



الجمهورية الديمقراطية الشعبية الجزائرية

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

جامعة الشهيد حمه لخضر الوادي

كلية التكنولوجيا

مذكرة تخرج لنيل شهادة

ماستر أكاديمي

ميدان: العلوم والتكنولوجيا

شعبة: هندسة الطرائق و البيتروكيمياء

تخصص: هندسة كيميائية

من اعداد الطلبة:

1- بوقصة عبير

2- سعد الله حياة

3- بركة شفاء

## الموضوع

تصميم وتطوير نظام ذكي لقياس ورصد العناصر الغذائية  
في التربة

نوقشت في: 2025/05/27

أمام لجنة المناقشة:

جامعة الوادي.

رئيسا

د. فرحات محمد فؤاد

جامعة الوادي.

مناقشا

د. تيجاني محمد العيد

جامعة الوادي.

مشرفا

د. محرم عبد الكريم

الموسم الجامعي: 2025/2024



## الملخص

يهدف هذا المشروع إلى تصميم وتطوير نظام ذكي ومتكامل لتحليل خصائص التربة الزراعية باستخدام مستشعر متعدد الوظائف قادر على قياس سبعة معايير أساسية تؤثر مباشرة على جودة وإنتاجية التربة، وهي: النيتروجين (N)، الفوسفور (P)، البوتاسيوم (K)، مستوى الحموضة (pH)، رطوبة التربة، درجة الحرارة، والملوحة (EC). يعتمد النظام على إدخال المستشعر في التربة، حيث يقوم بجمع البيانات وتحليلها بدقة، ثم عرض النتائج في الوقت الفعلي على شاشة LCD متصلة بلوحة Arduino Uno، مع تسجيل جميع القراءات في بطاقة ذاكرة (SD Card) لسهولة الرجوع إليها لاحقاً وتحليلها بشكل شامل، تم تطوير هذا النظام بهدف مساعدة المزارعين في اتخاذ قرارات زراعية أكثر دقة وفعالية، من خلال مراقبة الخصائص الحيوية للتربة ميدانياً، دون الحاجة إلى إرسال عينات إلى المختبرات التقليدية، مما يساهم في توفير الوقت والجهد والتكلفة.

**الكلمات المفتاحية:** التربة، مستشعر NPK، مستوى الحموضة (pH)، لوحة أردوينو، شاشة LCD، بطاقة ذاكرة (SD Card).

## Abstract

This project aims to design and develop an intelligent and integrated system for analyzing the characteristics of agricultural soil using a multifunctional sensor capable of measuring seven essential parameters that directly affect soil quality and productivity, which are: nitrogen (N), phosphorus (P), potassium (K), pH level, soil moisture, temperature, and salinity (EC). The system relies on inserting the sensor into the soil, where it collects and analyzes data accurately, then displays the results in real time on an LCD screen connected to an Arduino Uno board. With all readings recorded on an SD Card for easy reference later and thorough analysis, this system was developed to assist farmers in making more accurate and effective agricultural decisions by monitoring the soil's biological characteristics in the field, without the need to send samples to traditional laboratories, thus contributing to saving time, effort, and costs.

**Keywords:** Le sol, NPK Sensor, pH Level, Arduino Board, LCD Screen, SD

## الإهداء

الحمد لله حبا وشكرا وإمتنان على البدء والختام

(وآخر دعواهم أن الحمد لله رب العالمين)

لم تكن الرحلة قصيرة ولا الطريق محفوفاً بالتسهيلات، لكنني فعلتها، فالحمد لله الذي يسر البدايات وبلغنا النهايات بفضلته وكرمه أهدي هذا النجاح لنفسي الطموحة أولاً ابتذت بطموح وإنتهت بنجاح ثم إلى كل من سعى معي لإتمام مسيرتي الجامعية دمتم لي سنداً لا عمر له بكل حب أهدي ثمرة نجاحي وتخرجي

إلى النور الذي أنار دربي والسراج الذي لا ينطفئ نوره والذي بذل جهد السنين من أجل أن أعتلي سلالم النجاح إلى من أحمل اسمه بكل فخر وألى من حصد الأشواك عن دربي ليمهد لي طريق العلم لطالما عاهدته بهذا النجاح ها أنا أتممت وعدي وأهديته إليك

"والدي العزيز"

إلى من علمتني الأخلاق قبل الحروف إلى الجسر الصاعد بي إلى الجنة إلى اليد الخفية التي أزالته

عن طريقي الأشواك، ومن تحملت كل لحظة ألم مررت بها وساندتني عند ضعفي وهزمتي

"والدتي العزيزة"

هدي تخرجي إلى ملهم نجاحي، من ساندني بكل حب عند ضعفي وإزاح عن طريقي المتاعب ممهداً لي الطريق زارعا الثقة والإصرار بداخلي، سندي والكتف الذي استندت عليه

دائماً لطالما كانوا الظل لهذا النجاح

"إخواتي"



## الشكر والتقدير

بكل تقدير وامتنان، أود أن أعبر عن خالص شكري وامتناني للدكتور محرم عبد الكريم، القامة العلمية المرموقة، على جهوده القيمة وإسهاماته البناءة في إثراء هذه المذكرة، لقد كان لتوجيهاته السديدة ونصائحه القيمة أثر كبير في تذليل الصعوبات وإنارة الطريق خلال مراحل إعداد هذا العمل، كما أعبر عن عميق امتناني لما بذله من وقت وجهد في مراجعة وتحسين محتوى هذه المذكرة، وما قدمه من دعم وتشجيع كان له الأثر الأكبر في إنجاز هذا العمل على أكمل وجه، إن علمه الواسع وخبرته العميقة كانت بمثابة نور أضاء لنا سبل البحث والتحليل.

وأتوجه بجزيل الشكر للجنة المناقشة الموقرة، على قبولها مناقشة هذا العمل، وعلى ملاحظاتهم القيمة وتوجيهاتهم السديدة التي ساهمت في إثرائه ورفع جودته.

د. فرحات محمد فؤاد د. تيجاني محمد العيد د. محرم عبد الكريم

كما أود أن أوجه الشكر الجزيل إلى الأسرة الجامعية من أعضاء هيئة التدريس والإداريين، على ما قدموه من دعم وتسهيلات ساهمت في إنجاز هذا البحث، إن هذا العمل ما كان ليُنجز لولا فضل الله أولاً، ثم توجيهات وإشراف الدكتور محرم عبد الكريم، ودعم الأسرة الجامعية الكريمة. أسأل الله له دوام الصحة والعافية، وأن يجعل علمه في ميزان حسناته، وأن يوفقه ويسدد خطاه في مسيرته العلمية والمهنية.



## جدول المحتويات

I	المُلخَص
I	Abstract
II	الإهداء
III	الشكر والتقدير
IV	جدول المحتويات
IX	قائمة الجداول
XI	قائمة الأشكال
XIII	قائمة الاختصارات
1	المقدمة العامة:
3	الفصل الأول:
4	مقدمة:
5	I. الدراسة النظرية
5	I. 1. شرح العناصر الغذائية الأساسية في التربة و أثرها على نمو النباتات:
5	I. 1. 1. النيتروجين
5	I. 1. 1. 1. تعريف النيتروجين
8	I. 2. 1. 1. دور النيتروجين :
8	I. 3. 1. 1. زيادة النيتروجين:
9	I. 4. 1. 1. نقص النيتروجين:
9	I. 5. 1. 1. طرق قياس النيتروجين في التربة:
10	I. 1. 2. الفسفور:
10	I. 1. 2. 1. تعريف الفوسفور:
11	I. 2. 2. 1. دور الفوسفور:
11	I. 3. 2. 1. زيادة الفوسفور:
11	I. 4. 2. 1. نقص الفوسفور:
12	I. 5. 2. 1. طرق قياس الفوسفور في التربة:
12	I. 3. 1. البوتاسيوم:
12	I. 1. 3. 1. 1. تعريف البوتاسيوم:
13	I. 2. 3. 1. 1. دور البوتاسيوم:

- 14..... I 3.3.1.1.1 زيادة البوتاسيوم:
- 14..... I 4.3.1.1.1 نقص البوتاسيوم:
- 15..... I 5.3.1.1.1 طرق قياس البوتاسيوم في التربة:
- 16..... I 2 تعريف مستوى الحموضة (pH) وأهميته:
- 16..... I 1.2 تعريف مستوى الحموضة (pH):
- 17..... I 2.2 قياسات مستوى الحموضة:
- 18..... I 3.2 أهمية (pH) في امتصاص العناصر الغذائية:
- 18..... I 4.2 طرق قياس (pH) في التربة:
- 19..... I 3. درجة حرارة التربة و تأثيرها على الزراعة:
- 19..... I 1.3.1 تأثير درجة حرارة التربة على العمليات الزراعية:
- 19..... I 1.1.3 إنبات البذور :
- 20..... I 2.1.3 نشاط الكائنات الحية الدقيقة:
- 20..... I 3.1.3 امتصاص الماء والعناصر الغذائية:
- 20..... I 4.1.3 نمو الجذور:
- 20..... I 5.1.3 التزهير والإثمار:
- 20..... I 2.3 الآثار السلبية لعدم توازن درجة الحرارة:
- 21..... I 4. ملوحة التربة (الناقلية الكهربائية EC) و تأثيرها على الزراعة:
- 21..... I 1.4 تأثير ملوحة التربة على الزراعة:
- 21..... I 1.1.4 إجهاد ملحي للنباتات :
- 22..... I 2.1.4 تأثيرات فيزيولوجية:
- 22..... I 3.1.4 تأثير على الإنتاج:
- 22..... I 5. رطوبة التربة و تأثيرها على الزراعة:
- 23..... I 1.5 أهمية رطوبة التربة في الزراعة:
- 23..... I 1.1.5 دعم العمليات الفسيولوجية للنبات :
- 23..... I 2.1.5 امتصاص العناصر الغذائية :
- 23..... I 3.1.5 نشاط الكائنات الحية الدقيقة:
- 23..... I 4.1.5 درجة حرارة التربة:
- 23..... I 2.5 آثار اختلال رطوبة التربة:
- 23..... I 1.2.5 الجفاف (نقص الرطوبة):

24	..... 2.2.5. I التشيع الزائد (زيادة الرطوبة):
24	..... I . 3 دور التكنولوجيا في الزراعة الحديثة (أنظمة الإستشعار وأنظمة التحكم والإتصال):
24	..... خاتمة:
26	..... الفصل الثاني:
26	..... التصميم والتطوير
27	..... مقدمة:
27	..... II .1. المكونات الصلبة (Hardware) :
28	..... II .1.1. وصف بنية النظام (Architecture Hardware) :
29	..... II .1.1.1 وحدة المعالجة Arduino Uno :
30	..... II .2.1.1 وحدة الاستشعار مستشعر العناصر الغذائية (NPK) :
33	..... II .3.1.1 لوحة الإتصال (RS485):
34	..... II .4.1.1 وحدة عرض البيانات (LCD):
35	..... II .5.1.1 وحدة حفظ الزمن الحقيقي (RTC):
36	..... II .6.1.1 وحدة تسجيل البيانات (SD Card)
37	..... II .2. المكونات البرمجية (Software)
37	..... II .1.2. بيئة البرمجة والمكتبات المستخدمة
38	..... II .1.1.2 مكتبة Wire.h
38	..... II .2.1.2 مكتبة LiquidCrystal_I2C.h
39	..... II .3.1.2 مكتبة DS1307.h
40	..... II .4.1.2 مكتبة Software Serial.
40	..... II .5.1.2 مكتبة SD.h
41	..... II .2.2. الكود البرمجي وشرح عمل النظام
41	..... II .1.2.2 تهيئة المكونات
42	..... II .2.2.2 شاشة البدء والتحقق من بطاقة SD
42	..... II .3.2.2 قراءة البيانات من المستشعر
42	..... II .4.2.2 العرض على شاشة LCD
43	..... II .5.2.2 التسجيل التلقائي للبيانات
43	..... II .6.2.2 استخدام RTC وSD معا

43	.....	II 2. محاكاة النظام باستخدام Proteus
45	.....	II 3. انجاز وتجريب النظام عمليا ومقارنة النتائج مع نتائج المحاكاة
45	.....	II 1.3. البناء العملي للنظام
46	.....	II 2.3. تجربة وفحص وحدة الوقت الحقيقي
47	.....	II 3.3. تجربة وفحص وحدة الاستشعار
48	.....	II 4.3. تجربة وفحص وحدة تسجيل البيانات
51	.....	الخاتمة
52	.....	الفصل الثالث:
53	.....	مقدمة
53	.....	III 1. إعداد التجارب والملاحظات العامة
53	.....	III 1.1. تجهيز العينات
54	.....	III 2.1. أدوات القياس المستخدمة
54	.....	III 2. تجربة تأثير نوع التربة
56	.....	III 1.2. تحليل و مناقشة النتائج
56	.....	III 1.1.2. مستوى الحموضة (pH):
57	.....	III 2.1.2. الناقلية الكهربائية (EC):
57	.....	III 3.1.2. الرطوبة (H%):
57	.....	III 4.1.2. العناصر الغذائية (NPK):
58	.....	III 5.1.2. خلاصة التحليل
59	.....	III 3. تجربة تأثير نوع الماء
60	.....	III 1.3. تحليل و مناقشة النتائج
60	.....	III 1.1.3. الناقلية الكهربائية (EC):
60	.....	III 2.1.3. مستوى الحموضة (pH):
61	.....	III 3.1.3. ثبات باقي القيم (H% ، NPK):
61	.....	III 4.1.3. خلاصة التحليل
61	.....	III 4. تجربة تأثير الرطوبة على الناقلية الكهربائية (EC)
63	.....	III 1.4. تحليل و مناقشة النتائج
63	.....	III 1.1.4. الناقلية الكهربائية (EC):

63	.....: مستوى الحموضة (pH):	III 2.1.4
63	.....: (العناصر الغذائية) NPK	III 3.1.4
64	..... خلاصة التحليل	III 4.1.4
64	..... تجربة تسجيل البيانات على مدة زمنية	III 5
65	..... تغيرات درجة الحرارة بدلالة الزمن في تربة طينية	III 1.5
66	..... تغيرات قيمة pH بدلالة الزمن في تربة طينية	III 2.5
67	..... تغيرات قيمة N بدلالة الزمن في تربة طينية	III 3.5
68	..... التحليل الإحصائي وتفسيره	III 4.5
69	..... تقييم أداء النظام	III 6
70	..... استخدام بروتوكول Modbus RTU عبر RS485	III 1.6
70	..... التحويل الرقمي الدقيق للقراءات	III 2.6
70	..... تسجيل البيانات	III 3.6
70	..... عرض البيانات على شاشة LCD	III 4.6
70	..... بطاقة SD لتخزين البيانات	III 5.6
70	..... إشارات واضحة لحالة التسجيل (REC/STOP):	III 6.6
71	..... التحديات و الحلول المقترحة	III 7
71	..... تحدي الطاقة:	III 1.7
71	..... دقة القياسات:	III 2.7
72	..... اقتراحات لتطوير النظام مستقبلا	III 8
73	..... الخاتمة	
75	..... الخاتمة العامة:	
77	..... مراجع	
79	..... الملاحق	

## قائمة الجداول

الفصل الأول: الإطار النظري والدراسة الأولية	
الصفحة	العنوان
7	جدول(1.I): توضيح الأشكال المختلفة من أسمدة النيتروجين
16	جدول (2.I): تصنيفات درجة حموضة التربة
21	جدول (3.I): الآثار السلبية لعدم توازن درجة الحرارة

الفصل الثاني: التصميم والتطوير	
الصفحة	العنوان
31	جدول (4.II): الخصائص الفنية الكاملة لمستشعر Soil TH-NPK

الفصل الثالث: النتائج والتقييم	
الصفحة	العنوان
55	جدول (5.III): تفاصيل تجربة تأثير نوع التربة
56	جدول (6.III): جدول تجربة تأثير نوع التربة مع النتائج
59	جدول (7.III): تفاصيل إعداد تجربة تأثير نوع الماء.

59	جدول (8.III): تجربة تأثير نوع الماء مع النتائج
61	جدول (9.III): تفاصيل تجربة تأثير نوع الماء
62	جدول (10.III): كميات الماء لتحقيق مستويات مختلفة من الرطوبة
62	جدول (11.III): تجربة تأثير نوع الماء مع النتائج

## قائمة الأشكال

الفصل الأول: الإطار النظري والدراسة الأولية	
الصفحة	العنوان
6	الشكل (1.I): الرمز الكيميائي لعنصر النيتروجين
10	الشكل (2.I): الرمز الكيميائي لعنصر الفوسفور
13	الشكل (3.I): الرمز الكيميائي لعنصر البوتاسيوم
15	الشكل (4.I): صورة نبات الذرة الذي يعاني من نقص البوتاسيوم
18	الشكل (5.I): صورة لمختلف أجهزة قياس درجة حموضة التربة

الفصل الثاني: التصميم والتطوير	
الصفحة	العنوان
28	الشكل (6.II): مخطط يوضح بنية النظام المقترح
30	الشكل (7.II): لوحة Arduino Uno
31	الشكل (8.II): صورة مستشعر Soil TH-NPK
34	الشكل (9.II): وحدة ModbusMAX485
35	الشكل (10.II): وحدة عرض البيانات LCD
36	الشكل (11.II): وحدة حفظ الزمن الحقيقي (RTC- DS1307)
37	الشكل (12.II): وحدة تسجيل البيانات (SD Card)
44	الشكل (13.II): مخطط النظام ببرنامج المحاكاة Proteus

45	الشكل (14.II): البناء العملي الكامل لنظام القياس
47	الشكل (15.II): تجربة وفحص وحدة الوقت الحقيقي
48	الشكل (16.II): تجربة وفحص وحدة الاستشعار
49	الشكل (17.II): تجربة وفحص وحدة تسجيل البيانات
50	الشكل (18.II): معاينة ملف تسجيل القياسات

### الفصل الثالث: النتائج والتقييم

الصفحة	العنوان
55	الشكل (19.III): أنواع التربة المختلفة
65	الشكل (20.III): البناء العملي لقياسات عناصر التربة الطينية
66	الشكل (21.III): تغيرات درجة الحرارة بدلالة الزمن للتربة الطينية
67	الشكل (22.III): تغيرات قيمة pH بدلالة الزمن للتربة الطينية
68	الشكل (23.III): تغيرات قيمة N بدلالة الزمن للتربة الطينية

## قائمة الاختصارات

**pH:** potential hydrogen

**NPK:** nitrogen, phosphorus, and potassium.

**EC:** electrical conductivity

**KCl:** potassium chloride

**NIR:** the abbreviation for near-infrared

**ATP:** Adenosine triphosphate

**TTL:** Transistor Transistor Logic

**RTC:** Real-time communications

**LCD:** Liquid Crystal Display

**SD:** Secure Digital

**GND:** Ground

**SDA:** Serial Data

**SCL:** Serial Clock

**I2C:** Inter-Integrated Circuits

# المقدمة العامة

## المقدمة العامة:

تعتبر الزراعة قطاعا حيويا لتحقيق الأمن الغذائي ودعم الاقتصاد على مستوى العالم، ومع التحديات المتزايدة التي تواجه هذا القطاع، من تأثيرات التغير المناخي إلى الحاجة إلى ترشيد استخدام الموارد، يكتسب تبني التقنيات الحديثة والحلول الذكية أهمية قصوى، وفي هذا السياق، يبرز مفهوم الزراعة الذكية كإطار واعد لتحسين الإنتاجية والاستدامة البيئية.

تعتبر جودة التربة، بما تحتويه من عناصر غذائية أساسية ومستوى حموضة مناسب، حجر الزاوية في ضمان نمو صحي للنباتات وإنتاج محاصيل وفيرة وذات جودة عالية، تقليديا يعتمد المزارعون على طرق تحليل التربة المخبرية التي قد تكون مكلفة وتستغرق وقتا طويلا، مما يعيق اتخاذ قرارات سريعة ودقيقة بشأن إدارة التسميد وتحسين خصوبة التربة.

لمعالجة هذه القيود، نستكشف في هذه المذكرة إمكانية تصميم وتطوير نظام ذكي مبتكر لقياس ورصد العناصر الغذائية الأساسية في التربة، وهي النيتروجين (N)، والفوسفور (P)، والبوتاسيوم (K)، بالإضافة إلى مستوى الحموضة (pH)، الناقلية الكهربائية (EC)، درجة الحرارة (T) و الرطوبة (H) يعتمد هذا النظام المقترح على استخدام لوحة التحكم (Arduino Uno)، وهي منصة مفتوحة المصدر تتميز بمرونتها وقدرتها على التحكم في الأجهزة المختلفة ومعالجة البيانات، بالإضافة إلى ذلك سيتم استخدام وحدة استشعار متخصصة قادرة على قياس العناصر سالفة الذكر بشكل مباشر في التربة.

