–۲–۲– مواد شیر دروازه‌ای ۳۳
۲–۲–۳– ساقه بالارونده و غیر بالارونده ۳۴
۲–۲–۴– نگهداری ۳۴
۲–۳– شیرهای کروی ۳۵
۲–۳–۱– چهار طرح رایج دیسک ۳۷
۲–۳–۲– مواد شیر کروی ۳۷
۲–۴– شیرهای توپی ۳۹

۲–۵– شیرهای یک‌طرفه ۴۰
۲–۶– شیرهای پروانه‌ای ۴۴
۲–۷– شیرهای سماوری ۴۴
۲–۷–۱– طراحی شیر سماوری ۴۵
۲–۷–۲– نگهداری ۴۵
۲–۸– شیرهای دیافراگمی (غشایی) ۴۶
۲–۹– شیرهای ایمنی و فشارشکن ۴۷
۲–۹–۱– شیرهای فشارشکن ۴۷
۹-۲–۲– شیرهای اطمینان ۴۹
۲–۱۰– شیرهای اتوماتیک ۵۰
۲–۱۰–۱– عملگرهای نیوماتیک ۵۱
۱۰-۲–۲– عملگرهای الکتریکی ۵۳
۳-۱۰-۲- عملگرهای هیدرولیک ۵۳
۲–۱۱– نمادهای شیر ۵۳
خلاصه ۵۵
سؤالات مروری ۵۶

فصل سوم: لوله‌کشی و مخازن

۳–۱– محوطه مخازن ۵۸
۱-۱-۳- پیگ‌رانی ۵۹
۳–۲– طرح‌های مخزن و دسته‌بندی‌ها ۶۰
۳–۲–۱– مخازنی اتمسفریک ۶۰
۳–۲–۲– مخازنی سقف شناور ۶۰

۳–۲–۳– مدل‌های دیگر مخازنی اتمسفریک ۶۳
۳–۲–۴– مخازنی فشاری ۶۴
۳–۲–۵– مخازنی سقف مخروطی: کم‌فشار تا فشار متوسط ۶۴
۳–۲–۶– مخزن نیم‌کروی یا گنبدی: کم‌فشار تا فشار متوسط ۶۴
۳–۲–۷– مخازنی روکش‌دار ۶۷
۳–۳– لوله‌کشی ۶۸
۳–۳–۱– لوله‌های فولادی و سایر انواع لوله ۷۱
۳–۳–۲– لوله‌کشی چدن ۷۲
۳–۳–۳ لوله‌کشی مارپیچی ۷۴
۳–۳–۴– لوله‌کشی جوشی ۷۴
۳–۳–۵– لوله‌کشی روکش‌دار، توخالی و پیمایشی ۷۶
۳–۴– مخازن (تحت‌فشار) ۷۷
۳–۴–۱– مستندسازی و طراحی مخزن ۷۷
۳–۴–۲– بازرسی ۸۴
خلاصه ۹۶
سؤالات مروری ۹۸

فصل چهارم: پمپ‌ها

۴–۱– کاربردها و طبقه‌بندی پمپ‌ها ۱۰۰
۴–۲– لغزش داخلی ۱۰۲
۴–۳– پمپ‌های دینامیک ۱۰۴
۴–۴– پمپ‌های گریز از مرکز ۱۰۴
۱-۴-۴- اجزاء پایه ۱۰۵
۴–۴–۲– طراحی پمپ ۱۰۷

۴–۴–۳– طراحی پروانه ۱۰۸
۴-۴-۴- هد (فشار) ۱۰۹
۴–۴–۵– منحنی‌های پمپ ۱۱۳
۴-۴–۶– پمپ‌های تک‌مرحله‌ای و چندمرحله‌ای ۱۱۶
۴–۵– پمپ‌های محوری ۱۱۷
۴–۶– پمپ جتی (جت‌پمپ) ۱۱۸
۴–۷– پمپ‌های جابجایی مثبت ۱۱۹
۴–۸– پمپ‌های دوار ۱۲۰
۸-۴–۱– پمپ‌های دوار تک پیچ (پمپ حفره پیش‌رونده) ۱۲۱
۸-۴–۲– پمپ‌های دوار چند پیچه ۱۲۲
۸-۴–۳– پمپ‌های دنده‌ای ۱۲۴
۴–۸–۴– پمپ‌های پره‌ای لغزشی ۱۲۷
۴–۸–۵– پمپ‌های پره‌ای انعطاف‌پذیر ۱۲۸
۴–۸–۶– پمپ‌های گوشواره‌ای (لوب‌پمپ) ۱۲۹
۹-۴– پمپ‌های رفت و برگشتی ۱۲۹
۴–۹–۱– پمپ‌های دیافراگمی ۱۳۰
۴–۹–۲– پمپ‌های پیستونی و پلانجری ۱۳۱
۱۰-۴– پمپ‌های خلأ ۱۳۳
۱۱-۴– راه‌اندازی، خاموشی و رفع مشکلات ۱۳۴
۴–۱۲– نماد پمپ‌ها ۱۳۷
خلاصه ۱۳۸
سؤالات مروری ۱۳۹

فصل پنجم: کمپرسورها

۱-۵-طبقه‌بندی و کاربردهای کمپرسورها ۱۴۲

۵– ۲– کمپرسورهای دینامیکی ۱۴۴

۵–۲–۱– کمپرسورهای گریز از مرکز ۱۴۴

۵–۲–۲– کمپرسورهای جریان محوری ۱۴۷

۵–۴– فن‌ها و دمنده‌ها ۱۵۰

۵–۵– کمپرسورهای جابهجایی مثبت ۱۵۰

۵–۶– کمپرسورهای روتاری ۱۵۱

۵–۶–۱– کمپرسورهای روتاری اسکرو ۱۵۱

۵–۶–۲– کمپرسورهای پره لغزان ۱۵۲

۵–۶–۳– کمپرسورهای گوشواره‌ای ۱۵۳

۵–۶–۴– کمپرسورهای حلقه روغنی ۱۵۵

۵–۶–۵– کمپرسورهای اسکرول ۱۵۵

۵–۶–۶– کمپرسورهای رفت و برگشتی پیستونی ۱۵۷

۵–۶–۷– کمپرسورهای دیافراگمی ۱۶۱

۵–۷– تجهیزات پشتیبان در یک سیستم کمپرسور ۱۶۳

۵–۸– استارت، خاموش کردن و رفع اشکال سیستم‌های کمپرسوری ۱۶۵

۵–۹– نماد کمپرسورها ۱۶۷

خلاصه ۱۶۸

سؤالات مروری ۱۷۰

فصل ششم: توربین‌ها و موتورها

۶–۱– انواع توربین ۱۷۲

۶–۲– تاریخچه توربین‌های بخاری ۱۷۲

۶–۳– اصول عملیاتی توربین‌های بخاری ۱۷۳
۶–۴– اجزای اصلی توربین بخاری ۱۷۵
۶–۵– مشکلات توربین بخاری ۱۸۱
۶–۶– راه‌اندازی یک توربین بخاری ۱۸۲
۶–۷– توربین‌های گازی ۱۸۳
۶–۸– موتورهای الکتریکی ۱۸۶
۶–۹– نمادهای توربین‌ها و موتورها ۱۸۹
خلاصه ۱۹۰
سؤالات مروری ۱۹۱

فصل هفتم: مبدل‌های حرارتی

۷–۱– انواع مبدل‌های حرارتی ۱۹۴
۷–۲– انتقال حرارت و جریان سیال ۱۹۶
۷–۲–۱– هدایت ۱۹۷
۷–۲–۲– جابه‌جایی ۱۹۷
۷–۲–۳– انتقال حرارت تابشی ۱۹۸
۷-۲-۴- جریان درهم و آرام ۱۹۸
۷–۲–۵– جریان سری و موازی ۱۹۹
۷–۲–۶– کارایی مبدل‌های حرارتی ۲۰۰
۷–۳– مبدل حرارتی دو لوله‌ای ۲۰۱
۷–۳–۱– مبدل‌های حرارتی هیرپین (سنجاق سری) ۲۰۲
۷–۴– مبدل‌های پوسته و لوله ۲۰۳
۷–۵– ریبویلرها ۲۱۳

۷–۵–۱– ریبویلر کتری (کتل) ۲۱۴
۷–۵–۲– ریبویلرهای ترموسیفون افقی و عمودی ۲۱۶
۷–۵–۳– ریبویلر stab-in ۲۱۶
۷–۵–۴– ریبویلر ژاکت روغن داغ ۲۱۶
۷–۶– مبدل‌های حرارتی صفحه‌ای واشردار (قاب و صفحه) ۲۱۷
۷–۶–۱– مبدل‌های حرارتی حلزونی (مارپیچ) ۲۱۹
۷–۷– مبدل‌های حرارتی هوا خنک (کولر هوایی) ۲۲۱
۷–۸– مبدل‌های حرارتی و سیستم‌ها ۲۲۲
۷–۸–۱– سیستم انتقال حرارت ۲۲۲
۷–۸–۲– برج‌های خنک‌کننده ۲۲۵
۷–۸–۳– ستون‌های تقطیر ۲۲۵
۷–۹– نمادهای مبدل‌های حرارتی ۲۲۶
خلاصه ۲۲۸
سؤالات مروری ۲۲۹

فصل هشتم: برج‌های خنک‌کننده

۸–۱– کاربرد های برج خنک‌کننده و نظریهٔ عملیات ۲۳۲
۸–۲– اجزای اصلی برج خنک‌کننده ۲۳۳
۸–۳– طبقه‌بندی برج‌های خنک‌کننده ۲۳۴
۸–۴– برج خنک‌کننده اتمسفری ۲۳۵
۸–۵– برج خنک‌کننده مکش طبیعی ۲۳۶
۸–۶– برج خنک‌کننده مکش اجباری ۲۳۷
۸–۷– برج خنک‌کننده مکش القایی ۲۳۸
۸–۸– سیستم خنک‌کنندهٔ آبی ۲۴۱

۸–۹– مشکل موجود در ارتباط با آب ۲۴۲
۸–۱۰– سیستم برج خنک‌کننده ۲۴۳
۸–۱۰–۱– برج خنک‌کننده ۳۰۲ ۲۴۴
۸–۱۰–۲– مخاطرات ایمنی ۲۴۵
۸–۱۱– مشخصات تحلیلی کنترل در سیستم برج خنک‌کننده ۲۴۸
۸–۱۲– مشکلات رایج برج‌های خنک‌کننده و راه حل آن‌ها ۲۵۰
۸–۱۳– نماد های برج‌های خنک‌کننده ۲۵۳
خلاصه ۲۵۵
سؤالات مروری ۲۵۶

فصل نهم: بویلرها (دیگ‌های بخار)

۹–۱– کاربردها و عملیات اولیهٔ بویلرها ۲۵۸
۹–۲– بویلرهای لوله آتشی (فایرتیوب) ۲۵۸
۹–۳– بویلرهای لوله آبی (واترتیوب) ۲۵۹
۹–۴– اجزای اصلی ۲۶۲
۹–۵– کاربردهای بویلرها ۲۶۴
۹–۶– بخار ۲۶۵
۹–۷– عملیات بویلر ۲۶۶
۹–۸– سیستم‌های بخار ۲۶۶
۹–۸–۱– تله بخار سطلی معکوس ۲۶۷
۹–۸–۲– تله بخار شناور ۲۶۹
۹–۸–۳– تله بخار ترموستاتیکی فانوسی ۲۶۹
۹–۹– سیستم تولید بخار ۲۷۰

۹–۱۰– نمادهای سیستم بخار ۲۷۲
خلاصه ۲۷۴
سؤالات مروری ۲۷۵

فصل دهم: کوره‌ها

۱۰–۱– کاربردهای کوره‌ها و شرح عملیات ۲۷۸
۱۰–۱–۱– انتقال حرارت ۲۷۸
۱۰–۱–۲– احتراق ۲۷۹
۱۰–۱–۳– ارزش گرمایی سوخت (گرمای سوختن) ۲۷۹
۱۰–۲– اجزای اصلی کوره ۲۸۰
۱۰–۲–۱– آتشدان و لایهٔ نسوز ۲۸۰
۱۰–۲–۲– لوله‌های تابشی و جابه‌جایی ۲۸۱
۱۰–۲–۳– دمندهٔ دوده ۲۸۲
۱۰–۲–۴– تعدیل کننده (دمپر یا خفه کن) دودکش ۲۸۳
۱۰–۲–۵– نسبت هوا به سوخت ۲۸۵
۱۰–۶–۲– مشعل‌ها و رجیسترهای هوا ۲۸۶
۱۰–۲–۷– بخش دیوارپل ۲۸۹
۱۰–۲–۸– هیتر فرایند مکش اجباری ۲۸۹
۱۰–۲–۹– سیستم سوخت ۲۹۰
۱۰–۳– انواع کوره ۲۹۰
۱۰–۳–۱– مکش ۲۹۱
۱۰–۳–۲– شعله-مستقیم و غیرمستقیم ۲۹۳
۱۰–۳–۳– کوره کابینتی ۲۹۳
۱۰–۳–۴– کوره استوانه‌ای ۲۹۷

۱۰–۳–۵– کوره جعبه‌ای ۲۹۸
۱۰–۴– مشکلات رایج کوره‌ها و راه حل آن‌ها ۲۹۹
۱۰–۵– سیستم کوره ۳۰۳
۱۰–۶– نمادهای کوره‌ها ۳۰۴
خلاصه ۳۰۶
سؤالات مروری ۳۰۷
فصل یازدهم: ابزاردقیق
۱۱–۱– ابزارهای اصلی ۳۱۰
۱۱–۱–۱– اندازه‌گیری دما ۳۱۰
۱۱–۱–۲– اندازه‌گیری فشار ۳۱۳
۱۱–۱–۳– اندازه‌گیری جریان سیال ۳۲۲
۱۱–۱–۴– اندازه‌گیری سطح ۳۲۹
۱۱–۲– اجزای نهایی کنترل ۳۳۹
۱۱–۲–۱– شیرهای خودکار ۳۳۹
۱۱–۲–۲– اینترلاک‌ها و پرمیسیوها ۳۴۱
۱۱–۲–۳– کنترل دستی و خودکار ۳۴۲
۱۱–۲–۴– کنترل آبشاری ۳۴۲
۱۱–۲–۵– کنترل تحلیلی ۳۴۴
خلاصه ۳۴۵
سؤالات مروری ۳۴۶
فصل دوازدهم: نمودارهای فرایند
۱۲–۱– انواع نمودارهای فرایند ۳۴۸

۱۲–۱–۱– نمادهای پایه‌ای ابزارها ۳۴۸
۱۲–۱–۲– نمودارهای جریان ۳۵۰
۱۲–۱–۳– طرح‌های فرایند و ابزارها ۳۵۲
۱۲–۲– مروری بر نمادهای اولیه و تخصصی ۳۶۰
۱۲–۲–۱– لوله‌کشی و شیرها ۳۶۰
۱۲–۲–۲– پمپ‌ها و مخازن ۳۶۳
۱۲–۲–۳– کمپرسورها، توربین‌های بخار و موتورها ۳۶۳
۱۲–۲–۴– مبدل‌های حرارتی و برج‌های خنک‌کننده ۳۶۴
۱۲–۲–۵–کوره‌ها و بویلرها ۳۶۵
۱۲–۲–۶– برج‌های تقطیر ۳۶۹
۱۲–۲–۷– راکتورها (واکنشگاه ها) ۳۶۹
۱۲–۳– منابع اطلاعاتی برای تکنسین‌های فرایند ۳۶۹
خلاصه ۳۷۱
سؤالات مروری ۳۷۲

فصل سیزدهم: سیستم‌های یوتیلیتی

۱۳–۱– مقدمه‌ای بر سیستم‌های فرایندی ۳۷۴
۱۳–۲– سیستم‌های تولید بخار ۳۷۴
۱۳–۲–۱– بخار فوق فشار بالا (۱۰۰۰-۱۲۰۰ psig) ۳۷۵
۱۳–۲–۲– سیستم بخار فشار بالا (۴۰۰-۸۰۰ psig) ۳۷۵
۱۳–۲–۳– سیستم بخار با فشار متوسط (۱۸۰-۲۰۰ psig) ۳۷۶
۱۳–۲–۴– بخار فشار پایین (۵۰-۶۰ psig) ۳۷۶
۱۳–۲–۵– بازیابی میعانات ۳۷۶
۱۳–۲– سیستم آب خام و آب اطفاء (آتشنشانی) ۳۷۶

۱۳–۳– تصفیهٔ آب خوراک بویلر ۳۷۹
۱۳–۳–۱– ناخالصی‌های آب ۳۸۰
۱۳–۲–۲– خواص فیزیکی آب ۳۸۱
۱۳–۳–۳– خوردگی ۳۸۲
۱۳–۳–۴– انعقاد و لخته سازی ۳۸۳
۱۳–۳–۵– رسوب‌گیری شیمیایی ۳۸۳
۱۳–۳–۶– فرایند تبادل یون‌ها: املاح‌زدایی ۳۸۴
۱۳–۳–۷– هوازدایی ۳۸۴
۱۳–۳–۸– تصفیهٔ آب در بویلر ۳۸۵
۱۳–۳–۹– بلوداون (ریزش) ۳۸۵
۱۳–۴– سیستم آب خنک‌کن ۳۸۶
۱۳–۵– سیستم‌های هوا و نیتروژن ۳۸۷
۱۳–۵–۱– سیستم‌های هوا ۳۸۷
۱۳–۳–۲– سیستم‌های نیتروژن ۳۸۹
۱۳–۶– سیستم‌های گازی ۳۹۰
۱۳–۷– سیستم‌های الکتریکی ۳۹۲
۱۳–۷–۱– موتورها ۳۹۲
۱۳–۷–۲– حفاظت موتوری ۳۹۲
۱۳–۷–۳– اندازه‌گیری ولتاژ: ولت‌سنج‌ها ۳۹۳
۱۳–۷–۴– اندازه‌گیری جریان: آمپرسنج‌ها ۳۹۳
۱۳–۸– سیستم‌های پشتیبانی برق ۳۹۳
۱۳–۹– سیستم‌های بخار ۳۹۴

۱۳–۹–۱– تله بخار ۳۹۵
۱۳–۹–۲– صافی‌ها ۳۹۷
۱۳–۱۰– سیستم فاضلاب صنعتی ۳۹۸
۱۳–۱۱– سیستم سردسازی (تبرید) ۳۹۹
۱۳–۱۲– سیستم مشعل و اطمینان (کمکی) ۴۰۳
۱۳–۱۳– سیستم اطمینان (کمکی) ۴۰۵
۱۳–۱۳–۱– سیستم اطمینان داغ (مشعل داغ) ۴۰۶
۱۳–۱۳–۲– سیستم اطمینان سرد (مشعل سرد) ۴۰۶
۱۳–۱۴– سیستم مشعل ۴۰۶
۱۳–۱۴–۱– کارکرد مخزن آب‌بند مشعل ۴۰۶
۱۳–۱۴–۲– دودکش مشعل و پیلوت‌های مشعل ۴۰۷
خلاصه ۴۰۹
سؤالات مروری ۴۱۰

فصل چهاردهم: راکتورها (واکنشگاه های شیمیایی)

۱۴–۱– مقدمه ۴۱۲
۱۴–۲– راکتورهای ناپیوسته (بچ) و پیوسته ۴۲۰
۱۴–۳– راکتورهای همزن دار ۴۲۰
۱۴–۳–۱– راکتورهای همزن دار آلکیلاسیون ۴۲۳
۱۴–۴– راکتورهای بستر ثابت ۴۲۴
۱۴–۴–۱– هیدرودیسولفوریزاسیون (گوگردزدایی) ۴۲۶
۱۴–۴–۲– هیدروکراکینگ ۴۲۷
۱۴–۵– راکتورهای بسترسیال ۴۲۸
۱۴–۵–۱– کراکینگ کاتالیزوری سیال ۴۲۹

۱۴–۵–۲– ککینگ سیال ۴۳۰
۱۴–۶– راکتورهای لوله‌ای ۴۳۱
۱۴–۶–۱– سنتز شیمیایی ۴۳۲
۱۴–۷– کوره‌های واکنش ۴۳۴
۱۴–۸– ملاحظات عمومی در طراحی راکتور ۴۳۵
۱۴–۹– سیستم‌های واکنشی ۴۳۶
خلاصه ۴۳۸
سؤالات مروری ۴۳۹

فصل پانزدهم: سیستم‌های تقطیر

۱۵–۱– مروری بر سیستم‌های تقطیر ۴۴۲
۱۵–۲– تاریخچه تقطیر ۴۴۴
۱۵–۳– اصول تقطیر ۴۴۸
۱۵–۴– دو مثال از تقطیر ۴۴۸
۱۵–۵– یادآوری ۴۴۹
۱۵–۵–۱– انرژی جنبشی ۴۴۹
۱۵–۵–۲– گرمای محسوس و گرمای نهان ۴۴۹
۱۵–۵–۳– فشار ۴۴۹
۱۵–۵–۴– نقطه‌جوش و فشار بخار ۴۵۰
۱۵–۵–۵– اثر فشار بر جوشش ۴۵۱
۱۵–۵–۶– تقطیر در خلأ ۴۵۱
۱۵–۵–۷– قوانین گازها و منحنی‌های تقطیر ۴۵۲
۱۵–۵–۸– سیستم‌های ایده‌آل و غیر ایده‌آل ۴۵۵

۱۵–۷– ستون‌ها یا برج‌های سینی دار ۴۵۷
۱۵–۷–۱– ورودی‌ها و خروجی‌ها ۴۶۲
۱۵–۷–۲– سینی خوراک ۴۶۲
۱۵–۷–۳– بخش غنی‌سازی یا بازیابی ۴۶۳
۱۵–۷–۴– بخش پالایش ۴۶۳
۱۵–۸– ریبویلر یا تزریق بخار ۴۶۳
۱۵–۹– کندانسور اورهد (بالا) ۴۶۵
۱۵–۱۰– برج‌های پر شده ۴۶۷
۱۵–۱۱– سیستم تقطیر صفحه‌ای ۴۷۵
۱۵–۱۲– رفع اشکال سیستم تقطیر ۴۸۲
خلاصه ۴۸۶
سؤالات مروری ۴۸۷

فصل شانزدهم: استخراج و دیگر سیستم‌های جداسازی

۱۶–۱– استخراج ۴۹۰
۱۶–۱–۱– اهداف استخراج ۴۹۰
۱۶–۱–۲–فرایندااستخراج مایع - مایع ۴۹۱
۱۶–۱–۳– برج‌های استخراج ۴۹۴
۱۶–۲– ستون‌های جذب ۴۹۶
۱۶–۳– ستون‌های دفع ۴۹۷
۱۶–۴– جذب سطحی ۴۹۸
۱۶–۴–۱– تعویض یونی ۴۹۹
۱۶–۴–۲– غربال مولکولی ۵۰۰
۱۶–۴–۳– تجهیزات ۵۰۰

۱۶–۴–۴– عملیات غیرعادی ۵۰۳
۱۶–۴–۵– خشک‌کردن ۵۰۳
۱۶–۵– اسکرابر ۵۰۶
۱۶–۶– سیستم تصفیه آب ۵۰۷
۱۶–۷– تبلور ۵۰۷
۱۶–۸– حلال از بین برنده‌ی موم (حلال موم زدا) ۵۱۰
خلاصه ۵۱۳
سؤالات مروری ۵۱۴

فصل هفدهم: سیستم‌های پلاستیک

۱۷–۱– پلاستیک‌ها ۵۱۶
۱۷–۱–۱– کاربردهای پزشکی ۵۱۶
۱۷–۱–۲– کار با پلاستیک ۵۱۶
۱۷–۱–۳– کارخانجات پلاستیک ۵۱۷
۱۷–۲– ذخیره‌سازی گرانول و سیستم‌های خوراک ۵۲۰
۱۷–۲–۱– مخلوط‌کن‌های گرانول ۵۲۰
۱۷–۲–۲– کنترل خوراک ۵۲۰
۱۷–۲–۳– مخزن خوراک ۵۲۰
۱۷–۲–۴– اکسترودر مخزن خوراک ۵۲۱
۱۷–۲–۵– وزن اولیه خوراک ۵۲۱
۱۷–۳– سیستم‌های مخلوط‌کن ۵۲۲
۱۷–۳–۱– مخلوط‌کن‌های نوار فلزی و افزایش وزن خوراک ۵۲۲
۱۷–۳–۲– هموژنایزر یا همگن‌ساز ۵۲۳

۱۷–۴– اکسترودر ۵۲۴
۱۷–۴–۱– سیستم درایو اصلی ۵۲۵
۱۷–۴–۲– سیستم موتور کمکی ۵۲۶
۱۷–۴–۳– سیستم شیرهای توپی انتقال مواد مذاب ۵۲۸
۱۷–۴–۴– سیستم گرمایش و سرمایش مخزن ۵۲۹
۱۷–۴–۵– سیستم پلتایزر ۵۳۰
۱۷–۵– خشک‌کردن محصولات و سیستم ذخیره‌سازی ۵۳۲
خلاصه ۵۳۵
سؤالات مروری ۵۳۶
کلمات کلیدی ۵۳۷

پیشگفتار نویسنده

کسانی که از نقش مهم تکنسین‌ها در صنایع شیمیایی مدرن آگاه هستند می‌دانند که برای تربیت این افراد، برنامه‌ها و آموزش‌های تکنولوژی فرایند در دانشگاه‌های جهان ارائه می‌شود. این کتاب نتیجه سال‌ها تحقیق من در زمینه تکنولوژی فرایند و آموزش تکنسین‌ها و کتابی منحصربه‌فرد برای تقویت استراتژی‌های یادگیری دانشجویان است.

واضح است که اساتید و مربیان تمام تلاش خود را می‌کنند تا با استفاده از کتاب‌های مصور، ارائه سخنرانی در کلاس، شبیه‌سازی و آموزش به کمک رایانه، فعالیت‌های عملی، واحدهای آزمایشگاهی و پایلوت، استفاده از فیلم‌های کمک‌آموزشی و موارد مشابه، بهترین امکانات آموزشی را برای دانشجویان ایجاد کنند. اگرچه اساتید با اتخاذ روش‌های مختلف آموزشی و یافتن بهترین راهکارهای تدریس تلاش می‌کنند که معلومات دانشجویان را افزایش دهند، باوجوداین با توجه به تجربه من در تدریس تکنولوژی فرایند، هم برای اساتید و هم دانشجویان این رشته، ترجیح و تأکید خاصی بر خودآموزی وجود دارد؛ بنابراین در ویرایش سوم کتاب سیستم‌ها و تجهیزات تکنولوژی فرایند، سعی من بر این بوده که این کتاب برای انواع مخاطب ازجمله جوانانی که وارد بازار کار می‌شوند به‌صورت خودآموز قابل‌استفاده باشد.

همانند دویرایش قبل، کتاب سیستم‌ها و تجهیزات تکنولوژی فرایند، فرایند یادگیری را برای دانشجویان امکان‌پذیر می‌سازد و تجهیزات اصلی و فناوری را که در واحدهای درسی دانشگاه‌ها تدریس می‌شود پوشش می‌دهد.

نسخه سوم شامل مطالب جدید در مورد طراحی و اجزای مخازنی ذخیره‌سازی است. این بخش شامل مخازن سقفی مخروطی، سرباز، شناور، کروی، بیضوی، نیمکره، سطلی و سیلو و همچنین جنبه‌های ایمنی مانند اتصال به زمین و حفاظت کاتدی، محافظت، خوردگی، درجه‌بندی فشار و سرمایش را دربرمی‌گیرد. در بخش مربوط به کمپرسورها، دو کمپرسور جدید شامل اسکرول و دیافراگمی ارائه شده است. یک سیستم کمپرسور مبسوط با گرافیک‌های جدید برای آموزش سیستم‌ها و عملیات در این بخش گنجانده شده است. مشابه همین کار برای فصل‌های مربوط به: مبدل‌های حرارتی، برج‌های خنک‌کننده، دیگ‌های بخار، کوره‌ها، راکتور و تقطیر انجام شده است. اشکال گرافیکی ساده به دانشجویان اجازه می‌دهد تا به‌آسانی با سیستم‌ها و عملیات آشنا شوند.

ویژگی‌های جدید این کتاب عبارت‌اند از:

- طراحی مخزن و ملاحظات ایمنی

- کمپرسورهای اسکرول و دیافراگم
- سیستم‌ها و عملیات کمپرسور
- سیستم‌ها و عملیات مبدل‌های حرارتی و برج‌های خنک‌کننده
- سیستم‌ها و عملیات کوره و تولید بخار
- سیستم‌ها و عملیات راکتور

مفاهیم کلیدی و جنبه‌های آموزشی عبارت‌اند از:

- دریچه‌ها، لوله‌کشی‌ها، مخازن و تانک‌ها
- پمپ‌ها، کمپرسورها و سیستم‌های ساده
- توربین‌ها و موتورها
- مبدل‌های حرارتی، برج‌های خنک‌کننده و سیستم‌های ساده
- تولیدکننده‌های بخار، کوره‌ها و سیستم‌ها
- نشانه‌ها، دیاگرام‌ها و ابزار دقیق
- سیستم‌های یوتیلیتی و جداسازی
- راکتورها، ستون‌های تقطیر و سیستم‌ها
- سیستم‌های پلاستیک

هر فصل از کتاب از موضوعات ساده به پیچیده می‌پردازد. اهداف یادگیری در ابتدای هر فصل مشخص شده‌اند. تصاویر و فلودیاگرام‌های این کتاب، مستندات بسیار خوبی را برای درک مفاهیم و تجهیزات موردبحث ارائه می‌دهند.

در هر فصل، خلاصه و مجموعه‌ای از سؤالات مروری ارائه شده است. همچنین فهرست کوتاهی از نمادها و نمودارهای تجهیزات موردبحث در هر فصل آمده است. این امر به تکنسین‌های تازه‌کار اجازه می‌دهد تا به‌تدریج درک اساسی و خوبی از نمادها و نمودارها که بخشی از تکنولوژی فرایند هستند داشته باشند.

سپاسگزاری

افراد زیادی وجود دارند که باید از آن‌ها به خاطر کمک‌هایشان به تکنولوژی فرایند به‌عنوان یک رشته در حال رشد و توسعه تشکر کنم. بااین‌حال در اینجا می‌خواهم از داورانی که نسخه اولیه این کتاب را داوری کردند و توصیه‌هایی برای اصلاح ویرایش نهایی ارائه دادند یعنی آقایان ماکس انصاری از مدرسه عالی هوستون و رابرت اسمیت از کالج فنی دولتی - مارشال ایالت تگزاس قدردانی کنم.

دکتر چارلز ای توماس

پیشگفتار مترجمین

کتابی که برگردان آن به زبان فارسی ملاحظه می‌شود چاپ سوم کتاب سیستم‌ها و تجهیزات تکنولوژی فرایند تألیف دکتر چارلز ای توماس است. این کتاب با توجه به مطالب مندرج در آن، مرجع بسیار خوبی برای تکنسین‌های شاغل در صنایع و افرادی است که در حال یادگیری اصول و مفاهیم تکنولوژی فرایند هستند. همچنین این کتاب به‌عنوان یک کتاب درسی برای دوره کارشناسی در رشته‌های مهندسی توصیه می‌شود.

در این کتاب با استفاده از تصاویر و دیاگرام‌های مفید و اطلاعاتی کاملاً به‌روز در زمینه سیستم‌ها و تجهیزات صنعتی، به افزایش اطلاعات و دانش مخاطبین پرداخته شده است.

این کتاب شامل موضوعات کاربردی مورد استفاده در صنایع نظیر لوله‌کشی، مخازن و تانک‌ها، پمپ ها و کمپرسور ها، توربین ها و موتور ها، مبدل های حرارتی، برج های خنک‌کننده و تولیدکننده‌های بخار، کوره‌ها، دیاگرام‌ها و ابزار دقیق، سیستم‌های یوتیلیتی و جداسازی، راکتورها و ستون‌های تقطیر می‌باشد.

در ترجمه این کتاب برای جایگزین ساختن عبارات و اصطلاحات تکنیکی و تخصصی معادل اصلی آن‌ها که در زبان فارسی متداول است از مراجعی مانند واژه‌های مصوب فرهنگستان علوم یا مراجع مشابه استفاده‌شده است.

در اینجا بر خود لازم می‌دانیم از جناب آقای دکتر علیرضا پنداشته که زحمت ویراستاری علمی این کتاب را متقبل شدند، تشکر و قدردانی نماییم. از کلیه همکاران و اساتید ارجمندی که با اظهارنظرهای مفیدشان ما را در ترجمه این کتاب راهنمایی کرده‌اند و همچنین مسؤلان و کادر فنی انتشارات دانشگاه گیلان سپاسگزاری می‌کنیم. بدیهی است ترجمه حاضرخالی از عیب و نقص نیست، لذا از هرگونه اظهارنظر و انتقادهای سازنده اساتید گرانقدر و دانشجویان عزیز استقبال می‌کنیم و بدون تردید اشکال و لغزش‌ها در چاپ‌های بعدی تصحیح می‌شوند.

ناز چائی بخش، لیلا ارشادی افشار، ریحانه رحیم‌پور، سید مهدی میرباهوش

فصل اول

مقدمه‌ای بر تجهیزات فرایند

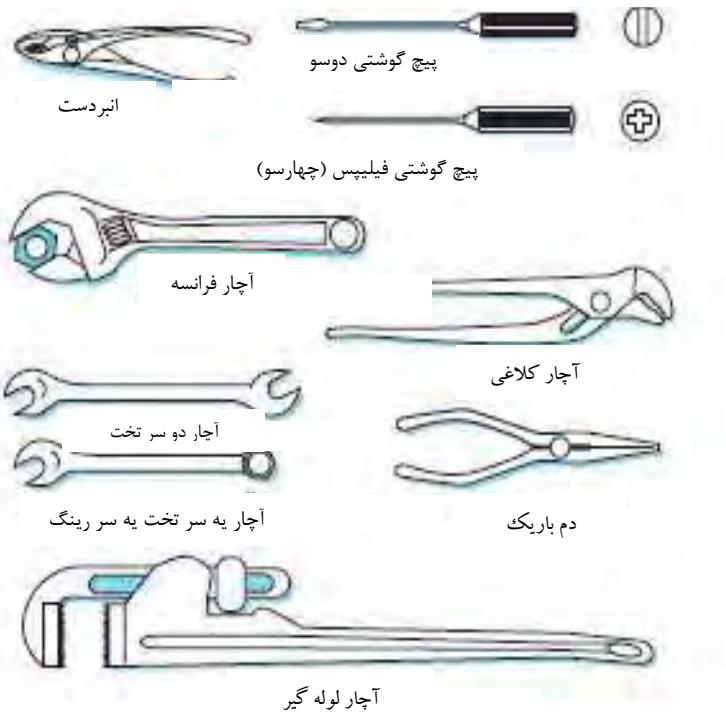
۱–۱– ابزاردستی اولیه

صنایع فرایندهای شیمیایی[1] شامل پالایشگاه‌ها، صنایع پترو شیمی، خمیر و کاغذ، تولید انرژی و صنایع فراوری مواد غذایی می‌با شند. کار شنا سان فرایند، بازر سی تجهیزات، نگهداری، جاگذاری و حمل تجهیزات پس از تعمیر، کامل کردن لیست کارهایی که باید انجام شود، کنترل مدارک، پاسخ‌گویی در موارد اضطراری و رفع عیب مشکلات سیستم را انجام می‌دهند. برای انجام این وظایف، کارشناس فرایند بایستی شناخت کاملی از ابزار، تجهیزات و سیستم داشته باشد.

کار شنا سان فرایند به کمک ابزارد ستی، تعمیر و نگهداری واحدهای عملیاتی را بر عهده دارند. نقش اقدامات پیشگیرانه کارشناس فرایند قابل‌توجه است، زیرا در بسیاری از موارد، کوچک‌ترین عمل پیشگیرانه می‌تواند از خرابی‌های بزرگ در تجهیزات جلوگیری کند. ابزاردستی اولیه (شکل ۱–۱) مورداستفاده کارشناس فرایند عبارت‌اند از:

- آچار آلن
- آچار: انگلیسی و متریک
- آچار لوله گیر
- آچارفرانسه
- آچار شیر
- آچار کلاغی
- دم‌باریک
- انبردست
- انبر قفلی
- سوهان
- لوله‌خم‌کن
- جارو یا جاروبک
- چسب نواری برق
- متر
- شلنگ آب
- چکش
- آچار بکس
- فرچه سیمی
- پیچ‌گوشتی فیلیپس (چهارسو)
- پیچ‌گوشتی دوسو
- مداد یا مارکر

[1] The chemical processing industry



شکل ۱– ۱: ابزاردستی اولیه

- سیم‌چین و سیم لخت کن
- کاتر
- اسکنه
- تراز
- اره آهن‌بر
- لوله بر
- خاک‌انداز
- گیره رومیزی
- گونیا
- چراغ‌قوه

۱–۲– تجهیزات دوار[1]

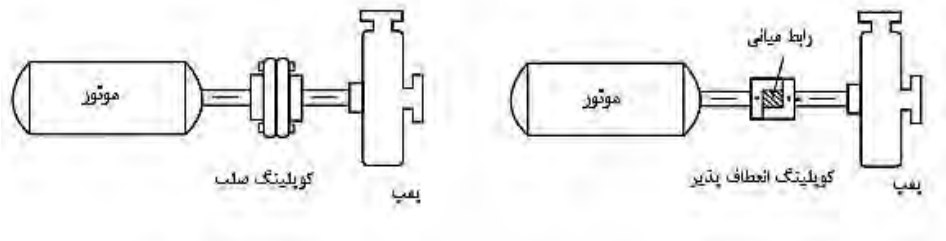
صنایع فرایندی دارای انواع گسترده‌ای از تجهیزات دوار، رفت و برگشتی و ثابت می‌با شند. حرکت دایره‌ای مشخصه تجهیزات دوار است. نمونه تجهیزات دوار را در موتورها، پمپ‌ها، کمپرسورها، پنکه‌ها، دمنده‌ها، توربین‌ها، بالابرها و فیدرها می‌توان یافت. چرخش محور معمولاً با RPM یا دور

[1]Rotary equipment

در دقیقه اندازه‌گیری می‌شود. بسیاری از موتورها بیش از ۳۰۰۰ دور در دقیقه می‌چرخند. معمولاً یک پوشش محافظ در اطراف محور متحرک به‌منظور کاهش حوادث احتمالی قرار دارد.

هشدار: لباس‌های گشاد، بند کفش، جواهرات و موی بلند می‌تواند در بخش چرخشی گیر کند و منجر به صدمات جدی شود.

تجهیزات دوار شامل گرداننده، اتصال‌دهنده و تجهیزات متحرک است.



شکل ۱–۲: کوپلینگ‌های ثابت: صلب و انعطاف‌پذیر

۱–۲–۱– گرداننده‌ها[1] و تجهیزات متحرک[2]

گرداننده وسیله‌ای است که برای تأمین انرژی دوار لازم برای قطعه دیگری از تجهیزات یعنی تجهیزات متحرک طراحی شده است. معمول‌ترین گرداننده‌ها، موتورهای الکتریکی و توربین‌ها هستند. ازجمله مثال‌هایی برای تجهیزات متحرک می‌توان به پمپ‌ها، کمپرسورها، ژنراتورها، پنکه‌ها، بالابرها و فیدرها اشاره کرد. کوپلینگ‌ها، تسمه‌ها یا زنجیرها، گرداننده و تجهیزات متحرک را به هم متصل می‌کنند.

کوپلینگ‌ها در شکل‌ها و طراحی‌های متفاوتی ظاهر می‌شوند. رایج‌ترین نوع کوپلینگ‌ها، کوپلینگ‌های سرعت ثابت (صلب و انعطاف‌پذیر) و کوپلینگ‌های سرعت متغیر (هیدرولیک و مغناطیسی) می‌باشند. شکل ۲–۱ کوپلینگ صلب و انعطاف‌پذیر را نشان می‌دهد.

تسمه‌ها برای اتصال دو محور موازی یعنی محور گرداننده و محور متحرک به کار می‌روند. یک پولی روی انتهای هر محور سوار شده است. تسمه در شیارهای پولی جا دارد. اندازه پولی‌ها به گرداننده و تجهیزات متحرک این اجازه را می‌دهد تا با سرعت‌های متفاوتی عمل کنند. زمانی که پولی گرداننده و متحرک یک اندازه هستند، سرعت هر دو محور عملاً برابر است. تسمه‌ها در شکل‌ها

---

[1] Drivers
[2] Driven Equipment

و اندازه‌های مختلف ظاهر می‌شوند و از مواد بادوام که در برابر شرایط عملیاتی مقاوم هستند ساخته می‌شوند. تسمه ران‌ها[1] (شکل ۱–۳) فضای کمتری را نسبت به کوپلینگ‌های سرعت ثابت یا سرعت متغیر نیاز دارند. تسمه ران می‌تواند تبدیل سرعت به گشتاور و گشتاور به‌سرعت را ایجاد کند (گشتاور نیروی گرداننده تجهیزات دوار است).

شکل ۱–۳: تسمه ران

کارشناسان فرایند به‌صورت مداوم تسمه‌ها را هنگام چرخش بازرسی می‌کنند تا مطمئن شوند که آیا محافظ ایمنی در جایش قرار داشته، کشش تسمه‌ها تنظیم بوده و تسمه‌ها همچنان در جای خود بر روی پولی‌ها قرار داشته باشند. افتادگی، سروصدا یا داغ کردن تسمه بیانگر ساییدگی، کشش یا عیب در تجهیزات متحرک است.

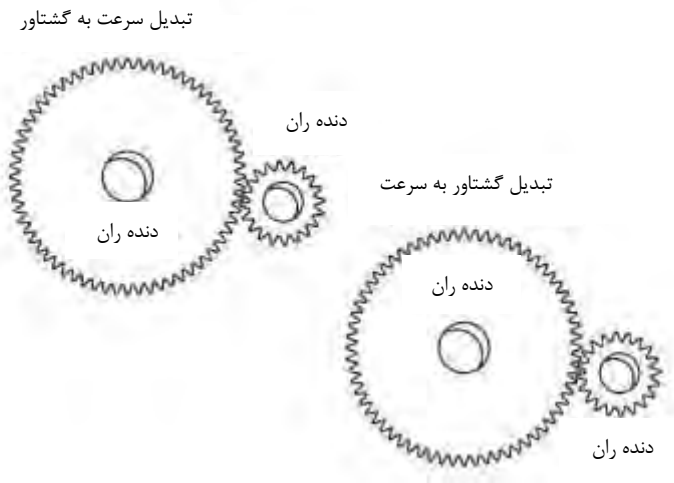
زنجیر ران‌ها[2] خیلی شبیه تسمه ران‌ها هستند اما به‌جای استفاده از پولی، زنجیر ران دارای یک سری چرخ‌های زنجیرخور[3] است که به زنجیر متصل می‌شوند. زنجیر ران‌ها برای سرعت‌های پایین و تبدیل گشتاور بالا طراحی شده‌اند. در این نوع سیستم، لغزش حداقل است، جابجایی زنجیر کم است و تغییرات دمایی تا زمانی که زنجیر روغن‌کاری شده است عامل مهمی نیست.

---

[1] Belt drives
[2] Chain drives
[3] Procket wheels

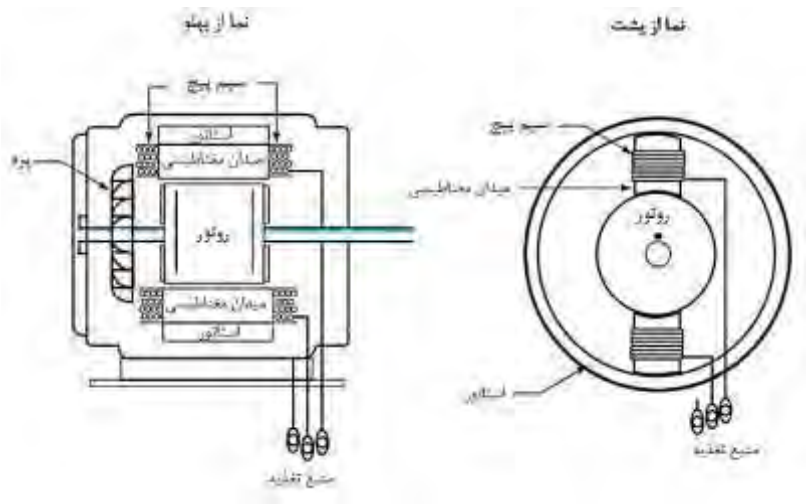
۱–۲–۲– جعبه‌دنده و انتقال نیرو

جعبه‌دنده‌ها اغلب بین گرداننده و تجهیزات متحرک ا ستفاده می شوند. نام جعبه‌دنده از دنده‌های با اندازه مختلف (چرخ‌های دندانه‌دار) در درون یک قاب می‌آید. درون جعبه‌دنده، دنده محرک[1] با دنده بزرگ یا کوچک درگیر می‌شـود. زمانی که دنده محرک می‌چرخد، دنده‌های متصـل‌به‌هم در جعبه چرخیده، نیرو به قطعه متحرک انتقال می‌یابد. دنده کوچکتر مرتبط با سـرعت اسـت. دنده بزرگتر مرتبط با گشتاور است. انتقال انرژی در تجهیزات دوار بر اساس تبدیل سرعت به گشتاور یا گشتاور به‌سـرعت می‌باشـد. تبدیل سـرعت به گشـتاور با یک دنده کوچک که دارای یک دنده ران متحرک بزرگ ا ست صورت می‌گیرد. تبدیل گشتاور به سرعت از یک دنده بزرگ که دارای یک دنده محرک کوچک است بهره می‌گیرد. شکل ۱–۴ اصل انتقال انرژی را نشان می‌دهد.



شکل ۱–۴: انتقال انرژی

[1] Drive gear



شکل ۱–۵: موتور AC

۱–۲–۳– موتورهای الکتریکی

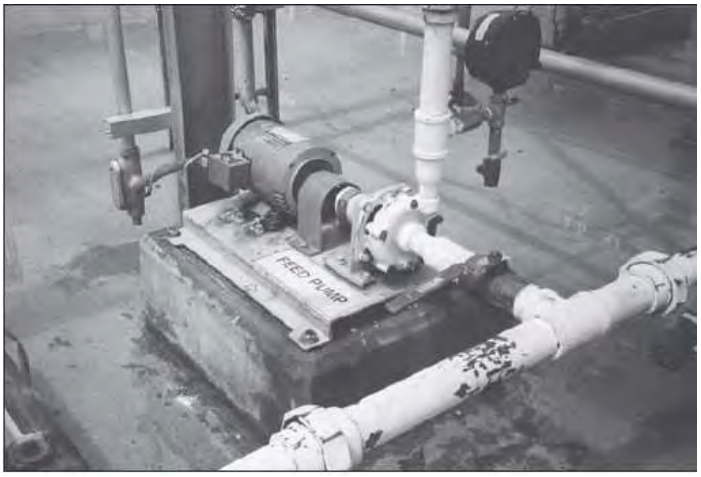
صنایع فرایندی از موتورهای الکتریکی برای به کار انداختن پمپ‌ها، ژنراتورها، کمپرسورها، فن‌ها، دمنده‌ها و سایر تجهیزات بهره می‌برند. موتورهای الکتریکی به دو نوع جریان مستقیم (DC) و جریان متناوب (AC) طبقه‌بندی می‌شوند. راه‌اندازی یک موتور الکتریکی بر سه اصل استوار است: جریان الکتریکی جریان مغناطیسی ایجاد می‌کند، قطب‌های مخالف مغناطیسی همدیگر را جذب و قطب‌های مشابه همدیگر را دفع می‌کنند و جهت جریان الکتریکی قطب‌های مغناطیسی را تعیین می‌کند.

موتور الکتریکی دارای یک آهنربای ثابت (استاتور یا ایستان) و یک رسانای متحرک (روتور یا گردان) است. میدان مغناطیسی دائمی توسط خطوط نیرو ما بین قطب‌های آهنربا ایجاد می شود. زمانی که الکتریسیته از رسانا در موتور DC می‌گذرد، رسانا به آهنربای الکتریکی تبدیل می شود و میدان مغناطیسی دیگری تولید می‌کند. دو میدان ازنظر شدت افزایش می‌یابند و رسانا را به حرکت درمی‌آورند. جهت چرخش موتور توسط این میدان‌های مغناطیسی قوی تعیین می‌شود.

روتور در موتور AC (شکل ۱–۵) یک هسته آهنی شیاردار است. میله‌های مسی درون شیارها جاسازی می‌شوند. دو حلقه مسی ضخیم میله‌ها را در محلشان نگه می‌دارند. برخلاف جریان الکتریکی در موتور DC، جریان الکتریکی در موتور AC مستقیماً به روتور نمی‌رود. جریان متناوب به استاتور رفته، میدان مغناطیسی دوار ایجاد می‌کند. استاتور یک جریان الکتریکی القایی در روتور تولید و میدان مغناطیسی ثانویه را ایجاد می‌کند. وقتی‌که دو میدان برهمکنش می‌کنند، روتور می‌چرخد.

۱–۲–۴– پمپ‌های گریز از مرکز

پمپ گریز از مرکز (شکل ۱–۶) وسیله‌ای است که سیالات را توسط نیروی گریز از مرکز جابجا می‌کند. نیروی گریز از مرکز نیرویی است که اجسام در حال چرخش را به‌طرف بیرون از مرکز چرخش می‌راند و معمولاً به نام نیروی جانب مرکز شناخته می‌شود. اساس پمپ گریز از مرکز عبارت از چرخش مایع طی یک مسیر دایره‌ای است که پس از آن به سمت بیرون و به یک محفظه حلزونی[1] تخلیه می‌شود. اجزای اصلی یک پمپ گریز از مرکز شامل قاب[2]، موتور یا گرداننده، کوپلینگ، حلزونی، دهانه ورودی (مکش)، پروانه، حلقه سایشی[3]، آب‌بند، یاتاقان‌ها، دهانه خروجی (تخلیه) و اندازه‌گیرهای فشار مکش و تخلیه می‌باشد.



شکل ۱–۶: پمپ گریز از مرکز

۱–۲–۵– پمپ‌های جابجایی مثبت

پمپ‌های جابجایی مثبت حجم معینی از مایع را در هر مرحله یا چرخش جابه‌جا می‌کنند. پمپ‌های جابجایی مثبت به دود سته دوار و رفت و برگشتی طبقه‌بندی می شوند. پمپ‌های دوار، مایعات را با استفاده از پیچ‌ها، دنده‌ها، پره‌ها یا لوب‌ها جابه‌جا می‌کنند. پمپ‌های رفت و برگشتی مایعات را با کشیدن آن‌ها به محفظه واقع در مجرای مکش حرکت می‌دهند و با پیستون، دیافراگم یا کوبه در مجرای تخلیه جابه‌جا می‌کنند. پمپ‌های رفت و برگشتی توسط حرکت عقب- جلو شناسایی

---

[1] Volute
[2] Casing
[3] Wear Ring

می شوند. اجزای ا سا سی یک پمپ رفت و برگ شتی شامل میله اتصال، پیستون، کوبه یا دیافراگم، آب‌بند، شیرهای یک‌طرفه، موتور، قاب و یاتاقان‌ها است.

۱–۲–۶– کمپرسورهای دینامیکی

کمپرسورهای دینامیکی با شتاب گاز و تبدیل انرژی جنبشی به فشار عمل می‌کنند. این کمپرسورها به دودسته گریز از مرکز و محوری طبقه‌بندی می شوند. کمپرسورهای گریز از مرکز از قانون‌گریز از مرکز بهره می‌برند. گازها به سمت دهانه مکنده کشیده می‌شوند، در پروانه شتاب داده و به خارج از حلزونی تخلیه می‌شوند. گازها با یک حرکت دوار از مرکز کمپرسور به سمت خروجی تخلیه حرکت می‌کنند.

کمپرسور جریان محوری از یک روتور تشکیل شده است که دارای ردیف‌های پرهٔ پروانه‌ای شکل است. برخلاف کمپرسورهای گریز از مرکز، کمپرسورهای محوری از نیروی گریز از مرکز برای افزایش سرعت گاز ا ستفاده نمی‌کنند. هوا به صورت محوری در امتداد محور حرکت داده می شود. پره‌های دوار که به یک محور متصل شده‌اند گازها را از روی پره‌های ثابتی که استاتور نامیده می‌شوند عبور می‌دهند. استاتور به قاب نصب یا متصل شده است. وقتی‌که پره‌های دوار سرعت گاز را افزایش می‌دهند، پره‌های ا ستاتور آن را آه سته می‌کنند. وقتی‌که جریان گاز آه سته شد، انرژی جنبشی در قالب فشار آزاد می‌شود. وقتی‌که گاز یک مرحله‌به‌مرحله دیگر می‌رود سرعت گاز افزایش می‌یابد تا وقتی‌که به بخش تخلیه می‌ر سد. موتورهای جت و توربین‌های گازی دارای کمپر سورهای جریان محوری هستند.

۱–۲–۷– کمپرسورهای جابه‌جایی مثبت[1]

کمپرسورهای جابه‌جایی مثبت (DP)، با محبوس نمودن مقدار معینی از گاز و کاهش حجم آن عمل می‌کنند. این کمپرسورها به دودسته دوار و رفت و برگشتی دسته‌بندی می‌شوند. کمپرسورهای DP و پمپ‌های DP به‌طور مشابهی عمل می‌کنند. تفاوت اساسی آن‌ها در این است که کمپرسورها برای انتقال گازها طراحی شده‌اند، درصورتی‌که پمپ‌ها مایعات را انتقال می‌دهند.

کمپر سور دوار یا گرد شی شامل انواع مارپیچی، تیغه لغزنده، گوشواره‌ای و رینگ مایع می‌با شد. کمپرسورهای رفت و برگشتی شامل انواع پیستونی و دیافراگمی هستند. شکل ۱-۷ نمونه‌ای از یک کمپرسور DP است که در صنعت استفاده می‌شود.

---

[1] Positive Displacement Compressors

شکل ۱–۷: کمپرسور PD

۱–۲–۸– توربین بخار

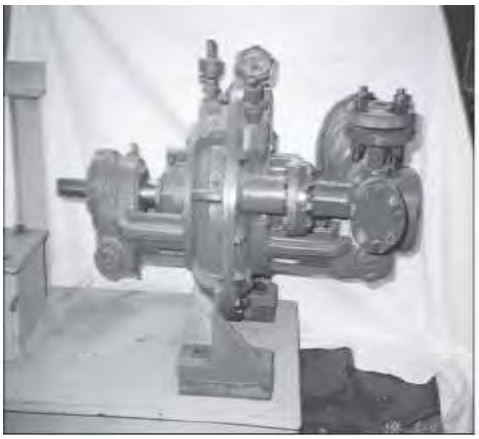
توربین بخار (شکل ۱-۸) وسیله‌ای است که انرژی جنبشی را به انرژی مکانیکی تبدیل می‌کند. توربین‌های بخار دارای یک روتور با طراحی خاص هستند که با برخورد بخار به آن، می‌چرخد. این چرخش برای راه‌اندازی محور تجهیزات متحرک به کار می‌رود. توربین‌های بخار به حرکت درآورنده پمپ‌ها، کمپرسورها و ژنراتورهای تولید برق هستند.

۱–۲–۹– روانکاری تجهیزات

یکی از وظایف اولیه تکنسین فرایند، بررسی مرتب تجهیزات است. در طی این بررسی‌های معمول، میزان روغن تجهیزات و شرایط عملیاتی از نزدیک بازرسی می‌شوند. دماهای بالا، صداهای غیرعادی یا بوهای غیرعادی و اختلال در کار، همه نشانه‌هایی از وجود مشکل است. برای اطمینان از عملکرد خوب تجهیزات فرایند، روغن‌کاری مناسب باید انجام شود. روغن‌کاری با ایجاد یک فیلم نازک محافظ بین سطوحی که در تماس با یکدیگرند، از بخش‌های متحرک تجهیزات محافظت می‌کند. سطح صاف یک چرخ‌دنده، زیر یک میکروسکوپ، بسیار ناهموار به نظر می‌رسد. بدون روغن‌کاری، اصطکاک بسیار زیادی می‌تواند به وجود آید. روغن‌کاری به حذف حرارت تولیدشده از اصطکاک کمک کرده، یک مانع مایع بین قطعات فلزی برای کاهش اصطکاک به وجود می‌آورد. فقدان روغن‌کاری به‌شدت به کمپرسورها، توربین‌های بخار، پمپ‌ها، ژنراتورها، موتورها و غیره آسیب می‌رساند.

۱–۲–۱۰– یاتاقان‌ها[1]

یاتاقان‌های شـــعاعی و محوری در اغلب تجهیزات دوار یافت شـــده، برای کارکرد درســـت نیاز به روغن‌کاری دارند. یاتاقان‌های شـــعاعی برای جلوگیری از حرکات بالا-پایین و جانبی محور گردان طراحی شده‌اند. یاتاقان‌های محوری که اغلب یاتاقان‌های کف گرد (ترا ست)[2] نامیده می شوند، برای جلوگیری از حرکت عقب-جلوی محور طراحی شـــده‌اند. یاتاقان‌های شـــعاعی در انواع مختلف نظیر ساچمه‌ای (بلبرینگ) (شکل ۱-۹)، لغزشی، غلتکی و یاتاقان‌های با صفحه محافظ یافت می‌شوند.



شکل ۱–۸: توربین بخار

شکل ۱–۹: یاتاقان و آب‌بند

۱–۲–۱۱– آب‌بندها[3]

آب‌بندهای شـــفت[4] (محور) (شـــکل ۱-۹) برای جلوگیری از نشـــت بین بخش‌های داخلی در جزء چرخان تجهیزات طراحی شـــده‌اند. این آب‌بندها در انواع مختلف شـــکل‌ها و طرح‌های وجود دارند. انواع معمول عبارت‌اند از آب‌بندهای شـــیاردار (لابیرینتی)، کربنی، پکینگ و مکانیکی. آب‌بندهای شیاردار، روان کننده و مایعات را در پیچ‌وخم شیارها به دام می‌اندازند. آب‌بندهای کربنی به صورت حلقوی دور محور چرخان قرار می‌گیرند. یک فنر، آب‌بند گرافیتی نرم را در جای خود نگاه می‌دارد و باعث می شود که سایش آن به ملایمت صورت گیرد. آب‌بندهای مکانیکی به صورت یک مجموعه پیش‌ســـاخته عرضـــه و در محل موردنظر بکار برده می‌شـــوند. آب‌بندهای مکانیکی دارای یک قطعه

---

[1] Bearings
[2] Thrust
[3] Seals
[4] Shaft seals

ثابت[1] و یک قطعه متحرک[2] هستند. آب‌بندهای مکانیکی برخلاف آب‌بندهای کربنی و شیاردار می‌توانند در شرایط فشار بالا مقاومت کنند. آب‌بندهای شفت نشت هوا به داخل و خارج تجهیزات را به حداقل می‌رسانند، روان کننده را از گردوخاک، مواد شیمیایی و آب محافظت کرده و روان کننده تمیز را در محفظه‌ای که یاتاقان‌ها و قطعات متحرک در آن قرار دارند نگه می‌دارند.

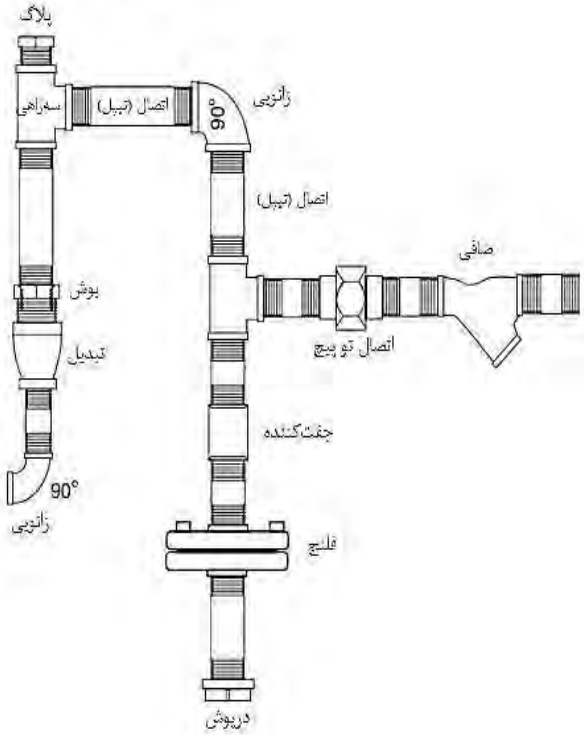
۱–۳– تجهیزات ثابت

۱–۳–۱– لوله‌ها و مخازن

لوله‌های صنعتی در انواع مختلف اشکال و طرح‌ها به‌منظور نگهداری و انتقال مواد شیمیایی عرضه می‌شوند. مهندس طراح به‌دقت نوع موادی که سازگار با مواد شیمیایی و شرایط عملیاتی هستند را انتخاب می‌کند. لوله می‌تواند از فولاد زنگ نزن، فولاد کربنی، آهن، پلاستیک یا فلزات خاص ساخته شود. اتصالات در هر انتها می‌تواند رزوه شده، پرچ‌شده، جوش داده‌شده یا چسبانده شود. انواع مختلف اتصالات شامل کوپلینگ، مهره‌ماسوره، زانویی، سه‌راهی، مغزی، درپوش و بوش هستند. شکل ۱-۱۰ انواع مختلف اتصالات لوله‌کشی را نشان می‌دهد. هنگامی‌که سیالی که از لوله عبور می‌کند، دارای ویسکوزیته‌ای (مقدار مقاومت سیال نسبت به جاری شدن) باشد که انتقال آن را در هوای سرد با دشواری روبه‌رو کند، از سیستم لوله‌کشی جستجوی دما[3] استفاده می‌شود (فصل ۳ را ببینید).

---

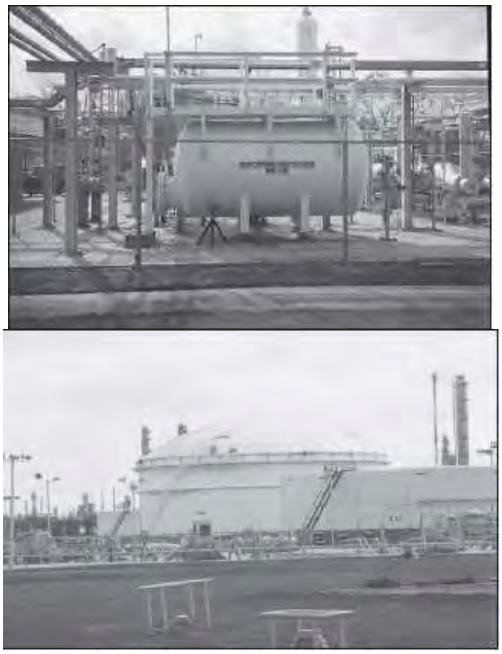
[1] Stationary seat
[2] Moving seal
[3] Traced piping



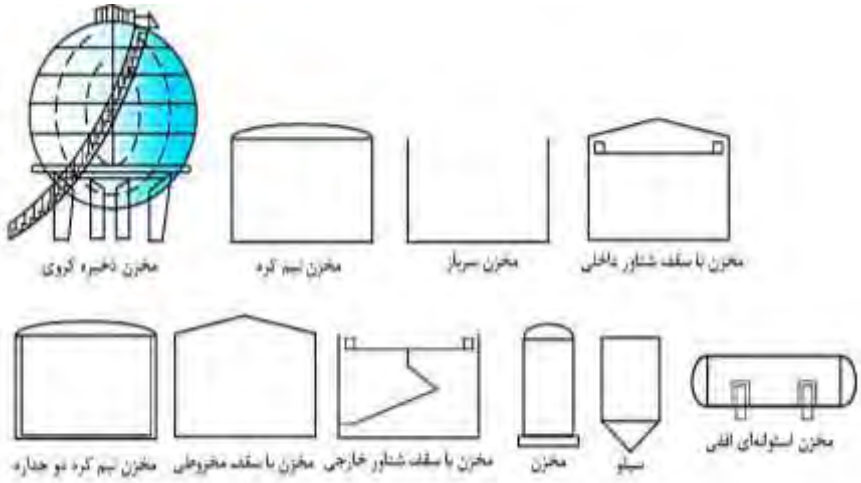
شکل ۱-۱۰: اتصالات لوله‌کشی

صنایع فرایندی شیمیایی از تانک‌ها، مخازن و بشکه‌های مکعبی، استوانه‌ای یا کروی برای ذخیره مواد شیمیایی استفاده می‌کند. مواد مورد استفاده برای این منظور عبارت‌اند از فولاد کربنی، آهن، فلزات خاص و پلاستیک. یک مخزن با سقف گنبدی و یک مخزن استوانه‌ای افقی در شکل ۱-۱۱ نشان داده شده است.

تکنسین‌های فرایند برای بازرسی تجهیزات اغلب از گوش دادن، لمس کردن، نگاه کردن و بوییدن استفاده می‌کنند. یک تکنسین باتجربه می‌تواند مشکل را با گوش دادن به صداهای غیرمعمول و ارتعاشات شناسایی کند. لمس کردن تجهیزات به تکنسین اجازه می‌دهد تا الگوهای غیرمعمول گرمایی را شناسایی کند. بازرسی بصری مخزن و سطح آن به تکنسین امکان می‌دهد تا اقدامات اصلاحی را تعیین کند. وجود بو ممکن است مشکل نشتی را نشان دهد. طرح‌های مختلف مخزن در شکل ۱-۱۲ نشان داده شده است.



شکل ۱–۱۱: انبار مخزن

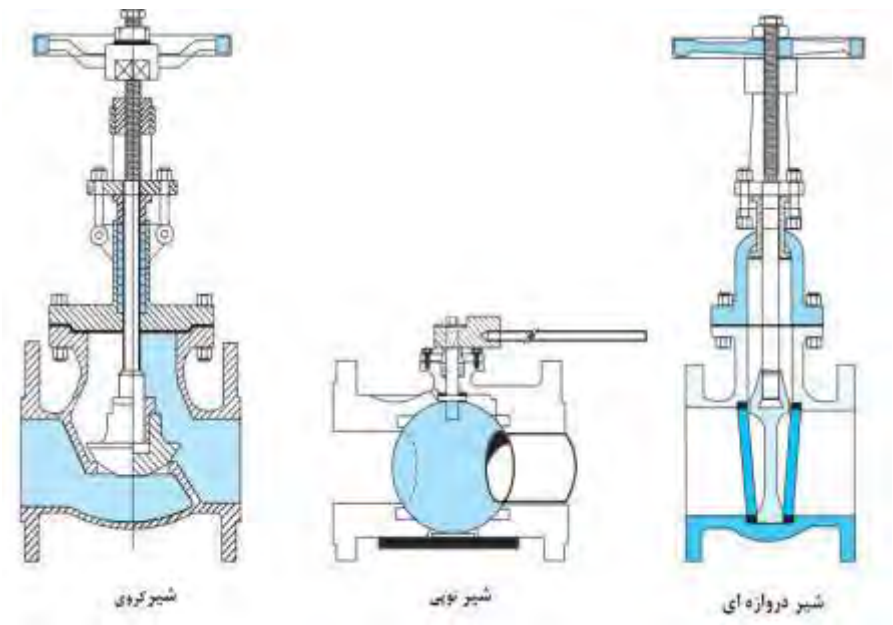


شکل ۱–۱۲: طرح‌های مخزن

۱-۳-۲- شیرهای دروازه‌ای[1]، کروی[2] و توپی[3]

شیرها برای متوقف کردن، شروع، محدود کردن یا هدایت جریان سیال استفاده می‌شوند. شیرهای دروازه‌ای، گلوب (یا کروی) و توپی در شکل ۱-۱۳ نشان داده شده‌اند.

شیر دروازه‌ای یا شیر کشویی، به کمک دروازه‌ای که در مسیر حرکت سیال در خط لوله قابل تغییر مکان دادن می‌باشد عمل می‌نماید. اجزای اولیه یک شیر دروازه‌ای شامل بدنه، درپوش فلزی، محور (ساقه)، فلکه دستی، دروازه، مجموعه آب‌بندی و کاسه‌نمد (قسمتی که پکینگ‌ها درون آن قرار می‌گیرد) می‌باشد. شیرهای دروازه‌ای در دو طرح عرضه می‌شوند: با ساقه بالارونده[4] و با ساقه غیربالارونده[5]. شیرهای دروازه‌ای برای کنترل قطع وصل کردن جریان طراحی شده‌اند و نه برای محدودسازی جریان. این بدان معناست که این نوع شیرها یا بایستی کاملاً بسته باشند، یا کاملاً باز و به‌صورت نیمه‌باز نمی‌توان از آن‌ها استفاده کرد.



شکل ۱-۱۳: شیرها

---

[1] Gate
[2] Globe
[3] Ball
[4] Rising stem
[5] Nonrising stem

شیر گلوب یا کروی، دیسک فلزی متحرکی را در مسیر جریان قرار می‌دهد. این نوع شیر معمول‌ترین نوع شیر است که به‌منظور فشارشکنی[1] جریان به کار می‌رود. دیسک طوری طراحی شده که به‌راحتی در نشیمنگاه قرارگرفته، جریان را متوقف می‌کند. سیال وارد شیر گلوب شده و با چرخش نود درجه از نشیمنگاه و دیسک عبور می‌کند. سیال با عبور از دیسک، به‌صورت یکنواخت پراکنده می‌شود. شیرهای گلوب را می‌توان در طرح‌های معمولی با دیسک توپی، مخروطی یا ترکیبی، شیر سوزنی و شیر زاویه‌ای دید. شیرهای دروازه‌ای و گلوب اجزای بسیار مشابهی دارند.

شیرهای توپی نامشان را از توپی شکل بودن قطعه متحرک در مرکز شیر گرفته‌اند. برخلاف شیرهای دروازه‌ای و گلوب، در شیرهای توپی عامل کنترل جریان دارای حرکت انتقالی نبوده بلکه در آن، یک توپ حفره‌دار با چرخش موقعیت باز و بسته را ایجاد می‌کند. شیرهای توپی محدودیت جریان اندکی دارند و می‌توانند با چرخش نود درجه‌ای روی موقعیت دسته شیر، ۱۰۰٪ باز شوند. در موقعیت بسته، مجرای عبور (حفره) از جریان دور نگه‌داشته می‌شود. در موقعیت باز، مجرای عبور کاملاً با قطر داخلی لوله در یک راستا قرار می‌گیرد. شیرهای بزرگ‌تر برای باز شدن نیاز به فلکه دستی و جعبه‌دنده دارند، اما اغلب آن‌ها فقط نیاز به چرخش ۹۰ درجه‌ای روی موقعیت دسته دارند.

۱-۳-۳- فیلترها

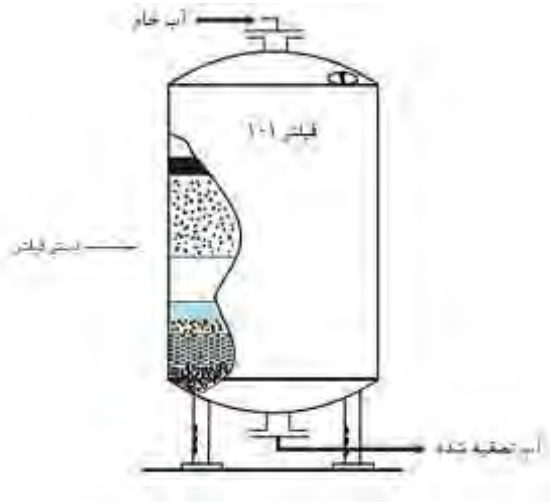
در صنایع فرایندهای شیمیایی از فیلترها به‌منظور جداسازی اجزای جامد با عبور سیال از میان یک بستر متخلخل استفاده می‌شود. فیلترها، کاربردهای مختلفی دارند. رایج‌ترین فیلترها، فیلترهای کارتریج هستند. در این فیلترها، بستر فیلتر به‌طور مستقل قابل تعویض است و به هسته سازه متصل شده است. وقتی‌که سیال از بستر فیلتر می‌گذرد، ذرات جامد معلق آن جدا می‌شوند. وقتی‌که منافذ بستر پر می‌شوند، جریان سیال محدود شده و تغییرات فشار (ΔP، تفاوت فشار در دو انتهای فیلتر) شروع به افزایش می‌کند. سیستم‌های فیلتر زاپاس به تکنسین اجازه می‌دهد تا فیلتر تمیز را با کارتریج‌های کثیف جایگزین کند.

یک ا ستفاده معمول از فیلترهای بزرگ صنعتی در بخش ت صفیه آب ا ست. شرایط لازم برای تصفیه آب به سه عامل مرتبط است: کیفیت منبع آب، چگونگی استفاده از آب و قوانین زیست‌محیطی. صنایع فرایندهای شیمیایی رویه استفاده از آب‌های سطحی به‌جای آب چاه را اتخاذ کرده است. آب ابتدا به حوضچه‌ای بزرگ که رسوبات در آن ته‌نشین می‌شوند، وارد می‌شود. آب‌های سطحی حاوی گل‌ولای معلق و ناخالصی‌های آلی و معدنی هستند. چندین پمپ بزرگ مکش آب را انجام داده و آن را به فیلترهایی انتقال می‌دهند که برای جداسازی ذرات معلق طراحی شده‌اند.

---

[1] Throttling service

فیلترهای صنعتی بخش مهمی از مراحل تصفیه آب هستند. شکل ۱-۱۴ یک نمونه از فیلتر صنعتی را نشان می‌دهد.



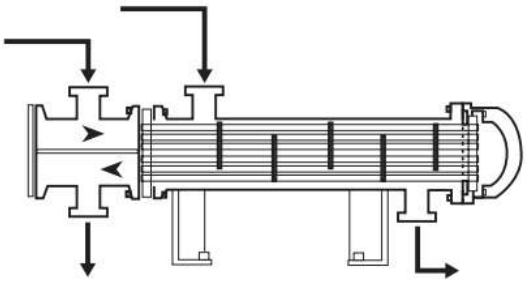
شکل ۱-۱۴: فیلتر

۱-۳-۴- مبدل‌های حرارتی

مبدل حرارتی این امکان را فراهم می‌آورد تا یک سیال گرم، انرژی گرمایی خود را بدون تماس فیزیکی به سیالی سردتر انتقال دهد. مبدل حرارتی می‌تواند گرمایش یا خنک‌سازی را برای یک فرایند فراهم آورد. مبدل‌های حرارتی می‌توانند در انواع: پوسته و لوله[1]، صفحه و قاب[2]، مارپیچ[3] و هوا خنک[4] یافت شوند. یک مبل حرارتی پوسته و لوله از مجموعه‌ای از لوله‌ها که با یک پوسته احاطه شده‌اند، تشکیل شده است. لوله‌ها معمولاً به یک صفحه لوله ثابت متصل شده‌اند و توسط مجموعه‌ای از بافل‌ها[5] (پره‌های هدایت‌کننده جریان) نگه داشته می‌شوند. سیلندر پوسته و لوله دارای دو سر (درپوش) عقب و جلو می‌باشد. سیال از طریق ورودی و خروجی لوله، از میان لوله‌ها و از طریق ورودی و خروجی پوسته، از میان پوسته عبور می‌کند. شکل ۱-۱۵ طرح معمول یک مبدل حرارتی پوسته و لوله را نشان می‌دهد.

---

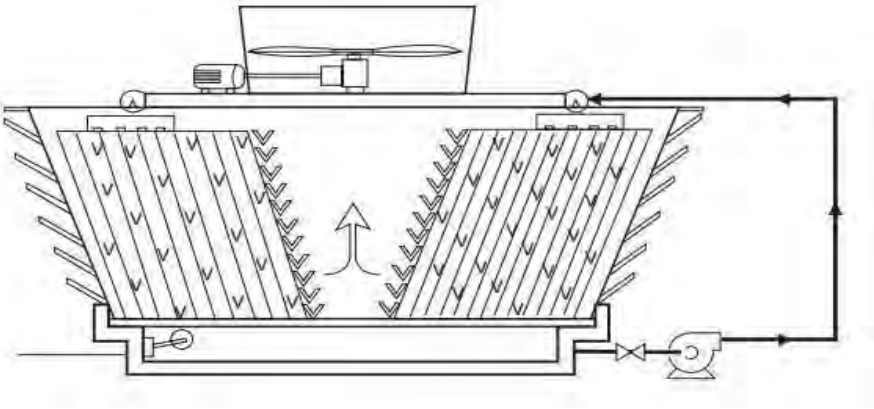
[1] Shell and tube
[2] Plate and frame
[3] Spiral
[4] Air cooled
[5] Baffle



شکل ۱–۱۵: مبدل حرارتی پوسته و لوله

۱–۳–۵– برج‌های خنک‌کن[1]

برج‌های خنک‌کن در صنعت برای خنک کردن آب ا ستفاده می شوند. طراحی برج، تماس منا سب هوا و آب را تضـمین می‌کند. آب داغ، گرما را با پاشـیده شـدن روی تخته‌های داخل برج به هوای سـردتر انتقال می‌دهد. بخش عمده گرمای آب با تبخیر گرفته می‌شـود. اجزای اصـلی برج خنک‌کن شامل یک حوضچه آب، پمپ و سیستم آب جبرانی در پایین برج خنک‌کن است. چارچوب داخلی از چوب ا شباع شده تحت‌فشار یا پلا ستیک ساخته شده تا اجزای داخلی برج را نگهداری کند. برخی از این اجزا شامل پرکن‌ها یا تخته‌های پاشش و قطره گیرها است. دریچه‌های ورود هوابرج، باعث ورود هوا به داخل دسـتگاه می‌شـوند. سـیسـتم توزیع آب گرم معمولاً در بالای پرکن‌های برج واقع شـده است. یک فن (پنکه) ممکن است برای افزایش جریان هوا در برج خنک‌کن به کار رود. شکل ۱–۱۶ نمونه‌ای از یک برج خنک‌کن را نشان می‌دهد.



شکل ۱–۱۶: برج خنک‌کن

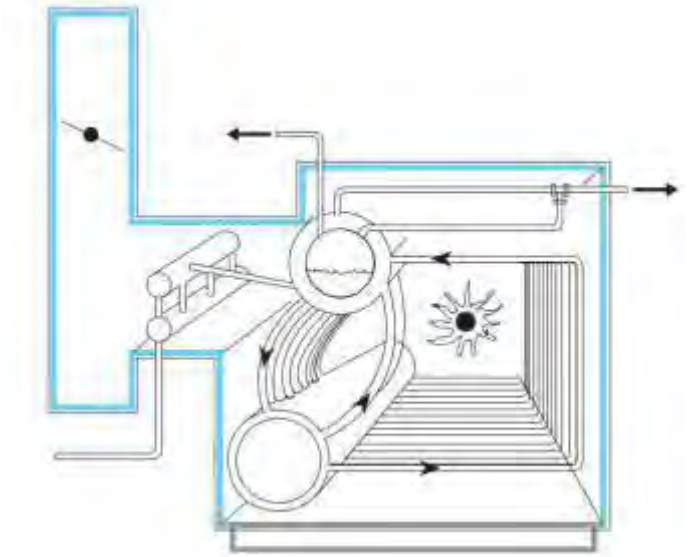
[1] Cooling Towers

۱–۳–۶– بویلرها

مولدهای بخار یا آنچه که عموماً بویلر نامیده می شود، در صنایع برای تولید بخار ا ستفاده می شوند. یک بویلر از یک درام (مخزن) بالایی و یک مخزن پایینی که توسط لوله‌ها به هم متصل شده‌اند، ساخته شده است. مخزن پایینی و لوله‌های آب کاملاً با آب پر می‌شوند درحالی‌که مخزن بالایی به‌طور جزئی پر می‌شود. این فضای خالی اجازه می‌دهد تا بخار جمع شده و از هدر (کله‌گی)[1] خارج شود. آب از میان لوله‌هایی که درون محفظه داغ جریان می‌یابد، عبور داده می‌شود.

با اعمال حرارت به لوله‌های آب و درام‌ها، آب در بویلر می‌چرخد، از لوله پایین‌برنده[2] پایین رفته، وارد مخزن پایینی شده، سپس وارد لوله‌های بالابرنده و مولد بخار کوره می‌شود.

طی شرایط عملیاتی عادی، بخار وارد مخزن بالایی شده و از هدر خارج می‌شود. بخار تولیدشده در بویلر با آب جبرانی جایگزین می‌شود. شکل ۱–۱۷ یک بویلر لوله آبی[3] را نشان می‌دهد.



شکل ۱–۱۷: بویلر لوله آبی

۱–۳–۷– کوره

کوره‌ها یا گرمکن‌های احتراقی، برای حرارت دادن مواد اولیه به کار می‌روند و می‌توانند محصولاتی مانند بنزین، نفت، نفت سفید، پلا ستیک و لا ستیک را تولید کنند.: کوره‌ها در بسیاری از فرایندها

---

[1] Header
[2] Downcomer tube
[3] Water-tube boiler

نظیر تقطیر نفت خام، کراکینگ و تولید اولفین‌ها به کار برده می شوند. اجزای اساسی یک گرمکن احتراقی شامل پوسته سخت فلزی پیرامون یک آتشدان، بخش همرفت و یک دودکش می‌باشد. داخل کوره با یک جسم نسوز مخصوص پوشانده شده که برای بازتابش گرما طراحی شده است. سیال فرایندی، با عبور از مجموعه‌ای از لوله‌ها و اتصالات در بخش تشعشعی، وارد یک هدر عایق‌بندی شده در خارج از کوره می‌شود.

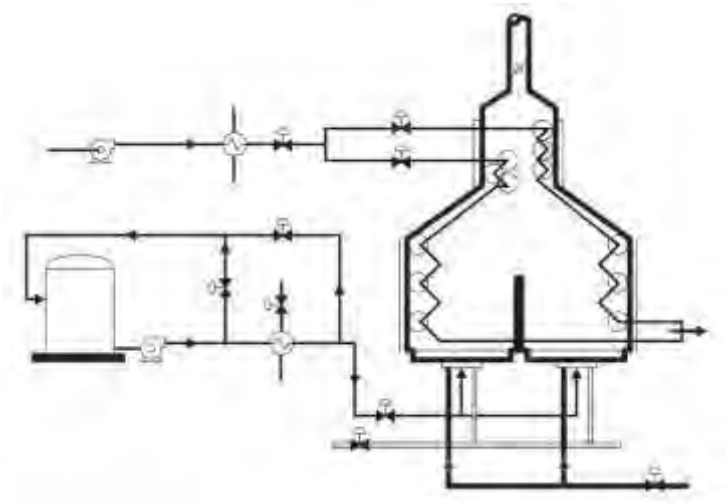
برای جلوگیری از خرابی تجهیزات یا محصولات، جریان سیال در لوله‌ها تنظیم می شود. جریان هوا و مقدار اکسیژن با تنظیم مشعل و دریچه دودکش (دمپر[1]) کنترل می شود. شکل ۱–۱۸ طرح ساده یک کوره را نشان می‌دهد. حرارت ناشی از مشعل از طریق لوله‌ها به سیال منتقل می شود. سیال قبل از خروج به قدر کافی در کوره باقی می‌ماند تا به شرایط عملیاتی موردنیاز برسد. طراحی کوره شامل انواع استوانه‌ای، کابینتی و مکعبی است.

۱–۳–۸– راکتور

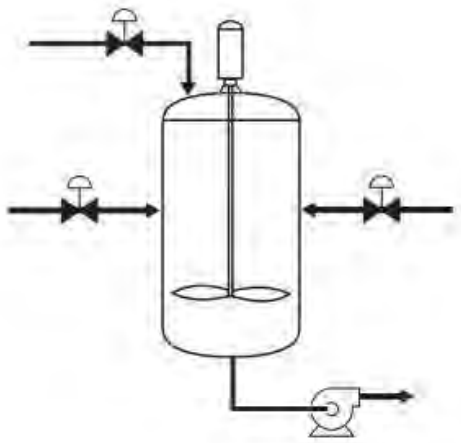
راکتور محفظه‌ای است که به‌منظور تبدیل مواد اولیه به محصولات موردنظر طی واکنش‌های شیمیایی مورداستفاده قرار می‌گیرد. راکتورها برای عملیات تحت شرایط مختلف طراحی می شوند. آن‌ها مواد اولیه را به‌صورت مایع یا گاز با کاتالیزورها، در فشارها یا دماهای مختلف مخلوط می‌کنند. کاتالیزور ماده‌ای است که برای افزایش یا کاهش سرعت یک واکنش شیمیایی طراحی شده است بدون این‌که جزئی از محصول نهایی شود. شکل و طراحی یک راکتور به کاربرد آن بستگی دارد. راکتورها در فرایندها و سیستم‌های گوناگون مورداستفاده قرار می‌گیرند. اجزای اصلی یک راکتور شامل یک پوسته، یک دستگاه گرم‌کننده یا سردکننده، تعداد دو یا بیشتر روزنه ورودی برای مواد اولیه و یک روزنه خروجی است. ممکن است از یک همزن برای مخلوط کردن مواد استفاده شود. شکل ۱–۱۹ تصویر یک راکتور مخلوط‌کننده ساده است.

---

[1] Damper



شکل ۱–۱۸: کوره



شکل ۱–۱۹: راکتور مخلوط‌کننده

۱–۳–۹– ستون‌های تقطیر

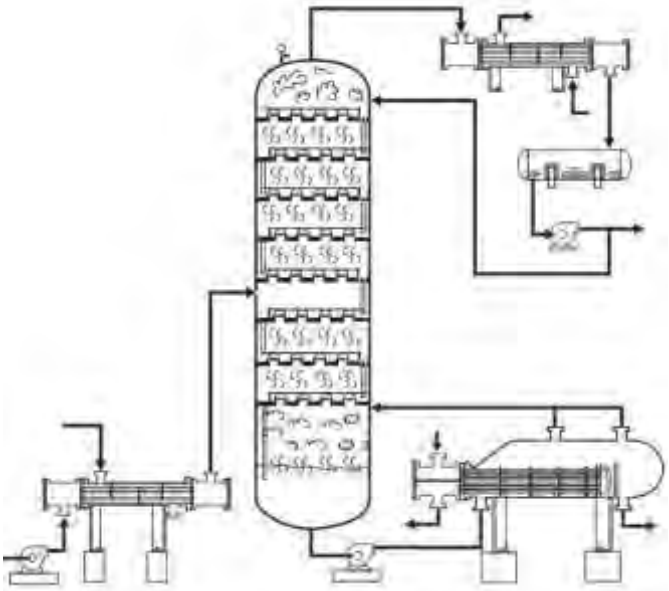
سیستم تقطیر ساده (شکل ۱–۲۰) از یک پیش گرم‌کن خوراک، برج تقطیر، مبرد بالایی، جمع کننده (اکومولاتور[1]) و بازگرمکن[2] تشکیل شده است. خوراک پیش گرم شده وارد سینی یا بخش خوراک در برج می‌شود. قسمتی از مخلوط خوراک تبخیر می‌شود و بخشی از آن شروع به چکیدن در بخش‌های پایین‌تر برج می‌کند. یک مبدل حرارتی که به نام کمک گرمکن شناخته می‌شود، موازنه انرژی در ستون را حفظ می‌کند. ستون‌های تقطیر یا برج‌ها در دو نوع طراحی وجود دارند: صفحه‌ای (سینی‌دار) و پرشده.

وقتی بخار از ستون بالا می‌رود، با مایعی که از ستون پایین می‌آید تماس پیدا می‌کند. این تماس روی سینی‌ها یا سطح پک‌ها (پرکن‌ها) اتفاق می‌افتد و منجر به انتقال جرم مواد از فاز مایع به فاز بخار و از فاز بخار به فاز مایع می‌شود. در هر سینی، بخار خروجی از سینی غلظت بالاتری از ماده با نقطه‌جوش پایین‌تر (فرارتر) نسبت به بخار ورودی به سینی را دارد. همچنین مایع خروجی از سینی، غلظت بالاتری از ماده با نقطه‌جوش بالاتر نسبت به مایع ورودی به سینی را دارد.

سبک‌ترین جزء به‌صورت بخار از بالای ستون خارج می‌شود و از کویل‌های خنک‌کننده مبرد پوسته و لوله عبور می‌کند. وقتی‌که بخار داغ با کویل‌ها تماس پیدا می‌کند، متراکم شده و در اکومولاتور بالای ستون جمع می‌شود. بخشی از این محصول برای ذخیره‌سازی فرستاده می‌شود؛ بقیه به‌عنوان رفلاکس به برج برمی‌شود. جزء سنگین‌تر به‌صورت مایع از پایین ستون خارج می‌شود. ستون تقطیر می‌تواند دو، سه یا تعداد بیشتری از محصولات را از یک مخلوط برای مصارف صنعتی جداسازی کند.

---

[1] Accumulator
[2] Reboiler



شکل ۱–۲۰: ستون تقطیر

۱–۴ چک‌لیست‌های تجهیزات

کارشناسان فرایند از چک‌لیست‌های تجهیزات به‌منظور بررسی وضعیت عملیاتی موجود واحد بهره می‌گیرند. داده‌های چک‌لیست از تجهیزات موجود در محل یا اتاق کنترل جمع‌آوری می‌شوند. چک‌لیست کارشناس را از وضعیت بخش‌های حیاتی واحد عملیاتی آگاه می‌کند. چک‌لیست‌ها می‌توانند برای بررسی دقیق مشکلات عملیاتی به کار روند. اطلاعات یک چک‌لیست می‌تواند در یک چارت کنترل فرایند آماری ترسیم شده و برای مقایسه کارایی گذشته و حال تجهیزات به کار رود. چک‌لیست‌های واحد برای آموزش کارشناسان جدید هم موردا ستفاده قرار می‌گیرند. آموزش حین کار به تکنسین‌های کارآموز برای این‌که از نزدیک با تجهیزات آشنا شوند، لازم است. زمان زیادی وقت لازم است که چک‌لیست برای اولین بار توسط کارشناس جدید پر شود. استفاده از چک‌لیست (یا دفتر ثبت) نظارت بر تجهیزات و دستگاه‌ها توسط اپراتور را از یک شیفت به شفت دیگر آسان می‌گرداند.

چک‌لیست‌ها داده‌های مربوط به دما، فشار، سطح سیال، جریان، آنالیز فرایند و تجهیزات را از محل جمع‌آوری می‌کنند. آن‌ها به‌صورت عینی برای بررسی تجهیزات عملیات و سیستم مورداستفاده قرار می‌گیرند. علاوه بر این، کارشناسان در طی بازدید بر موارد دیگری که در چک‌لیست یافت نمی‌شوند نیز نظارت می‌کنند؛ نظیر نظافت، ایمنی، بهداشت و شرایط زیست‌محیطی.

خلاصه

صنایع فرایندهای شیمیایی متشکل از پالایشگاه‌ها و کارخانه‌های پتروشیمی، خمیر و کاغذ، تولید انرژی و صنایع غذایی می‌باشند. کار شناسان فرایند، بازرسی و نگهداری از تجهیزات، سرویس و نصب تجهیزات، تکمیل نمودن چک‌لیست، کنترل اسناد، رسیدگی به شرایط اضطراری و رفع مشکلات سیستم را بر عهده دارند. کارشناسان فرایند از انواع مختلف ابزاردستی برای انجام کار خود استفاده می‌کنند. به‌علاوه، برای داشتن شناخت از ابزار اولیه، کارشناسان فرایند بایستی درک کاملی از تجهیزات و سیستم‌ها داشته باشند.

تجهیزات به دودسته دوار و ثابت طبقه‌بندی می‌شوند. توربین‌های بخار و موتورهای الکتریکی دو دسته از معمول‌ترین دستگاه‌هایی هستند که در صنعت به‌عنوان محرک برای تجهیزات دوار مورداستفاده قرار می‌گیرند.

محرک‌های صنعتی به‌وسیلهٔ کوپلینگ به تجهیزات دوار متصل می‌شوند. تجهیزات دوار از آب‌بندها و یاتاقان‌ها برای حفظ کارکرد درست عملیاتی بهره می‌گیرند. آب‌بندها از نشت بین بخش‌های داخلی جلوگیری می‌کنند. یاتاقان‌های شعاعی برای جلوگیری از حرکات بالا-پایین و جانبی محور گردان و یاتاقان‌های محوری برای جلوگیری از حرکت عقب-جلوی محور طراحی شده‌اند.

پمپ‌ها، مایعات را از جایی به‌جای دیگر انتقال می‌دهند. پمپ‌های جابه‌جایی مثبت به دود سته دوار و رفت و برگشتی دسته‌بندی می‌شوند. پمپ‌های رفت و برگشتی با حرکت عقب و جلو شناسایی می‌شوند، درحالی‌که پمپ‌های دوار با گردش دایره‌ای حرکت می‌کنند. پمپ‌های دینامیکی به دودسته گریز از مرکز و محوری طبقه‌بندی می‌شوند. پمپ‌های گریز از مرکز از نیروی گریز از مرکز برای جابه‌جایی مایعات بهره می‌برند. پمپ‌های محوری مایعات را در طول یک مسیر مستقیم به جلو می‌برند.

کمپرسور جهت سرعت بخشیدن یا فشردن گازها طراحی شده است. کمپرسورها خیلی شبیه پمپ‌ها عمل می‌کنند. آن‌ها در دو نوع اصلی جابه‌جایی مثبت و دینامیکی عرضه می‌شوند.

لوله‌ها و مخازن، تجهیزات ثابتی هستند که به‌منظور ذخیره‌سازی و نگهداری سیالات طراحی شده‌اند. فیلترها، نوع دیگری از تجهیزات ثابت هستند. آن‌ها جامدات معلق را از سیالات جدا می‌کنند.

شیرها ابزارهایی هستند که برای کنترل جریان سیالات مورداستفاده قرار می‌گیرند. شیرها در شکل‌ها، اندازه‌ها و طرح‌های مختلف وجود دارند و برای توقف، شروع، محدود کردن یا هدایت جریان سیال استفاده می‌شوند. انواع رایج شیرها عبارت‌اند از دروازه‌ای، کروی و توپی.

مبدل های حرارتی انرژی گرمایی را بین دو سیال که باهم ارتباط فیزیکی ندارند، انتقال می‌دهند. برج‌های خنک‌کن گرما را از آب می‌گیرند.

کوره‌ها یا هیترهای احتراقی برای حرارت دادن حجم وسیعی از مواد خام مورداستفاده قرار می‌گیرند. نوع دیگری از کوره، بویلر می‌باشد. بویلرها، بخار را برای مصارف صنعتی مهیا می‌کنند.

راکتورها برای مخلوط کردن مواد خام و کاتالیزورها، در فشارها یا دماهای مختلف استفاده می شوند. برج‌های تقطیر مخلوط‌های شیمیایی را بر اساس اختلاف نقاط جوش اجزای مخلوط جدا می‌کنند.

سؤالات مروری

۱) دلیل اصلی استفاده از شیرها چیست؟
۲) چگونگی عملکرد پمپ‌های گریز از مرکز را توضیح دهید.
۳) تفاوت اصلی پمپ و کمپرسور را بیان کنید؟
۴) هدف استفاده از یک توربین بخار چیست؟
۵) یاتاقان‌ها و آب‌بندها به چه منظوری استفاده می‌شوند؟
۶) ابزارهای دستی که توسط تکنسین‌های فرایند استفاده می‌شوند را بیان کنید.
۷) چهار روشی که تکنسین‌های فرایند برای بازرسی ابزارها استفاده می‌کنند نام ببرید.
۸) سه اصل اساسی که اجازه کار به موتور الکتریکی می‌دهد چیست؟
۹) تفاوت بین تجهیزات دوار و تجهیزات ثابت را بیان کنید.
۱۰) اهمیت روغن‌کاری در پمپ، کمپرسور و توربین را بیان کنید.
۱۱) عملکرد پمپ جابجایی مثبت را توضیح دهید.
۱۲) هدف اصلی استفاده از راکتور مخلوط‌کننده چیست؟
۱۳) ستون تقطیر را تعریف کنید.
۱۴) هدف استفاده از یک بویلر چیست؟
۱۵) از برج خنک‌کننده برای چه استفاده می‌کنند؟
۱۶) چک‌لیست‌های تجهیزات برای چیست؟

فصل دوم
شیرها

اهداف

پس از مطالعه این فصل، دانشجو باید بتواند:

- هدف از تولید شیرهای صنعتی را توضیح دهد.
- اجزای اصلی شیر دروازه‌ای (کشویی) را مشخص کند.
- اجزای اصلی شیر کروی (گلوب) را شناسایی کند.
- عملکرد و طراحی شیر توپی را توضیح دهد.
- اجزای اصلی شیر یک‌طرفه (شیرفلکه) را مشخص کند.
- طراحی و عملکرد شیر پروانه‌ای را شرح دهد.
- طراحی و عملکرد شیر سماوری را بررسی کند.
- طراحی و عمل کرد شیر دیافراگمی (غشایی) را شرح دهد.
- طراحی و عملکرد شیر فشارشکن و شیر اطمینان را شرح دهد.
- طراحی و عملکرد شیرهای اتوماتیک را شرح دهد.

۲–۱– کاربردهای شیر و تئوری عملکرد

واحدهای فرایندی، شبکه‌ای از سیستم‌ها و فرایندهای پیچیده هستند. درست همان‌طور که شریان‌ها، رگ‌ها و قلب برای زندگی انسان حیاتی هستند، لوله‌ها، شیرها و پمپ‌ها در یک کارخانه فرایند، ضروری می‌باشند. هدف اصلی یک شیر هدایت و کنترل جریان سیالات است که با شروع، متوقف سازی و خفه کردن (محدود کردن) جریان است عملیات را امکان‌پذیر می سازد. شیرها برای مقاومت در برابر فشار، دما و جریان طراحی شده‌اند و در خانه‌ها و صنعت در سرتا سر جهان یافت می‌شوند. شیرهای رایج (شکل ۲–۱) که در محیط تولید یافت می‌شوند عبارت‌اند از شیرهای دروازه‌ای، شیرهای کروی، شیرهای توپی، شیرهای یک‌طرفه، شیرهای پروانه‌ای، شیرهای سماوری، شیرهای سوزنی، شیرهای سه راهه، شیرهای دیافراگمی، شیرهای فشارشکن و اطمینان، شیرهای زاویه‌ای و شیرهای چند راهه. شیرها معمولاً برای یک هدف خاص انتخاب می‌شوند. همچنان که به خواندن این فصل ادامه می‌دهید، متوجه تنوع طراحی‌های شیر خواهید شد. اپراتورها باید از نحوه کار هر شیر و لوازم خاصی که برای آن طراحی شده‌اند، آگاه باشند.

شکل ۲–۱: شیرها

۲–۱–۱– طبقه‌بندی شیرها

اپراتورهای فرایند، شیرها را بر ا ساس (۱) اجزاء کنترل جریان، (۲) عملکرد و (۳) شرایط عملیاتی مانند فـشار، جریان یا دما طبقه‌بندی می‌کنند. متداول‌ترین روش برای طبقه‌بندی شیرها طراحی با توجه به عنصر کنترل جریان شیر است.

این بخش از شـــیر، جریان ســـیال را از طریق این دســـتگاه، کنترل یا تنظیم می‌کند. برخی از شـــیرها دارای دریچه‌های فلزی متحرک، توپ‌ها، پلاگ‌ها، دیافراگم‌ها، دیســـک‌ها، ســـوزن‌ها یا حتی عناصـــر پروانه‌ای هســـتند. بیشـــتر شـــیرها بر اســـاس نوع یا طراحی عنصـــر کنترل جریان نام‌گذاری شده‌اند. شیرهایی که برای جدا سازی ا ستفاده می شوند به‌عنوان شیرهای قطع کننده طبقه‌بندی می‌شـــوند. درحالی‌که شـــیرهای دروازه‌ای رایج‌ترین شـــیرها هســـتند که برای جداســـازی اســـتفاده می‌شوند، هر شیری می‌تواند برای این نوع تأسیسات مورداستفاده قرار گیرد. اصطلاح دیگر در رابطه با عملکرد شیر، ظرفیت شیر ا ست. ظرفیت شیر ا صطلاحی ا ست که برای تو صیف مقدار کل یک سیال به کار می‌رود که یک شیر با یک اختلاف فشار معلوم هنگامی‌که کاملاً باز ا ست از خود عبور می‌دهد.

۲–۱–۲– حک بدنه

بدنه شـــیر حاوی حک بدنه[1] اســـت که به اطلاعات مربوط به تولیدکننده شـــیر اختصـــاص دارد. نشان‌های حک بدنه شامل حروف و نمادهای زیر هستند:

W = تأسیسات آب با درجه حرارت پایین

O = تأسیسات روغن با درجه حرارت پایین

G = تأسیسات گاز با درجه حرارت پایین

→ = جهت جریان

گاهی اوقات اطلاعات تکمیلی در مورد اندازه و فشار در صفحه‌ی متصل به شیرفلکه یافت می‌شود.

۲–۲– شیرهای دروازه‌ای

یکی از شیرهای متداول که در صنعت یافت می‌شود شیر دروازه‌ای است. شیر دروازه‌ای یک دریچه فلزی متحرک را در مســـیر جریان فرایند در یک خط لوله قرار می‌دهد. دریچه‌ها طوری ســـایزبندی شـــده‌اند که بتواند در داخل قطر یک لوله قرار بگیرد، بنابراین محدودیت بســـیار کمی هنگام قرار گرفتن در حالت باز وجود دارد. شـــیرها از اندازه ۰/۱۲۵ اینچ تا چندین فوت متفاوت هســـتند.

---

[1] Bridgewall

شـــیرهای دروازه‌ای به‌طورمعمول در موقعیت " کاملاً باز" یا "کاملاً بســـته" عمل می‌کنند. این نوع شیر در جایی استفاده می‌شود که سرعت‌های جریان محدود نیستند.

شیرهای دروازه‌ای را نباید برای خفه کردن جریان در دوره‌های طولانی ا ستفاده شود. سرعت جریان‌های مغ شوش در سرا سر شیر موجب فر سایش فلز، آ سیب به ن شیمنگاه و آ سیب به عن صر کنترل جریان می شود که می‌تواند از ان سداد کامل جریان شیر جلوگیری کند. ن شیمنگاه‌ها در یک شـــیر دروازه‌ای در دودســـته قابل تعویض و ثابت قرار دار ند. شـــیر های کوچکتر معمولاً دارای نشـیمنگاه‌های ثابت یا ریخته‌گری شـده هسـتند زیرا تعویض شـیر راحت‌تر و باصـرفه‌تر از تعویض نشیمنگاه‌ها است. در بیشتر موارد، شیر دروازه‌ای دارای دو سطح نشیمنگاهی عمودی است. لبه‌های ن شیمنگاه‌ها با دی سک‌های موازی یا گوه منطبق شده ا ست. شیر دروازه‌ای معمولی از یک دریچه، بدنه، ف ضای ن شیمنگاه، ساقه[1]، درپوش، پکینگ، محفظه پکینگ، گلند پکینگ و شیرفلکه ت شکیل می شود (شکل ۲-۲). این دریچه می‌تواند به شکل گوه با شد یا ممکن ا ست شامل دی سک‌های موازی باشـد. این دیسـک‌ها می‌تواند از مواد متنوعی تشـکیل شـود. در هنگام بسـته بودن، دریچه مستقیماً در مسیر جریان فرایند قرار می‌گیرد و هنگام باز شدن کاملاً از مسیر خارج می شود. بدنه بزرگترین ق سمت شیر ا ست. بدنه از سه طریق می‌تواند به لوله‌ک شی فرایند مت صل شود: فلنج‌ها، اتصالات رزوه‌ای یا جوشکاری. بقیه شیر به بدنه وصل می‌شود. محل استقرار از دو سطح یا حلقه‌های ثابت در داخل بدنه شـیر تشـکیل می‌شـود که این دریچه در مقابل آن بسـته می‌شـود تا جریان را متوقف کند. محل ا ستقرار به دود سته قابل تعویض یا ثابت تق سیم می شوند. ن شیمنگاه‌ها باید یک سطح مماس تمیز را فراهم کنند تا دریچه به‌درستی بسته شود. نشیمنگاه را می‌توان از طریق جفت کردن با ف شار[2]، رزوه زنی یا جو شکاری در محل به‌عنوان بخشی از شیر ساخت. توجه دا شته با شید که در شرایط دما و ف شار زیاد ممکن ا ست به ترکیبی از بندک شی و جوش نیاز دا شته با شد. ساقه (ا ستم) یک محور بلند و باریک ا ست که به دریچه، بو شینگ یا چرخ و صل شده ا ست. هنگامی‌که فلکه چرخانده می شود، انرژی دوار به ساقه منتقل می شود تا برای باز شدن بالا برود و برای ب سته شـدن پایین‌تر بیاید. وقتی درپوش جریان فرایند بیرون کشـیده می‌شـود، محفظه‌ای برای دریچه یا دیسک فراهم می‌شود. این (درپوش) توسط جوشکاری به‌طور دائم یا با رزوه زنی یا پیچ کردن به‌طور موقت به بدنه وصل می‌شود. پکینگ یک ماده با طراحی خاص است که از نشت از درپوش جلوگیری می‌کند، درعین‌حال به ســـاقه اجازه حرکت آرام به ســـمت بالا و پایین را می‌دهد. محفظه پکینگ به‌طورمعمول در جایی قرار می‌گیرد که ســـاقه از میان درپوش عبور کند. محفظه پکینگ یک ناحیه توکار است که به‌طور خاص طراحی شده است تا امکان نصب پکینگ در اطراف ساقه را فراهم کند.

---

[1] Stem
[2] Press

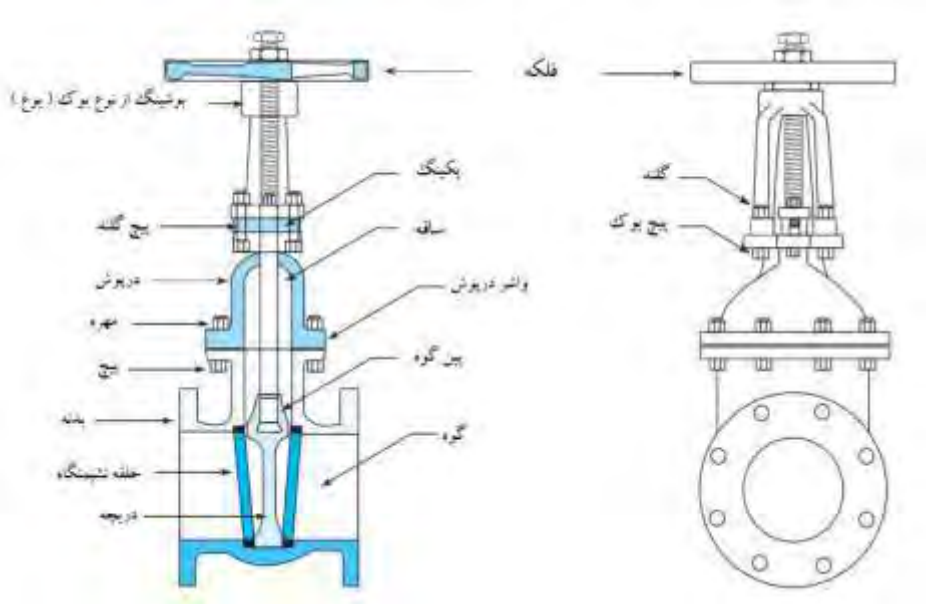
گلند پکینگ وسیله‌ای است که برای فشرده‌سازی و ایمن کردن مواد پکینگ داخل محفظه پکینگ ا ستفاده می شود. مهره‌های گلند پکینگ طراحی شده‌اند تا با سفت شدن یکنواخت (هر مهره به مقدار مساوی سفت شود) توسط تکنسین نشتی را متوقف سازد. فلکه به ساقه شیر وصل می‌شود. شیرفلکه انرژی چرخشی را به ساقه منتقل می‌کند. این انرژی چرخشی حرکت عنصر کنترل جریان را کنترل می‌کند. چرخاندن فلکه در جهت عقربه‌های ساعت شیر را می‌بندد. وقتی فلکه در خلاف جهت عقربه‌های ساعت چرخانده شود، شیر باز می‌شود.

۲–۲–۱– دریچه‌های رایج

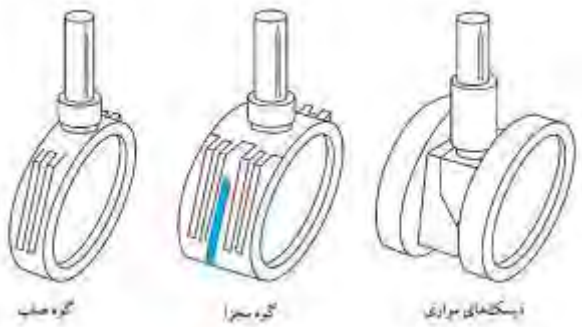
دریچه روی شیر دروازه‌ای در شکل‌ها و اندازه‌های مختلفی تولید می‌شوند. متداول‌ترین طرح‌ها شامل گوه صلب، دریچه صلب مجزا[1] و دیسک‌های موازی ا ست (شکل ۳–۲). هنگامی‌که دریچه فلزی صلب روی نشیمنگاه می‌لغزد، دریچه گوه صلب یک آب‌بندی کامل را به وجود می‌آورد. مجموعه راهنما، دیسک را در محل قرارگیری خود تراز می‌کنند. ازآنجاکه دریچه گوه صلب طوری طراحی شده است که می‌تواند به‌راحتی در نشیمنگاه قرار بگیرد، هرگز نباید بیش‌ازحد محکم شود. نیروی بیش‌ازحد به نشیمنگاه‌ها آسیب می‌زند، بنابراین تا وقتی‌که گوه در جای خود قرار گیرد و سپس کمی به عقب برود، تکنسین باید شیر را ببندد.

دریچه گوه صلب زمانی که دریچه فلزی انشعابی (اسپلیت) به سمت نشیمنگاه می‌لغزد (روی نشیمنگاه قرار می‌گیرد)، یک آب‌بندی قطعی را فراهم می‌آورد. دریچه گوه صلب مانند گوه صلب طراحی شده است اما دارای ویژگی عنصر انشعاب (اسپلیت) است که باعث می شود مانند دیسک دوبل کار کند.

[1]Split



شکل ۲–۲: اجزاء شیر دروازه‌ای



شکل ۲-۲: دریچه‌ها

ویژگی انشعابی (اسپلیت) و غیراغتشاشی[1] این نوع دریچه اجازه می‌دهد تا بتواند درجه حرارت‌های بالاتری را نسبت به گوه صلب کنترل کند. فشار سیال برای نشاندن این نوع دریچه ا ستفاده می شود. دریچه با دیسک‌های موازی یا دوبل از دو دیسک جداگانه تشکیل شده که روی یک محور سوار شده است. بعضی از دیسک‌های موازی یک فنر دارند که بین دو دیسک قرار

[1] Nonjamming

می‌گیرد درحالی‌که سایرین به یک هسته فلزی صلب وصل می‌شوند. شیر دروازه‌ای دو دیسکی به دلیل طراحی غیر اغتشاشی‌شان برای تأسیسات در دمای بالا طراحی شده‌اند.

زمانی که سیال وارد این نوع شیرها می‌شود بر روی یکی از دیسک‌ها فشار می‌آید و فنر یا عنصر کنترل جریان تحت‌فشار قرار می‌گیرند و دیسک مخالف را مجبور می‌کند که به‌راحتی در نشیمنگاه خود قرار گیرد. فشار سیستم به قرار دادن دریچه در محل استقرار آن کمک می‌کند. هرچه فشار بالاتر باشد، دیسک به‌صورت محکم‌تر در داخل نشیمنگاه قرار می‌گیرد.

۲-۲-۲- مواد شیر دروازه‌ای

شیرهای دروازه‌ای (شکل ۴-۲) طوری طراحی شده‌اند که در شرایط مختلف فرایند استفاده شوند. شرایط خاص تعیین می‌کند که شیر از چه نوع ماده‌ای ساخته شود. به‌عنوان‌مثال، شیرهای دروازه‌ای از جنس فولاد زنگ نزن[1] در تأسیسات خورنده، درجه حرارت بالا و پایین استفاده می‌شوند. شیرهای دروازه‌ای با آلیاژ مخصوص در تأسیسات پرفشار و درجه حرارت بالا مورداستفاده قرار می‌گیرند. از شیرهای دروازه‌ای برنزی نیز می‌توان در تأسیسات کم‌دما و کم‌فشار استفاده نمود. شیرهای دروازه‌ای برنجی نیز در تأسیسات کم‌فشار و درجه حرارت پایین استفاده می شوند. در تأسیسات آب، روانکاری و برخی از انشعاب‌ها با فشار بخار کم نیز از شیرهای دروازه‌ای چدنی استفاده می‌شود.

شکل ۲-۴: شیر دروازه‌ای فولاد زنگ نزن

[1] Stainless Steel

شیرهای دروازه‌ای برای تأسیسات فرایندی که به‌طور دوره‌ای مورداستفاده قرار می‌گیرند بسیار مناسب هستند. یافتن شیرهای دروازه‌ای که سال‌های طولانی از آن‌ها استفاده نشده باشد، امر غیرمعمولی نیست.

۲-۲-۳- ساقه بالارونده و غیر بالارونده

ساقه در دو طراحی روی شیر دروازه‌ای قرار می‌گیرد: ساقه بالارونده و ساقه غیر بالارونده. فلکه در بالای شیر دروازه‌ای قرار می‌گیرد. فلکه به بوشینگ متصل می‌شود که به ساقه رزوه شده وصل شده است. با چرخاندن فلکه در جهت عقربه‌های ساعت، ساقه در مرکز فلکه بالا می‌رود. وقتی ساقه بالا می‌رود، دریچه از بدنه بالا رفته که اجازه می‌دهد مایعات به جریان بیافتند. یک تکنسین فرایند می‌تواند به این شیر نگاه کنند و با بررسی وضعیت ساقه بگوید که شیر باز است یا بسته. نوع دیگری از ساقه بالارونده شیر در انتهای ساقه رزوه می شود. در این نوع شیر، فلکه به‌طور محکم به ساقه متصل شده است وقتی‌که شیر باز می شود با آن بالا می‌آید. دریچه ساقه بالارونده دارای حلقه‌ای است که ساقه را به سمت بالا و پایین حرکت می‌دهد. فلکه به‌طور محکم به ساقه یک دریچه غیر بالارونده وصل می‌شود. چرخاندن فلکه، ساقه را وارد دریچه می‌کند یا از آن خارج می‌کند. شما نمی‌توانید با نگاه کردن به این نوع شیرها بگویید که باز یا بسته است.

۲-۲-۴- نگهداری

نگهداری تجهیزات یک بخش مهم از کار یک اپراتور است. رزوه‌های ساقه شیر که در معرض هوا هستند نیاز دارند که با ترکیب آنتی سیز[1] (نوعی گریس که دارای گرافیت و یا مواد جامد دیگری است) روغن‌کاری شوند تا به‌درستی کار کنند. پکینگ باید وارسی شود و در صورت یافتن نشت، مهره‌های گلند باید به‌طور مساوی سفت شوند. ساقه‌های شیر نباید رنگ شوند و باید حداکثر سعی انجام شود تا دور از گردوغبار باقی بمانند. هنگام بستن شیر دروازه‌ای، اپراتور باید مواظب باشد که به نشیمنگاه‌های شیر آسیب نرسد. تغییرات دما، خیلی سریع بستن شیر و انبساط لوله می‌تواند باعث تاب برداشتن (پیچ‌خوردگی) شیر شود. ازآنجاکه تاب برداشتن می‌تواند باعث چسبیدن شیر شود، تکنسین فرایند باید شیرها را به‌آرامی ببندد. هنگامی‌که دریچه در پایین است، هیچ‌وقت نباید از آچار استفاده شود تا آن را به سمت پایین بکشید. بسیاری از شیرها دارای اتصالات گریس هستند که روان کننده را به قطعات متحرک راه می‌دهد. تکنسین‌های فرایند به‌طور مرتب شیرها را وارسی، تمیز و روانکاری می‌کنند.

---

[1] Antiseize

۲–۳– شیرهای کروی

شیرهای کروی (گلوب) دومین شیرهای رایجی هستند که در صنعت استفاده می شوند. یک شیر کروی یک دیسک فلزی متحرک را در مسیر جریان فرایند قرار می‌دهد. این نوع شیر معمولاً برای تجهیزات گلوگیری به کار می‌رود. این دیسک طوری طراحی شده است که به‌طور محکم در نشیمنگاه قرارگرفته و جریان را متوقف می‌کند. سیال فرایند وارد شیر کروی شده، با چرخش ۹۰ درجه به پایین نشیمنگاه و دیسک آن هدایت و با عبور سیال از دیسک، به‌طور یکنواخت پخش می‌شود.

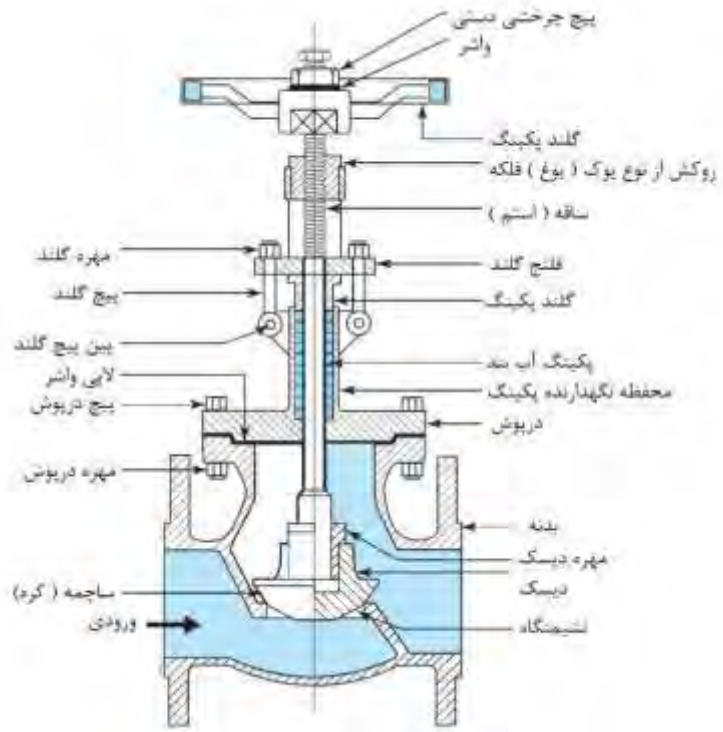
شیرهای کروی باید به‌درستی نصب شوند تا به صورت مناسب عمل کنند. اگر شیر در عقب نصب‌شده باشد، تمایل به ساییدن ناهموار وجود دارد و عنصر کنترل جریان را به پایین فشار می‌دهد.

شیر کروی معمولی شامل یک دیسک، بدنه، نشیمنگاه، ساقه، درپوش، پکینگ، محفظه پکینگ، گلند پکینگ، شیرفلکه و نشیمنگاه عقب است (شکل ۲–۵). دیسک از سه طریق به ساقه وصل می‌شود: لوله کشویی، رزوه زنی یا ساخت یک تکه. دیسک را می‌توان به‌صورت پلاگی[1]، توپی، ترکیبی یا سوزنی شکل طبقه‌بندی کرد. این دیسک از مواد مختلفی تشکیل می شود. دیسک یا عنصر کنترل جریان در نشیمنگاه قرار می‌گیرد و هنگام خاموش شدن به‌طور مستقیم در مسیر جریان فرایند قرار می‌گیرد. برخلاف شیر دروازه‌ای، شیر کروی طوری طراحی شده است که برای گلوگیری گاز استفاده می شود. جریان می‌تواند با مقدار باز شدن عنصر کنترل جریان تنظیم شود. بدنه بزرگ‌ترین قسمت شیر است. بدنه می‌تواند از سه طریق به لوله‌کشی فرایند متصل شود: فلنج ها، اتصالات رزوه‌ای یا جو شکاری. بقیه شیر به بدنه وصل می شود. نشیمنگاه در چهار طرح ارائه می‌شود: یک رویه صاف شیب‌دار، ارینگ یا واشر و مخروطی شکل یا مخروط سوزنی. فضای نشیمنگاه جایی است که عنصر کنترل جریان در مقابل بدنه شیر بسته می‌شود تا جریان را متوقف کند. فضای نشیمنگاه قابل تعویض یا ثابت است. نشیمنگاه‌ها باید یک سطح مماس تمیز را در اختیار عنصر کنترل جریان قرار دهند تا به‌درستی مستقر شود. نشیمنگاه را می‌توان به‌عنوان بخشی از شیر از طریق جفت کردن با فشار، رزوه زنی یا جو شکاری در محل ساخت. در شرایط دما بالا و فشار بالا ممکن است ترکیبی از رزوه زنی و جوشکاری موردنیاز باشد. ساقه یک محور بلند و باریک است که به دیسک، بوشینگ یا چرخ وصل می شود. چرخاندن فلکه، انرژی چرخشی را به ساقه منتقل می‌کند. درپوش در هنگام خارج شدن از جریان فرایند، محفظه‌ای برای دیسک فراهم می‌آورد. این درپوش، با جو شکاری به‌طور دائم یا با رزوه زنی به‌طور موقت به بدنه متصل می شود.

---

[1] Plug

پکینگ یک ماده با طراحی خاص اســـت که از نشـــت از بالای درپوش جلوگیری می‌کند اما اجازه می‌دهد تا ســـاقه به‌طور مســـاوی (یکنواخت) بچرخد. محفظه پکینگ به‌طورمعمول در جایی قرار می‌گیرد که ساقه از میان درپوش عبور کند. محفظه پکینگ یک ناحیه توکار است که به‌طور خاص طراحی شده است تا امکان نصب پکینگ در اطراف ساقه فراهم شود. گلندپکینگ وسیله‌ای است که برای فشـــرده‌ســـازی و ایمن کردن مواد پکینگ داخل محفظه پکینگ اســـتفاده می‌شـــود. مهره‌های گلندپکینگ طوری طراحی شده‌اند که با سفت کردن مساوی آن‌ها توسط اپراتور بتوانند نشتی را متوقف کنند. شیرفلکه به ساقه شیر وصل می شود. شیرفلکه انرژی چرخشی را به ساقه منتقل می‌کند. این انرژی چرخشـــی، حرکت عنصـــر کنترل جریان را کنترل می‌کند. نشـــیمنگاه عقب دستگاهی است که برای آب‌بندی بین ساقه و درپوش و محافظت پکینگ در برابر فشار اضافی در داخل شیر استفاده می‌شود. نشیمنگاه عقب در تأسیسات بخار مورداستفاده قرار می‌گیرد. نشیمنگاه عقب به‌عنوان بخشی از ساقه ساخته می شود. هنگامی‌که ساقه در حالت کامل باز است، نشیمنگاه دیسکی شکل عقب به‌صورت محکم به سطح مماس نشیمنگاه درپوش وصل می‌شود.



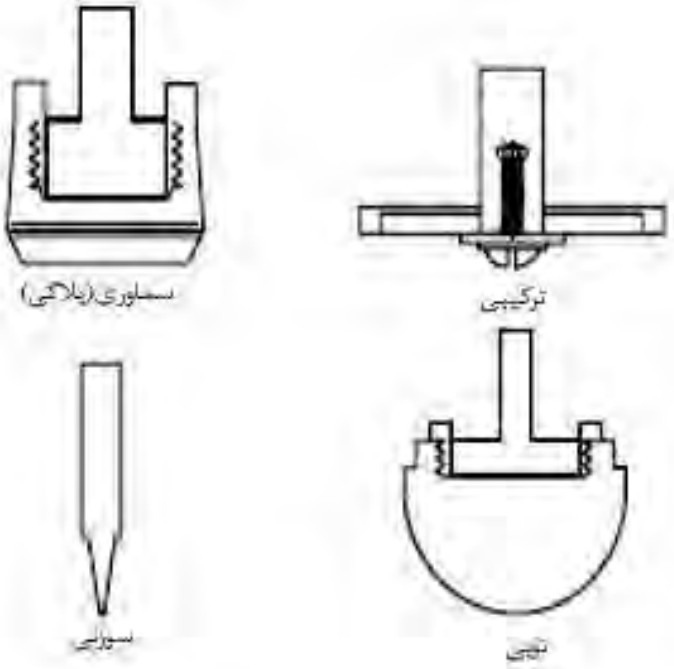
شکل ۲-۵: اجزاء شیر کروی

۲–۳–۱– چهار طرح رایج دیسک

دیسک در یک شیر کروی در اشکال و اندازه‌های مختلفی تولید می‌شوند. چهار طرح پلاگی، توپی، ترکیبی و سوزنی است (شکل ۲–۶). دیسک پلاگی برای رزوه‌زنی استفاده می شود. این دیسک مجهز به حلقه‌های نشیمنگاهی تجدیدپذیر در سطح مماس مخروطی است. این بهترین وسیله‌ای است که برای گلوگیری و همچنین شرایطی که تغییرات وسیع دما و فشار دارد، موردا ستفاده قرار می‌گیرد. عنصر توپی در برابر یک سطح اریب، توپی شکل یا مسطح قرار می‌گیرد. این عنصر برای کاربردهای روشن و خاموش طراحی شده است که دارای حداقل اختناق هستند. دیسک ترکیبی می‌تواند خود را با انواع مختلف درجه حرارت و سرعت جریان سازگار کند. دیسک ترکیبی تجدیدپذیر است. سطوح مماس از اورینگ یا واشر لاستیکی استفاده می‌کنند. دیسک سوزنی برای گلوگیری جریان در حد بسیار اندک استفاده می‌شود.

۲–۳–۲– مواد شیرکروی

شیرهای گلوب یا کروی به‌گونه‌ای طراحی می شوند که در شرایط مختلف فرایند موردا ستفاده قرار می‌گیرند. شرایط ویژه نوع ماده‌ای را که شیر از آن ساخته می شود را تعیین می‌کند. به‌عنوان‌مثال، شیر کروی از جنس فولاد زنگ نزن در تأسیسات خورنده، درجه حرارت بالا و پایین استفاده می‌شود. شیر کروی با آلیاژ ویژه در تأسیسات دما بالا و فشار بالا مورداستفاده قرار می‌گیرند. برخی از آلیاژهای رایج مورداستفاده عبارت‌اند از: نیکل و آهن یا فولاد و تیتانیوم. شیر کروی برنزی در سیستم‌های کم‌فشار و دما پایین موردا ستفاده قرار می‌گیرد. شیر توپی برنجی در فشار کم و دمای پایین استفاده می‌شود.



شکل ۲–۶: طرح‌های دیسک شیر کروی

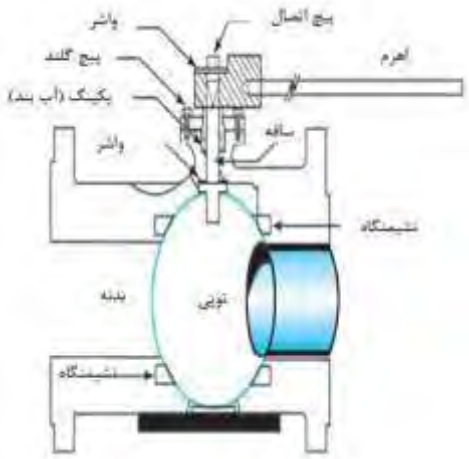
شیر کروی چدنی در روانکاری آب و برخی از تأسیسات کم-فشار بخار مورداستفاده قرار می‌گیرد. در مقایسه با شیرهای دروازه‌ای، شیرهای کروی (شکل ۲–۷) افت فشار بسیار بیشتری در سرتا سر شیر دارند. شیرهای کروی برای نصب در مناطق پرکاربرد طراحی شده‌اند. اگر یک شیر کروی در یک ناحیه نصب شود که به‌ندرت باز و بسته شود، هرچند از نوع طراح خود تمیز شونده باشد، اما باید با درپوش مسدود شود.

شکل ۲–۷: شیر کروی

۲–۴– شیرهای توپی

شـــیرهای توپی نام خود را از عنصـــر متحرک توپی شـــکل در مرکز شـــیر می‌گیرند (شـــکل ۲–۸). برخلاف شـــیرهای دروازه‌ای و کروی، در شـــیر توپی دســـتگاه کنترل جریان از جریان فرایند بلند نمی‌شود. در عوض، توپ توخالی در دو حالت باز یا بسته می‌چرخد. شیرهای توپی محدودیت بسیار کمی برای جریان دارند و با چرخاندن یک‌چهارم دسته شیر می‌تواند به‌طور کامل باز شود. در حالت بســـته، پورت از جریان فرایند دور می‌شـــود. در حالت باز، پورت با قطر داخلی لوله کاملاً تنظیم می‌شود. شیرهای توپی به اشکال و اندازه‌های مختلفی تولید می‌شوند (شکل ۲–۹).

شـــیرهای بزرگتر برای باز کردن به فلکه‌ها و گیربکس‌هایی نیاز دارند اما تنها به چرخش یک‌چهارم دسته نیاز است. شیرهای توپی نباید برای تأسیسات گلوگیری استفاده شوند. قرار گرفتن طولانی‌مدت در معرض این تأسیسات ممکن است به نشیمنگاه‌های توپی و توپی آسیب برساند و از آب‌بندی درست شیر جلوگیری شود. به‌طورمعمول، شیرهای توپی برای دماهای بیش‌ازحد طراحی نشده‌اند. نشیمنگاه‌ها از موادی با روکش پلاستیکی ساخته می‌شوند که تمایل دارند در دماهای بالا تجزیه شوند. تکنسین‌های فرایند باید با مشخصات درجه حرارت شیرها آشنا شوند. به‌طورکلی شیرهای توپی در تأسیسات فشار بالا به‌خوبی شیرهای کروی آب‌بندی نمی‌شوند. بعضی از شیرهای توپی (شـــیرهای چند راهه) با رابط‌های متعدد طراحی می‌شـــوند، بنابراین یک اپراتور می‌تواند بدون متوقف کردن جریان، منابع سیال را تغییر دهد.



شکل ۲–۸: اجزاء شیر توپی

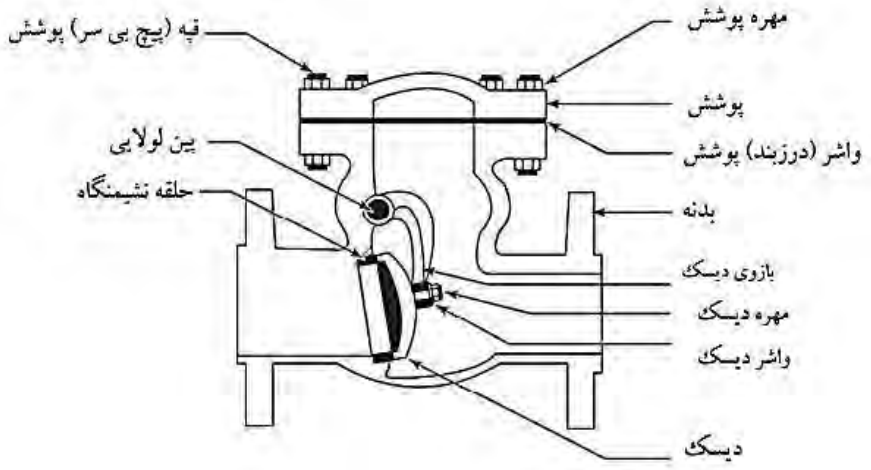
شکل ۲–۹: شیر توپی

۲–۵– شیرهای یک‌طرفه

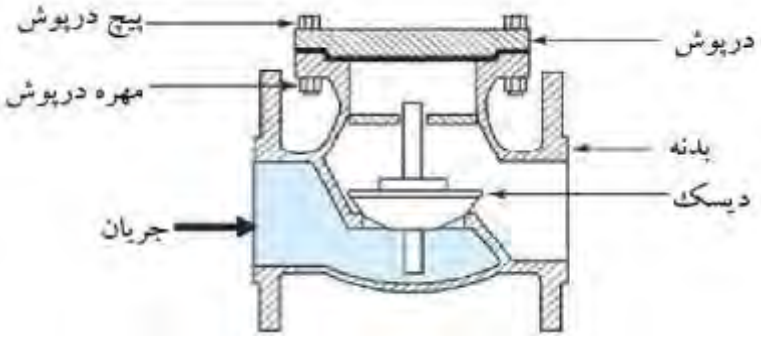
یک شـــیر یک‌طرفه برای جلوگیری از جریان معکوس و جلوگیری از آلودگی یا آســـیب احتمالی تجهیزات طراحی می‌شوند. شیر یک‌طرفه برگشت جریان را محدود می‌کند اما انسداد کامل در نظر گرفته نمی‌شـــود. شـــیرهای یک‌طرفه در طرح‌ها و کاربردهای مختلفی تولید می‌شـــوند. شـــیرهای یک‌طرفه دارای قالب‌گیری جهت جریان بر روی بدنه شیر هستند. طرح معمولی یک شیر یک‌طرفه، شیر یک‌طرفه لولایی است که دارای دیسک لولایی می‌باشد که هنگام برگشت جریان محکم بسته می‌شود (شکل ۲-۱۰).

جریان دیســـک را بلند می‌کند و تا زمانی که جریان متوقف یا معکوس شـــود، آن را بالا نگه می‌دارد. بدنه شیر یک‌طرفه دارای یک درپوش برای دسترسی آسان به عنصر کنترل جریان است. طرح دیگر، شیر یک‌طرفه فشاری است که دارای یک دیسک است که در هنگام ضعیف بودن جریان روی نشیمنگاه قرار می‌گیرد و در هنگامی‌که جریان فعال است بالا می‌رود (شکل ۲-۱۱). راهنمای ویژه (یک قسمت در شیر) دیسک را در جای خود نگه می‌دارند؛ مانند شیر یک‌طرفه لولایی، این شیر (شیر یک‌طرفه فشاری) برای بستن جریان معکوس طراحی می‌شوند. شیرهای یک‌طرفه فشاری برای ســـیســـتم‌هایی ایده‌آل هســـتند که در آن نوســـانات در نرخ جریان وجود دارد. شـــیر یک‌طرفه فشاری نسبت به شیر یک‌طرفه لولایی دوام بیشتری دارد. در شیر یک‌طرفه فشاری افقی یا عمودی، یک پیستون یا توپ توسط جریان فرایند از نشیمنگاه خارج یا وارد نشیمنگاه می‌شود. طرح سوم، طرح شیر یک‌طرفه توپی است که دارای یک دیسک توپی شکل است که روی نشیمنگاه شیب‌دار و گرد قرار می‌گیرد (شکل ۲–۱۲).

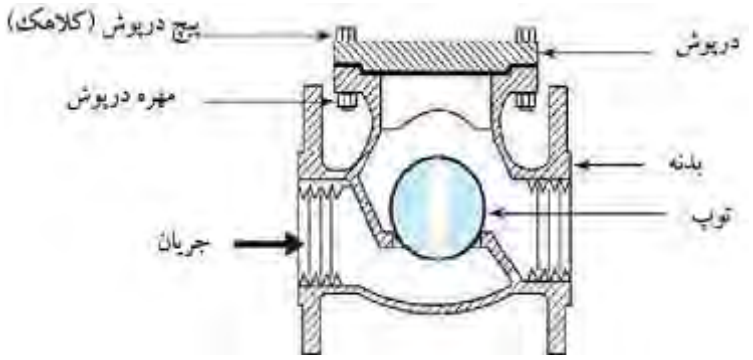
در صـــورت فعال بودن جریان توپ بالا می‌آید و در صـــورت ضـــعیف بودن جریان توپ پایین می‌آید. راهنمایان ویژه (یک قسمت داخل شیر) دیسک توپی را در جای خود نگه می‌دارند؛ مانند شیر یک‌طرفه لولایی، این نوع شیر یک‌طرفه طوری طراحی شده است که هنگام معکوس شدن جریان بسته می‌شود. شیرهای یک‌طرفه توپی برای سیستم‌هایی ایده‌آل هستند که در آن نوسانات جریان وجود دارد یا ســـیال حاوی برخی مواد جامد اســـت. شـــیر یک‌طرفه توپی به اندازه یک شـــیر یک‌طرفه فشاری دوام دارد و دوام بیشتری نسبت به شیر یک‌طرفه لولایی دارد. طرح چهارم، طرح شیر یک‌طرفه قطع کننده است که مشخصات شیریکطرفه فشاری و شیر کروی را دارد (شکل ۲–۱۳). در حالت بسته، دیسک یک‌طرفه قطع کننده به صورت محکم بر روی نشیمنگاه قرار دارد. در حالت باز، ســـاقه از بدنه عنصـــر کنترل جریان بیرون می‌آید و به‌عنوان راهنما برای دیســـک عمل می‌کند. در حالت باز، شیر یک‌طرفه قطع کننده با یک استثنا مانند یک شیر یک‌طرفه فشاری عمل می‌کند. میزان بالا رفتن می‌تواند کنترل شود.



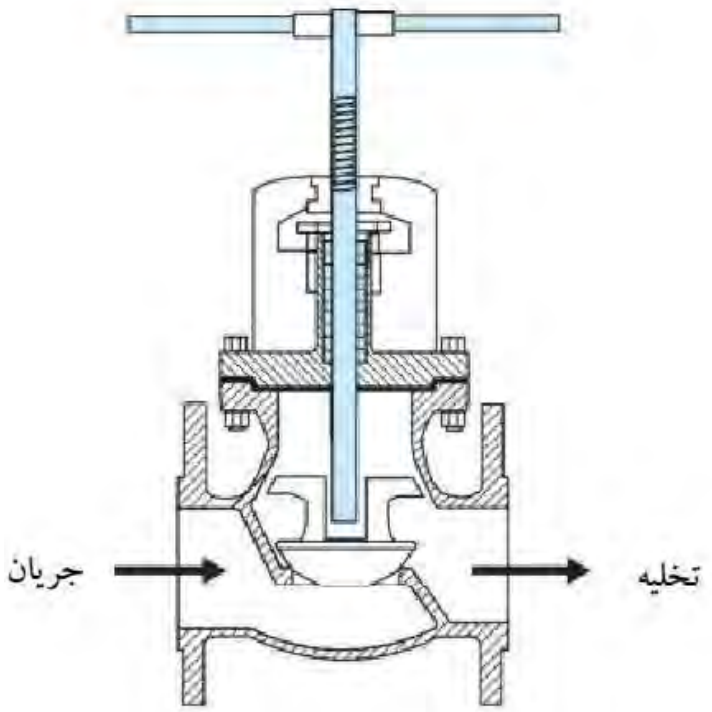
شکل ۲-۱۰: شیر یکطرفه لولایی



شکل ۲–۱۱: شیر یک‌طرفه فشاری

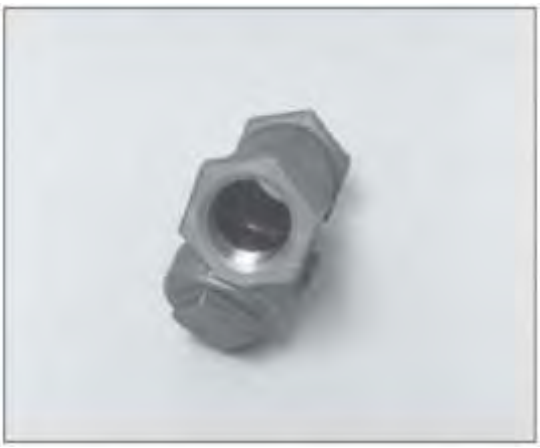


شکل ۲–۱۲: شیر یک‌طرفه توپی

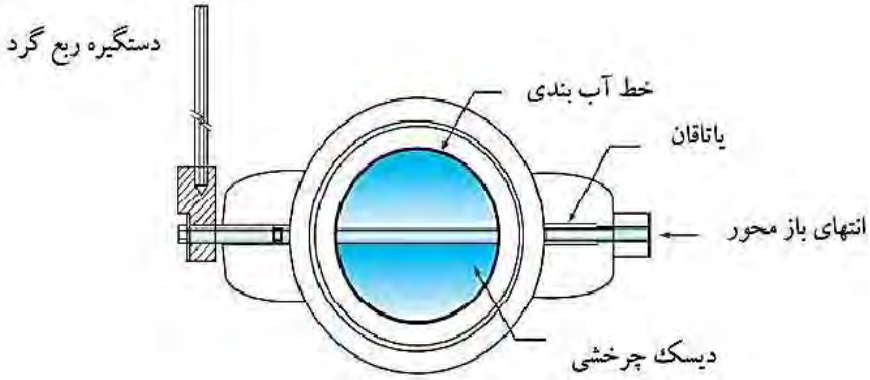


شکل ۲–۱۳: شیر یک‌طرفه قطع کننده

شـیرهای یک‌طرفه تحت نیروی گرانش کار می‌کنند و باید به‌درسـتی نصـب شـوند. شـیرهای یک‌طرفه توپی، فشاری، لولایی و قطع کننده در طرح‌های افقی و عمودی تولید می شوند. شیرهای یک‌طرفه به‌گونه‌ای طراحی می شوند که در شرایط مختلف فرایند موردا ستفاده قرار گیرند. شرط خاص نوع ماده‌ای را که شیر از آن ساخته می‌شود را تعیین می‌کند. به‌عنوان‌مثال، شیر یک‌طرفه از جنس فولاد زنگ نزن در تأسـیسـات خورنده، درجه حرارت زیاد و پایین اسـتفاده می‌شـود. شـیر یک‌طرفه با آلیاژ مخصوص در تأسیسات با درجه حرارت بالا و فشار بالا مورداستفاده قرار می‌گیرد. برخی از آلیاژهای رایج مورداسـتفاده عبارت‌اند از: نیکل و آهن یا فولاد و تیتانیوم. شـیر یک‌طرفه برنزی در فشار کم و دمای پایین مورداستفاده قرار می‌گیرد (شکل ۲–۱۴). شیر یک‌طرفه برنجی در فشار کم و دمای پایین استفاده می‌شود. همچنین، شیر یک‌طرفه چدنی در روانکاری آب و برخی از تأسیسات بخار کم‌فشار به کار گرفته می‌شود.



شکل ۲–۱۴: شیر یک‌طرفه لولایی برنزی



شکل ۲–۱۵: اجزاء شیر پروانه‌ای

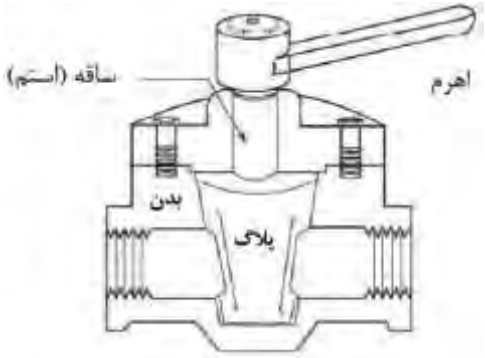
شکل ۲–۱۶: شیر پروانه‌ای

۲–۶– شیرهای پروانه‌ای

شیرهای پروانه‌ای معمولاً برای گلوگیری و روشن/خاموش کردن تأسیسات استفاده می‌شوند. بدنه این نوع شیر در مقایسه با فضای بسیار کمتر در یک خط لوله نسبتاً کوچک است. عنصر کنترل جریان شبیه یک دیسک است. محور فلزی از مرکز دیسک کشیده می‌شود و اجازه چرخش یک‌چهارمی را به آن می‌دهد (شکل‌های ۲–۱۵ و ۲–۱۶). یک چرخش یک‌چهارم تمام چیزی است که برای باز کردن یا بسته شدن کامل شیر لازم است. تکنسین‌ها باید بدانند که شیرهای پروانه‌ای کمی بعد از عبور از یک هشتم چرخش دسته، ۱۰۰٪ باز می‌شوند. در حین عملیات گلوگیری، باید دسته شیر پروانه‌ای با دقت ایمن شود. هنگامی‌که جریان وارد بدنه شیر می‌شود، با دیسک تماس پیدا می‌کند و در صورتی که دستگیره در موقعیت خود چفت نشده باشد باز می‌شود. شیرهای پروانه‌ای برای گلوگیری استفاده می‌شوند؛ بااین‌حال، باید توجه داشت که ویژگی‌های آن‌ها جریان آشفته (غیر یکنواخت) است. باز شدن پنجاه درصدی ممکن است جریان تقریباً حداکثری را فراهم کند. شیرهای پروانه‌ای برای کار در درجه حرارت پایین و فشار پایین طراحی می‌شوند. آن‌ها معمولاً در سیستم‌های خنک‌کننده آب و مبدل حرارتی در سرتاسر فرایند در صنعت یافت می‌شوند. نشیمنگاه‌های موجود در شیر پروانه‌ای می‌توانند از لاستیک صمغ طبیعی یا پلاستیک مناسب ساخته شوند.

۲–۷– شیرهای سماوری

شیرهای سماوری با چرخش سریع و یک‌چهارم در صنعت فرایند بسیار محبوب هستند. شیر سماوری نام خود را از عنصر کنترل جریان پلاگی شکل می‌گیرد که برای تنظیم جریان استفاده می‌شود (شکل‌های ۲–۱۷ و ۲–۱۸). شیرهای سماوری محدودیت بسیار کمی برای جریان داشته، با یک چرخش یک‌چهارمی دستگیرهٔ شیر می‌توان ۱۰۰٪ آن‌ها را باز کرد.



شکل ۲–۱۷: قطعات شیرهای سماوری

شکل ۲–۱۸: شیرهای سماوری

در حالت بســـته، پورت از جریان فرایند دور می‌شـــود. در حالت باز، پورت با قطر داخلی لوله تنظیم می‌شود.

۲–۷–۱– طراحی شیر سماوری

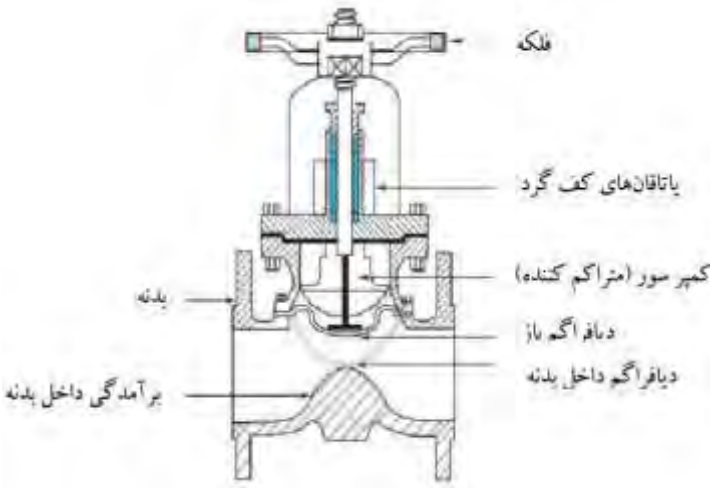
شیرهای سماوری در شکل‌ها و اندازه‌های مختلفی تولید می شوند. شیر سماوری برای تأ سسیات لوله‌کشی سوخت گاز، شرایط کم‌فشار، تأ سیسات دوغابی و روانکاری، سرویس رو شن / خاموش، تأسیسات دما-پایین و عملیات چند منظوره طراحی می‌شوند. در سرویس روشن / خاموش، استفاده طولانی‌مدت می‌تواند به ن شیمنگاه‌ها آ سیب بر ساند. در تأ سی سات دما پایین، ن شیمنگاه‌ها از یک ماده با روکش پلاستیکی ساخته می‌شوند که در دماهای بالاتر تمایل به تجزیه دارد.

۲–۷–۲– نگهداری

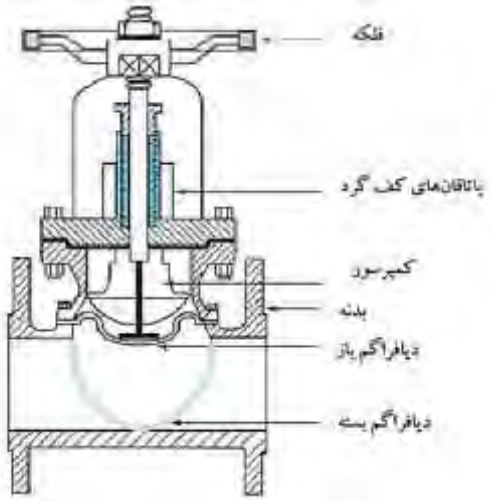
با مراقبت و نگهداری منا سب، یک شیر سماوری می‌تواند عمر نامحدودی دا شته با شد. روغن‌کاری نقش مهمی در طول عمر شیر سماوری ایفا می‌کند. شیرهای سماوری به روان کننده داخل بدنه شیر بستگی دارند. این روان کننده به شیر کمک می‌کند تا یک آب‌بندی بدون ن شت دا شته با شد. هرگز نباید از شیر سماوری برای گلوگاه ا ستفاده کرد. اگر شیر سماوری جهت گلوگیری ا ستفاده شـود، سـایش بیش‌ازحد به وجود می‌آید و توانایی شـیر برای یک آب‌بندی مثبت به خطر می‌افتد. اسـتفاده از شـیرهای سـماوری باید بیشـتر به زیر دمای زیر ۴۸۰ درجه فارنهایت (۲۴۸,۹ درجه سانتی‌گراد) محدود شوند. دماهای بالاتر گریس را جابجا می‌کند و موجب می‌شود که قسمت پلاگ و بدنه شیر در هم محکم شوند ("پیچیدن").

۲–۸– شیرهای دیافراگمی (غشایی)

در یک کارخانه مواد شیمیایی انواع دوغاب، مواد خورنده یا چسبنده از مکانی به مکان دیگر منتقل می شوند. شیرهای استاندارد با این نوع محصولات شرایط سختی را تجربه می‌کنند، اما شیرهای دیافراگمی به‌طور خاص برای این کار طراحی شده‌اند. شیرهای دیافراگمی برای تنظیم جریان از یک غشاء انعطاف‌پذیر و نشیمنگاه استفاده می‌کنند. در این نوع شیر، فلکه دقیقاً مانند فلکه در شیر دروازه‌ای یا کروی عمل می‌کند. ساقه به یک وسیله وصل می‌شود که کمپرسور نامیده می‌شود.



شکل ۲–۱۹: اجزاء شیر دیافراگمی



شکل ۲–۲۰: شیر دیافراگمی یکراست (بدون برآمدگی داخل بدنه)

شکل ۲–۲۱: شیر دیافراگمی از نوع زینی

کمپر سور روی دیافراگم انعطاف‌پذیر فشار می‌آورد. بخش‌های داخلی شیر هرگز با مواد فرایند در تماس نیستند. دیافراگم مطابق با تنظیمات روی شیرفلکه عمل می‌کند. شیرهای دیافراگمی معمولاً در مصارف کم‌فشار مورداستفاده قرار می‌گیرد. نشیمنگاه‌های شیر دیافراگمی از پلاستیک، لاستیک یا نئوپرن مقاوم در برابر مواد شیمیایی ساخته می‌شوند. در این نوع شیرها از پکینگ استفاده نمی‌شود. شیرهای دیافراگمی در دو طرح تولید می‌شوند: زینی و غیر زینی. شیر دیافراگمی از نوع زینی دارای یک زین (مانع و برآمدگی) است که در بدنه شیر قرار دارد (شکل ۲–۱۹). سیال برای خارج شدن باید به بالای زین و زیر دیافراگم حرکت کند. افت فشار زیادی در بدنه شیر وجود دارد. در این شیر از مواد دیافراگمی ضخیم و بادوام استفاده می شود. شیر دیافراگمی از نوع غیر زینی یا یکراست از طریق دیافراگم، دارای یک غشای انعطاف‌پذیر است که در سراسر لوله گسترش می‌یابد (شکل ۲–۲۰). افت فشار در سراسر شیر به موقعیت دیافراگم بستگی دارد. شیرهای دیافراگمی (شکل ۲–۲۱) می‌توانند سیالات خورنده و خیلی خالص مانند آب سبک خوراک بویلر را مهار کنند. آن‌ها باید در کاربردهای کم‌فشار و در عملیاتی که دارای نوسانات متوسط دما و فشار هستند مورداستفاده قرار گیرند.

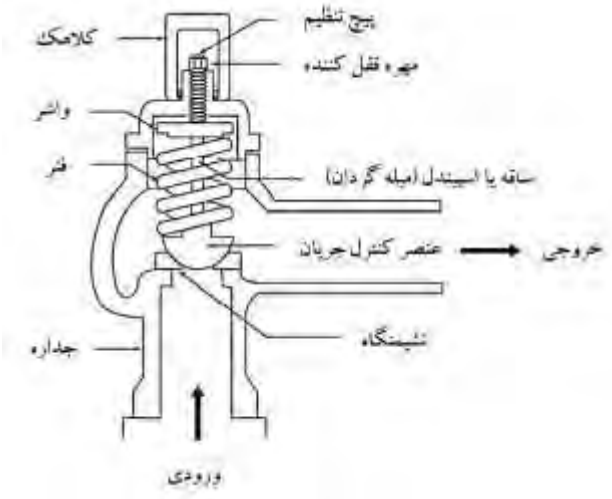
۲–۹– شیرهای ایمنی و فشارشکن

۲–۹–۱– شیرهای فشارشکن

شیرهای فشارشکن برای پاسخ خودکار به افزایش ناگهانی فشار در تأسیسات طراحی شده‌اند. یک شیر فشارشکن، برای باز شدن در یک فشار از پیش تعیین شده، طراحی شده است. در شیر فشارشکن، یک صفحه یا دیسک که توسط یک فنر نگه داشته شده به صورتی تا زمانی که فشار سیستم از حد مجاز آن بیشتر نشود، باز نمی شود (شکل ۲–۲۲). واحدهای فرایند در فشارهای بسیار زیادی کار می‌کنند. شیرهای فشارشکن، برای تأسیسات مایع تحت‌فشار طراحی شده و

معمولاً برای گازها پاسخ دهی خوبی ندارند. شیرهای فشارشکن طوری طراحی شده‌اند که آهسته باز شوند. این یک ویژگی نامطلوب برای گازها است. دلیل دیگری که شیرهای فشارشکن در تأسیسات حامل گاز استفاده نمی‌شوند، آسیب رساندن سرعت‌بالای گاز به نشیمنگاه‌ها و دیسک شیر است. بخار برش و کش آمدن دو اصطلاحی است که برای شیر آسیب‌دیده به کار می‌رود.

شیرهای فشارشکن در طراحی و نوع با هم فرق دارند. شیرهای فشارشکن دارای مقدار مشخصی حرکت یا بالا رفتن هستند که میزان آن از یک اینچ تا چندین اینچ تغییر می‌کند. هنگامی‌که یک شیر فشارشکن بالا رفته تا زمانی که فنر به‌طور کامل فشرده شود، گفته می‌شود که شیر در حالت کاملاً باز قرار دارد. تفاوت بین فشار اولیه راه‌اندازی و فشار موقعیت کاملاً باز، جمع شدگی نام دارد. یک شیر فشار شکن از اجزای زیر تشکیل می شود: درپوش که از پیچ تنظیم، مهره قفل و اجزای داخلی شیر فشارشکن محافظت می‌کند؛ یک پیچ تنظیم و مهره قفل؛ یک پوشش یا بدنه؛ یک فنر واشر فنری که تنش در برابر دیسک را ثابت نگه می‌دارد؛ پورت‌های ورودی و خروجی؛ یک دیسک یا پلاگ؛ اسپیندل یا ساقه که برای هدایت حرکت عمودی دیسک به عنصر کنترل جریان رزوه و پیچ می‌شود؛ و یک نشیمنگاه.



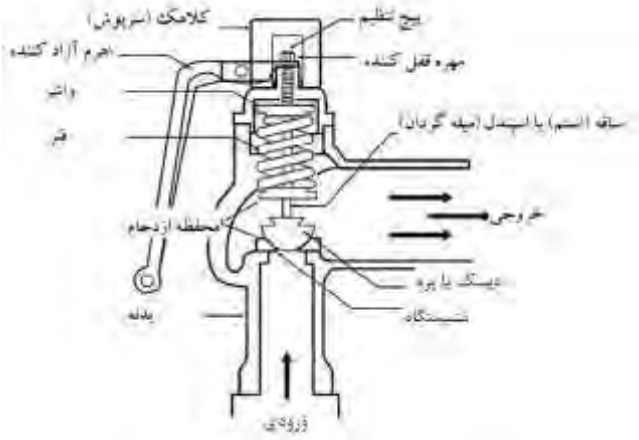
شکل ۲–۲۲: اجزاء شیر فشارشکن

وقتی‌که شیر فشارشکن باز می‌شود، تشخیص جریان از میان آن بسیار آسان است. در شیرهای فشارشکن سرویس- سرد، اطراف پورت‌های ورودی و خروجی شیر یخ می‌زند. در شیرهای سرویس گرم، دو طرف شیر گرم هستند. بیشتر شیرهای فشارشکن به مخزن فلر سرد یا گرم تخلیه شده و در نهایت به فلر فرستاده می‌شوند. برخی از شیرهای فشارشکن، مانند آنهایی که در تأسیسات بخار

استفاده می‌شوند به جو تخلیه می‌شوند. در کنار برخی از شیرهای فشارشکن، یک دسته تعبیه شده تا عملکرد شیر را بتوان بررسی نمود. اگرچه این یک عمل نگهداری شیر است، اما تکنسین نباید از این اهرم برای کنترل آن استفاده کند. دو مزیت شیرهای فشارشکن این است که اولا به محض افت فشار در زیر فشار تعیین شده دوباره در جای خود برگشته و ثانیا نیروی فنر شیر قابل تنظیم است.

۹-۲-۲- شیرهای اطمینان

شیرهای اطمینان آخرین خط دفاعی سیستم فرایند محسوب می‌شوند. آن‌ها طوری طراحی شده‌اند که با سرعت زیاد به بخار اضافی، یا گاز، فشار پاسخ می‌دهند. هنگامی‌که فشار یک سیستم بیش‌ازحد می‌شود، شیرهای اطمینان واکنش نشان داده، اجازه می‌دهد تا فشار اضافی به هدر فلر یا جو منتقل شود. این تهویه از آسیب دیدن تجهیزات و پرسنل جلوگیری می‌کند. طراحی این نوع شیر مشابه شیر فشارشکن است. سه تفاوت اصلی بین یک شیر فشارشکن و یک شیر اطمینان وجود دارد: شیرهای فشار شکن معمولاً برای سرویس‌های مایع و شیرهای اطمینان در سرویس‌های گازی استفاده می شوند؛ زمان پاسخ به فشار آن‌ها متفاوت است؛ و پورت خروجی در شیرهای اطمینان بزرگ‌تر است. شیرهای فشارشکن برای بالا رفتن آهسته طراحی شده‌اند، درحالی‌که شیرهای اطمینان تمایل به رها شدن ناگهانی دارند. ازآنجاکه پورت خروجی در شیر اطمینان بسیار بزرگتر است، می‌تواند در سرعت‌های بسیار پایین‌تر جریان بیشتری را آزاد کند. این ویژگی باعث می‌شود تا سیستم از آسیب دیدن محافظت شود. شیرهای اطمینان بر اساس نحوه باز شدن و تعداد حلقه‌های تنظیمی استفاده‌شده طبقه‌بندی می‌شوند. برخی از شیرهای اطمینان بعد از بالا رفتن در جای خود می‌نشینند؛ برخی دیگر هم این کار را نمی‌کنند. شیرهایی که مجددا در نشیمنگاه خود قرار نمی‌گیرند باید به کارگاه برده شده و ازنظر مکانیکی تنظیم مجدد شوند. شیر اطمینان از اجزای زیر تشکیل شده است (شکل ۲–۲۳ و ۲–۲۴): یک درپوش که از پیچ تنظیم، مهره قفل و اجزای داخلی شیراطمینان محافظت می‌کند؛ یک فنر که پیچ و مهره قفل؛ پوشش یا بدنه را تنظیم می‌کند، یک فنر و دواشر فنری که تنش ثابت در برابر دیسک دارند؛ یک ورودی و یک خروجی بزرگ؛ یک دیسک یا پره و راهنماهای دیسک؛ اسپیندل یا ساقه‌ای که برای هدایت حرکت عمودی دیسک در عنصر کنترل جریان رزوه و پیچ می‌شود؛ یک نشیمنگاه و یک محفظه انباشت؛ یک حلقه تنظیم و پین حلقه؛ اهرم‌ها برای بلند کردن؛ و پین‌های محوری.



شکل ۲–۲۳: اجزاء شیر اطمینان

شکل ۲–۲۴: شیراطمینان

۲–۱۰– شیرهای اتوماتیک

صنعت فرآوری مواد شیمیایی برای کنترل فرایندهای خود از شبکه پیچیده‌ای از سیستم‌های ابزار خودکار استفاده می‌کند. به کوچک‌ترین واحد موجود در این شبکه یک حلقه کنترلی گفته می‌شود. حلقه‌های کنترلی معمولاً دارای یک دستگاه سنجش، فرستنده، کنترل‌کننده، مبدل و دریچه اتوماتیک هستند (شکل ۲–۲۵). ازآنجاکه شیرهای اتوماتیک را می‌توان از مکان‌های دور کنترل کرد، آن‌ها در فرایندهای عملیاتی بسیار ارزشمند هستند. به دلیل چند کاره بودن، قابلیت روشن / خاموش شیرهای کروی، آن‌ها رایج‌ترین نوع شیرهای اتوماتیک هستند. حلقه‌های کنترل از شیرهای روشن / خاموش یا گلویی برای تنظیم جریان سیال در یک سیستم و خارج از آن استفاده می‌کنند. شیرهای اتوماتیک می‌تواند برای کنترل فشار، دما، جریان یا سطح استفاده شوند. شیرهای اتوماتیک

به‌عنوان شیرهای کنترل یا شیرهای فنری یا وزنی، طبقه‌بندی می شوند. شیرهای کنترل می‌توانند با هوا، با الکتریسیته یا با استفاده از فشار آب کار کنند. شیرهای راه‌اندازی شده با فنر یا وزنه، عنصر کنترل جریان را در خود نگه می‌دارند تا اینکه فشار از زیر دیسک به اندازه کافی زیاد شود تا المان را از نشیمنگاه بلند کند؛ شیر یک‌طرفه در این دسته قرار می‌گیرد.

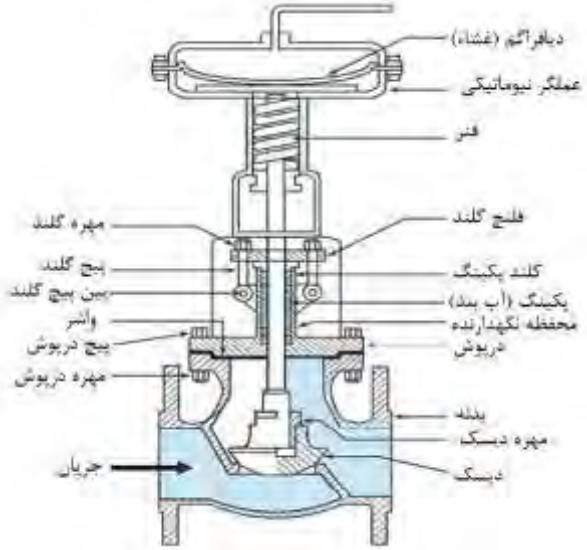
شکل ۲–۲۵: شیر اتوماتیک نیوماتیک

هر یک از شیرهای این فصل را می‌توان با نصب وسیله‌ای که به‌عنوان عملگر شناخته می شود، خودکار کرد. عملگر با حرکت و کنترل موقعیت ساقه شیر، موقعیت عنصر کنترل جریان را کنترل می‌کند. حرکت و موقعیت، عنصر کنترل جریان را کنترل می‌کند. عملگرها در سه طرح اصلی ساخته می‌شوند: نیوماتیک، الکتریکی و هیدرولیکی.

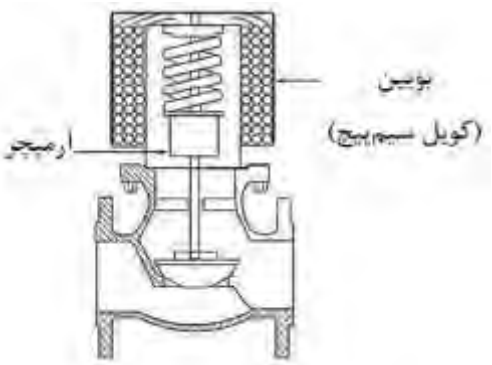
۲–۱۰–۱– عملگرهای نیوماتیک

عملگرهای نیوماتیک متداول‌ترین نوع هستند. آن‌ها در سه طرح تولیدشده‌اند: دیافراگمی، پیستونی و پره‌ای. هر طرح فشار هوا را به انرژی مکانیکی تبدیل می‌کند. عملگر دیافراگمی یک وسیله گنبدی شکل است که دارای دیافراگم انعطاف‌پذیر متحرک در مرکز است (شکل ۲–۲۶). به‌طورمعمول در

بالای شیر نصب می‌شود. مرکز دیافراگم به میلهٔ شیر وصل می‌شود. موقعیت شیر (در وضعیت بسته یا باز) توسـط یک فنر قدرتمند در محل نگه داشـته می‌شـود. هنگامی‌که هوا از یک طرف دیافراگم انعطاف‌پذیر وارد محفظه گنبدی[1] آن می‌شـود، بسـته به نوع طراحی، شـیر باز، بسـته یا گلوگیری می شود. عملگر پیـ ستون از یک ا ستوانه و پیـ ستون هوابندی شده برای حرکت و قرار دادن ساقه استفاده می‌کند.



شکل ۲–۲۶: اجزاء شیر اتوماتیک نیوماتیک



شکل ۲–۲۷: شیر سلنوئیدی

[1] Dome

معمولاً از شیرهای دروازه‌ای خودکار یا شیرهای کشویی استفاده می‌شود. این شیرها در جایی استفاده می‌شود که ساقه به حرکت زیادی نیاز دارد. عملگرهای پره‌ای، هوا را به پدال ها یا پره‌ها هدایت می‌کنند و اغلب در دریچه‌های دوار استفاده می شوند. اصطلاحات متداول نیوماتیک شامل موارد زیر هستند:

- هوا برای باز کردن، فنر برای بستن: در این صورت با قطع هوای ورودی، شیر در وضعیت بسته قرار خواهد گرفت. لوله هوا به‌طورمعمول در پایین محفظه گنبدی قرار دارد.
- هوا برای بستن، فنر برای باز کردن در این صورت با قطع هوای ورودی، شیر در وضعیت باز قرار خواهد گرفت. لوله هوا به‌طورمعمول در بالای محفظه گنبدی قرار دارد.
- دو طرفه، بدون فنر: لوله‌های هوا در دو طرف محفظه گنبدی قرار دارد.

۱۰-۲-۲- عملگرهای الکتریکی

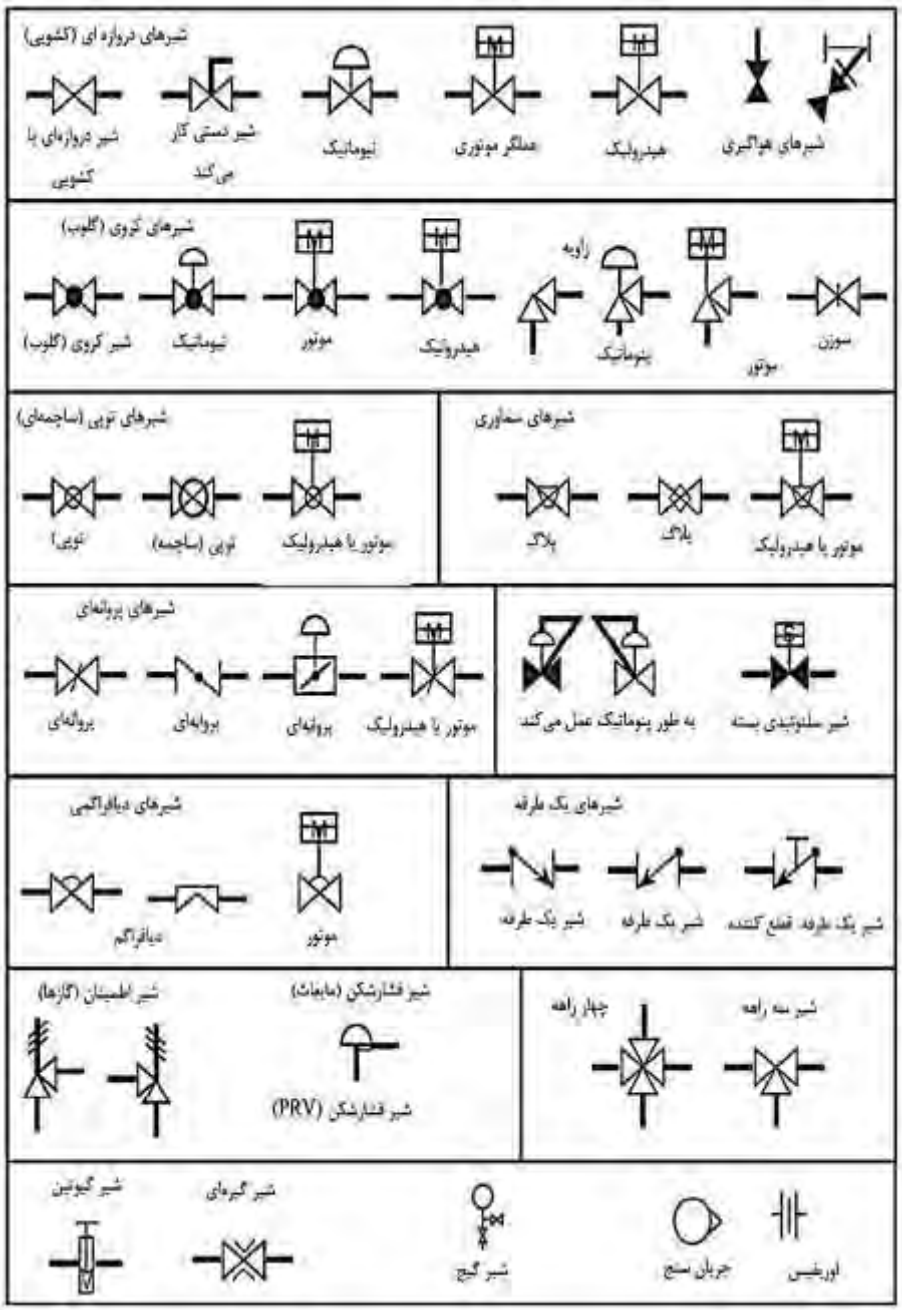
عملگرهای الکتریکی، انرژی الکتریکی را به انرژی مکانیکی تبدیل می‌کنند. شیر سلنوئیدی و عملگر موتوری نمونه‌هایی از این عملگر هستند. شیرهای سلنوئیدی برای تأسیسات روشن/ خاموش طراحی شده‌اند. ساختار داخلی یک شیر سلنوئیدی شبیه ساختار شیر کروی است (شکل ۲—۲۷). دیسک در نشیمنگاه قرار می‌گیرد و جریان را متوقف می‌کند. ساقه به یک هسته فلزی یا آرمیچر متصل می شود که توسط یک فنر در محل نگهداری می شود. یک بوبین سیم دار (سیم پیچ سیم دار) فنر و ساقه فوقانی را احاطه می‌کند. هنگامی‌که بوبین سیم دار جریان دار می شود، یک میدان مغناطیسی ایجاد می‌شود و باعث می‌شود آرمیچر فنر را بالا ببرد و فشرده سازد. تا زمان توقف جریان آرمیچر در محل نگهداشته می‌شود. یک عملگر با کنترل موتوری توسط مجموعه‌ای از چرخ‌دنده‌ها به ساقه شیر متصل می‌شود. حرکت دنده موقعیت ساقه را کنترل می‌کند. وسایل مکانیکی با متوقف کردن موتور هنگام باز بودن و بسته بودن، حرکت ساقه را محدود می‌کنند.

۳-۱۰-۲- عملگرهای هیدرولیک

عملگرهای هیدرولیکی بسیار قوی هستند. آن‌ها فشار مایع را به انرژی مکانیکی تبدیل می‌کنند. عملگر هیدرولیک از یک سیلندر مایع-محکم و پیستون برای جابجایی یا قرار دادن ساقه استفاده می‌کند. عملگر هیدرولیک معمولاً در هنگام استفاده از شیرهای دروازه‌ای یا شیرهای کشویی خودکار به کار می‌رود. در جایی استفاده می‌شود که به حرکت زیاد ساقه نیاز است.

۲—۱۱- نمادهای شیر

هر نوع شیر را می‌توان با یک نماد نشان داد. نمادهای شیر در شکل ۲—۲۸ نشان داده شده‌اند.



شکل ۲–۲۸: علائم مشخصه شیرها

خلاصه

شـیر وسـیله‌ای اسـت که برای کنترل (توقف، شـروع یا محدود کردن یا هدایت) جریان سـیالات مورداستفاده قرار می‌گیرد. تکنسین‌های فرایند، شیرها را به‌واسطهٔ عنصر کنترل جریان (بخشی از شـیر که تنظیم یا کنترل را انجام می‌دهد)، عملکرد و شـرایط عملیاتی (مانند فشـار، جریان یا دما) طبقه‌بندی می‌کنند. شیر دروازه‌ای یک دریچه فلزی متحرک را در مسیر جریان فرایند در یک خط لوله قرار می‌دهد. شیرهای دروازه‌ای دستگاه‌های عالی برای تأسیسات فرایندی محسوب می‌شوند که به‌ندرت مورداسـتفاده قرار می‌گیرند. یک شـیر کروی یک دیسـک فلزی متحرک را در مسـیر جریان فرایند قرار می‌دهد. این نوع شیر متداول‌ترین موردا ستفاده در تأسیسات رزوه زنی است. شیرهای توپی و شیرهای سماوری در مرکز دریچه یک عنصر متحرک پلاگی شکل یا توپ تو خالی قرار دارند که به حالت باز یا بسته می‌چرخد. این شیرها محدودیت بسیار کمی برای جریان فراهم می‌کنند آن‌ها نباید برای تأسیسات گلوگیری یا تأسیسات با دمای بالا یا فشار بالا موردا ستفاده قرار گیرند. شـیرهای یک‌طرفه برای کنترل جهت جریان و جلوگیری از آلودگی یا آسـیب تجهیزات استفاده می شوند. شیر پروانه‌ای یک عنصر کنترل جریان قابل چرخش دارد که شکلی شبیه یک دیسـک مسـطح دارد. شـیرهای دیافراگمی از غشـای انعطاف‌پذیر برای گلوگیری مواد چسـبنده، ویسکوز یا خورنده استفاده می‌کنند. شیرهای فشارشکن به‌طور خودکار به افزایش ناگهانی فشار در تأسیسات مایع پاسخ می‌دهند.

شیرهای اطمینان نیز در تأسیسات گاز همین کار را انجام می‌دهند. سه تفاوت عمده بین شیر فشارشکن و شیر اطمینان عبارت‌اند از: تأسیسات مایع در مقابل گاز، زمان پاسخ به فشار و پورت خروجی بزرگتر در شیر اطمینان. شیرهای فشار شکن به‌منظور بالا رفتن آهسته طراحی شده‌اند، درحالی‌که شـیرهای اطمینان تمایل به ترکیدن دارند. عملگرها دسـتگاه‌هایی در یک حلقه کنترل هسـتند که به‌طور خودکار موقعیت سـاقه شـیر را روی یک شـیر کنترل تنظیم می‌کنند. نگهداری تجهیزات بخش مهمی از کار یک اپراتور است. روی شیرهای دروازه‌ای، رزوه‌های ساقه که در معرض هوا هستند باید روغن‌کاری شوند. پکینگ باید بررسی شود و در صورت یافتن نشت، مهره‌های گلند به‌طور مسـاوی سـفت شـوند. سـاقه‌های شـیر نباید رنگ شـوند و تمام تلاش باید انجام شـود تا از گردوغبار محفوظ بمانند. برای جلوگیری از آسیب دیدن نشیمنگاه‌ها، تکنسین‌های فرایند نباید شیر دروازه‌ای را بیش‌ازحد محکم کنند. هنگامی‌که دریچه در پایین است، هرگز نباید از آچار برای بستن با گوه استفاده شود.

سؤالات مروری

۱) سه نوع عملگر اصلی را عنوان کنید و نحوه کار هر کدام را توضیح دهید.
۲) اطلاعات موجود در نشان‌های حک بدنه را لیست کنید.
۳) اجزاء اصلی شیر دروازه‌ای را ذکر کنید.
۴) یک شیر دروازه‌ای و عملکرد آن را با یک شیر کروی مقایسه کنید.
۵) سه طرح معمولی از دریچه (عنصر جریان) را مشخص کنید.
۶) دو طرح از شیر دروازه‌ای را ذکر کنید و نحوه کار هر کدام را توضیح دهید.
۷) شیرهای کروی در درجه اول برای چه نوع تأسیساتی مورداستفاده قرار می‌گیرند؟
۸) جریان سیال در شیر کروی توصیف کنید.
۹) شیرها با مختصات باز کننده سریع یا ربع چرخشی را توصیف کنید.
۱۰) عملکرد و طراحی شیر دیافراگمی را شرح دهید.
۱۱) یک شیر فشار شکن را با یک شیر اطمینان مقایسه کنید و نحوه کار هر کدام را شرح دهید.
۱۲) چهار نوع شیر یک‌طرفه را ذکر کنید و توضیح دهید که دستگاه چگونه کار می‌کند؟
۱۳) شیر پروانه‌ای برای چه نوع تأسیساتی استفاده می‌شود؟
۱۴) نقش یک تکنسین فرایند در نگهداری و عملیات شیرها را توضیح دهید.
۱۵) چهار طرح از دیسک رایج مورداستفاده در شیرهای کروی را عنوان کنید.
۱۶) عملکرد شیر دیافراگمی زینی و غیر زینی را با هم مقایسه کنید و تفاوت‌های آن را بنویسید.
۱۷) اصطلاح انباشتگی را شرح دهید.
۱۸) اجزای اصلی یک حلقه کنترل را لیست کنید.
۱۹) سه نوع از عملگرهای نیوماتیک را شرح دهید.
۲۰) طراحی و عمکلرد شیر سلنوئیدی را شرح دهید.

فصل سوم
لوله‌کشی و مخازن

اهداف

پس از مطالعه این فصل، دانشجو قادر خواهد بود:

- انواع مختلف لوله‌کشی فرایندی را توصیف کند.
- انواع گوناگون مخازن ذخیره رو زمینی در محوطه مخازن[1] را لیست نماید.
- انواع مخازن موجود در کارخانجات فرایندی شرح دهد.
- اثرات خوردگی و حفاظت کاتدی را وصف کند.
- عوامل مؤثر بر انتخاب جنس مخازن را توضیح دهد.
- عبارت «آلیاژ» را تعریف کند.
- دستورالعمل‌های بازرسی مختلف کاربردی در کارخانجات فرایندی را توصیف نماید.
- اطلاعات موجود روی تصویر یک مخزن را شناسایی کند.
- برگ مشخصات فنی یک مخزن را توصیف نماید.

[1] Tank farm

۳–۱– محوطه مخازن

بهترین توصیف محوطه مخازن، مجموعه‌ای از مخازن است که برای ذخیره و انتقال ایمن مواد خام و محصولات طراحی شده است. این مواد از طریق خطوط لوله، کشتی حامل کانتینترها، سایر کشتی‌ها یا کامیون‌ها به مخازن ارسال می‌شود. مخازن ذخیره روزمینی (ASTها) طرح‌های متنوعی داشته، به فشارهای پایین، متوسط و بالا دسته‌بندی می شوند. محوطه‌های مخازن، قابلیت ذخیره ایمن مایعات و گازها را دارا هستند. برچسب‌های سازنده روی هر مخزن، اطلاعات مفصلی را راجع به مشخصات طراحی آن شامل فشارها، دماها و ... را شرح می‌دهد که مخزن باید بر اساس آن‌ها عمل نماید. برخی از محوطه‌ها دربرگیرنده گنبدهای نمک زیرزمینی، حفره‌ها و سایر سیستم‌های ذخیره زیرزمینی می‌باشند. تکنسین‌های فرایندی بایستی عملیات و نگهداری هر یک از سیستم‌های پیچیده ذخیره و انتقال در محوطه مخازن را به‌طور ایمن انجام دهند. شکل ۳–۱ یک نمونه محوطه مخازن را نشان می‌دهد.

شکل ۳–۱: محوطه مخزن

هر محوطه مخزن، دارای لیستی از مواد شیمیایی ذخیره شده در منطقه و برگه‌های اطلاعات ایمنی مواد مربوطه (MSDS)[1] می‌باشد. برخورد ایمن با مواد شیمیایی و ذخیره آن‌ها، نیاز به آموزش سازمان‌یافته و منابع مالی برای نگهداری از یکپارچگی مخازن، لوله‌ها، پمپ‌ها و ابزار دقیق

[1] Material Safety Data Sheet

دارد. تکنسین‌های جدید، قبل از گمارده شدن برای کار با یک سیستم پیچیده، به مدت سه تا شش ماه آموزش می‌بینند. طی فرایند آموزش، کارآموز، با یک تکنسین ارشد کار می‌کند تا تنظیمات اولیه، د ستورالعمل‌های عملکرد ا ستاندارد، قوانین و قواعد ایمنی و روش‌های نمونه‌گیری را بیاموزد. مخازن فرایندی و سیستم‌های ذخیره، به جدیدترین کنترل فرایند مجهز می‌باشند. متغیرهای فرایندی شامل دبی، فشار، دما، ترکیب درصد و سطح است.

۱-۱-۳- پیگ‌رانی[1]

تکنسین‌ها از تجهیزات تخصصی برای خارج کردن پسماندها از خطوط لوله استفاده می‌نمایند. اجزاء پایه به‌کاررفته در این د ستورالعمل شامل پیگ‌ران، پیگ و گیرنده (تله) پیگ می‌با شد. پیگ‌ران از ف شار سیال برای فر ستادن یک ج سم پرتابی به نام پیگ درون لوله ا ستفاده می‌کند. تله پیگ که برای گرفتن پیگ آلودگی طراحی شده، در انتهای لوله قرارگرفته ا ست. شکل ۳–۲ انواع گوناگون پیگ‌های کاربردی در این دستورالعمل را نمایش می‌دهد.

شکل ۳–۲: پیگ‌ها

[1] Pigging

۳–۲– طرح‌های مخزن و دسته‌بندی‌ها

نام‌های رایج مخازن عبارت‌اند از سقف مخروطی‌شکل، سقف شناور (داخلی یا خارجی)، کروی، شبه کره، گلوله‌ای[1]، نیم‌کروی، سطلی، سیلو، بدون سقف و دو دیواره. همچنین مخازنی نظیر مخزن خوراک، مخزن طاقدار، مخزن مرتفع، مخزن باز یابی، مخزن نوسان‌گیر، مخزن اختلاط، مخزن برودتی، مخزن روکش‌دار[2] نیز وجود دارد. تکنسین‌های فرایندی برای محاسبه حجم مخزن از جداول اندازه‌گیری[3] استفاده می‌نمایند. یک بشکه ۵۵ گالنی، معمولاً حدود ۴۲ گالن را نگه می‌دارد. اگر مخزن، ۵۰۰۰ بشکه‌ای باشد، می‌تواند ۲۱۰۰۰۰ گالن را به‌طور ایمن در خود ذخیره کند.

برای ذخیره مواد خام و محصولات نهایی، مخازنی مختلفی به کار می‌روند. ازآنجاکه این مخازن (به عبارتی مخزن سازی[4]) دارای ارزش بالایی است، محافظت و عملیات ایمن مخازنی ذخیره بسیار اهمیت دارد. لازم است اپراتورهایی که از مخازنی ذخیره استفاده می‌نمایند، کاملاً با مخزن سازی و دستگاه‌های مربوطه آشنا باشند. مخازنی برودتی برای ذخیره مایعات زیر ۲۱/۰۰°F (۳۷/۷۷°C) به کار می‌روند. مخازنی ذخیره محصولات نامرغوب، مخزن پسماند یا مخزن فرعی نام دارند.

انواع مختلف مخازن، مزایا و معایب خاص خود دارند. نوع مخزن موردا ستفاده، توسط محصولی که باید ذخیره شود و نیز فشار برحسب پوند بر اینچ مربع (psig) تعیین می شود. مخازن به چهار گروه عمده قابل تفکیک هستند: اتمسفریک، کم‌فشار (۰ تا ۲/۵ psig)، فشار متوسط (۲/۵ تا ۱۵ psig) و پرفشار (بیش از ۱۵ psig). شکل ۳-۳ انواع مخازنی موجود در صنعت فراوری شیمیایی را نمایش می‌دهد.

۳–۲–۱– مخازنی اتمسفریک

مخازنی اتمسفریک می‌توانند سقف مخروطی یا شناور داشته باشند. تکنسین‌های فرایند، زمانی به یک مخزن، اتمسفریک می‌گویند که به‌طور صحیح تخلیه به اتمسفر دارد یا برای عملکرد در ۱۴/۷ psia (پوند بر اینچ مربع مطلق) یا فشارسنج نشان‌دهنده صفر (یعنی ۰ psig) طراحی شده است.

۳–۲–۲– مخازنی سقف شناور

یک مخزن با سقف شناور، سر باز است و ساختاری تابه مانند دارد که بالای مایع نوسان می‌کند و با هر تغییر در سطح مایع، درون مخزن به سمت بالا و پایین حرکت می‌کند (شکل ۴-۳). میان سقف

---

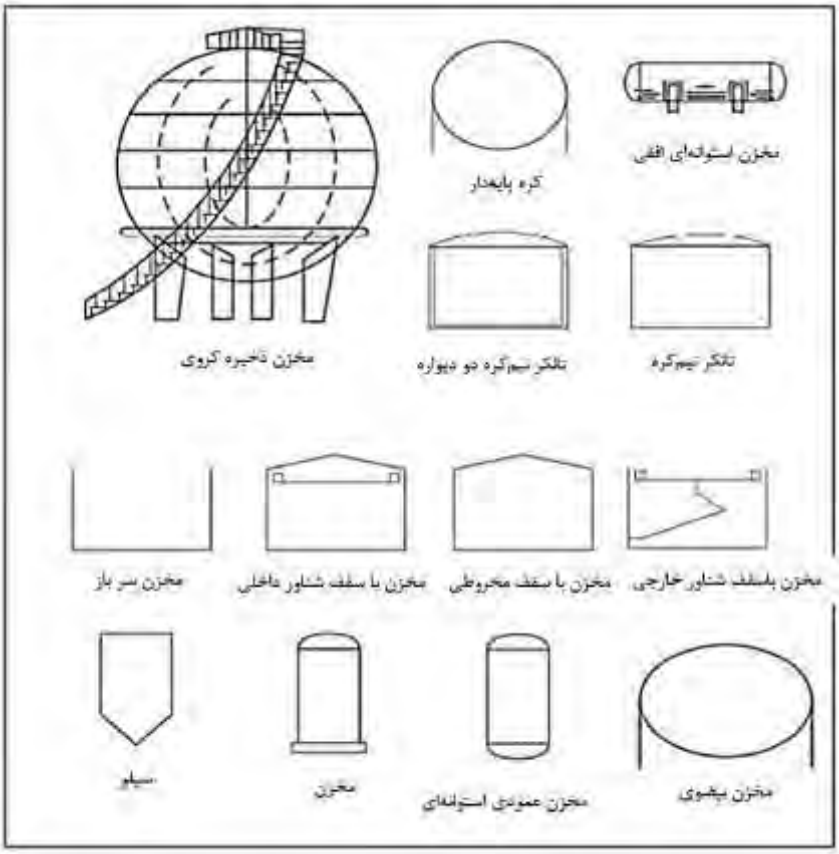
[1] Bullet
[2] Jacketed tank
[3] Strapping tables
[4] Tankage

و پوسته مخزن فاصله کمی وجود دارد. بالای مخزن به وسیله یک پارچه پرده مانند منعطف متصل به سقف و سطوح یاتاقان‌های فولادی به نام کفشک‌ها[1]، آب‌بندی شده است. کفشک‌ها روی پوسته می‌لغزند و با مکانیزم مناسبی، در تماس با پوسته نگه داشته می‌شوند.

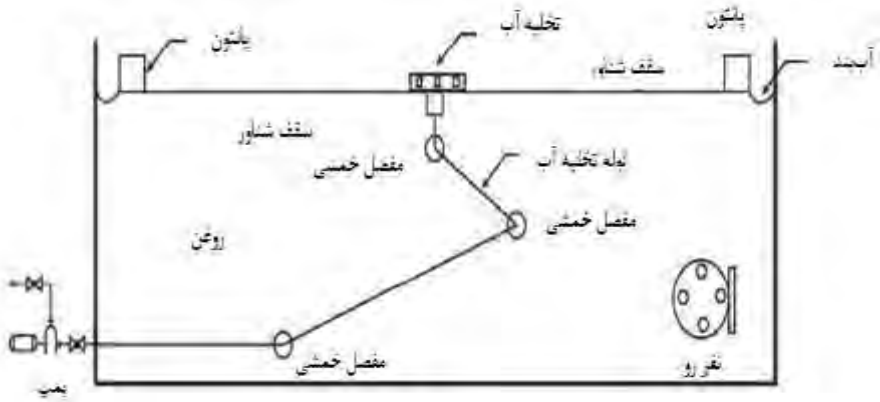
سه مدل سقف شناور وجود دارد: تابه‌ای، پانتون[2] (جسر یا خزینه‌دار) و دو طبقه[3]. جان ه. ویگینز[4]، اولین سقف شناور کاربردی را در ۱۹۲۱ اختراع کرد و ساخت؛ از نوع تابه شکل بود و به شکل یک طبقه با ضخامت واحد و حاشیه استوانه‌ای عمودی روی محیط یا لبه خارجی آن بود. این طبقه آهسته به سمت مرکز مخروطی و دارای نگهدارنده و خرپاهای شعاعی بود تا به آن انسجام و سختی بخشد. امروزه، سقف تابه‌ای در مکان‌هایی به کار می‌رود که بارندگی کم است زیرا سقف، تحمل بار آب یا برف به‌صورت غیریکنواخت را نداشته، کج شده و فرو می‌ریزد.

---

[1] Shoes
[2] Pontoon
[3] Double deck
[4] John H. Wiggins



شکل ۳–۳: طرح‌های مخازن



شکل ۳–۴: اجزای مخزن با سقف شناور

نوع پانتون سقف شناور، یک پانتون حلقوی (حلقه‌ای شکل) اطراف لبه خارجی و یک طبقه با ضخامت واحد در مرکز دارد. پانتون حلقوی در لبه خارجی، باعث عایق‌بندی هوا برای سطح بزرگی از مایع می شود که در به تعویق انداختن جو شیدن مایع کمک می‌کند. سقف پانتون ب سیار پایدار است زیرا باران به سمت مرکز می‌رود و نمی‌تواند ایجاد بار نامتوازن نزدیک لبه سقف کند. همچنین، نشتی در مرکز سقف، آن را غرق نخواهد کرد و از پایداری آن نخواهد کا ست. پانتون به اتاقک‌هایی تفکیک شده تا نشتی در یک اتاقک مختص منطقه کوچکی باشد و سایر اتاقک‌ها شناور بوده و سقف را نگه دارند. سطح پانتون بین ۲۵٪ و ۵۵٪ از سطح سقف، متغیر است. امروزه، سقف پانتون رایج‌ترین نوع سقف شناور است.

سقف شناور دو طبقه، دارای دو عرشه بالای کل سطح مایع است. فضای میان طبقات به اتاقک‌هایی تفکیک شده تا نشتی منجر به فرو رفتن کل سقف نشود. البته، سقف دو طبقه نسبت به سایر مدل‌های شناور، معلق‌تر است و فضای هوا بین دو عرشه مانند سد عایق روی کل سقف عمل می‌کند. این مدل بین سه نوع سقف شناور گفته شده، گران‌تر است.

۳-۲-۳- مدل‌های دیگر مخازنی اتمسفریک

انواع دیگری از مخازنی ذخیره اتمسفریک نیز وجود دارد اما رایج نیستند. مخزن ذخیره سر باز، برای ذخیره آب به‌منظور آتشنشانی کمکی به کار می‌رود. مخزن با سقف هواکش[1]، به‌جای سقف سنتی مخروطی‌شکل، دارای یک دیافراگم فولادی انعطاف‌پذیر است. دیافراگم روی تکیه‌گاهی از یک مجموعه خاص از سقف‌ها واقع شده تا وقتی پایین قرار دارد، زیر سقف مخزن باشد. سقف از لبه محکم شده اما به جداره وصل نیست، پس زمانی که مخلوط هوا و بخار درون مخزن منبسط و متراکم می‌شود، می‌تواند تا فاصله‌ای حدود ۲۰ اینچ بالا و پایین برود. بقای این مدل سقف ارزش بسیار کمی‌دارد و برای مخزنی که در طول سال بارها پر و تخلیه می‌شود پیشنهاد نمی‌شود. در اصل برای ذخیره راکد به کار می‌رود. سقف گنبدی بخار[2] مانند مخزن سقف مخروطی است که یک نیم‌کره در مرکز سقف قرارگرفته ا ست. دورن نیم‌کره، غ شایی به همان شکل وجود دارد که از لبه خارجی به من صف گنبد بخار مت صل ا ست. این غ شا آزاد ا ست که به شکل یک نیم‌کره به سمت پایین آویزان باشد؛ بنابراین، حرکت غشا مساوی با دو برابر حجم نیم‌کره است. مخازنی دارای سقف چتر مانند[3] بسیار شبیه به سقف مخروطی هستند به جز اینکه سقف گرد آن‌ها محدب است.

---

[1] Breather-roof tank
[2] Breather-roof tank
[3] Umbrella-roof tanks

تیرچه‌ها ممکن است سقف را حمایت کنند اگرچه تکیه‌گاه‌های داخلی نیز به کار می‌روند. مخازنی سقف چتری معمولاً قطر کمی دارند.

۳–۲–۴– مخازنی فشاری

مخازنی فشاری برای ذخیرهٔ مایعات فرار که دارای فشار رید[1] بزرگتر از ۱۸ پوند بر اینچ مربع (psi) هستند به کار می‌روند. سه نوع محفظه ذخیره فشاری وجود دارد: درام، کروی و شبه کروی. درام‌ها مخازن استوانه‌ای با انتهای بیضوی یا نیم‌کروی هستند که برای تحمل فشار داخلی معینی ساخته می شوند. یک درام اغلب به صورت عمودی روی فوندا سیون بتنی یا به صورت افقی روی دو یا چند پایه بتنی قرار دارد.

کروی‌ها، همان‌طور که از عبارتش پیدا ست، محفظه‌های فشاری به شکل کره هستند که روی ستون‌های لوله‌ای مانند بزرگ، بالاتر از سطح زمین نگه داشته می شوند. یک کره به قطر ۶۵ فوت، حجمی برابر با ۲۵۰۰۰ بشکه خواهد داشت. برای ذخیره مایع در فشار نسبتاً بالا، یک کره نسبت به درام شکل اقتصادی‌تری دارد. مخازنی شبه کره نیز به همین شکل هستند اما کف و بالای آن‌ها مسطح است.

۳–۲–۵– مخازنی سقف مخروطی: کم‌فشار تا فشار متوسط

یک مخزن سقف مخروطی، دارای یک سقف ثابت مخروطی شکل، یک یا چند ستون حامل داخلی و کف مسطح است. مخازنی سقف مخروطی، برای ذخیره انباشته‌های دارای فشار بخار کم به کار می‌روند. این مخازن برای عملیات در بازه فشار ۱ اینچ آب تا خلأ ۱ اینچ آب طراحی شده‌اند. مفصل جوش خورده در جایی که سقف به پوسته متصل می شود، عمداً ضعیف‌تر از اتصالات دیگر ساخته می‌شود تا با پاره شدن، فشار را بدون بیرون ریختن محتویات مخزن آزاد کند. این طراحی به محدود کردن سیال پیش از رخ دادن آتش یا انفجار درون مخزن کمک می‌کند.

