

فصل سوم

دستگاههای انتقال حرارت

بسیاری از واکنشهای شیمیایی و فرآیندهای جداسازی مواد در دمایی غیر از دمای محیط انجام می شوند. از این رو تأمین گرمایش و سرمایش مواد در حین انجام فرآیند و تولید محصول امری اجتناب ناپذیر است. همچنین بازیابی حرارت و جلوگیری از اتلاف آن منجر به تولید محصولی با هزینه کمتر می شود. بنا به همین دلیل آشنایی با وسایل و تجهیزات انتقال حرارت از اهمیت زیادی برخوردار است. دستگاههایی چون کوره ها، مبادله کن های حرارتی، برجهای خنک کننده، سیستم های سردساز و لوله های گرمایی از جمله تجهیزات انتقال حرارت می باشند. به دلیل اهمیت و کاربرد فراوان مبادله کن های حرارتی در صنایع شیمیایی و نفت و گاز، در این فصل به معرفی مختصر این دستگاهها می پردازیم. اما در ابتدا مکانیسم های انتقال حرارت را مورد بررسی قرار میدهم.

۳-۲: مکانیسم های انتقال حرارت

همانطور که می دانیم مکانیسم های انتقال حرارت عبارتند از هدایت (رسانش)، جابجایی (همرفت) و تشعشع (تابش). در ادامه به طور مختصر هر یک را توضیح می دهیم؛

هدایت: در جامدات هدایت به صورت جریان الکترونهاي آزاد و انتقال انرژی ارتعاشی ذرات جسم به ذرات مجاور در دمای پایینتر صورت می گیرد. در این نوع انتقال حرارت، جابجایی فیزیکی صورت نمی گیرد؛ بیشتر جامداتی که هادی خوب الکتریسته هستند، گرما را نیز به خوبی هدایت می کنند. در گازها هدایت به صورت برخورد مولکولهای گاز با یکدیگر و انتقال انرژی جنبشی صورت می گیرد. در مایعات پدیده هدایت پیچیده تر بوده، اما بیشتر مانند حالت گازهاست.

جابجایی: اگر سطحی در دمای T_w در مجاورت سیالی با دمای T_∞ قرار گیرد، میان سطح و سیال گرم مبادله می شود که این پدیده را جابجایی می گویند. چنانچه سطح گرمتر از سیال باشد، انتقال حرارت از سطح به سیال صورت می گیرد؛ مانند سطح گرم شومافز نسبت به هوای اتاق یا سطح داغ کتری نسبت به آب داخل آن. چنانچه سیال گرمتر از سطح باشد، انتقال حرارت جابجایی از سیال به سطح صورت می گیرد؛ مانند هوای اتاق نسبت به شیشه سرد پنجره. مکانیسم تبادل حرارت جابجایی به صورت برخورد مولکولهای سیال به سطح و تبادل انرژی حرارتی بین آنهاست. با گرم شدن سیال مجاور سطح چگالی آن کاهش یافته، سبکتر می شود، و در نتیجه نیروهای شناوری رو به بالا حرکت

می کند و نهایتاً جابجایی فیزیکی صورت می گیرد. فرق اساسی مکانیسم جابجایی با هدایت همین حرکت توده سیال است.

تشعشع: همه اجسام به خاطر دمایشان از خود انرژی منتشر می کنند. این پدیده را تابش حرارتی یا تشعشع حرارتی می گویند. چنانچه دو سطح که از خود انرژی تابشی نشر می کنند، در معرض یکدیگر قرار گیرند، مقداری از انرژی تابش شده به سطح دیگری برخورد می کند و میان آنها تابش حرارتی صورت می گیرد. شدت انرژی تابشی تبادل یافته به عوامل مختلفی بستگی دارد، مانند دما، اندازه و جنس سطوح، فاصله میان آنها، زوایا و انحنا، و همچنین به اینکه فضای بین دو سطح خلأ باشد و یا محیط دیگری مانند گاز یا مایع.

