

اصول ترمودینامیک

(ویرایش ششم)

مؤلفین : زونتاک، بورگناک، ون وایلن

مترجم : دکتر احمد رضا عظیمیان



واحد صنعتی اصفهان

Sonntag, Richard

زونتاک، ریچارد

اصول ترمودینامیک / مؤلف زونتاک، بورگناک، ون وایلن؛ مترجم
احمد رضا عظیمیان. - ویرایش ششم - اصفهان: جهاد دانشگاهی،
واحد صنعتی اصفهان، مرکز انتشارات، ۱۳۸۴.
۷۰۴ ص.: مصور، نمودار.

ISBN: 964-6122-62-0

عنوان اصلی: Fundamentals of thermodynamics, 6th ed, 2003.

فهرست نویسی بر اساس اطلاعات فیبا.

۱. ترمودینامیک. ۲. ترمودینامیک -- مسائل، تمرینها و غیره.
الف. بورگناک، کلاوس، Borgnakke, Claus. ب. ون وایلن، گوردون جان،
Van wylen, Gordon John. ج. عظیمیان، احمد رضا، مترجم.
د. جهاد دانشگاهی. واحد صنعتی اصفهان، مرکز انتشارات. ه. عنوان.

۵۳۶/۷

TJ ۲۶۵ / ۹

الف ۱۳۸۴

۸۴-۴۱۹۲۶

کتابخانه ملی ایران

نام کتاب	اصول ترمودینامیک (ویرایش ششم)	حروفچینی	رضا زمانی زاده
تألیف	زونتاک، بورگناک، ون وایلن	ناظر چاپ	مهدی عارفی
ترجمه	دکتر احمد رضا عظیمیان	مدیر تولید	منوچهر رفیعی
ناشر	جهاد دانشگاهی واحد صنعتی اصفهان - مرکز انتشارات		
نوبت چاپ	اول		
تاریخ نشر	۱۳۸۴		
تیراژ	۲۰۰۰ جلد		
تعداد صفحات	۷۰۴ صفحه		
لینوگرافی	شکیبا		
چاپ	بهار		
صحافی	آذین		
قیمت	۷۵۰۰۰ ریال		

✱ صحت مطالب کتاب به عهده مترجم بوده و ناشر مسئولیتی در این موضوع ندارد.

✱ حق چاپ برای ناشر محفوظ است.

✱ اصفهان - دانشگاه صنعتی - جهاد دانشگاهی - مرکز انتشارات : ۳۹۱۲۷۱۱

فروشگاه : ۳۹۱۲۵۹۴

دورنگار : ۳۹۱۲۵۴۱

www.pressity.com

بسم الله الرحمن الرحيم

سخن ناشر

جای خرسندی و شکر بسیار است که در آستانه تابش پرتوهای حیات بخش اسلام بر پهنه زمین، خود را در زمانی می یابیم که اندیشه اصلاح نه تنها عبث نیست که پیمودن راههای کمال و رشد در هر بعدی از ابعاد انسانی هموارتر و شدنی تر می نماید. وظیفه آنان که در این دوره و در این سرزمین مقدس زندگی می کنند بس سنگین و دشوار است و بطور خاص مسئولیت دانشگاه و دانشگاهیان در کنار حوزه های مقدس علمیه جایگاهی حساس و تعیین کننده در روند حرکت اجتماع دارد. تلاش پیگیر و همه جانبه برای بریدن بندهای وابستگی، جهاد مقدسی است که باید از دانشگاه و حوزه شروع شود و انتشار کتب علمی از سوی ما کوششی است در راستای آنچه ذکر آن رفت. بدیهی است این کوشش زمانی به نتایج مفید می رسد که بطور مداوم از سوی استادان، دانشگاهیان و اندیشمندان متعهد مورد انتقاد و پیشنهادات سازنده قرار گیرد.

اینک که چاپ اول این کتاب تقدیم دانشگاهیان ارجمند و مشتاق علم می گردد جای دارد از تمامی عزیزانی که در آماده سازی و تدوین آن تلاش نموده و زحمات زیادی را متحمل شده اند تشکر و قدردانی بعمل آید.

