مشکلات کار با استوکیومتری

ج. ا. پاکر

عدم درك اصول اندازه‌گیری، از این‌قبیل که کمیت چیست، واحد چیست و چه رابطه‌ای بین آنها موجود است، علت ریشه‌ای مشکلات شاگردان با استوکیومتری است.

در ۱۹۸۰ پس از مقاله‌ای که دربارهٔ محاسبات حجم‌سنجی در این مجله* منتشر شد نامه‌های متعددی به ویراستار رسید که در آنها راههای آموزشی مختلفی فرمولبندی شده بود. فریزر[1] وسروانت[2] اخیراً روشهایی را که شاگردان قبول شده در A-level GCE عملاً به‌کاربرده‌بودند وهمچنین روشهاواصطلاحاتی راکه شیمیدانها درکار خود استفاده می‌کنند موردبررسی قرار دادند. یك‌نتیجهٔ مهم و هشدار دهنده در اولین مقالهٔ آنها روی‌هم رفته حکایت از عدم شایستگی شاگردان می‌کرد. در این بررسی آنان چهار روش نسبتاً متمایز برای انجام یك محاسبه مشخص‌کردند، ۲ مسئلهٔ سرراست به ۲۴۴ شاگرد دادند وسپس به‌تحلیل‌روشهای به‌کار رفته‌ومیزان موفقیت هر روش پرداختند.

میزان‌موفقیت به‌طور کلی‌دوراز انتظار بوده،۲۷درصدشاگردان جواب صحیح یك مسئله وپنج درصد جواب صحیح مسئلهٔ دیگر را به‌دست آورده بودند. بسیاری از شاگردان روش مشخصی به‌کار نبرده بودند و میزان عدم موفقیت آنان صددرصد بود.

این‌امرحاکی ازآن‌بودکه روشهایی‌که معلمان‌شیمی به‌شاگردان آموخته‌اند ناکافی یانامناسب بوده ودرك و مهارتهای لازم برای حل‌چنین مسائلی را برای شاگردان فراهم‌نمی‌کرده است. ازاین‌رو بجاست‌که این وضعیت دوباره ارزیابی شود و برای تشخیص‌ورفع روشهای آموزشی متداول کوشش به‌عمل آید.

به‌قصد نشان‌دادن هدف این مقاله لازم‌است اولین‌مسئلهٔ فریزر و سروانت و راه‌حلهایی‌که آنان باچهار روش مشخص خود ارائه کرده‌اند به‌صورت طرحهای ۱ تا ۴ آورده شود (داخل کادر را ببینید).

طرح ۱ مبتنی برروش فریزر وسیمسون است‌که آن را در چهار مرحله فرمولبندی کرده‌اند:

۱. معادلهٔ موازنه‌شده برای‌واکنش تیتراسیون‌را به‌دست‌آورید.

۲. مقدار (مولهای) واکنش دهندهٔ معلوم را حساب‌کنید.

۳. مقدار (مولهای) واکنش دهندهٔ مجهول را حساب کنید.

۴. مقدار (مولهای) واکنش دهندهٔ مجهول را به‌کمیت مورد نیاز تبدیل کنید.

برای انجام مرحلهٔ ۳، استوکیومتری واکنش را باید تعیین‌کرد واین عمل به‌صورت مرحله‌ای جداگانه پس‌از معادلات نشان داده شده است.

طرح ۴، که مبتنی برروش پیشنهادی پاکر است، شاگردان را به‌دانستن‌سه‌معادله‌وادارمی‌نماید: $n=w/M$ (۱)، $c=n/V$ (۲) و $n_A/a=n_B/b=n_C/c=n_D/d$ (۳)؛ که در آنها n مقدار جسم، w جرم‌آن، M جرم مولی‌آن، c غلظت‌آن و a، b، c و d ضرایب استوکیومتری مواد در معادلهٔ شیمیایی موازنه شده، $aA+bB\rightarrow cC+dD$ می‌باشند.

فریزر و سروانت روش ۱ را از همهٔ روشهای دیگر عمومیتر یافتند، ولی این‌روش هم مثل‌روشهای ۲و۳ میزان موفقیت پایینی کسب کرد، در حالی که هیچ یك از شاگردان روش ۴ را به‌کار نبردند. آنان به این نتیجه رسیدندکه «تعداد قلیلی از شاگردان با راه‌نمادی‌روش۴مجهزبوده‌اند»درحالی‌که‌ازمطالعهٔدقیق‌نوشتارهای آموزش شیمیایی چنین برمی‌آید که امروزه محاسبات تیتراسیون منحصراً از طریق راه «مولاریته»، که برحسب آحاد SI و محاسبهٔ کمیت بیان می‌شوند، صورت می‌گیرند.

