

۱۳۸۱/۱۱/۱۱
مایکل ا. بولز

یونس ا. سنجل

ترمودینامیک

با رهیافتی مهندسی

ویرایش هشتم

دکتر محسن حسن‌وند



نویدازان

این اثر، مسئول قانون حمایت مولفان و مصنفان و سرچشمه مصوب ۱۳۴۸ است. هرکس تمام یا قسمتی از این اثر را بدون اجازه ناشر، نشر یا بحث کند، مورد پیگرد قانونی قرار خواهد گرفت.

سرشناسه	: سنجل، یونس ا. Cengel, Yunus A
عنوان و نام پدیدآور	: ترمودینامیک با رهیافتی مهندسی/تالیف یونس ا. سنجل، مایکل ا. بولز؛ ترجمه محسن حسن‌وند.
مشخصات نشر	: تهران: نوپردازان، ۱۳۹۶.
مشخصات ظاهری	: ۹۱۶ ص. - مصور، جدول، نمودار.، ۲۹×۲۲ س.م.
شابک	: 978-964-975-282-2
وضعیت فهرست نویسی	: فیپا
یادداشت	: عنوان اصلی: Thermodynamics.. an engineering approach, 8th ed.
یادداشت	: کتاب حاضر نخستین بار تحت عنوان علم ترمودینامیک: رهیافتی در مهندسی توسط دانشگاه علم و صنعت ایران، مرکز انتشارات منتشر شده است.
یادداشت	: نمایه
عنوان دیگر	: علم ترمودینامیک، رهیافتی در مهندسی.
موضوع	: ترمودینامیک
موضوع	: Thermodynamics
نسخه افزوده	: بولز، مایکل
شناسه افزوده	: Boles, Michael A
شناسه افزود	: حسن‌وند، محسن، ۱۳۲۴. - مترجم
رده‌بندی کنگ	: ۱۳۵۰ ج ۹ / ۲۲۶۵
رده‌بندی دیویی	: ۶۲۱ / ۰۲۱
شماره کتابشناسی ملی	: ۴۸۲۰۵۶



کتب‌ایران

ترجمه رهیافتی مهندسی

تالیف	یونس سنجل، مایکل ا. بولز
ترجمه	دکتر محسن حسن‌وند
ناشر	نوپردازان
قطع	رحلی
ویرایش	هشتم
نوبت چاپ	اول
تاریخ چاپ	۱۳۹۶
تیراژ	۱۰۰۰
صفحات	۹۱۶
شابک	۹۷۸-۹۶۴-۹۷۵-۲۸۲-۲

دفتر انتشارات تهران، خیابان کارگر جنوبی، خیابان لبافی نژاد غربی، پلاک ۲۱۵
تلفن ۸ - ۶۶۵۶۸۰۹۶

۶۰۰۰۰ تومان

مرکز پخش کتابیران: تهران، خیابان لبافی نژاد، بین اردیبهشت و فروردین، پلاک ۲۳۸
تلفن: ۶۶۴۱۲۴۷۴ - ۶۶۴۱۴۵۱۵ - ۶۶۴۱۱۱۷۳ - ۶۶۴۹۴۴۰۹

پس زمینه

ترمودینامیک موضوعی مهیج و جذاب است که با انرژی، که برای امرار معاش و تداوم زندگی ضروری است، سروکار دارد، و از دیرباز بخشی اساسی از برنامه درسی آموزشی مهندسی در سرتاسر جهان بوده است. ترمودینامیک کاربردهای بسیار وسیعی دارد، از مطالعه میکروارگانیزم‌ها گرفته تا لوازم خانگی متعارف، وسایل حمل و نقل، سیستم‌های تولید توان، و حتی فلسفه. محتوای این کتاب مقدماتی برای تدریس در دو دوره درسی پی‌درپی در ترمودینامیک کافی است. پیش فرض ما بر این است که دانشجویان این درس در ریاضیات و فیزیک پایه دارای زمینه‌ای مناسب، و به قدر کافی مسلط هستند.

اهداف

این کتاب به‌عنوان یک متن درسی برای دانشجویان رشته مهندسی در سال‌های دوم و سوم مقطع کارشناسی، و به‌عنوان کتابی مرجع برای آنانی که در حرفه مهندسی اشتغال دارند نوشته شده است. اهداف این کتاب عبارتند از:

- پوشش اصول پایه‌ای ترمودینامیک
- ارائه انواع و اقسام مثال‌های مهندسی و مطابق با جهان واقعی، جهت ایجاد این حس در دانشجویان که ترمودینامیک در حرفه مهندسی چه کاربردهایی دارد و چگونه مورد استفاده قرار می‌گیرد.
- ایجاد و تقویت درکی شهودی از ترمودینامیک از طریق تأکید بر فیزیک و بحث‌های فیزیکی‌ای که مؤید این نظریه هستند.

امیدواریم که این کتاب، از طریق توضیح دقیق مفاهیم و استفاده از شکل‌ها و مثال‌های عملی بی‌شمار، به دانشجویان کمک کند که مهارت‌های لازم را جهت پُر کردن فاصله و ایجاد پیوند بین دانش و اعتماد در به‌کارگیری مناسب آن دانش کسب نمایند.

