

# روش‌های نوآورانه در تدریس ترمودینامیک

Y.A. Çengel

ترجمه گلناز زارعی

**چکیده:** ترمودینامیک دانشی پایه‌ای است که مدت‌های طولانی یکی از مهمترین دروس تحصیلی مهندسی در سراسر دنیا بوده است. اصول ترمودینامیک بر اساس تجربه‌ها و مشاهدات هر روزه ما بنا شده است و یک ذهن هوشیار نباید هیچ مشکلی در فهم آن داشته باشد. با این حال، اغلب ترمودینامیک موضوع دشواری تصور می‌شود و بسیاری از دانشجویان از تجربه کردن آن، به علت مشکل در درک ارتباط آن با دنیای واقعی، می‌ترسند و این درس را با فهمی سطحی از موضوع رها می‌کنند. در این مقاله روش‌هایی ارائه می‌شود که باعث می‌شود تجربه آموزش ترمودینامیک دانشجویان مطلوب‌تر و پربارتر باشد و با ارتباط دادن موضوع با کاربردها و تجربه‌های دنیای واقعی، این درس را در مطابقت بیشتری با معیار ABET 2000 قرار می‌دهد.

**واژه‌های کلیدی:** اصول ترمودینامیک، یادگیری، ترکیب سیستم‌های ترمودینامیکی، راندمان قانون دوم ترمودینامیک در زندگی روزانه، استفاده از اینترنت و نرم‌افزار.

## ۱. مقدمه

به‌طور کلی، هدف از ارائه درس ترمودینامیک مقدماتی عبارت است از: آشنا کردن دانشجویان با اصول اساسی ترمودینامیک، ایجاد حس تمرین مهندسی در دانشجویان با در اختیار قراردادن انواع متنوعی از کاربردهای مهندسی دنیای واقعی و به‌دست آوردن درک صحیح از موضوع مورد نظر.

تحقیقات در زمینه یادگیری نشان می‌دهد که یادگیری علمی پیچیده است که تنها با دانستن حقایق توسط دانشجویان کامل نمی‌شود، بلکه آنها باید قادر باشند الگوهایی از واقعیت را به هم ارتباط دهند.

به‌نظر محققان ادراک؛ یعنی اینکه "ذهن داده‌ها را تفسیر و مجدداً تفسیر کند و برای خودش تصاویر و سیستم‌های دسته‌بندی ایجاد نماید. برای نگهداری و پردازش اطلاعات، انسان‌ها طرح‌ها یا ساختارهای ارتباطی ایجاد می‌کنند که اطلاعات جدید را به آنچه در شبکه اطلاعات مربوط وجود داشته است، پیوند می‌دهد. واقعیت‌ها مهم‌اند. تجربه مهم است، اما چیزی که از همه مهمتر است ظرفیت ارتباط دادن الگوهای واقعیت و تجربه‌ها با یکدیگر است [۱]. تجربه خود ما ثابت می‌کند که درس دادن و یادگیری موضوعات انتزاعی<sup>۱</sup> دشوار است و معیار ABET 2000 نیز بر اهمیت نشان دادن کاربردهای موضوعات مهندسی که در کلاس تدریس می‌شوند، در دنیای واقعی تأکید می‌کند. یک روش ابداعی برای تدریس مفاهیم خشک ریاضی‌گرفته‌زدن آنها با فیزیک و همچنین، معرفی آنها هنگام نیاز و در نتیجه، یادگیری به موقع آنهاست.

تدریس مؤثر ترمودینامیک نیازمند استفاده وسیع از ارتباط دادن و موازی‌سازی بین موضوع درس و تجربه‌های روزمره دانشجویان است، طوری که آنان بتوانند موضوع را به دانسته‌های قبلی خود ربط دهند و اطلاعات جدید را به شبکه اطلاعات موجود پیوند دهند. این امر نه تنها شامل ارتباط دادن مفاهیم ترمودینامیکی با کاربردهای تکنیکی آنهاست، بلکه به مقتضیات اجتماعی معمول نیز ارتباط می‌یابد. برای مثال، عبارت "شخص کارآمد" را می‌توان به عنوان یک شروع عالی در معرفی عنوان راندمان ترمودینامیکی به کار برد. عبارت

"سطح توقع بالاتر، رضایت کمتر" را می‌توان با مباحث نقطه مرجع و نقش نقطه مرجع در تعیین مقادیر خصوصیات<sup>۱</sup> ارتباط داد. از تشابهات نیز می‌توان به صورت مؤثری برای مرتبط ساختن مفاهیم ترمودینامیکی و مفاهیم آشنا استفاده کرد. در این مقاله، روش‌های متعددی را که می‌توانند به فهم بهتر ترمودینامیک کمک کنند، مورد بحث قرار می‌دهیم.

## ۲. تأکید بر اصول

یادگیری اصول ترمودینامیک توسط دانشجویان را می‌توان با استفاده از روش "فیزیکی" یا "ادراکی" به جای روش "بر اساس فرمول" یا "مکانیکی" تقویت کرد. این روش که بر اساس چهار رابطه اساسی فیزیکی اعمال شده به سیستم است و در ادامه ذکر خواهد شد، دانشجویان را در تمام مدت با ریشه‌های فیزیکی مسئله در ارتباط نگه خواهد داشت [۲ و ۴]:

انتقال جرم = تغییر در جرم : توازن جرم

$$m_{in} - m_{out} = \Delta m_{system}$$

انتقال انرژی = تغییر در انرژی : توازن انرژی

$$E_{in} - E_{out} = \Delta E_{system}$$

تولید انتروپی + انتقال انتروپی = تغییر انتروپی : توازن انتروپی

$$\Delta S_{system} = S_{transfer} + S_{gen}$$

تخریب انتروپی + انتقال انتروپی = تغییر انتروپی : توازن انتروپی

$$\Delta X_{system} = X_{transfer} - X_{destroyed}$$

در رابطه بالا  $E_{in} - E_{out}$  معرف انتقال انرژی خالص توسط گرما، کار و جرم و  $\Delta E_{system}$  نشان‌دهنده تغییر در انرژی‌های درونی جنبشی و پتانسیل و غیره است.

$$S_{in} - S_{out} + S_{gen} = \Delta S_{system}$$

در رابطه مذکور  $S_{in} - S_{out}$  معرف انتقال انتروپی خالص توسط گرما و جرم،  $S_{gen}$  بیانگر تولید انتروپی و  $\Delta S_{system}$  تغییر در انتروپی است.

$$X_{in} - X_{out} - X_{destroyed} = \Delta X_{system}$$

در مقایسه با موارد مذکور تشابهی برای چک کردن حساب در بانک نیز وجود دارد [پول یک کمیت دارای بقا<sup>۱</sup> است]:

تغییر در توازن حساب = برداشت - پس انداز

یادآوری این روابط معنادار فیزیکی برای بالانس جرم، انرژی، انترپی و انگرژی آسان است و به هر سیستمی تحت هر فرایندی قابل اعمال هستند. با توجه به این امر، آنها را می‌توان به عنوان نقطه شروع برای هر نوع مسئله ترمودینامیکی به کار برد. این روابط، به صورت ذکر شده، بیان‌کننده عبارات قوی و با معنای فیزیکی در مورد این اصول ترمودینامیک هستند که جرم و انرژی بقا دارند، انترپی تولید می‌شود و انگرژی در طول یک فرایند از بین می‌رود، که در این میان  $X_{\text{destroyed}}=0, S_{\text{gen}}=0$  برای فرایندهای بازگشت پذیر را نیابد از یاد برد. این عبارات آن قدر کوتاه هستند که می‌توان از آنها به عنوان فرمول استفاده کرد. همچنین، از این روابط می‌توان به جای روابط متعدد و پیچیده قانون اول و دوم استفاده کرد، به شرط اینکه مکانیزم‌های انتقال جرم، انرژی، انترپی و انگرژی به خوبی درک شوند و به دقت مورد مطالعه قرار بگیرند.

