journal for the History of Science
Print issn: 1735-0573 ● Online issn: 2717-1965
University of Tehran

Was the Chemical Formula of Water "wrong" as HO?

Ali Kavousi-Rahim✉

https://orcid.org/0000-0002-7414-2429
Materials and Energy Research Center, Tehran, Iran
E-mail: a.kavosirahim@merc.ac.ir

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:
Received 20 August 2023
Received in revised form 22 October 2023
Accepted 20 December 2023
Published online 30 January 2024

Keywords:
Empirical Evidence, Formula of Water, HO, H_2O, Philosophy of Chemistry.

ABSTRACT

For a period of about 40 years leading up to 1826, the chemical formula of water was adopted to be HO, in which one atom of Hydrogen and one atom of Oxygen are composed together. In this article, the examples and discussion refer to the chemistry treatise of Dr. Khalil Aʿlam al-Dawlah which was a training resource of newly established academy of Dār al-funūn in Iran, which, according to the scientific belief of that time, the chemical formula of water was introduced as HO. Before than Dār al-funūn, it wasn`t considered any formula for water, but water was one of the four basic elements, according to the Natural Hikma`s point of view. Nowadays chemical formula of water is known as H_2O. Although from a presentist point of view, the water formula in that treatise can be described as "wrong" for the time being, whatever in the present article, from the perspective of the philosophy of chemistry, an attempt has been made to show that the sentence is not so easy. The fact that the water formula has been accepted as HO for some time in the past, as a historical experience of science, recommends further reflection on the meaning of correctness or inaccuracy of a scientific proposition, as well as challenging the assurance on theory and the reliance on empirical evidence; because this false statement belonged to a theory that ironically is valid till now, and also had not shown a significant inconsistency with the empirical evidence for a long time. Finally, this paper concluded that assigning an incorrect formula for water over half a century resulted from at least a pair of mistakes that have concealed the matter from the view of experience: supposition of an incorrect principle along with misinterpretation of empirical evidence.

Cite this article: Kavousi-Rahim, A, (2023). Was the Chemical Formula of Water "wrong" as HO?. *Journal for the History of Science*, 21 (1), 77-93. DOI: http//doi.org/ 10.22059/JIHS.2023.364105.371754
© The Author(s). Publisher: University of Tehran Press

تاریخ علم
شاپا الکترونیکی: ۱۹۶۵-۲۷۱۷ ● شاپا چاپی: ۰۵۷۳-۱۷۳۵

آیا فرمول شیمیایی آب به صورت HO «غلط» بود؟

علی کاوسی رحیم✉

https://orcid.org/0000-0002-7414-2429

پژوهشگاه مواد و انرژی، تهران، ایران. رایانامه: a.kavosirahim@merc.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقالهٔ پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۵/۲۹
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۷/۳۰
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۹/۲۹
تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۱۱/۱۰

چکیده

در یک بازهٔ زمانی حدود چهل ساله، منتهی به سال ۱۸۲۶ میلادی فرمول شیمیایی آب به‌صورت HO یعنی ترکیبی از یک اتم هیدروژن و یک اتم اکسیژن پذیرفته شده بود. برای ذکر مثال‌ها و طرح بحث در این مقاله به رسالهٔ شیمی اثر دکتر خلیل أعلم الدوله، ارجاع داده شده است که در مدرسهٔ نوبنیاد دارالفنون در ایران تدریس می‌شد و به تبعیت از باور علمی آن زمان، فرمول شیمیایی آب در آن به‌صورت HO معرفی شده است. پیش از دارالفنون، فرمولی برای آب مطرح نبود بلکه آب از منظر حکمت طبیعی، یکی از عناصر چهارگانه به شمار می‌رفت. امروزه فرمول شیمیایی آب H_2O دانسته می‌شود. گرچه از نگاه حال محور به علم، می‌توان عجالتاً بر فرمول آب در رسالهٔ مذکور، مهر «غلط» زد اما در مقالهٔ حاضر، تلاش شده است تا از منظر فلسفهٔ شیمی، نشان داده شود که چنین حکمی چه پیامدهایی در پی خواهد داشت. این که فرمول آب در یک مقطع تاریخی به‌صورت HO پذیرفته شده بود، یک تجربهٔ تاریخی علم است که تأمل بیشتر در معنای غلط یا درست بودن یک گزارهٔ علمی را برمی‌انگیزد، همچنان که اطمینان به نظریه و اعتماد تام به شواهد تجربی را به چالش می‌کشد؛ چرا که این گزارهٔ غلط ذیل نظریه‌ای قرار داشت که اتفاقاً تا امروز پابرجاست و نیز مدت معناداری با شواهد تجربی ناسازگاری نشان نداده بود. در پایان، رویکرد مقاله برای تفسیر این رویداد تاریخی چنین است: در نظریه‌ای که آب را HO می‌دانست، علاوه بر گزارهٔ مذکور، دست کم یک فرض غلط دیگر وجود داشت که این دو همدیگر را پوشانده و از محک آزمون و تجربه رهانیده بودند.

کلیدواژه‌ها:

شواهد تجربی، فرمول آب، فلسفهٔ شیمی، H_2O، HO.

استناد: کاوسی رحیم، علی (۱۴۰۲). آیا فرمول شیمیایی آب به صورت HO «غلط» بود؟. *تاریخ علم*، ۲۱ (۱)، ۷۷-۹۳.

DOI: http//doi.org/ 10.22059/JIHS.2023.364105.371754

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران. © نویسندگان.

مقدمه

امروزه فرمول شیمیایی آب را H_2O می‌دانیم. شیمی‌دانان، و پیرو آنها همهٔ کسانی که با موضوع ارتباط دارند، آب را به‌صورت H_2O می‌شناسند. H_2O یک «مولکول» شناخته می‌شود که از دو «اتم هیدروژن» (H) در پیوند با یک «اتم اکسیژن» (O) تشکیل یافته است. هر یک از اتم‌های هیدروژن با یک پیوند شیمیایی که اصطلاحاً کووالانسی نامیده می‌شود به اتم اکسیژن اتصال دارند. پیوند میان هیدروژن و اکسیژن قطبی است به‌طوری که سمت H نسبتاً مثبت و سمت O نسبتاً منفی است، در عین حال مولکول آب غیرخطی است به طوری که دو اتم هیدورژن با یکدیگر زاویه تقریبی ۱۰۴/۵ درجه دارند. اتم‌های هیدروژن هر مولکول، قادرند با اتم‌های اکسیژن در مولکول‌های مجاور پیوند ضعیف دیگری موسوم به پیوند هیدروژنی تشکیل دهند. ساختار شیمیایی ویژهٔ آب، منشأ بروز خواص فیزیکی و شیمیایی منحصر به فرد آن است (ببینید Zumdahl, 2020).

اتم اکسیژن با عدد اتمی ۸ دارای سه ایزوتوپ ^{16}O، ^{17}O و ^{18}O است که جرم اتمی آنها به ترتیب ۱۶، ۱۷ و ۱۸ است و ^{16}O فراوان‌ترین آنها (۹۹/۷۶ ٪) در طبیعت است (Bao et al., 2016: 464). از طرفی اتم هیدروژن دارای سه ایزوتوپ ^{1}H، ^{2}H و ^{3}H است که جرم اتمی آنها به ترتیب ۱، ۲ و ۳ است. ^{1}H فراوان‌ترین (۹۹/۹۷ ٪) ایزوتوپ در طبیعت است. ^{2}H که با نام دوتریوم (نماد D) نیز شناخته می‌شود دیگر ایزوتوپ پایدار هیدروژن در طبیعت است (۰/۰۲۸ ٪). ایزوتوپ ^{3}H یا همان تریتیوم (نماد T) رادیواکتیو و ناپایدار است و نیمه عمری در حدود ۱۲/۳۲ سال دارد (Schimmelmann and Sauer, 2018: 696). با توجه به اینکه برای هر یک از سه اتم حاضر در مولکول آب، سه حالت متصور است، به‌طور منطقی ممکن است ترکیب‌های متفاوتی از آب (از نظر ایزوتوپی) تشکیل یابد، البته همهٔ ترکیب‌های ممکن در طبیعت وجود ندارد. آب در سه حالت فیزیکی جامد، مایع و بخار در شرایط اقلیمی زمین یافت می‌شود و نیز کاربردهای صنعتی، کشاورزی و بهداشتی فراوانی در زندگی بشر دارد. آب یکی از مواد پرکاربرد و با اهمیت در آزمایشگاه شیمی است.