۳–۲–۶– مخزن نیم‌کروی[2] یا گنبدی: کم‌فشار تا فشار متوسط

مخازنی نیم‌کروی را می‌توان در دسته فشار متوسط قرار داد؛ از ۲/۵ تا psig ۱۵. این نوع مخزن معمولاً برای ذخیرهٔ محصولات با فراریت بالاتر استفاده می شود. به همین دلیل، مخازنی نیم‌کروی انتخابی مشهور در صنعت فراوری شیمیایی هستند. شکل ۳–۵ مثالی از یک مخزن نیم‌کروی را به تصویر می‌کشد.

---

[1] Reid pressure
[2] Hemispheroid

شکل ۳–۵: مخزن نیم‌کروی

– **نفس‌کش**[1]

وقتی یک مخزن با ســـقف ثابت، پر می‌شـــود، هوا یا بخار درون مخزن از طریق یک دریچه[2] خارج می شود. با تخلیه سیال، هوا از طریق این دریچه وارد مخزن می شود تا جایگزین مایع بیرون رفته شـــود. این نفس‌کشـــی همچنین باید در کمترین زمان ممکن رخ می‌دهد تا بخار درون مخزن از گرمایش تا سرمایش، منبسط یا متراکم شود. تابش خورشید و روزهای گرم، برای کمی انبساط بخار کافی است و سرمایش در شب یا طی بارندگی منجر به انقباض بخارات خواهد شد.

– **شعله‌گیرها**[3]

در مخازنی که حاوی مواد ا شتعال‌پذیر هستند، بخار خروجی نا شی از پر کردن یا گرمایش، گاهاً در نسبت‌های صحیح با هوا (اکسیژن) مخلوط و م شتعل می شود. بخارات، برای جلوگیری از احتمال رسیدن آتش به محتویات مخزن، به یک شعله‌گیر مجهز هستند. شعله‌گیرها برای جلوگیری از عبور شعله به‌صورت نامحدود، طراحی نشده‌اند و ضروری است آتش در شعله‌گیر فوراً تشخیص داده شود. ازآنجاکه عبور کم از شعله‌گیر ممکن ا ست از اثر خوردگی یا ا شیاء خارجی دچار جرم‌گرفتگی شود، عناصر آن باید طبق برنامه منظمی تمیز شود.

---

[1] Breathing
[2] Vent
[3] Flame arrestors

– مسیرها و حفره‌های نفررو

صنعت فراوری شیمیایی از مسیرهای نفررو به‌عنوان دریچه‌ها یا درگاه‌های دسترسی به درون یا بیرون مخازن و مخازن استفاده می‌کند. این‌ها برای بازرسی بصری و دسترسی جهت پاکسازی به کار می‌روند. مسیرهای نفررو معمولاً برای دسترسی آسان، لولادار هستند. از واشرها برای آب‌بندی مناسب و یک سری پیچ و مهره برای محکم کردن در ورودی به محفظه استفاده می‌شود. اجازه ورود به فضای دهانه، بسته و محدود، برای وارد شدن به یک مخزن موردنیاز است. عبارت حفره نفررو، برای توصیف یک درگاه دایره‌ای دسترسی به سیستم‌های زیر زمین مثل فاضلاب یا مخازن به کار می‌رود. پوشش‌های این حفرات معمولاً بدون لولا ست. مسیرها و حفره‌های نفررو اغلب به‌جای یکدیگر استفاده می‌شوند.

– دریچه‌های پایستگی[1]

مخازنی سقف ثابت که حاوی سیالات فرار هستند اغلب مجهز به دریچه پایستگی می‌باشند (شکل ۳–۶). این دریچه‌ها معمولاً مجهز به دو شیر دارای دیسک‌های سنگین برای تنظیم فشار حین عملیات هستند. شیر خروجی تا بروز اندکی فشار مثبت در مخزن باز نخواهد شد و شیر ورودی نیز تا مخزن تحت خلأ کمی قرار نگیرد گشوده نخواهد شد. کنترل فشار درون مخزن هدررفت بخارات را کاهش می‌دهد.

– دریچه‌های اندازه‌گیری

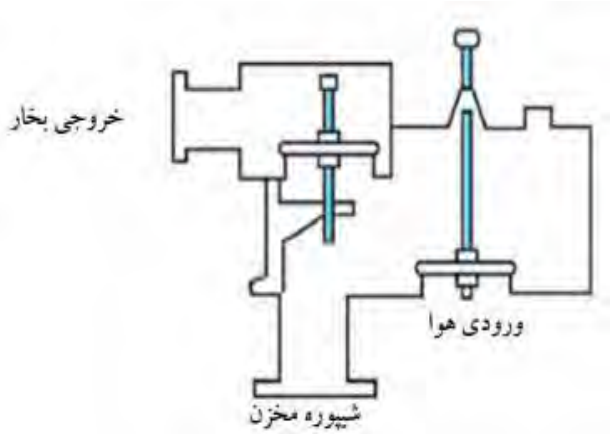
دریچه‌های اندازه‌گیری (شکل ۳–۷) برای ایجاد قابلیت اندازه‌گیری محتویات، در سقف مخازنی اتمسفریک تعبیه می شوند. وظیفه ثانویه یک دریچه اندازه‌گیری، آزاد سازی اندکی فشار در مواقع اضطراری است. این دریچه‌ها به‌منظور جلوگیری از هدررفت بخارات، خطرات آتش سوزی ورود آب باران، بایستی بسته نگه داشته شوند به استثناء زمانی که در استفاده هستند. دریچه‌ها نباید سنگین باشند یا برای باز شدن محدودیت داشته باشند زیرا محدود کردن توانایی آن‌ها در باز شدن، مانع عملکرد آن‌ها در جایگاه آزادسازی فشار مازاد می‌شود.

– جمع کردن آب[2]

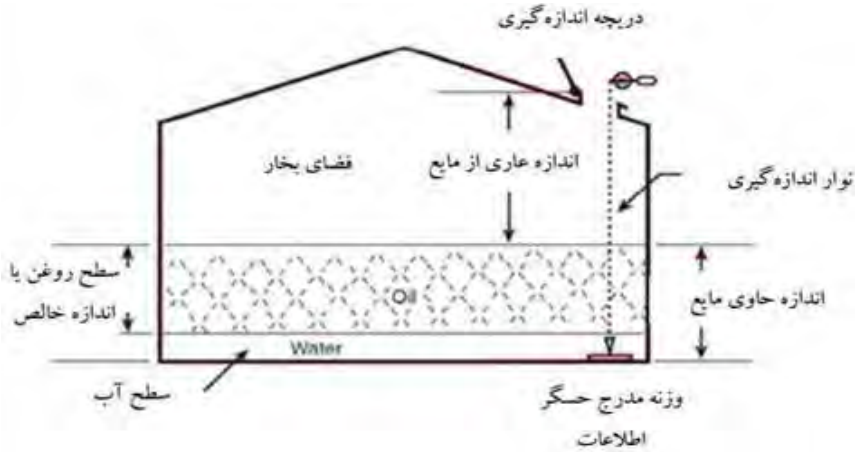
شیرهای جمع کننده آب، در پایین‌ترین نقطه پایین مخزن تعبیه می‌شوند. آن‌ها برای حذف آبی که در کف مخزن جمع شده به کار می‌روند و ممکن است برای تخلیه کامل مخزن استفاده شوند.

---

[1] Conservation vents
[2] Water draw



شکل ۳-۶: دریچه پایستگی



شکل ۳-۷: اصلاحات مخزن

۳-۲-۷- مخازنی روکش‌دار

بسته به فشار و دمای محتویات یک تانک اتمسفریک، فضای بخار[1] ممکن است با مخلوط‌های متغیر از بخار و هوا پر شود. فضای بخار در مخازنی ذخیره مواد دارای فشار بخار کم در دمای ذخیره، اغلب برای انفجار بسیار رقیق است. فضای بخار در مخازنی ذخیره مواد بسیار فرار، اغلب برای انفجار

[1] Vapor space

بسیار غلیظ می‌باشد. بااین‌حال در برخی مخازن، فضای بخار تقریباً همیشه در بازه انفجار است؛ اگر هوا اجازه ورود داشته باشد.

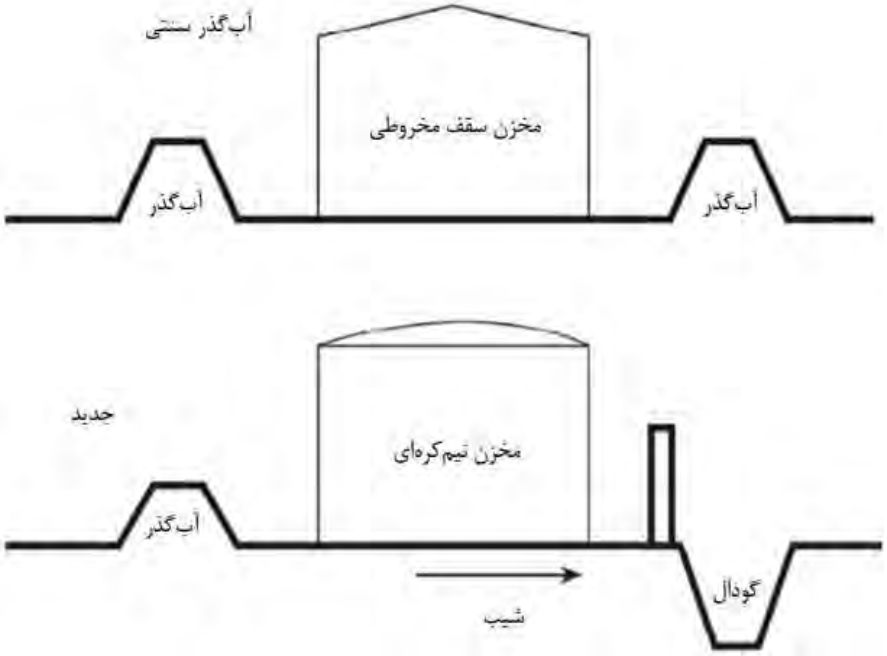
مخازنی روکش‌دار برای ذخیره این خوراک‌های مخاطره‌آمیز به کار می‌روند. همچنین برای سایر محتویاتی که در تماس با هوا یا رطوبت، برای محصول خطرناک هستند نیز استفاده می‌شوند. به‌طورکلی، مخازنی روکش‌دار به سایر مخازنی سقف ثابت شبیه هستند به جز اینکه آن‌ها به یک خط تغذیه برای پوشش گاز و یک رگلاتور برای کنترل فشار مجهز می‌باشند.

- **روش‌های سنتی و جدید ایجاد آب‌گذر**

بهترین تو صیف یک آب‌گذر، این ا ست: دیواره یا راه‌آب بازدارنده که به‌منظور جلوگیری از هدررفت محصول، اطراف مخزن گسترش می‌یابد. بسیاری از طرح‌های ایمن در این خصوص پیشنهاد شده است. مثال‌های مربوطه در شکل ۳–۸ ارائه شده است. آب‌گذرها، خاکی، بتنی یا فلزی هستند. دیواره‌ها یا ترانشه‌های آتش نیز در طراحی آب‌گذرها استفاده می‌شوند.

۳–۳– لوله‌کشی

لوله‌کشی در یک کارخانه شیمیایی برای انتقال انواع سیالات به کار می‌رود. لوله‌کشی در یک کارخانه جدید، تقریباً ۳۰٪ از سرمایه اولیه را به خود اختصاص می‌دهد. جنس لوله‌ها با توجه به میزان تحمل دما، فشار و خواص دیگر سیال مورد انتقال، انتخاب می شوند. عوامل دیگری که باید لحاظ شوند عبارت‌اند از کدها و مشخصات، ضرائب تنش، نقشه اولیه یا مسیریابی و انعطاف‌پذیری انبساطی. مواد رایج در جنس لوله شامل فولاد تهیه شده از آلیاژهای مختلف، چدن، آلومینیم، مس و پلاسیتک است. ازآنجاکه لوله‌کشی فلزی، به‌ویژه فولادی، رایج‌ترین حالت است نیازمندیم راجع به ویژگی‌های آن بدانیم.



شکل ۳–۸: روش‌های سنتی و جدید ایجاد آب‌گذر

– **وصل کردن و اتصال به زمین مخازن، پمپ‌ها و لوله‌کشی**

جرقه حاصل از الکتریسیته ساکن می‌تواند منبع یک اشتعال و باعث آتش‌سوزی و انفجار شود. این زمانی اتفاق می‌افتد که یک جرقه الکتریکی در میان فاصله‌ای بین جسم باردار و بدون بار تخلیه می‌شود. محفظه‌های حاوی مایعات اشتعال‌پذیر، می‌توانند هنگام پمپاژ ماده به داخل، ایجاد بار ایستا کنند. هر نوع حرکت سیال می‌تواند اثر مشابهی به وجود آورد. صنایع شیمیایی برای جلوگیری از وقوع خطرات آتش‌سوزی، دو روش را به کار می‌برند، وصل کردن و اتصال به زمین. وصل کردن، با اتصال فیزیکی دو شیء با یک سیم مسی حاصل می‌شود. اتصال به زمین، دستورالعملی است که با اتصال دو شیء به زمین با سیم مسی و یک میله وصل به زمین یا دستگاه اتصال به زمین طراحی شده است. لوله‌های آب زیرزمینی نیز می‌توانند به‌عنوان دستگاه اتصال به زمین به کار روند. اتصال به زمین، مسیری جدید برای جریان الکتریسیته فراهم می‌کند. هنگام اتصال دو شیء، جرقه نمی‌تواند بین آن‌ها رخ دهد و به‌جای آن، الکتریسیته به دستگاه اتصال به زمین جریان می‌یابد (یعنی میله یا لوله‌های آب) و بدین ترتیب شیء روی زمین را از بار تخلیه می‌شود.

- **خوردگی**

علاوه بر ملزومات مقاومتی، طراحی تجهیزات، خوردگی یعنی افت فلز را نیز در نظر می‌گیرد. تجربه قبلی تحت شـــرایط محیطی مشـــابه برای تعیین میزان خوردگی قابل انتظار لازم اســـت. جایی که خوردگی شدیدی پیش‌بینی نمی‌شود، یک هشتم فلز اضافه، افزوده می‌شود. در مواردی که خوردگی شدیدی پیش‌بینی می شود، یا مقدار فلز بیشتری استفاده می شود یا فلز با مقاومت بیشتر در برابر خوردگی برای هدف مربوطه لحاظ می‌شود.

در برخی از کارخانجات فرایندی، خوردگی همواره فعال اســـت. تجهیزات را تخریب می‌کند، تولید را مختل می‌نماید و باعث ســـوانح می‌شـــود. حمله خوردگی، خود را به طرق مختلف نشـــان می‌دهد نظیر اتلاف کلی فلز، گود شدن، بروز شیار، شکاف یا مانند آن. حملات ممکن است شدیداً با عناصر سازنده کمتر در فلز یا با عوامل محیطی مکانیکی، الکتریکی، شیمیایی یا زیستی تحت‌تأثیر قرار گیرد.

عملیات نادر ست نیز می‌تواند بر نرخ خوردگی موثر با شد. مثال‌های معمول عبارت‌اند از افزایش دما بیش‌ازحد طراحی، استفاده از مقدار ناصحیح خنثی‌کننده‌ها و بازدارنده‌ها، عدم توانایی در تخلیه آب از تجهیزات طی خاموشـــی، اســـتفاده از اختلاط نامناســـب در فرایندها و عدم موفقیت در تخلیه آب‌های جمع شده.

- **حفاظت کاتدی**

کنترل خوردگی الکترو شیمیایی در صنعت فراوری شیمیایی، با استفاده از حفاظت کاتدی بهترین حالت مراقبت اســـت. خوردگی الکتروشـــیمیایی باعث می‌شـــود مخازن و لوله‌ها نا به هنگام دچار خوردگی و خرابی شـــوند. حفاظت کاتدی به کمک یک دســـتگاه جریان مســـتقیم از منبع خارجی، تخلیه بار فلز غوطه‌ور در محیط هادی را برعکس می‌کند. محیط های هادی معمول، خاک و آب هستند. پایه هر مخزن ذخیره روزمینی، در معرض حمله الکتروشیمیایی و خوردگی است.

حفاظت کاتدی دو روش مختلف را به کار می‌برد:

- استفاده از آندهای قربانی[1]
- استفاده از آندهای متأثر از جریان[2]

در هر دو حالت، آندها زیر مخزن یا اطراف آن قرار داده می شوند. هر آند محکم به مخزن و صل شده است. آندهای قربانی در محل مخزن خورده می‌شوند و در نهایت نیاز به تعویض خواهند داشت

---

[1] sacrificial anodes
[2] Impressed current anodes

درحالی‌که آندهای متأثر از جریان خورده نمی شوند. وقتی جریان برقرار با شد، سیستم قادر است به‌صورت نامحدود از مخزن محافظت کند.

۳–۳–۱– لوله‌های فولادی و سایر انواع لوله

بیشتر لوله‌های مورداستفاده در واحدهای فرایندی، کربن استیل هستند که دلیل اصلی آن، مقرون به صرفه بودن و بازه دمای عملکرد وسیع است. کربن استیل از ۲۰- °F (۲۸/۸۸- °C) تا ۸۰۰ °F (۴۲۶/۶۶ °C) کارایی دارد. به ویژه کربن استیل حرارت دیده، در بازه دمایی ۲۱- °F (۲۹/۴۴ °C) تا ۵۰- °F (۴۵/۵۵- °C) استفاده می‌شود.

فولاد زنگ نزن نوع ۳۰۴ یا نیکل "۳ معمولاً در دماهای بسیار پایین‌تر به کار می‌روند. بازه دمایی نیکل ۳ اینچ، ۵۱- °F (۴۶/۱۱- °C) تا ۱۵۰- °F (۱۰۱/۱۱- °C) است. فولاد زنگ نزن ۳۰۴ از ۱۵۱- °F (۱۰۱/۶۶- °C) تا ۳۲۰- °F (۱۹۵/۵۵- °C) به کار می‌رود. فولاد زنگ نزن در دماهای بسیار پایین مانند کربن استیل معمول، شکننده نمی‌شود. فولاد زنگ نزن همچنین در موارد دما بالا مانند تکیه‌گاه‌های لوله‌ای در کوره‌ها به کار می‌رود. فولاد زنگ نزن هنگام جفت شدن با کربن استیل، می‌تواند به دلیل نرخ انبساط آن که ۱۵۰٪ کربن استیل است، ایجاد مشکل کند.

برخی آلیاژهای ضعیف (از کربن، مولیبدن و کروم) در موارد دما بالا نظیر لوله‌های کوره استفاده می شوند. این آلیاژها برای عملیات بالای ۸۰۰ °F (۴۲۶/۶۶ °C) ساخته شده‌اند. یک آلیاژ، ماده‌ای متشکل از دو یا چند فلز یا یک فلز و یک غیرفلز است. یک آلیاژ سبک، مقدار نسبتاً کمی از ماده ثانویه در خود دارد.

لوله فولادی در قطرها و ضخامت‌های دیواره متنوعی ساخته می‌شود. سایز لوله‌ها با اندازه اسمی لوله‌ها مشخص می‌شود که اغلب نسبت به قطرهای داخلی و خارجی واقعی آن‌ها متفاوت است (شکل ۳–۹). برای مثال، یک لوله $۳\frac{1}{2}$ اینچ دارای قطر خارجی "۴ و قطر داخلی بین $۳\frac{1}{2}$ تا ۴ اینچ است. لوله‌های رایج در کارخانجات عبارت‌اند از $\frac{1}{2}$، $\frac{3}{4}$، ۱، $۱\frac{1}{2}$، ۲، ۳، ۴، ۶، ۸، ۱۰، ۱۲، ۱۴ اینچ و بالاتر. برای لوله دارای قطر خارجی "۱۴ یا بیشتر، قطر خارجی برابر با اندازه اسمی لوله است. سایزهای $\frac{1}{5}$، $۱\frac{1}{4}$، $۲\frac{1}{2}$، $۳\frac{1}{2}$ و ۵ معمولاً استفاده نمی‌شوند.

شماره رده (اسکجول[1])، ضخامت دیواره لوله را تعیین می‌کند. لوله رده ۴۰، برای بسیاری از تأسیسات استاندارد است اما رده ۱۰ (دیواره باریک‌تر) و رده ۸۰ و ۱۶۰ (دیواره ضخیم‌تر) نیز رایج می‌باشند. اسکجول، نشانگر ضخامت دیواره معینی برای هر قطر لوله است. یک لوله "۳ رده ۴۰، ضخامتی متفاوت از لوله "۴ همان رده خواهد داشت.

---

[1] Schedule number

۳-۳-۲- لوله‌کشی چدن

لوله و اتصالات چدنی برای انتقال سیالات غیر قابل اشتعال در برخی نواحی به کار می‌روند. سایز و ضخامت دیواره لوله چدنی مشابه با لوله فولادی است.

به دلیل اینکه آهن در معرض آتش و سپس اسپری با آب، شکننده می‌شود، به احتمالا زیاد چدن نیز تحت این شرایط خواهد شکست. به همین دلیل، لوله‌کشی چدنی در مناطق پرخطر و در برخورد با مواد اشتعال‌پذیر در هر ناحیه‌ای استفاده نمی‌شود.

- **اتصال لوله‌ها**

تقریباً تمام لوله‌ها در موارد بحرانی، از طریق جوش به هم وصل می‌شوند که در این صورت مقاومت بیشتر و احتمال نشت نسبت به اتصالات رزوه‌ای[1] کمتر است. برای لوله‌کشی غیر بحرانی، ازنظر فشار و محتویات، اتصالات رزوه‌ای نسبت به جوشی در کل ارزان‌تر هستند و نصب آن‌ها راحت‌تر است.

[1] Threaded

سایز لوله اینچ	قطر خارجی اینچ	مشخصات فولادی: سایز لوله اسمی	مشخصات فولادی: رده	رده فولاد ضدزنگ	ضخامت دیواره (t) اینچ	قطر داخلی (d) اینچ	سطح فلز اینچ مربع	سطح داخلی مقاطع (A) اینچ مربع	سطح داخلی مقاطع (a) اینچ مربع	وزن لوله پوند بر فوت	وزن آب پوند بر فوت	سطح خارجی فوت مربع بر فوت لوله
				5S	.083	4.334	1.152	14.75	.10245	3.92	6.39	1.178
			40	10S	.120	4.260	1.651	14.25	.09898	5.61	6.18	1.178
		STD	80	40S	.237	4.026	3.174	12.73	.08840	10.79	5.50	1.178
4	4.500	NS	120	80S	.337	3.826	4.407	11.50	.07986	14.98	4.98	1.178
			160		.438	3.624	5.595	10.31	.07160	19.00	4.47	1.178
					.531	3.438	6.621	9.28	.06450	22.51	4.02	1.178
		XXS			.674	3.152	8.101	7.80	.05420	27.54	3.38	1.178
				5S	.109	8.407	2.916	55.51	.3855	9.93	24.06	2.258
				10S	.148	8.329	3.941	54.48	.3784	13.40	23.61	2.258
			20		.250	8.125	6.57	51.85	.3601	22.36	22.47	2.258
		STD	30		.277	8.071	7.26	51.16	.3553	24.70	22.17	2.258
			40	40S	.322	7.981	8.40	50.03	.3474	28.55	21.70	2.258
		XS	60		.406	7.813	10.48	47.94	.3329	35.64	20.77	2.258
8	8.625		80	80S	.500	7.625	12.76	45.66	.3171	43.39	19.78	2.258
			100		.594	7.437	14.96	43.46	.3018	50.95	18.83	2.258
			120		.719	7.187	17.64	40.59	.2819	60.71	17.59	2.258
		XXS	140		.812	7.001	19.93	38.50	.2673	67.76	16.68	2.258
					.875	6.875	21.30	37.12	.2578	72.42	16.10	2.258
			160		.906	6.813	21.97	36.46	.2532	74.69	15.80	2.258
				5S	.156	12.438	6.17	121.50	.8438	20.98	52.65	3.338
				10S	.180	12.390	7.11	120.57	.8373	24.17	52.25	3.338
			20		.250	12.250	9.82	117.86	.8185	33.38	51.07	3.338
			30		.330	12.090	12.87	114.80	.7972	43.77	49.74	3.338
		STD		40S	.375	12.000	14.58	113.10	.7854	49.56	49.00	3.338
			40		.406	11.938	15.77	111.93	.7773	53.52	48.50	3.338
12	12.75	XS		80S	.500	11.750	19.24	108.43	.7528	65.42	46.92	3.338
			60		.562	11.626	21.52	106.16	.7372	73.15	46.00	3.338
			80		.688	11.374	26.03	101.64	.7058	88.63	44.04	3.338
			100		.844	11.062	31.53	96.14	.6677	107.32	41.66	3.338
		XXS	120		1.000	10.750	36.91	90.756	.6303	125.49	39.33	3.338
			140		1.125	10.500	41.08	86.59	.6013	139.67	37.52	3.338
			160		1.312	10.126	47.14	80.53	.5592	160.27	34.89	3.338
				5S	.188	21.624	12.88	367.25	2.5503	43.80	159.14	5.760
				10S	.218	21.564	14.92	365.21	2.5362	50.71	158.26	5.760
			10		.250	21.500	17.08	363.05	2.5212	58.07	157.32	5.760
		STD	20		.375	21.250	25.48	354.66	2.4629	86.61	153.68	5.760
		XS	30		.500	21.000	33.77	346.36	2.4053	114.81	150.09	5.760
22	22.00		60		.875	20.250	58.07	322.06	2.2365	197.41	139.56	5.760
			80		1.125	19.750	73.78	306.35	2.1275	250.81	132.76	5.760
			100		1.375	19.250	89.09	291.04	2.0211	302.88	126.12	5.760
			120		1.625	18.750	104.02	276.12	1.9175	353.61	119.65	5.760
			140		1.875	18.250	118.85	261.59	1.8166	403.00	113.36	5.760
			160		2.125	17.750	132.68	247.45	1.7184	451.06	107.23	5.760

شکل ۳–۹: اطلاعات لوله

۳–۳–۳ لوله‌کشی مارپیچی

لوله‌های کوچک معمولاً با استفاده از رزوه‌های باریک‌شونده متصل می‌شوند. رزوه‌ها به دو بخش نر و ماده تقسیم شده و برای قرارگیری کیپ، باریک می‌شوند. اغلب به‌منظور آب‌بندی مفصل و روانکاری در اتصال مفصل‌ها، یک ترکیب رزوه‌ای یا چسب تفلون روی رزوه اعمال می شود. ازآنجاکه فلز در قطع رزوه‌ها برداشته می شود، ضعیف‌ترین قسمت لوله‌کشی مارپیچی اغلب مفصل‌ها هستند و لوله‌کشی مارپیچی (شکل ۳–۱۰) در اندازه تا "۲ برای کار با مواد غیر خطرناک استفاده می‌شود.

۳–۳–۴– لوله‌کشی جوشی

دو نوع جوش در اتصال لوله‌ها مطرح است (شکل ۳–۱۱). در لوله‌کشی بات ولد (ته جوش داده)[1]، قطعات متصل شونده هم‌قطر هستند و به سادگی به هم جوش می‌خورند. در لوله‌کشی ساکت ولد[2] (پیچی جوش داده)، لوله به اتصالی بزرگتر وارد شده و سپس جوش داده می‌شود.

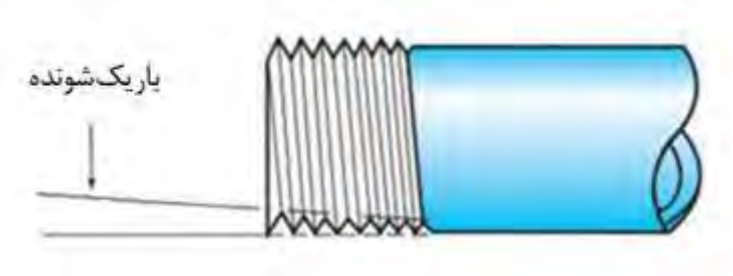
اتصالات ساکت ولد اغلب در سایز "۲ یا کوچک‌تر به کار می‌روند زیرا احتمال آن کمتر است که فلز گذری جوش خورده[3]، سطح جریان را مسدود کند. بات ولد در تمام سایزها قابل‌استفاده است اما ویژه "۲ و بیشتر از آن می‌باشد.

– **فلنج‌ها**

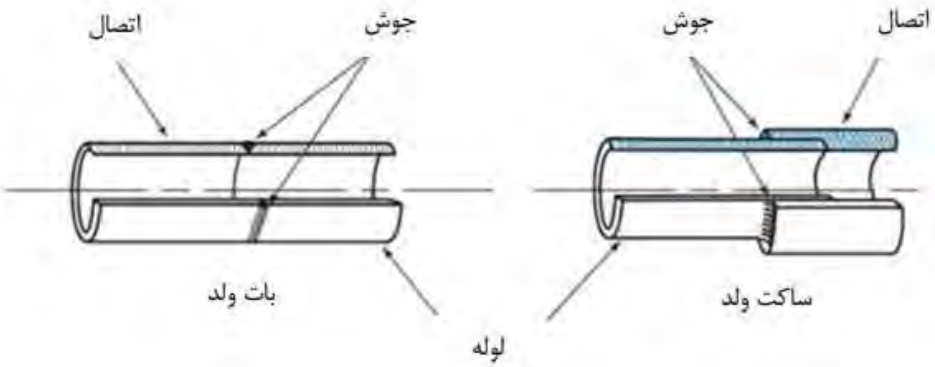
فلنج‌ها برای وصل لوله‌کشی به تجهیزات و یا جایی که لوله‌کشی بایستی قطع شود به کار می‌روند. از دو صفحه جفت شونده محکم شده با پیچ‌ها و یک واشر میان آن‌ها تشکیل شده‌اند. سه نوع رایج آن‌ها در شکل ۳–۱۲ نشان داده شده است. فلنج‌های تخت به‌طورکلی برای جفت شدن در برابر تجهیزات شکل داده شده به کار می‌رود که در آن‌ها تا شدن از پیچ‌های محکم‌کننده ممکن است فلنج را بشکند؛ واشر باید کل صفحه فلنج را پوشش دهد. فلنج‌های با سطح برجسته، از واشری استفاده می‌کند که درون پیچ‌ها جای می‌گیرد و فلنج‌های اتصال رینگی، فقط از یک حلقه فلزی به‌عنوان واشر استفاده می‌کنند.

---

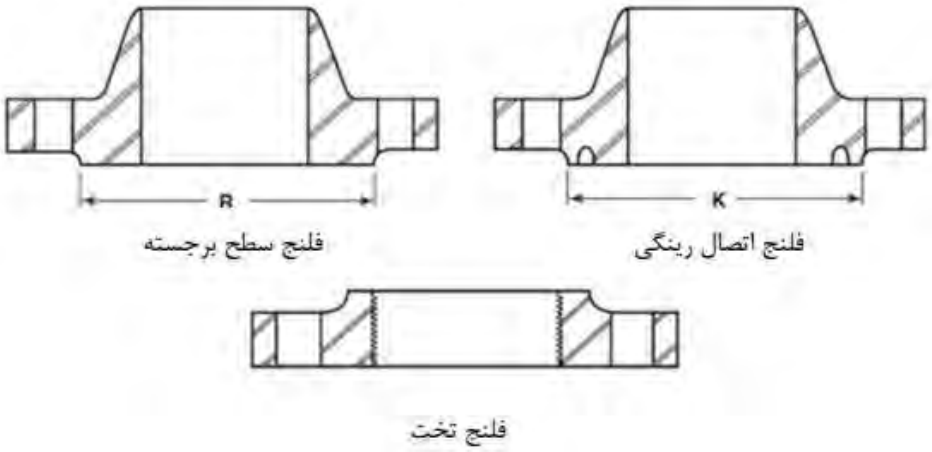
[1] Butt-welded
[2] Socket-welded
[3] Stray weld metal



شکل ۳–۱۰: لوله مارپیچی



شکل ۳–۱۱: لوله جوشی



شکل ۳–۱۲: انواع فلنج

فلنج‌ها با ضـخامت‌های مختلفی و برای اندازه پیچ‌های گوناگونی طبق فشـار و دمای سـرویس[1] ساخته می‌شوند. درجه‌های ۱۵۰، ۳۰۰ و ۶۰۰ پوند در کارخانجات شیمیایی رایج است.

- **اتصالات**

زانویی‌ها، سه‌راهی‌ها، فلنج‌ها و سایر اجزاء لوله‌کشی برای جفت شدن با لوله‌کشی مارپیچی[2]، فلنجی و جوشی مشروح در بخش قبل ساخته می‌شوند. این اتصالات همچنین در وزن‌های مختلف و برای فشار و دماهای معینی تولید می‌شوند.

۳-۳-۵- لوله‌کشی روکش‌دار، توخالی و پیمایشی

نوع خاصی از لوله‌کشی در جایی که لازم است سیال مورد انتقال، گرم نگه داشته شود، روکش‌دار، توخالی و پیمایشی است. لوله‌کشی روکش‌دار و توخالی هر دو دارای لوله‌های هم‌مرکز (یکی داخل دیگری) هستند. در لوله‌کشی روکش‌دار، سیال از طریق لوله داخلی و ماده گرم‌کننده از میان پوسته (یا لوله خارجی) منتقل می‌شـود. لوله‌کشـی توخالی برعکس اسـت؛ سـیال در لوله خارجی و ماده گرم‌کننده از طریق لوله داخلی انتقال می‌یابد.

اقدام کلی مرتبط با پیمایش بخار شـامل پیچیدن لوله مسـی دور لوله فرایندی و پوشـش آن با سیمان یا عایق انتقال حرارت است. سیستم‌های پیمایش روغن داغ زمانی به کار می‌روند که سیال فرایندی از سیستم بخار واحد گرم‌تر باشد. حین عملیات، بخار کم‌فشار یا روغن داغ از میان لوله مسی عبور می‌کند. این دستورالعمل اغلب برای شرایط زمستانی یک واحد به کار می‌رود زمانی که انتظار می‌رود دما به زیر نقطه انجماد کاهش یابد. یک جنبه منفی پیمایش بخار، زمانی رخ می‌دهد که لوله‌های مسی زیر عایق عرق می‌کند و در نتیجه آن، رطوبت کنار لوله‌کشی جمع می‌شود.

- **درپوش‌های پارویی[3] و هشتی[4]**

درپوش‌ها، یکی از وسایل اصلی مورداستفاده برای حصول یک قطع کامل در لوله‌کشی هستند. دو نوع درپوش معمولاً در کارخانه‌ها به کار می‌رود. اولین مورد که درپوش پدالی نامیده می‌شود، چیزی بیش از یک قطعه فلز ضـخیم برای تحمل فشـاری معین نیسـت. درپوش پارویی بین دو فلنج وارد

---

[1] Service
[2] Screw
[3] Paddle
[4] Figure eight

می‌شود که در طرفین آن‌ها واشر قرار دارد و محکم شده است. نوع دوم، درپوش هشتی (به شکل 8 انگلیسی) برای نصب درون لوله‌کشی طراحی شده است. در یک انتهای درپوش، دریچه‌ای واقع شده که در زمان عدم فعالیت بخش کور شونده، به‌عنوان فاصله‌دهنده میان دو فلنج استفاده می‌شود. درپوش هشتی از این حیث که همیشه در موقعیت استفاده قرار دارد دارای مزیت است درحالی‌که نوع پارویی وقتی استفاده نمی‌شود، ممکن است در محل اشتباهی قرار بگیرد.

- **شیر انسداد و تخلیه**[1]

سیستم انسداد و تخلیه به‌طور فراوان برای متوقف کردن جریان به کار می‌رود؛ اگرچه این قطع کامل محسوب نمی‌شود. این سیستم شامل دو شیر در مسیر شیری کوچکتر است که به اتمسفر باز می‌شود و میان دو شیر خطی دیگر واقع شده است.

۳-۴- مخازن (تحت‌فشار)

دانستن محدودیت‌های تجهیزات، به‌منظور اطمینان از عدم توقف عملیات برای اپراتورها الزامی است. این بخش، بعضی عوامل دخیل در انتخاب، استفاده و نیاز به بازرسی دوره‌ای مواد به‌کاررفته در ساخت مخازن و سایر تجهیزات واحد را ارائه می‌دهد.

۳-۴-۱- مستندسازی و طراحی مخزن

هر مخزن، شامل یک برچسب کد خواهد بود که درجه‌بندی پرفشار و دمابالا، نام سازنده، تاریخ، جنس فلز، ظرفیت ذخیره و اخطارهای لازم را نشان خواهد داد. بیشتر مستندسازی مخازن شامل جداول درجه‌بندی است که به یک تکنسین اجازه می‌دهد به داده‌های مورداستفاده برای شناسایی ظرفیت، دسترسی داشته باشد. برای ذخیره روزمینی، کد ASME، بخش هشتم مربوط به مخازنی است که دارای فشار بیش از psig ۱۵ هستند. طرح‌های رایج ذخیره‌سازی، عبارت از کره‌ها، شبه‌کره‌ها، مخازنی استوانه‌ای افقی (درام‌ها)، سطلی[2] و مخازنی دارای سقف ثابت و شناور است. مخازن، درام‌ها و مخازن به‌طورمعمول در گروه‌های کم‌فشار، پرفشار، سرویس مایع، سرویس گاز، عایق، پیمایش بخار و آب‌خنک‌کن طبقه‌بندی می‌شوند. بیشتر اوقات، ضخامت دیواره و شکل، تعیین‌کننده سرویسی است که مخزن برای آن موردا ستفاده قرار می‌گیرد. برخی مخازن با سقف شناور داخلی یا خارجی، دو دیواره، سقف گنبدی یا مخروطی یا سر باز طراحی می‌شوند. اغلب،

---

[1] Double block and bleed
[2] Bins

آب‌گذرهای خاکی یا بتنی مخزن را احاطه می‌کنند و برای جمع‌آوری محتویات در مواقع سـرریز شدن طراحی شده‌اند.

مخازنی ذخیره کروی و شبه‌کره برای ذخیره گازها یا فشار بیشتر از psig ۵ طراحی می شوند. مخازنی شبه‌کره نسبت به کروی‌ها صاف‌تر هستند. مخازنی استوانه‌ای افقی یا درام‌ها، می‌توانند برای فشار بین ۱۵ تا psig ۱۰۰۰ به کار روند. مخازنی ذخیره سقف شناور، برای مواد نزدیک به فشار اتمسفر استفاده می شوند. در طراحی پایه، فضایی خالی بین سقف شناور و محصول به‌عنوان یک آب‌بند ثابت لحاظ می شود. اهداف اصلی یک سقف شناور، کاهش افت فشار و نگهداری از سیالات ذخیره شده است. در مناطقی که ریزش برف شدید است، یک سقف شناور داخلی با یک سقف خارجی به کار می‌رود زیرا وزن برف، بر آب‌بند موثر خواهد بود.

الف) ضخامت مخزن

اگر ضخامت اولیه طراحی، برای تمام قسمت‌های نگهدارنده فشار در یک کارخانه بتواند پایدار بماند و شرایط فرایندی ثابت باشد، واحد نیاز به هیچ بازرسی دوره‌ای نخواهد داشت و عملیات می‌تواند به‌طور پیوسـته ادامه یابد. ازآنجاکه این امر به‌ندرت امکان‌پذیر اسـت، دانستن عواملی که بر ضخامت لازم اولیه تجهیزات عملیاتی تأثیر دارند و نیز یک عامل به نام خوردگی که می‌تواند ضخامت تجهیزات را کاهش دهد، مهم است.

ضخامت تجهیزات نگهدارنده فشار، در اصل به قطر لوله، مخزن، مبدل یا سایر دستگاه‌ها، فشـار، دما، مقاومت جنس به‌کاررفته و نرخ خوردگی پیش‌بینی شـده (معمولاً مقدار یک هشـتم اینچ، فوق‌العاده ناشـی از خوردگی در نظر گرفته می‌شـود) بسـتگی دارد. البته، اپراتور، بر فشـار، دما و تغییرات فرایندی که ممکن اسـت بر میزان خوردگی مؤثر باشـد کنترل دارد.

ب) فشار

تجهیزات، برای فشارهای عملیاتی عادی به اضافه افزایش مازاد فشار طراحی می شوند تا عملیات اجازه وارونگی داشـته باشـد. شـیر اطمینان روی تجهیز یا در سـیسـتم برای آزاد سازی در زمانی که فشار طراحی بالاتر از حد مجاز رفته و بدین‌ترتیب جهت حفاظت از دسـتگاه و ایمنی پرسـنل طراحی می‌شـود. انسـداد در تجهیزات بدون شـیر اطمینان، افزایش بدون تاییدیه فشار تنظیم[1] شیر اطمینان و انسداد در آب خنک‌کننده در مبدل‌ها هنگام سـرویس، تنها چند احتمال وقوع شـرایط مخاطره‌آمیز در واحد اسـت. اپراتور باید

[1] Set pressure

بداند که این امور غیرایمن می‌تواند از حد طراحی فراتر رود و موجب از کار افتادن و خرابی دستگاه‌ها شود.

ج) دما

به‌طورکلی، مقاومت فلزات با افزایش دما کم می‌شـــود. کاهش مقاومت اغلب از ۶۵۰°F (۳۴۳/۳۳°C) آغاز و در بازه ۹۵۰°F (۵۱۰°C) تا ۱۰۰۰°F (۵۳۷/۵۵°C) برای فولاد کربنی بحرانی می‌شـود. برای مثال، وقتی دما از ۹۵۰°F به ۹۷۵°F برسـد (از ۵۱۰°C به ۵۲۳/۸۸°C)، مقاومت فولاد کم کربن ۲۲٪ کاهش می‌یابد. به‌طور مشـــابه، به دلیل این کاهش در مقاومت با افزایش دما، مهم است که فشار نیز در تجهیز کاهش یابد و سطوحی از فلز که در معرض هستند طی شرایط مستعد آتش‌سوزی، با آب خنک شوند. علاوه بر تأثیر بر مقاومت، دما اثری ا سا سی بر نرخ خوردگی نیز دارد. به‌عنوان‌مثال، در جریان‌های حاوی سـولفوریک‌اسـید، هر ۲۰°F (۶/۶۶°C) افزایش در دما می‌تواند نرخ خوردگی را دو برابر کند.

د) جنس: کربن‌استیل، آلیاژها و آلیاژهای غیرآهنی

فلزات مشـروح در این بخش، موارد بسـیار رایج در کارخانه‌های شـیمیایی هسـتند. البته فلزات متعدد دیگری نیز به کار می‌روند اما به دلیل نبود فضـــای کافی در این بحث گنجانده نشده است.

- **فولاد کم کربن**[1]

خو شبختانه، فولاد کم کربن که برای همه آ شنا ست، ماده‌ای بسیار ر ضایت‌بخش جهت بسیاری از کابردها در کارخانجات اسـت. به نسـبت ارزان اسـت و البته دارای مقاومت، کارایی و خواص جوش‌پذیری لازم می‌باشـد. بیشـتر تجهیزات به‌کاررفته در کارخانه‌ها از این ماده همه‌کاره سـاخته شـده اسـت. فولاد به‌کاررفته در تجهیزات دارای کربن کم (۰/۳ درصـد یا کمتر)، گوگرد، فسـفر و مقادیر کافی منگنز برای خنثی کردن اثر گوگرد می‌با شد. ممکن ا ست مقادیر کمی سیلیسیوم یا آلومینیم نیز داشته باشد. محتوای پایین کربن، شکل‌پذیری و جوش‌پذیری را ارتقا می‌بخشد.

اگرچه فولاد کم کربن برای بیشـــتر سـرویس‌ها مناسـب اسـت اما با بروز فرایندهای مدرن، جنس‌های جدیدی برای برخورد با شرایط حاد ارائه شده‌اند. با این وجود، هیچ یک از این مواد برای تمام سرویس‌ها مناسب نیستند.

---

[1] Low-carbon steel

- **فولاد کم آلیاژ**

با افزایش دمای تجهیزات به بیش از ۶۵۰°F (۳۴۳/۳۳°C)، مقاومت فولاد کم کربن کاهش می‌یابد. این کاهش مقاومت بین ۹۵۰°F تا ۱۰۰۰°F (۵۱۰°C تا ۵۳۷/۷۷°C) پررنگ‌تر می‌شود. به‌عنوان‌مثال، در ۹۵۰°F و ۱۰۰۰°F (۵۱۰°C و ۵۳۷/۷۷°C) مقاومت فولاد کم کربن به ترتیب، حدود یک سوم و یک ششم مقاومت آن در دمای اتاق است. در نتیجه، مقاومت این نوع فولاد آنقدر کم می‌شود که دیگر جنس رضایت‌بخشی نیست. مقاومت و پایداری موردنیاز در این شرایط مقابل اکسید شدن، با افزودن مقادیر کمی عناصر آلیاژی تأمین می‌شود. مولیبدن در مقادیری به کوچکی ۰/۵ درصد، مقاومت را به بیش از ۹۰۰°F (۴۸۲/۲۲°C) افزایش می‌دهد. کروم تا حداکثر ۹٪ اضافه می‌شود تا با میل به اکسید شدن در دماهای بالا مبارزه کند و از خوردگی توسط مواد حاوی سولفور جلوگیری نماید. این فولادها، هنوز بخش اعظمی از شکل‌پذیری، سختی و جوش‌پذیری فولاد کم کربن را دارند اما هنگام جوشکاری به عملیات دمایی گسترده‌تر و محتاطانه‌تری نیازمندند. آلیاژهای کروم در مخازن فشاری، لوله‌های کوره و مبدل‌های عملیاتی در دما و فشار بالا به کار می‌روند.

برخی فرایندهای به‌کاررفته در پالایشگاه ها و کارخانه‌های شیمیایی، هیدروژن دمابالا یا پرفشار یا هر دو را به کار می‌گیرند. فولاد کم کربن به‌طورمعمول در سرویس بالای ۵۰۰°F (۲۶۰°C) شکننده می شود. این شکننده شدن، با استفاده از فولادهای حاوی مقادیر کم کروم یا مولیبدن یا هر دو، ممانعت می‌شوند.

وقتی نیاز به عملکرد دستگاه در دماهای بسیار پایین باشد، فولاد کم کربن ماده‌ای نامطلوب می شود. این ماده جهت عملیات بالای ۲۰°F- (۲۸/۸۸°C-) سخت و شکل‌پذیر است؛ اما زیر این دما، فولاد شروع به از دست دادن توانایی خود برای استقامت در برابر شوک ناگهانی می‌کند. بسیاری از فولادهای کربنی ساده تا ۲۰°F- (۲۸/۸۸°C-) شکل‌پذیر هستند و تا ۵۰°F- (۴۵/۵۵°C-) باید اقدام حرارتی مناسبی استفاده شود. افزودن مقادیر کمی عناصر آلیاژی دمایی که فولاد در آن شکننده می‌شود را کاهش می‌دهد. نیکل رایج‌ترین فلز افزودنی به فولاد با این هدف است. افزودن ۵-۳ درصد نیکل، فولادی تولید خواهد کرد که تا ۱۵۰°F- (۱۰۱/۱۱°C-) سخت باقی بماند.

- **فولادهای پر آلیاژ**

خواص فولاد با افزودن مقادیر کم از عناصر دیگر به‌طور وسیع تغییر کرده و بدین‌ترتیب فولادهایی مطلوب جهت بیشتر سرویس‌ها تولید خواهد شد. با این وجود در برخی حالات، این امکان با افزودن مقادیر کم سایر عناصر وجود ندارد و برای ایجاد مشخصات هدف، نیاز به مقادیر بیشتری عناصر آلیاژی می‌باشد. فولادهایی که ۱۰٪ یا بیشتر فلزات آلیاژی دارند در کل فولادهای پر آلیاژ نامیده

می‌شـــوند. دو مورد از اعضـــای این گروه که اغلب در واحدها به کار می‌روند، فولاد کروم‌دار و فولاد آستنیتی[1] (همان زنگ نزن) هستند.

– فولاد کروم‌دار

اجزاء شیمیایی حاوی مقادیر قابل‌توجه ترکیبات گوگردی، برای فولاد در دماهای۵۵۰°F تا ۸۵۰°F (۲۸۷/۷۷°C تا ۴۵۴/۴۴°C) کاملاً خورنده هســـتند. فولادهای کروم‌دار، مقابل این نوع از حمله به‌خوبی استقامت می‌کنند اما در برخی موارد آلیاژهای کم کرومی که قبلاً توضیح داده شد، به حد کافی مقاوم نیســـتند تا از حیث اقتصـــادی نیز جذاب باشـــند. در این حالات، آلیاژهای حاوی ۱۲ تا ۱۷٪ کروم به کار می‌روند.

در ابتدا از فولاد دارای ۱۷٪ کروم به‌طور گســـترده برای خوردگی‌های شـــدید ناشـــی از گوگرد اســـتفاده می‌شـــد اما این نوع فولاد، پس از چرخه‌های طولانی گرمایش از ۷۰۰°F به ۱۰۰۰°F (۳۷۱/۱۱°C تا ۵۳۷/۷۷°C) میل به شـکنندگی داشـت. کاربرد اولیه آن‌ها اکنون به قطعات پمپ و کمپرســـور محدود شـــده اســـت. مواد دارای ۱۲٪ کروم، به‌طور گســـترده به‌عنوان جدار محافظ در تجهیزات، ترموول‌ها[2] و تراز شیرهای فولادی که در معرض این نوع از خوردگی با گوگرد هستند، به کار می‌روند.

– فولادهای آستنیتی (زنگ نزن)

وقتی هم نیکل و هم کروم در مجموع به مقداری بیش از ۲۰٪ به فولاد اضـــافه شـــود، ســـاختار میکروســـکوپی دچار تغییر عمیقی می‌شـود. ذرات کوچک تشـکیل‌دهنده فولاد به شـکل معروف به آستینیت[3] جامد شده و این فولاد نسبت به سایر انواعی که تاکنون توصیف شد، رفتار متفاوتی دارد. رایج‌ترین ترکیب فولاد زنگ نزن، معروف به ۸-۱۸ است. دلیل استفاده از این اسم آن است که این فولاد زنگ نزن حدود ۱۸٪ کروم و ۸٪ نیکل در خود دارد. بقیه اعضای این خانواده، مقادیر بیشتری از هر یک از این دو عنصر یا هر دو را داشته و برخی دارای مقادیر کمی عناصر دیگر نیز هستند. مولیبدن عنصر رایجی است که معمولاً افزوده می‌شود.

خاصیت ویژه‌این گروه از فولادها، مقاومت در برابر زنگ‌زدگی هنگام قرارگیری در معرض اتمسفر و نیز مقاومت در برابر خوردگی توسط طیف وسیعی از مواد شیمیایی می‌باشد. این فولادها همچنین بخش اعظمی از استقامت خود را حفظ کرده و در برابر اکسید شدن در دماهای بسیار بالا، مقاومتی

---

[1] Austenitic
[2] Thermowells
[3] Austenite

عالی دارند. در واحدهای فرایندی، از آن‌ها به وفور به‌عنوان نگهدارند دیواره و ســـاپورت لوله‌ها در کوره‌ها به کار می‌روند. در این کاربرد، با وجود اینکه مواد عبوری از لوله‌ها، آن‌ها را خنک می‌کند، اما تکیه‌گاه‌ها در معرض حرارت زیاد قرار داشـــته و لذا باید از اســـتقامت و مقاومت کافی در برابر اکسیداسیون در دمای بالای احتراق کوره را داشته باشد.

در ســایر کاربردها، این فولادها زمانی اســتفاده می‌شــوند که لازم اســت مواد در دماهای بســیار پایین فراوری شوند. آن‌ها تا دماهای بسیار پایین‌تر از دمای شکننده شدن فولاد کم‌کربن، همچنان سخت و شکل‌پذیر باقی می‌مانند.

اگرچه فولادهای زنگ نزن، آلیاژ بســیار مفیدی برای مقاومت در برابر بســیاری از خوردگی‌های شـــدید و کار در دمای بالا به حســـاب می‌آیند اما محدودیت‌هایی نیز وجود دارد که آن‌ها را برای برخی از کاربردها نامنا سب می سازد. دو شرایطی که موجب تخریب این فولادها می شود ترک‌های نا شی از خوردگی تن شی و بالا بودن ضریب انب ساط ا ست. ترک نا شی از خوردگی تن شی، نوعی از تخریب مکانیکی- شیمیایی است. بسیاری از مواد، حتی فولادهایی با در صد کربن پایین، به‌ویژه در محیط‌های بحرانی در معرض این نوع خوردگی ه ستند. در ب سیاری از واحدها، یکی از معمول‌ترین ترک‌ها در فولاد زنگ نزن نا شی از محیط‌های حاوی کلر منفی یا کلرید ا ست. ترک‌ها اغلب از میان ذرات فلزی اســـت و افت فلز کمی در اثر خوردگی اتفاق می‌افتد. دیگر ویژگی نامطلوب فولاد زنگ نزن، ضریب انبساط بالای آن است. وقتی فولاد زنگ نزن حرارت ببیند با سرعتی حدود ۱۵۰٪ فولاد منبسط می‌شود. این انبساط زمانی مشکل محسوب می‌شود که فولاد زنگ نزن در تماس نزدیک با ســـایر فلزات به کار رود. در دمای بالا، به دلیل انبســـاط دو ماده در نرخ‌های متفاوت، کرنش‌های داخلی زیادی می‌تواند ایجاد شود.

– آلیاژهای غیرآهنی

فلز یا آلیاژ حاوی کمی آهن یا بدون آهن، ماده غیرآهنی نامیده می‌شـــود. عناصـــر متعددی به جز آهن وجود دارند که در فرم خالص خود، فلز هســـتند و ترکیب اینها به‌عنوان آلیاژ، تقریباً نامحدود است. برخی از این آلیاژها تقریباً فراوان مورداستفاده واقع می‌شوند.

– آلیاژهای نیکل

در محل‌های معدودی اطراف یک کارخانه شــیمیایی، جایی که نیاز به مقاومت شــدید در برابر مواد شیمیایی با شد و فولاد زنگ نزن کارایی کافی را ندا شته با شد، گروهی از آلیاژها حاوی مقادیر زیاد نیکل موردا ستفاده قرار می‌گیرد. این آلیاژها اغلب شامل افزودن آهن، مس، آلومینیم، کروم، کبالت

و مولیبدن هستند. برخی مثال‌های معمول از این آلیاژها، مونل[1]، هستلوی[2] و اینکونل[3] می‌باشد. این آلیاژها برای طیف وسیعی از سرویس‌ها به کار می‌روند که درگیر با اسید و سوزآورها هستند. برای مثال، مونل در سدیم هیدروکسید داغ یا هیدروکلریک اسید استفاده می‌شود.

– آلیاژهای مس

«برنج» عبارتی است که برای توصیف خانواده آلیاژهای مس و روی به کار می‌رود. میزان مس از ٪۹۰ تا ٪۶۰ در موازنه با روی، متغیر است. برخی برنج‌ها مقادیر کمی عناصر دیگر نظیر سرب، قلع، آنتیموان، ارسنیک و فسفر در خود دارند.

برنج‌ها به دلیل مقاومت آن‌ها در برابر خوردگی ناشی از ناخالصی‌های مختلف آب‌دار که برای فولاد خورنده هستند، فراوان به کار می‌رود. آن‌ها ضعیف‌تر از فولاد بوده و هنگام گرم شدن بخش عظیمی از استقامت خود را از دست می‌دهند. معمولاً در دماهای بالاتر از ۴۵۰ °F (۲۳۲/۲۲ °C) به کار نمی‌روند. برنج اغلب در کندانسور یا لوله‌های خنک‌کن، هنگامی‌که سیال خنک‌کننده آب باشد، به کار می‌رود. بعضی برنج‌ها، به ویژه آن‌ها که حاوی سرب و آنتیموان هستند، دارای خواص خوب ضد اصطکاک بوده و به‌طور گسترده به‌عنوان جنس یاتاقان‌ها در پمپ و کمپرسور به کار می‌روند.

برنزها خانواده دوم از آلیاژهای مس هستند. میزان مس در این آلیاژها ٪۹۰ یا بیشتر است. آلومینیم، قلع یا سیلیسیوم ایجاد توازن می‌نمایند. برنزهای آلومینیمی و سیلیسیومی مقاومت بیشتری نسبت به برنج در مقابل آب شور دارند و به‌طور فراوان در لوله‌های کندانسور محتوی آب نمک به‌عنوان سیال خنک‌کننده به کار می‌روند.

چندین آلیاژ مس- نیکل نیز وجود دارد. یکی از آن‌ها، به نام کاپرونیکل[4] دارای ٪۷۰ مس و ٪۳۰ نیکل است. کاپرونیکل در لوله‌های کندانسور زمانی که آب خنک‌کننده دارای غلظت بسیار بالایی از نمک باشد، استفاده می‌شود.

– آلیاژهای آلومینیم

مشخصات ویژه آلومینیم، مقاومت خوب آن در برابر خوردگی ناشی از ترکیبات گوگردی و مقاومت آن مقابل اکسیداسیون مداوم هنگام قرارگیری در معرض اتمسفر است. به دلیل مقاومت در برابر

---

[1] Monel
[2] Hastelloy
[3] Inconel
[4] Cupronickel

خوردگی با گوگرد، آلومینیم برای بخش‌های داخلی تجهیزات فراوری‌کننده محتویات گوگردی به کار می‌رود. به دلیل مقاومتش در برابر خوردگی با اتمسفر، معمولاً به شکل ورق برای محافظت و عایق‌بندی لوله و برج‌ها در برابر هوا استفاده می‌شود.

آلیاژهای بسیاری از آلومینیم حاوی مقادیر کم فلزات دیگر وجود دارد که استقامت آن را در دمای اتاق افزایش زیادی می‌دهند. این استقامت، در بیشتر آلیاژهای آلومینیم با بالا رفتن دما به‌سرعت کاهش می‌یابد.

کاربرد پوشش‌های آلومینیمی روی آلیاژهای پایه آهن، به‌منظور محافظت از تجهیزات در برابر خوردگی با گوگرد و هیدروژن سولفید دمابالا و نیز اکسیدا سیون دمابالا، در سال‌های اخیر نسبتاً گسترش یافته است.

- **آلیاژهای سرب**

سرب یک ماده سنگین، به شدت شکل‌پذیر و نسبتاً ضعیف است که در دمای نسبتاً پایینی ذوب می‌شود. به‌عنوان جنس پوششی در تجهیزاتی که با سولفوریک اسید سر و کار دارند به کار می‌رود.

۳-۴-۲- بازرسی

عملیات طولانی‌مدت و ایمن به فعالیت‌های بازرسی خوب برای اطمینان از نگهداری تجهیزات در وضعیت ایمن بستگی دارد و اینکه زمان توقف با پیش‌بینی تعمیرات لازم به حداقل برسد. در کل، محدوده کار شامل مخازن فشاری، مبدل‌های حرارتی، مخازنی ذخیره، لوله‌کشی فرایندی، پمپ‌ها، شیرهای اطمینان، لوله‌های کوره، اتصالات، شیرهای تقسیم، دودکش و تکیه‌گاه لوله‌ها می‌باشد. هر تجهیزی که در معرض فشار یا دمای بالا باشد باید به‌طور دوره‌ای بازرسی شود.

دیگ‌های بخار و تجهیزات کمکی موضوع تنظیم وضعیت و بازرسی هستند. نمایندگان یک شرکت بیمه‌ای نیز ممکن است دیگ‌های بخار را بازرسی کنند. بازرس‌های کارخانه بازرسی‌های مشترک با شرکت بیمه‌ای انجام داده و آن‌ها را به‌عنوان مرجع ثبت می‌نمایند. بازرسی پمپ‌ها و کمپرسورها و عملی مهم توسط اپراتورها و نیز پرسنل نگهداری و مهندسی است.

بازرس، شرایط مختص هر قسمت تجهیز را مورد مطالعه قرار می‌دهد. جنس ماده به‌کاررفته، فشار، دما، شرایط جریان و عوامل دیگر ممکن است موجب تخریب تجهزات شده و یا در آن سهمی داشته باشند. آشنایی با شرایط عملیاتی و دانش مواد ساختاری ضرورت دارد. مطالعه شرایط و مواد، موجب برنامه‌ریزی و عملکرد واقعی بازرسی می‌شود و بدین‌ترتیب وضعیت صحیح تجهیزات تعیین می‌شود. محدوده بازرسی نیز شامل ثبت، گزارش نتایج، پیشنهاد تعمیرات و روش‌های تعمیر، کمک به گردش برنامه‌ریزی و تعیین محدودیت‌های عملکرد ایمن تجهیزات است. زمانی که نتیجه

بازرســـی، نیاز به تعویض قطعات اســـت، این نکته اهمیت دارد که قطعات جدید مطابق با کدها و مشخصات شناخته شده طراحی شوند.

- **دفعات و حد بازرسی**

دفعات و میزان بازرسی به عواملی نظیر فشار، دما، فعالیت خورندگی مواد به‌کاررفته و جنس ساخت، حد مجاز خوردگی و تجربه‌های قبلی با د ستگاه مربوطه وابـ سته ا ست. البته تجهیزات در سرویس پرفشار و دمابالا که مستعد خوردگی باشند نیز به دفعات مورد بازرسی قرار می‌گیرند. از طرف دیگر، برخی تجهیزات ممکن است تنها یک بار در هر پنج سال نیاز به بازرسی کامل داشته باشند. دفعات و حد بازرســی برای هم جزئی به‌طور مســتقل لحاظ می‌شــود و با تغییر در شــرایط عملیاتی تغییر می‌کند. عملاً در تمام حالات، فقط بخش‌هایی از خطوط و تجهیزات که تشـــکیل‌دهنده یک واحد ه ستند، مورد بازر سی واقع می شوند. بازر سی‌ها به گونه‌ای برنامه‌ریزی می شوند که بازر سی کامل واحد، دربرگیرنده چندین بازرسی باشد.

- **روش‌ها و ابزار بازرسی**

بازر سی بصری یکی از مر سوم‌ترین روش‌ها بوده و نیازی به توضیح ندارد. بازر سان باتجربه، از تست چکش[1] برای تخمین ضــخامت فلز اســتفاده می‌کنند. تجهیز یا خط با یک چکش متحمل ضــرباتی آهسته شده و احساس برداشتی و صدای شنیده شده یادداشت می‌شود. ضربه چکش می‌تواند سبب ایجاد لرزش شده که صدای حا صل از آن به ضخامت نقطه ضربه خورده بـستگی دارد. حس کردن چکش و حد تورفتگی ناشـــی از ضـــربه نیز تفســـیری از میزان ضـــخامت ارائه می‌دهد. چکش زدن می‌تواند برای تعیین وضعیت مناطق مشکوک به کار رود. سایر مدل‌های بازرسی نظیر حفر کردن یا سنجش با کولیس، می‌تواند برای د ستیابی به مقادیر صحیح ن سبت به دامنه محدود ارائه شده با چکش‌زنی استفاده شود.

کولیس‌های انتقال دهنده[2] یا مســتقیم[3] برای اندازه‌گیری ضــخامت در زمانی به کار می‌روند که مناطق تحت بازرسی، قابل دسترس باشند. طیف وسیعی از ابزارهای خواندن از دور برای اندازه‌گیری قطر داخلی لوله‌های کوره و مبدل موجود هستند.

---

[1] Hammer testing
[2] Transfer calipers
[3] Direct reading calipers

اندازه‌گیری از طریق سوراخ‌های حفر شده که مته‌کاری[1] نامیده می‌شود، صحیح‌ترین روش تعیین ضخامت دیواره در زمانی است که کولیس‌ها را نتوان به کار برد. ناحیه باریک ابتدا با بازرسی بصری یا تست چکش مشخص‌شده و سپس سوراخی به‌طور کامل در دیواره حفر می‌شود. ضخامت از طریق این حفره اندازه‌گیری می‌شود. حفرات با رزوه کردن ورودی از طریق رزوه باریک‌شونده و پیچ کردن در درپوش باریک شونده بسته می‌شوند. سوراخ‌ها ممکن است با جوش نیز بسته شوند.

مته‌کاری، برای بازرسی جوش روی مخازنی ذخیره جدید یا تجهیزات مشابه کار گرفته می‌شود. همچنین به دفعات برای بررسی ماهیت و حد نواقص موجود در صفحات یا جوش‌های کشف شده در بازرسی‌های بصری پیشین به کار می‌رود. این روش بازرسی، دیگر در حد وسیعی موردا ستفاده واقع نمی شود زیرا کاملاً با روش‌های رادیوگرافی غیر مخرب (اشعه ایکس) مشابه با آنچه در تعیین استخوان‌های شکسته به کار می‌رود، جایگزین شده است. رادیوگرافی برای تعیین ضخامت دیواره لوله‌ها[2] نیز به کار می‌رود.

عمق‌سنجی جوش[3]، با دستگاه خاصی که نمونه‌های قایق‌مانند را از صفحات می‌زداید انجام می‌شود. این نمونه‌ها به‌طورکلی برای بررسی جوش یا وضعیت ماده نمونه برداشته می‌شوند.

چندین دستگاه الکتریکی- صوتی برای اندازه‌گیری ضخامت فلز وجود دارد؛ آن‌ها در اصل برای تعیین ضخامت پوسته مخازن فشاری، مخازنی ذخیره، لوله‌کشی و تجهیزات با دیواره ضخیم به کار می‌روند. آن‌ها قابلیت اندازه‌گیری ضخامت صرفاً جنس در تماس با کاوشگر کریستالی یا مناطق جفت شده با آن را دارند. لایه‌های چندتایی از فلز، کک یا سایر رسوبات روی سمت مخالف کاوشگر در مقادیر به‌دست آمده برای ضخامت لحاظ نمی شود. اگر سطح مخالف به‌طور شدید گودنشده باشد یا ضخامت ماده کمتر از یک هشتم اینچ نباشد، این دستگاه‌ها کاملاً قابل اعتماد هستند.

یک دستگاه با منبع الکتریکی- رادیومی نیز برای اندازه‌گیری ضخامت فلز مورداستفاده واقع می‌شود. این نوع ابزار، یک بررسی سریع ارائه می‌دهد زیرا مانند موارد مشابه در دستگاه‌های الکتریکی- صوتی، نیازی به آمادگی سطحی ندارد و مقادیر خوانده شده مستقیماً در ۳۰ ثانیه حاصل می‌شوند. دمای فلزات تا ۱۰۰۰°F (۵۳۷/۷۷°C) دستگاه را خراب نخواهد کرد و تأثیر جدی بر صحت اندازه‌گیری‌ها نخواهد داشت. بازه از حداکثر سه چهارم اینچ تا صفر بوده و صحت آن به سمت صفر افزایش می‌یابد. این ویژگی، آن را برای بررسی لوله‌کشی ایده‌آل ساخته است. با وجود این، دارای محدودیت‌هایی است زیرا هر نوع کک، مایع، لایه‌های اضافی از فلزات یا رسوبات خارجی

---

[1] Trepanning
[2] Pipe and Tube
[3] Weld probing

در لوله و مخزن را شامل می شود. همچنین، در مناطق به شدت گود شده، یک مقدار متوسط برای ضخامت به دست خواهد آمد.

شـــناســـاگرهای ترک یا نقص، از یک رنگ نفوذکننده برای تعیین محل ترک‌های ســـطحی در فلزات استفاده می‌کنند. این روش شامل اعمال نفوذکننده رنگی بر سطح مشکوک، شستشوی سطح و سپس اعمال محلول ظاهرکننده است. اگر شکافی موجود باشد، یک خط قرمز روشن در پوشش سفید ظاهر خواهد شد که مکان آن را مشخص خواهد نمود.

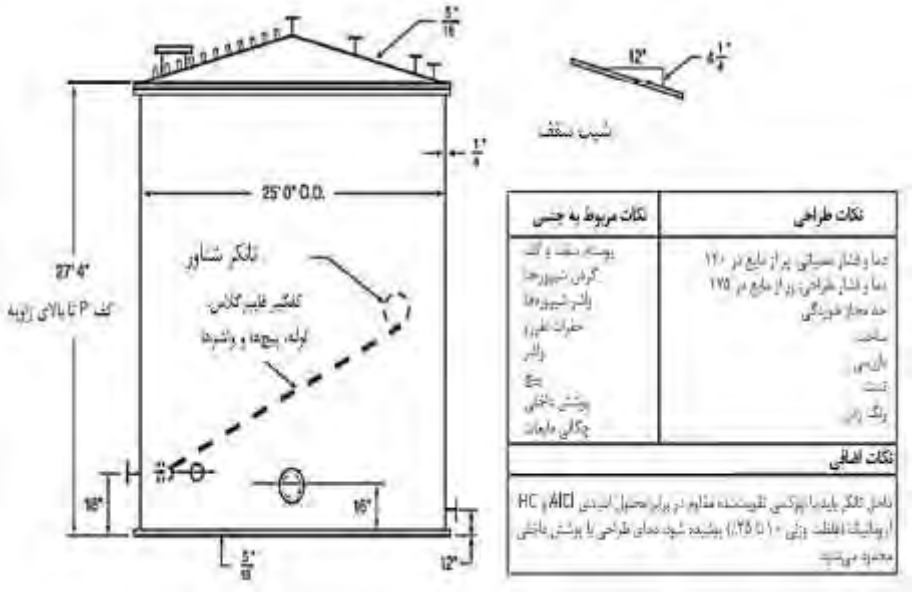
بازرسی ذرات مغناطیسی، برای شناسایی عیوب سطح یا نزدیک سطح در تجهیزاتی که قابلیت مغناطیسی شدن را دارند، به کار می‌رود. یک میدان مغناطیسی، القا شده و پودر آهن برای بازرسی روی قطعه ریخته می شود. پودر آهن در هر انفصال میدان مغناطیسی به قطعه می‌چسبد و بدین ترتیب محل این نواقص نظیر ترک‌ها، تخلخل و بیرون‌زدگی‌ها (مواد خارجی جا گرفته) را تعیین می‌نماید.

آزمون‌های ســـختی[1] به تنوع برای تعیین ســـختی فلزات در محل‌های فروش و مکان‌های کار استفاده می‌شود. نتایج تست سختی، استقامت تقریبی و شکل‌پذیری ماده را نشان می‌دهند.

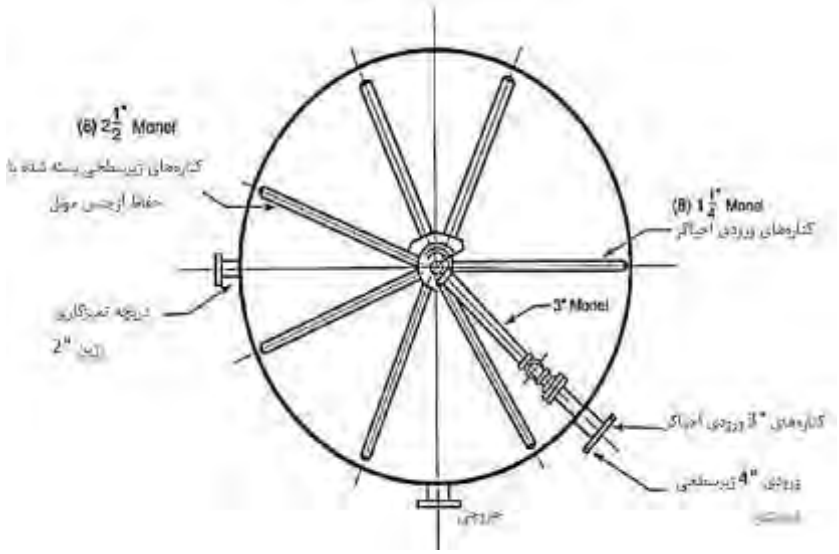
- **برگه‌های طراحی مخزن**

برگه‌های طراحی مخازن، تصـاویری حاوی اطلاعات لازم برای انتخاب، کاربرد و نیاز به بازرســی‌های دوره‌ای جنس به‌کاررفته در مخازن هستند. شکل ۳–۱۳ تا ۳–۲۱ برگه‌های طراحی مخازن معمول موجود در واحدهای فرایندی را نمایش می‌دهند.

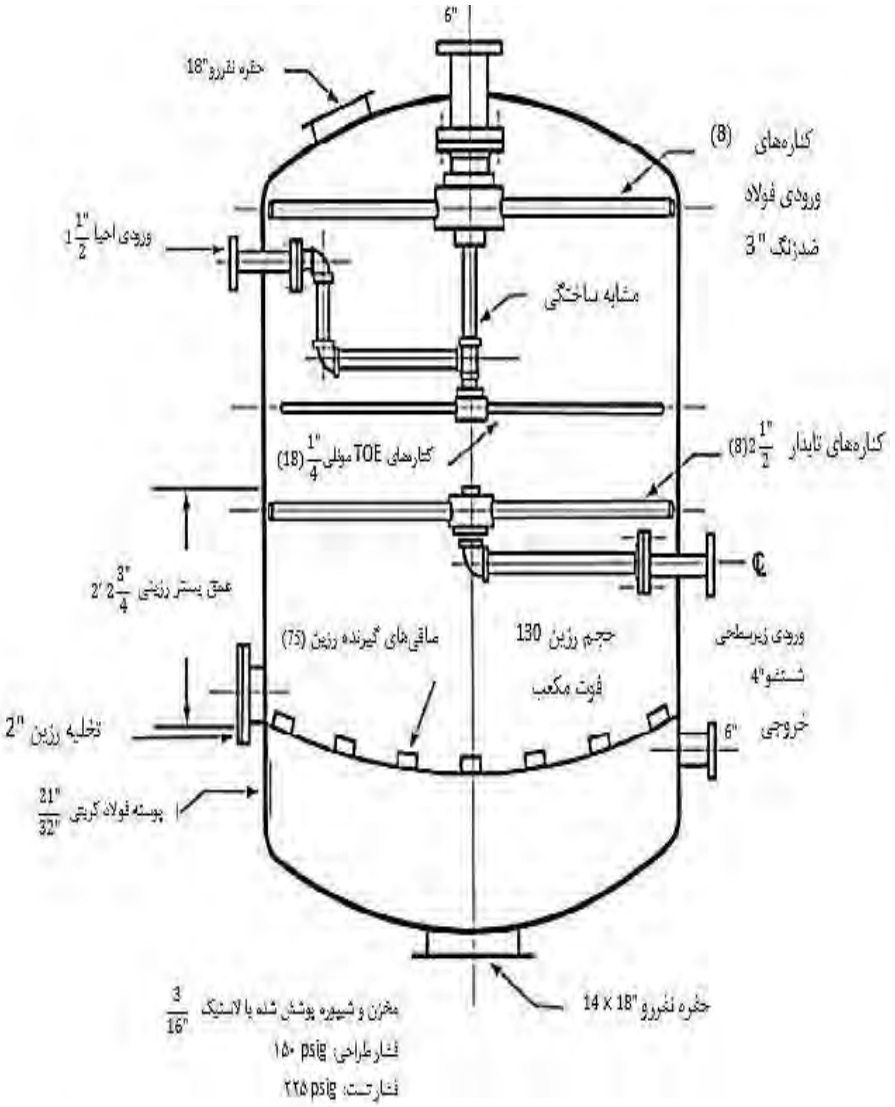
[1] Hardness



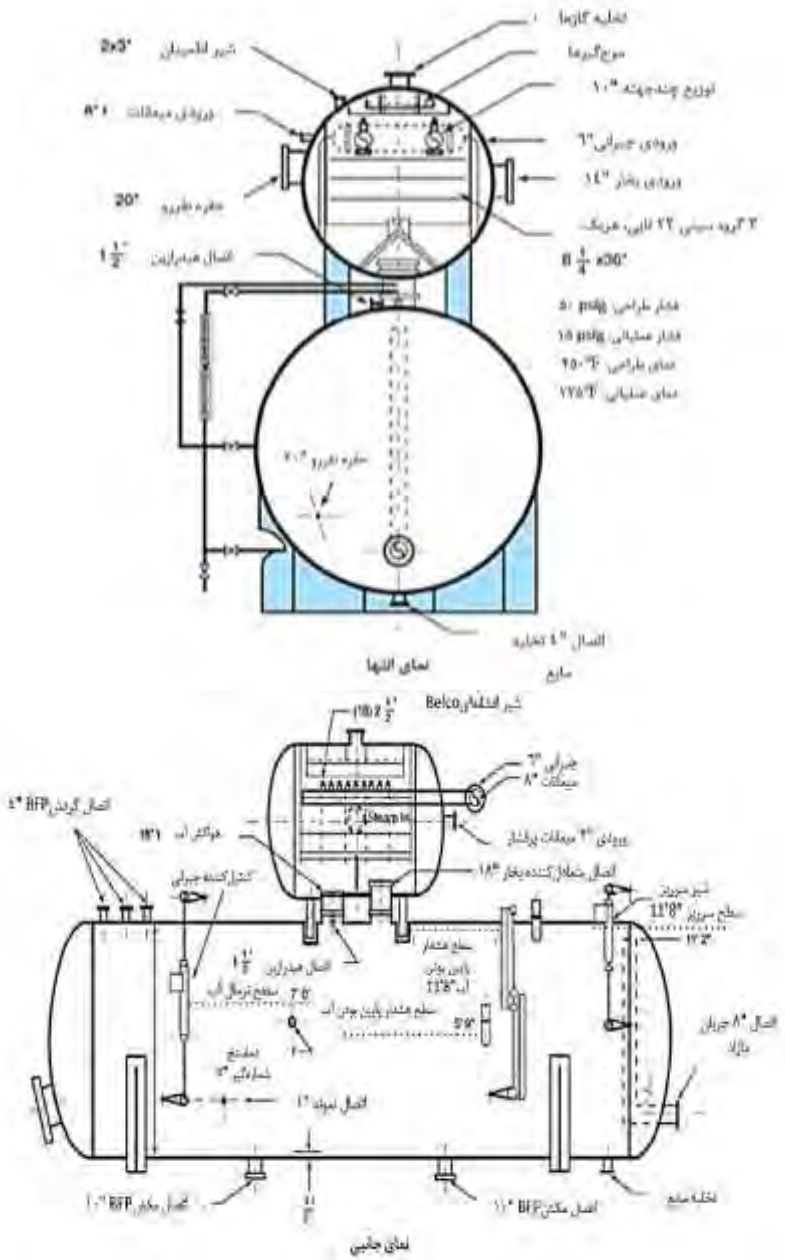
شکل ۳–۱۳: مخزن ذخیره با کفگیر داخلی



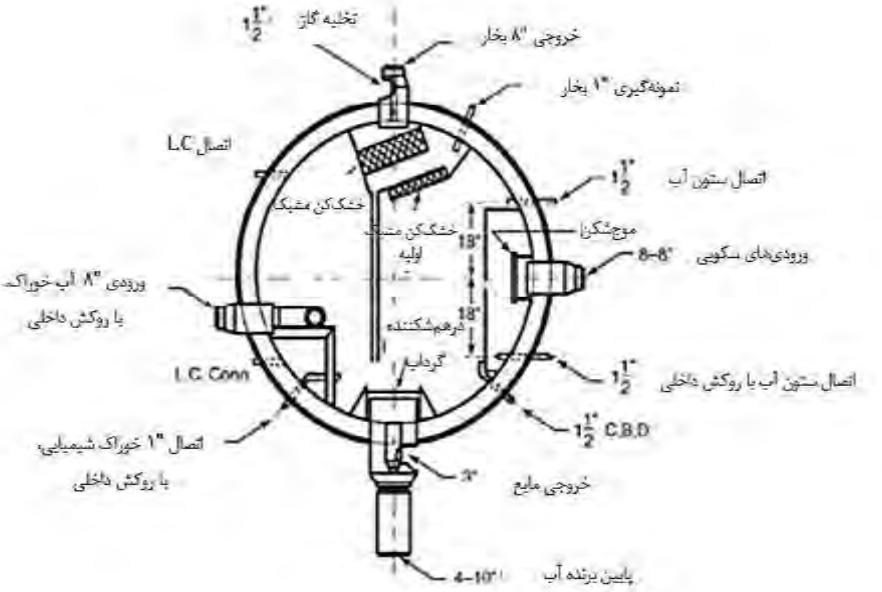
شکل ۳–۱۴: بخش ۱) مخزن ذخیره



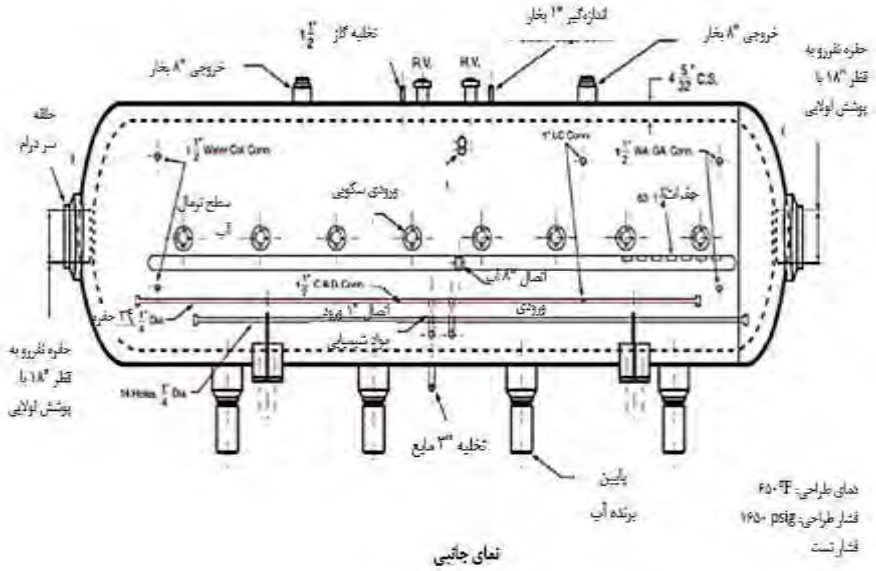
شکل ۳–۱۴: بخش ۲) مخزن ذخیره



شکل ۳–۱۵: هواگیر در بخش تهیه آب خوراک دیگ بخار



نمای انتها

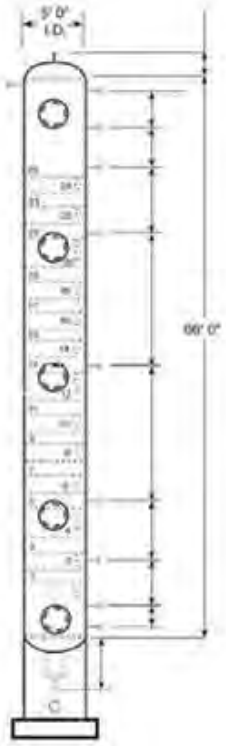


نمای جانبی

شکل ۳–۱۶: درام بخار پرفشار

داده‌های طراحی
فشار عملیاتی ۵۰psig
فشار طراحی ۱۰۰psig در ۱۵۰°F یا خلأ کامل در ۳۰۰°F
دمای عملیاتی ۱۲۰°F
کد برچسب ASTM
وزن ۲۹۳۰۰ پوند
وزن عملیاتی ۱۱۴۳۰۰ پوند

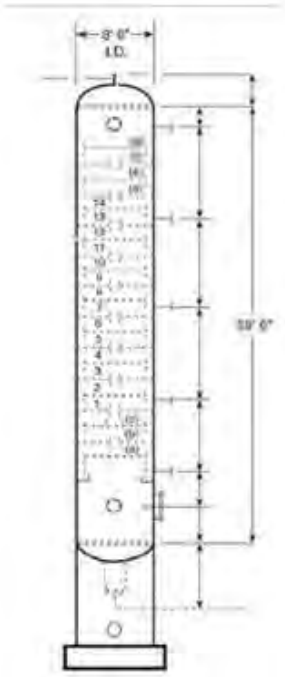
نکات مربوط به جنس
نکات کلی
لیست اتصالات
نکات



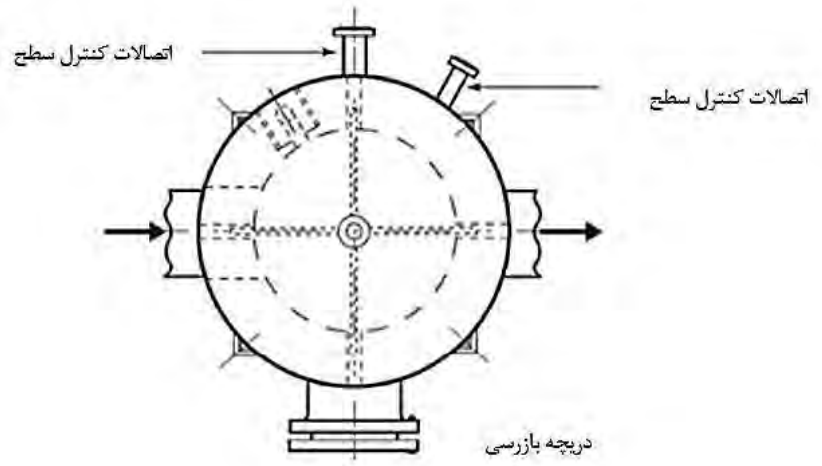
شکل ۳-۱۸: ستون استخراج

داده‌های طراحی
فشار عملیاتی ۱۶۰mmHg
فشار طراحی ۲۵psig در ۶۵۰°F یا خلأ کامل در ۳۰۰°F
دمای عملیاتی ۲۱۴°F
کد برچسب ASTM
وزن ۶۹۱۴۰ پوند
وزن عملیاتی ۱۵۴۰۴۰ پوند

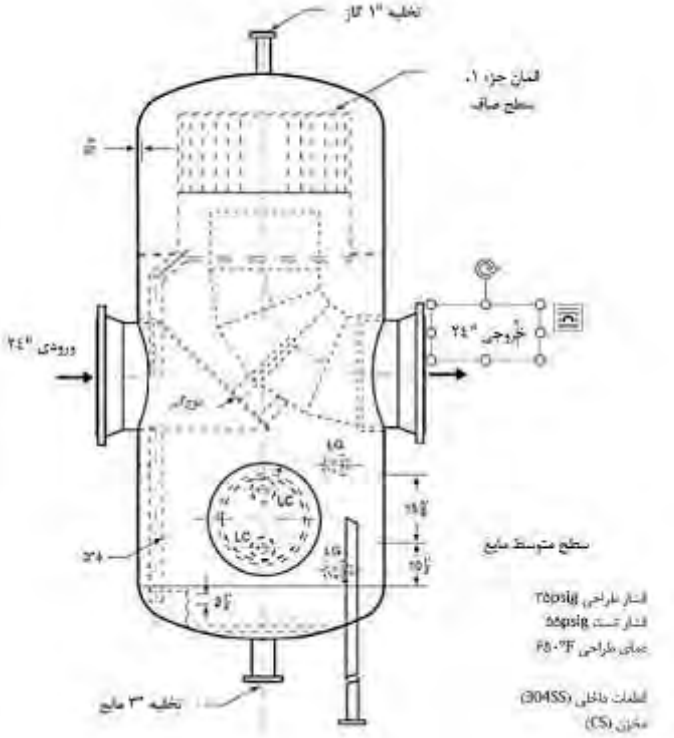
نکات مربوط به جنس
نکات کلی
لیست اتصالات
نکات

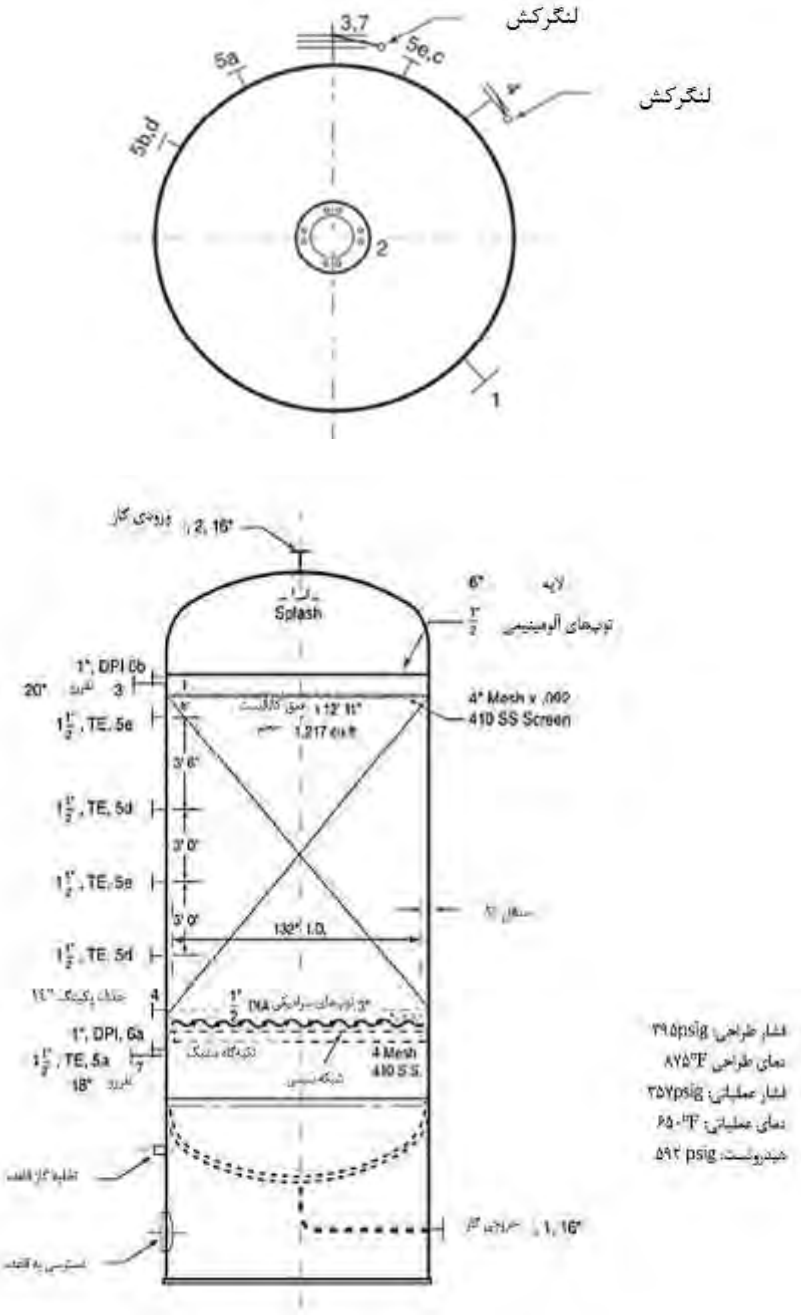


شکل ۳-۱۷: ستون تقطیر

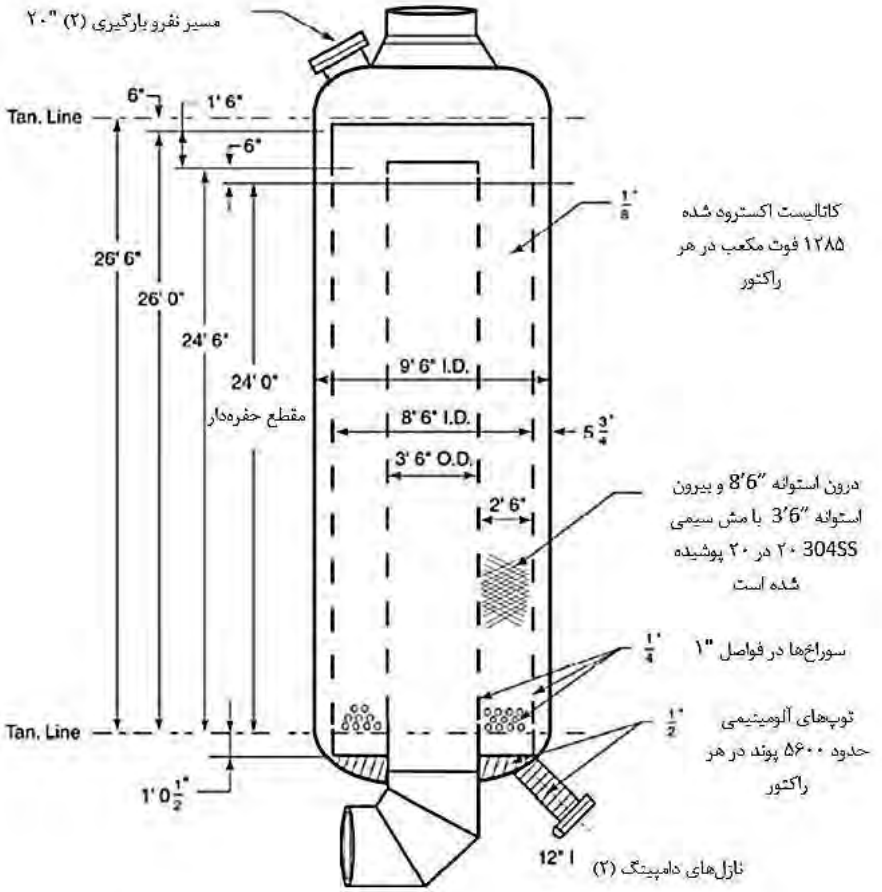


شکل ۳-۱۹: جدا کننده





شکل ۳-۲۰: راکتور بستر ثابت



شکل ۳-۲۱: راکتور جریان شعاعی

خلاصه

نام‌های رایج مخازن عبارت ا ست از سقف‌مخروطی، سقف شناور (داخلی یا خارجی)، کروی، شبه کره، گلوله‌ای، نیم‌کره، سطلی، سیلویی، سر باز و دو دیواره؛ تکنسین‌ها همچنین به مخازنی ازجمله مخزن خوراک، مخزن طاقدار، مخزن مرتفع، مخزن بازیابی، مخزن نوسان‌گیر، مخزن اختلاط، مخزن برودتی، مخزن روکش‌دار ا شاره می‌کنند. مخازن را می‌توان به چهار گروه کلی تفکیک کرد: مخازنی اتمسفریک، مخازنی کم‌فشار (psig ۰/۵-۲)، مخازنی فشار متوسط (psig ۵-۲/۱۵) و مخازنی پرفشار (بالای psig۱۵).

بسته به فشار بخار و دمای محتویات یک مخزن اتمسفریک، فضای بخار[1] ممکن است با مخلوط‌های متغیر از بخار و هوا پر شود. فضای مختص بخار در مخازنی ذخیره‌کننده موادی که ف شار بخار کمی در دمای ذخیره دارند، اغلب ب سیار رقیق ا ست و منجر به انفجار نمی شود. ف ضای بخار در مخازنی حاوی مواد بسیار فرار اغلب بسیار غلیظ و مستعد انفجار است. با وجود این در برخی مخازن، فضای بخار تقریباً همیشه در محدوده انفجاری است اگر هوا اجازه ورود داشته باشد.

مخازنی پوشش شده با گاز[2] برای نگهداری این مواد خطر ساز ا ستفاده می شوند. آن‌ها همچنین برای محموله‌های دیگر هنگامی‌که تماس با هوا و رطوبت برای محصول م ضر با شد، به کار می‌روند. به‌طورکلی، مخازنی پوشش شده با گاز شبیه به انواع دیگر مخازنی سقف ثابت به جز آن‌ها که مجهز به خط تأمین پوشش گازی و رگلاتور برای کنترل فشار هستند می‌باشد.

لوله‌کشی در یک کارخانه شیمیایی برای انتقال تمام انواع سیالات به کار می‌رود و مخازنی نظیر مخازن، سطلی‌ها و درام‌ها سیالات را ذخیره می‌نمایند. جنس به‌کاررفته در ساخت لوله و مخازن، به‌منظور تحمل دما، فشار و خواص دیگر سیالات تحت انتقال یا ذخیره انتخاب می‌شود. برای تعیین قطر صحیح داخلی و خارجی لوله در یک اندازه اسمی می‌توان از جداول داده لوله استفاده کرد. برگه‌های طراحی مخازن، برخی عوامل دخیل در انتخاب، استفاده و نیاز به بازرسی دوره‌ای مواد به‌کاررفته در ساخت مخازن و سایز تجهیزات را در بر دارد.

تغییرات در ضخامت تجهیزات نگهدارنده ف شار، بازر سی دوره‌ای را ضروری می سازد. در ا صل، ضخامت تجهیزات نگهدارنده فشار، به قطر لوله، مخزن یا مبدل، فشار، دما، استقامت جنس به‌کاررفته و نرخ خوردگی پیش‌بینی شده ب ستگی دارد (معمولاً حد مجاز خوردگی یک ه شتم اینچ لحاظ می شود). تکنسین فرایند بر فشار، دما و تغییرات فرایندی که ممکن ا ست بر میزان خوردگی اثر بگذارد کنترل دارد.

---

[1] Vapor space
[2] Gas-blanketed tanks

دفعات و حد بازرســـی به عواملی نظیر فشـــار، دما، فعالیت خورندگی ماده به‌کاررفته، جنس ســـاختاری و مقاومت آن در برابر خوردگی و تجربیات گذشـــته مرتبط با دســـتگاه بســـتگی دارد. تجهیزات در سرویس پرفشار و دمابالا که در معرض خوردگی هستند، به صورت دوره‌ای بازرسی می شوند. بعضی از تجهیزات ممکن است به یک بار بازرسی کامل در دوره پنج ساله نیاز داشته باشند.

بازرسی بصری معمول‌ترین روش ورد استفاده است. بازرس‌های باتجربه، از تست چکش برای تخمین ضـــخامت فلز اســـتفاده می‌نمایند. کولیس‌های انتقال دهنده یا مســـتقیم برای اندازه‌گیری ضخامت در زمانی به کار می‌روند که مناطق تحت بازرسی، قابل دسترس باشند. طیف وسیعی از ابزارهای خواندن از دور برای اندازه‌گیری قطر داخلی لوله‌های کوره و مبدل موجود هســـتند. اندازه‌گیری از طریق سوراخ‌های حفر شده که مته‌کاری نامیده می شود، صحیح‌ترین روش تعیین ضـــخامت دیواره در زمانی اســـت که کولیس‌ها را نتوان به کار برد. عمق‌ســـنجی جوش، با دســـتگاه خاصـــی که نمونه‌های قایق‌مانند را از صـــفحات می‌زداید انجام می‌شـــود. چندین دســـتگاه الکتریکی-صوتی برای اندازه‌گیری ضخامت فلز وجود دارد؛ آن‌ها در اصل برای تعیین ضخامت پوسته مخازن فشاری، مخازنی ذخیره، لوله‌کشی و تجهیزات با دیواره ضخیم به کار می‌روند. شناساگرهای ترک یا نقص، از یک رنگ نفوذکننده برای تعیین محل ترک‌های ســـطحی در فلزات اســـتفاده می‌کنند. بازرسی ذرات مغناطیسی، برای شناسایی عیوب سطح یا نزدیک سطح در تجهیزاتی که قابلیت مغناطیســـی شـــدن را دارند، به کار می‌رود. با القاء یک میدان مغناطیســـی و ریختن پودر آهن برای بازرســـی روی قطعه، پودر آهن در هر انفصـــال میدان مغناطیســـی به قطعه می‌چســـبد. بازرســـی رادیوگرافی برای تعیین محل نواقص در فلزات و ضـــخامت لوله‌ها همانند اشـــعه ایکســـی که از استخوان‌های شکسته گرفته می شود رفتار می‌نماید. این مقادیر سختی، استقامت و شکل‌پذیری تقریبی ماده را نشان می‌دهند.

سؤالات مروری

۱) درپوش‌های پارویی چه نوع خاموشی را ایجاد می‌سازند؟
۲) دو نوع درپوش انتهایی که استفاده می‌کنیم چیست؟
۳) دمای افزایش یافته چگونه بر عملکرد فلزات تأثیر می‌گذارد؟
۴) چرا در بیشتر مبدل‌های حرارتی که آب را به‌عنوان سیال خنک‌کننده به کار می‌برند، از لوله‌های برنجی به‌جای فولاد کربنی استفاده می‌شود؟
۵) برای مخزن حاوی ماده غیرخورنده در فشار ۱۰۰psig و دمای ۳۰۰ °F (۱۴۸/۸۸ °C) شما چه فلزی را به کار می‌برید؟
۶) آلیاژ غیرآهنی چیست؟
۷) آیا در یک فرایند داغ و به‌شدت خورنده از برنج، فولاد زنگ نزن یا هستلوی استفاده می‌کنید؟
۸) تکنسین‌های فرایند چه نوع اطلاعاتی را از برگه‌های طراحی مخازن دریافت می‌کنند؟
۹) فولاد آلیاژی چیست؟
۱۰) خوردگی چیست و چگونه ظاهر می‌شود؟
۱۱) چه عواملی تعیین‌کننده میزان ضخامت دیواره یک مخزن است؟
۱۲) چه عواملی تعیین‌کننده بهترین جنس برای ساخت یک مخزن است؟
۱۳) حد مجاز خوردگی چیست؟
۱۴) محدوده نرمال دمای عملیاتی برای مخازن ساخته شده از فولاد کربنی چیست؟
۱۵) برای دماهای شدیداً پایین (زیر ۱۵۰- °F یا ۱۰۱/۱۱- °C) چه فلزاتی به کار می‌روند؟
۱۶) دستورالعمل‌های مختلف بازرسی در یک کارخانه فرایندی را توصیف کنید.
۱۷) لیست انواع مخازن موجود در واحد فرایندی را ارائه دهید.
۱۸) نکات مهم مرتبط با سایز و قطر لوله را لیست کنید.
۱۹) چهار دسته مجزای مخازنی ذخیره روزمینی را نام ببرید.
۲۰) انواع مختلف مخازنی به‌کاررفته در صنعت فراوری شیمیایی را نام ببرید.
۲۱) توضیح دهید تکنسین‌های فرایندی چگونه پسماندها را از خط لوله خارج و تمیز می‌کنند.
۲۲) حفاظت کاتدی را توضیح دهید.
۲۳) اجزاء پایه مخزن سقف شناور را نام ببرید.
۲۴) روش‌های سنتی و جدید ایجاد آب‌گذر را مقایسه کنید.
۲۵) عبارات «هواگیری» و «مخزن پوشش شده با گاز» را مقایسه کنید.

فصل چهارم

پمپ‌ها

اهداف

پس از مطالعه این فصل، دانشجو قادر خواهد بود:

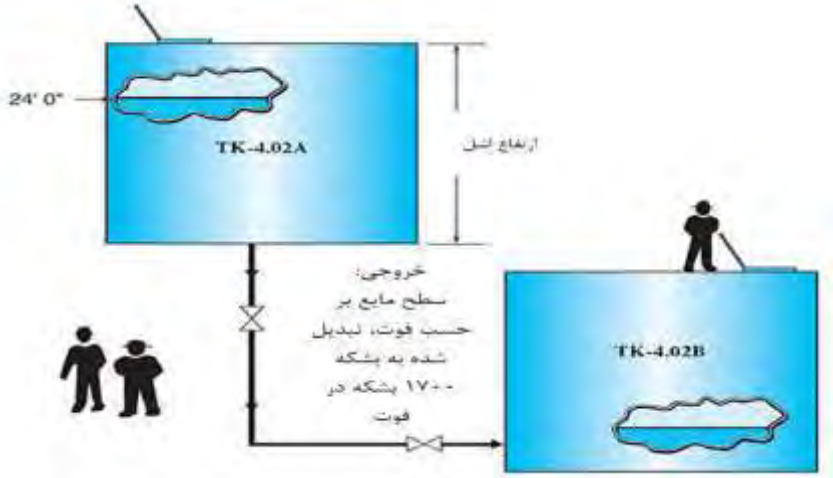
- تاریخچه و طراحی پمپ‌ها را مرور کند.
- قواعد علمی مرتبط با عملکرد پمپ‌های گریز از مرکز[1] را توصیف و اجزاء کلیدی را شناسایی کند.
- عملکرد و نگهداری پمپ‌های جابجایی مثبت[2] را توصیف کند.
- لیستی از انواع پمپ‌های دوار[3] ارائه دهد.
- اجزاء پایه و عملکرد پمپ‌های مارپیچی[4] را توصیف نماید.
- راجع به نحوه عملکرد پمپ‌های دوار دنده‌ای[5] توضیح دهد.
- اجزاء پایه و عملکرد پمپ‌های پره‌ای لغزشی[6] و انعطاف‌پذیر[7] را توصیف کند.
- اجزاء پایه پمپ گوشواره‌ای (لوب پمپ[8]) را شرح دهد.
- انواع مختلف پمپ‌های رفت و برگشتی[9] را لیست نماید.
- عملکرد پمپ‌های دیافراگمی[10] را توضیح دهد.
- عملکرد و طراحی پمپ‌های پیستونی[11] را توصیف کند.
- قواعد علمی مرتبط با عملکرد پمپ‌های پلانجری[12] را شرح دهد.
- یک پمپ جابجایی مثبت را راه‌اندازی و خاموش کند.
- یک پمپ گریز از مرکز را راه‌اندازی و خاموش کند.
- نمونه مشکلات مرتبط با عملکرد پمپ‌های گریز از مرکز و رفت و برگشتی را مرتفع نماید.

---

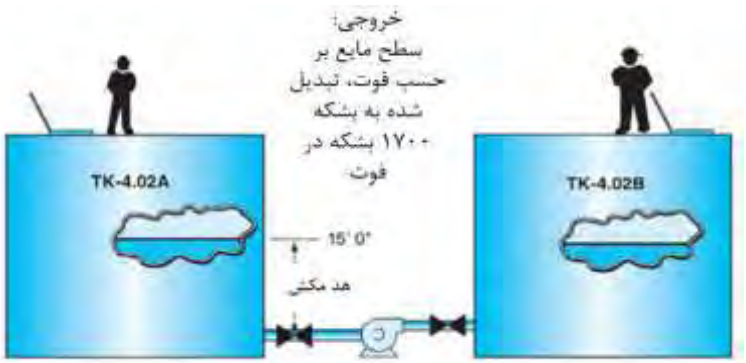
[1] Centrifugal pumps
[2] Positive displacement pumps
[3] Rotary Pumps
[4] Screw pumps
[5] Rotary gear pumps
[6] Sliding vane pumps
[7] Flexible vane pumps
[8] Lobe pump
[9] Reciprocating pumps
[10] Diaphragm pumps
[11] Piston pumps
[12] Plunger pumps

۴–۱– کاربردها و طبقه‌بندی پمپ‌ها

پالایشگاه‌ها و کارخانه‌های شیمیایی از پمپ‌ها برای انتقال سیالات استفاده می‌کنند. پمپ‌ها در کاربردها و فرایندهای متنوعی ازجمله سردسازی، اتومبیل‌ها، سیستم‌های گرمایش خانگی و چاه‌های آب به کار می‌روند. مایعات پمپ شده، طیفی از سدیم و پتاسیم مایع برای خنک‌سازی راکتورهای هسته‌ای تا سیستم‌های آب آشامیدنی خانگی[1] را شامل می‌شود. در برخی شرایط، برای انتقال مایعات نیازی به پمپ نیست. در شکل ۴-۱، جاذبه، مایع را به سمت تانک 4.02B هدایت می‌کند. در شکل ۴-۲، برای انتقال مایع به پمپ نیاز است.



شکل ۴–۱: جریان با جاذبه

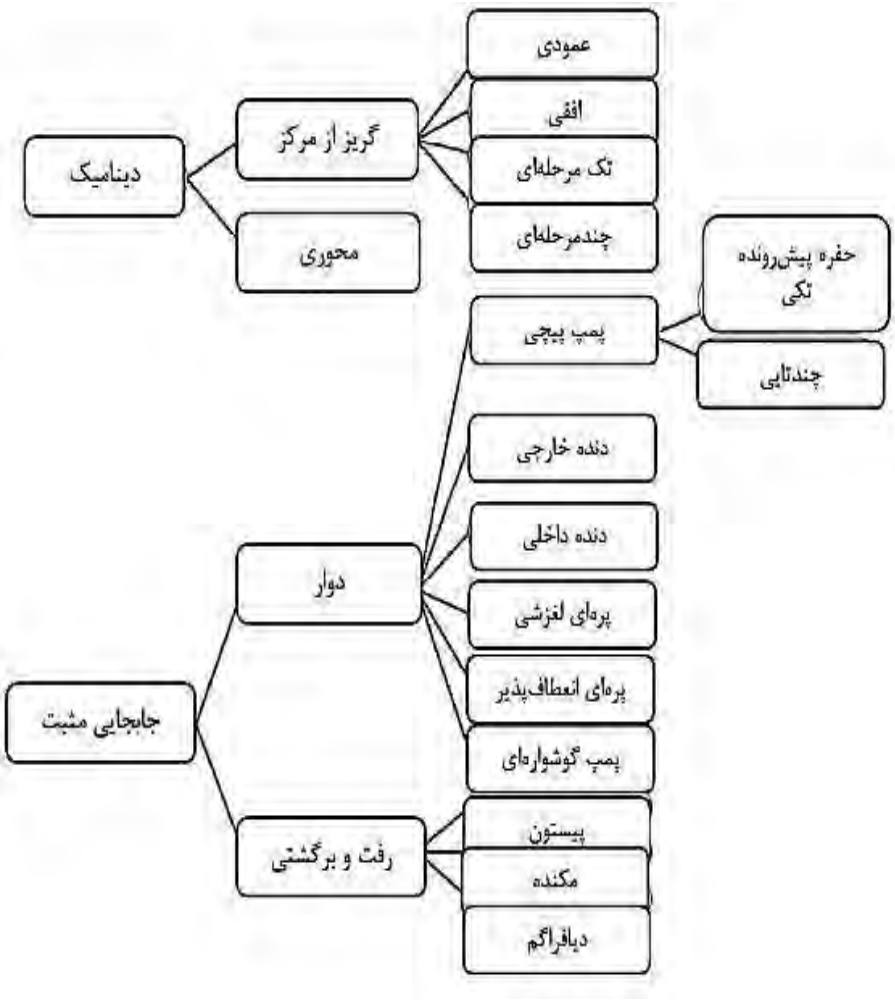


شکل ۴–۲: انتقال با پمپ

[1] Domestic drinking water systems

به‌طورکلی، پمپ‌ها به دود سته دینامیک یا جابجایی مثبت قابل د سته‌بندی هستند (شکل ۴–۳). هر دو نوع برای انتقال مایعات طراحی شده‌اند اما روش انتقال متفاوت است.

پمپ‌های دینامیک، مایعات را به‌صورت محوری (در خط مستقیم) یا گریز از مرکز (در مسیر دایره‌ای) شتاب می‌دهند. آن‌ها در سرعت‌بالا برای تولید دبی‌های بزرگ در فشار تخلیه کم عمل می‌نمایند. فشار، مایع را درون سیستم لوله‌کشی و تجهیزات جابجا می‌کند.



شکل ۴–۳: نمودار درختی خانواده پمپ‌ها

پمپ‌های جابجایی مثبت (PD)[1]، مایعات را با یک حرکت دوار یا رفت و برگشتی منتقل شده که مایع با هر چرخش یا ضربه جابجا می‌شود. این نوع پمپ‌ها در فرایندهایی به کار گرفته می‌شوند که نیاز به ارسال مقدار معینی از سیال وجود داشته باشد. عملکرد پمپ‌های جابجایی مثبت بسیار متفاوت از پمپ‌های دینامیک است. پمپ‌های جابجایی مثبت میزان مشخصی از سیال را بدون توجه به فشار تخلیه آن انتقال داده درحالی‌که مقدار سیال منتقل شده توسط پمپ‌های دینامیک به‌شدت به فشار تخلیه آن وابسته است. پمپ‌های دوار، مقدار معینی از سیال را با هر چرخش پیچ‌ها، دنده‌ها، پره‌ها یا عناصر مشابه ارسال می‌نمایند. پمپ‌های رفت و برگشتی، سیالات را با ضربه ورودی، به یک محفظه انتقال داده و آن‌ها را به کمک یک پیستون، دیافراگم یا مکنده با ضربه خروجی، از محفظه به بیرون هل می‌دهند.

اولین پمپ رفت و برگشتی، توسط کتسیبیوس[2] یونانی در حدود سال ۲۰۰ پیش از میلاد مسیح برای پمپاژ آب اختراع شد. در همان دوران، ریاضی‌دان یونانی، ارشمیدس[3]، نخستین پمپ پیچی (دوار) را اختراع کرد. اولین پمپ های واقعی گریز از مرکز در دهه ۱۶۰۰ توسط مخترع فرانسوی دنیس پاپین[4] اختراع شد. طراحی پمپ گریز از مرکز پره‌ای مستقیم پاپین، در سال ۱۸۵۱ توسط مخترع انگلیسی جان آپولد[5] با طراحی پمپ پره‌ای منحنی ارتقاء یافت.

۴-۲- لغزش داخلی

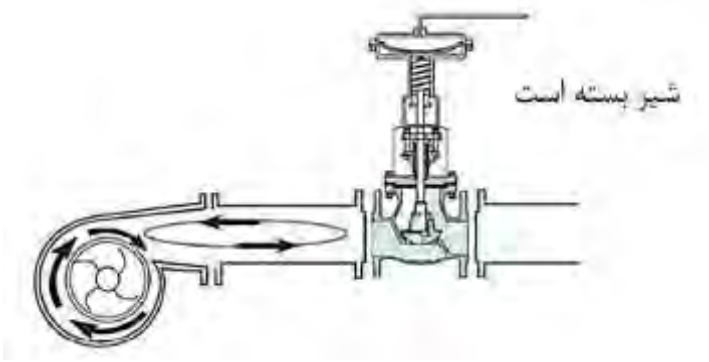
لغزش[6]، عبارت است از درصد سیال نشت شده یا لغزیده فراتر از لقی‌های داخلی یک پمپ در زمان معین. همچنین یعنی تفاوت میان مقدار مایعی که یک پمپ می‌تواند جابجا کند و مقداری که درواقعیت انتقال می‌دهد.

پمپ های جابجایی مثبت و گریز از مرکز، به دلیل تفاوت در طراحی، در مقابل لغزش، عکس‌العمل متفاوتی دارند. یک پمپ گریز از مرکز، در صورت بسته بودن شیر خروجی، لغزشی ۱۰۰ درصدی را تجربه می‌کند. این قاعده را می‌توان با دنبال کردن مسیر مایع از ورود به پمپ گریز از مرکز و در شرایط باز بودن شیر خروجی تصویر کرد. درحالی‌که سیال از مکش ورودی به درون پروانه حرکت می‌کند، جریان به درون مجرای تخلیه به نام حلزونی[7] شتاب می‌گیرد. حلزونی، یک محفظه با طراحی خاص است که درون پمپ عریض می شود. بستن شیر تخلیه، جریان به سمت

---

[1] Positive displacement
[2] Ctesibius
[3] Archimedes
[4] Denis Papin
[5] John Appold
[6] Slip
[7] Volute

واحد فرایندی را متوقف می‌کند اما چرخش درون پمپ ادامه می‌یابد. با چرخش پروانه، سیال به سمت تخلیه حلزونی بزرگ شتاب می‌گیرد. حرکت دایره‌ای (خلاف عقربه‌های ساعت) در حلزونی و لوله تخلیه تا شیر تخلیه ادامه می‌یابد (شکل ۴-۴). اصطکاک سیال در این ناحیه آغاز و باعث گرمایش مایع می‌شود. اپراتورها باید این قاعده را در ذهن داشته باشند اگر مایع پمپ‌شونده نزدیک نقطه‌جوش خود باشد، وقتی مایع تبخیر، منبسط و داغ می‌شود؛ این فرایند فشار فوق‌العاده‌ای ایجاد می‌کند که موجب تخریب پمپ می‌شود.



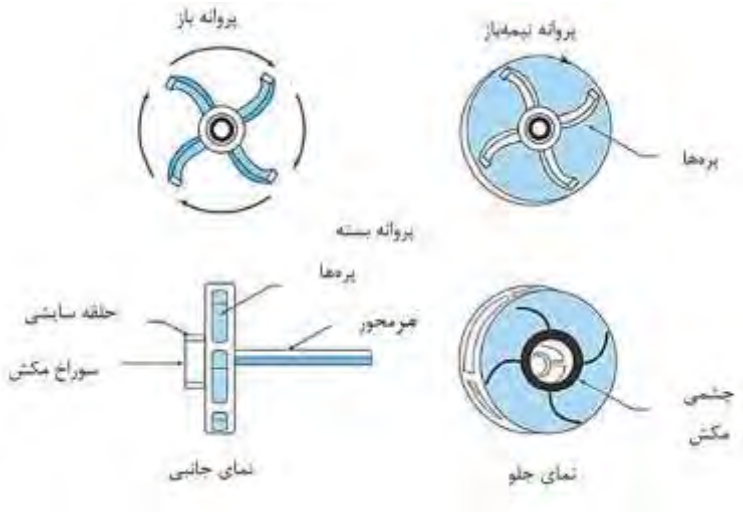
شکل ۴-۴: لغزش داخلی

طراحی پمپ‌های جابجایی مثبت (PD)، لغزش کم را پاسخگوست. قوانین فیزیکی وجود دارد که بیان می‌کند دو جسم جدا می‌توانند هم‌زمان یک فضا را اشغال کنند. پمپ‌های جابجایی مثبت، برای جابجایی احجام دقیق سیال به کمک ا شیاء صلب نظیر پیستون‌ها و دنده‌ها طراحی شدند. وقتی شیر تخلیه در یک پمپ PD بسته باشد، شرایط زیر رخ می‌دهد:

- لغزش کمی (در صورت وجود) در بدنه پمپ رخ می‌دهد.
- فشار سیال با هر ضربه بالا می‌رود.
- فشار سیال به‌طور مساوی به تمام بخش‌های مجزا انتقال می‌یابد.
- در صورت عدم وجود شیر اطمینان، پمپ یا لوله خروجی تخریب می‌شود.

۴–۳– پمپ‌های دینامیک

پمپ‌های دینامیک به دو گروه گریز از مرکز و محوری تفکیک می‌شوند. پمپ‌های گریز از مرکز، بر اساس نیروی گریز از مرکز کار می‌کنند. یک پروانه چرخان درون یک پوسته، مایع را به سمت بیرون جلو می‌راند. سرعت سیال درون پو سته[1] پمپ‌ها افزایش یافته و مایع سریع به سمت درگاه خروجی حرکت می‌کند. شکل ۴–۵ انواع مختلف آرایش پروانه‌ها در یک پمپ گریز از مرکز را نشان می‌دهد.



شکل ۴–۵: آرایش پروانه

پمپ محوری، حرکت دوار مشابهی را برای به جلو راندن مایع به کار می‌گیرد، اما مایع در خط مستقیم حرکت می‌کند. این حرکت، ازنظر جهت نسبت به حرکت به سمت بیرون در پمپ‌های گریز از مرکز متفاوت است.

۴–۴– پمپ‌های گریز از مرکز

پمپ‌های گریز از مرکز در کارخانه‌های فراوری مواد شیمیایی و پالایشگاه‌ها به‌طور گسترده مورداستفاده قرار می‌گیرند. قاعده اصلی به‌کاررفته در این پمپ‌ها، نیروی گریز از مرکز است. مایع با ورود به چشمی مکش[2] پمپ گریز از مرکز، با پروانه چرخان برخورد می‌کند (شکل ۶-۴). مایع در

---

[1] Shell
[2] Suction eye

چرخش دایره‌ای، به جلو رانده می‌شـود و تحت نیروی آن به سـمت حلزونی خارج می‌شـود. وقتی مایع، حلزونی را ترک می‌کند، حرکتش آرام شـده و تولید فشـار می‌کند. به‌منظور کاهش یا تغییر سرعت مایع، صفحات پخش‌کننده نیز می‌تواند به پروانه و سطح حلزونی اضافه شود.

۱-۴-۴- اجزاء پایه

اجزاء پایه پمپ گریز از مرکز در شکل ۴–۶ نشان داده شده است. لوله جداری (کیسینگ)[1] بیرونی برای ارتقاء جریان سـیال طراحی شـده اسـت. سـیال را در بردارد، حلزونی را تشـکیل می‌دهد و قسمت‌های خارجی و داخلی را در کنار هم نگه می‌دارد. معمولاً، دارای دو قسمت مجزاست که میان آن‌ها وا شر قرارگرفته و به هم پیچ شده‌اند. یک لوله جداری جدا شونده به شکل محوری، موازی با محور پمپ باز می شود. یک لوله جداری جدا شونده شعاعی، عمود بر محور پمپ باز می شود. یک خروجی[2] در زیر لوله جداری، به مایع اجازه می‌دهد از پمپ خارج شـود. حلزونی به‌تدریج، حفره درون کیسـینگ پمپ را عریض می‌کند. ورودی را برخی اوقات «چشـمی مکش» خطاب می‌کنند. سیال به سمت مرکز پروانه رفته و به سمت خارج حلزونی چرخیده می شود. این خط ورودی برای راه‌اندازی در زمان آبگیری (پر از مایع) طراحی شـده اسـت. خط خروجی، جریان تخلیه شـده از حلزونی پمپ را دریافت می‌کند. به دلیل اینکه خط تخلیه پهن‌تر از حلزونی ورودی اسـت، سـرعت سیال کم شده و ایجاد فشار می‌کند. پروانه، یک ابزار دایره‌ای متصل به محور است. پروانه، مانند یک چرخ از پره‌های منحنی‌شکل است که حول محور می‌چرخد و مایع را از چشمی (مرکز پمپ) به سمت کیسینگ بیرونی پمپ به گردش در می‌آورد. مایع قبل از خروج از پمپ به سمت خط تخلیه، وارد گلوگاه باریک‌شونده حلزونی می‌شود. محرکه، یک موتور الکتریکی (سرعت‌ثابت یا سرعت‌متغیر) یا یک توربین بخار اسـت. پلاک نصـب‌شـده روی دسـتگاه مربوط به تولیدکننده آن، اطلاعات مهم مختص موتور را لیست می‌نماید: فاز، نیروی اسب بخار، نام تولیدکننده و نوع. یاتاقان‌های شعاعی در طول محور، حرکت به‌طرفین را به حداقل می‌رسـانند. یاتاقان‌های کف‌گرد، حرکت محوری در طول محور را از بین می‌برند. بین یاتاقان‌ها و آب‌بندها، یک حلقه فلینگر[3] گشاد که روی محور سوار است، روان‌کار را به یاتاقان‌ها منتقل می‌کند.

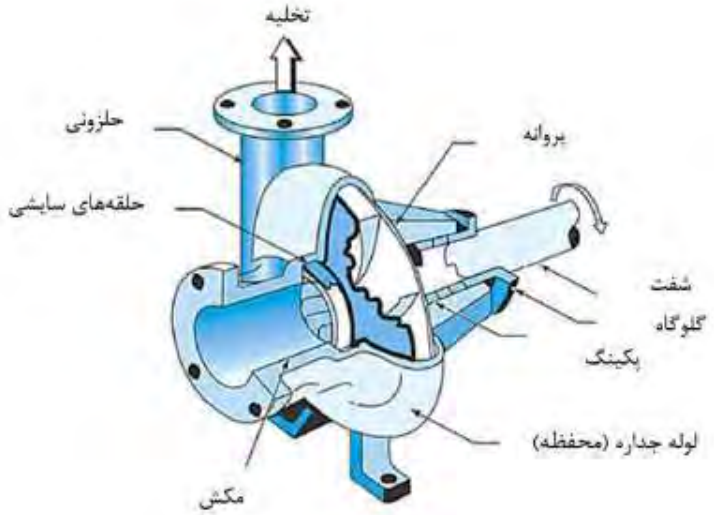
حلقه روی محور می‌چرخد اما در سرعت کم. آب‌بندهای مکانیکی نصب‌شده در جایی که محور چرخان وارد جداره می‌شـود، نشـت از اجزاء داخلی پمپ را به حداقل رسـانده یا متوقف می‌سـازد. آب‌بندهای مکانیکی از یک صفحه ثابت و یک صفحه چرخان نزدیک به هم تشکیل شده‌اند. صفحات

---

[1] Casing
[2] Drain
[3] Flinger ring

آب‌بند ممکن ا ست نیاز به روانکاری یا خنک سازی دا شته با شند. آن‌ها نگهداری خیلی کمی لازم داشته، عمر طولانی مناسبی دارند و نشت محصول در آن‌ها بسیار کم است.

جعبه آب‌بندی (کاسه‌نمد[1]) و آب‌بند بسته‌بندی (پکینگ[2])، پکینگ را در مقابل محور و محفظه ثابت می‌کند. مقدار بسیار اندکی نشت داخلی، پکینگ را چرب و خنک نگه می‌دارد. پکینگ، واقع شده میان محفظه و محور، از حلقه‌هایی تشکیل شده که از جنس مواد انعطاف‌پذیر پوشش شده با گرافیت یا تفلون می‌با شند. پکینگ نیاز به تعویض مکرر دارد. حلقه‌های سایشی، نشت میان تخلیه داخلی و مکش پمپ را حداقل می‌سازند. به دلیل اینکه پروانه چرخان، با محفظه تماسی ندارد، میان نواحی مکش و تخلیه یک فضای خالی وجود دارد. حلقه‌های سایشی در جایگاه منا سب، قادر به کاهش این نشت هستند. اگر حلقه‌های سایشی روی پروانه پمپ سوار شود، با پروانه چرخیده و به آن‌ها نام «حلقه‌های سایشی پروانه[3]» اطلاق می شود. اگر حلقه‌های سایشی روی محفظه سوار شود، ثابت بوده و «حلقه‌های سایشی محفظه[4]» نام می‌گیرند.



شکل ۴-۶: اجزاء پمپ گریز از مرکز

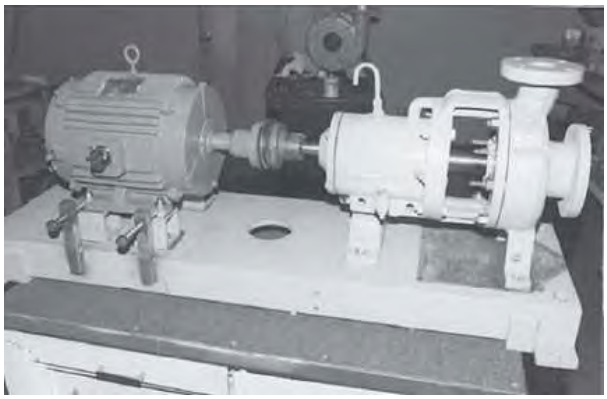
[1] Stuffing box
[2] Packing
[3] Impeller wear rings
[4] Casing wear rings

۴–۴–۲– طراحی پمپ

پمپ‌های گریز از مرکز طرح‌های و کاربردهای متنوعی دارند: عمودی یا افقی (مربوط به موقعیت محور)؛ تک مرحله‌ای یا چندمرحله‌ای (بسته به تعداد پروانه‌ها)؛ مکش ورودی تکی یا چندتایی؛ حلزونی یا پخش‌کننده؛ جریان محوری، شعاعی یا مختلط؛ طراحی پروانه باز، نیمه‌باز یا بسته.

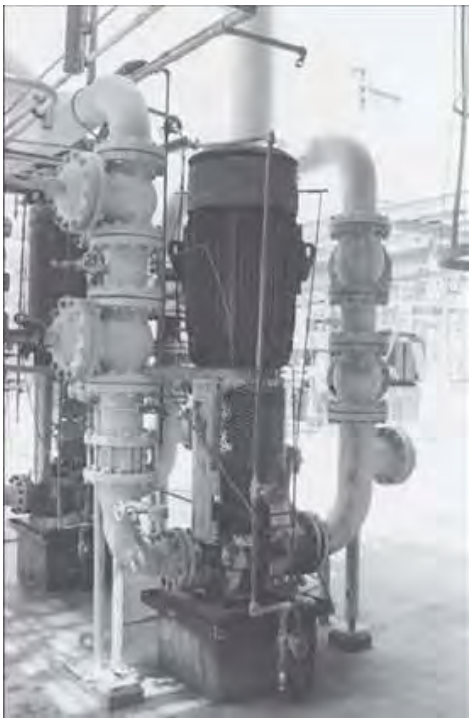
پمپ‌های افقی رایج‌ترین نوع در صنعت می‌با شند؛ بااین‌حال، پمپ‌های عمودی، متراکم‌تر بوده، در شرایط سرد زمستانی بهتر آماده شده و هزینه نصب کمتری دارند. پمپ‌های عمودی با مایعاتی که نزدیک دمای نقطه حباب خود هستند، به‌خوبی کار می‌کنند. پروانه پایینی اغلب زیر سطح زمین واقع می‌شود که بدین ترتیب هد مکش مثبت خالص موجود ($NPSH_a$) اضافی ایجاد می‌کند. عبارات افقی و عمودی، به موقعیت محور در ارتباط با زمین اشاره دارد (شکل‌های ۴–۷ و ۴–۸). این جهت‌گیری موقعیت سکون پروانه‌ها در دستگاه را مشخص می‌کند. عبارت دیگری که در عملکرد یک پمپ گریز از مرکز به کار می‌رود، هد مکش مثبت خالص لازم ($NPSH_r$) است. هد مکش مثبت خالص لازم، حداقل NPSH لازم برای جلوگیری از کاویتاسیون است. $NPSH_a$ باید بیشتر یا مساوی $NPSH_r$ با شد یعنی $NPSH_a \geq NPSH_r$. این پارامتر، کاهش در هد کلی هنگام ورود مایع به پمپ است.

بیشتر پمپ‌های گریز از مرکز دارای یک مکش ورودی هستند. در کاربردهایی که حجم پمپاژ بسیار بالاست یا پارامترهای منبع به‌شدت نسبت به پارامترهای مقصد تغییر می‌کنند، پمپ‌هایی که بیش از یک مکش ورودی دارند مورداستفاده قرار می‌گیرند. در مواردی که تغییرات کمینه است، پمپ‌های تک ورودی[1] به کار می‌روند.



شکل ۴–۷: پمپ گریز از مرکز افقی

[1] Single suction inlet pumps



شکل ۴–۸: پمپ گریز از مرکز عمودی

۴–۴–۳– طراحی پروانه

ســاده‌ترین نوع پمپ گریز از مرکز، پمپ تک‌مرحله‌ای، تنها یک پروانه دارد. پمپ‌های چندمرحله‌ای بیش از یک پروانه دارند. طراحی پروانه سه نوع مختلف است (شکل ۴–۵). در پروانه باز، پره‌ها تنها به محور متصـــلند. پروانه باز، قابلیت خود پاک‌کنندگی دارد اما تکیه‌گاه ســـازه‌ای پروانه نیمه‌باز یا بسته را نداشته و در تولید فشار کارایی کمتری دارد. در پروانه نیمه‌باز، پره‌ها به‌صورت افقی به یک صفحه جهت تکیه‌گاه ساختاری[1] متصل شده‌اند. در پروانه بسته، پره‌ها بین دو صفحه یا پوشش فشـرده‌شـده‌اند. این قوی‌ترین و کارآمدترین طرح اسـت اما تنها برای مایعات شـفاف طراحی شـده است. این رایج‌ترین نوع پروانه در صنعت است.

– **مزایا و معایب**

صنعت فراوری شیمیایی، معمولاً از پمپ‌های گریز از مرکز با عملکرد در بازه RPM ۸۰۰۰-۱۲۰۰ اسـتفاده می‌کنند. در تولیدات جدید، پمپ‌های گریز از مرکز بیشـتر از پمپ‌های جابجایی مثبت به

[1] Structural support

کار می‌روند چراکه ارزان‌تر بوده و نیاز به نگهداری و فضـــای کمتری دارند. ویژگی جذاب دیگر پمپ‌های گریز از مرکز این اســت که در بازه وســیع ظرفیتی و در هد فشــار ثابت عمل می‌نمایند. علاوه بر این، تعویض یک جزء در پمپ گریز از مرکز راحت‌تر از پمپ جابجایی مثبت (پروانه نسبت به پیســتون) اســت و همچنین تغییر محرکه آســان‌تر اســت. مزیت آخر، قابلیت ســازگاری محرکه انتخابی — اسب بخار متغیر و سرعت ثابت یا متغیر — است.

پمپ‌های گریز از مرکز معایبی نیز دارند. قابلیت خود پرشـــوندگی[1] ندارند و نســـبت به مواد ویسکوز یا تغییرات در فشارات مکش، عکس‌العمل ضعیفی نشان می‌دهند. شکل ۴—۹ چگونگی انتقال مایع از یک محفظه به دیگری، توسط یک پمپ گریز از مرکز را به تصویر می‌کشد.

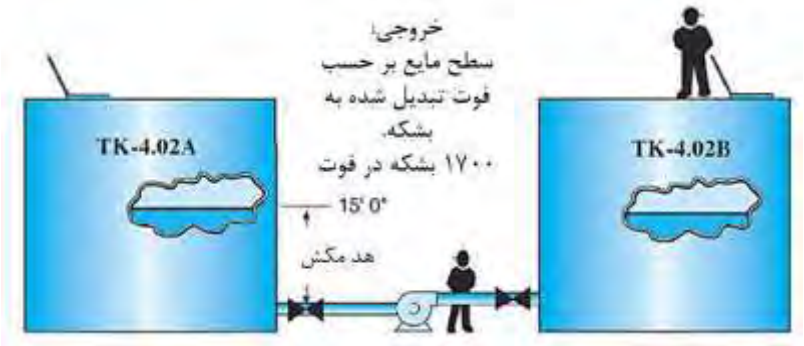
۴-۴-۴- هد (فشار)

در یک پمپ گریز از مرکز، سیالات بایستی به سمت پروانه‌ها هل داده شوند (نه اینکه مکیده یا کشیده شوند). هد مکش عبارتی است که برای توصیف فشار لازم جهت راندن مایع به درون پمپ به کار می‌رود. بیشتر فرایندها به شکلی طراحی شده‌اند که فشار مکش برای راه‌اندازی پمپ بدون کاویتاسیون (تشکیل و ازهم‌پاشیدگی انباشته‌های گازی اطراف پروانه‌ها) کافی باشد. یک پمپ گریز از مرکز باید قبل از روشـــن شـــدن آماده (پر از مایع) باشـــد. طی عملیات، یک پمپ گریز از مرکز، به صورت مصنوعی ناحیه‌ای کم‌فشار در چشمی مکش خلق خواهد کرد. اگر فشار مکش به دقت کنترل نشـــود، فشـــار پایین، می‌تواند مایع را به جوش آورد. جوشـــیدن منجر به شـــرایطی به نام کاویتاسیون می‌شود. هد مکش مثبت خالص (NPSH) اغلب برحسب فوت مایع محاسبه می‌شود. برای مثال، اگر یک پمپ از پایین یک مخزن باز ۲۰ فوت با ســـطح مایع ۱۰ فوت، مکش کند، هد اســـتاتیک ۱۰ فوت خواهد بود. این قاعده برای هد تخلیه یک پمپ هم اعمال می‌شـــود. اگر مخزن بسته باشد، فشار بخار مایع باید مدنظر قرار گیرد. فشار بخار رابطه نزدیکی با نقطه‌جوش یک مایع دارد.

گرما، فشـــار بخار را با افزایش فعالیت مولکولی تحت‌تأثیر قرار می‌دهد. NPSH، حداقل درجه مجازی اســـت که یک پمپ گریز از مرکز می‌تواند در آن فعالیت کند. مشـــکل دیگر در ارتباط با عملکرد پمپ گریز از مرکز، به دام افتادن بخار است. قطع جریان سیال[2]، شرایطی است که در آن، پمپ آستر مایع را از دست می‌دهد و پروانه‌ها در بخار می‌چرخند. شیرهای تخلیه به‌منظور حذف هوا از سیستم، روی پمپ قرارگرفته‌اند. پمپ قبل از اینکه بتواند به‌درستی عمل نماید باید خاموش و هواگیری شود.

---

[1] Self-priming
[2] Vapor lock



شکل ۴–۹: انتقال مایع

عوامل مؤثر بر فشـــار هد مکش، دما، ویســـکوزیته (مقاومت یک ســـیال در برابر جریان‌پذیری)، سطح مایع در سیستم مکش، مقاومت در خط مکش و دبی درون خط می‌باشد. راه‌حل‌های برطرف کردن NPSH ناکافی عبارت است از اسب بخار کمتر، سرعت پایین‌تر، ملزومات NPSH کمتر، خط مکش با قطر بیشتر، سطح یا فشار خوراک بیشتر در مخزن و خوراک سردتر.

الف) تعیین هد تفاضلی

یک پمپ گریز از مرکز، مقدار معینی فشار معکوس[1] (هد تفاضلی) نیاز دارد تا بتواند به‌خوبی عمل نماید. تمرینی که در ادامه آمده می‌تواند رابطه میان NPSH و هد تفاضـــلی لازم را نشـــان دهد. همچنین حاکی از این اســـت که تغییرات لوله‌گذاری و اصـــلاح تجهیزات چگونه می‌تواند بر عملکرد پمپ تأثیر بگذارد. یک پمپ گریز از مرکز باید در حالتی در نظر گرفته شـود که شـرایط مختلفی را در قســـمت مکش و طیف وســـیعی از متغیرها را در بخش تخلیه تجربه می‌کند. در مثال جداســـاز پروپان زیر، پروپان مایع از درام (محفظه اســـتوانه‌ای) رفلاکس به ســـمت ســـتون جداکننده پروپان پمپاژ می‌شـــود (شـــکل ۴–۱۰). در قســـمت مکش پمپ، ســـطح مایع برابر ۱۶ فوت به‌علاوه فشـــار عملیاتی ۱۸۰psia روی چشـــمی مکش پمپ وجود دارد. تخلیه پمپ، از طریق یک ســـری شـــیر دروازه‌ای، یک شیر یک‌طرفه، یک فیلتر، یک اریفیس و یک شیر کنترلی تنظیم می‌شود. خط تخلیه دارای پایه پروپان مایع[2] به بزرگی ۶۸ فوت اســـت. ســـتون جداســـاز پروپان، در فشـــار psia ۲۰۰ در دمای ۹۰°F (۳۲°C) عمل می‌کند. دبی نرمال ۳۰۰ گالن در دقیقه (GPM) و حداکثر آن ۳۴۰GPM می‌باشد. فشار تفاضلی لازم در حد psi ۳۱۸/۷، تمام متغیرهای مرتبط با عملکرد پمپ

---

[1] Back pressure
[2] Liquid leg of propane

را لحاظ می‌نماید. تحت این شرایط، پمپ گریز از مرکز، کارآمد عمل خواهد نمود. تغییرات فشار در بخش مکش و تخلیه پمپ، بر عملکرد واحد تأثیر خواهد گذاشت.

تعریف فشار عبارت است از نیرو یا وزن به واحد سطح: نیرو (برحسب پوند) ÷ سطح (برحسب اینچ مربع) = فشار (برحسب پوند بر اینچ مربع). فشار اتمسفر با وزن اتمسفر بر یک شیء ساکن روی زمین به وجود می‌آید. رابطه فشار با ارتفاع مستقیم است: هر چه اتمسفر، گاز یا مایع بالاتر باشد فشار آن بیشتر است. در سطح دریا، فشار اتمسفر برابر با ۱۴/۷ psi است. محاسبات فشار، از طریق استانداردهای رایج به‌راحتی انجام می‌گیرد. استاندارد پایه برای محاسبات مایع، آب می‌باشد. برای مثال، وزن آب را می‌توان برای تعیین چگالی ویژه یک مایع به کار برد. چگالی ویژه، نسبت چگالی یک جامد یا مایع به چگالی آب و یا نسبت چگالی گاز به هوا است. چگالی یعنی وزن در واحد حجم. برای محاسبه فشار ایجاد شده با ft^3 ۱ آب، به فرمول «فشار = نیرو ÷ سطح» نیاز داریم. یک فوت مکعب آب، وزنی معادل ۶۲/۴ پوند دارد. سطح مقطع ft^3 ۱ برابر in ۱۲× in ۱۲ یعنی in^2 ۱۴۴ است. برای آب، ۶۲/۴÷۱۴۴=۰/۴۳۳psi. برای هر فوت آب اضافه، psi ۰/۴۳۳ می‌تواند اضافه شود؛ به عبارت دیگر، ۲/۳۱ فوت آب، psi ۱ اعمال می‌کند. یک رابطه رایج برای تعیین فشار به شرح زیر است:

فشار = چگالی ویژه × ۰/۴۳۳ × ارتفاع

برای محاسبه هد تفاضلی لازم (h)، به دانستن چگالی ویژه پروپان نیاز داریم: چگالی ویژه پروپان = ۰/۴۸۵. عامل نا شناخته ΔP است (فشار تفاضلی). برای به‌دست آوردن ΔP، باید توجه زیادی به متغیرهای سهیم در تغییرات فشار در سیستم فرایند داشته باشیم.

$$\text{هد (h)} = \frac{(\Delta P)(2.31)}{\text{چگالی ویژه } (s.g.)}$$

عوامل مؤثر بر فشار مطلق مکش[1] عبارت‌اند از:

۱۸۰/۰۰ psia	درام رفلاکس
۳/۳۶ psi (۱۶ ft×۰/۴۳۳×۰/۴۸۵)	ارتفاع (۱۶ ft)
−۰/۵۰ psi	اصطکاک: لوله‌ها
−۰/۲۰ psi	شیرآلات
۱۸۲/۶۶ psia − ۱۴/۷ = ۱۶۷/۹۶ psig	

[1] Absolute discharge pressure

عوامل مؤثر بر فشار مطلق تخلیه به این شرح است:

ستون جداکننده پروپان	۲۰۰/۰۰ psia
ارتفاع (۶۸ ft)	۱۴/۲۹ psi (۶۸ ft×۰/۴۳۳×۰/۴۸۵)
اصطکاک: لوله‌ها	۳/۰۰ psi
شیرآلات	۲/۰۰ psi
شیر کنترلی	۹/۰۰ psi
شیر یک‌طرفه	۱/۰۰ psi
اریفیس	۱/۲۰ psi
فیلتر	۱۳/۰۰ psi
	۲۴۳/۴۹ psia - ۱۴/۷ = ۲۲۸/۷۹ psig

اکنون می‌توانیم ΔP را به این صورت (۲۲۸/۷۹psig − ۱۶۷/۹۶psig = ۶۰/۸۳psig) به د ست بیاوریم و مقدار آن را در رابطه برای حصول هد اعمال کنیم.

$$\text{Head } (h) = \frac{(\Delta P)(2.31)}{\text{specific gravity (s.g.)}}$$

در ضریب ایمنی استاندارد ۱/۱ ضرب کنید:

۲۸۹/۷۳ × ۱/۱ = ۳۱۸/۷ft

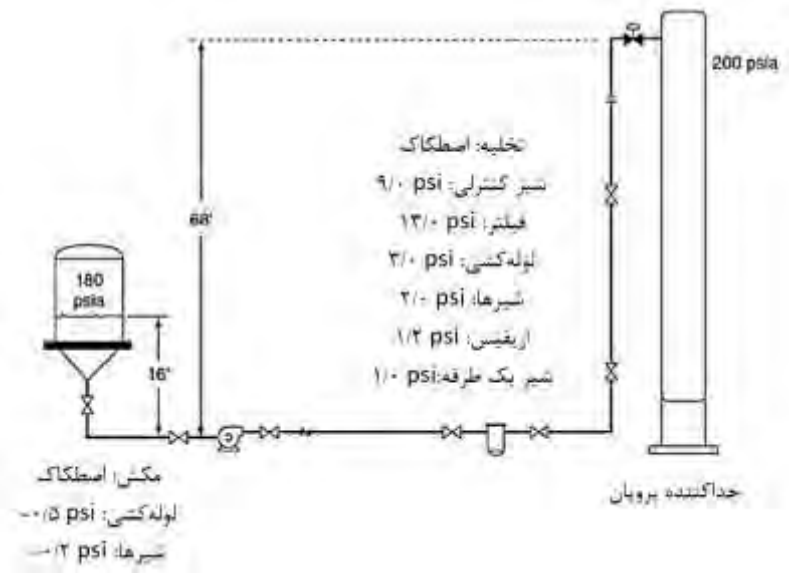
هد تفاضلی[1] لازم برابر با ۳۱۸/۷ft است.

ب) هد کل

مجدداً به شکل ۲-۴ نگاه کنید. به‌نظر می‌رسد سیال در تانک TK-4.02A هم سطح با سیال تانک TK-4.02B است. ورودی و تخلیه پمپ، پر است، پمپ هواگیری شده و پر از مایع می‌باشد. در حالتی که هر دو شیر مکش و تخلیه باز ا ست (که به شکل پاپیون گره زده م شخص شده)، سطح مایع در تانک‌ها برابر است. برای انتقال سیال اضافی به TK-4.02B پمپ لازم است. با افزایش سطح در TK-4.02B، هد تخلیه (فشار در خط تخلیه) به‌طور مستقیم با سطح مایع تانک افزایش می‌یابد.

[1] Differential head

هد کل برابر است با هد تخلیه منهای هد مکش. اپراتورها باید آگاه باشند که پمپ گریز از مرکز از حرکت سیال بازمی‌ایستد اگر فشار تخلیه بسیار بالا برود. با افزایش فشار تخلیه، سرعت سیال کم شده و حتی متوقف می‌شود و نیروهای گریز از مرکز کاهش یافته و شاید به صفر برسد.

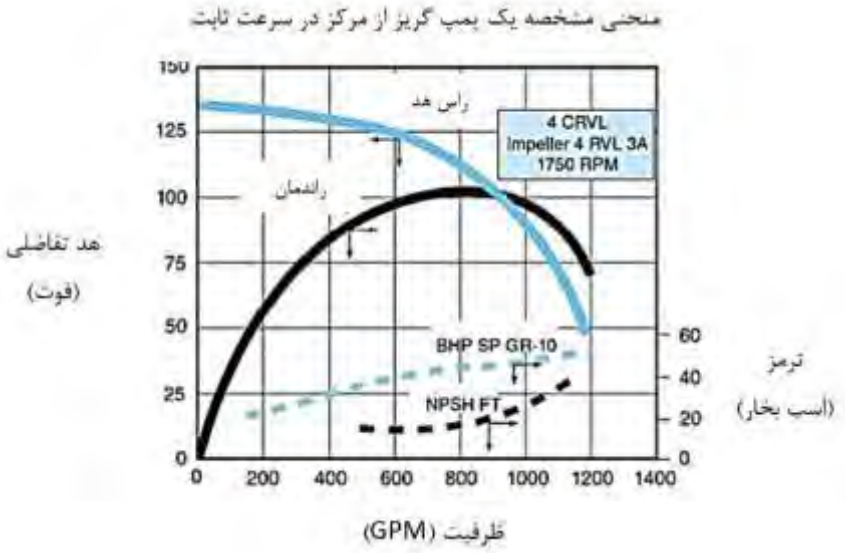


شکل ۴–۱۰: سیستم پمپ گریز از مرکز

۴–۴–۵– منحنی‌های پمپ[1]

پمپ‌های گریز از مرکز برای کار در سرویس‌های خاص در شدت‌های معینی طراحی شده‌اند. بهترین شـــرایط عملکرد یک پمپ، روی منحنی راندمان آن مشـــخص می‌شـــود. منحنی راندمان، مقادیر متعددی را شـــامل می‌شـــود: دبی (برحســـب GPM)، هد کل برحســـب فوت (هد تخلیه منهای هد مکش؛ که گاهی هد تفاضلی نام می‌گیرد)، راندمان پمپ، اسب بخار لازم برای پمپ و NPSH پمپ.

[1] Pump curves



شکل ۴–۱۱: منحنی پمپ

به دلیل عدم عملکرد پمپ‌ها تحت شرایط بهینه کاری خود، لازم است به‌گونه‌ای طراحی شوند که در یک بازه از دبی و شرایط سیال عمل نمایند. پارامترهای عملیاتی (توان محرکه، اندازه پروانه، خواص مایع، راندمان پمپ، ظرفیت و هد پمپ، ملزومات NPSH و غیره) همگی روی نموداری به اسم منحنی پمپ (شکل ۴–۱۱) نشان داده می شوند. در صورت وجود مشکل در عملکرد پمپ یا در سرویس آن، منحنی پمپ یکی از اولین مدارکی است که بررسی می شود. معمولاً منحنی پمپ به همراه محصولات توسط تولیدکنندگان عرضه می‌شود تا پیش از تغییر یا طراحی مجدد یک سیستم پمپ امکان مراجعه به آن‌ها برای مهندسان و بهره‌بردار فراهم باشد. اگر پمپ در شدت‌های بیشتر کار کند، راندمان پایین می‌آید و پمپ ممکن است آسیب ببیند.

– کاویتاسیون

کاویتاسیون زمانی رخ می‌دهد که فشار مکش به زیر NPSH کاهش یابد. در این نقطه، سیال تبخیر می شود و درون محفظه پمپ گاز به صورت حباب انباشته خواهد شد. با ایجاد و از هم پاشیدن این حباب‌ها، پمپ ممکن است به‌شدت تخریب شود. اپراتورها به‌راحتی قادر به شناسایی یک پمپ دچار کاویتاسیون می‌باشند. صدای این پمپ‌ها شباهت نزدیک با صدایی دارد که شما هنگام ریختن یاتاقان‌های توپی[1] به درون خط مکش پمپ می‌شنوید. اپراتور همچنین می‌تواند افزایش سریع فشار

[1] Ball bearings

تخلیه را انتظار داشته باشد. کاویتاسیون، تکه‌های مایع و بخار را درون پمپ ارسال می‌کند. هر تکه، ضربه‌ای بر اجزاء داخلی پمپ وارد می‌آورد.
در صورت برطرف نشدن این عیب، آسیب جدی به پمپ وارد خواهد شد.

- **قوانین همبستگی**

روابطی به نام قوانین همبستگی[1]، میان سرعت، ظرفیت، هد و توان پمپ‌های گریز از مرکز وجود دارد. ظرفیت یک پمپ گریز از مرکز، مستقیماً به‌سرعت یا RPM آن مرتبط است. هد کل، متناسب با سرعت به توان ۲ است. توان مصرفی با درجه سوم سرعت رابطه مستقیم دارد.

- **نقشه انتخاب پمپ**

تولیدکنندگان صنعتی امروزی، هنگام مهندسی یک فرایند جدید، از نقشه انتخاب پمپ استفاده می‌نمایند. قسمت چپ این نقشه از یک محور افقی مشخص‌کننده ظرفیت (برحسب GPM) و دو محور عمودی نشان‌دهنده هد (برحسب فوت مایع) تشکیل شده و در سمت راست آن فشار (برحسب پوند در اینچ مربع) قرار دارد.

- **جنس ساخت**

پمپ‌های گریز از مرکز معمولاً با اجزای داخلی چدنی و اجزای خارجی از جنس فولاد ریخته‌گری تولید می‌شوند. بسته به طبیعت سیال پمپ‌شونده، این اجزاء می‌تواند از آلیاژهای بسیاری تهیه شود.

- **عوامل مؤثر بر مکش و تخلیه**

اپراتورها باید از تعداد متغیرهای فرایندی که درون یک سیستم وجود دارد مطلع باشند، ازجمله مخازن بالادستی و پایین‌دستی، شیرآلات، فیلترها، لوله‌کشی، هد تخلیه و هد مکش. هر یک از این عوامل، بر چگونگی عملکرد کارآمد یک پمپ مؤثر است. شکل ۱۲-۴ انتقال از تانک به کشتی را نمایش می‌دهد.

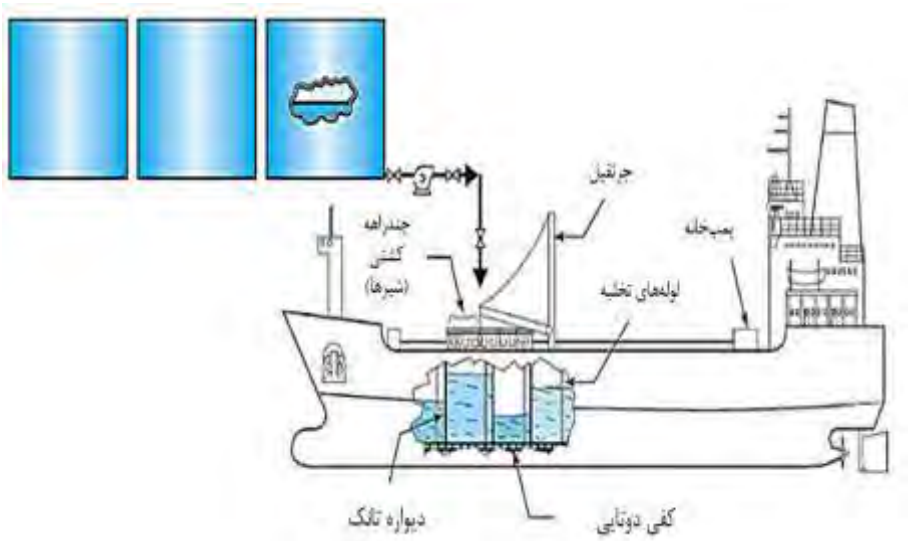
---

[1] Affinity laws

۴-۴-۶- پمپ‌های تک‌مرحله‌ای و چندمرحله‌ای

عبارات تک‌مرحله‌ای و چندمرحله‌ای به تعداد پروانه‌های مورداســـتفاده در یک پمپ گریز از مرکز اشـــاره دارد. با ورود جریان به یک پمپ چندمرحله‌ای، جریان به چشـــمی مکش اولین پروانه وارد می‌شـود. وقتی پروانه چرخان، سـیال را شـتاب می‌بخشـد، جریان به درون مکش مرحله دوم پیش می‌رود و در آنجا شتاب بیشتری می‌گیرد. در هر مرحله، فشار و جریان سیال تا جایی ادامه می‌یابد که سیال به محفظه تخلیه برسد.

وقتی یک طراح، یک پمپ چندمرحله‌ای می سازد، مفهوم رانش باید در نظر گرفته شود. بخش مکش یک پروانه، نیروی کمی بر محور وارد می‌کند. تخلیه پروانه، رانش شـــدیدی بر دوار اعمال می‌نماید. در مجموع، جمع نیروها در را ستای محور در یک پمپ چندمرحله‌ای، عظیم ا ست. دو راه برای کاهش رانش وجود دارد. یک روش اســـتفاده از دســـتگاه تعادلی اســـت یعنی یک ســـیســـتم هیدرولیک که مکش پمپ را به تخلیه انتهایی آن و صل می‌کند. سیستم از یک محفظه ا ستوانه‌ای (درام) متعادل‌کننده در ق سمت تخلیه، خط تعادل و یک مخزن کم‌ف شار پ شت درام ت شکیل شده ا ست. روش دیگر، این ا ست که پروانه‌ها در جهت مخالف ردیف شوند. جهت‌گیری مخالف پروانه‌ها، حتی رانش در طول محور را نیز حفظ می‌کند.



شکل ۴-۱۲: انتقال از تانک به کشتی

پمپ‌های چندمرحله‌ای، هنگام بسته بودن شیر تخلیه هرگز نباید عمل کنند. اغلب، یک سیستم با جریان کمینه در لوله‌ها طراحی می‌شود تا همیشه جریان کافی طی مراحل برای محافظت از پروانه‌ها در برابر خرابی وجود داشته باشد.

۴–۵– پمپ‌های محوری

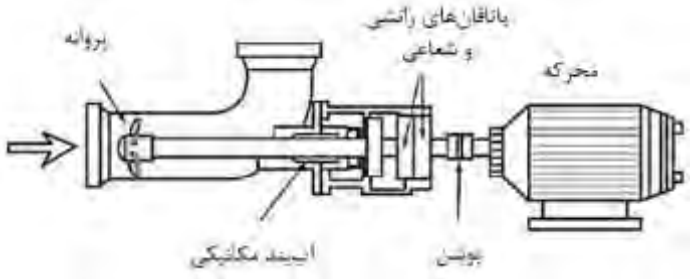
راه دیگر برای شتاب دادن به سیال و انتقال آن، هل دادن محوری یا در خط راست است. پمپ‌های محوری (شکل ۴–۱۳) جهت عرضه این ویژگی خاص طراحی شده‌اند. مثالی رایج از این قاعده، پمپ قایق است. موتور، یک مجموعه از پره‌ها را می‌چرخاند و آب را در مسیری مستقیم شتاب می‌دهد. یک پمپ محوری نیز از همین قاعده استفاده می‌کند. اکثر پمپ‌های محوری روی یک زانویی در مسیر لوله‌کشی واقع شده‌اند. میله محرک در زانویی[1] و جریان فرایندگسترده می شود. یک پروانه در انتهای فرایندی میله محرک واقع شده است. سایز پروانه به اندازه‌ای است که در قطر داخلی لوله جای بگیرد. پره‌ها برای کشیدن محوری سیال به زیر محور مهندسی شده‌اند. یک آب‌بند مکانیکی در محل نفوذ محور به داخل زانویی، از نشت جلوگیری می‌کند. یک یاتاقان رانشی با طراحی خاص محور را از حرکت محوری بازمی‌دارد. یاتاقان‌های شعاعی پرقدرت، محور پمپ را پشتیبانی و از حرکت شعاعی جلوگیری می‌کنند. برخی پمپ‌های محوری دارای خنک‌کننده‌های روغن یاتاقان‌های رانشی هستند.

یک سیستم ایمنی اختیاری آب‌بندی با روغن یا سیستم گریس‌کاری یاتاقان‌های رانشی برای برخی مدل‌ها موجود است. موتور دقیقاً روی قسمت خارجی زانویی روی یک پد که به میله محرک اجازه قرارگیری دقیق را می‌دهد، سوار شده است. یک بوشن با اطمینان موتور را به پمپ وصل می‌کند.

پمپ‌های محوری می‌توانند عمودی یا افقی کار گذاشته شوند. پمپ‌های محوری به‌طور گسترده در خطوط لوله و به‌عنوان دستگاه پایه‌ای انتقال در راکتورهای لوپ[2] به کار می‌روند. انواع محرکه عبارت‌اند از مستقیم، متغیر و تسمه‌ای بین ۷/۵ و ۲۰۰۰ اسب بخار. فشارهای طراحی در بازه psig ۱۵۰۰-۳۰۰ تغییر می‌کند. دماهای طراحی از ۵۰- تا ۶۵۰ درجه فارنهایت متغیر است (°C ۳۴۳/۳۳ – ۴۵/۵۵-).

---

[1] Elbow
[2] Loop reactors



شکل ۴–۱۳: پمپ محوری

۴–۶– پمپ جتی (جت‌پمپ)

نام جت‌پمپ‌ها (شکل ۴–۱۴) از نحوه انتقال مایع در آن‌ها اقتباس شده است. یک جت با طراحی خاص، برای استفاده از اثر ونتوری مهندسی شده است. جت‌پمپ‌ها به‌طور فراوان برای کشیدن آب از چاه با عمق بیش از ۲۰۰ فوت استفاده می‌شوند. پس از تعیین چاه آب، حفره‌ای برای رسیدن به سفره آب زیرزمینی حفر می‌شود. یک توری از جنس پلی‌وینیل‌کلراید (PVC) به لوله آب PVC که به داخل حفره باز فرو برده شده، وصل شده است. لوله اجازه گسترش تا چند فوت بالای زمین را دارد. آب از توری عبور کرده و به درون لوله می‌آید. فشار در انباشته‌های آبی باعث می شود سطح آب از توری و بالای لوله عبور کند. سطح آب معمولاً قبل از رسیدن به بالای لوله متوقف خواهد شد. فرایند بیرون کشیدن آب از لوله، وظیفه جت‌پمپ است. قسمت‌های مختلف جت و لوله ریزشی[1] شامل سوپاپ ورودی، شیپوره[2]، ونتوری، مکش و تخلیه است. طی نصب، یک سوپاپ ورودی (شیر یک‌طرفه) با اطمینان به پایین جت متصل می‌شود. یک آب‌بند چرمی میان شیر و جت قرار می‌گیرد. جت به لوله ریزشی محکم شده و تا جداره لوله آب پایین آورده می‌شود. یک آداپتور (تعدیل‌کننده) برای اتصال لوله ریزشی میانی به جداره بیرونی استفاده می‌شود. آداپتور، یک پایه‌ایجاد می‌کند که روی آن یک پمپ گریز از مرکز عمودی سوار خواهد شد.

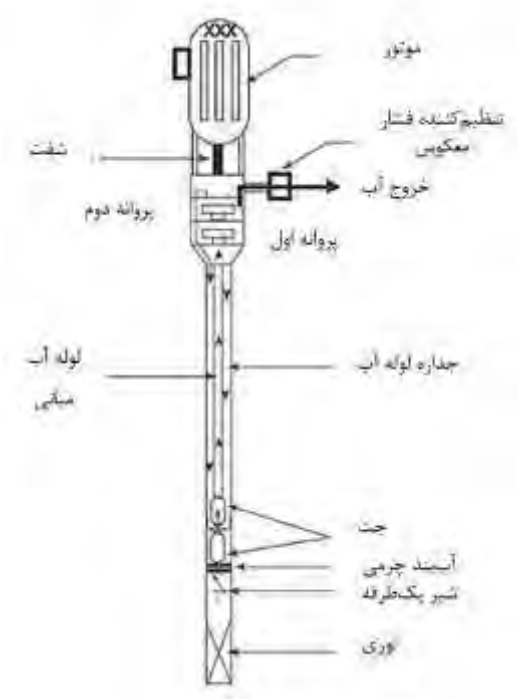
حین عملیات، آب به سمت فضای میان لوله ریزشی مرکزی و جداره خارجی، به پایین رانده می‌شود. با پمپاژ مجدد آب به جداره چاه، سوپاپ ورودی با ضربه بسته می‌شود. یک مجرای کوچک در جت، دسترسی دوباره به مکش پمپ را آزاد می‌کند. زمانی که فشار در جداره بالا می‌رود اثر ونتوری در جت رخ می‌دهد. با افزایش فشار در جداره سرعت عبور از میان جت بالا می‌رود.

زمانی که آب به سرعت به بالا درون پمپ جریان می‌یابد، یک ناحیه کم‌فشار درون لوله ریزشی ایجاد می‌شود. یک تنظیم‌کننده فشار معکوس، فشار درون پمپ را نگه می‌دارد تا به شرایط عملیاتی

---

[1] Drop pipe
[2] Nozzle

برسد. وقتی فشارها به شرایط عملیاتی برسند، جریان آب تفکیک شده و بخشی از آن به پایین به سمت جداره برمی‌شود و جریان‌های اضافی به تانک ذخیره منتقل می‌شود.



شکل ۴-۱۴: جت‌پمپ

آرایش رایج دیگری از جت‌پمپ، شامل یک جت و یک پمپ گریز از مرکز است. دستگاه جت، محفظه مکشی تشکیل می‌دهد که هنگام عبور یک جریان با سرعت‌بالا از میان جت، ایجاد خلأ می‌کند. تجهیز جت از دو بخش عمده تشکیل شده است: یک شیپوره و یک لوله ونتوری. شیپوره، آب پرسرعت را به درون لوله ونتوری یا پخش‌کننده (دیفیوزر) هدایت می‌کند. آب پرسرعت با خروج از شیپوره ورود به دیفیوزر، آرام شده و ایجاد فشار می‌کند. هدف اولیه دیفیوزر تبدیل سرعت آب به فشار است.

۴-۷- پمپ‌های جابجایی مثبت

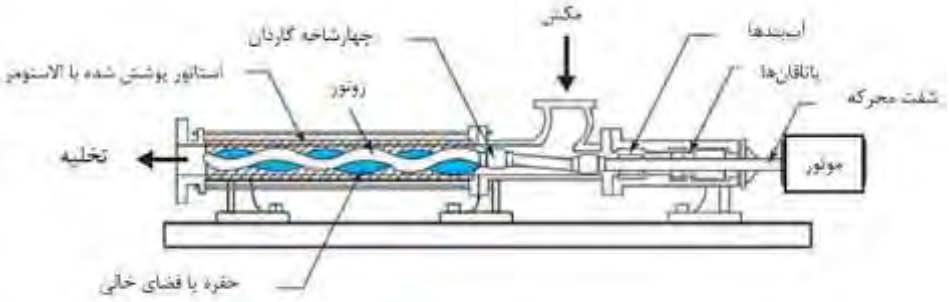
پمپ‌های دوار و رفت و برگشتی، دو کلاس عمده از پمپ‌های PD هستند. پمپ‌های دوار، مایع را با حرکت دوار از طریق دنده‌ها، پیچ‌ها، پره‌ها و لوب‌ها جابجا می‌کنند. پمپ‌های رفت و برگشتی، سیال را به کمک دیافراگم، پیستون یا مکنده که به جلو عقب حرکت می‌کنند، انتقال می‌دهند.

اخطار: قسمت تخلیه یک پمپ PD حین عملیات نباید هرگز بسته باشد تا زمانی که پمپ خاموش شود. اگر بخش تخلیه هنگام رو شن بودن پمپ ب سته با شد، تجهیزات و پر سنل به شدت آ سیب می‌بینند. بیشتر پمپ‌های PD همراه با شیر تخلیه فشار هستند تا از بروز سوانح جلوگیری شود.

۴–۸– پمپ‌های دوار

پمپ‌های دوار، پمپ‌های PD هســتند که مایعات را با اســتفاده از حرکت دوار انتقال می‌دهند. میله محرک، عناصــر دوار درون یک محفظه ضــد نشــت را که دارای ورودی و خروجی معینی اســت می‌چرخاند. طراحی مهندســی، به فاصــله آزاد[1] نزدیک میان عناصــر دوار و دیواره محفظه نیاز دارد. پمپ‌های دوار، لغزش داخلی بســیار کمی دارند. این نوع پمپ، رایج‌ترین نوع پمپ جابجایی مثبت اســت. پمپ‌های دوار برای حرکت دادن ســیالات ویســکوز متنوعی به کار می‌روند: هیدروکربن‌های سنگین، شربت‌ها، رنگ و دوغاب‌ها. پمپ‌های دوار، حرکت دوار یک پمپ گریز از مرکز را با خاصیت جابجایی مثبت پمپ رفت و برگ شتی تلفیق می‌نمایند. پمپ‌های دوار ۴ نوع ه ستند: پیچی (تکی و چندتایی)، دنده‌ای (داخلی و خارجی)، پره‌ای (لغزشی و انعطاف‌پذیر) و لوب‌پمپ.

شکل ۴–۱۵: پمپ حفره پیش‌رونده



شکل ۴–۱۶: اجزاء پمپ حفره پیش‌رونده

[1] Clearance

۸-۴-۱- پمپ‌های دوار تک پیچ (پمپ حفره پیش‌رونده)

یک پمپ حفره پیش‌رونده یا PC (شـــکل ۴-۱۵ و ۴-۱۶) تنها از یک بخش متحرک یعنی دوار تشکیل شده است. دوار درون یک ایستانه پوشش شده با الاستومر می‌چرخد. وقتی دوار خود-پرشـــونده می‌چرخد، حفرات یا فضـــاهای خالی میان دوار و ایســـتانه به وجود می‌آید. این فضـــاهای خالی، به‌تدریج از جداره مکش به ســـمت خروجی تخلیه پیشـــرفت می‌کند. حین عملیات، حفرات از مایع پر می شود. پمپ‌های حفره پیش‌رونده، مکش بالا، گسستگی بسیار پایین و عملیاتی هموار و بدون پالس ارائه می‌کنند. این ویژگی‌ها در جایی اهمیت دارد که آشفتگی بر ترکیب در صد سیال اثر می‌گذارد.

پمپ PC به‌طور ایده‌آل برای عملیات اندازه‌گیری مناســـب اســـت. برای نمونه‌این نوع پمپ برای سیالات سنگین ویسکوز به کار می‌رود. مقدار جامدات موجود در سیال، میزان تأثیر پمپ PC را تحت شعاع قرار نمی‌دهد. پمپ‌های حفره پیش‌رونده در بسیاری کاربردها یافت شده است. شرایط عملیاتی شامل فشار تا ۱۰۰۰psi، شرت جریان تا ۹۵۰GPM ویسکوزیته تا بالای ۱,۰۰۰,۰۰۰cP می‌باشد.

- **دوار و ایستانه**

سرعت منطقی دوار و حجم کلی حفرات، تعیین‌کننده دبی پمپ PC است. سرعت سایشی[1]، عمر دوار و ایســـتانه را معین می‌کند. اگر فاصـــله میان دوار و ایســـتانه کم باشـــد، درجه بالایی از ســـرعت سایشی به وجود می‌آید. سرعت سایشی عاملی مهم در طول عمر ایستانه است. ایستانه پس از فرسودگی قابل تعویض است. دوار غالباً از استیل کروم‌بالا که در برابر خوردگی ذرات مقاوم است، ساخته شده است. ایستانه، با اکسترود کردن الاستومر مذاب تحت‌فشار بالا به درون یک لوله‌ایستانه فلزی سنگین با یک هسته درونی برای دوار، تولید می‌شود. پس از سرد شدن الاستومر مذاب، هسته خارج می شود. لوله‌ایستانه را می‌توان جهت نصب آسان روی دوار، در دو انتها رزوه کرد یا آن را به چهار میله مهار[2] متصل نمود.

- **چهارشاخه گاردان**

چهار شاخه گاردان[3] (مفصل U شکل)، گشتاور را از میله محرک به دوار منتقل می‌کند. مفصل U شـــکل در پمپ PC در محفظه مکش پمپ قرارگرفته اســـت. وقتی ســـیال فرایندی حول مفصـــل U

---

[1] Rubbing velocity
[2] Tension rod
[3] Universal joint

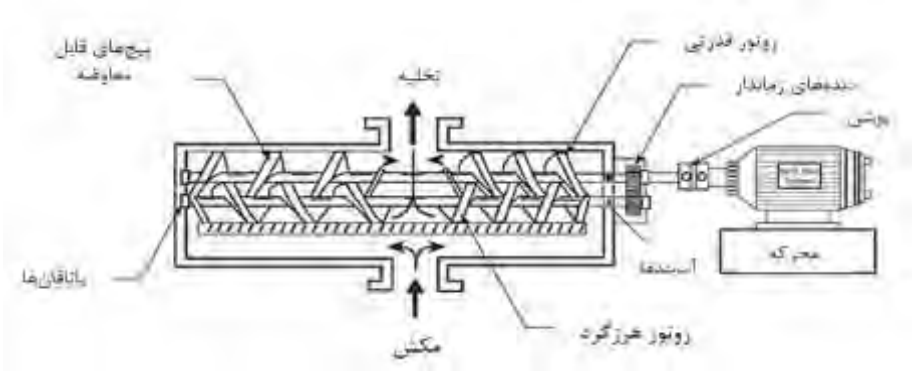
شـــکل جریان می‌یابد، مناطق مرده حذف می‌شـــود. دوار در پمپ PC اطراف ســـه مرکز مختلف می‌چرخد؛ و این یعنی سه منحنی دارد.

- **آب‌بندها و یاتاقان‌ها**

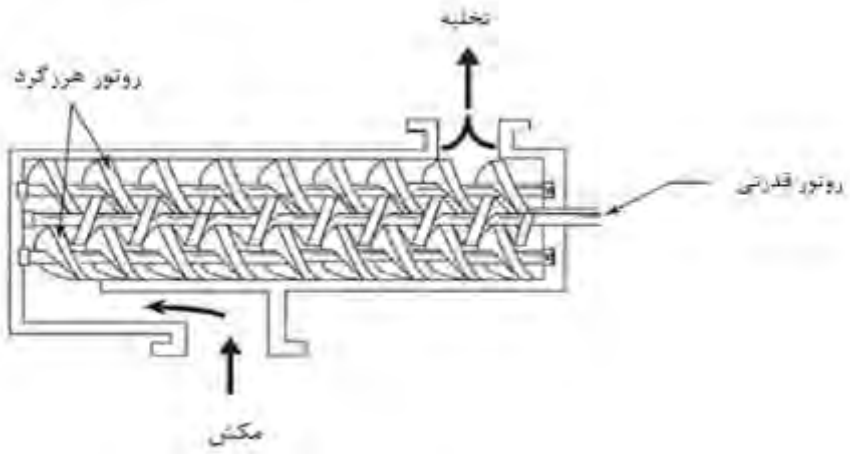
پمپ PC از پوشـــش‌دهی‌های مکانیکی یا نرم برای جلوگیری از نشـــت اســـتفاده می‌کند. محفظه یاتاقان روی انتهای میله محرک پمپ قرارگرفته است. یاتاقان‌های غلتکی بزرگ طراحی شده جهت مواجهه با بارهای اضافی، میله محرک را زمانی که گشتاور را از میان محفظه یاتاقان انتقال می‌دهد حفاظت می‌کند. به دلیل این طراحی منحصر بفرد، پمپ‌های PC می‌تواند برای استفاده از محرکه تسمه‌ای یا مستقیم سازگار شود.

۸-۴-۲- پمپ‌های دوار چند پیچه

پمپ‌های دوار چند پیچه در کاربردهای متنوعی می‌توانند اعمال شوند. آن‌ها سه یا چند پیچ دارند. پمپ دو پیچه چندکاره، انرژی بالا و خود-پر شونده از سال ۱۹۳۴ موردا ستفاده بوده است. طراحی خاص عناصـــر، پمپ دو پیچه را قادر می‌ســـازد دبی‌های بالا و مکش عالی ایجاد کنند و عملاً هر ســـیالی را پمپ نمایند. یک پمپ دو پیچه دو دوار دارد: یک دوار قدرتی و یک دوار هرزگرد. یک مجموعه از دنده‌ها و یاتاقان‌های خارجی زمان‌دار به پیچ‌ها (دوار ها) اجازه می‌دهند که هماهنگ و بدون تماس با یکدیگر بچرخند. این ویژگی به پمپ اجازه می‌دهد هر ســـیالی را فارغ از خورندگی، چرب بودن و یا ویســـکوزیته بالای آن منتقل کند. به‌علاوه، به دلیل عدم تماس پیچ‌ها، پمپ قادر است در حالت خالی بدون آسیب به سیستم فعال شود. این ویژگی، آن را به انتخابی ایده‌آل در عملیات تخلیه تانک یا عملیاتی که در آن‌ها فشـــار مکش ســـیال تغییر خواهد کرد، تبدیل می‌کند. پمپ جفت پیچه دارای محرکه و محور، دو پیچ، یک مجموعه از دنده‌های خارجی زمان‌دار و یاتاقان‌های انرژی‌بالا و یک جریان تفکیک شده در ورودی است (شکل ۴–۱۷).



شکل ۴–۱۷: پمپ دو پیچه



شکل ۴–۱۸: پمپ سه پیچه

وقتی سیال وارد پمپ می‌شود به دو جریان مساوی تفکیک و به دو انتهای محور هدایت می‌شود. فعالیت پمپاژی پیچ‌ها، دو جریان سیال فرایندی را در خط مستقیم میان دوار های قرارگرفته نزدیک هم حرکت می‌دهد تا در درگاه تخلیه با هم ترکیب شوند. در طراحی دو یا سه پیچه، جهت چرخش دوار قدرتی، تعیین خواهد کرد کدامیک از درگاه‌های ورودی یا خروجی در بالا یا زیر پمپ قرارگرفته است. به دلیل مساوی و هم‌زمان بودن مسیر دو جریان، دوار های چرخان موازنه خواهند شد. این طراحی خاص، فرسایش یاتاقان را کاهش می‌دهد. بیشتر پمپ‌های دو پیچه در قسمت مکش به دلیل وسعت آن، به‌جای پوشش نرم[1] به آب‌بندهای مکانیکی نیاز دارند.

[1]. Soft packing

پمپ‌های دو پیچه به‌طورمعمول در سرعت RPM ۳۵۰۰، شرت جریان GPM ۸۸۰۰، فشار ورودی psi ۱۰۰، فشار تخلیه psi ۷۲۵ و حداکثر دمای $۵۰۰^{\circ}F$ ($۲۶۰^{\circ}C$) عمل می‌نمایند.

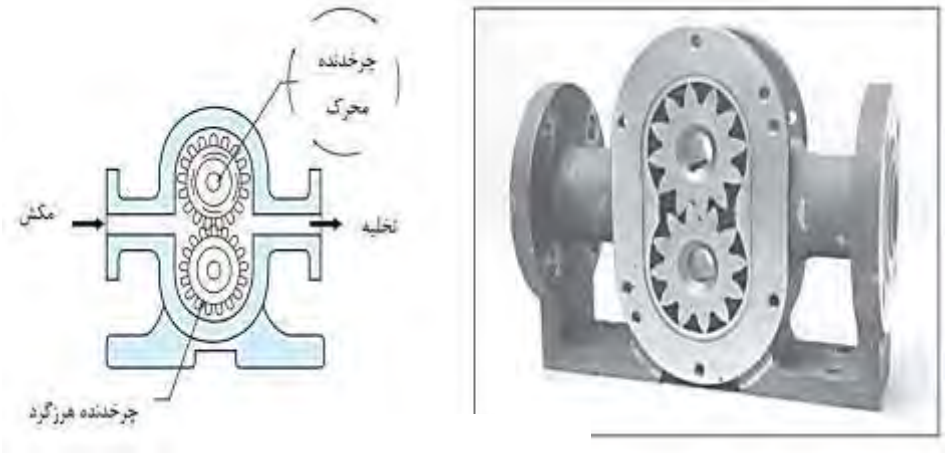
پمپ سه پیچه از یک دوار قدرتی یا محرکه و دو دوار هرزگرد تشکیل شده است (شکل ۴–۱۸). پیچ قدرتی حین عملیات با پیچ‌های هرزگرد در هم قفل می‌شود. پمپ سه پیچه به دلیل تماس هر سه پیچ، با نوع دو پیچه مغایر است. هر پیچ به‌راحتی روی مجموعه‌ای از یاتاقان‌های سنگین می‌چرخد. طی عملیات، پیچ‌های خود-پر شونده گردش کرده و فضای خالی ایجاد می‌کنند که سیال را در جریانی پیوسته و بدون تکانه منتقل می‌کند. یک نمونه پمپ سه پیچه به دلیل سیستم متعادل، به یاتاقان‌های رانشی نیازی ندارد. مشخصات مهندسی به این پمپ اجازه می‌دهد در سرعت‌های تا حداکثر RPM ۶۰۰۰، فشار تا حداکثر psig ۷۵۰ و دبی حدود GPM ۶۰۰ عمل نماید.

۸-۴-۳- پمپ‌های دنده‌ای

پمپ‌های دنده‌ای از این جهت که برای سیالات ویسکوز قابل‌استفاده می‌باشند، مشابه پمپ‌های پیچی هستند. پمپ‌های دنده‌ای معمولاً دو نوع رایج دارند: خارجی و داخلی.

الف) پمپ‌های دنده‌ای خارجی

پمپ‌های دنده‌ای خارجی، دو دنده دارند که موازی همدیگر می‌چرخند و به سیال اجازه می‌دهند توسط دنده‌های حمل و به خارج پمپ منتقل شود (شکل ۴–۱۹). یکی از دنده‌ها، دنده هرزگرد است؛ دیگری به محرکه وصل است و دنده قدرتی نام دارد. پمپ‌های دنده‌ای خارجی از دو دنده جفت شده تشکیل شده‌اند که درون جداره می‌چرخند. چرخش دنده قدرتی، دنده هرزگرد یا دنده بعدی را می‌چرخاند و مایع را به دام انداخته و جابجا می‌کند. معمولاً در این نوع عملیات، دنده قدرتی بالا جاگذاری شده است. بسیاری از اپراتورها پمپ‌های دنده‌ای خارجی را به‌عنوان پمپ‌های جابجایی ثابت در نظر می‌گیرند. تخلیه یک پمپ دنده‌ای خارجی، ثابت می‌ماند مگر سرعت محور تغییر کند.



شکل ۴–۱۹: پمپ چرخ‌دنده ای خارجی

درگاه‌های مکش و تخلیه در پمپ دنده‌ای خارجی، روی دو انتهای مخالف جداره نصب‌شده است. وقتی پمپ برای اولین بار روشن می شود، هوا به بیرون رانده شده وارد خط تخلی می شود. این فرایندخلأ کمی در بخش مکش ایجاد می‌کند. این خلأ، سیال را مجبور به ورود به پمپ و به دام افتادن میان دنده‌ها می‌کند. وقتی دنده‌ها می‌چرخند، سیال حول محفظه سریع عبور کرده و از درگاه تخلیه خارج می‌شود.

ب) پمپ‌های دنده‌ای داخلی

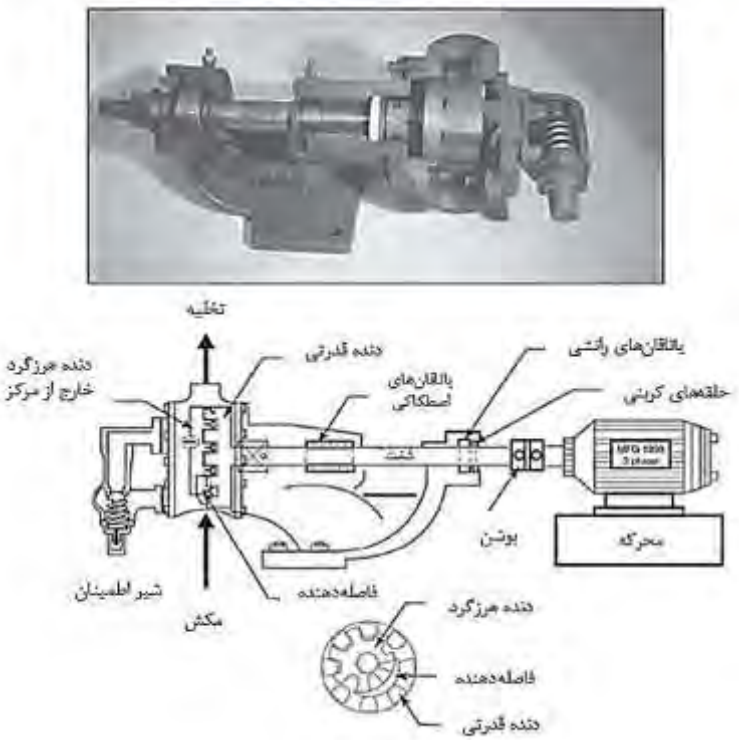
یک مخترع دانمارکی- امریکایی به نام جنز نیلسن[1]، پمپ دنده‌ای داخلی (IG) را در سال ۱۹۱۵ اختراع کرد. تکنسین‌های فرایندی این پمپ را به‌عنوان «پمپ دنده در دنده» می‌شناسند. پمپ‌های دنده‌ای داخلی با تنها دو قسمت متحرک کار می‌کند: یک دنده قدرتی که یک دنده هرزگرد داخلی را نیرو می بخشد (شکل‌های ۴–۲۰ و ۴–۲۱). وقتی دنده قدرتی می‌چرخد، مایع از خط مکش وارد پمپ می‌شود. ازآنجاکه پمپ، خود-پرشونده است، فضاهای خالی میان دندانه‌های دنده قدرتی و دنده هرزگرد خارج از مرکز از مایع پر می‌شود. حین چرخش، مایع با یک فاصله‌دهنده هلالی‌شکل[2] جدا می‌شود. مایع به درون فضاهای بالا و زیر هلالی فشرده می‌شود. وقتی دنده‌ها اطراف جداره پمپ دایره‌ای می‌چرخند، مایع از پمپ تخلیه می‌شود. اجزاء اصلی یک پمپ دنده‌ای داخلی، یک دنده قدرتی یا دوار، یک دنده هرزگرد، یک پین هرزگرد، یک میله محرکه، یک جداره دایره‌ای، یاتاقان‌های هلالی، محوری و شعاعی، آب‌بندها و شیر اطمینان می‌با شد. دنده هرزگرد آزادانه روی

---

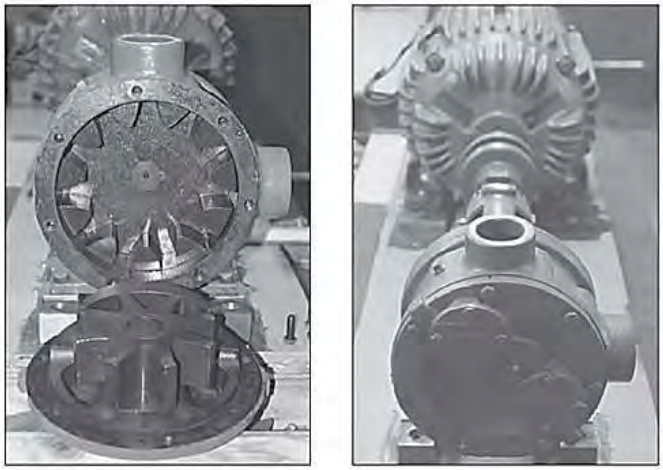
[1] Jens Nielsen
[2] Crescent shaped

یک پین هرزگرد استوانه‌ای می‌چرخد. یک یاتاقان اصلی و یک یاتاقان ثانویه روی انتهای آزاد محور، میله محرکه را حمایت می‌کنند. پوشش نرم یا آب‌بندهای مکانیکی را می‌توان روی پمپ استفاده کرد. پمپ‌های دنده‌ای داخلی به نگهداری بسیار کمی احتیاج دارند. پارامترهای طراحی مربوط به این پمپ عبارت است از دبی GPM ۱-۷۵۰، سرعت حداکثر تا RPM ۱۷۵۰، دما تا حداکثر ۵۰۰°F (۲۶۰°C)، کشش از مکش طی عملیات تا ۲۴ اینچ جیوه خلأ و فشار تفاضلی تا حداکثر ۲۵۰ psi. این پمپ‌ها می‌تواند از فولاد زنگ نزن در محیط‌های خورنده یا از کربن استیل یا چدن در سایر کاربردها ساخته شود.

صنعت فراوری شیمیایی از پمپ دنده‌ای داخلی برای مواد شیمیایی از قبیل استون‌ها، اسیدها، الکل‌ها، مواد قلیایی، آمونیوم هیدروکسید، بوتادین، پلیمرها، رزین‌ها، حلال‌ها، واکس‌ها و زایلن‌ها استفاده می‌کند. پمپ‌های دنده‌ای داخلی همچنین می‌تواند به‌طور مغناطیسی جفت شود؛ اتصال مغناطیسی، نیاز به آب‌بندی محور را از بین می‌برد.



شکل ۴-۲۰: پمپ دنده‌ای داخلی



شکل ۴–۲۱: پمپ دنده‌ای داخلی

۴–۸–۴– پمپ‌های پره‌ای لغزشی

پمپ‌های پره‌ای لغزشی (شکل ۴–۲۲) از پره‌های بارگذاری شده با یا بدون فنر[1]، متصل به یک دوار یا پروانه تشکیل شده‌اند که درون یک جداره دایره‌ای با سایز بزرگ‌تر می‌چرخد. وقتی پروانه خارج از محور، با درگاه ورودی می‌چرخد، مایع با سرعت به درون شکاف‌های پره منتقل می‌شود. یک حفره هلالی شکل درون محفظه پمپ تشکیل گشته که پره‌ها در آن گسترش می‌یابند. وقتی مایع نزدیک درگاه خروجی می شود، با باریک‌تر شدن فواصل لقی، فشرده می شود. مایع فشرده شده در درگاه تخلیه آزاد می شود. پره‌های روی پمپ از جنسی نرم‌تر از دوار و جداره ساخته شده‌اند. یک پخ روی هر پره، نزدیک به لبه‌های گرد محفظه وجود داشته و جنس نرم‌تر پره، متمایل به فرسایشی آرام در طول عمر پره می‌باشد. پمپ‌های پره‌ای لغزشی معمولاً در سیستم‌های هیدرولیک، سیستم‌های خلأ و سیستم‌های روغن کم‌فشار موردا ستفاده قرار می‌گیرد. یک نمونه پمپ پره‌ای، ظرفیتی برابر ۳۸۰GPM داشته و با تفاضل فشار ۵۰psig کار می‌کند.

[1] Spring-loaded or non-spring-loaded

شکل ۴–۲۲ پمپ پره‌ای لغزشی

شکل ۴–۲۳: پمپ گوشواره‌ای (لوب پمپ)

۴–۸–۵– پمپ‌های پره‌ای انعطاف‌پذیر

در یک سیستم پمپ انعطاف‌پذیر، دوار از یک پروانه الاستومری نرم تشکیل شده و با آچار[1] روی میله محرکه که به محفظه پمپاژ نفوذ می‌کند، تنظیم شده است. محفظه پمپاژ برای ایجاد تماس خوب بین پروانه و محفظه داخلی طراحی شده است. ازآنجاکه سرعت سایشی میان پره‌های

[1] Keyed

انعطاف‌پذیر و دیواره محفظه قابل‌توجه ا ست، سرعت‌ها معمولاً پایین ا ست. پروانه در مرکز محفظه پمپاژ قرارگرفته است. پمپ‌های پره‌ای انعطاف‌پذیر به‌طور گسترده در سرویس خلأ به کار می‌روند.

۴–۸–۶– پمپ‌های گوشواره‌ای (لوب‌پمپ)

پمپ‌های گوشواره‌ای (شکل ۴–۲۳) دارای دو پیچ چرخان به شکل لوب‌های کلیه هستند که حین عملیات در هم گیر می‌افتند. وقتی لوب‌ها می‌چرخند، فضـــاهایی خالی ایجاد می‌شـــود که مایع را اطراف ناحیه خارجی محفظه پمپاژ فشـــرده می‌کند. در یک لوب پمپ، یک مجموعه از دنده‌های زمان‌دار خارجی و یاتاقان‌ها به لوب‌ها اجازه می‌دهد که هماهنگ و بدون تماس با یکدیگر بچرخند. این ویژگی پمپ را قادر می‌ســازد که طیف وســیعی از ســیالات را جابجا نماید. به دلیل عدم تماس لوب‌ها، پمپ می‌تواند در حالت خالی نیز بدون آســیب به ســیســتم کار کند. یک پمپ گوشــواره‌ای دارای یک محرکه و محور، دو لوب، یک مجموعه از دنده‌های زمان‌دار خارجی و یاتاقان‌هاست. وقتی ســیال وارد پمپ می‌شــود، به دو جریان مســاوی تفکیک می‌شــود. فعالیت پمپاژی لوب‌ها، ســیال فرایندی را در دو جریان اطراف لوب‌ها در فضـــای نزدیک میان جداره و لوب‌ها حرکت می‌دهد. جریان‌ها در درگاه تخلیه با یکدیگر ترکیب می‌شـــوند. جهت چرخش محرکه، موقعیت درگاه‌های ورودی و خروجی روی پمپ را تعیین خواهد کرد. لوب‌پمپ‌ها برای ارائه دبی‌های بالا در فشار پایین طراحی شده‌اند؛ دارای مکش عالی بوده و سیالات متنوعی را پمپاژ می‌نمایند.

۴-۹– پمپ‌های رفت و برگشتی

پمپ‌های رفت و برگشـــتی، به‌ویژه در اندازه‌های حجمی کوچک، پمپ‌های جابجایی مثبت بســـیار رایج در صنعت پترو شیمی ه ستند. پمپ‌های رفت و برگ شتی برای انتقال احجام کوچک مایع در فشارهای به نسبت بالا طراحی شده‌اند. بسیاری از پمپ‌های رفت و برگشتی، خود-پرشونده هستند و به دلیل حرکت جلو-عقب و اثرات اینرســـی روی اجزاء داخلی، در ســـرعت‌های نســـبتاً کم کار می‌کنند. پمپ‌های رفت و برگشـــتی قادرند راندمان‌های حجمی بالایی را به‌طور موافق منتقل کنند حتی وقتی برای چند نوع ســیال اعمال می‌شــوند. آن‌ها مایع را با جابجایی یک پیســتون، مکنده یا دیافراگم به‌طور فیزیکی انتقال می‌دهند. دیافراگم، پیســـتون یا مکنده، مایع را در حالتی که درون یک استوانه یا محفظه حرکت جلو – عقب دارد، هل می‌دهند.

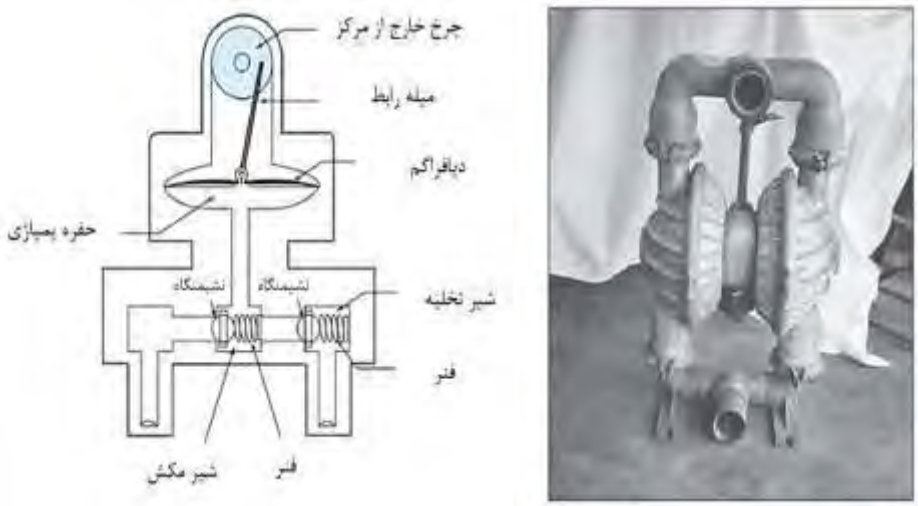
ملزومات سیستم مکش برای یک پمپ رفت و برگشتی مشابه با سایر پمپ‌هاست به جز در یک عامل مهم به نام هد شتاب[1]. هد شتاب، اینر سی جلو – عقبی را لحاظ می‌کند که یک پمپ رفت و

[1] Acceleration head

برگشتی به وجود می‌آورد. هد شتاب، با نوسانات فشار مکش ناشی از ضربه ورودی یک پمپ رفت و برگشتی تعریف می‌شود. خط مکش یک پمپ رفت و برگشتی باید تا حد ممکن کوتاه باشد. شیرها، زانویی‌ها و اتصالات اضافی بایستی حذف گردند. خط باید به حد کافی بزرگ باشد که سیال با سرعت ۳ فوت در ثانیه را منتقل کند. برای افزایش فشار مکش، معمولاً پمپ‌های تقویتی می‌تواند به خط مکش اضافه شود.

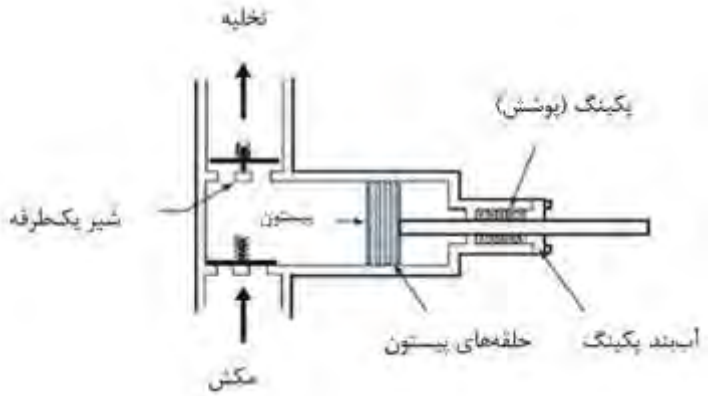
۴–۹–۱– پمپ‌های دیافراگمی

یک پمپ دیافراگمی (شکل ۴–۲۴) از یک صفحه انعطاف‌پذیر (دیافراگم) برای جابجایی سیال استفاده می‌کند. این نوع پمپ، دارای یک میل‌لنگ[1] یا چرخ خارج از مرکز متصل به یک میله رابط است. میله رابط، محکم به مرکز دیافراگم قلاب شده است. لبه بیرونی دیافراگم به جداره خارجی، پیچ یا محکم شده است. وقتی چرخ خارج از مرکز (که به‌طور ساده، خارج از مرکز خطاب می‌شود) چرخش خود را آغاز می‌کند، میله رابط دیافراگم بالا و پایین می‌رود. این حرکت رفت و برگشتی، فعالیت پمپاژی برای جابجایی سیال را ایجاد می‌کند. محفظه پمپاژ زیر دیافراگم، به خطوط مکش و تخلیه وصل است. شیرهای بارگذاری شده با فنر، بسته به فشار درون محفظه، باز یا بسته می‌شوند.



