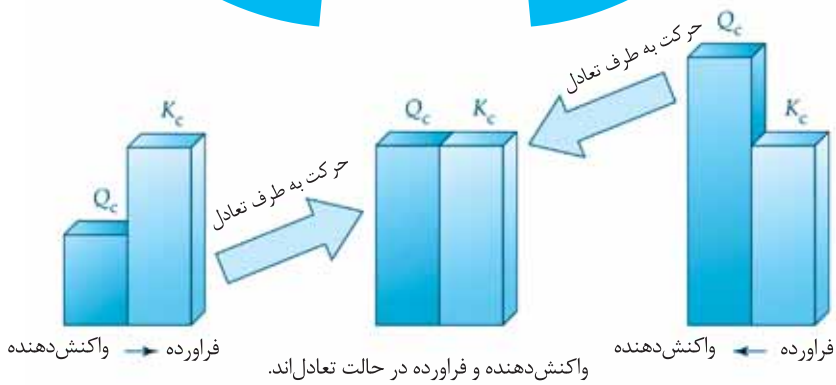
چالش‌های آموزش
تعادل شیمیایی

اکبر دلدار
معلم شیمی قم

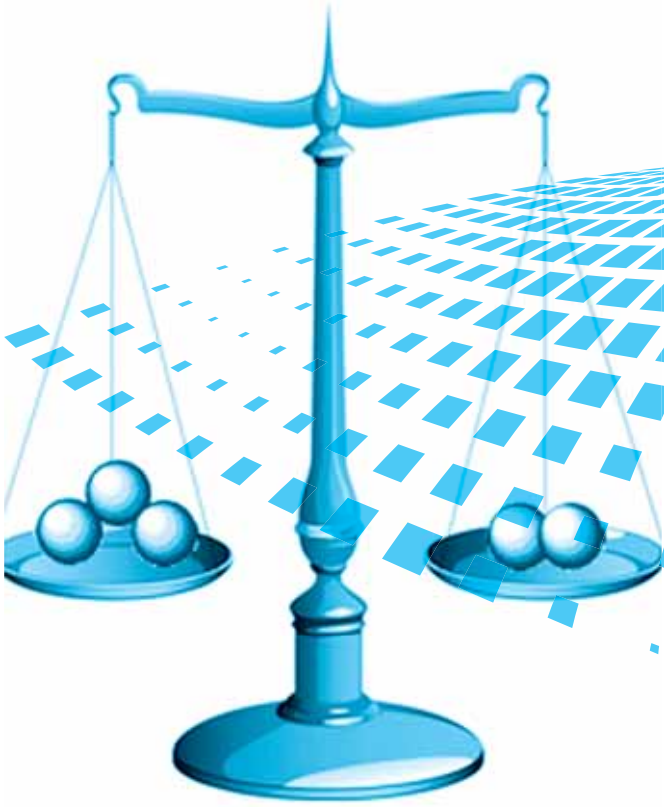


چکیده
بحث تعادل شیمیایی در آشنا شدن دانش‌آموزان با مفاهیم دیگر شیمی از جمله آبکافت، عملکرد اسیدها و بازها، واکنش اکسایش-کاهش و محلول‌ها نقش مهمی دارد و تسلط بر مفهوم تعادل شیمیایی، درک مفاهیم یاد شده را آسان می‌کند. این مقاله، با بیان برخی مشکلات و کج‌فهمی‌ها در زمینهٔ این مفهوم به راه‌های رفع آن‌ها اشاره می‌کند.

کلیدواژه‌ها: فرایند یاددهی- یادگیری، سینتیک، ترمودینامیک، تعادل شیمیایی

مقدمه
بنا به بررسی‌ها، بیشتر معلمان شیمی، تدریس تعادل شیمیایی را دشوار می‌دانند. بحث تعادل شیمیایی که آمیخته‌ای از مباحث سینتیکی، ترمودینامیکی و ریاضی است، از مباحث انتزاعی شیمی به شمار می‌رود و مشکلاتی را در فرایند یاددهی- یادگیری آن در سه بعد تفکر ماکروسکوپی، مولکولی و نمادی ایجاد می‌کند.

