

مبدل‌های حرارتی صفحه‌ای و نقش آنها در بهینه‌سازی مصرف انرژی

حسن رنجبر مقدم
کارشناس مهندسی مکانیک
دانشگاه آزاد اسلامی، واحد مشهد
ranjbarhaddam.um@gmail.com

انوشیروان فرشیدیان فر
استاد دانشکده مهندسی مکانیک
دانشگاه فردوسی مشهد
farshid@ferdowsi.um.ac.ir

حجت نداد شرق*
دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی هوا فضا
دانشگاه فردوسی مشهد
nadaf.um@gmail.com

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۰۹/۲۵

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۰۹/۱۵

چکیده

امروزه انرژی یکی از مهم‌ترین عوامل در پیشرفت و توسعه پایدار جوامع بشری محسوب می‌شود و همین موضوع، بهینه‌سازی در مصرف آن را بیش از پیش مهم و قابل توجه می‌سازد. مبدل‌های حرارتی صفحه‌ای نسل جدیدی از مبدل‌های حرارتی‌اند که در آنها سیالات گرم و سرد بین صفحات شیاردار جریان دارند. توربولانس زیاد به علت حرکت سیال در مجاری باریک و ناهموار بین این صفحات سبب افزایش انتقال حرارت، کاهش انرژی مصرفی و در نهایت افزایش بازده می‌شود؛ لذا با توجه به بحث بهینه‌سازی مصرف انرژی در واحدهای صنعتی همواره تلاش شده است تا مبدل‌هایی طراحی شود که ضمن داشتن حداکثر بازده در وظایف طولانی‌مدت، کمترین مشکلات عملیاتی را داشته باشند. از مهم‌ترین ویژگی‌های این مبدل‌ها می‌توان به بازده و ضریب انتقال حرارت بالا، اشغال فضای کمتر جهت نصب، حجم کمتر سیال داخلی، سهولت سرویس و رسوب کمتر اشاره کرد. در این مقاله با ذکر چند مطالعه موردی سعی شده است ضمن معرفی کامل نسل جدیدی از مبدل‌های حرارتی تحت عنوان مبدل‌های صفحه‌ای، میزان مصرف انرژی و دیگر مزایای این مبدل‌ها در مقایسه با مبدل‌های پوسته و لوله رایج مورد بررسی قرار گیرد.

واژگان کلیدی: مبدل‌های حرارتی صفحه‌ای، بازده انرژی، بهینه‌سازی در مصرف انرژی، مبدل‌های پوسته و لوله، انتقال حرارت

۱. مقدمه

هوندهاوزن^۴ طرح اولیه را تکمیل نمودند [۲] و در سال ۱۹۳۱ نخستین مبدل حرارتی صفحه‌ای با ضخامت ۵ تا ۱۰ میلی‌متر ساخته شد [۳]. در سال ۱۹۶۰، تولید این نسل از

ایده اولیه مبدل‌های حرارتی صفحه‌ای^۱ نخستین بار در سال ۱۸۷۸ م توسط آلبرت دراک^۲ به ثبت رسید [۱]. سپس در سال ۱۸۹۰ م، دو مخترع آلمانی به نام‌های لانگن^۳ و



مبدل‌ها وارد مرحله جدیدی شد [۴-۵]. در سال ۱۹۷۷، نوع لحیم‌کاری شده به بازار عرضه شد و نهایتاً در سال ۲۰۰۳ فناوری جدید آلفافیوژن معرفی گردید.

امروزه مبدل‌های حرارتی از ورق‌هایی با جنس‌های متنوع و صفحاتی تا ضخامت ۰/۴ میلی‌متر ساخته شده‌اند و قادر به تولید سطح حرارتی برابر ۲۰۰۰ متر مربع در یک واحد مبدل می‌باشند. در حال حاضر، مبدل‌های حرارتی صفحه‌ای رایج‌ترین نوع مبدل‌های حرارتی در صنعت محسوب می‌شوند. نوع کوچک آن که به مبدل‌های حرارتی صفحه‌ای لحیم‌شده^۵ اطلاق می‌شود، بیشتر در گرمایش داخلی و آب گرم منازل مورد استفاده قرار می‌گیرد و نوع بزرگ‌تر و تجاری آن، که به مبدل حرارتی صفحه‌ای واشردار معروف است، توانسته است از رقیب خود (مبدل‌های لوله‌ای) پیشی بگیرد. این نوع مبدل‌ها بیشتر در صنایع غذایی، دارویی، شیمیایی، نفت، گاز، پتروشیمی و جز این‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند.