اصول پایه‌ای ترمودینامیک را با این روش شهودی و متحدالشکل می‌توان سریع تر و بهتر تدریس کرد. این روش همچنین، درکی عمیق و پایدار از ترمودینامیک را در دانشجویان ایجاد می‌کند. این روش به خصوص در طی مراحل اولیه مطالعه انرژی، انترپی و انگرژی برای اثبات استدلال فیزیکی فرمول‌ها و کمک به دانشجویان در به دست آوردن یک حس فیزیکی مناسب است. با افزایش سطح آگاهی و معلومات و قوه استدلال دانشجویان، این روش در نهایت به روش آسان و متداول استفاده از فرمول منتهی خواهد شد.

انتقال انرژی، انترپی و انگرژی مربوط به انتقال حرارت Q از مرز فرضی با دمای T به صورت زیر بیان می‌شوند:

$$E_{\text{heat}} = Q \quad \text{انتقال انرژی با گرما}$$

$$S_{\text{heat}} = \frac{Q}{T} \quad \text{انتقال انترپی با گرما}$$

$$X_{\text{heat}} = \left(1 - \frac{T_0}{T}\right)Q$$

که  $T_0$  دمای محیط است. انتقال انرژی معادل مقدار کار انجام شده توسط یک موتور گرمایی کارنو است که بین دو محدوده دمایی  $T$  و  $T_0$  عمل و مقدار گرمای  $Q$  را دریافت می‌کند.  $\frac{Q}{T}$  نشان‌دهنده انتقال انرژی همراه انتقال انرژی گرمایی است. انتقال انرژی، انرژی و انرژی مربوط به انتقال کار  $W$  به صورت زیر توصیف می‌شوند:

$$E_{\text{work}} = W$$

$$S_{\text{work}} = 0$$

[شکل‌های دیگر کار  $W$  و (کار مرزی)  $M_{\text{surr}}$  و  $W_b$ ] انتقال انرژی با کار

انتقال انرژی، انرژی و انرژی مربوط به انتقال جرم بر واحد جرم ( $m=1$ ) به صورت زیر بیان می‌شود:

$$E_{\text{mass}} = h + K_e + P_e$$

$$S_{\text{mass}} = s$$

$$X_{\text{mass}} = (h - T_0 s) + K_e + P_e$$

که در آن  $h$ ،  $K_e$  و  $P_e$  انتالپی، انرژی جنبشی و انرژی پتانسیل جرم منتقل شده بر واحد جرم هستند. تغییر در محتوای انرژی، انرژی و انرژی با کار زیر بیان می‌شوند:

$$\Delta E = E_2 - E_1$$

$$\Delta S = S_2 - S_1$$

$$\Delta X = X_2 - X_1$$

که ۱ و ۲ به ترتیب نشان‌دهنده حالت‌های اولیه و نهایی سیستم هستند. هنگامی که دیدگاهی همانند بالا به وجود آمد، می‌توان جزئیات را به صورت جداگانه بررسی و راه‌حل مناسبی ارائه کرد.

### ۳. اثبات مفاهیم با مثال‌های ساده

هدف مثال‌ها کمک کردن به درک مفاهیم پایه است و بنابراین، آسان بودن فهم خود مثال یا حداقل مثال‌های اولیه مهم است و دانشجویان باید بتوانند با آنها ارتباط برقرار کنند. آشنا بودن ظاهر مفاهیم جدید کمک شایانی به درک موضوع می‌کند. اگر مثال‌ها خودشان از یک قلمرو بیگانه و ناآشنا باشند، تلاش دانشجویان بیشتر صرف فهم ظاهر مثال می‌شود تا درک مفهوم جدید. یک روش بسیار مؤثر تدریس، ارائه مثال‌هایی است که دانشجویان با آنها آشنایی زیادی دارند، در حالی که مفهوم جدید در لابه‌لای مثال‌های موجود بوده است. برای مثال، دانشجویان با گرم شدن سریع یک قوطی نوشیدنی پس از درآمدن از یخچال بسیار آشنا هستند و از این مثال می‌توان برای نمایش مفهوم انتقال گرما، گرمای ویژه و قانون اول ترمودینامیک استفاده کرد.

#### ۳.۱. سؤالات مربوط به اقتصاد، محیط و ایمنی

دانشجویان معمولاً تمایل دارند که نتیجه عددی صحیح یک مسئله را به دست آورند و به حساسیت‌های هزینه‌ای، ایمنی، جنبه‌های محیطی و همچنین، اجتماعی توجه کمی نشان می‌دهند. مسائل نمونه حل شده در کلاس فرصت خوبی را برای گسترش بحث و شامل شدن مباحث هزینه، ایمنی و آلودگی و نیز اخلاقیات به وجود می‌آورند که این امر آگاهی دانشجویان را در این جنبه‌های مهندسی افزایش می‌دهد.

#### مثال ۱. هزینه خنک کردن یک قوطی نوشیدنی

می‌خواهیم یک بسته ۶ تایی قوطی نوشیدنی را از دمای  $25^{\circ}\text{C}$  تا دمای  $3^{\circ}\text{C}$  سرد کنیم. جرم هر قوطی نوشیدنی  $355\text{kg}/\text{L}$  است. می‌توان نوشیدنی‌ها را آب در نظر گرفت و انرژی ذخیره شده در قوطی آلومینیومی نیز قابل صرف نظر است. مقدار انتقال حرارت از ۶ قوطی نوشیدنی را تعیین کنید. یخچال مورد استفاده دارای COP برابر  $1/5$  و قیمت برق ۸ سنت بر کیلووات ساعت است.

حل: مقدار انتقال حرارت از بالانس انرژی به دست می‌آید:

$$Q = \Delta E = mc\Delta T = 196\text{kJ}$$

انرژی الکتریکی مصرف شده و قیمت آن برابر است با:

$$W_e = \frac{Q}{C_{op}} = \frac{196}{1/5} = 980 \text{ KJ} = 0.272 \text{ Kwh}$$

سنت  $= (0.272 \text{ Kwh}) (\text{cent/hour}) = 3 \text{ سنت}$

بنابراین، هزینه انرژی خنک کردن یک قوطی نوشیدنی کسر کوچکی از یک سنت است که در مقایسه با قیمت فروش نمونه آن قابل صرف نظر است.

#### ۴. ارتباط دادن با تجربه‌های زندگی روزانه

اغلب مردم یک فهم پایه‌ای از انرژی و بقای انرژی دارند، چون کمتر جنبه‌ای از زندگی وجود دارد که شامل انتقال انرژی یا تبدیل آن در اشکال مختلف نباشد. برای مثال، تمام کسانی که رژیم غذایی دارند، روش زندگی‌شان را بر اساس اصل بقای انرژی قرار می‌دهند، اما در مورد قانون دوم ترمودینامیک این آگاهی عمومی وجود ندارد و این باعث می‌شود که تعداد زیادی از دانشجویان به قانون دوم به عنوان چیزی فقط از جنبه تئوری و نه یک ابزار مهم و کاربردی مهندسی نگاه کنند. این احساس را می‌توان با نشان دادن ارتباط مفاهیم قانون دوم مثل اتروپی و انگرژی، کار بازگشت پذیر، تخریب انگرژی و راندمان قانون دوم، با جنبه‌های مختلف زندگی روزانه تغییر داد. این کار باعث بیشتر شدن درک و قدرشناسی از قانون دوم و تشویق دانشجویان به استفاده بیشتر قانون دوم در موارد تکنیکی و حتی غیر تکنیکی می‌شود. بسیاری از وقایع معمولی که بدون توجه از کنار آنها می‌گذریم، می‌توانند به عنوان وسایلی عالی برای انتقال مباحث مهم ترمودینامیک به کار روند. در نهایت، می‌توان ارتباط دادن را به عنوان یک تکنیک یادگیری قوی و مؤثر دانست که ارزش آن را دارد که موضوعات مورد نظرمان را با پلهایی به تجربه‌های روزمره دانشجویان ارتباط دهد. این کار به دانشجویان کمک می‌کند که درکی حسی و شهودی از موضوع به دست آورند. یک فهم خوب از مفاهیم قانون دوم همچنین، به دانشجویان کمک می‌کند وقایع اجتماعی را نیز با قرینه‌یابی بهتر تجزیه و تحلیل کنند.