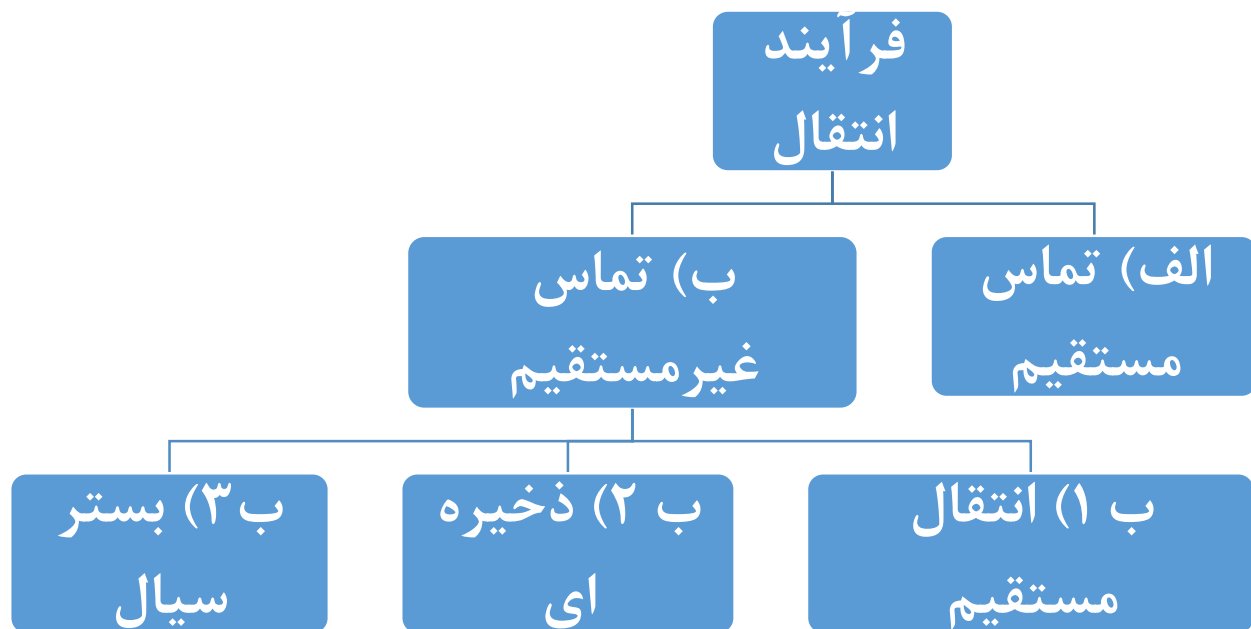
۳-۳: مبادله کن های حرارتی

مبدل حرارتی وسیله ای است که برای انتقال انرژی حرارتی بین دو سیال در دماهای مختلف مورد استفاده قرار می گیرد. با توجه به کاربردهای متنوع و بی شمار مبدل های حرارتی، در این فصل دسته بندی آنها را بر اساس موارد مختلف ارائه می دهیم.

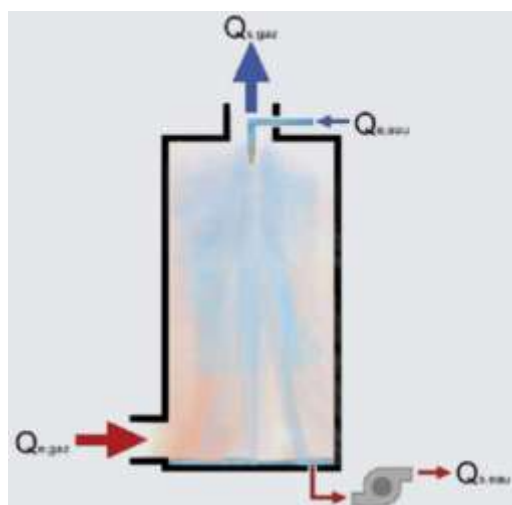
- فرآیند انتقال
- فشردگی سطوح
- مشخصات هندسی
- آرایش جریانها

۳-۳-۱: دسته بندی مبادله کن های حرارتی بر اساس فرآیند انتقال

شکل زیر دسته بندی مبدل های حرارتی را بر اساس فرآیند انتقال نشان می دهد که شامل تماس مستقیم و تماس غیرمستقیم می باشد. طبق شکل زیر تماس غیر مستقیم خود شامل سه حالت می شود. در ادامه هر یک را بطور مجزا شرح می دهیم.