مرکز انتشارات جهاد دانشگاهی
واحد صنعتی اصفهان

مقدمه مؤلفین :

در این ویرایش ششم ما اهداف اصلی ویرایشهای قبلی را حفظ کرده‌ایم که عبارتند از :

- ارائه یک تصویر جامع و منسجم از ترمودینامیک کلاسیک در حالیکه جنبه‌های مهندسی مسئله هم مدنظر می‌باشد و در انجام چنین کاری،
- پایه‌ریزی لازم را برای مطالعات جنبی در حوزه‌های مکانیک سیالات، انتقال حرارت و ترمودینامیک آماری فراهم نماید و همچنین
- آماده نمودن مؤثر دانشجویان برای استفاده از علم ترمودینامیک در کاربردهای مهندسی از اهداف ما می‌باشد.

ما عمده‌اً جهت‌گیری خود را به سمت دانشجویان نشانه رفته‌ایم. مفاهیم و تعاریف جدید را در مطالب در اولین جایی که ظاهر شده‌اند نشان داده‌ایم.

اولین خواص ترمودینامیکی که تعریف شده‌اند (در فصل دوم) آنهایی هستند که مستقیماً قابل اندازه‌گیری هستند، یعنی فشار، حجم مخصوص و دما. در فصل سوم جدولهای ترمودینامیکی در ارتباط با این خواص قابل اندازه‌گیری معرفی شده‌اند. انرژی داخلی و انتالپی در ارتباط با قانون اول، انتروپی در ارتباط با قانون دوم و توابع گیبز و هلمهولتز در فصل مربوط به خواص ترمودینامیکی معرفی شده‌اند. بسیاری از مثالهای واقعی در کتاب گنجانده شده‌اند تا در درک مفاهیم به دانشجویان کمک نمایند و تمرینهای پایان هر فصل بگونه مناسبی دسته‌بندی شده‌اند تا با مطالب مربوطه همخوانی منطقی داشته باشند. فصل‌های اولیه این ویرایش نسبت به ویرایش‌های قبلی دارای مثالها، شکلها و مسائل بیشتری هستند. در تمام کتاب هم، بحث خلاصه مطالب فصل گنجانده شده و بدنبال آنها هم مسائل مفهومی قرار دارند که کمک شایانی به دانشجویان خواهند نمود.

ویژگیهای جدید این ویرایش :

خلاصه مطالب در پایان فصلها :

بحث جدید خلاصه مطالب هر فصل، یک مرور کوتاهی از مفاهیم اصلی آن فصل را ارائه کرده و کلمات کلیدی را بزرگنمایی می‌کنند. برای آشکارتر نمودن قسمت خلاصه مطالب، مهارتهائی را که دانشجویان پس از مطالعه یک فصل باید کسب نمایند مشخص نموده‌ایم. این مهارتها شامل نتایجی است که دانشجویان پس از حل مسائل مفهومی و تکالیف پایان هر فصل به آنها می‌رسند.

مفاهیم اصلی و فرمولها :

مفاهیم اصلی و فرمولها در پایان هر فصل به عنوان مرجع آورده شده‌اند.

مسائل مفهومی :

برای ارزیابی سریع مطالب هر فصل، در انتهای آن تعدادی مسائل مفهومی آورده شده است. اینها بگونه‌ای انتخاب شده‌اند که کوتاه بوده و توجه را به سمت مفهوم خاصی هدایت نمایند. دانشجو می‌تواند با پاسخ به این سئوالها، میزان درک خود را ارزیابی کرده و معلوم نماید که چه قسمتهایی را باید بیشتر مطالعه نماید. این مسائل را به همراه مسائل تکلیفی می‌توان در ارزیابی‌ها هم بکار برد و در قسمت حل‌المسائل هم آمده‌اند.

مسائل تکلیف :

تعداد مسائل تکلیف به میزان زیادی افزایش یافته و اینک بالغ بر ۲۶۰۰ عدد هستند. تعداد زیادی مسائل مقدماتی هم اضافه شده‌اند تا تمام جنبه‌های مختلف مواد یک فصل را پوشش دهند. ما همچنین مسائل را برحسب مواد ارائه شده در هر فصل دسته‌بندی کرده‌ایم تا انتخاب آنها در ارتباط با موضوع مرتبط آسان باشد. تعدادی از مسائل فراگیرتر در انتهای هر فصل بعنوان مسائل مروری آورده شده‌اند.

