فصل ششم

مبدّل‌های حرارتی[1]

هدف‌های رفتاری: در پایان این فصل از فراگیر انتظار می‌رود که :
۱ــ با ساختمان مبدّل‌های حرارتی آشنا شود.
۲ــ انواع جریان‌های سیال را در مبدّل‌های حرارتی شرح دهد.
۳ــ کار با مبدّل‌های حرارتی را فرا بگیرد.

۱ــ۶ــ مقدمه

مبدل حرارتی وسیله‌ای است که انرژی حرارتی را از یک سیّال به یک یا چند سیّال که دارای درجه‌ی حرارت متفاوتی هستند، منتقل می‌کند. در این تعریف، مشخص می‌گردد که در یک مبدّل حرارتی، حداقل دو سیّال وجود دارد که حرارت میان آن دو تبادل می‌شود.

پستانداران مبدّل‌های حرارتی پیچیده‌ای دارند که مهم‌ترین این مبدّل‌ها شش‌ها (ریه‌ها) هستند که با اشباع هوای بازدم از بخار آب بدن را خنک می‌کند. رادیاتور نیز از انواع مبدّل‌های حرارتی است که در آن، آبِ در گردش داخل موتور، به‌وسیله‌ی هوا خنک می‌شود. شوفاژها و تهویه‌های مطبوع نیز از انواع مبدّل‌ها هستند.

۲ــ۶ــ مبدّل‌های حرارتی لوله‌ای

از این مبدّل، بیش از هر نوع مبدّل حرارتی دیگر، استفاده می‌گردد. مبدّل‌های حرارتی لوله‌ای خود انواع مختلفی دارند که از آن جمله می‌توان به نوع «تک لوله‌ای»، «دو لوله‌ای»، «لوله‌ی مارپیچی»، «چند لوله‌ای» و «لوله ــ پوسته[2]» اشاره نمود.

مبدّل حرارتی دو لوله‌ای[3]:

این مبدّل‌ها از دو لوله‌ی هم محور تشکیل می‌شود. یکی از دو سیّال در لوله‌ی داخلی و دیگری در مجرای حلقوی بین دو لوله یا به‌عبارتی، در لوله‌ی خارجی جریان دارد.

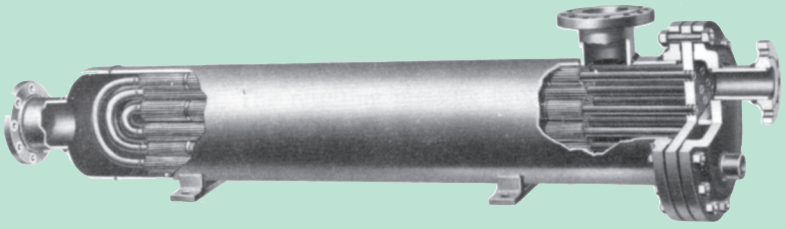
۱ــ Heat Exchangers ۲ــ Shell & Tube ۳ــ Two pipes

کاربرد این مبدّل‌ها هنگامی است که سطح تبادل حرارت مورد نیاز کوچک باشد ؛ به‌ویژه هنگامی که یکی از دو سیال گاز یا مایع، لزج یا دبی آن کم باشد.

شکل ۱ــ۶ ــ مبدّل حرارتی دو لوله‌ای

مبدّل‌های حرارتی لوله ــ پوسته:

این مبدّل از انواع متداول مبدّل‌های چند لوله‌ای است که برای انتقال حرارت «مایع‌ــمایع»، «مایع با سیّال در حال تبخیر» و «مایع با سیّال در حال تقطیر» کاربرد دارد. یک نوع از این مبدّل، که شبیه مبدّل‌های دو لوله‌ای است از یک پوسته تشکیل شده است که تعدادی لوله‌ی U شکل در داخل آن قرار دارد.



شکل ۲ــ۶ــ مبدّل حرارتی لوله ــ پوسته

۳ــ۶ــ انواع جریان در مبدّل‌های حرارتی لوله‌ای

جریان سیّالات در مبدّل‌های حرارتی لوله‌ای به دو شکل صورت می‌پذیرد :

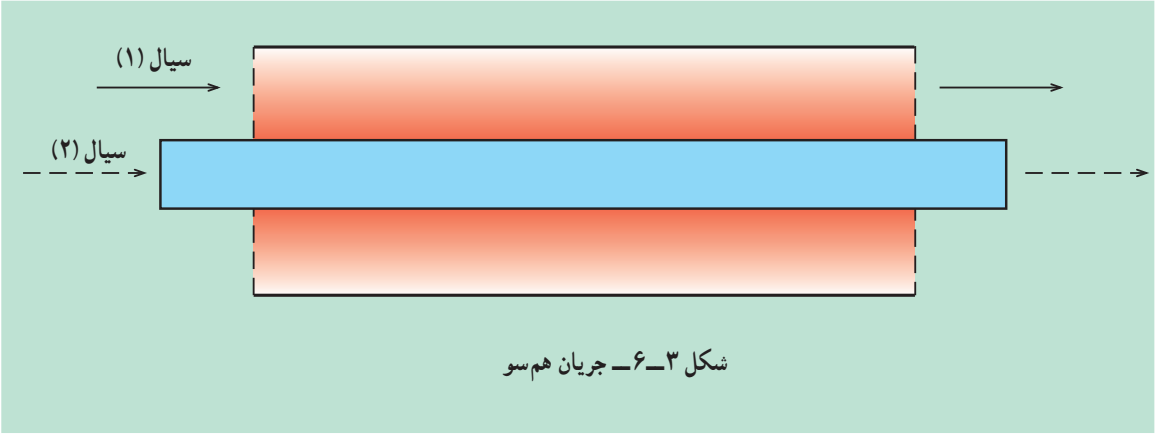
الف ــ جریان هم‌سو[1]:

در این نوع مبدّل، سیال سرد و گرم هر دو در یک جهت حرکت کرده تبادل حرارت صورت می‌گیرد.

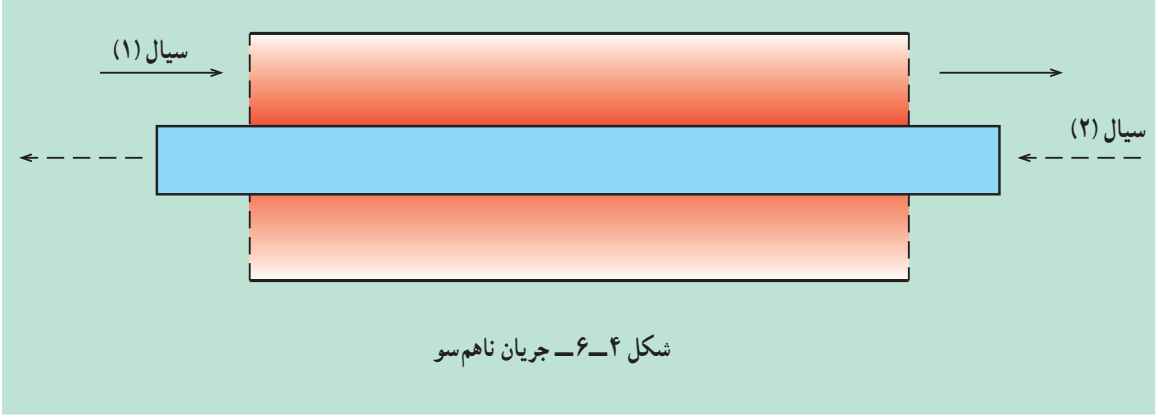
۱ــ Co - Current flow

ب ــ جریان ناهم‌سو[1]:

سیّال سرد و گرم در دو جهت مخالف حرکت می‌کند ؛ در نتیجه میزان تبادل انتقال حرارت افزایش می‌یابد و راندمان کار بیش‌تر می‌شود.



شکل ۳ــ۶ــ جریان هم‌سو

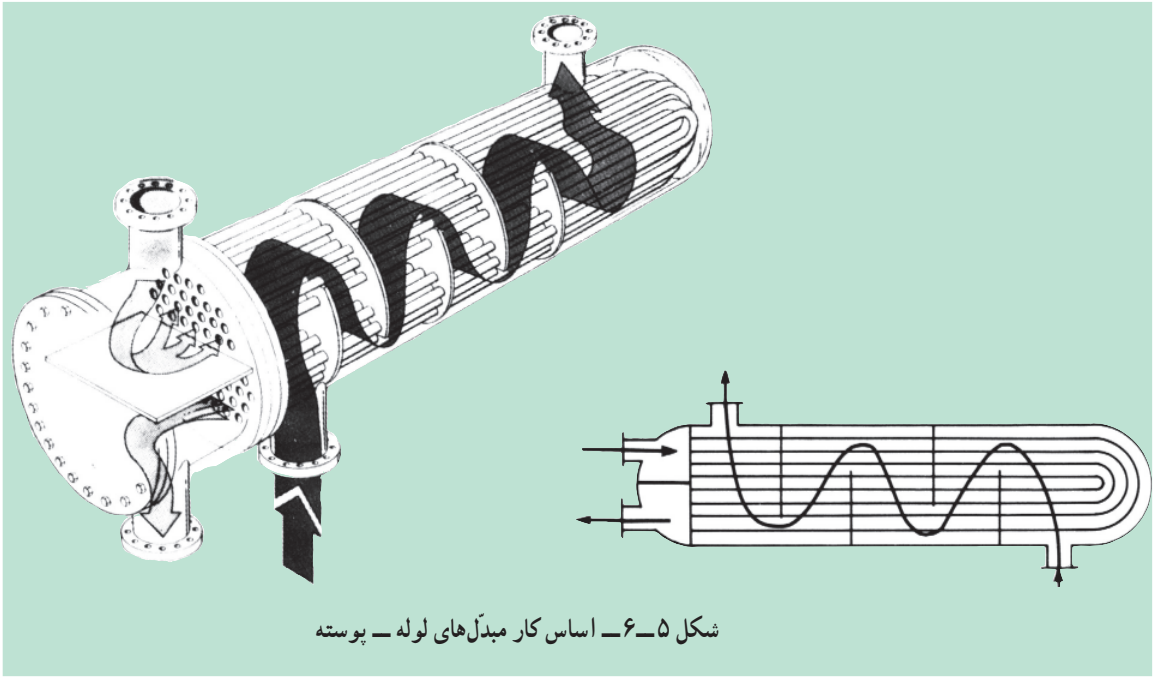


شکل ۴ــ۶ــ جریان ناهم‌سو

۴ــ۶ــ اساس کار مبدّل‌های حرارتی لوله ــ پوسته

معمولاً سیال گرم درون لوله‌های موجود در پوسته جریان خواهند داشت و در محفظه‌ی میانی لوله‌ها (در پوسته) سیّال سرد پس از عبور از مسیرهای تعیین شده با سطح جانبی لوله برخورد کرده تبادل حرارت صورت می‌پذیرد و در انتها از مجرای مخصوص خارج می‌شود. چگونگی عملکرد مبدّل‌های حرارتی لوله ــ پوسته در شکل ۵ــ۶ نشان داده شده است.

۱ــ Counter Current flow



شکل ۵ــ۶ــ اساس کار مبدّل‌های لوله ــ پوسته

۵ــ۶ــ راه‌اندازی مبدّل‌های حرارتی

۱ــ ابتدا سیّال سرد وارد پوسته‌ی مبدل می‌شود ؛ سپس به‌تدریج سیّال گرم در درون لوله‌ها جریان می‌یابد.

۲ــ چنان چه از مشتقات نفتی یا گازی برای سیالات درون مبدل استفاده می‌کنید حتماً از یک گاز بی‌اثر یا بخار آب ــ برای تخلیه‌ی هوای درون مبدّل و جلوگیری از انفجار ــ استفاده نمایید.