يهدف هذا المشروع إلى المساهمة في تعزيز الزراعة المستدامة من خلال تزويد المزارعين بأداة فعالة وسهلة الاستخدام للحصول على بيانات دقيقة وفي الوقت الفعلي حول حالة تربتهم، من خلال هذه المعلومات، سيتمكن المزارعون من اتخاذ قرارات أكثر استنارة بخصوص استخدام الأسمدة ومحسنات التربة، مما يؤدي إلى

زيادة الإنتاجية، وتحسين جودة المحاصيل، وتقليل التكاليف، والأهم من ذلك، الحفاظ على البيئة من خلال الاستخدام الأمثل للموارد.

بإيجاز، تتناول هذه المذكرة المراحل التالية:

- الفصل الأول الإطار النظري والدراسة الأولية: يستعرض أهمية الزراعة الذكية وقياس العناصر الغذائية والحموضة في التربة، ويقدم شرحا نظريا لهذه العناصر وتأثيرها على نمو النبات، بالإضافة إلى وصف مختصر لكيفيات قياس تلك العناصر.

- الفصل الثاني التصميم والتطوير: يستعرض مراحل تصميم وتطوير النظام الإلكتروني الذكي لقياس العناصر الغذائية في التربة (NPK) باستخدام لوحة Arduino، يشمل العمل تحديد المكونات الصلبة، برمجتها، ومحاكاتها باستخدام برنامج Proteus، ثم تنفيذها عمليا وتجريب أدائها في بيئة حقيقية. يمثل هذا الفصل الأساس العملي لبناء النظام.

- الفصل الثالث النتائج والتقييم: يتضمن تجريب النظام المقترح على عدة عينات من التربة تحت ظروف مختلفة. يتضمن أيضا تحليلات للبيانات المجمعة، وتقييما لأداء النظام من حيث دقة القياس وكفاءته، بالإضافة إلى مناقشة التحديات التي تواجه عملية التطوير واقتراح الحلول الممكنة، وينتهي بخلاصة حول تحقيق أهداف المشروع وتوصيات لتطويره مستقبلا.

نختتم هذه المقدمة بتقديم لمحة عامة عن الهيكل التفصيلي للمذكرة، والتي ستسعى إلى تقديم مساهمة عملية في مجال الزراعة الذكية من خلال تصميم وتطوير نظام فعال لرصد العناصر الغذائية في

التربة

# الفصل الأول:

## الإطار النظري والدراسة

### الأولية

## مقدمة:

تُعدّ التقنيات الحديثة في الزراعة الذكية ضرورية لتحسين كفاءة الإنتاج الزراعي ومواجهة التحديات البيئية والاقتصادية، تعتمد هذه التقنيات على استراتيجيات مبتكرة تهدف إلى تعزيز الإنتاجية مع الحفاظ على جودة المحاصيل واستدامة الموارد، بعد أن كانت تعتمد سابقاً على أساليب تقليدية بطيئة وغير فعّالة، ساهمت الابتكارات التكنولوجية في هذا القطاع في إحداث تحول نحو أساليب أكثر تقدماً، لا تُسهم فقط في زيادة المحصول بل أيضاً في تعزيز أهداف التنمية المستدامة.

إن أهمية قياس العناصر الغذائية في التربة (NPK) ومستوى الحموضة (pH) أمرًا حيويًا في تحليل التربة وتفعيل آليات الدفاع ضد عوامل الإجهاد الحيوية للنباتات وزيادة إنتاجية المحاصيل، حيث تم تحليل الأدوار المتنوعة التي تلعبها العناصر الأساسية مثل النيتروجين (N) والفسفور (P) والبوتاسيوم (K) في مواجهة الكائنات الضارة وأمراض النبات بينما مستوى الحموضة (pH) يعالج معظم حالات نقص العناصر الغذائية الثانوية والمغذيات الدقيقة بسهولة في النباتات، تُعتبر الرطوبة من العوامل الأساسية التي يجب أخذها بعين الاعتبار، حيث تلعب دورًا حيويًا في امتصاص النباتات للمغذيات وفي عملية البناء الضوئي، كما تسهم في نمو الجذور وتطورها، من جهة أخرى تؤثر درجة الحرارة على معدل النترية، ولها علاقة أيضًا بمحتوى رطوبة التربة، وتهويتها، وتوافر المغذيات فيها، كما تؤثر الملوحة على معظم جوانب نمو النبات، بما في ذلك عملية الإنبات، والنمو الخضري، والتكاثر.

نتناول في هذا الفصل شرح العناصر الغذائية الأساسية (NPK)، مستوى الحموضة (pH)، الناقلية الكهربائية (EC)، درجة الحرارة والرطوبة وطرق قياسها مع عرض أثرها في تحسين جودة التربة لتعزيز الزراعة المستدامة.

## I. الدراسة النظرية

## I. I شرح العناصر الغذائية الأساسية في التربة و أثرها على نمو النباتات:

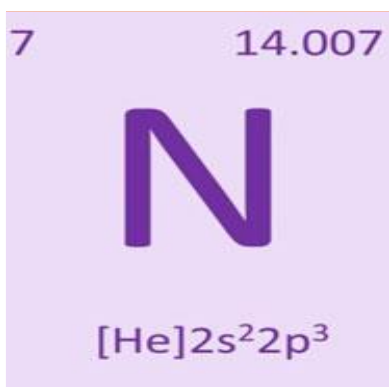
تلعب العناصر الغذائية دورًا أساسيًا في الفسيولوجيا العامة للنبات حيث تحصل النباتات على هذه العناصر من التربة بشكل رئيسي عبر نظام جذوره، وكلها مرتبطة بالنمو والإنتاجية العامة للنبات، إذ تحتاج النباتات إلى 17 عنصرًا أساسيًا لنموها، ويمكن تصنيفها بناءً على كمية احتياجاتها إلى مغذيات كبيرة وصغيرة، حيث لها دورًا حيويًا في حياة النباتات، إذ تميل العناصر الغذائية في التربة إلى التناقص أثناء حصاد المحاصيل التي تتم وفقًا للطرق التقليدية ومنه أن النمو النباتي يتأثر سلبًا نتيجة الإفراط أو النقص في إضافة الأسمدة إلى التربة، مما ينعكس بشكل كبير على مستوى الإنتاجية، ومن هذا نستعرض العناصر الأساسية الكبرى وهي النيتروجين (N) والفوسفور (P) والبوتاسيوم (K) وعلاقتها بالنباتات. [1]

## I. I. 1. النيتروجين

## I. I. 1. 1. تعريف النيتروجين

النيتروجين (N) هو العنصر الأساسي في غلاف الأرض الجوي، يتواجد في شكل مركب ثنائي الذرة ويتميز بامتلاكه أحد أقوى الروابط الثلاثية المعروفة، مما يجعله غير تفاعلي في الظروف الجوية العادية، نتيجة لذلك فإن عددًا قليلًا من الكائنات الحية تستطيع امتصاص النيتروجين الجزيئي بسبب استقراره في شكلين النترات ( $-NO_3$ ) والأموني ( $+NH_4$ )، يتم تشكيل مركبات النيتروجين في الغلاف الجوي بشكل طبيعي أثناء العواصف الرعدية، حيث يتفاعل النيتروجين مع الأكسجين لتكوين مجموعة متنوعة من الأكاسيد، وتتفاعل هذه الأكاسيد النيتروجينية مع الرطوبة في الغلاف الجوي لتكوين أحماض النيتروجين المختلفة، والتي تتساقط على سطح الأرض مع الأمطار، تتفاعل هذه الأحماض بسرعة مع المعادن الموجودة

في القشرة الأرضية لتكوين نترات متنوعة، تُعتبر أملاح النيتريت جزءًا من عملية إدماج النيتروجين في التربة، مما يسهم في زيادة إجمالي كمية النيتروجين في قشرة الأرض، إذا لم تحصل النباتات على كمية كافية من النيتروجين، فإنها تواجه صعوبة في إنتاج الأحماض الأمينية، وهي مواد تحتوي على النيتروجين والهيدروجين وتساهم في تكوين العديد من الخلايا والأنسجة والأعضاء، كما تلعب الميكروبات في أمعاء الحيوانات دورًا في إضافة النيتروجين، مما يجعل فضلات الحيوانات مصدرًا رئيسيًا للنيتروجين ووسيلة فعالة للتسميد. [1]



الشكل (1.I): الرمز الكيميائي لعنصر النيتروجين [1]

بناءً على أشكال النيتروجين، يمكن تصنيف الأسمدة النيتروجينية إلى: (أ) أسمدة نترات، (ب) أسمدة أمونيكية، (ج) أسمدة أمونيكية-نترات، و(د) أسمدة أميد، تم توضيح الأشكال المختلفة من أسمدة النيتروجين في الجدول (1.I) [1]

جدول (1.1): توضيح الأشكال المختلفة من أسمدة النيتروجين [1]

شكل السماد	مركب	الصيغة	النسبة المئوية للنيتروجين
الشكل الأموني	كبريتات الأمونيوم	(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	20.5
	كلوريد	NH <sub>4</sub> CL	26
	فوسفات أحادي	NH <sub>4</sub> H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	20-11
	فوسفات ثنائي	(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	18
	أمونيا لا مائية	NH <sub>3</sub>	82
	أمونيا مائية	NH <sub>2</sub> OH	24-20.6
شكل النترات	نترات الكالسيوم	Ca (NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	15.5
	نترات الصوديوم	NaNO <sub>3</sub>	16
	نترات البوتاسيوم	KNO <sub>3</sub>	13
أشكال نترات الأمونيا	نترات الأمونيوم	NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	33.5
	نترات الكالسيوم (نترات الامونيوم+الحجر الجيري)	NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub> +Ca (NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	26
	نترات كبريتات الأمونيوم	(NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub> )+0.5((NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> )	26

أشكال الأמיד	اليوريا	CO(NH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub>	45
	سيانا ميد الكالسيوم	CaCN <sub>2</sub>	21

### I. 2.1.1. دور النيتروجين :

يُعتبر النيتروجين عنصرًا غذائيًا أساسيًا يسهم في تعزيز نمو الأوراق والساق، فهو مكون رئيسي للبروتينات والإنزيمات بالإضافة إلى الكلوروفيل الذي يلعب دورًا حيويًا في عملية التركيب الضوئي، يسهم النيتروجين بشكل كبير في امتصاص العناصر الغذائية الأخرى باستثناء البقوليات التي تستطيع تثبيت النيتروجين من الغلاف الجوية، وتحسين لون أوراقه، وزيادة حجمه بشكل عام، ومع ذلك فإن الإفراط في استخدام النيتروجين قد يؤدي إلى نمو غير متوازن، وتأخير في الإثمار، بالإضافة إلى مشكلات بيئية مثل تلوث المياه.[2]

### I. 3.1.1. زيادة النيتروجين:

من ناحية أخرى، فإن الحصول على كميات كبيرة من النيتروجين يمكن أن يؤدي إلى إنتاج فائض من الكتلة الحيوية أو المواد العضوية، مثل السيقان والأوراق، دون أن تكون هناك بنية جذرية كافية، في الحالات الشديدة، قد تتسبب النباتات التي تحتوي على مستويات مرتفعة جدًا من النيتروجين الممتص من التربة في تسمم حيوانات المزرعة التي تتغذى عليها، حيث تؤدي إلى تلوث مصادر المياه بسبب الكميات المفرطة من النيتروجين والمغذيات الأخرى، مما تتعرض الحياة البحرية للاختناق نتيجة تحلل أزهار الطحالب الميتة ويشكل مشكلة كبيرة، يعتبر دوران النيتروجين في النظام البيئي أمرًا حيويًا للحفاظ على أنظمة بيئية صحية ومنتجة، حيث يتطلب توازن كمية النيتروجين أن لا تكون مرتفعة بشكل مفرط أو منخفضة للغاية.

[2]

**I. 4.1.1. نقص النيتروجين:**

يسبب نقص النيتروجين انخفاضًا في عملية التركيب الضوئي، بالإضافة إلى تقليل مستويات الكلوروفيل والأصبغ المساعدة، يؤدي الخلل الناتج عن نقص النيتروجين إلى تقليص حجم الخلايا والمحتوى البروتيني، كما يقلل من عدد وحجم البلاستيدات الخضراء تصبح النباتات التي تعاني من نقص النيتروجين ذات أوراق صغيرة وتظهر عليها علامات الإطالة من الأطراف، يرافق هذا التقزم في النباتات انخفاض في إنتاجية الحبوب، وتظهر الأعراض المميزة لنقص النيتروجين أولاً على أوراق القمح القديمة، بينما تظل الأوراق الجديدة خضراء بشكل ملحوظ نتيجة لذلك، تصبح الأوراق القديمة أكثر شحوبًا حيث تبدأ الأعراض من الحواف ثم تمتد نحو قاعدة الأوراق، وفي دراسة أخرى، تم الإشارة إلى أن نقص النيتروجين في التربة يؤدي إلى جفاف التربة. [3]

**I. 1. 5.1. طرق قياس النيتروجين في التربة:**

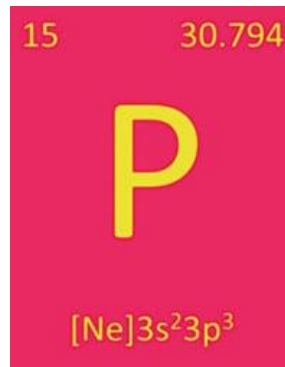
تتعدد طرق قياس النيتروجين في التربة بحسب درجة الدقة وسرعة التنفيذ، من أبرز الطرق المعتمدة مخبريًا طريقة كيلدال (Kjeldahl Method) التي تقيس النيتروجين الكلي بدقة عالية، وإن كانت بطيئة أما نيتروجين النترات والأمونيوم فيُستخلص عادة باستخدام محلول KCl ويُقاس بأجهزة تحليل ضوئي أو كروماتوغرافيا، في الميدان تُستخدم شرائط اختبار النترات لتقدير سريع لكنها أقل دقة، حديثًا ظهرت أجهزة استشعار محمولة تعتمد على أقطاب انتقائية لقياس النترات والأمونيوم مباشرة داخل التربة، وتُربط بوحدات تحكم ذكية، كذلك يُستخدم مطياف الأشعة تحت الحمراء (NIR) لتحليل التربة بشكل غير مدمر إلى جانب الطائرات بدون طيار التي ترصد نقص النيتروجين عبر انعكاسات الطيف الضوئي على النباتات، هذه

الطرق تختلف من حيث التكلفة والفعالية، ويُوصى باختيار الأنسب وفقًا لطبيعة التربة وهدف التحليل، مع إمكانية الدمج بين الطرق التقليدية والذكية لتحقيق إدارة دقيقة للتسميد الزراعي. [4]

### I.1.2 الفسفور:

#### I.1.2.1.1 تعريف الفوسفور:

الفوسفور (P) هو عنصر غذائي أساسي يلعب دورًا حيويًا في نمو النباتات وزيادة إنتاجيتها ويطلق عليه لقب «مفتاح الحياة»، إذ يتواجد في القشرة الأرضية بكميات أقل من النيتروجين والبوتاسيوم، حيث يقوم بإنتاج الحمض النووي والحمض النووي الريبي، بالإضافة إلى أدينوزين ثلاثي الفوسفات (ATP) الذي يلعب دورًا حيويًا في تخزين ونقل الطاقة داخل الخلايا، يتراوح تركيزه في أنسجة النبات بين 0.05% و0.5% من الوزن الجاف الكلي، وعلى الرغم من أن تركيز الفوسفور في التربة العضوية يفوق تركيزه في النباتات بمقدار 2000 مرة، إلا أن ارتباطه في شكل فوسفات الألمنيوم أو الحديد، أو فوسفات الكالسيوم أو المغنيسيوم في التربة المعدنية (بها جزيئات صخرية ومعادن مفتتة)، يجعله غير متاح لامتصاص النباتات. [5]



الشكل (2.1): الرمز الكيميائي لعنصر الفوسفور [5]

**I.1.2.2 دور الفوسفور:**

يعتبر الفوسفور عنصراً غذائياً أساسياً يساهم في نمو النباتات، يلعب الفوسفور دوراً حيوياً في عملية البناء الضوئي، حيث يساهم في إنتاج السكريات والنشويات، بالإضافة إلى تحويل الطاقة الشمسية إلى طاقة كيميائية، حيث يعمل على تطوير أنظمة جذرية قوية، ويعزز من تكوين الأزهار، ويدعم النمو المبكر للنبات، يُعتبر الفوسفور مغذياً ضرورياً خلال مراحل نمو النباتات، خاصة في المراحل الأولى، وعندما تكون مستويات الفوسفور غير كافية، يمكن أن يؤدي ذلك إلى توقف النمو، وضعف نمو الفاكهة، وانخفاض إنتاج البذور. [6]

**I.1.2.3. زيادة الفوسفور:**

زيادة مستوى الفوسفور في التربة تؤدي إلى زيادة امتصاصه على حساب الزنك والحديد، مما يسبب ظهور أعراض نقص هذين العنصرين في النباتات، كما أن ارتفاع مستوى الفوسفور خلال فترات الحرارة المرتفعة قد يؤدي إلى تقليل كمية المحصول، حيث إن وجود الفوسفور مع الزنك والحديد يسرع من نضج الثمار قبل أن تصل النباتات إلى مرحلة النمو الخضري الطبيعية، مما يؤدي في النهاية إلى انخفاض الإنتاج، يُذكر أن الفوسفور يتوفر في الأراضي التي تم تخصيصها لعدة سنوات سابقة بكميات كبيرة من الأسمدة الفوسفاتية، خاصة أنه يثبت بسرعة في التربة. [5]

**I.1.2.4. نقص الفوسفور:**

يُعتبر نقص الفوسفور من العوامل الغذائية الشائعة التي تؤثر سلباً على الإنتاج الزراعي في مختلف أنحاء العالم، تشير الدراسات إلى أن المستويات غير المثالية من الفوسفور في التربة يمكن أن تؤدي إلى تقليص غلة المحاصيل بنسبة تتراوح بين 5% و15%، ويكون نقص الفوسفور أكثر وضوحاً في التربة ذات

التركيبية المتجعدة بشكل كبير وفي التربة الكلسية القلوية، تتضمن الاستجابات المظهرية الشائعة لنقص الفوسفور في النباتات ضعف نمو السيقان وتفرعاتها، بالإضافة إلى تغير لون الأوراق إلى درجات داكنة من الأزرق المخضر، كما تظهر السيقان ذات لون محمر نتيجة لتكوين مادة الأنثوسيانين وبشكل أضعف وأنحف، ويحدث تراجع في تكوين الفروع، مما يؤدي إلى تلقيح غير كامل وقلة الأزهار، وتأخر في النضوج، فضلاً عن انخفاض جودة الحبوب وإنتاجية المحاصيل.[5]

### I. 1. 2. 5. طرق قياس الفوسفور في التربة:

يتم استخدام عدة طرق لقياس الفوسفور (P) في التربة وفقاً لنوعها وشكل الفوسفور المراد تحليله، من أبرز الطرق التقليدية طريقة أولسن (Olsen) المناسبة للتربة القلوية، حيث يُستخرج الفوسفور بمحلول بيكربونات الصوديوم ( $\text{NaHCO}_3$ ) ويُقاس لونه طيفياً، أما في التربة الحمضية، فتُستخدم طريقة بري (Bray)، باستخدام حمض أضعف لاستخلاص الفوسفور المتاح، وتُستخدم أيضاً طريقة أمالغانيت للتربة الغنية بأكاسيد الحديد والألمنيوم، من الطرق الحديثة تعتمد تقنية الأقطاب الانتقائية لأيونات (Ion- Sélective Electrodes) على قياس تركيز أيون الفوسفات مباشرة في محلول التربة عبر قطب خاص، وتُستخدم غالباً مع الأنظمة الذكية المحمولة، كما تتيح تقنيات التحليل الطيفي (VIS-NIR) تقديراً سريعاً وغير مدمر لمحتوى الفوسفور، يعتمد اختيار الطريقة على خصائص التربة، الهدف من التحليل، والدقة المطلوبة، خاصة أن الفوسفور عنصر قليل الحركة ويميل للثبات داخل التربة.[7]

### I. 1. 3. البوتاسيوم:

#### I. 1. 3. 1. 1. تعريف البوتاسيوم:



الشكل (3.1): الرمز الكيميائي لعنصر البوتاسيوم [6]

يعتبر البوتاسيوم (K) عنصراً حيوياً في العديد من العمليات الخلوية (التفاعلات الكيميائية والفيزيائية الحيوية المعقدة التي تحدث داخل الخلية الحية)، على عكس المغذيات الكبيرة الأخرى، لا يُدرج البوتاسيوم (K) ضمن المادة العضوية، بل يبقى كأيون قابل للذوبان في عصارة الخلايا، مما يساهم في تكوين حوالي 10% من المادة العضوية الجافة، يلعب البوتاسيوم دوراً محفزاً لمجموعة متنوعة من الإنزيمات، بالإضافة إلى أهميته في تخليق البروتين، وفتح وإغلاق الثغور، ونقل المنتجات الضوئية، ونمو الجذور، لذا يُعتبر عنصراً أساسياً للنباتات، حيث يؤثر على مجموعة من العمليات الفيزيولوجية والكيميائية الحيوية التي تسهم في مقاومتها للعوامل الضارة البيولوجية وغير البيولوجية. [6]