جداول :

جدولهای خواص را گسترش داده‌ایم تا در ناحیه فوق گرم شده، شامل انرژی داخلی هم باشند. جدولهای گاز ایده‌آل را، هم براساس جرمی و هم براساس مولی چاپ کرده‌ایم تا در فصل‌های اولیه از آنها براساس جرمی استفاده نمائیم و در فصل‌های احتراق و تعادل شیمیایی براساس مولی بکار ببریم.

بازبینی‌ها :

در این ویرایش کتاب ما تعدادی از تحولات و روشهای بکار رفته در کتاب درسی جدید یعنی مقدمه‌ای بر ترمودینامیک مهندسی، نوشته ریچارد - سانتگ و کلاوس برگناک (مؤسسه جان‌وایلی و پسران ۲۰۰۱) را گنجانده‌ایم. در فصل سوم، ما ابتدا جدولهای ترمودینامیکی را معرفی می‌کنیم و سپس به بررسی رفتار بخار فوق گرم شده در جرم مخصوص‌های خیلی کم می‌پردازیم که این امر منجر به تعریف مدل گاز ایده‌آل، ضریب تراکم‌پذیری و معادله‌های حالت می‌شود. در فصل پنجم نتیجه‌ای که بیان می‌کند که انرژی داخلی گاز ایده‌آل تنها تابع دما است، این نتیجه را هم می‌دهد که در جدولهای بخار به بررسی در دماها و فشارهای مختلف پردازیم. قانون دوم که در فصل هفتم ارائه شده به نحوه روانتری مفاهیم دمای ترمودینامیکی و دمای گاز ایده‌آل را ارائه می‌کند. ارائه گاز ایده‌آل و مخلوط گازهای ایده‌آل براساس جرمی به جای مولی مسئله را ساده‌تر می‌کند. توسعه بحث توانمندی و کار برگشت‌پذیر در فصل ده بر فرآیند حالت دائم متمرکز بوده و به تعریف اکسرژی منتهی می‌شود. بنابراین بخش جدیدی را تحت عنوان انتقال و انهدام اکسرژی اضافه کرده‌ایم. فصل مربوط به روابط خواص هم اندکی بازنویسی شده و خواص را بر پایه جرمی ارائه کرده‌ایم. بعلاوه پیشرفتهای فناوری بحث سلولهای سوختی را هم توسعه داده و بحث احتراق را هم به روز کرده‌ایم.

استفاده از نرم افزار توسعه یافته :

در این ویرایش نرم افزار جدید CATT2 را که علاوه بر اطلاعات جدولهای پیوست B شامل مواد جدید دیگری هم هست، ارائه نموده ایم. تعدادی از سوختهای هیدروکربنی، مواد مبرد و سیالهای کریوژنیک هم اضافه شده و این موارد در جزوه ای تحت عنوان خواص ترمودینامیکی و انتقال آمده است که نویسنده این جزوه هم کلاس بوگناک و ریچارد سانتک هستند و از انتشارات جان وایلی و پسران در سال ۱۹۹۷ است.

انعطاف در پوشش و مباحث :

ما سعی کرده ایم تا مباحث پایه ترمودینامیک کلاسیک را در حد معقولی بطور گسترده منعکس نمائیم و اعتقاد داریم که این کتاب می تواند اطلاعات لازم را برای اعمال مباحث ترمودینامیک به حوزه های مختلف حرفه ای تأمین نموده و مباحث پیشرفته ای را که در ترمودینامیک در رابطه با خواص مواد، اثرات سطوح پلاسما و کریوژنیک پوشش دهد. ما همچنین می دانیم که در بعضی دانشگاهها درسهای را در رابطه با ترمودینامیک در دانشکده های مختلف ارائه می کنند و کتاب ما هم باید قادر به پوشش این قسمتها هم باشد. در هر حال از آنجا که دوره های درسی مختلف بسته به مواد درسی، طول دوره و سوابق دانشجویان می توانند متفاوت باشند، ما مواد ارائه شده در فصلهای انتهایی را بگونه ای تنظیم کرده ایم که انعطاف لازم در مواد ارائه شده موجود باشد.

