



واحد یادگار امام خمینی (ره) (شهرری)

درس مبدل های حرارتی

فصل اول - دسته بندی مبدل های حرارتی

دکتر قاسم عرب

منابع درسی

۲

□ مبادله کن های گرما (مبدل های حرارتی) - تألیف Sadik kakac, Hongtan Liu - ترجمه دکتر سپهر صنایع - انتشارات دانشگاه علم و صنعت ایران

□ طراحی مبدل های حرارتی پوسته و لوله - دکتر منوچهر نیک آذر و مهندس خلیل زارع - انتشارات علوم کاربردی - چاپ اول - بهار ۹۱

□ نحوه ارزیابی

□ امتحان پایان ترم ← ۱۴ نمره

□ امتحان میان ترم
□ امتحانات کلاسی
□ تمرینات
□ پروژه درسی
← ۶ نمره



□ **مبدل حرارتی** دستگاهی است که برای انتقال حرارت موثر بین دو سیال (گاز یا مایع) به یکدیگر استفاده می‌شود.

□ مبدل‌های حرارتی در صنایع زیادی همانند پالایشگاه، نیروگاه، تهویه مطبوع، تبرید، بازیافت حرارت و صنایع ساخت و تولید استفاده می‌شوند.

□ در صنایع نیروگاهی انواع بویلرها، کندانسورهای بخار، ری‌ژنراتورها و برج‌های خنک کن به کار می‌روند.

□ در صنایع فرآیندی، مبدل‌های جریان دو فاز برای تبخیر، تقطیر، انجماد و ... به کار می‌روند.

□ سیستم‌های تهویه مطبوع و تبرید نیاز به کندانسور و اواپراتور دارند.

□ **سیال گرم (HOT):** دمای ورودی آن بیش از دمای خروجی آن است.

□ **سیال سرد (COLD):** دمای ورودی آن کمتر از دمای خروجی آن است.



مبدل‌های حرارتی - دانشگاه آزاد اسلامی واحد یادگار امام خمینی (ره) (شهرری)

استانداردها و دسته بندی مبدل‌های حرارتی



□ **استانداردهای مرتبط با مبدل‌های حرارتی**

□ TEMA که توسط انجمن تولیدکنندگان مبدل‌های لوله‌ای (آمریکا) تدوین شده و برای طراحی و ساخت مبدل‌های پوسته لوله‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرد. (Tubular Exchanger Manufacturers Association)

□ API 660 که توسط انجمن نفت آمریکا تدوین شده است و برای طراحی و ساخت مبدل‌های پوسته لوله‌ای استفاده می‌گردند.

□ API 661 که توسط انجمن نفت آمریکا تدوین شده است و برای طراحی و ساخت مبدل‌های هوا خنک استفاده می‌گردند.

□ ASME Sec VIII که برای طراحی مکانیکی مبدل‌های حرارتی فشار بالا استفاده می‌گردد.

□ **دسته بندی مبدل‌های حرارتی**

□ مبدل‌های حرارتی از نقطه نظر نوع و سطح تماس سیال گرم و سرد: رکوپراتور (Recuperator)، ری‌ژنراتور (Regenerator) و نوع تماس مستقیم.

□ جهت جریان سیال گرم و سرد: همسو، غیر همسو و عمود بر هم.

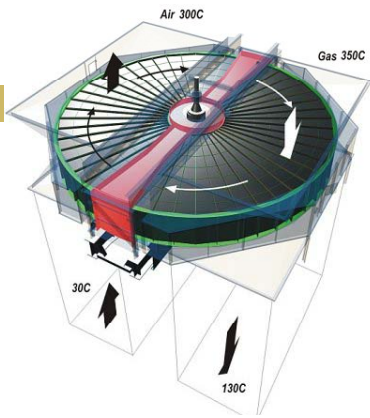
□ مکانیزم انتقال حرارت بین سیال گرم و سرد: تشعشعی، ترکیب جابجایی و هدایتی.

