



# شرایط انتخاب تیپ های مختلف مبدل های گرمایی پوسته لوله بر اساس استاندارد TEMA

● مهندس مهدی قطبی

مهندسی فرایند- صنایع نفت و گاز و پتروشیمی

شرکت فاتح صنعت کیمیا

مقدمه:

تعدادی لوله که درون پوسته طبق آرایش مشخصی جای گرفته اند تشکیل شده اند. پس چرا اشکال مختلفی دارند؟ در این مقاله سعی شده است تا به طور اختصار در ارتباط با خصوصیات، مزایا و محدودیت های هر یک از تیپ های مبدل گرمایی پوسته و لوله که توسط استاندارد TEMA تعریف گردیده اند، اطلاعاتی ارائه گردد. (شکل ۱)

برای صنعتگران و پرسنلی که با تجهیزات موجود در صنایع نفت، گاز و پتروشیمی در ارتباط هستند همواره ممکن است این پرسش به ذهن خطور کند که دلیل تفاوت شکل و ظاهر این تجهیزات به طور اعم و خصوصا مبدل های گرمایی چیست؟ زیرا مبدل ها، بخصوص مبدل های پوسته لوله در قالب کلی از یک پوسته و



### آشنایی اولیه با استاندارد TEMA

1 TEMA مخفف اتحادیه سازندگان مبدل های لوله ای بوده و شامل مجموعه قواعدی است که توسط سازندگان برتر مبدل های گرمایی تعریف گردیده است و به بیان انواع مبدل های گرمایی، ترانس های ماشینکاری و مونتاژ که در مراحل مختلف ساخت مبدل های گرمایی لوله دار می بایست رعایت شود، می پردازد. (شکل ۲)

به طور کلی استاندارد TEMA در سه سطح عمومی تعریف می شود:

[ سرویس عمومی TEMA CLASS (C) [ General Service ]

[ سرویس شیمیایی TEMA CLASS (B) [ Chemical Service ]

[ سرویس پالایشگاهی TEMA CLASS (R) [ Refinery Service ]

از میان سه سطح برشمرده شده TEMA (R) دارای بیشترین محدودیت و TEMA (C) دارای کمترین سختگیری می باشد. البته TEMA (B) و TEMA (C) از نظر قلمرو ساخت بسیار به یکدیگر مشابه می باشد.



شکل ۱: نمایی از پوسته مبدل‌های تیپ‌های مختلف TEMA در حال ساخت در یکی از سالن‌های مونتاژ مبدل‌های پوسته لوله شرکت فاتح صنعت کیمیا

این تیپ از TEMA دارای ساده‌ترین نوع طراحی و ساختاری بدون پکینگ و واشر (Gasket) در محل اتصال فلنج‌های سمت پوسته می‌باشند. در این مبدل‌ها صفحه لوله (Tube Sheet) به طور کامل به پوسته جوش گردیده است و کله‌گی‌ها بوسیله پیچ و مهره (Stud Bolt) به صفحه لوله (Tube Sheet) متصل می‌باشند. در یکی از انواع این نوع مبدل‌ها که تیپ NEN می‌باشد، پوسته و کله‌گی‌های جلویی و عقبی هر دو به صفحه لوله (Tube Sheet) جوش می‌شوند، عموماً در پوش کله‌گی ورودی (Channel Flat Cover) به منظور سهولت در تمیزکاری لوله‌ها طراحی می‌گردد. این گروه از TEMA و به خصوص تیپ NEN در مقایسه با سطح انتقال حرارت بوجود آمده دارای کمترین هزینه ساخت می‌باشد. (شکل ۴)

#### مزایا:

- هزینه کمتری جهت ساخت در مقایسه با انواع تیپ‌ها دارای باندل متحرک (Removable Bundle) دارند.
- با فرض قطر ثابت پوسته و لوله، بیشترین میزان سطح انتقال حرارت را در مقایسه با تیپ‌های دیگر دارا می‌باشد.
- امکان طراحی یک پاسه یا چند پاسه جهت حرکت سیال درون لوله به منظور دست یافتن به سرعت وافت فشار مورد نظر طراح وجود دارد.

