

مقدمات، آشنایی، اصول فنی و نگهداری تجهیزات آزمایشگاهی - قسمت دوم

pH متر



شکل ۲. دکتر آرنولد بک من همراه با دستگاه اختراعی خود

اندازه گیری pH یکی از متداول ترین تکنیک های تجزیه است که برای تعیین قدرت اسیدی - بازی یک نمونه مورد استفاده قرار می گیرد. این کمیت به دو روش یکی با استفاده از معرف های رنگی اسید و باز (به صورت کاغذ یا محلول با مقیاس رنگی) و دیگری به روش الکترونیکی (دستگاه pH متر) به کمک الکتروود اندازه گیری می شود. این الکتروود یک سنسور الکتروشیمیایی است که خود شامل یک الکتروود رفرانس یا مرجع و یک الکتروود داخلی در یک محفظه شیشه ای یا همان الکتروود شیشه ای است (در ادامه به این مهم بیشتر پرداخته شده است). ولتاژ غشاء الکتروود متناسب با pH محلول نمونه تغییر می کند، ولتاژ غشای الکتروودهای معمولی که امروزه استفاده می شود در $pH=7$ برابر صفر میلی ولت است.

موارد استفاده از pH متر

pH مترها، در آزمایشگاه برای اندازه گیری pH فرآورده های خون کاربرد دارند. pH پلاسما وضعیت بالینی بیمار را ارزیابی می کند و معمولاً بین ۷,۳۵ تا ۷,۴۵ است. این مقدار در نتیجه تعادل واکنش های اسیدی - بازی در بدن ایجاد می شود. اسید به طور مستمر، یون هیدروژن آزاد می کند و موجود زنده با تولید یون بی کربنات این حالت را خنثی کرده و یا در تعادل نگه می دارد. نسبت بین اسید - باز در موجود زنده به وسیله کلیه ها انجام می شود. pH پلاسما یکی از عواملی است که با توجه به سن و شرایط سلامتی بیمار فرق می کند. جدول زیر مقادیر pH بعضی از مایعات بدن را نشان می دهد.

مایع	pH
صفرا	7.8 - 8.6
بزاق	6.4 - 6.8
ادرار	5.5 - 7
شیره معدده	1.5 - 1.8
خون	7.35 - 7.45

جدول ۱. مقادیر pH بعضی از مایعات بدن

ساختمان دستگاه pH متر

pH مترها صرف نظر از تفاوت های ظاهری و ساختاری، در اصل یک سلول یا پیل الکتروشیمیایی هستند و از دو بخش اصلی تشکیل شده اند:

ساخت نخستین دستگاه pH متر (شکل ۱) توسط آرنولد بک من (شکل ۲) در سال ۱۹۳۴ میلادی انجام شد. البته ساخت الکتروود شیشه ای pH خیلی قبل تر از آن و در سال ۱۹۰۶ میلادی توسط فریتز هاربر و زیگمنت کلمنزی ویکر صورت گرفت. آنها دریافتند که با استفاده از یک حباب شیشه ای کوچک به نام الکتروود شیشه ای و قرار دادن یک مایع داخل آن و مایع دیگری در بیرون آن می توان ولتاژ الکتریکی ایجاد کرد که توسط آن فعالیت یون هیدروژن قابل اندازه گیری شود. به دلیل اینکه مقاومت داخلی الکتروود شیشه ای معمولاً بین $10M\Omega$ تا $100M\Omega$ بود. لذا حساسیت آن برای اندازه گیری ولتاژ، بسیار کم می شد و مجبور بودند از گالوانوسکوپ های بسیار حساس استفاده کنند. این کار خود باعث افزایش هزینه تولید می شد. بعد از اختراع تیوب های الکترونی و پس از تولید ترانزیستورهای اثر میدانی و مدارات مجتمع با جبران حرارتی، اندازه گیری دقیق ولتاژ الکتروود شیشه ای امکان پذیر شد. ولتاژ تولید شده توسط یک واحد pH به عنوان مثال از $pH=7.00$ تا 8.00 - معمولاً حدود ۶۰ میلی ولت است. اگرچه pH سنج های امروزی دارای ریزپردازنده هایی است که امکان تصحیح دما و کالیبراسیون را دارد ولی هنوز هم این pH سنج ها مشکل رانش یا تغییرات تدریجی را دارد که این مهم، ضرورت کالیبراسیون مکرر آنها را سبب می شود.