یک نگاه تاریخی

همچنان که زندگی انسان به آب وابسته است، نمی‌توان زمانی را در گذشته تصور کرد که فکر انسان از آب جدا بوده باشد. شاهد این ادعا، حضور آب، به‌مثابه یک عنصر اصلی، در فلسفه و علم ادوار گذشته است. تالس[1] که حدود ۶۰۰ سال قبل از میلاد می‌زیست آب را تنها جزء تشکیل دهنده عالم یعنی مادةالمواد می‌دانست. امپدوکلس[2] فیلسوف یونانی اهل سیسیل در حدود ۴۵۰ ق.م.، آب را (در کنار

1. Thales of Miletus (624-548 BC)
2. Empedocles

خاک، هوا و آتش) به عنوان یکی از عناصر چهارگانهٔ سازنده عالم معرفی کرد. سپس با سیطرهٔ علم ارسطویی، باور به عناصر چهارگانه از دوران باستان تا انتهای سده‌های میانه، اعتبار خود را حفظ کرد. آنچه در اینجا مد نظر ماست این است که در تمام این اعصار، آب یک عنصر (رکن) پنداشته می‌شد، لذا این که از اجزای دیگری غیر از آب تشکیل یافته باشد، اساساً مطرح نبود. یادآوری می‌شود در تمام کیمیای دورهٔ اسلامی همین باور حاکم است و آب یک عنصر دانسته می‌شود. نظریهٔ دیرپایی که آب را یک عنصر می‌دانست چنان در باور علمی جهان رسوخ کرده بود که جایگزینی آن نیز زمان‌بر بود. انتشار کتاب *شیمی‌دان شکاک*[1] اثر رابرت بویل[2] در سال ۱۶۶۱م پایان رسمی اعتقاد به عناصر چهارگانه دانسته می‌شود. گرچه او نیز در آن زمان نظریهٔ جایگزینی بر آن ارائه نکرد اما از آن پس دانشمندان با جسارت بیشتری در پی کشف عناصر تشکیل دهنده جهان بودند.

جوزف پریستلی[3] (۱۸۰۴–۱۷۳۳) در سال ۱۷۸۱ هوای اشتعال‌پذیر (که در واقع همان هیدروژن بود) را در مجاورت هوای معمولی و در معرض جرقهٔ الکتریک منفجر کرد و تشکیل آب را مشاهده کرد. این رویداد خط بطلانی بر تجزیه‌ناپذیری آب بود. هنری کاوندیش[4] با ملاحظات کمّی دقیق‌تر کار پریستلی را تکرار کرد اما هم پریستلی و هم کاوندیش مشاهدات خود را در فضای فکری نظریهٔ فلوژیستون توجیه می‌کردند. در سال ۱۷۸۳ و بعد از آن، آنتوان لوران لاوازیه[5] (۱۷۹۴–۱۷۴۳)، نظریهٔ فلوژیستون را رد کرد و اظهار داشت که آب ترکیبی از هیدروژن و اکسیژن است (هودسون، ۱۳۷۴: ۸۴–۸۳). جان دالتون[6] (۱۸۴۴–۱۷۶۶) در سال ۱۸۰۸ با استناد به اصلی موسوم به «اصل بیشترین سادگی»[7] آب را متشکل از یک اتم هیدروژن و یک اتم اکسیژن یعنی با فرمول HO دانست (برای نمونه ببینید: Mauskopf, 626; Chang, 2012: 133). نظریه جان دالتون گرچه در بارهٔ آب موفقیت‌آمیز نبود اما نسبت عناصر را در ترکیبات دیگری از قبیل کربن منوکسید (CO)، کربن دی اکسید (CO_2)، و همهٔ اکسیدهای نیتروژن ($NO, NO_2, NO_3, N_2O, N_2O_3$) به درستی تعیین کرد (هودسون، ۱۳۷۴: ۱۱۲؛ Chang, 2012: 134). با موفقیت نسبی نظریه جان دالتون ساختار HO در دنیای شیمی پذیرفته شد. چنان که مثلاً تئودور فون گروتوس[8] (۱۸۲۲–۱۷۸۵) برقکافت آب را بر اساس تولید یک اتم هیدروژن و یک اتم اکسیژن از آب توضیح داد (هودسون، ۱۳۷۴: ۱۲۹–۱۳۰؛

1. *The Sceptical Chymist*
2. Robert Boyle
3. Joseph Priestly
4. Henry Cavendish
5. Antoine-Laurent Lavoisier
6. John Dalton
7. The rule of greatest simplicity
8. Theodor von Grotthuss

Miyake and Ronaldi, 2016;Pauliukaite et al., 2017). دانشمندان شیمی در سالیان پس از دالتون با طرح مباحثی همچون گرمای ویژه، مطالعات حجمی گازها، اندازه‌گیری‌های جرمی دقیق، مفهوم اکی‌والان، بار الکتریکی و ... علم نوپای شیمی را ترقی دادند (Chang, 2012: 152-162). سرانجام یونس یاکوب برزلیوس[1] (۱۸۴۸–۱۷۷۹) در سال ۱۸۲۶ دریافت که آب متشکل از دو اتم هیدروژن و یک اتم اکسیژن است (ببینید: Needham, 2002: 211;) و این باور تا امروز پابرجاست.[2] تلاش‌های بعدی شیمی‌دانان در مسیر تدقیق مفهوم «وزن مولکولی» و تمییز آن از وزن اتمی و البته با مدد گرفتن از اندازه‌گیری‌های دقیق‌تر پیش رفت تا اینکه سرانجام در سال ۱۸۶۰م در کنگره‌ای که در کارلزروهه برگزار شد استانیزلائو کانیتزارو[3] (۱۹۱۰–۱۸۲۶) اعلام کرد که هیدروژن و اکسیژن گازی خالص نه به‌صورت H و O، بلکه به‌صورت H_2 و O_2 وجود دارند اما در ترکیب با مواد دیگر می‌توانند به‌صورت تک اتمی وجود داشته باشند (هودسون، ۱۳۷۴: ۱۶۹–۱۷۰؛ Needham, 2002: 211). با وجود اینکه پیشرفت‌های بعدی شیمی‌دانان همواره ابعاد تازه‌ای از علوم مربوط به گازها را روشن کرده است اما به هر حال، فرمول شیمیایی آب به‌صورت H_2O تا به امروز اعتبار خود را حفظ کرده است.

در این مقاله، پیرامون این سؤال تأمل شده است که آیا HO به عنوان فرمول شیمیایی آب، یک گزارهٔ «غلط» بوده است؟ اگر هست چرا حدود نیم قرن، از بوتهٔ تجربه و آزمون به سلامت بیرون آمد؟ و چرا حدود نیم قرن با نظریهٔ شیمی نوین سازگاری داشت؟

در رسالهٔ شیمی که در مدرسهٔ دارالفنون در تهران تدریس می‌شده است، به تبعیت از باور علمی آن زمان، فرمول آب به صورت HO آمده است. گرچه مدعای مقالهٔ حاضر بدون اتکا به رسالهٔ دارالفنون نیز قابل طرح و بحث است اما رسالهٔ مزبور از دو جهت در این مقاله مورد استناد بوده است: اول از این جهت که این رساله هم اکنون در دسترس ما قرار دارد، لذا برای طرح مباحث و ذکر مثال‌ها به آن ارجاع شده است؛ دوم از این جهت که با ملاحظهٔ این رساله، می‌توان این سؤال را طرح کرد که با وجود اینکه در سال ۱۸۲۶ میلادی (۱۲۴۱ هجری قمری) فرمول آب به‌صورت H_2O پذیرفته شده است چگونه است که در سال ۱۸۷۹ میلادی (۱۲۹۷ هجری قمری)، یعنی پس از گذشت حدود ۶۰ سال،

1. Jöns Jacob Berzelius

۲. گفتنی است برزلیوس در شیوهٔ ابداعی خود دو اتم هیدروژن را با حرف H که یک خط تیره بر روی آن کشیده شده است نشان می‌داد و به تعداد اتم‌های اکسیژن در هر ماده مرکب، علامت یک نقطه در بالای فرمول ثبت می‌شد؛ به این ترتیب فرمول آب به‌صورت ($\dot{H}$) و فرمول گوگرد تری اکسید به‌صورت ($\ddot{\dot{S}}$) نشان داده می‌شد.