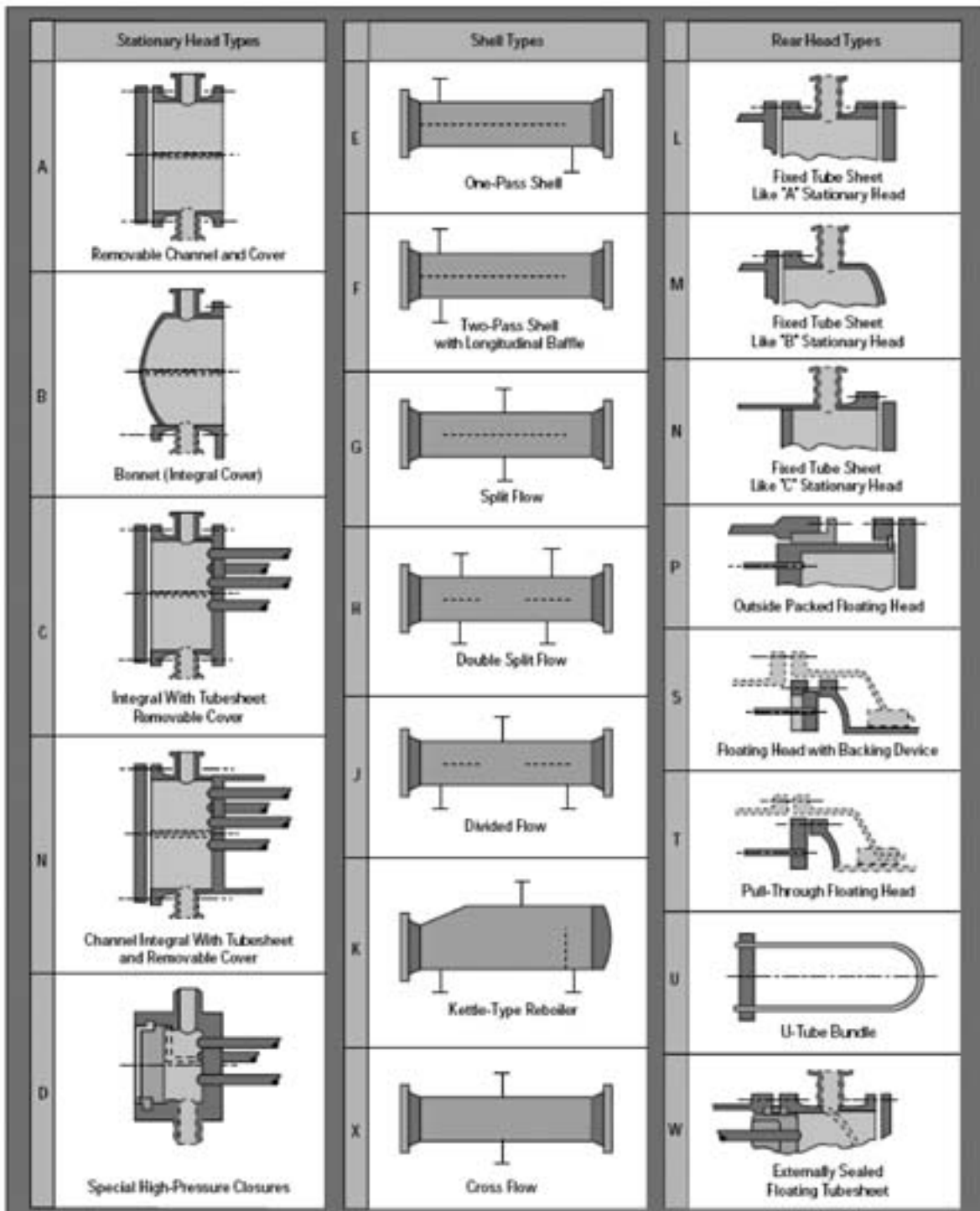
دسته بندی انجام شده بر اساس TEMA به اختصار با سه حرف لاتین نمایش می‌یابد که با توجه به نوع سر جلویی (Front Head)، نوع پوسته (Shell) و نوع سر عقبی (Rear Head) انجام می‌گیرد. به عنوان مثال تیپ BEM تپیی است که دارای (Front Head) سر جلویی B (Shell) پوسته E و (Rear Head) سر عقبی M می‌باشد.

