

فهرست

۷	پیش‌گفتار
۱۱	۱. خاستگاه، دامنه، و سازمانش
۲۳	۲. اصولش: اتم‌ها و مولکول‌ها
۳۷	۳. اصولش: انرژی و انتروپی
۴۷	۴. واکنش‌هایش
۶۳	۵. فنونش
۷۵	۶. دستاوردهایش
۹۵	۷. آینده‌اش
۱۰۴	جدول تناوبی
۱۰۵	فرهنگ‌نامه
۱۰۸	نمایه

پیش گفتار

می‌خواهم چشمانتان را به روی جهانی شگفت‌انگیز، جهانی پر اهمیت از نظر اندیشه‌ورزی و اقتصادی بگشایم: جهان شیمی. باید اعتراف کنم که شیمی آوازه‌ای خوشایند ندارد. مردم آن را از دوران مدرسه به عنوان موضوعی به یاد می‌آورند که عمدتاً فهم‌ناپذیر بود، البته آکنده از حقایق اما اندکی درک‌شدنی، بوگندو، و چنان دور از جهان واقعی رویدادها و سرخوشی‌ها که انگار آن همه مفاهیم، نوشتارها، دستورالعمل‌ها، و قواعد خشک و بی‌روحش هیچ ربطی به زندگی نداشت. بعداً با هشدارهایی در مورد تأثیر زیست‌محیطی مواد شیمیایی خطرناک که به طبیعت نشت می‌کنند و در دشت‌های سرسبز و پوشیده از شقایق‌ها و پروانه‌ها فاجعه می‌آفرینند، کرانه‌های رودخانه‌ها را که زمانی ریشگاه آویشن وحشی بود به شوره‌زاری مرده تبدیل می‌کنند، لجن‌هایی سمی و توده‌های گندآلود را در نهرهایی بر جا می‌گذارند که زمانی آبی زلال در آن‌ها جاری بود، و عطر دلپذیر و فرح‌بخش هوا را با بوی متعفن جایگزین می‌کنند، و در کل اوضاع را به گند می‌کشند، آن آوازه‌ی ناخوشایند، باز هم ناخوشایندتر می‌شود.

می‌خواهم همه‌ی این‌ها را به چالش بکشم. می‌خواهم تشویق‌تان کنم که با نگاهی نو و بی‌تعصب، دوباره به شیمی نظری بیفکنید، تا همه‌ی آن خاطرات و تلقی‌ها زوده شود و جایش را درک و فهم بگیرد. می‌خواهم جهان را از چشمان شیمیدان به شما نشان دهم، تا مفاهیم اصلی آن را بفهمید، و ببینید که شیمیدان‌ها تنها در آسودگی مادی ما که در فرهنگ انسانی خودمان نیز سهیم است. می‌خواهم توضیح دهم که شیمیدان‌ها چگونه می‌اندیشند و چگونه آن چیزی که آنان از ماده بر ما آشکار می‌کنند - هر شکلی از ماده، از سنگ گرفته تا آدمی - به دریافت ما از جهان سرخوشی می‌بخشد. می‌خواهم به شما نشان دهم که شیمیدانان چگونه یک شکل از ماده را می‌گیرند، چه بسا مکیده یا کنده‌شده از دل زمین یا برگرفته‌شده

از آسمان، و آن را به شکلی دیگر در می‌آورند، تا شاید پوشاک ما شود، خوراک ما شود، سبب راحتی ما شود.