روش ۴ مستلزم‌آن است‌که شاگردان مفاهیم کمیتهای فیزیکی‌و آحاد و رابطهٔ بین این دو را درك نمایند. من معتقدم‌که عدم درك این اندیشه‌های بنیادی است‌که باعث بروز مشکل می‌شود و همچنین معتقدم‌که این‌مفاهیم می‌توانند و در واقع باید دراین‌سطح به‌عنوان بخشی از محاسبات شیمیایی تدریس شود به‌همان صورتی که در مورد محاسبات فیزیك ومکانیك انجام می‌شود. نویسندگان یك‌کتاب راهنمای‌شیمی‌که استفادهٔ وسیعی درنیوزیلند دارد اهمیت این موضوع را به‌خوبی تشخیص داده‌اند، زیرا عنوان اولین‌فصل کتاب مذکور «اندازه‌گیریها» و اولین بخش این‌فصل تحت‌عنوان، «کمیتها، ارقام‌وآحاد» است. قسمتی‌ازاین‌بخش‌دراینجانقل‌می‌شود.

---

* منظور مجلهٔ *Education in Chemistry* است.

1. Frazer 2. Servant

مسئله

به منظور تعیین خلوص یك نمونه پتاسیم یدات (KIO_3) شاگردی ۰ر۹۹۶۰ گرم آن را درآب حل کرده و با استفاده از سولفوریك‌اسید رقیق حجم محلول حاصل را دقیقاً به ۲۵۰cm³ رسانده است. به‌یك قسمت ۲۵ سانتی‌متر مکعبی از این محلول ۱ g پتاسیم یدید (KI) افزوده و یدآزاد شده را با محلول سدیم تیوسولفات (۰ر۱۰۰۰ mol/dm³، $Na_2S_2O_3$) تیتر کرده است. میانگین حجم تیتران مصرف شده ۱۲ر۸ سانتی‌متر مکعب بوده است. خلوص این نمونه برحسب پتاسیم یدات چه‌می‌باشد؟

حل

طرح ۱

(۱) $IO_3^- + 5I^- + 6H^+ = 3I_2 + 3H_2O$

$I_2 + 2S_2O_3^{2-} = 2I^- + S_4O_6^{2-}$

۱ مول $S_2O_3^{2-}$ معادل ۱/۶ مول IO_3^- است

(۲) مقدار $S_2O_3^{2-}$ به‌کاررفته $= 12ر8 cm^3$

$\times 0ر1 mol\,dm^{-3} \times 10^{-3} dm^3 cm^{-3}$

(۳) $\therefore$ مقدار IO_3^- در تیتراسیون $= 12ر8 \times 1/6$

$\times 10^{-4} mol$

(۴) $\therefore$ مقدار IO_3^- در کل نمونه $= 12ر8 \times 1/6$

$\times 10^{-4} mol \times \frac{250 cm^3}{25 cm^3}$

طرح ۲

۱ مول $KIO_3 = 6$ مول $Na_2S_2O_3$

$\therefore$ ($1 mol\,dm^{-3}$) محلول $Na_2S_2O_3$ $6 dm^3$

$= 214 g KIO_3$

$\therefore$ ($1 mol\,dm^{-3}$) محلول $Na_2S_2O_3$ $1 cm^3$

$= \frac{214}{6 \times 1000} g\,KIO_3$

$\therefore$ ($0ر1 mol\,dm^{-3}$) محلول $Na_2S_2O_3$ $1 cm^3$

$= \frac{214 \times 0ر1}{6 \times 1000} g\,KIO_3$

$\therefore$ ($0ر1 mol\,dm^{-3}$) محلول $Na_2S_2O_3$ $12ر8 cm^3$

$= \frac{214 \times 0ر1 \times 12ر8}{6 \times 1000} g\,KIO_3$

$\therefore$ جرم KIO_3 در کل نمونه مقدار $2896ر0 g\,KIO_3$ است.

این روش طبق مرحله (۴) در روش ۱ (طرح ۱) ادامه می‌یابد.