شکل ۱. نخستین دستگاه pH متر

● الکتروود شناساگر (Indicator Prob)

● مدار اندازه گیری کننده

هر یک از این دو بخش دارای ساختمان داخلی مجزا و وظایف خاصی هستند که در ادامه به آنها می پردازیم.

● الکتروود شناساگر

اولین بخش یک pH متر یعنی الکتروود شناساگر، در حقیقت ترکیبی از دو الکتروود به نام های الکتروود شیشه ای و الکتروود مرجع کالومل است. اساس بسیاری از اندازه گیری های الکتروشیمی بر مبنای تغییراتی است که در الکتروود شناساگر روی می دهد. این الکتروود نسبت به غلظت یون خاصی که یون H^+ است عکس العمل نشان می دهد. معمولاً از الکتروود های انتخابگر یون - Ion Selective Electrode یا همان ISE به عنوان الکتروود شناساگر استفاده می شود.

پیش از پرداختن به الکتروود شیشه ای و مرجع، به معرفی انواع ISE می پردازیم:

۱- Ion Selective glass

این شیشه ها حاوی فلزات به خصوصی است که اجازه عبور یون هایی مثل H^+ ، Na^+ ، NH_4^+ را از شیشه می دهد. این دیفیوژن یون ها باعث ایجاد و تغییر پتانسیل الکتریکی می شود که توسط روش های خاص (با استفاده از معادله نرنست) به غلظت یون ها تبدیل می شود.

۲- Solid State Electrode

شامل کریستال هایی است که در غشای نقره-کلرید غیرفعال قرار داده شده است. سایر هالوژن های مورد نظر با به کار بردن کریستال های هالید نقره آنها در غشاء اندازه گیری می شود. این نوع الکتروود در اندازه گیری کلر عرق به طور مستقیم از سطح پوست به کار می رود.

۳- Liquid Ion-Exchange Membranes

شامل یک حلال غیر قابل امتزاج در آب و خنثی است که کرایر- Carrier حاوی یون های خاص را در خود حل می کند. یون های خارج غشاء، همان یون های باند شده به ماده Ion-Exchange، در داخل الکتروود ایجاد پتانسیل می کند که با غلظت آنها متناسب است. در الکتروودها مخصوص پتاسیم، کرایر یک آنتی بیوتیک حلقوی به نام valinomycin است که دارای یک حفره در وسط مولکول خود است و دقیقاً هم اندازه یون پتاسیم است. مسئله مهم در این الکتروودها، اختصاصی بودن آنها است. الکتروود سدیم برای سدیم نسبت به پتاسیم ۳۰۰ برابر ترجیح دارد. الکتروود پتاسیم برای پتاسیم نسبت به سدیم ۱۰۰۰ برابر ترجیح دارد.

« الکتروود شیشه ای

یکی از متداول ترین الکتروودهای انتخابگر یون، الکتروودهای شیشه ای است که برای تعیین و اندازه گیری pH مورد استفاده قرار می گیرد. الکتروودهای شیشه ای جزو الکتروودهای غشایی بوده و غشای شیشه ای آن بسته به یونی که می خواهیم اندازه گیری کنیم متفاوت است. در pH متری، الکتروود شیشه ای را انتخاب می کنیم که غشای آن نسبت به تغییرات یون هیدروژن محلول، حساسیت داشته باشد. مواد به کار رفته در ساختمان الکتروود شیشه ای به طور تقریبی شامل: $CaO = 72\%$ ، $SiO_2 = 6\%$ ، $Na_2O = 22\%$ است.

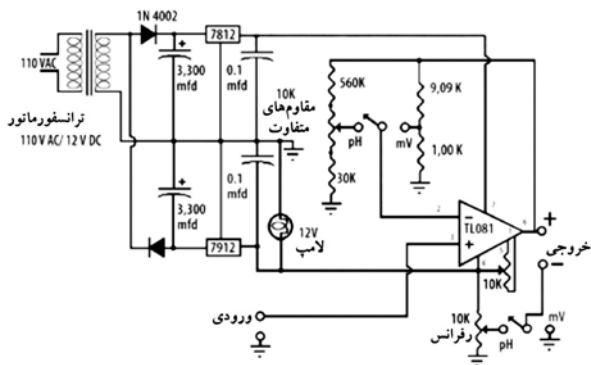
الکتروود شیشه ای از اتصال یک حباب شیشه ای نازک به ضخامت ۰.۱mm و حساس به pH به انتهای یک لوله شیشه ای با دیواره ضخیم ساخته شده است. درون حباب کوچک توسط محلول ۰.۱mol/L کلرید پتاسیم با $pH = 7$ و یا هیدروکلرید اسید ۰.۱mol/L با $pH = 1$ به عنوان بافر پر شده است. یک سیم از جنس نقره آغشته به کلرید نقره از دیواره های شیشه ای عبور کرده و وارد محلول شده و توسط یک هادی خارجی به یکی از دو پایانه وسیله اندازه گیری پتانسیل متصل می شود. برای کم کردن تداخل الکتریکی، الکتروود با یک غلاف ورقه ای محافظت می شود.