3. Stanislao Cannizzaro

هنوز این مقوله به سطوح آموزشی شیمی راه نیافته بود؟ این موضوع (دوم) به پژوهش تاریخی و جامعه‌شناختی جداگانه نیاز دارد.

رساله شیمی دارالفنون

مدرسهٔ دارالفنون در سال ۱۲۶۸ هجری قمری (۱۸۵۱ میلادی) به همت امیرکبیر در تهران تأسیس شد تا فنون و تکنیک‌هایی را که اروپا از علم جدید به دست آورده بود، به ایران منتقل کند. اساساً نام «دارالفنون» (به‌جای آنکه فرضاً «دارالعلم» باشد)، نشان‌دهندهٔ هدف بنیانگذاران آن است. از دارالفنون به عنوان نقطهٔ عطفی در آغاز آموزش عالی و مشخصاً به عنوان نمونه‌ای از دانشگاه نسل اول (آموزشی) در ایران، یاد می‌شود (ببینید: بادامچی، ۱۴۰۱: ۲–۴). بادامچی همچنین تصریح کرده است که دارالفنون بیش از آنکه موجب تثبیت علم و تکنولوژی در ایران یا باعث فرهیختگی ایرانیان بشود، موجب تقویت تکنیکی دستگاه سلطنت ناصری شد (بادامچی، ۱۴۰۱: ۲۲). به هر حال، آموزش شیمی نوین در ایران عملاً در دارالفنون شکل گرفته و تداوم یافته است. رسالهٔ شیمی اثر حاجی میرزا عبدالباقی اعتضاد الأطباء یکی از منابع درسی آموزش شیمی است که در مدرسهٔ دارالفنون تدریس می‌شد. مریم ثقفی در کتاب *تاریخ شیمی مدرن در ایران*، نویسندهٔ رساله را چنین معرفی کرده است:

> دکتر خلیل أعلم الدوله، فرزند میرزا عبدالباقی اعتضاد الأطباء در سال ۱۲۷۹ق در تهران متولد شد. وی پس از تحصیل در رشتهٔ طب دارالفنون به مثابه معلم مدرسهٔ طب ناصری استخدام شد، سپس به فرنگستان رفت و پس از بازگشت، حکیم باشی مظفرالدین شاه شد. وی همچنین مدتی رئیس بلدیهٔ تهران شد و در ۱۳۳۷ق به ریاست (وزارت) معارف رسید (ثقفی، ۱۳۹۴: ۱۳۲).

از وی رسالهٔ دیگری با عنوان «جبر و مقابله» بر جای مانده است (درایتی، ۱۳۸۹، ج ۳: ۶۲۴).

رسالهٔ شیمی دارالفنون مشتمل بر یک مقدمه و سه مقاله است. مقدمه دارای سه فصل است که به ترتیب در بارهٔ کلیات اجسام، روش نام‌گذاری و معادلات شیمیایی نوشته شده‌اند. مقالهٔ اول در باب «شبه فلزات» و مقالهٔ دوم در باب «فلزات» است. مقالهٔ سوم تحت عنوان «در باب اجسام آلیه» و خود مشتمل بر چهار فصل است. یادآوری می‌شود مقدمه و مقالهٔ اول در قالب یک پایان‌نامه کارشناسی ارشد تصحیح انتقادی شده است (شیرپور، ۱۳۹۴).

یک نسخهٔ خطی از رساله، به شمارهٔ ۱۲۰۸۵ در کتابخانهٔ آستان قدس رضوی نگهداری می‌شود. نسخهٔ دیگری به شمارهٔ ۵۷۰۷ در کتابخانهٔ مرکزی دانشگاه تهران و سومین نسخه به شمارهٔ ۴۶۴۳/۵ در کتابخانهٔ آیت‌اللّه مرعشی نجفی (ره) در شهر قم موجود است (درایتی، ۱۳۸۹، ج۶: ۱۲۸۵–۱۲۸۶). بر اساس آنچه شیرپور گزارش کرده است، نسخهٔ دیگری از این اثر در کتابخانهٔ ملی با شمارهٔ ۲۵۴۷۵ نگهداری می‌شود (شیرپور، ۱۳۹۴: ۱۸).

در متن رساله تأکیدی مبنی بر ترجمهٔ آن دیده نمی‌شود اما مسلم است که از منابع اروپایی (فرانسوی) ترجمه یا اقتباس کلی شده است. آنچه در انجامهٔ نسخهٔ شماره ۵۷۰۷ کتابخانهٔ مرکزی دانشگاه تهران آمده است مؤید این مطلب است. چنان که در این نسخه ذکر شده است، این کتاب در سال ۱۲۹۷ق که ۲۹ سال از تأسیس دارالفنون (۱۲۶۸) می‌گذشت، به فارسی ترجمه شده است.

آب به مثابهٔ HO

در سراسر رسالهٔ دارالفنون، فرمول آب به‌صورت HO درج شده است. به عنوان نمونه، در بیان زیر فرمول آب و تشکیل آن از هیدروژن و اکسیژن دیده می‌شود (نسخهٔ ۵۷۰۷ دانشگاه تهران: ص ۲۸):

> حاصل احتراق ایدرژن در هوا یعنی حاصل ترکیب آن با اکسیژن، آب است که به شکل رشحات بسیار خرد در سطح اجسام مجاوره می‌نشیند موافق این فورمول:
>
> $$H + O = HO$$

چنان‌که پیش‌تر ذکر شد، پس از کنگرهٔ کارلزروهه اکسیژن و هیدروژن گازی نه به‌صورت تک اتمی بلکه به‌صورت O_2 و H_2 نشان داده می‌شوند. لذا در مقایسه با فرمول امروزی تشکیل آب، هر سه جزء معادلهٔ فوق باید اصلاح شود:

$$2\,H_2 + O_2 = 2\,H_2O$$

آنچه در این رساله، ذیل عنوان آب آمده است عیناً بدین شرح است (نسخهٔ ۵۷۰۷ دانشگاه تهران: ص ۲۸–۲۹):

> آب HO، که عبارت است از پرتواکسید ایدرژن
>
> ترکیب این مایع که بمقدار وافر در کره زمین موجود است مدت مدیدی مجهول بود و قدمای طبیعیّن آنرا یکی از عناصر اربعه بسیطه می‌دانستند. پریسطل صاحب[۱] اول شخصی است که در ۱۱۹۷ تعیین نمود که ایدرژن در وقت احتراق تولید بخار آب می‌نماید. از قرار تجاربی که حکمای چند در تجزیه آب نموده‌اند ثابت شده است که آب مرکّب است از دو کَیله[۲] ایدرژن و یک کیله اکسیژن که اجزای این دو عنصر بواسطه ترکیب متراکم شده دو کیله آب بوجود آوردند. و از حیثیت وزن، آب مرکّب است از ۸ جزء اکسیژن و یک جزء ایدرژن. در سنه ۱۲۱۷ جمعی از حکمای طبیعی آب را بواسطه پیل الکتریسیته موافق تفصیل ذیل[۳] تجزیه نمودند. اسباب این کار عبارت است از آلتی که موسوم است به وُلطامتر. این آلت مرکّب است از ظرفی شیشه‌ای که در آن دو تیغه طلای سفید منفصل از هم نصب نموده‌اند و دو مفتول مسی که از طرفی به چرخ الماس و از طرف دیگر متصل به این دو تیغه است

۱. تقریباً در همه جای این رساله، همراه با نام دانشمندان لفظ «صاحب» آورده شده است که به نظر می‌رسد ترجمه‌ای از لفظ فرانسوی «maitre» بوده باشد؛ به معنای استاد، صاحب تألیف، صاحب پروژه.

۲. کیله: پیمانه، کَیل؛ واحد حجم است.

۳. در نسخهٔ خطی به‌جای «ذیل» واژهٔ «فوق» درج شده است.

