

# بخار در مبدل‌های حرارتی صفحه ای

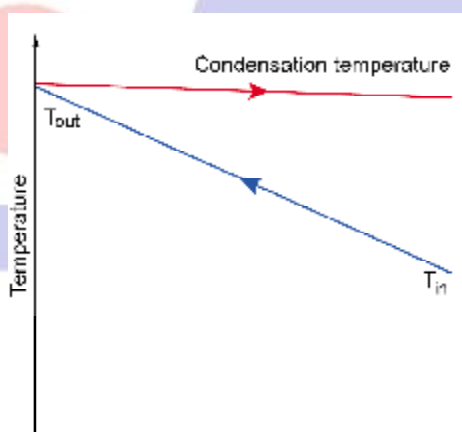
## مقایسه مبدل های حرارتی صفحه ای و پوسته - لوله ای

شرکت پارس جم کنترل  
نویسنده مقاله: مهندس ایمان رزمی

### کارایی حرارتی

جریان آشفته<sup>1</sup> موجود در یک مبدل حرارتی صفحه ای باعث ضریب انتقال حرارت بالا و در نتیجه تبادل حرارت سریع می گردد. این ضریب تبادل حرارت ( $k$ )، در حدود 3 الی 5 برابر ضریب مبدل های پوسته-لوله ای است. از طرفی، افت فشار بالاتر در سمت سیال گرم شونده مبدل های حرارتی صفحه ای در نقطه مقابل راندمان حرارتی بالای آنهاست. در مبدل های صفحه ای، جهت جریان دو سیال گرم کننده و گرم شونده مخالف یکدیگر است. به کمک چنین جهت جریان و داشتن ضریب تبادل حرارت بالاتر، می توان مبدل حرارتی صفحه ای را طراحی کرد که سیال گرم شونده را تا دمای بسیار نزدیک به دمای بخار اشباع حرارت دهد، شکل 1. این قابلیت، بخصوص در حالتی که فشار بخار پایین باشد حائز اهمیت است.

به سبب تبادل حرارت کارا در مبدل های حرارتی صفحه ای می توان دمای کندانس حاصل را به زیر دمای اشباع نیز رساند. این امر با تعبیه کنترل سطح کندانس و بکارگیری بخش تحتانی مبدل به عنوان خنک کننده امکان پذیر می باشد. اما در مبدل های پوسته-لوله ای چنین استفاده ای به سختی و با صرف هزینه های فراوان امکان پذیر بوده و نیازمند نصب تجهیز خنک کننده جداگانه ای است.



شکل 1- امکان افزایش دمای سیال گرم شونده تا دمای بخار اشباع

<sup>1</sup> Turbulent

## اندازه و وزن

از جمله مزایای طراحی فشرده مبدل های حرارتی صفحه ای می توان به وزن، فضای مورد نیاز و حجم کم آنها اشاره کرد. بدیهی است که ترکیب وزن کمتر و اندازه کوچکتر، هزینه های نصب و راه اندازی را نیز کاهش می دهد.

## طراحی مکانیکی

مبدل های حرارتی پوسته-لوله ای را می توان برای کاربردهای دما و فشار بسیار بالا طراحی نمود. حداکثر فشار و دمای کاری مبدل های صفحه ای تمام جوش امروزی، در حدود 350 درجه سانتیگراد و 40 بار است که برای اغلب کاربردها کفایت می کند.

جنس استاندارد صفحه اینگونه مبدلها معمولا از موادی همچون تیتانیوم است. اما از آنجا که در مبدل های پوسته-لوله ای ماده بیشتری استفاده می شود، در صورت تولید این مبدل ها از مواد مذکور، هزینه ساخت بسیار زیاد خواهد شد.

لوله های درون مبدل های پوسته-لوله ای نسبت به ارتعاشات حساس می باشند، در صورتیکه مبدل های حرارتی صفحه ای نسبت به ارتعاشات یا هرگونه فشار خستگی دیگر بسیار مقاومترند.

شیارهای موجود در صفحات مبدل های صفحه ای جریان بسیار آشفته ای را بوجود می آورند که نتیجتا رسوبگیری سطوح انتقال حرارت را به تعویق می اندازد، شکل 2. در حالیکه در یک مبدل حرارتی پوسته-لوله ای، جریان کمتر آشفته بوده و در نتیجه خطر رسوبگیری بیشتر و نیاز به تمیزکردن آن مبرم تر است.