فلسفه و هدف

فلسفه‌ای که منجر به استقبال فوق‌العاده از ویرایش‌های قبلی این کتاب و عمومیت یافتن آن شده است در این ویرایش نیز تغییری نکرده است. در حقیقت، هدف اصلی ما این بوده است که یک کتاب درسی مهندسی ارائه دهیم که

- باروشی ساده، ولی همچنان دقیق، با اذهان مهندسان فردا مستقیماً ارتباط برقرار کند.
- دانشجویان را به سمت درکی روشن و دریافتی مستحکم از اصول پایه‌ای ترمودینامیک هدایت نماید،
- تفکر خلاقانه را تشویق نماید و در دانشجو درکی عمیق‌تر و حسی شهودی از ترمودینامیک ایجاد کند، و
- توسط دانشجو، به جای این که به آن تنها به‌عنوان یک ابزار برای حل مسائل نگاه شود، با علاقه و اشتیاق شدید مورد مطالعه قرار گیرد.

تلاش ویژه و زیادی صورت گرفته است تا کنجکاوای طبیعی دانشجویان را برانگیزد و به آنها کمک شود تا وجوه گوناگون ترمودینامیک را، به‌عنوان موضوعی مهیج، شخصاً کشف نمایند. پاسخ‌های مملو از علاقه و ارادتی که از استفاده‌کنندگان ویرایش‌های قبلی دریافت کرده‌ایم — از مؤسسه‌های آموزشی کوچک تا دانشگاه‌های بزرگ و معتبر در سرتاسر جهان — و ترجمه‌های

پی‌درپی‌ای که از این کتاب به زبان‌های دیگر صورت می‌گیرد همگی دال بر این واقعیت‌اند که تا حد بسیار زیادی به اهدافمان رسیده‌ایم. این فلسفه ماست که بهترین راه یادگیری تمرین و تکرار است. بنابراین، تلاشی ویژه در سرتاسر کتاب صورت گرفته است تا موضوعاتی که در فصول قبلی تر ارائه شده‌اند در فصول بعدی نیز به‌طور ضمنی گنجانده و تکرار شوند.

مهندسان دیروز درصد زیادی از وقت خود را صرف جایگزین کردن مقادیر در فرمول‌ها و به‌دست آوردن نتایج عددی می‌کردند. اما امروز، این گونه کارها عمدتاً توسط رایانه‌ها انجام می‌گیرد. مهندسان فردا، به درکی روشن و دریافتی مستحکم از اصول پایه نیاز دارند تا با کمک آنها بتوانند حتی پیچیده‌ترین مسائل را درک، فرمول‌بندی و حل نمایند و نتایج را مورد تحلیل قرار دهند. تلاشی آگاهانه صورت گرفته است تا این اصول پایه‌ای مورد تأکید قرار گیرند، و در عین حال سعی نیز کرده‌ایم که به دانشجوی دیدگاه و یا چشم‌اندازی در مورد نحوه استفاده از ابزار محاسباتی در حرفه مهندسی ارائه دهیم. در سرتاسر این کتاب اساساً از رهیافت سنتی، کلاسیک یا ماکروسکوپی، استفاده شده است، ولی در برخی موارد، برحسب ضرورت و یا مناسبت، و بیشتر به‌خاطر نقش حمایتی و تکمیلی آنها، بحث‌هایی میکروسکوپی نیز صورت گرفته است. این رهیافت با حس شهودی دانشجویان هم‌راست‌تر است و یادگیری موضوعات این درس را راحت‌تر می‌سازد.

تغییرات جدید در این ویرایش

در این ویرایش، مهم‌ترین تغییر استفاده مؤثر از رنگ است. برای یادگیری بهتر و لذت بردن از آن، دمای کلی همه نمودارها تمام رنگی شده‌اند. یک تغییر مهم دیگر افزودن یک فصل جدید (بر روی وب) تحت عنوان «تئوری‌های تجدیدپذیر است» که از طریق Online Learning Center قابل دسترسی است. سومین تغییر مهم، به‌روزرسانی جداول R-134a است. این کار باعث هماهنگی بیشتر بین مقادیر خواص حاصل از جداول با مقادیر حاصل از نسخه قدیمی EES شده است. متناسب با این تغییر، همه مثال‌ها و مسائل پایان هر فصل نیز اصلاح شده‌اند. مسائلی که حل آنها نیازمند بررسی پارامتری، و بنابراین نیازمند استفاده از رایانه است، همانند قبل با یک شمایل رایانه-EES نشان‌دار شده‌اند. برخی از مسائل موجود در ویرایش‌های قبلی حذف شده‌اند، و برای وضوح و خوانایی بیشتر، در سرتاسر متن تغییرات و اصلاحاتی صورت گرفته است. این ویرایش شامل McGraw-Hill's Connect® Engineering است. با کمک این ابزار مدیریت تکلیف روی خط می‌توان برای امتحان‌ها، آزمون‌های ساده و کوتاه، نکات، مسائل الگوریتمی تعیین نمود. این سکو دانشجویان را به ابزار و منابع مورد نیاز برای موفقیتشان پیوند می‌دهد.