واحدها :

فلسفه ما در رابطه با واحدها بر این اساس است که کلیه مطالب کتاب براساس واحدهای SI ارائه شوند. بنابراین تمام مثالهای کتاب و مسائل آخر فصلها و جدولها برحسب واحدهای SI هستند. در هر حال با توجه به اینکه فارغ التحصیلان مهندسی باید با واحدهای انگلیسی هم آشنا باشند در فصل دوم مقدمه ای را هم در این ارتباط گنجانده ایم. ما همچنین تعدادی از مثالها، تمرینها و جدولها را برحسب واحدهای انگلیسی هم تکرار کرده ایم تا علاقمندان بتوانند از آنها هم استفاده نمایند. در ارتباط با واحدهای انگلیسی، سوال مربوط به تبدیل نیرو - جرم بین پوند جرم و پوند نیرو به صورت یک تبدیل واحد ساده دیده شده، بدون اینکه به یک ثابت تبدیل به صورت صریح نیاز باشد. علائم، واحدها و ضرایب تبدیل در طول کتاب همانند ویرایش های قبلی است.

سخن مترجم

با پیشرفت و توسعه علوم و تکنولوژی، کتب و مراجع مربوطه هم بطور همزمان باید توسعه یافته و متحرک شوند. ویرایش ششم کتاب اصول و مبانی ترمودینامیک که توسط ون وایلن و همکاران وی تهیه شده است، گویای همین امر است. از آنجا که کتاب‌های ترجمه شده هم باید در همین راستا حرکت کنند، بر آن شدم تا پس از ترجمه ویرایش پنجم کتاب فوق و چاپ آن به صورت یک کتاب دوجلدی، اینک با ارائه کار حاضر، ترجمه ویرایش ششم را هم به پایان رسانده و در اختیار علاقمندان و بخصوص عزیزان دانشجو قرار دهم که انشاء... مورد قبول همگان قرار گیرد.

ویرایش ششم، تفاوت‌های چندانی با ویرایش پنجم داشته و مطالب جدیدی در قسمت‌های مختلف به کتاب اضافه شده است و این امر در قسمت مسائل پایان فصل‌ها بسیار مشهود است. ویرایش ششم هم شامل شانزده فصل است که فصل شانزدهم آن از شبکه اینترنت گرفته شده و در کتاب انگلیسی وجود ندارد. مجموع شانزده فصل ارائه شده در این کتاب برای پوشش دادن درسهای ترمودینامیک I و II مناسب بنظر می‌رسند. از اساتید، دانشجویان و دیگر خوانندگان محترم این کتاب درخواست می‌شود که در صورت مشاهده هرگونه اشکالی، مراتب را به اینجانب یا ناشر محترم اطلاع دهند تا در چاپ‌های بعدی اصلاحات مربوطه اعمال گردند.

در خاتمه بر خود لازم می‌دانم که از زحمات آقای رضا زمانی‌زاده در تایپ کتاب قدردانی نمایم. از سروش و سیما عظیمیان هم که در بازخوانی و انجام برخی تصحیحات کمک نمودند قدردانی می‌کنم. زحمات و همراهی‌های همسر صبور و مهربانم را هم ارج نهاده و این کار را به ایشان تقدیم می‌نمایم.