در مبدل صفحه ای تخلیه کندانس به علت عمود بودن صفحات آسانتر از مبدل پوسته-لوله ای است که لوله ها عمودا در حالت افقی قرار دارند.

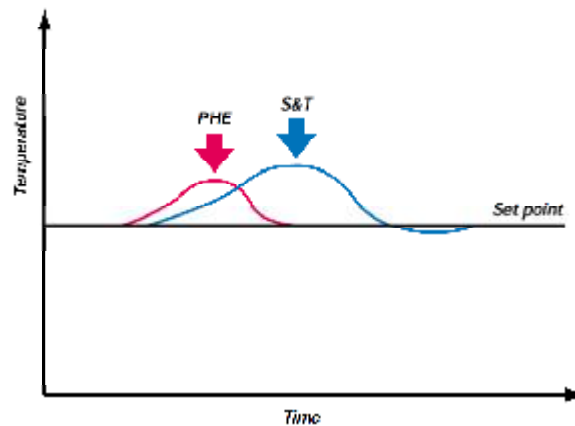


شکل 2 - حرکت چرخشی سیال و تاخیر در تشکیل رسوب

## دقت در کنترل دما

ترکیب بازده حرارتی بالا و وزن کم، مبدل حرارتی صفحه ای را برای کاربردهایی که نیاز به زمان پاسخ کوتاه دارند بسیار برجسته ساخته است. یکی از این کاربردها گرمایش لحظه ای آب است. در این کاربرد، مبدل های حرارتی صفحه ای عملکردی به مراتب چشمگیرتر از مبدل های حرارتی پوسته-لوله ای دارند. برای مثال در زمان کاهش بار حرارتی، دمای آب خروجی نسبت به زمان متغیر و دارای نوسان خواهد بود. همانطور که نمودار زیر نشان می دهد، مبدل حرارتی پوسته-لوله

ای در مقایسه با مبدل حرارتی صفحه ای به علت داشتن وزن بیشتر و ضریب تبادل حرارت کمتر پاسخی کندتر به تغییرات بار می دهد.

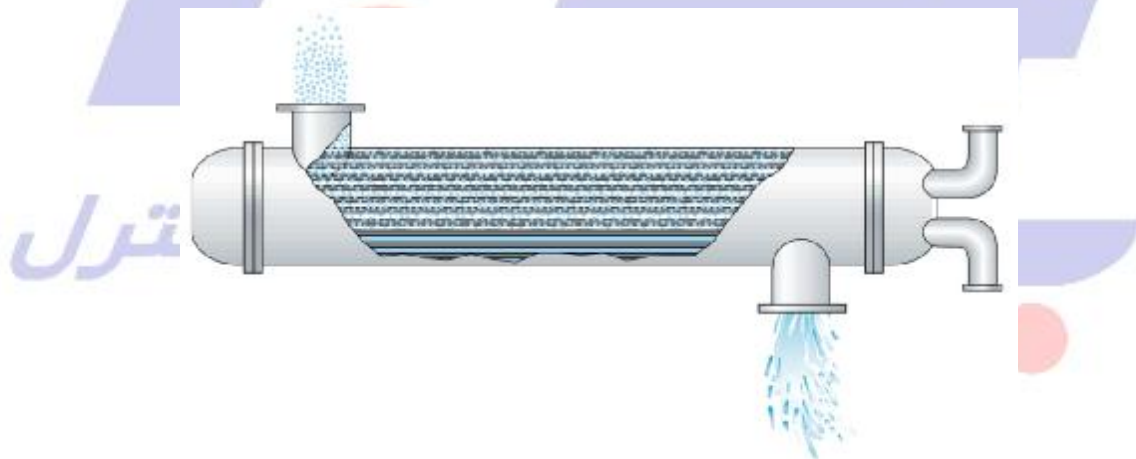


نوسانات دمایی ناشی از تغییرات بار حرارتی در مبدل صفحه ای (PHE) و مبدل پوسته-لوله ای (S&T)

## عملکرد در وضعیت Stall

وضعیت Stall به این معنی است که فشار کندانس موجود در مبدل از فشار خط کندانس کمتر بوده و کندانس درون مبدل جمع می شود. این پدیده بیشتر در کاربردهای گرمایش آب در زمانی که مبدل در حال کار در بار حرارتی جزئی است اتفاق می افتد.