تیپ‌های TEMA بر اساس شرایط عملیاتی و کاربردی مبدل‌ها مانند میزان دبی بخار، میزان فشار و اختلاف دمای ورودی و خروجی انتخاب می‌شوند. البته در شرایط خاص از قبیل زیاد بودن جریان بخار، فشار بالا و اختلاف زیاد دمای ورودی و خروجی تیپ‌های ویژه‌ی استاندارد TEMA می‌بایست مورد استفاده قرار گیرند.

بطور مثال تیپ پوسته K قابل استفاده و مناسب جهت تأمین بخار مورد نیاز جهت جوش آورها (Reboiler) می‌باشند و پوسته H و J قابل استفاده برای بخار با جریان دبی زیاد می‌باشد. (شکل ۳)

مختصری در ارتباط با شرایط هر یک از تیپ‌های مبدل‌های پوسته لوله بر اساس استاندارد TEMA:

- لوله مستقیم و بدون خم همراه با صفحه لوله ثابت<sup>۲</sup>
- تیپ‌های NEN , AEM , BEM و مشابه



شکل ۲: انواع تیپ‌های مبدل در استاندارد TEMA



شکل ۳: مبدل E-705 به وزن تقریبی ۵ تن و طول ۶ متر از جنس SA-516 Gr70N با تیپ BKU به سفارش شرکت مهندسیین مشاور نارگان - پروژه اتیلن الفین خارگ- ساخته شده توسط شرکت فاتح صنعت کیمیا

#### محدودیت‌ها:

• مبدل باتیوب باندل متحرک-صفحه لوله شناور با نشت بند خارجی<sup>۳</sup>  
تیپ‌های AEW, BEW و مشابه  
در این تیپ از مبدل‌ها تعویض تیوب باندل، بازرسی و تمیزکاری دیواره و درون شل امکانپذیر می‌باشد. در انواع صفحه لوله‌های شناور ویژه (Special Floating Tube Sheet) از اختلاط سیال سمت لوله و سمت لوله جلوگیری می‌کنند. البته به این نکته نیز باید توجه داشت در بیشتر مواقع هزینه ساخت لوله‌های مستقیم (بدون خم) از لوله‌های خم شده (U-Bend) اقتصادی‌تر و مقرون به صرفه‌تر می‌باشند. (شکل ۵)

• سمت پوسته فقط از طریق شیمیایی قابل شستشو می‌باشد.  
• جهت استفاده در شرایطی که انبساط و تنش گرمایی ممکن است وجود داشته باشد می‌بایست از اتصال انبساطی (Expansion Joint) استفاده کرد.

#### کاربردها:

• خنک کننده روغن، مایع - مایع، چگالنده بخار، ریویلر، خنک کننده گاز.  
• عموماً سیالات گرم و با ویسکوزیته بالا از سمت پوسته عبور داده می‌شوند.  
• سیالات خورنده و بارسوبگذاری بالا را می‌توان از درون لوله‌های مبدل عبور داد.



شکل ۴: مبدل E-2301 به وزن تقریبی ۷۰ تن و طول تقریبی ۱۳ متر با تیپ NEN مربوط به شرکت فرآورش بندر امام (BIPC) - ساخته شده توسط شرکت فاتح صنعت کیمیا