در این مقاله سعی شده است تا علاوه بر آشنایی کامل با مبدل‌های حرارتی صفحه‌ای و کاربرد آنها در صنعت، به بررسی عوامل مؤثر بر تشکیل رسوب در این ادوات پرداخته شود، همچنین در پایان به مقایسه این نوع مبدل‌ها با مبدل‌های حرارتی پوسته و لوله^۶ اشاره شده است.

۲. مبدل‌های حرارتی صفحه‌ای

با توجه به موضوع بهینه‌سازی مصرف انرژی در واحدهای فرایندی، همواره تلاش شده است تا مبدل‌هایی طراحی شود که ضمن داشتن حداکثر بازده در کارکردهای بلندمدت، کمترین مشکلات عملیاتی را داشته باشند. به‌طور کلی مبدل‌های حرارتی را می‌توان براساس موارد ذیل دسته‌بندی کرد:

۱. فرایند انتقال

۲. فشردگی سطوح

۳. نحوه ساخت و فشردگی هندسی

۴. آرایش جریان‌های سرد و گرم (هم‌جهت یا معکوس)

۵. سازوکار انتقال حرارت (یک فاز و دو فاز)

۶. تعداد سیال و درجه حرارت کارکرد

مبدل‌های حرارتی صفحه‌ای از صفحاتی نازک، که کانال‌های جریان را تشکیل می‌دهند، تشکیل شده‌اند. این مبدل‌ها برای انتقال گرما بین گاز، مایع یا جریان‌های دو فاز استفاده می‌شوند و به چهار گروه اصلی تقسیم می‌شوند:

۱. مبدل صفحه‌ای واشردار

۲. مبدل صفحه‌ای لحیم‌شده

۳. مبدل صفحه‌ای حلزونی^۷

۴. مبدل حرارتی لاملا^۸

۲-۱. مبدل صفحه‌ای واشردار

این دسته از مبدل‌ها شامل تعدادی صفحه نازک با سطح چین‌دار یا موج‌دار با ضخامت ۰/۴ تا ۰/۷ میلی‌متر می‌باشند که سیال‌های گرم و سرد را از هم جدا می‌سازند. صفحات دارای واشرهایی در گوشه‌ها هستند و به‌گونه‌ای آرایش داده شده‌اند که دو ماده‌ای که باید گرما میان آنها مبادله شود، یک‌درمیان در فضای بین صفحات جریان می‌یابند. همچنین این صفحات بین دو صفحه فشار و صفحه ثابت قرار گرفته و از بالا و پایین با میله حامل بالایی و میله هادی پایینی نگهداری می‌شوند. طراحی و واشربندی مناسب، این امکان را ایجاد می‌کند که مجموعه‌ای از صفحات، توسط پیچ‌ها در کنار هم نگه داشته شوند. واشرها از نشتی به بیرون جلوگیری می‌کنند و سیال‌ها را در صفحات به شکل مورد نظر هدایت می‌نمایند. شکل جریان، عموماً به‌گونه‌ای انتخاب می‌شود که جریان سیال‌ها در خلاف جهت یکدیگر باشند. در شکل ۱ اجزای یک مبدل حرارتی نمایش داده شده است [۶].

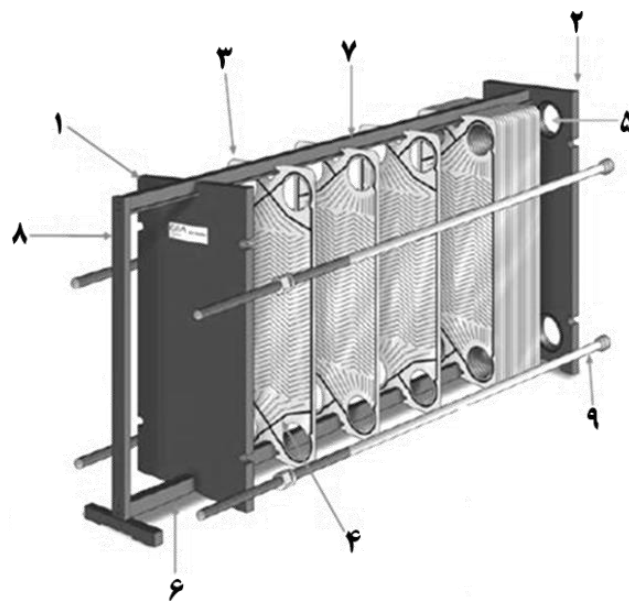
۲-۲. انتخاب جنس صفحات و واشرها

انتخاب جنس صفحات و واشرها جهت عملکرد مطلوب به پارامترهای بسیاری بستگی دارد که ترکیب شیمیایی سیال عامل، دمای دیواره فلزی و شرایط عملکرد از آن جمله‌اند.