« الکتروود مرجع

الکتروودی با پتانسیل معلوم است که برای تعیین پتانسیل سایر الکتروودها مورد استفاده قرار می گیرد (چون الکتروود درون محفظه ای با غلظت ثابت نمک قرار داده شده است). پتانسیل الکتروود استاندارد (پتانسیل صفر)، اساس تعیین پتانسیل سایر الکتروودها است، این الکتروود به دو صورت ساخته می شود. نوع اول آن از یک سیم نقره یا پلاتین نقره اندود شده تشکیل شده است که روی آن به روش الکتریکی با لایه نازکی از کلرید نقره پوشانده شده و آن را در محلول کلرید پتاسیم اشباع قرار داده اند. تهیه این الکتروودها ساده بوده و مدت ها سالم می ماند. نوع دیگری از الکتروود مرجع که مناسب ترین نوع آن است، الکتروود کالومل است که در آن از الکتروود جیوه سفید در محلول کلرید پتاسیم استفاده شده است. پایه کار این الکتروود واکنش جیوه و کلرید جیوه یا همان کالومل است. فاز آبی که بین این دو ارتباط برقرار می کند کلرید پتاسیم اشباع در آب است، یک مفتول پلاتینی نیز ارتباط جیوه با مدار الکتریکی را برقرار می کند. الکتروود لوله ای مرجع دارای صفحه ای از جنس شیشه است که توسط لایه ای از ژل آگار اشباع شده با کلرید پتاسیم برای جلوگیری نشت محلول از لوله، پوشانده شده و بر روی آن لایه ای از کلرید پتاسیم جامد قرار گرفته است. مابقی لوله

مدار اندازه گیر، ولتاژ الکتریکی را دریافت کرده و آن را تقویت می کند و در نهایت آن را به صورت میزان pH نشان می دهد. اساساً مدار pH متر چیزی بیش از مدار یک ولت متر ساده نیست که در خروجی به جای قرائت مقدار در واحد ولت، به صورت pH نشان داده می شود. مدار یک pH متر ساده معمولاً دارای پیش تقویت کننده هایی با بهره ولتاژ-gain تقریباً ۱۷ است. این پیش تقویت کننده، ولتاژهای بسیار کم تولید شده به وسیله الکتروود یا پروب (+۰.۰۵۹ volt/pH) در باز و (-۰.۰۵۹ volt/pH) در اسید) را به واحد pH تبدیل می کند. به عنوان مثال: در pH با مقیاس خنثی یا همان صفر، ولتاژ صفر در خروجی الکتروود به صورت زیر است:

$$0 \times 17 + 7 = 7$$



شکل ۶. نمونه ای از مدار الکتریکی قسمت اندازه گیر دستگاه pH متر.

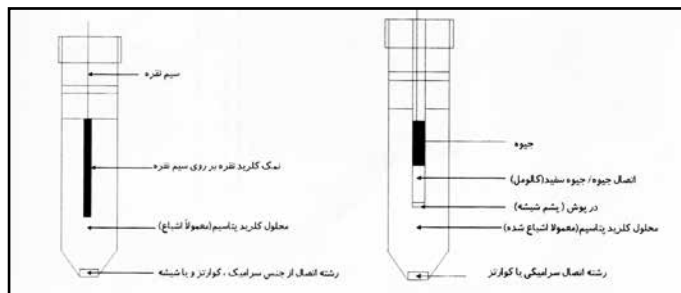
انواع pH متر

pH مترها را می توان به دو گروه اصلی؛ pH مترهای قلمی (ساده) و pH مترهای رومیزی تقسیم بندی کرد. هر یک از این دو گروه دارای خصوصیات ویژه ای هستند که موجب می شود محل استفاده و نوع کاربرد آنها با هم متفاوت باشد.