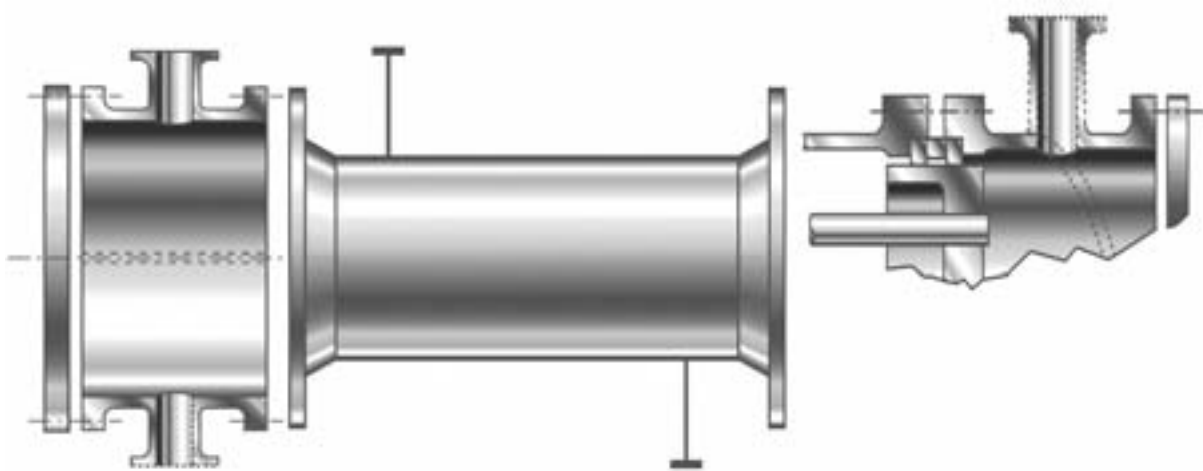
#### مزایا:

- مبدل های دارای صفحه لوله (Tube Sheet) شناور امکان تحمل تنش های گرمایی میان پوسته و تیوب بانند را دارا می باشند.
  - امکان بازرسی و شستشو بوسیله بخار و یا روش های مکانیکی مقدور می باشد.
  - امکان تعویض و یا تعمیر تیوب بانند بدون از بین رفتن و آسیب دیدن پوسته وجود دارد.
  - از نظر هزینه ساخت نسبت به مبدل های با تیپ های BEP و BES که دارای کله گی های شناور داخلی می باشند ارزاتر است.
  - دارای بیشترین سطح انتقال حرارت با فرض قطر ثابت پوسته و لوله در مقایسه با دیگر مبدل های دارای تیوب بانند غیر ثابت می باشند.
- در تیپ AEW تمیز کردن جداره داخلی لوله ها بدون جدا کردن لوله کشی (Piping) متصل به مبدل میسر می باشد.

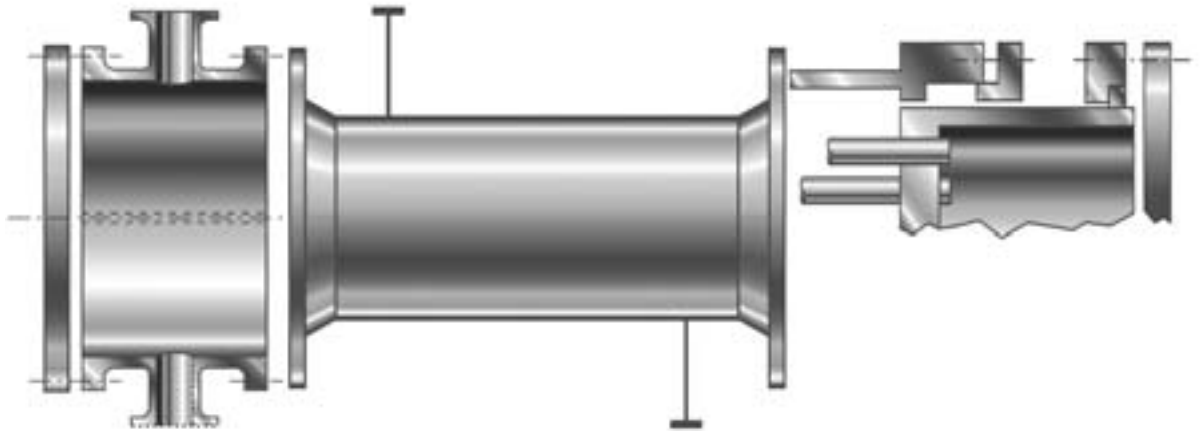
#### محدودیت ها

- هر دو سیال موجود در پوسته و لوله می بایست غیر فرار و غیر سمی باشند.
- تعداد پاس های سمت لوله می بایست محدود به یک یا دو پاس باشد.
- کلیه لوله ها از دو طرف به صفحه لوله (Tube Sheet) متصل می باشند.
- بنابراین امکان تغییر طول مستقل جهت لوله ها ممکن نمی باشد. لذا از فرار گرفتن در معرض شرایط شوک گرمایی زیاد می بایست اجتناب کرد.
- متریال و شرایط پکینگ ها می بایست تابع دما و فشار طراحی باشند.





