



دانشگاه سیام نور
په

مدل سازی سامانه های انرژی

(کارشناسی ارشد مکانیزاسیون کشاورزی)

دکتر اسماعیل صیدی دکتر آیدین سلیمی اصل

امروزه کتاب‌خوانی و علم‌آموزی، نه تنها یک وظیفه‌ی ملی، که یک واجب دینی است.

مقام معظم رهبری

در عصر حاضر یکی از شاخصه‌های ارزیابی رشد، توسعه و پیشرفت فرهنگی هر کشوری میزان تولید کتاب، مطالعه و کتاب‌خوانی مردم آن مرز و بوم است. ایران اسلامی نیز از دیرباز تاکنون با داشتن تمدنی چندهزارساله و مراکز متعدد علمی، فرهنگی، کتابخانه‌های معتبر، علما و دانشمندان بزرگ با آثار ارزشمند تاریخی، سرآمد دولت‌ها و ملت‌های دیگر بوده و در عرصه‌ی فرهنگ و تمدن جهانی به‌سان خورشیدی تابناک همچنان می‌درخشد و با فرزندان نیک‌نهاد خویش هنرنمایی می‌کند. چه کسی است که در دنیا با دانشمندان فرزانه و نام‌آور ایرانی همچون ابوعلی سینا، ابوریحان بیرونی، فارابی، خوارزمی و ... همچنین شاعران برجسته‌ای نظیر فردوسی، سعدی، مولوی، حافظ و ... آشنا نباشد و در مقابل عظمت آنها سر تعظیم فرود نیاورد. تمامی این افتخارات ارزشمند، برگرفته از میزان عشق و علاقه فراوان ملت ما به فراگیری علم و دانش از طریق خواندن و مطالعه منابع و کتاب‌های گوناگون است. به شکرانه‌ی الهی، تاریخ و گذشته ما، همیشه درخشان و پر بار است. ولی اکنون در این زمینه در چه جایگاهی قرار داریم؟ آمار و ارقام ارائه‌شده از سوی مجامع و سازمان‌های فرهنگی در مورد سرانه‌ی مطالعه‌ی هر ایرانی، برایمان چندان امیدوارکننده نمی‌باشد و رهبر معظم انقلاب اسلامی نیز از این وضعیت بارها اظهار گله و ناخشنودی نموده‌اند.

کتاب، دروازه‌ای به سوی گستره‌ی دانش و معرفت است و کتاب خوب، یکی از بهترین ابزارهای کمال بشری است. همه‌ی دستاوردهای بشر در سراسر عمر جهان، تا آنجا که قابل کتابت بوده است، در میان دست‌نوشته‌هایی است که انسان‌ها پدید آورده و می‌آورند. در این مجموعه‌ی بی‌نظیر، تعالیم الهی، درس‌های پیامبران به بشر، و همچنین علوم مختلفی است که سعادت بشر بدون آگاهی از آنها امکان‌پذیر نیست. کسی که با دنیای زیبا و زندگی‌بخش کتاب ارتباط ندارد بی‌شک از مهم‌ترین دستاورد انسانی و نیز از بیشترین معارف الهی و بشری محروم است. با این دیدگاه، به‌روشنی می‌توان ارزش و مفهوم رمزی عمیق در این حقیقت تاریخی را دریافت که اولین خطاب خداوند متعال به پیامبر گرامی اسلام (ص) این است که «بخوان!» و در اولین

سوره‌ای که بر آن فرستاده‌ی عظیم‌الشان خداوند، فرود آمده، نام «قلم» به تجلیل یاد شده‌است: «إِقْرَأْ وَ رَبُّكَ الْأَكْرَمُ. الَّذِي عَلَّمَ بِالْقَلَمِ» در اهمیت عنصر کتاب برای تکامل جامعه‌ی انسانی، همین بس که تمامی ادیان آسمانی و رجال بزرگ تاریخ بشری، از طریق کتاب جاودانه مانده‌اند.

دانشگاه پیام‌نور با گستره‌ی جغرافیایی ایران‌شمول خود با هدف آموزش برای همه، همه‌جا و همه‌وقت، به‌عنوان دانشگاهی کتاب‌محور در نظام آموزش عالی کشورمان، افتخار دارد جایگاه اندیشه‌سازی و خردورزی بخش عظیمی از جوانان جویای علم این مرز و بوم باشد. تلاش فراوانی در ایام طولانی فعالیت این دانشگاه انجام پذیرفته تا با بهره‌گیری از تجربه‌های گرانقدر استادان و صاحب‌نظران برجسته کشورمان، کتاب‌ها و منابع آموزشی درسی شاخص و خودآموز تولید شود. در آینده هم، این مهم با هدف ارتقای سطح علمی، روزآمدی و توجه بیشتر به نیازهای مخاطبان دانشگاه پیام‌نور با جدیت ادامه خواهد داشت. به‌طور قطع استفاده از نظرات استادان، صاحب‌نظران و دانشجویان محترم، ما را در انجام این وظیفه‌ی مهم و خطیر یاری‌رسان خواهد بود. پیشاپیش از تمامی عزیزانی که با نقد، تصحیح و پیشنهادهای خود ما را در انجام این وظیفه‌ی خطیر یاری می‌رسانند، سپاسگزاری می‌نماییم. لازم است از تمامی اندیشمندانی که تاکنون دانشگاه پیام‌نور را منزلگاه اندیشه‌سازی خود دانسته و ما را در تولید کتاب و محتوای آموزشی درسی یاری نموده‌اند، صمیمانه قدردانی گردد. موفقیت و بهروزی تمامی دانشجویان و دانش‌پژوهان عزیز آرزوی همیشگی ما است.