از دیدگاه سینتیکی، برای نمونه در تجزیه آمونیوم کلرید به آمونیاک و هیدروژن کلرید، اجزای واکنش از انرژی جنبشی نسبی برخوردارند و در دما و فشار ثابت، بر اثر برخوردهای موجود بین مولکول‌ها، فرایند تشکیل پیوند و شکستن آن به‌طور هم‌زمان انجام می‌گیرد و شرط برقراری تعادل، برابر بودن تعداد پیوندهای تشکیل شده و شکسته شده است. همچنین دو واکنش رفت‌وبرگشت با



سرعت‌های یکسانی پیش می‌روند:

$NH_4Cl(g) \leftrightarrow NH_3(g)+HCl(g)$

از دیدگاه ترمودینامیکی، شرایط حاکم بر تعادل از قانون دوم ترمودینامیک پیروی می‌کند. یعنی در حالت تعادل، آنتروپی سامانه به بیشترین مقدار خود می‌رسد و انرژی آزاد گیبس نیز کمترین مقدار خود (صفر) را پیدا می‌کند.

برای بررسی تغییرات دما و تأثیرات آن بر وضعیت تعادل، از قوانین ترمودینامیک و متغیرهایی مانند آنتالپی، آنتروپی و انرژی آزاد گیبس استفاده می‌شود.

$\Delta G=\Delta H-T\Delta S$

اصل محوری در پیش‌بینی وضعیت تعادل‌های شیمیایی

در بررسی تغییرات غلظت، جرم فعال و حجم مواد شرکت‌کننده در واکنش تعادلی باید از بیان سینتیکی کمک گرفت، در حالی که در بررسی تأثیر دما، ثابت تعادل و میزان پیشرفت واکنش از بیان ترمودینامیکی استفاده می‌شود.

آنچه که در بحث تعادل در سال چهارم متوسطه بیش از هر موضوعی شناخته شده است، اصل لوشاتلیه است که به شکل قالب ساده شده‌ای برای پیش‌بینی تغییرات یک واکنش تعادلی استفاده می‌شود. اصل لوشاتلیه در شرایط استاندارد و برای گازهای با فشار کم و محلول‌های بسیار رقیق صادق است.

به‌طور معمول در تعریف اصل لوشاتلیه گفته می‌شود که اگر بر یک سامانهٔ در حال تعادل، تغییری تحمیل شود آن تعادل در جهتی جابه‌جا می‌شود که اثر تغییر تحمیل‌شده را تعدیل کند. حال به تعریف ترمودینامیکی این اصل توجه کنید: هنگام تحمیل تغییر بر یک سامانهٔ تعادلی، تعادل در جهتی جابه‌جا می‌شود که آنتروپی آن بیشتر است و در سمت دیگر، پیشروی در جهتی صورت می‌گیرد که آنتالپی آن کمتر باشد. این دو، اثر یکدیگر را خنثی کرده، به برقراری دوبارهٔ تعادل کمک می‌کنند.

این تعریف‌ها را می‌توان به این شکل ساده بیان کرد که افزایش غلظت یکی از مواد شرکت‌کننده در تعادل، منجر به کاهش غلظت یا فشار جزئی آن ماده می‌شود. گفتنی است که وارونهٔ این فرایند فقط در سامانه‌های همگن صدق می‌کند. اگر حجم سامانهٔ تعادلی افزایش یابد واکنش در جهتی جابه‌جا می‌شود که تعداد مول‌های بیشتری دارد و برعکس؛ یعنی در سامانه‌هایی که تعداد مول‌ها در دو طرف واکنش برابر است تغییری روی نمی‌دهد. کاهش دمای سامانه تعادلی، به نفع پیشرفت واکنش گرماده است در حالی که، افزایش دما موجب پیشرفت واکنش گرماگیر می‌شود. در مجموع، هدف از آموزش تعادل شیمیایی در دورهٔ متوسطه این است که دانش‌آموز بتواند؛

- ✓ واکنش‌های کامل و برگشت‌پذیر را تشخیص دهد و برای هر یک، نمونه‌ای بیاورد؛
- ✓ جهت یک واکنش تعادلی را پس از اعمال تغییر در یکی از اجزای آن، به کمک اصل لوشاتلیه تعیین کند؛
- ✓ با کاربردهای عملی اصل لوشاتلیه و پیش‌بینی جهت جابه‌جایی واکنش و محاسبه‌های مربوط به تغییر غلظت آشنا شود؛
- ✓ رابطهٔ ثابت تعادل را برای هر واکنش بنویسد و به کمک آن،

غلظت واکنش‌دهنده‌ها و فراورده‌ها را حساب کند؛
✓با برخی کاربردهای عملی ثابت تعادل و اثر کاتالیزگر در یک واکنش تعادلی آشنا شود.