الف) تماس مستقیم: در این نوع مبدل ها انتقال حرارت بین دو سیال امتزاج ناپذیر و در اثر برخورد مستقیم و بدون واسطه صورت می گیرد. در این نوع مبدل ها سطح تبادل حرارت و جداکننده جریان وجود ندارد. معمولاً یکی از دو سیال گاز بوده و سیال دیگر یک مایع با فشار بخار پایین می باشد که پس از تبادل انرژی حرارتی به آسانی قابل جداسازی است.



ب) تماس غیر مستقیم: در این نوع مبدل ها حرارت ابتدا از سیال گرم به سطح واسطه و سپس از سطح واسطه به سیال سرد منتقل می شود. این نوع تماس به سه دسته تقسیم می شود:

ب ۱) انتقال حرارت مستقیم: دو سیال توسط یک دیواره نازک صفحه ای یا لوله ای از هم جدا می شوند و حرارت از سطح دیواره منتقل می شود. در این نوع مبدل هر دو سیال بطور همزمان در مبدل جریان دارند ولی با یکدیگر مخلوط نمی شوند.

ب ۲) انتقال حرارت ذخیره ای: در این نوع مبدل مسیر جریان یکسانی برای هر دو سیال وجود دارد و به صورت متناوب توسط هر یک از جریانهای گرم و سرد اشغال می گردد. سطح انتقال حرارت به صورت ساختمان سلولی و متخلخل می باشد که ماتریس نام دارد. در هنگام عبور سیال از این سطح، انرژی حرارتی به سطح دیواره منتقل شده و در داخل ماتریس ذخیره می گردد. هنگام عبور سیال سرد از همین مسیر، حرارت ذخیره شده به سیال منتقل می شود.

ب ۳) انتقال حرارت در بستر سیال: در این نوع مبدل سیال داغ از میان بستری از ذرات ریز جامد عبور کرده و آن را گرم می کند. سیال سرد نیز از داخل لوله هایی که در داخل این بستر گرم قرار گرفته اند عبور کرده و گرما به این سیال منتقل می گردد.

۳-۲- دسته بندی بر اساس فشردگی سطوح

بطور کلی یک مبدل حرارتی فشرده، دارای سطح انتقال حرارت متراکمی است که نسبت سطح به حجم بالایی دارند. هر گاه در یک مبدل نسبت سطح به حجم آن بیشتر از $700 \text{ m}^2/\text{m}^3$ باشد آن را مبدل حرارتی فشرده می نامیم. عموماً سطوح فشرده و متراکم، دارای ضریب کلی انتقال حرارت بالاتر بوده و فضای کمتری را اشغال می کنند.

همانطور که می دانیم ضریب انتقال حرارت جابجایی برای سیال های گازی معمولاً بسیار کمتر از مایعات و مشتقات نفتی است. بنابراین برای کاهش اندازه و ابعاد و نیز وزن و حجم مبدل های حرارتی، سطح انتقال حرارت در سمت مسیر جریان گاز باید متراکم تر گردیده و اصطلاحاً از نسبت سطح به حجم بالاتری برخوردار باشد. به همین جهت کاربردهای بسیار مهم مبدل های حرارتی فشرده برای مبدل های گاز-گاز یا گاز-مایع است.

مسائلی که در کاربردهای مبدل های حرارتی فشرده باید مورد توجه قرار گیرد عبارتند از:

۱. عموماً یکی از دو جریان سیال از ضریب انتقال حرارت نسبتاً کمی برخوردار است (یکی از دو سیال گاز)

۲. سیال ها باید تمیز و عاری از مواد خورنده باشند.

۳. افت فشار مجاز پایین بوده و فشارها و دماهای کارکردی محدود است.