در یک مبدل حرارتی پوسته-لوله ای سطح تماس بخار و کندانس سرد نسبتاً زیاد است (شکل 3)، در حالیکه در یک مبدل حرارتی صفحه ای این سطح بسیار کوچک است. به همین علت، در مبدل حرارتی پوسته-لوله ای ممکن است با تغییر بار حرارتی مشکلاتی پدید آید. بخار وارد کندانس سرد شده و صدا و ضربه چکش ایجاد کرده و کنترل دما را مشکل می کند. اما در یک مبدل حرارتی صفحه ای که بدرستی انتخاب شده است چنین مشکلاتی ایجاد نمی گردد.

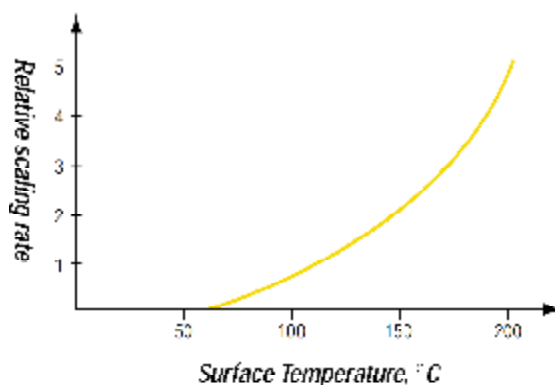


شکل 3 - سطح تماس زیاد بخار و کندانس در مبدل حرارتی پوسته-لوله ای

همانطور که پیش از این توضیح داده شد، یکی از مزایای بزرگ مبدل های حرارتی صفحه ای بازده حرارتی فوق العاده آنهاست. با این حال، به علت اثرگذاری پارامترهای مختلف در طراحی و انتخاب این مبدل ها، بایستی با رعایت نکات فنی دقت کافی را بعمل آورد.

## رسوب<sup>2</sup>

ایجاد رسوب در مبدل‌های حرارتی امری بدیهی است، به این علت که مایعات (برای مثال آب خام) اغلب حاوی ذرات معلق و ناپایدار بوده و تجمع این ذرات موجب ایجاد رسوب است. این رسوبات، ترکیبی از مواد مختلف بوده و اغلب در طرف سرد مبدل تشکیل می‌شود. در این میان، مقدار کربنات کلسیم ( $\text{CaCO}_3$ ) به میزان زیادی به کیفیت آب مصرفی بستگی داشته و تجمع آن خطر بزرگی محسوب می‌شود. مطابق نمودار زیر، هرچه دمای جداره مبدل بیشتر باشد رسوب سریعتر بوجود می‌آید.



رابطه بین دما و ایجاد رسوب در طول زمان

میزان رسوب ایجاد شده بر روی صفحات ناقل حرارت در مبدل وابستگی بسیار زیادی به چگونگی کارکرد دستگاه دارد، شکل 4. در تئوری، انتقال حرارت ثابت باعث ایجاد رسوب به میزان نامحدود می‌شود. ضخامت و رسانش حرارتی عوامل تعیین کننده مقاومت در برابر ایجاد رسوب در مبدلها می باشند. جهت تعیین توانایی مبدل در کار تحت شرایط ایمن بمنظور جلوگیری از ایجاد رسوب بیش از حد، از ضریبی به نام ضریب رسوب ( $R_f 10^{-4} \text{M}^2\text{K/W}$ ) استفاده می گردد. غالباً از این ضریب به منظور بیان حاشیه ایمن کارکرد مبدل های پوسته-لوله ای استفاده می گردد. اگرچه، به علت بالاتر بودن ارزش  $k$  در مبدل‌های صفحه ای، طراحی این مبدلها با استفاده از  $R_f$  مبدل های پوسته-لوله ای منجر به داشتن مبدلهایی با صفحاتی بزرگتر از میزان مورد نیاز خواهد شد.