احمد رضا عظیمیان

دانشیار دانشکده مهندسی مکانیک

دانشگاه صنعتی اصفهان

فهرست مطالب

۵۲	۷-۳ جدولهای کامپیوتری	فصل یکم: چند نکته مقدماتی	۱
۵۴	خلاصه	۱-۱ نیروگاه بخار ساده	۱
۵۴	مفاهیم کلیدی و فرمولها	۲-۱ پیلهای سوختی	۳
۵۵	مسائل	۳-۱ سیکل تبرید تراکم بخار	۵
		۴-۱ مبرد ترموالکتریک	۶
۶۹	فصل چهارم: کار و حرارت	۵-۱ دستگاه جداساز هوا	۶
۶۹	۱-۴ تعریف کار	۶-۱ توربین گاز	۸
۷۰	۲-۴ واحدهای کار	۷-۱ موتور شیمیایی موشک	۹
۷۱	۳-۴ کار انجام شده در مرز متحرک یک سیستم تراکم پذیر ساده	۸-۱ کاربردهای دیگر و مباحث زیست محیطی	۱۰
۷۷	۴-۴ کار در سیستمهای دیگر	فصل دوم: برخی مفاهیم و تعاریف	۱۱
۷۸	۵-۴ نکاتی تکمیلی در مورد کار	۱-۲ سیستم ترمودینامیکی و حجم معیار	۱۱
۷۹	۶-۴ تعریف حرارت	۲-۲ مقایسه دیدگاههای میکروسکوپی و ماکروسکوپی	۱۲
۸۰	۷-۴ گونههای انتقال حرارت	۳-۲ خواص و حالت ماده	۱۳
۸۲	۸-۴ مقایسه حرارت و کار	۴-۲ فرایندها و سیکلها	۱۳
۸۳	خلاصه	۵-۲ واحدهای جرم، طول، زمان و نیرو	۱۴
۸۳	مفاهیم پایه و فرمولها	۶-۲ انرژی	۱۶
۸۴	مسائل	۷-۲ حجم مخصوص	۱۸
		۸-۲ فشار	۱۹
۹۷	فصل پنجم: قانون اول ترمودینامیک	۹-۲ برابری دما	۲۳
۹۷	۱-۵ قانون اول ترمودینامیک برای سیستمی که سیکلی را طی می کند	۱۰-۲ قانون صفرم ترمودینامیک	۲۳
	۲-۵ قانون اول ترمودینامیک برای تغییر حالت یک سیستم (جرم معیار)	۱۱-۲ مقیاسهای دما	۲۳
	۳-۵ انرژی درونی - یک خاصیت ترمودینامیکی	خلاصه	۲۴
	۴-۵ تحلیل مسایل و روشهای حل	مفاهیم کلیدی و فرمولها	۲۵
	۵-۵ خاصیت ترمودینامیکی انتالپی	مسائل	۲۵
	۶-۵ گرماهای ویژه حجم ثابت و فشار ثابت	فصل سوم: خواص یک ماده خالص	۳۵
	جامدها و مایعات	۱-۳ ماده خالص	۳۵
	۷-۵ انرژی داخلی، انتالی و گرمای ویژه گازهای ایده آل	۲-۳ تعادل فازهای بخار - مایع - جامد در یک ماده خالص	۳۶
	۸-۵ قانون اول به صورت یک معادله شدت	۳-۳ خواص مستقل یک ماده خالص	۴۰
	۹-۵ بقای جرم	۴-۳ جدولهای خواص ترمودینامیکی	۴۰
	خلاصه	۵-۳ سطوح ترمودینامیکی	۴۶
	مفاهیم کلیدی و روابط	۶-۳ رفتار $P-V-T$ گازهای با دانسیته کم و متوسط	۴۸
۱۱۵	مسائل		

فصل ششم: تحلیل قانون اول برای یک حجم معیار..... ۱۲۳

- ۱-۶ بقای جرم و حجم معیار..... ۱۲۳
- ۲-۶ قانون اول ترمودینامیک برای یک حجم معیار..... ۱۳۵
- ۳-۶ فرآیند حالت دایم..... ۱۳۶
- ۴-۶ مثالهای فرآیندهای حالت - دایم..... ۱۳۸
- مبدل حرارتی..... ۱۳۸
- شیپوره..... ۱۳۹
- دیفیوزر (پخش کننده)..... ۱۴۰
- دریچه کنترل..... ۱۴۱
- توربین..... ۱۴۱
- کمپرسور - پمپ..... ۱۴۳
- نیروگاه و یخچال..... ۱۴۴
- ۵-۶ فرآیندهای گذرا..... ۱۴۶
- خلاصه..... ۱۵۱
- مفاهیم کلیدی و روابط آنها..... ۱۵۳
- مسائل..... ۱۵۳