می‌خواهم شما را در این اندیشه سهیم کنم که شیمی زیرساختار جهان مدرن را فراهم می‌سازد. عملاً هیچ چیزی در زندگی هرروزه نیست که دست شیمی بر سرش کشیده نشده باشد یا بر پایه‌ی موادی نباشد که شیمی آفریده است. شیمی و بازوی عملیاتی‌اش - صنعت شیمی - را کنار بگذارید و خودتان را از فلزات و دیگر مصالح ساختمانی، از نیم‌رساناهای کامپیوتری و ارتباطی، از سوخت‌های گرمایشی، از تولید نیرو، از ترابری، از پارچه‌های پوشاک، و از رنگدانه‌های مصنوعی جهان رنگارنگ خودمان، محروم کنید. مشارکت آن را در کشاورزی کنار بگذارید و نتیجه‌ای جز مرگ آدم‌ها نصیبتان نخواهد شد، چون صنعت شیمی است که کودها و آفت‌کش‌هایی را در اختیار می‌گذارد تا کشتزارهای رو به کاهش بتوانند غذای جمعیت فزاینده‌ی انسانی را تأمین کنند. بازوی دارویی آن را کنار بگذارید - با حذف داروها - جز درد و رنج و نبود دورنمای بهبودی برای انسان‌ها، چیزی نصیبتان نخواهد شد. جهانی را تصور کنید عاری از هرگونه فرآورده‌ی شیمی (از جمله آب خالص): به دوران مفرغ، به دوران پارینه سنگی باز می‌گردیم: نه فلزی، نه سوختی جز هیزم، نه پوشاکی جز پوست جانوران، نه دارویی جز گیاهان و حشی، نه روشی برای محاسبه جز انگشتان دست، و خوراکی بسیار اندک.

پیشرفت‌های تکنولوژی نیازمند دسترس‌پذیری موادی با ویژگی‌های نو و پیچیده بود، با ویژگی‌های بهتر الکتریکی، مغناطیسی، اپتیکی، یا مکانیکی، یا فقط با خلوص بیش‌تر. پیشرفت‌ها در حفظ سلامت آدمی که می‌تواند به کاهش نیاز به زیرساختارهای فیزیکی بیمارستان‌ها و تجهیزات پیچیده و گران‌قیمت آن‌ها بینجامد، به کشف و ساخت داروهای بهتر و پیشرفته‌تر وابسته است. بدون شیمی خبری از پیشرفت در تولید، توسعه، و ساخت انرژی برای فراهم آوردن زیرساخت ماده‌ای آن نخواهد بود.

اما، نیازی به توضیح ندارد که این تفاوت خارق‌العاده بین طبیعت خام و تبدیلی که شیمی روی آن انجام می‌دهد تا زندگی ما بهتر شود و ارتقاء پیدا کند، بی‌هزینه نبوده است، و همین هزینه است که دلمان را می‌لرزاند و به درستی مبنای

درک ما از تأثیر زیست‌محیطی شیمی است. در بدوی‌ترین شکل، فرآورده‌های شیمی توانایی ما را برای کشتن و زخمی کردن افزایش می‌دهند، چون هنگامی که مواد منفجره‌ی نو و دیگر عوامل مرتبط بهبود پیدا کنند، تسلیحات هم توانمند می‌شوند. تأثیر زیست‌محیطی انکارناپذیر آن‌چه که تولید می‌شود و فرایندهای تولید، اغلب زمینه‌ساز دل‌نگرانی‌های همیشگی‌اند. شیمی در اختیار جوامع، توانایی به‌راه‌انداختن کارآمدتر جنگ را پیش روی دولت‌ها می‌گذارد، تولید تهاجمی‌تر مصنوعات را از راه فشارهای تجاری فراهم می‌کند، و ریخت‌وپاش اسراف‌کارانه و در نتیجه آسیب‌رساندن به زیست‌بوم یگانه و تعویض‌ناپذیر را در اختیار افراد می‌گذارد.

