مقاله مروری

پژوهش در آموزش شیمی، سال سوم، شماره سوم، صفحات ۹۳-۱۰۸

پژوهش در آموزش شیمی

http: //chemedu.cfu.ac.ir

بررسی و تحلیل مسیرهای متفاوت یادگیری، توضیح و درک مفهوم آنتروپی

حمیده حقیقت [۱]*، علیرضا خدایی [۲]

[۱] استادیار گروه علوم پایه، دانشگاه فرهنگیان، تبریز، ایران

[۴] دانشجوی آموزش شیمی، دانشگاه فرهنگیان، تبریز، ایران

چکیده

بسیاری از دانش‌آموزان دبیرستانی و دانشگاهی با ایده‌های اساسی ترمودینامیکی در شیمی مشکل دارند. ترمودینامیک تقریباً متشکل از مفاهیم و معادلاتی است که قابل درک نیستند و برای انجام محاسبات و قبولی در امتحانات باید به طور مفروض آموخته شوند. ازجمله این مفاهیم مهم و تاحدودی غیر قابل درک برای فراگیران آنتروپی و پیش‌بینی تغییرات آن طی واکنش است. این مقاله با هدف بررسی این مفهوم به شرح مختصری از روابط ذکر شده پرداخته و برخی از راه‌های بیان این مفهوم را در یادگیری و غلبه بر کج فهمی‌های رایج در مورد آن را با استفاده از نتایج پژوهش‌های منتخب انجام شده در این زمینه مورد بررسی و تحلیل قرار داده است. در این مطالعه آنچه را که فراگیران از آنتروپی می‌فهمند و آنچه را که به اشتباه می‌فهمند شناسایی و طبقه‌بندی شده است. از جمله عواملی که در درک دقیق آنتروپی مؤثر است و به یادگیری مناسب آن کمک می‌کند می‌توان به ارتباط آنتروپی با حرکات مولکولی، به کارگیری اصطلاحات مناسب در بیان آن، استفاده از قیاس و ارتباط ترازهای انرژی با تغییرات آنتروپی در آموزش این مفهوم اشاره کرد.

کلیدواژه‌ها: قانون دوم ترمودینامیک، تابع آنتروپی، یادگیری مؤثر، آموزش شیمی.

* نویسنده مسئول: (✉ h.haghighat58@gmail.com)

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۶/۷ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱/۲۶

مقدّمه

یکی از حوزه‌های یادگیری درسی، علوم تجربی است و یادگیری شیمی بخش جدایی‌ناپذیر این حوزه محسوب می‌شود. ذات پیچیده علم شیمی ممکن است چالش‌هایی در روند یادگیری آن ایجاد کند و عدم توجه به این چالش‌ها سبب گمراهی و عدم ایجاد یک ارتباط منطقی بین مفاهیم شود. شیمی ازجمله دروس انتزاعی و به دور از درک و تحلیل فیزیکی است و یادگیرندگان آن برای فهم مفاهیم دشوار نیازمند به سخت کوشی و اختصاص مدت زمان بیشتری برای یادگیری هستند. فراگیران در این درس همانند سایر دروس، ممکن است از بعد یادگیری و درک مفاهیم و اصطلاحات دشوار آن دچار کج فهمی شوند. پژوهش بر روی کج‌فهمی‌های دانش‌آموزان در دهه‌های اخیر کانون بحث در آموزش علوم بوده است، زیرا ریشه‌ای عمیق پیدا کرده و مانع اصلی در برابر آموزش و درک مناسب مفاهیم علمی است. اسکلی[۱] و هال[۲] کج‌فهمی را به عنوان یک بازنمایی ذهنی از یک مفهوم که با نظریه‌های علمی رایج تطابق ندارد، تعریف کرده‌اند (ناکیبوقلو[۳] ۲۰۰۳). مطالعات زیادی در این زمینه ضمن بررسی درک دانش‌آموزان از موضوعات مختلف علوم در سطوح مختلف در سیستم آموزشی نشان می‌دهد که ناهمخوانی زیادی بین مفاهیم پذیرفته شده علمی و مفاهیم کسب شده توسط دانش‌آموزان وجود دارد (پی‌فاندت[۴] و دیوت[۵] ۱۹۹۴). از طرفی مطالعات اندکی که در دانشگاه-ها انجام شده است نشان می‌دهد که دانشجویان در مقطع کارشناسی درک ضعیفی از مفاهیم آنتروپی و انرژی آزاد گیبس دارند (سوزبیلیر[۶] ۲۰۰۱؛ پینتو کاسولراز[۷] ۱۹۹۱؛ ریبیرو[۸] و همکاران، ۱۹۹۰؛ کارسون[۹] و واتسون؛[۱۰] ۲۰۰۲).

---

۱ Skelly
۲ Hall
۳ Nakiboglu
۴ Pfundt
۵ Duit
۶ Sozbilir
۷ Pinto Casulleras
۸ Ribeiro
۹ Carson
۱۰ Watson

ترمودینامیک یکی از موضوعات بسیار دشوار و انتزاعی برای دانش‌آموزان و دانشجویان است و درک و تحلیل دشوار آن سبب به وجود آمدن کج‌فهمی و تصورات غلط فراوانی در این مبحث می‌شود (کوستیک[۱] ۲۰۲۰؛ مارتیوشف[۲] ۲۰۱۳).