کشیده‌اند. چون در این ظرف آب ترشی ریزند تا بقدری که یک أصبع[۱] سر تیغه‌های طلای سفید از آب خارج بماند و در سر هر یک از این دو تیغه حباب بلورین آبداری نصب نمایند و بواسطه مفتول‌های مذکوره الکتریسیته را از چرخ الماس در این ظرف وارد نمایند، مشاهده شود که ذرات بخاریه از آب خارج شده و در دو حباب جمع شود. و معلوم می‌شود که در آن حبابی که مربوط با تیغه بوده که الکتریسیته مثبت از آن وارد شده است بخار قابل الأشتعال که عبارت است ازاکسیژن مجتمع گردیده است و در حباب دیگر که مربوط با الکتریسیته منفیه است بخار غیر قابل الأشتعال یعنی ایدرژن جمع شده است. از این تجربت معلوم گشت که آب مرکّب است از ایدرژن و اکسیژن و نیز معین شد که چون بواسطه الکتریسیته آب تجزیه گردد، اکسیژن آن در پیل مثبت می‌رود و ایدرژن آن در پیل منفی جمع می‌گردد.

در بیان فوق به‌وضوح آمده است که «ثابت شده است که آب مرکّب است از دو کیله ایدرژن و یک کیله اکسیژن که اجزای این دو عنصر بواسطه ترکیب متراکم شده دو کیله آب بوجود آوردند.» تجربهٔ اینکه حجم اکسیژن آزاد شده از برقکافت آب دو برابر حجم هیدروژن است، در حدود سال ۱۷۸۱ توسط کاوندیش مشاهده و ثبت شده بود (هودسون، ۱۳۷۴: ۸۳). جای تعجب است که این مشاهده چگونه منجر به این نتیجه نشده است که در ساختار آب، تعداد اتم‌های هیدروژن دو برابر تعداد اتم‌های اکسیژن باشد؟

جملهٔ بعدی در عبارت فوق، یعنی «و از حیثیت وزن، آب مرکّب است از ۸ جزء اکسیژن و یک جزء ایدرژن.» نیز ظاهراً درست به نظر می‌رسد. چنان که امروزه نیز آب را دارای ۱۱ درصد وزنی هیدروژن و ۸۹ درصد وزنی اکسیژن می‌دانیم. در ادامه، به این جمله باز خواهیم گشت.

بالاخره آنچه در بیان فوق در بارهٔ تجزیهٔ آب در پیل الکتریکی گفته شده است («در سنه ۱۲۱۷ جمعی از حکمای طبیعی ...» تا آخر مطلب) مبین آن است که فرمول HO با تجارب الکتروشیمیایی آن زمانه هم سازگار بوده است چنان که پیش‌تر نیز به فعالیت‌های تئودور فون گروتوس به عنوان یک مورد از این تجارب الکتروشیمیایی ذیل همین باور که آب HO است، اشاره شد.

آب اکسیژنه نیز در رسالهٔ دارالفنون ذکر شده است و فرمول آن به‌صورت HO^2 دانسته شده است[۲] که در قیاس با آب یک O بیشتر دارد (نسخهٔ ۵۷۰۷ دانشگاه تهران: ص ۳۲):

آب اکسیژنه HO^2، یا بی اکسید دیدرژن

۱. إصبع: انگشت

۲. در اوایل سدهٔ نوزدهم برای نشان دادن تعداد هر اتم در یک مولکول، عدد مربوطه را به‌صورت بالانویس می‌نوشتند، در حالی که امروزه به‌صورت زیرنویس درج می‌شود. لذا در عباراتی که از رساله نقل شده است، سبک رساله حفظ شده و اعداد به‌صورت بالانویس درج شده است.

طنار[1] صاحب در سنهٔ ۱۲۳۵ این جسم را مکشوف نمود. مایعی است بی‌بو و بی‌رنگ با طعمی مُکره شبیه به طعم فلزی و تا سی درجه زیر صفر منجمد می‌شود و از آب متعارفی سنگین‌تر است. آب اکسیژنه بواسطه حرارت به آب و اکسیژن تجزیه گردد مؤافق فرمول ذیل:

$$HO^2 = HO + O$$

یادآوری می‌شود امروزه فرمول آب اکسیژنه را به‌صورت H_2O_2 می‌شناسیم که در قیاس با آب یک O بیشتر دارد.

همچنین مواردی از نمک‌های هیدراته که آب در ساختار مولکولی آنها موجود است، در رسالهٔ دارالفنون آمده است و در همه این موارد فرمول آب به‌صورت HO در کنار فرمول شیمیایی نمک‌های هیدراته نمایش داده شده است چنان که سولفات روی هفت آبه (نمایش امروزی: $ZnSO_4.7H_2O$) به‌صورت $ZnOSO^3+7HO$ با نام «سولفات دو[2] زنک» ذکر شده است؛ و سولفات مس پنج آبه (نمایش امروزی: $CuSO_4.5H_2O$) که همان «کات کبود» است به‌صورت $CuOSO^3+5HO$ با نام «سولفات دوکویور» آمده است.

رساله دارالفنون فرمول آب را در معادلات واکنش‌های شیمیایی نیز به‌صورت HO نمایش داده است. چنان که در بیان زیر دیده می‌شود (نسخه ۵۷۰۷ دانشگاه تهران، ص ۳۶):

طرز ساختن آمونیاک: این بخار را از حرارت دادن به مخلوط اکسید دو کالسیوم (که عبارت است از آهک) و کلریدرات دآمونیاک (نوشادر) بدست می‌آورند موافق فورمول ذیل:

$$AzH^3,HCl + CaO = HO + CaCl + AzH^3$$

همچنین در بارهٔ روش تهیه کلر چنین آمده است (نسخه ۵۷۰۷ دانشگاه تهران، ص ۳۸):

طرز ساختن کلر: اغلب بی‌اکسید دومنگنز را (که عبارت است از مغنیسا) مجاور جوهر نمک (اسید کلریدریک) می‌نمایند که تولید کلرور دو منگنز و آب و کلر شود بدین فورمول:

$$MnO^2 + 2HCl = MnCl + 2HO + Cl$$

در هر دو فرمول فوق، موازنهٔ واکنش برقرار است اما علاوه بر فرمول آب که HO است، فرمول برخی دیگر از ترکیبات نیز، متفاوت از چیزی است که امروزه پذیرفته شده است. با توجه به اینکه عنصر نیتروژن (نماد امروزی N) در این رساله با نماد Az (و با نام ازت) نشان داده شده است، موازنهٔ امروزین دو معادلهٔ فوق، به ترتیب به شرح زیر است:

$$2\ NH_4Cl + CaO = H_2O + CaCl_2 + 2\ NH_3$$
$$MnO_2 + 4\ HCl = MnCl_2 + 2\ H_2O + Cl_2$$

آنچه امروزه منوکسید کربن (CO) و دی اکسید کربن (CO_2) می‌دانیم در رساله دارالفنون به ترتیب با نام‌های «اکسید دو کاربون» و «آسید کاربونیک » ذکر شده است اما نسبت دو اتم کربن و اکسیژن

1. Louis Jacques Thenard (1777-1857)

۲. ترجمهٔ حرف اضافه De فرانسوی، به معنای «از» و حرف اضافهٔ «ـِ » و «ی».

در آنها به‌طور صحیح ذکر شده است؛ در بیان زیر ضمن معرفی این دو ترکیب، روش نوشتن معادلهٔ شیمیایی ذکر شده است (نسخهٔ ۵۷۰۷ دانشگاه تهران، ص ۱۹):

> هرگاه مقصود، نمودنِ مجاورتِ دو جسم یا فعل و انفعال آن دو، جهتِ تولیدِ جسم ثالثی باشد فیمابین فورمول آنها علامت بعلاوه می‌گذارند مثلاً: $CO + O = CO^2$ یعنی اگر یک معادله اکسید دو کاربون را مجاور یک معادله اکسیژن کنند و شرایط ترکیب بعمل آید تولید جسم ثالثی شود که اکسیژن آن بیشتر و موسوم به آسید کاربونیک است که فورمول آن عبارت است از CO^2.

