آزمایشی ساده و جالب برای دوران کرونایی

زهرا ارزانی
کارشناس ارشد شیمی آلی، دبیر شیمی کرج

اشاره
یکی از آزمایش‌های جالب توجه در شیمی، اندازه‌گیری درصد استیک اسید در سرکه است. این فعالیت در کتاب آزمایشگاه علوم یازدهم آورده شده و با استقبال زیاد دانش‌آموزان روبه‌رو شده است. حال که به دلیل شرایط کرونایی امکان حضور در آزمایشگاه فراهم نیست، در این مقاله با استفاده از راه‌کارهایی جذاب علاوه بر مبحث حجم سنجی و اندازه‌گیری درصد استیک اسید، تهیهٔ محلول با غلظت مشخص را در منزل و با امکانات موجود پیشنهاد می‌کنیم.

کلیدواژه‌ها: آزمایش‌های سبز و جالب، حجم سنجی، انحلال‌پذیری

مقدمه

سنجش حجمی (تیتر کردن) از روش‌های تجزیهٔ حجمی است. در تجزیهٔ حجمی، مقدار معینی از محلول با غلظت مجهول را با محلول دیگری که غلظت آن مشخص است (محلول استاندارد) می‌سنجند. در سنجش حجمی محلول استاندارد به‌طور آهسته از یک بورت به محلول حاوی حجم مشخص از محلول مجهول اضافه می‌شود.

افزایش محلول استاندارد، آن‌قدر ادامه می‌یابد تا مقدار آن از نظر اکی والان برابر مقدار جسم حل شده شود. به عبارت دیگر دو ماده به‌طور کامل با هم واکنش دهند. به این نقطه که در آن واکنش کامل صورت گرفته است، نقطهٔ پایان عمل یا نقطهٔ هم‌ارزی نیز می‌گویند.

یکی از راه‌های تشخیص این نقطهٔ پایانی (نقطهٔ هم‌ارزی) در عمل، تغییر فیزیکی مانند تغییر رنگ است. نقطه‌ای که این تغییر رنگ در آن روی می‌دهد، نقطهٔ پایان تیتر کردن است. در تیتراسیون اسید و باز، شناساگرها برای تعیین زمان حصول به این نقطه به کار می‌روند. تغییر رنگ معرف، در یک شناساگر pH انجام می‌شود که معمولاً در محدودهٔ pH نقطهٔ پایانی واکنش است. هر چه این دو pH به هم بیشتر منطبق باشند، نشان می‌دهد که عمل سنجش حجمی دقیق‌تر صورت گرفته است.

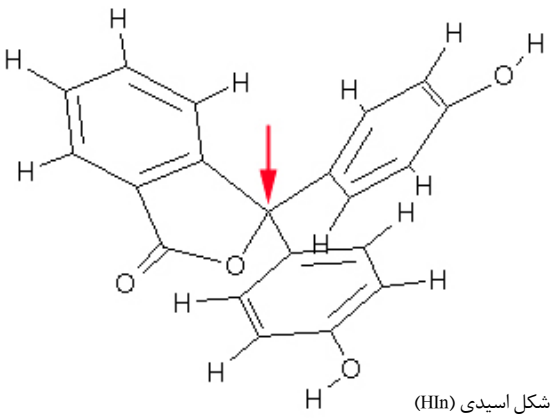
علت تغییر رنگ شناساگرها با تغییر pH

شناساگرها بیشتر مولکول‌های بزرگ اسید یا باز ضعیف آلی هستند. همهٔ رنگ‌ها در محیط‌های اسیدی و بازی تغییر رنگ نمی‌دهند، اما این ترکیبات سریع به تعادل می‌رسند. اگر شناساگر اسید ضعیف باشد، تعادل زیر برقرار می‌شود:

$$HIn(aq) + H_2O(l) \rightleftarrows In^-(aq) + H_3O^+(aq)$$

$$ka = \frac{[In^-] \times [H_3O^+]}{[HIn]}$$

شکل اسیدی HIn و فرم بازی این ترکیب (In^-) رنگ متفاوتی



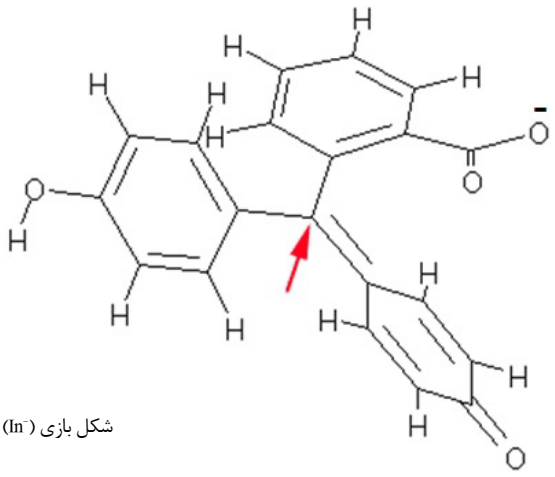
شکل اسیدی (HIn)

دارد. با افزایش H^+ به محیط اسیدی، طبق اصل لوشاتلیه تعادل به سمت چپ جابه‌جا می‌شود و غلظت HIn افزایش می‌یابد. هرگاه غلظت یک گونه ده برابر غلظت گونه دیگر باشد، محیط به رنگ گونهٔ غالب دیده می‌شود. بنابراین در محیط اسیدی، محیط به رنگ HIn است. با افزایش باز به محیط، غلظت H^+ کاهش می‌یابد ($H^+ + OH^- \Leftrightarrow H_2O$).

طبق اصل لوشاتلیه، تعادل شناساگر به سمت راست جابه‌جا می‌شود. در نتیجه غلظت In^- افزایش یافته و رنگ محیط را تغییر می‌دهد. با وجود هر دو گونه در محیط، رنگ مخلوط دو گونه دیده می‌شود.

