

# مقدمه‌ای بر مبادله‌کن‌های گرما (مبدل‌های حرارتی)

انتخاب، تعیین شرایط عملکرد  
و طراحی گرمایی



مقدمه‌ای بر مبادله‌کن‌های گرما  
(مبدل‌های حرارتی)

ترجمه و گردآوری: دکتر سپهر صنایع

مشخصه‌های ویرایش جدید کتاب:

- ترجمه کتاب مبادله‌کن‌های گرما تألیف Sadik Kakac- Hongtan Liu (ویرایش دوم)
- افزودن فصل دهم (مبادله‌کن‌های گرمای خنک شونده با هوا) به کتاب Kakac- Liu
- انجام اصلاحات سراسری در ملون و مسایل کتاب
- ارائه زیرنویس در کل کتاب برای توضیحات علمی، و ارائه لغات فنی به زبان اصلی

فصول مورد بحث در کتاب مقدمه‌ای بر مبادله‌کن‌های گرما (مبدل‌های حرارتی)

- فصل اول: دسته‌بندی مبادله‌کن‌های گرما
- فصل دوم: روشهای پایه در طراحی مبادله‌کن‌های گرما
- فصل سوم: روابط انتقال گرمای جابجایی اجباری برای سمت جریان یک فاز در مبادله‌کن‌های گرما
- فصل چهارم: افت فشار و توان پمپ کردن در مبادله‌کن‌های گرما
- فصل پنجم: تشکیل رسوب در مبادله‌کن‌های گرما
- فصل ششم: مبادله‌کن‌های گرمای دو و چند لوله‌ای
- فصل هفتم: مبادله‌کن‌های گرمای پوسته‌ای و لوله‌ای
- فصل هشتم: مبادله‌کن‌های فشرده گرما
- فصل نهم: مبادله‌کن‌های گرمای صفحه‌ای و اشردار
- فصل دهم: مبادله‌کن‌های گرمای خنک شونده با هوا
- فصل یازدهم: روابط طراحی برای چکانده‌ها و تبخیرکننده‌ها
- فصل دوازدهم: چکانده‌ها و تبخیرکننده‌ها



مرکز انتشارات دانشگاه علم و صنعت ایران شماره: ۵۶۴  
<http://www.iust.ac.ir> [publication.iust.ac.ir](http://publication.iust.ac.ir)

ترجمه و گردآوری: دکتر سپهر صنایع

# بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

## مقدمه‌ای بر مبادله‌کن‌های گرما (مبدل‌های حرارتی)

### انتخاب، تعیین شرایط عملکرد، و طراحی گرمایی

محتوی کتاب :

- ترجمه کتاب مبادله‌کن‌های گرما تألیف Sadik Kakac- Hongtan Liu (ویرایش دوم)
- افزودن فصل دهم (مبادله‌کن‌های گرمای خنک شونده با هوا) به کتاب Kakac- Liu
- انجام اصلاحات سراسری در متون و مسایل کتاب
- ارائه زیرنویس در کل کتاب برای توضیحات علمی، و ارائه لغات فنی به زبان اصلی

ترجمه و گردآوری: دکتر سپهر صنایع

## پیش‌گفتار کتاب Kakac-Liu

در ویرایش دوم کتاب مبادله‌کن‌های گرما، انتخاب، تعیین شرایط عملکرد و طراحی گرمایی، اهداف اساسی است، و سطح علمی ارائه روش هدفمند انتخاب، طراحی گرمایی - هیدرولیکی، و تعیین شرایط عملکرد مبادله‌کن‌های گرما، تغییری نکرده است. در این ویرایش، هر چند خصوصیات مورد توجه ویرایش اول این کتاب، محفوظ مانده است، ولی با توجه به پیشنهادات خوانندگان و نظرات دانشجویان، موارد جدیدی به کتاب اضافه شده‌اند، و سرتاسر کتاب، بهبود یافته است.

فصل ۷، بهبود یافته است، و در کاربرد روش Bell-Delaware مثال حل شده‌ای اضافه شده است، در حالی که بقیه مسایل نیز، بازبینی گردیده‌اند. به دلیل اهمیت روش‌های افزایش انتقال گرما، مواردی مقدماتی در این موضوع، به فصل ۸ اضافه شده‌اند. فصل ۹ مربوط به مبادله‌کن‌های گرمای صفحه‌ای و اشردار، بازبینی شده است، و روابط جدید برای محاسبه انتقال گرما و ضرایب اصطکاک صفحات از نوع شورون، فراهم آمده‌اند. همچنین مثال‌های حل شده در فصل ۹ و سرتاسر کتاب بهبود یافته‌اند.

۳۷ مثال حل شده کتاب برای تشریح طراحی گرمایی - هیدرولیکی، و تعیین شرایط عملکرد مبادله‌کن‌های گرما، در چاپ دوم، به طور گسترده مورد بازبینی قرار گرفته‌اند.

مبادله‌کن‌های گرما، اجزا مهمی در نیروگاهها، صنایع فرآیندی و شیمیایی، گرمایش، تهویه مطبوع، سیستم‌های تبرید، و خنک‌کاری سیستم‌های الکترونیکی هستند. صنایع بسیاری، در طراحی انواع مبادله‌کن‌های گرما فعالیت دارند. همچنین، دروس متعددی در کالج‌ها و دانشگاهها، با نامهای گوناگون در طراحی گرمایی مبادله‌کن‌ها ارائه می‌گردد.

