



بخش‌های کارکردی و ساختار دستگاه‌های pH سنج



pH سنج یکی از ابزارهای فراگیر آزمایشگاهی است، و کاربردهای بسیاری در شناسایی اسیدی یا بازی بودن محیط‌های زیستی دارد. آنچه در این میان ارزش این دستگاه را دوچندان می‌کند، شگردهای زیبا و فنی به کاررفته در آن است که با همه سادگی، دارای ریزبینی فراوانی است.

پیوند میان چگالی یون هیدروژن و pH نشان می‌دهد که از ۰ تا ۱۴ و ویژگی اسیدی، pH برابر ۷ ویژگی بی‌کنش و از ۸ تا ۱۴ ویژگی بازی دارد.

روش اندازه‌گیری pH

برای اندازه‌گیری pH دو روش شناخته شده هست:

۱) روش شیمی (۲) روش پتانسیومتری

در روش شیمی از پدیده دگرگونی رنگ که برخی از شناسه‌ها در اندازه‌های گوناگون گستره pH از خود نشان می‌دهند، بهره برده می‌شود. شناخت pH به کمک شناسه‌های فراگیر با همه خوبی‌هایی که دارد (مانند پیرشتابی، آسانی و ارزانی) گاهی چندان خوب نیست. برای نمونه هنگامی که خود آبگونه رنگی است، شناخت رنگ شناسه دشوار است و حتا با بکارگیری چندین شناسه نیز نمی‌توان به ریزبینی بهتر از ۰/۱ یکانه pH دست یافت. افزودن شناسه به آبگونه نیز می‌تواند درونمایه آبگونه را کم و بیش دگرگون کند.

با این همه، شناسه‌های pH محیط تر و یا خشک روی کاغذ برای اندازه‌گیری pH سودمندند. کاستی‌های نامبرده در بالا، انگیزه‌ای برای بهره‌گیری از روش‌های دیگری است، که فراگیرترین آنها روش توان‌سنجی (پتانسیومتری) است.

روش توان‌سنجی (پتانسیومتری)

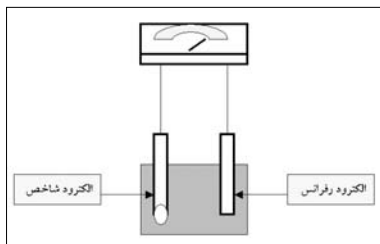
در این روش برای اندازه‌گیری pH، الکترودی به کار می‌رود که توان

در این نوشته، در کنار نگاه دوباره به بخش‌های دستگاه، روش کار با آن‌ها و روش‌های نگهداری‌شان را بررسی می‌کنیم.

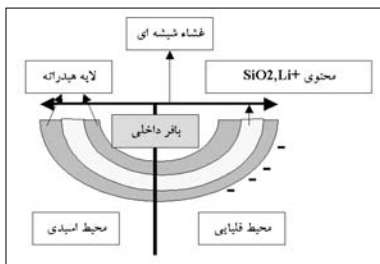
بسیاری از واکنش‌های شیمی و نیز واکنش‌هایی که در جانداران انجام می‌شود، در گستره‌ای کرانمند از چگالی یون هیدروژن انجام می‌شود. از این رو اندازه‌گیری این چگالی از جایگاه برجسته‌ای در دانش‌های وابسته به جانداران مانند دانش خوراکی، دارویی و پزشکی برخوردار است.

چگالی یون هیدروژن در محیط‌های آبی بیشتر از ۱۰-۱۴ تا ۱۰-۱۴ مولار است. پس برای بازگویی ساده‌تر آن از اندازه‌گیری pH بهره می‌برند. در این روش به جای چگالی یون هیدروژن، منفی لگاریتم چگالی یون هیدروژن بر پایه مولاریته را پیمانه گرفته و این گونه نشان می‌دهند:

$$pH = -\log[H^+]$$



شکل ۱) وسیله اندازه گیری pH



شکل ۲) نمایش شماتیک غشاه حساس به یون هیدروژن

پوسته در یک جای آبی باشد، رویه آن باد کرده و هیدراته می شود. یون فلز از لایه هیدراته به درون آبگونه رفته و یون هیدروژن در درون لایه هیدراته به جا می ماند. این روند پس از یک تا دو روز پایان یافته و به هم تراز می رسد. کلفتی لایه هیدراته به فراخور گونه شیشه، دما و pH آبگونه، از ۵ تا ۵۰۰ نانومتر است. هرگاه این پوسته هیدراته شده در یک آبگونه آبی بماند که در آن چگالی یون هیدروژن با چگالی یون هیدروژن لایه هیدراته ناهمسان باشد، یون هیدروژن جابجا شده و درون یا بیرون لایه هیدراته جای می گیرد. این کار، ناهمخوانی (به فراخور ناهمسانی چگالی یون هیدروژن لایه هیدراته و آبگونه) پدید می آورد که با کمک یون فلز بخش درونی پوسته به لایه هیدراته درونی رفته و به برهم خوردن تراز کهربای لایه هیدراته درونی می انجامد (نگاره ۲). سپس ناهمخوانی میان آبگونه درون پوسته و آبگونه بیرون پدید می آید که با سیم سیمین-کلرور سیمین به بیرون الکترو د جابجا می شود. این ناهمخوانی به فراخور چگالی یون

آن به فراخور چگالی یون هیدروژن یا pH، دگرگون می شود. این توان با یک میلی ولت سنج اندازه گیری شده و با pH نشان داده می شود به این دستگاه pH سنج می گویند.

pH سنج یک میلی ولت سنج با پایداری نمودین (امپدانس) درونی بالا است که همراه با دو الکترو د به نام الکترو د شناساگر و الکترو د بن مایه برای اندازه گیری pH بکار می رود.

الکترو دها همانند یک پیل با پایداری درونی بسیار بالا که نمی توان از آن جریان کشید رفتار می کنند. پس ولتاژ آنها به فراخور چگالی یون هیدروژن پیرامون دگرگون می شود. برای اندازه گیری درست این ولتاژ باید از یک میلی ولت سنج با پایداری نمودین درونی بالا بهره برد. این ولت سنج، ولتاژ اندازه گیری شده را بر پایه اندازه pH نشان می دهد (نگاره ۱).

الکترو د شناساگر

الکترو د شناساگر بیشتر از شیشه ساخته شده است به جز در نمونه های ویژه ای که از الکترو د هیدروژن، آنتیمونی، اکسید پالادیم و اکسید اورانیم بهره برده می شود. این الکترو د از یک لوله شیشه ای یا پلاستیکی به نام ساقه ساخته شده که یک پوسته شیشه ای سه ششمند (حساس) به یون هیدروژن به آن پیوسته است. این پوسته به فراخور کاربردهای آن به ریخت های گوناگون ساخته می شود که فراگیر ترین آن حبابی است.

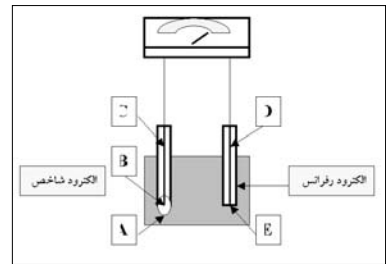
از گونه های کهن پوسته می توان کورنینگ ۰۱۵ را نام برد که هنوز هم ساخته می شود و از گینه ی (جنس CaO، O₂Na، یا SiO₂ هر کدام ۷۲٪، ۲۷٪، ۶٪) است. پوسته الکترو دهای تازه که از شایمانی بالاتری برخوردار است و گستره کاری بیشتری دارد، آمیزه ای از CaO، LiO₂ و SiO₂ (با درصد ۶۸٪، ۲۵٪، ۷٪) است.

از ساختارهای (فرمول) دیگری نیز می توان برای ساخت پوسته بهره برد. درون پوسته از بافری که بیشتر از فسفات یا استات و دارای یون کلر است پر شده است. یک سیم نقره ای که رویه آن با کلرور نقره پوشانده شده پیوند کهربایی با فررا با بیرون برپا می کند. بخش بالای ساقه بسته و الکترو د با یک سیم کو اکسیل به pH سنج پیوسته است. برای این پیوند از فیش های گوناگونی می توان بهره برد. کابل بسیاری از الکترو دهای تازه، توانایی جدا شدن از الکترو د را دارد و هنگام جابجایی الکترو د نیازی به جابجایی کابل نیست.