□ ساختمان مکانیکی: لوله ای شامل مبدل‌های حرارتی پوسته - لوله و مبدل‌های دو لوله ای، فشرده مثل مبدل‌های صفحه ای و کولرهای هوایی

مبدل‌های حرارتی - دانشگاه آزاد اسلامی واحد یادگار امام خمینی (ره) (شهرری)

مبدل های حرارتی از نظر نوع و سطح تماس

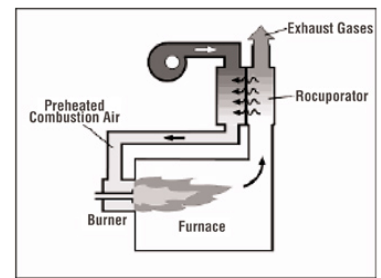
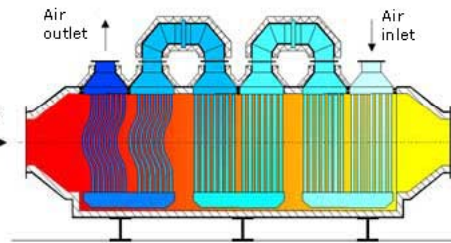
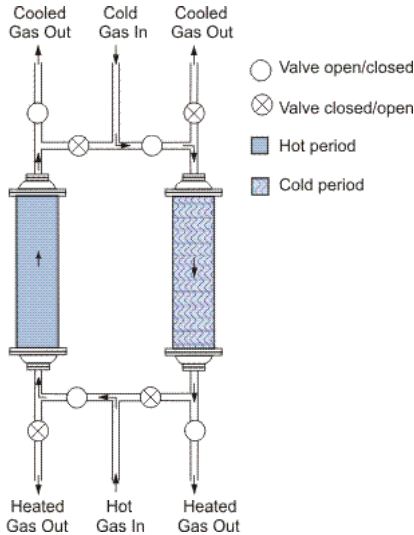
۵



مبدل های حرارتی رکوپراتیو: در این مبدل، سیال گرم و سیال سرد توسط یک سطح جامد ثابت از یکدیگر جدا شده و انتقال انرژی از طریق این سطح صورت می پذیرد.

مبدل های حرارتی ریژنراتیو: در این مبدل، سطح جدا کننده سیال گرم و سیال سرد ثابت نبوده و بطور متناوب قسمت هایی از سطح مذکور در معرض حرکت سیال گرم و سرد قرار می گیرد.

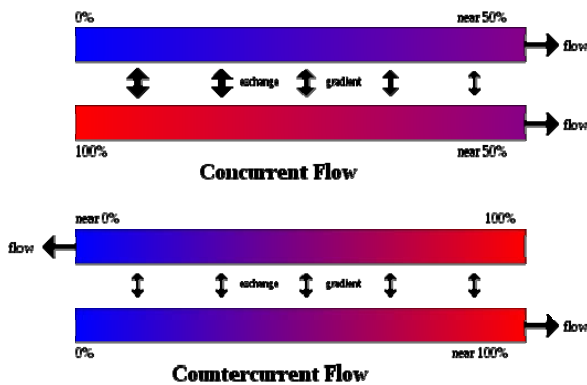
مبدل های حرارتی نوع تماس مستقیم: در این مبدل حرارتی سیال گرم و سرد بطور مستقیم با هم تماس داشته و تبادل گرما انجام می شود. برج های خنک کننده و کولرهای آبی از این دسته مبدل ها هستند.



مبدل های حرارتی - دانشگاه آزاد اسلامی واحد یادگار امام خمینی (ره) (شهرری)

مبدل های حرارتی از نظر جهت جریان و ساختمان مکانیکی

۶

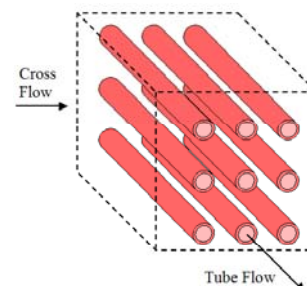
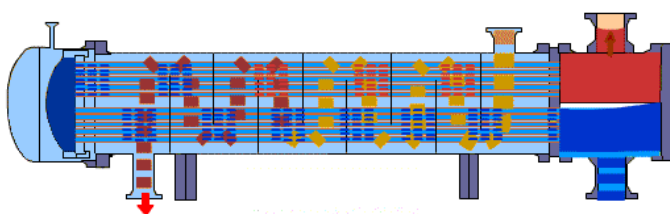


مبدل های حرارتی از نظر جهت جریان

مبدل های حرارتی جریان همسو (Parallel flow): جریان های گرم و سرد بصورت موازی و همجهت، طول مبدل را طی کرده و از آن خارج می شوند.