منابع و اطلاعات علمی گسترده‌ای در مورد مبادله‌کن‌های گرما وجود دارد، هر چند این اطلاعات بسیار پراکنده می‌باشند. این کتاب بر مبنای منابع علمی، روشی سیستماتیک و به روز، برای دانشجویان سالهای آخر کارشناسی و سال اول کارشناسی ارشد در مهندسی مکانیک، هسته‌ای، هوا فضا، شیمی، که دروس مقدماتی ترمودینامیک، انتقال گرما و مکانیک سیالات را گذرانده‌اند، ارائه می‌دهد. این روش سیستماتیک همچنین برای افراد کم سابقه‌تر که به کاربردهای صنعتی ترمودینامیک، انتقال گرما و مکانیک سیالات علاقمندند، و طراحان، و همچنین افرادی که از تجهیزات مبادله‌کن‌های گرما بهره‌برداری می‌نمایند، اساسی است. تمرکز این کتاب بر انتخاب، طراحی ترمودینامیکی، طراحی فرآیندها، و تعیین شرایط عملکرد و بهره‌برداری از انواع مختلف مبادله‌کن‌های گرما می‌باشد.

بر مبنای معیارهای جدید وضع شده توسط کمیته استاندارد سازی مهندسی و فن‌آوری<sup>۱</sup> (ABET)، نیاز است که طراحی مهندسی، در برنامه‌های درسی گنجانده شود. بنابراین یکی از اهداف اصلی این کتاب درسی، معرفی طراحی گرمایی بکمک توصیف انواع مختلف مبادله‌کن‌های گرمای یک و دو فاز، تشریح زمینه‌های مشخص کاربرد آنها، بیان معیارهای انتخاب مبادله‌کن‌ها، و طراحی ترمودینامیکی و تعیین شرایط عملکرد آنهاست. بعلاوه روش طراحی گرمایی و تعیین شرایط عملکرد بکمک مثالهای حل شده، و مسایل انتهایی فصل که شامل پروژه‌های طراحی‌اند، برای دانشجویان نشان داده شده است.

بخش‌های عمده‌ای از این کتاب به مبادله‌کن‌های گرمای دو و چند لوله‌ای، پوسته‌ای و لوله‌ای، فشرده، صفحه‌ای و اشردار، چگالنده‌ها و تبخیر کننده‌ها اختصاص یافته است. فرآیندهای طراحی آنها توضیح داده شده‌اند، و مثالهای طراحی گرمایی و هیدرولیکی آنها ذکر گردیده‌اند. برخی انواع دیگر مبادله‌کن‌ها، بخصوص انواع ویژه آن، بطور خلاصه بدون مثالهای طراحی توضیح داده شده‌اند. هر چند باید خاطر نشان نمود که روش‌های پایه در طراحی گرمایی مبادله‌کن‌ها، بدون توجه به شکل و عملکرد آنها، مشابه است.

این متن در فصل ۱، با دسته‌بندی مبادله‌کن‌های گرما از جنبه‌های گوناگون آغاز می‌شود. فصل دوم روشهای پایه در طراحی، تعیین اندازه‌های نامی و تعیین شرایط عملکرد را ارائه می‌دهد. فصل سوم، مروری بر روابط انتقال گرمای جابجایی اجباری یک فاز در مجراها می‌باشد. روابط تجربی و تحلیلی زیادی برای تعیین ضرایب انتقال گرما و افت فشار جریان آرام و آشفته در مجراها موجود است. بنابراین، انتخاب رابطه مناسب برای دانشجویان و حتی طراحان، اغلب امری مشکل و گیج کننده می‌باشد. در فصل سوم، روابط پیشنهادی مبادله‌کن‌های گرما با جریان یک فاز در مثالهای حل شده ارائه شده‌اند. فصل ۴ افت فشار و توان پمپ کردن جریان را در مبادله‌کن‌های گرما و مدار لوله‌کشی آنها بحث می‌کند.

یکی از مسایل اصلی حل نشده در تجهیزات مبادله‌کن‌های گرما، تشکیل رسوب است. طراحی مبادله‌کن‌های گرمای در معرض تشکیل رسوب، در فصل ۵ ارائه گردیده است. روش‌ها و فرآیندهای طراحی گرمایی مبادله‌کن‌های دو لوله‌ای، پوسته‌ای و لوله‌ای، فشرده، و صفحه‌ای و اشردار برای کاربردهای جریان یک فاز، بترتیب در فصول ۶، ۷، ۸ و ۹ توضیح داده شده‌اند. فصل‌های یازدهم و دوازدهم، دانشجویان را با طراحی گرمایی مبادله‌کن‌های دوفاز نظیر کندانسورها و اواپراتورها آشنا می‌سازند. بنابراین با این آرایش در ارائه مطالب، دانشجویان و افراد کم سابقه‌تر در صنعت، به درک بهتری از طراحی گرمایی مبادله‌کن‌ها دست می‌یابند. پیوست (الف) و (ب) نیز خصوصیات ترموفیزیکی سیالهای متفاوت، شامل مبردهای جدید را ارائه می‌دهند.