### I. 2.3.1.1. دور البوتاسيوم:

البوتاسيوم (K) هو عنصر غذائي أساسي يلعب دوراً حيوياً في العديد من العمليات الفيزيولوجية والكيميائية الحيوية داخل النباتات، يساهم البوتاسيوم في تغذية النباتات، وامتصاص الماء، ونقل العناصر الغذائية، وتنشيط الإنزيمات، وتخليق البروتينات، وعمليات تمثيل الكربوهيدرات، تساهم المستويات الكافية من البوتاسيوم في تقوية السيقان، وزيادة قدرة النباتات على تحمل الجفاف، وتحسين جودة الفاكهة، لضمان

تحقيق إنتاج زراعي مرتفع، من الضروري الحفاظ على مستويات كافية من البوتاسيوم في النباتات وإدارتها بشكل فعال. [8]

#### I. 3.3.1.1. زيادة البوتاسيوم:

تزداد مستويات البوتاسيوم في التربة عندما يتم استخدام البوتاسيوم في الأسمدة على المدى الطويل بمعدلات تفوق بكثير احتياجات المحاصيل، حيث تقوم أعشاب الرعي والبرسيم بامتصاص هذا العنصر بشكل يتناسب مباشرة مع تركيزه في التربة، مما يؤدي إلى تجاوز الكمية المطلوبة للنمو الطبيعي للمحاصيل، تُعرف هذه الظاهرة غالبًا باسم "الاستهلاك الفاخر"، مما ينتج عنه أعلاف تحتوي على مستويات بوتاسيوم أعلى بكثير من المعدل الطبيعي. [8]

#### I. 4.3.1.1. نقص البوتاسيوم:

يمكن أن يؤدي نقص البوتاسيوم إلى ضعف النباتات، وزيادة تعرضها للآفات والأمراض، مما يقلل من الغلة المحصولية، تظهر الأعراض المرئية لنقص البوتاسيوم في توقف نمو النباتات، مصحوبة بصفرة على حواف الأوراق، كما أن الأوراق القديمة للنباتات التي تعاني من نقص البوتاسيوم تموت نتيجة تفرغ أيونات البوتاسيوم إلى الأوراق الأحدث. [9]



الشكل (4.I): يُظهر نبات الذرة الذي يعاني من نقص في البوتاسيوم. [9]

#### I. 5.3.1.1. طرق قياس البوتاسيوم في التربة:

يتم قياس البوتاسيوم (K) في التربة بعدة طرق تعتمد على استخلاصه من محلول التربة ثم تحديد تركيزه. الطريقة التقليدية الأكثر استخدامًا هي الاستخلاص بنترات الأمونيوم ( $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ) أو أسيتات الأمونيوم، حيث يتم استبدال البوتاسيوم الممتص على سطح جسيمات التربة ويُقاس باستخدام مطياف الامتصاص الذري أو اللهب الفوتومتري، تقيس هذه الطرق البوتاسيوم المتبادل (المتاح للنبات)، أما الطرق الحديثة فتشمل استخدام الأقطاب الانتقائية لأيونات (Ion-selective Electrodes)، وهي أجهزة تعتمد على أقطاب حساسة لقياس أيون البوتاسيوم مباشرة في محلول التربة بدقة وسرعة، وتُستخدم في المختبر أو الميدان كما تُستخدم تقنيات التحليل الطيفي مثل (NIR/VIS) للتقدير غير المباشر لمحتوى البوتاسيوم، لكنها أقل دقة وتحتاج إلى معايرة اختيار الطريقة يعتمد على نوع التربة، الغرض من التحليل، والموارد المتاحة، خصوصًا أن البوتاسيوم يتأثر بمحتوى الرطوبة والكاتيونات الأخرى. [10]

## I . 2 تعريف مستوى الحموضة (pH) وأهميته:

## I . 2 . 1 تعريف مستوى الحموضة (pH):

تعتبر مستوى الحموضة في التربة مقياساً لمستوى الحموضة أو القلوية فيها، ويطلق عليه بمصطلح الأس الهيدروجيني، حيث يتراوح مقياس مستوى الحموضة من 0 إلى 14، يُعتبر الرقم 7.0 محايداً وهو توازن بين الحمض والقاعدة، بينما يُصنف الرقم أقل من 7.0 على أنه حمضي، ووصولاً إلى القيم الأكثر حمضية عند 0.0 بالمقابل أعلى من 7.0 على أنه قاعدي أو قلوي، حتى تصل إلى أعلى القيم عند 14.0، والتي تمثل قاعدة قوية جداً، لفهم مستوى الحموضة بشكل أعمق، يمكننا أن نشير إلى أن نطاق مستوى الحموضة من 6.0 إلى 8.0 يُعتبر منطقة مثالية، حيث تدعم تأثيرات الحمض والقاعدة بشكل أفضل، وعندما تتجاوز القيم هذا النطاق، قد تضعف الظروف البيئية. [11]

## جدول (2.1): تصنيفات مستوى الحموضة التربة. [11]

مستوى الحموضة التربة	نمو النبات
>8.3	قلوي جدا بالنسبة لمعظم النباتات
7.5	يصبح توفر الحديد مشكلة في التربة القلوية
7.2	6.8 إلى 7.2 - قريب من الحياد
7.0	6.0 إلى 7.5 - مقبول لمعظم النباتات
6.8	
6.0	
5.5	انخفاض النشاط الميكروبي للتربة
<4.6	حمض للغاية بالنسبة لمعظم النباتات

## I. 2. 2. قياسات مستوى الحموضة:

يُقاس مستوى الحموضة باستخدام جهاز يتكون من قطبين كهربائيين: القطب المؤشر والقطب المرجعي، وغالبًا ما يتم دمج هذين القطبين في قطب واحد يُعرف بالقطب المدمج، عند غمر القطبين في محلول تتشكل خلية جلفانية صغيرة، ويعتمد الجهد الناتج على كلا القطبين، تكون ظروف القياس مثالية عندما يتغير جهد القطب المؤشر فقط استجابةً لتغيرات مستوى الحموضة، بينما يبقى جهد القطب المرجعي ثابتًا. [12] يمكن التعبير عن الجهد المقاس باستخدام معادلة نيرنست على النحو التالي:

$$E = E^{\circ} - \left( \frac{RT}{nF} \right) \ln Q$$

حيث:

$E_{\text{cell}}(V)$	الجهد الكهربائي الفعلي للخلية (V)
$E^{\circ}(V)$	الجهد القياسي للخلية (V) عند الظروف القياسية
$R$	ثابت الغاز العام ويساوي 8.314J/mol. K
$T$	درجة الحرارة المطلقة بالكلفن (K)
$n$	عدد الإلكترونات المنقولة في التفاعل
$F$	ثابت فاراداي ويساوي 96485 C/mol
$Q$	حاصل التفاعل (نسبة تركيز المواد الناتجة إلى المتفاعلة) [13]

### I . 2 . 3 أهمية (pH) في امتصاص العناصر الغذائية:

تُعد مستوى الحموضة التربة مهمة لأنها تؤثر على توافر العناصر الغذائية للنباتات، حيث يحتاج النبات إلى كميات كبيرة من العناصر الغذائية الأساسية مثل النيتروجين والفوسفور والبوتاسيوم، بينما يحتاج إلى كميات أقل من العناصر الغذائية الثانوية مثل الكالسيوم والمغنيسيوم والكبريت أما الزنك والمنغنيز، فهما من المغذيات الدقيقة التي يحتاجها النبات بكميات ضئيلة جداً، يمكن معالجة معظم حالات نقص العناصر الغذائية الثانوية والمغذيات الدقيقة بسهولة من خلال الحفاظ على التربة عند قيمة مستوى الحموضة المثلى بين 6.0 و8 مقبولاً لمعظم النباتات، وهذا حسب نوع المحاصيل، كما يؤثر مستوى الحموضة للتربة على نشاط الكائنات الحية الدقيقة، حيث ينخفض عدد البكتيريا المسؤولة عن تحلل المواد العضوية في التربة ذات الحموضة العالية، مما يؤدي إلى تراكم المواد العضوية والمغذيات المرتبطة بها وخاصة النيتروجين.[9]



الشكل (5.I): صورة لمختلف أجهزة قياس مستوى الحموضة التربة. [14]

### I . 2 . 4 طرق قياس (pH) في التربة:

يتم قياس مستوى الحموضة (pH) في التربة باستخدام طرق متعددة تختلف في الدقة والسهولة، الطريقة الأكثر شيوعاً هي خلط عينة من التربة مع الماء المقطر بنسبة 1:1 أو 1:2.5 ثم قياس pH

باستخدام جهاز إلكتروني مزود بقطب زجاجي مرجعي، وهي طريقة دقيقة وموثوقة، ولزيادة الاستقرار في القياس، يُستخدم أحياناً محلول كلوريد الكالسيوم ( $\text{CaCl}_2$ ) بدل الماء، ما يقلل من تأثير الأملاح القابلة للذوبان، في الميدان يتم استخدام أجهزة رقمية محمولة مزودة بأقطاب كهربائية يتم غرسها مباشرة في التربة، وتوفر نتائج سريعة، كما تُستخدم أيضاً أشرطة ورقية مغموسة في محلول التربة لتقدير تقريبي للحموضة، لكنها أقل دقة تعتمد الطرق الحديثة أيضاً على أقطاب كهروكيميائية حساسة لأيونات الهيدروجين، وتُدمج أحياناً في أنظمة استشعار ذكية، اختيار الطريقة يعتمد على درجة الدقة المطلوبة، وظروف الاستخدام الحقلية أو المخبرية. [15]

### I. 3. درجة حرارة التربة و تأثيرها على الزراعة:

تُعد درجة حرارة التربة من العوامل البيئية الأساسية التي تؤثر بشكل مباشر على العمليات الحيوية والكيميائية والفيزيائية التي تحدث داخل التربة، وبالتالي على نمو النباتات وإنتاجيتها، درجة حرارة التربة هي مقياس للحرارة في الطبقات العليا من التربة، والتي تختلف تبعاً لعدة عوامل مثل الإشعاع الشمسي، الغطاء النباتي، محتوى الرطوبة، نوع التربة ولونها والعمق، تتغير درجة حرارة التربة يومياً وموسمياً، وهي تختلف بين النهار والليل، وبين الشتاء والصيف، كما تختلف على أعماق مختلفة من سطح التربة. [16]

### I. 1.3. تأثير درجة حرارة التربة على العمليات الزراعية:

#### I. 1.1.3. إنبات البذور :

معظم البذور تحتاج إلى نطاق حراري معين للإنبات (مثلاً  $10-25^\circ\text{C}$ )، تجدر الإشارة إلى أن درجات الحرارة المنخفضة تؤخر أو تمنع الإنبات كما أن ارتفاعها إلى درجات عالية قد يُسبب موت الأجنة أو تقليل معدل الإنبات.

**I. 2.1.3. نشاط الكائنات الحية الدقيقة :**

تنشط الكائنات الدقيقة المسؤولة عن تحليل المواد العضوية وتثبيت النيتروجين بين  $20-35\text{ C}^\circ$ ، بالإضافة الى أن درجات الحرارة المنخفضة تُقلل من معدلات التحلل المعدني، مما يقلل من توفر العناصر للنبات.

**I. 3.1.3. امتصاص الماء والعناصر الغذائية:**

يزداد امتصاص الجذور للعناصر كلما اقتربت درجة الحرارة من المعدل الأمثل كما أن انخفاض درجة الحرارة يبطئ امتصاص النيتروجين والفوسفور والبوتاسيوم.

**I. 4.1.3. نمو الجذور:**

الجذور تنمو بشكل أفضل في تربة دافئة (عادة بين  $20-30\text{ C}^\circ$ )، تُسبب درجات الحرارة المنخفضة بطئا في النمو الجذري، مما يحد من كفاءة امتصاص الماء والعناصر.

**I. 5.1.3. التزهير والإثمار:**

تعتمد بعض المحاصيل على درجات حرارة معينة للتحفيز على الإزهار، قد تسبب درجة الحرارة المرتفعة جدًا فشلا في التلقيح وسقوط الأزهار. [17]

**I. 2.3. الآثار السلبية لعدم توازن درجة الحرارة:**

يلخص الجدول (3.I) أهم الآثار السلبية لعدم توازن درجات الحرارة في التربة.

**جدول (3.I): الآثار السلبية لعدم توازن درجة الحرارة. [11]**

الظاهرة	التأثير الزراعي
انخفاض شديد	تأخر في الإنبات، بطء نمو الجذور، تثبيط نشاط الميكروبات
ارتفاع مفرط	زيادة التبخر، جفاف التربة، ضرر لجذور النباتات، توقف التمثيل الضوئي
تقلبات سريعة	إجهاد نباتي، ضعف التكيف، تأثر النظام المناعي للنباتات

#### I. 4. ملوحة التربة (الناقلية الكهربائية EC) و تأثيرها على الزراعة:

تعتبر ملوحة التربة من أكثر المشكلات شيوعًا وخطورة في الزراعة الحديثة، لما لها من تأثيرات مباشرة على خصوبة التربة وصحة النبات، وبالتالي على كمية ونوعية الإنتاج الزراعي، تشير ملوحة التربة إلى تراكم الأملاح الذائبة في المحلول الأرضي (خصوصًا أملاح الصوديوم، الكالسيوم، المغنيسيوم، الكلوريد، والكبريتات)، وعادة ما تُقاس الملوحة بوحدة التوصيل الكهربائي (dS/m)، ويُعتبر التوصيل الكهربائي أكثر من (4 dS/m) مؤشرًا على أن التربة مالحة، ومن بين أهم أسباب ملوحة التربة نذكر الري بمياه مالحة (خاصة في المناطق القاحلة وشبه القاحلة)، سوء صرف التربة مما يؤدي إلى تراكم الأملاح، تبخر الماء من سطح التربة في المناطق الجافة مما يترك الأملاح خلفه، الارتفاع الشعري للماء الجوفي المالح إلى الطبقة السطحية وأيضًا الإفراط في استخدام الأسمدة المعدنية، خاصة النترات والكلوريد. [18]

#### I. 4.1. تأثير ملوحة التربة على الزراعة:

##### I. 1.4.1. إجهاد ملحي للنباتات :

يؤدي إلى صعوبة امتصاص الماء كما يمنع امتصاص العناصر الغذائية الضرورية مثل البوتاسيوم والكالسيوم، يؤدي هذا الاجهاد الملحي إلى ذبول النباتات رغم وجود الماء.

**I 2.1.4. تأثيرات فيزيولوجية:**

انخفاض معدل التمثيل الضوئي وتراكم الأيونات السامة (مثل الصوديوم والكلوريد) داخل أنسجة النبات مما يؤدي الى اضطرابات في نمو الجذور والأوراق.

**I 3.1.4. تأثير على الإنتاج:**

تقرم النباتات ونقص كمية المحصول وجودته (ثمار صغيرة أو مشوهة) كما يلاحظ تغير في طعم المحاصيل (خاصة الخضروات الورقية والجذور). [18]

**I 5. رطوبة التربة و تأثيرها على الزراعة:**

تعتبر رطوبة التربة من العوامل الحيوية الأساسية التي تتحكم في فعالية النمو النباتي، وتؤثر بشكل مباشر على عمليات امتصاص العناصر الغذائية، التهوية، النشاط الميكروبي، ومردود المحصول، تشير رطوبة التربة الى كمية الماء المحتجز بين جسيمات التربة، والذي يتوفر للنباتات لاستخدامه في العمليات الحيوية، تُقاس عادة بوحدة نسبة مئوية للحجم أو بوحدة الضغط المائي (bar/kPa)، تتواجد الرطوبة في التربة في ثلاث صور:

- الماء الشعري (Capillaire Water): وهو المتاح للنبات.

- الماء الجذبي (Hygroscopic): يلتصق بجزيئات التربة ولا يتم امتصاصه.

- الماء الحر (Gravitational): يتسرب بسرعة بفعل الجاذبية. [19]

**I 1.5. أهمية رطوبة التربة في الزراعة :****I 1.1.5. دعم العمليات الفسيولوجية للنبات :**

ضرورية لعملية التمثيل الضوئي، نقل العناصر، وانتقال السكريات، تدخل في تركيب الخلايا النباتية وحجمها.

**I 2.1.5. امتصاص العناصر الغذائية :**

العناصر الغذائية لا تُمتص إلا إذا كانت ذائبة في محلول التربة، نقص الرطوبة = تعطيل نقل الغذاء داخل النبات.

**I 3.1.5. نشاط الكائنات الحية الدقيقة:**

التربة الرطبة بشكل معتدل تدعم تحلل المواد العضوية. نقص أو زيادة الرطوبة يثبط هذا النشاط.

**I 4.1.5. درجة حرارة التربة:**

الماء يُساهم في توازن حرارة التربة، فيقلل من التغيرات المفاجئة. [20]

**I 2.5. آثار اختلال رطوبة التربة:****I 1.2.5. الجفاف (نقص الرطوبة):**

يسبب ذبول النباتات وضعف النمو وتوقف الإنتاج كما يزيد من تركيز الأملاح في محلول التربة (تأثير سلبي مزدوج).

## I. 2.2.5. التثبيح الزائد (زيادة الرطوبة):

يُغلق المسام الهوائية في التربة، مما يمنع تنفس الجذور وأيضاً يحفز نمو الفطريات والبكتيريا الضارة (تعفن الجذور). [20]

## I. 3 دور التكنولوجيا في الزراعة الحديثة (أنظمة الاستشعار وأنظمة التحكم والاتصال):

تُعتبر أجهزة الاستشعار عنصراً أساسياً في قياس ومراقبة جميع العوامل ضمن النظام الذكي للزراعة، وذلك بفضل التقدم الكبير في التقنيات المتاحة، حيث تقوم بقياس محتوى العناصر الغذائية، رطوبة التربة، والضغط وغيرها، إذ يحتوي نظام الري الذكي على مجموعة من أجهزة الاستشعار التي تراقب مستويات المياه وكفاءة الري، بالإضافة إلى أجهزة استشعار المناخ التي تقيس تغيرات درجة حرارة التربة والهواء، كذلك بالإضافة إلى قياس قيمة الرقم الهيدروجيني للتربة ورطوبتها، وأجهزة استشعار النيتروجين، وهذا مما يساعد على تحسين الإنتاج الزراعي من حيث الكمية والجودة. [21]

## خاتمة:

في ختام هذا الفصل، يتبين أن فهم مكونات التربة من العناصر الغذائية الأساسية كالنيتروجين، الفوسفور، والبوتاسيوم، بالإضافة إلى معرفة مستوى الحموضة (pH)، الحرارة، الرطوبة، و EC يُشكل الركيزة الأساسية لأي استراتيجية فعّالة تهدف إلى تحسين جودة التربة وزيادة الإنتاج الزراعي، لقد تم توضيح الأدوار الحيوية التي تلعبها هذه العناصر في النمو النباتي، ودراسة آثار نقصها أو زيادتها على المحاصيل، إلى جانب إبراز أهمية ضبط مستوى pH، الحرارة، EC، الرطوبة لتحقيق الامتصاص الأمثل للعناصر.

كما تناولنا دور التكنولوجيا الحديثة في تطوير أنظمة زراعية ذكية تعتمد على تقنيات الاستشعار والتحكم والاتصال، مما يمهد الطريق نحو زراعة أكثر دقة واستدامة، وتأسيساً على هذه الأسس النظرية،

سيتم في الفصل الموالي عرض التصميم والتطوير العملي للنظام الذكي المقترح، والذي يهدف إلى قياس ورصد هذه العوامل بدقة وفعالية، بما يواكب متطلبات الزراعة الحديثة.

# الفصل الثاني:

## التصميم والتطوير

## مقدمة:

يعتبر تصميم أنظمة القياس الإلكترونية من الركائز الأساسية في تطوير الأنظمة الذكية والتحكم الآلي في مختلف المجالات الهندسية والعلمية، تهدف هذه الأنظمة إلى تحويل الظواهر الفيزيائية مثل الحرارة، الرطوبة والعناصر الكيميائية إلى إشارات كهربائية يمكن قراءتها وتحليلها بدقة، تبدأ عملية التصميم عادة بتحديد المقدار الفيزيائي المراد قياسه، ثم اختيار المستشعر المناسب الذي يحوله إلى إشارة تناظرية أو رقمية، تليها مرحلة معالجة الإشارة باستخدام متحكم دقيق (مثل لوحات Arduino أو Raspberry Pi)، حيث يتم تصفية وتكييف الإشارة، ثم عرضها أو تخزينها، تتضمن الخطوات الأساسية لتصميم نظام قياس ناجح: اختيار مكونات موثوقة، تصميم دائرة كهربائية مستقرة، وضمان دقة المعايرة، يتطلب أيضا إنشاء هذه الأنظمة معرفة جيدة بالبروتوكولات الرقمية (مثل Modbus UART I2C)، والبرمجة، والتكامل مع وحدات العرض والتخزين، تعتمد دقة النظام وكفاءته بشكل كبير على جودة التصميم والتكامل بين مكوناته الصلبة والبرمجية.

