رشد آموزش شیمی
دوره‌ی بیست و چهارم، شماره‌ی ۲، زمستان ۱۳۸۹

اندازه‌گیری رطوبت در محیط‌های گوناگون

احمدرضا صبا
معلم شیمی منطقه‌ی ۱ تهران، کارشناس ارشد شیمی تجزیه

چکیده

کشور ما از نظر ذخایر گازی، مقام دوم جهان را دارد. آبی که گاز طبیعی را در منابع آن و چاه‌ها همراهی می‌کند می‌تواند در خطوط لوله‌ی انتقال گاز و پالایشگاه‌ها مشکلاتی به‌بار آورد. بنابراین اهمیت روش‌های اندازه‌گیری رطوبت در این محیط‌ها منجر به معرفی روش‌های گوناگونی شده است که در این مقاله نمونه‌هایی از آن‌ها ارایه می‌شود.

کلیدواژه‌ها: اندازه‌گیری رطوبت، رطوبت نسبی، بخار آب.

آغاز سخن

آب، نه‌تنها مهم‌ترین مایع روی کره‌ی زمین است بلکه یکی از پرکاربردترین حلال‌ها در انجام واکنش‌های مهم شیمیایی و زیست شیمیایی به شمار می‌رود. هم‌چنین اندازه‌گیری مولکول‌ها و یون‌ها در محیط آبی، بخش گسترده‌ای از تجزیه‌های کمی و کیفی شیمیایی را در متون آموزشی شیمی حتی در سطح پایه به خود اختصاص می‌دهد.

در همین حال، تعیین و اندازه‌گیری مولکول‌های آب در محیط‌های گوناگون از مسایل چالش‌برانگیز در علوم و صنایع امروز است چنان‌که، هم‌اکنون طیف گسترده‌ای از روش‌ها برای این نوع اندازه‌گیری‌ها، جهت برآورده کردن نیازهای صنعتی به‌کار گرفته می‌شود.

نقش رطوبت در صنعت

اندازه‌گیری رطوبت در مواد جامد، مایع و گاز، در مقدارهای کم یا زیاد به روش‌های گوناگون انجام می‌گیرد. در صنایع غذایی، هواشناسی، خاک‌شناسی، کشاورزی، سامانه‌های تهویه‌ی مطبوع، کنترل بیماری‌های ریه‌ای، بیهوشی برای عمل جراحی، تهیه‌ی گازهای خالص، عایق کردن گازها برای مصرف در نیروگاه‌ها و ترانسفورماتورها، صنایع هسته‌ای، صنایع الکترونیک و تولید نیم‌رساناها، فرایندهای صنایع هیدروکربنی و سرانجام پالایشگاه‌های نفت و گاز و خطوط انتقال گاز اندازه‌گیری و تنظیم رطوبت ضروری بوده، هم‌چنین در تولید پلاستیک و انواع دارو کنترل رطوبت از اهمیت فراوان برخوردار است. به این ترتیب از آن‌جا که حضور آب در بسیاری از نمونه‌های آزمایشگاهی و فرایندهای صنعتی مزاحمت‌هایی را فراهم می‌آورد شناخت و نوآوری روش‌هایی جهت جست‌وجو و اندازه‌گیری مقدار رطوبت ضرور ی‌به‌نظ رمی‌رسد.

مولکول آب در طول موج ۱/۹۴ mm جذبی ارتعاشی و قوی دارد که از آن می‌توان در صنایع غذایی، برای تعیین رطوبت در قهوه، عسل، آرد، چیپس و... استفاده کرد

تعریف‌های گوناگون رطوبت

تنوع در نیازها و مشکلات موجود در مسیر اندازه‌گیری مقدار آب، تعریف‌های متفاوتی از رطوبت را برحسب ابعاد مورد اندازه‌گیری معرفی می‌کند که نمونه‌هایی از آن به این قرار است:

● زمینه‌ی رطوبتی[۱]

نسبت جرم بخار آب موجود (m_w) به جرم ماده‌ی خشک (m_d) است و برای هر سه حالت ماده کاربرد دارد:

$$MR = \frac{m_w}{m_d}$$

● رطوبت مطلق[۲]

عبارت از مقدار بخار آب در حجم معینی از یک گاز است:

$$AH = \frac{m_w}{V_{gas}}$$

● رطوبت اشباع[۳]

بیش‌ترین مقدار آب در یکای حجم یک گاز در دمایی معین است.