در هر فصل مسایل حل شده برای نشان دادن روشها و مراحل طراحی گرمایی آورده شده است. اگر چه، برنامه‌های رایانه‌ای برای طراحی گرمایی و تعیین شرایط عملکرد مبادله‌کن‌های گرمای ذکر شده در فصول مختلف این کتاب اساسی است، برای دانشجویان و افراد کم سابقه‌تر، انجام دستی طراحی گرمایی در مراحل اولیه یادگیری، بسیار با اهمیت می‌باشد. قبل از آنکه فردی بتواند بطور صحیح از نرم افزار رایانه‌ای استفاده کند و یا نرم افزار جدید رایانه‌ای قابل اطمینان و پیچیده‌ای، برای تعیین مقادیر نامی عملکرد و طراحی بهینه تکامل دهد، به آگاهی از اصول طراحی نیازمند است.

مسایل انتهای فصول، شامل پروژه‌های طراحی برای دانشجویان به نحوی انتخاب شده‌اند که کاربردهای طراحی را بهتر نشان دهد.

طراحی وسایل مبادله‌کن گرما نیازمند در نظر گرفتن ملاحظات طراحی مکانیکی، اقتصادی، روشهای بهینه‌سازی و ملاحظات زیست محیطی است. اطلاعات در این موارد، از کتب مرجع و استانداردهای متنوع و همچنین از سازندگان، قابل حصول می‌باشد.

افراد متعددی، کمک‌های با ارزشی در تدوین این کتاب نموده‌اند. A. Bejan, E. M. Sparrow دست نوشته‌ها را مرور کردند و پیشنهادات مفیدی را ارائه نمودند. از پشتیبانی آنها متشکریم.

Sadik Kakac چندین کتاب در مبانی طراحی مبادله‌کن‌های گرما جمع‌آوری و ویرایش کرده است که بسیاری دانشمندان طراز اول و متخصصان، مطالب بسیار با ارزشی را در آن آورده‌اند، او از آنها متشکر است. مولفین، بخصوص خود را به افراد زیر که مطالب علمی آنها در زمینه مبادله‌کن‌های گرما، آنان را قادر به انتشار این کتاب کرده است، مدیون می‌دانند: Ramesh K. Shah, Mike Pate, Paul J. Marto, John Collier, David Butterworth, Kenneth J. Bell, J. Taborek.

مولفین قدردانی صمیمانه خود را از دانشجویانی که با سوالهای مهم خود، در تکامل این دست نوشته‌ها نقش داشته‌اند، ابراز می‌دارند. و از Dr. Liping Cao و Dr. Claudia O. Gavrilesco ، Dr. Lixin You و از Tianhong. Zhou برای کمکهای او در آماده سازی دست نوشته‌ها و Dr. Lixin You و از خانم Lin Wang برای همکاری در تهیه ویرایش دوم تشکر می‌گردد. همچنین از خانم Cindy Renee Carelli، ویراستار و Helena Redshaw، سرپرست و سایرین در انتشارات CRC Press که ویرایش اول را تهیه نمودند، و تلاش و استعداد فراوان در آماده‌سازی ویرایش دوم به کار بردند، تشکر می‌نماییم. در انتها علاقمندیم تشویق و پشتیبانی همسرانمان را، که در حین نوشتن این کتاب از خود گذشتگی‌های بسیاری داشته‌اند خاطر نشان سازیم و از آنان، قدردانی نماییم.

**مولفین**

**Sadik Kakaç**

**Hongtan Liu**



## پیش‌گفتار کتاب ترجمه و گردآوری شده (مقدمه‌ای بر مبادله‌کن‌های گرما)

منت خدای را عزّ و جَل، که طاعتش موجبِ قُربت است و به شُکر اندرش مزیدِ نعمت، هر نَفَسی که فرو می‌رود، مُمدّ حیات است و چون برمی‌آید، مُفَرَّح ذات. پس در هر نَفَسی دو نعمت موجود است و بر هر نعمتی، شُکری واجب. از دست و زبان که برآید که از عهده شکرش به درآید؟

(گلستان سعدی)

اولین ترجمه کتاب مبادله‌کن‌های گرما (مبدل‌های حرارتی) تألیف Sadik Kakac- Hongtan Liu در سال ۱۳۸۱ پایان پذیرفت و در ۵۹۶ صفحه به چاپ رسید.

در تهیه کتاب حاضر، که مقدمه‌ای بر مبادله‌کن‌های گرما نام گرفته است، نکته‌های زیر انجام شده است:

**الف-** کتاب حاضر، ترجمه و ویرایش دوم کتاب اصلی (Kakac- Liu) مبادله‌کن‌های گرما است و بنابراین تغییرات بسیاری که در پیش‌گفتار مؤلفین آمده، در آن به انجام رسیده است.

**ب-** به دلیل اهمیت و کاربردهای بسیار متعدد، فصل مبادله‌کن‌های گرمای هوا خنک (فصل دهم) بطور کامل از مراجع ذکر شده در متن، به ترجمه کتاب اصلی (Kakac- Liu) اضافه شد.

**پ-** توضیحات علمی متن کتاب و لغات انگلیسی مفاهیم به کار رفته در متن، برای استفاده خوانندگان، در پاورقی ارائه شده‌اند.

**ت-** به علت آنکه کتاب اصلی به زبان انگلیسی، دارای اغلاط علمی و فنی بسیار زیادی به خصوص در بخش مسایل بود، لذا متناسب با آن، وقت بسیاری برای اصلاح متن و مسایل آن صرف شد.