شکل 4 - صفحه های مبدل حرارتی دارای رسوب و بدون رسوب

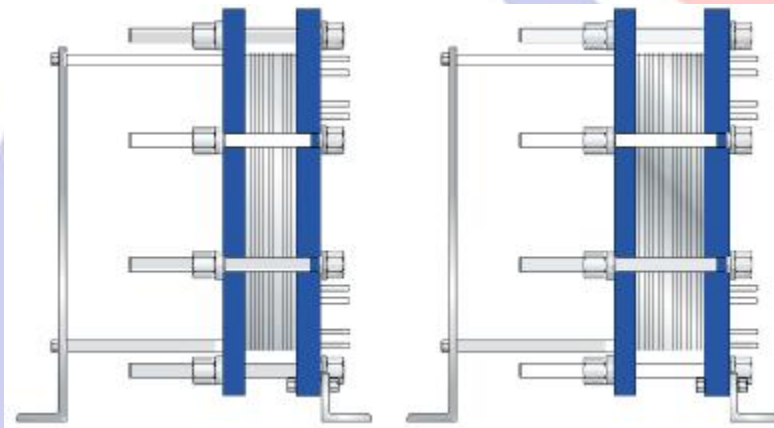
## چگونه می توان از ایجاد رسوب جلوگیری نمود؟

در طراحی مبدل های بخار، به سه نکته اساسی باید توجه کرد:

- دمای طراحی کندانس باید نسبتاً پایین، در حدود 120 درجه سانتیگراد، در نظر گرفته شود. در صورتیکه احتمال ایجاد رسوب شدید داده می شود، دمای کندانس را می توان پایین تر نیز در نظر گرفت. این تمهید، باعث تولید بخار فلاش کمتری نیز خواهد شد.
- کنترل دما از طریق کنترل بخار ورودی با تخلیه سریع کندانس انجام پذیرد، زیرا این روش دمای تشکیل کندانس را به حداقل می رساند.
- بمنظور سهولت در باز کردن و تمیز کردن مبدل ها، از مبدل های حرارتی گسکت دار استفاده شود.

## اندازه گذاری بر اساس دمای پایین کندانس

همانطور که ذکر شد، به علت بازده حرارتی بالای مبدل های حرارتی صفحه ای و هزینه پایین افزایش تعداد صفحات حرارتی، اغلب پیشنهاد می شود این مبدل ها را بر اساس دمای چگالش نسبتاً پایین اندازه گذاری نمود، شکل 5. از این راه حل به خصوص در مواردی که مشکل ایجاد رسوب یا تولید بخار فلاش غیر قابل بازیافت وجود دارد استفاده می شود.



شکل 5 - مبدل سمت راست با 28 عدد صفحه: چگالش در دمای 120 درجه، بار حرارتی: 1 MW

مبدل سمت چپ با 20 عدد صفحه: چگالش در دمای 150 درجه، بار حرارتی: 1 MW

مناسب ترین روش کنترل دما، استفاده از شیر کنترل بخار در مسیر ورودی همراه با سیستم تخلیه کندانس اجباری (پمپ-تله) در مدار کندانس است. بدین طریق می توان به حداقل دمای تشکیل کندانس دست یافت.

## استفاده از مسیر بای پس<sup>3</sup>

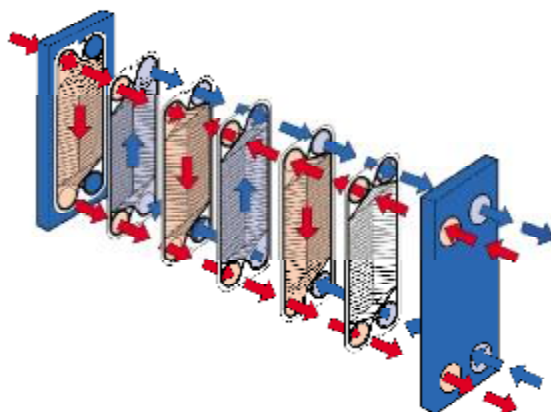
زمانی که سیال ثانویه تنها چند درجه گرم می شود، به عنوان مثال دبی جریان نسبتاً زیاد باشد، در حقیقت این افت فشار مجاز طرف ثانویه است که در تعیین سایز مبدل حرارتی نقش اصلی را ایفا می کند. بمنظور جلوگیری از افت فشار بیش از حد، باید از صفحات بیشتر و اضافه تر اضافه نمود. این امر نیز به نوبه خود باعث ایجاد مبدلی با سطوح بیش از نیاز می گردد. این