● رطوبت نسبی[۴]

نسبت رطوبت مطلق به رطوبت اشباع است که معمولاً به صورت درصد، با نسبت فشارها به یک‌دیگر بیان می‌شود. منظور از رطوبت در گفت‌وگوهای رایج، همین نوع از رطوبت است. [۱]

$$RH = \frac{P}{P_\circ} \times ۱۰۰$$

(P فشار بخار آب و $P_\circ$ فشار بخار اشباع است)

اندازه‌گیری رطوبت

برای این منظور، صدها روش متفاوت وجود دارد که نمونه‌هایی از آن‌ها به این شرح معرفی می‌شود:

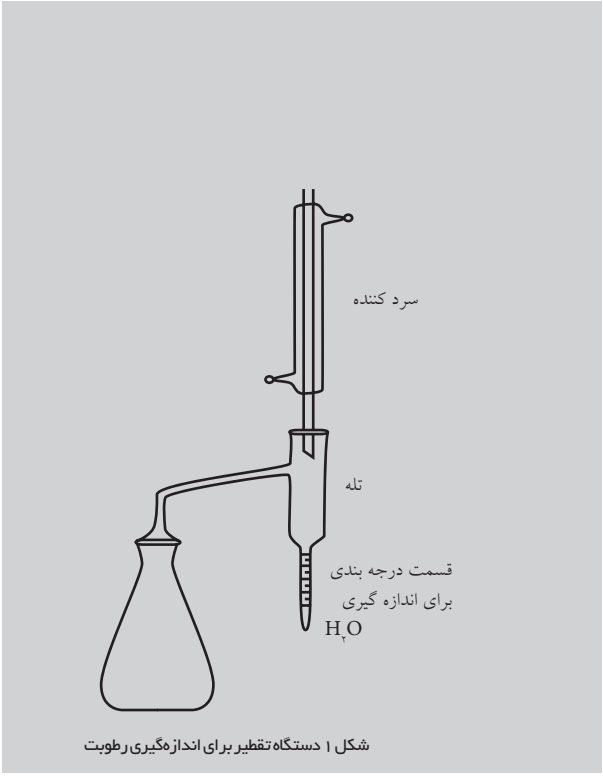
آ) اندازه‌گیری رطوبت در جامدها

● روش خشک کردن

از متداول‌ترین روش‌ها در اندازه‌گیری مقدارهای زیاد آب است. در این روش به نمونه‌ی جامد گرما داده می‌شود تا کاملاً خشک شود. در روش غیرمستقیم، از روی مقدار آب مربوط به یک نمونه‌ی مشخص و کاهش وزن نمونه‌ی خشک‌شده، مقدار آب موجود در نمونه تعیین می‌شود. در روش مستقیم، افزایش وزن یک ماده‌ی جاذب آب که در مسیر مناسب، برای جذب آب موجود در نمونه قرار داده شده است، تعیین می‌شود. اگرچه که انجام این روش به سادگی امکان‌پذیر است اما احتمال فرّار بودن اجزایی دیگر در نمونه، تجزیه‌ی اجزای سازنده و خروج آن‌ها به‌صورت گاز، یا احتمال اکسایش اجزاء هنگام گرم شدن نمونه، از درستی و دقت روش می‌کاهد.

● تقطیر

برای نمونه‌هایی که احتمال اکسایش آن‌ها توسط جریان هوا وجود دارد، از این روش استفاده می‌شود مانند نمونه‌هایی شامل چربی،



شکل ۱ دستگاه تقطیر برای اندازه‌گیری رطوبت

روغن، غلات، موم و مواد گیاهی.

در این روش، نمونه را با حلالی غیرآبی هم‌چون تولوئن یا زایلن که نقطه‌ی جوش بالاتر از آب دارند درمی‌آمیزند و در دستگاهی که در شکل ۱ نمایش داده شده است، گرما می‌دهند تا آب موجود در نمونه در یک تله جمع‌آوری و اندازه‌گیری شود.