• pH متر قلمی

این گروه از pH سنجه ها معمولاً بسیار ساده و کوچک بوده و دارای یک الکتروود ترکیبی بوده، اندازه آنها در حد یک ماژیک یا کمی بزرگ تر است. برخی از انواع این pH مترها قادر به اندازه گیری دما نیز هستند. دقت این pH مترها کمتر از نوع رومیزی است. با توجه به اندازه و وزن کم این pH مترها، معمولاً در تحقیقات میدانی (محلی دور از آزمایشگاه) استفاده می شود. مزیت دیگر این نوع pH متر، پایین بودن قیمت آن نسبت به نوع رومیزی است. در شکل ۷ نمونه ای از این نوع pH متر نمایش داده شده است.

با محلول کلرید پتاسیم اشباع پر شده است. چند قطره از محلول نیترات نقره به آن اضافه شده است تا آن را نسبت به کلرید نقره اشباع کند. قسمت نوک اتصال الکتروود با مایع از جنس سرامیک منفذدار یا ماده ای مشابه ساخته شده است (شکل ۳).

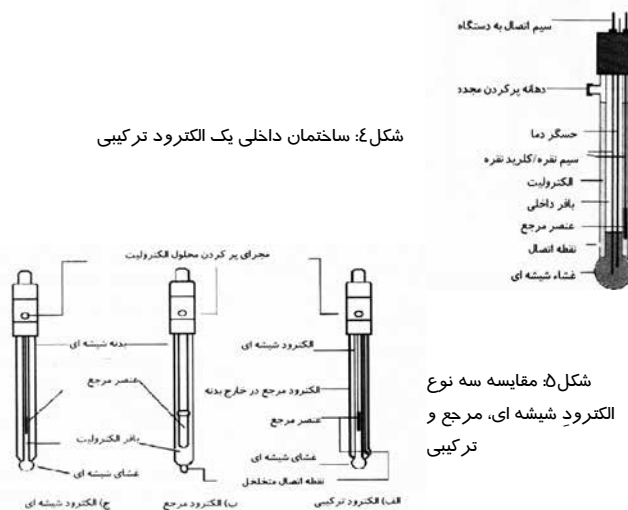


شکل ۳. نمای ساختمان داخلی دو نوع الکتروود مرجع. سمت راست، الکتروود اشباع شده کالومل و سمت چپ، الکتروود نقره/کلرید نقره.

« الکتروود ترکیبی

امروزه بسیاری از الکتروودهای pH سنجه را به صورت ترکیبی می سازند که ساختمان داخلی آنها از یک الکتروود شیشه ای در مرکز و یک الکتروود مرجع که آن را در برگرفته تشکیل شده است. ضمن اینکه بسیاری از pH سنجه ها دارای پروب ترمیستور دمایی برای تصحیح خودکار دما هستند. در شکل ۴ ساختمان داخلی یک الکتروود ترکیبی نمایش داده شده است. همچنین در شکل ۵ تصویری شماتیک از مقایسه سه نوع الکتروود شرح داده شده برای درک بهتر مطلب نشان داده شده است.

شکل ۴: ساختمان داخلی یک الکتروود ترکیبی



شکل ۵: مقایسه سه نوع الکتروود شیشه ای، مرجع و ترکیبی

• مدار اندازه گیر

شکل ۶ سیستم کنترل جریان برق در یک pH متر را که طراحی های گوناگون و متفاوت می تواند داشته باشد، نشان می دهد.



شکل ۷. pH متر قلمی

پتانسیل را به کمک معادله نرنست می توان به دست آورد:

$$E = E_0 - 0.05916 \times \text{Log}$$

از اینکه داریم :

$$\text{Log} = - \text{Log}x$$

معادله فوق به این صورت درمی آید:

$$E = E_0 + 0.05916 \times \text{Log}$$

برای نیم سلول هیدروژن E_0 مساوی صفر است. می دانیم :

$$\text{Log} = - \text{pH}$$

با جایگزین کردن این کمیت ها خواهیم داشت :

$$E = - 0.05916 \times \text{pH}$$

از معادله نرنست می توان به این نتیجه رسید که هر واکنشی که شامل یون هیدروژن باشد، دارای پتانسیل وابسته به غلظت یون هیدروژن است. در pH سنخ، با ترکیب الکتروود مرجع و الکتروود شیشه ای می توان pH یک محلول را به روش الکترونیکی اندازه گیری کرد. الکتروود شیشه ای تولید ولتاژی در حدود ۵۹ میلی ولت به ازای هر واحد pH می نماید و در pH=۷ ولتاژ تولیدی توسط این الکتروود برابر صفر ولت است. پتانسیلی که بوسیله الکتروود پدید می آید، توسط یک میلی ولت سنخ اندازه گیری می شود. ولتاژ حاصله توسط الکتروود، یک تابع خطی از pH است. دانستن این رابطه موجب شد که pH متر را مستقیماً به جای میلی ولت با واحد pH درجه بندی کنند.