۳-۳-۳: دسته بندی مبدل های حرارتی بر اساس مشخصات هندسی

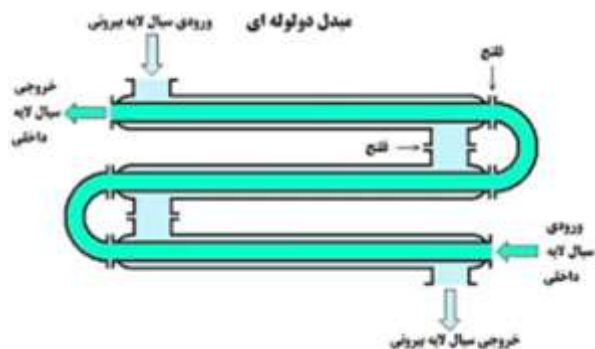
مبدل های حرارتی بر اساس مشخصات هندسی به چهار دسته مبدل های لوله ای، مبدل های صفحه ای، سطوح گسترده پره دار و مبدل های بازتاب تقسیم بندی می شوند. هر یک از این نوع مبدل ها خود دارای انواع مختلفی است که در ادامه به توضیح هر یک می پردازیم.

۳-۳-۳-۱: مبدل های حرارتی لوله ای:

این نوع مبدل ها غالباً از لوله های دایره ای شکل ساخته می شوند. البته در بعضی موارد از لوله های بیضوی یا مجاری مستطیلی نیز استفاده می شود. سیال هایی که در این نوع مبدل ها می توانند تبادل حرارت نمایند عبارتند از: مایع-مایع، مایع-گاز، و گاز-گاز. در این میان مایع-مایع بیشترین کاربرد را دارد و هر دو سیال به داخل مبدل پمپ می شوند. در نتیجه انتقال حرارت با مکانیسم جابجایی اجباری صورت می گیرد. بنابراین ضریب انتقال حرارت بالاست و نیازی به تعبیه پره نمی باشد. البته در آرایش مایع-گاز برای سمت گاز، و در آرایش گاز-گاز برای هر دو سمت پره نصب می شود.

مبدل های حرارتی لوله ای شامل سه نوع دو لوله ای، پوسته و لوله، و لوله مارپیچ می باشند که در ادامه به توضیح آنها می پردازیم.

الف) مبدل های حرارتی دو لوله ای: این نوع مبدل ها از دو لوله هم محور تشکیل شده اند. لوله درونی دارای پره های طولی جهت افزایش ضریب انتقال حرارت می باشد.

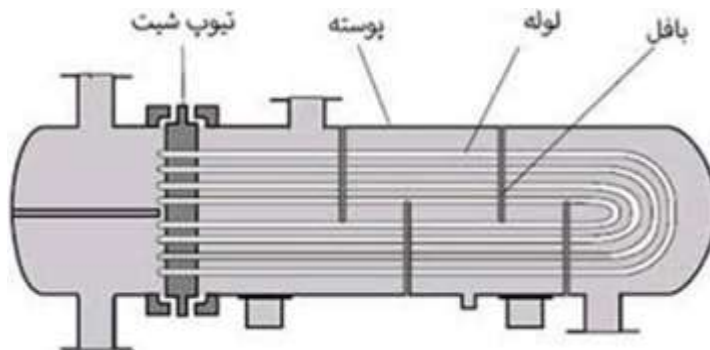


خصوصیات این نوع مبدل ها عبارتند از:

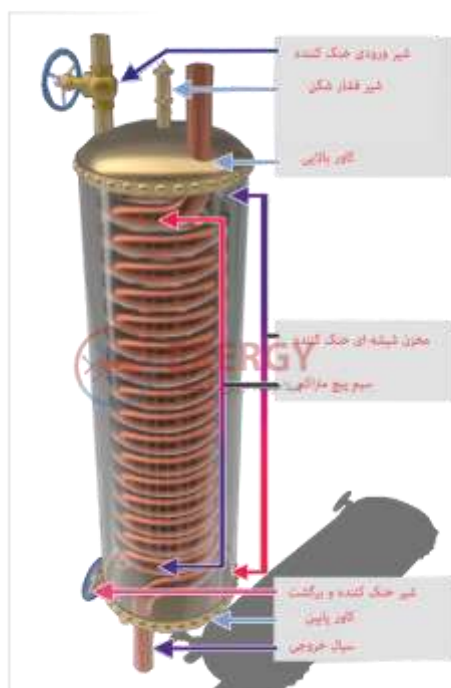
- ✓ جریان ها به صورت مختلف الجهت اند.
- ✓ ساخت آنها نسبتاً آسان و کم خرج است.
- ✓ محاسبات طراحی ساده و دقیقی دارند.

