



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي  
جامعة الشهيد حمدة لخضر الوادي  
كلية التكنولوجيا

مذكرة مقدمة لنيل شهادة:

ماسـتـر أكاديمي

ميدان : علوم وتكنولوجيا

شعبة : هندسة طرائق

التخصص: هندسة كيميائية

من تقديم:

خلوط مروة.

مرخي شهرة.

بابه بثينة.

بعنوان

تصميم وإنجاز جهاز قياس درجة الحموضة  
لمتابعة المحاليل الكيميائية.

تمت مناقشة المذكرة في: 2022/06/15

أمام اللجنة المكونة من الأساتذة:

د/فرحات محمد فؤاد.	رئيساً	جامعة الوادي.
د/زغود محمد العيد.	مناقشاً	جامعة الوادي.
د/ محرم عبد الكريم.	مؤظراً	جامعة الوادي.

2022/2021

# شكر و تقديركم

قال رسول الله { صلى الله عليه وسلم } :

" من صنع إليكم معروفاً فكافئوه، فإن لم تجدوا ما تكافئونه فادعوا له حتى تروا أنكم كافأتموه "

الحمد والشكر لله الذي منحنا القوة والصبر الجميل لتحمل صعاب ومشقة إنجاز هذا العمل ووفقنا لإتمامه.

نتقدم بجزيل الشكر والتقدير إلى الأستاذ المشرف

"محرم عبد الكريم"

على كل ما قدمه لنا من توجيهات ومعلومات قيمة ساهمت في إثراء موضوع دراستنا في جوانبها المختلفة

والذي لم يبخل علينا من عطائه الوفير وتوجيهاته القيمة ونصائحه المفيدة لنا.

كما نشكره على المعاملة الطيبة وصبره علينا طيلة هذه الفترة جزاك الله عنا كل الجزاء والعطاء.

والشكر موصول إلى كل معلم أفادنا بعلمه ، من أولى المراحل الدراسية حتى هذه اللحظة.

كما نتوجه بالشكر الجزيل إلى جميع أعضاء لجنة المناقشة.

كما نشكر كل من ساندنا خلال مشوارنا التعليمي من أساتذة و طلبه وكل عمال كلية التكنولوجيا

لما قدموا لنا من مساعدات و تسهيلات و معلومات فلهم منا كل الشكر.

الحمد لله الذي وفقنا لهذا وما كنا لنصل إليه لولا فضل الله علينا  
 ثق أنك لن تبلغ مجداً ولن تصل للمعالي ، إلا بالصبر على عثرات الطريق ، إلا بالاستعانة بالله واليقين به  
 والدعاء بأن يمدك الله بالعون والقوة فلولا ما شققت طريقاً ولا بلغت

أهدي ثمرة جهدي

إلى أمي ومأمني وإيماني وأمتي ، إلى التي تعطي ولا تنتظر أن تأخذ مقابل العطاء

حماك الله لقلبٍ وريده أنت

إلى من يسطر على أذهاننا في كل مسلك نسلكه

أبي سندي وملجأئي ومأمني وضلعي الثابت الذي لا يميل ، أدامك الله ورعاك لتكون منارة دائمة في حياتي

إلى من صاغ لي من علمه حروفاً ومن فكره منارة تنير لي مسيرة العلم والنجاح فكان نعم المشرف

” أستاذي عبد الكريم محرم ”

إلى إخوتي وأخواتي الذين كان لهم الفضل في إزالة الكثير من العقبات والصعوبات من طريقي.

إلى من سرنا سوياً ونحن نشق الطريق معاً نحو النجاح ، إلى من تكاتفنا يداً بيد

ونحن نقطف زهرة تعلمنا .

صديقاتي.

إلى كل من سعى لوصولي إلى هذه الرتبة من أساتذة ومعلمين.

♣ خلوط مروة ♣

♥ فصحك فبشربنا هباً ♥

الحمد لله أولا وأخيرا إلى من بلغ الرسالة وأدى الأمانة إلى معلمنا الأول محمد

“صلى الله عليه وسلم”

إلى المرأة القوية التي حارب من أجل أن أرى النور مرة

ثم حاربت مرة أخرى لتراني ناجحة ،وتجاوزت كل شيء بدعائها إلى نوري  
ومنفذي الوحيد :

أمي

إلى من علمني أن الدنيا كفاح وسلاحها العلم إلى من سعى إلى راحتى ونجاحي

أبي

إلى عزوتي وسندي أوقات الحرج وشركائي أوقات السعادة أخواتي

«منى دعاء احلام حنان حبيبة وزوجة أخي فطيمة»

وأخوتي «سمير ماجر رياض»

إلى رفيقة الخطوة الأولى والأخيرة

مروة

إلى صديقة اللحظات الحلوة والمرّة

رباب

وإلى الأصدقاء القريبين من القلب

وثام ، حكيمه ، بثينة ، هاجر

إلى كل من ساند ومد لنا يد المساعدة من اساتذة وطلاب وعمال في كلية التكنولوجيا اهدي هذا العمل المتواضع

وأسأل الله عز وجل أن يوفقنا لما فيه من خير إنه نعم المولى ونعم النصير.

♣ مرخي شهرة ♣

الحمد لله والصلاة والسلام على رسول الله وأهله ومن والاه

الحمد لله الذي وفقنا لتتمة هذي الخطوة في مسيرتنا الدراسية بمذكرتنا هذه ثمرة الجهد والنجاح بفضلته تعالى

مهدة إلى الوالدين الكريمين حفظهما الله وأدامهما نوراً لدرربي

(أبي وأمي )

وإلى والديا (أم وأب ) زوجي اللذان شجعاني مرارا وتكرارا على إكمال مشواري الدراسي حفظهما الله

وإلى من لن ينساه قلبي زوجي الغالي جمال الدين أشكره على كل ما قدمه لي وما سيقدمه لأجلي في المستقبل إن

شاء الله

جمال الدين غربي

ولكل العائلة الكريمة التي ساندتني ولا تزال من أخوة وأخوات

وأشكر بالأخص أختي العزيزة منال على وقوفها بجانبني وتشجيعي في كل مرحلة

وإلى رفيقات دربي اللاتي قاسمني لحظاته رعاهم الله ووفقهم

( مروة - شهرة - سناء - راضية - نجاة - نسرين - صفاء - عايذة )

إلى كل هؤلاء اهدي هذه المذكرة المتواضعة.

♣ بابة بثينة ♣

## ملخص

في كثير من التطبيقات و الدراسات الكيميائية، الصناعية و الزراعية وغيرها يعتبر قياس الاس الهيدروجيني أمرا ضروريا. نسعى من خلال هذه الدراسة بالاعتماد على الطريقة الكهروكيميائية إلى تصميم وإنجاز جهاز قياس الـpH لمختلف المحاليل الكيميائية. تمتاز هذه الطريقة بالمرونة و سهولة استغلال الادوات و الموارد كما توفر قياسات و دقة عالية بالمقارنة مع الطرق الاخرى.

من أجل تصميم و انجاز المشروع قمنا في البداية بدراسة نظرية لمختلف طرق القياس الموجودة. ثم شرعنا بعملية التصميم انطلاقا من اختيار العتاد و القطع الصلبة كلوحة Arduino Uno و حساس الـpH و حساس الرطوبة و الحرارة و شاشة لإظهار نتائج القياس. ثم استعمال البرمجيات اللازمة لتكييف المشروع لتعمل على تلك القطع. اجرينا عملية محاكاة للجهاز المقترح بواسطة برنامج Proteus وتعريضه لمختلف الظروف لمعاينة النتائج و تحسين الدقة و الفعالية. و على ذلك الأساس تم إنجاز المشروع باستعمال القطع الحقيقية في المختبر. ثم قمنا بمعايرة النظام باستخدام محاليل منظمة حضرت مخبرياً. وقد أظهرت النتائج المحصل عليها وجود تطابق مع نتائج المحاكاة بدقة مقبولة وأظهرت امكانية استعمال و استغلال الجهاز في التطبيقات الحقيقية.

**كلمات مفتاحية:** جهاز قياس الـpH، الأس الهيدروجيني، أردوينو، Proteus، محاليل منظمة، حساس.

# Abstract

In many chemical, industrial, agricultural applications and studies, pH measurement is necessary. In this study, a design and implementation of pH measurement system for various chemical solutions based on the electrochemical method has been presented. The said method is characterized by flexibility and ease of exploitation of hardware and resources, in addition it provides high accuracy compared to the other methods.

In order to design and implement the project, we presented a theoretical study of the various existing measurement methods. Then we carried out the design process, starting with selecting the hardware and the hard parts such as the Arduino Uno board, the pH sensor, the humidity and temperature sensor, and an LCD to show the measurement results. Then the necessary software for adapting the project to work on those pieces has been used. We simulated the proposed system first by Proteus ISIS, and tested it with various conditions to preview the results, improve the accuracy and efficiency. Based on simulation results, we implemented the proposed system in the laboratory using real hardware. Calibration of the system was carried out using prepared buffer solutions in laboratory. The obtained results showed a similarity with the simulation results with good accuracy. It showed also the possibility of using and exploiting the device in real applications.

**Keywords: pH meter, pH, Arduino, Proteus, Buffer solution, sensor.**

# جدول المحتويات

VI.....	ملخص
VII.....	ABSTRACT
VIII.....	جدول المحتويات
XIII.....	مقدمة عامة
3.....	الفصل الأول
4.....	1. مقدمة
4.....	2. نبذة تاريخية
5.....	3. تعريف الرقم الهيدروجيني
6.....	4. أهمية الرقم الهيدروجيني
8.....	5. مفاهيم متعلقة بالأس الهيدروجيني
8.....	1.5. الأحماض و القواعد
10.....	2.5. الخلية الإلكترونية
10.....	3.5. الخلية الكهروكيميائية
10.....	4.5. الخلية الجلفانية (GALVANIC CELL)
11.....	5.5. جهد القطب
11.....	6.5. المحاليل المنظمة
12.....	7.5. تنظيم الـ PH بواسطة المحاليل المنظمة
13.....	6. خاتمة
14.....	الفصل الثاني
15.....	1. مقدمة
15.....	2. طرق قياس PH المحاليل
15.....	1.2 طرق القياس المرئية
15.....	1.1.2 الكواشف السائلة الملونة
16.....	2.1.2 الكواشف الورقية الملونة
16.....	2.2 طرق القياس الكهربيائية ( الكهروكيميائية)
16.....	معادلة نرنست (Nernst equation)

17	..... نقطة الصفر لقطب الجمع
18	..... 1.2.2. الاقطاب الزجاجية: Glass Electrodes
18	..... أ - مكونات القطب الفشائي الزجاجي
18	..... ب - كيف ينشأ الكُمون في القطب الزجاجي
20	..... ج - استجابة القطب الزجاجي لتغيرات الـ pH
20	..... د - انواع الاقطاب الزجاجية
20	..... ج-1 قطب الهيدروجين القياسي
21	..... ج-2 الأقطاب المرجعية (Reference electrodes)
23	..... ج-3 الأقطاب الانتقائية (Selective electrodes)
24	..... ج — 4 قطب المزيج الكهريائي (Combination electrode)
24	..... ج — 5 الأقطاب الفشائية الزجاجية (Glass Membrane electrodes)
25	..... 2.2.2 القياس باستعمال الترانزستورات و اشباه الموصلات (pH-FETs)
26	..... 3. الخاتمة
27	..... الفصل الثالث
28	..... 1. مقدمة
28	..... 2. نظرة عامة عن عمل المشروع
28	..... 3. المكونات الأساسية للمشروع
28	..... 1.3 المكونات الصلبة
28	..... أ - لوحة Arduino
30	..... ب - شاشة LCD
30	..... ج - ساعة الزمن الحقيقي RTC DS1307
31	..... د - حساس الحرارة DHT11
31	..... هـ - حساس الـ pH
32	..... و - دائرة التكييف
32	..... 2.3 المكونات البرمجية
32	..... أ - لغة برمجة Arduino IDE
33	..... ب - برنامج المحاكاة Proteus
34	..... 4. مراحل إنجاز و تجسيد المشروع
35	..... 1.4 باستخدام المحاكاة بواسطة PROTEUS
35	..... أ - الكود البرمجي باستخدام Arduino IDE
35	..... ب - نتائج المحاكاة
36	..... 2.4 تشغيل وتنفيذ نظام القياس مخبرياً
36	..... أ - تحضير المحاليل

36.....	ب - ضبط الإزاحة.....
37.....	ج - معايرة مسبار pH.....
39.....	د - استخراج دالة نقل الحساس تجريبياً.....
40.....	هـ - التحقق من القياس تجريبياً.....
46.....	و - المناقشة:.....
47.....	3.4 تحسين دقة القياس.....
47.....	5. الخاتمة.....
48.....	خاتمة عامة.....
49.....	المراجع.....
51.....	الملاحق.....

# قائمة الأشكال

## الفصل الأول

- الشكل 1\_1 عالم الكيمياء سورين سورينسون (SØREN PETER LAURITZ SØRENSEN). \_\_\_\_\_ 5
- الشكل 1\_2 سلم الـPH. \_\_\_\_\_ 6
- الشكل 1\_3 الألمنيوم المتبادل كنسبة من السعة التبادلية الكاتيونية للتربة. \_\_\_\_\_ 8
- الشكل 1\_4 الخلية الجلفانية. \_\_\_\_\_ 11
- الشكل 1\_5 تمثل بعض المحاليل المنظمة. \_\_\_\_\_ 12

## الفصل الثاني

- الشكل 2\_1 مثال عن الكواشف السائلة الملونة. \_\_\_\_\_ 16
- الشكل 2\_2 أوراق الكاشف العام الملونة لقياس PH المحاليل. \_\_\_\_\_ 16
- الشكل 2\_3 مخطط قطب زجاجي نموذجي للأس الهيدروجيني. \_\_\_\_\_ 19
- الشكل 2\_4 رسم توضيحي لنشأة جهد الحدود. \_\_\_\_\_ 20
- الشكل 2\_5 يمثل القطب الهيدروجيني القياسي. \_\_\_\_\_ 21
- الشكل 2\_6 قطب الكالوميل المشبع. \_\_\_\_\_ 22
- الشكل 2\_7 التركيب العام لقطب الفضة / كلوريد الفضة. \_\_\_\_\_ 23
- الشكل 2\_8 يبين قطب المزيج الكهربائي. \_\_\_\_\_ 24
- الشكل 2\_9 يوضح قياس الأس الهيدروجيني بواسطة ترانزستور و تأثير المجال الانتقائي الأيوني. \_\_\_\_\_ 25

## الفصل الثالث

- الشكل 3\_1 تمثل بعض أنواع ARDUINO. \_\_\_\_\_ 29
- الشكل 3\_2 تمثل شاشة الكريستال السائلة LCD. \_\_\_\_\_ 30
- الشكل 3\_3 تمثل دائرة RTC DS1307 . \_\_\_\_\_ 30
- الشكل 3\_4 حساس DHT11. \_\_\_\_\_ 31
- الشكل 3\_5 تمثل مسبار درجة الحموضة. \_\_\_\_\_ 32
- الشكل 3\_6 تمثل الوحدة الإلكترونية لحساس الـPH. \_\_\_\_\_ 32
- الشكل 3\_7 توضح واجهة برنامج ARDUINO IDE. \_\_\_\_\_ 33
- الشكل 3\_8 تمثل واجهة برنامج PROTEUS. \_\_\_\_\_ 34
- الشكل 3\_9 توضح دائرة تصميم نظام لقياس درجة الحموضة على برنامج PROTEUS. \_\_\_\_\_ 34

- الشكل 3\_10 توضح عملية ضبط الازاحة باستعمال الفولتمتر \_\_\_\_\_ 37
- الشكل 3\_11 يوضح عملية قياس الجهد الصادر من الحساس باستعمال محلول منظم  $PH = 4.01$  بهدف المعايرة \_\_\_\_\_ 38
- الشكل 3\_12 يوضح عملية قياس الجهد الصادر من الحساس باستعمال محلول منظم  $PH = 9.18$  بهدف المعايرة \_\_\_\_\_ 38
- الشكل 3\_13 توضح عملية قياس الجهد الصادر من الحساس باستعمال الماء المقطر بهدف المعايرة \_\_\_\_\_ 39
- الشكل 3\_14 منحني يمثل دالة نقل الحساس تجريبيا. \_\_\_\_\_ 40
- الشكل 3\_15 توضح ورق الـ  $PH$  الملونة. \_\_\_\_\_ 40
- الشكل 3\_16 توضح عملية معاينة الازاحة بواسطة النظام المقترح ومقارنتها مع نتيجة الجهد من خلال الفولتمتر \_\_\_\_\_ 41
- الشكل 3\_17 توضح عملية معاينة نتيجة قياس النظام المقترح ومقارنتها مع ورق قياس الـ  $PH$  باستعمال المحلول المنظم ذو  $PH = 4.01$  \_\_\_\_\_ 41
- الشكل 3\_18 توضح عملية معاينة نتيجة قياس النظام المقترح ومقارنتها مع ورق قياس الـ  $PH$  باستعمال المحلول المنظم ذو  $PH = 9.18$ . \_\_\_\_\_ 42
- الشكل 3\_19 توضح عملية معاينة نتيجة قياس النظام المقترح ومقارنتها مع ورق قياس الـ  $PH$  باستعمال حمض الخل التجاري. \_\_\_\_\_ 42
- الشكل 3\_20 توضح عملية معاينة نتيجة قياس النظام المقترح ومقارنتها مع ورق قياس الـ  $PH$  باستعمال حليب "صومام". \_\_\_\_\_ 43
- الشكل 3\_21 توضح عملية معاينة نتيجة قياس النظام المقترح ومقارنتها مع ورق قياس الـ  $PH$  باستعمال سائل تبريد السيارات "نفط أوتو". \_\_\_\_\_ 43
- الشكل 3\_22 توضح عملية معاينة نتيجة قياس النظام المقترح ومقارنتها مع ورق قياس الـ  $PH$  باستعمال سائل تنظيف الزجاج. \_\_\_\_\_ 44
- الشكل 3\_23 توضح عملية معاينة نتيجة قياس النظام المقترح ومقارنتها مع ورق قياس الـ  $PH$  باستعمال معقم كحولي من شركة ENAD. \_\_\_\_\_ 44
- الشكل 3\_24 توضح عملية معاينة نتيجة قياس النظام المقترح ومقارنتها مع ورق قياس الـ  $PH$  باستعمال مسحوق صابون ايزيس ممزوج بماء الحنفية. \_\_\_\_\_ 45
- \_\_\_\_\_ 45
- الشكل 3\_25 توضح عملية معاينة نتيجة قياس النظام المقترح ومقارنتها مع ورق قياس الـ  $PH$  باستعمال سائل تبريد سيارات الاخضر. \_\_\_\_\_ 45
- الشكل 3\_26 توضح عملية معاينة نتيجة قياس النظام المقترح ومقارنتها مع ورق قياس الـ  $PH$  باستعمال مشروب كوكاكولا. \_\_\_\_\_ 46

# قائمة الجداول

## الفصل الأول

الجدول 1\_1 : مقياس الـ pH والتراكيز المولية لأيونات  $H^+$  و  $OH^-$  ..... 7

الجدول 2\_1 : يمثل مجال الرقم الهيدروجيني لبعض المحاليل المنظمة ..... 13

## الفصل الثاني

الجدول 1\_2 : جهد قطب الفضة / كلوريد الفضة لتراكيز مختلفة من أيون الكلوريد عند 25 درجة مئوية ..... 24

## الفصل الثالث

الجدول 1\_3 : يمثل الجهد المتولد من المسبار بدلالة قيمة الـ pH ..... 32

الجدول 2\_3 : يوضح نتائج درجة الحموضة وما يقابلها من جهد ونسبة الخطأ المسجلة من طرف الأردينو ..... 36

الجدول 3\_3 : يمثل قيم الجهد الموافقة لقيم الـ pH ..... 40

الجدول 4\_3 : يمثل قيم pH للعينات التي تم تجربتها و قيم الجهد بواسطة النظام و كذلك بواسطة الفولت متر ..... 47

الجدول 5\_3 : يمثل قيم الجهد المتوقعة من الحساس بواسطة أردينو و ما يقابلها من قيم الـ pH مع نسبة خطأ القياس ..... 48

## مقدمة عامة

يرتبط علم الكيمياء ارتباطا وثيقا بالعديد من فروع العلم الاخرى كالفيزياء والبيولوجيا والكيمياء الجيولوجية وعلم المعادن والطب وغيرها، حيث نجد تطبيقاته في مختلف جوانب الحياة التي تحيط بنا مثل حساب جودة ونقاء المنتجات وحصرها من خلال تطبيق مبادئ الكيمياء المختلفة، و التي تلعب دورا هاما في التقدم العلمي والتقني في مختلف فروع الصناعة خاصة في التركيب الكيميائي و من أكثر التفاعلات أهمية بالنسبة إلينا هي تلك التي تحصل في المحاليل الكيميائية والمواد حيث يمكن التفريق بين خصائص هذه المواد أو المحاليل وفقا للتحليل الحركي أو البيولوجي أو الكيميائي أو السكوني، وعلى ضوء هذا قمنا في هذه المذكرة المتواضعة بدراسة و انجاز جهاز يقوم بقياس pH المحاليل الكيميائية.

يعد قياس درجة القاعدية أو الحموضة للمواد أو ما يطلق عليه بالرقم الهيدروجيني ضروريا هو أحد الصفات الكيميائية للمواد ، فقد تعرف أن المحاليل الحمضية لها مذاق حمضي لاذع، وتتفاعل مع القواعد وتكون ملحا وماء وقد تعرف أيضا أن المحاليل القاعدية مرة المذاق وملمسها دهني، كما يمكننا الحصول على قيمة تقريبية لدرجة الحموضة من خلال استعمال ورق الـpH حيث تتم معالجة كل أوراق الـpH بمواد تسمى كواشف indicators يتغير لونها حسب تركيز أيونات الهيدروجين في المحلول، إلا أن هذه الكواشف غالبا لا تعطي قياسا ذا دقة عالية للـpH.

مع التطور والتقدم العلمي والتكنولوجي ظهرت عدة طرق لقياس pH للمحاليل الكيميائية خلفا للكواشف اللونية و التي تعتمد على الكهروكيمياء ، والجدير بالذكر أن الحساسات الكهربائية يمكن أن تساهم في استخراج نتائج دقيقة لقيم الأس الهيدروجيني وذلك باستخدام الأقطاب الكهربائية المناسبة مما يوضح فهم مسار العمليات في التفاعلات الكيميائية المختلفة

نسعى من خلال هذه الدراسة إلى تصميم وإنجاز جهاز لقياس درجة الحموضة للمحاليل الكيميائية بالاعتماد على الطريقة الكهروكيميائية بهدف الحصول على مرونة و نتائج أكثر دقة، تحقيقا لهذه الغاية تم تقسيم هذه الدراسة إلى ثلاثة فصول:

### الفصل الأول: بعنوان " مفاهيم أساسية حول الـpH وأهميته في مختلف المجالات "

تم اعطاء نبذة تاريخية عن درجة الحموضة وكذا بعض المفاهيم الخاصة و المتعلقة بالـpH مع التطرق إلى أهمية درجة الحموضة في مختلف المجالات الصناعية و الزراعية و الطبية.