نکات مهم هنگام استفاده از الکتروود

- بهتر است قبل از اندازه گیری PH توسط الکتروود، محلول ها خوب مخلوط و به هم زده شود.
- برای جلوگیری از خشک شدن الکتروود pH متر باید بعد از هر بار استفاده از آن با آب یا کلرید پتاسیم شست و شو شوند. برای فواصل زمانی طولانی پیشنهاد می شود الکتروود در محلول کلرید پتاسیم با pH=۴ یا بافر کالیبراسیون اسیدی نگهداری شود.
- یک مایع با pH=۴ دارای ۱۰۰۰۰ یون هیدروژن بیشتر از یک مایع با pH=۸ است. بنابراین اگر الکتروود که در محلول اسیدی نگهداری می شود قبل از استفاده و قرار دادن آن در محلول نمونه شست و شو نشود می تواند روی نتایج تاثیرات نامطلوبی گذاشته و مقادیر بدست آمده غیر واقعی شوند.
- با توجه به اینکه محلول های کالیبراسیون از بافرهای شیمیایی با pH تقریباً ثابت تشکیل شده اند، هرگونه آلودگی شیشه حاوی نمونه با بافر باعث بروز خطا می شود.
- اگر الکتروود به مدت طولانی در آب مقطر نگهداری

• pH متر رومیزی

برای ساخت این نوع pH متر محدودیت فضایی و وزنی وجود ندارد. برای تولید الکتروود ترکیبی و اندازه گیر، ساختارهای دقیق تری به کار گرفته شده که این امر موجب افزایش دقت آنها نسبت به نوع قلمی شده است. از سویی عدم محدودیت فضایی این امکان را به تولید کنندگان داده تا بتوانند امکانات تحلیلی و اندازه گیری بیشتر را به این نوع pH متر اضافه کند. در نتیجه pH مترهای رومیزی فاکتورهای بیشتری از محلول را می توانند بررسی کنند. بنابراین اطلاعاتی که به کاربر می دهند بسیار کامل تر است. اگرچه pH مترهای رومیزی دارای دقت و امکانات بسیار بیشتری نسبت به نوع قلمی بوده، اما قیمت آنها نیز چندین برابر انواع قلمی است.

چگونگی کارکرد PH متر

زمانی که یک فلز با یک مایع اسیدی یا نمکی تماس پیدا می کند پتانسیل الکتریکی بوجود می آید که نتیجه آن منجر به اختراع باطری ها شد. به همین ترتیب تماس دو مایع با یکدیگر نیز می تواند موجب تولید پتانسیل الکتریکی شود. pH متر در واقع یک سلول یا پیل الکتروشیمیایی است. پیل ها از دو الکتروود تشکیل شده اند و در pH متر، این دو الکتروود عبارتند از مرجع کالومل و الکتروود شیشه ای. یک pH متر در اصل، پتانسیل الکتروشیمیایی بین یک مایع معلوم در داخل الکتروود شیشه ای و یک مایع مجهول در بیرون آن را اندازه گیری می کند. البته برای جداسازی دو مایع از یکدیگر نیاز به یک غشاء است. لازم به ذکر است که دستگاه فقط ولتاژ الکتریکی را می سنجد.

برای تشکیل یک پل هدایت الکتریکی به الکتروود شیشه ای، الکتروود مرجع و نشتی جزئی یون ها از الکتروود مرجع نیاز است. از آنجا که حباب شیشه ای نازک بیشتر به یون های کوچک و با قابلیت انتقال سریع مانند یون هیدروژن اجازه فعل و انفعال با شیشه را می دهد، لذا الکتروود شیشه ای پتانسیل الکتروشیمیایی یون های هیدروژن یا پتانسیل هیدروژن را اندازه گرفته و این اختلاف پتانسیل به pH محیط نسبت داده می شود. این اختلاف



- از شارژ بودن باتری ها اطمینان حاصل کنید (اگر دستگاه این قابلیت را دارد). در صورت نیاز، آنها را تعویض کنید.
- فعالیت و کارکرد دستگاه را با اندازه گیری pH یک محلول با pH مشخص آزمایش کنید.