**II. 1. المكونات الصلبة (Hardware) :**

تشير المكونات الصلبة (Hardware) إلى جميع الأجزاء الإلكترونية الملموسة التي يتكوّن منها نظام قياس NPK، وهي تمثل الأساس المادي للنظام، حيث تمكّنه من تنفيذ وظيفته من خلال جمع البيانات، معالجتها، وعرضها أو تخزينها، يعتبر هذا الجزء ضرورياً لربط مختلف الوحدات معاً وضمان تفاعلها بشكل متكامل لتكوين النظام المقترح.

## II. 1.1. وصف بنية النظام (Architecture Hardware) :

يمثل الشكل (6.II) مخططاً توضيحياً يبين المكونات الأساسية للنظام الإلكتروني موزعة حول وحدة

المعالجة Arduino Uno، التي تعتبر القلب النابض للنظام، ترتبط بهذه الوحدة أربع وحدات رئيسية:

- وحدة الاستشعار NPK (باللون البرتقالي): مسؤولة عن قياس تركيز العناصر الغذائية في التربة

(النيروجين، الفوسفور، البوتاسيوم وغيرها من القيم الأخرى)، وترسل القيم إلى المتحكم للمعالجة.

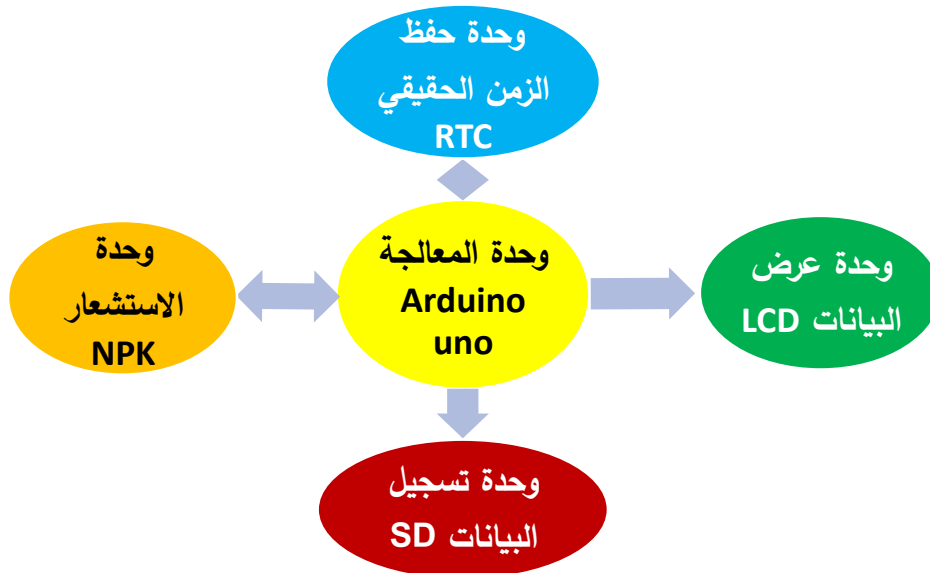
- وحدة حفظ الزمن الحقيقي RTC (باللون الأزرق): يتم استخدامها لتسجيل الزمن والتاريخ، مما يسمح

بتتبع التغيرات الزمنية.

- وحدة عرض البيانات LCD (باللون السماوي): تقوم هذه الوحدة بعرض القيم المقاسة.

- وحدة تسجيل البيانات SD (باللون الأحمر): تُخزن البيانات المقاسة وتوقيتها بشكل مستمر في بطاقة

ذاكرة لتسهيل مراجعتها وتحليلها لاحقاً فيما يلي سيتم شرح الوحدات بالتفصيل.



الشكل (6.II): مخطط يوضح بنية النظام المقترح

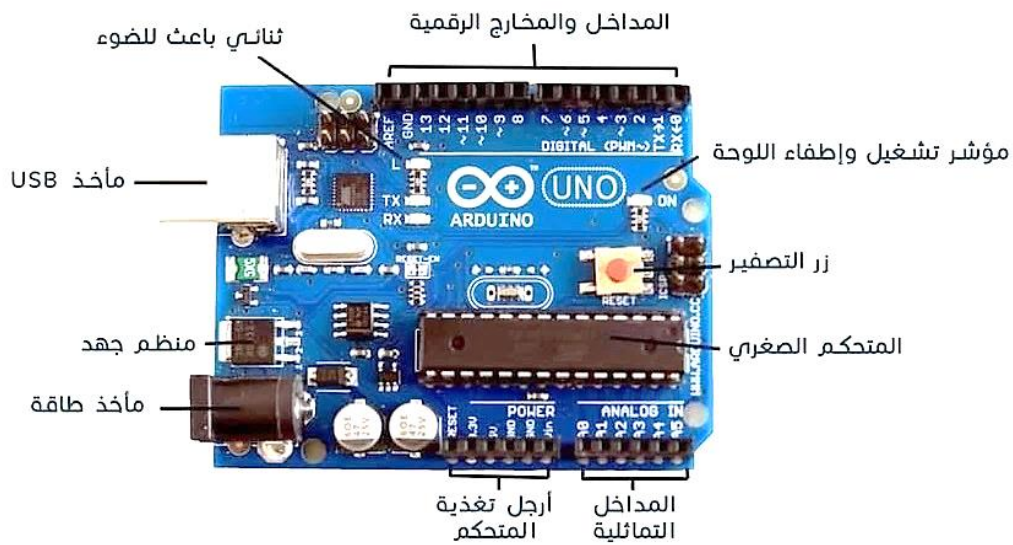
### 1.1.1.II وحدة المعالجة Arduino Uno:

تعتبر لوحة Arduino Uno الشكل (6.II) متحكمًا دقيقًا شائعًا يعتمد على متحكم Atmega328P، تحتوي هذه اللوحة على 6 منافذ إدخال تناظرية، و14 منفذ إدخال/إخراج رقمي، من بينها 6 منافذ يمكن استخدامها كمخرجات PWM، تدعم منافذ الإدخال/الإخراج مستويات منطقية تبلغ 3.3 فولت و5 فولت، حيث تعمل اللوحة بجهد 5 فولت، يمكن برمجة اللوحة والتواصل معها عن طريق توصيلها بجهاز كمبيوتر عبر منفذ USB المدمج، حيث تظهر كمنفذ COM افتراضي، بالإضافة إلى ذلك تحتوي اللوحة على منفذ تسلسلي للأجهزة (USART) لتسهيل التواصل التسلسلي مع الأجهزة الخارجية باستخدام واجهة USB . [22]

في النظام المقترح، وحدة المعالجة (Arduino Uno) هي العنصر المركزي المسؤول عن تنسيق عمل جميع المكونات الأخرى، حيث تؤدي عدة مهام حيوية وأساسية يمكن تلخيصها كما يلي:

- قراءة البيانات من وحدة الاستشعار NPK: تستقبل الإشارات الرقمية (عبر بروتوكول RS485) من مستشعر العناصر الغذائية NPK، ثم تقوم بتحويل هذه البيانات إلى قيم قابلة للعرض والمعالجة.
- معالجة وتحويل الإشارات: تقوم بتحويل القراءات القادمة من المستشعر إلى قيم رقمية مفهومة (مثل mg/L أو ppm)، تقوم أيضا بتطبيق عمليات رياضية و منطقية مثل التحقق من النطاقات.
- إرسال البيانات إلى شاشة العرض LCD: تقوم بتنسيق البيانات المقروءة لعرضها بوضوح في واجهة المستخدم، وتحديث البيانات تلقائيًا عند كل قراءة جديدة.
- تسجيل البيانات في بطاقة SD: تقوم بتسجيل القيم المقاسة مع الطابع الزمني في ملفات نصية (عادة بصيغة CSV)، أيضا تقوم بتهيئة الملف وتحدثه باستمرار لتتبع البيانات على المدى الطويل.

- التكامل الزمني مع وحدة RTC : تقوم بطلب الوقت والتاريخ من وحدة الزمن الحقيقي RTC لربط كل قراءة بوقت محدد، تسمح بتسجيل منتظم ومنظم للبيانات عبر الزمن.
- إدارة الاتصال والتحكم : تقوم بتنسيق إشارات القراءة والكتابة مع وحدات الإدخال/الإخراج، تقوم أيضا بإدارة حالة النظام، مثل تهيئة الأجهزة أو معالجة الأخطاء (مثلاً في حال انقطاع التغذية أو فشل في القراءة).



الشكل (7.II): لوحة Arduino Uno [22]

### 2.1.1.II وحدة الاستشعار مستشعر العناصر الغذائية (NPK) :

تحتوي هذه الوحدة على مستشعر Soil TH-NPK وهو جهاز متعدد الوظائف الشكل (8.II) يستخدم لقياس خصائص التربة بدقة جيدة، تشمل النيتروجين والفوسفور والبوتاسيوم (NPK)، بالإضافة إلى درجة الحرارة، الرطوبة، مستوى الحموضة (pH)، والتوصيل الكهربائي (EC)، يغطي هذا المستشعر نطاقات واسعة مثل NPK من 1 إلى 2999mg/Kg، ودرجة حرارة من  $40^{\circ}\text{C}$  إلى  $80^{\circ}\text{C}$ ، مع استجابة سريعة أقل من ثانية لبعض المعايير، يعتمد على بروتوكول RS485 Modbus للتواصل، ويتميز بدرجة

حماية IP68 ما يجعله مناسبًا للبيئات الرطبة وظروف الزراعة الصعبة، كما يدعم إمكانية تعديل المعايرة والعوامل التصحيحية برمجياً باستخدام سجلات مخصصة، يمكن ربطه بسهولة بوحدات تحكم دقيقة مثل Arduino، مما يجعله خيارًا مثاليًا لأنظمة المراقبة الذكية للتربة في الزراعة الدقيقة. [10]



الشكل (8.11): صورة مستشعر Soil TH-NPK. [10]

جدول (4.11): الخصائص الفنية الكاملة لمستشعر Soil TH-NPK. [23]

العنصر أو الخاصية	المواصفات الفنية
درجة الحرارة (Temperature)	نطاق القياس: $-40^{\circ}\text{C}$ إلى $80^{\circ}\text{C}$ الدقة: $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ عند $25^{\circ}\text{C}$ الاستقرار السنوي: $\geq 0.1\%$ /سنة زمن الاستجابة: $\geq 15$ ثانية

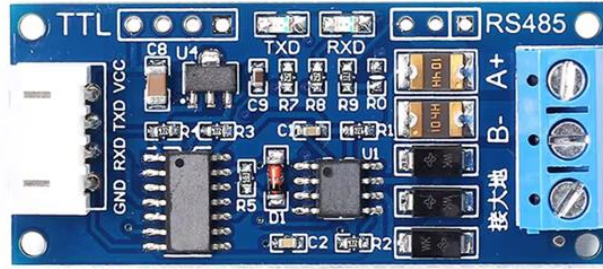
<p>نطاق القياس: 100-0 % RH</p> <p>الدقة: <math>\pm 3\%</math> (من 50-0 %)، <math>\pm 5\%</math> (من 100-50 %)</p> <p>الاستقرار السنوي: <math>RH \geq 1\%</math></p> <p>زمن الاستجابة: <math>\geq 4</math> ثوانٍ</p>	الرطوبة (Humidity)
<p>نطاق القياس: 20000-0 <math>\mu S/cm</math></p> <p>الدقة: <math>\pm 3\%</math> للنطاق 10000-0، <math>\pm 5\%</math> للنطاق -10000-20000</p> <p>الاستقرار السنوي: <math>\geq 1\%</math></p> <p>زمن الاستجابة: <math>\geq 1</math> ثانية</p>	التوصيلية الكهربائية (EC)
<p>نطاق القياس: 9-3 pH</p> <p>الدقة: <math>\pm 0.3</math> pH</p> <p>الاستقرار السنوي: <math>\geq 5\%</math></p> <p>زمن الاستجابة: <math>\geq 10</math> ثوانٍ</p>	مستوى الحموضة (pH)
<p>طاق القياس: 2999-1 mg/kg</p> <p>الدقة: 1mg/kg (التحليل باستخدام الكشف السريع)</p> <p>زمن الاستجابة: <math>&gt; 1</math> ثانية</p>	النيتروجين (N)
نفس خصائص النيتروجين	الفسفور (P)
نفس خصائص النيتروجين	البوتاسيوم (K)
4.5V-30V DC	الجهد الكهربائي للتشغيل

استهلاك الطاقة	الحد الأقصى: 0.5 W عند V24
مقاومة الماء	IP68 (مناسب للغمر طويل المدى)
طول السلك	2متر
بيئة التشغيل	من 40°C إلى 80°C
الأبعاد الكلية	123 × 15 × 45 ملم

### 3.1.1.II لوحة الإتصال (RS485):

تتيح وحدة MAX485 الاتصال ثنائي الاتجاه الشكل (9.II) بين الأجهزة التي تستخدم إشارات مستوى TTL وتلك التي تعتمد على إشارات RS485، تعتمد هذه الوحدة على الدائرة المتكاملة MAX485، التي تُعتبر جهاز إرسال واستقبال منخفض الطاقة مخصص لاتصالات RS485 تدعم الوحدة الاتصال نصف المزدوج، حيث تقوم بتحويل إشارات مستوى TTL إلى إشارات جهد تفاضلي بمستوى RS485، مما يتيح إمكانية الاتصال لمسافات أطول مع تحسين الحماية من الضوضاء، عادةً ما تتوافق هذه الوحدة مع لوحات التطوير ووحدات التحكم الدقيقة التي تعمل ضمن نطاق جهد تغذية يتراوح بين 3.3V و5.5V فولت. [22]

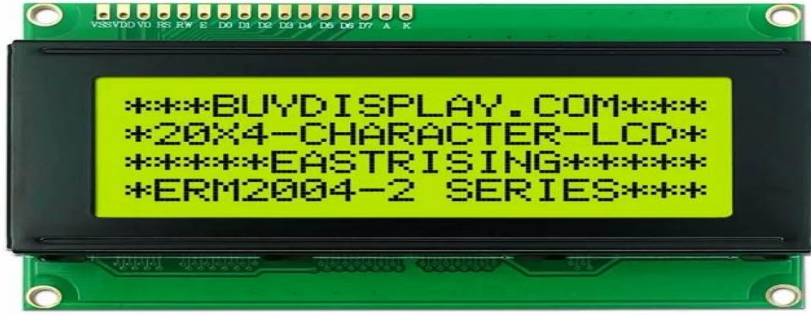
يتم توصيل طرفي A و B من الوحدة إلى المستشعر، بينما يتم توصيل أطراف VCC و GND و TX و RX إلى Arduino، بفضل هذه الوحدة، يمكن للوحة Arduino قراءة بيانات العناصر الغذائية في التربة بشكل دقيق وتحديثي، مما يجعلها جزءًا أساسيًا في تصميم نظام القياس المقترح.



الشكل (9.II): وحدة ModbusMAX485. [22]

#### 4.1.1.II وحدة عرض البيانات (LCD):

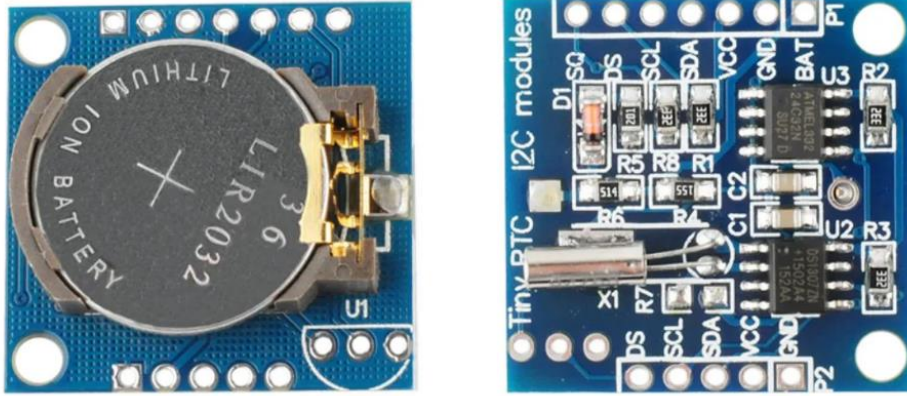
لعرض البيانات النصية مثل قراءات مستشعر NPK تم استخدام شاشة LCD من نوع 4x20 الشكل (10.II)، حيث تقوم بعرض القيم المقاسة، بالإضافة إلى معلومات أخرى مثل الوقت والتاريخ أو حالة التسجيل، هذه الشاشة تحتوي على 4 أسطر، كل سطر يعرض حتى 20 حرفاً، ما يجعلها مناسبة لعرض عدة معلومات في الوقت نفسه، ولتسهيل توصيلها بلوحة Arduino وتقليل عدد الأسلاك المطلوبة، تم توصيلها باستخدام قطعة I2C، وهي محول صغير يتم تركيبه خلف الشاشة لتحويل الاتصال من متوازي إلى تسلسلي، بفضل واجهة I2C، نحتاج فقط إلى سلكين رئيسيين (SDA و SCL) لتبادل البيانات، مما يجعل التوصيل بسيطاً وفعالاً، تعتبر هذه الشاشة أداة أساسية في نظام القياس المقترح، حيث تتيح للمستخدم متابعة قراءات التربة بشكل مباشر وفوري. [24]



الشكل (10.II): وحدة عرض البيانات LCD. [24]

### 5.1.1.II وحدة حفظ الزمن الحقيقي (RTC):

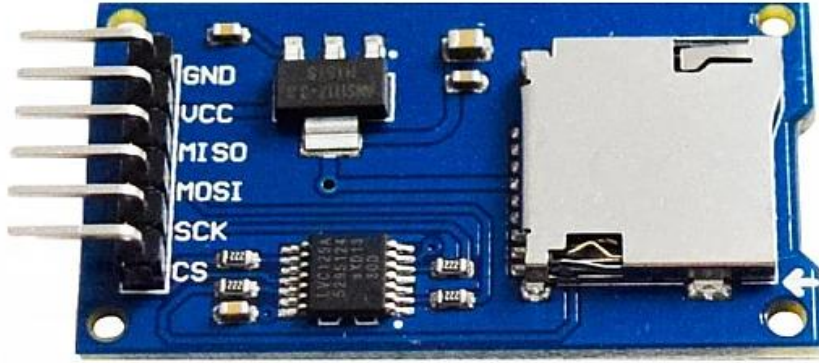
لحفظ الوقت تم استخدام وحدة RTC DS1307 الشكل (11.II) وهي وحدة ساعة حقيقية تُستخدم لحفظ التاريخ والوقت بدقة، حتى عند انقطاع التيار الكهربائي، وذلك بفضل البطارية المدمجة، في نظام قياس NPK المقترح باستخدام Arduino، تُستخدم هذه الوحدة لإضافة طابع زمني لكل قراءة يتم تخزينها من المستشعر، مثل بيانات النيتروجين والفوسفور والبوتاسيوم، تعمل عبر واجهة I2C، ما يجعل توصيلها سهلاً باستخدام سلكي SDA و SCL، وعند دمجها مع وحدة تخزين (SD Card)، يمكن للنظام تسجيل البيانات مع الوقت والتاريخ، مما يُسهل تتبع تغيرات التربة وتحليلها لاحقاً، تُعد وحدة RTC عنصراً أساسياً في تطبيقات المراقبة البيئية والزراعية، حيث تُحافظ على التوقيت بدقة عالية على مدار أيام وشهور دون فقدان البيانات الزمنية. [25]



الشكل (11.11): وحدة حفظ الزمن الحقيقي (RTC- DS1307) [25]

### 6.1.1.11 وحدة تسجيل البيانات (SD Card)

تستخدم هذه الوحدة الشكل (12.11) لتخزين البيانات المقروءة من المستشعرات على بطاقة ذاكرة microSD، في نظام قياس NPK المقترح باستخدام لوحة Arduino، تلعب هذه الوحدة دورًا أساسيًا في تسجيل قراءات العناصر الغذائية (N، P، K) مع الطابع الزمني القادم من وحدة الساعة الحقيقية RTC، تعمل الوحدة باستخدام بروتوكول SPI، وتُوصَل عبر منافذ MOSI، MISO، SCK و CS إلى لوحة Arduino، تسمح هذه الوحدة بتخزين البيانات في ملف بصيغة CSV على البطاقة، ما يُسهّل تحليل النتائج لاحقًا باستخدام الكمبيوتر أو البرامج الإحصائية. [25]



الشكل (12.II): وحدة تسجيل البيانات (SD Card) [25]

## II. 2. المكونات البرمجية (Software)

تشير المكونات البرمجية (Software) إلى الجزء الذي يُعطي التعليمات للمكونات الصلبة لتنفيذ مهامها، من خلال البرمجة، يتم التحكم في كيفية قراءة البيانات من المستشعر، ومعالجتها، وعرضها أو تسجيلها، يعتمد النظام على مجموعة من الأكواد والمكتبات البرمجية التي تُساعد Arduino على التواصل مع باقي المكونات، هذا الجزء ضروري لجعل النظام يعمل بشكل دقيق وفق الأهداف المطلوبة.