مبدل های حرارتی جریان غیرهمسو (Counter flow): جریان های گرم و سرد بصورت موازی و در خلاف جهت، طول مبدل را طی کرده و از آن خارج می شوند.

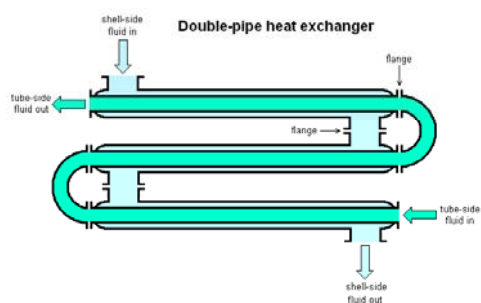
مبدل های حرارتی با جریان عمود بر هم (Cross flow): جهت جریان های گرم و سرد بصورت عمود بر هم می باشد.



مبدل های حرارتی - دانشگاه آزاد اسلامی واحد یادگار امام خمینی (ره) (شهرری)

مبدل های حرارتی دو لوله ای

۷



□ یک مبدل حرارتی دابل پایپ (double-pipe heat exchanger) یا مبدل حرارتی دو لوله‌ای از لوله‌ای تشکیل شده که به صورت هم‌مرکز درون یک لوله با قطر بزرگ‌تر قرار گرفته است. مبدل‌های حرارتی دابل پایپ می‌توانند دارای چیدمان مختلفی همانند سری، موازی یا ترکیبی از آن دو باشند تا الزامات افت فشار و اختلاف دما را برآورده کنند.

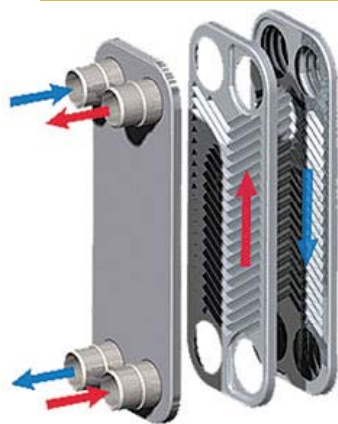
□ کاربرد اصلی مبدل‌های حرارتی دابل پایپ، سرمایش یا گرمایش سیالات فرآیندی در جایی است که دبی جریان بسیار کم باشد یا سطح انتقال حرارت کوچکی (کمتر از ۵۰۰ کیلووات) مورد نیاز باشد. این آرایش در زمانی که یکی یا هر دو سیال دارای فشار بالایی هستند بسیار مناسب است. لوله داخلی می‌تواند تک لوله یا چند لوله باشد.

□ مزایای این مبدل ها شامل ساخت آسان و هزینه نسبتا کم، محاسبات و طراحی آسان، کنترل ساده جریان های سیال در دو مسیر، نگهداری و تمیز کردن آسان و کاربرد در فشارهای زیاد است. اشکال اصلی این مبدل‌ها، حجم و قیمت زیاد به ازای واحد سطح انتقال حرارت است.