قوانین ترمودینامیک به چهار قانون فیزیکی گفته می‌شود که از واحدهای اصلی فیزیک (مانند فشار، انرژی و آنتروپی) برای توصیف سیستم‌های ترمودینامیکی در یک تعادل گرمائی استفاده می‌کنند. قوانین عنوان شده به توضیح این موضوع می‌پردازند که هریک از این واحدهای اصلی در شرایط گوناگون چگونه رفتار می‌کنند.

قانون اول ترمودینامیک به عنوان قانون بقای کار و انرژی شناخته می‌شود. این قانون می‌گوید که تغییرات انرژی یک سیستم برابر با مجموع حرارت وارد شده به آن و کار انجام شده روی سیستم است. قانون دوم ترمودینامیک مسیر انجام یک فرایند را تعیین می‌کند و به ابداع مفهوم مجردی بنام آنتروپی می‌انجامد. طبق قانون دوم ترمودینامیک هر فعالیت طبیعی موجب افزایش آنتروپی می‌شود و جهت و گرایش طبیعت نیز به سوی بی‌نظمی است. آنتروپی خاصیتی ترمودینامیکی بوده و تغییرات آن در سیستم‌ها قابل اندازه‌گیری است. آنتروپی را می‌توان معیاری از تعداد حالت‌های داخلی یک سامانه که می‌تواند وجود داشته باشد تعریف کرد، بدون آنکه برای یک ناظر خارجی که فقط کمیت-های ماکروسکوپی(مثل جرم.سرعت.....) آن را مشاهده می‌کند، متفاوت به نظر برسد (وجدی سبزوار, ۱۳۹۰).

دانشجویان و دانش‌آموزان، ترمودینامیک را تقریباً معادلاتی غیرقابل فهم می‌دانند. با وجود اهمیت ترمودینامیک به عنوان مفهوم بنیادی در شیمی، اغلب آنان، درک بسیار محدودی از موضوع داشته و به پایه‌های بالاتر می‌روند (سوزبیلیر، ۲۰۰۷).

هدف از این مطالعه، جمع‌بندی و گردآوری پژوهش‌های انجام شده در ارتباط با موضوع آنتروپی، کج فهمی‌های رایج در مورد آن و بررسی برخی از راه‌های پیشنهادی در زمینه مفهوم‌سازی و درک مفهومی مناسب در دانش‌آموزان، دانشجویان و علاقمندان علم شیمی است.

روش پژوهش

---

[۱] Kostic
[۲] Martyushev

پژوهش حاضر پژوهشی توصیفی_تحلیلی است. در این پژوهش ضمن تعریف قانون دوم ترمودینامیک و تابع آنتروپی به بررسی برخی کج فهمی‌های رایج درباره این مفهوم و عوامل مؤثر بر رفع آن با مطالعه منابع مرتبط و اسناد موجود و در دسترس ملی من جمله: مقالات،کتاب‌ها و مجلات علمی پرداخته شده است. طی تدوین و تهیه مطالب سعی بر ادای مطلب و انتقال مستقیم نتایج و بررسی‌های پژوهشگران گرامی شده است.

یافته های پژوهش

تعریف دقیقی از قانون دوم ترمودینامیک و تابع آنتروپی می‌تواند زمینه‌های کج فهمی و مسیر یادگیری مناسب را روشن و همچنین اقدامات لازم برای اصلاح و غلبه بر آن را فراهم آورد. در مکانیک آماری، آنتروپی با نماد S یک خاصیت شدتی در یک سیستم ترمودینامیکی است. آنتروپی با تعداد آرایش‌های میکروسکوپی که یک سیستم ترمودینامیکی، در حالتی که با چندین متغیر ماکروسکوپیک از پیش تعیین شده می‌تواند داشته باشد، مرتبط است. به عبارتی، آنتروپی یک سامانه‌ی فیزیکی با کمترین تعداد ذراتی که برای تعریف صحیح حالت دقیق سامانه لازم است، است. آنتروپی نماینده تصادفی بودن مولکول‌ها است و در واقع ویژگی‌های یک سامانه را تعریف می‌کند. این واژه در رشته‌های گوناگون علمی، معانی متفاوت پیدا کرده است (دانشنامه آزاد ویکی پدیا، تعاریف آنتروپی ؛ شاه محمدی و همکاران، ۱۳۹۰؛ مرصعی، ۱۳۹۶). ازجمله تعاریف متعدد آن به موارد زیر می‌توان اشاره کرد:

- آنتروپی یا بی نظمی (آشفتگی) یا عدم قطعیت یک سیستم را بیان می‌کند.
- آنتروپی به عنوان یک بردار زمان، شاخصی اساسی برای تشخیص گذشت زمان است. هر جا مقدار آنتروپی افزایش داشته باشد، نشان می‌دهد که زمان به سمت آینده در حال پیشرفت است.
- از دیدگاه انرژی آزاد، آنتروپی با گرمایی که برای انجام کار در دسترس نیست، ارتباط دارد.
- آنتروپی اندازه بی‌نظمی سامانه یا ماده‌ای است که در حال بررسی است.
- آنتروپی معیاری از اشتباهات تصادفی است که در هنگام انتقال یک سیگنال به وجود می‌آید؛ بنابراین می‌تواند معیاری از بازده‌ی سیستم ارسال پیام باشد.
- آنتروپی معیاری از تعداد حالت‌های داخلی است که یک سیستم می‌تواند داشته باشد.