### II. 1.2. بيئة البرمجة والمكتبات المستخدمة

تشير بيئة البرمجة والمكتبات المستخدمة إلى الأدوات البرمجية التي تم الاعتماد عليها لكتابة وتشغيل الكود الخاص بالنظام، تم استخدام بيئة Arduino IDE لبرمجة لوحة Arduino، وهي بيئة بسيطة وسهلة الاستخدام، كما تم استعمال مكتبات جاهزة تُساعد على تسهيل التحكم في المكونات مثل الشاشة، وحدة الساعة، والمستشعرات، هذه المكتبات توفر أوامر مخصصة لتسهيل قراءة البيانات والتعامل معها دون الحاجة إلى كتابة كل الأوامر من الصفر، مما يُسرّع عملية التطوير ويزيد من دقة الأداء.

**Wire.h مكتبة 1.1.2. II**

هذه المكتبة أساسية في بيئة Arduino تُستخدم للتواصل عبر بروتوكول I2C (Inter-Integrated Circuit)، وهو بروتوكول تسلسلي يسمح بتبادل البيانات بين لوحة Arduino وشاشة LCD ووحدة الساعة RTC باستخدام سلكين فقط (SDA و SCL)، تُسهّل هذه المكتبة إرسال واستقبال البيانات بين المتحكم والمكونات المتصلة بطريقة فعالة ومنظمة، يتم تضمين المكتبة في الكود باستخدام الأمر:

```
1 #include <Wire.h> // مكتبة الاتصال I2C
```

وهي ضرورية لتفعيل الاتصال مع أي جهاز يعتمد على واجهة I2C، مما يجعلها جزءًا مهمًا من أنظمة القياس الذكية والمشاريع متعددة الحساسات.

**LiquidCrystal\_I2C.h مكتبة 2.1.2. II**

يتم استخدام هذه المكتبة في بيئة Arduino للتحكم في شاشة LCD التي تعمل بواجهة I2C، وتعتبر هذه المكتبة تطويرًا لمكتبة Liquid Crystal التقليدية، لكنها مخصصة للشاشات المزودة بمحول I2C، مما يقلل عدد الأسلاك المطلوبة للتوصيل من 6 أو أكثر إلى سلكين فقط (SDA و SCL)، من خلال هذه المكتبة، يمكن عرض النصوص والبيانات على الشاشة بسهولة باستخدام أوامر بسيطة ويتم استبدالها بالكود كالتالي:

```
2 #include <LiquidCrystal_I2C.h> // مكتبة شاشة I2C LCD
```

تساهم هذه المكتبة في جعل نظام العرض أكثر تنظيمًا وسهولة، خاصة في المشاريع التي تتطلب توفير منافذ الإدخال/الإخراج في Arduino، من أمثلة استخدامها في هذا النظام عرض عدة بيانات مثل الوقت والتاريخ كما يلي:

```
134 lcd.setCursor(0, 0); lcd.print("Time: "); lcd.print(timeBuffer); // عرض الوقت
135 lcd.setCursor(0, 1); lcd.print("Date: "); lcd.print(dateBuffer); // عرض التاريخ
```

### DS1307.h مكتبة 3.1.2. II

تُستخدم هذه المكتبة في بيئة Arduino للتعامل مع وحدة الوقت الحقيقي RTC DS1307، والتي تُستخدم لحفظ الوقت والتاريخ بدقة حتى في حالة انقطاع الطاقة، تتيح هذه المكتبة قراءة الوقت (الساعة، الدقيقة، الثانية) والتاريخ (اليوم، الشهر، السنة) والتحكم بها بسهولة من خلال أوامر برمجية بسيطة، يتم استدعاء المكتبة في الكود باستخدام:

```
3 #include "DS1307.h" // مكتبة الساعة RTC DS1307
```

تسمح هذه المكتبة بتهيئة الساعة وتحديث الوقت تلقائيًا، مما يجعلها عنصرًا مهمًا في نظام قياس NPK لتوثيق وقت كل قراءة بشكل دقيق ومنظم، ويتم تهيئة وقراءة البيانات كما يلي:

```
#include "DS1307.h" // مكتبة الساعة RTC DS1307
DS1307 rtc; // إنشاء كائن للساعة RTC
rtc.getTime(); // تحديث الوقت من الساعة
rtc.getHour(), rtc.getMinute(), rtc.getSeconds(); // قراءة الوقت
rtc.getDay(), rtc.getMonth(), rtc.getYear() + 2000; // قراءة التاريخ
```

## II 4.1.2. مكتبة Software Serial.

تُستخدم هذه المكتبة في بيئة Arduino لإنشاء منافذ تسلسلية إضافية باستخدام أي منافذ رقمية على اللوحة، إذ أن لوحة Arduino Uno تحتوي على منفذ تسلسلي واحد فقط (RX و TX)، وهذه المكتبة تُتيح التواصل مع أجهزة تسلسلية متعددة مثل المستشعرات التي تستخدم بروتوكول RS485، يتم استدعاء المكتبة باستخدام:

```
5 #include <SoftwareSerial.h> // مكتبة الاتصال التسلسلي البرمجي
```

وتُستخدم لإنشاء قناة اتصال بديلة على منافذ من اختيار المستخدم، كما يلي:

```
18 // إعدادات RS485
19 #define RX 5 // RS485 للاتصال RX منفذ الاستقبال
20 #define TX 4 // RS485 للاتصال TX منفذ الإرسال
21 SoftwareSerial rs485Serial(RX, TX); // تعريف الاتصال التسلسلي البرمجي مع
```

في نظام قياس NPK، تُستخدم هذه المكتبة لربط وحدة RS485 مع Arduino، مما يسمح بقراءة البيانات من مستشعر NPK دون التأثير على المنفذ التسلسلي الأساسي المخصص للبرمجة أو مراقبة البيانات عبر الكمبيوتر.

## II 5.1.2. مكتبة SD.h

هذه المكتبة مدمجة في بيئة Arduino تُستخدم للتعامل مع بطاقات الذاكرة SD، وتمكّن من قراءة وكتابة الملفات عليها، تُعد هذه المكتبة أساسية في المشاريع التي تتطلب تخزين البيانات، مثل نظام قياس NPK، حيث تُستخدم لتسجيل قراءات العناصر الغذائية (N، P، K) وغيرها مع الطابع الزمني لاستخدامها لاحقًا في التحليل، يتم استدعاء المكتبة باستخدام:

```
4 #include <SD.h>
```

```
// مكتبة بطاقة الذاكرة SD
```

تتيح هذه المكتبة أوامر مثل SD. begin لبدء الاتصال، و myFile.print لكتابة البيانات على البطاقة. تتواصل بطاقة SD مع لوحة Arduino عبر بروتوكول SPI باستخدام منافذ محددة (مثل MOSI، MISO، SCK، وCS)، بفضل هذه المكتبة، يمكن للنظام حفظ البيانات بشكل دائم، حتى بعد إيقاف تشغيله، مما يجعلها أداة فعالة في النظام المقترح.

## II. 2.2. الكود البرمجي وشرح عمل النظام

تُسهّم البنية البرمجية المنظمة، وتقسيم الوظائف إلى دوال منفصلة، في تسهيل الصيانة وتوسيع المشروع لاحقًا، كما يضمن الاعتماد على مكتبات Arduino الجاهزة استقرار النظام ومرونته، يتم تنفيذ الكود بواسطة لوحة Arduino Uno بشكل تسلسلي عبر خطوات كما يلي

### II. 1.2.2. تهيئة المكونات

يبدأ الكود بتحميل المكتبات الضرورية، مثل Wire.h للاتصال عبر I2C، وLiquidCrystal\_I2C.h للتحكم بشاشة LCD، وDS1307.h للتحكم بوحدة الساعة الحقيقية RTC، بالإضافة إلى SD.h للتعامل مع بطاقة الذاكرة، وSoftwareSerial.h لإنشاء منفذ تسلسلي إضافي للتواصل مع مستشعر NPK عبر بروتوكول RS485، بعد ذلك، يتم تعريف إعدادات شاشة LCD، ووحدة RTC، ووحدة SD، كما يتم تحديد المنافذ الرقمية المستخدمة لتوصيل أزرار التحكم، ووحدة الاتصال التسلسلي مع المستشعر.

**II 2.2.2.2. شاشة البدء والتحقق من بطاقة SD**

في دالة setup، تُعرض رسالة ترحيبية على الشاشة في البداية، ثم يتم التحقق من جاهزية بطاقة SD، في حال كانت البطاقة جاهزة وتم العثور على ملف البيانات، يُفتح الملف ويتم التأكد مما إذا كان يحتوي على بيانات، وإذا كان فارغاً، يتم إنشاء رؤوس الأعمدة في ملف CSV، مثل التاريخ، الوقت، الجهد، وقياسات التربة.

**II 3.2.2.2. قراءة البيانات من المستشعر**

يعتمد النظام على بروتوكول Modbus لإرسال أوامر قراءة إلى مستشعر NPK عبر الاتصال RS485، يتم إنشاء الإطار البرمجي للطلب، ثم حساب قيمة CRC للتحقق من صحة البيانات المرسلة والمستلمة، يتم استلام الرد من المستشعر وتحليل الإطار للتحقق من صحته، ثم تُستخرج منه القيم المقاسة، تم تخصيص دوال منفصلة لكل عنصر مثل read Nitrogen و readPH و read Temperature، مما يجعل الكود منظماً ويسهل صيانته أو توسيعه لاحقاً.

**II 4.2.2.2. العرض على شاشة LCD**

يُتيح النظام طريقتين للعرض الأولى هي عرض الوقت والتاريخ المستمد من وحدة RTC، والثانية هي عرض القياسات للعناصر البيئية والغذائية، يمكن التبديل بين الوضعين باستخدام الأزرار المتصلة باللوحة، حيث يتم تحديث العرض كل ثانية أو عند تغيير الوضع، تعرض الشاشة أربع سطور من البيانات تشمل تركيز NPK، الحرارة، الرطوبة، الرقم الهيدروجيني، و EC وحالة تسجيل القياسات.

## II 5.2.2. التسجيل التلقائي للبيانات

في وضع التسجيل، يقوم النظام كل 30 ثانية بقراءة جميع القيم وتسجيلها في ملف CSV على بطاقة SD، مرفقة بالتاريخ والوقت، يتم ذلك من خلال دالة Log Data التي تُنفَّذ عند استيفاء شرط التوقيت أو الضغط على زر التفعيل، يتضمن السطر الواحد من البيانات القيم الكاملة بترتيب منطقي ومنسق لتسهيل التحليل لاحقًا باستخدام برامج مثل Excel.

## II 6.2.2. استخدام RTC وSD معا

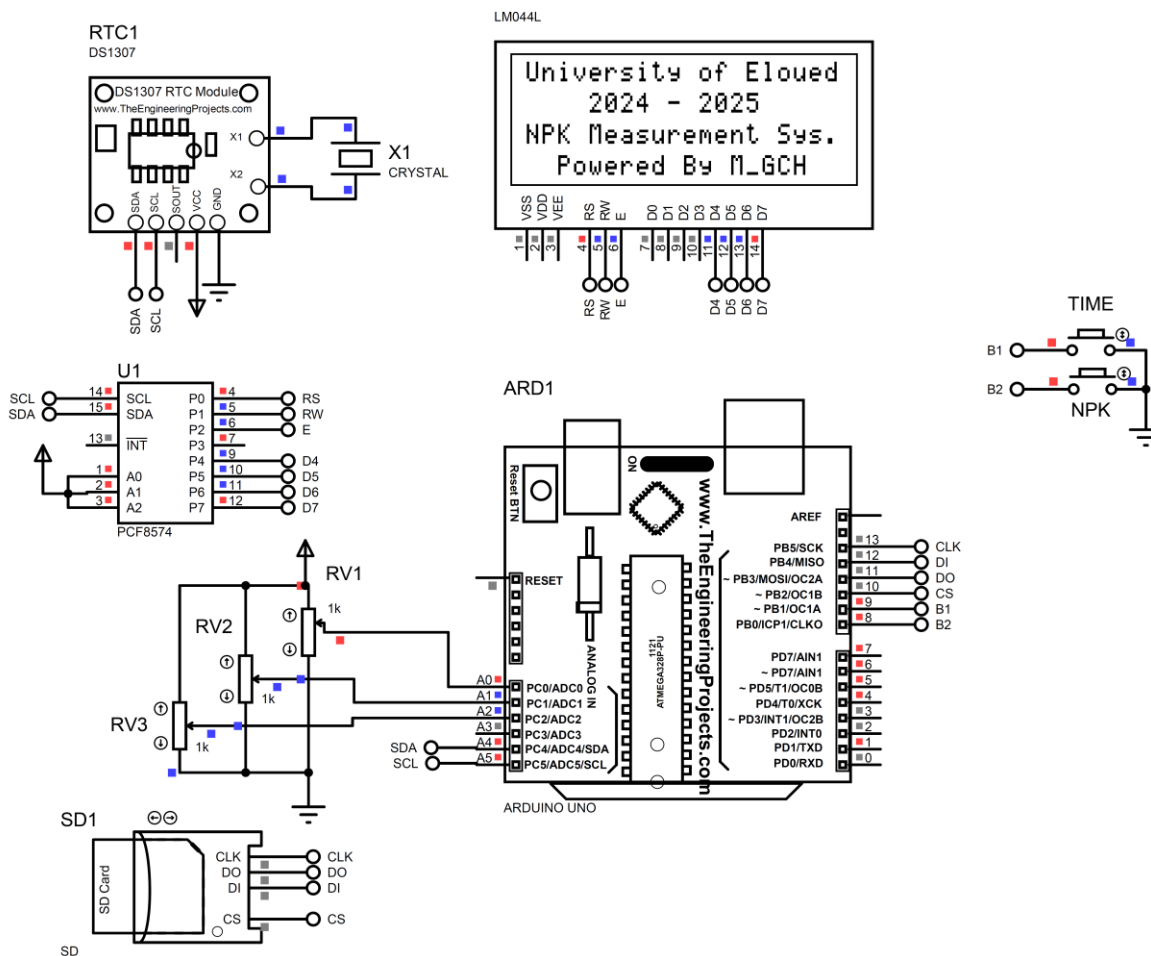
تكمن أهمية وحدة الساعة RTC في تمكين النظام من تسجيل كل قراءة بوضوح مع طابع زمني دقيق، ما يجعل البيانات مفيدة في تتبع التغيرات اليومية وتحليل سلوك التربة، وتعمل وحدة SD على توفير وسيلة عملية وآمنة لتخزين البيانات بشكل دائم.

## II 2. محاكاة النظام باستخدام Proteus

تعتبر محاكاة النظام باستخدام برنامج Proteus خطوة مهمة في مرحلة التصميم، حيث تتيح اختبار عمل الدائرة الإلكترونية افتراضياً قبل تنفيذها عملياً، من خلال المحاكاة، يمكن التأكد من توصيل المكونات بشكل صحيح، واختبار استجابة النظام للقراءات المختلفة دون الحاجة إلى مكونات حقيقية.

تم بناء الدائرة الافتراضية للنظام المقترح في برنامج Proteus لمحاكاة نظام قياس NPK بطريقة آمنة ومنظمة الشكل (II.13)، حيث تم اختيار المكونات الإلكترونية المكافئة للمكونات الحقيقية التي سيتم استخدامها في التطبيق الواقعي، تم ربط لوحة Arduino Uno بعدد من المقاومات المتغيرة (Potentiometers) لمحاكاة إشارات المستشعر مثل قيم N، P، وK وغيرها، تم أيضاً إدراج شاشة LCD 20x4 متصلة بواجهة I2C لعرض القراءات أثناء التشغيل. وشملت الدائرة أيضاً وحدة RTC

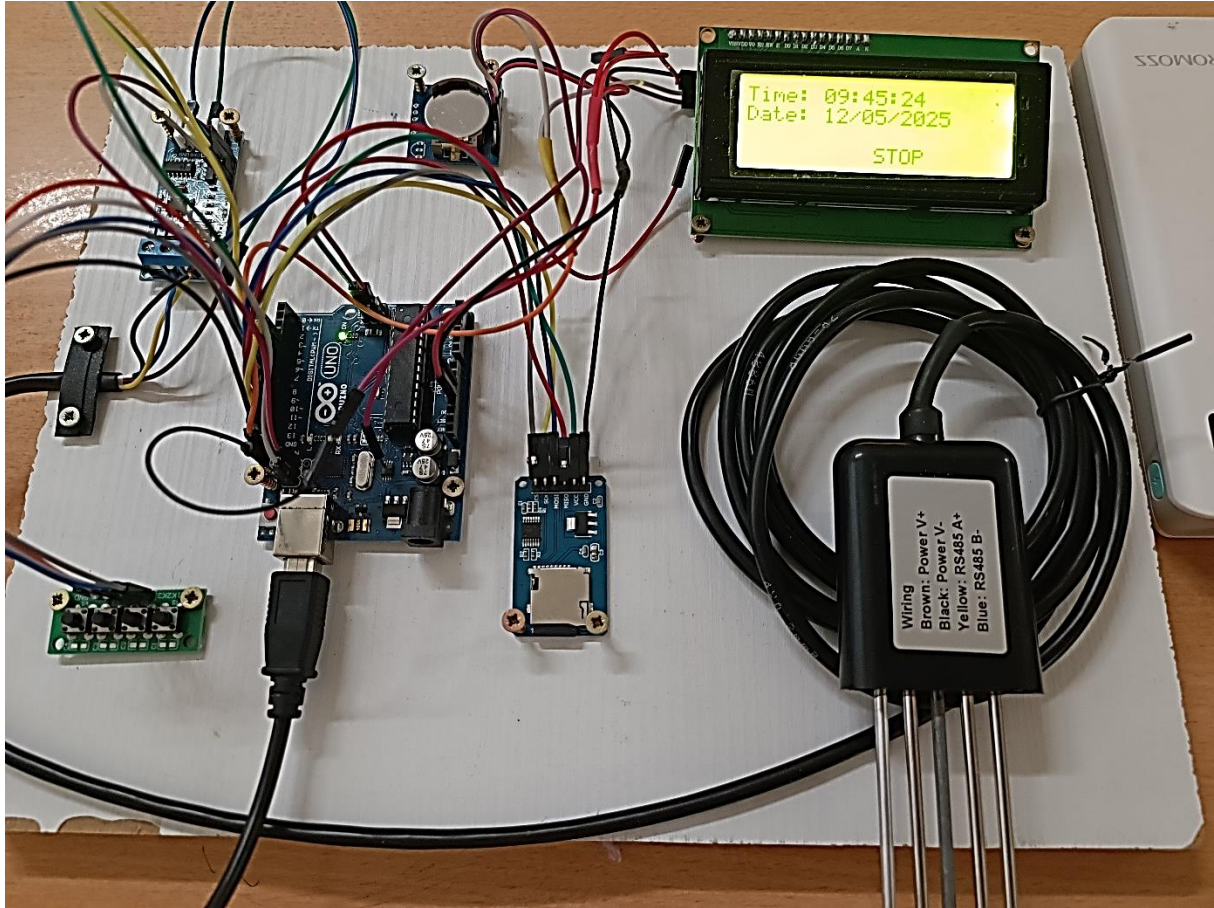
DS1307 لمحاكاة الوقت، إضافة إلى وحدة SD Card لتجسيد عملية التخزين. تم استخدام مخطط توصيل يحاكي البيئة الحقيقية، مع الالتزام بتوصيل المنافذ المناسبة في Arduino كما هو في الكود البرمجي. يتيح هذا البناء الافتراضي التحقق من عمل النظام بشكل متكامل، والتأكد من تجاوز الشاشة، تحديث القيم، وتشغيل أو إيقاف التسجيل دون الحاجة إلى التجهيز المادي المباشر.



الشكل (13.II): مخطط النظام ببرنامج المحاكاة Proteus

### II.3. انجاز وتجريب النظام عمليا ومقارنة النتائج مع نتائج المحاكاة

تم إنجاز وتجريب النظام عمليا باستخدام المكونات الحقيقية بعد الانتهاء من مرحلة المحاكاة في برنامج Proteus، لمعاينة وفحص أداء النظام ليتم تأكيد دقة التصميم وكفاءة الأداء في البيئتين.



