

## مفهوم و کاربرد واژه حرارت در علوم و مهندسی

محمود یعقوبی

استاد مهندسی مکانیک دانشگاه شیراز

و عضو پیوسته فرهنگستان علوم

”تشنع خورشید که دائماً به کره زمین وارد می‌شود، به داخل هوا، زمین و آب نفوذ می‌کند، اجزای آن تقسیم می‌شود، جهت خود را به هر راهی تغییر می‌دهد و به داخل بدنه زمین وارد می‌شود، اگر با آنچه برمی‌گردد و به طرف آسمان رها می‌شود درست برابری نکند، دمای آن را بیشتر و بیشتر افزایش می‌دهد.”

از نوشته فوریه در کتاب تحلیل تئوری حرارت به نقل از مرجع [۱۴]

**چکیده:** افراد بر این باورند که چیزی از جسم گرم به یک جسم سرد منتقل می‌شود و آن چیز را حرارت می‌نامند. در قرن هیجدهم و ابتدای قرن نوزدهم، دانشمندان فکر می‌کردند که اجسام و مواد یک ماده غیر قابل رؤیت دارند که آن را کالری می‌نامیدند و خصوصیات مختلفی برای آن قابل می‌شدند، از جمله اینکه وزن دارد، تولید نمی‌شود و از بین نمی‌رود. بعدها معلوم شد که این تصویر از حرارت درست نیست. با فراگیر شدن علوم و ضرورت به کاربردن حرارت یا انتقال حرارت در مباحث مختلف علوم و مهندسی همراه با ویژگیهای دیگر، تضادها و ابهاماتی در معنی فیزیکی و معنی کاربردی کلمه حرارت ایجاد شد. برای ایجاد شیوه قابل قبول و رفع تناقض در واژه‌های مختلف ساخته شده از حرارت، مقالات و کتابهای مختلفی توسط محققان نوشته شده است. در این خصوص آقای شیگل مقاله‌ای پیرامون توسعه مفهوم حرارت نگاشته است [۲] که ضمن تشریح مفهوم فیزیکی و علمی حرارت، واژه‌های ساخته شده از حرارت را از دیدگاه علوم ترمودینامیک و انتقال حرارت بررسی کرده و پیشنهادهای مشخصی برای رفع ابهام و تفاوتها در کاربرد کلمه ”حرارت” ارائه داده است. آنچه در این نوشتار ملاحظه می‌شود، در این راستا قرار دارد و عمدتاً از مقاله آقای شیگل مستفاد شده است.

## ۱. مقدمه

بسیاری از رشته‌های مهندسی و علوم، چه در مطالب پژوهشی و چه در کاربردهای صنعتی در ارائه و بیان دانشهای فنی با واژه حرارت<sup>۱</sup> روبرو می‌شوند. در دوره‌های آموزشی، اولین مرتبه مبحث مربوط به گرما و حرارت در دوره تحصیلات متوسطه تدریس می‌شود و سپس در دروس مختلف علوم و مهندسی از دیدگاههای مختلف مورد بررسی و آموزش قرار می‌گیرد.

اغلب، مفهوم دما یا درجه حرارت<sup>۲</sup> با مفهوم حرارت توأم می‌شود، به نحوی که تعریف هر یک بدون پرداختن به دیگری به سادگی امکان‌پذیر نیست. احساس گرم بودن یا سرد بودن را با تماس دست می‌توان دریافت و معلوم می‌شود که کدام جسم گرم‌تر از جسم دیگر است، اما از نظر کمی نیاز به وسیله خاصی است. گرچه در مواردی در هنگام تماس در اظهار گرم بودن یا سرد بودن هم ممکن است خطا به وجود آید، زیرا ضریب هدایت گرما در جسم مقابل اثر قابل توجهی در احساس دست، نسبت به سرد بودن یا گرم بودن جسم خواهد داشت. به هر صورت، اگر زمان به اندازه کافی زیاد باشد، دمای دو جسم یکسان خواهد شد. این عبارت مربوط به قانون صفر ترمودینامیک می‌شود که "اگر دو جسم با جسم سومی در یک دما باشند با یکدیگر نیز در یک درجه حرارت خواهند بود."

در بحث دما تعادل ترمودینامیکی حایز اهمیت است، بدین معنی که "اگر دو جسم که هر کدام در شرایط تعادل ترمودینامیکی باشند با یکدیگر تماس پیدا کنند، مجدداً به حالت تعادل ترمودینامیکی خواهند رسید." بدین معنی که جسم گرم‌تر سرد می‌شود و جسم سردتر گرم و این امر فقط با انتقال انرژی از جسم گرم‌تر به جسم سردتر امکان‌پذیر می‌باشد. این تبادل در اثر تماس دو جسم حاصل می‌شود، نه در اثر کار مکانیکی، و نیز تبادل انرژی ناشی از اختلاف دمای دو جسم است که حرارت نامیده می‌شود [۱]. اما انرژی کلمه‌ای خاص است، با این مفهوم که "انرژی؛ یعنی توانایی انجام دادن کاری" و انشتین تعبیر دیگری دارد که "انرژی فرم دیگری از ماده است." در "پیوست الف" ارتباط کمی بین واژه‌هایی که برای واحد حرارت به کار می‌روند، جمع‌آوری شده است و در "پیوست ب" روشهای انتقال حرارت با تصویر، جهت اطلاع نشان داده شده است. اگر از مباحث علمی بگذریم، حرارت و گرما در جای جای زندگی بشر به کار برده می‌شود و

انسان با آن سر و کار دارد. هر روز شاهد خورشید تابان هستیم و این منبع لاینزال گرما را نظاره می‌کنیم، همان منبعی که بدون آن حیات نمی‌توانست وجود داشته باشد [۲].