دانشگاه پیام‌نور

فهرست مطالب

پیشگفتار سیزده

مقدمه پانزده

فصل اول. مبانی ترمودینامیک و تحلیل سیستم‌ها ۱

هدف کلی ۱

هدف‌های یادگیری ۱

۱-۱ تعاریف ۱

۲-۱ مراحل مطالعه ترمودینامیک ۱۳

۱-۲-۱ دیدگاه ماکروسکوپیک ۱۴

۲-۲-۱ دیدگاه میکروسکوپیک ۱۴

۳-۲-۱ قوانین ترمودینامیک ۱۵

۱-۳-۲-۱ قانون صفرم ترمودینامیک ۱۵

۲-۳-۲-۱ قانون اول ترمودینامیک ۱۵

۳-۳-۲-۱ قانون دوم ترمودینامیک ۱۵

۴-۳-۲-۱ قانون سوم ترمودینامیک ۱۵

۵-۳-۲-۱ ارتباط کمیت‌های ماکروسکوپیک و میکروسکوپیک ۱۵

۴-۲-۱ چشم‌انداز ترمودینامیک ۱۶

۳-۱ دما، گرما و قانون اول ترمودینامیک ۱۷

۱-۳-۱ اندازه‌گیری دما ۱۹

۲-۳-۱ انبساط گرمایی ۲۰

۳-۳-۱ رابطه دما و گرما ۲۱

۴-۱ جذب گرما توسط جامدات و مایعات ۲۳

۵-۱	گرما و کار.....	۲۵
۵-۱-۱	موارد خاصی از قانون اول ترمودینامیک.....	۲۷
۵-۱-۱-۱	فرایند بی دررو.....	۲۷
۵-۱-۱-۲	فرایند هم حجم.....	۲۷
۵-۱-۱-۳	فرایند دوره‌ای (چرخه‌ای).....	۲۸
۶-۱	مکانیسم‌های انتقال حرارت.....	۲۹
۶-۱-۱	رسانش.....	۲۹
۶-۱-۲	همرفت.....	۳۱
۶-۱-۳	تابش.....	۳۱
۷-۱	نظریه جنبشی گازها.....	۳۲
۷-۱-۱	گازهای کامل (ایدئال).....	۳۲
۷-۱-۲	کار انجام شده در حجم ثابت و در فشار ثابت.....	۳۴
۷-۱-۳	مسافت آزاد میانگین.....	۳۸
۷-۱-۴	گرمای ویژه مولی یک گاز کامل.....	۴۱
۷-۱-۵	اشاره‌ای به نظریه کوانتومی.....	۴۶
۸-۱	یادآوری نکات مهم فصل به تخلص و چند مثال.....	۴۹
۸-۱-۱	ویژگی‌های گاز کامل.....	۴۹
	خلاصه فصل اول.....	۵۴
	خودآزمایی چهارگزینه‌ای فصل اول.....	۵۵
فصل دوم. آنتروپی (بی‌نظمی).....		
۵۷	هدف کلی.....	۵۷
۵۷	هدف‌های یادگیری.....	۵۷
۱-۲	آنتروپی.....	۵۷
۲-۲	فرایندهای برگشت‌ناپذیر و آنتروپی.....	۶۱
۲-۲-۱	اصل آنتروپی.....	۶۲
۲-۲-۲	تغییر در آنتروپی.....	۶۲
۲-۲-۳	آنتروپی به عنوان تابع حالت.....	۶۵
۲-۲-۴	نیرو و آنتروپی.....	۶۷
۳-۲	آنتروپی در جهان واقعی: ماشین‌ها.....	۶۸
۳-۲-۱	ماشین کارنو.....	۶۸
۳-۲-۲	ماشین استرلینگ.....	۷۱
۳-۲-۳	یخچال‌ها.....	۷۵
۴-۲	بازده ماشین‌های واقعی.....	۷۷
۵-۲	یادآوری نکات مهم فصل و تعدادی تمرین.....	۸۰
۵-۲-۱	ماشین‌های گرمایی.....	۸۰

۸۱	۲-۵-۲ قانون دوم ترمودینامیک به بیان ماشین گرمایی
۸۳	۲-۵-۳ بازده ماشین گرمایی
۸۴	۲-۵-۴ مراحل کار ماشین بخار
۸۹	۲-۵-۵ مسائل ماشین های گرمایی
۹۰	۲-۵-۶ یخچال
۹۳	خلاصه فصل دوم
۹۳	خودآزمایی چهارگزینه ای فصل دوم
۹۵	فصل سوم. احتراق
۹۵	هدف کلی
۹۵	هدف های یادگیری
۹۵	۱-۳ کلیات
۹۶	۳-۱-۱ طرز کار موتورهای احتراق داخلی
۹۸	۳-۲ اصول ترمودینامیکی پدیده احتراق
۹۸	۳-۲-۱ چرخه های ترمودینامیکی ایدئال
۱۰۱	۳-۲-۲ چرخه های ترمودینامیکی واقعی
۱۰۱	۳-۳ مکانیسم احتراق موتورهای دیزلی
۱۰۳	۳-۴ اصول احتراق در موتورهای اشتعال جرقه ای (SI)
۱۰۵	۳-۴-۱ اشتعال و توسعه شعله
۱۱۴	۳-۴-۲ خاموشی شعله
۱۱۵	۳-۴-۳ تغییرات در احتراق
۱۱۹	۳-۵ مشخصه های کارکرد موتور
۱۲۰	۳-۶ کارکرد در حرکت یکنواخت
۱۲۱	۳-۷ مقایسه احتراق در موتورهای CI و SI
۱۳۱	خلاصه فصل سوم
۱۳۲	خودآزمایی چهارگزینه ای فصل سوم
۱۳۳	فصل چهارم. کلیات تبرید
۱۳۳	هدف کلی
۱۳۳	هدف های یادگیری
۱۳۳	۱-۴ کلیات
۱۳۴	۴-۲ تاریخچه تبرید
۱۳۷	۴-۳ انواع سیستم های تبرید
۱۳۷	۴-۳-۱ سیکل های تراکم بخار
۱۳۸	۴-۳-۲ سیکل های تبرید جذبی
۱۳۹	۴-۴ تجهیزات دفع حرارت در سیستم های تبرید

