

۴۶۴۶۱

بیت

ترمودینامیک مهندسی

ویراست هفتم در دستگاه SI

نوشته

یونس ای. سنجل

مایکل ای. بولز

ترجمه محمد رضا افضلی



Thermodynamics: an engineering approach, 7th ed., in SI units

by: Yunus A. Cengel, Michael A. Boles
McGraw-Hill, 2011

ترمودینامیک مهندسی

(ویراست هفتم در دستگاه SI)

تألیف یونس ای. سنجل، مایکل ای. بولز

ترجمه محمدرضا افضلی

کنترل فنی: معصومه نصابی

ناشر: مؤسسه انتشارات علمی دانشگاه صنعتی شریف

چاپ اول: ۱۳۹۳

شمارگان: ۱۰۰۰ نسخه

بها: ۶۰۰۰۰۰ ریال به همراه CD

حق چاپ برای مؤسسه انتشارات علمی دانشگاه صنعتی شریف محفوظ است.

ISBN 978-964-208-097-7

شابک ۹۷۸-۹۶۴-۲۰۸-۰۹۷-۷

تلفن: ۶۶۰۱۳۱۲۹-۶۶۱۶۴۰۷۲-۶۶۱۶۴۰۷۰

دفتر مرکزی: خیابان آزادی- دانشگاه صنعتی شریف

دفتر فروش: میدان انقلاب- خیابان شهید منیری جاوید (اردیبهشت)- ساختمان ۲۵۳ - طبقه چهارم- واحد ۴۰۲

پست الکترونیکی: publication@mehr.sharif.edu

تلفن: ۶۶۴۰۵۱۳۲-۶۶۹۶۷۸۹۶

یادداشت: واژه نامه.	سرشناسه: سنجل، یونس ای. Cengel, Yunus A.
موضوع: علم ترمودینامیک: رهیافتی در مهندسی.	عنوان و نام پدیدآور: ترمودینامیک مهندسی / تألیف یونس ای. سنجل، مایکل ای. بولز، ترجمه محمدرضا افضلی.
موضوع: ترمودینامیک.	مشخصات نشر: تهران: دانشگاه صنعتی شریف، مؤسسه انتشارات علمی ۱۳۹۳.
شناسه افزوده: بولز، مایکل.	مشخصات ظاهری: ۹۶۲ ص. مصور، جدول.
شناسه افزوده: Boles, Michael A.	شابک: 978-964-208-097-7
شناسه افزوده: افضلی، محمدرضا، ۱۳۳۱، مترجم.	وضعیت فهرست نویسی: فیا.
شناسه افزوده: دانشگاه صنعتی شریف، مؤسسه انتشارات علمی.	یادداشت: عنوان اصلی: Thermodynamics: an engineering approach, 7 th ed., c 2011.
رده بندی کنگره: ۱۳۹۳ TJ ۲۶۵/ج۹ع۸	یادداشت: کتاب حاضر نخستین بار تحت عنوان "علم ترمودینامیک: رهیافتی در مهندسی" توسط ناشران متفاوت منتشر شده است.
رده بندی دیویی: ۶۲۱/۴۰۲۱	
شماره کتابشناسی ملی: ۳۳۹۱۰۴۲	

ذهن مثل چتر نجات است - فقط موقعی کار می‌کند که باز باشد.

ناشناس

قوانین طبیعت حاکمان نامرئی زمین‌اند.

آلفرد ای. مونتپرت

معیار حقیقی سنجش هر انسان نحوه رفتار او با کسانی است که اصلاً نمی‌توانند نفعی برایش داشته باشند.

ساموئل جانسون

خلاقیت در قدرت مندی نیست، بلکه در کاربرد صحیح قدرت است.

هنری دبلیو. بیچر

انسان برتر در گفتار فروتن و در کردار جلوتر از دیگران است.

کنفوسیوس

سعی نکنید انسان موفقی باشید، بلکه بکوشید انسان ارزشمندی باشید.

آلبرت انشتین

نادیده گرفتن شیطان به معنای همدستی با اوست.

مارتین لوتر کینگ، پسر

در درازمدت، شخصیت هر کس عامل تعیین‌کننده در زندگی او و حیات ملت اوست.

تئودور روزولت

آن که به هر چیز خوش‌بین است، پندار نیک دارد. و آن که پندار نیک دارد از زندگی لذت می‌برد.

سعید نرسی

دنیا بی‌واحد، در نظر بعضی جهنم و در نگاه بعضی دیگر بهشت است.

رالف دبلیو. امرسون

رهبر کسی است که بیش‌تر، دورتر، و زودتر از دیگران می‌بیند.

لروی ایمز

هرگز دانش را با خرد اشتباه نگیرید. اولی به شما کمک می‌کند که معاش خود را تأمین کنید، دومی کمک می‌کند که بهتر زندگی کنید.

ساندرا گری

من به تنهایی نمی‌توانم جهان را تغییر دهم، اما می‌توانم جهان یک نفر را تغییر دهم.

پل اس. اسپیر

فهرست مطالب

۳۳	مرحله ۳: فرض‌ها و تقریب‌ها	سیزده	درباره نویسندگان
۳۳	مرحله ۴: قوانین فیزیکی	پانزده	پیشگفتار
۳۳	مرحله ۵: خواص		
۳۳	مرحله ۶: محاسبات	۱	فصل ۱ مقدمه و مفاهیم پایه
۳۳	مرحله ۷: استدلال، واریسی درستی، و بحث	۲	۱-۱ ترمودینامیک و انرژی
۳۴	بسته‌های نرم‌افزاری مهندسی	۳	حوزه‌های کاربرد ترمودینامیک
۳۵	نرم‌افزار حل معادله مهندسی (EES)	۳	۲-۱ اهمیت ابعاد و واحدها
۳۶	نکته‌ای در مورد ارقام معنادار	۵	بعضی از واحدهای SI و انگلیسی
۳۷	خلاصه	۸	تجانس ابعادی
۳۸	مراجع و کتاب‌های پیشنهادی	۹	نسبت‌های تبدیل واحد
۳۸	مسائل	۱۰	۳-۱ سیستم‌ها و حجم‌های کنترل
		۱۲	۴-۱ خواص سیستم
۵۱	فصل ۲ انرژی، انتقال انرژی و تحلیل کلی انرژی	۱۳	پیوستار
۵۲	۱-۲ مقدمه	۱۳	۵-۱ چگالی و چگالی نسبی
۵۳	۲-۲ صورت‌های انرژی	۱۴	۶-۱ حالت و تعادل
۵۴	شناخت فیزیکی انرژی داخلی	۱۵	اصل موضوع حالت
۵۶	درباره انرژی هسته‌ای بیش‌تر بدانیم	۱۵	۷-۱ فرایندها و چرخه‌ها
۵۸	انرژی مکانیکی	۱۶	فرایند جریان‌پایا
۵۹	۳-۲ انتقال انرژی با گرما	۱۷	۸-۱ دما و قانون صفرم ترمودینامیک
۶۱	پس‌زمینه تاریخی گرما	۱۸	مقیاس‌های دما
۶۲	۴-۲ انتقال انرژی با کار	۲۰	مقیاس بین‌المللی دمای سال ۱۹۹۰ (ITS-90)
۶۵	کار الکتریکی	۲۱	۹-۱ فشار
۶۵	۵-۲ صورت‌های مکانیکی کار	۲۳	تغییر فشار با عمق
۶۶	کار محور	۲۵	۱۰-۱ فشارسنج
۶۶	کار فنر	۲۸	سایر وسایل اندازه‌گیری فشار
۶۷	کار میله‌های توپرکشسان	۲۹	۱۱-۱ جوسنج و فشارجو
۶۷	کار مربوط به کشیدن فیلم مایع	۳۲	۱۲-۱ روش حل مسئله
۶۸	کار انجام شده برای بلند کردن یا شتاب دادن به جسم	۳۲	مرحله ۱: بیان مسئله
۶۹	صورت‌های غیر مکانیکی کار	۳۲	مرحله ۲: ترسیم طرح