● بازتاب پرتوی فروسرخ

مولکول آب در طول موج ۱/۹٤ μm جذبی ارتعاشی و قوی دارد که از آن می‌توان در صنایع غذایی، برای تعیین رطوبت در قهوه، عسل، آرد، چیپس و... استفاده کرد. در این روش، آب نمونه را به کمک دی‌متیل سولفوکسید استخراج کرده، جذب فروسرخ آن را در محلول کوارتز تعیین می‌کنند. مقدار جذب با مقدار رطوبت نمونه رابطه‌ی خطی دارد. از این گذشته می‌توان پرتوی فروسرخ را به سطح نمونه‌ی جامد تابانید و تغییر شدت آن را برای پی‌بردن به مقدار رطوبت موجود در سطح جامد به‌دست آورد.

● تعدیل نوترون

به کمک یک منبع پرتوزا مانند مخلوط Be و Am، نوترون‌های سریع تولید شده، با هیدروژن موجود در مولکول آب که در سطح جامد وجود دارند، برخورد می‌کنند و با از دست دادن انرژی و سرعت خود، به نوترون‌های گرمایی تبدیل می‌شوند. آشکارکننده‌هایی هم‌چون شمارنده‌ی گایگر تعداد نوترون‌های گرمایی را تعیین می‌کنند و آن را با مقدار رطوبت موجود در سطح جامد ارتباط می‌دهند.

● حسگر الکتریکی

گاهی با اندازه‌گیری متغیرهای الکتریکی یک جسم جامد، مانند مقاومت ظاهری آن، می‌توان به مقدار رطوبت موجود در نمونه پی برد.

ب) اندازه‌گیری رطوبت در مایع‌ها

● روش کارل فیشر

این روش ازجمله روش‌های شیمیایی تعیین مقدار آب است که در سال ۱۹۳۵ توسط شیمی‌دان آلمانی، کارل فیشر، ارایه شد. با استفاده از شناساگر کارل فیشر که شامل پیریدین، متانول، گوگرد دی‌اکسید، متانول و ید است مقدار آب تعیین می‌شود. در جریان این روش واکنشی به این شرح روی می‌دهد که به مصرف کامل آب نمونه می‌انجامد. سپس به کمک چسب نشاسته یا ابزارهای الکترونیکی، تعیین مقدار یُد اضافی و تشخیص نقطه‌ی پایانی، به مقدار آب نمونه نسبت داده می‌شود.

$$I_2 + SO_2 + CH_3OH + 3C_5H_5N + H_2O$$
$$\rightarrow 2C_5H_5NH^{\oplus}I^{\ominus} + C_5H_5NO - SO_2 - OCH_3$$

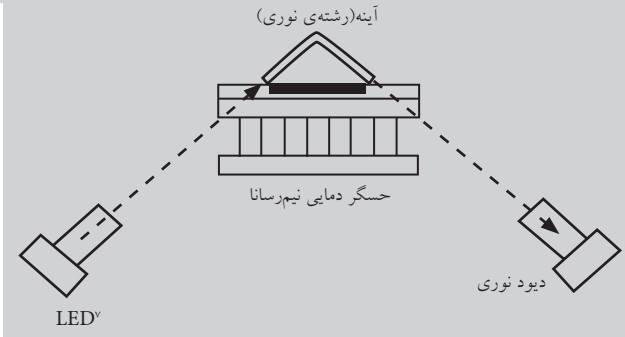
شناساگر کارل فیشر در تعیین مقدار آب ترکیب‌های آلی هم‌چون هیدروکربن‌های سیرشده و سیرنشده، الکل‌ها، آلدهیدها، اسیدها، استرها،... به‌طور گسترده کاربرد دارد.

● کروماتوگرافی گازی

در تعیین مقدارهای جزیی و بسیار کم‌آب در نمونه‌های کوچک می‌توان از دستگاه GC بهره گرفت. با این روش، مقدار آب از چند ppm تا ۱ درصد جرمی، با خطای ۳ تا ٦ درصد تعیین می‌شود.