می‌تواند سبب بهبود خواص این نوع از فولادها در مقابل خوردگی باشد. به‌طور کلی آلیاژهای نیکل، مقاومت خوبی در برابر انواع خوردگی در محیط‌های مستعد از خود نشان می‌دهند و از سوی دیگر، جهت استفاده از مبدل‌های حرارتی صفحه‌ای در محیط‌های هالوژنی مانند آب دریا استفاده از تیتانیوم ضروری می‌باشد. در جدول ۲ لیست مواد استاندارد استفاده‌شده در صفحات مبدل ذکر شده است.

واشرها برای درزبندی و آببندی صفحات به‌کار می‌روند. در جدول ۱ نوع مواد لاستیکی به‌کار رفته در واشرها به‌همراه کاربرد آنها و محدودیت‌های دمایی ذکر شده است. از موادی که امروزه در تولید صفحات زیاد استفاده می‌شود، می‌توان به آلیاژ فولادهای ضد زنگ سخت‌شده، آلیاژهای نیکل و تیتانیوم اشاره کرد. وجود مولیبدن و کروم در آلیاژهای گرید بالای فولادهای ضد زنگ در کنار مس



شکل ۱. مبدل حرارتی صفحه‌ای واشردار [۷]

- ۱) صفحه فشار^۹ که نقش آن ایجاد فشار روی صفحات است. این صفحات معمولاً از فولادهای کربنی ساخته شده و سپس با مواد ضدزنگ و یک لایه رنگ جهت جلوگیری از خطر خوردگی پوشیده می‌شوند.
- ۲) صفحه ثابت^{۱۰} که معمولاً چهار دهانه ورودی و خروجی سیال روی آن قرار گرفته است.
- ۳) صفحات حرارتی^{۱۱} که در واقع هر دو سیال سرد و گرم یک در میان آنها جریان دارند.
- ۴) واشر^{۱۲} که علاوه بر هدایت سیال، مانع از نشت آن به بیرون می‌شود و از درهم آمیختن دو سیال جلوگیری می‌کند.
- ۵) مجاری اتصال‌دهنده^{۱۳} که معمولاً روی صفحه ثابت تعبیه شده، به‌طوری که در امتداد سوراخ‌های صفحات قرار می‌گیرند و وظیفه اتصال به سیستم لوله کشی را دارند. اتصالات و نازل‌ها معمولاً از جنس صفحات ساخته می‌شوند تا بدین وسیله از خوردگی‌های الکتروشیمیایی جلوگیری کنند.
- ۶) میله هادی پایینی^{۱۴} که وظیفه هدایت صفحات را برعهده دارد و معمولاً از جنس فولاد زنگ‌نزن ساخته می‌شود.
- ۷) میله حامل بالایی^{۱۵} که صفحات را نگهداری می‌کند و معمولاً از جنس آلومینیوم یا فولاد کربنی رنگ‌شده می‌باشد.
- ۸) پایه انتهایی^{۱۶} که در مبدل‌های کوچک به کار نمی‌رود و وظیفه افقی نگه‌داشتن کل مبدل را برعهده دارد.
- ۹) میله و پیچ‌های اتصال^{۱۷}، که به کمک دو صفحه ثابت و صفحه فشار، مجموعه صفحات واشربندی شده را تحت فشار قرار داده تا سیستم از درون بتواند فشار سیال عبوری را تحمل کند.

جدول ۱. جنس واشرها و کاربرد آنها [۷]

جنس واشر	محدوده دمایی	کاربرد
الاستومر نیتریل بوتادین ^{۱۸}	۴۰ تا ۱۵۰ درجه سانتی گراد	آب، سیالات با پایه روغن معدنی، چربی و روغن‌های گیاهی و حیوانی، هیدروکربن‌های آلیفاتیک، روغن سیلیکون
لاستیک اتیلن پروپیلن ^{۱۹}	۲۰ تا ۱۷۰ درجه سانتی گراد	آب، بخار اشباع، الکل‌ها، کتون‌ها، اسیدهای آلی و غیرآلی، حلال‌ها
الاستومر کلروپریلن ^{۲۰}	۳۰ تا ۸۰ درجه سانتی گراد	آمونیاک، فرئون‌ها، دی اکسید کربن، روغن‌های سیلیکون، مواد سفیدکننده، کلر، اوزن
الاستومر بوتیل ^{۲۱}	۴۰ تا ۱۲۰ درجه سانتی گراد	مبردهای آر. ۲۲ و آر. ۱۳۴ ای.
فلوروکربن الاستیک ^{۲۲}	صفر تا ۱۶۰ درجه سانتی گراد	چربی‌ها و روغن‌های معدنی، هیدروکربن‌های آروماتیک و کلردار، نفت، اسیدها