۶-۲ قانون اول ترمودینامیک	۶۹	۷-۳ ضریب تراکم پذیری - معیار انحراف از رفتار	۱۳۵
موازنه انرژی	۷۱	گاز کامل	۱۳۹
تغییر انرژی سیستم، ΔE	۷۲	۸-۳ سایر معادله های حالت	۱۴۰
مکانیسم های انتقال انرژی، ورودی E و خروجی E	۷۲	معادله حالت وان در والس	۱۴۰
۷-۲ بازده تبدیل انرژی	۷۷	معادله حالت بی تی - بریجمن	۱۴۱
بازده لوازم مکانیکی و برقی	۸۱	معادله حالت بندیکت - وب - روبین	۱۴۱
۸-۲ انرژی و محیط زیست	۸۵	معادله حالت ویریال	۱۴۳
اوزون و مه دود	۸۶	موضوع خاص: فشار بخار و تعادل فاز	۱۴۷
باران اسیدی	۸۷	خلاصه	۱۴۸
اثر گلخانه ای: گرم شدن زمین و تغییر اقلیم	۸۸	مراجع و کتاب های پیشنهادی	۱۴۸
موضوع خاص: مکانیسم های انتقال گرما	۹۰	مسائل	۱۴۸
خلاصه	۹۵		
مراجع و کتاب های پیشنهادی	۹۶	فصل ۴ تحلیل انرژی سیستم های بسته	۱۶۱
مسائل	۹۶	۱-۴ کار مرز متحرک	۱۶۱
		فرایند پلی تروپ	۱۶۶
		۲-۴ موازنه انرژی برای سیستم های بسته	۱۶۷
		۳-۴ گرمای ویژه	۱۷۱
		۴-۴ انرژی داخلی، آنتالپی، و گرمای ویژه گازهای کامل	۱۷۳
		روابط گرمای ویژه برای گازهای کامل	۱۷۶
		۵-۴ انرژی داخلی، آنتالپی، و گرماهای ویژه جامدات	
		و مایعات	۱۸۰
		تغییرات انرژی داخلی	۱۸۱
		تغییرات آنتالپی	۱۸۱
		موضوع خاص: جنبه های ترمودینامیکی	
		سیستم های زیست شناختی	۱۸۳
		خلاصه	۱۹۱
		مراجع و کتاب های پیشنهادی	۱۹۲
		مسائل	۱۹۲
		فصل ۵ تحلیل جرم و انرژی حجم های کنترل	۲۱۳
		۱-۵ پایستگی جرم	۲۱۳
		آهنگ های جریان جرمی و حجمی	۲۱۴
		اصل پایستگی جرم	۲۱۵
		موازنه جرم برای فرایندهای جریان پایا	۲۱۷
		حالت خاص: جریان تراکم ناپذیر	۲۱۸
		۲-۵ کار جریان و انرژی سیال جاری	۲۲۰
		انرژی کل سیال جاری	۲۲۱
		انتقال انرژی توسط جرم	۲۲۱
		۳-۳ خواص مواد خالص	
		۱-۳ ماده خالص	۱۱۱
		۲-۳ فازهای ماده خالص	۱۱۱
		۳-۳ فرایندهای تغییر فاز مواد خالص	۱۱۲
		مایع متراکم و مایع اشباع	۱۱۳
		بخار اشباع و بخار فوق گرم	۱۱۳
		دمای اشباع و فشار اشباع	۱۱۴
		بعضی از پیامدهای وابستگی اشباع T و اشباع P	۱۱۵
		۴-۳ نمودارهای خواص برای فرایندهای تغییر فاز	۱۱۶
		۱ نمودار $T-v$	۱۱۸
		۲ نمودار $P-v$	۱۱۸
		تعمیم نمودارها به فاز جامد	۱۱۹
		۳ نمودار $P-T$	۱۲۰
		سطح $P-v-T$	۱۲۱
		۵-۳ جدول های خواص	۱۲۲
		آنتالپی - خاصیتی ترکیبی	۱۲۲
		۱ (الف) حالت های مایع اشباع و بخار اشباع	۱۲۴
		۱ (ب) مخلوط اشباع مایع - بخار	۱۲۴
		۲ بخار فوق گرم	۱۲۶
		۳ مایع متراکم	۱۲۹
		حالت مرجع و مقادیر مرجع	۱۳۰
		۶-۳ معادله حالت گاز کامل	۱۳۱
		آیا بخار آب گاز کامل است؟	۱۳۳
			۱۳۵

۳۰۴	۱۱-۶ پمپ گرما و یخچال کارنو	۲۲۳	۳-۵ تحلیل انرژی سیستم‌های جریان پایا
۳۰۶	موضوع خاص: یخچال خانگی	۲۲۶	۴-۵ چند دستگاه مهندسی جریان پایا
۳۱۰	خلاصه	۲۲۷	۱ نازل و پخش‌کن
۳۱۱	مراجع و کتاب‌های پیشنهادی	۲۲۹	۲ توربین و کمپرسور
۳۱۱	مسائل	۲۳۱	۳ شیر فشارشکن
		۲۳۳	۴ (الف) محفظه اختلاط
۳۲۹	فصل ۷ آنتروپی	۲۳۴	۴ (ب) مبدل حرارتی
۳۲۹	۱-۷ آنتروپی	۲۳۷	۵ جریان در لوله و کانال
	حالتی خاص: فرایندهای انتقال گرمای هم‌دمای	۲۳۸	۵-۵ تحلیل انرژی فرایندهای جریان‌ناپایا
۳۳۲	برگشت‌پذیر	۲۴۳	موضوع خاص: معادله کلی انرژی
۳۳۳	۲-۷ اصل افزایش آنتروپی	۲۴۶	خلاصه
۳۳۵	چند نکته درباره آنتروپی	۲۴۷	مراجع و کتاب‌های پیشنهادی
۳۳۶	۳-۷ تغییر آنتروپی مواد خالص	۲۴۸	مسائل
۳۳۹	۴-۷ فرایندهای هم‌آنتروپی		
۳۴۰	۵-۷ نمودارهای خاصیت شامل آنتروپی	۲۷۵	فصل ۶ قانون دوم ترمودینامیک
۳۴۲	۶-۷ آنتروپی چیست؟	۲۷۵	۱-۶ آشنایی با قانون دوم
۳۴۴	آنتروپی و تولید آنتروپی در زندگی روزمره	۲۷۷	۲-۶ منابع انرژی گرمایی
۳۴۶	۷-۷ روابط Tds	۲۷۸	۳-۶ ماشین‌های حرارتی
۳۴۷	۸-۷ تغییر آنتروپی مایعات و جامدات	۲۸۰	بازده گرمایی
۳۴۹	۹-۷ تغییر آنتروپی گازهای کامل	۲۸۱	آیا می‌توان خروجی Q را صرفه‌جویی کرد؟
۳۵۰	گرماهای ویژه ثابت (تحلیل تقریبی)	۲۸۳	قانون دوم ترمودینامیک: بیان کلین - پلانک
۳۵۱	گرماهای ویژه متغیر (تحلیل دقیق)	۲۸۴	۴-۶ یخچال و پمپ گرما
۳۵۲	فرایندهای هم‌آنتروپی گازهای کامل	۲۸۵	ضریب عملکرد
۳۵۲	گرماهای ویژه ثابت (تحلیل تقریبی)	۲۸۵	پمپ گرما
۳۵۳	گرماهای ویژه متغیر (تحلیل دقیق)	۲۸۶	عملکرد یخچال، دستگاه تهویه مطبوع، و پمپ گرما
۳۵۳	فشار نسبی و حجم مخصوص نسبی	۲۸۸	قانون دوم ترمودینامیک: بیان کلاوزیوس
۳۵۵	۱۰-۷ کار جریان پایای برگشت‌پذیر	۲۸۹	هم‌ارزی دو بیان قانون دوم
	اثبات تولید بیش‌ترین کار و مصرف کم‌ترین	۲۸۹	۵-۶ ماشین‌های حرکت دائم
	کار توسط دستگاه‌های جریان پایا، وقتی فرایند	۲۹۱	۶-۶ فرایندهای برگشت‌پذیر و برگشت‌ناپذیر
۳۵۸	برگشت‌پذیر است	۲۹۳	عوامل برگشت‌ناپذیری
۳۵۹	۱۱-۷ حداقل سازی کار کمپرسور	۲۹۴	فرایندهای برگشت‌پذیر داخلی و خارجی
۳۶۰	تراکم چند مرحله‌ای با سرمایش میانی	۲۹۵	۷-۶ چرخه کارنو
۳۶۲	۱۲-۷ بازده هم‌آنتروپی دستگاه‌های جریان پایا	۲۹۷	چرخه معکوس کارنو
۳۶۲	بازده هم‌آنتروپی توربین	۲۹۷	۸-۶ اصول کارنو
۳۶۴	بازده هم‌آنتروپی کمپرسور و پمپ	۲۹۸	۹-۶ مقیاس دمای ترمودینامیکی
۳۶۶	بازده هم‌آنتروپی نازل	۳۰۱	۱۰-۶ ماشین حرارتی کارنو
۳۶۷	۱۳-۷ موازنه آنتروپی	۳۰۲	کیفیت انرژی
۳۶۸	تغییر آنتروپی سیستم، ΔS	۳۰۳	مقایسه کمیت و کیفیت در زندگی روزمره