همچنین، McGraw-Hill Learn Smart™ نیز به‌عنوان یک جنبه متمایز و یکپارچه از McGraw-Hill Connect® Engineering قابل دسترسی است. این یک سیستم آموزشی انطباقی است که برای کمک به دانشجویان برای یادگیری سریع‌تر و مطالعه کاراتر طراحی شده است، و حاوی دانش و اطلاعاتی گسترده‌تر برای موفقیت بیشتر است. LearnSmart از طریق یک سری پرسش انطباقی، عمق دانش دانشجویان را از محتوای درس ارزیابی، و مفاهیم مشکل را که دانشجویان به راحتی درک نمی‌کنند با دقت بیان می‌نماید و برای موفقیت آنها یک برنامه مطالعاتی شخصی طراحی می‌کند. برای توضیح بیشتر به پایگاه www.mhlearnsmart.com مراجعه نمایید.

ابزار یادگیری

معرفی اولیه قانون اول ترمودینامیک

قانون اول ترمودینامیک نخست در فصل دوم، «انرژی، انتقال انرژی، و تحلیل عمومی انرژی» معرفی می‌شود. این فصل مقدماتی چارچوب اصلی و مورد نیاز را برای یک استنباط و یا درکی عمومی و کلی از اشکال گوناگون انرژی، مکانیزم‌های انتقال انرژی، مفهوم توازن انرژی، گرما-اقتصاد، بقای جرم، و بازده تبدیل با استفاده از دستگاه‌ها و یا فرایندهایی که عمدتاً با شکل‌های الکتریکی و مکانیکی انرژی سروکار دارند تشکیل می‌دهد. این فصل، همچنین، برخی از کاربردهای جالب و مهیج ترمودینامیک را در جهان واقعی پیشاپیش مطرح می‌کند و در معرض دید دانشجویان قرار می‌دهد، و به آنها کمک می‌کند تا نسبت به ارزش مادی و یا پولی انرژی حس پیدا نمایند. روی استفاده و یا بهره‌برداری از انرژی‌های تجدیدپذیر مانند انرژی باد و انرژی برق آبی، و استفاده کارآمد و درست از منابع موجود تأکید ویژه شده است.

تأکید بر فیزیک

یک وجه ممتاز دیگر این کتاب تأکید بر فیزیک و جنبه‌های فیزیکی موضوعات مورد بحث، البته علاوه بر بیان و پردازش آنها به زبان ریاضی، است. نویسندگان بر این باورند که تأکید اصلی در دوره آموزش کارشناسی باید بر ایجاد و تقویت قشر درک مکانیزم‌های فیزیکی که در پس پدیده‌ها و یا فرایندها قرار دارند و تبحر در حل مسائل کاربردی است. می‌رود یک مهندس در جهان واقعی و در عمل با آنها مواجه شود گذشته شود. همچنین، این درک شهری از مسائل باید طوری باشد که فراگیری این دوره درسی را برای دانشجویان به تجربه‌ای ارزشمند و انگیزه‌تر تبدیل کند.

استفاده مؤثر از تجارب روزمره و ایجاد پیوند بین

آنها و اصول اساسی ترمودینامیک

یک فرد عادی با ذهنی شاهد قاعدتاً نباید در درک علوم مهندسی مشکلی داشته باشد. اما از این مطلب و بالاتر از هر چیز دیگر، اصول علوم مهندسی بر مبنای تجارب روزمره و شواهد تجربی استوارند. بنابراین، در سرتاسر این کتاب از یک روش یا ریاضیات فیزیکی و شهودی استفاده شده است. در جای‌جای کتاب، به موضوع مورد بحث و تجارب روزمره دانشجویان یک مقایسه صورت گرفته است، و بنابراین آنها می‌توانند موضوع مورد بحث را با آنچه که به طور بالفعل می‌دانند مقایسه نمایند و پیوند دهند. به عنوان مثال، فرآیند آشنایی ابزاری است عالی برای تشریح اصول اساسی ترمودینامیک.

خودآموز بودن

موضوعات و محتویات این کتاب در سطحی ارائه شده‌اند که یک دانشجوی متوسط به راحتی می‌تواند آنها را مطالعه و درک نماید. این کتاب کتابتاییست دانشجویی، و برای دانشجویان نوشته شده است. در واقع، خودآموز است. ترتیب ارائه مطالب از ساده به کلی و یا عمومی است. یعنی، نخست با ساده‌ترین حالت شروع می‌کند و سپس آرام آرام به آن پیچیدگی‌هایی می‌افزاید. در این روش، اصول اساسی مکرراً در سیستم‌های متفاوت مورد استفاده قرار می‌گیرد و دانشجو به جای چگونه ساده کردن یک فرمول کلی یا عمومی در چگونه به کار بردن اصول مهارت می‌یابد. با توجه به این که اصول همه علوم تجربی بر مبنای شواهد تجربی قرار دارند، همه روابطی که در این کتاب به دست می‌آوریم نیز بر مبنای براهین و ادله فیزیکی استوارند، و بنابراین درک، استنباط، و یا پی‌گیری آنها راحت است.