شکل ۴–۲۴: پمپ دیافراگمی

[1] Crankshaft



شکل ۴–۲۵: طراحی ساده ستون

پمپ‌های دیافراگمی نسبت به سایر پمپ‌ها چندین مزایا دارند. آن‌ها ناحیه میان دیافراگم و حفره پمپاژ را کامل آب‌بندی می‌کنند؛ برای پمپاژ مواد شیمیایی متنوعی قابل‌استفاده هستند؛ و با هد پایین یا منفی نیز می‌توانند کار کنند.

۴–۹–۲– پمپ‌های پیستونی و پلانجری

پمپ‌های پیستونی رفت و برگشتی (شکل ۴–۲۵) از یک پیستون و حرکت جلو- عقب برای جابجایی سیال استفاده می‌نمایند. طی عملیات عادی، پمپ پیستونی دارای ضربه مکش و ضربه تخلیه است. ضربه مکش زمانی رخ می‌دهد که پیستون، استوانه را ترک می‌کند. این حرکت، خلأ کم‌فشاری در استوانه ایجاد می‌کند و باعث می‌شود شیر تخلیه بسته و خط مکش باز شود و استوانه را پر کند. در ضربه برگشتی یا ضربه تخلیه، شیر مکش با ضربه بسته و سیال از شیر تخلیه به بیرون رانده می‌شود. این نوع پمپ فارغ از بزرگی هد تخلیه به فعالیت خود ادامه می‌دهد.

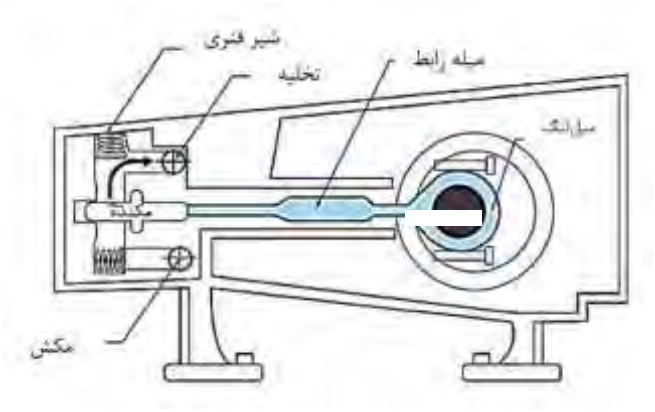
یک پمپ پیستونی نمونه، دارای یک پیستون، حلقه پیستون[1]، میله رابط، شیرهای مکش و تخلیه، جداره و استوانه و شیر اطمینان است. پمپ‌های پیستونی به‌طور داخلی و خارجی آب‌بندی شده‌اند. از داخل، حلقه‌های پیستون، آب‌بندی برای پیستون تشکیل می‌دهند که تنها با متلاشی کردن پمپ قابل رویت است. پوشش خارجی آب‌بند، در جایی که میله پیستون وارد جداره می‌شود قرارگرفته است.

پمپ‌های رفت و برگشتی پلانجری یا کوبه‌ای (شکل ۴–۲۶) با حرکت جلو – عقب و دستگاهی به نام پلانجر (کوبه) برای جابجایی مقادیر کنترل‌شده از مایع عمل می‌نمایند. تفاوت بنیادی میان یک پمپ کوبه‌ای و یک پمپ پیستونی در شکل عنصر پیستون یا کوبه و آب‌بندی توسط آنهاست.

---

[1] Piston ring

یک پمپ پیستونی دارای حلقه‌های سوار شده بر روی خود می‌باشد که تشکیل آب‌بند می‌دهند. مکنده یا یک پمپ کوبه‌ای دارای حلقه‌های متحرک نیست. مکنده، به داخل و خارج یک حلقه Oشکل یا محیط پوششی حرکت می‌کند تا آب‌بندی ثابت خود را بسازد.



شکل ۴–۲۶: پمپ کوبه‌ای

یک مزیت عمده در این سیستم آب‌بندی این است که پمپ به سادگی آب‌بندی می‌شود و بدون از کار افتادن شدید دستگاه، قابل تعویض است. اجزاء پایه یک پمپ پلانجری عبارت‌اند از یک مکنده، میل‌لنگ، میله رابط، محفظه پمپاژ، شیر ورودی مکش و شیر خروجی تخلیه.

الف) طراحی دو طرفه

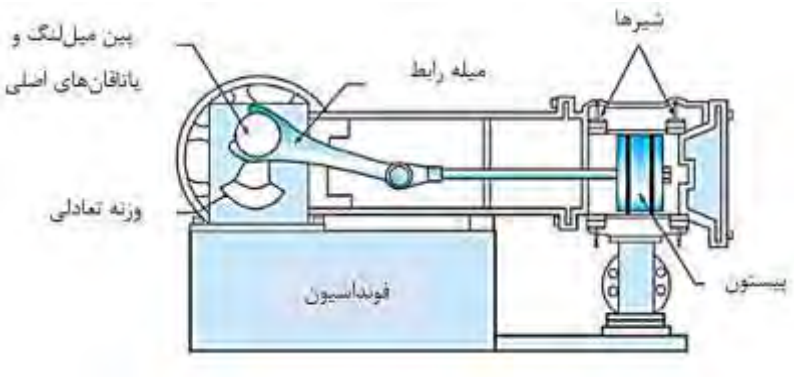
حرکت عقب – جلو یک پمپ پیستونی یا پلانجری، خواص ساده و روان کنترل جریان سایر پمپ‌ها که دارای ضربه مکش طولانی و ضربه‌های تخلیه نمی‌باشند را محدود می‌سازد. پمپ‌های پیستونی و کوبه‌ای متمایل به داشتن دبی پالس‌دار[1] هستند. استفاده از طرح دوطرفه، می‌تواند عیب این خاصیت را جبران کند. یک پیستون دو طرفه (شکل ۴–۲۷) یا پمپ پلانجری با یک ضربه، سیال را در هر طرف محفظه تخلیه کرده و به داخل می‌کشد. به دلیل اینکه پمپ دوطرفه با هر ضربه، تخلیه انجام می‌دهد، دبی یکنواخت‌تر نگه داشته می شود. برخی طراحی‌های مهندسی برای رفع مشکل جریان پالسی یا گذرا، ضربه‌گیر[2] تعبیه می‌کنند. ضربه‌گیر باید تغییرات دوره‌ای جریان را بگیرد. ضربه‌گیر یک محفظه کوچک فشاری با یک دیافراگم و بالشتکی از هوا برای خنثی کردن امواج است.

---

[1] Spurting
[2] Pulsation dampener

ب) طراحی دوتایی (داپلکس[1])

پمپ‌های پیستونی و پلانجری تک استوانه‌ای دارای محدودیت شدیدی در ظرفیت می‌باشند. افزودن یک استوانه دیگر این عیب طراحی را برطرف ساخته و ظرفیت جریان را دو برابر می‌کند.



شکل ۴–۲۷: پمپ پیستونی دو طرفه

۴-۱۰- پمپ‌های خلأ

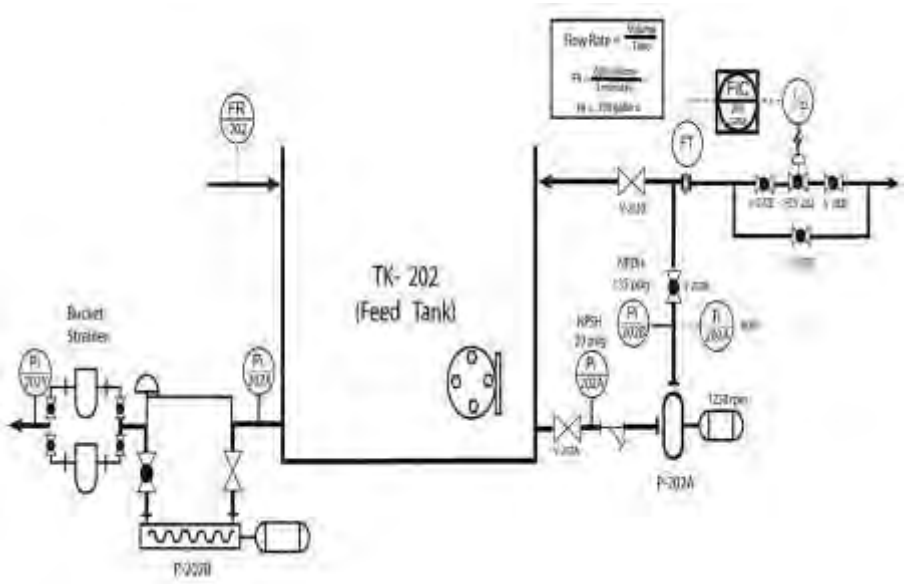
سیستم‌های عملیاتی که نیاز به فشار پایین‌تر از فشار اتمسفر دارند، از پمپ خلأ استفاده می‌نمایند. یک نمونه پمپ خلأ تحت‌عنوان تنوعی از دسته‌بندی‌های رفت و برگشتی، دوار و دینامیک یافت می‌شوند. پمپ‌های خلأ به‌طور گسترده در عملیات تقطیر، سرمایش و خنک‌سازی هوا به کار می‌روند. این پمپ‌ها به سیستم وصل می‌شوند تا با شیلنگ‌ها، لوله‌کشی یا سیستم‌های چندگانه، تهی شوند. این اتصال معمولاً در جایی که مایع حضور ندارد برقرار می‌شود. یک سیستم جداکننده مایع/گاز[2] برای به دام انداختن مایعات قبل از اینکه بتوانند وارد پمپ شوند به کار می‌رود. برخی از پمپ‌های خلأ دارای آب‌بند روغن درون محفظه پمپ می‌باشند. طی فرایند خلأسازی، جریان فرایندی به داخل پمپ هدایت و تخلیه می‌شود. آلاینده‌ها در روغن که ممکن است به تعویض مکرر نیاز دا شته با شد، به دام می‌افتند. علت ا صلی برای توقف پمپ، روغن آلوده ا ست. وقتی پمپ برای اولین بار رو شن می شود، صدای قل‌قل مانندی دارد مانند اینکه گاز و بخارات وارد آن شده ا ست. وقتی پمپاژ کامل شود یک صدای ضربه زدن واضح به گوش می‌رسد. قسمت مکش یک پمپ خلأ باید قبل از خاموش شدن پمپ بسته باشد زیرا روغن خلأ به محفظه پمپاژ داخلی منتقل خواهد

---
[1] Duplex
[2] Knockout system

شد. این مشکل می‌تواند باعث شکست پمپ در روشن شدن بعدی شود. پمپ‌های خلأ ممکن است همچنین به‌عنوان کمپر سور د سته‌بندی شوند زیرا ماده ا صلی برای انتقال در آن‌ها، گاز یا بخارات ا ست. تنوعی از کمپر سورها – نظیر پره‌ای لغز شی، پیستونی، حلقه مایع و گو شواره‌ای- را می‌توان برای کارایی در جایگاه دستگاه‌های خلأ سازگار نمود.

۴-۱۱– راه‌اندازی، خاموشی و رفع مشکلات

اجزاء پایه سیستم‌های هر دو نوع پمپ دینامیک و جابجایی مثبت، عبارت است از یک پمپ، لوله‌کشی، شیرآلات، ابزاردقیق و تجهیزات فرایندی (شکل ۴–۲۸). قلب سیستم، پمپ ا ست. پمپ برای شتاب دادن یا افزودن انرژی به سیال فرایندی به کار می‌رود. در بیشتر سیستم‌های عملیاتی، پمپ یدکی (اضافی) تعبیه می شود تا بدون قطع فرایند، امکان تعمیر و نگهداری پمپ وجود داشته با شد. هر کارخانه، یک د ستورالعمل ا ستاندارد دارد که باید دقیق طی راه‌اندازی و خامو شی پیروی شود. جداول ۴–۱ و ۴–۲ د ستورالعمل‌های راه‌اندازی و خامو شی معمول را شرح می‌دهند. جدول ۴–۳ نقشه رفع شکلات را برای شناسایی و حل ایراد در پمپ‌ها ارائه می‌دهد.



شکل ۴–۲۸: سیستم پمپ ساده

جدول ۴–۱: راه‌اندازی و خاموشی یک پمپ جابجایی مثبت

دستورالعمل	نکات
۱- دستورالعمل عملیات استاندارد تجهیز را مرور کنید.	جهت راه‌اندازی تجهیز، هر واحد دارای دستورالعمل عملیاتی منحصر به خود می‌باشد
۲- سطح روغن محرکه پمپ، ملزومات سردسازی و مشخصات دیگر را بررسی کنید.	به دنبال آسیب ممکن در دستگاه بگردید.
۳- قرارگیری پمپ و سطح تانک‌ها را بررسی نمایید.	شیرها را جهت باز یا بسته بودن شناسایی کنید.
۴- شیرهای مکش را باز کرده و پمپ را پر کنید.	مطمئن شوید که تمام شیرها میان پمپ و تانک باز هستند.
۵- شیرهای تخلیه پمپ را باز کنید.	پمپ‌های PD نباید هرگز در حالت بسته بودن خط تخلیه راه‌اندازی شوند.
۶- قرارگیری پمپ را دوباره بررسی و پمپ را روشن کنید.	
۷- فشارهای مکش و تخلیه و دبی را رصد کنید.	مطمئن شوید که پمپ دارای سطح تانک مکش کافی است.

جدول ۴–۲: راه‌اندازی و خاموشی یک پمپ گریز از مرکز

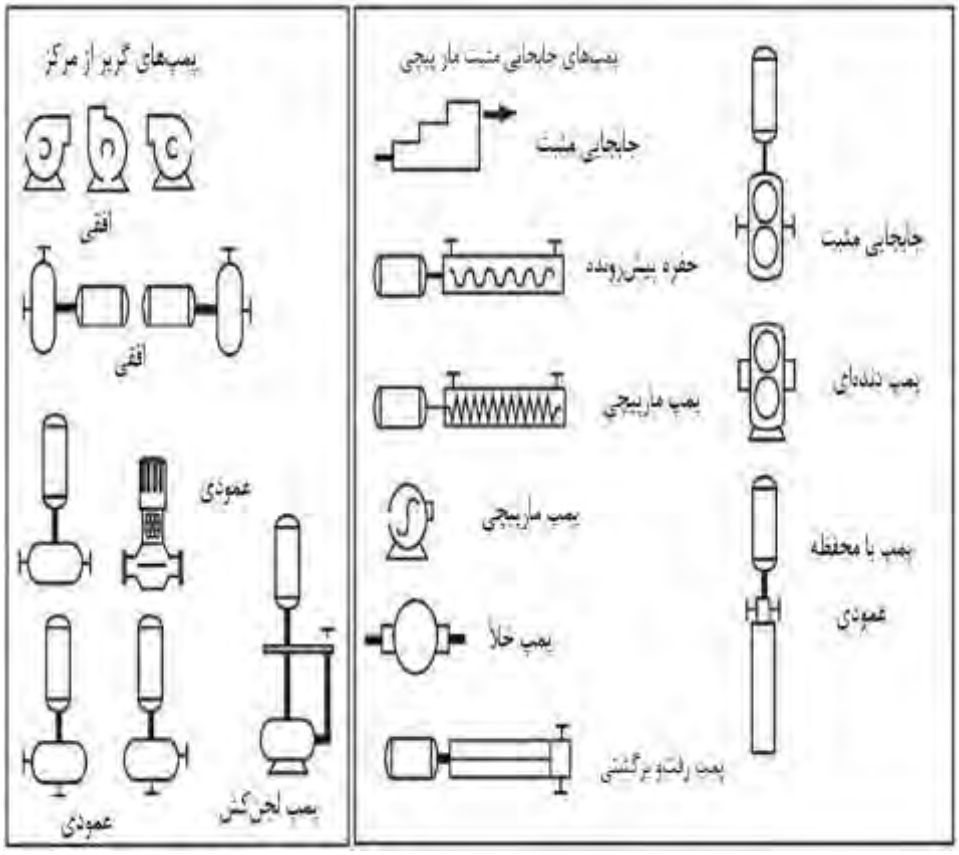
دستورالعمل	نکات
۱- دستورالعمل عملیات استاندارد تجهیز را مرور کنید.	جهت راه‌اندازی تجهیز، هر واحد دارای دستورالعمل عملیاتی منحصر به خود می‌باشد
۲- قرارگیری سیستم‌های کمکی آب‌بندی، سردسازی و شستشو را بررسی کنید.	
۳- پمپ، محرکه و سطح روغن را بررسی کنید.	به دنبال آسیب ممکن در دستگاه بگردید.
۴- قرارگیری پمپ و سطح تانک‌ها را بررسی نمایید.	شیرها را جهت باز یا بسته بودن شناسایی کنید. هد تخلیه و NPSH را تخمین بزنید. به سطح تانک‌ها نگاه کنید.
۵- خط مکش پمپ و شیر تخلیه هوای پمپ را باز کنید تا پمپ از مایع پر شود.	مطمئن شوید که تمام شیرها میان پمپ و تانک باز هستند.
۶- شیر تخلیه پمپ را باز کنید. توجه: اگر پمپ، چندمرحله‌ای است، مطمئن شوید که سیستم جریان حداقل تنظیم شده است.	در برخی حالات، پمپ ممکن است به‌منظور بیرون کردن فعالیت هرز آن به خارج از خط، روشن شود.
۷- قرارگیری پمپ را دوباره بررسی و پمپ را روشن کنید. وقتی عملکرد پمپ، پایدار شد، شیر خط تخلیه را کامل باز کنید.	اگر خط تخلیه، قطع است، شیر تخلیه را تنظیم کنید. اگر پمپ روشن با شرایط قطعی مواجه شود، از مکش پیش افتاده و آسیب می‌بینند.
۸- فشارهای مکش و تخلیه و دبی را رصد کنید.	عملکرد صحیح سیستم روانکاری، یاتاقان‌ها و آب‌بندها را بررسی کنید.

جدول ۴–۳: رفع مشکلات رایج در پمپ‌ها

مشکل	علت ممکن	راه حل
کاویتاسیون پمپ	• دمای مکش بالا • ویسکوزیته • فشار مکش پایین • مانع در خط • اسب بخار بسیار بالا • سرعت بسیار بالا در پمپ • NPSH بسیار بالا • مکش اندک	• کاهش دما • هم زدن تانک مکش • افزایش سطح یا فشار • خاموشی و پاکسازی • کاهش اسب بخار • کاهش RPM • کاهش ملزومات NPSH • افزایش قطر خط مکش
تخلیه پمپ از مایع و گیرکردن بخار	• عدم تخلیه پمپ قبل از راه‌اندازی • پمپ‌های سرعت‌متغیر	• خاموشی و تخلیه • استفاده از یک توربین یا موتور محرکه سرعت‌متغیر
تغییر چگالی ویژه محصول	• ترکیب‌درصد مختلف محصول	• صرف‌نظر کنید، بر ظرفیت پمپ تاثیری نخواهد داشت.
لرزش بیش‌ازحد	• تشنگی مکش • فرسودگی یاتاقان‌ها • تشکیل انباشته‌های گازی • قرارگیری نادرست پمپ • عدم تعادل دوار؛ اغلب تناوبی • خم شدن محور • شلی پیچ‌های فونداسیون • لرزش محرکه • عملکرد بد ابزارها	• کم کردن شیر تخلیه • خاموشی و تعویض • تخلیه پمپ برای امکان استفاده از کل ظرفیت • خاموشی و قرارگیری مجدد • حذف عنصر چرخان و بررسی پروانه؛ اگر مسیرها گرفته باشد، جنس خارجی را بردارید؛ اگر پروانه آسیب‌دیده، پروانه جدیدی باید نصب شود. • خاموشی و تعمیر • محکم کردن پمپ به فونداسیون • قطع اتصالات و بررسی محرکه • قرارگیری و تصحیح
عدم موفقیت در ارسال مایع	• پمپ از مایع پر نیست • چرخش نادرست • عدم پر بودن خط مکش از مایع • وجود هوا یا بخار در خط مکش • NPSH ناکافی • سطح پایین در تانک مکش • بیشتر بودن هد کل لازم از هد کل موجود	• پر کردن پمپ از مایع • برعکس کردن • پر کردن خط مکش • تخلیه • افزایش NPSH • افزایش سطح • افزایش اندازه پمپ

۴–۱۲– نماد پمپ‌ها

هر نوع پمپ با یک نماد می‌تواند مشخص شود. نماد پمپ‌ها در شکل ۴–۲۹ نشان داده شده است.



شکل ۴–۲۹: نماد پمپ‌ها

خلاصه

پمپ‌ها را می‌توان در دو د ستهٔ دینامیک و جابجایی مثبت د سته‌بندی کرد. رایج‌ترین پمپ‌ها، گریز از مرکز و جابجایی مثبت می‌باشـــند. پمپ‌های گریز از مرکز، پمپ‌های دینامیکی هســـتند که از نیروی گریز از مرکز و طراحی حلزونی برای افزودن انرژی یا ســـرعت به ســـیال اســـتفاده می‌کنند. پمپ‌های جابجایی مثبت (PD) حجم معینی از سیال (گاز یا مایع) را با هر ضربه یا چرخش جابجا می‌نمایند. پمپ‌هایPD به گروه‌های دوار و رفت و برگشـــتی تفکیک می‌شـــوند. پمپ‌های دوار، سیالات را با پیچ‌ها، دنده‌ها، پره‌ها یا لوب‌ها جابجا می‌کنند. پمپ‌های رفت و برگشتی سیالات را با ضـــربه ورودی به درون یک محفظه هدایت کرده و با ضـــربه تخلیه آن‌ها را از طریق یک پیســـتون، مکنده یا دیافراگم، به‌صورت مثبت جابجا می‌نمایند.

لغزش داخلی، درصـــد ســـیال نشـــت شـــده یا لغزیده فراتر از لقی‌های داخلی یک پمپ در زمان معین می‌باشد. پمپ‌های گریز از مرکز می‌توانند با لغزش ۱۰۰٪ در زمانی کوتاه (با بسته بودن شیر تخلیه) عمل نمایند. پمپ‌های جابجایی مثبت برای تحمل لغزش (با بسته بودن شیر تخلیه) طراحی نشده‌اند.

در یک پمپ گریز از مرکز، مایعات به درون پروانه‌ها باید هل داده شـــوند (نه اینکه مکیده یا کشیده شوند.) هد مکش عبارتی است که برای توصیف فشار لازم برای راندن مایع به درون پمپ به کار می‌رود. یک پمپ گریز از مرکز باید قبل از فعالیت، پر از مایع باشـــد. هد مکش مثبت خالص (NPSH) اغلب بر اساس فوت مایع محاسبه می‌شود.

کاویتا سیون عبارت ا ست از تشکیل و ازهم‌پا شیدگی انبا شته‌های گازی اطراف پروانه یک پمپ گریز از مرکز. کاویتا سیون زمانی رخ می‌دهد که ف شار مکش زیر NPSH لازم با شد. در این نقطه، مایع تبخیر شده و درون جداره پمپ تشکیل انباشه‌های گازی می‌دهد. با ایجاد و از هم پاشیدن این انباشته‌ها، پمپ می‌تواند آسیب سختی ببیند.

قســـمت تخلیه یک پمپ PD حین عملیات نباید هرگز بســـته باشـــد تا زمانی که پمپ خاموش شود. اگر شیر اطمینان[1] بخش تخلیه عمل نکند، تجهیزات و پرسنل به‌شدت آسیب می‌بینند.

---

[1] Relief valve

سؤالات مروری

۱) هد مکش مثبت خالص (NPSH) را تعریف کنید و توضـــیح دهید چطور بر روی عملکرد پمپ‌های صنعتی اثر می‌گذارد.
۲) عملکرد پمپ جابجایی مثبت را توضیح دهید.
۳) انواع پمپ‌های دوار را بیان کنید.
۴) چگونگی عملکرد پمپ‌های دنده‌ای خارجی و داخلی را توضیح دهید.
۵) پمپ دیافراگمی چگونه عمل می‌کند؟
۶) عملکرد و طراحی پمپ پیستونی را توضیح دهید.
۷) یک پمپ محوری ساده را رسم کنید.
۸) دستورالعمل‌های راه‌اندازی و خاموشی یک پمپ گریز از مرکز را بیان کنید.
۹) ساختار ساده یک پمپ که دارای مخزن، پمپ و لوله‌ی اتصال است را رسم کنید.
۱۰) نماد پمپ مارپیچی و پیش‌رونده را رسم کنید.
۱۱) توضـــیح دهید که چگونه تغییر در NPSH بر روی عملکرد پمپ گریز از مرکز اثر می‌گذارد.

فصل پنجم
کمپرسورها

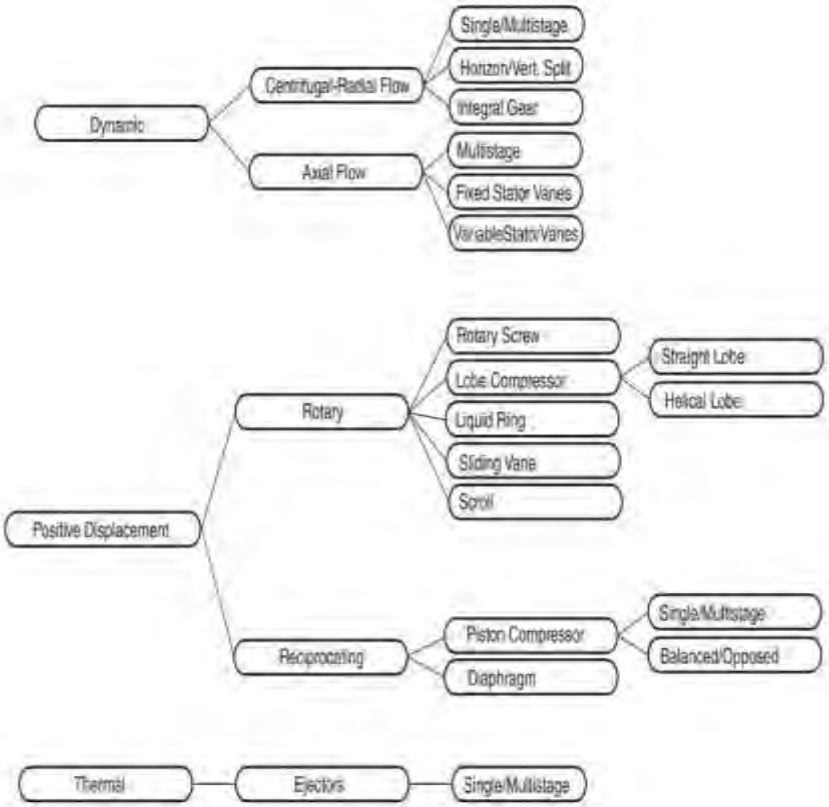
اهداف

پس از مطالعه این فصل دانشجو قادر است:

- اصول فشرده‌سازی را توضیح دهد.
- نحوهٔ عملکرد کمپرسورهای سانتریفیوژ را توضیح دهد.
- نحوهٔ عملکرد کمپرسورهای جریان محوری را توضیح دهد.
- کمپرسورهای جابهجایی مثبت و سانتریفیوژ را تعریف و توصیف نماید.
- اجزای اصلی یک کمپرسور مارپیچی را معرفی کند.
- شیوه عملکرد و اجزای اصلی کمپرسورهای پره‌ای لغزان را توضیح دهد.
- شیوهٔ عملکرد کمپرسورهای لوب را توضیح دهد.
- شیوه‌ی عملکرد کمپرسورهای حلقه روغنی را توضیح دهد.
- اصول علمی در ارتباط با کمپرسورهای رفت و برگشتی را توضیح دهد.
- اجزای اصلی یک سیستم کمپرسور را توضیح دهد.
- یک کمپرسور جابه‌جایی مثبت را راه‌اندازی و خاموش کند.
- یک کمپرسور دینامیکی را راه‌اندازی و خاموش کند.

۵-۱-طبقه‌بندی و کاربردهای کمپرسورها

فشـرده کردن گازها و بخارها در صـنعت فرایندی بسـیار با اهمیت اسـت. کمپرسـورها کاربردهای مختلفی دارند. در یک واحد پلا ستیک سازی مدرن، از کمپر سورها برای انتقال پودرهای ریزدانه و پلت‌های کوچک پلاسـتیکی از جایی به‌جای دیگر اسـتفاده می‌شـود. در کارخانه‌های گاز طبیعی از کمپر سورها برای ایجاد فشارهای مناسب در گازها استفاده می شود. همچنین کمپر سورها هوای تمیز و خشـک را برای ابزارها و ادوات کنترلی فراهم می‌کنند. در یک پالایشـگاه و یا کارخانه شیمیایی کمپر سورها برای فشرده سازی گازهایی مثل هیدروکربن‌های سبک، نیتروژن، هیدروژن، کربن دی‌اکسـید و کلرین به کار گرفته می‌شـوند. این گازها به‌منظور کابردهای مختلف به مراحل بعدی فرستاده می‌شوند.



شکل ۵-۱: کمپرسورها

کمپرسورها در سه نوع عمده طراحی می‌شوند. (شکل ۵–۱): دینامیکی، جابجایی مثبت و حرارتی.

- کمپر سورهای دینامیکی شامل جریان گریز از مرکز یا سانتریفیوژی (جریان شعاعی) و محوری (خط مستقیم)
- کمپرسورهای جابجایی مثبت شامل کمپرسورهای روتاری و رفت و برگشتی می‌شوند.
- کمپرسورهای دینامیکی کشیدن هوا را به‌صورت محوری و خروج آن همراه با چرخش (گریز از مرکز) و یا در یک خط مستقیم (جریان محوری) عمل می‌کنند.
- کمپرسورهای جابجایی مثبت گاز را در حجم کوچکتری فشرده و آن را با فشارهای بالاتر تخلیه می‌کنند.
- کمپرسورهای حرارتی برای هدایت گاز یا بخاری که سرعت‌بالایی دارد، از اجکتور استفاده می‌کنند، به‌طوری که گاز را دریافت و سپس تو سط یک مجموعهٔ دیفیوزر (پخش‌کننده) سرعت را به فشار تبدیل می‌کنند.

این فصل عمدتاً بر روی کمپرسورهای دینامیکی و جابجایی مثبت تمرکز دارد.

کمپرسور قسمتی از یک سیستم به مراتب بزرگ‌تر است. پایداری این سیستم در مقابل جریان‌ها، عملکرد کمپرسور را تعیین می‌کند. گاه مشکلات کوچکی برای سیستم کمپرسورها ایجاد می شود. این مشکلات معمولاً بر اثر کثیف شدن، اشکال در تنظیمات، وجود مایع در سیستم و یا بی تجربگی در به‌کارگیری سیستم اتفاق می‌افتند. متخصصان فنی با تجربه قادر هستند با تنظیم مناسب، تمیز کردن تجهیزات، تعویض یک قطعه جزیی و یا حذف شرایط نامساعد، به‌سرعت مشکل را حل کنند.

اصول فشرده‌سازی شامل موارد زیر است:

- گازها و بخارها قابل فشرده‌سازی هستند.
- فشرده‌سازی با کاهش حجم همراه است.
- فشرده‌سازی مولکول‌های گاز را به هم نزدیکتر می‌کند.
- گازهای فشرده‌شده، زمانی که آزاد شوند به حالت پیشین خود بازمی‌گردند.
- گازهای فشرده‌شده، به دلیل اصطکاک بین مولکول‌ها تولید گرما می‌کنند.
- هرچه حجم کمتر باشد، فشار بیشتر است.
- فشار= حجم/نیرو
- حجم گاز با دما و فشار تغییر می‌کند.
- مایعات و جامدات قابلیت فشرده شدن ندارند (مگر تحت‌فشارهای بسیار بالا).

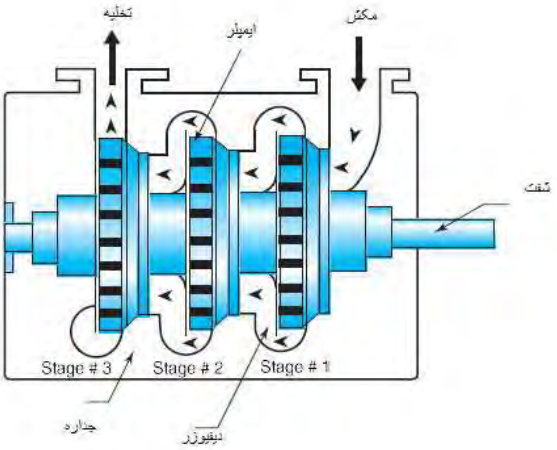
۵– ۲– کمپرسورهای دینامیکی

کمپرســـورهای دینامیکی می‌توانند با جریان محوری و یا گریز از مرکز باشـــند. هر دو نوع با تغییر سرعت گاز و تبدیل انرژی به فشار عمل می‌کنند.

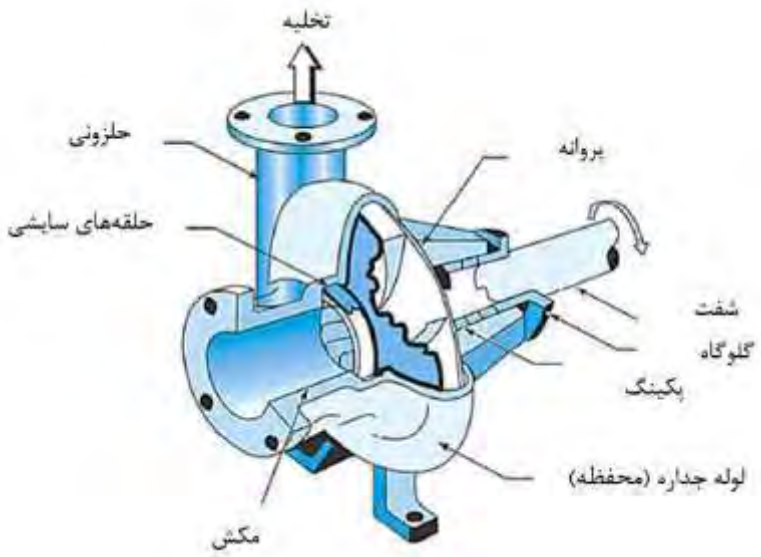
۵–۲–۱– کمپرسورهای گریز از مرکز

در طی عملیات، گاز ق سمت ورودی مکش وارد کمپر سور شده، تو سط پروانه ها (ایمپلرها) شتاب شـعاعی پیدا می‌کنند (شـکل‌های ۵–۲ و ۵–۳). کمپرسـورهای گریز از مرکز یک عنصـر متحرک دارند، میل‌گاردان و پروانه. در یک کمپرسـور سـانتریفیوژ، گاز پروانه وارد محفظهٔ دایره ای شـکل و باریکی به نام پخش‌کننده می شود. این ف ضای باریک کاملاً پروانه‌ها را احاطه کرده ا ست. زمانی که فشار در پروانه‌ایجاد می‌شود، سرعت گاز در بخش پخش‌کننده در یک حلقه شتابدار می‌شود. زمانی که گاز با سرعت زیاد در پخش‌کننده و به سمت حلقه حرکت می‌کند، با پایین آمدن سرعت گاز در حلقه انرژی سینتیکی قبل از خروج گاز، به فشار تبدیل می‌شود.

به دلیل اینکه عملکرد کمپر سور وابـسته به میزان ف شرده شوندگی (قابلیت ف شرده سازی) گاز جاری در آن می‌باشـد، کمپرسـورهای گریز از مرکز نسـبت به کمپرسـورهای متقابل حسـاسـیت بیشـتری به دانسـیته و خصـوصـیات سـیال دارند. اکثر کمپرسـورهای گریز از مرکز برای عمل در سرعت‌های بالای ۳۰۰۰ rpm طراحی شده‌اند. پیشرفت‌های اخیر تکنولوژی ساخت کمپر سورهای گریز از مرکز باقابلیت عملکرد در سرعت‌های بیش از ۴۰۰۰۰ rpm را ممکن ساخته است.



شکل ۵–۲: کمپرسور سانتریفیوژ چندمرحله‌ای



شکل ۵–۳: کمپرسور سانتریفیوژ

کمپر سورهای گریز از مرکز می‌توانند یک مرحله‌ای یا چندمرحله‌ای با شند. کمپر سورهای یک مرحله‌ای (شکل ۵–۴) گاز را یک بار فشرده می‌کنند، درحالی‌که در کمپرسورهای چندمرحله‌ای خروجی یک مرحله به مکش مرحله بعد می‌رود. کمپر سورهای یک مرحله‌ای برای جریانات گازی با دبی بالا و فشارهای خروجی پایین طراحی شده‌اند. کمپرسورهای چندمرحله‌ای برای جریانات گازی با دبی بالا و فشارهای خروجی بالا طراحی شده‌اند. از کمپرسورهای گریز از مرکز همچنین به‌منظور انتقال گازهای تولیدی مرطوبی که به کمپرسورهای جابجایی مثبت صدمه میزنند، استفاده می‌شود.

شکل ۵–۴: کمپرسور سانتریفیوژ یک مرحله‌ای

نسبت فشرده سازی را به صورت نسبت فشار گاز خروجی به فشار گاز ورودی مکش (psia) تعریف می‌کنند. فشار تخلیه‌ی گاز بسیار بالاست، بیش از ۱۰۰ برابر فشار ورودی. زمانی که یک گاز فشرده می شود، دمای آن بالا می‌رود، اگر این عمل ۱۰۰ برابر شدن فشار گاز در یک مرحله اتفاق بیفتد، دمای گاز بسیار بسیار بالا خواهد رفت. به این منظور، کمپر سورهای چندمرحله‌ای با امکان سرد شدن بین مراحل، برای ایجاد فشارهای بالا استفاده می‌شوند. معمولاً نسبت فشرده‌سازی، با در نظر گرفتن نسبت فشرده‌سازی یکسان در هر مرحله، در محدوده ۳ تا ۴ است. برای مثال اگر فشار خروجی مورد انتظار ۱۵۰۰psia باشد، یک کمپرسور ۴ مرحله‌ای با نسبت فشرده‌سازی ۳٫۲ در هر مرحله استفاده می شود. فشار در خروجی هر مرحله به این شکل خواهد بود: اول: ۴۷ psia، دوم: ۱۵۰/۵ psia، سوم: ۴۸۱/۷ psia و چهارم: ۱۵۴۱/۴ psia.

محاسبات ساده استفاده‌شده برای محاسبه افزایش فشار در مراحل به شکل زیر است:

Stage One	14.7 psia	×	3.2	=	47.04 psia
Stage Two	47.04 psia	×	3.2	=	150.528 psia
Stage Three	150.528 psia	×	3.2	=	481.689 psia
Stage Four	481.689 psia	×	3.2	=	1541.407 psia

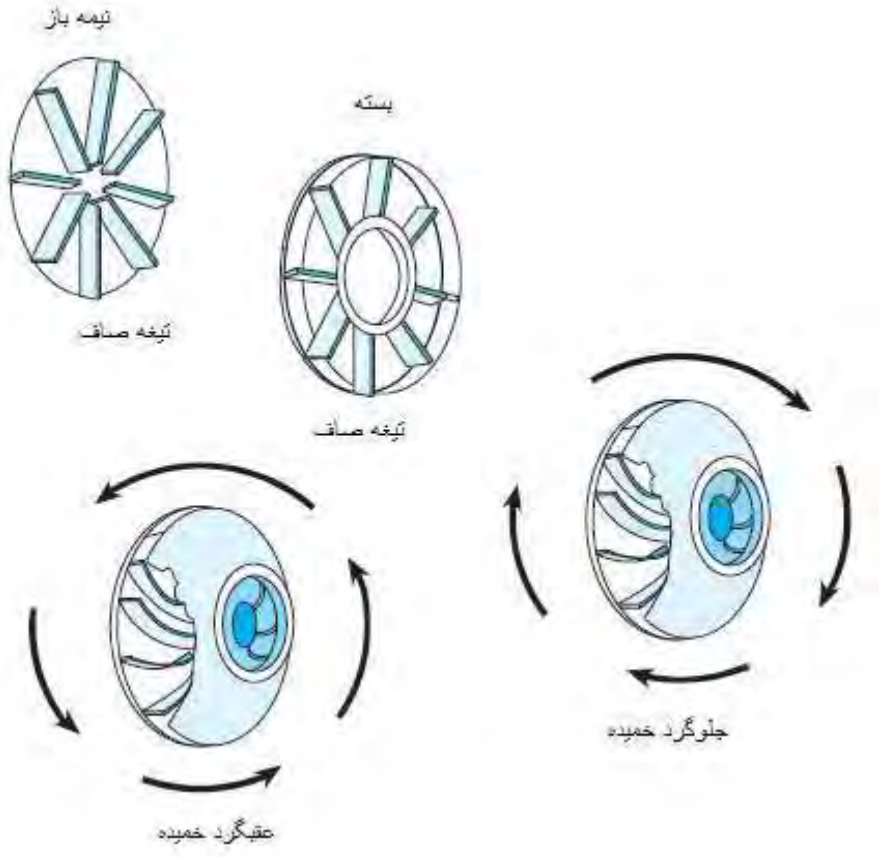
اجزای اصلی یک کمپرسور سانتریفیوژ در شکل ۵–۲ نشان داده شده است. آن بخش پره پروانه که قبل از همه با گاز تماس می‌یابد، نوک پره مکش نامیده می‌شود. آن بخش از پره پروانه که در آخر با گاز تماس می‌یابد پره تخلیه نامیده می‌شود. محرک در اینجا یک موتور را توربین است.

انواع اصلی پروانه‌های استفاده شده در کمپر سورهای گریز از مرکز شامل پروانه باز پره عقب، پروانه باز پره شعاعی و پروانه بسته پره عقب هستند. شکل ۵–۵ طراحی مختلف پروانه ها را نشان می‌دهد.

کمپر سورهای گریز از مرکز را زحمتکشان صنعت فرایندهای شیمیایی می‌دانند. از آن‌ها، بیش از انواع دیگر استفاده می‌شود زیرا هزینه نصب ابتدایی بسیار پایین، قابلیت نصب آسان لوله‌ها، عملگرهای قابل تغییر، ظرفیت های حجمی بالای هر واحد و طول عمر بالایی دارند. علاوه بر این، قادر هستنند دبی‌های بسیار بالاتری را نسبت به کمپرسورهای جا به‌جایی مثبت پشتیبانی کنند.

۵–۲–۲– کمپرسورهای جریان محوری

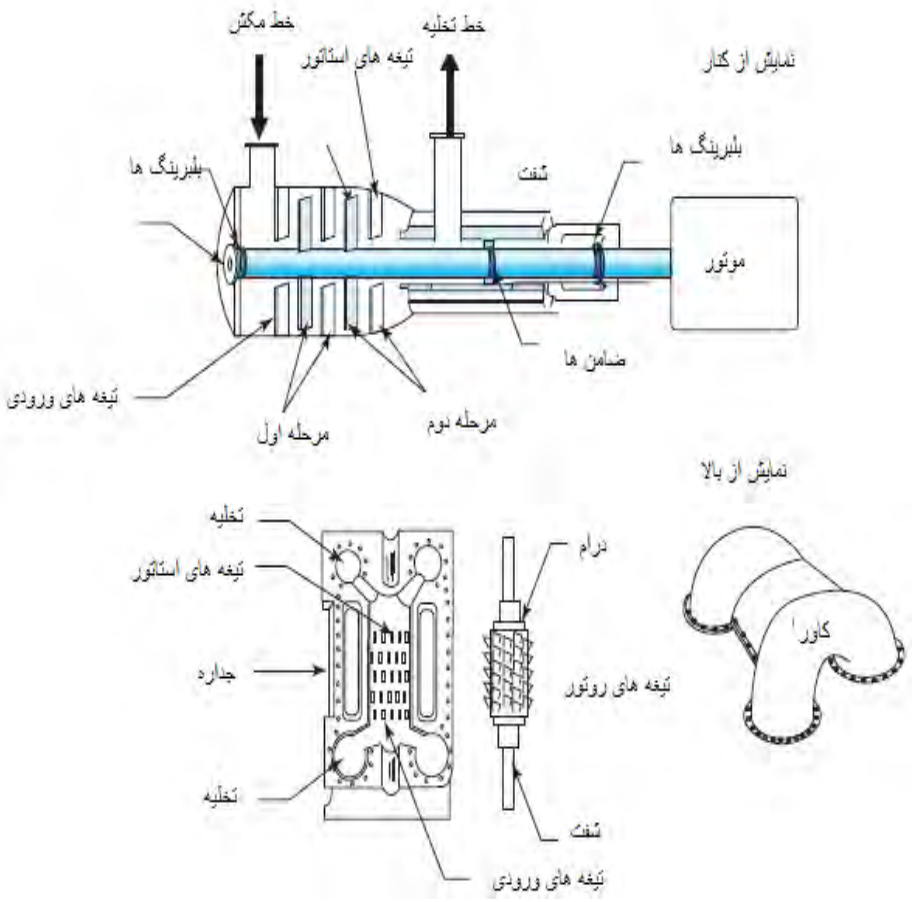
در محیط صنعتی، کمپرسورهای محوری در کارهایی استفده می‌شوند که بالاترین دبی‌ها و فشارها موردنیاز هستند. برخلاف کپر سورهای گریز از مرکز، کمپر سورهای محوری از نیروی گریز از مرکز برای افزایش سرعت گاز استفاده نمی‌کنند. یک کمپر سور جریان محوری از یک دوار که دارای پره است (شکل ۵–۶) تشکیل می شود. جریان هوا در طول محور حرکت دارد. پره‌های چرخان متصل به یک محور، گازها را به سوی پره‌های ثابتی به نام ایستانه هدایت می‌کنند. ایستانه‌ها متصل و یا چسبیده به دیواره هستند. زمانی که پره‌های چرخان سرعت گاز را افزایش می‌دهند، پره‌های ایستانه سرعت آن را کم می‌کنند. وقتی سرعت گاز پایین می‌آید، انرژی سینتیکی به شکل فشار آزاد می‌شود. در طی مسیر تا قسمت تخلیه، سرعت گاز با عبور از هر مرحله بیشتر می‌شود. کمپرسورهای محوری چندمرحله‌ای قادرند دبی‌ها و فشارهای خروجی بسیار بالایی تولید کنند.



شکل ۵–۵: انواع پروانه

به‌عنوان یک قاعدهٔ عمومی برای یک عملیات یکسان، تعداد مراحل موردنیاز یک کمپرسور محوری دو برابر مراحل موردنیاز یک کمپرسور سانتریفیوژ است. اگرچه کمپرسورهای محوری ۸ تا ۱۰ درصد بازدهی بیشتری دارند. کمپرسورهای محوری به دلیل مسائل دما و تجهیزات حداکثر می‌توانند ۱۶ مرحله داشته باشند. این کمپرسورها عمدتاً با کمپرسورهای سانتریفیوژ در یک جریان سری قرار می‌گیرند، به این دلیل که آن‌ها قدرت عمل در ظرفیت های بالاتری را دارند. استفادهٔ عمدهٔ کمپر سورهای محوری مربوط به انتقال گازهای پاک (تمیز) مانند هوا می شود. اجزای داخلی کمپرسور محوری بسیار به خوردگی، ته‌نشینی مواد و ایجاد حفره حساس هستند.

پره‌های ایستانه در کمپرسور محوری می‌توانند ثابت، قابل تنظیم به‌صورت تک تک و یا پیوسته متغیر باشند. پره‌های ایستانه قابل تنظیم را می‌توان از بیرون پوسته نیز تنظیم نمود. پره‌های متغیر را با یک حلقهٔ محرک متصل به یک میل‌گاردان که به‌طور خودکار توسط یک سیلندر حرکت می‌کند، تنظیم می‌کنند.



شکل ۵–۶: کمپرسور جریان محوری

برخلاف کمپرسورهای گریز از مرکز، کمپرسورهای محوری توسط یک حرکت مستقیم و صاف و بدون تغییرات درهم در جهت، گاز را فشرده می‌سازند. کمپرسورهای محوری سبک‌تر، پربازده تر و کوچک‌تر از سانتریفیوژها هستند. یک کمپر سور محوری ۲۳۰۰۰ اسب بخاری بازدهی معادل با یک گریز از مرکز ۲۵۵۰۰ اسب بخاری تولید می‌کند؛ اما با اینحال، کمپرسورهای محوری به اندازه‌ی کمپرسورهای گریز از مرکز و متقابل رایج نیستند. یک استفاده‌ی اصلی کمپرسورهای محوری در توربین گازی است.

۵–۴– فن‌ها و دمنده‌ها

دمنده‌ها و فن‌ها ابزارهای ساده‌ای هستند که مانند کمپرسورها طبقه‌بندی می‌شوند. دو طرح سادهٔ آن‌ها محوری و سانتریفیوژ هستند. بیشتر دمنده‌ها و فن‌ها تک مرحله‌ای هستند که برای کاربرد خاصی طراحی شده‌اند. از دمنده‌های سانتریفیوژ تک مرحله‌ای برای سیستم هوای فشار پایین، واحدهای سرمایش، راندن برگ ها، سیستم‌های تهویه و یا هود آزمایشگاه‌ها استفاده می شود. از فن‌ها می‌توان برای هدایت جریان هوا به داخل یا خارج تجهیزات صنعتی مانند برج‌های خنک‌کننده، شعله ها، بویلرها، کوره‌ها، سیستم‌های HVAC (گرمایش، سرمایش و تهویه)، یا مبدل‌های حرارتی خنک شده توسط هوا و یا به‌منظور تهویه فضاهای محدود استفاده نمود.

فن‌ها را می‌توان در دسته‌های گریز از مرکز، پروانه‌ای، لوله محوری و یا پره محوری طبقه‌بندی نمود. فن‌های سانتریفیوژ برای انتقال گاز در حالت‌های مختلف طراحی شده‌اند. فن‌های پروانه‌ای از یک پروانه و یک موتور بر روی حلقه تشکیل می‌شوند. این فن اساساً برای محدوده حجم های مختلف در فشارهای پایین و برای جابه‌جایی هوا از یک محیط بسته به محیط بسته‌ی دیگر طراحی شده است. فن‌های لوله محوری مستقیماً درون سیلندر لوله نصب می‌گردند و برای انتقال هوا و گاز در فشارهای متوسط طراحی شده‌اند. فن پره محوری نیز شبیه به لوله محوری است. موتور و فن مستقیماً درون لوله قرار می‌گیرند. مجموعه‌ای از پره‌ها به هدایت هوا در محدوده‌ی وسیعی از فشارها و حجم های مختلف کمک می‌کنند. هرکدام از این ۴ فن می‌توانند مستقیم یا با تسمه کار کنند.

۵–۵– کمپرسورهای جابه‌جایی مثبت

کمپرسورهای جابه‌جایی مثبت با محاصرهٔ میزان به‌خصوصی هوا و کمتر نمودن حجم آن عمل می‌کنند. آن‌ها به‌صورت روتاری و رفت و برگشتی طبقه‌بندی می‌شوند. همچنین کمپرسورهای روتاری خود به اسکرو، پره‌ای لغزان، گوشواره‌ای، یا حلقه روغنی تقسیم‌بندی می‌شوند. کمپرسورهای رفت و برگشتی نیز شامل پیستونی و دیافراگمی هستند.

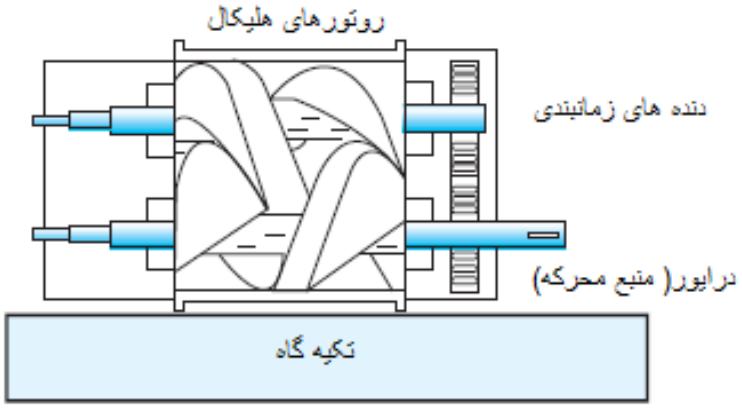
کمپرسورهای جابه‌جایی مثبت در هر چرخش، مقداری از حجم گاز را می کاهند. در سیستم‌هایی که دانسیتهٔ سیال و فشارهای مکش مختلف هستند، سیستم با ایجاد تغییرات مثبت باعث پایداری سیستم می‌شود. کمپرسورهای روتاری می‌توانند فشارهای ۱۰۰ تا ۱۳۰psia را ایجاد کنند. کمپرسورهای رفت و برگشتی فشار تخلیه‌ای در محدوده ۰ تا ۳۰۰۰۰psig را دارند.

۵–۶– کمپرسورهای روتاری

کمپرسورهای روتاری نامشان را از حرکت چرخشی عنصر اصلی انتقال می‌گیرند. ای این‌که می‌توانستیم کمپرسورهای سانتریفیوژ را نیز روتاری بنامیم ولی باید به این نکته توجه کرد که کمپر سورهای سانتریفیوژ می‌چرخند، اما گاز را به‌طور مثبت جابه‌جا و فشرده نمی‌کنند. در مقابل، عناصر دوار یک کمپرسور روتاری در هر چرخش، یک حجم ثابت سیال گیر افتاده بین پره و جداره‌های ثابت جابه‌جا می‌کنند.

۵–۶–۱– کمپرسورهای روتاری اسکرو

کمپرسورهای روتاری اسکرو یا مارپیچ عمدتاً در صنعت مورداستفاده قرار می‌گیرند. این کمپرسورها شباهت زیادی به کمپرسورهای گوشواره‌ای دارد و با دو دوار مارپیچ که به‌طرف همدیگر می‌چرخند و باعث مشبک شدن دندانه‌ها می‌شوند (شکل ۵–۷). زمانی که دوار سمت چپ ساعتگرد می‌چرخد، دوار سمت راست پادساعتگرد می‌چرخد که با اینکار گاز در حفره‌ی مرکزی محاصره می‌شود. کمپرسورهای روتاری اسکرو با یک خط مکش و یک درگاه خروجی طراحی می‌شوند. دو دوار به یک میل‌گاردان، دنده‌های زمانبندی و یک منبع محرکه که انرژی عملیات را فراهم می‌کند متصل هستند.



شکل ۵–۷: کمپرسور روتاری اسکرو

در این حالت، جریان وارد مجموعه شده و در راستای محور به سمت درگاه تخلیه می‌رود. قسمت اعظم فشرده سازی در نزدیکی خروجی کمپر سور انجام می شود. عناصر متحرک کمپر سور روتاری اسکرو با یکدیگر و دیواره تماس ندارند. مجموعه‌ای از چرخ‌دنده‌ها انرژی دوار متصل به برق

را به دوار دیگر (جایگزین) منتقل می‌کند. به دلیل این شیوهٔ طراحی است که عناصر گردان نیازی به روغن‌کاری ندارند که این موضـــوع از آن‌ها انتخابی فوق‌العاده برای ســـرویس گازهای خشـــک می‌سازد. به دلیل نوسانات بخش‌های متحرک، در حین عملیات کمی لغزش در داخل وجود دارد.

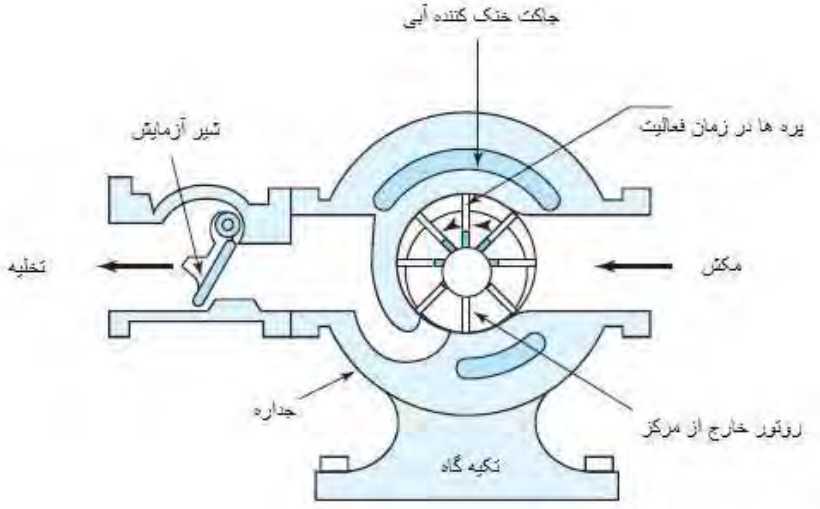
کمپر سورهای روتاری اسکرو در سرعت‌های محدودهٔ بین ۱۷۵۰ تا ۳۶۰۰ دور بر دقیقه (rpm) عمل می‌کنند و ظرفیت ورودی بیش از ۱۲۰۰۰cfm (فوت مکعب در دقیقه) و فشـــار تخلیه‌ای در محدوده‌ی ۳ تا ۲۰psig دارند. برخی واحدهای روتاری اسکرو قادرند در محدوده‌ی ۶۰ تا ۱۰۰psig عمل کنند. دیگر ویژگی کمپر سورهای روتاری اسکرو، قابلیت استفاده از آن به‌عنوان یک ابزار خلا است. این سیستم برای مهار کردن ۵۰۰ تا ۱۰۰۰۰cfm در قسمت مکش و برای کشیدن خلأ ۵ تا ۲۵ اینچ جیوه طراحی شده است.

۵–۶–۲– کمپرسورهای پره لغزان

کمپر سورهای پره لغزان برای فشرده سازی گازها از یک دوار کوچک خارج از مرکز و پره‌های لغزان استفاده می‌کنند. اجزای اصلی یک کمپرسور پره لغزان در شکل ۵–۸ نشان داده شده است. درگاه ورودی گاز به‌گونه‌ای تعبیه شـــده اســـت که گاز در زمانی که پره‌ها کاملاً باز هســـتند و محفظه در بزرگترین حالت خود قرار دارد به آن‌ها وارد می‌شود. زمانی که پره‌ها به سمت درگاه تخلیه می‌روند، گاز فشرده می‌شود.

بدنه‌ی کمپرســـور از جنس چدن یا فولاد ســـاخته می‌شـــود. مجموعه‌ای از جاکت های برج خنک‌کننده آبی در طراحی ابتدایی به کار برده می‌شود و مورد آزمایش نشتی قرار می‌گیرند. دوار و محور نیز از جنس فولاد محکم هســـتند. دوار با دقت بســـیار بالا و با وجود شـــیارهایی در اطرافش ساخته می‌شود. پره‌ها از رزین اسبتوس – فنولی، فلز و یا از فلز با تحمل دمای بالا و طول عمر زیاد تشکیل می شوند. کمپر سورهای پره‌ای نیاز به روغن‌کاری میان پره‌ها و سطح تماس دارند. روغن از محل درگاه ورودی به داخل کمپرســـور تزریق می‌شـــود. این روند به کاهش لغزش داخلی کمک می‌کند و درزگیری را کارامدتر می‌سازد. اساساً کمپر سورهای پره‌ای، سیستم‌های بدون جهش (بی حرکت) هستند.

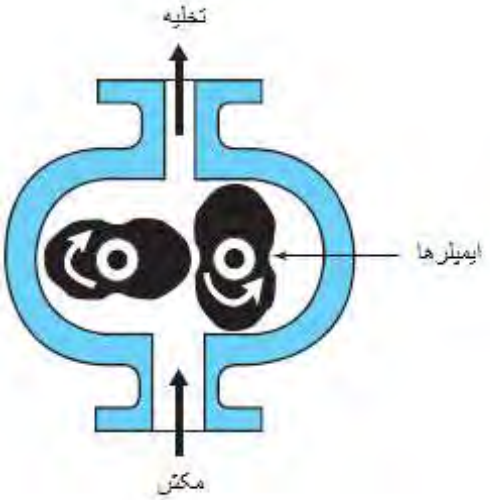
زمانی که گاز وارد کمپر سور پره لغزان می شود، تو سط پره‌ها محا صره و در طول جداره جریان می‌یابد و محفظه را پر می‌کند. هم‌زمان با اینکه پره‌ها به ســـمت تخلیه می‌چرخند، به دلیل موقعیت خارج از مرکز دوار طول پره کوتاه‌تر می‌شـــود و حجم کاهش می‌یابد. با کاهش حجم، فشـــار افزایش می‌یابد تا جاییکه بیشینه فشار حاصل شود. در این نقطه، گاز کمپر سور خارج می شود. این نوع کمپرسورها از شیرهای تخلیه یا مکش استفاده نمی‌کنند، به این دلیل که با مکانیزم تخلیه بر اساس فشار سیستم طراحی شده‌اند.



شکل ۵-۸: کمپرسور پره لغزان

۵–۶–۳– کمپرسورهای گوشواره‌ای

خصیصهٔ مهم کمپرسورهای گوشواره‌ای یا لوب وجود دو پروانه لوبیایی شکل است که برای محاصره و انتقال گاز موردا ستفاده قرار می‌گیرند (شکل ۵–۹). فا صله نزدیک میان جداره و پروانه‌ها تو سط مجموعه‌ای از چرخدنده‌ها برقرار می‌شود. در طی عملیات، هم‌زمان با اینکه لوب‌ها به سمت قسمت مکش می‌روند، این دو پروانه در جهت‌های مخالف و بر روی محورهای موازی که به آن‌ها متصل شده ا ست می‌چرخند. دو محور مذکور یکی میل‌گاردان و دیگری به آن مت صل ا ست. میل‌گاردان توسط چرخدنده‌ها محور دیگر را وادار به چرخش می‌کند. دنده‌ها و بلبرینگ‌ها خارج از کمپرسور قرار می‌گیرند. گازهای فشرده‌شده از بخش تخلیه خارج می‌شوند.



شکل ۵–۹: کمپرسور گوشواره‌ای

لوب‌های داخلی در کمپرسور گوشواره‌ای روتاری به‌گونه‌ای طراحی می‌شوند که با یکدیگر تماس نداشته باشند. فاصله‌ای در حدود چند هزارم اینچ بین لوب ها و جداره وجود دارد. فاصله های طراحی شدهٔ لوب‌های داخلی کمپرسور گوشواره‌ای روتاری کمی فضا برای لغزش باقی می‌گذارند. این لغزش زمانی بدتر می‌شود که گازهایی با دانسیتهٔ پایین و فشار خروجی بالا درون کمپرسور جریان داشته باشند. لغزش در فرایند تنها زمانی ثابت است که فشار سیستم ثابت باشد.

کمپرسورهای گوشواره‌ای به‌گونه‌ای طراحی می‌شوند که فشارهای تخلیه‌ی حجم ثابت و درایورهایی با سرعت ثابت داشته باشند. کمپرسورهای گوشواره‌ای شیر مکش و تخلیه ندارند، زیرا برای عمل در فشار خاصی تعبیه نشده‌اند. فشار تخلیه توسط فشار فرایندی سیتم تعیین می‌شود.

از کمپرسورهای گوشواره‌ای می‌توان برای گازهای خشک استفاده نمود. چرخش لوب‌ها می‌تواند به بالا یا پایین باشد، به این معنا که بخش تخلیه می‌تواند در بالا یا پایین واحد قرار بگیرد. در کارکرد خشک، چرخش به سمت بالا ترجیح داده می‌شود. در کارکرد با گاز مرطوب، چرخش به سمت پایین توصیه می‌شود تا هر میزان میعان یافته‌ای که وجود دارد بتواند فرار کند. از کمپرسورهای لوب می‌توان هم به‌عنوان کمپرسور و هم پمپ خلأ استفاده نمود.

۵–۶–۴– کمپرسورهای حلقه روغنی

یکی از طرح‌های بسیار غیر معمول کمپر سور، نوع حلقه روغنی است. این کمپر سور عمل چرخش گریز از مرکز سیال را با یک عمل روتاری جابه‌جایی مثبت ترکیب می‌کند. کمپرسور حلقه روغنی یک عنصر انتقال و یک جداره دارد که با آب یا یک مایع شناور پر شده است (شکل ۵–۱۰).

با چرخش دوار مایع به‌طور گریز از مرکز به سمت قسمت خارجی جدارهٔ بیضوی رانده می شود. در مرکز جداره کیسه‌ای از هوا تشکیل می شود. با چرخش کمپر سور حلقه روغنی درصد کمی از مایع درون آن از طریق بخش تخلیه خارج می‌شود. این آب یا مایع دیگر در حین عملیات به درون کمپر سور تزریق می شود. این واسطهٔ مایع به خنک شدن گاز فشرده شده کمک می‌کند. خارج از مرکز بودن دوار یک خمیدگی در کیسهٔ هوایی ایجاد می‌کند. قسمت‌های مکش و تخلیه نیز روی دوار قرار دارند. بخش‌های ورودی بسیار بزرگتر از بخش‌های خروجی هستند. با چرخش پره‌ها، گازها درون کیسه‌ی هوای حلقوی (پیچیده) فشرده می‌شوند.

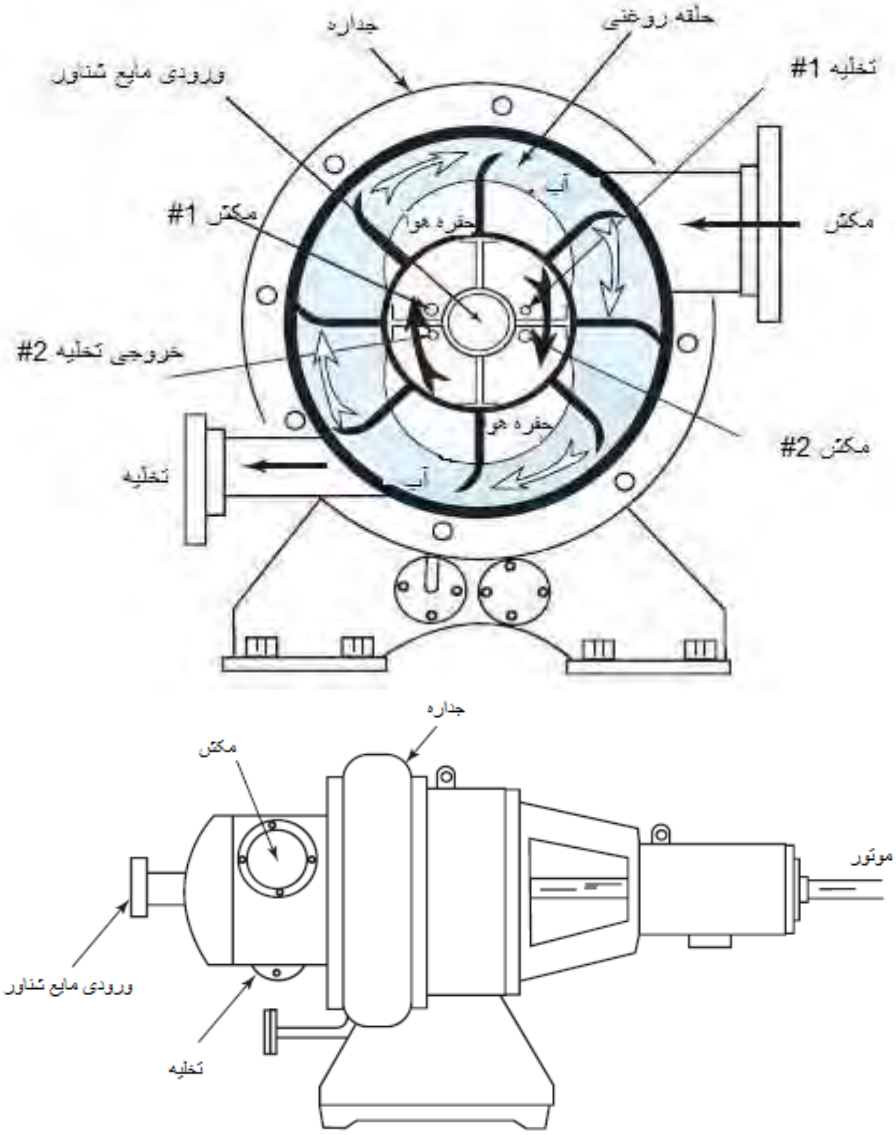
کمپرسورهای حلقه روغنی را می‌توان در کاربردهای زیر مورداستفاده قرار داد:

- گازهای پرخطر
- گازهای سمی
- گازها و بخارات داغ
- خلأ ۲۷ تا ۲۹ اینچ جیوه
- جریان غیر جهنده
- جت چگالنده و سطح
- گازهای غیر نفتی (غیر روغنی)

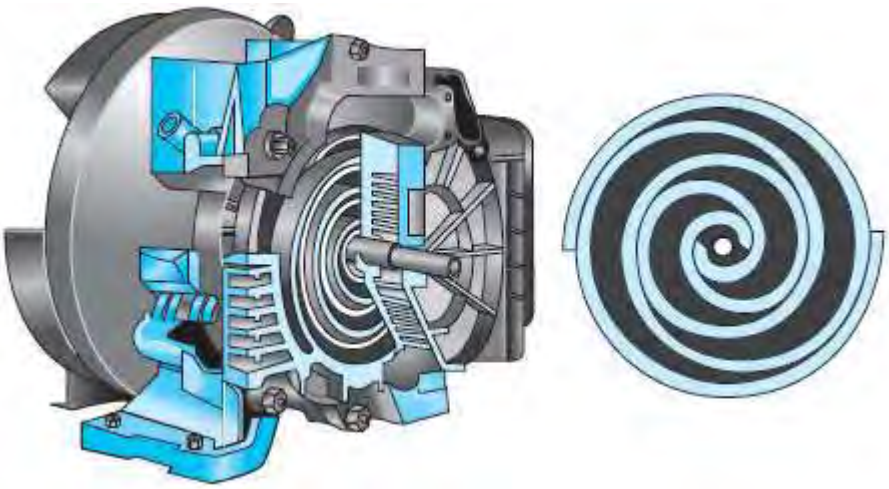
۵–۶–۵– کمپرسورهای اسکرول[1]

یک کمپرسور اسکرول (شکل ۵–۱۱ را ببینید) دارای دو پرهٔ تو در توی مارپیچی است و برای فشرده‌سازی سیالات به کمترین حجم ممکن طراحی شده است. کمپر سورهای اسکرول به صورت بی‌صدا و نرم و در حجم های کوچکتر با محاصرهٔ سیال میان پره‌ها کار می‌کنند. در بسیاری موارد یک اسکرول ثابت است و دیگری به‌طور مرکز گریز، دایره وار حرکت می‌کند، بدون اینکه بچرخد.

[1] Scroll



شکل ۵–۱۰: کمپرسور حلقه روغنی



شکل ۵–۱۱: کمپرسور اسکرول

۵–۶–۶– کمپرسورهای رفت و برگشتی پیستونی

نشانهٔ بارز این نوع کمپرسور، حرکت رفت و برگشتی در آنهاست. کمپرسورهای رفت و برگشتی به پیستونی و دیافراگمی تقسیم می‌گردند. کمپرسورهای دیافراگمی از یک دیافراگم با نیروی محرکه‌ی آب استفاده می‌کنند که جابه‌جا یا خم می‌شود تا جابه‌جایی مثبت درگاز ایجاد کند. در اینجا ما تنها در مورد نوع پیستونی آن بحث می‌کنیم زیرا بسیار رایج تر از نوع دیگر است. در کمپرسورهای رفت و برگشتی محدودهٔ بین ا سب بخار کسری تا بالای ۲۰۰۰۰ ا سب بخار ممکن ا ست. اختلاف فشار از فشارهای پایینتر از فشار اتمسفر در بخش مکش تا فشارهای بالاتر از ۳۰۰۰۰psi در بخش خروجی با این کمپرسورها امکانپذیر است. در طی عملیات، کمپرسورهای رفت و برگشتی با گازهای پاک بهترین عملکرد ممکن را دارند. وجود آب، گرد و ناخالصی به‌تدریج باعث ا ضافه شدن لایه‌ای روی سیلندر و پیستون خواهد شد. از این کمپرسورها زمانی که دبی‌های پایین و فشارهای خروجی بالا مدنظر باشد استفاده می‌شود.

ا ستفاده از کمپر سورهای رفت و برگشتی مزایای زیادی دارد. آن‌ها محدودهٔ فشاری و ظرفیت کل بالا، هزینه پایین انرژی و بازده بالایی دارند. آن‌ها قادرند تغییرات ترکیب و دانسیتهٔ گاز و حجم پایین را مهار کنند و همچنین می‌توانند فشارهای بالایی را تولید کنند.

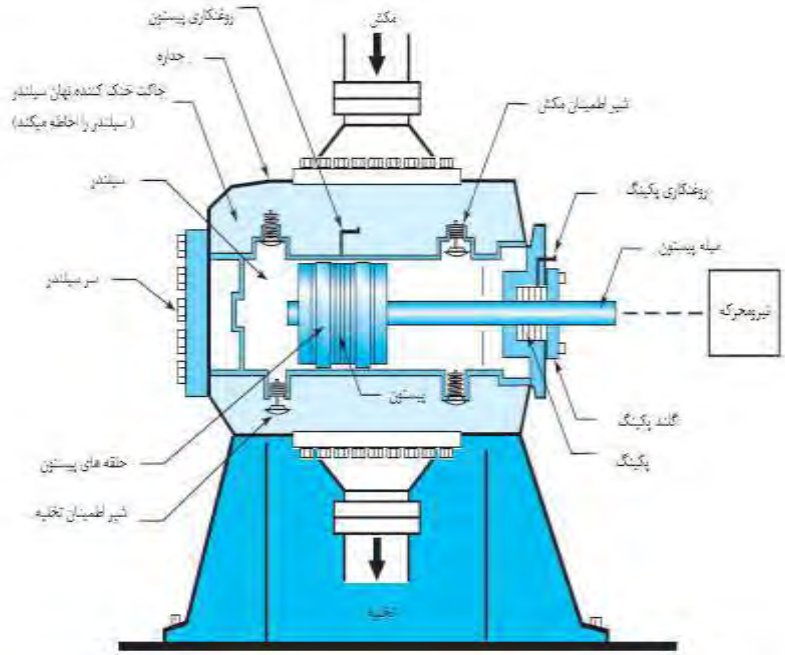
کمپرسورهای رفت و برگشتی پیستونی با محاصرهٔ مقدار مشخصی از گاز در فضای بین پیستون و دیواره‌ی سیلندر کار می‌کنند. حرکت رفت و برگشتی در کمپرسورهای رفت و برگشتی گاز را از مکش یا ورودی به داخل می‌کشد و در طرف دیگر تخلیه می‌کند. شیرهای فنری مکش و تخلیه با

بالا و پایین شـدن پیسـتون در فضـای سـیلندر به‌طور اتوماتیک کار می‌کنند. اجزای اصـلی یک کمپرسور رفت و برگشتی پیستونی در شکل ۵–۱۲ نشان داده شده است.

طراحی کمپرسورهای رفت و برگشتی بسته به مدل آن‌ها متفاوت است. این تفاوت‌ها عمدتاً در مجموع تعداد سـیلندرها و چینش خطوط مکش و تخلیه اتفاق می‌افتد. بیشـتر کمپرسـورهای پیستونی دارای یک تا چهار سیلندر هستند. هر سیلندر پیستون، حلقه‌ها و شیرهای اتوماتیک خود را دارد. میل‌لنگ های رایج را می‌توان با میله‌های متصـل‌کننده‌ی چندتایی با هم سـهیم نمود. در کمپرسورهای دو طرفه (دومرحله‌ای) یک سیلندر ممکن است چند شیر مکش و تخلیه داشته باشد.

– طراحی سیلندر

مادهٔ به‌کاررفته در سـاخت سـیلندر معمولاً بر اسـاس مقاوت در برابر خوردگی، شـوک حرارتی، درجه‌بندی فشـار و مقاومت در برابر شـوک مکانیکی انتخاب می‌شـود. (شـوک حرارتی نوعی تنش است که منجر به فرسایش فلز می‌شود و به موجب اختلاف دمای بسیار زیاد میان تجهیزات با سیال درون آن‌ها ایجاد می‌شـود.) مواد رایج در سـاخت سـیلندر چدن (تا ۱۲۰۰psig)، آهن ندولر (۱۵۰۰psig)، فولاد قالب‌گیری شده (۱۲۰۰psig-۲۵۰۰) و فولاد آهنگری شده (بالای ۲۵۰۰psig) هستند.



شکل ۵–۱۲: کمپرسور رفت و برگشتی پیستونی (دو طرفه)

- **چینش یک‌طرفه موازی**

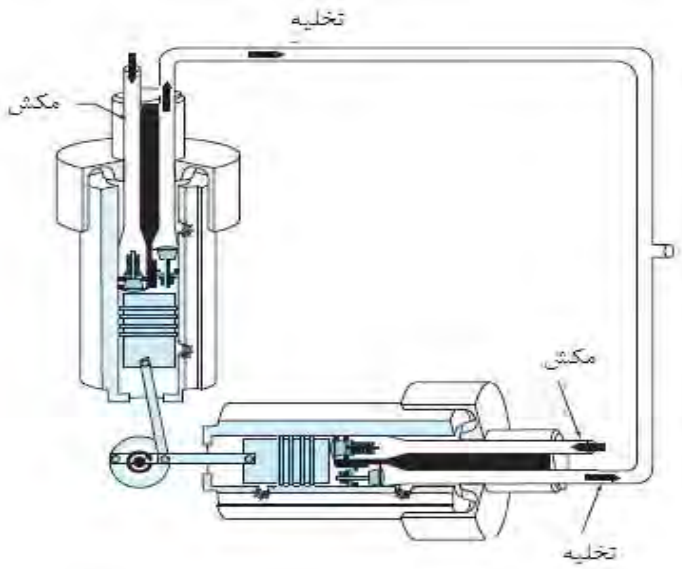
در یک چینش یک‌طرفه موازی (شکل ۵–۱۳)، دو سیلندر پشت سر هم قرار می‌گیرند. آن‌ها ورودی‌های مجزا و خروجی مشترک دارند. این نوع عملیات با ثابت نگه‌داشتن فشار، دبی را دو برابر می‌کند.

الف) کمپرسورهای یک‌طرفه چند مرحله‌ای

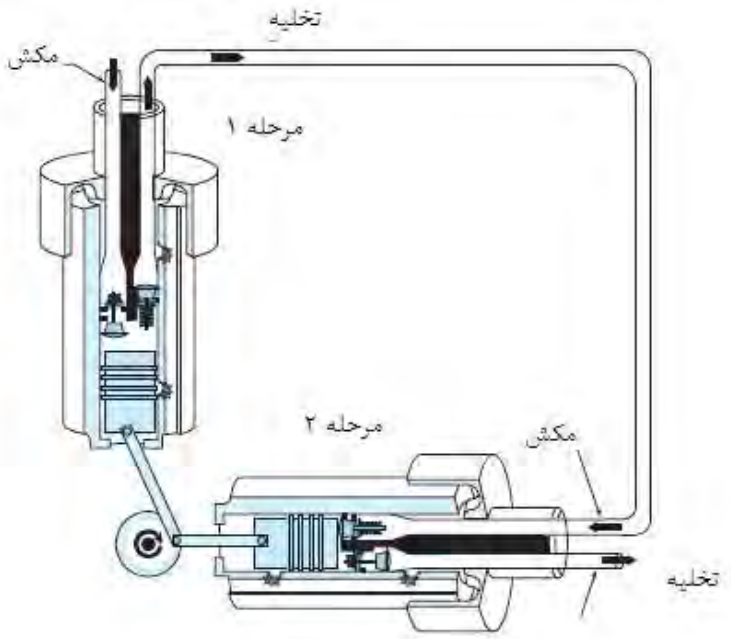
یک کمپرسور پیستونی چندمرحله‌ای دارای دو یا بیش از دو سیلندر است. معمولاً از سیلندر اول به‌عنوان مرحله‌ی اول یاد می شود. در کمپر سورهای دومرحله‌ای (شکل ۵–۱۴) تخلیه‌ی سیلندر اول به مکش سیلندر دوم که کوچکتر است می‌رود. در یک کمپرسور چندمرحله‌ای معمولاً دبی‌ها پایین و فشار کل بالاست.

ب) کمپرسورهای دوطرفه

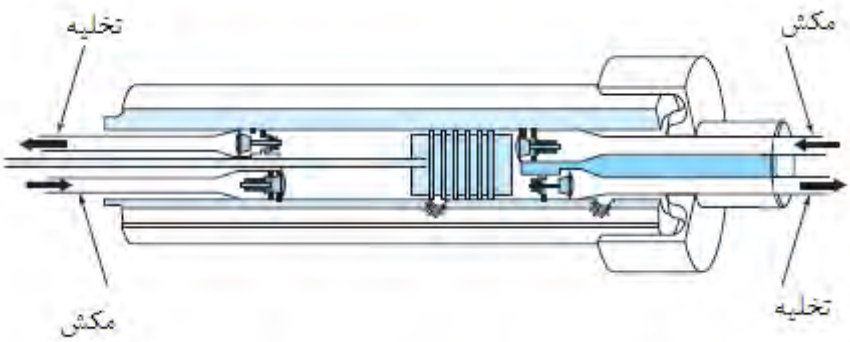
کمپرسورهای دوطرفه (شکل ۵–۱۵) از یک سیلندر و پیستون مشترک برای ورود و خروج گازها در هرطرف استفاده می‌کنند. این کمپرسورها مجهز به دو شیر فنری تخلیه و دو شیر فنری مکش هستند. برای مثال، زمانی که پیستون به سمت راست حرکت می‌کند، محفظه سمت چپ پیستون پر از گاز می شود، درحالی‌که محفظهٔ سمت راست پیستون تخلیه می‌شود. در حرکت مخالف نیز دقیقا برعکس این اتفاق می‌افتد. این فناوری بازدهی کمپرسور را دو برابر می‌کند.



شکل ۵–۱۳: سیلندر موازی



شکل ۵–۱۴: چند سیلندره



شکل ۵–۱۵: دوطرفه

- **طرح‌بندی کمپرسور**

طرح‌بندی یک کمپر سور را با نگاه کردن به موقعیت قرارگیری سیلندرها می‌توان به‌راحتی دریافت. طرح‌بندی‌های V شکل و L شکل زیاد مشاهده می‌شوند. (شکل ۵–۱۴را ببینید.)

- **کنترل ضربان (لرزش)**

یکی از مشکلات رایج موجود در کمپرسورهای رفت و برگشتی لرزش است. این مشکل اساساً به این دلیل به وجود می‌آید که شیرهای مکش و تخلیه در طول هر چرخه باز و بسته می‌شوند. این مشکل را می‌توان با استفاده از محفظه موج، ضربه‌گیر (تعدیل‌کننده لرزش) (شکل ۵–۱۶) و یا بطری حجمی کنترل نمود. این ابزارها جریان گازی روانی را فراهم می‌کنند، لرزش را کاهش می‌دهند و از اضافه‌بار و یا کم‌بار شدن کمپرسور جلوگیری می‌کنند.

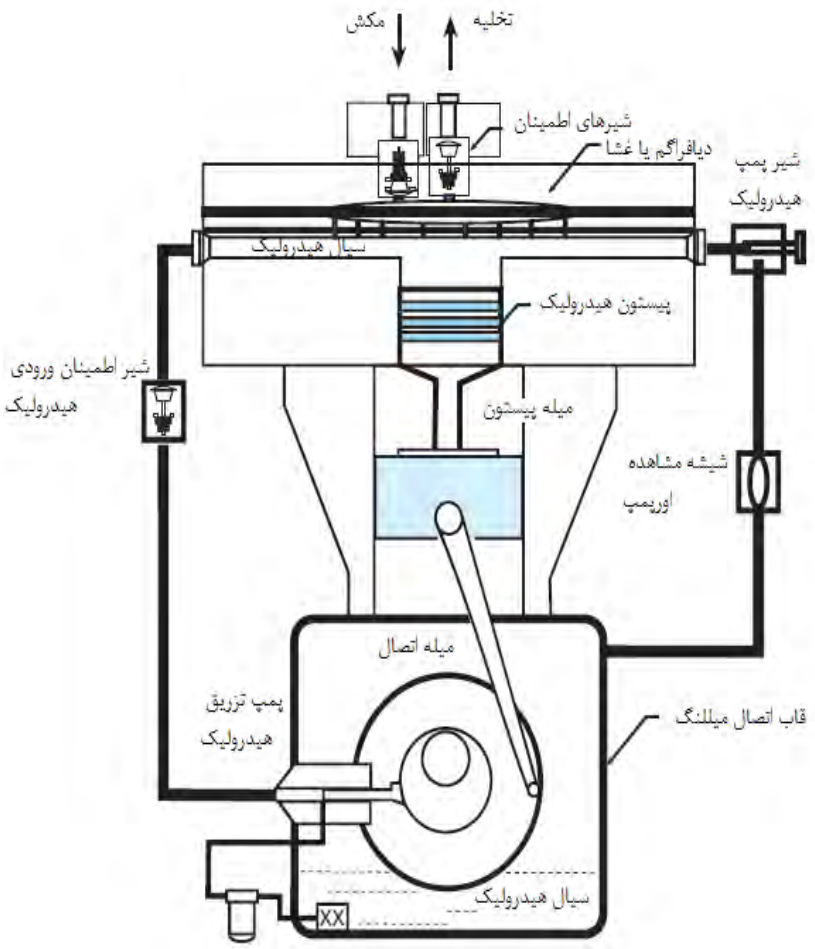
۵–۶–۷– کمپرسورهای دیافراگمی

کمپرسورهای دیافراگمی از یک دیافراگم هیدرولیکی استفاده می‌کنند که با جابه‌جا شدن و خم شدن خود، باعث جابه‌جایی مثبت گاز می شود. این نوع کمپر سور ب سیار مرتبط با کمپر سورهای رفت و برگشتی است. این کمپرسور ترکیبی از سیستم‌های متعدد است؛ یک سیستم فشرده‌سازی گاز و یک سیستم هیدرولیک، فشرده‌سازی گاز زمانی اتفاق می‌افتد که یک غشا یا دیافراگم انعطاف‌پذیر فلزی به‌طور هیدرولیکی خم می‌شود. در این نوع عملیات، تنها غشا و محفظه‌ی فشرده‌سازی با گاز در تماس هستند. به این دلیل است که کمپرسور دیافراگمی برای کار با گازهای سمی و انفجاری ب سیار منا سب ا ست. غ شاها به‌گونه‌ای مقاوم و بادوام طراحی می‌گردند و قابلیت تحمل دماهای بالا و شرایط مختلف را دارا هستند. کمپرسورهای دیافراگمی قابلیت تولید فشارهای ب سیار بالا را دارند و از آن‌ها برای ف شرده سازی هیدروژن، هیدروژن کلرید، کربن مونواک سید و گاز طبیعی ف شرده ا ستفاده می شود. کمپر سورهای دیافراگمی در انواع یک، دو، سه مرحله‌ای و بی‌شتر وجود دارند. هر مرحله نیاز به یک دیافراگم دارد. شکل ۵–۱۶ اجزای اصلی یک کمپرسور دیافراگمی را نشان می‌دهد.

شکل ۵–۱۶: لرزش گیر

اجزای اصلی کمپرسور دیافراگمی شامل موارد زیر است:

- شیرهای اطمینان ورودی و خروجی گاز
- شیر اطمینان سیال هیدرولیک
- دیافراگم یا غشا
- پمپ تزریق هیدرولیک
- پیستون هیدرولیک
- شیشه مشاهده
- میله‌های پیستون
- میل‌لنگ
- قاب اتصال میل‌لنگ



شکل ۵–۱۷: کمپرسور دیافراگمی

۵–۷– تجهیزات پشتیبان در یک سیستم کمپرسور

زمانی که کمپرسورها در یک سیستم فرایندی به کار گرفته می‌شوند، مجموعه‌ای وسیع از تجهیزات مختلف موردنیاز است (شکل ۵–۱۸). برخی از این تجهیزات مانند فیلترها، درایورها و ضامن‌ها پیش از این موردبحث قرار گرفتند. در اینجا ما به توضیح: مبدل‌های میان سردکن و سردکن انتهایی، شیرهای اطمینان، صداگیرها، مه گیرها و خشک‌کن‌ها می‌پردازیم.

- **مبدل‌های میان سردکن و سردکن انتهایی**

فشـــرده‌ســـازی گازها در کمپرســـور منجر به تولید حرارت می‌شـــود. مبدل‌های پوســـته ولوله (میان ســـردکن و ســـردکن انتهایی) برای کنترل دما به طراحی اضـــافه شـــده‌اند. با خروج گاز اولین مرحله کمپر سور، میان سردکن دما را پایین ورد. این گاز خنک شده وارد خط مکش مرحله دوم می شود. زمانی که این گاز دوباره فشرده می‌شود (که گرمای بیشتری تولید می‌شود)، قبل از ورود به ر سیور از سردکن انتهایی عبور می‌کند.

- **شیرهای اطمینان**

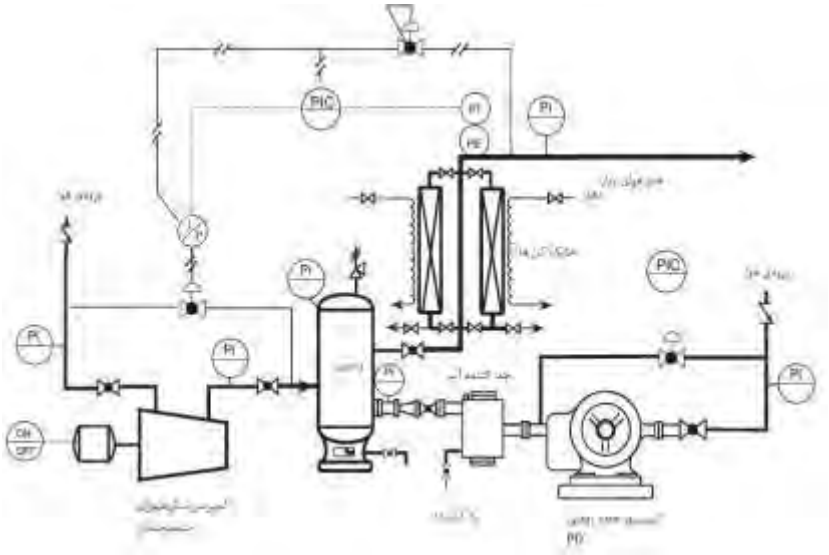
شیرهای اطمینان و شیرهای کاهش فشار برای کاهش فشارهای اضافی که ممکن است به تجهیزات فرایندی و پرسنل آسیب برساند به کار برده می‌شوند. این شیرها برای دبی‌های مشخصی سایزبندی می شوند و نباید بدون اطمینان از اینکه شیرهای جایگزین با خ صو صیات و مقت ضیات مهند سی همخوانی دارند، آن‌ها را تعویض نمود. برخی شـــیرها به‌طور خودکار کم و زیاد می‌شـــوند؛ درحالی‌که انواع دیگر را باید تنظیم فیزیکی نمود.

- **صداگیرها**

بیشـــتر کمپرســـورها در اســـتانداردهای OSHA (ایمنی حرفه‌ای و مدیریت ســـلامت) کار نمی‌کنند. صداگیرها برای گرفتن بخشی از صدای آسیب‌زننده‌ای که کمپرسورها ایجاد می‌کنند به کار می‌روند. این صدا خفه‌کن‌ها برای اینکه مؤثر واقع شوند باید در ورودی و خروجی کمپر سورها ن صب گردند. هرچند که هدفون‌های محافظ شنوایی باید تو سط ک سی که با کمپر سور یا نزدیک آن کار می‌کند استفاده شود.

- **مه‌گیر**

مه‌گیر وسیله‌ای ا ست که برای جدا کردن قطرات مایع از گاز طراحی شده ا ست. مه‌گیرها در امتداد خطوط گردباد عمل می‌کنند. زمانی که گاز وارد بالای مه گیر می شود، دچار یک حرکت چرخ شی به سمت دیواره‌ی خارجی محیط قوطی می شود. به دلیل اینکه مایع از هوا سنگین‌تر ا ست، نیروی گریز از مرکز آن را به دیواره‌ی خارجی تماس می‌دهد. جزء ســـنگین‌تر به پایین مه گیر می‌ریزد و جدا می‌شـــود. گاز پاک‌شـــده از مایع نیز از خط تخلیه‌ی بالای مه گیر خارج می‌شـــود. بســـیاری از کمپرسورهای جابه‌جایی مثبت، در صورت ورود گاز مرطوب دچار مشکل می‌شدند.



شکل ۵–۱۸: مجموعه کمپرسور

– **خشک‌کن**

برای سرویس هوای کاملاً خشک، خط تخلیهٔ کمپرسور از یک خشک‌کن نیز عبور می‌کند. خشک‌کن‌هایی که با مواد شیمیایی جذب‌کننده‌ی رطوبت، خشک‌کن‌های دسیکنت نامیده می‌شوند. آلومینا، مولسیو و سیلیکاژل رایج‌ترین مواد شیمیایی استفاده شده در خشک‌کن‌ها هستند. کاربرد معمول خشک‌کن به صورت سری یا موازی است. هر دو شیوه این امکان را دارند که در زمانی که یکی از خشک‌کن‌ها در حال بازسازی است، دیگری درون مدار سرویس دهد. در فرایند بازسازی از گاز خشک، تمیز و داغ برای جذب رطوبت از خشک‌کن استفاده‌شده استفاده می‌کند.

– **سایر تجهیزات پشتیبان**

یک جداساز روغن ممکن است برای جدا کردن روغن از گاز فشرده شده استفاده می شود. رسیور محفظه‌ایست که گاز فشرده‌شده در آن ذخیره می‌شود.

۵–۸– استارت، خاموش کردن و رفع اشکال سیستم‌های کمپرسوری

شکل ۵–۱۸ یک کمپرسور گریز از مرکز چندمرحله‌ای و یک سیستم کمپرسور حلقه روغنی را به‌طور ساده نشان می‌دهد. هر دو سیستم با ابزارها و لوله‌کشی مشابه تجهیز شده‌اند. تجهیزات اصلی

که در این فرایند دیده می‌شود عبارتست از یک کمپرسور، رسیور، خشک‌کن، هدر هوا و ابزارها فرایندی مدرن. در آن واحد تنها یک سیستم می‌تواند مورداستفاده قرار گیرد.

جداول ۵–۱ و ۵–۲ روندهای معمول برای استارت آپ و خاموش کردن را نشان می‌دهند. جداول ۵–۳ و ۵–۴ نیز چارت‌های رفع ا شکال برای ت شخیص و رفع م شکلات کمپر سور را ن شان می‌دهند.

جدول ۵–۱: فعالسازی و غیرفعالسازی یک کمپرسور دینامیکی

روند	نظرات
۱. وضعیت شیرهای کمپرسور و تجهیزات را تنظیم کنید.	قبل از راه‌اندازی مطمئن شوید هر شیر در وضعیت مناسب قرار دارد.
۲. سطح روغن‌ها و سیستم‌های خنک‌کننده آبی را چک کنید.	
۳. کنترل‌های کمپرسور را چک کنید تا در وضعیت صحیحی باشند.	
۴. دکمه استارت روی پنل را فشار دهید.	قبل از بارگیری کمپرسور اجازه دهید گرم شود.
۵. وجود شرایط غیرعادی در کمپرسور را بررسی کنید.	دما، فشار، صدا و لرزش‌های اضافی را بررسی کنید.
۶. خط مکش کمپرسور را باز کنید.	باز کردن خط مکش باید کمپرسور را آن‌گونه که دبی گاز تعیین شده است پر کند.
۷. تجهیزات را زیر نظر بگیر ید تا ز مانی که فرای ند خطوط را پر کند.	

جدول ۵–۲: راه‌اندازی و غیرفعالسازی یک کمپرسور جابه‌جایی مثبت

۱. وضعیت شیرهای کمپرسور و تجهیزات را تنظیم کنید.	قبل از راه‌اندازی مطمئن شوید هر شیر در وضعیت مناسب قرار دارد.
۲. آب خنک‌کننده را به مبدل‌ها بفرستید.	
۳. سطح روغن‌ها و سیستم‌های خنک‌کننده آبی را چک کنید.	
۴. کنترل‌های کمپرسور را چک کنید تا در وضعیت صحیحی باشند.	
۵. شیر تخلیه بار را روی تخلیه‌شده تنظیم کنید.	
۶. دکمه استارت روی پنل را فشار دهید.	اجازه دهید کمپرسور گرم شود.
۷. وجود شرایط غیرعادی در کمپرسور را بررسی کنید.	دما، فشار، صدا و لرزش‌های اضافی را بررسی کنید.

جدول ۵–۳: رفع اشکال کمپرسور سانتریفیوژ

مشکل	دلیل احتمالی
لرزش اضافی	• عدم هم‌ترازی محور • کوپلینگ آسیب‌دیده • دوار آسیب‌دیده • آسیب بلبرینگ یا ضامن
فشار تخلیه پایین	• نشتی در لوله‌ها • فشار مکش پایین • اقتضای سیستم بیش از محدودیت‌های طراحی باشد • کمپرسور با سرعت لازم کار نمی‌کند
فشار روغن lube پایین	• سطح روغن پایین است • تنظیم نادرست فشار • خرابی پمپ روغن lube • فیلتر یا صافی کثیف
دمای بالای روغن بلبرینگ	• مانع بر سر راه جریان • روغن نیاز به تعویض دارد • خرابی بلبرینگ • وجود آب در روغن lube • رسوب در کولرهای روغن
عدم هم‌ترازی میل‌گاردان	• تغییر پایه • کمربندهای گشاد پایه • فرسودگی لوله • شسته شدن دوغاب
وجود آب در سیستم روغن	• پارگی در لوله مبدل • میعان در انبار روغن • آب باران • نشتی ردیابی بخار

۵–۹– نماد کمپرسورها

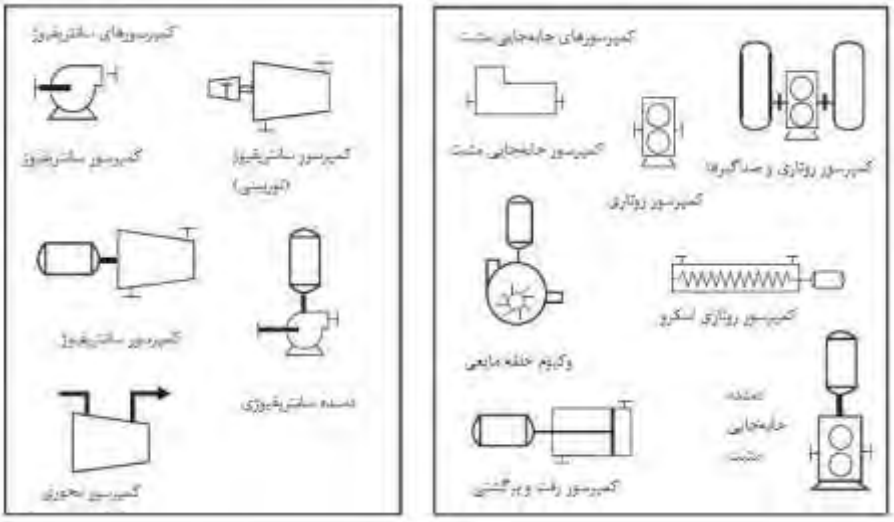
هر نوع کمپرسور را می‌توان با یک نماد نمایش داد. شکل ۵–۱۹ نماد کمپرسورها را نشان می‌دهد.

خلاصه

تفاوت کمپرسورها با پمپ‌ها در این است که پمپ‌ها مایعات را جابه‌جا می‌کنند و کمپرسورها گازها را. از کمپرسورها برای انتقال پودرهای دانه‌ریز و حبه‌های پلاستیکی از جایی به‌جای دیگر، ایجاد پروسه‌های فرایند گازی، فراهم کردن هوای خشک و تمیز برای ابزارها و لوازم کنترلی و برای فشرده‌سازی گازهایی مثل هیدروکربن‌های سبک، نیتروژن، هیدروژن، کربن دی‌اکسید و کلرین استفاده می‌شود.

جدول ۵–۴: رفع اشکال کمپرسور رفت و برگشتی

مشکل	دلیل احتمالی
کمپرسور روشن نمی‌شود	• مشکل MMC یا تعویض دنده • غیرفعالسازی با فشار روغن پایین • قطع بودن برق موتور • عدم ارضاء پرمیسیوها و اینترلاک
صدا در سیلندر	• پیستون لق • حلقه‌های پیستون فرسوده • پیستون به سرسیلندر ضربه وارد می‌کند • تنظیم شیر نامناسب است
دمای تخلیه‌ی بالا	• میان سردکن معیوب • دمای ورودی بالا • نشتی در حلقه‌های پیستون • دبی نامناسب روغن lube
لیفتینگ شیر اطمینان	• نشتی در شیر مکش مرحله نهایی • فرسودگی حلقه‌های مرحله نهایی • مانع در خط تخلیه • شیر اطمینان نیاز به تعویض دارد
نشتی پکینگ	• پکینگ نیاز به تعویض دارد • خراش روی میله پیستون • آلودگی در پکینگ • افزایش فشار
صدا در قاب	• روغن سرد • فشار پایین روغن • روغن نامناسب در سیستم • استوانه میل‌لنگ لق یا فرسوده است



شکل ۵–۱۹: نماد کمپرسورها

گازها و بخارها قابل فشرده سازی هستند. فشرده سازی با نزدیک کردن مولکول‌ها به یکدیگر، حجم را کاهش می‌دهد. گازهای فشرده‌شده اگر رها شوند، به حالت قبلی خود بازمی‌گردند. گازهای فشرده‌شده به دلیل اصطکاک مولکولی تولید حرارت می‌کنند. هرچه فشار بیشتر شود، حجم کمتر می‌شود. حجم گاز با دما و فشار آن تغییر می‌کند.

کمپرسورها معمولاً به دو گروه تقسیم می‌شوند: جابه‌جایی مثبت و دینامیکی. کمپرسورهای جابه‌جایی مثبت با محاصره‌ی مقدار مشخصی گاز و کم کردن حجم آن کار می‌کنند. این نوع شامل روتاری (روتاری اسکرو، پره لغزان، گوشواره‌ای و حلقه روغنی) و رفت و برگشتی (سیلندر و پیستونی و دیافراگمی) می‌شوند.

رایج‌ترین نوع کمپرسورها، کمپرسورهای رفت و برگشتی با محاصره‌ی مقدار مشخصی گاز در فضای بین پیستون و دیواره سیلندر کار می‌کنند. حرکت جلو عقب رونده در کمپرسور رفت و برگشتی در استروک ورودی یا مکش گاز را به درون خود می‌کشد و در استروک دیگر آن را تخلیه می‌کند.

کمپرسورهای دینامیکی با شتاب دادن به گاز و تبدیل انرژی به فشار عمل می‌کنند. این نوع کمپرسورها می‌توانند دبی‌های بسیار بیشتری را نسبت به کمپرسورهای جابه‌جایی مثبت فراهم کنند.

سؤالات مروری

۱) دو دلیلی که تولیدکنندگان صنعتی را وادار به استفاده از کمپرسورها می‌کند را بیان کنید.
۲) چهار گازی را که توسط کمپرسورها فشرده می‌شوند نام ببرید.
۳) دو نوع کمپرسور را نام ببرید.
۴) سه نوع کمپرسور روتاری را نام ببرید.
۵) دو نوع کمپرسور رفت و برگشتی را نام ببرید.
۶) عملکرد یک کمپرسور محوری را با یک کمپرسور سانتریفیوژ چندمرحله‌ای مقایسه کنید و تفاوت‌های آن‌ها را بیان کنید.
۷) کمپرسور روتاری اسکرو را توضیح دهید.
۸) کمپرسور پره لغزان را توضیح دهید.
۹) کمپرسور lobe را توضیح دهید.
۱۰) کمپرسور حلقه روغنی را توضیح دهید.
۱۱) چینش موازی را در کمپرسور رفت و برگشتی توضیح دهید.
۱۲) سازوکار چندمرحله‌ای در کمپرسور رفت و برگشتی را توضیح دهید.
۱۳) سازوکار دوطرفه در کمپرسور رفت و برگشتی را توضیح دهید.
۱۴) اجزای اصلی یک کمپرسور سانتریفیوژ را نام ببرید.
۱۵) تفاوت‌های اصلی میان یک کمپرسور یک مرحله‌ای و یک کمپرسور چندمرحله‌ای را بیان کنید.
۱۶) اجزای تشکیل‌دهنده‌ی یک سیستم کمپرسور معمول را بیان کنید.
۱۷) تفاوت‌های مبدل سردکن انتهایی و میان سردکن را بیان کنید.
۱۸) نحوه راه‌اندازی یک کمپرسور دینامیکی را توضیح دهید.
۱۹) نحوه راه‌اندازی یک کمپرسور جابه‌جایی مثبت را توضیح دهید.
۲۰) چهار نوع فن کمپرسور را نام ببرید.
۲۱) شوک حرارتی را تعریف کنید.
۲۲) عبارت "نسبت فشرده‌سازی" و نحوه استفاده از آن را توضیح دهید.
۲۳) نحوه عملکرد یک لرزش گیر را توضیح دهید.
۲۴) اجزای اصلی یک کمپرسور پره‌ای لغزان را نام ببرید.
۲۵) تفاوت‌های اصلی میان عملیات یک سیستم کمپرسوری جابه‌جایی مثبت و یک سیستم کمپرسوری سانتریفیوژ را توضیح دهید.

فصل ششم

توربین‌ها و موتورها

اهداف

پس از مطالعه‌ی این فصل دانشجو قادر خواهد بود:

- انواع مختلف توربین‌ها را تعریف کند.
- تاریخچه‌ی توربین‌های بخاری را بررسی کند.
- اصول و اجزای عملیاتی یک توربین بخار را توضیح دهد.
- انواع توربین‌های بخار را توضیح دهد.
- روندهای راه‌اندازی یک توربین بخار را توضیح دهد.
- اجزای اصلی یک توربین گازی را نام ببرد.
- نحوه عملیات یک توربین گازی را توضیح دهد.
- اجزای اصلی یک موتور الکتریکی را معرفی کند.
- نحوه‌ی عملکرد یک موتور الکتریکی را توضیح دهد.

۶–۱– انواع توربین

توربین‌ها بر اساس اصول عملکردی و سیالی که آن‌ها را به گردش درمی‌آورد طبقه‌بندی می شوند. چهار نوع اصلی توربین‌ها عبارت‌اند از بخاری، گازی، هیدرولیکی و بادی. در توربین‌های بخاری (جابه‌جایی ضربه‌ای)، دوار در اثر نیروی (سرعت) یک گاز می‌چرخد. در توربین‌های هیدرولیکی (جابه‌جایی واکنشی)، دوار بر اثر فشار یک مایع می‌چرخد. توربین‌های گازی از گازهای با فشار بالا استفاده می‌کنند و توربین‌های بادی (آسیاب‌های بادی) از فشار هوا استفاده می‌کنند. توربین‌های گازی و بخاری رایج‌ترین توربین‌های مورداستفاده در صنعت هستند.

توربین‌های بخاری خود به متراکم کننده (چگالنده)، غیر متراکم کننده، واکنشی و ضربه‌ای تقسیم می‌گردند. در توربین‌های چگالنده، بخار خروجی به چگالنده‌های سطحی وارد می شود. این توربین‌ها در فشار خلأ کار می‌کنند. در توربین‌های غیر چگالنده، بخار خروجی در کاربردهای بخار فشار پایین موردا ستفاده قرار می‌گیرد. در توربین‌های واکنشی، بخار از طریق یک نازل نصب شده روی دوار تخلیه می‌شود. جابه‌جایی، یک پاسخ واکنشی برای آزادسازی بخار از یک منبع داخلی است. در توربین‌های ضربه‌ای بخار از یک منبع خارجی روی موتور کار انجام می‌دهد تا حرکت ایجاد شود. بیشتر واحدها از این طراحی استفاده می‌کنند. هر یک از این طراحی‌ها ممکن است دارای یک یا چند مرحله باشد. جدول ۶–۱ پارامترهای یک توربین را نشان می‌دهند.

جدول ۶–۱: سایز توربین‌ها

سایز	مراحل	اسب بخار	سرعت (دور بر دقیقه)
کوچک	۱	۰/۲۵۰-۷۰	۱۰۰۰
متوسط	۱ یا ۲	۴۰۰۰-۵	۱۵۰۰۰-۲۰۰۰
بزرگ	۳ یا بیشتر	۵۰۰۰۰-۵۰۰۰	۲۰۰۰۰-۲۰۰۰

۶–۲– تاریخچه توربین‌های بخاری

در سال ۲۰۰ قبل از میلاد، ارشمیدس در مورد وسیله‌ای که مورداستفاده مصریان باستان قرار می‌گرفته، توضیح داده است. این وسیله متشکل بود از یک گوی توخالی نصب شده بر پایه‌هایی با مجموعه‌ای از نازل‌ها. آب به درون کره ریخته می شد و در آنجا حرارت داده می شد تا به جوش آید. زمانی که آب به جوش می‌آید، به بخار تبدیل می‌شود و از طریق نازل‌ها خارج می‌شود و باعث چرخش کره می‌شود. چرخش کره، قانون سوم حرکت نیوتن را نشان می‌دهد: برای هر عملی،

عکس‌العملی وجود دارد؛ به همان اندازه و در خلاف جهت آن. توربین‌های بخار مدرن نیز از همین اصول پیروی می‌کنند.

در سال ۱۶۲۹، جیووانی برانکا، مهندس ایتالیایی اولین توربین بخاری ضربه‌ای را طراحی نمود. حرکت ضربه‌ای در نوعی توربین با طراحی پره‌ای وجود دارد که زمانی که بخار با سرعت زیاد از یک منبع خارجی پره را هل می‌دهد، باعث چرخش پره‌ها و محور می‌شـــود. طراحی مبتکرانه‌ی برانکا بخار دارای سرعت‌بالا را به سمت پره‌ها هدایت می‌نمود. این طراحی ضربه‌ای در توربین‌های بخاری امروزه مورداســـتفاده قرار می‌گیرد. اصـــلاحات فنی در طراحی توربین بخاری باعث بهبود بازدهی و قدرت آن‌ها شده است.

توربین‌های بخاری به دلیل وزن کمتر و فضـای موردنیاز کوچکتر، جایگزین ماشـین بخار که در آن زمان پرکاربرد نیز بود شدند. توربین‌های بخاری بدون لرزش هستند و یا لرزش بسیار کمی دارند و در صورت داشتن حرکت عقب جلو، مقدار آن بسیار کم است. این توربین‌ها زمانی که با سرعت‌بالا و بار ســـنگین کار می‌کنند بازده بســـیار بالایی دارند. بازدهی توربین زمانی که ســـرعت کم شـــود به‌شدت پایین می‌آید.

۶-۳- اصول عملیاتی توربین‌های بخاری

اصـــل اســـاســـی عملیاتی توربین تبدیل انرژی بخار به انرژی مکانیکی اســـت که قادر اســـت باعث چرخاندن تجهیزات شود. توربین بخار وسیله‌ای است که انرژی جنبشی بخار را به انرژی مکانیکی تبدیل می‌کند. توربین‌های بخاری یک دوار به‌خصـــوص دارند که زمانی که بخار به آن ضـــربه وارد می‌کند به گردش در می‌آید. این گردش برای بســـیاری تجهیزاتی که با محور کار می‌کنند مورداستفاده قرار می‌گیرد. عموماً توربین‌ها تأمین‌کننده‌ی نیرو برای پمپ‌ها، کمپرسورها، کشتی‌های اقیانوس‌پیما، لوکوموتیوهای توربوالکتریک و تولیدکننده انرژی الکتریکی هستند.

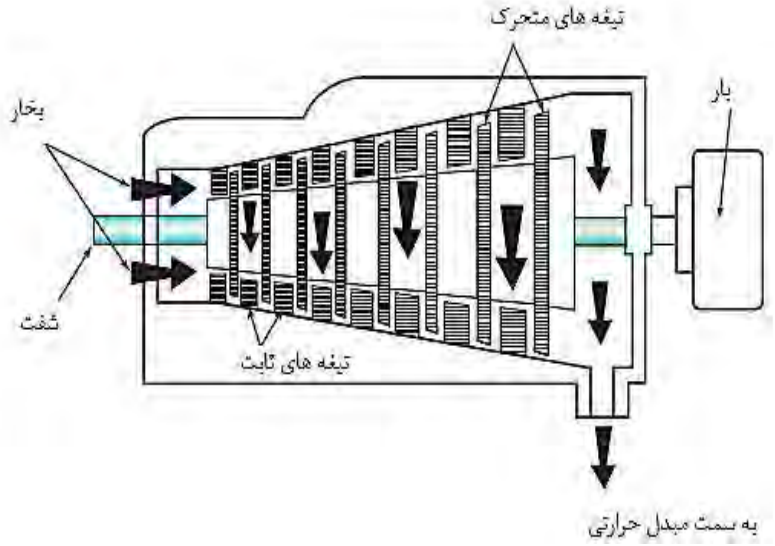
بخاری با فشار بالا وارد یک توربین می‌شود. از وسیله‌ای به نام نازل عبور می‌کند. نازل‌ها مسیر عبور جریان را تنگ می‌کنند و سرعت بخار را بالا می‌برند. نازل این بخار سرعت‌بالا را به سمت چرخ پره‌دار متحرکی هدایت و آن را به چرخش درمی‌آورد. با عبور گاز میان پره‌های ثابت و گردان به صورت یک در میان، حجم آن افزایش می‌یابد. چرخ پره‌دار متحرک به یک محور متصل است و پره و محور با یکدیگر دوار را تشکیل می‌دهند. حرکت ضربه‌ای یا واکنشی زمانی اتفاق می‌افتد که بخار به دوار برخورد می‌کند و انرژی بخار را به انرژی مکانیکی تبدیل می‌کند. میزان انرژی بخار موردنیاز برای کار موردنظر بستگی به محدوده‌ی فشاری دارد که از طریق آن بخار منبسط می‌شود.

بخار استفاده‌شده در توربین بخاری در یک دیگ بخار (جوش آورنده) تولید می‌شود. دیگ بخار، بخاری را تولید می‌کند که بتواند در دماهای بالغ بر ۵۳۸ درجه ســـانتی‌گراد (میانگین ۱۰۰۰ تا

۱۰۵۰ درجه فارنهایت) و فشـــاری بالغ بر psi ۳۵۰۰ در ورودی و psi ۲۰۰ در خروجی وارد توربین شـــود. (توربین‌های بخاری همچنین می‌توانند تحت خلأ عمل کنند.) بخار با فشـــار بالا به‌آرامی به درون توربین فرستاده می‌شود تا آن را گرم و میعانات موجود را از آن حذف کند.

توربین‌های بخاری برای تأمین نیروی ژنراتورهای الکتریکی در نیروگاه‌های پیشرفته مورداستفاده قرار می‌گیرند. یک توربین بخاری چندمرحله‌ای یکی از قدرتمندترین ماشـــین‌های بخار در دنیا شناخته می‌شود. نمونه‌های پیشرفته این توربین‌ها می‌تواند شامل بیش از ۵۰ مرحله باشد که با یک محور افقی با یکدیگر مرتبط می‌شوند.

همچنین هر مرحله شـــامل مجموعه‌ای از پره‌های ثابت و متحرک اســـت. پره‌های خمیده‌ی هر مرحله به‌گونه‌ای طراحی می‌شوند که فضاهای موجود میان آن‌ها مانند نازل عمل کرده، سرعت بخار را افزایش دهد. زمانی که بخار میان پره‌های ثابت و متحرک حرکت زیگزاگی دارد، به‌اندازه‌ای بالغ بر ۱۰۰۰ برابر حجم اولیه‌ی خود منبســط می‌شــود. طراحی پیشــرفته توربین اندازه‌ی هر مرحله را افزایش می‌دهد و توربین را به شکلی مخروطی در می‌آورد. (شکل ۶–۱)



شکل ۶–۱: توربین بخاری

توربین‌های بخاری ضربه‌ای واکنشی تحت شرایط مشابهی عمل می‌کنند. توربین‌های ضربه‌ای دارای پره‌ای هستند که زمانی که بخار سرعت‌بالا پره‌ها را هل می‌دهد باعث چرخش مجموعه‌ی پره و محور یا دوار می‌گردند. منبع بخار سینتیکی خارجی است. حرکت واکنشی زمانی اتفاق می‌افتد

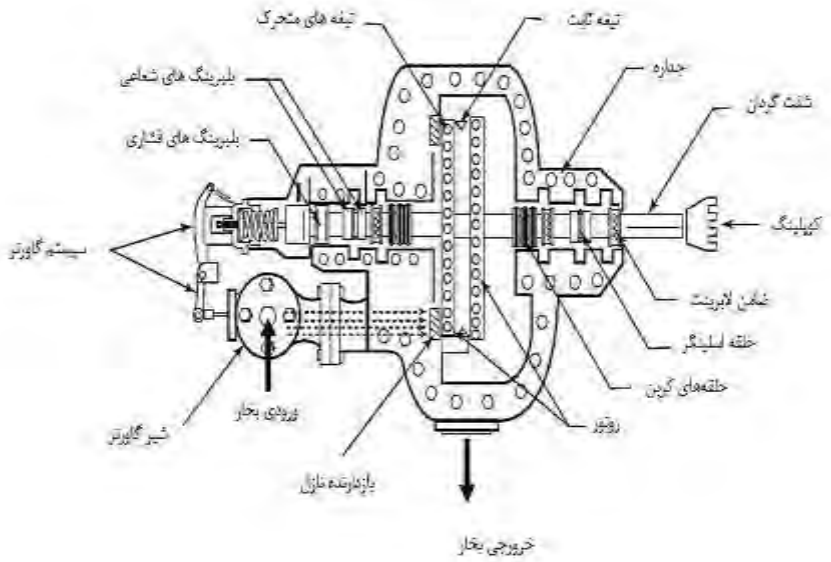
که بخار از نازل ثابت شده بر روی دوار فرار می‌کند و دوار را به جلو میراند. در اینجا بخار سینتیکی از منبع داخلی است.

هم توربین‌های ضـــربه‌ای و هم نوع واکنشـــی می‌توانند چگالنده و یا غیرچگالنده باشـــند. توربین‌های چگالنده گاز را به یک مبدل حرارتی به نام کندانسور سطحی می‌برند که بخار را سرد و به مایع تبدیل می‌کند. این بخار مایع‌شـــده وارد دیگ بخار می‌شـــود، جایی که دوباره به بخار تبدیل می‌شود. توربین‌های نوع چگالنده پربازده‌ترین نوع توربین هستند، زیرا بیشینه انرژی را از یک مقدار مشخص گاز استخراج می‌کنند.

توربین‌های نوع غیرچگالنده یا اســـتخراجی، توربین‌های چندمرحله‌ای هســـتند که به‌گونه‌ای طراحی شده‌اند که بخار با فشار بالا را دریافت کنند و در توربین از آن استفاده کنند و سپس بخشی از بخار را برای مصـــارف دیگر خارج می‌کنند. زمانی که بخار با ســـرعت و فشـــار بالا از چرخ توربین عبور می‌کند، منبسط می شود. این انبساط توربین را قادر می سازد که بخار با فشار پایین را وارد دیگر واحدها کند. برخی توربین‌های چندمرحله‌ای می‌توانند بخار را به مراحل قبلی برگرداند تا نیروی دریافتی را افزایش دهند. این نوع توربین را توربین‌های القایی می‌نامند.

۶–۴– اجزای اصلی توربین بخاری

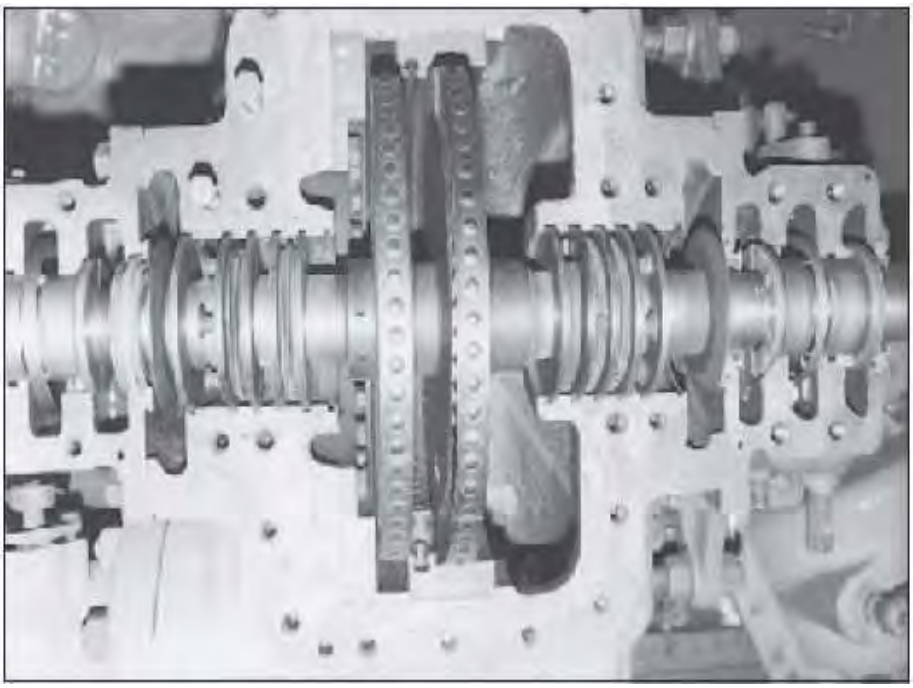
اجزای توربین بخار را می‌توان به چهار گروه دسته‌بندی کرد: دوار، اجزای ثابت، مکانیزم گاورنینگ و سیستم روغن‌کاری (شکل ۶–۲). ممکن است یک توربین بخاری اجزای متفرقهٔ دیگری نیز برای ایمنی و تنظیمات داشته باشد.



شکل ۶–۲: اجزای توربین بخاری

– **دوار**

توربین‌های بخاری دارای مجموعه‌ای از پره‌های گردان و ردیفی از پره‌های هلالی ثابت هستند. پره‌های چرخ مانند و گردان، پره‌های ثابت را احاطه می‌کنند. معمولاً اپراتورها به مجموعهٔ شامل محور و پره‌های گردان، دوار می‌گویند. همان‌طور که در (شکل ۶–۳) مشاهده می‌شود پره‌های گردان محکم به محور اتصال یافته‌اند. برای اطمینان از عملکرد روان دوار باید ازنظر استاتیکی و دینامیکی تنظیم و بالانس شود. پره‌های توربین از یک طراحی حفره‌ای پیش‌رونده (نگاه کنید به بخش پمپ‌های روتاری در فصل ۴) برای حرکت بخار میان پره‌های ثابت و گردان استفاده می‌کند.
پره‌های متحرک از فولاد زنگ نزن مقاوم ساخته می شوند. این پره‌ها تو سط مجموعه‌ای از دندانه‌ها به‌طور محکم بسته می‌شوند. قرارگیری صحیح توسط تکه‌های پکینگ آهن نرم حفظ می‌شود. وجود پوشش در انتهای پره‌ها از لرزش و حبس شدن بخار در مسیر پره جلوگیری می‌کند.



شکل ۶–۳: دوار توربین بخاری

در طول عملیات بخار وارد محفظه داخلی توربین می‌شود و بخار با تمام سرعت به پره‌ها نیروارد می‌کند. پره‌ها در اثر فشار بخار به گردش در می‌آیند.

– **اجزای ثابت**

اجزای ثابت ا سا سی در یک توربین بخاری عبارت‌اند از شیر دریچه کنترل بخار، جداره ا سداد راه بخار، محفظه بخار، نازل و یاتاقان‌ها، حلقه‌ها و آب‌بندها.

– **پره‌های ثابت**

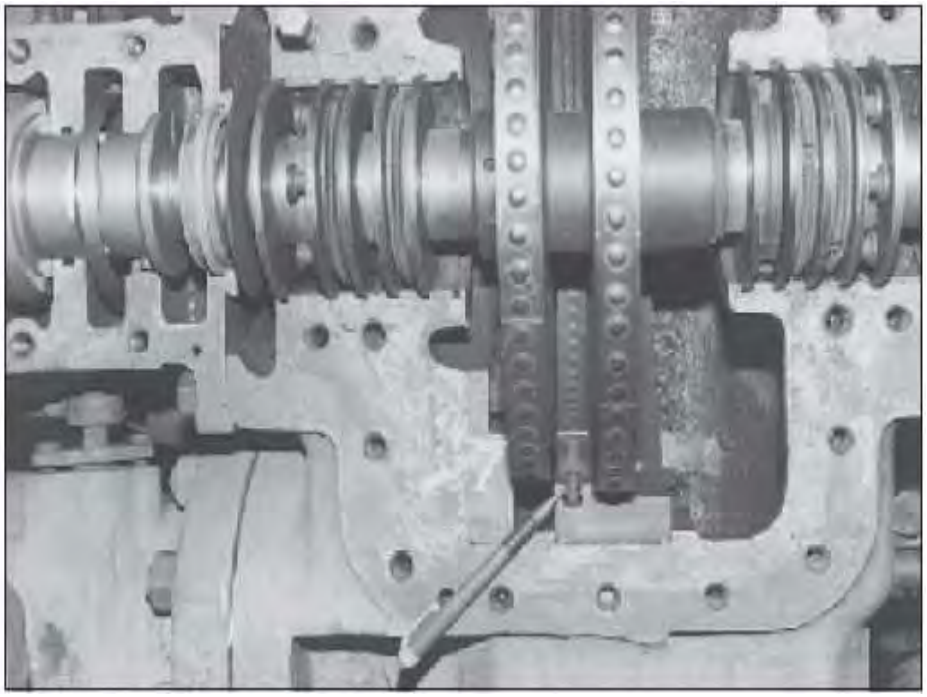
پره‌های ثابت (شکل ۶–۴) از فولاد زنگ نزن با مقاومت بالا ساخته شده‌اند. پره‌های ثابت حلقه‌های هلالی هستند که در قسمت تحتانی توربین قرار می‌گیرند و توسط پره‌های متحرک احاطه می‌شوند. وقتی پره‌های ثابت و متحرک در جای صحیح خود قرار گیرند، مسیرهای بخار در طول چرخ توربین شکل می‌گیرند.

- **جداره**

جداره متشکل است از یک پایه و یک پوشش که از فولاد کربنی و یا آهن توربین ساخته می‌شود. پایه و پوشش به‌گونه‌ای طراحی می‌شوند که اتصالات آن‌ها اجازهٔ عبور بخار را ندهند. عموماً اگر لبه‌ها محکم و دقیق ساخته شوند، نیازی به درزگیر وجود نخواهد داشت.

- **محفظه بخار**

اتاق یا محفظه بخار، شیر کنترل ولو صافی بخار (و سیله‌ای مکانیکی که ناخالصی‌ها را از بخار جدا می‌کند.) را درون خود جای می‌دهد. این قسمت از فولاد کربنی ساخته و به جداره‌ی پایینی بسته می‌شود.



شکل ۶–۴: پره‌های ثابت

- **نازل**

نازل به همراه مانع نازل تشکیل وسیله‌ای دقیق که ساخته‌شده از یک قطعه جامد فولاد کربن سیلیکون را می‌دهند که بخار با سرعت‌بالا را به سمت دوار هدایت می‌کند. مانع نازل به محفظه

بخار پیچ می شود. نازل دارای خروجی‌های روی هم افتاده ایست که به جت‌های بخار اجازه می‌دهد قبل از اینکه به سمت دوار هدایت شوند، با همدیگر همگرا شوند.

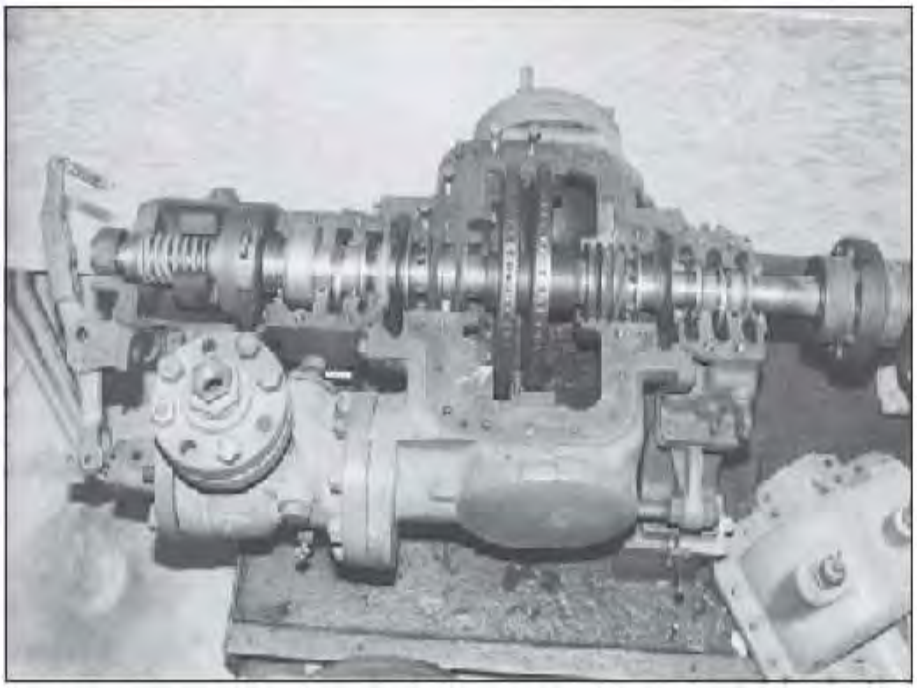
- **یاتاقان‌ها**

یاتاقان‌ها (شکل ۶–۵) پشتیبان شعاعی و محوری برای محور در یک توربین بخاری هستند. یاتاقان‌های شعاعی (همچنین یاتاقان‌های ژورنال نامیده می‌شوند) برای نگه‌داشتن دوار توربین بخاری و مانع‌شدن از تکان خوردن آن به اطراف و بالا و پایین طراحی شده‌اند. مسیرهای منبع روغن از مکان‌های شعاعی عبور داده می‌شوند و یا یک حلقه روغن‌رسان یاتاقان‌ها را روغن‌کاری می‌کند. با چرخش محور، روغن روانساز لایه‌ی نازکی بین محور و یاتاقان ایجاد می‌کند که به سیستم اجازه می‌دهد روان شود. این نوع یاتاقان عموماً در کنار یاتاقان فشاری در یک طرف توربین و در طرف دیگر توربین کنار آب‌بند محور قرار می‌گیرند.

یاتاقان‌های فشاری (محوری) برای کنترل محوری، یا حرکت عقب و جلو در طول محور و برای نگاه داشتن دوار در موقعیت مناسبی نسبت به اجزای ثابت طراحی شده‌اند. یاتاقان‌های فشاری خارج از محفظه‌ی بخار و در کنار آب‌بندهای محور قرار می‌گیرند. در زمان عملیات، یاتاقان فشاری روغن را تا زیر لبه‌های خمیده‌ی کفشک‌ها بالا می‌کشد. با فشار هیدرولیکی، کفشک‌ها به‌آرامی کج می‌شوند و در نتیجه روغن بیشتری تا زیر طوقه کشیده می‌شود. در سرعت‌های معمولی کفشک‌ها کجی ملایمی دارند که برای هم‌ساز کردن گوه روغنی کافی است. این گوه روغنی، کفشک‌ها را از طوقه جدا می‌سازد.

- **سیل‌ها (آب‌بندها)**

آب‌بندهای محور حلقه کربنی و لابرینت در انتهای هر جداره در مسیر دوار قرار می‌گیرند. این وسیله‌ها برای به حداقل رساندن نشتی خارجی بخار تحت‌فشار و همچنین نشت هوا به داخل مورداستفاده قرار می‌گیرند. حلقه‌های کربنی از نشت بین آب‌بند دوار و جداره جلوگیری می‌کنند. حلقه‌ای پشت فنری از جنس فولاد زنگ نزن در یک پوشش ضد خوردگی قرار داده شده است که توسط لوله‌ی گذرنده از بخش‌هاوسینگ پایینی از چرخش آن جلوگیری می‌شود. آب‌بندهای لابرینت شامل مجموعه‌ای از برآمدگی‌ها و مسیرهای پیچیده هستند که برای ایجاد مانع بر سر راه جریان طراحی شده‌اند.



شکل ۶–۵: یاتاقان‌ها، آب‌بندها و حلقه‌های روغن رسان

– **مکانیزم گاورنینگ (کنترل ولو)**

کنترل ولو (شکل ۶–۶) برای تنظیم خودکار سرعت توربین طراحی شده است. یک کنترل ولو نوع محوری درون دستگاه قرار می‌گیرد و به محور متصل می‌شود. نیروی گریز از مرکز باعث چرخش اجرام می شود. این اجرام تو سط یک فنر کشیده می شوند. با افزایش نیروی گریز از مرکز، اجرام از محور مرکزی دورتر می‌شوند و فنر را فشرده می‌کنند. این دوک چرخنده به یک پوشش که یک اهرم را کنترل می‌کند متصل است. این اهرم برای تعیین وضعیت شیر مورداستفاده قرار می‌گیرد.

شیر کنترل ولو یک شیر ضد خوردگی ا ست که وظیفه‌ی تنظیم جریان بخار به درون توربین بخاری را بر عهده دارد. یک شیر ورودی و یک شیر کنترل دریچه بخار خارج از محفظه‌ی بخار به بخار اجازه‌ی ورود به محفظه بخار توربین را می‌دهند. شیر کنترل ولو درون محفظه بخار قرار دارد. شیر کنترل ولو میزان جریان بخار ورودی به نازل را کنترل می‌کند و یکی از بخش‌های بسیار مهم در سیستم کلی کنترل توربین محسوب می‌شود. توربین‌های چندمرحله‌ای دارای چند شیر کنترل ولو هستند که درون یک محفظه قرار می‌گیرند.

دو نوع کنترل ولوجود دارد: کنترل سرعت هیدرولیکی الکترونیکی و کنترل سرعت هیدرولیکی مکانیکی. یک سیستم معمولی کنترل ولو ممکن است به ۳ قسمت تقسیم شود. یک جزء حساس به‌سرعت، یک آمپلی‌فایر سنسور حرکت به سمت شیر کنترل و یک شیر کنترل.

- **سیستم روغن‌کاری**

روغن روانساز پنج کاربرد دارد. یاتاقان‌ها و چرخ‌دنده‌ها را روان می‌کند. اجزای آغشته به روغن را خنک می‌کند. حرارت حاصل از اصطکاک را منتقل می‌کند. به‌عنوان واسطه‌ی هیدرولیکی کنترل ولو عمل می‌کند. به‌عنوان واسطه هیدرولیکی برای به‌کاراندازی شیرهای کنترل ولو لوازم ایمنی عمل می‌کند.

- **قطعات دیگر**

توربین‌های بخاری دارای یک تنظیم دستی سرعت باقابلیت تغییر ۱۰ درصدی در سرعت هستند. یک شیر اطمینان (شیر تخلیه فنری خودکار) زمانی که سرعت توربین به حداکثر سرعت طراحی می‌رسد، صدای بلندی را تولید می‌کند. حالت سرعت بیش‌ازحد یک وسیله‌ی ایمنی است که برای غیرفعال کردن سیستم در زمانی که توربین با بیش از ٪۱۱۵ ظرفیت طراحی خود کار کند مورداستفاده قرار می‌گیرد. یک فنر به همراه یک وزنه به مرکز کنترل ولو متصل است و برای بست کنترل ولو نگه‌داشتن شیرها کاربرد دارد. یک شیر خروجی مسیر جریان خروجی توربین را مسدود می‌کند. این شیر هیچ‌گاه نباید در صورت باز بودن شیر ورودی بخار، بسته باشد زیرا جداره‌ی توربین ممکن است متحمل فشارهای بیش‌ازحد شود. یک شیر حالت پروانه‌ای که بار سنگینی نیز روی آن اعمال می‌شود به محفظه بخار متصل است. این شیر به‌صورت مستقل و یا مرتبط با مکانیزم کنترل ولو عمل می‌کند؛ و توسط یک پیوند مستحکم حالت در جای خود نگاه داشته می‌شود.

۶–۵– مشکلات توربین بخاری

توربین‌های بخاری مستعد دو نوع مشکل هستند: لرزش و هانتینگ. برای بررسی عملکرد توربین تجهیزات حساس به لرزش موردا ستفاده قرار می‌گیرد. برای بررسی یاتاقان‌های فشاری و محوری داخلی و خارجی، تکنسین‌ها از پروب‌ها استفاده می‌کنند. لرزش بیش‌ازحد می‌تواند نشانی از خرابی یاتاقان‌ها و یا مشکلات داخلی باشد.

دو نوع لرزش وجود دارد: لرزش شعاعی و حرکت محوری. لرزش شعاعی زمانی که توربین مواج می شود و یا بعد از یک شروع سرد (بدون گرم کردن) و زمانی که دستگاه‌ها به محدوده‌ی سرعت

بحرانی نزدیک می شوند، افزایش پیدا می‌کند. مواج شدن همچنین ممکن است بر حرکت محوری دوار تأثیرگذار باشد. دمای بالای یاتاقان‌ها به هریک از این مشکلات کمک خواهد کرد. اپراتورها باید از این موضوع آگاه باشند که در زمان بررسی (مانیتورینگ) و رفع عیب، مهم‌ترین نکته حرکت محوری است.

توربین‌های بخاری برای عملیات در سرعت کنترل شده‌ای طراحی می‌گردند. اگر توربین بخاری بالاتر و یا پایین‌تر از نقطه‌ی مشخص‌شده نرمال عملیاتی کار کند، مشکلی به نام هانتینگ ممکن است رخ دهد. هانتینگ زمانی که کنترل‌کننده به دنبال سرعت صحیح عملیاتی جستجو می‌کند و سرعت را دستخوش نوسان می‌کند اتفاق می‌افتد. مشکل دیگری که ممکن است سرعت توربین بخار را کم یا زیاد کند، گیرکردن اتصالات مکانیکی است. همان‌گونه که پیش‌تر بحث شد، مسئول تنظیم سرعت عملیاتی توربین سیستم کنترل ولو است. گاهی اوقات، اتصال بین کنترل ولو شیر کنترل ولو دچار گیر می‌شود. این گیر باعث وقوع هانتینگ می‌شود. این مشکلات گیرکردن و یا چسبیدگی را نمی‌توان با روغن‌کاری اتصالات روی توربین بخار رفع نمود.

مشکلات مربوط به فشار بخار ورودی نیز ممکن است باعث هانتینگ توربین بخاری شود. صنعت فرایندهای شیمیایی می‌کوشد تا فشار بخار در قسمت بالای سیستم بخار ثابت بماند. گاهی اوقات دیگ بخار ممکن است به‌خوبی کار نکنند و یا تقاضای بیشتری از سیستم وجود داشته باشد. نوسان در فشار ورودی مکش بر روی توربین اثر می‌گذارد. شاید در روزهای گرم سیستم به‌خوبی کار کند، اما در هوای سرد ممکن است توربین شما را دچار مشکل سازد. برخی توربین‌های بخاری مجهز به یک شیر تنظیم دستی هستند که می‌توان برای ورود بخار بیشتر آن را باز نمود و یا برای ورود بخار کمتر آن را بست. شیرهای دستی عمدتاً برای عملیاتی با بار زیاد و عملیاتی با بار کم بسته هستند.

۶–۶– راه‌اندازی یک توربین بخاری

برای راه‌اندازی یک توربین بخاری، از روند عملیاتی موجود در جدول ۶–۲ پیروی کنید.

جدول ۶–۲: راه‌اندازی یک توربین بخاری

روند	ملاحظات
۱. برای آ سیب‌دیدگی‌های م شهود یک بازر سی ظاهری انجام دهید. شـــیر حالت ســـرعت بیش‌ازحد را دوباره تنظیم کنید. ســطح روغن روانســاز کنترل ولو توربین را چک کنید. اطمینان یابید که پوشـــش اجزای گردان در جای خود قرارگرفته باشند.	
۲. باقیمانده‌های مایع را از توربین خارج کنید. به‌آرامی بخار با فشار پایین را به درون خروجی وارد کنید.	این کار توربین را به‌آرامی گرم می‌کند و شـوک حرارتی را به کمترین مقدار می‌رساند.
۳. و سیله‌ی تثبیت سطح روغن سی ستم روغن‌کاری را چک کنید. سیستم خنک‌کننده را بررسی کنید. سیستم آب‌بند را در جاییکه محور وارد جداره می‌شـود بررســی کنید.	آب خنک‌کننده به‌طور مداوم میان جاکت‌های یاتاقان‌ها به گردش در می‌آید.
۴. به‌آرامی شیر ف شار را باز کنید و سرعت توربین را تا ۱۰ الی ۲۰ درصد سرعت نرمال عملیاتی باز کنید.	این مرحله مرحله‌ی غوطه‌ور کردن در حرارت نامیده می شود و شامل چرخش آرام می شود. (کنترل سرعت در بازه‌ی ۵۰۰-۲۰۰ دور بر دقیقه)
۵. با باز کردن شـیر، گوش دادن به صـدای لاین اوت و برر سی اتصالات کنترل ولو، سرعت توربین را به سرعت نرمال عملیاتی برسانید.	اگر شـیر فشـار را به‌سـرعت باز کنید، کنترل ولو زمان کافی برای کنترل را نخواهد داشـــت و توربین ممکن است از محدودیت‌هایش تجاوز کند.

۶–۷– توربین‌های گازی

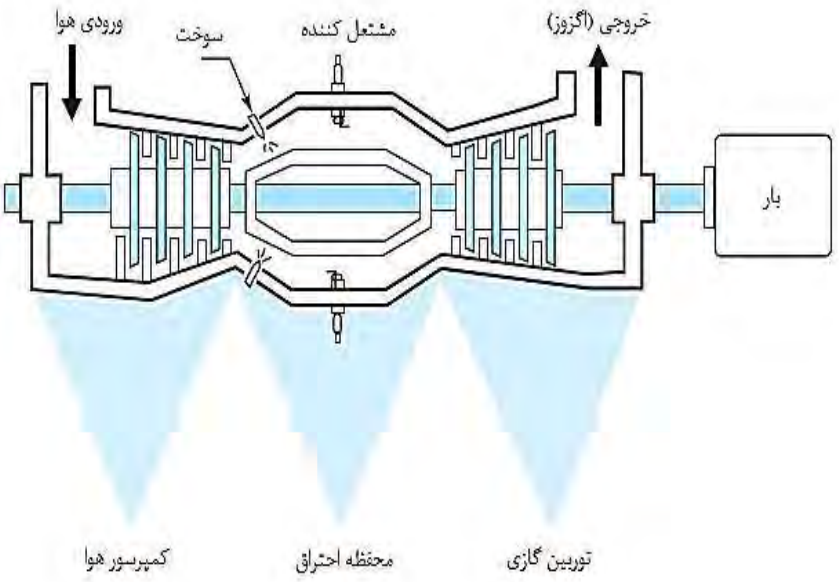
توربین گازی و سیله‌ایست که از گازهای احتراق با فشار بالا برای چرخاندن مجموعه‌ای از چرخ‌های توربین اســـتفاده می‌کند تا انرژی چرخش میله یا محور را فراهم کند. از توربین‌های گازی برای کار انداختن ژنراتورهای الکتریکی، کشـتی‌ها، ماشـین‌های مسـابقه‌ای اسـتفاده می‌شـود و آن‌ها یکی از اجزای اصلی موتورهای جت در نیروی هوایی محسوب می‌شوند. سه بخش اصلی در سیستم توربین گازی وجود دارد: یک کمپرســـور محوری، یک محفظه بخار و یک توربین گازی (شـــکل ۶–۷). سی ستم یا مجموعه‌ی توربین گازی، هوای ف شرده را در محفظه احتراق با سوخت مخلوط می‌کند. یک جرقه این مخلوط را آتش می‌زند که این مخلوط سـپس به قسـمت مکش توربین گازی هدایت می‌شـــود. گازهای احتراق داغ به‌ســـرعت وارد توربین گازی می‌شـــوند و چرخ‌های آن را به گردش درمی‌آورند. گازهای داغ خروجی از بدنه‌ی توربین خارج می شوند. کمپر سور هوا و توربین گازی هر دوبه‌یک محور متصل اندو با هم آن را به کار می‌اندازند.

ازآنجایی‌که کمپرسور هوا و محفظه احتراق به همراه یکدیگر مورداستفاده قرار می‌گیرند، به این وســـیله در بســـیاری مواقع ژنراتور گازی نیز گفته می‌شـــود. در طول عملیات، مقداری از انرژی تولیدشده توسط توربین برای مصرف کمپرسور مورداستفاده قرار می‌گیرد. زمانی که کمپرسور هوا، هوا را به درون سیستم می‌کشد، فشار افزایش می‌یابد. زمانی که هوا با سوخت مخلوط شده و آتش می‌گیرد، فشار بالا، بهسوزی این مخلوط کمک می‌کند. سوخت عملیاتی یک توربین گازی، یا گاز طبیعی و یا نفت است. گازهای احتراق تولید شده توسط نفت یا گاز به همان‌گونه‌ای موردا ستفاده قرار می‌گیرند که از بخار در توربین گازی استفاده می‌شد. هوای مورداستفاده برای احتراق نیز عموماً به‌وســیله‌ی یک فیلتر پاکســازی می‌شــود تا آلودگی‌های موجود در هوا که ممکن اســت باعث ایجاد رسوب در توربین شوند، از آن جدا شود.

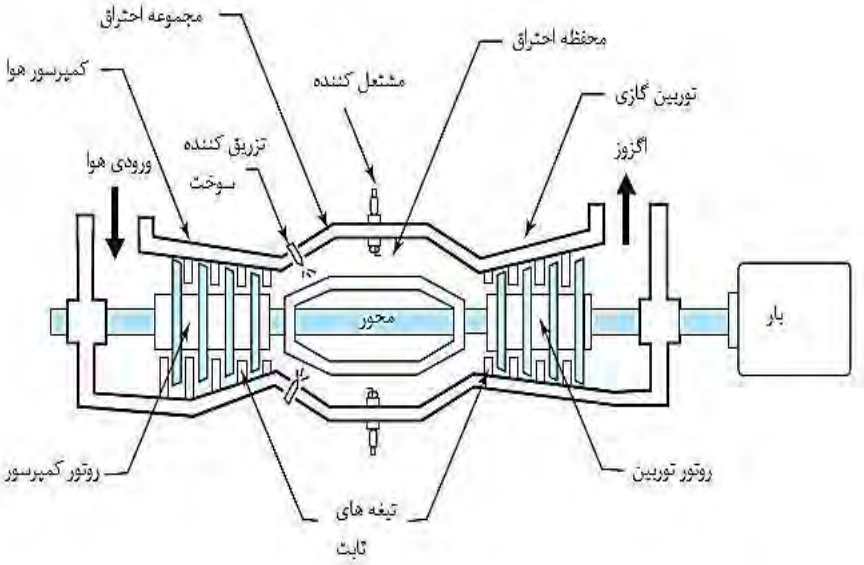
اجزای اصلی توربین گازی در چهار بخش (ناحیه) اصلی قرار می‌گیرند: کمپرسور، محفظه بخار، توربین گازی و بار (شکل ۶–۸). هر یک از این بخش‌ها خود دارای اجزایی اساسی است و همه‌ی آن‌ها توسط یک میلهٔ مشترک به یکدیگر متصل هستند.

کمپرسور متشکل است از مجموعه‌ی پره‌های استاتور، پره‌های دوار، مجموعه قاب کمپرسور، مجموعه فیلتر هوای ورودی، یاتاقان‌ها و آب‌بندها و مجموعه پخش‌کننده کمپرسور. محفظه احتراق متشکل است از تزریق کننده سوخت، مجموعه محترق کننده، مانیفلد گاز روغن، شیر عبور هوا و مشــتعل کننده؛ و توربین گازی شــامل اجزایی از قبیل یک مجموعه دوار تولید گاز، مجموعه انرژی دوار، چرخ‌های متحرک توربین و پره‌های ثابت، قاب و مجموعه نازل، پخش‌کننده خروجی توربین و جمع کننده خروجی. بار نیز شامل محور وسیله‌ای است که توسط توربین به گردش در می‌آید.

هر بخش از ســیســتم توربین گازی، جزء کاملی از کل واحد محســوب می‌شــود. کمپرســورهای جریان محوری جایگزین دیگر انواع کمپرســـورها شـــده‌اند، به دلیل اینکه حجم زیادی را می‌توانند فشـــرده‌ســـازی کنند. محفظه بخار دو جزء خوراک را با هم ترکیب می‌کند تا یک جریان مداوم و پرفشار را به درون توربین بفرستد. توربین گازی دارای تعداد مراحلی است که برای تطبیق داشتن با گازهای در حال انبســـاط و داغی که به‌ســـرعت از میان پره‌های ثابت و متحرک توربین بیرون می‌آیند، بزرگتر در نظر گرفته می‌شوند.



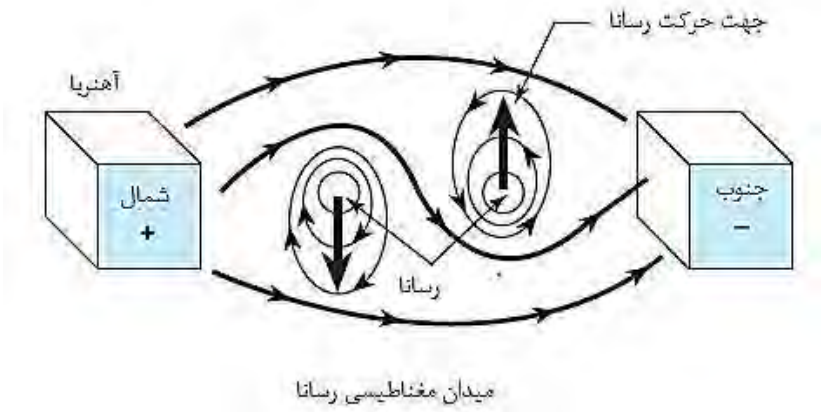
شکل ۶–۷: مجموعه توربین گازی



شکل ۶–۸: اجزای توربین گازی

۶–۸– موتورهای الکتریکی

تاریخ موتورهای الکتریکی در سال ۱۸۲۰، زمانی که فیزیکدان دانمارکی هانس کریستین اورستد کشف کرد که سیم حامل جریان الکتریکی ایجاد میدان مغناطیسی می‌کند، آغاز شد. کشف اصل الکترومغناطیس یک زمینه‌ی علمی جدید را معرفی نمود. در سال ۱۸۲۵، یک فرد انگلیسی به نام ویلیام استراجون یک سیم را به دور یک میله آهنی پیچید و با اینکار یک میدان الکترومغناطیسی بسیار قوی‌تر تولید کرد. زمانی که دانشمندان از این کشف جدید آگاه شدند، پیشرفت‌های متعددی در این زمینه حاصل شد. در سال ۱۸۳۱، یک شیمیدان انگلیسی به نام مایکل فارادی متوجه شد که اگر یک رسانا در یک میدان مغناطیسی قرار گیرد، جریان الکتریکی در آن رسانا ایجاد می‌شود. این اکتشاف منجر به اختراع ژنراتور الکتریکی شد.



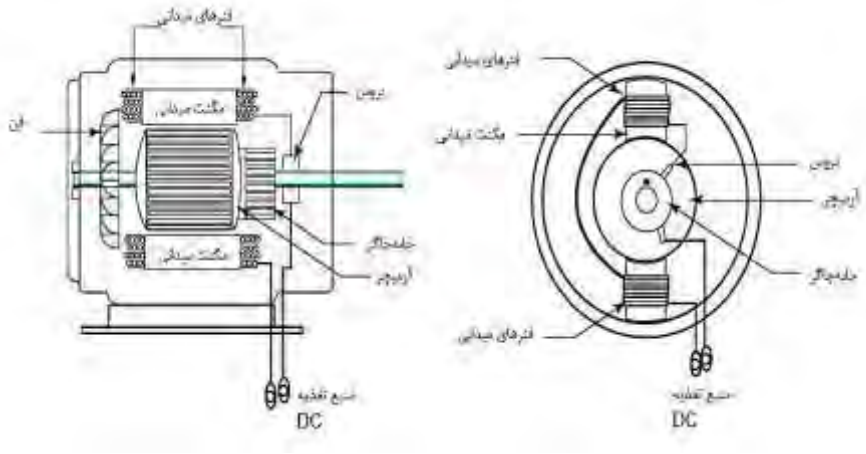
شکل ۶–۹: یک موتور الکتریکی چگونه کار می‌کند

در سال ۱۸۷۳ اولین موتور الکتریکی DC (جریان مستقیم) تجاری به نمایش گذاشته شد. یک مهندس صربستانی به نام نیکولا تسلا در سال ۱۸۸۸ اولین موتور AC (جریان متناوب) را اختراع نمود.

موتورهای الکتریکی برای کار انداختن پمپ‌ها، ژنراتورها، کمپرسورها، فن‌ها، دمنده‌ها و تجهیزات دیگر مورداستفاده قرار می‌گیرند. موتورهای الکتریکی را می‌توان به DC و AC تقسیم نمود. عملیات هر دو نوع موتورها بر سه اصل علمی بنا شده است: جریان الکتریکی ایجاد میدان مغناطیسی می‌کند؛ قطب‌های ناهمنام یکدیگر را جذب می‌کنند و قطب‌های همنام یکدیگر را دفع می‌کنند؛ و جهت جریان، قطب‌های مغناطیسی را تعیین می‌کند. یک موتور الکتریکی از یک مگنت

ثابت (ا ستاتور[1]) و یک ر سانای گردان (دوار) ت شکیل می شود. یک میدان مغناطیـ سی ثابت تو سط خطوط نیروی بین قطب‌های مگنت ثابت تشکیل می‌شود. (شکل ۶–۹).

در یک موتور DC یک ر سانا (آرمیچر[2]) بین قطب‌های شمال و جنوب یک مگنت قرار می‌گیرد. (شـکل ۶–۱۰). یک جابه‌جاگر برای برعکس کردن جهت جریان به کار برده می‌شـود که با این کار انتقال جریان از منبع انرژی به آرمیچر آ سان می شود. آرمیچر یک و سیله‌ی ا ستوانه‌ای شکل ا ست که به یک درایو محور مت صل ا ست و برای این طراحی شده ا ست که زمانی که جریان از آن عبور می‌کند نقش یک الکترومغناطیس را ایفا کند. در طی عملیات آرمیچر درون میدان‌های مغناطیسـی می‌چرخد. در فواصـل معینی چرخش میان میدان‌های مغناطیسـی قطع می‌شـود و جریان برعکس می‌شـــود. این فرایند در هر نیم دور چرخش آرمیچر اتفاق می‌افتد. ســـاختار میدانی، یک میدان مغناطیسی فراهم می‌کند تا آرمیچر درون آن بچرخد. میدان‌های مغناطیسی ترکیبی از خطوط نیرو هستند. در موتورهای DC عبارات ساختار میدانی، مگنت میدانی و فنر (مارپیچ) های میدانی ممکن اســـت برای نشـــان دادن آهنربای ثابت به کار برده شـــود. در یک موتور DC زمانی که جریان الکتریسیته از ر سانا عبور می‌کند، ر سانا تبدیل به یک الکترومغناطیس می‌شود و میدان مغناطیسی دیگری درون خطوط نیروی اصـلی تولید می‌کند. با افزایش شـدت در میدان، آن‌ها یکدیگر را قوی می‌کنند و علیه ر سانا نیروارد می‌کنند. جریان و این میدان‌های مغناطیـ سی قوی، جهت چرخش در یک موتور DC را تعین می‌کنند.

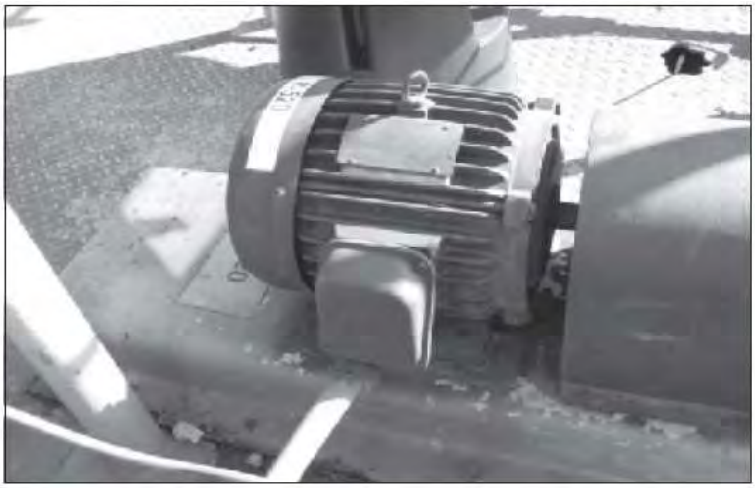


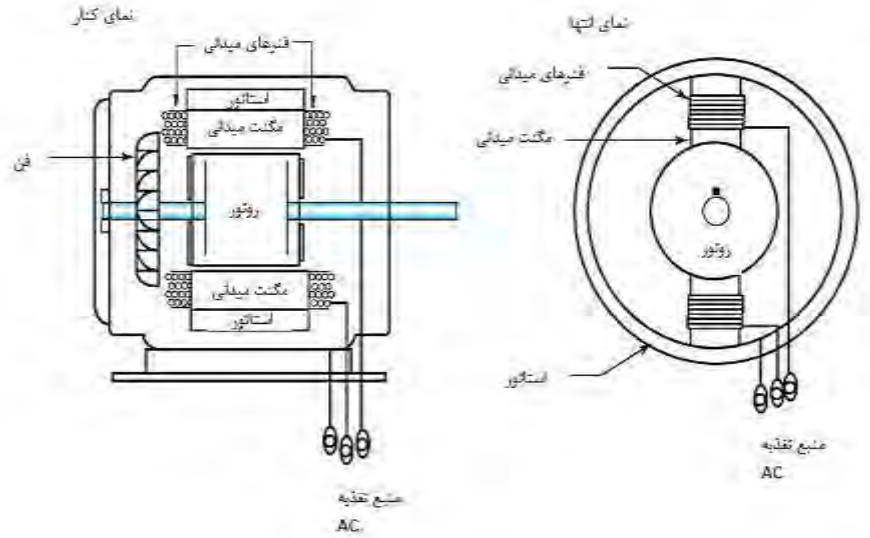
شکل ۶–۱۰: موتور DC

[1] Stator
[2] Armature

دوار در موتور AC در یک هستهٔ آهنی چفت می‌شود. (شکل ۶–۱۱). میله‌های مسی در شیارها قرار داده می‌شـــوند. دو حلقه‌ی ضـــخیم مســـی این میله‌ها را در جای خود نگاه می‌دارند. برخلاف موتور DC، جریان الکتریکی در موتور AC مستقیماً وارد دوار نمی‌شود. جریان متناوب وارد استاتور می‌شود و تولید یک میدان مغناطیسی در حال چرخش می‌کند. استاتور به این طریق مصنوعی، یک جریان الکتریکی در دوار ایجاد می‌کند که این جریان دومین میدان مغناطیســـی را تولید می‌کند. زمانی که این دو میدان هرد با هم کار می‌کنند، دوار به چرخش در می‌آید. یک موتور AC معمولی از استاتور، فنرهای میدانی، مگنت میدانی، دوار، محور، یاتاقان‌ها و آب‌بندها، جعبه جریان، قاب، فن، پوشش و یک منبع تغذیه‌ی AC تشکیل می‌شود.

سه طرح ا صلی در موتورهای DC وجود دارد: سری، موازی، مرکب. تفاوت بین این طرح‌ها به دلیل وضعیت و ترتیب مدار در ساختار میدانی و آرمیچر است. موتورهای سری در آرمیچر و ساختار میدانی به صورت سری متصل می شوند. جریان الکتریکی از مگنت میدانی و آرمیچر عبور می‌کند. یک خصیصه‌ی مهم موتورهای سری این است که می‌توانند به‌سرعت فعال‌سازی شوند. سرعت موتور تحت تأثیر میزان بار خواهد بود. موتورهای موازی به‌طور موازی بسته می شوند و جریان از مگنت و آرمیچر عبور می‌کند. سیم پیچیده شده دور مگنت میدانی مقاومت ایجاد می‌کند و قدرت جریان و میدان مغناطیسی را مشخص می‌کند. خصوصیت مهم موتورهای موازی این است که قادر هستند بدون بستگی به میزان بار، در هر سرعتی کار کنند. موتورهای آرمیچر با دو مگنت به آرمیچر وصل می‌شوند، یکی سری و دیگری به‌طور موازی. موتورهای مرکب به‌طور هم‌زمان دارای خصوصیت‌های سری و موازی هستند.

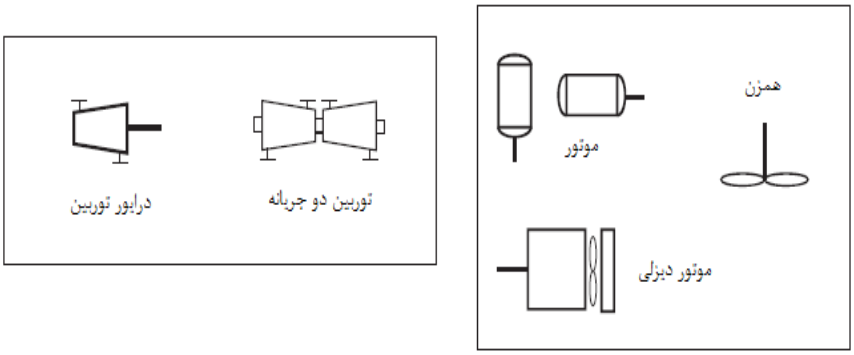




شکل ۶–۱۱: موتور AC

۶–۹– نمادهای توربین‌ها و موتورها

توربین‌ها و موتورها را می‌توان توسط نمادها نشان داد. شکل ۶–۱۲ نمادهای توربین بخاری و موتورها را نشان می‌دهد.



شکل ۶–۱۲: نمادهای توربین‌های بخاری و موتورها

خلاصه

توربین‌ها انرژی سینتیکی (انرژی جنبشی) را به انرژی مکانیکی تبدیل می‌کنند که برای رساندن چرخش به تجهیزات محوری مورداستفاده قرار می‌گیرد. توربین‌ها می‌توانند از انرژی سینتیکی مایع (توربین‌های هیدرولیکی)، باد (آسیاب بادی)، بخار و گاز استفاده کنند.

با ورود بخار به توربین بخاری، به‌سوی یک نازل هدایت می‌شود. نازل بخار را به سمت پره‌ها که به محور متصل هستند هدایت می‌کند. پره‌های محور دوار را تشکیل می‌دهند. زمانی که بخار به دوار نیروارد می‌کند و با تبدیل انرژی بخار به انرژی مکانیکی، حرکت ایجاد می‌شود.

توربین‌های بخاری بر ا ساس نوع به د سته‌های زیر طبقه‌بندی می شوند: چگالنده (بخار خارجی تبدیل به مایع می‌شود.)، غیرچگالنده (بخار خروجی برای مصرف در کاربردهای بخار فشار پایین ا ستفاده می شود)، واکن شی (بخار از طریق نازلی که به دوار مت صل ا ست تخلیه می شود و حرکت، یک پاسخ واکنشی است به آزادسازی بخار)، ضربه‌ای (برای ایجاد حرکت، بخار بر روی دوار کار انجام می‌دهد.)، یک مرحله‌ای و چندمرحله‌ای. بیشتر کارخانه‌ها از نوع ضربه‌ای استفاده می‌کنند.

یک توربین گازی برای این که مجمو عه‌ای از چرخ های توربین را برای فراهم کردن انرژی چرخشی برای یک وسیله‌ی موردنظر بچرخاند، از احتراق در فشار بالا به همان نحوی استفاده می‌کند که توربین بخاری برای چرخش دوار از بخار استفاده می‌کند. مجموعه‌ی توربین گازی، هوا را در یک محفظه احتراق با سوخت مخلوط می‌کند. یک مشتعل کننده، مخلوط را آتش میزند و آن را به بخش مکش توربین گازی هدایت می‌کند. گازهای داغ احتراق به‌سرعت وارد توربین گازی می‌شوند و چرخ خای آن را به گردش درمی‌آورند.

موتور های الکتریکی برای راه ا نداختن پمپ ها، ژنراتور ها، کمپرسور ها، فن ها، دمنده ها و تجهیزات دیگر مورداستفاده قرار می‌گیرند. عملیات یک موتور الکتریکی بر اساس سه اصل علمی بنا شده است: جریان الکتریکی تولید میدان مغناطیسی می‌کند؛ قطب‌های مغناطیسی یکدیگر را جذب و دفع می‌کنند؛ و جهت جریان، قطب های مغناطیسی را تعیین می‌کند. یک موتور الکتریکی مت شکل ا ست از مگنت ثابت (ا ستاتور) و یک ر سانای متحرک (دوار). یک میدان مغناطیسی ثابت توسط خطوط نیروی بین قطب‌های میدان تشکیل می‌شود.

سؤالات مروری

۱) شیر کنترل ولو چیست؟
۲) غوطه‌ور کردن با گرما و چرخش آرام را توضیح دهید.
۳) هانتینگ به چه معناست؟
۴) تفاوت اصلی میان توربین‌های بخاری واکنشی و ضربه‌ای را توضیح دهید.
۵) آب‌بند لابرینت چیست؟
۶) توضیح دهید یک نازل چگونه در توربین بخاری عمل می‌کند.
۷) حالت سرعت بیش‌ازحد چیست؟
۸) نحوه‌ی عملکرد توربین گازی را توضیح دهید.
۹) کاربرد شیرهای تخلیه‌ی ایمنی را در توربین‌های بخاری توضیح دهید.
۱۰) نحوه‌ی عملکرد موتور الکتریکی را بیان کنید.
۱۱) توضیح دهید چرا شیر فشاری در عملیات توربین بخاری اهمیت دارد.
۱۲) کاربرد صافی بخار چیست؟
۱۳) اجزای توربین بخاری را نام ببرید.
۱۴) کاربرد اصلی یاتاقان‌های محوری و شعاعی را بیان کنید.
۱۵) کاربرد و عملکرد محفظه بخار در یک توربین بخاری را توضیح دهید.
۱۶) هدف و عملکرد سیستم کنترل ولو را توضیح دهید.
۱۷) چرا بازرسی لرزش در توربین بخاری اهمیت دارد؟
۱۸) نحوه‌ی راه‌اندازی یک توربین بخار را توضیح دهید.

فصل هفتم

مبدل‌های حرارتی

اهداف

پس از مطالعه این فصل، دانشجو با موارد زیر آشنا می‌شود:

- اصول اولیهٔ جریان سیال در یک مبدل حرارتی
- روش‌های انتقال حرارت به‌کاررفته در مبدل‌های حرارتی
- مقایسه عملکرد لوله‌های مسطح و پره‌دار
- اجزای اصلی یک مبدل حرارتی دو لوله‌ای
- یک مبدل حرارتی پوسته و لوله تک گذره سر ثابت
- یک مبدل حرارتی پوسته و لوله چند گذره سر ثابت
- مبدل حرارتی لوله U شکل
- اصول عملیاتی یک ریبویلر کتری (کتل[1]) و ترموسیفون
- انواع مبدل‌های حرارتی مورداستفاده در برج تقطیر
- رسم یک سیستم سادهٔ مبدل حرارتی
- اجزای اصلی و عملکرد یک مبدل حرارتی صفحه‌ای واشردار (قاب و صفحه)
- اجزای اصلی یک مبدل حرارتی هوا خنک
- طراحی و عملکرد یک مبدل حرارتی حلزونی (مارپیچ)

[1] Reboiler Kettle

۷–۱– انواع مبدل‌های حرارتی

انتقال حرارت عامل مهمی در بسیاری از فرایندهای صنعتی است. مبدل‌های حرارتی به‌طور وسیعی برای انتقال حرارت از یک جریان به جریان دیگری استفاده می‌شوند. یک مبدل حرارتی، انرژی گرمایی را از جریان داغ به‌واسطه هدایت و جابه‌جایی به جریان سردتر منتقل می‌کند. مبدل حرارتی گرمایش و سرمایش یک فرایند را فراهم می‌کند. تاکنون مجموعهٔ وسیعی از مبدل‌های حرارتی برای استفاده در صنعت فرایندهای شیمیایی طراحی و تولیدشده است.

در مبدل‌های لوله‌ای[1] (چنبره‌ای)، برای انتقال حرارت، لوله‌ای در آب غوطه‌ور می‌شوند و یا با آب اسپری می شوند. این نوع عملیات انتقال حرارت، دارای ضریب بازدهی پایین است و به فضای زیادی نیاز دارد. این نوع انتقال حرارت برای کندانس[2] بخارات با بار حرارتی پایین مناسب‌تر است.

مبدل حرارتی دو لوله‌ای، دارای طراحی لوله‌ای درون لولهٔ دیگر است. سطح بیرونی لوله داخلی در این مبدل‌ها می‌تواند مسطح یا پره‌دار (فین دار[3]) باشد. مبدل‌های حرارتی دو لوله‌ای معمولاً در عملیات جریان‌های سری، در فشارهای بالا تا ۵۰۰psig در قسمت پوسته و تا ۵۰۰۰psig در قسمت لوله مورداستفاده قرار می‌گیرند.

یک مبدل حرارتی پوسته و لوله دارای یک پوستهٔ استوانه‌ای است که یک مجموعه از لوله‌ها را احاطه کرده است. جریان درون این نوع مبدل را با نام جریان درون لوله و جریان درون پوسته عنوان می‌کنند. یک مجموعه از بافل‌ها برای پشتیبانی از لوله‌ها، جهت دهی به جریان، افزایش سرعت، کاهش لرزش و حفاظت از نوع لوله گذاری در این مبدل به کار گرفته شده است که باعث افت فشار نیز می‌شود. مبدل‌های پوسته و لوله را می‌توان به‌صورت سرثابت تک گذره، سرثابت چند گذره، سرشناور چند گذره و یا لوله U شکل طبقه‌بندی نمود. در یک مبدل سرثابت (شکل ۷-۱)، ورق‌های لوله به پوسته متصل اند. مبدل‌های حرارتی سرثابت به‌منظور کنترل اختلاف دماهای تا ۲۰۰ درجه فارنهایت (۹۳/۳۳ درجه سانتی‌گراد) طراحی شده‌اند. انبساط حرارتی در این نوع مبدل حرارتی مانع خروج آن از محدودهٔ اختلاف دمایی می‌شود. این مبدل برای عملکرد هیتر و کندانسور بسیار مناسب است. مبدل‌های حرارتی سر شناور برای اختلاف دماهای زیاد، بالاتر از ۲۰۰ درجه فارنهایت طراحی شده‌اند. در طول عملیات، یک صفحه لوله ثابت و دیگری درون پوسته شناور است. سر شناور به پوسته متصل نیست و برای انبساط آزاد است.

---

[1] Pipe coil exchanger
[2] Condensate
[3] Finned

شکل ۷-۱: مبدل حرارتی سر ثابت

ریبویلرها مبدل‌های حرارتی هستند که برای حرارت دادن و به جوش آوردن مجدد مایعی که قبلا در دمای جوش بوده مورداستفاده قرار می‌گیرند. انواع رایج آن در صنعت، ریبویلرکتری و ریبویلر ترموسیفون هستند.

مبدل‌های حرارتی صفحه‌ای واشردار (قاب و صفحه) از صفحه‌های نازک متناوب ساخته شده که برای سرویس گرم و سرد طراحی شده است. هر صفحه دارای یک واشر (درزگیر) خارجی است که هر بخش را درزگیری می‌کند. مبدل‌های حرارتی صفحه‌ای واشردار یک جریان ورودی و خروجی سرد و گرم دارند. هدرهای جریان سرد و گرم در همه صفحات تعبیه شده‌اند که از هر صفحه می‌توان به بخش‌های سرد و گرم دسترسی داشت. این وسیله برای سیال‌های ویسکوز و خورنده بسیار مناسب است. این مبدل انتقال حرارت بسیار بالایی را فراهم می‌کند. مبدل‌های حرارتی صفحه‌ای واشردار، کوچک (جمع و جور) هستند و تمیز کردن آن‌ها آسان است. محدودیت عملیاتی ۳۵۰ تا ۵۰۰ درجه فارنهایت (۱۷۶/۶۶ تا ۲۶۰ درجه سانتی‌گراد) برای حفاظت از واشرهای داخلی در نظر گرفته می‌شود. به دلیل خصوصیات طراحی، مبدل‌های حرارتی صفحه‌ای واشردار برای جوشاندن و کندانس کردن مناسب نیست. در بسیاری از فرایندهای صنعتی، از این مبدل‌ها برای سیستم مایع-مایع استفاده می‌شود.

مبدل‌های حرارتی هوا خنک (کولر هوایی[1]) در عملکرد شان به استفاده از پوسته نیازی ندارند. لوله‌های فرایند به یک جعبه هدر ورودی و برگشتی متصل هستند. لوله‌ها می‌توانند پره‌دار یا صاف باشند. برای فشردن و کشیدن هوای بیرون از روی لوله‌ها از یک فن استفاده می شود. مبدل‌های

[1] Air-cooled

حرارتی هوا خنک اساساً در عملیات کندانس کردن که سطح بالایی از انتقال حرارت موردنیاز است، استفاده می‌شوند.

مشخصهٔ مبدل‌های حرارتی حلزونی طراحی فشردهٔ متمرکز آنها ست که جریانی با یکپارچگی بالا در محیط فرایند تولید می‌کنند؛ مانند سایر مبدل‌ها، مبدل حرارتی حلزونی دارای ورودی و خروجی سرد و همچنین ورودی و خروجی گرم است. مساحت سطح داخلی، عنصر هدایتی انتقال حرارت را فراهم می‌کند. مبدل‌های حرارتی حلزونی دارای دو محفظهٔ داخلی هستند.

انجمن تولیدکنندگان مبدل‌های لوله‌ای (TEMA)[1] مبدل‌های حرارتی را با توجه به تنوع مشخصات طراحی ازجمله کد تولید، تولرانس ها و طراحی مکانیکی جامعه مهندسان مکانیک امریکایی (ASME)[2] طبقه‌بندی می‌کنند:

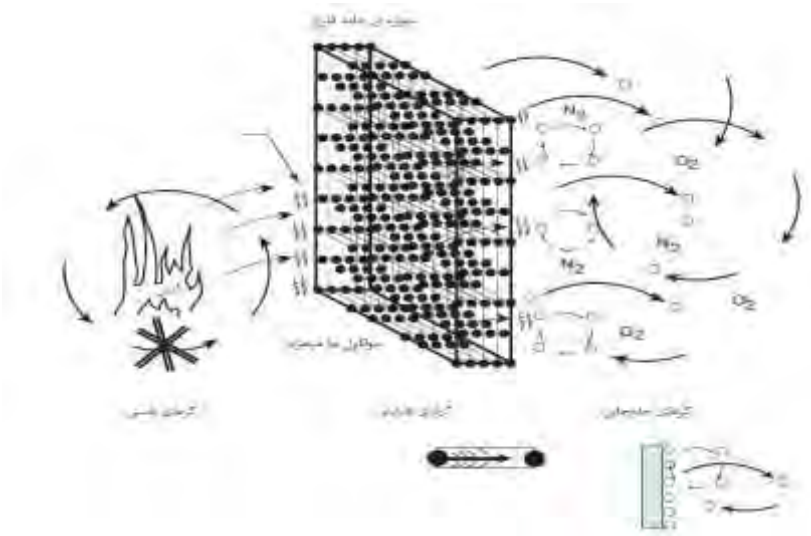
- دسته B: طراحی شده برای عملیات عمومی (طراحی اقتصادی و فشرده)
- دسته C: طراحی شده برای سرویس ملایم و عملیات عمومی (طراحی اقتصادی و فشرده)
- دسته R: طراحی شده برای شرایط سخت (ایمن و پر دوام)

۷-۲- انتقال حرارت و جریان سیال

روش‌های انتقال حرارت عبارت‌اند از هدایت، جابه‌جایی و انتقال حرارت تابشی (شکل ۷-۲). این روش‌ها در محیط‌های پتروشیمی، پالایشگاهی و آزمایشگاهی باید به‌خوبی درک شوند. در همهٔ مبدل‌های حرارتی، ترکیبی از انتقال حرارت جابه‌جایی و هدایتی را می‌توان دید. بهترین شرایط برای انتقال حرارت عبارت‌اند از وجود اختلاف دمای زیاد میان جریان گرم شونده و سرد شونده (هرچه اختلاف دما بیشتر، انتقال حرارت نیز بیشتر خواهد بود)، سرعت‌بالای جریان سردکننده و گرم‌کننده و همچنین بزرگی سطح تماس عرضی مبدل.

---

[1] TEMA: The Tubular Exchanger Manufactures Association
[2] ASME: American Society of Mechanical Engineers



شکل ۷-۲: انتقال گرما

۷-۲-۱- هدایت

انرژی گرمایی از طریق اجسام جامد مانند لوله‌ها، سری‌ها (هدرها[1])، بافل‌ها، صفحه‌ها، پره‌ها و پوسته با مکانیزم هدایتی منتقل می‌شود. این فرایند زمانی اتفاق می‌افتد که مولکول‌های تشکیل دهندهٔ بلور جامد شروع به جذب انرژی از یک منبع گرم‌تر می‌کند. ازآنجاکه مولکول‌ها درون یک ماتریکس[2] (بلور) ثابت هستند و نمی‌توانند حرکت کنند، شروع به ارتعاش می‌کنند و با این کار، انرژی را از منبع گرم به منبع سردتر منتقل می‌نمایند.

۷-۲-۲- جابه‌جایی

جابه‌جایی در سیالات زمانی اتفاق می‌افتد که مولکول‌های گرم‌تر به‌سوی مولکول‌های سرد تر حرکت می‌کنند. این حرکت مولکول‌ها، جریان‌های را در سیال به وجود می‌آورد که باعث توزیع مجدد انرژی گرمایی می‌شود. این امر تا زمانی که توزیع حرارت در همه جا یکسان شود، ادامه می‌یابد. در یک مبدل حرارتی، این فرایند در سطح تماس سیال های متحرک و در زمانی که آن‌ها درون مبدل از کنار یکدیگر عبور می‌کنند اتفاق می‌افتد. نحوهٔ قرارگیری بافل‌ها و جهت جریان تعیین می‌کند که چگونه فرایند جابجایی در قسمت های مختلف مبدل انجام شود.

---

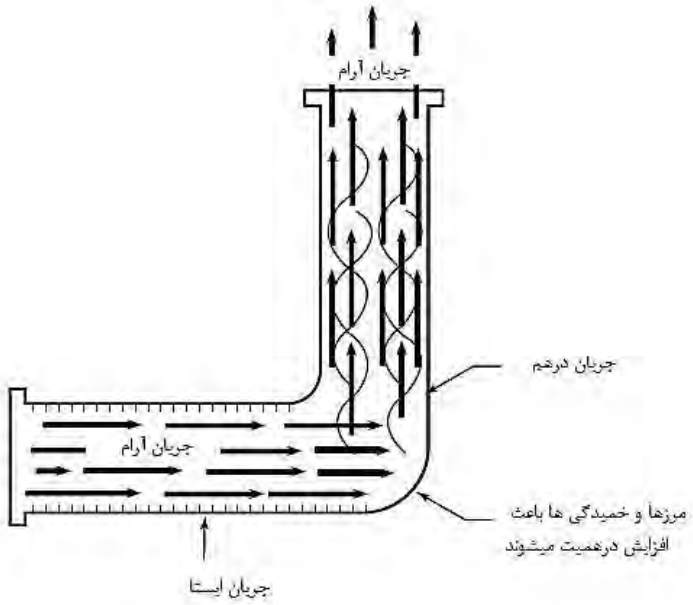
[1] Heads
[2] Matrix

۷-۲-۳- انتقال حرارت تابشی

بهترین مثال گرمای تابشی گرم شدن زمین توسط خورشید است. گرمای خورشید از طریق امواج الکترومغناطیسی منتقل می‌شود. انتقال حرارت تابشی تحت تأثیر ضریب دید دو جسم است، بنابراین محل قرارگیری منبع و دریافت کننده مهم است. انتقال حرارت تابشی در مبدل‌های حرارتی مورداستفاده قرار نمی‌گیرد.

۷-۲-۴- جریان درهم و آرام

دو طبقه‌بندی اصلی جریان سیال، آرام و درهم است (شکل ۷-۳). جریان آرام، یا استریم لاین[1]، در قالب لایه‌های نازک استوانه‌ای مایع جاری با مدل موازی درون سیستم جریان می‌یابد. این نوع جریان در صورت هرگونه آشفتگی مقدار اندکی یکپارچگی دارد (حرکت چرخشی و گردانه‌ای). جریان آرام معمولاً در دبی‌های پایین وجود دارد. با افزایش دبی جریان، الگوی جریان آرام به الگوی جریان درهم تبدیل می‌شود. جریان درهم حرکت تصادفی و یا اختلاط سیالات است. با آغاز جریان درهم، اکتیویته (فعالیت) مولکولی افزایش پیدا می‌کند تا جایی که جریان کاملاً درهم می‌شود.



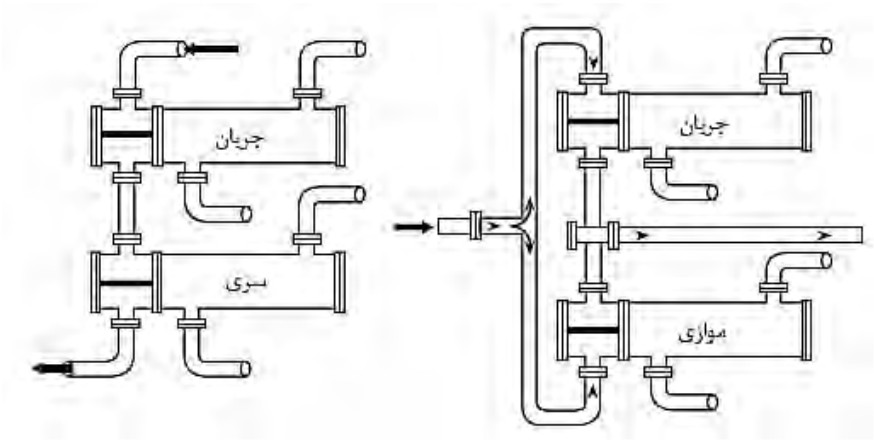
شکل ۷-۳: جریان آرام و درهم

[1] Streamline

جریان درهم بیش از جریان آرام به مولکول‌های سیال اجازه می‌دهد تا با هم مخلوط شوند و حرارت جذب کنند. جریان آرام باعث افزایش ر شد غ شا ای ستا[1] (یا فیلم ا ستاتیک که به‌عنوان یک عایق عمل می‌کند) می‌شود. جریان درهم ضخامت غشای ایستا را کاهش و سرعت انتقال حرارت را افزایش می‌دهد.

۷–۲–۵– جریان سری و موازی

مبدل‌های حرارتی را می‌توان به شکل‌های مختلفی به یکدیگر متصل نمود. رایج‌ترین روش‌ها، سری و موازی هستند (شکل ۷-۴). در جریان سری (شکل ۷-۵) جریان درون لوله در یک مبدل حرارتی چندگذره به جریان درون لولهٔ مبدل حرارتی دوم وارد می‌شود. این مسیر تخلیه را می‌توان برحسب عملکرد مبدل به بخش لوله یا پوسته برد. اصل در اینجا این است که هر جریان قبل از عبور از مبدل دوم، از مبدل قبلی آن عبور کند. در جریان موازی، جریان فرایند هم‌زمان وارد چند مبدل می‌شود.



شکل ۷-۴: جریان‌های سری و موازی

[1] Static film

شکل ۷-۵: مبدل‌های حرارتی با جریان سری

۷-۲-۶- کارایی مبدل‌های حرارتی

طراحی یک مبدل معمولاً تعیین می‌کند که مبدل با چه میزان کارایی و بازدهی می‌تواند انرژی گرمایی را انتقال دهد. گرفتگی[1] یکی از مشکلاتی است که توانایی انتقال حرارت مبدل را متوقف می‌کند. در طول کار مداوم، مبدل‌ها تمیز باقی نمی‌مانند. آلودگی، پوسته‌ها[2] و رسوبات فرایند به همراه گرما، باعث ایجاد محدودیت‌هایی درون مبدل می‌شوند. این رسوبات روی دیواره‌های مبدل مانع عبور جریانی که تمایل به حذف گرما دارد، می‌شود و با عایق کردن دیواره‌های داخلی هدایت گرمایی را متوقف می‌کند.

مقاومت مبدل در مقابل گرفتگی به نوع سیال جاری در آن، میزان و نوع جامدات معلق در سیستم، قابلیت مبدل برای تجزیه حرارتی و همچنین سرعت و دمای جریان سیال بستگی دارد. گرفتگی را می‌توان با افزایش سرعت سیال و کاهش دمای آن کاهش داد. گرفتگی اغلب به وسیلهٔ چک‌لیست‌هایی که فشارهای ورودی و خروجی لوله و فشارهای ورودی و خروجی پوسته را مدون می‌کند، ردیابی و شناسایی می‌شود. از این داده‌ها می‌توان برای محاسبهٔ اختلاف فشار یا Δp استفاده نمود. اختلاف فشار، عبارت است از اختلاف بین فشارهای ورودی و خروجی که با Δp و یا delta p نشان داده می‌شود.

---

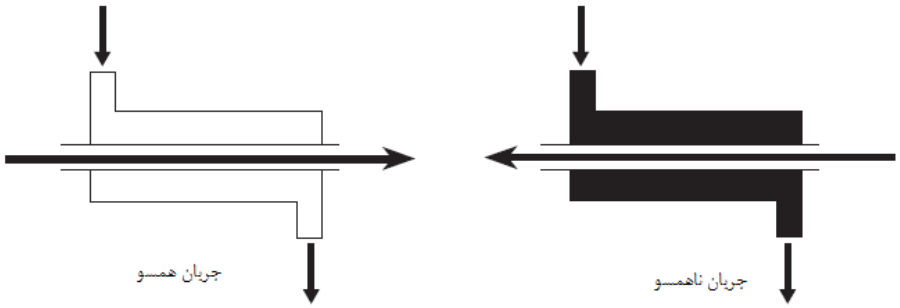
[1] Fouling
[2] Scale

خوردگی و فر سایش (ساییدگی) از دیگر م شکلات یافت شده در مبدل‌ها ه ستند. مح صولات شـیمیایی، حرارت، جریان سـیال و زمان، به از کار افتادن اجزای داخلی یک مبدل کمک می‌کنند. بازدارنده‌های شیمیایی برای جلوگیری از خوردگی و گرفتگی ا ضافه می شوند. این بازدازنده‌ها برای به حداقل رساندن خوردگی، رشد جلبک‌ها و رسوبات معدنی طراحی می‌شوند.

۷-۳- مبدل حرارتی دو لوله‌ای

یکی از طرح‌های سـادهٔ انتقال حرارت در مبدل دو لوله‌ای دیده می‌شـود. مبدل دو لوله‌ای دارای دو لولهٔ تو در تو اسـت (شـکل ۷-۶). لولهٔ بیرونی نقش پوسـته و لولهٔ درونی نقش لوله را ایفا می‌کند. جریان‌های گرم و سرد می‌توانند در یک جهت (جریان موازی) و یا در خلاف جهت یکدیگر (جریان ناهمسو یا متقابل) باشند.

جهت جریان‌های معمولاً ناهمسـواسـت، زیرا بازده بیشـتری دارد. این بازدهی بیشـتر زاییدهٔ اثر جذب درهم و مختلف الجهت در جریان‌های متقابل اسـت. هرچند که دو جریان هرگز با یکدیگر تماس فیزیکی ندارند، دو جریان گرمایی (گرم و سـرد) با یکدیگر در تعامل‌اند. جریان‌های همرفتی حاوی انرژی درون هر لوله با هم مخلوط می‌شوند و باعث انتقال (توزیع) حرارت می‌شوند.



شکل ۷-۶: مبدل حرارتی دو لوله‌ای

در یک مبدل با جریان موازی (همسو)، دمای خروجی یک سیال تنها می‌تواند به دمای خروجی سیال دیگر نزدیک شود. در یک مبدل با جریان ناهمسو، دمای خروجی یک سیال می‌تواند به دمای ورودی سـیال دیگر نزدیک شـود. به دلیل این کاهش اختلاف دما، در مبدل‌هایی با جریان موازی انتقال حرارت کمتری صورت می‌گیرد. غ شاهای ایستا تولید شده در لوله‌ها مانند موانع عایقی عمل می‌کنند و انتقال حرارت را محدود می‌سازند.

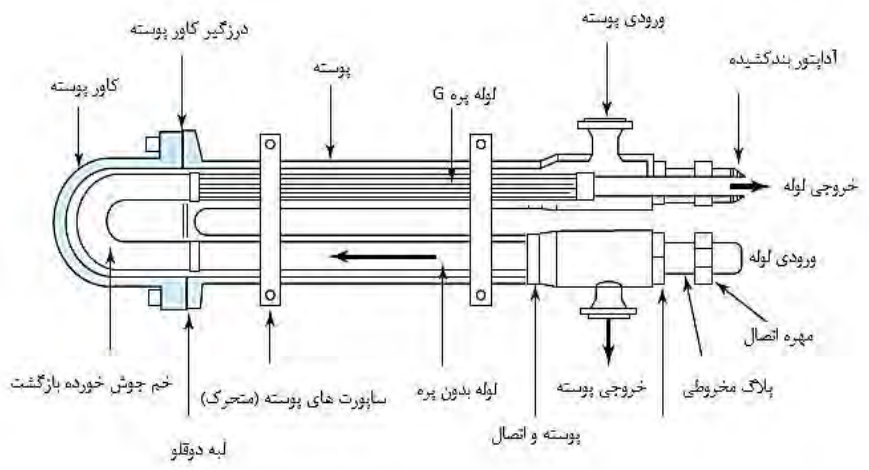
مایع نزدیک به لوله داغ است و مایع در جایی که بیشترین فاصله را با لوله دارد سردتر است. هر نوع اثر درهم کننده ای می‌تواند غ شای ای ستا را از بین ببرد و با به گردش درآوردن آن در محفظه، انتقال حرارت را افزایش دهد. جریان موازی برای ایجاد ادی های (گردانه های) جریان درهم، مساعد نیست.

یکی از محدودیت‌های سیستمی مبدل‌های حرارتی دو لوله‌ای، میزان دبی جریانی است که می‌توانند عبور دهند. معمولاً، دبی‌های جریان در این نوع مبدل، بسیار پایین هستند و همچنین دبی پایین، شرایط مساعدی برای ایجاد جریان آرام است.

۷-۳-۱- مبدل‌های حرارتی هیرپین (سنجاق سری)

در صنعت فرایندهای شیمیایی عموماً از مبدل‌های حرارتی نوع هیرپین استفاده می‌شود (شکل ۷-۷). این مبدل ها از دو حالت پایه استفاده می‌کنند: طراحی دو لوله‌ای و طراحی چندلوله‌ای. مبدل‌های هیرپین عموماً در محدودهٔ ۵۰۰psig در بخش پوسته و ۵۰۰۰psig در بخش لوله عمل می‌کنند. این مبدل‌ها نام خود را از شکل غیرعادی گیره مانند (سنجاقی) خود می‌گیرند. طراحی دو لوله‌ای آن شامل دو لوله است که درون یکدیگر قرار می‌گیرند. برای افزایش انتقال حرارت ممکن ا ست پره‌هایی به جدارهٔ خارجی لولهٔ داخلی ا ضافه شود؛ اما هیرپین چند لوله‌ای شبیه به یک نوع مبدل حرارتی پوسته و لوله است که کشیده و خم شده و به شکل سنجاق سر درآمده است.

طراحی هیرپین دارای مزایا و معایب بسیار است. ازجمله مزایای آن می‌توان به ظرفیت بالا برای انبساط حرارتی به دلیل حالت U شکل آن، طراحی پره‌ای که برای کار با سیالاتی با ضریب انتقال حرارت پایین منا سب ا ست و همچنین فشار بالای آن در قسمت لوله ا شاره نمود. علاوه بر این ها، نصب و تمیز کردن آن آسان است، طراحی پیمانه ای آن باعث می‌شود به‌راحتی بتوان قسمت‌هایی را به آن ا ضافه نمود و همچنین اجزای تعویض شوندهٔ آن ارزان و همیشه در د سترس ه ستند؛ اما ازجمله معایب آن این است که به اندازهٔ بسیاری از مبدل‌های حرارتی پوسته و لوله مقرون به صرفه نیست و همچنین نیاز به درزگیرهای (واشرهای) مخصوصی دارد.



شکل ۷-۷: مبدل هیرپین

۷-۴- مبدل‌های پوسته و لوله

رایج‌ترین نوع مبدل‌ها در صنعت، مبدل‌های پوسته و لوله است. مبدل‌های حرارتی پوسته و لوله برای دبی‌های بالا در فرایندهای پیوسته طراحی شده‌اند. تنظیم وضع لوله‌ها برحسب فرایند و میزان انتقال حرارت مطلوب، متغیر است. با ورود جریان درون لوله به مبدل – یا "سری[1]"- جریان به سمت لوله‌های موازی با یکدیگر هدایت می‌شود. این لوله‌ها درون یک پوسته قرار دارند که از درون آن نیز سیالی جریان دارد. انرژی گرمایی از طریق دیوارهٔ لوله به سیال سردتر منتقل می‌شود. انتقال حرارت معمولاً از طریق هدایت (اول) و جابه‌جایی (دوم) صورت می‌گیرد. شکل ۷-۸ یک مبدل حرارتی تک گذرهٔ سر ثابت را نشان می‌دهد.

جریان سیال به داخل و خارج مبدل برای سرویس‌های مایع- بخار خاصی طراحی می‌شود. مایعات از پایین به سمت بالای دستگاه حرکت می‌کنند تا بخار محاصره شده درون سیستم را کاهش داده و حذف کنند. گازها نیز از بالا به پایین حرکت می‌کنند تا مایعات محاصره شده و تجمع یافتهٔ آن‌ها گرفته شود. این الگو در هردو بخش پوسته و لوله اعمال می‌شود.

- طرح‌ها و اجزاء

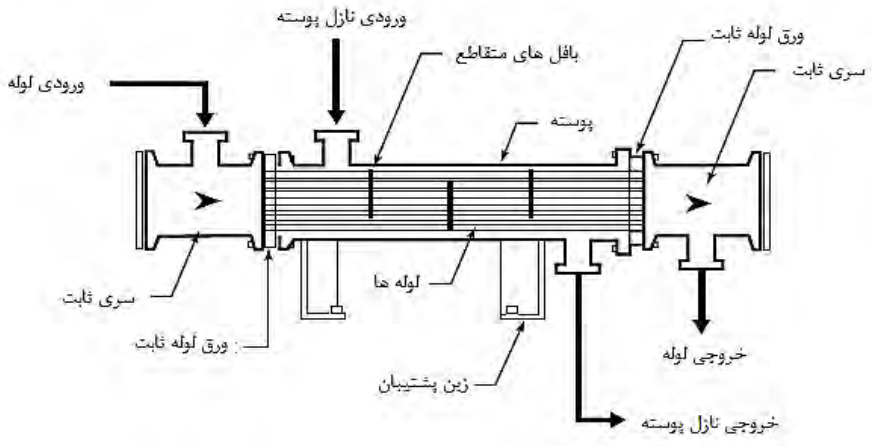
در فهرست واژگان و اصطلاحات مبدل‌ها، از عبارت‌های انتهای جلو، بخش میانی و پوسته و انتهای پشتی برای اشاره به سه بخش مختلف مبدل‌های حرارتی پوسته و لوله استفاده‌شده است. طراحی

[1] Head

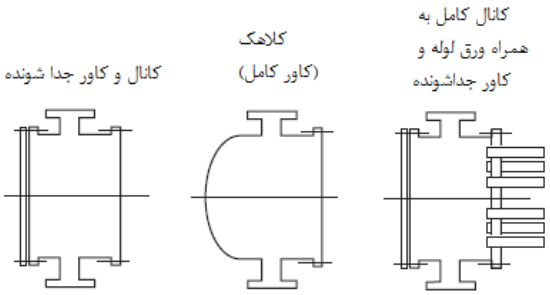
انتهای جلویی مبدل حرارتی برحسب نوع کاری که قرار است در آن دخیل باشد متنوع است. پوسته نیز دارای هفت طراحی رایج اســت که با نحوهٔ حرکت ســیال درون پوســته مرتبط می‌باشــد. بخش پ شتی مبدل حرارتی با بخش جلویی در ارتباط ا ست. تولیدکنندگان صنعتی، امروزه، از بیش از نه طراحی معمول استفاده می‌کنند.