۶ــ۶ــ از کار انداختن مبدّل‌های حرارتی

۱ــ ابتدا جریان گرم را درون مبدّل قطع کنید تا مبدّل به‌تدریج سرد شود.

۲ــ جریان سرد را قطع نمایید.

۳ــ برای جلوگیری از انفجار در مبدّل‌های حرارتی که مخلوط‌های هیدروکربنی در آن نقش سیّال را بر عهده دارند، حتماً پس از خاموش کردن دستگاه مبدّل را هواگیری نمایید.

۷ــ۶ــ خوردگی در مبدّل‌های حرارتی

با توجه به این که در صنایع شیمیایی، بیش‌تر مواد خاصیت خورندگی دارند، لوله‌های موجود در مبدّل‌های حرارتی نیز فرسوده شده بر اثر خوردگی سوراخ می‌شوند که این امر در عمل تبادل حرارت ایجاد اخلال می‌کند. به‌همین منظور روش مشخص شدن خوردگی در لوله‌ها بیان می‌شود :

۱ــ مبدّل حرارتی را از دستگاه خارج نمایید.

۲ــ مواد را در پوسته و لوله‌ی مبدّل به‌طور کامل تخلیه کنید.

۳ــ خروجی مسیر پوسته را ببندید.

۴ــ آب‌فشار قوی را در درون پوسته‌ی مبدّل وارد کنید.

توجه: چون خروجی پوسته مسدود است هر لوله‌ای که سوراخ باشد آب را از خود عبور می‌دهد.

۸ــ۶ــ آزمایش: مبدّل حرارتی دو لوله‌ای ــ U شکل

ساده‌ترین نوع مبدّل حرارتی پوسته ــ لوله نوع دو لوله‌ای آن است که در این آزمایش ساختمان و عملکرد آن بررسی می‌شود.

اجزای تشکیل دهنده‌ی دستگاه (شکل ۶ ــ۶) عبارت‌اند از :

۱ــ لوله‌های U شکل ؛

۲ــ اندازه‌گیر جریان برای آب سرد و گرم ؛

۳ــ شیرهای دروازه‌ای به تعداد ۵ عدد ؛

۴ــ ۸ عدد دماسنج یا حس‌کننده‌ی دما[1] و یک ترمومتر دیجیتالی ؛

۵ــ مخزن ذخیره‌ی آب گرم ؛

۶ــ پمپ انتقال سیال ؛

۷ــ عایق‌بندی لوله‌های مبدّل.

مراحل آزمایش:

به‌وسیله‌ی شیرهای مسیر جریان می‌توان دو نوع جریان هم‌سو یا ناهم‌سو را در درون مبدّل ایجاد نمود.

مراحل آزمایش را برای هر دو نوع جریان تکرار نمایید :

۱ــ ابتدا شیرهای جریان آب سرد را باز کنید که در پوسته جریان دارد.

۲ــ آب درون مخزن را تا ۶۰ درجه‌ی سلسیوس گرم کرده سپس پمپ انتقال آب گرم را روشن کنید و مسیر حرکت آب گرم را به‌صورت هم‌سو با آب سرد باز نمایید.

۳ــ پس از مدتی که دمای نقاط مختلف سیّال را یادداشت نمودید متوجه خواهید شد که تغییرات دما کاهش می‌یابد ؛ بر این اساس، دستگاه به حالت پایدار رسیده است. در این حالت، دمای مربوط به نقاط مختلف را یادداشت نمایید و جدول پیوست را تکمیل کنید.

۴ــ همین مراحل را برای جریان ناهم‌سو تکرار کرده جدول ۱ــ۶ را تکمیل نمایید.

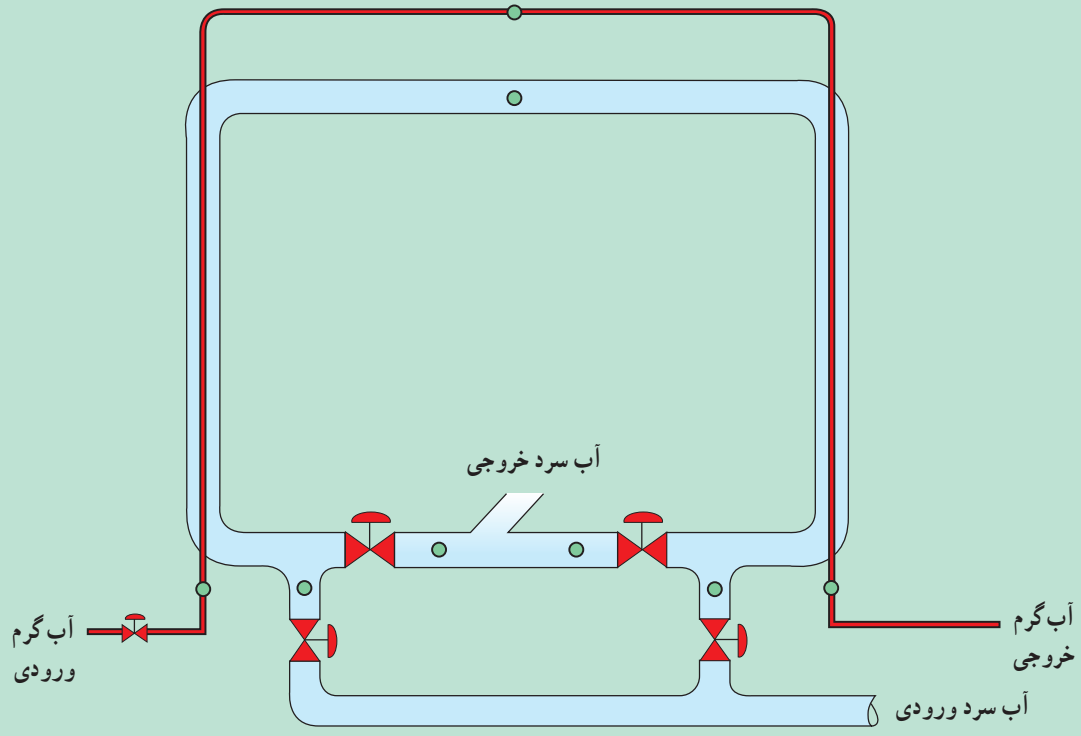
۵ــ اختلاف دماهای نقاط مختلف سیّال را در هر دو حالت هم‌سو و ناهم‌سو با هم مقایسه کرده و نتیجه‌گیری نمایید.

باداشتن مقادیر دما در نقاط مختلف، از لوله و پوسته در هر دو روش هم‌سو و ناهم‌سو، تغییرات دما را باهم مقایسه نمایید ؛ هم‌چنین مشخص کنید که در کدام حالت اختلاف دمای نقاط متناظر بیش‌تر است. در گزارش خود به آن اشاره کنید.

۱ــ Sensor

جدول ۱ــ۶

دمای آب گرم میانی	دمای آب گرم خروجی	دمای آب گرم ورودی	دمای آب سرد میانی	دمای آب سرد خروجی	دمای آب سرد ورودی	دبی آب گرم	دبی آب سرد	زمان دقیقه



شکل ۶ــ۶ــ آزمایش مبدّل حرارتی ــ دو لوله‌ای ــU شکل

۹ــ۶ــ آزمایش: مبدّل حرارتی پوسته ــ لوله

اجزای تشکیل دهنده‌ی دستگاه (شکل ۷ــ ۶) عبارت است از :

ــ یک لوله‌ی ۴ اینچ به عنوان پوسته

ــ ۱۰ عدد لوله‌ی $\frac{۱}{۴}$ اینچ که درون پوسته قرار می‌گیرد.

ــ ۶ عدد شیر آب سردوگرم ورودی و خروجی

ــ ۴ حسگر دما و ترمومتر برای نمایش

ــ مخزن ذخیره‌ی آب گرم به‌همراه هیتر برقی

ــ پمپ برای انتقال سیال گرم

ــ دبی‌سنج سیال سرد و گرم

ــ ترموستات

شرح کار

۱ــ دستگاه را با اجازه‌ی مربی روشن نمایید.

۲ــ شیر آب سرد را باز کنید تا درون پوسته پر شود (به صورت همسو)

۳ــ شیر آب‌گرم و پمپ مربوطه را روشن نمایید.

۴ــ در فاصله‌ی زمانی متفاوت دماهای ورودی و خروجی را یادداشت کنید.

۵ــ مراحل ۲ تا ۴ را در دبی‌های مختلف آب سرد و گرم انجام دهید.

۶ــ مراحل ۲ تا ۵ را برای جریان ناهمسو تکرار کنید.

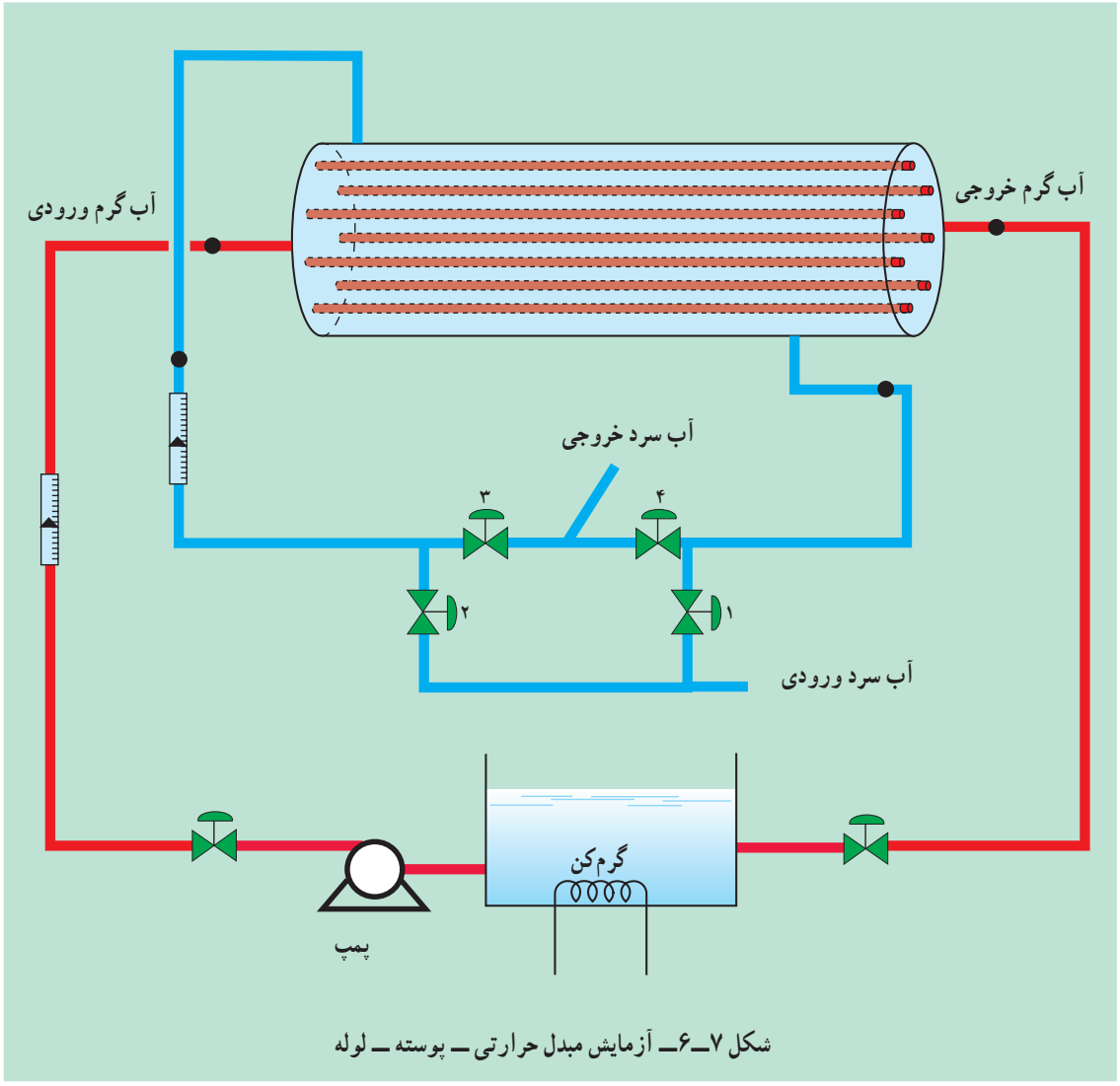
۷ــ جدول ۲ــ۶ را برای دبی‌های مختلف جریان سرد و گرم و هم‌چنین جریان‌های همسو و ناهمسو تکمیل نمایید.