جدول ۲. لیست مواد استاندارد استفاده شده در صفحات مبدل [۶]

سیال نمونه استفاده شده	ضخامت	مواد استاندارد استفاده شده
آب به آب تمیز	معمولاً ۰/۴ تا ۰/۵ میلی متر	AISI 304 (stainless steel)
آب به آب	همیشه ۰/۵ تا ۰/۶ میلی متر کاربردهای فشاربالا: صفحات ضخیم‌تر	AISI 316 (stainless steel)
آب به آب با درصد بالای کلراید	معمولاً ۰/۶ میلی متر	254 SMO (high-alloy stainless steel)
آب دریا	همیشه ۰/۵ تا ۰/۶ میلی متر کاربردهای فشاربالا: صفحات ضخیم‌تر فشار پایین: ضخامت ۰/۴ میلی متر	Titanium
اسید سولفوریک متمرکز	معمولاً ۰/۶ میلی متر	Alloy C-276 (Nickel alloy)



۲-۳. مطالعه موردی

در این بخش سعی شده است با ذکر چند مثال اهمیت استفاده از مبدل‌های حرارتی صفحه‌ای تبیین شود.

۲-۳-۱. مورد اول

بیش از هفتاد سال است که شرکت سرکوئیت فویل^{۲۳} آمریکا، واقع در شهر بورد ایالت نیوجرسی، فویل‌های مسی مورد استفاده در بردهای کامپیوتری و تراشه‌های الکترونی تولید می‌کند. این فویل‌ها از محلول مس در اسید سولفوریک ساخته می‌شوند. فرایند تولید آنها شامل گرمایش، سرمایش، خشک کردن، اندازه‌گیری و آندیزه کردن با کروم و دیگر حلال‌هاست. در مرحله نهایی محلول

به صورت دلخواه درآمده و به شکل لوله‌ای عرضه می‌شود. در ابتدا شرکت سرکوئیت فویل از مبدل حرارتی پوسته و لوله برای انتقال حرارت استفاده می‌کرد، اما نشی اتصالات، مساحت مورد نیاز اشغال شده و مشکلات تعمیر و نصب مبدل و همچنین نیاز به اصلاح تجهیزات طی دو سال سبب شد تا یک مبدل حرارتی صفحه‌ای را به طول ۳ فوت جایگزین مبدل حرارتی پوسته و لوله سابق کند [۸].

۲-۳-۲. مورد دوم

شرکت فونیکس سیستمز^{۲۴} در وودبرن^{۲۵} از سیستم‌های بازیافت اسید برای گالوانیزه کردن فولاد و سایر فرآورده‌ها بهره می‌برد. این مجموعه تولیدی با محلول‌های اسید فوق

اشباع، که شامل مواد خطرناکی چون روی، کروم یا نیکل است، سروکار دارد. در چرخه تولید این شرکت اسید سولفوریک داغ با دمای ۱۶۰ درجه فارنهایت، از مخازن ذخیره وارد مبدل حرارتی صفحه‌ای می‌شود و در آنجا با اسید بازگشتی با دمای ۵۵ درجه فارنهایت تبادل حرارت می‌کند. سپس دمای اسید داغ به ۱۵۰ درجه فارنهایت کاهش می‌یابد و اسید عاری از فلز تا دمای ۱۰۰ درجه فارنهایت پیش‌گرم می‌شود تا دوباره به چرخه بازگردد. شرکت فونیکس سیستمز در ابتدا از مبدل‌های حرارتی پوسته و لوله استفاده می‌کرد، اما به دلیل نرخ انتقال حرارت بیشتر، اندازه کوچک‌تر و انعطاف بالای مبدل‌های حرارتی صفحه‌ای، آنها را جایگزین نوع پیشین کرد [۹].