### الفصل الثاني: بعنوان " الطرق والوسائل المستخدمة في قياس الـpH "

في هذا الفصل تم شرح الطرق المرئية و الكهروكيميائية لقياس الـ pH كما تم شرح معادلة نرنست التي تعتمد عليها كل حساسات الـ pH الكهروكيميائية.

### **الفصل الثالث: بعنوان " تصميم وإنجاز جهاز قياس درجة الحموضة لمختلف المحاليل الكيميائية"**

تم في هذا الجزء شرح مراحل إنجاز المشروع والتي تتمثل في القطع والواد اللازمة لتركيب نظام القياس ثم جزء البرمجيات مع تطوير خوارزمية لقياس قيمة الـ pH وتسجيل درجة الحرارة والرطوبة والوقت والتاريخ ولتأكد من سلامة التصميم تم إنجاز محاكاة باستخدام برنامج Proteus قمنا بتنفيذ هذا المشروع باستعمال لوحة Arduino وحساسات وقطع حقيقية.

في الأخير تم رسم الموضوع بخاتمة عامة تلخص ما قد تم عمله والتطلعات المستقبلية لهذا المشروع مع إمكانية إضافة ميزات للتوسع في نطاق استخداماته.

## الفصل الأول

مفاهيم أساسية حول الـpH وأهميته في مختلف

المجالات

## 1. مقدمة

يعتبر الأس الهيدروجيني أو ما يعرف بالـpH متغيرًا مهمًا في الكثير من التطبيقات الصناعية، حيث أن العديد من الظواهر الكيميائية والفيزيائية والبيولوجية و جودة المنتجات غالبًا ما تعتمد على مستويات الأس الهيدروجيني، وبذلك فإنه يتطلب مراقبة وتحكمًا بشكل فعال. فإذا لم تتم عملية التحكم و المراقبة كما ينبغي، فقد تصبح المنتجات الغذائية غير صالحة للأكل، وقد تصبح المشروبات غير صالحة للشرب، وقد تصبح أيضا التربة غير صالحة للاستعمال، ويمكن أن يكون لمياه الصرف تأثير غير مرغوب فيه على البيئة. لذلك، غالبًا ما يكون قياس الأس الهيدروجيني الدقيق ضروريًا لتصنيع منتج صناعي ناجح.

في هذا الفصل سوف نقوم ببسط و شرح المفاهيم الأساسية المتعلقة بالأس الهيدروجيني وأهميته في مختلف المجالات.

## 2. نبذة تاريخية

تعد المساري المنتقية للشوارد من المساري الكيميائية التي تتميز بالكثير من التطبيقات العملية حيث كان JAMET ROSS ET MARTIN FRONT، أول من اهتم بهذه الأشياء في هذا المجال، تقوم المواد الكيميائية المتوضعة على سطح المسرى بتوليد كمن على السطح البيئي الفاصل بين طرفي الغشاء. يتم التعرف على الجزيئات عن طريق المسرى وذلك عبر التفاعلات التي تحدث عند سطحه، و الذي يحتوي على مركبات تتفاعل كيميائياً مع المادة المراد تحديدها. ومن محاسن المساري المنتقية للشوارد: الاستجابة الخطية لعدة تراكيز مما يسمح بقياس تراكيز صغيرة جدا من الشاردة المدروسة و تستخدم في مجال المراقبة المستمرة للتغير في التراكيز مثل: المعايير الكمونية و مراقبة الاستقلاب الغذائي والدوائي. يعد مقياس الـpH أكثر مثال شائع عن المساري الكمونية حيث عرف هذا المسرى منذ حوالي 80 عاما. يتكون الغشاء في مسرى الـpH بشكل أساسي من زجاج سيليكات الصوديوم الذي يصنع بصهر مزيج من أكسيد الألمنيوم وأكسيد الصوديوم وأكسيد السيليونيوم. تمت دراسة انتقائية المسرى الزجاجي تجاه شوارد المعادن القلوية من قبل EISENMAN [1].

فعلى الرغم من التقدم الكبير الذي تم إحرازه على مر السنين منذ سنة 1850 سواء في الكيمياء التحليلية أو الكهربائية التي مهدت الطريق لإدخال الأس الهيدروجيني في هذه العلوم. حيث في عام 1909 ادرك عالم الكيمياء الحيوية الدنماركي سورين سورينسون (Søren Peter Lauritz Sørensen) [2] أن معادلات التفاعلات الأنزيمية تعتمد على تركيز أيونات الهيدروجين وليس على الحموضة الكلية. من هذا المنطلق تم استحداث مفهوم الأس الهيدروجيني وكان يعين قيم الـpH بواسطة قياسات كهربائية. ثم أصبحت طريقة كتابة pH هي الطريقة السائدة حتى وقتنا الحاضر لقيمة الـpH. وقد استخدم سورنسين حرف H للتعبير عن أيونات الهيدروجين، كما استخدم حرف p عشوائيا كمؤشر لقياساته على السوائل، ثم تحول الحرف p في الـpH إلى كلمة Potonz بمعنى قوة أو أس. ولد سورينسن في هافريبيج (الدنمارك) 9 يناير 1868 و حصل على الدكتوراة من جامعة كوبنهاغن، عمل كمساعد للأستاذ س.م جرنان في الجامعة التقنية في كوبنهاغن (1902-1892)، في هذا الوقت كان يقوم بدراسة تأثير تركيز الأيونات على تحليل البروتين، وتعمق في ذلك حتى أصبح خبيرا في الترموديناميك، كيمياء البروتينات وخلف مدير قسم الكيمياء يوهان كيلدال في مركز أبحاث كاراسبرج بين عامي 1901 و 1938. الاهتمام الخاص الذي أظهره لدراسة درجة الحموضة

( تحديداً لتركيز أيونات الهيدروجين بالطرق اللونية والقياس الكهربائي، ودرجة الحموضة، وما إلى ذلك) هي واحدة فقط من جوانب نشاطه البحثي حيث فسر العديد من جوانب كيمياء البروتين من خلال المعرفة الحديثة بالكيمياء الفيزيائية. تم تكريمه بشكل خاص من قبل رئاسة الأكاديمية الدنماركية، و تقاعد سورينسن في عام 1938 وتوفي بعد ذلك 12 فبراير 1939 في كوبنهاغن [3].



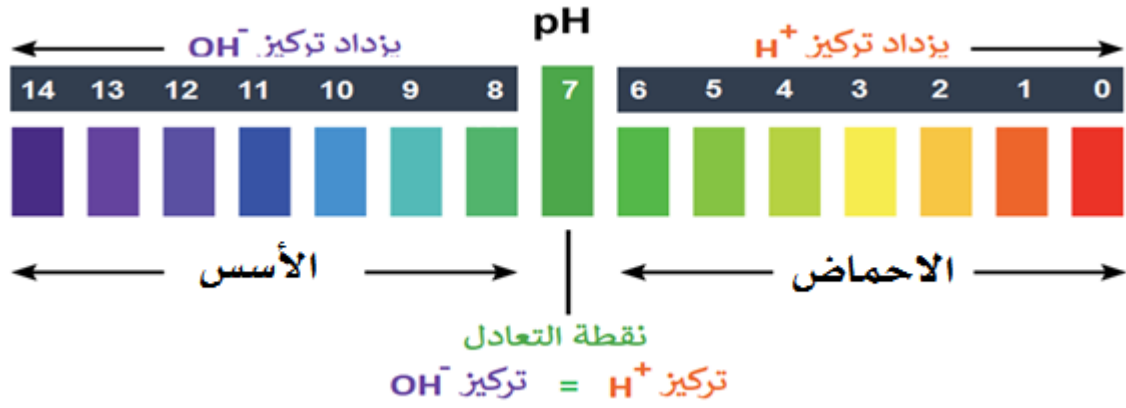
الشكل 1\_1 عالم الكيمياء سورين سورينسن (Søren Peter Lauritz Sørensen).

### 3. تعريف الرقم الهيدروجيني

للتعبير عن تركيز أيونات الهيدرونيوم في المحاليل الحمضية، نستخدم مصطلح الأس الهيدروجيني أو درجة الحموضة أو الرقم الهيدروجيني أو ما يسمى اختصاراً بالـ pH و هو المقياس الذي يحدد ما إذا كان السائل حامضياً أو قاعدياً أو معتدلاً وهو عبارة عن رقم يشير إلى تركيز أيونات الهيدروجين في المحلول، وتساوي حسابياً لوغاريتم تركيز أيونات الهيدروجين [4] مثل ما هو موضح في المعادلة التالية:

$$pH = - \log[H^+] \dots\dots\dots(1)$$

فإذا كان على سبيل المثال تركيز أيونات الهيدروجين في محلول ما يساوي  $(10^{-7})$  فتكون بالتالي قيمة الـ pH لهذا المحلول 7 وتتراوح قيمته من 0 إلى 14، ويرتبط كل عدد بلون معين بالدليل العام عندما تكون قيمة الـ pH أقل من 7. تعتبر المادة حامضية، حيث كل ما قلت القيمة كل ما زادت قوة الحمض وزاد تركيز أيون الهيدروجين، وعندما تكون قيمة الـ pH أعلى من 7 تعتبر المادة قلوية، حيث كل ما ارتفعت القيمة كلما زادت قيمة القلوي وانخفض تركيز أيون الهيدروجين، والقيمة 7 هي القيمة المتعادلة و التي تعني أن المحلول ليس قلويًا ولا حمضيًا [5].



الشكل 1\_2 سلم الـ pH.

يمثل الجدول 1\_1 قيم الـ pH من 0 الى 14 و ما يقابلها من التركيز المولي لأيونات  $H^+$  و  $OH^-$  الامر الذي يوضح سبب استعمال اللوغاريتم العشري للتعبير عن الاس الهيدروجيني.

الجدول 1\_3 مقياس الـ pH والتركيز المولية لأيونات  $H^+$  و  $OH^-$  [6]:

pH	$[H^+]$ (mol/l)	$[OH^-]$ ( mol/l)
0	1	0.000000000000001
1	0.1	0.00000000000001
2	0.01	0.0000000000001
3	0.001	0.000000000001
4	0.0001	0.00000000001
5	0.00001	0.000000001
6	0.000001	0.00000001
7	0.0000001	0.0000001
8	0.00000001	0.000001
9	0.000000001	0.00001
10	0.0000000001	0.0001
11	0.00000000001	0.001
12	0.000000000001	0.01
13	0.0000000000001	0.1
14	0.00000000000001	1

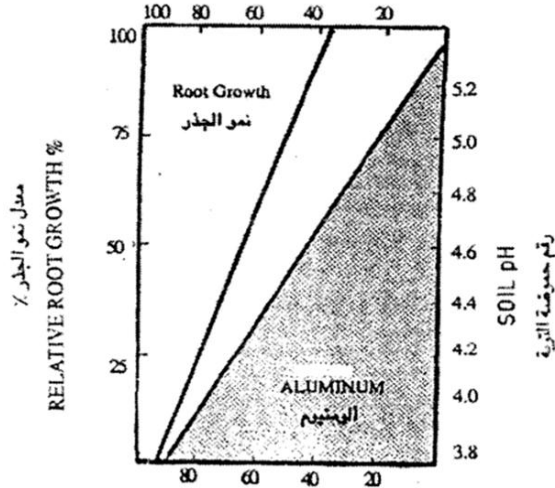
#### 4. أهمية الرقم الهيدروجيني

للرقم الهيدروجيني أهمية كبيرة في عدة من المجالات و الاستخدامات نذكر من بينها:

- ✓ تعتمد معظم الكائنات الحية على درجة الحموضة المناسبة للحفاظ على الحياة و يعتمد جميع البشر و الحيوانات على الأليات الدالية للحفاظ على مستوى درجة الحموضة في دماهم، يجب أن يكون للدم المتدفق عبر عروقنا درجة حموضة بين 7.35 و 7.45 و يمكن أن يؤدي تجاوز هذا النطاق بما لا يزيد عن عُشر وحدة درجة حموضة إلى الوفاة.

- ✓ تنمو المنتجات الفلاحية مثل القمح والذرة إلى جانب النباتات و المنتجات الغذائية الأخرى بشكل أفضل إذا تم الحفاظ على درجة حموضة متتالية في التربة، وتزرع لتحقيق محاصيل ذات غلة عالية يجب على المزارعين تكييف حقولهم إلى قيمة الـpH الصحيحة.
- ✓ يجب أن تكون قيمة الـpH مياه الصرف الصحي أو المياه الصالحة للشرب ضمن قيمة محددة لدرجة الحموضة كما هو محدد من قبل الوكالات التنظيمية المحلية أو الولايتية، تتراوح هذه القيمة عادةً بين 5 و9، ولكن يمكن أن تختلف من منطقة إلى أخرى [7].
- ✓ إنتاج سلع ذات خصائص محددة أثناء عملية الإنتاج لأن من المهم التحكم في درجة الحموضة للتأكد من توافق المنتج النهائي مع المواصفات المطلوبة، ويمكن أن تغير درجة الحموضة بشكل كبير خصائص المنتج النهائي مثل المظهر أو الطعم.
- ✓ تجنب ألق الضرر بالناس والمواد والبيئة، يمكن أن تكون بعض المنتجات ضارة في درجة حموضة محددة لذا علينا أن نكون على حذر وعدم رمي هذه المنتجات في البيئة حيث يمكن أن تشكل خطراً على الناس أو إتلاف المعدات، إذا أردنا تحديد ما إذا كانت مثل هذه المادة خطيرة علينا أولاً قياس درجة حموضتها.
- ✓ حماية المعدات لأنه يمكن أن تتآكل معدات الإنتاج المتصلة مع الكواشف أثناء عملية الإنتاج بواسطة المواد المتفاعلة إذا كانت قيمة درجة الحموضة ليست ضمن حدود معينة.
- ✓ يقلل التآكل من عمر خط الإنتاج و بالتالي فإن مراقبة قيم درجة الحموضة مهمة لحماية هذا الأخير من الأضرار.
- ✓ للبحث والتطوير تعتبر قيمة درجة الحموضة عاملاً مهماً لأغراض البحث مثل دراسة عمليات الكيمياء الحيوية [8].

بالنسبة لتربة : يعتبر تقدير حموضة وقاعدية التربة أمراً مهماً من الناحية الزراعية نظراً لتأثيره على الكثير من العوامل بصلاحيه التربة لنمو النبات ان ارتفاع الحموضة يؤدي إلى تأثير سام ومباشر وأيضاً إلى هدم جذور النبات وهذا التأثير يحدث إذا كان الـpH أقل من 4 وأكثر من 9 كما يؤدي إلى الإخلال بالتوازن بين العناصر التي ينتصها النبات عن طريق التنافس المباشر بين أيون الهيدروجين والأيونات الأخرى عند الامتصاص بواسطة النبات خصوصاً مع أيونات الكالسيوم والبوتاسيوم اللازمة للنمو [9]. وهناك بعض النباتات التي تستطيع النمو بدرجة جيدة في الأراضي الحامضية ومنها على سبيل المثال: الأناناس وأشجار التوت والعديد من الأشجار الصنوبرية الخشبية رغم وجود نسبة عالية من الألمنيوم المتبادل بهذه الأراضي (كما في الشكل 02)، وتسبب الحموضة أيضاً ذوباناً لمعظم المعادن الأرضية وزيادة ذوبان عناصرها مثل الحديد والمنجنيز والنحاس مما يؤدي إلى سمية النباتات وعلى العكس فالقلوية الشديدة تؤدي إلى ترسيب هذه العناصر الهامة و بالتالي يحدث نقص غذائي للنبات.



الشكل 1\_3 الألمنيوم المتبادل كنسبة من السعة التبادلية الكاتيونية للتربة.

✓ ويمكن أن تؤثر قيمة pH أيضا على نمو النباتات من خلال تأثيره على نمو الميكروبات أو الكائنات الدقيقة ذات الأثر المفيد للتربة، فبكتيريا الأرض المثبتة للنترجين لا يمكنها مزاوله عملها عندما ينخفض رقم pH عن 6، وكذلك نجد أن البكتيريا العقدية *Rhizobium*، والتي هي بكتيريا تكافلية تكون عقدا على جذور النباتات البقولية، بحيث تحصل على النبات على الكربوهيدراتية وتقوم بتثبيت النترجين الجوي وتحويله إلى نيترات يستفيد منها النبات في غذائه، وهي لا تستطيع القيام بهذا الدور في الظروف الحامضية في التربة. كما وأن البكتيريا القائمة بتحليل المواد العضوية في التربة والتي يكون نتيجة انفراد النترجين والعناصر الغذائية الأخرى في صورة ميسرة لاستخدام النبات يكون نشاطها محدودا بدرجة كبيرة تحت ظروف الحموضة الشديدة. وعادة ما تقاوم الفطريات الحموضة بدرجة أكبر من الميكروبات الأخرى أما في الأراضي المعدنية فإن معظم المحاصيل الزراعية تنمو بصورة أحسن تحت ظروف حامضية خفيفة (pH=6.5) كما هو الحال في بعض الأراضي الرملية التي تروي بمياه مخلفات الصرف الصحي، وكذلك بعض الأراضي العضوية خفيفة الحموضة (pH=5.5) [10].

## 5. مفاهيم متعلقة بالأس الهيدروجيني

### 1.5. الأحماض والقواعد

سنتناول فيمايلي أهم النظريات التي إهتمت بتعريف الأحماض والقواعد:

#### • نظرية أرهينيس:

في نهاية القرن التاسع عشر افترض أرهينيس تصنيفا للأحماض والقواعد وهو الأكثر تعقيدا حيث عرف الحوامض بأنها عبارة عن المواد تحتوي على الهيدروجين والتي تتفكك لتعطي أيونات الهيدروجين وأيونات سالبة عند ذوبانها في الماء [11]:



وعرف القواعد بأنها عبارة عن مركبات تحتوي على مجاميع الهيدروكسيل والتي تعطي أيونات الهيدروكسيل  $OH^-$  والأيونات الموجبة عندما تعامل بالمثل ومثالا على ذلك :

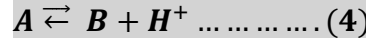


بالإضافة إلى ذلك فإن هذه النظرية قد وفرت قاعدة رياضية للتوازنات التي تحقق عندما تتفاعل الحوامض والقواعد مع بعضها لكن هذه النظرية فشلت في إدراك الدور الذي يلعبه المذيب في عملية التفكك [11].

#### • نظرية برونشستد:

استنادا إلى نظرية العالم الدانماركي برونشستد (*Bronsted*)، نسمي حمضا كل نوع جزيئي أو شاردي قادر على تحرير بروتون  $H^+$  أو قادر على جعل المحل يتحرر بروتونا. ونسمي أساسا كل نوع جزيئي أو شاردي قادر على تثبيت بروتون  $H^+$ .

ولما كان هذان التعريفان متكاملين فإننا نربط حمض A أساسا B نسميه الأساس المرافق ونكتب:



تبين الكتابة السابقة إمكان الانتقال في الاتجاهين من A إلى B عن طريق تحرير بروتون، ومن B إلى A عن طريق تثبيت بروتون، ونقول بأن الحمض A والأساس B.

ولا بد من التذكير هنا بأن البروتون  $H^+$  لا يكون حرا في المحلول، وإنما يتثبت على جزيء ماء ليكون الهيدرونيوم  $H_3O^+$  أو ما يعرف أيضا باسم شاردة الإكسينيوم وكما يوصي بذلك الاتحاد الدولي للكيمياء البحتة التطبيقية IUPAC [12].

#### • نظرية لويس:

عالج العالم لويس موضوع الحمض والقاعدة بطريقة تختلف تماما عن تلك التي اتبعها أرهينيوس و برونشستد. فهو أعطى تعريفات جديدة تعتمد على المشاركة بزواج من الإلكترونات الحرة بدلا من البروتون.

#### \*فالقاعدة هي:

الجزيئات أو الأيونات أو الشقوق التي لها القدرة على منح زوج من الإلكترونات الحرة لتكوين رابطة تساهمية مع جزيئات أخرى تسمى الحمض.

#### \*والحمض هو:

المادة التي يمكن أن تستقبل زوج من الإلكترونات من أي قاعدة وتكون معها رابطة تساهمية، (أي أن الإلكترونين المكونين لرابطة التساهمية في هذه الحالة تشارك بهما مادة أو أيون دون الآخر) [13].

- يمكن تخليص ما سبق الحديث عنه بأن قوة الحامض تقاس بدرجة ميله لفقد بروتون، فيما تقاس قوة القاعدة بميلها لتقبل بروتون. وفي هذا الأمر تتباين المركبات في قوة حموضتها أو قاعديتها. فالحامض القوي هو الذي يميل بشدة لأنه يهب

بروتوناً والقاعدة القوية هي التي تميل بشدة لتقبل البروتون وضمن مدى الحامض أو القاعدة الأقوى والحامض والقاعدة الضعيفة تتسلسل المركبات الأخرى متدرجة في قوة صفاتها الحامضية أو القاعدية [14].

### 2.5. الخلية الإلكتروليتية

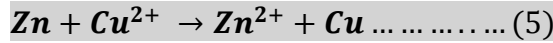
الخلية الإلكتروليتية هي خلية كهروكيميائية تخضع لتفاعل الأكسدة والاختزال عند استخدام الطاقة الكهربائية و تتكون الخلية الإلكتروليتية من ثلاثة أجزاء: إلكتروليت وقطبين كهربائيين.

### 3.5. الخلية الكهروكيميائية

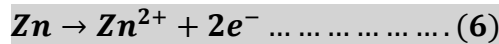
تشمل الخلية الكهروكيميائية على نظامين يتكون كل منهما من قطب محلول أيوني ويسمى كل من هاذين النظامين بنصف خلية الذي يرتبطان سوياً بواسطة حاجز مسامي مثلاً، وكما يربط كما قطب في الخلية بواسطة سلم نحاسي ويوصل إلى جهاز قياس الجهد وهو يعطي فرق الجهد بين طرفي القطبين ، عند ربط الأقطاب المختلفة مع بعضها ينتج نوعان من الخلايا الكهروكيميائية والخلايا التركيزية. أما الخلايا الكيميائية فأن قوتها الدافعة ال ناتجة عن التفاعلات الكيميائية التي تحدث داخلها ولكن الخلايا التركيزية قوة الدافعة ناتجة عن انخفاض الطاقة الحرة نتيجة لانتقال المادة من جزء إلى جزء آخر، كل نوع من هذه الأنواع ينقسم داخلياً إلى نوعين أحدهما خلايا غير انتقالية والنوع الآخر خلايا انتقالية [15].