**ث-** برای کاهش صفحات، قطع کتاب از وزیری به رحلی تغییر نمود و جلد جدیدی برای آن طراحی شد.

از سوی دیگر در طول سال‌ها تدریس و تحقیق در موضوع، مطالب بسیار مفیدی شامل توضیحات و متون، شکل‌ها، جداول، و مثال‌ها و مسایل حل شده در سایر کتب ملاحظه شد که برای پیوستن به کتاب مبادله‌کن‌های گرما، بسیار مفید بودند. این نکات در قالب پیوست‌هایی به کتاب مبادله‌کن‌های گرما اضافه شدند و کتاب مبادله‌کن‌های گرما (جلد اول) را تشکیل دادند که در سال ۱۳۸۹ در ۹۱۱ صفحه به چاپ رسید (و جلدهای بعدی این کتاب در موضوعات مهم مبادله‌کن‌های گرما، در آینده چاپ خواهند شد).

از آنجا که حجم مطالب تخصصی پیوست شده به کتاب مبادله‌کن‌های گرما، زیاد و بیش از نیاز دانشجویان برای یک نیم سال تحصیلی بود و به علاوه، هزینه کتاب شامل پیوست‌ها افزایش یافته بود، تصمیم بر آن شد که هر دو کتاب مبادله‌کن‌های گرما (بدون پیوست که مقدمه‌ای بر مبادله‌کن‌های گرما نام گرفته است) و کتاب مبادله‌کن‌های گرما (جلد اول) (که فصول آن دارای پیوست‌های مفیدی است)، بطور مجزا به بازار کتاب ارائه شوند. تا اولی با حجم مطالب و قیمتی مناسب، برای درس مبادله‌کن‌های گرما در یک نیم سال تحصیلی بتواند استفاده شود. در حالی که دومی، حاوی پیوست‌هایی است که نکات مهمی از کتب بسیار خوب دیگر را ارائه می‌نماید و می‌تواند موضوعات، روش‌ها، مثال‌ها و نکات متنوع‌تری را معرفی نماید.

در انتها باید خاطر نشان نمود که هر چند منصفانه تلاش بسیاری صورت گرفته است تا متن عاری از اشتباهات تایپی باشد، و حتی بسیاری اغلاط محاسباتی متن کتاب اصلی (Kakac-Liu) و مسایل حل شده آن، تصحیح شده‌اند، ولی مطمئناً هنوز اغلاط دیگری توسط خوانندگان کتاب قابل تشخیص خواهد بود. لذا این مترجم و گردآورنده، از هر نوع اشتباه موجود در کتاب، از خوانندگان پوزش می‌خواهد و سعی خواهد کرد در صورت اطلاع، آنرا در چاپ‌های بعدی اصلاح نماید. امید است این کتاب مفید واقع شود و اگر عمری باقی بود شاید در مراحل بعدی، تکامل بیشتری یابد.

تو خشنود باشی و ما رستگار

خدایا چنان کن سرانجام کار

مترجم و گردآورنده

سپهر صنایع

## « فهرست مطالب »

صفحه	عنوان
	<b>پیش گفتار</b>
۱	<b>فصل اول: دسته‌بندی مبادله‌کن‌های گرما</b>
۱	۱-۱- مقدمه
۱	۲-۱- مبادله‌کن‌های گرما از نقطه نظر انتقال گرما و یا بازیابی گرما
۶	۳-۱- مبادله‌کن‌های گرما از نقطه نظر فرآیند انتقال
۶	۴-۱- مبادله‌کن‌های گرما از نقطه نظر شکل و ساختار
۷	۱-۴-۱- مبادله‌کن‌های لوله‌ای
۷	۱-۴-۱-۱- مبادله‌کن‌های گرمای دولوله‌ای
۷	۱-۴-۱-۲- مبادله‌کن‌های گرمای پوسته‌ای و لوله‌ای
۱۰	۱-۴-۱-۳- مبادله‌کن‌های گرمای لوله‌ای حلزونی
۱۰	۱-۴-۲- مبادله‌کن‌های گرمای صفحه‌ای
۱۰	۱-۴-۲-۱- مبادله‌کن‌های گرمای صفحه‌ای واشردار
۱۲	۱-۴-۲-۲- مبادله‌کن‌های گرمای صفحه‌ای حلزونی
۱۵	۱-۴-۲-۳- مبادله‌کن‌های گرمای لاملا
۱۶	۱-۴-۳- مبادله‌کن‌های گرما با سطوح پره‌دار (توسعه یافته)
۱۷	۱-۴-۳-۱- مبادله‌کن‌های گرمای صفحه‌ای پره‌دار
۱۸	۱-۴-۳-۳- مبادله‌کن‌های گرمای لوله‌ای پره‌دار
۲۲	۵-۱- مبادله‌کن‌های گرما از نقطه نظر مکانیزم‌های انتقال گرما
۲۳	۶-۱- مبادله‌کن‌های گرما از نقطه نظر آرایش جریان‌های گرم و سرد
۲۵	۷-۱- مبادله‌کن‌های گرما از نقطه نظر کاربرد آنها
۲۹	۸-۱- انتخاب مبادله‌کن‌های گرما
۳۰	مراجع
۳۲	مسایل
۳۳	<b>فصل دوم: روش‌های پایه در طراحی مبادله‌کن‌های گرما</b>
۳۳	۱-۲- مقدمه
۳۳	۲-۲- آرایش مسیر جریان در مبادله‌کن‌های گرما
۳۴	۳-۲- معادلات پایه در طراحی
۳۷	۴-۲- ضریب کلی انتقال گرما
۴۱	۵-۲- روش اختلاف دمای متوسط لگاریتمی برای تحلیل مبادله‌کن گرما
۴۱	۱-۵-۲- مبادله‌کن‌های گرما با جریان‌های هم‌جهت و مخالف‌جهت
۴۵	۲-۵-۲- مبادله‌کن‌های گرما با جریان‌های چند گذر و متقاطع
۵۵	۶-۲- روش $\epsilon$ -NTU برای تحلیل مبادله‌کن گرما