استفاده گسترده از عکس‌ها و یا طرح‌های هنری و گرافیکی

در یادگیری، شکل‌ها ابزاری مهم به شمار می‌روند که به دانشجو کمک می‌کنند تا «تصویر موضوع مورد بحث را دریابند». بر همین اساس، در این کتاب از هنر گرافیک یا طراحی استفاده‌ای بسیار مؤثر شده است. در این ویرایش از کتاب ترمودینامیک، با رهیافتی مهندسی، برای آموزشی واقع‌گرایانه‌تر، از شکل‌ها، تصاویر و یا نمودارهای رنگی، با چهار رنگ، به طرز هنرمندانه‌ای استفاده شده است. در ضمن، تعداد زیادی از شکل‌ها ارتقاء یافته و سه بعدی شده‌اند، و بنابراین با دنیای واقعی تطبیق بیشتری پیدا کرده‌اند. شکل‌ها توجه را جلب می‌کنند و کنجکاوی و علاقه را برمی‌انگیزانند. از اکثر تصاویر و شکل‌های موجود در این کتاب به‌عنوان ابزاری برای تأکید بر برخی نکات یا مفاهیم کلیدی استفاده شده است که در غیر این صورت مورد توجه قرار نخواهند گرفت. برخی از این تصاویر به‌عنوان خلاصه مطالب یک صفحه مورد استفاده قرار گرفته‌اند.

اهداف یادگیری و خلاصه‌ها

هر فصل با مروری بر مطالبی که قرار است مورد بحث قرار گیرند و اهداف یادگیری ویژه آن فصل آغاز می‌شود. در پایان هر فصل، خلاصه آن فصل ارائه شده است. این بخش، مروریست سریع بر مفاهیم اصلی و روابط مهم مذکور در آن فصل، که ارتباط و اهمیت موضوعات مورد بحث را نشان می‌دهد.

تعداد زیاد مثال‌های حل شده همراه با ارائه دستورالعمل یا روشی برای به‌گام برای حل مسائل

هر فصل شامل چندین مثال با حل کامل است. این مثال‌ها مطلب مورد بحث را روشن می‌کنند و استفاده از اصول اساسی را توضیح می‌دهند. در حل این مثال‌ها علی‌رغم استفاده از سبکی محاوره‌ای و غیررسمی، از یک جهت تمام به گام و شهودی استفاده شده است. نخست مسئله مجدداً بیان، و اهداف آن مشخص می‌شود. سپس فرضیات، همراه با توجیه آنها، مطرح می‌شوند. خواص مورد نیاز برای حل مسئله، در صورت لزوم، یا با این مناسبت، به‌صورت جداگانه فهرست‌وار بیان می‌گردند. مقادیر این خواص همراه با واحدهای استاندارد بیان می‌شوند تا تأکیدی باشد بر این که اعداد بدون واحد از لحاظ فیزیکی اصولاً معنایی ندارند، و کار کردن با انجام عملیات ریاضی روی واحدها همان اندازه اهمیت دارد که کار کردن یا انجام عملیات ریاضی بر مقادیر عددی توسط یک ماشین حساب. اهمیت و یا مفهوم نتایجی که به‌دست می‌آیند در پایان هر مثال، به بحث قرار می‌گیرد. این رهیافت، به‌صورت هماهنگ، در حل‌های ارائه شده در حل‌المسائل مخصوصاً در پایان نیز مورد استفاده قرار گرفته است.

تعداد زیاد مسائل منطبق با واقعیت در انتهای هر فصل

برای این که انتخاب مسئله چه برای مدرسان و چه برای دانشجویان راحت‌تر شود مسائل انتهای هر فصل تحت عناوینی گوناگون دسته‌بندی شده‌اند. برای ارزیابی سطح درک و یا استنباط دانشجویان از مفاهیم پایه و اصلی، در مسائل انتهای هر فصل دسته‌ای از مسائل تحت عنوان «مسائل مفهومی»، که با حرف «م» در کنار شماره آنها مشخص شده‌اند، وجود دارد. مسائلی که تحت عنوان «مرور مسائل» قرار دارند طبیعتاً جامع‌ترند و به هیچ یک از بخش‌های فصل مربوطه ارتباط مستقیم ندارند — و حتی در برخی موارد، برای حل آنها نیاز است که به فصول قبلی نیز مراجعه شود. هدف از مسائلی که زیر عنوان «مسائل طراحی و تهیه گزارش یا مقاله» قرار دارند این است که دانشجویان را تشویق نماید تا قضاوت‌هایی مهندسی انجام دهند، مسائل یا مباحث جالب و ویژه را پیدا و در مورد آنها به‌طور مستقل تحقیق نمایند، و گزارش حاصل از یافته‌هایشان را با روشی حرفه‌ای با دیگران