همانطور که می‌دانیم در ترمودینامیک با متغیرهای ماکروسکوپیک، مانند فشار و دما و حجم سر و کار داریم. قوانین اصلی ترمودینامیک بر حسب چنین کمیت‌هایی بیان می‌شوند و هیچگاه درباره این امر که ماده از اتم‌ها ساخته شده است صحبتی نمی‌کنند در حالی که مکانیک آماری با همان حیطه‌ای از علم سر و کار دارد که ترمودینامیک از آن بحث می‌کند و وجود اتم‌ها را از پیش مفروض می‌داند. بنابراین با توجه به تعریفی که از آنتروپی شد، می‌توان برای به دست آوردن درک درست از آن و جلوگیری از به وجود آمدن فهم اشتباه در بیان آن موارد زیر را در نظر گرفت و در آموزش این مفهوم از آن‌ها استفاده کرد.

به عنوان نمونه یکی از روش‌هایی که برای رسیدن به این منظور می‌تواند کمک کند در نظر گرفتن حرکات مولکولی و نظریه جنبشی در بیان آنتروپی است. نظریه جنبشی گازها از نظریه‌های مهم مولکولی است. با استفاده از نظریه جنبشی گازها می‌توان بین خواص ماکروسکوپی و میکروسکوپی ارتباط برقرار کرد. در این نظریه درباره تغییر موقعیت ذرات و حرکت آن‌ها در اثر تغییر پارامترهایی مثل دما، حجم و فشار پرداخته شده است. نظریه جنبشی را شیمیدان‌ها و فیزیکدان‌های مختلف به مرور زمان گسترش داده‌اند و در حال حاضر همه حالت‌های ماده از جمله گاز، مایع، جامد و پلاسما در این نظریه مورد بحث هستند. حرکت مولکولی از موضوعات مورد بحث در نظریه جنبشی مولکولی است. زمانی که دما یا فشار سیستم تغییر می‌کند حرکت مولکول‌ها به تبع آن دچار تغییر می‌شود. این تغییر حرکت می‌تواند شامل حرکت-های چرخشی و ارتعاشی در جامدات و نیز حرکت انتقالی، چرخشی و ارتعاشی در مایعات و گازها باشد. با در نظر گرفتن تغییر حرکت مولکول‌ها نسبت به زمان می‌توان سرعت این تغییرات را تعیین کرد (براش[۱] و هال[۲] ۲۰۰۳).

بر اساس این موضوع ذیقمی (۱۳۹۲) بیان می‌دارد که بیان کلی از تابع آنتروپی به صورت ماکروسکوپی بدون پرداختن به ساختار مولکولی و نظریه‌های مولکولی موجب کج فهمی‌ها و درک نادرستی از آن می‌شود. در واقع بیان ماکروسکوپی از تابع آنتروپی در گام اول بیان مناسبی نیست و بیان میکروسکوپی و پرداختن به ساختار های مولکولی سیستم و نظریه‌های مولکولی کمک بزرگی به درک درست از آن خواهد نمود. آنتروپی یک سیستم با موقعیت‌های کوانتومی یا تعداد حالت‌های

---

[۱] Brush
[۲] Hall

میکروسکوپی سیستم رابطه تنگاتنگی دارد؛ در واقع هر چه موقعیت‌ها بیشتر باشد، آنتروپی سیستم هم بیشتر است (ذیقمی, ۱۳۹۲).

در جامدات مولکول‌ها فقط حرکت ارتعاشی دارند در حالیکه مولکول‌های مایعات علاوه بر حرکات ارتعاشی، حرکات چرخشی نیز دارند. سطوح انرژی چرخشی و ارتعاشی کوانتیده هستند و سطوح انرژی ارتعاشی نسبت به سطوح انرژی چرخشی از یکدیگر دورترند. در گازها سطوح انرژی انتقالی به سطوح انرژی چرخشی و ارتعاشی اضافه می‌شوند که بسیار به هم نزدیک‌اند. بنابراین موقعیت‌های توزیع انرژی در گازها بیشتر از مایعات و در مایعات بیشتر از جامدات است و باعث افزایش آنتروپی یک گاز نسبت به مایع و یک مایع نسبت به حالت جامد می‌شود. بنابراین در اینجا می‌توان با نشان دادن وابستگی آنتروپی به چگونگی توزیع انرژی در در حالت مختلف ماده فهم بهتر و یادگیری مؤثرتری را ایجاد و از کج فهمی ناشی از تصور نادرست که غالبا به بهم ریختگی و بی‌نظمی مولکول‌ها در اثر کاهش جاذبه‌های بین مولکولی در زمان تغییر حالت مواد از جامد به مایع و مایع به گاز نسبت داده می‌شود جلوگیری نمود (وجدی سبزوار, ۱۳۹۰) و افزایش آنتروپی را علاوه بر تحلیل بی‌نظمی فضایی، از طریق تحلیل انرژی توضیح داد.