در زندگی روزانه، انگرژی را می‌توان به صورت فرصت‌هایی که داریم و تخریب انگرژی را می‌توان به صورت فرصت‌های از دست رفته در نظر گرفت. انگرژی یک شخص در زندگی روزانه را می‌توان به صورت بهترین شغلی که آن شخص تحت شرایط خاص

می‌تواند داشته باشد، در نظر گرفت. اختلاف بین انگرژی یک شخص و عملکرد او تحت آن شرایط خاص را می‌توان به عنوان بازگشت‌ناپذیری یا تخریب انگرژی در نظر گرفت. به همین صورت نیز انگرژی یک گروه از اشخاص یا یک کشور را می‌توان به صورت پتانسیل آنها برای تولید تحت شرایط خاص در نظر گرفت.

پایه و اساس علوم اجتماعی و طبیعی بر مشاهدات بنا شده است و می‌توان گفت که اصول علوم اجتماعی و طبیعی فرمولاسیون‌هایی از پدیده‌های مشاهده نشده هستند. علوم فیزیکی با دنیای فیزیکی اطراف ما سر و کار دارند و بر اساس قوانین و اصول فیزیکی بنا شده‌اند. علوم اجتماعی و علوم انسانی با مردم و رفتار متوسط گروه‌های مردم سر و کار دارند و تحت سیطره اصول اجتماعی هستند که در این میان تشابه ابزاری قدرتمند است و می‌توان از آن به صورت مؤثر بین علوم فیزیکی و اجتماعی استفاده کرد.

همانندی‌های بسیاری را می‌توان بین مفاهیم ترمودینامیکی [یا مفاهیم علمی دیگر] و زندگی روزانه پیدا کرد. ارتباط دادن مفاهیم علمی با مفاهیم معمولی مورد استفاده در زندگی روزانه هم برای مهندسان و هم برای دانشمندان علوم اجتماعی سودمند است. این کار به مهندسان و دانشمندان کمک می‌کند تا تصویر واضح‌تری از آن مفاهیم داشته باشند و آنها را بهتر درک کنند. این امر دانشمندان علوم اجتماعی را قادر می‌سازد که از این مفاهیم برای تشریح و دسته‌بندی پدیده‌های اجتماعی، فلسفی یا روان‌شناسی به صورت بهتر و با دقت بیشتری استفاده کنند و این امر مانند ریاضیات و علوم است که در تکمیل یکدیگر به کار می‌روند؛ مفاهیم خشک ریاضی هنگامی به بهترین صورت درک می‌شوند که مثال‌هایی از علوم آورده شوند و پدیده‌های علمی نیز با استفاده از ریاضیات بهتر تشریح و فرموله می‌شوند.

## مثال ۲. کوچک شدن در حین بزرگ شدن

مخلوط شدن عموماً فرایندی بازگشت‌ناپذیر است و مقداری انرژی اتروپی تولید می‌کند و بنابراین، در طی چنین فرایندی انگرژی تخریب می‌شود. بنابراین، ترکیب کردن دو سیستم در حالت‌های متفاوت به صورت ترمودینامیکی ممکن است سیستمی به وجود آورد که اندازه بزرگتری دارد، اما محتوای انگرژی یا "مفیدی" آن بسیار کوچکتر است. با امتحان اثر



اختلاط روی تخریب انرژی می‌توان نشان داد که بزرگتر شدن لزوماً به معنای بهتر شدن نیست و می‌توان نتیجه گرفت که باید از مخلوط شدن جلوگیری کرد، مگر اینکه سیستم‌های ترکیب شونده در حالت‌های تقریباً یکسانی باشند. از این پدیده می‌توان برای آزمایش ادغام و انشعاب خانواده‌ها، شرکت‌ها و حتی ایالات استفاده کرد.

دو جریان بخار راکه در شکل ۱ نشان داده شده است، در نظر بگیرید. می‌توان نشان داد که نرخ جریان انرژی هر دو جریان  $1397 \text{ kW}$  است [۵ و ۶]. حالا مخلوط شدن این دو جریان به صورت آدیاباتیک را در نظر بگیرید. پتانسیل کار مخلوط با دبی  $\frac{\text{kg}}{\text{s}}$  عبارت است از  $W_{\text{mixed}} = 1218 \text{ kW}$  که  $179 \text{ kW}$  (یا  $12/8\%$ ) کمتر از  $1397 \text{ kW}$  است. بنابراین،  $179 \text{ kW}$  از کل پتانسیل کار در نتیجه اختلاط بازگشت ناپذیر تلف شده است. از نظر ترمودینامیکی در این حالت، مخلوط شدن کاملاً نامناسب است. حال اگر دمای جریان دوم نیز  $600^\circ \text{C}$  بود، طوری که هر دو جریان مشابه هم بودند، کل پتانسیل کار عبارت بود از:  $1309 + 1309 = 2618 \text{ kW}$ . هم قبل و هم بعد از اختلاط، همچنان که در شکل ۲ نشان داده شده است؛ یعنی هنگامی که دو جریان مشابه مخلوط می‌شوند، هیچ پتانسیل کاری تلف نمی‌شود و مخلوط دو برابر پتانسیل کاری هر کدام از جریان‌ها را داراست. مثال‌های بیشتری در مرجع [۵] داده شده‌اند. این مثال‌ها نشان می‌دهند که یکی کردن یا ترکیب سیستم‌ها برای تشکیل سیستم‌های بزرگتر و قوی‌تر فقط در صورتی خوب است که سیستم‌ها در واحد جدید و بزرگتر با هم هماهنگی داشته باشند که نتیجه آن تخریب انرژی کم یا صفر است. این امر فقط در صورتی اتفاق می‌افتد که سیستم ترکیب شده بتواند مانند یک سیستم مجرد همگن عمل کند. مثال‌ها ثابت می‌کنند که بزرگتر شدن از نظر اندازه لزوماً به معنای بهتر شدن نیست [و ممکن است خیلی بدتر شود] و گاهی اوقات تجزیه بخش‌های کوچکتر ممکن است سودمندی و راندمان را بیشتر کند. با مطابق قراردادن انرژی با اندازه (بزرگی) و انرژی با معیار شایستگی، بحث را از تحلیل ترمودینامیکی به موارد دیگر گسترش می‌دهیم.

ترکیب سیستم‌های ترمودینامیکی که شبیه یا تقریباً مشابه هستند، منجر به تولید یک سیستم بزرگتر با محتوای انرژی بزرگتر می‌شود. به همین ترتیب، یکی کردن چیزهای یکسان منجر به تشکیل یک واحد بزرگتر می‌شود که معیار شایستگی بسیار بزرگتری دارد. بنابراین، ترکیب چیزهای مشابه تحت یک قانون، یک واحد مؤثر و بسیار قوی تولید خواهد

کرد. مقادیر با اختلاف اندک تقریباً افزودنی هستند و اتحاد چنین مقادیری تقریباً به قدرت واحد شدن چیزهای مشابه است.

ترکیب دو سیستم ترمودینامیکی که در حالت‌های متفاوت هستند، منجر به تولید سیستمی می‌شود که اندازه بزرگتری دارد، در حالی که دارای محتوای انرژی اگزرژی کوچکتري است. برای جلوگیری از اتلاف پتانسیل کار، چنین سیستم‌هایی باید به صورت جداگانه عمل کنند.