– **هد (سر، سری)**

ســری‌ها (شــکل ۷-۹) در مبدل‌های حرارتی پوســته و لوله می‌توانند به عقبی (پشــتی) و جلویی تقســیم‌بندی شــوند. ســری جلویی دارای پنج طرح اصــلی اســت: (۱) کانال و کاور متحرک، (۲) کلاهک، (۳) کانال کامل به همراه صــفحه لوله و کاور متحرک (مجموعه لوله متحرک)، (۴) کانال کامل به همراه صفحه لوله و کاور متحرک (چ سبیده به پو سته) و (۵) دریچه مخ صوص ف شار بالا. سری انتهای پ شتی (یا برگ شتی) دارای ه شت طراحی ا ست: (۱) صفحه لوله ثابت با کانال و کاور متحرک، (۲) صــفحه لوله ثابت با کلاهک، (۳) کانال کامل به همراه صــفحه لوله و کاور متحرک (چسبیده به پوسته)، (۴) سری شناور تعبیه شده خارجی، (۵) سری شناور با وسیله پشتیبان، (۶) و سیله شناور ک ش شی، (۷) مجموعه لوله U شکل و (۸) صفحه لوله شناور با درزگیری (وا شر) خارجی.



شکل ۷–۸: مبدل حرارتی تک گذره سر ثابت



شکل ۷-۹: طرح‌های سری

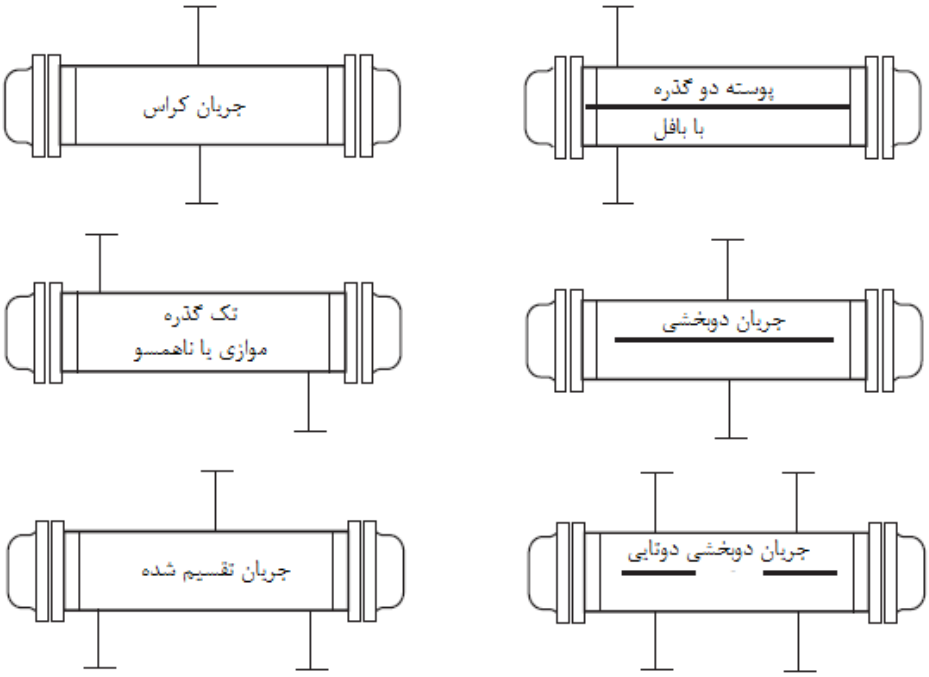
– **پوسته**

پوسته‌ها را می‌توان به تک گذره، دو گذره، جریان دوبخشی، جریان دوبخشی دوتایی، جریان تقسیم شده، کتل (کتری) و یا جریان متقابل یا تقاطعی (کراس[1]) تقسیم‌بندی نمود (شکل ۷-۱۰). پوسته برای کار در یک دما و فشار مشخص که کارخانه تولیدکننده آن مشخص نموده است، طراحی می‌شود. متخصصان فرایند می‌توانند نوع جریان پوسته را از روی پورت‌های ورودی و خروجی تشخیص دهند. پوسته بزرگترین جزء مبدل حرارتی است، اما اگر مساحت سطح لوله‌ها محاسبه و با مساحت سطح پوسته مقایسه شود، آنگاه پوسته بسیار کوچک به نظر خواهد رسید. در بسیاری موارد، پوسته برای تحمل بالاترین دماها و فشارها طراحی می‌شود. پوسته دارای نازل‌های ورودی و خروجی است. تعداد و موقعیت قرارگیری نازل‌ها بستگی به نوع طراحی دارد.

– **لوله‌ها**

لوله‌ها در مبدل‌های پوسته و لوله ممکن است پره‌دار و یا مسطح باشند (شکل ۷-۱۱). پره‌ها سطح انتقال حرارت و در نتیجه میزان انتقال حرارت را افزایش می‌دهند. پره‌ها می‌توانند داخلی و یا خارجی باشند. اگرچه لوله‌های مسطح رایج‌تر هستند ولی خصوصیات پیشرفتهٔ لوله‌های پره‌دار، امروزه مهندسان طراح را ترغیب به استفاده از آن می‌کند. مواد استفاده‌شده در ساخت لوله‌ها عبارت‌اند از برنج، کربن، فولاد کربن، مس، مس نیکل، شیشه، فولاد زنگ نزن، آلیاژهای ویژه، مونل، نیکل و تانتالوم.

[1] Cross flow



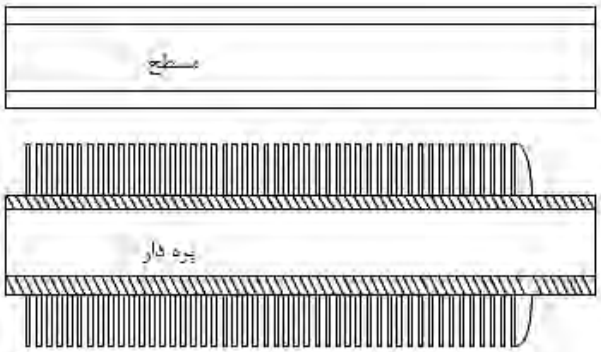
شکل ۷-۱۰: طرح‌های پوسته

- **صفحه لوله**

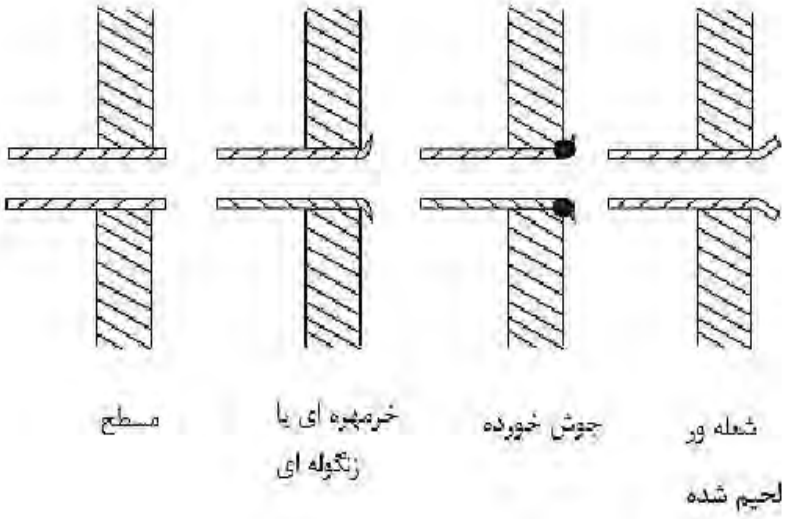
صفحه لوله‌ها اغلب به‌صورت ثابت و شناور، تک و دوتایی توصیف می‌شوند. صفحه لوله یک صفحه مسطح است که سرهای لوله‌های درون مبدل با خم کردن، جوش دادن و یا هردو مورد به آن متصل می‌شـوند. صـفحه لوله‌ها حفره‌هایی دارند که با دقت بالا برای تنظیم انتهای لوله و محکم کردن آن به صفحه طراحی شده است. صفحه لوله‌های دولا برای جلوگیری از نشت سیالات بسیار خورنده از بخش لوله موردا ستفاده قرار می‌گیرند. فضای موجود میان صفحات خلاءیی را ایجاد می‌کند که از طریق آن مواد پرخطر می‌توانند به‌صورت ایمن از جریان فرایند خارج شوند. اتصالات صفحه لوله‌ها به صورت مسطح، پیچ شده، خرمهره‌ای (زنگوله ای)، لحیم و یا جوشکاری شده شناخته می شوند (شکل ۷-۱۲).

برخی اتصـــالات هم پیچ شـــده و هم جوش داده می‌شـــود. یک لوله‌ی دولایه (دو لوله درون یکدیگر) ممکن است به‌صورت پیچ و مهره شده و یا مسطح و لحیم شده بهم متصل باشند. در حین عملیات، لوله‌ها منبسط می‌شوند. این انبساط با طراحی سری ثابت ایجاد مشکل می‌کند. مشخصات

مهندسی، انبساط حرارتی لوله را تخمین می زنند. عبارت صفحه لوله ثابت نشان دهندهٔ نحوهٔ قرار گرفتن صفحه لوله در سری‌های ورودی و خروجی است. اگر صفحه لوله به پوسته جوش داده شود و یا پیچ شده باشد، یعنی ثابت است. اگر صفحه لوله به‌طور مستقل به سری محفظه محکم شده باشد و بتواند آزادانه درون پوسته حرکت کند آنگاه شناور است.



شکل ۷-۱۱: لوله‌های مسطح و پره‌دار

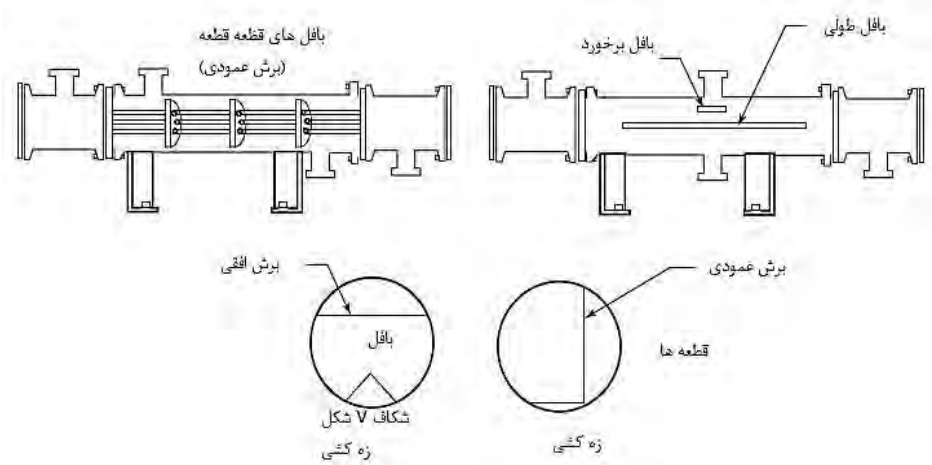


شکل ۷-۱۲: اتصالات ورق لوله

– **بافل‌ها**

بافل‌های درونی به لحاظ ساختاری در عملکرد یک مبدل حرارتی پوسته و لوله اهمیت دارند. بافل‌ها بدنه‌ای برای محکم نگه‌داشـــتن و پشـــتیبانی لوله‌ها فراهم می‌کنند و همچنین از لرزش جلوگیری می‌کنند. طراحی بافل‌ها به صورتی ا ست که سیال را کاهش و افزایش می‌دهد و جریان را به جهت های خاصـی هدایت می‌کند. بافل‌های بخش لوله یا گذرگاه به سـری‌ها متصـل می‌شـوند تا جریان درون لوله را هدایت کنند. بافل‌های بخش لوله ممکن اســـت در همان محل، قالب گیری و جوش داده شوند. مبدل‌های تک گذره در سری ورودی و خروجی نیاز به بافل ندارند. مبدل‌های چندگذره با دو گذر، یک بافل در سـری کانال ورودی خواهند داشـت. در قرارگیری بافل‌ها تنوع زیادی وجود دارد. با ا ضافه شدن هر گذر هزینه افزایش می‌یابد. گذرهای ا ضافی اغلب برای تأمین سرعت کافی سیال برای جلوگیری از گرفتگی (تجمع داخلی مواد) و کنترل انتقال حرارت موردنیاز است.

با فل های قطعه قطعه (شـــکل ۷-۱۳) معمولاً در مبدل های حرارتی پوســـته و لولهٔ افقی مورداســـتفاده قرار می‌گیرند. ســـوراخ‌های درون بافل‌ها به اندازهٔ ســـایز لوله‌ها خالی می‌شـــوند. بدون پشـــتیبانی، لوله‌ها تحت‌فشـــار می لرزند. هر بافل قطعه قطعه، نیمی از لوله‌ها را پشـــتیبانی می‌کند. بافل‌ها به‌طور مساوی و از یک طرف به‌طرف دیگر برای پشتیبانی از مجموعه لوله‌ها و هدایت جریان، به‌طور متناوب جاگذاری می‌شـــوند. بافل‌های قطعه قطعه ممکن اســـت افقی یا عمودی بریده شـــده با شند. انتخاب نوع قرارگیری آن‌ها بر ا ساس سرویس موردنیاز صورت می‌گیرد. برای نمونه، چینش عمودی عموماً در مبدل‌های حرارتی افقی در نقش کندانســـور، ریبویلر یا تبخیر کننده اســـتفاده می شود. سیستم‌های حامل مقادیر زیاد جامدات معلق نیز ممکن ا ست از این شیوه ا ستفاده کنند. طراحی عمودی به مایعات و جامدات اجازه می‌دهد اطراف بافل‌ها جریان یابند.



شکل ۷-۱۳: چینش بافل‌ها

بافل‌های افقی در عملیات فاز بخار و یا عملیاتی که فقط دارای فاز مایع هستند مورداستفاده قرار می‌گیرند. این نوع طراحی در جایی که گازها درون فاز مایع محاصره شده باشند به کار نمی‌رود، مگر اینکه شکاف‌های V شکلی در پایین بافل بریده شده باشد. بافل‌های افقی در سرویس‌های تمیز با شکاف‌های V شکل به مایع اجازه می‌دهند برای جدا شدن از فرایند تخلیه شود.

بافل‌های ضربه‌گیر برای حفاظت لوله‌ها در مقابل ضربهٔ مستقیم سیال استفاده می‌شود. در برخی سیستم‌ها بخار فشار بالا درون پوسته جریان دارد. بافل ضربه‌گیر که روی لوله‌ها قرار دارد، به محض ورود بخار به مبدل حرارتی، آن را منحرف می‌کند و بدین وسیله از مشکلات سوراخ شدن، فرسودگی و یا پارگی درون لوله‌ها جلوگیری می‌کند.

بافل‌های طولی درون پو سته به کار می‌روند تا جریان را ن صف و تق سیم‌بندی کنند، سرعت را افزایش دهند و مقدمات انتقال حرارت بهتر را فراهم کنند. این نوع بافل ممکن است در جایش جوش داده شود، درون یک شیار بلغزد و یا با جای گذاری مخصوص در جایش قرار گیرد. بافل‌های طولی در تمام طول مبدل کشیده نمی‌شوند زیرا در برخی نقاط باید سیال در اطراف آن‌ها جاری شود.

- **میل مهار**

میل مهار و ا سپیـ سرهای متحدالمرکز، بافل‌ها را در جای خود و با فا صله م ساوی نگه می‌دارند. هر حفره درون صفحات بافل ۱/۶۴ اینچ بزرگتر از قطر خارجی لوله است. لرزش های لوله در لبهٔ ابتدایی بافل در نهایت به لوله آسیب می‌رساند. میل‌های مهار بافل‌ها را در جای خود نگه می‌دارند و از لرزش و حرکت اضافی لوله جلوگیری می‌کنند.

- **نازل‌ها و قطعات جانبی**

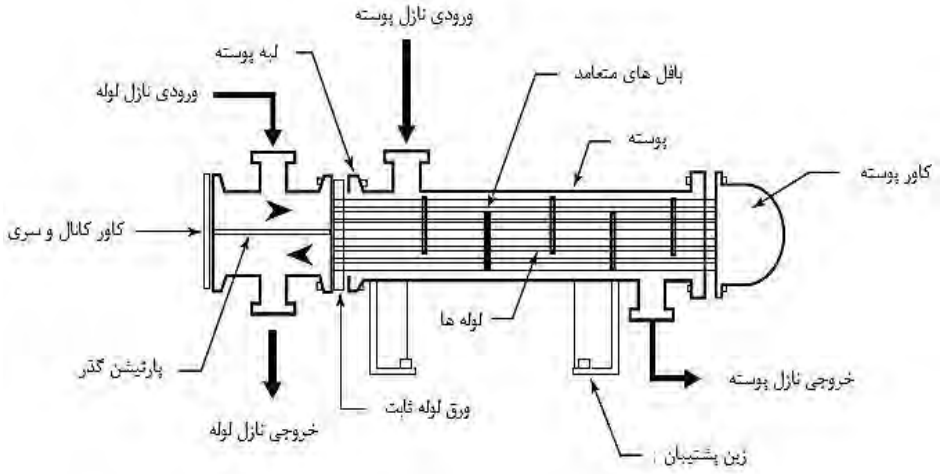
نازل‌های ورودی و خروجی مبدل‌های پوسته و لوله با توجه به افت فشار و سنجش سرعت سایزبندی می‌شوند. اتصالات نازل‌ها عمدتاً دارای ترموول (محفظه‌ای که ابزارهای اندازه‌گیری دما در آن قرار می‌گیرد) و اتصالات نشان دهندهٔ فشار هستند. دریچه‌های ایمنی و کمکی در نواحی موردنیاز در اطراف مبدل قرار می‌گیرند. لوله‌های تخلیه برای خالی کردن بخش‌های میان بافل‌ها در زمان تعمیر و باز سازی ا ستفاده می شوند. دریچه‌هایی در ق سمت بالای پو سته و به‌منظور خارج شدن بخارات و گازها تعبیه شده ا ست. شیرهای راه بند و شیرهای کنترل در ورودی و خروجی لوله‌ها به مبدل قرار داده شده‌اند.

– سر ثابت، تک گذره

عبارت سر ثابت اشاره به اتصال فیزیکی بین صفحه لوله و لوله و سری دارد. در یک مبدل حرارتی پوسته و لوله سری ثابت تک گذره، لوله‌ها به دو صفحه لوله که محکم به پوسته متصل شده‌اند و همچنین دو سر ثابت متصل می‌شوند (شکل ۷-۸ را ببینید). جریان فرایند (ورودی لوله) وارد سری می شود و به سمت صفحه‌های لوله ثابت هدایت می شود. هر ورق لوله یک دیسک فلزی و تخت است که برای لوله‌های تکی مانند یک طوقه عمل می‌کند. صفحه‌های لوله ممکن است توخالی یا توپر باشند. طراحی توخالی برای حفاظت در برابر نشتی است. با ورود جریان به لوله‌ها، بیشینه انتقال حرارت را تحمل می‌کند. هدایت گرمایی در محل تلاقی صفحه لوله، پوسته و لوله‌ها در بیشترین مقدار ممکن است؛ و زمانی که جریان از مبدل خارج می شود، انتقال حرارت ناچیزی (در صورت وجود) صورت می‌گیرد. عبارت تک گذره نشان می‌دهد جریان درون لوله تنها یک بار از مبدل عبور می‌کند.

– سر ثابت، چند گذره

طراحی یک مبدل حرارتی پوسته و لولهٔ سر ثابت چند گذره بسیار شبیه به مبدل تک گذره است. تفاوت آن‌ها در تعداد گذرهای جریان درون لوله در مبدل، بافل‌هایی (پارتیشن گذر[1]) که به سر کانال اضافه می‌شود و نبود خروجی بخش لوله در سر تخلیه می‌باشد (شکل ۷-۱۴).



شکل ۷-۱۴: مبدل حرارتی سر ثابت چند گذره

[1] Pass Partition

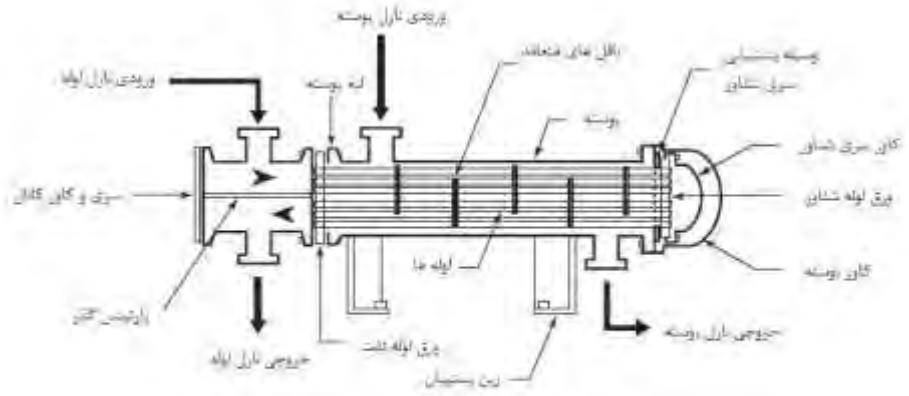
در یک مبدل حرارتی چند گذره سری ثابت، جریان وارد سری کانال شده، به داخل لوله‌ها هدایت می شود. بافلی که بر روی سری نصب شده، دسترسی به یک بخش از لوله‌های روی صفحه لوله را محدود می‌کند. زمانی که سیال درون مبدل جریان و حرارت به درون سیال انتقال می‌یابد و یا از آن خارج می‌شود. پس از پایان گذر اول، جریان فرایند دوباره به بخش دیگری از لوله‌ها فرستاده می‌شود. این گذر دوم در مبدل حرارتی، انتقال حرارت بیشتری را ممکن می‌سازد.

با عبور جریان سیال لوله در مبدل، سیال با انواعی از تغییرات از سوی سیال پوسته مواجه می‌شود. از آن جایی که انتقال حرارت در مبدل حرارتی پوسته و لوله عمدتاً از طریق جابه‌جایی و هدایت صورت می‌گیرد، سیال گرم‌تر سیال سردتر را تحت تأثیر خود قرار می‌دهد. در نقاط مختلف، سیال های پوسته و لوله موازی با یکدیگر حرکت می‌کنند، مانند جریان‌های ناهمسو یا متقاطع. نحوه قرار گرفتن بافل‌ها بر روی جهت انتقال حرارت و جریان سیال اثر می گذارد. رابطه اولیهٔ انتقال حرارت، $Q=UA$ می‌باشد که در آن Q بار حرارتی برحسب Btu بر ساعت است، U عبارت است از ضریب کلی انتقال حرارت برحسب Btu بر ساعت بر فوت مربع و A سطح انتقال حرارت برحسب فوت مربع است. عملیات ناهمسو، انتقال حرارت بیشتری را نسبت به جریان همسو خواهد داشت.

- **سری شناور**

در یک مبدل حرارتی پوسته و لوله سری شناور یک طرف مجموعه لوله‌ها به سر کانال ثابت شده و سر دیگر آن آزاد یا شناور است (شکل ۷-۱۵). جریان وارد سری کانال شده و به سمت لوله‌هایی هدایت می شود که به یک صفحه لوله مشترک و ثابت متصل هستند. با حرکت جریان از چپ به راست، قبل از شروع حرکت راست به چپ در گذر دوم، یک گذر ساخته می‌شود. شبکه ای از بافل‌ها برای بهبود انتقال حرارت روی مجموعه لوله تعبیه می‌شوند. اضافه نمودن پره به لوله‌ها نیز می‌تواند انتقال حرارت را بهبود بخشد.

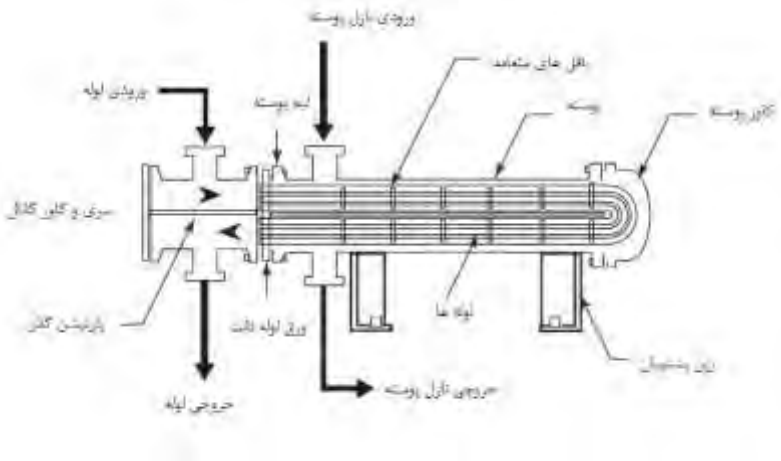
یک بافل ضربه‌گیر (پارتیشن گذر) بین ورودی پوسته و لوله‌ها قرار می‌گیرد. این کار مسیر جریان را عوض می‌کند و از آسیب دیدن لوله‌ها جلوگیری می‌کند. این نوع مبدل حرارتی بالاترین بازده انتقال حرارت را ایجاد می‌کند. مبدل‌های سرشناور با نواحی متقاطعشان (پره‌ها)، برای اختلاف دماها و همچنین دبی‌های بالا طراحی شده‌اند.



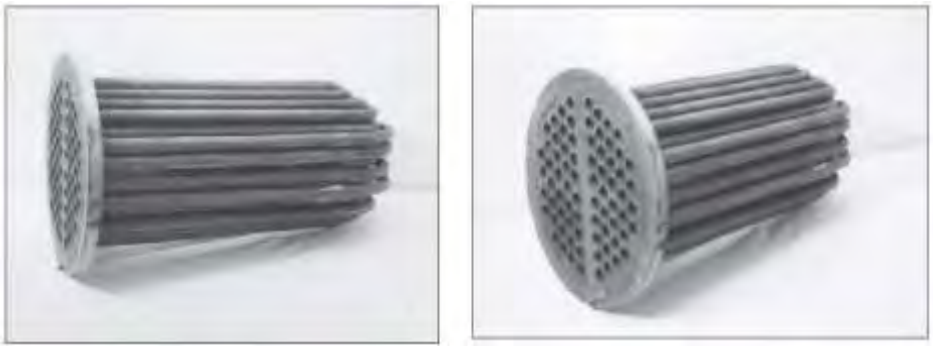
شکل ۷-۱۵: مبدل حرارتی سری شناورچند گذره

- **لوله U شکل**

صفحه لوله ثابتی در یک سر که عموماً به پوسته پیچ شده است، یک مبدل لوله U شکل را توصیف می‌کند (شکل ۷-۱۶). صفحه لوله مجموعه‌ای از لوله‌ها را که به‌صورت U خم شده‌اند، به هم وصل می‌کند (شکل ۷-۱۷). انتهای این لوله‌ها به صفحه لوله متصل است. این طراحی در مقایسه با سرثابت مجموع تعداد لوله‌های قابل‌استفاده را محدودتر می‌کند. یک سرکانال جریان لوله را دو بار از مبدل عبور می‌دهد. مبدل‌های لوله U شکل به‌طور خاص برای اختلاف دماهای بالا طراحی شده‌اند. طراحی U شکل به سری اجازه می‌دهد شناور بماند و با انبساط حرارتی لوله‌ها وفق پیدا کند. هر لوله U شکل کامل که جریان از روی آن عبور می‌کند، یک بسامد منحصر به خود دارد. بافل‌های قطعه قطعه که در فواصل مساوی قرار می‌گیرند، پشتیبانی و چارچوبی را فراهم می‌کنند که مجموعه لوله‌ها را به‌صورت یک واحد در می‌آورد. بافل‌های طولی ممکن است برای هدایت جریان سیال استفاده شوند.



شکل ۷-۱۶: مبدل حرارتی لوله U شکل



شکل ۷-۱۷: لوله U شکل

۷-۵- ریبویلرها

ریبویلرها به‌منظور حرارت دادن به مایعی که قبلاً در دمای جوش بوده اســـت، برای جوش آوردن دوبارهٔ آن به کار گرفته می‌شـوند. ریبویلرها همکاری نزدیکی با ســتون‌های تقطیر دارند. ســاز و کار ریبویلرهای معمولی شـــامل پنج الگوی پایه می‌باشـــد: ریبویلر کتل (کتری) لوله غرقابی، جریان (گردش) طبیعی، جریان (گردش) اجباری، ترمو سیفون عمودی و ترمو سیفون افقی (شکل ۷-۱۸). این دســـته‌بندی‌ها بر اســـاس نحوهٔ تولید جریان ســـیال انجام می‌گیرد. اگر در ریبویلر یک وســـیلهٔ مکانیکی مانند یک پمپ به کار رود، آنگاه ریبویلر با جریان اجباری خواهیم داشـــت؛ اما گردش جریانی که به پمپ نیاز ندارد، جریان طبیعی نام می‌گیرد.

۷–۵–۱– ریبویلر کتری (کتل)

ریبویلرهای (کتل) کتری، مبدل‌های حرارتی پوسته و لوله‌ای هستند که برای تولید مخلوط دوفازی مایع- گاز که توانایی برگشت به ستون تقطیر را داشته باشد، طراحی می شوند. ریبویلرهای کتری مجهز به مجموعه لوله جدا شونده هستند که برای جوشاندن سیال از بخار و یا یک محیط فرایند دما بالا استفاده می‌کند. یک محفظه بزرگ بخار در بالای محیط گرم فرایند قرار دارد که به گازها اجازه می‌دهد متمرکز شوند. مایعی که به بخار تبدیل نشده، از روی یک سد جاری می‌شود و به خروجی مایع می‌رود. بخارات داغ از طریق پورت‌های خروجی بخار ریبویلر به ستون تقطیر فرستاده می شوند. این فرایند، سطح را در پایین ستون تقطیر کنترل می‌کند، به خلوص محصول تولید شده کمک می‌کند، هیدروکربن‌های کوچکتر را از بزرگتر جدا می‌کند و به حفظ موازنه انرژی بحرانی در ستون کمک می‌کند.

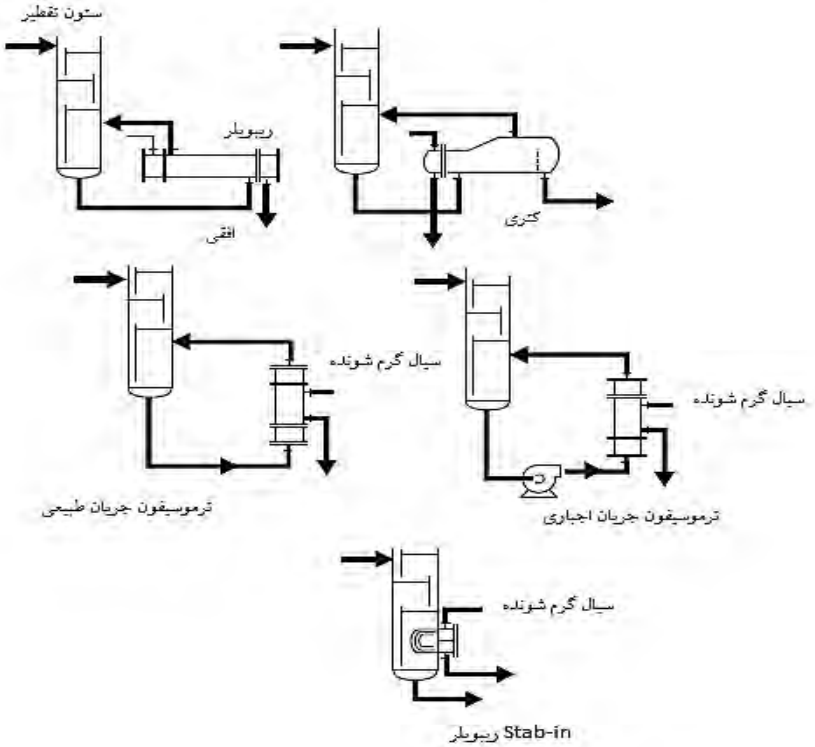
ریبویلرهای کتری با سطح مایع دو اینچ بالاتر و دو اینچ پایین‌تر از لوله‌های بالایی کار می‌کنند. طراحی‌های مهندسی نوعاً ۱۰ تا ۱۲ اینچ بالای لوله‌ها برای بخار فضا باقی می‌گذارند. در خروجی، سرعت بخارها نباید به حدی زیاد باشد که موجب کشیده شدن مایعات به دنبال آن‌ها شود. محصول پایین روی سدی که در سطح مایع روی مجموعه لوله‌ها نصب‌شده، ریخته می‌شود.

یکی از مفاهیم مهم در ستون تقطیر موازنه حرارت یا انرژی است. ریبویلرها برای بازیابی این موازنه به وسیلهٔ افزودن حرارت به فرایندهای جداسازی مورداستفاده قرار می‌گیرند. محصولات پایین برج معمولاً حاوی جزء سنگین‌تر برج تقطیر هستند. ریبویلرها محصولات پایین برج را به درون سیستم خود می‌کشند. دماهای برج در نقاط تنظیم[1] (ست پوینت ها) تعبیه شده کنترل می‌شوند.

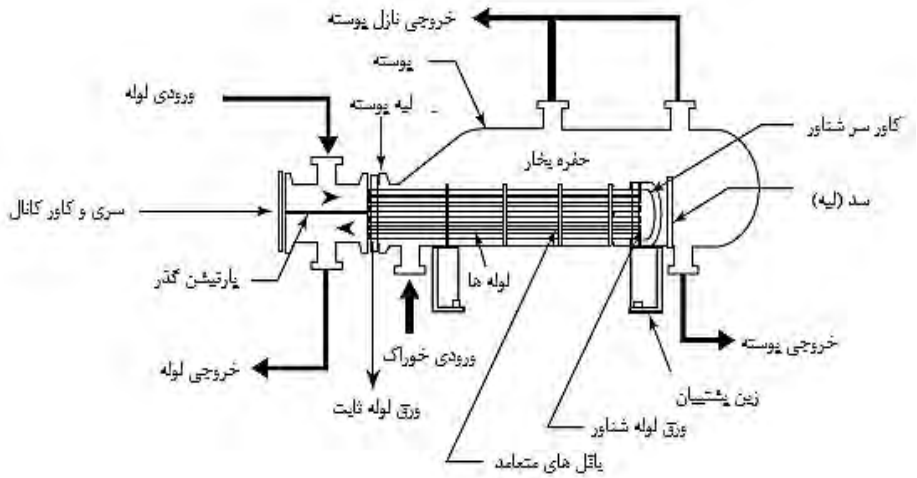
جریان سیال وارد قسمت زیرین پوستهٔ ریبویلر می‌شود. با ورود جریان به ریبویلر، جریان با مجموعه لوله‌ها در تماس قرار می‌گیرد. درون لوله‌ها بخار یا سیالات داغ جریان دارد. هم‌زمان با اینکه محصول پایین برج با لوله‌ها تماس می‌یابد، قسمتی از آن به بخار تبدیل می‌شود و در محفظه بخار گنبدی شکل در بالای پوسته محاصره می‌شود. این بخار برای جداسازی بیشتر، دوباره به درون برج فرستاده می‌شود. یک سد در مقابل مایع تبخیر نشده قرار دارد و آن را نگاه می‌دارد. مقدار اضافی آن از بالای سد جاری می‌شود و دوباره درون سیستم جریان می‌یابد. کنترل ریبویلرهای کتری آسان است به دلیل اینکه گردش و دبی‌های جریان دو فازی به‌طور دقیق تعیین نمی‌شود.

---

[1] Set Point



شکل ۷-۱۸: سازوکار ریبویلرها



شکل ۷-۱۹: ریبویلر کتری

۷–۵–۲– ریبویلرهای ترموسیفون افقی و عمودی

ریبویلر ترموسیفون یک نوع مبدل حرارتی سر ثابت تک گذره است که به کنار ستون تقطیر متصل می‌شود. مبدل‌های حرارتی ترموسیفون را می‌توان عمودی و یا افقی نصب نمود. عامل اساسی طراحی در اینجا فراهم کردن هد مایع کافی در ستون تقطیر برای پشتیبانی بازگشت جریان مایع یا بخار به درون ستون است. جریان طبیعی به دلیل اختلاف دانسیته بین مایع گرم درون ریبویلر و مایع درون ستون اتفاق می‌افتد. یک طرف این مبدل، معمولاً توسط بخار یا روغن داغ برای گرمایش مورداستفاده قرار می‌گیرد و بخش دیگر آن مایع را از درون ستون می‌کشد. هنگامی‌که بخار به‌عنوان وا سطهٔ گرم در یک مبدل عمودی ا ستفاده می شود، از ورودی بالای پو سته و رو به پایین به سمت خروجی جریان می‌یابد تا به این صورت برای خروج مایعات راهی وجود دا شته با شد. ورودی پایین لوله مبدل معمولاً در نقطه‌ای مکش دارد که تا حدی درون ستون پایین باشد که سطحی از مایع را به درون مبدل باقی بگذارد. پمپی به ستون تقطیر متصل نمی‌شود مگر اینکه سیستم گردش اجباری موردنیاز باشد. این سیستم برای تبخیر و یا به داخل کشیدن مایع از نیروی بویانسی[1] (شناوری) کمک می‌گیرد. قانون سوم حرکت نیوتن که بیانگر این است که برای هر عملی عکس‌العملی است مساوی با آن و در خلاف جهت آن، یکی از اصول عملیاتی پایه‌ای ریبویلرهای ترمو سیفون ا ست. با گردش دوباره مایعات و بخار، خط ورودی، برای پشتیبانی گردش جریان، مایع تازه را فراهم می‌کند.

۷–۵–۳– ریبویلر stab-in

ریبویلر stab-in مستقیماً به زیر برج تقطیر متصل می‌شود. روغن داغ و یا بخار به‌عنوان واسطهٔ حرارتی مورداستفاده قرار می‌گیرد. انرژی گرمایی مستقیماً به واسطهٔ حرارتی منتقل می‌شود. بخش پایینی برج تقطیر به‌طور خاص به‌گونه‌ای طراحی می‌شود که به محصول پایینی اجازهٔ جوشش دهد. این بخش پایینی هم‌زمان با اینکه بخارات داغ به سمت بالای ستون می‌روند و مایعات سنگین در پایین جمع می‌شوند، یک آب‌بند مایع را فراهم می‌کند.

۷–۵–۴– ریبویلر ژاکت روغن داغ[2]

برخی ریبویلرها به همراه ژاکت‌های روغن داغی که پایین برج را احاطه کرده‌اند، طراحی می‌شوند. دراین نوع سرویس، روغن داغ وارد پوسته خارجی می‌شود و از طریق هدایت و جابه‌جایی برای محصول پایین برج حرارت تأمین می‌کنند. زمانی که سیال داغ درون پوسته جریان دارد، ژاکت

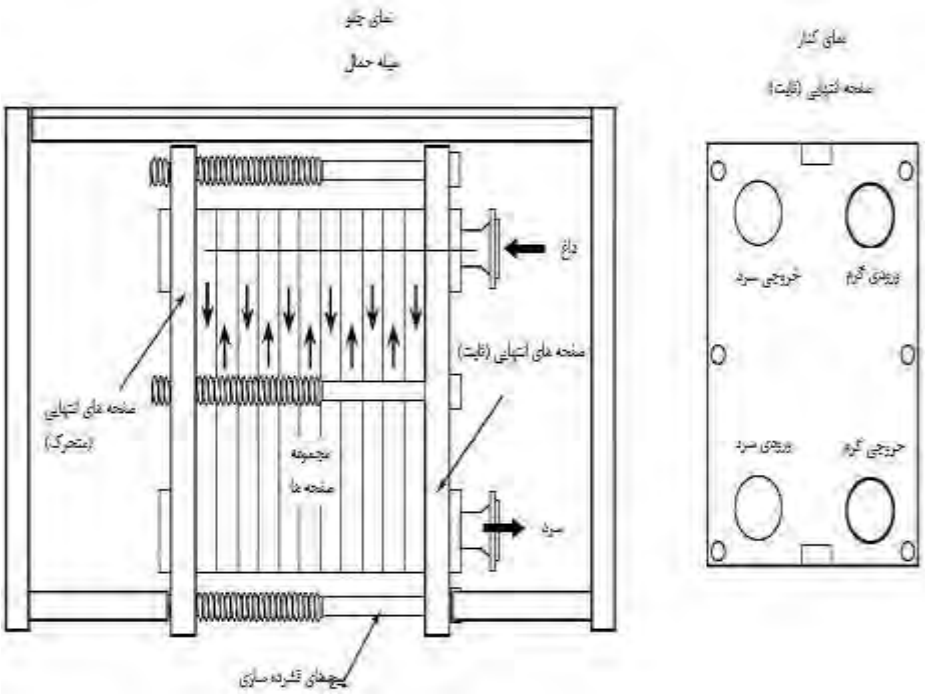
---

[1] Buoyancy
[2] Hot Oil Jacket Reboiler

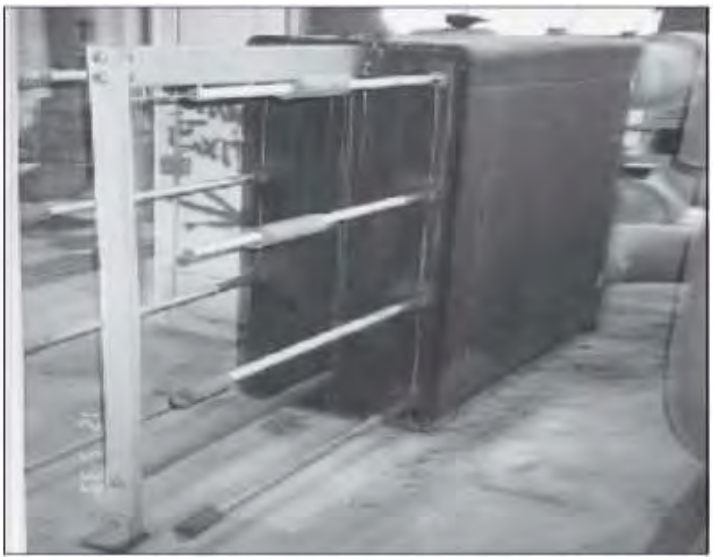
بیرونی مانند یک مبدل حرارتی عمل می‌کند. این نوع سـرویس برای سـیسـتم‌های تقطیر کوچکتر مورداستفاده قرار می‌گیرد.

۷–۶– مبدل‌های حرارتی صفحه‌ای واشردار (قاب و صفحه)

مبدل‌های حرارتی صفحه‌ای واشردار دستگاه‌هایی با انتقال حرارت بالا و افت فشار بالا هستند. آن‌ها شامل مجموعه‌ای از صفحات وا شردارند که با دو صفحهٔ انتهایی و پیچ‌های ت سمه ای در کنار هم فشرده‌شده‌اند (شکل ۷-۲۰ و ۷-۲۱). کانال‌های بین صفحات برای ایجاد افت فشار و جریان درهم و درنتیجه برای ر سیدن به ضریب انتقال حرارت بالا طراحی شده‌اند. دهانه‌های مبدل قاب و صفحه برحسب نوع بر روی یکی از سرپوش‌های انتهای ثابت قرار دارند.



شکل ۷-۲۰: مبدل حرارتی قاب وصفحه



شکل ۷-۲۱: مجموعه قاب و صفحه

زمانی که سیال داغ وارد درگاه (پورت[1]) ورودی داغ در سرپوش انتهای ثابت می‌شود، توسط هدرهای مشترک تخلیه به سمت قسمت های صفحات متناوب هدایت می شود. هدر در تمام طول صفحات بالایی ادامه می‌یابد. زمانی که سیال سرد وارد ورودی سرد ناهمسو بر روی سرپوش انتهای ثابت می شود، به سوی بخش‌های متناوب صفحات فر ستاده می شود. سیال سرد از صفحات بالا می‌رود، درحالی که سیال گرم از صفحات پایین می‌ریزد. صفحات نازک درحالی‌که از نشتی جلوگیری می‌کنند، سیال سرد و گرم را از هم جدا می‌کنند.

جریان سیال قبل از ورود به هدر جمع‌آوری، یک بار از صفحات عبور می‌کند. این صفحات با مجموعه‌ای از محفظه‌های متناوب طراحی شده‌اند. انرژی گرمایی از طریق دیواره‌های صفحات با مکانیزم هدایت و به مایع از طریق جابه‌جایی منتقل می‌شود. خطوط ورودی سرد و گرم در تمام طول گرمکن صفحه ادامه دارند و مانند هدر توزیع کار می‌کنند. هدرهای جمع‌آوری گرم و سرد به‌طور موازی با یکدیگر و در بخش مخالف یکدیگر هستند. هدر سیال گرم که از مبدل حرارتی صفحهٔ وا شردار عبور می‌کند در بالا قرار می‌گیرد. این شیوهٔ قرارگیری مسئول افت فشار و جریان درهم است. زمانی که سیال روی صفحات و درون هدر جمع‌آوری می‌ریزد. سیال سرد از پایین وارد مبدل حرارتی صفحهٔ واشردار می‌شود و به‌صورت ناهمسو به‌سوی سیال گرم می‌رود. هدر جمع‌آوری سیال سرد در قسمت بالایی مبدل قرارگرفته است.

---

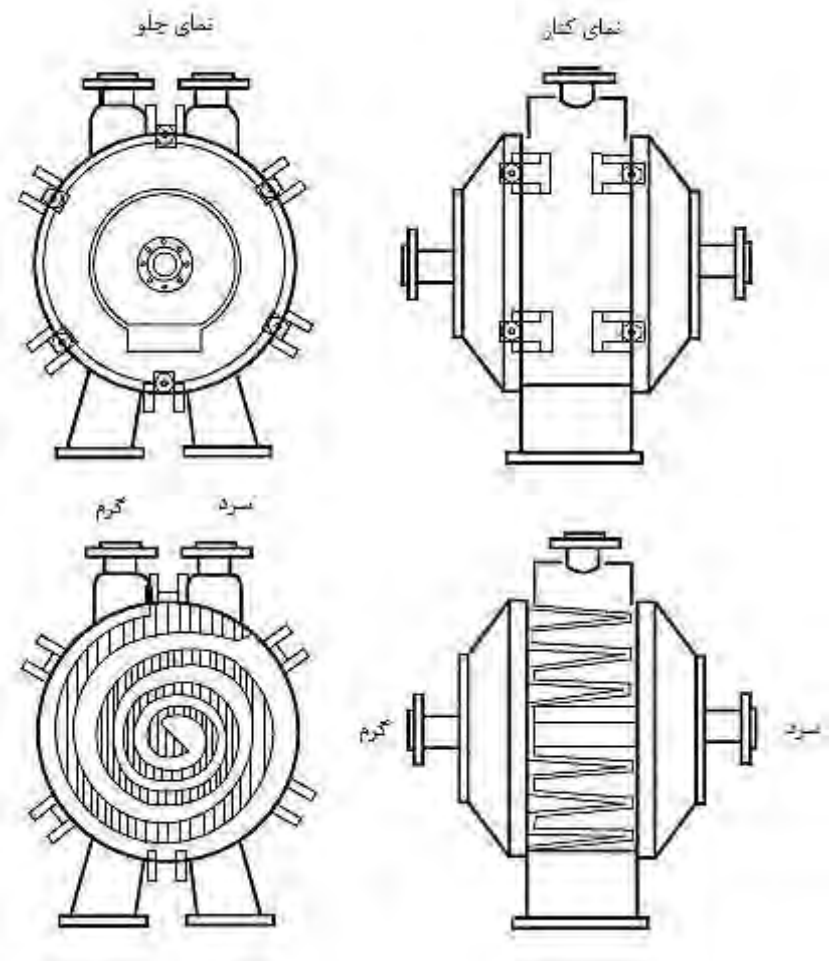
[1] Port

مبدل‌های حرارتی صفحه‌ای واشردار مزایا و معایب متعددی دارند. باز کردن و تمیز کردن آن‌ها آسان است و حرارت را به‌طور مساوی تقسیم می‌کنند، به‌گونه‌ای که نقاط داغ وجود ندارد. صفحات را به‌آسانی می‌توان کم و زیاد نمود. زمان مقاومت کم سیال، گرفتگی کم و ضریب انتقال حرارت بالا از دیگر مزایای این مبدل‌ها هستند. علاوه بر این‌ها، اگر در واشرها نشتی وجود داشته باشد رو به بیرون است، واشرها به‌راحتی قابل تعویض هستند. صفحات از آلودگی و ناخالص شدن محصولات جلوگیری می‌کنند. مبدل‌های حرارتی واشردار یکپارچگی بالا و افت فشار زیادی را فراهم می‌کنند و در مقایسه با مبدل‌های پوسته و لوله کوچکتر هستند.

از معایب مبدل‌های واشردار این است که محدودیت‌های دما و فشار بالا دارند. واشرها به‌راحتی آسیب می بینند و ممکن است با سیالات فرایند سازگار نباشند.

۷-۶-۱- مبدل‌های حرارتی حلزونی (مارپیچ)

خصوصیت بارز مبدل‌های حرارتی حلزونی طراحی متمرکز و فشردهٔ آن‌ها است که در محیط فرایند ایجاد یکپارچگی زیادی می‌کند (شکل ۷-۲۲). این نوع مبدل حرارتی در دو نوع است: (۱) جریان حلزونی در دو طرف و (۲) جریان حلزونی-متقاطع. مبدل‌های حلزونی نوع ۱ در سرویس‌های مایع-مایع، کندانسور و کولر گازی مورداستفاده قرار می‌گیرند. جریان سیال ورودی به مبدل برای عملیات جریان ناهمسوی کامل طراحی می شود. نصب افقی محوری باعث می شود جامدات معلق به‌خوبی به‌طور خودکار تخلیه شوند.

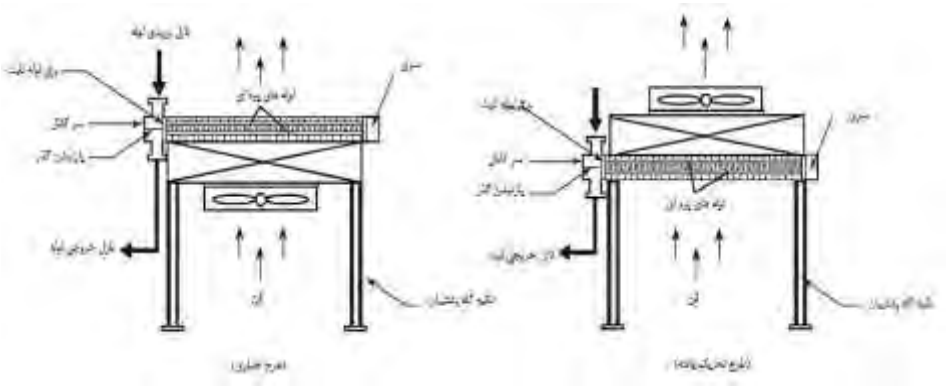


شکل ۷-۲۲: مبدل حلزونی

مبدل‌های حرارتی حلزونی نوع ۲ برای استفاده به‌عنوان کندانسور، کولرهای گازی، هیترها و ریبویلرها طراحی می‌شوند. شیوهٔ نصب عمودی، از آن‌ها گزینه‌ای فوق العاده برای ترکیب سرعت‌بالای مایع و افت فشار پایین در بخش مخلوط بخار می‌سازد. مبدل‌های حلزونی نوع ۲ را می‌توان در سیستم‌های مایع-مایعی که در آن‌ها دبی زیاد در یک طرف با دبی پایین در بخش دیگر جبران می‌شود، استفاده نمود.

۷-۷- مبدل‌های حرارتی هوا خنک (کولر هوایی)

در مبدل‌های حرارتی فن پره‌ای یا هواخنک، انتقال حرارت به‌شـــیوه‌ای متفاوت صـــورت می‌گیرد. مبدل‌های حرارتی هوا خنک شبکهٔ شکل گرفته از لوله‌های مسطح یا پره‌دار را فراهم می‌کند که به یک ورودی و هدر بازگشت متصل هستند (شکل ۷-۲۳). از هوا به‌عنوان واسطه خارجی برای جذب حرارت لوله‌ها استفاده می‌شود. فن‌ها در شکل‌های متنوعی مورداستفاده قرار می‌گیرند تا جابه‌جایی اجباری برای ضـــریب انتقال حرارت را ایجاد کنند. فن‌ها می‌توانند در آرایش جریان اجباری و یا مکنده در بالا و یا پایین لوله‌ها نصب شوند. لوله‌ها نیز می‌توانند عمودی یا افقی کار گذاشته شوند.



شکل ۷-۲۳: مبدل حرارتی

هدرهای مبدل‌های حرارتی هوا خنک را می‌توان به جعبه قالبی، جعبه جو شکاری شده، صفحه سرپوش و چندگانه (چندظرفیتی) طبقه‌بندی نمود. نوع قالبی و جو شکاری شده در انتهای صفحه برای هر لوله دارای پلاگ (دو شـاخه) هســتند. این طراحی، دســترســی را برای تمیزکاری تک‌تک لوله‌ها، رفع نشتی در صورت وجود و غلتاندن به‌منظور محکم کردن اتصالات لوله‌ها تسهیل می‌کند. طرح‌های صفحه کاور د سترسی آ سان به همه‌ی لوله‌ها را ممکن می سازد. از یک وا شر بین صفحه کاور و سری استفاده‌شده است. نوع چندگانه نیز برای کاربردهای فشار بالا طراحی شده است.

فن‌های مکانیکی از درایورهای (محرک) متنوعی اســـتفاده می‌کنند. درایورهای رایج موجود در ســـرویس‌های مبدل‌های هوا خنک شـــامل موتور الکتریکی و چرخ‌دنده‌ها، توربین بخار یا موتور گاز، درایورهای تســـمه‌ای و موتورهای هیدرولیکی می‌شـــوند. پره‌های فن‌ها از آلومینیوم یا پلاســـتیک ســـاخته می‌شـــوند. پره‌های آلومینیوم برای کار در دماهای تا ۳۰۰ درجه فارنهایت (۱۴۸/۸۸ درجه سانتی‌گراد) طراحی شده ا ست، درحالی‌که پره‌های پلا ستیکی محدودیت دمایی بین ۱۶۰ تا ۱۸۰ درجه فارنهایت (۷۱/۱۱، ۸۲/۲۲ درجه سانتی‌گراد) دارند.

مبدل‌های حرارتی هواخنک را می‌توان در سرویس کمپرسورهای هوا، سیستم‌های بازگردشی و در عملیات کندانس کردن دید. این نوع وسیله انتقال حرارت، یک اختلاف دمای ۴۰ درجه فارنهایتی (۴/۴۴ درجه سانتی‌گراد) را بین هوای محیط و سیال خروجی فرایند فراهم می‌کند.

مبدل‌های حرارتی هواخنک هیچ یک از مشکلات مرتبط با آب مانند گرفتگی و خوردگی را ندارند. ساخت آن‌ها آسان و نگهداری آن‌ها کم هزینه‌تر از مبدل‌های خنک‌کننده آبی است. هزینه‌های عملیاتی پایینی دارند و افت دمایی بالایی را ایجاد می‌کنند (بیش از ۲۰۰ درجه فارنهایت یا ۹۳/۳۳ درجه سانتی‌گراد).

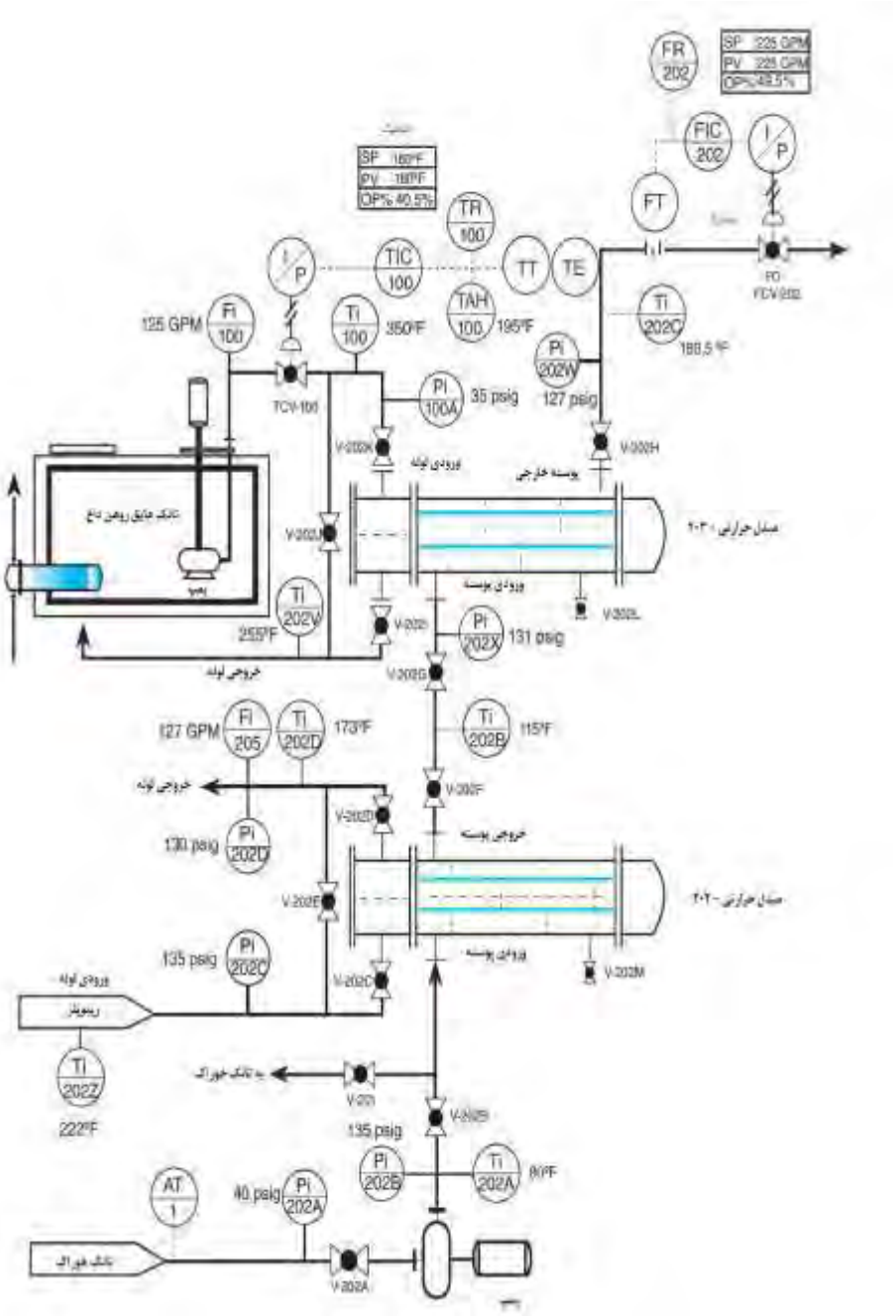
از معایب آن‌ها این است که به سرویس‌های مایع و یا کندانس کردن محدود می شوند و دمای سیال خروجی و هزینه اولیهٔ تجهیزاتی بالایی دارند. علاوه بر این، در شرایط عدم کنترل کافی امکان آتش سوزی و یا انفجار در آن‌ها وجود دارد.

۷–۸– مبدل‌های حرارتی و سیستم‌ها

یک سیستم مبدل حرارتی عبارت است از دو مبدل حرارتی یا بیشتر که برای کاهش یا افزایش دمای جریان فرایندی به‌صورت سری یا موازی با یکدیگر کار می‌کنند. همچنین سیستم‌های مبدل حرارتی ممکن است شامل برج‌های خنک‌کننده، کوره‌ها، ستون‌های تقطیر، راکتورها، سیستم‌های روغن داغ و یا بخار، لوله‌ها، پمپ‌ها، شیرها و ابزارها فرایندپیچیده باشند.

۷–۸–۱– سیستم انتقال حرارت

مبدل‌های حرارتی عموماً به‌منظور انتقال حرارت میان دو جریان جدا از هم به کار گرفته می‌شوند. در شکل (۷-۲۴) دو مبدل حرارتی نشان داده شده است که به خوراک قبل از ورود به ستون تقطیر حرارت می‌دهند. خوراک با دمای ۸۰ درجه فارنهایت (۲۶/۶۶ درجه سانتی‌گراد) وارد بخش پوستهٔ مبدل اول می‌شود و با دمای ۱۱۵ درجه فارنهایت (۴۶/۱۱ درجه سانتی‌گراد) از پوسته خارج می‌شود. مبدل ۲۰۲ دارای بافل طولی گذرنده از مرکز پوسته است. این پارتیشن خوراک را به‌سوی مجموعه‌ای از بافل‌های پایینتر هدایت می‌کند تا قبل از ورود به بخش بالایی پوسته و بازگشت در طول بدنهٔ مبدل و عبور از مجموعهٔ دیگری از بافل‌ها قبل از خروج از خروجی پوسته، یک بار طول مبدل حرارتی را طی کند.



شکل ۷-۲۳: سیستم مبدل حرارتی

ورودی لوله در مبدل حرارتی ۲۰۲ دمای خوراکی برابر با ۲۲۲ درجه فارنهایت (۱۰۵/۵۵ درجه سانتی‌گراد) دارد که وارد سرکانال می‌شود و از صفحه لولهٔ پایینتر و به سمت لوله‌ها عبور می‌کند. با جریان یافتن خوراک درون لوله‌ها، انرژی گرمایی را به محصـــول پوســـتهٔ خنک تر منتقل می‌کند. انتقال حرارت عمدتاً از طریق جابه‌جایی و هدایت صـــورت می‌گیرد. در طول فرایند انتقال حرارت، دمای خوراک های ریبویلر از ۲۲۲ درجه فارنهایت به ۱۷۳ درجه می‌رســـد (۱۰۵/۵۵ به ۷۸/۳۳ درجه سانتی‌گراد). اختلاف دما (Δt) برابر ۴۹ است و اختلاف فشار ورودی لوله در ۱۳۵psig و فشار خروجی لوله در ۱۳۰psig برابر ۵ (Δp) است. متخصصان فنی فرایند این اختلاف‌ها را در زمان‌های مختلف طولانی‌مدت اجرا با دقت مورد بررسی قرار می‌دهند.

مبدل حرارتی ۲۰۳ مانند ورودی و خروجی پوســـته، دارای ورودی و خروجی لوله نیز می‌باشـــد. دما و فشـــار به دقت بررســـی می‌شـــوند و به کمک چک‌لیســـت ها و چارت‌های آماری کنترل فرایند صورت می‌گیرد. در بخش لوله برای انتقال انرژی گرمایی به خوراک پو سته، از یک سیـ ستم روغن داغ ا ستفاده می شود. دبی بخش پو سته در ۲۲۵ GPM (گالن بر دقیقه) کنترل می شود. در طول عملیات متغیرهای زیر بسیار اهمیت دارند:

Ex-202

- دبی جریان ورودی پوسته 225 GPM در ۸۰°F و 135 psig
- دبی جریان خروجی پوسته 225 GPM در ۱۱۵°F و 131 psig
- پوسته $\Delta p=4$
- دبی جریان ورودی لوله 127 GPM در 222 °F و 135 psig
- دبی جریان خروجی لوله ۱۲۷GPM در 173 °F و 130 psig
- لوله $\Delta t=49$
- $\Delta p=95$ پمپ؛ 40 psig = مکش؛ 135 psig = تخلیه

Ex-203

- دبی جریان ورودی پوسته 225 GPM در ۱۱۵°F و 131 psig
- دبی جریان خروجی پوسته 225 GPM در ۱۸۰°F و 127 psig
- پوسته $\Delta p=4$
- دبی جریان ورودی لوله 125 GPM در ۳۵۰°F و 35 psig
- دبی جریان خروجی لوله 125 GPM در ۲۵۵ °F
- لوله $\Delta t=95$

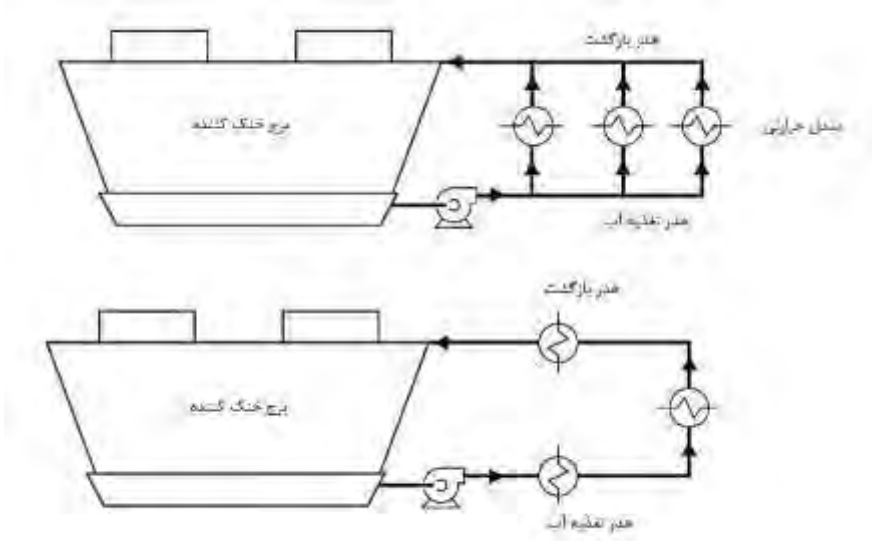
سیستم انتقال حرارت ممکن است با ابزارهای کنترل فرایند مدرن پیچیده شود. از آنجایی که مبدل حرارتی می‌تواند مانند یک بمب منفجر شود، در طول فرایند نیز همچون زمان راه‌اندازی و غیرفعال‌سازی، آموزش مناسب و مراقبت لازم است. شکل (۷-۲۴) اجزای متنوع یافت شده در یک سیستم مبدل‌های حرارتی را نشان می‌دهد. یک لوپ (حلقه) کنترل جریان در خروجی پوسته Ex-203 دیده می‌شود و در موقعیت باز بی اثر است. این کار از بیش‌ازحد گرم شدن خوراک و گسستن مبدل حرارتی جلوگیری می‌کند. توالی صحیح در مبدل‌های حرارتی امری بسیار اساسی است و متخصصان فنی فرایند باید با دقت روند استاندارد عملیات را مرور کنند.

۷-۸-۲- برج‌های خنک‌کننده

مبدل‌های حرارتی و برج‌های خنک‌کننده اغلب برای تشکیل سیستم‌های خنک‌کنندهٔ صنعتی باهم همکاری می‌کنند. این سیستم متشکل است از یک برج خنک‌کننده، مبدل حرارتی و پمپ (شکل ۷-۲۵). در طول عملیات، آب خنک‌کن به بخش پوستهٔ یک مبدل حرارتی پمپ می‌شود و به بالای برج خنک‌کننده باز می‌شود (درحالی‌که بسیار داغ شده است). زمانی که آب داغ به سمت بالای برج خنک‌کننده می‌رود، وارد یک هدر توزیع آب می شود که از آنجا به روی اجزای درون برج (پرکن‌ها) اسپری می شود. زمانی که آب به روی میله‌های اسپلش می‌ریزد، با هوایی که خنک‌تر است تماس می‌یابد. این فرایند حدود ۱۰ تا ۲۰ درصد از گرمای محسوس (گرمایی که با تغییر دما قابل اندازه‌گیری است) را رفع می‌کند. ۸۰ تا ۹۰ درصد دیگر انرژی گرمایی از طریق تبخیر حذف می‌شود. آب خنک شده در حوضچه‌ای در پایین برج خنک‌کننده جمع می‌شود، جایی که یک پمپ بازگردان آن را دوباره به درون مبدل می‌فرستد.

۷-۸-۳- ستون‌های تقطیر

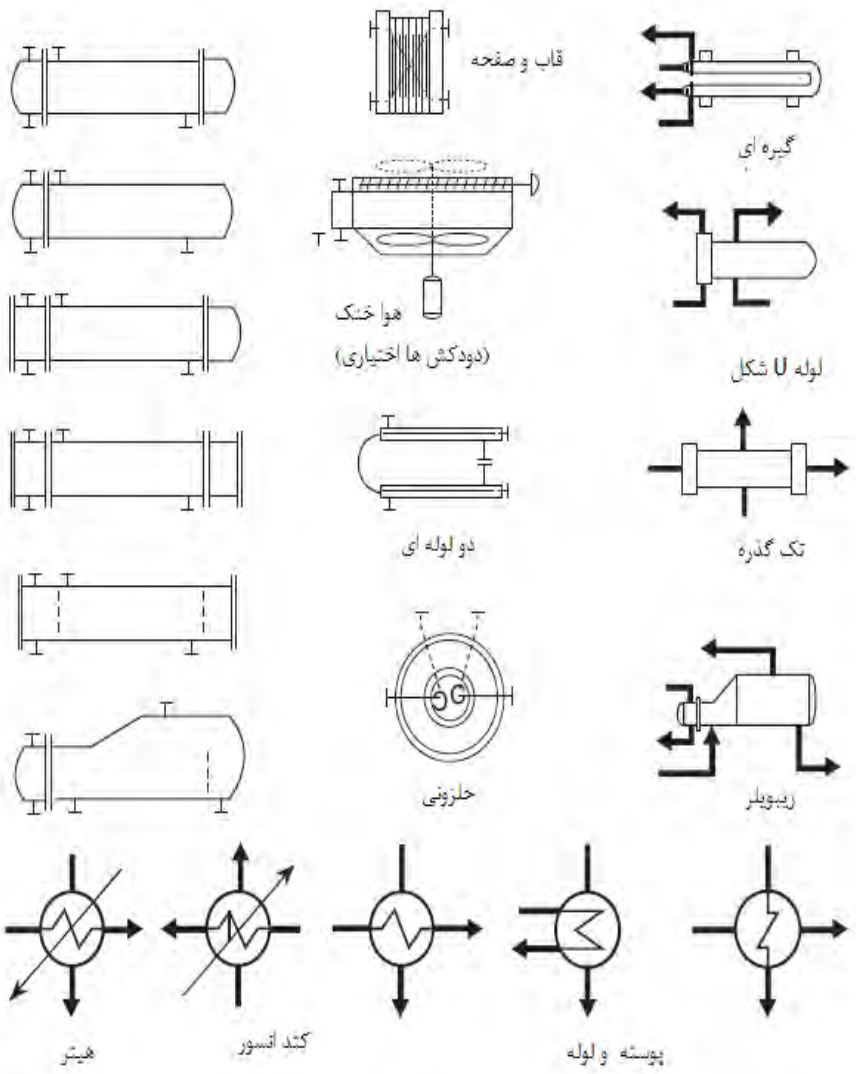
ستون‌های تقطیر از مبدل‌های حرارتی به‌منظور پیش گرم کردن خوراک (مبدل حرارتی)، کندانس کردن بخارات داغ (کندانسور) یا برای گرما دادن به برج و جدا ساختن اجزای سنگین‌تر (ریبویلرهای کتری و ترموسیفون) استفاده می‌کنند. کندانسورها نوعاً مبدل‌های حرارتی پوسته و لوله‌ای هستند که برای کندانس کردن بخار های داغ به مایع مورداستفاده قرار می‌گیرند. در بالای اکثر برج‌های تقطیر یک کندانسور وجود دارد.



شکل ۷-۲۵: سیستم برج خنک‌کننده

۷-۹- نمادهای مبدل‌های حرارتی

هر نوع مبدل حرارتی را می‌توان با نمادی نشـــان داد. شـــکل ۷-۲۶ نمادهای مبدل‌های حرارتی را نشان می‌دهد.



شکل ۷-۲۶: نمادهای مبدل‌های حرارتی

خلاصه

مبدل حرارتی این امکان را فراهم می‌کند که سیال گرم انرژی گرمایی خود را به سیال سردتر منتقل کند، بدون اینکه دو سیال به‌طور فیزیکی با یکدیگر تماس پیدا کنند. مبدل‌های حرارتی را می‌توان به کویل لوله‌ای (چنبره ای)، دو لوله‌ای، پوسته و لوله، ریبویلر، قاب و صفحه (صفحه‌ای واشردار)، هوا خنک و حلزونی طبقه‌بندی نمود. مبدل حرارتی پوسته و لوله رایج‌ترین نوع مبدل حرارتی در صنعت فرایند است. مبدل‌های حرارتی پوسته و لوله برای دبی‌های بالا در عملیات پیوسته طراحی شده‌اند. از ریبویلرها نیز برای حفظ موازنه حرارتی در ستون‌های تقطیر استفاده می‌شود.

ریبویلرهای کتری و ترمو سیفون بیشترین انواع استفاده شدهٔ ریبویلرها هستند. کندانسورها عموماً مبدل‌های حرارتی پوسته و لوله‌ای هستند که عمدتاً در ستون‌های تقطیر به‌منظور کندانس نمودن بخارات داغ به مایع استفاده می‌شوند.

سه روش انتقال حرارت عبارت‌اند از هدایت، جابه‌جایی و تابشی. در مبدل‌های حرارتی از روش‌های هدایت و جابه‌جایی استفاده می‌شود، اما تابش کاربردی ندارد. انتقال حرارت زمانی بهترین نحو اتفاق می‌افتد که اختلاف دمای میان محصولات، دبی جریان‌ها و سطح تماس زیاد باشد.

جریان آرام یا استریم لاین به صورت لایه‌های موازی مایع درون سیستم جریان می‌یابد. جریان درهم حرکت تصادفی یا اختلاط سیالات است. زمانی که جریان درهم آغاز می‌شود، فعالیت مولکولی افزایش می‌یابد تا جایی که سیال کاملاً درهم می‌شود. جریان آرام برای انتقال حرارت هدایتی مناسب و مساعد نیست.

سؤالات مروری

۱) روش های انتقال حرارت را نام ببرید. روابط تعاملی موجود میان آن ها و اینکه هرکدام چگونه در مبدل‌ها کاربرد دارد را بحث کنید. کدامیک مهم تر و حیاتی تر است؟ چرا؟

۲) یک مبدل حرارتی سنجاق سری را رسم و نام گذاری نمایید.

۳) یک مبدل حرارتی پوسته و لوله را رسم و نام گذاری نمایید.

۴) یک ریبویلر کتری را رسم و نام‌گذاری کنید. توضیح دهید درون این وسیله چه اتفاقی می‌افتد.

۵) جریان آرام و درهم را توصیف کنید.

۶) پنج نوع مبدل حرارتی را نام ببرید.

۷) منظور از عبارت سری شناور چیست؟

۸) گرمکن ها، کندانسورها و ریبویلرها چگونه به سیستم‌های تقطیر مرتبط می‌شوند؟

۹) جریان سری و موازی درون یک مبدل حرارتی را مقایسه کنید.

۱۰) مبدل حرارتی هوا خنک را رسم نمایید.

۱۱) هدف از استفاده لوله‌های پره‌ای در مبدل‌های حرارتی را توضیح دهید.

۱۲) عملیات مبدل حلزونی را توضیح دهید.

۱۳) یک مبدل حرارتی قاب و صفحه را رسم کنید و نام گذاری نمایید.

۱۴) مبدل‌های حرارتی و برج‌های خنک‌کننده عمدتاً با یکدیگر سیستم‌های خنک‌کنندهٔ صنعتی را می‌سازند. لطفا این جمله را توضیح دهید.

۱۵) جریان بخار درون مبدل حرارتی از بالا به پایین حرکت می‌کند یا از پایین به بالا؟ پاسخ خود را توضیح دهید.

فصل هشتم
برج‌های خنک‌کننده

اهداف

پس از مطالعه این فصل، دانشجو قادر خواهد بود:

- اجزای اصلی یک برج خنک‌کننده را نام برده و توضیح دهد.
- اصول انتقال حرارت در یک سیستم برج خنک‌کننده را توضیح دهد.
- رابطه بین مبدل‌های حرارتی و برج خنک‌کننده را توضیح دهد.
- نحوه عملکرد یک برج خنک‌کننده اتمسفری را توضیح دهد.
- نحوه عملکرد یک برج خنک‌کننده مکش طبیعی را توضیح دهد.
- نحوه عملکرد یک برج خنک‌کننده مکش اجباری را توضیح دهد.
- نحوه عملکرد یک برج خنک‌کننده مکش القایی را توضیح دهد.
- جریان متقاطع و ناهمسو را در برج خنک‌کننده نشان دهد.
- سیستم خنک‌کننده آبی را توضیح دهد.
- خصوصیات آبی که برای سیستم‌های خنک‌کننده آبی مشکل ایجاد می‌کند را توضیح دهد.

۸–۱– کاربرد های برج خنک‌کننده و نظریهٔ عملیات

برج‌های خنک‌کننده (شکل ۸-۱) دستگاه‌های انتقال حرارت هستند که برای خنک کردن آب برای استفاده دوباره طراحی می‌شوند. این برج‌ها آب داغ را به وسیلهٔ تماس مستقیم با هوا، با جریان‌های ناهمسو متقاطع خنک می‌کنند. برج خنک‌کننده شامل قطعات چوبی و پلاستیکی به نام پرکن‌ها است که جریان هوا و جریان آبی که از بالا به پایین می‌ریزد را هدایت می‌کند. جریان آب پایین رو، پرکن را می پو شاند و تشکیل یک فیلم می‌دهد که بدین و سیله سطح تماس هوای خنک و آب داغ افزایش می‌یابد. در برج، آب داغ حرارتش را به هوای خنکی که با آن در تماس است منتقل می‌کند. این فرایند، هم گرمای محسوس را کاهش می‌دهد و هم باعث تبخیر می‌شود. گرمای محسوس گرمایی است که می‌توان آن را اندازه‌گیری و احساس نمود. زمانی که آب به بخار تغییر حالت می‌دهد، بخار همراه با خود انرژی گرمایی را می‌برد و با اینکار مایعی خنک تر از قبل حاصل می‌شود. تبخیر که ۸۰ تا ۹۰ درصد از دست دادن حرارت مربوط به آن است، حیاتی‌ترین فاکتور در بازدهی برج خنک‌کننده محسوب می‌شود. این پدیده تحت‌تأثیر رطوبت نسبی (میزان آب موجود در میزان مشخصی از هوا در دمای مشخص)، دما و سرعت باد می‌باشد. دیگر عواملی که بر بازده برج خنک‌کننده تأثیر می‌گذارند عبارت‌اند از طراحی برج، آلودگی آب و مشکلات تجهیزات. برج‌های خنک‌کننده را می‌توان به‌عنوان ابزارهای رطوبت سنجی تو صیف نمود. رطوبت سنجی را به صورت مطالعهٔ سرمایش به‌وسیلهٔ تبخیر توصیف می‌کنند.

شکل ۸-۱: برج خنک‌کننده

دماها در برج خنک‌کننده به دقت کنترل می شوند. اختلاف دمای (Δt) بین دمای هوای ورودی (دمای حباب مرطوب) و دمای آب خروجی، دمای نزدیکی برج می‌نامند. همچنین به اختلاف دمای آب گرم و سرد محدوده سرمایش می‌نامند. ظرفیت برج خنک‌کننده نیز میزان آبی است که برج قادر به خنک کردن آن است.

دو راه برای اندازه‌گیری دما وجود دارد: دمای حباب خشک (DBT)[1] و دمای حباب مرطوب (WBT). دمای حباب مرطوب رطوبت نسبی را در نظر می‌گیرد، درحالی‌که دمای حباب خشک به آن بستگی ندارد. دماهای حباب مرطوب معمولاً پایین‌تر از دماهای حباب خشک هستند. دمای حباب مرطوب که شاید به خودی خود مهم ترین عامل مؤثر در عملکرد برج باشد را می‌توان به‌صورت‌های مختلفی توضیح داد:

- پایین‌ترین دمای نظری که آب را می‌توان درون برج خنک کرد.
- دمای هوای اشباع‌شده از آب (به آن نقطه شبنم هوا هم گفته می‌شود.)
- دمایی نظری که نمی‌توان به آن رسید، تنها می‌توان به آن نزدیک شد.

۸-۲- اجزای اصلی برج خنک‌کننده

بیشتر برج‌های خنک‌کنندهٔ پیشرفته با چوب فرآوری شده، سدر، سرو، سرخ چوب و یا پلاستیک ساخته می‌شوند چون این مواد نسبت به اثرات مخرب آب مقاوم هستند. زمانی که آب داغ فرایند به برج بازگردانده می‌شود، وارد هدر توزیع آب می‌شود. این هدر لوله‌ای است در بالای اکثر برج‌های خنک‌کننده قرار دارند. (شکل ۸-۲). از این نقطه آب به روی پرکن‌ها و میله‌های اسپلش اسپری می‌شود و یا به آن اجازه داده می‌شود به خودی خود بریزد. میله‌های اسپلش جریان پایین رو آب را هدایت می‌کنند و سطح تماس در دسترس برای آب و هوا را افزایش می‌دهند. ماده‌ای درون برج خنک‌کننده که جریان آب و هوا را هدایت می‌کند پرکن نامیده می‌شود. پرکن‌ها را می‌توان به‌گونه‌ای قرار داد که جریان متقاطع و یا ناهمسو ایجاد کنند. پمپ‌ها آب را از حوضچهٔ آب می‌کشند و آن را به هدر تغذیه آب خنک‌کن می‌رسانند. هدر تغذیه، آب را به مبدل‌های فرایند توزیع می‌کند، جایی که در آنجا حرارت می‌بیند و از طریق هدر بازگشت آب خنک‌کن به بالای برج خنک‌کننده بازگردانده می‌شود.

بسیاری از برج‌ها باعث ایجاد مکشی قابل‌توجه یا ایجاد حرکت هوای ناشی از نوع طراحی و یا باعث ایجاد اختلاف دانسیتهٔ هوا می شوند. قطره برگردان‌ها، از دمیده شدن یا مکیده شدن آب به بیرون برج جلوگیری می‌کنند. این نوع کاهش آب، افت رانش یا افت بادزدگی نامیده می‌شود. آب

[1] Dry-bulb temperature (DBT)

جبرانی به آب جایگزین شـده‌ای که به دلیل تبخیر یا بلوداون[1] (آب دورریز) از دسـت رفته اضـافه می‌شود.

برج‌های خنک‌کنندهٔ مکش القایی برای کشیدن هوا از سیستم به بیرون از فن استفاده می‌کنند. برج‌های خنک‌کنندهٔ مکش اجباری از فن برای دمیدن هوا به درون سیستم استفاده می‌کنند. برخی برج‌های خنک‌کننده کرکره‌های ورودی هوا دارند، شـکاف‌ها در کنار برج برای هدایت جریان هوا قرارگرفته‌اند. این کرکره ها برحسـب نوع طراحی برج می‌توانند ثابت یا متحرک باشـند. برج‌هایپربولیکی یا هذلولی (از قبیل دودکش) در بالای پرکن‌ها و سـیسـتم توزیع آب یک دودکش دارند.

شکل ۸-۲: سیستم توزیع آب

۸-۳- طبقه‌بندی برج‌های خنک‌کننده

برج‌های خنک‌کننده با توجه به این‌که چگونه جریان هوا را تولید می‌کنند و چگونه به جریان هوا نسبت به جریان پایین رو آب جهت می‌دهند، طبقه‌بندی می شوند. جریان هوا به صورت اتمسفری، طبیعی و یا مکانیکی تولید می‌شود.

برج‌های خنک‌کنندهٔ مکش اتمسفری و طبیعی برای تولید جریان هوا از فن‌ها استفاده نمی‌کنند. در یک برج خنک‌کنندهٔ اتمسـفری، سـرعت باد، فرایند انتقال حرارت را فعال می‌کند. در برج خنک‌کنندهٔ طبیعی اختلاف دماها در داخل و خارج برج، دانسـیتهٔ هوا را تغییر می‌دهد. هوا و بخار

[1] Blow down

آب به‌صورت طبیعی از دودکش بالا می‌روند. برج‌های اتمسفری در ابتدا جریان هوای متقاطع دارند، درحالی‌که برج‌های خنک‌کنندهٔ طبیعی را می‌توان با الگوهای پرکن متقاطع و ناهمسو تنظیم نمود.

برج های خنک‌کنندهٔ مکش اجباری و مکش القایی برای ورود و خروج هوا از فن استفاده می‌کنند. هرچند فن‌های مکانیکی انرژی مصرف می‌کنند، اما انتقال حرارت زمانی که از این وسایل استفاده می‌شود بسیار بالاتر است. برج‌های خنک‌کنندهٔ مکش اجباری اصولاً از جریان ناهمسو استفاده می‌کنند. برج‌های خنک‌کنندهٔ مکش القایی نیز در اصل از جریان متقاطع استفاده می‌کنند، اما طرح ناهمسو هم برای آن‌ها قابل اجراست.

بلندترین برج خنک‌کنندهٔ جهان ایستگاه انرژی Niederaussem آلمان است که ۲۰۰ متر (۶۵۶ فوت) ارتفاع دارد. برج‌های خنک‌کنندهٔ مرطوب از اصل علمی تبخیر استفاده می‌کنند. نمونه‌هایی از برج‌های خنک‌کنندهٔ مرطوب عبارت‌اند از (۱) مکش القایی ناهمسو (۲) مکش اجباری ناهمسو (۳) اتمسفری و (۴) هایپربولیک یا دودکش. برج‌های خنک‌کنندهٔ خشک با استفاده از اصل علمی جابجایی توسط انتقال حرارت از طریق لوله‌ها و یا سطوحی که سیال عامل را از هوای محیط جدا می‌کند، عمل می‌کنند. برج‌های خنک‌کنندهٔ ترکیبی خشک و مرطوب در بسیاری از عملیات صنعت فرایندهای شیمیایی دیده می‌شوند.

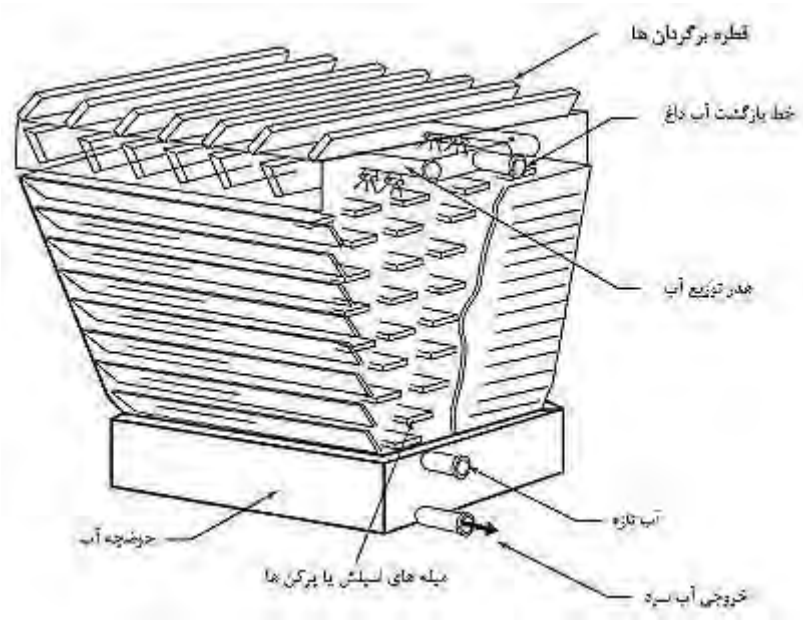
۸-۴- برج خنک‌کنندهٔ اتمسفری

در برج‌های اتمسفری (شکل ۸-۳)، باد موجب ورود و خروج هوا به برج است. دبی جریان هوا توسط سرعت باد تعیین می‌شود. برج به‌گونه‌ای طراحی می‌شود که باد به‌طور افقی وارد آن شود و در نتیجه جریان هوا متقاطع می‌با شد. هوای سرد از منافذ کناری برج وارد می شود و در طول آب داغ پایین رو حرکت می‌کند. زمانی که هوا در تماس با آب داغ گرم می‌شود، به سمت بالا می‌رود زیرا هوای داغ به سمت بالا حرکت می‌کند. این هوا در یک مسیر ناهمسو، خلاف جهت آب پایین رو، حرکت می‌کند.

بالای یک برج اتمسفری، قطره برگردان‌ها قرار می‌گیرند تا از هدر رفتن آب در اثر شدت گرفتن سرعت باد جلوگیری شود. موقعیت برج اتمسفری حائز اهمیت است زیرا سرعت بادی در محدودهٔ ۴/۵ تا ۶/۵ مایل بر ساعت برای عملکرد مناسب آن موردنیاز است. این برج‌ها به‌گونه‌ای طراحی می شود که آب در زمان خروج ۴ یا ۵ درجه فارنهایت (۱۵/۵۵- درجه سانتی‌گراد) پایین‌تر از دمای حباب مرطوب هوای ورودی باشد.

برج‌های خنک‌کنندهٔ اتمسفری بازده ۳۰ تا ۵۵ درصد برای خنک کردن آب دارند. چون این سیستم نیاز به فن ندارد، از لحاظ هزینه بسیار به صرفه است. هرچند بازدهی آن ممکن است نوسان

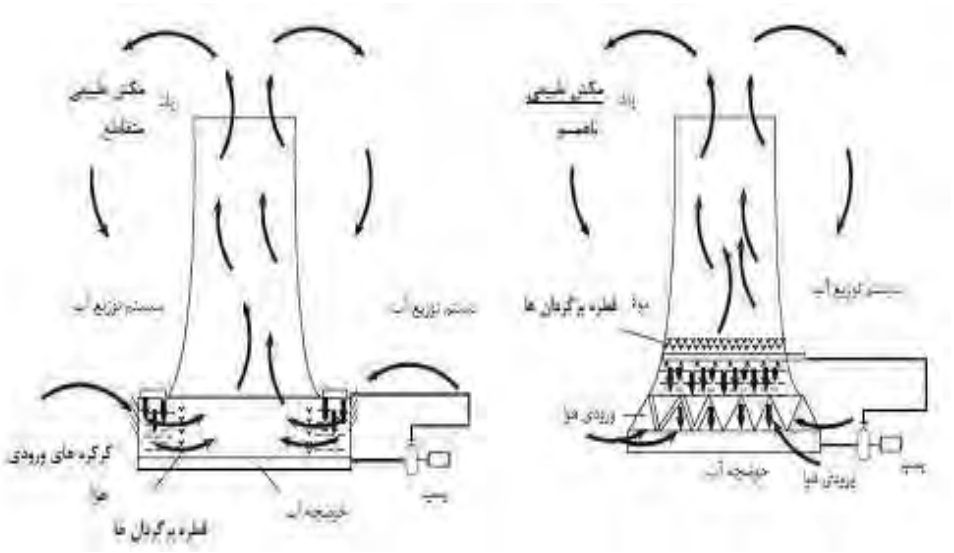
زیادی داشته باشد زیرا به یک عامل غیر قابل کنترل به نام سرعت باد وابسته است. انتقال حرارت با کاهش جریان هوا، به‌طور چشمگیری کاهش می‌یابد.



شکل ۸-۳: برج خنک‌کنندهٔ اتمسفری

۸-۵- برج خنک‌کنندهٔ مکش طبیعی

برج‌های دودکشی یا هایپربولیک، برج‌های مکش طبیعی هستند که دارای دودکشی بزرگ هستند (شکل ۸-۴). آن‌ها را معمولاً در عملیات نیروگاه‌ها مورداستفاده قرار می‌دهند. برج‌های تجاری عمدتاً ارتفاعی حدود ۳۱۰ فوت و قطر پایین ۲۱۰ فوت و گلوگاهی در حدود ۱۲۰ فوت دارند که به‌طور تدریجی تا ۱۳۴ فوت در بالا افزایش می‌یابد. این برج‌ها برای جریان‌های بالای ۵۰۰۰۰۰ گالن بر دقیقه طراحی می‌شوند. جریان هوا توسط اختلاف دانسیتهٔ ایجاد شده توسط دمای بیرون و داخل دودکش ایجاد می‌شود.



شکل ۸-۴: برج خنک‌کننده مکش طبیعی

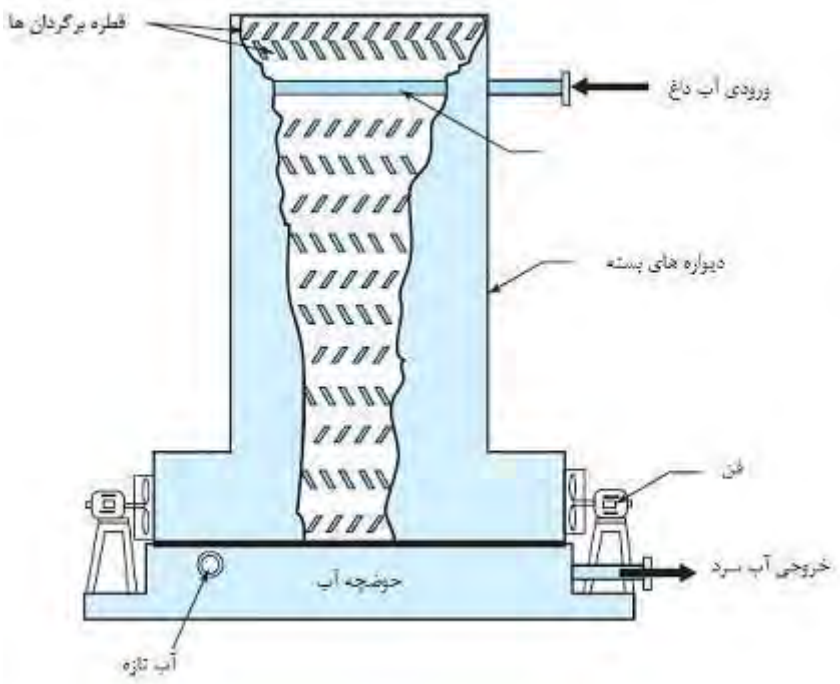
برج‌های هایپربولیک می‌توانند الگوهای ناهمســـو یا متقاطع را بپذیرند. در یک برج با جریان متقاطع دبی جریان هوا بیشتر است، اما در یک برج با جریان ناهمسو انتقال حرارت منجر به تبخیر مؤثرتر و کارآمدتر می‌شـــود. پرکن‌ها و ســـیســـتم توزیع آب زیر دودکش قرار می‌گیرد. آب داغ به سیستم توزیعی که بسیار پایین‌تر از جایش در برج اتمسفری قرارگرفته است، پمپ می‌شود.

در طول عملیات، برج مکش طبیعی شـــبیه به یک دودکش بزرگ اســـت. در ابتدا هوا وارد برج خنک‌کننده می‌شود و به سمت الگوی پرکن داخلی هدایت می‌شود. زمانی که آب داغ روی پرکن‌ها می‌ریزد، در معرض تماس با هوایی که خنک‌تر اســـت قرار می‌گیرد. تغییرات دانســـیته در دودکش رانش رو به بالای موردنیاز را فراهم می‌کند. حرارت از طریق دودکش حذف می‌شـود. بازدهی مکش طبیعی با رطوبت نسبی و دمای هوای خارج مرتبط است.

۸-۶- برج خنک‌کننده مکش اجباری

برج‌های خنک‌کننده مکش اجباری به‌طور مکانیکی با استفاده از فن‌ها، هوا را به سمت پایین‌تر برج می‌راند (شکل ۸-۵). برج‌های مکش اجباری معمولاً کناره‌های ساده بدون منفذ دارند. ۱۰۰ درصد هوای فرایند توسط فن‌ها وارد می‌شود. جهت جریان ناهمسو است؛ فن‌ها در مقابل آب پایین رو، هوا را به ســـمت بالا هدایت می‌کنند. در برج‌های مکش اجباری هوا می‌تواند ســـرعت‌های بالایی داشـــته باشد، اما سرعت هوای در حال خروج به قدری کم می‌شود که دوباره به داخل برج باز می‌شود و به

این وســـیله ۲۰ درصـــد کاهش بازدهی اتفاق می‌افتد. برج‌های خنک‌کنندهٔ مکش اجباری انتقال حرارت بسیار بیشتری نسبت به برج‌های طبیعی و اتمسفری دارند و همچنین ارتفاع آن‌ها نیز بسیار کمتر اســت. به دلیل بازگشــت مقداری از هوا، این نوع برج خنک‌کننده بازدهی کمتری نســبت به برج‌های مکش القایی دارد.



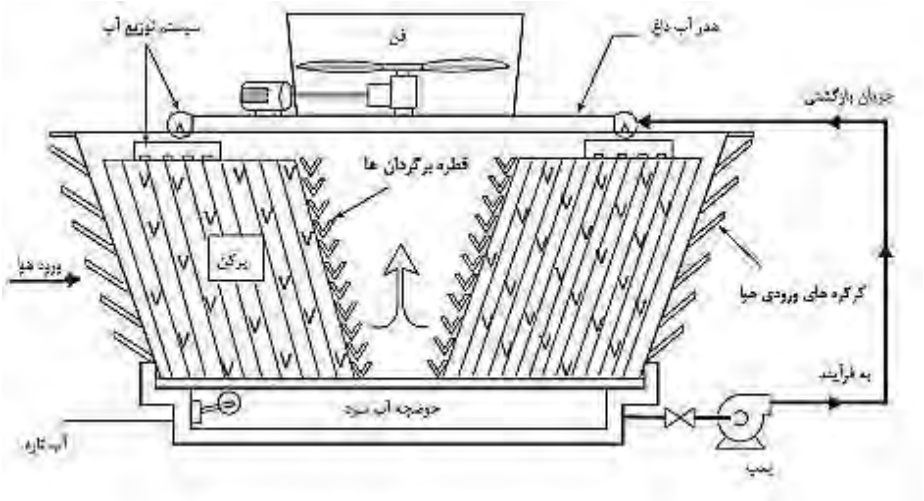
شکل ۸-۵: برج خنک‌کننده مکش اجباری

۸-۷- برج خنک‌کننده مکش القایی

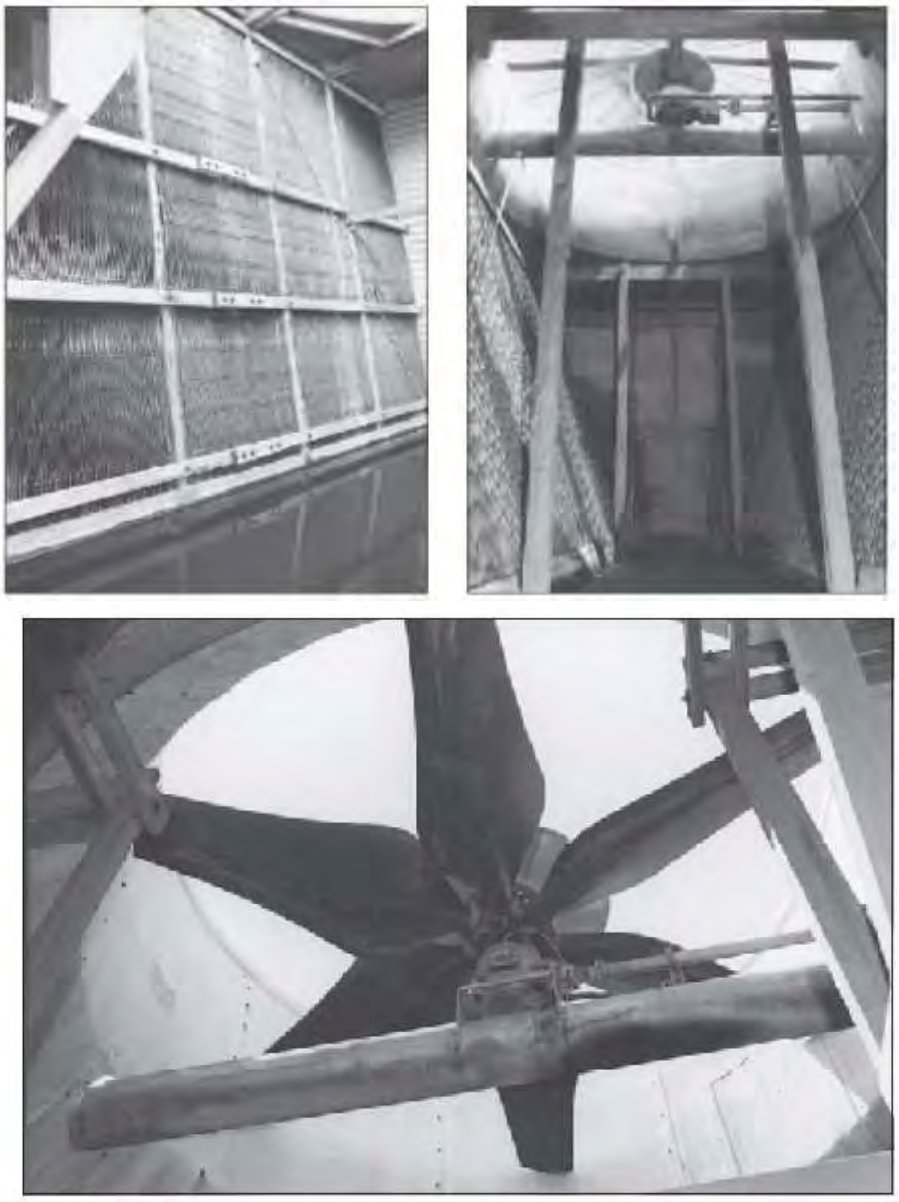
برج خنک‌کنندهٔ مکش القایی نوع دیگری از برج‌های خنک‌کننده‌ای است که جریان هوا را به‌صورت مکانیکی تولید می‌کند (شــکل ۸-۶). تفاوت آن با برج خنک‌کنندهٔ مکش اجباری در این اســت که به‌جای آن که هوا را به داخل هل دهد، آن را بیرون می‌کشـــد. جریان هوا در این برج‌ها آرام‌تر از برج‌های مکش اجباری است، اما انتقال حرارت از طریق تبخیر در آن‌ها مؤثرتر است. فن برج که در بالای آن قرار می‌گیرد، (شکل‌های ۸-۷ و ۸-۸) دبی تخلیه را به قدری قدرتمند می سازد که هوای داغ را به بالای برج می‌رســـاند، در نتیجه آب داغ به درون برج برنمی‌شـــود. برج‌های مکش القایی

قادرند جریان هوا را افقی (متقاطع) و یا عمودی (ناهمسو) به گردش در بیاورند. در عملیات جریان متقاطع قطره برگردان‌ها در وسط برج قرار می‌گیرند تا اتلاف آب را کاهش دهند. عملیات ناهمسو هوا را به‌طور عمودی در طول ناحیهٔ بسته‌ای از پرکن‌ها هدایت و قطره برگردان‌ها در بالای پرکن‌ها و هدرهای توزیع آب قرار می‌گیرند.

شکل ۸-۶: برج خنک‌کننده مکش القایی



شکل ۸-۷: برج خنک‌کنندهٔ مکش القایی متقاطع

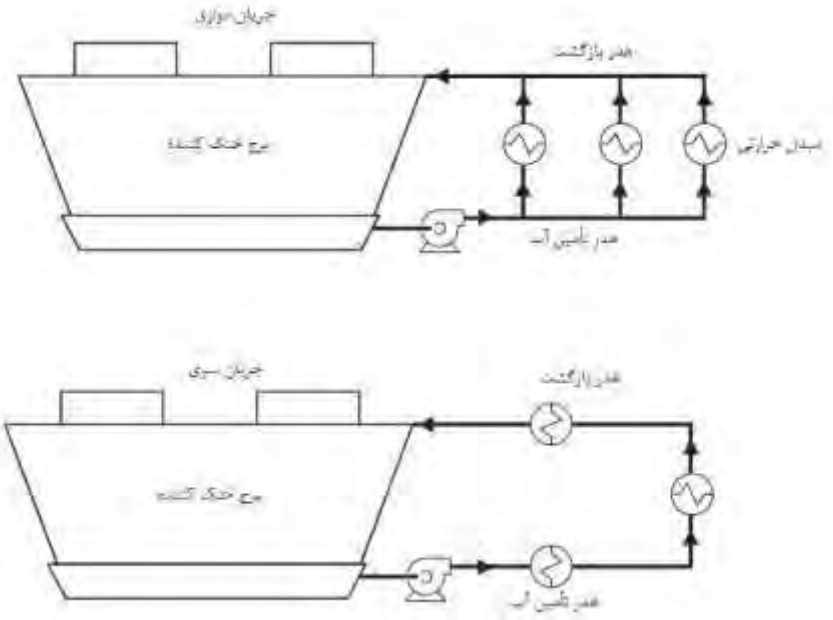


شکل ۸-۸: نمای داخلی یک برج خنک‌کنندهٔ مکش القایی متقاطع

۸–۸– سیستم خنک‌کنندهٔ آبی

در محیط کارخانه مبدل‌های حرارتی و برج‌های خنک‌کننده دست به دست هم می‌دهند که یک سیستم خنک‌کنندهٔ آب بسازند. زمانی که آب سرد از یک برج خنک‌کننده به یک مبدل حرارتی پمپ می‌شود، سیال فرایند گرم تر، حرارتش را به آب خنک‌کننده منتقل می‌کند. آب، پیوسته، حرارت سیال فرایند را کاهش می‌دهد. جریان فرایند در مرحلهٔ بعد نیز ادامه می‌یابد، درحالی‌که آب داغ برای سرد شدن به برج برگردانده می‌شود. یک پمپ گریز از مرکز آب داغ را به بالای برج می‌فرستد، جایی که وارد هدر توزیع آب می‌شود. آب داغ به‌طور مساوی در تمام برج پخش می‌شود تا اکثر حرارت خود را که بدست آورده بود از طریق تبخیر از دست بدهد. مایع سرد شده دوباره به مبدل حرارتی فرستاده می‌شود و حلقهٔ فرایند ادامه می‌یابد.

مبدل‌های حرارتی را می‌توان به روش‌های مختلفی به برج‌های خنک‌کننده متصل نمود. دو روش از رایج‌ترین این روش‌ها سری و موازی هستند (شکل ۸-۹). در جریان موازی، جریان فرایند در آن واحد وارد چند مبدل حرارتی می شود. در جریان سری، جریان فرایند به نوبت و یکی پس از دیگری وارد مبدل‌ها می‌شود.



شکل ۸-۹: مبدل‌های حرارتی با جریان سری و موازی

۸–۹– مشکل موجود در ارتباط با آب

در طول زمان، آب با هرچه در تماس باشـــد آن را در خود حل می‌کند. گرند کنیون[1] مدرک بزرگی بر این موضوع است که آب می‌تواند موانع بزرگ و کوچک را حرکت دهد. آب داغ جامدات را سریع تر از آب سرد در خود حل می‌کند.

آب داغ ذره ای از هرچیزی را که با آن در تماس قرار گیرد در خود حل می‌کند. زمانی که آب داغ به برج برمی‌شـــود، پر اســـت از جامدات معلق. آب داغ همچنین تمایل به خورندگی و تشـــکیل ر سوب دارد. زمانی که آب حاوی جامدات معلق وارد برج خنک‌کننده می شود، تبخیر می شود. این فرایند آب را حذف می‌کند و جامدات را باقی می‌گذارد. ســـیال باقیمانده درون حوضـــچه غلیظ می‌شود. در طول زمان این غلظت به سطحی می‌رسد که می‌بایست تحت کنترل قرار گیرد.

مواد ا ستفاده شده در ساخت برج خنک‌کننده باید با دوام با شد و تحمل تغییرات زیاد دمایی را دا شته با شد. چوب فرآوری شده، سدر، سرو، سرخ چوب و پلا ستیک معمولاً به‌عنوان مواد سازنده مورداستفاده قرار می‌گیرند. چوب قادر است تغییرات دمای رایج در برج خنک‌کننده را تحمل کند.

اپراتورها در حین کار با برج‌های خنک‌کننده به مشـــکلاتی که در ادامه گفته شـــده، برخورد می‌کنند. جامدات معلق ممکن اســـت در آب جمع شـــوند و در نهایت باعث ایجاد پوســـته گردند (اسکیل[2]). واکنش های الکتروشیمیایی با سطوح فلزی موجب خوردگی می‌شود. آشغال، گل‌ولای و جلبک لوله‌های مبدل را تخریب می‌کند و باعث گرفتگی آن‌ها می‌شـــود. باکتری و قارچ باعث پوسیدگی چوب می‌شود.

برای حل هریک از این مشـــکلات راه های مختلف و متعددی وجود دارد. اپراتورها مرتباً ســـطح جامدات معلق را بررســـی می‌کنند. ســـطح جامدات معلق برحســـب ذرات موجود در یک میلیون (PPM)، (به این معنا که ۱ ppm برابر است با ۱ پوند در هر ۱۰۰۰۰۰۰ پوند) اندازه‌گیری می شود. سپس این سطح جامدات معلق با یک استاندارد قابل قبول مقایسه می شود. نسبت میزان واقعی به سطح ا ستاندارد چرخهٔ غلظت نامیده می شود. مشکل جامدات معلق تو سط فرایندی به نام بلوداون (یا دورریز) مرتفع می شود. میزان مشخصی آب از فرایند خارج می شود و آب جبرانی تازه جای آن را می‌گیرد.

جامدات تشـکیل‌دهندهٔ پوسـته را می‌توان با نرم‌کننده‌ها حذف نمود و یا می‌توان با افزودن مواد شـــیمیایی از انحلال جامدات جلوگیری نمود. روش دیگر، ته‌نشـــین کردن پوســـته به‌منظور حذف راحت آن اســـت (ته‌نشـــینی یعنی خارج کردن مواد از حالت معلق در مایع). با افزودن بازدارنده‌های شیمیایی که فیلمی را برای محافظت از فلز تشکیل می‌دهند می‌توان خوردگی را به حداقل ر ساند.

---

[1] Grand Canyon
[2] Scale

گرفتگی را می‌توان با لوازم فیلترینگ به تنهایی و یا همراه با موادی که از تجمع جامدات معلق جلوگیری می‌کنند کنترل نمود. برای جلوگیری از پوسیدگی چوب می‌توان از زیست‌کش‌ها (مثل کلر و برم) استفاده نمود.

مشکل دیگری که در برج خنک‌کننده دیده می‌شود لیچینگ[1] (شسته شدن توسط آب) است. لیچینگ عبارت است از کمبود نگهدارنده‌های شیمیایی در ساختار پشتیبانی برج خنک‌کننده که آب روی اجزای بدون حفاظ جریان می‌یابد و یا آن‌ها را با خود می‌شوید.

همهٔ این مشکلات و راه حل ها نیازمند نظارت هستند. اپراتورها مسئول بررسی موارد زیر هستند:

- pH آب
- کل جامدات محلول (TDS)
- غلظت بازدارنده ها
- غلظت کلر و برم
- غلظت ته‌نشین شده ها
- فهرست های تجهیزات برج
- فیلترها و اسکرین ها[2]
- دمای حباب مرطوب و رطوبت نسبی

۸–۱۰– سیستم برج خنک‌کننده

برج خنک‌کنندهٔ ۳۰۲ به‌عنوان یک وسیله مکش القایی (یا عبوری)، بر اساس جریان متقاطع تک سلولی طبقه‌بندی می‌شود که اساساً برای کنترل دمای کندانسور Ex-204 طراحی شده است. یک برج خنک‌کننده اغلب به‌عنوان و سیلهٔ حذف حرارت شناخته می شود که برای استخراج حرارت از آب برگشتی و خارج کردن آن به هوا طراحی شده است. شکل ۸-۱۰ نشان می‌دهد که سیستم خنک‌کنندهٔ آبی چگونه است. این نوع مبدل حرارتی بر اصل تبخیر متکی است. وقتی این فرایند انجام می شود حرارت از آب توسط هوا جذب می شود که با این کار رطوبت نسبی تا نزدیکی ۱۰۰ درصد بالا می‌رود. این جریان‌های گرم به‌سرعت توسط باد پراکنده می‌شوند. برج خنک‌کننده ۳۰۲ یک وسیلهٔ حذف حرارت تبخیری است که قادر است دمای آب را به میزان قابل‌توجهی پایین بیاورد.

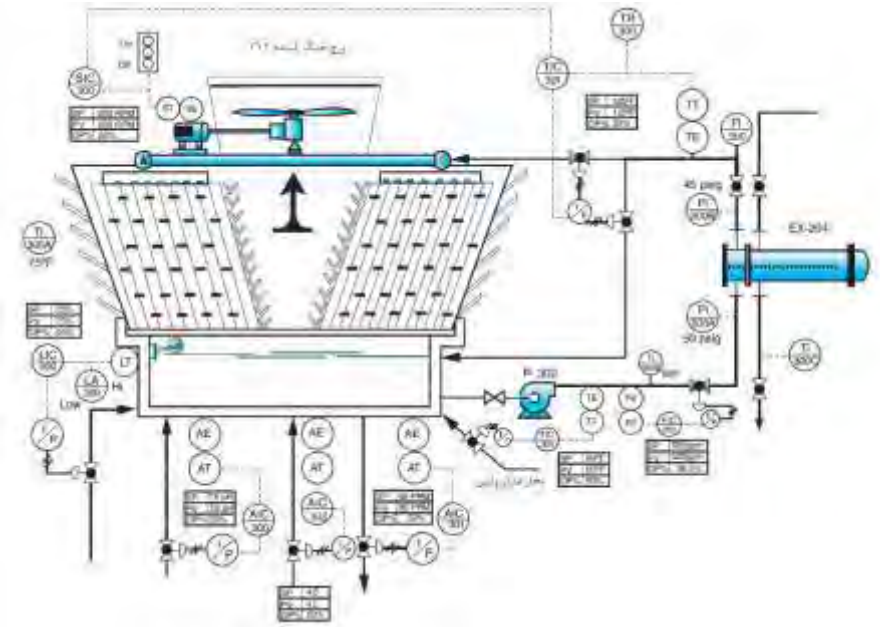
---

[1] Leaching
[2] Screen

۸–۱۰–۱– برج خنک‌کننده ۳۰۲

CTW-302 یک ساختار بسته است با سیستمی از کرکره‌های هوا که برای هدایت جریان هوا به سمت پرکن‌ها طراحی شده است. زمانی که آب داغ از بالا وارد برج خنک‌کننده می‌شود، سیستم توزیع آب به‌طور دقیق جریان سیال را بر روی یک شش گوشهٔ لابیرنت مانند[1] (مارپیچ مانند)، اسپلش بردها[2] و یا پرکن هدایت یا اسپری می‌کند.

هدف پرکن این است که به آب داغ اجازه می‌دهد که بر روی سطح بردها پخش شود. پرکن‌ها سطح بسیار وسیعی را فراهم می‌کنند که سطح تماس هوا و آب را افزایش می‌دهد. زمانی که تبخیر اتفاق می‌افتد هوا توسط آب اشباع و از سیستم برج خنک‌کننده خارج می‌شود. CTW-302 برای کشیدن هوا به داخل و سطح پرکن‌ها از فن استفاده می‌کند. این فن در بالای برج خنک‌کننده قرار می‌گیرد و به‌آرامی هوا را به داخل سیستم می‌کشد و سپس آن را به‌سرعت از خروجی تخلیه می‌کند. آب خنک شده به مسیر خود از روی پرکن‌ها ادامه می‌دهد تا جایی‌که به حوضچه بریزد. یک برج خنک‌کننده نوعاً وسیلهٔ انتقال حرارتی است که برای خنک کردن آب به‌منظور استفادهٔ دوباره در صنعت طراحی شده است.



شکل ۸–۱۰: سیستم برج خنک‌کننده: CTW-302

---

[1] Labyrinth-like
[2] Splashboard

۸–۱۰–۲– مخاطرات ایمنی

جنبه‌های ایمنی سیستم برج خنک‌کننده شامل حوزه‌های زیر است:

- انرژی پرخطر
- افزودنی های شیمیایی (به بخش‌های "فهرست مواد شیمیایی" و "MSDS"[1] رجوع نمایید)
- تجهیزات دوار
- خطرات آب داغ
- کار در ارتفاع
- خطرات کار با اسید (به "MSDS" رجوع نمایید.)
- ایمنی کار در بالای برج خنک‌کننده
- ورود به فضای محصور (حوضچهٔ آب خالی)
- خرابی تجهیزات
- خوردگی و پوسیدگی چوب

تجهیزات موجود در یک سیستم برج خنک‌کننده عبارت‌اند از:

- پمپ سانتریفیوژ ۳۰۲- یک پمپ سانتریفیوژ عمودی که برای کار در ۵۰۰ گالن بر دقیقه[2] در ۸۵ درجه فارنهایت (۲۹/۴۴ درجه سانتی‌گراد) و در فشار ۵۰ psig[3] طراحی شده است.
- مبدل حرارتی ۲۰۴ – یک مبدل حرارتی پوسته و لولهٔ افقی چندگذره که برای کندانس کردن بوتان تبخیر شده به فاز مایع طراحی شده است. فشار در بخش پوسته ۱۱۵ و در لوله ۵۰ psig است. لوله حاوی آبی خنکی است که از سیستم برج خنک‌کننده می‌آید. بخش پوسته نیز حامل بوتان مایع یا گاز ۱۱۵ psig است. مبدل حرارتی از فولاد زنگ نزن ساخته شده و در بخش لوله برای فشار ۲۲۵ psig و دمای ۲۵۰ درجه فارنهایت (۱۲۱/۱۱ درجه سانتی‌گراد) و در بخش پوسته برای فشار ۲۲۵ psig و دمای ۳۰۰ درجه فارنهایت (۱۴۸/۸۸ درجه سانتی‌گراد) ارزیابی شده است. فشار ورودی لوله ۵۰ psig و فشار خروجی ۴۵ psig است. اختلاف فشار در لوله ۵psig خواهد بود.

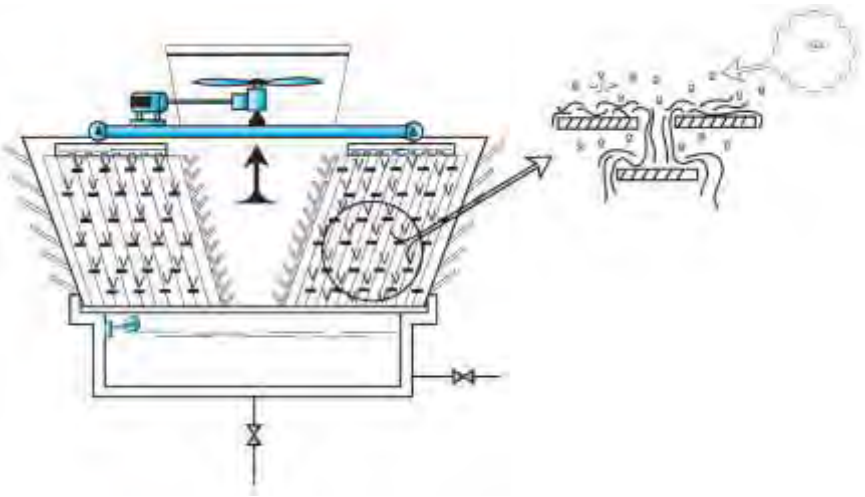
---

[1] Material Safety Data Sheet
[2] Gallon per Minute (GPM)
[3] pounds per square inch gauge

- فن برج خنک‌کننده – در بالای لوله توزیع آب و در مرکز برج قرار می‌گیرد. یک کنترل‌کننده محلی و یک دکمهٔ خاموش/روشن نیز نزدیک موتور قرار می‌گیرد. موتور برای ۲۵۰ دور بر دقیقه[1] طراحی شده و برحسب نیاز قابل تنظیم است.
- پلنوم (فضای خالی) – یک فضای باز است که دقیقاً در زیر فن قرار دارد. در یک برج خنک‌کنندهٔ مکش متقاطع القایی، زمانی که فن هوای غنی و اشباع شده از بخار آب را به بیرون می‌راند، سرعت هوا یک خلأ نسبی در زیر فن ایجاد می‌کند.
- سیستم توزیع آب – شامل یک قاب عمیق "۱۲، '۴ * '۲۰، است، همراه با منافذی که توسط نازل‌های حلزونی ثابت که آب را روی پرکن‌ها توزیع می‌کنند، تجهیز شده است. قاب دارای منافذ و نازل‌ها در قسمت غرب و شرق برج خنک‌کننده قرار می‌گیرد.
- حوضچه آب – یک سازهٔ مسلح بتنی است که برای نگهداری آب طراحی شده است و همچنین نقش پایه‌ای برای پشتیبانی دیگر اجزای برج خنک‌کننده را ایفا می‌کند. این حوضچه برای جمع‌آوری آبی که از روی پرکن‌های افقی به سمت پایین ریخته می‌شود طراحی شده است. حوضچهٔ آب برای پمپ، مکش ایجاد می‌کند و باید در مقابل خوردگی شیمیایی مقاوم باشد. متخصصان فنی که با حوضچهٔ آب کار می‌کنند باید توجه ویژه‌ای به pH آب، دما، ppm و مسائل زیست شناختی داشته باشند. گرم‌کن های حوضچه در انواع مختلفی دارند؛ بخار فشار پایین، الکتریکی و روغن داغ. مقصود اصلی گرم‌کن حوضچه‌این است که در ماه‌های سرد زمستان از یخ زدن حوضچه جلوگیری کند.
- کرکره‌ها – فضاهای مساوی هستند و برای هدایت هوا در تقاطع با جریان پایین رو آب طراحی شده‌اند.
- پرکن – سطح تماس وسیعی را برای تماس آب و هوا ایجاد می‌کند. وقتی تبخیر اتفاق می‌افتد، هوا توسط آب اشباع می‌شود و از سیستم برج خنک‌کننده خارج می‌شود. پرکن‌ها از مواد تحت‌فشار آزموده شده ساخته می شوند: تخته‌های چوبی از درون سازهٔ محافظ پلاستیکی عبور می‌کنند. پرکن‌ها به‌گونه‌ای طراحی می‌شوند که با فراهم نمودن سطح تماس وسیع از تماس آب و هوا اطمینان حاصل شود. در سطح پرکن‌ها تبخیر اتفاق می‌افتد که به این وسیله انتقال حرارت به منطقهٔ مرطوب رخ می‌دهد، رطوبت نسبی در این ناحیه تا ۱۰۰ درصد افزایش می‌یابد و این تودهٔ گرم از سیستم وارد جو می شود. این توده یا مه به جز زمانی که در تماس با زمین دید را کاهش می‌دهد، بی ضرر است. ۸۰ تا ۹۰ درصد انتقال حرارت در برج خنک‌کننده توسط تبخیر انجام می‌شود. این فرایند

[1] Revolutions per minute (RPM)

جابه‌جایی زمانی رخ می‌دهد که آب از روی صفحات اسپلش و یا پرکن‌ها به پایین پاشیده می‌شود. هم‌زمان با پخش شدن آب بر روی پرکن‌ها، هوا روی این سطوح جریان دارد. شکل ۸-۱۱ نشان می‌دهد که چگونه بخار آب داغ بالارو یا انرژی گرمایی از برج خنک‌کننده خارج می‌شود و آب خنک وارد حوضچهٔ آب می‌شود.



شکل ۸-۱۱: پرکن‌ها و صفحات اسپلش

- قطره برگردان‌ها – از اتلاف و خروج آب از سیستم جلوگیری می‌کنند. زمانی که بخار مرطوب و داغ روی پرکن‌ها جریان پیدا می‌کند، از هوای بیرون سبک‌تر است و زمانی که وارد فضای پلنوم می‌شود سرعت می‌گیرد. این هوای گرم زمانی که توسط فن به بالا رانده می‌شود نیز سرعتش افزایش می‌یابد.
- بلوداون یا آب دورریز– برداشت آب یا بلوداون (آب دورریز) اصولاً برای کنترل رسوبات و غلظت مواد معدنی موجود در آب در حال گردش به کار می‌رود. بلوداون برای کنترل سطح جامدات معلق در آب حوضچه طراحی شده است. سطح بالای جامدات معلق موجب گرفتگی ۱ می‌شود. بلوداون ارتباط نزدیکی با عبارت چرخه‌های غلظت دارد. منظور از بلوداون تخلیهٔ اتوماتیک ۷ تا ۱۰درصد آب درون حوضچه و جایگزینی آن با آب تازه است. در اکثر موارد، سیستم تعویض آب به دلیل افت تبخیر، افت رانش و برداشت آب به‌طور پیوسته کار می‌کند.
- چرخه‌های غلظت – نوعاً در برج‌های خنک‌کننده می‌تواند بین ۳ تا ۷ باشد. برج خنک‌کننده روی ۶ چرخهٔ غلظت قبل از بلوداون تنظیم می شود. یک چرخه عبارت است

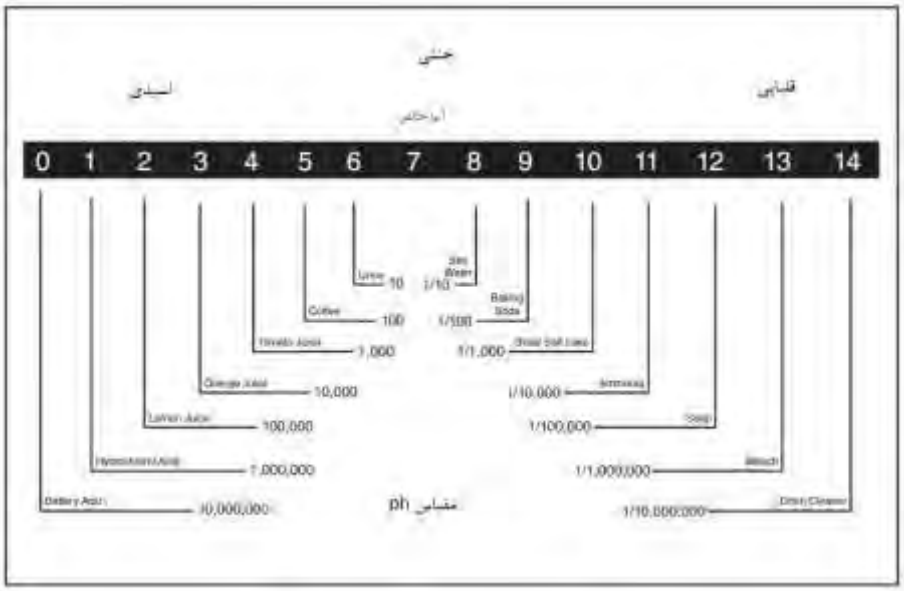
از یک گذر از برج خنک‌کننده به فرایند و سپس برگشت آن به برج خنک‌کننده. چرخه‌های غلظت، تجمع مواد معدنی محلول در سیستم گردشی را نشان می‌دهند.

- سلول – کوچک‌ترین قسمت برج خنک‌کننده است که می‌تواند مانند یک واحد مستقل عمل کند.
- کنترل pH – یک سیستم کنترل خودکار به‌طور مداوم pH داخل حوضچه را بررسی می‌کند و برای حفظ محدودهٔ موردنیاز عملیات، مقدار کمی اسید یا باز اضافه می‌کند.
- تصفیه آب – ترکیبی از مواد شیمیایی در سیستم تصفیه آب استفاده می‌شود که برای کنترل پوسته (اسکیل)، جلبک، خوردگی، پوسیدگی چوب و برای کمک به ته‌نشین شدن جامدات معلق در حوضچه مورداستفاده قرار می‌گیرد.
- کنترل سطح حوضچه – سطح آب در حوضچه به‌عنوان یک عنصر تراز کنترل می‌شود و فرستنده سیگنال را به کنترل‌کننده می‌فرستد.

۸–۱۱– مشخصات تحلیلی کنترل در سیستم برج خنک‌کننده

– کنترل pH: AIC-300 کنترل‌کننده نشان دهندهٔ تحلیلی

هدف این کنترل‌کننده این است که pH آب درون حوضچهٔ برج خنک‌کننده را کنترل کند. pH آب سرد حوضچه تمایل به سمت بازی شدن دارد. نقطهٔ تنظیم شدهٔ کنترل pH ۷/۵ است. AIC-300 به‌طور پیوسته pH درون حوضچه را بررسی می‌کند و برای حفظ pH موردنیاز فرایند مقادیر کمی اسید اضافه می‌کند. محدودهٔ مشخصات برج خنک‌کننده بین pH ۷/۶ تا pH ۸/۴ در آب موجود در سیستم بازگردشی است. شکل ۸-۱۲ مقیاس pH را نشان می‌دهد.



شکل ۸-۱۲: مقیاس pH

– **کنترل بلوداون: کنترل‌کننده نشان دهنده تحلیلی AIC-301**

هدف این کنترل‌کننده نظارت و کنترل سطوح جامدات معلق است. این فرایند چه با استفاده از بلوداون و چه بردا شت آب، ا سا ساً برای ترمیم یا تغلیظ مواد معدنی موجود در آب در حال گردش موردا ستفاده قرار می‌گیرد. میزان بالای جامدات معلق باعث گرفتگی (گرفتگی) خواهد شد. بلوداون ارتباط نزدیکی با عبارت چرخه‌های غلظت دارد. منظور از بلوداون تخلیهٔ اتوماتیک ۷ تا ۱۰درصد آب درون حوضچه و جایگزینی آن با آب تازه است. در اکثر موارد، سیستم تعویض آب به دلیل اتلاف‌های تبخیری، رانشی و خروج از پایین به‌طور پیوسته کار می‌کند.

چرخه‌های غلظت در CTW-302 بر روی ۶ چرخهٔ غلظت قبل از بلوداون تنظیم می‌شود. یک چرخه عبارت است از یک گذر از برج خنک‌کننده به فرایند و سپس برگشت آن به برج خنک‌کننده. چرخه‌های غلظت تجمع مواد معدنی محلول در سیستم چرخشی را نشان می‌دهند.

– **کنترل شیمیایی جامدات معلق: کنترل‌کننده نشان دهندهٔ تحلیلی AIC-302**

مقصود این کنترل‌کننده، کنترل پوسته، جلبک، خوردگی، پوسیدگی چوب و کمک به ته‌نشین شدن جامدات معلق در حوضچه می‌باشد. AIC-302 بر شرایط حوضچه نظارت می‌کند و با افزودن

تصفیه کنندهٔ شیمیایی مایع، مشخصات تعیین شدهٔ واحد را حفظ می‌کند. تصفیهٔ آب روی ۴/۵ تنظیم می‌شود.

- **کنترل دما و سرعت فن: SIC-300 کنترل‌کننده نشان دهندهٔ سرعت**

سرعت فن روی ۲۵۰ دور بر دقیقه تنظیم می‌شود و توسط متخصص فنی قابل تنظیم است. همچنین یک کلید روشن/خاموش نزدیک موتور قرار دارد.

۸–۱۲– مشکلات رایج برج‌های خنک‌کننده و راه حل آن‌ها

برج‌های خنک‌کننده را به‌راحتی می‌توان غیرفعال ((shutdown نمود، مگر در حالتی که مشکل جدی اتفاق می‌افتد و یا تعمیر تجهیزات و یا بارگیری در دستور کار باشد و برج در عملیات پیوسته قرار می‌گیرد. مشکلات و نگرانی‌های رایجی وجود دارد که سیستم برج خنک‌کننده ملزم به نظارت و کنترل می‌شود.

- **بازدهی برج خنک‌کننده: دمای حباب مرطوب و خنک‌کنندگی رطوبت**

از آن جایی که برج‌های خنک‌کنندهٔ مرطوب با تبخیر ارتباط دارند، رطوبت نسبی بر روی بازدهی برج خنک‌کننده تأثیرگذار است. دمای حباب مرطوب با استفاده از نوع خاصی از دماسنج با تنظیم فتیله ای بدست می‌آید. در عملیات چند سلولی فن‌های اضافی نصب می شود. هرچند که CTW-302 دارای یک فن می‌باشد، برای بهبود جریان هوا در برج خنک‌کننده، می‌توان دور موتور فن‌ها را افزایش داد. همچنین دماهای بالاتر می‌تواند روی قابلیت برج خنک‌کننده برای خارج کردن حرارت مؤثر باشد.

- **مشکلات pH**

متخصصان فنی فرایند از pH برای بیان اسیدی بودن یا بازی بودن استفاده می‌کنند. مقیاس pH از اعداد ۰ تا ۷ تا ۱۴ می‌باشد. عدد ۷ در مقیاس pH خنثی در نظر گرفته می‌شود. با حرکت عقربهٔ نمایشگر به پایین‌تر از ۷، به محیط اسیدی می‌رویم. اعداد بالای ۷ نشان دهندهٔ محیط بازی یا قلیایی هستند. آبلیمو، سولفوریک اسید و هیدروکلریک اسید مثال‌هایی از اسید هستند؛ و آمونیاک، صابون، سفید کننده و لوله بازکن نمونه‌هایی از بازها.

- **تشکیل اسکیل (پوسته)**

اسکیل شامل مواد معدنی محلول مانند منیزیم و کلسیم است. تشکیل اسکیل فرایندی است که طی آن مواد معدنی غلیظ پوششی بر دیوارهٔ داخلی لوله‌ها شکل می‌دهند و منجر به کاهش جریان سیال و کاهش انتقال حرارت می شود. آب برج خنک‌کننده‌ای که دارای pH بالایی باشد تشکیل این توده ها را تسریع می‌کند. برای کاهش pH بالای حوضچه از سولفوریک اسید استفاده می‌کنند.

- **کل جامدات محلول (TDS)**

به‌طور طبیعی آب حاوی کلسیم و منیزیم به‌صورت جامدات محلول است. وقتی آب تبخیر و از برج خارج می‌شود، مواد معدنی محلول در آن باقی مانده و در طول زمان تغلیظ و تشکیل پوسته (اسکیل) می‌دهد. جامدات محلول، اجزای موجود در فیبرهای چوب را که پشتیبان ساختار داخلی برج خنک‌کننده هستند، تجزیه می‌کنند. سولفوریک اسید می‌تواند مشکلات مربوط به مواد معدنی محلول را به حداقل برساند. بلودان (آب دورریز) روی CTW-302 دارای زمانبندی است، بنابراین مادهٔ شیمیایی تزریق شده زمان کافی برای مخلوط شدن با سیستم در حال گردش را دارد. افزودنی شیمیایی در جایی از برج خنک‌کننده اضافه می‌شود که جریان درهم به اختلاط آن کمک کند و همچنین قبل از اختلاط کافی در معرض مکش پمپ ۳۰۲ قرار نگیرد.

- **میکروارگانیسم‌ها: غلظت برم و کلر**

برج‌های خنک‌کننده به دلیل این‌که در معرض آب گرم و نور خورشید هستند، زمینهٔ بسیار مناسبی برای رشد میکروارگانیسم‌ها فراهم می‌کنند. میکروارگانیسم‌ها تشکیل لجنی می‌دهند که می‌تواند جریان آب و همچنین انتقال حرارت را با محدودیت مواجه کند. زیست‌کش‌هایی مانند کلر و برم می‌توانند رشد این ارگانیسم ها را کنترل کنند. متأسفانه کلر ماده‌ای خطرناک است و باید با احتیاط با آن رفتار شود. حمل و استفادهٔ برم کمی کم خطرتر است. CTW-302 از مخلوط خاصی از زیست‌کش‌ها استفاده می‌کند تا عملیات برج خنک‌کننده را بدون مشکلی محیا سازد. بازدارنده های شیمیایی دیگر نیز به این مخلوط اضافه می و باید به‌طور کامل با آب حوضچه مخلوط شوند.

- **گازهای محلول**

آب برج خنک‌کننده ممکن است حاوی گازهای محلولی مانند اکسیژن، هیدروژن سولفید و کربن دی‌اکسید باشد که با آهن واکنش می‌دهند. این گازها خوردگی را افزایش می‌دهند، سطح فلزات را تخریب می‌کنند. این امر می تواند به تجهیزات ارزشمند صدمه بزند و لوله‌های فلزی و پیچ‌هایی که

برای نگه‌داشتن چوب‌ها به‌کاررفته است را تخریب می‌کنند. مقادیر زیاد گازهای محلول آب حوضچه را اسیدی می‌کند.

- **ترکیدگی لوله‌های مبدل حرارتی**

اگر لولهٔ Ex-204 دچار ترکیدگی شـــود، بوتان، پنتان و مخلوط کاتالیســـت به درون آب در حال گردش می‌ریزند، زیرا آن‌ها در فشار ۱۰۰ psig هستند. آب در حال گردش فشار ۴۵ تا ۵۰ psig دارد. pH آب برج خنک‌کننده نیز بسیار بازی می‌شود و هشدار pH بالا را فعال می‌کند.

- **خرابی فن ۳۰۰**

CTW-302 زمانی که دما و رطوبت نسبی به میزان از پیش تعیین شده‌ای می‌رسد، فن را به کار می‌اندازد. در ماه‌های زمستان از فن به‌ندرت استفاده‌شده و مکرراً از جریان کنارگذر آب داغ استفاده می‌شود. یک موتور یدک، گیربکس (جعبه‌دنده) و یک دست پرهٔ فن در کارگاه تعمیرات نگهداری و برای پروژه‌های بزرگ نیاز می‌شـــود. ممکن اســـت برج خنک‌کننده در وضـــعیت مکش طبیعی عمل کند.

- **خرابی پمپ ۳۰۲**

اگر پمپ ۳۰۲ به‌درستی کار نکند، سیستم تقطیر به‌سرعت وارد وضعیت هشدار می‌شود. سیستم پشتیبان پمپ باید فوراً جایگزین شود. P-302 یک پمپ سانتریفیوژ عمودی است با مجموعه‌ای از صـــفحات کوچک در بخش مکش پمپ. این صـــفحات، مایع ورودی به پمپ را تمیز نگه داشـــته و از آســـیب داخلی پیشـــگیری می‌کنند. NPSH[1] (مقدار مطلق مکش مثبت) و NPDH[2] (مقدار مطلق تخلیه مثبت) باید بین مقادیر خاصی نگه داشته شوند تا سیستم گردش به‌خوبی کار کند.

- **مشکلات ابزارها**

ابزارها روی برج خنک‌کننده شـــامل ســـه حلقهٔ کنترل تحلیلی، یک حلقهٔ کنترل ســـطح، دو حلقهٔ کنترل دمایی و یک حلقهٔ کنترل سرعت بر روی فن می‌باشد. انواع ابزارهای ساده روی سیستم برج خنک‌کننده نصب می‌شود.

---

[1] Net Positive Suction Head
[2] Net Positive Discharge Head

- **جامدات معلق، گرفتگی لوله Ex-204**

با گردش هوا درون برج خنک‌کننده جامدات به شکل ذرات کوچک غبار با آن حمل می‌شود. این جامدات توسط جریان پایین رو آب گرفته می‌شوند و در حوضچه، جایی که تشکیل لجن می‌دهند جمع می‌شوند. لجن از طریق سیستم بلودان (آب دورریز) حذف می‌شود. جامدات معلق ممکن است در درون لوله‌های مبدل حرارتی جمع شوند و باعث گرفتگی شوند. گرفتگی یا گرفتگی عبارتی است که برای توصیف محدودیت یا مسدود شدن به کار می‌رود.

- **مشکلات بلودان (آب دورریز) و چرخه‌های غلظت**

چرخه‌های غلظت در برج‌های خنک‌کننده بین محدودهٔ ۳ تا ۷ هستند و به کیفیت آب جبرانی وابسته اند. آب گردشی در CTW-302 توسط زیست‌کش‌ها و لجن کش ها فیلتر و تصفیه می‌شود تا از رشد میکروارگانیسم‌ها جلوگیری کند و سیستم تنظیم pH را کنترل کند.

- **پرکن‌های شکسته و متلاشی شده**

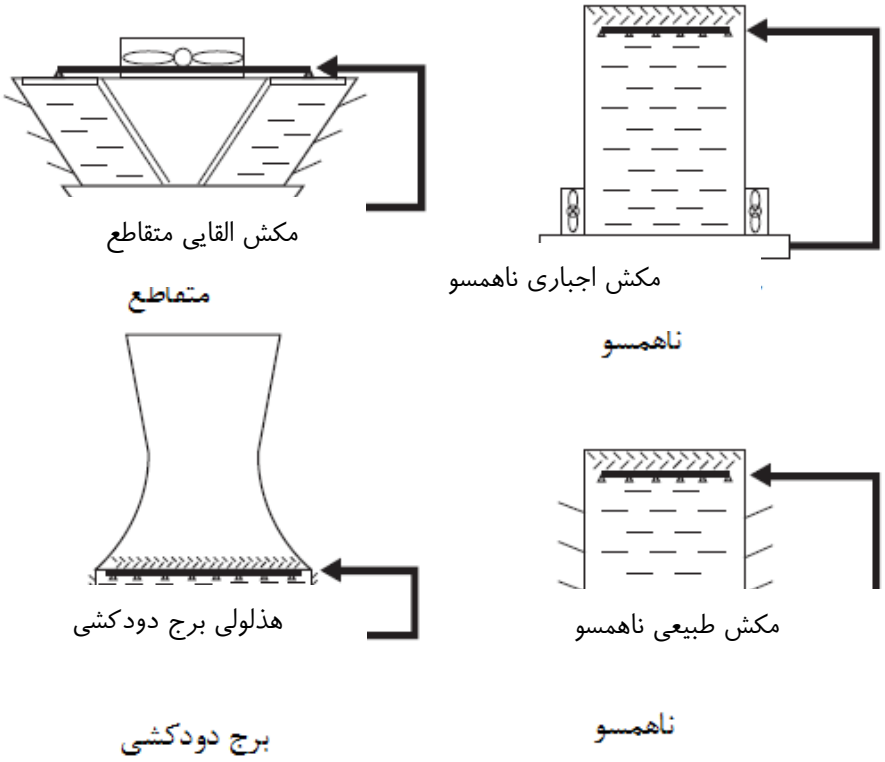
بادهای قوی، تشکیل تودهٔ یخ، خوردگی، میکروارگانیسم‌ها و متغیرهای دیگر می‌توانند باعث آسیب ساختاری به برج خنک‌کننده شوند. درحالی‌که برج خنک‌کننده طراحی ساده‌ای دارد، اما نیازمند این است که تمامی قطعات به طرز کارآمدی کار کنند. صفحات اسپلش یا پرکن‌ها را می‌توان تعویض و جایگزین نمود. پیچ‌ها و قلاب‌هایی که خورده شده‌اند باید تعمیر شوند.

- **مشکلات سیستم توزیع آب**

سیستم توزیع آب دارای اجزای متنوعی ازجمله مجموعه‌ای از شیرها، اتصالات، توزیع کننده های آب و کاور اتصالات است که ممکن است آسیب ببینند. زشتی لوله‌ها امری بعیدی نبوده و ممکن است به سرعت به مشکلات بزرگتر منجر شود. اگر توزیع‌کننده‌های آب از اتصال خود جدا شوند، مقادیر نابرابر آب قبل از این‌که زمان کافی برای تماس با هوا داشته باشد، بر روی پرکن‌ها ریخته می‌شود.

۸–۱۳– نماد های برج‌های خنک‌کننده

هر نوع برج خنک‌کننده را می‌توان با نمادی خاص نمایش داد. شکل ۸-۱۳ نماد برج های خنک‌کننده را نشان می‌دهد.



شکل ۸-۱۳: نمادهای برج‌های خنک‌کننده

خلاصه

برج خنک‌کننده وسیلهٔ انتقال حرارتی است که در صنعت برای خنک کردن آب داغ با کمک تبخیر و از دست دادن گرمای محسوس برای استفاده دوباره از آن استفاده می‌شود. آب داغ زمانی که در برج جریان می‌یابد حرارتش را به آب منتقل می‌کند. ۸۰ تا ۹۰ درصد انتقال حرارت در یک برج خنک‌کننده از تبخیر انجام می‌شود. بازده برج خنک‌کننده تحت تأثیر رطوبت نسبی، دما، سرعت باد، طراحی برج، آلودگی آب و مشکلات تجهیزات است.

برج‌های خنک‌کننده بر اساس چگونگی تولید جریان هوا و همچنین چگونگی جهت دهی به جریان هوا نسبت به جریان پایین رو آب طبقه‌بندی می‌شوند. برج‌های اتمسفری از باد برای حرکت هوا به درون و بیرون برج استفاده می‌کنند. بازده آن‌ها وابسته به‌سرعت باد است. برج‌های هذلولی یا دودکشی، برج‌های جریان طبیعی هستند که با اختلاف دانسیتهٔ ایجاد شده از اختلاف دما جریان هوا را تولید می‌کنند. برج‌های خنک‌کننده جریان اجباری با استفاده از فن‌های کار گذاشته شده در پایین برج جریان هوا را به‌طور مکانیکی تولید می‌کنند. فن‌ها هوا را به داخل برج می رانند. برج‌های جریان القایی دارای یک فن در بالای برج هستند. این فن هوای داغ را از بالای برج بیرون می‌کشد.

سیستم‌های خنک‌کننده از ترکیب مبدل حرارتی و برج خنک‌کننده استفاده می‌کنند. آب سرد از برج خنک‌کننده به مبدل حرارتی پمپ می‌شود، جایی که سیال داغ فرایند حرارتش را به آن منتقل می‌کند. آب داغ دوباره برای خنک شدن به برج خنک‌کننده می‌رود.

سیستم‌های خنک‌کنندهٔ آب ممکن است از خوردگی، تشکیل اسکیل، گرفتگی (گرفتگی) و پوسیدگی چوب‌ها تأثیر بگیرند. مواد استفاده شده برای ساخت یک سیستم برج خنک‌کننده باید بادوام باشد و در برابر تغییرات وسیع دمایی مقاوم باشد. همچنین باید در مقابل آثار سوء آب، حملهٔ مواد شیمیایی تصفیه کننده و عامل های بیولوژیکی مقاومت کند. چوب فرآوری شده، سدر، سرو، سرخ چوب و پلاستیک‌ها به‌عنوان مواد سازندهٔ برج خنک‌کننده مورداستفاده قرار می‌گیرند.

سؤالات مروری

۱) نموداری از یک برج خنک‌کننده و سه مبدل حرارتی موازی را رسم کنید.
۲) نموداری از یک برج خنک‌کننده و سه مبدل حرارتی سری را رسم کنید.
۳) یک برج خنک‌کنندهٔ اتمسفری ساده رسم کنید. هفت جزء آن را نام برده توضیح دهید.
۴) یک برج خنک‌کنندهٔ هذلولی ساده رسم کنید. اجزای اصلی آن را توضیح دهید. نام دیگر این نوع برج چیست؟
۵) یک برج خنک‌کننده مکش اجباری رسم کنید. اجزای آن را نام ببرید.
۶) یک برج خنک‌کننده مکش القایی متقاطع رسم کنید. اجزای آن را نام ببرید.
۷) یک برج خنک‌کننده مکش القایی ناهمسو رسم کنید. اجزای آن را نام ببرید.
۸) سرمایش تبخیری چه درصدی از اثر خنک‌کنندگی در برج خنک‌کننده را به خود اختصاص می‌دهد؟
۹) پنج عامل که بازدهی برج خنک‌کننده را تحت تأثیر قرار می‌دهند نام ببرید.
۱۰) مقدار آبی که هوا در دمایی مشخص جذب می‌کند چه نام دارد؟
۱۱) میزان جریان هوا در برج خنک‌کننده مکش طبیعی به چه چیزی وابسته است؟
۱۲) برج‌های هذلولی اساساً برای استفاده در چه صنعتی طراحی شده‌اند؟
۱۳) کدام برج جریان هوای بیشتری دارد: متقاطع یا ناهمسو؟
۱۴) کدام برج پربازده تر است: متقاطع یا ناهمسو؟
۱۵) هوا در برج با مکش اجباری سریع تر جریان می‌یابد یا مکش القایی؟
۱۶) کدام برج بیشترین بازدهی را دارد: مکش اجباری یا القایی؟ چرا؟
۱۷) چهار هدف تصفیه آب را بیان کنید.
۱۸) کنترل pH را در سیستم برج خنک‌کننده توضیح دهید.
۱۹) هدف از بلودان را توضیح دهید و نحوهٔ کار آن را نشان دهید.
۲۰) نزدیکی برج را تعریف کنید.

فصل نهم
بویلرها (دیگ‌های بخار)

اهداف

پس از مطالعهٔ این فصل، دانشجو قادر به توضیح موارد زیر خواهد بود:

- اصول پایه‌ای عملیات بویلر (دیگ بخار)
- بویلر فایرتیوب (لوله آتشی)
- اجزای اصلی و نحوه عملکرد بویلر واترتیوب[1] (لوله آبی)
- برخی مشکلات عملیاتی بویلرها
- تفاوت میان بخار داغ (بخار سوپرهیت[2]) و بخار غیرداغ
- مسئولیت‌های اصلی متخصص فنی بویلر
- تله بخار سطلی معکوس (اینورتد باکت[3])
- تله بخار شناور (فلوتری[4])
- تله بخار ترموستاتیکی فانوسی

---

[1] Water-tube boiler
[2] Superheated
[3] Inverted bucket steam trap
[4] Float steam trap

۹–۱– کاربردها و عملیات اولیهٔ بویلرها

مولدهای بخار یا آن گونه که عموماً گفته می‌شود، بویلرها، به‌منظور تولید بخار مورداستفاده تولیدکنندگان صنعتی قرار می‌گیرند. بخار برای به کار انداختن توربین‌های بخار، سیستم‌های تقطیر و سیستم‌های واکنشی استفاده می‌شود. همچنین می‌توان از آن‌ها در فرایندهایی مثل روکش دهی، ولکانیزه[1]، روزن رانی، فایرفایتینگ[2] و سیستم‌های شعله ای و برای فراهم نمودن سرمایش و گرمایش تجهیزات فرایند استفاده نمود.

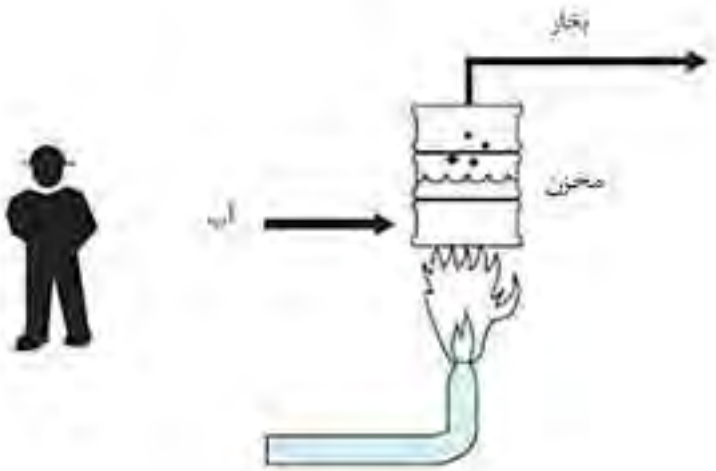
بویلرها از ترکیبی از روش‌های انتقال حرارت تابشی، هدایت و جابه‌جایی برای تبدیل آب به بخار استفاده می‌کنند. یک بویلر ساده از یک منبع حرارت، مخزن آب، ورودی آب و خروجی بخار تشکیل می‌شود (شکل ۹-۱). زمانی که به مخزن حرارت داده می‌شود، دما بالا می‌رود تا جایی که آب شروع به جوشیدن می‌کند. با بلند شدن بخار، بخار در یک مسیر ضبط می‌شود و برای ادامهٔ فرایند ارسال می شود. عوامل تأثیرگذار بر عملیات بویلر عبارت‌اند از: اختلاف دانسیته‌ها در گردش داخلی، فشار، دما و سطح آب.

۹–۲– بویلرهای لوله آتشی (فایرتیوب۳)

یک بویلر پیچیده تر، نوع لوله آتشی است که به مبدل حرارتی پوسته و لولهٔ اصلاح شده شبیه است. این نوع بویلر از یک پوسته و مجموعه‌ای از لوله‌ها تشکیل شده که به‌منظور انتقال حرارت از لوله‌های آتشی به آب تغذیه بویلر طراحی شده است. گازهای احتراقی از طریق محفظه‌ای مانند سری مبدل خارج می شوند و بدون ایجاد خطر از بویلر خارج می شوند. سطح آب در پوستهٔ بویلر بالاتر از لوله‌ها نگه داشته می شود تا از داغ شدن بیش‌ازحد آن‌ها جلوگیری کند. عبارت لوله آتشی نشانگر این است که منبع حرارت از داخل لوله‌ها ست. یک بویلر لوله آتشی (اشکال ۹-۲ و ۹-۳) متشکل است از یک پوستهٔ بویلر با اتصالات ورودی و خروجی خوراک، لوله‌های آتش، یک لوله احتراقی، مشعل، ورودی آب تغذیه، خروجی بخار، پورت خروجی گازهای احتراقی و صفحه (ورق) لوله‌ها.

---

[1] Vulcanizing
[2] Firefighting
[3] Fire-tube boiler



شکل ۹-۱: بویلر ساده

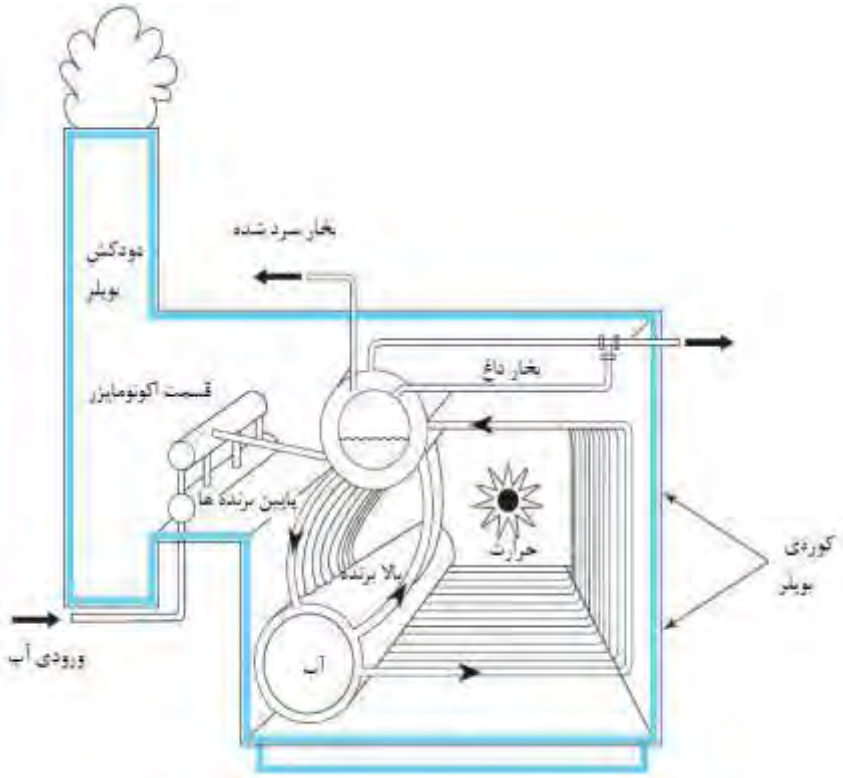
۹-۳- بویلرهای لوله آبی (واترتیوب)

رایج‌ترین نوع بویلرهای تجاری بزرگ، بویلر لوله آبی است (شکل ۹-۴). بویلر لوله آبی شامل مخزن فوقانی و تحتانی است که به وسیلهٔ لوله‌ها به هم متصل شده‌اند. مخزن تحتانی و لوله‌های آب پر از آب هستند درحالی‌که تنها بخشی از مخزن فوقانی از آب پر است. این چینش به بخار اجازه می‌دهد از جداکننده‌های مکانیکی در مخزن فوقانی عبور کند، به بخش داغ کننده برود و سپس از بویلر خارج شود. زمانی که به آتشدان بویلر حرارت داده می شود، آب از مخزن فوقانی از طریق لوله‌های پایین‌برنده به مخزن تحتانی جریان می‌یابد. لوله‌هایی به نام بالارونده‌ها به دلیل اختلاف دانسیته باعث جریان آب و بخار به درون مخزن فوقانی می‌شوند.

شکل ۹-۲: عملیات بویلر لوله آتشی

شکل ۹-۳: بویلر لوله آتشی

عملیات گردش آب بویلر بر اساس اصل اختلاف دانسیته انجام می‌شود. وقتی سیالی گرم می شود، منبسط شده و دانسیتهٔ آن کاهش می‌یابد. آب خنک‌تر از مخزن فوقانی یا مخزن بخار از طریق لوله‌های پایین‌برنده به سمت مخزن لجن (تحتانی) جریان می‌یابد و سپس زمانی که مقداری بخار تولید شد بالا می‌رود. گردش ادامه می‌یابد و آب جبرانی به مخزن فوقانی اضافه می‌شود تا جای بخار تولیدشده را بگیرد.



شکل ۹-۴: بویلر لوله آبی

گردش آب در بویلر لوله آبی به این دلیل ادامه می‌یابد که حباب‌های بخار در مخزن تحتانی از لوله‌های بالا برنده بالا می‌روند و باعث کاهش دانسیتهٔ آب می‌شوند. آب خنک تر موجود در پایین‌برنده‌ها به مخزن لجن می‌ریزد. لوله‌های بالابرنده و لوله‌های بخارساز نزدیک مشعل‌ها قرار دارند. بخار از بالابرنده‌ها و لوله‌های بخارساز بالا رفته به سمت مخزن بخارساز می‌رود. تولید بخار باعث افزایش فشار می شود. زمانی که به فشار موردنظر رسیدیم، در این حالت گفته می شود بویلر "قرارگرفته در مدار"[1] است. فشار با اضافه کردن آب جبرانی و حرارت دادن مداوم حفظ می‌شود.

[1] Placed on the line

۹-۴- اجزای اصلی

- کوره

آتشدان بویلر لوله آبی (که همان کوره است) برای کاهش اتلاف گرما و بهبود انرژی گرمایی اعمال شده به اجزای داخلی بویلر طراحی شده است. کوره‌های بویلر دارای روکش نسوز، مشعل‌ها، بخش نوع جابه‌جایی، بخش تابشی، فن‌ها، کنترل اکسیژن، دودکش، دمپر (تنظیم کننده جریان هوا) و بسیاری اجزای دیگر که همراه هیترهای آتشی هستند.

- لوله‌ها

بویلرها شامل انواع مختلف لوله‌ها هستند. لوله‌های بخار ساز به مخزن‌های فوقانی و تحتانی متصل هستند. جریان از آتشدان می‌گذرد و باز به مخزن بخار فوقانی می‌رود. لوله‌های پایین‌برنده، لوله‌های آب گرمی هستند که مخزن‌های فوقانی و تحتانی را به هم مرتبط می‌کنند. یک خط آب جبرانی به درون مخزن فوقانی می‌رود. بخار، مخزن بخارساز فوقانی را ترک می‌کند و در لوله‌های داغ کنندهٔ بخار تا دمای مطلوب گرم می‌شود. دمای بخار داغ را می‌توان با عبور دوبارهٔ آن از: کوره‌ها افزایش داد. برخی فرایندها از عهدهٔ دماهای بالا برنمی‌آیند، بنابراین بخار را کمی سرد می‌کنند. این فرایند، سرد کردن بخار داغ نام دارد.

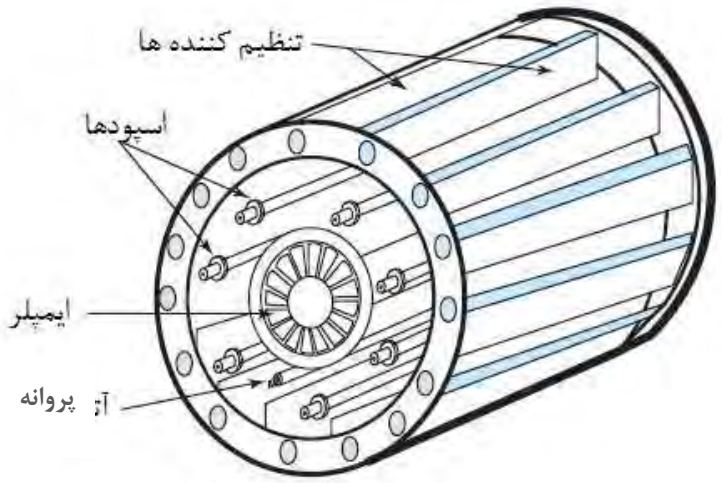
- مخزن‌ها

مخزن‌های درون کوره بویلر، سیلندرهای فشاری هستند که با شبکهٔ پیچیده ای از لوله‌ها به هم مرتبط شده‌اند. مخزن ها به مخزن‌های فوقانی (بخار) و مخزن تحتانی (لجن) دسته بندی می‌شوند. مخزن بخار حاوی سطح تماس بین آب و بخار است. مخزن فوقانی شامل توزیع کنندهٔ ورودی آب تغذیه، هدر (سری) بلوداون و تجهیزات جدا سازی آب است. مخزن لجن تحتانی همیشه پر از آب است.

- مشعل‌های گازی و نفتی

بیشتر بویلرها برای فراهم کردن گرمای کوره از مشعل‌های گاز طبیعی و یا سوخت نفتی اتمیزه شده استفاده می‌کنند. مشعل‌ها هوا و سوخت را وارد یک سیستم توزیع می‌نمایند و آن‌ها را با نسبت‌های مناسب برای احتراق آسان مخلوط می‌کنند. برخی بویلرهای بزرگ، عمدتاً در نیروگاه‌های تولید الکتریسیته، زغال سنگ می‌سوزانند. اجزای کلیدی مجموعهٔ احتراقی (شکل ۹-۵) شامل موارد زیر هستند:

- تنظیم کننده ها (دمپرها) که جریان ورودی هوا به مشعل را تنظیم می‌کنند.
- مجراهای هوا با پره‌های ثابت که هنگام ورود هوا به کوره در آن حالت چرخشـــی ایجاد می‌کند.
- اجزایی به نام اسپود که گاز سوخت را توزیع می‌کنند.
- یک آتش زنه که مانند یک شـمع موتور عمل می‌کند و مخلوط اشـتعال پذیر را مشـتعل می‌نماید.



شکل ۹-۵: مشعل گاز طبیعی

اگر شـعله بیرون بزند ابزارها شـناسـایی شـعله مسـیر سـوخت را می‌بندند و شـیرهای دوطرفه کارخانه (شیرهای FM) زمانی که شرایط خطرناکی مانند سطح پایین مخزن، ایراد در شعله و امثال این ها اتفاق بیفتد راه سوخت گازی را می بندند. اکثر بویلرهای نیروگاهی از فن‌های مکش اجباری برای تأمین هوای احتراقی استفاده می‌کنند.

– بخش اکونومایزر

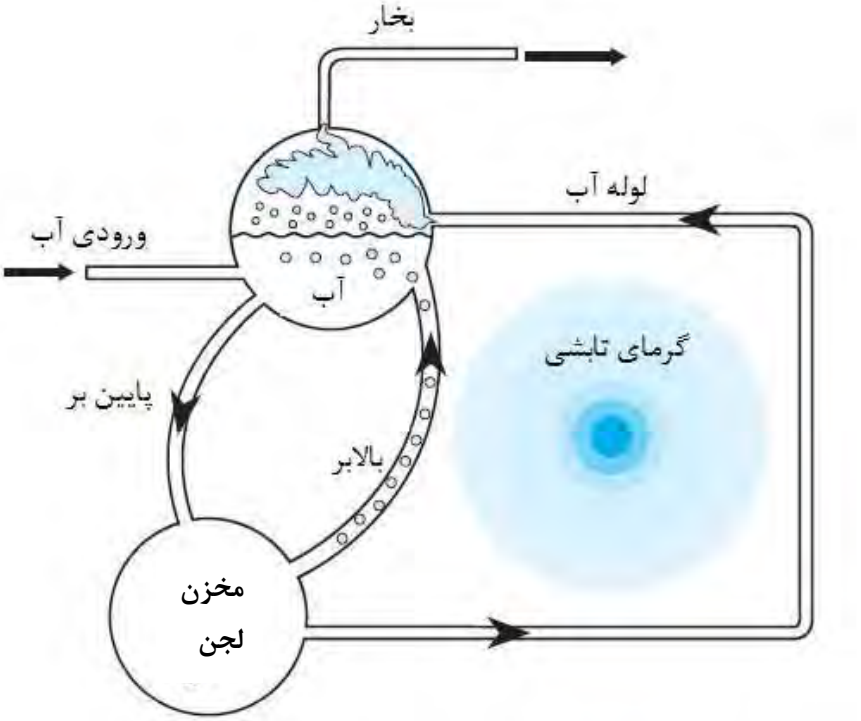
بخش اکونومایزر یا صـرفه‌جو (شـکل ۹-۴) برای افزایش کارایی بویلر با پیش گرم کردن آب ورودی به سیستم مورداستفاده قرار می‌گیرد. این بخش شامل مجموعه‌ای از هدرها و لوله‌ها است که بین آتشدان و دودکش قرارگرفته‌اند. دما در اکونومایزر عموماً از سایر بخش‌های سیستم پایین‌تر است، اما گازهای داغ دودکش که در حال خروج از آتشـدان به سـمت دودکش هسـتند، همچنان گرمای

کافی برای جبران هزینه‌های انرژی را دارند. بخش اکونومایزر در بویلر بسیار شبیه است به بخش جابه‌جایی در یک سیستم هیتر شعله ای. هر دو بر اساس مفهوم صرفه جویی در مصرف انرژی قبل از خروج از دودکش با استفاده از گازهای داغ دودکش کار می‌کنند.

۹–۵– کاربردهای بویلرها

زمانی که یک بویلر شروع به کار می‌کند فرایند زیر رخ می‌دهد:

کوره که حاوی آب سرد در مخزن‌ها و لوله‌هاست، شروع به گرم شدن می‌کند. وقتی مشعل‌ها روشن می‌شوند، گازهای داغ احتراقی در لوله‌های بخارساز، لوله‌های بالابر، لوله‌های پایین بر و مخزن ها، شروع به جاری شدن می‌کنند. انتقال حرارت تابشی، جابه‌جایی و هدایتی اتفاق می‌افتد. گازهای داغ به بیرون آتشدان جریان می یابند، به اکونومایزر می‌روند و سپس از دودکش خارج می شوند. دمای آب با سرعت برنامه ریزی شده‌ای افزایش می‌یابد. فشار شروع به افزایش می‌کند. در ابتدا بخار ممکن است در جو تخلیه شود. هم‌زمان با افزایش دمای آب درون لوله‌های بخارساز و بالابر، دانسیتهٔ آب کاهش می‌یابد و گردش ابتدایی رقم می خورد. حباب ها تشکیل می‌شوند و از درون آب بالا می‌روند که باعث افزایش گردش و فشار می‌شود (شکل ۹-۶). این سرعت گردش به‌راحتی می‌تواند به ۲ میلیون پوند در ساعت برسد. در این نقطه، تقریباً ۶۵۰۰۰ پوند بخار در هر ساعت تولید خواهد شد. با هر عبور آب از لوله‌ها، انرژی گرمایی بیشتری را با خود می‌برد. زمانی که فشار کمی از فشار سیستم بیشتر شود، بخار از طریق شیر یک‌طرفه وارد سیستم می‌شود. بار بویلر اصطلاحی است که برای توصیف نیاز سیستم به بخار به کار می‌رود.



شکل ۹-۶: گردش مخزن آب و بخار

۹-۶- بخار

تا زمانی که آب و بخار با هم در تماس هستند، بخار اشباع شده است. این وضعیت اشباع به این معناست که برای هر دمای آب، یک فشار بخار متناظر با آن وجود دارد. تا زمانی که آب و بخار با هم در تماس هستند فشار روی آب، دما را تعیین می‌کند. یک طرح بویلر ساده، بخار را از مخزن فوقانی می‌گیرد و آن را در همان فشار حرارت می‌دهد. به این فرایند سوپرهیتینگ[1] یا فوق گرم کردن بخار می گویند.

برخی فرایندها تحمل دماهای بالا را ندارند. فرایند سرد کردن بخار داغ را سرد کردن دسوپرهیتینگ[2] می گویند. در طول فرایند سرد کردن، بخشی از بخار داغ به مخزن بخار برگردانده می‌شود. مایع خنک‌تر درون مخزن بخار از بخار داغ گرما می‌گیرد و امکان استفادهٔ آن در فرایندهای خاص فراهم می‌شود.

---

[1] Superheating
[2] Desuperheating

۹–۷– عملیات بویلر

راه‌اندازی بویلر نیازمند گام‌های زیر است:

۱. پر کردن مخزن بخار با آب تا سطح مشخص
۲. روشن کردن فن
۳. پالایش کوره
۴. بررسی درصد مواد اشتعال پذیر کوره
۵. روشن کردن مشعل‌ها
۶. به فشار رساندن بویلر
۷. قرار دادن بویلر در مدار

در هریک از این گام ها، اپراتور دارای وظایفی است. این وظایف سایت به سایت متفاوت است و برای هر روش اجرایی خاص، قبل از راه‌اندازی بویلر، باید ساعت ها برای آماده کردن آن وقت صرف کرد.

به دلیل متفاوت بودن هر سایت، تشریح همهٔ وظایف اپراتور مشکل است. بیشترین مسئولیت های اپراتور مربوط به پیشگیری از مشکلات معمول بویلر می‌شود. مشکلات معمول بویلر شامل گسیختگی لوله‌ها و جمع شدن دوده در لوله‌های داغ کننده و اکونومایزر، اتلاف جریان آب، برخورد شعله (تماس مکرر و مداوم بین شعله ها و لوله‌ها)، اسکیل[1] (پوسته)، ناخالصی در بخار یا آب، ایراد در شعله و سطح نامناسب آب می‌شود.

معمولاً کنترل دبی جریان‌های آب و بخار و دما و سطح آب در بویلر از مسئولیت های اپراتور است. اپراتور همچنین دود، مشعل و مدل شعله را بررسی می‌کند. اپراتور به‌خوبی وقایع واحد را حفظ و نگهداری می‌کند و فشار سوخت، دما و سطح اکسیژن را بررسی می‌کند. در نهایت اپراتور فشار آتشدان و مخزن‌ها، دماهای آتشدان، دودکش، سوپرهیتر و سردکننده را چک می‌کند و از عملکرد درست فن مطمئن می‌شود.

۹–۸– سیستم‌های بخار

بخار در محیط های تولیدی صنعتی کاربردهای متنوعی دارد. تولید و فرآوری بخار هزینهٔ زیادی دارد، بنابراین احیا و بازیافت بخار موضوع مهم و رایجی در بیشتر شرکت‌های استفاده کننده از بخار محسوب می‌شود.

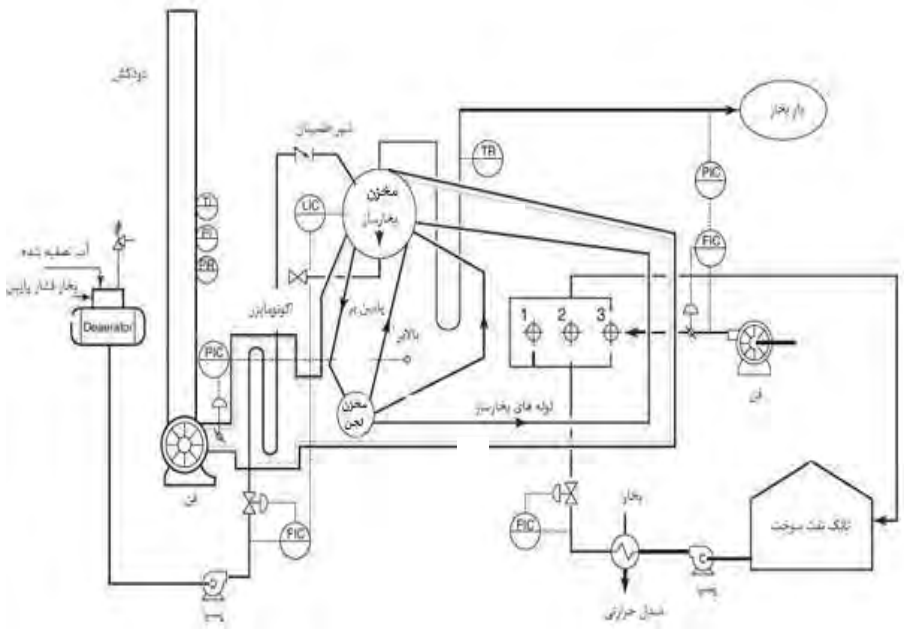
---

[1] Scale

زمانی که بخار از بویلر وارد سیستم می شود، شروع به سرد شدن می‌کند. با سرد شدن آن، قطرات مایع تشکیل می‌شود. این مایع در صورت جریان یافتن همراه بخار مشکلات جدی زیادی را به بار می‌آورد. قطرات آب می‌تواند به تجهیزات صدمه بزند و باعث بروز شرایطی به نام ضربه قوچ یا ضربه آبی شود. وسایلی به نام تله بخار برای حذف مایعات به کار برده می‌شوند. تله‌های بخار به دودسته تقسیم می‌شوند: مکانیکی و ترموستاتیکی. تله بخارهای مکانیکی شامل سطلی معکوس و شناور هستند. تله‌های ترموستاتیکی شامل تله‌های نوع فانوسی هستند. سیستم بخاری که شامل تله بخار است را در شکل ۹-۷ می بینید.

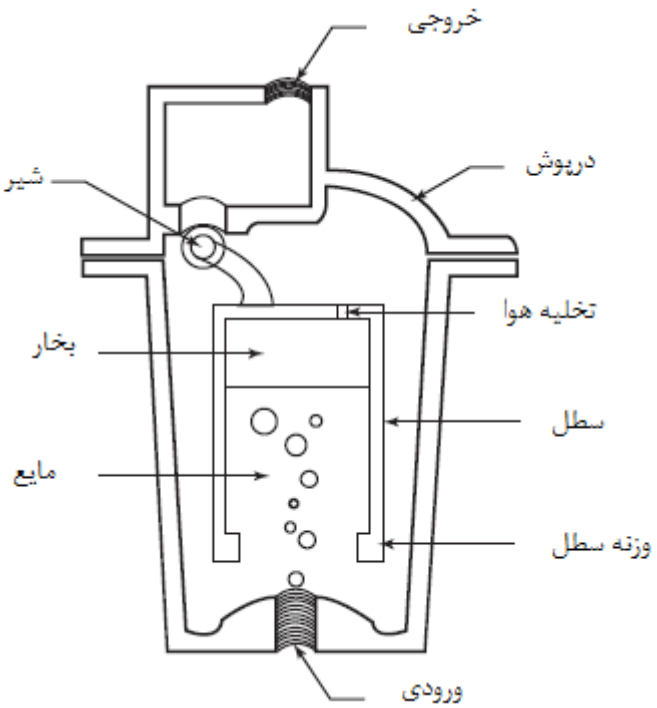
۹-۸-۱- تله بخار سطلی معکوس

تله بخار سطلی معکوس (شکل ۹-۸) یک وسیلهٔ مکانیکی ساده است که برای حذف مایعات از بخار و بازگرداندن آن به هدر[1] مایعات به کار می‌رود. هدر مایع دوباره به بویلر برمی‌شود، جایی‌که مایع تمیز به بخار تبدیل می‌شود. تله‌های سطلی معکوس از عهدهٔ مایعات، هوا و دیگر گازهای تراکم‌ناپذیر مانند نیتروژن و اکسیژن برمی‌آیند.



شکل ۹-۷: سیستم بخار

[1] Header



شکل ۹-۸: تله بخار سطلی معکوس

طی عملیات، بخار از پایین وارد ورودی می شود و سطل وارونه را پر می‌کند. یک تخلیهٔ هوا در بالای سطل تعبیه شده است. گازها از این حفره می‌گریزند وارد خط خروجی می‌شوند. شیر خروجی نیز در بالای سطل قرار دارد. موقعیت سطل تعیین می‌کند که شیر باز یا بسته شود. زمانی که سطل در پایین باشد، شیر باز است. زمانی که سطل بالا باشد شیر بسته است.

قطرات مایع موجود در بخار به پایین سطل وارونه می چکند و گازها از طریق تخلیهٔ هوا فرار می گریزند. زمانی که بدنهٔ تله پر از مایع است، سطل وارونه پایین می‌ماند. شیر خروجی بالای سطل وارونه در موقعیت باز قرار می‌گیرد. زمانی که سطل وارونه پر از بخار می‌شود، سطل بالا می‌رود و شیر بسته می‌شود.

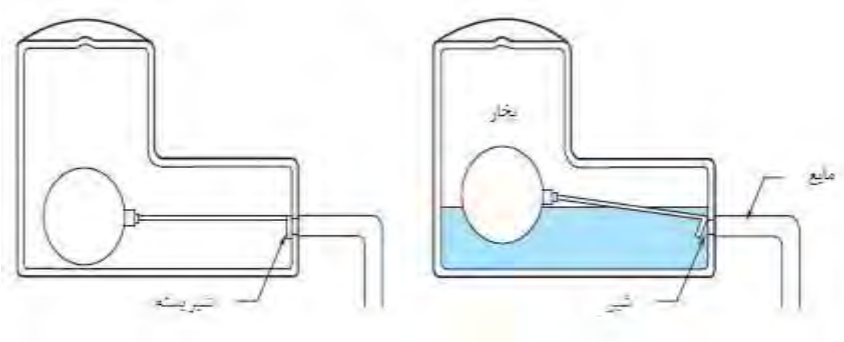
۹–۸–۲– تله بخار شناور

نوع دیگر تله بخار مکانیکی، شناور ا ست. تله‌های نوع شناور، دارای شناوری ه ستند که در بالای مایع می‌ماند (شکل ۹-۹). میله ای به سمت شیر خروجی به شناور متصل ا ست. موقعیت شناور، و ضعیت شیر را تعیین می‌کند. با افزایش سطح در تله، شناور بالا می‌رود و به مایع اجازه می‌دهد جریان یابد.

تله‌های بخار شناور دارای اجزای زیر هستند:

- بدنه
- ورودی و خروجی
- کلاهک
- شناور
- میله
- شیر

تله‌های شـــناور برای گازهای تراکم ناپذیر طراحی نشـــده‌اند. گازهای تراکم ناپذیر می‌توانند ار عملکرد صحیح تله جلوگیری کنند. به این شرایط محدودیت هوایی (ایرباند[1]) گفته می‌شود.



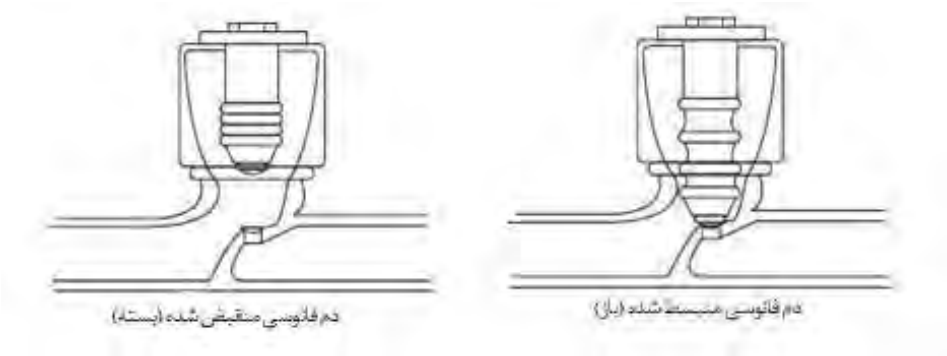
شکل ۹-۹: تله بخار شناور

۹–۸–۳– تله بخار ترموستاتیکی فانوسی

یکی از متداول‌ترین انواع تله بخار، ترمو ستاتیکی فانو سی ا ست. تله بخارهای ترمو ستاتیک ارزان‌تر هستند و بسیار بیشتر از انواع دیگر انتخاب می‌شوند. این نوع تله به اختلاف دمای میان مایع و بخار عکس‌العمل نشان می‌دهد. تله فانوسی، یک تله بخار ترموستاتیکی رایج است (شکل ۹-۱۰).

[1] Air-bound

در حین عملیات، بخار از پایین وارد تله می شود و با دم فانو سی تماس پیدا می‌کند. مایع باعث می شود دم فانو سی منقبض و باز شود. بخار باعث انبساط و باز شدن دم فانو سی می شود. تله‌های دمی برای گازهای تراکم پذیر و تراکم ناپذیر کاربرد دارند.



شکل ۹-۱۰: تله بخار ترموستاتیکی

۹-۹- سیستم تولید بخار

سیستم‌های تولید بخار بسیار بزرگ و پیچیده هستند. استفاده از ابزارهای کنترلی مدرن، عملیات و کنترل این نوع سیستم را بسیار آسان‌تر می‌کند. خطرهای زیادی در رابطه با آب جوش و تولید بخار وجود دارد. بخار فشار بالایی که در یک خط نازک جهت داده شود می‌تواند یک دسته جاروب را قطع کند. همچنین این بخار فشار بالا قادر است انرژی چرخشی برای توربین بخار را فراهم کند. سیستم‌های ابزاری فقط برای تکنسین‌هایی که با آن‌ها کار می‌کنند مفید است. هشدارهایی که نادیده گرفته می‌شوند، حلقه‌های کنترلی که در حالت دستی قرار دارند یا مشکلات فرایندی که نادیده گرفته می‌شوند می‌توانند عواقب بسیار جدی داشته باشند.

هدف اصلی سیستم تولید بخار B-402 این است که 120 psig بخار برای ریبویلر کتری Ex-205 فراهم کند. Ex-205 برای حفظ موازنهٔ انرژی در ستون دیبوتانایزر[1] استفاده می‌شود. همچنین بخار با فشار متوسط برای کاربردهای متنوع کاربرد دارد.

در ابتدا که B-402 شروع به کار می‌کند، مجموعه‌ای از مراحل به دنبال آن انجام می‌شود. یکی از مهم‌ترین مسائل ایمنی، ایجاد جریان آب و سطح مخزن‌ها قبل از روشن کردن مشعل‌هاست. وقتی مشعل‌ها روشن شوند، گازهای داغ احتراقی روی لوله‌های بخارساز، بالابرنده‌ها، پایین برنده‌ها و مخزن‌ها جریان می یابند. انتقال حرارت تابشی، جابه‌جایی و هدایتی اتفاق می‌افتد. گازهای داغ

[1] Debutanizer

احتراقی از آتشدان خارج می شوند، به اکونومایزر می‌روند و سپس از دودکش خارج می شوند. فن‌ها با ایجاد فشـــار منفی و کمی مکش، جریان هوا ایجاد می‌کنند. چون کوره از هوای بیرونش داغ‌تر ا ست، اختلاف دانسیتهٔ زیادی وجود دارد. دمای آب با سرعت برنامه‌ریزی شده ای افزایش می‌یابد. فشار در داخل حفرهٔ تخلیهٔ بخار در مخزن فوقانی شروع به زیاد شدن می‌کند.

با افزایش دمای آب درون لوله‌های بخارســاز و بالابر، دانســیتهٔ آن کاهش می‌یابد و گردش اولیه ایجاد می شود. حباب‌ها شروع به تشکیل شدن می‌کنند و در آب بالا می‌روند و باعث افزایش فشار و گردش می‌شوند. با هر بار گذر آب از لوله‌ها، انرژی گرمایی بیشتری با آن حمل می‌شود. زمانی که فشار کمی از فشار تعیین شده در سیستم بیشتر شود بخار به سمت هدر جریان می‌یابد.

درون مخزن بخار ساز فوقانی B-402، بخار و آب با هم تماس پیدا می‌کنند و سیستم را ا شباع می‌کنند. شرایط ا شباع به این معنا ست که در هر دمای آب، فشار بخاری متناظر با آن وجود دارد. زمانی که بخار و آب با هم در تماس هستند، فشار بالای آب، تعیین کنندهٔ دما ست. یک طرح بویلر ســـاده بخار را از مخزن فوقانی می‌گیرد و آن را در همان فشـــار داغ می‌کند. B-402 برای کار در 120psig طراحی شده است. هرچند برخی تجهیزات نیازمند فشارهای پایین هستند. در اینجاست که عمل سرد کردن انجام می‌شود. در فرایند سرد کردن، بخشی از بخار داغ به سمت مایع جوشان در مخزن بخار هدایت می‌شـود و فشـار آن را پایین می‌آورد. آب در حال جوشـیدن سـردتر از بخار 120psig است و فشار آن را تا حدود 60psig پایین می‌آورد.

خطرهای زیادی در عملیات سیستم بویلر وجود دارد. برخی از آن‌ها عبارت‌اند از:

- خطرهای مربوط به بخار دما بالا، "سوختگی"
- خطرهای مربوط به استفاده از گاز طبیعی
- خطرهای مربوط به نشت
- خرابی ابزارها
- خطرهای مربوط به ورودی فضای محدود
- باز کردن و پر کردن منافذ سطحی
- کنارگذاشـته شـدن برچسـب "قفل ونشـانه گذاری یا لاک اوت، تگ اوت[1]" مجوز انرژی خطرناک
- کار مدام روی تجهیزات و امکانات
- خطرهای مربوط به روشن کردن مشعل‌ها
- عبور دما و فشارهای بویلر از حد مجاز

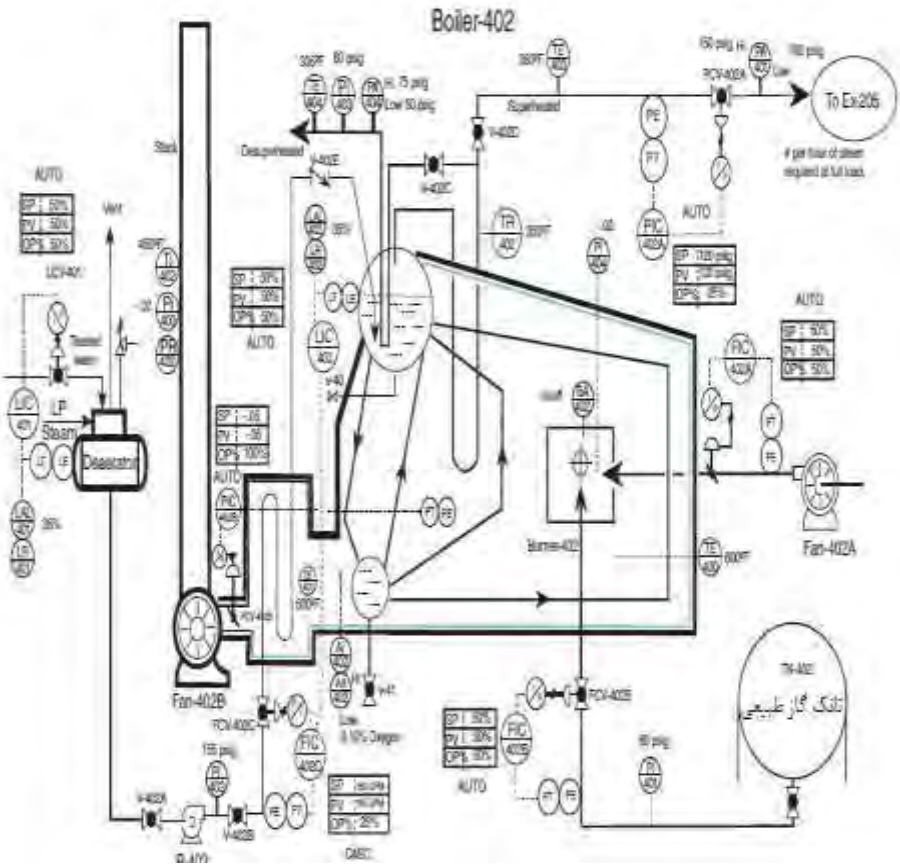
[1] Lock-out, Tag-out

- خطرهای مربوط به استعمال مواد شیمیایی تصفیه کنندهٔ آب
- خطای شیرآلات که منتج به انفجار یا آتش سوزی می‌شود.

لیست بزرگی از خطرها علاوه بر موارد بالا وجود دارد و این نشان می‌دهد که آموزش دقیق برای تمامی تکنسین‌های جدید واحد یوتیلیتی[1] لازم و حیاتی است. شکل ۹-۱۱ یک سیستم تولید بخار را نشان می‌دهد.

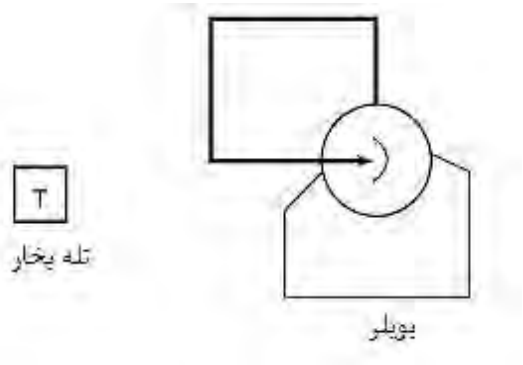
۹-۱۰- نمادهای سیستم بخار

لوازم سیستم بخار را می‌توان با کمک نمادها نمایش داد. شکل ۹-۱۲ این نمادها را نشان می‌دهد.



شکل ۹-۱۱: سیستم تولید بخار: بویلر B-402

[1] Utility



شکل ۹-۱۲: نمادهای سیستم بخار

خلاصه

بویلرها – بخارسازها – وسایلی هستند برای تولید بخار. آن‌ها از ترکیب روش‌های انتقال حرارت تابشی، هدایتی و جابه‌جایی برای تبخیر آب استفاده می‌کنند.

عوامل مؤثر بر عملکرد بویلر عبارت‌اند از اختلاف دانسیته برای گردش داخلی، فشار، دما و سطح آب.

بویلر لوله آتشی شبیه به مبدل پوسته و لوله‌ای است که دارای مجموعه‌ای از لوله‌های بسته در یک پو سته ا ست. لوله‌ها تو سط گازهای داغ احتراقی داغ می شوند و غرق در آب ه ستند. گرما از طریق هدایت و جابه‌جایی از لوله‌های داغ به مایع منتقل می‌شود.

رایج‌ترین نوع بویلرهای بزرگ تجاری بویلر لوله آبی است که از یک کوره شامل مخزن‌های فوقانی و تحتانی متصل شده با لوله تشکیل می‌شود. گردش در سیستم بستگی به اختلاف دانسیته در آب درون لوله‌ها دارد. این نوع بویلر بخار داغ سرد شده و داغ را تولید می‌کند.

سی ستم‌های بخار طراحی شده برای ا صلاح بخار، از تله‌های بخار برای حذف مایعات ا ستفاده می‌کنند. تله‌های بخار دودسته اند: مکانیکی (تله بخار سطلی معکوس و تله بخار شناور) و ترموستاتیکی. تله بخارهای ترموستاتیکی ارزان‌تر هستند و بیشتر از هر نوع دیگری انتخاب می‌شوند. آن‌ها به اختلاف دماهای بین مایع و بخار عکس‌العمل نشان می‌دهند. یکی از طرح‌های رایج نوع ترموستاتیکی، تله فانوسی است.

سؤالات مروری

۱) نام قسمتی در بویلر لوله آبی که آب را پیش گرم می‌کند چیست؟
۲) اسپود چیست؟
۳) بویلر لوله آبی و لوله آتشی را با هم مقایسه کنید.
۴) لولهٔ پایین‌برنده را با لوله‌های بالابرنده و بخارساز مقایسه نمایید.
۵) اجزای اصلی بویلر لوله آبی را معرفی نمایید و گردش آب در بویلر را توصیف نمایید.
۶) بخار داغ سردشده، بخار داغ و بخار اشباع را با هم مقایسه نمایید.
۷) پنج عملیاتی که از بخار استفاده می‌کنند را نام ببرید.
۸) شش نوع لوله را که در بویلر لوله آبی استفاده می‌شود نام ببرید.
۹) مخزن‌های فوقانی و تحتانی در بویلر لوله آبی را مقایسه کنید.
۱۰) اجزای کلیدی یک مشعل گازی را نام ببرید.
۱۱) هفت اقدام اصلی که اپراتور در هنگام راه‌اندازی بویلر انجام می‌دهد را توضیح دهید.
۱۲) سه مشکل عملیاتی در بویلرها را بیان کنید.
۱۳) وظیفهٔ تله بخار چیست؟
۱۴) دو نوع تله بخار را نام ببرید.
۱۵) دو نوع تله بخار مکانیکی را نام برده توضیح دهید.
۱۶) یک نوع تله بخار ترموستاتیکی را نام برده توضیح دهید.
۱۷) برای بیان شرایطی که قطرات آب به تجهیزات آسیب می زند از چه عبارتی استفاده می‌شود؟
۱۸) خطرات موجود در عملیات بویلر را توضیح دهید.
۱۹) *قرارگرفته در مدار* را تعریف کنید.
۲۰) *بار بویلر* را تعریف کنید.

فصل دهم
کوره‌ها

اهداف

پس از مطالعه این فصل، دانشجو قادر خواهد بود:

- انواع مختلف هیترهای شعله-مستقیم را توضیح دهد.
- عملیات یک هیتر شعله-غیرمستقیم را توضیح دهد.
- اصول انتقال حرارت را در عملیات هیتر شعله‌ای به کار گیرد.
- اجزای اصلی کوره را توضیح دهد.
- انواع مختلف: کوره‌ها را توضیح دهد.
- راه‌حل‌های رایج برای رفع مشکلات: کوره‌ها را توضیح دهد.

۱۰–۱– کاربردهای کوره‌ها و شرح عملیات

کوره که یک هیتر شعله‌ور است، وسیله‌ای است که برای حرارت دادن به مواد و مخلوط‌های شیمیایی استفاده می‌شود. هیترهای شعله‌ور حرارت حاصل از گازهای احتراقی، اتان، پروپان یا سوخت نفتی را انتقال می‌دهند.: کوره‌ها اساساً از انباره‌ای از پایپ ها[1] و لوله‌های گذرنده از یک آتشدان تشکیل می‌شوند. این لوله‌ها در امتداد دیواره داخلی و سقف کوره جاگذاری می‌شوند. گرمای آزاد شده توسط مشعل‌ها از طریق لوله‌ها انتقال می‌یابد وارد سیال فرایند می‌شود. این سیال تنها تا زمانی در کوره می‌ماند که قبل از خروج به شرایط عملیاتی بر سد و به سمت واحد عملیاتی پمپ شود.

کوره‌ها در فرایندهای خام، کراکینگ[2]، تولید اولفین ها[3] و بسیاری فرایندهای دیگر استفاده دارند. کوره‌ها مواد خام را داغ می‌کنند تا از این طریق بنزین، نفت، کروسین[4]، مواد شیمیایی، پلاستیک و رزین را تولید کنند. صنعت فرایندهای شیمیایی از طرح‌های مختلف هیترهای شعله‌ور استفاده می‌کند. این سیستم‌های دقیق کوره، ممکن است پیچیده و مجهز به آخرین تکنولوژی باشند.

۱۰–۱–۱– انتقال حرارت

شیوهٔ اصلی انتقال حرارت در هیترهای شعله‌ور، تابش و جابه‌جایی است (شکل ۷-۲)؛ هرچند گرما باید از طریق هدایت گرمایی از دیواره‌ها توسط سیال جاری در لوله جذب شود. در کوره شعله‌ور شعلهٔ مشعل منبع حرارت تابشی است. بخش عمده انتقال حرارت تابشی در آتشدان صورت می‌گیرد. لوله‌های درون آتشدان، کویل[5] ها یا لوله‌های تابشی نام دارند. لوله‌ها گرما را از طریق هدایت به سیال منتقل می‌کنند. در یک کوره مشتعل، گرمای تابشی از احتراق گاز طبیعی یا نفت سبک تابیده می شود. با حرکت گرمای تابشی از پایین کوره، در برخورد با لوله‌ها و یا عبور در کوره و ادامهٔ راه به سمت بالا، گرما به هوای اطراف منتقل می‌شود. این فرایند آغازی است بر فرایند انتقال حرارت جابه‌جایی که باعث بالا رفتن هوا و گازهای داغ احتراقی سبکتر، در بالای منبع حرارت تابشی می‌شود. به بالای کوره بخش جابه‌جایی می گویند زیرا اکثر گرمایی که دریافت می‌کند از طریق جابه‌جایی است.