پیچیده‌ترین پدیده‌های فیزیکی و شیمیایی به نحوی با تولید یا مصرف گرما همراه هستند. نمونه بارز یکی از این مجموعه‌ها انسان است که از بدو تولد تا پایان عمر دایماً گرما تولید می‌کند. در مقابل گرما واژه سرما نیز به کار می‌رود. سرما هنگامی است که گرما از دست می‌رود یا ظاهراً از بین می‌رود. در علوم مطرح است که گرما از کجا آغاز می‌شود؟ حرارت یا گرما از چه قاعده یا قانونی تبعیت می‌کند؟ تفاوت در تغییر حرارت یا گرما در مقابل گرمی و سردی از کجا آغاز می‌شود؟ از آنجا که علوم مهندسی و فیزیک بر محور تعریف صحیح از مبانی اصول حاکم است، لذا برای اینکه از هر گونه اشتباه و خطا پرهیز شود، ضروری است این مبانی و اصول به خوبی تعریف و مشخص شوند. این مطالعه در همان راستایی است که اگر در معنی صحیح یک موضوع ابهامی به وجود آید، بلافاصله اقداماتی برای تشریح بیشتر و حذف ابهامهای به وجود آمده صورت می‌گیرد، و این نوشته بمنظور بسط و توسعه معنی کلمه حرارت در مهندسی است [۲].

کلمه حرارت به طور وسیع در ترمودینامیک، انتقال حرارت و سایر علوم حرارتی مربوط به آموزش مهندسی به کار می‌رود. کاربرد کلمه حرارت در مباحث مختلف به معنی‌های گوناگون سبب سردرگمی استفاده‌کنندگان می‌شود. اولین مرتبه، دانشجویان در درس ترمودینامیک با کلمه حرارت روبه‌رو می‌شوند. گفته می‌شود که معنی حرارت در ترمودینامیک و انتقال حرارت، متفاوت است. معماً از آنجا آغاز می‌شود که گفته می‌شود اجسام حرارت ندارند، بلکه دارای انرژی هستند. در ترمودینامیک، حرارت برای یک سیستم و مرزهای آن تعریف می‌شود. حرارت یک پدیده مرزی گفته شده است و هنگامی که از مرز عبور کند تشخیص داده می‌شود. سپس به دانشجویان گفته می‌شود که معنی قدیم را فراموش کنند و تعاریف جدید مثل "ظرفیت حرارتی"، "مخزن حرارت"، "منبع حرارت"، "چاه حرارت<sup>۱</sup>"، "جابه‌جایی حرارت"، "تأمین حرارت" و "بیرون بردن حرارت از یک منبع"، را بپذیرند که سبب بروز مغایرت‌هایی در آموزش آنها می‌شود. اگر در این مرحله توضیح کافی داده نشود و درس به پایان برسد، دانشجویان از تعاریف ارائه شده در باره حرارت قانع نمی‌شوند و ابهام بیشتر می‌شود و به خصوص با روبه‌رو شدن با واژه‌های دیگری نظیر

"حرارت دادن"، "جریان گاز و حرارت دادن حجمی"، شرایط از آن هم غامضتر می‌شود. وقتی مفاهیم مشخصی برای بیان یک مطلب مثل انرژی به کار می‌رود، مطالب "انرژی داخلی"، "انرژی گرمایی"، "انرژی ذخیره شده" و "حرارت یا حرارت داخلی" اغلب معادل یکدیگر به کار می‌روند، بدون اینکه خصوصیات هر یک بیشتر توضیح داده شود.

## ۲. سابقه تاریخی

بحث در باره ماهیت گرما مطلب جدیدی نیست و تاریخ آن به زمانهای دور؛ یعنی دوره کالری برمی‌گردد. در آن زمان فکر می‌شد که گرما ماده‌ای است که تولید می‌شود و می‌توان آن را از یک ظرف به ظرف دیگری ریخت. تئوری کالری بعد از مدتی متوقف شد، زیرا دریافتند که حرارت در عمل انتقال گرما به صورت محسوس<sup>۱</sup> یا نهان<sup>۲</sup> از گروهی از مولکولها به مولکولهای دیگر است و بحث گرمای موجود در اجسام نیز با تئوری کالری به فراموشی سپرده شد. با پدیده کالری حرارت، عبارتهای دیگری نیز مانند: "ظرفیت حرارتی، ظرفیت حرارتی در حجم ثابت، ظرفیت حرارتی در فشار ثابت، حرارت واکنش، حرارت تولید و کل حرارت" مصطلح شدند. امروزه این عبارات در ترمودینامیک تغییر یافته‌اند و نام جدید آنها پذیرفته شده است. مثلاً "کل حرارت" به نام "انتالپی"، "ظرفیت حرارتی" به نام "حرارت ویژه"، "حرارت تبخیر" به نام "انتالپی تبخیر" و "حرارت واکنشی" به نام "انتالپی واکنشی" نامیده می‌شوند. در این وضعیت برای مدرسان ترمودینامیک مشکل است که به دانشجویان بفهمانند که خاصیت حرارت ویژه در فشار یا حجم ثابت از خصوصیات ماده است و استفاده از آنها برای همه اجسام هیچ محدودیتی ندارد، لذا نیاز است تا برای این موارد، عبارتهای جدیدی تدوین شود.