۴۷۹	فصل ۹ چرخه‌های تولید توان‌گازی	۳۶۸	مکانیسم‌های انتقال آنتروپی، ورودی S و خروجی S
۴۸۰	۱-۹ نکات پایه‌ای در تحلیل چرخه‌های تولید توان	۳۶۸	۱ انتقال گرما
۴۸۲	۲-۹ چرخه کارنو و جایگاه آن در مهندسی	۳۶۹	۲ جریان جرم
۴۸۴	۳-۹ فرض‌های استاندارد هوا	۳۷۰	تولید آنتروپی، تولیدی S
۴۸۴	۴-۹ مروری بر موتورهای پیستونی	۳۷۱	سیستم‌های بسته
	۵-۹ چرخه اوتو: چرخه ایدئال برای موتورهای	۳۷۱	حجم کنترل
۴۸۶	اشتعال جرقه‌ای	۳۷۷	تولید آنتروپی مربوط به یک فرایند انتقال گرما
	۶-۹ چرخه دیزل: چرخه ایدئال برای موتورهای	۳۷۸	موضوع خاص: کاهش هزینه‌های فشرده
۴۹۱	اشتعال تراکمی	۳۸۶	خلاصه
۴۹۴	۷-۹ چرخه‌های استرلینگ و اریکسون	۳۸۸	مراجع و کتاب‌های پیشنهادی
	۸-۹ چرخه برایتون: چرخه ایدئال برای موتورهای	۳۸۸	مسائل
۴۹۷	توربین-گازی		
۵۰۰	تکامل توربین‌های گازی	۴۱۷	فصل ۸ اکسرژی: معیار قابلیت تبدیل به کار
	انحراف چرخه‌های توربین‌های گازی واقعی از	۴۱۸	۱-۸ اکسرژی: قابلیت تبدیل انرژی به کار
۵۰۲	چرخه‌های ایدئال		اکسرژی (قابلیت تبدیل به کار) مرتبط با
۵۰۴	۹-۹ چرخه برایتون با بازیابی گرما	۴۱۹	انرژی جنبشی و انرژی پتانسیل
	۱۰-۹ چرخه برایتون با سرمایش میانی، بازگرمایش،	۴۲۱	۲-۸ کار برگشت پذیر و برگشت ناپذیری
۵۰۶	و بازیابی گرما	۴۲۵	۳-۸ بازده قانون دوم، η_{II}
۵۱۰	۱۱-۹ چرخه‌های ایدئال پیشران جت	۴۲۸	۴-۸ تغییر اکسرژی یک سیستم
۵۱۳	اصلاحات انجام شده روی موتورهای توربو جت		اکسرژی جرم ثابت: اکسرژی غیرجاری
۵۱۵	۱۲-۹ تحلیل قانون دوم چرخه‌های تولید توان	۴۲۹	(یا سیستم بسته)
	موضوع خاص: صرفه جویی در مصرف سوخت	۴۳۱	اکسرژی جریان
۵۱۸	و هزینه با رانندگی معقولانه	۴۳۳	۵-۸ انتقال اکسرژی توسط گرما، کار، و جرم
۵۲۴	خلاصه	۴۳۳	انتقال اکسرژی توسط گرما، Q
۵۲۶	مراجع و کتاب‌های پیشنهادی	۴۳۴	انتقال اکسرژی توسط کار، W
۵۲۶	مسائل	۴۳۵	انتقال اکسرژی توسط جرم، m
		۴۳۶	۶-۸ اصل کاهش اکسرژی و تخریب اکسرژی
۵۴۵	فصل ۱۰ چرخه‌های تولید توان بخاری و ترکیبی	۴۳۶	تخریب اکسرژی
۵۴۵	۱-۱۰ چرخه بخار کارنو	۴۳۷	۷-۸ موازنه اکسرژی: سیستم‌های بسته
	۲-۱۰ چرخه رانکین: چرخه ایدئال برای تولید توان	۴۴۷	۸-۸ موازنه اکسرژی: حجم‌های کنترل
۵۴۶	با استفاده از بخار	۴۴۷	موازنه اکسرژی برای سیستم‌های جریان پایا
۵۴۷	تحلیل انرژی چرخه ایدئال رانکین	۴۴۸	کار برگشت پذیر، برگشت پذیر W
	۳-۱۰ انحراف چرخه‌های واقعی تولید	۴۴۸	بازده قانون دوم برای دستگاه‌های جریان پایا، η_{II}
۵۴۹	توان بخاری از چرخه‌های ایدئال	۴۵۴	موضوع خاص: قانون دوم در زندگی روزمره
۵۵۱	۴-۱۰ چگونه می‌توان بازده چرخه رانکین را افزایش داد؟	۴۵۸	خلاصه
۵۵۲	کاهش فشار چگالنده (میانگین، پایین T را پایین می‌آورد)	۴۵۹	مراجع و کتاب‌های پیشنهادی
	فوق گرم کردن بخار آب تا دماهای بالا	۴۵۹	مسائل
۵۵۲	(میانگین، بالا T را افزایش می‌دهد)		

۶۴۶	روابط مشتق‌های جزئی	۵۵۳	افزایش فشار دیگ بخار (پانچن، T_{sat} را افزایش می‌دهد)
۶۴۸	۱۲-۲ روابط ماکسول	۵۵۵	۵-۱۰ چرخه ایدنال رانکین با بازگرمایش
۶۴۹	۱۲-۳ معادله کلاپرون	۵۵۸	۶-۱۰ چرخه ایدنال رانکین با بازیابی گرما
۶۵۱	۱۲-۴ روابط کلی برای du , dh , ds , c_p و c_v	۵۵۹	گرم‌کن باز آب تغذیه
۶۵۱	تغییرات انرژی داخلی	۵۶۰	گرم‌کن‌های بسته آب تغذیه
۶۵۲	تغییرات آنتالپی	۵۶۵	۷-۱۰ تحلیل قانون دوم چرخه‌های تولید توان بخاری
۶۵۲	تغییرات آنتروپی	۵۶۶	۸-۱۰ هم‌تولیدی
۶۵۲	گرماهای ویژه c_p و c_v	۵۷۱	۹-۱۰ چرخه‌های ترکیبی تولید توان گازی - بخاری
۶۵۵	۱۲-۵ ضریب ژول - تامسون	۵۷۳	موضوع خاص: چرخه‌های بخار دوسیالی
۶۵۷	۱۲-۶ Δu , Δh و Δs گازهای کامل	۵۷۵	خلاصه
۶۵۷	تغییرات آنتالپی گازهای حقیقی	۵۷۶	مراجع و کتاب‌های پیشنهادی
۶۵۸	تغییرات انرژی داخلی گازهای حقیقی	۵۷۶	مسائل
۶۵۸	تغییرات آنتروپی گازهای حقیقی		
۶۶۰	خلاصه	۵۹۷	فصل ۱۱ چرخه‌های تبرید
۶۶۱	مراجع و کتاب‌های پیشنهادی	۵۹۷	۱-۱۱ یخچال و پمپ گرما
۶۶۱	مسائل	۵۹۸	۲-۱۱ چرخه معکوس کارنو
		۵۹۹	۳-۱۱ چرخه ایدنال تبرید تراکم بخاری
۶۶۹	فصل ۱۳ مخلوط‌های گازی	۶۰۲	۴-۱۱ چرخه واقعی تبرید تراکم بخاری
۶۶۹	۱-۱۳ ترکیب مخلوط گازی: کسرهای جرمی و مولی	۶۰۲	۵-۱۱ تحلیل قانون دوم چرخه تبرید تراکم بخاری
	۱۳-۲ رفتار P - v - T مخلوط‌های گازی: گازهای	۶۰۸	۶-۱۱ انتخاب مبرد
۶۷۱	کامل و گازهای حقیقی	۶۰۹	۷-۱۱ سیستم‌های پمپ گرما
۶۷۲	مخلوط‌های گاز کامل	۶۱۰	۸-۱۱ سیستم‌های نوین تبرید تراکم بخاری
۶۷۲	مخلوط‌های گاز حقیقی	۶۱۰	سیستم‌های تبرید زنجیره‌ای
	۱۳-۳ خواص مخلوط‌های گازی: گازهای کامل و	۶۱۲	سیستم‌های تبرید تراکمی چندمرحله‌ای
۶۷۵	گازهای حقیقی	۶۱۴	سیستم‌های تبرید چندمرحله‌ای با یک کمپرسور
۶۷۷	مخلوط‌های گازی کامل	۶۱۵	مابع‌سازی گازها
۶۷۹	مخلوط‌های گازی حقیقی	۶۱۶	۹-۱۱ چرخه‌های تبرید گازی
	موضوع خاص: پتانسیل شیمیایی و کار	۶۱۸	۱۰-۱۱ سیستم‌های تبرید جذبی
۶۸۲	جداسازی مخلوط‌ها		موضوع خاص: سیستم‌های تولید توان
۶۹۱	خلاصه	۶۲۱	و تبرید ترموالکتریکی
۶۹۳	مراجع و کتاب‌های پیشنهادی	۶۲۳	خلاصه
۶۹۳	مسائل	۶۲۴	مراجع و کتاب‌های پیشنهادی
		۶۲۴	مسائل
۷۰۳	فصل ۱۴ مخلوط‌های گاز - بخار و تهویه مطبوع		
۷۰۳	۱-۱۴ هوای خشک و هوای جو	۶۴۳	فصل ۱۲ روابط خاصیت ترمودینامیکی
۷۰۵	۱۴-۲ رطوبت ویژه و رطوبت نسبی هوا		۱-۱۲ بحث مختصری در ریاضیات -
۷۰۷	۱۴-۳ دمای نقطه شبنم	۶۴۴	مشتق‌های جزئی و روابط مربوط به آن‌ها
۷۰۸	۱۴-۴ دمای اشباع آدیاباتیک و دمای حباب‌خیز	۶۴۵	مشتق‌های جزئی