### 4.5. الخلية الجلفانية (Galvanic cell)

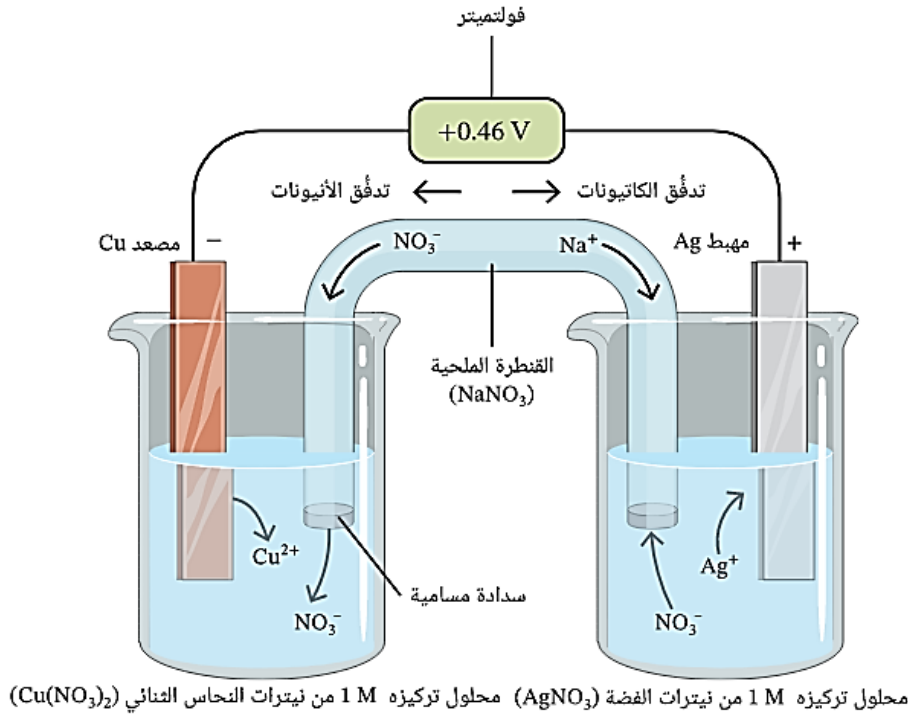
تعرف الخلية التي تستخدم كمصدر للطاقة الكهربائية، بالخلية الفولطية أو الخلية الجلفانية، عادة ما يحدث تفاعل بين فلز الزنك و أيونات النحاس، وهو يوصف بأنه تغير تلقائي تنتقل فيه بعض الإلكترونات ويمكن توضيحه كما يلي:



ولا تعرف على وجه التحديد ميكانيكية انتقال هذه الإلكترونات، ومع ذلك يمكن اعتبار التفاعل السابق على أنه عبارة عن اتحاد بين نصفي تفاعلين:



و في مثل هذه الخلية التلقائية يحدث نصف التفاعل عند قطبين مختلفين، وتنتقل الإلكترونات عبر الدائرة الكهربائية الخارجية بدلاً من انتقالها مباشرة بين فلز الزنك وأيونات النحاس. وقد تم الاستفادة من هذا التفاعل في تصميم خلية لإنتاج تيار كهربائي، عرفت باسم خلية دانيال "Daniell Cell" [16].



الشكل 1\_4 الخلية الجلفانية.

## 5.5. جهد القطب

من المعروف أن التيار الكهربائي لا ينتقل من نقطة إلى أخرى إلا إذا كان هناك فرق جهد بين نقطتين، فحتمًا أنه لا بد من وجود الفرق بين القطبين في أي خلية جلفانية يسمى هذا الفرق في الجهد في الحقيقة القوة الدافعة الكهربائية للخلية، ونظرًا لأن القوة الدافعة الكهربائية تختلف من خلية إلى أخرى فقد أستنتج نرنست (Nernst) أن لكل قطب جهد معين يعرف بجهد القطب ويتوقف على نوع الفلز وتركيز المحلول [15].

لحساب جهد القطب بواسطة معادلة نيرنست يجب أن نعرف قيمة  $E^\circ$  لجهد القطب القياسي وكذلك قيمة نشاط المواد الناتجة والداخلية في التفاعل الكهروكيميائي الممثلة للقطب [17].

## 6.5. المحاليل المنظمة

المحلول المنظم عبارة عن محلول يقاوم التغير في الرقم الهيدروجيني عندما تضاف إليه كميات قليلة من حمض قوي أو من قاعدة قوية.

وتقع أهمية هذه المحاليل المنظمة في أن كثيرا من التفاعلات الكيميائية لا تحدث إلا في وسط يكون فيه الرقم الهيدروجيني ثابتا إلى حد ما. ولا يتغير إلا تغيرا طفيفا عند إضافة حمض أو قاعدة إليه، ومع ذلك فإن هناك الكثير من العمليات الكيميائية الحيوية التي تحدث في أجسام الكائنات الحية تحتاج إلى مثل هذه المحاليل المنظمة.

يتكون المحلول المنظم من خليط من مادتين، إحداهما عبارة عن حمض ضعيف، والأخرى ملح من أملاح هذا الحمض، أو يتكون من قاعدة ضعيفة مع أحد أملاحها [16].



الشكل 1\_5 تمثل بعض المحاليل المنظمة.

الجدول 1\_4: يمثل مجال الرقم الهيدروجيني لبعض المحاليل المنظمة:

مجال الرقم الهيدروجيني	المحلول المنظم
2.6-7.6	حمض الستريك - فوسفات الصوديوم أحادية الهيدروجين.
3.7-5.6	خلات الصوديوم - حمض الخل.
3.8-6.0	حمض البوتاسيوم - هيدروكسيد الصوديوم.
4.1-5.9	بيفثالات البوتاسيوم - هيدروكسيد الصوديوم.
6.8-9.6	فيرزال الصوديوم - حمض الهيدروكلوريك.
8.0-10.2	حمض البوريك - هيدروكسيد الصوديوم.

### 7.5. تنظيم الـ pH بواسطة المحاليل المنظمة

يستعان بالمحاليل المنظمة في أغلب الأحيان من أجل تنظيم pH المحاليل المدروسة وذلك أثناء عملية التحليل، فإذا كان وسط المحلول المدروس حمضياً ويراد تحويله إلى وسط محايد أو قاعدي، فإنه يضاف إليه نقطة، فنقطة محلول مادة من المواد التالية: هيدروكسيد البوتاسيوم أو هيدروكسيد الصوديوم أو النشادر أو غيرها من الأملاح المتكونة من أحماض ضعيفة وقواعد ضعيفة، وبالإضافة لذلك فإنه من الممكن إضافة محاليل منظمة توافق قيماً معينة لـ pH.

وتجرى العمليات المذكورة في وجود دلائل موافقة بتغيير لونها ضمن مجال لقيم الـ pH يتراوح من 7 إلى 14. وتستخدم عادة القواعد أو المحاليل المنظمة التي لا تعيق عملية التحليل اللاحقة ولا تعقد العمليات الأخرى التي تتبعها.

أما إذا كان وسط المحلول قاعديا ويراد تحويله إلى وسط محايد أو حمضي فإنه يضاف إليه أحد الأحماض الناشئة عن قواعد ضعيفة وأحماض قوية كما تضاف مثل: حمض الهيدروكلوريك أو حمض النيتريك وتجرى العمليات بحضور كواشف موافق يتغير لونها ضمن مجال لقيم الـpH [18].

## 6. خاتمة

في هذا الفصل قمنا بإعطاء نبذة تاريخية عن الرقم الهيدروجيني و شرح معناه، كما تم توضيح أهميته و استخداماته في مختلف المجالات. لفهم الـpH جيدا هناك مصطلحات و مفاهيم متعلقة به و التي تم توضيحها أيضا. في الفصل الموالي سنقوم بعرض وشرح آليات و طرق قياس الـpH.

## الفصل الثاني

الطرق والوسائل المستخدمة في قياس الـpH.

**1. مقدمة**

تعتمد العديد من العمليات الصناعية خاصة الكيميائية على قياس درجة الحموضة والتحكم فيها و يتطلب قياس درجة حموضة المحاليل الكيميائية استخدام أجهزة قياس تعطي نتائج ذات دقة وحساسية عالية، ولنتمكن من استخدام هذه الأجهزة نحتاج إلى فهم الجانب النظري للطرق المختلفة في قياسها، و هذا ما سيتم التطرق إليه في الفصل الموالي.

**2. طرق قياس pH المحاليل**

مع التطور والتقدم العلمي والتكنولوجي ظهرت عدة طرق لقياس pH المحاليل بشكل واسع في قياس درجة الحموضة للماء والمحاليل...، حيث تسهل لنا دقة النتائج في فهم التفاعلات الكيميائية والبيوكيميائية المختلفة، وتعد الأكثر شيوعاً للقياس هي الطرق اللونية باستخدام أوراق الـ pH أو الكواشف السائلة، أو بالطرق الكهربائية التي تعتمد على أقطاب حساسة للأس الهيدروجيني.

**1.2 طرق القياس المرئية**

ان الكواشف Indicators مركبات كيميائية تدل غالباً على تفاعل لوني على تركيز محدد لأيونات (لشوارد) مختلفة تضاف المشعرات إلى الوسط المراد فحصه على شكل محلول أو بوساطة شريط ورقي مشبع بمحلول لهذا الكاشف كواشف الـ pH كواشف حمض - أساس أو كواشف التعديل (Acid-base Indicators or Modification) : (Indicators)

وهي مركبات عضوية ملونة يتغير لونها أو درجتها اللونية حسب pH الوسط، وتدعى بمشعرات التعديل وتستخدم لتحديد نقطة نهاية معايير التعديل. يميز نوعان من هذه المشعرات:

**ثنائية اللون:**

التي لها في الوسط القلوي لون وفي الوسط الحمضي لون مختلف، ويكشف عن نقطة التعديل من خلال الانقلاب اللوني لهذا الكاشف.

**أحادية اللون:**

التي لها في الوسط القلوي لون وتكون في الوسط الحمضي لا لون لها، مثل الفينول فتالين وهو واحد من أكثر هذه الكواشف الملونة في الوسط القلوي، في حين يزول لونه في الوسط الحمضي. و تنقسم طرق القياس المرئية إلى:

**1.1.2 الكواشف السائلة الملونة**

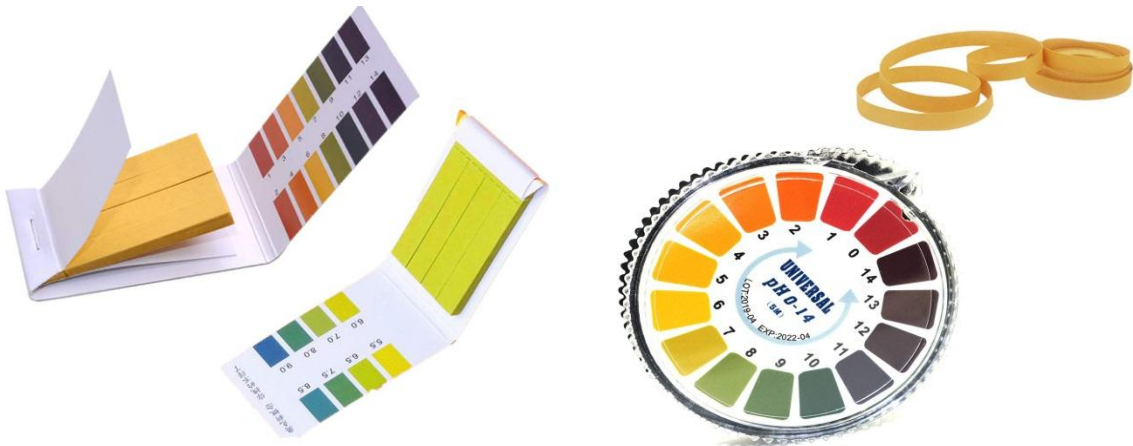
هو كاشف كيميائي يقوم بالكشف ( الصورة 2\_1 ) عن أيونات الهيدروجين ويتكون عادةً من أحماض أو قواعد ضعيفة ترتبط بأيونات الهيدروجين أو أيونات الهيدروكسيد عند اضافتها إلى محلول مُغيرة لون المحلول تبعاً لدرجة حموضته [19].



الشكل 2\_1 مثال عن الكواشف السائلة الملونة.

### 2.1.2 الكواشف الورقية الملونة

تعتبر أكثر دقة وتسمى بالكاشف العام، وهي عبارة عن أوراق صفراء اللون (مثل ما هو موضح في الصورة 2\_2) تحوى خليط من عدة صبغات ويعطي تدرجات لونية مختلفة حسب درجة الحموضة كما يتضح في الصورة، لكل لون قيمة pH محددة فإذا قمنا بغمر ورقة الدليل العام في محلول ما، فإنه سنتلون حسب درجة حموضة هذا المحلول وعندما تجف تقارن اللون بالرقم الهيدروجيني الخاص به. يعتبر هذا الكاشف مفيد جداً لأنه يعطي مدى من الألوان تعتمد على قوة وتركيز المادة الحمضية أو القاعدية ويمكن أيضاً استخدام الكاشف لتحديد درجة حموضة مجموعة من المحاليل المخففة من نفس المادة.



الشكل 2\_2 أوراق الكاشف العام الملونة لقياس pH المحاليل.

### 2.2 طرق القياس الكهربائية (الكهروكيميائية)

تعتمد طريقة قياس الأس الهيدروجيني هذه على معادلة Nernst التي تصف بشكل بسيط نسبياً العلاقة بين الجهد الجلفاني لتجميع قطب كهربائي محدد والنشاط الكيميائي لتركيز الأيونات الذي يتم قياسه.

❖ معادلة نرنست (Nernst equation)

ينشأ فرق الجهد بين قطبي البلاتين بواسطة تركيزات مختلفة من أيونات الهيدروجين النشطة في المحاليل. يتم التعبير عن العلاقة بواسطة معادلة Nernst الموضحة أدناه:

$$E = E_0 + \frac{2.3RT}{nF} \log(aH^+) \dots \dots \dots (8)$$

حيث:

E هو الجهد المقاس من قطب الاستشعار و يرتبط  $E_0$  بجهد القطب المرجعي،  
 $\frac{2.3RT}{nF}$  هو معامل نرنست.

$\log(aH^+)$  يعبر على قيمة درجة الحموضة.

يتضمن عامل نرنست ثابت قانون الغاز ( $R=8.314 \text{ j/mol.k}$ )، ثابت فاراداي ( $F=96485 \text{ c/mol}$ )، درجة الحرارة بالكلفن (T) وشحنة الأيون (n)، بالنسبة لدرجة الحموضة حيث  $n=1$  يصبح عامل نرنست ( $RT/ F2.3$ ) وبما أن R و F عبارة عن ثوابت، فإن سلوك القطب يعتمد على درجة الحرارة.

عند قياس أيونات الهيدروجين ( $n=+1$ ) قيمة عامل الميل عند 25 درجة مئوية يساوي 59.16 ملي فولط، يسمى هذا عامل الميل المثالي، بتغير وحدة في درجة الحموضة فإن نظام القياس المثالي يستشعر تغير ملي فولط واحد من 59.16 ملي فولط. تعرض أجهزة قياس درجة الحموضة العلمية "Thermo Scientific" الميل كنسبة مئوية من القيمة النظرية، على سبيل المثال، الميل (98.5%) يعادل الميل (58.27 pH/ mv) [20] وتعطي عملية القياس هذه إشارة لأداء نظام القطب. يفقد نظام القياس دقته إذا لم تنظف الأقطاب بعد الاستعمال وتكون معرضة للإهمال لمدة طويلة. يمكن رصد نقص في الأداء عن طريق التخفيض الثابت في قيمة الميل المقاسة للنظام. عندما تنخفض قيمة الميل تحت 50 ملي فولط لكل عشرة وحدات (85%)، يمكن أن تعيد إعادة التعديل القطب إلى مستوى الأداء المطلوب. لكن تغيير القطب يمكن أن يكون ضروريا لضمان قياسات دقيقة لدرجة الحموضة. يجب التنبيه إلى أن العوامل مثل انسداد و نقص محلول الاستقطاب (الإلكتروليت) وتلوث اللبنة الزجاجية وعدم استعمال المحاليل المنظمة الغير مناسبة لعملية المعايرة، يجب أن تؤخذ بعين الاعتبار عندما يكون هناك ارتياب في أداء نظام قياس درجة الحموضة [8].

#### ◆ نقطة الصفر لقطب الجمع

نقطة الصفر لقطب الجمع هي قيمة درجة الحموضة التي يكون فيها مجموع الجهد الكلي E للقطب الكهربائي مساوياً لـ mv0. نظريا يتم تحديد نقطة الصفر لسلسلة قياس درجة الحموضة بواسطة محلول منظم داخلي لقطب القياس، و الذي يكون له قيمة درجة الحموضة 7 في ظل الظروف العادية. إذا كانت قيمة درجة الحموضة للوسط المقاس تساوي أيضاً 7، فإن فرق الجهد لسلسلة قياس درجة الحموضة يجب أن يكون mv0، لكن عملياً نادراً ما يكون هذا هو الحال، لأن E الكلي هو نتيجة لسلسلة جهود خلية القياس. كل جهد يتفاعل بشكل مختلف مع تغيرات درجة الحرارة وتركيب محلول القياس. لذلك من الصعب إن لم يكن من المستحيل إنتاج قطب جمع درجة الحموضة مع نقطة الصفر محددة بدقة. قد يختلف تحمل نقطة الصفر، كما هو منصوص عليه في المعيار الصناعي الألماني (DIN)، بين القيمتين 30 mv- و 30 mv+. تحدد العديد من الشركات المصنعة لأقطاب الرقم الهيدروجيني عمداً نقطة الصفر لأقطاب الجمع (درجة الحموضة 7 و 0 ملي فولت) أقل قليلاً (حوالي 6.8 درجة الحموضة) [6].

**1.2.2. الأقطاب الزجاجية: Glass Electrodes**

هنالك العديد من الأقطاب الزجاجية التي تستجيب لأيونات مختلفة منها البوتاسيوم و الصوديوم و الهيدروجين و هذا الأخير يعرف بقطب الزجاج الهيدروجيني pH glass electrode. بتغيير مكونات الزجاج يمكن تغيير انتقائية القطب تجاه أيون معين، فمثلا قطب الهيدروجين الذي يستخدم لقياس الرقم الهيدروجيني يتكون من حوالي 22% أكسيد الصوديوم و 6%. أكسيد الكالسيوم CaO و 82% أكسيد السليكون [21].

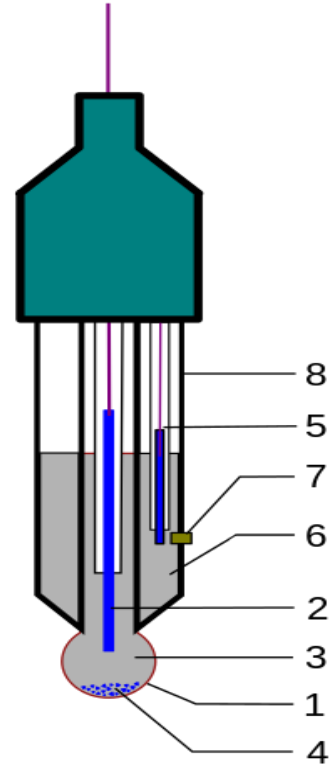
**أ - مكونات القطب الغشائي الزجاجي**

تم إنجاز قدر كبير من الأبحاث المكثفة لتأثيرات التركيب الزجاجي على أغشية البروتونات والكاتيونات الأخرى، حيث يتم تصنيع هذا الغشاء من 22% من  $Na_2O$  و 6% من  $CaO$  و 72% من  $SiO_2$ ، ويلعب هذا الغشاء دورا هاما في تسجيل استجابة أيونات الهيدروجين عندما تبلغ درجة الحموضة قيمة  $pH=9$ ، كما يظهر هذا الغشاء تجاوبا مع محلول الصوديوم، وتتميز هذه الأغشية بانتقائية عالية عندما يبلغ مدى الرقم الهيدروجيني حدا عاليا  $pH=12$ ، ترتبط كل ذرة من السليكون بثلاث ذرات من الأكسجين ويتم ربط ذرة الأكسجين الأخرى بها من الجهتين في الأسفل والأعلى.

**ب - كيف ينشأ الكمون في القطب الزجاجي**

عند وضع أي غشاء بين محلولين مختلفين في التركيز فإنه ينشأ جهد عبر هذا الغشاء. ففي حالة قطب الزجاج عند تثبيت تركيز أيون الهيدروجين في الطرف الداخلي بواسطة محلول منظم فإن الجهد الذي ينشأ يعتمد على تركيز أيون الهيدروجين في المحلول الخارجي (المحلول المراد قياس رقمه الهيدروجيني)، الشكلين رقم (2) و (3) يوضحان قطب الزجاج كجزء من خلية متكاملة [21].

1. جزء استشعار من القطب، لمبة مصنوعة من زجاج معين.
2. قطب كهربائي داخلي، عادة قطب كلوريد الفضة أو قطب كالوميل
3. محلول داخلي، عادة ما يكون الرقم الهيدروجيني = 7 مخزنة حل 0.1 مول / لتر KCl لأقطاب درجة الحموضة أو 0.1 مول / لتر مكل لأقطاب PM
4. عند استخدام قطب كلوريد الفضة، يمكن أن تترسب كمية صغيرة من AgCl داخل قطب الزجاج
5. قطب مرجعي، عادة ما يكون من نفس نوع قطب الكهربائي الداخلي
6. محلول داخلي مرجعي، عادة 0.1 مول / لتر KCl
7. تقاطع مع محلول مدرّوس، وعادة ما يكون مصنوعاً من السيراميك أو الشعيرات الدموية مع الأسبستوس أو ألياف الكوارتز.
8. جسم قطب كهربائي مصنوع من زجاج أو بلاستيك غير موصل.



الشكل 2\_3 مخطط قطب زجاجي نموذجي للأس الهيدروجيني.

ونلاحظ:

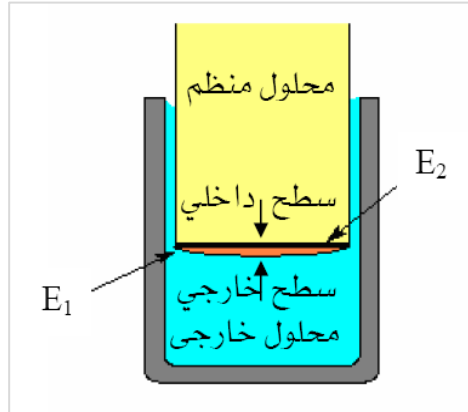
- 1- وجود قطب الكالوميل المشبع و المستخدم كقطب مرجع خارجي (جهده ثابت) لتكملة الدائرة.
- 2- وجود قطب الفضة / كلوريد الفضة داخل قطب الزجاج و المستخدم كقطب مرجع داخلي و ذلك التوصيل قطب الزجاج كهربائياً [21].