پ) اندازه‌گیری رطوبت در گازها

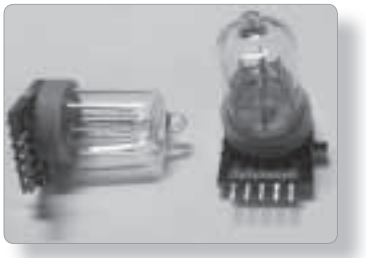
وسایل مورد استفاده برای این منظور به این شرح معرفی می‌شوند:



شکل ۳ استفاده از رشته‌های نوری به‌عنوان آینه و نور لیزری، برای تشخیص دقیق‌تر نقطه‌ی شبنم

● پسیکرومتر[۵]

متداول‌ترین وسیله برای اندازه‌گیری رطوبت هواست و در هواشناسی کاربرد گسترده دارد. این وسیله شامل دو دماسنج است که یکی با حباب خشک، و دیگری با حباب مرطوب نگهداری می‌شود. تبخیر از حباب مرطوب سبب می‌شود که دماسنج مرطوب همواره دمایی پایین‌تر از دماسنج خشک را نشان دهد. از روی جدول پسیکومتری، مقدار رطوبت مربوط به دماسنج‌های مرطوب و خشک تعیین می‌شود و سپس رطوبت نسبی به‌دست می‌آید. از آن‌جا که رطوبت نسبی وابسته به دماست جهت کالیبره کردن دستگاه، باید دما اندازه‌گیری شود. هم‌چنین برای جلوگیری از یخ زدن دماسنج مرطوب، از یک گرم‌کن قابل کنترل در اطراف آن استفاده می‌شود.



● لوله‌های شناساگر رنگی

هنگامی که برای اندازه‌گیری رطوبت، سرعت عمل بر دقت اندازه‌گیری برتری داشته باشد ـ مانند اندازه‌گیری رطوبت در خطوط لوله‌ی گاز طبیعی ـ از این وسیله استفاده می‌شود. هر لوله شامل ماده‌ای شیمیایی است که هنگام عبور گاز از لوله، جهت تشکیل یک رنگ یا لکه، وارد واکنش می‌شود. این لوله‌ها یک‌بار مصرفند. از آن‌جا که این اندازه‌گیری به عواملی هم‌چون قرار گرفتن لوله در مسیر گاز، سرعت جریان و روش استخراج گاز بستگی دارد، با خطای زیاد همراه است و می‌تواند تا ۲۵ درصد خطا داشته باشد.

آشکارکننده‌هایی هم‌چون شمارنده‌ی گایگر تعداد نوترون‌های گرمایی را تعیین می‌کنند و آن را با مقدار رطوبت موجود در سطح جامد ارتباط می‌دهند

● آینه‌های خنک‌شونده

هنگامی که گاز از سطحی می‌گذرد که دمای پایینی دارد، رطوبت، روی آن سطح تراکم می‌یابد. به دمایی که در آن، تراکم روی می‌دهد نقطه‌ی شبنم می‌گویند. در این وسیله، دمای سطح آینه توسط یک دستگاه خنک‌کننده کاهش می‌یابد و دمایی که در آن نخستین قطره‌های شبنم ظاهر می‌شوند ثبت می‌شود و به کمک رابطه‌ی زیر، زمینه‌ی رطوبتی گاز به‌دست می‌آید:

رطوبت نسبی $= ۱۰۰ - ۵(T - T_d)$

در این‌جا T، دمای محیط و T_d، نقطه‌ی شبنم است.

● حسگر الکترولیتی یا کولومتری

دو الکترود پلاتینی به موازات یک‌دیگر، روی یک لوله‌ی عایق درون حسگر قرار گرفته‌اند و لایه‌ای از $P_۲O_۵$ روی آن‌ها را پوشانده است. جذب بخار آب توسط این پوشش و ایجاد پتانسیل الکتریکی روی الکترودها، جریانی الکتریکی تولید می‌کند که باعث برقکافت آب می‌شود. از روی مقدار مصرف جریان، جرم بخار آب وارد شده به حسگر تعیین می‌شود. این روش ارزان است و هنگامی که سرعت عمل چندان مورد توجه نباشد کاربرد مناسبی دارد. اما حسگر یاد شده، هنگام تغییرات ناگهانی رطوبت نمی‌تواند به‌خوبی پاسخ‌گو باشد.