۸۰۳	خلاصه	۷۱۱	۵-۱۴ نمودار رطوبت سنجی
۸۰۴	مراجع و کتاب‌های پیشنهادی	۷۱۲	۶-۱۴ آسایش انسان و تهویه مطبوع
۸۰۴	مسائل	۷۱۴	۷-۱۴ فرایندهای تهویه مطبوع
		۷۱۵	گرمایش و سرمایش ساده (مقدار ثابت ω)
۸۱۵	فصل ۱۷ جریان تراکم‌پذیر	۷۱۶	گرمایش با رطوبت‌زنی
۸۱۶	۱-۱۷ خواص رکود	۷۱۷	سرمایش و رطوبت‌زدایی
۸۱۹	۲-۱۷ سرعت صوت و عدد ماخ	۷۱۹	سرمایش تبخیری
۸۲۱	۳-۱۷ جریان هم‌آنتروپی تک‌بعدی	۷۲۰	اختلاط آدیاباتیک جریان‌های هوا
۸۲۳	تغییر سرعت سیال با سطح مقطع جریان	۷۲۲	برج‌های خنک‌کن آبی
۸۲۴	روابط خاصیت برای جریان هم‌آنتروپی گازهای کامل	۷۲۴	خلاصه
۸۲۶	۴-۱۷ جریان هم‌آنتروپی در نازل‌ها	۷۲۵	مراجع و کتاب‌های پیشنهادی
۸۲۶	نازل‌های همگرا	۷۲۶	مسائل
۸۳۱	نازل‌های همگرا-واگرا		
۸۳۴	۵-۱۷ امواج شوکی و امواج انبساطی	۷۳۹	فصل ۱۵ واکنش‌های شیمیایی
۸۳۴	شوکی‌های قائم	۷۴۰	۱-۱۵ سوخت‌ها و احتراق
۸۳۹	موج شوکی مایل	۷۴۴	۲-۱۵ فرایندهای احتراق نظری و واقعی
۸۴۴	امواج انبساطی پرانتل - مایر	۷۴۹	۳-۱۵ آنتالپی تشکیل و آنتالپی احتراق
	۶-۱۷ جریان در مجرا با انتقال گرما و	۷۵۲	۴-۱۵ تحلیل قانون اول سیستم‌های واکنش‌پذیر
۸۴۸	اصطکاک قابل چشم‌پوشی (جریان ریلی)	۷۵۲	سیستم‌های جریان‌پایا
۸۵۲	روابط خاصیت برای جریان ریلی	۷۵۴	سیستم‌های بسته
۸۵۳	جریان ریلی خفه شده	۷۵۷	۵-۱۵ دمای شعله آدیاباتیک
۸۵۵	۷-۱۷ نازل‌های بخار	۷۵۹	۶-۱۵ تغییر آنتروپی سیستم‌های واکنش‌پذیر
۸۵۸	خلاصه	۷۶۰	۷-۱۵ تحلیل قانون دوم سیستم‌های واکنش‌دهنده
۸۵۹	مراجع و کتاب‌های پیشنهادی	۷۶۵	موضوع خاص: پیل‌های سوختی
۸۵۹	مسائل	۷۶۶	خلاصه
		۷۶۸	مراجع و کتاب‌های پیشنهادی
۸۶۹	پیوست جدول‌ها و نمودارهای خاصیت	۷۶۸	مسائل
۸۷۱	جدول الف - ۱ جرم مولی، ثابت گاز، و خواص نقطه بحرانی		
۸۷۲	جدول الف - ۲ گرمادهای ویژه گاز کامل برای گازهای متداول	۷۸۳	فصل ۱۶ تعادل شیمیایی و تعادل فاز
۸۷۵	جدول الف - ۳ خواص مایعات، جامدات، و مواد غذایی متداول	۷۸۴	۱-۱۶ معیار تعادل شیمیایی
۸۷۷	جدول الف - ۴ آب اشباع - جدول دما	۷۸۶	۲-۱۶ ثابت تعادل برای مخلوط‌های گازی کامل
۸۷۹	جدول الف - ۵ آب اشباع - جدول فشار	۷۸۹	۳-۱۶ چند نکته درباره K_p مخلوط‌های گازی کامل
۸۸۱	جدول الف - ۶ آب فوق‌گرم	۷۹۳	۴-۱۶ تعادل شیمیایی برای واکنش‌های هم‌زمان
۸۸۵	جدول الف - ۷ آب مایع متراکم	۷۹۴	۵-۱۶ تغییر K_p با دما
۸۸۶	جدول الف - ۸ بخار آب - یخ اشباع	۷۹۵	۶-۱۶ تعادل فاز
۸۸۷	شکل الف - ۹ نمودار $T-s$ برای آب	۷۹۶	تعادل فاز برای سیستم تک‌جزئی
۸۸۸	شکل الف - ۱۰ نمودار مولیر برای آب	۷۹۷	قاعده فاز
۸۸۹	جدول الف - ۱۱ میرد اشباع ۱۳۴a - جدول دما	۷۹۷	تعادل فاز برای سیستم چندجزئی

جدول الف - ۲۷ خواص بعضی سوخت‌ها و	۸۹۱	جدول الف - ۱۲ میرد اشباع ۱۳۴a - جدول فشار	۸۹۱
هیدروکربن‌های متداول	۸۹۲	جدول الف - ۱۳ میرد اشباع فوق‌گرم ۱۳۴a	۸۹۲
جدول الف - ۲۸ لگاریتم‌های طبیعی ثابت تعادل K_p	۸۹۴	شکل الف - ۱۴ نمودار $P-h$ برای میرد ۱۳۴a	۸۹۴
شکل الف - ۲۹ نمودار تعمیم‌یافته انحراف آنتالپی	۸۹۵	شکل الف - ۱۵ نمودار تراکم‌پذیری تعمیم‌یافته نلسون - اوبرت	۸۹۵
شکل الف - ۳۰ نمودار تعمیم‌یافته انحراف آنتروپی	۸۹۶	جدول الف - ۱۶ خواص جو در ارتفاع بالا	۸۹۶
شکل الف - ۳۱ نمودار رطوبت‌سنجی در فشار کل ۱ atm	۸۹۷	جدول الف - ۱۷ خواص گاز کامل هوا	۸۹۷
جدول الف - ۳۲ توابع جریان تراکم‌پذیر هم‌آنتروپی تک‌بعدی	۸۹۹	جدول الف - ۱۸ خواص گاز کامل نیتروژن، N_2	۸۹۹
برای گاز کامل با $k=1.4$	۹۰۱	جدول الف - ۱۹ خواص گاز کامل اکسیژن، O_2	۹۰۱
جدول الف - ۳۳ توابع شوک قائم تک‌بعدی برای گاز	۹۰۳	جدول الف - ۲۰ خواص گاز کامل کربن دی‌اکسید، CO_2	۹۰۳
کامل با $k=1.4$	۹۰۵	جدول الف - ۲۱ خواص گاز کامل کربن مونوکسید، CO	۹۰۵
جدول الف - ۳۴ توابع جریان ریلی برای گاز کامل با $k=1.4$	۹۰۷	جدول الف - ۲۲ خواص گاز کامل هیدروژن، H_2	۹۰۷
	۹۰۸	جدول الف - ۲۳ خواص گاز کامل بخار آب، H_2O	۹۰۸
	۹۱۰	جدول الف - ۲۴ خواص گاز کامل اکسیژن تک‌اتمی، O	۹۱۰
	۹۱۰	جدول الف - ۲۵ خواص گاز کامل هیدروکسیل، OH	۹۱۰
	۹۱۱	جدول الف - ۲۶ آنتالپی تشکیل، تابع تشکیل گیس، و آنتروپی مطلق در $25^\circ C$ ، ۱ atm	۹۱۱
واژه‌نامه انگلیسی - فارسی			
واژه‌نامه فارسی - انگلیسی			
فهرست راهنما			