تناقض در معنی حرارت را ابتدا تریبوس<sup>۳</sup> در سال ۱۹۶۸ بیان کرد [۳]، هنگامی که او پیشنهاد کرد که باید به وسعت معنی حرارت افزوده شود. تفسیر تریبوس با نظریه‌های متفاوتی روبه‌رو شد. گرچه نویسندگان با معانی متناقض حرارت موافق بودند، ولی به پیشنهاد فوق توجه قابل ملاحظه‌ای نشد، در مقابل، محققان دیگر مثل دزونک [۴] و گگیدلی [۵] پیشنهادهای دیگری ارائه دادند. در

۱ - Sensible

۲ - Latent

۳ - Tribus

ابتدا تریوس موفق شد بحث علمی در باره کاربرد حرارت را شروع کند، ولی مطلب بعداً دنبال نشد و افراد ترجیح دادند با شکل موجود بسازند، گرچه بعضی از نویسندگان سعی کردند کلمه "انرژی" را جانشین کنند. این ابهامات پیگیری نشد، در حالی که ضروری بود تعریف و کاربردهای آن واضح و شفاف شود. در ادامه، کاربردهای متفاوت کلمه "حرارت" در کتابهای ترمودینامیک و انتقال حرارت آورده می شود، فهرست این کتابها در مراجع آمده است.

### ۳. کاربرد واژه "حرارت" در کتب مهندسی

از دیدگاه خاص ترمودینامیکی، اغلب تعاریف صورت گرفته از حرارت در کتابهای عمده ترمودینامیکی، از جمله کتابهای درسی صحیح نیست، البته باید اضافه شود که معانی گوناگون کاربران را آزرده نمی کند، زیرا با آنچه در زندگی روزمره می گذرد مطابقت دارد. در مثالهای زیر از چند کتاب ترمودینامیک و انتقال حرارت، تناقض در معنی و کاربرد آن آشکار می شود.

#### الف - کتاب ترمودینامیک وان وایلن [۶]

- "حرارت تعریف شده از نوعی انرژی که در مرز بین دو جسم با دمای مشخصی از ناحیه دمای زیاد به ناحیه دمای کم عبور می کند." مفهوم دیگر حرارت آن است که هیچ جسمی هرگز دارای حرارت نیست، در عوض حرارت وقتی قابل تشخیص است که از یک مرز بگذرد،
- "هوا به صورت الکتریکی حرارت داده می شود،"
- "در شرایطی مناسب است که منبع حرارت در دسترس باشد در غیر این صورت تلف خواهد شد،"
- "اگر ۷۰۰۰ کیلو ژول حرارت در جنراتور لازم باشد به ازای تولید یک کیلوگرم آمونیاک ...".

#### ب - کتاب ترمودینامیک وارک [۷]

- "باید تأکید شود که هم کار و هم حرارت پدیده های گذرا هستند که در روی مرز سیستم صورت می گیرند،"
- هنگامی که حرارت به یک منبع حرارتی اضافه شود، انرژی آن اضافه می شود و زمانی که حرارت منبع را ترک می کند انرژی آن کاهش می یابد.

- "دستگاه سرماساز کارنوت<sup>۱</sup> حرارت را از یک ناحیه در  $8^{\circ}\text{C}$ - می‌کشد و به یک منبع در  $15^{\circ}\text{C}$  پس می‌دهد،
- یک سرماساز حرارت را به مقدار  $Q$  از یک منبع بر می‌دارد،
- حرارت به مقدار  $798\text{KJ}$  به گاز یک منبع اضافه شد. ...

پ - اصول مهندسی ترمودینامیک هوول و بوکینوس [۸]

- "انتقال انرژی به آب سرد معمولاً به صورت افزایش انرژی گرمایی به آب سرد صورت می‌گیرد،
- "انجماد در فشار اتمسفر برای حرارت دادن هوا در مبدل حرارتی استفاده می‌شود،
- "مخزن انتقال حرارت برگشت پذیر ...،
- "شعله در دماهای  $1500\text{k}$  به عنوان یک منبع حرارت به کار می‌رود ...،
- "موتور حرارتی کارنوت، انتقال حرارت را از یک دیگ دریافت می‌کند ...،
- "سیستم  $1500\text{MW}$  نیرو را از انتقال حرارت از یک منبع  $327^{\circ}\text{C}$  دریافت می‌کند و گرمای اضافی را در دمای  $27^{\circ}\text{C}$  پس می‌دهد،
- "یک موتور حرارتی انرژی را از منبع  $540^{\circ}\text{C}$  دریافت می‌دارد ...".