- از اتصالات سیم زمین و انتقال صحیح جریان اطمینان حاصل نمایید.

◀ **نگهداری الکترودها:** بی شک عملکرد صحیح دستگاه، بستگی به کاربرد درست الکترودها و نگهداری صحیح آن دارد. این مهم بهتر است هر ۴ ماه یک بار انجام شود و اغلب بررسی هایی که می بایست مورد توجه قرار گیرد به قرار زیر است. نظافت الکترودها به نوع آلودگی که روی عملکرد آنها تأثیرگذار است، بستگی دارد. مراحل متداول در زیر خلاصه شده است:

- نظافت عمومی الکترودها را در محلول ۰,۱ مولار HCl و یا در محلول ۰,۱ مولار HNO₃ به مدت ۲۰ دقیقه فرو ببرید. سپس با آب شستشو دهید.
- تمیزکردن باکتری ها و رسوبات الکترودها را در محلول سفید کننده رقیق شده به مدت ۱۰ دقیقه وارد کنید، سپس با آب فراوان شستشو دهید.
- تمیزکردن روغن و گریس ها الکترودها را با پاک کننده معمولی و یا با متیل الکل شستشو دهید و سپس با آب بشویید.
- تمیزکردن رسوبات پروتئین الکترودها را در محلول ۱٪ پیپسین و محلول ۰,۱ مولار HCl به مدت ۵ دقیقه وارد کنید. سپس با آب شستشو دهید.
- بعد از هر مرحله از مراحل فوق، الکترودها را با آب دیونیزه

شود، به دلیل اینکه الکترودها دارای محلول KCl است به تدریج این محلول وارد آب مقطر شده و در نتیجه موجب بروز اختلال در کار الکترودها می شود.

- نکته مهم دیگری که در مورد استفاده از الکترودها مورد توجه قرار می گیرد این است که از قرار دادن الکترودها در محلول هایی که با نقره واکنش می دهند می بایست خودداری شود.

- معمولاً توصیه می شود که از الکترودها برای محلول هایی حاوی موادی نظیر فلزات سنگین، پروتئین ها، آب مقطر (به دلیل ناچیز بودن یون در آن)، محلول های حاوی سدیم بالا، سولفید، محلول های آلی به دلیل اینکه موجب کاهش طول عمر الکترودها می شوند استفاده نشود.

- طول عمر الکترودها اگر به درستی نگهداری شوند معمولاً حدود دو سال است و پس از این مدت می بایست تعویض شود. علت خرابی الکترودها، وقوع الکترولیز مرتب در الکترودها است.

- فرسودگی یک الکترودها زمانی محرز می شود که نمایش میزان پتانسیل الکتریکی محلول یونی مورد آزمایش بیش از ۲۰ ثانیه از زمان فروردن الکترودها در آن به طول انجامد.

- از تشکیل حباب هوا در نوک الکترودها پس از قرار گرفتن در محلول می بایست جلوگیری شود زیرا حباب هوا موجب رانش پتانسیل الکترودها می شود.

الزامات نصب و راه اندازی

pH متر با استفاده از جریان الکتریکی با مشخصات زیر کار می کند. منبع نیروی تک ولتاژ ۱۱۰ ولت یا ۲۲۰-۲۳۰ ولت با فرکانس های ۵۰-۶۰ هرتز بسته به مناطق مختلف دنیا.

نگهداری عمومی pH متر

نگهداری pH مترها شامل: نگهداری بدنه pH متر و الکترودهای آن است.

◀ **نگهداری عمومی بدنه pH متر:** معمولاً هر ۶ ماه یک بار انجام می شود و اغلب بررسی هایی که می بایست مورد توجه قرار گیرد به قرار زیر است.

- شرایط فیزیکی و ظاهری pH متر، تمیزی بدنه، محافظت و تنظیم آن را کنترل کنید.
- کابل ها، اتصالات و همچنین تمیزی آنها را کنترل نمایید.
- کنترل های دستگاه را بازمینی کنید. از فعال شدن بدون مشکل آنها اطمینان حاصل کنید.
- از کارکرد صحیح نشانگر کلید روشن دستگاه اطمینان حاصل کنید.
- گیره نگهدارنده الکترودها را کنترل کنید. اتصالات الکترودها به بدنه را بازمینی کرده و از شل نبودن الکترودها و طول مناسب آن اطمینان حاصل کنید.

شستشو دهید و الکتروود فرانس را پیش از استفاده پر کنید.