۱۴۰	۵-۴ محدودیت کاربرد کندانسورها.....
۱۴۴	۶-۴ تحلیل ترمودینامیکی.....
۱۴۷	۷-۴ خواص ترمودینامیکی و ترموفیزیکی نقاط.....
۱۵۱	۸-۴ ضریب عملکرد.....
۱۵۱	۸-۴-۱ تعریف کلی.....
۱۵۲	۸-۴-۲ ضریب عملکرد ماشین جذبی.....
۱۵۵	۸-۴-۳ ضریب عملکرد اصلاح شده.....
۱۵۸	خلاصه فصل چهارم.....
۱۵۸	خودآزمایی چهارگزینه‌ای فصل چهارم.....
۱۶۱	فصل پنجم. مبدل‌های حرارتی.....
۱۶۱	هدف کلی.....
۱۶۱	هدف‌های یادگیری.....
۱۶۱	۵-۱ مبدل‌های حرارتی.....
۱۶۲	۵-۲ دسته‌بندی مبدل‌های حرارتی.....
۱۶۲	۵-۲-۱ براساس نوع و سطح تماس سیال سرد و گرم.....
۱۶۳	۵-۲-۲ براساس جهت جریان سیال سرد و گرم.....
۱۶۴	۵-۲-۲-۱ مبدل‌های حرارتی از نوع جریان همسو.....
۱۶۴	۵-۲-۲-۲ مبدل‌های حرارتی از نوع جریان غیرهمسو.....
۱۶۴	۵-۲-۲-۳ مبدل‌های حرارتی از نوع جریان عمود بر هم.....
۱۶۴	۵-۲-۳ براساس مکانیزم انتقال حرارت بین سیال سرد و گرم.....
۱۶۵	۵-۲-۴ براساس ساختمان مکانیکی و ساختار مبدل‌ها.....
۱۶۵	۵-۲-۴-۱ مبدل‌های لوله‌ای.....
۱۶۶	۵-۲-۴-۲ مبدل‌های حرارتی دو لوله‌ای.....
۱۶۷	۵-۲-۴-۳ مبدل‌های حرارتی پوسته و لوله.....
۱۶۸	۵-۲-۴-۴ مبدل‌های حرارتی لوله‌ای حلزونی.....
۱۶۹	۵-۲-۵ مبدل‌های حرارتی صفحه‌ای.....
۱۷۳	۵-۳ اصول طراحی مبدل‌های حرارتی.....
۱۷۸	۵-۳-۱ طراحی حرارتی و هیدرولیکی.....
۱۷۹	۵-۳-۲ طراحی هیدرولیکی.....
۱۸۱	۵-۳-۳ طراحی مکانیکی.....
۱۸۴	خلاصه فصل پنجم.....
۱۸۴	خودآزمایی چهارگزینه‌ای فصل پنجم.....
۱۸۷	فصل ششم. کاربرد سیستم‌های تولید هم‌زمان برق و حرارت.....
۱۸۷	هدف کلی.....

۱۸۷	هدف‌های یادگیری.....
۱۸۷	۱-۶ کلیات.....
۱۸۸	۲-۶ ساختار کلی سیستم.....
۱۹۱	۳-۶ طبقه‌بندی سیستم‌های CHP.....
۱۹۲	۴-۶ سیکل‌های ترکیبی.....
۱۹۳	۵-۶ تولید مشترک، تکنولوژی در جهت استفاده بهینه از انرژی.....
۱۹۳	۶-۶ موارد کاربرد تولید هم‌زمان حرارت و برق.....
۱۹۷	۷-۶ تولید مشترک برق و حرارت در مقیاس کوچک.....
۱۹۹	۸-۶ نمونه‌ها و آمارهایی مربوط به استفاده از CHP در مصارف تجاری و خانگی.....
۲۰۰	۹-۶ مزایای تولید مشترک.....
۲۰۰	۱۰-۶ نگاهی گذرا به تکنولوژی‌های متداول سیستم تولید مشترک برق و حرارت.....
۲۰۱	۱۱-۶ فواید تولید هم‌زمان برق و حرارت.....
۲۰۴	۱۲-۶ کاربرد سیستم‌های تولید هم‌زمان برق و حرارت.....
۲۰۴	۱-۱۲-۶ بخش صنعتی.....
۲۰۵	۲-۱۲-۶ بخش اداری.....
۲۰۵	۳-۱۲-۶ بخش تجاری.....
۲۰۶	۱۳-۶ پردازش و تحلیل سیستم‌های CHP -HP.....
۲۰۷	۱۴-۶ تحلیل عملکرد و بازدهی.....
۲۱۰	۱۵-۶ پمپ حرارتی.....
۲۱۱	۱۶-۶ تقاضای آب داغ خانگی و مصرف سوخت جوشانده.....
۲۱۱	۱۷-۶ پمپ گرمای متداول و هزینه عملیات تأمین.....
۲۱۲	۱۸-۶ تحلیل اقتصادی.....
۲۱۶	۱۹-۶ صرفه‌جویی در هر واحد محصول.....
۲۱۹	خلاصه فصل ششم.....
۲۱۹	خودآزمایی چهارگزینه‌ای فصل ششم.....
۲۲۱	فصل هفتم. استحصال انرژی از زیست‌توده.....
۲۲۱	هدف کلی.....
۲۲۱	هدف‌های یادگیری.....
۲۲۱	۱-۷ کلیات.....
۲۲۳	۲-۷ زیست‌توده چیست؟.....
۲۲۳	۳-۷ چرخه زیست‌توده در طبیعت.....
۲۲۴	۴-۷ بیوگاز.....
۲۲۴	۱-۴-۷ بیوگاز چیست.....
۲۲۵	۲-۴-۷ مکانیسم تولید بیوگاز.....
۲۲۵	۵-۷ منابع زیست‌توده.....