طرح ۳

$M_{S_2O_3^{2-}} V_{S_2O_3^{2-}} / 6 = M_{IO_3^-} V_{IO_3^-} / 1$

$0ر1 mol\,dm^{-3} \times 12ر8 cm^3 / 6 = M_{IO_3^-} \times 25 cm^3 / 1$

$M_{IO_3^-} = \frac{0ر1 \times 12ر8}{6 \times 25} mol\,dm^{-3}$

جرم KIO_3 در $250 cm^3$ ($0ر25 dm^3$) محلول

$= \frac{0ر1 \times 12ر8}{6 \times 25} mol\,dm^{-3} \times 0ر25 dm^3$

$\times 214 g\,mol^{-1} = 0ر2896 g\,KIO_3$

این روش طبق مرحلهٔ (۴)، روش ۱ (طرح ۱) ادامه می‌یابد.

طرح ۴

با استفاده از معادلهٔ ۲،

$n_{S_2O_3^{2-}} = c_{S_2O_3^{2-}} \times V_{S_2O_3^{2-}} = 0ر1 mol\,dm^{-3}$

$\times 12ر8 \times 10^{-3} dm^3 = 12ر8 \times 10^{-4} mol$

با استفاده از معادلهٔ ۳،

$n_{IO_3^-} = n_{S_2O_3^{2-}} \times 1/6 = 12ر8 \times 10^{-4} mol / 6$

$= 1ر353 \times 10^{-4} mol$

با استفاده از معادلهٔ ۱،

$w_{KIO_3} = n_{KIO_3} M_{KIO_3} = 1ر353 \times 10^{-4} mol$

$\times 214 g\,mol^{-1} = 0ر2896 g$

روش طبق مرحلهٔ (۴)، روش ۱ (طرح ۱) ادامه می‌یابد.

مفاهیم

شیمیدانها درکار خود کمیتهای مختلفی مانند طول، حجم، فشار، دما، زمان، جریان برق، وزن اندازه‌گیری می‌کنند. عمل اندازه‌گیری چنین کمیتی اساساً تعیین نسبت بین خود کمیت و کمیت استانداردی است که واحد خوانده می‌شود. مثلاً اگر طول یك‌جسم با یك خط‌کش متری اندازه گرفته شود، نسبت طول آن به طول خط‌کش چیزی است که عملاً تعیین می‌شود. اگرطول جسم ۲ر۵ متر است، این بدان‌معنی است‌که ۲ر۵ = (۱ متر) / (طول جسم). بیان عادی این است که «طول جسم ۲ر۵ متر می‌باشد» و می‌توان آن را به‌صورت معادلهٔ زیر نوشت

$l = 2ر5 m$

که درآن l نمادی برای کمیت طول، ۲ر۵ یك قدرمطلق و m نمادی برای واحد (یعنی کمیت استاندارد) طول، یعنی

متراست. به‌همین نحو معادلهٔ

$$t = 12\,s$$

راهی است کوتاه برای بیان اینکه زمان (کمیت) برابر ۱۲ ثانیه (واحد استاندارد کمیت زمان) است.

به‌طور کلی یک معادله شکل زیر را به‌خود می‌گیرد

کمیت = (تعداد) × (واحد).

بخش واحد معادله ممکن است یک واحد بنیادی باشد که به‌توان رسیده است و یا ترکیبی از چندین واحد باشد که در دو مثال زیر نشان داده شده است.

● حجم مکعبی با ضلع ۲ متر چقدر است؟

□ حجم مساوی است با مکعب (طول یک‌ضلع).

$$V = l^3 \quad و \quad l = 2\,m$$

$$V = (2\,m)^3 = 8\,m^3$$

دراین صورت حجم مکعب برابر هشت‌متر مکعب است.

● غلظت محلولی از سدیم کلرید که از انحلال ۰٫۵۰۰ moles (۲۹٫۲۲ g) در آب کافی و اضافه کردن آب تا حجم ۲ لیتر به‌دست آمده، چقدر است؟

□ غلظت عبارت از مقدار ماده در واحد حجم است؛ یعنی

$$c = n/V = 0{,}500\ mol/(2\,l)$$

$$= 0{,}250\ mol\,l^{-1}$$

در اینجا مقدار ماده برحسب مول اندازه‌گیری شده است. همچنین می‌توان مقدار ماده را برحسب وزن اختیار شده نیز بیان کرد، یعنی

$$c = w/V = 29{,}22\ g/(2\,l) = 14{,}61\ g\,l^{-1}$$

به اهمیت نشان دادن آحاد توجه کنید، زیرا مقدار عددی غلظت به آحاد به‌کار رفته بستگی دارد.

