آیا می‌دانید حضور هم‌زمان یون‌ها و مولکول‌های یونیده نشده با غلظت ثابت در محلول چنین اسیدهایی بیانگر چیست؟

ثابت تعادل و قدرت اسیدی

در شیمی ۱ آموختید که حضور هم‌زمان واکنش‌دهنده‌ها و فراورده‌ها در مخلوط واکنش را می‌توان نشانه‌ای از برگشت‌پذیر بودن واکنش‌ها دانست. واکنش‌هایی که در آنها همه واکنش‌دهنده‌ها به فراورده‌ها تبدیل نمی‌شوند، بلکه در شرایط معین مقدار آنها در سامانه ثابت خواهد ماند. گویی این واکنش‌ها تا حدی پیش می‌روند و پس از آن، مقدار مواد شرکت‌کننده دیگر تغییر نخواهد کرد.

انواع واکنش‌ها
- برگشت‌پذیر
  - تعادلی
  - غیرتعادلی
- برگشت‌ناپذیر

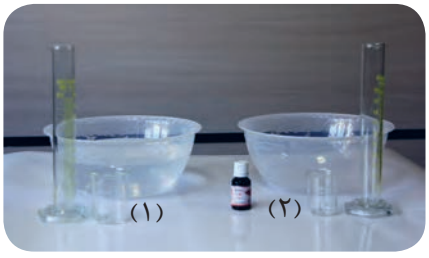
کاوش کنید

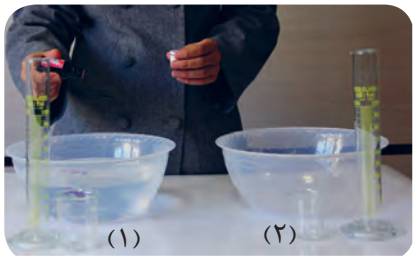
درباره «**فرایند برگشت‌پذیر تبدیل A به B تا رسیدن به تعادل**» کاوش کنید.

ابزار، وسایل و مواد مورد نیاز: دو ظرف پلاستیکی با حجم حدود ۲ لیتر، دو بشر ۱۰۰ و ۵۰ میلی لیتری، دو استوانه مدرج ۱۰۰ میلی لیتری و حدود یک لیتر آب حاوی رنگ خوراکی.

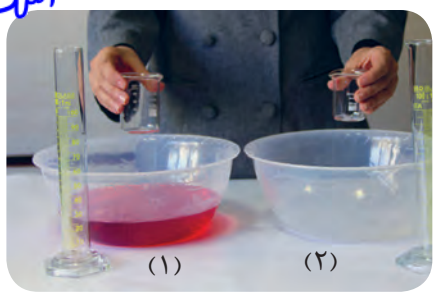
۱ـ دو ظرف پلاستیکی دو لیتری را شماره‌گذاری کنید و درون یکی حدود یک لیتر آب بریزید.

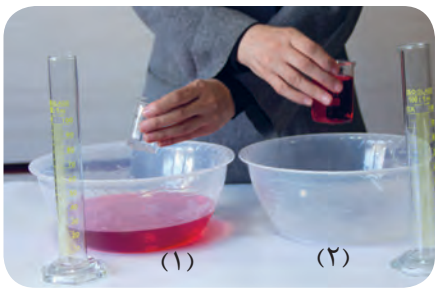
۲ـ به ظرف محتوی آب چند قطره رنگ خوراکی بیفزایید.

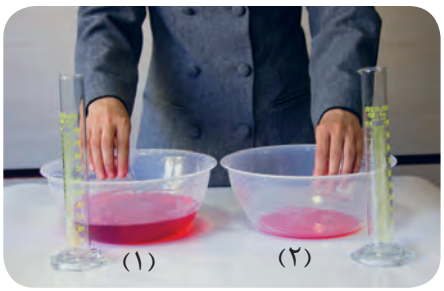




۳ـ با بشر ۱۰۰ میلی لیتری، از محتویات ظرف (۱) بردارید و به ظرف (۲) بریزید، هم‌زمان با بشر ۵۰ میلی‌لیتری از محتویات ظرف (۲) بردارید (ظرف خالی) و به ظرف (۱) بریزید. محتویات کدام ظرف را می‌توان به عنوان فراورده در نظر گرفت؟ چرا؟ ظرف ۲ ـ چون در ابتدا خالی است.