۸ــ تأثیرات افزایش دبی جریان سرد و گرم را در تغییرات دما به‌صورت منحنی رسم نمایید.

۹ــ نتایج مذکور را برای جریان‌های همسو و ناهمسو تکرار کنید.

جدول ۲ــ۶

دمای آب گرم خروجی	دمای آب گرم ورودی	دمای آب سرد خروجی	دمای آب سرد ورودی	زمان ــ دقیقه



شکل ۷ــ۶ــ آزمایش مبدل حرارتی ــ پوسته ــ لوله

خودآزمایی

۱ــ مبدّل حرارتی را به‌گونه‌ای مختصر شرح دهید.

۲ــ انواع جریان مربوط به مبدّل حرارتی را شرح دهید.

۳ــ چه هنگام از مبدّل حرارتی دو لوله‌ای استفاده می‌شود؟

۴ــ اساس کار مبدّل‌های حرارتی پوسته ــ لوله را شرح دهید.

۵ــ برای یافتن خوردگی در مبدّل‌ها چه روشی را پیش‌نهاد می‌کنید؟

۶ــ حرارت انتقال یافته در روش همسو بیش‌تر است یا ناهمسو؟ چرا؟

فصل هفتم

کنترل فرآیند

هدف‌های رفتاری: در پایان این فصل از فراگیر انتظار می‌رود که :
۱ــ با نحوه‌ی کنترل سطح، به هنگام کار آشنا شود.
۲ــ با نحوه‌ی کنترل دما در حین کار آشنا شود.
۳ــ با نحوه‌ی کنترل فشار به هنگام کار آشنا شود.

۱ــ۷ــ مقدمه

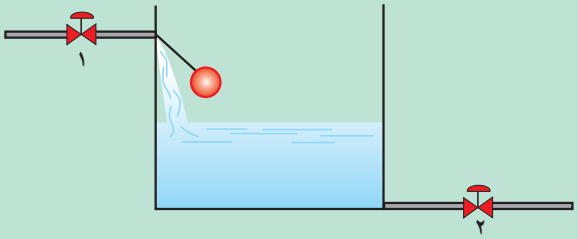
اصولاً در فرآیندهای شیمیایی، به‌وسیله‌ی کنترل عوامل تعیین کننده نظیر فشار، دما و سطح، علاوه بر نظارت بر کیفیت محصول، امکان بروز خطرهای جانبی کار نیز به حداقل خواهد رسید ؛ به همین منظور، در این فصل علاوه بر تعریف ساده از سه نوع کنترل یادشده، آزمایش را نیز انجام خواهید داد.

۲ــ۷ــ کنترل سطح مایع[۱]

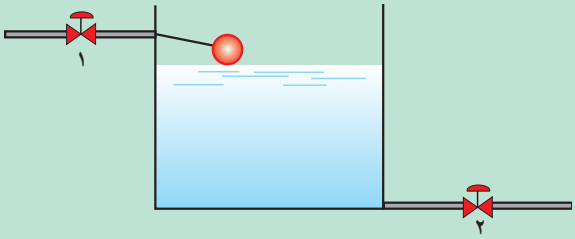
با نظارت بر ارتفاع مایعات در تانک‌های ذخیره، مخازن، راکتورها و نظایر آن، می‌توان علاوه بر افزایش بازدهی دستگاه از پر شدن و سرریز شدن تانک‌ها و مخازن جلوگیری کرد. سرریزشدن مخازن در کارخانجات شیمیایی که مواد آتش‌زا و سمی را شامل می‌شوند بسیار خطرناک بوده، ممکن است علاوه بر آلودگی محیط، خطرات آتش‌سوزی و خسارت‌های مالی و جانی را در پی داشته باشد.

برای درک بهتر موضوع به شکل ۱ــ ۷ توجه نمایید برای تنظیم ارتفاع مایع در شکل از یک شناور استفاده شده است. شیر ۱ و ۲ به‌ترتیب برای مایع ورودی و خروجی تعبیه شده‌اند.

۱ــ Liquid Level Control



الف ــ قبل از اعمال کنترل و بسته شدن شیر ورودی



ب ــ بسته شدن شیر ورودی و تنظیم ارتفاع

شکل ۱ــ۷

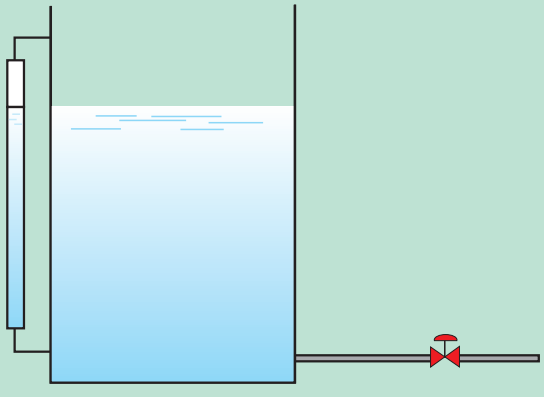
همان‌گونه که در شکل مشاهده می‌کنید تنظیم ارتفاع مطلوب در تانک به دو شیوه است :

۱ــ شیر خروجی را بیش‌تر باز نمایید یا به‌عبارتی مصرف را بیش‌تر کنید.

۲ــ شیر ورودی را ببندید تا ارتفاع مایع از این طریق کنترل شود.

عمل‌کرد: با افزایش ارتفاع مایع در تانک، شناور به سمت بالا رانده می‌شود که درنتیجه، مسیر شیر ورودی بسته خواهد شد بر اثر مصرف از طریق شیر خروجی ارتفاع کاهش می‌یابد و در نتیجه، شناور به سمت پایین آزاد شده مسیر مایع ورودی باز خواهد شد. بدین ترتیب، به راحتی می‌توان ارتفاع مایع را در تانک تنظیم نمود.

در جداره‌ی تانک‌ها و مخازن از وسایلی برای نشان دادن ارتفاع مایع استفاده می‌شود که به‌صورت شیشه‌های مدوّر در جداره‌ی تانک‌ها قرار دارد. به این وسایل «نمایشگر سطح مایع[۱]» می‌گویند که در شکل ۲ــ۷ طرحی از آن را مشاهده می‌کنید.



شکل ۲ ــ۷ــ مخزن مجهز به نمایشگر سطح مایع

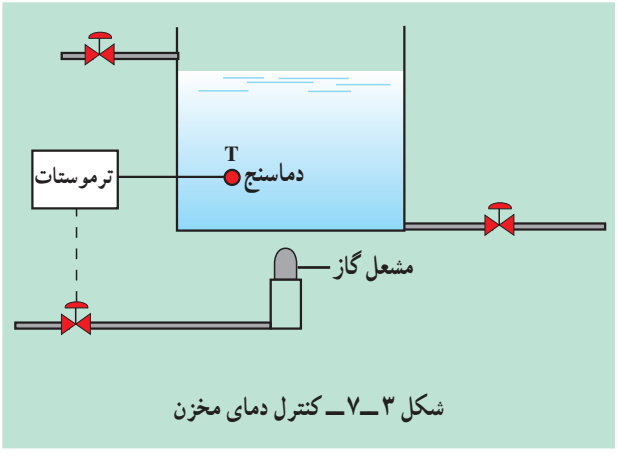
۱ــ Level Indicator

۳ــ۷ــ کنترل دما[۱]

از کارهای مهمی که باید در صنایع صورت پذیرد، کنترل صحیح دماست که افزایش یا کاهش غیرطبیعی و نامطلوب دما علاوه بر خطرات، بر کیفیت محصول نیز تأثیرات بسیاری خواهد گذاشت.

در شکل ۳ــ۷ کنترل ساده‌ی دما، برای یک مخزن مجهز به گرم‌کن (مشعل) نشان داده شده است.

دمای داخل تانک به‌وسیله‌ی ترموکوپل اندازه‌گیری می‌شود و چنان‌چه از حد مجاز بیش‌تر شود با ترموستات، فرمان قطع جریان گرم به مخزن داده خواهد شد ؛ به‌عبارتی، شیر عبور جریان گاز بسته خواهد شد و دمای مخزن به حالت طبیعی باز خواهد گشت و چنان‌چه دمای داخل مخزن کاهش یابد، ترموستات با ارسال فرمان باعث باز شدن شیر گازشده دمای مخزن را دوباره به حالت مطلوب خواهد رسانید.

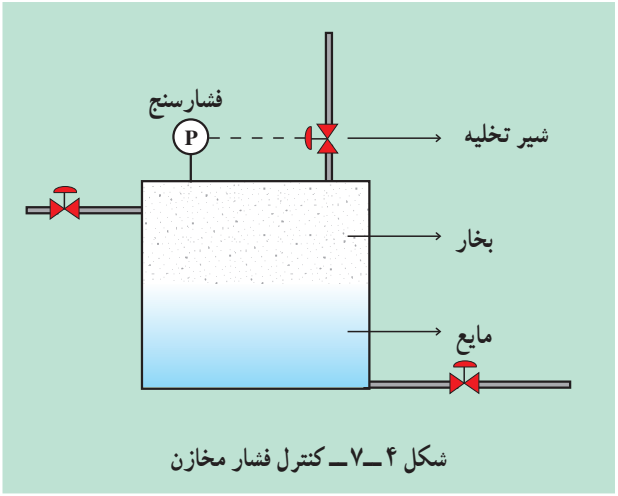


شکل ۳ــ۷ــ کنترل دمای مخزن

۴ــ۷ــ کنترل فشار[۲]

مخازن تحت فشار، تانک‌های ذخیره‌ی مواد شیمیایی و نفتی، یا مخازن ذخیره‌ی گاز، به منظور ایمنی، باید به کنترل کننده‌ی فشار مجهّز باشند. دیگ‌های زودپز که در منازل استفاده می‌شود نمونه‌ی ساده‌ای از مخازن تحت فشار است. آب‌گرمکن‌های منازل نیز نمونه‌ای دیگر برای کنترل فشار است، در شکل ۴ــ۷ کنترل فشار به سادگی نشان داده شده است.

۱ــ Temperature control ۲ــ Pressure Control



شکل ۴ــ۷ــ کنترل فشار مخازن

وقتی دمای داخل آب‌گرمکن افزایش پیدا کند فشار نیز بالا خواهد رفت و بخار ایجاد شده ازدیاد فشار را تشدید می‌کند. همان گونه که در شکل نشان داده شده به وسیله‌ی کنترل کننده‌ی فشار فرمانی ارسال می‌شود ؛ در نتیجه، شیر اطمینان بالای آب‌گرمکن باز شده مقداری از بخار به بیرون فرستاده می‌شود تا فشار مخزن تقلیل بیابد و به حالت تعادل برسد.

۵ــ۷ــ شیرهای کنترل[۱]

معمولاً در صنعت، شیرهای کنترل، آخرین وسیله‌ی کنترل کننده‌ی مدار کنترل هستند که به وسیله‌ی اثرات مکانیکی یا اثرات الکتریکی باز و بسته خواهند شد و کنترل نهایی را برعهده خواهند داشت (برای مطالعه‌ی بیش‌تر به کتاب «عملیات دستگاهی در صنایع شیمیایی» مراجعه شود.)