۲-۴. رسوب ۲۶ در مبدل‌ها

وقتی یک مبدل حرارتی در سیستم قرار می‌گیرد، به‌هنگام شروع کار سطوح انتقال حرارت آن تمیز است؛ اما با گذشت زمان در برخی از سرویس‌ها همچون سیستم‌های قدرت فرایندهای شیمیایی، به تدریج توانایی انتقال حرارت آنها کم می‌شود. از جمله مشکلات اصلی در استفاده از این تجهیزات پدیده رسوب‌گذاری است که سبب کاهش بازده حرارتی مبدل می‌شود و علاوه بر افزایش هزینه تولید، باعث کاهش کیفیت یا مقدار محصولات تولیدشده می‌گردد. بدیهی است که در بیشتر موارد، جلوگیری از تشکیل رسوب غیرممکن است، اما با اتخاذ تدابیر مناسبی چون تمیزکاری مبدل‌ها در فواصل زمانی مناسب و کاستن از عوامل ایجاد رسوب، می‌توان زیان‌های ناشی از این پدیده را به حداقل مقدار ممکن رساند. انتخاب بهینه‌ترین روش تمیزکاری مبدل از دیگر عواملی است که می‌توان علاوه بر کاهش هزینه‌ها، عمر مبدل‌ها را نیز افزایش داد. عواملی که سبب ایجاد رسوب می‌شوند اغلب عبارت‌اند از:

۱. وجود ذرات معلق در سیال
۲. کاهش حلالیت نمک‌ها با افزایش دما (مثل نمک‌های منیزیم)

۳. خوردگی؛ یعنی تبدیل یک لایه از فلز (آهن) به اکسید آن (اکسید آهن) که سبب کاهش ضریب رسانش می‌شود.

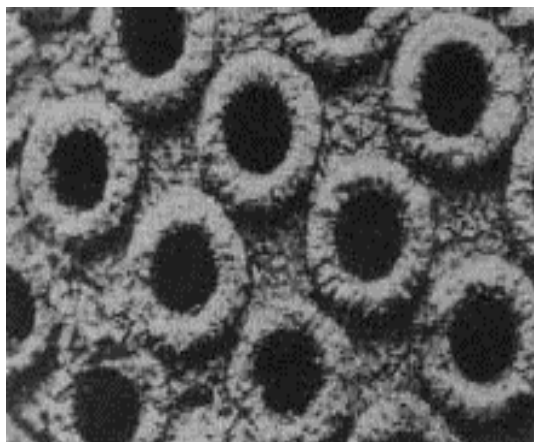
۴. پدیده‌های بیولوژیکی. معمولاً در آب رودخانه‌ها جلبک‌ها و موجودات زنده‌ای وجود دارد که با صافی جدا نمی‌شوند و داخل مبدل تکثیر می‌شوند.

۵. ایجاد کک: معمولاً در کوره‌های نفت مقداری از نفت می‌شکند و تبدیل به کک می‌گردد و روی دیواره رسوب می‌کند.

از سازوکارهای تشکیل رسوب می‌توان به موارد ذیل اشاره کرد:

۱. تبلور (رسوب‌گذاری تعلیقی یا جرم‌گرفتنی رسوبی): املاح موجود در مایعات مثل سولفات کلسیم در اثر سرمایش و گرمایش یا تبخیر و جوشش در مبدل‌ها روی سطح متبلور می‌شوند.
۲. واکنش‌های شیمیایی: اکسیدشدن مواد آلی و املاح معدنی در دماهای بالا.
۳. پلیمریزاسیون: برخی از ترکیبات به‌خصوص در صنایع پلیمر ایجاد رسوب می‌کنند.
۴. پخت: هیدروکربن‌ها در صنایعی چون پالایش نفت خام روی سطح ایجاد رسوب می‌کنند.
۵. ته‌نشینی (جرم‌گرفتنی ذره‌ای): ته‌نشینی ذراتی چون ماسه در اثر نیروی ثقل ایجاد می‌شود.
۶. انجماد (جرم‌گرفتنی ناشی از جامدسازی): اگر درجه حرارت سطح، پایین‌تر از نقطه انجماد بعضی از ترکیبات محلول باشد، سبب منجمدشدن ترکیبات روی سطح می‌شود که نوعی رسوب به‌شمار می‌آید.
۷. خوردگی: مواد خورده‌شده سطح ممکن است در جایی دیگر ته‌نشین شوند و ایجاد رسوب کنند یا اصلاً در همان جایی که خورده شدند ته‌نشین شوند و به رسوب‌گذاری کمک کنند.
۸. رشد مواد آلی مانند ته‌نشینی جلبک‌ها.