در صفحات آتی به مصاف این دغدغه خواهیم رفت، چرا که پیامد مستقیم پیشرفت در تولید شیمیایی، و نیز حضور نه تنها فرآورده‌ها بلکه پسماندهای تولیدی در محیط زیست بوده است. با این حال مهم است که تصویری همه‌جانبه از شیمی در ذهن داشته باشیم، نه یک چهره‌ی تاریک و مخوف. بدون شیمی، زندگی کثیف، سبعمانه، و کوتاه می‌بود؛ اما با شیمی، می‌تواند راحت، سرگرم‌کننده، و پرمایه باشد. ترابری می‌تواند کارآمد باشد؛ صنعت پوشاک شکوفا می‌شود. عمر آدم‌ها می‌تواند درازتر شود. بدون چشم‌پوشی از جنبه‌ی تاریک و منفی شیمی، از شما می‌خواهم که جنبه‌ی مثبت و روشنگر آن را نیز ببینید.

در کنار همه‌ی این مشارکت‌ها، جنبه‌ای دیگر نیز هست: فهمیدن شیمی با نشان‌دادن این‌که اجسام چه هستند، بینشی از دل ماده برایمان به ارمغان می‌آورد. شیمیدان می‌تواند به گل سرخی بنگرد و بفهمد چرا سرخ است، به برگ‌ی بنگرد و بفهمد چرا سبز است. شیمیدان می‌تواند به شیشه بنگرد و بفهمد چرا شکننده است، و به پارچه‌ای می‌نگرد و می‌فهمد چرا انعطاف‌پذیر است. البته که بدون این دانش درونی نیز می‌توان شکوه طبیعت را تجربه کرد، درست همان‌طور که می‌توان بدون تحلیل کردن، از موسیقی لذت برد؛ اما، بینشی که شیمی از ویژگی‌های ماده، در هر شکلی، فراهم می‌سازد، به وقتش ارزش خود را نشان می‌دهد، و در نتیجه لذتی ژرف‌تر به دست می‌آید. می‌خواهم شما را در قسمتی از این بینش شریک کنم و نشان دهم که حتا افزودن اندکی چاشنی شیمی، سرخوشی زندگی را بیش‌تر خواهد کرد.

باری، این سفری است که شما را بدان خواهیم برد. خواهیم کوشید تا ذهنتان را از خاطراتی نصفه‌نیمه و ای بسا ناخوشایند که با شیمی دارید پاک کنم. پس از خواندن فصل‌های پیش رو، متخصص شیمی نخواهید شد، چون شیمی ژرف است و گسترده، کمی است و کیفی، سر به زیر است و پر هیاهو. اما امیدوارم که ساختارش را، مفاهیم اصلی‌اش را، و مشارکت‌هایش در فرهنگ، سرخوشی، اقتصاد، و جهان را درک کنید.

در پایان، می‌خواهم از پروفیسور دیوید فیلیپس، ایمپریال کالج، به خاطر گوشزدهای سودمندش سپاسگزاری کنم.

پیتر اتکینز

آکسفورد، ۲۰۱۳

خاستگاه‌ها، دامنه، و سازمانش

این فصل، پس از نگاهی بسیار گذار به خاستگاه‌های شیمی در کیمیاگری، این نکته را بیان می‌کند که همه‌ی بحث‌های نوین این موضوع بر حسب اتم‌ها هستند — سکه‌ی رایج شیمی نوین. با ظهور شیمی نوین، به تعدادی زیرشاخه‌ی در ارتباط با هم تبدیل شد، عمدتاً به شیمی فیزیک، شیمی معدنی، و شیمی آلی، که به شرح زمینه‌ی کاری آن‌ها اشاره خواهیم کرد. اما شیمی علمی است اصلی، که مفاهیمش را از فیزیک می‌گیرد و زیست‌شناسی را روشن می‌سازد، و این فصل مقدماتی با این بحث به پایان می‌رسد که جایگاه کنونی شیمی در چشم‌اندازی علمی چیست.