۶-۷	تاریخچه زیست توده.....	۲۲۸
۷-۷	معرفی تکنولوژی های زیست توده.....	۲۲۹
۱-۷-۷	فرایندهای ترموشیمیایی.....	۲۳۰
۲-۷-۷	احتراق مستقیم.....	۲۳۰
۱-۲-۷-۷	احتراق زیست توده با زغال سنگ یا سایر منابع فسیلی در بویلرهای مدرن.....	۲۳۰
۲-۷-۷	۲-۲-۷-۷ پیرولیز.....	۲۳۱
۳-۷-۷	۳-۲-۷-۷ گازی کردن در دمای پایین.....	۲۳۱
۴-۷-۷	۴-۲-۷-۷ گازی کردن در دمای بسیار بالا.....	۲۳۱
۵-۷-۷	۵-۲-۷-۷ کرینیزه کردن.....	۲۳۱
۶-۷-۷	۶-۲-۷-۷ مایع سازی کاتالستی.....	۲۳۱
۳-۷-۷	فرایندهای بیوشیمیایی.....	۲۳۲
۱-۳-۷-۷	۱-۳-۷-۷ هضم بی هوازی.....	۲۳۲
۲-۳-۷-۷	۲-۳-۷-۷ تخمیر هوازی در منابع زیست توده مایع کاربرد دارد.....	۲۳۲
۳-۳-۷-۷	۳-۳-۷-۷ تخمیر الکلی.....	۲۳۳
۸-۷	۸-۷ پیش بینی استفاده از این انرژی برای ایران.....	۲۳۳
۹-۷	۹-۷ وضعیت فعلی و آتی تولید برق و حرارت از زباله های شهری در جهان.....	۲۳۳
۱۰-۷	۱۰-۷ تکنولوژی های مورد استفاده برای تولید انرژی (برق- حرارت) از زباله های شهری.....	۲۳۴
۱-۱۰-۷	۱-۱۰-۷ تولید برق از دفن گاه زباله.....	۲۳۵
۲-۱۰-۷	۲-۱۰-۷ زباله سوز.....	۲۳۵
۱-۲-۱۰-۷	۱-۲-۱۰-۷ زباله سوز با سوخت RDF.....	۲۳۶
۲-۲-۱۰-۷	۲-۲-۱۰-۷ وضعیت حال حاضر تکنولوژی های زباله سوزی.....	۲۳۶
۳-۱۰-۷	۳-۱۰-۷ امحای زباله و تولید انرژی به روش پلاسما.....	۲۳۶
۱۱-۷	۱۱-۷ بیوگازهای زباله در هاضم های بزرگ.....	۲۳۷
۱۲-۷	۱۲-۷ سنتز بیوگاز.....	۲۳۹
۱-۱۲-۷	۱-۱۲-۷ هیدرولیز.....	۲۳۹
۲-۱۲-۷	۲-۱۲-۷ اسیدوژنز.....	۲۴۰
۳-۱۲-۷	۳-۱۲-۷ استوژنز.....	۲۴۱
۴-۱۲-۷	۴-۱۲-۷ متانوژنز.....	۲۴۲
۱۳-۷	۱۳-۷ عوامل مؤثر بر تولید بیوگاز.....	۲۴۳
۱-۱۳-۷	۱-۱۳-۷ PH.....	۲۴۳
۲-۱۳-۷	۲-۱۳-۷ دما.....	۲۴۴
۳-۱۳-۷	۳-۱۳-۷ نسبت C / N.....	۲۴۴
۴-۱۳-۷	۴-۱۳-۷ زمان نگهداری.....	۲۴۴
۵-۱۳-۷	۵-۱۳-۷ نرخ (سرعت) بارگیر.....	۲۴۵
۶-۱۳-۷	۶-۱۳-۷ مخلوط کردن.....	۲۴۶
۷-۱۳-۷	۷-۱۳-۷ اندازه ذرات.....	۲۴۶

۲۴۶	۸-۱۳-۷ مواد مغذی موجود در بسترها (معدنی و آلی).....
۲۴۶	۹-۱۳-۷ عوامل مهارکننده.....
۲۴۷	۱۴-۷ اجزای اصلی یک کارخانه بیوگاز.....
۲۴۷	۱-۱۴-۷ واحد ذخیره‌سازی.....
۲۴۸	۲-۱۴-۷ واحد هضم.....
۲۵۰	۱۵-۷ ذخیره‌سازی گاز.....
۲۵۱	۱۶-۷ عوامل بازدارنده در گسترش فناوریهای تولید بیوگاز در ایران.....
۲۵۱	۱-۱۶-۷ ارزان‌بودن انرژی در ایران.....
۲۵۲	۲-۱۶-۷ نبودن مرجع و متصدی مشخص برای بیوگاز در کشور.....
۲۵۳	۳-۱۶-۷ نبود روحیه مشارکت در مردم.....
۲۵۳	۴-۱۶-۷ آگاهی کم و آموزش ناکافی.....
۲۵۴	۵-۱۶-۷ کمبود اطلاعات فنی.....
۲۵۵	خلاصه فصل هفتم.....
۲۵۵	خودآزمایی چهارگزینه‌ای فصل هفتم.....
۲۵۷	فصل هشتم. راهنمای انجام ممیزی انرژی سریع در ساختمان.....
۲۵۷	هدف کلی.....
۲۵۷	هدف‌های یادگیری.....
۲۵۷	۱-۸ کلیات.....
۲۵۹	۲-۸ تعریف ممیزی انرژی.....
۲۵۹	۳-۸ معرفی ممیزی انرژی سریع.....
۲۶۰	۴-۸ مراحل اصلی فرایند ممیزی انرژی.....
۲۶۳	۵-۸ ابزار و ملزومات ممیزی انرژی سریع.....
۲۶۳	۱-۵-۸ تیم ممیزی انرژی.....
۲۶۳	۲-۵-۸ اسناد و مدارک.....
۲۶۳	۳-۵-۸ آمار و اطلاعات.....
۲۶۴	۴-۵-۸ برخی دستگاه‌های اندازه‌گیری ساده.....
۲۶۴	۵-۵-۸ استفاده از نرم‌افزارهای مفید.....
۲۶۴	۶-۵-۸ استفاده از نرم‌افزارهای مدل‌سازی انرژی.....
۲۶۵	۷-۵-۸ چک‌لیست ممیزی انرژی.....
۲۶۵	۶-۸ بخش دوم: سنجش و ارزیابی و شناسایی فرصت‌ها.....
۲۶۵	۱-۶-۸ عوامل تعیین‌کننده مصرف انرژی در ساختمان.....
۲۶۶	۷-۸ شاخص‌های مصرف انرژی در ساختمان.....
۲۶۸	۸-۸ راه‌کارهای بدون هزینه.....
۲۶۹	۹-۸ راه‌کارهای کم‌هزینه.....
۲۷۰	۱۰-۸ بخش چهارم: الگو و فرمت تهیه یک گزارش ممیزی انرژی سریع.....