۶ــ۷ــ آزمایش: کنترل سطح، دما و فشار آب‌گرم‌کن

هدف: بررسی و مشاهده‌ی کنترل دما، سطح و فشار روی آب‌گرمکن و آشنایی با ادوات ساده‌ی کنترل.

ساختمان این دستگاه از این بخش‌ها تشکیل شده است :

۱ــ مخزن ذخیره‌ی آب، همراه با شناور.

۲ــ آب‌گرمکن گازی مجهز به ترموستات و شیر اطمینان و فشارسنج.

۱ــ Control Valreo

روش آزمایش:

با توجه به شکل ۵ــ۷ این مراحل را انجام دهید :

۱ــ شیر ورودی آب را به مخزن ذخیره باز کنید تا پر شود.

* زمانی که شناور عمل نماید مسیر آب ورودی به گونه‌ی خودکار قطع می‌شود.

۲ــ شیر خروجی تانک را باز کنید تا آب به آب‌گرمکن وارد شود.

۳ــ شبکه‌ی حرارتی را بسته به نوع آن روشن نمایید و روی دمای ۶۰ درجه‌ی سلسیوس تنظیم کنید.

* وقتی که دما به ۶۰ درجه‌ی سلسیوس برسد ترموستات به‌طور خودکار مسیر منبع حرارتی را قطع خواهد کرد.

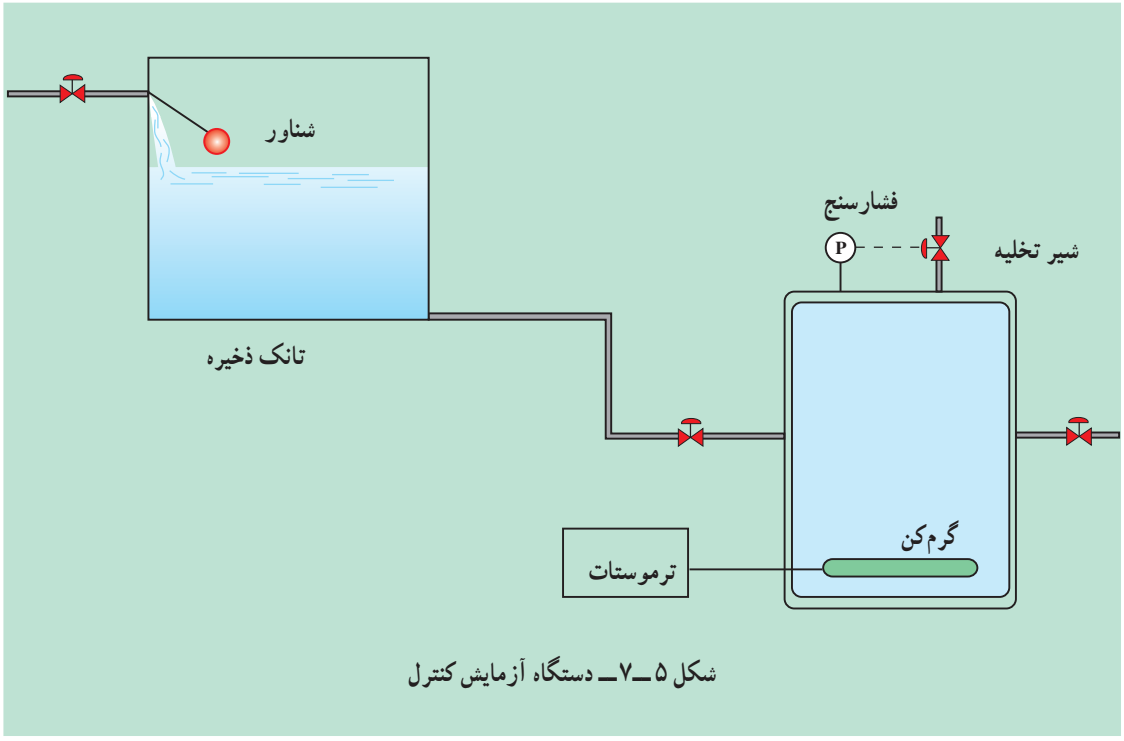
۴ــ برای کنترل فشار باید در دماهای بالا کار کنید. ترموستات را روی $100^{\circ}C$ قرار دهید.

۵ــ در این دما بخارات تولید می‌شود که باعث ازدیاد فشار مخزن خواهد شد در این حالت فشار را از طریق فشارسنج بخوانید.

۶ــ بر اثر افزایش فشار شیر اطمینان عمل خواهد کرد و بخشی از بخار خارج خواهد شد. فشار مرحله‌ی دوّم را نیز بخوانید.

فعالیت آزاد:

با نصب یک فشارسنج بوردن روی دیگ زودپز می‌توان اثر کنترل فشار را به‌وسیله‌ی سوپاپ‌های اطمینان دیگ مشاهده نمود.



شکل ۵ــ۷ــ دستگاه آزمایش کنترل

خودآزمایی

۱ــ چرا کنترل در هر واحد صنعتی لازم است؟

۲ــ چنان‌چه شبکه‌ی کنترل سطح مایع در یک مخزن مواد شیمیایی عمل نکند چه اتفاقی می‌افتد؟

۳ــ نحوه‌ی کنترل دمای آب‌گرمکن را شرح دهید.

۴ــ با یک مثال ساده کنترل فشار را توضیح دهید.

فصل هشتم

برج‌ها و ستون‌ها

هدف‌های رفتاری: در پایان این فصل از فراگیر انتظار می‌رود که :
۱ــ دستگاه‌های انتقال جرم را توضیح دهد.
۲ــ برج‌ها و ستون‌های عملیات انتقال جرم را توضیح دهد.
۳ــ دستگاه تفکیک و ستون جذب سینی‌دار را بیان کند.
۴ــ برج جذب پرشده را توضیح دهد.
۵ــ با برج‌ها و ستون‌ها کارکند.
۶ــ از کارخانجات نفت و گاز و پتروشیمی یا پالایشگاه بازدید بعمل آورد.

۱ــ۸ــ مقدمه

بسیاری از فرآیندهای مهندسی شیمی با مسئله‌ی تغییر غلظت در محلول‌ها و مخلوط‌ها سروکار دارند که این تغییرات الزاماً به‌وسیله‌ی واکنش‌های شیمیایی صورت نمی‌پذیرند. این عملیات بیش‌تر به جداسازی مخلوط‌ها و سازنده‌های آن‌ها مربوط می‌شود. در مورد مخلوط‌ها این اعمال ممکن است به شیوه‌های مکانیکی مانند فیلتراسیون یک مخلوط معلق و جدانمودن جزء جامد از مایع یا جداسازی اجزای مختلف و خردشده‌ی یک مخلوط با اندازه‌های مختلف از طریق غربال نمودن، یا جداسازی ذرات جامد آسیاب شده با استفاده از اختلاف جرم ویژه‌ی آن‌ها صورت گیرد. عملیاتی را که طی آن تغییراتی در ترکیب مخلوط‌ها به‌وجود می‌آید، **عملیات انتقال جرم**[۱] نامند. اهمیت این عملیات کاملاً واضح بوده و به‌ندرت می‌توان یک فرآیند شیمیایی را یافت که نیاز به خالص‌سازی اولیه‌ی موادخام یا جداسازی نهایی محصولات از محصولات جانبی حاصل از واکنش نداشته باشد، و به دلایل مذکور عموماً عملیات انتقال جرم مورد استفاده قرار می‌گیرد. با مشاهده‌ی برج‌های تقطیر متعددی که در یک پالایشگاه نفت امروزی دیده می‌شود و در هر یک از آن‌ها عملیات انتقال جرم صورت می‌پذیرد، به اهمیت این اعمال می‌توان پی‌برد.

غالباً قسمت اعظم هزینه‌های مربوط به یک فرآیند صرف انجام جداسازی‌های وابسته به آن می‌گردد. مخارج مربوط به این جداسازی‌ها یا خالص‌سازی‌ها بستگی مستقیم به نسبت غلظت‌نهایی به غلظت ابتدایی مواد جداشده خواهد داشت. اگر این نسبت بزرگ باشد قیمت

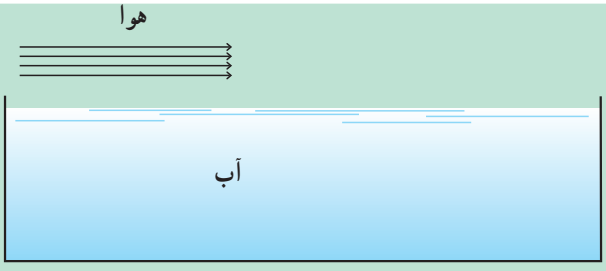
---

۱ ــ Mass Transfer Operation

تمام شده‌ی محصول بالاتر خواهد رفت. به عنوان مثال سولفوریک اسید یک محصول نسبتاً ارزان‌قیمت است چون گوگرد در طبیعت به‌صورت تقریباً خالص یافت می‌شود در صورتی که اورانیوم خالص به دلیل آنکه عیار سنگ معدن آن در طبیعت بسیار کم است، ماده‌ی گرانبهایی می‌باشد.

جمع‌بندی

عملیات انتقال جرم به‌وسیله‌ی انتقال یک فاز به داخل فاز دیگر در مقیاس مولکولی مشخص می‌شود. مثلاً وقتی آب از درون یک استخر به داخل جریان هوایی که بر روی سطح آب در حرکت است (شکل ۱ــ۸)، تبخیر می‌شود نوعی انتقال جرم است.



شکل ۱ــ۸ــ عبور جریان هوا از روی سطح آب

مولکول‌های بخار آب از میان مولکول‌های هوا روی سطح به درون توده‌ی هوا نفوذ کرده و از آن‌جا بیرون برده می‌شوند. این عمل جابجا شدن مولکول‌ها یک جابه‌جایی کلی نیست. مثلاً نمی‌توان آن را با پمپ کردن یک مایع که در آن به دلیل اختلاف فشار موجود، تمام مایع منتقل می‌شود مقایسه کرد. در این قبیل مسایل، انتقال جرم در نتیجه اختلاف غلظت انجام گرفته و ماده‌ی نفوذکننده از محلی با غلظت بیش‌تر به محلی که دارای غلظت کمتری است، منتقل می‌شود.

۲ــ۸ــ تقسیم‌بندی عملیات انتقال جرم

این تقسیم‌بندی به‌صورت جدول ۱ــ۸ می‌باشد.

جدول ۱ــ۸

عملیات انتقال جرم

۱ــ تماس مستقیم دو فاز نامحلول در یکدیگر

۱ــ گاز ــ گاز : غیرقابل انجام در صنعت

۲ــ گاز ــ مایع : جداسازی آمونیاک از مخلوط هوا و آمونیاک به وسیله‌ی آب

۳ــ گاز ــ جامد : خشک‌کردن گازهای مرطوب

۴ــ مایع ــ مایع : جداسازی آب و استن به‌وسیله‌ی تتراکلریدکربن

۵ــ مایع ــ جامد : جداسازی طلا از سنگ معدن

۶ــ جامد ــ جامد : غیر قابل انجام در صنعت

۲ــ جداسازی فازها با استفاده از غشاء[1]

۱ــ گاز ــ گاز : جداسازی هلیوم به‌وسیله‌ی غشاهای پلیمری از گاز طبیعی

۲ــ مایع ــ مایع : شیرین‌سازی آب دریا

۳ــ گاز ــ مایع : جداسازی الکل از آب به‌وسیله‌ی یک غشاء به نوعی که الکل در طرف دیگر غشاء تبخیر شود.

---

۱ ــ Memberane

۱ــ۲ــ۸ــ تماس مستقیم دو فاز نامحلول در یکدیگر

این گروه از نوع دیگر مهم‌تر می‌باشد و اغلب عملیات انتقال جرم در این دسته‌بندی واقع می‌شود.