صفحه	عنوان
۵۵	۲-۶-۱- نسبت نرخ ظرفیت گرمایی
۵۵	۲-۶-۲- بازده انتقال گرما در مبادله‌کن
۵۶	۲-۶-۳- تعداد واحدهای انتقال
۶۵	۲-۷- محاسبات طراحی مبادله‌کن گرما
۶۶	۲-۸- ضریب کلی متغیر انتقال گرما
۶۸	۲-۹- روشهای طراحی مبادله‌کن‌های گرما
۷۱	فهرست علائم و اختصارات
۷۲	مراجع
۷۳	مسایل
۷۷	<b>فصل سوم: روابط انتقال گرمای جابجایی اجباری برای سمت جریان یک فاز در مبادله‌کن‌های گرما</b>
۷۷	۳-۱- مقدمه
۷۹	۳-۲- جابجایی اجباری در جریان آرام
۸۰	۳-۲-۱- جریان آرام توسعه یافته هیدرو دینامیکی و در حال توسعه گرمایی در مجراها دایره‌ای با سطوح صاف
۸۱	۳-۲-۲- جریان آرام با توسعه همزمان هیدرو دینامیکی و گرمایی در مجراها با سطوح صاف
۸۱	۳-۲-۳- جریان آرام در مجراهای حلقوی هم مرکز (هم محور) با سطوح صاف
۸۳	۳-۳- اثر خواص فیزیکی متغیر سیال در جابجایی اجباری آرام
۸۴	۳-۳-۱- جریان آرام مایعات در مجراها
۸۷	۳-۳-۲- جریان آرام گازها در مجراها
۸۷	۳-۴- جابجایی اجباری در جریان آشفته
۹۵	۳-۵- جریان آشفته در مجراهای غیر دایره‌ای مستقیم با سطوح صاف
۹۸	۳-۶- اثر خواص فیزیکی متغیر سیال در جابجایی اجباری آشفته
۹۸	۳-۶-۱- جریان آشفته مایعات در مجراها
۹۹	۳-۶-۲- جریان آشفته گازها در مجراها
۱۰۹	۳-۷- خلاصه جابجایی اجباری در مجراهای مستقیم
۱۱۰	۳-۸- انتقال گرما از دسته لوله‌ها با سطوح صاف
۱۱۴	۳-۹- انتقال گرما در کویل‌های مارپیچ و حلزونی‌ها
۱۱۵	۳-۹-۱- اعداد ناسلت در کویل‌های مارپیچ: جریان آرام
۱۱۵	۳-۹-۲- اعداد ناسلت در کویل‌های حلزونی: جریان آرام
۱۱۶	۳-۹-۳- اعداد ناسلت در کویل‌های مارپیچ: جریان آشفته
۱۱۷	۳-۱۰- انتقال گرما در خم‌ها
۱۱۸	۳-۱۰-۱- انتقال گرما در خم‌های ۹۰°

صفحه	عنوان
۱۱۸	۳-۱۰-۲- انتقال گرما در خم‌های $۱۸۰^\circ$
۱۲۰	فهرست علائم و اختصارات
۱۲۲	مراجع
۱۲۶	مسایل
۱۲۹	<b>فصل چهارم: افت فشار و توان پمپ کردن در مبادله‌کن‌های گرما</b>
۱۲۹	۴-۱- مقدمه
۱۲۹	۴-۲- افت فشار در جریان سمت لوله
۱۲۹	۴-۲-۱- لوله‌های با مقاطع دایره‌ای
۱۳۱	۴-۲-۲- مجراهای با مقاطع غیر دایره‌ای
۱۳۴	۴-۳- افت فشار در دسته لوله‌ها در جریان متقاطع
۱۳۶	۴-۴- افت فشار در کویل‌های حلزونی و مارپیچ
۱۳۶	۴-۴-۱- کویل‌های مارپیچ: جریان آرام
۱۳۷	۴-۴-۲- کویل‌های حلزونی: جریان آرام
۱۳۷	۴-۴-۳- کویل‌های مارپیچ: جریان آشفته
۱۳۸	۴-۴-۴- کویل‌های حلزونی: جریان آشفته
۱۳۸	۴-۵- افت فشار در خم‌ها و اتصالات و تبدیل‌ها
۱۳۸	۴-۵-۱- افت فشار در خم‌ها
۱۴۰	۴-۵-۲- افت فشار در اتصالات و تبدیل‌ها
۱۴۴	۴-۶- افت فشار برای کاهش و افزایش ناگهانی سطح مقطع و تغییر اندازه حرکت (ممنوم)
۱۴۵	۴-۷- رابطه انتقال گرما و توان پمپ کردن
۱۴۸	فهرست علائم و اختصارات
۱۴۹	مراجع
۱۵۱	مسایل
۱۵۵	<b>فصل پنجم: تشکیل رسوب در مبادله‌کن‌های گرما</b>
۱۵۵	۵-۱- مقدمه
۱۵۶	۵-۲- ملاحظات اساسی
۱۵۷	۵-۳- اثرات تشکیل رسوب
۱۵۷	۵-۳-۱- اثر تشکیل رسوب بر انتقال گرما
۱۵۹	۵-۳-۲- اثر تشکیل رسوب بر افت فشار
۱۶۱	۵-۳-۳- هزینه ناشی از تشکیل رسوب
۱۶۱	۵-۴- شکل‌های مختلف تشکیل رسوب