الشكل(II.14): البناء العملي الكامل لنظام القياس

### II.1.3. البناء العملي للنظام

يمثل الشكل(III.14) البناء العملي الكامل لنظام قياس NPK المعتمد على لوحة Arduino Uno، تم تثبيت جميع المكونات على لوح تجميع منظم لتسهيل التوصيلات وضمان الاستقرار أثناء التشغيل، نلاحظ في الصورة توصيل مستشعر NPK (في الجهة اليمنى) بوحدة تحويل RS485 إلى TTL، المرتبطة

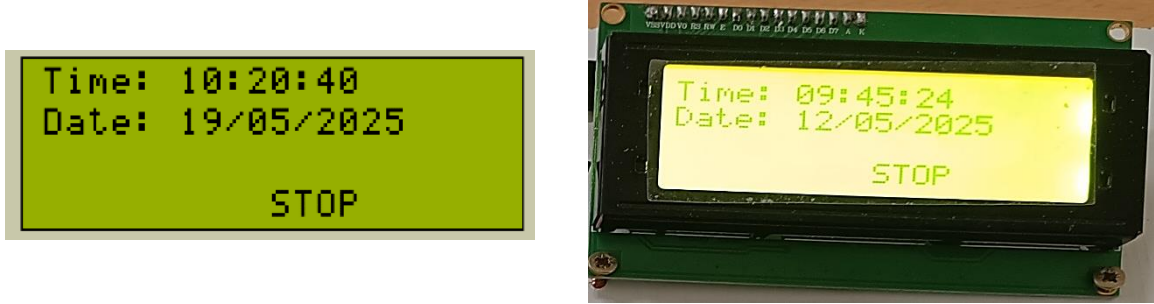
بدورها بمنفذي RX و TX في لوحة Arduino Uno، كما تظهر وحدة الوقت الحقيقي RTC DS1307 في الأعلى لضبط الوقت، ووحدة SD Card لتخزين القراءات مع الطابع الزمني، بالإضافة إلى شاشة LCD 20x4 تعرض الوقت والتاريخ وحالة النظام (STOP/REC)، تم أيضا تثبيت مجموعة الأزرار في الأسفل للتحكم في أوضاع العرض والتسجيل، يُظهر هذا التركيب درجة عالية من التكامل بين المكونات، ويجسد نجاح الانتقال من التصميم النظري إلى نظام إلكتروني عملي قادر على العمل في بيئة زراعية حقيقية.

تبين مقارنة النتائج بين المحاكاة باستخدام برنامج Proteus والاختبارات العملية للنظام الإلكتروني لقياس NPK وجود تطابق كبير في الأداء والسلوك العام للنظام، هذا التوافق بين المرحلتين يؤكد أن تصميم النظام كان صحيحًا من حيث الدوائر، التوصيلات، والكود البرمجي، ويُبرز أهمية استخدام المحاكاة كمرحلة تحضيرية فعالة تقلل الأخطاء وتسرع من عملية التنفيذ الميداني.

## II .2.3. تجربة وفحص وحدة الوقت الحقيقي

تعكس الصورتان في الشكل (15.II) تطابقًا واضحًا بين محاكاة النظام باستخدام برنامج Proteus والتنفيذ الفعلي على العتاد الإلكتروني، في الصورة الأولى، تُظهر شاشة LCD في بيئة Proteus عرض الوقت والتاريخ بدقة، في وضع عدم التسجيل (STOP)، وهي نفس النتيجة التي تظهر في الصورة الثانية عند تشغيل النظام فعليًا على اللوحة الإلكترونية، هذا التناسق في عرض البيانات بين المحاكاة والتنفيذ العملي يؤكد أن الكود البرمجي، بنية النظام، وتوصيلات الشاشة قد تم إعدادها بشكل صحيح ومتطابق في كلا البيئتين، يعتبر هذا التطابق دليلاً على نجاح مرحلة المحاكاة كخطوة تحضيرية فعالة، حيث سمحت باختبار

سلوك وحدة الوقت الحقيقي وتوقع استجابته قبل التنفيذ الفعلي، مما ساهم في تسريع الإنجاز وتفادي الأخطاء عند التطبيق الواقعي.



الشكل (15.II): تجربة وفحص وحدة الوقت الحقيقي

### II 3.3. تجربة وفحص وحدة الاستشعار

تعرض الصورتان في الشكل (16.II) مقارنة بين نتائج محاكاة النظام في برنامج Proteus والتنفيذ الفعلي له على لوحة Arduino، في الصورة الأولى (الإنجاز العملي)، نلاحظ عرض القيم الحقيقية المقاسة من التربة مع تفعيل وضع التسجيل (REC).

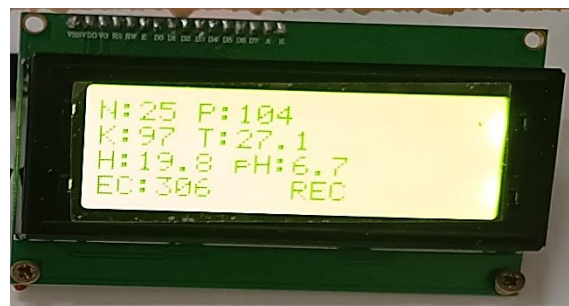
أما في الصورة الثانية (المحاكاة)، فنُظهر قيمًا عشوائية للبيانات وذلك بسبب غياب مستشعر فعلي، وهي متوقعة أثناء المحاكاة عندما لا يتم تغذية النظام بقراءات حقيقية.

هذه المقارنة تبين أن المحاكاة في Proteus تؤدي دورها في اختبار بنية الكود والتصميم العام للنظام، بينما تُظهر التجربة العملية مدى نجاح التكامل بين المكونات والعمل الفعلي للمستشعر، وبالتالي تُعد المحاكاة أداة تمهيدية ممتازة، في حين أن الإنجاز العملي يُثبت فعالية النظام في ظروف حقيقية.

```

N:65535 P:65535
K:65535 T:6553.5
H:6553.5 PH:6553.5
EC:65535 STOP

```

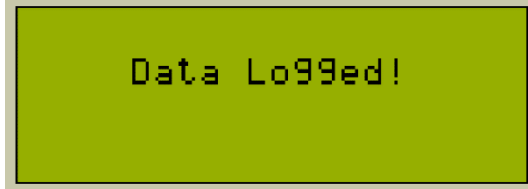


الشكل (16.II): تجربة وفحص وحدة الاستشعار

### II 4.3. تجربة وفحص وحدة تسجيل البيانات

في تجربة تسجيل البيانات على بطاقة الذاكرة SD، تم اختبار وظيفة حفظ قراءات مستشعر NPK ودرجة الحرارة، الرطوبة، pH، و EC، مع الطابع الزمني. في برنامج Proteus، تم محاكاة العملية باستخدام مكتبة SD وملف افتراضي، حيث تحقق النظام من تهيئة البطاقة وأظهر رسائل تؤكد نجاح إنشاء ملف CSV، كما تم حفظ بيانات وهمية بسبب غياب قراءة حقيقية من المستشعر الشكل (17.II)، وبالمقابل في الإنجاز العملي على العتاد الإلكتروني، نجحت التجربة بشكل كامل، حيث تم تسجيل القيم المقاسة في ملف "MGCH.csv" على البطاقة بصيغة منظمة تشمل التاريخ، الوقت، NPK، وبقية الخصائص الأخرى. عند فتح الملف على الحاسوب، تم التأكد من دقة البيانات وتحديثها كل 30 ثانية كما هو مبرمج، تثبت

هذه التجربة أن المحاكاة مهمة لتجربة التسجيل، بينما يؤكد التنفيذ العملي نجاح النظام في حفظ البيانات الحقيقية بشكل موثوق وقابل للتحليل لاحقًا.



الشكل (17.II): تجربة وفحص وحدة تسجيل البيانات

يمثل الشكل (18.II) ملف البيانات الناتج عن تجربة تسجيل قراءات التربة في بطاقة SD باستخدام النظام المقترح المبني على Arduino، يتضمن الملف تواريخ وأوقات دقيقة لكل قراءة، إلى جانب القيم المقاسة لكل من N، P، K، درجة الحرارة (T)، الرطوبة (H)، التوصيلية الكهربائية (EC)، ومستوى الحموضة (pH)، نلاحظ انتظام التسجيل كل 30 ثانية تقريبًا، وثبات نسبي في القيم مما يدل على استقرار التربة

وفعالية الحساس، يعتبر هذا الجدول دليلاً واضحاً على نجاح وظيفة التخزين التلقائي للبيانات، ويؤكد أن النظام يقوم بإنتاج ملفات قابلة للتحليل والإدراج في تطبيقات مراقبة التربة أو الدعم الزراعي الذكي.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	Date	Time	N	P	K	T	H	EC	pH
2	12-05-2025	10:57:34	805	1906	1914	26.6	100	4042	6.8
3	12-05-2025	10:58:06	876	1999	1999	26.5	100	4382	6.7
4	12-05-2025	10:58:40	876	1999	1999	26.5	100	4382	6.6
5	12-05-2025	10:59:13	876	1999	1999	26.5	100	4382	6.6
6	12-05-2025	10:59:47	865	1999	1999	26.5	100	4333	6.7
7	12-05-2025	11:00:20	876	1999	1999	26.5	100	4382	6.7
8	12-05-2025	11:00:54	865	1999	1999	26.6	100	4333	6.7
9	12-05-2025	11:01:27	876	1999	1999	26.6	100	4382	6.7
10	12-05-2025	11:02:00	876	1999	1999	26.7	100	4382	6.7
11	12-05-2025	11:02:34	876	1999	1999	26.7	100	4382	6.8
12	12-05-2025	11:03:07	886	1999	1999	26.7	100	4430	6.8
13	12-05-2025	11:03:41	886	1999	1999	26.7	100	4430	6.8
14	12-05-2025	11:04:14	886	1999	1999	26.7	100	4430	6.8
15	12-05-2025	11:04:47	886	1999	1999	26.7	100	4430	6.9
16	12-05-2025	11:05:21	886	1999	1999	26.8	100	4430	6.8
17	12-05-2025	11:05:54	886	1999	1999	26.8	100	4430	6.8
18	12-05-2025	11:06:28	886	1999	1999	26.8	100	4430	6.8
19	12-05-2025	11:07:01	896	1999	1999	26.9	100	4478	7
20	12-05-2025	11:07:34	886	1999	1999	26.9	100	4430	7.1
21	12-05-2025	11:08:08	906	1999	1999	26.9	100	4527	7.1
22	12-05-2025	11:08:41	906	1999	1999	26.9	100	4527	7.2
23	12-05-2025	11:09:15	906	1999	1999	27	100	4527	7.2
24	12-05-2025	11:09:48	906	1999	1999	27	100	4527	7.2
25	12-05-2025	11:10:22	906	1999	1999	27.1	100	4527	7.2
26	12-05-2025	11:10:55	916	1999	1999	27.1	100	4575	7.2
27	12-05-2025	11:11:28	916	1999	1999	27.1	100	4575	7.2
28	12-05-2025	11:12:02	916	1999	1999	27.2	100	4575	7.2
29	12-05-2025	11:12:35	916	1999	1999	27.1	100	4575	7.3

الشكل (18.II): معاينة ملف تسجيل القياسات

## الخاتمة

في ختام هذا الفصل، يمكن القول إن عملية تصميم وتطوير النظام الذكي لقياس العناصر الغذائية في التربة قد مرت بعدة مراحل متكاملة، بدءاً من تحديد المكونات الصلبة والبرمجية، وصولاً إلى تنفيذ النظام عملياً وتجريبه في ظروف حقيقية، تم الاعتماد على لوحة Arduino كمتحكم مركزي، مدعومة بوحدات قياس وتخزين وزمن مدمجة ضمن بنية متكاملة، وقد ساهمت بيئة Proteus في اختبار التصميم والتحقق من عمل الدائرة قبل تنفيذها فعلياً، مما ساعد على تقليل الأخطاء وتسريع الإنجاز، أظهرت النتائج العملية توافقاً كبيراً مع المحاكاة، مما يعكس جودة التصميم ودقة البرمجة، كما أثبت النظام قدرته على تسجيل القراءات بشكل دوري ودقيق، مما يتيح استخدامه في التطبيقات الزراعية الذكية، هذا التكامل بين النظرية والتطبيق يمثل خطوة مهمة نحو حلول تكنولوجية فعالة ومستدامة في مراقبة التربة وإدارة الموارد الزراعية، في الفصل الأخير سنقوم بتجربة النظام المقترح على عدة أنواع من التربة بهدف قراءة القيم الحقيقية و التحليل.

الفصل الثالث:

النتائج والتقييم

## مقدمة

يهدف هذا الفصل إلى التجريب العملي للنظام الإلكتروني المقترح بهدف قياس العناصر الغذائية NPK وخصائص التربة في بيئات مختلفة، وذلك للتحقق من كفاءته ودقته في تقديم قراءات حقيقية يمكن الاعتماد عليها، تشمل التجارب دراسة تأثير نوع التربة، نوع الماء، مستوى الرطوبة، ودرجة الحرارة على الخصائص الكيميائية والفيزيائية مثل مستوى الحموضة (pH)، الناقلية الكهربائية (EC)، ونسبة الرطوبة (H%)، تم اختيار ثلاثة أنواع من التربة (رملية، طينية، عضوية) لتمثيل تنوع البيئات الزراعية، كما تم اختبار النظام مع أنواع مختلفة من المياه مثل الماء المقطر، ماء الحنفية، وماء الصرف الزراعي، إضافة إلى ذلك، تمت دراسة العلاقة بين نسبة الرطوبة وEC او ما يعرف بالملوحة، وتأثير درجة الحرارة على مستوى الحموضة (pH)، مع مراعاة ضبط العوامل التجريبية مثل الوزن، وكمية الماء، ودرجة الحرارة المحيطة، تهدف هذه التجارب إلى تقييم فعالية النظام وتفسير سلوك التربة تحت ظروف مختلفة.

## III. 1. إعداد التجارب والملاحظات العامة

## III. 1.1. تجهيز العينات

تمت عملية تجهيز العينات بطريقة تضمان دقة وموثوقية القياسات في جميع التجارب. حيث تم استخدام ثلاثة أنواع مختلفة من التربة: رملية، طينية، وزراعية عضوية، تم اعتماد وزن ثابت قدره 500 غرام لكل عينة، مع إضافة كمية ماء محددة (150ml) لتحقيق مستوى رطوبة موحد، ما يسمح بإجراء مقارنة عادلة بين العينات، لضمان تجانس التفاعل بين الماء ومكونات التربة، تم ترك العينة تستقر لمدة زمنية قبل أخذ القياسات، كما تم تكرار كل تجربة عدة مرات للحصول على متوسط أكثر دقة، وقد تم أخذ القياسات

في ظروف حرارية ثابتة تقريبا بين 23 الى 27 درجة مئوية، يعتبر هذا الإعداد الدقيق للعينات أمرا ضروريا للحصول على نتائج علمية قابلة للتحليل والمقارنة ضمن بيئة تجريبية متحكم بها.

### III. 2.1. أدوات القياس المستخدمة

بالإضافة إلى استخدام النظام المقترح والذي هو محل التجريب الآن، تم استعمال مجموعة من أدوات القياس خلال تنفيذ التجارب، تم استخدام ميزان إلكتروني لوزن العينات بدقة 500 غرام لكل تجربة، مما ساعد على ضمان توحيد الكتلة وتحقيق نتائج قابلة للمقارنة، كما تم استخدام أسطوانة مدرجة ( Measuring Cylinder) لقياس كمية الماء المضافة بدقة (50 مل، 100 مل، 150 مل)، بهدف تحقيق مستويات مختلفة من الرطوبة، هذا التحديد الكمي ساعد على ضبط التجربة وفق مستويات رطوبة منخفضة، متوسطة، وعالية.

### III. 2. تجربة تأثير نوع التربة

لإجراء تجربة تأثير نوع التربة على الخصائص الكيميائية والفيزيائية بدقة، تم ضبط وزن العينة، كمية الماء وطريقة الإعداد لكل نوع تربة مع الحفاظ على نفس الظروف التجريبية جدول (5.III).



الشكل(19.III): أنواع التربة المختلفة

جدول (5.III): تفاصيل تجربة تأثير نوع التربة

ملاحظات	المقترحة القيمة	العنصر
نفس الوزن لضمان مقارنة دقيقة	500 جرام	وزن التربة لكل عينة
ماء حنفية - لترطيب موحد	150 مل	كمية الماء المضافة
لتحسين دقة النتائج	3 تربة نوع لكل تكرارات	عدد التكرارات
مجففة ومغربة مسبقا	عضوية زراعية / طينية / رملية	نوع التربة

بعد عملية القياس تم الحصول على البيانات المسجلة في الجدول التالي جدول (6.III).

## جدول (6.III): جدول تجربة تأثير نوع التربة مع النتائج

التجربة	نوع التربة	وزن التربة (جم)	كمية الماء (مل)	N (mg/kg)	P (mg/kg)	K (mg/kg)	T (°C)	EC (mS/cm)	pH	H (%)
تأثير نوع التربة على الخصائص	تربة رملية	500	150	303	7481	7461	27.6	1680	7.7	69.2
	تربة طينية	500	150	1357	1999	1999	26.5	6691	7.5	100
	تربة عضوية	500	150	1999	1999	1999	23.2	2000	6.5	100

## III. 1.2. تحليل و مناقشة النتائج

بناء على البيانات المتحصل عليها في الجدول السابق جدول (6.III)

## III. 1.1.2. مستوى الحموضة (pH):

تمتلك التربة الرملية أعلى قيمة pH (7.7)، ما يدل على ميلها للقلوية، وهو أمر شائع بسبب قلة المادة العضوية وانخفاض القدرة على عملية تبادل الأيونات موجبة الشحنة (كاتيونات) بين جسيمات التربة، أما التربة الطينية معتدلة الحموضة (7.5)، وتعتبر مناسبة لمعظم المحاصيل، وفيما يخص التربة العضوية فإنها ذات pH منخفض (6.5)، مما يعكس الطبيعة الحمضية الناتجة عن التحلل العضوي المستمر.

الاستنتاج: تختلف مستوى الحموضة تبعاً لنوع التربة وتركيبها، فالتربة العضوية أكثر حموضة، ما

قد يؤثر على امتصاص بعض العناصر.

**III. 2.1.2. الناقلية الكهربائية (EC):**

ظهرت أعلى قيمة EC في التربة الطينية (6691 mS/cm)، مما يشير إلى تركيز عالٍ من الأملاح الذائبة. أما التربة الرملية والعضوية فقد تم تسجيل قيم منخفضة نسبياً (1680 و 2000 mS/cm) على التوالي).

**الاستنتاج:** تظهر التربة الطينية قابلية أعلى للاحتفاظ بالأملاح بسبب بنية حبيباتها الدقيقة، على عكس الرملية التي تفتقر لهذه الخاصية.

**III. 3.1.2. الرطوبة (H%) :**

احتفظت التربة الطينية والعضوية برطوبة بنسبة 100%، وهي خاصية طبيعية نظراً لبنيتها المسامية، أما الرملية احتفظت بنسبة أقل (69.2%)، بسبب مسامها الواسعة وعدم قدرتها على الاحتفاظ بالماء.

**الاستنتاج:** قدرة التربة على الاحتفاظ بالرطوبة تختلف حسب بنيتها، مما يؤثر مباشرة على امتصاص العناصر والناقلية الكهربائية.

**III. 4.1.2. العناصر الغذائية (NPK):**

تم تسجيل أعلى قيم في البوتاسيوم والفوسفور (P، K) سجلاً أعلى قيمة بشكل غير طبيعي في التربة الرملية (7461 و 7481 mg/kg)، وقد تشير هذه القيم إلى خطأ في القياس أو تراكم غير متوازن (ربما بسبب بقايا أسمدة)، أما النيتروجين (N) فقد ظهرت أعلى قيمة في التربة العضوية (1999 mg/kg)،

وهو ما يعكس غناها بالمادة العضوية المتحللة، أما بالنسبة للتربة الرملية فقد تم تسجيل أدنى محتوى من النيتروجين ( $303\text{mg/kg}$ )، وهو متوقع بسبب فقرها الطبيعي بالعناصر.

**الاستنتاج:** تتفاوت العناصر الغذائية بوضوح حسب نوع التربة، فالتربة العضوية أغنى بالنيتروجين، والطينية متوازنة، بينما الرملية تعاني من فقر في N، رغم تسجيل قيم مرتفعة بشكل مريب لـ K و P.

### III. 5.1.2. خلاصة التحليل

- تؤثر بنية التربة بشكل كبير على الرطوبة والناقلية الكهربائية.
- تختلف خصائص الامتصاص والتخزين للعناصر الغذائية باختلاف نوع التربة.
- القيم غير المتوقعة في التربة الرملية (N منخفض جدا، K و P مرتفعان بشكل غير واقعي) تستوجب التحقق من دقة المستشعر أو المعايرة.
- أثبتت التربة العضوية تفوقا من حيث احتوائها على عناصر غذائية عالية ورطوبة مستقرة، مما يجعلها الأنسب للزراعة المستدامة.
- يظهر نوع التربة تأثيرا مباشرا على الخصائص الكيميائية مثل EC، pH، وNPK، مما يعزز أهمية اختيار التربة المناسبة لكل نوع من المحاصيل، ويؤكد فعالية النظام في رصد هذه الفروقات بدقة.