شکل ۵: نمایی شماتیک از مبدل با تیپ AEW (TEMA TYPE)



شکل ۶: نمایی شماتیک از مبدل با تیپ AEP (TEMA TYPE)

#### کاربردها:

- مبدل های خنک کننده (Inter cooler) و (After cooler) که هوا در قسمت لوله ها جریان دارد.
- خنک کنندهایی (Cooler) که آب درون لوله جریان دارد.
- مبدل های داری جاکت خنک کننده (Jacket Water Cooler) و یا دیگر مبدل هایی که دارای اختلاف دمای زیاد در ورودی و خروجی می باشند.
- نازل ورودی سیال گرم سمت پوسته، در نزدیکترین فاصله ممکن تا کله گی

جلو می تواند قرار گیرد.

مبدل با تیوب باندل متحرک - مجموعه کله گی بیرونی<sup>۴</sup>

تیپ های AEP و BEP و مشابه

این مبدل ها جهت تعویض سریع و راحت تیوب باندل و بازرسی و شستشوی پوسته بدون بازکردن در پوش کله گی شناور<sup>۵</sup> مناسب می باشد که در طراحی انواع ویژه کله گی های شناور<sup>۶</sup> از اختلاط سیال ها جلوگیری می شود. در طراحی



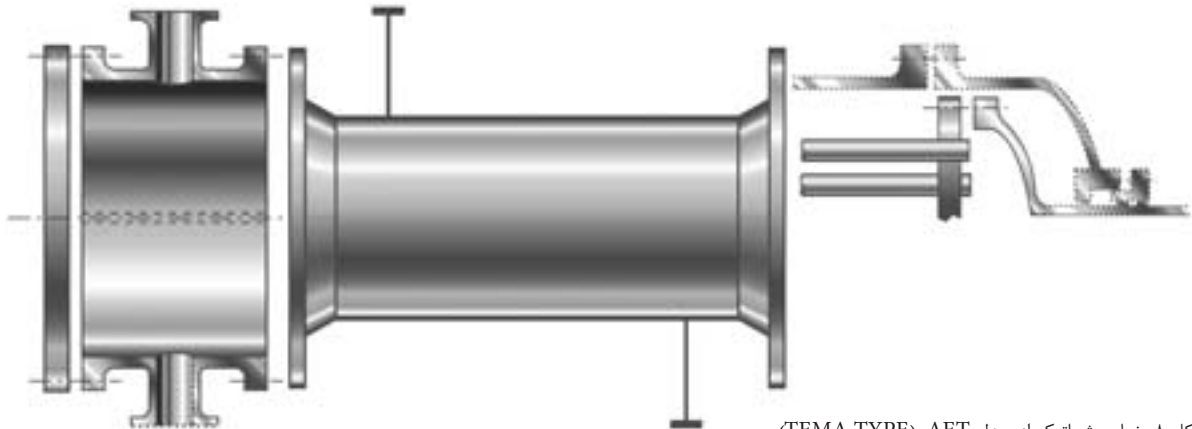
شکل ۷: مبدل E-01028C به وزن تقریبی ۱۶/۵ تن و طول ۷/۵ متر از جنس AL-BRONZE با تیپ (AES TEMA TYPE) به سفارش مشارکت IGC & ODCC - پروژه رفع تنگناهای پالایشگاه بندرعباس - ساخته شده توسط شرکت فاتح صنعت کیمیا (شکل ۶)

- مبدل ای دارای لوله ای مستقیم باید در نظر داشت که در بیشتر اوقات استفاده از لوله ای مستقیم و بدون خمش از نظر اقتصادی به صرفه تر خواهد بود.
- بدون جدا کردن لوله کشی (Piping) متصل به پوسته می توان تیوب باندل را تعمیر و یا تعویض کرد.
- در تیپ AEP، سرویس کردن لوله ها بدون جدا سازی اتصالات لوله کشی (Piping) قسمت لوله امکان دارد.