فصل هفتم: قانون دوم ترمودینامیک..... ۱۷۵

- ۱-۷ موتورهای حرارتی و یخچالها..... ۱۷۵
- ۲-۷ قانون دوم ترمودینامیک..... ۱۷۹
- ۳-۷ فرآیند برگشت پذیر..... ۱۸۱
- ۴-۷ عواملی که فرآیند را برگشت ناپذیر می کنند..... ۱۸۲
- اصطکاک..... ۱۸۲
- انبساط آزاد..... ۱۸۳
- انتقال حرارت بر اثر اختلاف دمای محدود..... ۱۸۳
- اختلاط دو ماده مختلف..... ۱۸۴
- عوامل دیگر..... ۱۸۴
- ۵-۷ سیکل کارنو..... ۱۸۵
- ۶-۷ دو قضیه درباره بازده یک سیکل کارنو..... ۱۸۶
- قضیه اول..... ۱۸۶
- قضیه دوم..... ۱۸۷
- ۷-۷ مقیاس ترمودینامیکی حرارت..... ۱۸۷
- ۸-۷ مقیاس گاز - ایده آل دما..... ۱۸۹
- ۹-۷ ماشینهای ایده آل در مقابل ماشینهای واقعی..... ۱۹۱
- خلاصه..... ۱۹۳
- مفاهیم کلیدی و روابط..... ۱۹۳
- مسائل..... ۱۹۴

فصل هشتم: انتروپی..... ۲۰۵

- ۱-۸ نابرابری کلازیوس..... ۲۰۵
- ۲-۸ انتروپی - یک خاصیت سیستم..... ۲۰۸
- ۳-۸ انتروپی یک ماده خالص..... ۲۰۹
- ۴-۸ تغییر انتروپی در فرآیندهای برگشت پذیر..... ۲۱۱
- ۵-۸ رابطه خواص ترمودینامیکی..... ۲۱۳
- ۶-۸ تغییر انتروپی جرم معیار (سیستم) در طی یک فرآیند برگشت ناپذیر..... ۲۱۴
- ۷-۸ تولید انتروپی..... ۲۱۵
- ۸-۸ اصل افزایش انتروپی..... ۲۱۷
- ۹-۸ تغییر انتروپی یک جامد با مایع..... ۲۱۹
- ۱۰-۸ تغییر انتروپی یک گاز ایده آل..... ۲۲۰
- ۱۱-۸ فرآیند پلی تروپیک برگشت پذیر برای یک گاز ایده آل..... ۲۲۳
- ۱۲-۸ انتروپی به صورت یک معادله شدت..... ۲۲۵
- خلاصه:..... ۲۲۶
- مفاهیم کلیدی و روابط..... ۲۲۶
- مسائل..... ۲۲۷

فصل نهم: تحلیل قانون دوم برای یک حجم معیار..... ۲۴۷

- ۱-۹ قانون دوم ترمودینامیک برای یک حجم معیار..... ۲۴۷
- ۲-۹ فرآیند حالت - دایم و فرآیند گذرا..... ۲۴۸
- فرآیند حالت دائم..... ۲۴۸
- فرآیند گذرا..... ۲۵۲
- ۳-۹ فرآیند حالت - دایم برگشت پذیر..... ۲۵۳
- ۴-۹ اصل افزایش انتروپی..... ۲۵۶
- ۵-۹ بازده..... ۲۵۶
- ۶-۹ چند نکته کلی در مورد انتروپی..... ۲۶۰
- خلاصه..... ۲۶۱
- مفاهیم کلیدی و فرمولها..... ۲۶۲
- مسائل..... ۲۶۲

فصل دهم: برگشت ناپذیری و توانمندی (انرژی مفید)..... ۲۸۱

- ۱-۱۰ انرژی در دسترس، کار برگشت پذیر و برگشت ناپذیری..... ۲۸۱
- فرآیند حالت دائم..... ۲۸۲
- فرآیند جرم معیار..... ۲۸۵
- فرآیند گذرا..... ۲۸۷
- ۲-۱۰ توانمندی و بازده قانون دوم..... ۲۸۹