اقدامات پیشگیرانه دیگر

- با توجه به اینکه بدنه الکتروود از شیشه ساخته شده و خیلی شکننده است، باید با مهارت با آن کار کرد تا از هرگونه ضربه ای جلوگیری شود.
- به خاطر داشته باشید که عمر مفید الکتروود محدود است.
- وقتی از الکتروود استفاده نمی شود، آن را در محلول بافر نگهدارنده بگذارید.
- برای خشک کردن الکتروود توسط دستمال کاغذی، پس از پایان اندازه گیری و شست و شو با آب مقطر باید به این نکته توجه داشت که دستمال را نباید روی میله الکتروود کشید بلکه کافیست با دستمال آن را به آرامی لمس کرد.

کنترل کیفی pH متر

pH سنج هر روز باید توسط بافرهای با pH ۴ یا ۷ کالیبره شود. محلول های بافر مورد استفاده باید دارای pH نزدیک به ماده ی مورد بررسی باشند (بافر فسفات با pH=۷ و بافر استات با pH=۴). برای کالیبراسیون pH متر ابتدا باید دمای محلول بافر را به دستگاه بدهیم زیرا به علت تغییر غلظت با دما pH نیز تغییر می کند. البته در برخی مدل ها دما بصورت خودکار اندازه گیری می شود. جزئیات پروسه کالیبراسیون بستگی به مدل pH متر دارد ولی به طور کلی مراحل کالیبراسیون به این صورت است که ابتدا الکتروود را در بافر با pH=۷ قرار داده، ۳۰-۲۵ ثانیه زمان می دهیم تا اندازه گیر عدد ثابتی را نشان دهد. سپس اندازه گیر را روی عدد ۷ تنظیم می کنیم (تنظیم نقطه صفر). سپس باید الکتروود را با آب مقطر شستشو دهیم و آن را در محلول با pH=۴ قرار دهیم و باز همانند آنچه گفته شد اجازه می دهیم تا اندازه گیر عدد ثابتی را نشان دهد و سپس اندازه گیر را روی pH مربوطه تنظیم می کنیم. حالا pH متر کالیبره شده و آماده اندازه گیری pH محلول های مورد آزمایش است. لازم به ذکر است که باید قبل از قرار دادن الکتروود در محلول مورد آزمایش آن را با آب مقطر بشوئیم تا باقی مانده محلول pH=۴ بر روی اندازه گیری pH محلول مورد آزمایش تاثیر نگذارد.

خطاهای احتمالی

- گاهی اوقات pH خوانده شده به شکل نوسانی است. اگر نوسانات ناچیز بود به کمک دکمه کالیبره عدد ۷ مربوط به وضعیت صفر دستگاه را تنظیم می کنیم.
- در صورت مواجه شدن با نوسانات بزرگتر که ممکن است در اثر اتصال نادرست کابل های دستگاه یا الکتروود به وجود آمده باشند، بررسی خطوط اتصال در اولویت قرار دارند.
- باید توجه داشت که بافرهایی با pH بالا تمایل دارند تا CO_۲ را جذب کنند که این امر موجب ایجاد خطای خوانش می شود بنابراین بهتر است عمل کالیبراسیون را در ظروف پلاستیکی و بلافاصله پس از پرشدن لوله آزمایش توسط محلول بافر انجام داد. علت استفاده از ظروف پلاستیکی این است که CO_۲ از شیشه رد میشود و باعث تغییر pH می گردد.
- در صورتی که عبارت wrong buffer بر روی صفحه نمایش ظاهر شود، بهتر است از یک الکتروود جدید استفاده شود یا اینکه الکتروود قبل را تمیز کرده و مجدداً از آن استفاده شود.
- اگر عبارت wrong electrode به نمایش درآمد به این معنی است که الکتروود به خوبی متصل نشده است.
- اگر الکتروود کثیف یا با روغن و غیره مسدود شده باشد، دستگاه اندازه گیری صحیحی را نمایش نمی دهد. محلول های تمیز کننده ای برای رفع این مشکل وجود دارند.
- الکتروود شیشه ای هم نسبت به غلظت یون هیدروژن و هم نسبت به یون های فلزات قلیایی موجود در محلول بازی پاسخ می دهد که این موضوع باعث ایجاد خطایی به نام خطای قلیایی می شود. بیشتر از همه این خطا در صورت وجود یون سدیم دیده می شود. در این خطا، pH کمتر از مقدار واقعی نشان داده می شود زیرا این مقدار از pH، حاصل غلظت یون هیدروژن و یون های تک بار است.
- یک خطای دیگر به نام خطای اسیدی هم وجود دارد که در pH کمتر از ۰٫۵ رخ می دهد و در اثر آن، pH بیشتر خوانده می شود که البته علت آن کاملاً مشخص نیست.