۴ـ جابه‌جایی محتویات دو ظرف را با همین روند ادامه دهید اما پیش از اینکه هر بار به ظرف دیگر منتقل کنید نخست آنها را در دو استوانه مدرج بریزید و پس از مقایسه حجم آنها، محلول‌ها را با استوانه مدرج جابه‌جا کنید (دلیل این عمل را توضیح دهید).

به تدریج مقداری ماده منتقل شده از ظرف ۲ به ۱ بیشتر و از ظرف ۱ به ۲ کمتر می‌شود.

۵ـ سرانجام به مرحله‌ای خواهید رسید که حجم محلول‌های جابه‌جا شده میان دو ظرف برابر و مقدار محتویات هر ظرف ثابت خواهد ماند اما مقدار این محتویات با هم برابر نیست.

۶ـ درباره درستی نتیجه زیر گفت‌وگو کنید.

«در یک واکنش برگشت‌پذیر که هم‌زمان واکنش‌های رفت و برگشت به‌طور پیوسته انجام می‌شوند، سرانجام مقدار واکنش‌دهنده‌ها و فراورده‌ها ثابت می‌ماند».

واکنش‌های برگشت‌پذیر، آنهایی هستند که می‌توانند در هر دو جهت انجام شوند. این نوع واکنش‌ها در شرایط مناسب هم‌زمان در هر دو جهت رفت و برگشت انجام می‌شوند تا اینکه سرانجام لحظه‌ای فرا می‌رسد که غلظت واکنش‌دهنده‌ها و فراورده‌ها ثابت می‌ماند. این ویژگی تنها هنگامی رخ می‌دهد که سرعت واکنش رفت با برگشت برابر شود زیرا در این شرایط، هر مقداری از فراورده‌ها که در واحد زمان تولید می‌شود، هم‌زمان به همان مقدار از آنها مصرف می‌شود. برای واکنش‌دهنده‌ها نیز چنین است. در شیمی به چنین سامانه‌هایی، **سامانه تعادلی** می‌گویند. واکنش‌های رفت و برگشت در سامانه‌های تعادلی به‌طور پیوسته و با سرعت برابر انجام می‌شوند و به همین دلیل مقدار مواد شرکت‌کننده در سامانه ثابت می‌ماند.

نماد ⇌، در واکنش‌های تعادلی به کار می‌رود.

نمونه‌ای از سامانه‌های تعادلی، محلول اسیدهای ضعیف در آب است. در این محلول‌ها به دلیل یونش ناچیز اسیدهای ضعیف، میان اندک یون‌های حاصل از یونش و مولکول‌های یونیده نشده، تعادل برقرار می‌شود. برای نمونه در محلول هیدروفلوئوریک اسید تعادل زیر برقرار است.

$$HF(aq) \rightleftharpoons H^+(aq) + F^-(aq)$$

برای این سامانه نیز در دمای ثابت همانند دیگر سامانه‌های تعادلی، واکنش‌های رفت و برگشت پیوسته در حال انجام هستند به‌طوری که در هر گسترهٔ زمانی معین، شمار مولکول‌های HF که یونیده می‌شوند با شمار مولکول‌های HF که از پیوستن یون‌های F^- و H^+ به یکدیگر پدید می‌آیند، برابر است. این رفتار سامانه تعادلی نشان می‌دهد که سرعت تولید هرگونه با سرعت مصرف آن برابر است، رفتاری که سبب می‌شود غلظت تعادلی همه گونه‌های موجود در سامانه ثابت بماند. افزون بر این توصیف کیفی، سامانه‌های تعادلی را از دیدگاه کمّی نیز می‌توان بررسی کرد به‌طوری که این سامانه‌ها با کمیتی به نام **ثابت تعادل**[1] توصیف می‌شوند و در آن تنها غلظت تعادلی گونه‌های شرکت‌کننده در واکنش آورده می‌شود. مقدار این کمیت در دمای ثابت برای هر تعادل ثابت است.

درباره دیگر تعادل‌های شیمیایی، عبارت ثابت تعادل و عوامل مؤثر بر جابه‌جایی تعادل‌ها در فصل ۴ بیشتر خواهید آموخت.

با هم بیندیشیم

۱ـ جدول زیر غلظت تعادلی گونه‌های موجود در سه محلول از هیدروفلوئوریک اسید با غلظت‌های آغازی گوناگون را در دمای ۲۵°C نشان می‌دهد. با توجه به آن به پرسش‌ها پاسخ دهید.