به همین ترتیب، ترکیب چیزهای بسیار متفاوت به یک واحد مجرد بزرگتر، اما با معیار شایستگی بسیار کوچکتر منجر می‌شود. با توجه به این امر، نباید چیزهای نامتشابه را به جمع شدن و اتحاد تحت یک قانون مجبور کرد. در عوض، باید به آنها اجازه داد که به صورت جداگانه وجود داشته باشند و خروجی‌های آنها باید طوری با هم ترکیب شوند که یکدیگر را تقویت کنند، نه تضعیف. ترکیب سیستم‌ها برای تشکیل یک سیستم منفرد بزرگتر و قوی‌تر تنها در صورتی خوب است که هر سیستم در واحد بزرگتر جدید به صورت هماهنگ عمل کند و بنابراین، اتلاف معیار شایستگی کم یا اصلاً موجود نباشد.

هرچه اختلاف بین خصوصیات سیستم‌های ترمودینامیکی بیشتر باشد، اتلاف انرژی نیز بیشتر است. همان‌طور نیز هرچه موارد ترکیب شونده متفاوت‌تر باشند، اتلاف شایستگی نیز بیشتر است. بنابراین، وادار کردن چیزهای بسیار نامتشابه به وحدت با یکدیگر ممکن است وضعیت‌های بسیار تخریبی و انفجاری ایجاد کند.

واحدهایی که در برخی جنبه‌ها مشابه و در جنبه‌های دیگر نامتشابه هستند، باید فقط به صورت جزئی ترکیب شوند، طوری که فقط جنبه‌های مشابه را شامل شود. آیتم‌های جداگانه باید با توجه به جنبه‌های نامشابه‌شان فرودیت خود را حفظ کنند. اگر برای تمام قسمت‌های یک اتحاد بتوان به یک جهت مشترک رسید، بهتر است که ترکیب را به قطعات کوچکتر و با هدف‌های مشترک تقسیم کرد. کشورها، شرکت‌ها و حتی خانواده‌هایی با اختلافات آشتی‌ناپذیر اغلب تشخیص نمی‌دهند که انشعاب و جدایی ممکن است بهترین راه باشد و هر جزء از کل بعد از جدایی دارای عملکرد بهتری خواهد بود. برای مثال، چکسلواکی تصمیم گرفت که به دو کشور مستقل منشعب شود. کانادا به کبک اجازه داد در صورت صلاحدید ساکنانش خودمختار شود. بر خلاف این مثال‌های صحیح از نظر ترمودینامیکی، ما همچنین شاهد خونریزی و ستم در خیلی از قسمت‌های دنیا هستیم که مردم را بر خلاف خواسته‌اشان

و ادار به اتحاد می‌کنند با این تصور غلط که بزرگتر، بهتر و قوی‌تر خواهند شد. بسیاری از افراد مطلقه اظهار می‌کنند که آرزو دارند شهامت این را داشتند که خیلی زودتر از این طلاق می‌گرفتند. بسیاری از شرکت‌های بزرگ به شرکت‌های کوچکتر تجربه می‌شوند، در حالی که برخی دیگر در شرکت‌های بزرگتر ادغام می‌شوند و برخی از این شرکت‌ها بعداً از تصمیمشان پشیمان می‌شوند. اندازه مناسب برای هر اتحاد اندازه‌ای است که کل تخریب اگزورژی را کمینه کند [یا معیار شایستگی کلی آن واحد را بیشینه کند].

مطالعه دقیق فرایندهای مخلوط‌شدن و درکی خوب از تخریب اگزورژی به ما کمک خواهد کرد که تصویری بهتر و واقع‌بینانه‌تر از فرایند جهانی‌شدن و شکل و حد مناسب آن داشته باشیم. اتحادیه اروپا یک مثال عالی از مخلوط‌شدن حالت‌ها با حداقل تخریب اگزورژی است، چون یک اتحادیه محدود روی موضوعات با توافق عمومی است. این اتحادیه به هیچ کشوری اجازه پیوستن به آن را نمی‌دهد، مگر اینکه شرایط خاص و روش‌های "وضعیت کشورهای EU" را دارا باشد. از نظر ترمودینامیکی این خط مشی عاقلانه را می‌توان به صورت کمینه کردن تولید آنتروپی اختلاط با اجازه‌ندادن اختلاط مقادیر با وضعیت‌های خیلی متفاوت [یا تخریب اگزورژی] توصیف کرد. جهانی‌شدن سالم و در سطح بالا فقط هنگامی می‌تواند رخ دهد که تمام اجتماعات دنیا به یک سطح مشترک از فهم و اعتماد برسند و تمام اختلافات برطرف شده باشند.

### مثال ۳. راندمان قانون دوم در زندگی روزانه

در ترمودینامیک راندمان‌های قوانین اول و دوم را معمولاً برای بررسی عملکرد سیستم‌های مهندسی به کار می‌برند. راندمان قانون اول (راندمان انرژی) نشان‌دهنده این است که یک تبدیل انرژی یا فرایند انتقال چقدر خوب صورت می‌گیرد. راندمان قانون اول هیچ اشاره‌ای به بهترین عملکرد ممکن نمی‌کند و بنابراین، راندمان قانون اول به تنهایی معیار واقعی عملکرد نیست. برای غلبه بر این نقص، راندمان قانون دوم (راندمان اگزورژیک) به صورت معیاری از عملکرد واقعی نسبت به بهترین عملکرد ممکن تحت شرایط مشابه تعریف می‌شود و این معیاری حقیقی از "درجه کمال" یک فرایند است. تمام فرایندهای بازگشت‌پذیر یا "کامل ترمودینامیکی" دارای راندمان قانون دوم برابر ۱۰۰٪ هستند. یک راندمان قانون اول

۴۰٪ به ما هیچ چیز در مورد کیفیت عملکرد نمی‌گوید. یک نیروگاه گرمایی با راندمان قانون اول ۴۰٪ در صورتی که بین محدوده دمایی ۳۰۰°k و ۵۰۰°k کار کند، دارای عملکرد عالی (راندمان قانون دوم ۱۰۰٪) است، اما اگر در محدوده دمایی ۳۰۰°k و ۱۵۰°k کار کند، عملکرد آن خیلی کمتر (راندمان قانون دوم نقطه ۵۰٪؛ یعنی اتلاف نصف پتانسیل کار) خواهد بود. بنابراین، راندمان قانون دوم چارچوب لازم برای ارزشیابی کمال و تعیین مقدار اتلاف را مشخص می‌کند.

در زندگی روزانه، راندمان قانون اول یا عملکرد یک شخص را می‌توان به صورت موفقیت آن شخص نسبت به تلاشی که انجام می‌دهد در نظر گرفت. از سوی دیگر، راندمان قانون دوم یک شخص را می‌توان به صورت عملکرد آن شخص نسبت به بهترین عملکرد ممکن تحت همان شرایط ارزیابی کرد. ارزشیابی عملکرد بدون در نظر گرفتن شرایط بی‌معناست، همان‌طور که پیدا کردن راندمان قانون دوم یک نیروگاه گرمایی بدون در نظر گرفتن دمای محیط بی‌معناست. ارزشیابی را می‌توان با مقایسه کردن چیزی که انجام می‌شود با چیزی که می‌توانسته است با همان منابع در طی همان دوره زمانی انجام شود، صورت داد. "بهترین عملکرد" را می‌توان یا با تحلیل مشخص کرد یا با آزمایش‌هایی که در آن از بهترین عملکردهای شناخته شده به صورت پایه استفاده می‌شود. در تحلیل به دلیل مشکل بودن مقدار یابی هر چیزی قدری ابهام وجود دارد. برای مثال، خوشبختی ارتباط نزدیکی با راندمان قانون دوم دارد. عبارت "زندگی کامل (پربار)" نیز مربوط به راندمان قانون دوم است. یک شخص زمانی دارای زندگی کامل و پربار و در نتیجه، دارای راندمان قانون دوم بالا خواهد بود که از تمام حد توانایی‌های خود در طول عمرش استفاده کرده باشد.