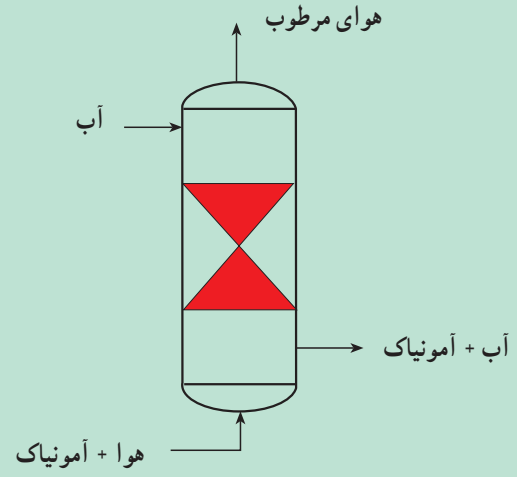
وجود سه‌فاز مختلف یعنی گاز، مایع و جامد امکان مجاورشدن دو فاز را با یکدیگر به شش صورت فراهم می‌کند.

گاز ــ گاز:

به جز موارد استثنایی، تمام گازها به‌طور کامل با یکدیگر مخلوط می‌شوند و لذا در این گروه فرآیندهای متداول در صنعت انجام پذیر نیست.

گاز ــ مایع:

جداسازی آمونیاک را از مخلوط گازی هوا ــ آمونیاک به‌وسیله‌ی آب می‌توان از این دسته نامید. در این حالت بخش عمده‌ای از آمونیاک موجود در هوا به داخل آب نفوذ خواهد کرد و این در حالی است که هوا در آب نفوذ نمی‌کند. این عمل را در صنعت جذب[۱] می‌نامند (شکل ۲ــ۸).



شکل ۲ــ۸ــ جداسازی آمونیاک از مخلوط هوا ــ آمونیاک (برج جذب)

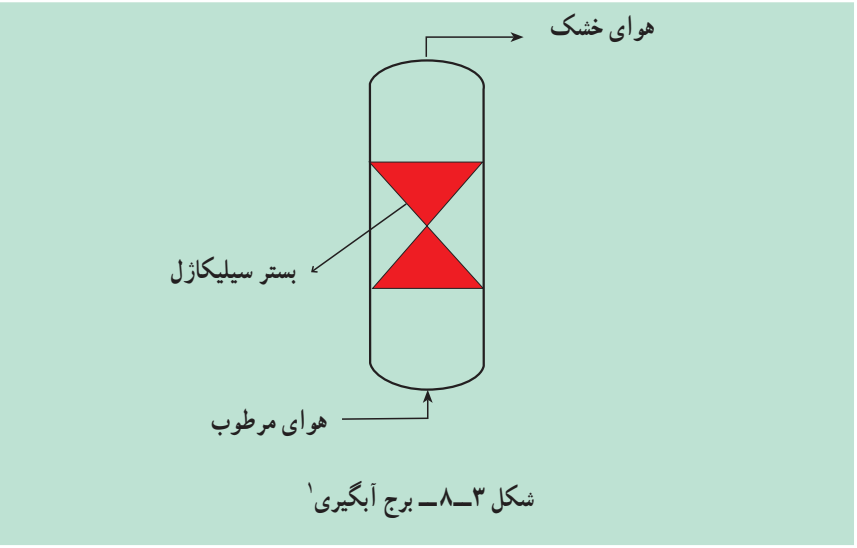
چنانچه هوا در تماس با محلول آمونیاک ــ آب قرار گیرد، قسمتی از آمونیاک از آب جدا شده و درون هوا نفوذ خواهد کرد. این فرآیند در صنعت دفع[۲] نامیده می‌شود.

گاز ــ جامد:

اگر مخلوطی از هوای مرطوب در معرض یک ماده‌ی جاذبه‌ی رطوبت مثل سیلیکاژل فعال شده قرار بگیرد، بخار آب به درون فاز جامد نفوذ نموده و هوا خشک می‌شود این فرآیند را در صنعت خشک کردن[۳] می‌نامند (شکل ۳ــ۸).

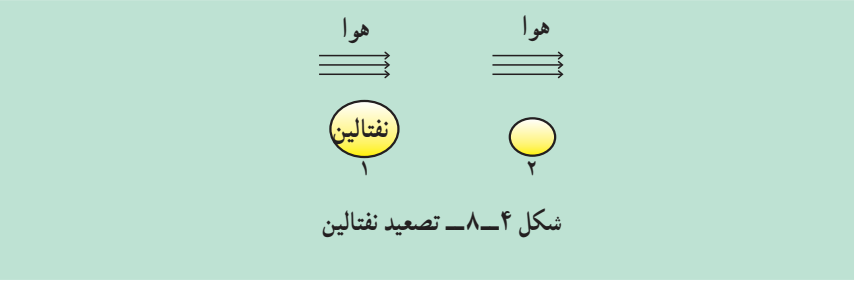
---

۱ ــ Absorption ۲ ــ Stripping ۳ ــ drying



شکل ۳ــ۸ــ برج آبگیری[۱]

هم‌چنین نفوذ نفتالین در هوا نیز نوعی انتقال از فاز جامد به گاز می‌باشد. این عملیات در صنعت تصعید[۲] نامیده می‌شود (شکل ۴ــ۸).



شکل ۴ــ۸ــ تصعید نفتالین

مایع ــ مایع:

اگر محلول استن ــ آب را در یک قیف جداکننده با تتراکلرید کربن تکان داده و اجازه دهند تا فازها از یکدیگر جدا شوند، قسمت عمده‌ی استن از فاز آب جداشده و وارد فاز تتراکلرید کربن می‌شود. این عملیات را در صنعت استخراج مایع ــ مایع[۳] می‌نامند.

فعالیت ۱:

۱ــ مقدار مشخصی از آب و استن را با یکدیگر مخلوط کنید.

۲ــ مقدار مشخصی تتراکلریدکربن به محلول اضافه کنید و خوب به‌هم بزنید.

۳ــ به‌وسیله‌ی قیف جداکننده دو فاز مجزا را از یکدیگر جدا کنید.

۴ــ حجم‌های ثانویه را یادداشت کنید.

۵ــ میزان نفوذ استن را در تتراکلرید به‌دست آورید.

۱ــ Dehydration Column ۲ــ Sablimation ۳ــ Liquid - Liquid Extraction

مایع ــ جامد:

جداسازی طلا از سنگ‌های معدن توسط محلول‌های سیانید یا جداسازی روغن از پنبه دانه به‌وسیله‌ی هگزان از این گروه می‌باشد. در این قبیل موارد نفوذ از جامد به مایع صورت می‌پذیرد.

اگر ناخالصی رنگی موجود در محلول‌های شربت قند نیشکر با کربن فعال[1] مجاور شوند مواد رنگی بر روی سطح کربن جامد جمع خواهد شد. این عمل را جذب سطحی[2] می‌نامند.

جامد ــ جامد :

چون سرعت انتقال مواد درون فازهای جامد خیلی کند می‌باشد در این دسته هیچ عملیات صنعتی صورت نمی‌گیرد.

۲ــ۲ــ۸ــ جداسازی فازها با استفاده از غشاء:

نقش غشاء جلوگیری از مخلوط‌شدن دو فاز محلول در یکدیگر است. وجود غشاء باعث جداسازی مواد از یکدیگر در اثر کنترل راه عبور سازنده‌ها از یک سو به سوی دیگر غشا می‌گردد به عبارتی یک سازنده از غشاء عبور می‌کند تا جداسازی صورت بگیرد.

گاز ــ گاز:

اگر یک مخلوط گاز که دارای سازنده‌های مختلفی با جرم مولکولی متفاوت است با غشاء تماس داشته باشد، سازنده‌های مخلوط با شدت‌های گوناگونی که بستگی به جرم مولکولی آن‌ها دارد از درون غشاء عبور خواهند کرد. هلیوم را از گاز طبیعی با استفاده از غشاهای پلیمری فلوروکربن جدا می‌کنند در این حالت گاز هنگام عبور از غشاء ابتدا درون آن حل شده و سپس نفوذ می‌نماید. جداسازی در این حالت در اثر اختلاف حلالیت سازنده انجام خواهد شد.

گاز ــ مایع:

اگر محلولی از آب و الکل در مجاورت با یک غشاء مناسب غیرمتخلخل که قدرت حل‌کردن الکل را داشته باشد، قرار دهیم، الکل پس از عبور از غشاء در سمت دیگر تبخیر خواهد شد.

مایع ــ مایع:

اگر محلول شربت قند چغندر حاوی ناخالصی‌های کلوییدی باشد می‌توان ناخالصی‌های موجود را با استفاده از حلال آب و یک غشاء نیمه‌تراوا جدا ساخت، آب و قند از غشاء عبور می‌نمایند در صورتی که ذرات درشت کلوییدی قادر به عبور نخواهند بود. هم‌چنین اگر حلالی را از محلولی که در آن است با استفاده از غشایی که فقط بتواند حلال را از خود عبور دهد، جدا کنند، فرآیند را اسمز[3] می‌گویند.

بدیهی است که با استفاده از فشاری مخالف و غالب بر فشار اسمزی می‌توان

---

۱ ــ Active Carbon ۲ ــ Absorption

۳ ــ Osmosis

جریان حلال را معکوس کرد و حلال و حل‌شونده بدین ترتیب با عمل اسمز معکوس[1] از یکدیگر جدا خواهند شد و این، یکی از فرآیندهای متداول در شیرین‌کردن آب دریاست.

۳ــ ۸ ــ انتخاب روش جداسازی

خصوصیات فیزیکی مواد موردنظر و هزینه‌ی عوامل اصلی در انتخاب روش جداسازی خواهند بود. مثلاً روغن‌های نباتی را از دانه‌ی آن‌ها می‌توان از طریق فشردن دانه یا استخراج به کمک حلال به‌دست آورد. عموماً روشی که هزینه‌ی کمتری داشته باشد مورد استفاده قرار خواهد گرفت. بندرت عوامل دیگر ممکن است در تصمیم‌گیری دخالت کنند. مثلاً ساده‌ترین روش، با وجودی که ممکن است کم هزینه‌ترین روش نباشد، به دلیل سادگی مطلوب‌ترین است. در برخی از موارد به لحاظ عدم وجود اطلاعات کافی برای طراحی، یک روش ارزان را کنار می‌گذارند. تجربیات کاری گذشته نیز می‌تواند در تصمیم‌گیری نهایی نقش بسیار مهمی را ایفا کند.

۴ ــ ۸ ــ اصول طراحی

در طراحی هر واحد مربوط به انتقال جرم، چهار عامل اصلی باید تعیین گردد :

۱ــ تعداد مراحل ایده‌آل (تعداد مراحلی که فازها با یکدیگر تماس دارند).

۲ــ زمان لازم برای تماس فازها

۳ــ شدت جریان‌های مجاز فازها

۴ــ انرژی‌های مورد نیاز برای عملیات انتقال جرم.

در این فصل مبحث برج‌های جذب و دفع و دستگاه‌های تفکیک‌کننده نفت وگاز را مورد بررسی قرار می‌دهیم.

۵ ــ ۸ ــ برج تفکیک‌کننده‌ی نفت و گاز[2]

نفت استخراج شده از مخازن زیرزمینی حاوی گاز، آب شور، شن و سنگریزه و ناخالصی‌های دیگری می‌باشد که وجود چنین ناخالصی‌هایی باعث شده است تا از دستگاه‌هایی استفاده شود و در این ادوات نفت از ناخالصی‌های مذکور جدا شود. از آن جایی که نفت دارای مقادیر زیادی گاز حل شده می‌باشد و این گازها در حین انتقال نفت توسط خطوط لوله ایجاد مشکل و انسداد خط جریان را می‌کنند لذا ضرورت جداسازی گاز را از نفت توجیه می‌کند. هم چنین گاز جدا شده از نفت حاوی هیدروکربن‌های سبک و غنی می‌باشد که خود دارای ارزش‌های فراوان اقتصادی هستند.