مبادله کنند. مسائل نشاندار، با نشان Δ ، توسط نرم افزار EES حل می شوند. مسائلی که دارای نشان Δ هستند طبیعتی جامع دارند و باید با رایانه، یعنی EES، حل شوند. در لابلای مسائل سرتاسر این کتاب، تعدادی مسئله مرتبط با اقتصاد (هزینه) و یا ایمنی گنجانده شده است تا آگاهی دانشجویان مهندسی را نسبت به این جنبه های مهم نیز تقویت کنند. برای راحتی دانشجویان، جواب برخی از مسائل را به طور انتخابی، و درست در پایان آنها، آورده ایم. به علاوه، برای آماده کردن دانشجویان برای آزمون مبانی مهندسی (که برای معیارهای نتیجه بنیاد ABET 2000 دارد روزه روز مهم تر می شود)، و آسان کردن امتحان های تستی چند گزینه ای، بیش از ۲۰۰ مسئله تستی چند گزینه ای در مسائل انتهایی هر فصل اضافه شده است. برای تشخیص راحت تر، این مسائل تحت عنوان مسائل آزمون مبانی مهندسی قرار گرفته اند. هدف از این مسائل این است که توانایی و درک دانشجویان را از مفاهیم بنیادی و مبانی مهندسی مورد سنجش قرار دهد و به آنان کمک کند تا مرتکب اشتباهات متعارف و متداول نشوند.

راحت کردن قرارداد علامت

در این کتاب، از قرارداد مرسوم برای گرما و کار استفاده نمی کنیم چرا که اغلب موجب سردرگمی می شود و به صورت معکوس جراب می رسد. با دقت اینجاست که تبادلات گرما و کار به جای شیوه خشک و مکانیکی مرسوم از شیوه راحت دیگری که از نظر فیزیکی معنادارتر و ملموس تر است استفاده می کنیم. در این شیوه، برای نشان دادن جهت ادل انرژی، به جای علامت های مثبت و منفی، از زیرنویس های «ورودی» و «خروجی» استفاده می کنیم.

نوشتن فرمول ها به طریقی که از نظر فیزیکی قابل فهم تر، و با معنا باشند

به جای فرمول، معادلات توازن را به شکل هایی بیان کرده ایم که از نظر فیزیکی معنای آنها روشن تر و قابل فهم تر باشد. این کار نه تنها باعث می شود که دانشجو از این کتاب مانده یک کتاب آشپزی استفاده نکند، بلکه موجب می گردد که او با درک معنا و مفهوم فیزیکی روش، دانش خود را در آن زمینه عمیق تر کند و پرورش دهد. روابط توازن جرم، انرژی، انترپی، و اکزرژی برای هر سیستمی و تحت هر فرآیندی به شکل زیر بیان می شوند:

$$\text{توازن جرم:} \quad \Delta m_{\text{سیستم}} = m_{\text{خروجی}} - m_{\text{ورودی}}$$

$$\text{توازن انرژی:} \quad \Delta E_{\text{سیستم}} = E_{\text{خروجی}} - E_{\text{ورودی}}$$

تغییر در انرژی های درونی، جنبشی، پتانسیل، و غیره انتقال خالص انرژی توسط گرما، کار، جریان جرم

$$\text{توازن انترپی:} \quad \Delta S_{\text{سیستم}} = S_{\text{تولیدی}} + S_{\text{خروجی}} - S_{\text{ورودی}}$$

تغییر در انترپی تولید انترپی انتقال خالص انترپی توسط گرما و جریان جرم

$$\text{توازن اکزرژی:} \quad \Delta X_{\text{سیستم}} = X_{\text{نابود شده}} - X_{\text{خروجی}} - X_{\text{ورودی}}$$

تغییر در اکزرژی نابودی اکزرژی انتقال خالص اکزرژی توسط گرما، کار و جریان جرم

این شکل از روابط درک ما را از این اصول بنیادی که در طی یک فرآیند واقعی جرم و انرژی بقا دارند، انترپی تولید، و اکزرژی نابود می شود به روشنی بیان و تقویت می کنند. از دانشجویان می خواهیم و آنها را تشویق می کنیم که در فصول اولیه، بعد از تعیین سیستم، از اشکال مذکور برای روابط توازن

استفاده و سپس آنها را برای مسئله خاص موردنظر خود ساده نمایند. در فصول بعدی، که تا آن زمان دانشجویان مهارت لازم را کسب خواهند نمود، از روش راحت‌تر و ساده‌تری استفاده خواهیم کرد.

انتخاب سیستم آحاد SI، و یا ترکیب SI و انگلیسی

با توجه به این واقعیت که آحاد انگلیسی هنوز به‌طور گسترده در برخی از صنایع به‌کار می‌روند در این کتاب از آحاد SI و انگلیسی، هر دو، استفاده شده است، اگرچه تأکید روی SI است. محتوای این کتاب می‌تواند، بسته به تمایل استاد، تنها با آحاد SI و یا ترکیب SI و انگلیسی تدریس شود. جداول و نمودارهای موجود در پیوست، به‌غیر از آنهایی که کمیات درون آنها بدون بُعد است، برحسب هر دو سیستم ارائه شده‌اند. مساتل، جداول، و نمودارهای با آحاد انگلیسی با یک حرف «I» در بعد از شماره آنها مشخص شده‌اند و استفاده‌کنندگان از سیستم آحاد SI می‌توانند از آنها صرف‌نظر نمایند.