روش کار الکترو د شناساگر

کلفتی پوسته الکترو د، از ۱۰۰ تا ۵۰۰ میکرو متر است. همچنین پایداری کهربایی (مقاومت الکتریکی) آن از ۱۰ تا ۱۰۰۰۰ مگا اهم است. هرگاه این

شکل ۳)
پتانسیل سیستم
الکترودها



هیدروژن آبگونه ای است که الکتروده در آن جای دارد. پس کار الکتروده شناساگر، فراهم کردن توانی به فراخور آبگونه ای است که اندازه گیری می شود.

الکتروده بن مایه

الکتروده شناساگر یک نیم پیل را می سازد که برای اندازه گیری توان آن نیاز به یک نیم پیل دیگر است. توان این نیم پیل باید بی دگرگونی باشد و به گونه و چگالی آبگونه ای که در آن است بستگی نداشته باشد. به این نیم پیل الکتروده بن مایه می گویند. بدین گونه الکتروده شناساگر و الکتروده بن مایه یک پیل درست رامی سازند.

شوربختانه با این که خاصیتگاه بسیاری از لغزش های اندازه گیری pH، برآمده از الکتروده بن مایه است، رویکرد چندانی به آن نشده و ارزش آن نادیده گرفته می شود. در دنباله از میان چندین الکتروده بن مایه، الکتروده بن مایه سیم-کلور نقره را بررسی خواهیم کرد.

الکتروده بن مایه سیم-کلور نقره

این الکتروده از یک لوله شیشه ای ساخته شده که در درون آن یک سیم سیمین با پوشش کلور نقره است. یک دریچه در بخش بالای لوله گذاشته شده تا بتوان آبگونه الکترولیت را از آن، به درون لوله فرستاد و نیز با باز کردن آن (هنگام کار)، فشار هوا را در درون لوله و

بیرون یکسان نمود. اندازه نشت از دیافراگم به گونه آن بستگی دارد و بیشتر از ۴ تا ۴ میکرو لیتر در ساعت است ولی برای کاربردهای ویژه حتی دیافراگم هایی با نشت ۷/۵ تا ۴ میلی لیتر در ساعت نیز بکار می رود. درون لوله شیشه ای از آبگونه KCl با چگالی از ۳ مولار تا اندازه سرشار، پر شده است. آبگونه KCl از کلرور سیم سرشار است. این الکتروده با سیمی که از الکتروده جدا پذیر است به دستگاه pH سنج پیوند می خورد.

توان این الکتروده در یک دمای ویژه، ناهمسان نیست و با برتری هایی که دارد (مانند سادگی ساخت، اندازه کوچک و کاربرد آن در دماهای بالا)، از پرکاربردترین الکترودها به شمار می رود.

الکتروده آمیخته

همانگونه که گفته شد برای اندازه گیری pH به دو الکتروده شناساگر و بن مایه نیاز است. برای آسانی کار و کم کردن جایی که الکترودها می گیرند، این دو الکتروده را با هم یکی کرده و به آن الکتروده آمیخته می گویند.

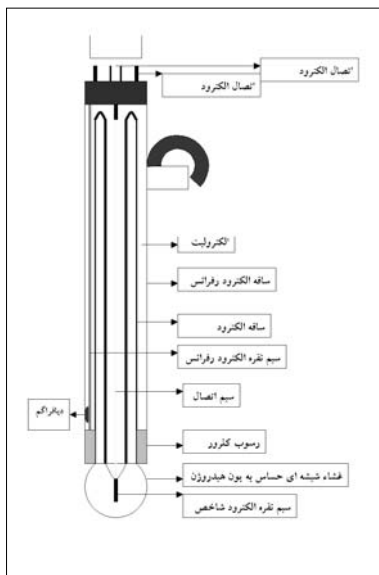
پس الکتروده آمیخته از یک الکتروده شناساگر و یک الکتروده بن مایه که بیشتر از گونه سیم-کلور نقره است ساخته می شود.