۱ــ Reverse Osmosis

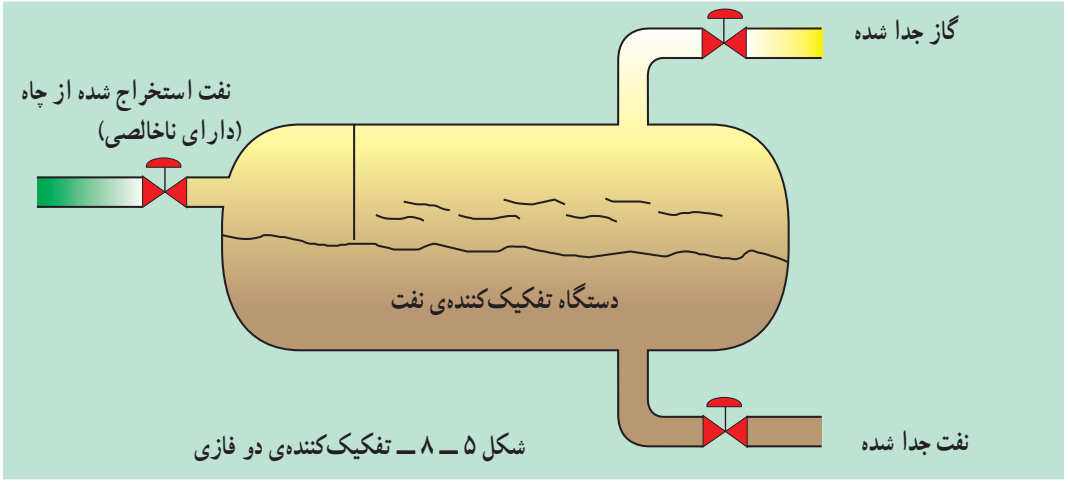
۲ــ Oil and Gas separator

تفکیک‌کننده‌ها به‌طور کلی به دو صورت وجود دارند :

۱ــ۵ ــ ۸ ــ تفکیک‌کننده‌های دو فازی[۱]

در این دستگاه‌ها دو فاز گاز و نفت از یکدیگر جدا می‌شوند (مطابق شکل ۵ ــ ۸). فاز گاز از بالای تفکیک‌کننده و فاز نفت (مایع) از پایین دستگاه خارج می‌شوند.

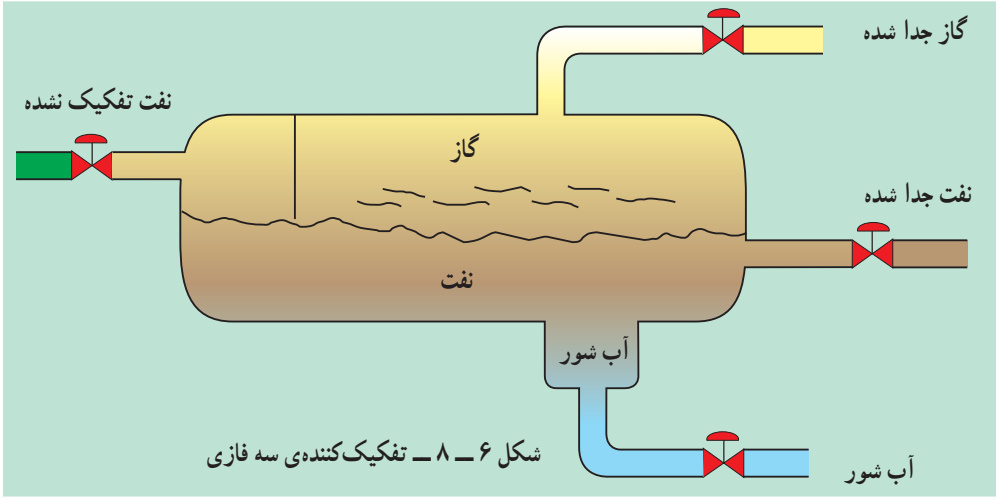
اصولاً تفکیک‌کننده‌ها به صورت افقی در مسیر جریان نفت قرار می‌گیرند و به دلیل شرایط خاص دمایی و فشاری باعث جدایی دو فاز از یکدیگر می‌شود. این عملیات را تبخیر ناگهانی[۲] می‌نامند.



شکل ۵ ــ ۸ ــ تفکیک‌کننده‌ی دو فازی

۲ــ۵ ــ ۸ ــ تفکیک‌کننده‌های سه فازی[۳]

در این دستگاه‌ها سه فاز نفت و گاز و آب شور (حاوی نمک) از یکدیگر جدا می‌شوند. فاز گاز از بالای دستگاه، فاز نفت و آب (مایع) از پایین تفکیک کننده و بر اساس چگالی از یکدیگر جدا می‌شوند. یعنی آب شور پایین‌تر از نفت قرار می‌گیرد و پس از تجمع در ته دستگاه تخلیه می‌شوند (شکل ۶ ــ ۸).



شکل ۶ ــ ۸ ــ تفکیک‌کننده‌ی سه فازی

۱ــ Two phase separator ۲ــ Flash vaporization ۳ــ Three phase separator

۳ــ۵ ــ ۸ ــ وسایل داخلی دستگاه‌های تفکیک‌کننده

برای آن‌که عمل تفکیک به‌خوبی انجام شود و نفت تا حد مطلوب عاری از گاز شود وسایلی در داخل دستگاه تفکیک به‌کار برده می‌شود که هر کدام به نوبه‌ی خود عملی جداگانه برای جدا کردن گاز از نفت انجام می‌دهند. وسایل داخلی دستگاه عبارتند از :

۱ــ سینی منحرف‌کننده[۱]

۲ــ ورقه‌های محوکننده‌ی کف[۲]

۳ــ ورقه‌های جداکننده‌ی گاز از نفت[۳]

۴ــ ورقه‌های نم‌گیر[۴]

۵ ــ گرداب شکن[۵]

۴ــ۵ ــ ۸ ــ طرز کار وسایل داخل دستگاه تفکیک‌کننده

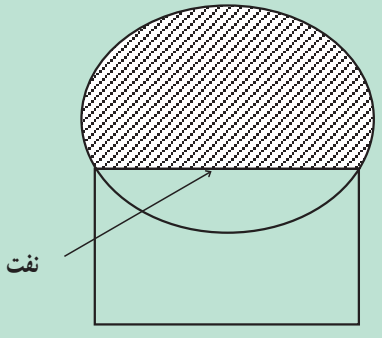
سینی منحرف‌کننده:

سینی مزبور در نقطه‌ای که نفت و گاز وارد دستگاه تفکیک می‌شود، نصب شده است. این سینی به اشکال مختلفی وجود دارد.

نفت موقعی که وارد دستگاه تفکیک می‌گردد با سینی منحرف‌کننده برخورد می‌کند. روی این سینی چند میله وجود دارد. نفت پس از برخورد با میله‌ها به سمت پایین هدایت می‌شود. وجود میله‌ها برای ایجاد تنش در نفت و در نهایت جداسازی بیشتر نفت و گاز می‌باشد. در این حالت گازهای سبک زیادی جدا می‌شوند. گازهای جدا شده از نفت به طرف بالای دستگاه تفکیک هدایت می‌شود.

ورقه‌های محوکننده‌ی کف:

نفتی که از سینی منحرف‌کننده به طرف پایین سرازیر می‌شود هنوز دارای مقادیر گاز می‌باشد و در نتیجه‌ی ریزش به طرف پایین، مقداری کف تولید می‌کند. برش مقطعی از ورقه‌های محوکننده‌ی نفت را در شکل ۷ــ ۸ مشاهده می‌کنید.



شکل ۷ ــ ۸ ــ برش مقطعی سینی محوکننده‌ی کف

۱ــ Defelector Dish
۲ــ Defoaming Baffles
۳ــ Dividing plates
۴ــ Mist Eleminator
۵ ــ Vortex Breaker

وظایف ورقه‌ی محوکننده‌ی کف عبارت است از :

۱ــ از تولید کف در داخل دستگاه جلوگیری کرده و اگر کفی ایجاد شود آن را از بین می‌برد.

۲ــ از تلاطم نفت درون دستگاه جلوگیری می‌کند.

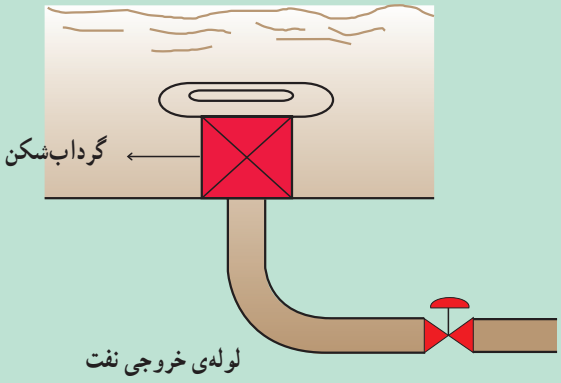
۳ــ باعث می‌شود گاز بیش‌تری از نفت جدا شود.

ورقه‌های جداکننده‌ی گاز از نفت:

نفتی که از سینی منحرف‌کننده به طرف پایین سرازیر می‌شود مقدار دیگری گاز دارد. این گاز به‌وسیله‌ی ورقه‌ی جداکننده از نفت جدا می‌شود.

گرداب‌شکن:

گرداب‌شکن یا مانع عبور گاز از لوله‌ی نفت در محل لوله‌ی خروجی نفت قرار دارد. معمولاً جایی‌که مایع باشد در قسمتی که عمق آن از جاهای دیگر بیش‌تر است، گرداب ایجاد می‌شود و همین گردابی که تولید شده باعث می‌شود مقدار گازی که از نفت جدا شده از سوراخ بین گرداب همراه نفت خارج شده و به مراحل بعدی تفکیک برود. در نتیجه عمل تفکیک در دستگاه‌های بعدی را با مشکل مواجه سازد. شکل ۸ــ ۸ نمایی از گرداب‌شکن را نمایش می‌دهد.