حرص و آز. حرص و آز الهام‌بخش آدمی برای رفتن به سفری خیره‌کننده است که امروزه هر کسی از آن تأثیر می‌پذیرد. آن حرص و آز ویژه‌ی مدّ نظر من عبارت است از تلاقی جستجوی جاودانگی و رسیدن به ثروت بی حد و حصر. مسیر فرضی رسیدن به این دو، دستکاری ماده بود، تا اکسیرهایی فراهم شود که کالبدهای بیمار را برای تحقق‌بخشیدن به جاودانگی درمان کند و نیز دستورالعمل‌هایی برای تبدیل هر چیزی کمابیش مانند زر — خواه در رنگ، مانند ادرار و شن، خواه در سنگینی، مانند سرب — به خود زر. هیچ‌کدام از این اهداف هرگز حاصل نشد، اما بازی کردن پایان‌ناپذیر کیمیاگران با ماده، سبب‌ساز آشنایی چشمگیر با آن شد و بستری را فراهم ساخت، اغلب به معنای دقیق کلمه، که از آن علمی واقعی، یعنی شیمی، توانست سر برآورد.

ابزار اصلی گذار از کیمیاگری به شیمی، ترازو بود. توانایی وزن کردن دقیق چیزها، قابلیت الحاق اعداد به ماده را در اختیار آدمی گذارد. اهمیت این دستاورد را نباید دست کم گرفت، چون به واقع کاملاً خارق‌العاده است که بتوان اعداد بی‌معنی را به هوا، آب، زر، و هر نوع ماده‌ی دیگری متصل کرد. بدین ترتیب، با

الحاق اعداد، مطالعه‌ی ماده و تبدیل‌هایی که می‌توان دستخوش آن‌ها شود (دامنه‌ی کنونی شیمی) پا به قلمرو علوم فیزیکی گذارد، که در آن مفاهیم کیفی را می‌توان به طور کمی عرضه کرد و نسبت به نظریه‌هایی که آن‌ها را لحاظ و روشن می‌کنند، با دقت آزمود.

وزن کردن ماده پیش و پس از تبدیل شدن آن از یک ترکیب به ترکیبی دیگر به مفهومی اصلی انجامید که زیربنای همه‌ی توضیح‌ها در شیمی است: اتم. مفهوم «اتم» بیش از دو هزاره بی‌هیچ بنیانی در اندیشه‌ی آدمی غوطه خورده بود، از آن هنگام که یونانیان باستان، بدون کوچک‌ترین مدرکی، به فکر نوعی سنگ بنای ذره‌مانند نادیدنی از جهان افتاده بودند. گمانه‌زنی آنان در دستان جان دالتون (۱۷۶۶ تا ۱۸۴۴) در علم بنیانی به دست آورد، که از راه تحلیل وزن مواد پیش و پس از واکنش به این نتیجه رسید که عنصرها، یعنی بلوک‌های سازنده‌ی بنیادی ماده، متشکل از اتم‌هایی دگرگونی‌ناپذیرند، و با وزن‌کردنی ساده، می‌توان رد آن‌ها را در ماده‌ای که به ماده‌ای دیگر تغییر یافته دنبال کرد.

اتم‌ها اکنون ارز رایج شیمی‌اند. کمابیش هر توضیحی در شیمی به آن‌ها بر می‌گردد، خواه به صورت مجزا خواه چسبیده به هم در ترکیب‌هایی که آن‌ها را مولکول می‌نامیم. اتم‌ها سازندگان هر ماده‌ای هستند: هر چیزی که بتوانید ببینید و لمس کنید از اتم‌ها ساخته شده. با آن‌که بسیار کوچک‌اند کاملاً اشتباه است که بگوییم از چشم غیر مسلح پنهانند. به درخت بنگرید: اتم‌ها را دارید می‌بینید. به صندلی بنگرید: اتم‌ها را دارید می‌بینید. به این صفحه بنگرید: اتم‌ها را دارید می‌بینید (حتا اگر این صفحه روی نمایشگر باشد). به صورتتان دست بکشید: اتم‌ها را دارید لمس می‌کنید. به پارچه دست بزنید: اتم‌ها را دارید لمس می‌کنید. البته، اتم مجزا برای دیده‌شدن بیش از حد کوچک است: اما ماده از لشگرهایی از آن‌ها ساخته می‌شود، و این لشگرها هستند به صورت ترکیبات پیرامونمان به چشم غیر مسلح ما می‌آیند. اما، بعداً در فصل ۵، توضیح خواهیم داد که چگونه شیمیدانان اکنون می‌توانند حتا تصاویری از اتم‌های مجزا را ببینند.