مشکلات رایج

معمولاً دانش‌آموزان در محاسبه‌های مربوط به تغییرات غلظت اجزای تعادل، هنگام استفاده از مول و غلظت دچار سردرگمی می‌شوند. آنان هنگامی که از حجم استفاده می‌کنند اطمینانی به درک مطلب ندارند و برای بیان غلظت واکنش‌دهنده یا فراورده، نسبت‌های مولی را به‌کار می‌برند و حتی هنگامی که مقدار مولی یکی از آن‌ها زیادتر است، غلظت مولی آن‌ها را برابر در نظر می‌گیرند.

دانش‌آموزان با تشکیل یا مصرف شدن فلز در یک سامانه تعادلی، دچار این تصور نادرست می‌شوند که غلظت مواد هنگام تعادل، تغییر می‌کند. در حالی که در یک واکنش برگشت‌پذیر که در حال کامل شدن است پیش از آنکه پیشروی واکنش برگشت شروع شود باید واکنش رفت، کامل شود و تنها افزودن واکنش‌دهندهٔ دیگر است که می‌تواند غلظت فراورده را تغییر دهد.

کج‌فهمی‌های رایج در این زمینه را می‌توان به این ترتیب برشمرد:

- نمی‌توان مقدار یک مادهٔ جامد را در یک واکنش تعادلی تغییر داد.
- غلظت تمام مواد شرکت‌کننده در یک واکنش، در حالت تعادل برابر است.
- مقادیر بزرگ ثابت تعادل نشان می‌دهد که واکنش بسیار سریع انجام شده است. در واقع، دانش‌آموزان متوجه تفاوت میان سرعت یک واکنش و گسترش واکنش تعادلی نیستند.
- افزایش دمای یک واکنش گرماده، سرعت واکنش رفت را کاهش می‌دهد.
- برای پیش‌بینی ثابت تعادل می‌توان از اصل لوشاتلیه استفاده کرد.
- هنگام ترکیب واکنش‌دهنده‌ها، سرعت واکنش رفت افزایش می‌یابد تا اینکه واکنش به حالت تعادل برسد.
- آیا دو واکنش رفت و برگشت می‌توانند هم‌زمان انجام گیرند یا اینکه اول واکنش رفت و بعد واکنش برگشت انجام می‌گیرد؟
- در حالت تعادل بین غلظت واکنش‌دهنده‌ها و فراورده‌ها رابطه‌ای ساده وجود دارد. برای نمونه غلظت واکنش‌دهنده‌ها با غلظت فراورده برابر است.
- زمانی که سامانه به حالت تعادل می‌رسد و شرایط تغییر می‌کند سرعت واکنش رفت افزایش می‌یابد اما سرعت و مقدار واکنش برگشت کاهش می‌یابد.
- سرعت واکنش رفت و واکنش برگشت با افزودن کاتالیزگر تغییر می‌کند.

دانش‌آموزان در سطح تفکر ماکروسکوپی قادر به تشخیص وضعیت تعادل نیستند. آن‌ها متوجه نیستند که در حالت

دانش‌آموزان با تشکیل یا مصرف شدن فلز در یک سامانه تعادلی، دچار این تصور نادرست می‌شوند که غلظت مواد هنگام تعادل، تغییر می‌کند

تعادل، خصوصیات ماکروسکوپی سامانه ثابت است و نشانه‌ای از پیشرفت واکنش دیده نمی‌شود.