۲۷۰	۱۱-۸ ارکان اصلی گزارش ممیزی انرژی
۲۷۰	خلاصه فصل هشتم
۲۷۱	خودآزمایی چهارگزینه‌ای فصل هشتم
۲۷۴	پاسخنامه خودآزمایی‌های چهارگزینه‌ای
۲۷۶	منابع

پیشگفتار

معمای هستی و چگونگی پیدایش آن را شاید بتوان بزرگ‌ترین دغدغه و یا مشغولیت ذهنی بشر دانست. این سؤال بزرگ در هر تمدنی به شکل مناسب زمان و مکان خود نمود داشته است و نخبگان آن جامعه در راه پاسخ‌دادن به آن به روش‌های مختلف نظری و تجربی متوسل شده‌اند که البته تا به امروز نیز این تلاش‌ها و کوشش‌ها ادامه داشته و تصور یافتن جوابی قطعی که همگان بپذیرند و رای آن امکان دیگری نیست بسیار دشوار است. در این مسیر پر پیچ‌وخم جستجوی حقیقت، راه‌های بسیاری پیموده شده و فارغ از مقصدی که از هر مسیر میسر شده است؛ در طی این طرق نکته‌ها و قواعد بسیاری نیز به آموخته‌های بشری افزوده شده است چنانکه سعدی بزرگوار به ظرافت تمام می‌فرماید «تو پرده پیش گرفتی و زاشتیاق جمالت ز پرده‌ها به در افتاد رازهای نهانی».

ورای تفاسیر عارفانه و فیلسوفانه از جهان هستی، در نظر اغلب دانشجویان آنچه را که می‌توان به شکل حداقلی در خصوص پدیده وجود، بیان داشت ترکیب متناسب ماده و انرژی در کائنات است. لذا بررسی و مطالعه انرژی و رفتار و ماهیت آنچنان اهمیت بنیادینی دارد که در این زمینه کتاب‌های بسیار متعدد و متنوعی نوشته شده است و هنوز ابعاد تاریک این موضوع به مراتب از دانسته‌های انسان در این خصوص بیشتر است.

امروزه انسان با کشف قواعد حاکم بر طبیعت کوشیده است تا بتواند با بهره‌گیری از آن‌ها طبیعتی نو برای خود بسازد که زندگی کردن در آن سهل‌تر است و عواقب هر

فعالیت خود را بتواند تا حدی پیش‌بینی کند. او با تکیه بر منابع طبیعی و به‌واسطهٔ به‌کار بردن قوانین جاری در طبیعت محیط‌هایی متفاوت از روال قبلی ایجاد کرده و رفاه نسبی خود را اینچنین افزایش می‌دهد. همهٔ این فعالیت‌ها بر محمل مهار انرژی و به‌کارگیری آن در زمان، مکان و شکل دلخواه سوار است.

اگرچه به‌علت تخصصی‌شدن علوم و گسترش عظیم دانش بشری شاخه‌های باریک و طولی در هر موضوع از زمینه‌های مرتبط با انرژی به وجود آمده است؛ در هر یک از این زمینه‌ها متناسب با کاربردی که مدنظر مؤلفین بوده است به جنبه‌های ویژه‌ای از این علم توجه شده است. لیکن جمع‌آوری مباحث خاصی از این وادی و تشریح اجمالی آن‌ها به‌منظور ایجاد یک دید تحلیلی‌گر در سیستم‌های انرژی برای دانشجویان رشته‌های فنی مهندسی هدف تألیف این کتاب است.

اسماعیل صیدی - آیدین سلیمی

مقدمه

میزان مصرف انرژی به عنوان یک شاخص رفاهی در جامعه‌های مختلف جهت انجام مقایسات آماری مورد استفاده دارد. کشورهای مختلف بنابر شرایط اقتصادی، میزان توزیع منابع طبیعی، موقعیت جغرافیایی، سطح درآمد و میزان در اولویت بودن مسائل زیست محیطی برای برآوردن نیازهای جامعه به انرژی از منابع مختلفی استفاده می‌کنند. در قرن حاضر قرار بر آن است تا با حذف منابع انرژی فسیلی نیازهای جامعه جهانی با تکیه بر منابع انرژی تجدیدپذیر فراهم شود. در این خصوص دو رهیافت اصلی مورد توجه دولت‌های جهانی قرار گرفته است؛ اول کاهش میزان مصرف انرژی از طریق حذف استفاده‌های زائد و البته افزایش کارایی مصرف انرژی و دوم توسعه روزافزون تکنولوژی‌های تولید انرژی پاک. مهندسی که بار اصلی این مأموریت را بر دوش دارند لازم است تا با شناخت ماهیت انرژی و شکل‌های مختلف بروز و تغییر آن در طبیعت راه کارهای جدیدی را بیابند.