مباحث ویژه

اکثر فصول شامل یک بخش تحت عنوان «مباحث ویژه» هستند. در این بخش‌ها، جنبه‌هایی ویژه و جالب توجه از ترمودینامیک مورد بحث قرار می‌گیرند. به‌عنوان مثال می‌توان از «جنبه‌های ترمودینامیکی م‌های بیولوژیکی» در فصل ۴، «یخچال‌های خانگی» در فصل ۶، «جنبه‌هایی از قانون دوم ترمودینامیک» در فصل ۸، و «صرفه‌جویی در سوخت و پول با رانندگی معقول» در فصل ۹ م‌برد. موضوعات مورد بحث در این بخش‌ها طوری انتخاب شده‌اند که حوزه کاربرد ترمودینامیک، و جنبه‌های جالب و جذاب آن را گسترش، و به ما نشان می‌دهند. اما در صورت تمایل، خواننده می‌تواند بدون دست دادن پیوستگی بحث از آنها بگذرد.

فهرست و خلاصهٔ م‌های ترمودینامیکی مهم

در همهٔ فصول، هرگاه که به یک عبارت یا واژه کلیدی، مفهومی یا مهم ترمودینامیکی برخورد می‌کنیم آن را با خط درشت و رنگ نشان می‌دهیم. واژه‌ها و مفاهیم اصلی ترمودینامیکی را در واژه‌نامه‌ای در پایگاه اینترنتی مان آورده‌ایم. این واژه‌نامهٔ منحصر به فرد به خواننده کمک می‌کند تا درک خود را از اصطلاحات کلیدی تقویت کند و با دانشجویان، مادامی که در مطالعه ترمودینامیک پیش می‌روند، ابزاری عالی برای یادگیری و مرور مطالب خوانده شده محسوب می‌شود. به علاوه، با استفاده از فلش کارت‌های ارائه شده در این پایگاه و منابع تعلیمی، دانشجویان می‌توانند دانش خود را دربارهٔ این واژه‌های اصلی و بنیادی مورد سنجش یا آزمون قرار دهند.

ضرایب تبدیل

برای دسترسی و ارجاع آسان، ضرایب تبدیل و ثوابت فیزیکی‌ای که مکرراً مورد استفاده قرار دارند بر روی صفحات داخلی جلد‌های کتاب درج شده‌اند.

مکمل‌ها

برای استفاده‌کنندگان این کتاب مکمل‌های زیر در دسترس است.

نرم‌افزار حل‌کنندهٔ معادلات مهندسی (EES)

این نرم‌افزار که توسط ویلیام بکمن و سنفورد کلین از دانشگاه ویسکانزین — قدیسون تهیه شده است علاوه بر حل معادلات می‌تواند داده‌های مربوط به خواص در مهندسی را نیز پردازش نماید. با EES

می‌توان مسائل را بهینه‌سازی کرد و آنها را به‌صورت پارامتری مورد تجزیه و تحلیل قرار داد. همچنین، با کمک آن می‌توان رگرسیون‌های خطی و غیرخطی انجام داد و نمودارهایی با کیفیت بسیار عالی، مناسب برای چاپ، تهیه نمود. خواص ترمودینامیکی و انتقالی هوا، آب، و بسیاری دیگر از سیالات در درون EES قرار دارد. این نرم‌افزار به کاربر اجازه می‌دهد که داده‌های مربوط به خواص را، و یا روابط را به‌صورت تابع، وارد نماید.

EES یک نرم‌افزار توانمند برای حل معادلات است و در ساختار آن توابع و جداول خواص ترمودینامیکی و انتقالی لحاظ شده‌اند. در این نرم‌افزار واحدها نیز از نظر هماهنگی به‌صورت خودکار چک می‌شوند، و وارد کردن داده‌ها نسبت به یک ماشین حساب دستی وقت کمتری می‌گیرد و بنابراین، برای مدل‌سازی و حل مسائل مهندسی و تفکر و نقد آنها وقت بیشتری خواهیم داشت. برای دیدن آیکن (شماایل) EES، می‌توانید به مسائل انتهایی فصول مراجعه نمایید.

نسخه آکادمیک و محدود FES برای استفاده در دانشکده‌های مجاز قابل دسترسی است، مشروط به این‌که در آنها از همپایه ویرایش برای تدریس درس ترمودینامیک استفاده شود. این نرم‌افزار را می‌توانید روی سیستم رایانه دانشکده خود برای استفاده دانشجویان و اعضای هیأت علمی‌ای که این درس را گرفته‌اند نصب نمایید. البته قبل از این کار باید بین آموزش McGraw-Hill و F-Chart هماهنگی برقرار شده باشد. شرایط لازم احراز صلاحیت برای این کار از طرف F-Chart حداقل مقدار ممکن است.

کتابچه جداول خواص

(ISBN 0-07-762477-7)

این کتابچه مهم‌ترین جداول خواص را به‌صورتی سهل، اصول را اختیار دانشجویان قرار می‌دهد. البته، خیلی از این جداول در سیستم واحدها SI و همچنین انگلیسی هستند. این همین کتاب درج شده‌اند.