---

[1] Pipe
[2] Cracking
[3] Olefin
[4] Kerosene
[5] Coil

۱۰–۱–۲– احتراق

احتراق یک واکنش شیمیایی سریع است و زمانی که مقادیر مناسب سوخت و اکسیژن با یک منبع احتراق تماس پیدا می‌کنند و نور و گرما ساطع می‌کنند اتفاق می‌افتد.: کوره‌ها از این اصل برای تولید گرما ا ستفاده می‌کنند. احتراق کامل زمانی اتفاق می‌افتد که واکنش دهنده ها در ن سبت‌های در ست ب سوزند. احتراق ناقص زمانی در کوره م شتعل اتفاق می‌افتد که اک سیژن کافی برای تبدیل همهٔ سوخت به آب و کربن دی‌اکسید در کوره وجود ندارد.

ب سیاری از کوره‌ها از گاز طبیعی یا متان (CH_4) به‌عنوان سوخت م شعل‌ها ا ستفاده می‌کنند. متان (CH_4) با O_2 واکنش می‌دهد و کربن دی‌اکسید (CO_2) و آب (H_2O) تولید می‌شود:

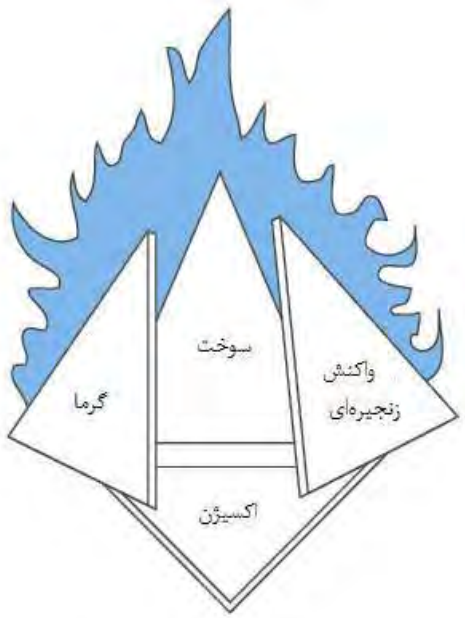
$$CH_4 + 2O_2 \rightarrow CO_2 + 2H_2O$$

احتراق ناقص منجر به تولید کربن مونواکسید می‌شود. صنعت فرایندهای شیمیایی همچنین از اتان، پروپان و نفت سبک برای سوخت استفاده می‌کند. شکل ۱۰-۱ مثلث آتش یا چهار وجهی آتش را نشان می‌دهد. یک واکنش رایج احتراق دیگر با اکسیژن $C_3H_8 + 5O_2 \rightarrow 3CO_2 + 4H_2O$ است. فرآورده های واکنش پروپان و اکسیژن، مانند فرآورده‌های واکنش متان و اکسیژن هستند.

۱۰–۱–۳– ارزش گرمایی سوخت (گرمای سوختن)

سوختن سوخت‌های مختلف مقادیر مختلف انرژی گرمایی را آزاد می‌کند. انرژی گرمایی آزاد شده که به آن ارزش گرمایی گفته می‌شود، با واحدهای گرمایی انگلیسی بر فوت مکعب سنجیده می شود. واحد گرمایی انگلیسی (Btu)[1] یک واحد اندازه‌گیری انرژی گرمایی ست. یک Btu مقدار گرمای موردنیاز برای افزایش دمای یک پوند آب به میزان یک درجهٔ فارنهایت است. هیدروژن پایین‌ترین ارزش گرمایی سوخت ($274\ Btu/ft^3$) را دارد، درحالی که گاز طبیعی یا متان ارزش حرارتی برابر $909\ Btu/ft^3$ دارد. چارت‌های شامل ارزش حرارتی سوخت‌های مورداستفاده در: کوره‌ها موجود هستند. دانستن این نکته مهم ا ست که هرچه سوختی Btu بیشتری دا شته با شد، اکسیژن موردنیاز برای سوختن نیز بیشتر است.

[1] The British thermal unit



شکل ۱۰-۱: مثلث یا چهاروجهی آتش

۱۰-۲- اجزای اصلی کوره

هیترهای شـــعله‌ور در شـــکل‌ها و اندازه‌های مختلفی وجود دارند. آن‌ها چینش لوله ورودی خوراک متفاوتی دارند، سوخت‌های مختلفی می سوزانند و طراحی‌های م شعل نیز متنوع ا ست. بااین‌حال، تمامی: کوره‌ها در اجزای خا صی م شترک ه ستند: آت شدان، کویل ها یا لوله‌های تاب شی، لوله‌های جابه‌جایی، تعدیل کننده و دودکش، آســتر نســوز (عایق)، مشــعل‌ها و رجیســترهای هوا[1]، ســیســتم سوخت، ابزارها و فن‌های مکش القایی و اجباری.

۱۰-۲-۱- آتشدان و لایهٔ نسوز

بخشی در کوره که شامل مشعل‌ها و شعله هاست آتشدان نام دارد. آتشدان با یک لایهٔ نسوز آستر شـــده اســـت، آســـتر آجری که گرما را به کوره بر می‌گرداند. آجرهای دیرگداز به آجرهای نســـوز و آجرهای عایق تقسیم می شوند که هردو نوع برای مقاوت در برابر آتش و برگرداندن حرارت طراحی شـــده‌اند. آجر نســـوز دانســـیته‌ای در محدودهٔ ۱۳۱ تا ۱۹۱ پوند بر فوت مکعب و دمای حداکثر بین ۲۵۰۰ تا ۳۳۰۰ درجهٔ فارنهایت (۱۳۷۱/۱ تا ۱۸۱۵/۵۵ درجهٔ ســانتی‌گراد) دارد. دانســیتهٔ آجرهای

[1] Air register

عایق بسیار کمتر است: ۲۷/۳ تا ۷۸/۷ پوند بر فوت مکعب و بیشینه دمای قابل تحمل آن بین ۱۶۰۰ تا ۳۲۵۰ درجهٔ فارنهایت (۸۷۱/۱ تا ۱۷۸۷/۷۷ درجهٔ سانتی‌گراد) است.

آجرهای دیرگداز به میله‌هایی از جنس فولاد زنگ نزن متصل به پوشش عایق فیبر سرامیکی ۳ تا ۶ اینچی وصل می‌شوند. پوشش عایق و پوستهٔ فلزی با هم در تماس هستند. مانع عایق بین پوسته کوره و آجر از اتلاف گرما جلوگیری می‌کند. بخش جابه‌جایی بالایی و قسمت قوس (کمان) (گردنی که با رفتن به سمت بخش جابه‌جایی و دودکش باریکتر می شود) معمولاً با سیمان نسوز سبک یا سنگین یا آجر نسوز عایق کاری می‌شود. بلوک های سیمانی نظارت دارای روزنه‌هایی هستند که بررسی چشمی را ممکن می سازد. سیمآنها محدودهٔ دمایی بین ۱۶۰۰ تا ۳۳۰۰ درجهٔ فارنهایت (۸۷۱/۱ تا ۱۸۱۵/۵ درجه سانتی‌گراد) دارند.

اتلاف گرمای معمول در یک کوره، بین ۲ تا ۳ درصد کل گرمای آزاد شده است. از آن جایی که عایق کاری متخلخل است، یک پوشش محافظ باید درون پوستهٔ فولادی به کار رود تا آن را از فلزات خورنده مانند اکسیدهای سولفور در امان نگاه دارد.

دمای درون آتشدان در محدوده‌ی ۱۶۰۰ تا ۲۰۰۰ درجهٔ فارنهایت است. فشارهای کوره در پایین آن معمولاً کمتر از فشار جو در محدودهٔ مکش ۰/۴ تا ۰/۶ اینچ آب (فشار منفی) هستند.

زمانی که گذر (لوله) شرقی وارد آتشدان می‌شود، گرمای تابشی را مستقیماً از مشعل‌ها می‌گیرد. گذر (لوله) غربی از جهت مخالف آتشدان وارد می شود و گرما را از مشعل‌ها می‌گیرد. یک دیوارپل دو گذر را در کوره از هم جدا می‌کند. زمانی که بار (مانند سیال فرایند) کوره را ترک می‌کند، گذرها (لوله‌ها) وارد یک هدر مشترک می‌شوند و به سمت واحد عملیاتی پمپ می‌شوند.

۱۰-۲-۲- لوله‌های تابشی و جابه‌جایی

لوله‌هایی که در امتداد دیواره‌های آتشدان قرارگرفته‌اند لوله‌های تابشی یا کویل نامیده می‌شوند. لوله‌های تابشی گرما را مستقیماً از مشعل‌ها دریافت می‌کنند. این لوله‌ها در دماهای بالا عمل می‌کنند و از فولاد های آلیاژ بالا ساخته می شوند. لوله‌های تابشی ممکن است موازی و یا عمود بر دیوارهٔ کوره قرار گیرند. انتقال حرارت تابشی ۶۰ تا ۷۰ درصد کل انرژی گرمایی دریافت شده توسط بار در کوره را به خود اختصاص می‌دهد. یک چارت رنگی از لوله‌های فولادی، ۱۰ رنگ مختلف لوله‌ها برحسب دما را نشان می‌دهد. تکنسین‌های فرایند به صورت چشمی این لوله‌ها را بررسی می‌کنند و با چارت‌های رنگی مقایسه می‌کنند.

لوله‌های جابه‌جایی در بام کوره قرار دارند و در تماس مستقیم با شعله‌های مشعل نیستند. گازهای داغ از طریق لوله‌های فلزی حرارت را به بار منتقل می‌کنند. لوله‌های جابه‌جایی معمولاً افقی هستند و برای بازدهی بیشتر مجهز به پره هستند. انتقال حرارت جابه‌جایی به بار فرایند، ۳۰

تا ۴۰ درصـــد کل انرژی گرمایی دریافت شـــدهٔ کوره را تشـــکیل می‌دهد. به این قســـمت، بخش جابه‌جایی گفته می‌شـــود. در ارتباط با بخش بالایی کوره که در آن انتقال انرژی گرمایی عموماً از طریق جابه‌جایی است، بهترین توضیح است.

خوراک از طریق این این لوله‌ها وارد کوره می‌شـــود و از طریق لوله‌های تابشـــی خارج می‌شـــود. لوله‌های این محدوده، لوله‌های جابه‌جایی نامیده می‌شـــوند و دســـترســـی به آن‌ها از طریق درب‌های هدرباکس[1] در پایانه‌های نفوذ که هدرهای رول شـــده و خم های بازگشـــتی وجود دارند امکانپذیر است. هدرهای رول شده معمولاً به‌منظور نگهداری و بازرسی لوله، درپوش های قابل تعویض دارند.

پیشگرم‌کن های هوا اغلب برای گرم کردن هوا قبل از ورود آن به کوره در مشعل‌ها مورداستفاده قرار می‌گیرند. لوله‌های هوا نوعاً در دودکش یا بخش جابه‌جایی قرار می‌گیرند که با اینکار می‌توان هوای بیرون را با یک کمپرسور یا دمنده به داخل آورد و به‌تدریج آن را قبل از اختلاط با سوخت در مشعل گرم نمود.

۱۰-۲-۳- دمندهٔ دوده

دمنده‌های دوده و سیله‌های هستند که در بخش جابه‌جایی هیترهای فرایند دیده می شوند. دمیدن دوده ها زمانی که بازدهی بخش جابه‌جایی کاهش می‌یابد لازم است. این موضوع را می‌توان با توجه به تغییر دما از لوله‌کشی متقاطع و در تخلیهٔ بخش جابه‌جایی محاسبه نمود. دمنده‌های دوده از یک وا سطه مانند نیتروژن، آب، هوا یا بخار برای حذف ر سوبات از روی لوله‌ها ا ستفاده می‌کنند. حرکت هوا در بخش جابه‌جایی به دلیل لوله‌های پره‌دار و نزدیکی گذرها به یکدیگر کند اســـت. انفجار اولیهٔ گازهای داغ احتراقی در این ناحیه رسوب به جا می گذارد؛ به‌خصوص در امتداد شوک بانک[2].

انواع مختلفی از دمنده‌های دوده وجود دارد: دمنده‌های دیواری و دمنه های لوله پره‌دار. دمنده‌های دیوارهٔ کوره دارای یک لنس[3] (نیزک) بسیار کوتاه با یک نازل در سر آن هستند. لنس دارای سوراخ هایی با فاصله است، به‌طوری که زمانی که روشن می‌شود می‌چرخد و رسوب ها را با الگویی دایروی شکل از روی دیوار بلند می‌کند. دمیدن در دوده‌ها تا زمانی که تایمر تنظیم شده خاموش شود ادامه می‌یابد.

---

[1] Header Box
[2] Shock bank
[3] Lance

۱۰–۲–۴– تعدیل کننده (دمپر[1] یا خفه کن) دودکش

گازهای احتراقی از طریق دودکش از کوره خارج می‌شوند و در ارتفاعی که از هرگونه آسیب فوری مانند مسمومیت مونواکسید کربن اطمینان حاصل شده، در جو رها می شود. هوای داغ هم‌زمان با بالا رفتن در دودکش، محصولات جانبی احتراق را نیز با خود به بیرون دودکش می‌برد. این مکش طبیعی، در کوره فشاری کمتر را ایجاد می‌کند که این برای یک عملیات خوب ضروری است. مکش را به‌عنوان اختلاف بین فشار اتمسفر و فشار پایین‌تر درون هیتر مشتعل تعریف می‌کنند.

تعدیل کننده (خفه کن) در دودکش امکان تنظیم مکش‌های دودکش را فراهم می‌کند. تعدیل کنندهٔ دودکش معمولاً برای فشارهای (خلأ) مکش ۰/۰۵ تا ۰/۱۵ اینچ آب تنظیم می‌شود. در ۰/۰۵ اینچ آب، تقریباً ۳۵۰,۰۰۰ پوند بر ساعت جریان گاز حاصل می‌شود.

برخی تعدیل کننده‌ها شبیه به شیرهای پروانه‌ای بزرگ هستند و تنها چرخش یک ربع دور برای باز و بسته شدن کامل آن‌ها کافی است. سایر تعدیل کننده‌ها شبیه به نورگیرهای معمولی هستند. هرگونه افزایش فشار کوره، هوای اولیه و ثانویه را بیرون از کوره نگاه می‌دارد. تعدیل کننده را می‌توان برای افزایش و کاهش جریان هوا تنظیم نمود. فشارها و مکش‌های مختلف در کوره در شکل ۱۰-۲ نشان داده شده‌اند. قرائت ها از مطالعات روی لوله کوره شیب‌دار گرفته شده‌اند.

کنترل اکسیژن اضافی در کوره به تنهایی مهم ترین عامل مؤثر بر بازدهی است. برای انتقال حرارت در آتشدان یا بخش تابشی، بیشینه بازدهی زمانی اتفاق می‌افتد که کوره به بالاترین دماهای خود می‌رسد. کاهش هوای اضافی در کوره انتقال حرارت تابشی را بیشینه می‌کند.

هوای اضافی دماهای کوره را در اطراف مشعل‌ها کاهش خواهد داد و کنترل‌کننده‌های خودکار را وادار می‌کند سرعت جریان گاز طبیعی به مشعل را افزایش دهند که این کار مقرون به صرفه نیست. زمانی که گازهای داغ احتراقی بالا می‌روند، هوای خنک هم با آن‌ها کشیده می‌شود و دما را کاهش می‌دهد. هوای اضافی این کاهش دما را تشدید می‌کند. زمانی که هوای اضافی ورودی به مشعل از طریق رجیسترهای اولیه و ثانویه افزوده می‌شود، با حرکت گرما از مشعل‌ها، تغییر در دما اتفاق می‌افتد. به دلیل کاهش انتقال حرارت در قسمت پایین آتشدان، دماهای بالاتر را در قسمت بالای آتشدان خواهیم داشت. همچنین دماها در دودکش و بخش جابه‌جایی نیز به میزان قابل چشمگیری افزایش می یابند. این موضوع میزان حرارت در دسترس برای گرم کردن سیال داغ را کاهش می‌دهد و برای حفظ شرایط فرایند سوخت بیشتری مصرف می شود. برای امنیت بیشتر، هوای بیشتری از میزان موردنیاز تئوری برای احتراق استفاده می‌شود. به این اتفاق استفاده از "هوای اضافی" گفته می‌شود. درصد اکسیژن اضافی برحسب حجم در گاز لوله را می‌توان با استفاده

---

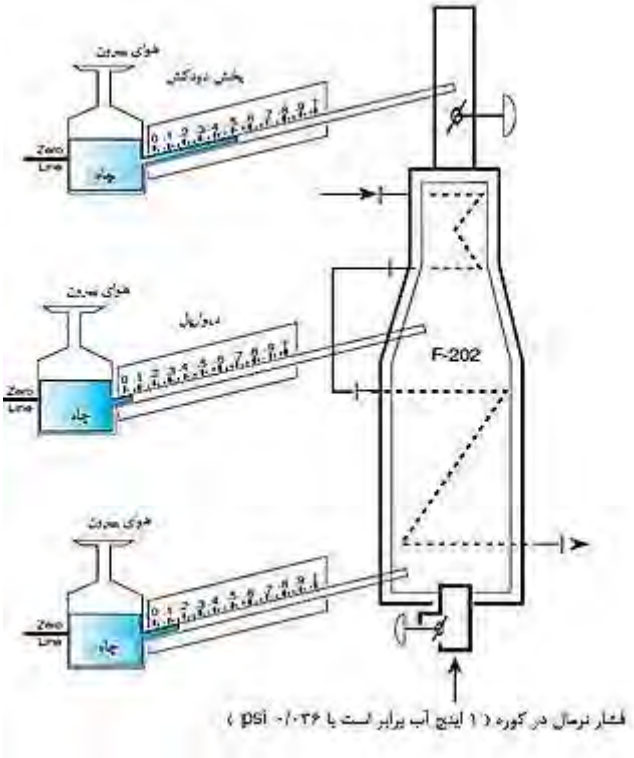
[1] Damper

از یک نمودار اندازه‌گیری نمود. هر سوخت دارای منحنی نمودار مخصوص به خود است. برای نمونه فرض کنید آنالیزور[1] دیجیتال اکسیژن میزان ۳ درصد حجمی اکسیژن در دودکش را تشخیص می‌دهد. نمودار شکل ۱۰-۳ این را برابر ۱۰ درصد هوای اضافی برای گاز طبیعی نشان می‌دهد.

هوا می‌تواند از طرق زیر وارد کوره شود:

- روزنه‌های باز
- نشت در جداره یا اتصالات کوره
- درزگیرهای صدمه دیدهٔ هدر باکس
- مشعل‌های خاموش

تشخیص موقعیت اندازه‌گیری اهمیت دارد که نزدیک مشعل است یا درون دودکش. نشتی‌های بزرگ در کوره می‌تواند باعث مقادیر زیاد اکسیژن در سیستم شود. شکل ۱۰-۳ جدول " نسبت هوا به سوخت" را نشان می‌دهد.



شکل ۱۰-۲: فشارهای نرمال کوره

[1] Analyzer

۱۰–۲–۵– نسبت هوا به سوخت

درست کار کردن یک واحد، نیازمند یک متخصص فنی است که هوای اضافی را کاهش دهد تا دماها در هیتر افزایش یابند. وقتی هوای اضافی کاهش می‌یابد، سرعت انتقال حرارت در نزدیکی مشعل افزایش پیدا می‌کند. به دلیل این‌که گرمای خالص آزاد شده از مشعل گازی تغییر نکرده، مقدار حرارت موجود در گازهای داغ احتراقی پایین می‌آید و زمان کافی برای رسوخ به لوله‌های در دسترس را پیدا می‌کند. این فرایند میزان حرارت منتقل شده در بخش جابه‌جایی را کاهش می‌دهد و د ما را در بخش جا به جایی فو قانی و همچنین در دودکش پایین می‌آورد. این فرایند روش کارآمدتری برای جلوگیری از خروج حرارت از دودکش فراهم می‌کند. با کاهش هوای اضافی از طریق هیتر فرایند، متخصص می‌تواند در هزینه‌ها صرفه‌جویی نماید و همچنین آسان تر به مشخصات مطلوبی دست یابد.

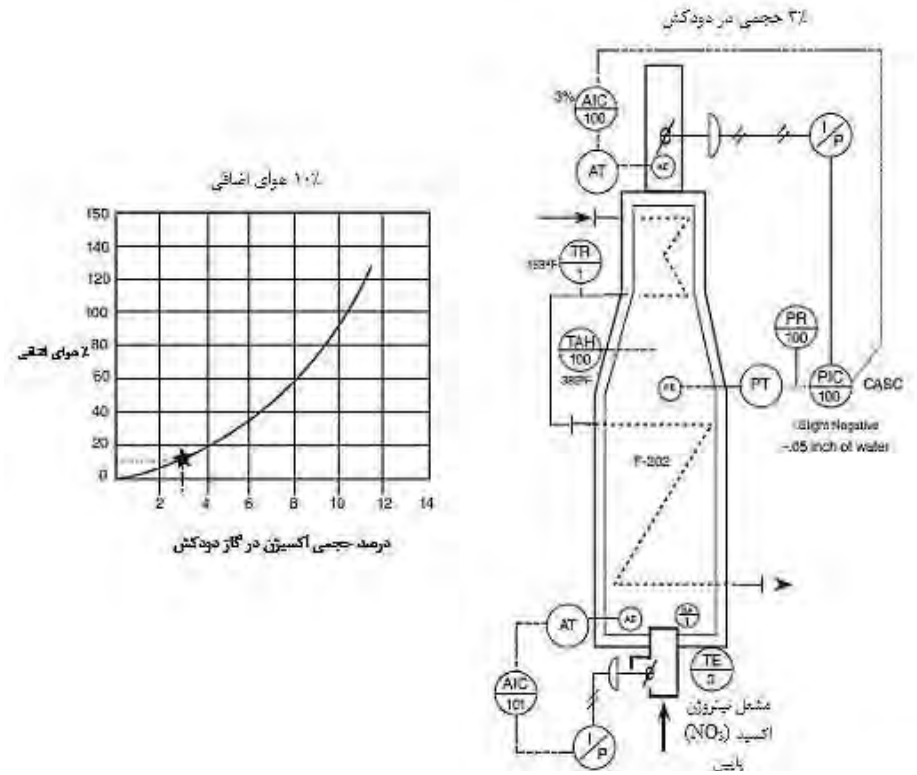
برخی از هیترهای فرایند از ابزارهای پیشرفته کنترل استفاده می‌کنند که نسبت هوا به سوخت را روی مقدار تعیین شده ثابت نگاه می‌دارند. برای مثال نسبت ۱۱ به این معناست که به ازاء هر واحد جرمی سوخت (کیلوگرم یا پاوند)، ۱۱ واحد مشابه اکسیژن به‌کاررفته است. نسبت های بالاتر به معنای هوای اضافی بیشتر و نسبت های پایین‌تر به معنای هوای اضافی کمتر هستند. هوای تئوریک را می‌توان با عبارت نسبت هوا به سوخت بیان نمود. زمانی که هوا را به شکل نسبت هوا به سوخت تعیین می کنیم، میزان هوای احتراق با افزودن عدد ۱ به نسبت و ضرب کردن نتیجه در دبی سوخت محاسبه نمود. اگر نسبت ۱۱ و دبی سوخت ۴ پاوند بر دقیقه باشد، می‌توان گفت:

۴ پوند بر دقیقه = دبی سوخت

۱۲= ۱ + ۱۱ = دبی هوا

یعنی

۴۸ پاوند گاز دودکش با احتراق تولیدشده = ۴ * ۱۲



شکل ۱۰-۳: نمودار نسبت هوا به سوخت

۱۰-۶-۲- مشعل‌ها و رجیسترهای هوا

مشعل‌ها را می‌توان در کف و یا دیواره‌های پایینی آتشدان قرار داد. انواع مختلفی از مشعل‌ها وجود دارد. مشعل‌های نفت سوز ترکیب هوا و سوخت را دریافت می‌کنند و به وسیلهٔ اتمیزه کردن سوخت با بخار یا هوای فشار بالا آن‌ها را مخلوط می‌کنند. مشعل‌های پیش اختلاطی اتمیزه کننده با بخار، مشعل‌های اتمیزه کنندهٔ اختلاط درونی هستند که تقریباً مناسب هر نوع سوختی هستند و به همین دلیل در صنعت به‌طور وسیعی موردا ستفاده قرار می‌گیرند. آن‌ها شعله‌های کوتاه و غلیظی تولید می‌کنند که تحت‌تأثیر باد هوا قرار نمی‌گیرند. مشعل‌های ترکیبی، عملیات کوره و توزیع سوخت را با انعطاف بیشتری انجام می‌دهند، زیرا دو مشعل را با هم ترکیب می‌کنند: گازسوز و نفت سوز. این نوع مشعل می‌تواند هم از گاز، هم نفت و یا هم‌زمان از هردو استفاده کند. مشعل‌های نیتروژن اکسید (NO_x) پایین برای کار با میزان هوای اضافی کمتری از مشعل‌های معمولی طراحی شده‌اند. استفاده از رجیستر هوای میانی، میزان اکسیدهای نیتروژن را در جریان گاز دودکش

کاهش می‌دهد. مشـعل‌های گازسـوز هوا و گاز را درون کوره ترکیب می‌کنند که در تخلیه مشـتعل می شوند. آن‌ها فقط از هوای ثانویه ا ستفاده می‌کنند و رج سیترها در صورت تغییر دبی باید دوباره تنظیم گردند. مشـعل‌های پیش اختلاطی هوای اولیه را توسـط یک وانتوری[1] برای احتراق به داخل می‌ک شند. آن‌ها به تغییرات در ا شتعال واکنش ن شان می‌دهند تا ن سبت هوا به گاز را ن سبتاً ثابت حفظ کنند.

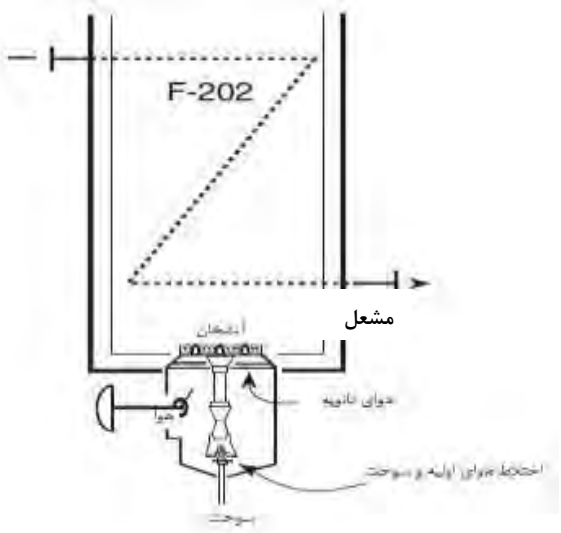
در م شعل‌های پیش اختلاطی رجی سترهای هوای ثانویه تعبیه شده ا ست. ه شدارهای م شعل روی هر یک از مشـــعل‌ها قرار دارند و در زمان خاموش شـــدن مشـــعل یا کار کردن آن خارج از پارامترهای نرمال به‌سرعت متخصصان را مطلع می‌کند.

دیافراگم های هوا روی مشعل‌ها جریان هوای اولیه به کوره را کنترل می‌کنند. رجیسترهای هوا در نزدیکی م شعل، جریان هوای ثانویه را کنترل می‌کنند. این رجیسترها زمانی که اکسیژن ا ضافی در سیستم وجود داشته باشد بسته می‌شوند. یک حلقهٔ فشار سوخت در خط سوخت گاز طبیعی به سمت کوره قرار می‌گیرد که برای ثابت نگه‌دا شتن ف شار ورودی به م شعل‌های کوره طراحی شده است.

مشعل در این سیستم یک سیستم نیتروژن اکسید پایین در کف کوره است. مشعل‌های NO_x پایین برای عمل در مقادیر هوای اضـافی کمتر از حد معمول طراحی شـده‌اند. اسـتفاده از سـومین رجی ستر هوا میزان اکسیدهای نیتروژن در جریان دودکش را کاهش می‌دهد. م شعل از مقدار کمی بخار برای پراکندگی بهتر سوخت و اکسیژن بهره می‌گیرد.

اختلاط کامل ســوخت و هوا غیرممکن اســت و هیچ روش تجربی و عملی برای اطلاع از کامل بودن احتراق وجود ندارد. در احتراق ناقص، بخارهای نســوخته ای در گازهای داغ احتراقی وجود دارد. برای حفظ امنیت، بیشــتر تجهیزات از هوای اضــافی برای اطمینان از مصــرف کامل ســوخت ا ستفاده می‌کنند. م شعل‌ها برای جلوگیری از تماس م ستقیم شعله‌ها با لوله‌ها در آت شدان طراحی شده‌اند. یک ف ضای ۱/۵ تا ۲ فوتی میان شعله‌های باز و لوله‌های تاب شی فا صله‌ای ایمن مح سوب می‌شود. الگوی شعلهٔ مشعل‌ها باید کمتر از ۶۰ درصد ارتفاع آتشدان باشد. شکل ۱۰-۴ اجزای اصلی مشعل را نشان می‌دهد.

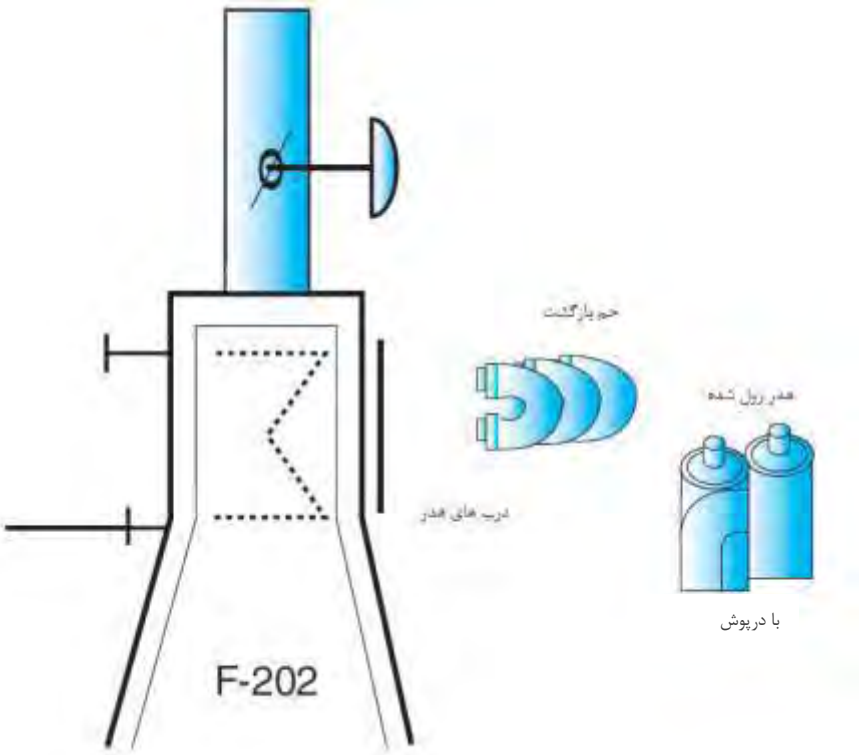
[1] Venturi



شکل ۱۰-۴: مشعل گازسوز: کوره F-202

بخش تابشی برای توزیع برابر انرژی تابشی مهندسی شده است. طرح پیشرفته مشعل ۱۰۰ درصد سوخت را با اکسیژن اضافی ۱۰ تا ۱۵ درصدی جزئی مصرف می‌کند. ورود اکسیژن اضافی به کوره از طریق رجیسترهای اولیه و ثانویه به دقت کنترل می‌شود. این کنترل زمانی صورت می‌گیرد که هوای اولیه و سوخت در مشعل مخلوط می‌شوند و همچنین توسط تنظیمات روی رجیسترهای ثانویه در خارج مشعل اصلاح می شود. یک ناظر اکسیژن، ترکیب گازهای داغ احتراقی را به دقت تعقیب می‌کند. تنظیمات روی سرعت جریان هوا در مشعل‌ها و تعدیل کنندهٔ دودکش صورت می‌گیرد.

کف هیتر یک لایه ۶ اینچی از فلز مقاوم در برابر حرارت دارد که با آجر نسوز دما بالا پوشانده شده است. ۴ بلوک عایق سرامیکی در اطراف مشعل قرار داده شده است. سیستم عایق قادر است محدودهٔ وسیعی از دماهای بالا را تحمل کند. ضخامت لایهٔ عایق ممکن است بیش از یک فوت باشد. لوله‌های جابه‌جایی در قسمت بالای کوره دارای طرح های خم بازگشتی مختلفی هستند که در شکل ۱۰-۵ نشان داده شده است.



شکل ۱۰-۵: خم‌های بازگشت و هدرهای رول شده: کوره F-202

۱۰-۲-۷- بخش دیوارپل

بخش دیوارپل بخش شیبداری در قسمت فوقانی کوره است که بخش‌های جابه‌جایی و تابشی را به هم متصل می‌کند. این بخش برای سرعت بخشیدن به جریان گازهای داغ احتراقی از آتشدان به سمت بخش جابه‌جایی و دودکش طراحی شده است. دیوارپل دیواری است که قسمت های مختلف آتشـــدان را از هم جدا می‌کند. مواد بازتابندهٔ گرما در این ناحیه برای تحمل دماهای بین ۱۶۰۰ تا ۳۳۰۰ درجه فارنهایت (۸۷۱/۱ تا ۱۸۱۵/۵۵ درجه سانتی‌گراد) طراحی شده‌اند.

۱۰-۲-۸- هیتر فرایند مکش اجباری

: کوره‌های مکش اجباری برای دمیدن هوای پیشـگرم شـده به مشـعل جهت احتراق، از یک دمندهٔ گریز از مرکز اسـتفاده می‌کنند. این هوای پیشـگرم شـده درون لوله‌هایی در بالای بخش جابه‌جایی

جریان می‌یابد و به مکش یک دمنده (مثلا دمندهٔ ۱۰۰ در شکل ۱۰-۱۵) هدایت می‌شود که تحت کنترل خودکار درون مشعل تخلیه می‌شود.

۱۰-۲-۹- سیستم سوخت

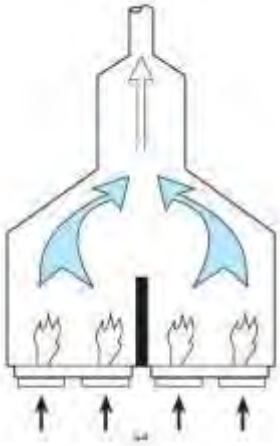
در بالا یا زیر و در کنارهٔ کوره، شبکهٔ پیچیده‌ای از خطوط قرارگرفته است که سوخت گاز و هوا برای مشعل‌ها فراهم می‌کند. سوخت درون مخزنی که در فاصلهٔ امنی از کوره قرارگرفته ذخیره می‌شود. در یک سیستم نفت سوز، اتمیزه کردن بخار و یک سیستم پیشگرم‌کن نفت به شبکه لوله‌ها افزوده می‌شود. اکثر آسیب هایی که در عملیات کوره با آن‌ها مواجه می شویم، در طول زمان راه‌اندازی سیستم سوخت اتفاق می‌افتند. بهترین توضیح برای ترکیب خوراک، ترکیب سوخت ورودی به کوره است که باید ثابت بماند، در غیر این صورت عملکرد کوره تحت تأثیر قرار می‌گیرد. ترکیب بار نیز باید ثابت بماند، در غیر این صورت تغییراتی در متغیرهای فرایند اتفاق خواهد افتاد. کنترل فشار سوخت از یک حلقه کنترل فشار که در خط سوخت گاز طبیعی به سمت کوره قرار می‌گیرد استفاده می‌کند که برای ثابت نگاه داشتن فشار ورودی به مشعل‌های کوره طراحی شده است. کنترل جریان کوره یک قطعه اساسی در کنترل عملیات کوره، دما و فشار است که دبی‌های سیال خوراک ورودی و خروجی کوره فرایند را تنظیم می‌کند. هشدارهای hi/lo کوره، زنگ هشدارهایی هستند که عدم مشخصات صحیح فرایند را هشدار می‌دهند و از صدمه به تجهیزات، محیط و حیات انسانی جلوگیری می‌کنند. کنترل فشار کوره، به وسیلهٔ یک حلقه کنترل فشار متصل به تعدیل‌کنندهٔ دودکش، بر فشار کوره در پایین، وسط و بالای کوره نظارت می‌کند. فشار خوانده شدهٔ میانی کوره با یک مقدار تعیین شده مقایسه می‌شود و در صورت لزوم تنظیمات روی تعدیل کننده صورت می‌گیرد. کنترل دمای کوره، جریان سیال به مشعل‌ها را تنظیم می‌کند و با خروج جریان از کوره، بر شرایط عملیاتی نظارت می‌کند. کنترل‌کننده جریان گاز طبیعی (slave) به کنترل‌کننده دما (master) منتهی می‌شود. کنترل‌کننده دما جریان سوخت ورودی به مشعل‌ها را تنظیم می‌کند.

۱۰-۳- انواع کوره

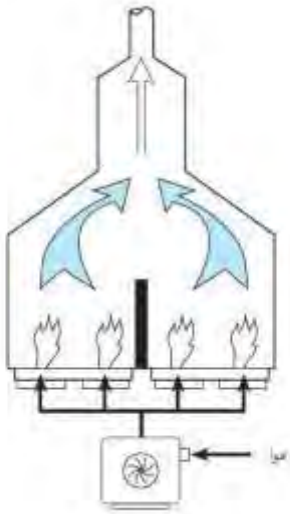
کوره‌ها را می‌توان از جهات مختلف طبقه‌بندی نمود: نوع مکش (جریان)، تعداد آتشدآنها، تعداد گذرها، حجم اشغال شده توسط گازهای احتراقی و شکل کوره.

۱۰–۳–۱– مکش

مکش کوره می‌تواند طبیعی، اجباری، القایی و یا متعادل باشد. در یک کوره با مکش طبیعی (شکل ۶-۱۰) نیروهای بویانسی[1] (نیروی شناوری) باعث ایجاد مکش می‌شوند، در نتیجه هوای داغ از دودکش بالا می‌رود و در آتشدان فشار منفی ایجاد می‌کند. این فشار کمتر از فشار اتمسفری نرمال است. کوره‌های مکش اجباری (شکل ۱۰-۷) برای دمیدن هوای تازه برای احتراق از فن استفاده می‌کنند. مکش (جریان) اجباری در کوره‌هایی که هوای احتراقی را به‌منظور کاهش مصرف سوخت پیشگرم می‌کنند به کار برده می‌شود. در یک کوره با مکش القایی (شکل ۱۰-۸)، یک فن در زیر دودکش هوا را از آتشدان می‌کشد و از دودکش خارج می‌کند. کوره‌های مکش متوازن (شکل ۱۰-۹) نیاز به دو فن دارد: یک جریان تحریک کننده به خارج دودکش و یک تأمین‌کننده فشار مثبت در مشعل‌ها. شکل ۱۰-۹ یک کوره با مکش متوازن را نشان می‌دهد.

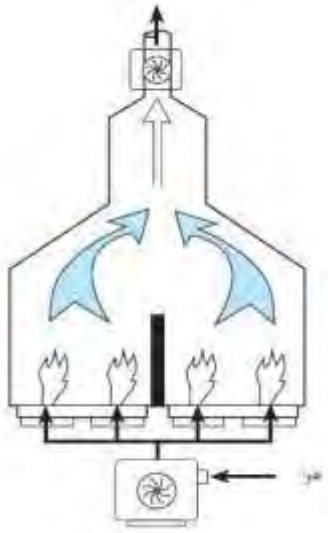


شکل ۱۰-۶: کوره مکش طبیعی

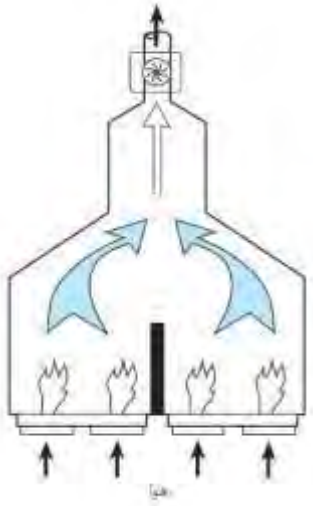


شکل ۱۰-۷: کوره مکش اجباری

[1] Buoyancy



شکل ۱۰-۹: کوره مکش متعادل



شکل ۱۰-۸: کوره مکش القایی

- **تعداد آتشدان‌ها**

هر کوره ممکن است دارای یک یا دو آتشدان باشد. یک کورهٔ دو آتشدانه یک دیوارهٔ مرکزی دارد که دو محفظه احتراق را از هم جدا می‌کند. گازهای داغی که این دو محفظه را ترک می‌کنند در یک بخش جابه‌جایی مشترک با هم مخلوط می‌شوند.

- **تعداد گذرها**

بار، یا همان سیال، ورودی به کوره اغلب به دو جریان تقسیم می‌شوند که به این جریان‌ها گذر می‌گوییم. این گذرها را معمولاً با شرقی، غربی، شمالی و یا جنوبی مشخص می‌شود. همان‌طور که از نام آن‌ها پیداست، قبل از اینکه همگی وارد یک هدر تخلیهٔ مشترک شوند، هرکدام از آن‌ها به بخش خاصی می‌رود. اپراتورهای کوره قبل از شروع به کار کوره، دبی این گذرها را به‌طور مساوی تنظیم می‌کنند. جریان تنظیم شده و متعادل سیال در طول عملیات کوره امری حیاتی است. عامل حیاتی دیگری که باید مورد توجه قرار گیرد ترکیب بار است. اجزای تشکیل دهندهٔ بار در تمام فرایند باید ثابت بماند وگرنه در شرایط عملیات شاهد تغییر خواهیم بود. این شرایط ممکن است شامل فشار، دما، جریان و تغییرهای تحلیلی در بار و عملیات کوره شود.

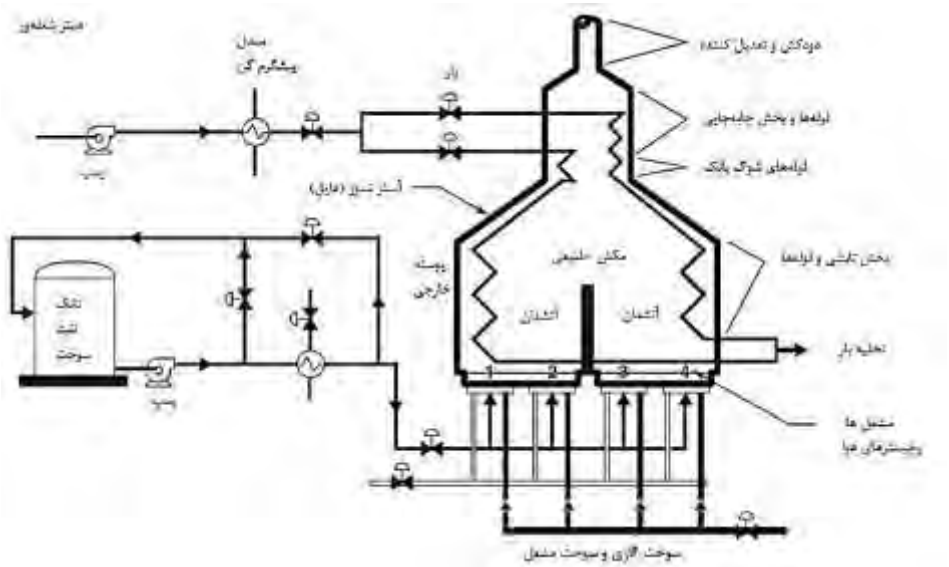
۱۰–۳–۲– شعله-مستقیم و غیرمستقیم

: کوره‌ها به شعله-مستقیم و غیرمستقیم تقسیم می شوند. این طبقه‌بندی بر مبنای حجم اشغال شده توسط گازهای احتراقی است. در کوره‌های شعله-مستقیم، گازهای احتراقی معمولاً تمام فضای داخل را پر می‌کنند. کوره‌های شعله-مستقیم، جریان‌های فرایندی مانند هیدروکربن‌های سنگین، گلیکول، آب و نمک های مذاب را گرم می‌کنند.: کوره‌های کابینتی، استوانه‌ای، جعبه‌ای و قاب مخروطی شکل جریان مستقیم هستند.

هیترهای لوله‌آتشین، شعله-غیرمستقیم هستند. این هیترها حاوی گازهای احتراقی درون لوله‌ها هستند که در صد کمی از کل فضای هیتر را اشغال می‌کنند. لوله‌های حرارت دیده از درون پوسته‌ای عبور می‌کنند که دارای واسطهٔ حرارتی است. هیتر لوله آتشین شبیه یک مبدل حرارتی پوسته لوله‌ای چندگذره است. این نوع هیتر از یک پوسته و مجموعه‌ای از لوله‌هاست که برای انتقال حرارت از طریق محفظه (لوله) احتراق و به لوله‌های آتشین افقی طراحی شده‌اند. بخار خروجی از محفظه‌ای شبیه به هدر مبدل خارج می‌شوند و بی خطر از بویلر خارج می‌شوند. سطح آب در پوستهٔ بویلر به‌منظور جلوگیری از داغ شدن بیش‌ازحد لوله‌ها بالاتر از آن‌ها نگه داشته می‌شود. عبارت لوله آتشین از نحوهٔ ساخت بویلر می‌آید. هیتر لوله آتشین متشکل است از پوسته بویلر، لوله‌های آتشین، لوله احتراق، مشعل، ورودی خوراک آب، خروجی بخار، پورت بخار (دود) گاز احتراق و صفحه لوله.

۱۰–۳–۳– کوره کابینتی

کوره کابینتی یک هیتر شعله-مستقیم بسیار متداول است که برای عملیات تجاری بزرگ در صنعت فرایندهای شیمیایی مورداستفاده قرار می‌گیرد. بیشتر کوره‌های کابینتی (شکل ۱۰-۱۰) روی زمین قرار می‌گیرند که این امکان تخلیهٔ لوله‌ها و دسترسی آسان به مشعل‌ها را که می‌توانند در پایین، کناره‌ها و یا بخش‌های انتهایی قرارگرفته باشند، فراهم می‌کند. لوله‌های تابشی ممکن است به‌صورت طرح حلزونی یا مارپیچ قرار گیرند. بخش تابشی در کوره کابینتی برای در بر گرفتن شعله‌ها جهت ممانعت از تماس مستقیم با لوله‌ها، طراحی شده است.



شکل ۱۰-۱۰: کوره کابینتی

یک فضای ۱/۵ تا ۲ فوتی میان شعله‌ها و لوله‌های تابشی فاصله‌ای ایمن محسوب می شود. الگوی شعلهٔ مشعل باید کمتر از ۶۰ درصد ارتفاع آتشدان باشد.

بخش تابشی برای توزیع برابر انرژی تابشی مهندسی شده است. طرح پیشرفته مشعل ۱۰۰ درصد سوخت را با اکسیژن ۱۰ تا ۱۵ درصدی اضافی جزئی مصرف می‌کند. اکسیژن اضافی در کوره زمانی که وارد پایهٔ کوره می‌شود به دقت تحت نظارت و کنترل قرار می‌گیرد. این کنترل زمانی که هوای اولیه و سوخت در مشعل مخلوط می‌شوند اتفاق می‌افتد و با تنظیم رجیسترهای هوای ثانویه نصب‌شده در خارج مشعل تقویت می‌شود. یک ناظر اکسیژن ترکیب گازهای داغ احتراقی را به دقت تعقیب می‌کند. تنظیمات دبی جریان هوا، در مشعل‌ها و تعدیل کنندهٔ دودکش صورت می‌گیرد.

کف کوره دارای یک لایهٔ ۶ اینچی سیمانی مقاوم در برابر گرماست که با آجر نسوز دما بالا پوشیده شده است. برخی کوره‌های کابینتی دارای دیوارپلی هستند که آتشدان را به قسمت های مساوی تقسیم می‌کند. هم‌زمان با این‌که جریان محصول به پایین و درون بخش تابشی داغ تر می‌ریزد، یک آرایه‌ی جریان مجزا از بخش جابه‌جایی بالایی خارج می‌شود. این دو لولهٔ کویل جداگانه گذرهای شمال و جنوبی (یا غربی و شرقی) نیز نام می‌گیرند. سیستم نسوز تحمل محدودهٔ وسیعی از دماهای بالا را دارد. لایهٔ نسوز ممکن است بیش از یک فوت ضخامت داشته باشد.

زمانی که گازهای داغ احتراقی از آتشدان خارج می شوند، با مجموعه‌ای از لوله‌ها، همان شوک بانک، مواجه می شوند. شوک بانک در یک کورهٔ کابینتی اولین موج گازهای داغ احتراقی را دریافت

می‌کند. لوله‌های درون شوک بانک ۲ یا ۳ ردیف لولهٔ پایینی در بخش جابه‌جایی خنک تر ه ستند. لوله های درون بخش جابه جایی برای اســـتفاده از انرژی گرمایی در حال خروج از کوره طراحی شده‌اند. این فرایند به خوراک اجازه می‌دهد تا به‌تدریج و هم‌زمان با حرکت درون سیـ ستم افزایش دما پیدا کند.

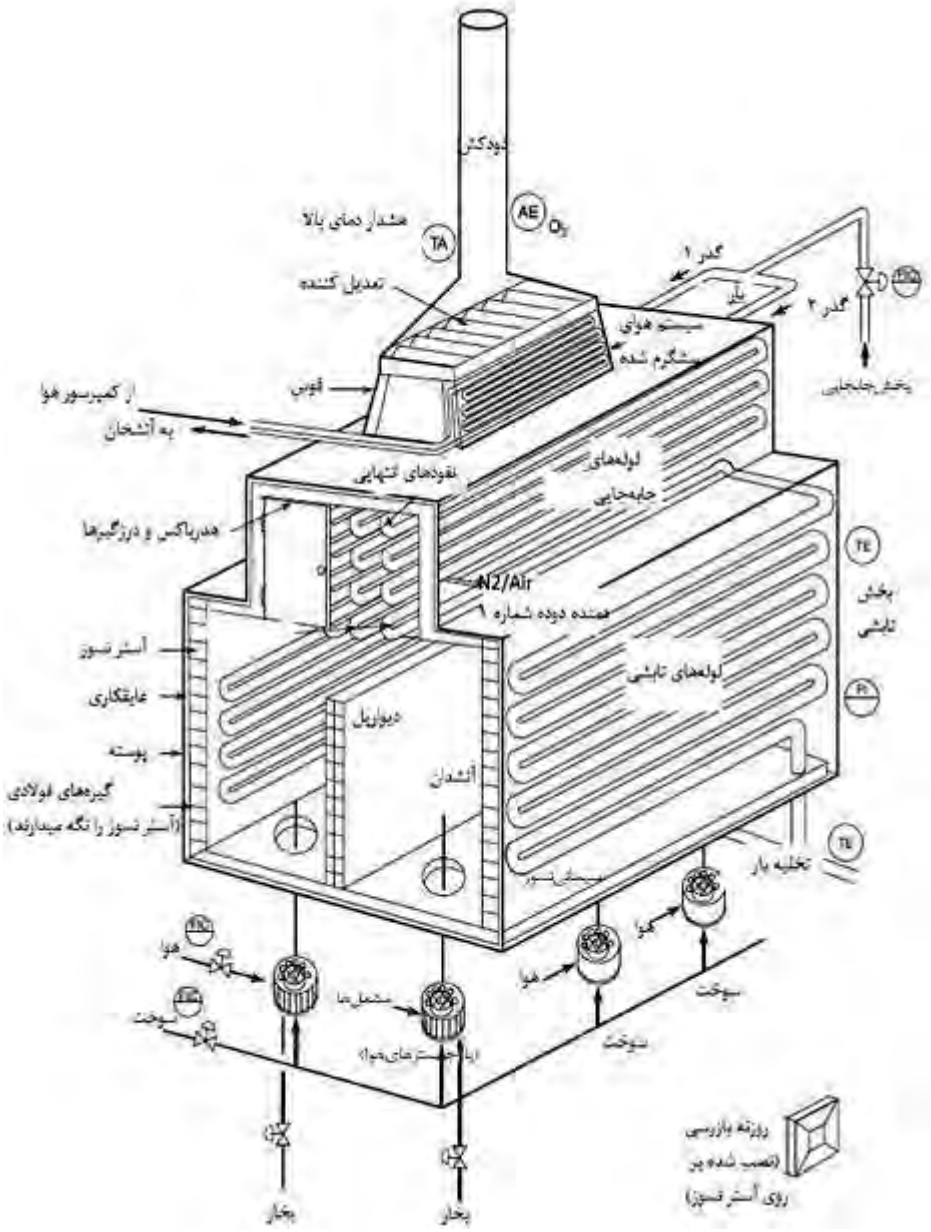
کوره‌های کابینتی دارای مزایای متعددی ه ستند. آن‌ها می‌توانند دارای طرح‌های دیوارهٔ تابـ شی و مشــعل انتها ســوز باشــند. لوله‌های آن‌ها قابلیت تخلیه دارند و همچنین جریان‌های دوفازی آن‌ها نرم تر از جریان تک فازی است. در نهایت، از بازده بسیار بالای ۹۰ تا ۹۵ درصدی برخوردار هستند.

- **پیشگرم کردن بار**

در طی عملیات کوره کابینتی، بار اولیه برای گرم شـــدن قبل از رفتن به کوره، به درون یک مبدل حرارتی پو سته-لوله پمپ می شود. پمپ کردن این سیال در یک پیـ شگرم‌کن بـ سیار مؤثر ا ست و هزینه‌ها را کاهش می‌دهد. بخار از درون قســمت پوســتهٔ مبدل و ســیال فرایند از درون لوله‌ها عبور می‌کند.

- **کنترل جریان**

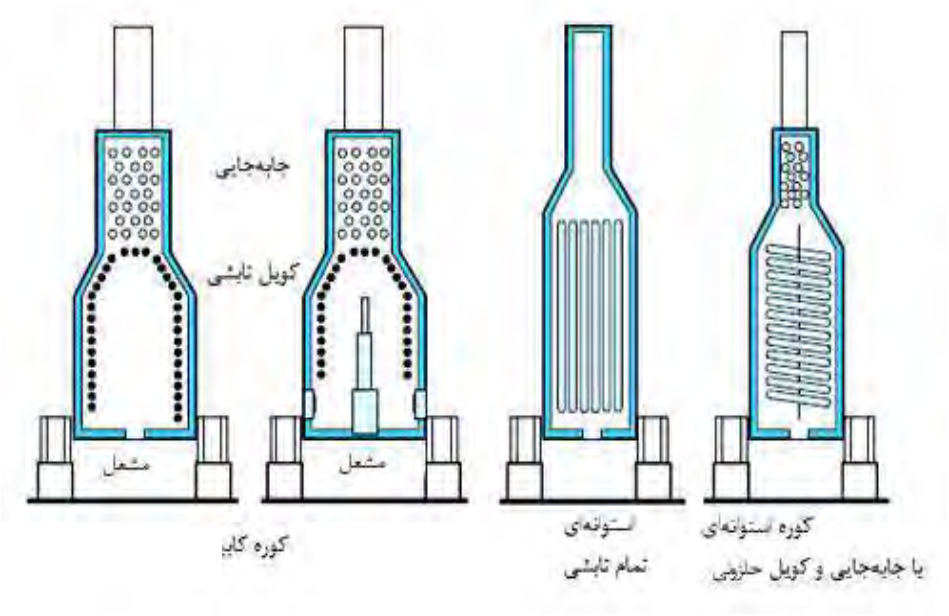
جریان در بالادست کوره کنترل می‌شود. خوراک ممکن است به دو خط جداگانه و یا بیشتر تقسیم شود (گذر شرقی، غربی و...). هر گذر دارای کنترل جریان مخـ صوص به خود ا ست. شکل ۱۰-۱۱ اجزای اصلی یک کورهٔ کابینتی را نشان می‌دهد.



شکل ۱۰-۱۱: کوره

۱۰–۳–۴– کوره استوانه‌ای

یکی دیگر از طرح‌های هیتر شعله-مستقیم موردا ستفاده در صنعت کوره ا ستوانه‌ای ا ست. کوره استوانه‌ای ساده برای استفاده از گرمای تابشی تابیده شده از مشعل در پایین مرکز کوره مهندسی شده است (شکل ۱۰-۱۲ و ۱۰-۱۳). بخش عمدهٔ انتقال حرارت از نوع تابشی است، مگر در حالتی که انتخاب های خاصی اضافه شده باشد. طبیعت استوانه‌ای بودن کوره مکش از بخش تابشی پایینی را به بخش انتخابی جابه‌جایی و به سمت خارج دودکش تشدید می‌کند. لوله‌های عمودی معمولاً با آلیاژ فولاد ساخته می‌شوند. بازده خالص حرارتی برای یک کوره استوانه‌ای استاندارد حدود ۶۰ درصد است؛ بااین‌حال اگر یک قسمت جابه‌جایی به آن اضافه شود این میزان به ۸۰ درصد می‌رسد. در طرح استوانه‌ای معمولاً از سیستم تعدیل کننده برای کنترل جریان هوا استفاده نمی‌شود. کوره‌های استوانه‌ای در قیاس با سایر طرح ها هزینهٔ ساخت ۱۰ تا ۱۵ درصد کمتری دارند، هزینه و فضای عملیاتی کمتری نیاز دارند، آتشدان آن‌ها بالاتر است، گذرهای موازی بیشتری دارند و همچنین سرعت گاز دودکش آن‌ها بیشتر است؛ اما ایراد عمدهٔ کوره‌های استوانه‌ای این است که به دلیل دمای دودکش بالاتر، بازده آن‌ها پایین‌تر از طرح های دیگر است.



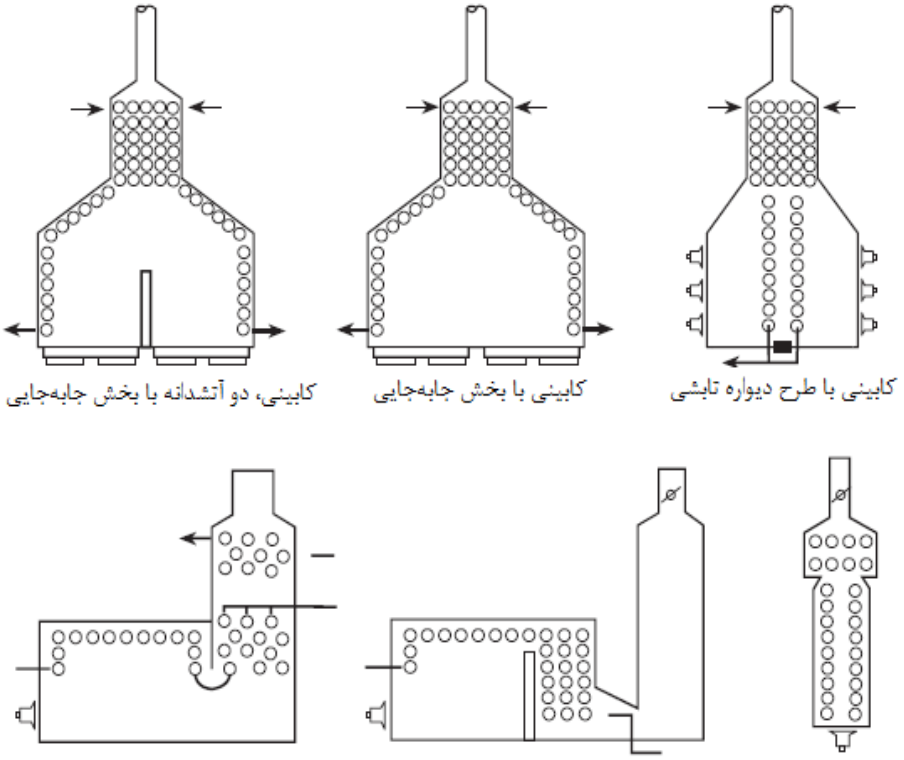
شکل ۱۰-۱۲: طرح‌های کوره استوانه‌ای

شکل ۱۰-۱۳: کوره استوانه‌ای

۱۰-۳-۵- کوره جعبه‌ای

کوره جعبه‌ای نام خود را از طرح مربع یا مستطیل شکل واحد گرمایی می‌گیرد. این نوع کوره برای اشتعال نفت مناسب‌ترین است. مشعل‌ها می‌توانند در کناره‌ها و یا انتهای کوره قرار گیرند (شکل ۱۰-۱۴). بخش تابشی و آتشدان از سقف، دیواره‌ها و کف برای بازتاب گرما به درون آتشدان کمک می‌گیرند. لوله‌ها ممکن است به شکل حلزونی و یا مارپیچی قرار بگیرند. بخش‌های جابه‌جایی و تابشی توسط یک دیوارپل از هم جدا می شوند. این دیوار ممکن است از کف و سقف تجاوز کند. بخش نسوز در کوره جعبه‌ای شبیه به این بخش در کوره استوانه‌ای است. در کوره جعبه‌ای خوراک از بخش جابه‌جایی وارد می‌شود و به‌طرف آتشدان حرکت می‌کند. لوله‌های هوا می‌توانند از بخش جابه‌جایی عبور کنند تا هوای مورداستفاده برای احتراق گرم شود. کوره‌های جعبه‌ای می‌توانند برای

کنترل مکش از فن‌های داخلی و خارجی اســـتفاده کنند. طرح‌های مکش طبیعی، اجباری، القایی و متوازن کوره‌های جعبه‌ای در صنعت مورداستفاده قرار می‌گیرند.



شکل ۱۰-۱۴: طرح‌های کوره

۱۰-۴- مشکلات رایج کوره‌ها و راه حل آن‌ها

کوره‌های بزرگ تجاری به‌ندرت و در صورت بروز مشکل جدی و یا برنامه‌ریزی برای تعمیر تجهیزات و یا زمان بندی مجدد خاموش می‌شـوند. به دلیل وجود برخی مسـائل و نگرانی‌های رایج، تجهیزات باید پیوسته تحت نظارت باشند.

- **بازدهی کوره**

ایجاد عملیات کارآمد و پربازده کوره‌ها م سأله مهمی ا ست، زیرا دو سوم بودجهٔ سوخت کل نیروگاه صرف هزینهٔ سوخت کوره‌ها می شود. بازدهی کوره با قوانین زی ست‌محیطی برای عملیات پاک در ارتباط است.

بیشتر کوره‌ها از سوخت نفتی یا گازی استفاده می‌کنند. گاز طبیعی پاک تر و پربازده‌تر از نفت می سوزد. در یک کوره گازسوز، اکسیژن و گاز طبیعی درون مشعل با نسبت‌های صحیح ترکیب می‌شوند. در یک کوره نفت سوز، از بخار برای اتمیزه کردن نفت و مخلوط کردن آن با هوا در سر مشعل استفاده می‌شود.

هوای اولیه از طریق دیافراگم های روی مشعل وارد می‌شود که هوا و گاز را قبل از ورود در مشعل مخلوط می‌کنند. هوای ثانویه از طریق رجیسترهای هوای روی مشعل وارد می‌شود. هوا همچنین می‌تواند از طریق مشعل‌های بیکار، روزنه‌های باز، نشتی در جدارهٔ کوره یا اتصالات جداره و یا درزگیرهای آسیب دیدهٔ هدرباکس وارد شود.

حصول اطمینان از غلظت های مناسب هوا برای عملیات پربازدهٔ کوره بسیار مهم است، زیرا در این صورت سوخت پاک تر و داغ تر می سوزد. احتراق ناقص خروجی گرما را کاهش می‌دهد، گازهای ناخواسته تولید می‌کند و شرایط بالقوه مخاطره آمیزی را به دلیل تجمع سوخت مصرف نشده در آتشدان ایجاد می‌کند. عملیات پربازده و ایمن کوره نیازمند این است که اپراتور از نزدیک فرایند احتراق را زیر نظر داشته باشد و کنترل کند.

- **برخورد شعله**

وقتی شعله‌ها در آتشدان بالا می‌روند، به‌ندرت با لوله‌ای برخورد می‌کنند. تماس مکرر و مداوم آن‌ها، برخورد شعله نامیده می‌شود. این موضوع می‌تواند فلز لوله را تضعیف نماید و باعث ککینگ[1]، به معنای تشکیل رسوبات کربنی در لوله شود. گاهی اوقات می‌توان مشکل برخورد شعله را با کم کردن شیر سوخت مشعل مربوطه حل نمود.

- **نقطه داغ**

نقطه داغ درون کوره را می‌توان یک نقطهٔ قرمز درخشان روی فلز یا آستر نسوز تعریف نمود. برخی اوقات نقاط داغ را می‌توان با توزیع دوبارهٔ سیال فرایند اصلاح نمود، به‌طوری که جریان اضافی جاری شود و لوله‌های آسیب‌دیده را خنک‌کند.

[1]Coking

- **شکستگی آستر نسوز**

آ ستر ن سوزی که از اطراف کوره شل شده و به کف کوره می‌افتد را آ ستر شک سته یا خرد شده می‌گویند. این وضـعیت به دلیل ترک خوردن و فرسـوده شـدن آسـتر کهنه در طول زمان یا عدم مراقبت و خشک‌کردن مناسب آن و یا به دلیل شکستگی بست‌های آن ایجاد می‌شود.

- **لوله‌های گسسته**

وقتی شعله‌ها از ابتدای لوله‌ها تابیده شوند، نشانی از لوله‌های گسسته دارد. این پدیده می‌تواند باعث افت سطوح اکسیژن اضافی و افزایش دمای دیوارپل شود.

- **لوله‌های لرزان**

لوله های لرزان تمایل به پرش و یا حرکت به عقب و جلو دارند و معمولاً در لوله‌های خارج کوره اتفاق می‌افتد. لوله‌های لرزان عمدتاً زاییدهٔ جریان اسـلاگ[1] دو فازی درون لوله‌ها هسـتند. چنین لرزش‌های هارمونیکی را می‌توان با تغییر دبی جریان‌های متوقف نمود.

- **گرفتگی سر مشعل**

گرفتگی سر مشعل باعث نامنظم شدن شعله می‌شود و ممکن است شعله به‌جای آتشدان به سمت لوله‌ها رود.

- **تشکیل و تجمع کک**

در هر دوره زمانی به‌طور طبیعی مقداری کک درون لوله تابشـی تشـکیل می‌شـود. خاموش کردن کوره و تزریق بخار فوق داغ می‌تواند این مشکل را مرتفع کند.

- **تغییرات در ترکیب سوخت**

سـوخت ها سـرعت گرمای آزاد شـدهٔ مختلفی دارند که می‌توانند در چارت‌های اسـتاندارد تعریف شـوند. ترکیب سـوخت به‌ندرت تغییر می‌کند و به تبع آن بازدهی کوره نیز تغییر می‌کند. تغییر ترکیب سـوخت ممکن اسـت باعث فلش بک (احتراق متناوب بخارهایی که به مشـعل برمی‌شـوند) شود. اپراتورها باید آمادهٔ این تغییرات باشند و تنظیمات صحیح را اعمال کنند. این تنظیمات شامل دبی جریان سوخت، تعدیل کننده، جریان بار و تنظیم مشعل می‌شوند.

---

[1] Slug-type

- **مشکل در پمپ کردن خوراک**

اگر پمپ خوراک دچار مشکل شود، کوره به‌سرعت داغ می‌شود که این باعث تشکیل کک و صدمه دیدن تجهیزات می‌شـــود. اگر پمپ دوباره به کار نیفتد، پمپ کمکی را در مدار قرار می‌دهند، پمپ اصلی را جدا کرده و سریعاً آن را تعمیر می کنیم.

- **فلیم اوت[1]**

این پدیده زمانی اتفاق می‌افتد که شعلهٔ مشعل، درحالی‌که هنوز مقداری سوخت به درون آن پمپ می شود، خاموش شود. این شرایط باعث می شود سوخت واکنش نداده درون مشعل باقی بماند و موقعیت خطرناکی را فراهم می‌کند. فلیم اوت عمدتاً زمانی اتفاق می‌افتد که ســـوخت زیادی به مشعل فرستاده می شود و یا کمبود مکش یا اکسیژن وجود دارد. در هنگام وقوع چنین وضعیتی، لازم است که کوره خاموش شود.

- **کاشی‌های شکستهٔ مشعل**

کاشی‌های شکستهٔ مشعل دقیقاً در اطراف مشعل قرار می‌گیرند و برای محافظت از مشعل طراحی می شوند. کوره به‌ندرت برای تعویض کاشی‌های شکسته و تنها در صورتی که روی الگوی شعله اثرگذار باشد، خاموش می‌شود.

- **ساپورت‌ها و هدایتگرهای شکسته**

ســـاپورت‌ها و هدایتگرهای شـــکســـته بر کف کوره می‌افتند و موجب خمیدگی و انحنای لوله‌ها می‌شوند. همچنین با افتادن این ساپورت‌ها و هدایتگرها، ممکن است به مشعل‌ها صدمه وارد شود.

- **آتشدان و دودکش دودآلود**

دودآلود شدن آتشدان‌ها اغلب زمانی که هوای اضافی ورودی به آتشدان کافی نباشد و یا نسبت هوا به سوخت صحیح نباشد اتفاق می‌افتد.

- **انحناء و برآمدگی لوله‌ها**

همان طور که پیش تر بحث شـد، خمیدگی لوله‌ها زمانی اتفاق می‌افتد که هدایتگرها و ســاپورت‌ها می‌شـــکنند. این اتفاق همچنین به دلیل عوامل دیگری مانند زمانی که بیرون یا داخل لوله دچار

---

[1] Flameout

گرفتگی می‌شـــود یا زمانی که برخورد شـــعله، کاهش دبی جریان، آتش بیش‌ازحد در کوره و یا گرفتگی در خارج لوله‌ها وجود داشـته باشـد نیز رخ می‌دهد. توجه داشـته باشـید زمانی که لوله‌ای برآمدگی پیدا کند، قطر آن تغییر می‌کند.

- **لوله‌های داغ**

لوله‌های داغ رنگ‌های مختلفی از خود نشـــان می‌دهند. این زمانی اتفاق می‌افتد که داخل یا خارج لوله‌ها دچار گرفتگی شود. این زمانی است که برخورد شعله صورت پذیرد، دبی جریان کاهش یافته یا ارتفاع آتش شعله بیش‌ازحد باشد.

- **خرابی شیرها**

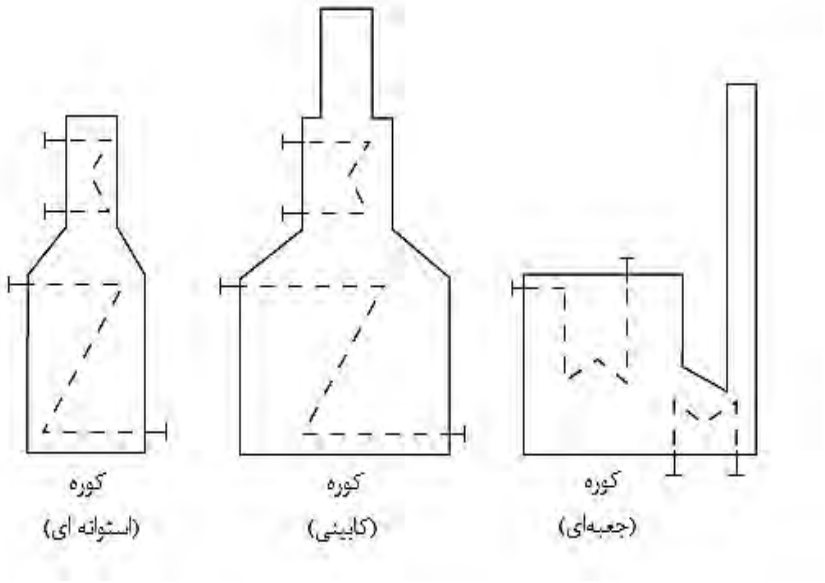
شیرهای کنترل خوراک کوره در حالت باز شونده (Fail-open) شده‌اند. خرابی شیر قبل از اینکه تنظیم آن‌ها پاسخ مناسب ندهد قابل رؤیت نیست. در هر حال اپراتور قادر به کنترل جریان نیست. خوشبختانه حلقه‌های کنارگذر (bypass) وجود دارند که امکان خارج کردن شیر و تعمیر آن بدون نیاز به خاموش کردن تجهیزات را فراهم می‌کنند. شـــیرهای کنترل ســـوخت کوره به حالت بســـته شونده (Fail-closed) طراحی می‌شوند.

۱۰–۵– سیستم کوره

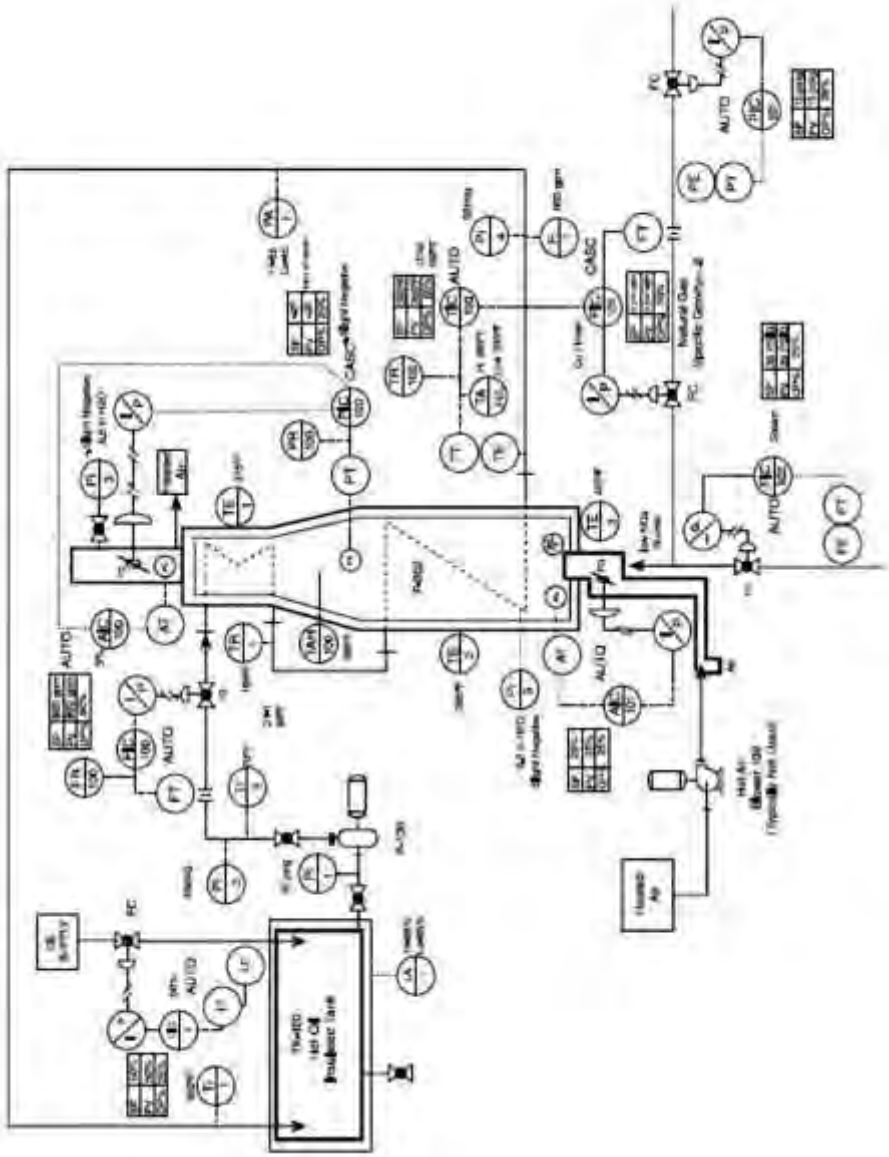
راه‌اندازی کارآمد هیترهای فرایند مســـألهٔ مهمی اســـت زیرا هزینه‌های هنگفتی صـــرف تأمین گاز می‌شود. همچنین برای اطمینان از داشتن عملیات همیشه پاک و انتشارات گازی، هیترهای فرایند توسط آژانس حفاظت از محیط زیست از نزدیک تحت نظر هستند. یکی از مزایای استفاده از گاز طبیعی، فرایند سوختن پاک آن است. F-202 یک سیستم پاک سوز است که هوای اضافی را بین ۸ تا ۱۰ درصـــد نگاه می‌دارد. برای عملیات کارآمد کوره اطمینان از غلظت های صـــحیح ســـوخت حیاتی اســـت، زیرا در اینصـورت سـوخت پاک تر و داغ تر می سـوزد. احتراق ناقص خروجی گرما را کاهش می‌دهد، گازهای ناخواســـته تولید و به دلیل باقی ماندن مقداری ســـوخت درون آتشـــدان، شرایط خطرناکی را ایجاد می‌کند. عملیات ایمن و پربازده هیتر نیازمند تکنسینی است که با دقت فرایند احتراق را نظارت و کنترل کند. کوره‌های کوچک تجاری عمدتاً خاموش نمی‌شـــوند، مگر مشکلی جدید اتفاق بیفتد و یا برگشت و تعمیر تجهیزات در برنامه باشد. مشکلات و مسائل رایجی وجود دارد که به دلیل آن‌ها تجهیزات باید مورد نظارت قرار گیرند. شکل ۱۰-۱۵ اجزای اصلی یک سیستم کوره را نشان می‌دهد.

۱۰–۶– نمادهای کوره‌ها

شکل ۱۰-۱۶ نمادهای کوره را نشان می‌دهد.



شکل ۱۰-۱۶: نمادهای کوره‌ها



شکل ۱۰-۱۵: سیستم کوره: کوره F-202

خلاصه

هیترهای مشتعل یا کوره‌ها به شعله-مستقیم و غیرمستقیم (لوله آتشین) تقسیم‌بندی می‌شوند. در کوره‌های شعله-مستقیم گازهای احتراق بیشتر فضای کوره را اشغال می‌کنند. در: کوره‌های لوله آتشین گازهای احتراقی درون لوله‌ها محبوس هستند که تنها بخش کوچکی از کل فضای هیتر را تشکیل می‌دهد. لوله‌ها بعد از حرارت دیدن وارد پوسته‌ای می‌شوند که حاوی واسطه حرارتی است. کوره‌های کابینتی، استوانه‌ای، جعبه‌ای و قاب مخروطی شکل از نوع شعله-مستقیم هستند.

احتراق یک واکنش شیمیایی سریع است که با تماس نسبت‌های صحیح اکسیژن و سوخت با یکدیگر به همراه یک منبع اشتعال اتفاق می‌افتد و نور و گرما آزاد می‌کند.: کوره‌ها از این اصل برای تأمین گرمای بار استفاده می‌کنند. احتراق کامل زمانی اتفاق می‌افتد که واکنش دهنده‌ها با نسبت های صحیح وجود داشته باشند. احتراق ناقص نیز زمانی اتفاق می‌افتد که اکسیژن کافی برای مصرف تمام سوخت و تولید آب و کربن دی‌اکسید وجود نداشته باشد. ترکیبی از فرایندهای انتقال حرارت تابشی، جابه‌جایی و هدایتی در کوره اتفاق می‌افتد. روش‌های انتقال حرارتی که بیشترین تأثیر را در: کوره‌ها دارند تابشی و جابه‌جایی هستند.

از: کوره‌های شعله-مستقیم در فرایندهای بسیاری از قبیل تقطیر، راکتورها، اولفین ها و فرایندهای دیگر استفاده می‌شود.: کوره‌ها مواد خام را گرما می‌دهند تا بتوانند محصولاتی مانند بنزین، نفت، کروسین، مواد شیمیایی، پلاستیک و رزین ها را تولید کنند. کوره‌های شعله-مستقیم اساساً از مجموعه‌ای از لوله‌ها که حاوی سیال فرایند هستند و از درون آتشدان عبور می‌کنند تشکیل می‌شوند. این لوله‌ها در امتداد دیواره‌های داخلی و سقف کوره کشیده می‌شوند. حرارت آزاد شده توسط مشعل‌ها از طریق این لوله‌ها به سیال فرایند منتقل می‌شود. سیال تا زمانی که به شرایط مطلوب عملیاتی برسد در کوره می‌ماند و سپس از آن خارج می‌شود و به واحد فرایندی پایین دست منتقل می‌شود.

هوا از طریق دیافراگم‌های اولیه روی مشعل و رجیسترهای ثانویهٔ روی مشعل وارد کوره می‌شود. همچنین هوا می‌تواند از طریق دودکش، روزنه‌های بازرسی چشمی، شکاف‌های کوره و درزگیرهای هدرباکس وارد شود.: کوره‌ها می‌توان به مکش طبیعی، اجباری، القایی و یا متعادل طبقه‌بندی نمود. مشعل‌ها برحسب نوع در انواع زیر وجود دارند: نفتی، اتمیزه کننده پیش اختلاطی، ترکیبی، NO_x پایین و گاز خام.

سؤالات مروری

۱) رسوبات کربن درون لوله‌های کوره چه نام دارند؟
۲) فلیم اوت را توضیح دهید.
۳) نقطه داغ چیست؟
۴) کدام بخش کوره بیشترین دما را دارد؟
۵) لوله‌های جابه‌جایی در کدام قسمت کوره قرار می‌گیرند؟
۶) لوله‌های تابشی در کدام قسمت کوره قرار می‌گیرند؟
۷) برخورد شعله را تعریف کنید.
۸) هوا از پنج طریق وارد کوره می‌شود. آن‌ها را نام ببرید.
۹) اجزای اصلی کوره را نام ببرید.
۱۰) شوک بانک را تعریف کنید.
۱۱) بار کوره چیست؟
۱۲) قسمت دیوارپل در کوره را توضیح دهید.
۱۳) یک کورهٔ مکش طبیعی را توضیح دهید.
۱۴) توضیح دهید: کوره‌هایی با مکش اجباری، القایی و متعادل چگونه عمل می‌کنند؟
۱۵) شکستگی آسترنسوز را توضیح دهید.
۱۶) اهمیت کنترل مناسب جریان در کوره را توضیح دهید.
۱۷) توضیح دهید منظور از انحناء و برآمدگی لوله‌ها چیست؟
۱۸) کف کوره با چه نوع فلزی پوشیده می‌شود؟
۱۹) طرح های خم بازگشتی در بخش جابه‌جایی را توضیح دهید.
۲۰) جریان هوای اضافی در کوره چه تاثیری دارد؟

فصل یازدهم
ابزاردقیق

اهداف

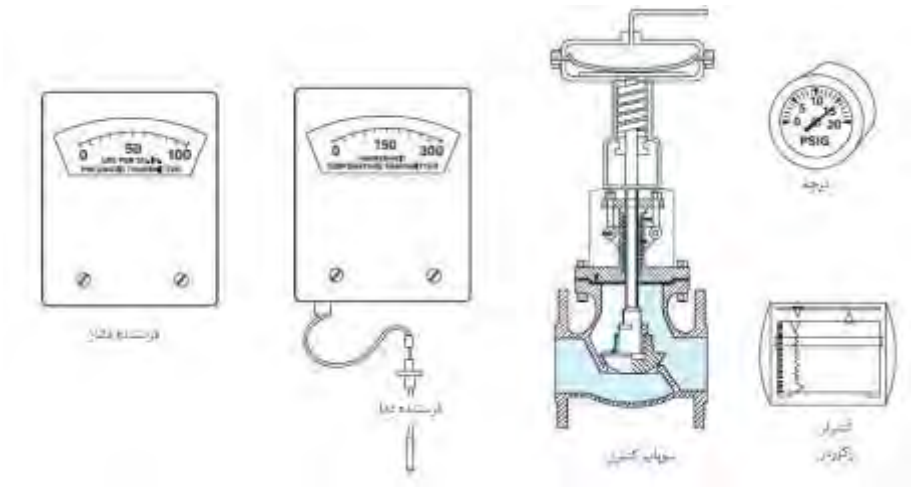
پس از مطالعه این فصل دانشجو قادر خواهد بود:

- ابزارهای اصلی مورداستفاده در فرایند صنعتی را توضیح دهد.
- نمادهای استاندارد ابزارها را بشناسد و رسم کند.
- روش‌های اندازه‌گیری دما، فشار، جریان و سطح را توضیح دهد.
- اجزای یک حلقه کنترلی را توضیح دهد.
- کنترل آبشاری را تعریف کند.
- کنترل دستی و خودکار را با هم مقایسه نماید.
- اهمیت درصد عملیاتی در یک شیر کنترلی را توضیح دهد.

۱۱–۱– ابزارهای اصلی

کنترل اتوماتیک اساس فرایندهای پیوستهٔ کارآمد است. درگذشته اپراتورها فرایندها را به‌طور دستی کنترل می‌کردند. این نوع فرایند، "شیر محور" بود؛ اپراتورها می‌بایست شیرهای لوله‌کشی‌ها را دستی باز و بسته می‌کردند. پیشرفت‌های مدرن در استفاده از سیستم‌های ابزاردقیق، تولیدکنندگان صنعتی را قادر ساخت تا فرایندهای خود را خودکار کنند. اتوماسیون فرایند به این معناست که یک ابزار یا کامپیوتر قادر است باز شدن، بسته شدن وضعیت شیرها را کنترل کند؛ تجهیزات را راه‌اندازی و متوقف کند؛ متغیرهای فرایند را اندازه‌گیری کند؛ و به صورت خودکار عکس‌العمل نشان دهد. این اتوماسیون این امکان را فراهم می‌کند که شبکه‌های بزرگ و پیچیدهٔ فرایندی، توسط یک نفر تکنسین از درون مرکز کنترل مورد نظارت و کنترل قرار گیرد.

ابزارهای اصلی فرایند (شکل ۱۱-۱) شامل درجه‌ها، فرستنده‌ها، کنترل‌کننده‌ها، مبدل‌ها، عناصر اولیه و حسگرها، رایانه‌ها، شیرهای کنترلی و دیگر عناصر کنترل نهایی است. هر ابزار را با نمادی نشان می‌دهند که در بخش بعدی در مورد آن صحبت خواهد شد (نگاه کنید به شکل ۱۲-۱).



شکل ۱۱-۱: ابزارهای اصلی فرایند

۱۱–۱–۱– اندازه‌گیری دما

برای نظارت مستقیم بر دماهای جریان‌های فرایند به متخصصان فنی فرایند نیاز است. زمانی که انرژی حرارتی به ناحیه‌ای اعمال می‌شود، فعالیت مولکولی افزایش می‌یابد و انرژی از مولکولی به

مولکول دیگر منتقل می‌شود. زمانی که این فرایند اتفاق می‌افتد فشار و دما در محیط بسته افزایش می‌یابد، مواد منبسط می‌شوند و دانسیته تغییر می‌کند.

دما به‌عنوان درجهٔ سردی و گرمی یک جسم یا محیط تعریف می‌شود. دو مقیاس رایج اندازه‌گیری دما فارنهایت و سلسیوس (سانتی‌گراد) است. درجه‌بندی فارنهایت به‌گونه‌ای است که ۳۲ درجهٔ فارنهایت نقطه انجماد آب و ۲۱۲ درجهٔ فارنهایت نقطه‌جوش آب را نشان می‌دهند. در درجه‌بندی سلسیوس، صفر درجه نشانگر نقطه انجماد آب و ۱۰۰ درجه نقطه‌جوش آن است. اپراتورهای فرایند از دماسنج های سلسیوسی و فارنهایتی برای اندازه‌گیری دما استفاده می‌کنند. دماسنج های دوفلزی معمولاً دارای یک نوار متشکل از دو فلز هستند که با افزایش دما به اندازه‌های متفاوت منبسط می‌شوند و در اثر این اختلاف، انحراف یا خمیدگی ایجاد می‌شود. دماسنج های دو فلزی از ۳۰۰- تا ۶۰۰ درجهٔ فارنهایت را پوشش می‌دهند. یک نوع آشنای دیگر دماسنج ها دارای یک عنصر اصلی یا حسگر متشکل از یک حباب پر شده و لوله‌های موئینی است. در صنعت، از جیوه در حباب‌های حرارتی یا لوله‌های موئینی استفاده نمی‌شود. رایج‌ترین وسایل اندازه‌گیری دما در صنعت فرایندهای شیمیایی دماسنج ترموالکتریک است.

– دماسنج‌های ترموالکتریک

دماسنج‌های ترموالکتریک بر دو نوع اند: دماسنج‌های مقاومتی (RTD)[1] و ترموکوپل‌ها. برای نصب این نوع دماسنج‌ها در درون مخازن و یا لوله‌ها می‌بایست از ترموول[2] (پوسته حرارتی) استفاده شود. RTD دماسنج ترموالکتریکی است که از سیم های کوچک نیکل یا پلاتین که با یک لوله فلزی ضخیم روکش شده‌اند تشکیل می‌شود (شکل ۱۱-۲). مقاومت الکتریکی در سیم ها تحت‌تأثیر تغییرات دما قرار دارد. تغییرات دما در یک RTD توسط یک مدار الکترونیکی حس شده، به نمایشگر دما فرستاده می‌شوند.

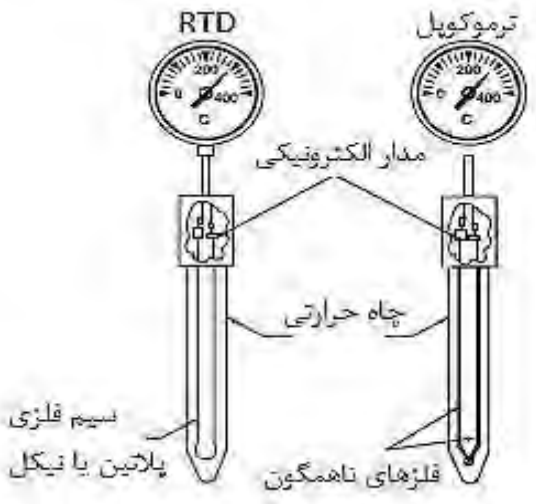
ترموکوپل‌ها از دو نوع فلز مختلف تشکیل می‌شوند (شکل ۱۱-۲ را ببینید). ترموکوپل برای تبدیل حرارت به الکتریسیته طراحی می‌شود. وقتی به انتهای مشترک دو فلز حرارت داده شود، جریان ضعیفی تولید می‌شود. در دمای بالاتر جریان بیشتری تولید می‌شود. جریان الکتریکی به‌راحتی توسط مدار الکترونیکی متصل به آن شناسایی می‌شود و به مقیاس دمایی متناظر تبدیل می‌شود. ترموکوپل ها انواع مختلفی دارند: ترموکوپل های نوع J و نوع K رایج تر هستند. برای اندازه‌گیری دماهای بالا نوع K ترجیح داده می‌شود.

---

[1] Resistive Temperature Detector
[2] Thermowell

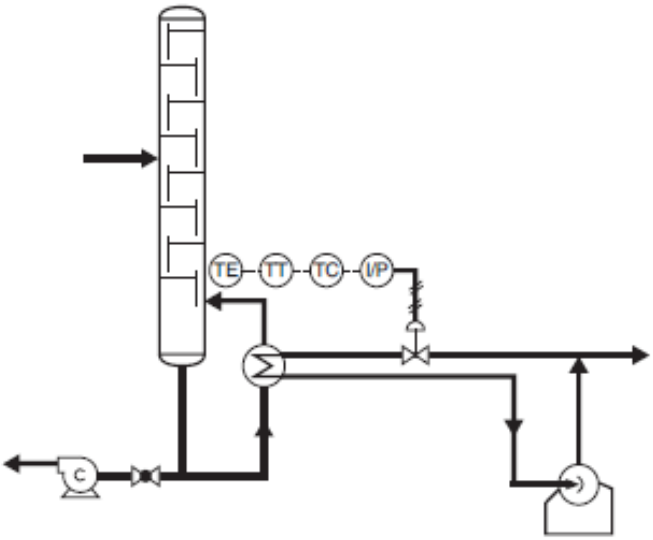
– **حلقه کنترل دما**

شکل ۱۱-۳ شمای ساده‌ای از یک حلقه کنترلی دماست. در هیترهای شعله ور بزرگ، اندازه‌گیری دما درون کوره یا از بار خارج شده صورت می‌گیرد. حسگرهای اصلی موردا ستفاده برای تشخیص دما ترموکوپل یا RTD ها هستند که عمدتاً به آن‌ها عناصر (اجزای) دمایی گفته می شود. عناصر دمایی به فرستنده ها (وسیله‌ای که متغیر فرایند را حس می‌کند و سیگنالی تولید می‌کند که به یک کنترل‌کننده[1]، رکوردر[2] و یا نمایشگر ارسال می‌کند) متصل هستند. یک جریان ۴ تا ۲۰ میلی آمپری به کنترل‌کنندهی فرستاده می‌شود که این مقدار را با نقطه مرجع مقایسه می‌کند (مقدار مطلوب متغیر فرایند). کنترل‌کننده‌ها برای انجام تغییر برای بازگشت به نقطه مرجع، در صورت وجود اختلاف، طراحی می‌شوند. کنترل‌کننده‌ها ممکن است در نزدیکی تجهیزات و یا دور از آن‌ها مستقر باشند. کنترل‌کننده برای رفع اختلاف، یک سیگنال الکتریکی به مبدل ارسال می‌کند که عموماً در نزدیکی شیر قرار دارد. این مبدل سیگنال الکتریکی را به یک سیگنال بادی (فشاری) ۳ تا ۱۵ psi تبدیل می‌کند. شیر کنترل در شکل ۱۱-۳ برحسب این سیگنال باز و بسته می‌شود. کاهش یا افزایش جریان سوخت به مشعل‌ها دما را کنترل می‌کند.



شکل ۱۱-۲: یک RTD و یک ترموکوپل

[1] Controller
[2] Recorder



شکل ۱۱-۳: حلقه کنترلی دما

۱۱-۱-۲- اندازه‌گیری فشار

فشار متغیر مهمی است که در محیط‌های صنعتی نظارت و کنترل آن حائز اهمیت بسیاری است. فشار را اغلب به صورت نیرو بر واحد سطح تعریف می‌کنند که به معنای مقدار نیروی اعمال شده توسط سیال بر روی تجهیزات دربر دارندهٔ آن است. در علم فیزیک، عبارت فشار معمولاً در مورد یک سیال به کار می‌رود که می‌تواند هم معنای گاز و هم مایع را داشته باشد. فشار در سیستم انگلیسی برحسب پاوند بر اینچ مربع (psi)، در سیستم متریک برحسب کیلوگرم بر متر مربع (kg/m^2) و در سیستم واحدهای بین المللی (SI) برحسب نیوتن (N) بر متر مربع، یا پاسکال (Pa) اندازه‌گیری می‌شود. (۱ نیوتن برابر است با ۱ کیلوگرم در متر بر مجذور ثانیه ($kg.m/s^2$)).

رایج‌ترین نوع فشار، دو نوع اتمسفری و هیدروستاتیکی است. فشار اتمسفریک نیروی اعمال شده به زمین از طریق وزن گازهایی است که آن را احاطه کرده‌اند. در سطح دریا فشار اتمسفریک ۱۴/۷ psi (۱/۰۱۳ پاسکال) است. این فشار با ارتفاع به دلیل کاهش ارتفاع (و در نتیجه کاهش وزن) گاز، کاهش می‌یابد. فشار هیدراستاتیکی فشار اعمال شده به مایع درون ظرف است و با عمق مایع در ارتباط است. حتی برای یک شناگر مبتدی، اختلاف فشار در سطح و در کف استخر ملموس است. همین اختلاف فشار است که در هنگام شنا در عمق ۱۰ فوتی استخر (هیدروستاتیک) و یا رفتن بر فراز یک کوه بلند در کلرادو (اتمسفریک) باعث "کیپ" شدن گوش شما می‌شود.

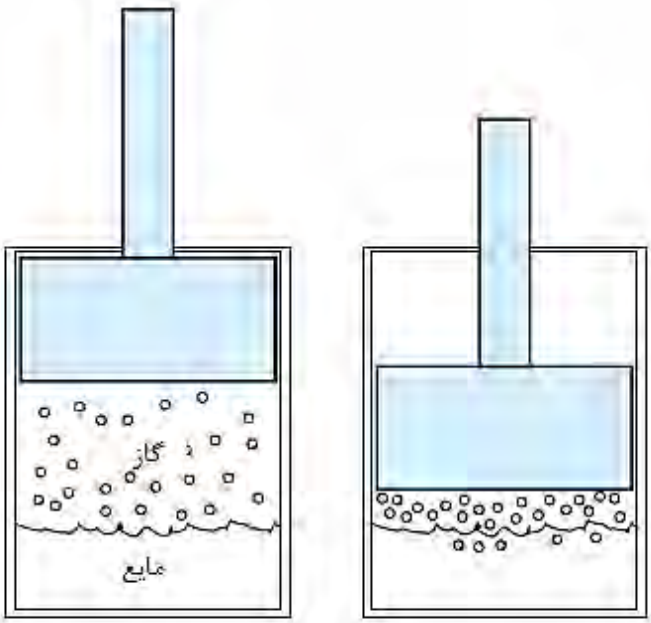
بلیز پاسکال[1]، یک دانشمند فرانسوی در دهۀ ۱۹۵۰ کشف نمود که فشار درون سیالات در همۀ جهات و فواصل اعمال می‌شود. با این کشف، پاسکال چیزی که امروز به نام قانون پاسکال شناخته می‌شود را به‌صورت قاعده ای درآورد که بیان می‌کند که در یک مایع ثابت در ظرف در بسته، تغییر فشـــار در یک قســـمت، بدون اتلاف و کاهش به همۀ بخش‌های ســـیال و همچنین ظرف حاوی آن منتقل می شود. سیالات به این دلیل اینگونه رفتار می‌کنند که مولکول‌های آن‌ها آزادانه در حرکت هســـتند. فاصـــلۀ میان مولکول‌ها بســـته به حالت ماده دارد که گاز، مایع یا جامد باشـــد. فاصـــلۀ مولکول‌های یک گاز بسیار بیش از فاصلۀ آن‌ها در حالت جامد است.

همچنین در ۱۶۵۰ یک دانشـــمند ایرلندی به نام رابرت بویل[2] قوانینی را توســـعه داد که روابط میان فشار و حجم گاز را بیان می‌کنند. قانون بویل بیان می‌کند که در دمای ثابت، فشار گاز رابطۀ معکوس با حجم آن دارد (شـــکل ۱۱-۴). هرچه فشـــار گاز بالاتر باشـــد، مولکول‌های گاز به یکدیگر نزدیک تر هســـتند و حجم کمتری را اشـــغال می‌کنند. در شـــرایط معمولی، وقتی فشـــار گاز دو برابر شـــود، حجم آن نصـــف می‌شـــود. مایعات و جامدات نیز به افزایش فشـــار واکنش نشـــان می‌دهند، اما بسیار کمتر از گازها. عموماً مایعات و جامدات را تراکم ناپذیر در نظر می‌گیرند.

مقصود قانون بویل این است که فشار می‌تواند بر دما اثرگذار باشد. همچنین فشار بر سطح و دبی جریان مؤثر است. فشار، نقطه‌جوش مواد شیمیایی، سرعت واکنش‌های آن‌ها و سرعت حرکت سیال درون لوله‌ها را تحت‌تأثیر قرار می‌دهد. این تغییرات می‌تواند بر کیفیت محصول اثرگذار باشد، بنابراین ابزارهای دقیق زیادی، یا عناصر مرتبط با فشار به‌منظور نظارت و کنترل بر فشار طراحی و اختراع شدند. شکل ۱۱-۵ برخی اجزای مرتبط با فشار را نشان می‌دهد.

---

[1] Blaise Pascal
[2] Robert Boyle



شکل ۱۱-۴: آثار فشار

شکل ۱۱-۵: اجزای فشاری

- **درجه‌های فشار**

در محیط های تولیدی سه مقیاس رایج برای بیان فشار وجود دارد: نسبی، مطلق و خلأ. پرکاربردترین مقیاس موردا ستفاده فشار نسبی است که در آن مقادیر برحسب پاوند بر اینچ مربع نسبی (psig) بیان می‌شود. مقیاس نسبی با فشار اتمسفری (۱۴/۷ psi) به‌عنوان صفر آغاز می‌شود و بالا می‌رود. صفر، مقیاس فشار مطلق با خلأ کامل را نشان می‌دهد. مقادیر برحسب پاوند بر اینچ مربع مطلق (psia) بیان می شود. مقیاس مطلق، به خودی خود دربردارندهٔ فشار اتمسفری است. برای تبدیل مقیاس نسبی به مطلق، ۱۴/۷ پاوند به مقدار psig اضافه می کنیم. برای تبدیل مطلق به نسبی مقدار ۱۴/۷ پاوند از مقدار psia کسر می‌شود.

هشدار: در هنگام باز نمودن شیر درجه فشار مستقیماً در مقابل آن نایستید. زمانی که شیر باز شد، برای خواندن درجه، دقیقاً در جلو درجه قرار گیرید. اگر موقعیت خود را به سمت چپ یا راست درجه تغییر دهید، اختلاف دید اتفاق می‌افتد. اختلاف دید یک خطای دید است که خوانش درجه را به سمت راست یا چپ منحرف می‌کند. فضای موجود میان عقربه و درجه مشکل اختلاف دید را پدید می‌آورد.

یک درجه فشار psig را نمی‌توان در سیستم‌های فرایندهایی که تحت خلأ کار می‌کنند مورداستفاده قرار داد. فشارهای منفی باعث ایجاد اختلافاتی فراتر از محدودیت‌های طراحی در اجزای اصلی می شوند. اگر یک درجهٔ psig تصادفاً با فشار خلأ مواجه شود، مقیاس خوانده شده با خطا مواجه می شود. درجه‌های خلأ این مشکل را حل می‌کنند. آن‌ها برای کار با فشارهای پایین‌تر از فشار اتمسفر طراحی می شوند. درجه‌های خلأ فشار را برحسب اینچ جیوه (Hg) بیان می‌کنند. اساساً به هر فشاری پایین‌تر از فشار اتمسفر خلأ گفته می‌شود. درجه‌های مرکب می‌توانند هم‌زمان فشارهای نسبی و خلأ را نشان دهند.

- **مانومتر**[1]

مانومتر وسیله‌ای است که برای اندازه‌گیری فشار یا خلأ موردا ستفاده قرار می‌گیرد. این وسیله بر اساس اصل فشار هیدروا ستاتیکی که ستون آبی با یک حجم معین همیشه یک نیروی خاص را اعمال خواهد کرد، کار می‌کند. ارتفاع سطح مایع آب فشار را نشان می‌دهد.

مانومتر سه نوع اصلی دارد: مانومتر لوله U شکل فشار را برحسب اینچ آب بیان می‌کند. اینچ های سمت لولهٔ ورودی با اینچ های بیش تر از عدد صفر در قسمت لوله خروجی جمع می‌شوند. در

[1] Manometer

یک مانومتر معمولی، اعداد را مستقیم و از روبه‌رو بخوانید. درجات مانومتر مایل نیز از روبه‌رو خوانده می‌شود ولی مقیاس گسترده‌تر در نظر گرفته می‌شود تا تغییرات کوچک به‌راحتی خوانده شوند.

- **اجزای اصلی فشار**

اجزای اصلی فشار قطعات مخصوص ابزارهای فشار هستند که برای شناسایی تغییرات در فشار و تبدیل آن به حرکت مکانیکی طراحی شده‌اند. اجزای فشاری به رابط های مکانیکی و درجه نماها متصل هستند. هرچه فشار بیشتر باشد، حرکت رابط مکانیکی نیز بیشتر خواهد بود.

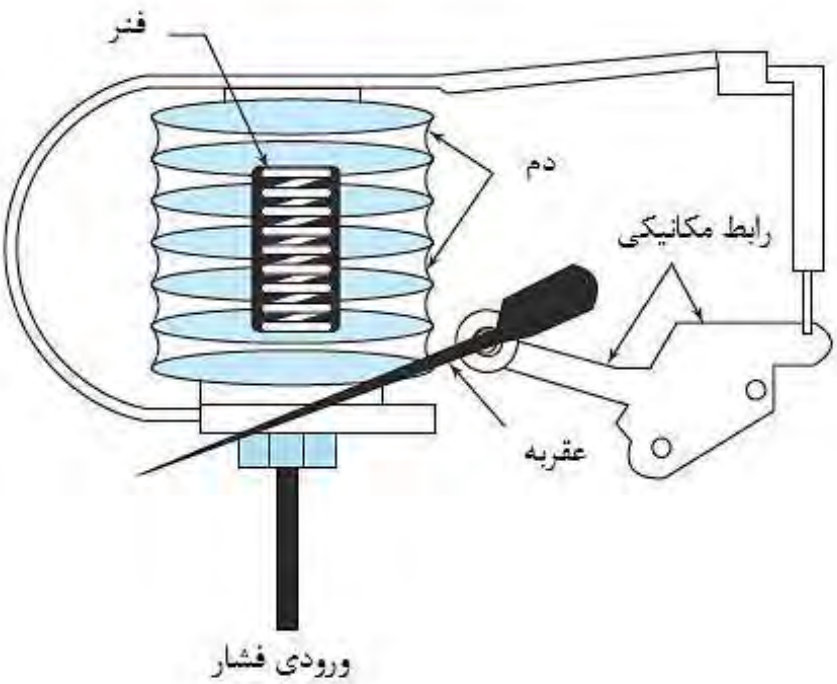
- **فشار دم**

عنصر فشاری دم از یک دم آکاردئونی، یک فنر که در مقابل انبساط دم مقاومت می‌کند، یک ورودی فشار، یک رابط مکانیکی و یک عقربه (شکل ۱۱-۶) تشکیل می‌شود. این وسیله قادر به اندازه‌گیری فشارهای متنوع است. در طول عملیات، یک عنصر فشاری دم، جریان را به درون دم راه می‌دهد. با انبساط دم، تنش روی فنر افزایش می‌یابد و رابط مکانیکی حرکت می‌کند. این حرکت عقربهٔ درجه را جابه‌جا می‌کند. اگر فشار کاهش یابد، فنر، دم را به‌جای اول آن باز می‌گرداند.

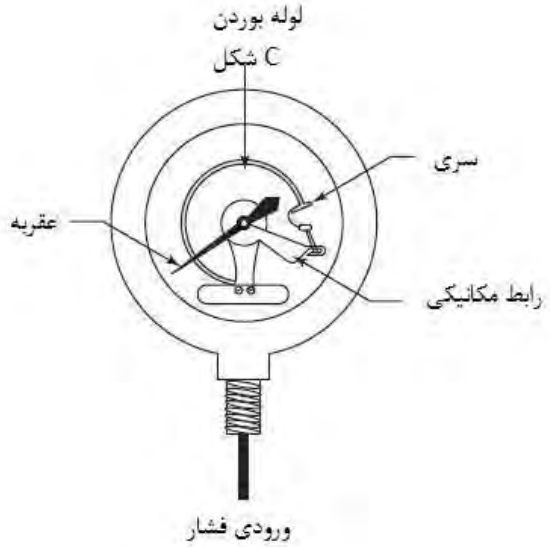
- **لوله‌های بوردن**

رایج‌ترین عنصر فشاری لوله بوردن است. بوردن در شکل‌ها و طرح های متنوعی وجود دارد. رایج‌ترین آن‌ها بوردن C شکل، مارپیچی و حلزونی هستند.

لوله‌های بوردن C شکل، نام خود را از عنصر فشاری توخالی C شکل خود می‌گیرند (شکل ۱۱-۷). بوردن های C شکل از یک لوله توخالی C شکل، یک ورودی فشار متصل به انتهای لوله، یک رابط مکانیکی متصل به بالای لوله بوردن و یک عقربه تشکیل می‌شود. حین عملیات، لوله در پاسخ به تغییرات فشار باز و بسته می‌شود. گاهی به این فرایند تغییر شکل الاستیک (ارتجاعی) گفته می شود. این انبساط رابط مکانیکی و عقربه را حرکت می‌دهد. بوردن‌ها محدودهٔ وسیعی از فشارها، ازجمله خلأ را اندازه‌گیری می‌کنند.



شکل ۱۱-۶: عنصر فشاری دم



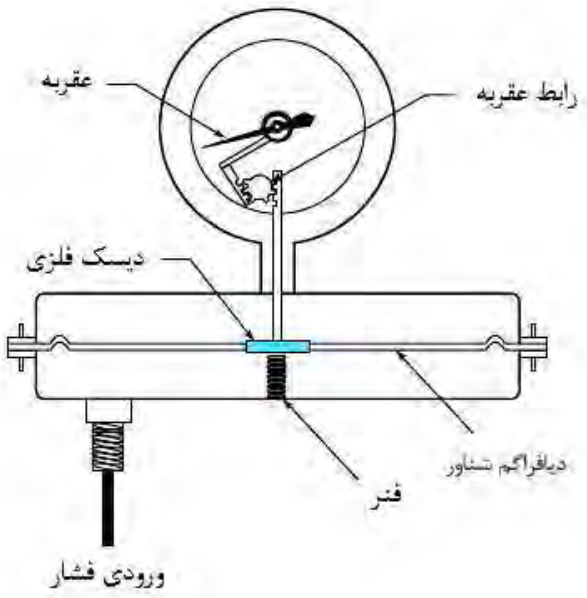
شکل ۱۱-۷: عناصر فشاری لوله بوردن

بوردن‌های مارپیچی و حلزونی نیز مانند نوع C شکل عمل می‌کنند. تفاوت اصلی آن‌ها در شکل واقعی عنصر فشاری است. در یک سیستم کنترل خودکار، لوله بوردن حلزونی می‌تواند به فرستنده متصل شود. وقتی لوله بوردن حلزونی به تغییرات فشار واکنش نشان می‌دهد، فرستنده، سیگنالی را به کنترل‌کننده ارسال می‌کند که آن هم سیگنالی را به سوپاپ (شیر) کنترل می‌فرستد.

- **عنصر فشاری کپسول دیافراگمی**

سومین نوع عنصر فشاری دیافراگم است. دیافراگم ها دارای دو نوع اصلی هستند: عنصر فشاری کپسول دیافراگمی و عنصر فشاری دیافراگم شناور. کپسول فلزی دیافراگم شامل یک ظرف فلزی پوشیده با یک ورق فلزی انعطاف‌پذیر، یک خط ورودی فشار به ظرف، یک رابط مکانیکی و یک عقربه تشکیل می شود. عناصر فشاری کپسول دیافراگمی برای اندازه‌گیری تغییرات اندک فشار طراحی شده‌اند. در طول عملیات، قسمت گنبدی ظرف به بالا و پایین خم می شود. به دلیل این‌که این حرکت به‌طور متناسب به عقربه منتقل می‌شود، حرکت کوچکی در گنبد می‌تواند معادل جابه‌جایی زیاد عقربه باشد.

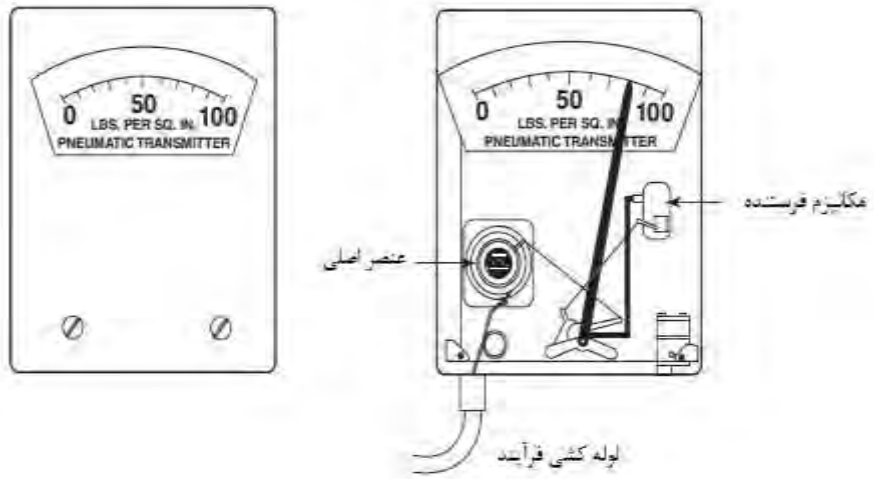
اجزای کلیدی عنصر فشاری دیافراگم شناور (شکل ۱۱-۸) عبارت است از یک دیافراگم انعطاف‌پذیر متصل به فنر، یک ورودی فشار، یک رابط مکانیکی و یک عقربه. عناصر فشاری از نوع دیافراگم نرم برای کار در فشارهای بسیار پایین، ۰ تا psi ۰/۵ طراحی شده‌اند.



شکل ۱۱-۸: عناصر فشاری دیافراگم شناور

- **فرستنده فشار**

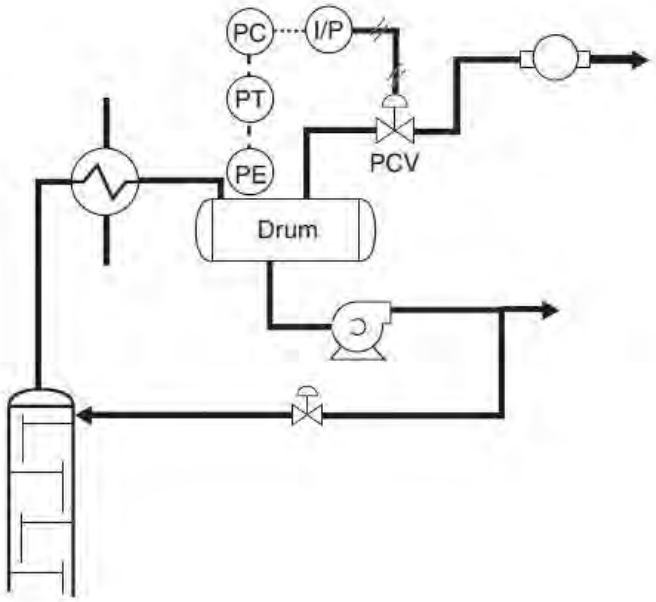
فرستنده فشار (شکل ۱۱-۹) از یک عنصر فشاری برای حس کردن فشار استفاده می‌کند و سپس سیگنالی را به کنترل‌کننده یا رکوردر می‌فرستد. فرستنده‌های فشار از تمامی عناصر فشاری اصلی که در مورد آن‌ها بحث شد استفاده می‌کند. حرکت رابط به فرستنده اجازه می‌دهد سیگنالی را که نشان دهندهٔ فشار است به کنترل‌کننده یا رکوردر ارسال کند. کنترل‌کننده برحسب سیگنالی که از فرستنده دریافت می‌کند شیرهای کنترلی را باز یا بسته می‌کند.



شکل ۱۱-۹: فرستنده فشاری

- **حلقهٔ کنترل فشار**

طراحی حلقهٔ کنترل فشار دارای اجزایی شبیه به حلقه‌های کنترلی دما، سطح و جریان است. تنها قسمت متفاوت در آن‌ها عناصر اصلی و حسگرهاست. حلقه‌های کنترلی فشار از وسیله‌هایی برای تشخیص تغییرات فشار واکنش به آن‌ها استفاده می‌کند. این عناصر اصلی معمولاً وسیله‌های انبساطی است. شکل ۱۱-۱۰ شامل یک فرستندهٔ فشاری، کنترل‌کننده، مبدل و شیر کنترل است.



شکل ۱۱-۱۰: حلقهٔ کنترل فشار

۱۱-۱-۳- اندازه‌گیری جریان سیال

جریان‌ها از درون مجموعه‌ای از لوله‌ها، شـــیرها، پمپ‌ها و مخازن عبور می‌کنند. آگاهی از دبی یک جریان فرایندی خاص و کنترل نمودن آن برای عملیات واحد امری حیاتی اســـت. واکنش‌های شیمیایی پیوسته برای اطمینان از این‌که تمامی مقادیر واکنش‌دهنده‌ها (مواد خام) به نسبت های صـحیحی برای حصـول فرآورده با هم ترکیب شـده‌اند، نیازمند اندازه‌گیری‌های دقیقی اسـت. دبی خوراک و محصـولات به دلایل اقتصـادی باید دقیق کنترل شـوند. اندازه‌گیری جریان سـیالات را می‌توان با هر نوع جریان‌ســـنجی انجام داد، اما کنترل جریان اغلب نیازمند یک فرســـتنده جریانی است.

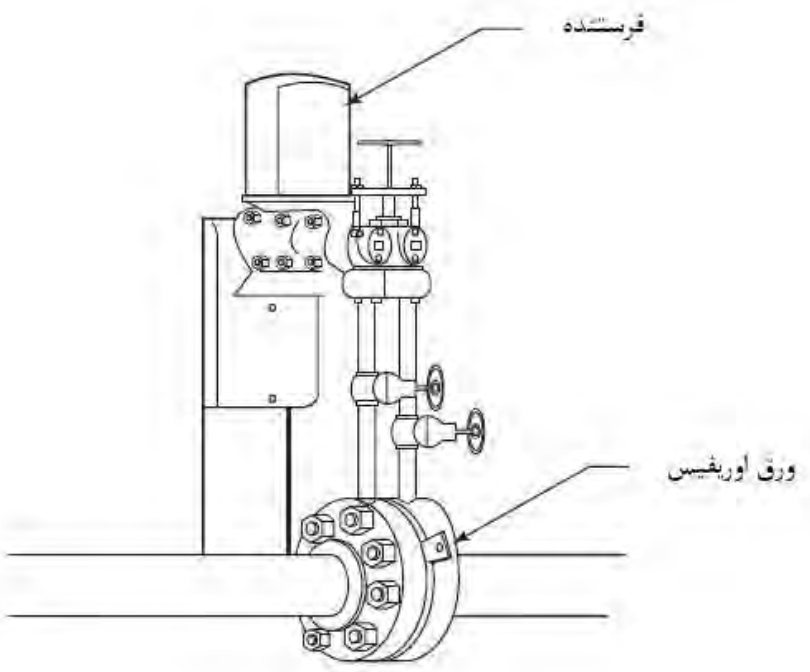
- **فرستنده جریانی**

جریان سنج‌های خاص از قبیل اوریفیس[1] (شکل ۱۱-۱۱) ونتوریمتر[2] ها برای اندازه‌گیری جریان از اختلاف فشار استفاده می‌کنند. زمانی که وسایل محدود کنندهٔ جریانی مانند صفحه‌های اوریفیس،

[1] Orifice
[2] Venturi meter

لوله‌های ونتوری و یا نازل‌های جریان در مسیر قرار گیرند، جریان سیال درون یک لوله می‌تواند با اختلاف فشار درون لوله در ارتباط باشد. وقتی جریان سیال درون لوله با مانع مواجه شود، در ابتدای مانع به وجود آمده، فشار افزایش می‌یابد. سرعت سیال در طول این مانع به وجود آمده افزایش می‌یابد. فشار در انتهای مانع کاهش می‌یابد.

یک سلول اختلاف فشار (DP)[1] برای اندازهگیری اختلاف فشار ورودی و خروجی ابزار محدودکننده جریان مورداستفاده قرا می‌گیرد. این سلول اختلاف فشار عموماً متصل به فرستنده‌ای است که سیگنال را به کنترل‌کننده ارسال می‌کند. کنترل‌کننده‌ها سیگنال ها را به سوپاپ (شیر)های کنترل می‌فرستد تا برحسب مقایسهٔ سیگنال آن ناحیه با میزان دبی جریانی که تنظیم شده، باز یا بسته شوند.



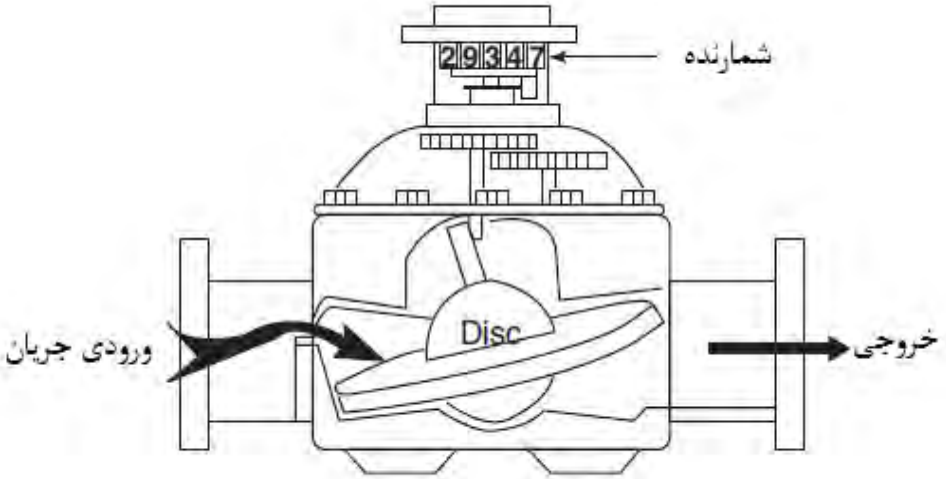
شکل ۱۱-۱۱: فرستنده جریانی و اجزای اصلی

[1] Differential Pressure

– ابزارهای سنجش جابه‌جایی مثبت

دو نوع ابزار سنجش جابه‌جایی مثبت وجود دارد: دیسک گردان و چرخ دنده‌های بیضوی. نوع دیسک گردان متشکل است از یک شمارنده، یک دیسک گردان (شبیه به فرفرهٔ چرخان)، ورودی جریان و خروجی جریان (شکل ۱۱-۱۲). جریان سنج دیسک گردان جریان سیال را مستقیماً با شمارش تعداد دورهای دیسک ناشی از عبور سیال اندازه می‌گیرد.

جریان‌سنج دنده بیضوی ساختار داخلی شبیه به یک لوب پمپ[1] (پمپ گوشواره‌ای یا دنده قلوه ای نیز گفته می‌شود) دارد (شکل ۱۱-۱۳). اجزای لوبی شکل با عبور سیال از درون محفظهٔ داخلی به گردش درمی‌آیند. از چرخش دنده‌ها برای محاسبهٔ جریان کل استفاده می‌شود.



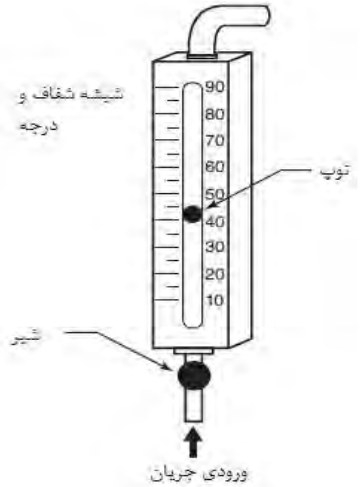
شکل ۱۱-۱۲: جریان‌سنج دیسک گردان

[1] Lobe pump

شکل ۱۱-۱۳: جریان‌سنج دنده بیضوی

– روتامتر[1]

نوع دیگر جریان‌سنج‌ها، روتامتر است. روتامتر از یک لولهٔ باریک، درجه، شناور یا توپ ورودی و خروجی تشکیل می شود (شکل ۱۱-۱۴). در طول عملیات، جریان از پایین وارد روتامتر می شود و توپ را به بالا می‌راند. توپ نقش یک مانع دائمی را برای جریان ایفا می‌کند و با میزان بالا رفتن درون لولهٔ درجه‌بندی شده، دبی واکنش را نشان می‌دهد. هرچه دبی جریان بیشتر باشد، توپ درون لوله بیشتر بالا می‌رود. سیال از اطراف توپ عبور می‌کند و تا بالای روتامتر می‌رود.

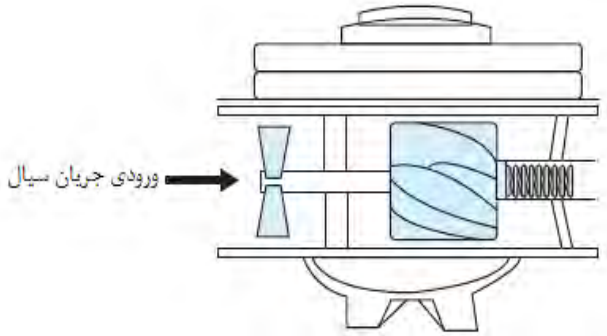


شکل ۱۱-۱۴: روتامتر

[1] Rotameter

– جریان‌سنج توربینی

جریان‌سنج‌های توربینی معمولاً از یک واحد لوله همراه با روتور[1] نصب‌شده در درون لوله و یک حسگر در خارج لوله تشکیل شده است. با ورود سیال به جریان‌سنج توربینی، پره‌های توربین شروع به چرخیدن می‌کند (شکل ۱۱-۱۵). سرعت این چرخش با سرعت سیال تناسب دارد. توجه به این نکته اهمیت دارد که سرعت سیال و دبی سیال با هم متفاوت هستند. سرعت سیال سرعت واقعی جریان است و برحسب واحد طول بر زمان (مثلاً گالن بر دقیقه) اندازه‌گیری می‌شود. جریان‌سنج‌های توربینی در محدودهٔ وسیعی از دبی‌ها دقت بالایی دارند.



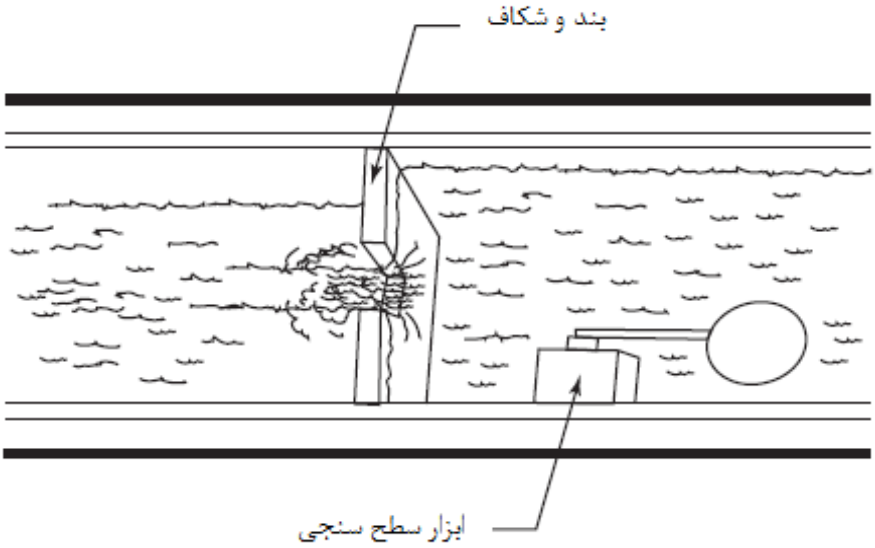
شکل ۱۱-۱۵: جریان‌سنج توربینی

– جریان‌سنج‌های بند و مجرا

جریان‌سنج و سطح سنج های بند و مجرا برای اندازه‌گیری جریان در کانال‌های باز مورداستفاده قرار می‌گیرند. زمانی که یک بند (سد) در مسیر جریان فرایند قرار می‌گیرد، محدودیتی ایجاد می‌کند که باعث بالا رفتن سطح می شود. این سطح در محاسبات تعیین دبی جریان به کار می‌رود. ارتباط مستقیمی میان سطح مایع و دبی جریان وجود دارد؛ هرچه سطح پایین‌تر باشد جریان کندتر است. مجراها تحت شرایط مشابه مانند بندها عمل می‌کنند با این تفاوت که آن‌ها برای دبی‌های بالاتر به کار می‌روند. مجرا عبارت است از گذر باریک و شیبداری که حالت قیفی به سیال می‌دهد. در ورودی مجرا سطح آب بالا می‌رود و توسط ابزار سطح سنجی اندازه‌گیری می شود که سطح را به سیگنال جریان تبدیل می‌کند.

---

[1] Rotor



شکل ۱۱-۱۶: بند و مجرا

- **جریان‌سنج‌های مغناطیسی**

جریان سنج‌های مغناطیسی سرعت سیال را بر اساس ولتاژ ایجاد شده توسط سیال جاری در یک میدان مغناطیسی اندازه می‌گیرند. این وسیله برای سیال های خورنده و سمی بسیار کارآمد است زیرا جریان سیال با لوازم اندازه‌گیری تماس پیدا نمی‌کند.

- **جریان‌سنج‌های فراصوت**

جریان سنج‌های فراصوت، دبی جریان را بر مبنای اثر داپلر[1] اندازه‌گیری می‌کنند. یک موج صوتی با فرکانس مشخص به سیال فرستاده می شود. فرکانس موج منعکس شده از سیال برحسب سرعت سیال متغیر است. جریان سنج‌های فراصوت برای سیالات تمیز مناسب نیستند، زیرا نیاز به وجود ذراتی برای بازتاب دادن موج صوتی دارند.

[1] Doppler

- **جریان‌سنج های گردابی**

جریان‌سنج های گردابی با ایجاد یک گرداب درون جریان سیال و سنجیدن آن، جریان سیال را اندازه‌گیری می‌کند. گرداب ها به وا سطهٔ شیء ضخیم به نام ا سترات بار[1] در م سیر سیال ساخته می‌شوند.

- **جریان‌سنج‌های حرارتی**

جریان‌سنج‌های حرارتی جریان را بر اساس تغییرات مقاومت بر اثر تغییر دما اندازه‌گیری می‌کند. برای اندازه‌گیری تغییرات مقاومت از ترمیستر[2] (دما یاب)ها استفاده می‌شود. جریان‌سنج‌های حرارتی نسبت به هدایت حرارتی سیال حساس هستند و معمولاً برای یک سیال خاص طراحی می‌شود.

- **جریان‌سنج کوریولیس[3]**

جریان سنج کوریولیس یک و سیلهٔ سنجش دبی جرمی ا ست که از یک لوله‌ی U شکل لرزان برای اندازه‌گیری تغییرات مومنتوم[4] (اندازه حرکت) استفاده می‌کند (دبی جرمی). این وسیله برای اندازه‌گیری دقیق دبی جرمی بسیار مناسب است.

- **حلقه کنترل جریان**

حلقه‌های کنترلی جریان (شکل ۱۱-۱۷) معمولاً به‌گونه‌ای طراحی می‌شوند که ابتدا اندازه‌گیری دبی جریان انجام می‌شود و سپس جریان در ادامهٔ راه قطع یا کنترل می‌شود. حلقه‌های کنترل جریان از عنصر اولیه که ممکن است صفحه اوریفیس، لوله ونتوری، نازل، دیسک گردان، دنده بیضوی یا جریان‌سنج توربینی باشد شروع می‌شوند. رایج‌ترین عنصر اصلی، صفحه اوریفیس است. صفحه اوریفیس اختلاف فشاری را تولید می‌کند که می‌توان آن را با یک فرستنده DP اندازه‌گیری کرد. معمولاً عناصر اصلی به همراه یک فرستنده به کار می‌روند. هرچند در ظاهر عنصر اصلی مانعی بر سر راه جریان است، اما این‌گونه نیست.

---

[1] Strut Bar
[2] Thermister
[3] Coriolis
[4] Momentum

افزایش سرعت در طول صفحه اوریفیس مانع به وجود آمده را برطرف می‌کند. سیگنال ارسالی به کنترل‌کنندهی فرستاده می‌شود که سیگنال ورودی را با مقدار تنظیم شده مقایسه کند. در صورت نیاز به تغییر، کنترل‌کننده، سیگنالی را به بخش نهایی کنترل می‌فرستد.

۱۱-۱-۴- اندازه‌گیری سطح

متخصصان فرایند از نقاط مرجع ثابت که معمولاً در تپ[1]های مخازن هستند، به‌عنوان مبنای محاسبات سطح استفاده می‌کند. پایین‌ترین تپ نشان دهندهٔ سطح صفر است و بالاترین تپ نشان دهندهٔ سطح ۱۰۰ درصد است. خواندن صحیح سطح با کمک کنترل، فرایندهای مدرن را ممکن و مقرون به صرفه ساخته است.

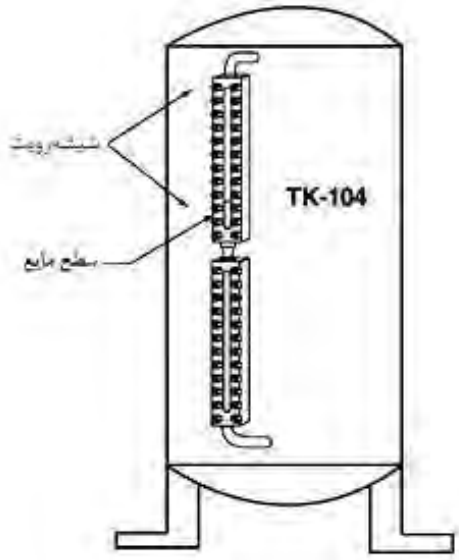
اندازه‌گیری سطح ممکن است پیوسته باشد (سطوح به‌طور مداوم تحت نظر باشند) و یا نقطه‌ای باشد. در اندازه‌گیری‌های نقطه‌ای، مقادیر از روی یک نقطهٔ منفرد و یا چند نقطه در یک مخزن خوانده می‌شود. اندازه‌گیری های نقطه‌ای برای کم و زیاد کردن تجهیزات (شیرها، پمپ ها، کمپر سورها، موتورها و هشدار دهنده‌ها) و همچنین به‌منظور شناسایی سطوح بالا و پایین فرایند صورت می‌گیرند. وسایل اندازه‌گیری سطح را همچنین می‌توان به مستقیم و غیرمستقیم تقسیم‌بندی نمود.

- **ابزارهای اندازه‌گیری مستقیم سطح**

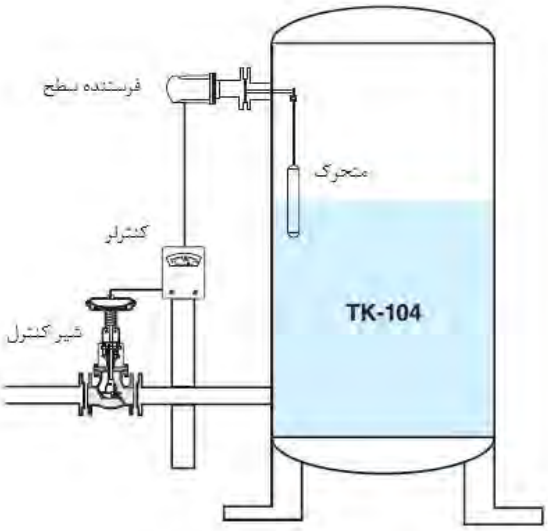
ابزار مستقیم در تماس فیزیکی با سطح سیال است. تجهیزات اندازه‌گیری مستقیم سطح می‌تواند سطح محصول را با توجه به یک نقطه مرجع اندازه‌گیری کند. ابزارهای مستقیم عبارت‌اند از شیشه‌های رویت (سایت گلاس[2])، شناورها، متحرک ها و کاوشگرها.

---

[1] Tap
[2] Sight Glasses



شکل ۱۱-۱۸: شیشه رویت



شکل ۱۱-۱۹: کنترل سطح به کمک متحرک

شیشه رویت یک لوله شفاف است که درجه‌بندی شده و در کنار یک محفظه (تانک) نصب می‌شود (شکل ۱۱-۱۸). در یک وسیلهٔ شناور و نوار، شناور در سطح مایع می‌ایستد و نوار برحسب سطح بالا و پایین می‌رود. متحرک‌ها، وسایل بویانسی (شناوری) یا وزنه‌هایی هستند که می‌توانند

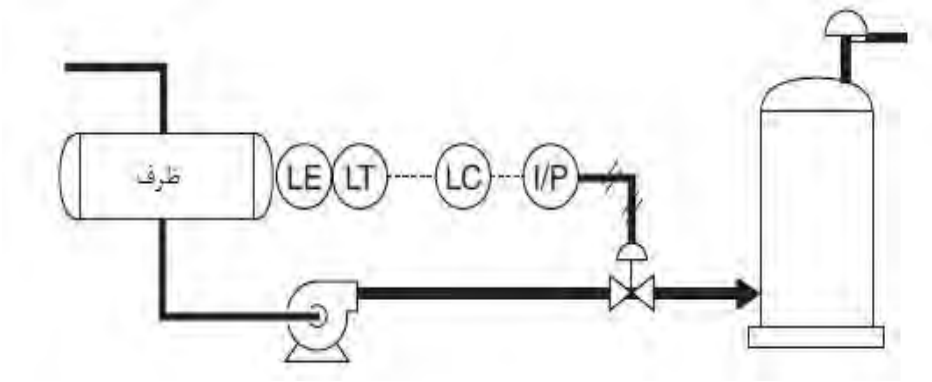
برای کنترل جریان به یک فرستنده متصل شوند (شکل ۱۱-۱۹). کاوشگرهای هدایتی، هشدارهای سطوح پایین و بالا هستند. آن‌ها از الکتریسیته برای تکمیل مدار قسمت پایینی استفاده می‌کنند. اگر مایع به سطح قسمت بالایی برسد، مدار قطع می‌شود. این نوع سیستم که برای نگه‌داشتن سطح بین کاوشگرهای هدایتی بالا و پایین طراحی شده‌اند، معمولاً برای مواد غیر قابل اشتعال به کار می‌رود. کاوشگرهای ظرفیتی، وسایل تابشی یا بارسنج هستند.

- **اندازه‌گیری غیرمستقیم سطح**

ابزارهای غیرمستقیم با تغییر فشار که متناسب با تغییرات سطح تغییر می‌کند، کار می‌کنند. سلول های DP تغییرات فشار را به شاخص سطح تبدیل می‌کنند. آن‌ها اختلاف فشار هیدروا ستاتیکی میان دو نقطه در یک مخزن تحت‌فشار را اندازه‌گیری می‌کنند. درجه نمای سطح پیوسته، یک وسیلهٔ حساس به فشار است که فشار هیدرواستاتیکی را در مخازن باز اندازه‌گیری می‌کند و آن را به شاخص سطح تبدیل می‌کند. سیستم حباب ساز یک وسیلهٔ اندازه‌گیری سطح است که هوا را به درون لولهٔ جاگذاری شده در مایع می‌فرستد. مقاومت مایع به جریان بر روی یک درجهٔ حساس به فشار که فشار را به سطح تبدیل می‌کند، نشان داده می‌شود. سیستم‌های حباب ساز برای اندازه‌گیری سطح در مخزن باز به کار می‌روند.

- **حلقه کنترل سطح**

یک سیستم کنترل سطح نوعی از یک وسیلهٔ عنصر اصلی حس کننده (مستقیم یا غیرمستقیم)، فرستنده سطح، کنترل‌کننده، مبدل و شیر کنترل استفاده می‌کند. حلقه‌های کنترلی سطح از شناورها، کاوشگرها، فرستنده های اختلاف فشار استفاده می‌کند. شکل ۱۱-۲۰ از یک سلول DP برای تعیین تغییرات سطح استفاده می‌کند. عنصر اصلی یا حسگر، همان‌طور که از نبود خط جداکننده میان LE و LT مشخص است، در درون فرستنده قرار می‌گیرد. این دوسیله با هم همکاری می‌کنند تا سیگنالی را مشخص کرده، آن را به یک کنترل‌کننده سطح ارسال کنند. یک مبدل وظیفهٔ تبدیل سیگنال و باز و بسته کردن شیر کنترل را بر عهده دارد.



شکل ۱۱-۲۰: حلقه کنترل سطح

- **اجزای اصلی یک حلقه کنترلی**

جزء کلیدی کنترل خودکار، حلقه کنترلی است که مجموعه‌ای ابزارها است که برای کنترل یک فرایند باهم کار می‌کنند. همان‌طور که مشاهده کردیم، این ابزارها معمولاً شامل یک فرستنده متصل به یک دستگاه حسگر یا عنصر اصلی، یک کنترل‌کننده، یک مبدل و یک شیر کنترل هستند. کارخانه‌های فرایند دربردارندهٔ تعداد زیادی حلقهٔ کنترلی است که به‌منظور حفظ فشار، دما، جریان، سطح و ترکیبات استفاده می‌شود.

اجزای اصلی حلقهٔ کنترلی عبارت‌اند از:

۱. وسیلهٔ اندازه‌گیری: عناصر اصلی و حسگرها (جدول ۱۱-۱).

۲. فرستنده: وسیله‌ای که برای تبدیل مقدار اندازه‌گیری شده به سیگنال طراحی شده است. این سیگنال به وسیلهٔ دیگری فرستاده می‌شود.

۳. کنترل‌کننده: وسیله‌ای طراحی شده به‌منظور مقایسهٔ سیگنال با یک مقدار تنظیم شده و ارسال سیگنال به جزء نهایی کنترل است.

۴. مبدل: وسیله‌ای است که برای تبدیل یک سیگنال هوایی به سیگنال الکتریکی به سیگنال بادی طراحی شده است. گاهی به آن I به P و یا تبدیل کننده گفته می‌شود.

۵. جزء نهایی کنترل: آن قسمت از حلقهٔ کنترلی (برای مثال شیر کنترل، تعدیل کننده و یا تنظیم کننده برای کنترل سرعت) که مسئول اعمال تغییر در فرایند است. جزء نهایی کنترل توسط یک کنترل‌کننده تنظیم می‌شود. شکل ۱۱-۲۱ مثالی از یک حلقهٔ کنترل آبشاری را نشان می‌دهد.

– **فرستنده‌ها**

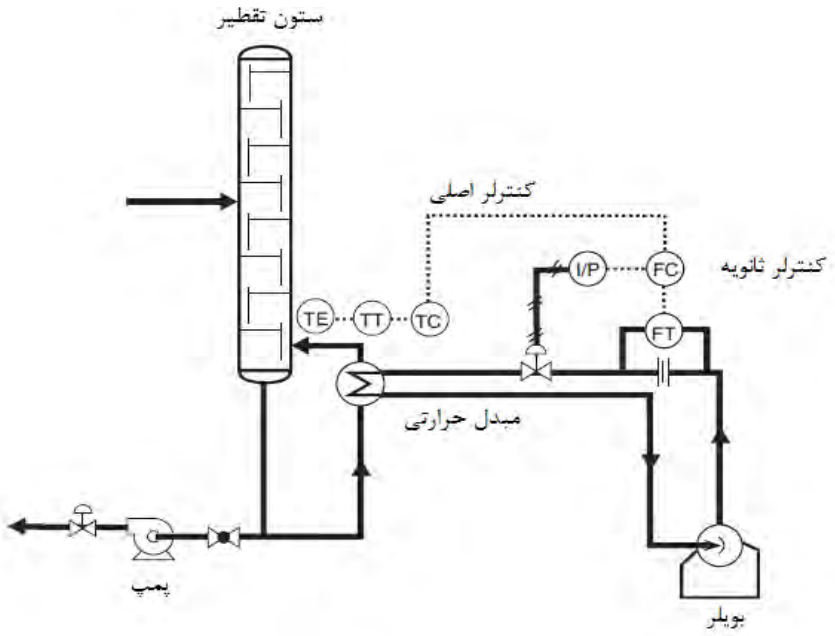
فر ستنده‌های سلول DP در دو طرح ا صلی وجود دارند: بادی و الکترونیکی. معمولاً کنترل‌کننده‌ها در فا صلهٔ ۴۰۰ فوت (حلقهٔ ب سته) تا ۱۰۰۰ فوت (حلقهٔ باز) از فر ستنده ن صب می شوند. سیگنال خروجی از فرستندهٔ الکترونیکی متناسب با اختلاف فشار بین کرانه بالا و پایین فشار است. سیگنال های خروجی استاندارد ۴ تا ۲۰ میلی آمپر، ۱۰ تا ۵۰ میلی آمپر و ۱ تا ۵ ولت هستند. فرستندهٔ ۱۰ تا ۵۰ میلی آمپری به این دلیل مورداستفاده قرار می‌گیرد که تحمل آن در برابر مداخلات خارجی بیشتر از نمونهٔ فرستندهٔ ۴ تا ۲۰ میلی آمپری است. فرستنده‌های بادی به‌منظور اعمال خروجیpsig ۳ تا ۱۵ نیازمند منبع هوای ۲۰ تا ۳۰psig هستند.

سلول‌های DP (شکل ۱۱-۲۲) با اعمال ف شار بالا و پایین به هر طرف یک کپ سول دیافراگمی دوقلوی داخلی، کار می‌کنند. تغییرات فشار باعث حرکت دیافراگم می‌شوند. این فرایند سیگنال ورودی به کنترل‌کننده را کم و زیاد می‌کند.

فر ستنده‌های هو شمند نوع دیگری از فر ستنده‌های پرکاربرد در صنعت فرایندهای شیمیایی هستند. این نوع فرستنده بسیار قابل اطمینان است و نیازی به بازرسی و توجه مداوم ندارد. فر ستنده‌های هو شمند دارای یک سی ستم ت شخیص داخلی ه ستند که در صورت احتمال وقوع مشکل به اپراتور اطلاع می‌دهد. این نوع فرستنده را می‌توان در سرویس‌های مایع یا گاز برای کنترل فشار، ویسکوزیته، دما، جریان و سطح به کار برد. ویژگی‌های متعدد مثبت فرستنده‌های هوشمند عبارت‌اند از سرعت، اطمینان پذیری، تشخیص دهنده‌های داخلی، سیگنال دیجیتالی قوی و قابلیت‌های درجه‌بندی از راه دور.

جدول ۱۱-۱: عناصر اصلی و حسگرها

	عنصر اصلی	حسگر
جریان	ورق اوریفیس، نازل جریان، سلول DP (دیافراگم)	سلول DP
سطح	شناور، متحرک، سلول DP (دیافراگم)	سلول DP
فشار	حلزونی، مارپیچی، دم، لوله بوردن، سلول DP	سلول DP
دما	لوله‌کشی مویینی، حباب مقاومتی و حرارتی	ترموکوپل،RTD



شکل ۱۱-۲۱: حلقه کنترل آبشاری (دما)

شکل ۱۱-۲۲: فرستنده سلول DP

شکل ۱۱-۲۳: کنترل‌کننده میدانی

– کنترل‌کننده‌ها و مدهای آن

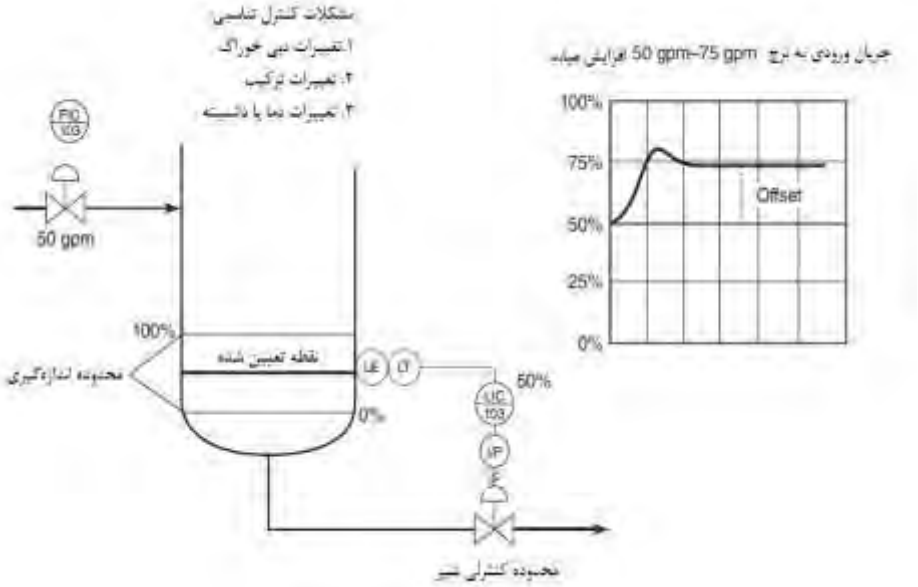
هدف اصلی کنترل‌کننده (شکل ۱۱-۲۳) این است که یک سیگنال را از فرستنده دریافت کند، این سیگنال را با مقدار تنظیم مقایسه کند و فرایند را برای باقی ماندن در محدودهٔ نقطهٔ تنظیم، تنظیم کند (که جزء نهایی کنترل نامیده می شود). کنترل‌کننده‌ها ۳ نوع ا صلی دارند: بادی، الکترونیکی و دیجیتال. کنترل‌کننده‌های الکترونیکی اولین بار در اوایل دههٔ ۱۹۶۰ معرفی شـــدند. تا قبل از آن زمان، تنها کنترل‌کننده‌های بادی وجود داشـــت. کنترل‌کننده‌های بادی نیازمند منبع هوای پاکیزهٔ ۲۰ تا psig ۳۰ هســـتند. تعدادی دیگر از ویژگی‌های جذاب کنترل‌کننده‌های الکترونیکی شـــامل کاهش تأخیر زمانی در تغییرات فرایند، هزینهٔ نصب پایین و نصب آسان هستند.

با اســتفادهٔ گســتردهٔ کامپیوترهای شــخصــی، نرم‌افزارهای زیادی برای اســتفادهٔ کنترل‌کننده‌ها ســـاخته شـــد. نرم‌افزارهای ســـیســـتم‌های کنترلی توزیعی (DCS[1]) در کامپیوترها، جایگزین

[1] Distributed control systems (DCS)

کنترل‌کننده‌های الکترونیکی و بادی شدند. علت اصلی این امر سهولت نصب DCS و تعداد نسبتاً اندک سیم‌های موردنیاز برای اتصال آن بود.

بیشتر کارخانجات مدرن دارای ترکیبی از این سه سیستم، بادی، الکترونیکی و دیجیتال هستند. نمودار حلقهٔ کنترلی نوع کنترل‌کننده را مشـــخص می‌کند (بادی، الکترونیکی و DCS)؛ مثلا در شکل ۱۱-۲۴ خطوط تشخیصی میان گیرنده و شیر کنترل نشانهٔ کنترل‌کننده بادی هستند.

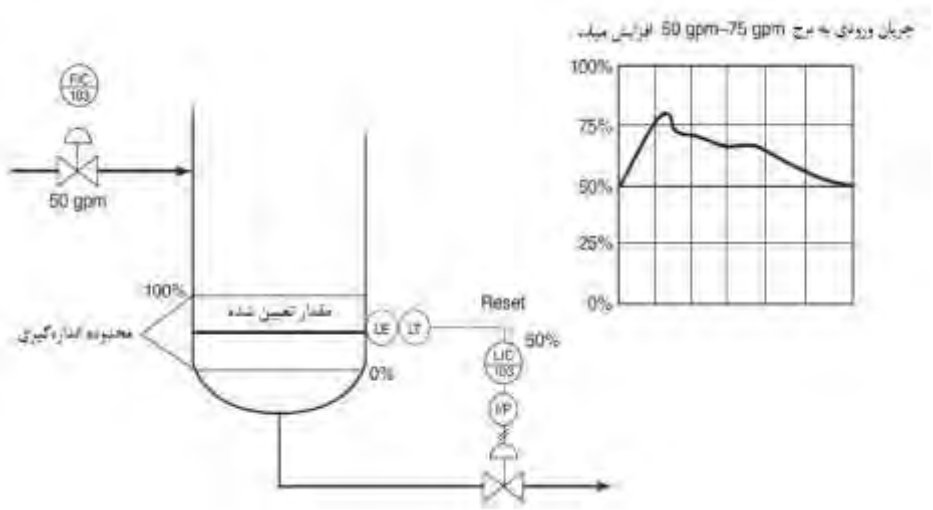


شکل ۱۱-۲۴: کنترل تناسبی

کنترل‌کننده‌ها را می‌توان به صورت کنترل دستی، خودکار و یا آبشاری (از راه دور) در عملیات استفاده نمود. در طی راه‌اندازی کارخانه، معمولاً کنترل‌کننده در حالت دستی قرار داده می شود تا زمانی که فرایند به وضعیت مشخصی برسد. در کنترل دستی، کنترل‌کننده خروجی را که توسط اپراتور تنظیم می‌شـــود، به جزء نهایی کنترل ارســـال می‌کند. بعد از اینکه فرایند به حالت پایدار رسید، اپراتور کنترل‌کننده را در حالت اتوماتیک قرار می‌دهد و به آن اجازه می‌دهد بر عملکرد حلقهٔ کنترلی نظارت کند. در این نقطه، کنترل‌کننده تلاش می‌کند با باز و بسته کردن شیر کنترل، نقطهٔ تنظیم را حفظ کند. کنترل آبشـــاری (شـــکل ۱۱-۲۴) عبارتی اســـت که چگونگی بازتنظیم یک کنترل‌کننده توسط کنترل‌کننده دوم را به‌منظور رسیدن به خروجی مطلوب توضیح می‌دهد.

– **باند[1] (نوار) تناسبی**

باند تناسبی در کنترل‌کننده، عامل مقیاس بندی مورداستفاده برای بردن خروجی یک کنترل‌کننده از ۰ تا ۱۰۰ درصد است. اگر باند تناسبی روی ۵۰ درصد تنظیم شود و مقدار بار جزء نهایی کنترل (شیرفلکه) ۴ اینچ باشد، شیر کنترل ۲ اینچ باز خواهد شد. محدوده به‌عنوان بخشی از فرایند کنترل شده تو سط کنترل‌کننده تعیین می شود. برای مثال، محدودهٔ دمایی برای یک کنترل‌کننده ممکن است بین ۸۰ تا ۱۴۰ درجه فارنهایت محدود شده باشد. محدودهٔ اندازه‌گیری (Δ) اختلاف میان کران پایین و بالای محدوده ا ست. این مقدار همیشه به‌عنوان یک مقدار منفرد ثبت می شود. برای مثال اختلاف میان ۸۰ و ۱۴۰ برابر ۶۰ است. (شکل ۱۱-۲۵ را ببینید)



شکل ۱۱-۲۵: بازنشانی (reset)

[1] Proportional Band

- **مدهای[1] کنترل‌کننده**

متخصصان فرایند از مدل‌های مختلف کنترل‌کننده‌ها استفاده می‌کنند. رایج‌ترین انواع آن‌ها گین[2] (بهره)، ریست[3] (بازنشانی) و ریت[4] (نرخ) هستند. بهره ممکن است به تنهایی و یا در ترکیب با بازنشانی و نرخ به کار برده شود. اکثر اوقات بهره با بازنشانی ترکیب می‌شود. نرخ عمدتاً در سیستم‌های کنترل دما کاربرد دارد. پیشرفته‌ترین سیستم‌ها از ترکیب بهره، بازنشانی و نرخ استفاده می‌کنند. کنترل تناسبی اصولاً برای تأمین بهره در شرایطی که تغییرات بار در فرایند وجود ندارد یا بسیار کم است، به کار گرفته می شود. بهره به همراه بازنشانی برای از بین بردن انحراف بین نقطهٔ تنظیم و متغیرهای فرایند به کار می‌روند. زمانی که تغییرات بزرگ اما کند هستند بهترین عملکرد را بهره دارد. ترکیب بهره و نرخ برای تصحیح خطاهایی که به‌سرعت تغییر می‌کند و همچنین جلوگیری از اورشوت[5] (جهش) نقطهٔ تنظیم طراحی می شود. این ترکیب زمانی که تغییرات کوچک مکرر موردنیاز است، بهترین عملکرد خود را دارد. ترکیب بهره و پلاس و بازنشانی زمانی اعمال می‌شود که تغییرات سریع و بزرگ در بار رخ می‌دهد. بهره، بازنشانی و نرخ برای کاهش نوسان بین متغیرهای فرایند و نقطهٔ تنظیم باهم ترکیب می‌شوند.

- **بهرهٔ کنترل‌کننده**

اکثر کنترل‌کننده‌های مدرن از بهره به‌عنوان یک ثابت میزان سازی استفاده می‌کنند. بهره به زبان ساده عبارت است از نسبت سیگنال خروجی از کنترل‌کننده به سیگنال خطا (اختلاف میان متغیر فرایند و نقطه تنظیم). بهره عکس باند تناسبی (PB) است. مثلاً اگر PB=100% باشد، بهره برابر ۱ است. اگر PB=200% باشد، بهره برابر ۰/۵ خواهد بود. بهره به تنهایی به‌ندرت به کار برده می‌شود زیرا تنها می‌تواند یک پاسخ نسبی به هر تغییر فرایند بدهد.

- **بازنشانی (انتگرالی)**

بازنشانی یک مد کنترلی است که با محاسبهٔ یک شیب، به تغییر پاسخ می‌دهد، این عمل در هر دقیقه تکرار می شود و به سمت نقطهٔ تنظیم باز می شود. بازنشانی برای کاهش اختلاف بین نقطهٔ تنظیم و متغیرهای فرایند با تنظیم مداوم خروجی کنترل‌کننده تا زمان حذف انحراف، طراحی

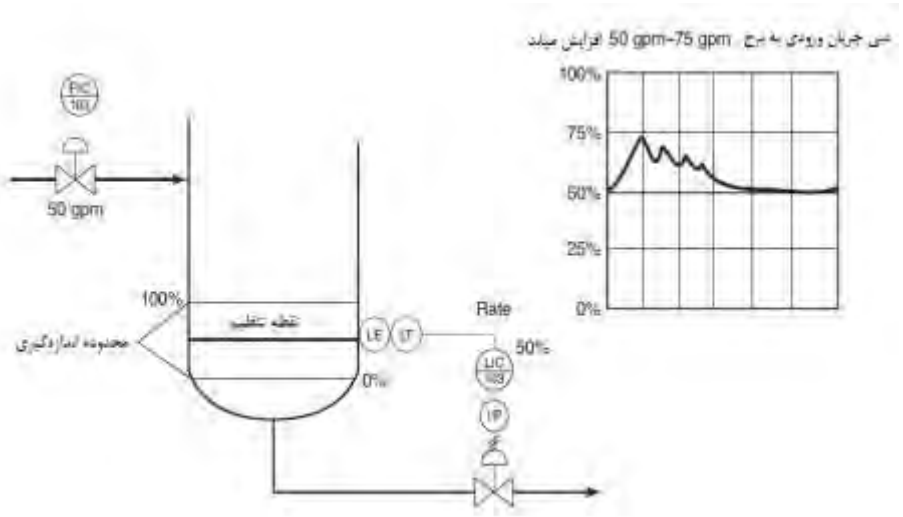
---

[1] Mode
[2] Gain
[3] Reset
[4] Rate
[5] Overshooting

می شود. مد بازنشانی متناسب با اندازهٔ خطا، مقدار زمانی که طول می‌کشد و تنظیمات مجدد بهره پاسخ می‌دهد (شکل ۱۱-۲۵).

- **نرخ (مشتقی)**

مد نرخ با افزایش خروجی در ارتباط با متغیر فرایند در حال تغییر، خروجی کنترل‌کننده را اصلاح می‌کند. وقتی متغیر فرایند بر نقطهٔ تنظیم منطبق می‌شود، نرخ فعالیتش را کم می‌کند که این کار یک عمل ترمز مانند را فراهم می‌کند که از اور شوت (جهش) از نقطهٔ تنظیم جلوگیری می‌کند. نرخ به تغییرات سریع متغیر فرایند، به‌شدت پاسخ می‌دهد و به تغییرات کوچک‌تر پاسخی ضعیف می‌دهد. (شکل ۱۱-۲۶ را ببینید).



شکل ۱۱-۲۶: نرخ

۱۱-۲- اجزای نهایی کنترل

۱۱-۲-۱- شیرهای خودکار

اجزای نهایی کنترل معمولاً شیرهای خودکار هستند، اما از موتورها و سایر وسایل الکتریکی نیز می‌توان استفاده نمود. جزء نهایی کنترل آخرین ارتباط در حلقهٔ کنترلی است و درواقع وسیله‌ای است که تغییر را در فرایند اعمال می‌کند. شیرهای خودکار برای تنظیم فرایند باز و بسته می‌شوند. این شیرها در فرایندهای مدرن بسیار با ارزش‌اند، زیرا قابلیت کنترل از راه دور دارند. محرک

و سیله‌ای ا ست که شیر را به صورت خودکار درمی‌آورد. محرک و ضعیت اجزای کنترلی جریان را با جابه‌جا کردن و کنترل وضـعیت بدنهٔ شـیر، کنترل می‌کند. عملگرها سـه نوع اصـلی دارند: بادی، الکتریکی و هیدرولیکی. عملگرهای بادی (هوایی) رایج‌ترین نوع ه ستند. عملگرهای بادی ف شار هوا را به انرژی مکانیکی تبدیل می‌کند. این عملگرها سـه طرح مختلف دارند: دیافراگمی، پیسـتونی و پره‌ای. محرک دیافراگمی یک وسیلهٔ گنبدی شکل است که دارای یک دیافراگم انعطاف‌پذیر گذرنده از مرکز ا ست. این و سیله عمدتاً در بالای شیر ن صب می شود. مرکز دیافراگم درون گنبد به شیر متصل است. وضعیت شیر (بسته یا باز) توسط یک فنر قدرتمند نگه داشته می‌شود. زمانی که هوا از یک سمت دیافراگم انعطاف‌پذیر وارد گنبد می‌شود، برحسب طراحی، شیر را می‌بندد، باز می‌کند یا آن را م سدود می‌کند. محرک پی ستونی از یک سیلندر غیر قابل نفوذ در برابر هوا و پی ستون برای تغییر و ضعیت شیر ا ستفاده می‌کند. این نوع محرک معمولاً همراه با شیرهای ک شویی خودکار و یا دریچه‌های کشویی به کار می‌رود. این محرک در جایی که حرکت بدنه زیاد ا ست ا ستفاده می شود. عملگرهای پره‌ای هوا را در مقابل پره‌ها و پاروها هدایت می‌کند.

عملگرهای الکتریکی الکتریسـیته را به انرژی مکانیکی تبدیل می‌کنند. این عملگرها دو نوع دارند: شـیر مارپیچی و محرک موتوری. شـیرهای مارپیچی برای سـرویس خاموش/ روشـن طراحی شده‌اند. ساختار داخلی مارپیچ به شیر کروی (بشقابی) شباهت دارد. وقتی دیسک در جای خود قرار می‌گیرد، جریان را قطع می‌کند. بدنهٔ شـیر به یک هسـتهٔ فلزی یا یک آرمیچر[1] (میلهٔ فلزی) که تو سط یک فنر در جایش قرار می‌گیرد مت صل ا ست. یک کویل سیمی، فنر فوقانی و بدنهٔ شیر را احاطه می‌کند. زمانی که انرژی وارد کویل سیمی می‌شود، یک میدان مغناطیسی ایجاد می‌شود که باعث می‌شـود آرمیچر بالا رفته، فنر فشـرده شـود. مادامی که جریان قطع نشـود آرمیچر در این وضـعیت باقی می‌ماند. محرک موتوری توسـط مجموعه‌ای از دنده‌ها به بدنهٔ شـیر متصـل می‌شـود. حرکت دنده‌ها وضعیت شیر را کنترل می‌کند.

عملگرهای هیدرولیکی فشـار مایع را به انرژی مکانیکی تبدیل می‌کند. محرک هیدرولیکی از یک سیلندر نفوذناپذیر در مقابل مایعات و پی‌ستون برای حرکت دادن یا تغییر و ضعیت شیر کمک می‌گیرد. این نوع محرک معمولاً همراه با شـیرهای کشـویی خودکار و یا دریچه‌های کشـویی و در جایی که حرکت بدنهٔ شیر زیاد است استفاده می‌شود.

اصطلاحات زیر در توصیف عملگرها رایج هستند:

---

[1] Armature

- هوا باز، فنر بسته: اگر سیستم هوا دچار اشکال شود، در شرایط بسته باقی می‌ماند. خط هوا معمولاً در پایین گنبد قرار می‌گیرد.
- هوا بسته، فنر باز: اگر سیستم هوا دچار اشکال شود، در شرایط باز باقی می‌ماند. خط هوا معمولاً در بالای گنبد قرار می‌گیرد.
- دو زمانه، بدون فنر: خطوط هوا در هر دو طرف گنبد قرار دارد.
- در آخرین وضعیت باقی می‌ماند: فشار هوای ورودی به دیافراگم در صورت خرابی هوایی ابزارها، قفل می‌شود.

رایج‌ترین نوع شیرهای خودکار به دلیل روان بودن و قابلیت انسداد آن، شیر کروی است. حلقه‌های کنترلی از شیرهای نوع مسدود کننده به‌منظور تنظیم جریان سیال به درون یا خارج یک سیستم استفاده می‌کند. علاوه بر انواع شیرهای کنترلی بادی، الکتریکی و خودکار، شیرهای فنری (یا وزنی) نیز وجود دارد. شیرهای فنری عناصر کنترلی جریان را نگه می‌دارند تا زمانی که فشار زیر دیسک آنقدر قوی شود تا این عنصر را از جای خود بلند کند. در این نوع شیرها، تعبیهٔ شیر تنظیم (یک‌طرفه) نیز لازم است.

۱۱-۲-۲- اینترلاک ها[1] و پرمیسیوها[2]

اینترلاک (یا لاجیک[3]) وسیله‌ای است برای جلوگیری از آسیب دیدن تجهیزات و افراد برای توقف و جلوگیری از روشن شدن تجهیزات خاص در صورتی که شرایط مشخص برآورده نشده باشد، طراحی شده است. دو نوع اینترلاک وجود دارد: سافت وایر[4] و هاردوایر[5]. اینترلاک ساف وایر شامل یک کامپیوتر باقابلیت برنامه‌دهی است. درحالی‌که اینترلاک‌های هاردوایر یک آرایش فیزیکی است. اینترلاک‌هاردوایر معمولاً دارای رله های الکتریکی هستند که به‌طور مستقل از کامپیوتر کنترل، کار می‌کند. در بسیاری از موارد در کنار کامپیوترهای اینترلاک سافت وایر به کار گرفته می‌شود. هرچند که اینترلاک های هاردوایر کنارگذر ندارد. قبل از شروع فرایند باید پر شود.

پرمیسیو نوع خاصی از اینترلاک است که مجموعه‌ای از شرایط را قبل از آغاز به کار تجهیزاتی خاص بررسی می‌کند. پرمیسیوها با اجزای راه‌اندازی (استارت آپ[6]) در تعامل هستند، درحالی‌که اینترلاک های هاردوایر با اجزای غیرفعال سازی (شات دوان[7]) سر و کار دارند. پرمیسیو اینترلاکی

---

[1] Interlock
[2] Permissive
[3] Logic
[4] Softwire
[5] Hardwire
[6] Startup
[7] Shut Down

است که توسط DCS کنترل می‌شود. این نوع اینترلاک در صورت نبود شرایط لازم، لزوماً سیستم را خاموش نمی‌کند. باوجوداین، از روشن شدن تجهیزات جلوگیری می‌کند.

۱۱-۲-۳- کنترل دستی و خودکار

در شروع هر واحد، اپراتورهای کنسول[1] (میز فرمان) برای ایجاد یک جریان پایا درون سیستم، در ابتدا از کنترل دستی استفاده می‌کنند. معمولاً زمانی که قرار است یک فرایند جدید در مدار قرار گیرد، حلقهٔ کنترلی برای رسیدن به نقطهٔ تنظیم به بالا و پایین نوسان می‌کند. متخصصان مجرب با وضعیت شیرهای عملیاتی در زمان خروج یک واحد از مدار آشنا هستند. با قرار دادن یک شیر در حالت کنترل دستی، تغییرات فرایند کاهش می‌یابد. زمانی که سیستم روی مدار قرار می‌گیرد، متخصص کنسول مقدار نقطهٔ تنظیم را به کنترل‌کننده می‌دهد و آن را روی حالت خودکار تنظیم می‌کند. این روند زمان موردنیاز برای رساندن یک واحد به حالت پایا و تولید یک محصول با کیفیت را افزایش می‌دهد.

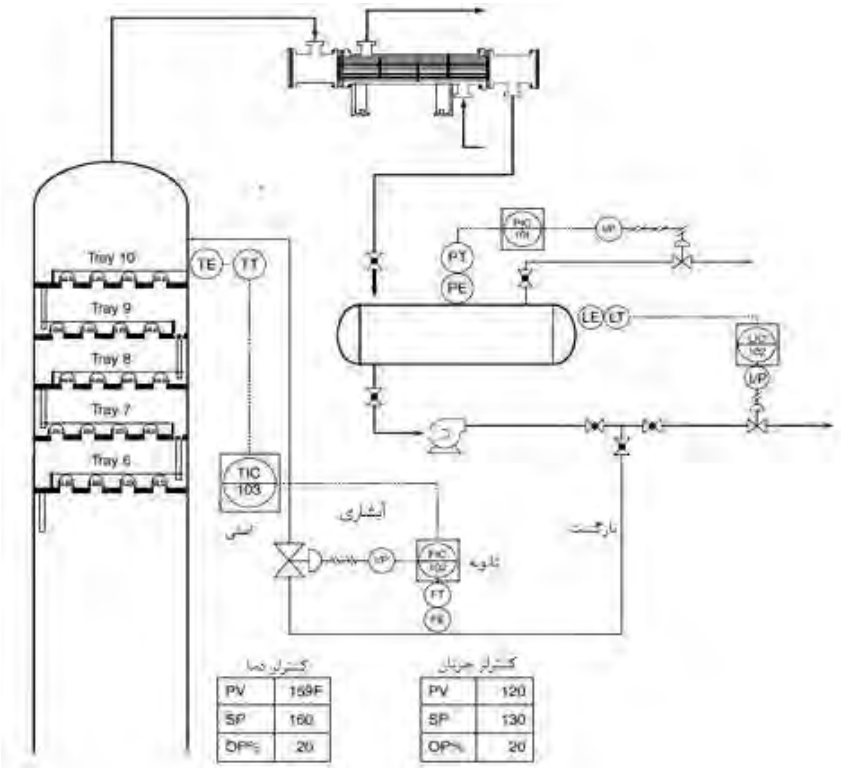
کنترل خودکار از تمامی پنج عنصر حلقهٔ کنترلی در سیستم پویا (دینامیکی[2]) که یک فرایند خاص را اندازه‌گیری می‌کند، مقایسه می‌کند و آن را کنترل می‌کند، استفاده می‌کند. واحدهای فرایند ممکن است برای کنترل سطح، فشار، دما، جریان و بسیاری فرایندهای تحلیلی دیگر، دارای صدها حلقهٔ کنترلی باشد. کنترل خودکار به یک متخصص فرایند اجازه می‌دهد که ترکیبی بسیار بزرگتر و پیچیده‌تر از سیستم‌های فرایندی را تحت کنترل داشته باشد.

۱۱-۲-۴- کنترل آبشاری

کنترل آبشاری از اجزای دو حلقهٔ کنترلی مجزا استفاده می‌کند. یکی از کنترل‌کننده‌ها نقش کنترل‌کننده اصلی و دیگری نقش کنترل‌کننده ثانویه را ایفا می‌کند. این رابطه عمدتاً به‌صورت کنترل راهبر و پیرو بیان می‌شود. شکل ۱۱-۲۷ اجزای اصلی یک سیستم کنترل آبشاری را نشان می‌دهد. ذکر این نکته مهم است که در این نوع کنترل فرایند، کنترل‌کننده‌ها تنها با کنترل‌کننده‌های دیگر در ارتباط هستند.

---

[1] Console
[2] Dynamic system



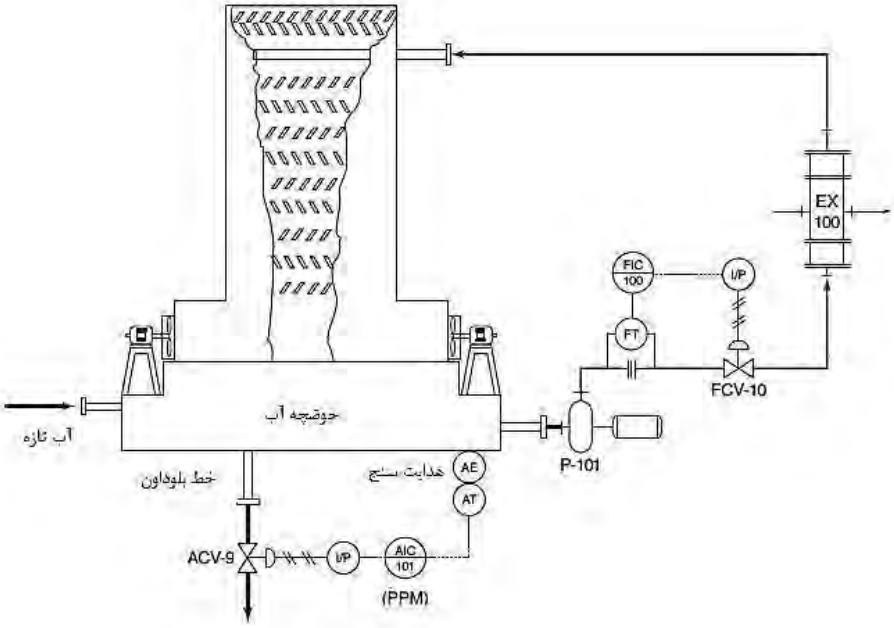
شکل ۱۱-۲۷: حلقهٔ کنترل آبشاری

در بسیاری از سیستم‌های فرایندی، دستیابی به اهداف مختلف به‌طور هم‌زمان امکان‌پذیر است. به‌عنوان‌مثال در یک سیستم تقطیر، برای کنترل دما و افزایش خلوص فرآورده، از رفلاکس[1] (جریان بازگشتی) استفاده می‌شود. در بیشتر موارد برای اطمینان از جریان پایدار از یک حلقه کنترلی جریان استفاده می‌شود؛ هرچند کنترل دما به تنهایی مهم ترین عامل در این سیستم محسوب می شود. زمانی که یک عنصر دمایی در سینی بالا قرار داده می شود و به فرستنده، کنترل‌کننده، مبدل و شیر کنترل در خط جریان بازگشتی متصل می‌شود، ظاهراً تضادی بین شیر کنترل جریان و شیر کنترل دما دیده می‌شود. با انتخاب دما به‌عنوان کنترل‌کننده اصلی، می‌توان کنترل‌کننده دما و جریان را برای دستیابی به اهداف عملیاتی هم‌زمان به کار گرفت.

[1] Reflux

۱۱–۲–۵– کنترل تحلیلی

حلقه کنترلی تحلیلی برای کنترل متغیرهای فرایند مانند pH، PPM و غلظت فرآورده مورداستفاده قرار می‌گیرد. شکل ۱۱–۲۸ مثالی از شمایل چنین سیستم‌هایی را به دست می‌دهد. برج‌های خنک‌کننده نیازمند کنترل بستهٔ pH و تعداد ذرات در میلیون (PPM) هستند. تغییر در این متغیرها می‌تواند مشکلات جدی را به وجود آورد. برای کنترل این متغیرهای تحلیلی می‌توان از سیستم‌های کنترلی استفاده نمود.



شکل ۱۱–۲۸: حلقه کنترل تحلیلی

خلاصه

اتوماسیون صنعتی، قابلیت و توانایی یک اپراتور فرایند را در کنترل شبکه‌های بزرگ و پیچیدهٔ فرایند افزایش می‌دهد.

ابزارها اولیه شامل درجه‌ها (فشار، سطح، دما و جریان)؛ سلول‌های اختلاف فشار (DP)؛ فرستنده‌ها (فشار، سطح، دما و جریان)؛ کنترل‌کننده‌ها (بادی و الکترونیکی)؛ مبدل‌ها، شیرهای کنترل و عناصر اصلی و حسگرها (محرک و شناور بویانسی (نیروی شناوری)، ترموکوپل، اوریفیس و غیره) و کامپیوترها است.

رایج‌ترین نوع عنصر فشاری لوله بوردن است. در محیط کارخانه سه مقیاس رایج برای بیان فشار وجود دارد: مقیاس نسبی (psig)، مقیاس مطلق (psia) و مقیاس خلأ (Hg).

اندازه‌گیری جریان فرایند توسط یکی از این ابزارها صورت می‌گیرد: فرستندهٔ جریانی، جریان‌سنج دیسک‌گردان، دنده بیضوی، روتامتر، جریان‌سنج توربینی، بند و مجرا. اندازه‌گیری های سطح معمولاً با بالا و پایین بودن نسبت به یک نقطهٔ مرجع (معمولاً صفر) انجام می‌شوند. ابزارهای سنجش سطح را می‌توان به مستقیم و غیرمستقیم تقسیم‌بندی نمود. ابزارهای مستقیم در تماس م ستقیم با سطح مایع ه ستند. ابزار غیرم ستقیم تغییرات ف شار را که متنا سب با تغییرات سطح اتفاق می‌افتد ثبت و ضبط می‌کند.

یک حلقه کنترلی مجموعه‌ای از ابزارهاست که به‌منظور کنترل کردن یک فرایند با هم کار می‌کنند. این ابزاها عموماً شامل یک فرستنده جفت شده با یک حسگر یا عنصر اصلی، کنترل‌کننده، مبدل و شیر کنترل ا ست. کنترل‌کننده سیگنالی را از فر ستنده دریافت می‌کند، این سیگنال را با نقطهٔ تنظیم مقای سه می‌کند و فرایند را به‌منظور باقی ماندن در محدودهٔ نقطهٔ تنظیم تغییر می‌دهد (عن صر نهایی کنترل). کنترل‌کننده‌ها در سه نوع ا صلی وجود دارند: بادی، الکترونیکی و دیجیتال. اجزای نهایی کنترل را عموماً به‌عنوان شیرهای خودکار طبقه‌بندی می‌کنند، اما از موتورها یا سایر وسایل الکتریکی نیز می‌توان کمک گرفت. عنمصر نهایی کنترل آخرین جزء حلقهٔ کنترلی مدرن است و ابزاری است که درواقعیت تغییر را در فرایند اعمال می‌کند.

اینترلاک وسیله‌ای است که برای جلوگیری از آسیب دیدگی تجهیزات و افراد طراحی شده است و این کار را با قطع و یا جلوگیری از شروع فعالیت تجهیزات در صورت عدم برقراری برخی شرایط خاص انجام می‌دهد. پرمیسیو نوع خاصی از اینترلاک است که مجموعه شرایطی را که قبل از شروع به کار تجهیزات لازم ا ست، برر سی می‌کند. پرمی سیوها با اجزای راه‌اندازی (ا ستارت آپ) سر وکار دارند، درحالی که اینترلاک هارد وایر با اجزای خاموش کردن (شات داون) در تعامل هستند.

سؤالات مروری

۱) هفت ابزار اولیه که در صنعت فرایند یافت می‌شوند را نام ببرید.
۲) عملیات یک سلول DP را توضیح دهید.
۳) کاربرد روتامتر چیست؟
۴) اجزای اولیهٔ حلقه کنترلی را نام ببرید.
۵) یک حلقه کنترل فشار را رسم کنید.
۶) یک حلقه کنترل سطح را رسم کنید.
۷) یک حلقه کنترل جریان را رسم کنید.
۸) یک حلقه کنترل دما را رسم کنید.
۹) اجزای اصلی حلقه کنترلی چگونه با هم تعامل می‌کنند؟
۱۰) کنترل‌کننده‌ها و حالت‌های کنترل را توضیح دهید.
۱۱) عناصر اصلی و حسگرهای مورداستفاده برای دما و فشار را نام ببرید.
۱۲) عناصر اصلی و حسگرهای مورداستفاده برای جریان و سطح را نام ببرید.
۱۳) عبارت DCS را تعریف کنید.
۱۴) یک حلقه کنترل آبشاری رسم کنید.
۱۵) کنترل خودکار و دستی را شرح دهید.
۱۶) یک حلقه کنترل تحلیلی را رسم نمایید.
۱۷) توضیح دهید چگونه یک متخصص فرایند از درصد عملیاتی شیر در حالت دستی استفاده می‌کند.
۱۸) عناصر اصلی و حسگرهای مورداستفاده برای دما را نام ببرید.
۱۹) ترموکوپل را توضیح دهید و شیوهٔ کاربرد آن را بیان کنید.
۲۰) توضیح دهید لوله بوردن چگونه کار می‌کند.

فصل دوازدهم
نمودارهای فرایند

اهداف

پس از مطالعهٔ این فصل دانشجو قادر خواهد بود:

- نمادهای نمودارهای فرایند را بشناسد.
- کاربرد نمودارهای فرایند و اطلاعاتی را که در اختیار قرار می‌دهد، توضیح دهد.
- یک نمودار جریان فرایند را رسم کند.
- یک طرح فرایند و تجهیزات آن را رسم نماید.
- ارتباطات مختلف میان تجهیزات فرایند را شرح دهد.

۱۲–۱– انواع نمودارهای فرایند

نمودارهای فرایند را می‌توان به دو دستهٔ عمده تقسیم نمود: نمودارهای جریان فرایند (PFD)[1] و نقشه فرایند و تجهیزات (P&ID)[2] که به آن نقشه خط لوله و ابزار دقیق نیز گفته می‌شود. یک نمودار جریان، تفسیر ساده‌ای است که از نمادهای فرایند برای توصیف مسیر اصلی جریان در واحد عملیاتی استفاده می‌کند. نمودار جریان فرایند یک تصویر لحظه‌ای از واحد عملیاتی را ارائه می‌دهد. نمودارهای فرایند تمامی تجهیزات و جریان‌های اصلی را در بر دارند. متخصص فنی می‌تواند از این اطلاعات برای ردیابی جریان مواد شیمیایی اصلی در واحد عملیاتی استفاده نماید. جریان‌های ثانویه و کوچک نمایش داده نمی‌شود. حلقه‌های پیچیدهٔ کنترلی و ابزاردقیق نیز در این نقشه نمایش داده نمی‌شود. نمودار جریان برای آگاهی بازدیدکننده و آموزش نیروهای تازه‌کار مورداستفاده قرار می‌گیرد.

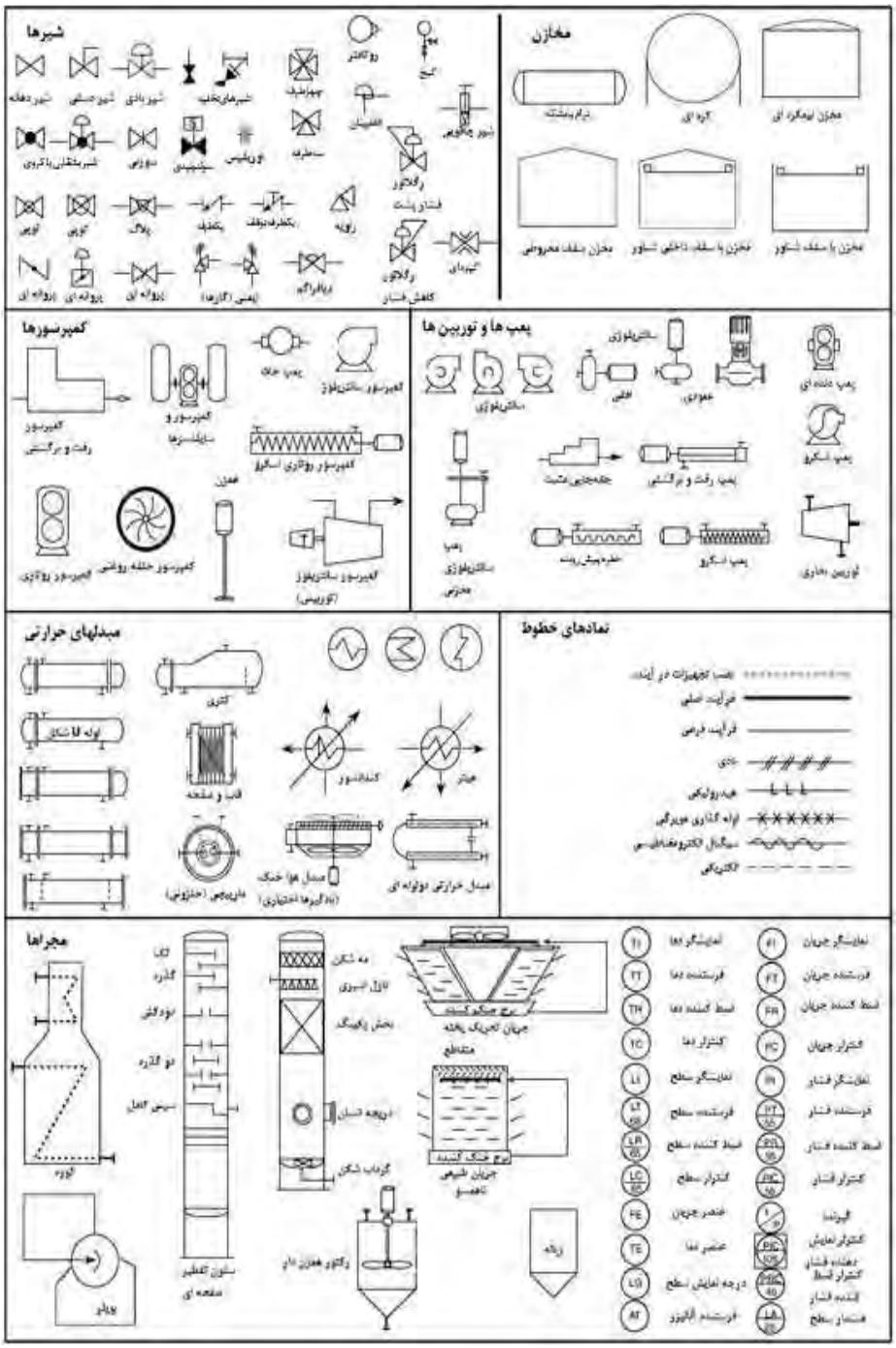
نقشهٔ فرایند و تجهیزات کمی پیچیده‌تر است. P&ID یک تصویر گرافیکی شامل تجهیزات، لوله گذاری ها و ابزارها است. کنترل فرایند پیشرفته را می‌توان به وضوح در طرح گنجاند تا تصویر کاملی از سیستم‌های الکترونیکی و ابزاری برای تکنسین‌ها فراهم شود. اپراتورها می‌توانند فرایند را ببینند و دریابند چگونه بخش مهندسی، واحد را به‌صورت خودکار درآورده است. نقشهٔ فرایند و تجهیزات (P&ID) واحد، شامل تمامی حلقه‌های کنترل فشار، دما، جریان و سطح می‌شود.

۱۲–۱–۱– نمادهای پایه‌ای ابزارها

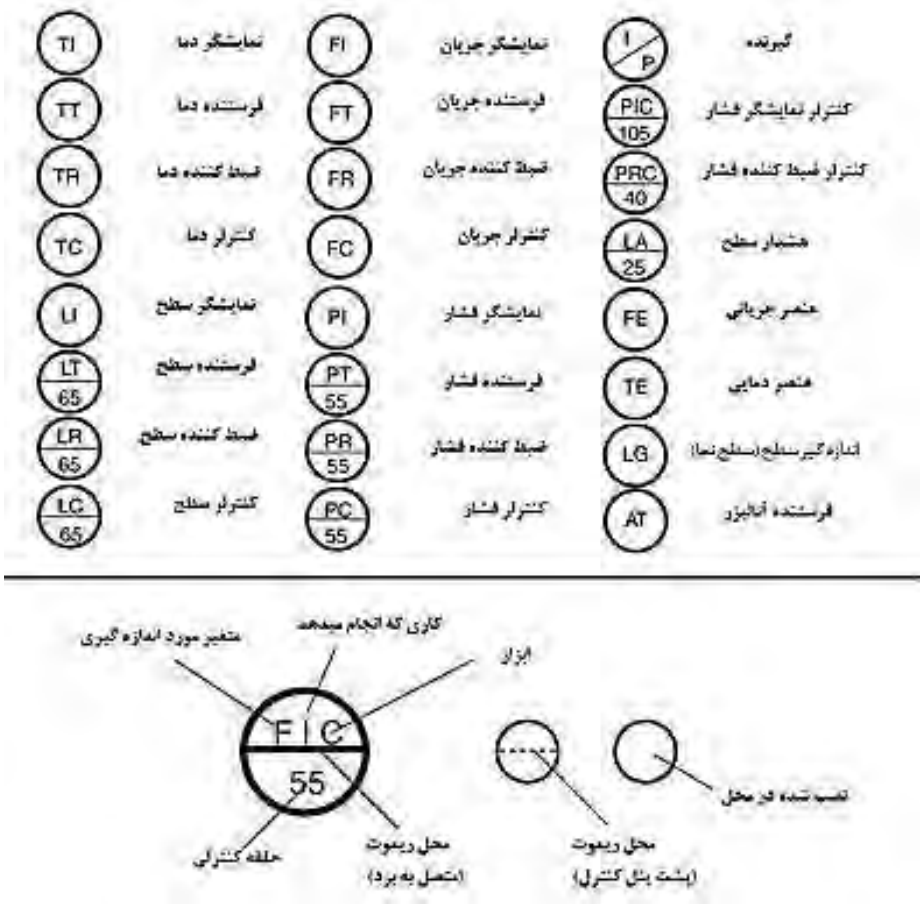
تکنسین‌های فرایند برای تعیین تمامی تجهیزات، ابزارها و لوله گذاری های موجود در فرایند از P&IDها کمک می‌گیرند. متخصصان تازه‌کار در طول دوره آموزشی خود از این طرح ها استفاده می‌کنند. شناخت و تشخیص این نمادها برای یک تکنسین جدید حائز اهمیت است. صنعت فرایندهای شیمیایی برای هر یک از انواع شیر، پمپ، کمپرسور، توربین بخار، مبدل حرارتی، برج خنک‌کننده، ابزارها پایه‌ای، راکتور، ستون تقطیر، کوره و بویلر یک نماد خاص را مشخص کرده است (شکل ۱۲–۱–الف). نمادهایی برای نمایش خطوط اصلی و فرعی فرایند و خطوط بادی، الکتریکی و هیدرولیکی وجود دارد و همچنین تعداد بسیار زیادی نمادهای الکتریکی وجود دارد (شکل ۱۲–۱–ب).

---

[1] Process Flow Diagrams
[2] Process and Instrument Drawings (Piping and Instrumentation Drawings)



شکل ۱۲-۱: الف) نمادهای فرایند و ابزارها

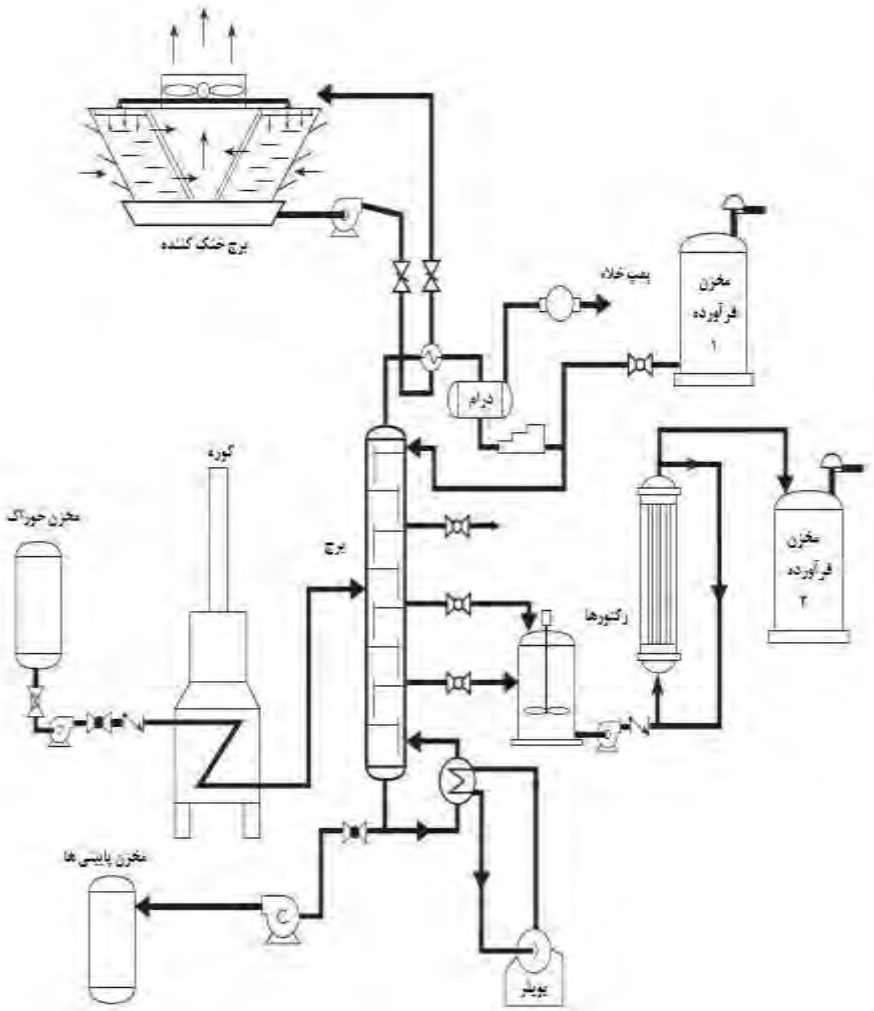


شکل ۱۲–۱: ب) نمادهای فرایند و ابزارها

۱۲–۱–۲– نمودارهای جریان

تکنسین‌های جدید نیازمند این هستند که نمودار جریانی ساده‌ای از هر سیستم عملیاتی مشخص را در اختیار داشته باشند. نمودارهای جریان فرایند معمولاً شامل تجهیزات اصلی و مسیر لوله گذاری ای است که فرایند در واحد عملیاتی طی می‌کند. وقتی اپراتورها بیشتر در مورد علائم و نمودارها یاد می‌گیرند،P&ID های پیچیده‌تری در اختیار آن‌ها قرار داده می‌شود.

برخی علائم در کارخانه‌های مختلف مشترک است و برخی دیگر از کارخانه ای به کارخانهٔ دیگر تفاوت دارد. تلاش هایی برای استانداردسازی علائم و نمودارها در حال رخ دادن است. نمادهای مورداستفاده در این فصل، عملیات پتروشیمیایی و پالایشگاهی را بازتاب می‌دهد.



شکل ۱۲–۲: نمودارهای جریان فرایند (PFD)

شکل ۱۲–۲ یک PFD است که روابط اولیه و مسیر جریان‌های موجود در واحد فرایند را نشان می‌دهد. برای فهم آسان یک نمودار ساده جریان، آن را به چند بخش تقسیم می کنیم: خوراک، پیـ شگرم‌کن، فرایند و محـ صولات نهایی. این رویکرد سادهٔ چپ به را ست به تکنـ سین این امکان را می‌دهد تا تشخیص دهد این فرایند از کجا شروع و به کجا ختم می‌شود. بخش خوراک شامل مخازن خوراک، همزن ها، لوله‌کشی و شیرهاست. در گام دوم، جریان فرایند برای انجام فرایند به‌تدریج گرم می شود. این بخش شامل مبدل‌های حرارتی و: کوره‌ها می شود. در گام سوم، فرایند

اتفاق می‌افتد. راکتورها و برج‌های تقطیر، مثال هایی معمول برای این بخش اســـت. منطقهٔ فرایند مجموعه‌ای پیچیده از تجهیزاتی است که برای تولید فرآورده ها و فرستادن آن به بخش نهایی با هم عمل می‌کنند.

۱۲–۱–۳– طرح های فرایند و ابزارها

P&ID نمایش پیچیده‌ای از واحدهای مختلف یافت شده در کارخانه است (شکل ۱۲–۳). این طرح در صنایع مختلفی مورداستفاده قرار می‌گیرد. کاربران اصلی این مستندات بعد از راه‌اندازی کارخانه تکنسین‌های فرایند و پرسنل ابزاردقیق و برق، مکانیک، ایمنی و مهندسی هستند.