ان سطح الزجاج الخارجي الملامس للمحلول المراد قياس رقمه الهيدروجيني و سطح الزجاج الداخلي الملامس للمحلول المنظم يتحولان إلى حمض  $\text{SiOH}$ - نتيجة التنقيع، لذا عند ملامسة قطب الزجاج الخارجي للمحلول المراد قياس رقمه الهيدروجيني ينشأ جهد  $E_1$  على الغشاء هذا الجهد يعتمد على تركيز  $\text{H}^+$  في المحلول و تركيز  $\text{H}^+$  على سطح الغشاء الخارجي حيث نجد أن هذه الأيونات تنتشر في الاتجاه الذي يكون فيه تركيز  $\text{H}^+$  أقل و بذلك ينشأ جهد على قطب الزجاج و الذي يتغير حسب نوع المحلول، ينشأ أيضاً جهد آخر على الجانب الداخلي للغشاء  $E_2$  و الذي يكون ثابتاً لوجود المحلول المنظم و يمكن توضيح أعلاه أيضاً كما في الشكل رقم (3).

في الشكل رقم (3) أعلاه نلاحظ أربعة أنواع من الجهد

- إثنين منهما لقطبي الفضة كلوريد الفضة (Eng. Agc) و الكالوميل المشبع (Esct) و يعتبر جهديهما ذات قيمة ثابتة.
- الجهد الثالث و الذي يسمى جهد إتصال السائل. و يكون عبر القنطرة الملحية و الذي يفصل ما بين محلول قطب المرجع الخارجي (الكالوميل) و المحلول المراد تقديره، وهذا الجهد يجب أن يكون ثابتاً و ذات قيمة بسيطة جداً.

• الجهد الرابع و المهم هو جهد الحدود (E) boundary potential و الذي يتغير حسب تركيز أيون الهيدروجين في المحلول [21].



الشكل 2\_4 رسم توضيحي لنشأة جهد الحدود

### ج - استجابة القطب الزجاجي لتغيرات الـ pH

يعتمد اختيار القطب المناسب لقياس درجة الحموضة على دقة وسرعة استجابته لتغيرات في قيم الأس الهيدروجيني وتعد الأقطاب الكهربائية الزجاجية لأيونات الهيدروجين أكثر أجهزة الاستشعار استخدامًا في قياس الأس الهيدروجيني، حيث يصنع الغشاء من أيونات قاعدية مثل  $Na^+$  ،  $K^+$ .

يتطور الجهد الكهربائي في طبقة هلامية رطبة بناءً على مبدأ التبادل الأيوني الذي يؤدي إلى حد طور مكتمل، هذه الطبقة الرطبة هي التي تؤدي إلى استجابة الأس الهيدروجيني، من المهم الحفاظ على أقطاب الزجاج في حالة رطوبة وذلك من خلال تخزينها في محلول KCl.

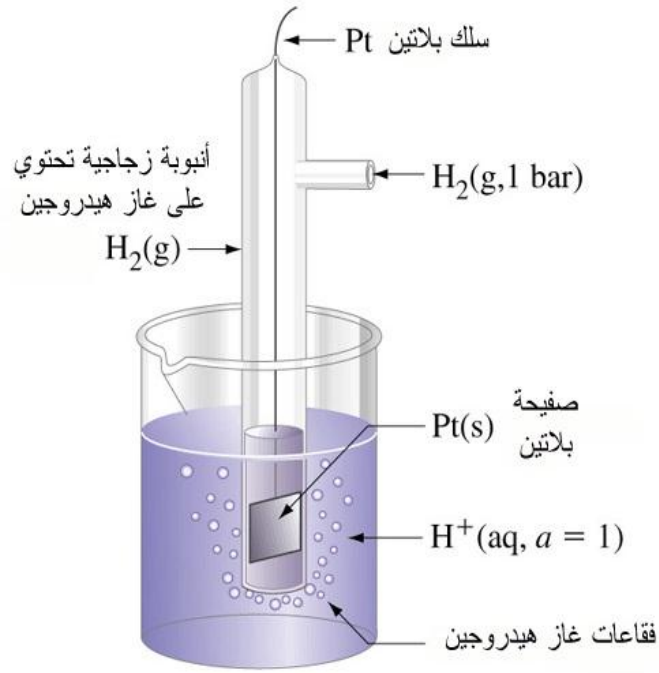
بسبب بطئ استجابة قطب المزيج في قياس درجة الحموضة يجب الانتظار لفترة وجيزة للوصول إلى قيمة دقيقة لدرجة الحموضة في المحاليل المنظمة ثم يتم ضبط القيم المشار إليها على قيمة pH المحاليل المنظمة.

### د - أنواع الأقطاب الزجاجية

#### ج-1 قطب الهيدروجين القياسي

تحتوي أغلب المحاليل الكيميائية على أيون الهيدروجين وبالتالي عند حدوث تفاعل كهروكيميائي يجب استخدام قطب الهيدروجين القياسي الذي يضمن حدوث تفاعل يتكون قطب الهيدروجين من صفيحة بلاتينية مغطاه بطبقة رقيقة من البلاتين المركب المسمى بالأسود البلاتيني والتي لها مساحة سطح عالية، ويتم تنظيف هذا القطب باستخدام الهيدروجين الغازي النقي من أجل تكوين طبقة كاملة من جزيئات  $H_2$  الممتصة على السطح، فإذا كان هذا القطب مغمورا في الإلكتروليت فإنه يعمل كقطب كهربائي [22] ، ويوصف قطب الهيدروجين بأنه قطب قياسي (1atm) عند درجة حرارة

(  $25^{\circ}C$  ) وفعالية أيونات الهيدروجين تساوي ( 1mol )، ولقد اتفق على أن يعطى جهد الاختزال القياسي له قيمة تساوي صفر، أي أن جهد قطب الهيدروجين يعتمد على الرقم الهيدروجيني للمحلول ولكي تكتمل الدائرة لا بد من اتحاده مع قطب آخر وهو قطب الكالوميل القياسي [13].



الشكل 2\_5 يمثل القطب الهيدروجين القياسي.

## ج - 2 الأقطاب المرجعية (Reference electrodes)

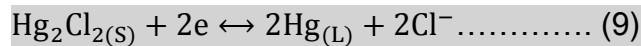
يتمثل الغرض من القطب المرجعي في توفير إمكانات مرجعية ثابتة ومحددة لإمكانات حساس الأس الهيدروجيني المراد قياسه، لتكون قادرًا على القيام بذلك يجب أن يكون القطب المرجعي مصنوعًا من زجاج غير حساس لأيونات  $H^+$  في المحلول، يجب أن تكون مفتوحة لبيئة العينة التي يتم غمسها فيها [8]، ومن بين هذه الأقطاب المرجعية:

## ✓ الأقطاب المرجعية (القياسية) الثانوية: Secondary reference electrodes

يعود سبب استبدال قطب الهيدروجين بهذه الأقطاب القياسية الثانوية بسبب عيوبه المتمثلة في صعوبات تواجه تحضير واستعمال قطب الهيدروجين القياسي وجهده الغير ثابت، وبالتالي لا يمكن الاحتفاظ به لمدة طويلة بدون تغير في قيمة جهده ومن أهم الصفات التي ينبغي أن يتصف بها القطب القياسي أن يكون ذا جهد ثابت وتتمثل الأقطاب المرجعية القياسية في [23]:

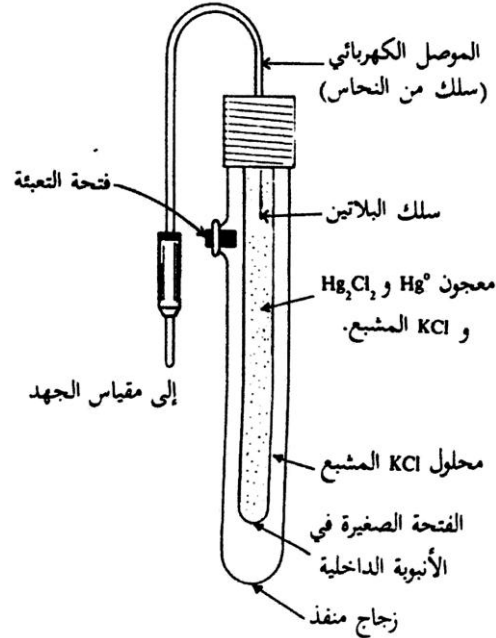
## ✓ قطب الكالوميل القياسي: Calomel Reference Electrode

قطب الكالوميل الذي يعتبر القطب المشيع والأكثر استخداما وذلك لسهولة تحضيره و يمكن تمثيل نصف الخلية كالآتي:



ويتكون من:

- أنبوب داخلي يحتوي على عجيين من الزئبق كلوريد الزئبق في محلول مشبع من كلوريد البوتاسيوم، يتم توصيله كهربائياً باستخدام سلك من البلاتين. تتصل الأنبوبة الداخلية عن طريق فتحة صغيرة بالأنبوبة الخارجية و التي تحتوي على محلول مشبع من كلوريد البوتاسيوم.
- يتصل قطب الكالوميل بمحلول العينة من خلال قطعة من الزجاج النفاذ [21].

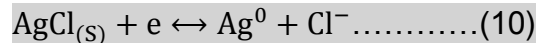


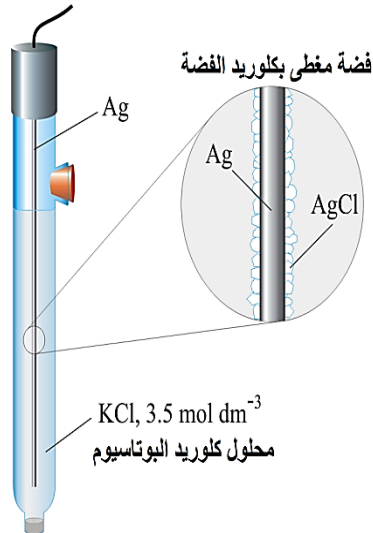
الشكل 2\_6 قطب الكالوميل المشبع

لكن بسبب المخاطر الصحية للزئبق فقد تم استبداله على نطاق واسع بقطب كلوريد الفضة ولكن لازال قطب الكالوميل يتمتع بسمعة قوية. فالطبقة المائية التي هي باتصال مع الزئبق و كلوريد الزئبق هي عبارة عن محلول مائي مشبع من كلوريد البوتاسيوم. و يرتبط القطب عادةً عبر طبقة مسامية بالمحلول الذي يغمر فيه القطب الآخر.

### ✓ قطب الفضة / كلوريد الفضة (Silver/Silver Chloride Electrode)

قطب الفضة / كلوريد الفضة يعتبر قطب قياسي مثل قطب الكالوميل لتعيين قيمة الجهد لأي قطب بتكوين خلية منه ومن القطب المراد حساب قيمة جهده ومن ثم تعيين قيمة القوة الدافعة الكهربائية (E.M.F) للخلية، بما أن قيمة جهد قطب الفضة معلومة فإنه يمكن تعيين قيمة جهد القطب الآخر، ويمكن تمثيل نصف الخلية كالآتي [21]:





الشكل 2\_7 التركيب العام لقطب الفضة / كلوريد الفضة.

يعتمد جهد قطب الفضة / كلوريد الفضة على تركيز أيون الكلوريد كما هو الحال في قطب الكالوميل.  
الجدول 2\_1 جهد قطب الفضة / كلوريد الفضة لتراكيز المختلفة من أيون الكلوريد عند 25 درجة مئوية:

تركيز KCl	جهد قطب الفضة / كلوريد الفضة
مشبع	0.200V
1N	0.222V

من أهم الشروط الواجب توفرها في الأقطاب القياسية الثانوية:

- ✓ أن يكون ذا جهد ثابت لا يتأثر بالوقت ولا بدرجة الحرارة.
- ✓ أن لا يكون قابلاً للإستقطاب أو على الأقل أن يكون أقل استقطاباً.
- ✓ أن يكون القطب سهل التحضير.

هناك أقطاب قياسية ثانوية كثيرة تمتاز بمميزات أفضل مما يتميز به قطب الهيدروجين القياسي ومنها:

- انخفاض التكلفة.
- عدم تغيير الجهد بمرور الزمن.
- عدم إستعمال غاز الهيدروجين القابل للاشتعال.
- سهولة التصميم [13].

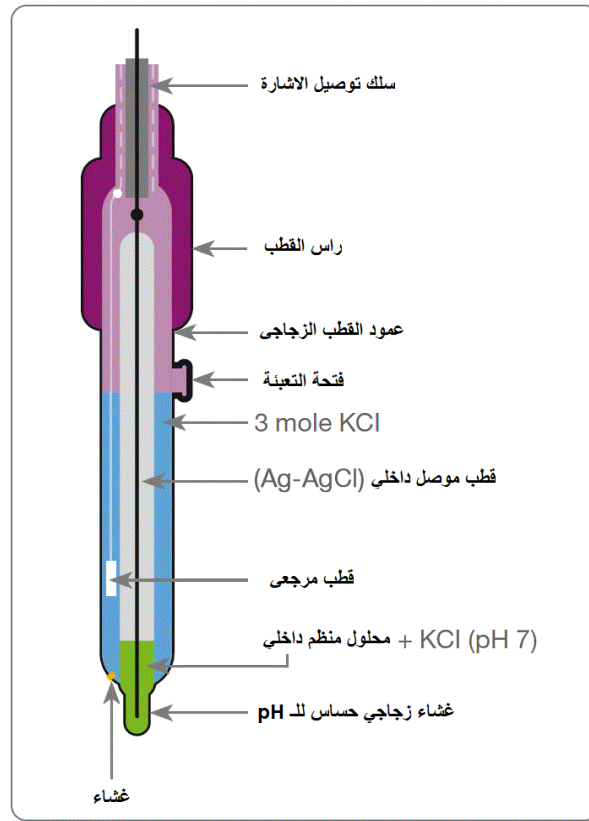
### ج - 3 الأقطاب الانتقائية (Selective electrodes)

عبارة عن أقطاب تستجيب لأيون معين بصورة انتقائية في وجود الأيونات الأخرى، أي أن القطب الانتقائي يعتمد جهده على تركيز أيون معين و عليه يكون لكل أيون قطب خاص به، هذه الأقطاب تسمى أيضاً بأقطاب الأدلة indicator electrodes. تأتي هذه الأقطاب تحت مجموعة رئيسية و هي الأقطاب الزجاجية، الأقطاب الترسيبية، أقطاب السوائل، أقطاب الغازات و أقطاب الأنزيمات.

تُفضل طريقة الأقطاب الانتقائية للأيونات على الكثير من الطرق الطيفية في عمليات التحليل لكونها سريعة وذات مدى خطي واسع ولا تتأثر بلون النموذج كما أنها بسيطة وغير مكلفة وسهلة الإعداد والتشغيل.

### ج - 4 قطب المزيج الكهربائي (Combination electrode)

وهو مصمم لتحقيق أقصى قدر من الدقة وسهولة الاستخدام خاصة في المختبرات، يتكون من خلال دمج قطبين الأول قطب زجاجي والثاني قطب مرجعي يعمل قطب المزيج الكهربائي على تعويض درجة الحرارة لأن القوة الدافعة الكهربائية تختلف في القطب الزجاجي تبعاً للمحلول مما يتيح قياس الأس الهيدروجيني فقط عن طريق غمره في المحلول المنظم، وذلك من خلاص تسجيل تركيز أيون الهيدروجيني الذي يقدم جهد كهربائي عند درجة حرارة ثابتة. كما يمتلك قطب المزيج نفس خصائص الأقطاب المنفصلة ولا تختلف إلا في دمجها في قطب واحد وهو قطب المزيج الكهربائي [24].



الشكل 2\_ 8 يبين قطب المزيج الكهربائي.

### ج - 5 الأقطاب الغشائية الزجاجية (Glass Membrane electrodes)

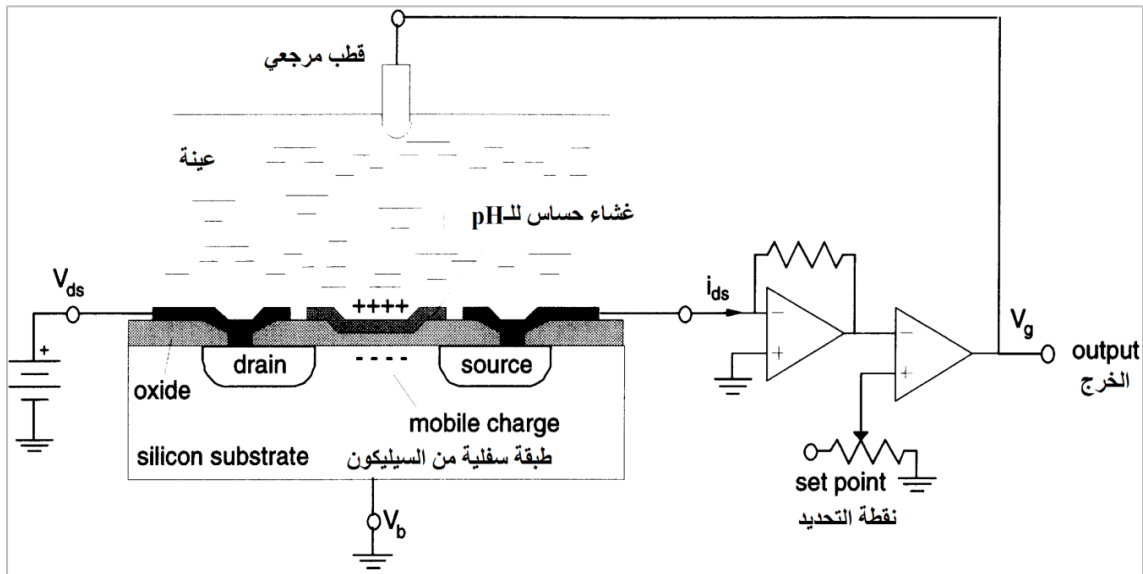
يقيس مقياس الأس الهيدروجيني فرق الجهد الكهربائي الذي يتغير بين قطب مؤشر الأس الهيدروجيني بغشاء زجاجي وقطب مرجعي مغمور في العينة التي يتم اختبارها، تتمثل حساسية غشاء القطب الزجاجي المحتملة لتغيرات في الأس الهيدروجيني صغيرة لذا فإنه يلزم وجود إلكتروود مرجعي مصمم بشكل مناسب ومقياس مقاومة المدخلات العالية من أجل قياس الجهد بدقة. يكون الغشاء المتحسس عبارة عن غشاء زجاجي رقيق جداً ويستعمل لتقدير أيونات مثل:  $H^+$ ،  $K^+$ ،  $Na^+$ ،  $NH_4^+$ ،  $Fe^{3+}$ ،  $Cu^{2+}$ .

## 2.2.2 القياس باستعمال الترانزستورات و أشباه الموصلات (pH-FETs)

تعتمد العديد من العمليات الكيميائية والبيولوجية على الأس الهيدروجيني مما يجعلها واحدة من أكثر القياسات المخبرية شيوعاً، وقد كان التطور الأخير في قياس الأس الهيدروجيني هو إدخال تقنية الترانزستور ذات التأثير الميداني الذي نرسم له بـ (ISFET) الحساس لأيونات كبدل للقطب الزجاجي [25]، وذلك باستخدام رقائق السيلكون و الميزة الرئيسية للترانزستور هي قدرته على تضخيم إشارة الدخل والتحكم فيها حساسة جداً للتغيرات في إمكانات السطح، على وجه الخصوص يعد MOSFET FET من أشباه الموصلات المعدنية بأكسيد المعدن هو الأكثر شيوعاً في كل من الدوائر الرقمية والتناظرية [26]، يمكن استخدامه كمستشعر الأس الهيدروجيني [25].

يعتمد ترانزستور لأيونات أو أقطاب الحالة الصلبة على شريحة (ISFET) والتي عند ملامستها لمحلول منظم تكشف وتقيس الجهد المتغير بين سطحها ومادة أشباه الموصلات الأساسية بحيث يتناسب هذا الجهد المتغير مع تركيز أيون الهيدروجين في العينة ويسهل تحديد قيمة الأس الهيدروجيني، حيث يتم إجراء اتصال كهربائي للمحلول بواسطة قطب مرجعي مما يناسب الجهد المنطبق عليه.

في الشكل يقوم مضخم التوصيلية بتحويل تيار الصرف إلى جهد متغير، وتعتبر الثوابت  $V_g$  و  $Q_C$  على شحنة التيار المتنقل مثلها مثل الثوابت  $V_{DS}$  و  $V_{TC}$  فإن التغيرات تعكس بشكل مباشر نشاط أيون الهيدروجين أي أن تغيير بنسبة 59mv يتوافق مع تغير الرقم الهيدروجيني، وتسمح دوائر الواجهة الموضحة في الشكل بتوصيل الجهاز مباشرة بمقياس الأس الهيدروجيني مع الأخذ بعين الاعتبار تعويض درجة الحرارة المختلفة عند المعايرة [22].



الشكل 2\_9 يوضح قياس الأس الهيدروجيني بواسطة ترانزستور و تأثير المجال الانتقائي الأيوني.

### 3. الخاتمة

المعرفة الأساسية لمبادئ قياس درجة حموضة المحاليل الكيميائية بالإضافة إلى قياس الجهد وفهم كيفية عمل الأقطاب المستعملة في المجال الذي بواسطته يتم عمليا قياس الـpH، حيث أن العديد من العمليات في مختلف الصناعات الكيميائية تتطلب قياس الـpH ولذلك تعتبر دقة هذا القياس ضرورية خاصة في الأقطاب المستعملة، مما يجعل تطوير و انجاز نظام الحساس في مختلف العمليات مناسبة لأجهزة قياس درجة الحموضة، وهذا ما سيتم تحقيقه في الجزء العملي.

## **الفصل الثالث**

**تصميم وإنجاز جهاز قياس درجة الحموضة**

**لمختلف المحاليل الكيميائية**

## 1. مقدمة

منذ زمن ليس ببعيد كان العمل على صناعة داره إلكترونية للقيام بوظيفة معينة يعني بناء وتصميم الكتروني معقد من مكونات مثل: مقاومات و مكثفات، ترانزستورات... لكن هذا كله كان قبل ثورة المتحكمات الدقيقة والألواح التطويرية. أما بعد التطور أشتهر العالم بعدة أنواع من المتحكمات الإلكترونية المتوفرة مثل عائلة Pic و STM و Raspberry Pi و MSP وكلها تتميز بإمكانيات قوية ولها القدرة على التحكم في مختلف القطع الإلكترونية والبرمجيات وتوفر طرق غير مكلفة وسهلة للطلاب والمهنيين بهدف إنشاء أجهزة تتفاعل مع تطبيقاتهم باستخدام أجهزة الاستشعار و القطع الطرفية استنادا إلى لوحات التحكم، ولكن ما يميز الأردوينو Arduino هو مجموعة من الأمور التي تصنع الفارق بينه وبين غيره من حيث البساطة والتمن والتركيب الذاتي، لذا سوف نقوم في هذا الفصل بشرح كيفية إنجاز نظام قياس درجة الحموضة بالاعتماد على لوحة Arduino مع استعمال مجموعة من القطع الطرفية مع شرح و مناقشة النتائج المحصل عليها.