✓ مهمترین اشکال: فضای نسبتاً زیاد و بالا بودن قیمت آنها در واحد سطح

ب) مبدل های حرارتی پوسته و لوله: این مبدل ها از یک سری لوله به صورت همراستا در درون یک پوسته تشکیل شده اند. یک سیال در درون لوله و سیال دیگر در قسمت خارجی لوله ها و در عرض و طول آنها جریان دارد. این نوع مبدل، متداول ترین نوع در صنعت یوده و دارای سطح انتقال حرارت بالا نسبت به وزن و حجم می باشند. بسته به شرایط (افت فشار، پیدایش رسوب و ...) دارای آرایش های جریان مختلف هستند.



ج) **مبدل های حرارتی لوله مارپیچ:** این نوع مبدل شامل یک یا چند لوله مارپیچ در داخل یک پوسته می باشد. سطح انتقال حرارت به دلیل مارپیچ بودن لوله ها بسیار بالاست و فضای بسیار کمی را اشغال می کند. مهمترین اشکال این نوع مبدل تمیز کردن بسیار مشکل و تقریباً غیرممکن آن است.

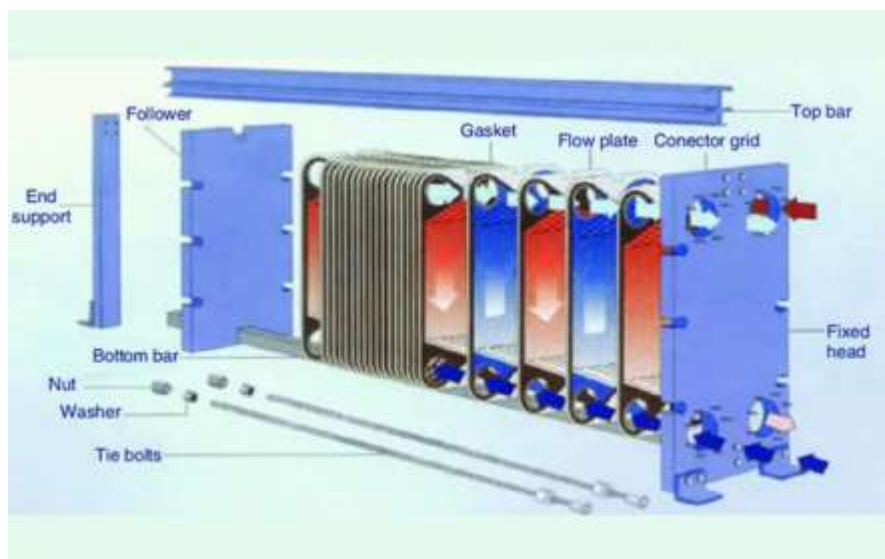


۳-۳-۲: مبدل های حرارتی صفحه ای

این مبدل ها با استفاده از تعداد زیادی صفحات فلزی نازک، موجب تبادل حرارت بین سیال گرم و سرد می شوند. بطور کلی این مبدل ها نسبت به مبدل های لوله ای، قادر به تحمل اختلاف فشار و دمای خیلی زیاد نمی باشند و از مقاومت نسبتاً کمتری برخوردارند. این مبدل ها خود شامل سه نوع صفحه و قاب، صفحه مارپیچی و لاملا (رومن) می باشند که در ادامه به توضیح مختصر هر یک می پردازیم:

الف) **مبدل های حرارتی صفحه وقاب:** این مبدل ها از یک سری ورقهای فلزی موازی که توسط یک قاب به یکدیگر متصل شده اند، تشکیل شده است. اساس عملکرد این مبدل ها به این شکل است که از دو جهت مخالف سیال سرد و گرم وارد مبدل می شود. سیالات وارد شده به صورت یکی در میان بین صفحات فلزی جریان می یابند و

با یکدیگر تبادل گرما می کنند. این نوع مبدل ها نسبتاً متراکم، سبک و دارای سطح انتقال حرارت زیاد می باشند و در صنایع غذایی کاربرد زیادی دارند. زیرا به سادگی برای تمیزکاری و استریل کردن از هم باز می شوند.



ب) مبدل های حرارتی صفحه مارپیچی

برای کاربردهایی که دبی سیال نسبتاً کمی مورد نیاز است، استفاده از صفحات مارپیچی، شکل و آرایش مؤثرتری خواهد بود. مسیر عبور دورانی هر یک از دو سیال باعث افزایش انتقال حرارت، به خصوص در حرکت آرام و کاهش جرم گرفتگی می شود.



ج) مبدل های حرارتی لاملما (رومن): این نوع مبدل شامل مجموعه ای از کانال های مستطیلی است که به صورت طولی درون یک پوسته قرار گرفته اند. مجاری در هر انتها به صفحه لوله گیر جوش خورده اند. یک سیال از داخل مجاری مستطیلی و سیال دیگر در داخل پوسته جریان دارد. دسته صفحات را به راحتی می توان برای بازرسی و تمیزکاری خارج کرد.

۳-۳-۳-۳: سطوح گسترده پره دار

در بسیاری از کاربردهای مهم و متداول، به راندمان حرارتی بالاتری تا حدود ۹۸ درصد احتیاج بوده و نیز محدودیت حجم و وزن نسبتاً زیادی وجود دارد. به طوریکه به سطوح گسترده تری نیاز است. همچنین در بعضی از فرآیندها از یک سیال با ضریب انتقال حرارت پایین استفاده می شود. در چنین حالتی می توان با تعبیه پره به عنوان سطح گسترده بر روی یک سطح ساده، ضریب تراکم را افزایش داده و سطح انتقال حرارت بیشتری را تأمین نمود.

۳-۳-۳-۴: مبدل های حرارتی بازایاب

این نوع مبدل ها از انواع مبدل های ذخیره ای به شمار می روند. به طور کلی در بازایاب ها، حرارت از طریق یک دیواره سلولی و حفره دار به نام ماتریس انتقال می یابد. این نوع مبدل ها به دو نوع ثابت و متحرک تقسیم بندی می شوند:

الف) بازایاب های ثابت: در بازایاب های ثابت، جریان های سرد و گرم به طور متناوب از درون سطح ماتریس عبور داده می شوند. به این طریق سطوح ماتریس در هنگام عبور سیال گرم، به صورت جذب کننده حرارت و در هنگام عبور سیال سرد به عنوان منبع حرارتی عمل می نماید. در این نوع مبدل ها، کنترل دماهای خروجی با تغییر دادن زمان عبور جریان ها از درون ماتریس صورت می پذیرد.

ب) بازایاب های متحرک: در بازایاب های متحرک، سطح ماتریس متحرک بوده و ماتریس بطور پیوسته و با سرعت یکنواخت شروع به حرکت نموده و همواره درصدی از آن درون جریان گرم و باقیمانده آن در درون جریان سرد قرار دارد و کنترل دماهای خروجی توسط تغییر دادن این نسبت سطح ها انجام می گیرد.

۳-۳-۴: دسته بندی مبذل های حرارتی بر اساس آرایش جریان ها

مبذل های حرارتی بر اساس آرایش جریان ها به دو نوع تڪ گذره و چند گذره تقسيم بندی می شوند. در مبذل های حرارتی تڪ گذره ممکن است جریان های دو سیال سرد و گرم به صورت همسو، ناهمسو و متقاطع باشند. گاهی به منظور افزایش راندمان کلی مبذل ها، از مبذل های چند گذره نیز استفاده می شود.