سپس نویسندگان استفادهٔ مناسب از نمادها را هم برای آحاد و هم کمیتها توضیح می‌دهند، ضمن اینکه خاطرنشان می‌سازند که نمادها برای کمیتها به‌صورت ایتالیک و برای آحاد به‌صورت نوع حروف رومی ایستاده چاپ شده است. در این سطح نکات مهم قابل توجه عبارت‌اند از اینکه: به نماد یک واحد هیچ‌گاه «s» به منظور جمع بستن اضافه نشود؛ بین نمادهای یک‌واحد فرعی فاصله گذاشته شود و بین یک پیشوند و نمادی که پیشوند برای آن به‌کار می‌رود فاصله گذاشته نشود (مثلاً $2\,m\,s^{-1}$ معنی کاملاً متفاوتی با $2\,ms^{-1}$ دارد)؛ استفاده از خط مورب / فقط یک‌بار در یک‌واحدفرعی مجاز است (مثلاً mol/l برای $mol\,l^{-1}$ جایز است، ولی mol/l/s برای $mol\,l^{-1}\,s^{-1}$ به علت مبهم بودن جایز نیست)؛ و بالاخره انجام عملیات ساده عبارت واحد × تعداد = کمیت برطبق قوانین جبر برای نمادگذاری (نوشتن) سرستونهای جداول و محورهای مختصات منحنیها به‌طور وضوح باشد.

در نیوزیلند مشاهده شده است که شاگردان در این سطح حتماً می‌آموزند که یک جمله نظیر «غلظت یون» Fe^{2+}، ۰٫۴ مول بر لیتراست را به‌صورت معادلهٔ $c(Fe^{2+}) = 0{,}4\,mol\,l^{-1}$ تبدیل کنند و معادله‌ای نظیر $v = 12\,ms^{-1}$ را به شکل جملهٔ «سرعت برابر است با ۱۲ متر برثانیه» درآورند. به‌همین ترتیب چنانچه چگالی به‌صورت جرم واحدحجم جسم تعریف‌شود، شاگردان سریعاً متوجه می‌شوندکه برای به‌دست‌آوردن چگالی باید جرم را برحجم تقسیم کنند و همچنین می‌فهمندکه در معادلهٔ $\sigma = m/V$ یا $\sigma = w/V$، σ چگالی، m یا w جرم و V حجم است.

نمادهای تصویب شدهٔ آحاد SI بایستی آموخته شوند و اکیداً به‌کار روند. واحدفرعی‌لیتر، مساوی‌یک‌دسی‌مترمکعب ($1\,dm^3$)، واحد متداول حجم است و غلظت محلولها معمولاً به‌صورت مول در لیتر بیان می‌شود. لذا دراین سطح تدریس، مناسبترآن است که به‌جای dm^3 نماد دیگری برای لیتر به‌کار رود. (نماد l معمولاً به‌کار می‌رود ولی این‌عیب را داردکه به‌صورت چاپی خیلی شبیه عدد یک است. این‌امر باعث هیچ‌اشکالی درمیلی‌لیتر، ml، نمی‌شود ولی وقتی‌که به‌تنهایی قرار می‌گیرد مثلاً در رابطه $V = 1\,l$ برای شاگردان ضعیف مشکل به‌بار می‌آورد. مجلات شیمی آمریکایی نماد L را اختیارکرده و این نماد به‌صورت یک نماد رسمی توسط شوراهای استاندارد استرالیا و نیوزیلند نیزقبول شده است. برطبق قراردادایالات متحده نمادLدربقیهٔ این‌مقاله به‌کاربرده‌خواهدشد.)* همچنین‌اسامی و نمادهای تصویب‌شدهٔ پیشوندهای مضارب اعشاری واحدهای SI بایستی آموخته شوند. در این سطح، میکرو، μ، (10^{-6})؛ میلی، m، (10^{-3})؛ سانتی، c، (10^{-2})؛ دسی، d، (10^{-1})؛ کیلو، k، (10^{3})؛ مگا، M، (10^{6})، کافی خواهد بود. وقتی‌که غلظتها برحسب لیتر بیان می‌شوند، مناسبترآن است که در این سطح به جای mL, cm^3 به‌کار رود و برای جاگذاری در معادلات محاسبهٔ حجم‌سنجی mL به L تبدیل شود، مثلاً

$$x\,mL = x \times (10^{-3}\,L) = x \times 10^{-3}\,L$$

نمادکمیتها ممکن‌است ازکشوری به‌کشور دیگرکمی تغییرکند. ولی نمادهای پذیرفته شدهٔ جهانی برای کمیتهای حجم، مقدار، غلظت و جرم مولی به‌ترتیب عبارت‌اند از V، n، c و M. نماد متداول جرم m است، ولی چون m نمادکمیت مولالیته، (حلال) nM/(جسم حل شده) n؛ و به‌صورت حروف چاپی ایستاده برای میلی‌ومترنیز به‌کارمی‌رود وضمناً شاگردان. جرم‌را توسط «توزین» به‌دست‌می‌آورند، شاید دراین‌سطح استفاده از w برای جلوگیری از اشتباه بهتر باشد.