رفع عیوب معمول

اگر الکتروود، pH بافرهایی که پیشتر ذکر شد را دقیق نشان نداد یکی از علت های آن می تواند آلوده بودن غشای شیشه ای الکتروود باشد. برای تمیز کردن غشای شیشه ای الکتروود، نوک آن را در محلول ۰٫۱ مولار اسید کلریدریک یا همان HCl به مدت ۱۵ ثانیه قرار دهید و بعد با آب مقطر شستشو دهید. سپس آن را در محلول ۰٫۱ مولار سود به مدت ۱۵ ثانیه قرار دهید و پس از اتمام ۱۵ ثانیه با آب مقطر شستشو دهید. این

اعمال را چند بار تکرار کنید. حال دوباره pH بافرها را چک کنید. اگر باز هم اشکال برطرف نشده باشد، نوک الکتروود را به مدت ۳۰ ثانیه در محلول ۲۰٪ آمونیوم بی فلوراید یا به مدت ۱۵ ثانیه در محلول ۱۰٪ هیدروفلوئوریک اسید قرار دهید. سپس با آب مقطر شستشو دهید. در مرحله بعد نوک الکتروود را به مدت ۳۰ ثانیه در اسید کلریدریک غلیظ قرار دهید. (این عمل برای حذف باقیمانده احتمالی فلئوئورید از روی غشای شیشه ای است) سپس با آب مقطر به خوبی شستشو دهید. الکتروود را به مدت یک ساعت در بافر با pH=۴ قرار دهید. سپس عملکرد الکتروود را بیازمایید اگر مشکل برطرف نشده باشد احتمالاً باید الکتروود را عوض کنید.

در ادامه بحث رفع عیوب معمول، به جدول مشکل یابی می پردازیم که این مهم هم خود به نوعی شامل عیوب معمول و شایع، علت احتمالی روی دادن این عیب ها و ارائه راه حل می شود (جدول ۲).

برخی از منابع

- Maintenance Manual for Laboratory Equipment , 2nd edition , World Health Organization (book) .
- Medical Laboratory Equipment ; Technical Maintenance and Quality Control Procedures , Seyed behzad Seyedalikhani (book) .
- Quality control in Shiraz Medical Laboratories by Farideh Razi (book).
- Maintenance and Repair of Laboratory Equipment, hospital and diagnostic by image, Geneva.WHO And etc .

مشکل	علت محتمل	راه حل
صفحه pH متر خوانده ثابت را نشان نمی دهد	داخل الکتروود حباب هوا وجود دارد	الکتروود را به طور کامل در محلول فرو ببرید
	الکتروود تمیز نیست	الکتروود را تمیز و دوباره کالیبر کنید
	الکتروود به طور کامل در محلول فرو برده نشده است	از اینکه الکتروود به طور کامل در محلول فرو برده شده است، اطمینان حاصل کنید
پاسخ الکتروود کند است	الکتروود شکسته است	الکتروود را تعویض کنید
	الکتروود کثیف یا روغنی است	الکتروود را تمیز و دوباره کالیبر کنید
صفحه pH متر پیغام خطا می دهد	وضعیت صحیح کاربری انتخاب نشده است	از انتخاب نوع وضعیت کاربری مناسب اطمینان حاصل نمایید
صفحه نمایش کالیبراسیون پیغام خطا می دهد	خطای کالیبراسیون وجود دارد	pH متر را دوباره کالیبر کنید
	محلول بافر کالیبراسیون مشکل دارد	از pH محلول بافر کالیبراسیون اطمینان حاصل نمایید
	الکتروود تمیز نیست	الکتروود را تمیز و کالیبر کنید
pH متر روشن است، اما پیامی روی صفحه نمایش وجود ندارد (فقط شامل دستگاه هایی که با باتری کار می کنند)	جاسازی باتری ها خوب نیست	قطبیت باتری ها را کنترل نمایید
	شارژ باتری ها تمام شده است	باتری ها را تعویض کنید
نشانهگر باطری در حال چشمک زدن است.	باطری ها خالی شده اند	باطری های نو جایگزین کنید

جدول ۲. جدول مشکل یابی