این امر را می‌توان تشخیص داد که تعریف راندمان با عبارات مطلق در زمینه‌های غیر تکنیکی کار مشکلی است. با وجود این، راندمان را می‌توان به صورت ترم‌های نسبی با تعریف یک مشابه ایده‌آل که به عنوان پایه‌ای برای مقایسه با کار واقعی به کار می‌رود، تعریف کرد. این کار در حال حاضر به صورت حسی انجام می‌شود، همچنان که در عبارت "یک شخص کارآمد" و "یک فرایند کارآمد" مشاهده می‌شود. از مفهوم قانون دوم ترمودینامیک می‌توان برای مشخص کردن کیفیت فعالیت‌های روزانه به‌منظور تعیین اتلاف و حتی تعیین

مقدار آن استفاده کرد. این امر را می‌توان با استفاده از مثال‌های آشنا از زندگی شخصی، خانوادگی یا حرفه‌ای، سیاست، تجارت، مذهب، امور نظامی، ورزش و غیره نشان داد.

##### ۵. انجام دادن آزمایش‌هایی در کلاس درس

با کمی خلاقیت می‌توان سخنرانی‌های عادی را به صورتی سرگرم‌کننده و هیجان‌انگیز درآورد. هر چیزی که جریان عادی<sup>۱</sup> را بشکند و کمی چاشنی اضافه کند، توسط دانشجویان به خوبی پذیرفته می‌شود و کنجکاوی و هیجانی که در پی خواهد داشت، تمام توجه آنها را جلب خواهد کرد.

دانشجویان ممکن است چیزی را که می‌شنوند فراموش کنند، اما معمولاً چیزی را که می‌بینند تا مدت‌های طولانی به خاطر دارند. بنابراین، می‌توان یادگیری دانشجویان را با انجام دادن آزمایش‌های کوچکی در کلاس افزایش داد. برای مثال، از یک قوطی نوشیدنی و یک دماسنج می‌توان برای اثبات بسیاری از مفاهیم استفاده کرد. با دو بار اندازه‌گیری دما و محاسبه اختلاف آنها می‌توان انتقال حرارت به نوشیدنی را محاسبه کرد. با انداختن قطعه‌های کوچک یخ درون قوطی و هم‌زدن آن با یک دماسنج می‌توان دمای نقطه شبنم اتاق را حساب کرد. با بردن قوطی به ارتفاع بالاتر می‌توان انتقال کار به قوطی را حساب کرد. با عایق کردن قوطی و مشاهده اینکه دما تقریباً ثابت می‌ماند، می‌توان مفهوم آدیاباتیک را اثبات کرد. با قراردادن یک فن کوچک در یک محفظه آب‌بندی شده و اندازه‌گیری افزایش دمای هوا و همچنین، مصرف انرژی الکتریکی می‌توان مقدار گرمای ویژه هوا را به دست آورد. حتی آوردن نمونه‌هایی از سخت‌افزار مانند پره‌های توربین و سیلندر - پیستون یک موتور کوچک یا یک کمپرسور می‌تواند میزان علاقه دانشجویان را در کلاس بالا ببرد.

##### ۶. آوردن داستان‌های روزنامه سر کلاس درس به منظور ایجاد بحث

درصد قابل توجهی از درآمد یک خانوار صرف پرداخت هزینه‌های انرژی می‌شود و به همین دلیل است که داستان‌ها و مقالات خبری متعددی راجع به انرژی در اغلب روزنامه‌ها و

مجلات دیده می‌شوند. می‌توان بعضی از این داستان‌ها را برای بحث به کلاس آورد و جنبه اجتماعی علم ترمودینامیک را نیز بررسی کرد. این کار همچنین، فرصت خوبی برای تصحیح اشتباهات معمول (مثلاً اشتباه کردن kw با kwh) است. می‌توان نشان داد که چگونه مقادیر عددی درون داستان به دست آورده می‌شوند که در همین راستا اصول زیربنایی آن را مورد بحث قرار داد.

#### مثال ۴. ماشینی که با آب کار می‌کند

روایای طولانی مدت مخترعان PMM ساخت ماشینی است که با آب کار کند و در نتیجه، وابستگی دنیا به نفت حذف و محیط زیست حفظ شود. به دلیل جاذبه زیادی که این موضوع دارد، اغلب داستان‌های خبری در باره ماشین‌هایی که قسمتی یا همه آن با آب کار می‌کند، در نشریات چاپ می‌شود. شیفتگی و مجذوبیت دانشجویان مهندسی در مورد ماشین‌ها و اشتیاق برای سوخت مجانی فرصت خوبی برای مورد تردید قرار دادن برخی جنبه‌های اساسی بقای انرژی در ذهن دانشجویان به وجود می‌آورد.

یک ماشین را با یک مخزن آب [به جای بنزین] در نظر بگیرید که با یک باتری کاملاً شارژ شده است. پیشنهاد می‌شود که با قراردادن دو الکتروود درون آب و کشیدن جریان الکتریکی از باتری، آب به هیدروژن و اکسیژن تجزیه و به موتور هدایت شود و با  $142 \frac{\text{MJ}}{\text{kg}}$  انرژی گرمایی آزاد شده از سوختن هیدروژن نیروی ماشین تأمین شود. همچنین، موتور باید ژنراتوری را که باتری را کاملاً شارژ نگه می‌دارد، راه‌اندازی کند. گاز خروجی را که در این حالت بخار آب خالص است، می‌توان با خنک کردن توسط هوای محیط به مایع تبدیل کرد<sup>۱</sup> و دوباره به مخزن آب برگرداند که در این صورت نیاز به آب تازه را نیز برطرف کرد [۷].

به نظر می‌رسد که این یک اختراع عالی و بدون در نظر گرفتن یک اشتباه کوچک باشد. انرژی لازم برای تجزیه آب به مؤلفه‌هایش برابر مقدار انرژی است که هنگام ترکیب اکسیژن و هیدروژن و تشکیل آب آزاد می‌شود، در غیر این صورت ما می‌توانستیم دستگاهی بسازیم که

به طور متناوب آب را تجزیه و ترکیب و از اختلاف آنها به عنوان تولید انرژی استفاده کند که این امر نقض آشکار قانون بقای انرژی است. این مثال تحریک کننده را می توان در اولین روز کلاس به کار برد و به دانشجویانی که قدرت تصور خوبی دارند نشان داد که چرا مجبور به گرفتن این واحد درسی هستند.

#### ۱.۶. تشابه: خاکستر در مقابل آب به عنوان سوخت

مشکل است که بتوان برای افرادی بدون هیچ گونه اطلاعات تکنیکی توضیح داد که چرا نمی توان از آب به عنوان سوخت در ماشین استفاده کرد. غالباً آنها پاسخ می دهند: "خوب، خیلی چیزهایی که قبلاً غیر ممکن تصور می شدند، امروزه در حال انجام شدن هستند و با پیشرفت های جدید تکنولوژی در آینده طراحی ماشینی که با آب کار می کند نیز ممکن خواهد شد." اما هنگامی که بین آب و خاکستر تشابه برقرار و توضیح داده شود که آب نیز مانند خاکستر یکی از محصولات احتراق [بجز در شکل گازی آن] است، خواهند فهمید که غیر ممکن است آب را بتوان سوزاند، همان طور که غیر ممکن است بتوان کننده های حاصل از فشردن خاکسترها را سوزاند.