مبدل های حرارتی - دانشگاه آزاد اسلامی واحد یادگار امام خمینی (ره) (شهرری)

مبدل های حرارتی صفحه ای (Plate Heat Exchangers)

۸



□ مبدل های حرارتی صفحه ای، از صفحات نازک با فاصله ۳ تا ۶ میلیمتر که کانال های جریان را تشکیل می دهد، ساخته می شوند. جریان های سیال، توسط صفحات مسطح که یا به صورت صاف و یا موجدار هستند، از هم جدا می شوند. این مبدل ها برای انتقال گرما بین گاز، مایع یا جریان های دو فاز، استفاده می شوند. این مبدل ها می توانند به صورت زیر دسته بندی شوند:

□ مبدل های صفحه ای واشردار

□ مبدل های صفحه ای حلزونی

□ مبدل های حرارتی لاملا



مبدل های حرارتی - دانشگاه آزاد اسلامی واحد یادگار امام خمینی (ره) (شهرری)

مبدل های صفحه ای واشر دار (Gasketed plate heat exchanger)

۹

این مبدل حرارتی شامل تعدادی از صفحات نازک با سطوح چین دار یا موج دار است که سیال های گرم و سرد را از هم جدا می کنند.

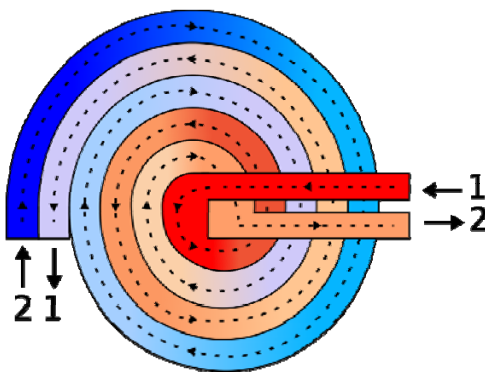
این مبدل ها به جریان سیال ۲۵ بار و ۲۵۰ درجه سانتیگراد محدود می شوند. به آسانی تمیز و استریلیزه شده، می توانند از یکدیگر باز و جدا گردند و به همین دلیل کاربرد وسیعی در صنایع غذایی دارند.



مبدل های حرارتی - دانشگاه آزاد اسلامی واحد یادگار امام خمینی (ره) (شهرری)

مبدل های صفحه ای حلزونی (Spiral plate heat exchanger)

۱۰



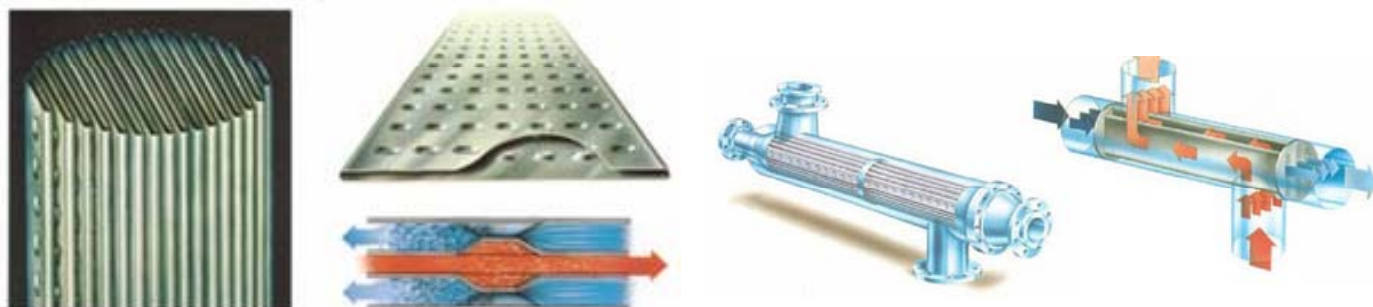
از دو صفحه فلزی که بصورت مارپیچ دور هم قرار گرفته اند تشکیل شده است. این مبدل ها در قیاس با سایر مبدل ها حجم کمتری اشغال می نمایند. بدلیل مشکلات ساخت، هزینه های ساخت بالایی دارند. سطح انتقال حرارت این مبدل ها در حدود $0.5 - 500 \text{ m}^2$ و بیشینه فشار و دمای عملیاتی آنها برابر ۱۵ بار و ۵۰۰ درجه سانتیگراد است.

استفاده از این مبدل ها، زمانی که سیال فرایندی لجن زا، دارای ذرات جامد معلق و گرانروی بالا باشد توصیه می شود.