## 2. نظرة عامة عن عمل المشروع

في البداية سنقوم بتصميم هذا المشروع من خلال تحديد القطع الإلكترونية اللازمة ثم اجراء محاكاة بواسطة البرنامج الشهير Proteus و الذي من خلاله يمكن تعديل و معاينة النظام و نتائج عمله بالإضافة الى استعمال البيئة التطويرية Arduino IDE لكتابة الكود البرمجي. و لإثبات صحة ما تم تصميمه سنقوم بتنفيذ الدارة السابقة عملياً بقطع حقيقية وبعدها نقوم بتجريب الجهاز في المخبر للتحقق من سلامة ودقة النتائج المتحصل عليها بواسطة محاليل كيميائية عند درجة حرارة ورطوبة معينة.

## 3. المكونات الأساسية للمشروع

### 1.3 المكونات الصلبة

#### أ - لوحة Arduino

يعرف بأنه عبارة عن لوحة إلكترونية مفتوحة المصدر لتطوير الكثير من الأفكار والمشاريع المتعلقة بالتحكم الألي بصورة سهلة وبسيطة عن طريق استخدام لغة البرمجة مفتوحة المصدر تسمى Arduino C ، ويتم برمجة اللوحة باستخدام برنامج خاص يسمى Arduino IDE، ويتميز هذا البرنامج بالبساطة والمرونة في التعامل ويخلو من أي تعقيدات في المظهر العام، ويحتوي فقط على ما يحتاجه المبرمج.

ويعرف الباحثون نظام الأردوينو إجرائيا بأنه: " هو لوحة إلكترونية يتم برمجتها بأحد لغات البرمجة المخصصة لذلك للتحكم في بيئات التعلم عن بعد [27].

### مميزات Arduino

- رخيصة الثمن حيث يقدر ثمنها حوالي 1500DA.
- سهولة التعامل معها.
- بساطة لغة البرمجة.
- توفر ملحقات عديدة لها.

- توفر مكتبات لأغلب ملحقاتها.
- مفتوحة المصدر مما يساعد على سرعة تطويرها.
- يمكن ربطها بلغات برمجة قوية مثل MATLAB و JAVA و VB.NET [28].

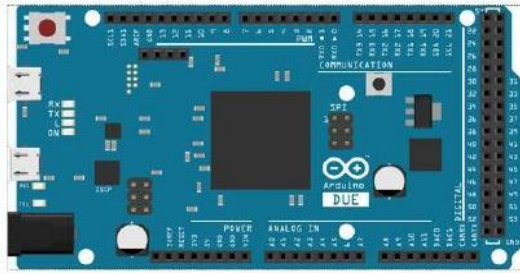
### ← استخدامات Arduino

- ✓ مشاريع قياس درجة الحموضة والرطوبة والضوء...إلخ.
- ✓ مشاريع التحكم بتشغيل الأجهزة وعرض النتائج على شاشة LCD.
- ✓ مشاريع التحكم بأجهزة المنزل عبر الهاتف.
- ✓ مشاريع التتبع عبر الأقمار الصناعية.
- ✓ مشاريع قياس المسافات.
- ✓ أجهزة إنذار الزلازل وإنذار الحرائق [29].

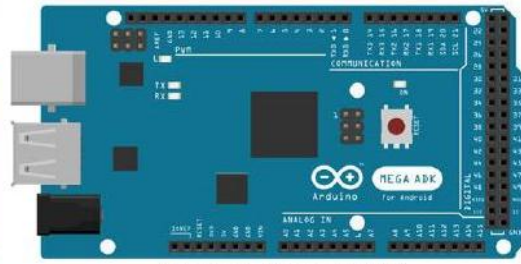
### ← أنواع لوحات Arduino

تختلف لوحات الأردوينو من حيث الحجم و عدد المنافذ التي يمكن استخدامها نذكر منها [28]:

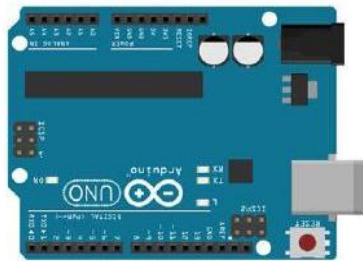
- لوحة Arduino UNO.
- لوحة Arduino Due.
- لوحة Arduino Leonardo.
- لوحة Arduino Yun.
- لوحة Arduino Mega.
- لوحة Arduino Mini Pro.
- لوحة Arduino Nano.



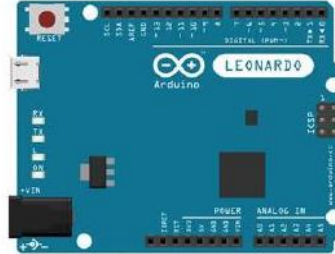
Arduino Due



Arduino Mega 2560

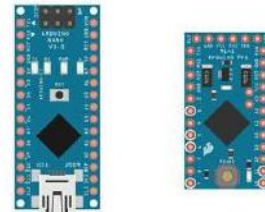


Arduino Uno



Arduino Leonardo

Arduino Nano

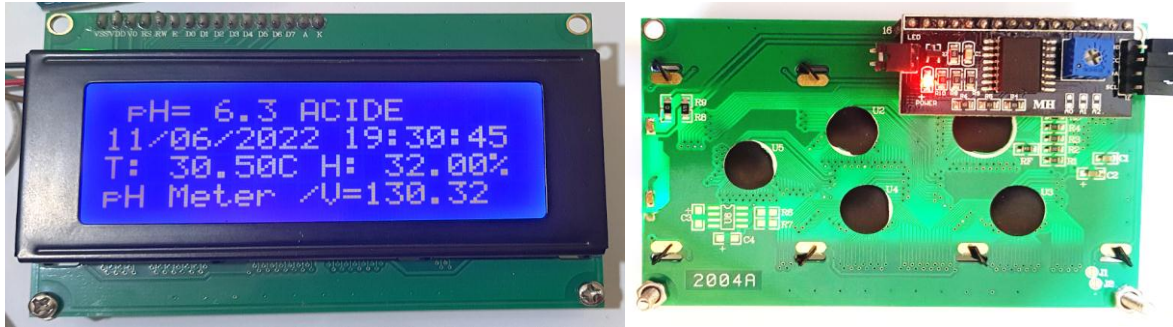


Arduino Mini

الشكل 3\_1 تمثل بعض أنواع Arduino.

## ب - شاشة LCD

تتكون الشاشات من زجاج الكريستال المعالج وتتوفر هذه الشاشات بأحجام وأنواع مختلفة وتتمثل في نوعين أساسيين وهما: شاشات العرض المعتمدة على الحروف Character LCD. و شاشات العرض المعتمدة على الرسومات Graphical LCD. توفر شاشات عرض المعتمدة على الحروف إمكانية إخراج أي نصوص تتكون من حروف أو أرقام أو رموز وتتوفر بأحجام مختلفة وألوان مختلفة مثل: Green 20×4 lcd ،Blue 16×2 lcd ،Green 16×2 lcd. ويمثل الرقم 16×2 عدد السطور (2)، والحروف التي يمكن كتابتها في كل سطر (16) حرف [30].

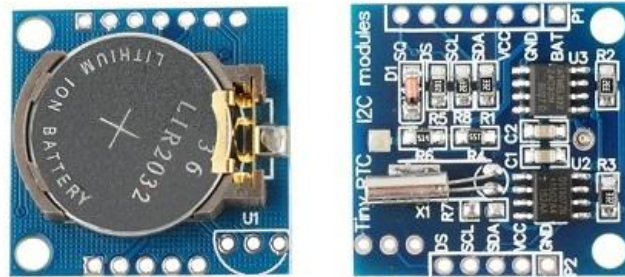


الشكل 3\_2 تمثل شاشة الكريستال السائلة LCD.

للتقليل من عدد اسلاك الربط بين الشاشة و لوحة أردوينو تم استعمال وحدة تحويل نقل البيانات بطريقة التوازي الى طريقة التسلسل حيث تحتاج هذه الاخيرة 4 اسلاك توصيل فقط بخلاف الاخرى التي تحتاج 12 سلكا مثلما هو موضع في الشكل 3\_2.

## ج - ساعة الزمن الحقيقي RTC DS1307

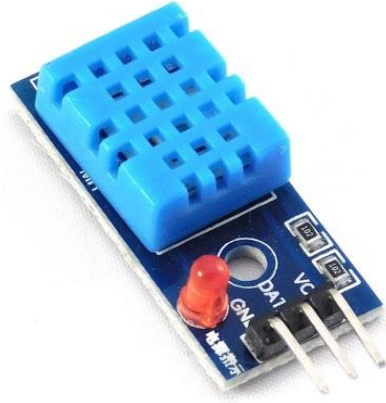
عبارة عن لوحة إلكترونية صغيرة ترسل الوقت والتاريخ الحقيقي إلى متحكم (ARDUINO UNO) ومن مميزات أنها تعمل على حفظ الوقت (ثانية، دقيقة، ساعة، يوم، شهر، سنة) حتى عند فصل (Arduino) والطاقة عنها، وتلعب قطعة RTC دورا مهما في المشاريع التي تعتمد على الوقت الحقيقي وتتكون من دائرة متكاملة DS1307 ومهتز كريستالي بقيمة 32.768KHZ حيث يعطي هذا المهتز إشارة في كل ثانية وبطارية بقيمة 3.3V تعمل كمصدر طاقة احتياطي لتبقى الدارة في حالة عمل واستمرارية عمل الساعة.



الشكل 3\_3 تمثل دائرة RTC DS1307.

## د - حساس الحرارة DHT11

رغم أنه بسيط ومنخفض التكلفة لكنه مفيد جدا للباحث حيث يتكون من جزئين: مستشعر حساس موسعي (capacitive sensor) خاص بقياس الرطوبة، ومقاومة تابعة لدرجة الحرارة (thermistor). كما يتكون من دائرة متكاملة صغيرة مسؤولة عن القيام بتحويل اشارة البيانات التناظرية إلى قيم رقمية وتتم قراءة هذه البيانات بواسطة متحكم دقيق وهو Arduino Uno الذي يمنح قيمة دقيقة جدا لدرجة الحرارة والرطوبة [31]، ويتمثل نطاق درجة الحرارة لهذا المستشعر هو من 0 إلى 50 درجة مئوية ومدى لقياس الرطوبة يتراوح بين من 20% إلى 90% كما يتطلب مستشعر DHT11 مصدر طاقة من 3 الي 5 فولط [32].



الشكل 3\_4 حساس DHT11.

## هـ - حساس الـ pH

مسبار الأس الهيدروجيني عبارة عن قطب كهربائي يتكون من قطبين أحدهما زجاجي من طراز pH E-201-C وقطب مرجعي لكوريد الفضة يحتوي كلا القطبين على بصبيلات مجوفة مغمورة في محلول كلوريد البوتاسيوم حيث يعمل محلول كلوريد البوتاسيوم على تنشيط هذا القطب بعد تخزينه لمدة طويلة أو عند استعماله لأول مرة، يستخدم حساس درجة الحموضة لقياس الأس الهيدروجيني بشكل أساسي عن طريق قياس فرق الجهد بين هذين القطبين للمحاليل السائلة على مقياس من 0 إلى 14.

الجدول 3\_1: يمثل الجهد المتولد من المسبار بدلالة قيمة الـ pH.

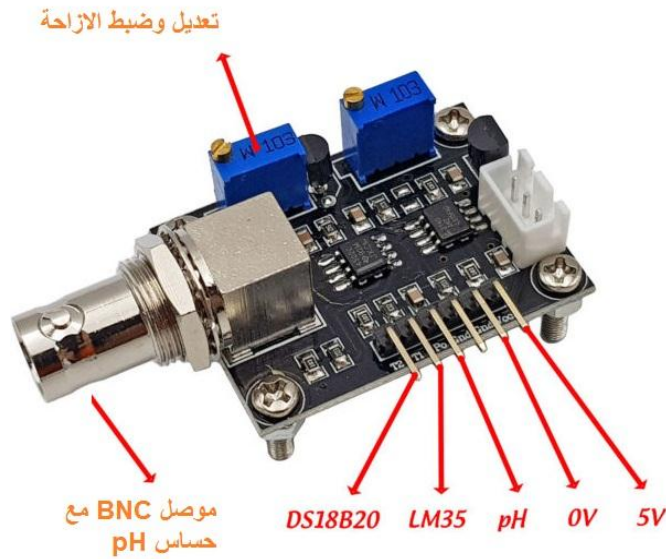
pH	0	1	2	3	4	5	6	7
Voltage(mv)	1245.23	1067.34	889.45	711.56	533.67	355.78	177.89	0
pH	14	13	12	11	10	9	8	7
Voltage(mv)	-1245.23	-1067.34	-889.45	-711.56	-533.67	-355.78	-177.89	0



الشكل 3\_5 تمثل مسبار درجة الحموضة E-201-C.

## و - دائرة التكييف

تتمتع هذه اللوحة بالقدرة على ضبط الإزاحة للقيم التناظرية أثناء معايرة الأس الهيدروجيني للسوائل المختلفة من خلال مسبار الإزاحة. حيث تحتوي هذه الدارة على موصل BNC الذي يسهل توصيلها مع وحدات التحكم الدقيقة مما يجعلها مثالية للعمل مع Arduino ، وتتكون هذه اللوحة من شريحة منظمة للجهد من 3.3V إلى 5.5V وحساس درجة الحرارة كما تتكون من ستة أطراف وهو مكان ربطها بلوحة Arduino من بينها الطرفين VCC و GND الذي يتم ربطهما لتغذية اللوحة الإلكترونية بالإضافة لطرف ضبط القيمة الحدية يرمز له بـ DO و طرف PO الذي يربط مباشرة مع مداخل أردوينو التماثلية.



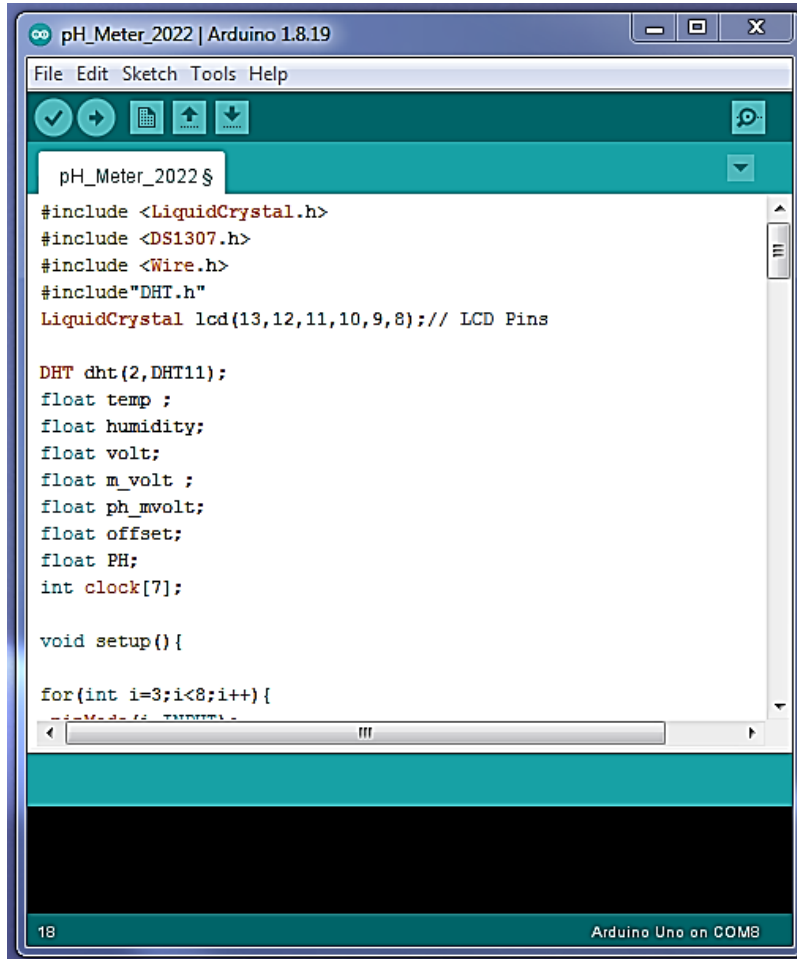
الشكل 3\_6 تمثل الوحدة الإلكترونية لحساس الـ pH.

## 2.3 المكونات البرمجية

## أ - لغة برمجة Arduino IDE

تعتمد بيئة Arduino IDE في أساسها على لغة البرمجة C/C+ وتحتوي في بنيتها على العديد من المكتبات الجاهزة والتعليمات التي تختصر الكثير من الوقت والتي تعتبر من أسهل لغات البرمجة التي تستخدم في برمجة المتحكمات المصغرة Microcontroller.

تسمى البيئة التطويرية Arduino IDE التي يتم فيها برمجة لوحات الأردوينو وكتابة الكود البرمجي بـ Sketch (التصميم أو المخطط)، وكأي بيئة برمجة تحتوي واجهة البرنامج على قوائم وأوامر وإختصارات على الواجهة الرئيسية مهمتها تسهيل كتابة الكود البرمجي وتقديم الميزات الكبيرة الموجودة في بيئة التطوير Arduino IDE.



```

pH_Meter_2022 | Arduino 1.8.19
File Edit Sketch Tools Help
pH_Meter_2022 $
#include <LiquidCrystal.h>
#include <DS1307.h>
#include <Wire.h>
#include "DHT.h"
LiquidCrystal lcd(13,12,11,10,9,8); // LCD Pins

DHT dht(2,DHT11);
float temp ;
float humidity;
float volt;
float m_volt ;
float ph_mvolt;
float offset;
float PH;
int clock[7];

void setup(){

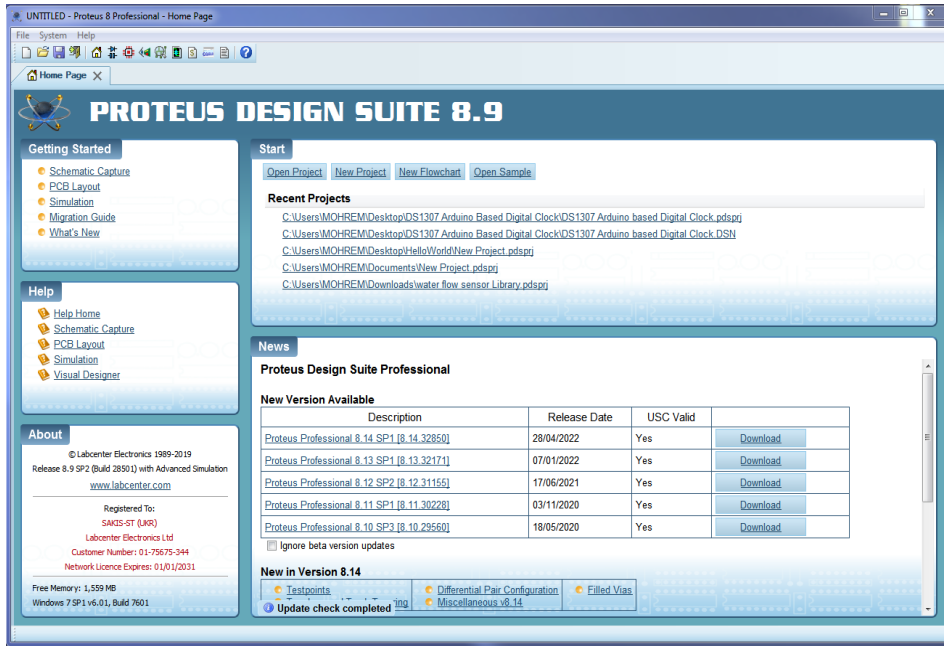
for(int i=3;i<8;i++){

```

الشكل 3\_7 توضح واجهة برنامج Arduino IDE.

### ب - برنامج المحاكاة Proteus

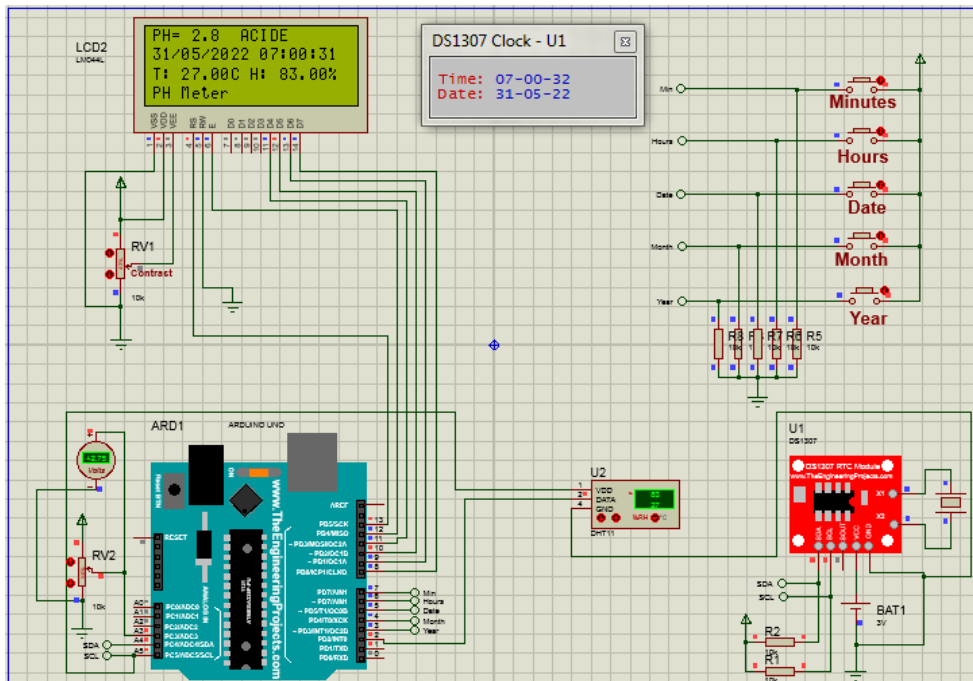
تتوفر العديد من البرامج التي تقوم بمحاكاة لوحات الأردوينو ومحاكاة القطع المختلفة التي يتم توصيلها مع لوحات الأردوينو من شاشات بأنواعها المختلفة إلى المحركات فالحساسات وبروتوكولات الاتصال المختلفة وأبرز هذه البرامج هو برنامج Proteus والذي قدم بنسخته الأخيرة العديد من الميزات التي تسهل بناء مشاريع عملية متقدمة ومتكاملة، فهو يوفر من خلال المكتبات الخاصة بالأردوينو محاكاة موثوقة لعمل هذه اللوحات، كما يوفر قدرة كبيرة على التعامل مع القطع الإلكترونية المختلفة.