فصل دوازدهم: مخلوط گازها..... ۳۷۹

- ۱-۱۲ ملاحظات عمومی و مخلوط گازهای ایده‌آل ۳۷۹
- الگوی دالتون ۳۸۱
- ۲-۱۲ الگوی ساده‌ای از مخلوط گازها و بخار ۳۸۳
- ۳-۱۲ کاربرد قانون اول برای مخلوط‌های گاز - بخار ۳۸۶
- ۴-۱۲ فرآیند اشباع آدیاباتیکی ۳۸۸
- ۵-۱۲ دماهای حباب تر و حباب خشک ۳۸۹
- ۶-۱۲ نمودار رطوبت سنجی ۳۹۰
- خلاصه ۳۹۲
- مفاهیم و روابط کلیدی ۳۹۲
- مسائل ۳۹۳

فصل سیزدهم: روابط ترمودینامیکی..... ۴۱۱

- ۱-۱۳ معادله کلیبرون ۴۱۱
- ۲-۱۳ روابط ریاضی برای یک فاز همگن ۴۱۳
- ۳-۱۳ روابط ماکسول ۴۱۴
- ۴-۱۳ روابط ترمودینامیکی که شامل انتالپی، انرژی داخلی و انتروپی هستند ۴۱۶
- ۵-۱۳ انبساط حجمی و تراکم‌پذیری آدیاباتیکی و دمای ثابت ۴۱۹
- ۶-۱۳ رفتار گاز واقعی و معادله‌های حالت ۴۲۰
- ۷-۱۳ نمودار عمومی برای تغییرات انتالپی در دمای ثابت ۴۲۳
- ۸-۱۳ نمودار عمومی برای تغییرات انتروپی در دمای ثابت ۴۲۵
- ۹-۱۳ استخراج جدول‌های خواص ترمودینامیکی از روی نتایج تجربی ۴۲۷
- ۱۰-۱۳ رابطه خواص برای مخلوط‌ها ۴۲۹
- ۱۱-۱۳ الگوهای ماده شبه خالص برای مخلوط‌های گاز واقعی ۴۳۰
- خلاصه ۴۳۴
- مفاهیم کلیدی و فرمولها ۴۳۴
- مسائل ۴۳۵

فصل چهاردهم: واکنشهای شیمیایی..... ۴۴۹

- ۱-۱۴ سوختها ۴۴۹
- ۲-۱۴ فرآیند احتراق ۴۵۱
- ۳-۱۴ انتالپی تشکیل ۴۵۶
- ۴-۱۴ تحلیل قانون اول برای سیستمهای واکنش‌کننده ۴۵۸
- ۵-۱۴ انتالپی و انرژی داخلی احتراق، گرمای واکنش ۴۶۱
- ۶-۱۴ دمای شعله آدیاباتیکی ۴۶۴