ت - ترمودینامیک هلمن [۹]

- "امروزه اشتباه می‌دانیم که بگوئیم حرارت در داخل یک سیستم نیست، بلکه حرارت ناشی از فرایندی است که در آن جسم از یک حالت به حالت دیگر تغییر می‌یابد."
- "تنها تغییر در انرژی درونی مربوط است به تابع انرژی گرمایی ...،"
- "اگر فرض کنیم مخزن یک منبع حرارت است، اگر بخار تقطیر شود حرارت آزاد می‌گردد،
- "به فرایندی که حرارت را آزاد کند اگزوترمیک<sup>۲</sup> و فرایندی که حرارت را جذب کند اندوترمیک<sup>۳</sup> می‌نامند،"
- "حرارت واکنش" عبارت است از انرژی که ناشی از یک واکنش شیمیایی است ...

۱ - Carnot Refrigerator

۲ - Exothermic

۳ - Endothermic

### ج - انتقال حرارت هولمن [۱۰]

- "اگر منبع حرارت یا چاه حرارت در یک جسم جامد باشد ..."
- "انرژی که از سمت چپ نفوذ می‌کند + حرارتی که تولید می‌شود = تغییرات انرژی داخلی و انرژی که از راست به خارج نفوذ می‌کند"
- "یک منبع حرارتی ... عبارت است از سیستمی که حرارت در آن تولید می‌شود ..."
- "در یک شرایط پایدار، مجموع حرارت تولیدی باید با حرارت خارج شده برابر باشد ..."

### ج - انتقال حرارت اوسازیک [۱۱]

- "صفحه‌ای که به صورت الکتریکی حرارت داده می‌شود، حرارت را با جابه‌جایی از دست می‌دهد"
- "حرارت فراهم شده به صفحه ... از جلو آن گرفته می‌شود ..."
- "خالص حرارت به دست آمده از طریق هدایت + نرخ انرژی تولیدی = افزایش نرخ انرژی درونی"
- "حرارت در داخل جسم تولید نمی‌شود. حرارت به وسیله عبور جریان الکتریسته به میله در زمان  $t=0$  داده می‌شود"
- "به سطح آهنی پایه  $A=0.25m^2$  حرارت داده می‌شود. از ناحیه بیرونی سطح با المان حرارتی  $250$  واتی ..."

### ج - اصول انتقال حرارت و جرم اینکروپرا و دویت [۱۲]

- "انتقال حرارت یا حرارت عبارت است از انرژی در حال گذر ناشی از اختلاف دما ..."
- "نرخ انرژی گرمایی تولیدی با نرخ تبدیل یک انرژی دیگر مثل شیمیایی، الکتریکی، الکترومغناطیسی یا هسته‌ای همراه است ... برای نمونه، یک واکنش اکزوترمیک ممکن است با تبدیل انرژی شیمیایی به انرژی گرمایی همراه باشد ... منبع دیگر انرژی گرمایی عبارت است از تبدیل انرژی الکتریکی که ناشی از مقاومت گرمایی هنگامی که جریان از داخل آن عبور می‌کند"
- "در همان زمان با عبور جریان گاز با دمای  $500^\circ C$  به سطح استوانه حرارت داده می‌شود ..."
- "ناگهان، با عبور جریان الکتریسته از قطعه حرارت یکنواختی با نرخ  $(\frac{W}{m^2})$  تولید می‌شود ..."

- "با داخل شدن المان به داخل هسته راکتور حرارتی با نرخ  $\frac{W}{m^3}$   $j=1$  تولید می شود ..."

#### خ - اصول انتقال حرارت چاپمن [۱۳]

- "بنابه قانون اول ترمودینامیک، حرارت (انرژی درونی) داده شده به وسیله یک جسم مساوی حرارت گرفته شده توسط جسم است"

- "با اجرای بالانس انرژی روی یک المان به صورت حرارت وارده و خارج شده از شش وجه آن، حرارت ذخیره شده در داخل آن و حرارت تولید شده در داخل جسم، رابطه ای به دست می آید که ارتباط دمای داخل جسم را با یکدیگر برقرار می سازد"

- "یک لایه سیمان به ضخامت ۷/۵ اینچ با نرخ حرارت داخلی  $\frac{BTU}{hr-ft^3}$  ۵۰ در حال پخت است ..."

- "نیمی از حرارت داخلی تولید شده باید برابر با آنچه خارج شده از سطح دیوار و ..."

در مثالهای فوق ملاحظه می شود که چگونه نویسندگان به معنی ترمودینامیک حرارت معتقدند، ولی همچنان که نشان داده شد، پایبندی به آن غیرممکن است. به سادگی می توان دریافت که بسیاری از کاربردهای حرارت با تعریف آن در ترمودینامیک، سازگار نیست. از جمله گفته اند "حرارت تولیدی"، "مخزن حرارت"، "آزاد شدن حرارت" و حتی "حرارت دادن به جریان گاز" که نادرست هستند، ولی این عبارات کسی را ناراحت نکرده است به استثنای افرادی که به دنبال تعریف دقیق و معانی صحیح کلمات هستند.