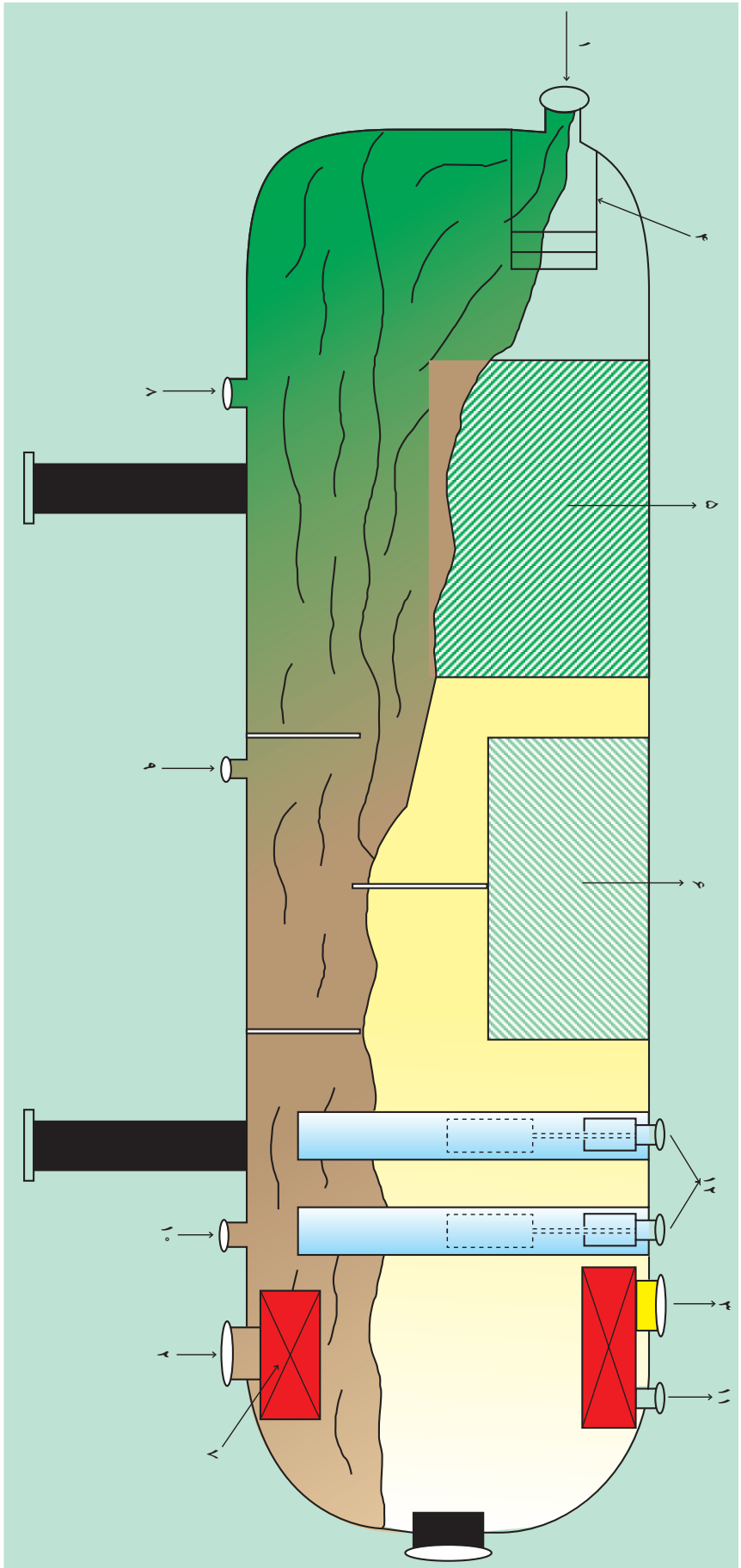
شکل ۸ ــ ۸ ــ گرداب‌شکن مستقر در محل لوله‌ی خروجی نفت

نم‌گیر:

نم‌گیر نزدیک لوله‌ی خروجی گاز قرار دارد. وظیفه‌ی نم‌گیر گرفتن رطوبت و قطرات نفتی است که همراه گاز می‌باشد.

نفت در اثر برخورد با سینی منحرف‌کننده مقدار زیادی گاز خود را از دست می‌دهد. هم‌چنین ورقه‌ی جداکننده نیز مقدار دیگری گاز را از نفت جدا می‌کند. این گازها همراه مقداری از قطره‌های نفت می‌باشد. این قطره‌ها نباید همراه گاز از بالای دستگاه خارج شود به همین دلیل از نم‌گیر استفاده می‌شود.

شکل ۹ــ۸ نمایی کلی از یک دستگاه تفکیک‌کننده‌ی گاز و نفت را نشان می‌دهد.



شکل ۹ــ ۸ ــ نمایی از ادوات یک تفکیک‌کننده

جدول قطعات تفکیک‌کننده ی مربوط به شکل ۹ــ ۸

شماره	توضیح
۱	نازل نفت ورودی[۱]
۲	نازل نفت خروجی[۲]
۳	نازل گاز خروجی[۳]
۴	سینی منحرف‌کننده[۴]
۵	سینی محوکننده‌ی کف[۵]
۶	موانع حذف رطوبت[۶]
۷	مانع جریان گردابی (گرداب شکن[۷])
۸	نازل تخلیه‌ی مایع (ته کش[۸])
۹	نازل تخلیه‌ی مایع (ته کش)
۱۰	نازل تخلیه‌ی مایع (ته کش)
۱۱	تخلیه‌ی گاز[۹]
۱۲	کنترل‌کننده‌ی سطح نفت[۱۰]

۱ــ Oil Inlet Nozzle
۲ــ Oil Outlet Nozzle
۳ــ Gas Outlet Nozzle
۴ــ Deflector Dish
۵ ــ Defoaming Baffles
۶ــ Mist Eleminator Baffles
۷ــ Vortex Breaker
۸ ــ Drain
۹ــ Vent
۱۰ــ Liquid level controller

اختلال در عملیات تفکیک:

مهمترین معایبی که در حین عملیات تفکیک ممکن است پیش بیاید به شرح زیر می‌باشد :

الف ــ رفتن گاز همراه نفت[1] از پایین دستگاه تفکیک:

(شکل ۱۰ــ ۸)

علائمی که مشخص‌کننده‌ی این حالت هستند، عبارتند از :

۱ــ پایین آمدن سطح نفت در دستگاه تفکیک

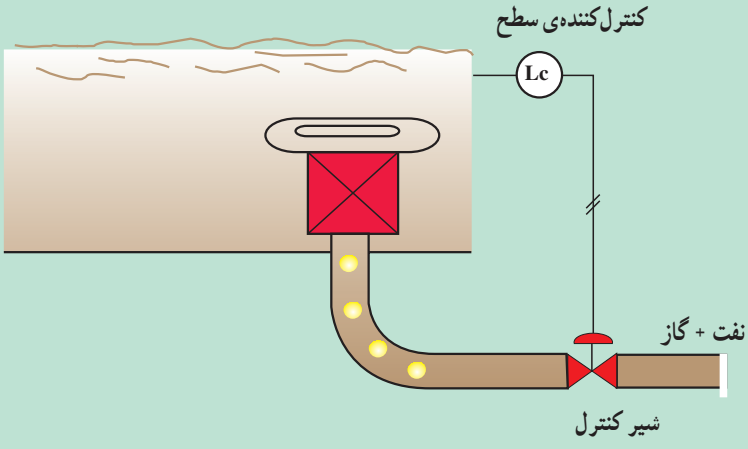
۲ــ کم شدن حرارت لوله‌ی خروجی نفت دستگاه تفکیک

۳ــ زیاد شدن صدای لوله‌ی خروجی نفت

طریقه‌ی برطرف کردن این مشکل عبارتست از :

۱ــ افزایش سطح نفت در دستگاه تفکیک

۲ــ ممکن است شیر کنترل سطح نفت خراب شده باشد که باید توسط نیروهای تعمیرات مستقر درکارخانه، شیر کنترل را اصلاح کرد.



شکل ۱۰ــ ۸ ــ پدیده‌ی Carry through

ب ــ خروج نفت همراه گاز[2] از بالای دستگاه تفکیک:

(شکل ۱۱ــ ۸)

اگر نفت همراه گاز از لوله‌ی خروجی گاز بالای دستگاه تفکیک خارج شود این مشکل پیش می‌آید. علائم شناخت این پدیده عبارتند از :

۱ــ زیاد شدن بیش از حد سطح نفت در دستگاه

۲ــ دود کردن مشعل[3] اصلی کارخانه

۱ــ Carry through ۲ــ Carry over ۳ــ Stock flare

۳ــ زیاد شدن درجه‌ی حرارت لوله‌ی خروجی گاز

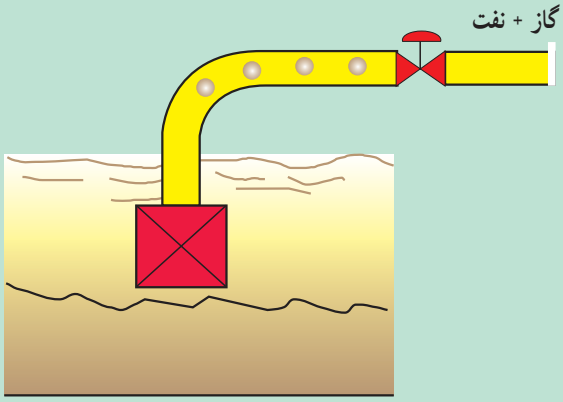
۴ــ کم شدن فشار دستگاه تفکیک

۵ ــ تغییر صدای لوله‌ی گاز خروجی (صدا کمتر می‌شود).

برطرف کردن این مشکل :

۱ــ سطح نفت باید در دستگاه تفکیک پایین آورده شود. علت ممکن است مربوط به شیر کنترل سطح نفت باشد یا اینکه ممکن است شیر کنترل فشار از تنظیم خارج شده باشد.

۲ــ سرمای شدید و باران نیز باعث این مشکل خواهد شد، لذا در این حالت باید درجه حرارت دستگاه تفکیک را افزایش داد.



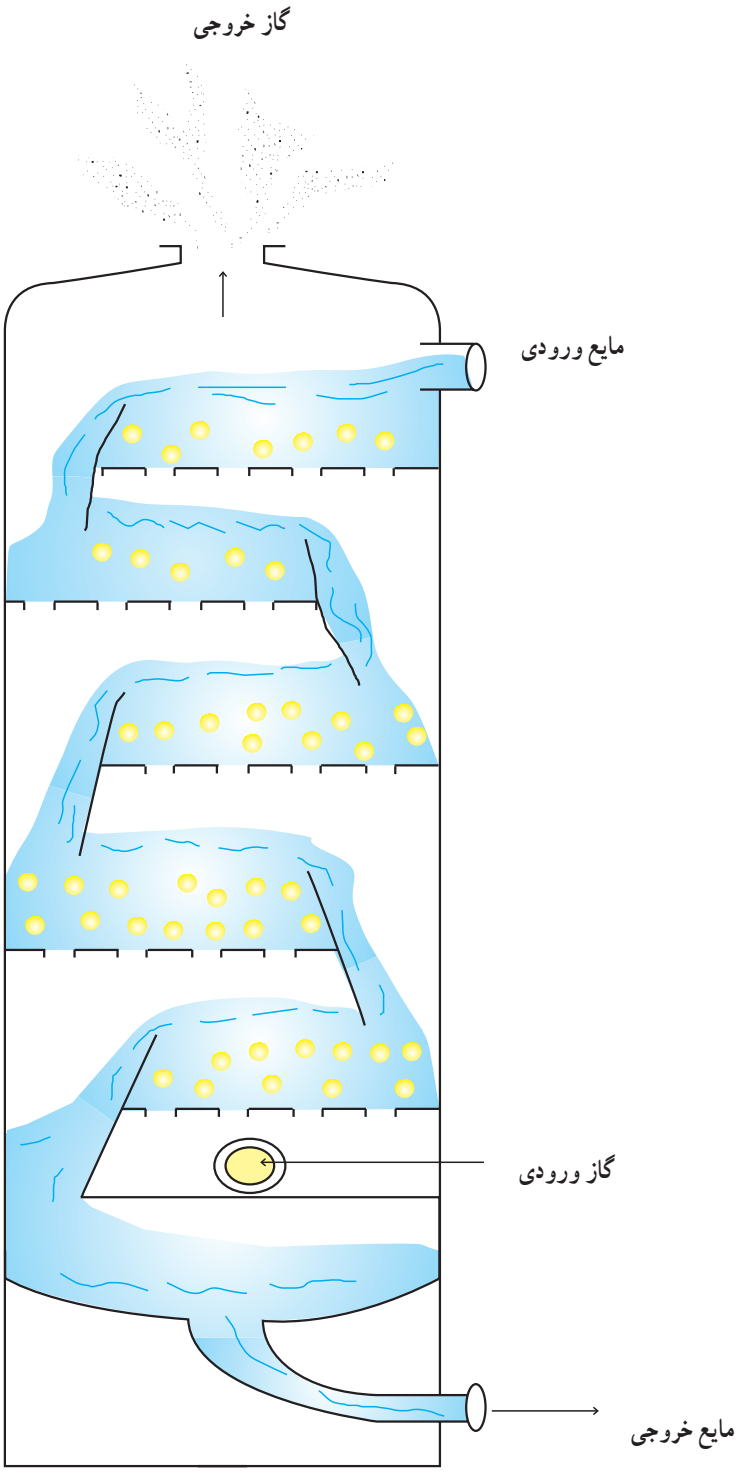
شکل ۱۱ــ ۸ ــ پدیده‌ی Carry over

۶ــ ۸ ــ برج‌های سینی‌دار[1]*

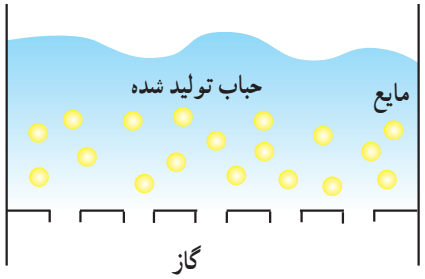
برج‌های سینی‌دار استوانه‌هایی عمودی هستند که در آن‌ها مایع وگاز به صورت مرحله‌ای در سینی‌ها یا صفحات، تماس حاصل نمایند. در شکل ۱۲ــ ۸ یک نوع از آنها دیده می‌شود. مایع از بالای برج وارد شده و تحت اثر نیروی جاذبه به‌طرف پایین حرکت می‌کند. مایع در مسیر خود از طریق یک مجرا به سینی پایین می‌ریزد. گاز از پایین به بالا حرکت می‌کند و از طریق روزنه‌های موجود در صفحات (سینی‌ها) به صورت حباب درآمده و به درون مایع پراکنده می‌شود و ایجاد کف می‌کند. سپس گاز و مایع از یکدیگر جدا شده و به سرعت سینی‌های بعدی حرکت می‌کنند. هر سینی برج به منزله یک مرحله می‌باشد زیرا تماس کافی در روی هر کدام از سینی‌ها بین فازها انجام می‌شود.