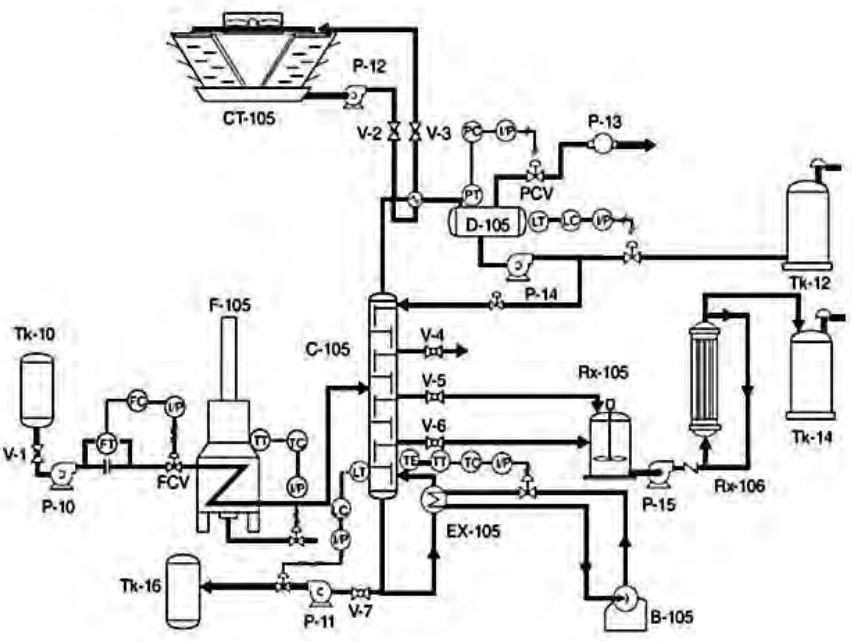
به‌منظور خواندن یک P&ID، تکنســین نیازمند داشــتن درکی از تجهیزات، ابزاردقیق و فناوری اســت. گام بعدی در اســتفاده از P&ID، به خاطر ســپردن لیســت علائم فرایند کارخانه اســت. این اطلاعات را می‌توان در فهرست راهنمای علائم فرایند یافت. طرح های ابزار و فرایند عناصر متنوعی را ازجمله نمودارهای جریانی، موقعیت تجهیزات، نقشـــه‌های الویشـــن[1]، طرح‌بندی های الکتریکی، نمودار حلقه‌ها، تایتل نقشه ها و فهرست ها و طرح های فوندا سیون[2] را دربر دارند. کل مجموعهٔ P&ID چشم اندازی سه بعدی از واحدهای مختلف درون کارخانه فراهم می‌کند.

– **فهرست علائم و اختصارات فرایند**

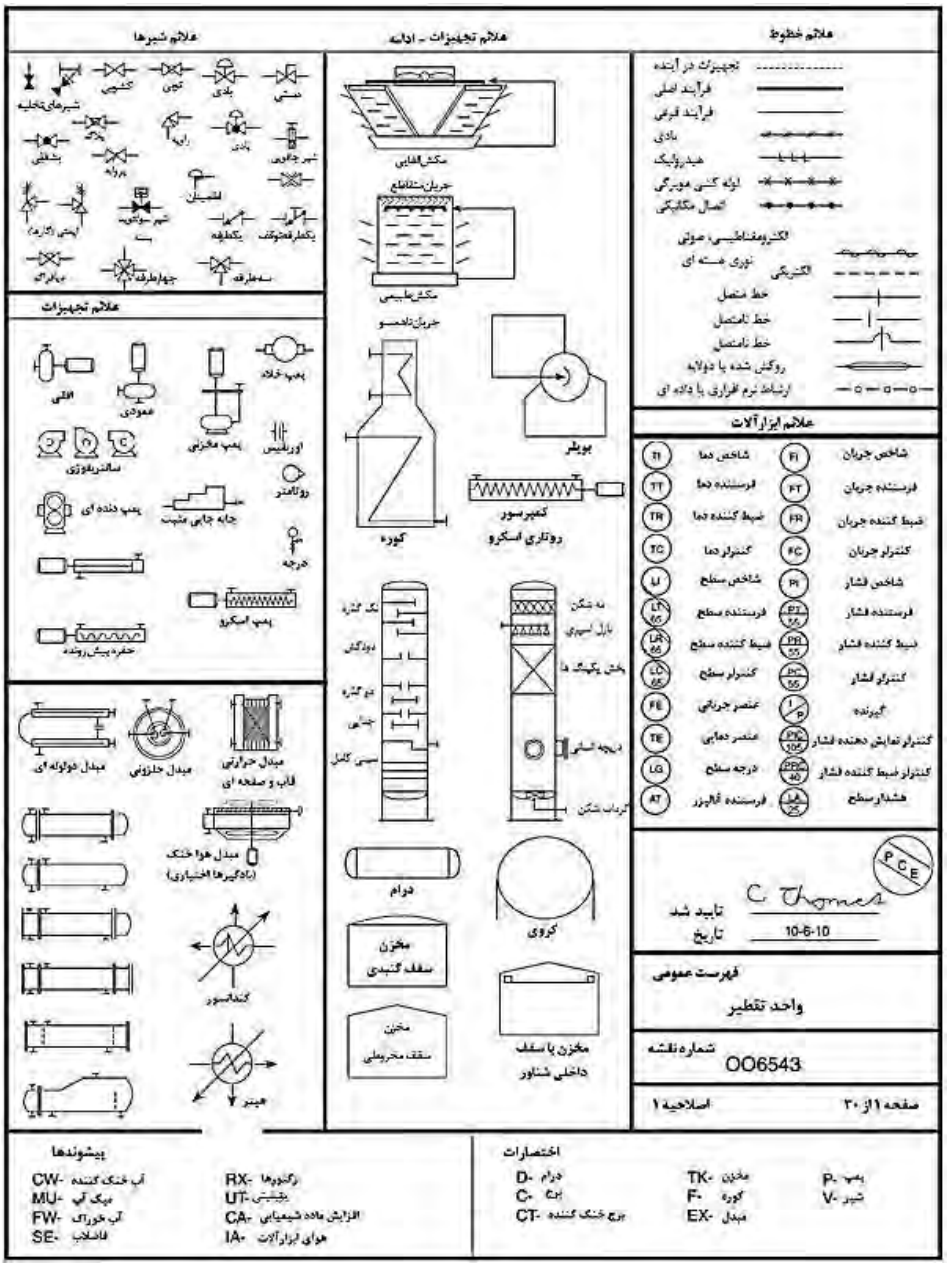
فهرست علائم و اختصارات فرایند (شکل ۱۲–۴) اطلاعات موردنیاز برای خواندن و تفسیر P&ID را در اختیار می گذارد. فهرســت علائم و اختصــارات در ابتدای P&ID دیده می‌شــود. این فهرست اطلاعاتی درباره نمادهای لوله‌کشی‌ها، تجهیزات و ابزارها، اختصارات، نام واحدها، شماره نقشه ها، شـــماره بازنگری (اصـــلاحی ها)، مصـــوبات و پیشـــوندهای شـــرکت را در بر دارد. از آن جایی که استاندارد سازی نمودار و نمادها کامل نیست، بسیاری از شرکت ها از نمادهای خاص خودشان در طرح های واحد استفاده می‌کنند. تجهیزات منحصربه‌فرد و غیرمعمول نیازمند فایل اصلاح شده ای از نمادها خواهد بود.

---

[1] Elevation
[2] Foundation



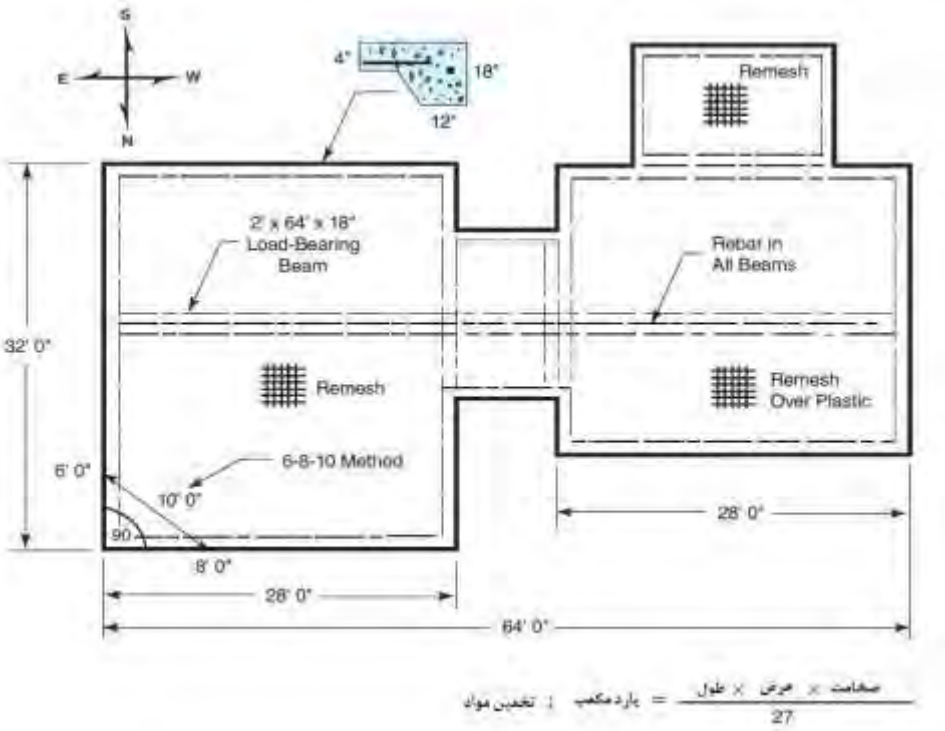
شکل ۱۲–۳: نمودار فرایند و ابزارها (P&ID)



شکل ۱۲–۴: فهرست علائم و اختصارات فرایند

– نقشهٔ فونداسیون

خدمه بخش ساختمانی برای پر کردن زیر ستون‌ها، تیرها و فونداسیون ها از نقشه‌های فونداسیون استفاده می‌کنند (شکل ۱۲–۵). مشخصات فولاد و بتن به‌منظور نگه‌داشتن تجهیزات، یکپارچه سازی لوله گذاری های زیرزمینی و همچنین پشتیبانی دیوارهای داخلی و خارجی طراحی و فراهم می‌شوند. تکنسین‌های فرایند معمولاً از نقشه‌های فونداسیون استفاده نمی‌کنند، اما زمانی که سؤالاتی در مورد لوله‌های پنهان در زیر زمین به وجود می‌آید و یا قصد نصب تجهیزات جدید را دارند از آن‌ها کمک می‌گیرند.

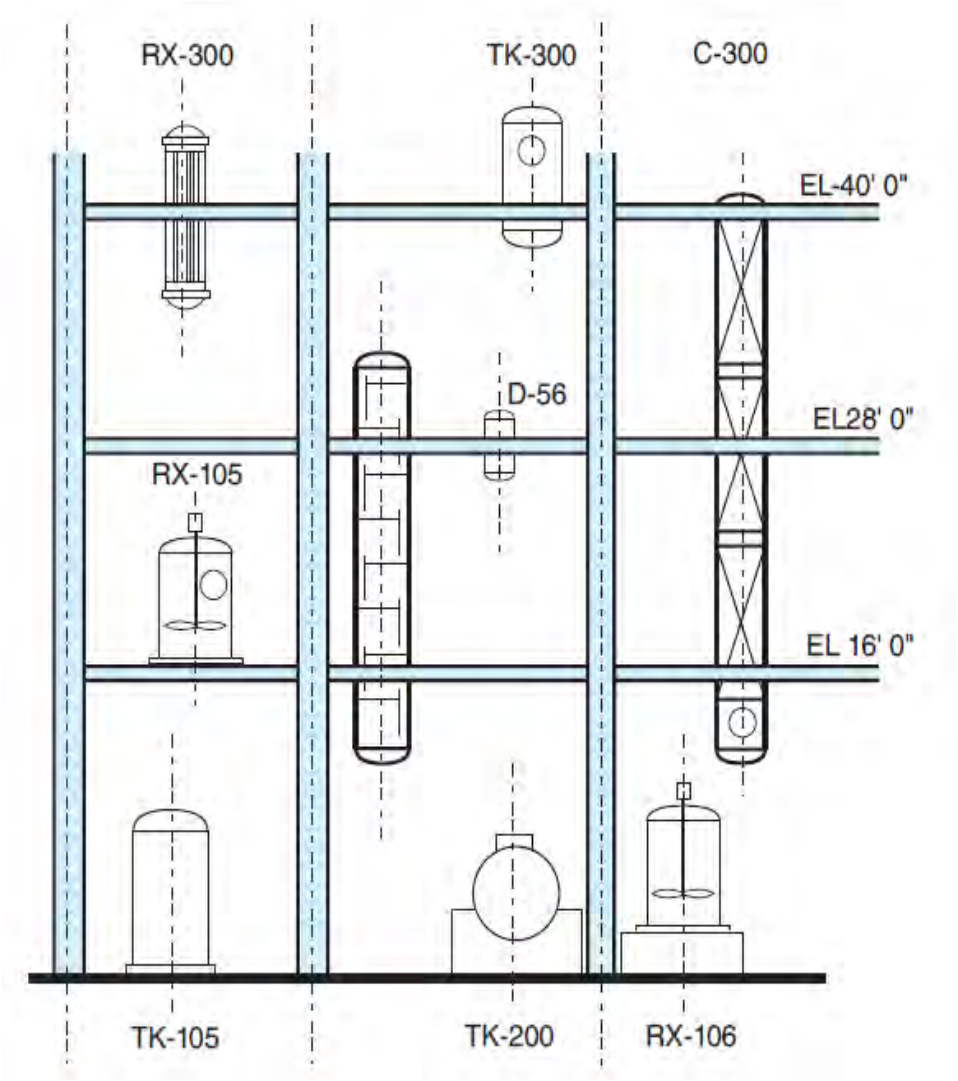


شکل ۱۲-۵: فونداسیون

– نقشهٔ الویشن

نقشهٔ الویشن (شکل ۱۲–۶) موقعیت تجهیزات فرایند را نسبت به ساختارهای موجود و سطح زمین نشان می‌دهد. در یک سازه چندمنظوره، نقشهٔ الویشن به تکنسین اطلاعاتی در مورد موقعیت

تجهیزات را نشان می‌دهد. این اطلاعات در هنگام ساخت دورها (راند)[1]، بررسی تجهیزات، توسعهٔ چک‌لیست ها، نمونه گیری ها و عملیات راه‌اندازی و غیرفعال‌سازی (شات دان) کاربرد دارد.



شکل ۱۲–۶: نقشه الویشن

[1] Round

– نقشهٔ الکتریکی

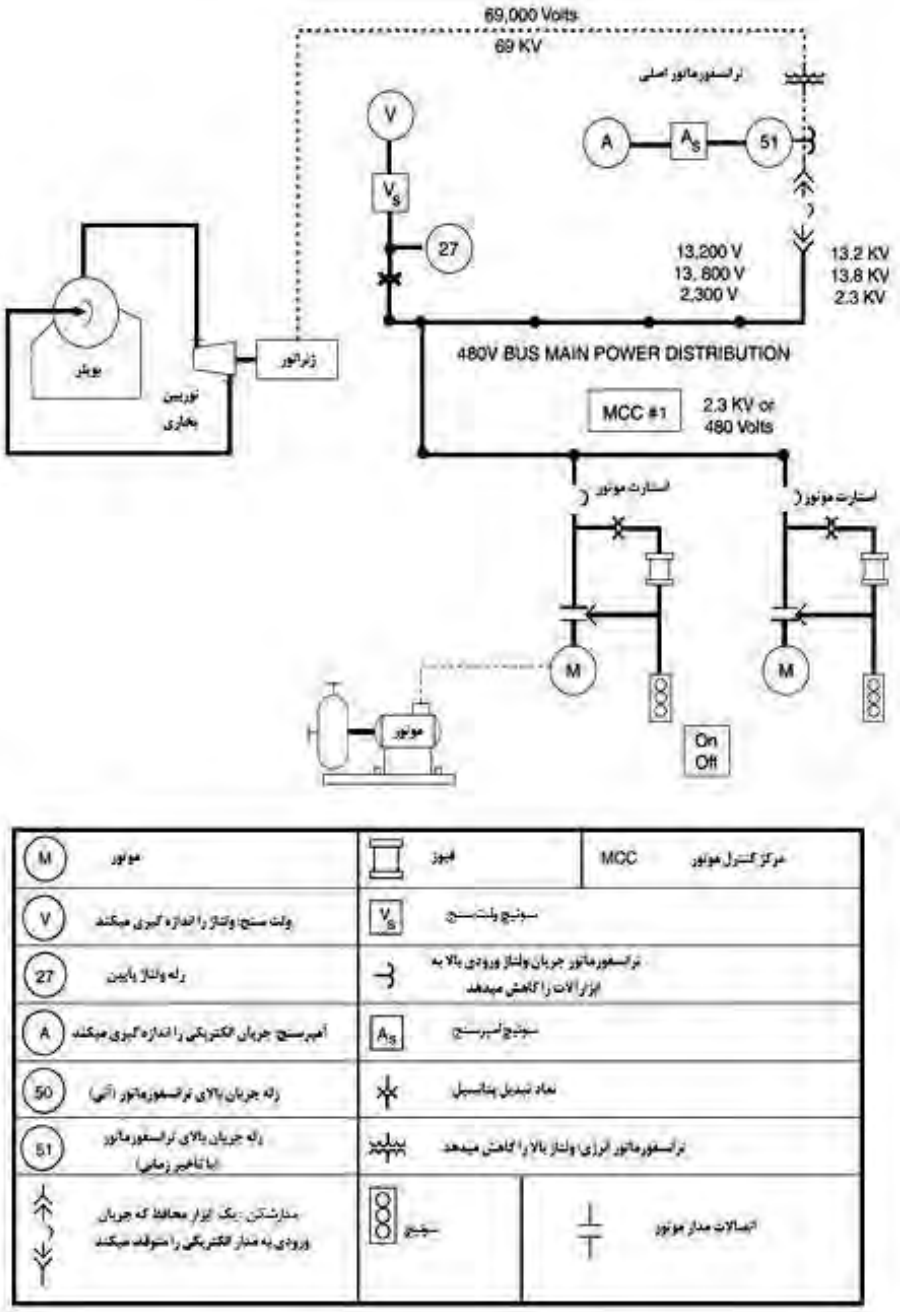
نقشهٔ الکتریکی (شکل ۱۲–۷) شامل علائم و نمودارهایی است که یک سیستم الکتریکی را تصویر می‌کند. نقشه‌های الکتریکی به برقکارهای واحد نشان می‌دهد خطوط انتقال برق از کجا عبور می‌کند و در کجا برق اهداف عملیاتی افزایش یا کاهش می‌یابد.

یک تکنسین فرایند عموماً برق واحد را از یک مرکز کنترل موتور (MCC)[1] پی‌گیری می‌کند. اجزای اساسی یک سیستم الکتریکی عبارت‌اند از MCC، موتورها، ترانسفورماتورها، مدار شکن ها، فیوزها، تابلو برق ها، استارترها[2] (راه اندازها) و کلید ها (سوئیچ‌ها[3]). قوانین ایمنی خاصی در رابطه با عملیات سیستم‌های الکتریکی وجود دارد. سیستم ایمنی اولیه، با مجوز قفل و نشانه گذاری (لاک اوت، تگ اوت[4]) انرژی خطرناک ایزوله شده است. لازم است تکنسین‌های فرایند در این مورد آموزش هایی ببینند. شکل ۱۲–۷ علائم اولیه و مسیر جریان در نقشه‌های الکتریکی را نشان می‌دهد. خطوط الکتریکی معمولاً به‌صورت سینی‌های کابل وارد کلید (سوئیچ)ها، موتورها، آمپرسنج ها، پست های برق و اتاق های کنترل می‌شود.

ترانسفورماتور وسیله‌ای است که در صنعت برای تبدیل ولتاژ بالا به ولتاژ پایین از آن استفاده می‌شود. کارگروه الکتریکی مدام با ترانسفورماتورها مسائل را کنترل می‌کند. مدارشکن های الکتریکی برای متوقف کردن جریان الکتریسیته در هنگام فزونی از مرزهای طراحی تولیدشده‌اند. مدارشکن ها سوئیچ نیستند و نباید خاموش و روشن شود. اگر خللی در کار آن‌ها اتفاق بیفتد تکنسین باید به یک برقکار اطلاع دهد. فیوزها وسایلی هستند که به‌منظور جلوگیری از عبور جریان اضافی در تجهیزات طراحی شده‌اند. اگر مشخصات طراحی رعایت نشود نوارهای فلزی نازک ذوب می‌شود. طی راندهای عملیاتی، تکنسین‌ها برای آگاهی از شدت جریان ورودی به سیستم الکتریکی، آمپرسنج های درون MCC را بررسی می‌کنند. ولت سنج ها، لوازم الکتریکی مورداستفاده برای نظارت بر ولتاژ در یک سیستم الکتریکی هستند که در طول راندهای معمول نیز چک می‌شوند.

---

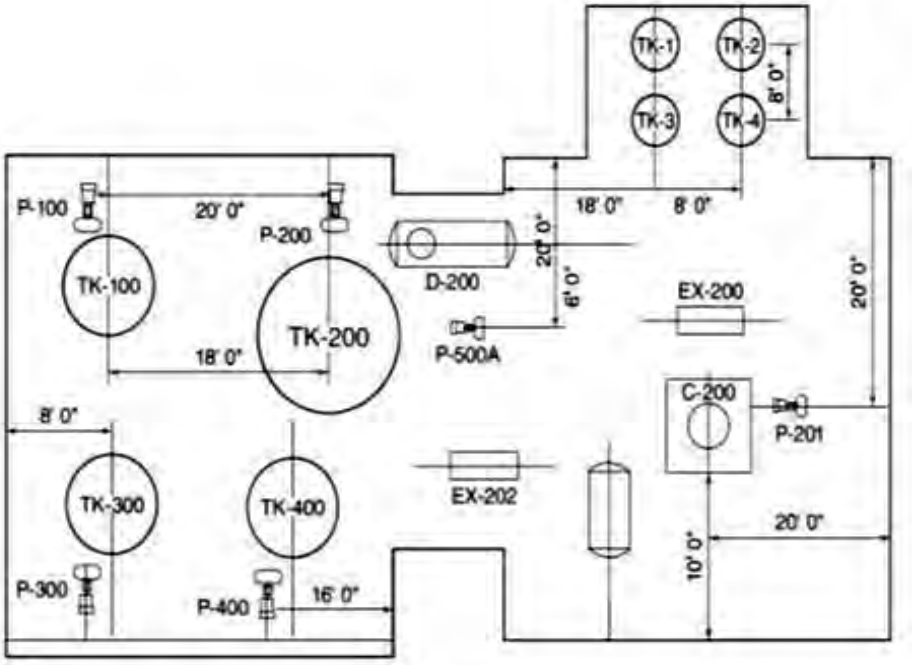
[1] Motor Control Center (MCC)
[2] Starters
[3] Switches
[4] Lock-out, Tag-out



شکل ۱۲–۷: نقشهٔ الکتریکی

– **نقشهٔ موقعیت (مکانی) تجهیزات**

نقشـــه‌های موقعیت تجهیزات (نقشـــه‌های پلات)[1] موقعیت دقیق تجهیزات را نســـبت به مرزهای فیزیکی کارخانه نشـــان می‌دهد (شـــکل ۱۲–۸). یکی از مشـــکل ترین مفاهیمی که باید برای تکنسین‌های جدید فرایند توضیح داده شود، برد (گستره) و اندازهٔ فرایندهای شیمیایی پیشرفته است. بیشتر کارخانه‌های شیمیایی و پالایشگاه ها شباهت زیادی به یک شهر کوچک دارند. آن‌ها بلوک های معینی دارند و نواحی آن‌ها توسط بزرگراه لوله‌ها و تجهیزات به هم متصل شده است. نقشه‌های موقعیت تجهیزات اطلاعاتی در رابطه با "همسایگی" را نشان می‌دهد.



شکل ۱۲–۸: موقعیت تجهیزات

[1] Plot Plans

- **نمودارهای حلقه**

یک نمودار حلقه تمامی ارتباطات تجهیزات بین ابزارها میدان عملیات و پنل اتاق کنترل را نشـــان می‌دهد. این موارد خطوط هوایی، ارتباطات ســـیم‌کشـــی در جعبه تقســـیم‌های خطوط میدانی و ارتباطات پنل های اتاق کنترل و محیط کار را دربردارد.

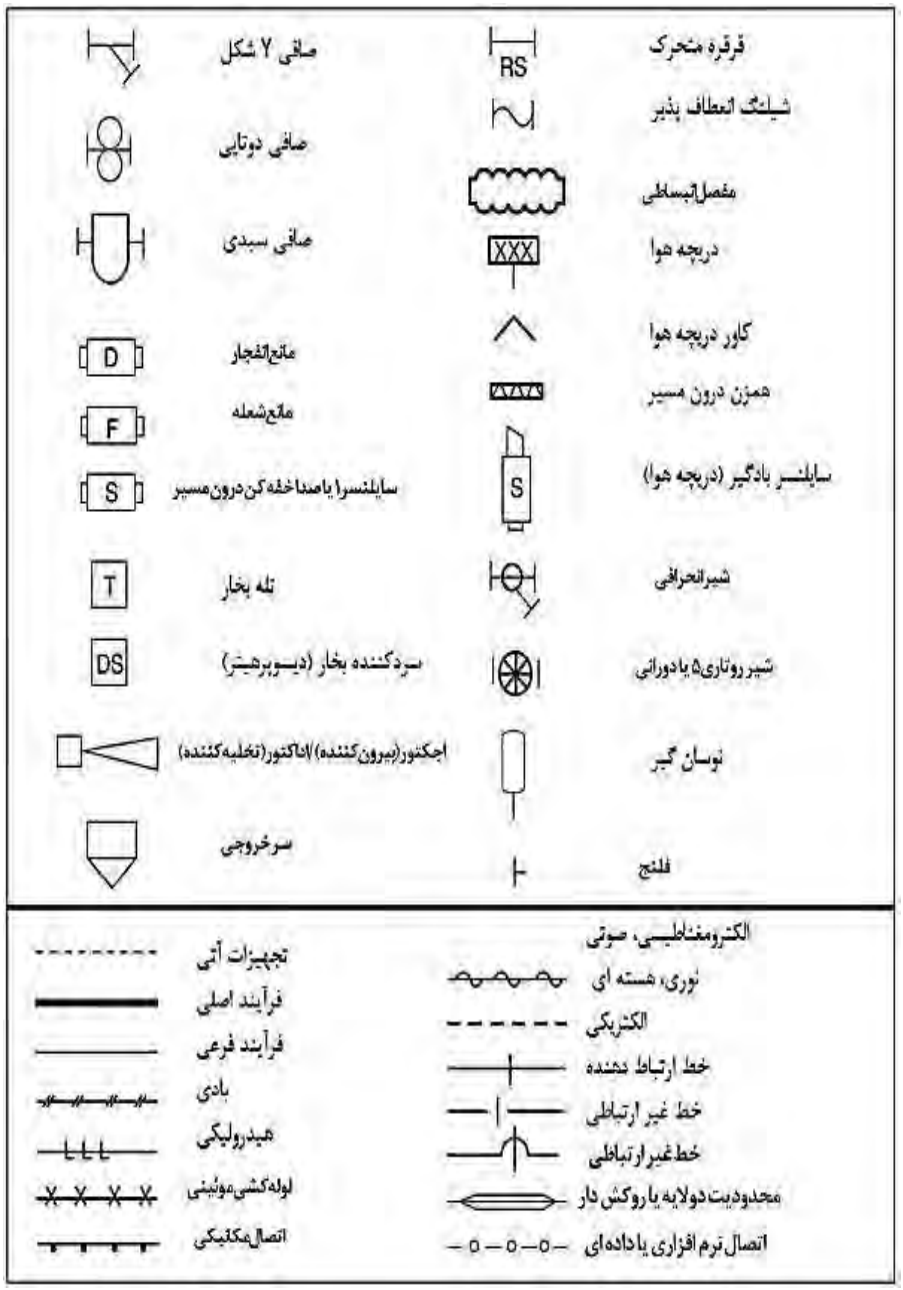
- **نمودارهای الکتریکی تک خطی**

مانند لوله‌کشی در سیستم‌های فرایند، سیمکشی واحد نیز مسیری را دنبال می‌کند. نمودارهای الکتریکی مســـیر جریان توزیع برق را در طول واحد و ســـپس به تمامی تجهیزات الکتریکی نشـــان می‌دهد. این نمودارها ســـطوح مختلف ولتاژ در واحد، تجهیزات الکتریکی مانند ترانســـفورماتورها، مدارشـــکن ها، فیوزها و موتورها و همچنین اســـب بخار موردنیاز آن‌ها را نشـــان می‌دهد. این موارد همچنین ســـوئیچ های خاموش/روشـــن، مدارهای پشـــتیبان و مراکز کنترل موتور را دربرمی‌گیرد. تکنسین‌های فرایند برای ردیابی یک سیستم از منبع تغذیه تا بار می‌توانند از این نمودارها استفاده کنند.

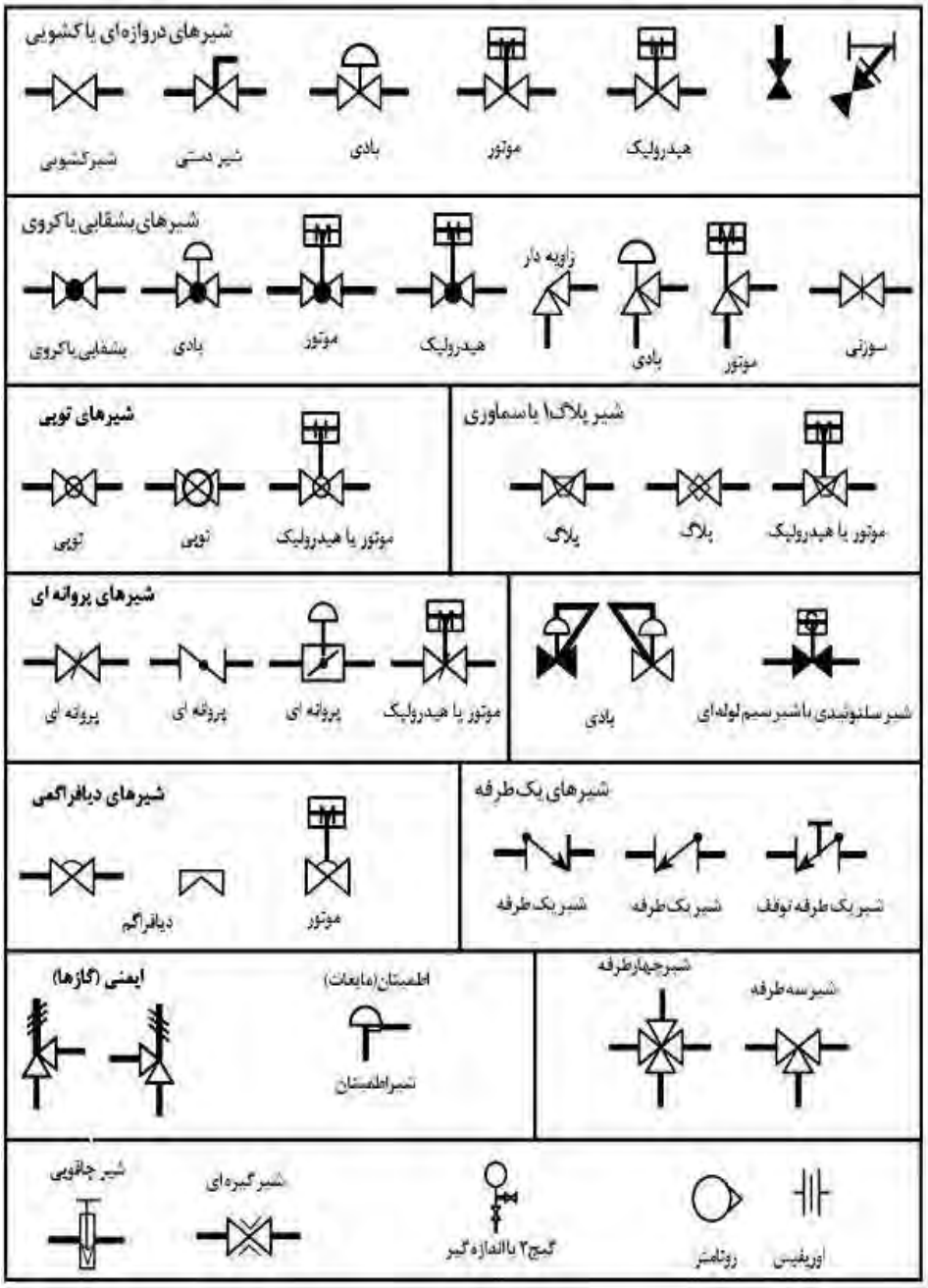
۱۲–۲– مروری بر نمادهای اولیه و تخصصی

۱۲–۲–۱– لوله‌کشی و شیرها

هر کارخانه دارای یک پرونده استاندارد برای علائم لوله‌کشی خود می‌باشد. تکنسین‌های فرایند باید علائم لوله‌کشـــی مربوط به جریان‌های اصـــلی و فرعی، عناصـــر و اجزای الکتریکی، بادی، مویینی و هیدرولیکی و همچنین تجهیزات آینده را به دقت مرور کنند (شکل ۱۲–۹). مسیر جریان اصلی در یک واحد، نشانگر نواحی بحرانی است که یک تکنسین جدید باید بر آن تمرکز کند. بسیاری علائم دیگر در لوله‌کشی وجود دارد. این علائم شامل شیرها (شکل ۱۲–۱۰)، صافی ها، فیلترها، فلنج ها، قطعات قرقره‌ای، عایق‌ها، سایز لوله‌ها، درجه‌بندی فشار، کدهای مواد و تله‌های بخار است.



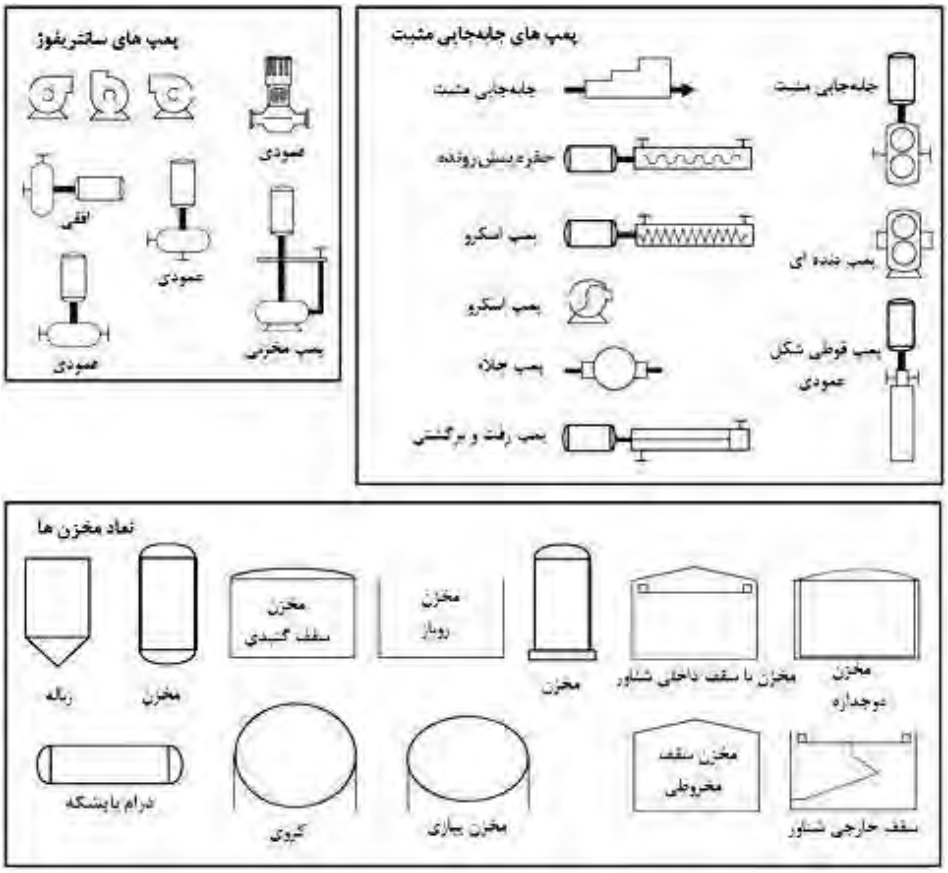
شکل ۱۲–۹: علائم لوله‌کشی



شکل ۱۲–۱۰: شیرها

۱۲–۲–۲– پمپ‌ها و مخازن

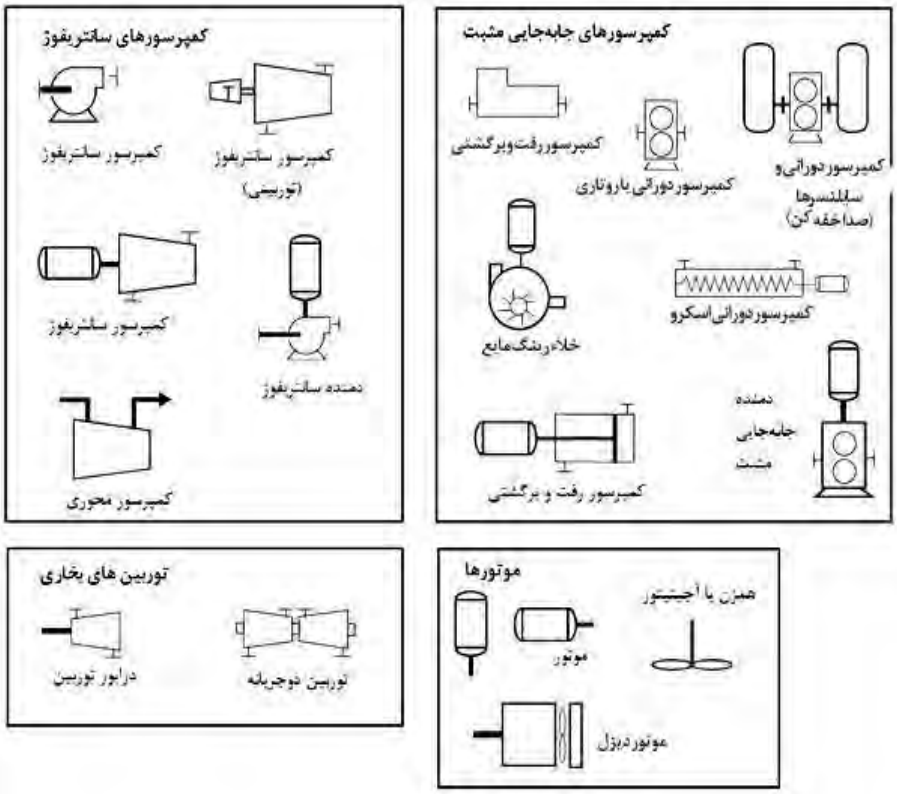
پمپ‌ها و مخزن ها در شـــکل‌ها و طرح‌های گوناگونی وجود دارند. علائم رایج پمپ‌ها و مخزن‌ها در شکل ۱۲–۱۱ نمایش داده شده‌اند.



شکل ۱۲–۱۱: پمپ‌ها و مخزن‌ها

۱۲–۲–۳– کمپرسورها، توربین‌های بخار و موتورها

به دلیل اینکه پمپ‌ها و کمپر سورها دارای ا صول عملیاتی م شترک ه ستند و به جابه‌جایی مثبت و دینامیکی طبق بندی می شوند، نمادهای کمپر سورها شباهت زیادی به علائم پمپ‌ها دارد (شکل ۱۲–۱۱ و ۱۲–۱۲ را مقایســـه کنید). در اغلب موارد، نماد کمپرســـور اندکی بزرگتر از نماد پمپ است.



شکل ۱۲–۱۲: کمپرسورها، توربین‌های بخار و موتورها

در کمپرسورهای سانتریفوژ (کمپرسورهای گریز از مرکز) چندمرحله‌ای، باریک شدن شکل علامت از چپ به راست نشانگر فشرده‌سازی گاز قبل از خروج آن است. این شکل در تقابل کامل با نماد توربین بخار است که اثر مخالف آن با افزایش حجم بخار و با عبور آن درون موتور نشان داده می‌شود. P&ID های مدرن علامت موتور را به تجهیزات متصل به موتور نشان می‌دهند. این تجهیزات ممکن ا ست یک پمپ، کمپر سور، مخلوط‌کن و یا ژنراتور با شد. شکل ۱۲–۱۲ نمادهای استاندارد کمپرسورها، توربین‌های بخار و موتورها را نشان می‌دهد.

۱۲–۲–۴– مبدل‌های حرارتی و برج‌های خنک‌کننده

م بدل های حرارتی و برج های خ نک‌کن نده دو نوع از تجهیزات صنعتی هستند که رابطه منحصربه‌فردی را به اشتراک گذاشته اند. مبدل حرارتی وسیله‌ای است که برای انتقال انرژی گرمایی بین دو جریان فرایند ا ستفاده می شود. برج‌های خنک‌کننده نیز عملکرد م شابهی دارند؛ اما

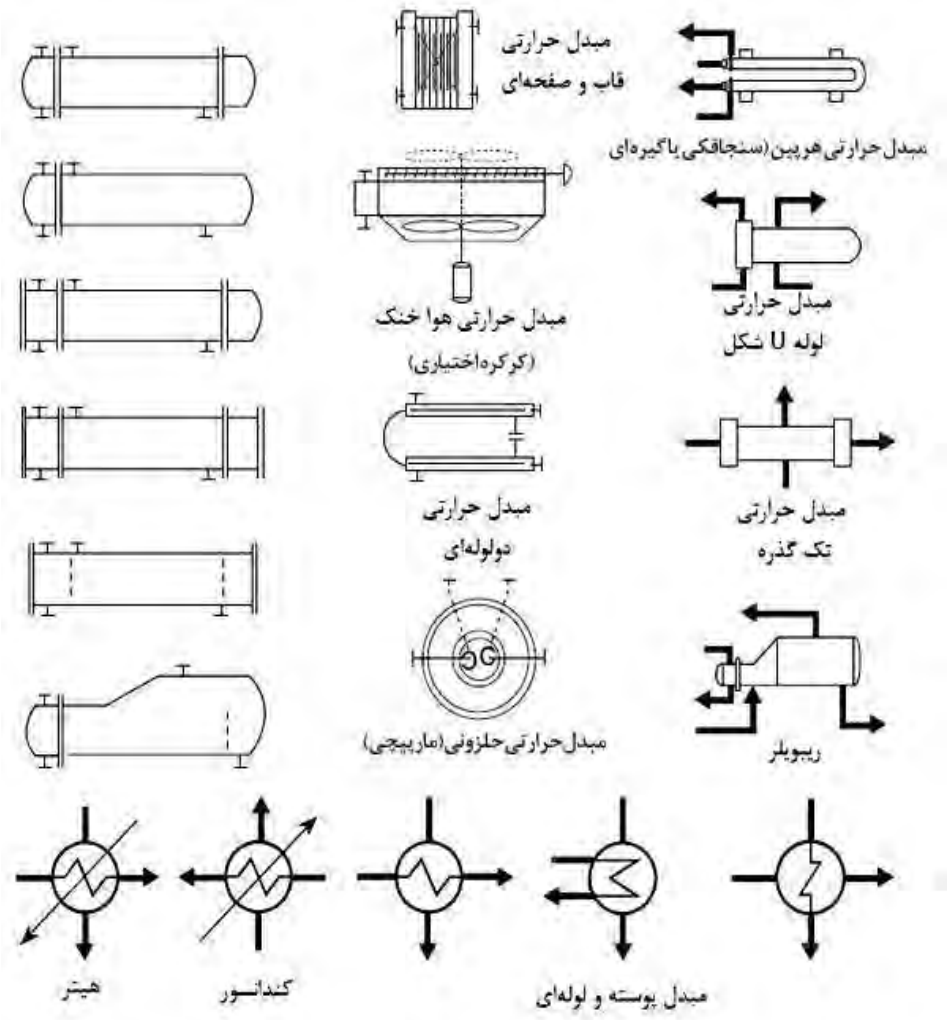
هرکدام از اصـــول علمی متفاوتی برای عملیات اســـتفاده می‌کند. مبدل حرارتی، انرژی گرمایی را از طریق انتقال حرارت هدایتی و جابجایی منتقل می‌کند، درحالی که برج‌های خنک‌کننده، انرژی گرمایی را از طریق اصـــل تبخیر به هوای بیرونی منتقل می‌کند. شـــکل‌های ۱۲–۱۳ و ۱۲–۱۴ نمادهای استاندارد مورداستفاده برای مبدل‌های حرارتی و برج‌های خنک‌کننده را نشان می‌دهد.

نماد یک مبدل حرارتی به وضـوح جریان سـیال درون آن را نمایش می‌دهد. برای تکنسـین فرایند توانایی تشخیص ورودی و خروجی پوسته ورودی و خروجی لولهٔ جریان گذرنده حائز اهمیت است. مبدل حرارتی با یک پیکان به درون بدنهٔ آن نشان می‌دهد جریان درون لوله برای گرم کردن سیال درون پوسته و یا سرد کردن آن استفاده می‌شود. جهت رو به پایین پیکان علامت گرم کردن است و پیکان رو با بالا سرد کردن را نشان می‌دهد.

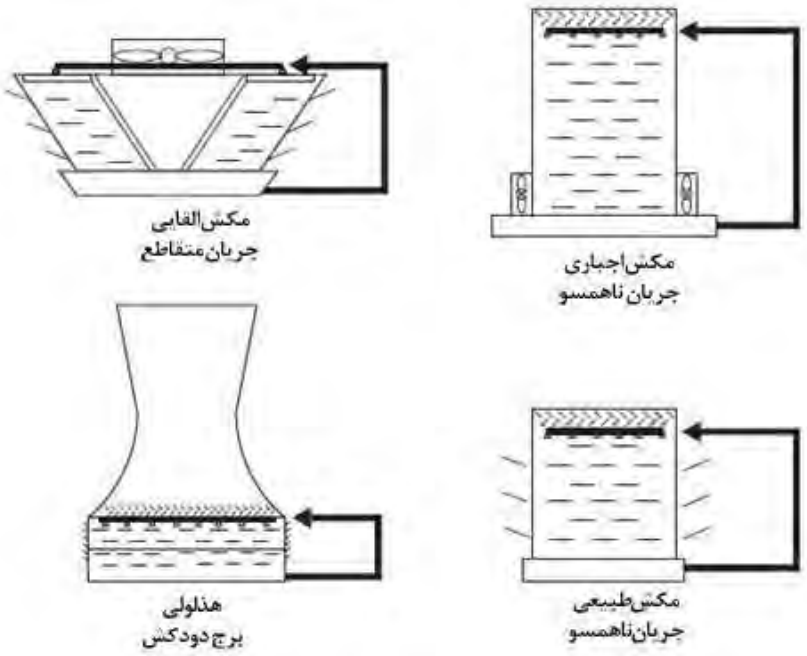
نماد یک برج خنک‌کننده به‌گونه‌ای طراحی شده است که شبیه وسیلهٔ واقعی در واحد عملیاتی باشد. محصول سرد شده از پایین برج به بیرون و به سمت واحدهای عملیاتی جریان می‌یابد. آب داغ به نقطه‌ای در بالای پرکن‌ها بازگردانده می‌شـــود. این نماد تمامی اجزای متنوع ســـیســـتم برج خنک‌کننده را نشـــان نخواهد داد، اما زمینهٔ خوبی از عملیات برج خنک‌کننده و هم چنین اطلاعات کافی برای دید شفافی از فرایند را به تکنسین فرایند می‌دهد.

۱۲–۲–۵–کوره‌ها و بویلرها

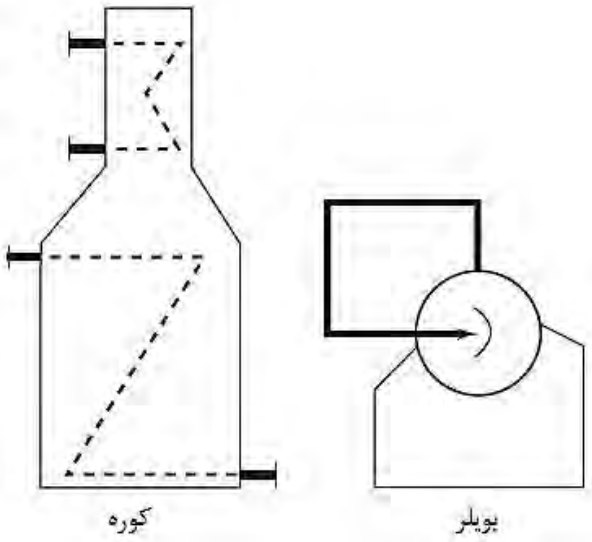
فایل نمادهای استاندارد برای: کوره‌ها و بویلرها در شکل ۱۲–۱۵ آمده است. اگر یک فرایند خاص شامل انواع مختلفی تجهیزات باشد که عموماً در فایل علائم استاندارد یافت نشود، طراح این وسایل را آن گونه که در واحد دیده می‌شود رسم می‌کند.



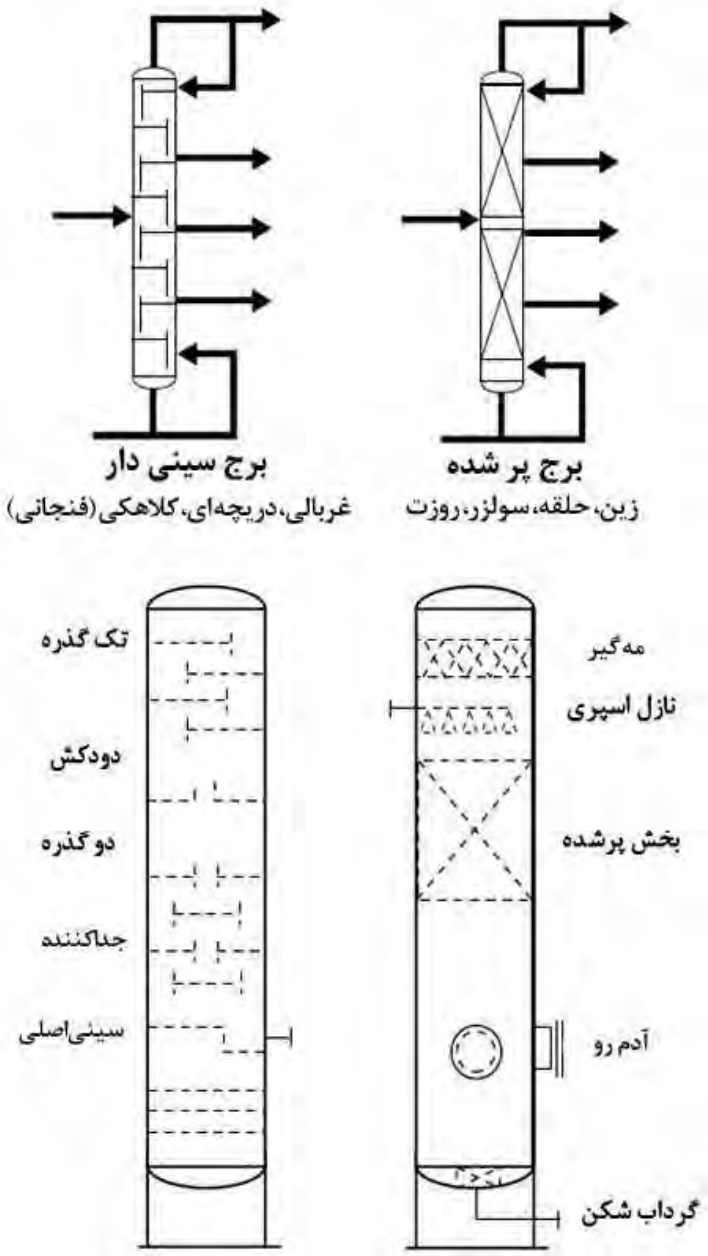
شکل ۱۲–۱۳: مبدل‌های حرارتی



شکل ۱۲–۱۴: برج‌های خنک‌کننده



شکل ۱۲–۱۵: کوره و بویلر



شکل ۱۲–۱۶: نمادهای تقطیر

۱۲–۲–۶– برج‌های تقطیر

برج‌های تقطیر دو طرح اصلی دارند: سینی‌دار و پر شده (شکل ۱۲–۱۶). تنظیمات جریان‌ها در هر فرایند متغیر است. علائم، در یافتن مسیر جریان‌های اصلی و فرعی به تکنسین کمک می‌کند. تقطیر – که در فصل ۱۵ به تفصیل موردبحث قرار خواهد گرفت – فرایندی است که برای جداسازی اجزای مختلف یک مخلوط به کمک اختلاف نقطه‌جوش آن‌ها طراحی شده است. یک برج تقطیر جزء مرکزی یک مجموعهٔ بسیار بزرگتر است. این سیستم معمولاً شامل تمامی علائم تجهیزاتی است که در این فصل دیدیم. برج‌های تقطیر سینی‌دار شامل سینی‌های غربالی، سینی‌های دریچه‌ای و سینی‌های کلاهکی (فنجانی) است. برج‌های پرشده با مواد پرکننده، حلقه‌ها، زین ها، سولزر[1] و روزت[2] پر می‌شود.

۱۲–۲–۷– راکتورها (واکنشگاه ها)

راکتورها (شکل ۱۲–۱۷) مخازن ثابتی هستند و می‌توان آن‌ها را به بسته (بچ)[3]، نیمه بسته[4] و پیوسته[5] طبقه‌بندی نمود. هدف طراحی راکتور این است که بستری برای مواد شیمیایی فراهم کند تا تحت شرایطی خاص با یکدیگر مخلوط شده و پیوندهای شیمیایی تشکیل دهند یا پیوندهای شیمیایی آن‌ها شکسته شود و یا پیوندهای شیمیایی تشکیل دهند و شکسته شوند تا محصولات جدیدی تولید شود.

۱۲–۳– منابع اطلاعاتی برای تکنسین‌های فرایند

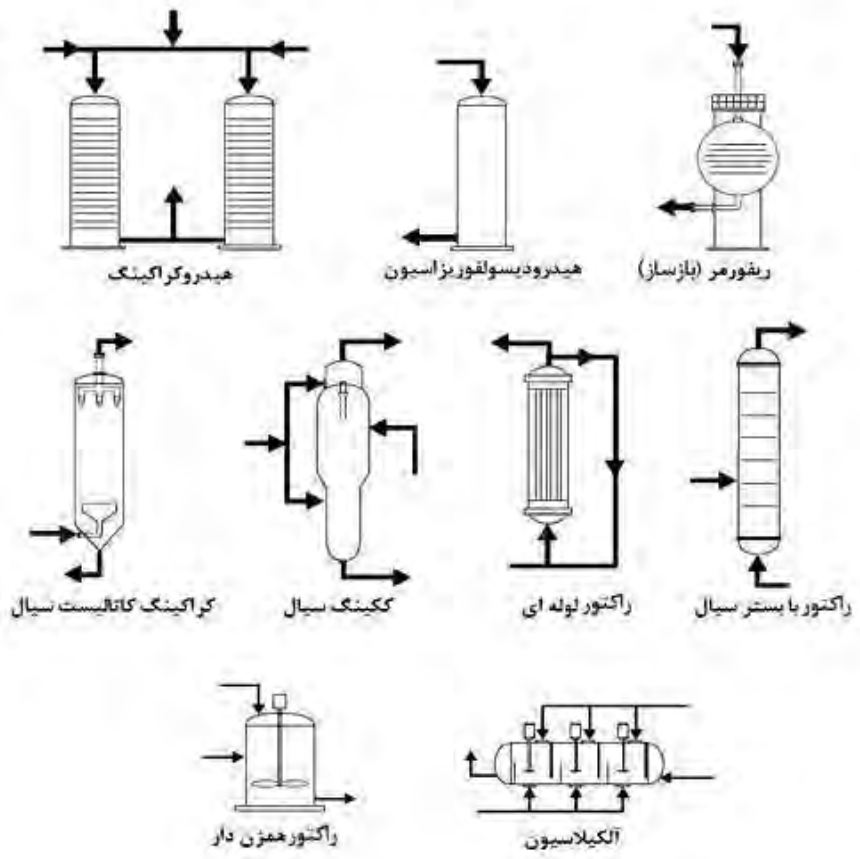
اطلاعات مورداستفاده توسط تکنسین‌های فرایند از منابع مختلفی تأمین می‌شود. برخی از این منابع در زیر آمده است:

- کتابچه های راهنمای آموزش عملیات
- توضیحات فرایند
- کتابچه های راهنمای کنترل فرایند
- توضیحات خلاصه مربوط به تجهیزات
- مقررات ایمنی، سلامت و محیط زیست
- دستورالعمل‌های عملیاتی

---

[1] Sulzer
[2] Rosette
[3] Batch
[4] Semi batch
[5] Continuous

- دستورالعمل‌های راه‌اندازی و غیرفعال‌سازی
- دستورالعمل‌های اورژانسی
- نمودارهای فرایند
- کتب داده‌های فنی
- اطلاعات همراه با جزئیات تجهیزات خریداری شده



شکل ۱۲–۱۷: راکتورها

خلاصه

نمودارهای جریان فرایند (PFD) و نقشه‌های فرایند و تجهیزات (P&ID) به‌منظور خلاصه کردن یا توضیح جریان‌ها، تجهیزات، ابزارها، قطعات الکترونیکی، الویشن ها و فونداسیون‌های پیچیدهٔ موجود در یک واحد فرایندی مورداستفاده قرار می‌گیرند. PFD نمودار جریانی ساده‌ای است که جریان‌های اصلی موجود در یک واحد را توصیف می‌کند. P&ID نمایش پیچیده ای از واحدهای متنوع موجود در یک کارخانه ا ست. علائم و نمودارهای ا ستاندارد برای اکثر قطعات و اجزای صنعتی، جریان‌های فرایندی و ابزارها توسعه داده شده است.

سؤالات مروری

۱) نمودار جریان فرایند و نقشهٔ فرایند و تجهیزات را توضیح دهید.
۲) علائم مربوط به شیرهای گیت (ورودی)، فلکه و خودکار را رسم کنید.
۳) علائم مربوط به پمپ سانتریفوژ و جابه‌جایی مثبت را رسم کنید.
۴) علائم مربوط به دمنده و کمپرسور رفت و برگشتی را رسم کنید.
۵) علائم مربوط به توربین بخار و کمپرسور سانتریفوژ را رسم کنید.
۶) علائم مربوط به مبدل حرارتی و برج خنک‌کننده را رسم کنید.
۷) علائم مربوط به برج تقطیر پر شده و برج تقطیر سینی‌دار را رسم کنید.
۸) علائم مربوط به کوره و بویلر را رسم کنید.
۹) یک نمودار جریان فرایند ساده با استفاده از علائم سؤالات ۸-۲ رسم کنید.
۱۰) چه اطلاعاتی را از نمودار حلقه‌ای می‌توان دریافت نمود؟
۱۱) چه نوع اطلاعاتی در نمودارهای الکتریکی یک خطی قابل درک است؟
۱۲) یک نقشهٔ موقعیت تجهیزات شامل چه اطلاعاتی است؟

فصل سیزدهم
سیستم‌های یوتیلیتی

اهداف

پس از مطالعه این فصل دانشجو قادر خواهد بود:

- اجزای اولیهٔ یک سیستم بخار را شرح دهد.
- سیستم‌های آب اطفاء و آب خام را توضیح دهد.
- چگونگی تصفیهٔ آب خوراک بویلر را توضیح دهد.
- اجزای اولیهٔ یک سیستم آب خنک‌کننده را توضیح دهد.
- اجزای اولیهٔ یک سیستم هوا را توضیح دهد.
- اجزای اولیهٔ یک سیستم نیتروژن را توضیح دهد.
- اجزای اولیهٔ یک سیستم گاز را توضیح دهد.
- اجزای اولیهٔ یک سیستم برقی را توضیح دهد.
- اجزای اولیهٔ سیستم‌های بخار و تله ها را توضیح دهد.
- اجزای اولیهٔ یک سیستم مجرای فاضلاب صنعتی را توضیح دهد.
- عناصر اصلی سیستم سرماساز فرایند را توضیح دهد.
- سیستم مشعل و اطمینان (کمکی) را توضیح دهد.

۱۳–۱– مقدمه‌ای بر سیستم‌های فرایندی

کارخانه‌های شیمیایی و پالایشگاه ها دارای ترکیب های منحصربه‌فردی از تجهیزات و سیستم‌هایی هستند که برای جداسازی مواد از یکدیگر و دستیابی به فرآورده‌های خالص یا نسبتاً خالص مورداستفاده قرار می‌گیرند. واکنش‌ها، تقطیر، جذب/دفع، جذب سطحی/خشک‌کردن، تبلور (کریستالیزاسیون)[1]، تبخیر، روزن‌رانی (اکستروژن)[2]، استخراج، فیلترینگ، غربال‌گری و سیستم‌های یوتیلیتی مثال‌هایی از سیستم‌های فرایندی هستند. سیستم‌های یوتیلیتی معمولاً شامل تولید بخار، هوا و گازهای فشرده، تصفیهٔ آب و عملیات برج خنک‌کننده می‌شود.

۱۳–۲– سیستم‌های تولید بخار

سیستم بخار تنظیم پیچیده‌ای از تجهیزات و لوله‌هاست که به‌منظور تولید و گردش بخار در دماها و فشارهای مختلف با یکدیگر کار می‌کند. به دلیل این‌که بخار مصارف گوناگونی دارد، بیشتر کارخانه‌های شیمیایی و پالایشگاه‌ها تجهیزات تولید بخار مختص خود را دارند. در یک سیستم بستهٔ بخار، برای حذف قطرات آب یا میعانات (محصول تقطیر) از خط فعال بخار از یک هدر بازگشت میعانات استفاده می‌شود. این آب تصفیه شده در نقاطی در پایین سیستم، جایی که لوازمی به نام تله بخار آن را به سمت بویلر هدایت می‌کند، جمع می‌شود. مجرایی به نام هوازدا برای جمع‌آوری سیال از هدر بازگشت میعانات مورداستفاده قرار می‌گیرد. هوازدا برای حذف هوای اضافی از سیستم طراحی شده است. اغلب آب خالی از املاح معدنی به هوازدا اضافه می‌شود. میعانات سرد شده دوباره به‌عنوان خوراک وارد بویلر می‌شود و در آن‌جا به بخار تبدیل می‌شود.

یک سیستم بخار معمول شامل تجهیزات زیر خواهد بود:

- بویلر (لوله آبی (واترتیوب) یا لوله آتشی (فایرتیوب))
- سیستم هدر بخار (فشار پایین، متوسط و بالا)
- سیستم بازگشت میعانات (تله بخار، شیرها، لوله‌ها، پمپ‌ها)
- سیستم هوازدا

---

[1] Crystallization
[2] Extrusion

سیستم‌های بخار ممکن است سیستم تولید و توزیع بخار فوق فشار بالا (SHP)[1]، بخار فشار بالا (HP)[2]، فشـار متوسـط (MP)[3] و بخار فشـار پایین (LP)[4] داشـته باشـند. در پاراگرف های زیر به توضیح هر یک از این سیستم‌ها می‌پردازیم.

۱۳–۲–۱– بخار فوق فشار بالا (۱۰۰۰–۱۲۰۰ psig)

بخار فوق فشـار بالا درون بویلرهای لوله آبی و لوله آتشـی تولید می‌شـود و به اپراتور بخش بویلرها اجازه می‌دهد بخار را به نواحی دور از کارخانه بفرستد؛ هرچند بسیاری از سیستم‌های فرایندی برای کار با بخار فوق فشار بالا طراحی نمی‌شود. در این شرایط، فشار بخار به حد صحیح عملیاتی کاهش داده می شود. بین فشار و دمای بخار ارتباط وجود دارد. هرچه فشار بخاری بیشتر باشد، دمای آن نیز بالاتر خواهد بود. تکنسـین‌های فرایند از جداول بخار برای تعیین دمای بخار در فشـار مشـخص استفاده می‌کنند.

بخار SHP توسـط یک بویلر تولید می‌شـود و هدر بخار SHP را تغذیه می‌کند. فشـار در بخار SHP بین ۱۰۰۰ تا ۱۲۰۰ psig اسـت. این بخار توربین‌هایی را تغذیه می‌کند که کمپرسـورها را راه‌اندازی می‌کند. به‌منظور کنترل فشار در هدر بخار فوق فشار بالا (SHP) و همچنین انتقال مقدار اضافی بخار آن به هدر بخار فشار بالا (HP)، یک ایستگاه کاهش فشار بین هدر SHP و هدر بخار HP تعبیه می‌شود.

۱۳–۲–۲– سیستم بخار فشار بالا (۴۰۰–۸۰۰ psig)

بخار فشـار بالا (HP) در هنگام لزوم با کاهش فشـار بخار SHP تأمین می‌شـود. بخار فشـار بالای خروجی از درایوهای توربین بخاری را می‌توان به‌عنوان خوراک هدر بخار فشار بالا مورداستفاده قرار داد. به‌منظور حفظ تعادل بخار HP ممکن است از سایر واحدها وارد هدر بخار فشار بالا شود. جریان بخار خروجی ورودی به‌گونه‌ای تنظیم می‌شـود که فشـار در محدودهٔ ۴۰۰ تا ۸۰۰ psig قرار گیرد. فشار بخار ورودی از طریق یک سوپاپ کنترل فشار، اندکی بالاتر از فشار هدر HP است. برای حفظ فشار و تعادل بخار در هدر فشار متوسط، یک ایستگاه کاهش فشار بین هدر بخار HP و هدر بخار MP قرار می‌گیرد.

---

[1] Super-High-Pressure
[2] High-Pressure
[3] Medium-Pressure
[4] Low-Pressure

۱۳–۲–۳– سیستم بخار با فشار متوسط (۱۸۰–۲۰۰ psig)

فشار بخار جزئی در هدر بخار با فشار متوسط ۱۸۰ psig است. بخار فشار متوسط با کاهش فشار هدر بخار HP و یا استخراج بخار خروجی (خروجی) از عملیات توربین‌های بخار تأمین می‌شود. با ورود بخار فشار بالا به توربین، مقداری از آن به انرژی مکانیکی قابل‌استفاده تبدیل می‌شود. در عملیات تراکم ناپذیر از بخار خروجی در مواردی که به فشار پایین نیاز است استفاده می‌کنند. بخشی از بخار MP از طریق خروجی توربین‌های کوچک و استخراج بخار از توربین‌های بزرگ‌تر تأمین می‌شود. در صورتی که بخار موردنیاز توسط این دو منبع کاملاً تأمین نشود، ایستگاه کاهش فشار بین هدرهای HP و MP تعادل بخار موردنیاز در هدر MP را برقرار می‌کند.

۱۳–۲–۴– بخار فشار پایین (۵۰–۶۰ psig)

بخار LP با کاهش فشار از هدر بخار MP و یا استخراج از مخزن بلودان (آبریز) پیوستهٔ توربین بخار تأمین می‌شود. فشار بخار جزئی در هدر بخار LP برابر ۵۰ psig می‌باشد. فشار ورودی به هدر بخار LP را می‌توان از خروجی پمپ‌های توربینی تأمین نمود. ایستگاه کاهش فشار بین هدرهای MP و LP، تعادل را در هدر LP حفظ می‌کند. یک سیستم دفع اتوماتیک کنترل شده با فشار به همراه سایلنسرها برای دفع بخار اضافی از هدر LP به جو در شرایط نامساعد عملیاتی تعبیه می‌شود.

۱۳–۲–۵– بازیابی میعانات

سیستم بازیابی میعانات به قسمت های میعانات تمیز و مشکوک (آلوده) تقسیم می شود. میعانات تمیز مستقیماً وارد هوازدا می‌شود. میعانات آلوده از جایی که فشار بخش فرایند از فشار بخار بیشتر است جمع‌آوری می‌شود. این میعانات ممکن است به دلیل یک ایراد مکانیکی، مانند نشتی یا خرابی لولهٔ آلوده در نظر گرفته شود. استفادهٔ دوباره از این میعانات آلوده می‌تواند آسیب های جدی به بخارسازها و توربین‌ها وارد کند. میعانات آلودهٔ جمع‌آوری شده درون مخزن برای تشخیص آلودگی‌های هیدروکربنی به دقت مورد نظارت قرار می‌گیرد. بسته به آنالیز نتایج، این میعانات به درون یک فیلتر هیدروکربنی و سپس به سمت هوازدا پمپ می‌شوند.

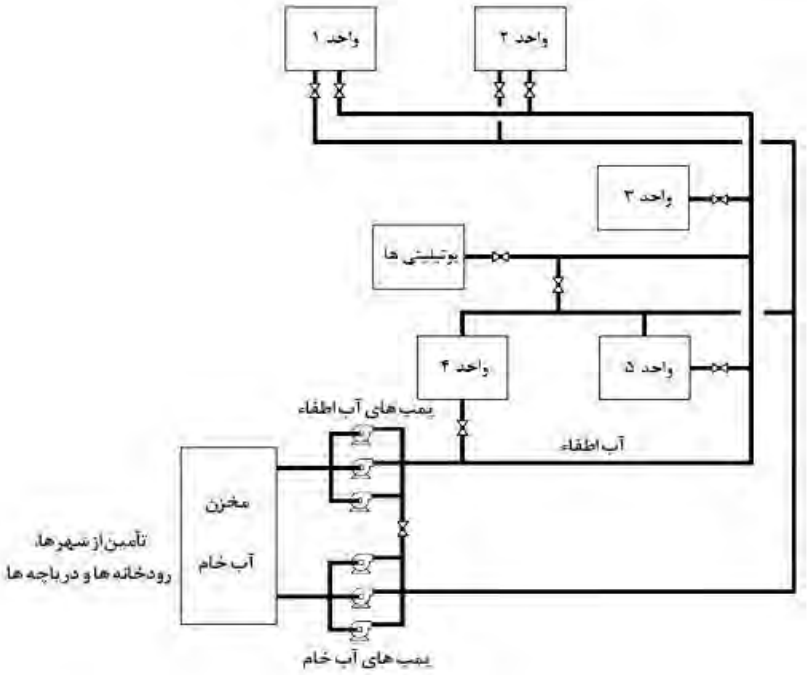
۱۳–۲– سیستم آب خام و آب اطفاء (آتش‌نشانی)

یک مخزن آب که از منابع شهری یا رودخانه های محلی و دریاچه ها تغذیه می‌شود، معمولاً سیستم‌های کارخانه‌ای را که نیازمند آب خام (RW)[1] مورداستفاده برای تمامی مصارف کارخانه و

[1] Raw-Water

هم چنین آب اطفاء (FW)[1] مورداستفاده برای واحدهایی با مصارف خاص مانند بویلرها (که معمولاً باید تصفیه و خالص سازی شود) را تأمین می‌کند. آب خام توسط پمپ‌ها به درون واحدها فرستاده می‌شود. تمامی پمپ‌ها را می‌توان از راه دور از طریق سرویس کنترل واحد یوتیلیتی راه‌اندازی نمود. در شرایط عادی، یک یا دو پمپ برای حفظ فشار ۱۲۵ تا ۱۵۰ psig در سیستم RW کار می‌کند. شکل ۱۳–۱ نحوهٔ عملکرد سیستم آب خام را نشان می‌دهد. تمامی خطوط آب خام در بالای سطح زمین قرار می‌گیرند. کارخانه‌ها از آب خام در شیلنگ‌های آب ایستگاه یوتیلیتی، قرقره‌های شیلنگ آب اطفاء واحد عملیاتی، تغذیهٔ برج خنک‌کننده، تغذیهٔ سیستم آب اطفاء و آب جبرانی برای خوراک بویلر استفاده می‌کنند.

آب اطفاء توسط پمپ‌ها به کارخانه فرستاده می‌شود که باید قادر باشد در صورت قطع برق کارخانه به مسیر خود ادامه دهد. این پمپ‌ها معمولاً دیزلی هستند تا یقین حاصل شود در صورت قطع برق، آن‌ها به کار خود ادامه می‌دهند. فشار سیستم FW را می‌توان با اتصال متقاطع با سیستم آب خام پشتیبانی نمود. (نکته: عملیات در برخی کارخانه‌ها ممکن است بسیار با آنچه در این صفحات توضیح داده شد متفاوت باشند.)

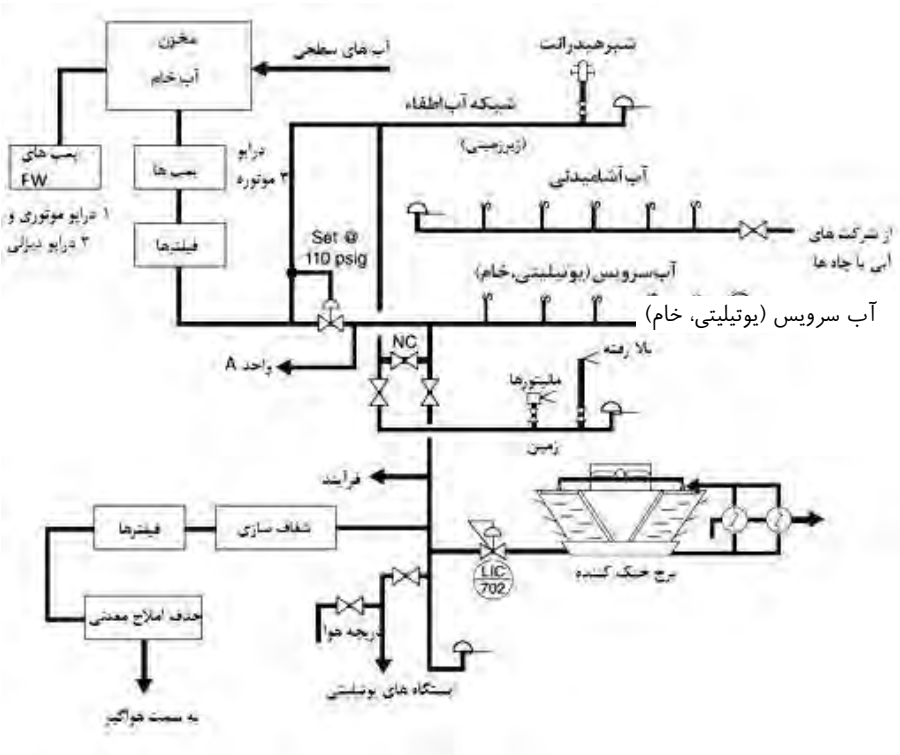


شکل ۱۳–۱: آب خام و آب اطفاء

[1] Fire-Water

پمپ‌های آب اطفاء به‌گونه‌ای هستند که زمانی که فشار سیستم آب اطفاء به پایین‌تر از psig ۱۱۰ می‌رسد، به‌طور خودکار روشن می شود. اولین پمپ پشتیبانی در psig ۱۱۰ روشن می شود. دومین پمپ دیزلی در فشار psig۱۰۰ روشن می‌شود و سومین پمپ دیزلی زمانی روشن می‌شود که فشار سیستم به psig ۹۰ می‌رسد. برخی کارخانه‌ها با فشار سیستم آب اطفاء بالغ بر psig ۳۰۰ کار می‌کنند. این پمپ‌ها را نیز می‌توان از مرکز کنترل واحد یوتیلیتی و از راه دور راه‌اندازی کرد.

تمامی خطوط لوله در سیستم FW با فاصله حداقل ۲ فوت از سطح زمین، در زیر زمین قرار می‌گیرد. هر واحد فرایندی یک سیستم حلقه‌ای دارد که FW واحد را تأمین می‌کند. شیرهای ایزولهٔ حلقه‌ای به‌منظور جدا نمودن هرگونه نشتی یا شکستگی لوله در حلقه نصب می‌شود. شیرهای هیدرانت[1] (آتش نشانی) در شانه‌های راه در همه طرف واحدها و درون واحد قرار دارند. سیستم‌های اطفاء حریق سیلابی روی مجاری مخزن نیز توسط سیستم‌های FW تغذیه می شود. شکل ۱۳–۲ چگونگی یکپارچه شدن سیستم‌های RW و FW را نشان می‌دهد.



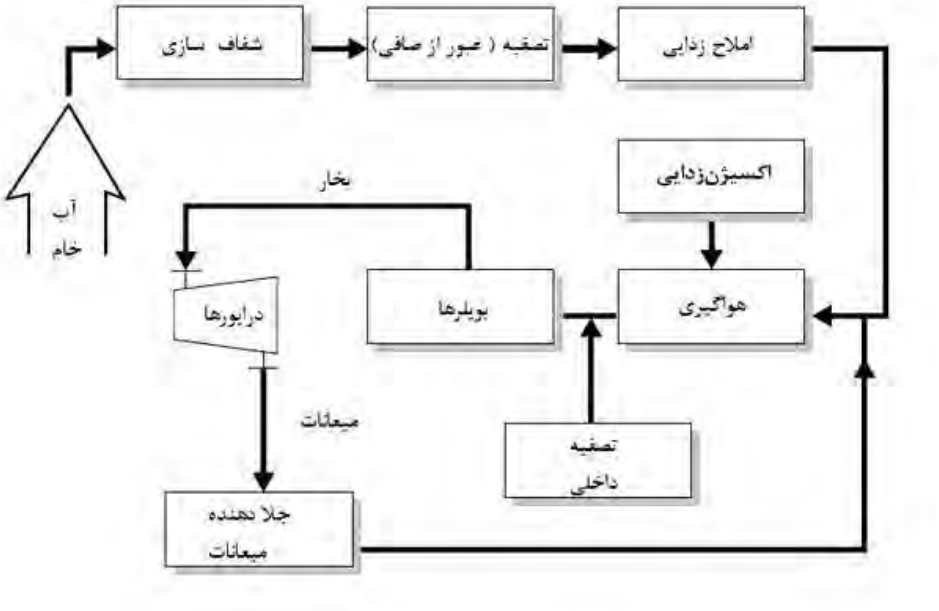
شکل ۱۳–۲: سیستم‌های آبی

[1] Hydrant

۱۳–۳– تصفیهٔ آب خوراک بویلر

تصـــفیهٔ آب خوراک بویلر فرایندی اســـت که طی آن جامدات معلق و محلول، از آب های زائد ا ستفاده شده درون کارخانه جدا می شود. میعانات تمیز و آب جبرانی املاح زدایی شده برای تأمین خوراک بویلر (BFW)[1] برای پمپ‌های چندگانهٔ BFW هوازدایی می‌شـوند. در عملیات پمپ کردن دو یا سه پمپ موردا ستفاده قرار می‌گیرد. عموماً پمپ ا صلی دارای دو پمپ پ شتیبانی ا ست که در حالت آماده باش قرار دارند.

حذف تمامی ناخالصی‌ها لازم و حیاتی ا ست و در غیر این صورت ا سکیل‌های م ضر و خوردگی بیش‌ازحد در بویلرها اتفاق می‌افتد. غلظت بالای جامدات محلول در آب بویلر باعث کف کردن آب درون بویلر می شود. کف کردن منجر به تولید تودهٔ ناخالصی‌ها در بخار و در نهایت ت شکیل ر سوب در چرخ‌های توربین خواهد شد. شکل ۱۳–۳ تجهیزات لازم برای کیفیت آب لازم برای یک سیستم بخار ۹۰۰ psig را نشان می‌دهد.



شکل ۱۳–۳: آب خوراک بویلر

[1] Boiler Feedwater

۱۳–۳–۱– ناخالصی‌های آب

ناخالصی‌های موجود در منابع آب را می‌توان به جامدات معلق و محلول تقسیم نمود. جامدات معلق در آب حل نمی‌شوند و با صافی قابل حذف هستند. نمونه‌هایی از جامدات معلق عبارت‌اند از گل، خاک رس و لجن. جامدات محلول آن‌هایی هستند که به‌طور طبیعی در آب حل می‌شوند و در نتیجه نمی‌توان آن‌ها را با صافی از آب جدا نمود. سدیم کلرید (نمک خوراکی)، کلسیم کربنات (سنگ آهک)، سیلیکا (ماسه)، کلسیم سولفات (سنگ گچ)، منیزیم سولفات (نمک فرنگی یا اپسوم[1])، منیزیم کربنات (دولومیت[2])، سدیم سولفات مرطوب (نمک گلابر[3])، آلومینیوم، آهن، منگنز، فلوریدها و دیگر مواد از قبیل مثال‌هایی از جامدات محلول در آب هستند. این ناخالصی‌ها را باید قبل از کاربردهای صنعتی از آب جدا نمود.

جدول ۱۳–۱ استانداردهای عملیاتی بویلر که توسط اتحادیهٔ تولیدکنندگان بویلر در امریکا (ABMA)[4] تهیه شده است را نشان می‌دهد.

جدول ۱۳–۱: بیشینه حد آب بویلر

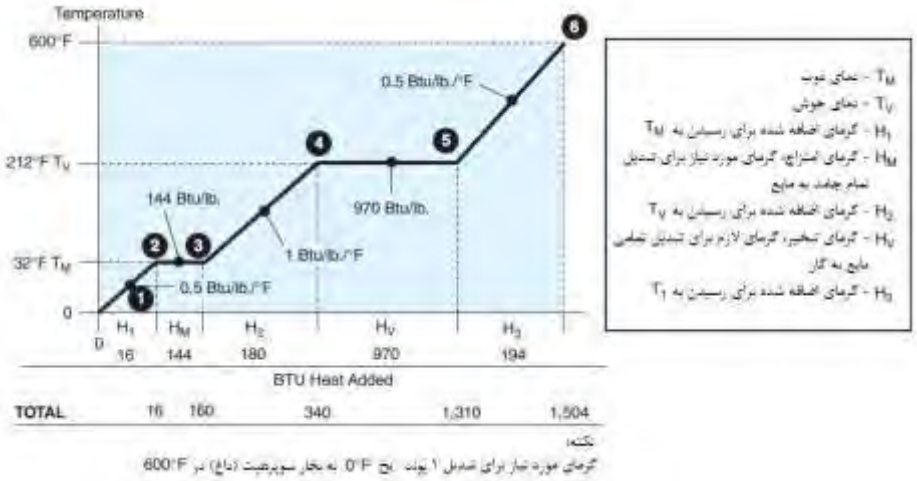
فشار بویلر (psig)	[illegible] (ppm)	[illegible] (Mg/L)*	[illegible] (ppm)	سیلیکا (ppm)
0–300	3,500	700	300	125
301–450	3,000	600	250	90
451–600	2,500	500	150	50
601–750	2,000	400	100	35
751–900	1,500	300	60	20
901–1,000	1,250	250	40	8
1,001–1,500	1,000	200	20	2.5
1,501–2,000	750	150	10	1.0
Over 2,000	500	100	5	0.5

[1] Epsom salts
[2] Dolomite
[3] Glauber's salt
[4] American Boiler Manufacturers Association

۱۳–۲–۲– خواص فیزیکی آب

آب یکی از فراوان‌ترین منابع موجود در روی زمین اســـت. آب در خاص‌ترین حالت خود بی رنگ، بدون بو مزه ا ست. آب تنها مادهٔ غیرآلی ا ست که در سه حالت یخ (جامد)، آب (مایع) و بخار (گاز) در محدودهٔ دمایی زمین وجود دارد. هر مولکول آب دارای دو اتم هیدروژن و یک هیدروژن اکسیژن است. فرمول شیمیایی آن H_2O است. آب در فشار اتمسفر در دمای ۲۱۲ درجهٔ فارنهایت (۱۰۰°C) به جوش می‌آید. افزایش فشـــار، نقطهٔ جوش را بالا می‌برد و کاهش فشـــار باعث کاهش دمای جوش می شود. برای مثال، در فشار ۲۰۰ psig آب برای جو شیدن باید تا دمای ۳۸۸°F گرم شود. زمانی که فشـــار جو را حذف کنیم، آب در دماهای پایین ۳۵ تا ۴۰°F می‌جوشـــد. در ۳۲۰۰ psig، آب به فشار بحرانی نزدیک می شود که در آن تغییر فاز آب از مایع به بخار، بدون تغییر حجم رخ می‌دهد. واحدهای فرایندی برای عملیات بویلر و بسیاری مصارف متنوع دیگر از بخار استفاده می‌کنند.

برای افزایش دمای یک پوند آب به اندازهٔ یک درجهٔ فارنهایت، ۱ Btu (واحد حرارتی بریتانیایی) حرارت لازم اســـت. برای تغییر فاز یک پوند آب از مایع به بخار ۹۷۰ Btu انرژی لازم خواهد بود (شکل ۱۳–۴). این انرژی حرارتی در بخار ذخیره می‌شود و تا زمانی که بخار شروع به سرد شدن و میعان نکند، از آن خارج نمی‌شـــود. اغلب به گرمای ذخیره شـــده در بخار، گرمای نهان تبخیر گفته می‌شود. یک پوند آب خوراک در دمای ۷۲°F (۲۲/۲°C) برای رسیدن به ۲۱۲°F (۱۰۰°C) نیاز به ۱۴۰ Btu انرژی دارد و پس از آن برای تغییر فاز به بخار ۹۷۰ Btu انرژی لازم خواهد داشـــت. در مجموع ۱۱۱۰ Btu انرژی درون بخار ذخیره می شود. در فرایند معکوس، انرژی آزاد شده در هنگام تغییر فاز بخار به مایع را گرمای نهان میعان می‌گویند.



شکل ۱۳–۴: جامد، مایع و گاز

مخازن محلی آب و سیستم‌های ذخیره‌سازی از لحاظ کیفیت آب طبیعی، بسیار متنوع و شامل مقادیر مختلفی ناخالصی هستند. در دماهای بالاتر، طبیعت انحلال پذیری آب افزایش می‌یابد و در نتیجه میزان جامدات محلول در آن افزایش پیدا می‌کند.

سختی آب با وجود ترکیبات کلسیم و منیزیم در ارتباط است. آب شور در میزان مواد معدنی با آب شیرین تفاوت دارد. آب شور به ازای هر ۱۰۰۰ پوند آب، حاوی ۳۰۰ پوند نمک می‌باشد.

با افزایش دمای آب خوراک بویلر ناخالصی‌ها ته‌نشین می‌شود و به سطوح داغ بویلر می‌چسبد و اسکیل (پوسته) تشکیل می‌دهند. معمولاً، بی کربنات‌های محلول کلسیم و منیزیم تجزیه می‌شود و کربنات‌های نامحلول را تشکیل می‌دهد. رسوبات درون یک بویلر ترکیبی از مواد مختلف شامل کلسیم کربنات، کلسیم فسفات، سولفات یا سیلیکات، منیزیم هیدروکسید، اکسیدهای مس، آهن و سیلیکا هستند. رسوبات فسفات قهوه‌ای کمرنگ و خاکستری است و به‌راحتی پاک می‌شود. رسوبات کربنات ها دانه دانه و متخلخل ا ست. ر سوبات سولفات‌ها دارای یک ساختار کریستالی ا ست که تشکیل یک رسوب چگال و بسیار سخت می‌دهد. رسوبات سیلیکا بسیار سخت است و یک ساختار کریستالی ظریف شبیه به ظروف چینی دارد. ر سوبات آهن با رنگ قهوه‌ای سوخته تشخیص داده می‌شود. مشکل اصلی که در رابطه با رسوبات وجود دارد خرابی لوله‌هاست.

۱۳-۳-۳- خوردگی

فرایند خوردگی یک واکنش الکتروشیمیایی پیچیده است که قادر است به یک سطح بزرگ و یا یک نقطهٔ کوچک حمله کند. خوردگی در یک بویلر معمولاً با واکنش اکسیژن و یک فلز اتفاق می‌افتد. هرچند pH (معیاری از میزان اسیدی بودن)، تنش، ترکیبات شیمیایی و عوامل دیگر نیز می‌تواند به خوردگی کمک کند. خوردگی ممکن است به دلیل اسیدی بودن یا بازی بودن بیش‌ازحد بویلر یا آب بویلر، مقادیر زیاد اکسیژن و کربن دی‌اکسید، دمای بالا، تنش یا مقادیر زیاد آمونیاک و گازهای حاوی گوگرد اتفاق بیفتد.

فرسایش خوردگی زمانی اتفاق می‌افتد که انحراف گرمایی، به دلیل گرمایش یا سرمایش سریع، یک ناحیهٔ ضعیف شده را تحت تأثیر قرار می‌دهد و یا ممکن است به دلیل شکاف‌های ایجاد شده از داخل در نتیجهٔ فعالیت تنش‌های چرخه‌ای اعمال شده اتفاق بیفتد. شکاف تیز توسط تنش فلز، شکنندگی، آب حاوی سود سوزآور، حضور سیلیکا و یک نشتی کوچک که روی تنش در یک ناحیهٔ کوچک تمرکز دارد، مشخص می‌شود.

پیشگیری از خوردگی با حفظ pH در آب خوراک بویلر، حذف اکسیژن محلول در آب، استفاده از روش‌های تصفیهٔ شیمیایی و پیروی از دستورالعمل‌های مقرر هنگام خاموشی سرویس و بلوداون انجام خواهد شد. کیفیت پایین آب، کیفیت پایین بخار را در پی خواهد داشت که آن نیز منجر به

کف کردن آب و به تبع آن پدیدهٔ انتقال املاح یا کری اُور[1] (آلودگی بخار توسط جامدات آب بویلر) رخ خواهد داد. رسوبات جامد ممکن است به سیستم بخار صدمه وارد کنند. دلایل عمدهٔ تولید کری اور عبارتاند از کف کردن آب (کفی که همراه بخار ایجاد می‌شود)، پاشش ذره‌ای آب (آکواگلوبجکشن[2]) (باعث پراکنده شدن یا اسپری آب می‌شود)، تغییرات بار یا تحریک ناگهانی (مانند باز کردن درب نوشابه) و آلودگی بخار (نشت آب). اجتناب از سطوح بالای آب و تغییرات بار بویلر و حفظ غلظت های مواد جامد از کری‌اور جلوگیری می‌کند.

۱۳–۳–۴– انعقاد و لخته سازی

در عمل انعقاد، بارهای منفی جامدات معلق خنثی می‌شوند و بدین شکل این امکان را پیدا می‌کنند که روی هم جمع شوند و ساکن شوند. لخته سازی عبارتی است برای توضیح گرد هم آمدن ذرات منعقد شده. لخته های رایج شامل نمک های آلومینیوم و آهن است. نام های شیمیایی برای این لخته‌ها شامل فریک سولفات، فریک کلرید، آلومینیوم سولفات یا آلوم و سدیم آلومینیت است. آلومینیوم و آهن دارای سه بار مثبت هستند که در مقابل بارهای منفی جامدات معلق قرار می‌گیرند. لخته ها یک شبکهٔ لخته کننده تشکیل می‌دهند که مواد معلق را جمع‌آوری می‌کند.

۱۳–۳–۵– رسوب‌گیری شیمیایی

رسوب‌گیری شیمیایی از یک مادهٔ شیمیایی برای واکنش دادن با مواد معدنی محلول در آب خوراک استفاده می‌کند تا یک رسوب جامد بدون خطر تشکیل و از محلول خارج شود. از آهک سوددار (آهک و کربنات سدیم) به‌عنوان عامل سبک‌سازی (سختی‌گیری) آب بسیار استفاده می‌شود. کلسیم هیدرواکسید با کلسیم محلول و بی‌کربنات‌های منیزیم واکنش داده، یک رسوب جامد تشکیل می‌دهند. این واکنش‌ها در معادلات شیمیایی زیر نشان داده شده‌اند:

$$Ca(OH)_2 + Ca(HCO_3)_2 \rightarrow 2CaCO_2 + 2H_2O$$

آهک + کلسیم بی کربنات ⟵ کلسیم کربنات + آب

$$2Ca(OH)_2 + Mg(HCO_3)_2 \rightarrow Mg(OH)_2 + 2CaCO_3 + 2H_2O$$

آهک + کلسیم بی کربنات ⟵ منیزیم هیدرواکسید + کلسیم کربنات + آب

---

[1] Carryover
[2] Aquaglobejection

تصفیه و صاف کردن برای حذف لجن یا رسوب جامد به کار می‌رود. در فرایند سبک سازی از خاکستر سودا یا سودا اش[1] نیز استفاده می‌شود. از این ماده برای کاهش سختی سولفات استفاده می‌شود.

تولیدکنندگان مدرن از دو روش برای اضافه کردن آهک سوددار برای سبک سازی آب استفاده می‌کنند: ناپیو سته (بچ) و پیو سته. روش ناپیو سته تنها از یک مخزن کمک می‌گیرد. سبک سازی پیوسته از چند مخزن تقسیم‌بندی شده، تجهیزات اضافه کردن افزودنی‌های پیوسته و زمان بازداری برای واکنش شیمیایی، وسیلهٔ حذف لجن و جدا کردن آب شفاف و تمیز استفاده می‌کند.

۱۳-۳-۶- فرایند تبادل یون ها: املاح‌زدایی

رزین های تبادل یون برای حذف ذرات دارای بار الکتریکی (یون ها) از آب مورداستفاده قرار می‌گیرند. زمانی که املاح معدنی در آب حل می‌شود تشکیل یون می‌دهد. رزین‌های یونی دو نوع دارد: آنیون (یون‌های با بار منفی) و کاتیون (یون‌های با بار مثبت). رزین‌های آنیون با یون‌های منفی مانند سولفات (SO_4^{2-}) واکنش می‌دهد. رزین‌های کاتیون با یون‌های مثبت مانند یون‌های کلسیم (Ca^{2+}) و منیزیم (Mg^{2+}) واکنش می‌دهد. رزین‌های یونی شبیه به مهره‌های کوچک است و درون مخازنی که آب خام از آن می‌گذرد، قرار می‌گیرد. بسترهای رزینی معمولاً چندین فوت ضخامت دارد. املاح زدایی فرایندی است که طی آن آب خام از میان رزین‌های تبادل یونی کاتیون و آنیون عبور می‌کند. محصول خروجی این فرایند آب کاملاً خالص است.

۱۳-۳-۷- هوازدایی

هوازدا وسیله‌ای است برای حذف هوا از آب. هوازدا عموماً در انتهای هدر بازگشت میعانات قرار می‌گیرد و به‌عنوان منبع اصلی خوراک بویلر مورداستفاده قرار می‌گیرد. اکسیژن محلول مشکلی اساسی است زیرا موجب خوردگی سیستم بویلر می‌شود. هوازدا به‌گونه‌ای طراحی شده است که با گرم کردن آب توسط بخار، اکسیژن محلول حذف شود. اکسیژن محلول همراه با بخار از دریچه هوا خارج می‌شود.

هوازداها دو طرح اصلی دارند: اسپری شونده و سینی‌دار. هوازداها اسپری شونده بخار را مستقیماً به درون آب تزریق می‌کند. در طرح سینی‌دار، بخار از پایین و آب از بالا وارد می‌شود. آب از روی مجموعه‌ای از سینی‌های غربالی می چکد که این عمل تماس مناسبی بین مایع و بخار گرم شده به وجود می‌آورد.

---

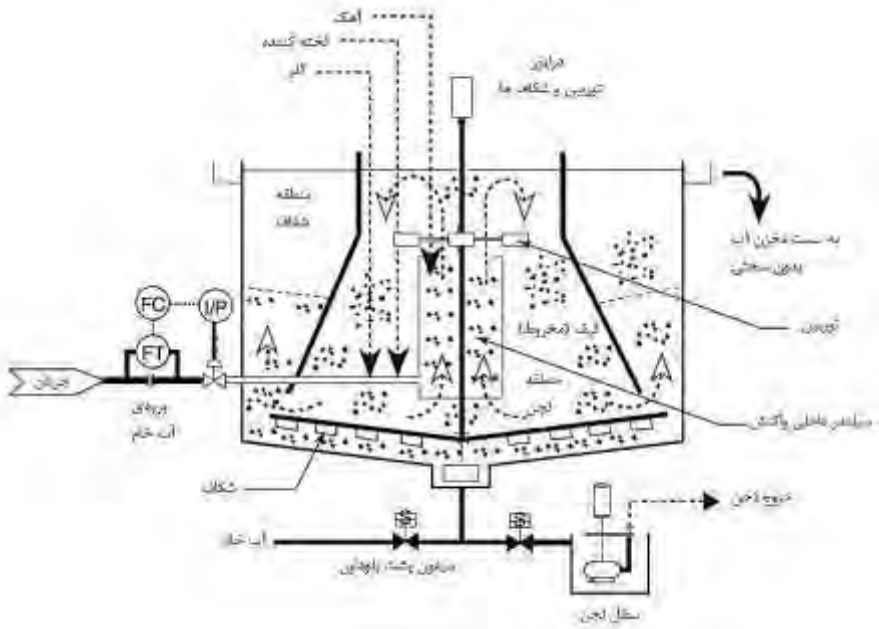
[1] Soda ash

۱۳–۳–۸– تصفیهٔ آب در بویلر

تصفیهٔ آب را به داخلی و خارجی طبقه‌بندی می‌کنند. تصفیهٔ خارجی قبل از ورود آب خام به بویلر اتفاق می‌افتد. تصفیهٔ داخلی آب، فرایند خارجی را تکمیل می‌کند و به حفظ اجزای داخلی سیستم بویلر کمک می‌کند. در برخی سیستم‌ها، تصفیهٔ خارجی محدود است. محل اصلی تصفیهٔ آب، درون بویلر است. آزمایش‌های رایج روی آب خوراک بویلر شامل pH وجود ذرات معلق (برحسب ppm)، آهن، روغن و سیلیکا می‌شود.

۱۳–۳–۹– بلوداون (ریزش)

بلوداون عبارتی است برای توضیح فرایندی که طی آن آب از سیستم بویلر خارج می‌شود. با تجمع جامدات معلق در آب، تصفیهٔ شیمیایی به نقطه‌ای می‌رسد که دیگر کارآمد نیست. در اینجا حذف کسری از آب تصفیه شده الزامی است. بلوداون به میزان تحمل جامدات معلق توسط بویلر بستگی دارد. میزان ۵ تا ۱۰ درصد از ظرفیت کل برای بلوداون، مقداری معمول است. بلوداون توسط ابزاری که برای اندازه‌گیری رسانایی الکتریکی آب طراحی شده است کنترل می شود. پورت‌های بلوداون عموماً در پایین بویلر قرار دارد، بنابراین لجن تجمع یافته قابل حذف است (شکل ۱۳–۵). در جدول ۱۳–۲ مشکلات رایج آب بویلر لیست شده‌اند.



شکل ۱۳–۵: زلال ساز (لجن‌گیر)

جدول ۱۳–۲: ناخالصی‌های اصلی، مشکلات و حذف آن‌ها

مشخصه یا مواد سازنده	مشکل	راه حل
تیرگی و گل آلودی	رسوب	انعقاد
رنگ (نشاندهنده‌ی نوع رسوب است)	ته‌نشینی را به تعویق می اندازد	انعقاد
سختی	پوسته (اسکیل)	سختی گیری
بازی بودن	کف کردن، شکنندگی	سنگ آهک
اسید	خوردگی	بازها
کربن دی‌اکسید	خوردگی	هوازدایی
pH	تغییرات pH	اسیدها/ بازها
سولفات	پوسته (اسکیل)	املاح زدایی
کلراید	خوردگی	املاح زدایی
سیلیکا	پوسته (اسکیل)	رزین آنیون
آهن	رسوب	انعقاد
منگنز	رسوب	انعقاد
نفت	پوسته، لجن، کف	انعقاد
اکسیژن	خوردگی	هوازدایی
هیدروژن سولفید	خوردگی	کلرزنی
آمونیاک	خوردگی	رزین کاتیونی
رسانایی	خوردگی	املاح زدایی
جامدات محلول	کف	سختی گیری آهکی
جامدات معلق	رسوب	انعقاد
نیترات	جامدات	املاح زدایی

۱۳–۴– سیستم آب خنک‌کن

سیستم آب خنک‌کن (CW[1]) برای خنک کردن تجهیزات مختلف درون کارخانه در یک سیستم خنک‌کنندهٔ بسته است. سیستم آب خنک‌کننده به دو مدار مکمل تقسیم می‌شود. یک مدار CW بر اساس زمان ورود عمل می‌کند و مدار دیگر استفادهٔ دوباره از آب برای خنک کردن سری دوم تجهیزات پس از خنک کردن سری اول را ممکن می‌سازد.

سیستم آب خنک‌کن برای دمای اولیهٔ ۹۰°F (۳۲/۲°C) و بیشینه دمای بازگشت ۱۲۰°F (۴۸/۸۸°C) طراحی می‌شود. به‌منظور مینیمم ساختن میزان آب در گردش در حین حفظ دمای طراحی، از یک آرایش زنجیره‌ای استفاده می‌شود. این آرایش زنجیره‌ای از کاربرهای فرایند که به

[1] Cooling Water

اندازهٔ کافی خنک اســـت برای حفظ افزایش دمایی بین ۵ تا ۱۰ درجهٔ فارنهایت (۱۵- تا ۱۲/۲- درجهٔ سانتی‌گراد) استفاده می‌کند.

آب خنک‌کنندهٔ موردنیاز مصـــرفی توســـط پمپ‌های گردش آب خنک‌کن از برج خنک‌کننده تأمین می‌شـود. پمپ‌های آب خنک‌کن عمدتاً سـانتریفوژ و عمودی هسـتند. درایور (راه‌انداز) آن‌ها ممکن است موتور الکتریکی یا یک توربین بخار باشد.

آب جبرانی ورودی به برج خنک‌کننده از سیستم آب خام تأمین می شود. مخزن آب خام باید ظرفیت کافی برای مقاومت دربرابر قطع جریان در تأمین آب داشته باشد.

نسـبت غلظت آب خنک‌کننده در گردش برای دسـت کم ۵ دور طراحی شـده اسـت و توسـط بلوداون کنترل می‌شود. برای جلوگیری از انباشته شدن اجزای محلول، از بلوداون پیوسته استفاده می‌شود. چرخه‌های غلظت در شیر بلوداون بر مبنای رسانایی آب در گردش کنترل می‌شود.

ممکن است برای حذف جامدات منتقل شده توسط هوا مانند گردوغبار و ماسه و آلودگی‌های مرســوم از آب جبرانی برج خنک‌کننده از قبیل گل‌ولای، مواد آلی و ارگانیســم های پراکنده شــده بوسیلهٔ آب، از فیلترهای جریان جانبی (سایداستریم)[1] استفاده شود. اندازهٔ هر فیلتر به‌گونه‌ای است که در صـورت شـســتشـو یا خرابی فیلتر دیگر، از عهدهٔ تمام جریان برآید. فیلترهای جریان جانبی به‌طور خودکار با جریان جاذبه کار می‌کند و از نوع بک واش[2] (پسخیزآب) خودکفا است.

سیستم خوراک مواد شیمیایی آب خنک‌کن متشکل است از ضد خوردگی غیر کروماتی، یک پراکنده کننده یا آنتی اسکالانت[3] (مواد ضد رسوب) و کلر برای کنترل گرفتگی میکروبیولوژی.

۱۳–۵– سیستم‌های هوا و نیتروژن

۱۳–۵–۱– سیستم‌های هوا

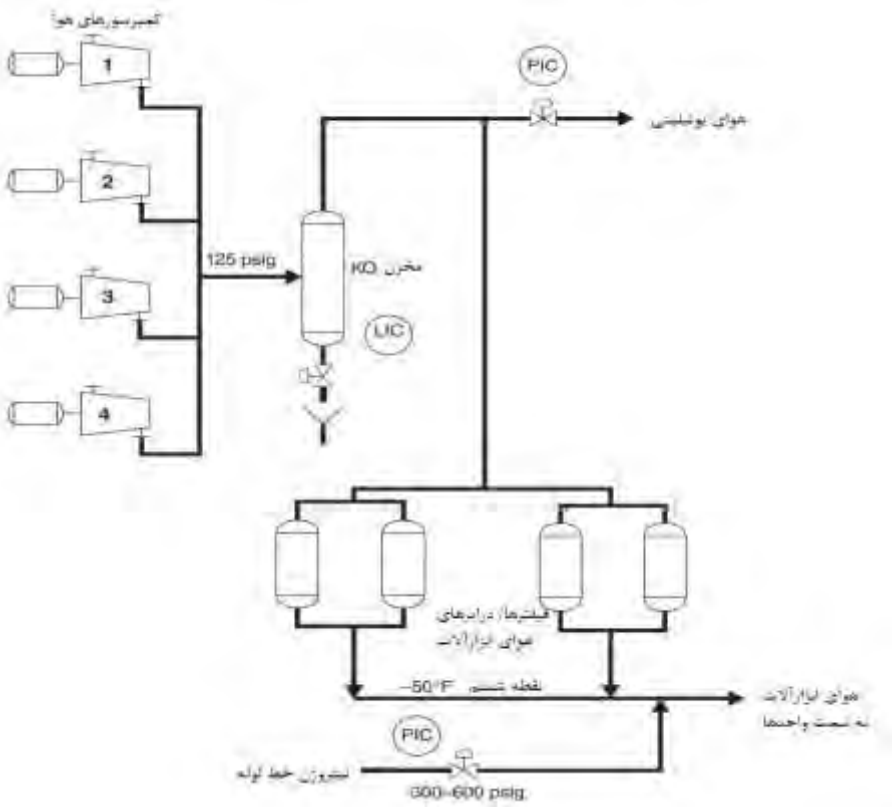
هوای ابزارها و یوتیلیتی هر دو از کمپر سورهای هوای مرکزی تأمین می شوند. درایور (راه‌انداز)های کمپرســـورها به‌گونه‌ای اســـت که اتلاف برق یا بخار تغذیهٔ هوای لازم ابزارها را تحت شـــعاع قرار نمی‌دهد. برخی کارخانه‌ها برای مواقعی که دو یوتیلیتی به‌طور هم‌زمان در دســـترس نیســـت، دارای کمپرسورهای دیزلی اضافی هستند.

فعالیت دو کمپر سور هوا برای نیاز کارخانه‌های معمولی کافی خواهد بود. این کمپر سورهای هوا برای تولید هوا در فشار تخمینی ۱۲۵psig برای سیستم تنظیم می شود (شکل ۱۳–۶). به دلیل

---

[1] Sidestream
[2] Backwash
[3] Antiscalant

اینکه سیستم هوای ابزارها (IA)[1] مجموعه‌ای حیاتی تر است، فشار بین ۱۰۰ تا ۱۰۵ psig کنترل می‌شود. هوای یوتیلیتی (UA)[2] کنترل فشار ندارد.



شکل ۱۳–۶: سیستم هوای ابزارها و هوای یوتیلیتی

الف) سیستم‌های هوای کارخانه

یک سیستم مرکزی یوتیلیتی، هوای یوتیلیتی موردنیاز کل کارخانه را تأمین می‌کند. آب آزاد در یک درام جداکننده که خارج از کمپرسور هوا قرار دارد حذف می‌شود، اما کاملاً خشک نمی‌شود. هوای یوتیلیتی برای ایستگاه‌های لوله آتش‌نشانی (مصارف عمومی)، ابزارها بادی و کک زدایی: کوره‌های واحد استفاده می‌شود.

---

[1] Instrument Air
[2] Utility Air

عمده‌ترین مورد ا ستفادهٔ هوای یوتیلیتی در کک زدایی کوره‌های واحد ا ست که به صورت دوره‌ای صـورت می‌گیرد. معمولاً در زمان این دوره‌ها یک کمپرسـور هوای اضـافی نیز در مدار قرار می‌گیرد. به دلیل خطر ایجاد مخلوط های احتراق پذیر، از هوای یوتیلیتی هرگز نباید برای قطع خطوط یا فاضلاب‌ها و یا برای حذف مایعات هیدروکربنی از روی ماشین‌ها و مجراها استفاده نمود.

ب) سیستم هوای ابزارها

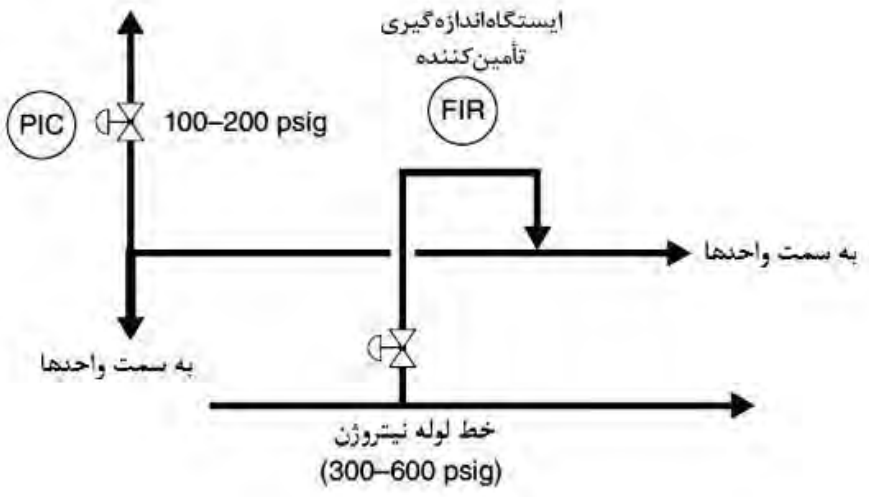
هوای ابزارها به کمک خشـک‌کنندهٔ آلومینای فعال تا حدود نقطه شـبنم ۵۰°F- (°C ۴۵/۵۵) خشـک می‌شـود. فشـار سـیسـتم هوای ابزارها توسـط یک کنترل‌کننده فشـار بالادستی در سیستم هوای یوتیلیتی، در برابر کاهش فشار (در نتیجهٔ استفادهٔ بیش‌ازحد از هوای یوتیلیتی ا ست) محافظت می شود. این شیر کنترل اگر فشار هدر هوای ابزرآلات به کمتر از ۹۵ psig بر سد بسته می شود. حفظ فشار سیستم هوای ابزارها در فشار کنترل شـدهٔ نرمال ۱۰۵ psig حائز اهمیت اسـت، زیرا در صـورت افت فشـار تا پایین ۶۰ psig برخی فعال‌سازهای شیرهای کنترلی دچار مشکل خواهند شد.

در برخی موارد سـیسـتم هوای ابزارها کارخانه به کمک اتصـال با سـیسـتم نیتروژن در مقابل مشـکلات فشـار محافظت می‌شـود. به دلیل مسـائل ایمنی، نیتروژن تنها در شـرایط ضـروری وارد سیستم هوای ابزارها می‌شود. یک سیستم هشدار یا اخطار برای آگاهی بخشی به تمامی پرسنل از اینکه نیتروژن وارد سیستم هوا شده است تعبیه می‌شود.

۱۳–۳–۲– سیستم‌های نیتروژن

گاز نیتروژن معمولاً یا درون کارخانه تولید می شود و یا از شرکت تأمین کننده خریداری می شود. در صورت خرید، معمولاً با خط لولهٔ فشار بالا به محل منتقل می شود. فشار این لوله‌ها بین ۳۰۰ تا ۶۰۰ psig اسـت. تأمین کننده دارای ایسـتگاه اندازه‌گیری اسـت که مبنای قیمت خرید نیتروژن را ارزیابی می‌کند.

نیتروژن فشار بالا به تک تک واحدهای درون کارخانه فرستاده می‌شود (شکل ۱۳–۷). فشار در هر واحد به مقدار لازم عملیات کاهش می‌یابد که معمولاً بین ۱۲۰ تا ۱۵۰ psig می‌باشـد. نیتروژن ا سا ساً به‌عنوان گاز خنثی به‌منظور پو شش دادن مجراها و لوله‌ها و حمل مواد احتراق پذیر و گاهی اوقات به‌عنوان پشتیبان سیستم هوا به کار می‌رود.



شکل ۱۳–۷: سیستم نیتروژن

اتصالات لوله‌ای نیتروژن در ایستگاه‌های یوتیلیتی در واحدهای فرایندی قرار دارد. این اتصالات تنها برای نیتروژن ا ستفاده می شود و با اتصالات موردا ستفاده برای هوا، آب و بخار متفاوت ا ست. اتصالات نیتروژن (کوپلینگ‌های ا ستاندارد طبیعی) به‌منظور جلوگیری از تغییر یافتن آن‌ها به دیگر انواع اتصالات مثل آب یا هوا، جوش داده می‌شود.

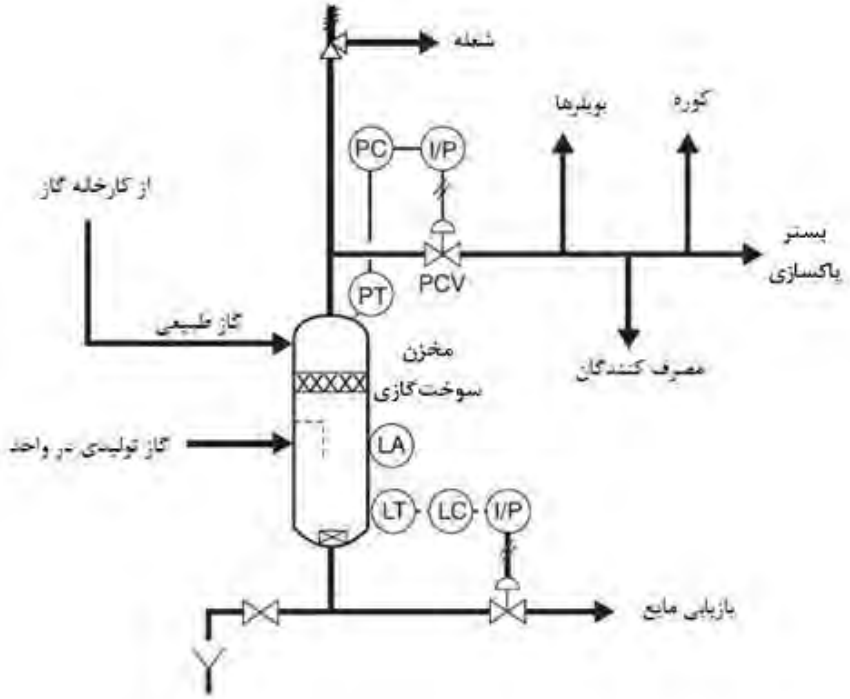
۱۳–۶– سیستم‌های گازی

بیشـــتر تولیدکنندگان صـــنعتی، گاز طبیعی (NG)[1] را از تأمین کنندگان آن خریداری می‌کنند. معمولاً یک خط لولهٔ فشـــار بالا این گاز را به کارخانه منتقل می‌کند (شـــکل ۱۳–۸). یک ایســـتگاه کاهش فشـــار در نزدیکی ورودی‌های کارخانه، میزان گاز ورودی به کارخانه را اندازه‌گیری می‌کند. این ایســـتگاه کاهش فشـــار متشـــکل اســـت از چند شـــیر کنترل که دو شـــیر از آن‌ها معمولاً برای پ شتیبانی ا ست. شیرهای ا ضافی برای زمان بی‌شینه بار به‌عنوان ا ستارتاپ (راه اندازه) واحد فراهم شده ا ست. شیر کنترل اندازه/کاهش فشار همیشه در مدار فعال ا ست. شیر دومی زمانی که دبی جریان بالا باشـــد باز می‌شـــود و در زمان پایین بودن دبی بســـته می‌شـــود که با این کار اندازه‌گیری میزان جریان گاز به‌طور دقیق تری انجام می‌شود.

[1] Natural Gas

هدر توزیع گاز طبیعی در کارخانه معمولاً در ۲۰۰ تا ۲۵۰ psig کار می‌کند. هر واحد فرایند ایستگاه کنترل فشار خود را دارد که معمولاً فشار را بین ۶۰ تا ۱۰۰ psig حفظ می‌کند.

گاز طبیعی به‌عنوان مکملی برای سوخت گازی تولید شده در یک واحد به‌منظور تأمین نیازهای بویلر و کوره مورداســـتفاده قرار می‌گیرد. همچنین گاز طبیعی به‌عنوان یک واســـطهٔ پالایش در ا ستارتاپ[1] (راه‌اندازی) و شات دان[2] (توقف) واحد کاربرد دارد. سوخت گازی به‌طورکلی شامل گاز تولید شده تو سط کارخانه ا ست که با گاز طبیعی خریداری شده تقویت می شود تا نیازهای انرژی واحد را پاسخ دهد. سوخت گازی موردنیاز عموماً به‌طور داخلی و در طی فرایندهای معمول واحدها تولید می شود. در حالت ا ستارتاپ و یا ا ضطراری که هیچ سوخت گازی داخلی در د سترس نیست، گاز وارد می‌شـــود که این گاز ورودی در ایســـتگاه اندازه‌گیری قبل از ورود به واحد، اندازه‌گیری می‌شـود. در طول عملیات نرمال، هرگونه سـوخت گازی اضـافی تولیدشـده توسـط یک سـیسـتم کمپرسور به بیرون صادر می‌شود.



شکل ۱۳–۸: سیستم گاز طبیعی

[1] Startup
[2] Shutdown

۱۳–۷– سیستم‌های الکتریکی

برق دریافتی از شرکت‌های تأمین کنندهٔ برق معمولاً دارای ولتاژ ۱۰۰ تا ۱۶۰ kV است. در بسیاری از کارخانه‌ها این ولتاژ برای توزیع درون کارخانه به ۱۳/۸ kV کاهش داده می شود. در واحدها برای استفاده در موتورهای بزرگ (۲۰۰ تا ۱۰۰۰۰ hp)، ۱۳/۸ kV به ۴۸۰ V تقلیل پیدا می‌کند. ولتاژ ۱۳/۸ kV که به ۴۸۰ V کاهش داده می‌شود، رایج‌ترین ولتاژ درون کارخانه‌ها است که در نهایت به ۲۴۰ V و ۱۲۰ V برای گرمایش، روشنایی و موتورهای اسب بخار کوچک کاهش می‌یابد.

۱۳–۷–۱– موتورها

بیشتر موتورهای درون کارخانه از نوع القایی سه فاز است. هر یک جفت از قطب‌ها با یکی از فازهای منبع تغذیهٔ AC جفت می‌شود. اثر چنین کاری تولید یک میدان مغناطیسی گردان است. این میدان، در عمل روتور[1] (دوار) را به پشت خود می‌کشاند که در نتیجهٔ آن انرژی مکانیکی به سیستم می‌رساند.

موتور القایی همیشه کمی آرام‌تر از میدان مغناطیسی می‌چرخد. برخی موتورها برای چرخش با سرعت برابر با میدان مغناطیسی ساخته می شود. به این موتورها، موتور هم‌زمان (سنکرون[2]) گفته می‌شود. بحث بیشتر خارج از قلمرو این کتاب است، به غیر از این نکتهٔ که موتورهای هم‌زمان عموماً در مصارف بسیار بزرگ، اقتصادی‌تر از موتورهای القای است.

۱۳–۷–۲– حفاظت موتوری

علاوه بر انرژی مکانیکی، انرژی الکتریکی را نیز می‌توان به گرما تبدیل نمود. این اتفاقی است که در توستر و فر برقی می‌افتد. مقدار حرارت تولیدشده با مجذور جریان (I^2) و مقاوت (R) متناسب است: I^2R. فیوز خانگی بر پایهٔ این اصل که این ضعیف ترین خط درون مدار است کار می‌کند. زمانی که جریان آنقدر زیاد شود که مدار دچار ازدیاد بار (اورلود[3]) شود، فیوز می‌سوزد و مدار را متوقف می‌کند.

موتورهای مقیاس بزرگ نیز به چنین شیوه‌ای که معمولاً به آن مدارشکن گفته می‌شود محافظت می‌شود. این مدارشکن‌ها که درون مرکز کنترل موتور (MCC)[4] قرار دارند، معمولاً دو نوع حفاظت انجام می‌دهند. یک نوع در برابر ازدیاد بار بسیار بزرگ آنی، مانند زمانی که در سیستم مدار

---

[1] Rotor
[2] Synchronous
[3] Overload
[4] Motor Control Center

اتصال کوتاه اتفاق می‌افتد حفاظت انجام می‌دهد. دیگری ازدیاد بار حرارتی است که در برابر عملیات پیوسته با بار موتور بالا حفاظت می‌کند. هر کدام از این وسایل می‌تواند موتور را خاموش کند. دانستن این‌که کدام یک از این وسایل فعال شده است می‌تواند ما را در یافتن منشاء مشکل راهنمایی کند.

۱۳–۷–۳– اندازه‌گیری ولتاژ: ولت سنج ها

ولت سنج ها در مدار به‌طور موازی با سیم ها بسته می‌شود. به‌طورمعمول، ساختار داخلی ولت سنج‌ها برای ما اهمیتی ندارد و چیزی جز یک صفحهٔ مدرج نمی‌بینیم. ولتاژهای واقعی روی این صفحه نشان داده می‌شود و تبدیل واحد یا محاسبه‌ای لازم نیست.

۱۳–۷–۴– اندازه‌گیری جریان: آمپرسنج‌ها

آمپرسنج‌ها شبیه ولت‌سنج‌ها است، با این تفاوت که آمپرسنج به‌طور مستقیم (سری) در یک خط با مدار بسته می‌شود. اعداد آمپرسنج مستقیماً از روی صفحهٔ آن خوانده می‌شود.

۱۳–۸– سیستم‌های پشتیبانی برق

سیستم‌های پشتیبانی برق برای اطمینان از برقراری مداوم و پیوستهٔ جریان برق به تجهیزات و ابزارها بحرانی مجهز می‌شود. علاوه بر برق معمول، یک ژنراتور دیزلی اضطراری و یک سوئیچ انتقال خودکار یک سیستم جایگزین برق را فراهم می‌کند. زمانی که برق معمولی دچار مشکل شود، سوئیچ انتقال، برق پشتیبانی را از ژنراتور دیزلی وارد سیستم می‌کند.

سیستم‌های ابزاردقیق بحرانی از طریق یک سیستم (منبع) تغذیهٔ بدون وقفه (UPS)[1] تغذیه می‌شود. این سیستم شامل چند باتری، شارژر باتری، معکوس کننده (اینورتر[2])، سوئیچ انتقال استاتیکی و سوئیچ کنارگذر دستی است. این سیستم پشتیبانی به ما اطمینان می‌دهد که هیچ گونه توقفی در کار هشدارها، سیستم‌های کنترلی رایانه‌ای و تمامی تجهیزات دیگر به وجود نخواهد آمد.

بسیاری از کارخانه‌ها علاوه بر برق خریداری شده، خود، برق تولید می‌کنند. این برق معمولاً در سطح ولتاژ تأمین‌کننده یا بالاترین سطح ولتاژ انتقالی کارخانه است.

---

[1] Uninterruptible Power System (Supply)

[2] Inverter

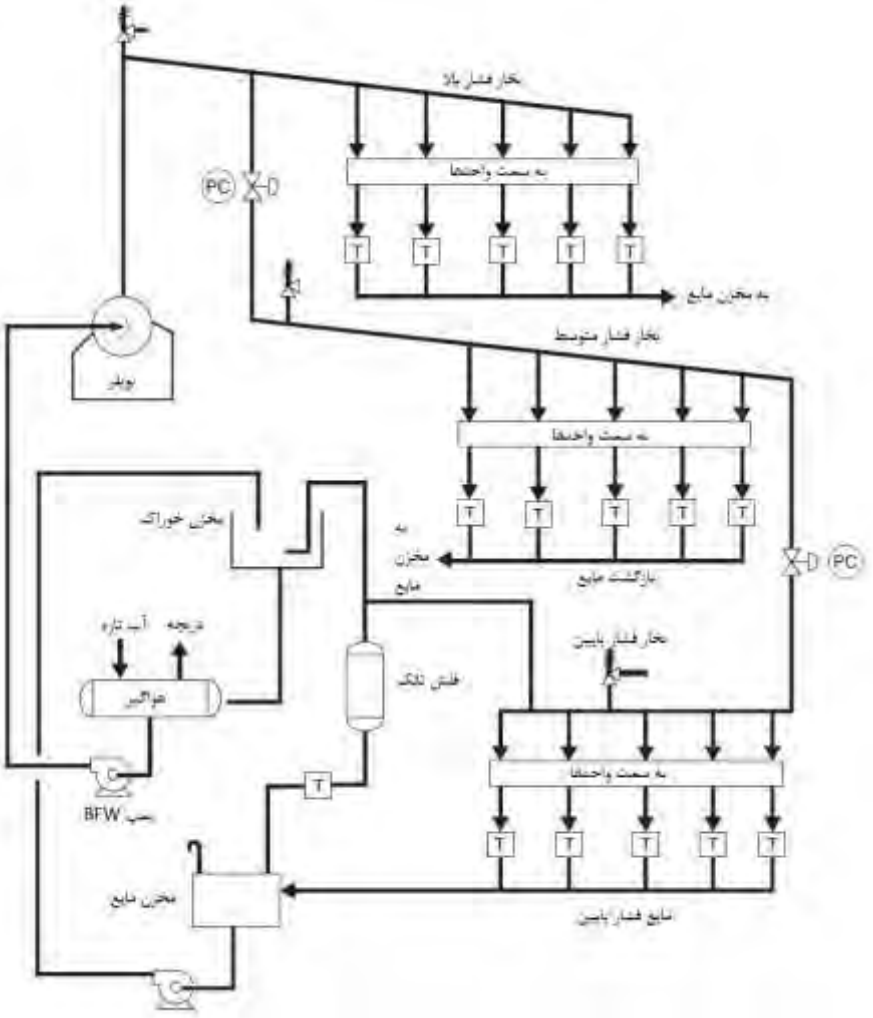
۱۳–۹– سیستم‌های بخار

بخار از زمان انقلاب صنعتی به‌عنوان یک منبع گرمایی و یک حامل انرژی مورداستفاده قرارگرفته است. بخار با جوشاندن آب تولید می‌شود و دما و گرمای سوختن آن به‌راحتی قابل تعیین است زیرا به‌طورکلی در تناظر با فشار درون سیستم است (جدول ۱۳–۳). بخار حاوی مقادیر زیادی انرژی در دبی‌های جریان با جرم پایین است. انرژی موجود در بخار به‌راحتی از طریق میعان به انرژی مکانیکی یا گرمایی تبدیل می‌شود.

همان‌طور که پیش تر نیز در این فصل ذکر شد، سیستم‌های بخار ممکن است شامل تولید و توزیع بخار فوق فشار بالا، بخار فشار بالا، بخار فشار متوسط، بخار فشار پایین باشد. بخار فوق فشار بالا (SHP) توسط بویلرها و یا کوره‌ها تولید می شود و هدر بخار SHP را تغذیه می‌کند. فشار بخار SHP بین ۱۰۰۰ تا ۱۲۰۰ psig است. بخار از هدرهای اولیه و یا استخراج از توربین‌ها با کاهش فشارهای متوالی به درون کارخانه توزیع می شود (شکل ۱۳–۹). جریان‌های بخار فشار بالا برای حفظ فشار بین ۴۰۰ تا ۸۰۰ psig تنظیم می‌شود. فشار بخار در هدر بخار فشار متوسط (MP) بین ۱۸۰ تا ۲۰۰ psig است. فشار بخار درون هدر فشار پایین (LP) ۵۰ psig است.

جدول ۱۳–۳: خواص بخار اشباع

[illegible]	[illegible] (°F)	[illegible] (Btu/lb)		
		[illegible]	[illegible]	[illegible]
25 psiv	134	102	1017	1,119
20 psiv	162	129	1001	1,130
15 psiv	179	147	990	1,137
10 psiv	192	160	982	1,142
5 psiv	203	171	976	1,147
0 psig	212	180	970	1,150
10 psig	239	207	953	1,160
20 psig	259	227	939	1,166
30 psig	274	243	929	1,172
40 psig	286	256	920	1,176
50 psig	298	267	912	1,179
100 psig	338	309	880	1,189
150 psig	366	339	857	1,196
200 psig	388	362	837	1,199
250 psig	406	382	820	1,202
300 psig	421	398	805	1,203
350 psig	435	414	790	1,204
400 psig	448	428	777	1,205
500 psig	470	453	751	1,204
600 psig	489	475	728	1,203



شکل ۱۳–۹: سیستم توزیع بخار

۱۳–۹–۱– تله بخار

دو نوع گرما در بخار وجود دارد: محسوس و نهان. گرمای محسوس گرمایی است که توسط ترمومتر قابل اندازه‌گیری است. گرمای نهان حس نمی‌شود، اما بااین‌حال وجود دارد و زمانی که بخار به مایع تبدیل می‌شود از آن خارج می‌شود. تله بخار، بخار را تا زمانی که گرمای نهان خود را از دست دهد و مایع شود، حبس می‌کند. آن‌گاه تله بخار به مایع اجازهٔ خروج و بازگشت به بویلر برای گرم شدن مجدد را می‌دهد. بدون وجود تله بخار، بخار گرمای نهان خود را از دســـت نمی‌دهد و بازده انتقال

حرارت در مبدل حرارتی به میزان قابل‌توجهی کاهش می یابد. این کاهش در بازده را می‌توان افزایش هزینه‌های انرژی معنا کرد. اجتناب از این افزایش هزینه‌ها دلیل اصلی استفاده از تله‌های بخار است.

همچنین از تله بخار برای حذف هوا و آلودگی از سیستم‌های بخار استفاده می‌شود. هوای محبوس شده در سیستم‌های بخار خطرناک است زیرا اکسیژن موجود در هوا می‌تواند خطوط بخار را اکسید کند. در طول یک دورهٔ زمانی بلند مدت، این فرایند اکسیداسیون لوله‌های بخار را می‌خورد و به نشتی‌های شدید بخار منجر می‌شود.

همهٔ تله بخارها به‌گونه‌ای طراحی می‌شود که بخار و مایع را از یکدیگر تشخیص می‌دهد. برای مؤثر بودن، تله ها باید بخار را حبس (محاصره) کند و به مایع اجازه خروج دهد. تنوع تفاوت‌های خواص فیزیکی بخار و مایع باعث ایجاد روش‌های متنوعی برای طراحی تله بخار شده است. مثلاً برخی تله ها بر اساس تمایز بین دانسیتهٔ بخار و مایع طراحی می‌شود. نوع دیگری از تله ها بر اساس تمایز دماهای بخار و مایع طراحی می‌شود و نوع دیگری وجود دارد که اختلاف فشار بین مایع و بخار را تشخیص می‌دهد. سطلی معکوس، ایمپالس[1] یا ضربه‌ای (دیسکی یا شناوری) و تله‌های ترموستاتیکی (فانوسی) سه مورد از رایج‌ترین انواع تله بخار است (در فصل ۹ با جزئیات مورد بررسی قرار گرفت).

گاهی تله بخارها را به‌عنوان نوعی خاص از شیر یک‌طرفه در نظر می‌گیرند. تله بخار تنها در یک سو اجازهٔ عبور جریان را می‌دهد. همچنین، تنها به سیالاتی از نوع مشخص اجازهٔ عبور می‌دهد. مقصود اصلی تله بخار این است که درحالی که بخار را متوقف می‌کند به آب داغ (بخاری که مایع شده است) اجازهٔ عبور می‌دهد.

از تله‌های بخار گاهی در تجهیزات فرایند گرم شده توسط بخار به‌منظور حذف مقادیر زیاد مایع استفاده می شود. استفادهٔ دیگر آن‌ها ردیابی بخار و پوشاندن است. عملکرد مناسب و صحیح تله بخار اهمیت دارد. اگر به مایعات جمع شده اجازهٔ عبور ندهد، جریان بخار متوقف می‌شود. زمانی که جریان بخار متوقف شود دیگر دما در تجهیزات فرایند یا ردیابی ثابت نمی‌ماند. اگر تله بسته نشود، بخار بدون اینکه تبدیل به مایع شود از آن عبور می‌کند. بسته به جزئیات سیستم جمع‌آوری مایع، عبور بخار مایع نشده می‌تواند انرژی گرمایی بسیاری را هدر دهد و همچنین باعث شوک حرارتی در لوله‌ها و سیستم‌ها شود.

---

[1] Impulse

تله بخارهای سطحی در دریپ لگ‌ها[1] و ردیابی و با بار گرمایی ملایم به کار می‌رود. اختلاف فشار عملیاتی باید مشخص شود. تله ها باید آمادهٔ عملیات شوند و در حالت خشک، بخار عبور خواهد کرد. در شرایط خرابی، تله بخارهای سطلی باز می‌ماند. از آن‌ها نباید در سرویس متناوب و یا به همراه بخار داغ (سوپرهیت) ا ستفاده نمود. از این تله‌ها می‌توان در سرویس زم ستانی به‌طور پیوسته استفاده نمود، اما باید از یخ زدن آن جلوگیری نمود.

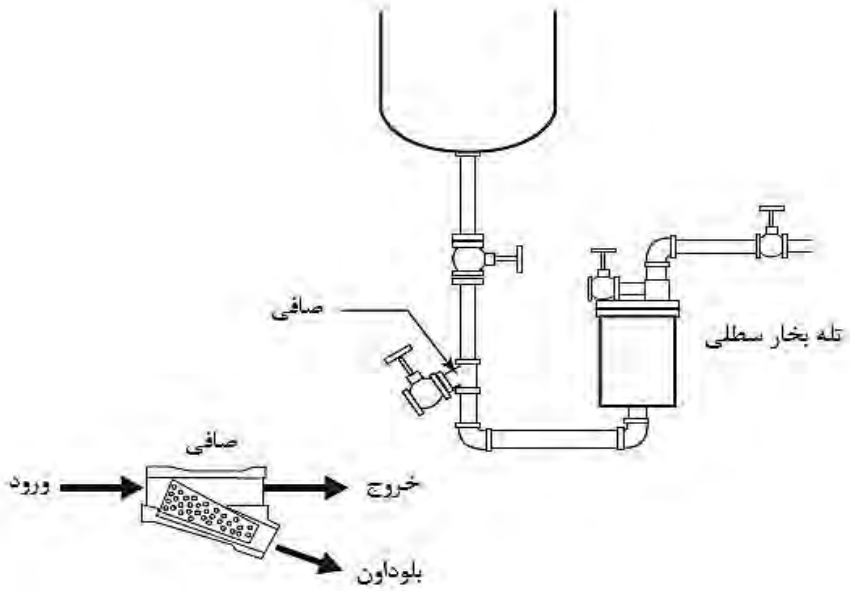
تله‌های ایمپالس در ردیاب‌های بخار و دریپ لگ‌ها استفاده می‌شود. این تله‌ها در فشارهای بالاتر از psig ۳۰۰ و پایین‌تر از psig ۱۵ کار نمی‌کند. این تله‌ها هنگام خرابی باز می‌ماند. این تله‌ها در حالت افقی یا عمودی با درپوش، خود نیز عمل زهکشی را انجام می‌دهد.

تله‌های ترمو ستاتیکی فانو سی در سرویس‌های متناوب و پایین‌تر از psig ۵ موردا ستفاده قرار می‌گیرد. یک پایه عمودی حداقل ۱۸ اینچی برای نصب عمودی یا افقی آن‌ها موردنیاز است. تله‌های فانوسی در حالتی که خروجی آن‌ها عمودی باشد، زهکشی را نیز انجام می‌دهد.

۱۳–۹–۲– صافی‌ها

بیشتر تله‌ها مجهز به صافی ا ست و یا دارای صافی توکار ا ست (شکل ۱۳–۱۰). درون بسیاری از تله‌ها کوچک است و جمع شدن مقدار اندک پوسته لوله یا زنگ می‌تواند فعالیت آن را متوقف کند. این صافی‌ها برای جلوگیری از ورود این‌گونه پسماندها به درون تله طراحی شده است. در محل نصب صافی‌ها، بلوداون (دورریز یا تخلیه) دوره‌ای آن‌ها بسیار مهم است.

[1] Drip Leg



شکل ۱۳–۱۰: تله بخار

۱۳–۱۰– سیستم فاضلاب صنعتی

سیستم فاضلاب یک کارخانه زه (آب و سیالات فرایند) تمامی واحدها را جمع می‌کند. تمامی آب در مجموعه‌ای از راه آب‌ها جمع می‌شود و به بخش تصفیهٔ پساب کارخانه فرستاده می‌شود. واحدهایی که در دمای محیط دارای هیدروکربن‌هایی است که در فاز مایع باقی خواهد ماند، دارای یک جداکنندهٔ انجمن نفت آمریکا (API)[1] است که قبل از فرستادن آب به بخش تصفیهٔ پساب، فاز آلی را از آن جدا می‌کند. مواد آلی جدا شده بازگردانده می‌شود یا به‌عنوان سوخت استفاده می‌شود. برخی واحدهای پلاستیکی برای حذف روغن و پلت‌ها[2] (گندله) قبل از ورود آب به بخش تصفیهٔ پساب تنها یک سیستم ساده دارد.

هدر جمع‌آوری پساب کارخانه در تمامی مسیر جداکنندهٔ API تصفیهٔ پساب، پر از آب است. این کار از تجمع هرگونه هیدروکربن در خط لولهٔ پساب و ایجاد خطر بالقوهٔ انفجار جلوگیری می‌کند. فاضلاب بعد از خروج از جداکنندهٔ API وارد حوضچهٔ خیزآب در بخش تصفیهٔ پساب می‌شود. قبل از اینکه آب به جریان‌های سطحی یا دریاچه‌ها بازگردانده شود، تمامی آلودگی‌های موجود در آن در بخش تصفیه حذف می‌شود.

---

[1] American Petroleum Institute (API)
[2] Pellets

سیستم‌های فاضلاب بهداشتی معمولاً به سمت بخش تصفیه، جایی که در آن‌جا تصفیه و آلودگی‌های آن حذف می شود، می‌رود. زهکش‌های فاضلاب توسط یک آب‌بند[1] (پوشش یا عایق) مایع طوری حبس می‌شود که از ورود و تجمع گازها در خطوط پساب جلوگیری شود.

۱۳–۱۱– سیستم سردسازی (تبرید)

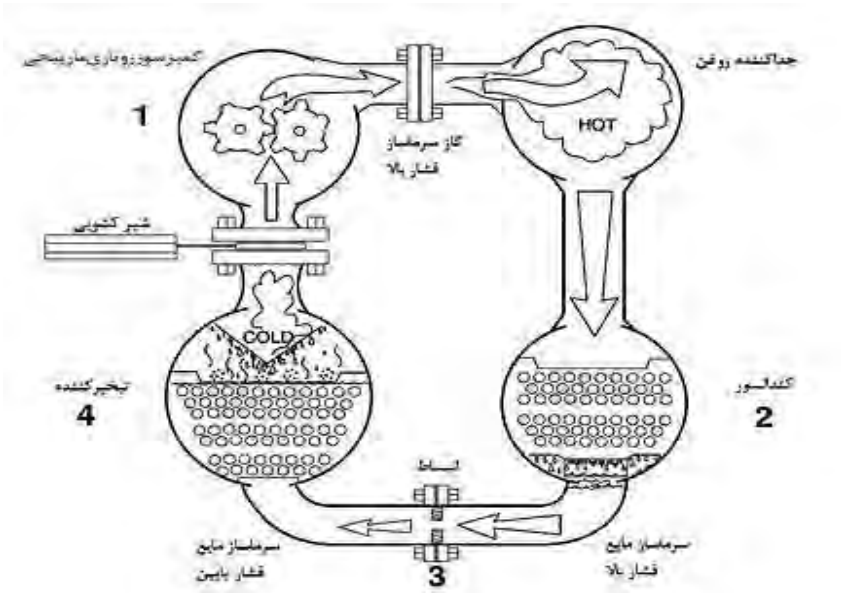
گرمایش و سرمایش دو وضعیت مهم در کنترل فرایند مدرن است. سیستم‌های سردسازی از قبیل تهویهٔ هوا برای تأمین سرما در کاربردهای صنعتی مورداستفاده قرار می‌گیرد. واحدهای سردسازی (شکل ۱۳–۱۱) متشکل است از یک کمپرسور (گاز سرماساز فشار بالا)، یک مبدل حرارتی (برج خنک‌کننده)، یک گیرنده (رسیور[2])، یک شیر انبساط (مایع سرماساز فشار پایین) و یک مبدل حرارتی دیگر به نام اواپراتور[3] یا تبخیرکننده (گاز سرماساز فشار پایین).

در فرایند سردسازی، گاز سرماساز فشار پایین وارد کمپرسور می‌شود، به گاز سرماساز فشار بالا تبدیل می‌شود و به سمت یک مبدل حرارتی پوسته و لوله فرستاده می‌شود. در طول فرایند فشرده‌سازی، گرمای بسیار زیادی تولید می‌شود و باید به کمک مبدل حرارتی حذف شود. طی فرایند سرمایش گاز به فاز مایع کندانس می‌شود و درون رسیور جمع می‌شود. از رسیور مایع سرماساز فشار بالا از درون مسیر کوچکی در یک شیر انبساط عبور داده می شود. انبساط مایع، تغییر فاز آن را به دنبال دارد. نقطه‌جوش ماده سرماساز به حدی پایین است که درون تبخیر کننده عمل خنک کردن اتفاق می‌افتد. زمانی که سرماساز فشار پایین تبخیرکننده را ترک می‌کند وارد قسمت مکش کمپرسور می‌شود و فرایند دوباره آغاز می‌شود.

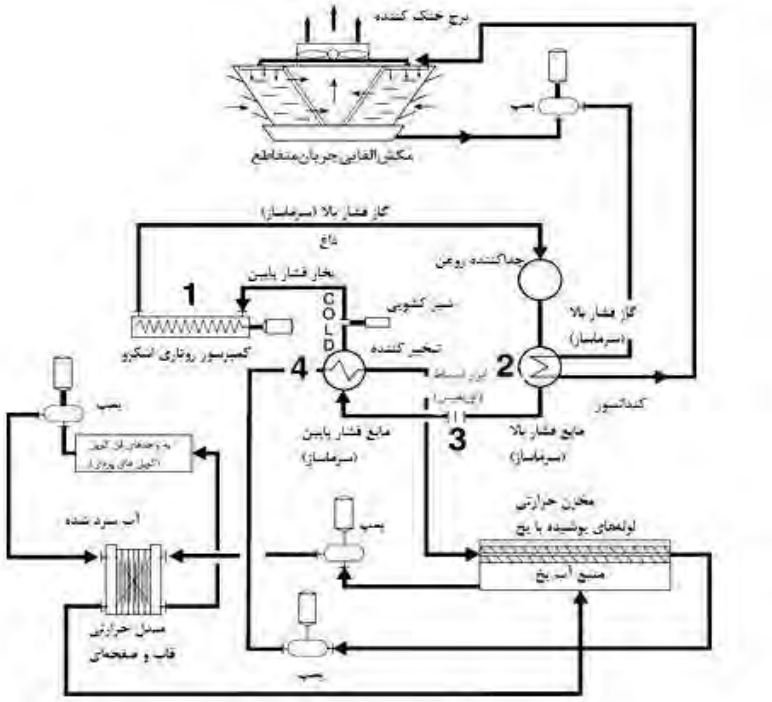
یکی از مهم‌ترین سیستم‌ها در واحدهای فرایند، سیستم سردسازی است. مثلاً بازیابی اتیلن، بستگی به کارآمدی عملیات، ایمنی و سازگاری سیستم‌های سردسازی به‌کاررفته دارد. اجازه دهید برخی اصول اولیهٔ دخیل در سردسازی و تجهیزات مربوط را بررسی کنیم. شکل ۱۳–۱۲ نمونه‌ای از انواع مختلف تجهیزات موجود در سیستم سردسازی است.

---

[1] Seal
[2] Receiver
[3] Evaporator



شکل ۱۳–۱۱: سیستم سادهٔ سردسازی یا تبرید



شکل ۱۳–۱۲: سیستم سردسازی

به دلیل اینکه گرما از محل گرم‌تر به سردتر منتقل می‌شود، هروقت لازم باشد ماده‌ای را به دمایی پایین‌تر از دمای محیط برسانیم، ابتدا لازم است به‌طور مصنوعی یک دمای پایین‌تر ایجاد کنیم. برای دماهای پایین‌تر، کارخانه‌ها در فرایند از سیالاتی استفاده می‌کنند که دمای جوش آن‌ها بسیار پایین است، مانند پروپیلن، اتیلن یا آمونیاک که این همان اصل حاکم در مورد فرئون در سیستم یخچال و تهویهٔ خانه و اتومبیل است. عموماً این سردکننده‌ها را تنها می‌توان تحت‌فشار بالا در دمای اتاق در فاز مایع نگاه داشت زیرا فشار، نقطه‌جوش تمامی مایعات را افزایش می‌دهد. اتیلن و مواد سبک‌تر به قدری فرار است که نگهداری آن‌ها در فاز مایع در دمای اتاق عملی نیست و استثنائی بر این قانون کلی است. در نتیجه این مواد در دماهای پایین‌تر از محیط، کندانس می‌شود. باوجوداین زمانی که فشار روی سردکننده‌ها افزایش می‌یابد این مایعات به شدت می‌جوشد و دمای آن‌ها به‌شدت کاهش می‌یابد.

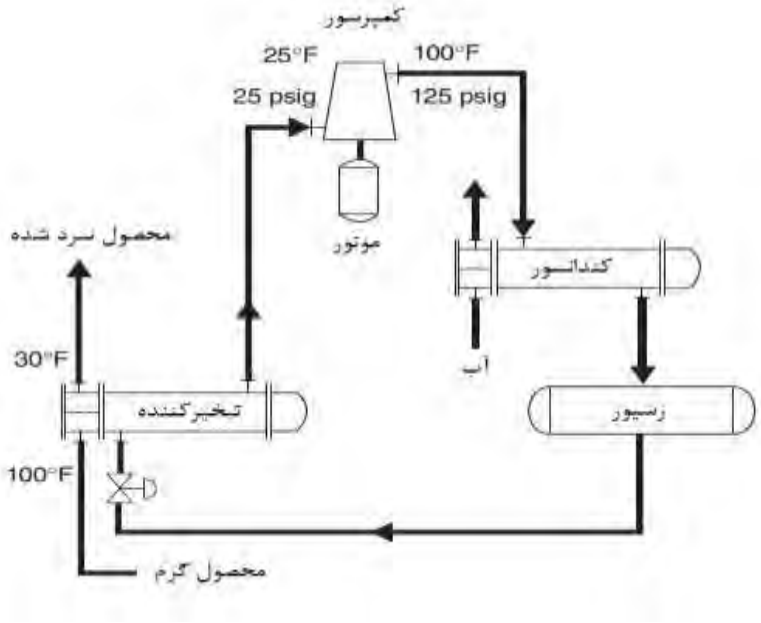
پروپیلن مثال خوبی از این نوع مایعات است. دمای جوش آن در فشار اتمسفر برابر ۵۴ F °- است. پروپیلن به‌طورمعمول گاز است اما می‌توان آن را با استفاده از کمپرسور تبدیل به مایع نمود. در فشرده‌سازی هر گازی، کار انجام می‌شود و گرما در گاز تولید می‌شود. در فشرده‌سازی پروپیلن، ما به گاز گرما می‌دهیم و دمای آن را بالا می‌بریم. افزایش دما این امکان را به ما می‌دهد تا گاز فشرده‌شده را با آب خنک‌کنیم و به این ترتیب پروپیلن تبدیل به مایع می‌شود.

در این نقطه، ما یک منبع مایع با فشار بالا و در دمای اتاق در اختیار داریم. برای به جوش آوردن آن تنها لازم است آن را با فشاری کمتر از فشار درون منبع آزاد کنیم زیرا دمای اتاق بسیار بالاتر از نقطه‌جوش اتمسفری آن است. نکته‌ای که باید در نظر داشته باشیم این است که هر چیزی، مگر در دمای صفر مطلق (۲۷۳/۱°C- یا ۴۶۰°F-) دارای محتوای حرارتی است. هوای درون اتاق حاوی مقدار زیادی گرماست و به همین دلیل است که قادر هستیم آن را با سیستم تهویه خنک‌کنیم. وقتی یک پوند پروپیلن می‌جوشد، ۱۸۸ Btu گرما جذب می‌کند (که گرمای نهان نامیده می‌شود). اگر یک پوند پروپیلن را درون یک ظرف باز بریزیم و اجازه دهیم بجوشد، دماسنج درون مایع مقدار ۵۴°F- (۴۷/۷۷°C-) را نشان خواهد داد. گرمای موردنیاز برای جوشیدن از ظرف و هر آنچه با آن در تماس است ازجمله هوای اطراف، تأمین می‌شود. رطوبت موجود در هوا درون ظرف دچار میعان و سپس انجماد می‌شود و به شکل برفک در می‌آید. ترتیب اتفاقات در یک چرخهٔ سادهٔ سردسازی به این شکل است.

چرخه با مایع سردکنندهٔ تحت‌فشار آغاز می‌شود (شکل ۱۳—۱۳). این مایع از طریق شیر (کنترل) انبساط از رسیور خارج می‌شود، جایی که فشار کاهش پیدا می‌کند وارد یک کویل

تبخیرکننده می‌شود (مثلاً یک چیلر[1] یا سردکن). در اینجا سردکننده گرمای مادهٔ طرف دیگر کویل را می‌گیرد. پس از تبخیرکننده نوبت به کمپرسور می‌رسد که بخار را تحت‌فشار قرار دهد و آن را به کویل های کندانسور پمپ کند. گرمای تبخیر و گرمای فشرده سازی هردو تو سط آب خنک‌کننده در کندانسور گرفته می‌شود و سردکننده دوباره به حالت مایع باز می‌شود. در مورد سیستم سردسازی با اتیلن، به دلیل فراریت اتیلن، سردکننده پروپیلن به‌جای آب خنک‌کننده برای کندانس کردن بخارات فشردهٔ اتیلن مورداستفاده قرار می‌گیرد. هرچقدر که سیستم سردسازی پیچیده باشد، گرما در نهایت مستقیماً وارد هوا و یا آب خنک‌کننده می‌شود.

بزرگترین سیستم‌های سردسازی (تبرید) تحت‌فشارها و دماهای متعددی کار می‌کند که به آن مراحل یا گام ها گفته می‌شود (شکل ۱۳–۱۳). مراحل متعدد به این دلیل مورداستفاده قرار می‌گیرد که در این صورت بازدهی چرخهٔ تبرید بالا رفته و در نتیجه توان کمپرسور کمتری موردنیاز است. محدودیت‌های عملی برای تعداد مراحل بهینه وجود دارد. معمولاً از ۳ یا ۴ مرحله استفاده می‌شود. به دلیل مسائل ایمنی، یک روش خوب طراحی این است که مکش کمپرسور اولین یا پایین‌ترین مرحله دارای فشار مثبت باشد تا پایین‌ترین دمای عملیاتی را داشته باشیم. سطح دماهای دیگر بر اساس طراحی خاص هر سیستم تنظیم می‌شود.

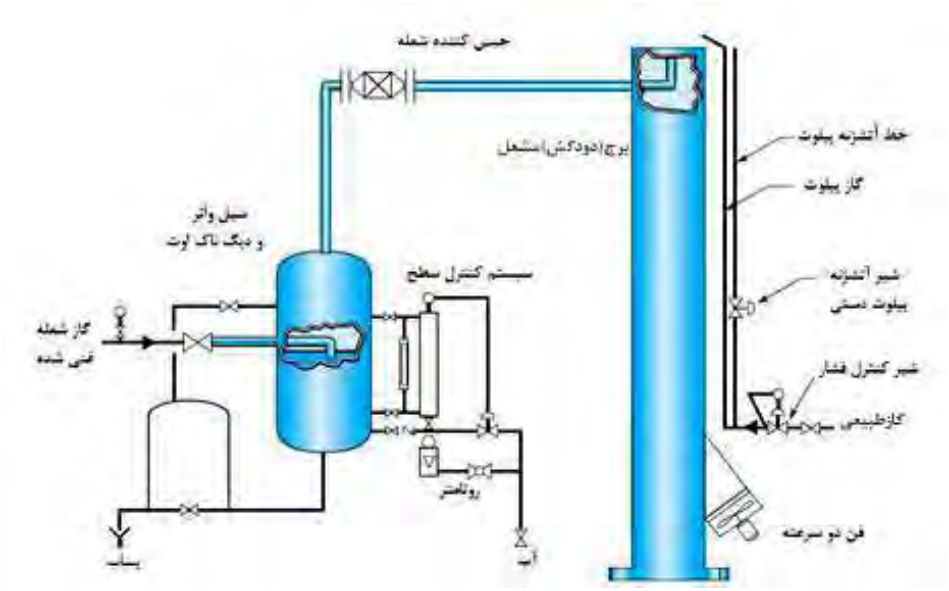


شکل ۱۳–۱۳: چرخهٔ تبرید

[1] Chiller

۱۳–۱۲– سیستم مشعل[1] و اطمینان (کمکی)

سیستم مشعل برای حذف بی‌خطر هیدروکربن‌های اضافی از فرایندهای مختلف کارخانه مورداستفاده قرار می‌گیرد. سیستم‌های مشعل از مجموعهٔ پیچیده‌ای از لوله‌ها و هدرهای متصل به مخزن ناک اوت[2] و شعله تشکیل می‌شود (شکل‌های ۱۳–۱۴ و ۱۳–۱۵). قوانین و مناسبات دولتی بیانگر این است که مشعل باید در یک فاصلهٔ ایمن از واحدهای عملیاتی و مناطق پرجمعیت واقع شود.



شکل ۱۳–۱۴: سیستم مشعل: شعله و مخزن ناک اوت

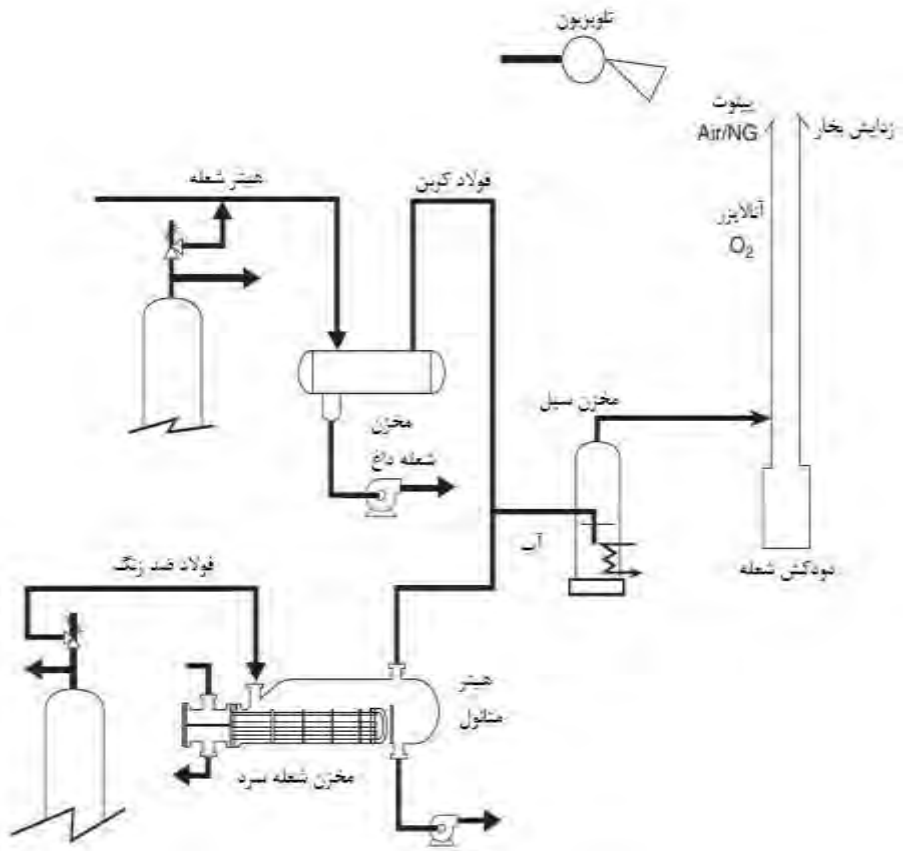
سیستم مشعل بخشی از سیستم ایمنی کارخانه است. بیشتر واحدهای فرایند دارای شیرهای تخلیه‌ایمنی در مدار خود است تا در صورت افزایش بیش‌ازحد فشار باز شود. این شیرهای تخلیه درون هدر مشعل تخلیه می‌شود. اختلال‌های غیرمنتظرهٔ فرایند به‌عنوان آخرین قسمت کار وارد سیستم شعله می‌شود.

---

[1] Flare
[2] Knockout

شکل ۱۳–۱۵: سیستم شعله و دودکش

یک سیستم مشعل معمول (شکل ۱۳–۱۶) شامل یک شعله (یک لولهٔ باریک بلند و عمودی)، یک حلقهٔ بخار متصل شده در بالای شعله (برای پراکنده کردن بخارات هیدروکربن)، یک منبع احتراق در بالای شعله، یک فن در پایهٔ شعله (مورداستفاده برای عملیات جریان اجباری)، یک مخزن ناک اوت با عایق آب و یک هدر مشعل است.



شکل ۱۳–۱۶: نمونه‌ای از سیستم مشعل

۱۳–۱۳– سیستم اطمینان (کمکی)

تخلیه از تمامی شـیرهای ایمنی، رگلاتور (تنظیم کننده)های تخلیهٔ فشـار و دریچه‌های عملیاتی و شیرهای بلوداون در سرویس هیدروکربنی، در یک سیستم لوله‌کشی بسته جمع‌آوری می‌شود و به سمت مشعل ارسال می شود. بخارات آب، هوا و نیتروژن در جو تخلیه می شود. شیرهای اطمینان بخار از طریق لوله‌هایی در فاصـلهٔ ایمن با سـطح و یا در بالای نزدیک‌ترین سـکوی عملیاتی، آزاد می‌شـود. از شـیرهای اطمینان حرارتی برای محافظت در مقابل انبسـاط حرارتی در هنگام لزوم در سیستم پر از مایع استفاده می‌شود. سیستم‌های مشعل و اطمینان بر طبق قوانین اجرایی و عملیات محافظت از پرسنل و تجهیزات در برابر موقعیت‌های فشار بیش‌ازحد طراحی شده است. بسیاری از واحدهای فرآوری هیدروکربن‌های فرار دارای دو سـیسـتم جمع‌آوری اسـت، یک سـیسـتم گرم–مرطوب و یک سیستم سرد–خشک. این جداسازی برای اجتناب از یخ زدگی با انسداد مکرر ناشی

از تشکیل یخ از بخارات مرطوب صورت می‌گیرد. هر دو سیستم به مخزن ناک اوت مربوط به خود وارد می‌شود، جایی‌که بخارهای سرد، گرم می‌شود و سپس با هم ترکیب می‌شود و به دودکش مشعل فرستاده می‌شود.

۱۳–۱۳–۱– سیستم اطمینان داغ (مشعل داغ)

سیستم اطمینان داغ، مایعات و بخارها را از واحدهایی که بالای ۳۲°F کار می‌کند، جمع‌آوری می‌کند. هدر مشعل درون کل کارخانه شاخه‌دار است و به خطوط شیب‌دار منتهی به مخزن ناک اوت مشعل ختم می شود. این مخزن ناک اوت یک مجرای فولاد کربنی است که شامل کویل بخار برای تبخیر کردن مواد سبک و گرم کردن مواد سنگین‌تر برای پمپ شدن به بخش بازیابی است. این پمپ می‌تواند با کنترل سطح به‌طور خودکار عمل کند اما اگر سطح مخزن پایین باشد به‌طور خودکار خاموش می‌شود. معمولاً درون اتاق کنترل هشدارهای کم و زیاد تعبیه می‌شود.

۱۳–۱۳–۲– سیستم اطمینان سرد (مشعل سرد)

سیستم اطمینان سرد، بخارات و مایعات با دمای پایین‌تر از ۳۲°F را پس از انبساط، درون هدر جمع‌آوری می‌کند. درک این نکته توسط اپراتورها اهمیت دارد که گرچه سیستم مشعل سرد برای دماهای بسیار پایین طراحی شده است، بخش‌هایی منتهی به مشعل وجود دارد که دمایشان از دمای هود سیستم مشعل سرد بالاتر است. شاخه‌های مختلف درون واحد درنهایت به هدر فولادی زنگ نزن شیب‌دار می‌رسد تا درون مخزن ناک اوت مشعل سرد تخلیه شود. مخزن ناک اوت مشعل سرد یک مخزن فولادی زنگ نزن شامل یک مبدل حرارتی است که مایعات تجمع یافته را تبخیر می‌کند. بخار خروجی از مخزن ناک اوت در دمایی بالاتر از ۳۲°F حفظ می‌شود.

۱۳–۱۴– سیستم مشعل

۱۳–۱۴–۱– کارکرد مخزن آب‌بند مشعل

یک جریان زدایش نیتروژن به‌منظور جلوگیری از تشکیل مخلوط‌های انفجاری در خطوط شعله بر روی هدرهای مشعل قرار می‌گیرد. اتصالات نیتروژن و گاز طبیعی در انتهای هدر تعبیه شده است. در حالت عادی، سیستم مشعل با یک آب‌بند (هوابند آبی) در مخزن ناک اوت مشعل کار می‌کند. این آب‌بند این اطمینان را می‌دهد زمانی که دستر سی به تجهیزات مرتبط به مشعل به هر دلیلی لازم است، فشار مثبتی در مشعل وجود دارد. یک آنالیزور به‌طور پیوسته بر اکسیژن شعلهٔ دودکش نظارت می‌کند.

۱۳–۱۴–۲– دودکش مشعل و پیلوت‌های مشعل

دودکش مشعل یک سطح مرتفع برای احتراق در آتشخان شعله را فراهم می‌کند. بالا بردن ارتفاع مشعل برای کاهش تابش گرمایی در سطح زمین انجام می‌شود. دهانه به‌گونه‌ای طراحی می‌شود که شعلهٔ بدون دودی در دبی‌های جریانی پایین داشته باشد. برخی سیستم‌های مشعل به‌گونه‌ای طراحی می‌شود که تنها بخشی از سیستم یا ایرادات تجهیزات بدون دود مرتفع می‌کند.

جریان بخار به درون مشعل به‌صورت خودکار و بر مبنای دبی جریان گاز ورودی به مشعل کنترل می شود. پیلوت‌های مشعل با گاز طبیعی و هوا با جرقه زدن یک شعله در جلوی ژنراتور کار می‌کند. به دلیل وجود تابش گرمایی از مشعل در طول پیک بار (بار بیشینه)، کنترل‌های شعله ساز جلویی دارای حفاظ بوده و همچنین دور از پایهٔ برج مشعل قرار می‌گیرد. ورود به محدودهٔ پر تابش مشعل تنها با مجوز امکان‌پذیر است و باید با دپارتمان عملیات هماهنگ شود. تمامی افراد درون محدوده باید تمام مدت در تماس رادیویی با اتاق کنترل باشند.

برج‌های مشعل برای سوزاندن گاز پسماند و منافذ هوای واحدها تعبیه می‌شود. معمولاً گازهای پسماند به‌عنوان سوخت گازی سوزانده می‌شود اما در زمان بروز اشکال در واحد، باید مقادیر زیادی گاز در فشار پایین از مشعل خارج شود. لوله‌ها و مشعل‌های شعله قابلیت عبور دادن این جریان‌ها را دارد. آن‌ها باید گاز پسماند را با کمترین مقدار دود بسوزانند و همچنین باید به قدری ارتفاع داشته باشند که محیط اطراف و تجهیزات موجود در آن در معرض خطر شعله، تابش گرمایی و دودها قرار نگیرد. ارتفاع برج‌های مشعل ۲۰۰ تا ۳۵۰ فوت است. یک برج مشعل خود پشتیبان، شبیه به یک لولهٔ عمودی بزرگ است که معمولاً قطر آن به‌تدریج تغییر می‌کند و در بالا دارای یک مشعل است. برخی برج‌های کوچکتر برای محافظت در برابر وزش بادهای شدید دارای سیم‌های مهار (سیمی که یک دکل یا برج را در وضعیت ایستاده نگه می‌دارد) است. جرثقیل‌های دکلی از برج یا دکل‌های شعلهٔ کوچکتر پشتیبانی می‌کند. مشعل‌های زمینی مشعل‌های کم ارتفاعی با ارتفاع حدود ۴۰ فوت است و تنها برای پاکسازی خطوط، پمپ‌ها و مجراها در برخی نواحی مورداستفاده قرار می‌گیرد. این مشعل‌ها مجهز به دمنده به‌منظور ایجاد جریان هوا در مشعل است. به دلیل اینکه مشعل‌های زمینی تنها برای پاکسازی موردا ستفاده قرار می‌گیرد، کنترل آن‌ها دستی است و مشعل‌ها پس از پایان پاکسازی خاموش می‌شود.

بخار به‌منظور ایجاد مکش برای سوختن بدون دود گاز و همچنین محافظت از دهانه‌های مشعل در برابر زبانه‌های حرارت، به درون دهانهٔ مشعل شعلهٔ واحد فرستاده می‌شود. میزان جریان بخار ورودی به دهانه ثابت است و نمی‌توان آن را قطع نمود، یک ایستگاه بارگذاری دستی که شیرهای کنترل خط جریان بخار را هدایت می‌کند، از راه دور باقیمانده را کنترل می‌کند. این موارد برای حذف دود در دهانهٔ مشعل ضروری است.

دهانه‌های مشعل برای احتراق گازی که به دهانه می‌رسد، مجهز به مشعل‌های پیلوت است. این مشعل‌ها همیشه در حال سوختن است اما اگر یکی از آن‌ها خاموش شود می‌توان آن را با کمک ژنراتورهای جلوی مشعل به صورت از راه دور روشن نمود. هوا و گاز طبیعی با مشعل جلوی ژنراتور در ارتباط است و در مقادیر کنترل شده به‌منظور تشکیل یک مخلوط احتراق‌پذیر که از طریق یک خط لولهٔ احتراق ساز کوچک (با قطر ۱ اینچ) به درون مشعل پیلوت جریان می‌یابد، اضافه می‌شود. یک وسیلهٔ جرقه ساز در محفظهٔ اختلاط، مخلوط هوا—گاز را مشتعل می‌کند و این شعله از طریق لوله به پیلوت رسیده و آن را روشن می‌کند. خطوط جداگانهٔ گاز طبیعی، سوخت ورودی به پیلوت را تأمین می‌کند.

برخی مشعل‌ها مجهز به مخازن عایق‌بندی شده محتوی آب است تا شعله نتواند از دهانه به درون سیستم مشعل بازشود. سایر مشعل‌ها برای جلوگیری از عدم بازگشت شعله به درون سیستم بر نوعی جریان از سوی واحد متکی است. این جریان معمولاً نیتروژن ورودی به شعله با یک دبی مشخص است. در صورت لزوم می‌توان به‌جای نیتروژن از گاز طبیعی استفاده نمود. همهٔ مشعل‌ها برای جمع‌آوری مایعات ایجاد شده دارای یک مخزن ناک اوت است. معمولاً برای بیرون ریختن مایعات از مخزن از یک پمپ نیز استفاده می شود. تکنسین قسمت مربوطه به صورت دستی این پمپ را کنترل می‌کند. معمولاً زمانی که سطح مایع درون مخزن بالا رود یک هشدار به صدا در می‌آید. بالا بودن سطح مایع در مخزن ناک اوت می‌تواند مشعل را در معرض قطراتی قرار دهد که در هنگام آزادسازی گاز دهانه بیرون می‌ریزد. این وضعیت منجر به فوران مایعات شعله‌ور از مشعل به درون محوطهٔ اطراف می‌شود.

خلاصه

سیستم‌های یوتیلیتی ترکیبی است از تجهیزاتی برای تأمین آب، سوخت، هوا، نیتروژن، برق، سرمایش و مواد یا فرایندهای دیگری که کارخانه برای عملیاتش به آن‌ها نیاز دارد. به‌طورکلی سیستم‌های یوتیلیتی یا مواد را به‌طور کامل یا نسبی از هم جدا می‌کند و یا منابع مورد استفادهٔ واحدهای کارخانه را در مقادیر قابل‌استفاده توزیع می‌کند، منابع را ذخیره‌سازی می‌کند و پسماندهای تولیدشده را دفع می‌کند.

سیستم‌های آب شامل سیستم‌های آب خام، آب اطفاء، سیستم‌های تصفیه آب خوراک بویلر، سیستم‌های آب خنک‌کننده و سیستم‌های بخار است.

سیستم بازیابی میعانات از سیستم بخار به دو قسمت میعانات تمیز و مشکوک تقسیم می‌شود. میعانات تمیز مستقیماً وارد هوازدا می‌شود. میعانات مشکوک قبل از رفتن به هوازدا، درون یک مخزن جمع‌آوری می‌شود، ناخالصی‌های آن بررسی می‌شود و فیلتر می‌شود.

سیستم آب خنک‌کننده برای دمای منبع ۹۰°F (۳۲/۲°C) و بیشینه دمای بازگشت ۱۲۰°F (۴۸/۸۸°C) طراحی می‌شود. آب خنک‌کننده از برج خنک‌کننده و توسط پمپ‌های گردش آب خنک‌کننده برای مصرف کنندگان تأمین می شود. آب جبرانی ورودی برج خنک‌کننده از سیستم آب خام تأمین می شود. برای دفع جامدات معلق از قبیل ماسه، گردوخاک و آلودگی‌های موجود در آب جبرانی برج خنک‌کننده مانند گل‌ولای، مواد آلی و ارگانیسم‌های پراکنده شده بوسیلهٔ آب از فیلترها استفاده می شود. سیستم خوراک شیمیایی آب خنک‌کننده متشکل است از یک ضد خوردگی غیر کروماتی، یک پراکنده‌کننده آنتی اسکالانت (مواد ضد رسوب) و کلر برای کنترل گرفتگی میکروبیولوژیکی.

خوردگی در تجهیزات معمولاً به دلیل واکنش اکسیژن با فلزات است؛ بنابراین برای حذف هوا (که شامل اکسیژن محلول است) از آب، از هوازدا استفاده می‌شود.

در املاح زدایی، آب خام از میان یک یون و رزین‌های تبادل کاتیون عبور داده می‌شود.

هوای یوتیلیتی (UA) و هوای ابزارها (IA) هردو از کمپرسورهای هوای مرکزی تأمین می شود. تولیدکنندگان صنعتی گاز طبیعی را از تأمین کنندگان آن خریداری می‌کند. معمولاً یک خط لولهٔ پرفشار گاز را به کارخانه منتقل می‌کند. انرژی الکتریکی از شرکت‌های تولید برق تأمین می‌شود. سیستم‌های اطمینان و مشعل، هیدروکربن‌های اضافی را به طرزی بی خطر دفع می‌کند.

سؤالات مروری

۱) دو نوع مخزن اتمسفری نام ببرید.
۲) منظور از عمل "تنفس" چیست؟
۳) شعله گیر یا حبس‌کننده شعله چگونه عمل می‌کند؟
۴) هدف استفاده از دریچهٔ محافظ را شرح دهید.
۵) مخزن‌های با پوشش گاز به چه دلیل مورداستفاده قرار می‌گیرد؟
۶) خوردگی را توضیح دهید و بیان کنید تکنسین‌های فرایند چگونه از آن پیشگیری می‌کنند؟
۷) چرا باید برج‌های خنک‌کننده را به‌صورت دوره‌ای بلوداون (تخلیه پساب) نمود؟
۸) یک سیستم آب اطفاء را توضیح دهید.
۹) تصفیهٔ آب خوراک بویلر را توضیح دهید.
۱۰) اگر برای افزایش دمای یک درجه‌ای یک پوند آب معادل ۱Btu انرژی لازم باشد، چند Btu انرژی برای تبخیر همین میزان آب در دمای ۳۵°F لازم است؟
۱۱) برخی ناخالصی‌های موجود در آب طبیعی را نام ببرید.
۱۲) چرا خلوص آب خوراک بویلر برای عملیات و نگهداری سیستم حیاتی است؟
۱۳) مقدار بیشینه مجاز جامدات معلق در یک بویلر در فشار ۲۰۰۰ psig چقدر است؟
۱۴) انعقاد و لختگی چیست؟
۱۵) رابطهٔ میان سختی‌گیری آب و ته‌نشینی شیمیایی چیست؟
۱۶) رزین‌های آنیون و کاتیون چگونه با ناخالصی‌های آب واکنش می‌دهد؟
۱۷) عملکرد هوازدا را توضیح دهید.
۱۸) توجیه برای اجتماع سیستم‌های نیتروژن و هوای ابزارها چیست؟ آیا شما با این موضوع موافق هستید؟
۱۹) سیستم مشعل را توضیح دهید.
۲۰) عملیات موتور سه فاز را توضیح دهید.
۲۱) سیستم‌های گاز طبیعی چه کاربردهایی دارد؟
۲۲) وظیفهٔ اصلی تله بخار چیست؟
۲۳) سیستم فاضلاب صنعتی را توضیح دهید.
۲۴) نمودار ساده‌ای رسم کنید که نشان دهد یک سیستم تبرید چگونه کار می‌کند.
۲۵) اجزای اولیهٔ سیستم مشعل و اطمینان (کمکی) را نام ببرید.

فصل چهاردهم
راکتورها (واکنشگاه های شیمیایی)

اهداف

پس از مطالعهٔ این فصل دانشجو قادر خواهد بود:

- کارکرد راکتور را توضیح دهد.
- واکنش‌های شیمیایی گرماگیر، گرماده، جایگزینی، خنثی سازی و احتراقی را توضیح دهد.
- متغیرهای واکنش و اثرات آن‌ها را نام ببرد.
- یک معادلهٔ شیمیایی را موازنه کند.
- راکتور پیوسته و بچ (ناپیوسته) را توضیح دهد.
- کاربرد راکتور در آلکیله کردن را توضیح دهد.
- کاربرد راکتور در کراکینگ کاتالیستی سیال را توضیح دهد.
- کاربرد راکتور در هیدرودیسولفوریزاسیون را توضیح دهد.
- کاربرد راکتور با بستر ثابت را در هیدروکراکینگ توضیح دهد.
- راکتور لوله‌ای و سنتز شیمیایی را شرح دهد.
- راکتور با بسترسیال در گازی سازی زغال سنگ توضیح دهد.
- ککینگ سیال را توضیح دهد.

۱۴–۱– مقدمه

راکتور مجرا یا مخزنی است که در آن واکنش شیمیایی به شکلی کنترل‌شده انجام می‌گیرد. در این فصـــل پنج نوع اصـــلی راکتورها موردبحث قرار می‌گیرد: راکتورهای مخزنی همزن‌دار، کانورترها (تبدیل کننده‌ها) یا راکتورهای بستر ثابت، راکتورهای بسترسیال، راکتورهای لوله‌ای و کوره‌ها. انواع بسیار دیگری از مخزن‌های واکنشی وجود دارد که بیشتر آن‌ها ترکیبی از این ۵ نوع است.

به عوامل مختلفی که بر یک واکنش شیمیایی اثر می‌گذارد متغیرهای واکنش می‌گویند. طراحی و عملیات یک راکتور بســتگی زیادی به چگونگی اثر گذاری متغیرهای واکنش بر واکنش شــیمیایی در حال انجام درون راکتور دارد. مثلاً گرما، فعالیت مولکولی را افزایش می‌دهد و تشــکیل پیوندهای شیمیایی را سرعت می‌بخشد و فشار، تعداد برخوردهای اتم‌ها را افزایش می‌دهد. دیگر عوامل مؤثر بر واکنش شیمیایی عبارت‌اند از زمان، غلظت مواد اولیه و کاتالیزورها.

– **دما**

در یک مخلوط واکنش، چه مایع و چه گاز، این دماست که سرعت حرکت مولکول‌های واکنش‌دهنده را تعیین می‌کند. در دمای بالا مولکول ها درون مخلوط با ســـرعت حرکت می‌کنند و تعداد برخوردهای آن‌ها نیز زیاد است. هرچه تعداد برخوردها بیشتر باشد، احتمال واکنش آن‌ها با یکدیگر بیشتر خواهد بود. یک قانون تخمینی خوب در واکنش‌های شیمیایی این است که با هر بار افزایش دما به مقدار ۱۰ درجه سانتی‌گراد، سرعت واکنش دو مادهٔ شیمیایی دو برابر می شود. البته در این قانون فرض می شود متغیرهای دیگر بدون تغییر باشد. برای مثال، اگر ۱۰ درصد مواد شیمیایی در دمای ۵۰ درجه سلسیوس در طول یک ساعت تبدیل به محصول شود، آن‌گاه در دمای ۶۰ درجه، ۲۰ درصد از آن در یک ساعت تبدیل به محصول می‌شود. خطر موجود در این نوع واکنش این است که در دمای بالاتر، گرمای آزاد شده دو برابر خواهد شد. اگر گرمای اضافی نتواند هم‌زمان با تولید از راکتور خارج شود، دما بالا می‌رود و باعث پیشرفت واکنش با سرعتی حتی بالاتر می شود. واضح اســت که طولی نخواهد کشــید که شــما یک واکنش غیر قابل کنترل و احتمالاً یک انفجار خواهید داشت.

– **فشار**

اثر فشــار بر یک واکنش را نمی‌توان به‌راحتی اثر دما تعمیم داد. در یک واکنش در فاز مایع، بســته به آمادگی مواد اولیه یا محصــولات به تبخیر شــدن، فشــار می‌تواند باعث کاهش یا افزایش ســرعت واکنش شــود. در واکنش در فاز گازی، فشــار مولکول‌ها را به هم نزدیک‌تر می‌کند و با این‌کار باعث

افزایش برخوردها می‌شود؛ به عبارت دیگر در فاز گازی هرچه فشار بیشتر باشد، سرعت واکنش نیز بیشتر خواهد شد.

- **زمان واکنش**

به زبان ساده، زمان واکنش عبارت ا ست از زمانی که واکنش‌دهنده‌ها در شرایط مطلوب و م ساعد انجام واکنش در تماس هســتند. زمان تماس اشــاره به طول زمانی دارد که واکنش‌دهنده‌ها با یک کاتالیـ ست در تماس ه ستند. زمان اقامت ا شاره به زمانی دارد که واکنش‌دهنده‌ها قبل از تبدیل به فرآورده در مخزن باقی می‌مانند. به‌طورکلی، هرچه زمان واکنش طولانی‌تر باشـــد، فرآورده های بیشتری تولید می‌شود. این لزوماً به این معنا نیست که ادامهٔ یک واکنش برای مدت طولانی مساعد است.

- **غلظت واکنش‌دهنده‌ها**

غلظت واکنش‌دهنده‌ها در راکتور اثر عمده‌ای بر سرعت واکنش، نوع فرآورده‌ای که تولید می شود و مقدار گرمایی که واکنش نیاز دارد یا آزاد می‌کند دارد. در اینجا ما ساده سازی می‌کنیم و می‌گوییم برای بیـشتر واکنش‌ها، هرچه غلظت واکنش‌دهنده‌ها بیـشتر با شد، واکنش سریع‌تر انجام می شود و در نتیجه گرمای بیشتری تبادل خواهد شد.

تلاطم ایجاد شده تو سط همزن‌های مکانیکی یا جریان آ شفته می‌تواند بر غلظت تأثیر دا شته باشـــد. به‌طورکلی، یک اختلاط و هم خوردگی خوب، یک واکنش پربازده با فرآورده‌هایی مطلوب را به وجود خواهد آورد. در صـــورت عدم هم خوردگی مناســـب توده‌هایی با غلظت بالای یک واکنش دهـنده و غلـظت پایین واکنش دهـندهٔ دیگر به وجود می‌آ ید. این توزیع نابرابر منجر به تولـید فرآورده‌های نامطلوب و غیر قابل پیش بینی می‌شود.

- **کاتالیزورها**

بســیاری از مواد شــیمیایی در دماها و غلظت‌های بالا واکنش نمی‌دهند و یا محصــولات ناخواســته تولید می‌کنند. در نتیجه از ماده‌ای فرعی به نام کاتالیزور به‌منظور تحریک واکنش و همچنین کمک به تولید محصــول مطلوب اســتفاده می‌شــود. اکثر کاتالیزورها با واکنش‌دهنده‌ها واکنش نمی‌دهند، بنابراین می‌توان بارها از آن استفاده نمود تا جایی که آلوده و ناکارآمد شود. آن‌گاه باید آن را تعویض یا بازیابی نمود. سایر انواع کاتالیزورها که معمولاً گاز یا مایع است با واکنش‌دهنده‌ها واکنش می‌دهد و یک محصـــول واســـطه تولید می‌کند. واکنش ادامه می‌یابد تا محصـــول مطلوب به دســـت آید و

کاتالیزور را برای استفادهٔ دوباره آزاد کند. خرابی بعضی از کاتالیزورها و یا بلا استفاده شدن آن‌ها به دلیل دشواری بازیابی، امری غیرمعمول نیست.

کاتالیست‌ها را می‌توان به‌صورت جاذب سطحی، واسطه‌ای، بازدارنده یا مسموم طبقه‌بندی نمود. کاتالیست جاذب سطحی یک کاتالیست جامد است که مواد واکنش دهنده را جذب و نگهداری می‌کند تا به این صورت تعداد برخوردها افزایش یابد. همچنین پیوندهای ماده واکنش دهنده را ضعیف می‌کند که این موجب می‌شود انرژی کمتری برای شکستن آن‌ها صرف شود. کاتالیست نوع واسطه‌ای با چسبیدن به واکنش‌دهنده‌ها و گرفتن سرعت آن‌ها به‌منظور ایجاد برخورد، یک محصول واسطه تولید می‌کند. کاتالیست نوع بازدارنده به هر ماده‌ای که سرعت واکنش را کاهش دهد اتلاق می‌شود. کاتالیست مسموم به کاتالیستی گفته می‌شود که دیگر کارایی ندارد و مصرف شده است.

- **بازدارنده‌ها**

بازدارنده ماده‌ای است که واکنش بین دو مادهٔ شیمیایی یا بیشتر را کند کرده یا مانع آن می شود. گاهی اوقات مقادیر ناچیز ناخالصی در جریان خوراک، واکنش را مختل می‌کند و یا مقدار فرآوردهٔ مطلوب تولیدشده را به‌شدت کاهش می‌دهد. بازدارنده معمولاً با واکنش دادن با برخی مواد اولیه قبل از وقوع واکنش اصلی، مانع انجام آن می‌شود و یا با کاتالیست واکنش می‌دهد که این عمل کاتالیست را غیر قابل‌استفاده می‌کند.

- **واکنش‌های گرماده و گرماگیر**

واکنش گرماده به واکنش شیمیایی اتلاق می‌شود که با آزاد شدن گرما همراه است. با افزایش سرعت واکنش، آزادسازی انرژی گرمایی نیز افزایش می‌یابد. کنترل دبی جریان واکنش‌دهنده‌ها، خروج گرما و یا تأمین سرما می‌تواند این واکنش‌های گرماده را کنترل کند.

واکنش‌های گرماگیر برای پیشرفت خود گرما را از محیط جذب می‌کند. برای تولید محصولات باید به آن‌ها گرما داد. شکل ۱۴–۱ نمونه‌ای از جدول تناوبی است و شکل ۱۴–۲ شامل اطلاعاتی است که در هر خانهٔ آن یافت می‌شود.

- **واکنش‌های جابه‌جایی**

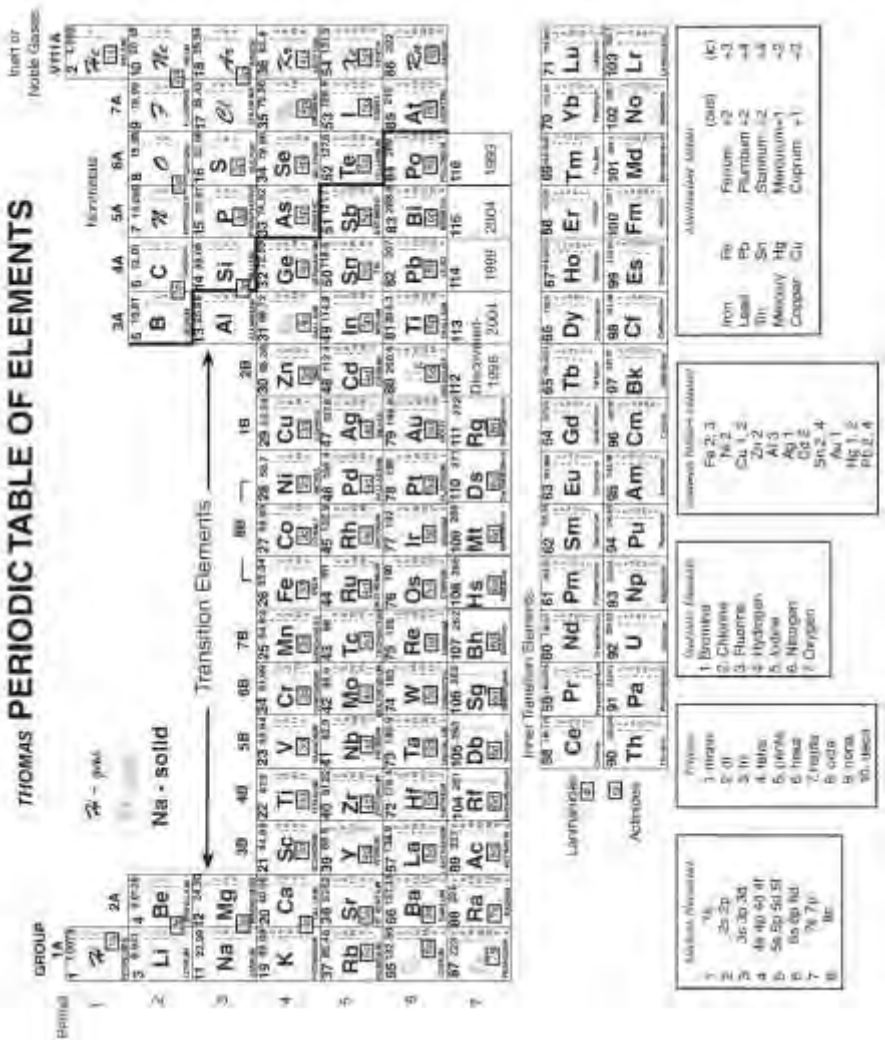
تولیدکنندگان صنعتی از واکنش‌های جابه‌جایی برای حذف مواد معدنی محلول در آب فرایند استفاده می‌کنند. تعداد زیادی مواد معدنی محلول در سیالات فرایند یافت می‌شود. یک ترکیب رایج موجود در آب کلسیم کلرید است. کلسیم کلرید ($CaCl_2$) زمانی که در آب حل می شود تشکیل یون‌های مثبت کلسیم (Ca^{2+}) و یون‌های منفی کلر (Cl^-) می‌دهد.

یک واکنش تعویض یونی می‌تواند به کمک رزین‌های سنتزی (مصنوعی) یون‌های Ca^{2+} و Cl^- را حذف کند. رزین‌ها در اشکال و طرح‌های مختلفی وجود دارند. برخی رزین‌ها شبیه به رشته‌های پلیمری پیچیده شده در دانه و با یون‌های باردار است. زمانی که سیال فرایند از بستر رزین عبور می‌کند، یک یون H^+ بر روی دانه رزین با یک یون Ca^{2+} جایگزین می‌شود. واکنش تعویض تا زمانی که تمامی Ca^{2+} از درون سیال حذف شود و یا یون H^+ روی دانه های رزین تمام شود ادامه می‌یابد.

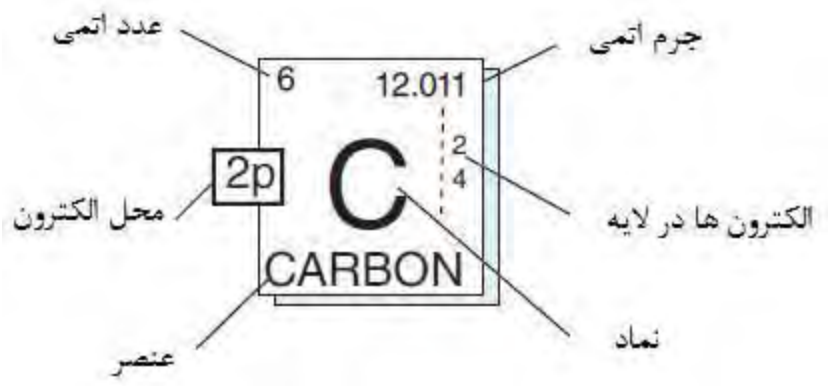
دانه‌های رزین را می‌توان با یون‌های باردار مثبت یا منفی غنی نمود و برای واکنش‌های تعویض مورداستفاده قرار داد. مثلاً دانه های رزین دارای یون هیدروکسیل (OH^-) را می‌توان برای جایگزینی یون کلرید (Cl^-) به کار برد.

- **خنثی سازی**

واکنش‌های خنثی سازی، یون‌های هیدروژن (اسید) یا یون‌های هیدروکسیل (باز) را از مایع حذف می‌کند. واکنش‌های خنثی سازی برای خنثی کردن اسیدی یا بازی بودن یک محلول طراحی می‌شود. یون‌های هیدروژن و هیدروکسیل یکدیگر را خنثی می‌کنند.



شکل ۱۴–۱: جدول تناوبی



شکل ۱۴–۲: نمونه‌ای از اطلاعات عناصر جدول تناوبی

– احتراق

واکنش‌های احتراقی واکنش‌های گرمادهی هستند که به سوخت، اکسیژن و گرما نیاز دارند. در این نوع واکنش اکسیژن به قدری سریع با مواد دیگر می‌دهد که آتش تولید می‌شود. برای مثال، واکنش‌های کورهٔ آتش یا بویلر از نوع احتراقی است. گاز متان طبیعی (سوخت) به درون مشعل پمپ می‌شود، با اکسیژن (هوا) مخلوط می‌شود و آتش می‌گیرد (گرما). این واکنش که کربن دی‌اکسید و آب آزاد می‌کند را می‌توان با معادلهٔ شیمیایی زیر نمایش داد:

$$CH_4 + 2O_2 \rightarrow CO_2 + 2H_2O$$

در این معادله، یک مولکول متان (CH_4) با دو مولکول اکسیژن واکنش می‌دهد و یک مولکول کربن دی‌اکسید و دو مولکول آب تولید می شود. یک واکنش احتراقی دیگر که از پروپان و اکسیژن استفاده می‌کند به این شکل است:

$$C_3H_8 + 5O_2 \rightarrow 3CO_2 + 4H_2O$$

دراین معادله یک مولکول پروپان (C_3H_8) با پنج مولکول اکسیژن واکنش می‌دهد و سه مولکول کربن دی‌اکسید و چهار مولکول آب تولید می‌شود.

– موازنه جرمی

موازنه جرمی رو شی ا ست که متخصصان فنی برای تعیین میزان دقیق واکنش‌دهنده‌های موردنیاز برای تولید مقادیر مشخص شدهٔ فرآورده در هنگام ترکیب دو یا چند ماده با یکدیگر از آن ا ستفاده می‌کنند. به‌منظور جلوگیری از اتلاف، واکنش‌دهنده‌ها باید به نسبت‌های صحیح با هم مخلوط

شـــوند. موازنه جرم، این نســـبت را برای اپراتور مشـــخص می‌کند. یک معادلهٔ موازنه شـــده، معادله شیمیایی است که در آن مجموع واکنش‌دهنده‌ها (اتم‌ها) برابر است با مجموع فرآورده‌ها (اتم‌ها).

برای موازنه جرمی باید این مراحل را طی نمود: (۱) وزن هر مولکول را مشـــخص کنید، (۲) اطمینان یابید وزن کل فرآورده‌ها با وزن کل واکنش‌دهنده‌ها برابر است و (۳) تعداد اتم‌های واکنش دهنده را مشخص کنید. تعداد اتم‌ها با ضرایب عددی و زیروندها مشخص می‌شود. مثلاً $2H_2$ برابر با ۴ اتم هیدروژن اســـت. وزن را می‌توان با واحدهای جرم اتمی (AMU) بیان نمود: ۱ AMU = ۱ گرم، ۱ پوند یا ۱ تن. AMU یک نســـبت وزنی اســـت؛ بنابراین واحدها به دلخواه شـــما اســـت. برای نمونه، موازنه جرمی این معادله شیمیایی را بررسی می‌کنیم:

$H^+ + OH^- \rightarrow H_2O$

گام ۱: وزن هر مولکول را مشخص می‌کنیم.

H^+ (1 AMU) + OH^- (17 AMU) $\rightarrow$ H_2O (18 AMU)
H^+ (1 g) + OH^- (17 g) $\rightarrow$ H_2O (18 g)

گام ۲: اطمینان می‌یابیم مجموع جرم واکنش‌دهنده‌ها با مجموع جرم فرآورده‌ها برابر است.

گام ۳: تعداد اتم‌های واکنش‌دهنده را مشـــخص می‌کنیم تا مطمئن شـــویم مطابقت دارد. طرف واکنش‌دهندهٔ معادله دو اتم هیدروژن و یک اتم اکســـیژن دارد. طرف فرآورده‌ها نیز دو اتم هیدروژن و یک اتم اکسیژن دارد. معادله موازنه شده است.

برای تشـــخیص اینکه یک معادله موازنه شـــده اســـت یا خیر، با لیســـت کردن واکنش‌دهنده‌ها و فرآورده‌ها و اطمینان حاصل کردن از اینکه تمامی عناصر در دو طرف برابر است می‌توان به سادگی مطمئن شد.

$Na_2O + 2HOCl \rightarrow 2NaOCl + H_2O$

واکنش دهنده ها	فرآورده ها
2Na	2Na
3O	3O
2Cl	2Cl
2H	2H

این معادله شیمیایی موازنه شده است. حال بیایید به معادلهٔ دیگری بنگریم:

$2H_3PO_4 \rightarrow H_2O + H_4P_2O_8$

واکنش دهنده ها	فرآورده ها
6H	6H
2P	2P
8O	8O

این معادله شیمیایی موازنه نشده است.

در موازنه کردن معادلات شیمیایی اصول و معیارهای زیر بسیار مفید است:

- تعیین کنید معادله موازنه شده است یا خیر.
- هرگز زیروندها را تغییر ندهید. مثلاً در H_2O تغییر زیروند ۲ ترکیب و خود ماده را تغییر خواهد داد.
- بر ضـرایب مواد در معادله شـیمیایی تمرکز کنید. از یک طرف آغاز کنید و به‌طرف دیگر بروید. معمولاً شروع از یک طرف و موازنهٔ طرف دیگر آسان‌تر است. بیشتر عملیات از چپ به راست و آزمون و خطایی است.
- اطمینان یابید برای هر عنصـر تمامی منابع را بررسـی کرده‌اید. ممکن اسـت دو یا چند مولکول حاوی یک عنصر باشد.
- ضرایب مولکول‌های تک اتمی را به انتهای کار واگذار کنید.
- ضـرایب یون‌های چند اتمی که به شـکل یک گروه در دو طرف معادله حضـور دارند را تصحیح کنید. به مثال توجه کنید:

موازنه نشده:

$(NH_4)_2CO_3 \rightarrow NH_3 + CO_2 + H_2O$

موازنه شده:

$(NH_4)_2CO_3 \rightarrow 2NH_3 + CO_2 + H_2O$

فرآورده ها	واکنش دهنده ها
۲ = نیتروژن	۲ = نیتروژن
۸ = هیدروژن	۸ = هیدروژن
۱ = کربن	۱ = کربن
۳ = اکسیژن	۳ = اکسیژن

هر مسـئله راه حل خاص خود را دارد و باید آن‌ها را با "روش بازبینی" حل نمود. شـما می‌توانید با موازنه این معادلات، این موضوع را دریابید:

1. $Fe + 0_2 \rightarrow Fe_2O_3$

پاسخ: $4Fe + 30_2 \rightarrow 2Fe_2O_3$

2. $Sn + Cl_2 \rightarrow SnCl_4$

پاسخ: $Sn + 2Cl_2 \rightarrow SnCl_4$

3. $Fe + Cl_2 \rightarrow FeCl_3$

پاسخ: $2Fe + 3Cl_2 \rightarrow 2FeCl_3$

۱۴–۲– راکتورهای ناپیوسته (بچ) و پیوسته

تولیدکنندگان صنعتی از دو نوع عملیات اصلی راکتورها بهره می‌برند: ناپیوسته و پیوسته. در عملیات ناپیوسته مواد خام به دقت وزن می‌شود وارد راکتور می‌شود. مواد خام، مخلوط شده و برای واکنش دادن با یکدیگر آماده می‌شود. پس از گذشت مدت‌زمان معین، محتویات راکتور تخلیه می‌شود یا به راکتور دیگر منتقل می‌شود.