#### ۷. تقسیم تجربه های شخصی / حرفه ای

هر انسانی، به جنبه انسانی داستان ها علاقه شخصی دارد و آنها تأثیر عمیقی روی آنان می گذارند. همان طور که در صنعت اخبار می گویند: "اگر قصه یک نفر را بگویی، مثل این است که قصه همه را گفته ای"، دانشجویان به چیزهایی علاقه مند هستند که در زندگی واقعی اتفاق می افتد و دوست دارند که راجع به تجربه های دنیای واقعی استادانشان یا دیگر مهندسان بشوند. آنها ممکن است جزئیات یک سخنرانی را فراموش کنند، اما همیشه تجربه های شخصی استادانشان را به خاطر می آورند. بنابراین، استادان باید بیشترین تلاششان را برای آوردن دنیای واقعی به درون کلاس انجام دهند و با ارتباط دادن موضوع سخنرانی با تجربه های حرفه ای شان بعد جدیدی را به سخنرانی شان اضافه کنند. سخنرانی ای که با زمینه قرینه ارائه شود، مدت های طولانی همراه با درس آن به خاطر آورده خواهد شد. در ادامه سه مثال از تجربه های شخصی خودم را بیان می کنم.

## مثال ۵. تحلیل یک توربین Cryogenic (استفاده از انتروپي)

یک وسیله صنعتی Cryogenic با متان مایع در دمای  $115^{\circ}\text{C}$  و فشار  $5\text{MPa}$  و با دبی  $\frac{\text{m}^3}{\text{s}}/280$  کار می‌کند. این فرایند نیاز به کاهش فشار متان به  $1\text{MPa}$  دارد که این کار توسط خفه کردن متان مایع با عبور دادن از یک شیر انجام می‌شود. یک مهندس تازه استخدام شده [که قبلاً دانشجوی من بود] پیشنهاد می‌کند که به جای شیر از یک توربین استفاده کنیم تا همزمان با کاهش فشار به  $1\text{MPa}$  بتوانیم نیز تولید کنیم. ما کزیمم توان قابل تولید با چنین توربینی را معین کنید. همچنین، مشخص کنید که در این توربین چقدر از هزینه‌های الکتریسیته سالانه صرفه جویی خواهد شد، در صورتی که بدانیم برای الکتریسیته  $7\text{¢/kWh}$  هزینه می‌شود [۲ و ۸].

این مسئله را بدون استفاده از انتروپي نمی‌توان حل کرد و از آن به عنوان یک وسیله مناسب برای نشان دادن استفاده انتروپي در دنیای واقعی فرایندهای آیزنتراپیک و راندمان آیزنتراپیک می‌توان استفاده کرد. معلوم می‌شود که این توربین در حدود  $900\text{kw}$  توان تولید می‌کند که در سال  $300000$  دلار صرفه جویی به همراه دارد. این مسئله همچنین، نشان دهنده هزینه بازگشت ناپذیری‌های مربوط به فرایند خفگی و افزایش کارایی قابل چشمگیری است که حذف کردن این بازگشت ناپذیری‌ها به همراه دارد. بهترین قسمت این است که تمام نتایج پیش‌بینی شده با تجزیه و تحلیل بعداً به صورت عملی ثابت شده‌اند که شامل راندمان آیزنتراپیک  $80\%$  فرض شده برای توربین نیز می‌باشد. این امر به دانشجویان کمک می‌کند که در مورد استفاده از انتروپي راحتی بیشتری احساس کنند و ارتباط آن را با دنیای واقعی از طریق یک تجربه دست اول ببینند. این توربین هم‌اکنون در خط تولید است و نتایج بسیار خوبی را هم برای تولیدکننده و هم برای کاربران در بر داشته است.

## مثال ۶. کمپرسور به عنوان افزاینده انرژی

وقتی هوای اتمسفری به وسیله یک موتور رفت و برگشتی تا نسبت فشار  $8$  فشرده می‌شود، در کسری از یک ثانیه دمای آن تا حدود  $400^{\circ}\text{C}$  بالا می‌رود. با الهام گرفتن از افزایش دمای



سریع تا این حد در چنین زمان کوتاهی، یک مخترع پیشنهاد می‌کند که از کمپرسور به عنوان یک سیستم گرمکن استفاده شود، با این ادعا که این سیستم بسیار کارآمدتر از سیستم‌های گرمکن مقاومت الکتریکی است. این سیستم پیشنهادی به وضوح یک افزایش انرژی است و ما می‌توانیم فوراً هرگونه ادعایی را رد کنیم، چون این سیستم نمی‌تواند انرژی بیشتری از انرژی الکتریکی که موتورش می‌کشد تولید کند و بنابراین، نمی‌تواند کارآمدتر از یک گرمکن مقاومتی باشد. با وجود این، افزایش دمای زیاد در کسری از ثانیه حتی بهترین دانشجویان را نیز گیج می‌کند و تعداد خیلی کمی تشخیص می‌دهند که این ادعا نقض‌کننده قانون اول ترمودینامیک است. بر اساس این دلایل، پیشنهاد برای حمایت از این وسیله رد شد.

#### مثال ۷. یک اختراع با شماره ثبت آمریکایی

یک مخترع ادعا می‌کرد که پمپی برای سیستم گرمایی هیدرولیک ساخته است که آن چنان راندمان بالایی دارد که تقریباً نیاز به سوخت را مرتفع می‌کند. این مخترع تا آنجا پیش رفت که یک علامت ثبت در آمریکا نیز برای محافظت از اختراعش گرفت. او حتی سیستمش را در معرض آزمایش قرار داد و گزارشی تهیه کرد که نشان می‌داد سیستم ۱۲۰٪ راندمان دارد. احتیاجی نیست بگوییم که قلب این سیستم پمپی است که آن قدر نا کارآمد است که بیشتر انرژی الکتریکی مصرفی خود را به انرژی گرمایی تبدیل می‌کند و بنابراین، نیاز به سوخت را کاهش می‌دهد. این ارزیابی باعث نجات یک سرمایه‌دار با استعداد از گرفتن یک تصمیم مهم سرمایه‌گذاری شد.

#### ۸. استفاده از سؤال‌های مفهومی

دانشجویان آن قدر مجذوب درختان هستند که اغلب از پرسپکتیو کلی جنگل غافل می‌شوند و برخی مسائل ساده مفهومی که با توجه به آن می‌توانند تشخیص دهند، می‌تواند به آنها در به دست آوردن دوباره پرسپکتیو کمک کند. چنین مسائلی نشان دهنده این امکان است که قوه درک ما می‌تواند گمراه کننده باشد. این مسائل توجه دانشجو را به خود جلب می‌کنند و شرکت دانشجویان را در بحث افزایش می‌دهند و یادگیری فعال را آسان می‌کنند.

یادگیری طولانی مدت و در حد کمال ترمودینامیک را می‌توان با ایجاد یک فهم عمیق از

جنبه‌های مختلف مفاهیم اساسی آن به دست آورد و این کار را می‌توان با در نظر گرفتن سؤالات مربوط به مفهوم به عنوان قسمتی از بحث‌ها، تکالیف و حتی امتحان‌های کلاسی انجام داد. تأکید بر حل مسئله با قصد به دست آوردن جواب عددی صحیح باعث به وجود آمدن مهارت‌های مکانیکی دانشجویان برای انتخاب فرمول صحیح و استفاده از آن برای به دست آوردن نتیجه مطلوب است. اما به زودی متوجه می‌شویم که دانشجویان هیچ حس فیزیکی برای مسئله ندارند و با درکی سطحی از مراحل حل آن را به پایان می‌رسانند. کمبود یک پایه محکم هنگامی کاملاً واضح می‌شود که آنها مطمئن نیستند از چه فرمولی استفاده کنند و در نتیجه، سعی می‌کنند از فرمول‌های اشتباه استفاده کنند.