۱ــ Tray towers

* برای اطلاعات بیشتر به کتاب عملیات دستگاهی در صنایع شیمیایی مراجعه شود.



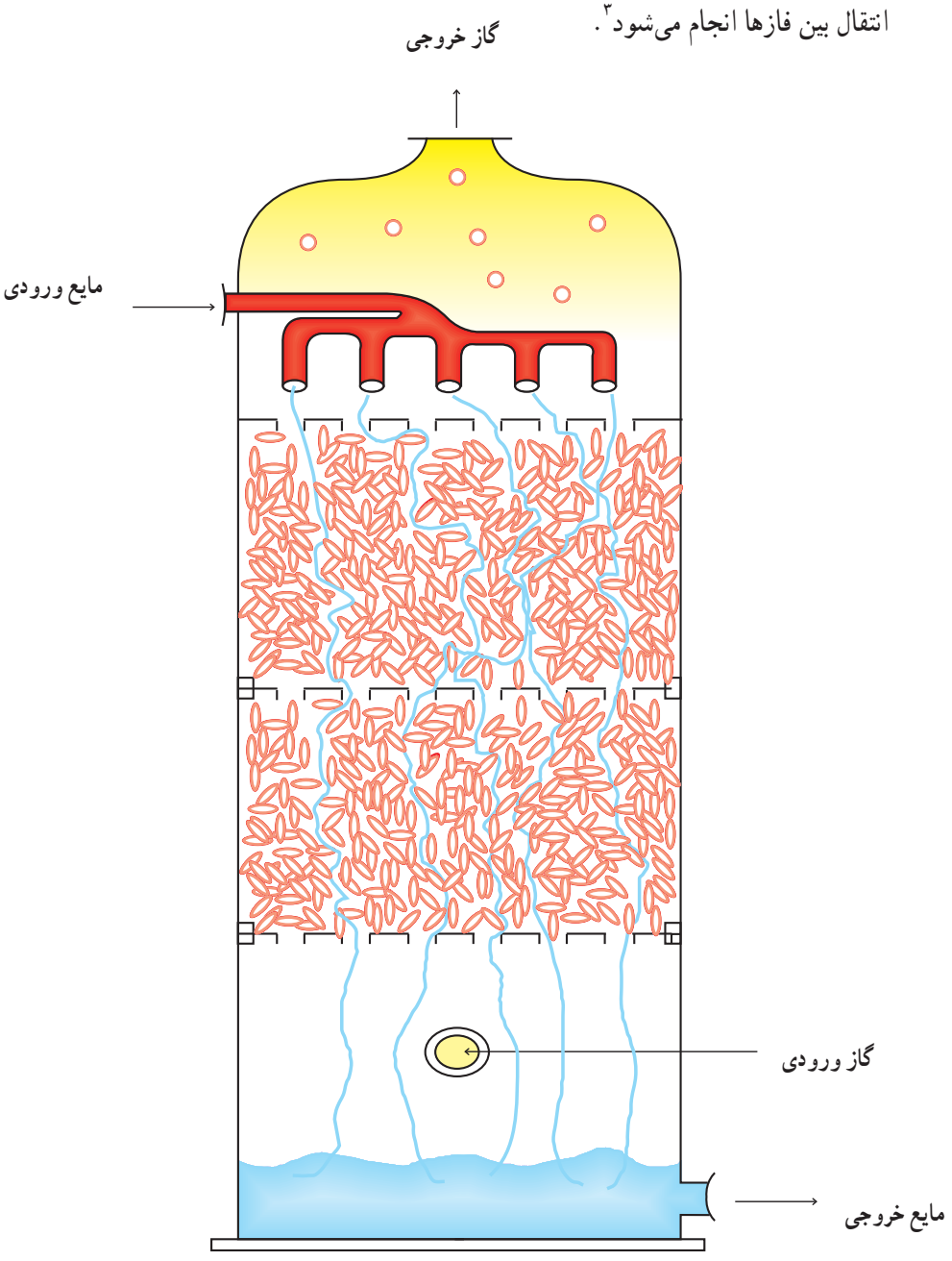
شکل ۱۲ــ ۸ ــ الف ــ نمایی از یک برج با سینی مشبک



شکل ۱۲ــ ۸ ــ ب ــ مقطعی از یک سینی مشبک

۷ ــ ۸ ــ برج‌های پرآکنده[۱]

همان‌طور که در شکل ۱۳ــ ۸ دیده می‌شود، در این دستگاه‌ها مایع و گاز به صورت متقابل یا همسو در تماس مداوم با یکدیگر قرار می‌گیرند. برای ایجاد سطح تماس بین دو فاز، در این برج‌ها از قطعات پرکن[۲] (آکنه) استفاده می‌شود. در دستگاه‌های مذکور، فاز مایع از بالا وارد شده و سطح پرکن‌ها مرطوب می‌شود. گاز از پایین وارد شده و از میان فضاهای خالی بین پرکن‌ها عبور کرده و به سمت بالا می‌رود. روی سطح پرکن‌ها عملیات انتقال بین فازها انجام می‌شود[۳].



شکل ۱۳ــ ۸ ــ برج پرآکنده

۱ــ Packed Tower
۲ــ Packing
۳ــ به کتاب عملیات دستگاهی در صنایع شیمیایی مراجعه شود.

پرکن‌ها باید دارای خواص زیر باشند :

الف ــ سطح تماس زیادی را بین مایع و گاز ایجاد نمایند.

ب ــ با مایع و گاز عبوری در برج واکنش ندهند.

ج ــ دارای استحکام باشند تا استفاده از آن‌ها به آسانی امکان‌پذیر باشند.

د ــ ارزان قیمت باشند.

۸ــ ۸ ــ اشکالات حین عملیات

۱ــ اگر سرعت فاز گاز زیاد باشد باعث می‌شود قطرات مایع از یک سینی به سینی بالاتر منتقل شود در نتیجه بازده‌ی برج کاهش پیدا کرده و خلوص محصول کاهش می‌یابد. این مشکل ماندگی مایع[۱] نام دارد. برای نقص این مشکل باید سرعت فاز گاز را کم کرد.

۲ــ در صورتی که شدت گاز کم باشد، مایع از سوراخ‌های سینی به سمت سینی پایینی انتقال پیدا می‌کند. این پدیده را ریزش می‌نامند[۲]. اگر شدت گاز خیلی کم باشد تمام مایع به سمت پایین خواهد ریخت و تقریباً عملیات متوقف خواهد شد. در این حالت باید سرعت فاز گاز را افزایش داد.

در حقیقت باید سرعت فاز گاز را بر اساس سرعت فاز مایع به درستی بهینه و تنظیم نمود.

۹ــ ۸ ــ بازدید

از آنجایی که هزینه‌ی ساخت و تجهیز کارگاه این بخش خیلی زیاد خواهد شد و نتایج مطلوب عملی نیز حاصل نمی‌شود، توصیه این است که حتماً از کارخانجات نفت، گاز، پالایشگاه و پتروشیمی دیدن به عمل آید. درحین بازدید برج‌های سینی‌دار و پر شده را به تفصیل بازدید نموده و از هنرآموزان گزارش بازدید خواسته شود.

۱ــ Liquid Entrainment

۲ــ Wiepping

خودآزمایی

۱ــ عملیات انتقال جرم به چند دسته‌ی کلی تقسیم‌بندی می‌شود؟ نام ببرید.

۲ــ خشک کردن جزء کدام دسته از عملیات می‌باشد؟ با مثالی توضیح دهید.

۳ــ شماتیک یک برج دفع را رسم کرده و جریان‌های هر کدام را براساس جداسازی آمونیاک به وسیله‌ی آب از مخلوط هوا ــ آمونیاک نام‌گذاری کنید.

۴ــ تحقیقی در ارتباط با شیرین‌سازی آب دریا انجام دهید.

۵ ــ عوامل اصلی را درطراحی دستگاه‌های انتقال جرم نام ببرید.

۶ ــ وسایل داخلی دستگاه تفکیک گاز ــ مایع را نام ببرید.

۷ــ از گرداب شکن به چه منظوری استفاده می‌شود؟

۸ ــعلائم خروج نفت همراه گاز از بالای دستگاه تفکیک را نام ببرید.

۹ــ پرکن‌ها در برج‌های پر شده باید چه خصوصیاتی داشته باشند؟

۱۰ــ پدیده‌ی ریزش را شرح داده و بگویید چگونه برطرف می‌شود؟

منابع و مراجع

۱ــ حسن مدنی، مکانیک سیالات و هیدرولیک، انتشارات امیرکبیر

۲ــ دیوید همیل بلاو، اصول شیمیایی و مبانی محاسبات در مهندسی شیمی، مک گراهیل

۳ــ کاگ ناور و کابل، کنترل فرآیندها، مک گراهیل

۴ــ سید پندار توفیقی، طراحی و تنظیم سیستم‌های کنترل در واحدهای شیمیایی نفت و گاز، آموزش صنعت نفت جنوب، ۱۳۷۴.

۵ــ Streeter - willey - bedford, fluid Mechanic, Mc Graw Hill, 1999.

۶ــ J. P. Holman, Heat Transfer, Mc Graw Hill, 1990.

۷ــ J. P. Holman, Experimental Method of Engineering, 1998.

۸ ــ Miller, Flow Meaourement Engineering Hand book, 1997.

۹ــ KarraSik, Pump Hand book, 1998.

۱۰ــ Coulson & Richardson, Coulson & Richardson's Chemical Engineering, 1999.

۱۱ــ William. R. Apblett. Jr, Shell & Tube Heat Exchanger, Foster Wealer, development Corporation, 1991.

۱۲ــ G. Walker, Industrial Heat Exchanger a basic guide, University of Calgary.

۱۳ــ Sulzer Company, Pump for The offshore Oil Industry.

۱۴ــ Sulzer Company, Turbo Compressors, Standardized line of Compressor, 1990.

۱۵ ــ EBARA Corporation, Caoing Manual, 1993.

۱۶ــ MANNES MANN. Demag Company, Centrifugal, 1994.
Compressor of The Oil & gas Industry, 1994.

۱۷ــ Platon Instrumentation flow bits, flow & Pressure Measurement & Control Equipment, 1991.

۱۸ ــ Treyball, R, Mass Transfer operations, Mc. Graw. Hill, 1996.