توان پدید آمده از الکترودها

همانگونه که در نگاره (۴) نشان داده شده است، توان پدید آمده از الکترودها گرداوردی از چندین توان است. ساختمان الکترودها باید به گونه ای باشد که توان الکتروده شناساگر، تنها پیروی (تابعی) از چگالی یون هیدروژن باشد و توان های دیگر تا جایی که می شود بی دگرگونی باشد. در ساخت الکترودها کوشش شده که برای $pH=7$ ، توان صفر و برای هر یکانی pH در دمای ۵۲^o سانتیگراد و در نهش آرمانی، توان ۵۹/۱۶ میلی ولت دیده شود. در جدول (۱) اندازه توان برای هر یکانه pH در دماهای گوناگون نشان داده شده است.

دمای، $^{\circ}C$	ضریب شیب، K ، Mv/ph	دمای، $^{\circ}C$	ضریب شیب، K ، Mv/ph
۰	۵۴/۱۹۹	۵۰	۶۴/۱۲۰
۵	۵۵/۱۹۱	۵۵	۶۵/۱۱۲
۱۰	۵۶/۱۸۳	۶۰	۶۶/۱۰۴
۱۵	۵۷/۱۷۵	۶۵	۶۷/۰۹۶
۲۰	۵۸/۱۶۷	۷۰	۶۸/۰۸۸
۲۵	۵۹/۱۵۹	۷۵	۶۹/۰۸۱
۳۰	۶۰/۱۵۲	۸۰	۷۰/۰۷۳
۳۵	۶۱/۱۴۴	۸۵	۷۱/۰۶۵
۳۷	۶۱/۵۴۰	۹۰	۷۲/۰۵۷
۴۰	۶۲/۱۳۶	۹۵	۷۳/۰۴۹
۴۵	۶۳/۱۲۸		

جدول (۱)
تغییرات پتانسیل برای
هر واحد pH در دماهای
مختلف



شکل ۴
الکترو د ادغام شده

۷۱ بر پایه میلی ولت در $pH=7$

۷۲ بر پایه میلی ولت در $pH=4$

در بهترین زمان، ۷۱ برابر صفر است
ولی تا ۲۰- میلی ولت نیز پذیرفتنی
است.

در بهترین زمان شیب الکترو د باید ۱
باشد ولی در مرز ۰/۹ تا ۰/۵ نیز پذیرفتنی
است.

آگاه باشید که یک الکترو د خوب در
۳۰ ثانیه درون بافر تراز می شود و
دگرگونی های pH آن کمتر از ۰/۱ یکانه
 pH در دقیقه می شود.

دیرزیوی الکترو د

پوسته هیدراته الکترو د شناساگر با
گذر زمان، دگرگون شده پاسخ آن آرام
آرام کند و الکترو د تنبل می شود. به
دنبال آن پایداری کهربایی آن افزایش
یافته و ولتاژ پدید آمده از اندازه ی نگری
بیشتر می شود. باید آگاه بود که اگر چه
می توان الکترو د را با روش شایسته
زنده کرد، ولی به هر روی
الکترو د دیرزیوی کرانمندی دارد و پس
از گذشت آن زمان باید الکترو د دیگری
را جایگزین کرد.

بخش های دستگاه

یک دستگاه pH سنج، دارای بخش های زیر است:

۱- **نمایشگر** : یا شاهنگی است و یا رقمی. در گونه های نوین آن
می توان به ریزبینی از ۰/۱ تا ۰/۰۱ یکانه نیز رسید.

۲- **دکمه سامانیش بافر** : برای نمایش اندازه pH آبگونه ی نخستین بافر
سنجه که بیشتر در مرز $pH=7$ است از یک پایش دستی بهره برده
می شود.

۳- **دکمه سامانیش دما** : pH سنج یک پایش دستی یا خودکار برای
ساماندهی دما دارد.

۴- **دکمه سامانیش شیب** : pH سنج، دارای پایشی برای ساماندهی و
نمایش اندازه pH آبگونه ی دومین بافر سنجه (بیشتر ۹/۴ و ۱۰) است.

۵- **در آگاه الکترو د** : روی هر pH سنج یک در آگاه برای پیوست
الکترو دهست.

۶- **در آگاه حسگر دما** : بیشتر pH سنج های یک درگاهی برای دما دارند.