مبدل های حرارتی - دانشگاه آزاد اسلامی واحد یادگار امام خمینی (ره) (شهرری)

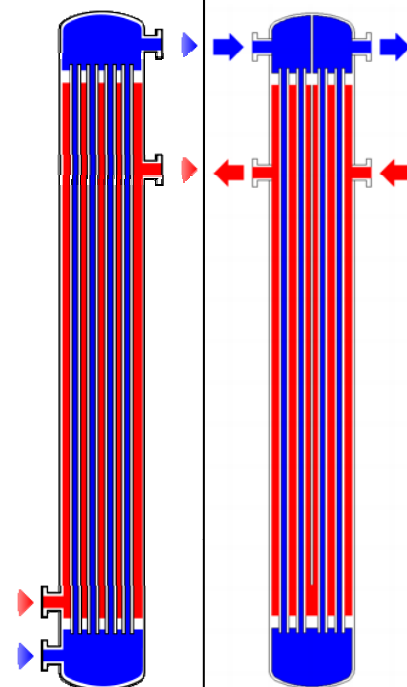
- مبدل حرارتی لاملا (lamella) یا رامن (Ramen) شامل مجموعه‌ای از کانال‌های با صفحات نازک موازی و جوش کاری شده (تیوب‌های تخت یا کانال‌های مستطیلی) است که به صورت طولی درون یک پوسته قرار گرفته‌اند. شکل نوارها باعث ایجاد فضایی درون لاملا می‌شود و در خارج لاملا و درون پوسته بخش‌هایی ایجاد می‌شود که جریان از آن‌ها گذر می‌کند. به دلیل توربولانس بالا، توزیع جریان یک‌نواخت و سطوح صاف، لاملا به سادگی رسوب نمی‌گیرد. دسته صفحات را می‌توان به سادگی برای بازرسی و تمیزکاری خارج کرد. این طرح برای فشارهای تا ۳۵ بار و دمای ۲۰۰ درجه سانتی‌گراد برای گسکت‌های تفلنی (Teflon gaskets) و دمای ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد برای گسکت‌های آزیستی (asbestos gaskets) مناسب است.



مبدل های حرارتی - دانشگاه آزاد اسلامی واحد یادگار امام خمینی (ره) (شهرری)

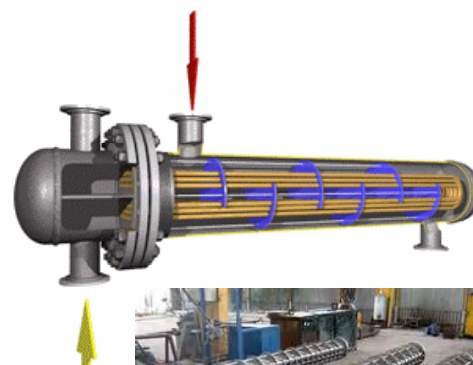
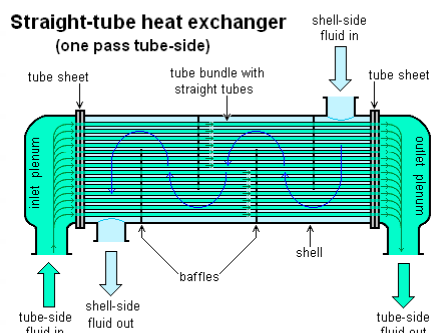
مبدل های حرارتی پوسته و لوله (Shell & Tube)

- این مبدل ها پرکاربردترین مبدل های حرارتی در صنایع (در حدود ۹۰٪) بوده و در ظرفیت های گوناگون، انواع شرایط کارکرد از قبیل فشارهای بالا، دماهای بالا، محیط ها و سیال های خورنده و ... مناسب هستند.
- قابلیت ساخت تا نسبت های بزرگ سطح به حجم، آرایش هندسی ساده سطوح و تمیز کاری آسان از مهمترین مزایای این سیستم هاست.