در این راه آشنایی با مبانی پدیده‌ها و کمیت‌های فیزیکی می‌تواند قدم اول باشد لذا در ابتدای این کتاب با تعریف ترمودینامیک و قوانین آن سعی بر آن شده است تا راه تحلیل سیستم‌های انرژی باز شده و سپس با تحلیل و تشریح پدیده‌هایی نظیر دما، گرما، فشار و حجم و نیز ارتباط میان آن‌ها روندهای کلی فرایندهای طبیعی تشریح شود تا مهندسين بتوانند اثر نهایی اعمال یک تغییر بر یک سیستم را تا حدود زیادی پیش‌بینی کنند. رد ادامه نیز با توضیح مفهوم آنتروپی مسیر استفاده از این آگاه‌ها در طراحی و ساخت ماشین‌های ساده هموار گردیده است که مثال هایی از آن در سیستم‌های احتراق

و تبرید و ... آورده شده است و در پایان نیز به تکنیک‌های نوین استفاده از انرژی در جهان اشاره‌ای شده است با امید به آنکه برای علاقه‌مندان مفید واقع شود.

فصل اول

مبانی ترمودینامیک و تحلیل سیستم‌ها

هدف کلی

هدف از این فصل آشنایی با مبانی ترمودینامیک و قوانین ترمودینامیکی حاکم بر سیستم‌های مختلف است.

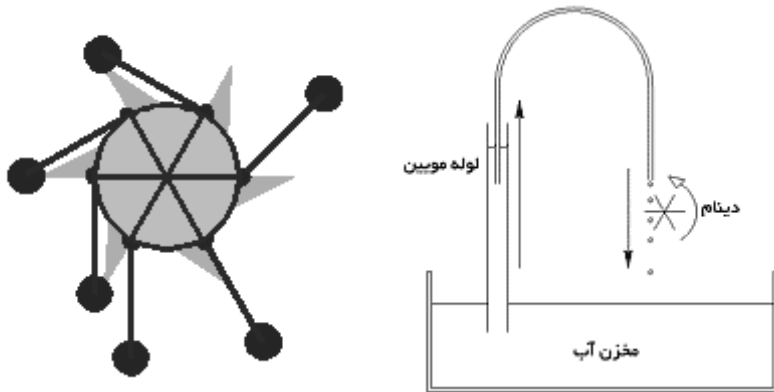
هدف‌های یادگیری

- دانشجو در این فصل با موارد زیر آشنا می‌شود:
۱. مفاهیم دما، گرما، کار و ارتباط میان آنها
 ۲. انواع فرایندهای ترمودینامیکی و روابط مربوطه
 ۳. انواع مکانیسم‌های انتقال حرارت و تحلیل ترمودینامیکی این سیستم‌ها
 ۴. آشنایی با نظریه جنبشی گازها، گازهای کامل و روابط مربوط به گازها

۱-۱ تعاریف

پیشینه ترمودینامیک. مطالعه ترمودینامیک را مهندسين قرن نوزدهم آغاز کردند؛ آنها می‌خواستند بدانند قوانین فیزیک چه محدودیت‌هایی بر عملکرد ماشین‌های بخار و سایر ماشین‌های تولیدکننده انرژی مکانیکی تحمیل می‌کنند. ترمودینامیک درباره تبدیل یک شکل انرژی به شکلی دیگر، به‌ویژه تبدیل گرما به سایر شکل‌های انرژی بحث می‌کند. این کار با مطالعه روابط بین پارامترهای صرفاً ماکروسکوپی صورت می‌گیرد که رفتار سیستم‌های فیزیکی را توصیف می‌کنند. این‌گونه توصیف ماکروسکوپی (و در

مقیاس بزرگ)، لزوماً تا حدی خام است، چراکه همه جزئیات کوچک‌مقیاس و میکروسکوپی را نادیده می‌گیرد؛ اما در کاربردهای عملی، این جزئیات اغلب مهم نیستند. برای مثال، مهندسی که رفتارهای گازهای حاصل از احتراق را در سیلندر یک موتور اتومبیل بررسی می‌کند می‌تواند با کمیت‌های ماکروسکوپی همچون دما، فشار، چگالی و ظرفیت حرارتی کار خود را پیش ببرد. موتور درونسوز برای تبدیل یک نوع انرژی به نوعی دیگر ساخته شده است. درواقع دانشمندان به دنبال یافتن پاسخ این پرسش بودند که آیا می‌توان ماشینی ساخت که به‌طور دائمی کار مکانیکی انجام دهد. آن‌ها مدت‌ها بر روی این موضوع تحقیق کردند و تعدادی از محققین نیز طرح‌هایی برای این کار پیشنهاد کردند. این طرح‌ها محدودیت‌های قوانین ترمودینامیک را رعایت نمی‌کردند. در این طرح‌ها بدون انجام دادن کار انرژی گرفته می‌شد. هدف این بود که ابزار ساخته شده بدون مصرف هیچ‌گونه سوخت یا هرگونه انرژی ورودی دیگر، کار خروجی بی‌پایانی را تأمین کند. مثلاً در یک طرح پیشنهادی (شکل ۱-۱. سمت راست) میله‌های کوتاه لولاشده که به میخ‌ها تکیه داشتند، وزنه‌ها را به چرخ متصل می‌کنند.



شکل ۱-۱. ماشین‌های خیالی کار بی‌پایان

وقتی میله‌ها در وضعیت نشان داده شده هستند، عدم توازن در توزیع وزن وجود دارد که موجب ایجاد یک گشتاور ساعت‌گرد خواهد شد که چرخ را در جهت نشان داده شده می‌چرخاند. طراح می‌پنداشت این گشتاور همیشگی است و نه تنها چرخش چرخ را حفظ می‌کند، بلکه به‌طور دائمی به محور آن انرژی می‌دهد؛ اما آنچه در عمل

اتفاق می‌افتد این است که پس از یک دور چرخیدن، جرم‌ها در یک وضعیت متعادل باقی می‌مانند و حرکت متوقف می‌شود. در این راه کوشش‌های فراوانی صورت گرفت، اما هیچ‌کدام عملی نبود.