الشكل 3\_8 تمثل واجهة برنامج Proteus.

#### 4. مراحل إنجاز و تجسيد المشروع

من أجل تنفيذ نظام قياس درجة حموضة مثالي يجب التأكد من سلامة نظام القياس في المعدات والمختبرات مع اختيار أجهزة الاستشعار والتحكم المناسبة التي تساعد في سهولة تنفيذ هذا النظام.



الشكل 3\_9 توضح دارة تصميم نظام لقياس درجة الحموضة على برنامج Proteus.

## 1.4 باستخدام المحاكاة بواسطة Proteus

من أجل إنشاء نظام قياس الـ pH يجب إدراج القطع الإلكترونية اللازمة لتصميم ذلك ومن بينها شاشة الكريستال السائلة (LCD) لإظهار الحروف والأرقام، وإدراج حساس قياس درجة الحرارة والرطوبة (DHT11)، وكذلك (RTC) لتعامل مع الوقت الحقيقي وإدراج مقاومة متغيرة تلعب دور الحساس لحساب قيم الـ pH، ويتم ربط كل قطعة إلكترونية بشكل صحيح مع Arduino لتكوين دائرة متكاملة وهي عبارة عن جهاز قياس الـ pH.

## أ - الكود البرمجي باستخدام Arduino IDE

لكتابة الكود البرمجي الخاص بنظام قياس الـ pH لمختلف المحاليل الكيميائية:

✓ سنستخدم إحدى المكتبات المتوفرة كمكتبة (DS1307) الخاصة بالوقت الحقيقي ومكتبة (DHT11) الخاصة بدرجة الحرارة والرطوبة ومكتبة (Wire) التي تسهل استخدام القطع الإلكترونية برمجياً مع Arduino وتكتب تلك المكتبات كالآتي:

```
#include <DS1307.h> ; #include <Wire.h>
```

```
#include "DHT.h".
```

✓ قمنا بتعريف مجموعة من المتغيرات التي من أساسها يُبنى نظام قياس الـ pH.

✓ إجراء كل التعليمات المتعلقة بالقطع الإلكترونية لتهيئة الشاشة وساعة الزمن الحقيقي وحساس الحرارة والرطوبة

✓ لتتحقق من صحة الكود البرمجي وخلوه من الأخطاء، قبل أن نرسل الكود إلى لوحة Arduino لكي يتم تنفيذ نظام التشغيل نضغط على Sketch ثم Vérifie/Complie.

## ب - نتائج المحاكاة:

بفعل تغيير قيم المقاومة نتحصل على الجهد المتولد بدلالة قيمة الـ pH باستخدام برنامج المحاكاة Proteus فتقارن بين قيمتين pH-mvolt و Voltage، ثم نقوم بحساب نسبة الخطأ بينهما ( كما هو موضح في الجدول) بالمعادلة التالية:

$$\text{Error} = \left| \frac{\text{pH}_{\text{mVolt}} - \text{Voltage}}{\text{Voltage}} \times 100 \right| \dots \dots \dots (11)$$

الجدول 2\_3 يوضح نتائج درجة الحموضة وما يقابلها من جهد ونسبة الخطأ المسجلة من طرف الأردوينو.

Voltage (mv)	pH Value	pH-mvolt (mv)	Error (%)	Voltage (mv)	pH Value	pH-mvolt (mv)	Error (%)
1245.32	0	1247.84	0.002	-1245.32	14	-1250.72	0.004
1067.34	1	1047.76	0.018	-1067.34	13	-1050.64	0.015
889.45	2	896.48	0.007	-889.45	12	-899.36	0.011
711.56	3	696.40	0.021	-711.56	11	-699.28	0.017
533.67	4	550.00	0.030	-533.67	10	-552.08	0.034
355.78	5	349.92	0.016	-355.78	9	-352.00	1.989
177.89	6	198.64	0.116	-177.89	8	-201.52	2.132
0	7	-1.44	0	0	7	-1.44	0

من النتائج التي بينتها المحاكاة تحصلنا على قيم pH-mvolt بواسطة الأردوينو حيث تحصلنا على قيمة الخطأ (2.132) كحد أقصى وتعتبر مقبولة نسبيًا في عملية القياس، ويعود ذلك لدقة قياس الأردوينو لأننا استخدمنا الـ ADC المدمج به (10 بت فيها 1024) حيث يمثل 1024 عدد القيم التي يمكن قياسها. وتمثل أقل قيمة يقيسها الأردوينو بواسطة الـ ADC هي 4.88mv، بحيث كل قيمة يقيسها الأردوينو أقل من 4.88mv يعتبرها الأردوينو 0mv. كما هو موضح في المعادلة:

$$\frac{5}{1024} = 4.88 \dots \dots \dots (11)$$

ولقياس درجة الحموضة نترجم القيم المتحصل عليها من الـ ADC إلى m-volt بالمعادلة التالية:

$$\text{m-volt} = \text{ADC} \times 4.88 \text{mv} \dots \dots \dots (12)$$

#### 2.4 تشغيل وتنفيذ نظام القياس مخبريًا

##### أ - تحضير المحاليل

##### • المحلول الأول

نحضر ببشر سعته 300ml نسكب فيه كمية من الماء المقطر حجمه 250ml ونضيف المسحوق الأول ذو pH=4.01 في البيشر، نقوم بالتحريك إلى حد ذوبان المسحوق فنحصل على محلول منظم ذو pH=4.01، مع العلم يجب أن تكون درجة الحرارة 25 درجة مئوية.

##### • المحلول الثاني

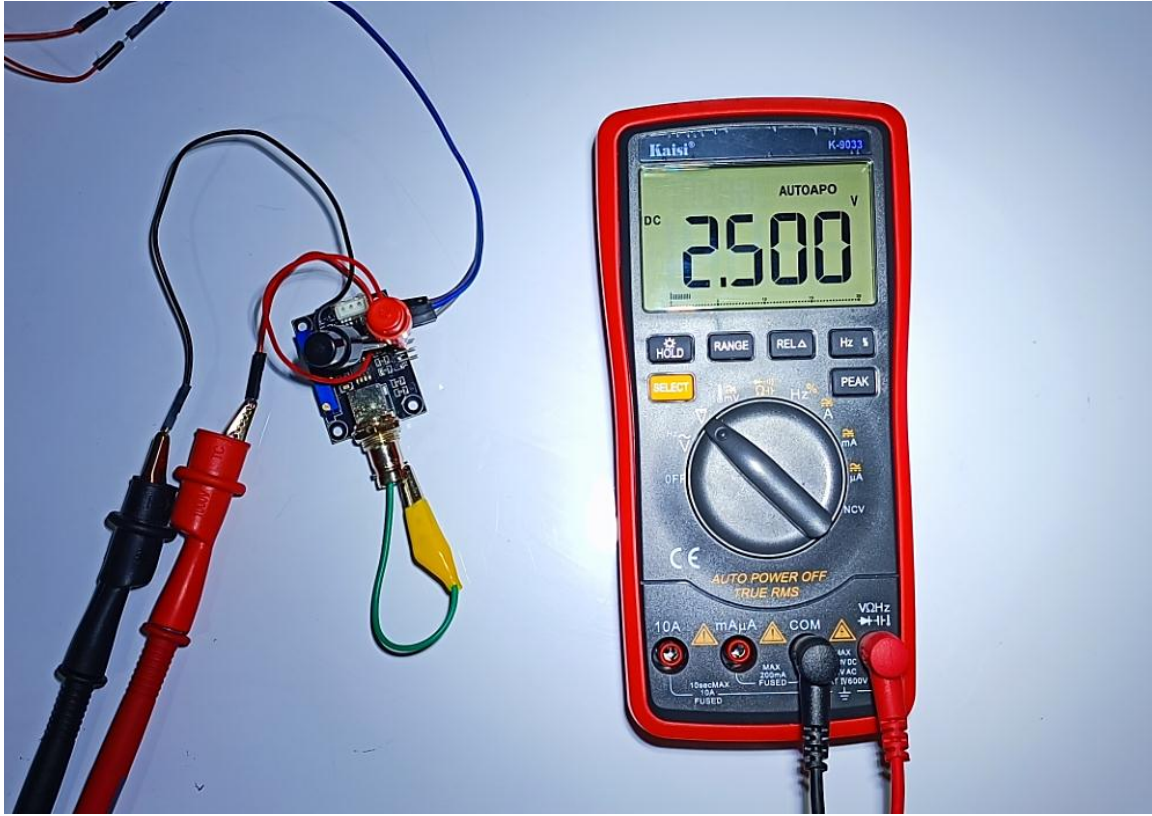
نحضر ببشر سعته 300ml نسكب فيه كمية من الماء المقطر حجمه 250ml ونضيف المسحوق الثاني ذو pH=9.14 في البيشر، نقوم بالتحريك إلى حد اختفاء المسحوق فنحصل على محلول منظم ذو pH=9.14، مع العلم يجب أن تكون درجة الحرارة 25 درجة مئوية.

##### • المحلول الثالث

نحضر ببشر سعته 300ml نسكب فيه كمية من الماء المقطر حجمه 250ml ، دون اضافة أي مسحوق له علمًا أن درجة حموضة الماء المقطر (pH=7).

##### ب - ضبط الإزاحة

يتأرجح المدى المتوسط لحساس الـ pH بين القيم السالبة والموجبة. يمثل 0 الرقم الهيدروجيني pH=7 لتتمكن من استخدام دارة تكيف الحساس مع Arduino ، توفر هذه الدارة قيمة إزاحة إلى القيمة التي يمكن ان يستوعبها الاردوينو، مع العلم ان الـ ADC يتعرف فقط على قيم الجهد الموجبة. لذلك سنفرض الرقم الهيدروجيني pH=7 عن طريق فصل الحساس عن وحدة التكيف وقصر الدارة الداخلية لموصل BNC مع الخارج. باستخدام جهاز فولت متر نقوم بقياس قيمة Po pin ونضبط مقياس الجهد الى القيمة V2.500 مثل ما هو موضح في الشكل 3\_10.



الشكل 3\_10 توضح عملية ضبط الإزاحة باستعمال الفولتمتر

لتنشغيل مقياس جهد الإزاحة للحصول على الإزاحة الصحيحة نقوم بتوصيل دبوسي  $GND$  و  $VCC$  بـ  $GND$  و  $V5$  في لوحة أردوينو ثم نربط بين فتحة BNC الصغيرة والجزء الخارجي منها ونقيس جهد الطرف  $PO$  و  $GND$  بواسطة جهاز الفولتمتر.

### ج - معايرة مسبار pH

بالإضافة إلى ماسبق ، يتعين علينا حساب تحويل الجهد الذي سيعطيه حساس الأس الهيدروجيني ، لذلك سنحتاج إلى قيمتين مرجعيتين للـ pH وقياس الجهد الذي يتم إرجاعه بواسطة الحساس على الطرف  $PO$ . أفضل طريقة للقيام بذلك هو استخدام محلول معايرة ، فهناك أيضاً سائل ولكن من الأسهل الحفاظ على المساحيق. تتوفر هذه المحاليل بقيم مختلفة ولكن الأكثر شيوعاً هي ذات الـ  $pH = 4.01$  ، و ذات الـ  $pH = 6.86$  ، و ذات الـ  $pH = 9.18$ .

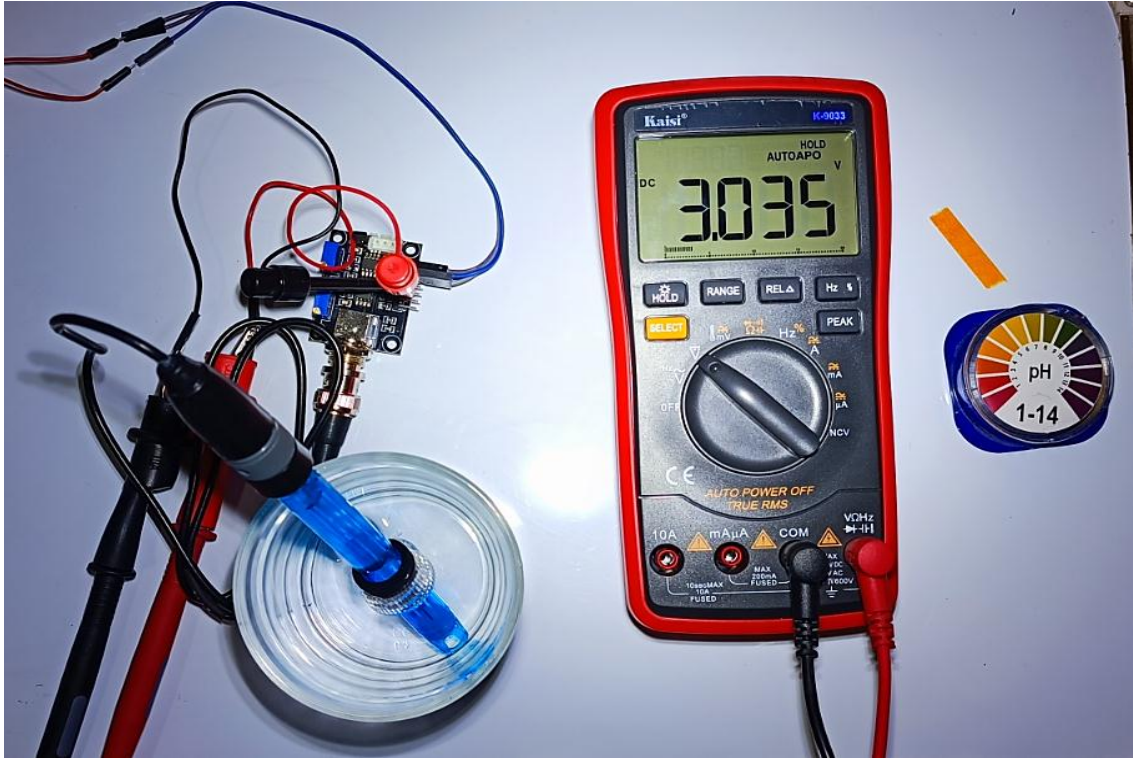
تمت معايرة مقياس الأس الهيدروجيني على النحو التالي:

◀ قمنا بغمر حساس الـ pH أولاً في محلول الأس الهيدروجيني  $pH=4.01$  ثم ترك المسبار في المحلول لمدة دقيقتين تقريباً لإتاحة الوقت لاستقرار ثم نسجل الجهد الناتج.

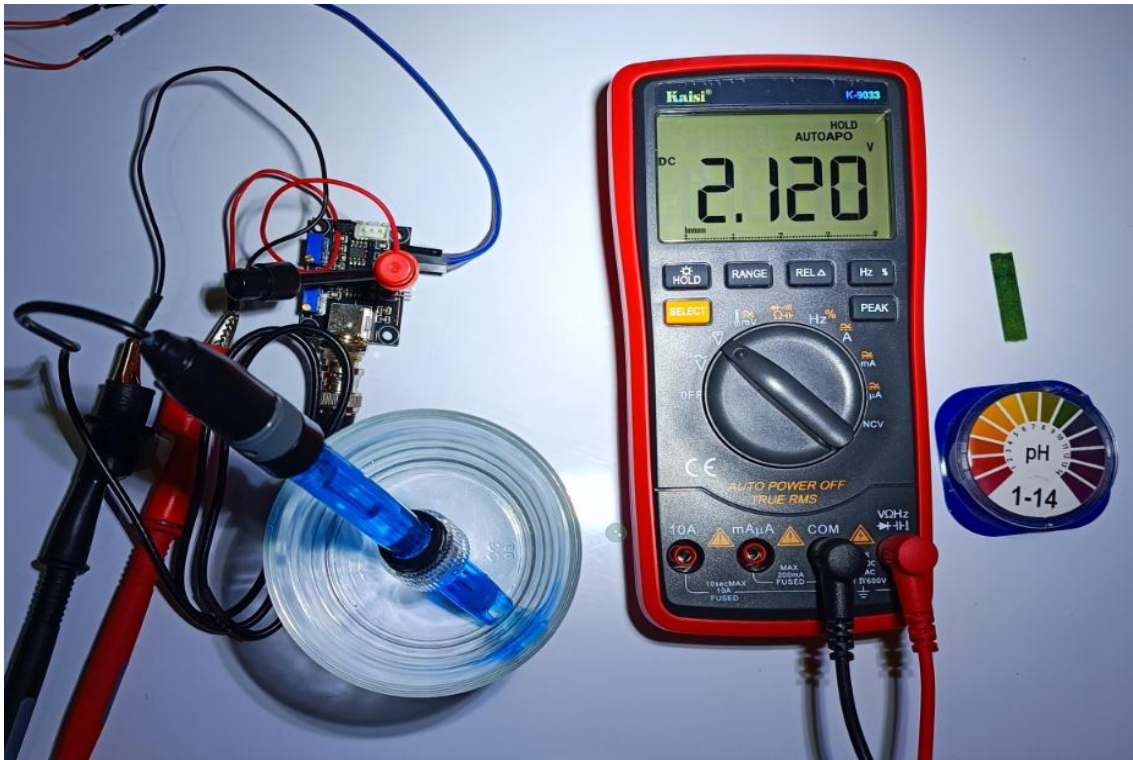
◀ تم شطف الحساس جيداً بالماء المقطر لإزالة السوائل المتبقية

◀ ثم وضع الحساس في محلول منظم الثاني  $pH=9.14$  ثم ننتظر تثبيت القراءة ثم نسجل الجهد الناتج..

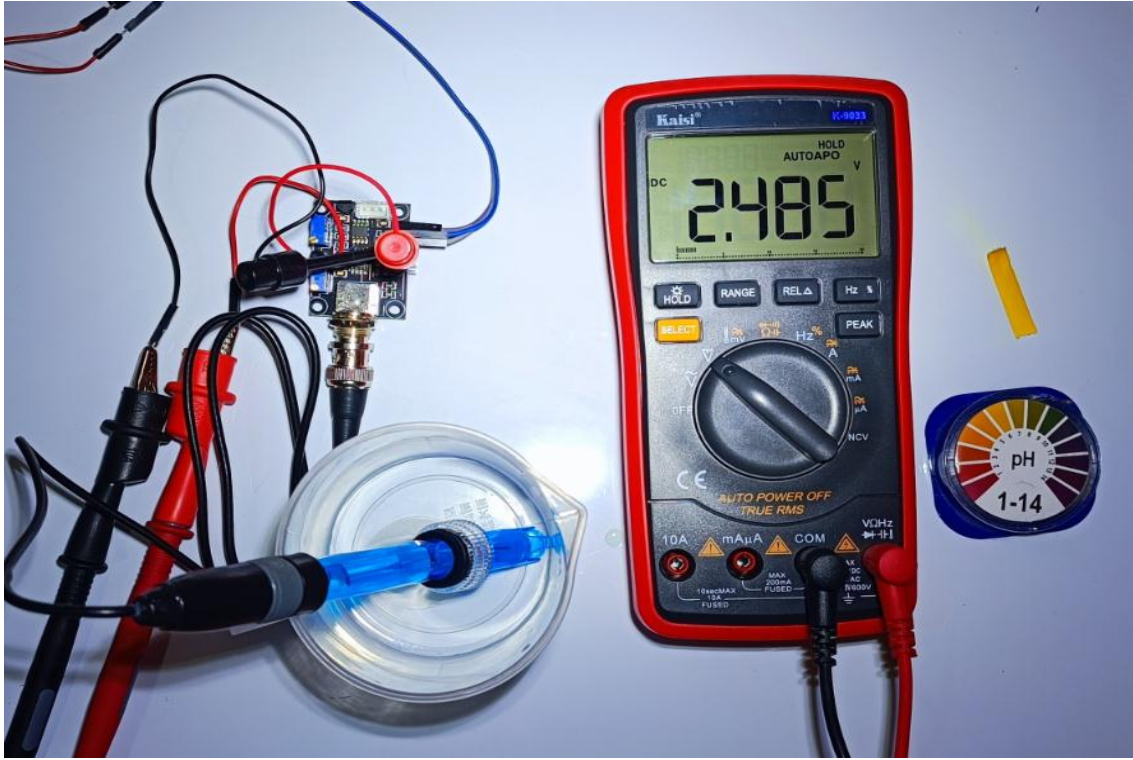
تتطلب جميع أقطاب الأس الهيدروجيني معايرة دورية على فترات زمنية معينة لتوفير دقة في القياس و نتائج موثوقة.



الشكل 3\_ 11 يوضح عملية قياس الجهد الصادر من الحساس باستعمال محلول منظم  $\text{pH} = 4.01$  بهدف المعايرة



الشكل 3\_ 12 يوضح عملية قياس الجهد الصادر من الحساس باستعمال محلول منظم  $\text{pH} = 9.18$  بهدف المعايرة



الشكل 3\_13 توضح عملية قياس الجهد الصادر من الحساس باستعمال الماء المقطر بهدف المعايرة

تم غمر حساس درجة الحموضة E-201pH في المحاليل المنظمة المجهزة سابقاً، حيث تم ملاحظة قيم الجهد الموافقة لقيم الـ pH من خلال جهاز فولتметр:

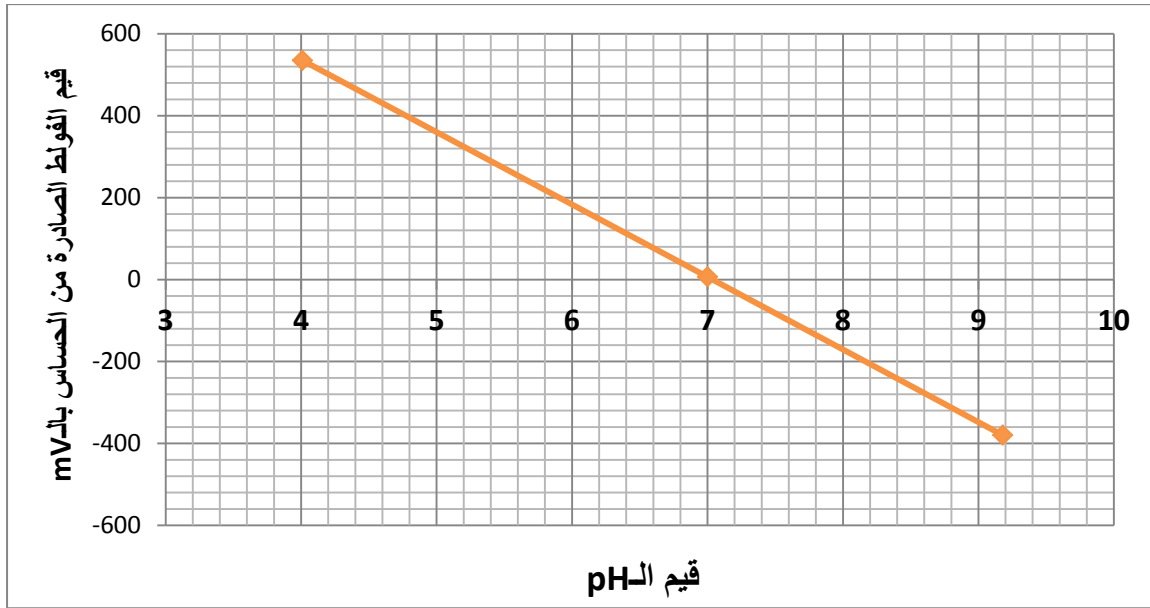
الجدول 3\_3 : يمثل قيم الجهد الموافقة لقيم الـ pH.