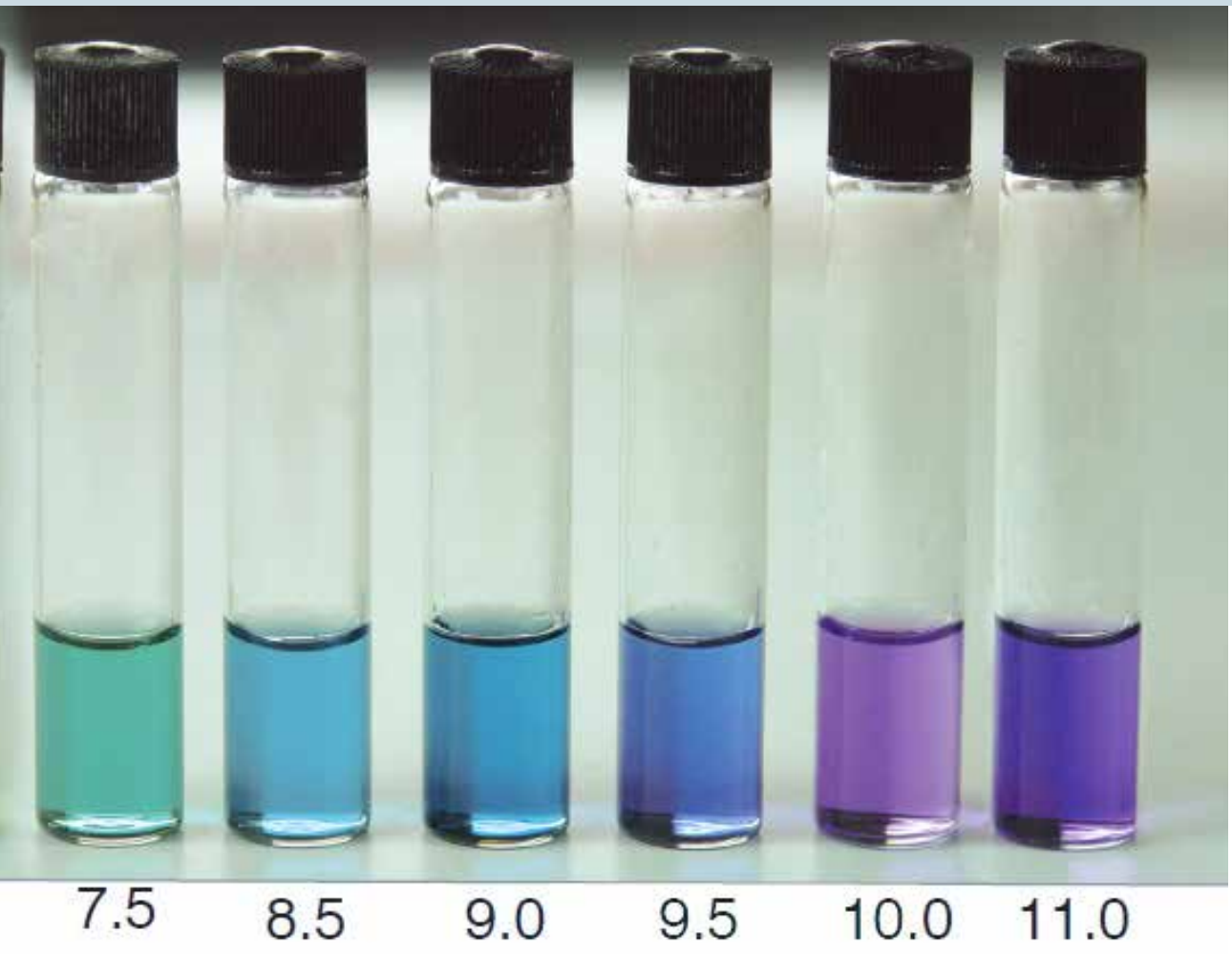
اما چرا فقط وجود یک H^+ می‌تواند این تغییر رنگ را به وجود آورد؟

برای توضیح این تغییر رنگ به ساختار فنل فتالئین در محیط اسیدی توجه کنید:

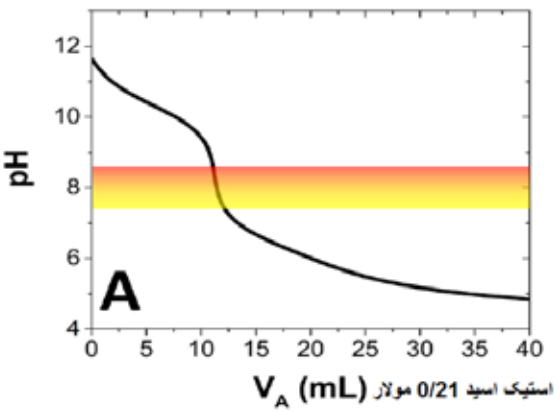


شکل بازی (In^-)

سه حلقهٔ آروماتیک در این مولکول وجود دارد که در آن‌ها، هر اتم کربن دارای هیبرید sp^2 و دارای یک اربیتال p با یک الکترون است که می‌تواند به طور جانبی با اتم کناری خود به اشتراک بگذارد. این ابرهای الکترونی در سطح حلقه مسطح پخش می‌شوند. در محیط اسیدی هر حلقه دارای رزونانس در داخل خود است. کربن وسطی دارای اربیتال p نیست. مولکول در این حالت اشعه نور در ناحیه UV (ماوراء بنفش) را جذب می‌کند و بی‌رنگ است. اما در محیط بازی، مولکول H^+ از دست می‌دهد. با از دست دادن H^+، کربن وسطی نیز دارای اربیتال p و یک الکترون می‌شود. سیستم رزونانس (کانجوگه) در این حالت در کل مولکول پخش می‌شود و الکترون در کل مولکول مسطح می‌تواند بچرخد، بنابراین الکترون آزادتر بوده و انرژی کمتری برای انتقال به سطح بالاتر نیاز دارد. در نتیجه نور با طول موج بیشتر (بخشی از نور مرئی) را جذب می‌کند. همهٔ مواد ناحیه‌ای از انرژی را جذب می‌کنند، اما آن دسته که می‌توانند بخشی از نور مرئی را جذب کنند، رنگی دیده می‌شوند [۱].