این عبارات، طبیعی به نظر می رسند، مفهوم را به خوبی می رسانند و به طور مؤثر مقبول واقع شده اند. علاوه بر آن، نمی توان عبارتهایی که بتواند جانشین آنها شود، به سادگی پیدا کرد. بعضی از پژوهشگران پیشنهادهایی را ارائه داده اند، ولی دلچسب نبوده است، در عین اینکه مبهم هم به نظر می رسیده اند.

با توجه به مراتب فوق، مهندسان و دانشمندان عبارتهای بالا را پذیرفته اند و اعتراض هم صورت نگرفته است. حساسیتی بر اینکه تئوری مرده کالری مجدداً زنده شود و از حرارت به عنوان یک جسم نام برده شود، وجود ندارد. لذا به جاست که به صحنه مفاهیم وارد شویم و در یک شرایط آزاد، معنی مبسوطی برای حرارت قایل شویم و با خط پایان کشیدن به ابهامات، معانی زیبایی آن را قانونمند سازیم. تعصب در به کار بردن معنی خاص برای حرارت، کمکی در آموزش نمی کند، در



حالی که ممکن است دیگران را گیج کند.

#### ۴. سابقه ترمودینامیکی

در ترمودینامیک، واژه انرژی کلمه‌ای ریشه‌دار است. همچنان که در ابتدا ذکر شد، به منظور توانایی در تغییر به کار می‌رود. این واژه به تمام فرمهای انرژی در دسترس از جمله میکروسکوپی<sup>۱</sup> و میکروسکوپی<sup>۲</sup> چه در حالت ایستا و چه در حالت حرکت اطلاق می‌شود. لذا عبارت "این سیستم دارای ۲۰k انرژی است" که می‌تواند در شرایط مختلف باشد، خیلی مبهم است.

انرژی در حالت‌های خاص و متفاوتی وجود دارد. برای مشخص کردن آن، باید ویژگیهای انرژی ذکر شود. فرم استاتیک انرژی از مواردی است که سیستم ذخیره دارد و مجموع همه آنها را انرژی کل سیستم می‌گویند. هر دو بخش میکروسکوپی و میکروسکوپی در مجموع مقدار کل انرژی سیستم قرار دارند. انرژیهای دینامیکی جسم، آنهايي هستند که در حالت گذرا می‌باشند، این نوع انرژیها منتقل می‌شوند، ولی ذخیره نمی‌شوند. حرارت و کار از این نوع انرژی هستند. برای مثال، محور دوران<sup>۳</sup> یک پنکه انرژی الکتریکی را به پره‌ها منتقل می‌کند. خود محور انرژی را نمی‌تواند ذخیره کند. هنگامی که شافت می‌ایستد، کار شافت صفر می‌شود.

انرژیهایی که جسم بر مبنای مبدأ و محور مختصات خارجی داراست، از نوع انرژی میکروسکوپی است، مانند انرژی جنبشی و پتانسیل. نوع میکروسکوپی انرژی به ساختار مولکولی، درجه آزادی حرکت مولکولهای مرتبط است و به مبدأ یا محور مختصات خارجی بستگی ندارد. مجموع انرژی میکروسکوپی جسم را انرژی داخلی می‌نامند. آن بخش از انرژی داخلی که با جابه‌جایی، چرخش و حرکت ارتعاشی مولکولهای سیستم مربوط می‌شود، انرژی محسوس یا انرژی داخلی نامیده می‌شود. این نوع انرژی با خاصیت محسوس دما شناسایی می‌شود، زیرا در دماهای بالاتر مولکولها فعالتر و دارای انرژی درونی بیشتری می‌شوند. انرژی‌ای که به حالت سیستم مربوط است، به نام انرژی نهان نامیده می‌شود و عبارت است از انرژی که

۱ - Macroscopic

۲ - Microscopic

۳ - Shaft

سیستم ممکن است در هنگام تغییر حالت آزاد یا جذب کند. انرژی درونی جسم که به باندهای اتمی در مولکول مربوط است، به نام انرژی شیمیایی نمی باشد، آن انرژی ای است که در خلال یک فرایند شیمیایی آزاد یا جذب می شود. انرژی داخلی که به باندهای داخلی هسته اتم مربوط می شود، انرژی هسته ای نامیده می شود. فرایندهای هسته ای، به پدیده های شکاف هسته ای یا گداختگی هسته ای مربوط هستند.

بیشتر فرایندهایی که در عمل صورت می گیرند، بدون واکنش شیمیایی و هسته ای هستند، در این صورت انرژی درونی جسم اکثراً شامل انرژی محسوس و نهان می باشد. از جمله پدیده های گرمایش و سرمایش با یا بدون یخ زدن، تقطیر یا تبخیر از این دسته هستند. این نوع انرژی که به نام انرژی گرمایی نامیده می شود، از انرژی شیمیایی و هسته ای متفاوت است و قادر است وارد یا خارج یک سیستم شود، مشروط بر این که با محیط اختلاف دما داشته باشد، مثلاً یک ظرف یخ با صفر درجه سانتیگراد در محیط ۲۰ درجه سانتیگراد بالاخره به آب تبدیل می شود که ناشی از انتقال حرارت است.