مبدل پوسته لوله
تک پاس با جریان
همسو

مبدل پوسته لوله دو
پاس با جریان ناهمسو

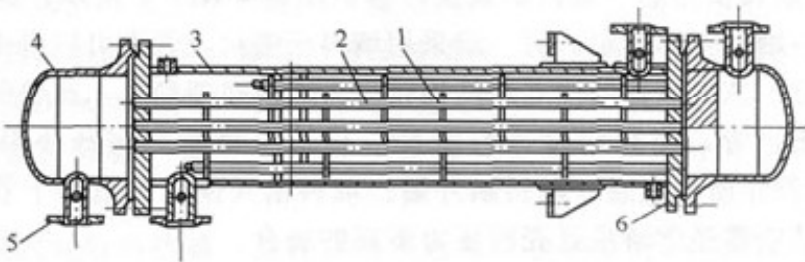


مبدل های حرارتی - دانشگاه آزاد اسلامی واحد یادگار امام خمینی (ره) (شهرری)

انواع مبدل های پوسته و لوله : ۱ – Fixed tube sheet

۱۳

- صفحه به پوسته جوش داده می شود. داخل لوله ها را می توان با جدا کردن هد انتهایی بصورت مکانیکی تمیز کرد.
- از آنجایی که نمی توان پوسته را باز نمود، خارج لوله ها را تنها با روش های شیمیایی تمیز می کنند.
- صفحات نگهدارنده لوله ثابت است و امکان افزایش یا کاهش دما به مقدار زیاد امکانپذیر نیست.
- این مبدل نسبت به سایر مبدل ها با سطح حرارتی یکسان ارزاتر است، هیچگونه اتصال داخلی نداشته و خطر نشئی سیالات حذف می شود.



Structure of fixed tube-sheet type heat exchanger

1-deflection baffle; 2-tube bundle; 3-shell; 4-shell cover;
5-connection tube; 6-tube sheet.

مبدل های حرارتی – دانشگاه آزاد اسلامی واحد یادگار امام خمینی (ره) (شهرری)

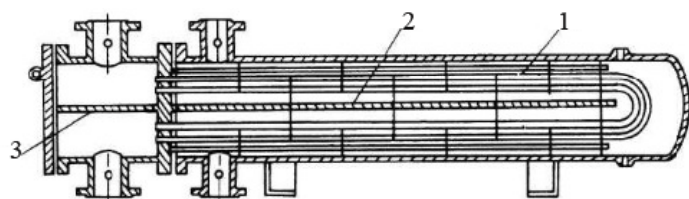
انواع مبدل های پوسته و لوله : ۲ – U- tube

۱۴



- در این مبدل، لوله ها از یک طرف به صفحه پیچ شده و سر دیگر آزاد است. بنابراین مشکل انبساط لوله ها بعلت اختلاف دما مشکل ساز نمی باشد. تمیز کاری سمت لوله بدلیل خم لوله ها به روش مکانیکی میسر نبوده و بایستی از روش های شیمیایی بهره برد. جداره خارجی لوله ها را می توان با روش مکانیکی تمیز کرد.

- لوله های محیطی را می توان تعویض نمود اما در صورت سوراخ شدن لوله های داخلی بایستی کور شوند.



Structure of U-tube heat exchanger

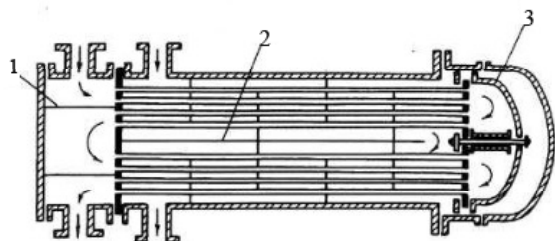
1-U-tube; 2-the division plate for shell pass;
3-the division plate for tube pass.



مبدل های حرارتی – دانشگاه آزاد اسلامی واحد یادگار امام خمینی (ره) (شهرری)

انواع مبدل های پوسته و لوله : ۳- Floating head

۱۵



Structure of floating-head heat exchanger

1-baffle in tube pass; 2-baffle in shell pass; 3-floating head

- زمانی که اختلاف دما بین دو سیال سرد و گرم زیاد باشد از این مبدل حرارتی استفاده می شود. بدلیل شناور بودن یکی از هدها، مشکل افزایش طول لوله ها وجود ندارد. هزینه ساخت این مبدل ها در قیاس با سایر مبدل ها بالاتر است.