روش دیگر به کارگیری اصطلاحات مناسب در بیان آنتروپی است. در دوران مدرسه و دانشگاه، کتاب‌های درسی، آنتروپی را به عنوان معیاری برای سنجش بی‌نظمی معرفی کرده‌اند و این جمله‌ی معروف بارها تکرار شده است که آنتروپی و بی‌نظمی جهان رو به افزایش است. البته چنین تعریفی نادرست نیست؛ اما درک خاصی از آنتروپی به فراگیر نمی‌دهد. در واقع، آنتروپی مفهومی است که به انرژی معنا می‌دهد؛ زیرا انرژی زمانی قابل استفاده است که قابلیت پخش شدن داشته باشد. آنتروپی در واقع میزان تمایل، به پخش و انتشار یک انرژی انباشته شده است. در بسیاری از کتاب‌های درسی برای معرفی آنتروپی از تمثیل اتاق مرتب و اتاق نامرتب استفاده می‌کنند و این‌طور نتیجه‌گیری می‌کنند که اتاق نامرتب آنتروپی بیشتری از اتاق مرتب دارد. در صورتی که این نتیجه‌گیری دقیق نیست. بی‌نظمی در آنتروپی از جنس بی‌نظمی تعریف شده در ذهن ما نیست. سیستمی که حجم بیشتری دارد، مکان‌های بیشتری برای حضور مولکول‌ها خواهد داشت و مولکول‌ها موقعیت‌های بیشتری برای جابه‌جایی دارند؛ پس در مقایسه‌ی این دو اتاق، آنتروپی اتاقی بیشتر است که فضای بیشتری داشته باشد. درست مانند زمانی که فرض کنیم اگر فضای بیشتری در اختیار ذره‌های یک گاز قرار بگیرد. در این صورت میزان بی نظمی گاز افزایش می‌یابد. چون امکان حرکت و جنب و جوش بیشتری برای ذره‌های گاز فراهم می‌شود. گازها وقتی در فضای بزرگتری قرار می‌گیرند در این

فضا پخش شده و بی نظمی بیشتری پیدا می‌کنند. بنابراین اتم‌های گاز ترجیح می‌دهند که همه‌ی حجم ظرف را اشغال کنند. در واقع در این مثال‌ها بی‌نظمی توزیع فضایی افزایش یافته است. بنابراین استفاده از واژه‌های نادرست در ارتباط با هر موضوعی خود باعث ایجاد کج فهمی در آن زمینه می‌شود. بنابراین شایسته است که در استفاده از واژه‌های مناسب‌تر در بیان مفاهیم بکوشیم و واژه‌های مناسب را جایگزین واژه‌های نامناسب در آموزش کنیم.

استفاده از قیاس در بیان آنتروپی یکی دیگر از روش‌های آموزش و یادگیری درست آن است. آنتروپی معیاری از میزان احتمال یک حالت انتخابی است. پس هر چه این احتمال بیشتر باشد، آنتروپی هم افزایش می‌یابد. در ضمن افزایش آنتروپی یک عامل مساعد برای خود به خودی شدن واکنش‌ها نیز است. استفاده از قیاس و ارائه تصاویر و توضیحات روشن می‌تواند سبب تفهیم بهتر مطالب مربوط به آنتروپی برای فرگیران شده و از کج فهمی در ذهن آن‌ها جلوگیری نماید.

مهدوی پور و رضایی ثانی(۱۳۹۰) دو نمونه قیاس را برای درک بهتر فراگیران درباره مفهوم آنتروپی در کلاس درس مورد بحث و بررسی قرا داده‌اند که شامل بررسی تغییرات آنتروپی درمقایسه با ورود و خروج دانش آموزان به هنگام زنگ مدرسه و بررسی تفاوت بین فضای کوچک با بزرگ در آزادی حرکت و تعداد انتخاب‌های محتمل برای استقرار است که می‌تواند به درک بهتر آنتروپی به عنوان بی‌نظمی در توزیع فضایی کمک کند (مهدوی پور و رضایی ثانی،۱۳۹۰).

استفاده از ترازهای انرژی در بیان مفهوم آنتروپی نیز می‌تواند به یادگیری مؤثر و درست آن کمک کند. به نظر گگنهایم[۱] به نقل از وجدی سبزوار(۱۳۹۰) آنتروپی را بایستی به عنوان "پخش شدگی" تصورکرد و آنتروپی زیاد بدین معنی است که ذرات تشکیل دهنده‌ی یک سامانه در گستره‌ی وسیعی از ترازهای انرژی پخش شده‌اند. آنتروپی انتشار خود به خودی انرژی را اندازه‌گیری می‌کند و در دمای معین مقدار انرژی منتشر شده یا چگونگی انتشار انرژی در یک فرایند را بیان می‌کند . در تفسیر موضوع آنتروپی دوحالت بیشینه دخالت دارد:

۱. تغییر ترازهای انرژی یک سامانه متغیر در حضور مقدارثابت انرژی
۲. افزایش انرژی سامانه بدون تغییر ترازهای انرژی

تفسیر آنتروپی به بی نظمی موضعی ذرات در واقع به حالت بیشینه‌ی اول مربوط می‌شود و به سبب اینکه اغلب مفهوم اساسی انرژی و تغییرات آن در موضوع آنتروپی نادیده گرفته می‌شود منجر