COSMOS

COSMOS (Complete Online Solutions Manual Organization System) مک‌گرا-هیل به مدرسان این درس اجازه می‌دهد که با استفاده از مسائل و راه‌حل‌های ارائه شده در کتاب، البته علاوه بر مواد تهیه شده و مرسوم توسط خود آنها، بتوانند تکالیف و پرسش‌های تستی و یا امتحانی را راحت‌تر و همچنین به‌صورتی هماهنگ و روان‌تر طراحی نمایند. در حال حاضر، COMOS در پایگاه <http://cosmos.mhhe.com/> قابل دسترسی است.

منابع اینترنتی برای دانشجویان و مدرسان

مطالب جدید در ارتباط با این ویرایش

McGraw-Hill CONNECT ENGINEERING یک پایگاه اینترنتی و در حقیقت یک سکوی ارائه تکلیف و ارزیابی، و ابزاری در اختیار دانشجویان است که با کمک آن می‌توانند با تکالیف درسی و اساتیدشان رابطه بهتری برقرار نمایند. در این پایگاه مفاهیم مهمی که دانشجویان برای موفقیت‌شان در اکنون و آینده به آنها نیاز دارند ارائه شده است. از طریق این پایگاه، مدرسان می‌توانند تکالیف و پرسش‌های کوتاه و تستی خود را به‌راحتی و آناً توسط اینترنت در اختیار دانشجویان خود قرار دهند و یا با آنها مبادله نمایند. دانشجویان می‌توانند مهارت‌های مهم را با هر سرعتی که می‌توانند و دوست دارند و یا در هر زمانی که با برنامه کاری آنها مطابقت داشته باشد تمرین و کسب نمایند.

Connect Engineering مخصوص ترمودینامیک: با رهیافتی مهندسی، ویرایش هشتم، از طریق پایگاه www.mhhe.com/cengel قابل دسترسی است.

این پایگاه منابع زیادی را در اختیار دانشجویان و مدرسان قرار می‌دهد.

منابع زیر مخصوص دانشجویان و برای آنها قابل دسترس است:

- **واژه‌نامه واژه‌ها و یا عبارات کلیدی در ترمودینامیک** — واژه‌ها یا عباراتی که در متن کتاب با خط درشت و پررنگ بیان شده‌اند در این واژه‌نامه تعریف شده‌اند. این واژه‌نامه هم به صورت فصل به فصل و هم به صورت یک فایل بزرگ که تمام فصول را دربرمی‌گیرد مرتب شده و قابل دسترس است.
- **راهنمای مطالعه برای دانشجویان** — در اینجا مفاهیم بنیادی مذکور در کتاب مطرح شده‌اند. این منبع راهنماییست مفید که به دانشجویان اجازه می‌دهد تا روی مهم‌ترین مفاهیم تمرکز نمایند. در ضمن مدرسان نیز می‌توانند از آن به عنوان رنوس کلی مباحثی که می‌خواهند تدریس نمایند استفاده نمایند.
- **اهداف یادگیری** — در اینجا، اهداف اصلی برای یادگیری در هر فصل، هر فصل به طور جداگانه، و هماهنگ با اهداف ABET مطرح شده‌اند.
- **خودآزمایی** — دانشجویان می‌توانند دانش و یا میزان یادگیری خود را با استفاده از پرسش‌های چند گزینه‌ای مورد آزمایش قرار دهند. این خودآزمایی‌ها بازخوردی آبی در اختیار دانشجویان قرار می‌دهند و ابزاری عالی برای یادگیری هستند.
- **فلش کارت‌ها** — فلش کارت‌های تعاملی میزان استنباط و درک دانشجویان را از واژه‌ها یا عباراتی که در کتاب بیان و یا تعریف شده‌اند می‌سنجند. همچنین این برنامه به دانشجویان اجازه می‌دهد که واژه‌ها یا عباراتی را که باید بیشتر بفهمند مشخص نمایند و علامت بزنند.
- **اول کلمات متقاطع** — یک جدول تعاملی است که دانشجو باید آن را در مدت زمانی معین تکمیل کند. در این جدول، راهنمایی‌های لازم ارائه و در یک بخش نکات مهم به دانشجو تذکر داده می‌شود.
- **غلط‌نامه** — دانشجویان در صورت پیدا کردن هر گونه اشتباه یا غلط در متن کتاب می‌توانند آن را در اینجا گزارش دهند.

منابع زیر ویژه و قابل دسترس برای مدرسانی است که دارای کلمه رمز عبور هستند.