صفحه	عنوان
۱۶۱	۵-۴-۱- گروه‌های تشکیل رسوب
۱۶۲	۵-۴-۱-۱- تشکیل رسوب ذره‌ای
۱۶۲	۵-۴-۱-۲- تشکیل رسوب با کریستالیزاسیون
۱۶۲	۵-۴-۱-۳- تشکیل رسوب با خوردگی
۱۶۲	۵-۴-۱-۴- تشکیل رسوب از موجودات زنده
۱۶۳	۵-۴-۱-۵- تشکیل رسوب با واکنش شیمیایی
۱۶۳	۵-۴-۲- فرآیندهای پایه در تشکیل رسوب
۱۶۳	۵-۴-۲-۱- شروع
۱۶۴	۵-۴-۲-۲- انتقال
۱۶۴	۵-۴-۲-۳- اتصال
۱۶۴	۵-۴-۲-۴- جدا شدن
۱۶۵	۵-۴-۲-۵- پیر شدن رسوب
۱۶۵	۵-۴-۳- پیش‌بینی تشکیل رسوب
۱۶۷	۵-۵- طراحی مبادله‌کن‌های گرما در معرض تشکیل رسوب
۱۶۷	۵-۵-۱- مقاومت رسوب
۱۶۸	۵-۵-۲- ضریب تمیزی
۱۷۴	۵-۵-۳- درصد اضافه سطح
۱۷۹	۵-۶- کارکرد مبادله‌کن‌های گرما در شرایط وجود تشکیل رسوب
۱۸۰	۵-۷- روشهای کنترل تشکیل رسوب
۱۸۰	۵-۷-۱- روشهای تمیز کردن سطح
۱۸۱	۵-۷-۱-۱- تمیز کردن پیوسته
۱۸۱	۵-۷-۱-۲- تمیز کردن دوره‌ای
۱۸۲	۵-۷-۲- افزودنیهای شیمیایی
۱۸۲	۵-۷-۲-۱- تشکیل رسوب با کریستالیزاسیون
۱۸۲	۵-۷-۲-۲- تشکیل رسوب ذره‌ای
۱۸۲	۵-۷-۲-۳- تشکیل رسوب زنده
۱۸۲	۵-۷-۲-۴- تشکیل رسوب با خوردگی
۱۸۳	فهرست علائم و اختصارات
۱۸۴	مراجع
۱۸۶	مسایل
۱۸۹	فصل ششم: مبادله‌کن‌های گرمای دو و چند لوله‌ای
۱۸۹	۶-۱- مقدمه

صفحه	عنوان
۱۹۲	۲-۶- طراحی گرمایی و هیدرولیکی لوله داخلی
۱۹۲	۳-۶- تحلیل گرمایی و هیدرولیکی فضای حلقوی
۱۹۳	۳-۶-۱- مبادله‌کن‌های گرمای دو شاخه‌ای با لوله داخلی بدون پره
۱۹۷	۳-۶-۲- مبادله‌کن‌های گرمای دو شاخه‌ای با لوله‌های داخلی (چند لوله‌ای) پره‌دار
۲۰۵	۴-۶- آرایش‌های موازی- سری مبادله‌کن‌های دو شاخه‌ای
۲۰۸	۵-۶- افت فشار کل
۲۱۰	۶-۶- مواردی در طراحی و کارکرد
۲۱۳	فهرست علائم و اختصارات
۲۱۵	مراجع
۲۱۶	مسائل
۲۱۸	پروژه طراحی ۱-۶
۲۱۹	پروژه طراحی ۲-۶
۲۲۱	<b>فصل هفتم: مبادله‌کن‌های گرمای پوسته‌ای و لوله‌ای</b>
۲۲۱	۱-۷- مقدمه
۲۲۱	۲-۷- اجزای اصلی
۲۲۱	۱-۲-۷- انواع پوسته
۲۲۴	۲-۲-۷- انواع دسته لوله‌ها
۲۲۶	۳-۲-۷- لوله‌ها و گذرهای لوله
۲۳۱	۴-۲-۷- جانمایی لوله
۲۳۸	۵-۲-۷- هندسه و نوع دیوارک‌ها
۲۴۰	۶-۲-۷- تعیین سمت پوسته و یا لوله برای جریان‌های گرم و سرد
۲۴۱	۳-۷- روش مقدماتی طراحی مبادله‌کن گرما
۲۴۲	۱-۳-۷- تخمین مقدماتی اندازه مبادله‌کن
۲۴۸	۲-۳-۷- تعیین شرایط عملکرد در طراحی مقدماتی
۲۴۹	۴-۷- انتقال گرما و افت فشار سمت پوسته
۲۴۹	۱-۴-۷- ضریب انتقال گرمای سمت پوسته
۲۵۱	۲-۴-۷- افت فشار سمت پوسته
۲۵۲	۳-۴-۷- افت فشار سمت لوله
۲۶۱	۴-۴-۷- روش بل - دلوار (Bell-Delaware)
۲۶۲	۱-۴-۴-۷- ضریب انتقال گرمای سمت پوسته
۲۷۲	۲-۴-۴-۷- افت فشار سمت پوسته
۲۸۱	فهرست علائم و اختصارات