---

[۱] Guggenheim

به سادگی بیش از حد موضوع نیز شده و اغلب باعث سردرگمی و کج فهمی می‌شود. در واقع آنتروپی متناسب با تعداد راه‌هایی است که یک سامانه می‌تواند به آن شیوه‌ها وجود داشته باشد و این تعداد راه‌ها در واقع تعداد راه‌هایی است که انرژی کل می‌تواند بین مولکول‌ها تقسیم شود، یا تعداد راه‌هایی است که انرژی می‌تواند در یک سامانه ذخیره شود. گرم‌کردن یک سامانه همواره موجب افزایش آنتروپی آن می‌شود؛ زیرا هرچه انرژی یک سامانه بیشتر شود تعداد راه‌هایی که سامانه می‌تواند آن را ذخیره نماید، نیز بیشتر خواهد شد یا هرچه ترازهای انرژی بیشتری برای ذخیره شدن انرژی موجود باشد، تعداد راه‌های بیشتری برای ذخیره کردن آن توسط سامانه وجود خواهد داشت. بنابراین عدم وابستگی آنتروپی تنها به بی‌نظمی موضعی می‌تواند به درک بهتر آن کمک کند و هر جا که لازم باشد باید با در نظر گرفتن احتمالات توزیع انرژی در کل سیستم تعریف شود. درست مانند زمانی که به بررسی تغییر حالت ماده با تغییر آنتروپی وابسته به توزیع انرژی در سطوح مختلف انرژی حرکتی پرداخته شد.

ملتزر، در مطالعه خود به دنبال نظرات دانش‌آموزان در مورد مفاهیم ترمودینامیکی بود. اگرچه گرما، کار و انرژی داخلی مفاهیم کاملاً متفاوتی هستند، اما اکثر دانش‌آموزان نمی‌توانند بین آن‌ها تمایز قائل شوند. دانش‌آموزان عمدتاً برای درک انرژی درونی مشکل دارند و اصرار آن‌ها بر این تصور غلط به دانش قبلی آن‌ها در ارتباط با آن نسبت داده شد (ملتزر[۱] ۲۰۰۴). به طور مشابه، کوتینیولا و همکارانش و اریکسون و تیبرقین، ادعا کردند که دانش‌آموزان دارای ایده‌های غریزی در مورد گرما و دما هستند (کوتینیولا[۲] و همکارانش، ۲۰۰۲ ؛ اریکسون[۳] و تیبرقین[۴] ۱۹۸۵). پینتو کاسولراش، گزارش داد که دانش‌آموزان درک نادرستی از مفاهیم صرفه‌جویی در انرژی و کاهش انرژی دارند و نتیجه گرفتند که شباهت‌ها و تفاوت های غالب در گرما ، دما و انرژی دلیل این سردرگمی است و دانش‌آموزان در تشخیص مفاهیم گرما و دما مشکل جدی دارند (پینتو کاسولراش[۵] ۱۹۹۱).

به عنوان مثال، در یک دوره آموزشی ترمودینامیکی در گروه مهندسی به فراگیران فرم‌های نظرسنجی داده شد که شامل شش مفهوم ترمودینامیکی به عنوان گرما، دما، کار، بی‌نظمی، انرژی و

---

۱ Meltzer
۲ Cotignola
۳ Erickson
۴ Tiberghien
۵ Pinto Casulleras

احتمال بود و از آن‌ها خواسته شد تا با توجه به اهمیت ارتباط با آنتروپی، آن‌ها را در محدوده مورد نظر قرار دهند. همانطور که مشخص است گرما و دما ارتباط بسیار بالاتری با آنتروپی نسبت به بی نظمی دارند در حالی که فراگیران بیشترین و کمترین مفاهیم مرتبط با آنتروپی را به ترتیب اختلال و کار انتخاب کردند (توماس[۱]و شوئنز[۲]، ۱۹۹۸ ؛ هاگلوند[۳]و جپسون[۴]، ۲۰۱۴ ؛ لوورود[۵]، ۲۰۱۵؛ گوستاوسون[۶]، ویسفلاگ[۷]و اندرسون[۸]، ۲۰۱۳).

از آنجایی که مفاهیم ترمودینامیکی و به ویژه آنتروپی یکی از سخت‌ترین مفاهیم برای دانش-آموزان تلقی می‌شود، استعاره‌ها و قیاس ها در آموزش آن اغلب مورد استفاده قرار می‌گیرند. در فرایند آموزش، رایج‌ترین استعاره‌ای که در آموزش آنتروپی استفاده می‌شود، مفهوم اختلال، آشفتگی یا بی‌نظمی است. مفهوم اختلال اولین بار توسط بولتزمن برای بازتاب دیدگاه وی مورد استفاده قرار گرفت (آکبولوت[۹]و آلتون؛[۱۰]۲۰۲۰). استایر، ادعا کرد که آنتروپی یک مفهوم مبهم است که به طور کامل آنچه را که باید ذکر شود بیان نمی‌کند و گاهی اوقات ارتباط نظم/ بی‌نظمی یک اتاق با توزیع انرژی کافی نیست (استایر؛[۱۱]۲۰۰۰). به گفته‌ی هاگلوند و همکارانش، یکی از معایب استفاده از اختلال به عنوان استعاره در آموزش آنتروپی تمرکز بر ساختار مکانیکی و ظاهر پدیده است (هاگلوند و همکاران، ۲۰۱۰)

بسیاری از گزارش‌ها ادعا می‌کنند که آنچه دانش‌آموزان و معلمان از آنتروپی می‌فهمند بیشتر بی‌نظمی است (سلپه[۱۲]و بردلی[۱۳]؛ ۱۹۹۷ ؛ سازبیلیر[۱۴]؛ ۲۰۰۷ ؛ گوستاوسون و همکاران ، ۲۰۱۳ ؛ هاگلوند و همکاران ، ۲۰۱۵ ؛ هاگلوند و همکاران ، ۲۰۱۶). نتایج این بررسی‌ها نشان می‌دهد که:

---

[۱] Thomas
[۲] Schwenz
[۳] Haglund
[۴] Jeppsson
[۵] Loverude
[۶] Gustavsson
[۷] Weiszflog
[۸] Andersson
[۹] Akbulut
[۱۰] Altun
[۱۱] Styer
[۱۲] Selepe
[۱۳] Bradley
[۱۴] Sözbilir

- هم دانش‌آموزان و هم معلمان به طور گسترده‌ای از مفهوم اختلال برای یادگیری و تدریس آنتروپی استفاده می‌کنند.
- اگرچه دانش‌آموزان در توضیح ماکروسکوپی آنتروپی از مفاهیم انرژی آزاد گیبس و آنتالپی استفاده می‌کنند، ولی در توضیح میکروسکوپیک و ماکروسکوپی آنتروپی مشکل قابل توجهی دارند و تقریباً در مورد معنای ماکروسکوپی آن درک درستی ندارند (آکبولوت و آلتون، ۲۰۲۰).

بحث و نتیجه‌گیری

یکی از مهم‌ترین عواملی که سبب بروز کج فهمی عدم درک صحیح در یادگیری مفهوم آنتروپی در فراگیران می‌شود، چگونگی درک معلمان شیمی از مفهوم آنتروپی است. مطالعه دیدگاه بی‌نظمی بر درک دبیران شیمی از مفهوم آنتروپی نشان داد که تأثیر رویکرد بی‌نظمی بر باور معلمان از این مفهوم و میزان توانایی معلمان در بسط مفهوم آنتروپی به رویدادهای واقعی زندگی تأثیرگذار است. براساس نتایج این پژوهش، اغلب معلمان شیمی از تعاریف متنوع و ترمودینامیکی آنتروپی فقط به تعریف بی‌نظمی بسنده کرده‌اند. این عدم آشنایی، آن‌ها را هنگام ارائه مثال‌ها و مصداق‌های کاهش یا افزایش آنتروپی برای واکنش‌ها به استفاده از موارد ذکر شده در کتاب درسی محدود می‌کند. دیده شده که معلمان با نسبت دادن آنتروپی به بی‌نظمی، شلوغی و به هم ریختگی در اجسام ماکرو، خود نیز از مفهوم علمی آنتروپی فاصله گرفته‌اند. در واقع روش تعریف از مفهوم آنتروپی، دیدگاه ماکروسکوپی قوی در آنان ایجاد کرده و قادر به تعریف مفاهیم شیمی همچون آنتروپی در بعد میکروسکوپی و ذره‌ای نیستند (شاه محمدی و همکاران، ۱۳۹۰). بنابراین گام اول برای غلبه بر کج‌فهمی‌های رایج در فراگیران این است که معلمان خود به درک درستی از این مفهوم دست پیدا کرده باشند تا بتوانند در انتقال درست مفاهیم و اطلاعات همت گمارند و به انتقال دقیق مفاهیم و کاربرد تعاریف نوین و ارتقا یافته از آنتروپی بپردازند.

پیشنهاد می‌شود از عبارات و اصطلاحات درست در بیان آنتروپی استفاده شود. کاربرد کلمه بی‌نظمی در بیان آنتروپی نادرست نیست، اما می‌تواند باعث ایجاد کج فهمی در فراگیران شود (کوستیک، ۲۰۲۰) به طوری که به مرور زمان مفهوم اصلی ترمودینامیکی خود را از دست داده و معنای بی‌نظمی به قالب شلوغی و هرج و مرج تبدیل می‌گردد. بنابراین بهتر است به جای تاکید بر بی‌نظمی در تغییر آنتروپی سامانه به احتمال یافتن هر ذره در مکان‌های مختلف، توزیع انرژی در بین

انواع حرکت‌های مولکولی و شیوه آرایش ذره‌ها در سامانه توجه شود. آنتروپی را باید به عنوان شاخص انرژی منتشر شده در درون سامانه و بین سامانه و محیط آن و روش‌های توزیع ذره‌ها در یک سامانه معین تعریف کرد (امیری و همکاران، ۱۳۹۲).