شماره محلول	غلظت تعادلی گونه‌های شرکت‌کننده (مول بر لیتر)			$K = \frac{[H^+][F^-]}{[HF]}$ تعادلی
	[HF]	$[F^-]$	$[H^+]$	
۱	۰/۵۲	$۱/۷۵ \times ۱۰^{-۲}$	$۱/۷۵ \times ۱۰^{-۲}$	$۵/۸۸ \times ۱۰^{-۴}$
۲	۰/۲۹	$۱/۳۱ \times ۱۰^{-۲}$	$۱/۳۱ \times ۱۰^{-۲}$	$۵/۹۱ \times ۱۰^{-۴}$
۳	۱/۰	$۲/۴۳ \times ۱۰^{-۲}$	$۲/۴۳ \times ۱۰^{-۲}$	$۵/۹۰ \times ۱۰^{-۴}$

آ) توضیح دهید چرا در هر سه محلول $[F^-] = [H^+]$ است؟

ب) کسر داده شده در ستون آخر را **عبارت ثابت تعادل** می‌نامند و با K نمایش می‌دهند. مقدار K را حساب کرده و جاهای خالی را پر کنید.

پ) توضیح دهید آیا نتیجه‌گیری زیر درست است؟

«**K برای یک واکنش تعادلی در دمای معین، مقداری ثابت است.**»

ت) آیا ثابت تعادل در دمای ثابت به مقدار آغازی واکنش‌دهنده‌ها بستگی دارد؟ توضیح دهید.

۱ـ Equilibrium Constant

$CH_3COOH(aq) \rightleftharpoons CH_3COO^-(aq) + H^+(aq)$

۲ـ اگر غلظت تعادلی یون هیدرونیوم در محلول استیک اسید در دمای معین برابر با $0/0006\ mol\ L^{-1}$ باشد:

آ) غلظت تعادلی یون استات (CH_3COO^-) را تعیین کنید. $[H^+] = [CH_3COO^-] = 6 \times 10^{-4}\ \frac{mol}{L}$

ب) اگر غلظت تعادلی استیک اسید در این محلول برابر با ۰/۰۲ مولار باشد، ثابت تعادل را در این دما حساب کنید.

$K = \frac{6 \times 10^{-4} \times 6 \times 10^{-4}}{2 \times 10^{-2}} = 18 \times 10^{-6}$

آموختید که برای هر واکنش تعادلی، یک ثابت تعادل وجود دارد که ویژه همان واکنش بوده و فقط تابع دما است. ثابت تعادل برای اسیدها به **ثابت یونش اسید**[1] معروف است. کمیتی که با K_a نشان داده می‌شود. ثابت یونش یک اسید، نسبت حاصل‌ضرب غلظت تعادلی یون‌های موجود در محلول را به غلظت تعادلی آن اسید نشان می‌دهد. به دیگر سخن ثابت یونش، بیانی از میزان پیشرفت فرایند یونش تا رسیدن به تعادل است، به طوری که هر چه ثابت یونش اسیدی در دمای معین بزرگ‌تر باشد، آن اسید بیشتر یونیده شده و غلظت یون‌های موجود در محلول آن بیشتر است. در واقع در دمای معین هر چه ثابت یونش اسیدی بزرگ‌تر باشد، آن اسید قوی‌تر است. جدول زیر ثابت یونش برخی اسیدها را در دمای اتاق نشان می‌دهد.

هرچه K_a برای یک اسید بزرگتر باشد آن اسید قوی‌تر است.

معیار مقایسه قدرت اسید: K_a

جدول ۱ـ ثابت یونش برخی اسیدها در دمای اتاق

نام اسید	فرمول شیمیایی	ثابت یونش (K_a)	معادله یونش در آب
هیدرویدیک اسید	HI	بسیار بزرگ	$HI(aq) \rightarrow H^+(aq) + I^-(aq)$
هیدروبرمیک اسید	HBr	بسیار بزرگ	$HBr(aq) \rightarrow H^+(aq) + Br^-(aq)$
هیدروکلریک اسید	HCl	بسیار بزرگ	$HCl(aq) \rightarrow H^+(aq) + Cl^-(aq)$
سولفوریک اسید	H_2SO_4	بسیار بزرگ	$H_2SO_4(aq) \rightarrow H^+(aq) + HSO_4^-(aq)$
نیتریک اسید	HNO_3	بزرگ	$HNO_3(aq) \rightarrow H^+(aq) + NO_3^-(aq)$
نیترو اسید	HNO_2	$4/5 \times 10^{-4}$	$HNO_2(aq) \rightleftharpoons H^+(aq) + NO_2^-(aq)$
فورمیک اسید	HCOOH	$1/8 \times 10^{-4}$	$HCOOH(aq) \rightleftharpoons H^+(aq) + HCOO^-(aq)$
استیک اسید	CH_3COOH	$1/8 \times 10^{-5}$	$CH_3COOH(aq) \rightleftharpoons H^+(aq) + CH_3COO^-(aq)$
هیدروسیانیک اسید	HCN	$4/9 \times 10^{-10}$	$HCN(aq) \rightleftharpoons H^+(aq) + CN^-(aq)$