نمونه دیگر که در شکل ۱-۱ نشان داده شده است بر این اساس کار می‌کرده که با عبور جریان آب از روی یک پره متصل به یک ژنراتور کوچک می‌توان مقداری انرژی الکتریکی تولید کرد و سپس آب خروجی را در داخل یک مخزن جمع کرد و با استفاده از لوله‌های نازک و بهره‌گیری از خاصیت موینگی؛ آب داخل مخزن را دوباره به بالای پره‌های متصل به ژنراتور انتقال داد.

اما یافته‌های حاصل از آزمایشان نشان داد که ساختن چنین ماشین‌هایی غیرممکن است. قانون اول ترمودینامیک نیز چیزی نیست، مگر بیان همین بقای انرژی.

اگر تنها راه تغییر دادن انرژی یک دستگاه، انجام دادن کار روی دستگاه و یا واداشتن دستگاه به انجام کار بود، مسئله ساده بود. هر کاری که روی دستگاه انجام می‌دادیم در نهایت به صورت انرژی مکانیکی پس گرفته می‌شد. دادن گرما به دستگاه هم سبب بالا رفتن دمای آن می‌شود و وقتی جسم به دمای اولیه‌اش بازمی‌گشت، گرمایی را که قبلاً گرفته بود عیناً پس می‌داد. به این ترتیب می‌شد از نوعی انرژی مکانیکی داخلی دستگاه سخن گفت که عبارت بود از جمع جبری کار انجام یافته به وسیله دستگاه و کار انجام شده روی آن؛ در کنار آن دستگاه دارای یک محتوای گرمایی بود که از جمع جبری گرمای داده شده به دستگاه و گرمای گرفته شده از آن محاسبه می‌گردید.

اما آزمایش ژول نشان داد که این تئوری نادرست است. دمای یک جسم را می‌شد با انجام دادن کار روی آن تغییر داد؛ یک جسم می‌توانست گرما بگیرد (مثلاً ماشین بخار) و کار مکانیکی انجام دهد. به این ترتیب معلوم شد که نمی‌توان از گرمایی که در مقدار معینی ماده وجود دارد و یا از انرژی مکانیکی آن به صورت جدا از هم سخن گفت. جسم فقط دارای یک مخزن انرژی است که آن را «انرژی داخلی» می‌نامیم.

هم کار مکانیکی و هم گرما در این مخزن سهیم‌اند؛ برداشت انرژی از این مخزن می‌تواند به صورت کار مکانیکی و یا گرما باشد. این، قانون اول ترمودینامیک است:

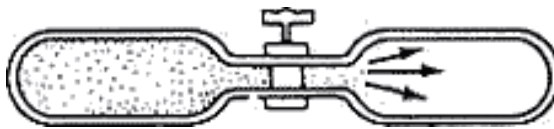
«هرگاه فرایندی را که با گرما و کار سروکار دارد به کارگیریم تا دستگاهی را از یک حالت آغازین به یک حالت جدید برسانیم، تغییر انرژی درونی سیستم مقدار ثابتی دارد که مستقل از جزئیات فرایند است.»

یا به بیان دیگر «اگر به سیستمی گرما داده شود و یا از آن گرما گرفته شود، انرژی درونی سیستم تغییر خواهد کرد که حاصل آن کار انجام شده توسط سیستم و یا کار مورد نیاز سیستم برای تغییر انرژی درونی خواهد بود» لذا بنا بر همین تعریف است که قانون اول ترمودینامیک را قانون بقای کار و انرژی می گویند.

به عبارت دیگر تغییرات انرژی درونی برابر مجموع کار انجام شده بر روی سیستم و گرمای داده شده به آن است. به بیان ریاضی اگر تغییرات انرژی درونی را با Δu ، کار انجام شده بر روی سیستم را با w و گرمای داده شده به آن را با Q نشان دهیم، خواهیم داشت:

$$\Delta u = Q + W \quad (1-1)$$

البته مقدار کار یا میزان گرما به جزئیات و مسیر فرایند وابسته اند. قانون اول به ما اجازه می دهد که مقدار مجهول گرما یا کار لازم برای یک فرایند را با استفاده از مقدار گرما و کار لازم برای فرایندی متفاوت که سیستم را از همان حالت آغازین به حالت نهایی مشابه می رساند، محاسبه کنیم. همچنین گاه به کمک آن می توانیم نتایج کیفی عمومی چندی درباره رفتار یک سیستم به دست آوریم. یک بطری را که از نظر حرارتی عایق بندی شده با گاز ایدئال (که توضیح آن در ادامه فصل خواهد آمد) در دمایی مانند T_1 بردارید، به وسیله یک لوله که شیری دارد، آن را به بطری عایق بندی شده دیگری که خلأ شده است متصل کنید. (شکل ۱-۲) اگر ناگهان شیر را باز کنید، گاز از بطری اول به درون دومی خواهد شتافت تا فشارها برابر شوند. به طور تجربی، دریافته ایم که این فرایند انبساط آزاد، دمای گاز را تغییر نمی دهد- هنگامی که گاز به تعادل دست می یابد و از شارش باز می ایستد، دمای نهایی هر دو بطری برابر با دمای آغازین (T_1) است.