تمرینهای آموزشی

حال‌بعضی تمرینهای‌آموزشی متداول را درنظر می‌گیریم. دردرجه اول کاملاً لازم است‌که شاگردان «مفهوم مول» را درک کنند، یعنی مفهوم کمیت «مقدارماده» و واحدآن، مول(نماد mol) رابفهمند. من‌هیچ‌نوع پیشنهادی برای چگونگی آموزش این موضوع درمتن این مقاله ندارم. به هرحال بدون فهم این موضوع، هیچ شاگردی نمی‌تواند درکی از محاسبات حجم‌سنجی داشته باشد. اما در اینجا چند مشکل وجود دارد. بسیاری از معلمان کلمهٔ مقدار را به‌کار نمی‌برند. به‌جای آنکه از مقدار ماده صحبت کنند دربارهٔ «تعداد

---

* در انگلستان انجمن آموزشی علوم توصیه می‌کند که لیتر به عنوان واحد به‌کارنرود ورسم متداول در آموزش در شیمی این است که در تمام موارد به جای لیتر dm^3 نوشته شود. به منظور واضح بودن تنها قرارداد ایالات متحده در این مقاله به کار خواهد رفت.

مولها» صحبت می‌کنند. در برخورد با کمیتهای دیگر عملاً نام و واحد آنها را به‌کار می‌برند: مثلاً می‌گویند حجم، ۳ لیتر است، سرعت ۵ کیلومتر در ساعت است و غیره. اما نمی‌گویند مقدار مس ۲ مول است؛ بلکه می‌گویند تعداد مولهای مس ۲ است (یا بدتر ۲ مول است!). برای تصدیق این گفته باید به‌عبارات فراوانی از این قبیل که در اوراق امتحانی آمده است نظر کنید: مثلاً حجم O_2 را به‌لیتر حساب کنید؛ چگالی Cu را به gcm^{-3} حساب کنید؛ ولی به جای مقدار Cu^{2+} برحسب مول، تعداد مولهای Cu^{2+} را محاسبه کنید.

اگر استفاده از کلمهٔ مقدار مانعی برای بعضی معلمان است، استفاده از نماد n مانع خیلی بزرگتری می‌باشد. در مقالهٔ ۱۹۸۰ و تمام مکاتبات بعدی هیچ‌کس نماد n را بجز پاکر مورد استفاده یا حمایت قرار نداد. از چهار روشی که به‌وسیلهٔ فریزر و سروانت مشخص گردید فقط طرح ۴ این نماد را به‌کار می‌برد، اما همان‌طور که مقالهٔ آنها نشان می‌دهد شاگردان زیادی در حل دو مسئله به دنبال نمادی برای کمیت مقدار ماده رفته‌اند ولی هیچ‌کدام از n استفاده نکردند و بالطبع دیده نشد که هیچ‌کدام کلمهٔ مقدار را به‌کار برده باشند. بنابراین معلوم می‌شود که مقصر این پیشامد در واقع معلمان‌شیمی می‌باشند. بسیاری ازمعلمان n را در زمینهٔ محاسبات حجم‌سنجی یا وزن‌سنجی به‌کار می‌برند ولی معادلهٔ $PV=nRT$ را به‌راحتی درقسمتهای دیگردرس خودمورد استفاده قرارمی‌دهند.

حال بیایید نظری به سه‌معادلهٔ روش ۴ بیفکنیم.

۱. $n=w/M$. این بیان‌مختصری از رابطهٔ بین مقدار ماده، جرم آن و جرم مولکولی آن است. این رابطه در طرحهای ۱، ۳ و ۴ به‌صورت $w=nM$ به‌کار رفته‌است، اما تنها در طرح ۴ است که به‌روشنی ارائه شده است.

۲. $c=n/V$. این‌معادله‌ای‌است‌که ازتعریف غلظت به‌صورت مقدار ماده در واحد حجم نتیجه شده‌است. این معادله به‌صورت $n=cV$ در طرحهای ۱ و ۴ به‌کار رفته است اما مجدداً فقط در طرح ۴ است که به‌طور کامل بیان شده است.