طبق قانون اول ترمودینامیک، برای یک سیستم اگر انرژی بین سیستم و محیطش رد و بدل شود و ناشی از اختلاف دما باشد، حرارت است و در غیر این صورت کار است. حرارت در مرزها هنگام عبور قابل تشخیص است، لذا یک پدیده مرزی و گذراست، هنگامی که حرارت از مرز عبور کرد، جزو انرژی داخلی سیستم می شود، با توجه به مراتب فوق در ترمودینامیک، حرارت به مرز سیستم بستگی دارد. مثلاً اگر یک سیم داغ داخل یک اتاق را سیستم بگوییم، انرژی را که از دست می دهد حرارت است. اما اگر سیستم اتاق باشد، دیگر حرارت نیست، زیرا اتاق در این حالت هیچ گونه انرژی را از دست نداده یا به دست نیاورده است.

ترمودینامیک، موقعی حرارت را تشخیص می دهد که بین سیستم و محیطش تبادل صورت گیرد. البته این ایده در ابتدا موجب سردرگمی دانشجویان می شود. این ابهام فقط مخصوص حرارت است و به کار تسری ندارد. کار همیشه با یک اثرگذاری<sup>۱</sup> همراه است و کسی از وجود کار در داخل سیستم بحث نمی کند.

## ۵. تجدید تعاریف

با توجه به مطالعات فوق، به نظر می‌رسد که راه‌حل مناسبی برای تفسیر و تعبیر کلمه حرارت وجود داشته باشد. در این راستا کلمه حرارت در ترمودینامیک باید به نحوی هماهنگ شود تا ضمن داشتن دقت لازم، با کاربردهای روزمره زندگی نیز همخوانی<sup>۱</sup> داشته باشد. با این قصد پیشنهاد های زیر ارائه می‌شود.

I. "حرارت را نوعی از انرژی تعریف کنیم که قابل انتقال در اثر اختلاف دما باشد. به عبارتی دیگر، حرارت ترکیبی از انرژی محسوس و نهان است"

II. "در کتابهای ترمودینامیک، بررسی از حرارت به انتقال حرارت تبدیل شود" با این حالت، سیستمها حرارت دارند، ولی انتقال حرارت ندارند که با درک ما از حرارت همسویی دارد. "نیروی محرکه انتقال حرارت اختلاف دماست" و حرارت در این وضعیت شروع به جابه‌جایی و حرکت می‌کند. در کاربردها عبارت "حرارت" به "انرژی گرمایی" ارجحیت دارد، زیرا گویاتر است و همه آن را می‌دانند.

در ذیل چند نتیجه از این پیشنهاد ارائه می‌شود:

۱. عبارت "حرارت محسوس" صحیح و معادل "انرژی داخلی محسوس" است. همچنین "حرارت نهان" درست معادل "انرژی داخلی نهان" است. اما عبارت حرارت شیمیایی و حرارت هسته‌ای مقبول نیستند، زیرا انرژی شیمیایی و هسته‌ای نمی‌توانند به محیطهای اطراف خود که اختلاف دما دارند منتقل شوند.

۲. عبارت "حرارت موجود در یک سیستم" پذیرفتنی است و مربوط می‌شود به کل انرژی که سیستم با داشتن اختلاف با محیط می‌تواند رد و بدل کند.

۳. عبارتهای "کسب حرارت"، "از دست دادن حرارت"، "جابه‌جایی حرارت"، "جذب حرارت"، "دریافت حرارت"، "ارائه حرارت"، "آزادی حرارت"، "بخش حرارت" و "حرارت هدر رفته" صحیح هستند.

۴. عبارتهای "مخزن حرارت"، "منبع حرارت"، "چاه حرارت"، نیز صحیح هستند و اشاره به اجسامی دارند که حرارت را جذب یا دفع می‌کنند و این کار در دمای ثابت انجام می‌شود.