شکل ۱-۲. شارش گاز از بطری پر به خالی

چه چیزی می توانیم از این مشاهده تجربی استنتاج کنیم؟ از آنجاکه بطری ها از نظر حرارتی از محیط پیرامونشان عایق بندی شده اند، فرایند انبساط نه گرمایی به گاز

می‌افزاید و نه از آن می‌گیرد؛ یعنی $Q = 0$ است. افزون بر این، فرایند انبساط متضمن کاری نیست (به‌استثنا مقدار ناچیزی که برای چرخاندن شیر لازم است)، یعنی $W = 0$ است. در نتیجه قانون اول به ما می‌گوید که انرژی گاز تغییر نمی‌کند. این نشان می‌دهد که تغییر حجم بر انرژی اثر نمی‌گذارد؛ یعنی، انرژی درونی گاز ایدئال تابعی از حجم آن نیست. بنابر قانون اول، فرض شده‌است انرژی گاز تابعی از پارامترهای ماکروسکوپی p ، V و T است. از آنجاکه قانون گاز ایدئال به ما اجازه می‌دهد که p را برحسب V و T بیان کنیم، انرژی را می‌توان به‌صورت تابعی از دو متغیر V و T انگاشت. ولی مطالب بالا نشان می‌دهد که تغییر حجم بر انرژی بی‌اثر است؛ در نتیجه:

«انرژی درونی گاز ایدئال تابعی از دمای آن است و بس.»

نتایج ترمودینامیک فقط برای حالت‌های تعادلی سیستم به‌کار می‌رود، یعنی آن حالت‌های ایستایی که در سیستم؛ انتقال جرم، انتقال حرارت و همه واکنش‌های شیمیایی و دیگر واکنش‌ها به پایان می‌رسند و سیستم آرام می‌گیرد. برای گاز درون دو بطری که در شکل نشان داده‌شده، حالت آغازین (گاز در یک بطری محدودشده و شیر بسته است) یک حالت تعادل است و حالت نهایی (گاز به‌طور یکنواخت در هر دو بطری توزیع شده) نیز یک حالت تعادل است؛ اما حالت میانی، هنگامی که بلافاصله پس از اینکه شیر را باز می‌کنیم و گاز از بطری پر به درون بطری خالی هجوم می‌برد، یک حالت تعادل نیست؛ بنابراین مجبوریم در این مورد (و نیز در سایر مسائل ترمودینامیک) محاسبات را به تغییرات کند و گام‌به‌گام (شبه ایستا و نزدیک به حالت تعادل) محدود کنیم تا فرمول‌ها در حین تغییر نیز صادق باشند. ممکن است چنین محدودیتی دست‌وپا گیر به‌نظر برسد، اما در عمل آن‌قدر هم که تصور می‌شود دردسرساز نیست.

گاز کامل (ایدئال). گازی است که بین مولکول‌های آن جاذبه‌ای وجود ندارد. مولکول‌های چنین گازی کاملاً از هم جدا بوده و از نیروی جاذبه یکدیگر مستقل هستند؛ بنابراین انرژی منتقل شده به یک گاز ایدئال هیچ تأثیری روی انرژی پتانسیل آن نخواهد داشت.

مفهوم گاز کامل یا ایدئال، حل بسیاری از مسائلی را که با تغییر شرایط گاز مرتبط هستند ساده می‌کند؛ مانند بسیاری از مسائل پیچیده مکانیک با فرض عدم وجود اصطکاک، ساده‌شده و تأثیر اصطکاک، جداگانه منظور می‌شود. کار یک گاز ایدئال نیز

مثل یک سطح بدون اصطکاک است و فرض می شود گاز ایدئال، شرایط خود را بدون اصطکاک داخلی یعنی بدون انجام کار خارجی برای غلبه بر نیروهای بین مولکولی، تغییر دهد.

تصور اصطکاک داخلی چندان مشکل نیست. مایعی مثل روغن به دلیل اصطکاک داخلی ناشی از جاذبه بین مولکولی قوی، به راحتی جریان نمی یابد ولی هنگامی که گرم شود و مولکول ها انرژی اضافی ذخیره نمایند، نیروی جاذبه بین مولکولی تا اندازه ای از بین می رود، اصطکاک داخلی کاهش یافته و مایع به آسانی جریان می یابد. بدیهی است تبخیر سیال موجب زیاد شدن فاصله مولکول ها و کاهش اصطکاک داخلی می شود. ولی هنوز هم بین مولکول ها مقدار زیادی جاذبه وجود دارد. در حالت گازی هنگامی که گاز به فاز مایع نزدیک تر است، نیروی بین مولکولی زیاد است ولی با گرم شدن گاز و افزایش دمای آن تا دمای اشباع، این نیرو به سرعت کاهش می یابد. یک گاز هنگامی به حالت ایدئال می رسد که نیروهای بین مولکولی و اصطکاک داخلی قابل صرف نظر کردن باشند؛ بنابراین در عمل چیزی به نام گاز ایدئال یا کامل وجود نخواهد داشت. گازهایی مثل هوا، نیتروژن، هیدروژن و هلیوم چنان به شرایط ایدئال نزدیک هستند که خطای ناشی از ایدئال در نظر گرفتن آن ها، اغلب قابل اغماض است.

ویژگی های گاز کامل عبارت اند از:

- بین ذرات آن نیرویی وجود نداشته باشد و تنها برهم کنش بین ذرات، برخورد صلب باشد.
- سیستم فاقد انرژی پتانسیل است و مولکول ها فقط انرژی جنبشی دارند.
- انرژی درونی گاز کامل با دمای مطلق آن (برحسب کلوین) متناسب است.
- معادله حالت گاز کامل شکل ساده ای دارد و مستقل از نوع گاز است.

قانون دوم ترمودینامیک. در قسمت بالا مشخص شد که می توان انرژی درونی یک جسم را به صورت گرما یا انرژی مکانیکی استخراج کرد. دانشمندان درصدد بودند که ماشینی بسازند که بتواند با دریافت انرژی کمتر، کار (یا گرمای) بیشتری تحویل دهد. اگر بتوان تمام انرژی درونی یک جسم را به کار تبدیل کرد تا حد زیادی به این هدف نزدیک می شویم. می خواهیم ماشینی بسازیم که قادر باشد پس از انجام مقدار معینی کار به نقطه ابتدایی خود بازگردد؛ در این صورت این ماشین می تواند به طور دائمی کار تولید کند. این فرایند را یک «چرخه» می نامند. حال اگر منبع انرژی این