۷- **برونگامی pH متر** : در بیشتر pH سنج ها و اشدها گاه های گوناگون
برای نگارنده، چاپگر، رایانه و یا دستگاه های پیوستی دیگر دیده شده
است.

نکته های برجسته درباره الکترو د pH سنج

به هنگام کاربری دستگاه های pH سنج، آگاهی از چند نکته بایسته
است:

۱- الکترو د را دست کم ۸ ساعت پیش از کار در آبگونه شایسته نگه
دارید. برای این کار بیشتر از آبگونه KCl با مولاریته ۳ بهره می برند.

۲- آگاه باشید که حباب شیشه ای سه شمنند از آبگونه پر شده باشد. اگر
الکترو د درست باشد، با تکان دادن حباب می توان به این پرسمان پی برد.

۳- پیش از کاربری، الکترو د را با آب مقطر (چکد آب) آبکشی کنید.

۴- آگاه باشید که میانبرده الکترو د یک سانتی متر زیر رویه آبگونه باشد
و الکترو د به کف ظرف و یا کناره ها نچسبیده باشد.

۵- کارکرد درست الکترو د شناساگر بستگی به لایه هیدراته پوسته
شیشه ای دارد. در نهش های ویژه ای (که در زیر آمده) این لایه آسیب
می بیند:

الف) اندازه گیری pH در آبگونه HF در pH پایین تر از ۴.

ب) اندازه گیری در آبگونه های بازی در دمای بالا، آبگونه های
آب گیر نیرومند، آبگونه های دارای آونگان ساینده مانند سیلیس و ...

۶- شیب الکترو د: شیب الکترو د از پیوند زیر به دست می آید:

$$\text{شیب الکترو د} = \frac{V_2 - V_1}{3} * \frac{1}{59.16}$$

روش های نگهداری از pH سنج

باید آگاه بود که چنانچه دکمه سامانش دما و شیب، بیش از اندازه چرخانده شوند، این دکمه ها از سامان بیرون می رود. سنجامندی آن هم نیاز به ویژه کاری دارد. همچنین باید آگاه بود که تنها کارشناس های پروانه دار باید دستگاه را بازسازی کنند، زیرا پرگارهای بیشتر pH سنج ها به گونه ای است که کهربای آرמידه دست یا ابزار می تواند آسیب بسیاری به آن برساند. پس بازسازنده و ابزار وی باید به سیم زمین پیوند شوند.

بن مایه ها

- [1] Text book of clinical chemistry, Norbert W. Tietz: W.B. Saunders company: 1986: ISBN 0-7216-8886-1
[2] The Merck Index :Ninth Edition: Merck Publication: 1976: USA: ISBN 91910-26-3
[3] Principles and Problems of pH Measurement: Dr Hans Buhler: 1980
Ingold Publication
[4] Electrodes in Potentiometry: Ursula Tinner: A: monographs from Metrohm
[5] Application Bulletin No. 188/1 Metrohm

۶- ماهنامه مهندسی پزشکی - شماره ۴۲

واژه نامه

آبگونه: محلول
آونگان: سوسپانسیون
بازسازنده: تعمیرکار
بن مایه: رفرنس
بی کنش: خنثا
پرسمان: مسئله
پرگاره: مدار
پیل: باتری
تراز: تعادل
توان: پتانسیل

چکیداب: آب مقطر
درآیگاه: ورودی
دیرزیوی: طول عمر
ساختاره: فرمول
سامان: نظم
سامانش: تنظیم
سرشار: اشباع
سنجامندی: کالیبراسیون
سنجه: استاندارد - معیار - محک
سهشمند: حساس
سیم: نقره
سیمین: نقره ای
شاهنگ: عقربه
شناساگر: معرف
کرانمند: محدود
کهربای آرמידه: الکتروسیته ساکن
کهربایی: الکتریکی
گرداورد: مجموعه
گینه: جنس
میانپرده: دیافراگم
ناهمتوانی: اختلاف توانی
نگارنده: ثبات - Recorder
نگری: نظری
نهش: وضعیت - حالت
نهش ها: وضعیت ها - حالت ها -
شرایط
واشدگاه: خروجی
ویژه گری: تخصص
یکانه: واحد