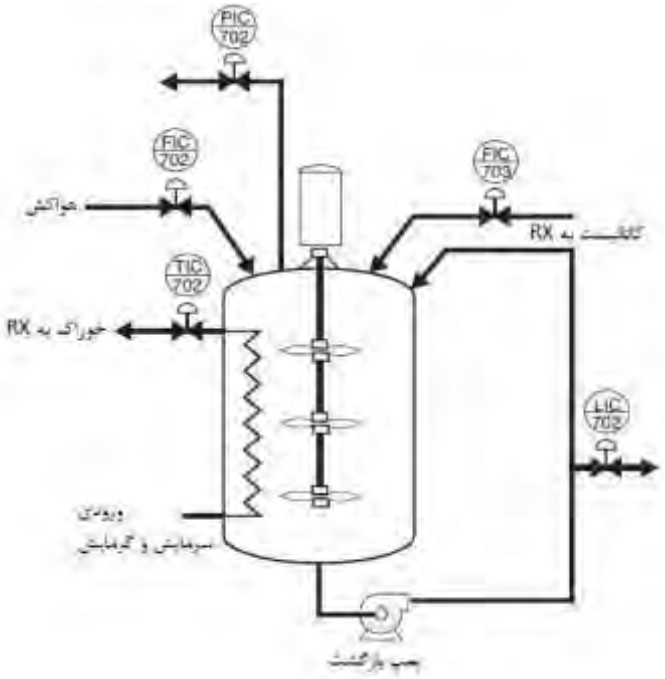
در عملیات پیو سته، مادهٔ خام کم کم به راکتور ا ضافه می شود. هم‌زمان با خروج مح صولات از راکتور، مواد خام وارد راکتور شده و در معرض کاتالیزورها، فشار، مایعات و یا گرما قرار می‌گیرد.

۱۴–۳– راکتورهای همزن دار

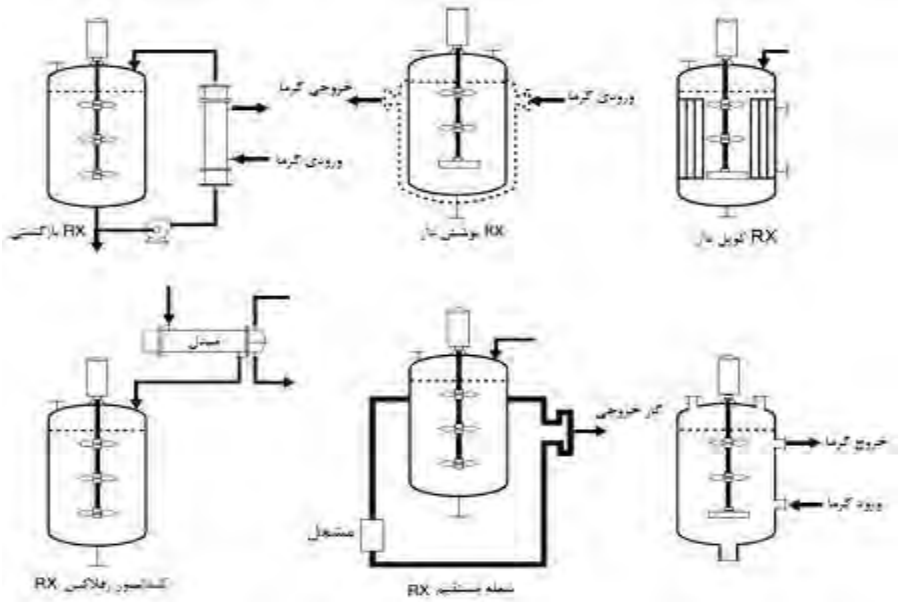
یکی از انواع رایج راکتورها، مخلوط‌کننده یا راکتور همزن‌دار است (شکل ۱۴–۳ و ۱۴–۴). اجزای اولیهٔ این و سیله شامل یک همزن درون یک مخزن می‌با شد. این همزن دارای محرکهٔ م ستقیم یا غیرمستقیم است. پوستهٔ راکتور برای سرد و گرم شدن طراحی شده است و فشارها، دماها و دبی‌های جریان را تحمل می‌کند. طراحی این راکتورها ممکن ا ست شامل کویل‌های لوله‌ک شی در دور مجراها (مخازن)، صفحات انتقال حرارت داخلی یا خارجی یا مجراهای پو شش دار با شد. ممکن است واسطهٔ حرارتی آن‌ها روغن داغ، بخار یا آب خنک‌کننده باشد.

راکتور همزن دار برای اختلاط دو یا چند ماده به‌صورت محلول همگن طراحی می‌شود. وقتی این اجزا با هم مخلوط می‌شود، واکنش‌های شیمیایی رخ می‌دهد و محصولات جدید تولید می‌شود. زمان هم زدن و شرایط دقیق عملیاتی برای کارکرد کارآمد راکتورهای همزن دار حیاتی است.

راکتورهای همزن دار مجهز به چند وسیلهٔ ایمنی ا ست: سیستم‌های کاهش فشار، سیستم‌های اطفاء، هشدارهای عدم ثبات فرایند و کنترل‌های توقف اتوماتیک. سیستم‌های توقف برای جلوگیری از ادامهٔ فرایند راکتور طراحی شده ا ست. سیستم‌های کاهش فشار برای هرگونه خروجی از راکتور تعبیه می‌شود. سیستم رهاسازی ممکن است برای مایع، بخار یا ترکیبی از آن‌ها طراحی شود. سی ستم‌های اطمینان رها سازی خروجی‌های فرایند را به سمت سی ستم م شعل کارخانه هدایت می‌کند. گاهی اوقات قبل از فر ستادن یک مح صول به سی ستم م شعل، از یک سی ستم ا سکرابر شیمیایی استفاده می‌شود.



شکل ۱۴–۳: راکتور همزن دار



شکل ۱۴–۴: راکتورهای مخزنی ناپیوسته همزن دار

هشـدارهای عدم ثبات فرایند توسـط متغیرهای تحلیلی (ترکیبی) فشـار، دما، جریان، سـطح و زمان فعال می شود. سرعت چرخش همزن می‌تواند ثابت یا متغیر با شد. مجموعه‌ای از اینترلاک‌ها[1] (قفل ایمنی)، بازدارنده‌ها و هشـــدارها در طول عملیات باهم به کار می‌رود و پشـــتیبانی برای تکنســـین‌ها فراهم می‌کند. مجموعه‌ای از هدایت‌های ویدئویی به‌منظور پیگیری وضـــعیت هریک از متغیرهای بحرانی تعبیه می‌شود. برای اطمینان از کیفیت محصول، مکرراً نمونه‌گیری انجام می‌شود. راکتورهای همزن دار به ســیســتم‌های off-spec[2] متصــل اســت که این موضــوع در چرخهٔ بین وضعیت‌های اولیه و off-spec انعطاف به وجود می‌آورد. خاموشی خودکار به تکنسین این امکان را می‌دهد که در وضعیت اورژانسی یا فرار واکنش با فشار یک دکمه سیستم را خاموش کند.

اغلب به راکتورهای مخزنی همزن دار اتوکلاو یا بچ گفته می‌شـــود. این نوع راکتور در هردو فرایندهای خوراک بچ، مانند واحد رزین‌های ســوســپانســیونی وینیل و رزین‌های فنولی و پیوســته مانند واحد رزین‌های محلول وینیل و پلی‌اتیلن موردا ستفاده قرار می‌گیرد. مشخصات اساسی یک راکتور همزن دار برای تأمین زمان‌های طولانی برای واکنش، همزن مکانیکی و روشـــی برای ســـرد کردن و گرم کردن واکنش طراحی می‌شـود. راکتورهای مخزنی همزن دار برای واکنش‌های مایع – مایع، واکنش‌های گاز – مایع واکنش‌های مایع – جامد کاربرد دارد. راکتورهای مخزنی همزن دار برای واکنش‌هایی که نیازمند زمانی نسـبتاً طولانی‌تری اسـت و همچنین واکنش‌های مواد دوغابی و غلیظ که برای یکدســت شــدن مخلوط واکنش نیاز به همزن مکانیکی دارد اســتفاده می‌شــود. این راکتورها همچنین زمانی که سرعت تولید متغیر است و یا واکنش‌ها و محصولات مختلفی درون یک راکتور تولید می‌شود به کار برده می‌شود. به دلیل سازگاری و راحتی آن‌ها، در تحقیق و توسعهٔ اولیهٔ اکثر فرایندها از این نوع راکتورها کمک گرفته می‌شود.

ملاحظات دیگری که باید در نظر گرفته شـود مشـتمل اسـت بر اینکه چه مقدار هم زدن برای رسیدن به یک مخلوط واکنش همگن لازم است، چه نوع تجهیزات انتقال حرارتی برای جلوگیری از کاهش سطح انتقال حرارت موردنیاز است، حداقل اندازهٔ لازم راکتور برای ایجاد زمان لازم واکنش و اینکه آیا به کار بردن کاتالیست برای پیشرفت بیشتر واکنش موردنیاز است یا خیر و چگونه باید این کاتالیست اضافه شود تا واکنش در محلی خاص متمرکز نشود و به‌خوبی توزیع شود.

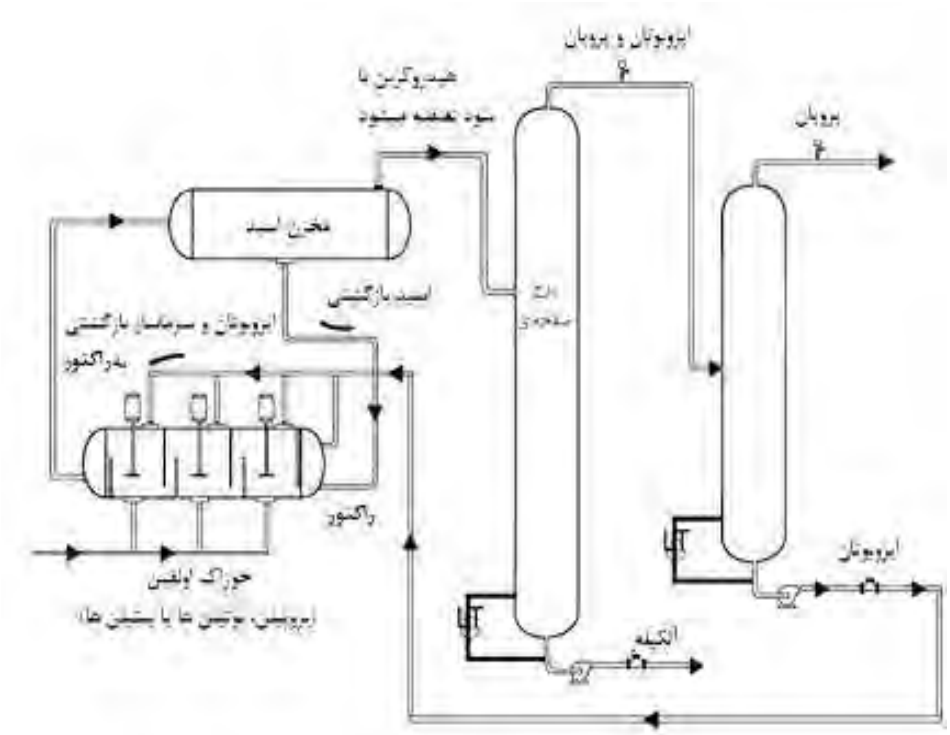
---

[1] Interlock
[2] Off-Specification

۱۴–۳–۱– راکتورهای همزن دار آلکیلاسیون

واحدهای آلکیلا سیون (شکل ۱۴–۵) دو مولکول کوچک، ایزوبوتان و اولفین (پروپیلن، بوتیلن‌ها یا پنتیلن‌ها) را می‌گیرد و آن‌ها را به یک مولکول بزرگ مایع با اکتان بالا به نام آلکیله تبدیل می‌کند. این فرایند ترکیب شدن درون یک راکتور پر از کاتالیست اسیدی رخ می‌دهد. آلکیله یک محصول روغن موتور برتر است که برای هم زدن بنزین بدون سرب به کار می‌رود.

پس از واکنش، محصولاتی تشکیل می‌شود که جداسازی آن‌ها و تمیز نمودن جریان‌های مطلوب آن‌ها نیازمند فرآوری بیشتر است. برای حذف (جذب) اسید از یک جداکننده و یک ماده بازی استفاده می‌شود. اسید جدا شده به راکتور برگردانده می‌شود و محصولات باقیماندهٔ راکتور به ستون تقطیر فرستاده می‌شود. درون برج آلکیله، ایزوبوتان و گاز پروپان از هم جدا می‌شود. ایزوبوتان برای فرآوری بیشتر به راکتور برمی گردد. آلکیله به واحد بنزین فرستاده می‌شود.



شکل ۱۴–۵: راکتور همزن دار آلکیلاسیون

۱۴–۴– راکتورهای بستر ثابت

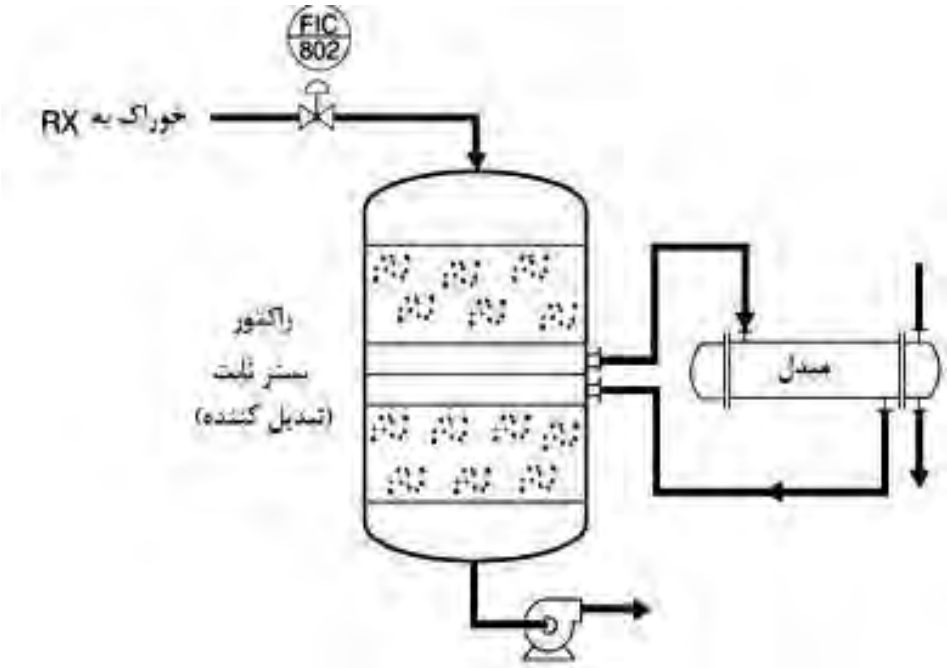
راکتور بستر ثابت (که اغلب به آن تبدیل کننده گفته می شود) مجرا یا مخزنی است شامل توده‌ای از ذرات کوچک، معمولاً با قطر ۰/۱ تا ۰/۲ اینچ که مخلوط واکنش از آن‌ها عبور می‌کند. این توده معمولاً یک "بستر" پر شده از کاتالیست است که روند واکنش را تسریع می‌کند. همچنین این توده ممکن است از پرکن‌های برج مانند حلقه‌های راشیگ[1]، زین های برل[2] و یا مرمر تشکیل شده باشد. در این صورت، پرکن‌ها سطح انتقال حرارتی بیشتر در نتیجه توزیع حرارت بهتری را در تبدیل کننده فراهم می‌کند. بستر پرکن‌ها، چه کاتالیست باشد و چه ذرات بی اثر، در مسیر جریان مستقیم فرایند قرار داده می‌شود و می‌تواند به شکل یک بستر واحد بزرگ، چند بستر افقی روی سینی‌ها و یا چند بستری که هرکدام پوستهٔ خود را دارد تنظیم شود. همچنین درون یک پوسته ممکن است چندین لولهٔ موازی پرشده قرار گیرد.

با عبور سیال فرایند از کاتالیست، واکنش رخ می‌دهد. از آن جایی که کاتالیست در راکتور موقعیت ثابتی دارد، طراحی به‌گونه‌ای صورت می‌گیرد که کاتالیست به همراه سیال فرایند از راکتور خارج نشود. در طراحی راکتورهای بستر ثابت، یک خط ورودی و یک خط خروجی، محدودکننده‌های بستر کاتالیست، شبکه‌های توزیع و پشتیبانی، دریچه‌های دفع کاتالیست، ابزارها متغیر فرایند و سیستم‌های ایمنی در نظر گرفته می‌شود.

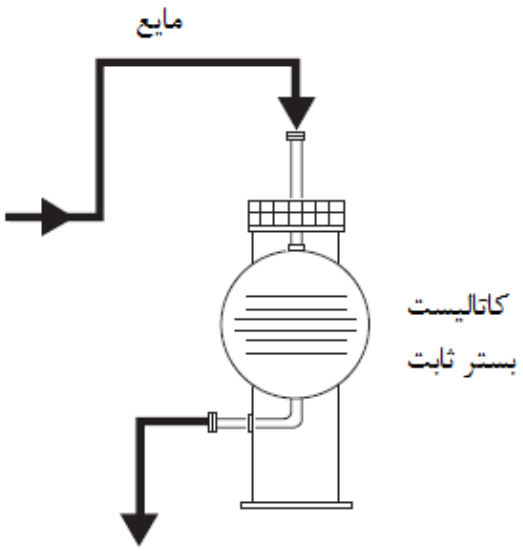
بسیاری از تبدیل کننده‌ها دارای روشی برای بالابردن یا حذف گرمای بستر است. شکل‌های ۱۴–۶ و ۱۴–۷ تنظیمات ممکن برای تبدیل کننده‌ها را نشان می‌دهد. دلایل اصلی برای انتخاب چینشی غیر از بستر واحد بزرگ برای پرکن‌ها عبارت‌اند از تأمین انتقال حرارت بهتر، توزیع بهتر مخلوط واکنش درون تبدیل کننده به‌گونه‌ای که مایع یا گاز درون بستر "کانالی" نشود و همچنین کاهش مقدار نیروی اعمال شده به پرکن‌های مستقر در زیر بستر.

---

[1] Raschig rings
[2] Berl Saddles



شکل ۱۴–۶: اکتور بستر ثابت (تبدیل کننده)



شکل ۱۴–۷: راکتور بستر ثابت

در ساخت یک تبدیل کننده، بررسی‌های متعددی در رابطه با طراحی باید در نظر گرفته شود. فضای خالی بین پرکن‌ها باید به اندازهٔ کافی بزرگ باشد تا افت فشار قابل قبولی از میان راکتور در دبی‌های خوراک طراحی شده ایجاد شود. پرکن باید قدرت کافی داشته باشد تا در شرایط طراحی شده، در طول زمانی مناسب، دچار شکستگی و فروپاشی نشود. اگر پرکن از نوع کاتالیست باشد عمر فعالیت آن باید به قدری طولانی باشد که بتوان تولید را در دوره‌های زمانی مناسب از لحاظ اقتصادی انجام داد. در طراحی بسترها باید دفع گرمای واکنش در نظر گرفته شود تا نقاط داغ در بستر ایجاد نشود.

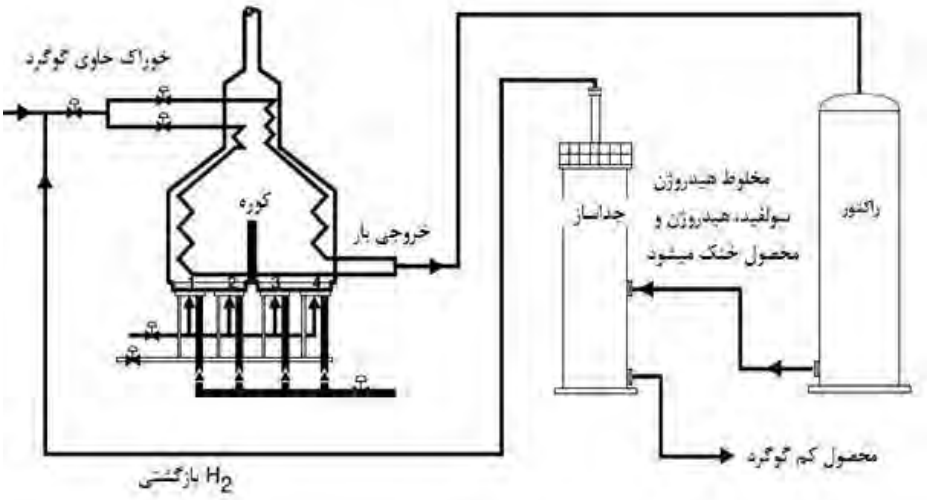
۱۴–۴–۱– هیدرودیسولفوریزاسیون[1] (گوگردزدایی)

نفت خام مخلوطی است از هیدروکربن‌ها، گل، آب و سولفور. در برخی مخلوط‌های خام غلظت سولفور (گوگرد) بیش از سایرین است. این مخلوط‌های با گوگرد بالا خوراک ترش نامیده می شود. هیدرودیسولفوریزاسیون فرایندی است که توسط تولیدکنندگان صنعتی برای "شیرین سازی" این مخلوط با حذف گوگرد از آن به کار می‌رود.

در حین عملیات، واحدهای هیدرودیسولفوریزاسیون از یک هیتر آتشین، جداساز (سپراتور[2]) و یک راکتور با بستر ثابت استفاده می‌کند (شکل ۱۴–۸). خوراک ترش با هیدروژن مخلوط می شود و در یک کوره آتشین گرما می‌بیند. این مخلوط حرارت دیده به راکتور فرستاده می‌شود که در آنجا هیدروژن با گوگرد مخلوط می‌شود و تشکیل هیدروژن سولفید می‌دهد. کاهش اندک دما موجب می‌شود مخلوط شیرین به مایع تبدیل شود و از هیدروژن سولفید که در فاز بخار باقی می‌ماند جدا شود. این مخلوط مایع بخار به جداساز فرستاده می شود، جایی که خوراک شیرین سولفور پایین خارج می شود. هیدروژن سولفید و هیدروژن برای فرآوری بیشتر فرستاده می شود، هیدروژن جدا می‌شود و به سیستم اصلی بازمی‌شود.

---

[1] Hydrodesulfurization
[2] Separator



شکل ۱۴–۸: هیدرودی سولفوریزاسیون

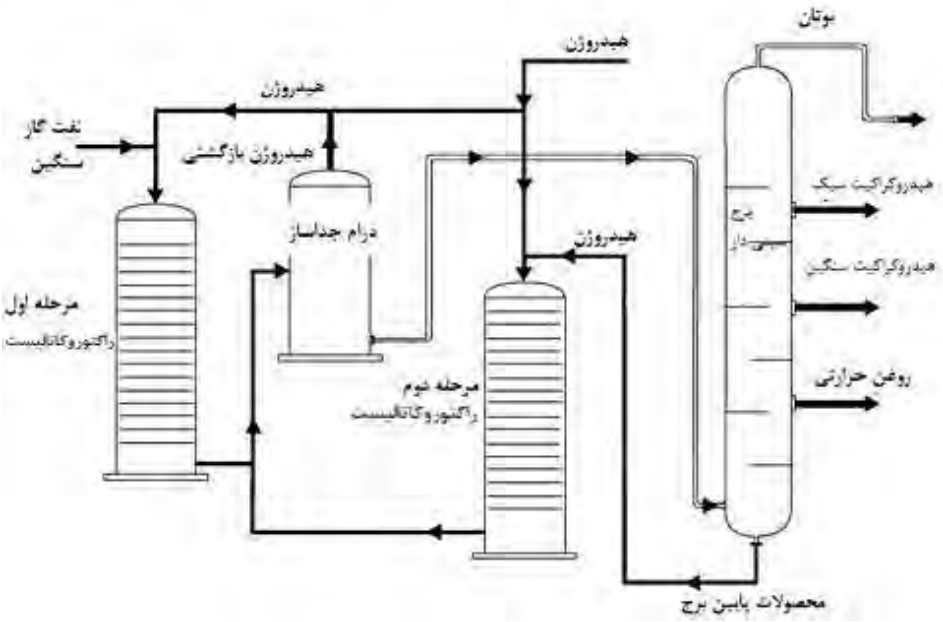
۱۴–۴–۲– هیدروکراکینگ[1]

هیدروکراکینگ فرایندی است که تولیدکنندگان صنعتی برای افزایش بازده بنزین از آن استفاده می‌کنند. این فرایند مولکول‌های سنگین نفت گاز را می‌گیرد و آن‌ها را به مولکول‌های کوچک‌تر و سبک‌تری به نام هیدروکراکیت تبدیل می‌کند. واحدهای هیدروکراکینگ در طول عملیات از راکتورهای بستر ثابت مرحله اول و دوم، یک درام جداساز و یک برج تفکیک استفاده می‌کند (شکل ۱۴–۹).

در برج تفکیک، هیدروکراکیت[2] به پنج قسمت تقسیم می‌شود: بوتان، هیدروکراکیت سبک، هیدروکراکیت سنگین، روغن (نفت) حرارتی و محصولات سنگین پایین برج. محصولات سنگین پایین برج با هیدروژن مخلوط می‌شود و برای فرآوری بیشتر به راکتور مرحله دوم فرستاده می‌شود. راکتور مرحله دوم قبل از فرستادن هیدروکراکیت به برج جداساز تا حد امکان آن را اصلاح می‌کند.

---

[1] Hydrocracking
[2] Hydrocrackate

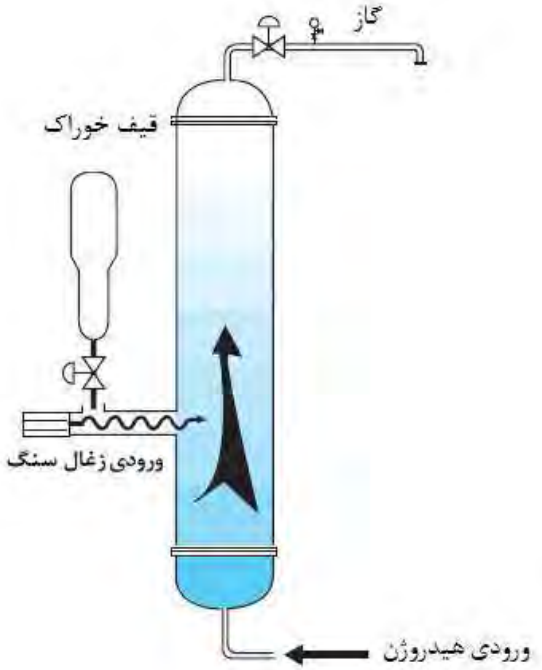


شکل ۱۴–۹: هیدروکراکینگ

۱۴–۵– راکتورهای بسترسیال

یک راکتور بسترسیال (شکل ۱۴–۱۰) به کمک جریان ناهمسوی گاز پایین راکتور، جامدات را معلق می‌کند. در طی زمان، ذرات بزرگتر به پایین و ذرات سبک‌تر به بالا می‌رود و از هم تفکیک می‌شود.

حین عملیات در واحد گازی سازی زغال‌سنگ، جریان‌ها و دماها قبل از ساخته شدن بستر معین می‌شود. راکتور شباهت بسیاری به یک برج تقطیر عمودی دارد. جریان‌های ورودی گاز هیدروژن به پایین راکتور متصل است و باید برای جلوگیری از دمیده شدن مواد بستر به بالا، جریان آن کنترل شود. یک ورودی خوراک جامد در ارتفاع یک سوم ارتفاع راکتور وجود دارد. با چرخش همزن، زغال‌سنگ وارد راکتور می‌شود. در طول عملیات گاز متان آزاد می‌شود.



شکل ۱۴–۱۰: راکتور سیالی

۱۴–۵–۱– کراکینگ کاتالیزوری سیال

نفت خام وارد پالایشگاه می شود و در یک ستون تقطیر اتمسفری فرآوری می شود. جریان کناری ستون، غنی از نفت گاز سبک ا ست. واحدهای کراکینگ کاتالیزوری سیال (کتکراکینگ[1]) (شکل ۱۴–۱۱) این نفت گاز را می‌گیرد و آن را به مولکول‌های سبک‌تر و مفیدتر تبدیل می‌کند.

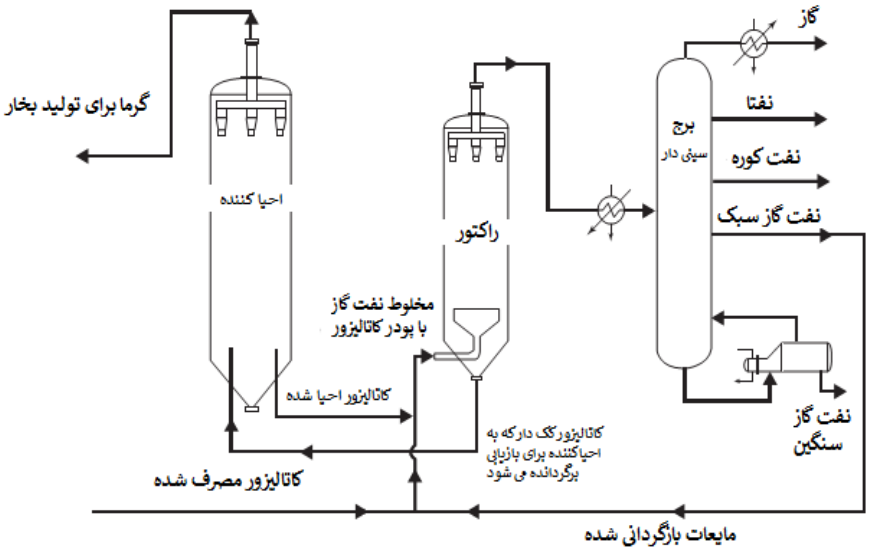
حین عملیات، واحدهای کراکینگ کاتالیزوری سیال از یک احیا کنندهٔ کاتالیزور، یک راکتور بستر سیال و یک برج تفکیک ا ستفاده می‌کنند. نفت گاز وارد راکتور می شود و با کاتالیزور پودری فوق داغ مخلوط می‌شود. به این دلیل از عبارت کراکینگ (خُردایش) برای توضیح این فرایند استفاده می‌شود که در حین تبخیر، مولکول‌ها شکسته می‌شود و برای فرآوری بیشتر به برج تفکیک فرستاده می‌شود.

واکنش شیمیایی بین کاتالیزور و نفت گاز سبک یک رسوب کربن جامد تولید می‌کند. این رسوب بر روی کاتالیزور پودری تشکیل می‌شود و آن را غیرفعال می‌کند. کاتالیزور مصرف شده

[1] Catcracking

بیرون کشیده می‌شود و به احیاکننده می‌رود، جایی که کک سوزانده می‌شود. احیای کاتالیزور یک فرایند پیوسته است که در حین عملیات انجام می‌شود.

در برج تفکیک، نفت گاز سبک به پنج قسمت تقسیم می‌شود: گاز کراکینگ شدهٔ کاتالیزوری، نفتای کراکینگ شدهٔ کاتالیزوری، نفت کوره کراکینگ شدهٔ کاتالیزوری، نفت گاز سبک و باقیمانده‌ها.

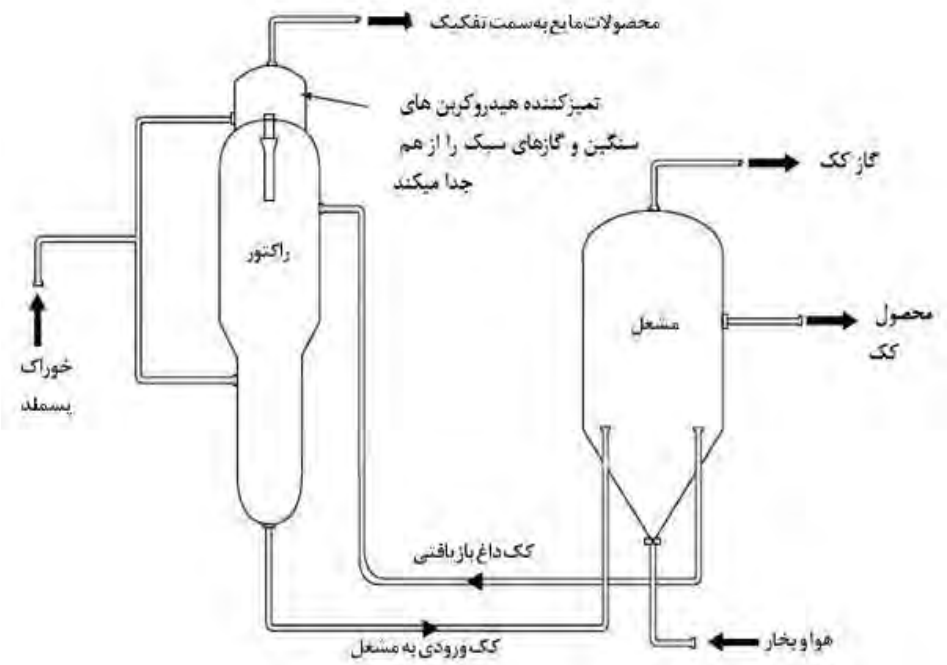


شکل ۱۴–۱۱: کراکینگ کاتالیزوری سیال

۱۴–۵–۲– ککینگ[1] سیال

ککینگ سیال فرایندی است که تولیدکنندگان صنعتی برای فشردن آخرین مولکول‌های قابل‌استفاده از پسمانده‌های سنگین به کار می‌برند. پسماندهٔ سایر فرایندها به یک راکتور بسترسیال مخصوص و دما بالا جریان می‌یابد (شکل ۱۴–۱۲). محصولات سبک تبخیر می شود وارد ستون تفکیک می‌شود. مواد باقیمانده برای فرآوری بیشتر به مشعل فرستاده می‌شود. مشعل سه محصول تولید می‌کند: گاز کک ساز برای استفاده در کارخانه، محصول کک برای فروش و کک بازیافتی برای راکتور.

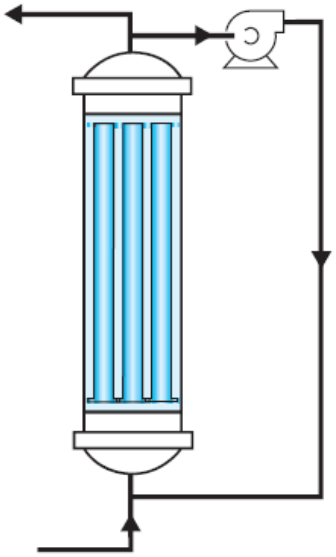
[1] Coking



شکل ۱۴–۱۲: ککینگ سیال

۱۴–۶– راکتورهای لوله‌ای

طراحی یک راکتور لوله‌ای (شکل ۱۴–۱۳) از یک لولهٔ عایق‌کاری شدهٔ ساده تا راکتورهای پوسته و لوله‌ای چندگذره متنوع اســـت. این نوع راکتور یک مبدل حرارتی اســـت که در آن واکنش انجام می‌شـــود. راکتورهای لوله‌ای برای واکنش‌های مایعات و گازها به کار می‌رود. خوراک مواد خام باید کاملاً تمیز با شد وگرنه باعث گرفتگی لوله‌ها خواهد شد. هم زدن در این راکتورها، در صورت نیاز، تو سط آ شفتگی جریان خوراک درون لوله‌ها تأمین می شود. به دلیل اینکه در راکتور لوله‌ای در هر ز مان تنها مقدار کمی واکنش دهنده وجود دارد، از این نوع راکتور تنها در فرایند های خوراک پیو سته ا ستفاده می شود. ملاحظات لازم در طراحی راکتورهای لوله‌ای شامل سطح انتقال حرارت موردنیاز برای حفظ دمای واکنش، حجم لوله موردنیاز برای تولید مقدار فرآوردهٔ لازم و همچنین سرعت واکنش و سایز لولهٔ موردنیاز برای ایجاد افت فشار قابل قبول درون راکتور است. برای سنتز شیمیایی راکتورهای لوله‌ای موردنیاز است.



شکل ۱۴–۱۳: راکتور لوله‌ای

۱۴–۶–۱– سنتز شیمیایی

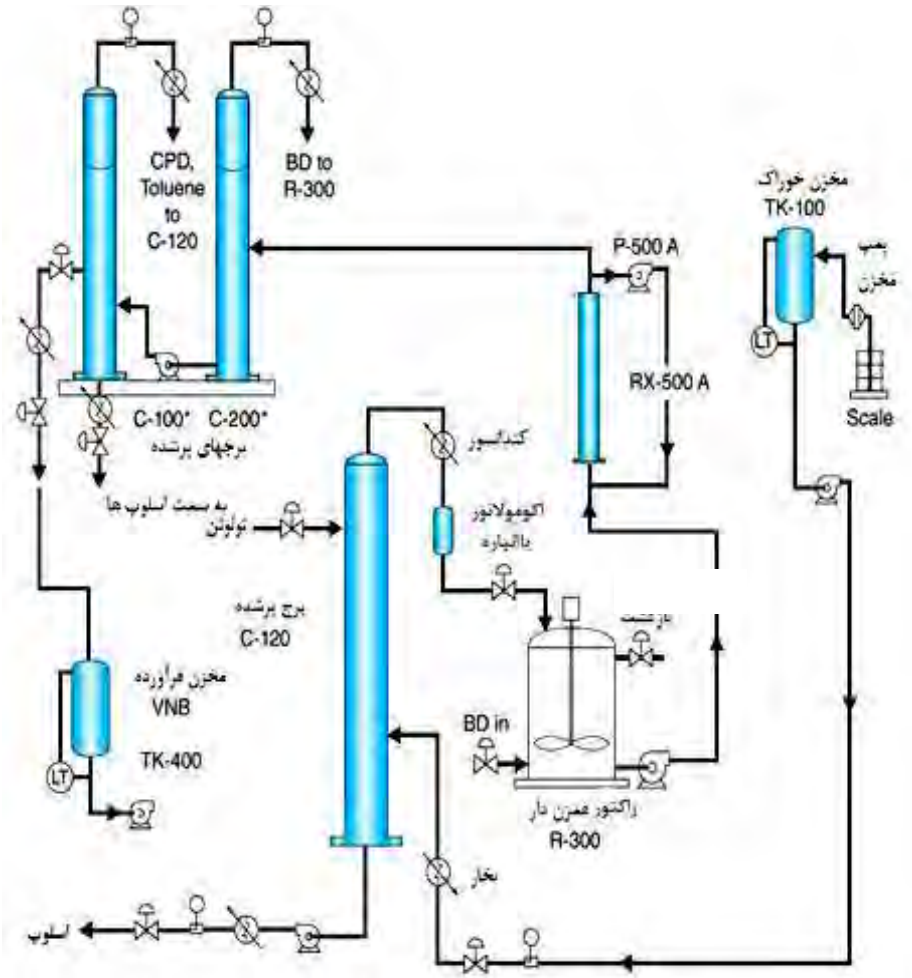
هدف راکتورهای لوله‌ای در سنتز شیمیایی ترکیب سیکلوپنتادین (CPD)[1] و بوتادین (BD)[2] برای تشکیل (سنتز) وینیل نوربورنین (VNB)[3] است (شکل ۱۴–۱۴). VNB جزء اصلی اضافه شده به کاتالیزور سدیم و آلومینا برای تشکیل اتیل نوربورن (ENB)[4]، یک افزودنی خاص مورداستفاده برای تحکیم محصولات لاستیکی رایج می‌باشد. تجهیزات استفاده شده برای عملیات عبارت‌اند از مخازن خوراک، سه برج پرشده، یک راکتور با همزن پیوسته، یک راکتور لوله‌ای و مخازن فرآورده‌ها.

درعملیات، مخلوطی از دی سیکلو پنتادین (DCPD)[5] و آروماتیک ۲۰۰ در یک مخزن خوراک مخلوط می شود. این مخلوط با عبور از یک پیش‌گرم‌کن به درون برج تفکیک پمپ می شود. تولوئن به‌عنوان رقیق کننده به برج اضافه می‌شود. یک جریان رفلاکس نیز از بالا وارد برج می‌شود و CPD، BD و تولوئن را بازمی‌گرداند.

---

[1] Cyclopentadiene
[2] Butadiene
[3] Vinylnorbornene
[4] Ethylnorbornene
[5] Dcyclopentadiene

خوراک، با ورود به برج پرشده از DCPD به CPD شکسته می‌شود. مواد نفتی سنگین و آروماتیک در پایین برج باقی می‌ماند و نقش یک تثبیت کنندهٔ دما را ایفا می‌کند. محصول بالای برج کندانس شده و به یک راکتور همزن دار خنک فرستاده می‌شود. محصول پایین به مخزن لجن می‌رود که بهترین توضیح برای آن فرآورده‌ای است که دیگر موردنیاز فرایند نیست، هرچند که معمولاً بازیافت می‌شود و در یک فرایند دیگر مورداستفاده قرار می‌گیرد.



شکل ۱۴–۱۴: سنتز شیمیایی و راکتورهای لوله‌ای

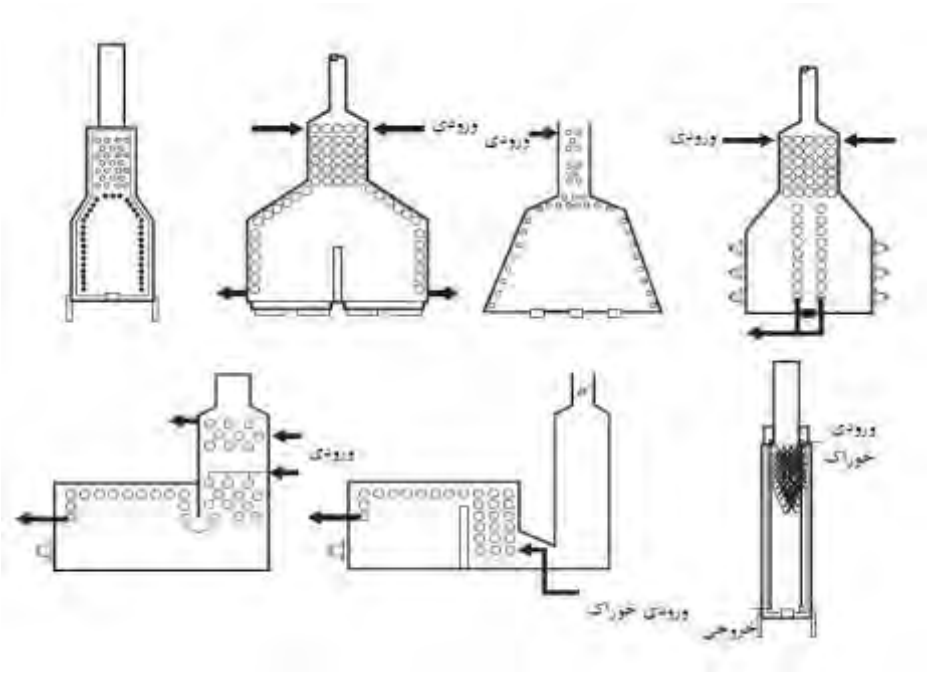
در راکتور همزن‌دار پیوســـته، کویل‌های آب خنک، دما را پایین نگاه می‌دارد. بوتادین از پایین راکتور وارد می‌شود و با محصول تقطیر بالای برج مخلوط می‌شود. خوراک مخلوط شده قبل از ورود به راکتور لوله‌ای به یک پیشــگرم‌کن خوراک فرســتاده می‌شــود. این راکتور به یک مبدل حرارتی پو سته و لوله‌ای با سه لولهٔ بزرگ شباهت دارد. پو شش بیرونی با روغن داغ پر شده ا ست تا دمای م شخص شده‌ای را حفظ کند. یک پمپ سانتریفوژ بزرگ هم‌زمان با انجام واکنش سنتز، خوراک را درون راکتور به گردش در می‌آورد. راکتور به صورت عمودی قرار می‌گیرد و جریان به‌طور ساعتگرد درون لوله‌ها حرکت می‌کند. بازدارنده‌های خاصــی به خوراک اضــافه می‌شــود تا تشــکیل پلیمرهای نامحلول در طول عملیات را محدود کند.

بعد از انجام واکنش، درصد کوچکی VNB تولید می‌شود. این جریان مخلوط شده به‌طور مداوم از طریق خط بالای برج وارد برج دوم می‌شود. هدف از برج دوم جدا سازی و بازیافت BD است. این فرایند به سادگی انجام می‌شود زیرا بوتادین نقطه‌جوش کمتری دارد.

محصــولات پایین برج اول برای جداســازی فرآورده به یک برج تقطیر (خلأ) ســوم فرســتاده می‌شود. در سومین برج تفکیک، مخلوط به سه قسمت تقسیم می‌شود: BD، CPD و تولوئن (بالای برج)؛ VNB (جریان کناری)؛ و پایین برج.

۱۴–۷– کوره‌های واکنش

کوره‌های واکنش به زبان ساده آتشدان‌های دارای چینشی از لوله‌ها است که جریان واکنش‌دهنده‌ها از آن عبور می‌کند. یک مخلوط ســوخت و هوا وارد آتشــدان آجری می‌شــود که گرمای موردنیاز واکنش درون لوله‌ها را تأمین می‌کند. بیشــتر کوره‌ها برای شــکســتن هیدروکربن‌ها به کار می‌رود، اگرچه کوره‌هایی قدیمی وجود دارد که در آن بخار و متان واکنش می‌دهند و گاز ســنتز (کربن مونواکســید و هیدروژن) تولید می‌کنند. برای کراکینگ کاتالیزوری هیدروکربن ها، قرص های کاتالیزور درون لوله‌های درون کوره پر می‌شود. چند نمودار جریان معمول کوره‌ها در شکل ۱۴–۱۵ آورده شــده اســت. به این نکته توجه کنید که خوراک خام ورودی به کوره با ورود به کوره از طریق لوله‌های موجود در دودکش هواکش، پیشگرم شده است. گازهای داغ هواکش، قبل از ورود خوراک به لوله‌ها که در تماس مســتقیم با شــعله‌های حاصــل از ســوختن گاز اســت، آن را گرم می‌کند. از کوره‌های واکنش در واحدهای وینیل کلراید و اولفین‌ها استفاده می‌شود.



شکل ۱۴–۱۵: کوره‌های واکنشی

۱۴–۸– ملاحظات عمومی در طراحی راکتور

علاوه بر انتخاب یک نوع راکتور و ملاحظات مربوط به هر نوع، ملاحظات خاصی وجود دارد که برای همهٔ انواع راکتور مشترک است. این فاکتورها شامل خوردگی، وسایل ایمنی، وسایل سرمایشی و گرمایشی و ابزار دقیق است. در شرایط عملیاتی برخی راکتورها، مواد فرآورده یا واکنش دهنده ممکن است مواد به‌کاررفته در ساختار راکتور را دچار خوردگی کند. اگر داده‌های خوردگی سیستم مشخص نباشد باید روی سیستم واکنش آزمایشاتی صورت گیرد. خوردگی می‌تواند باعث آلوده شدن محصولات، جلوگیری از پیشرفت واکنش و یا مسمومیت کاتالیزور شود.

معمولاً هر راکتور یا سیستم واکنشی دارای مجموعه‌ای از شرایطی است که در صورت خروج از آن می‌تواند موجب ایجاد شرایط مخاطره‌آمیز شود. وسایل ایمنی از قبیل هشدارها و شیرهای اطمینان فشار بالا، هشدارهای دمای بالا و سرمایش اضطراری، سیستم‌های کنترل آتش و سیستم‌های ردیابی مواد سمی برای بیشتر شرایط مخاطره آمیز وجود دارد و باید در صورت نیاز نصب شود.

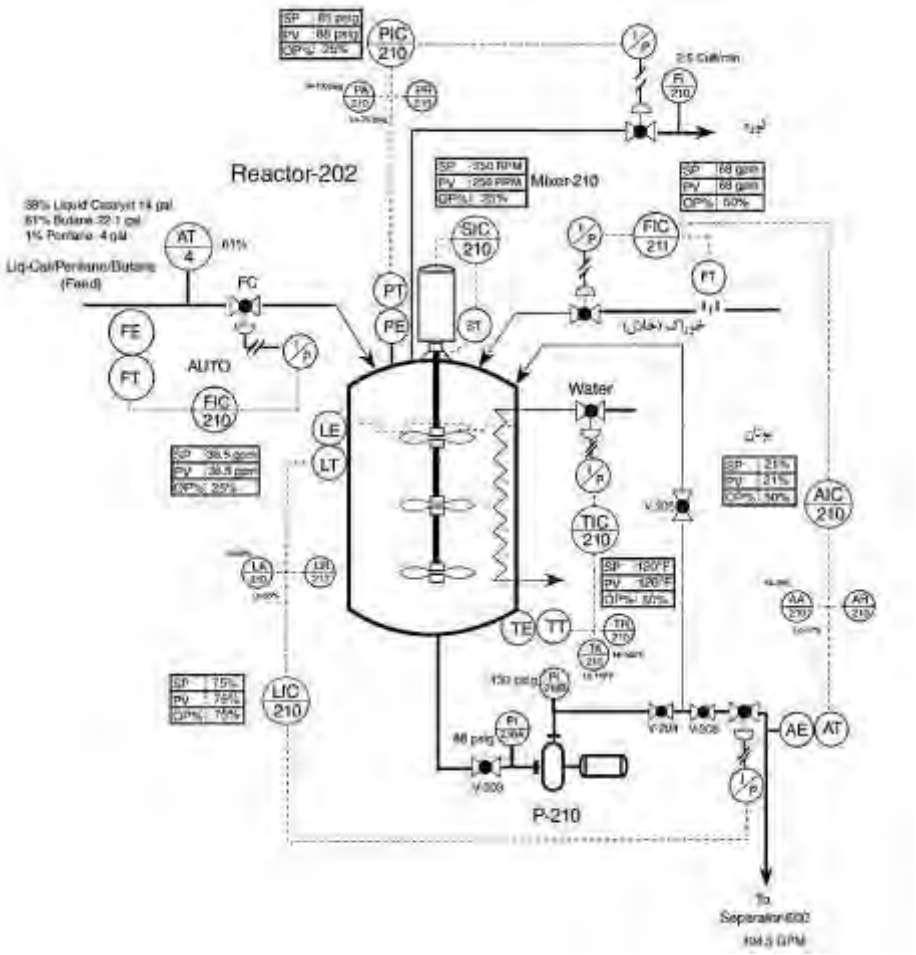
انتخاب شیوهٔ گرمایش و سرمایش راکتور باید در فاز طراحی انجام شود. مبنای چنین تصمیمی در ارتباط است با (۱) قابلیت دسترسی به بخار، آب خنک‌کننده و مواردی از این قبیل، (۲) دمایی که واکنش در آن باید کنترل شود و (۳) هزینه هر روش به ازاء هر پوند تولید.

اغلب پرسنل عملیات، در صورت مجاز بودن، مجموعهٔ بزرگی از ابزارها را به‌منظور کنترل و نظارت بر یک واکنش شیمیایی در اختیار خواهند داشت. از طرف دیگر، بسیاری از مهندسان طراح تمایل دارند از کمترین و سایل ابزار دقیق برای واحد استفاده کنند تا هزینهٔ سرمایه‌گذاری کارخانه را کاهش دهند. در این بین، واحد با تعداد کافی ابزار دقیق برای عملیات راکتور به شکلی کارآمد و ایمن کار می‌کند. برای ردیابی و کنترل شرایط واکنش مانند دما، فشار، ترکیب خوراک و دبی‌های جریان باید ابزارهایی نصب شود. برای تشخیص نقاط داغ در بستر کاتالیست، افت فشارهای اضافی وجود ناخالصی در جریان‌های خوراک یا فرآورده، ابزارهای دیگری موردنیاز است. نوع و مقدار ابزارها معمولاً به کمک تجربه‌ها و داده‌های گذشته و همچنین از تحقیق و توسعه تعیین می‌شود.

۱۴–۹– سیستم‌های واکنشی

یکی از انواع رایج راکتورها، راکتور همزن‌دار است. اجزای اصلی این نوع راکتور شامل یک همزن درون یک مخزن است. پوستهٔ راکتور برای گرم شدن و سرد شدن و همچنین مقاومت در برابر دماها، دبی‌ها و فشارهای عملیاتی طراحی شده است. این طراحی ممکن است شامل کویل‌های لوله‌ای پیچ خورده دور مجرا (مخزن)، صفحات انتقال حرارت داخلی و خارجی و مجراها (مخازن) روکش دار باشد. از روغن داغ، بخار و آب خنک‌کننده به‌عنوان وسیلهٔ گرمایش و سرمایش استفاده می‌شود. راکتور همزن دار برای مخلوط کردن یکدست دو یا چند جزء با یکدیگر طراحی شده است. با اختلاط این دو جزء با یکدیگر، واکنش‌های شیمیایی انجام می‌شود و فرآورده تولید می‌کند. برای عملیات کارآمد راکتورهای همزن دار، زمان اختلاط و ایجاد شرایط عملیاتی دقیق از موارد مهم است. راکتور عبارت است از مجرا یا مخزنی که درون آن یک واکنش شیمیایی کنترل‌شده، بر مبنای شرایط واکنش انجام می‌شود. برای مثال، عملیات راکتور ۲۰۲ (به شکل ۱۴–۱۶ رجوع کنید) تماس مولکولی بین چهار واکنش دهنده را بهبود می‌بخشد: پنتان، بوتان، کاتالیست مایع و حلال. خوراک ورودی به راکتور در GPM۳۶/۵ کنترل می شود. ترکیب خوراک ورودی از برج شامل ۳۸ در صد کاتالیست مایع، ۶۱ در صد بوتان و ۱ در صد پنتان است. خوراک حلال ورودی به راکتور در GPM۶۸ کنترل می‌شود. مواد درون راکتور در فشار psig۸۵ تا ۱۲۰°F (۴۸/۸۸°C) سرد می‌شود. راکتور برای تشکیل یک محصول جدید با بوتان خالص اضافی طراحی شده است. برای خارج نمودن محصول جدید و فرستادن بوتان برای ذخیره سازی از یک جدا ساز استفاده می شود. اثر فشار بر واکنش‌ها را نمی‌توان به سادگی اثر دما تعمیم داد. در یک واکنش در فاز مایع، برحسب میزان

آمادگی واکشـن دهنده‌ها و محصـولات برای تبخیر شـدن، فشـار می‌تواند موجب افزایش یا کاهش سرعت واکنش شود. در یک واکنش در فاز گازی، فشار، مولکول‌ها را به یکدیگر نزدیک‌تر می‌کند و موجب افزایش تعداد برخوردهای میان آن‌ها می‌شـود؛ بنابراین در واکنش‌های گازی می‌توان گفت، هرچه فشار بیشتر باشد، سرعت واکنش نیز بیشتر خواهد شد. غلظت واکنش‌دهنده‌ها درون راکتور اثر عمده‌ای بر سـرعت واکنش، نوع محصـول تولیدشـده و همچنین اینکه چه میزان گرما باید به واکنش داده و یا از آن گرفته شود دارد. شکل ۱۴–۱۶ اجزای اصلی یک سیستم راکتور همزن دار را نشان می‌دهد.



شکل ۱۴–۱۶: سیستم راکتور همزن دار

خلاصه

راکتور وسیله‌ای است برای تبدیل مواد خام به محصولات مفید از طریق واکنش‌های شیمیایی. گرما، زمان واکنش، سطح تماس، غلظت، فشار، دبی‌ها و کاتالیزورها و بازدارنده‌ها بر سرعت واکنش تأثیر می‌گذارند. تکنسین‌های فرایند مسئول تنظیم صحیح دبی‌های ورودی به راکتور، حصول اطمینان از دما، فشارها و سطوح صحیح، نظارت و کنترل سرعت واکنش‌ها (زمان)، حصول اطمینان از کارکرد صحیح همزن و نظارت و نگه‌داری تجهیزات کمکی هستند.

راکتورها مواد خام را به کمک کاتالیزور، گازها، فشار یا گرما با یکدیگر مخلوط می‌کنند. کاتالیزور سرعت واکنش را بدون اینکه خودش بخشی از محصول نهایی باشد کم و زیاد می‌کند. راکتورها پنج نوع عمده دارند: راکتورهای مخزنی همزن‌دار، تبدیل کننده‌ها یا راکتورهای بستر ثابت، راکتورهای بسترسیال، راکتورهای لوله‌ای و کوره‌ها.

واحدهای آلکیلاسیون دو مولکول کوچک را گرفته و از آن‌ها یک مولکول بزرگ تولید می‌کنند. واکنش‌های گرماده گرما آزاد می‌کنند. واکنش‌های گرماگیر گرما را جذب می‌کنند. از واکنش‌های جابه‌جایی می‌توان برای حذف محصولات نامطلوب و جایگزین کردن آن‌ها با محصولات مطلوب استفاده کرد. واکنش‌های خنثی سازی یون‌های هیدروژن (اسید) یا هیدروکسیل (باز) را از مایعات خارج می‌کنند. واکنش‌های احتراق واکنش‌های گرمادهی است که نیازمند اکسیژن، سوخت و یک منبع احتراق است و گرما و نور آزاد می‌کند. در این نوع واکنش اکسیژن به قدری سریع با مواد دیگر واکنش می‌دهد که آتش تولید می‌شود.

سؤالات مروری

۱) طرح اصلی تبدیل کننده یا راکتور بستر ثابت را توضیح دهید.
۲) وظیفهٔ اصلی راکتور چیست؟
۳) کاتالیزور چیست؟
۴) عملیات ناپیوسته و پیوسته راکتورها را توضیح دهید.
۵) هدف واحد آلکیلاسیون چیست؟
۶) کت کراکینگ را توضیح دهید.
۷) هیدرودیسولفوریزاسیون چیست؟
۸) اجزای اولیهٔ راکتور لوله‌ای را نام ببرید.
۹) پنج نوع عمدهٔ راکتورها را نام ببرید.
۱۰) واکنش گرماده چیست؟ چگونه باید آن را کنترل نمود؟
۱۱) انواع مختلف واکنش‌های شیمیایی را توضیح دهید.
۱۲) دما، فشار، زمان واکنش، گرما و هم زدن چگونه بر واکنش شیمیایی اثر می‌گذارد؟
۱۳) چه عواملی بر سرعت واکنش تأثیر می‌گذارد؟
۱۴) بازدارنده در فرایند واکنش با چه هدفی استفاده می‌شود؟
۱۵) سیستم واکنشی شامل چه ابزارهایی است؟
۱۶) راکتور همزن دار عموماً به چه راکتوری اتلاق می‌شود؟
۱۷) تجهیزات ایمنی موجود در اکثر راکتورها کدامند؟
۱۸) خوردگی چه آثاری ممکن است بر واکنش داشته باشد؟
۱۹) معادله زیر را موازنه کنید:

$$Fe + Cl_2 \rightarrow FeCl_3$$

۲۰) یک راکتور همزن دار ساده رسم کنید و متغیرهای زیر را کنترل کنید: دما، فشار، جریان، سطح و متغیرهای تحلیلی.

فصل پانزدهم
سیستم‌های تقطیر

اهداف

پس از مطالعه این فصل، دانشجو قادر خواهد بود:

- اصول تقطیر را شرح دهد.
- رابطهٔ موجود میان دمای جوش یک هیدروکربن و فشار، دما، جریان و سطح را توضیح دهد.
- مفاهیم مختلف مرتبط با فشار در سیستم‌های تقطیر را توضیح دهد: فشار بخار، فشار جزئی، فراریت نسبی، تراکم پذیری، فشار مایع و خلأ.
- سیستم‌های تجهیزات مختلف مورد استفاده در یک سیستم تقطیر را بشناسد.
- توضیح دهد چگونه روش‌های انتقال حرارت در فرایند تقطیر تأثیر دارد.
- تاریخچهٔ فرایند تقطیر را مرور نماید.
- اجزای اصلی برج سینی‌دار را توضیح دهد.
- اجزای اصلی برج پرشده را توضیح دهد.
- اجزای اصلی سیستم خوراک تقطیر را توضیح دهد.
- اجزای اصلی سیستم پیش گرمایش تقطیر را توضیح دهد.
- اجزای اصلی بخش پایینی یک برج تقطیر را توضیح دهد.
- اجزای اصلی بخش بالایی یک برج تقطیر را توضیح دهد.
- تفاوت‌های کندانسور و پیشگرم‌کن را بیان نماید.
- اصول اولیه در ارتباط با طراحی برج را شرح دهد.

۱۵–۱– مروری بر سیستم‌های تقطیر

ترکیبات نفتی مجموعه‌ای از مولکول‌های بزرگ و کوچک هیدروکربنی در شـــکل‌ها و اندازه‌های مختلف است. نحوهٔ رفتار یک ماده شیمیایی در جداسازی توسط جرم مولکولی آن تعیین می‌شود. برای مثال، اتان دارای دو اتم کربن و بوتان دارای چهار اتم کربن است. در جداسازی، بوتان در پایین می‌ماند و اتان به بالای برج می‌رود. کوچک‌ترین یا ســـبک‌ترین اجزا درون برج، کمترین نقطه‌جوش را دارد. برج تقطیر بر اســاس این اصـل که مولکول‌های سـبک و سـنگین نقاط جوش مختلفی دارد ساخته می‌شود.

صنعت برای تولید بسیاری از مواد مصرفی امروز ما به این فرایند بسیار وابسته است. برای مثال، نفت خام مخلوطی است از بسیاری از مواد شیمیایی موردا ستفاده در تولید موادی از قبیل بنزین، نفتا، گازوئیل، و گازهای مختلف. اپراتور با دانستن دمای جوش یک ماده شیمیایی، می‌تواند پس از گرما دادن، تبخیر و کندانس شدن در سینی‌های مختلف برج، مواد را از یکدیگر جدا سازد.

تقطیر همواره با جوشاندن مایعات و کندانس کردن بخارها ارتباط دارد. وقتی آب می‌جوشد به بخار آب تبدیل می‌شود. بخار آب کندانس شده از مخلوط اولیه آب خالص‌تر است، زیرا بسیاری از نمک‌ها، مواد معدنی و ناخالصی‌ها در ۲۱۲ °F (۱۰۰°C) که نقطه‌جوش آب است به جوش نمی‌آید.

تقطیر فرایندی اســـت که یک ماده را به کمک دمای جوش آن از یک مخلوط جدا می‌کند. هرچند این تعریف ساده توضیح دقیقی در مورد تجهیزات پیچیده‌ای که سیستم تقطیر را تشکیل می‌دهد نیست (شکل ۱۵–۱). فرایند تقطیر، یک سیستم خوراک، یک سیستم پیش‌گرم‌کن، برج تقطیر، سیستم اورهد[1] (بالای برج) و سیستم پایین برج (باقیمانده‌ها) را در بر دارد. هدف از تکرار واژهٔ سیستم توضیح اجزای مختلف تجهیزات تقطیر است.

سیستم خوراک برای ذخیره‌سازی، مخلوط و انتقال ایمن خوراک خام است. این سیستم ساده مجموعه‌ای است از مخازن، لوله‌ها، شیرها، ابزارها و پمپ‌ها. سیستم‌های پیش گرم‌کن به‌منظور بالا بردن دمای خوراک قبل از ورود آن به برج طراحی می‌شـــود. برای این فرایند لوازم مختلف انتقال حرارت موجود است. معمولاً از یک سیستم کوره یا مبدل حرارتی استفاده می‌شود. دبی‌های ورودی و خروجی خوراک به این سیستم به دقت کنترل می‌شود.

برج تقطیر ممکن است سینی‌دار و یا پرشده باشد. برج سینی‌دار شامل سینی‌هایی است که از بالا تا پایین پشت سرهم قرار می‌گیرد. برج‌های پرشده از پرکن‌ها پر می‌شود تا به این وسیله سطح تماس مایع و بخار افزایش یابد. کاربرد هریک از انواع این برج‌ها در این است که به محصولات سبک

---

[1] Overhead System

اجازهٔ بالا رفتن درون برج و به محصولات سنگین اجازهٔ پایین آمدن دهد و یا به عبارت دیگر خوراک را برحسب نقاط جوش اجزای تشکیل‌دهندهٔ آن به مواد مختلف تبدیل کند. برای کندانس کردن بخارهای داغ و همچنین جداسازی و جمع‌آوری ماده مقطر چینش‌های متنوعی وجود دارد.

شکل ۱۵–۱: برج‌های تقطیر

سیستم پایین متشکل از قسمتی درون برج است که برای جوشش و جابه‌جایی آزادانهٔ مایعات طراحی شده است. به‌منظور حفظ و افزودن انرژی گرمایی به مایع، یک ریبویلر به این بخش متصل می‌شود. واژه ریبویل (بازجوشش) نشانگر این است که مایع پیش از این نیز در حال جوشش بوده است. بخارهای داغ از ریبویلر به پایین برج یعنی پایین سینی خوراک باز می‌گردند. از یک حلقه کنترل سطح برای حفظ سطح مایع در یک سطح از پیش تعیین شده استفاده می‌شود. در سیستم پایین، سطح مایع، دما و ترکیب به دقت کنترل می‌شود. سیستم اورهد یا سیستم بالای برج برای سرد کردن بخارهای بالای برج موردا ستفاده قرار می‌گیرد. مایع کندانس شده یا به‌عنوان رفلاکس استفاده می‌شود و یا به‌عنوان محصول به تانک‌های ذخیره‌سازی می‌رود. رفلاکس برای کنترل خلوص محصول و کنترل دمای برج به درون برج بازگردانده می‌شود. در برج‌های پر شده از یک توزیع کنندهٔ مایع برای پراکنده کردن مایع درون برج استفاده می‌شود. در برج‌های سینی‌دار

رفلاکس به سینی بالایی پمپ می‌شود. برج‌های سینی‌دار به اندازهٔ برج‌های پرشده به توزیع خوراک مایع حساس نمی‌باشند.

در طول فرایند تقطیر، به مخلوط گرما داده می‌شود تا تبخیر شود. سپس این مخلوط دوباره روی سینی‌ها، یا مراحل مختلف برج، کندانس می‌شود و در آنجا است که تفکیک می‌شود و توسط دریافت‌کننده‌های مختلف اورهد، جریان‌های کناری و پایین برج دریافت می‌شود. به مایع کندانس شده، مقطر (دیستیله یا عصاره) می‌گویند. مایعی که درون برج تبخیر نمی‌شود باقیمانده نام دارد.

در عملیات برج، مواد خام به درون یک مخزن خوراک پمپ شده و کاملاً مخلوط می‌شود. این اختلاط معمولاً توسط یک پمپ و یا همزن انجام می‌شود. این مخلوط به درون یک کوره یا پیشگرم‌کن فرستاده می‌شود، جایی که دمای مخلوط سیال برای رسیدن به شرایط عملیاتی بالا می‌رود. پیشگرم‌کن‌ها عموماً: مبدل‌های حرارتی پوسته لوله و یا کوره‌های آتشین است. این سیال به بخش یا سینی خوراک برج وارد می‌شود. بخشی از مخلوط پس از ورود به برج تبخیر می‌شود و باقی آن به سمت بخش پایینی برج می‌ریزد.

ستون تقطیر برجی است با مجموعه‌ای از سینی‌ها و یا پرکن‌هایی که تماس میان مایع و بخار را بهبود می‌بخشد. وقتی تبخیر رخ می‌دهد، اجزای سبک‌تر محلول به بالای برج می‌روند و در سینی‌های مختلف توزیع می‌گردند. سبک‌ترین جزء از بالای برج و در فاز بخار خارج می‌شود و از کویل‌های خنک‌کنندهٔ یک کندانسور پوسته لوله‌ای عبور داده می‌شود. زمانی که بخار داغ با کویل‌ها در تماس است، کندانس می‌شود و درون جمع کننده یا انباشتگر (اکومولاتور[1]) اورهد جمع می‌شود. بخشی از این محصول ذخیره‌سازی و بخش دیگر آن به درون برج بازگردانده می‌شود.

یک ریبویلر وظیفهٔ حفظ موازنهٔ انرژی در برج را دارد. ریبویلرها در پایین برج مکش ایجاد می‌کنند. مایع درون برج از طریق ریبویلر به گردش در می‌آید. درون ریبویلر تبخیر رخ می‌دهد و این بخارها درون برج بالا می‌روند. سرعت جوشش را به‌عنوان موازنه محصولات (بخار و مایع) بازگشتی از ریبویلر کتری (کتل) به برج تعریف می‌کنیم.

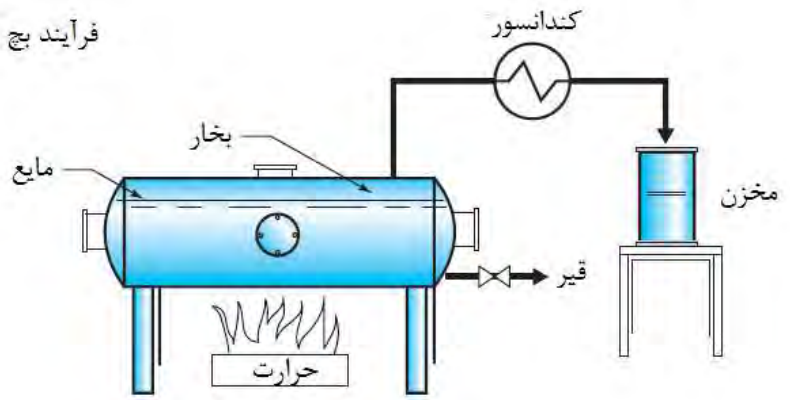
۱۵-۲- تاریخچه تقطیر

با ظهور ماشین‌های خودکار، تحول عظیمی در صنعت اتفاق افتاد که بسیاری از صنایع موجود را تحت‌تأثیر قرار داد و صنایع جدیدی به وجود آورد. ساخت و تولید فلز و فولاد، شیشه، ماشین سازی، رزین‌ها (لاستیک)، نفت، بتن و صنایع سنگ و بسیاری دیگر برای پشتیبانی از صنعت رو به رشد اتوماتیک، باید صنایع خود را با فناوری نو توسعه می‌دادند. با افزایش نیاز به تولیدات نفتی،

[1] Accumulator

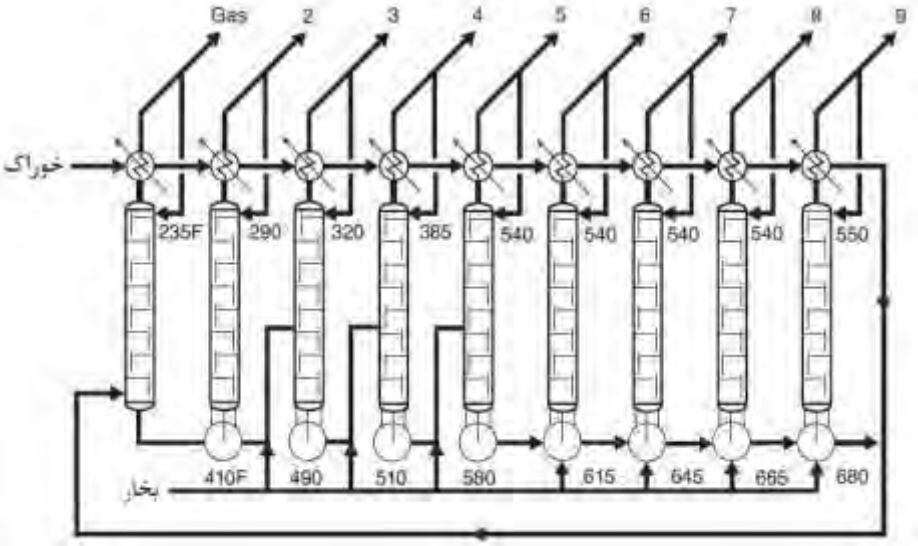
راه‌های کارآمدتری برای تولید نفت و گاز توسعه داده شد. فرایند تقطیر ریشه در سه عملیات عمده دارد: بچ، بچ پیوسته و تقطیر جزئی پیشرفته.

تقطیر بچ (شـــکل ۱۵—۲) قدیمی‌ترین فرایند تقطیر اســـت. مواد خام با هم مخلوط و بارگذاری می‌شد. در فاز اول تقطیر، به مخلوط گرما داده می‌شد تا بجوشد. بخارهای تولیدشده تبدیل به مایع می شد و به‌عنوان محصول ذخیره می شد. در پایان فاز اول، بخارها به یک رسیور یا دریافت کنندهٔ جدید منتقل می شد و دما افزایش می‌یافت. زمانی که رسیور پر شد، فرایند تکرار می شد و حرارت به صورت فزاینده بیشتر می شد تا جایی که عملکرد فرایند بچ به پایان برسد. در عملیات تقطیر بچ، کیفیت محصول بسیار پایین بود. تغییر مکرر رسیور زمان و هزینه را هدر می‌داد.



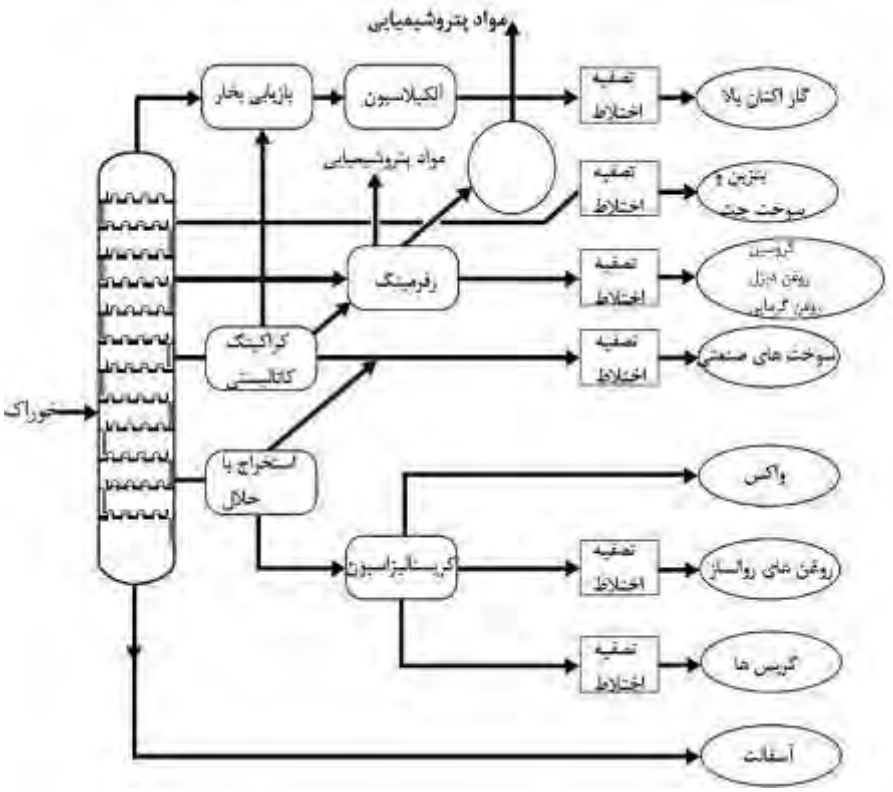
شکل ۱۵—۲: تقطیر بچ ساده

تقطیر بچ پیوسته (شکل ۱۵—۳) ادامه‌ای بر فرایند تقطیر بچ است. مجموعه‌ای از دستگاه‌های تقطیر به هم متصـــل می‌شـــوند و تشـــکیل یک باتری می‌دهند. دمای دســـتگاه تقطیر اول کمتر از مراحل دیگر اســـت. خوراک با ســـرعت ثابت وارد اولین دســـتگاه تقطیر می‌شـــود. دما در هر مرحله افزایش می‌یابد و اثری شـــبیه به تقطیر بچ دارد. این دســـتگاه‌ها از طریق خطوط پایین به یکدیگر مرتبط هستند. کیفیت محصول از دستگاهی به دستگاه دیگر نسبتاً ثابت است.

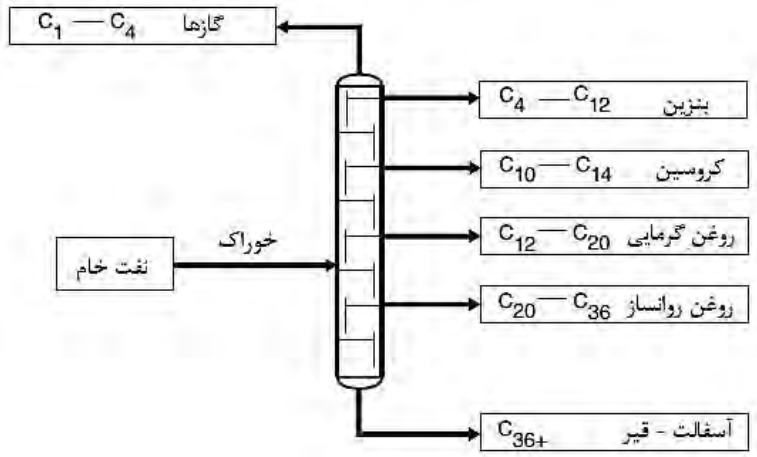


شکل ۱۵–۳: تقطیر بچ پیوسته

تقطیر جزئی پیشرفته (شکل ۱۵–۴) از مجموعه‌ای از سینی‌ها یا پرکن‌های درون برج استفاده می‌کند. خوراک پیوسته گرم می‌شود وارد دستگاه تقطیر می‌شود. بخارهای داغ درون برج بالا می‌روند و مایعات به پایین می‌ریزند. مجموعه مراحل مرتبط با تبخیر و میعان درون برج رخ می‌دهد. تماس بخار و مایع اجازه می‌دهد مولکول‌های سنگین‌تر پایین بریزند و مولکول‌های سبک‌تر بالا بروند. اجزای مختلف توسط نقاط جوش آن‌ها جدا می شود و روی سینی‌ها توزیع می شود. تخلیص محصول به‌صورت مرحله به مرحله انجام می‌شود (شکل ۱۵–۵).



شکل ۱۵–۴: تقطیر جزئی پیشرفته



شکل ۱۵–۵: برش‌های هیدروکربن‌ها

۱۵–۳– اصول تقطیر

جدا سازی اجزاء در برج تقطیر بر ا ساس اختلاف فراریت یا نقطه‌جوش آن‌ها صورت می‌گیرد. زمانی که بخار در حال بالا رفتن در تماس با مایع قرار می‌گیرد، غلظت مواد سبک‌تر یا فرارتر افزایش می یابد. با ریزش مایع به پایین برج، غلظت مواد سنگین‌تر یا کم فرارتر در پایین برج افزایش می‌یابد. افزایش فشار باعث می‌شود دما درون برج افزایش یابد. استفاده از شرایط خلأ موجب می‌شود دماهای درون برج پایین‌تر باشد. تقطیر در خلأ اغلب برای جداسازی مخلوط‌های آزئوتروپیک[1] به کار می‌رود. مخلوط آزئوتروپیک مخلوطی از دو یا چند جزء است که در دماهای مشابه یکدیگر و در یک غلظت مشخص می‌جوشد. غلظت‌ها در مایع و بخار در آزئوتروپ با هم برابرند. یکی دیگر از روش‌های مورد استفاده افزودن ماده‌ای است که فراریت یکی از اجزا را تغییر دهد. مثال‌هایی از این روش را می‌توان در تقطیر آزئوتروپیک، تقطیر شیمیایی، تقطیر با افزودن نمک، تقطیر استخراجی، تراوش تبخیری و دیگر روش‌های غشایی یافت.

۱۵–۴– دو مثال از تقطیر

– تقطیر آب و اتانول

مخلوطی شامل ۵۰ درصد آب و ۵۰ درصد اتانول را می‌توان به کمک تقطیر جداسازی نمود. اتانول در ۱۷۴ °F (۷۸°C) و آب در ۲۱۲ °F (۱۰۰°C) می‌جوشد. وقتی این مخلوط حرارت ببیند، اتانول زودتر از آب تبخیر می‌شود. اگر بخارهای اورهد را بررسی کنیم، بیشترین غلظت مربوط به اتانول خواهد بود. به دلیل هم‌پوشانی[2] و همچنین اینکه اتانول و آب نقاط جوش نزدیک به هم دارند، مقداری آب نیز وجود دارد. در صورت نیاز می‌توان بخار اورهد را با فرستادن به برج تقطیر دیگر دوباره مورد تقطیر قرار داد.

– تقطیر آب و متانول

در شرایط عادی، متانول در ۱۴۸°F (۶۴/۴°C) و آب در ۲۱۲°F (۱۰۰°C) می‌جوشد. مخلوط ۵۰/۵۰ این دو ماده را تا ۱۸۰°F (۸۲°C) گرم می‌کنیم و فرایند تبخیر در شرایط اتمسفری آغاز می شود. غلظت بخار ۸۰ در صد حاوی متانول و ۲۰ در صد آب خواهد بود. این جدا سازی ناقص را اورلپ می‌نامند. دمایی که در آن این غلظت به دست آمده نقطه برش مؤثر نامیده می‌شود. اگر مخلوط را تا ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد حرارت دهیم، هردو جزء تبخیر می‌شود. یک مخلوط بخار

---

[1] Azeotropic
[2] Overlap

۵۰/۵۰ به دســـت می‌آید. یک دیدگاه دیگر بیان می‌کند که غلظت بالاتر متانول در بخار مبتنی بر قانون رائول است که بیان می‌کند فشار جزئی هر جزء ناشی از فشار بخار و جزء مولی آن جزء است.

۱۵–۵– یادآوری

۱۵–۵–۱– انرژی جنبشی

مایعات از مولکول‌هایی تشکیل می‌شود که نسبت به مولکول‌های گاز به یکدیگر نزدیکترند. سرعتی که این مولکول‌ها حرکت می‌کنند متناســب با میزان انرژی گرمایی آن‌ها اســت. با انتقال حرارت به یک مایع، سرعت مولکول‌ها افزایش می‌یابد، از هم دور می‌شوند و مایع منبسط می‌شود. این حرکت مولکولی انرژی جنبشی نام دارد. دمای یک مایع انرژی جنبشی آن را تعیین می‌کند.

۱۵–۵–۲– گرمای محسوس و گرمای نهان

تقطیر به‌طور هم‌زمان شـــامل تبخیر و میعان اســـت. گرمایی که موجب تغییر فاز می‌شـــود از نوع محســـوس و یا نهان اســـت. گرمای محســـوس را می‌توان حس کرد و اندازه‌گیری نمود. گرمای نهان تبخیر، همان گرمای موردنیاز برای تبدیل مایع به بخار، قابل مشـــاهده و اندازه‌گیری نیســـت. مثلاً فرض کنید یک مخزن خوراک پر از هپتان دارید که در شـــرایط اتمســـفری در ۲۰۹°F (۹۸°C) می‌جوشد. قبل از حرارت دادن، دما ۷۲°F (۲۲°C) است. زمانی که هپتان وارد پمپ می‌شود با یک مبدل حرارتی پو سته و لوله گرما داده می شود. وقتی دما بر روی هپتان افزایش می‌یابد، اثر گرمای محسوس قابل اندازه‌گیری است. زمانی که دما به ۲۰۹°F (۹۸°C) نزدیک می‌شود، اثر گرمای نهان قابل مشـــاهده اســـت. در ۲۰۹°F (۹۸°C)، افزایش دما متوقف می‌شـــود و مقدار زیادی بخار تولید می‌شود. گرمای نهان، انرژی حرارتی است که به هپتان داده می‌شود اما باعث تغییر دما نمی‌شود.

۱۵–۵–۳– فشار

فشار به‌عنوان نیرو یا وزن بر واحد سطح تعریف می‌شود. عبارت فشار عموماً برای مایعات و گازها به کار می‌رود. واحد اندازه‌گیری آن پوند بر اینچ مربع (psi)[1] است. زمانی که وزن اتمسفری نیرویی به ســـمت پایین بر اجســـام روی زمین وارد کند، فشـــار اتمســـفر تولید می‌شـــود. فشـــار با ارتفاع رابطه مستقیم دارد، هرچه ارتفاع اتمسفر، گاز یا مایع بالاتر باشد، فشار بیشتر خواهد بود. در سطح دریا فشار جو برابر ۱۴/۷ psi است.

[1] Pounds per square inch

سه نوع فشار در فرایند تبخیر دارای اهمیت است. فشار بخار، فشار کنترل و خلأ. فشار بخار نیروی ناشی از فرار مولکول‌ها از سطح مایع است. در یک ظرف در بسته، آثار فشار بخار را می‌توان دید. با افزایش دمای مایع، مولکول‌های بیشتری از سطح مایع فرار می‌کند و فشار بخار افزایش می‌یابد. هرچه نقطه‌جوش پایین‌تر باشد، فرایند تبخیر سریع تر اتفاق می‌افتد.

فشار در بالای برج اندازه‌گیری و کنترل می‌شود. زمانی که فشار مایعی افزایش می‌یابد، مولکول‌ها به درون محلول رانده می‌شود و گرمای بیشتری برای تبخیر آن لازم خواهد بود. درک این مفهوم حائز اهمیت است، زیرا لزوم افزایش فشار برج تقطیر، شما را مجبور به صرف انرژی بیشتری خواهد کرد. این موضوع در موارد شدید می‌تواند بازده برج را محدود و یا حتی تبخیر را متوقف کند.

تقطیر در خلأ به مولکول‌های بخار اجازه می‌دهد در دماهای پایین‌تر از سطح مایع فرار کنند. به دلیل سرعت‌بالای تبخیر در برج‌های تقطیر خلأ، این برج‌ها معمولاً قطورتر از برج‌های معمولی است. تقطیر در خلأ این امکان را فراهم می‌کند که هیدروکربن‌های سنگین‌تر بدون آنکه در اثر گرمای زیاد آسیبی به ساختار آن‌ها وارد شود، جداسازی شوند.

۱۵–۵–۴– نقطه‌جوش و فشار بخار

نقطه‌جوش هر ماده، دمایی است که در آن (۱) فشار بخار از فشار جو بیشتر شود، (۲) حباب‌های درون مایع قابل مشاهده شود، (۳) تبخیر آغاز می‌شود. جنبش مولکولی در بخارها تولید فشار می‌کند و با افزایش دمای مایع افزایش می‌یابد.

- **فشار بخار یک مایع**
  - یک خاصیت فیزیکی مایع در دمای مشخص است.
  - مستقل از حجم مایع است.
  - بدون توجه به گاز و یا فشار بالای آن یکسان است.
  - حتی در شرایطی که خلأ بالای مایع باشد یکسان است.
  - اغلب در ظروف در بسته مورد بررسی قرار می‌گیرد.
  - زمانی که سرعت تبخیر برابر با سرعت میعان باشد (تعادل) اندازه‌گیری می‌شود.
  - برای تعیین نقطه‌جوش مایع، زمانی که دما و فشار بخار مایع با فشار اتمسفر برابر است استفاده می‌شود.

فشار بخار یک ماده را می‌توان مستقیماً به قدرت پیوندهای مولکولی آن ماده ارتباط داد. هرچه این پیوندها، یا جاذبه مولکولی قوی‌تر باشد، فشار بخار پایین‌تر است. اگر ماده‌ای فشار بخار پایینی

دا شته با شد، دمای جوش بالایی خواهد دا شت. مثلاً طلا در ۱۹۴۷°F (۱۰۶۴°C) از جامد به مایع تغییر حالت می‌دهد و در ۵۰۸۴°F (۲۸۰۷°C) به جوش می‌آید. آب در ۳۲°F (۰°C) ذوب می‌شود و در ۲۱۲°F (۱۰۰°C) به جوش می‌آید.

برای شروع فرایند تبخیر لازم نیست مایع به نقطه‌جوش خود بر سد. مثلاً یک سطل آب که در روز تابستانی (۹۸°F یا ۳۶/۶°C) در هوای آزاد قرار گیرد، در طول زمان تبخیر می‌شود. آفتاب فعالیت مولکولی بخار آب را افزایش می‌دهد و برخی مولکول‌ها به جو فرار می‌کنند. جریان باد با راندن مولکول‌های آب و پراکنده کردن آن‌ها که بعداً توسط مولکول‌های دیگر جایگزین می‌شود، فرایند تبخیر را تسریع می‌کند.

۱۵–۵–۵– اثر فشار بر جوشش

فشار مستقیماً بر نقطه‌جوش یک ماده تأثیر دارد. با افزایش فشار نقطه‌جوش افزایش می‌یابد. فرار مولکول‌ها از سطح مایع متناسب با فشار کاهش می‌یابد. مولکول‌های بخار یا گاز به هم نزدیک‌تر می‌گردند و بخار بالای مایع ممکن ا ست دوباره به درون مایع بر شود. درک اثرات ف شار تو سط یک متخصص فرایند مهم است. تغییر در فشار، نقطه‌جوش مواد خام و محصولات را تغییر می‌دهد. مشکلات مربوط به فشار در محیط‌های صنعتی رایج است و باید کنترل شود.

۱۵–۵–۶– تقطیر در خلأ

تقطیر در خلأ عموماً در صنعت فرایندهای شیمیایی مورداستفاده قرار می‌گیرد. فشار جو ۱۴/۷ psi ا ست و هر ف شاری پایین‌تر از آن خلأ شناخته می شود. در یک ستون تقطیر، خلأ در جهت مخالف تأثیر فشار مثبت، بر نقطه‌جوش اثر می‌گذارد. به‌جای نزدیک کردن مولکول‌ها، آن‌ها را به فاصله گرفتن از یکدیگر سوق می‌دهد. اثر ف شار خلأ در شرایطی که هیدروکربن‌های بزرگ و سنگین در پایین برج شک سته می شود ب سیار مفید ا ست. گرما دادن ممکن ا ست به تجهیزات و مح صولات آ سیب برساند. برج‌های خلأ در شرایطی که دماهای بسیار بالا موردنیاز است انتخاب بسیار مناسبی است.

سیستم‌های خلأ نقطه‌جوش مواد را کاهش می‌دهند، فرار مولکولی مولکول‌ها از سطح مایع را بهبودمی‌دهند، هزینه انرژی را کاهش می‌دهند، آسیب‌های مولکولی ناشی از حرارت بیش‌ازحد و همچنین آسیب‌های وارد به تجهیزات را کاهش می‌دهند.

زمانی که به سیستم تقطیر گرما داده می‌شود، هم فعالیت مولکولی و هم فشار بخار افزایش می‌یابد. به دلیل اینکه ستون تقطیر مجموعه‌ای از سینی‌های قفسه بندی شده در روی یکدیگر است و تغییرات فشار نقطه‌جوش را تغییر می‌دهد، در محاسبات فشار هر مرحله را باید جداگانه

محاسبه نمود. لیست زیر تنها تعداد کمی از ملاحظات مربوط به محاسبات فشار در برج را بیان می‌کند:

- سطح مایع روی هر سینی بر همان سینی فشار وارد می‌کند.
- بخارهای بالارونده در هر سینی با مانع برخورد می‌کند که باعث کاهش سرعت آن‌ها می‌شود و تولید فشار می‌کند.
- مخلوط موجود روی هر سینی با سینی‌های دیگر متفاوت است.
- فشار بخار بر هر سینی متفاوت است.
- فشار سینی خوراک ورودی در صورتی که ترکیب خوراک تغییر کند، تغییر می‌کند.
- تغییر دبی‌ها فشار برج را تغییر می‌دهد.
- مایع پایین‌برنده روی سینی‌ها فشار اعمال می‌کند.
- تخلیه ریبویلر زمانی که وارد برج می‌شود فشار را افزایش می‌دهد.
- رفلاکس سرد فعالیت مولکولی را کاهش می‌دهد.
- هر سینی از بالا، پایین و در هر مرحله تحت‌فشار است.

۱۵–۵–۷– قوانین گازها و منحنی‌های تقطیر

یک سیستم تقطیر طبیعتاً به‌منظور جداسازی اجزای یک مخلوط طراحی می‌شود. زمانی که مخلوط درون یک کوره یا مبدل حرارتی حرارت می‌بیند لوله‌ها مایع را هم‌زمان با انبساط محدود می‌کنند و به‌طور مصنوعی نقطه‌جوش را تغییر می‌دهند. دبی خوراک ورودی به برج با دقت کنترل می‌شود. این مخلوط حرارت دیده روی سینی خوراک وارد برج می شود و به سرعت منبسط می شود. اجزای سبک‌تر آن بخار می شود و اجزای سنگین‌تر درون برج به پایین سرازیر می شود تا زمانی که انرژی لازم برای تبخیر شدن را در یافت کند، سینی های مختلف درون برج دارای اجزای ملکولی منحصربه‌فردی است که با فراریت ارتباط دارد. اگر شما فشار بخار حاصل از یک ماده را بدانید قادر خواهید بود فشار جزئی آن را روی سینی‌های مختلف محاسبه کنید. برای این کار از قانون فشار جزئی دالتون که بیان می‌کند فشار کل یک گاز برابر است با مجموع فشارهای جزئی موجود در آن استفاده می‌کنیم. شکل ۱۵–۶ قانون فشارهای جزئی دالتون را نشان می‌دهد.

برای اینکه کاربرد قانون دالتون را ببینید به مثال‌های زیر توجه کنید. مخلوطی از ۲۵ درصد هگزان، ۵۰ در صد بنزن و ۲۵ در صد هپتان، در دمای ۱۷۵ درجه فارنهایت فشاری قابل پیش بینی خواهد داشت. برای محاسبه فشارهای جزئی از این فرمول استفاده کنید:

درصد مولی × فشار بخار = فشار جزئی

مثلاً داده‌های زیر را در نظر بگیرید:

ماده	فشار بخار در ۱۷۵ درجه فارنهایت (psia)	درصد
هگزان	۲۰/۶	۲۵٪
بنزن	۱۴/۷	۵۰٪
هپتان	۸/۸	۲۵٪

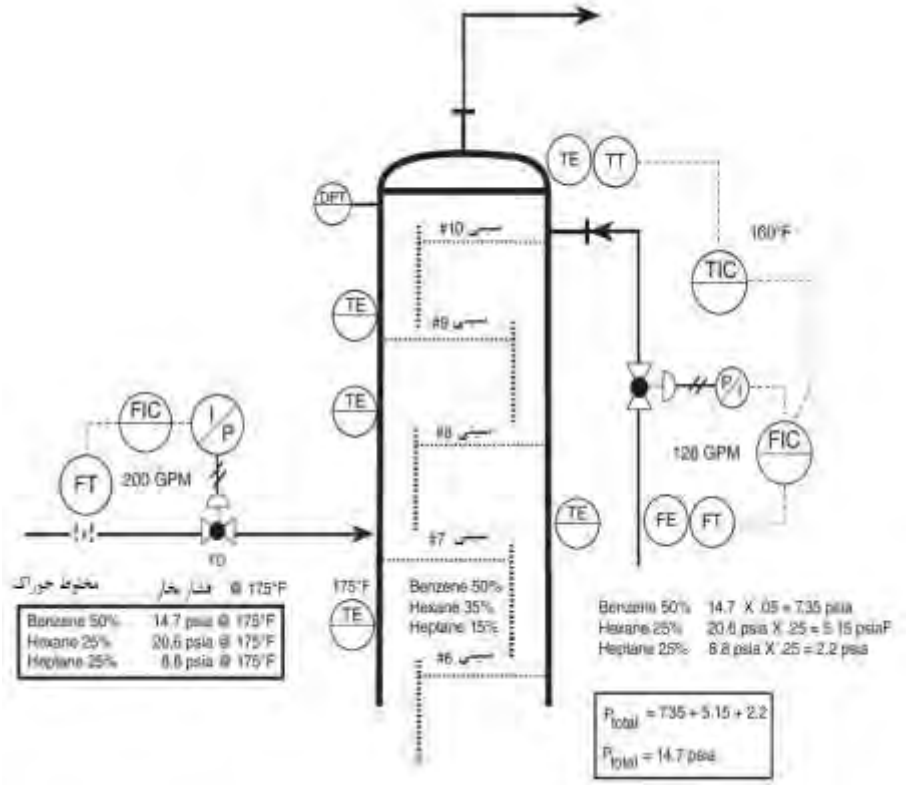
با ا ستفاده از داده‌های بالا، فشار بخار تولیدی مخلوطی از ۲۵ در صد هگزان، ۵۰ در صد بنزن و ۲۵ درصد هپتان به‌صورت زیر محاسبه می‌شود:

هگزان (C_6H_{14}) = ۲۰/۶ psia × ۰/۲۵ = ۵/۱۵ psia

بنزن (C_6H_6) = ۱۴/۷ psia ۰×/۵۰ = ۷/۳۵ psia

هپتان (C_7H_{16}) = ۸/۸ psia ۰×/۲۵ = ۲/۲۰ psia

فشار کل = ۱۴/۷۰psia



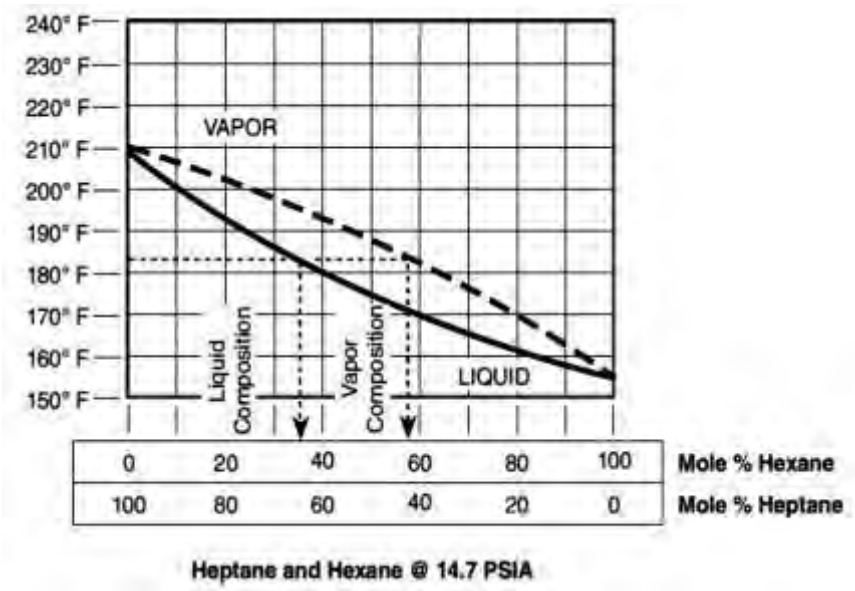
شکل ۱۵–۶: قانون فشارهای جزئی دالتون

با ا ستفاده از این اطلاعات ما می‌توانیم ف شار کل سینی ۶ را با جمع ف شارهای جزئی محا سبه کنیم. این اطلاعات همچنین نشـان می‌دهد که ماده‌ای که بالاترین فراریت را دارد هگزان اسـت که دمای جوشـــی برابر با ۱۵۶/۲°F (۶۹°C) دارد. دمای جوش هپتان ۲۰۸/۴°F (۹۸°C) اســـت و در دمای ۱۷۵°F(۷۹/۴°C) کمترین در صد را در میان سه جزء موجود در فاز بخار روی سینی ن شان می‌دهد. هرچه اختلاف بین ف شارهای جزئی بی‌شتر با شد، جدا سازی آن‌ها با ا ستفاده از نقطه‌جوش آسان‌تر خواهد بود.

	نقطه‌جوش	درصد خوراک اصلی
هگزان C_6H_{14}	۶۹°C (۲۵٪)	۱۴/۵ ÷ ۷/۱۵ =۰/۳۵ × ۱۰۰ = ۳۵٪
بنزن C_6H_6	۸۰/۱°C (۵۰٪)	۱۴/۷ ÷ ۷/۳۵ =۰/۵ × ۱۰۰ = ۵۰٪
هپتان C_7H_{16}	۹۸°C (۲۵٪)	۱۴/۲ ÷ ۷/۲ =۰/۱۵ × ۱۰۰ = ۱۵٪

مخلوط اصلی حاوی غلظت مایع ۲۵٪ هپتان، ۲۵٪ هگزان و ۵۰٪ بنزن است.

هرچه اختلاف بین ف شارهای جزئی بی شتر با شد، جدا سازی اجزا به کمک نقطه‌جوش آ سان‌تر خواهد بود. منحنی‌های تعادلی (شکل ۱۵—۷) برای تعیین ترکیب بخار بالای مایع در حال جوشش و اینکه چگونه یک مخلوط با دیگری متفاوت است به کار می‌رود.



شکل ۱۵—۷: منحنی تعادلی

قانون گازهای ایده آل PV=NRT فشار، دما، حجم و یا تعداد مول هر گاز ایده آلی را محاسبه می‌کند و در آن:

P فشار گاز

V حجم

N تعداد مول گاز

T دما برحسب درجه کلوین

R ثابت عمومی گازهای ایده آل: $۰/۰۸۲۰۶\ L \times \frac{atm}{mol} \times k$

قانون ترکیبی گازها برای محاسبه تغییرات در مواد گازی از وضعیتی به وضعیت دیگر استفاده می‌شود:

$P_1V_1/T_1 = P_2V_2/T_2$

۱۵–۵–۸– سیستم‌های ایده‌آل و غیر ایده‌آل

عملکرد کارآمد برج نیازمند اپراتوری است که نظریه تقطیر و اجزای کلیدی سیستم تقطیر را درک کند. این نیز نیازمند سال‌ها تجربه در این زمینه است. نظریه تقطیر در ارتباط با دو نوع سیستم است: یک سیستم ایده آل (دوتایی یا دو جزئی) و سیستم غیر ایده آل (پیچیده، چند جزئی).

نظریه طراحی تقطیر بر اساس انتقال جرم و حرارت میان سینی‌ها بنا شده است. برای تعیین داده‌های تعادل مایع–بخار از محاسبات تقطیر استفاده می‌شود. یک معادله رایج مورداستفاده برای نمایش عملکرد، قانون رائول است:

$K_1 = y_i = p_i$
$X_i = p$

که در آن‌ها:

K_1 ثابت فراریت تعادل

Y_i کسر مولی در بخار

X_i کسر مولی در مایع

P_i فشار بخار مخلوط در دمای مشخص

P فشار کل سیستم

– **موازنه جرم و موازنه انرژی**

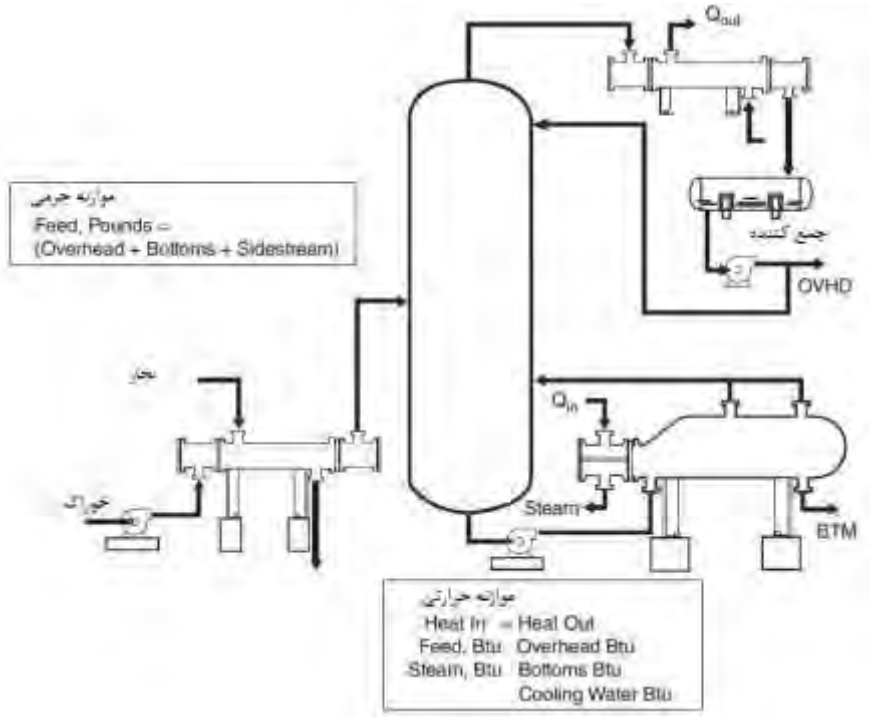
متغیرهای موازنهٔ جرم و انرژی (شکل ۱۵–۸) باید توسط تکنسین درک شود تا ستون تقطیر بتواند به‌درستی به کار خود ادامه دهد. تمامی مواد خام ورودی به برج تبدیل به فرآورده‌ها می‌شود. نظریه

موازنه جرم می‌گوید مجموع تمامی مواد ورودی به برج باید با مجموع تمام مواد خروجی از آن برابر باشد.

موازنهٔ انرژی (حرارت) بیان می‌کند گرمایی که وارد یک ســـتون تقطیر می‌شـــود باید با گرمای خروجی از آن برابر باشد. حفظ این موازنه برای عملکرد درست برج لازم و حیاتی است.

برای درک بهتر چگونگی عملکرد اصـل موازنهٔ جرم، اجازه دهید جریان مواد خام درون یک برج را در نظر بگیریم. جریان با دبی ۵۵۰ گالن بر ساعت وارد برج می شود. این میزان برابر ا ست با ۱۰ بشکه در ساعت. جریان خروجی از یکی از این سه مسیر عبور می‌کند: جریان پایین، جریان کناری و جریان بالا. مح صول پایین شامل مولکول‌های سنگین‌تری ن سبت به جریان کناری یا بالا ا ست. برای د ستیابی به موازنه انرژی، مجموع این سه جریان محا سبه می شود. عدد حا صل باید برابر با مجموع جریان ورودی باشـــد. با دانســـتن نقاط جوش اجزای مختلف درون مخلوط خوراک، اپراتور می‌تواند ترکیب احتمالی مواد و همچنین اینکه کدام ماده از کجای برج خارج می‌شـــود را تخمین بزند.

موازنهٔ انرژی نیز تحت ا صولی م شابه موازنهٔ جرم عمل می‌کند. هرآنچه وارد می شود باید خارج شـــود و این تعادل برای حفظ موازنهٔ انرژی باید برقرار باشـــد. در ابتدا، گرادیان‌های دمای (شـــیب حرارتی) برج با مهند سی به‌د ست می‌آید. گرادیان دما (شیب حرارتی) پروفایل (نمایه) دمایی ا ست که از بالا تا پایین برج وجود دارد. دمای برج به‌گونه‌ای حفظ می شود که جدا سازی‌های مورد انتظار اتفاق بیفتد. دمای درون برج می‌تواند تحت تأثیر فشـــار، دبی‌ها، ســـطوح ســـیال، ترکیب خوراک، سرعت برگشت (پس ریز یا رفلاکس) و مشکلات مربوط به تجهیزات قرار گیرد.



شکل ۱۵–۸: موازنه حرارتی

۱۵–۷– ستون‌ها یا برج‌های سینی دار

ستون‌های سینی‌دار سه طرح اصلی دارند: فنجانی (کلاهکی)، غربالی و دریچه‌ای. اجزای اصلی ستون‌های سینی‌دار شامل ورودی خوراک، سینی خوراک، بخش بازیابی و غنی‌سازی، بخش پالایش، خروجی پایینی، خروجی بالایی، خط برگشت (رفلاکس)، ریبویلر، کندانسور، پیش‌گرمکن خوراک، خروجی‌های کناری، پایین برنده (ناودان)، بند (دیواره سینی)، بالابرنده، حلقه‌های کنترلی، لوله‌ها، پمپ‌ها، شیرها، ابزارها و کامپیوترها (شکل ۱۵–۹ و ۱۵–۱۰). سینی‌های درون یک برج تقطیر سینی‌دار بسته به فرایند خاص موردنظر تنظیم می شود. سینی‌ها در شکل ۱۵–۱۱ هر سه نوع اجزا را در بر دارد.

معمولاً در فرایندهای تقطیر، سینی‌های فنجانی (کلاهکی) مورداستفاده قرار می‌گیرد. زمانی که مایع درون برج سینی‌دار فنجانی تبخیر می‌شود، باید از تک تک سینی‌ها عبور کند. هر سینی‌دارای تعداد زیادی کلاهک است که بر روی بالابرنده‌های پوشیده از مایع نصب‌شده است. زمانی که فشار بخار از پایین برج افزایش می‌یابد، کلاهک‌ها بالا می‌روند و مقدار کمی بخار از آن‌ها عبور می‌کند. شیارهای موجود درکناره‌های کلاهک تماس مایع و بخار را افزایش می‌دهد (شکل ۱۵–۱۲). این

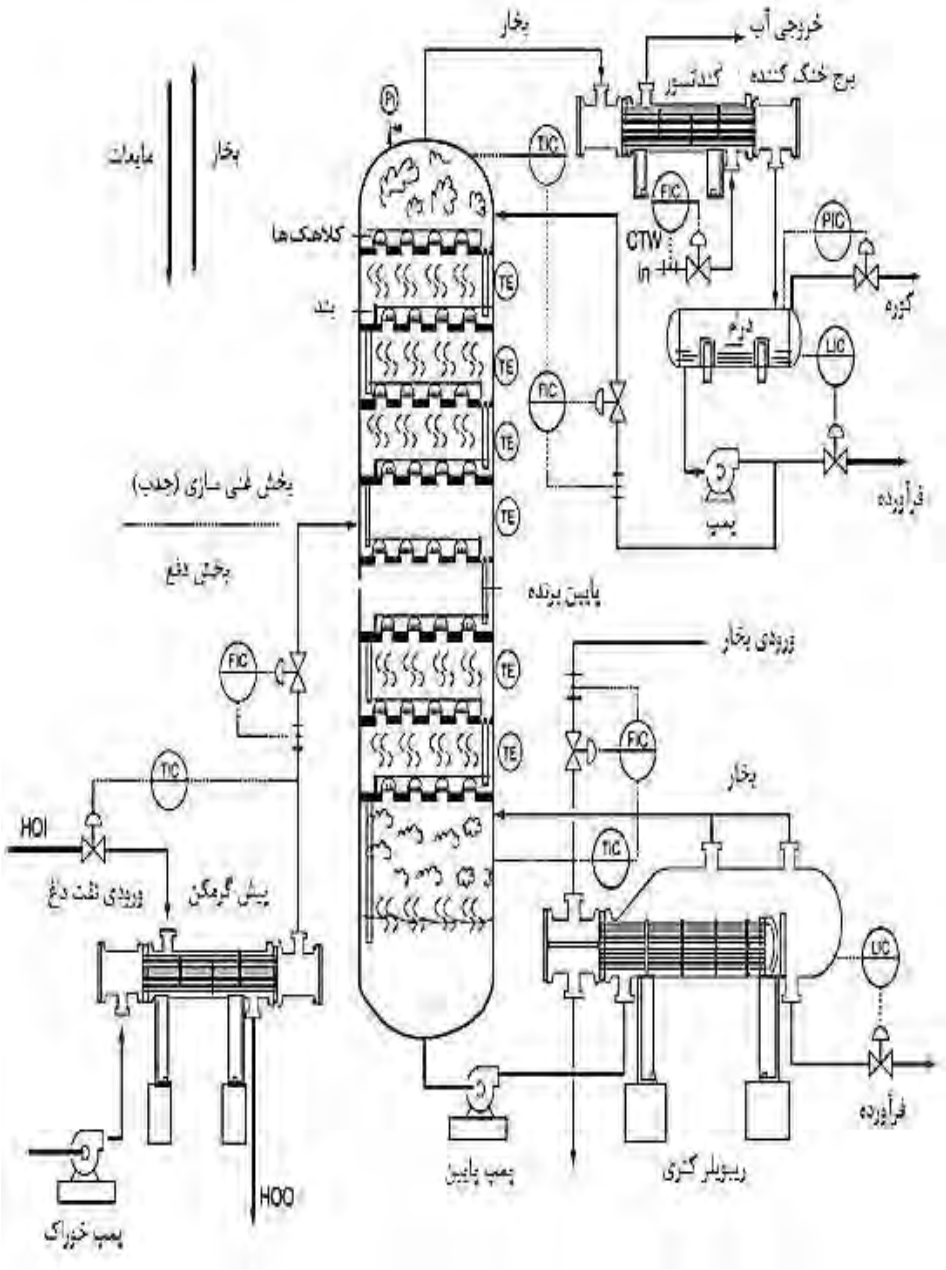
بخار در تماس مســـتقیم با مایع روی ســـینی قرار می‌گیرد و مقداری حرارت تبادل می‌کند. مایع، اجزای سنگین‌تر بخار را کندانس می‌کند، درحالی که اجزای سبک‌تر به سمت بالای برج می‌روند. بندها (دیواره‌های سینی) موجود روی سینی‌ها سطح مایع را تا بالای کلاهک‌ها حفظ می‌کند. زمانی که کندانس[1] (میعانات) سنگین جمع می‌شود، از روی بندها (دیواره‌های سینی) جاری می‌شود و از طریق و سیله‌ای به نام پایین برنده (ناودان) جریان می‌یابد. پایین برنده یا ناودان روی سینی پایینی تخلیه می‌شود.

سینی‌های غربالی (شکل ۱۵—۱۳) ساده‌ترین نوع سینی‌ها هستند. سینی غربالی ا ساساً یک صفحه فلزی ا ست با حفره‌هایی کوچک در آن. قطر حفره‌ها از ۱ تا ۱/۸ اینچ ا ست. وقتی بخار وارد حفره‌ها می‌شود، سرعت آن بیش از اندازه‌ای است که مایع روی سینی جلوی آن را بگیرد، اما با این برخورد سرعت گاز بسیار کاهش می‌یابد. افت فشار حاصل از تعداد زیادی حفره کوچک بیشتر از افت فشار حاصل از حفره‌های بزرگ و کم تعداد است. این اطلاعات برای کنترل فشار اهمیت دارد.

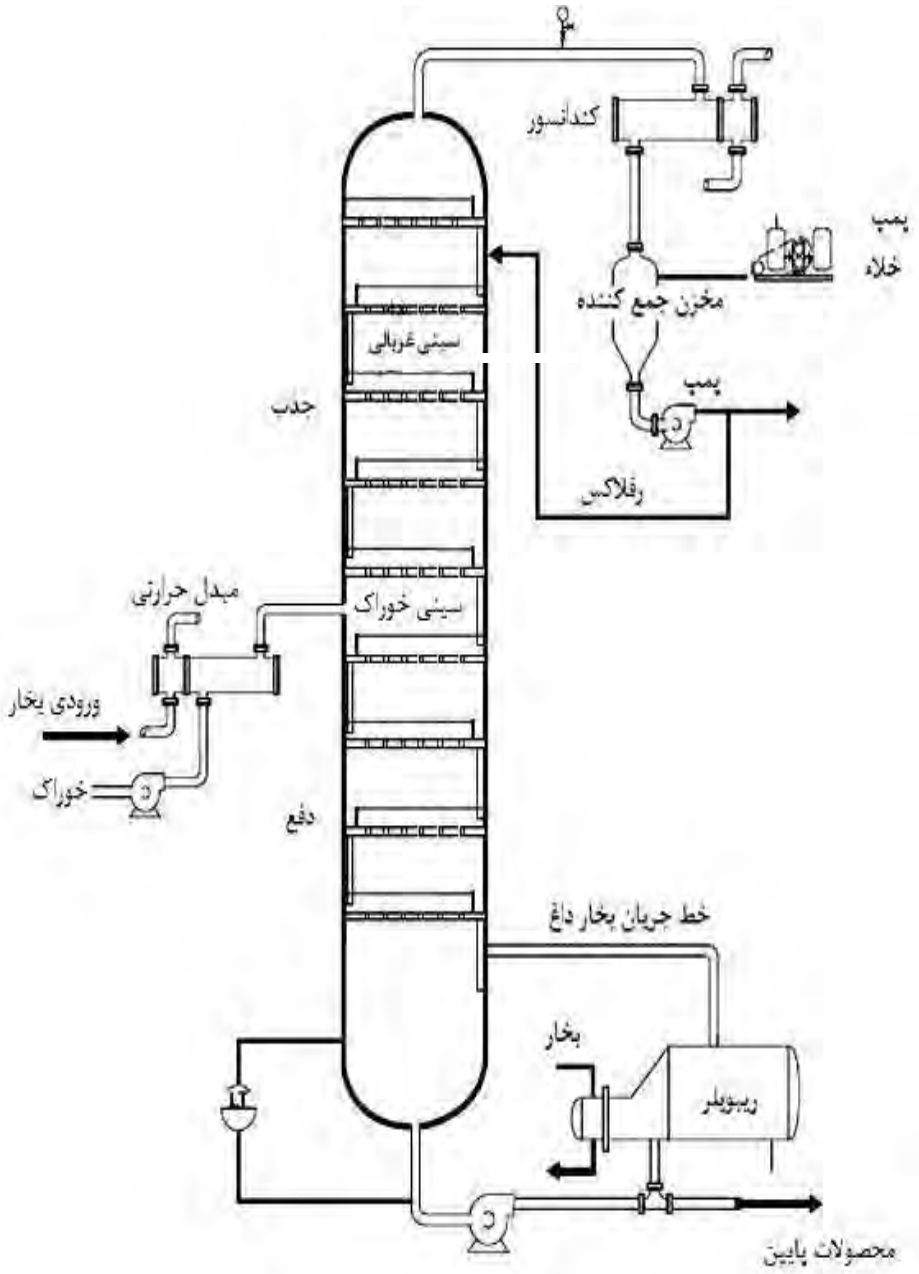
سینی‌های دریچه‌ای (شکل ۱۵—۱۴) دارای صفحات ساده و متحرک هستند. جابه‌جایی صفحه بستگی به جریان فرایند دارد. این نوع سینی نسبت به سینی‌های غربالی در محدوده وسیع‌تری از دبی جریان بازدهی دارد. هر دریچه یک نوار فلزی و یا یک دیسک کوچک فلزی است که تحت‌فشار بخار بالا می‌رود. برای اختلاط مناسب، جریان به‌صورت افقی روی سینی هدایت می‌شود.

---

[1] Condensate

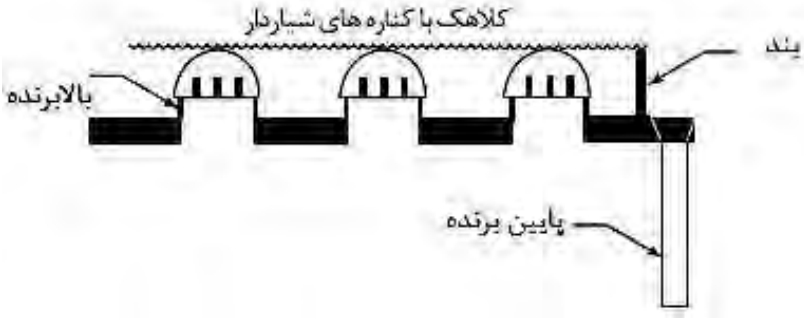


شکل ۱۵–۹: برج سینی‌دار

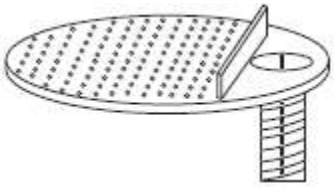


شکل ۱۵–۱۰: برج سینی‌دار با سینی‌های غربالی

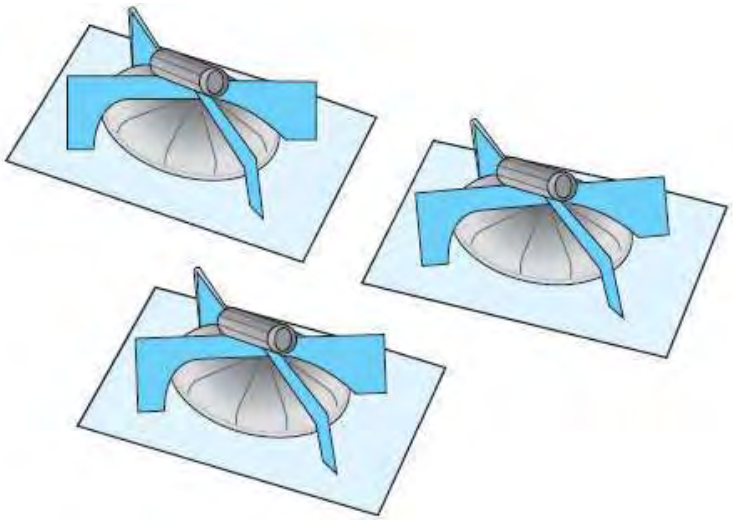
شکل ۱۵–۱۱: سینی غربالی، دریچه‌ای و فنجانی



شکل ۱۵–۱۲: سینی فنجانی (کلاهکی)



شکل ۱۵–۱۳: سینی غربالی و پایین برنده



شکل ۱۵–۱۴: سینی دریچه‌ای

۱۵–۷–۱– ورودی‌ها و خروجی‌ها

ورودی‌های خوراک بین بخش‌های پالایش و بازیابی قرار دارند. ســـتون‌های تقطیر دارای دو یا چند جریان خوراک هستند. خروجی پایین برای خروج باقیمانده‌های برج تقطیر و خوراک ریبویلر کاربرد دارد. خروجی بالا نقطه خروج بخار از برج تقطیر است. خروجی‌های بالا به تمامی بخارها اجازه عبور به سمت کندانسور را می‌دهند.

۱۵–۷–۲– سینی خوراک

محل سینی خوراک به وسیله نسبت مراحل بالا و خط ورودی خوراک پایین مشخص می‌شود. محل ایده‌آل سینی خوراک متغیر است، به همین دلیل سه یا تعداد بیشتری سینی خوراک برای برج‌ها تعبیه می‌شود. پربازده‌ترین سینی خوراک را به کمک آزمایش مشخص می‌کنند.

شـرایط حرارتی به‌عنوان مقدار حرارت موردنیاز برای تبخیر یک مول خوراک تقسـیم بر گرمای نهان تبخیر تعریف می‌شود. اگر ترکیب خوراک تغییر کند، شرایط حرارتی خوراک نیز تغییر خواهد کرد. ترکیب و شـــرایط حرارتی خوراک در هنگام ورود آن به برج بر تعداد ســـینی‌های موردنیاز، سرعت رفلاکس (میزان مایع برگشتی)، سطح، فشار و دما تأثیر می‌گذارد.

۱۵–۷–۳– بخش غنی‌سازی یا بازیابی

بخش غنی سازی یا بازیابی یک برج در بالای سینی خوراک قرار دارد. غنی سازی عبارت ا ست از جداسازی مواد مختلف از یک مخلوط به کمک برج تقطیر. زمانی که مخلوطی حرارت می‌بیند، بخار به سمت بالای برج می‌رود. موادی که در ابتدا می‌جو شند در بخش بالا قرار می‌گیرند و آن‌هایی که آخر به جوش می‌آیند در پایین قرار می‌گیرند. بخش غنی‌سازی یک برج نسبت به بخش پالایش دارای غلظت بالاتری از اجزای سبک می‌باشد، بنابراین به آن غنی شده می‌گویند.

۱۵–۷–۴– بخش پالایش یا عریان سازی

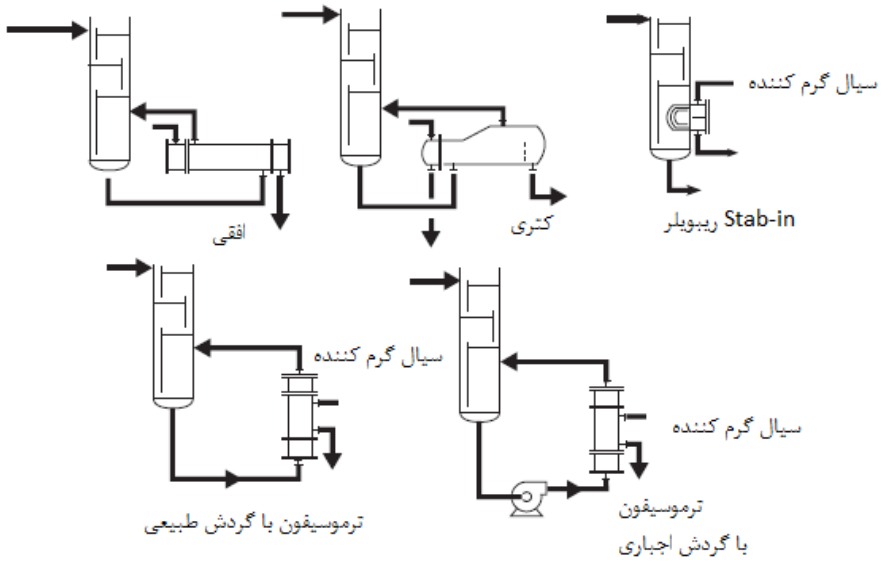
بخش پالایش پایین سینی خوراک قرار دارد. خوراک از سینی خوراک به سمت پایین برج جریان می‌یابد و در این حین هیدروکربن‌های سنگین‌تر از بخار جدا می‌شود. زمانی که خوراک سردتر از سینی خوراک به سینی‌های پایین‌تر می‌ریزد، داغ می‌شود و اجزای سبک‌تر را دفع می‌کند. اجزای سنگین‌تر به پایین برج می‌روند. به دلیل اینکه هرچه مایع به پایین برج می‌ریزد سینی‌ها داغ‌تر می‌شود، هیدروکربن‌های سبک‌تر از هیدروکربن‌های سنگین جدا می‌شود. این فرایند یک جابه‌جایی ناهمسو را درون برج تشکیل می‌دهد که در آن بخارها به سمت بالا و مایعات به سمت پایین می‌روند. اجزای سبک‌تر بخار می‌شود و بالا می‌روند. دما در بخش پالایش بسیار بالاتر از بخش غنی سازی است.

۱۵–۸– ریبویلر یا تزریق بخار

ریبویلرها به اورلپ کنترل و موازنه حرارتی کمک می‌کنند. انواع و تنظیمات مختلفی از ریبویلرها را می‌توان در ستون‌های تقطیر به کار برد (شکل ۱۵–۱۵). ریبویلرهای کتری به کمک جریان گرانش خوراک خود را از بخش پایین برج دریافت می‌کند. یک بند داخلی سطح مایع را بالاتر از یک مجموعه لوله‌های حرارتی حفظ می‌کند.

یک فضای آزادسازی بخار بالای این مجموعه لوله وجود دارد که به مایع اجازه جوشیدن و چرخش آزادانه می‌دهد و همچنین فضای خالی آن‌ها تو سط بخار پر می شود. وقتی اجزای سبک‌تر از مولکول‌های سنگین‌تر و بزرگتر جدا می‌شود، وارد فضای آزادسازی بخار می‌شود و از بالای ریبویلر خارج می‌شود. یک درگاه ورودی در زیر پشتیبان سینی یا پرکن قرار می‌گیرد. یک معیار مهم برای ستون تقطیر این است که هر انرژی گرمایی از دست رفته باید بازشود. از ریبویلرها برای حفظ موازنه حرارتی و افزودن گرما به فرایندهای جدا سازی ا ستفاده می شود. مح صولات پایین برج نوعاً شامل اجزای سنگین‌تر از برج است. ریبویلرها این مواد را از پایین برج می‌مکند و به درون سیستم

خود پمپ می‌کنند. جریان محصول از قسمت پایین بخش پوسته وارد می شود. زمانی که جریان وارد ریبویلر می شود، با مجموعهٔ لوله‌ای در تماس قرار می‌گیرد. درون این مجموعه لوله بخار جریان دارد. وقتی محصول پایین با لوله‌ها تماس می‌یابد، بخشی از مایع تبخیر می شود و در حفره گنبدی شکل در پوستهٔ ریبویلر حبس می شود. این بخار برای جداسازی بیشتر به برج بازگردانده می شود. یک بند، مایع تبخیر نشده در ریبویلر را نگه می‌دارد. جریان اضافی از بالای بند جاری می‌شود و درون سیستم به گردش در می‌آید.



شکل ۱۵–۱۵: ستون سینی‌دار

یک ریبویلر ترموسیفون، عبارت است از یک مبدل حرارتی تک گذره سر ثابت که به جدارهٔ یک برج متصل می‌شود تا گرمای اضافی برای فرایند را تأمین کند. یک سمت مبدل حرارتی برای گرمایش است معمولاً با بخار و سمت دیگر مکش برج را انجام می‌دهد. ریبویلرهای ترموسیفون طرح‌های افقی و عمودی دارند. قسمت پایین مبدل حرارتی معمولاً مکش را به قدری در پایین برج انجام می‌دهد تا سطح مایع موردنیاز مبدل حرارتی تأمین شود. هیچ پمپی به مبدل یا برج متصل نمی شود. این سیستم از نیروهای بویانسی برای بیرون ریختن و یا مکیدن مایع استفاده می‌کند. هم‌زمان با خروج بخارها (به برج)، جریان مکش همان مقدار را به درون می‌کشد.

۱۵–۹– کندانسور اورهد (بالا)

کندانسورها معمولاً: مبدل‌های حرارتی پوسته لوله‌ای هستند که برای تبدیل بخارهای داغ به مایع مورداستفاده قرار می‌گیرند. در بالای بیشتر برج‌های تقطیر یک کندانسور وجود دارد (شکل ۱۵–۹ و ۱۵–۱۰).

مبدل حرارتی مورداستفاده برای تبدیل کامل بخارهای بالای برج به مایع را کندانسور کلی می‌گویند. این نوع کندانسور برای تقسیم مقطرات به دو جریان مورداستفاده قرار می‌گیرد. وقتی جریان بخار از برج خارج می‌شود، با محیطی بسیار سردتر مواجه و تبدیل به مایع می‌شود. این مایع کندانس شده درون یک جمع کننده یا مخزن جمع‌آوری می شود. مکش از این مخزن و هدایت آن در دو جهت به کمک یک پمپ صورت می‌گیرد. جریان اصلی مواد مقطر را به مخزن ذخیره‌سازی و یا برای جداسازی بیشتر هدایت می‌کند. جریان دوم به‌عنوان رفلاکس دوباره به درون برج پمپ می‌شود (که در بخش بعد توضیح داده خواهد شد).

کندانسورهای جزئی برای بازگرداندن تمامی مایع کندانس شده به سینی بالای برج و به‌عنوان یک سینی بالای خارجی برای برج عمل می‌کند. کندانسورهای جزئی همچنین ۵۰ درصد بخار بالا را به مایع تبدیل می‌کنند و بخار را از جمع کننده جدا می‌کنند و آن را برای فرآوری بیشتر می‌فرستند. یک مبدل حرارتی پوسته لوله‌ای در بالای برج تقطیر نصب می‌شود. بخارهای داغ از روی لوله‌های سرد عبور می‌کنند و تبدیل به مایع می شوند. بخارهای میعان یافته (کندانس شده) در جمع کننده یا رسیور (دریافت کننده) جمع‌آوری می شوند. برخی ستون‌ها از همین روش برای سرد کردن جریان‌های کناری برج استفاده می‌کنند.

– خط جریان رفلاکس

ستون‌های تقطیر همیشه کارایی کامل را ندارند، محصولات بالا، پایین و کناری برج معمولاً دارای مقداری ناخالصی هستند (اورلپ یا جداسازی ناقص). این مسئله را می‌توان با بازگرداندن بخار بالای برج به درون آن کنترل و یا محدود کرد. به این فرایند بازگشتی و محصول بازگردانده شده را رفلاکس می‌نامند. رفلاکس سرد شده، سطح مایع روی سینی‌های بالایی را حفظ و مولکول‌های سنگین‌تر را کندانس می‌کند. هر جزء از مخلوط پمپ شده به ستون دارای یک نقطه‌جوش واحد است. سینی‌های بالایی غنی سازی، سینی میانی خوراک و سینی‌های پالایش در پایین دارای محصولات و دماهای متفاوتی هستند.

اصل رفلاکس کلی زمانی که بخارهای بالای برج کندانس شده و به بالاترین سینی داخل برج بازگردانده می‌شوند در برج برقرار است. زمانی که برج تقطیر روی حالت رفلاکس کلی قرار می‌گیرد، خوراک ورودی به ستون متوقف می شود، جریان‌های پایین و کناری نیز متوقف می شود و محصول

بالا کندانس می‌شـــود و به‌عنوان رفلاکس به برج بر می‌گردد. این نوع عملیات معمولاً برای تســـت کردن برج و یا قرار دادن آن در حالت آماده باش کاربرد دارد. اینکه برج در حالت رفلاکس کلی قرار داده شود ارزان‌تر و آسان تر از این است که برج را خاموش و مجدد روشن کنیم.

- **مجراهای بالابرنده و پایین برنده**

پایین برنده‌ها اجزای هدایت‌کننده‌ای در ســاختار ســینی‌ها هســتند که مایع را برای رفتن از ســینی بالاتر به سینی پایین‌تر هدایت می‌کنند. بالابرنده‌ها روی سینی‌ها قرار می‌گیرند. در بعضی سیستم‌ها این اجزا شــبیه به لوله‌هایی هســتند برای حرکت بخار داغ بین ســینی‌ها. معمولاً در بالای بالابرنده یک کلاهک یا دریچه وجود دارد. با توجه به اینکه سینی‌های فنجانی (کلاهکی) و دریچه‌ای بیش از ۳۰ طرح مختلف دارند، بالابرنده همچنین می‌تواند با بخش پایینی دســتگاه که بلند می شــود و به بخار اجازهٔ عبور می‌دهد در ارتباط باشد.

- **پیشگرم‌کن خوراک**

پیشگرم‌کن معمولاً یک مبدل حرارتی پوسته لوله‌ای یا یک کوره آتشین است.: کوره‌های آتشین یا ریبویلرها گرمای اولیه خوراک برج را تأمین می‌کنند. گرم کردن خوراک از شوک حرارتی جلوگیری می‌کند و با دمای تنظیم شــدهٔ ســینی خوراک، آن را تطبیق می‌دهد. کنترل‌های دما در ارتباط با عملیات پیشــگرم‌کن خوراک هســتند. در اکثر موارد، جریان، با خوراک تنظیم می‌شــود یا در برخی موارد سرعت بخار پیشگرم‌کن تنظیم می‌شود.

- **خروجی‌های جریان کناری برج**

یک جریان کناری ممکن است روی هریک از سینی‌ها یا طبقات برج قرار گیرد. مخلوط‌های مایع، یا مایع–بخار حذف می‌گردند و در کندانسور سرد می‌شوند. این مایع سرد درون جمع کننده یا رسیور (دریافت کننده) جمع می‌شود و به یک مخزن محصول جداگانه پمپ می‌شود.

- **شاخص‌های فشار، دما، سطح و جریان**

فشار سنج‌ها برای کسب اطلاعات ارزشمند از شرایط درون یک برج تقطیر استفاده می شوند. از ترموکوپل‌ها برای تشخیص تغییرات دما در یک واحد فرایند استفاده می شود. سیستم‌های کنترل سطح برای حفظ سطوح در تعداد سه یا بیشترکاربرد دارند. از کنترل کننده‌های جریان برای حفظ

دبی‌های ورودی و خروجی ستون تقطیر استفاده می شود. اختلاف فشار بین سینی‌ها یا بخش‌های مختلف برج یک شاخص مهم شرایط بار و فلودینگ[1] (طغیان) است.

- **حلقه‌های کنترلی**

اجزای اصلی یک حلقه کنترلی شامل عناصر اولیه و حسگرها، فرستنده، کنترل‌کننده، تبدیل کننده و جزء نهایی کنترل است. حلقه‌های کنترلی توسط تکنسین‌های فرایند به‌منظور کنترل خودکار برخی متغیرهای فرایند موجود در سیستم به کار گرفته می‌شود. رایج‌ترین متغیرهای کنترل‌شده به کمک این نوع اتوماسیون (خودکار سازی) عبارت‌اند از جریان، دما، سطح، فشار و ترکیب.

یک سیستم کنترل سطح در پایین برج بر سطح نظارت می‌کند. بخشی از جریان به ریبویلر فرستاده می شود و بخش دیگر به مخزن محصولات می‌رود. سیستم‌های کنترل سطح از یک ابزار حسگر، فرستنده، کنترل‌کننده و شیر کنترل استفاده می‌کنند. چنین سیستمی روی جمع کننده بالا، جمع‌کننده‌های جریان‌کناری و سیستم‌های خوراک نیز وجود دارد.

یک سیستم کنترل دما، بر دماهای درون سیستم نظارت می‌کند و جریان ورودی به ریبویلر و پیشگرم‌کن را تنظیم می‌کند. زمانی که دما در برج افت می‌کند، خوراک بیشتری به ریبویلر راه داده می‌شود. ریبویلر نقش حیاتی در موازنه حرارتی سیستم دارد. این وسیله با تبدیل بخشی از مایع به بخار و بازگرداندن آن به برج، گرما را به برج بر می‌گرداند.

- **سیستم کنترل توزیع شده**

سیستم کنترل توزیع شده، یک سیستم خودکار رایانه ای موردا ستفاده برای راه‌اندازی تجهیزات فرایند از راه دور است.

۱۵–۱۰– برج‌های پر شده

ستون‌های تقطیر پر شده راهکاری منحصربه‌فرد است که تماس مایع و بخار، یا مایع و مایع را در طول فرایند تقطیر فراهم می‌کنند. برج‌های پر شده برای تأمین سطحی بیشتر با بیشینه تماس بین گازها و مایعات از مواد پرکننده‌ای با طراحی خاص استفاده می‌کنند. مایعات با ریزش خود به پایین، سطح پرکن را خیس می‌کنند. بخارهای بالارونده با این سطح خیس تماس می‌یابند و تبادل حرارت می‌کنند. در بسیاری برج‌های تقطیر پر شده، بخارهای داغ و مایعات برای دسترسی از طریق نقاط مشابه رقابت می‌کنند؛ مانند هر سیستم تقطیر دیگری، اجزای سبک‌تر به بالا می‌روند و اجزای

[1] Flooding

سنگین‌تر به پایین می‌ریزند. در یک برج پر شده، مایع از مسیر پخش‌کننده‌های خوراک، شبکه‌های هولد داون[1] (صفحهٔ روبنده)، پرکن‌های منظم و نامنظم، صفحه‌های نگهدارنده، باز پخش‌کننده‌ها، جمع کننده‌های مایع، شبکه‌های منظم جریان می‌یابند و در نهایت به پایین برج می‌ریزد (شکل ۱۵–۱۶). بخارهای داغ به‌صورت ناهمسو خلاف مسیر مایع را می‌پیماید.

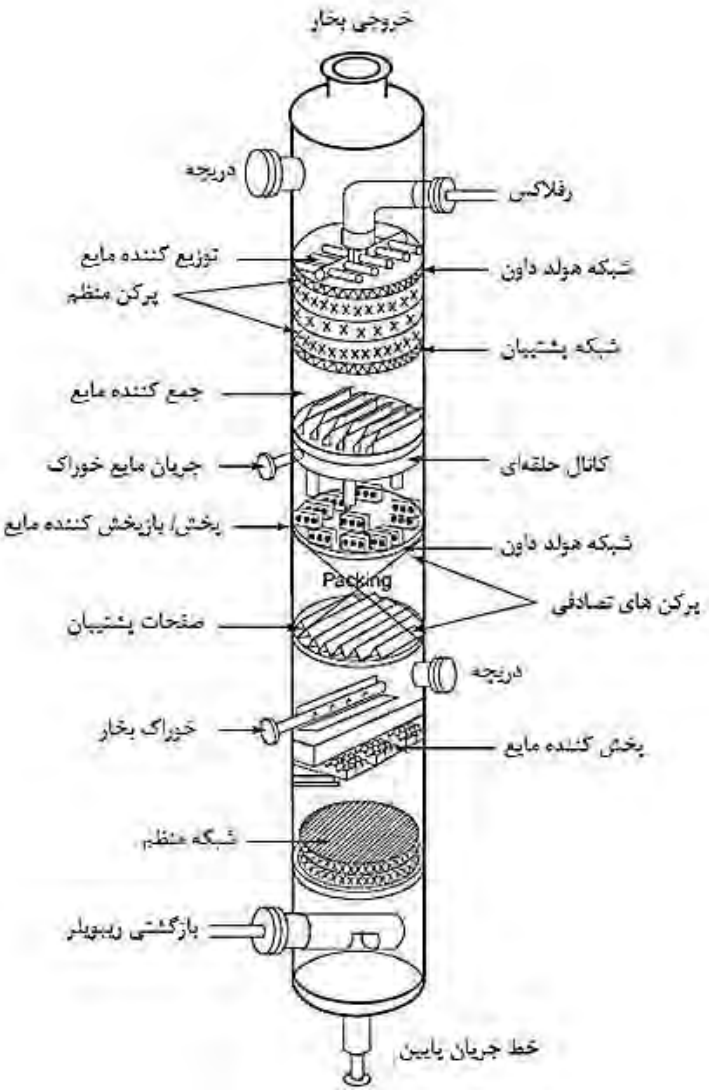
سه نوع برج تقطیر پر شده وجود دارد: نامنظم، منظم و توده‌ای (انباشته). پرکن‌های نامنظم شامل بخش‌های جداگانه‌ای است که به‌صورت نامنظم درون برج پر شده ریخته شده است. پرکن‌ها سطحی برای تماس خوب مایع-بخار، مشخصات بازدهی تقطیر و افت فشار پیش بینی شده فراهم می‌کنند. پرکن‌های منظم، مانند مش[2] دارای اشکال هندسی به‌خصوصی هستند. این نوع پرکن در برج‌های با بار مایع زیاد بهترین عملکرد را دارند. پرکن‌های توده‌ای (انباشته) به‌صورت یکنواخت درون برج تقطیر چیده می‌شود. ستون‌های تقطیر توده‌ای برای افت فشارهای بین ۰/۲۰ تا ۰/۶۰ اینچ آب در هر فوت پرکن طراحی می‌گردند.

– **پوسته**

پوسته استوانه‌ای برج تقطیر معمولاً یک فلز، فولاد کربنی، فولاد زنگ نزن، آلیاژ مخصوص و یا فلز غیر آهنی است. برج‌ها همچنین ممکن است ترکیبی از شیشه، سرامیک، پلاستیک و چوب باشند. نوع مواد شیمیایی درون برج تقطیر، مواد طراحی، مشخصات دیواره‌ها، قطر دیواره، درجه‌بندی فشار و درجه‌بندی دما را تعیین می‌کند. در برخی از انواع برج‌های پر شده پوسته داخلی توسط آجر و یک ساروج (ملات) ضد حرارت و ضد اسید پوشیده می‌شود.

---

[1] Hold-down
[2] Mesh



شکل ۱۵–۱۶: برج تقطیر پر شده

– **پرکن‌ها**

پرکن مورداستفاده در یک ستون تقطیر قلب عملیات آن برج است. پرکن‌های درون برج منظم و یا نامنظم هستند. معمولاً ترکیبی از این دو در یک برج پر شده به کار می‌رود. پرکن‌های نامنظم ممکن است به درون بخشی از برج ریخته شود و یا به دقت چیده شود. فضاسازی نامنظم پرکن‌ها یا نواحی بین آن‌ها باعث چنین نام گذاری در این بخش است. پرکن‌های منظم از قبل طوری آماده

شده است که در یک واحد روی هم قرار می‌گیرند. فضاهای یک شکل و منظم عملکرد این بخش را توصیف می‌کند. پرکن‌ها در طرح‌های و اندازه‌های مختلفی وجود دارند (شکل ۱۵–۱۷). برخی از این طرح‌های عبارت‌اند از برل زینی[1]، زینی اینتالوکس[2]، حلقه‌های راشیگ[3]، حلقه استوانه صلیبی[4]، فلکسیرینگ[5]، حلقه مارپیچی، نیم حلقه و سالزر[6]. انواع بسیاری از پرکن‌ها در صنعت فرایندهای شیمیایی یافت می‌شود اما این انواع رایج‌تر هستند.

شکل ۱۵–۱۷: پرکن‌های رایج

– **موازنه حرارتی در یک سیستم برج پر شده**

وقتی خوراک داغ از طریق توزیع کننده مایع به برج تقطیر پر شده تزریق می‌شود، با یک افت فشار سریع مواجه می شود. این افت فشار باعث تبخیر مقداری از مایع می شود درحالی‌که باقیمانده آن به‌طور مساوی روی پرکن‌ها توزیع می‌شود. موازنه حرارتی درون یک برج پر شده توسط یک یا چند مورد از موارد زیر حفظ می‌شود:

- سیستم ریبویلر کتری یا ترموسیفون
- تزریق مستقیم بخار

---

[1] Berl saddle
[2] Intalox saddles
[3] Rasching ring
[4] Cross-partition ring
[5] Flexiring
[6] Sulzer

- هیترهای الکتریکی در برج
- ردیابی بخار در برج
- سیستم کوره

ریبویلر کتری وسیله‌ای است که به‌منظور افزودن حرارت به برج طراحی شده است. ریبویلرهای کتری مایعات پایین برج را می‌مکند و آن را تا جایی که بخ شی از آن تبخیر شده و به برج باز شود حرارت می‌دهد. مقدار مایعی که تبخیر نشده برای فرآوری بیشتر به سیستم دیگری فرستاده می‌شود. ریبویلر ترموسیفون یک مبدل حرارتی عمودی متصل به پایین برج است. برای حرارت دادن مجدد محصولات پایین از بخار استفاده می‌کند.

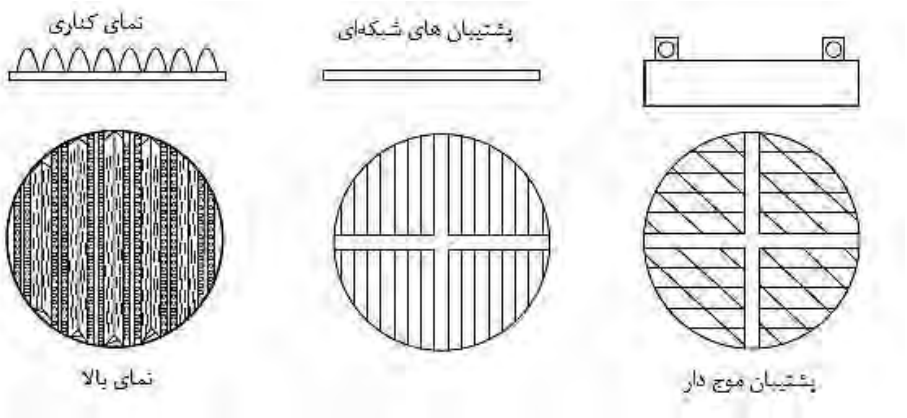
مجموعه‌ای از هیترهای الکتریکی صفحه‌ای را می‌توان برای تأمین گرمای یک برج پر شده مورداستفاده قرار داد. از هیترهای الکتریکی معمولاً در سیستم‌های کوچک درون ساختمان‌های بسته استفاده می شود. سیستم دیگری که نیاز به حفاظت محیطی ندارد ردیابی بخار است. ردیابی بخار از لوله‌های مسی که می‌توان آن‌ها را به‌راحتی از بیرون دور برج پیچید و آن را عایق نمود استفاده می‌کند. وقتی بخار درون این لوله حرکت می‌کند، انرژی حرارتی از طریق هدایت به برج منتقل می‌شود. عایق مقدار زیادی از گرما را نگه می‌دارد و از برج در برابر عناصر محافظت می‌کند.

سیستم کوره را می‌توان در عملیات تجاری بزرگ که در آن‌ها خوراک پایینی درون یک کوره کوچک به گردش درمی‌آید و به برج بازمی شود به کار برد. سیستم‌های کوره‌ای، در جایی که دبی جریان‌های ورودی به برج زیاد است کنترل دمایی با مقیاس بزرگ را فراهم می‌کنند. بخار را می‌توان برای گرما دادن به فرایند مستقیماً به پایین برج پر شده تزریق نمود. تزریق باز یا مستقیم تبدیل ۱۰۰٪ Btus به مایع را امکان‌پذیر می‌کند و به کاهش اثر فشارهای جزئی ترکیبات مختلف کمک می‌کند. تزریق باز جایگزین نیاز به یک ریبویلر خواهد بود. در یک سیستم دو جزئی (سیستمی که دارای دو ترکیب است) که جزء غالب آن آب است، تزریق باز یا مستقیم بخار جایگزین مناسبی برای ریبویلر خواهد بود.

– پشتیبان (نگهدارنده) پرکن‌ها

پرکن‌های درون برج پر شده توسط نگهدارنده‌ها حمایت می‌شوند. این نگهدارنده‌ها طرح‌های و اندازه‌های مختلفی دارند (شکل ۱۵–۱۸). هر نگهدارنده به‌گونه‌ای مهندسی می شود که قادر است وزن پرکن‌ها به همراه مایع روی آن‌ها را در محدودهٔ وسیعی از شرایط غیرعادی تحمل کند. برخی از این شرایط عبارت‌اند از نوسانات فشار، سر ریز شدن موضعی و تغییرات دما و جریان. نگهدارنده‌های پرکن‌ها به‌گونه‌ای طراحی می‌شوند که دارای منفذهای عبور مایع و هوا باشند و درعین‌حال از ریزش به بخش‌های پایین‌تر جلوگیری کنند. صفحات نگهدارنده پرکن‌ها در این طرح

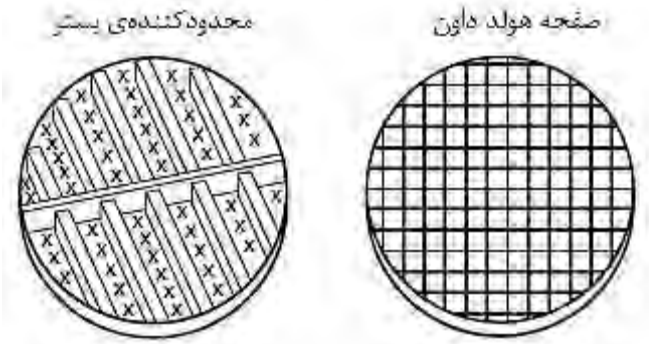
ها وجود دارند: صـــفحات غربالی تخت، صـــفحات نگهدارنده تزریق گاز، نگهدارنده‌های شـــبکه‌ای، نگهدارنده‌های مخروطی و نگهدارنده‌های موج دار.



شکل ۱۵–۱۸: نگهدارنده‌ها (پشتیبان‌ها)ی پرکن

– **محدودکننده‌های بستر و صفحات هولد-داون (روبنده)**

محدودکننده‌های بستر و صفحات هولد-داون (شکل ۱۵–۱۹) برای جلوگیری از ریزش پرکن‌های بستر -ثابت به بخش‌های دیگر طراحی می شود. صفحات هولد-داون در بالای پرکن قرار می‌گیرند، درحالی که محدودکننده‌های بستر به دیوارهٔ داخلی برج وصل می شود. صفحات هولد داون اساساً روی پرکن‌های سرامیکی و کربنی قرار داده می‌شود. از محدودکننده‌های بستر برای پرکن‌های فلزی و پلاستیکی استفاده می شود. در عملیات عادی، برج پر شده نوسانات اندکی را در پرکن‌ها تجربه می‌کند. بسته به فراریت نسبی اجزای موجود در یک مخلوط شیمیایی، ستون پر شده ممکن است در امتداد بخش‌های پایین تا بالا اختلاف فشار قابل‌توجهی داشته باشد. ممکن است یک ستون پر شده زمانی که منافذ خالی بین پرکن‌ها و بخش‌ها پر می‌شود، دچار سر ریز شدن (طغیان) مقطعی یا کلی شود. سر ریز شدن (طغیان) باعث ایجاد اختلاف فشار شدید بین بخش‌های مختلف برج می‌شود. محدودکننده‌های بستر و صفحات هولد-داون اجزای داخلی برج پر شده را به‌صورتی پایدار و در شرایط عملیاتی حفظ می‌کنند.



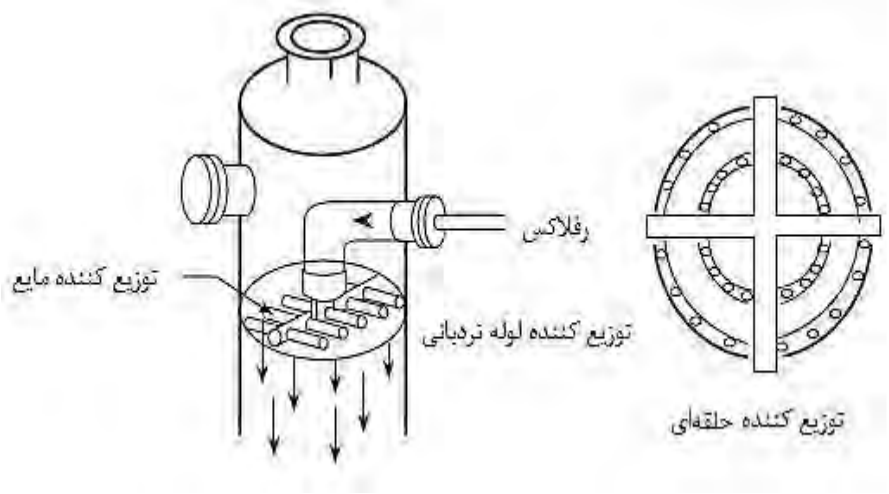
شکل ۱۵–۱۹: صفحات هولد داون و محدودکننده‌های بستر

– **برج پر شده عمودی**

یکی از بخش‌های مهم طراحی مهندسی شیب عمودی برج است. بسیاری از برج‌ها هرگز کاملاً عمودی نیستند. تغییر موقعیت برج که می‌تواند در اثر حرکت خاک، نوسان باد، ساختار ضعیف پی ریزی و یا انبساط حرارتی نامتعادل باشد، می‌تواند کارایی برج را به‌شدت کاهش دهد. مایعات درون برج به سمت پایین شیب بخش مربوط جاری می شود. این پدیده که مجرا سازی[1] نام دارد، موجب توزیع نابرابر فرایند رطوبت‌دهی می‌شود و تعادل جریان داخلی بخار مایع را بر هم می‌زند. بخار از بخش‌های خشک پرکن سریع‌تر و از بخش‌های مرطوب کندتر می‌گذرد. آزمایش‌های پایلوت[2] (آزمون نیمه صنعتی) برج‌های پر شده نامنظم روی شیب، مشخص نموده که برای هر درجه شیب کاهش بازدهی ۵ تا ۱۰ درصدی وجود دارد. در موارد شدید، برای هر درجه شیب، ۲۵ تا ۵۰ درصد کاهش بازدهی اعلام شده است. پرکن‌های منظم یک محیط با بازدهی پایدار را با تغییرات پیشنهادی بین ۰/۲ تا ۰/۵ درجه فراهم می‌کنند.

---

[1] Channeling
[2] Pilot test



شکل ۱۵—۲۰: توزیع کننده مایع

– **پخش و بازپخش مایع**

برج‌های تقطیر پر شـــده برای توزیع برابر مایع روی پرکن‌ها از پخش‌کننده‌های مایع اســـتفاده می‌کنند. این فرایند نقش مهمی در عملیات کارآمد برج دارد. توزیع ضـعیف مایع تماس بخار—مایع را کاهش می‌دهد و پدیده مجراســـازی را افزایش می‌دهد. لوله پلکانی (نردبانی)[1]، توزیع کننده افشانه‌ای (اسپری)[2]، توزیع کننده حلقه‌ای مشبک[3]، پخش‌کننده شکافدار[4]، پخش‌کننده روزنه‌دار تونلی[5]، پخش‌کننـده دیواره‌ای-بـالابر[6] و قـاب روزنـه‌دار[7] طرح‌هـای مختلف و رایج توزیع یـا پخش‌کننده‌های مایع برج‌ها هستند (شکل ۱۵—۲۰). در اکثر برج‌های پر شده، جریان رو به پایین مایع گاهی به‌صورت بازبخش (توزیع مجدد) است. این فرایند، تمایل به فاصله دادن مایع از دیواره‌ها و نزدیک کردن آن به مرکز دارد.

---

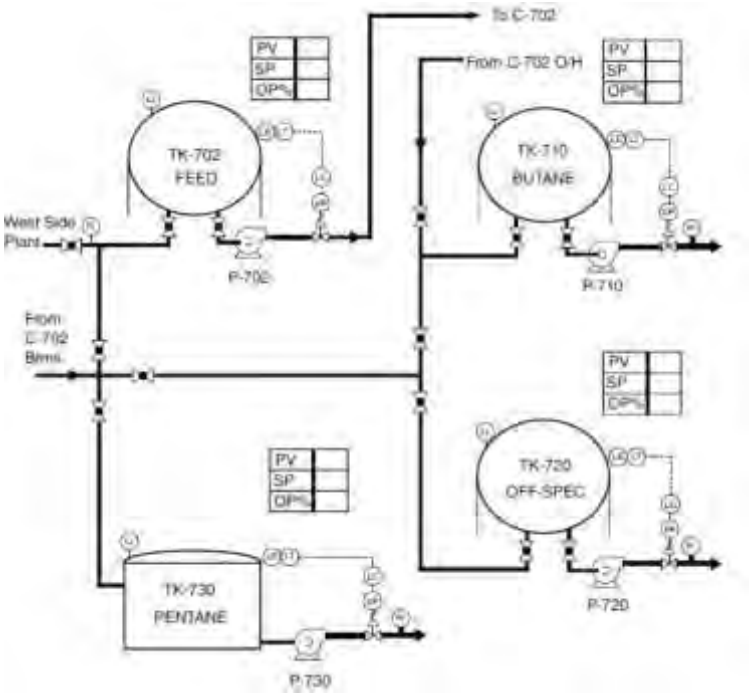
[1] Ladder pipe
[2] Spray
[3] Perforated ring
[4] Notched-trough
[5] Tunnel orifice
[6] Weir-riser
[7] Orifice pan

۱۵–۱۱– سیستم تقطیر صفحه‌ای

در این بخش یک سیستم تقطیر صفحه‌ای را که خود شامل زیر سیستم‌های زیادی است توضیح می‌دهیم. زیر سیستم‌های اصلی عبارت‌اند از سیستم خوراک، سیستم پیش گرمایش، برج تقطیر، سیستم اورهد (بالاسری) و سیستم پایین برج. همه این سیستم‌ها با هم همکاری می‌کنند تا محصولاتی درخور مطالبات مشتری تولید کنند.

– سیستم خوراک

مجموعه‌ای از مخازن ذخیره سازی محصول را زمین یا محوطه مخازن می‌نامند. این محوطه مخازن یک سیستم پیچیده‌ای از لوله گذاری، شیرها و پمپ‌ها دارد که به تکنسین اجازه می‌دهد مخازن متعدد را به ترتیب بچینند. محوطه مخازن در مثال زیر دارای چهار مخزن ذخیره‌سازی متصل به برج تقطیر بوتان زدا[1] است (شکل ۱۵–۲۱).



شکل ۱۵–۲۱: سیستم خوراک

[1] Debutanizer

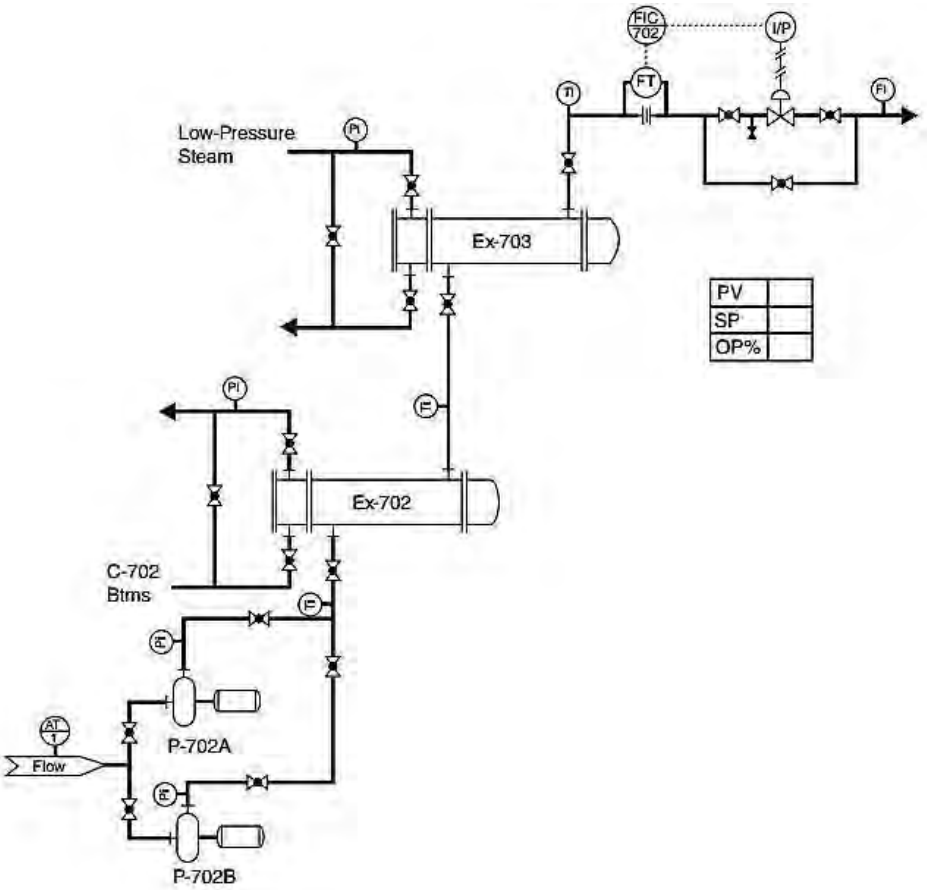
جریان اصلی خوراک به‌کاررفته در این فرایند تقطیر، مخلوط دو جزئی متشکل از ۳۷ درصد بوتان و ۶۳ درصد پنتان است. مخزن ۷۰۲ (شکل ۱۵–۲۱ را ببینید.) خوراکش را از یک واحد مشابه در سمت غربی مجموعه کارخانه شیمیایی می‌گیرد. در پای مخزن tk-702 دو پمپ گریز از مرکز قرار دارد که خوراک را به بخش پیش گرمایش و برج تقطیر (C-702) انتقال می‌دهند. در حین راه‌اندازی (آغاز عملیات) مخزن ۷۲۰ برای ذخیره‌سازی محصولی است که ویژگی‌های مورد انتظار مشتری را ندارد. در این مدت جریان‌های اورهد (بالایی) و پایینی به سیستم off-spec می‌ریزند. این مخلوط را می‌توان به سیستم بازگرداند و یا به‌عنوان مواد اولیه به یک واحد مشابه منتقل نمود.

یک شاخص سطح برای مخزن tk-702 در اتاق کنترل وجود دارد. آلارم‌های سطح کم یا زیاد سیستم کنترل سطح را پشتیبانی می‌کنند. یک حلقه کنترل جریان (flc-702) برای تنظیم جریان محصولات به واحد به کار می‌رود. دبی جریان‌ها به‌تدریج و در مراحل ۵۰ تا ۲۰۰ گالن بر دقیقه (GPM) افزایش می‌یابد. برای انتقال خوراک به C-702 در هر لحظه تنها یک پمپ کار می‌کند. یک آنالیزر محصول از نزدیک مراقب یکنواختی خوراک خواهد بود. با هر دقیقه کارکرد پمپ P-702، ۷۴ گالن بوتان و ۱۲۶ گالن پنتان به ستون تقطیر ۷۰۲ منتقل می‌شود.

- **سیستم پیش گرمایش یا پیش گرمکن**

سیستم پیش گرمایش (شکل ۱۵–۲۲) از دو مبدل حرارتی افقی پوسته و لوله Ex-702 و Ex-703 برای گرم کردن مخلوط بوتان و پنتان ا ستفاده می‌کند. هر مبدل دارای یک ورودی و خروجی پوسته و یک ورودی و خروجی لوله است. این مخلوط بوتان و پنتان از بخش پوسته این: مبدل‌ها عبور می‌کند. Ex-702 و Ex-703 به‌صورت متوالی با هم در ارتباط هستند. یک حلقه کنترلی جریان (FlC-702) جریان ورودی به ستون را کنترل می‌کند. در طول عملیات، خوراک با دبی ۲۰۰ گالن بر دقیقه وارد برج می‌شود. مخلوط بوتان و پنتان با دمای ۷۰ تا ۸۰ درجه فارنهایت (۲۱/۱ تا ۲۶/۶۶ درجه سانتی‌گراد) وارد Ex-702 و Ex-703 می‌شود و با دمای ۱۲۰ درجه فارنهایت (۴۸/۸۸ درجه سانتی‌گراد) خارج می‌شود. دمای خوراک ورودی به Ex-703 ۱۲۰درجه فارنهایت (۴۸/۸۸°C) و دمای خروجی آن ۱۸۰ درجه فارنهایت (۸۲/۲۲°C) است. یک سیستم بخار فشار پایین به‌عنوان واسطه حرارتی برای بخش لوله Ex-703 به کار می‌رود. یک ترموکوپل روی جریان خوراک ورودی به ستون قرار دارد. جریان بخار ورودی به Ex-703 توسط TlC-701 در دمای ۱۸۰درجه فارنهایت (۸۲/۲۲°C) حفظ می‌شود. پنتان داغ جاری شده از پایین C-702 به‌عنوان واسطه حرارتی در Ex-702 مورداستفاده قرار می‌گیرد. این فرایند امکان انتقال حرارت از بخش پنتان به مخلوط اولیه بوتان–پنتان را فراهم می‌کند. چینش صحیح شیرهای ورودی و

خروجی: مبدل‌ها فاکتور مهمی در عملیات سیستم پیش گرمکن است. یک آنالیزور محصول به‌طور مداوم بر ترکیب خوراک نظارت می‌کند.



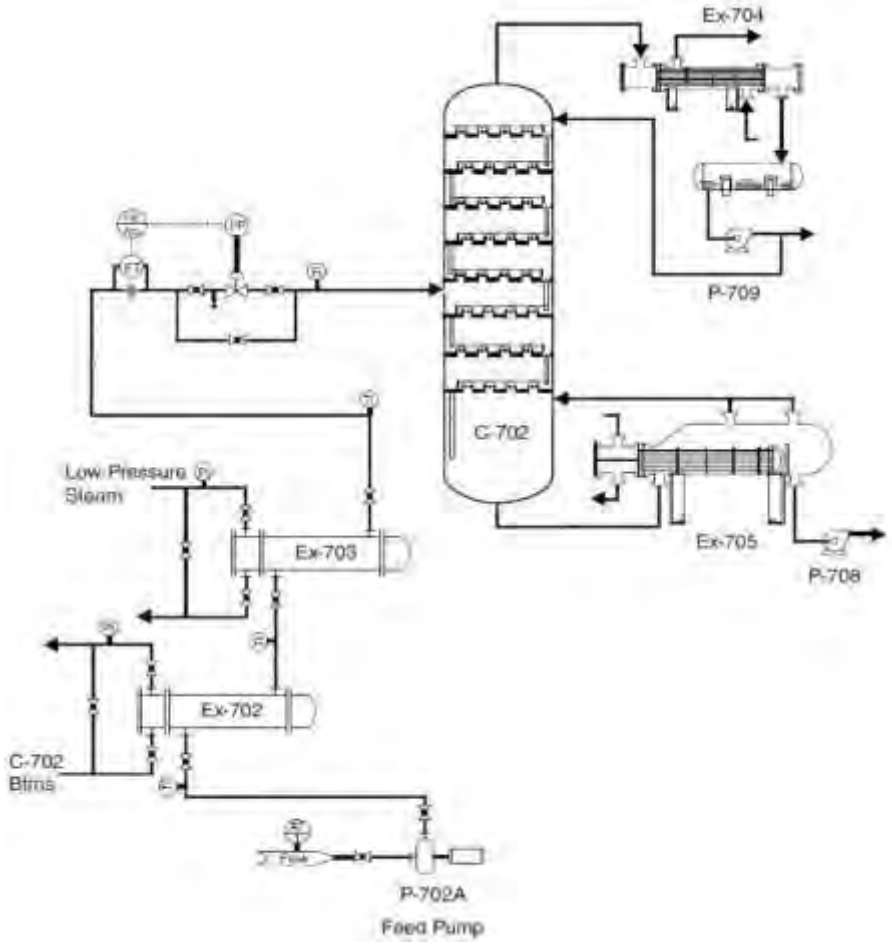
شکل ۱۵–۲۲: سیستم پیش گرمکن

– **ستون تقطیر**

اجزای ا صلی فرایند تقطیر عبارت‌اند از ستون، پیش گرمکن‌ها، پمپ‌ها، کنداز سور، درام (مخزن) و ریبویلر. یک پوشش psi۱۰ نیتروژن هنگام خاموش بودن سیستم در آن نگه داشته می‌شود. قطعه مرکزی تجهیزات در تقطیر، برج یا ستون است (شکل ۱۵–۲۳). حین راه‌اندازی، خوراک سرد با دبی ۵۰ گالن بر دقیقه وارد برج می‌شود تا سیستم‌های گرم‌کننده بخار به کار بیفتند. وقتی خوراک سرد وارد برج می شود از سینی خوراک به پایین برج می‌ریزد. خط خروجی پایین، خوراک ریبویلر

کتری قرارگرفته در پای برج را تأمین می‌کند. وقتی سطح در برج بالا می‌رود، هم‌زمان با آن سطح در ریبویلر نیز بالا می‌رود. جریان بخار رو به بخش لولهٔ ریبویلر کتری Ex-705 باز می‌شـــود. وقتی دما شروع به بالا رفتن می‌کند، دبی جریان در مراحل ۵۰ و تا سقف ۲۰۰ گالن بر دقیقه روی FlC-702 افزایش می‌یابد. وقتی مخلوط بوتان-پنتان داغ می‌شـــود، بخارهای بوتان شـــروع به رفتن به ســـمت بالای برج می‌کنند. وقتی این بخارها بالا رفته و خنک‌تر می‌شـــوند، مایع بر روی ســـینی‌ها شروع به انباشته می‌کند. وقتی حرارت بیشتری جذب می‌شود، غلظت بیشتری از بخار پنتان همراه با بوتان به بالا می‌رود، اما همچنان غلظت پنتان در پایین ســـینی خوراک بخش پالایش بیشـــتر خواهد بود. تنها ۲٪ تا ۵٪ از پنتان به همراه بوتان خارج می شود. یک گرادیان دما یا شیب حرارتی (۲۲۲°F (۱۰۵/۵۵°C) در پایین تا ۱۵۹°F (۷۰/۵۵°C) در بالا) در ســینی‌های مختلف برج شــکل می‌گیرد.

دماهای بالاتر مربوط به پایین برج و دماهای پایین‌تر مربوط به بالای برج هستند. یک سیستم کنترل سطح، سطح پایین برج را ثابت نگه می‌دارد. در ابتدای کار برج، خلوص محصولات مطلوب نخواهد بود. این فرایند تا زمانی که تمامی متغیرها تنظیم شـده برابر با مقادیر مطلوب شـوند ادامه می‌یابد. سیستم اورهد (سیستم بالایی) برای سرد کردن و محصور کردن بخارات اورهد طراحی شده است.



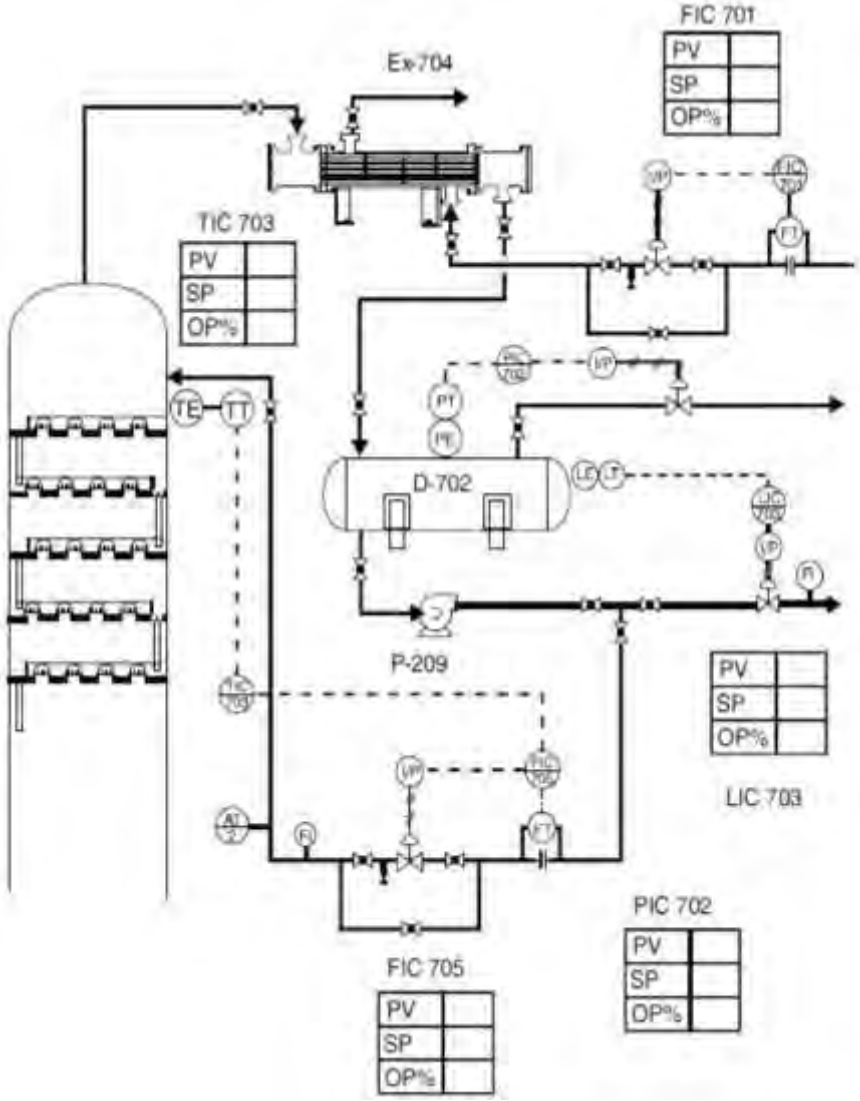
شکل ۱۵–۲۳: فرایند تقطیر

– **سیستم اورهد (سیستم بالایی)**

اجزای اصلی سیستم اورهد در بالای برج، کندانسور اورهد (Ex-704)، یک درام یا مخزن (D-702)، دو پمپ (P-709A, P-709B) و مجموعه‌ای از حلقه‌های کنترلی است (شکل ۱۵–۲۴). وقتی بخارهای داغ بوتان از بالای برج خارج می شود، کندانسور اورهد به‌طور جزئی بخارها را تبدیل به مایع می‌کند. حلقه کنترل جریان FIC-703 به‌طور خودکار ۴۲۰ گالن بر دقیقه آب خنک‌کننده را به کندانسور Ex-704 راه می‌دهد. انتقال مایعات از بخارها آسان‌تر است. معمولاً یک سطح ۵۰ درصدی روی D-702 توسط LIC-703 حفظ می‌شود. پمپ ۷۰۹ خوراک را از D-702 به محوطه مخازن (Tk-710) می‌برد و یا به‌عنوان رفلاکس به برج بازمی‌گرداند. دبی‌های رفلاکس روی ۱۳۰

گالن بر دقیقه نگه دا شته می شود، درحالی که جریان محصول به Tk-710 دبی‌ای حدود ۷۴ گالن بر دقیقه دارد. یک آنالیزر خلوص محصول، رفلاکس را نظارت می‌کند تا روی ۹۸ درصد حفظ شود. یک حلقه کنترلی دما، TIC-703، به‌صورت آبشاری به حلقه کنترلی جریان FIC-705 متصل می‌شود تا دمای بالا را روی ۱۵۹ درجه فارنهایت (۷۰/۵۵°C) حفظ کند. حین عملیات حلقه کنترل جریان روی خط جریان رفلاکس می‌تواند مستقل کار کند، هرچند کنترل دما مهم‌تر از کنترل دبی جریان است. در این نوع سیستم یک حلقه کنترل آبشاری دما را می‌توان تعبیه نمود که اینکار اجازه می‌دهد یک ترموکوپل، فرستنده و کنترل‌کننده به‌عنوان یک کنترل‌کننده مادر یا اصلی برای FIC-750 عمل کند. در این مثال، FIC-705 و تمامی پنج جزء حلقه کنترلی به‌عنوان جزء نهایی کنترل برای TIC-703 عمل می‌کنند. ۷۴ گالن بر دقیقه بوتان ۹۸ درصد به Tk-710 در محوطه مخازن فر ستاده می شود. یک حلقه کنترل فشار، PIC-702، فشار روی سیستم اورهد را روی ۱۰۰psi تنظیم می‌کند. در این سیستم مقدار کمی بوتان اتلاف می شود. بخارهای ا ضافی به سمت یک سیستم فلر[1] یا مشعل هدایت می‌شود.

[1] Flare

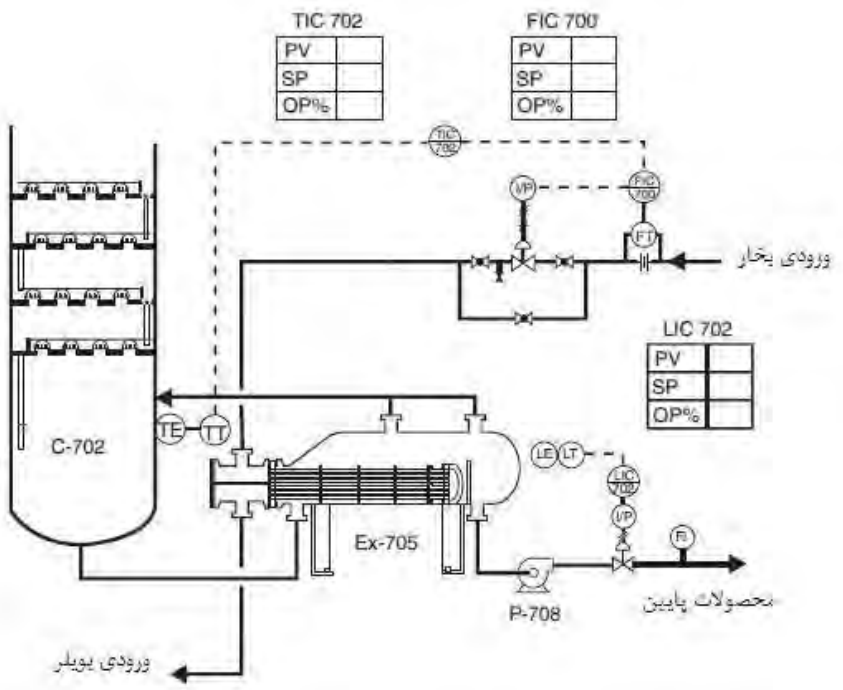


شکل ۱۵–۲۴: سیستم اورهد

– **سیستم پایین برج**

دما در پایین C-702 در ۲۲۲ درجه فارنهایت (۱۰۵/۵۵°C) حفظ و کنترل می‌شـــود. یک ریبویلر کتری، Ex-705، از یک سیستم گردش خوراک طبیعی ا ستفاده می‌کند (شکل ۱۵–۲۵). جریان جاذبه یک سـطح ثابت را درون ریبویلر به وجود می‌آورد، جایی که سـطوح توسـط LIC-702 روی ۵۰ درصـد نگه داشـته می‌شـود. این سـطح امکان این را فراهم می‌کند که دو لولهٔ بالایی درون

ریبویلر بالای سطح مایع قرار گیرند و این اطمینان حاصل شود که بخار مناسبی به برج باز می‌شود. LIC-702 به پنتان داغ ۹۲ در صد اجازه می‌دهد تا ابتدا به Ex-702 رفته و سپس به Tk-730 در محوطه مخازن رود. دبی‌های پایین برج حدود ۱۲۶ گالن بر دقیقه هستند. ترتیب صحیح از پایین برج به محوطه مخازن حائز اهمیت است. FIC-700 دبی جریان‌های بخار به ریبویلر کتری را کنترل می‌کند. TIC-702 دارای یک ترموکوپل و یک فرستنده متصل به بالای ورودی بخار ریبویلر در پایین برج است. در طول زمان‌هایی که شرایط مطلوب وجود ندارد، TIC-702 نفش کنترل‌کننده اصلی یا مادر را برای FIC-700 ایفا می‌کند. یک آنالیزر، بر ترکیب محصول پایین پنتان را نظارت می‌کند.



شکل ۱۵–۲۵: سیستم پایین برج

۱۵–۱۲– رفع اشکال سیستم تقطیر

تکنسین‌های فرایند سیستم‌های فرایند را از روش‌های مختلفی رفع اشکال می‌کنند. یکی از روش‌های رایج‌تر رفع اشکال، بررسی اختلاف بین مقدار نقطه تنظیم و مقدار متغیر است. در شکل ۱۵–۲۶ سیستم درست کار می‌کند. نقطه تنظیم و متغیر فرایند دقیقاً برابرند.

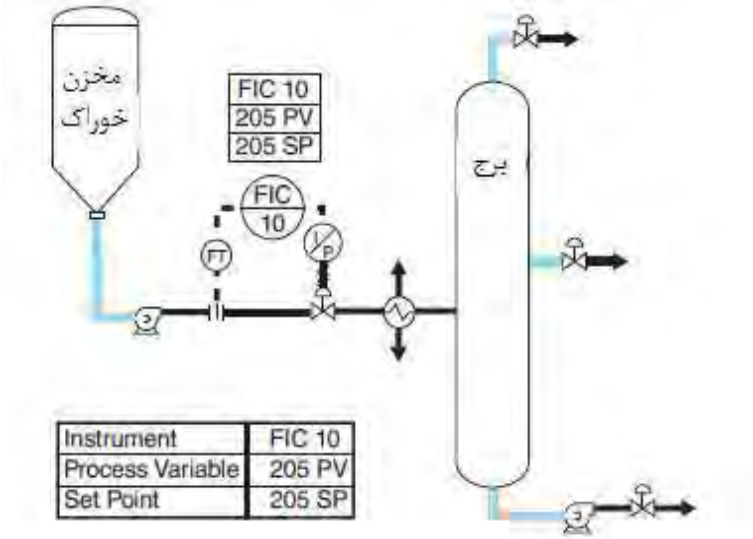
وجود اختلال در پیشرفت فرایند را در شکل ۱۵–۲۷ می‌توان دید. نقطه تنظیم ۳۰ درصد است اما متغیر فرایند ۲۶ در صد ا ست. این اختلاف ممکن ا ست در نتیجهٔ خطای ابزارها، بروز م شکل در پمپ‌ها، سطح ناکافی پایین برج و یا مشکل در شیرها باشد.

در شکل ۱۵–۲۸ یک اختلال در مقیاس کامل فرایند در حال رخ دادن است. مشکل ابتدایی ناشی از خرابی جزئی شیر بخار است (TIC-2). به سایر متغیرهای فرایند که تحت تأثیر دمای بیش‌ازحد در پایین برج قرارگرفته‌اند نگاه کنید.

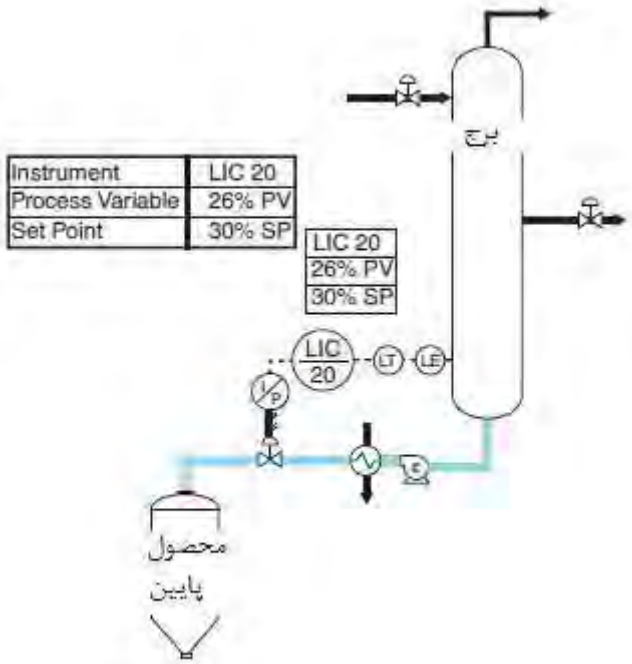
م شکلات موجود در یک برج تقطیر معمولاً شامل تغییر ترکیب خوراک، پوکینگ[1] (پس زدن)، سرریز شدن (طغیان) و یا خرابی ابزارها و تجهیزات می شود. خوراک ترکیب م شخ صی دارد. این خوراک ممکن ا ست یک مخلوط دو یا سه جزئی با شد. برای اطمینان از یک عملیات یکد ست باید آن را کنترل نماییم. پوکینگ مشکلی ا ست که می‌تواند سینی‌ها را دچار مشکل کند، محصولات را به بالا یا پایین سوق داده و آن‌ها را از خط اورهد خارج کند. خرابی تجهیزات و ابزارها نیز ممکن است به عملیات یک ستون تقطیر آسیب بزند. متغیرهای دما، فشار، جریان، سطح و ترکیب به دقت برر سی می شود. سایر م شکلات شامل سرریز شدن یا طغیان ا ست که باعث تجمع مایع در برج می شود، افزایش افت فشار و جدا سازی ناقص و ضعیف محصولات می شود. م شکلات دیگر شامل طغیان پایین برنده (ناودان)، طغیان جت، طغیان موضعی، ریزش مایع و اضافه‌بار است. سرریز شدن یا طغیان پایین برنده (ناودان) زمانی اتفاق می‌افتد که سرعت دبی مایع به قدری بالا می‌رود که مایع به درون ناودان برگشته و سینی بالا را سرریز می‌کند. مایع درون برج انباشته می‌شود، اختلاف فشار افزایش می‌یابد و جداسازی کاهش پیدا می‌کند. سرریز شدن یا طغیان جت زمانی اتفاق می‌افتد که سرعت بخار به قدری بالاست که جلو جریان رو به پایین مایع را می‌گیرد. مایع درون برج جمع می‌شود، اختلاف فشار افزایش و جداسازی کاهش می‌یابد. سرریز شدن یا طغیان موضعی به این معناست که جریان بیش‌ازحد مایع از جریان رو به بالای بخار در بخشی از برج جلوگیری می‌کند. ا ضافه‌بار بهترین تو ضیف برای شرایطی ا ست که برج با بی شینه ظرفیت خود کار می‌کند. ریزش مایع پدیده‌ای است که در زمانی اتفاق می‌افتد که سرعت بخار به قدری پایین است که نمی‌تواند جلوی ریزش مایع از درون سوراخ‌های سینی را بگیرد. اختلاف فشار کاهش می‌یابد و جداسازی کمتر انجام می‌شود. مفهوم دیگری که در تقطیر اتفاق می‌افتد دمایی است که در آن خوراک برای اولین بار می‌جوشد یا همان «نقطه شروع جوشش» که در مقابل «نقطه نهایی جوشش» سنگین‌ترین اجزا قرار دارد. نقطه نهایی جوشش دمایی است که در آن سنگین‌ترین ترکیب به جوش می‌آید.

---

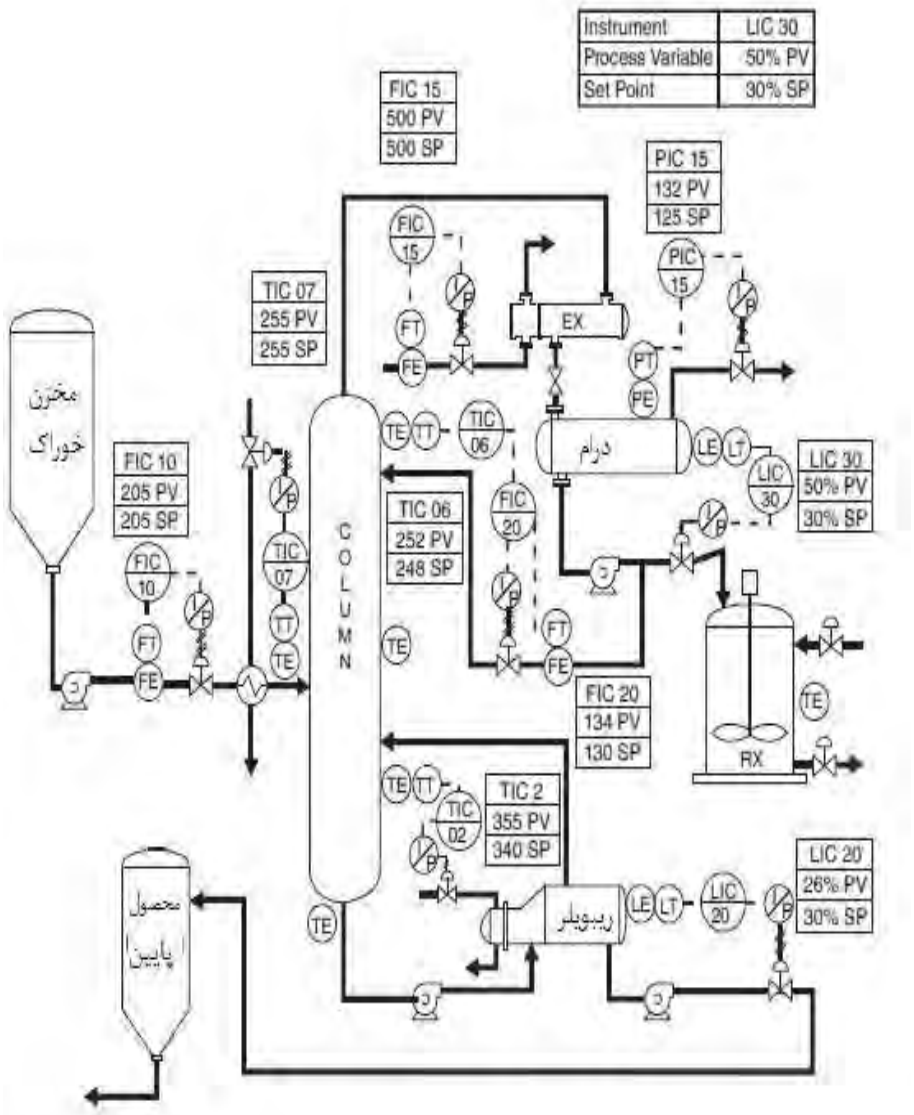
[1] Puking



شکل ۱۵–۲۶: رفع اشکال: مسئله ۱



شکل ۱۵–۲۷: رفع اشکال: مسئله ۲



شکل ۱۵–۲۸: رفع اشکال: مسئله ۳

خلاصه

تقطیر، اجزای موجود در ترکیبات را به کمک اختلاف نقطه‌جوش آن‌ها جداسازی می‌کند. در طول فرایند تقطیر، به مخلوط حرارت داده می‌شود تا زمانی که تبخیر شود، سپس روی سینی‌های یا شکل‌های مختلف دیگر برج که بتواند روی آن ریخته شود مجدداً تبدیل به مایع می‌شود و در نهایت در انواع مختلف رسیورها یا دریافت‌کننده‌های بالایی، کناری و پایینی جمع‌آوری می‌شود. این مایع را مقطر یا مایع کندانس شده می‌نامند. مایعی که درون برج تبخیر نمی‌شود باقیمانده نام دارد.

برج تقطیر را می‌توان با مجموعه‌ای از سینی‌هایی که روی هم قرارگرفته‌اند مقایسه نمود. وقتی تبخیر اتفاق می‌افتد، اجزای سبک‌تر تبخیر می شود و روی سینی‌های مختلف برج توزیع می شود. سبک‌ترین جزء در فاز بخار به بالای برج می‌رود و از روی کویل‌های خنک‌کننده کنداسور پو سته لوله‌ای عبور می‌کند. وقتی بخار داغ با کویل‌ها تماس پیدا می‌کند، کندانس می‌شود و در جمع کننده بالایی جمع می‌شود. بخشی از این محصول به مخزن می‌رود درحالی‌که باقی به‌عنوان رفلاکس به برج بازمی‌گردد.

یک ریبویلر موازنه حرارتی در برج را با جوشاندن بخشی از اجزا که انرژی خود را در طول فرایند تقطیر از دست داده‌اند حفظ می‌کند. یک ریبویلر کتری یا ترموسیفون به پایین برج متصل می‌شود. هرچند، ریبویلرها را می‌توان به بخش کناری روی ستون نیز متصل نمود. ریبویلر کتری دارای یک حفره بخار مستقل مخصوص است که برای حذف اجزای سبک‌تر از مخلوط و برگرداندن آن‌ها به شکل گرما به پایین‌ترین سینی پایین برج تعبیه شده است. اجزای سنگین‌تر مایع بالای دیواره‌های سینی در ریبویلر کتری جاری شده و سپس از سیستم برج خارج می‌شود. در مقابل ریبویلر ترموسیفون مایع را تبخیر می‌کند و آن را به برج بازمی‌گرداند.

منحنی‌های تعادلی برای تعیین ترکیب بخار بالای مایع در حال جوشش و اینکه مخلوط‌ها چه تفاوتی با یکدیگر دارند به کار می‌روند. هرچه اختلاف بین نقاط جوش بیشتر باشد، جدا سازی اجزا به کمک نقطه‌جوش آسان‌تر خواهد بود.

دما در برج می‌تواند تحت تأثیر فشار، جریان، سطح، ترکیب خوراک، سرعت رفلاکس و سینی های مخدوش قرار گیرد.

سؤالات مروری

۱) بخش بالای سینی خوراک در برج چه نام دارد؟
۲) بخش پایین سینی خوراک در برج چه نام دارد؟
۳) توضیح دهید چگونه محصولات مایع و بخار درون برج چگونه در هر سینی برخلاف یکدیگر حرکت می‌کنند؟
۴) وقتی سطح مایع لازم روی سینی ایجاد می‌شود، از روی دیواره‌های سینی جاری می‌شود. این مایع به کجا می‌رود؟
۵) مولکول‌های در حال حرکت چه نوع انرژی دارند؟
۶) گاز کندانس شده گرفته شده از برج تقطیر را چه می‌نامیم؟
۷) محصول پایین برج تقطیر چیست؟
۸) دمایی که مایع در آن به بخار تبدیل می‌شود چه دمایی است؟
۹) در برج تقطیر تعادل و موازنه چه اجزایی برقرار می‌شود؟
۱۰) جداسازی ناقص در یک برج تقطیر چه نامیده می‌شود؟
۱۱) محصول کندانس شده‌ای که به سینی بالای برج تقطیر بازگردانده می‌شود چیست؟
۱۲) برای حفظ موازنه حرارتی در برج از چه وسیله‌ای استفاده می‌شود.
۱۳) سه نوع سینی موجود در برج‌های تقطیر سینی‌دار را نام ببرید.
۱۴) گرمای غیر قابل اندازه‌گیری چه نام دارد؟
۱۵) دو نوع برج تقطیر را نام ببرید.
۱۶) چهار شرایطی که می‌توانند دما را در برج تحت تأثیر قرار دهند.
۱۷) سه نوع پرکن استفاده‌شده در برج‌های پر شده کدامند؟
۱۸) چگونگی رفع سرریز شدن در برج را توضیح دهید.
۱۹) سینی‌های خشک و سرریزی جت را مقایسه کنید.
۲۰) گرادیان دما را تعریف کنید.

فصل شانزدهم

استخراج و دیگر سیستم‌های جداسازی

اهداف

- پس از مطالعه این بخش دانشجو باید بتواند:
- اصول علمی جذب سطحی را شرح دهد.
- فرایند استخراج را شرح دهد.
- فرایند جداسازی را شرح دهد.
- تجهیزات اولیه موردنیاز استخراج را تشخیص دهد.
- فرایند تبلور را شرح دهد.
- چگونگی کار اسکرابر (scrubber) را شرح دهد.
- تجهیزات اولیه لازم برای فرایند جذب سطحی را تشخیص دهد.
- فرایند موم زدایی حلال را شرح دهد.
- اجزای اولیه و عملیات ستون جداسازی و دفع را شرح دهند.

۱۶–۱– استخراج

یکی از بیشـــترین مشـــکلاتی که در فرایندهای عملیاتی شـــیمیایی مکررا با آن مواجه هســـتیم، جدا سازی دو ماده از یک مخلوط یا محلول ا ست. تقطیر یکی از راه‌های کارآمد جدا سازی ا ست و اســتخراج یکی از روش‌های پرمصــرف دیگری اســت که در طی آن برای جداســازی دو ماده در یک مخلوط از ماده‌ی سومی که تنها در یکی از آن‌ها حل می‌شود استفاده می‌کنند.

ا ستخراج سه نوع ا صلی دارد: لیچینگ یا ا ستخراج مایع-جامد، ا ستخراج به روش ش ست شو اســتخراج مایع - مایع. در لیچینگ، با انحلال ماده در مایع، ماده‌ی موردنظر را از جســم جامد جدا می‌ســازند. فلزات از ســنگهای معادن اینگونه جدا می‌شــوند. دراســتخراج به روش شــســتشــو، مواد چسبیده بر سطوح جامدات با حل شدن در یک مایع و سرازیر شدن آن جداسازی می شوند. شما معمولاً هربار که دوش میگیرید اینکار را انجام میدهید. در اســـتخراج مایع - مایع، هر ســـه ماده‌ی موردنظر مایع بوده و جدا سازی برح سب وزن و یا چگالی مواد صورت می‌گیرد. این ف صل پیرامون استخراج مایع - مایع می‌باشد.