با توجه به آنچه در بارهٔ آب و آب اکسیژنه گفتیم و مقایسه آن با CO و CO_2 و نیز آنچه پیشتر در بارهٔ ترکیبات مختلف اکسیژن و نیتروژن گفتیم، یک وجه مشترک بین این فرمول‌ها می‌توان قائل شد و آن اینکه نسبت ۱ به ۱ در هر سه مجموعه وجود دارد (HO، CO و NO). وجود این نسبت در ترکیبات مختلف اتفاقی نبوده است بلکه «اصل بیشترین سادگی» که دالتون بنیانگذار آن بود چنین ایجاب کرده است که نسبت ۱ به ۱ به عنوان ساده‌ترین نسبت در همهٔ ترکیبات دوتایی برقرار باشد. طبعاً اگر دو اتم، با همدیگر بیش از یک ترکیب تشکیل دهند، ممکن است یکی از اتم‌ها یا هر دوی آنها تعداد متفاوتی داشته باشند (ببینید: Bernatowicz, 1970). در حالی که برخی از این ترکیبات دارای نسبت ۱ به ۱ مانند CO و HO عملا وجود دارند اما برخی دیگر همچون HO وجود خارجی ندارند، به عبارت دیگر، ساده‌ترین ترکیب H و O که عملاً در طبیعت وجود دارد همان H_2O است نه HO. لکن پیروی از اصل سادگی باعث شد که فرمول آب به‌صورت HO یعنی ساده‌ترین نسبت ریاضی بین H و O پیشنهاد شود.

بحث و بررسی

دو جملهٔ «فرمول شیمیایی آب HO است.» (جملهٔ الف) و «فرمول شیمیایی آب H_2O است.» (جملهٔ ب) را در نظر بگیرید. برای ارزیابی این دو «گزارهٔ علمی» باید به چند نکته توجه داشت:

۱. وقتی سخن از «فرمول شیمیایی» به میان می‌آید به زبان «علم شیمی نوین» و به‌اصطلاح در پارادایم علم شیمی صحبت می‌شود. گفته می‌شود چارچوب نظری علم شیمی پس از انقلاب علمی در اروپا شکل گرفته است و نقطهٔ عطف آن تلاش‌های لاوازیه است. پیش از انقلاب علمی که «کیمیا» عهده‌دار پرداختن به علم مواد بود، هرگز این سؤال در بارهٔ آب مطرح نبود چرا که آب یکی از عناصر تلقی می‌شد و در مقابل، همواره پرسیده می‌شد چه جزئی از فلان ماده، «آب» است؟ چه بخشی «خاک» است؟ و ...

ناگفته نماند که در نگاه ارسطویی و البته در نظر کیمیاگران، طبایع چهارگانه (گرمی، سردی، تری و خشکی) بنیادی‌تر از عناصر چهارگانه هستند و در واقع، هر یک از عناصر مظهر دو طبع هستند اما

این بدان معنی نیست که عناصر از ذرات دیگری تشکیل یافته باشند، بلکه این طبایع در نقش قوای فاعله (گرمی و سردی) یا قوای منفعله (تری و خشکی) هستند که عناصر چهارگانه ملتزم آنها هستند چنان که آب سرد و تر است؛ خاک سرد و خشک است و ...

۲. واژهٔ «آب» در جمله‌های بالا بار معنایی دارد، چرا که انتظار می‌رود در بارهٔ فرمول شیمیایی آب سخن گفته شود. برای درک بهتر، گزارهٔ «فرمول آب H_2O است.» را با گزارهٔ «فرمول هوا A است.» مقایسه کنید؛ شنوندهٔ جمله دوم بی‌درنگ خواهد گفت هوا مخلوطی از چند «ماده» است که فرمول هر یک از آنها به ترتیب، B، C و ... است. به عبارت دیگر، همواره از فرمول شیمیایی «یک» ماده صحبت می‌شود چنان که هوا «یک» ماده نیست بلکه مخلوطی از چند ماده است که هر یک به تنهایی فرمول خود را دارد. در زبان فیلسوفان شیمی، آب در اینجا یک «نوع شیمیایی» است اما هوا مخلوطی از چند «نوع شیمیایی».[۱] به نظر می‌رسد عجالتاً این نکته را باید پذیرفت که هر کس (اعم از شیمی‌دان، فیلسوف و عامه مردم) می‌تواند درک متفاوتی از نوع شیمیایی آب داشته باشد. یک شیمی‌دان که مطالعهٔ آب حوزهٔ تخصصی وی باشد با شنیدن «آب» خواص ساختاری دقیقی از این ماده شیمیایی در ذهنش مجسم می‌شود اما فردی که تخصصی در این باره ندارد از خواص فیزیکی و ظاهری آب فراتر نمی‌رود. ویزبرگ معتقد است برخلاف تصور اولیه، حتی شیمی‌دان‌ها نیز تصور متقن و یکسانی از مولکول‌های آب ندارند، چرا که هرگز نمی‌توانند مولکول‌های H_2O را سوا کرده و به کار بندند لذا تصورات آنها با همدیگر متفاوت است و به متن مورد نظر آنها بستگی دارد. به نظر او شیمی‌دان‌ها نیز همانند عامه مردم، سطحی از اصل انطباق[۲] را برای درک آب (و مفاهیم مشابه شیمیایی) به کار می‌برند (Weisberg, 2006).

در بخش قابل توجهی از بحث‌هایی که پیرامون انواع شیمیایی طرح شده است، آب در کانون توجه قرار دارد. پاول نیدهام که در دانشگاه استکهلم پژوهش می‌کند، با بهره‌گیری از مثال آب، بر این عقیده است که خواص درونی و ساختاری نباید تنها مرجع برای تعیین انواع شیمیایی قرار بگیرند بلکه در مقابل، خواص فیزیکی و ماکروسکوپی آب نیز باید مد نظر قرار گیرد (Needham, 2000; Needham, 2002). وی چنین اظهار می‌کند که نه تنها تقلیل‌پذیری خواص شیمیایی به خواص مکانیکی (= دیدگاه فلسفهٔ مکانیکی نیوتنی) لزوم پرداختن به خواص فیزیکی را روشن می‌کند بلکه علاوه بر آن، خواص فیزیکی و ماکروسکوپی در ارتباط تنگاتنگ و تأثیر متقابل با خواص درونی و

۱. اینکه یک نوع شیمیایی «کشف» می‌شود یا «قرارداد» می‌شود یک موضوع چالش برانگیز است. روی دیگر این سکه این است که آیا نوع شیمیایی با «نوع طبیعی» هم‌ارز است؟ در این باره، مباحثی انجام شده و مقالاتی منتشر شده است.

2. Coordination Principle

ساختاری هستند. به نظر وی، ایزوتوپ‌های مختلف اکسیژن و هیدروژن، منجر به مواد اساساً متفاوتی می‌شود که نمی‌توان گفت آب هستند (Needham, 2008). در نظر طرفداران این دیدگاه، قواعد ترمودینامیک و قاعده فازی گیبس[1] (۱۸۹۴–۱۸۲۱) به عنوان حلقهٔ واسط خواص ظاهری و خواص ساختاری مورد ارجاع قرار گرفته است.در حالی که افرادی همچون پی‌یر دوئم[2] بر همین عقیده هستند، محققین دیگری مانند مارسلین برتلو[3] نظر مخالف دارند و خواص فیزیکی را کاملاً جدای از خواص شیمیایی و ساختاری می‌دانند.

غرض آنکه بعضی از دانشمندان (مانند نیدهام)، در برابر گزارهٔ «فرمول آب H_2O است» موضعی همانند موضع شنوندهٔ فوق در بارهٔ «هوا» گرفته و گفته‌اند که آب یک ماده نیست بلکه مخلوطی از چند ماده است، لذا نمی‌توان از فرمول واحدی در بارهٔ آن سخن گفت.

یادآوری می‌شود در مقالهٔ حاضر، با تمرکز بر فراوان‌ترین شکل ایزوتوپی آب، یعنی همان که متشکل از ^1H و ^{16}O است، در واقع از دیگر ایزوتوپ‌های آب صرفنظر شده است.