بیش از ۱۰۰ نوع مختلف اتم داریم. در فصل بعد که با هم به درون اتم‌ها می‌نگریم و به شناسایی ساختارهای درونی متفاوتشان می‌پردازیم که باعث تمایز آن‌ها می‌شود، منظورم از «نوع» را توضیح خواهیم داد. هر نوع اتم متفاوت متناظر

است با عنصری متفاوت. بدین ترتیب، همان طور که عنصرهای هیدروژن، کربن، آهن، و غیره را داریم، اتم‌های هیدروژن، اتم‌های کربن، اتم‌های آهن، و غیره را داریم، تا آخرین عنصر کشف‌شده، که در ۲۰۱۳ عبارت است از عنصر ۱۱۴ کاملاً بی‌فایده و بسیار کوتاه عمر، لیورموریم. (البته اگر دقیق بگویم: این عنصر ۱۱۶ است، ولی دوتای قبلی آن هنوز کشف نشده‌اند).^{*} ایده‌ی کلیدی در شیمی آن است که وقتی یک ترکیب به یکی دیگر تغییر می‌کند، خود اتم‌ها دستخوش دگرگونی نمی‌شوند: تنها شرکاء را رد و بدل می‌کنند یا در آرایش تازه قرار می‌گیرند. سر تا ته شیمی درباره‌ی طلاق است و ازدواج مجدد.

گرچه «اتم» به معنای تفکیک‌ناپذیر است، اتم‌ها تفکیک‌پذیرند. حتا گمانه‌زنی صاف و ساده‌ای هم به این نتیجه می‌رسد، چون وجود انواع مختلف اتم به معنای داشتن ساختارهای متفاوت است، پس با ذکاوت کافی می‌شود نتیجه گرفت که به احتمال می‌توان دل و روده‌ی اتم را بیرون ریخت و به شناسایی به اصطلاح ذرات زیراتمی پرداخت که اتم را می‌سازند. آزمایش‌های این گمانه‌زنی را تأیید می‌کنند، و در فصل ۲ نگاهی به درون اتم‌ها و به تبع خاستگاه شخصیت‌های متفاوت آن‌ها می‌اندازیم. همین جاست که شیمی به شدت از فیزیک وام می‌گیرد، چون فیزیکدانان ساختارهای اتم‌ها را آشکار ساختند و شیمیدانان از این اطلاعات برای پرداختن به مولکول‌هایی که اتم‌ها می‌سازند و واکنش‌هایی که دستخوش آن می‌شوند، استفاده می‌کنند.

گفته‌ی آخر، دامنه‌ی شیمی را نشان می‌دهد. معنایش آن است که برای فهمیدن شیمی لازم است تا مفاهیمی را از فیزیک به وام بگیریم. در عمل هم چیزی غیر از این نیست، و شیمی مطالب بسیاری را که فیزیکدانان توسعه داده‌اند، به کار می‌گیرد (در عوض، ما شیمیدانان موادی را به فیزیکدانان عرضه می‌داریم که با آن کلنجار بروند). از میان همه‌ی این داد و ستد، دو کالای وارداتی بسیار مهم هست، یکی مربوط به رفتار اتم‌های منفرد و اجزای زیراتمی‌شان و دیگری مربوط به توده، یعنی نسخه‌هایی به وضوح بزرگ از ماده، مانند لیوانی از آب یا قطعه‌ای

* در ماه مه ۲۰۱۴، کشف عنصر ۱۱۷ با نام موقت اون‌اوسپتیم (Ununseptium) تأیید شد - م.