#### مزایا:

- دارای هزینه ساخت کمتری در مقایسه با تیپ های BET و BES می باشند.
- استفاده از مبدل های با صفحه لوله (Tube Sheet) شناور امکان تحمل تنش گرمایی بین پوسته و تیوب باندل را میسر می سازد.
- فقط سیال پوسته در تماس با پکینگ (PACKING) می باشد. بدین جهت امکان خنک کردن سیال های سمی و فرار در بخش لوله امکان پذیر می باشد.
- امکان بازرسی و شستشوی پوسته وجود دارد و نیز در صورتیکه آرایش لوله های مبدل مربعی شکل باشد بصورت مکانیکی و با استفاده از برس می توان آن ها را تمیز کرد.
- با ایجاد فضای بیشتر جهت منطقه ورودی سیال به باندل (Bundle Entrance) نیاز به ایجاد محدوده گنبدی شکل در ورودی سیال به باندل از بین می رود.





شکل ۸: نمایی شماتیک از مبدل AET (TEMA TYPE)

#### محدودیت‌ها

- بخش پوسته جهت عبور سیالات سمی و فرار مناسب نمی‌باشد.
- استفاده از پکینگ باعث محدود شدن فشار و دمای طراحی می‌شود.
- بدلیل اینکه دو سر لوله‌ها به دو صفحه لوله (Tube Sheet) متصل هستند، لوله‌ها نمی‌توانند بطور مستقل در مقابل تنش‌های ایجاد شده تغییر طول دهند. لذا باید از قرار گرفتن در شرایط شوک ناگهانی گرمایی خودداری گردد.
- در مقایسه با تیپ‌های AEW و BEW با فرض قطر ثابت پوسته و لوله‌ها سطح انتقال حرارت کمتری را ایجاد می‌کنند.

#### کاربردها

- جهت عبور سیالات قابل اشتعال و سمی از قسمت لوله قابل استفاده می‌باشند.
- جهت عبور دادن سیال‌های بسیار رسوب گذار از سمت لوله قابل استفاده است.

#### مبدل با تیوب باندل متحرک - رینگ داخلی دو تکه شناور<sup>۷</sup>

##### تیپ‌های BES و AES و مشابه

برای مواقعی که به خارج کردن مکرر تیوب باندل جهت بازرسی و شستشو نیاز است، مناسب می‌باشد. همچنین جهت زمانیکه اختلاف دمای بسیار زیاد

در ورودی و خروجی بین سیالات پوسته و لوله وجود دارد کاربرد دارد و توان تحمل تنش بیشتری نسبت به تیپ‌های AEW و BEW را دارا می‌باشد. ضمناً جهت خنک کردن سیال‌های سمی و فرار می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. (شکل ۷)

#### مزایا

- مبدل‌های دارای کله‌گی شناور امکان تحمل تنش‌های گرمایی بین پوسته و تیوب باندل را میسر می‌سازند.
- امکان بازرسی سطح داخلی پوسته و لوله‌ها و همچنین تمیزکاری بوسیله بخار میسر می‌باشد و نیز در صورتیکه آرایش لوله‌ها بصورت مربعی باشد، لوله‌ها بصورت مکانیکی و استفاده از برس قابل تمیزکاری و رسوب زدایی می‌باشند.
- با فرض قطر ثابت پوسته و لوله‌ها سطح انتقال حرارت بیشتری را نسبت به تیپ‌های BET و AET میسر می‌سازد.
- امکان طراحی چند پاسه قسمت لوله‌ی مبدل میسر می‌باشد.

#### محدودیت‌ها:

- به منظور بیرون کشیدن تیوب باندل می‌بایست کاور پوسته (Shell Cover)، رینگ دوتیکه (Split Ring) و کله‌گی شناور (Floating Head) باز شوند که



شکل ۹: تیوب باندل میدل E-5005 به وزن تقریبی ۱۷ تن و طول ۸/۵ متر با تیپ BEU به سفارش شرکت پیدک پروژه MEG خارگ - ساخته شده توسط شرکت فاتح صنعت کیمیا

در نتیجه آن هزینه ی تعمیرات در مقایسه یا تیپ هایی که بدون باز کردن این تجهیزات می توان تیوب باندل را از درون پوسته بیرون کشید (Pull-through) بیشتر خواهد شد.