الجهد الصادر من الحساس (mV)	المعايرة باستعمال:
535	محلول منظم pH=4.01
25	ماء مقطر
-380	محلول منظم pH=9.18

د - استخراج دالة نقل الحساس تجريبياً

قمنا بإنشاء دارة وذلك بتوصيل الأسلاك على أطراف القطع الإلكترونية ( شاشة LCD- حساس الحرارة والرطوبة DHT11- وحدة حفظ الوقت DS1307 RTC - لوحة Arduino UNO ) بهدف إنجاز جهاز قياس الـ pH للمحاليل الكيميائية بشكل صحيح وبعدها قمنا بتوصيل الدارة عبر كابل (USB) لجهاز الكمبيوتر لإرسال الكود البرمجي الى Arduino.

باستعمال نتائج الجدول السابق تم رسم المنحنى الذي يمثل علاقة تغير الجهد بدلالة الـ pH.



الشكل 3\_14 منحنى يمثل دالة نقل الحساس تجريبيا.

اعتمادا على البيان يمكن استخراج دالة تمثل تحويل الحساس والتي تنقل النتيجة من الجهد إلى درجة الحموضة مع العلم أن الحساس يتغير خطياً :

$$\text{pH} = 7 - (\text{ph-mvolt}) / 177 \dots\dots\dots (13)$$

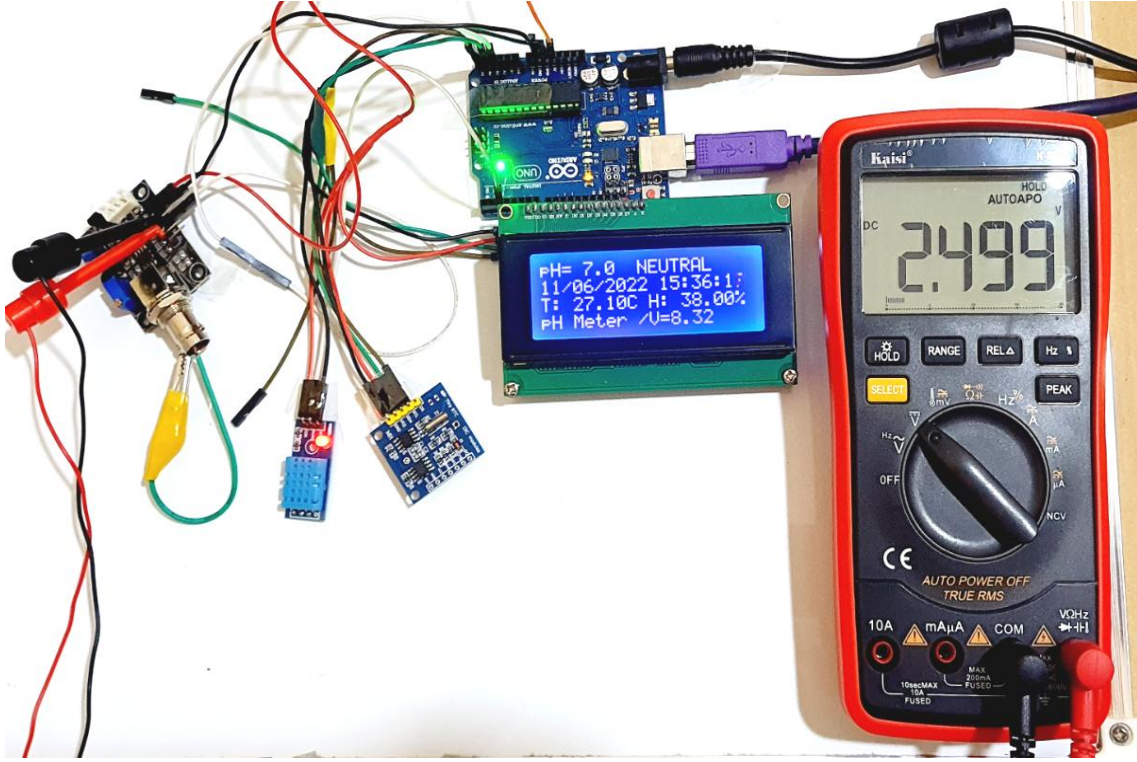
#### هـ - التحقق من القياس تجريبياً

بهدف قياس درجة الحموضة قمنا في بداية التجربة بتوصيل حساس الـ pH بلوحة Arduino، حيث تم غمر مسبار درجة الحموضة في الماء المقطر وبعض من المحاليل المنظمة، وذلك بهدف تسجيل إشارة كهربائية التي من خلالها نتمكن من تسجيل قيم درجة الحموضة المختلفة حيث يقوم برنامج Arduino بتحويل الإشارة إلى قيم درجة الحموضة، كما تم تجربة ورق الـ pH الذي يعطي دلالات الأرقام الصحيحة ويتدرج من 1 إلى 14 وكل رقم يقابله لونه الخاص،

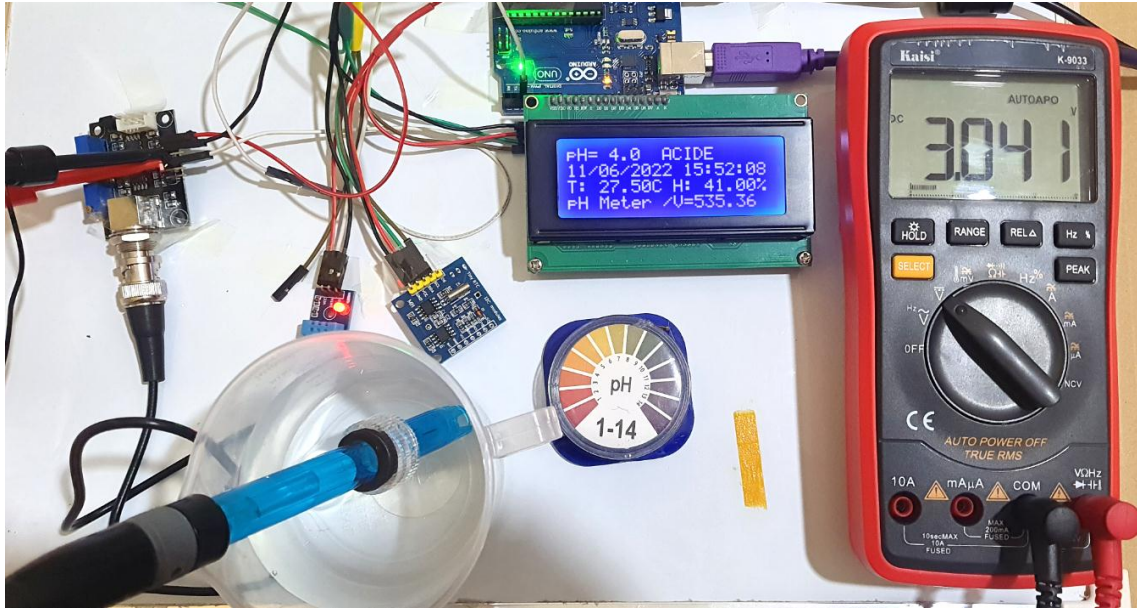
حيث قمنا سابقاً بتحضير المحاليل الكيميائية، و تم غمر قطعة من ورق الـ pH لبطع ثواني لكلا المحلولين المنظمين، نلاحظ تلون ورق الـ pH في المحلول الحامضي ذو الـ pH=4.01 لون برتقالي، أما في المحلول ذو pH= 9.14 الذي يعتبر قاعدياً حيث يتغير لون ورق الـ pH إلى اللون الأخضر، وذلك بغرض التحقق من النتائج المسجلة.



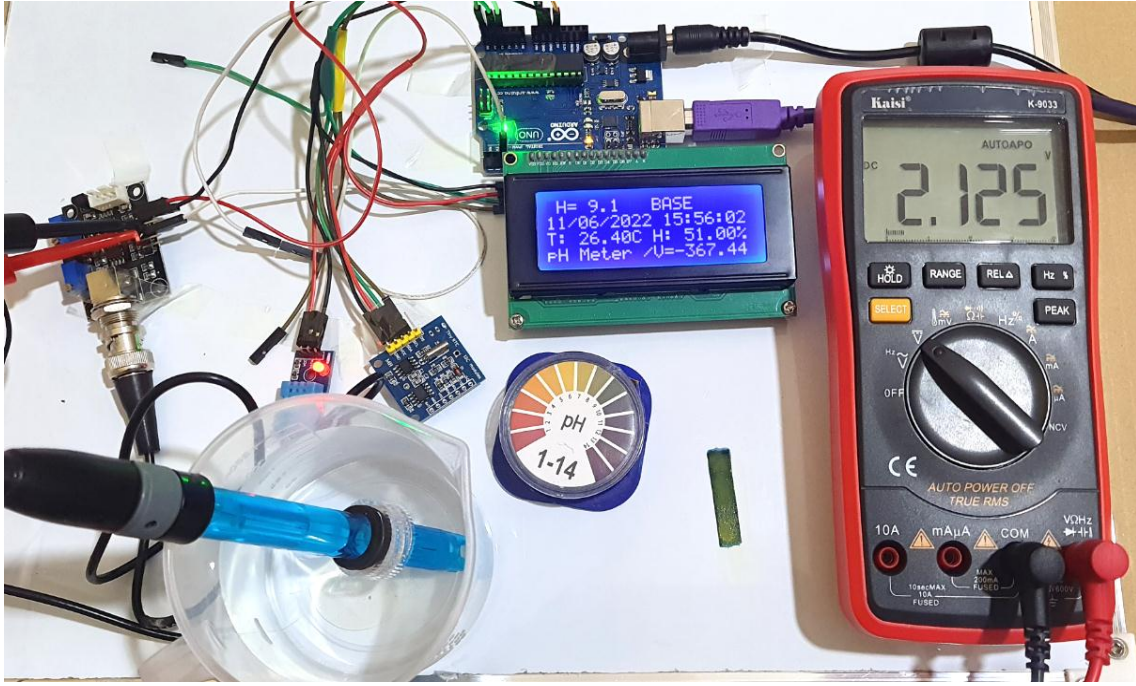
الشكل 3\_15 توضيح ورق الـ pH الملونة.



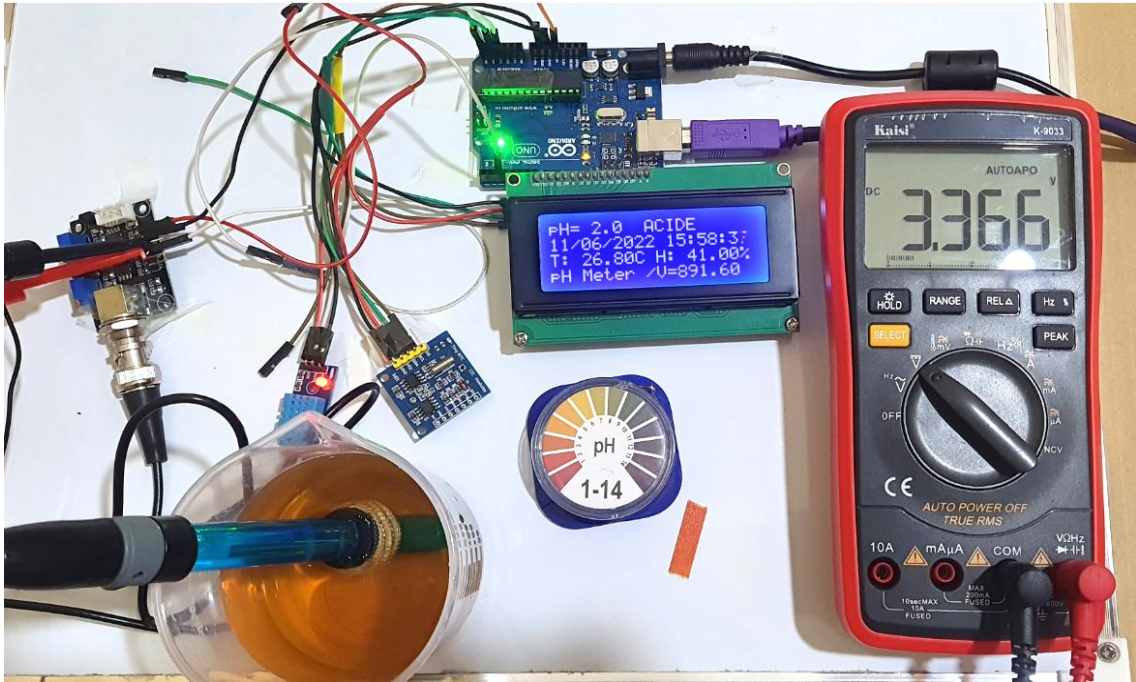
الشكل 3\_16 توضح عملية معاينة الازاحة بواسطة النظام المقترح ومقارنتها مع نتيجة الجهد من خلال الفولتمتر



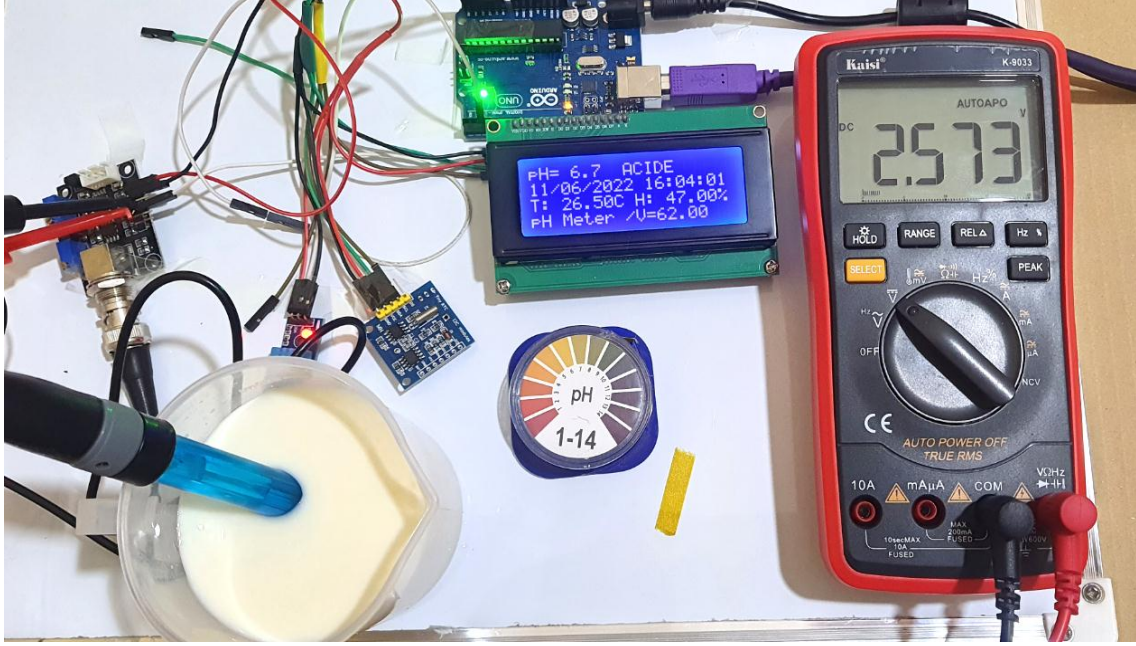
الشكل 3\_17 توضح عملية معاينة نتيجة قياس النظام المقترح ومقارنتها مع ورق قياس الـ pH باستعمال المحلول المنظم ذو  $pH=4.01$



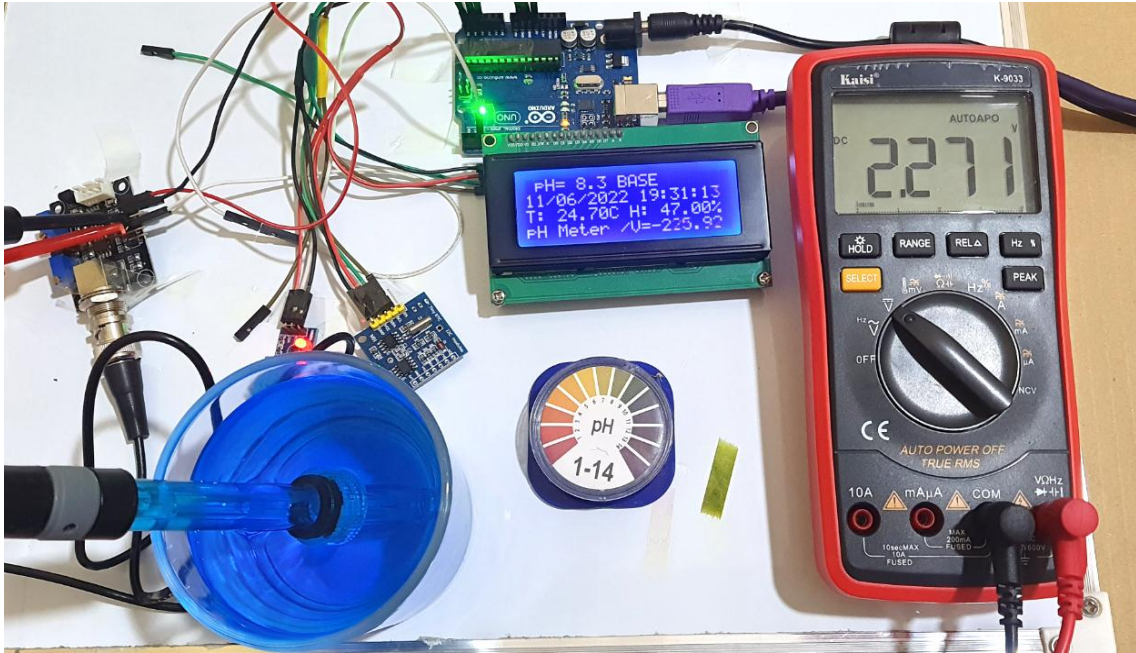
الشكل 3\_18 توضح عملية معاينة نتيجة قياس النظام المقترح ومقارنتها مع ورق قياس الـ pH باستخدام المحلول المنظم ذو  $pH=9.18$ .



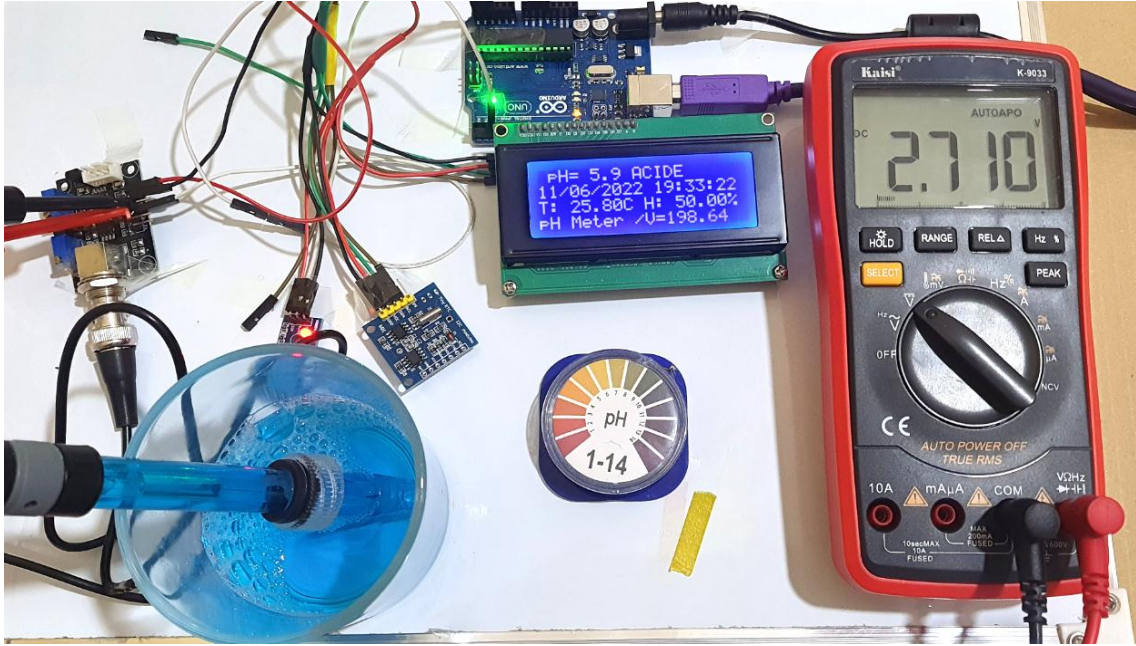
الشكل 3\_19 توضح عملية معاينة نتيجة قياس النظام المقترح ومقارنتها مع ورق قياس الـ pH باستخدام حمض الخل التجاري.



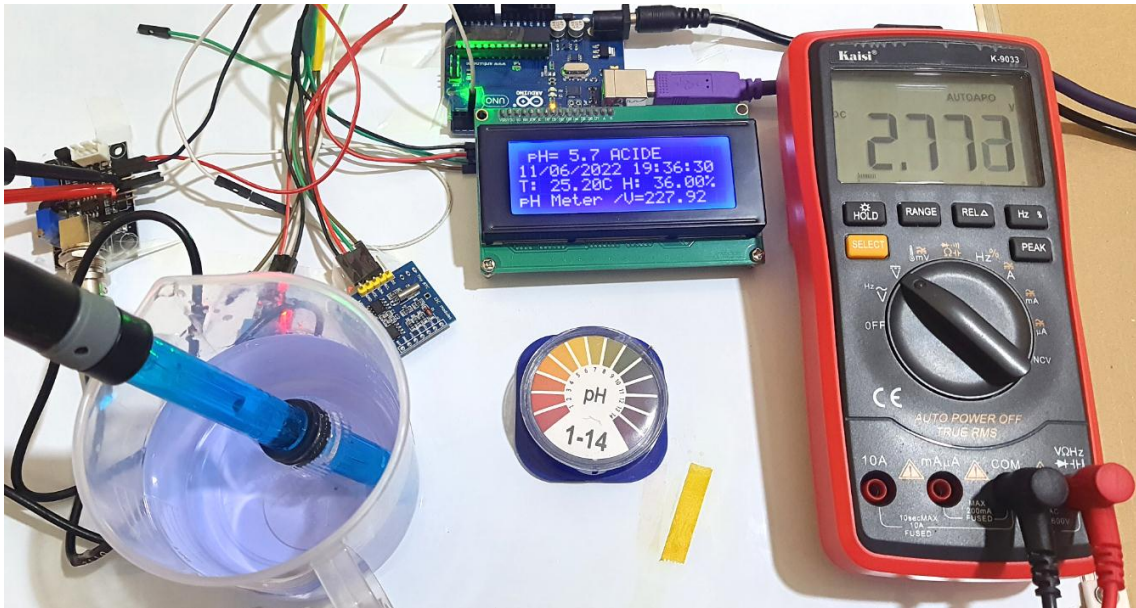
الشكل 3\_20 توضح عملية معاينة نتيجة قياس النظام المقترح ومقارنتها مع ورق قياس الـ pH باستعمال حليب "صومام".