۱ـ Acid Ionization Constant

خود را بیازمایید

(آ)

(ب)

۱ـ این شکل‌ها واکنش دو قطعه نوار منیزیم یکسان را با محلول دو اسید متفاوت در دما و غلظت یکسان نشان می‌دهند.

آ) سرعت کدام واکنش بیشتر است؟ چرا؟

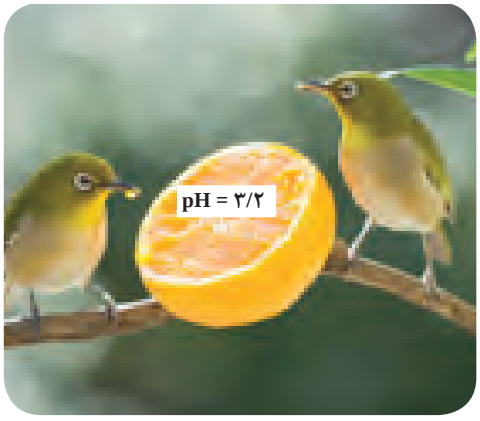
ب) غلظت یون هیدرونیوم در محلول کدام اسید بیشتر است؟ چرا؟

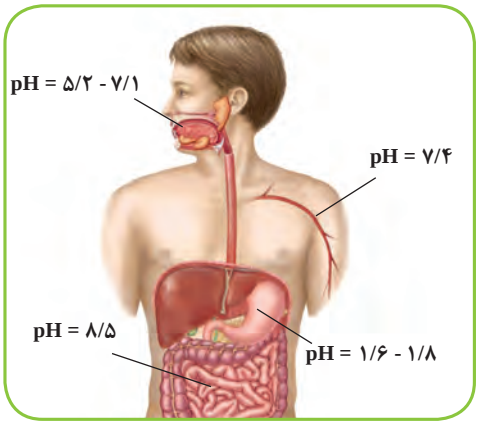
پ) اگر ثابت یونش یک اسید، Ka_1 و دیگری Ka_2 باشد، ثابت یونش این دو اسید را با یکدیگر مقایسه کنید و پاسخ خود را توضیح دهید.

۲ـ باران اسیدی حاوی نیتریک اسید و سولفوریک اسید است در حالی که باران معمولی حاوی کربنیک اسید است. با مراجعه به جدول توضیح دهید در کدام باران غلظت یون هیدرونیوم بیشتر است؟ چرا؟ ثابت یونش کربنیک اسید را $۴/۵ \times ۱۰^{-۷}$ در نظر بگیرید.

pH، مقیاسی برای تعیین میزان اسیدی بودن

با کاغذ pH و تغییر رنگ آن در محلول‌های اسیدی و بازی آشنا هستید. این تغییر رنگ معیاری برای تشخیص اسیدی یا بازی بودن محلول‌ها است. افزون بر این، رنگی که این کاغذ درون یک محلول به خود می‌گیرد، نشان‌دهنده pH تقریبی آن محلول است. pH برخی سامانه‌ها در شکل ۸ نشان داده شده است.





شکل ۸ـ pH محلول موجود در چند سامانه، محلول کدام سامانه اسیدی و کدام سامانه بازی است؟

آیا می‌دانید چه رابطه‌ای بین pH و غلظت یون هیدرونیوم موجود در محلول برقرار است؟ برای نمونه برای محلولی با pH = ۳/۷ غلظت یون هیدرونیوم چقدر است؟ چگونه باید آن را حساب کرد؟

پیوند با ریاضی

در درس ریاضی با لگاریتم آشنا شدید. تابعی که به‌صورت زیر بیان می‌شود:

$\log_{۱۰}^{x} = \log x$