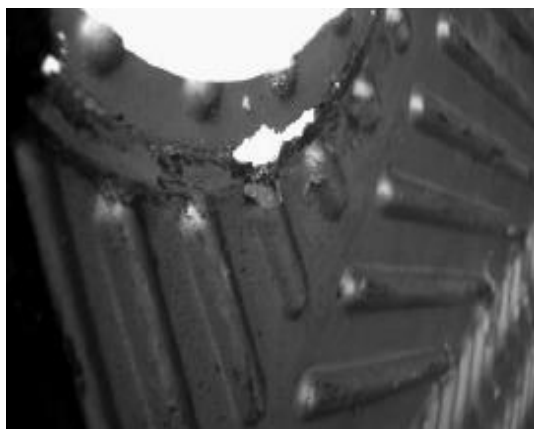
۹. جرم‌گرفتگی بیولوژیکی: در اثر اضافه‌شدن و چسبیدن میکرو - ماکرو اورگانیزم‌های بیولوژیکی به سطح انتقال گرما ایجاد می‌شود.



شکل ۲. رسوب در مبدل حرارتی پوسته و لوله [۱۰]



شکل ۳. رسوب در مبدل حرارتی صفحه‌ای [۱۰]



شکل ۴. خوردگی در یک صفحه فولاد ضد زنگ [۱۰]

عواملی که در تشکیل رسوب مؤثرند عبارت‌اند از:
۱. فرایند انتقال حرارت: مثلاً در فرایند تقطیر بخار معمولاً تشکیل رسوب مهم نیست.

۲. نوع سطح: نوع سطح فقط در سرعت اولیه تشکیل رسوب مؤثر است و در ادامه رشد رسوب تأثیری ندارد. سطوح تفلونی رسوب کمی می‌گیرند و با انتخاب لوله‌هایی از جنس آلیاژهایی شامل مس، از برخی رسوب‌گرفتگی‌های بیولوژیکی کاسته می‌شود.

۳. سرعت جریان سیال: هر قدر سرعت بالاتر رود، تشکیل رسوب کمتر می‌شود، اما سرعت بالا سبب افزایش ساییدگی، ارتعاش و افت فشار هم می‌شود.

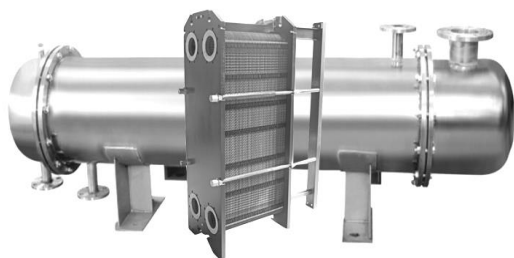
۴. دمای سطح و سیال: دما در میزان رسوب تأثیر دارد، این‌گونه نیست که حتماً با افزایش دما رسوب بیشتر شود و در کل به سیال جاری در مبدل بستگی دارد و ممکن است با کاهش دما از یک حدی مقدار رسوب افزایش یابد.

۲-۵. روش تمیزکاری مبدل‌های حرارتی

تمیز نگاه‌داشتن صفحات مبدل سبب افزایش بازده عملکردی مبدل خواهد شد. رسوب‌گذاری نه‌تنها سبب کاهش ضریب انتقال حرارت و کارکرد مبدل می‌شود، که در کیفیت سیال درون مبدل نیز تأثیر نامطلوبی دارد. یکی از مزیت‌های مبدل‌های حرارتی صفحه‌ای واشردار، مونتاژ و دمونتاز آسان آنهاست. این نوع مبدل‌ها را می‌توان به دو صورت بسته^{۲۷} (مونتاژشده) و یا به صورت دستی (با دمونتاز کردن مبدل) تمیزکاری کرد. در روش اول، سیستم متشکل از یک مخزن و یک پمپ برای پمپاژ محلول شستشو به داخل مبدل می‌باشد که ابعاد مخزن و پمپ، بستگی به اندازه مبدل و حجم سیال داخل مبدل دارد. در این سیستم شستشو به بازکردن مبدل نیازی نیست. حالت دیگری که در این روش کاربرد دارد، استفاده از روش شستشوی معکوس^{۲۸} است که بیشتر برای مبدل‌هایی که مستعد گرفتگی با ذرات جامد هستند مورد استفاده قرار



۳. رسوب کمتر به دلیل جریان مغشوش در مبدل
۴. نصب آسان و نیاز به فضای تعمیر و نگهداری کوچکتر
۵. وزن کمتر
۶. قابلیت تمیزشدن ساده
۷. هزینه‌های سرمایه‌گذاری پایین‌تر
۸. درجه حرارت نزدیک‌تر