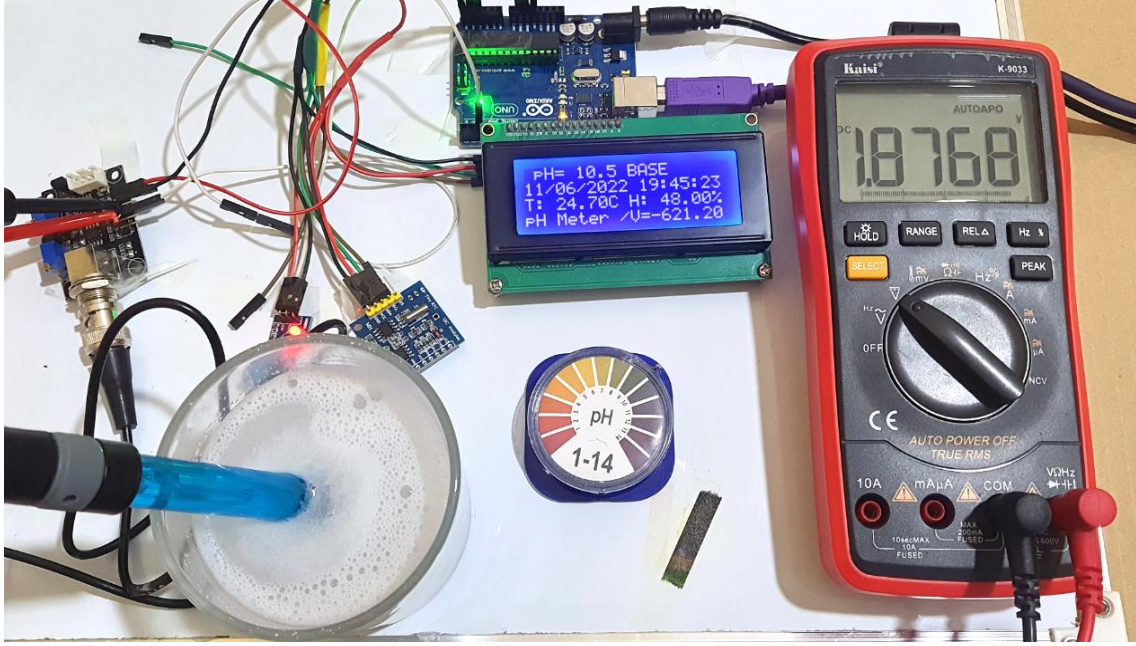
الشكل 3\_21 توضح عملية معاينة نتيجة قياس النظام المقترح ومقارنتها مع ورق قياس الـ pH باستعمال سائل تبريد السيارات "نفط أوتو".



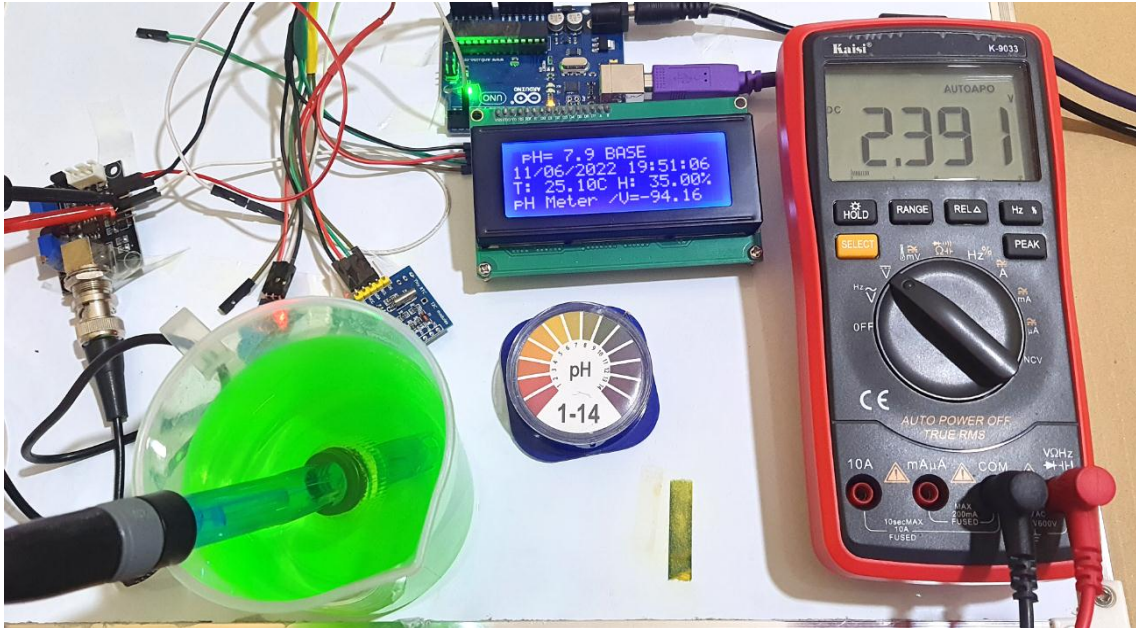
الشكل 3\_22 توضح عملية معاينة نتيجة قياس النظام المقترح ومقارنتها مع ورق قياس الـ pH باستعمال سائل تنظيف الزجاج.



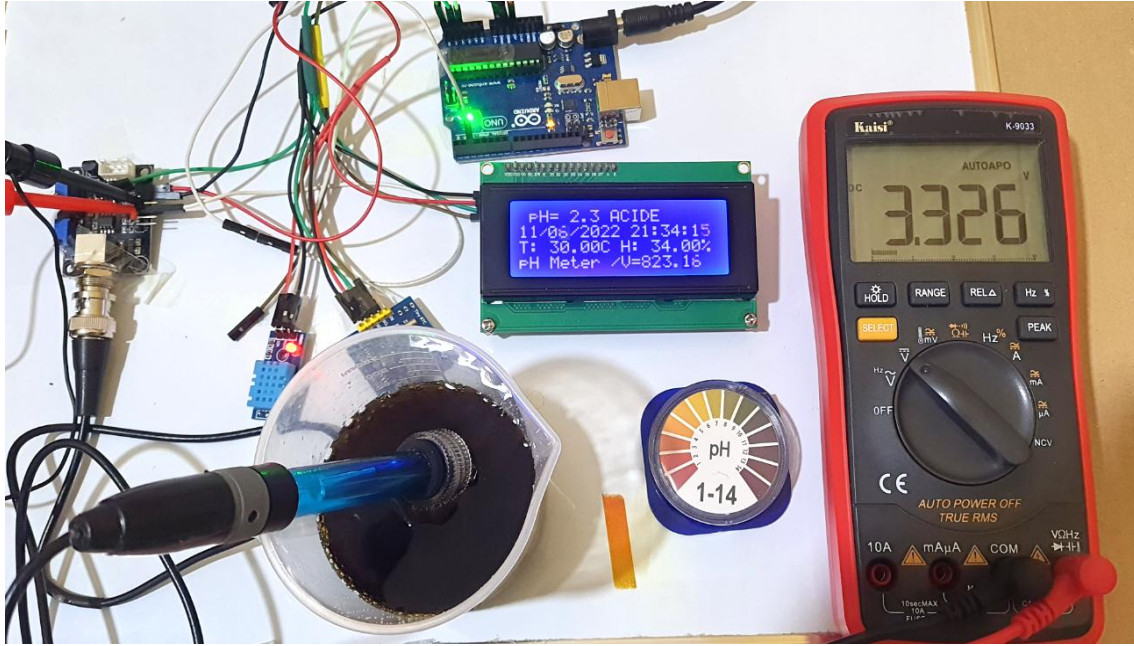
الشكل 3\_23 توضح عملية معاينة نتيجة قياس النظام المقترح ومقارنتها مع ورق قياس الـ pH باستعمال معقم كحولي من شركة ENAD.



الشكل 3\_24 توضح عملية معاينة نتيجة قياس النظام المقترح ومقارنتها مع ورق قياس الـ pH باستخدام مسحوق صابون ايزيس ممزوج بماء الحنفية.



الشكل 3\_25 توضح عملية معاينة نتيجة قياس النظام المقترح ومقارنتها مع ورق قياس الـ pH باستخدام سائل تبريد سيارات الاخضر.



الشكل 3\_26 توضح عملية معاينة نتيجة قياس النظام المقترح ومقارنتها مع ورق قياس الـpH باستعمال مشروب كوكاكولا.

النتائج المحصل عليها ممثلة في الجدول التالي

الجدول 3\_4 : يمثل قيم pH للعينات التي تم تجربتها و قيم الجهد بواسطة النظام و كذلك بواسطة الفولت متر.

العينة	الـpH	الفولت الناتج بواسطة النظام mV	فولت متر بدون ازاحة mV
المحلول المنظم ذو pH=9.18	9.1	535.63	541
المحلول المنظم ذو pH=4.01	4.0	-367.44	-375
حمض الخل التجاري.	2.0	891.60	866
حليب "صومام".	6.7	62.00	73
سائل تبريد السيارات "نفت أوتو".	8.3	-225.92	-229
سائل تنظيف الزجاج.	5.9	198.64	210
معقم كحولي من شركة ENAD.	5.7	227.92	272
صابون ايزيس ممزوج بماء الحنفية.	10.5	-621.20	-624
سائل تبريد سيارات الاخضر.	7.9	-94.16	-109
مشروب كوكاكولا.	2.3	823.16	826

و - المناقشة:

الجدول 3\_5 : يمثل قيم الجهد المتوقعة من الحساس بواسطة أردوينو و ما يقابلها من قيم الـpH مع نسبة خطأ القياس.

Voltage (mv)	pH Value	pH-mvolt (mv)	Error (%)	Voltage (mv)	pH Value	pH-mvolt (mv)	Error (%)
1239	0	1238	- 0.0008	-1239	14	-1241	0.0016
1062	1	1057	- 0.0047	-1062	13	-1066	0.0037
885	2	881	- 0.0045	-885	12	-890	0.0056
708	3	706	- 0.0028	-708	11	-729	0.0296
531	4	530	- 0.0018	-531	10	-534	0.0056
354	5	349	- 0.0141	-354	9	-358	0.0112
177	6	174	- 0.0169	-177	8	-178	0.0056
0	7	-2	0	0	7	-2	0

#### 3.4 تحسين دقة القياس

لتحسين دقة قياس الـpH في النظام المقترح يمكن اتباع أحد الطريقتين التاليتين:

**الطريقة الاولى** تشمل على استعمال قيمة جهد مرجعية خارجية عبر المدخل AREF في لوحة أردوينو و التي يمكن من خلالها استعمال جهد مخالف لـ5 فولت، و بما ان أقصى جهد يعطيه الحساس مع احتساب الازاحة هو عند  $pH = 0$  حوالي 3800mV و بذلك تكون خطوة المحول التناظري (ADC) بـ 3.710 mV بدل 4.88 mV و هو تحسين طفيف جدا.

**الطريقة الثانية** تشتمل على استعمال وحدة تحويل (ADC) خارجية بدقة 12bit أو 16bit و ربطها مع الأردوينو فعلى سبيل المثال لما يكون الـADC ذا دقة 12bit فإن خطوة تغيره من وحدة الى أخرى حوالي 1.22mV بجهد مرجعي 5V و هو اقل 4 مرات مقارنة بـ 10bit.

من خلال معادلة الحساس ( المعادلة 13) يمكن توضيح ذلك مع العلم ان خطوات تغير الـADC في هذه الحالة هي 1.22 ثم 2.44 ثم 4.88 و هكذا.

$$pH=7- (ph-mvolt) /177$$

$$pH=7- (0mV) /177=7.00$$

$$pH=7- (1.22mV) /177=6.99$$

$$pH=7- (2.44mV) /177=6.98$$

من خلال المثال السابق يتبين أن دقة القياس في هذه الحالة يمكن أن تصل الى جزء واحد من المئة من قيم الـpH.

#### 5. الخاتمة

ختامًا لهذا الفصل الذي ذكرنا فيه الخطوات والمعدات اللازمة لتصميم نظام قياس درجة حموضة المحاليل الكيميائية ودرجة الحرارة والرطوبة، حيث تم الاعتماد على برنامج المحاكاة Proteus في تصميم هذا النظام في البداية وإدخال الكود البرمجي. ثم قمنا بعد ذلك بتصميم وإنجاز الجهاز تجريبيا في المخبر باستخدام معدات وقطع حقيقة وتم تجريب قياس pH لعدة عينات و مقارنتها مع الكواشف اللونية كما تم مناقشة نتائج القياس و كذا ذكر كيفية تحسين دقة قياس النظام المقترح.

## خاتمة عامة

من خلال هذه المذكرة قمنا بتصميم نموذج لقياس الـ pH لمختلف المحاليل الكيميائية، حيث تطرقنا في بداية الدراسة بعرض المفاهيم الأساسية المتعلقة بدرجة الحموضة و أهميتها في مختلف المجالات، كما تم شرح بعض الجوانب و السبل المتبعة لقياس الـ pH خاصة الطرق الكهربائية مع التعرف لمختلف الحساسات والأقطاب المستعملة في ضبط قيمة الـ pH. ثم يليه الجزء العملي الذي تمحور على شرح القطع والمواد المستعملة ومراحل إنجاز نظام قياس الـ pH للمحاليل الكيميائية مع إدراج ميزة قياس درجة الحرارة والرطوبة وتسجيل الوقت والتاريخ، واعتمدنا في ذلك على لوحة Arduino UNO . تمت محاكاة النظام المقترح بواسطة برنامج Proteus أولاً وللتأكد من صحة النتائج المتحصل عليها تم إنجاز هذا النظام بالاستعانة بالقطع الحقيقية ثم تجريب قياس بعض المحاليل نذكر منها : حمض الخل التجاري، حليب "صومام"، سائل تبريد السيارات "نفت أوتو"، سائل تنظيف الزجاج. معقم كحولي من شركة ENAD. صابون ايزيس ممزوج بماء الحنفية وغيرها و تمت مقارنتها مع نتائج ورق pH الملون حيث لاحظنا أن النتائج متطابقة تماما وهذا ما يؤكد دقة وصحة تصميم هذا النظام.

تشمل التطلعات المستقبلية لهذا المشروع في إضافة زر يعطي أمر بداية القياس وآخر لتعليق القيمة المتحصل عليها، كما يمكن إضافة بطاقة ذاكرة يتم فيها تسجيل قيم تغيرات الحرارة والرطوبة والـ pH لتفاعلات الكيميائية بدلالة الزمن حيث يساهم عملها في دراسة واستعمال النتائج لرسم منحنيات التغيرات حسب الحاجة.

## المراجع

[1]	دانية ناشد ، طريقة كهروكيميائية جديدة لتحديد مركب مشتق من ثينوبيردين باستخدام الأعشبية المنتقاة للدواء، قسم الكيمياء التحليلية و الغذائية ، كلية الصيدلة ، جامعة حلب ، تحت إشراف : أ. د. أمير الحاج صكر ، 1439/2018هـ.
[2]	Norby J. The origin and the meaning of the little p in pH. <i>Trends Biochem Sci.</i> 2000;25(1):36-37.
[3]	Elisabeth Bardez, Il y a cent ans... naissait le Ph, Histoire de la chimie,2010.
[4]	D. A.Katz, Visualizing pH. USA, 2010 ,1992.
[5]	م. أحمد سالم فرحات ، م. منال خذير ، تجربة قياس قيمة الرقم الهيدروجيني للماء ، قسم الهندسة الكيميائية ، المعهد العالي للعلوم والتقنية الزاوية.
[6]	Khalfi K. Module PH-mètre pour voltmètre numérique. Published online 2018.
[7]	WHAT IS pH MEASURED ?, 1 ed. Dusseldorf - Germany: Hach company/hach Lang GmbH, 01/ 2018.
[8]	pH Theory Guide - A Guid to pH Mesurment- Theory and Praticce of pH Applications. printed in Switzerland: Meter-Toledo GmbH, 3/2016.
[9]	كيم هاوارد تان ، مبادئ كيمياء التربة ، قسم العلوم الأراضي والمحاصيل ، الولايات المتحدة الأمريكية ، جامعة جورج ، 2019.
[10]	شفيق ابراهيم عبد العال.محمد عبد العزيز طه الضيف. رضا رجب شاهين، كيمياء الأراضي ، كلية الزراعة جامعة القاهرة.
[11]	M.West DAS. D. <i>Fundamentals of Analytical Chemistry</i> . Holt-Saunders International Editin; 1976.
[12]	ديمن السيد سليمان الأتاسي ، كيمياء المحاليل المائية ، المعهد العالي للعلوم والتكنولوجيا.2011.
[13]	د. عمر بن عبدالله الهزازي ، أسس الكيمياء العامة والفيزيائية ، قسم الكيمياء ، كلية العلوم التطبيقية ، جامعة أم القرى.
[14]	د. هادي كاظم عوض ، م. ساجدة عبد الحميد ، الكيمياء التحليلية ، المعهد الطبي الفني ببغداد ، 1982.
[15]	Kreysa G, Ota K, Savinell R. <i>Encyclopedia of Applied Electrochemistry</i> .
[16]	د. أحمد مدحت اسلام ، د. مصطفى محمد عمارة ، أسس الكيمياء الفيزيائية ، دار الفكر العربي 1425 /2005هـ.
[17]	د. محمد مجدي عبدالله واصل ، الكيمياء الحركية والكهربائية ، 2004.
[18]	ا.كريشكوف ا. ياروسلافتسيف ، ترجمة د. عيسى مسوح ، الكيمياء التحليلية 1982.
[19]	بيئة عامة عملي - الفحوصات البيئية درجة حرارة والأس الهيدروجيني شركة شبكة ميموريال هيرمان
[20]	M. TOLEDO, Thermo Scientific : pH MeasurementHandbook: Thermo Fisher Scientific Inc, 2014.
[21]	الإدارة العامة لتصميم وتطوير المناهج ، تقنية مختبرات كيميائية : طرق التحليل الكهروكيميائي .
[22]	G.Webster J. <i>THE MEASUREMENT INSTRUMENTATION AND SONSORS HANDBOOK</i> ; 1999.
[23]	Macintyre SA. The measurement, instrumentation and sensors handbook. In: <i>Webster</i> . 1999.

[24]	Lower SK. <i>Electrochimistry Chemical Reactions at an Electrode, Galvanic and Electrolytic Cells.</i> ; 2004.
[25]	Batista PD, Mulato M, Graeff CF de O, Fernandez FJR, Marques F das C. SnO <sub>2</sub> extended gate field-effect transistor as pH sensor. <i>Brazilian J Phys.</i> 2006;36:478-481.
[26]	Kergoat L, Piro B, Berggren M, Horowitz G, Pham M-C. Advances in organic transistor-based biosensors: from organic electrochemical transistors to electrolyte-gated organic field-effect transistors. <i>Anal Bioanal Chem.</i> 2012;402(5):1813-1826.
[27]	Calbert HE, Steinsholt K. The Quinhydrone Electrode for pH Determinations in Milk and Dairy Products1. <i>J Dairy Sci.</i> 1960;43:329-345.
[28]	م.أ. أسعد الرميضي ، علي اللواتي ، احترف الأردوينو ، القرية الهندسية 2015.
[29]	محمد العمودي ، مقدمة عن الأردوينو ، المجموعة السعودية للمبرمجين ، 2017.
[30]	ع.ع. عبدالله ، أردوينو ببساطة ، 1434/2012 هـ.
[31]	Shrestha R. Study and Control of DHT11 Using Atmega328P Microcontroller. <i>Int J Sci Eng Res.</i> 2019;10(4,518-521).
[32]	Srivastava D, Kesarwani A, Dubey S. Measurement of Temperature and Humidity by using Arduino Tool and DHT11. <i>Int Res J Eng Technol.</i> 2018;5(12):876-878.

## الملاحق



**ملحق 01:** المداخل والمخارج الرقمية المرقمة بالترتيب من اليمين إلى اليسار، يضاف إلى الأيسر منها منافذ SCL، SDA، AREF، GND.



**ملحق 02:** المداخل التشابيهة الستة في لوحة الأردوينو أونو.

فحص الكود البرمجي من الأخطاء البرمجية.	فحص (Verify)
تحويل الكود للغة يفهمها المتحكم ومن ثم رفعها للوحة الأردوينو.	رفع (Upload)
إنشاء صفحة عمل جديدة.	جديد (New)
فتح ملفات موجودة مسبقاً أو مشاريع جاهزة للتعديل فيها.	فتح (Open)
حفظ صفحة العمل.	حفظ (Save)

مراقبة المنفذ التسلسلي (Serial monitor)	لمراقبة الأحداث عبر المنفذ التسلسلي.
--	--------------------------------------

**الملحق 03:** الاختصارات على الواجهة الرئيسية لـ Arduino IDE.

الطرف الخاص بمخرج حساس الحرارة	TO
مخرج ضبط القيمة الحدية لـ pH (3.7 فولت)	DO
المخرج التناظري لحساس pH	PO
الطرف الأرضي الخاص بحساس pH	GND1
الطرف الأرضي الخاص بالوحدة الالكترونية	GND2
الطرف الخاص بالتغذية الكهربائية للوحدة 5 فولت	VCC
مقياس توتر لضبط قيم pH عند عملية المعايرة potentiometer	POT 1
مقياس توتر لضبط قيمة pH الحدية عند عملية المعايرة potentiometer	POT 2

**ملحق 04:** شرح الأطراف لوحدة حساس الـ pH.

```
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
#include <DS1307.h>
#include <Wire.h>
#include "DHT.h"

LiquidCrystal_I2C lcd(0x27,20,4); // set the LCD address to 0x27 for a 20 chars and 4 line display
DHT dht(2,DHT11);
```

**ملحق 05:** يوضح المكتبات المدرجة في الكود البرمجي.

```
void setup() {
  lcd.init(); // initialize the lcd
  lcd.init();
  lcd.backlight();
  for(int i=3;i<8;i++){
    pinMode(i, INPUT);
    pinMode(A3, INPUT);
  }
}
```

**ملحق 06:** يوضح تهيئة الشاشة LCD و DHT11 و DS1307.

```
PH_Meter2021-2022 $
```

```
String messg_ERR= "PLS check the offset";  
DS1307.getDate(clock);  
ADC= analogRead(A3);  
m_volt= ADC* 4.88;  
ph_mvolt= m_volt-2500;  
PH=7-(ph_mvolt)/177.89;
```

ملحق 07: يمثل دالة نقل الحساس.