۳. تنها مؤلفه‌ای که در دو جمله الف و ب متفاوت است، HO و H_2O است. جملهٔ ب منطبق بر ادعای علم در زمان معاصر ماست. ارائه نظریه و شواهدی که مقوم این ادعا هستند، را به علم شیمی موکول می‌کنم. از طرفی، جملهٔ الف منطبق بر ادعای علم شیمی در اواخر سدهٔ هجدهم و اوایل سدهٔ نوزدهم میلادی است که در بخش قبل، اجمالا به برخی از این شواهد و قرائن اشاره شد. تأکید می‌کنم که چارچوب نظری علم شیمی در هر دو زمانهٔ مذکور یکسان است و این اختلاف در بارهٔ فرمول آب، ناشی از اختلاف در شواهد و تجربیات در دو زمانهٔ متفاوت است. نه HO و نه H_2O به چشم دیده نشده‌اند، بلکه قرائن و آثار آنها به مدد دیگر بخش‌های نظری علم شیمی، شیمی‌دان‌ها را در هر زمان به یکی از این دو فرمول رسانده است. حال فرض کنید در آیندهٔ نه چندان دور، شیمی‌دانان به شواهدی دست یابند که مؤید آن باشد که فرمول آب نه HO و نه H_2O است بلکه فرضاً H_4O_2 است یا اساسا یک ساختار متفاوت دیگر دارد. قویا معتقدم که چنین فرضی امکان وقوع دارد چرا که شواهد و دلائلی که بر H_2O بودن آب دلالت دارند از نوع همان شواهد و دلائلی هستند که بر HO بودن آب دلالت کرده بودند با این تفاوت که شواهد مبیّنH_2O، دقیق‌تر و عموما مجهز به تکنیک‌ها و دستگاه‌های جدید هستند. با عنایت به اینکه تکنیک‌ها و دستگاه‌ها روز به روز در حال تکامل هستند، فرض مذکور دور از ذهن نیست.

1. Josiah W. Gibbs
2. Pierre Duhem
3. Marcelin Berthelot

تصور فرمول سوم برای آب، «آزمایش ذهنی»[1] هیلاری پاتنم[2] (۲۰۱۶-۱۹۲۶) را به ذهن متبادر می‌کند که گرچه یک فرض و تمثیل در حوزهٔ فلسفهٔ ذهن است و دلالت مستقیمی بر ساختار آب ندارد اما همواره توجه دانشمندان و فیلسوفان شیمی را برانگیخته است و می‌تواند برای بحث ما در اینجا نیز مفید باشد. پاتنم یک کرهٔ زمین دومی[3] فرض کرد که همزاد زمین است و در آن، همه چیز مشابه زمین است بجز آنکه در آنجا بجای آب ماده‌ای وجود دارد که تمام خواص و خصوصیات آن همانند آب است، اما بجای اینکه H_2O باشد فرمولی «بسیار بزرگ و پیچیده»[4] دارد که او آن فرمول را با نماد XYZ نشان داد. در زمین دوم، مردم XYZ می‌نوشند، دریاها پر از XYZ است، در فصل بارش از آسمان XYZ می‌بارد و ... اما اتفاقاً ساکنان زمین دوم نیزXYZ را «آب» می‌نامند. بر اساس ایدهٔ پاتنم تنها شیمی‌دانان (دانشمندان) می‌توانند تشخیص دهند که «آبِ زمین دوم» H_2O نیست و متقابلاً اگر دانشمندان زمین دوم به زمین ما سفر کرده و آب را مورد آزمایش (یا به‌طور عام هر محک دیگر) قرار دهند با کمال تعجب متوجه خواهند شد که «آب زمین» XYZ نیست. پاتنم نهایتاً از ایدهٔ خود چنان نتیجه گرفته است که آن مایع شفاف که در زمین دوم وجود داشت، **آب نیست**. او آنگاه، استدلال کرده است که ماهیت مورد ارجاع (در اینجا آب) مستقل از ذهن و حالات درونی ارجاع دهنده است. توبیا و همکارانش چنین پنداشته‌اند که پاتنم تنها خواص درونی آب (حالت ۲) را مدنظر داشته است که بر اساس آن گفته است XYZ آب نیست. این محققان، ضمن تکیه بر جدایی خواص درونی و ساختاری آب از خواص ماکروسکوپی آن، چهار حالت را که منطقا ممکن است پیش بیاید تفکیک و تأکید کرده‌اند که قضاوت در بارهٔ هویت XYZ، متأثر از زاویهٔ نگاه ناظر، نتایج متفاوتی خواهد داشت. در مقابل، آنان «قضاوت واقعی مردم»[5] را معیار قرار داده‌اند.[6]

1. Thought Experiment
2. Hilary W. Putnam
3. Twin Earth
4. Very long and complicated
5. People`s actual judgment

۶. توبیا و همکارانش نتیجه حاصل از هر حالت را چنین توصیف کرده‌اند: (۱) اگر خواص ظاهری آب ملاک باشد، آنگاه XYZ آب است. (۲) اگر خواص درونی XYZ مد نظر باشد، آنگاه XYZ آب نیست. (۳) اگر همزمان ترکیبی از خواص درونی و ظاهری آب ملاک باشد، ماده‌ای که در زمین دوم وجود دارد، بر حسب مورد ممکن است آب، غیر آب یا نوع خاصی از آب تلقی شود. نهایتاً (۴) اگر هم خواص درونی و هم خواص ظاهری، لکن هر یک به تنهایی، مد نظر قرار بگیرند XYZ از یک منظر آب است و از منظر دیگر آب نیست.

گرچه این پژوهشگران در تفکیک مسأله به خوبی عمل کرده‌اند اما محک آنها یعنی «قضاوت واقعی مردم» دست کم از دو مؤلفه در معرض نقد است: اول اینکه جامعهٔ آماری مورد مطالعهٔ ایشان تا چه سطح اطمینانی، می‌تواند «نمایندهٔ واقعی» مردم باشد و دوم اینکه اساساً آیا در دنیای علم «دیدگاه مردم» محک مناسبی است؟

در اینجا اجازه دهید فرضی را که در تمثیل پاتنم مفروض گرفته شده است قدری متعین‌تر بازگویی کنیم و آن عبارت از این است که پاتنم در نگاهی رئالیستی مولکول آب را «قطعا H_2O» می‌داند. او در جایی تصریح کرده است که «آنگاه که ما دریافتیم آب در دنیای واقعی H_2O است، هیچ دنیای دیگری نمی‌تواند وجود داشته باشد که در آن، آب H_2O نباشد». صرفنظر از اینکه پاتنم از طرح این آزمایش ذهنی چه هدفی را در مباحث خود دنبال کرده است به نظر می‌رسد از منظر علم شیمی (در کلیت تاریخی و فلسفی آن)، این فرض وی محل اشکال است. در اینکه آب یک «فرمول حقیقی» دارد شکی نیست اما مسأله اینجاست که علم بشری چه زمانی و در چه مرحله‌ای از پیشرفت و تکامل به این فرمول حقیقی دست خواهد یافت؟ و با چه محکی می‌توان اطمینان یافت که آنچه به عنوان فرمول حقیقی آب عرضه می‌شود «نسخهٔ نهایی» است؟ مقدمات بحث پاتنم دایر بر این است که ساختار درونی آب که توسط شیمی‌دانان مطالعه می‌شود آنها را به فرمول H_2O رسانده است و نیز آنها را قادر کرده است که با مطالعه XYZ دریابند که XYZ آب نیست؛ اما دقیقاً در همین جا باید این سؤال را از پاتنم پرسید که مگر HO را شیمی‌دانان تراز اول جهان پیشنهاد نداده بودند؟ پاتنم در جایی، وضعیتی را توصیف کرده است که می‌توان آن را به وضعیت HO تطبیق داد:

> ما می‌توانیم چنین تصور کنیم که شواهدی وجود داشته باشد که ما را متقاعد می‌کند که آب H_2O نیست. در آن صورت پذیرفتنی است که آب H_2O نباشد؛ پذیرفتنی است اما شدنی نیست. قابلیت پذیرش به معنای امکان‌پذیری نیست. (Putnam, 1973: 709)

فرمول آب به‌صورت HO مثال نقضی بر این گفته است؛ چنان که گفتیم، دست کم برای ۴۳ سال در بالاترین سطح علمی شیمی، شواهدی پذیرفته شد که فرمول آب را غیر از H_2O نشان می‌داد!