۵. عبارتهای "حرارت اصطکاکي"، "حرارت دهی برقی"، "مقاومت حرارت" درست هستند و به تبدیل انرژی مکانیکی و برقی به انرژی حرارتی مربوط می‌شوند.
  ۶. جمله "در خلال یک فرایند، انرژی شیمیایی به حرارت تبدیل می‌شود یا حرارت آزاد شده" صحیح است.
  ۷. عبارت "تولید حرارت" که در کتابهای مهندسی زیاد به کار می‌رود، صحیح است و منظور تبدیل انرژی خارجی به انرژی حرارتی است. این شکل از فرم "تولید انرژی گرمایی" یا "تولید انرژی" مناسبتر است، زیرا در شکلهای دوم و سوم، نوع انرژی تولید شده معلوم نیست. عبارت دیگر مثل "حرارت ذخیره شده در داخل یک جسم" نیز صحیح است.
  ۸. جمله "پرنندگان حرارت بدن خود را حفظ می‌کنند" که در ترمودینامیک برای نشان دادن کاربرد نادرست حرارت است نیز مناسب و درست است.
  ۹. فعل داغ کردن به معنی تأمین انرژی به صورت حرارت یا برای افزایش درجه حرارت است. برای مثال، به وسیله قراردادن یک سیم در داخل آب، عبور جریان الکتریسیته به علت مقاومت سیم، حرارت تولید و به آب منتقل می‌شود. اما آب به علت افزایش ارتفاعش افزایش دما ندارد، در حالی که انرژی پتانسیل آن زیاد شده است.
  ۱۰. عبارتهای "منبع انتقال حرارت"، "انتقال حرارت را به مقداری دریافت کرده" نامفهوم است و نباید به کار روند.
- با پیشنهادها ارائه شده، آزادی عمل بیشتری برای کاربرد و تبدیل کار به حرارت در مباحث مختلف به وجود خواهد آمد. حرارت و کار به یکدیگر تبدیل می‌شوند و انرژی درگیر<sup>۱</sup> که از انتقال کار شروع می‌شود ممکن است با انتقال حرارت پایان یابد. از نظر تبادل و درگیری، انتخاب مرز سیستم خیلی مهم است، این پدیده‌ها در مرز سیستم شناسایی می‌شوند، نه در مرکز آن. در مثال گذشته، انرژی تبادل شده به آب یک مخزن، توسط المان برقی کار خواهد بود، اگر مرزها شامل المان حرارتی نیز باشد. اما فرایند داخلی حرارت خواهد بود، اگر مرز شامل المان برقی نشود. در حالت اول، انرژی الکتریکی به علت اصطکاک در داخل سیم به حرارت تبدیل شد، (انرژی داخلی محسوس)، سپس به علت اختلاف دما به آب منتقل شده است. این پدیده را غالباً "حرارت

دهی مقاومتی<sup>۱</sup> می‌نامند، زیرا انرژی کار الکتریکی بوده است. همچنین هنگامی که دو جسم متحرک با یکدیگر تماس پیدا کنند، در نتیجه کار مکانیکی و تبدیل آن به حرارت، دما در محل تماس بالا می‌رود. حرارت به علت اختلاف دما به قسمت‌های درونی جسم منتقل می‌شود. در این حالت می‌گوییم کار مکانیکی در محل تماس به حرارت تبدیل می‌شود و حرارت به علت اختلاف دما به داخل جسم منتقل می‌شود. توجه شود که در این جهت، برای بیان انرژی کلمه حرارت گفته می‌شود بعد از تبدیل<sup>۱</sup> و سپس به علت اختلاف دما انرژی جابه‌جا شده است. گازی در شرایط تعادل قرار دارد، هنگامی که فشرده شود، درجه حرارت آن افزایش می‌یابد که ناشی از تبدیل کار به حرکت مولکولهای گاز است. ما در این حالت می‌گوییم با فشار دادن گاز گرم شده، یعنی در این فرایند کار مرزی<sup>۲</sup> به حرارت تبدیل شده است، سپس حرارت تولید شده، به علت اختلاف دما به محیطش منتقل می‌شود.

## ۶. جمع‌بندی

به طور خلاصه، در این نوشتار مطلب جدیدی گفته نشده، بلکه سعی شده است تا معنی حرارت در ترمودینامیک واضحتر و نوشته‌ها قاعده‌مند شود. پیشنهاد شد که بازی با کلمات پایان یابد و مهندسان واژه حرارت را به زبان عامیانه به کار برند، بدون اینکه دقت و صحت موضوع خدشه‌دار شود.

امید است که این پیشنهادها به شفافیت موضوع و معنی حرارت و سایر عبارتهای انرژی کمک کند و مغایرتها را حذف و ابهام بین دانشجویان علوم و مهندسی را برطرف کند. با پذیرش این تعاریف، گفتگو ساده‌تر و آموختن بهتر می‌شود. سازگاری در نوشتن علمی به وجود می‌آورد تا کتابهای درسی آینده از آن بهره‌مند شوند.

این اقدامات، قبلاً در زمینه‌های دیگری به عمل آمده و موفقیت‌آمیز بوده است. ابهامات در ترمودینامیک خاتمه یافته است. در دهه ۱۹۶۰ اشتباهات زیادی در سیستم متریک شناسایی و تجدید نظر شدند تا سیستم بین‌المللی SI پدید آمد. این گونه توضیحات برای همه مفید است و در راستای تشریح و مشخص کردن معنی انرژی قرار دارد. پیشنهادهای ارائه شده طبیعی است و به

سادگی در شاخه‌های مهندسی و علوم پذیرفته می‌شوند [۲].

### پیوست الف واحد حرارت

۱. واحد استاندارد حرارت کالری سی باشد و آن عبارت است از مقدار حرارتی که یک گرم آب را از  $14/5^{\circ}\text{C}$  به  $15/5^{\circ}\text{C}$  برساند. مقدار حرارت کالری متوسط نیز همچنین عبارت است از یک صدم گرمای لازم که دمای یک گرم آب را از صفر به  $100$  درجه سانتی‌گراد برساند.
۲. همچنین روابط زیر بین واحدهای مختلف حرارت وجود دارد.

$$1 \text{ Cal} = \frac{1}{860} \text{ Watt-hr} = 4/180 \text{ Joul}$$

$$252 \text{ Cal} = 1 \text{ BTU}$$

$$1 \text{ BTU} = 1054/55 \text{ Joul}$$

$$1 \text{ BTU} = 778/1 \text{ ft-lb}$$

۳. در روابط فوق مقدار BTU عبارت است از گرمایی که دمای  $1$  پوند آب  $68$ -درجه فارنهایت را یک درجه افزایش دهد.