مثال ۸. آیا یک فن اتاق را گرم می‌کند یا خنک

یک فن معمولاً برای مقاصد خنک کردن در تابستان به کار می‌رود، اما یک فن  $70\text{ W}$  برای اتاقی که در آن قرار دارد، با نرخ  $70\text{ W}$  انرژی گرمایی تأمین می‌کند. این سؤال همچنین، فرصتی برای تشریح ضریب انتقال حرارت جابه‌جایی و وابستگی آن به سرعت سیال به وجود می‌آورد.

مثال ۹. آیا یخچالی که در آن باز نگه داشته می‌شود آشپزخانه را گرم می‌کند یا خنک؟

هوای خنکی که هنگام بازکردن در یخچال از آن بیرون می‌آید، این گمان را به وجود می‌آورد که هوای اتاقی را که در آن قرار دارد خنک می‌کند. این مثال مجالی فراهم می‌کند برای توضیح این امر که قوه درک و فهم ما ممکن است ما را گمراه کند.

مثال ۱۰. یک تهویه پنجره‌ای<sup>۱</sup> که در یک اتاق کار می‌کند

یک تهویه پنجره‌ای که هنگام کار  $1\text{ kW}$  برق مصرف می‌کند و  $\text{COP}$  آن ۲ است و در یک اتاق قرار داده شده است، روشن می‌شود. نرخ سرمایش یا گرمایش تأمین شده توسط این

تهویه کننده برای این اتاق عبارت است از:

- a)  $1 \frac{\text{KJ}}{\text{s}}$   
 b)  $2 \frac{\text{KJ}}{\text{s}}$   
 c)  $0.5 \frac{\text{KJ}}{\text{s}}$   
 d)  $2 \frac{\text{KJ}}{\text{s}}$   
 e)  $1 \frac{\text{KJ}}{\text{s}}$

### ۹. ترکیب اختراعات تکنولوژیکی

اختراعات تکنولوژیکی اخیر آموزش را به صورت‌هایی که در دهه قبل غیر قابل تصور بودند، تغییر داده است. برای سالیان زیادی، اسلاید پروژکتورها یا اورهد تنها وسایل پیشرفته موجود در دانشگاه‌ها بودند و بیشتر مریبان دسترسی محدودی به آنها داشتند. استفاده گسترده از اینترنت اطلاعات را در معرض استفاده دانشجویان در سراسر دنیا قرار داده و آموزش را در جنبه‌های گوناگونی تغییر داده است.

### ۱.۹. سخنرانی در کلاس‌های شیک

تخته سیاه‌های مدل قدیمی و گچ همچنان ارزش مخصوص به خود را دارا هستند، اما تعداد بیشتر و بیشتری از کلاس‌های سنتی در حال تبدیل شدن به اتاق‌های پیشرفته همراه با کامپیوتر، اتصالات اینترنت و پروژکتورند. این کار امکانات بی‌نهایتی را برای کارهای قابل انجام شدن در کلاس در طول یک سخنرانی به وجود می‌آورد، از نمایش تصاویر رنگی از سخت‌افزار گرفته تا نمایش کلیپ‌های ویدئویی و انجام دادن آزمایش‌های مجازی و حتی گردش‌های صحرائی را نیز با برخی امکانات می‌توان در دنیای مجازی و بدون ترک کردن کلاس انجام داد.

هنوز هم تصویر ارزش معادل هزاران مفهوم را در خود داراست. بنابراین، استفاده از کارهای هنری و گرافیک در حین درس دادن امری مهم است. اشکال توجه را جلب و

کنجکاوی و علاقه را تحریک می‌کنند و به عنوان ابزارهای مهم یادگیری محسوب می‌شوند که به دانشجویان در درک مفهوم تصویر کمک می‌کنند. کمک‌های بصری هنگامی که به طور مؤثر به کار می‌روند، این امکان را فراهم می‌آورند که از چشم‌ها به مؤثرترین صورت برای یادگیری فعال و نگه‌داشتن سطح بالای هوشیاری در طول سخنرانی‌ها استفاده شود. نگه‌داشتن یک توازن خوب بین سخنرانی کلاسی و استفاده از امکانات الکترونیکی امر مهمی است. در صورت استفاده نادرست از تکنولوژی ضررهای آن بیشتر از منافع آن خواهد بود. بنابراین، مقدار محتوای الکترونیکی باید به دقت مورد نظر قرار بگیرد.

### ۲.۹. کمک شبکه‌ای<sup>۱</sup>

استفاده از اینترنت به صورت یک امر عادی برای واحدهای مهندسی، که شامل ترمودینامیک نیز می‌باشد، در آمده است. اطلاعات ارزشمند زیادی از منابع در شبکه موجود است. برخی از موضوعات توسط استادان و ناشران کتاب‌های مرجع به منظور خاص حمایت از واحد درسی ارائه شده در شبکه قرار داده شده‌اند. اما برای ترمودینامیک حتی مطالب بیشتر از این [شامل شبیه‌سازی‌هایی مانند عملکرد موتورهای احتراق داخلی] موجود است. موضوعات درون شبکه‌ای را می‌توان به آسانی به موضوعات درون کلاسی تبدیل کرد و برای بحث در کلاس در دسترس افراد قرار داد، البته در صورتی که کلاس امکانات سخت‌افزاری و برگزاری ارتباط لازم را دارا باشد. فراهم کردن امکانات شبکه‌ای در حال تبدیل شدن به استاندارد برای آموزش واحدهای درسی و کتاب‌های مرجع است. استفاده گسترده از کامپیوتر و اینترنت واقعاً باعث ایجاد انقلاب در آموزش شده است. در حال حاضر، دانشجویان می‌توانند با استفاده از نوارهای ویدئویی سخنرانی‌های استادانشان از Website‌های آن واحد درسی، آنها را تماشا کنند. علاوه بر این، آنها همچنین می‌توانند به سخنرانی‌های ارائه شده در مؤسسات دیگر نیز دسترسی پیدا کنند. استفاده گسترده از رسانه‌های الکترونیکی، استفاده از کاغذ و جوهر را به حداقل رسانده است و بنابراین، به حفظ محیط زیست کمک می‌کند. دانشجویان می‌توانند به صورت الکترونیکی تکالیف را تحویل

دهند، نمره بگیرند، به جلسات آموزشی دسترسی داشته باشند، مسئله را حل و جواب آنها را چک کنند و حتی امتحان بدهند. فهرست آدرس‌های شبکه‌های مربوط در حال جایگزین شدن با فهرست کتاب‌های مرجع است و اتصالات با سرعت بالا این امکان را فراهم می‌آورند که جستجو در شبکه به صورت بسیار مؤثری صورت پذیرد.

### ۳.۹. بسته‌های نرم‌افزاری

استفاده از نرم‌افزار حتی در رشته‌های پایه نیز به صورت یک امر عادی درآمده است. هیچ شکی نیست که تقریباً تمام مسائلی را که ما در عمل با آنها مواجه می‌شویم، می‌توان با استفاده از یکی از چندین بسته نرم‌افزاری که امروزه به صورت آماده در بازار موجود است، حل کرد. این بسته‌های نرم‌افزاری نه تنها نتایج عددی مطلوبی می‌دهند، بلکه به قصد ارائه مؤثرتر نیز نتایج را به شکل گرافیکی هم نمایش می‌دهند.

امروزه، غیرقابل تصور است که بدون بهره‌گیری از برخی از این بسته‌ها بتوان کارهای مهندسی را انجام داد. این قدرت محاسبه بسیار زیاد که با فشار یک دکمه در دسترس ماست، هم رحمت و هم زحمت است. این کار مطمئناً مهندسان را قادر می‌سازد که مسائل را به آسانی و سریع حل کنند، اما در را برای سوء استفاده و ارائه اطلاعات غلط باز می‌کند. این بسته‌های نرم‌افزاری در دست افراد ضعیف از نظر سواد و تحلیل، به خطرناکی سلاح‌های قوی و پیچیده در دست سربازهای ضعیف تعلیم دیده خواهد بود.