## III. 3. تجربة تأثير نوع الماء

تهدف هذه التجربة جدول (7.III) إلى دراسة تأثير ثلاثة أنواع مختلفة من الماء (ماء مقطر، ماء حنفية، ماء صرف زراعي) على تربة زراعية عضوية واحدة تحت نفس الظروف التجريبية: وزن التربة 500 غرام، كمية الماء 150 مل، ودرجة حرارة الغرفة حوالي  $24-23^{\circ}\text{C}$ .

جدول (7.III): يوضح تفاصيل إعداد تجربة تأثير نوع الماء.

العنصر	القيمة المقترحة	ملاحظات
نوع التربة	تربة زراعية عضوية	موحدة لجميع العينات
وزن التربة لكل عينة	500 جرام	وزن موحد لسهولة المقارنة
كمية الماء	150 مل	ماء مضاف دفعة واحدة لكل عينة
نوع الماء	ماء مقطر / ماء حنفية / ماء صرف زراعي	ماء بدرجة حرارة الغرفة
عدد الأوعية	3 (واحد لكل نوع ماء)	يفضل تكرار كل تجربة 3 مرات
مدة الاستقرار قبل القياس	1 ساعة بعد إضافة الماء	للسماح بتفاعل مكونات الماء مع التربة

بعد عملية القياس تم الحصول على البيانات المسجلة في الجدول التالي جدول (8.III)

جدول (8.III): يوضح التجربة مع النتائج

التجربة	نوع الماء	وزن التربة (جم)	كمية الماء (مل)	N (mg/kg)	P (mg/kg)	K (mg/kg)	EC (mS/cm)	pH	T ( $^{\circ}\text{C}$ )	H (%)

100	23.6	8	20000	1999	1999	1999	150	500	ماء مقطر	تأثير نوع الماء
100	23.2	6.5	20000	1999	1999	1999	150	500	ماء حنفية	على تربة
100	23.9	7.5	20000	1999	1999	1999	150	500	ماء صرف زراعي	عضوية

### III. 1.3. تحليل و مناقشة النتائج

#### III. 1.1.3. الناقلية الكهربائية (EC) :

جميع القيم مرتفعة جدا (20000mS/cm)، وهي أعلى ما يمكن أن يسجله المستشعر، مما قد يدل

على: تشبع التربة بالأملاح، أو حد أقصى في قدرة القياس للمستشعر.

#### III. 2.1.3. مستوى الحموضة (pH):

- أعطى الماء المقطر تفاعلا قلويا (pH = 8.0)، وهو متوقع نظرا لانخفاض تركيز الأيونات في الماء النقي.

- أظهر ماء الحنفية تفاعلا أكثر حمضية (pH = 6.5)، ما يشير إلى وجود أملاح وكربونات تعادل التوازن.

- أظهر ماء الصرف الزراعي وسطا معتدلا (pH = 7.5)، ويعزى ذلك إلى التراكم العضوي ومحتوى العناصر القاعدية الناتجة عن الأسمدة.

الاستنتاج: يتغير pH التربة بناء على خصائص الماء المضاف، رغم أن نوع التربة ثابت، مما يؤكد أن نوع الماء يعد عاملاً مؤثراً في كيمياء التربة.

### III. 3.1.3. ثبات باقي القيم (NPK، H%):

ثبات NPK في جميع العينات يرجع إلى استخدام تربة واحدة متجانسة، وغياب عوامل تؤثر على الذوبانية مثل الوقت الطويل أو اختلاف الأس الهيدروجيني الكبير.

### III. 4.1.3. خلاصة التحليل

رغم تشابه الظروف البيئية والمادية، إلا أن نوع الماء المستخدم أدى إلى تغير ملحوظ في قيمة pH، ما يعكس أهمية اختيار نوعية المياه في الزراعة الدقيقة، أما قيمة EC المرتفعة الموحدة فقد تستدعي التحقق من أداء المستشعر أو معايرته، توضح هذه التجربة أن الماء لا يعد وسيلة ترطيب فقط، بل له دور كيميائي مباشر في تغيير خصائص التربة.

### III. 4. تجربة تأثير الرطوبة على الناقلية الكهربائية (EC)

تهدف التجربة جدول (9.III) إلى فهم العلاقة بين مستوى رطوبة التربة (H%) وقيمة الناقلية الكهربائية (EC)، وذلك عبر تغيير كمية الماء المضافة (50 مل، 100 مل، 150 مل) على تربة رملية واحدة بوزن ثابت 500 جرام، تم إعطاء كل عينة 30 دقيقة بعد الري لضمان استقرار التفاعل قبل القياس.

### جدول (9.III): تفاصيل تجربة تأثير الرطوبة على الناقلية الكهربائية (EC)

العنصر	القيمة المقترحة	ملاحظات
نوع التربة	تربة رملية	نفس المصدر لجميع العينات

وزن موحد لضمان مقارنة دقيقة	500 جرام	وزن التربة
ثابتة قدر الإمكان	24-25 C °	درجة حرارة الغرفة
قبل أخذ القياسات	30 دقيقة	مدة الانتظار بعد الري

جدول (10.III): كميات الماء لتحقيق مستويات مختلفة من الرطوبة:

ملاحظات	الرطوبة التقريبية (%)	كمية الماء المضافة	مستوى الرطوبة
تمثل التربة شبه الجافة	~20%	50 مل	رطوبة منخفضة
تمثل ظروف الحقل المعتادة	~45%	100 مل	رطوبة متوسطة
قرب التشبع دون فيضان	~70%	150 مل	رطوبة عالية

بعد عملية القياس تم الحصول على البيانات المسجلة في الجدول التالي جدول (11.III)

جدول (11.III): تجربة تأثير نوع الماء مع النتائج

H (%)	T (°C)	pH	EC (mS/cm)	K (mg/kg)	P (mg/kg)	N (mg/kg)	كمية الماء (مل)	وزن التربة (جم)	مستوى الرطوبة	التجربة
14.7	27.7	6.7	108	1	9	0	50	500	رطوبة منخفضة	تأثير الرطوبة
20.5	27	7.3	306	97	104	25	100	500	رطوبة متوسطة	على EC
54	27.1	6.4	1331	595	600	239	150	500	رطوبة عالية	

**III. 1.4. تحليل و مناقشة النتائج****III. 1.1.4. الناقلية الكهربائية (EC):**

ارتفعت EC بشكل واضح مع زيادة الرطوبة: من 108 mS/cm عند رطوبة منخفضة، إلى mS/cm 1331 عند رطوبة عالية، السبب الرئيسي هو أن زيادة الماء تزيد من ذوبان الأملاح والعناصر الغذائية في محلول التربة، مما يزيد من قدرة التربة على توصيل التيار الكهربائي، هذه العلاقة تظهر أن التربة الجافة تظهر وكأنها "فقيرة بالعناصر"، في حين أن العناصر قد تكون موجودة لكنها غير ذاتية بعد.

**الاستنتاج:** EC مؤشر يعتمد بشكل كبير على الرطوبة، ويجب تفسيره دائما مع الأخذ بعين الاعتبار محتوى الماء.

**III. 2.1.4. مستوى الحموضة (pH):**

تذبذب طفيف في pH (6.4–7.3) مع تغير الرطوبة، يبدو أن التربة تصبح أكثر قلوية قليلا عند الرطوبة المتوسطة، ثم أكثر حمضية عند زيادة الماء إلى التشبع، هذا يعكس تأثير الماء على توازن الأيونات القاعدية والحمضية.

**III. 3.1.4. NPK (العناصر الغذائية):**

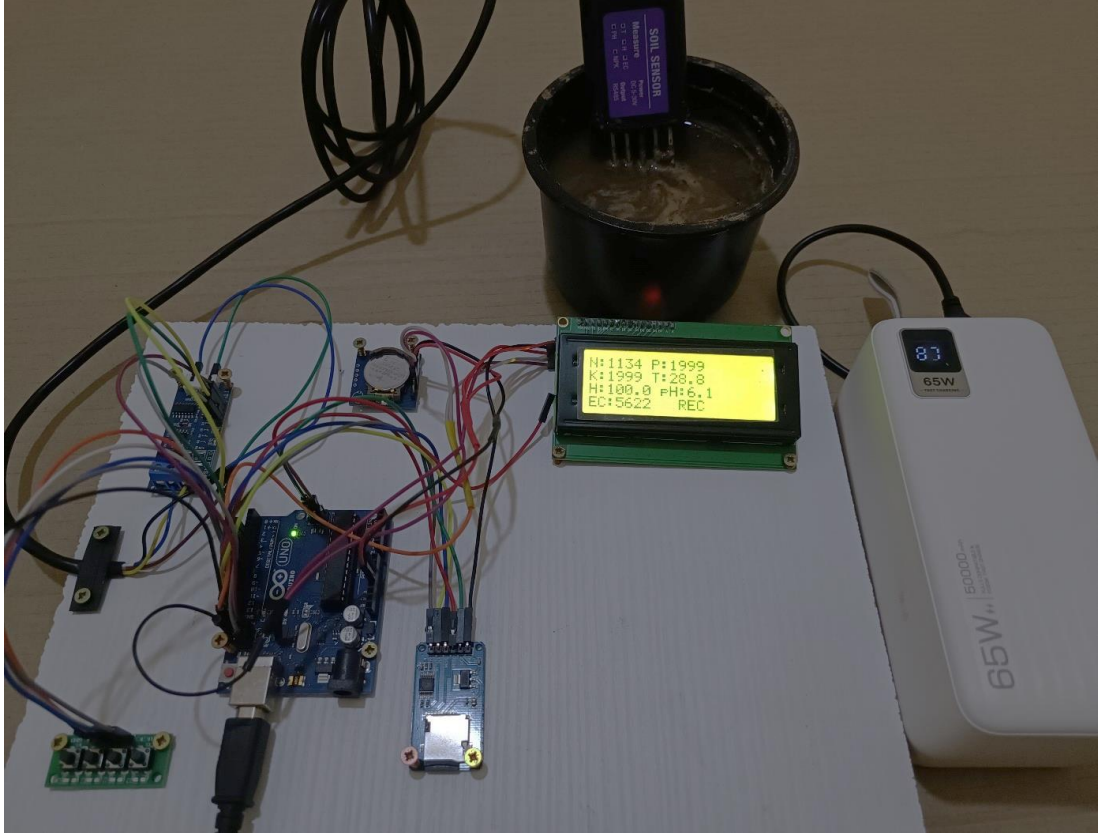
ملاحظة زيادة تدريجية واضحة في N و P و K مع ارتفاع الرطوبة، يشير هذا إلى أن هذه العناصر تصبح أكثر قابلية للامتصاص والقياس كلما زادت الرطوبة، نتيجة للذوبان الأفضل، عند 150 مل، القيم مرتفعة جدا، مما يدل على الوصول إلى ذوبان أعلى واستخلاص أفضل للعناصر.

**III. 4.1.4. خلاصة التحليل**

أظهرت هذه التجربة أن مستوى رطوبة التربة له تأثير مباشر وحاسم على قيم EC وNPK، قد تخفي التربة الجافة كميات كبيرة من العناصر، لكنها لا تظهر في القياس بسبب ضعف الذوبان، بينما عند زيادة الرطوبة، تذوب الأملاح والعناصر بشكل أفضل، مما يؤدي إلى قياسات أعلى وأكثر واقعية، بالتالي عند استخدام مستشعرات تعتمد على EC، يجب أخذ الرطوبة بعين الاعتبار لتجنب تفسيرات خاطئة.

**III. 5. تجربة تسجيل البيانات على مدة زمنية**

تم تحليل بيانات قياسات عناصر التربة الطينية الشكل (III.20) التي تشمل N (النيتروجين)، P(الفوسفور)، K (البوتاسيوم)، T (درجة الحرارة)، H (الرطوبة)، EC (الناقلية الكهربائية)، pH (مستوى الحموضة)، والمأخوذة على مدى فترة زمنية من الساعة 10:57 صباحا وحتى 3:26 صباحا من اليوم التالي بحوالي 1776 قراءة لكل قيمة.

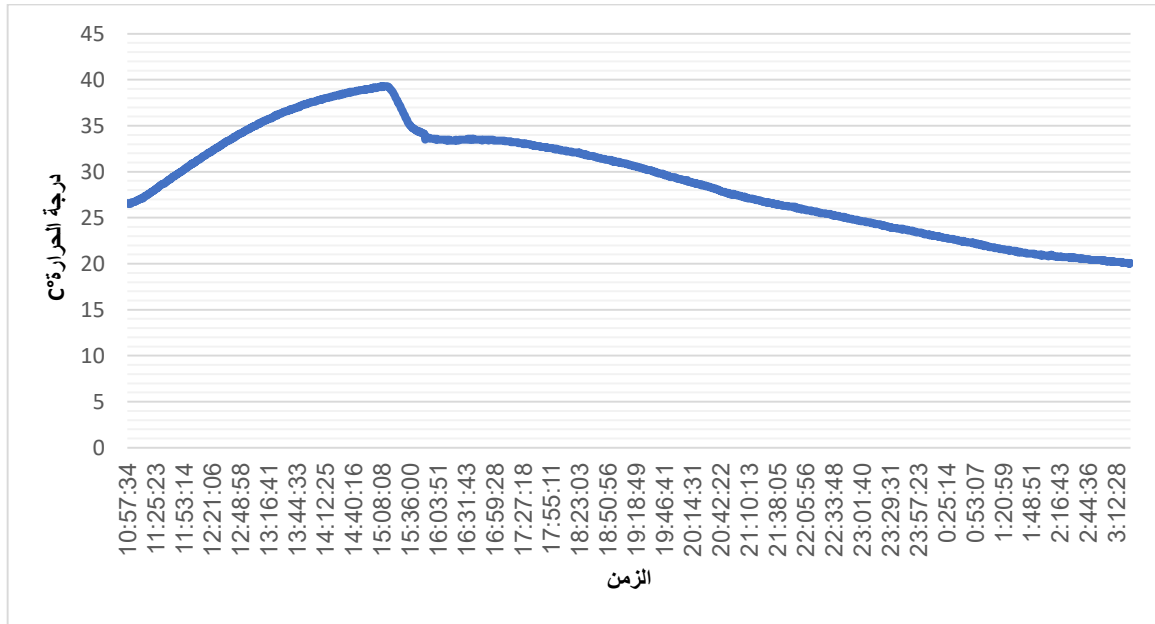


الشكل (20.III): البناء العملي لقياسات عناصر التربة الطينية

### III. 1.5. تغيرات درجة الحرارة بدلالة الزمن في تربة طينية

يعرض الرسم البياني في الشكل (21.III) تغيرات درجة حرارة التربة الطينية على مدار الفترة الزمنية المشار إليها سابقاً، يلاحظ في البداية ارتفاع تدريجي في درجة الحرارة حتى بلوغ الذروة قرب الساعة 15:00 (حوالي  $40\text{ C}^\circ$ )، ويعزى ذلك إلى تأثير حرارة النهار وأشعة الشمس، بعد هذا التوقيت، يظهر انخفاض مفاجئ وسريع في درجة الحرارة، ربما نتيجة تغيرات مناخية أو انتقال التربة إلى بيئة أقل حرارة (داخلية أو مظلة)، بعد ذلك استمرت درجة الحرارة في الانخفاض التدريجي خلال المساء والليل لتصل إلى أقل من  $30\text{ C}^\circ$  عند نهاية الفترة، يعكس هذا التغير استجابة التربة للبيئة المحيطة، ويبرز فعالية النظام في مراقبة

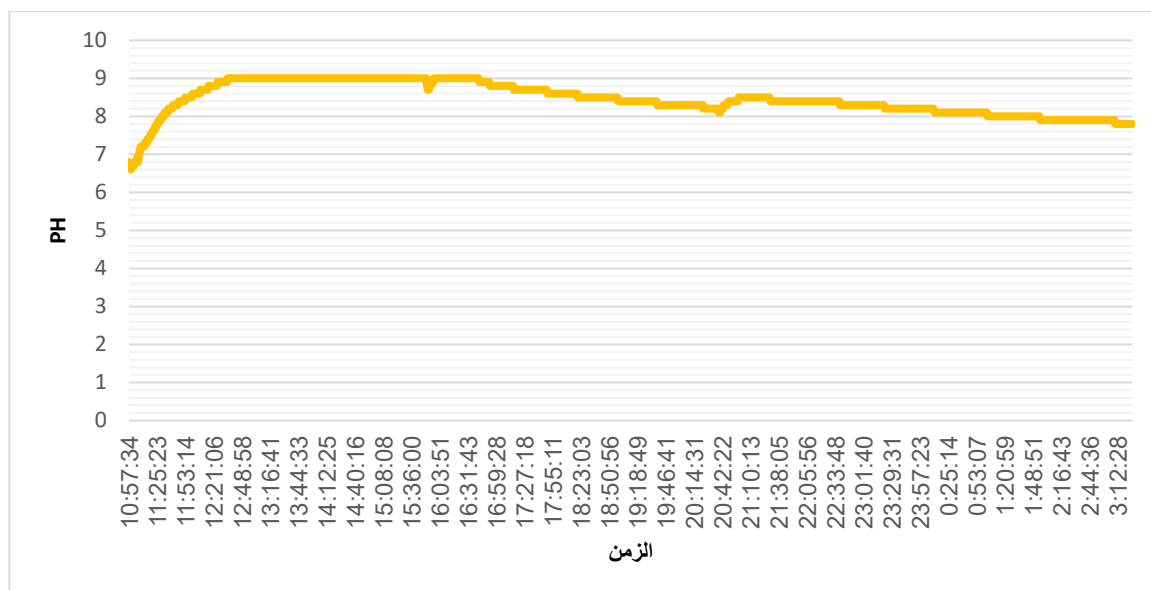
التغيرات الحرارية بدقة عالية وعلى مدى زمني ممتد، كما يشير إلى أهمية التوقيت في تفسير نتائج القياسات الزراعية.



الشكل (21.III): تغيرات درجة الحرارة بدلالة الزمن للتربة الطينية

### III. 2.5. تغيرات قيمة pH بدلالة الزمن في تربة طينية

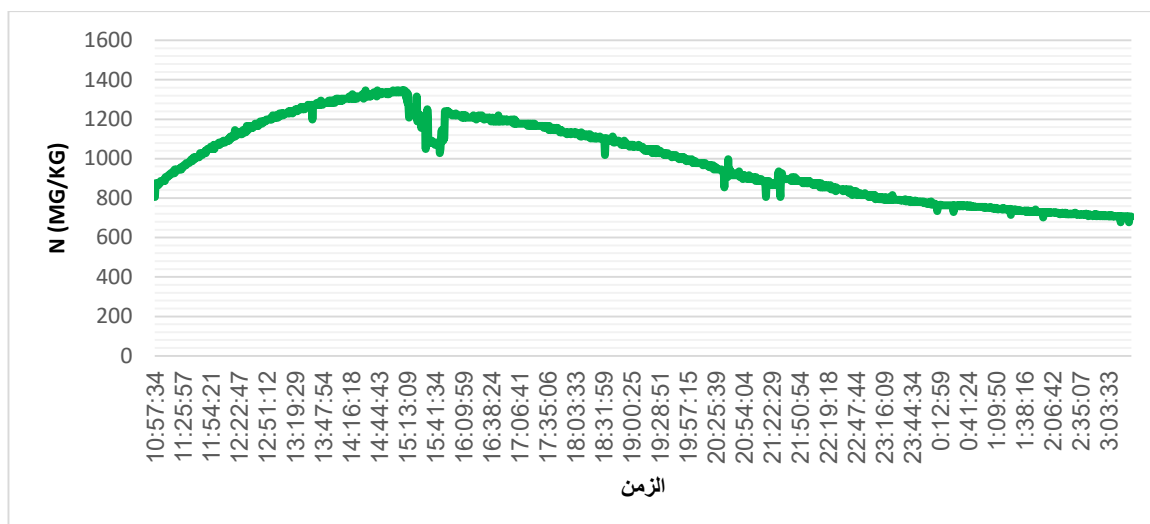
يعرض الرسم البياني في الشكل (22.III) تغيرات مستوى الحموضة (pH) في تربة طينية على مدار الفترة الزمنية المشار إليها سابقاً، في البداية، نلاحظ ارتفاعاً تدريجياً في قيمة pH من 7 إلى حوالي 9، مما يعكس تفاعل التربة مع الماء المضاف وتأثير التهوية الأولية، بعد ذلك، تستقر القيمة بين 8.9 و 9 لفترة، ثم تبدأ انخفاضاً تدريجياً وثابتاً خلال المساء والليل لتستقر قرب 7.5، هذا الانخفاض يعكس عودة التربة إلى توازنها الكيميائي مع انخفاض درجة الحرارة وزيادة امتصاص العناصر، يبرز المنحنى ديناميكية تغير pH في التربة الطينية بمرور الوقت، ويؤكد أهمية التوقيت في إجراء قياسات دقيقة، كما يوضح قدرة النظام الذكي المستخدم على رصد تغيرات بيئية دقيقة على مدار اليوم.