درباره نویسندگان

یونس ای. سنجل استاد ممتاز رشته مهندسی مکانیک دانشگاه نوادا در رنو، است. او درجه کارشناسی مهندسی مکانیک را از دانشگاه فنی استانبول گرفت و کارشناسی ارشد و دکتری در مهندسی مکانیک را در دانشگاه دولتی کارولینای شمالی گذراند. حوزه‌های مورد علاقه او عبارت‌اند از انرژی‌های تجدیدپذیر، بازده انرژی، سیاست‌گذاری مصرف انرژی، انتقال گرما، و آموزش مهندسی. او از سال ۱۹۹۶ تا سال ۲۰۰۰ مدیر مرکز ارزیابی صنعتی (IAC) در دانشگاه نوادا، رنو، بود. او هدایت گروه‌های متعددی از دانشجویان مهندسی را برای ارزیابی صنعتی در بسیاری از کارخانه‌های تولیدی در شمال نوادا و کالیفرنیا به عهده داشته و گزارش‌های متعددی با موضوع صرفه‌جویی در مصرف انرژی، کاهش ضایعات، و افزایش بهره‌وری برای این کارخانه‌ها تهیه کرده است. او مشاور مؤسسات و سازمان‌های دولتی مختلفی نیز بوده است.

دکتر سنجل نویسنده یا نویسنده همکار چندین کتاب درسی بوده که با استقبال فراوان روبه‌رو شده‌اند. کتاب‌هایی مانند مبانی علوم سیالات گرمایی (ویراست سوم، ۲۰۰۸)، انتقال گرما و جرم: مبانی و کاربردها (ویراست چهارم، ۲۰۱۱)، آشنایی با ترمودینامیک و انتقال گرما (ویراست دوم، ۲۰۰۸)، مکانیک سیالات: مبانی و کاربردها (ویراست دوم، ۲۰۱۰)، و مقدمات مکانیک سیالات: مبانی و کاربردها (ویراست اول، ۲۰۰۸) که همه آن‌ها را مؤسسه مک‌گرو هیل منتشر کرده است. بعضی از کتاب‌های او به زبان‌های چینی، ژاپنی، کره‌ای، تایلندی،

اسپانیایی، پرتغالی، ترکی، ایتالیایی، یونانی، و فرانسه ترجمه شده‌اند.

دکتر سنجل چندین جایزه مدرس برجسته دریافت کرده، هم‌چنین به پاس تبحر در تألیف، جایزه مؤلف نامی ASEE مریام/وایلی در سال‌های ۱۹۹۲ و ۲۰۰۰ به او تعلق گرفته است. دکتر سنجل از مهندسان حرفه‌ای دارای پروانه در ایالت نوادا و عضو انجمن مهندسان مکانیک امریکا (ASME) و انجمن آموزش مهندسی امریکا (ASEE) است.

مایکل ای. بولز دانشیار دانشکده مهندسی مکانیک و هوافضا در دانشگاه دولتی کارولینای جنوبی است که درجه دکتری در مهندسی مکانیک را از همان جا گرفته است و استاد برگزیده کانون فارغ‌التحصیلان است. دکتر بولز چندین جایزه و تقدیرنامه به عنوان مدرس متبحر در حوزه مهندسی دریافت کرده است. او جایزه آموزش رالف. آر. تیتور SAE را دریافت کرده و دو بار منتخب انجمن مدرسان برجسته NCSU بوده است. بخش دانشجویی ASME NCSU همواره او را مدرس برجسته سال و عضوی از هیئت علمی شناخته که بیش‌ترین تأثیر را در دانشجویان مهندسی مکانیک داشته است.

تخصص دکتر بولز در انتقال گرماست و در حل تحلیلی و عددی مسائل تغییر فاز و خشک کردن مواد متخلخل تبحر دارد. او عضو انجمن مهندسان مکانیک امریکا (ASEE)، و سیگمازی است. او در سال ۱۹۹۲ برنده جایزه تبحر در تألیف شد.

پیشگفتار

پیش زمینه

ترمودینامیک موضوعی مهیج و جذاب است و با انرژی سروکار دارد که برای ادامه حیات ضروری است. از دیرباز و در سراسر جهان، ترمودینامیک از موضوعات اساسی برنامه‌های درسی مهندسی بوده است. ترمودینامیک حوزه کاربرد گسترده‌ای دارد که از ارگانیزم‌های میکروسکوپی تا لوازم خانگی، وسایل حمل و نقل، سیستم‌های تولید برق، و حتی فلسفه را شامل می‌شود. این کتاب مقدماتی شامل مطالب کافی برای تدریس ترمودینامیک به صورت دو درس متوالی است. فرض بر این است که دانشجویانی که این درس را می‌گیرند پیش زمینه کافی در حسابان و فیزیک دارند.

اهداف

این کتاب برای تدریس به دانشجویان مهندسی در سال‌های دوم یا سوم دوره کارشناسی، و هم‌چنین به عنوان مرجعی برای مهندسان شاغل نوشته شده است. اهداف این کتاب عبارت‌اند از

- بیان اصول پایه‌ای ترمودینامیک.
- ارائه انبوهی از مثال‌های مهندسی از جهان واقعی به این منظور که دانشجو تصویر روشنی از نحوه کاربرد ترمودینامیک در مهندسی داشته باشد.
- ایجاد درکی شهودی از ترمودینامیک، از طریق تأکید بر فیزیک و استدلال‌های فیزیکی.

امیدواریم که این کتاب، به برکت توضیح دقیق مفاهیم و استفاده از مثال‌های عملی عددی و شکل‌ها، به دانشجو کمک کند تا مهارت لازم برای پل زدن روی شکاف بین دانش و اعتماد به نفس لازم برای کاربرد مناسب دانش را کسب کند.

نگرش و هدف

نگرشی که در محبوبیت فراوان و ویراست‌های قبلی این کتاب سهم داشت، در این ویراست تغییری نکرده است. در واقع هدف ما

ارائه یک کتاب درسی مهندسی بوده است که

- به شیوه‌ای ساده و در عین حال دقیق، مستقیماً با ذهن مهندسان فردا ارتباط برقرار کند.
- دانشجو را به سمت درک روشن و تسلط بر اصول پایه‌ای ترمودینامیک هدایت کند.
- به تفکر خلاق و پی‌ریزی درکی عمیق‌تر و حسی شهودی از ترمودینامیک کمک کند.
- دانشجویان آن را با علاقه و اشتیاق بخوانند، نه این که صرفاً به عنوان ابزاری کمکی برای حل مسئله به آن رجوع کنند.

تلاش ویژه‌ای به عمل آورده‌ایم تا حس کنجکاوی طبیعی دانشجویان را تحریک کرده، به آن‌ها کمک کنیم تا در جنبه‌های گوناگون موضوع مهیجی مانند ترمودینامیک غور و بررسی کنند. پاسخ‌های پرشوری که از کاربران و ویراست‌های قبلی این کتاب – از کالج‌های کوچک تا دانشگاه‌های بزرگ در سراسر جهان دریافت کرده‌ایم – و ترجمه پیوسته آن به زبان‌های دیگر، حاکی از آن است که تا حدود زیادی به اهداف خود رسیده‌ایم. نگرش ما این است که بهترین راه فراگیری، تمرین است. بنابراین در سراسر کتاب کوشیده‌ایم تا مطالبی را که پیش از این ارائه شده بودند، تقویت کنیم.