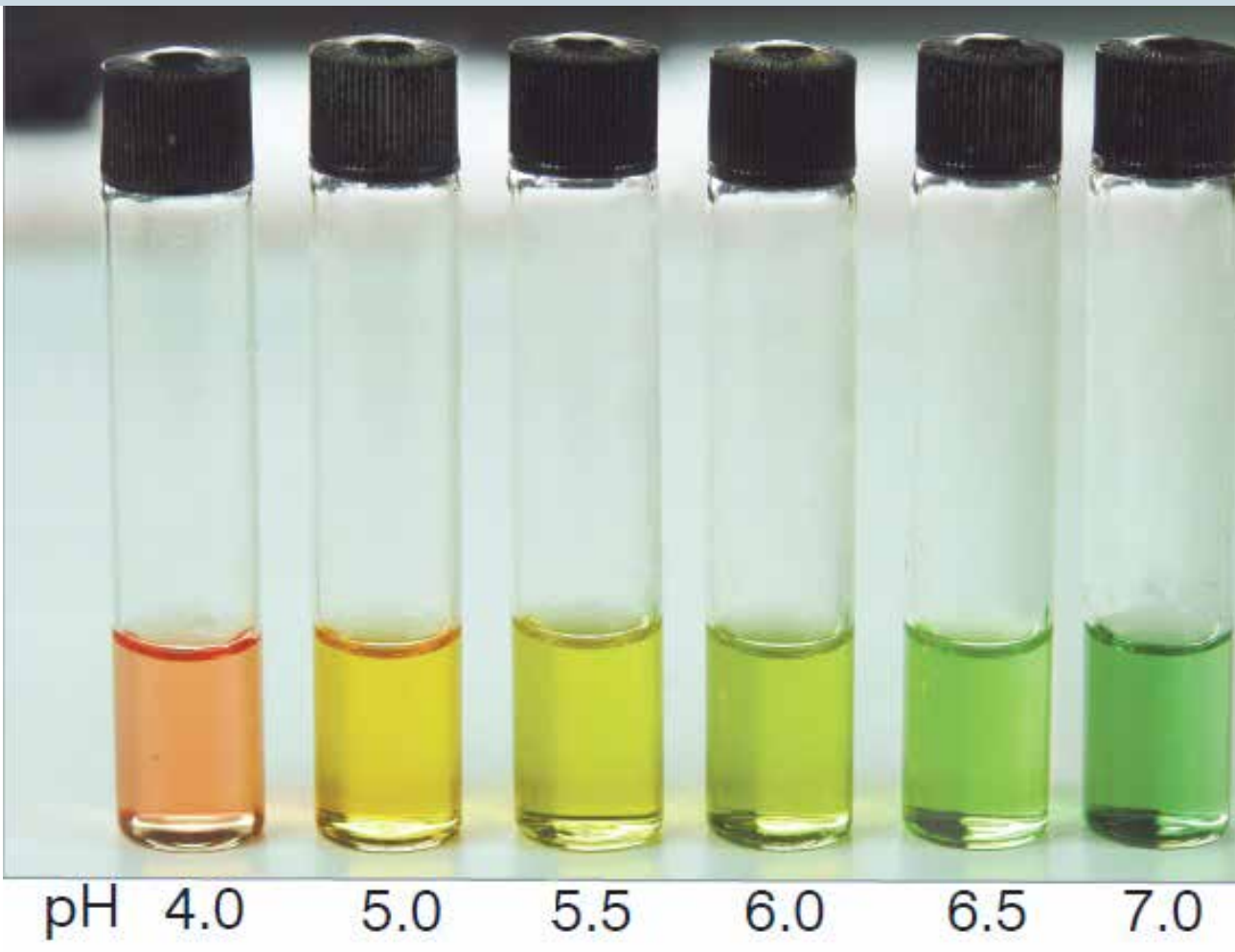
تطابق pH تغییر رنگ زردچوبه با نقطهٔ پایانی واکنش استیک اسید و سدیم کربنات:

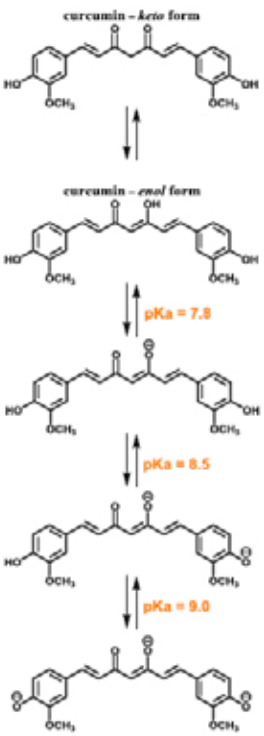


در منابع نمودار حجم سنجی سدیم کربنات (۲۵ میلی لیترمحلول سدیم کربنات با غلظت ۰/۰۹۴ مول بر لیتر) با استفاده از استیک اسید حدود ۰/۲۱ مول بر لیتر به صورت نمودار مقابل گزارش شده است: (البته به پیشنهاد کاربالو و همکارانش، در شیمی عمومی نیازی به اشاره به محیط بافری و پیچیدگی نمودار حجم سنجی نیست) [۲].

در تصویر بالا pH کرکومین موجود در زردچوبه در فرم‌های مختلف نشان داده شده است.

کرکومین دارای سه پروتون اسیدی با pKa متفاوت : ۷/۸، ۸/۵ و ۹/۰ است که در pH حدود ۸/۶ به رنگ قرمز است و با رسیدن pH به ۷/۴ رنگ آن به زرد تغییر می‌یابد. بنابراین در نمودار تیتراسیون استیک اسید و سدیم کربنات این شناساگر در محدودهٔ pH اکی والان تغییر رنگ می‌دهد. به عبارت دیگر، شناساگر در نقطهٔ تیز (sharp) نمودار تیتراسیون تغییر رنگ داده و با کمی خطا قابل قبول است.





تهیهٔ محلول با مولاریتهٔ مشخص سدیم کربنات بدون وسایل آزمایشگاهی

از آنجایی که در شـرایط کرونایـی دانش‌آمـوزان دسترسـی بـه وسـایل اندازه‌گیری ماننـد ترازو و دماسـنج آزمایشگاهی ندارند، برای تهیهٔ محلول با مولاریته مشخص سدیم کربنـات راهـکار زیر را پیشنهاد می‌کنیم. مقداری آب (ترجیحاً از سیستم آب تصفیه شـده منزل) را در محیط خانه به مدت چند ساعت قرار دهید تا کاملاً با دمای اتاق یکسان شود. سپس دمای محیط را با دماسـنج معمولی خود اندازه گرفته و دمای محلول را دمای اتاق در نظر بگیرید. (اگر در منزل دماسنج معمولی هم وجود ندارد، می‌توان از دمای شهر خود ثبت شده در پایگاه‌های خبری استفاده کرد.) با تهیهٔ حجم معینی از محلول سیر شده در این دما و نمودار زیر، مولاریته محلول خود را مشخص کنید [۳].

انحلال‌پذیری سدیم کربنات

درصد وزنی

مراحل آزمایش:

۱. تهیهٔ شناسـاگر: مقدار کمی زردچوبه به حدود ۲ میلی‌لیتر الکل اتانول اضافه می‌کنیم.