صفحه	عنوان
۲۸۳	مراجع
۲۸۴	مسایل
۲۸۶	پروژه طراحی ۱-۷
۲۸۷	پروژه طراحی ۲-۷
۲۸۷	پروژه طراحی ۳-۷
۲۸۷	پروژه طراحی ۴-۷
۲۸۹	<b>فصل هشتم: مبادله‌کن‌های فشرده گرما</b>
۲۸۹	۱-۸- مقدمه
۲۸۹	۱-۱-۸- افزایش انتقال گرما
۲۹۴	۲-۱-۸- مبادله‌کن‌های گرمای لوله‌ای پره‌دار
۲۹۵	۳-۱-۸- مبادله‌کن‌های گرمای صفحه‌ای پره‌دار
۲۹۶	۲-۸- انتقال گرما و افت فشار
۲۹۶	۱-۲-۸- انتقال گرما برای مبادله‌کن‌های لوله‌ای پره‌دار
۳۰۲	۲-۲-۸- انتقال گرما برای مبادله‌کن‌های صفحه‌ای پره‌دار
۳۰۳	۳-۲-۸- افت فشار برای مبادله‌کن‌های لوله‌ای پره‌دار
۳۰۴	۴-۲-۸- افت فشار برای مبادله‌کن‌های صفحه‌ای پره‌دار
۳۰۹	فهرست علائم و اختصارات
۳۱۰	مراجع
۳۱۱	مسایل
۳۱۳	پروژه طراحی ۱-۸
۳۱۳	پروژه طراحی ۲-۸
۳۱۵	<b>فصل نهم: مبادله‌کن‌های گرمای صفحه‌ای واشردار</b>
۳۱۵	۱-۹- مقدمه
۳۱۵	۲-۹- خصوصیات مکانیکی
۳۱۵	۱-۲-۹- مجموعه صفحات و چهارچوب
۳۱۸	۲-۲-۹- انواع صفحه
۳۲۱	۳-۹- مشخصه‌های کارکرد
۳۲۲	۱-۳-۹- مزایای اصلی
۳۲۳	۲-۳-۹- محدودیت‌های عملکرد
۳۲۳	۴-۹- گذرها و آرایش‌های جریان
۳۲۵	۵-۹- کاربردها

صفحه	عنوان
۳۲۷	۹-۵-۱- خوردگی
۳۲۹	۹-۵-۲- تعمیر و نگهداری
۳۲۹	۹-۶-۶- محاسبات انتقال گرما و افت فشار
۳۳۰	۹-۶-۱- مساحت سطح انتقال گرما
۳۳۱	۹-۶-۲- متوسط فاصله کانال جریان
۳۳۱	۹-۶-۳- قطر هیدرولیکی کانال
۳۳۱	۹-۶-۴- ضریب انتقال گرما
۳۳۶	۹-۶-۵- افت فشار کانال
۳۳۶	۹-۶-۶- افت فشار دهانه‌های ورودی و خروجی
۳۳۷	۹-۶-۷- ضریب کلی انتقال گرما
۳۳۷	۹-۶-۸- مساحت سطح انتقال گرما
۳۳۸	۹-۶-۹- تحلیل عملکرد
۳۴۳	۹-۷- عملکرد گرمایی
۳۴۶	فهرست علائم و اختصارات
۳۴۷	مراجع
۳۴۹	مسایل
۳۵۰	۹-۱- پروژه طراحی
۳۵۰	۹-۲- پروژه طراحی
۳۵۱	۹-۳- پروژه طراحی
۳۵۳	<b>فصل دهم: مبادله‌کن‌های گرمای خنک شونده با هوا</b>
۳۵۳	۱۰-۱- مقدمه
۳۵۳	۱۰-۲- مزایا و معایب خنک کردن با هوا
۳۵۳	۱۰-۲-۱- مزایا
۳۵۴	۱۰-۲-۲- معایب
۳۵۴	۱۰-۳- ساختار مبادله‌کن‌های گرمای خنک شونده با هوا
۳۵۴	۱۰-۳-۱- آرایش دسته لوله‌ها و ایجاد جریان هوا
۳۵۴	۱۰-۳-۱- عبور هوا بصورت جریان دمشی (اجباری) و مکشی (القایی)
۳۵۶	۱۰-۳-۱-۲- عبور هوا بصورت جریان طبیعی
۳۵۷	۱۰-۳-۲- ساختار دسته لوله و شکل‌بندی‌های جریان
۳۵۷	۱۰-۳-۲-۱- ساختار دسته لوله
۳۵۸	۱۰-۳-۲-۲- شکل‌بندی جریان
۳۵۹	۱۰-۳-۳- ساختار لوله پره‌دار