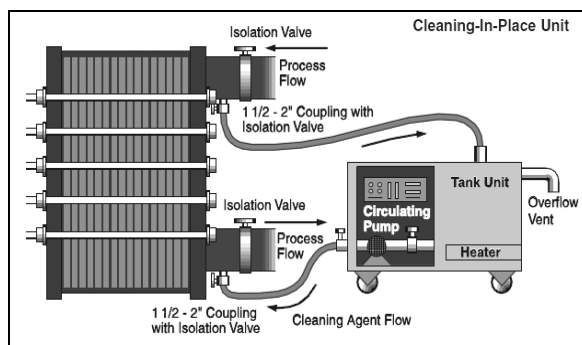
شکل ۷. نمایش مبدل حرارتی صفحه‌ای در مقایسه با مبدل‌های حرارتی پوسته و لوله

در شکل ۸ مبدل‌های حرارتی صفحه‌ای و مبدل‌های حرارتی پوسته و لوله با توجه به زمان اثربخشی، فضا، وزن و تمیز کردن، مورد مقایسه قرار گرفته‌اند.

۴. نتیجه‌گیری

در این مقاله با ذکر چند مطالعه موردی، ضمن معرفی مبدل‌های حرارتی صفحه‌ای و اشتردار و نحوه عملکرد آنها، به بررسی عوامل تشکیل رسوب در این نوع مبدل‌ها و روش‌های تمیزکاری آنها اشاره شد. انرژی مصرفی مبدل‌های حرارتی صفحه‌ای به مراتب از انرژی مصرفی مبدل‌های پوسته و لوله کمتر، انتقال حرارت بیشتر و در نهایت بازده حرارتی بیشتری را ایجاد می‌کند. همچنین صفحات انتقال حرارت مبدل به آسانی از هم جدا می‌شوند. بعد از برداشتن مهره‌ها و میله‌های نگهدارنده و جداسازی صفحه متحرک انتهایی، صفحات با لغزیدن روی صفحه باریکی برای معاینه از هم جدا می‌شوند. این امتیاز که صفحات به آسانی تمیز شوند و یا تعویض گردند سبب شده کاربرد این مبدل‌ها در صنایع غذایی و لبنیات توسعه یابد.

می‌گیرد. در روش دوم، تمیز کردن مبدل باز شده، با استفاده از یک برس نرم و جریان آب تحت فشار که در جدول ۳ و شکل ۶ به آن اشاره شده، می‌توان صفحات را تمیزکاری کرد. همچنین اگر رسوب برجای مانده روی صفحات با استفاده از آب تمیز نشود، می‌توان از محلول شوینده مناسب مطابق جدول ۴ استفاده کرد.



شکل ۵. تمیز کردن مبدل مونتاژ شده [۸]

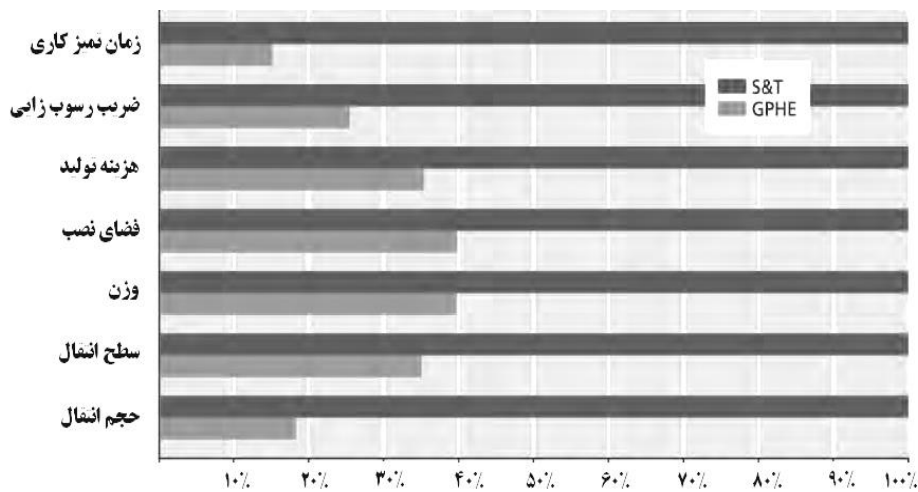


شکل ۶. تمیز کردن مبدل باز شده [۱۰]

۳. مقایسه مبدل‌های حرارتی

مبدل حرارتی صفحه‌ای با توجه به اندازه کوچک آن، که در شکل ۷ در کنار مبدل پوسته و لوله نمایش داده شده، به‌طور گسترده‌ای در فرایندهای صنعتی استفاده می‌شود. از مزایای استفاده از مبدل‌های حرارتی صفحه‌ای در مقایسه با مبدل‌های حرارتی پوسته و لوله می‌توان به موارد ذیل اشاره کرد:

۱. ضریب انتقال حرارت بالا
۲. سطوح انتقال حرارت مورد نیاز کمتر



شکل ۸ مقایسه بین مبدل‌های حرارتی صفحه‌ای با مبدل‌های حرارتی پوسته و لوله [۱۱]

جدول ۳. ماکزیمم فشار آب برای تمیز کردن صفحات [۷]

ماکزیمم فشار آب (مگاپاسکال)	جنس صفحه	ضخامت صفحه (میلی‌متر)
۳	تیتانیوم	۰/۵
۵		۰/۶
۱۰		۰/۸
۱۵		۱
۵		۰/۵
۸	فولاد ضد زنگ	۰/۶
۱۵		۰/۸
۲۰		۱

جدول ۴. انتخاب محلول شوینده [۷]

ماده شوینده	شرایط استفاده	انواع رسوب	
اسید نیتریک	غلظت ماکزیمم ۴ درصد دمای ماکزیمم ۶۰ درجه سانتی‌گراد	محصولات خورنده	کربنات کلسیم
اسید سولفامیک		اکسیدهای فلزی	سولفات کلسیم
اسید سیتریک		لجن، گل و لای	سیلیکات
اسید فسفریک، پلی فسفات سدیم		اکسید آلومینیوم	
هیدروکسید سدیم، کربنات سدیم	غلظت ماکزیمم ۴ درصد دمای ماکزیمم ۸۰ درجه سانتی‌گراد	باکتری	



یک‌سوم تا یک‌چهارم انتقال حرارت، نیاز دارند و دلیل آن هم اغتشاش زیاد به‌علت حرکت سیال در مجاری باریک و ناهموار است و سبب افزایش ضریب انتقال حرارت می‌شود.

اما از دیگر امتیازات مهمی که این مبدل‌ها نسبت به مبدل‌های پوسته و لوله دارند این است که در مقایسه با مبدل‌های پوسته و لوله بار حرارتی معینی، حدوداً بین

۵. مآخذ

- [1] Mgnusson, B., B. Samuelson, *The story of the Alpha Laval Plate Heat Exchanger and the Spiral Heat Exchanger*, Norstedts Tryckeri, Stockholm, 1985.
- [2] Clark, D. F., "Plate Heat Exchangers." *The chemical engineering*, No. 285, May 1974, pp. 275-285.
- [3] Magnusson, B. *The Origins and Evolution of the Alpha Laval Plate Heat Exchanger*, Norstedts Tryckeri, Stockholm, 1985.
- [4] Moon, M. G. "Invention Paves Way for Third Generation Heat Exchangers", *Australian Refrigeration, Air conditioning and Heating*, Vol. 43, No. 9, 1989, pp. 21-25.
- [5] Marriot, J. "Performance of an Alphaflex Plate Heat Exchanger." *Chemical engineering progress*, Vol. 73, No. 2, 1977, pp. 73-78.
- [6] Farshidianfar, A., N. Nickmehr. "New technology plate heat exchangers in order to optimize energy consumption".
- [7] Farshidianfar, A., A. Farshidianfar. *Modern Air Conditioning: Fundamental Design of Plate Heat Exchanger*, Ostad publishing, 2008.
- [8] Alfa Laval Thermal Inc., ASME North America chapters seminars on heat transfer and compact heat exchangers, "Facts 2", 1994.
- [9] Alfa Laval Thermal Inc., ASME North America chapters seminars on heat transfer and compact heat exchangers, "Facts 8", 1994.
- [10] SPX Company, "APV Corrosion handbook", www.spx.com, 2008.
- [11] Bani Kananah, A., J. Peschel. *Fouling in Plate Heat Exchangers: Some Practical Experience*, GEA PHE Systems Germany.

پی‌نوشت

1. Plate Heat Exchanger
2. Albert Drack
3. Langen
4. Hundhausen
5. Braze Plate Heat Exchanger
6. Shell and Tube (S&T) Heat Exchanger
7. Spiral Plate Heat Exchanger
8. lamellaa
9. Pressure Plate
10. Fixed Plate or Frame Plate
11. Heating Plate
12. Gasket
13. Connecting Port
14. Guiding Bar

15. Carring Bar
16. Support Column
17. Tightening Bolts
18. NBR, LT-NBR, HNBR
19. EPDM, EPDM-NT, EPDM-HT
20. CR
21. IIR
22. FPM
23. Circuit Foil
24. Phoenix Systems
25. Woodburn, Oregon
26. Fouling
27. Cleaning in Place (CIP)
28. Back Flushing