<sup>3</sup> Bypass

سطوح اضافی نه تنها هزینه ها را افزایش می دهند، بلکه کنترل مبدل را دشوارتر می سازند. در بسیاری از موارد این مشکل را می توان با تعبیه یک مسیر فرعی در طرف ثانویه حل کرد. این عمل امکان بهینه شدن جریان سیال از درون مبدل را فراهم کرده، سطح تبادل حرارت را کاهش داده و در نتیجه باعث صرفه جویی قابل توجهی در هزینه ها خواهد شد. در این صورت به علت نیاز به افزایش دمای سیال در مدار ثانویه، پایداری سیستم کنترل دما نیز بهبود خواهد یافت.

## استفاده از دو اتصال ورودی بخار

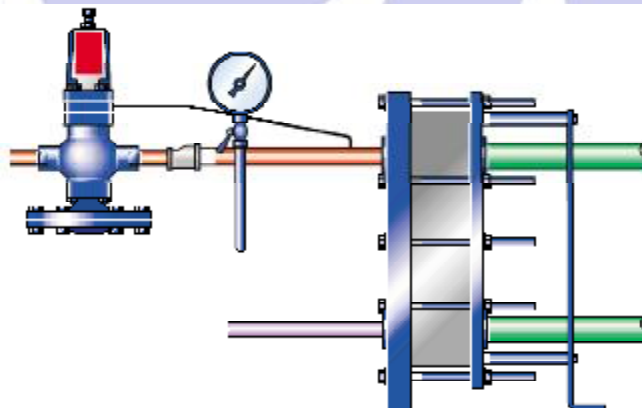
جهت ایجاد دبی بالای بخار در کاربردهایی که نیاز به نصب تعداد زیادی صفحه دارند، می توان یک ورودی دیگر بخار را نیز به مجموعه مبدل حرارتی اضافه نمود، شکل 6. این عمل بخصوص در مواردی که فشار بخار ورودی پایین بوده، یا دمای بخار نزدیک به دمای خروجی سیال در مدار ثانویه باشد، سودمند است. با اضافه نمودن یک ورودی دیگر، از انتخاب مبدلی بزرگتر با اتصالاتی با سایز بیشتر جلوگیری شده و نتیجتاً هزینه های مربوطه نیز کاهش خواهند یافت.



شکل 6 - مبدلی با دو ورودی بخار و یک خروجی سیال

## تقلیل فشار بخار

در زمان وجود بخار اشباع فشار بالا در سیستم، بمنظور حفظ دمای مبدل در محدوده مجاز قابل تحمل گسکت ها نیاز است فشار بخار توسط شیر مناسب تقلیل داده شود، شکل 7. به عنوان مثال، اگر فشار بخار اشباع 16 بار با کیفیت خشکی 98% و دمای 204 درجه سانتیگراد را به 3 بار کاهش دهیم، دمای حاصل 150 درجه سانتیگراد خواهد بود.



شکل 7 - شیر فشارشکن



## گرمایش سیال و خنک سازی همزمان کندانس تا دمای زیر اشباع<sup>4</sup>

با توجه به بازده حرارتی بالای یک مبدل حرارتی صفحه ای، گاهی می توان همزمان هم سیال ثانویه را گرم کرد و هم دمای کندانس حاصله را به زیر دمای اشباع رساند، شکل 8. این امر در شرایطی عملی است که شرایط مناسب جهت کنترل و تخلیه کندانس فراهم گردد. همچنین لازم است تا دمای ورودی سیال در مدار ثانویه حداقل 10 درجه پایین تر از دمای طراحی کندانس خروجی باشد.

مزیت بزرگ گرمایش و سرمایش همزمان در درون یک مبدل، عدم نیاز به بکارگیری مخزن فلاش یا تجهیزات خنک کننده مجدد است.



شکل 8 - ایجاد کندانس در قسمت فوقانی صفحه و کاهش دمای آن تا زیر دمای اشباع در انتهای تحتانی آن

خوانندگان محترم می توانند جهت دریافت اطلاعات تکمیلی با شماره تلفن های 24-88708223 و یا پست الکترونیک [info@pars-jam.com](mailto:info@pars-jam.com) تماس حاصل نمایند.

---

<sup>4</sup> Subcooling