مهندس دیروز بخش عمده وقت خود را برای قرار دادن مقدار در فرمول‌ها و به دست آوردن نتایج عددی صرف می‌کرد. اما امروزه کار کردن روی فرمول‌ها و اعداد عمدتاً به کامپیوتر واگذار شده است. مهندس فردا نیازمند درک روشن و تسلط بر اصول پایه است تا بتواند پیچیده‌ترین مسائل را بفهمد، آن‌ها را فرمول‌بندی، و نتایج را تفسیر کند. آگاهانه تلاش کرده‌ایم تا ضمن تأکید بر این اصول پایه‌ای، چشم‌اندازی از نحوه استفاده از ابزارهای محاسباتی در کار مهندسی در برابر دانشجو بگسترانیم. در سراسر کتاب از رویکرد کلاسیک یا ماکروسکوپی استفاده می‌شود و هر جا اقتضا کند استدلال‌های میکروسکوپی نقش پشتیبان دارند. این رویکرد با بینش شهودی دانشجو همراستاست و فراگیری مطلب را بسیار آسان‌تر می‌کند.

تازه‌های این ویراست

تغییر اساسی ویراست هفتم این کتاب تبدیل تعداد زیادی از شکل‌های خطی به شکل‌های سه‌بعدی مناسب و افزودن حدود ۴۰۰ مسئله جدید است. همه ویژگی‌های مطلوب ویراست‌های قبلی حفظ شده‌اند، و بخش عمده همه فصل‌ها و جدول‌ها و نمودارهای پیوست تغییری نکرده‌اند. در این ویراست هر فصل شامل دست‌کم یک مسئله حل شده جدید است و بخش عمده مسائل موجود تغییر یافته‌اند. در فصل ۱، بخش مربوط به ابعاد و واحدها را روزآمد کرده‌ایم و در فصل ۶، بخش فرعی جدیدی در مورد عملکرد یخچال‌ها، دستگاه‌های تهویه مطبوع، و پمپ‌های گرما اضافه کرده‌ایم. در فصل ۸، مطلب مربوط به بازده قانون دوم روزآمد شده و در بعضی از تعریف‌های بازده قانون دوم تجدیدنظر کرده‌ایم تا مطلب منسجم‌تر شود. هم‌چنین در بخش قانون دوم ترمودینامیک در زندگی روزمره، بحث را گسترش و تعمیم داده‌ایم. بخش جدیدی با عنوان تحلیل قانون دوم از چرخه تبرید تراکم بخار، به فصل ۱۱ افزوده شده است.

بیش از ۴۰۰ مسئله جدید

این ویراست شامل بیش از ۴۰۰ مسئله جدید با کاربردهای گوناگون است. مسائلی که حل آن‌ها مستلزم عملیات پارامتری، و در نتیجه، استفاده از کامپیوتر است، با نمادهای  و  و متمایز شده‌اند. بعضی از مسائل ویراست‌های قبلی را حذف کرده‌ایم.

ابزارهای آموزشی

آشنایی زود هنگام با قانون اول ترمودینامیک

قانون اول ترمودینامیک را در فصل ۲، با عنوان «انرژی، انتقال انرژی، و تحلیل کلی انرژی» معرفی می‌کنیم. این فصل مقدماتی چارچوب لازم برای درک کلی صورت‌های گوناگون انرژی، مکانیسم‌های انتقال انرژی، مفهوم موازنه انرژی، اقتصاد انرژی گرمایی، تبدیل انرژی، و بازده تبدیل انرژی با استفاده از تجهیزات متداول را که عمده‌تاً شامل صورت‌های الکتریکی و مکانیکی انرژی می‌شود، فراهم می‌کند. در این فصل دانشجویان با بعضی کاربردهای هیجان‌انگیز ترمودینامیک در جهان واقعی آشنا می‌شوند و از این طریق ارزش پولی انرژی برای‌شان محسوس می‌شود. بر استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر، مانند انرژی باد، و انرژی آب، و استفاده بهتر از منابع موجود تأکید خاصی می‌شود.

تأکید بر فیزیک

ویژگی بارز این کتاب، تأکید بر جنبه‌های فیزیکی موضوع، در کنار نمایش ریاضی و عملیات ریاضی است. به اعتقاد نویسندگان این کتاب، در دوره کارشناسی می‌بایست بر ایجاد حسی از مکانیسم فیزیکی و تبحر در حل مسائل عملی که احتمال می‌رود هر مهندس در جهان واقعی با آن‌ها روبه‌رو شود، تأکید کرد. شکل‌گیری درک شهودی می‌تواند این درس را به تجربه‌ای ترغیب‌کننده‌تر و ارزشمندتر برای دانشجویان تبدیل کند.

استفاده مؤثر از تداعی

ذهن هوشیار نمی‌بایست در درک علوم مهندسی مشکلی داشته باشد. در واقع، اصول علوم مهندسی بر تجربیات روزمره و مشاهدات تجربی ما مبتنی‌اند. بنابراین در سراسر کتاب از رویکرد شهودی فیزیکی استفاده می‌شود. مکرراً موضوع مورد بحث با تجربیات روزمره دانشجویان مقایسه می‌شود تا دانشجویان بتوانند بین این موضوع و آن چه از قبل می‌دانند، رابطه برقرار کنند. مثلاً از فرایند پخت و پز به عنوان محملی عالی برای نشان دادن اصول پایه‌ای ترمودینامیک استفاده می‌شود.

خودآموزی

مطالب این کتاب در سطحی ارائه می‌شود که دانشجوی متوسط بتواند به راحتی آن را دنبال کند. این کتاب با دانشجوی سخن می‌گوید، و نه از موضعی بالاتر از او. در حقیقت کتابی خودآموز است. مطالب، به ترتیب، از ساده تا کلی ارائه می‌شوند. یعنی از ساده‌ترین موارد شروع می‌شوند و پیچیدگی مطلب به تدریج افزایش می‌یابد. به این ترتیب اصول پایه مکرراً در مورد سیستم‌های مختلف به کار گرفته می‌شوند و دانشجویان به جای تسلط بر ساده کردن فرمول‌ها، بر نحوه کاربرد اصول مسلط می‌شود. با توجه به این که اصول علمی بر مشاهدات تجربی مبتنی‌اند، در این کتاب همه فرمول‌ها و روابط براساس استدلال‌های فیزیکی به دست آمده‌اند و در نتیجه دنبال کردن و درک آن‌ها آسان است.

استفاده گسترده از تصویر

تصویر یکی از ابزارهای آموزشی مهم است که به دانشجویان «تجسم» موضوع کمک می‌کند و در این کتاب از گرافیک به نحو بسیار مؤثری استفاده شده است. تعداد شکل‌ها و تصاویر این ویراست ترمودینامیک: رویکرد مهندسی، یعنی ویراست هفتم،

از تعداد شکل‌ها و تصاویر هر کتاب دیگری در این زمینه پیش‌تر است. گذشته از این، تعداد زیادی از شکل‌ها را به صورت سه‌بعدی ارائه کرده‌ایم که به زندگی واقعی شباهت بیشتری پیدا کنند. تصویر توجه را جلب، و علاقه و کنجکاوی را تحریک می‌کند. اغلب تصاویر این کتاب در خدمت تأکید بر مفهومی مهم‌اند که در غیر این صورت مغفول می‌ماند؛ بعضی از تصاویر در حکم خلاصه مطالب هر صفحه‌اند. از شخصیت کارتونی محبوب «بلوندی» برای مطرح کردن بعضی نکات مهم به شیوه‌ای طنزآمیز، و هم‌چنین با هدف تلطیف موضوع و آرامش بخشیدن به اعصاب دانشجو استفاده کرده‌ایم. به این ترتیب چه کسی می‌تواند بگوید که مطالعه ترمودینامیک خالی از تفریح است؟

اهداف آموزشی و خلاصه مطالب

هر فصل با مروری بر مطالبی که در آن فصل مطرح می‌شود و اهداف آموزشی آن فصل آغاز می‌شود. در پایان هر فصل، خلاصه مطالب آن فصل ارائه می‌شود و به این ترتیب می‌توان مفاهیم پایه‌ای و روابط مهم آن فصل را به سرعت مرور کرد و ارتباط بین مطالب را نشان داد.

مثال‌های حل شده متعدد با راه‌حل‌های روشمند

هر فصل شامل چندین مثال حل شده است که مطلب را روشن می‌کنند و نحوه استفاده از اصول پایه‌ای را نشان می‌دهند. در حل این مثال‌ها رویکردی شهودی و روشمند در پیش گرفته، و در عین حال سبک معمولی سنتی را نیز حفظ کرده‌ایم. ابتدا صورت مسئله بیان، و اهداف مشخص می‌شود. سپس فرض‌ها را، همراه با دلایل آن‌ها بیان می‌کنیم. در صورت لزوم، خواص لازم برای حل مسئله را به‌طور جداگانه ذکر می‌کنیم. از مقادیر عددی همراه با واحدهای آن‌ها استفاده می‌کنیم تا بی‌معنا بودن اعداد بدون ذکر واحد را نشان دهیم و بر این نکته تأکید کنیم که عملیات روی واحدها، به اندازه عملیات روی مقادیر عددی با استفاده از ماشین حساب، اهمیت دارد. پس از حل مسئله، مفهوم یافته‌های خود را شرح می‌دهیم. در حل مسئله‌های ارائه شده در راهنمای حل مسائل برای مدرسان نیز همین رویکرد را دنبال کرده‌ایم.