الشكل (22.III): تغيرات قيمة pH بدلالة الزمن للتربة الطينية

### III 3.5. تغيرات قيمة N بدلالة الزمن في تربة طينية

يعرض الرسم البياني في الشكل (23.III) تغيرات تركيز النيتروجين (N) في تربة طينية على مدار الفترة الزمنية المشار إليها سابقاً، نلاحظ في البداية زيادة تدريجية في القيمة، حيث ارتفع تركيز N من حوالي 900 mg/kg ليلبغ الذروة قرب 15:00، متجاوزاً 1300mg/kg، وهو ما يتزامن غالباً مع ارتفاع حرارة التربة وزيادة نشاط التفاعل الكيميائي والذوبان، بعد ذلك، يسجل المنحنى انخفاضاً حاداً ومفاجئاً، يليه انحدار تدريجي مستمر في التركيز خلال المساء والليل، هذا السلوك قد يعزى إلى انخفاض درجة الحرارة، امتصاص النيتروجين من قبل التربة أو تطايره، أو انخفاض ذوبانيته في الماء مع مرور الوقت، يبرز المنحنى مدى ديناميكية عنصر النيتروجين في التربة وتأثره بالعوامل البيئية، كما يثبت كفاءة النظام المستخدم في تسجيل تغيراته بدقة زمنية عالية.



الشكل (23.III): تغيرات قيمة N بدلالة الزمن للتربة الطينية

### III. 4.5. التحليل الإحصائي وتفسيره

فيما يلي بعض النقاط المستخلصة من الإحصائيات من خلال ملف تسجيل بيانات القياس على

مدار فترة زمنية لتربة طينية:

N- (النيتروجين) : المتوسط  $997\text{mg/L}$  ~ مع تذبذب واضح (الانحراف المعياري 199~) ، يشير ذلك إلى وجود تقلبات في المحتوى، مما قد يكون بسبب امتصاص الجذور.

P- (الفوسفور) و K (البوتاسيوم) : مستقران نسبياً، بقيم متوسطة 1937~ و 1939~ على التوالي. يلاحظ وجود تذبذب محدود.

T- (درجة الحرارة) : تتراوح بين 20 و 36 درجة مئوية تقريباً، بمتوسط  $129\text{C}^\circ$  ~ ، ما يعكس تأثيرها بالظروف البيئية خلال اليوم والليل.

H- (الرطوبة) : ثابتة تقريبا بقيم تقارب % 100 في معظم القياسات، مما يدل على بيئة تربة مشبعة بالمياه أو ظروف رطوبة جدا.

EC- (الناقلية الكهربائية) : تذبذب واضح بقيم بين  $\mu\text{S/cm}$  (3430 و 7517) ، ما قد يشير إلى تغيرات في ملوحة التربة أو محتوى العناصر الذائبة.

pH- : يتراوح بين 6.6 و 9.1، بمتوسط 8.45~، مما يدل على ميل التربة للقلوية، وهو أمر مهم عند تقييم ملائمة التربة لبعض المحاصيل.

### III . 6. تقييم أداء النظام

أثبت النظام الذكي المقترح لقياس خصائص التربة أداءً عالياً من حيث الدقة، الثبات، وسرعة الاستجابة في جميع مراحل التجريب، فقد أظهر قدرة واضحة على قراءة البيانات البيئية والغذائية الحقيقية من أنواع مختلفة من التربة (رملية، طينية، عضوية)، مع تميز في تسجيل كل من N، P، K، EC، pH، T، H% بدقة زمنية عالية، كما أن توظيف تقنيات مثل وحدة RTC للطابع الزمني، وبطاقة SD لتسجيل البيانات أتاح توثيقاً منهجياً قابلاً للتحليل على فترة زمنية طويلة، أظهرت المقارنات بين النتائج المتوقعة في المحاكاة والنتائج الفعلية تقارباً كبيراً، مما يعزز موثوقية النظام وكفاءة التصميم، بالإضافة إلى ذلك، تميز النظام بسهولة الاستخدام، والتفاعل عبر واجهة بسيطة من خلال شاشة LCD وأزرار تحكم، مما يجعله مناسباً لتطبيقات ميدانية زراعية حقيقية، يعتبر هذا النظام خطوة ناجحة نحو الزراعة الذكية، وقابل للتطوير مستقبلاً بإضافة تقنيات اتصالات أو تحكم عن بعد. فيما يلي نستعرض النقاط المهمة في تقييم النظام:

### III 1.6. استخدام بروتوكول Modbus RTU عبر RS485

يعتبر بروتوكول Modbus RTU خياراً موثقاً في التطبيقات الصناعية، حيث يدعم نقل البيانات بدقة عالية، كما أنه يقلل من التشويش مقارنة بالإشارات التناظرية التقليدية.

### III 2.6. التحويل الرقمي الدقيق للقراءات

تتم معالجة القياسات مثل درجة الحرارة والرطوبة و pH من خلال ضرب القيم بـ 0.1، مما يضمن توافقها مع القيم الفعلية المستخرجة من الحساسات، ويعكس ذلك دقة تصل إلى منزلة عشرية واحدة.

### III 3.6. تسجيل البيانات

يقوم بتسجيل البيانات تلقائياً كل 30 ثانية، مما يجعله مثالياً لبيئات الرصد المستمر مثل الزراعة أو البيوت البلاستيكية.

### III 4.6. عرض البيانات على شاشة LCD

تعرض الوقت والبيانات في الوقت الحقيقي، مما يسهل التفاعل مع النظام في البيئات الميدانية.

### III 5.6. بطاقة SD لتخزين البيانات

تضمن عدم فقدان المعلومات عند انقطاع التيار الكهربائي، وهو أمر حيوي في البيئات غير المستقرة.

### III 6.6. إشارات واضحة لحالة التسجيل (REC/STOP) :

تجعل التفاعل مع النظام واضحاً للمستخدم حتى في غياب الاتصال المباشر مع الحاسوب.

## III.7. التحديات و الحلول المقترحة

## III.7.1. تحدي الطاقة:

عدم ضمان استمرار تزويد المستشعر بالطاقة خاصة في الأماكن التي لا تحتوي على مصادر طاقة التقليدية. تتضمن الحلول المقترحة ما يلي:

- استبدال أجهزة الاستشعار بأخرى منخفضة الطاقة تحتوي على عدة ميزات مثل تقليل استهلاك الطاقة أثناء فترات التوقف يمكن لهذه المستشعرات البقاء في وضع التشغيل لفترة أطول بكثير قد تصل إلى سنوات أحيانا دون الحاجة إلى عناية مستمرة.
- استخدام مصادر طاقة بديلة مثل الاستعانة بالألواح الشمسية الصغيرة للمستشعرات التي تستهلك طاقة منخفضة
- الاستعانة بمصادر طاقة بديلة مثل توفير البطاريات الاحتياطية في حالة انقطاع التيار الكهربائي الأساسي.

## III.7.2. دقة القياسات:

عدم ضمان دقة القياسات وثباتها عبر الزمن وفي الظروف البيئية المختلفة. تتضمن الحلول المقترحة ما يلي:

- استخدام أجهزة استشعار مرجعية للمعايرة والتحقق يمكن أن يساعد أيضا في تحسين دقة وموثوقية بيانات المستشعرات منخفضة التكلفة .
- استعمال حساسات ذات جودة عالية من شركات معروفة لضمان موثوقيتها
- التحويل الرقمي الدقيق للقراءات ضرب القيم ب 0.1 للتقليل من اخطاء التقريبية

## III. 8. اقتراحات لتطوير النظام مستقبلا

بهدف تعزيز كفاءة ودقة النظام الذكي لقياس خصائص التربة، يمكن اقتراح عدة تحسينات مستقبلية

تشمل الجوانب التقنية والتحليلية. من أبرزها:

- تحسين دقة القياس عبر استخدام مستشعرات عالية الجودة وحديثة، وإضافة نظام معايرة تلقائية لضمان الثبات في الظروف المتغيرة.
- دمج النظام مع منصات تحليل بيانات سحابية، مما يسمح بتخزين القياسات على مدى طويل، وإنشاء تقارير تلقائية ولوحات بيانية تفاعلية.
- إدراج خوارزميات تنقية البيانات وتقليل الضجيج باستخدام تقنيات برمجية لمعالجة الإشارات البيئية.
- إضافة اتصال لاسلكي (مثل Wi-Fi أو GSM) لتمكين المراقبة عن بعد في الحقول الزراعية.
- تطوير تطبيق بسيط للمستخدم يتيح تتبع البيانات لحظيا من الهاتف.
- استخدام الألواح الشمسية كمصدر طاقة بديل لزيادة قابلية الاستخدام الميداني في المناطق النائية.

## الخاتمة

في ختام هذا الفصل، يمكن القول إن النظام المقترح أثبت فعاليته في مراقبة وتحليل خصائص التربة تحت ظروف تجريبية متعددة، أظهرت التجارب الميدانية، التي شملت تأثير نوع التربة، نوع الماء، مستوى الرطوبة، ودرجة الحرارة، أن النظام قادر على تسجيل التغيرات البيئية بدقة مقبولة يمكن الاعتماد عليها، كما أظهرت الرسوم البيانية وتحليلات البيانات الزمنية ديناميكية حقيقية في تغير قيم pH، NPK، وEC، أثبتت المقارنة بين نتائج المحاكاة والتطبيق العملي أن التصميم المعتمد يفي بالمتطلبات الأساسية لنظام مراقبة بيئي ذكي. إضافة إلى ذلك، وقر استخدام التقنيات المساعدة مثل RTC وSD Card إمكانية تسجيل منهجي وتحليل طويل الأمد، هذه النتائج تؤكد أن النظام يشكّل قاعدة تقنية واعدة قابلة للتطوير مستقبلاً نحو أنظمة زراعة ذكية أكثر دقة وفعالية، تسهم في تحسين إدارة التربة وتعزيز الإنتاجية الزراعية.

الحاتمة العامة

## الخاتمة العامة:

تلعب الزراعة دورًا أساسيًا في تعزيز التنمية الاقتصادية، حيث يعتمد إنتاج المحاصيل بشكل كبير على خصوبة التربة ومستوى رطوبتها، يُنصح عادةً باستخدام الأسمدة وفقًا للعناصر الغذائية المتاحة في التربة، ويعتبر تحليل هذه العناصر أمرًا ضروريًا لتحديد مستوى التسميد المناسب، وغالبًا ما يتم ذلك باستخدام تقنيات معملية، ومع ذلك، فإن الطرق اليدوية لقياس مغذيات التربة تستغرق وقتًا طويلاً، مما يدفع العديد من المزارعين إلى تجنب إجراء اختبارات التربة المخبرية والاستمرار في زراعة نفس المحصول في الأرض، مما يؤدي إلى تدهور خصوبة التربة.

في ختام هذا البحث يُعتبر دمج مستشعرات النيتروجين والفوسفور والبوتاسيوم في التربة مع لوحة الأردوينو خطوة هامة نحو تحسين مراقبة مغذيات التربة لأغراض زراعية، تُظهر هذه المذكرة فعالية وكفاءة ودقة نظام الاستشعار في تقديم بيانات فورية حول مستويات pH NPK، و EC في التربة، كما تتيح المراقبة المستمرة للمزارعين الحصول على رؤى قيمة حول صحة التربة، مما يسهم في تطبيق ممارسات تسميد دقيقة وفي الوقت المناسب، ويعزز إنتاجية المحاصيل، ويقلل من التأثير البيئي من خلال إدارة أفضل للمغذيات، ومع ذلك، لا يزال هناك حاجة لمزيد من البحث لتلبية متطلبات المعايير لمختلف أنواع التربة واستكشاف معايير إضافية تعزز من قدرة المستشعر، ورغم هذه التحديات، يُظهر مستشعر النيتروجين والفوسفور والبوتاسيوم في التربة، بالتعاون مع لوحة الأردوينو، إمكانات كبيرة لإحداث ثورة في الزراعة المستدامة والمساهمة في الجهود العالمية لتحقيق الأمن الغذائي والحفاظ على البيئة.

قائمة المصادر

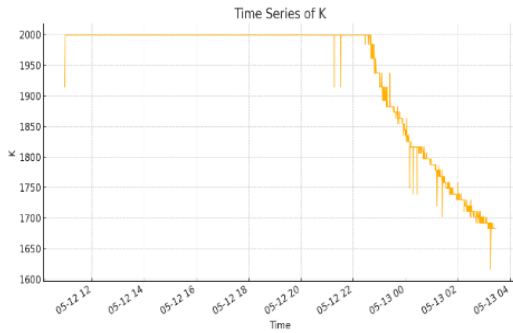
والمراجع

## مراجع

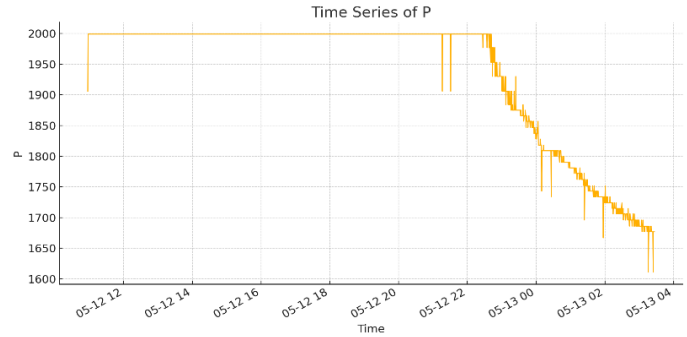
- [1] D. Sinha and P. K. Tandon, "An overview of nitrogen, phosphorus and potassium: Key players of nutrition process in plants," *Sustainable solutions for elemental deficiency and excess in crop plants*, pp. 85-117, 2020.
- [2] R. Prasad, "Efficient fertilizer use: The key to food security and better environment," *Journal of tropical agriculture*, vol. 47, no. 1, pp. 1-17, 2009.
- [3] J. H. SHARP, "Review of carbon, nitrogen, and phosphorus biogeochemistry," *Reviews of Geophysics*, vol. 29, no. S2, pp. 648-658, 1991
- [4] U. M. Sainju, "Determination of nitrogen balance in agroecosystems," *MethodsX*, vol. 4, pp. 199-208, 2017. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2215016117300183?via%3Dihub>.
- [5] L. F. Gómez-Trejo, E. Hernández-Acosta, and M. G. Peralta-Sánchez, "N, P, K nutrition differentially affects the incidence and severity of the attack of pests and diseases in plants," *Agro Productividad*, vol. 14, no. 5, pp. 121-125, 2021.
- [6] A. Andualem, T. Wato, A. Asfaw, and G. Urgi, "Improving primary nutrients (NPK) use efficiency for the sustainable production and productivity of cereal crops: A compressive review," *Journal of Agriculture Sustainability and Environment ISSN*, vol. 2997, p. 271X, 2024.
- [7] C. S. De Silva, I. Koralage ·P. Weerasinghe, and N. Silva, "The determination of available phosphorus in soil: a quick and simple method," *Ousl Journal*, vol. 8, 2015.
- [8] R. Reitemeier, "Soil potassium," *Advances in agronomy*, vol. 3, pp. 113-164, 1951.
- [9] O. Schmidt and G. Hughes-Games, "Potassium considerations for nutrient management," *Nutrient management factsheet*, no. 7, 2010.
- [10] E. Mc Lean and M. Watson, "Soil measurements of plant-available potassium," *Potassium in agriculture*, pp. 277-308, 1985.
- [11] D. Neina, "The role of soil pH in plant nutrition and soil remediation," *Applied and environmental soil science*, vol. 2019, no. 1, p. 5794869, 2019.
- [12] T. Thunjai, C. E. Boyd, and K. Dube, "Poind soil pH measurement," *Journal of the World Aquaculture Society*, vol. 32, no. 2 ,pp. 141-152, 2001.
- [13] A.-S. Feiner and A. McEvoy, "The nernst equation," *Journal of chemical education*, vol. 71, no. 6, p. 493, 1994.
- [14] S. Karastogianni, S. Girousi, and S. Sotiropoulos, "pH: Principles and measurement," *Encyclopedia of Food and Health*, vol. 4, pp. 333-338, 2016.
- [15] G. Laslett, A. McBratney, P. J. Pahl, and M. Hutchinson, "Comparison of several spatial prediction methods for soil pH," *Journal of Soil Science*, vol. 38, no. 2, pp. 325-341, 1987.
- [16] S. Mondal, S. Ghosal, and R. Barua, "Impact of elevated soil and air temperature on plants growth, yield and physiological interaction: a critical review," *Scientia Agriculturae*, vol. 14, no. 3, pp. 293-305, 2016.
- [17] B. Onwuka and B. Mang, "Effects of soil temperature on some soil properties and plant growth," *Adv. Plants Agric. Res*, vol. 8, no. 1, pp. 34-37, 2018.

- [18] D. L. Corwin, "Climate change impacts on soil salinity in agricultural areas," *European Journal of Soil Science*, vol. 72, no. 2, pp. 842-862, 2021.
- [19] A. A. D. L. H. PLAINE, "LE DÉFICIT D'HUMIDITÉ DANS LE SOL ET SON IMPACT SUR LES ACTIVITÉS AGRICOLES DANS LA HAUTE PLAINE SITUÉE ENTRE LES VALLÉES DES RIVIÈRES ARGES ET PRAHOVA (ROUMANIE)– ÉTUDE DE CAS (AOÛT-NOVEMBRE 2011)".
- [20] A. Calò, A. Costacurta, F. Giorgessi, and M. Ubigli, "Importance de l'humidité du sol sur les équilibres végétatifs et productifs des vignes et sur la qualité des vins [Vitis vinifera L.; Italie]," *Rivista di Viticoltura e di Enologia (Italy)*, vol. 55, no. 1, 2002.
- [21] C. Prakash, L. P. Singh, A. Gupta, and S. K. Lohan, "Advancements in smart farming: A comprehensive review of IoT, wireless communication, sensors, and hardware for agricultural automation," *Sensors and Actuators A: Physical*, vol. 362, p. 114605, 2023.
- [22] L. Gottemukkala, S. T. R. Jajala, A. Thalari, S. R. Vootkuri, V. Kumar, and G. M. Naidu, "Sustainable Crop Recommendation System Using Soil NPK Sensor," in *E3S Web of Conferences*, 2023, vol. 430: EDP Sciences, p. 01100 .
- [23] R. P. Potdar, M. M. Shirolkar, A. J. Verma, P. S. More, and A. Kulkarni, "Determination of soil nutrients (NPK) using optical methods: a mini review," *Journal of plant nutrition*, vol. 44, no. 12, pp. 1826-1839, 2021.
- [24] F. Asadi, "LCD and EEPROM," in *Essentials of Arduino™ Boards Programming: Step-by-Step Guide to Master Arduino Boards Hardware and Software*: Springer, 2023, pp. 161-177.
- [25] N. Cameron, N. Cameron, and Pao, *Arduino Applied*. Springer, 2019.

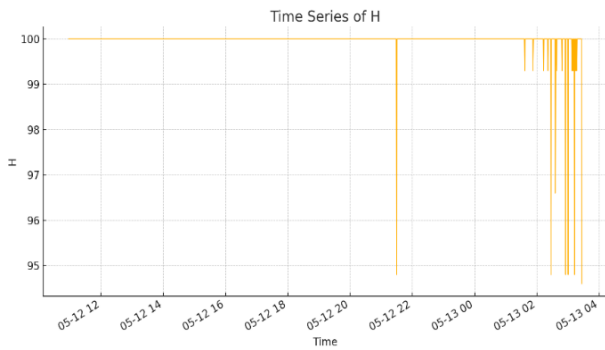
الملاحق



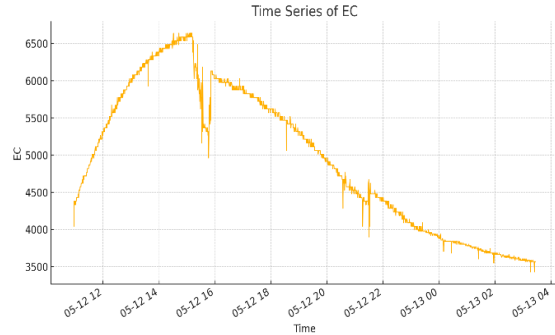
الملحق (2): تغيرات قيمة البوتاسيوم  
بدلالة الزمن في التربة الطينية



الملحق (1): تغيرات قيمة الفوسفور بدلالة الزمن في  
التربة الطينية



الملحق (4): تغيرات قيمة الرطوبة بدلالة الزمن في  
التربة الطينية



الملحق (3): تغيرات قيمة التوصيلية الكهربائية بدلالة  
الزمن في التربة الطينية