- انتخاب نوع مبدل حرارتی پوسته و لوله در طراحی ها بر اساس اختلاف متوسط دمای ورودی و خروجی سیال گرم انجام می گیرد.

$$\left\{ \begin{array}{l} \Delta T = \frac{T_1 + T_2}{2} \\ \Delta t = \frac{t_1 + t_2}{2} \\ \Delta T_b = \Delta T - \Delta t \end{array} \right.$$

- T دمای سیال گرم t دمای سیال سرد
- در صورتی که $\Delta T_b < 50$ از نوع Fixed tube sheet
- در صورتی که $50 \leq \Delta T_b \leq 80$ از نوع U-tube
- در صورتی که $80 < \Delta T_b$ از نوع Floating head

مبدل های حرارتی - دانشگاه آزاد اسلامی واحد یادگار امام خمینی (ره) (شهرری)

استاندارد TEMA در مبدل های حرارتی پوسته و لوله (Shell & Tube)

۱۶

FRONT END STATIONARY HEAD TYPES	SHELL TYPES	REAR END HEAD TYPES
A CHANNEL AND REMOVABLE COVER	E ONE PASS SHELL	L FIXED TUBESHEET LIKE "A" STATIONARY HEAD
B BONNET (INTEGRAL COVER)	F TWO PASS SHELL WITH LONGITUDINAL BAFFLE	M FIXED TUBESHEET LIKE "B" STATIONARY HEAD
C REMOVABLE TUBE BUNDLE ONLY	G SPLIT FLOW	N FIXED TUBESHEET LIKE "N" STATIONARY HEAD
N CHANNEL INTEGRAL WITH TUBE-SHEET AND REMOVABLE COVER	H DOUBLE SPLIT FLOW	P OUTSIDE PACKED FLOATING HEAD
D SPECIAL HIGH PRESSURE CLOSURE	J DIVIDED FLOW	S FLOATING HEAD WITH BACKING DEVICE
	K KETTLE TYPE REBOILER	T PULL THROUGH FLOATING HEAD
	X CROSS FLOW	U U-TUBE BUNDLE
		W EXTERNALLY SEALED FLOATING TUBESHEET

- مبدل های حرارتی پوسته و لوله بر اساس استاندارد TEMA تقسیم بندی و ساخته می شوند. این استاندارد کدهای ساخت و طراحی این مبدل ها با قطر داخلی کمتر از ۶۰ اینچ و فشارهای کمتر از ۲۱ بار را ارائه می دهد.

- بر اساس این استاندارد، مبدل ها با توجه به نوع کاربرد به سه کلاس R, C & B تقسیم بندی می شوند:

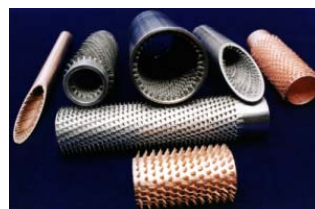
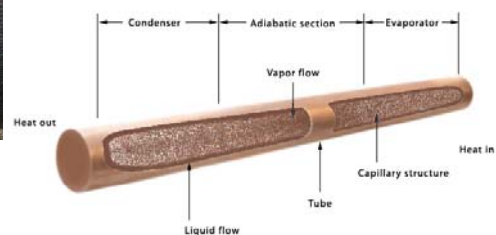
- کلاس R: مبدل های با شرایط عملیاتی حساس مانند نیروگاه و پالایشگاه

- کلاس C: شرایط عملیاتی متوسط تجاری

- کلاس B: فرایندهای شیمیایی معمولی

مبدل های حرارتی - دانشگاه آزاد اسلامی واحد یادگار امام خمینی (ره) (شهرری)

سایر مبدل های حرارتی



مبدل های حرارتی - دانشگاه آزاد اسلامی واحد یادگار امام خمینی (ره) (شهرری)

تمرینات

□ تمرین ۱- معیارهای اصلی انتخاب یک مبدل گرمایی چیست؟