تصور اینکه فردی که بدون آموزش دیدن مناسب اصول و پایه‌ها با استفاده از بسته‌های نرم‌افزاری می‌تواند کارهای مهندسی انجام بدهد، مثل این تصور است که فردی که قادر به استفاده از آچار است، می‌تواند به عنوان مکانیک اتومبیل کار کند. اگر بی‌نیاز شدن از این همه واحدهای پایه که دانشجویان مهندسی مجبور به گذراندن آنها هستند، به دلیل انجام شدن سریع و آسان عملیات‌ها با استفاده از کامپیوتر حقیقت داشته باشد، پس این امر نیز حقیقت خواهد داشت که دیگر کارفرماها به مهندسان با حقوق بالا احتیاجی ندارند، چون هر شخصی که می‌داند چگونه از یک برنامه پردازش کلمه‌ای استفاده کند نیز می‌تواند یاد بگیرد که چگونه از این بسته‌های نرم‌افزاری استفاده کند. با این حال، آمارها نشان می‌دهند که علی‌رغم وجود این بسته‌های نرم‌افزاری قوی نیاز به مهندسان رو به افزایش است، نه کاهش.

ما باید همیشه به خاطر داشته باشیم که تمام قدرت محاسباتی بسته‌های نرم‌افزاری موجود، تنها ابزار هستند و ابزار فقط در دستان ماهر معنا پیدا می‌کند. داشتن بهترین برنامه پردازش کلمات باعث نمی‌شود که شخص نویسنده خوبی شود، اما مطمئناً کار یک نویسنده خوب را بسیار آسانتر می‌کند و بازده کاری او را بالاتر خواهد برد. ماشین حساب‌های دستی نیاز به یاد دادن جمع و تفریق به فرزندانمان را از بین نبردند و بسته‌های نرم‌افزاری پیچیده پزشکی جای آموزش‌های دانشکده‌های پزشکی را پر نکرده‌اند و به همین ترتیب، بسته‌های نرم‌افزاری مهندسی نیز جایگزین آموزش‌های مهندسی سنتی نخواهند شد. آنها به سادگی فقط باعث جابه‌جایی از تأکید روی ریاضیات به تأکید روی فیزیک خواهند شد؛ یعنی در کلاس زمان بیشتری صرف بحث در جنبه‌های فیزیکی مسئله با جزئیات بیشتر و زمان کمتری صرف مکانیک مراحل حل می‌شود.

تمام ابزارهای قدرتمند و شگفت‌انگیزی که امروزه موجود هستند، بار سنگین تری به دوش مهندسان امروزی خواهند گذاشت. آنها درست مانند پیشینیان (مهندسان قدیمی) هنوز هم باید فهم کاملی از اصول داشته باشند، احساسی در مورد پدیده فیزیکی به دست آورده باشند، قادر باشند داده‌ها را در جاهای مناسب قرار دهند و قضاوت‌های دقیق مهندسی انجام دهند، هرچند مهندسان باید این کار را با استفاده از مدل‌های واقعی به دلیل وجود ابزارهای قوی امروزی بسیار بهتر و سریع‌تر انجام دهند. مهندسان در گذشته مجبور بودند محاسبات خود را به صورت دستی و با استفاده از خط کش انجام دهند که این روند بعداً به ماشین حساب‌های دستی و کامپیوتر تغییر یافت. امروزه، آنها به نرم‌افزارها تکیه می‌کنند. دسترسی آسان به چنین قدرتی و امکان اینکه یک اشتباه یا تغییر باعث خسارت زیاد شود، دقت در آموزش اصول مهندسی را از همیشه مهمتر جلوه می‌دهد. علاوه بر این، تلاش مضاعفی نیز باید برای تأکید روی درک احساسی و فیزیکی پدیده طبیعی به جای تأکید روی جزئیات ریاضی به کار گرفته شود.

در واحدهای پایه مثل ترمودینامیک استفاده از برنامه‌های کامپیوتری در ابتدای کار نه لازم و نه مطلوب است. این موضوع به خصوص در حالت استفاده از برنامه‌های نرم‌افزاری که با دادن ورودی‌های لازم جواب مسئله را می‌دهند، صادق است. اما بسته‌های نرم‌افزاری مثل EES، MATHCAD و MATLAB مسائل ترمودینامیک را حل نمی‌کنند و آنها فقط

معادلات داده شده توسط کاربر را حل می‌کنند. بنابراین، کاربر باید مسئله را بفهمد و آن را با به کار بردن قوانین فیزیکی و روابط مربوط فرموله کند. چنین بسته‌های نرم‌افزاری با حل کردن معادلات ریاضی به دست آمده مقدار زیادی در وقت و تلاش دانشجویان صرفه‌جویی می‌کنند. این امر باعث می‌شود امکان تلاش برای حل مسائل پراهمیت مهندسی که مناسب حساب دستی نیستند، فراهم آید و بتوان مطالعات پارامتریک را به سرعت و راحتی انجام داد و در همین راستا شاید بتوان اکتشافاتی نیز به عمل آورد.

برنامه‌های آموزشی متقابل<sup>۱</sup> بر اساس شبکه یا به تنهایی برای ترمودینامیک نیز موجود هستند. سطح پیچیدگی این برنامه‌ها با هم متفاوت است، اما برای نمونه اگر حل به دست آمده اشتباه باشد، به کاربر اطلاع می‌دهند و در صورت نیاز به کاربر نکاتی را نیز ارائه می‌کنند. چنین برنامه‌هایی برای به دست آوردن مهارت‌های مکانیکی مفیدند، اما باز هم باید پس از به دست آوردن درک خوب از موضوع از آنها استفاده شود.

#### ۱۰. نتیجه‌گیری

یک ذهن هوشیار برای درک علوم مهندسی مشکلی نخواهد داشت، چون در هر حال، اصول علمی بر پایه تجربه‌های هر روزه و مشاهدات تجربی ما قرار دارند. اما تجربه چیز دیگری را نشان می‌دهد و ثبت نام در برنامه‌های مهندسی در آمریکا در طول دهه گذشته کاهش یافته است. این نشان‌دهنده اهمیت استفاده از روش فیزیکی و مفهومی در تدریس واحدهای علمی و استفاده از موازی‌سازی و تشابه بین موضوع و تجربه‌های روزانه دانشجویان است، طوری که دانشجویان بتوانند موضوع را به آنچه از قبل می‌دانستند ارتباط دهند.

مؤثر بودن تدریس ترمودینامیک را می‌توان با این روش‌ها افزایش داد:

تأکید همیشگی بر مفاهیم فیزیکی زیربنایی آن و استفاده از فرمول‌های معنادار فیزیکی، اثبات ابتدایی مفاهیم جدید با استفاده از مثال‌های ساده و آشنا، امتحان جنبه‌های اقتصادی، محیطی و ایمنی حل، نشان دادن ارتباط مفاهیم ترمودینامیکی و اصول زندگی روزانه، انجام دادن آزمایش‌های کوچک در کلاس، آوردن داستان‌های روزنامه‌ای مربوط به کلاس

برای بحث و بررسی، تقسیم کردن تجربه‌های شخصی و حرفه‌ای با دانشجویان و استفاده گسترده از تکنولوژی مانند سخنرانی در کلاس‌های مجهز به آخرین تکنولوژی و استفاده از شبکه و بسته‌های نرم‌افزاری برای تسهیل در حل مسائل پر اهمیت مهندسی. این پیشنهاد مطابق با معیار ABET است که بر اهمیت نشان دادن کاربردهای دنیای واقعی موضوعات مهندسی تأکید می‌کند.

(تاریخ دریافت مقاله: ۸۱/۱۰/۷)