تأکید می‌شود این اظهارات، نقدی بر نظریه پاتنم در بافت روان‌شناسانه آن نیست بلکه از منظر علم شیمی و فلسفهٔ شیمی، یادآوری این نکته است که آنچه در دنیای شیمی اتفاق افتاده است لزوما با فرض ایده‌آل پاتنم (مبنی بر قطعیت فرمول H_2O) منطبق نیست.

۴. وجه دیگر در قیاس دو جمله، مسأله زمان است. جمله الف و جمله ب هر کدام چه مدت اعتبار داشته‌اند؟ آیا اساسا مهم است که یک نظریه چه مدت اعتبار داشته باشد؟ جمله الف نزد شیمی‌دانانی که در تراز اول علم زمانهٔ خود بودند حدود ۴۳ سال اعتبار داشت و البته در دارالفنون (و شاید در دیگر جوامع نیز) مدت اعتبارش به بیش از صد سال رسید. از طرفی، عمر اعتبار جملهٔ ب اینک به ۱۹۷ سال رسیده است و به نظر می‌رسد در یک نگرش حال‌محورانه، امروزه باور علمی شیمی‌دانان و دانشجویان شیمی بر این است که فرمول آب تعیین شده است و این تغییر نخواهد نکرد، اما باید آگاه بود که چنین باوری در اوائل سدهٔ نوزدهم در بارهٔ HO نیز وجود داشت! به عبارت دیگر، نگارندهٔ این نوشتار معتقد

است که مدت ۱۹۷ سال، گرچه زمان قابل توجهی است اما «اطمینان بخش» نیست چرا که مثلا در قیاس با اعتبار دو هزار سالهٔ نظریهٔ عنصری آب در دستگاه فکری ارسطویی بسیار کمتر است، وانگهی آن نظریهٔ دو هزار ساله نیز نهایتا اعتبار خود را از دست داد. در اینجا مسأله مهم‌تر برای ما این است که جملهٔ ب چه مدت دیگر اعتبار خواهد داشت؟ آیا می‌توان با اطمینان گفت جملهٔ ب برای همیشه برقرار خواهد بود؟

حال با توجه به نکات فوق، در بارهٔ درستی جمله‌های الف و ب چه قضاوتی می‌توان کرد؟ ممکن است از منظر حال محوری[1] گفته شود جمله ب **درست است**، اما همچنان که پیشتر اشاره شد، اگر «حالِ آن زمانه» را در نظر داشته باشیم، باز از نگاه حال محور، جملهٔ الف هم **درست بوده است**.

ممکن است گفته شود جملهٔ ب چون با شواهد تجربی و دیگر اجزای نظریهٔ علمی سازگاری بیشتری دارد، پس لاجرم درست است و جمله الف درست نیست اما باید آگاه بود که هر دو جمله متعلق به یک چارچوب نظری هستند و هر دو جمله با «شواهد تجربی زمانهٔ خود» سازگار بوده‌اند؛ تجربه و آزمونی که اتفاقا تا زمان معاصر نیز اعتبار خود را حفظ کرده است و آن گزارهٔ تجربی عبارت از این است که: ۸۹ درصد وزنی آب را اکسیژن و ۱۱ درصد وزنی آب را هیدروژن تشکیل می‌دهد. در اینجا اجازه دهید بار دیگر به جملهٔ «از حیثیت وزن، آب مرکّب است از ۸ جزء اکسیژن و یک جزء ایدرژن.» که از رسالهٔ دارالفنون نقل شد برگردیم. این جمله بسیار بحث برانگیز و قضاوت در بارهٔ آن دشوار است. از سویی می‌توان گفت این جمله یک گزارهٔ مشاهدتی غلط است چرا که آب مرکب است از ۱۶ جزء اکسیژن و ۲ جزء هیدروژن! اما مگر این دو با هم تفاوتی دارند؟ فرمول HO آب به عنوان یک «تجربهٔ تاریخ علمی» به ما نشان می‌دهد که **این دو جمله با هم تفاوت دارند** چرا که همین نسبت ۸ به ۱ منشأ قضاوت غلط در بارهٔ فرمول آب به‌صورت HO شده است. اما منطق و علم ریاضی به ما می‌گوید که نسبت ۸ به ۱ همان نسبت ۱۶ به ۲ است. از سوی دیگر، اگر بپذیریم که در مقام مشاهده و تجربه، نسبت ۸ به ۱ با نسبت ۱۶ به ۲ متفاوت است، بسیاری از مشاهدات علمی ما در معرض تردید قرار خواهند گرفت و حداقل اینکه به تنهایی نباید مبنای نتیجه‌گیری واقع شوند. نظر نگارندهٔ این نوشتار همین است که **در مقام مشاهده و آزمون علمی، نسبت ۸ به ۱ با نسبت‌های ۱۶ به ۲ و ۳۲ به ۴ و ... متفاوت است.**

---

۱. نگرش حال‌محور، علم کنونی را ملاک قرار می‌دهد. اگر با این نگرش به تاریخ علم بنگریم هرچه از علوم گذشته که همسو با علم کنونی می‌نماید معتبر و دیگر اجزای علوم تاریخی بی‌اهمیت و خارج از دنیای علم تلقی می‌شوند. شاید بتوان گفت در مقالهٔ حاضر، هر جا که فرمول آب را H_2O دانسته‌ایم به نوعی دچار حال‌محوری شده‌ایم. البته همواره سعی شده است از این نگاه پرهیز شده و بحث‌ها از موضع بی‌طرفانه پی گرفته شود. برای یک مطالعه جامعه دربارهٔ این روش، ببینید: گمینی، ۱۳۸۹.

در واقع در اوایل سدهٔ نوزدهم شواهد تجربی (نسبت ۸ به ۱) در همان لایهٔ اول خود باقی ماند و هیچ گاه فکر نشد که وزن «یک اکسیژن» بجای ۸ می‌تواند ۱۶ باشد. با توجه به آنچه گفته شد در بارهٔ فرمول HO رویکرد مقالهٔ حاضر چنین است که گزارهٔ مشاهدتی ناصواب در کنار یک اصل ناصواب (اصل سادگی دالتون) قرار گرفت و این دو خطا همدیگر را پوشانیده و حدود چهل سال فرمول H_2O را از نظر شیمی‌دانان دور نگاه داشتند. روی دیگر این سکه را می‌توان چنین توصیف کرد: علم شیمی در زمان دارالفنون، با یک فرمول «غلط»، شواهد تجربی را «درست» توجیه کرد و اینجاست که شیمی‌دانی که در سال ۲۰۲۳ میلادی و ۱۴۰۲ هجری شمسی به فعالیت علمی اشتغال دارد، باید به تأملی ژرف فرو رود: چه تضمینی وجود دارد که حداقل بخشی از گزاره‌های علمی شیمی در زمان حال، دیر یا زود دچار این سرنوشت نشوند؟

آیا امروز، می‌توان چنین حکم کرد که: «بدون شک، فرمول شیمیایی آب H_2O است؟» امیدوارم با من هم عقیده باشید که جواب این سؤال «نه» است. توضیح آنکه این حکم باید تعدیل شود به این صورت که قطعیت (بدون شک ... است) از آن ساقط شود و ثانیاً به قید «زمان» مقید شود: «امروزه فرمول شیمیایی آب را H_2O می‌دانیم.».

نتیجه‌گیری

با وجود اینکه آب را می‌توان فراوان‌ترین ماده در سطح زمین دانست، اگر عجیب‌ترین نیز بنامیم اغراق نیست. علاوه بر خواص منحصر بفردی که آب را در نقش مایع حیات بخش قرار داده است، آب از منظر علم شیمی (هم ویژگی‌های ساختاری و آزمایشگاهی و هم ملاحظات تاریخی و فلسفی) بسیار با اهمیت است. با توجه به مباحثی که در این مقاله پیرامون فرمول آب در یک مقطع تاریخی در گذشته گفته شد، می‌توان بر موارد ذیل تأکید کرد:

۱. قبل از هر چیز، این پژوهش به عنوان یک مثال موردی، بوضوح نشان داد که باور علمی یک جامعه می‌تواند متفاوت از باور علمی دانشمندان تراز اول در همان زمانه باشد. چنان که در سال ۱۸۲۶ میلادی، دانشمندانی که در سطح اول علمی آن زمان در اروپا ساختار آب را به‌صورت H_2O پذیرفتند اما به عنوان مثال در ایران، که یکی از مصرف کنندگان آن خوراک فکری و علمی بوده است، قریب ۶۰ سال پس از آن نیز (۱۲۹۷ق = ۱۸۷۹م) آب به‌صورت HO در مدرسهٔ دارالفنون تدریس می‌شده است. شاید در نگاه نخست بتوان گفت که وسایل ارتباط جمعی در زمان معاصر (و آینده) احتمال تکرار چنین فواصل زمانی را بسیار کم کرده است اما به هر حال، پیشنهاد می‌شود در پژوهشی مستقل، این تأخیر و فاصله زمانی معنادار از منظر تاریخی و جامعه‌شناسی علم مورد کنکاش قرار گیرد.