۴. هر ژول یک نیوتن - متر می‌باشد و بین نرخ انتقال حرارت رابطه‌های زیر برقرار است.

$$1 \text{ W} = 3/412 \text{ BTU/hr}$$

$$1 \text{ W} = 1 \text{ Joul/sec}$$

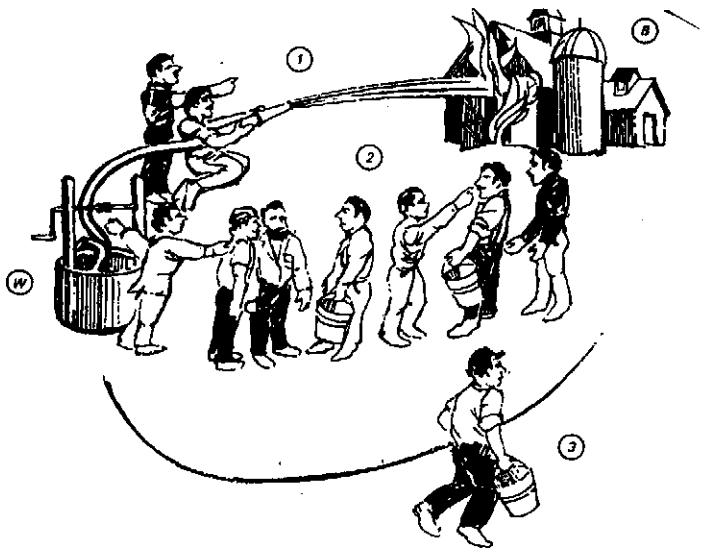
$$1 \frac{\text{BTU}}{\text{ft}^2\text{-hr}} = 10/35 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} = 8/9 \text{ kCal/h.m}^2$$

$$1 \text{ hp} = 745/7 \text{ W}$$

که W = وات، hr = ساعت، sec = ثانیه، Cal = کالری، m = متر، hp = اسب بخار، ft = فوت،  
lb = پاند، و N = نیوتن است.

پیوست ب

روشهای انتقال حرارت با تصویر [۱۴]



۱. روش آبیاری مستقیماً آب را از مخزن به خانه منتقل می‌کند، بدون اینکه نیاز به ماده دیگری باشد. این مثال مشابه انتقال حرارت به روش تشعشع گرمایی است.
۲. آب داخل سطلها توسط افراد از مخزن به خانه می‌رسد. این انتقال آب مشابه انتقال حرارت به روش هدایت است.
۳. آب توسط یک دوندۀ که نماینده محیط حامل است از چاه به خانه می‌رسد. این انتقال مشابه روش جابه‌جایی انتقال حرارت است.

## مراجع

1. J.H. Potler, "Handbook of the Engineering Science", Vol. 1, pp 288, 1967.
2. Y.A. Cengel, "Extending the Meaning of Heat", ASME, HTD, Vol. 116, pp. 27-31, 1989.
3. M. Tribus, "Generalizing the Meaning of Heat", Int. J. Heat Mass Transfer, Vol. 11, pp. 9-14, 1968.
4. L.S. Dzung, "Note on the Meaning of Heat", Int. J. Heat Mass Transfer, Vol. 11, pp. 1575-1576, 1968.
5. R.A. Gaggioli, "More on Generalizing the Definitions of Heat and Entropy", Int. J. Heat Mass Transfer, Vol. 12, pp. 656-660, 1969.
6. G.J. Van Wylen, and R.E. Sonntag, "Fundamentals of Classical Thermodynamics", English/SI Version, 3rd. Edition, Wiley, New York, 1986.
7. K. Wark, "Thermodynamics", 4th. Edition, McGraw-Hill, New York, 1983.
8. J.R. Howell and R.O. Buckius, "Fundamentals of Engineering Thermodynamics", SI Version, McGraw-Hill, New York, 1987.
9. J.R. Holman, "Thermodynamics", 3rd. Edition, McGraw-Hill, New York, 1980.
10. J.R. Holman, "Heat Transfer", 5th. Edition, McGraw-Hill, New York, 1981.
11. M.N. Ozisik, "Heat Transfer - A Basic Approach", McGraw-Hill, New York, 1985.
12. F.P. Incropera, and D.P. Dewitt, "Fundamentals of Heat and Mass Transfer, 2nd Edition, Wiley, New York, 1985.
13. A.J. Chapman, "Fundamentals of Heat Transfer", McGraw-Hill, New York, 1987.
14. J.H. Lienhard, "A Heat Transfer Textbook", 2nd Edition, Prentice-Hall, Inc. 1987.

(تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۷۸/۸/۱۵)