۳. برای $aA+bB\rightarrow cC+dD$

$$n_A/a=n_B/b=n_C/c=n_D/d$$

این معادله مربوط به‌استوکیومتری است. شاگرد باید از معادلات شیمیایی واکنشهای مربوط، نسبت بین مقادیر محصولات و / یا واکنش‌دهنده‌ها را محاسبه کند. فریزر و سروانت به این نسبت به‌عنوان روش یکانی، تناسب ساده یا نسبت اشاره می‌کنند. کاملاً معلوم‌شده است که بسیاری از شاگردان این‌مطلب را در محاسبات خود یك مرحلهٔ سخت می‌یابند واین منبع همیشگی اشتباه است. با در نظرگرفتن اولین معادلهٔ شیمیایی نشان داده شده در طرح ۱ استخراج مرحله به‌مرحله‌ای استوکیومتری می‌تواند به‌صورت زیر ارائه شود:

معادله به‌ما می‌گوید

برای یك یون IO_3^- مصرف شده، ۳ مولکول I_2 تولید گردیده است.

بنابراین با توجه به‌مفهوم مول

برای یك مول یون IO_3^- مصرف شده،

۳ مول مولکول ید به‌دست آمده است. بنابراین

(مولهای IO_3^- مصرف‌شده) $\times 3=$ (مولهای I_2 تولیدشده)

حال اگر نماد برای مقدار به‌کار رود

$$n_{I_2}=3\times n_{IO_3^-}$$

این چیزی است که معادلهٔ ۳ به ما می‌گوید:

$$n_{I_2}/3=n_{IO_3^-}/1$$

$$\therefore n_{I_2}=3\times n_{IO_3^-}$$

من معتقدم چنانچه شاگردان از معادلهٔ ۳ شروع کرده باشند، با استدلال کردن در مورد چندمثال به‌طریقی که دربالا گفته شد، برای آنان‌معلوم می‌شود که معادله همیشه نسبت‌صحیحی به‌دست می‌دهد که فوراً می‌توانند آن را قبول کنند و با اطمینان به کار برند. بنابراین هرزمان که لازم باشد استنتاجی دربارهٔ استوکیومتری یك معادلهٔ شیمیایی انجام دهند، ازپرداختن به‌تناسب ساده کامل یا تمرین ذهنی دربارهٔ نسبت دوری می‌کنند.* معادلهٔ ۳ این حسن را دارد که یك دسته معادلات ساده روابط استوکیومتری بین تمام واکنش‌دهنده‌ها و محصولات را تشریح می‌کند. اگر آنچنان‌که در مثال‌آمده است لازم‌باشد «دو» معادله به‌طور استوکیومتری به‌هم متصل شوند امکان اشتباه زیادتر خواهد شد. اما با دو بار استفاده از معادلهٔ ۳ حل مسئله، عملی کاملاً مکانیکی می‌شود:

$$n_{IO_3^-}/1=n_{I_2}/3 \quad \therefore n_{I_2}=3n_{IO_3^-}$$

$$n_{I_2}/1=n_{S_2O_3^{2-}}/2$$

$$\therefore 3n_{IO_3^-}=n_{S_2O_3^{2-}}/2$$

$$\therefore n_{IO_3^-}=n_{S_2O_3^{2-}}/6$$

با توجه به بحث بالا اجازه دهید به چهار طرح بالا نظر دقیقی بیفکنیم. مقایسه طرحهای ۱ و ۴ درحقیقت نشان می‌دهد که آنها به‌استثنای نمادگذاری کاملاً یکی می‌باشند. به این معنی که طرح ۴ به‌جای کلمات، نمادهایی برای کمیتهای طرف چپ معادله به‌کار می‌برد. اما علاوه براین طرح ۴ روشن می‌کند که عددها و آحاد طرف راست معادلات یعنی کمیتهای ارائه شده، ازکجا می‌آیند. شاگردی که این مسئله را به‌عنوان یك‌مثال حل‌شده به‌کار می‌برد، چنانچه به‌جای‌حل ارائه‌شده درطرح ۱ حل ارائه شده‌درطرح۴ را به‌کار گیرد کمك زیادتری به او خواهد شد. به این منظور طرح ۴ چنانچه «با به‌کار بردن‌معادلهٔ ۳» به‌دو مرحله‌ای که در بالا آمده است تقسیم شود و «با به‌کاربردن معادلهٔ ۱» به‌صورت زیر نوشته شود، توسعهٔ بیشتری خواهد یافت:

$$w_{KIO_3}(KIO_3\text{ محلول در }25\text{mL})=n_{KIO_3}M_{KIO_3}$$

$$=0.02896\text{ g}$$

$$\therefore w_{KIO_3}\text{ (در نمونه }0.9960\text{ g محلول یعنی در }250\text{ mL)}=0.02896\text{ g}$$