- **بانک تست مدرسان** — در اینجا مسائل بیشتری برای تعیین تکلیف از سوی مدرسان برای دانشجویان تهیه شده است. این سیستم حل مسائل نیز ارائه شده است، و پیشنهاد می‌شود که مدرسان برای ارزیابی صحت آنها از نرم‌افزار EES استفاده نمایند.
- **راهنمای ایجاد هماهنگی و انطباق** — این منبع برای کسانی که اولین بار است که از این کتاب استفاده می‌نمایند جالب خواهد بود و به آنها کمک می‌کند تا خیلی آرام و نرم موضوعات و یا روش تدریس خود را با این کتاب هماهنگ کنند و انطباق دهند.
- **کتابخانه تصویری** — نسخه الکترونیکی تصاویر موجود در کتاب ارائه شده است تا مدرسان به راحتی بتوانند در کلاس درس، در حین تدریس، و در تکالیف یا سؤالات امتحانی از آنها استفاده نمایند.
- **راهنمای مدرسان** — این راهنما ابزار مفیدی مانند نمونه موضوعات درسی و یا سؤالات امتحانی، راهنمای تبدیل ABET، واژه‌نامه ترمودینامیک، و اهداف فصل، در اختیار مدرسان قرار می‌دهد.
- **غلط‌نامه** — اساتید و مدرسان محترم در صورت پیدا کردن هر گونه اشتباه یا غلط در حل المسائل می‌توانند آنها را در اینجا گزارش دهند.
- **حل المسائل** — حل همه مسائل تکلیفی مذکور در کتاب با ذکر جزئیات در یک فایل به صورت PDF.
- **حل المسائل EES** — کل حل المسائل در EES نیز قابل دسترس است. هر مسئله موجود در متن را می‌توان تغییر داد و یا اصلاح کرد و سپس با یکی و درج حل داده شده توسط EES برای مسئله اولیه (قبل از اصلاح) در یک صفحه خالی EES و فشردن دکمه Solve، می‌توان حل مسئله اصلاح شده را به راحتی به دست آورد.

- **اسلایدهای PP** - برای تدریس و با ارائه این درس با کمک نرم افزار PowerPoint. اسلایدهای مورد نیاز برای همه فصول این کتاب تهیه شده‌اند.
- **پیوست** - برای استفاده راحت‌تر. همه پیوست‌ها به صورت فایل PDF تهیه و ارائه شده‌اند.

تشکر و قدردانی

نویسندگان دوست دارند تا از نظرات، پیشنهادات، انتقادات سازنده، و ستایش‌های بسیار زیاد و ارزشمند افراد زیر که متن حاضر را مرور و به صورتی موشکافانه مورد ارزیابی قرار داده‌اند تشکر و قدردانی نمایند.

ادوارد اندرسن	کوبن مک فارلین
دانشگاه فنی تکران	دانشگاه جان براون
جان بیدل	سعید مناف زاده
دانشگاه کل بی پومونا	دانشگاه ایلی نوبز - شیکاگو
جیانفرانکو دی جی یوزپ	آلکس موتسولو
دانشگاه کترینگ	دانشگاه دوله داکوتای جنوبی
شوله دی جولیه	رنی راج
دانشگاه ایالتی کالیفرنیا - نورث ریج	سین کالدر بورن
افشین قاجار	ماریا سانچ
دانشگاه ایالتی آکلاهما	دانشگاه ایالتی کالیفرنیا - ریفرند
هری هاردی	کلیان سرنیواسان
دانشگاه ایالتی نیومکزیکو	دانشگاه ایالتی می سی سی پی
کوبن لیونز	رابرت استیگر
دانشگاه ایالتی کارولینای شمالی	دانشگاه گونزاگا

پیشنهادات افراد مذکور در بهبود کیفیت این متن بسیار مؤثر بوده است. جا دارد که از محمد کانونغلو از دانشگاه گازیان‌تپ - ترکیه، به خاطر سهم بسیار ارزشمند، مرور نقادانه دست‌نویس این کتاب، و توجه خاص ایشان به رعایت دقایق و جزئیات، تشکر ویژه به عمل آید.

همچنین دوست داریم تا از دانشجویانمان، که بازخوردهای بسیار زیادی را از دیدگاه خود، اختیار ما قرار دادند، تشکر نماییم. در پایان لازم است که از همسرانمان زهرا چنگل و سیلویا بولز، و فرزندانمان، به خاطر صبر، تفاهم، و حمایت همیشگی‌شان در طول مدت تهیه این کتاب نهایت تشکر و قدردانی را ابراز نماییم.

یونس ا. چنگل

مایکل ا. بولز

	فصل اول
	مقدمه و مفاهیم پایه ۱
	فصل دوم
۴۵	انرژی، انتقال انرژی، و تحلیل عمومی انرژی
	فصل سوم
	خواص مواد خالص ۱۰۱
	فصل چهارم
	تحلیل انرژی سیستم‌های بسته ۱۴۵
	فصل پنجم
۱۸۹	تحلیل جرم و انرژی حجم‌های کنترل
	فصل ششم
	قانون دوم ترمودینامیک ۲۴۳
	فصل هفتم
	انتروپی ۲۹۳
	فصل هشتم
	انرژی ۳۷۱
	فصل نهم
	چرخه‌های میانه‌ان‌گازی ۴۲۵
	فصل دهم
۴۸۷	چرخه‌های بلندمدت‌ان‌خار و ترکیبی
	فصل یازدهم
	چرخه‌های سردساز ۵۳۱
	فصل دوازدهم
	روابط بین خواص ترمودینامیکی ۵۷۹
	فصل سیزدهم
	مخلوط‌های گازی ۶۰۷
	فصل چهاردهم
۶۳۹	مخلوط‌های گاز-بخار و تهویه مطبوع
	فصل پانزدهم
	واکنش‌های شیمیایی ۶۷۱
	فصل شانزدهم
	تعادل شیمیایی و فازی ۷۱۱
	فصل هفدهم
	جریان تراکم‌پذیر ۷۴۱