گنجینه‌ای از مسائل کاربردی پایان فصل

مسائل پایان فصل را تحت عناوین خاصی دسته‌بندی کرده‌ایم تا

انتخاب مسئله، هم برای مدرس و هم برای دانشجو، آسان‌تر شود. در هر دسته از مسائل پرسش‌های مفهومی مطرح شده که با حرف «م» مشخص شده‌اند و هدف از آن‌ها واری می‌زان درک دانشجو از مفاهیم پایه است. مسئله‌هایی که تحت عنوان مسائل دوره مطرح شده‌اند، ماهیت جامع‌تری دارند و به بخش خاصی از مطالب آن فصل مربوط نمی‌شوند - در بعضی موارد حل آن‌ها مستلزم مرور مطالب فصل‌های گذشته است. مسئله‌های طراحی و مقاله‌ای با هدف تشویق دانشجو به قضاوت مهندسی، کاوش مستقل در موضوعات مورد علاقه خود، و ایجاد ارتباط بین یافته‌های خود به شیوه‌ای حرفه‌ای مطرح شده‌اند. مسئله‌هایی که با نماد  مشخص شده‌اند با استفاده از نرم‌افزار EES حل می‌شوند و حل کامل آن‌ها، همراه با بررسی‌های پارامتری در DVD همراه کتاب آمده است. مسئله‌هایی که با نماد  مشخص شده‌اند ماهیت فراگیر دارند و برای حل با کامپیوتر، ترجیحاً با استفاده از نرم‌افزار EES، طرح شده‌اند که همراه این کتاب عرضه می‌شود. چندین مسئله مربوط به اقتصاد و ایمنی نیز در کتاب گنجانده شده‌اند تا توجه دانشجویان را به جنبه‌های اقتصادی و ایمنی کارهای مهندسی افزایش دهند. پاسخ مسائل منتخب بلافاصله پس از هر مسئله آمده است تا دانشجو بتواند آسان‌تر به آن‌ها رجوع کند. به علاوه، به منظور آماده کردن دانشجویان برای امتحان مبانی مهندسی (که از لحاظ معیارهای ABET 2000 مبتنی بر نتیجه اهمیت روزافزون دارد) و آماده‌سازی دانشجو برای پاسخ‌گویی به آزمون‌های چندگزینه‌ای، بیش از ۲۰۰ مسئله چندگزینه‌ای در میان مسائل پایان فصل گنجانده شده است. این مسائل تحت عنوان مسائل امتحان مبانی مهندسی (FE) دسته‌بندی شده‌اند تا به آسانی بتوان آن‌ها را تشخیص داد. هدف از مطرح کردن این مسائل واری می‌زان درک مبانی و کمک به خوانندگان کتاب برای جلوگیری از گرفتار شدن در دام مشکلات متداول است.

قرارداد علامت راحت

استفاده از قرارداد علامت صوری برای کار و گرما را کنار گذاشته‌ایم، زیرا غالباً نتیجه معکوس به بار می‌آورد. به جای در پیش گرفتن رویکرد مکانیکی، رویکردی دلنشین و با معنای فیزیکی را برای تبادل‌ها در پیش گرفته‌ایم. برای نشان دادن جهت تبادل‌ها، به جای علامت‌های به علاوه و منها، از اندیس‌های «ورود» و «خروج» استفاده می‌کنیم.

فرمول‌های دارای معنای فیزیکی

به جای فرمول، از صورت‌های دارای معنای فیزیکی معادله‌های موازنه استفاده می‌شود تا دانشجو مطلب را عمیق‌تر بفهمد و از رویکرد «کتاب آشپزی» اجتناب شود. موازنه‌های جرم، انرژی، آنترپی، و اکسرژی برای هر سیستمی که در معرض هر فرایندی قرار گیرد به صورت زیر بیان می‌شود:

$$\Delta m = \dot{m}_{\text{خروجی}} - \dot{m}_{\text{ورودی}}$$

موازنه انرژی:

$$\Delta E_{\text{سیستم}} = E_{\text{خروجی}} - E_{\text{ورودی}}$$

تغییر در انرژی‌های داخلی، جنبشی، پتانسیل، و غیره انتقال انرژی خالص توسط گرما، کار و جرم

موازنه آنترپی:

$$\Delta S_{\text{سیستم}} = S_{\text{مولد}} + S_{\text{خروجی}} - S_{\text{ورودی}}$$

تغییر آنترپی تولید آنترپی انتقال آنترپی خالص توسط گرما و جرم

موازنه اکسرژی:

$$\Delta X_{\text{سیستم}} = X_{\text{تخریب شده}} - X_{\text{خروجی}} + X_{\text{ورودی}}$$

تغییر اکسرژی تخریب اکسرژی انتقال اکسرژی خالص توسط گرما، کار و جرم

این روابط تحکیم بخش اصل‌های بنیادی پایداری جرم و انرژی، تولید آنترپی و تخریب اکسرژی در هر فرایند است. در فصل‌های اولیه دانشجویان را به استفاده از این صورت موازنه پس از مشخص کردن سیستم، ترغیب می‌کنیم و به آن‌ها پیشنهاد می‌کنیم که این صورت را برای هر مسئله خاص ساده کنند. در فصل‌های بعدی و با تسلط تر شدن دانشجو بر موضوع از رویکرد ساده‌تری استفاده خواهد شد.

موضوعات خاص

اغلب فصل‌ها شامل بخشی با عنوان «موضوع خاص» است که در آن جنبه‌های جالب ترمودینامیک شرح داده می‌شوند. به عنوان مثال می‌توان از جنبه‌های ترمودینامیکی سیستم‌های بیولوژیکی در فصل ۴، یخچال‌های خانگی در فصل ۶، جنبه‌های روزمره قانون دوم ترمودینامیک در فصل ۸، و صرفه‌جویی در مصرف سوخت و هزینه با رانندگی عاقلانه در فصل ۹ نام برد. موضوعات انتخابی در این بخش‌ها را می‌توان به منزله ضمایم مهیج ترمودینامیک تلقی کرد، اما چشم‌پوشی از آن‌ها، بدون وارد شدن خللی به پیوستگی مطلب نیز ممکن است.

فرهنگ اصطلاحات ترمودینامیک

در سرتاسر فصل‌های کتاب، هر جا اصطلاح یا مفهومی مهم مطرح و تعریف می‌شود، آن را با حروف سیاه متمایز کرده‌ایم. اصطلاحات و مفاهیم بنیادی ترمودینامیک به صورت فرهنگ اصطلاحات در پایگاه وب ما به نشانی www.mhhe.com/cengel نیز آمده است. این فرهنگ اصطلاحات منحصر به فرد به تقویت اصطلاح‌شناسی کمک کرده ابزاری عالی برای فراگیری و مرور مطالب در حین پیشروی دانشجو در مطالعه ترمودینامیک در اختیار او می‌گذارد. به علاوه، دانشجویان می‌توانند با استفاده از کارت‌های آموزشی مصور (فلاش کارت) و سایر منابع تعاملی، دانش خود را از این اصطلاحات بنیادی محک بزنند.

ضرایب تبدیل

ضرایب تبدیل و ثابت‌های فیزیکی که مکرراً به کار می‌آیند در صفحات پایان کتاب نقل شده‌اند تا رجوع به آن‌ها آسان باشد.

ضمایم

ضمایم زیر برای کاربران این ویراست SI در نظر گرفته شده است.

DVD مرجع دانشجو

نرم‌افزار حل مسائل مهندسی (EES)

بسته نرم‌افزاری رایگانی که همراه کتاب جدید عرضه می‌شود، یعنی DVD مرجع دانشجو حاوی نسخه دانشجویی محدود نرم‌افزار EES (نرم‌افزار حل مسائل مهندسی)، و شامل حل مسائل منتخب کتاب است.