---

* پسر چهارده‌سالهٔ همکار نویسنده در درك معنی نسبت ساده برای استوکیومتری واکنش به‌کار رفته مشکل داشت. بعد از سعی کردن چندین راه ناموفق همکار معادلهٔ ۳ را به او نشان داد و این عمل پایان مشکل او بود. او گفت: «اوه مادر، چرا معلم مدرسه این را درست از ابتدا به ما نشان نداد؟»

$$\times \frac{۲۵۰ \text{ mL}}{۲۵ \text{ mL}} = ۰٫۲۸۹۶ \text{ g}$$

درصورت وجودهر گونه ابهام، لازم‌است به‌طور روشن مشخص شودکه کمیت به کدام نمونه ارجاع می‌شود.

طرح ۲ از این‌نظر با تز اصلی این مقاله مخالف است که آحاد به‌کار رفته دردو طرف معادلات کمیتهای مختلف دارند، یعنی از لحاظ ریاضی و منطقی بی‌معنی است. شاگردی که محاسبهٔ کمیت را در قسمت دیگری از درس علوم فیزیکی خود (مثلاً محاسبهٔ قانون گازها!) به‌خوبی انجام‌می‌دهد (یعنی معادلات شامل کمیتها، اعداد و واحدها رابه‌خوبی‌به‌کار می گیرد) احتمال‌دارد با این‌روش بـه‌طور کامل گیج شود. استفاده از علامت هم ارز، ≡، به‌جای علامت‌مساوی، =، ممکن است این‌مشکل را برطرف‌کند. برای رسیدن به‌سطر ۲ ازطریق سطر ۱، معادلهٔ ۲ آگاهانه یا ناآگاهانه به‌صورت $V = n/c$ به‌کارمی‌آید. هرمرحله‌پس‌از آن احتیاج به‌اصل نسبت یا تناسب ساده داردکه شاگردان آن‌را مشکل می‌یابند.

درطرح ۳ معادلهٔ سطراول، در حقیقت ترکیبی از معادلات ۲و ۳ و روش ۴ است‌که نماد M برای‌کمیت غلظت به‌کار رفته است، درحالی که‌سطر ۴معادلهٔ ۱ را با استفاده ازکلمات‌به‌کار برده است. اگر سؤال شود درسطر ۱ M نمایانگر چیست بیشتر معلمان‌جواب خواهند داد «مولاریته». اصطلاح مولاریته غلظت یك محلول را به‌صورت‌آحاد خاص‌مول درلیتر بیان می‌کند. پس‌این صحیح است که بگوییم «مـولاریته ۱٫۰ است» امـا نه اینکه «مولاریته» $\text{molL}^{-۱}$ ۱٫۰ است کـه این خود یك تکرار مطلب می‌باشد. مولاریته‌اصطلاح‌مرکب‌ازکمیت(غلظت) و واحد ($\text{molL}^{-۱}$)است و به‌کار بـردن یك نماد واحـد برای آن با نمادگذاری قبول شده حساب کمیتی مطابقت نـدارد و نماد M نمی‌بـاید برای کمیت غلظت به کار رود. اما علاوه بر اشکال تکراری بودن، اعتراض دیگری برای استفاده از نماد M وجود دارد. M نماد شناخته شده‌ای برای کمیت جرم مولی است که به دفعات در محاسبات استوکیومتری مورد لزوم است و داشتن یك نماد بـرای دو کمیت متفاوت درحل یك مسئله منجر به‌سر درگمی می‌شود. نماد M باید به عنوان یك علامت تندنویسی قابل قبول برای واحد $\text{molL}^{-۱}$ که در تشریح غلظت یك محلول به‌کار می‌رود، محفوظ نگه‌داشته شود، مثلاً یك محلول ۰٫۳M HCl باوجود آنکه متداول است ولی به‌عنوان یك مترادف $\text{molL}^{-۱}$ در محاسبات توصیه نمی‌شود (در آمریکا غالباً M را به‌عنوان واحد برای بیان ثابت سرعت واکنشهای درجهٔ ۲ به‌کار می‌برند، $\text{M}^{-۱}\text{s}^{-۱}$، اما بدتراینکه آن را به‌صورت ایتالیك می‌نویسند!).