۱۶–۱–۱– اهداف استخراج

هر یک از روش‌های جداسازی مزایا و معایب خاص خود را دارند و در بیشتر مواقع ا ستخراج مایع - مایع پرکاربرد تر از دیگر روش‌های جداســـازی نظیر تقطیر می‌باشـــد. دراکثر موارد جداســـازی دو ماده‌ی شیمیایی تو سط تقطیر به دلیل نزدیک بودن دمای جوش مواد به یکدیگر غیر ممکن ا ست. در این موارد بهتر اســـت ماده‌ی ســـومی راکه تنها در یکی از مواد موردنظر حل می‌شـــود، بیابیم و جداسازی را از طریق استخراج انجام دهیم.

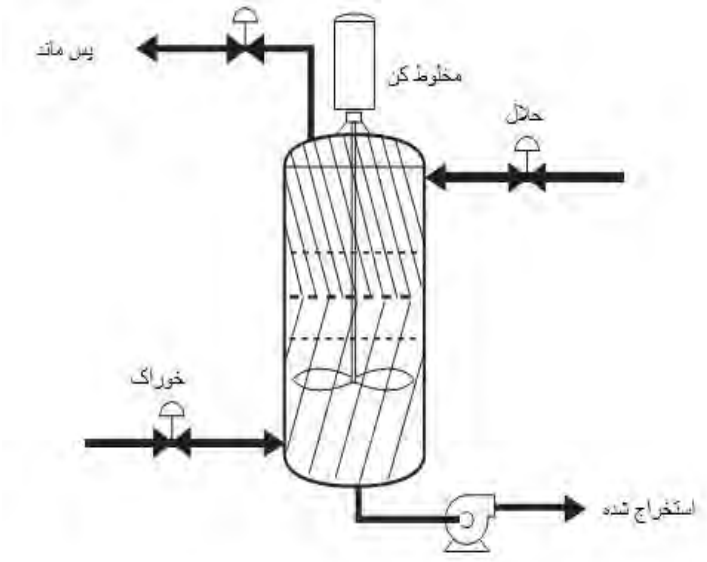
بسیاری از مواد شیمیایی نسبت به دمای بالا حساسند و ممکن ا ست در طول دماهای بسیار بالای موردنیاز برای تقطیر تجزیه یا متلاشـــی شـــوند. از اینرو، اســـتخراج که در دمای معمولی انجام می‌گیرد روش بسیار مناسبی خواهد بود.

معمولاً مواد جداسازی شده مقدار کمی ناخالصی دارند که می‌توان آن‌ها را توسط تقطیر بازیابی کرد اما استخراج روش بسیار آسان تر و کم هزینه تری است.

در آخر، نکته‌ی مهم و موردنیاز در انجام هر فرایند تجاری اقتصادی بودن آن ا ست. در شرایطی که چندین روش برای جداســازی دو ماده‌ی شــیمیایی امکان‌پذیر اســت، روشــی که دارای هزینه‌ی کمتری با شد برگزیده می شود. از آنجاییکه بسیاری از حلالها ارزان قیمت و به‌راحتی در د سترس بوده و تجهیزات موردنیاز برای انجام فرایند استخراج ساده و اقتصادی است، معمولاً استخراج مایع – مایع را انتخاب می‌کنند.

۱۶–۱–۲–فرایند استخراج مایع - مایع

درواقع ۳ مرحله اساسی برای استخراج مایع - مایع وجود دارد: (۱) تماس بین حلال و محلول خوراک: (۲) جداسازی پس ماند از محلول استخراج شده: (۳) جداسازی حلال و محلول. جداسازی حلال و محلول در مرحله ۳ توسط فرایندهای دیگری نظیر تقطیر صورت می‌گیرد. در استخراج مایع - مایع خوراک، محلول اصلی است. محلول خوراک شامل حل شونده (موادی که در هم حل می‌شوند)، از قسمت پایین به ستون استخراج وارد می‌شود (همانند شکل ۱۶–۱). حلال، (ماده‌ای که محلول در آن حل می‌شود) از بالا وارد می‌شود. به دلیل وجود اختلاف چگالی، محلول سبکتر (پس ماند) در بالا و محلول سنگین‌تر (فاز استخراج شده) در پایین قرار می‌گیرند. زمانی که دو جریان با هم مخلوط می‌شوند، حلال در حل شونده حل می‌شود. سپس، حل شونده ای که به‌عنوان خوراک اصلی وارد شده با حلال در طول ستون در هم آمیخته می‌شوند. این محلول جدید که شامل حل شونده و حلال بوده، فاز استخراج شده نام دارد. ماده‌ی شیمیایی دیگر موجود در خوراک که عاری از حل شونده می‌باشد و در بالای ستون قرارگرفته، فاز پس ماند نام می‌گیرد. جریان‌های پس ماند و استخراج شده قابلیت انحلال پذیری در یکدیگر را ندارند.



شکل ۱۶–۱: استخراج مایع - مایع

- **خواص یک حلال مناسب**

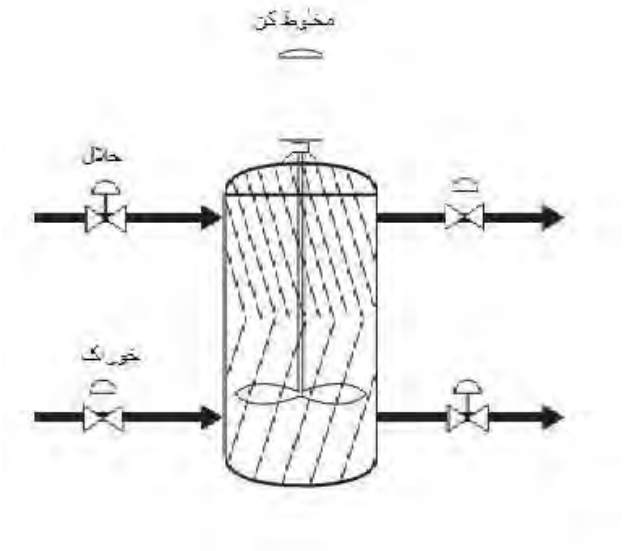
حلال باید قابلیت حل شدن در حل شونده را دا شته با شد، اما نباید ماده‌ای با شد که در پس ماند حل شده و یا وارد آن شود و آن را آلوده سازد. همچنین باید ماده‌ی نامحلولی با شد. چگالی حلال باید در مقابل چگالی پسماند به اندازه‌ی کافی متغیر باشد تا در اثر جاذبه‌صورت لایه ای قرار گیرند. حلال را باید بتوان به‌راحتی از حل شونده جدا کرد. باید ارزان قیمت و در دسترس بوده، خورنده و خطرناک هم نباشد.

- **تجهیزات**

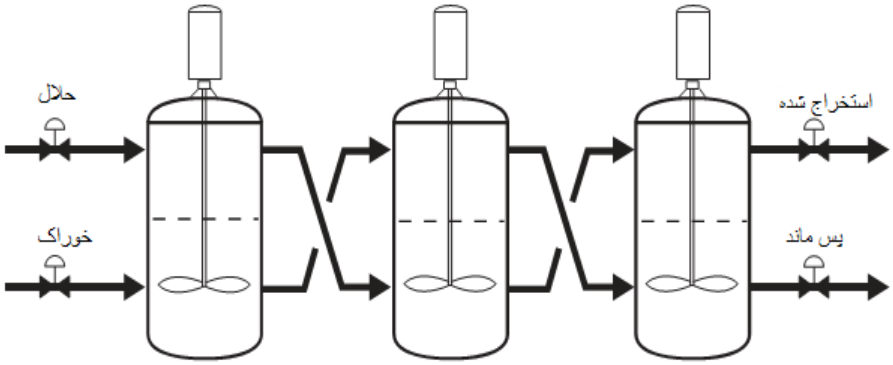
در ابتدا، ابزار موردنیاز برای این عملیات، باید حتما بتواند بین خوراک و حلال تماس ایجاد کند و جریان‌های ا ستخراج شده و پس ماند را از یکدیگر جدا سازد. ساده ترین و سیله‌ی ا ستخراج یک واحد بچ تک مرحله‌ای می‌باشـــد. در اینگونه عملیات خوراک و حلال به درون تانک و یا مخزنهای مشابه آن وارد می‌شوند. (شکل ۱۶—۲). آن‌ها توسط یک مخلوط‌کن موجود در تانک و یا همزن هم زده می‌شوند. بعد از اینکه مواد خوب با هم مخلوط شدند عمل مخلوط کردن متوقف شده و به آن‌ها فرصت جدا شدن فازها داده می‌شود تا فازهای استخراج شده و پسماند بتوانند جدا شوند.

اینگونه فرایند ها می‌توانند به فرایندهای متوالی تبدیل شوند و به و سیله افزودن مداوم خوراک و حلال و همچنین تداوم بازگشـت پسـماند و فاز اسـتخراج شـده نیز، کار کنند. یک فرایند موفق فرایندی اسـت که در آن باید در حین اینکه امکان تماس و یا اختلاط مواد فراهم می‌شـود، فضـای وسیعی برای جداسازی لایه‌های استخراج شده و پسماند وجود داشته باشد. بسیاری از راهکارهای جدید بر این مبنا ارائه می‌شوند.

ستونی که شرح داده شد یک و سیله‌ی تک مرحله‌ای برای ا ستخراج می‌با شد که جدا سازی مطلوبی را برایمان رقم نمیزند و فاز پســماند باید دوباره با مقدار بیشـــتری حلال برای حذف کامل حل شونده از آن، تماس داده شود.



شکل ۱۶–۲: برج استخراج



شکل ۱۶–۳: استخراج جریان متقابل

این مشکل نیاز به عملیات چندمرحله‌ای دارد. در ساده ترین حالت، می‌تواند شامل فقط یک سری واحدهای تک مرحله‌ای متوالی، متصل به یکدیگر همانند شکل ۱۶–۳ باشد. در این شکل ۳ واحد موردا ستفاده قرارگرفته ا ست اما ب ِسته به شرایط تعداد واحدها بی ِشتر هم می‌تواند با شد. با توجه به اینکه حلال و خوراک هردو از سمت چپ وارد سی ِستم شده و فازهای ا ستخراج شده و پسماند از سمت راست خارج می‌شوند، فاز پسماند هر واحد خوراک واحد دیگر و حلال هر واحد فاز

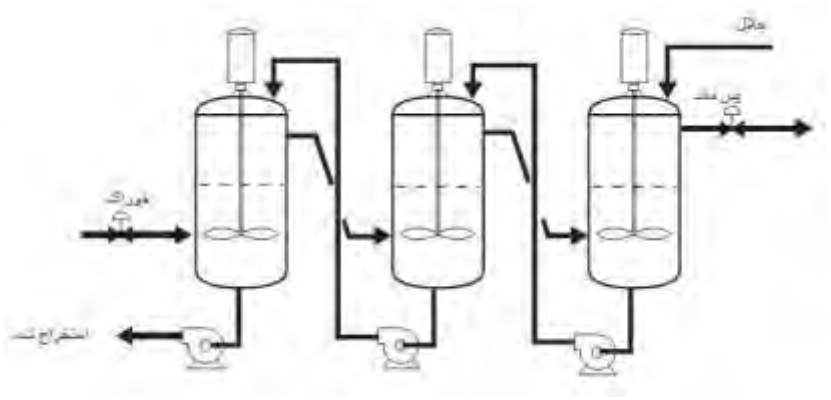
استخراج شده واحد بعدی می‌باشد. به چنین الگوهایی که در آن جریان‌ها در مسیر مشابه هستند، هم جهت یا متقارن گویند.

باید ذکر شـــود که کار چندین برج کنار هم به قصـــد انجام جداســـازی را یک برج به تنهایی باقابلیت اختلاط و بازیابی مواد کیفیت بالا، نیز می‌تواند انجام دهد. یک روش کارآمد تر اســـتفاده از یک جریان متقابل در هر مرحله اســـت، به‌گونه‌ای که حلال طی این زنجیره خلاف جهت خوراک وارد شود. همانند (شکل ۱۶–۴)

در اینگونه سیستم‌ها، خوراک در هر مرحله در تماس با حلال تازه‌ی مرحله‌ی بعد است که این امر موجب افزایش کیفیت عملیات می شود. اینگونه جریان‌های متقابل اغلب در تجهیزات تجاری به جهت افزایش راندمان و بهبود کیفیت عملیات استفاده می‌شوند.

۱۶–۱–۳– برج‌های استخراج

پیرامون بخش قبلی، دیدیم که برج‌های استخراج با کیفیت باید بر مبنای جریان‌های متقابل طراحی شوند؛ و به‌گونه‌ای باشند که هم‌زمان با اختلاط حلال و خوراک به فاز استخراج شده و پسماند هم اجازه‌ی اختلاط دهد.

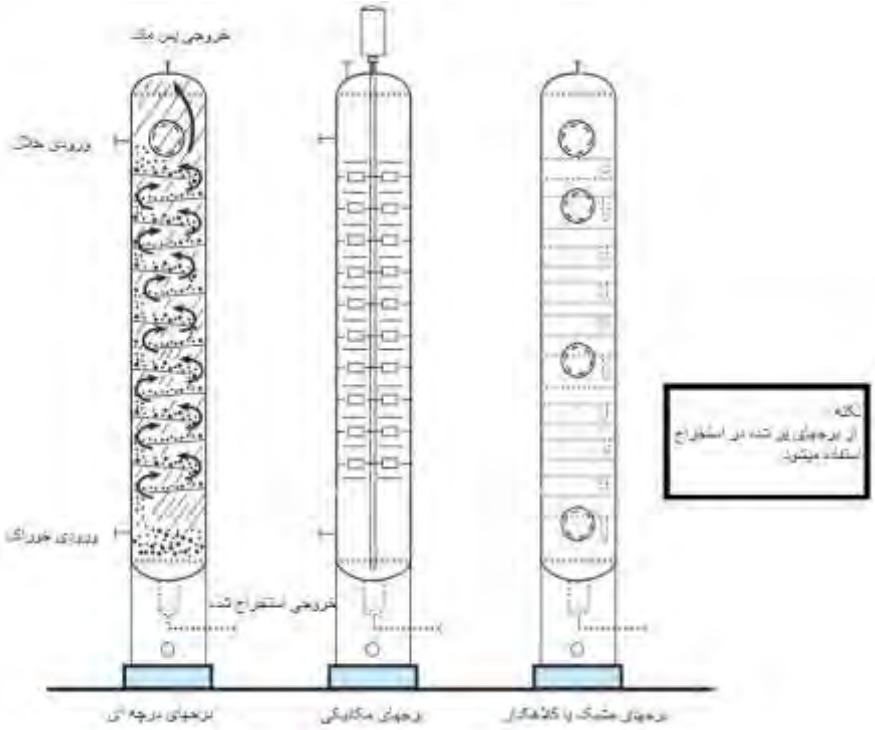


شکل ۱۶–۴: استخراج جریان متقابل

در اینجا ۳ نوع ســتون‌های اســتخراج که برای این هدف طراحی شـده‌اند را شـرح می دهیم:۱- ستون‌های پر شده ۲- ستون‌های سینی‌دار ۳- ستون‌های مکانیکی ستون‌های پر شده ساده ترین و متداول‌ترین نوع مورداستفاده در استخراج هستند. اساساً یک استوانه‌ی توخالی با پرکن‌های کوچک و نزدیک به هم پرشـــده‌اند. زمانی که جریان مایع وارد این ســـتون می‌شـــود، به شـــکل جریان‌های کوچک جدا شـــده و در میان پرکن‌های متراکم میپیچند. جریان‌های رو به بالا با جریان‌های رو به

پایین در گذرگاهها با هم مقابله می‌کنند که این امر موجب افزایش ســـطح تماس مؤثر بین آن‌ها می‌شود. انواع پرکن‌های رایج استفاده‌شده در این فرایند حلقوی و یا زینی هستند.

از برج‌های سینی‌دار نیز می‌توان در استخراج مایع - مایع استفاده کرد. طراحی سینی‌ها تقریبا همان‌گونه است که در عملیات تقطیر طراحی می شود. انواع سینی‌ها مانند (شکل ۱۶—۵) سینی های فنجانی، غربالی و دریچه‌ای هستند.



شکل ۱۶—۵: برج‌های استخراج

اصــول کلی عملیات همانند تقطیر اســت؛ مثلا در ســینی های غربالی به‌گونه‌ای اســت که یک جریان در تماس با سینی‌ها و جریان دیگر در میان حفره‌های سینی می‌باشد. این تماس زمانی رخ می‌دهد که قطره‌های کوچک و ریز جریان گذرا از میان جریان بالای سینی عبور می‌کنند.

سینی‌های فنجانی نیز باید بدینگونه عمل کنند. سینی های دریچه‌ای وسیله‌ای هستند که برای بهبود کیفیت اختلاط جریان‌های متقابل‌اســتفاده می‌شــوند و آن‌ها را تجزیه می‌کنند. ســینی‌های دریچه‌ای می‌توانند به صورت یک دیسک و یا سینی گرد و حلقه مانند یا سینی چرخشی باشند.

بطورواضح سطح تماس در این سینی ها کمتر از دو مورد بالایی است، اما بستن این نوع سینی ها ساده تر و نسبت به سینی های دریچه‌ای و غربالی کمتر مستعد مسدودشدن است.

در نهایت جدیدترین و کامل‌ترین ستون‌های استخراج آنهایی هستند که اختلاط مکانیکی دارند. این دستگاه‌ها دارای تعدادی استوانه متحرک به همراه چرخ‌های پره‌دار و یا نوعی از مخلوط‌کن‌های متصل به دیوارهای ستون هستند. اینگونه ستون‌ها معمولاً زمانی استفاده می شوند که جدا سازی مواد بسیار مشکل و نیازمند تجهیزات مدرنی باشد. دیگر تجیزات مکانیکی شامل دستگاههای التراسونیک (ارتعاش فراصوتی) برای ضربه های هوایی می‌باشد. اختلاط مواد با حضور این نوع دستگاه‌ها به مراتب بهتر می‌باشد.

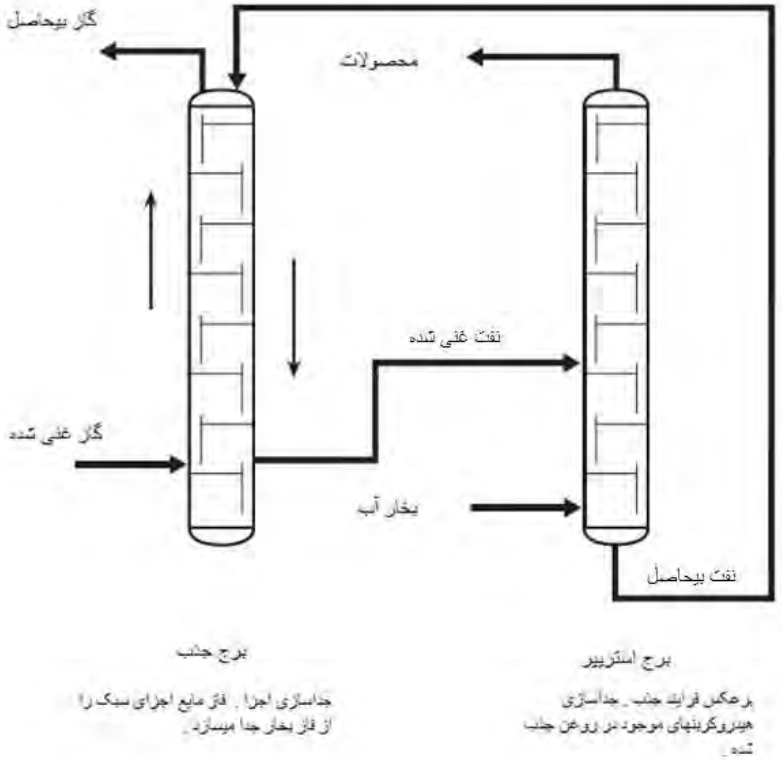
- **مراحل و قاعده کلی برج استخراج**

ناحیهٔ تماس بین فاز استخراج شده (فاز سنگین) و فاز پسماند (فاز سبک) را اینترفیس یا فصل مشترک می‌نامند. فاز جدا شده به‌عنوان حباب در میان برج استفاده می شود. خوراک بیشتر حلال بیشتری نیازدارد همچنین غلظت بالای حل شونده در خوراک نیز به حلال بیشتری نیاز دارد. محصولات بدست آمده نمایانگر آن است که آیا عملیات استخراج پایان یافته است یا خیر. دما درفرایند استخراج همانند تقطیر حائز اهمیت نیست اما در تقطیر بر روی چگالی، دمای جوش و حلالیت اثر می گذارد. تماس مطلوب بین خوراک و حلال به پراکندگی و جداسازی خوب درون ستون نیاز دارد.

۱۶–۲– ستون‌های جذب

ستون جذب وسیله‌ایست که توسط آن ذرات موردنظر از یک گاز توسط تماس با یک گاز یا مایعی دیگر جدا می شوند. جذب می‌تواند نوعی جدا سازی محسوب شود. جاذب گاز، یک صفحه یا یک ستون تقطیر پرشده است که تماس مطلوبی بین گاز طبیعی خام و محیط جذب ایجاد می‌کند. ستون‌های جذب متفاوت باسایر جداکننده ها کار می‌کنند، زیرا در طی انجام فرایند، بخار و مایع در دمای خاصی تبخیر نمی‌شوند. شکل ۱۶–۶ اصول کلی عمل جذب را نشان می‌دهد. تعویض محصولات در یک جهت انجام می‌گیرد، فاز بخار به فاز مایع. جذب مواد نفتی به‌تدریج و به سختی منجر به پنتان و متان و مابقی بخار خواهد شد. در یک ستون جذب، جریان گاز پایین ستون و جریان نفتی ناخالص از بالای ستون وارد می شود. زمانی که مواد نفتی ناخالص به سمت پایین برج حرکت می‌کنند عناصر توسط گاز غنی شده جذب می شوند. گاز غنی شدهٔ خام به سمت بالای

ســتون حرکت کرده و هیدروکربن‌های مشــخص را جذب می‌کند و در نهایت، گاز غیرمفید از بالای برج خارج می‌شود.



شکل ۱۶–۶: جذب و دفع

۱۶–۳– ستون‌های دفع

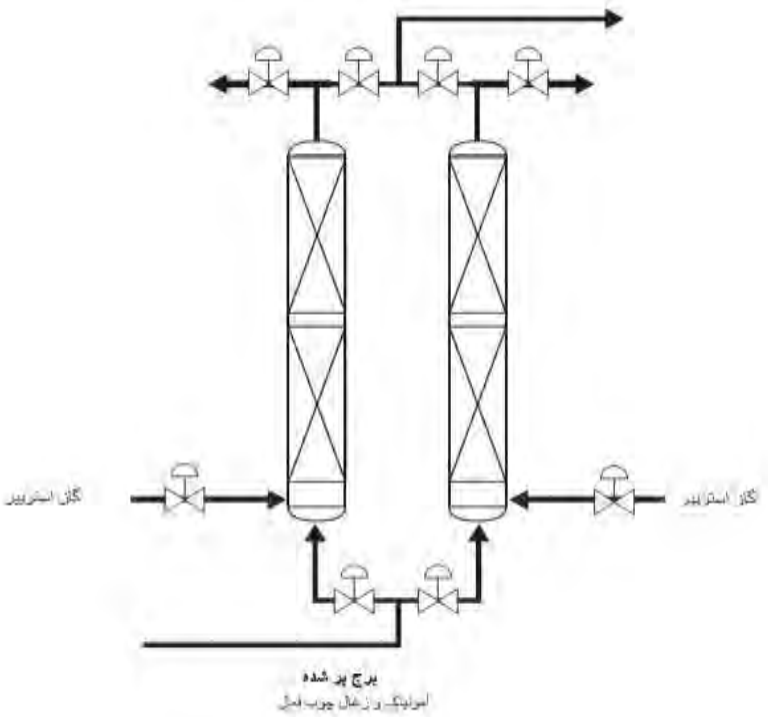
ستون‌های دفع معمولاً با ستون‌های جذب برای حذف هیدروکربن‌های مایع از مواد نفتی جذب شده مورداســتفاده قرار می‌گیرند. (همانند شــکل ۱۶–۶) از دید افرادی که در این زمینه اطلاعات کافی ندارند ستون‌های جذب و دفع یکسان هستند. زمانی که مواد نفتی غنی شده از پایین ستون جذب خارج می‌شوند، به بخش میانی یک ستون دفع وارد می‌شوند. شکل ۱۶–۶ نشان می‌دهد که جریان چگونه مستقیماً به پایین ستون دفع تزریق می‌شود تا عملیات جذب به‌صورت کامل و ۱۰۰٪ روی

آن انجام شود. زمانی که هیدروکربن‌ها از نفت جذب شده خارج شدند، آن‌ها به سمت بالای ستون حرکت می‌کنند و نفت غیر مفید توسط جریان برگشتی به برج بازگردانده می‌شود.

۱۶–۴– جذب سطحی

جذب سطحی فرایندی است که طی آن ناخالصی‌های جریانی از مواد طی تماس با سطح یک جامد جذب می‌شوند. باید خاطرنشان شد که جذب سطحی متفاوت از جذب بوده وبا هم به اشتباه گرفته نشود.

در طی فرایند جذب سطحی (شکل ۱۶–۶)، یک ستون پر شده با جامد متخلخل برای حذف گازها و یا مایعات از یک مخلوط طراحی می‌شود. درواقع این فرایند به‌طور موازی همراه فرایندهای دیگر انجام می‌شود. مواد جاذب سطحی می‌تواند موادی مانند آلومینای فعال یا زغال چوب (کربن فعال) و یا انواع دیگر باشند. مواد جاذب سطحی دارای خواص انتخابی هستند تا بتوانند ذرات مشخص‌شده را از مخلوط، هنگامی عبور از آن، جدا سازند.



شکل ۱۶–۷: فرایند جذب سطحی

از گاز دفع برای بیرون کشیدن اجزای دفعی ازروی سطح جاذب ها استفاده می‌کنند.

در طی فرایند جذب سطحی، مخلوط موردنظر برای جداسازی درون دستگاه در ابتدا از روی بستر ثابت (جاذب) عبور داده می‌شود. در پایان چرخه، جریان فرایند به دستگاه دوم فرستاده می‌شود. یک گاز دفع کننده به داخل دستگاه اولیه اضافه می‌شود. گاز دفع کننده برای حذف یا جداسازی مواد شیمیایی مشخص از جاذب، طراحی شده است. در انتهای چرخه گازدفع به ستون بازگردانده شده و فرایند دوباره تکرار می‌شود.

فرایند جذب سطحی به شکل‌های مختلف انجام می‌گیرد. تبادل یونی، غربال مولکولی، سیلیکاژل و کربن فعال همگی مثال‌هایی برای جذب سطحی هستند. این فرایندها، در ضمینه‌های مختلف، مانند نرم کردن آب و فیلتراسیون سیگار استفاده می شوند. ما به‌طور دقیق در دو مورد از فرایندها، تعویض یونی و غربال مولکولی بحث خواهیم کرد.

۱۶-۴-۱- تعویض یونی

رزین‌های تعویض یونی بسیار ریزند و ذرات مهره مانندی‌اند که دارای بارهای یونی بر روی سطح خود هستند. از درس شیمی به یاد دارید که یون‌ها، اتم‌هایی هستند که با گرفتن یا از دست دادن الکترون در بیرونی‌ترین لایه‌ی خود، به ذرات با بار مثبت یا منفی تبدیل می‌شوند. یون با بار مثبت را کاتیون می‌نامند زیرا توسط الکترودهای منفی یا کاتد در میدان مغناطیسی جذب می‌شوند. همچنین یون‌های با بار منفی را آنیون می‌نامند زیرا آن‌ها توسط الکترودهای مثبت یا آند در میدان مغناطیسی جذب می شوند. رزین‌های تعویض یونی اگر کاتیون را جابه‌جا کنند رزین‌های کاتیونی و اگر آنیون‌ها را جابه‌جا کنند رزین‌های آنیونی می‌نامند.

در یک فرایند تعویض یونی، جریان آلوده که به‌صورت یونیزه می‌باشد، از بستر رزین‌های تعویض یون عبور داده می شود. رفتار آب مثال خوبی بر این بحث است. آب سخت شامل نمک‌های فلزی نظیر کلسیم، منیزیم و آهن است. رزین‌های تصفیه‌ی آب یون‌های سدیم فعال در سطح خود دارند، این یون‌های سدیم جایگزین یون‌های سخت آب شده در نتیجه یون‌های سخت به بستر رزین متصل و روی آن باقی می‌مانند. بسته به اینکه چه نوع تبادل یونی مدنظر است، یک رزین تعویض یونی ممکن است یکی از انواع یون‌های فعال را در سطح خود داشته باشد. معمولاً یون‌های هیدروژن برای فرایندهای شیمیایی استفاده می شوند. پیداست که بعد از یک بازه‌ی زمانی تمامی یون‌های موجود در سطح رزین مبادله خواهند شد و تبادل بیشتری امکان‌پذیر نخواهد بود. در این زمان، بستر را بستر اشباع می‌گوییم و باید برای مصرف دوباره آن را احیا کنیم. احیا کردن به معنی ترمیم یون‌های اصلی در سطح بستر رزین می‌باشد. در مورد رزین‌های تصفیه آب، می‌توان بجای

تعویض یون‌های فلزی سخت با یون‌های سدیم جدید، بستر را با محلول سدیم کلرید غلیظ خیس کرد.

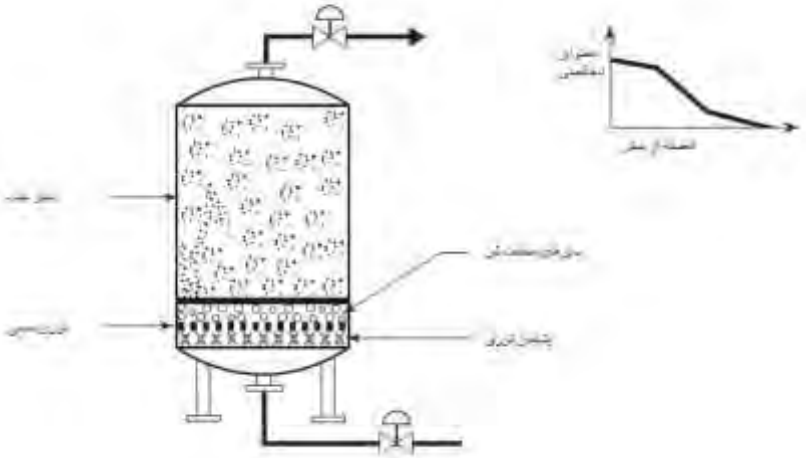
۱۶–۴–۲– غربال مولکولی

غربال مولکولی مثالی متفاوت از فرایند جذب سطحی است. غربال‌ها جامدات متخلخل و کوچک به همراه سوراخ‌های میکروسکوپی هستند. این سوراخ‌ها درواقع تقریباً به اندازه‌ی یک مولکول مخصوص هستند. سایز بعضی از این مولکول‌ها به اندازه‌ی این سوراخ‌ها هستند و از آن رد می‌شوند، اما بعضی دیگر به دلیل شکل و یا سایز بزرگ‌شان رد نمی شوند. یکی از موارد استفاده‌ی آن حذف اجزاء آبی از یک جریان شیمیایی آلی است، به‌گونه‌ای که مولکول‌های کوچک آب از این سوراخ‌ها رد شده، درحالی‌که که مولکول‌های آلی بزرگتر رد نمی‌شوند و باقی می‌مانند. در فرایندهای ایزوغربالی گازوییل هر دو نوع حلقه معمولی و مستقیم، پارافین و ایزوپارافین به همراه انشعاب حلقوی، غربال می‌شوند. پارافین‌های معمولی از سوراخ رد شده اما انشعابات مولکول‌های ایزو پارافین مانع عبور آن‌ها شده و بر روی سطح باقی می‌مانند. در این حالت، یک مخلوط از پارافین معمولی و ایزو پارافین از هم جدا می‌شوند. این جداسازی توسط هیچ نوع جداسازی دیگری امکان‌پذیر نیست زیرا خواص فیزیکی پارافین‌ها بسیار نزدیک و شبیه به هم هستند.

گاهی در رزین‌های تعویض یونی، به نقطه‌ای می‌رسیم که تمامی منافذ پر و بستر اشباع شده باشد. در این حالت باید حتماً احیا شود. احیا می‌تواند توسط مولکول‌های کوچک دیگری صورت گیرد.

۱۶–۴–۳– تجهیزات

تجهیزات فرایند جذب سطحی نسبتاً ساده هستند. این تجهیزات شامل یک تانک یا ستون به همراه یک بستر جذب سطحی که بر روی آن رزین‌های تعویض یون، غربال مولکولی و یا هر چیز دیگری قرارگرفته است، می‌باشد. (شکل ۱۶–۸) در بیشتر مواقع این تجهیزات بر روی بستر ثابت انجام می‌شود.



شکل ۱۶–۸: جذب سطحی بستر ثابت

بستر ثابت به این معنا ست که بستر در جایی که جریان آلوده از آن گذر می‌کند برپا می شود. در بعضی مواقع، بسترها تبدیل به مایع‌شده و از روی ستون جریان معکوس برای روان بودن جریان فرایند، گذرانده می‌شوند. در این‌گونه موارد، ذرات جاذب جدا شده، پس از ترک کردن ستون، دوباره احیا می‌شوند. ذرات احیا شده دوباره طی جریان برگشتی به سیستم باز می‌گردند.

جذب سطحی بستر ثابت از انواع دیگر متداول‌تر است و شامل انواع مکانیسم حمایت بستر برای نگه‌داشتن بستر در درون ستون می‌باشد. در این بستر ممکن است از انواع توری‌های مشی استفاده شود. در بعضی موارد هم از صفحات غربالگری با سایزهای مختلف شن و ماسه یا هر ذره‌ی جامد دیگری برای بالا بردن کیفیت جذب سطحی استفاده می شود. این نوع تجهیزات برای جلوگیری از خروج ذرات جاذب بسیار ریز به هنگام شستشوی بستر موردنیاز است. جریان فرایند معمولاً به یک پخش‌کننده و یا توزیع‌کننده داده می‌شود تا مطمئن شوند که توزیع به تمام سطوح بستر انجام می‌گیرد. جریان فرایند عبوری از دستگاه‌ها را معمولاً با یک صفحه‌ی توری می‌پوشانند تا مانع از دست دادن ذرات شود. روند جریان فرایند می‌تواند هم از بالا به پایین باشد و هم از پایین به بالا. حتی در موقع احیا نیز اتصالات بستر برقرار است.

در فرایند تعویض یونی، معمولاً دو نوع بستر ثابت وجود دارد. سیستم‌های تک بستری که تنها یک نوع یون، کاتیون یا آنیون را جدا می‌کند. سیستم‌های دوبستری که هر دو یون کاتیون و آنیون

را جدا می‌کنند. اینکه چه نوع بستری استفاده شود بستگی به نوع فرایند و کیفیت محصولات موردنظر دارد.

در سیستم دوبستری دو نوع تصفیه متفاوت وجود دارد. رزین‌های کاتیونی و آنیونی می‌توانند توسط لایه‌ها و یا ستون‌ها از هم جدا شوند. این می‌تواند معادل دو سیستم تک بستری باشد که به‌صورت سری قرار دارند. در دیگر تصفیه‌ها رزین‌های کاتیونی و آنیونی با هم در یک بستر مخلوط حضور دارند.

احیا بسترهای مخلوط مسیر پیچیده‌تری دارد زیرا دو رزین باید قبل از احیا از هم جدا شده و پس از احیا مجدداً باهم ترکیب شوند. معمولاً رزین‌ها به نسبت سایز و تفاوت چگالی قبل از احیا جدا می‌شوند.

یکی از آیتم‌های تجهیزات کمکی این است که معمولاً نیاز به فیلتر دارند. خوراکی که به‌عنوان ماده‌ی جاذب می‌باشد فیلتر می‌شود تا جامدات و مواد زائد که ممکن است بستر را آلوده کنند، حذف گردند.

عملیات جذب سطحی بسیار ساده و احتیاج به کمی توجه دارد. جریان فرایند فقط از درون بستر عبور می‌کند. اگر ما از جاهای مختلف درون بستر نمونه‌ای برداریم و میزان ناخالصی آن را اندازه‌گیری کنیم، در می‌یابیم که در هر جز از بستر، ناخالصی به همان اندازه ایست که در خوراک موجود است. بعد از ورود جریان به داخل بستر به نقطه‌ای خواهیم رسید که مقدار ناخالصی در فاصله‌ی نسبتاً کوتاهی از بستر بسیار شدید افت می‌کند. در پی این نکته، سطح ناخالصی به آهستگی تا حد صفر تقلیل می‌یابد. با گذشت زمان، کماکان همان خصوصیات در بستر وجود خواهید داشت، با این تفاوت که حذف ناخالصی‌ها در مسافتی دورتر از ابتدای بستر اتفاق می‌افتد. با گذشت زمان به نقطه‌ای می‌رسیم که حذف کامل ناخالصی زمانی اتفاق می‌افتد که جریان به انتهای بستر برسد و درنهایت، جریان نهایی نشان می‌دهد که میزان حذف ناخالصی بسیار جزئی صورت گرفته است با توجه به آنچه گفته شد، در این مرحله یعنی زمانی که حذف ناخالصی‌ها بسیار کم، غیرمنتظره و زمانی که جریان به خروج نزدیک می‌شود انجام شود در این زمان است که باید بستر را احیا نماییم.

عملیات احیا بستر بستگی به سیستم موردنظر دارد و به شکل‌های مختلف انجام می‌شود. اگر مدت‌زمانی که طول می‌کشد تا یک بستر اشباع شود نسبتاً کوتاه بوده و در مقایسه با مدت‌زمان موردنیاز برای احیا بستر به یک اندازه باشد معمولاً بسترهای متناوبی وجود دارد که خوراک آن تعویض شده است. در سایر موارد بستر ممکن است منتقل شود یا واحده مربوطه خاموش شود تا زمانی که احیا انجام شود.

احیا معمولاً در ۴ گام صورت می‌گیرد:

۱) در ابتدا، بعد از انتقال بستر، جریان فرایند از بستر تخلیه می شود و یا با مواد شیمیایی دیگر جابه‌جا می‌شود.

۲) گاهی بستر شستشو داده می‌شود یا سرازیر می‌شود تا ضایعاتی مانند آشغال‌ها، آلودگی‌ها و جامدات به‌خوبی از بین روند.

۳) گام احیا خود به‌تنهایی شامل غوطه‌وری رزین‌های تعویض یونی در آب یا پاکسازی غربال مولکولی است.

۴) سرانجام، بعد از احیا، بستر باید به عملیات بازگردانده شود. این مرحله شامل پاکسازی بستر از احیاکننده‌های شیمیایی و آماده‌سازی آن برای عملیات است. در بعضی مواقع، از مرحله‌ای به نام طبقه‌بندی بستر، استفاده می‌شود. در این مرحله تا حدودی فشرده کردن بستر و نرم کردن آن بسته به عملیاتی است که درون بستر جاری می‌باشد انجام می‌شود. هم‌زمان با آن، ذرات جاذب شکسته شده و مواد زائد از بستر شستشو می‌شوند.

۱۶-۴-۴- عملیات غیرعادی

به دلیل اینکه عملیات جذب سطحی بسیار ساده است، اشتباهات کمی در آن رخ می‌دهد. دو مشکلی که می‌توان ذکر نمود، ازهم‌پاشیدگی ذرات جاذب و گرفتگی منافذ بستر می‌تواند باشد. فاکتورهایی که می‌تواند باعث تخریب ذرات جاذب شود، تغییرات ناگهانی یا گسترده در دما یا حضور غیرقابل‌پیش‌بینی مواد شیمیایی است. شوک‌های مکانیکی نیز می‌توانند باعث تخریب شوند. زمانی که ذرات شکسته می‌شوند، بستر جمع‌تر و محکم شده و فشار افزایش می‌یابد. اتصال به هر منبع دیگر مانند ضایعات یا آلودگی‌ها یا پس‌ماندها نیز تأثیر مشابهی خواهد داشت. به همین دلیل، اندازه‌گیری افت فشار در طول بستر یک فاکتور مهم در تعیین وضعیت بستر می‌باشد. همچنین، آلودگی‌هایی مانند وجود مواد آلی در یک سیستمی که به‌منظور تصفیه آب طراحی شده، پناهگاه خوبی برای رزین‌های تعویض یونی هستند زیرا مولکول‌های مواد آلی نسبتاً بزرگ بوده و محافظ رزین‌های تعویض یونی خواهد بود. به همین دلیل، رزین‌ها برای اهداف خاصی مشخص‌شده‌اند و هر ماده‌ی بیگانه‌ای می‌تواند کاملاً فرایند را خنثی کند.

۱۶-۴-۵- خشک‌کردن

ارائه تعریفی درستی از خشک‌کردن که آن را از دیگر واحدهای عملیاتی مانند تبخیر، جدا سازد بسیار سخت است. معمولاً، حذف نسبی مقدار کمی آب یا مایعات دیگر از جامدات و یا گازها را خشک‌کردن می‌گویند. خشک‌کردن یک جامد معمولاً آخرین مرحله‌ی عملیات است و محصولات

حا صل از خ شک‌کردن معمولاً آمادهٔ انبار کردن و یا آمادهٔ حمل برای ر سیدن به د ست م شتری هستند.

مقدار رطوبت یک ماده‌ی خشک‌شده در انواع محصولات متفاوت است. به‌ندرت محصولی وجود دارد که هیچ رطوبتی ندا شته و کاملاً خ شک با شد. اغلب موارد، مح صولات مقداری رطوبت دارند. برای مثال نمودار نمک خ شک شده شامل ۰/۵ در صد رطوبت و یا زغال خ شک شده که دارای ۴ در صد رطوبت می‌با شد. رطوبت موجود در هوا در دماهای مختلف متفاوت ا ست. خ شک‌کردن یک اصـــطلاح نســـبی در یک فرایند بوده و معنی ســـاده آن کاهش رطوبت موجود در مواد از ابتدا تا انتهاست.

در بسیاری از عملیات، هوا باید قبل از استفاده‌ی مؤثر خشک شود. اگر هوا خشک نشده باشد، مقدار کم بخار آب موجود در آن می‌تواند منجر به تشکیل قطرات آب شده و باعث ایجاد مشکلاتی نظیر آلودگی و اختلال در عملکرد تجهیزات شود. در سایر موارد، مقدار کمی بخار آب در هوا یا گاز می‌تواند تجهیزات و یا موادی که با آن در تماس‌اند را آلوده سازد.

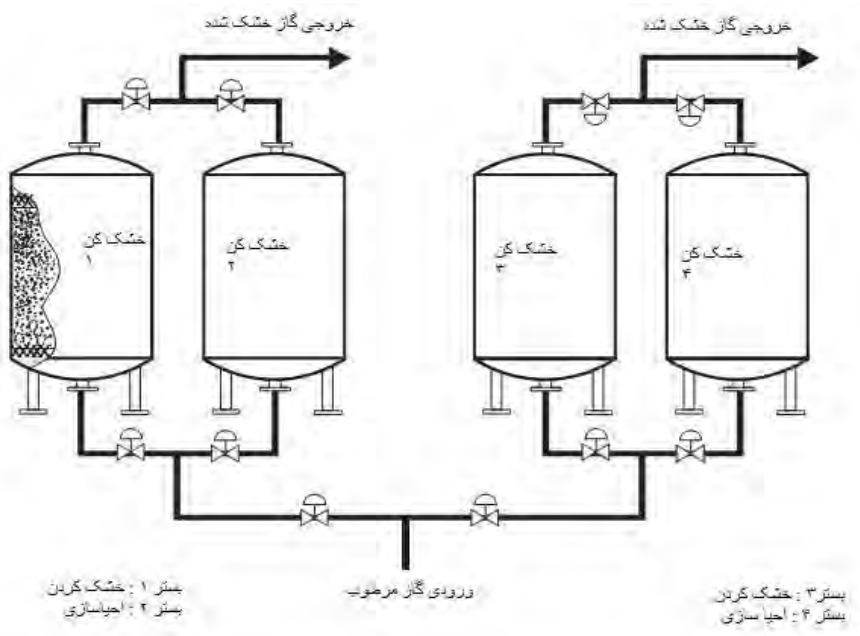
خشـــک‌کن گاز (منظور جامدی که توانایی جذب رطوبت از هوا یا گاز را دارد و آن را خشـــک می‌کند) از ابزارات جذب سـطحی اسـت که برای حذف بخار اسـتفاده می‌شـود. معنی واقعی جذب سـطحی، گرفتن و نگه‌داشـتن ذرات موجود روی سـطح جامد اسـت. در سـطح جامدات می‌تواند مولکول‌های مایع و گاز موجود با شند که برای جدا سازی آن‌ها نیاز به صرف انرژی داریم. جامدات مختلف، با توجه به انواع سـطوح صـاف، زبر، متخلخل و همچنین نوع مولکول، توانایی‌های مختلفی برای به دام انداختن مولکول‌ها دارند. از مثال‌های این پدیده، مه روی شـیشـه اتومبیل و یا شـبنم روی علف می‌باشد.

یک جامد برای جذب بخار در سـطح خود محدودیت دارد و این محدودیت مربوط به قسـمتی است که قطرات مایع تشکیل می‌شود، از طرفی این محدودیت تأثیرگذار است زیرا می‌توان به‌راحتی مواد ته‌نشـین شـده را خارج کرد، ضـمن اینکه به‌طورمعمول لایه‌های نازک مایعات توسـط بخار از سطح جدا می‌شوند. در یک جریان گاز جاری، قطرات کوچک خارج‌شده ممکن است دوباره به‌راحتی بازگردند که در این حالت حتی خشک‌کردن نیز تأثیر خاصی ندارد. زمانی که چنین وضعیتی ایجاد شود می‌گوییم سطح جاذب اشباع شده است که در آن حالت، فشار بخار روی سطح جاذب با فشار بخار جریان گاز برابر است.

در بعضی موارد، زمانی که یک جامد ا شباع شود، حذف و دور انداخته می شود و یا با یک جامد خشـــک تازه دیگر جابجا می‌شـــود. در موارد دیگر، بخار موجود در جامد معمولاً با حرارت حذف می‌شود، این روش احیا نام داشته و انتخاب آن بستگی به زمان و شرایط اقتصادی دارد.

مراحل احیا خشک‌کن گاز معمولاً شامل دو ستون (بستر) دارای دانه‌های ریز جامد، می‌باشد. (شکل ۱۶–۹) در ستون، جامد مخصوصی که توانایی جذب بالای بخار و ایجاد سهولت در احیا دارد، انتخاب می‌گردد. لوله‌ها و دریچه‌ها این بسترها را به‌گونه‌ای متصل می‌کنند که گاز خشک‌شده تنها در یک بستر وارد شود، جامدات در بستر دیگر از فرایند جدا شده و می‌توانند احیا شوند. زمانی که اولین بستر اشباع شد، با بستر احیا شده تعویض گشته و بستر اولی احیا می‌شود.

برای اینکه تعیین شود چه زمانی بستر به احیا نیاز دارد دو روش مورداستفاده قرار می‌گیرد. یک روش استفاده از چرخه‌ی زمان‌بندی دقیق و روش دیگر اندازه‌گیری رطوبت گاز خروجی است. زمانی که رطوبت به مقدار خاصی برسد هشدار داده می شود و یا به‌طور اتومات بسترها را تعویض می‌کند.



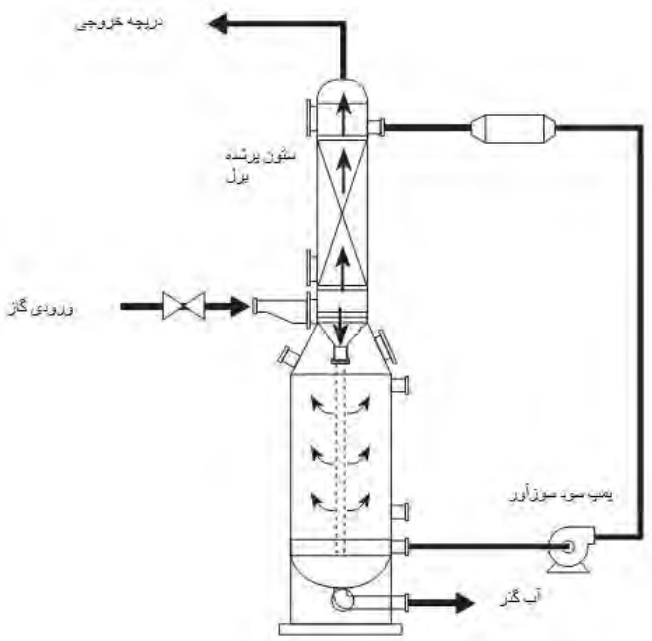
شکل ۱۶–۹: احیا و خشک‌کردن

احیا می‌تواند از روش‌های متعددی انجام شود. یک روش حرارت دادن بستر بیرونی و گذراندن یک گاز میان آن است. روش دیگر گذراندن یک گاز روی بستر درحالی‌که فشار آن کمترین مقدار ممکن است. در ابتدا، مایع روی سطح به دلیل اختلاف فشار بخار حذف شده و به درون جریان گاز

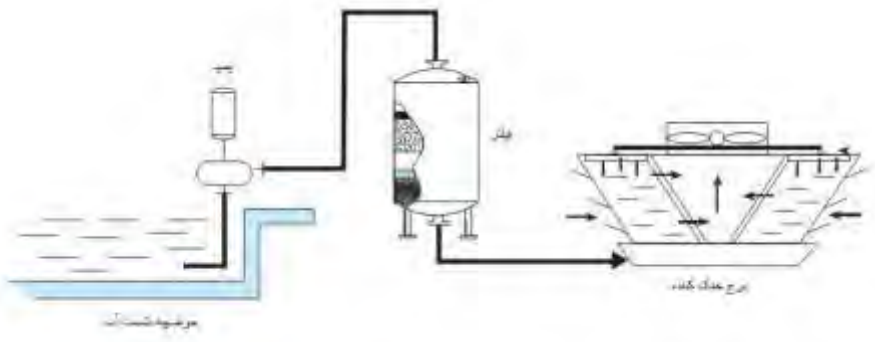
تبخیر می‌شود. احیای جامدات دریک خشک‌کن گاز می‌تواند مقدار کمی از عملیات خشک‌کردن ذرات محصولات شیمیایی را انجام دهد. در مورد محصولات نهایی، مقادیر بسیار وسیع‌اند به همین دلیل از تجهیزات خاصی استفاده می شود، اما قاعدهٔ کلی درواقع یکسان است. رطوبت جسم جامد تبخیر شده و توسط جریان گاز حمل می‌شود زیرا فشار بخار رطوبت جامد کمتر از جریان گاز است.

۱۶–۵– اسکرابر

اسکرابر وسیله‌ای است که برای حذف جامدات و مواد شیمیایی از فرایندهای گازی استفاده می‌شود. اسکرابرها وسیله‌ای استوانه‌ای هستند که می‌توانند با مواد پرکننده، پر شوند و یا خالی بمانند. (شکل ۱۶–۱۰) گازهای آلوده از پایین اسکرابر وارد شده و درون آن به سمت بالا حرکت می‌کنند. زمانی که این بخارات آلوده بالا می‌روند، با یک مایع شیمیایی شستشو دهنده روبرو می‌شوند که رو به پایین به آن‌ها پاشیده می‌شود. زمانی که بخارات و مایع به هم برخورد می‌کنند، محصولات نامطلوب موجود در جریان حذف می‌گردند. مواد آلوده‌ای که توسط مایع جذب شده‌اند به پایین اسکرابر سرازیر می‌شوند و به‌صورت مکانیکی حذف می‌گردند. گازهای تمیز به بالای اسکرابر می‌روند تا برای فرایند بعدی استفاده شوند.



شکل ۱۶–۱۰: اسکرابر



شکل ۱۱-۱۶: سیستم تصفیه آب

۱۶–۶– سیستم تصفیه آب

درگذشته، صنعت فرایندهای شیمیایی مقدار زیادی آب را برای کاربردهای صنعتی به‌وسیله پمپاژ کردن از درون زمین بیرون می‌کشید. این فرایند زمانی متوقف شد که آب اطراف حومه‌ی شهر را در برگرفت، به این پدیده نشست می‌گویند. صنعت فرایندهای شیمیایی امروزه از آب‌های سطحی برای مصارف صنعتی استفاده می‌کند. آب‌های سطحی نظیر، آب‌های موجود در برکه‌ها، رودخانه‌ها و اقیانوس‌ها قبل از استفاده باید تصفیه گردند. سیستم‌های تصفیه آب بدین منظور طراحی شده‌اند. (شکل ۱۶–۱۱)

زمانی که آب وارد دستگاه می‌شود در یک مخزن بزرگ ذخیره‌شده و ته‌نشین می‌شود. پمپ‌های بزرگ متوالی آب را از مخزن‌ها مکیده و به سمت فیلترهای متوالی برای خالص‌سازی بیشتر می‌فرستند. مقداری از این آب‌های فیلتر شده به بخش زدودن نمک و مواد معدنی آب، جهت تصفیه و حذف آلودگی‌های حل‌شده در آن فرستاده می‌شود.

۱۶–۷– تبلور

بعضی جامدات مانند شکر، نمک، شن و الماس کریستال هستند. آن‌ها می‌توانند از دیگر جامدات به دلیل داشتن چیدمان منظم در یک الگوی متقارن و مشخص که در شکل آن‌ها منعکس شده است، متمایز گردند. بعضی‌ها به شکل مکعب و بعضی دیگر مانند هرم هستند. در بیانی ساده‌تر، برخلاف دیگر مواد، تمام کریستال‌های یک ماده‌ی خاص دارای شکل یکسانی هستند. درواقع کریستال‌ها سازمان‌یافته‌ترین ماده‌ی غیرزنده هستند. تفاوت یک کریستال بزرگ و یک کریستال کوچک با مواد سازندهٔ یکسان فقط در اندازه آن‌هاست.

اینکه بعضی کریستال‌ها از بعضی دیگر که هر دو دارای مواد سازنده‌ی یکسان هستند، بزرگ‌تراند، پدیده رشد کریستال را نشان می‌دهد. مواد زنده مانند درخت با افزودن لایه‌های از واحد سازنده به ساختار درون خود رشد می‌کنند. در هر مرحله رشد، عضو جدیدی ظاهر شده و یا یک عضو بیرونی آن کلفتر می شود. اگرچه یک درخت می‌تواند همانند یک عضو باعث رشد یک برگ شود، اما تنها یک کریستال می‌تواند بزرگتر شود.

تبلور می‌تواند نقطه‌ی مقابل حل شوندگی باشد. زمانی که نمک وارد آب می شود درون آن حل می شود، کریستال نمک کوچک و کوچکتر شده تا اینکه ناپدید شود. در تبلور، ظاهراً تغییری رخ نمی‌دهد اما جامدات بزرگ و بزرگتر می‌شوند.

یک مادهٔ کریستالی، به‌طور نامحدود حل نخواهد شد. برای مثال نمک کاملاً در آب حل می‌شود اما فقط تا یک نقطه مشخص. اگر نمک به مقدار بیشتر از حد اضافه شود، سرانجام انحلال کریستال متوقف شده و آب از نمک اشباع می‌شود. مهم نیست چه مقدار نمک مجدداً اضافه شود زیرا بعد از مرحله‌ی اشباع شدن دیگر کریستال بیشتری در آب حل نخواهد شد. برای بیشتر حل شدن کریستال باید شرایط عوض شود. آب اشباع باید با اضافه کردن آب تازه و یا حرارت دادن، غیراشباع شود.

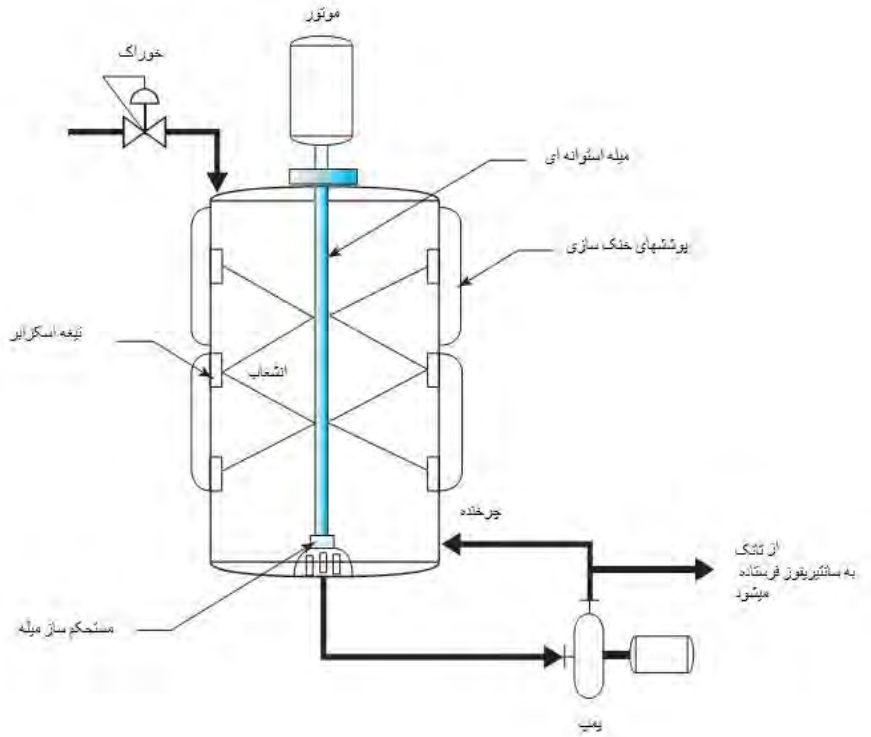
برعکس مراحل فوق برای یک محلول جهت انجام تبلور انجام می شود. مایع با تبخیر حذف شده و یا محلول سرد می‌شود. هر دو روش باعث می‌شود محلول فوق اشباع شده و کریستال شروع به رشد می‌کند.

رشد کریستال پدیده‌ی پیچیده ایست و بسیاری از عوامل بیرونی مانند دمای شروع عملیات، غلظت محلول در ابتدا، مقدار اختلاط یا عدم اختلاط، سرعت خنک شدن یا تبخیر، آلودگی و حضور کریستال‌های کوچک بر روی آن اثر می‌گذارند. فرایند کریستالیزاسیون می‌تواند ناپیوسته و یا پیوسته باشد. اندازه‌ی کریستال‌ها با اضافه کردن آب و یا حذف مقداری کریستال کوچک کنترل می‌شود.

تجهیزات مورداستفاده در فرایند تبلور، یک مخزن ساده برای چیدمان پمپ‌ها، همزن، کندانسور یا خنک‌کننده و تانک‌ها هستند. (شکل ۱۶–۱۲). هدف اولیه‌ی استفاده از این تجهیزات، کنترل شرایط عملیات در طی فرایند تبلور است.

در تبلور، جداسازی به دلیل تفاوت در سایز و نوع مولکول‌ها و اختلاف در نقطه انجماد، نقطه ذوب و حلالیت امکان‌پذیر است. در بیشتر موارد تبلور یا تفکیک کردن و یا هر دو مورداستفاده قرار می‌گیرد.

تولید پارازایلن[1] مثالی برای کاربرد فرایند تبلور اســـت. مواد اولیه مانند متازایلن، ارتوزایلن و پارازایلن به‌عنوان خوراک به ستون‌های متوالی وارد می شود. درون ستون‌ها چرخنده‌هایی هستند که مرتباً چرخانده می‌شـوند. چرخنده‌ها به بازوهای مکانیکی وصـل هسـتند. (شـکل ۱۶–۱۲). این بازوها به اطراف بخش متبلورکننده می‌رسند. در انتهای هر بازو پره‌ی خراشنده وجود دارد. زمانی که دما در کمترین مقدار باشـد، پارازایلن منجمد خواهد شـد. پارازایلن کریسـتال‌هایی را تشـکیل می‌دهد که به هم متصل می شوند و در اثر انجماد، اندازهٔ آن‌ها افزایش می‌یابد. متازایلن و ارتوزایلن دمای انجماد پایین‌تری دارند و در حالت مایع می‌مانند. پارازایلن روی دیواره های دســـتگاه متبلورکننده به ســـمت پایین ســـتون، جایی‌که پمپ آن را به درون تانک مکش می‌کند، ســـرازیر می‌شود.



شکل ۱۶–۱۲: فرایند کریستالیزاسیون پارازایلن

[1] paraxylene

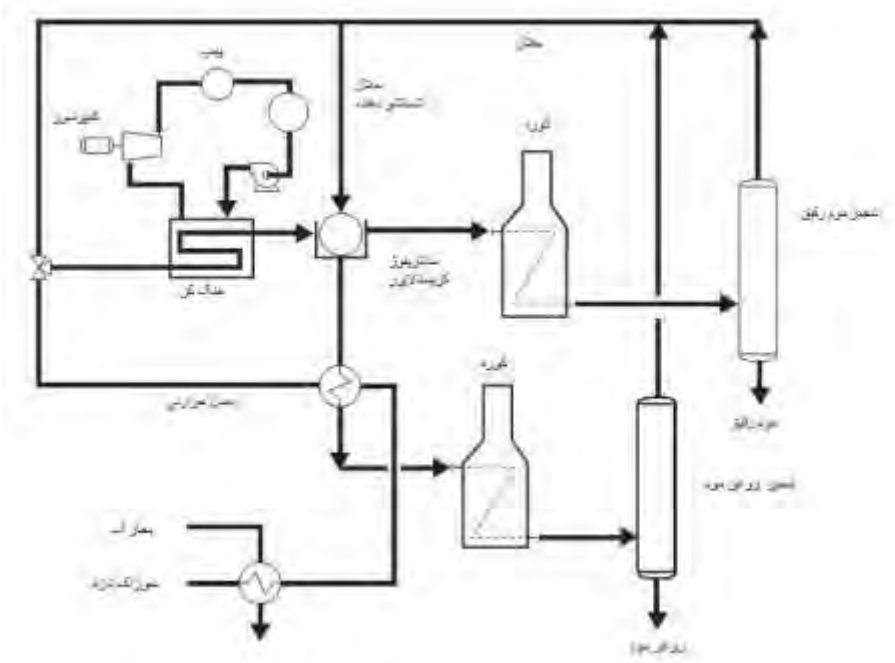
سپس از تانک به سانتریفوژها فرستاده می‌شود. سانتریفوژها پارازایلن را از مایع جدا کرده و آن را به تانک تصفیه می‌فرستند. فرایند تبلور عکس فرایند تقطیر است. در آن از سردسازی بجای حرارت دهی برای جداسازی بخش‌های مختلف استفاده می‌شود. شرایط اقتصادی تعیین می‌کند که از کدام روش حرارت و یا سردسازی استفاده شود.

سانتریفوژ بر اساس نیروی گریز از مرکز عمل می‌کند. سانتریفیوژ شامل یک محفظه است که حول محور مرکزی چرخانده می‌شود. مواد درون آن به دلیل اختلاف چگالی جدا می‌شوند. فرایند خنک‌سازی راحت‌تر محصولات را جدا می‌سازد زیرا آن‌ها با سرما چگالتر می‌گردند.

۱۶–۸– حلال از بین برنده‌ی موم (حلال موم زدا)

موم زدایی عبارت است از حذف موم از روغن‌های روان کننده. مقدار موم در تعیین ویسکوزیته روغن بسیار مهم است. در هوای سرد، روغن‌ها باید بتوانند توانایی روان و جاری بودن خود را حفظ کنند. روغن‌های روان کننده بر اساس مقدار موم به انواع مختلف طبقه‌بندی می‌شوند.

موم پارافین از هیدروکربن‌های پارافین تشکیل شده است. این هیدروکربن‌ها زمانی که روغن سرد است متبلور می‌شوند. سپس موم تشکیل شده و با استفاده از فیلتر موجود در تبلور جدا می‌شود. علاوه بر روش فیلتراسیون روش فیلتر فشرده نیز استفاده می‌شود. فیلترهای فشره از تعدادی فیلترهای پارچه‌ای تشکیل شده است که درنهایت با موم پر می شوند. سپس فیلترها تمیز می‌گردند. در فرایندهای پیشرفته، برای کاهش ویسکوزیته موم، مقداری حلال به روغن اضافه می‌شود تا عمل فیلتراسیون راحت‌تر انجام گیرد.



شکل ۱۶–۱۳: حلال موم زدا

به دلیل ویســکوزیته پایین، از فیلترهای دوار بجای فیلترهای منقطع اســتفاده می‌شــود. حلال می‌تواند با خوراک به‌قدری تنظیم شود که بیشترین بهره بری از فیلتراسیون صورت گیرد. تولوئن و متیل اتیل کتون دو حلالی ه ستند که موردا ستفاده قرار می‌گیرند (MEK)[1]. تولوئن این قابلیت را دارد که روغن را حل کند و در دمای سرد آن را روان نگه دارد. MEK به ساخت موم کمک می‌کند. فرایند مومزدایی به‌وسیله‌ی حلال ۳ مرحله دارد:

۱) روغن با حلال مخلوط شده و سرد می‌شود.
۲) روغن فیلتر شده و طی آن موم از آن جدا می‌شود.
۳) حلال احیا شــده و به جریان باز می‌شــود. شــکل ۱۶–۱۳ فرایند پیشــرفت نوعی حلال را نشان می‌دهد.

در مرحله ۱، حلال با روغن دارای موم مخلوط می‌شــود. مخلوط در ابتدا حرارت داده شــده تا از اختلاط کامل و حضور روغن در مخلوط اطمینان حاصل شود. سپس مخلوط در مبدل‌های حرارتی جداگانه، سرد می شود. اولین مبدل مخلوط را تا دمای ۲۰- درجه سانتی‌گراد خنک می سازد. این

[1] Methyl ethyl keytone

خنک‌سازی توسط مبدل دارای فیلتراسیون خنک‌کننده‌ی سانتریفوژی انجام می‌گیرد. سپس مخلوط به مخزن سردکن فرستاده می‌شود. سردکن از خنک‌کننده‌هایی مانند پروپان و آمونیاک برای خنک‌سازی استفاده می‌کند.

فیلتر ا ستفاده شده در مرحله ۲، ب شکه‌ای ا ست که از مش‌های فلزی زبر ساخته شده ا ست. مش‌ها توسط پارچه‌ها پوشیده می‌شوند. قسمت پایینی فیلتر در مخلوط موم و روغن قرار می‌گیرد. فیلترا سیون به‌آرامی انجام می‌شود. موم بر روی پارچه‌ها جمع می‌شود. برای جدا سازی روغن، یک د ستگاه مکش روغن و حلال را مکیده و به درون ب شکه‌ای می‌فر ستند. موم از روی سطح مش‌ها جمع شده سپس با حلال شستشو داده می‌شود تا روغن‌های باقیمانده نیز حذف شود. در مرحله‌ی بعد موم به‌و سیله‌ی خرا شیده شدن، جدا می شود؛ و به درون مبدل حرارتی می‌رود. حلال‌ها نیز از موم و روغن طی فرایند تقطیر جدا شده و احیا می‌گردند. درنهایت حلال‌ها از قسمت بالای تبخیرکننده موم به فرایند بازگردانده می‌شوند. موم رقیق و روغن‌های روان کننده نیز از قسمت پایین تبخیرکننده جهت ذخیره‌سازی فرستاده می‌شوند.

خلاصه

استخراج فرایندی است که طی آن دو ماده در حضور ماده‌ی سومی که تنها در یکی از آن‌ها حل می‌شود جدا می‌گردند. جذب سطحی فرایندی است که طی آن آلودگی موجود در یک جریان را با جذب آن بر روی سطح جامد حذف می‌کند. یک جذب‌کننده وسیله‌ای است پر از جامد متخلخل که برای خارج کردن گاز و مایعات از مخلوط طراحی شده است. جذب فرایندی است که برای حذف ذرات، از یک جریان گاز به‌وسیله‌ی تماس آن با یک گاز یا مایع استفاده می‌شود.

اسکرابر وسیله‌ای است که مواد شیمیایی و جامدات را از فرایندهای گازی جدا می‌سازد.

در تبلور، به دلیل تفاوت در سایز و نوع مولکول‌ها، جداسازی امکان‌پذیر است. این فرایند بستگی به تفاوت در نقاط انجماد، نقاط ذوب و حلالیت دارد. در اکثر مواقع فرایند تبلور و یا سانتریفوژ استفاده می‌شود. تبلور برعکس تقطیر است. از سرما بجای حرارت برای جداسازی بخش‌های مختلف استفاده می‌شود.

موم زدایی عبارتست از حذف موم از روغن‌های روان کننده. مقدار موم در تعیین ویسکوزیته روغن بسیار مهم است. در هوای سرد، روغن‌ها باید بتوانند توانایی روان و جاری بودن خود را حفظ کنند. روغن‌های روان کننده بر اساس مقدار موم به انواع مختلف طبقه‌بندی می‌شوند.

سؤالات مروری

۱) فرایند جذب سطحی را شرح دهید.
۲) فرایند احیا را شرح دهید.
۳) قاعده‌ی کلی جذب را شرح دهید.
۴) فرایند استخراج را شرح دهید.
۵) فرایند دفع را شرح دهید.
۶) ۳ روش اصلی استخراج چیست؟
۷) چگونگی عملکرد اسکرابر را شرح دهید.
۸) حلال موم زدا را تعریف کنید.
۹) قاعده کلی تصفیه آب را شرح دهید.
۱۰) تفاوت بین جذب و جذب سطحی چیست؟
۱۱) کدام‌یک سنگین‌تر است؟ فاز استخراج‌شده و یا فاز پسماند؟
۱۲) خواص حلال خوب چیست؟
۱۳) ستون استخراج مکانیکی مخلوط را توصیف کنید.
۱۴) سه نوع ستون استخراج را نام ببرید؟
۱۵) شرح دهید که استخراج و تقطیر چگونه با هم کار می‌کنند.
۱۶) لایه‌ی بیرونی به چه معناست؟
۱۷) سینی‌های برج استخراج چگونه عمل می‌کنند؟
۱۸) فرایند تبلور را شرح دهید.
۱۹) تبلور معمولاً برعکس کدام فرایند است؟
۲۰) تبلور پارازایلن چگونه عمل می‌کند؟

فصل هفدهم
سیستم‌های پلاستیک

اهداف

پس از مطالعه این بخش دانشجو باید بتواند:

- عملیات و تجهیزات دستگاهی یک پلاستیک معمولی را شرح دهد.
- مروری بر مخازن ذخیره‌سازی گرانول و خوراک سیستم داشته باشد.
- سیستم اختلاط گرانول را شرح دهد.
- بخش‌های مختلف دستگاه اکسترودر[1] را شرح دهد.
- سیستم خشک‌کن محصولات و ذخیره‌سازی آن‌ها را شرح دهد.

[1] Extruder

۱۷–۱– پلاستیک‌ها

ابزارهای ساخت پلا ستیک، از مواد شیمیایی مانند زغال سنگ، سنگ‌آهک، نفت خام، نمک و آب برای ساخت انواع پلا ستیک‌های سخت و نرم ا ستفاده می‌کنند. پلا ستیک نوعی ماده‌ی م صنوعی است که از مواد شیمیایی استخراج می‌شود و می‌تواند در انواع رنگ، مدل، شکل و سایزهای متفاوت یافت شود. کلمه‌ی پلا ستیک از کلمه‌ی یونانی پلا ستیکوز، به معنی شکل‌پذیر، نشأت گرفته ا ست. محصولات پلاستیکی به‌راحتی ساخته شده و دارای ماندگاری بالا، جذاب و نسبتاً سبک وزن هستند و می‌توان آن‌ها را به‌صورت زیر دسته بندی کرد:

- نخ و پارچه پلاستیکی – مورداستفاده در صنایع نساجی و لباس
- پلاستیک شفاف –تولید لنزهای نوری، ساعت‌های کریستالی و لنزهای طبی
- پلاستیک‌های زینتی – ساخت بدلیجات، وسایل بازی، تیله‌ها و دیوارپوش‌ها
- پلاستیک‌های مقاوم – پلاستیک‌های مقاوم در برابر گرما و مواد شیمیایی مانند لاستیک‌های خودرو
- پلاستیک‌های سخت – انواع کلاه ایمنی، ظروف غذاخوری، دوربین‌ها و ماشین‌های شستشو
- پلاستیک‌های نرم – وسایل بازی انعطاف‌پذیر، بطری‌های فشرده، کوسن‌ها.

۱۷–۱–۱– کاربردهای پزشکی

پلاستیک‌ها به دلیل اینکه به بدن انسان صدمه وارد نمی‌کنند و اسیدهای سیستم گوارشی بر روی آن‌ها اثری ندارند در پزشکی مورداستفاده قرار می‌گیرند. به همین دلیل رشته‌ی پزشکی، تکنولوژی ساخت پلاستیک‌ها را وارد مطالعات خود کرده است. پیچ و مهره و صفحه‌ها پلاستیکی برای استخوان‌بندی استفاده می‌شوند. نخ‌های عمل جراحی از تارهای پلاستیکی تشکیل شده‌اند. سرنگ‌های پلا ستیکی معمولی و شفاف ب سیار رایج ه ستند. روده م صنوعی نیز بجای بخ شی از دستگاه گوارش که از بین رفته است استفاده می‌شود. همچنین متخصصان پزشکی از پلاستیک‌های سبک برای ساخت اندام‌های مصنوعی استفاده می‌کنند.

۱۷–۱–۲– کار با پلاستیک

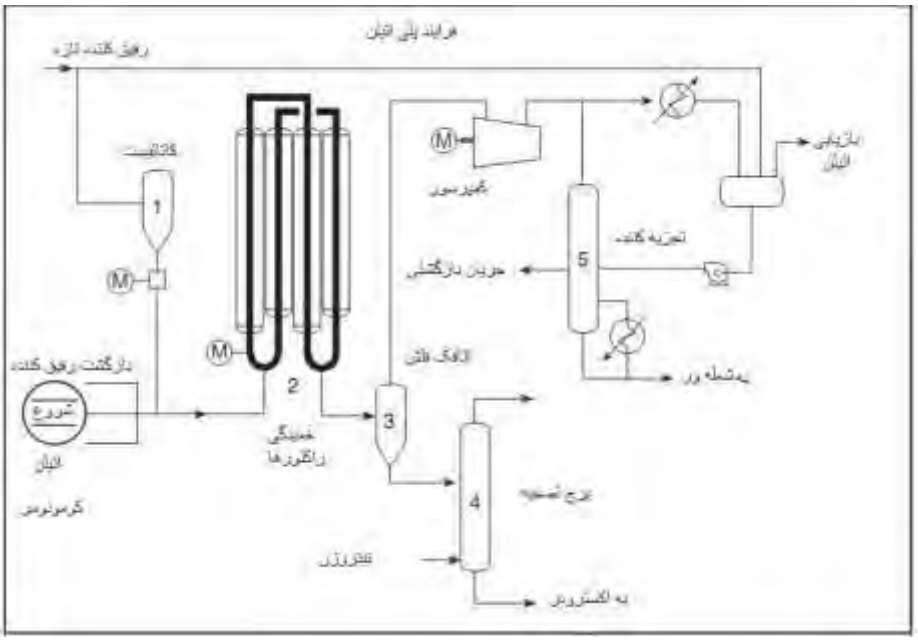
تولیدکنندگان صنعتی از رزین‌های پلا ستیکی در ساخت، رنگ، گریس، انواع چسب، پلا ستیک‌های سخت و نرم، نخ و پارچه‌های پلا ستیکی و مقاوم، و سایل تزئینی و پلا ستیک‌های شفاف ا ستفاده

می‌کنند. روش‌های مختلفی در این فرایند بکار می‌رود. در فرایند اکستروژن، رزین‌های جامد توسط پیچ و مهره‌ها و مبدل‌های حرارتی تحت‌فشار قرارگرفته و شکل اولیه خود را از دست می‌دهند و ذوب می شوند. (همانند استفاده از چسب‌های حرارتی). در مدلسازی، رزین‌های مذاب در یک قالب فشرده می‌شوند (مانند ساخت قالب کلوچه). در لمینت، ورقه‌های کاغذی و یا فویل‌های فلزی از میان غلتک عبور داده شده و با رزین‌های مذاب پو شش داده می شوند، این ورقه‌ها با یکدیگر پرس می‌شوند و موادی مانند مدارهای الکترونیکی (همانند درست کردن یک ساندویچ) تشکیل می‌دهند. در ریخته‌گری، رزین‌های مذاب درون قالب پر می شوند (همانند در ست کردن ژلاتین). در ساخت تقویم و کارت‌های بازی، رزین‌های مذاب با جداکردن ورقه‌های کاغذی یا پارچه‌ای از یکدیگر به‌عنوان پوشش محافظ مواد استفاده می‌شوند.

۱۷-۱-۳- کارخانجات پلاستیک

امروزه سازنده‌های پلاستیک نقش با ارزشی را در جامعه دارند. کارخانجات تولید پلی‌پروپیلن پلاستیک‌های موردنیاز بسیاری از مشتری‌ها را فراهم می‌سازند. این محصولات شامل پلاستیک‌های بسته‌بندی برای غذا و لباس، روکش مبل، فرش و پوشک‌های یک‌بارمصرف کودکان، انواع طناب، محصولات خانگی و ظروف غذا می شوند. کارخانجات پروپیلن از ۴ بخش عمده تشکیل شده است: بخش آزمایشگاه، بخش مکانیکی، بخش پلیمریزاسیون و بخش پایانی.

- **آزمایشگاه:** تکنسین آزمایشگاه باید عملیات ساده و گاهاً پیچیده‌ی متفاوتی در رابطه با کیفیت محصولات انجام دهد. اندازه مواد و تجهیزات آزمایشگاهی و تنوع خطوط تولید مساحت آزمایشگاه را تخمین می زند. متخصصان آزمایشگاه می‌توانند شیمیدان، کارشناس مواد شیمیایی، پژوهشگر شیمی، کارشناس کنترل کیفیت و یا اپراتور دستگاه‌های عملیاتی نیز نامیده شوند.
- **مکانیکی:** بخش مکانیکی، زمینه های الکتریکی، مکانیکی، ابزار ها و پشتیبانی از بخش‌های پایانی و پلیمریزاسیون را دربرمی‌گیرد.



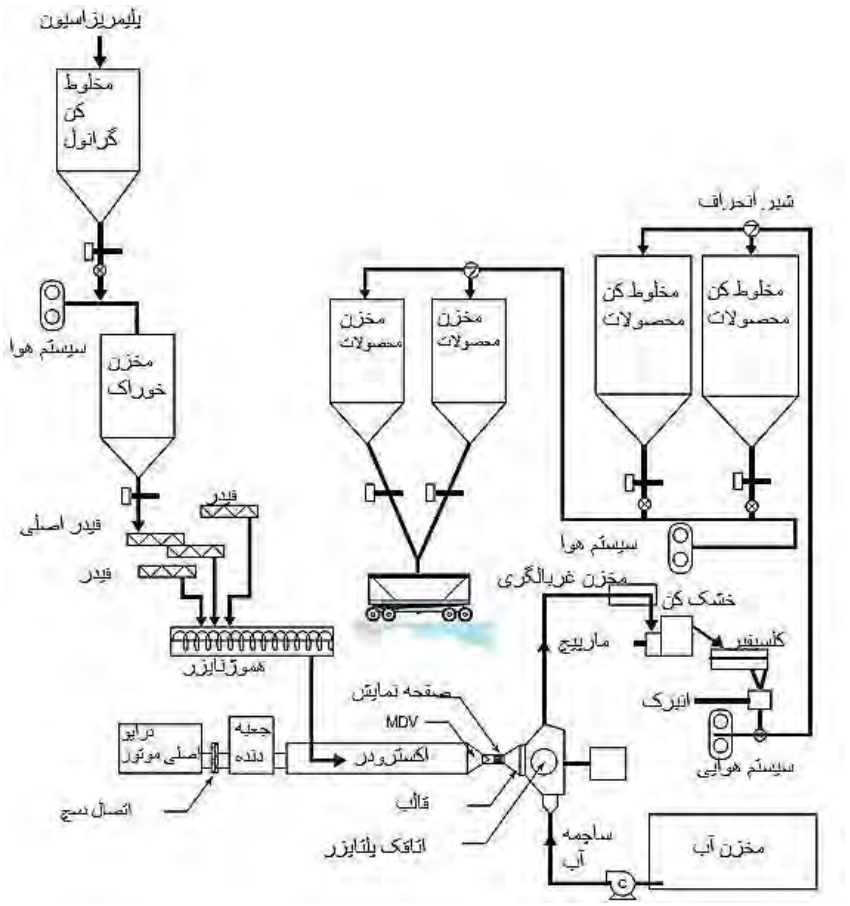
شکل ۱۷–۱: بخش پلی‌اتیلن

- **پلیمریزا سیون:** در فرایند پلیمریزاسیون از تکنولوژی پیشرفته‌ای برای ترکیب کردن مواد شیمیایی و رزین‌های پلاستیکی استفاده می‌کنند. مولکول‌های رزین‌های مصنوعی از زنجیره‌های طولانی تشکیل شده‌اند. هر قسمت از زنجیره یک مونومر نامیده می شود و مجموعه‌ای از زنجیره‌ها پلیمر را تشکیل می‌دهند.

  ساخت رزین‌های مصنوعی می‌تواند همانند ساختار پلیمری باشد. بخش پلیمریزا سیون به‌وسیلهٔ ترکیب ذرات شیمیایی پلیمر را می سازد. در طی ترکیب این ذرات، واکنش‌های مختلفی رخ می‌دهد. این واکنش‌ها اتم‌های مشخصی را در کنار هم جمع کرده و قسمت مونومر را تشکیل می‌دهد. این مونومرها با هم ترکیب شده و زنجیره‌ی مولکول‌ها را تشکیل می‌دهند. این فرایند پلیمریزا سیون نام دارد. شکل ۱۷–۱ تجهیزات اصلی که در یک واحد پلی‌اتیلن یافت می‌شود را نشان می‌دهد.
- **بخش پایانی:** کنترل محصولات نهایی مهم‌ترین قسمت بخش پایانی است (شکل ۱۷–۲). در این قسمت گرانول‌ها از بخش پلیمریزا سیون دریافت شده و توسط پیشرفته‌ترین تجهیزات اصلاح می‌شوند تا به محصولی مطابق با خواسته‌ی مشتری تبدیل گردند. با استفاده از روش های آماری مختلف و مدلسازی های کامپیوتری، در بخش نهایی

محصولات با کیفیت بالایی تولید می شود. تجهیزات پلا ستیک سازی دو نوع پلیمر تولید می‌کنند: گرانول‌ها (ذرات کوچکی که شـــبیه به دانه‌ی مواد شـــوینده هســـتند) و پلت‌ها (نازک، دایره‌ای، گاهی اوقات تخت یا صفحه‌ای شکل).

در بخش نهایی، گرانول‌ها به‌منظور حمل و یا ترکیب با مواد افزودنی و پراکســـید (برای کنترل دبی جریان) به جهت رفع نیازهای مشتریان ویژه، آماده می‌شوند. پلت ها دارای کیفیت بالا و خواص مورد نظر مشتری را دارا هستند.



شکل ۱۷–۲: بخش پایانی

۱۷–۲– ذخیره‌سازی گرانول و سیستم‌های خوراک

۱۷–۲–۱– مخلوط‌کن‌های گرانول

گرانول‌های پلی‌پروپیلن جامد که از بخش پلیمریزاسیون می‌رسد، درون مخلوط‌کن‌های گرانول ذخیره می‌شود. تست‌های آزمایشگاهی کیفیت محصولات را بررسی می‌کند. بیش از ۴۰۰۰۰۰ پوند مخزن برای پرکردن اکسترودر با گرانول اختصاص داده شده است. در طی عملیات اکسترودر، گرانول‌ها از مخلوط‌کن‌ها به مخزن (تانک خوراک) انتقال داده می‌شود. بخش پلیمریزاسیون نیز توانایی انتقال مستقیم گرانول‌ها به تانک خوراک را دارد.

۱۷–۲–۲– کنترل خوراک

در انتهای هر مخلوط‌کن یک استار فیدر[1] با سرعت متغیر وجود دارد. سرعت استار فیدر دبی جریان گرانول را کنترل می‌کند. یک موج‌شکن جریان گرانول‌ها را به‌وسیله‌ی هدایت مداوم نیتروژن به درون یک مخروط وارونه، کنترل می‌کند. این تجهیزات به‌منظور تداوم جریان گرانول که ممکن است توسط موج قطع شود، طراحی شده است. موج‌شکن به‌طور اتوماتیک زمانی که دریچه متحرک باز است، فعال می‌شود به‌محض باز شدن دریچه گرانول‌ها داخل استار فیدر ریخته می‌شوند. گرانول درون سیستم بدون تغییر فشار بر روی دیگر بخش‌های استار فیدر، به کمک دریچه حرکت می‌کند. از یک سیستم هوادهی برای انتقال گرانول‌ها از مخلوط‌کن‌هایی با ظرفیت ۴۰۰۰۰۰ پوند به تانک خوراک استفاده می شود. این سیستم از نیتروژن برای انتقال گرانول استفاده می‌کند. ازآنجایی‌که اکسیژن موجود در هوا باعث تخریب پلیمر می‌شود، به همین جهت از نیتروژن استفاده می‌شود. نیتروژن در بسیاری از فرایندها به‌عنوان جایگزین اکسیژن کاربرد دارد.

۱۷–۲–۳– مخزن خوراک

گرانول‌ها به تانک خوراک تعبیه‌شده در بالای برج انتقال داده می‌شوند (مطابق شکل ۱۷–۳). ظرفیت تانک خوراک می‌تواند بسته به سایز اکسترودرها بین ۱۰۰۰ پوند تا ۹۰۰۰۰ پوند متغیر باشد. جریان گرانول‌ها و یا پودر پلاستیک به‌طور پیوسته از انتهای تانک ادامه دارد. وزن خوراک دبی این جریان را کنترل می‌کند.

---

[1] Star feeder

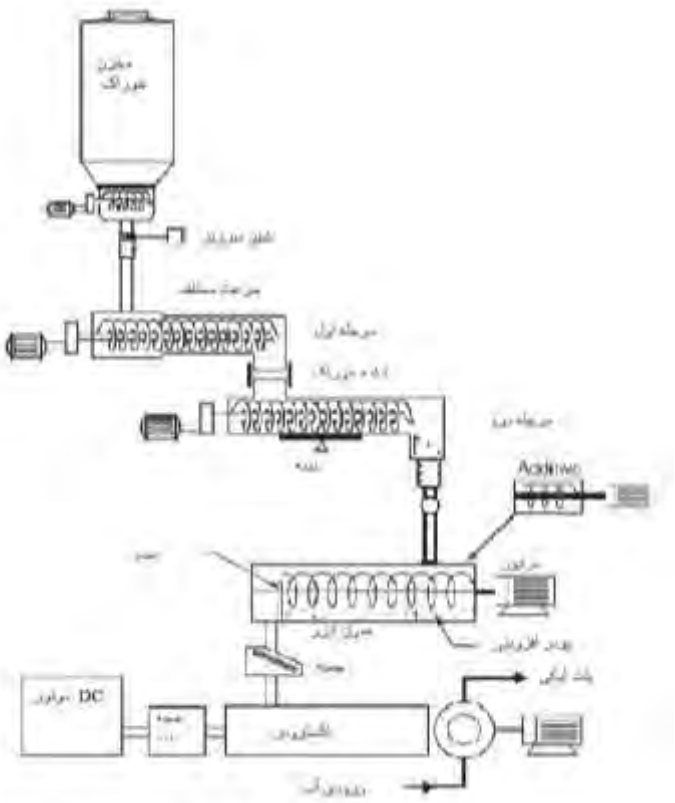
۱۷–۲–۴– اکسترودر مخزن خوراک

اکسترودر مخزن خوراک یک انبار ذخیره سازی موقت در بالای اکسترودر است. تمام گرانول‌ها از بخش پلیمریزاسیون ابتدا وارد اکسترودر موجود در این مخزن می‌شوند سپس از طریق سیستم‌های هوادهی به اکسترودر مخزن خوراک انتقال داده می شوند. نیتروژن و هوا گازهای رایج موردا ستفاده برای انتقال گرانول‌ها و یا پودر پلاستیک هستند. تست‌های آزمایشگاهی کیفیت محصولات را بررسی می‌کنند.

۱۷–۲–۵– ویفیدر (مخزن توزین نواری) اولیه

ویفیدر اولیه باعث انتقال گرانول‌ها از مخزن خوراک به بخش همگن‌سازی می‌شود. گرانول‌ها هم‌زمان با اجرای عملیات اکسترودر از مخزن خوراک خارج می شوند. سرعت حرکت جریان گرانول بسته به نوع و شکل برج و مسیر پیچ‌درپیچ آن متفاوت است. گرانول‌ها با توجه به میزان سرعتشان به مسیر تخلیه هدایت می‌شوند؛ که درنتیجه‌ی آن خوراکی با وزن ثابت خواهیم داشت. مقدار خوراک اصلی بسیار مهم است. ایستادن و یا تکیه دادن بر روی آن درجه‌بندی تجهیزات را بر هم می‌زند. حتی حضور گردوغبار خارجی نیز تعادل عملکرد ماشین آلات را برهم می‌زند.

در اثر افزایش فشار، جریان همگن‌سازی کم شده و ممکن است دبی جریان گرانول را کند، کند. گاهی اوقات در کنار مخزن خوراک لایه‌هایی از پودر ایجاد می‌شود. زمانی که این مواد وارد مخزن می‌شود، وزن خوراک دچار تغییر می‌شود، درواقع این فرایند به قدری ناگهانی اتفاق می‌افتد که سبب ایجاد تغییرات در خوراک می‌شود.



شکل ۱۷–۳: سیستم خوراک اصلی

۱۷–۳– سیستم‌های مخلوط‌کن

۱۷–۳–۱– مخلوط‌کن‌های نوار فلزی و افزایش وزن خوراک

مخلوط‌کننده‌های نوار فلزی برای اختلاط مواد افزودنی با گرانول جهت شکل‌دهی و تغلیظ و دسته بندی مواد اســـتفاده می‌شـــوند. اکثر مخلوط‌کن‌ها مقدار حجم ۵۰۰۰ پوند را مخلوط می‌کنند اما ظرفیت مخلوط‌کن نوار فلزی ۱۰۰۰۰ پوند است. بازو بسته شدن دریچه‌ها به‌صورت خودکار باعث می‌شـــود که افزودن مواد زمانی که حجم خوراک افزایش یافته اســـت، متوقف شـــده و باقی مواد افزودنی برای سایر مراحل همگن سازی استفاده می شود. یک دستگاه سنجش پراکسید، مخلوط پراکســـید موجود در قســـمت همگن‌ســـاز را برای کنترل MFR اندازه‌گیری می‌کند. خوراک‌های افزودنی خالص ترکیبی از یک hopper و یک خوراک هســـتند که به درون بخش همگن‌ســـاز تخلیه می‌شوند. این مراحل اختیاری است و بستگی به مشخصات محصول موردنظر مشتری دارد.

در سیستم دسته بندی پیشرفته، یک کنترل‌کننده‌ی مقدار گرانول، گرانول‌ها را در یک مخلوط‌کن کوچک جمع‌آوری می‌کند. افزودنی‌های مخصوص، ریخته شده و با گرانول به مدت ۲۰ دقیقه مخلوط می‌شود. مواد مخلوط شده، سپس به مخزن مواد افزاینده‌ی وزن خوراک اضافه شده و کنترل می‌شود. سپس از این مخزن، گرانول و مخلوط افزودنی وارد قسمت کنترل‌کننده‌ی مواد ورودی به همگن‌ساز می‌شود. این سیستم برای اضافه کردن افزودنی‌های خشک به گرانول کاربرد دارد. سیستم افزودنی‌های خشک، شامل دو بخش هستند: قسمت تک‌بخشی شامل فقط افزودنی خوراک و سیستم چندبخشی شامل (گرانول و افزودنی). قسمت تک‌بخشی افزودنی خوراک ظرفیت بالای ۲۴۵ پوند دارد. این بخش تک افزودنی خوراک برای اضافه کردن مواد افزودنی خالص به قسمت همگن سایز با یک سرعت از پیش تعیین‌شده استفاده می‌شود.

گرانول و یا پودر پلاستیک طی دو مرحله اصلی به قسمت همگن‌ساز خوراک‌دهی می‌شود. خوراک دهنده‌ی گرانول، گرانول را بین ۲۵۰۰۰ تا ۳۵۰۰۰ پوند در ساعت به درون آن تخلیه می‌کند.

۱۷-۳-۲- هموژنایزر[1] یا همگن‌ساز

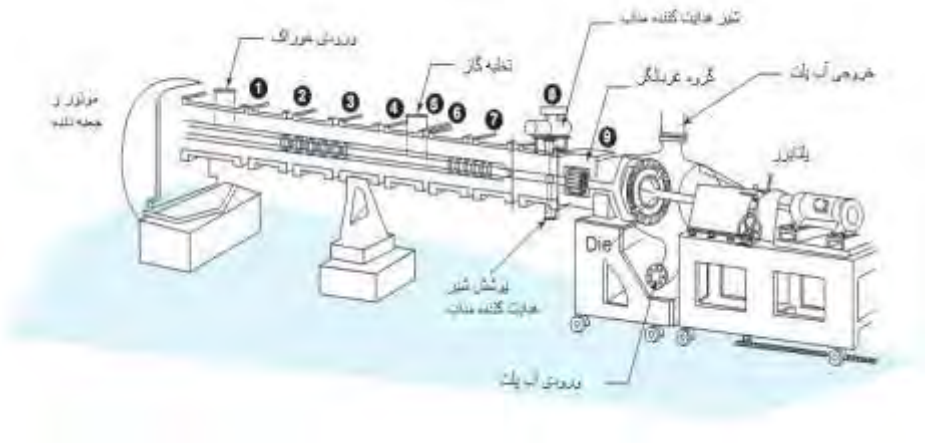
گرانول از مخزن توزین نواری (ویفیدر) وارد همگن‌ساز می‌شود. همچنین جریانی از مواد افزودنی که می‌تواند باعث تغییر ویژگی پروپلین وقتی‌که به صورت پلت در می آید شود، نیز به همگن ساز اضافه می شود. وظیفه‌ی قسمت همگن ساز اختلاط جریان‌های گرانول، پراکسید و مواد افزودنی با یکدیگر است. بخشی از فرایند همگن سازی به‌وسیله‌ی هم زدن توسط یک همزن مارپیچی بزرگ انجام می‌شود. قسمت تخلیه همگن‌ساز به یک سد که باعث ثابت نگه‌داشتن سطح به‌منظور اختلاط بهتر می‌شود مجهز شده است. از آنجایی‌که گرانول مخلوط شده به سرتاسر سد فشار می‌آورد، این فشار به داخل مخزن خوراک وارد می شود در نتیجه گرانول‌ها از بخش همگن ساز وارد اکسترودر می‌شوند. دسته‌ای از میله‌ها مانع ورود هرگونه توده و یا تیکه‌های فلزی به درون اکسترودر می‌شوند. هوا و نیتروژن به مواد موجود در مخزن خوراک تزریق می‌گردند. از نسبت گاز هوا به نیتروژن می‌توان برای کنترل جریان مذاب استفاده کرد. تزریق نیتروژن - هوا بر روی جریان مواد مذاب مرتب از پلیمرها تأثیر می‌گیرد. با افزایش هوا دبی جریان مذاب نیز به همان نسبت افزایش می‌یابد. افزایش نیتروژن باعث کاهش دبی جریان مذاب می‌شود. هوا و نیتروژن به مخزن خوراک، جایی‌که گرانول با افزودنی‌ها مخلوط شده وجود دارد، وارد شده و با آن‌ها مخلوط می‌شود. جریان هوا در ۳۰۰۰ (استاندارد فوت مکعب در هر ساعت) ثابت می‌باشد. یک سیستم توزیع‌کننده مقدار هوا و

[1] Homogenizer

نیتروژن ورودی را کنترل می‌کند. سیستم‌های تهویه گردوغبار و بخارات پراکسید را از همگن ساز دفع می‌کنند.

۱۷–۴– اکسترودر

هدف اکسترودر با توجه به شکل ۱۷–۴ مذاب کردن مخلوط گرانول، به‌سرعت خنک کردن آن و برش زدن آن به پلت هایی است که بتوانند راحت‌تر مورداستفاده قرارگیرند. ذوب گرانول مواد افزودنی را در پلی‌پروپیلن محبوس می کند. در فرم گرانولی، توزیع وزن مولکولی و تورم آن‌ها بسیار وسیع است. افزودنی‌های متفاوت مانند پراکسید، کمک می‌کند تا وسعت این محدوده کمی کاهش یابد. مشتری‌های صنعتی این‌گونه گرانول‌های خام را به دلیل خطرات انفجار پودر نمی‌پذیرند.



شکل ۱۷–۴: اکسترودر

اکسترودر موجود در این فصل یک ماشین ZSK-300 ساخته‌ی وارنر و فلایدرا از آلمان می‌باشد. (انواع دیگر اکسترودر شامل اگان، فرل و JSK. اکسترودر WP دارای طراحی دو مارپیچه (twin screws)) می‌باشد که از چندین پیچ و دیسک تشکیل شده است. اکسترودر دو مارپیچه قادر به چرخش ۱۴۶ یا ۱۷۲ RPM، بسته به نوع دنده‌ی انتخاب‌شده، می‌باشد.

اکسترودر توسط ۶۰۰۰ پنکه خنک‌کننده HP کار می‌کند و همچنین قدرت کارکرد از موتور به چرخ‌دنده‌ها طی چند مرحله انتقال می‌یابد. اکسترودر به‌وسیله‌ی یک موتور کمکی و دنده عملیات را آغاز می‌کند. موتور کمکی به‌آرامی چرخ‌دنده‌ی درون جعبه‌دنده را روشن می‌کند و دو مارپیچ به‌راحتی به درایو اصلی اجازه‌ی حرکت می‌دهند. زمانی که موتور اصلی آغاز بکار می‌کند، موتور

کمکی غیرفعال و خاموش می‌شود. اکسترودر در ابتدا توسط یک پنل کنترل محلی و سپس توسط کامپیوتر DCS در اتاق کنترل اکسترودر کنترل می‌شود.

دو پودر چسبنده بین جعبه‌دنده اصلی و مخزن اکسترودر تعبیه شده است. این چسب‌ها در بعضی مواقع چسب‌های مایع لوله‌ای هستند که برای جلوگیری از تراوش گرانول به بیرون از اکسترودر قسمتی که میله‌ها به پشت اکسترودر وارد می‌شوند، استفاده می‌گردند. این چسب‌ها در طی عملیات، دما را در حالت مینیمم ۳۴۰ درجه فارنهایت (۱۷۱ درجه سانتی‌گراد) نگه می‌دارند. این دمای ذوب بالای گرانول‌ها، چسب را اطراف میله‌ها شکل می‌دهد. دما بر روی ۶۰۰ پوند بخار نگه داشته می شود. نشت جزئی پلیمر امری طبیعی ست، درحالی‌که فشار بخار به‌گونه‌ای طراحی می‌شود که نشت چسب به حداقل برسد.

دو دریچه موازی و یک جهت با رشته‌های در هم گره‌خورده گرانول را اجباراً به سیلندر اکسترودر حمل می‌کنند. وقتی‌که این عمل انجام شد، سپس آن‌ها کاملاً در هم مخلوط شده و پلی‌پروپیلن و افزودنی‌ها ذوب می‌شوند. سیلندر ۱، بخش اول شکل ۱۷–۳ با توجه به سد پلیمر دارای خنک‌کننده کامل (بدون هیچ صفحه حرارتی) است. سیلندر ۲ از بین ۸، برای سهولت در ذوب پلیمر تحت حرارت الکتریکی قرار می‌گیرد. سیلندر ۲ از بین ۸، می‌تواند پس از شروع در صورت نیاز خنک شود.

۱۷–۴–۱– سیستم درایو اصلی

سیستم درایو اصلی در حال حاضر دارای hp ۶۰۰۰ موتور الکتریکی متناوب است. با باز کردن دریچه‌ها پلیمر را ذوب و به‌اجبار وارد اکسترودر می‌کند. انرژی مکانیکی حاصل از این حرکت در فرایند ذوب شرکت می‌کند. سیستم از موتور، سر پیچ دش[1]، پنکه خنک‌کننده و جعبه‌دنده تشکیل شده است.

موتور به سر پیچ دش که در تماس با جعبه‌دنده می‌باشد، متصل است و با یک سرعت ثابت می‌چرخد. (۱۱۸۰ RPM). سرعت موتور در بین جعبه‌دنده توسط یک میله‌ی استوانه‌ای خروجی که در میان دریچه‌ها است، بین ۱۴۶ یا ۱۷۲ RPM کاهش می‌یابد. درایو اصلی بین ۲۵۰۰ تا ۳۰۰۰ کیلووات اجرا می شود. سیستم خنک‌کننده‌ی درایو اصلی با برقرار کردن جریان هوا درون موتور، آن را خنک نگه می‌دارد. فن باید جریان مشخصی را برای نگهداری از اتصال اجزا، برقرار سازد. اتصال دش یک کلاچ بادی است که از جعبه‌دنده در مقابل خراب شدن محافظت می‌کند و دارای یک صفحه مانیتوری می‌باشد. نوسانات بیش‌ازحد معمولاً بیانگر نیروی پیچشی خیلی زیاد یا

[1] Desch

مقاومت بیش‌ازحد در جعبه‌دنده یا پیچ‌ها است. پمپ‌های گریس زنی، گریس لازم برای درایو اصلی در داخل و خارج محفظه را فراهم می‌سازند. سیستم کامل گریس شامل روغن شفاف، مخزن روغن، پمپ و فیلتر می‌باشد.

۱۷-۴-۲- سیستم موتور کمکی

درایو موتور کمکی، از طریق متصل‌کننده‌ها به درایو اصلی متصل است. درایو کمکی برای آرام کردن تلاطم پیچ‌ها و در پی آن پاکسازی لوله‌ها از هرگونه پلیمر باقی‌مانده در آن طراحی شده است. این پاکسازی ازاین‌جهت که لوله‌ها قبل از شروع درایو اصلی باید کاملاً خالی باشند، حائز اهمیت است. درایو کمکی شامل موتور (موتور الکتریکی جنرال ضد انفجار مدل (HP۱۰۰، ۴۶۰ V)، درایو متصل‌کننده و کاهش‌دهنده دنده می‌باشد.

- **جعبه‌دنده**

سیستم روغن گیربکس، یک نیروی تغذیه و حلقه‌ی بسته‌ای است که روغن را در لوله‌های منتهی به موتور و دندانه‌های هدایت می‌کند. سیستم روغن گیربکس، جعبه‌دنده‌ی اکسترودر را خنک و چرب نگه می‌دارد تا از صدمات احتمالی دنده جلوگیری کند. پمپ گیربکس مدل hp۲۵ ۱۷۵۰ RPM در کنار موتور کمکی که بخشی از آن در تماس با گیربکس اکسترودر بوده، نصب‌شده است. فشار اجرایی نرمال برای گیربکس بین ۹۰ تا بیشینه ۱۵۰ psig می‌باشد. پمپ روغن را در میان فیلترها به گردش در می‌آورد. (نرمال GPM۱۲۰ ، بیشینه ۱۳۱ GPM). بعد از فیلتر شدن، روغن به درون خنک‌کننده روغن جریان می‌یابد. روغن از طریق مبدل‌ها به گیربکس انتقال می‌یابد. مخزن روغن ظرفیت نگهداری ۵۵۰ گالن روغن را دارد که توسط جریان گرانش از گیربکس به مخزن روغن باز می‌شود. دمای روغن باید بین حداقل ۹۰ تا حداکثر ۱۵۰ درجه فارنهایت تنظیم شود. اگر دما به بیش از ۱۵۸ فارنهایت برسد اکسترودر خاموش می‌شود. نقطه‌ی دمایی تنظیم‌شده بر روی DCS از سرد شدن روغن جلوگیری می‌کند. اگر دمای روغن از این نقطه پایین‌تر رود، DCS هیتر روغن را روشن خواهد کرد. بعلاوه اگر از این نقطه بالاتر رود به‌طور خودکار هیتر را خاموش می‌کند.

- **پیچ‌مهره**

بررسی دقیق دوپیچ موازی طراحی پیچیدهٔ آن را نشان می‌دهد. هر پیچ جداگانه در یک راستا و توسط لوله‌های فلزی طراحی شده و اکثراً برای عملیات اولیه آماده می‌شود. مخزن‌های ۱و ۲ بخش خوراک‌دهی و نقل‌وانتقال هستند. مخزن‌های ۳ و ۴ برای خمیر سازی و ذوب مواد طراحی شده‌اند. بیشتر اختلاط ها و تفکیک ها در این بخش اتفاق می‌افتد. مخزن ۵ تهویه یا بخش گاز زدایی

می‌باشد. در ۹۹ درصد مواقع بخش تهویه محسوب می‌شود. مخازن ۶ و ۷ و ۸ بخش پمپاژ هستند که پلیمر را به‌منظور قالب گرفتن به منطقه‌ی بخار گرم می‌فرستند. هر یک از این بخش‌ها برای انجام عملیات خاصی طراحی شده‌اند.

- **مخزن پیچ**

مخزن پیچ از چندین بخش که در کنار هم و با فا صله تو سط صفحات محافظ که بر روی یک پایه استوار هستند تشکیل شده است. این بخش‌ها توسط صفحات حرارتی که بر روی مخزن تعبیه شده است، حرارت دیده و یا به‌وسیله‌ی آبی که به داخل لوله‌های مخزن فرستاده می‌شود سرد می‌شوند. قسمت‌هایی که از این مخزن پیروی می‌کنند، تحت ۶۰۰ پوند بخار گرم قرار می‌گیرند.

- **دریچه گلوگاه (نقطه‌ی ۸)**

دریچه (پروانه) گلوگاه برای ایجاد فشار برگشتی برای اختلاط بهتر در مخزن استفاده می‌شود. برای جلوگیری از یخ بستن سوراخ‌ها و شکستن بیشتر پلیمرها کاربرد دارد.

- **بخش دریچه انتقال مواد مذاب (نقطه‌ی ۸)**

قسمت بعدی بخش بخار گرم می‌باشد که به دریچه‌ی انتقال مجهز است. دریچه‌ای که بخار را در ابتدا به درون صفحه کوچکی می‌فرستد. سپس موقعیت دریچه عوض می‌شود و پلیمر به بخش بالای اکسترودر فرستاده‌شده و قالب‌گیری می‌شود.

- **بخش صافی یا فیلتراسیون (نقطه‌ی ۹)**

مواد مذاب به بخش فیلتراسیون (نقطه‌ی ۹) که متشکل از ۲۷ فیلتر در یک سیلندر استیلی بزرگ است انتقال داده می‌شوند. صفحات فیلتر هرگونه ذرات زائد و یا مواد خارجی را از جریان پلیمر خارج می‌کنند.

- **بخش قالب‌سازی (نقطه‌ی ۱۰)**

در بخش قالب‌سازی جریان پلیمر از هم جدا شده و به هر یک از قالب‌ها انتقال می‌یابد.

– **قالب**

قالب (شکل ۱۷–۵)، یک صفحه فلزی با ۹۸۶ سوراخ در درون خود، بخش بعدی و آخرین بخش اکسترودر را تشکیل می‌دهد. فشار پیچ‌ها و جعبه‌دنده مواد مذاب را به درون قالب هدایت می‌کند.

شکل ۱۷–۵: قالب

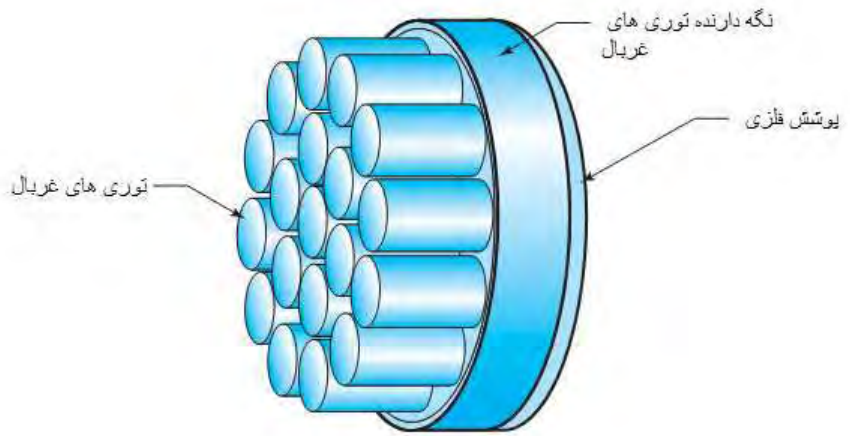
۱۷–۴–۳– سیستم شیرهای توپی انتقال مواد مذاب

هدف از دریچه‌های انتقال مواد مذاب، (MDV) هدایت پلیمر مذاب به درون قالب‌ها در حین، ابتدا و انتهای عملیات است. شیرهای انتقال دو وضعیت دارند: قطره‌ای و تدریجی. زمانی که عملیات در وضعیت نرمال خود سپری می‌شود، دریچه‌ها در حالت تخلیه‌ی تدریجی قرار می‌گیرد. در زمان تخلیه و اتمام سیکل MDV در حالت قطره‌ای قرار می‌گیرد.

نیروی محرکه لازم برای شروع فرایند، موتور هیدرولیکی و پمپ که باعث چرخش میله می‌شود می‌باشد. میله‌ی چرخنده، شیر توپی یا گرد را در بخش ۸ اکسترودر باز می‌کند. جریان پلیمر ابتدا در کف مخزن می‌باشد، پس از ایجاد جریان،MDV پلیمرها را به سمت قالب‌ها هدایت می‌کند.

– **الک کردن یا غربالگری**

هدف از غربالگری (مانند شکل ۱۷–۶)، جداکردن هرگونه آلودگی، ذرات و مواد زائد از پلیمر قبل از ورود به قالب‌های اکسترودر می‌باشد. قسمت قابل تعویض غربال‌گری یک صفحهٔ لغزنده شفاف با دو سوراخ روی آن است. سوراخ‌ها دقیقاً اندازه‌ی قطر صفحات غربال‌گری ایجاد شده‌اند این سوراخ‌ها جهت غربال‌گری اولیه و ثانویه در وضعیت مناسبی قرار دارند.



شکل ۱۷–۶: صفحات غربالگری

صفحات لغزنده در دو موقعیت قرار دارند: سوراخ اول در داخل منفذ اکسترودر و دومی کاملاً در بیرون آن است. زمانی که مجدداً بارگذاری می‌شود در وضعیت غیرفعال قرار دارد اما آمادهٔ جابجایی با صفحات غربالگری اولیه و فعال می‌باشد.

۱۷–۴–۴– سیستم گرمایش و سرمایش مخزن

هدف از سیستم مخزن حرارتی الکتریکی، ذوب گرانول‌های پلیمر است. حرارت تولیدشده از اصطکاک مارپیچ‌های اکسترودر و قالب‌های گرانول بسیار بیشتر از مقدار موردنیاز برای ذوب پلیمر است و بستگی به درجه‌ی آن دارد.

بشکه‌های ۲ تا ۸ هر کدام مجهز به صفحه‌های حرارتی الکتریکی می‌باشند. نقطه‌ی تنظیم برای هر مخزن برحسب درجه هر محصول مشخص شده است. زمانی که اکسترودرها خراب می شوند، تمامی هیترها توسط یک سیستم تنظیم‌کننده کنترل می‌گردند.

سیستم مخزن خنک‌کننده حرارت را جذب می‌کند، بنابراین دمای ذوب توسط مخازن ۱،۴،۵،۶،۷ و ۸ اکسترودر کنترل می شود. مخزن ۱ به سرما احتیاج دارد لذا گرانول زودتر از موعد ذوب نمی‌شود. چسب‌های روی صفحات غربال‌گری در بخش ۹ باید سرد باشد تا از نشت بخش‌های قابل تعویض در صفحات غربال‌گری جلوگیری کنند. از یک ظرف استوانه‌ای حاوی مایعات مقطر به‌عنوان یک خنک‌کننده نسبی استفاده می شود. یک پمپ، این مایعات مقطر را به صورت مارپیچ دورتادور پوشش مخزن وارد می‌کند. یک مبدل حرارتی آب را در مسیر روی مخزن خنک می‌سازد.

جریان‌ها به‌وسیله‌ی برج خنک‌کننده سرمای متوسطی را ایجاد می‌کنند. ترموکوپل‌ها همانند سنسور دما برای تمام فضا عمل کرده، بنابراین گرما و سرما بدین‌وسیله تنظیم می‌شود.

پمپ مایعات مقطر، مایعات مقطر را از اســـتوانه‌ی حاوی این مواد خارج کرده و آن را به درون دریچه خنک‌کننده‌ی آب می‌فر ستد. زمانی که اک ستر ودر در حال انجام عملیات ا ست، پمپ به‌طور مداوم کار می‌کند. بخار از دریچه‌ی برگ شتی به داخل ا ستوانه‌ی حاوی مواد مقطر، میعان می شود. انحراف بخشی از جریان به سمت یک مبدل حرارتی باعث کنترل دمای آب در دریچه می‌شود. یک کنترل‌کننده‌ی مو ضعی، دمای آب خنک را کنترل می‌کند. اگر ترموکوپل اح ساس کند که سرمای بیشتری در دریچه موردنیاز ا ست، کنترل‌کننده از هدایت جریان به سمت دریچه جلوگیری می‌کند و نهایتاً یک جریان نسبتاً خوبی را به سمت مبدل هدایت می‌کند.

۱۷–۴–۵– سیستم پلتایزر[1]

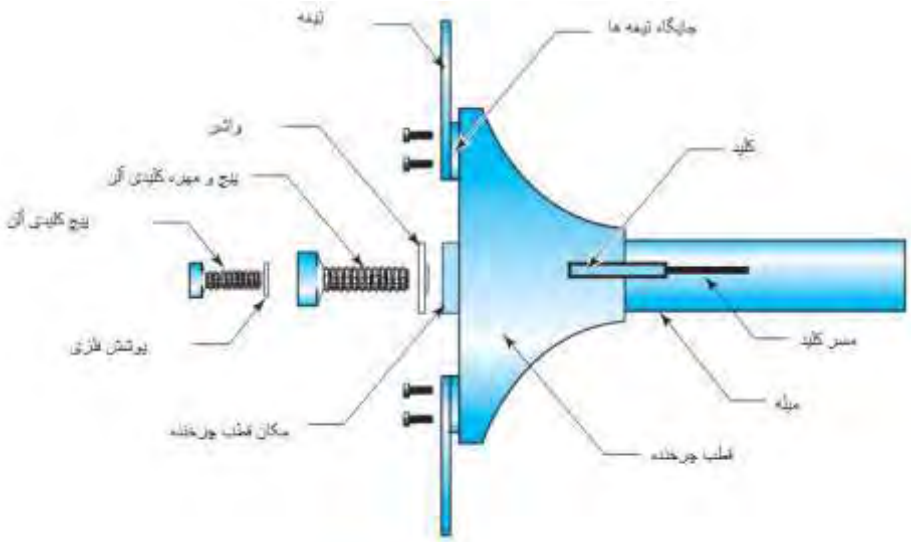
پره‌های چرخان پلتایزر، لایه‌های پلیمر را به همان شکلی که از اک ستر ودر خارج می شوند، می‌برند، خروج و تولید این پلت‌ها از اکستر ودر بسیار سریع صورت می‌گیرد. این پره‌های پهن ۱۶، ۲۰ یا ۲۴ در مرکز چرخش ه ستند (شکل ۱۷–۷). پلتایزر الکتریکی به چرخش این مرکز سرعت می‌بخ شد. مجموعهٔ پلتایزر بر روی ج سم چرخنده‌ای که بر روی یک ریل برای پیو ستن به اک ستر ودر حرکت می‌کند، نصب می‌شود. چرخش پلتایزر بین ۶۰۰ تا ۸۵۰ RPM می‌باشد. تشکیل پلت‌های جدید از طریق چ سبیدن به یکدیگر تو سط جریانی از آب که بخ شی از سیستم آبی تولید پلت ا ست انجام می‌شود.

مرکز پلتایزر (شکل ۱۷–۸) پره‌ها را برای برش لایه‌های پلیمر به همان شکل مدنظر اکستر ودر، نگه می‌دارد. این مرکز به میله‌ی پلتایزر محکم بسته شده و به‌گونه‌ای طراحی شده که ضایعات قالب موردنظر را حذف می‌کند. علاوه براینکه پره‌ها ضـــایعات قالب را از بین می‌برند، پلیمر مایع را نیز برش می‌دهند که این عمل توسط جریان آب درون اتاقک پلت انجام می‌شود.

---

[1] Pelletizer

شکل ۱۷–۷: مرکز چرخش پلتایزر و برش دهنده



شکل ۱۷–۸: نمای مرکز چرخش از پهلو

میزان تنظیم فشار بر روی مجموعهٔ مرکز- پره - میله، بسیار بحرانی است. اگر پره‌ها بشدت به قالب‌ها فشـــار آورند، یا به قالب آســـیب می‌رســـد و یا خود پره‌ها از کار می‌افتند. ازآنجایی‌که مرکز چرخش به میله پلتایزر متصل است، درنتیجه می‌تواند باعث خرابی کامل آن قسمت شود. کمترین

میزان فشـــار می‌تواند زمانی اتفاق بیافتد که میله برخلاف قالب امتداد یافته باشـــد. اجزای کلیدی مرکز پلتایزر در شکل ۱۷–۸ نشان داده شده است.

– **اتاقک پلتایزر و سیستم پلت**[1]

به مکانی که مجموعه‌ای از پره‌ها، رشته های پلیمر را هنگام خروج از قالب بریده و به شکل پلت در می آورند، اتاقک پلتایزر می‌گویند. پلت ها به‌منظور جلوگیری از چســـبیدن به یکدیگر و یا تغییر شکل آن‌ها، در اتاقک پلتایزر خنک می شوند.

از ســـیســـتم آب پلت به‌منظور کنترل حرارت پلیمر، برش آن و خنک نگه‌داشـــتن آن به‌طور هم‌زمان استفاده می شود. دمای آب بین ۱۳۰ و ۱۶۵ درجه فارنهایت نگه داشته می شود. (۵۴/۴ و ۷۳/۸ درجه سانتی‌گراد). دما بسته به درجه‌ی انجام عملیات متفاوت خواهد بود.

سیستم آب پلت از مخزن آب پلت، پمپ آب، مبدل حرارتی، دریچه‌های دما (کنترل دمای آب خنک ورودی برج و یا انشعابات مبدل) و دو دریچه‌ی کنترل (جریان آب را به سمت اتاقک پلتایزر و یا به سمت خلاف جهت آن به مخزن آب پلت هدایت می‌کند) تشکیل شده است.

بخار با فشار ۱۵۰ psig مستقیماً به مخزن آب پلت و از میان دریچه کنترل دما، تزریق می‌شود تا گرمای اولیه سیستم آب پلت زمانی که اکسترودر کار نمی‌کند و یا در دست تعمیر است را فراهم سازد.

۱۷–۵– خشک‌کردن محصولات و سیستم ذخیره‌سازی

سیستم خشک‌کردن و مرتب سازی (شکل ۱۷–۹) آب پلت را از پلت‌ها جدا ساخته و آن‌ها را به ترتیب سایز شان مرتب می سازد. ۵ وسیله برای سیستم خشک‌کردن و مرتب سازی وجود دارد: مخزن غربالگری، خشک‌کن و مخزن مارپیچی، طبقه بند، فن دریچه خشک‌کن و دریچه مربوط به پلت.

اولین مرحله جداســازی آب مخزن، غربالگری می‌باشــد. توده‌های پلیمر و ضــایعات به‌وســیله‌ی میله‌های غربالگری به مخزن ضــایعات منتقل می‌شــوند. پلت‌های مرطوب و آبی که از میان میله‌ها می‌گذرد در مسیر مارپیچی قرار می‌گیرند، این بخش اولین مرحله از خشک‌کردن می‌باشد.

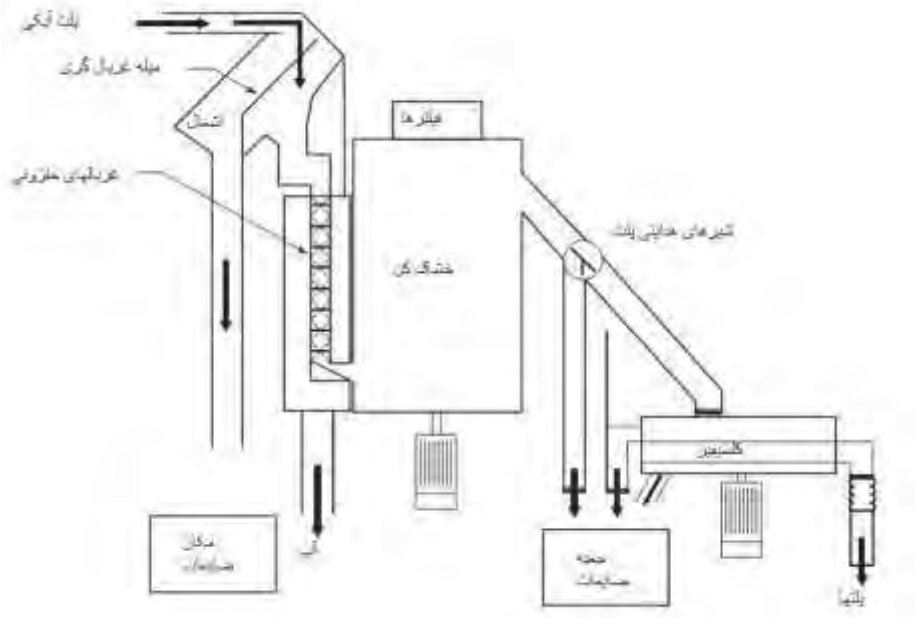
مخزن مارپیچی جاییســت که بیشــترین جداســازی بین آب و پلت اتفاق می‌افتد. آب به مخزن آب پلت باز می‌شود و پلت مرطوب به خشک‌کن فرستاده می‌شود.

---

[1] Pellet

پلت ها به سمت بالا و بیرون و نوک خشک‌کن چرخانده می‌شوند. خشک‌کن پلت ها را به‌وسیله‌ی نیروی گریز از مرکز خشک می‌کند. این فعالیت مکانیکی در این حرکت، مقدار رطوبت موجود در سطح پلت را حذف می‌کند.

طبقه بند، یک مخزن لرزان غربالگری با صفحه‌های دو بخشی که به سایزهای مختلف پلت اجازه‌ی عبور می‌دهند، هستند. پلت‌های بزرگتر و یا توده‌هایی که باید از مخزن غربال‌گری جدا شوند در این بخش از چرخهٔ محصولات حذف می‌گردند. در میان دو صفحه یک سطل تمیز که برای جلوگیری از ماندن پلت‌ها در سوراخ طبقه بند و بسته شدن منافذ استفاده می‌شود، وجود دارد.



شکل ۱۷–۹: سیستم طبقه بند و خشک‌کن

فن دریچه خشک‌کن رطوبت و حرارت پلت و همچنین ذرات ریز را از بین می‌برد.

دریچه انحرافی پلت، پلت‌های موجود در بیرون مخازن را به درون بخش طبقه‌بند منتقل می‌کند.

سیستم انتقال پلت، پلت‌ها را از طبقه‌بند به یکی از دو ظرف معیارسنجی و یا یکی از ۴ مخلوط‌کن منتقل می‌کند. از یک سیستم تهویه هوا برای به جلو راندن پلت‌ها استفاده می‌شود. پلت‌ها از طبقه بند بیرون آمده و به درون ظروف حاوی خوراک و سیستم هوا وارد می‌شوند. در آنجا یک نمونه از ظرف معیار سنج، یک ظرف انتقال و چهار مخلوط‌کن وجود دارد.

ظروف نگهدارنده پلت‌ها را از طبقه‌بند دریافت می‌کنند. از این ظروف به‌عنوان یک افزاینده‌ی خوراک در پایین برج استفاده می‌شود. سیستم هوا با استفاده از کنترل‌کننده‌ی کامپیوتری دریچه انحرافی، پلت ها را از ظروف نگهدارنده به یکی از چهار مخلوط‌کن و یکی از ظروف معیارسنجی، منتقل می‌کند. سیستم معیارسنجی هوا پلت‌ها را از ظرف انتقال به مخلوط‌کن‌ها و یا سیستم معیار سنجی می‌فرستد. این حرکت توسط اپراتور آغاز شده و توسط کامپیوتر کنترل می‌شود.

زمانی که پلت ها در حال رسیدن به حالت توده‌ای خود هستند، وظایف اکسترودر تمام شده و باقی وظایف به قسمت بارگذاری توده مربوط می‌شود. بسته به درجه محصول، پلت ها تا بیش از ۴ ساعت نیز مخلوط می‌شوند. آزمایشگاه کنترل کیفیت، کیفیت محصولات را تعیین می‌کند. ظروف معیارسنجی تقریباً ۴۰۰۰۰ پوند را در خود نگه می‌دارند. اگر جواب آزمایشات کنترل کیفیت خوب باشد، محصولات به مخلوط‌کن‌های ۴۰۰۰۰۰ پوندی جهت جابه‌جایی و حمل‌ونقل منتقل می‌شوند. پلت ها سپس به ماشین حمل بار یا بخش بارکشی منتقل گشته و یا به اتاقک‌هایی جهت بسته‌بندی در جعبه، کیف یا ساک‌های مخصوص برای مشتریان فرستاده می‌گردند. نمونه‌های نهایی توسط آزمایشگاه تأیید شده و به‌عنوان یک منبع نگهداری می‌شوند. داده‌ها و نتیجه‌ی نمونه‌ها مختصراً به مشتری اعلام خواهد شد.

سیستم کنترل توزیعی، یک کامپیوتر کنترلی مهم برای اکسترودر است که کارهای حقیقی بسیاری نظیر تعویض دریچه و کنترل دما را انجام می‌دهد. DCS از یک جفت واحد پردازش مرکزی (CPUs) استفاده می‌کند. اطلاعاتی نظیر ثبت جریان، سرعت تولید و دما روی آن ذخیره شده است. به‌طور اتوماتیکی تغییرات DCS را ثبت می‌کند. این واحد همچنین دارای بخش تاریخچه‌ی تغییرات است که می‌تواند تمامی مراتب عملیاتی را که به ترتیب اتفاق افتاده است، نگهداری کند. مانیتورهای کامپیوتر در اتاق کنترل قرار داده شده‌اند.

خلاصه

اکسترودر یک وسیلهٔ پیچیده متشکل از پوشش گرمایی، مجموعه‌ای از مسیرهای مارپیچی و پیچ، قالب گرمایی، موتور بزرگ، جعبه‌دنده و پلتایزر است. هدف اکسترودر، مایع کردن مخلوط گرانول و فرونشاندن سریع آن و برش به شکل گلوله‌های کوچک است. ذوب گرانول‌ها باعث ذخیره‌سازی مواد افزودنی به‌صورت کپسول در پلی‌پروپیلن می‌شود.

تولیدکنندگان صنعتی از رزین‌های مصنوعی برای ساخت انواع رنگ، گریس، چسب، پلاستیک‌های نرم و سخت، پارچه و نخ‌های پلاستیکی، دکوراسیون‌های مقاوم و پلاستیک‌های شفاف استفاده می‌کنند. روش‌های مختلفی در این فرایند استفاده می‌شود. در فرایند انفصال، رزین‌های جامد ذوب شده و در میان مسیرهای مارپیچ تحت‌فشار قرار می‌گیرند تا با حرارت به فرم قالب درآیند. در مدلسازی، رزین‌های ذوب شده در یک قالب فشرده می شوند. در لمینت، ورق‌های کاغذی و یا فویل‌های فلزی از میان غلتک‌ها عبور کرده و با رزین‌های مذاب پو شش داده می شوند. صفحات بر روی هم فشرده شده تا وسیله‌ای مانند مدارهای الکتریکی را به وجود آورند. در ریخته‌گری، رزین‌های مذاب در یک قالب ریخته می‌شود. در مهره‌کشی، رزین‌های مذاب بر روی ورقه‌های کاغذ یا لباس پخش شده تا مانند پوششی محافظتی عمل کنند، مانند کارت‌های بازی.

سؤالات مروری

۱) اکسترودر چیست و چگونه کار می‌کند؟
۲) روند عملیات در یک کارخانه پلاستیک شرح دهید.
۳) نحوه عملکرد یک خوراک گرانول را شرح دهید.
۴) گلوله ساز چیست؟
۵) خشک‌کن گلوله ای چیست و چگونه کار می‌کند؟
۶) یک صفحه غربالگری را شرح دهید.
۷) یک سیستم افزودنی خشک را توصیف کنید.
۸) سیستم درایو اصلی، کمکی، گیربکس را باهم مقایسه کنید؟
۹) دریچه تغییر مسیر ذوب چیست؟
۱۰) چرا دانه‌های پلاستیکی باید ذوب و اکسترود شوند؟
۱۱) نحوه عملکرد واحد طبقه‌بندی کننده را توضیح دهید؟
۱۲) استار فیدر چیست؟
۱۳) گلوله ساز برای چه مواردی استفاده می‌شود؟
۱۴) چه چیزی گلوله‌های مذاب را از چسبیدن به هم باز می‌دارد؟
۱۵) چهار بخش اصلی یک پلی‌پروپیلن چیست؟

کلمات کلیدی

فصل اول –

فصل دوم

انباشـــتگی (Accumulation)- اختلاف فشـــار (ΔP) بین فشـار بالارونده اولیه و فشـار بالارونده کامل بر روی یک شیر فشارشکن.

محرک (Actuator) – وســـیله‌ای اســـت که با تنظیم خودکار موقعیت میله شیر، موقعیت عنصر کنترل جریان بر روی شیر را کنترل می‌کند.

شیر زاویه‌ای - دریچه‌ای که با ورود جریان سیال به سمت دروازه (مدخل) یا پلاگ کار می‌کند و با زاو یه ۹۰ در جه از پورت (در گاه) تخلیه آن را هدایت می‌کند.

ماده ضـــد جوش خوردگی (Antiseize) - روان کننده مورداستفاده در رزوه‌های ساقه (استم) در معرض شیر است.

شـــیرهای توپی – نامی برای عنصـــر متحرک و توپی شکل در مرکز شیر است.

شیرفلکه (شیر مجزا کننده) - هر شیری که برای بند آوردن (انســـداد) جر یان در نظر گرفته می‌شـود؛ شـیر جداسـازی نیز نامیده می‌شـود. به‌طورکلی این اصـــطلاح به شـــیرهای دروازه‌ای اطلاق می‌شود.

درپوش – dome یا قبه‌ای زنگی شکل که روی بدنه شیر سوار می‌شود.

پلاک حک بدنه - اطلاعات ســازنده بر روی بدنه شیر.

شیرهای پروانه‌ای- با جزء کنترل جریان دیسکی شکل شناخته می‌شود که حول مرکز می‌چرخد.

شـــیرهای یک‌طرفه- شـــیرهای مکانیکی که از جریان معکوس در لوله‌کشی جلوگیری می‌کنند.

حلقه کنترل (Control loop)- یک مجموعه ابزار است که برای کنترل خودکار یک فرایند با یکدیگر کار می‌کنند، معمولاً از دســـتگاه گیرنده، فرســـتنده، کنترل‌کننده، مبدل و یک شـــیر اتوماتیک تشکیل می‌شود.

شـــیرهای کنترل - شـــیرهای خودکار که برای تنظیم و گلوگیری جریان اســـتفاده می‌شـــوند؛ معمولاً عنصـــر کنترل نهایی یک حلقه کنترل را فراهم می‌کنند.

شیر دیافراگمی- وسیله‌ای است که از یک غشای انعطاف‌پذیر برای تنظیم جریان استفاده می‌کند.

دیسک- وسیله‌ای ساخته شده از فلز یا سرامیک اســـت که برای کنترل جریان به‌طور محکم در نشیمنگاه شیر قرار می‌گیرد.

فلانژ (Flange)- وسیله‌ای است که برای اتصال (پیچ کردن) لوله‌کشـــی به تجهیزات صـــنعتی استفاده می‌شود.

عنصر کنترل جریان- بخشی از یک دریچه است که جر یان را تنظیم می‌کند؛ که دروازه‌ای یا دیسکی است.

دریچه - عنصـــر کنترل جر یان در یک شـــیر دروازه‌ای.

شیر دروازه‌ای - و سیله‌ای ا ست که یک دریچه فلزی متحرک را در مســـیر جر یان فرایند قرار می‌دهد.

شیر کروی- وسیله‌ای است که یک دیسک را در مسیر جریان فرایند قرار می‌دهد.

فلکه (Handwheel)- به ســاقه (یا اســتم) شــیر متصل شده و برای کنترل موقعیت عنصر کنترل جریان شیر استفاده می‌شود.

شـــیر چند راهه - دارای چندین ورودی و / یا خروجی در سیستم‌های لوله‌کشی تخصصی برای

منحرف کردن جهت جریان است و این امکان را فراهم می‌کند تا منابع سیال تغییر کنند.

شیر سوزنی - نوعی شیر کروی است که دارای یک عنصر سوزنی می‌باشد که به‌طور محکم در نشیمنگاه قرار می‌گیرد.

پکینگ (Packing)– یک ماده است که به‌طور ویژه برای جلوگیری از ورود یا فرار مایعات مورد استفاده قرار می‌گیرد؛ که به صورت فشرده در اطراف ساقه یک شیر یا محور یک پمپ قرار می‌گیرد.

گلند پکینگ (Packing gland)- یک وسیله مکانیکی است که پکینگ را در خود جای می‌دهد و آن را فشرده می‌کند.

شیر سماوری- وسیله‌ای است که دارای یک جزء پلاگی شکل است؛ برای سرویس روشن/خاموش استفاده می‌شود.

شیراطمینان / فشارشکن – دستگاهی است که به‌صورت اتوماتیک کاهش فشار را در یک سیستم بسته در یک نقطه از پیش تعیین‌شده تنظیم می‌کند؛ شیرهای فشارشکن برای مایعات استفاده می شوند؛ شیرهای اطمینان برای گازها استفاده می‌شوند.

ساقه (Stem یا استم)- محور فلزی متصل به فلکه و عنصر کنترل جریان یک شیر را گویند.

محفظه پکینگ (Stuffing box)– قسمتی از شیر است که حاوی پکینگ می‌باشد.

شیر سه‌طرفه - شیری با سه پورت (یا درگاه) (یک ورودی و دو خروجی) که برای تغییر جهت جریان استفاده می‌شود.

حفقانش (Throttling)- کاهش یا تنظیم جریان زیر حداکثر خروجی یک شیر.

تریم (Trim) - عنصر کنترل جریان و نشیمنگاه‌ها در یک شیر است (قسمت‌های داخلی شیر که قابل تعویض و جداشدنی می‌باشند و در معرض تماس با جریان قرار دارند به‌طورکلی تریم نامیده می‌شوند).

ظرفیت شیر - مقدار کل سیال یک شیر که در هنگام باز شدن کامل با اختلاف فشار معینی عبور می‌کند.

تاب آوردن (پیچیدن یا Warping)- اصطلاحی است که برای توصیف تغییرات دما و انبساط لوله استفاده می‌شود که موجب می‌شود شیر محکم شود یا "تاب" بخورد. بستن خیلی سریع شیر می‌تواند باعث تاب برداشتن (پیچیدن) شود و تاب برداشتن می‌تواند باعث چسبیدن شیر شود.

فصل سوم

آلیاژ – ماده‌ای متشکل از دو یا چند فلز یا ترکیب فلز و نافلز.

درپوش مسدودکننده – ابزاری که در لوله‌کشی برای قطع کامل به کار می‌رود.

اتصال – وصل کردن فیزیکی دو شیء با سیم مسی

گلوله‌ای – مخزن استوانه‌ای شکل با انتهای گرد که در گروه فشار بالا دسته‌بندی می‌شوند.

لوله‌کشی درزجوش– لوله‌ای که قطعات هم قطر آن، به سادگی به آن جوش داده می‌شوند.

مخزن با سقف مخروطی شکل – یک مخزن سربسته با سقف مخروطی شکل دارای دیواره‌های عمودی واقع بر یک لایه بتنی دایره‌ای یا مستقیماً روی زمین.

خوردگی – واکنش های الکتروشیمیایی بین سطوح فلزی و سیالات که نتیجه آن فرسایش تدریجی فلز است.

مخزن برودتی – برای نگهداری مایعات زیر ۱۰۰°F- (۳۷/۷۷°C) طراحی شده است.

صفحه مبنا – نقطه مرجع در زیر یک مخزن برای اندازه‌گیری سطح مایعات.

آب‌گذر – دیواره یا راه‌آب بازدارنده که به‌منظور جلوگیری از هدر رفت محصول، اطراف مخزن گسترش می‌یابد.

کلاهک (فلنج) – برای اتصال لوله به تجهیز یا جایی که لوله‌کشی ممکن است نیاز به قطع داشته باشد استفاده می‌شود؛ از دو صفحه جفت شونده محکم شده با پیچ تشکیل شده است که یک واشر میان آن‌ها قرارگرفته است.

فلنج تخت – به‌طورکلی برای جفت شدن در برابر تجهیزات شکل داده شده به کار می‌رود که در آن‌ها تا شدن از پیچ‌های محکم‌کننده ممکن است فلنج را بشکند؛ واشر باید کل صفحه فلنج را پوشش دهد.

مخزن با سقف شناور – سر باز است و ساختاری تابه مانند دارد که بالای مایع نوسان می‌کند و درون مخزن به سمت بالا و پایین حرکت می‌کند.

دریچه اندازه‌گیری – دری در سقف یک مخزن اتمسفریک که اجازه اندازه‌گیری محتویات و تا حدی تخلیه اضطراری فشار را می‌دهد.

اتصال به زمین – دستورالعملی است که برای اتصال یک شیء به زمین با سیم مسی و میله وصل به زمین طراحی شده است.

مخزن نیم‌کروی – دارای سر گرد یا گنبدی‌شکل و دیواره‌های عمودی است که روی زمین یا بر یک لایه بتنی واقع شده است.

مخزن روکش‌دار – یک سیستم عایق که برای نگهداری حرارت یا سرما طراحی شده است.

لوله‌کشی روکش‌دار و توخالی – دو لوله هم‌مرکز (یکی داخل دیگری) که برای داغ نگه‌داشتن سیال منتقل‌شده به کار می‌رود. در لوله‌کشی روکش‌دار، سیال از میان لوله داخلی منتقل می‌شود و ماده گرم‌کننده از روکش عبور می‌کند. در لوله‌کشی توخالی برعکس است.

نفررو- مسیر یا درگاهی که برای دسترسی آزاد به مخزن استفاده می‌شود.

پیگ – وسیله استوانه‌ای مورداستفاده برای تمیز کردن لوله‌ها. بیشتر پیگ‌ها، برای چرخاندن آن در میان خط و به درون تله گریپ، یک پرتابگر پیگ را به کار می‌برند.

سایز لوله – اندازه اسمی (نام‌گذاری شده) لوله؛ اغلب نزدیک به قطر خارجی و داخلی لوله است اما برابر با هیچ‌یک نیست. قطر خارجی یک سایز معین لوله، ثابت است. قطر داخلی با ضخامت دیواره لوله تغییر می‌کند (رده‌بندی[1]).

ضخامت لوله – ضخامت دیواره لوله که با یک شماره رده‌بندی به نام اسکجول تعیین می شود. رده‌های ۱۰ (دیواره نازک)، ۴۰، ۸۰ و ۱۶۰ (دیواره ضخیم) رایج هستند. اسکجول، ضخامت دیواره معینی را برای یک سایز لوله مشخص می‌کند؛ مثلاً ضخامت یک لوله ۳ اینچ رده ۴۰ با یک لوله ۴ اینچ همان رده تفاوت دارد. ضخامت دیواره لوله با افزایش شماره اسکجول زیاد می‌شود.

[1]Schedule

بازرسی رادیوگرافی – استفاده از اشعه ایکس برای تعیین مکان عیوب در فلزات، بسیار شبیه به پرتوایکسی که از استخوان شکسته گرفته می‌شود.

فلنج با سطح برجسته – از واشری استفاده می‌کند که درون پیچ‌ها جای می‌گیرد.

فلنج اتصال رینگی – فقط از یک حلقه فلزی به‌عنوان واشر استفاده می‌کند.

مخزن پسماند – یا مخزن فرعی، برای ذخیره محصولی که با انتظارات مشتری تطابق ندارد به کار می‌رود.

لوله‌کشی پیچی جوش داده (ساکت ولد) – نوعی لوله‌کشی که در آن لوله، قبل از جوش به قسمت دیگر، وارد یک اتصال بزرگتر می‌شود.

مخزن کروی – یک مخزن دایره‌ای پایه‌دار که برای نگهداری مایعات و گازهای پرفشار استفاده می‌شود.

مخزن شبه کره – یک مخزن دایره‌ای با کف مسطح واقع بر لایه بتنی یا روی زمین.

محوطه مخازن – جمعی از مخازنی مورد استفاده برای ذخیره و انتقال مواد خام و محصولات.

لوله‌کشی پیمایشی – زمانی که لازم باشد سیال انتقالی گرم نگه داشته شود به کار می‌رود؛ غالباً دربرگیرنده لوله مسی حاوی بخار یا روغن داغ است.

برگه‌های طراحی مخزن – عوامل مؤثر بر انتخاب، کاربرد و نیاز به بازرسی دوره‌ای مواد لازم برای ساخت مخازن را مشخص می‌کند.

فصل چهارم

هد شتابی – نوسانات فشار مکش که با ضربه ورودی یک پمپ رفت و برگشتی اتفاق می‌افتد.

پمپ محوری – یک پمپ دینامیکی که سیال را در خط مستقیم شتاب می‌دهد.

کاویتاسیون – تشکیل و ازهم‌پاشیدگی انباشته‌های گازی اطراف پره‌ها طی عملکرد پمپ؛ از هد (یا ارتفاع) مکش ناکافی در ورودی پمپ نشأت می‌گیرد.

پمپ گریز از مرکز – یک پمپ دینامیک که سیال را در مسیر دایره‌ای شتاب می‌دهد.

پمپ دیافراگمی – یک پمپ رفت و برگشتی که از دیافراگم انعطاف‌پذیر برای جابجایی مثبت سیال استفاده می‌کند.

هد تخلیه – مقاومت یا فشار در سمت خروجی پمپ.

دینامیک – کلاسی از تجهیزات نظیر پمپ‌ها و کمپرسورها که انرژی جنبشی را به فشار تبدیل می‌کنند؛ می‌تواند محوری یا گریز از مرکز باشد.

هد – به‌عنوان فشار (در مکش) × ۲/۳۱ ÷ چگالی ویژه (Sp. Gr.)؛ هد ۱ psi معادل است با ۲/۳۱ فوت.

پروانه – قطعه متصل به شفت (محور) پمپ گریز از مرکز که به سیال سرعت و فشار می‌دهد.

پمپ گو شواره‌ای– یک پمپ دوار که از دو قطعه به شکل لوب‌های لوبیاشکل برای جابجایی و انتقال سیال استفاده می‌کند.

آب‌بند مکانیکی – پمپ را مجهز به آب‌بندی مانع نشت می‌کند؛ از یک عنصر آب‌بند ثابت، معمولاً از جنس کربن و بخش دیگری که با شفت می‌چرخد، تشکیل شده است.

هد مکش مثبت خالص (NPSH) – هد (فشار) مایع برحسب فوت که برای هل دادن مقدار لازم از مایع به سمت پروانه پمپ دینامیک بدون ایجاد کاویتاسیون موردنیاز است.

هد مکش مثبت خالص موجود ($NPSH_a$) – عبارتی که برای مشخص کردن فشار موردنیاز مکش پمپ جهت عملکرد صحیح آن به کار می‌رود. برابر است با فشار اتمسفری (تبدیل شده به هد) + هد استاتیک + هد فشار سطح – فشار بخار – تلفات ناشی از اصطکاک.

هد مکش مثبت خالص لازم ($NPSH_r$) – حداقل NPSH لازم برای جلوگیری از کاویتاسیون. $NPSH_a$ باید بزرگتر یا مساوی $NPSH_r$ باشد، یعنی $NPSH_a \geq NPSH_r$. درواقع کاهش هد کل هنگام ورود مایع به پمپ است.

پمپ پیستونی – یک پمپ رفت و برگشتی که از یک پیستون و استوانه برای حرکت سیالات استفاده می‌کند.

جابجایی مثبت – انواعی از تجهیزات مانند پمپ‌ها و کمپرسورها که مقدار مشخصی سیال را از یک نقطه به‌نقطه دیگر جابجا می‌کنند؛ می‌تواند دوار یا رفت و برگشتی باشد.

شیر اطمینان فشار – برای آزادسازی فشار مازاد روی تخلیه، در یک پمپ جابجایی مثبت به کار می‌رود.

آبگیری – پر شدن از سیال.

یکنواخت‌کننده جریان – دستگاهی که نزدیک پمپ، در خط مکش یا تخلیه نصب می‌شود تا تغییرات فشار را کاهش بدهد.

پمپ رفت و برگشتی – یک پمپ جابجایی مثبت که از مکنده، پیستون یا دیافراگم در یک مسیر جلو- عقب برای جابجایی فیزیکی مقدار معینی سیال در محفظه استفاده می‌نماید.

پمپ دوار – یک پمپ جابجایی مثبت که از عناصر دورانی برای حرکت سیال استفاده می‌نماید.

پمپ مارپیچی – یک پمپ دوار که سیال را با یک پیچ جابجا می‌کند.

لغزش – درصد سیال نشت شده یا لغزیده فراتر از لقی‌های داخلی یک پمپ در زمان معین.

چگالی ویژه – نسبت چگالی یک جامد یا مایع به چگالی آب یا نسبت چگالی گاز به هوا.

پمپ پره‌ای – یک پمپ دوار که از پره های انعطاف‌پذیر یا سخت برای جابجایی سیالات کمک می‌گیرد.

قطع جریان سیال – شرایطی که در آن، پمپ آستر مایع را از دست می‌دهد و پروانه‌ها در بخار می‌چرخند.

فصل پنجم

خنک‌کننده‌ی پسین (after cooler)– یک وسیله تبادل حرارتی است که برای از بین بردن حرارت اضافی در قسمت خروجی یک کمپرسور چندمرحله‌ای طراحی شده است.

کمپرسور سانتریفیوژ (گریز از مرکز)– از نیروی گریز از مرکز برای شتاب دادن به گاز و تبدیل انرژی به فشار استفاده می‌کند.

نسبت فشرده‌سازی– نسبت فشار خروجی (psia) به فشار مکش (ورودی). در کمپرسورهای چندمرحله‌ای این نسبت در محدوده‌ی ۳ تا ۴ است، در شرایطی که نسبت فشرده سازی در همه‌ی مراحل برابر است. برای مثال اگر فشار خروجی مطلوب ۱۵۰۰۰psia باشد یک کمپرسور ۴ مرحله‌ای با نسبت فشرده‌سازی ۳,۲ در هر مرحله مورداستفاده قرار می‌گیرد. فشار خروجی هر مرحله برابر است با: اول: ۴۷psia؛ دوم: ۱۵۰؛ سوم: ۴۸۰؛ چهارم: ۱۵۳۶.

مه زدا (demister)– یک ابزار چرخشی است که می‌چرخد و رطوبت را از گاز می‌زداید.

خشک‌کن دسیکنت– برای رطوبت‌گیری از گازهای کمپرسور با عبور گازها از یک ماده‌ی شیمیایی دسیکنت (خشک‌کننده) که آب را جذب می‌کند، استفاده می‌شود.

کمپرسور دیافراگمی– از یک دیافراگم هیدرولیکی پالسی استفاده می‌کند که جابه‌جا می‌شود و یا خم می‌شود تا موجب جابه‌جایی مثبت گاز شود.

کمپرسور دوطرفه– یک کمپرسور رفت و برگشتی است که گاز را در دویرف پیستون کمپرس می‌کند.

خشک‌کن– رطوبت گاز را می‌گیرد.

خنک‌کننده میانی– یک مبدل حرارتی که برای سرد کردن گاز فشرده شده در بین مراحل یک کمپرسور چندمرحله‌ای طراحی شده است.

کمپرسور lobe– یک کمپرسور روتاری است که شامل پروانه‌هایی به شکل لوبیاقرمز است.

جداکننده روغن– روغن را از گازهای فشرده‌شده جدا می‌سازد.

رسیور: یک تانک ذخیره‌ی گاز فشرده‌شده.

مرحله ((stage– هر سیلندر در کمپرسور، به‌طور خاص، منطقه‌ای که در آن گاز فشرده می‌شود.

شوک حرارتی– نوعی از تنش که منجر به فرسایش فلز می‌شود، زمانی که اختلاف دمای زیادی بین تجهیزات و سیال جاری در آن جود دارد.

فصل ششم

چگالیده (میعان یافته) – نم تولیدشده وقتی‌که بخار، گازها و بخارات داغ تبدیل به مایع می‌شوند.

شیر خروجی – شیری که برای بستن راه خروجی بخار در توربین بخاری مورداستفاده قرار می‌گیرد.

توربین گازی – وسیله‌ای که برای چرخاندن مجموعه‌ای از چرخ های توربین و فراهم کردن انرژی دورانی برای چرخش شفت یا محور، از گازهایی با فشار بالا استفاده می‌کند.

کنترل ولو – وسیله‌ی کنترل سرعت که توسط شیر کنترل ولو تنظیم می‌شود.

شیر کنترل ولو – شیر خودکاری است که سرعت توربین بخار را با تنظیم میزان بخار، کنترل می‌کند.

گرم کردن – فرایندی برای حذف چگالیده‌ها و گرم شدن قطعات داخلی است؛ شامل چرخش آرام توربین در سرعت‌های پایین بین ۲۰۰ تا ۵۰۰ دور بر دقیقه.

هانتینگ (جستجو) – زمانی اتفاق می‌افتد که هم‌زمان با اینکه کنترل‌کننده به دنبال سرعت صحیح عملیاتی است، سرعت توربین بخاری نوسان پیدا می‌کند.

توربین هیدرولیکی – وسیله‌ای است که از مایعات با فشار بالا برای چرخاندن چرخ توربین متصل به ژنراتور استفاده می‌کند.

توربین ضربه‌ای – توربین بخاری است با طراحی پره‌ای، زمانی که بخار سرعت‌بالا از یک منبع خارجی آن را هل می‌دهد، باعث گردش پره‌ها و محور می‌شود.

آب‌بند لابیرنت – آب‌بند محور طراحی شده برای بستن راه جریان بخار در توربین بخاری است؛ و شامل برآمدگی‌ها و مسیرهای پیچیده است.

نازل – وسیله‌ای برای محدود کردن جریان و تبدیل فشار به‌سرعت است.

حالت سرعت بیش‌ازحد – یک حالت ایمنی برای خاموش کردن توربین بخاری که از محدوده سرعت گردشی خود سریع‌تر می‌چرخد به‌وسیله شیر لغزشی تعبیه شده بر روی آن.

توربین واکنشی – توربین بخاری با یک نازل ثابت و منبع داخلی بخار.

شیر اطمینان – یک شیر تخلیه‌ی فنری خودکار که زمانی که توربین به بیشینه ظرفیت طراحی خود می‌رسد، صدای بلندی را تولید می‌کند.

گردش آرام – کنترل سرعت توربین در rpm پایین (۲۰۰-۵۰۰).

محفظه بخار – فضایی که بخار از آنجا وارد توربین می‌شود.

صافی بخار – یک وسیله‌ی مکانیکی است که ناخالصی‌های بخار را می‌گیرد.

شیر لغزشی – یک شیر ورودی بخار باقابلیت بسته شدن سریع است که توسط یک اهرم (شاهین) گردش سرعت بیش‌ازحد کار می‌کند.

توربین بادی – عمدتاً به‌عنوان آسیاب بادی به آن اشاره می شود؛ از فشار هوا برای پمپ کردن آب، کوبیدن دانه ها و راه انداختن ژنراتور های کوچک استفاده می‌کند.

فصل هفتم

بافل‌ها– پره‌هایی با فاصله مساوی در مبدل‌های حرارتی پوسته و لوله که باعث نگهداری از لوله ها، جلوگیری از لرزش، کنترل سرعت و جهت سیال، افزایش جریان درهم و کاهش نقاط داغ می‌شوند.

سر کانال– وسیله‌ای که در قسمت ورودی مبدل حرارتی پوسته و لوله نصب می‌شود و از آن برای کانال‌بندی جریان درون لوله در یک مبدل حرارتی چند گذره استفاده می‌شود.

کنداز سور– یک مبدل حرارتی پوسته و لوله که برای سرد کردن و میعان بخارهای داغ به کار می‌رود.

هدایت– عامل انتقال حرارت در مواد جامد غیر متخلخل که نتیجهٔ ارتعاش مولکولی است. همچنین هدایت ممکن است در بین مولکول‌های بسیار نزدیک به هم نیز اتفاق بیفتد.

جابه‌جایی– عامل انتقال حرارت در سیالات است که در اثر جریان ایجاد می‌شود.

جریان متقابل (ناهمسو)- به حرکت دو جریان در جهت‌های مخالف یکدیگر اشاره دارد.

جریان متقاطع– به حرکت دو جریان به‌صورت عمود بر یکدیگر اشاره دارد.

اختلاف فشار– اختلاف میان فشارهای ورودی و خروجی که با علامت Δp و یا delta p نشان داده می‌شود.

اختلاف دما– اختلاف دمای ورودی و خروجی که با علامت Δt و یا delta t نشان داده می‌شود.

سر ثابت– رابطی در مبدل حرارتی پوسته و لوله که صفحه لوله را محکم به پوسته متصل می‌کند.

سر شناور– رابطی در صفحه لولهٔ یک مبدل حرارتی که به سستی به پوسته در سر برگشت متصل است و برای امکان انبساط درون پوسته به دلیل افزایش دما طراحی شده است.

رسوب– تجمع مواد بر روی سطوح داخلی دستگاه هایی چون برج های خنک‌کننده و مبدل های حرارتی که منجر به پایین آمدن میزان انتقال حرارت و گرفتگی می‌شود.

ریبویلر کتری– مبدلی از نوع پوسته و لوله با یک حفرهٔ خروج بخار که با تأمین گرمای موردنیاز در برج تقطیر برای جداسازی اجزای سبک از سنگین و همچنین حفظ تعادل حرارتی مورداستفاده قرار می‌گیرد.

جریان آرام– جریانی که خطوط جریانش کم‌وبیش دچار شکست نشده باشد؛ لایه‌های مایع در مسیر موازی حرکت کنند.

مبدل حرارتی چند گذره– نوعی مبدل پوسته و لوله است که جریان درون لوله را در طول لوله (منبع حرارتی) کانال‌بندی می‌کند.

جریان موازی– اشاره به حرکت دو جریان در یک جهت دارد؛ برای مثال جریان های درون پوسته و درون لوله در یک مبدل حرارتی؛ جریان همسو نیز نامیده می‌شود.

انتقال حرارت تابشی– انتقال حرارت از طریق امواج الکترومغناطیسی از یک منبع به دریافت‌کننده‌ها.

ریبویلر– مبدل حرارتی مورداستفاده برای حرارت دادن به یک مایع به‌منظور جوشاندن دوباره‌ی آن.

گرمای محسوس– گرمایی که با یک تغییر در دما قابل‌اندازه‌گیری و درک است.

مبدل حرارتی پوسته و لوله– یک مبدل حرارتی دارای یک پوستهٔ استوانه‌ای که مجموعه‌ای از لوله‌ها را احاطه کرده است.

بخش پوسته– به جریان جاری در خارج لوله‌های یک مبدل پوسته و لوله اشاره دارد.

ریبویلر ترموسیفون– یک نوع مبدل حرارتی است که در زمان گرم شدن یک مایع استاتیک به دمای جوشش، یک گردش طبیعی را ایجاد می‌کند.

صفحه لوله– یک صفحه مسطح که سرهای لوله در مبدل حرارتی با پیچ شدن، جوش دادن و یا هردو به آن متصل می‌شود.

بخش لوله– به جریان جاری درون لوله های مبدل پوسته و لوله اشاره دارد.

جریان درهم– حرکت تصادفی یا تلاقی و همراهی چرخش‌ها و گردانه‌های سیال است.

فصل هشتم

کرکره‌های ورود هوا – شکاف‌هایی در پایین و یا اطراف برج خنک‌کننده به‌منظور هدایت جریان هوا.

اپروچ (یا به اصطلاح تقرب) برج – اختلاف دمای میان آب خروجی از برج خنک‌کننده و دمای حباب مرطوب ورودی به برج.

حوضچه – محفظهٔ بتنی که در پایین برج خنک‌کننده قرار می‌گیرد.

هیترهای حوضچه – برای حفظ آب سیستم خنک‌کننده از یخ‌زدگی در ماه‌های زمستان طراحی می‌شوند.

زیست‌کش‌ها و جلبک‌کش‌ها – با دخالت در گردش آب، از رشد زیستی جلوگیری می‌کنند.

بلوداون یا دورریز– فرایند کنترل سطح جامدات معلق در برج خنک‌کننده با حذف مقادیر مشخصی از آب حوضچه و جایگزینی آن با آب تازه.

ظرفیت – میزان آبی که برج خنک‌کننده می‌تواند خنک کند.

سلول – کوچکترین بخش یک برج خنک‌کننده است که می‌تواند به‌عنوان یک واحد مجزا عمل کند. برخی سیستم‌های خنک‌کننده دارای چند سلول هستند.

دامنه خنک‌کنندگی – اختلاف دمای موجود میان آب سرد و گرم در یک برج خنک‌کننده.

برج‌های خنک‌کننده – خنک‌کننده‌های تبخیری هستند که اختصاصاً برای خنک کردن آب یا

واسطه‌های دیگر تا دمای حباب مرطوب محیط طراحی شده‌اند.

انواع برج‌های خنک‌کننده – نوعاً به القایی (نیاز به فن دارد)، اجباری (نیاز به فن دارد)، اتمسفری و طبیعی تقسیم‌بندی می‌شوند.

قطره برگردان‌ها یا حذف‌کننده‌ها – دستگاه‌هایی که در برج های خنک‌کننده برای جلوگیری از فوران آب به بیرون مورداستفاده قرار می‌گیرند.

افت رانش – آبی که به همراه هوای خارج شونده از برج خنک‌کننده خارج می‌شود؛ همچنین به آن افت ناشی از باد نیز گفته می‌شود.

دمای حباب خشک (DBT)– دمای هوا بدون در نظر گرفتن رطوبت نسبی در محاسبات.

تبخیر – تبدیل شدن به بخار است. تبخیر انرژی گرمایی را از آب داغ می‌گیرد.

پرکن‌ها – سطوح پلاستیکی و چوبی که جریان هوا را هدایت می‌کنند و تماس آب‌وهوا را در برج خنک‌کننده برقرار می‌کنند. همچنین به میله‌های اسپلش نگاه کنید.

مکش اجباری – یک نوع از مکش‌های مکانیکی برج خنک‌کننده است که از فن‌ها برای هل دادن هوا به داخل برج استفاده می‌کند.

مکش القایی – یک نوع از مکش‌های مکانیکی برج خنک‌کننده است که از فن‌ها برای کشیدن هوا به بیرون برج استفاده می‌کند.

لیچینگ – عبارت است از نبود نگهدارنده‌های شیمیایی چوب در ساختار پشتیبانی برج خنک‌کننده که آب روی اجزای بدون محافظ جریان می‌یابد یا آن‌ها را با خود می‌شوید.

پلنیوم (فضای خالی پر شده از ماده)– ناحیهٔ بازی که بین پرکن‌ها در مرکز برج خنک‌کننده القایی قرار دارد.

رطوبت سنجی – به صورت مطالعهٔ خنک کردن به وسیلهٔ تبخیر توصیف می‌شود.

رطوبت نسبی – یک سنجش از مقدار آب جذب شده است.

اسکیل (پوسته) – نتیجهٔ چسبیدن جامدات معلق به سطوح داخلی تجهیزات به‌صورت رسوب است.

میله اسپلش – وسیله‌ای که برای هدایت جریان آب و افزایش سطح تماس آب‌وهوا در برج خنک‌کننده به کار می‌رود.

مجموع جامدات محلول (TDS)– املاح معدنی، مانند منیزیم و کلسیم که در آب یافت می شوند و معمولاً با سولفوریک اسید فرآوری می‌شوند.

هدر توزیع آب – لوله‌ای که آب داغ را به‌طور مساوی روی پرکن‌های برج خنک‌کننده می‌افشاند.

سیستم توزیع آب – نوعاً شامل یک قاب است که در آن سوراخ‌هایی مجهز به نازل وجود دارد که آب را با استفاده از جاذبه روی پرکن‌ها می‌ریزد. برخی سیستم‌ها از طرح لوله و نازل اسپری استفاده می‌کنند.

دمای حباب مرطوب (خیس) (WBT)– دمای هوایی که با دماسنج و با در نظر گرفتن رطوبت نسبی اندازه‌گیری می‌شود.

بادزدگی یا رانش – قطرات کوچک آب که توسط هوای جاری به بیرون از برج خنک‌کننده برده می‌شوند.

فصل نهم

تله (تراپ) فانوسی – یک تله بخار ترموستاتیکی که با باز و بسته شدن یک فانوس در هنگام

تغییر دما کار می‌کند؛ این حرکت باعث باز و بسته شدن یک شیر می‌شود.

بار بویلر – نیاز دستگاه برای بخار

مشعل– برای توزیع مساوی هوا و بخارات سوخت در بالای یک منبع اشتعال و به درون آتشدان (فایرباکس) بویلر استفاده می‌شود.

دمپر (تنظیم‌کننده)– وسیله‌ای برای تنظیم جریان هوا

سرد کردن بخار داغ– فرایندی برای گرفتن گرما از بخار داغ

پایین‌برنده‌ها– لوله‌های ورودی از بالا به پایین درام یک بویلر لوله آبی؛ این لوله‌ها حامل آب داغ هستند.

اکونومایزر– بخشی از بویلر آتشی است که برای گرما دادن به آب تغذیه، قبل از ورود آن به مخزن (درام) های بخار استفاده می‌شود.

بویلر لوله آتشی (فایرتیوب)– نوعی بویلر است که گازهای داغ را از میان لوله‌ها عبور می‌دهد تا به آب گرما دهند و آن را تبخیر کنند.

برخورد شعله– تماس مکرر یا مداوم بین شعله‌ها و لوله‌ها در بویلرهای لوله آتشی و کوره‌ها

تله بخار شناور (فلوتری)– نوعی تله بخار است که با یک شناور که هنگام بالا آمدن سطح مایع باز می‌شود، کار می‌کند.

تله بخار سطلی معکوس (اینورتد باکت)– یک تله بخار مکانیکی که با یک سطل وارونه درون یک جداره کار می‌کند؛ موثر بر روی بخارات کندانس (بخار مایع‌شده) و کندانس نشده

مخزن لجن– مخزن تحتانی بویلر لوله آبی (واترتیوب)

بالارونده‌ها – لوله‌هایی که از مخزن پایینی به مخزن بالایی بویلر لوله آبی می‌روند؛ این لوله‌ها حامل بخار و آب هستند.

اسپود – بخش‌های پر از گاز در مشعل گازی بویلر

مخزن مولد بخار – یک مخزن فوقانی که بخشی از آن با آب اشغال می‌شود. این مخزن جزء مرکزی بویلر است. توسط لوله‌های پایین‌برنده و بالارونده به مخزن لجن تحتانی متصل می‌شود و از لوله‌های مولد بخار، بخار دریافت می‌کند.

تله بخار – وسیله‌ای برای جدا کردن کندانس و بخار و بازگرداندن آن به بویلر برای تبدیل به بخار

بخار داغ (سوپرهیت) – بخاری که تا دماهای بالاتر حرارت دیده است.

تله بخار ترموستاتیکی – نوعی تله بخار که توسط تغییرات دما کنترل می‌شود.

ضربه قوچ یا ضربه آبی – یک وضعیت مخرب در بویلر است که باعث تغییر یا توقف مسیر جریان کندانس (آب) می‌شود.

بویلر لوله آبی – نوعی بویلر که لوله‌های پر از آب را از یک آتشدان داغ عبور می‌دهد.

فصل دهم

کورهٔ مخروطی شکل – کوره‌ای که ساختار خارجی به شکل مخروط دارد.

پیش‌گرم‌کن هوا – هوا را قبل از ورود به کوره در مشعل‌ها گرم می‌کند.

تعدیل‌کننده‌های هوا – این وسایل که در مشعل کوره قرار می‌گیرند، جریان هوای ثانویه را تنظیم می‌کنند.

قوس (کمان) – یک سازهٔ گردن شکل باریک است که بین بخش جابجایی و دودکش کوره کشیده شده است.

کوره‌ی جعبه‌ای– یک کورهٔ مربع یا مستطیل شکل است که دارای هر دو بخش جابه‌جایی و تابشی می‌باشد.

دیوارپل - یک قسمت شیب‌دار درون کوره که میان بخش‌های تابشی و جابجایی قرارگرفته است یا قسمت نسوزی که آتشدان‌ها و مشعل‌ها را از هم جدا می‌کند.

کاشی‌های شکستهٔ مشعل – مستقیماً دور مشعل قرار می‌گیرند و برای جلوگیری از آسیب دیدن مشعل طراحی شده‌اند. بسیار کم اتفاق می‌افتد که کوره را برای تعویض کاشی‌های شکسته خاموش کنند، مگر در حالتی که روی الگوی شعله تأثیر بگذارد.

ساپورت‌ها و هدایتگرهای شکسته – به کف کوره می‌افتند. نبود ساپورت‌ها و هدایتگرها موجب خم شدن و شل شدن لوله‌ها می‌شود.

هشدارهای مشعل – در هنگام خاموش شدن کوره فوراً تکنسین‌ها را خبر می‌کنند.

کورهٔ کابینتی – یک کورهٔ کابین شکل بالای سطح زمین که انتقال حرارت در آن عمدتاً از طریق تابش و جابه‌جایی صورت می‌گیرد.

شارژ – جریان فرایند در یک کوره

ککینگ – تشکیل رسوبات کربن در لوله‌های کوره

چارت رنگی لوله‌های فولادی – ۱۰ رنگ لوله را بر اساس دما نشان می‌دهد.

بخش جابجایی – ناحیهٔ بالای کوره که در آن مکانیزم غالب، انتقال حرارت جابه‌جایی است.

لوله‌های جابجایی – لوله‌هایی در بالای شوک بانک کوره یا دور از بخش تابش در جایی که جابجایی غالب است. اولین گذر لوله‌ها درست در بالای بخش تابش، شوک بانک نامیده می‌شود.

کوره استوانه‌ای - کوره‌ای عمودی که اساساً برای انتقال حرارت تابش به جریان فرایند طراحی می‌شود.

مکش – فشار منفی هوا یا گاز در قسمت‌های مختلف کوره

ترکیب خوراک – ترکیب سوختی که وارد کوره می شود که باید ثابت با شد، در غیر این صورت عملکرد کوره تحت تأثیر قرار می‌گیرد.

آتشدان – ناحیه‌ای در کوره شامل مشعل‌ها و شعله‌های باز؛ ناحیهٔ انتقال حرارت تابشی

فلیم اوت (توقف شعله) – خاموشی شعلهٔ مشعل در طول عملیات کوره

برخورد شعله – برخورد مستقیم شعله زمانی اتفاق می‌افتد که شعله مرئی به لوله‌ها برخورد می‌کند. برخورد شعله را می‌توان به دائمی و دوره‌ای تقسیم‌بندی کرد.

فلش بک – احتراق متناوب بخار گاز ها که مجدداً در مشعل می‌سوزند که به دلیل تغییر ترکیب سوخت ممکن است اتفاق بیفتد.

کنترل فشار سوخت – یک حلقه کنترل فشار که روی خط سوخت گاز طبیعی به کوره قرار دارد و برای ثابت نگه‌داشتن فشار ورودی به مشعل‌های کوره طراحی شده است.

کنترل جریان کوره – یک جزء حیاتی در کنترل دما، فشار و عملیات کوره که دبی جریان‌های خوراک ورودی و خروجی کوره را تنظیم می‌کند.

هشدارهای hi/lo کوره – زنگ خطرهایی که وقتی مشخصات جریان فرایند نامناسب باشد به صدا در می‌آیند و از صدمه دیدن تجهیزات و همچنین آسیب رسیدن به محیط‌زیست و زندگی انسان‌ها جلوگیری می‌کنند.

کنترل فشار کوره – به و سیلهٔ یک حلقهٔ کنترل فشار متصل به تعدیل‌کننده (خفه کن یا دمپر)

دودکش، فشار کوره را در پایین، وسط و بالای کوره زیر نظر دارد. فشار میانی که در کوره خوانده می شود با یک مقدار تعیین شده مقایسه می‌شود و در صورت لزوم تنظیمات در تعدیل‌کننده انجام می‌گیرد.

کنترل دمای کوره – جریان سیال به مشعل‌ها را تنظیم می‌کند و زمانی که جریان از کوره فرایند خارج می شود، بر شرایط فرایند نظارت می‌کند. کنترل‌کننده جریان گاز طبیعی (slave) وارد کنترل‌کننده دما (master) می‌شود. کنترل‌کننده دما جریان سوخت به مشعل را تنظیم می‌کند.

آتشدان دودآلود و یا دودکش پردود – عمدتاً زمانی اتفاق می‌افتد که هوای اضافی کافی وارد آتشدان نمی‌شود و یا نسبت هوا به سوخت درست نیست.

درب های هدر باکس و درزگیر ها – درب های هدرباکس دسترسی به نفوذهای پایانه‌ای یا خمیدگی‌های روی لوله‌های جابه‌جایی را فراهم می‌کنند. درزگیر ها، بین درون و بیرون کوره را کاملاً درزگیری می‌کنند.

لوله‌های داغ – هنگامی‌که در بیرون یا درون لوله گرفتگی وجود داشته باشد و یا زمانی که برخورد شعله، کاهش دبی جریان و یا در کوره آتش بیش‌ازحد وجود داشته باشد، رنگ‌های مختلفی را منعکس می‌کنند.

روشن شدن خفیف مشعل – شرایطی که می‌تواند منجر به دودآلود شدن آتشدان شود.

مشعل‌های NO_x خفیف - نوعی مشعل گازی اختراع‌شده توسط جان جویس که تشکیل اکسیدهای نیتروژن را به میزان قابل‌توجهی کاهش می‌دهد. مشعل‌های NO_x خفیف ۱۰۰ درصد بازدهی دارند، زیرا تمام انرژی گرمایی آزادشده به گرمای مفید تبدیل می‌شود.

آنالیزور اکسیژن – ابزاری که اختصاصاً برای شناسایی غلظت اکسیژن در یک نمونه از هوا طراحی شده است. دبی اکسیژن موجود در کوره به‌دقت کنترل می‌شود.

بلوک‌ها با روزنه‌های دید – بلوک‌های نسوز با روزنه‌هایی در مرکز برای اپراتورها امکان دیدن و بازرسی چشمی داخل کوره را فراهم می‌کنند.

گرفتگی سر مشعل – الگوی نامنظم شعله، به‌جای آتشدان به سمت یک لوله می‌رود.

هوای پیشگرم شده – یک سیستم هوای فشرده که معمولاً هوا را درون لوله‌های درون قسمت بالایی کوره هل می‌دهد. این هوای پیشگرم شده از همهٔ جریان انرژی عبوری به سمت بیرون دودکش بهره می‌برد.

هیترهای فرایند – وسایل احتراق که حرارت تابشی و جابه‌جایی را به مواد یا مخلوط‌های شیمیایی انتقال می‌دهند. لوله های فرایند هم‌زمان با اینکه از بخش‌های جابه‌جایی و تابشی عبور می‌کنند، انرژی گرمایی دریافت می‌کنند. این انرژی منتقل‌شده امکان استفادهٔ مایع در فرایندهای متنوع شیمیایی که نیازمند دماهای بالا هستند را فراهم می‌کند.

لوله‌های تابشی – لوله‌هایی درون آتشدان کوره که گرما را عمدتاً از طریق تابش دریافت می‌کنند؛ کویل‌های تابشی نام دیگر آن‌هاست.

عایق (آستر) نسوز - آستر آتشدان کوره که گرما را به درون کوره منعکس می‌کند.

لوله‌های گسسته – شعله‌ها از ابتدای لوله‌ها وارد می‌شوند. ممکن است باعث افت سطوح اکسیژن اضافی و افزایش دماهای دیوارپل شود.

انحناء و برآمدگی لوله‌ها – هنگامی‌که هدایت‌کننده‌ها و ساپورت‌ها می‌شکنند، داخل لوله‌ها دچار گرفتگی می‌شود، برخورد شعله اتفاق می‌افتد، دبی کاهش می‌یابد، کوره دچار شعله‌های بیش‌ازحد می‌شود و یا بیرون لوله‌ها دچار گرفتگی (گرفتگی) می‌شود.

شوک بانک – لوله‌هایی مستقیماً در بالای آتشدان کوره که گرمای تابشی و جابه‌جایی دریافت می‌کنند. شوک بانک جزئی از بخش جابه‌جایی است.

شکستگی آسترنسوز – عایق قدیمی و کهنه که در اثر گذشت زمان ترک‌خورده و فرسوده شده است؛ عایقی که به‌درستی خشک و مراقبت نشده است؛ یا عایقی که بسته‌ای آن خراب شده است؛ که در نتیجه سست شدن و شکستگی از کناره‌ها و افتادن به کف کوره را به دنبال دارد. در نتیجه عایقی است کهنه که در طول زمان فرسوده شده و شکسته است یا عایقی که به‌درستی خشک و مراقبت نشده یا بسته‌ای آن شکسته است.

دودکش – خروجی در بالای کوره که از طریق آن گازهای داغ احتراق از کوره خارج می‌شوند.

دمنده‌های دوده – دوده را که شامل ترکه‌های پوچ فلز که وارد بخش جابه‌جایی شده‌اند و مجموعه‌ای از تایمرها که نیتروژن را در توالی‌های سریع می‌پذیرند را گرد هم می‌آورند، از روی لوله‌ها در بخش جابه‌جایی پاک می‌کند.

نفوذهای پایانه‌ای – دورها یا خمیدگی‌های ۱۸۰ درجه را زمانی که لوله‌ها از بخشی از کوره به بخش دیگر، در لوله‌ها فراهم می‌کنند.

لوله‌های لرزان – جابه‌جا می‌شوند و عقب و جلو می‌روند. عموماً در مورد لوله‌های خارج از کوره اتفاق می‌افتد. لوله‌های لرزان عمدتاً حاصل جریان اسلاگ دوفازی درون لوله‌ها هستند. با تغییر دبی جریان‌ها قابل‌توقف است.

فصل یازدهم

فشار مطلق (psia)– فشاری بالاتر از خلأ کامل (فشار صفر)

کنترل خودکار – به حلقه کنترلی اجازه می‌دهد از تمامی پنج عنصر استفاده کند و با نقاط تنظیم‌شده تطبیق پیدا کند.

عنصر فشاری دم – یک لوله فلزی موج‌دار که در مقابل تغییرات فشار باز و بسته می‌شود.

لوله بوردن – لوله‌ای قلابی شکل و نازک که در واکنش به تغییرات فشار باز و بسته می‌شود و به اتصال مکانیکی که یک اشاره‌گر را حرکت می‌دهد متصل است.

کنترل‌کننده – ابزاری برای مقایسهٔ یک متغیر فرایندی با یک میزان تنظیم شده همچنین آغاز یک تغییر برای بازگرداندن فرایند به آن نقطهٔ مشخص، در صورت وجود اختلاف.

سلول اختلاف فشار (DP)– اختلاف فشار بین دو نقطه را اندازه می‌گیرد.

سیستم کنترلی توزیع یافته (DCS)– یک سیستم کامپیوتری که متغیرهای فرایندی را نظارت و کنترل می‌کند.

عنصر کنترل نهایی – وسیله‌ای در حلقه کنترلی که فرایند را در حالت مطلوب نگه می‌دارد؛ معمولاً یک شیر کنترلی است.

گین (بهره) – نسبت سیگنال خروجی از کنترل‌کننده به سیگنال خطا

فشار نسبی (psig)– فشاری بالای فشار اتمسفر، صفر آن برابر حدود ۱۴/۷ psi در سطح دریاست.

در جه ن ما– وســـیلهای برای ن مایش م قادیر متغیرهای فرایندی مانند فشـــار، ســـطح، دما و جریان.

اینترلاک - وســیلهای اســت که در صــورت عدم تطابق برخی شـــرایط خاص فرایندی، با متوقف کردن و یا جلوگیری از رو شن شدن تجهیزات از صـــدمه دیدن کارکنان و تجهیزات پیشـــگیری می‌کند.

مانومتر – وسیلهای برای اندازه‌گیری فشار یا خلأ

کنترل دســـتی – به کنترل‌کننده اجازه می‌دهد شـــیر کنترل را باز کند و آن را روی درصـــد از پیش تنظیم شده، تنظیم کند.

پرمیســـیو - نوع خاصـــی از بازدارنده اســـت که مجموعه‌ای از شـــرایط را قبل از شـــروع به کار بخشی از تجهیزات فرایندی کنترل می‌کند.

ابزارهای فرایند – وســایلی که متغیرهای فرایند، فرســـتنده ها، کنترل‌کننده ها، مبدل ها، اجزای اصلی و حسگرها را کنترل و نظارت می‌کند.

دماســـنج مقاومتی (RTD)– وســـیلهای برای ا ندازه‌گیری تغییرات د ما بر اســـاس تغییرات مقاومت الکتریکی در یک سیم نیکلی یا پلاتینی است.

روتامتر – جریان‌سنجی که سیال را از درون یک لوله شـفاف که دارای یک توپ یا شـناور باشـد عبور می‌دهد؛ اعداد روی لوله دبی جریان را نشان خواهد داد.

مقدار مطلوب (ست پوینت)– مقدار مطلوب یک متغیر فرایندی

درجه شـــیشـــهای رویت – یک وســـیله برای اندازه‌گیری سطح، مت شکل از یک لوله شفاف و یک درجه مت صل به یک لوله می‌با شد که امکان دید سطوح مایعات را به اپراتور می‌دهد.

ترموکوپل – و سیلهای برای اندازه‌گیری دما ست که از فلزات غیر هم نوع متصـــل به یک نقطه تشـکیل شـده اسـت. گرمای اعمال‌شـده به این نقطه باعث ایجاد یک ولتاژ متناظر با تغییر دما می‌شود که در مقیاس دما گزارش می‌شود.

ترموول یا پوســـ ته حرارتی– محف ظهای که به‌منظور نگه‌داشـــتن RDTها و تروکوپل درون لوله‌ها نصب می‌شود.

مبدل – وسیلهای برای تبدیل انرژی از شکلی به شکل دیگر استفاده می‌شود، معمولاً الکتریکی به بادی

فرستنده – وسیلهای برای حس کردن متغیرهای فرایند از قبیل فشار، سطح، دما، ترکیب یا جریان و تولید سیگنالی که به یک کنترل‌کننده، رکوردر یا شناساگر فرستاده می‌شود.

فشـار خلأ – فشـار نسـبی زیر صـفر؛ که عمدتاً برحسب اینچ جیوه بیان می‌شود.

فصل دوازدهم

نقشـــه‌های الکتریکی – نمادها و نمودارهایی که یک فرایند الکتریکی را تصویر می‌کند.

طرح‌های الویشـــن – یک تصـــویر گرافیکی که محل قرارگیری تجهیزات فرایند را به نســـبت ساختارهای موجود و سطح زمین نشان می‌دهد.

نق شه‌های مکان تجهیزات – ت صویر افقی دقیقی از محل قرارگیری تجهیزات را همراه با مرزهای فیزیکی آن نشان می‌دهد.

نمودار جریان – نق شهٔ ساده شده‌ای ا ست که از نماد ها برای تعیین ابزار ها و مخازن اســـتفاده می‌کند و همچنین مســـیر اصـــلی یک جریان در واحد عملیاتی را نشان می‌دهد.

نق شه‌های پی (فوندا سیون) – م شخ صات بتن، سیم مش‌ها (تور سیمی) و فولاد ا ست که پهنا،

عمق و ضخامت پایه ستون‌ها، تیرهای کمکی و پی را بیان می‌کند.

راهنمای نقشه – اطلاعاتی است که برای مشخص نمودن نمادها، علائم اختصاری، پیشوندها و تجهیزات خاص مورداستفاده قرار می‌گیرد.

نقشه فرایند و تجهیزات (P&ID)– نمودار پیچیده‌ای که از نمادهای فرایند برای توضیح یک واحد عملیاتی استفاده می‌کند. به آن نمودار یا نقشهٔ خط لوله و ابزار دقیق نیز گفته می‌شود.

فصل سیزدهم

آنیون‌ها – یون‌هایی با بار الکتریکی منفی

بلوداون – فرایندی که طی آن آب از سیستم بویلر خارج می‌شود.

واحد گرمایی بریتانیایی (Btu)– واحد اندازه‌گیری انرژی؛ ۱ Btu برابر انرژی موردنیاز برای دمای یک پاوند آب به میزان یک درجهٔ فارنهایت است.

پدیدهٔ انتقال املاح یا کری اُور– آلودگی بخار توسط جامدات موجود در آب بویلر

کاتیون‌ها – یون‌هایی با بار الکتریکی مثبت

مشعل – وسیله‌ای برای سوزاندن ایمن بخارات هیدروکربنی اضافی

هدر مشعل – لولهٔ ارتباطی واحد با مشعل

لخته‌سازی – تجمع ذرات منعقد شده

مخزن ناک اوت – مخزنی بین هدر مشعل و مشعل برای جدا کردن هیدروکربن‌های مایع و بخار از یکدیگر

گرمای نهان – گرمایی که قابل اندازه‌گیری نیست؛ حرارتی موردنیاز برای تغییر فاز مایع به بخار (گرمای نهان تبخیر) و یا بخار به مایع (گرمای نهان میعان).

SHP- بخار فوق فشار بالا که بین ۱۰۰۰ تا ۱۲۰۰ psig فشار دارد.

فصل چهاردهم

آلکیلاسیون – استفاده از راکتور برای تولید یک مولکول بزرگ از دو مولکول کوچک‌تر

معادلهٔ موازنه شده – معادلهٔ شیمیایی که در آن مجموع اتم‌های واکنش‌دهنده‌ها با مجموع اتم‌های فرآورده‌ها برابر است.

کاتالیست – یک ماده شیمیایی که می‌تواند بدون اینکه بخشی از فرآورده باشد، سرعت واکنش را افزایش یا کاهش دهد.

معادلهٔ شیمیایی – اعداد و نمادهایی که اشاره به یک واکنش شیمیایی دارد.

واکنش شیمیایی – شرایطی است که شکسته شدن پیوندهای شیمیایی، شکل‌گیری و یا شکسته شدن و شکل‌گیری آن را توصیف می‌کند.

احتراق – یک واکنش گرماده سریع که نیازمند سوخت، اکسیژن و منبع احتراق است و گرما و انرژی زیادی تولید می‌کند.

کراکینگ (خُردایش) – تجزیهٔ یک ماده شیمیایی یا مخلوطی از مواد شیمیایی با استفاده از حرارت، کاتالیست و یا هر دو؛ کراکینگ حرارتی فقط از حرارت و کراکینگ کاتالیستی از کاتالیست استفاده می‌کند.

واکنش گرماگیر – واکنشی شیمیایی که برای تولید فرآورده از مواد اولیه باید به آن گرما داده شود.

واکنش گرماده – واکنشی شیمیایی که گرما آزاد می‌کند.

راکتور بستر ثابت – مجرا یا مخزنی که شامل توده‌ای از ذرات کوچک است که مخلوط واکنش

از آن‌ها عبور می‌کند. به آن تبدیل کننده نیز گفته می‌شود.

کراکینگ کاتالیست سیال – فرایندی که برای شکستن مولکول‌های بزرگ نفت‌گاز (گازوئیل) به مولکول‌های کوچک‌تر و قابل‌استفاده‌تر از یک راکتور بسترسیال استفاده می‌کند. به آن کت کراکینگ نیز گفته می‌شود.

ککینگ سیال – فرایندی است که از راکتور بستر سیال برای پاکسازی پایین بشکه و گرفتن محصولات سبک‌تر از پسماندها، استفاده می‌کند.

راکتور با بسترسیال – جامدات را با جریان ناهم‌سوی گاز، معلق می سازد. اجزای سنگین‌تر پایین می‌ریزد و اجزای سبک‌تر به بالا می‌رود.

هیدروکراکینگ – استفاده از یک راکتور بسترسیال چندمرحله‌ای برای افزایش بازده تولید بنزین از نفت خام، به کمک شکستن مولکول‌های بزرگ به مولکول‌های کوچک‌تر.

هیدرودیسولفوریزاسیون – سولفور را از مخلوط‌های خام حذف می‌کند.

موازنهٔ مواد – روشی است برای محاسبهٔ مقادیر واکنش‌دهنده در برابر مقادیر فرآورده.

خنثی‌سازی – یک واکنش شیمیایی طراحی شده برای حذف یون‌های هیدروژن یا یون‌های هیدروکسیل از یک مایع.

فرآورده‌ها – نتایج پایانی یک واکنش شیمیایی

واکنش‌دهنده ها – مواد خام در یک واکنش شیمیایی

سرعت واکنش – معیاری از مدت‌زمان لازم برای اینکه مواد اولیه به فرآورده یا فرآورده‌ها تبدیل شود.

احیاکننده (رژنراتور) – برای بازیافت یا قابل‌استفاده نمودن دوبارهٔ کاتالیست آلوده یا استفاده‌شده به کار می‌رود.

واکنش جابه‌جایی – واکنشی طراحی شده برای شکستن یک پیوند و تشکیل پیوند جدید با جابه جایی یک یا تعداد بیشتری از اجزای ترکیبات اصلی

راکتور همزن دار – راکتوری طراحی شده برای مخلوط کردن دو یا چند ماده در یک مخلوط همگن.

راکتور لوله‌ای – یک مبدل حرارتی که در آن یک واکنش شیمیایی رخ می‌دهد. برای سنتزهای شیمیایی مورداستفاده قرار می‌گیرد.

فصل پانزدهم

مخلوط آزئوتروپیک– مخلوطی از ترکیبات دوجزئی یا چندجزئی که در دمایی یکسان و غلظتی معین می‌جوشد. غلظت‌های بخار و مایع در آزئوتروپ برابر است.

مخلوط دوتایی– متشکل است از دو یا چند جزء

نقطه‌جوش– دمایی که در آن مایع به بخار تبدیل می‌شود.

سرعت جوشش– موازنه محصولات (مایع و بخار) بازگشتی به ستون از ریبویلر کتری

محصولات پایین– باقیمانده؛ اجزای سنگین‌تر فرایند تقطیر به پایین برج می‌ریزد و ازآنجا زدوده می‌شود.

کندانس شده (مقطر) – رسوبات گرفته شده (تغلیظ شده) از یک برج تقطیر

تقطیر– جداسازی اجزای یک مخلوط به کمک نقطهٔ جوش

پایین برنده‌ها (ناودان‌ها) – مجاری‌های ریزش مایع یا ناودان‌هایی که به مایع اجازه می‌دهد به سینی پایین‌تر بریزد.

طغیان پایین برنده‌ها (ناودان‌ها) – زمانی اتفاق می‌افتد که دبی جریان مایع در برج به قدری

زیاد اســـت که مایع ناودان را پر می‌کند و به ســـینی بالایی تجاوز می‌کند. مایع در برج جمع می‌شـــود، اختلاف فشـــار افزایش و جداســـازی کاهش می‌یابد.

توزیع‌کننده خوراک – وســـیله‌ای درون برج‌های پرشده برای توزیع برابر خوراک

ســـینی خوراک – نقطه ورودی ســـیال فرایند در برج تقطیر، پایین خط جریان خوراک.

نقطه نهایی جوشـــش– دمایی که ســـنگین‌ترین جزء تقطیر در آن دما می‌جوشد.

تقطیر جزئی – جداســـازی دو یا چند جزء به کمک تقطیر

موازنه حرارتی – اصـلی مبنی بر تسـاوی گرمای ورودی با گرمای خروجی

طغیان جت – زمانی اتفاق می‌افتد که ســـرعت بخار به قدری بالاســـت که جریان پایین روندهٔ مایع را محدود می‌کند. مایع درون برج جمع می‌شـــود، اختلاف فشـــار افزایش می یا بد و جداسازی محصول کم می‌شود.

طغیان موضـــعی– مایع پایین روندهٔ اضـــافی در برج، جلوی بالا رفتن جریان بخار را در مقاطعی می‌گیرد.

موازنه جرمی – اصل مبنی بر اینکه مجموع جرم محصولات خروجی برابر است با خوراک ورودی به برج.

طغیان کلی – فوران موضعی به کل برج سرایت می‌کند.

محصـول بالاسـری – اجزای سـبک‌تر درون برج تقطیر که به بالای برج می‌رود و از طریق خط جریان اورهد (هوایی یا بالا سری) خارج می شود و درآنجا کندانس می‌شود.

اورلپ (هم‌پوشـانی یا سـررفتگی) – جداسـازی ناتمام یک مخلوط

اضافه‌بار – عملیات برج در شرایط بیشینه

برج پرشـــده – برجی که به جای ســـینی با پرکن‌هایی از جنس خاص پر می‌شود.

فشـارهای جزئی – مقدار فشـار برحسـب واحد حجم در مخلوط های گازی که با کســـر های مختلف به کار برده می‌شود.

بالازدگی – زمانی اتفاق می‌افتد که بخار به قدری زیاد اســـت که مایع را به بالا و درون خط جریان اورهد (هوایی) می‌راند.

بازیابی – جداســـازی مواد مختلف از یک محلول به کمک برج تقطیر

بخش غنی ســـازی (بازیابی یا ســـبک‌ســـازی) – بخش بـالای برج تقطیر (بـالای خط خوراک)، جایی که غلظت اجزای سبک‌تر بالاتر است.

رفلاکس – محصـــول برج تقطیر تغلیظ شـــده (کندانس شـــده) که به‌منظور افزایش خلوص و همچنین کنترل دما به درون برج بازگردانده می‌شود.

فراریت نسبی – ویژگی‌های مرتبط با تمایل یک مایع برای تغییر فاز به بخار درون یک ســـیســـتم تقطیر

بخش دفع – بخش پایین خط خوراک در برج تقطیر که محل حضور اجزای سنگین‌تر است.

گرادیان دما (شـــیب حرارتی) – افزایش دمای تدریجی از پایین تا بالای برج تقطیر

مخلوط سه جزئی – سه جزء درون یک مخلوط

برج‌های سینی‌دار – ابزارهایی قرارگرفته بر روی هر ســـینی که امکان برقراری تماس بین بخار و مایع کندانس شـــده را فراهم می‌کند. ســـه طرح اولیهٔ آن‌ها عبارت اســـت از فنجانی، غربالی و دریچه‌ای.

تقطیر در خلأ – فرایند تبخیر مایعات در دماهای پایین‌تر از نقطهٔ جوش به کمک کاهش فشار

فشار بخار – نیروی بیرونی اعمال شده توسط مولکول های موجود در فاز بخار بالای مایع در دمایی مشخص، زمانی که سرعت تبخیر با سرعت میعان برابر است (تعادل).

ریزش (مایع) – زمانی است که سرعت بخار به قدری پایین باشد که نتواند جلوی ریزش مایع از درون سوراخ‌های سینی را بگیرد. اختلاف فشار کاهش می‌یابد و جداسازی نیز کمتر صورت می‌گیرد.

فصل شانزدهم

جاذب– وسیله‌ای که برای حذف اجزای مشخصی از یک گاز استفاده می‌شود و به‌وسیله‌ی عبور آن از سطح مایع و یا گاز انجام می‌شود.

جذب‌کننده– وسیله‌ای (مانند راکتور و یا خشک‌کن) پرشده با منافذ جامد و به‌گونه‌ای طراحی شده‌اند که گاز و مایع را از یک مخلوط جدا می‌سازند.

فاز استخراج شده– محلول دومی که از حل شدن حلال در حل شونده استخراج می‌شود.

استخراج– فرایندی که دو ماده در یک مخلوط یا محلول را به‌وسیله‌ی حل شدن ماده‌ی سومی در یکی از آن‌ها جدا می‌کند.

خوراک– محلول اصلی‌ای که در استخراج مایع - مایع قرار است جداسازی بر روی آن انجام گیرد.

رفینیت یا پسماند جداسازی– ماده‌ی باقی مانده پس از عبور حلال از محلول در استخراج مایع - مایع را می‌گویند.

اسکرابر– وسیله‌ای که برای حذف مواد شیمیایی و جامدات از گازها استفاده می‌شود.

حل شونده– ماده‌ای که در استخراج مایع - مایع حل شده است.

محلول– مخلوط یکنواختی از ذرات که توسط هیچ پیوند شیمیایی به یکدیگر متصل نیستند و می‌توانند به‌وسیله‌ی تغییرات فیزیکی کاملاً از یکدیگر جدا شوند.

حلال– یک ماده‌ی شیمیایی که مواد دیگری را در خود حل می‌کند.

فصل هفدهم

طبقه بند– وسیله‌ای که گلوله‌های با اندازه‌ی مطلوب را از دیگر سایزها و یا از بین گلوله‌های نامطلوب برای ساخت پلاستیک جدا می‌سازد.

شیر انحرافی– دریچه‌ای که به‌صورت خودکار جریان جامدات را به قسمت ساخت پلاستیک هدایت می‌کند.

افزودنی خشک– یک ماده‌ی افزودنی شیمیایی خشک که برای افزایش خواص ماده‌ی دیگر به جهت رفع نیاز مشتری افزوده شده و با پلیمر مخلوط می‌شود.

خشک‌کن– وسیله‌ای در ساخت پلاستیک که برای خشک‌کردن گلوله‌های پلاستیکی استفاده می‌شود.

اکسترودر– وسیله‌ای پیچیده متشکل از یک پوشش حرارتی با یک یا تعدادی پیچ، یک مبدل حرارتی، موتور، جعبه‌دنده و گلوله هایی برای ساخت پلاستیک می‌باشد.

هموژنایزر یا همگن‌ساز– وسیله‌ای در ساخت پلاستیک که برای همگن‌سازی و خرد کردن مواد به کار می‌رود و جریان دانه‌ها، پراکسید و ماده‌ی افزودنی را به‌وسیله‌ی یک میله‌ی مارپیچی بزرگ به‌خوبی مخلوط و در هم می‌آمیزد.

پلتایزر– وسیله‌ای با پره‌های برنده‌ی دوار جهت بریدن رشته های پلیمر خارج شده از اکسترودر

تعبیه شـــده و برای تولید گلوله‌های پلاســـتیکی استفاده می‌شود.

صـفحات غربال گری (اسـکرین پک)– صـفحاتی افقی با ســـوراخ‌های ریز که مانند صـــافی عمل می‌کند و ذرات زائد و خارجی را از جریان پلیمر جدا می‌سازد.

اســـتار فیدر– وســـیله‌ای که در تماس با هوای سیـ ستم برای نقل‌وانتقال پلا ستیک‌ها ا ستفاده می‌شود.

University of Guilan Press

Process Technology Equipment & Systems

Edited by:
Charles E. Thomas

Translated by:
Naz Chaibakhsh, ph. D

Leila Ershadi Afshar

Reyhaneh Rahimpour Langroudi

Seyyed Mehdi Mirbahoush