همچنین پیشنهاد می‌شود با توجه به پیچیده بودن مفهوم آنتروپی و پرداختن به مفهوم ترمودینامیک در دوره‌های دانشگاهی، برای ایجاد درک روشنی از این مفهوم به مصداق‌های آن در زندگی روزمره با مثال‌هایی درست پرداخته شود. به عنوان مثال اغلب مدرسان برای بیان آنتروپی به مقایسه اتاق مرتب و نامرتب می‌پردازند و این‌گونه نتیجه‌گیری می‌کنند که اتاف نامرتب آنتروپی بیشتری از اتاق مرتب دارد، چون به هم‌ریختگی و بی‌نظمی در آن بیشتر از اتاق مرتب است. در حالی که بی‌نظمی در آنتروپی همان بی‌نظمی تعریف شده در ذهن ما نیست. در آنتروپی بی‌نظمی یا از طریق بی‌نظمی فضایی است و یا انرژی. بنابراین اتاقی آنتروپی بیشتری دارد که حجم بیشتری دارد؛ زیرا دارای مکان‌های بیشتری برای توزیع فضایی اجسام است و احتمالات بیشتری در توزیع اجسام در آن اتاق وجود دارد. مثال دیگری در این خصوص پنچر شدن لاستیک اتومبیل و خارج شدن هوای درون لاستیک است. توضیح این رویداد در مفهوم آنتروپی نهفته است. بدین ترتیب که هوای محبوس در لاستیک از نظر توزیع فضایی احتمالات کمی را برای جا به جایی در اختیار دارد و فشار زیاد درون لاستیک امکان جا به جایی مولکولی را کاهش می‌دهد و به محض سوراخ شدن و افزایش حجمی که می‌تواند در اختیار مولکول‌ها قرار بگیرد، سیستم به سمت افزایش بی‌نظمی متمایل می‌شود. به محض اینکه فشار درون لاستیک با فشار محیط برابر شود، انتقال هوا از درون لاستیک به بیرون متوقف می‌شود و احتمالات جابه جایی مولکول در دمای یکسان در داخل و خارج لاستیک یکسان می‌شود و یا مقایسه آنتروپی بین دو بطری آب معدنی یکی در یخچال و دیگری در دمای اتاق است. اغلب تصور می‌شود آنتروپی آب درون بطری واقع در اتاق بیشتر از یخچال است، چون دمای اتاق بیشتر و حرکات و بی‌نظمی مولکولی بیشتر است. ولی آنچه در اینجا می‌تواند به مفهوم آنتروپی نزدیک باشد، توزیع متفاوت انرژی در دو حالت است. در دمای بالاتر با افزایش انرژی تعداد راه‌هایی که مولکول‌ها می‌توانند انرژی را جذب نمایند، افزایش می‌یابد و ذرات تشکیل دهنده‌ی مجموعه در گستره‌ی وسیع‌تری از ترازهای انرژی پخش می‌شوند و تعداد احتمالات بیشتری برای ذخیر انرژی در سیستم وجود دارد و این مفهوم درست افزایش آنتروپی در این سیستم است (سبزوار، ۱۳۹۰). بنابراین اگر نوع تدریس در دانشگاه‌ها و مدارس نتواند موجب برطرف شدن کج فهمی‌ها شود، ممکن است این

تصورات نادرست در دوره‌های بالاتر تحصیل محکم‌تر و بادوام‌تر شوند و تصحیح آن‌ها به مراتب دشوارتر باشد (امیری و همکاران، ۱۳۹۲).

منابع

امیری، افسانه، تدین، سیمین، توکلی، زینب (۱۳۹۲). مقایسه کج فهمی های مفهوم آنتروپی برای دانش آموزان سال آخر دبیرستان و دانشجویان کارشناسی و کارشناسی ارشد رشته شیمی. هشتمین سمینار آموزش شیمی ایران. دانشگاه سمنان.

دانشنامه آزاد ویکیپدیا، تعاریف آنتروپی. (بدون تاریخ). بازیابی از wikipedia: https://fa.wikipedia.org/wiki/

ذیقمی، نسرین (۱۳۹۲). بررسی برخی ازعلل کج فهمی های قانون دوم ترمودینامیک و تابع آنتروپی. هشتمین سمینار آموزش شیمی ایران. سمنان: دانشگاه سمنان.

شاه محمدی، معصومه، عبداله میرزائی، رسول، ارشدی، نعمت‌الله (۱۳۹۰). مطالعه تاثیر دیدگاه بی‌نظمی بر درک دبیران شیمی از مفهوم آنتروپی. فصلنامه مطالعات برنامه درسی ایران. فصلنامه مطالعات برنامه درسی ایران, ۲۱(۶), ۱۸۹-۲۰۶.

مرصعی، علی (۱۳۹۶). مروری بر آنتروپی در ریاضی، نشریه ریاضی و جامعه، ۲ (۴)، ۷۱-۸۴.

مهدوی پور، محمدرضا، رضایی ثانی، الهه (۱۳۹۰). روش‌های تفهیم آنتروپی برای جلوگیری از ایجاد کج فهمی در ذهن دانش آموزان. هفتمین کنفرانس آموزش شیمی ایران. زنجان: دانشگاه زنجان.

وجدی سبزوار، محسن (۱۳۹۰). قانون دوم ترمودینامیک، آنتروپی وکج فهمی های موضوع در شیمی دبیرستان. هفتمین کنفرانس آموزش شیمی ایران. زنجان: دانشگاه زنجان.

Akbulut, F., & Altun, Y. (2020). A holistic approach to entropy in science education. International Online Journal of Education and Teaching (IOJET), 7(4). 1913-1932.

Baierlein, R. (1994). Entropy and the second law: A pedagogical alternative. American Journal of Physics, 62(1), 15-26.

Benefield L. D., Judkins J. F. and Weand B. L. (1982) “Process Chemistry for water and wastewater treatment” Prentice – Hall, INC. pp 191-210

Brush, S.G., Hall, N. S. Kinetic Theory of Gases, Imperial college press- 2003.

Carson, E., & Watson, J. (2002). Undergraduate students' understandings of entropy and Gibbs free energy. U.Chem.Ed, 6, 4-12.

Cotignola, M. I., Bordogna, C., Punte, G. & Cappannini, O. M. (2002). Difficulties in Learning Thermodynamics Concepts: Are They Linked to the Historical Development of This Field? Science & Education. 11, 279-۲۹۱.