این امر برای شیمیدانهـا عملی عادی است‌که از «یك محلول ۰٫۳ مولار HCl» صحبت‌کنند در حالی‌که مقصودشان یك محلول $\text{molL}^{-۱}$ ۰٫۳ است. ازکاربرد مولار دراین سطح باید اجتناب‌کرد زیرا کلمهٔ به‌کار رفته در اینجا در زمینه‌ای کاملاً متفاوت با جرم مولی یا حجم مولی است‌که به‌معنی برمول می‌باشد. استفاده یك کلمه برای دو چیز مختلف می‌تواند به‌طور وضوح یك سر درگمی برای مبتدیان به‌بار آورد.

به‌طوری کـه دومین مقالهٔ فریزر و سروانت نشان می‌دهد، روشهای درجه‌بندی مستقیم و مفاهیم هـم‌ارزی و نرمالیته هنوز درعمل بـه‌طور گسترده و با دلیلی خوب استفاده می‌شوند. ممکن است شخصی‌که اندکی شیمی می‌داند یا اصلاً شیمی نمی‌داند با دیدن دورهٔ کارآموزی عمل تجزیهٔ بخصوص را با دنبال‌کردن یك سری دستورکارکه به‌روشنی پیاده شده است، به‌انجام برساند. اما اگر هدف دورهٔ دروس شیمی بالابردن سطح دانش شاگردان تا آن حد باشد که وقتی با استفاده از این روشها و مفاهیم کاری انجام می‌دهند آنها را به‌خوبی فهمیده باشند نخست باید یك آموزش درست دربارهٔ اصول اساسی محاسبات شیمیایی به‌گونه‌ای که در این مقاله طرح گردیده‌است بدست آورند. در این‌صورت‌آنان در وضعی خواهند بودکه مزایای استفاده از هم‌ارزها و نرمالیته‌ها را بدانند ومعنی‌کلماتی مثل مولار ومولاریته را در زمینه‌ای که‌به‌کار رفته‌اند درك کنند.

خلاصه

بسیاری ازمعلمان به‌دو دلیل برای‌تدریس محاسبات استوکیومتری در تلاشهای خود باشکست مـواجه می‌شوند. اولاً آنها تأکیدی بر مفاهیم کمیتهای فیزیکی و آحاد و رابطهٔ بین آنها نمی گذارند. (خیلی از مقالات نشانگرآن است که بعضی از معلمان خود این مطالب مهم را به‌روشنی نمی‌دانند.) ثانیاً آنها شاگردان خود را با «زبان علمی لازم» برای انجام این محاسبات آمـاده نمی‌سازند. شاگردان در چنین سطحی کاملاً می‌توانند در هنر تبدیل جملات معنی‌دار به‌مقالات و یا بالعکس مهارت به‌دست آورند، اما اگر دربارهٔ علامتهای مناسب و غیرمبهم کمیتها وآحاد را تعلیم ندیده باشند ازعهدهٔ این کار برنمی‌آیند. معلمانی‌که از این‌علامتها آگاهی درستی ندارند باید با استفاده از مراجع مربوط آنها را فراگرفته و از وجود آنها و فقط از آنها در تدریس خود استفاده کنند.

معلمان باید فراگیرندکه از کلمهٔ «مقدار» استفاده‌کنند و نماد، n، را برای این‌کمیت به‌کاربرند. درغیراین صورت‌آنان وبه‌طریق اولی شاگردان، زبان لازم برای بیان این موضوع را نخواهند داشت. معلمان‌باید ازشاگردان خودبخواهندکه وقتی دریك‌معادله اعداد را جانشین‌کمیت می‌کنند همواره‌آحادآنها را بیاورند وآحاد را در طی هرمرحله از محاسبات آورده، در مواقع مناسب آنها را حذف‌کنند. (البته‌معلمان باید این‌عمل را خود در حل تمام‌تمرینها اجرا کنند.) اگر این‌عمل انجام‌گیرد هر اشتباه، زمانی‌که واحد با کمیت مورد اندازه‌گیری مغایرت داشته باشد، فوراً خود را نشان می‌دهد.

نیوزیلند کشوری کوچك است. شاید لازم باشد نظرهایی‌که در این‌مقاله‌ارائه شده‌است به‌وسیله یك‌پروژهٔ تحقیقاتی آموزشی‌شیمی در سطحی وسیعتر، امتحان شود.

ترجمهٔ ویدا توسلی

• Difficulties with Stoichiometry
J.E Packer
Education in Chemistry, May 1988