۲. از منظر علم حال‌محور، می‌توان گفت فرمول آب در رساله دارالفنون، که نماینده یک مقطع کوتاه در علم شیمی است، غلط بوده است. اما باید آگاه بود که این باور غلط، به مدت حدود چهل سال، اولا با دیگر اجزای نظریه شیمی در آن زمان سازگار بود و ثانیاً از بوتهٔ تجربه و آزمون به سلامت بیرون آمد و تناقضی نشان نداد. چنان که در این مقاله گفته شد، این فرمول غلط، نتیجهٔ یک فرض ناصواب همزمان با تفسیر ناصحیح از شواهد تجربی بود.

۳. در این مقاله نشان داده شد که مورد HO، دلالت شواهد تجربی بر اصول علمی را به چالش می‌کشد. مقایسهٔ نسبت ۸ به ۱ در HO با نسبت ۱۶ به ۲ در H_2O نشان می‌دهد که ضرورت دارد از اعمال قواعد ریاضی (ضرب کردن یا ساده کردن) بر گزاره‌های مشاهدتی پرهیز کرد. این ضرورت از آن جهت است که ممکن است پیش‌زمینهٔ ذهنی مشاهده‌گر او را به سمت دلخواه خود پیش ببرد. این پیش‌زمینهٔ ذهنی می‌تواند منشأ گوناگونی داشته باشد و در بارهٔ HO، «اصل بیشترین سادگی دالتون» این نقش را ایفا کرد چنان که شیمی‌دانان در آن عصر مشاهدهٔ نسبت ۸ به ۱ را چنین تفسیر کردند که «یک» اکسیژن دارای وزن ۸ و «یک» هیدروژن دارای وزن ۱ است؛ پیشنهاد فرمول HO برای آب نتیجهٔ این تفسیر بود. اما اگر این پیش‌فرض در ذهن شیمی‌دانان اواخر سدهٔ هجدهم و اوائل سدهٔ نوزدهم نبود چه بسا بسیار زودتر از ۴۳ سال پی برده می‌شد که فرمول آب H_2O است. جالب است بدانیم که شواهد تجربی دالّ بر H_2O بودن آب هم از همان ابتدا به موازات نظریهٔ HO وجود داشت! به خاطر بیاورید که هم در رسالهٔ دارالفنون و هم در کارهای هنری کاوندیش (در حدود سال ۱۷۸۱م) این مشاهده ثبت شده بود که حجم اکسیژن آزاد شده از برقکافت آب دو برابر حجم هیدروژن است. اگر بجای مشاهدهٔ نسبت ۸ به ۱، معادل ریاضی آن یعنی ۱۶ به ۲ دیده می‌شد، برای توجیه مشاهدهٔ اخیر راهی جز فرمول H_2O ممکن نبود اما چنان که گفتیم فرض نسبت ۱ به ۱ اتم‌های تشکیل دهندهٔ آب، حدود نیم قرن راه را بر این کشف علمی بست.

۴. آنچه در بندهای فوق گفته شد، از منظر فلسفهٔ شیمی، جای یک نگرانی بزرگ است که «علم زمانهٔ معاصر» نیز از آن در امان نیست: همچنان که فرمول شیمیایی آب در رسالهٔ مذکور غلط بود اما توانست مدتی با دیگر اجزای نظریه سازگار باشد و در مواجهه با شواهد تجربی تناقضی نشان ندهد، آیا ممکن نیست بخش‌هایی از «علم زمان ما»، در زمانی دیر یا زود، همانند فرمول آب در این رساله، «غلط» از آب درآید؟

منابع

اعتضادالاطباء، خلیل بن حاجی میرزا عبدالباقی(۱۲۹۷ق) "رساله شیمی"، نسخهٔ خطی شماره ۵۷۰۷ کتابخانه مرکزی دانشگاه تهران.

بادامچی، محمدحسین (۱۴۰۱) «دارالفنون: نیای پلی‌تکنیکی دانشگاه ایرانی»، *مجلهٔ تاریخ علم*، سال ۲۰، شماره ۱، ص ۱-۲۴.

ثقفی، مریم (۱۳۹۴) «*تاریخ شیمی مدرن در ایران، از ورود و شکل‌گیری تا استقلال رشتهٔ شیمی*»، تهران، انتشارات پژوهشکده تاریخ اسلام.

درایتی، مصطفی (۱۳۸۹) *فهرستواره دستنوشت‌های ایران (دنا)*. تهران: انتشارات مرکز اسناد و کتابخانه مجلس شورای اسلامی.

شیرپور، شهربانو (۱۳۹۴) «تصحیح و تحقیق مقدمه و باب اول از رسالهٔ شیمی دارالفنون»، پایان‌نامه کارشناسی ارشد تاریخ علم، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران.

گمینی، امیرمحمد (۱۳۸۹) «تاریخ‌نگاری علم به سبک ویگ»، *روش‌شناسی علوم انسانی*، سال ۱۶، شماره ۶۲، ص ۱۱۱-۱۴۰.

هودسون، جان. (۱۳۷۴) *تاریخ شیمی*. ترجمه احمد خواجه نصیر طوسی. تهران: انتشارات مرکز نشر دانشگاهی.

Bao, Huiming; Cao, Xiaobin; Hayles A. Justin (2016) "Triple Oxygen Isotopes: Fundamental Relationships and Applications", *The Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, Vol. 44, pp. 463-492.

Bernatowicz J. Albert (1970) "Dalton's rule of simplicity", *Journal of Chemical Education*, Vol. 47, (8), pp. 577-579.

Chang, Hasok (2012) "*Is water H_2O? Evidence, Realism and Pluralism*", Boston Studies in the Philosophy of Science 293, Springer, London, U.K.

Miyake, Takeo and Rolandi Marco (2016) "Grotthuss mechanisms: from proton transport in proton wires to bioprotonic devices", *Journal of Physics: Condensed Matter*, Vol. 28 (2), 023001.

Needham, Paul (2000) "What is water?", *Analysis*, Vol. 60, pp. 13-21.

Needham, Paul (2002) "The discovery that water is H_2O", *International Studies in the Philosophy of Science*, Vol. 16 (3), pp. 205-226.

Needham, Paul (2008) "Is water a mixure? Bridging the distinction between physicaland chemical properties", *Studies in History and Philosophy of Science*, Vol. 39, pp. 66-77.

Putnam, Hilary (1973) "Meaning and Reference", Seventieth Annual Meeting of the American Philosophical Association Eastern Division,*The Journal of Philosophy*, Vol. 70 (19), pp. 699-711.

Pauliukaite, Rasa; Juodkazyte, Jurga; Ramanauskas Rimantas (2017) "Theodor von Grotthuss' Contribution to Electrochemistry", *Electrochimica Acta*, Vol 236, pp. 28-32.

Schimmelmann, Arndt and Peter E. Sauer, E. Peter (2018) "Hydrogen Isotopes", *Encyclopedia of Geochemistry* (Springer International Publishing), pp. 696-701.

Tobia Kevin P., Newman George E., Knobe Joshua (2020) "Water is and is not H_2O", *Mind and Language,* Vol. 35 (2), pp. 183-208.

Weisberg, Michael (2006) "*Water is not H_2O*", in: Philosophy of Chemistry, Synthesis of a New Discipline", Chapter 18, pp. 337-345; Springer, Netherlands.

Zumdahl, Steven S. (2020) "Water", *Encyclopaedia Britannica*, (https://www.britannica.com/science/water), Accessed Jan. 10, 2021.