۲. تهیهٔ سدیم کربنات از جوش‌شیرین:

* حدود ۱۰ قاشق از جوش‌شیرین ($NaHCO_3$) را در فر گاز با دمای ۱۸۰ درجه سلسیوس به مدت نیم ساعت قرار می‌دهیم. سپس اجازه می‌دهیم سرد شده و به دمای محیط برسد. (نمک سدیم کربنات)

** دمای ۲۵ میلی‌لیتر آب (ترجیحاً تصفیه شده) را اندازه‌گیری و به آن سدیم کربنات تولید شده از مرحلهٔ قبل را اضافه می‌کنیم. به اندازه‌ای سدیم کربنات اضافه می‌کنیم که دیگر حل نشود و به صورت رسـوب ته‌نشین شود (حدود ۶ قاشق چای‌خوری پر) به این صورت محلول سیر شده سدیم کربنات تهیه شده است.

۳. ۱۰ میلی‌لیتر سرکه را با استفاده از سرنگ تمیز به بشر تمیز و خشک اضافه می‌کنیم.

۴. چند قطره شناساگر زردچوبه به آن اضافه می‌کنیم.

۵. با استفاده از سرنگ تمیز وکوچک، ۵ میلی‌لیتر محلول سیر شـدهٔ سدیم کربنات را برداشته و کم‌کم به محلول سرکه دارای شناساگر اضافه می‌کنیم.

۶. اضافه کردن را آرام ادامه می‌دهیم تا رنگ شناساگر از زرد به قرمز تغییر کند.

۷. حجم سدیم کربنات اضافه شده را اندازه‌گیری کرده و درصد استیک اسید سرکه را محاسبه می‌کنیم.

نتیجه

حجم سرکهٔ مصرفی ۱۰ میلی‌لیتر - حجم محلول سیر شده سدیم کربنات ۲/۲ میلی‌لیتر- دمای آب ۲۰ درجهٔ سلسیوس و طبق نمودار محلول حدود ۱۸ درصد جرمی است. به عبارتی با ۱۸ گرم سدیم کربنات در ۱۰۰ گرم محلول در این دما، یک محلول سیرشده تولید می شود.

مقدار استیک اسید که در این واکنش شرکت کرده:

$$2CH_3COOH + Na_2CO_3 \rightarrow 2CH_3COONa + H_2O + CO_2$$

$$2/2m/Na_2CO_3 \times \frac{18gNa_2CO_3}{100ml} \times \frac{1molNa_2CO_3}{106gNa_2co_3} \times \frac{2molCH_3COOH}{1molNa_2CO_3} \times \frac{60gCH_3COOH}{1molCH_3COOH} = 0/448gCH_3COOH$$

در این آزمایش ۰/۴۴۸گرم استیک اسید در ۱۰ میلی‌لیتر محلول نمونه سرکه استفاده شده که می‌توان گفت: درصد استیک اسید در این نمونه سرکه برابر ۴/۴۸ درصد است.

خطاهای آزمایش:

۱. عدم اندازه‌گیری دقیق به دلیل استفاده از وسیلهٔ تقریبی؛

۲. انحلال گاز کربن دی‌اکسید تولید شده در فراورده و تولید محیط اسیدی ضعیف و ایجاد خطا در تشخیص نقطهٔ پایانی واکنش.

منابع

[1]. Bahadori, A.; Maroufi, N. Volumetric Acid-Base Titration by Using of Natural Indicators and Effects of Solvent and Temperature. Austin Chromatography. 2016, No. 3, 1041.

[2]. Rolando M. Caraballo,at el, J. Chem. Educ. 2021, 98, 958−965

[3]. Douglas A. Skoog, Donald M. West, F. James Holler, Stanley R. Crouch-Fundamentals of Analytical Chemistry-Cengage Learning, 2013, 302.