راهبردهای تدریس تعادل شیمیایی در سطح مولکولی

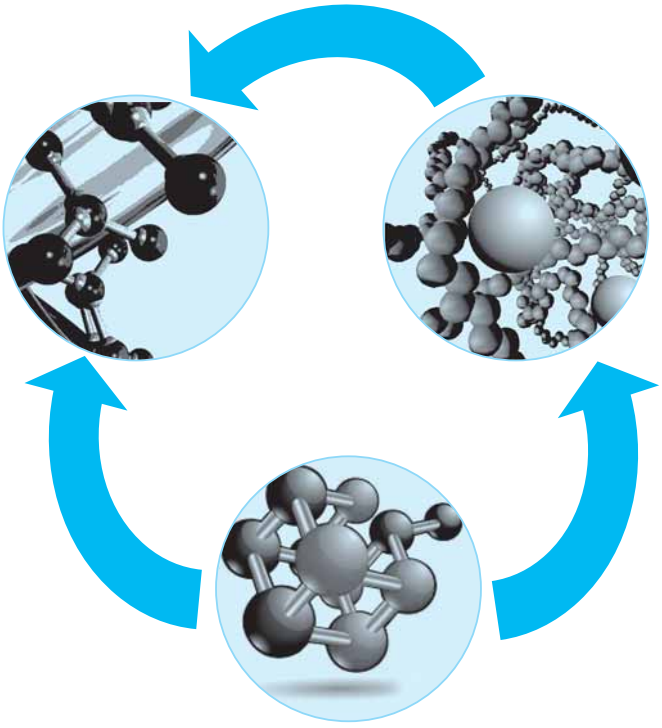
آ. استفاده از شبیه‌سازی

به این منظور می‌توان از این نمونه‌ها کمک گرفت:
✓کندن یک چاه و پر کردن آن توسط یک فرد دیگر
✓مسابقه تخلیه و پر کردن توپ‌ها در دو جعبه کنار هم توسط دو دانش‌آموز
✓صف بستن افراد جلوی یک نانوایی. یک نفر که نان گرفته، می‌رود و فرد دیگری به انتهای صف اضافه می‌شود.

ب. استفاده از شیوهٔ الگوریتمی

به این نمونه توجه کنید:
در یک سامانهٔ بسته، بین اتان (C_2H_6)، هیدروژن (H_2) و اتیلن(C_2H_4) این تعادل برقرار می‌شود:

$$C_2H_6\,(g) \leftrightarrows C_2H_4(g)+H_2(g)$$



باید تأکید شود که کاتالیزگر شرایط راحت‌تری برای انجام واکنش فراهم می‌کند و حضور آن باعث می‌شود واکنش از مسیری متفاوت- نسبت به زمانی که کاتالیزگر استفاده نشده است- به سمت تولید فراورده‌ها پیش رود

در آغاز واکنش، ۸ مول اتان وجود دارد. در این زمان، هنوز هیدروژن و اتیلن تشکیل نشده‌اند. در حالت تعادل، ۳ مول اتیلن تولید می‌شود. در حالت تعادل به ترتیب چند مول اتان و هیدروژن وجود دارد؟

(گزینه۱): ۲ مول و ۳ مول
(گزینه۲): ۳ مول و ۳ مول
(گزینه۳): ٦ مول و ۳ مول
(گزینه٤):٤ مول و ۱ مول
(گزینه ۵): ۵ مول و ۳ مول

دانش‌آموزانی که گزینهٔ نخست را انتخاب می‌کنند بر این باورند که:

✓مقدار کل مواد تغییری نمی‌کند و همان ۸ مول باقی می‌ماند.۳ مول از این ۸ مول در یک سمت واکنش قرار دارد. پس در سمت دیگر باید ۵ مول وجود داشته باشد.

✓غلظت یا مقدار همهٔ مواد در سراسر واکنش ثابت باقی می‌ماند.

✓هنگامی که مقدار اتیلن ۳ مول است، ۳ مول هم هیدروژن وجود دارد. برای اینکه در مجموع ۸ مول اتان داشته باشیم تنها ۲ مول اتان در پایان تعادل می‌تواند موجود باشد.

دلیل دانش‌آموزانی که گزینه دوم یا سوم را برمی‌گزینند این است که: در هر سمت، باید ۳ مول ماده وجود داشته باشد. هنگامی که مقدار مواد در هر دو سمت یکسان است واکنش به حالت تعادل رسیده است.

از میان پاسخ‌های نادرست، گزینهٔ ٤ بیشتر انتخاب می‌شود. به نظر دانش‌آموزان، در جریان انجام یک واکنش، مقدار مواد ثابت می‌ماند و مقدار واکنش‌دهنده‌ها با فراورده‌ها باید برابر باشد. آن‌ها تصور می‌کنند که در هر دو سمت معادلهٔ واکنش ٤ مول وجود دارد. پس این واکنش در حال تعادل بوده، کل مقدار مواد هم ۸ مول است.