صفحه	عنوان
۳۶۲	۴-۱۰- عملکرد گرمایی مبادله‌کن‌های گرمای خنک شونده با هوا
۳۶۲	۱-۴-۱۰- ضریب کلی مؤثر انتقال گرما برای لوله‌های پره‌دار
۳۶۴	۱-۴-۲- هندسه لوله‌های پره‌دار
۳۶۸	۱-۴-۳- بازده کلی سطح و ضریب مؤثر انتقال گرما برای لوله‌های پره‌دار
۳۷۰	۱-۴-۴- انتقال گرما در دسته لوله با پره کوتاه
۳۷۲	۱-۴-۵- انتقال گرما در دسته لوله با پره بلند و آرایه‌های تناوبی
۳۷۳	۱-۴-۶- انتقال گرما در دسته لوله با پره بلند و آرایه‌های ردیفی
۳۷۳	۱-۴-۷- تخمین بازده پره در شرایط پره بلند و پره با ضخامت متغیر
۳۷۵	۱-۴-۸- افت فشار در آرایه‌های لوله پره‌دار
۳۸۱	۱-۴-۹- محاسبه اختلاف دمای مؤثر
۳۹۶	۱-۴-۱۰- اثرات شکل‌بندی لوله بر عملکرد مبادله‌کن گرما
۳۹۸	فهرست علائم و اختصارات
۳۹۹	مراجع
۴۰۰	مسائل
۴۰۱	<b>فصل یازدهم: روابط طراحی برای چگالنده‌ها و تبخیرکننده‌ها</b>
۴۰۱	۱-۱۱- مقدمه
۴۰۱	۲-۱۱- چگالش
۴۰۱	۳-۱۱- چگالش فیلمی بر روی یک لوله افقی
۴۰۱	۱-۳-۱۱- چگالش فیلمی آرام بخار ساکن
۴۰۳	۲-۳-۱۱- چگالش فیلمی بخار با جابجایی اجباری
۴۰۵	۴-۱۱- چگالش فیلمی روی دسته لوله‌ها
۴۰۶	۱-۴-۱۱- اثر سیلان چگالیده
۴۰۹	۲-۴-۱۱- اثر نیروی برشی بخار
۴۱۰	۳-۴-۱۱- اثرات ترکیبی سیلان چگالیده و نیروی برشی بخار
۴۱۳	۵-۱۱- چگالش در داخل لوله‌ها
۴۱۴	۱-۵-۱۱- چگالش در لوله‌های افقی
۴۱۸	۲-۵-۱۱- چگالش در لوله‌های عمودی
۴۱۹	۶-۱۱- جوشش
۴۱۹	۱-۶-۱۱- جوشش مادون سرد
۴۲۱	۲-۶-۱۱- الگوی جریان
۴۲۳	۳-۶-۱۱- روابط جوشش جریان
۴۴۱	فهرست علائم و اختصارات

صفحه	عنوان
۴۴۳	مراجع
۴۴۷	مسایل
۴۴۹	<b>فصل دوازدهم: چگالنده‌ها و تبخیر کننده‌ها</b>
۴۴۹	۱-۱۲- مقدمه
۴۴۹	۲-۱۲- چگالنده‌های پوسته‌ای و لوله‌ای
۴۴۹	۱-۲-۱۲- چگالنده‌های درون پوسته‌ای افقی
۴۵۳	۲-۲-۱۲- چگالنده‌های درون پوسته‌ای عمودی
۴۵۴	۳-۲-۱۲- چگالنده‌های درون لوله‌ای افقی
۴۵۴	۴-۲-۱۲- چگالنده‌های درون لوله‌ای عمودی
۴۵۵	۳-۱۲- چگالنده‌های خروجی توربین بخار
۴۵۷	۴-۱۲- چگالنده‌های صفحه‌ای
۴۵۸	۵-۱۲- چگالنده‌های خنک شونده با هوا
۴۵۸	۶-۱۲- چگالنده‌های با تماس مستقیم
۴۵۹	۷-۱۲- طراحی گرمایی چگالنده‌های پوسته‌ای و لوله‌ای
۴۷۰	۸-۱۲- ملاحظات طراحی و کارکرد
۴۷۱	۹-۱۲- چگالنده‌های تبرید و تهویه مطبوع
۴۷۳	۱-۹-۱۲- چگالنده‌های خنک شونده با آب
۴۷۳	۲-۹-۱۲- چگالنده‌های خنک شونده با هوا
۴۷۴	۳-۹-۱۲- چگالنده‌های تبخیری
۴۷۶	۱۰-۱۲- تبخیر کننده‌های تبرید و تهویه مطبوع
۴۷۶	۱-۱۰-۱۲- تبخیر کننده‌های خنک کن آب (چیلرها)
۴۷۸	۲-۱۰-۱۲- تبخیر کننده‌های خنک کننده هوا (خنک کن‌های هوایی یا ایرکولرها)
۴۷۹	۱۱-۱۲- تحلیل گرمایی
۴۷۹	۱-۱۱-۱۲- رابطه Shah
۴۸۱	۲-۱۱-۱۲- رابطه Kandlikar
۴۸۲	۳-۱۱-۱۲- رابطه Winterton و Güngör
۴۸۳	۱۲-۱۲- استانداردهای تبخیر کننده‌ها و چگالنده‌ها
۴۸۹	فهرست علائم و اختصارات
۴۹۰	مراجع
۴۹۱	مسایل
۴۹۲	پروژه طراحی ۱-۱۲
۴۹۲	پروژه طراحی ۲-۱۲

(ادامه) - « فهرست مطالب »

صفحه	عنوان
۴۹۲	پروژه طراحی ۳-۱۲
۴۹۳	پروژه طراحی ۴-۱۲
۴۹۵	پیوست الف: خصوصیات فیزیکی فلزات و غیر فلزات
۴۹۹	پیوست ب: خصوصیات فیزیکی هوا، آب، فلزات مایع و مبردها
۵۱۹	واژه‌نامه فارسی