این نرم‌افزار که سافورد کلاین و ویلیام بکمن از دانشگاه ویسکانسین-مدیسون آن را تهیه کرده‌اند، تلفیقی از قابلیت حل معادله و داده‌های خواص مهندسی است. نرم‌افزار EES قادر به بهینه‌سازی، تحلیل پارامتری، و رگرسیون (برگشت) خطی و غیرخطی است و توانایی ترسیم با کیفیت قابل چاپ را نیز دارد. خواص ترمودینامیکی و انتقالی هوا، آب، و بسیاری از سیالات دیگر در آن گنجانده شده و به کاربر امکان می‌دهد داده‌های مربوط به خواص یا روابط تابعی را وارد آن کند.

EES ابزاری نیرومند برای حل معادله است و در آن توابع و جدول‌های خواص ترمودینامیکی و انتقالی، همچنین قابلیت واریسی خودکار واحدها گنجانده شده است. وارد کردن داده‌ها به

HANDS-ON MECHANICS

Hands-on-Mechanics وبگاه‌ای است که برای مدرسان علاقه‌مند به استفاده از ابزارهای آموزشی سه‌بعدی ملموس در هنگام تدریس طراحی شده است. این وبگاه که با همکاری گروه مهندسی مک‌گرو هیل و گروه مهندسی عمران و مکانیک دانشگاه نظامی ایالات متحده آمریکا در وست پوینت ساخته شده، نه تنها آموزش‌های تفصیلی در مورد نحوه ساخت ابزارهای آموزشی سه‌بعدی با استفاده از مواد و وسایلی که در هر آزمایشگاه یا ابزارفروشی محلی قابل دسترس است در اختیار کاربر قرار می‌دهد، بلکه مکانی برای تبادل افکار و تجربیات بین مدرسان و ارائه دستاوردهای خود برای قرار دادن در پایگاه وب است. برای کسب اطلاعات بیشتر به نشانی www.handsonmechanics.com رجوع کنید.

WWW.MHHE.COM/CENGEL

در این وبگاه منابعی برای مدرسان و دانشجویان ارائه شده است.

منابع زیر برای دانشجویان در دسترس است:

- **فرهنگ اصطلاحات مهم ترمودینامیک** - اصطلاحاتی که در متن کتاب با حروف سیاه آمده‌اند، در این فرهنگ تعریف شده‌اند. این فرهنگ هم به صورت فصل به فصل، و هم به صورت یک فایل بزرگ در دسترس است.
- **راهنمای مطالعه برای دانشجو** - در این منبع رئوس مفاهیم بنیادی مطرح شده در متن کتاب شرح داده شده و راهنمایی سودمند است که دانشجو می‌تواند با دنبال کردن آن روی مهم‌ترین مفاهیم تمرکز کند. مدرس هم می‌تواند از این راهنما به عنوان رئوس مطالبی که باید در هنگام تدریس مطرح شود، استفاده کند.

- **اهداف آموزشی** - اهداف آموزشی هر فصل در اینجا ذکر شده است. این اهداف به صورت فصل به فصل منظم شده و با اهداف ABET پیوند خورده‌اند.

- **خودآزمایی** - دانشجویان می‌توانند با استفاده از آزمون‌های چندگزینه‌ای، دانش خود را محک بزنند. این خودآزمایی بازخورد فوری دارد و ابزار آموزشی بسیار سودمندی است.

- **کارت‌های آموزش مصور (فلش کارت)** - این کارت‌ها درک دانشجو از اصطلاحات کتاب و تعاریف آن‌ها را محک می‌زنند. این برنامه به دانشجو امکان می‌دهد که اصطلاحاتی را که مستلزم درک عمیق‌ترند مشخص کند.

آن کم‌تر از وارد کردن داده‌ها به ماشین حساب وقت می‌برد و فرصت بیشتری را برای تفکر موشکافانه درباره مدل‌سازی و حل مسائل مهندسی باقی می‌گذارد. در بخش مسائل تکلیف دنبال نماد EES باشید.

کتابچه جدول خواص

(ISBN 0-07-735999-2)

این کتابچه مرجعی مناسب از مهم‌ترین جدول‌ها و نمودارهای خواص در اختیار دانشجو قرار می‌دهد که بسیاری از آن‌ها، در هر دو دستگاه واحدهای SI و انگلیسی در پایان کتاب آمده است.

ضمایم زیر برای کاربران ویراست انتشار یافته در آمریکا در نظر گرفته شده‌اند

McGraw-Hill Connect Engineering

McGraw-Hill Connect Engineering وبگاه‌ای برای تخصیص و ارزیابی در اینترنت است که ابزاری در اختیار دانشجو قرار می‌دهد تا با تکالیف درسی خود، با مدرس، و با مفاهیم مهمی که دانستن آن‌ها برای موفقیت در حال و آینده ضرورت دارد، ارتباط بهتری برقرار کند. مدرسان با استفاده از Connect Engineering می‌توانند به صورت برخط تکالیف دانشجویان را تعیین کرده، امتحان و آزمون برگزار کنند. دانشجویان می‌توانند مهارت‌های مهم را با هر آهنگی که برایشان مناسب‌تر است و طبق برنامه زمانی خود تمرین کنند. Connect Engineering برای کتاب ترمودینامیک: رویکرد مهندسی، ویراست هفتم، از طریق وبگاه کتاب به نشانی www.mhhe.com/cengel در دسترس است.

COSMOS

COSMOS مک‌گرو هیل (سیستم کامل راهنمای حل مسائل برخط) مسیر پیش‌روی مدرس جهت تخصیص تکلیف برای دانشجو، برگزاری امتحان و آزمون با استفاده از مسائل و راه‌حل‌های کتاب، ضمن گنجاندن مطالب مورد نظر خود، را هموار می‌سازد. اکنون COSMOS به صورت برخط در نشانی <http://cosmos.mhhe.com/> در دسترس است. توجه داشته باشید که این مرجع براساس ویراست هفتم منتشر شده در آمریکا و با رعایت این نکته تهیه شده که در بعضی از صنایع ایالات متحده هنوز استفاده از واحدهای انگلیسی متداول است و بنابراین شامل هر دو نوع واحد SI و انگلیسی است.

- **جدول کلمات متقاطع** – جدولی تعاملی که باید در زمان محدود حل شود و شامل راهنمایی‌ها و تذکرات نیز هست.
- **تمرکز** – نوعی بازی جורسازی تعاملی که به درک مفاهیم پایه ترمودینامیک کمک می‌کند.
- **غلط‌های چاپی** – در صورت مشاهده اشتباهی در متن، می‌توانید آن را در این بخش گزارش دهید.
- منابع زیر برای مدرسان در نظر گرفته شده‌اند، اما استفاده از آن‌ها مستلزم داشتن رمز ورود است.
- **گنجینه سؤال برای مدرسان** – مسائل اضافی که مدرسان می‌توانند آن‌ها را به عنوان تکلیف به دانشجو بدهند. این مسائل حل شده‌اند و برای تحقیق درباره دقت آن‌ها استفاده از نرم‌افزار EES توصیه می‌شود.
- **راهنمای ارتباط** – کاربران تازه این کتاب قدر این منبع را خواهند شناخت. این راهنما مسیر را برای مدرسی که برای نخستین بار کتاب سنجل/بولز را تدریس می‌کند، هموار می‌سازد.
- **خزانه تصویر** – نسخه الکترونیکی شکل‌های کتاب برای گنجاندن آسان در درس، امتحان و تکالیف در این بخش ارائه شده است.

- **راهنمای مدرس** – ابزارهایی سودمند از قبیل ریز برنامه درسی و امتحانی، راهنمای تبدیل ABET، فرهنگ اصطلاحات ترمودینامیک و اهداف فصل را در اختیار مدرسان قرار می‌دهد.
- **غلط‌های چاپی** – در صورت مشاهده اشتباهی در متن، می‌توانید آن را در این بخش گزارش دهید.
- **راهنمای حل مسائل** – در این بخش حل کامل همه مسائل کتاب به صورت PDF ارائه می‌شود.
- **راهنمای حل مسئله با نرم‌افزار EES** – حل همه مسئله‌های کتاب با استفاده از نرم‌افزار EES نیز در دسترس است. هر یک از مسئله‌های کتاب را می‌توان به آسانی تغییر داد و حل مسئله تغییر یافته را با کپی کردن حل EES مفروض روی صفحه EES سفید و زدن دکمه «solve» به آسانی به دست آورد.
- **اسلایدهای پاورپوینت** – اسلایدهای همه فصل‌های کتاب را برای نمایش به صورت پاورپوینت در هنگام تدریس ارائه می‌کند.
- **پیوست** – این بخش به صورت PDF ارائه شده تا بتوان با سهولت بیش‌تری از آن استفاده کرد.

یونس ای. سنجل

مایکل ای. بولز