● جذب پیزوالکتریک

اساس اندازه‌گیری این روش بر مقایسه‌ی تغییرات فرکانس یک نوسانگر پوشش یافته با کوارتز، در اثر جذب رطوبت تکیه دارد. با این مقایسه، رطوبت نسبی تعیین می‌شود. به هرحال، استفاده از این روش برای گاز طبیعی، تداخل میان برخی مواد مانند گلیکول، متانول

و مزاحمت ناشی از هیدروژن سولفید، نتایجی نامنظم و پیش‌بینی‌ناپذیر را به‌همراه دارد. هم‌چنین با آن‌که خودِ حسگر ارزان و دقیق است اما کالیبره شدن آن دقت چندانی ندارد. برای جلوگیری از ایجاد اختلال در سامانه‌ی اندازه‌گیری، نیاز است که نوک حسگر در برابر جریان بلندمدت آبی که گاز طبیعی را همراهی می‌کند خشک شود و این، خود به صرف زمان زیاد نیازمند است.

● طیف‌سنجی جذبی

این روش ساده شامل عبور نور از میان یک نمونه‌ی گازی است. با اندازه‌گیری مقدار جذب نور در طول موجی که جذب توسط آب صورت می‌گیرد، مقدار رطوبت به دست می‌آید. یادآوری می‌شود جذب متانول در ناحیه‌ی جذبی آب قرار دارد. از این‌رو، باید از طیف‌سنجی با قدرت تفکیک طول موجی بسیار بالا و دقیق استفاده کرد تا چنین هم‌پوشانی میان پیک جذبی آب و مولکول‌های دیگر روی ندهد.

بنا به قانون بیر ـ لامبرت مقدار نور جذب شده توسط یک گاز متناسب با مقدار گازی است که در مسیر نور قرار گرفته است. با این روش مقدار رطوبت به‌طور مستقیم اندازه‌گیری می‌شود.

بهره‌گیری از طیف‌سنجی جذبی با دیود لیزر ی‌تنظیم‌پذیر[6]، نیاز به صرف هزینه‌های بالاتر دارد اما مطمئن‌ترین روش برای تعیین رطوبت در گاز طبیعی شناخته شده است.

● استفاده از اکسیدهای فلزی متخلخل

حسگرهای شامل اکسیدهای فلزی، از ماده‌ای جاذب و بی‌اثر و دولایه‌ی دی‌الکتریک ساخته شده‌اند که هریک به رطوبت حساسند. مولکول‌های آب از میان خلل و فرج‌های سطحی عبور می‌کنند و باعث تغییر خاصیت فیزیکی لایه‌ی پایینی می‌شوند. مقدار این تغییر به مقدار رطوبت وابسته است.

این حسگرها نسبتاً ارزان بوده، در فشار مربوط به خطوط انتقال گاز قابل نصبند و مولکول‌های آب برای جریان در منفذها، فرصت کافی دارند. برخی آلاینده‌ها و مواد خورنده می‌توانند منفذها را مسدود کنند اما با عوض کردن نوک حسگر می‌توان این کاستی را برطرف کرد. با این حال، در این حسگرها نیز مانند حسگرهای الکترولیتی و پیزوالکتریک مزاحمت متانول و گلیکول وجود دارد و کالیبره بودن این حسگرها با غیرفعال شدن سطح و گرفتگی منفذها افت شدید می‌یابد.

نتیجه‌گیری

درپی آگاهی از اثر و مزاحمت‌های آب در مواد و محیط‌های گوناگون، اندازه‌گیری محتوای آب مورد توجه قرار گرفته است و تلاش در جست‌وجوی روش‌هایی به این منظور، انواع گوناگونی از روش‌های مناسب را ویژه‌ی هریک از حالت‌های ماده در اختیار قرار داده است. در صنایع گوناگون و در انتقال گاز طبیعی استفاده از نوع مناسبی از این روش‌ها در تولید فراورده‌های بهتر و کارایی فرایندها نقش‌مؤثری‌دارد.

با استفاده از شناساگر کارل فیشر که شامل پیریدین، متانول، گوگرد دی‌اکسید، متانول و ید است مقدار آب تعیین‌می‌شود

1. moisture content
2. absolute humidity
3. saturated humidity
4. relative humidity
5. psychrometer

۵ـ ابزاری برای اندازه گیری بخار آب در هواکره

6. Tunable Diode Laser Absorption Spectroscopy
7.Light-Emitting Diode

1. Skoog & West, "Fundamental of Analytical Chemistry", Forth ed., 1982.
2. Derevyagin, "A new approach for measuring water", 23rd world gas conference, Amsterdam, 2006.