Erickson, G., & Tiberghien, A. (1985). Heat and temperature. Children's ideas in science, 52-84.

Gustavsson, C., Weiszflog, M., & Andersson, S. (2013). Engineering physics students' conceptions of entropy. work, 2, 1-3.

Haglund, J., & Jeppsson, F. (2014). Confronting conceptual challenges in thermodynamics by use of selfgenerated analogies. Science & Education, ۲۳(۷), ۱۵۰۵-۱۵۲۹.

Haglund, J., Jeppsson, F., & Strömdahl, H. (2010). Different senses of entropy—implications for education. Entropy, 12(3), 490-515.

Haglund, J., Andersson, S., & Elmgren, M. (2016). Language aspects of engineering students' view of entropy. Chemistry Education Research and Practice, 17(3), 489-508.

Kozliak, E. I. (2004). Introduction of entropy via the Boltzmann distribution in undergraduate physical chemistry: A molecular approach. Journal of Chemical Education, 81(11),1595-1598.

Loverude, M. (2015). Identifying student resources in reasoning about entropy and the approach to thermal equilibrium. Physical Review Special Topics-Physics Education Research, 11(2), 020118.

Martyushev, L. (2013). Entropy and Entropy Production: Old Misconceptions and New Breakthroughs. Entropy, 15, 1152-1170.

Meltzer, D. E. (2004). Investigation of student's reasoning regarding heat, work and the first law of thermodynamics in an introductory calculus based

general. American Journal of Physics. 72(11), 1432-1446 Opinions. Energy, 35(2), ۱۰۴۷-۱۰۵۶.

Milivoje M. Kostic (2020). The Second Law and Entropy Misconceptions Demystified .Entropy ,۲۲, ۶۴۸-۶۵۹.

Nakiboglu, C. (2003). Instructional Misconceptions of Turkish Prospective Chemistry Teachers About Atomic Orbitals and Hybridization. Chem. Educ. Res., 171-188.

Pinto Casulleras, M. R. (1991). Some Concepts Implicit in the First and Second Laws of Thermodynamics: A Contribution to the Study of Difficulties in Their Understanding (Energy, Conservation Laws). Published Doctoral Thesis. Universitat Autonoma De Barcelona (Spain).

Pfundt, H., & Duit, R. (1994). Bibliography: Students' Alternative Frameworks and Science Education. Institute for Science Education. University of Kie.

R. Pinto Casulleras (1991). Some concepts implicit in the First and Second Laws of Thermodynamics: A study of difficulties in student learning (Doctoral thesis) .Department of Physics .Barcelona: Universitat Autonoma de Barcelona.

Ribeiro, M., Costa Pereira, D., & Maskill, R. (1990). Reaction and spontaneity: the influence of meaning from everyday language on fourth year. Int. J. Sci. Educ., 12, 391.

Styer, D. F. (2000). Insight into entropy. American Journal of Physics, 68(12), ۱۰۹۰-۱۰۹۶.

Selepe, C., & Bradley, J. (1997). Student-teacher's conceptual difficulties in chemical thermodynamics. In SAARMSE fifth annual meeting (pp. 316-۳۲۱). □□□□□□□□□□ □□ □□□ Witwatersrand: Johannesburg, South Africa.

Sözbilir, M. & Bennett, M.J. (2007). A study of Turkish chemistry undergraduates' understandings of entropy.Journal of Chemical Education, ۸۴(۷), ۱۲۰۴-۱۲۰۸.

Sözbilir , M. (2007). A Study of Turkish Chemistry Undergraduates' Understandings of Entropy. Journal of Chemical Education, 84(7), 23-36.

Sozbilir, M. (2001). A Study of Undergraduates' Understandings of Key Chemical Ideas in Thermodynamics (D. Phil. thesis). Departmentof Educational Studies. York: University of York.

Thomas, P. L., & Schwenz, R. W. (1998). College physical chemistry students' conceptions of equilibrium and fundamental thermodynamics. Journal of Research in Science Teaching: The Official Journal of the National Association for Research in Science Teaching, 35(10), 1151-1160.

Review article

Research in Chemistry Education, Vol 3, No 3, 93-108

Research in Chemistry Education

http: //chemedu.cfu.ac.ir

Investigating and Analyzing Different Paths of Learning, Explaining and Understanding Entropy

Hamideh Haghighat [1*], Alireza Khodaei [2]

[1] *Department of science, Farhangian University, Tabriz, Iran.*

[2] *Chemistry student, Farhangian University, Tabriz, Iran*

Abstract

Many high school and college students have difficulty with basic thermodynamic ideas in chemistry. Thermodynamics consists almost entirely of concepts and equations that are not comprehensible and must be hypothetically learned in order to perform calculations and pass exams. These include important and somewhat incomprehensible concepts for learners are entropy and predicting changes during reaction. This article aims to examine this category of the mentioned relationships and some ways of expressing this concept in learning and overcoming common misconceptions about it using the results of selected research conducted in this field has been studied and analyzed. In this study, what learners understand about entropy and what they misunderstand is identified and classified. Among the factors that are effective in understanding entropy accurately and helping to learn it properly can be related to entropy with molecular movements, the use of appropriate terms in its expression, the use of analogy and the relationship of energy levels with entropy changes in teaching this concept pointed out.

Keywords: The second law of thermodynamics, Entropy function, Effective learning, Chemistry education.

[*]Corresponding Author: (h.haghighat58@gmail.com)