۳-۱۰ معادله موازنه اکسرژی..... ۲۹۴

- خلاصه ۲۹۷
- مفاهیم کلیدی و فرمولها ۲۹۸
- مسائل ۲۹۸

فصل یازدهم: سیستم‌های قدرت و سرمایش..... ۳۱۳

- ۱-۱۱ مقدمه‌ای بر سیستم‌های قدرت ۳۱۳
- ۲-۱۱ سیکل رانکین ۳۱۴
- ۳-۱۱ اثر فشار و دما بر سیکل رانکین ۳۱۶
- ۴-۱۱ سیکل بازگرم ۳۱۹
- ۵-۱۱ سیکل بازیاب ۳۲۰
- ۶-۱۱ انحراف سیکل‌های عملی از سیکل‌های ایده‌آل ۳۲۴
- افت‌های توربین ۳۲۵
- افت‌های پمپ ۳۲۵
- افت‌های لوله کشی ۳۲۵
- افت‌های کندانسور ۳۲۵
- ۷-۱۱ تولید مشترک ۳۲۷
- ۸-۱۱ سیکل‌های قدرت استاندارد هوایی ۳۲۸
- ۹-۱۱ سیکل برایتون ۳۲۸
- ۱۰-۱۱ توربین گاز ساده با بازیاب ۳۳۲
- ۱۱-۱۱ آرایش‌های سیکل قدرت توربین گاز ۳۳۴
- ۱۲-۱۱ سیکل استاندارد هوایی برای عمل پیش‌راشه جت ۳۳۷
- ۱۳-۱۱ سیکل‌های قدرت موتورهای رفت و آمدی ۳۳۸
- ۱۴-۱۱ سیکل اتو ۳۳۹
- ۱۵-۱۱ سیکل دیزل ۳۴۱
- ۱۶-۱۱ سیکل استرلینگ ۳۴۳
- ۱۷-۱۱ مقدمه‌ای بر سیستم‌های سرمایش ۳۴۳
- ۱۸-۱۱ سیکل سرمایش تراکم بخار ۳۴۴
- ۱۹-۱۱ سیال‌های عامل در سیستم‌های سرمایش تراکم بخار ۳۴۵
- ۲۰-۱۱ انحراف سیکل سرمایش تراکم - بخاری واقعی از سیکل ایده‌آل ۳۴۶
- ۲۱-۱۱ سیکل سرمایش جذبی آمونیاک ۳۴۷
- ۲۲-۱۱ سیکل سرمایش استاندارد هوایی ۳۴۸
- ۲۳-۱۱ سیکل ترکیبی سیستم‌های قدرت و سرمایش ۳۵۰
- خلاصه ۳۵۲
- مفاهیم کلیدی و فرمولها ۳۵۳
- مسائل ۳۵۴

۵۴۹	واژه نامه
۵۵۲	پاسخ مسائل منتخب
۵۶۲	فهرست نمادها
(پیوست ۱-۱۲۵)	جداول پیوست

۴۶۵	۷-۱۴ قانون سوم ترمودینامیک و انتروپی مطلق
۴۶۶	۸-۱۴ تحلیل قانون دوم برای سیستمهای واکنشی
۴۷۱	۹-۱۴ سلولهای سوختی
۴۷۳	۹-۱۴ ارزیابی فرآیندهای احتراق واقعی
۴۷۵	خلاصه
۴۷۶	مفاهیم کلیدی و فرمولها
۴۷۷	مسائل

فصل پانزدهم: مقدمه‌ای بر تعادل فاز و تعادل شیمیایی

۴۹۳	۱-۱۵ شرایط لازم برای تعادل
۴۹۴	۲-۱۵ تعادل بین دو فاز یک ماده خالص
۴۹۶	۳-۱۵ تعادل کم پایدار
۴۹۷	۴-۱۵ تعادل شیمیایی
۵۰۳	۵-۱۵ واکنشهای همزمان
۵۰۶	۶-۱۵ یونیزه شدن
۵۰۸	خلاصه
۵۰۹	مفاهیم کلیدی و فرمولها
۵۰۹	مسائل

فصل شانزدهم: جریان تراکم پذیر

۵۱۹	۱-۱۶ خواص سکون
۵۲۰	۲-۱۶ معادله اندازه حرکت برای یک حجم معیار
۵۲۲	۳-۱۶ نیروهای وارد بر یک سطح معیار
۵۲۶	۴-۱۶ جریان سیال تراکم ناپذیر از درون یک شپوره به صورت آدیاباتیک، یک بعدی و حالت - دایم، جریان - دایم
۵۲۴	۵-۱۶ سرعت صوت در یک گاز ایده‌آل
۵۲۶	۶-۱۶ جریان یک بعدی، آدیاباتیک و برگشت پذیر یک گاز ایده‌آل درون یک شپوره
۵۲۸	۷-۱۶ دبی جرمی گاز ایده‌آل از یک شپوره ایزنتروپیک
۵۳۱	۸-۱۶ موج ضربه‌ای عمودی در گازی ایده‌آل در جریان عبوری از یک شپوره
۵۳۴	۹-۱۶ ضرایب شپوره و دیفیوزر
۵۳۶	۱۰-۱۶ شپوره و روزنه به عنوان وسائل اندازه گیری دبی
۵۳۹	خلاصه
۵۴۰	مفاهیم کلیدی و فرمولها
۵۴۱	مسائل