نمونه‌ای دیگر

واکنش برگشت‌پذیر زیر را در نظر بگیرید. در حالت تعادل، مخلوط واکنش به رنگ آبی است:

$$[Co(H_2O)_6]^{2+}(aq)_{\text{صورتی و}} + 4Cl^-(aq) \leftrightarrows [CoCl_4]^{2-}(aq)_{\text{آبی و}} + 6H_2O(l)$$

هنگامی که به این سامانه، آب افزوده شود، چه روی می‌دهد؟ دلیل مشاهدهٔ رنگ صورتی چیست؟

پاسخ: افزایش آب، تعادل را به سمت چپ جابه‌جا می‌کند و محلول به رنگ صورتی درمی‌آید.

افزایش سرعت واکنش در نتیجه افزایش کاتالیزگر ناشی از کاهش مقدار انرژی فعال‌سازی است. کج‌فهمی که در اینجا ایجاد می‌شود ناشی از این تصور دانش‌آموزان است که نقش کاتالیزگر، تنها کاهش انرژی فعال‌سازی است و در نتیجه به این باور نادرست می‌رسند که سازوکار واکنش بدون کاتالیزگر و با حضور آن تفاوتی با هم ندارند.

باید تأکید شود که کاتالیزگر شرایط راحت‌تری برای انجام واکنش فراهم می‌کند و حضور آن باعث می‌شود واکنش از مسیری متفاوت- نسبت به زمانی که کاتالیزگر استفاده نشده است- به سمت تولید فراورده‌ها پیش رود.

همچنین این کج‌فهمی هم می‌تواند در ذهن دانش‌آموزان شکل گیرد که کاتالیزگر می‌تواند بسیاری از واکنش‌های انجام‌ناپذیر را ممکن کند. این، تعمیمی نابجاست که باید از بروز آن جلوگیری شود.

واقعیت این است که کاتالیزگر تشکیل فراورده‌ها را سرعت می‌بخشد اما به جای افزایش سرعت می‌توان به دانش‌آموزان چنین گفت که: کاتالیزگر، واکنش را از مسیر دیگری پیش می‌برد که با سد انرژی کمتری روبه‌رو است.

در عین حال، کاتالیزگر خود در واکنش شرکت می‌کند اما پس از مصرف شدن، دوباره در پایان واکنش تولید می‌شود. در نتیجه، غلظت آن در کل، تغییر نمی‌کند.

این کج‌فهمی‌ها از کم‌توجهی به آموزش سه‌بعدی نتیجه می‌شود. استفاده از رویکرد مفهومی- که به درک عمیق مفاهیم و جلوگیری از کج‌فهمی‌های رایج کمک می‌کند- نیازمند توجه ویژه به بهره‌گیری از رایانه است. از این راه، می‌توان پدیده‌های شیمیایی را در مقیاس مولکولی شبیه‌سازی کرد و در مسیر رفع کج‌فهمی‌ها گام برداشت. طرح یا نقاشی‌های دانش‌آموزان از پدیده‌های شیمیایی برداشت آن‌ها را از مفاهیم نشان می‌دهد. بنابراین با توجه به این طرح‌ها و استفاده از آزمون‌های تشریحی بازپاسخ می‌توان کج‌فهمی‌ها را استخراج کرد و تدبیرهایی در رفع آن‌ها اندیشید.

منابع

۱. آقازاده، محرم؛ **راهنمای روش‌های نویس تدریس**، انتشارات آگاه، چاپ دوم، ۱۳۸۳.
۲. احمدی، رضا؛ فصل‌نامهٔ تعلیم‌وتربیت، «کاربرد روش حل مسئله در آموزش علوم»، ۱۳۸٦، شماره ٦۵.
۳. رحمانی، آزاده؛ پایان‌نامه کارشناسی ارشد، «تأثیر آموزش بر مبنای نقشهٔ مفهومی در یادگیری فرایند پرستاری دانشجویان»، دانشگاه علوم پزشکی تبریز، ۱۳۸٤.
٤. مصرآبادی، جواد؛ فصل‌نامه نوآوری‌های آموزشی، «ساخت فردی و گروهی نقشهٔ مفهومی به‌عنوان راهبردی آموزشی»، پاییز ۱۳۸٤، شماره ۱۳.
۵. عباسی، جواد؛ پایان‌نامه کارشناسی ارشد،«کاربرد نقشه‌های مفهومی در آموزش شیمی دبیرستان»، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی تهران، ۱۳۸۷.
6. Novak, J.D. «The theory underlying concept maps and how to construct them» Florida Institute for Human and Machine Cognition (IHMC), 2006.
7.Horton, P.B. *Science Educ.* 1993,77(1), 95.
8. Fajonyomi, M.G. African Journals online, 2002, 2(10), 423.