• با توجه به متر مربع سطح انتقال حرارت ایجاد شده نسبت به میدل های دارای صفحه لوله (Tube Sheet) ثابت و میدل های با لوله های U شکل دارای هزینه ی بالاتری جهت ساخت می باشند.

#### کاربردها:

- در فرآیندهای شیمیایی جهت سیالات سمی.
- جهت میدل های Inter Cooler و After Cooler.

• کاربردهای صنعتی معمول و عمومی.

مبدل با تیوب باندل متحرک - با قابلیت بیرون کشیدن به همراه

کله گی شناور<sup>۸</sup>

تیپ های BET و AET و مشابه

در این نوع از مبدل ها به این دلیل که کله گی شناور (Floating Head) مستقیماً به صفحه لوله (Tube Sheet) شناور پیچ می گردد. با توجه به اینکه قطر خارجی کله گی شناور از قطر داخلی پوسته کوچکتر می باشد، دیگر نیازی به باز کردن کله گی شناور در زمان بیرون کشیدن تیوب باندل نمی باشد.





- پوسته می تواند مورد بازرسی و یا شستشوی به روش های مکانیکی و بوسیله بخار قرار گیرد.
- دارای هزینه ساخت کمتری نسبت به مبدل های دارای کله گی شناور و یا مبدل های دارای کله گی شناور و پکینگ می باشد.
- توانایی استقامت در برابر محیط های دارای شوک گرمایی بالا را دارد.
- باندل می تواند از یک سمت به منظور تمیز کاری و یا جایگزینی خارج گردد.
- امکان چند پاسه کردن سمت لوله وجود دارد.

#### محدودیت ها

- بدلیل وجود خم در لوله ها سطح داخلی لوله ها فقط از طریق شیمیائی قابل شستشو می باشد.
- بدلیل تو در تو بودن لوله ها، تعویض اختصاصی لوله ها و خصوصاً لوله های ردیف های میانی سخت می باشد.

- امکان طراحی یک پاسه و همچنین بوجود آوردن جریان غیر همسوی واقعی وجود ندارد.
- قسمت خم شده (U) لوله دارای ضخامتی کمتر از قسمت راست و مستقیم (Straight) لوله می باشد.
- امکان تخلیه کامل سیال باقیمانده در لوله ها در حالتی که مبدل بصورت عمودی طراحی گردیده است و محل ورودی سیال در بالا می باشد سخت است.

#### کاربردها:

- جهت گرم کردن نفت، روغن، مواد شیمیایی و آب.
- جهت تماس بخار آب و مایعات در پوسته و لوله می باشد.

#### نتیجه گیری:

به منظور مرور کلی و جامع موارد ذکر شده در بخش های قبلی، جدول شماره یک خصوصیات تیپ های مختلف TEMA را به صورت مجموعه ای یکجا و مقایسه ای بیان می دارد.

#### خاتمه:

در پایان امیدوارم که این مقاله، هر چند کوتاه و مختصر توانسته باشد دید جدیدی را نسبت به تیپ های مبدل های گرمایی به خوانندگان و علاقه مندان این بخش از تجهیزات صنایع نفت و گاز و پتروشیمی ارائه نماید.

لذا در فرایندهایی که تیوب باندل جهت شستشو و بازرسی می بایست به دفعات از درون پوسته بیرون کشیده شود مناسب است. (شکل ۸)

#### مزایا:

- مبدل های دارای کله گی شناور امکان تحمل تنش های گرمایی بین پوسته و تیوب باندل را میسر می سازند.
- سطح پوسته می تواند مورد بازرسی و شستشو بوسیله ی روش های مکانیکی و یا بخار قرار گیرد.

- امکان زیادتر کردن محدوده ی ورودی تیوب باندل (Bundle Entrance) جهت توزیع مناسب سیال میسر می باشد.
- امکان طراحی چند پاسه سمت لوله وجود دارد.
- جهت خنک کردن سیال های سمی و فرار مناسب می باشد.

#### محدودیت ها:

- جهت دستیابی به شرایط خاص و مشخص دمایی مورد نیاز، این تیپ از مبدل های تحت استاندارد TEMA گران قیمت ترین انواع مبدل می باشد.
- با فرض قطر ثابت پوسته و لوله کمترین سطح انتقال حرارت را در مقایسه با دیگر تیپ ها فراهم می کند.

#### کاربردها:

- در فرآیندهای شیمیائی جهت سیالات سمی.
- بعنوان کندانسور هیدروکربنی.
- فرآیندهای صنعتی عمومی که نیاز به شستشوی مکرر باندل و سطوح داخلی پوسته می باشد.

#### مبدل با تیوب باندل متحرک - مبدل با لوله U شکل

#### تیپ های AEU و BEU و مشابه

مشخصاً این مبدل ها جهت حالت هایی که تنش های گرمایی بسیار بالایی وجود دارد مفید می باشد. به این دلیل که هر لوله به طور مستقل امکان تغییر طول را دارا می باشد، لذا می تواند شک های گرمایی بالا را تحمل نماید. با وجودیکه مبدل های AEM و AEW دارای کمترین هزینه ساخت می باشند، مبدل های دارای لوله ی U شکل اقتصادی ترین انواع مبدل می باشند. (شکل ۹)

#### مزایا:

- مبدل های دارای لوله U شکل بدلیل اینکه هر لوله بطور اختصاصی می تواند تنش را دفع کند. جهت تنش های گرمایی زیاد بین پوسته و تیوب باندل، مناسب می باشد.



جدول شماره یک

تیپ مبدل بر اساس استاندارد TEMA	توضیح در باره تیپ مبدل	آیا امکان جابجایی تیوب بانند وجود دارد؟	آیا امکان تمیز کردن سطح داخلی لوله وجود دارد؟	مناسب جهت مایعات و گازهای غیر خطرناک پایین تر از فشار ۴۰ bar		مناسب جهت مایعات و گازهای غیر خطرناک بالا تر از فشار ۴۰ bar	مناسب جهت مایعات و گازهای خطرناک	گسکت با سیال در تماس نمی باشد	آیا توان تحمل شوک گرمایی وجود دارد؟
				پایین تر از ۱۹۰ °C	بالا تر از ۱۹۰ °C				
AEW BEW	EXTERNALLY SEALED FLOATING TUBE SHEET	بلی	بلی	بلی	خیر	خیر	خیر	خیر	خیر
AEP BEP	OUTSIDE PACKED FLOATING HEAD	بلی	بلی	بلی	بلی	بلی (۲)	خیر	خیر	خیر
AEL BEM	FIXED TUBE SHEET	خیر	بلی	بلی (۱)	بلی (۱)	بلی (۲)	بلی	بلی (۳)	خیر
NEN	FIXED TUBE SHEET, CHANNEL INTEGRAL WITH TUBE SHEET	خیر	بلی	بلی (۱)	بلی (۱)	بلی	بلی	بلی (۳)	خیر
AEU BEU	U-TUBE	بلی	خیر	بلی	بلی	بلی	بلی	بلی (۴)	بلی
AET BET	PULL-THROUGH FLOATING HEAD	بلی	بلی	بلی	بلی	بلی	بلی	خیر	بلی
AES BET	FLOATING HEAD WITH BACKING DEVICE	بلی	بلی	بلی	بلی	بلی	بلی	خیر	بلی

توضیحات: ۱- اتصال انبساط (Expansion Joint) ممکن است نیاز باشد. ۲- فقط سمت لوله. ۳- فقط پوسته. ۴- فقط پوسته در صورتیکه تیوب بانند به پوسته جوش گردد که در اینصورت امکان جابجایی لوله وجود نخواهد داشت.

- 1 – TEMA: Tubular Exchanger Manufacturer Association
- 2 - Straight Tube, Fixed Tube Sheet
- 3 - EXTERNALLY SEALED FLOATING TUBE SHEET
- 4 - OUT SIDE PACKING HEAD
- 5 - Floating Head Cover
- 6 - Special Floating Head
- 7 - Floating Split Ring
- 8 - Pull-Through Floating Head
- 9 - Packing Floating Head
- 10 - Counter Current Flow